

# 矿井通风与安全

主 编

参 编

中国矿业大学出版社

## 内容提要

本书是根据煤炭高等院校采矿工程和安全工程专业的“矿井通风与安全”教学大纲并结合“‘十二五’全国煤炭高等教育‘专升本’教材编写工作会议纪要”编写而成的。书中系统阐述了矿井通风和空气调节的基本理论、技术管理、测试设计等内容，分析讨论了煤矿瓦斯、火、矿尘、水、冒顶等五大自然灾害发生的原因及其防治措施。内容精练、深入浅出，适合作为煤炭成人高校“专升本”学生教材，也可供采矿工程技术人员参考。

# 前 言



# 目 录

<b>第一章 矿井空气</b> .....	<b>- 1 -</b>
第一节 矿井空气成份.....	- 1 -
第二节 矿井空气中的有害气体.....	- 2 -
第三节 矿井气候.....	- 3 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 4 -
<b>第二章 矿井空气流动的基本理论</b> .....	<b>- 6 -</b>
第一节 空气的主要物理参数.....	- 6 -
第二节 风流的能量与压力.....	- 11 -
第三节 矿井通风中的能量方程.....	- 15 -
第四节 能量方程在矿井通风中的应用.....	- 20 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 23 -
<b>第三章 井巷通风阻力</b> .....	<b>- 26 -</b>
第一节 井巷断面上风速分布.....	- 26 -
第二节 摩擦风阻与阻力.....	- 27 -
第三节 局部风阻与阻力.....	- 30 -
第四节 矿井总风阻与矿井等积孔.....	- 33 -
第五节 降低矿井通风阻力措施.....	- 34 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 35 -
<b>第四章 矿井通风动力</b> .....	<b>- 40 -</b>
第一节 自然风压.....	- 40 -
第二节 矿用通风机的类型及构造.....	- 42 -
第三节 通风机附属装置.....	- 43 -
第四节 通风机实际特性曲线.....	- 44 -
第五节 通风机工况点及其经济运行.....	- 49 -
第六节 通风机的联合运转.....	- 51 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 55 -
<b>第五章 矿井通风网络中风量分配与调节</b> .....	<b>- 58 -</b>
第一节 风量分配基本规律.....	- 58 -
第二节 简单网络特性.....	- 60 -
第三节 通风网络动态特性分析.....	- 65 -
第四节 矿井风量调节.....	- 66 -
第五节 应用计算机解算复杂通风网络.....	- 69 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 69 -
<b>第六章 局部通风</b> .....	<b>- 72 -</b>
第一节 局部通风方法.....	- 72 -
第二节 掘进工作面需风量计算.....	- 75 -
第三节 局部通风装备.....	- 76 -
第四节 局部通风系统设计.....	- 77 -
第五节 掘进安全技术装备系列化.....	- 78 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 79 -
<b>第七章 矿井通风系统与通风设计</b> .....	<b>- 83 -</b>
第一节 矿井通风系统.....	- 83 -
第二节 采区通风系统.....	- 84 -
第三节 通风构筑物及漏风.....	- 85 -
第四节 矿井通风设计.....	- 87 -
第五节 可控循环通风概述.....	- 92 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 93 -

<b>第八章 矿井空气调节概论</b> .....	<b>- 96 -</b>
第一节 井口空气加热.....	- 96 -
第二节 矿井主要热源及其散热量.....	- 99 -
第三节 矿井风流热湿计算.....	- 101 -
第四节 矿井降温的一般技术措施.....	- 105 -
第五节 矿井空调系统设计简介.....	- 106 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 108 -
<b>第九章 矿井瓦斯</b> .....	<b>- 109 -</b>
第一节 概述.....	- 109 -
第二节 煤层瓦斯赋存与含量.....	- 109 -
第三节 矿井瓦斯涌出.....	- 110 -
第四节 瓦斯喷出.....	- 112 -
第五节 煤与瓦斯突出及其预防.....	- 112 -
第六节 爆炸及其预防.....	- 114 -
第七节 瓦斯抽放.....	- 115 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 119 -
<b>第十章 矿井火灾防治</b> .....	<b>- 122 -</b>
第一节 概述.....	- 122 -
第二节 矿井外因火灾及其预防.....	- 122 -
第三节 煤炭自燃的理论基础.....	- 123 -
第四节 矿井火灾预测和预报.....	- 125 -
第五节 开采技术防火措施.....	- 126 -
第六节 均压防灭火.....	- 127 -
第七节 惰气防灭火.....	- 130 -
第八节 矿井火灾时期通风.....	- 131 -
第九节 矿井火灾处理与控制.....	- 132 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 134 -
<b>第十一章 矿山防尘</b> .....	<b>- 138 -</b>
第一节 矿尘及其性质.....	- 138 -
第二节 矿山尘肺病.....	- 139 -
第三节 煤尘爆炸及预防.....	- 140 -
第四节 矿山综合防尘.....	- 142 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 143 -
<b>第十二章 矿山防水</b> .....	<b>- 145 -</b>
第一节 地面防治水.....	- 145 -
第二节 井下防治水.....	- 145 -
第三节 矿井突水及其处理.....	- 146 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 147 -
<b>第十三章 矿山救护</b> .....	<b>- 148 -</b>
第一节 矿山救护队.....	- 148 -
第二节 矿工自救.....	- 150 -
第三节 现场急救.....	- 151 -
<b>本章复习思考题</b> .....	- 152 -

# 第一章 矿井空气

## 【本章重点】

- 1、空气成分;
- 2、矿井有害气体、来源及最高允许浓度;
- 3、矿井气候条件。

利用机械或自然通风动力,使地面空气进入井下,并在井巷中作定向和定量地流动,最后排出矿井的全过程称为矿井通风。

目的、主要任务—保证矿井空气的质量符合要求。

## 第一节 矿井空气成份

定义:地面空气进入矿井以后即称为矿井空气。

### 一、地面空气的组成

地面空气是由干空气和水蒸汽组成的混合气体,亦称为湿空气。

干空气是指完全不含有水蒸汽的空气,由氧、氮、二氧化碳、氩、氦和其他一些微量气体所组成的混合气体。干空气的组成成分比较稳定,其主要成分见表 1-1。

湿空气中含有水蒸汽,但其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态变化。

表 1-1 干空气主要成分

气体成分	按体积计/%	按质量计/%	备注
氧气 (O <sub>2</sub> )	20.96	23.17	惰性稀有气体氦、氖、氩等 计在氮气中
氮气 (N <sub>2</sub> )	79.0	76.78	
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	0.04	0.05	

### 二、矿井空气的主要成分及基本性质

新鲜空气:井巷中用风地点以前、受污染程度较轻的进风巷道内的空气。

污浊空气:通过用风地点以后、受污染程度较重的回风巷道内的空气。

#### 1. 氧气(O<sub>2</sub>)

氧气是维持人体正常生理机能所需要的气体,人体维持正常生命过程所需的氧气量,取决于人的体质、精神状态和劳动强度等。

表 1-2 人体输氧量与劳动强度的关系

劳动强度	呼吸空气量 (L/min)	氧气消耗量 (L/min)
休息	6-15	0.2-0.4
轻劳动	20-25	0.6-1.0
中度劳动	30-40	1.2-2.6
重劳动	40-60	1.8-2.4
极重劳动	40-80	2.5-3.1

当空气中的氧浓度降低时,人体就可能产生不良的生理反应,出现种种不舒适的症状,严重时可能导致缺氧死亡。

矿井空气中氧浓度降低的主要原因有:人员呼吸;煤岩和其他有机物的缓慢氧化;煤炭自燃;瓦斯、煤尘爆炸;此外,煤岩和生产过程中产生的各种有害气体,也使空气中的氧浓度相对降低。

#### 2. 二氧化碳(CO<sub>2</sub>)

二氧化碳不助燃,也不能供人呼吸,略带酸臭味。二氧化碳比空气重(其比重为 1.52),在风速较

小的巷道中底板附近浓度较大；在风速较大的巷道中，一般能与空气均匀地混合。

矿井空气中二氧化碳的主要来源是：煤和有机物的氧化；人员呼吸；碳酸性岩石分解；炸药爆破；煤炭自燃；瓦斯、煤尘爆炸等。

### 3. 氮气(N<sub>2</sub>)

氮气是一种惰性气体，是新鲜空气中的主要成分，它本身无毒、不助燃，也不供呼吸。但空气中含氮量升高，则势必造成氧含量相对降低，从而也可能造成人员的窒息性伤害。正因为氮气具有的惰性，因此可将其用于井下防灭火和防止瓦斯爆炸。

矿井空气中氮气主要来源是：井下爆破和生物的腐烂，有些煤岩层中也有氮气涌出，灭火人为注氮。

### 三、矿井空气主要成分的质量（浓度）标准

采掘工作面进风流中的氧气浓度不得低于 20%；二氧化碳浓度不得超过 0.5%；总回风流中不得超过 0.75%；当采掘工作面风流中二氧化碳浓度达到 1.5%或采区、采掘工作面回风道风流中二氧化碳浓度超过 1.5%时，必须停工处理。

## 第二节 矿井空气中的有害气体

空气中常见有害气体：CO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>。

### 一、基本性性质

#### 1、一氧化碳(CO)

一氧化碳是一种无色、无味、无臭的气体。相对密度为 0.97，微溶于水，能与空气均匀地混合。一氧化碳能燃烧，当空气中一氧化碳浓度在 13~75%范围内时有爆炸的危险。

主要危害：血红蛋白是人体血液中携带氧气和排出二氧化碳的细胞。一氧化碳与人体血液中血红蛋白的亲合力比氧大 250~300 倍。一旦一氧化碳进入人体后，首先就与血液中的血红蛋白相结合，因而减少了血红蛋白与氧结合的机会，使血红蛋白失去输氧的功能，从而造成人体血液“窒息”。0.08%，40 分钟引起头痛眩晕和恶心；0.32%，5~10 分钟引起头痛、眩晕，30 分钟引起昏迷，死亡。

主要来源：爆破；矿井火灾；煤炭自燃以及煤尘瓦斯爆炸事故等。

#### 2、硫化氢(H<sub>2</sub>S)

硫化氢无色、微甜、有浓烈的臭鸡蛋味，当空气中浓度达到 0.0001%即可嗅到，但当浓度较高时，因嗅觉神经中毒麻痹，反而嗅不到。硫化氢相对密度为 1.19，易溶于水，在常温、常压下一个体积的水可溶解 2.5 个体积的硫化氢，所以它可能积存于旧巷的积水中。硫化氢能燃烧，空气中硫化氢浓度为 4.3~45.5%时有爆炸危险。

主要危害：硫化氢剧毒，有强烈的刺激作用；能阻碍生物氧化过程，使人体缺氧。当空气中硫化氢浓度较低时主要以腐蚀刺激作用为主，浓度较高时能引起人体迅速昏迷或死亡。0.005~0.01%，1~2 小时后出现眼及呼吸道刺激；0.015~0.02%，恶心、呕吐、头晕、四肢无力、反应迟钝，眼和呼吸道有强烈刺激症状。

主要来源：有机物腐烂；含硫矿物的水解；矿物氧化和燃烧；从老空区和旧巷积水中放出。

#### 3、二氧化氮(NO<sub>2</sub>)

二氧化氮是一种褐红色的气体，有强烈的刺激气味，相对密度为 1.59，易溶于水。

主要危害：二氧化氮溶于水后生成腐蚀性很强的硝酸，对眼睛、呼吸道粘膜和肺部有强烈的刺激及腐蚀作用，二氧化氮中毒有潜伏期，中毒者指头出现黄色斑点。0.01%出现严重中毒。

主要来源：井下爆破工作。

#### 4. 二氧化硫(SO<sub>2</sub>)

二氧化硫无色、有强烈的硫磺气味及酸味，空气中浓度达到 0.0005%即可嗅到。其相对密度为 2.22，易溶于水。

主要危害：遇水后生成硫酸，对眼睛及呼吸系统粘膜有强烈的刺激作用，可引起喉炎和肺水肿。当浓度达到 0.002%时，眼及呼吸器官即感到有强烈的刺激；浓度达 0.05%时，短时间内即有致命危险。

主要来源：含硫矿物的氧化与自燃；在含硫矿物中爆破；以及从含硫矿层中涌出。

#### 5. 氨气(NH<sub>3</sub>)

无色、有浓烈臭味的气体，相对密度为 0.596，易溶于水。空气浓度中达 30%时有爆炸危险。

主要危害：氨气对皮肤和呼吸道粘膜有刺激作用，可引起喉头水肿。

主要来源：爆破工作，注凝胶、水灭火等；部分岩层中也有氨气涌出。

#### 6. 氢气(H<sub>2</sub>)

无色、无味、无毒，相对密度为 0.07。氢气能自燃，其点燃温度比沼气低 100~200℃。

主要危害：当空气中氢气浓度为 4~74% 时有爆炸危险。

主要来源：井下蓄电池充电时可放出氢气；有些中等变质的煤层中也有氢气涌出、或煤氧化。

## 二、矿井空气中有害气体的安全浓度标准

矿井空气中有害气体对井下作业人员的生命安全危害极大，因此，《规程》对常见有害气体的安全标准做了明确的规定，见表 1-3。

表 1-3 矿井空气中有害气体的最高容许浓度

有害气体名称	符号	最高容许浓度/%
一氧化碳	CO	0.0024
二氧化氮（折算成二氧化氮）	NO <sub>2</sub>	0.00025
二氧化硫	SO <sub>2</sub>	0.0005
硫化氢	H <sub>2</sub> S	0.00066
氨	NH <sub>3</sub>	0.004

## 第三节 矿井气候

矿井气候：矿井空气的温度、湿度和流速三个参数的综合作用。这三个参数也称为矿井气候条件的三要素。

### 一、矿井气候对人体热平衡的影响

新陈代谢是人类生命活动的基本过程之一。人体散热主要是通过人体皮肤表面与外界的对流、辐射和汗液蒸发这三种基本形式进行的。对流散热取决于周围空气的温度和流速；辐射散热主要取决于环境温度；蒸散发热取决于周围空气的相对湿度和流速。

人体热平衡关系式：

$$q_m - q_w = q_d + q_z + q_f + q_{ch} \quad (1-1)$$

式中  $q_m$ ——人体在新陈代谢中产热量，取决于人体活动量；

$q_w$ ——人体用于做功而消耗的热量， $q_m - q_w$  人体排出的多余热量；

$q_d$ ——人体对流散热量，低于人体表面温度，为负，否则，为正；

$q_z$ ——汗液蒸发或呼出水蒸气所带出的热量；

$q_f$ ——人体与周围物体表面的辐射散热量，可正，可负；

$q_{ch}$ ——人体由热量转化而没有排出体外的能量；人体热平衡时， $q_{ch} = 0$ ；

当外界环境影响人体热平衡时，人体温度升高  $q_{ch} > 0$ ，人体温度降低， $q_{ch} < 0$

矿井气候条件的三要素是影响人体热平衡的主要因素。

空气温度：对人体对流散热起着主要作用。

相对湿度：影响人体蒸散发热的效果。

风速：影响人体的对流散热和蒸散发热的效果。对流换热强度随风速而增大。同时湿交换效果也随风速增大而加强。如有风的天气，凉衣服干得快。

### 二、衡量矿井气候条件的指标

#### 1. 干球温度

干球温度是我国现行的评价矿井气候条件的指标之一。

特点：在一定程度上直接反映出矿井气候条件的好坏。指标比较简单，使用方便。但这个指标只反映了气温对矿井气候条件的影响，而没有反映出气候条件对人体热平衡的综合作用。

#### 2. 湿球温度

湿球温度是可以反映空气温度和相对湿度对人体热平衡的影响，比干球温度要合理些。但这个指标仍没有反映风速对人体热平衡的影响。

#### 3. 等效温度

等效温度定义为湿空气的焓与比热的比值。它是一个以能量为基础来评价矿井气候条件的指标。

#### 4 同感温度

同感温度（也称有效温度）是1923年由美国采暖工程师协会提出的。这个指标是通过实验，凭受试者对环境的感觉而得出的同感温度计算图。

### 5. 卡他度

卡他度是1916年由英国L.希尔等人提出的。卡他度用卡他计测定。

卡他度分为：干卡他度、湿卡他度。

干卡他度：反映了气温和风速对气候条件的影响，但没有反映空气湿度的影响。为了测出温度、湿度和风速三者的综合作用效果。

$$K_d = 41.868F/t, (W/m^2) \quad (1-2)$$

湿卡他度（ $K_w$ ）：是在卡他计贮液球上包裹上一层湿纱布时测得的卡他度，其实测和计算方法完全与干卡他度相同。

### 三、矿井气候条件的安全标准

我国现行评价矿井气候条件的指标是干球温度。1982年国务院颁布的《矿山安全条例》第53条规定，矿井空气最高容许干球温度为28℃。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

1. 矿井空气主要是由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和二氧化碳等气体组成的。
2. 矿井通风的主要任务是：\_\_\_\_\_；稀释和排出有毒有害气体和矿尘等；调节矿井气候。
3. 矿井空气氧气百分含量减少的原因有：爆破工作、井下火灾和爆炸、各种气体的混入以及\_\_\_\_\_。
4. 影响矿井空气温度的因素有：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、氧化生热、水分蒸发、空气压缩与膨胀、地下水、通风强度、其他因素。
5. 矿井空气中常见有害气体有\_\_\_\_\_、硫化氢、二氧化硫、二氧化氮和\_\_\_\_\_等。
6. 检定管检测矿井有害气体浓度的方式有两种，一种叫比色式；另一种叫\_\_\_\_\_。
7. 矿井气候是矿井空气的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和风速的综合作用。
8. 《规程》规定：在采掘工作面的进风流中，氧气的浓度不得低于\_\_\_\_\_%，二氧化碳浓度不得超\_\_\_\_\_%。
9. 通常认为最适宜的井下空气温度是\_\_\_\_\_℃，较适宜的相对湿度为\_\_\_\_\_%。
10. 一氧化碳是一种无色无味无臭的气体，微溶于水，相对空气的密度是0.97，不助燃但有\_\_\_\_\_。一氧化碳极毒，能优先与人体的\_\_\_\_\_起反应使人体缺氧，引起窒息和死亡，浓度在13%~75%之间时遇高温而爆炸。
11. 井下最适宜的气候条件是湿度在\_\_\_\_\_、温度\_\_\_\_\_和适当的风速。
12. 矿井通风的主要任务就是把新鲜空气源源不断地送入井下，达到\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_目的。
13. 矿井空气中有害气体主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_以及氨气氢气等。
14. 《煤矿安全规程》中规定，矿井空气中以下主要有害气体的允许浓度上限值分别为CO\_\_\_\_\_、 $H_2S$ \_\_\_\_\_、 $SO_2$ \_\_\_\_\_、 $NO_2$ \_\_\_\_\_。
15. 地面空气中，按体积比，氧气约有\_\_\_\_\_%，氮气约有\_\_\_\_\_%。
16. 检定管的检测原理是，被检测气体通过检定管时，与\_\_\_\_\_发生反应，使得其颜色发生改变。

### 二、选择题

1. 下列气体中不属于矿井空气的主要成分的是\_\_\_\_\_。  
A 氧气      B 二氧化碳      C 瓦斯
2. 下列不属于一氧化碳性质的是\_\_\_\_\_。  
A 燃烧爆炸性      B 毒性      C 助燃性
3. 矿井空气的主要组成成分有\_\_\_\_\_。  
A.  $N_2$ 、 $O_2$ 和 $CO_2$       B.  $N_2$ 、 $O_2$ 和CO      C.  $N_2$ 、 $O_2$ 和 $CH_4$
4. 下列气体中不属于矿井空气的主要有害气体的是\_\_\_\_\_。  
A 瓦斯      B 二氧化碳      C 一氧化碳
5. 井下氮气的主要来源是\_\_\_\_\_。  
A. 通风系统      B. 老空区      C. 呼吸排气      D. 爆破后产生
6. 下列三项中不属于矿井空气参数的是\_\_\_\_\_。  
A. 密度      B. 粘性      C. 质量
7. 空气中一氧化碳浓度达\_\_\_\_\_时具有爆炸性。  
A. 13%~75%      B. 13%~65%      C. 20%~50%
8. 《煤矿安全规程》规定：矿井有害气体硫化氢允许浓度为\_\_\_\_\_。

- A. 0.000 66% B. 0.000 67% C. 0.006 %
- 9、《煤矿安全规程》规定：井下一氧化碳允许浓度为\_\_\_\_\_。
- A. 0.002 5% B. 0.002 4% C. 0.002 6%
- 10、《煤矿安全规程》规定：井下二氧化氮的允许浓度为\_\_\_\_\_。
- A. 0.002 4% B. 0.002 3% C. 0.000 25%
- 11、《规程》规定，采掘工作面空气的温度不得超过\_\_\_\_\_。
- A. 26℃ B. 30℃ C. 34℃
- 12、下列哪种气体易溶于水\_\_\_\_\_。
- A. 氮气 B. 二氧化氮 C. 瓦斯 D. 二氧化碳
- 13、下列气体有刺激性气味的是\_\_\_\_\_。
- A. 一氧化碳 B. 氮气 C. 瓦斯 D. 二氧化碳
- 14、下列气体属于助燃气体的是\_\_\_\_\_。
- A. 氮气 B. 二氧化碳 C. 瓦斯 D. 氧气
- 15、采掘工作面的进风流中，按体积计算，氧气浓度不得低于\_\_\_\_\_。
- A. 16% B. 18% C. 20%
- 16、下列气体不属于瓦斯矿井主要气体的是\_\_\_\_\_。
- A. 氮气 B. 氧气 C. 瓦斯 D. 二氧化碳
- 17、下列气体属于混合物的是\_\_\_\_\_。
- A. 硫化氢 B. 二氧化氮 C. 瓦斯 D. 氮气

### 三、判断题

- 1、新风与地面空气的性质差别不大。
- 2、矿井空气的主要成分有：氮气、氧气和瓦斯。
- 3、一氧化碳的浓度越高，爆炸强度就越大。
- 4、测定不同的气体必须使用不同的检定管。
- 5、压力与温度相同的干空气比湿空气轻。
- 6、《煤矿安全规程》规定，采掘工作面的进风流中，氧气不得低于18%。
- 7、采掘工作面进风流中，氧气浓度不得低于20%。
- 8、煤矿井下的氢气不是有害气体。
- 9、煤矿井下一氧化碳气体的安全浓度为0.0024。
- 10、二氧化氮对人体的危害很小。
- 11、《煤矿安全规程》规定：井下空气中一氧化碳的浓度不得超过0.5%。
- 12、井下空气中二氧化氮的浓度不得超过0.00025%。
- 13、井下巷道风流中氧气浓度小于17%时，不准人员入内。
- 14、矿井通风可以改善井下气候条件，供给人员呼吸。

### 四、简答题

- 1、地面空气的主要成分是什么？矿井空气与地面空气有何区别？
- 2、氧气有哪些性质？造成矿井空气中氧浓度减少的主要原因有哪些？
- 3、矿井空气中常见的有害气体有哪些？《规程》对矿井空气中有害气体的最高容许浓度有哪些具体规定？
- 4、CO有哪些性质？试说明CO对人体的危害以及矿井空气中CO的主要来源。
- 5、什么叫矿井气候？简述井下空气温度的变化规律。

### 五、计算题

1. 某矿井冬季总进风流的温度为5℃，相对湿度为70%，矿井总回风流的温度为20℃，相对湿度为90%，矿井总进、总回风量平均为2500 m<sup>3</sup>/min。试求风流在全天之内从井下带走多少水分？（已知总进、回空气的饱和湿度为4.76和15.48 g/m<sup>3</sup>）
2. 某矿一采煤工作面CO<sub>2</sub>的绝对涌出量为7.56 m<sup>3</sup>/min，当供风量为850 m<sup>3</sup>/min时，问该工作面回风流中CO<sub>2</sub>浓度为多少？能否进行正常工作。
3. 井下空气中，按体积计CO浓度不得超过0.0024%。试将体积浓度（%）换算为0℃压力为101325 Pa状态的质量浓度（mg/m<sup>3</sup>）。
4. 在井下某处测得：空气温度18℃、相对湿度80%，绝对压力100kPa，试求该处的空气密度。（注：温度在18℃时得饱和水蒸气压力为2.065kPa）。

## 第二章 矿井空气流动的基本理论

### 【本章重点】

- 1、空气的物理参数— $T$ 、 $P$ 、 $j$ 、 $m$ 、 $r$ ；
- 2、风流能量与点压力—静压，静压能；动压、动能；位能；全压；抽出式和压入式相对静压、相对全压与动压的关系；
- 3、能量方程—连续性方程；单位质量能量方程、单位体积能量方程；
- 4、能量方程在矿井中的应用—边界条件、压力坡度图。

### 【本章难点】

点压力之间的关系  
能量方程及其在矿井中的应用

主要研究内容：矿井空气沿井巷流动过程中宏观力学参数的变化规律以及能量的转换关系。介绍空气的主要物理参数、性质，讨论空气在流动过程中所具有的能量（压力）及其能量的变化。根据热力学第一定律和能量守恒及转换定律，结合矿井风流流动的特点，推导了矿井空气流动过程中的能量方程，介绍了能量方程在矿井通风中的应用。

### 第一节 空气的主要物理参数

#### 一、温度

温度是描述物体冷热状态的物理量。矿井表示气候条件的主要参数之一。热力学绝对温标的单位  $K$ ，摄氏温标

$$T = 273.15 + t \quad (2-1)$$

#### 二、压力（压强）

空气的压力也称为空气的静压，用符号  $P$  表示。压强在矿井通风中习惯称为压力。它是空气分子热运动对器壁碰撞的宏观表现。

$$P = 2/3n(1/2mu^2) \quad (2-2)$$

矿井常用压强单位：Pa、Mpa、mmHg、mmH<sub>2</sub>O、mmbar、bar、atm 等。

换算关系：1 atm = 760 mmHg = 1013.25 mmbar = 101325 Pa

1 mmbar = 100 Pa = 10.2 mmH<sub>2</sub>O

1 mmHg = 13.6mmH<sub>2</sub>O = 133.32 Pa

#### 三、湿度

表示空气中所含水蒸汽量的多少或潮湿程度。表示空气湿度的方法：绝对湿度、相对湿度和含湿量三种。

##### 1、绝对湿度

每立方米空气中所含水蒸汽的质量叫空气的绝对湿度。其单位与密度单位相同 ( $Kg/m^3$ )，其值等于水蒸汽在其分压力与温度下的密度。

$$r_v = M_v/V \quad (2-3)$$

饱和空气：在一定的温度和压力下，单位体积空气所能容纳水蒸汽量是有极限的，超过这一极限值，多余的水蒸汽就会凝结出来。这种含有极限值水蒸汽的湿空气叫饱和空气，这时水蒸汽分压力叫饱和水蒸分压力  $P_s$ ，其所含的水蒸汽量叫饱和湿度  $r_s$ 。

##### 2、相对湿度

单位体积空气中实际含有的水蒸汽量 ( $r_v$ ) 与其同温度下的饱和水蒸汽含量 ( $r_s$ ) 之比称为空气

的相对湿度  $j$ ，即

$$j = r_v / r_s \quad (2-4)$$

反映空气中所含水蒸汽量接近饱和的程度。 $j$  愈小，空气愈干燥， $j = 0$  为干空气； $j$  愈大，空气愈潮湿， $j = 1$  为饱和空气。

温度下降，其相对湿度增大，冷却到  $j = 1$  时的温度称为露点。

【例 2-1】：甲地： $t = 18^\circ\text{C}$ ， $r_v = 0.0107 \text{ Kg/m}^3$ ；乙地： $t = 30^\circ\text{C}$ ， $r_v = 0.0154 \text{ Kg/m}^3$

解：查下表 2-1 得，

当  $t = 18^\circ\text{C}$ ， $r_s = 0.0154 \text{ Kg/m}^3$ ，

当  $t = 30^\circ\text{C}$ ， $r_s = 0.03037 \text{ Kg/m}^3$ ，

∴ 甲地： $j = r_v / r_s = 0.7 = 70\%$

乙地： $j = r_v / r_s = 0.51 = 51\%$

乙地的绝对湿度大于甲地，但甲地的相对湿度大于乙地，故乙地的空气吸湿能力强。

露点：将不饱和空气冷却时，随着温度逐渐下降，相对湿度逐渐增大，当达到 100% 时，此时的温度称为露点。

问：上例甲地、乙地的露点分别为多少？

饱和绝对湿度  $r_s$ ：单位容积或质量湿空气所含饱和水蒸气质量（或水蒸气最大质量）的绝对值（ $\text{g/m}^3$  或  $\text{g/kg}$ ）。空气温度升高时，容积增大，空气分子间的间隙增大，容纳水蒸气量增大。即气温愈高， $r_s$  值愈大。在标准大气的情况下，不同气温时的  $r_s$  值如下表 2-1 所示。

表 2-1 标准状态下饱和湿空气的绝对湿度

干温度 ( $^\circ\text{C}$ )	在 1 立方 米空气内 ( $\text{g/m}^3$ )	在 1 公斤 空气内 ( $\text{g/kg}$ )	水蒸气的绝对压力		干温度 ( $^\circ\text{C}$ )	在 1 立方 米空气内 ( $\text{g/m}^3$ )	在 1 公斤 空气内 ( $\text{g/kg}$ )	水蒸气的绝对压力	
			(mmHg)	(Pa)				(mmHg)	(Pa)
-20	1.1	0.8	0.96	127.894	14	12.0	9.8	11.99	1597.337
-15	1.6	1.1	1.45	193.172	15	12.8	10.5	12.79	1703.914
-10	2.3	1.7	2.16	287.760	16	13.6	11.2	13.64	1817.154
-5	3.4	2.6	3.17	422.315	17	14.4	11.9	14.5	1931.725
0	4.9	3.8	4.58	610.159	18	15.3	12.7	15.5	2064.947
1	5.2	4.1	4.92	655.454	19	16.2	13.5	16.5	2198.170
2	5.6	4.3	5.29	704.746	20	17.2	14.4	17.5	2331.392
3	6.0	4.7	5.68	756.703	21	18.2	15.3	18.7	2491.259
4	6.4	5.0	6.09	811.324	22	19.3	16.3	19.8	2637.804
5	6.8	5.4	6.53	869.942	23	20.4	17.3	21.1	2801.993
6	7.3	5.7	7.00	932.557	24	21.6	18.4	22.4	2984.182
7	7.7	6.1	7.49	997.836	25	22.9	19.5	23.8	3170.693
8	8.3	6.6	8.02	1068.444	26	24.2	20.7	25.2	3357.204
9	8.8	7.0	8.58	1143.048	27	25.6	22.0	26.7	3557.038
10	9.4	7.5	9.21	1226.978	28	27.0	23.4	28.4	3783.516
11	9.9	8.0	9.84	1310.908	29	28.5	24.8	30.1	4009.994
12	10.6	8.6	10.52	1401.500	30	30.1	26.3	31.8	4236.472
13	11.3	9.2	11.23	1496.088	31	31.8	27.3	33.7	4489.595

### 空气湿度的测算

测算空气湿度时，先用仪表测出相对湿度，再算出绝对湿度。构造简单的常用仪表是手摇湿度计(图 2-1)和风扇湿度计(图 2-2)，二者都是由干球温度计和湿球温度计组成，前者要用手摇，后者用自带的发条转动小风扇。用前者测量时，手握住把手，以大 120r/min 的转数均匀旋转仪表 1~2min，然后从两支温度计上分别读出空气的干温度(又名干球温度) $t_d$ 和湿温度(又名湿球温度) $t_w$ ( $^\circ\text{C}$ )，含水量较少的空气容易吸收湿纱布上的水分，或者说湿纱布上的水分比较容易蒸发，水分被蒸发越多，被纱布包着水银球的温度就越降低，则  $t_d$  和  $t_w$  之差越大，表示空气越干燥或其相对湿度越小。根据实测的  $t_d$  和  $t_d - t_w$  两个数值在表 2-2 中查出空气的相对湿度  $j$  值；又据  $t_d$  在表 2-1 中查出  $r_s$  的近似值，然后用  $j = r_v / r_s$  式算出绝对湿度  $r_v$  值。

例如，测得某矿总进风量为  $4000 \text{ m}^3/\text{min}$ ，其干温度的平均值  $t_d = 22^\circ\text{C}$ ，湿温度的平均值  $t_w = 21^\circ\text{C}$ ，则查表 2-2 得其相对湿度  $j = 91\%$ ；又据  $t_d$  值查表 2-1 得出饱和绝对湿度  $r_s = 19.3 \text{ g/m}^3$ ，故其绝对湿度约：

$$r_v = 91\% \times 19.3 = 17.6 \text{g/m}^3$$

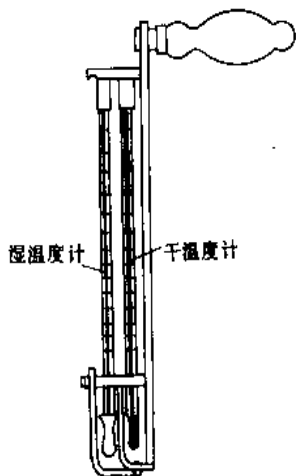


图 2-1 手摇湿度计

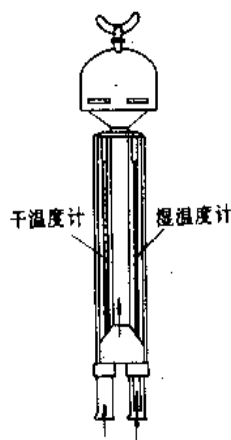


图 2-2 风扇湿度计

表 2-2 干湿温度与相对湿度的关系表

干温度计读数 (°C)	干、湿温度计读数差 (°C)							干温度计读数 (°C)	干、湿温度计读数差 (°C)								
	0	1	2	3	4	5	6		7	0	1	2	3	4	5	6	7
	相对湿度%								相对湿度%								
0	100	81	63	46	28	12	—	18	100	90	80	72	63	55	48	41	
5	100	86	71	58	43	31	17	19	100	91	81	72	64	57	50	41	
6	100	86	72	59	46	33	21	20	100	91	81	73	65	58	50	42	
7	100	87	74	60	48	36	24	21	100	91	82	74	66	58	50	44	
8	100	87	74	62	50	39	27	22	100	91	82	74	66	58	51	45	
9	100	88	75	63	52	41	30	23	100	91	83	75	67	59	52	46	
10	100	88	77	64	53	43	32	24	100	91	83	75	67	59	53	47	
11	100	88	79	65	55	45	35	25	100	92	84	76	68	60	54	48	
12	100	89	79	67	57	47	37	26	100	92	84	76	69	62	55	50	
13	100	89	79	68	58	49	39	27	100	92	84	77	69	62	56	51	
14	100	89	79	69	59	50	41	28	100	92	84	77	70	64	57	52	
15	100	90	80	70	61	51	43	29	100	92	85	78	71	65	58	53	
16	100	90	80	70	61	53	45	30	100	92	85	79	72	66	59	53	
17	100	90	80	71	62	55	47	40									

若该矿总回风量是  $4400 \text{m}^3/\text{min}$ , 其干温度平均值  $t'_d = 14^\circ\text{C}$ , 湿温度平均值  $t'_w = 14^\circ\text{C}$ , 则查表 2-2 得其相对湿度  $j' = 100\%$ , 又据  $t'_d$  值查表 2-1 得其饱和绝对湿度  $r'_s = 12 \text{g/m}^3$ , 故其绝对湿度为  $r'_v = 100\% \times 12 = 12 \text{g/m}^3$ . 因  $r_v > r'_v$ , 故知一天沉积在该矿井下的水分量为:  $(17.56 \times 4000 - 12 \times 4400) \times 60 \times 24 = 251026 \text{g/d} \approx 25 \text{t/d}$

### 矿内空气湿度的变化规律

冷天时, 当含有一定量水蒸汽的冷空气进入井下, 由于气温逐渐升高, 容积逐渐增大, 其饱和能力逐渐变大, 沿途要吸收井巷中的水分; 热天时, 热空气进入井下, 气温逐渐降低, 容积逐渐减少, 其饱和能力逐渐变小, 使其中一部分水蒸汽量沿途掉下来。故矿井进风路线上有冬干夏湿的现象, 在采掘工作面和回风路线上, 因气温几乎常年不变, 故其湿度也几乎常年不变, 而且其相对湿度接近 100%。

### 3、含湿量

含有 1kg 干空气的湿空气中所含水蒸汽的质量 (kg) 称为空气的含湿量。

$$d = r_v / r_d \tag{2-5}$$

$$r_v = j P_s / 461T \tag{2-6}$$

$$r_d = (P - j P_s) / 287T \tag{2-7}$$

$$d = 0.622j P_s / (P - j P_s) \tag{2-8}$$

### 四、焓

焓是一个复合的状态参数, 它是内能  $u$  和压力功  $PV$  之和, 焓也称热焓。

$$i = i_d + d \cdot i_v = 1.0045t + d(2501 + 1.85t) \tag{2-9}$$

实际应用焓-湿图 (图 2-3), 现将应用较多的焓湿图 (图 2-3) 加以介绍。

图 2-3 不仅可以表示湿空气的状态，确定状态参数，而且可以方便地表示湿空气的状态变化过程。

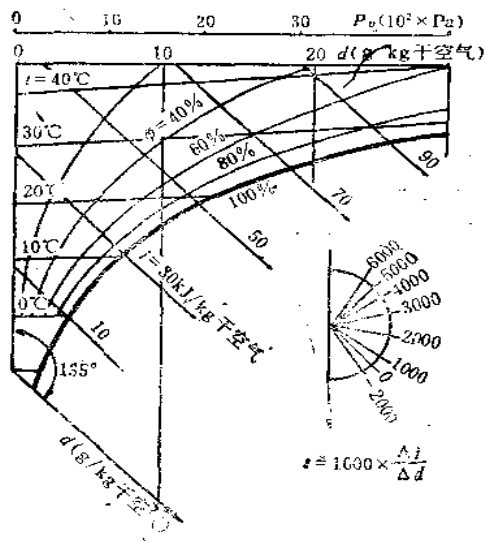


图 2-3 焓-湿图

1、等焓线和等焓湿量线的绘制

湿空气的焓湿图是以 1kg 干空气的湿空气为基准，在一定的大气压力下，取焓  $i$  与焓湿量  $d$  为坐标绘图为使图线清晰，焓坐标与焓湿量坐标同成 135° 的夹角，如上图所示。在纵坐标轴上标出零点，令其  $i=0, d=0$ ，则纵坐标轴即为  $d=0$  的等焓湿量线。焓湿图中，自左向右  $d$  值逐渐增加；自下向上焓值逐渐增加。

2、等温线

等温线是根据公式 2-9 制作而成的。当温度等于常数时，此式为与  $i, d$  对应的直线方程，因此，只需已知两个点即可绘出等温线。若温度常数值分别为 -10、0、10、20°C... 时，则得一系列对应的等温线。显然，等温线为一组不平行的直线。公式中第一项为截距，第二项系数为斜率，由于  $t$  值不同，每一等温线的斜率是不相同的。但是由于  $1.85t$  远小于 2501，温度对斜率的影响并不显著，故可认为等温线近乎平行。

3、等相对湿度线

根据公式 2-8 可以绘制出等相对湿度线。在一定的大气压力  $B$  下，当相对湿度为常数，焓湿量  $d$  值取决于饱和水蒸汽分压力  $P_s$  而  $P_s$  又是温度  $t$  的单值函数，其值可查表得出。因此，根据  $t, d$  的对应关系就可以在  $i-d$  图上找到若干点，连接各点即成等  $j$  线。当相对湿度常数值分别为 0%，10%...100% 时，则可得到一组等相对湿度线。显然， $j = 0\%$  的相对湿度线即是纵轴线， $j = 100\%$  就是饱和湿度线。公式表明，等  $j$  线为曲线，因此对应点取得愈多，曲线愈准确。

以  $j = 100\%$  的相对湿度线为界，以下为过饱和区，由于过饱和状态是不稳定；通常都有凝结现象，所以又称为“有雾区”；曲线以上为湿空气区(又称“未饱和区”)。在湿空气区，水蒸汽处于过热状态。

此外，在  $i-d$  图上还有水蒸气分压力( $P_w$ )线等。这样， $i-d$  图上任一点都表示空气的一个状态，它的各个状态参数的值均能在图上查出。 $i-d$  图上还标有热湿比线，它可以表示空气由一个状态到另一个状态的热湿变化过程。

如图 2-4 所示，由  $t=20^\circ\text{C}$  与  $j = 60\%$  的交点可查得(按图中白箭头所指)：湿球温度  $t_w=15.2^\circ\text{C}$ ，露点温度  $t_{du}=12^\circ\text{C}$ ，焓  $i=42.5\text{kJ/kg}$  干空气(10.1kcal/kg 干空气)， $d=8.8\text{g/kg}$  干空气，空气在  $20^\circ\text{C}$  时水蒸气分压力  $P_w=1380\text{Pa}$ (10.33mmHg)，同温度下饱和水蒸汽分压力  $P_{sa}=2300\text{Pa}$ (17.2mmHg)。

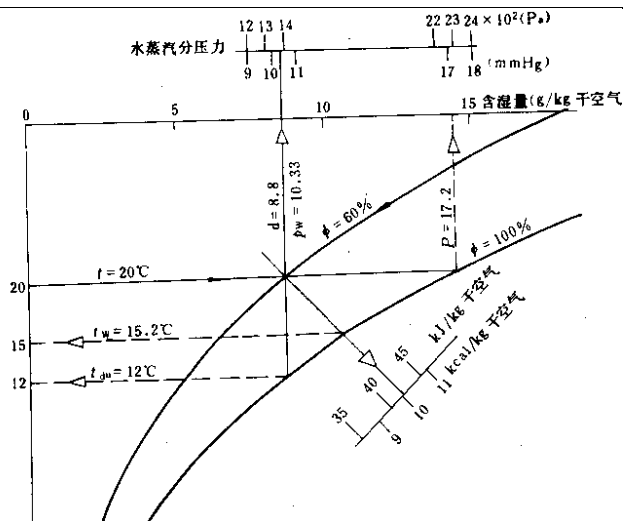


图 2-4 等相对湿度线

### 五、粘性

流体抵抗剪切力的性质。当流体层间发生相对运动时，在流体内部两个流体层的接触面上，便产生粘性阻力(内摩擦力)以阻止相对运动，流体具有的这一性质，称作流体的粘性。其大小主要取决于温度。

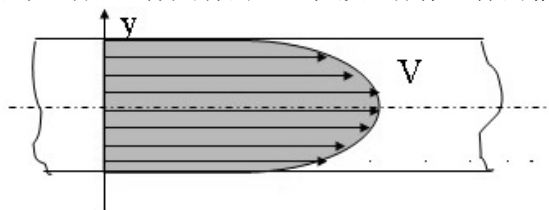


图 2-5 动力粘性示意图

根据牛顿内摩擦定律有：

$$f = m \cdot S \cdot \frac{du}{dy} \tag{2-10}$$

式中  $\mu$  — 比例系数，代表空气粘性，称为动力粘性或绝对粘度。其国际单位：帕·秒，写作： $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。运动粘度为：温度是影响流体粘性主要因素，气体，随温度升高而增大，液体而降低。

### 六、密度

单位体积空气所具有的质量称为空气的密度，与  $P$ 、 $t$ 、湿度等有关。湿空气密度为干空气密度和水蒸汽密度之和，即：

$$r = r_{d-a} + r_v \tag{2-11}$$

根据气体状态方程，可推出空气密度计算公式：

$$r = 0.003484 \frac{P}{T} \left( 1 - \frac{0.378j P_{sat}}{P} \right), \text{kg} / \text{m}^3 \tag{2-12}$$

式中  $P$  为大气压；

$P_{sat}$  为饱和水蒸汽压，单位 Pa；

$j$  为相对湿度；

$T$  为空气绝对温度， $T=t+273, \text{K}$ 。

$$r = 0.46457 \frac{P}{T} \left( 1 - \frac{0.378j P_{sat}}{P} \right), \text{kg} / \text{m}^3 \tag{2-13}$$

式中  $P$  为大气压；

$P_{sat}$  为饱和水蒸汽压，单位：mmHg。

注意： $P$  和  $P_{sat}$  单位一致。

空气比容：

$$n = V/M = 1/r \tag{2-14}$$

## 第二节 风流的能量与压力

能量与压力是通风工程中两个重要的基本概念，压力可以理解为：单位体积空气所具有的能够对外作功的机械能。

### 一、风流的能量与压力

#### 1. 静压能 - 静压

##### (1) 静压能与静压的概念

空气的分子无时无刻不在作无秩序的热运动。这种由分子热运动产生的分子动能的一部分转化的能够对外作功的机械能叫静压能， $J/m^3$ ，在矿井通风中，压力的概念与物理学中的压强相同，即单位面积上受到的垂直作用力。静压  $Pa=N/m^2$  也可称为是静压能，值相等。

##### (2) 静压特点

- ①、无论静止的空气还是流动的空气都具有静压力；
- ②、风流中任一点的静压各向同值，且垂直于作用面；
- ③、风流静压的大小（可以用仪表测量）反映了单位体积风流所具有的能够对外作功的静压能的多少。如说风流的压力为  $101332Pa$ ，则指风流  $1m^3$  具有  $101332J$  的静压能。

##### (3) 压力的两种测算基准（表示方法）

根据压力的测算基准不同，压力可分为：绝对压力和相对压力。

- ①、绝对压力：以真空为测算零点（比较基准）而测得的压力称之为绝对压力，用  $P$  表示。
- ②、相对压力：以当时当地同标高的大气压力为测算基准（零点）测得的压力称之为相对压力，即通常所说的表压力，用  $h$  表示。

风流的绝对压力（ $P$ ）、相对压力（ $h$ ）和与其对应的大气压（ $P_0$ ）三者之间的关系如图 2-6 所示：

$$h = P - P_0 \quad (2-15)$$

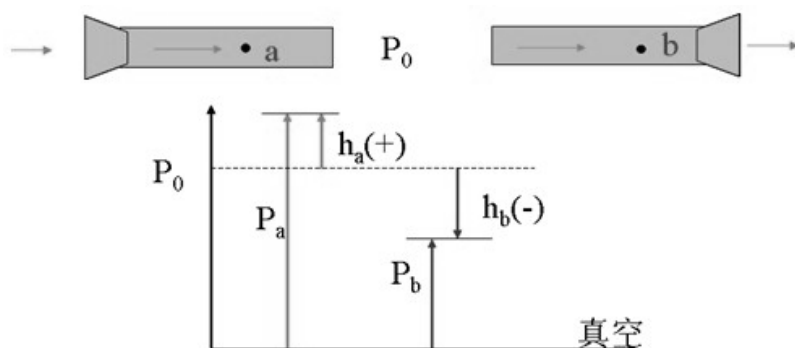


图 2-6 风流的绝对压力（ $P$ ）、相对压力（ $h$ ）和与其对应的大气压（ $P_0$ ）三者之间的关系图

$P_i$  与  $H_i$  比较：

- I、绝对静压总是为正，而相对静压有正负之分；
- II、同一断面上各点风流的绝对静压随高度的变化而变化，而相对静压与高度无关。
- III、 $P_i$  可能大于、等于或小于与该点同标高的大气压（ $P_{0i}$ ）。

#### 2、重力位能

##### (1) 重力位能的概念

物体在地球重力场中因地球引力的作用，由于位置的不同而具有的一种能量叫重力位能，简称位能，用  $E_{p0}$  表示。

如果把质量为  $M$  (kg) 的物体从某一基准面提高  $Z$  (m)，就要对物体克服重力作功  $M \cdot g \cdot Z$  (J)，物体因而获得同样数量 ( $M \cdot g \cdot Z$ ) 的重力位能。即：

$$E_{p0} = M \cdot g \cdot Z \quad (2-16)$$

重力位能是一种潜在的能量，它只有通过计算得其大小，而且是一个相对值。实际工作中一般计算位能差。

##### (2) 位能计算

重力位能的计算应有一个参照基准面。

$$E_{p0_{12}} = \int r_i g dz_i \quad (2-17)$$

如图 2-7 所示，1—2 两断面之间的位能差：

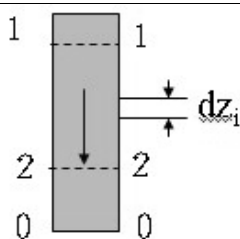


图 2-7 两断面之间的位能差计算

(3)位能与静压的关系

当空气静止时 ( $v=0$ ), 由空气静力学可知: 各断面的机械能相等。设以 2-2 断面为基准面:

1-1 断面的总机械能

$$E_1 = E_{p01} + P_1 \quad (2-18)$$

2-2 断面的总机械能

$$E_2 = E_{p02} + P_2 \quad (2-19)$$

由  $E_1 = E_2$  得:

$$E_{p01} + P_1 = E_{p02} + P_2 \quad (2-20)$$

由于  $E_{p02} = 0$  (2-2 断面为基准面), 所以:

$$P_2 = E_{p01} + P_1 = r_{12} \cdot g \cdot Z_{12} + P_1 \quad (2-21)$$

说明 I、位能与静压能之间可以互相转化;

II、在矿井通风中把某点的静压和位能之和称之为势能。

(4)位能的特点

- ①、位能是相对某一基准面而具有的能量, 它随所选基准面的变化而变化。但位能差为定值。
- ②、位能是一种潜在的能量, 它在本处对外无力的效应, 即不呈现压力, 故不能象静压那样用仪表进行直接测量。
- ③、位能和静压可以相互转化, 在进行能量转化时遵循能量守恒定律。

3. 动能 - 动压

(1)动能与动压的概念

当空气流动时, 除了位能和静压能外, 还有空气定向运动的动能, 用  $E_v$  表示,  $J/m^3$ ; 其动能所转化显现的压力叫动压或称速压, 用符号  $h_v$  表示, 单位 Pa。

(2)动压的计算

单位体积空气所具有的动能为:

$$E_{vi} = r_i \times u^2 \times 0.5 \quad (2-22)$$

式中  $r_i$  - I 点的空气密度,  $Kg/m^3$ ;

$u$  - I 点的空气流速, m/s。

$E_{vi}$  对外所呈现的动压  $h_{vi}$ , 其值相同。

(3)动压的特点

- ①、只有作定向流动的空气才具有动压, 因此动压具有方向性。
- ②、动压总是大于零。垂直接流动方向的作用面所承受的动压最大 (即流动方向上的动压真值); 当作用面与流动方向有夹角时, 其感受到的动压值将小于动压真值。
- ③、在同一流动断面上, 由于风速分布的不均匀性, 各点的风速不相等, 所以其动压值不等。

④、某断面动压即为该断面平均风速计算值。

(4)全压

风道中任一点风流, 在其流动方向上同时存在静压和动压, 两者之和称之为该点风流的全压, 即: 全压 = 静压 + 动压。

由于静压有绝对和相对之分, 故全压也有绝对和相对之分。

①、绝对全压 ( $P_{ii}$ )

$$P_{ii} = P_i + h_{vi} \quad (2-23)$$

②、相对全压 ( $h_{ii}$ )



图 2-8

$$h_{ii} = h_i + h_{vi} = P_{ii} - P_{oi} \quad (2-24)$$

说明 ①、相对全压有正负之分；

②、无论正压通还是负压通风， $P_{ii} > P_i$ 、 $h_{ii} > h_i$ 。

## 二、风流的点压力之间相互关系

风流的点压力是指测点的单位体积( $1\text{m}^3$ )空气所具有的压力。通风管道中流动的风流的点压力可分为：静压、动压和全压。

风流中任一点 i 的动压、绝对静压和绝对全压的关系为：

$$h_{vi} = P_{ii} - P_i \quad (2-25)$$

$h_{vi}$ 、 $h_i$  和  $h_{ii}$  三者之间的关系为：

$$h_{ii} = h_i + h_{vi} \quad (2-26)$$

压入式通风（正压通风）：风流中任一点的相对全压恒为正。

$\because P_{ii}$  and  $P_i > P_{oi}$

$\therefore h_i > 0$ ， $h_{ii} > 0$  且  $h_{ii} > h_i$ ， $h_{ii} = h_i + h_{vi}$

压入式通风的实质是使风机出口风流的能量增加，即出口风流的绝对压力大于风机进口的压力。

抽出式通风（负压通风）：风流中任一点的相对全压恒为负，对于抽出式通风由于  $h_{ii}$  和  $h_i$  为负，实际计算时取其绝对值进行计算。

$\because P_{ii}$  and  $P_i < P_{oi}$

$h_{ii} < 0$  且  $h_i < 0$ ，但  $|h_{ii}| < |h_i|$

实际应用中，因为负通风风流的相对全压和相对静压均为负值，故在计算过程中取其绝对值进行计算。即：

$$|h_{ii}| = |h_i| - h_{vi} \quad (2-27)$$

抽出式通风的实质是使风机入口风流的能量降低，即入口风流的绝对压力小于风机进口的压力。

风流点压力间的关系，如图 2-9 所示。

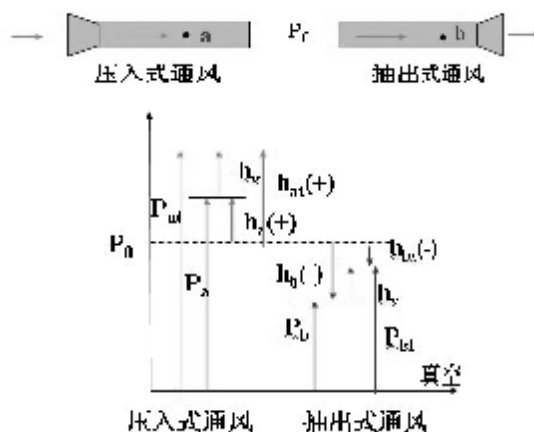


图 2-9 风流点压力间的关系

【例 2-2】如图 2-9 所示，压入式通风风筒中某点 i 的  $h_i=1000\text{Pa}$ ， $h_{vi}=150\text{Pa}$ ，风筒外与 i 点同标高的  $P_{oi}=101332\text{Pa}$ ，求：

(1) i 点的绝对静压  $P_i$ ；

(2) i 点的相对全压  $h_{ii}$ ；

(3) i 点的绝对静压  $P_{ii}$ 。

解：(1)  $P_i = P_{oi} + h_i = 101332 + 1000 = 102332 \text{ Pa}$

(2)  $h_{ii} = h_i + h_{vi} = 1000 + 150 = 1150 \text{ Pa}$

(3)  $P_{ii} = P_{oi} + h_{ii} = P_i + h_{vi} = 101332 + 1150 = 102482 \text{ Pa}$

【例 2-3】如图 2-9 所示，抽出式通风风筒中某点 i 的  $h_i=1000\text{Pa}$ ， $h_{vi}=150\text{Pa}$ ，风筒外与 i 点同标高的

$P_{0i}=101332\text{Pa}$ , 求:

- (1) i 点的绝对静压  $P_i$ ;
- (2) i 点的相对全压  $h_{ti}$ ;
- (3) i 点的绝对静压  $P_{ti}$ 。

解: (1)  $P_i = P_{0i} + h_i = 101332.5 - 1000 = 100332 \text{ Pa}$

(2)  $|h_{ti}| = |h_i| - h_{vi} = 1000 - 150 = 850 \text{ Pa}$

$h_{ti} = -850 \text{ Pa}$

(3)  $P_{ti} = P_{0i} + h_{ti} = 101332.5 - 850 = 100482 \text{ Pa}$

### 三、风流点压力的测定

#### 1、矿井主要压力测定仪器仪表

- (1) 绝对压力测量: 空盒气压计、精密气压计、水银气压计等。
- (2) 压差及相对压力测量: 恒温气压计、“U”水柱计、补偿式微压计、倾斜单管压差计。
- (3) 感压仪器: 皮托管, 承受和传递压力, + - 测压

#### 2、压力测定

- (1) 绝对压力—直接测量读数。
- (2) 相对静压(以如图 2-10 正压通风为例) (注意连接方法):

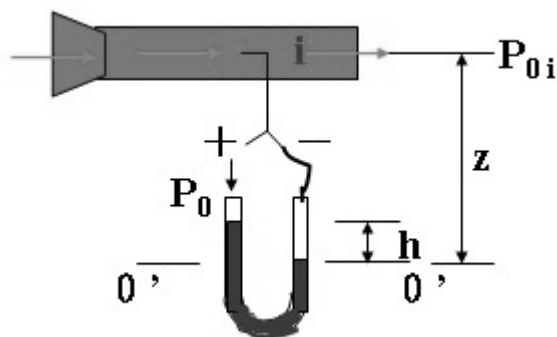


图 2-10 正压通风相对静压力测定

问: 推导如图  $h = h_i$ ?

以水柱计的等压面  $0''-0''$  为基准面,

设: i 点至基准面的高度为  $Z$ , 胶皮管内的空气平均密度为  $\rho_m$ , 胶皮管外的空气平均密度为  $\rho_m'$ ; 与 i 点同标高的大气压  $P_{0i}$ 。

则水柱计等压面  $0''-0''$  两侧的受力分别为:

水柱计左边等压面上受到的力:

$$P_{左} = P_0 + r_{水}gh = P_{0i} + r_m'g(z-h) + r_{水}gh \quad (2-28)$$

水柱计右边等压面上受到的力:

$$P_{右} = P_i + r_m gZ \quad (2-29)$$

由等压面的定义有:  $P_{左} = P_{右}$ , 即:

$$P_{0i} + r_m'g(z-h) + r_{水}gh = P_i + r_m gZ \quad (2-30)$$

若  $\rho_m = \rho_m'$  有:

$$h = \frac{P_i - P_{0i}}{r_{水} - r_m} \times g \quad (2-31)$$

$\because \rho_{水} \gg \rho_m$ , 所以有,

$$h = \frac{P_i - P_{0i}}{r_{水}} \times g = (p_i - p_{0i}) \times g = h_i \times g \text{ (Pa)} = h_i \text{ (mmH}_2\text{O)} \quad (2-32)$$

对于负压通风的情况请自行推导 (注意连接方法, 见图 2-11):

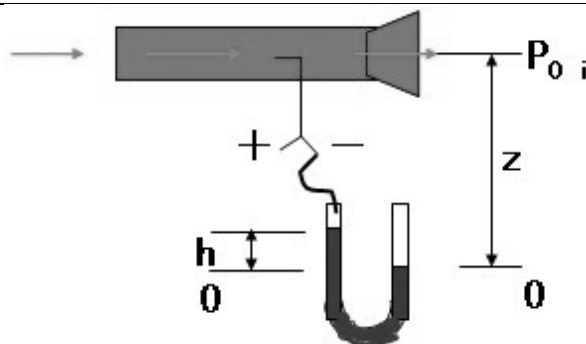


图 2-11 负压通风连接方法

说明:

- ①、水柱计上下移动时,  $h_i$  保持不变;
- ②、在风筒同一断面上、下移动皮托管, 水柱计读数不变, 说明同一断面上  $h_i$  相同。

(3) 相对全压、动压测量

测定连接如图 2-12 (说明连接方法及水柱高度变化)

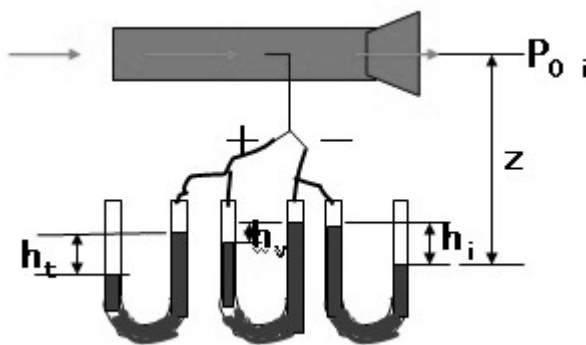


图 2-12 测定连接方法及水柱高度变化

**【本节课重点】**

能量方程及在矿井中的应用

### 第三节 矿井通风中的能量方程

当空气在井巷中流动时, 将会受到通风阻力的作用, 消耗其能量; 为保证空气连续不断地流动, 就必需有通风动力对空气做功, 使得通风阻力和通风动力相平衡。

#### 一、空气流动连续性方程

在矿井巷道中流动的风流是连续不断的介质, 充满它所流经的空间。在无点源或点汇存在时, 根据质量守恒定律: 对于稳定流, 流入某空间的流体质量必然等于流出其的流体质量。

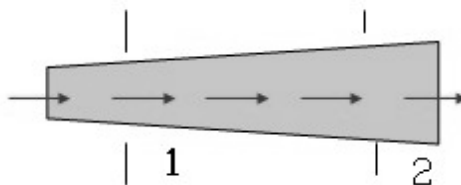


图 2-13 空气流动示意图

如图 2-13 所示, 井巷中风流从 1 断面流向 2 断面, 作定常流动时, 有:

$$M_i = const \tag{2-33}$$

$$r_1 V_1 S_1 = r_2 V_2 S_2 \tag{2-34}$$

$r_1$ 、 $r_2$ —1、2 断面上空气的平均密度,  $\text{kg/m}^3$ ;

$V_1$ 、 $V_2$ —1、2 断面上空气的平均流速,  $\text{m/s}$ ;

$S_1$ 、 $S_2$ —1、2 断面面积,  $\text{m}^2$ 。

两种特例:

(I) 若  $S_1=S_2$ ，则  $r_1V_1 = r_2V_2$ ；

(II) 若  $r_1=r_2$ ，则  $V_1S_1 = V_2S_2$ 。

对于不可压缩流体，通过任一断面的体积流量相等，即

$$Q = V_i S_i = \text{const} \quad (2-35)$$

## 二、可压缩流体的能量方程

能量方程表达了空气在流动过程中的压能、动能和位能的变化规律，是能量守恒和转换定律在矿井通风中的应用。

(一)、单位质量(1kg)流量的能量方程

在井巷通风中，风流能量由机械能（静压能、动压能、位能）和内能组成，常用 1kg 空气或  $1\text{m}^3$  空气所具有的能量表示。

机械能：静压能、动压能和位能之和。

内能：风流内部所具有的分子内动能与分子位能之和。空气的内能是空气状态参数的函数，即：

$$u = f(T, P) \quad (2-36)$$

能量分析如图 2-14 所示。

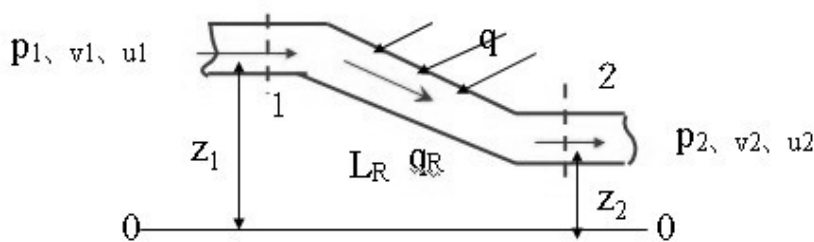


图 2-14 可压缩的流体能量分析

任一断面风流总机械能：压能+动能+位能

任一断面风流总能量：压能+动能+位能+内能

所以，对单位质量流体有：

1-1 断面总能量：

$$\frac{P_1}{r_1} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 + u_1 \quad (2-37)$$

2-2 断面总能量：

$$\frac{P_2}{r_2} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 + u_2 \quad (2-38)$$

假设：1kg 空气由 1 断面流至 2 断面的过程中， $L_R$  (J/kg)：克服流动阻力消耗的能量； $q_R$  (J/kg)： $L_R$  部分转化的热量(这部分被消耗的能量将转化成热能仍存在于空气中)； $q$  (J/kg)：外界传递给风流的热量（岩石、机电设备等）。根据能量守恒定律：

$$\frac{P_1}{r_1} + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1 + u_1 + q + q_R = \frac{P_2}{r_2} + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 + u_2 + L_R \quad (2-39)$$

根据热力学第一定律，传给空气的热量 ( $q_R+q$ )，一部分用于增加空气的内能，一部分使空气膨胀对外作功，即：

$$q_R + q = u_2 - u_1 + \int_1^2 P dv \quad (2-40)$$

式中： $v$  为空气的比容， $\text{m}^3/\text{kg}$ 。

又因为：

$$\frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} = P_2 v_2 - P_1 v_1 = \int_1^2 d(Pv) = \int_1^2 P dv + \int_1^2 v dP \quad (2-41)$$

上述三式整理得：

$$L_R = -\int_1^2 v dP + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) \quad (2-42)$$

即为：单位质量可压缩空气在无压源的井巷中流动时能量方程的一般形式。

式中  $\int_1^2 v dP = \int_1^2 \frac{1}{r} dP$  称为伯努力积分项，它反映了风流从 1 断面流至 2 断面的过程中的静压能变化，它与空气流动过程的状态密切相关。对于不同的状态过程，其积分结果是不同的。

对于多变过程，过程指数为  $n$ ，对伯努力积分进行积分计算，可得到单位质量可压缩空气在无压源的井巷中流动时能量方程可写成如下一般形式：

$$L_R = \frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right) + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) \quad (2-43)$$

其中 过程指数  $n$  按下式计算：

$$n = - \frac{d \ln P}{d \ln v} = \frac{\Delta \ln P}{\Delta \ln v} = \frac{\ln P_1 - \ln P_2}{\ln v_2 - \ln v_1} = \frac{\ln P_1 - \ln P_2}{\ln r_1 - \ln r_2} \quad (2-44)$$

有压源  $L_t$  在时，单位质量可压缩空气井巷中流动时能量方程可写成如下一般形式：

$$L_R = \frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right) + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) + L_t \quad (2-45)$$

令  $\frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right) = \frac{P_1 - P_2}{r_m}$ ，式中  $\rho_m$  表示 1, 2 断面间按状态过程考虑的空气平均密度，得

$$r_m = \frac{P_1 - P_2}{\frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right)} = \frac{P_1 - P_2}{\frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{\ln \frac{P_1/r_1}{P_2/r_2}} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right)} \quad (2-46)$$

则单位质量流量的能量方程式又可写为

$$L_R = \frac{P_1 - P_2}{r_m} + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) \quad (2-47)$$

$$L_R = \frac{P_1 - P_2}{r_m} + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) + L_t \quad (2-48)$$

### (二)、单位体积( $1m^3$ )流量的能量方程

我国矿井通风中习惯使用单位体积( $1m^3$ )流体的能量方程。在考虑空气的可压缩性时，那么  $1m^3$  空气流动过程中的能量损失 ( $h_R$ ,  $J/m^3$  (Pa))，即通风阻力)可由  $1kg$  空气流动过程中的能量损失 ( $L_R$   $J/Kg$ ) 乘以按流动过程状态考虑计算的空气密度  $\rho_m$ ，即：

$$h_R = L_R \cdot r_m \quad (2-49)$$

则单位体积( $1m^3$ )流量的能量方程的书写形式为：

$$h_R = P_1 - P_2 + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) r_m + g r_m (Z_1 - Z_2) \quad (2-50)$$

几点说明：

1、 $1m^3$  空气在流动过程中的能量损失 (通风阻力) 等于两断面间的机械能差。

2、 $g\rho_m (Z_1 - Z_2)$  是 1、2 断面的位能差。当 1、2 断面的标高差较大的情况下，该项数值在方程中往往占有很大的比重，必须准确测算。其中，关键是  $\rho_m$  的计算，及基准面的选取。

$\rho_m$  的测算原则：将 1—2 测段分为若干段，计算各测定断面的空气密度 (测定  $P$ 、 $t$ 、 $\phi$ )，求其几何平均值。

基准面选取：取测段之间的最低标高作为基准面。

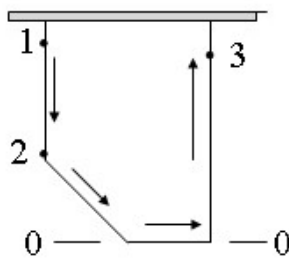


图 2-15

例如：如图 2-15 所示的通风系统，如要求 1、2 断面的位能差，基准面可选在 2 的位置。其位能差为：

$$E_{p012} = \int_2^1 r g dZ = r_{m12} g Z_{12} \quad (2-51)$$

而要求 1、3 两断面的位能差，其基准面应选在 0-0 位置。其位能差为：

$$E_{p013} = \int_3^1 r g dZ = r_{m10} g Z_{10} - r_{m30} g Z_{30} \quad (2-52)$$

3、 $\left(\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2}\right) r_m$  是 1、2 两断面上的动能差

A、在矿井通风中，因其动能差较小，故在实际应用时，式中可分别用各自断面上的密度代替计算其动能差。即上式写成：

$$h_{v12} = \frac{v_1^2}{2} r_1 - \frac{v_2^2}{2} r_2 \quad (2-53)$$

其中： $\rho_1$ 、 $\rho_2$  分别为 1、2 断面风流平均气密度。

B、动能系数：是断面实际总动能与用断面平均风速计算出的总动能的比。即：

$$K_v = \frac{\int_s r \frac{u^2}{2} u ds}{r \frac{v^2}{2} v S} = \frac{\int_s u^3 ds}{v^3 S} \quad (2-54)$$

因为能量方程式中的  $v_1$ 、 $v_2$  分别为 1、2 断面上的平均风速。由于井巷断面上风速分布的不均匀性，用断面平均风速计算出来的断面总动能与断面实际总动能不等。需用动能系数  $K_v$  加以修正。在矿井条件下， $K_v$  一般为 1.02~1.05。由于动能差项很小，在应用能量方程时，可取  $K_v$  为 1。因此，在进行了上述两项简化处理后，单位体积流体的能量方程可近似的写成：

$$h_R \approx (P_1 - P_2) + \left(\frac{v_1^2}{2} r_1 - \frac{v_2^2}{2} r\right) + (g r_m Z_1 - g r_m Z_2), (J/m^3) \quad (2-55)$$

或

$$h_R = (P_1 - P_2) + \left(\frac{v_1^2}{2} r_1 - \frac{v_2^2}{2} r\right) + (g r_{m1} Z_1 - g r_{m2} Z_2) + H_t, (J/m^3) \quad (2-56)$$

(三)、关于能量方程使用的几点说明

1. 能量方程的意义是，表示 1kg（或 1m<sup>3</sup>）空气由 1 断面流向 2 断面的过程中所消耗的能量（通风阻力），等于流经 1、2 断面间空气总机械能（静压能、动压能和位能）的变化量。

2. 风流流动必须是稳定流，即断面上的参数不随时间的变化而变化；所研究的始、末断面要选在缓变流场上。

3. 风流总是从总能量（机械能）大的地方流向总能量小的地方。在判断风流方向时，应用始末两断面上的总能量来进行，而不能只看其中的某一项。如不知风流方向，列能量方程时，应先假设风流方向，如果计算出的能量损失（通风阻力）为正，说明风流方向假设正确；如果为负，则风流方向与假设相反。

4. 正确选择求位能时的基准面。

5. 在始、末断面间有压源时，压源的作用方向与风流的方向一致，压源为正，说明压源对风流做功；如果两者方向相反，压源为负，则压源成为通风阻力。

6. 应用能量方程时要注意各项单位的一致性。

7. 对于流动过程中流量发生变化（如图 2-16），则按总能量守恒与转换定律列方程：

$$Q_1 \left( r_{1m} Z_1 g + P_1 + \frac{v_1^2}{2} r_1 \right) = Q_2 \left( r_{2m} Z_2 g + P_2 + \frac{v_2^2}{2} r_2 \right) + Q_3 \left( r_{3m} Z_3 g + P_3 + \frac{v_3^2}{2} r_3 \right) + Q_2 h_{R12} + Q_3 h_{R13} \quad (2-57)$$

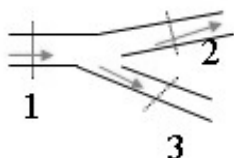


图 2-16 有流量变化的情况

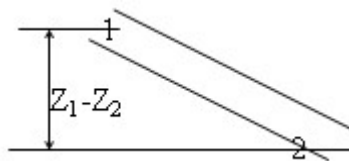


图 2-17

【例 2-4】如图 2-17 所示, 在某一通风井巷中, 测得 1、2 两断面的绝对静压分别为 101324.7 Pa 和 101858 Pa, 若  $S_1=S_2$ , 两断面间的高差  $Z_1-Z_2=100$  米, 巷道中  $\rho_{m12}=1.2\text{kg/m}^3$ , 求: 1、2 两断面间的通风阻力, 并判断风流方向。

解: 假设风流方向  $1 \rightarrow 2$ , 列能量方程:

$$\begin{aligned} h_{R12} &= (P_1 - P_2) + \left( \frac{v_1^2}{2} r_1 - \frac{v_2^2}{2} r_2 \right) + (Z_1 - Z_2) g r_{m12} \\ &= (101324.7 - 101858) + 0 + 100 \times 9.81 \times 1.2 \\ &= 643.9 \text{ J/m}^3. \end{aligned}$$

由于阻力值为正, 所以原假设风流方向正确,  $1 \rightarrow 2$ 。

【例 2-5】在进风上山中测得 1、2 两断面的有关参数, 绝对静压  $P_1=106657.6\text{Pa}$ ,  $P_2=101324.72\text{Pa}$ ; 标高差  $Z_1-Z_2=-400\text{m}$ ; 气温  $t_1=15^\circ\text{C}$ ,  $t_2=20^\circ\text{C}$ ; 空气的相对湿度  $\phi_1=70\%$ ,  $\phi_2=80\%$ ; 断面平均风速  $v_1=5.5\text{m/s}$ ,  $v_2=5\text{m/s}$ ; 求通风阻力  $L_R$ 、 $h_R$ 。

解: 查饱和蒸汽表得:  $t_1=15^\circ\text{C}$  时,  $P_{S1}=1704\text{Pa}$ ;  $t_2=20^\circ\text{C}$  时,  $P_{S2}=2337\text{Pa}$ ;

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.003484 \times \frac{106657.6}{288.15} \times \left( 1 - \frac{0.378 \times 0.7 \times 1704}{106657.6} \right) = 1.2841 \text{ kg/m}^3 \\ r_2 &= 0.003484 \times \frac{101324.72}{293.15} \times \left( 1 - \frac{0.378 \times 0.8 \times 2337}{101324.72} \right) = 1.1958 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$n = \frac{\ln P_1 - \ln P_2}{\ln r_1 - \ln r_2} = \frac{\ln 106657.6 - \ln 101324.72}{\ln 1.2841 - \ln 1.1958} = 0.72$$

$$\begin{aligned} L_R &= \frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right) + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) + g(Z_1 - Z_2) \\ &= \frac{0.72}{0.72-1} \left( \frac{106657.6}{1.2841} - \frac{101324.72}{1.1958} \right) + \left( \frac{5.5^2}{2} - \frac{5^2}{2} \right) + 9.81 \times (-400) \\ &= 382.26 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

又  $\because$

$$\begin{aligned} r_m &= \frac{P_1 - P_2}{\frac{n}{n-1} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right)} = \frac{P_1 - P_2}{\frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{\ln \frac{P_1/r_1}{P_2/r_2} \left( \frac{P_2}{r_2} - \frac{P_1}{r_1} \right)}} = \frac{106657.6 - 101324.72}{\frac{\ln \frac{106657.6}{101324.72}}{\ln \frac{106657.6/1.2841}{101324.72/1.1958} \left( \frac{106657.6}{1.2841} - \frac{101324.72}{1.1958} \right)}} \\ &= 1.23877 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$\therefore$

$$\begin{aligned} h_R &= P_1 - P_2 + \left( \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} \right) r_m + g r_m (Z_1 - Z_2) \\ &= 106657.6 - 101324.72 + \left( \frac{5.5^2}{2} - \frac{5^2}{2} \right) \times 1.23877 + 9.81 \times 1.23877 \times (-400) \\ &= 475.19 \text{ J/m}^3 \end{aligned}$$

或  $h_R = L_R \times \rho_m = 382.26 \times 1.23877 = 473.53 \text{ J/m}^3$ 。

## 第四节 能量方程在矿井通风中的应用

### 一、水平风道的通风能量（压力）坡度线

#### （一）、能量（压力）坡度线的作法

意义：掌握压力沿程变化情况；有利于通风管理。

如图 2-18 所示的通风机—水平风道系统，绘制能量（压力）坡度线。

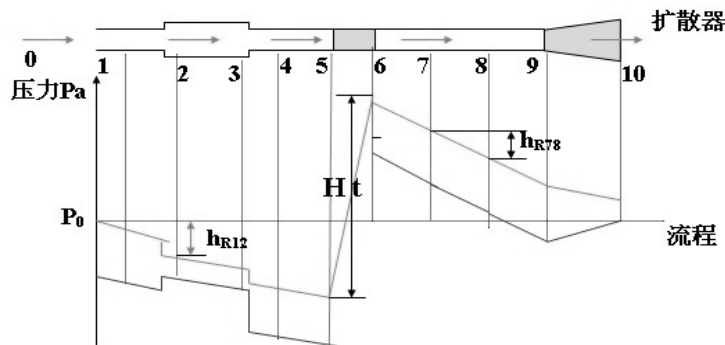


图 2-18 通风机—水平风道系统

#### 1、风流的边界条件

入口断面处：风流入口断面处的绝对全压等于大气压（可用能量方程加以证明，对入口断面的内外侧列能量方程并忽略极小的入口流动损失），即： $P_{in} = P_0$ ，所以， $h_{in} = 0$ ， $h_{in} = -h_{vin}$ ；

出口断面处：风流出口断面处的绝对静压等于大气压（可用能量方程加以证明，对出口断面的内外侧列能量方程并忽略极小的出口流动损失），即： $P_{ex} = P_0$ ，所以， $h_{ex} = 0$ ， $h_{ex} = h_{vex}$ ；

#### 2、作图步骤

（1）、以纵坐标为压力（相对压力或绝对压力），横坐标为风流流程。

（2）、根据边界条件确定起始点位置。

（3）、将各测点的相对静压和相对全压与其流程的关系描绘在坐标

（4）、最后将图上的同名参数点用直线或曲线连接起来，就得到所要绘制的能量（压力）坡度线。

#### （二）、能量（压力）坡度线的分析

#### 1、通风阻力与能量（压力）坡度线的关系

由于风道是水平的，故各断面间无位能差，且大气压相等。由能量方程知，任意两断面间的通风阻力就等于两断面的全压差：

$$h_{Ri-j} = (P_i - P_j) + (h_{vi} - h_{vj}) = P_{ti} - P_{tj} = h_{ti} - h_{tj} \quad (2-58)$$

（∵  $P_{0i} = P_{0j}$ ）

#### a、抽出段

求入口断面至 i 断面的通风阻力，由上式得：

$$h_{R0-i} = h_{t0} - h_{ti} = -h_{ti}, (h_{t0} = 0) \quad (2-59)$$

即：入口至任意断面 i 的通风阻力（ $h_{R0-i}$ ）就等于该断面的相对全压（ $h_{ti}$ ）的绝对值。

求负压段任意两断面（i、j）的通风阻力：

$$h_{Ri-j} = P_{ti} - P_{tj} \quad (2-60)$$

∵  $h_{ti} = P_{ti} - P_{0i}$  又 ∵  $|h_{ti}| = |h_i| - h_{vi}$

代入上式得： $P_{ti} = P_{0i} - |h_i| - h_{vi}$

同理： $P_{tj} = P_{0j} - |h_j| - h_{vj}$

∴  $P_{Ri-j} = (P_{0i} - |h_i| - h_{vi}) - (P_{0j} - |h_j| - h_{vj}) = |h_j| - |h_i| + h_{vj} - h_{vi} = |h_{tj}| - |h_{ti}|$

若  $h_{vj} = h_{vi}$ ， $h_{Ri-j} = |h_j| - |h_i|$

#### b、压入段

求任意断面 i 至出口的通风阻力，由上式得：

$$h_{Ri-10} = h_{ii} - h_{i10} = h_{ii} - h_{v10}, (h_{10} = 0) \quad (2-61)$$

即：压入段任意断面 i 至出口的通风阻力 ( $h_{Ri-10}$ ) 等于该断面的相对全压 ( $h_{ii}$ ) 减去出口断面的动压 ( $h_{v10}$ )。

求正压段任意两断面 (i、j) 的通风阻力：

同理可推导两断面之间的通风阻力为：

$$h_{Ri-j} = h_{ii} - h_{jj} \quad (2-62)$$

2、能量 (压力) 坡度线直观明了地表达了风流流动过程中的能量变化

绝对全压 (相对全压) 沿程是逐渐减小的；

绝对静压 (相对静压) 沿程分布是随动压的大小变化而变化。

3、扩散器回收动能 (相对静压为负值)

所谓扩散器回收动能，就是在风流出口加设一段断面逐渐扩大的风道，使得出口风速变小，从而达到减小流入大气的风流动能。扩散器安设的是否合理，可用回收的动能值 ( $\Delta h_v$ ) 与扩散器自身的通风阻力 ( $h_{Rd}$ ) 相比较来确定，即：

$$\Delta h_v = h_{vex} - h_{vex}' > h_{Rd} \quad \text{合理}$$

$$\Delta h_v = h_{vex} - h_{vex}' < h_{Rd} \quad \text{不合理}$$

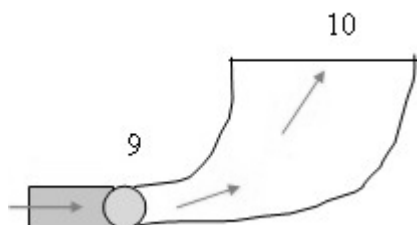


图 2-19 扩散器回收动能示意图

在压入段出现相对静压为负值的现象分析，如图 2-19，对 9~10 段列能量方程：

$$h_{R9-10} = (P_9 + h_{v9}) - (P_{10} + h_{v10}) = P_9 + h_{v9} - P_{10} - h_{v10} = h_9 + h_{v9} - h_{v10}$$

$$\therefore h_9 = h_{R9-10} - (h_{v9} - h_{v10})$$

如果： $h_{v9} - h_{v10} > h_{R9-10}$ ，则， $h_9 < 0$  (为负值)

因此，测定扩散器中的相对静值就可判断扩散器的安装是否合理，相对静压的负值越大，其扩散器回收动能的效果越好。

(三)、通风机全压 ( $H_t$ )

1、通风机全压的概念

通风机的作用：就是将电能转换为风流的机械能，促使风流流动。通风机的全压  $H_t$  等于通风机出口全压与入口全压之差：

$$H_t = P_{t6} - P_{t5} \quad (2-63)$$

2、通风机全压  $H_t$  与风道通风阻力、出口动能损失的关系

由能量方程和能量 (压力) 坡度线可以看出：

$$h_{R6-10} = P_{t6} - P_{t10} \quad \therefore P_{t6} = h_{R6-10} + P_{t10},$$

$$h_{R0-5} = P_{t0} - P_{t5} \quad \therefore P_{t5} = P_{t0} - h_{R0-5},$$

$$H_t = P_{t6} - P_{t5} = h_{R6-10} + P_{t10} - (P_{t0} - h_{R0-5}) = h_{R6-10} + P_{t0} + h_{v10} - (P_{t0} - h_{R0-5}) = h_{R6-10} + h_{v10} + h_{R0-5}$$

$$H_t = h_{R0-10} + h_{v10}$$

$\therefore$  通风机全压是用以克服风道通风阻力和出口动能损失。

通风机用于克服风道阻力的那一部分能量叫通风机的静压  $H_s$ 。

$$H_s = h_{R0-10} \quad (2-64)$$

$$H_t = H_s + h_{v10} \quad (2-65)$$

两个特例：

a)、无正压通风段 (6 断面直接通大气)

通风机全压仍为： $H_t = P_{t6} - P_{t5}$

$$\therefore P_{t5} = P_{t0} - h_{R0-5}; \quad P_{t6} = P_0 + h_{v6}$$

$$\therefore H_t = h_{R0-5} + h_{v6}$$

b)、无负压通风段 (5 断面直接通大气)

$$\because P_{t6} = h_{R6\sim 10} + P_{t10}, \quad P_{t10} = P_0 + h_{v10}, \quad P_{t5} = P_0$$

$$\therefore H_t = h_{R6\sim 10} + h_{v10}$$

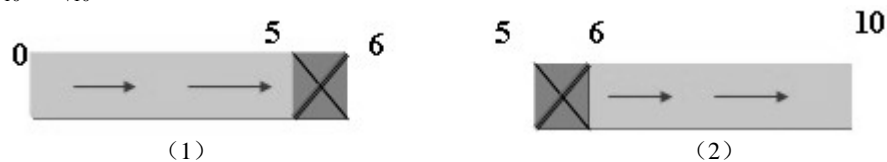


图 2-20 抽出式通风方式与压入式通风方式

无论通风机作何种工作方式，通风机的全压都是用于克服风道的通风阻力和出口动能损失；其中通风机静压用于克服风道的通风阻力。

## 二、通风系统风流能量（压力）坡度线

### (一) 通风系统风流能量（压力）坡度线

绘制矿井通风系统的能量（压力）坡度线(一般用绝对压力)的方法：是沿风流流程布设若干测点，测出各点的绝对静压、风速、温度、湿度、标高等参数，计算出各点的动压、位能和总能量；然后在压力（纵坐标）—风流流程（横坐标）坐标图上描出各测点，将同名参数点用折线连接起来，即是所要绘制的通风系统风流能量（压力）坡度线。

以图 2-20 所示简化通风系统为例，说明矿井通风系统中有高度变化的风流路线上能量(压力)坡度线的画法。

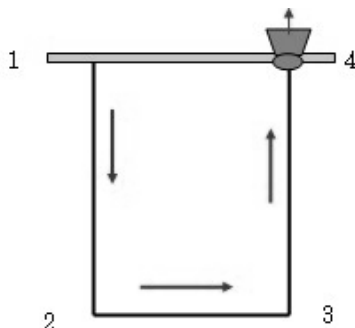


图 2-21 简化的通风系统

作图步骤：

1. 确定基准面。一般地，以最低水平(如 2-3)为基准面。
2. 测算出各断面的总压能(包括静压、动压和相对基准面的位能)。
3. 选择坐标系和适当的比例。以压能为纵坐标，风流流程为横坐标，把各断面的静压、动压和位能描在坐标系中，即得 1、2、3、4 断面的总能量。
4. 把各断面的同名参数点用折线连接起来，即得 1—2—3—4 流程上的压力坡度线。

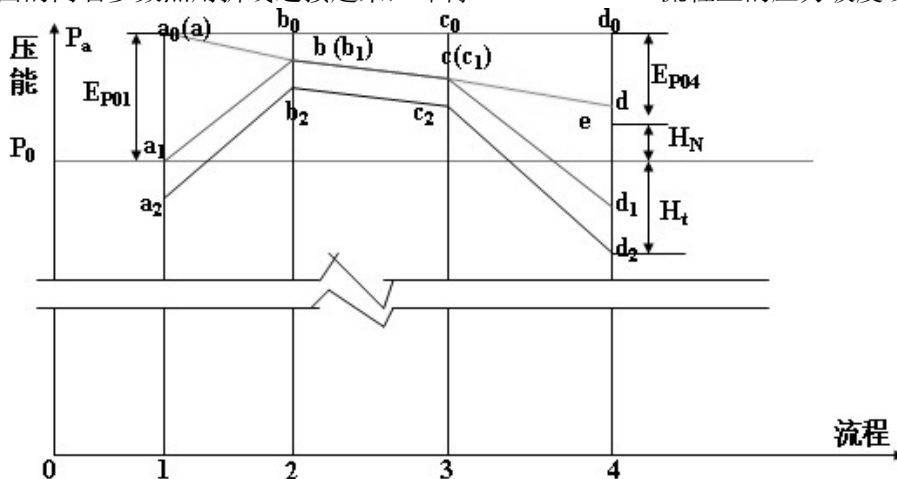


图 2-22 矿井通风系统中有高度变化的风流路线上能量(压力)坡度线的画法

### (二) 矿井通风系统能量（压力）坡度线的分析

1、能量（压力）坡度线（a-b-c-d）清楚地反映了风流在流动过程中，沿程各断面上全能量与通风阻力  $h_R$  之间的关系。全能量沿程逐渐下降，从入风口至某断面的通风阻力就等于该断面上全能量的下降值（如  $b_0b$ ），任意两断面间的通风阻力等于这两个断面全能量下降值的差。

2、绝对全压和绝对静压坡度线的坡度线变化有起伏(如 1~2 段风流由上向下流动,位能逐渐减小,静压逐渐增大;在 3~4 段其压力坡度线变化正好相反,静压逐渐减小,位能逐渐增大)。说明,静压和位能之间可以相互转化。

3、1、4 断面的位能差( $E_{P01}-E_{P04}$ )叫做自然风压( $H_N$ )。 $H_N$ 和通风机全压 ( $H_t$ )共同克服矿井通风阻力和出口动能损失。

$$H_N + H_t(d_{2-e}) = (d_{0-d}) + (d_1 \sim d_2) \quad (2-66)$$

4、能量(压力)坡度线可以清楚的看到风流沿程各种能量的变化情况。特别是在复杂通风网络中,利用能量(压力)坡度线可以直观地比较任意两点间的能量大小,判断风流方向。这对分析研究局部系统的均压防火和控制瓦斯涌出是有力的工具。

【例 2-6】如图 2-23 所示的同采工作面简化系统,风流从进风上山经绕道 1 分为二路;一路流经 1—2—3—4 (2—3 为工作面 I);另一路流经 1—5—6—4 (5—6 为工作面 II)。两路风流在回风巷汇合后进入回风上山。如果某一工作面或其采空区出现有害气体是否会影响到另一工作面?

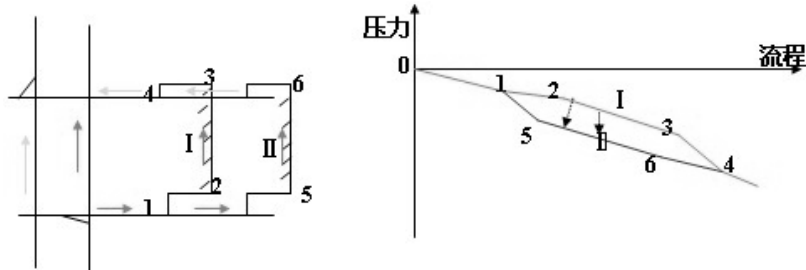


图 2-23 同采工作面简化系统

解:要回答这一问题,可以借助压力坡度线来进行分析。为了绘制压力坡度线,必须对该局部系统进行有关的测定。根据系统特点,沿风流流经的两条路线分别布置测点,测算出各点的总压能。根据测算的结果即可绘出压力坡度线见图 2-4-5。由压力坡度线可见,1—2—3—4 线路上各点风流的全能量大于 1—5—6—4 线路上各对应点风流的全能量。所以工作面 I 通过其采空区向工作面 II 漏风,如果工作面 I 或其采空区发生火灾时其有害气体将会流向工作面 II,影响工作面 II 的安全生产。

### 三、通风系统网络相对压能图和相对等熵静压图

对于较复杂的通风系统,由于井巷分支多,结构复杂,用压力坡度线表示就会出现坡度线相互交错,给使用带来不便。为此提出了使用通风系统网络相对压能图或相对等熵静压图。

实质:就是节点赋予压能值的通风系统网络图。压能图各节点的压能值是相对于某一基准面所具有的总能量值;或是相对某一参考面(如进风井口等)之间的通风阻力。

压能图的绘制与能量(压力)坡度线的绘制基本相同。

波兰学者提出了用相对等熵静压图来表示通风系统中风流各点的能位关系,因为某一节点的相对静压  $h_i = P_i - P_{0i}$ ,而井巷风流的  $P_{0i}$  未知。假设大气压随高度变化属理想的绝热等熵过程,根据气态方程可推算  $P_{0i}$ ,记为  $\bar{P}_i$ 。

$$\bar{P}_i = P_0 \left[ 1 + \left( \frac{n-1}{n} \right) \frac{r_0 g Z_i}{P_0} \right]^{\frac{n}{n-1}} \quad (2-67)$$

只要实测出通风系统中风流 i 点的绝对静压  $P_i$ ,它与对应高度的等熵静压之差就是相对等熵静压:

$$\bar{h}_i = P_i - \bar{P}_i \quad (2-68)$$

以相对等熵静压为纵坐标,横坐标无标量,按通风系统结构布置,即可画出相对等熵静压图。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

- 1、矿井测量相对压力的仪器主要有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等几种。
- 2、井巷中任意断面上的总压力是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_之和。
- 3、测定风流中点压力的常用仪器是\_\_\_\_\_和皮托管。皮托管的用途是承受和传递压力,其“+”管脚传递绝对全压,“-”管脚传递绝对静压。使用时皮托管的中心孔必须\_\_\_\_\_风流方向。
- 4、一个标准大气压约为\_\_\_\_\_ Pa。
- 5、用风表在井下巷道中测风,采用侧身法时其校正系数公式是\_\_\_\_\_,主要考虑\_\_\_\_\_。
- 6、测量井巷风速的仪表称风表(风速计),煤矿风表按结构和原理不同分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等

几种。

- 7、常见的井下测风仪器、仪表有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
- 8、机械式风表按风速的测量范围不同分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
- 9、井巷风流中任一断面上的空气压力，按其呈现形式不同可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和位压。
- 10、矿井某断面的绝对全压是指\_\_\_\_\_与动压之和。
- 11、矿井某断面的总压力包括\_\_\_\_\_、动压和\_\_\_\_\_三种压力。
- 12、井巷中的风速常用风表测定。我国煤矿测风员通常使用\_\_\_\_\_测风，其方法是：测风员背向巷壁，手持风表在断面上按一定线路均匀移动。
- 13、井下空气常用的物理参数有：\_\_\_\_\_、粘性、温度、湿度和压力。
- 14、已知某矿大气相对湿度为60%，气温为19℃，对应的饱和水蒸气量是16.2 g/m<sup>3</sup>，则绝对湿度是\_\_\_\_\_。一般工作面回风流中的湿度比进风流要\_\_\_\_\_。
- 15、绝对湿度的单位是\_\_\_\_\_，相对湿度单位是\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

- 1、井巷任一断面相对某一基准面具有\_\_\_\_\_三种压力。  
A、静压、动压和位压 B、静压、动压和势压 C、势压、动压和位压
- 2、下列选项不属于矿井任一断面上的三种压力的是\_\_\_\_\_。  
A、静压 B、动压 C、全压 D、位压
- 3、皮托管中心孔感受的是测点的\_\_\_\_\_。  
A、绝对静压 B、相对全压 C、绝对全压
- 4、风压的国际单位是\_\_\_\_\_。  
A 牛顿 B 帕斯卡 C 公斤力 D 毫米水柱

## 三、判断题

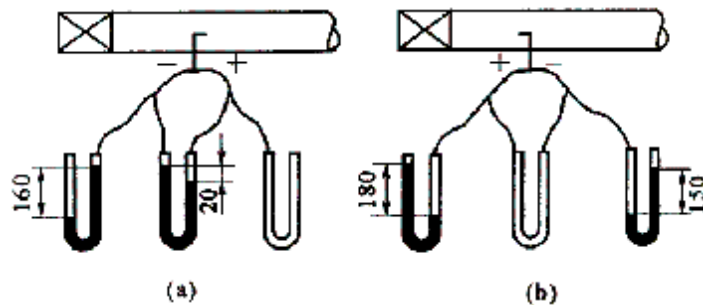
- 1、两测点的风速相同，则动压也会相等。
- 2、全压包括静压、动压和位压。
- 3、风流总是从压力大的地点流向压力小的地点。
- 4、动压永为正值，分为相对动压和绝对动压。

## 四、简答题

- 1、何谓空气的静压，它是怎样产生的？说明其物理意义和单位。
- 2、何谓空气的重力位能？说明其物理意义和单位。
- 3、简述绝对压力和相对压力的概念。为什么在正压通风中断面上某点的相对全压大于相对静压，而在负压通风中断面某点的相对全压小于相对静压？
- 4、试述能量方程中各项的物理意义。
- 5、分别叙述在单位质量和单位体积流体能量方程中，风流的状态变化过程是怎样反映的？
- 6、简述用风表测风的具体操作方法。
- 7、给矿井或各用风点配风时，所配给的风量需要符合《规程》的哪些规定？
- 8、简述湿度的表示方式以及矿内湿度的变化规律。
- 9、简述风速对矿内气候的影响。

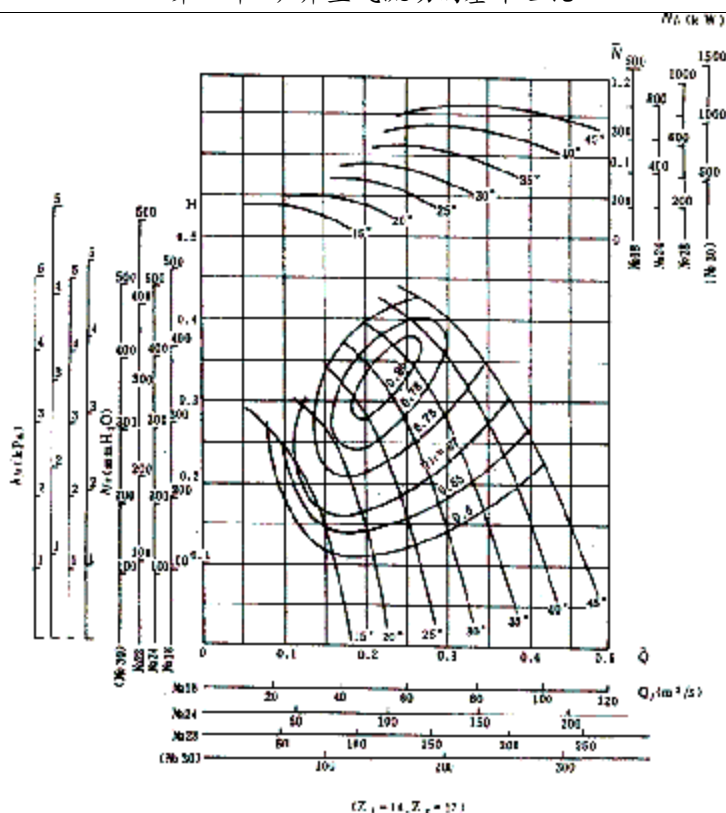
## 五、判断、作图与设计

- 1、如下题图 2-1(a)、(b)，两个不同的管道通风系统，试判断它们的通风方式，区别各压差计的压力种类，并填涂液面高差和读数。



题图 2-1 两个不同的管道通风系统

- 2、井下某测风站的断面为 9.4 m<sup>2</sup>，用侧身法测得三次风表读数分别为 285、281、287，测定时间为 1min，该风表的校正曲线表达式为  $v_{真} = 0.229 + 1.0021v_{表}$  (m/s)，试求该处的风速和风量。



题图 2-2

六、计算题

1. 在压入式通风的风筒中，测得风流中某点  $i$  的相对静压  $h_{si} = 600 \text{ Pa}$ ，速压  $h_v = 100 \text{ Pa}$ ，已知风筒外与  $i$  点同标高处的压力为  $100 \text{ kPa}$ 。求：(1)  $i$  点的相对全压、绝对全压和绝对静压；(2) 将上述压力之间的关系作图表示（压力为纵坐标轴，真空为 0 点）。
2. 在抽出式通风风筒中，测得风流中某点  $i$  的相对静压 =  $1000 \text{ Pa}$ ，速压 =  $150 \text{ Pa}$ ，风筒外与  $i$  点同标高的 =  $101332.32 \text{ Pa}$ ，求：(1)  $i$  点的绝对静压；(2)  $i$  点的相对全；(3)  $i$  点的绝对全压。(4) 将上述压力之间的关系作图表示（压力为纵坐标轴，真空为 0 点）。
3. 用压差计和皮托管测得风筒内一点的相对全压为  $300 \text{ Pa}$ ，相对静压为  $240 \text{ Pa}$ ，已知空气密度为  $1.2 \text{ kg/m}^3$ ，试求 A 点的风流速度，并判断通风方式。

## 第三章 井巷通风阻力

### 【本章重点和难点】

摩擦阻力和局部阻力产生的原因和测算

当空气沿井巷运动时，由于风流的粘滞性和惯性以及井巷壁面等对风流的阻滞、扰动作用而形成通风阻力，它是造成风流能量损失的原因。井巷通风阻力可分为两类：摩擦阻力(也称为沿程阻力)和局部阻力。

### 第一节 井巷断面上风速分布

#### 一、风流流态

##### 1、管道流

同一流体在同一管道中流动时，不同的流速，会形成不同的流动状态。当流速较低时，流体质点互不混杂，沿着与管轴平行的方向作层状运动，称为层流(或滞流)。当流速较大时，流体质点的运动速度在大小和方向上都随时发生变化，成为互相混杂的紊流(或湍流)。

(1) 雷诺数—Re

$$Re = \frac{ud}{\nu} \quad (3-1)$$

式中 平均流速  $u$ 、管道直径  $d$  和流体的运动粘性系数  $\nu$ 。

在实际工程计算中，为简便起见，通常以  $Re=2300$  作为管道流动流态的判定准数，即： $Re \leq 2300$  层流， $Re > 2300$  紊流。

(2) 当量直径

对于非圆形断面的井巷，Re 数中的管道直径  $d$  应以井巷断面的当量直径  $d_e$  来表示：

$$d_e = 4 \frac{S}{U} \quad (3-2)$$

因此，非圆形断面井巷的雷诺数可用下式表示：

$$Re = 4 \frac{uS}{\nu U} \quad (3-3)$$

对于不同形状的井巷断面，其周长  $U$  与断面积  $S$  的关系，可用下式表示：

$$U = C\sqrt{S} \quad (3-4)$$

式中： $C$ —断面形状系数：梯形  $C=4.16$ ；三心拱  $C=3.85$ ；半圆拱  $C=3.90$ 。

##### 2、孔隙介质流

在采空区和煤层等多孔介质中风流的流态判别准数为：

$$Re = 4 \frac{uK}{lv} \quad (3-5)$$

式中： $K$ —冒落带渗流系数， $m^2$ ；

$l$ —滤流带粗糙度系数， $m$ 。

层流， $Re \leq 0.25$ ；紊流， $Re > 2.5$ ；过渡流  $0.25 < Re < 2.5$

#### 二、井巷断面上风速分布

##### 1、紊流脉动

风流中各点的流速、压力等物理参数随时间作不规则。

##### 2、时均速度

瞬时速度  $u_x$  随时间  $\tau$  的变化。其值虽然不断变化，但在一个足够长的时间段  $T$  内，流速  $u_x$  总是围绕着一平均值上下波动。



图 3-1 瞬时速度  $u_x$  随时间  $\tau$  的变化曲线

### 3、巷道风速分布

由于空气的粘性和井巷壁面摩擦影响，井巷断面上风速分布是不均匀的。

层流边层：在贴近壁面处仍存在层流运动薄层，即层流边层。其厚度  $\delta$  随  $Re$  增加而变薄，它的存在对流动阻力、传热和传质过程有较大影响。

在层流边层以外，从巷壁向巷道轴心方向，风速逐渐增大，呈抛物线分布。

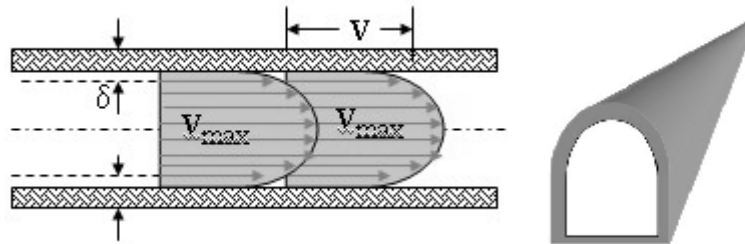


图 3-2 巷道风速分布示意图

平均风速：

$$u = \frac{1}{S} \int_s u_i dS \quad (3-6)$$

式中：  $\int_s u_i dS$  巷道通过风量  $Q$ 。则： $Q = u \times S$

风速分布系数：断面上平均风速  $u$  与最大风速  $u_{max}$  的比值称为风速分布系数(速度场系数)，用  $K_u$  表示：

$$K_u = \frac{u}{u_{max}} \quad (3-7)$$

巷壁愈光滑， $K_u$  值愈大，即断面上风速分布愈均匀。砌碛巷道， $K_u = 0.8 \sim 0.86$ ；木棚支护巷道， $K_u = 0.68 \sim 0.82$ ；无支护巷道， $K_u = 0.74 \sim 0.81$ 。

## 第二节 摩擦风阻与阻力

### 一、摩擦阻力

风流在井巷中作沿程流动时，由于流体层间的摩擦和流体与井巷壁面之间的摩擦所形成的阻力称为摩擦阻力(也叫沿程阻力)。

由流体力学可知，无论层流还是紊流，以风流压能损失来反映的摩擦阻力可用下式来计算：

$$h_f = l \frac{L}{d} \cdot r \frac{u^2}{2}, (Pa) \quad (3-8)$$

式中  $\lambda$  — 无因次系数，即摩擦阻力系数，通过实验求得。

$d$ —圆形风管直径，非圆形管用当量直径；

#### 1. 尼古拉兹实验

实际流体在流动过程中，沿程能量损失一方面（内因）取决于粘滞力和惯性力的比值，用雷诺数  $Re$  来衡量；另一方面（外因）是固体壁面对流体流动的阻碍作用，故沿程能量损失又与管道长度、断面形状及大小、壁面粗糙度有关。其中壁面粗糙度的影响通过  $\lambda$  值来反映。

1932~1933 年间, 尼古拉兹把经过筛分、粒径为  $\varepsilon$  的砂粒均匀粘贴于管壁。砂粒的直径  $\varepsilon$  就是管壁凸起的高度, 称为绝对糙度; 绝对糙度  $\varepsilon$  与管道半径  $r$  的比值  $\varepsilon/r$  称为相对糙度。以水作为流动介质、对相对糙度分别为 1/15、1/30.6、1/60、1/126、1/256、1/507 六种不同的管道进行试验研究。对实验数据进行分析整理, 在对数坐标纸上画出  $\lambda$  与  $Re$  的关系曲线。

结论分析:

I 区——层流区。当  $Re < 2320$  (即  $\lg Re < 3.36$ ) 时, 不论管道粗糙度如何, 其实验结果都集中分布于直线 I 上。这表明  $\lambda$  与相对糙度  $\varepsilon/r$  无关, 只与  $Re$  有关, 且  $\lambda = 64/Re$ 。与相对粗糙度无关

II 区——过渡流区。 $2320 \leq Re \leq 4000$  (即  $3.36 \leq \lg Re \leq 3.6$ ), 在此区间内, 不同相对糙度的管内流体的流态由层流转变为紊流。所有的实验点几乎都集中在线段 II 上。 $\lambda$  随  $Re$  增大而增大, 与相对糙度无明显关系。

III 区——水力光滑管区。在此区段内, 管内流动虽然都已处于紊流状态 ( $Re > 4000$ ), 但在一定的雷诺数下, 当层流边层的厚度  $\delta$  大于管道的绝对糙度  $\varepsilon$  (称为水力光滑管) 时, 其实验点均集中在直线 III 上, 表明  $\lambda$  与  $\varepsilon$  仍然无关, 而只与  $Re$  有关。随着  $Re$  的增大, 相对糙度大的管道, 实验点在较低  $Re$  时就偏离直线 III, 而相对糙度小的管道要在  $Re$  较大时才偏离直线 III。

IV 区——紊流过渡区, 即 IV 所示区段。在这个区段内, 各种不同相对糙度的实验点各自分散呈一波状曲线,  $\lambda$  值既与  $Re$  有关, 也与  $\varepsilon/r$  有关。

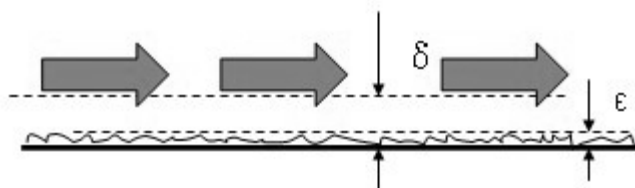


图 3-3

V 区——水力粗糙管区。在该区段,  $Re$  值较大, 管内液流的层流边层已变得极薄, 有  $\varepsilon \gg \delta$ , 砂粒凸起高度几乎全暴露在紊流核心中, 故  $Re$  对  $\lambda$  值的影响极小, 略去不计, 相对糙度成为  $\lambda$  的唯一影响因素。故在该区段,  $\lambda$  与  $Re$  无关, 而只与相对糙度有关。摩擦阻力与流速平方成正比, 故称为阻力平方区, 尼古拉兹公式:

$$l = \frac{1}{\left(1.74 + 2 \lg \frac{g}{e}\right)^2} \quad (3-9)$$

## 2. 层流摩擦阻力

当流体在圆形管道中作层流流动时, 从理论上可以导出摩擦阻力计算式:

$$h_f = \frac{32mL}{d^2} u \quad (3-10)$$

综合公式 3-1 得,

$$h_f = \frac{64}{Re} \cdot \frac{L}{d} \cdot r \frac{u^2}{2} \quad (3-11)$$

可得圆管层流时的沿程阻力系数:

$$l = \frac{64}{Re} \quad (3-12)$$

古拉兹实验所得到的层流时  $\lambda$  与  $Re$  的关系, 与理论分析得到的关系完全相同, 理论与实验的正确性得到相互的验证。

层流摩擦阻力和平均流速的一次方成正比。

## 3. 紊流摩擦阻力

对于紊流运动,  $\lambda = f(Re, \varepsilon/r)$ , 关系比较复杂。用当量直径  $de = 4S/U$  代替  $d$ , 代入阻力通式, 则得到紊流状态下井巷的摩擦阻力计算式:

$$h_f = \frac{l \cdot r}{8} \cdot \frac{LU}{S} u^2 = \frac{l \cdot r}{8} \cdot \frac{LU}{S^3} Q^2 \quad (3-13)$$

## 二、摩擦阻力系数与摩擦风阻

### 1. 摩擦阻力系数 $\alpha$

矿井中大多数通风井巷风流的  $Re$  值已进入阻力平方区,  $\lambda$  值只与相对糙度有关, 对于几何尺寸和

支护已定型的井巷，相对糙度一定，则  $\lambda$  可视为定值；在标准状态下空气密度  $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$ 。

对公式 3-13，令：

$$a = \frac{l \cdot r}{8} \quad (3-14)$$

$a$  称为摩擦阻力系数，单位为  $\text{kg/m}^3$  或  $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$ 。则得到紊流状态下井巷的摩擦阻力计算式写为：

$$h_f = a \cdot \frac{LU}{S^3} Q^2 \quad (3-15)$$

标准摩擦阻力系数：

$$a = a_0 \frac{r}{1.8} \quad (3-16)$$

通过大量实验和实测所得的、在标准状态 ( $\rho_0 = 1.2\text{kg/m}^3$ ) 条件下的井巷的摩擦阻力系数，即所谓标准值  $a_0$  值，当井巷中空气密度  $\rho \neq 1.2\text{kg/m}^3$  时，其  $a$  值应进行修正。

## 2. 摩擦风阻 $R_f$

对于已给定的井巷， $L$ 、 $U$ 、 $S$  都为已知数，故可把公式 3-14 中的  $a$ 、 $L$ 、 $U$ 、 $S$  归结为一个参数  $R_f$ ：

$$R_f = a \cdot \frac{LU}{S^3} \quad (3-17)$$

$R_f$  称为巷道的摩擦风阻，其单位为： $\text{kg/m}^7$  或  $\text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ 。工程单位： $\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ ，或写成： $\text{k}\mu$ 。  $1 \text{N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8 = 9.8 \text{k}\mu$

$R_f = f(\rho, \varepsilon, S, U, L)$ 。在正常条件下当某一段井巷中的空气密度  $\rho$  一般变化不大时，可将  $R_f$  看作是反映井巷几何特征的参数。

则得到紊流状态下井巷的摩擦阻力计算式写为：

$$h_f = R_f Q^2 \quad (3-18)$$

此式就是完全紊流(进入阻力平方区)下的摩擦阻力定律。

## 三、井巷摩擦阻力计算方法

新建矿井：查表得  $a_0 \rightarrow a \rightarrow R_f \rightarrow h_f$

生产矿井： $h_f \rightarrow R_f \rightarrow a \rightarrow a_0$

## 四、生产矿井一段巷道阻力测定

### 1、压差计法

用压差计法测定通风阻力的实质是测量风流两点间的势能差和动压差，计算出两测点间的通阻力。

$$h_R \approx (P_1 - P_2) + \left( \frac{u_1^2}{2} r_1 + \frac{u_2^2}{2} r_2 \right) + (gr_{m1}Z_1 - gr_{m2}Z_2) \quad (3-19)$$

其中：右侧的第二项为动压差，通过测定 1、2 两断面的风速、大气压、干湿球温度，即可计算出它们的值。第一项和第三项之和称为势能差，需通过实际测定。

#### (1) 布置方式及连接方法

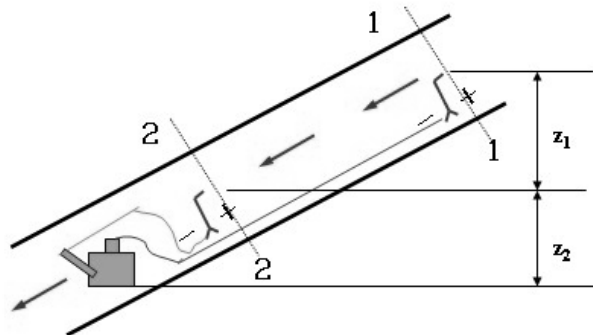


图 3-4 生产矿井一段巷道布置方式及连接方法

#### (2) 阻力计算

压差计“+”感受的压力： $P_1 + gr'_{m1}(Z_1 + Z_2)$

压差计“-”感受的压力： $P_2 + r'_{m2}Z_2$

故压差计所示测值：

$$h = P_1 + gr_{m1}(Z_1 + Z_2) - (P_2 + r_{m2}gZ_2) \quad (3-20)$$

设  $r'_{m1}(Z_1 + Z_2) - r'_{m2}Z_2 = r'_m Z_{12}$  且与 1、2 断面间巷道中空气平均密度相等, 则:

$$h = (P_1 - P_2) + Z_{12} r_m g \quad (3-21)$$

式中:  $Z_{12}$  为 1、2 断面高差,  $h$  值即为 1、2 两断面压能与位能和的差值。

根据能量方程, 则 1、2 巷道段的通风阻力  $h_{R12}$  为:

$$h_{R12} = h + \frac{u_1^2}{2} r_1 - \frac{u_2^2}{2} r_2 \quad (3-22)$$

问: 把压差计放在 1、2 断面之间, 测值是否变化?

## 2、气压计法

由能量方程:

$$h_{R12} = (P_1 - P_2) + \left( \frac{u_1^2}{2} r_1 - \frac{u_2^2}{2} r_2 \right) + gr_{m12}Z_{12} \quad (3-23)$$

式中 用精密气压计分别测得 1、2 断面的静压  $P_1, P_2$ ;

用干湿球温度计测得  $t_1, t_2, t_1', t_2'$  和  $\phi_1, \phi_2$ , 进而计算  $\rho_1, \rho_2$ ;

用风表测定 1、2 断面的风速  $v_1, v_2$ ;

$\rho_{m12}$  为 1、2 断面的平均密度, 若高差不大, 就用算术平均值, 若高差大, 则有加权平均值;

$Z_{12}$ ——1、2 断面高差, 从采掘工程平面图查得。

可用逐点测定法, 一台仪器在井底车场监视大气压变化, 然后对上式进行修正。

$$h_{R12} = (P_1 - P_2) + \Delta P_{12} + \left( \frac{u_1^2}{2} r_1 - \frac{u_2^2}{2} r_2 \right) + gr_{m12}Z_{12} \quad (3-24)$$

**【例 3-1】**某设计巷道为梯形断面,  $S=8\text{m}^2, L=1000\text{m}$ , 采用工字钢棚支护, 支架截面高度  $d_0=14\text{cm}$ , 纵口径  $\Delta=5$ , 计划通过风量  $Q=1200\text{m}^3/\text{min}$ , 预计巷道中空气密度  $\rho=1.25\text{kg}/\text{m}^3$ , 求该段巷道的通风阻力。

解 根据所给的  $d_0, \Delta, S$  值, 由附表查得:  $\alpha_0=284.2 \times 10^{-4} \times 0.88=0.025\text{Ns}^2/\text{m}^4$

则: 巷道实际摩擦阻力系数  $a = a_0 \frac{r}{1.2} = 0.025 \times \frac{1.25}{1.2} = 0.026\text{Ns}^2/\text{m}^4$

巷道摩擦风阻  $R_f = a \cdot \frac{LU}{S^3} = \frac{aL4.6\sqrt{S}}{S^3} = \frac{0.026 \times 1000 \times 11.77}{8^3} = 0.598\text{Ns}^2/\text{m}$

巷道摩擦阻力  $h_f = R_f Q^2 = 0.598 \times \left( \frac{1200}{60} \right)^2 = 239.2\text{Pa}$

## 第三节 局部风阻与阻力

由于井巷断面、方向变化以及分岔或汇合等原因, 使均匀流动在局部地区受到影响而破坏, 从而引起风流速度场分布变化和产生涡流等, 造成风流的能量损失, 这种阻力称为局部阻力。由于局部阻力所产生风流速度场分布的变化比较复杂, 对局部阻力的计算一般采用经验公式。

### 一、局部阻力及其计算

和摩擦阻力类似, 局部阻力  $h_l$  一般也用动压的倍数来表示:

$$h_l = x \frac{r}{2} u^2 \quad (3-25)$$

$$x = \frac{B}{\text{Re}} \quad (3-26)$$

式中:  $\xi$ ——局部阻力系数, 无因次。层流  $\xi$  计算局部阻力, 关键是局部阻力系数确定, 因  $v=Q/S$ , 当  $\xi$  确定后, 便可用

$$h_l = x \frac{r}{2S^2} Q^2 \quad (3-27)$$

几种常见的局部阻力产生的类型：

1、突变

紊流通过突变部分时，由于惯性作用，出现主流与边壁脱离的现象，在主流与边壁之间形成涡漩区，从而增加能量损失。



图 3-5 突变部位阻力的产生

2、渐变

主要是由于沿流动方向出现减速增压现象，在边壁附近产生涡漩。压差的作用方向与流动方向相反，使边壁附近，流速本来就小，趋于 0，在这些地方主流与边壁面脱离，出现与主流相反的流动，面涡漩。

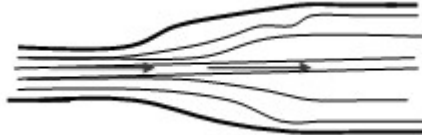


图 3-6 渐变方向阻力的产生

3、转弯处

流体质点在转弯处受到离心力作用，在外侧出现减速增压，出现涡漩。



图 3-7 转弯处、分叉与汇合处阻力的产生

4、分岔与会合

如图 3-7 所示。

5、上述的综合

∴局部阻力的产生主要是与涡漩区有关，涡漩区愈大，能量损失愈多，局部阻力愈大。

二、局部阻力系数和局部风阻

(一)局部阻力系数  $\xi$

紊流局部阻力系数  $\xi$  一般主要取决于局部阻力物的形状，而边壁的粗糙程度为次要因素。

1. 突然扩大

$$h_l = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{\rho}{2} u_1^2 = x_1 \frac{\rho}{2} u_1^2 = x_1 \frac{\rho}{2S_1^2} Q^2 \quad (3-28)$$

或

$$h_l = \left(\frac{S_1}{S_2} - 1\right)^2 \frac{\rho}{2} u_2^2 = x_2 \frac{\rho}{2} u_2^2 = x_2 \frac{\rho}{2S_2^2} Q^2 \quad (3-29)$$

式中  $v_1$ 、 $v_2$ ——分别为小断面和大断面的平均流速，m/s；

$S_1$ 、 $S_2$ ——分别为小断面和大断面的面积，m<sup>2</sup>；

$\rho_m$ ——空气平均密度，kg/m<sup>3</sup>。

对于粗糙度较大的井巷，可进行修正

$$x' = x \left(1 + \frac{a}{0.01}\right) \quad (3-30)$$

2. 突然缩小

对应于小断面的动压  $\frac{\rho u_2^2}{2}$ ， $\xi$  值可按下式计算：

$$x = 0.5 \left( 1 - \frac{S_2}{S_1} \right) \quad (3-31)$$

$$x' = x \left( 1 + \frac{a}{0.013} \right) \quad (3-32)$$

### 3. 逐渐扩大

逐渐扩大的局部阻力比突然扩大小得多，其能量损失可认为由摩擦损失和扩张损失两部分组成。

当  $\theta < 20^\circ$  时，渐扩段的局部阻力系数  $\xi$  可用下式计算：

$$x = \frac{a}{r \sin \frac{q}{2}} \left( 1 - \frac{a}{n^2} \right) + \sin \left( 1 - \frac{1}{n} \right)^2 \quad (3-33)$$

式中  $a$ —风道的摩擦阻力系数， $Ns^2/m^4$ ；

$n$ —风道大、小断面积之比，即  $S_2 / S_1$ ；

$\theta$ —扩张角。

### 4. 转弯

巷道转弯时的局部阻力系数(考虑巷道粗糙程度)可按下列式计算：

当巷高与巷宽之比  $H/b=0.2 \sim 1.0$  时，

$$x' = \left[ (x_0 + 28a) \frac{1}{0.35 + 0.65 \frac{H}{b}} \right] b \quad (3-34)$$

当  $H/b=1 \sim 2.5$  时

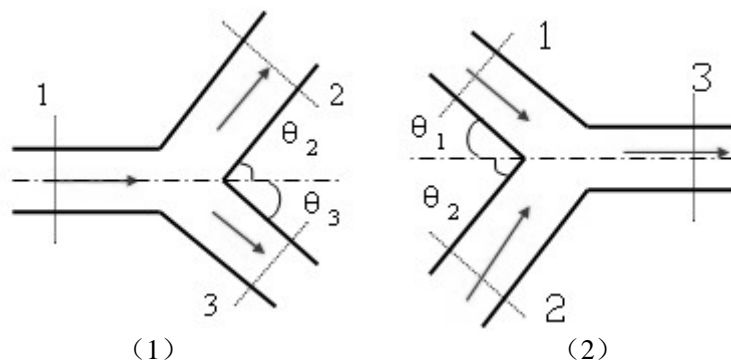
$$x' = \left[ (x_0 + 28a) \frac{H}{b} \right] b \quad (3-35)$$

式中  $\xi_0$ —假定边壁完全光滑时， $90^\circ$  转弯的局部阻力系数，其值查表获得；

$a$ —巷道的摩擦阻力系数， $N \cdot s^2/m^4$ ；

$\beta$ —巷道转弯角度影响系数，其值查表获得。

### 5. 风流分叉与汇合



3-8 风流分叉与汇合

#### (1) 风流分叉

典型的分叉巷道如图 3-8 (1) 所示，1~2 段的局部阻力  $h_{1-2}$  和 1~3 段的局部阻力  $h_{1-3}$  分别用下列式计算：

$$h_{1-2} = K_a \frac{r}{2} (u_1^2 - 2u_1u_2 \cos q_2 + u_2^2) \quad (3-36)$$

$$h_{1-3} = K_a \frac{r}{2} (u_1^2 - 2u_1u_3 \cos q_3 + u_3^2) \quad (3-37)$$

#### (2) 风流汇合

如图 3-8 (2) 所示，1~3 段和 2~3 段的局部阻力  $h_{1-3}$ 、 $h_{2-3}$  分别按下式计算：

$$h_{1-3} = K_a \frac{r}{2} (v_1^2 - 2v_1v_3 \cos q_3 + v_3^2) \quad (3-38)$$

$$h_{l2-3} = K_a \frac{r}{2} (v_2^2 - 2v_3 w + v_3^2) \quad (3-39)$$

式中:

$$w = \frac{Q_1}{Q_2} v_1 \cos q_1 + \frac{Q_2}{Q_3} v_2 \cos q_2 \quad (3-40)$$

### (二)局部风阻

在局部阻力计算式中, 令  $x \frac{r}{2S^2} = R_l$ , 则有:

$$x \frac{r}{2S^2} = R_l \quad (3-41)$$

式中  $R_l$  称为局部风阻, 其单位为  $N \cdot s^2/m^8$  或  $kg/m^7$ 。

此式表明, 在紊流条件下局部阻力也与风量的平方成正比

## 第四节 矿井总风阻与矿井等积孔

### 一、井巷阻力特性

在紊流条件下, 摩擦阻力和局部阻力均与风量的平方成正比。故可写成一般形式:

$$h = RQ^2 \quad (Pa) \quad (3-42)$$

对于特定井巷,  $R$  为定值。用纵坐标表示通风阻力(或压力), 横坐标表示通过风量, 当风阻为  $R$  时, 则每一风量  $Q_i$  值, 便有一阻力  $h_i$  值与之对应, 根据坐标点  $(Q_i, h_i)$  即可画出一条抛物线。这条曲线就叫该井巷的阻力特性曲线。风阻  $R$  越大, 曲线越陡。

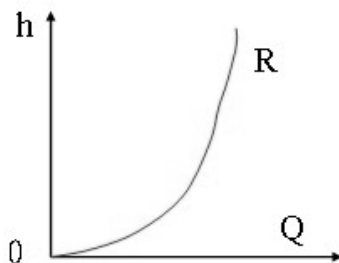


图 3-9 井巷的阻力曲线

### 二、矿井总风阻

从入风井口到主要通风机入口, 把顺序连接各段井巷的通风阻力累加起来, 就得到矿井通风总阻力  $h_{Rm}$ , 这就是井巷通风阻力的叠加原则。

已知矿井通风总阻力  $h_{Rm}$  和矿井总风量  $Q$ , 即可求得矿井总风阻:

$$R_m = \frac{h_{Rm}}{Q^2}, (Ns^2/m^8) \quad (3-43)$$

$R_m$  是反映矿井通风难易程度的一个指标。  $R_m$  越大, 矿井通风越困难;

### 三、矿井等积孔

我国常用矿井等积孔作为衡量矿井通风难易程度的指标。

假定在无限空间有一薄壁, 在薄壁上开一面积为  $A(m^2)$  的孔口。当孔口通过的风量等于矿井风量, 且孔口两侧的风压差等于矿井通风阻力时, 则孔口面积  $A$  称为该矿井的等积孔。

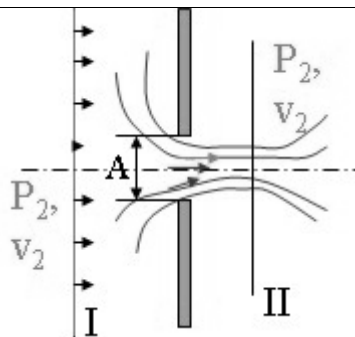


图 3-10 矿井等积孔

设风流从 I→II，且无能量损失，则有：

$$P_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = P_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 \quad (3-44)$$

得：

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} v_2^2 = h_{Rm}, \quad v_2 = \sqrt{(2/\rho)h_{Rm}} \quad (3-45)$$

风流收缩处断面面积  $A_2$  与孔口面积  $A$  之比称为收缩系数  $\phi$ ，由水力学可知，一般  $\phi=0.65$ ，故  $A_2=0.65A$ 。则  $v_2=Q/A_2=Q/0.65A$ ，代入上式后并整理得：

$$A = \frac{Q}{0.65\sqrt{(2/\rho)h_{Rm}}} \quad (3-46)$$

取  $\rho=1.2\text{kg/m}^3$ ，则：

$$A = 1.19 \frac{Q}{\sqrt{h_{Rm}}} \quad (3-47)$$

因  $R_m=h_{Rm} / Q^2$ ，故有

$$A = \frac{1.19}{\sqrt{R_m}} \quad (3-48)$$

由此可见， $A$  是  $R_m$  的函数，故可以表示矿井通风的难易程度。当  $A > 2$ ，容易； $A = 1 \sim 2$ ，中等； $A < 1$  困难。

【例 3-2】某矿井为中央式通风系统，测得矿井通风总阻力  $h_{Rm}=2800\text{Pa}$ ，矿井总风量  $Q=70\text{m}^3/\text{s}$ ，求矿井总风阻  $R_m$  和等积孔  $A$ ，评价其通风难易程度。

解：  $R_m = h_{Rm} / Q^2 = 2800 / 70^2 = 0.571\text{Ns}^2 / \text{m}^8$

$$A = 1.19 / \sqrt{R_m} = 1.19 / \sqrt{0.571} = 1.57\text{m}^2$$

对照表可知，该矿通风难易程度属中等。

1、对于多风机工作的矿井，应根据各主要通风机工作系统的通风阻力和风量，分别计算各主要通风机所担负系统的等积孔，进行分析评价。

2、必须指出，相应表所列衡量矿井通风难易程度的等积孔值，是 1873 年缪尔格(Murgue)根据当时的生产情况提出的，一直沿用至今。由于现代的矿井规模、开采方法、机械化程度和通风机能力等较以前已有很大的发展和提高，表中的数据对小型矿井还有一定的参考价值，对大型矿井或多风机通风系统的矿井，衡量通风难易程度的指标还有待研究。

## 第五节 降低矿井通风阻力措施

降低矿井通风阻力，对保证矿井安全生产和提高经济效益具有重要意义。

### 一、降低井巷摩擦阻力措施

1. 减小摩擦阻力系数  $\alpha$ 。
2. 保证有足够大的井巷断面。在其它参数不变时，井巷断面扩大 33%， $R_f$  值可减少 50%。
3. 选用周长较小的井巷。在井巷断面相同的条件下，圆形断面的周长最小，拱形断面次之，矩形、

梯形断面的周长较大。

4. 减少巷道长度。
5. 避免巷道内风量过于集中。

## 二、降低局部阻力措施

局部阻力与  $\xi$  值成正比，与断面的平方成反比。因此，为降低局部阻力，应尽量避免井巷断面的突然扩大或突然缩小，断面大小悬殊的井巷，其连接处断面应逐渐变化。尽可能避免井巷直角转弯或大于  $90^\circ$  的转弯，主要巷道内不得随意停放车辆、堆积木料等。要加强矿井总回风道的维护和管理，对冒顶、片帮和积水处要及时处理。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

1. 在法定单位制中，摩擦阻力系数  $\alpha$  \_\_\_\_\_、运动粘性系数  $\mu$  \_\_\_\_\_、局部阻力系数  $\xi$  \_\_\_\_\_、等积孔  $A$  \_\_\_\_\_、雷诺数  $Re$  \_\_\_\_\_、地温梯度  $g$  \_\_\_\_\_。
2. 衡量矿井通风难易程度的指标是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 按等积孔指标，矿井通风的难易程度分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
4. 矿井通风阻力包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 表征矿井通风难易程度的物理量有风阻和\_\_\_\_\_。
6. 当巷道的\_\_\_\_\_发生变化或风流的\_\_\_\_\_发生变化时，会导致局部阻力的产生。
7. 风速在井巷断面上的分布是不均匀的。一般说来，在巷道的轴心部分风速\_\_\_\_\_，而靠近巷道壁风速\_\_\_\_\_，通常所说的风速都是指\_\_\_\_\_。
8. 空气的流动状态有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种，井巷中风流流动状态基本都是\_\_\_\_\_。
9. 在井巷风流中，两端面之间的\_\_\_\_\_是促使空气流动的根本原因。
10. 根据测算基准不同，空气压力可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
11. 矿井通风压力就是进风井与回风井之间的总压力，它是由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_造成的。

### 二、选择题

1. 巷道摩擦阻力系数的大小和\_\_\_\_\_无关。  
A、巷道断面面积 B、巷道长度 C、支护方式 D、巷道周长
2. 下列选项能反映矿井通风难易程度指标的是\_\_\_\_\_。  
A、等积孔 B、风速 C、风量 D、风压
3. 通风压力与通风阻力的关系是\_\_\_\_\_。  
A 通风压力大于通风阻力 B 作用力与反作用力 C 通风阻力大于通风压力
4. 矿井通风口局部阻力系数为\_\_\_\_\_。  
A. 0.5 B. 0.6 C. 0.8
5. 巷道断面上各点风速是\_\_\_\_\_。  
A 轴心部位小，周壁大； B 上部大，下部小； C 一样大； D 轴心大，周壁小；
6. 采煤工作面风流的划定，是以距煤壁顶、底两帮各\_\_\_\_\_和以采空区切顶线为界的采煤工作面工作空间的风流。  
A. 200 mm B. 300 mm C. 100 mm D. 250 mm

### 三、判断题

1. 风阻是表征通风阻力大小的物理量。
2. 巷道长，则风阻一定大。
3. 矿井等积孔小，说明矿井的通风阻力小。
4. 阻力  $h$  与风阻  $R$  的一次方成正比，也与风量  $Q$  的一次方成正比。
5. 井巷风流的两端面之间的通风阻力等于两端面之间的绝对全压之差。
6. 等积孔是表示矿井通风难易程度的方法，但矿井并不存在实型的等积孔
7. 降低局部阻力地点的风速能够降低局部阻力。

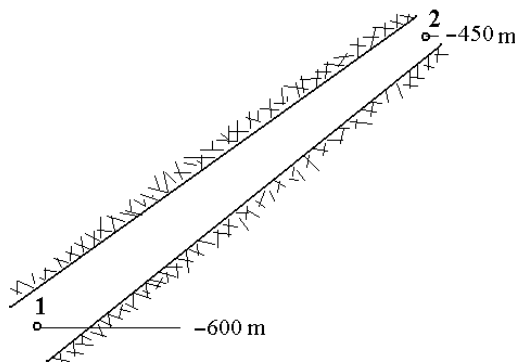
### 四、简答题

1. 何谓层流、紊流？如何判别流体的流动状态？
2. 某半圆拱巷道，采用砌碛支护，巷道宽 3.2 m，中心处高度 3.4 m，巷道中通过风量为  $600 \text{ m}^3/\text{min}$ 。试判别风流流态。(  $Re = 225307$ ，紊流)
3. 尼古拉弦实验曲线可分为哪几个区？各区有何特征？
4. 摩擦阻力系数与哪些因素有关？

5. 摩擦阻力与摩擦风阻有何区别?
6. 局部阻力是如何产生的?
7. 矿井等积孔的含义是什么? 如何计算?
8. 降低摩擦阻力和局部阻力采用的措施有哪些?
9. 矿井通风阻力包括哪两种, 如何降低摩擦阻力?

**五、计算题**

1. 知某梯形巷道康探阻力系数  $= 0.0177 \text{ N s}^2/\text{m}^4$ , 巷道长  $L = 200 \text{ m}$ , 净断面积  $S = 5 \text{ m}^2$ , 通过风量  $Q = 720 \text{ m}^3/\text{min}$ , 试求摩擦风阻与摩擦阻力。
2. (1) 有一木支架梯形巷道, 长  $1500 \text{ m}$ , 断面积为  $6 \text{ m}^2$ , 木柱直径  $d_0 = 0.22 \text{ m}$ , 支架纵口径  $= 6$ , 通过风量为  $900 \text{ m}^3/\text{min}$ , 巷道中空气平均密度为  $1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 求: (1) 摩擦风阻, (2) 摩擦阻力, (3) 该巷通风所消耗的功率  $N$  (设风机效率为  $0.6$ )。  
(2) 条件同上题, 但通过风量  $Q = 600 \text{ m}^3/\text{min}$ , 求  $h_f$  和  $N$ 。
3. 某巷道摩擦阻力系数  $= 0.004 \text{ N s}^2/\text{m}^4$ , 通过风量  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ , 空气密度  $1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。在突然扩大段, 巷道断面由  $S_1 = 6 \text{ m}^2$  变为  $S_2 = 12 \text{ m}^2$ 。求: (1) 突然扩大的局部阻力; (2) 若风流由 2 流向 1, 则局部阻力为多少?
4. 某矿总回风道断面  $S = 8 \text{ m}^2$ , 高宽比  $H/b = 1.2$ , 有一直角拐弯, 通过风量  $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。空气密度  $1.24 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 摩擦阻力系数  $= 0.015 \text{ N s}^2/\text{m}^4$ , 求: (1) 拐弯的局部阻力; (2) 若拐弯处内角做成圆弧形, 曲率半径  $0.7 b$ , 则局部阻力是多少? (3) 设风机设备效率  $0.6$ , 内角抹圆后每年可节约用电多少度?
5. 如题图 3-1 所示一倾斜巷道, 已知 1、2 两点的标高分别为  $-450 \text{ m}$  与  $-600 \text{ m}$ , 绝对静压分别为  $P_1 = 89977 \text{ Pa}$ ,  $P_2 = 88245 \text{ Pa}$ , 断面积分别为  $S_1 = 9 \text{ m}^2$ ,  $S_2 = 6 \text{ m}^2$ , 空气密度  $\rho_1 = 1.24 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\rho_2 = 1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。通过该段巷道的风量为  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{s}$ 。试求点 1、2 间的通风阻力, 并判断风流方向。



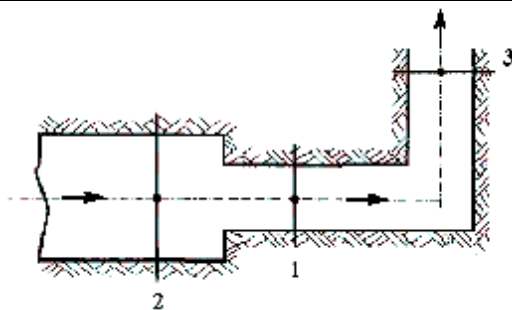
题图 3-1

6. 已知某一进风井井口断面的大气压力  $P_{\text{静}1} = 9980 \text{ Pa}$ , 井深度  $Z = 500 \text{ m}$ , 井筒内空气的平均密度  $\rho = 1.18 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 井筒的通风阻力  $h_{\text{阻}} = 85 \text{ Pa}$ , 问立井井底的绝对静压  $P_{\text{静}2}$  有多大?
7. 如题图 3-2 所示, 在断面不等的水平通风巷道中, 测得 1 断面的绝对静压  $P_{\text{静}1} = 96170 \text{ Pa}$ , 断面积  $S_1 = 4 \text{ m}^2$ , 空气密度  $\rho_1 = 1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 2 断面的绝对静压  $P_{\text{静}2} = 96200 \text{ Pa}$ , 断面积  $S_2 = 8 \text{ m}^2$ , 空气密度  $\rho_2 = 1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 通过风量  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ 。试判断巷道的风流方向, 并求其通风阻力  $h_{\text{阻}}$  有多大?



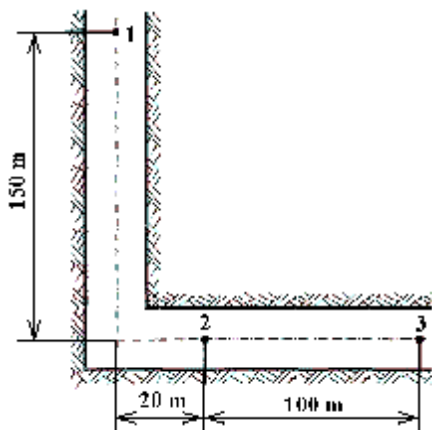
题图 3-2

7. 某条巷道如题图 3-3 所示, 通过的风量为  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $S_1 = S_3 = 4.5 \text{ m}^2$ ,  $S_2 = 9 \text{ m}^2$ , 空气的密度  $\rho = 1.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 查表得到局部阻力系数  $\xi_{2-1} = 0.25$ ,  $\xi_{1-3} = 1.4$ 。试分别计算巷道断面突然缩小处和转弯处的局部阻力。



题图 3-3

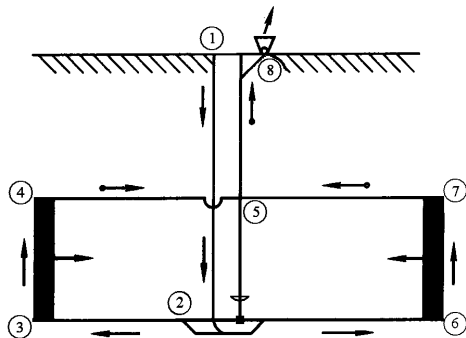
9. 某水平巷道如题图 3-4 所示,用压差计和胶皮管测得 1—2 及 1—3 之间的阻力分别为 295Pa 和 440Pa,巷道的断面积均等于  $6\text{ m}^2$ , 周长 10m, 通过的风量为  $40\text{ m}^3/\text{s}$ , 空气密度  $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$ . 求巷道的摩擦阻力系数及拐弯处的局部阻力系数。



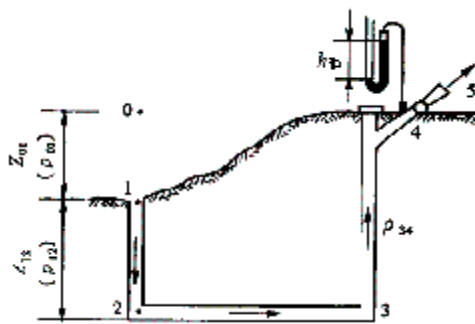
题图 3-4

10. 某片盘斜井通风系统如题图 3-5 所示, 进入井下的总风量  $Q=24\text{ m}^3/\text{s}$ , 已知井巷各段的风阻为  $R_{1-2}=0.2255$ 、 $R_{2-3}=0.3726$ 、 $R_{3-4}=0.176$ 、 $R_{4-5}=0.431$ 、 $R_{2-6}=0.441$ 、 $R_{6-7}=0.176$ 、 $R_{7-5}=0.51$ 、 $R_{5-8}=0.245\text{ N}\cdot\text{s}^2/\text{m}^8$ , 试求

- (1) 画出片盘斜井通风系统网络图;
- (2) 计算矿井的总风阻、总阻力、总等积孔;
- (3) 计算每翼自然分配的风量;



题图 3-5



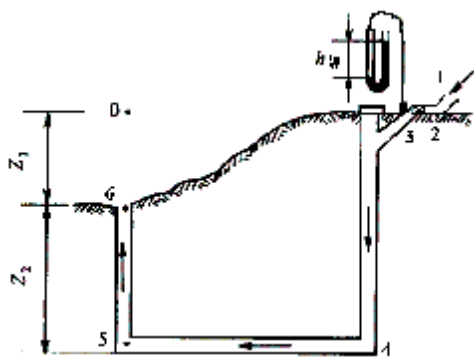
题图 3-6

11. 如题图 3-6 所示的 (抽出式) 通风矿井, 实测结果: 通风机风硐中的相对静压  $h_{\text{静}}=2\ 256\text{ Pa}$ , 风硐 4 断面的平均风速  $v_4=14\text{ m}/\text{s}$ , 断面  $S_4=9\text{ m}^2$ , 扩散器断面  $S_5=14\text{ m}^2$ ,  $Z_{01}=150\text{ m}$ ,  $Z_{12}=200\text{ m}$ ,  $\rho_{01}=1.22\text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\rho_{12}=1.25\text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\rho_{34}=1.2\text{ kg}/\text{m}^3$ . 试求该矿井的自然风压  $H_{\text{自}}$ 、矿井通风的总阻力  $h_{\text{阻}}$  和通风机的静压  $H_{\text{通静}}$ 、动压  $h_{\text{通动}}$ 、全压  $H_{\text{通全}}$  各为多少?

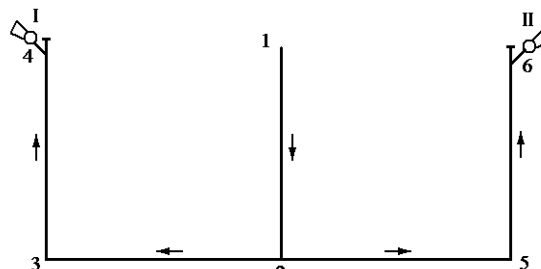
12. 如题图 3-6 所示的通风矿井, 试证明矿井通风阻力  $h_{\text{阻矿}}=h_{\text{全4}} \pm h_{\text{自}}$ 。

13. 如题图 3-6 所示的通风矿井, 试证明通风机的风压与矿井通风阻力的关系为  $h_{\text{通静}} \pm h_{\text{自}}=h_{\text{阻矿}}$ 。

14. 如题图 3-7 所示的 (压入式) 通风矿井, 试证明矿井通风阻力  $h_{\text{阻矿}}=h_{\text{全2}}+h_{\text{全3}} \pm h_{\text{自}}$ 。



题图 3-7



题图 3-8

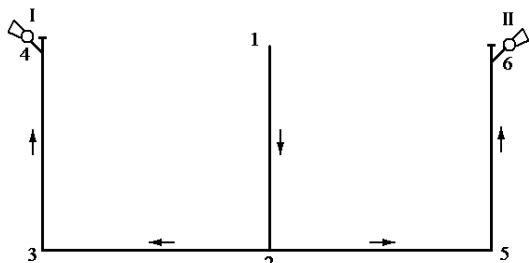
15. 如题图 3-7 所示的通风矿井, 已知  $h_{阻矿} = h_{全2} + h_{全3} \pm h_{自}$ 。试证明通风机的风压与矿井通风阻力的关系为  $h_{通全} \pm h_{自} = h_{阻矿}$ 。

16. 采用多风井通风的矿井, 联合运转的各主要通风机之间彼此联系, 相互影响。如题图 3-8 简化的矿井通风系统中, 其中进风井和两翼的矿井巷道风阻分别为  $R_{1-2}$ ,  $R_{2-3-4}$ ,  $R_{2-5-6}$ , 通风机风量为  $Q_I$  和  $Q_{II}$ ,  $R_I$  和  $R_{II}$  是通风机的风阻。试:

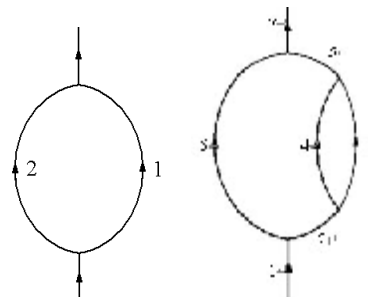
- (1) 画出该通风系统网络图;
- (2) 证明  $R_I = R_{2-3-4} + R_{1-2} (1 + Q_{II} / Q_I)^2$ ;
- (3) 指出两翼相互影响关系。

17. 采用多风井通风的矿井, 联合运转的各主要通风机之间彼此联系, 相互影响。如题图 3-9 简化的矿井通风系统中,  $R_{1-2} = 0.04 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $R_{2-3-4} = 0.35 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $R_{2-5-6} = 0.36 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 风量  $Q_I = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{II} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。试求:

- (1) 计算两个风井 I、II 主要通风机的风阻  $R_I$  和  $R_{II}$ ;
- (2) 因生产任务加大, II 通风机增加风量到  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ , 计算 I、II 通风机的风压和工作风阻;
- (3) 指出两翼相互影响关系。



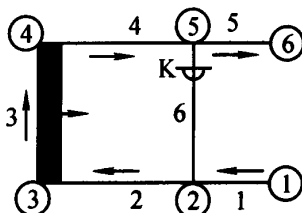
题图 3-9



题图 3-10

18. 某采区两个采煤工作面, 如题图 3-10 所示, 已知两风路的风阻  $R_1 = 0.8 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $R_2 = 1.0 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 若总通风量  $Q = 22 \text{ m}^3/\text{s}$ , 按生产要求, 1 分支 (工作面) 需要的风量为  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ , 2 分支 (工作面) 需要的风量为  $8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 试问

- (1) 计算两分支的自然分风风量, 能否满足通风要求?
- (2) 给出调节风量的技术措施及调节参数;
- (3) 指出调节后对通风系统的影响。



题图 3-11

19. 某巷道通风系统如题图 3-11 所示, 总通风量为  $Q_I = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ , 已知各分支风阻为  $R_1 = 1.2$ ,  $R_2 = 0.4$ ,  $R_3 = R_4 = 3.2$ ,  $R_5 = 0.6$ ,  $R_6 = 2.8$ ,  $R_7 = 0.3$ , 单位为  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ 。若工作面 (分支 6) 需要风量  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , 2 分支需要的风量为  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , 试计算辅助通风机的风压及调节后系统的总阻力。(940Pa, 1530Pa)

20. 某采煤工作面通风系统如题图 3-12, 已知风阻  $R_1 = 0.49$ ,  $R_2 = 1.47$ ,  $R_3 = 0.98$ ,  $R_4 = 1.47$ ,  $R_5 = 0.49$ ,  $R_6 = 0.6$ , 单位为  $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 该系统的总风压  $h_{16} = 80 \text{ Pa}$ 。

- (1) 风门K关闭时, 求工作面风量;
- (2) 当风门K打开时, 总风压保持不变的情况下, 求工作面风量及流过风门K的风量。
- (3) 当风门K打开时, 求该区段的总风阻。

**六、名词解释**

通风局部阻力

## 第四章 矿井通风动力

### 【本章重点与难点】

- 1、自然风压的产生、计算、利用与控制
- 2、轴流式和离心式主要通风机特性
- 3、主要通风机的联合运转
- 4、主要通风机的合理工作范围

### 第一节 自然风压

#### 一、自然风压及其形成和计算

##### 1、自然通风

由自然因素作用而形成的通风叫自然通风。

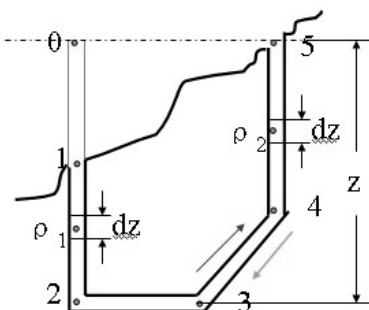


图 4-1 简化矿井通风系统

冬季：如图 4-1 所示，空气柱 0-1-2 比 5-4-3 的平均温度较低，平均空气密度较大，导致两空气柱作用在 2-3 水平面上的重力不等。它使空气源源不断地从井口 1 流入，从井口 5 流出。

夏季：相反。

自然风压：作用在最低水平两侧空气柱重力差

##### 2、自然风压的计算

根据自然风压定义，上图所示系统的自然风压  $H_N$  可用下式计算：

$$H_N = \int_0^2 r_1 g dZ - \int_3^5 r_2 g dZ \quad (4-1)$$

为了简化计算，一般采用测算出 0-1-2 和 5-4-3 井巷中空气密度的平均值  $\rho_{m1}$  和  $\rho_{m2}$ ，用其分别代替上式的  $\rho_1$  和  $\rho_2$ ，则上式可写为：

$$H_N = Zg(r_{m1} - r_{m2}) \quad (4-2)$$

注意：1) 自然风压的计算必须取一闭合系统。

2) 进风系统和回风系统必须取相同的标高。

3) 一般选取最低点作为基准面。

#### 二、自然风压的影响因素及变化规律

自然风压影响因素

$$H_N = f(r, Z) = f[r(T, P, R, \Phi), Z] \quad (4-3)$$

1、矿井某一回路中两侧空气柱的温差是影响  $H_N$  的主要因素。

2、空气成分和湿度影响空气的密度，因而对自然风压也有一定影响，但影响较小。

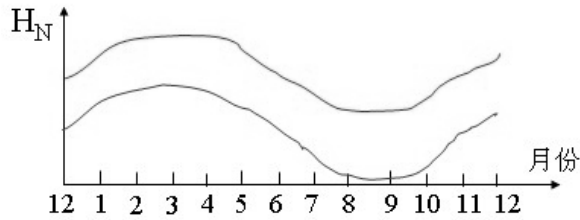


图 4-2 深井与浅井自然风压示意图

- 3、井深。H<sub>N</sub> 与矿井或回路最高与最低点间的高差 Z 成正比。
- 4、主要通风机工作对自然风压的大小和方向也有一定影响。

### 三、自然风压的控制和利用

- 1、新设计矿井在选择开拓方案、拟定通风系统时，应充分考虑利用地形和当地气候特点。
- 2、根据自然风压的变化规律，应适时调整主通风机的工况点，使其既能满足矿井通风需要，又可节约电能。
- 3、在建井时期，要注意因地制宜和因时制宜利用自然风压通风，如在表土施工阶段可利用自然通风；在主副井与风井贯通之后，有时也可利用自然通风；有条件时还可利用钻孔构成回路。
- 4、利用自然风压做好非常时期通风。一旦主要通风机因故遭受破坏时，便可利用自然风压进行通风。

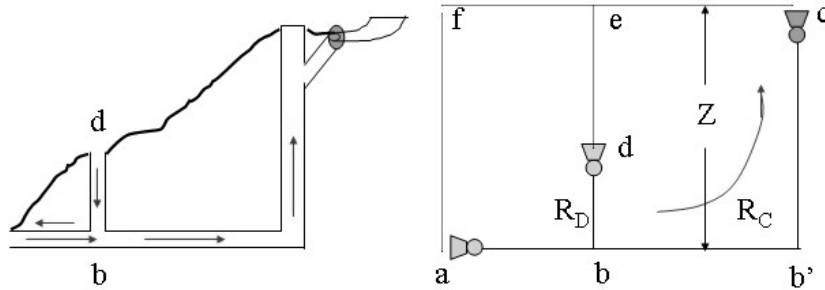


图 4-3 自然风压使风流反向示意图

- 5、在多井口通风的山区，尤其在低瓦斯矿井，要掌握自然风压的变化规律，防止因自然风压作用造成某些巷道无风或反向而发生事故。如图是四川某矿因自然风压使风流反向示意图。

ABB'CEFA 系统的自然风压为：

$$H_{NA} = Zg(r_{CB'} - r_{AF}) \quad (4-4)$$

DBB'CED 系统的自然风压为：

$$H_{ND} = Zg(r_{CB'} - r_{BE}) \quad (4-5)$$

自然风压与主要通风机作用方向相反。相当于在平硐口 A 和进风立井口 D 各安装一台抽风机（向外）。

设 AB 风流停滞，对回路 ABDEFA 和 ABB'CEFA 可分别列出压力平衡方程：

$$H_{NA} - H_{ND} = R_D Q^2 \quad (4-6)$$

$$H_S - H_{NA} = R_C Q^2 \quad (4-7)$$

式中 H<sub>S</sub>—风机静压，Pa；

Q—DBB'CE 风路风量，m<sup>3</sup>/S；

R<sub>D</sub>、R<sub>C</sub>—分别为 DB 和 BB'C 分支风阻，N·S<sup>2</sup>/m<sup>8</sup>。

两式相除：

$$\frac{H_{NA} - H_{ND}}{H_S - H_{NA}} = \frac{R_D}{R_C} \quad (4-8)$$

此即 AB 段风流停滞条件式。

当上式变为

$$\frac{H_{NA} - H_{ND}}{H_S - H_{NA}} > \frac{R_D}{R_C} \quad (4-9)$$

则 AB 段风流反向。

由此可知防止 AB 风路风流反向的措施有：（1）加大 R<sub>D</sub>；（2）增大 H<sub>S</sub>；（3）在 A 点安装风机向巷

道压风。

## 第二节 矿用通风机的类型及构造

矿用通风机按其服务范围可分为三种：

- 1、主要通风机，服务于全矿或矿井的某一翼（部分）；
- 2、辅助通风机，服务于矿井网络的某一支（采区或工作面），帮助主通风机通风，以保证该分支风量；
- 3、局部通风机，服务于独头掘进井巷道等局部地区。

按构造和工作原理可分为：离心式通风机和轴流式通风机。

### 一、离心式通风机的构造和工作原理

#### 1、风机构造。

离心式通风机一般由：进风口、工作轮（叶轮）、螺形机壳和扩散器等部分组成。有的型号通风机在入风口中还有前导器。

吸风口有：单吸和双吸两种。

叶片出口构造角：风流相对速度  $w_2$  的方向与圆周速度  $u_2$  的反方向夹角称为叶片出口构造角，以  $\beta_2$  表示。

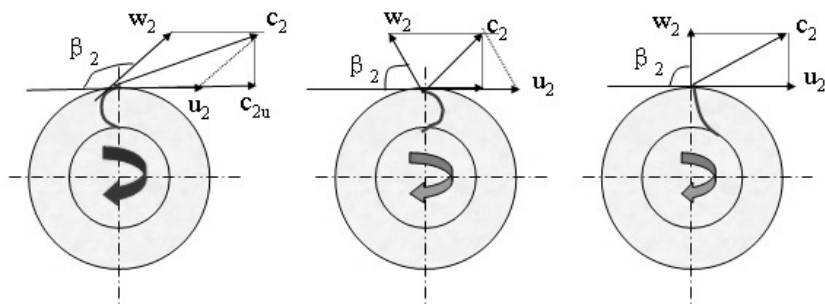


图 4-4 离心式通风机叶轮

离心式风机可分为：前倾式（ $\beta_2 > 90^\circ$ ）、径向式（ $\beta_2 = 90^\circ$ ）和后倾式（ $\beta_2 < 90^\circ$ ）三种。 $\beta_2$  不同，通风机的性能也不同。矿用离心式风机多为后倾式。

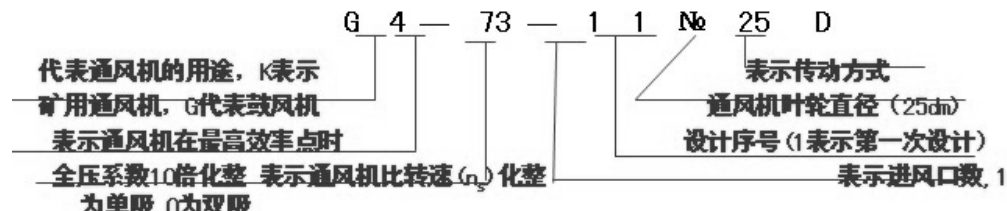
#### 2、工作原理

当电机通过传动装置带动叶轮旋转时，叶片流道间的空气随叶片旋转而旋转，获得离心力。经叶端被抛出叶轮，进入机壳。在机壳内速度逐渐减小，压力升高，然后经扩散器排出。与此同时，在叶片入口（叶根）形成较低的压力（低于吸风口压力），于是，吸风口的风流便在此压差的作用下流入叶道，自叶根流入，在叶端流出，如此源源不断，形成连续的流动。

#### 3、常用型号

目前我国煤矿使用的离心式风机主要有 G4-73、4-73 型和 K4-73 型等。这些品种通风机具有规格齐全、效率高和噪声低等特点。

型号参数的含义举例说明如下：



### 二、轴流式风机的构造和工作原理

#### 1、风机构造

主要由进风口、叶轮、整流器、风筒、扩散（芯筒）器和传动部件等部分组成。叶轮有一级和二级两种。

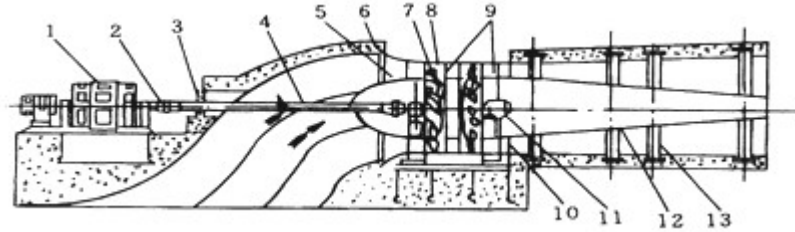


图 4-5 轴流式通风机的构造

1—电动机；2—联轴器；3—前隔板；4—主轴；5—进风口；6—中隔板；7—叶轮；  
8—主体风筒；9—整流器；10—后隔板；11—轴承；12—环形扩散器；13—拉筋板

2、工作原理

(1) 特点：在轴流式风机中，风流流动的特点是，当动轮转动时，气流沿等半径的圆柱面旋绕流出。

(2) 叶片安装角

在叶片迎风侧作一外切线称为弦线。弦线与动轮旋转方向 (u) 的夹角称为叶片安装角，以  $\theta$  表示。

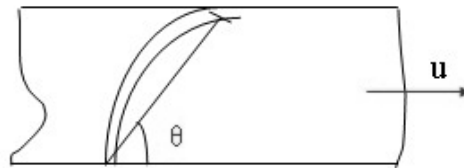


图 4-6 轴流式通风机的叶片安装示意图

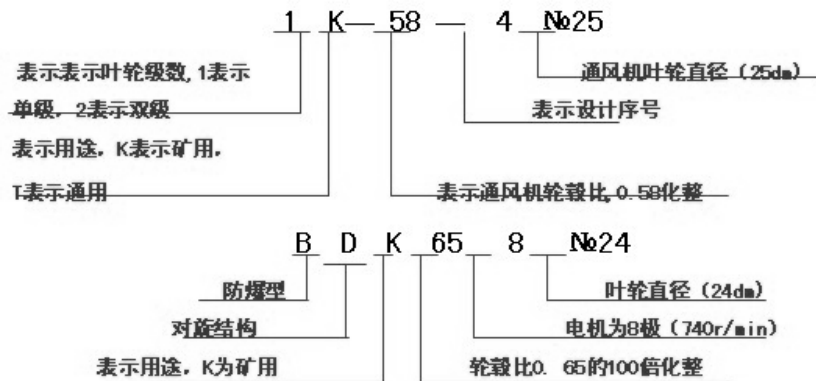
可根据需要在规定范围内调整。但每个动轮上的叶片安装角  $\theta$  必需保持一致。

(3) 工作原理

当动轮旋转时，翼栅即以圆周速度  $u$  移动。处于叶片迎面的气流受挤压，静压增加；与此同时，叶片背的气体静压降低，翼栅受压差作用，但受轴承限制，不能向前运动，于是叶片迎面的高压气流由叶道出口流出，翼背的低压区“吸引”叶道入口侧的气体流入，形成穿过翼栅的连续气流。

3、常用型号

目前我国煤矿在用的轴流式风机有 1K58、2K58、GAF 和 BD 或 BDK（对旋式）等系列轴流式风机。轴流式风机型号的一般含义是：



4、对旋风机的特点

一级叶轮和二级叶轮直接对接，旋转方向相反；机翼形叶片的扭曲方向也相反，两级叶片安装角一般相差  $3^\circ$ ；电机为防爆型安装在主风筒中的密闭罩内，与通风机流道中的含瓦斯气流隔离，密闭罩中有扁管与大气相通，以达到散热目的。

### 第三节 通风机附属装置

一、风硐

风硐是连接风机和井筒的一段巷道。通过风量大、内外压差较大，应尽量降低其风阻，并减少漏风。

二、扩散器(扩散塔)

作用：是降低出口速压以提高风机静压。

扩散器四面张角的大小视风流从叶片出口的绝对速度方向而定。总的原则是，扩散器的阻力小，出口动压小并无回流。

### 三、防爆门(防爆井盖)

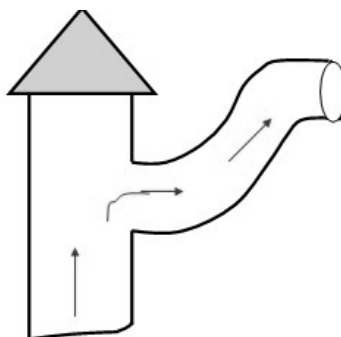


图 4-7 防爆门

在斜井井口安设防爆门，在立井井口安设防爆井盖。

作用：当井下一旦发生瓦斯或煤尘爆炸时，受高压气浪的冲击作用，自动打开，以保护主通风机免受毁坏；在正常情况下它是气密的，以防止风流短路。

### 四、反风装置和功能

作用：使井下风流反向的一种设施，以防止进风系统发生火灾时产生的有害气体进入作业区；有时为了适应救护工作也需要进行反风。

反风方法因风机的类型和结构不同而异。目前的反风方法主要有：

- (1) 设专用反风道反风；
- (2) 利用备用风机作反风道反风；
- (3) 轴流式风机反转反风
- (4) 调节动叶安装角反风。

要求：

定期进行检修，确保反风装置处于良好状态；动作灵敏可靠，能在 10min 内改变巷道中风流方向；结构要严密，漏风少；反风量不应小于正常风量的 40%；每年至少进行一次反风演习。

### 【本次课的重点和难点】

- 1、主要通风机的实际工作参数及工作特性；
- 2、主要通风机水柱计读数；
- 3、类型风机曲线与比例定律
- 4、风机的工况点和合理工作范围；
- 5、风机的联合运转

## 第四节 通风机实际特性曲线

### 一、通风机的参数

表示通风机性能的主要参数是风压  $H$ 、风量  $Q$ 、风机轴功率  $N$ 、效率  $\eta$  和转速  $n$  等。

#### (一) 风机(实际)流量 $Q$

风机的实际流量一般是指实际时间内通过风机入口空气的体积，亦称体积流量。单位为  $m^3/h, m^3/min$  或  $m^3/s$ 。

#### (二) 风机(实际)全压 $H_t$ 与静压 $H_s$

全压  $H_t$ ：是通风机对空气做功，消耗于每  $1m^3$  空气的能量 ( $N \cdot m/m^3$  或  $Pa$ )，其值为风机出口风流的全压与入口风流全压之差。

忽略自然风压时， $H_t$  用以克服通风管网阻力  $h_k$  和风机出口动能损失  $h_v$ ，即：

$$H_t = h_R + h_v, (Pa) \quad (4-10)$$

静压：克服管网通风阻力的风压称为通风机的静压  $H_s$  ( $Pa$ )，

$$H_s = h_R = RQ^2 \quad (4-11)$$

因此

$$H_t = H_s + h_v \quad (4-12)$$

## (三) 通风机的功率

全压功率：通风机的输出功率以全压计算时称全压功率  $N_t$ 。计算式：

$$H_t = H_t Q \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (4-13)$$

静压功率：用风机静压计算输出功率，称为静压功率  $N_s$ 。计算式：

$$H_s = H_s Q \times 10^{-3} \text{ kW} \quad (4-14)$$

风机的轴功率，即通风机的输入功率  $N$  (kW)。计算式：

$$N = \frac{N_t}{h_t} = \frac{H_t Q}{1000 h_t} \quad (4-15)$$

或

$$N = \frac{N_s}{h_s} = \frac{H_s Q}{1000 h_s} \quad (4-16)$$

式中  $\eta_t$ 、 $\eta_s$  分别为风机的全压和静压效率。

电动机的输入功率 ( $N_m$ ):

设电动机的效率为  $\eta_m$ , 传动效率为  $\eta_{tr}$  时, 则

$$N_m = \frac{N}{h_m h_{tr}} = \frac{H_t Q}{1000 h_t h_m h_{tr}} \quad (4-17)$$

## 二、通风系统主要参数关系—风机房水柱计示值含义

## 1、抽出式通风矿井

(1) 水柱 (压差) 计示值与矿井通风阻力和风机静压之间关系

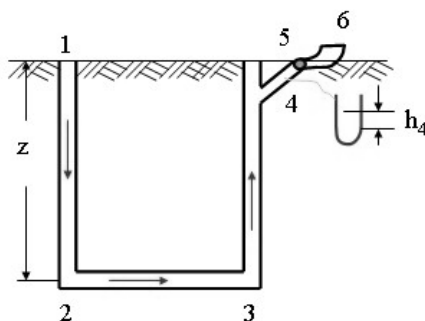


图 4-8 抽出式矿井水柱计示意图

水柱计示值:即为 4 断面相对静压  $h_4$ , 故

$$h_4 (\text{负压}) = P_4 - P_{04} \quad (4-18)$$

沿风流方向, 对 1、4 两断面, 列伯努力方程:

$$h_{R14} = (P_1 + h_{v1} + r_{m12} g Z_{12}) - (P_4 + h_{v4} + r_{m34} g Z_{34}) \quad (4-19)$$

由风流入口边界条件:  $P_{t1} = P_{01}$ , 即

$$P_1 + h_{v1} = P_{t1} = P_{01} \quad (4-20)$$

又因 1 与 4 断面同标高, 所以  $P_{01} = P_{04}$ . 且:

$$r_{m12} g Z_{12} - r_{m34} g Z_{34} = H_N \quad (4-21)$$

故上式可写为:

$$h_{R14} = P_{04} - P_4 - h_{v4} + H_N \quad (4-22)$$

$$h_{R14} = |h_4| - h_{v4} + H_N \quad (4-23)$$

即

$$h_4 = h_{R14} + h_{v4} - H_N \quad (4-24)$$

即: 风机房水柱计示值反映了矿井通风阻力和自然风压等参数的关系。

(2) 风机房水柱计示值与风机风压之间关系

类似地对 4、5 断面 (扩散器出口) 列伯努力方程, 忽略两断面之间的位能差。扩散器的阻力

$$h_{Rd} = (P_5 + h_{v5}) - (P_6 + h_{v6}) \quad (4-25)$$

风流出口边界条件:

$$P_6 = P_{06} = P_{05} = P_{04} \quad (4-26)$$

故

$$h_{Rd} = (P_5 + h_{v5}) - (P_{04} + h_{v6}) = P_{t5} - P_{04} - h_{v6} \quad (4-27)$$

即

$$h_{t5} = h_{Rd} + P_{04} + h_{v6} \quad (4-28)$$

因为风机全压

$$H_t = P_{t5} - P_{t4} = (h_{Rd} + P_{04} + h_{v6}) - (P_4 + h_{v4}) \quad (4-29)$$

$$H_t = |h_4| - h_{v4} + h_{Rd} + h_{v6} \quad (4-30)$$

若忽略  $h_{Rd}$  不计, 则

$$H_t \cong |h_4| - h_{v4} + h_{v6} \quad (4-31)$$

风机静压

$$H_s \cong |h_4| - h_{v4} \quad (4-32)$$

(3)  $H_t$ 、 $H_N$ 、 $h_R$  之间的关系

综合上述两式:

$$\begin{aligned} H_t &= |h_4| - h_{v4} + h_{Rd} + h_{v6} = (h_{R14} + h_{v4} - H_N) - h_{v4} + h_{Rd} + h_{v6} \\ &= h_{R14} + h_{Rd} + h_{v6} - H_N \end{aligned} \quad (4-33)$$

即

$$H_t + H_N = h_{R14} + h_{Rd} + h_{v6} \quad (4-34)$$

表明: 扇风机风压和自然风压联合作用, 克服矿井和扩散器的阻力, 以及扩器出口动能损失。

## 2、压入式通风的系统

对 1、2 两断面列伯努力方程得:

$$h_{R12} = (P_1 + h_{v1} + r_{m1}gz_1) - (P_2 + h_{v2} + r_{m2}gz_2) \quad (4-35)$$

∵ 边界条件及 1、2 同标高:

$$\therefore P_2 = P_{02} = P_{01}$$

$$\text{故有: } P_1 - P_2 = P_1 - P_{01} = h_1$$

$$(P_1 + h_{v1} + r_{m1}gz_1) - (P_2 + h_{v2} + r_{m2}gz_2) = H_N$$

故上式可写为

$$h_{R12} = h_1 + h_{v1} - h_{v2} + H_N \quad (4-36)$$

即

$$h_1 = h_{R12} + h_{v2} - H_N - h_{v1} \quad (4-37)$$

又

$$H_t = P_{t1} - P_{t1'} = P_{t1} - P_{01} = P_1 + h_{v1} - P_{01} = h_1 + h_{v1} \quad (4-38)$$

同理可得:

$$H_t + H_N = h_{R12} + h_{v2} \quad (4-39)$$

## 三、通风机的个体特性曲线

### 1、工况点

当风机以某一转速、在风阻  $R$  的管网上工作时, 可测算出一组工作参数 (风压  $H$ 、风量  $Q$ 、功率  $N$ 、和效率  $\eta$ ), 这就是该风机在管网风阻为  $R$  时的工况点。

### 2、个体特性曲线

不断改变  $R$ , 得到许多的  $Q$ 、 $H$ 、 $N$ 、 $\eta$ 。以  $Q$  为横坐标, 分别以  $H$ 、 $N$ 、 $\eta$  为纵坐标, 将同名的点用光滑的曲线相连, 即得到个体特性曲线。

### 3、通风机装置

把外接扩散器看作通风机的组成部分, 总称之为通风机装置。

### 4、通风机装置的全压 $H_{td}$

扩散器出口与风机入口风流的全压之差，与风机的全压 $H_t$ 之关系为：

$$H_{td} = H_t - h_d \quad (4-40)$$

式中  $h_d$ —扩散器阻力。

5、通风机装置的静压 $H_{sd}$

$$H_{sd} = H_{td} - h_{vd} = H_t - (h_d + h_{vd}) \quad (4-41)$$

6、 $H_s$ 和 $H_{sd}$ 的关系

$$\because H_s = H_t - h_{vd}$$

$$\text{而 } H_{sd} = H_{td} - h_{vd} = H_t - (h_d + h_{vd})$$

$$\therefore \text{只有当 } h_d + h_{vd} < h_{vd} \text{ 时, 才有 } H_{sd} > H_s,$$

即通风机装置阻力与其出口动能损失之和小于通风机出口动能损失时，通风机装置的静压才会因加扩散器而有所提高，即扩散器起到回收动能的作用。

7、 $H_t$ 、 $H_{td}$ 、 $H_s$ 和 $H_{sd}$ 之间的关系图

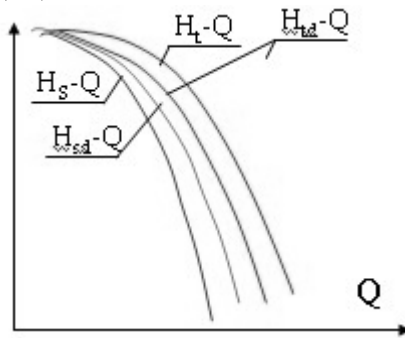


图 4-9  $H_t$ 、 $H_{td}$ 、 $H_s$  和  $H_{sd}$  之间的关系图

8、离心式通风机个体特性曲线

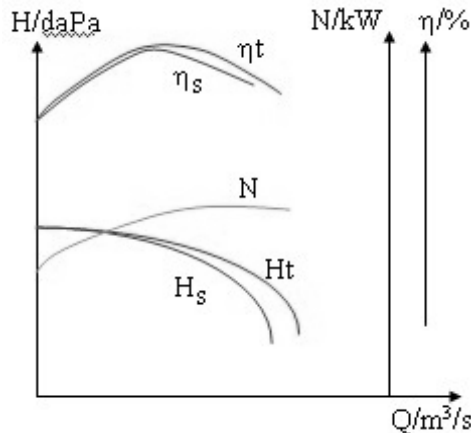


图 4-10 离心式通风机个体特性曲线

特点：

(1) 离心式风机风压曲线驼峰不明显，且随叶片后倾角度增大逐渐减小，其风压曲线工作段较轴流式风机平缓；

(2) 当管网风阻作相同量的变化时，其风量变化比轴流式风机要大；

(3) 离心式风机的轴功率 $N$ 随 $Q$ 增加而增大，只有在接近风流短路时功率才略有下降。

风机开启方式：离心式风机在启动时应将风硐中的闸门全闭，待其达到正常转速后再将闸门逐渐打开。

说明：

(1) 离心式风机大多是全压特性曲线。

(2) 当供风量超过需风量过大时，常常利用闸门加阻来减少工作风量，以节省电能。

9、轴流式通风机个体特性曲线

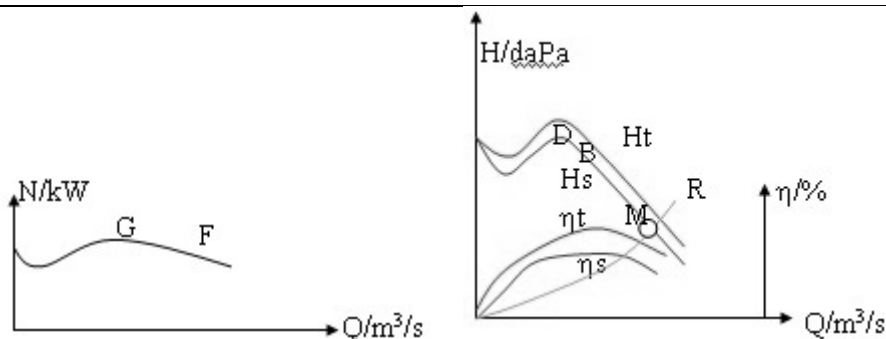


图 4-11 轴流式通风机个体特性曲线

特点:

- (1) 轴流式风机的风压特性曲线一般都有马鞍形驼峰存在;
- (2) 驼峰点D以右的特性曲线为单调下降区段, 是稳定工作段;
- (3) 点D以左是不稳定工作段, 产生所谓喘振(或飞动)现象;
- (4) 轴流式风机的叶片装置角不太大时, 在稳定工作段内, 功率随Q增加而减小。

风机开启方式: 轴流式风机应在风阻最小(闸门全开)时启动, 以减少启动负荷。

说明: 轴流式风机给出的大多是静压特性曲线。

### 三、无因次系数与类型特性曲线

#### (一) 无因次系数

##### 1. 通风机的相似条件

比例系数: 两个通风机相似是指气体在风机内流动过程相似, 或者说它们之间在任一对应点的同名物理量之比保持常数, 这些常数叫相似常数或比例系数。

几何相似是风机相似的必要条件, 动力相似则是相似风机的充分条件。

##### 2. 无因次系数

#### (1) 压力系数 $\bar{H}$

同系列风机在相似工况点的全压和静压系数均为一常数, 可用下式表示:

$$\frac{H}{ru^2} = \bar{H} = \text{常数} \quad (4-42)$$

式中  $u$  为圆周速度,  $\bar{H}$  为压力系数。

#### (2) 流量系数 $\bar{Q}$

$$\frac{Q}{\frac{\rho}{4} D^2 u} = \bar{Q} = \text{常数} \quad (4-43)$$

#### (3) 功率系数 $\bar{N}$

风机轴功率  $N = \frac{HQ}{1000h}$ , 计算公式中的  $H$  和  $Q$  分别上式代入得:

$$\frac{1000N}{\frac{\rho}{4} r D^2 u^3} = \frac{\bar{H}\bar{Q}}{h} = \bar{N} = \text{常数} \quad (4-44)$$

同系列风机在相似工况点的效率相等, 功率系数为常数。 $\bar{H}$ 、 $\bar{Q}$ 、 $\bar{N}$  三个参数都不含有因次, 因此叫无因次系数。

#### (二) 类型特性曲线

根据风机模型的几何尺寸、实验条件及实验时所得的工况参数  $Q$ 、 $H$ 、 $N$  和  $\eta$ 。利用上三式计算出该系列风机的  $\bar{H}$ 、 $\bar{Q}$ 、 $\bar{N}$  和  $\eta$ 。然后以  $\bar{Q}$  为横坐标, 以  $\bar{H}$ 、 $\bar{N}$  和  $\eta$  为纵坐标, 绘出  $\bar{Q}-\bar{H}$ 、 $\bar{Q}-\bar{N}$  和  $\eta-\bar{Q}$  曲线, 此曲线即为该系列风机的类型特性曲线。

### 四、比例定律与通用特性曲线

#### 1. 比例定律

同类型风机它们的压力  $H$ 、流量  $Q$  和功率  $N$  与其转速  $n$ 、尺寸  $D$  和空气密度  $\rho$  成一定比例关系，这种比例关系叫比例定律。

将转速  $u = \pi Dn/60$  代入无因次系数关系式得：

$$H = 0.00274 r D^2 n^2 \bar{H} \quad (4-45)$$

$$Q = 0.04108 D^3 n \bar{Q} \quad (4-46)$$

$$N = 1.127 \times 10^7 r D^5 n^3 \bar{N} \quad (4-47)$$

对于 1、2 两个相似风机而言， $\bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$ 、 $\bar{H}_1 = \bar{H}_2$ 、 $\bar{N}_1 = \bar{N}_2$ ，

$$\therefore \frac{H_1}{H_2} = \frac{0.00274 r_1 D_1^2 n_1^2 \bar{H}_1}{0.00274 r_2 D_2^2 n_2^2 \bar{H}_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (4-48)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{0.04108 D_1^3 n_1 \bar{Q}_1}{0.04108 D_2^3 n_2 \bar{Q}_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \cdot \frac{n_1}{n_2} \quad (4-49)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{1.127 r_1 D_1^5 n_1^3 \bar{N}_1}{1.127 r_2 D_2^5 n_2^3 \bar{N}_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (4-50)$$

## 2、通用特性曲线

根据比例定律，把一个系列产品的性能参数  $H$ 、 $Q$ 、 $n$ 、 $D$ 、 $N$ 、和  $\eta$  等相互关系同画在一个坐标图上，叫通用曲线

【例 4-1】某矿使用主要通风机为 4-72-11№20B 离心式风机，图上给出三种不同转速  $n$  的  $H$ - $Q$  曲线。转速为  $n_1=630\text{r/min}$ ，风机工作风阻  $R=0.0547 \times 9.81=0.53657\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ，工况点为  $M_0(Q=58\text{m}^3/\text{s}, H_1=1805\text{Pa})$ ，后来，风阻变为  $R'=0.7932\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ，矿风量减小不能满足生产要求，拟采用调整转速方法保持风量  $Q=58\text{m}^3/\text{s}$ ，求转速调至多少？

解：

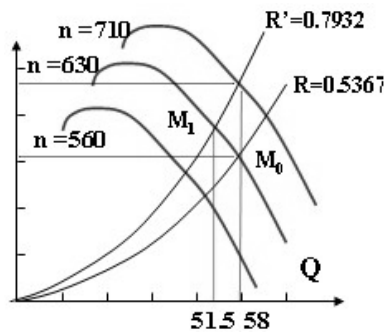


图 4-12

同型号风机，故其直径相等。由比例定律有：

$$n_2 = n_1 Q_2 / Q_1 = 630 \times 58 / 51.5 = 710\text{r/min}$$

即转速应调至  $n_2=710\text{r/min}$ ，可满足供风要求。

## 第五节 通风机工况点及其经济运行

### 一、工况点的确定方法

工况点：风机在某一特定转速和工作风阻条件下的工作参数，如  $Q$ 、 $H$ 、 $N$  和  $\eta$  等，一般是指  $H$  和  $Q$  两参数。

求风机工况点的方法：

#### 1、图解法

理论依据是：风机风压特性曲线的函数式为  $H = f(Q)$ ，管网风阻特性曲线函数式是  $h = R Q^2$ ，风机风压  $H$  是用以克服阻力  $h$ ，所以  $H = h$ ，因此两曲线的交点，即两方程的联立解。可见图解法的前提是风压与其所克服的阻力相对应。

方法：在风机风压特性 ( $H-Q$ ) 曲线的坐标上，按相同比例作出工作管网的风阻曲线，与风压曲

线的交点之坐标值,即为通风机的的工作风压和风量。通过交点作Q轴垂线,与N—Q和η—Q曲线相交,交点的纵坐标即为风机的轴功率N和效率η。

$$R_s = R_m - (R_v - R_d - R_{vd}) \tag{4-51}$$

式中  $R_v$ ——相当于风机出口动能损失的风阻,  $R_v = \frac{r}{2S_v^2}$ ;

$S_v$ ——风机出口断面,即外接扩散器入口断面;

$R_d$ ——扩散器风阻;

$R_{vd}$ ——相当于扩散器出口动能损失的风阻,  $R_{vd} = \frac{r}{2S_{vd}^2}$ ;

$S_{vd}$ ——为扩散器出口断面。

若使用通风机全压特性曲线H—Q,则需用全压风阻R<sub>t</sub>作曲线,且若使用通风机装置全压特性曲线H<sub>td</sub>—Q,则装置全压风阻应为R<sub>td</sub>,且

$$R_t = R_m + R_d + R_{vd} \tag{4-52}$$

应当指出,在一定条件下运行时,不论是否安装外接扩散器,通风机全压特性曲线是唯一的,而通风机装置的全压和静压特性曲线则因所安扩散器的规格、质量而有所变化。

### 2、解方程法

随着电子计算机的应用,复杂的数学计算已成为可能。风机的风压曲线可用下面多项式拟合

$$H = a_0 + a_1Q + a_2Q^2 + a_3Q^3 \tag{4-53}$$

式中  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ ——曲线拟合系数。

对于某一特定矿井,可列出通风阻力方程

$$h = RQ^2 \tag{4-54}$$

式中 R为通风机工作管网风阻。

联立上述两方程,即可得到风机工况点。

### 二、通风机工点的合理工作范围

- 1、从经济角度,通风机的运转效率不低于60%。
- 2、从安全角度,工况点必须位于驼峰点右侧,单调下降的直线段。
- 3、实际工作风压不得超过最高风压的90%。
- 4、风机的运转转速不得超过额定转速。

### 三、主要通风机工况点调节

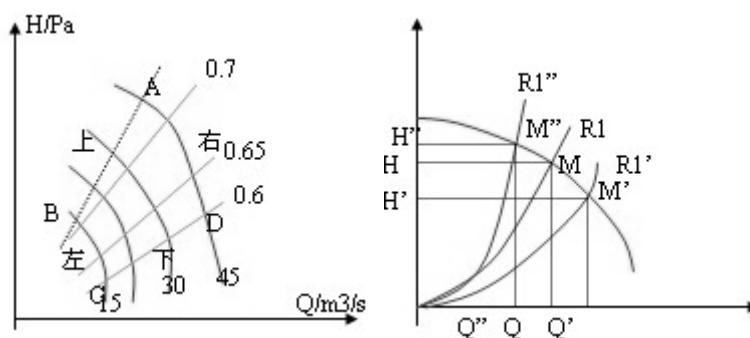


图 4-13 风阻特性曲线

工点调节方法主要有:

#### 1、改变风阻特性曲线

当风机特性曲线不变时,改变工作风阻,工况点沿风机特性曲线移动。

##### 1) 增风调节。

为了增加矿井的供风量,可以采取下列措施:

- (1) 减少矿井总风阻。
- (2) 当地面外部漏风较大时,可以采取堵塞地面的外部漏风措施。

##### 2) 减风调节。

当矿井风量过大时,应进行减风调节。其方法有:

- (1) 增阻调节。
- (2) 对于轴流式通风机,可以用增大外部漏风的方法,减小矿井风量。

2、改变风机特性曲线

这种调节方法的特点是矿井总风阻不变，改变风机特性，工况点沿风阻特性曲线移动。

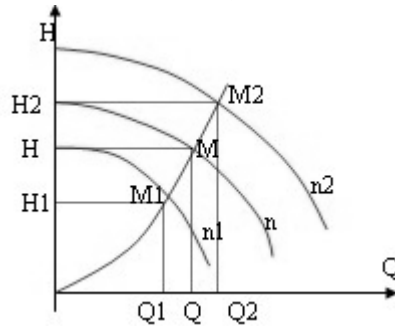


图 4-14 风机特性曲线

调节方法有：

- 1) 轴流风机可采用改变叶片安装角度达到增减风量的目的。
- 2) 装有前导器的离心式风机，可以改变前导器叶片转角进行风量调节。
- 3) 改变风机转速。无论是轴流式风机还是离心式风机都可采用。调节的理论依据是相似定律，即

$$\frac{n}{n_0} = \frac{Q}{Q_0} = \sqrt{\frac{H}{H_0}} = \sqrt[3]{\frac{N}{N_0}} \quad (4-55)$$

- (1) 改变电机转速。
- (2) 利用传动装置调速。

调节方法的选择，取决于调节期长短、调节幅度、投资大小和实施的难易程度。调节之前应拟定多种方案，经过技术和经济比较后择优选。选用时，还要考虑实施的可能性。有时，可以考虑采用综合措施。

## 第六节 通风机的联合运转

两台或两台以上风机在同一管网上工作,叫风机联合工作。风机联合工作可分为串联和并联两大类。

### 一、风机串联工作

一个风机的吸风口直接或通过一段巷道（或管道）联结到另一个风机的出风口上同时运转，称为风机串联工作。

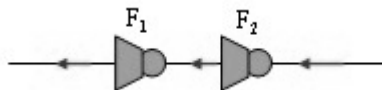


图 4-15 风机串联工作原理

特点：

- 1、通过管网的总风量等于每台风机的风量，即  $Q=Q_1=Q_2$ 。
- 2、总风压等于两台风机的工作风压之和，即  $H=H_1+H_2$ 。

#### (一)、两台风压特性曲线不同风机串联工作分析

##### 1、串联风机的等效特性曲线。

作图方法：按风量相等，风压叠加的原则。

##### 2、风机的实际工况点。

在风阻为  $R$  管网上风机串联工作，各风机的实际工况点按下述方法求得：

在等效风机特性曲线  $I+II$  上作管网风阻特性曲线  $R_1$ ，两者交点为  $M_0$ ，过  $M_0$  作横坐标垂线，分别与曲线  $I$  和  $II$  相交于  $M_1$  和  $M_2$ ，此两点即是两风机的实际工况点。

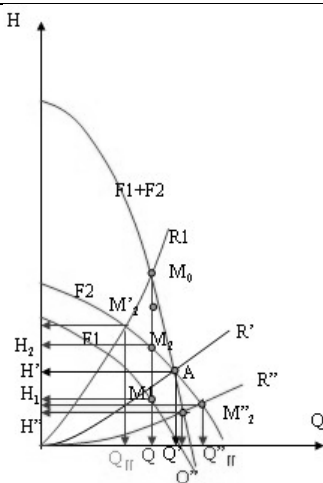


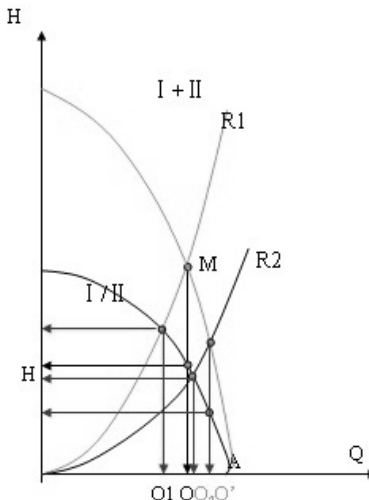
图 4-16 风机实际工作点分析

效果分析:

用等效风机产生的风量  $Q$  与能力较大风机的  $F_2$  单独工作产生风量  $Q_{II}$  之差表示。

- (1)  $R=R_1>R'$ , 工况点位于 A 点以上,  $\Delta Q=Q-Q_{II}>0$ , 则表示串联有效;
- (2)  $R=R'$  工况点与 A 点重合,  $\Delta Q=Q'-Q'_{II}=0$ , 则串联无增风;
- (3)  $R=R''<R'$ , 工况点位于 A 点以下,  $\Delta Q=Q''-Q''_{II}<0$ , 则表示串联有害。

(二)、风压特性曲线相同风机串联工作



4-17 两台特性曲线相同的风机串联工作

两台特性曲线相同的风机串联工作。由图 4-17 可见, 临界点 A 位于 Q 轴上。这就意味着在整个合成曲线范围内串联工作都是有效的, 不过工作风阻不同增风效果不同而已。

结论:

- 1、风机串联工作适用于因风阻大而风量不足的管网;
- 2、风压特性曲线相同的风机串联工作较好;
- 3、串联合成特性曲线与工作风阻曲线相匹配, 才会有较好的增风效果。
- 4、串联工作的任务是增加风压, 用于克服管网过大阻力, 保证按需供风。

(三)、风机与自然风压串联工作

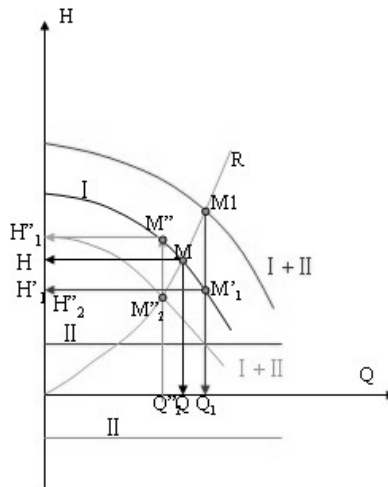


图 4-18 风压与自然风压串联示意图

1、自然风压特性

自然风压特性是指自然风压与风量之间的关系。自然风压随风量增大略有增大。风机停止工作时自然风压依然存在。故一般用平行 Q 轴的直线表示自然风压的特性。

2、自然风压对风机工况点影响

自然风压对机械风压的影响，类似于两个风机串联工作。

结论：当自然风压为正时，机械风压与自然风压共同作用克服矿井通风阻力，使风量增加；当自然风压为负时，成为矿井通风阻力。

二、通风机并联工作

两台风机的吸风口直接或通过一段巷道连结在一起工作叫通风机并联。风机并联分为：集中并联和对角并联之分。

(一) 集中并联

特点：

- (1)、 $H = H_1 = H_2$
- (2)、 $Q = Q_1 + Q_2$

1、风压特性曲线不同风机集中并联工作

(1) 作图方法

原则：风压相等，风量相加的原则。

方法：根据上述原则在同一坐标系中将两条风机特性曲线 (I, II) 合成。

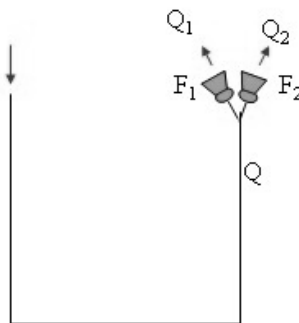


图 4-19 通风机并联示意图

(2) 工况分析

用并联等效风机产生的风量 Q 与能力较大风机的  $F_1$  单独工作产生风量  $Q_1$  之差来分析 I+II 合成曲线与 I 风机曲线交点，临界点 A,  $R'$  临界风阻

- ①、当工作风阻  $R=R'$  时，工况点位于 A 点右下侧， $\Delta Q=Q-Q_1>0$ ，并联有效；
- ②、当工作风阻  $R=R'$  时，工况点与 A 点重合， $\Delta Q=Q-Q_1=0$ ，并联增风无效；
- ③、当工作风阻  $R=R''>R'$  时，工况点位于 A 点左上侧， $\Delta Q=Q-Q_1<0$ ，并联有害。

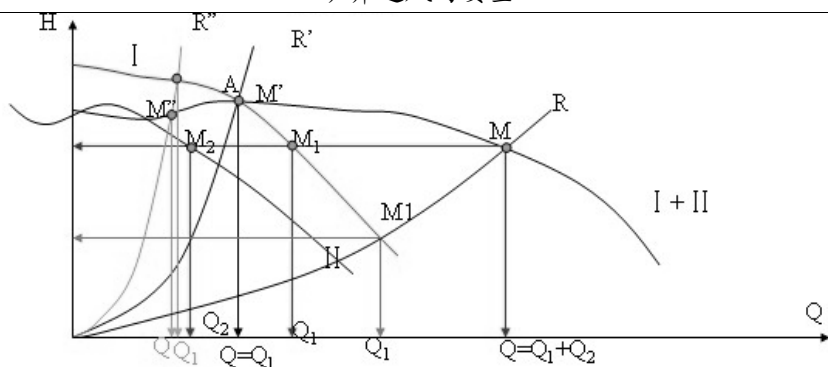


图 4-20 工况分析

2、风压特性曲线相同风机并联工作

$M_1$  为风机的实际工况点； $M$  为并联合成工况点。

由图 4-21 可见，总有  $\Delta Q = Q - Q_1 > 0$ ，且  $R$  越小， $\Delta Q$  越大。

结论：

- (1)、风机并联工作适用于因风机能力小，风阻小而风量不足的管网；
- (2)、风压特性曲线相同的风机并联工作较好；
- (3)、并联合成特性曲线与工作风阻曲线相匹配，才会有较好的增风效果。
- (4)、并联工作的任务是增加风量，用于风机能力小，保证按需供风。

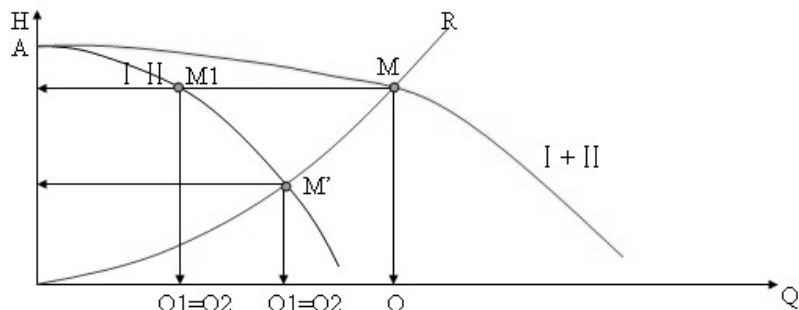


图 4-21 风压特性曲线相同风机并联工作

(二) 对角并联工况分析

两台不同型号风机  $F_1$  和  $F_2$  的特性曲线分别为 I、II，各自单独工作的管网分别为 OA（风阻为  $R_1$ ）和 OB（风阻为  $R_2$ ），共同工作于公共风路 OC（风阻为  $R_0$ ）。分析方法：

(1)、按等风量条件下把风机  $F_1$  的风压与风路 OA 的的阻力相减的原则，求风机  $F_1$  为风路 OA 服务后的剩余特性曲线  $I'$ 。

(2)、同理得到剩余特性曲线  $II'$ 。

(3)、按风压相等风量相加原理求得等效风机  $F_1'$  和  $F_2'$  集中并联的特性曲线  $III'$ 。

(4)、特性曲线  $III'$ ，它与风路 OC 的风阻  $R_0$  曲线交点  $M_0$ ，由此可得 OC 风路的风量  $Q_0$ 。

(5)、过  $M_0$  作 Q 轴平行线与特性曲线  $I'$  和  $II'$  分别相交于  $M_1'$  和  $M_2'$  点。

(6)、过  $M_1'$  和  $M_2'$  点作 Q 轴垂线与曲线 I 和 II 相交于  $M_I$  和  $M_{II}$ ，此即在两个风机的实际工况点。

结论：每个风机的实际工况点  $M_I$  和  $M_{II}$ ，既取决于各自风路的风阻，又取决于公共风路的风阻。

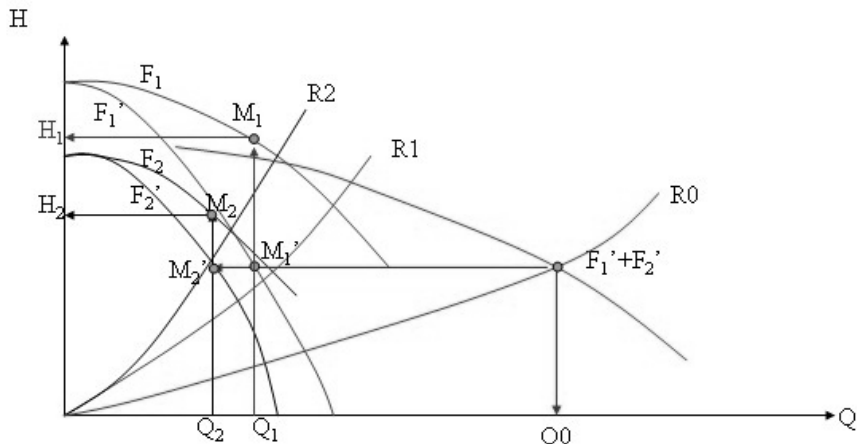
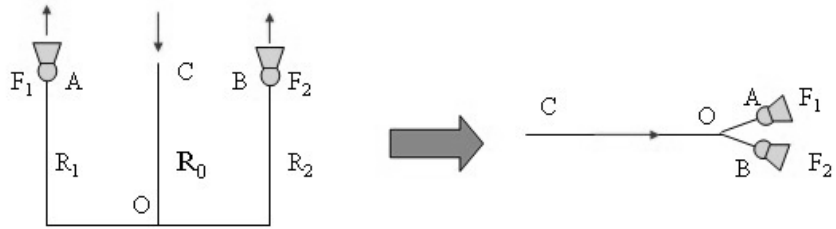


图 4-22 对角并联工况分析

### 三、并联与串联工作的比较

以一离心式风机风压特性曲线为例。

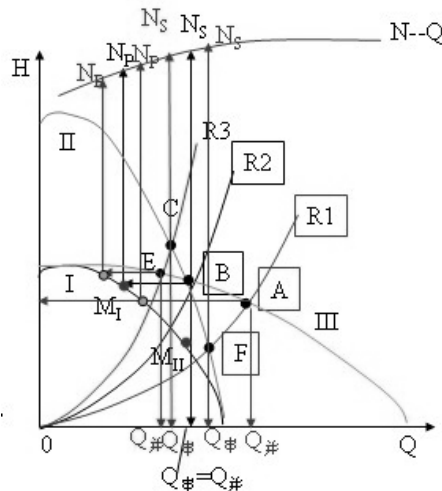


图 4-23 并联与串联工作比较

当风阻  $R_2$  通过 B 点时，两者增风效果相同（两者实际工况点分别为  $M_I$  和  $M_{II}$ ），但串联功率大于并联功率，即  $Q_{\text{并}}=Q_{\text{串}}$ ， $N_{\text{串}} > N_{\text{并}}$ 。当风阻为  $R_1$  时， $Q_{\text{并}} > Q_{\text{串}}$ ， $N_{\text{串}} > N_{\text{并}}$ 。当风阻为  $R_3$  时， $Q_{\text{串}} > Q_{\text{并}}$ ， $N_{\text{串}} > N_{\text{并}}$ 。

结论：

- (1) 并联适用于管网风阻较小，但因风机能力小导致风量不足的情况；
- (2) 风压相同的风机并联运行较好；
- (3) 轴流式风机并联作业时，若风阻过大则可能出现不稳定运行。所以，使用轴流式风机并联工作时，除要考虑并联效果外，还要进行稳定性分析。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

- 1、通风机性能试验的内容是测量通风机的\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，并计算通风机的\_\_\_\_\_，然后绘出通风机实际运转\_\_\_\_\_。
- 2、主要通风机的附属装置包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。

3. 矿用通风机按服务范围 and 起的作用分为三种, 即\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 反映通风机工作特性的基本参数有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 防爆门是指装有通风机的井筒为防止瓦斯爆炸时毁坏风机的安全设施。作用有三: 一是\_\_\_\_\_; 二是当风机停止运转是, 打开防爆门, 可使矿井保持自然通风; 三是防止风流短路的作用;
6. 矿井通风阻力包括摩擦阻力和局部阻力。用以克服通风阻力的通风动力包括\_\_\_\_\_和自然风压。
7. 矿用通风机按结构和工作原理不同可分为轴流式和\_\_\_\_\_两种; 按服务范围不同可为\_\_\_\_\_、辅助通风机和\_\_\_\_\_。
8. 矿井主要通风机有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两大类。
9. 矿井通风机必须装有\_\_\_\_\_, 要求在 10 min 内改变巷道中风流方向。
10. 矿井通风方式是指\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的布置方式。
11. 安装在地面的, 向全矿井、一翼或 1 个分区供风的通风机是\_\_\_\_\_。
12. 矿用风机按其用途, 可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三种。
13. 矿井通风设施按其作用不同可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
14. 矿井的通风动力包括机械风压和\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

1. 两条风阻值相等的巷道, 若按串联和并联 2 种不同的连接方式构成串联和并联网络, 其总阻值相差\_\_\_\_\_倍。  
A 2      B 4      C 8
2. 三条风阻值相等的巷道, 若按串联和并联 2 种不同的连接方式构成串联和并联网络, 其总阻值相\_\_\_\_\_倍。  
A 16      B 24      C 27      D 32
3. 下列选项的变化不会对自然风压造成影响的是\_\_\_\_\_。  
A、温度    B、通风方式    C、开采深度    D、风量

## 三、判断题

1. 局部通风机一般用 220V 和 380V 两种电压工作。
2. 机械通风矿井不存在自然风压。
3. 防爆门在正常情况下应是半开的, 以便在事故发生时发挥作用。
4. 防爆门是指装有通风机的井筒为防止瓦斯爆炸时毁坏通风机的安全设施。
5. 并联风路的总风压等于任一条风路的分风压。
6. 通风机串联通风可以增大通风的压力。
7. 矿长应组织有关部门每季度至少检查 3 次反风设施。
8. 主要通风机的附属风硐内风速要小于 15 m/s。
9. 防爆门的作用不仅起到保护风机的作用, 还能起到防止风流短路的作用;
10. 矿井反风能够起到防止灾害扩大, 所以, 矿井要经常进行反风操作。
11. 并联网络的总风压等于任一支的风压, 总风量等于并联分支风量之和。
12. 串联网络的总风压等于任一支的风压, 总风量等于串联分支风量之和。

## 四、简答题

1. 自然风压是怎样产生的? 进、排风井井口标高相同的井巷系统内是否会产生自然风压?
2. 影响自然风压大小和方向的主要因素是什么? 能否用人为的方法产生或增加自然风压?
3. 如图 4-1 所示的井巷系统, 当井巷中空气流动时, 2、3 两点的绝对静压力之差是否等于自然风压? 为什么?
4. 什么叫通风机的工况点? 如何用图解法求单一工作或联合工作通风机的工况点, 举例说明。
5. 试述通风机串联或并联工作的目的及其适用条件。
6. 描述主要通风机特性的主要参数有哪些? 其物理意义是什么?
7. 轴流式通风机和离心式通风机的风压和功率特性曲线各有什么特点? 在启动时应注意什么问题?
8. 主要通风机附属装置各有什么作用? 设计和施工时应符合哪些要求?
9. 矿井反风的目的是什么?
10. 试分析串、并联通风的优缺点, 《煤矿安全规程》中对采、掘煤工作面之间的串、并联通风有何要求?
11. 为什么要降低通风阻力? 用什么方法减少通风阻力?
12. 比较串联风路与并联风网的特点。

## 五、计算题

1. 如题表 4-1 所示的井巷系统, 各点空气的物理参数如下表, 求该系统的自然风压。

题表 4-1

#### 第四章 矿井通风动力

测点	0	1	2	3	4	5	6
t/°C	-5	-3	10	15	23	23	20
P/Pa	98924.9	100178.2	102751.2	105284.4	102404.6	100071.5	98924.9
/%	0.5			0.95			

2. 某矿抽出式通风, 主要通风机型号为 4-72-11 16 型, 转速  $n=630 \text{ r/min}$ , 矿井风阻  $=0.73575 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 扩散器出口断面  $=6.72 \text{ m}^2$ , 风阻  $=0.03576 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$  (自然风压忽略)。用作图法求主要通风机的工况点。
3. 某矿主要通风机为 4-72-11 16 离心风机,  $n=800 \text{ r/min}$ , 主要通风机的全压工作风阻  $=1.962 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 在冬季自然风压  $=196.2 \text{ Pa}$ . 夏季  $=98.1 \text{ Pa}$ . 求冬夏两季主要通风机的实际工况点
4. 某矿通风系统, 风机 I 为 4-72-11 20,  $n=630 \text{ r/min}$ , II 为 4-72-11 16,  $n=710 \text{ r/min}$ ,  $=0.2943 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $=0.981 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $=1.4715 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 试用图解法求两翼风机的工况点及各段风路的通风阻力。(忽略自然风压和主要通风机装置各部分阻力损失)
5. 如题表 4-1 所示, 1、2 两点分别安装风机  $F_1$  和  $F_2$ , 进风井 A 和 B 的入风量拟定为  $=40 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $=30 \text{ m}^3/\text{s}$ , 已知  $=0.981 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $=1.4715 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $=2.943 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ,  $=0.249 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ , 用做图法求主要通风机工况点及风路 C 中风流流向。
6. 如题表 4-1 所示, 图中  $F_1$  和  $F_2$  的型号同题 4-9, 风阻、 $\rho$ 、 $h_{\text{静}}$  和  $h_{\text{自}}$  之值如题表 4-1, 用做图法求风机工况点和风路 C 中风流方向。
7. 某矿对轴流式通风机进行性能试验。通风机的叶片安装角度为  $30^\circ$ , 转数为  $910 \text{ r/min}$ , 在处 A—A 进行工况点调节, 在 1—1 处用风表测定风量, 在 2—2 处设静压管, 测定相对静压。  $S_1=S_2=4.88 \text{ m}^2$ , 扩散器断面  $S_3=7.36 \text{ m}^2$ ,  $v_1=9.86 \text{ m/s}$ ,  $h_{\text{静}2}=397 \text{ mmH}_2\text{O}$ ; 空气密度  $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$ ;  $h_{\text{自}}=200 \text{ Pa}$  (帮助通风)。同时测得电动机电流  $I=27 \text{ A}$ , 电压  $U=6270 \text{ V}$ , 功率因数  $\cos \phi=0.83$ , 电动机的效率  $\eta_{\text{电}}=0.9$ 。试求:

- (1) 通风机的风量  $Q_{\text{通}}$ ;
- (2) 通风机的风压 ( $h_{\text{通静}}$ 、 $h_{\text{通全}}$ );
- (3) 通风机的输入功率;
- (4) 通风机的输出功率 ( $P_{\text{全出}}$ 、 $P_{\text{静出}}$ );
- (5) 通风机的效率 ( $\eta_{\text{全}}$ 、 $\eta_{\text{静}}$ );
- (6) 矿井的通风总阻力  $h_{\text{阻矿}}$ 。

#### 六、名词解释

- 1、自然通风
- 2、反风

## 第五章 矿井通风网络中风量分配与调节

### 【本章主要内容及重点和难点】

- 1、风量分配基本定律—三大定律
- 2、网络图及网络特性
  - 1)简单网络
  - 2)角联及复杂网络
- 3、网络的动态分析
- 4、矿井风量调节
- 5、计算机解算复杂网络

矿井通风系统是由纵横交错的井巷构成的一个复杂系统。用图论的方法对通风系统进行抽象描述，把通风系统变成一个由线、点及其属性组成的系统，称为通风网络。

### 第一节 风量分配基本规律

#### 一、矿井通风网络与网络图

##### (一) 矿井通风网络

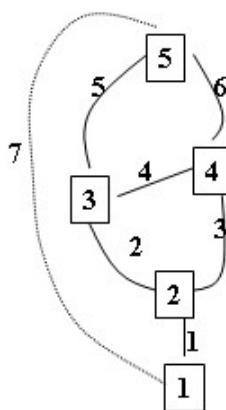


图 5-1 矿井通风网络图

通风网络图：用直观的几何图形来表示通风网络。

(1)、分支（边、弧）：表示一段通风井巷的有向线段，线段的方向代表井巷中的风流方向。每条分支可有一个编号，称为分支号。

(2)、节点（结点、顶点）：是两条或两条以上分支的交点。

(3)、路（通路、道路）：是由若干条方向相同的分支首尾相连而成的线路。如图 5-1 中，1—2—5、1—2—4—6 和 1—3—6 等均是通路。

(4)、回路：由两条或两条以上分支首尾相连形成的闭合线路称为回路。如图中，2—4—3、2—5—6—3 和 1—3—6—7。

(5)、树：是指任意两节点间至少存在一条通路但不含回路的一类特殊图。由于这类图的几何形状与树相似，故得名。树中的分支称为树枝。包含通风网络的全部节点的树称为其生成树，简称树。

##### (二) 矿井通风网络图

特点：

(1)、通风网络图只反映风流方向及节点与分支间的相互关系，节点位置与分支线的形状可以任意改变。

(2)、能清楚地反映风流的方向和分合关系，并且是进行各种通风计算的基础，因此是矿井通风管理的一种重要图件。

网络图两种类型：一种是与通风系统图形状基本一致的网络图；另一种是曲线形状的网络图。但一般常用曲线网络图。

绘制步骤：

(1)节点编号

在通风系统图上给井巷的交汇点标上特定的节点号。

(2)绘制草图

在图纸上画出节点符号，并用单线条（直线或弧线）连接有风流连通的节点。

(3)图形整理

按照正确、美观的原则对网络图进行修改。

通风网络图的绘制原则：

(1)用风地点并排布置在网络图中部，进风节点位于其下边；回风节点在网络图的上部，风机出口节点在最上部；

(2)分支方向基本都应由下至上；

(3)分支间的交叉尽可能少；

(4)网络图总的形状基本为“椭圆”形。

(5)合并节点，某些距离较近、阻力很小的几个节点，可简化为一个节点。

(6)并分支，并联分支可合并为一条分支。

### 二、风量平衡定律

风量平衡定律是指在稳态通风条件下，单位时间流入某节点的空气质量等于流出该节点的空气质量；或者说，流入与流出某节点的各分支的质量流量的代数和等于零，即

$$\sum M_i = 0 \quad (5-1)$$

若不考虑风流密度的变化，则流入与流出某节点的各分支的体积流量（风量）的代数和等于零，即：

$$\sum Q_i = 0 \quad (5-2)$$



图 5-2 风量平衡图

如图 5-2a，节点 4 处的风量平衡方程为：

$$Q_{1-4} + Q_{2-4} + Q_{3-4} - Q_{4-5} - Q_{4-6} = 0 \quad (5-3)$$

将上述节点扩展为无源回路，则上述风量平衡定律依然成立。如图 5-2b 所示，回路 2-4-5-7-2 的各邻接分支的风量满足如下关系：

$$Q_{1-2} + Q_{3-4} - Q_{5-6} - Q_{7-8} = 0 \quad (5-4)$$

### 三、能量平衡定律

假设：一般地，回路中分支风流方向为顺时针时，其阻力取“+”，逆时针时，其阻力取“-”。

(一) 无动力源 ( $H_n$ 、 $H_f$ )

通风网路图的任一回路中，无动力源时，各分支阻力的代数和为零，即：

$$\sum h_{Ri} = 0 \quad (5-5)$$

$$h_{R6} - h_{R3} - h_{R4} - h_{R2} = 0 \quad (5-6)$$

如图 5-3，对回路 2 - 3 - 4 - 6 中有：

(二) 有动力源

设风机风压  $H_f$ ，自然风压  $H_n$ 。

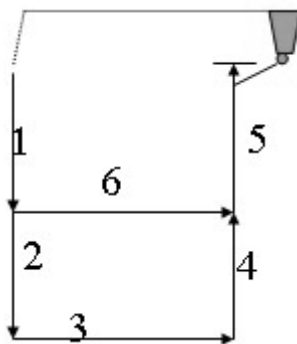


图 5-3 有动力源示意图

如图 5-3，对回路 1—2—3—4—5—1 中有：

$$H_f + H_N = h_{R1} + h_{R2} + h_{R3} + h_{R4} + h_{R5} \quad (5-7)$$

一般表达式为：

$$H_f \pm H_N = \sum h_{Ri} \quad (5-8)$$

即：能量平衡定律是指在任一闭合回路中，各分支的通风阻力代数和等于该回路中自然风压与通风机电压的代数和。

## 第二节 简单网络特性

### 一、串联风路

由两条或两条以上分支彼此首尾相连，中间没有风流分汇点的线路称为串联风路。如图 5-2-1 所示，由 1, 2, 3, 4, 5 五条分支组成串联风路。

(一) 串联风路特性

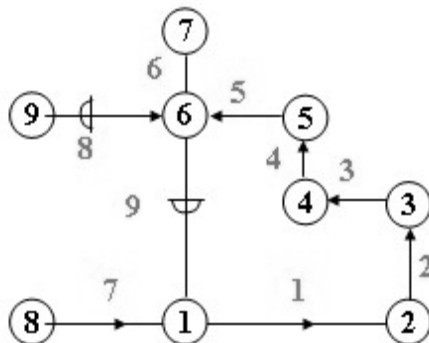


图 5-4 串联风路特性

1. 总风量等于各分支的风量，即

$$M_s = M_1 = M_2 = \dots = M_n \quad (5-9)$$

当各分支的空气密度相等时，

$$Q_s = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n \quad (5-10)$$

2. 总风压（阻力）等于各分支风压（阻力）之和，即：

$$h_s = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i \quad (5-11)$$

3. 总风阻等于各分支风阻之和，即：

$$R_s = h_s / Q_s^2 = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{Q_s^2} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i \quad (5-12)$$

4. 串联风路等积孔与各分支等积孔间的关系：

$$A_s = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_2^2} + \dots + \frac{1}{A_n^2}}} \quad (5-13)$$

其中,

$$A_i = \frac{1.19}{\sqrt[2]{R_i}} \quad (5-14)$$

$$A_i = \frac{1.19^2}{A_i^2} \quad (5-15)$$

$$A_s = \frac{1.19}{\sqrt[2]{R_i}} = \frac{1.19}{\sqrt{\sum R_i}} = \frac{1.19}{\sqrt{\sum \frac{1.19^2}{A_i^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\sum \frac{1}{A_i^2}}} \quad (5-16)$$

(二) 串联风路等效阻力特性曲线的绘制

根据以上串联风路的特性, 可以绘制串联风路等效阻力特性曲线。

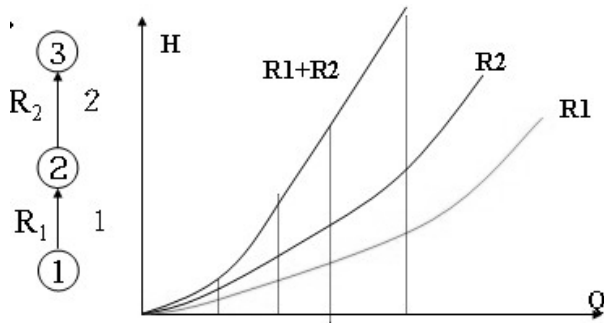


图 5-5 串联风路等效阻力特性曲线

方法:

- (1)、首先在  $h-Q$  坐标图上分别作出串联风路 1、2 的阻力特性曲线  $R_1$ 、 $R_2$ ;
- (2)、根据串联风路“风量相等, 阻力叠加”的原则, 作平行于  $h$  轴的若干条等风量线, 在等风量线上将 1、2 分支阻力  $h_1$ 、 $h_2$  叠加, 得到串联风路的等效阻力特性曲线上的点;
- (3)、将所有等风量线上的点联成曲线  $R_3$ , 即为串联风路的等效阻力特性曲线。

二、并联风网

由两条或两条以上具有相同始节点和末节点的分支所组成的通风网络, 称为并联风网。如图 5-6 所示并联风网由 5 条分支并联

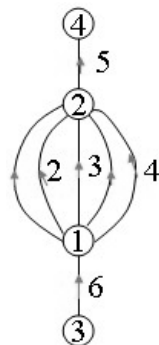


图 5-6 并联风路示意图

(一) 并联风路特性

1. 总风量等于各分支的风量之和, 即

$$M_s = M_1 + M_2 + \dots + M_n = \sum_{i=1}^n M_i \quad (5-17)$$

当各分支的空气密度相等时,

$$Q_s = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (5-18)$$

2.总风压等于各分支风压

即

$$h_s = h_1 = h_2 = \dots = h_n \quad (5-19)$$

注意：当各分支的位能差不相等，或分支中存在风机等通风动力时，并联分支的阻力并不相等。

3.并联风网总风阻与各分支风阻的关系

$$\because h_s = R_s Q_s^2 \quad Q_s = \sqrt{h_s / R_s}$$

$$\therefore Q_s = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$\text{又} \because \frac{\sqrt{h_s}}{R_s} = \sqrt{\frac{h_1}{R_1}} + \sqrt{\frac{h_2}{R_2}} + \dots + \sqrt{\frac{h_n}{R_n}}$$

$$\therefore \frac{1}{\sqrt{R_s}} \sqrt{\frac{1}{R_1}} + \sqrt{\frac{1}{R_2}} + \dots + \sqrt{\frac{1}{R_n}}$$

即：

$$R_s = h_s / Q_s^2 = \frac{1}{\left( \sqrt{\frac{1}{R_1}} + \sqrt{\frac{1}{R_2}} + \dots + \sqrt{\frac{1}{R_n}} \right)^2} \quad (5-20)$$

4.并联风网等积孔等于各分支等积孔之和，即

$$A_s = \frac{1.19}{\sqrt{R_c}} = 1.19 \left( \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right) \quad (5-21)$$

$$A_s = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (5-22)$$

5.并联风网的风量分配

若已知并联风网的总风量，在不考虑其它通风动力及风流密度变化时，可由下式计算出分支 i 的风量。

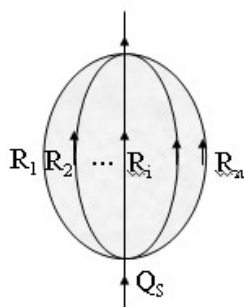


图 5-7 并联风网的风量分配示意图

$$\because h_i = h_s$$

$$\text{即 } R_i Q_i^2 = R_s Q_s^2$$

$$Q_i = \sqrt{\frac{R_s}{R_i}} Q_s$$

$\therefore$

$$Q_i = \frac{Q_s}{\sqrt{\frac{R_1}{R_2}}} = \frac{Q_s}{\sqrt{R_1} \left( \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} \right)} \quad (5-23)$$

(二) 并联风路等效阻力特性曲线的绘制

根据以上并联风路的特性，可以绘制并联风路等效阻力特性曲线。

方法：

(1)、首先在  $h-Q$  坐标图上分别作出并联风路 1、2 的阻力特性曲线  $R_1、R_2$ ；

- (2)、根据并联风路“风压(阻力)相等,风量叠加”的原则,作平行于  $Q$  轴的若干条等风压线,在等风压线上将 1、2 分支阻力  $h_1$ 、 $h_2$  叠加,得到并联风路的等效阻力特性曲线上的点;
- (3)、将所有等风压线上的点联成曲线  $R_3$ ,即为并联风路的等效阻力特性曲线。

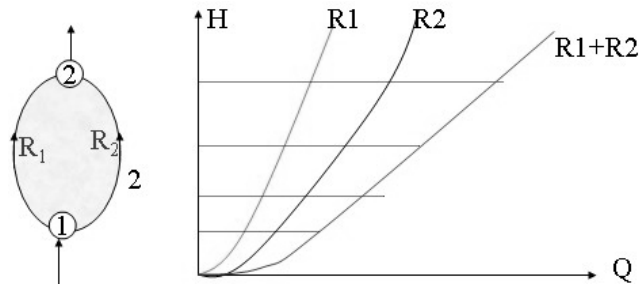


图 5-8 并联风路等效阻力特性曲线的绘制

### 三、串联风路与并联风网的比较

在任何一个矿井通风网络中,都同时存在串联与并联风网。在矿井的进、回风风路多为串联风路,而采区内部多为并联风网。

并联风网的优点:

- (1)、从提高工作地点的空气质量及安全性出发,采用并联风网具有明显的优点。
- (2)、在同样的分支风阻条件下,分支并联时的总风阻小于串联时的总风阻。

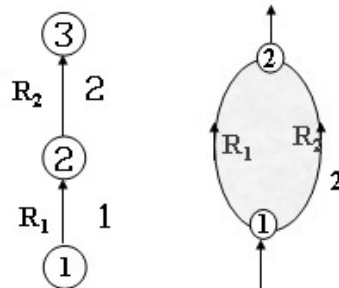


图 5-9 串联风路与并联风网的比较

例如:若  $R_1=R_2=0.04 \text{ kg/m}^7$

串联:  $R_{s1} = R_1 + R_2 = 0.08 \text{ kg/m}^7$

并联:

$$R_{s2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{0.04}} + \frac{1}{\sqrt{0.04}}\right)} = 0.01, (\text{kg/m}^7) \quad (5-24)$$

$\therefore R_{s1} : R_{s2} = 8 : 1$

即在相同风量情况下,串联的能耗为并联的 8 倍。

### 四、角联网

(一) 几个概念

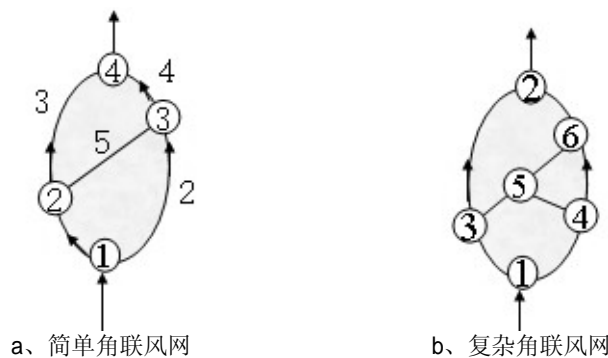


图 5-10 角联网示意图

角联网:是指内部存在角联分支的网络。

角联分支(对角分支):是指位于风网的任意两条有向通路之间、且不与两通路的公共节点相连的分支,如图 5-10(a)。

简单角联网:仅有一条角联分支的风网。

复杂角联网:含有两条或两条以上角联分支的风网。

(二) 角联分支风向判别

原则：分支的风向取决于其始、末节点间的压能值。风流由能位高的节点流向能位低的节点；当两点能位相同时，风流停滞；当始节点能位低于末节点时，风流反向。

判别式（以简单角联为例）：

1、分支 5 中无风

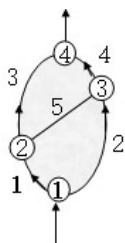


图 5-11 分支 5 中无风角联接

$$\because Q_5 = 0 \therefore Q_1 = Q_3, Q_2 = Q_4$$

由风压平衡定律： $h_1 = h_2, h_3 = h_4$

由阻力定律： $R_1 Q_1^2 = R_2 Q_2^2, R_3 Q_3^2 = R_4 Q_4^2$

$$\text{两式相比得: } \frac{R_1 Q_1^2}{R_3 Q_3^2} = \frac{R_2 Q_2^2}{R_4 Q_4^2}$$

即

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (5-25)$$

或写为：

$$K = \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} = 1 \quad (5-26)$$

2、当分支 5 中风向由 2→3

节点②的压能高于节点③，则  $h_{R2} > h_{R1}$  即： $R_2 Q_2^2 > R_1 Q_1^2, \frac{R_2}{R_1} > \frac{Q_1^2}{Q_2^2} = \frac{(Q_3 + Q_5)^2}{Q_2^2}$

即

$$R_3 Q_3^2 > R_4 Q_4^2 \quad (5-27)$$

同理， $h_{R3} > h_{R4}$

即

$$\frac{R_4}{R_3} < \frac{Q_3^2}{Q_4^2} = \frac{Q_3^2}{(Q_3 + Q_2)^2} \quad (5-28)$$

$$\text{又} \because \frac{Q_3}{(Q_2 + Q_3)} < \frac{Q_3 + Q_5}{Q_2}$$

$$\therefore \frac{R_4}{R_3} < \frac{Q_3^2}{(Q_3 + Q_2)^2} < \frac{(Q_3 + Q_5)^2}{Q_2^2} < \frac{R_2}{R_1}$$

即

$$\frac{R_1}{R_3} < \frac{R_2}{R_4} \quad (5-29)$$

或写为：

$$K = \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} < 1 \quad (5-30)$$

3、分支 5 中的风向由 3→2

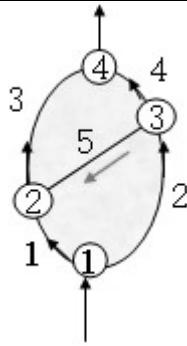


图 5-12 分支 5 的风向由 3→2 示意图

同理可得：

$$\frac{R_1}{R_3} > \frac{R_2}{R_4} \quad (5-31)$$

或写为：

$$K = \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} > 1 \quad (5-32)$$

∴ 改变角联分支两侧的边缘分支的风阻就可以改变角联分支的风向。对图示简单角联网，可推导出如下角联分支风流方向判别式：

$$K = \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} \begin{cases} > 1, & \text{分支5中风向由3} \rightarrow \text{2;} \\ = 1, & \text{分支5中风流停滞;} \\ < 1, & \text{分支5中风向由2} \rightarrow \text{3.} \end{cases} \quad (5-33)$$

### 第三节 通风网络动态特性分析

#### 一、井巷风阻变化引起风流变化的规律

##### 1. 变阻分支本身的风量与风压变化规律

当某分支风阻增大时，该分支的风量减小、风压增大；当风阻减小时，该分支的风量增大、风压降低。

##### 2. 变阻分支对其它分支风量与风压的影响规律

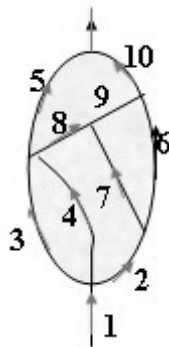


图 5-13 变阻分支对其它分支风量与风压的影响规律

(1) 当某分支风阻增大时，包含该分支的所有通路上的其它分支的风量减小，风压亦减小；与该分支并联的通路上的分支的风量增大，风压亦增大；当风阻减小时与此相反。

(2) 对于一进一出的子网络，若外部分支调阻引起其流入（流出）风量变化，其内部各分支的风量变化趋势相同。

(3) 风网内，某分支风阻变化时，各分支风量、风压的变化幅度，以本分支为最大，邻近分支次之，离该分支越远的分支变化越小。

(4) 风网内，不同类型的分支风阻变化引起的风量变化幅度和影响范围是不同的。一般地说，主干巷道变阻引起的风量变化幅度和影响范围大，末支巷道变阻引起的风量变化幅度和影响范围小。

(5) 风网内某分支增阻时, 增阻分支风量减小值比其并联分支风量增加值大; 某分支减阻时, 减阻分支风量增加值比其并联分支风量减小值大。

### 3. 巷道密闭与贯通对风流的影响

巷道密闭相当于该分支的风阻增大至 $\infty$ , 故本分支风量减少到趋近于0; 对其它分支的影响规律与分支增阻相同。

巷道贯通时要修改网络图, 即在网络图中增加贯通后的分支。风流方向取决于巷道两端点间压能差; 对其它分支的影响规律与分支减阻相同。

## 二、风流稳定性分析

### (一) 稳定性的基本概念

稳定性是指当系统受到外界瞬时干扰, 系统状态偏离了平衡状态后, 系统状态自动回复到该平衡状态的能力。

按照这种稳定性的概念, 除非在主要通风机不稳定运行(工作在轴流式风机风压特性曲线的驼峰区)等特殊情况下, 矿井通风系统一般都是稳定的。

通风管理中所说的风流稳定性, 一般是指井巷中风流方向发生变化或风量大小变化超过允许范围的现象; 且多指风流方向发生变化的现象。

### (二) 影响风流稳定性的因素

#### 1. 风网结构对风流稳定性的影响

仅由串、并联组成的风网, 其稳定性强; 角联网, 其对角分支的风流易出现不稳定。

#### 2. 风阻变化对风流稳定性的影响

在角联网中, 边缘分支的风阻变化可能引起角联分支风流改变。

在实际生产矿井, 大多数采掘工作面都是在角联分支中。应采取安装调节风门的措施, 保证风流的稳定性。

#### 3. 通风风动力变化对风流稳定性的影响

矿井风网内主要通风机、辅助通风机数量和性能的变化, 不仅会引起风机所在巷道的风量变化, 而且会使风网内其他分支风量也发生变化, 并影响风网内其他风机的工况点。

### (三) 具体如下

(1) 单主要通风机风网, 当主要通风机性能发生变化时, 风网内各分支风量按主要通风机风量变化的趋势和比率而变化。

(2) 多主要通风机风网内, 当某主要通风机性能发生变化时, 整个风网内各分支风量不按比例变化。

(3) 多主要通风机风网内, 即使风网结构和分支风阻不变, 当某主要通风机性能发生变化时, 由于风网总风量和各主要通风机风量配置发生了变化, 因此, 各主要通风机的工作风阻与风网总风阻也有所变化。

(4) 风网内, 某巷道安设辅助通风机后, 不仅该巷道本身风流发生变化, 其他巷道风流也变化。当某辅助通风机风量增大时, 辅助通风机所在巷道风量增加, 包含辅助通风机在内的闭合回路中, 与辅助通风机风向一致的各巷风量增加, 与其风向相反的各巷风量减小。

当辅助通风机风压过高或风量过大时, 可引起其并联分支风量不足、停风、甚至反向。引起并联分支风流反向的条件是辅助通风机风量大于回路的总风量或辅助通风机风压大于回路内其同向分支的风压损失。

(5) 自然风压引起的风流变化, 与辅助通风机相似。

## 第四节 矿井风量调节

随着生产的发展和变化, 工作面的推进和更替, 巷道风阻、网络结构及所需的风量均在不断变化, 要求及时进行风量调节。

从调节设施来看, 有通风机、射流器、风窗、风幕和增加并联井巷或扩大通风断面等。按其调节的范围, 可分为局部风量调节与矿井总风量调节。从通风能量的角度看, 可分为增能调节、耗能调节和节能调节。

### 一、局部风量调节

局部风量调节是指在采区内部各工作面间, 采区之间或生产水平之间的风量调节。调节方法: 增阻法、减阻法及辅助通风机调节法。

(一)增阻调节法

增阻调节法是在通过在巷道中安设调节风窗等设施，增大巷道中的局部阻力，从而降低与该巷道处于同一通路中的风量，或增大与其关联的通路上的风量。增阻调节是一种耗能调节法

主要措施：(1)调节风窗；(2)临时风帘；(3)空气幕调节装置等。使用最多的是调节风窗。

风窗调节法原理分析

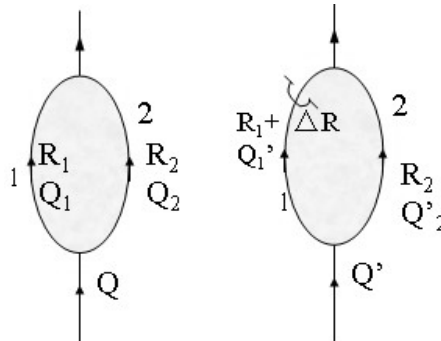


图 5-14 风窗调节法原理分析示意图

如图 5-14 1, 2 分支风阻分别为  $R_1$  和  $R_2$ , 风量分别为  $Q_1, Q_2$ 。则两分支的阻力为： $h_1=R_1Q_1^2$ ,  $h_2=R_2Q_2^2$ , 且  $h_1=h_2$ 。若分支 2 风量不足。可在 1 分支中设置调节窗。设调节风窗产生的局部风阻为  $\Delta R$ 。

$$\begin{aligned} \because (R_1+\Delta R)Q_1'^2 &= R_2Q_2'^2 \\ \therefore \end{aligned}$$

$$\Delta R = R_2 \frac{Q_2'^2}{Q_1'^2} - R_1 \tag{5-34}$$

但增阻后，并联系统总风阻增大。使  $Q' < Q$ ，由于  $Q'$  未知，实际计算过程中，假设  $Q' = Q$ 。已知  $\Delta R$  后，可计算调节风窗面积。

使用条件：增阻分支风量有富余。

特点：增阻调节法具有简单、方便、易行、见效快等优点；但增阻调节法会增加矿井总风阻，减少总风量。

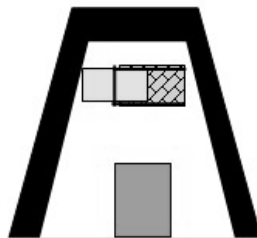


图 5-15 调节风窗开口面积示意图

调节风窗开口面积计算：

当  $S_c/S \leq 0.5$  时，

$$S_c = \frac{QS}{0.65Q + 0.84S\sqrt{h_c}} \tag{5-35}$$

$$S_c = \frac{S}{0.65 + 0.84S\sqrt{R_c}} \tag{5-36}$$

当  $S_c/S > 0.5$  时，

$$S_c = \frac{QS}{Q + 0.759S\sqrt{h_c}} \tag{5-37}$$

$$S_c = \frac{S}{1 + 0.759S\sqrt{R_c}} \tag{5-38}$$

式中  $S_c$ —调节风窗的断面积， $m^2$ ；

$S$ —巷道的断面积， $m^2$ ；

$Q$ —通达风量， $m^3/s$ ；

$h_c$ —调节风窗阻力， $Pa$ ；

$R_c$ —调节风窗的风阻,  $N \cdot s^2/m^8$ ;  $R_c = h_c / Q^2$ 。

(二)减阻调节法

减阻调节法是在通过巷道中采取降阻措施,降低巷道的通风阻力,从而增大与该巷道处于同一通路中的风量,或减小与其关联通路上的风量。

主要措施:

- (1)扩大巷道断面;
- (2)降低摩擦阻力系数;
- (3)清除巷道中的局部阻力物;
- (4)采用并联风路;
- (5)缩短风流路线的总长度等。

特点:可以降低矿井总风阻,并增加矿井总风量;但降阻措施的工程量和投资一般都较大,施工工期较长,所以一般在对矿井通风系统进行较大的改造时采用。

(三)增能调节法

增能调节法主要是采用辅助通风机等增加通风能量的方法,增加局部地点的风量。

主要措施:(1)辅助通风机调节法。(2)利用自然风压调节法。

特点:增能调节法的施工相对比较方便,不须降低矿井总风阻,增加矿井总风量,同时可以减少矿井主通风机能耗。但采用辅助通风机调节时设备投资较大,辅助通风机的能耗较大,且辅助通风机的安全管理工作比较复杂,安全性较差。

二、矿井总风量的调节

当矿井(或一翼)总风量不足或过剩时,需调节总风量,也就是调整主通风机的工况点。采取的措施是:改变主通风机的工作特性,或改变矿井风网的总风阻。

(一)改变主通风机工作特性

改变主通风机的叶轮转速、轴流式风机叶片安装角度和离心式风机前导器叶片角度等,可以改变通风机的风压特性,从而达到调节风机所在系统总风量的目的。

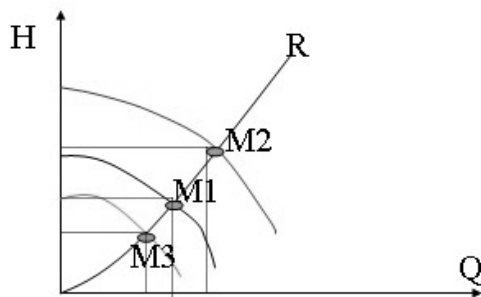


图 5-16 主通风机工作特性曲线图

(二)改变矿井总风阻值

1.风硐闸门调节法

如果在风机风硐内安设调节闸门,通过改变闸门的开口大小可以改变风机的总工作风阻,从而可调节风机的工作风量。

2.降低矿井总风阻

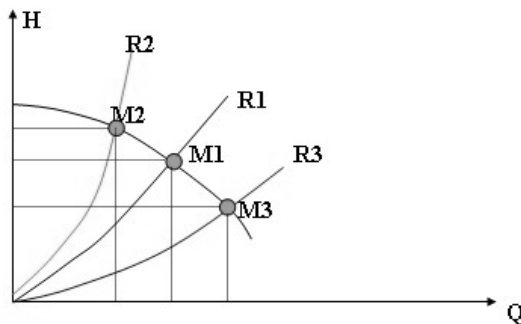


图 5-17 矿井总风阻曲线图

当矿井总风量不足时,如果能降低矿井总风阻,则不仅可增大矿井总风量,而且可以降低矿井总阻力。

## 第五节 应用计算机解算复杂通风网络

目的：已知风网各分支风阻和主通风机的特性，求算主要通风机的工况点，各分支的风量和风向，以便验算各用风地点的风量和风整速是否符合规程要求。

原理：依据风量平衡定律、风压平衡定律、阻力定律

方法：

(1) 回路法

假设风网中每一回路内各分支的风向和风量开始，逐渐修正风量，使之满足风压平衡定律。

(2) 节点法

假设风网中每一回路内各分支节点压力值开始，逐渐修正压力分布，使之满足风量平衡定律。

### 一、改进的斯考德—恒斯雷试算法——回路法

回路风量：把风流在风网中的流动看成是在一些互不重复的独立的闭合回路中各有一定的风量在循环，这种风量称为回路风量。

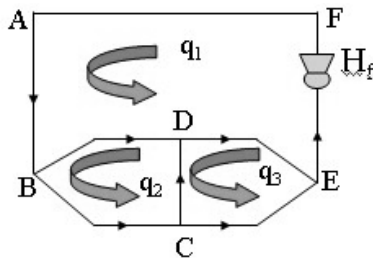


图 5-18 回路法示意图

如图：回路：ABDEF(风量  $q_1$ )、BCDB( $q_2$ )、DCED( $q_3$ )

独立分支：

只属于一个回路的分支。反之，为非独立分支。且满足：独立分支(M)=分支总数(B)-节点数(J)+1 如：BC、CE、EFAB—独立分支， BD、DE、CD—非独立分支

基本思路：

初拟风网中各回路风量(如  $q_1$   $q_2$   $q_3$ )，使其满足风网中节点风量平衡定律，然后利用风压平衡定律对其逐一进行修正，从而得各分支假设风量，经把迭代计算修正，各回路风压逐渐趋于平衡，这样各分支风量逐渐接近真实值。

回路风量修正值 ( $\Delta Q$ ):

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2}{2 \sum_{i=1}^n |R_i Q_i|} \quad (5-39)$$

回路中各分支阻力代数和，当分支流向与回路流向一致时，取“+”，反之，取“-”。

当回路中有  $H_f$  和  $H_n$  时：

$$\Delta Q = \frac{-\sum_{i=1}^n R_i Q_i^2 - H_f \mp H_n}{2 \sum_{i=1}^n |R_i Q_i| \mp H_f} \quad (5-40)$$

故分支风量为：

$$Q_i' = Q_i \pm \Delta Q \quad (5-41)$$

## 本章复习思考题

### 一、填空题

1. 复杂通风网络解算依据的三个基本定律是\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 串联巷道各处的风量是\_\_\_\_\_的；并联巷道各分支的风压是\_\_\_\_\_。
3. 通风网络中各分支的基本联结形式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和角联，不同的联结形式具有不同的通风特性和安全效果。

### 二、选择题

1. 下列选项不属于通风网络的基本连接形式的是\_\_\_\_\_。

- A、串联 B、并联； C、混联 D、角联
- 2、进、回风井之间和主要进、回风巷之间的每个联络巷中，必须砌筑\_\_\_\_\_。
- A、两道风门 B、三道风门 C、临时挡风墙 D、永久挡风墙
- 3、两条并联的巷道，风阻大的\_\_\_\_\_。
- A、风压大 B、风速小 C、风量大 D、风量小
- 4、任一闭合回路中，无通风机时各井巷中的\_\_\_\_\_的代数和为零。
- A. 风压 B. 风速 C. 风流

三、判断题

角联风路的风向容易发生逆转是由于该风路的风阻太大。

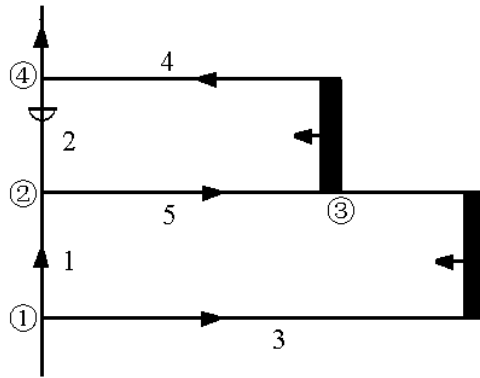
四、简答题

- 1、什么是通风网络？其主要构成元素是什么？
- 2、如何绘制通风网络图？对于给定矿井其形状是否固定不变？
- 3、简述节点、路、回路、网孔、生成树、余树的基本概念的含义。
- 4、矿井通风网络中风流流动的基本规律有哪几个？写出其数学表达式。
- 5、简述矿井通风风量的增阻调节法。
- 6、写出角联分支的风向判别式，分析影响角联分支风向的因素。
- 7、矿井风量调节的措施可分为哪几类？比较它们的优缺点。
- 8、比较各种风量调节计算方法的特点。
- 9、矿井通风网络解算问题的实质是什么？

五、判断、作图与设计



题图 5-1

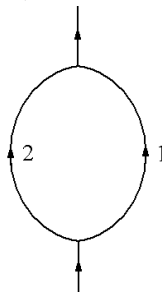


题图 5-2

- 1、如题图 5-1 所示简单角联网络，已知各分支风阻为， $R_1=0.75$ ， $R_2=0.876$ ， $R_3=0.787$ ， $R_4=0.67$ ，单位为  $N \cdot s^2/m^8$ ，试判断该角联风路的风流方向。
- 2、如题图 5-2 所示的角联通风网络系统，已知各分支风阻为， $R_1=0.75$ ， $R_2=0.876$ ， $R_3=0.787$ ， $R_4=0.67$ ，单位为  $N \cdot s^2/m^8$ ，试画出该通风系统的网络图，并推判风路 5 的风流方向。

六、计算题

- 1、如题图 5-3 所示并联风网，已知各分支 风阻： $R_1=1.186$ ， $R_2=0.794$ ，单位为  $Ns^2/m^8$ ；总风量  $Q = 40 m^3/s$ 。求：（1）分支 1 和 2 中的自然分风量和；（2）若分支 1 需风  $10 m^3/s$ ，分支 2 需风  $30m^3/s$ ；采用风窗调节，风窗应设在哪个分支？风窗风阻和开口面积各为多少？

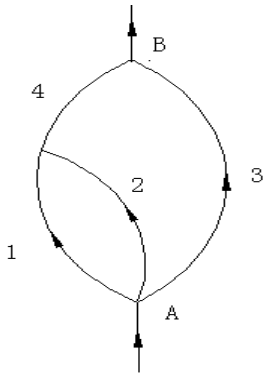


题图 5-3

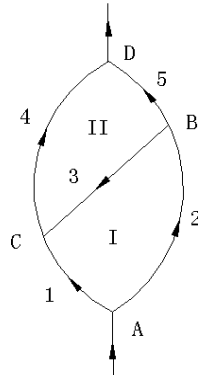
- 2、某局部通风网路（题图 5-4），已知各巷道的风阻  $R_1=0.12$ ， $R_2=0.25$ ， $R_3=0.3$ ， $R_4= 0.06 Ns^2/m^8$ ，AB 间的总风压为  $600 Pa$ ，求各巷道的风量及 AB 间的总风阻为多少？

3. 某角联通风网(题图 5-5), 各巷道的风阻为  $R_1=0.06$ ,  $R_2=0.06$ ,  $R_3=0.105$ ,  $R_4=0.03$ ,  $R_5=0.105 \text{Ns}^2/\text{m}^8$ , 各巷道需要的风量为  $Q_1=14$ ,  $Q_2=16$ ,  $Q_3=3.2$ ,  $Q_4=17.2$ ,  $Q_5=12.8 \text{m}^3/\text{s}$ , 求用风窗调节时风窗安设位置及其阻力。

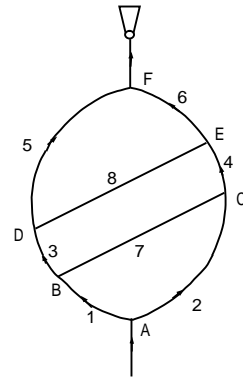
4. 如图题 5-6 所示的通风网络, 已知各巷道的阻力  $h_1 = 80$ ,  $h_2 = 100$ ,  $h_3 = 30$ ,  $h_5 = 140$ ,  $h_6 = 100 \text{Pa}$ , 求巷道 4、7、8 的阻力及巷道 4、7、8 的风流方向



题图 5-4



题图 5-5



题图 5-6

### 七、名词解释

扩散通风

## 第六章 局部通风

### 【本章主要内容】

- 1、局部通风方法—压入式、抽出式、混合式、可控循环风，全风通风
- 2、掘进工作面需风量计算—压入式、抽出式、混合式、按瓦斯、粉尘、炸药等。
- 3、局部通风装备—风筒种类、阻力、漏风、安装；局部通风机性能、联合运行
- 4、局部通风系统设计—原则、步骤
- 5、掘进安全技术装备系列化

利用局部通风机或主要通风机产生的风压对井下独头巷道进行通风的方法称为局部通风(又称掘进通风)。

### 第一节 局部通风方法

#### 一、局部通风机通风

利用局部通风机作动力,通过风筒导风的通风方法称局部通风机通风,它是目前局部通风最主要的方法。

常用通风方式:压入、抽出和混合式。

##### 1.压入式

布置方式:

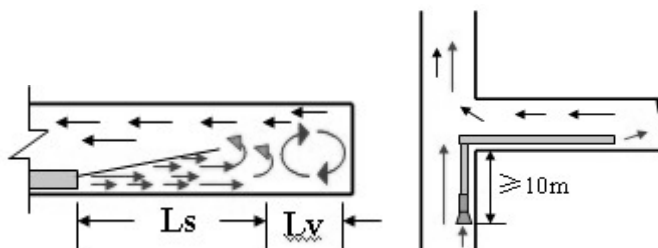


图 6-1 压入式布置方式

$L_e$ —气流贴着巷壁射出风筒后,由于卷吸作用,射流断面逐渐扩张,直至射流的断面达到最大值,此段称为扩张段; $L_a$ —射流断面逐渐减少,直到为零,此段称收缩段。 $L_s$ ——从风筒出口至射流反向的最远距离(即扩张段和收缩段总长)称射流有效射程。

在巷道条件下,一般有:

$$L_s = (4 \sim 5)\sqrt{S} \quad (6-1)$$

式中  $S$ ——巷道断面, $m^2$ 。

特点:

- (1) 局扇及电器设备布置在新鲜风流中;
- (2) 有效射程远,工作面风速大,排烟效果好;
- (3) 可使用柔性风筒,使用方便;
- (4) 由于  $P_{内} > P_{外}$ , 风筒漏风对巷道排污有一定作用。

要求:

- (1)  $Q_{局} < Q_{巷}$ , 避免产生循环风;
- (2) 局扇入口与掘进巷道距离大于 10m;
- (3) 风筒出口至工作面距离小于  $L_s$ 。

##### 2.抽出式

布置方式:

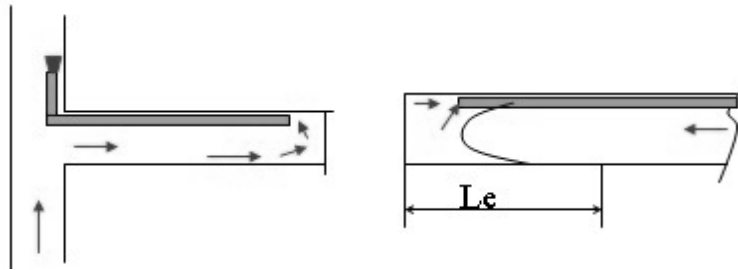


图 6-2 抽出式布置方式

有效吸程  $L_e$ : 风筒吸口吸入空气的作用范围。

在巷道边界条件下, 其一般计算式为:

$$L_e = 1.5\sqrt{S} \quad (6-2)$$

式中  $S$ ——巷道断面,  $m^2$ 。

特点:

- (1) 新鲜风流沿巷道进入工作面, 劳动条件好;
- (2) 污风通过风机;
- (3) 有效吸程小, 延长通风时间, 排烟效果不好;
- (4) 不通使用柔性风筒。

### 3. 压入式和抽出式通风的比较

(1) 压入式通风时, 局部通风机及其附属电气设备均布置在新鲜风流中, 污风不通过局部通风机, 安全性好; 而抽出式通风时, 含瓦斯的污风通过局部通风机, 若局部通风机不具备防爆性能, 则是非常危险的。

(2) 压入式通风风筒出口风速和有效射程均较大, 可防止瓦斯层状积聚, 且因风速较大而提高散热效果。然而, 抽出式通风有效吸程小, 掘进施工中难以保证风筒吸入口到工作面的距离在有效吸程之内。与压入式通风相比, 抽出式风量小, 工作面排污风所需时间长、速度慢。

(3) 压入式通风时, 掘进巷道涌出的瓦斯向远离工作面方向排走, 而用抽出式通风时, 巷道壁面涌出的瓦斯随风流向工作面, 安全性较差。

(4) 抽出式通风时, 新鲜风流沿巷道进向工作面, 整个井巷空气清新, 劳动环境好; 而压入式通风时, 污风沿巷道缓慢排出, 当掘进巷道越长, 排污风速度越慢, 受污染时间越久。

(5) 压入式通风可用柔性风筒, 其成本低、重量轻, 便于运输, 而抽出式通风的风筒承受负压作用, 必须使用刚性或带刚性骨架的可伸缩风筒, 成本高, 重量大, 运输不便。

### 4. 混合式通风

混合式通风是压入式和抽出式两种通风方式的联合运用, 按局部通风机和风筒的布设位置, 分为: 长压短抽、长抽短压和长抽长压。

#### (1) 长抽短压 (前压后抽)

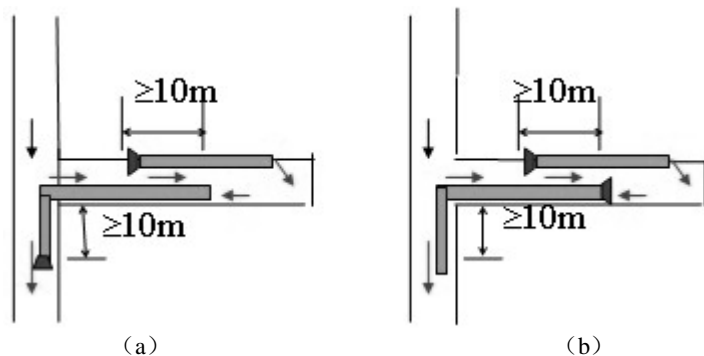


图 6-3 长抽短压通风

工作面的污风由压入式风筒压入的新风予以冲淡和稀释, 由抽出式主风筒排出。其中抽出式风筒须用刚性风筒或带刚性骨架的可伸缩风筒, 若采用柔性风筒, 则可将抽出式局部通风机移至风筒入风口, 改为压入式, 由里向外排出污风(如图 6-3b)。

#### (2) 长压短抽(前抽后压)

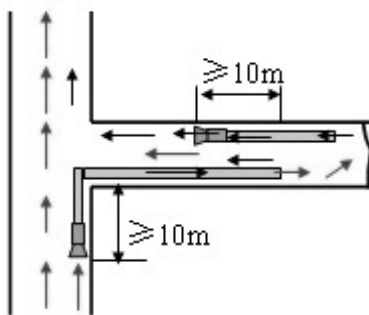


图 6-4 长压短抽通风

工作方式：新鲜风流经压入式长风筒送入工作面，工作面污风经抽出式通风除尘系统净化，被净化后的风流沿巷道排出。

混合式通风的主要特点：

- ①、通风是大断面长距离岩巷掘进通风的较好方式；
- ②、主要缺点是降低了压入式与抽出式两列风筒重叠段巷道内的风量，当掘进巷道断面大时，风速就更小，则此段巷道顶板附近易形成瓦斯层状积聚。

### 5. 可控循环通风

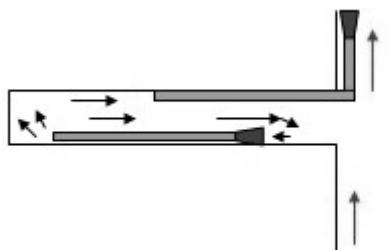


图 6-5 可循环通风

当局部通风机的吸入风量大于全风压供给设置通风机巷道的风量时，则部分由局部用风地点排出的污浊风流，会再次经局部通风机送往用风地点，故称其为循环风。

循环通风方式：循环通风分为掺有适量外界新风的循环通风和不掺有外界新风的循环通风。前者即为可控制循环通风，也称为开路循环通风；后者称为闭路循环通风。

在煤矿掘进通风中当使用闭路循环系统时，因既无任何出口，也无法除去这些气体，在封闭的循环区域中的污染物浓度必然会越来越大。因此，《规程》严禁采用循环通风。

如果循环通风是在一个敞开的区域内，且连续不断地有适量的新鲜风流掺入到循环风流中，经理论与实践证明，这部分有控制的循环风流中的污染物浓度仅仅取决于该地区内污染物的产生率及流过该地区的新鲜风量的大小，故循环区域中任何地点的污染物浓度，都不会无限地增大，而是趋于某一限值。

可控循环局部通风优点：

(1)采用混合式可控循环通风时，掘进巷道风流循环区内侧的风速较高，避免了瓦斯层状积聚，同时也降低了等效温度，改善了掘进巷道中的气候条件。

(2)当在局部通风机前配置除尘器时，可降低矿尘浓度。

(3)在供给掘进工作面相同风量条件下，可降低通风能耗。

缺点：

(1)由于流经局部通风机的风流中含有一定浓度的瓦斯与粉尘，因此，必须研制新型防爆除尘风机。

(2)循环风流通过运转风机的加热，再返回掘进工作面，使风温上升。

(3)当工作面附近发生火灾时，烟流会返回掘进工作面，故安全性差，抗灾能力弱，灾变时有循环风流通过的风机应立即进行控制，停止循环通风，恢复常规通风。

## 二、矿井全风压通风

全风压通风是利用矿井主要通风机的风压，借助导风设施把主导风流的新鲜空气引入掘进工作面。其通风量取决于可利用的风压和风路风阻。

按其导风设施不同可分为：

### 1. 风筒导风

在巷道内设置挡风墙截断主导风流，用风筒把新鲜空气引入掘进工作面，污浊空气从独头掘进巷道中排出。

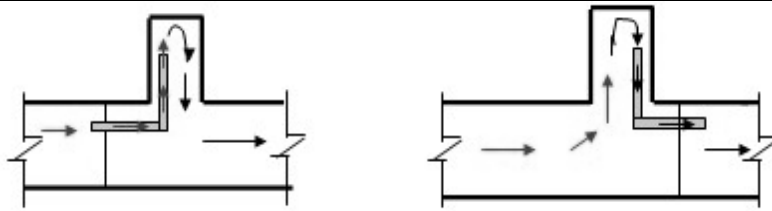


图 6-6 风筒导风示意图

特点: 此种方法辅助工程量小, 风筒安装、拆卸比较方便, 通常用于需风量不大的短巷掘进通风中。

### 2. 平行巷道导风

在掘进主巷的同时, 在附近与其平行掘一条配风巷, 每隔一定距离在主、配巷间开掘联络巷, 形成贯穿风流, 当新的联络巷沟通后, 旧联络巷即封闭。两条平行巷道的独头部分可用风障或风筒导风, 巷道的其余部分用主巷进风, 配巷回风。

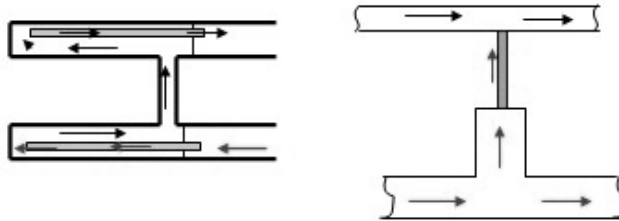


图 6-7 平行巷道导风示意图

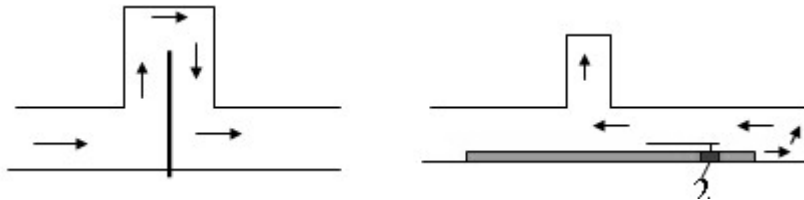
特点: 此方法常用于煤巷掘进, 尤其是厚煤层的采区巷道掘进中, 当运输、通风等需要开掘双巷时。此法也常用于解决长巷掘进独头通风的困难。

### 3. 钻孔导风

离地表或邻近水平较近处掘进长巷反眼或上山时, 可用钻孔提前沟通掘进巷道, 以便形成贯穿风流。这种通风方法曾被应用于煤层上山的掘进通风, 取得了良好排瓦斯效果。

### 4. 风障导风

在巷道内设置纵向风障, 把风障上游一侧的新风引入掘进工作面, 清洗后的污风从风障下游一侧排出。这种导风方法, 构筑和拆除风障的工程量大。适用于短距离或无其它好方法可用时采用。



6-8 风障导风示意图

## 三、引射器通风

利用引射器产生的通风负压, 通过风筒导风的通风方法称引射器通风。引射器通风一般都采用压入式。

优点: 无电气设备, 无噪音; 还具有降温、降尘作用; 在煤与瓦斯突出严重的煤层掘进时, 用它代替局部通风机通风, 设备简单, 安全性较高。

缺点: 风压低、风量小、效率低, 并存在巷道积水问题。

## 第二节 掘进工作面需风量计算

### 一、排除炮烟所需风量

#### 1. 压入式通风

前苏联 B. H. 沃洛宁公式, 当风筒出口到工作面的距离  $L_{op} \leq L_s = (4 \sim 5)$  时, 工作面所需风量或风筒出口的风量应为:

$$Q_{kp} = \frac{0.465}{t} \left( \frac{AbS^2L^2}{p_q^2 C_p} \right)^{1/3}, (m^3 / \min) \quad (6-3)$$

#### 2. 抽出式通风

前苏联B.H.沃洛宁公式,当风筒末端至工作面的距离 $L_{oe} \leq L_e$ 时,工作面所需风量或风筒入口风量应为:

$$Q_{he} = \frac{0.254}{t} \sqrt{\frac{AbSL_t}{C_a}}, (m^3 / \text{min}) \quad (6-4)$$

### 3. 混合式通风

在长抽短压混合式布置时,为防止循环风和维持风筒重叠段巷道内具有最低的排尘或稀释瓦斯风速,则抽出式风筒的吸风量应大于压入式风筒出口风量,即

$$Q_{ec} = (1.2 \sim 1.25)Q_{pc} \quad (6-5)$$

式中  $Q_{pc}$  按压入式风量计算。

### 二、排除瓦斯所需风量

在有瓦斯涌出的巷道掘进工作面内,其所需风量应保证巷道内任何地点瓦斯浓度不超限,其值可按下式计算:

$$Q_{hg} = \frac{100K_q Q_q}{C_p - C_i} \quad (6-6)$$

### 三、排除矿尘所需风量

风流的排尘风量可按下式计算:

$$Q_{hd} = \frac{G}{G_p - G_i} \quad (6-7)$$

### 四、按风速验算风量

岩巷按最低风速 0.15m/s 或风量  $Q \geq 9S(m^3/\text{min})$ ;半煤岩巷和煤巷按不能形成瓦斯层的最低风速 0.25m/s 或  $Q \geq 15S(m^3/\text{min})$ ;验算

## 第三节 局部通风装备

局部通风装备是由局部通风动力设备、风筒及其附属装置组成。

### 一、风筒

风筒是最常见的导风装置。对风筒的基本要求是漏风小、风阻小、重量轻、拆装简便。

#### 1. 风筒种类

风筒按其材料力学性质可分为刚性和柔性两种。

刚性风筒是用金属板或玻璃钢材制成。玻璃钢风筒比金属风筒轻便、抗酸、碱腐蚀性强、摩擦阻力系数小。

柔性风筒是应用更广泛的一种风筒,通常用橡胶、塑料制成。其最大优点是轻便,可伸缩、拆装运输方便。

#### 2. 风筒接头

刚性风筒一般采用法兰盘连接方式。柔性风筒的接头方式有插接、单反边接头、双反边接头、活三环多反边接头、罗圈接头等多种形式。

#### 3. 风筒的阻力

计算公式参见第三章。

#### 4. 风筒漏风

刚性风筒风筒的漏风,主要发生在接头处,柔性风筒不仅接头而且全长的壁面和缝合针眼都有漏风,故风筒漏风属连续的均匀漏风。因此,应用始末端风量的几何平均值作为风筒的风量  $Q$ ,即:

$$Q = \sqrt{Q_a \cdot Q_h}, (m^3 / \text{min}) \quad (6-8)$$

式中局部通风机风量  $Q_a$  与风筒出口风量  $Q_h$  不等,  $Q_a$  与  $Q_h$  之差就是风筒的漏风量  $Q_l$ ,

#### (1)漏风率

风筒漏风量占局部通风机工作风量的百分数称为风筒漏风率  $\eta_1$ 。

$$h_l = \frac{Q_l}{Q_a} \times 100\% = \frac{Q_a - Q_h}{Q_a} \times 100\% \quad (6-9)$$

$\eta_1$ 虽能反映风筒的漏风情况，但不能作为对比指标。故常用百米漏风率  $\eta_{1100}$  表示：

$$h_{1100} = h_1 / L \times 100 \quad (6-10)$$

式中  $L$  为风筒长度。

(2)有效风量率

掘进工作面风量占局部通风机工作风量的百分数称为有效风量率  $p_e$ 。

$$P_{al} = \frac{Q_h}{Q_a} \times 100\% = \frac{Q_a - Q_l}{Q_a} \times 100\% = (1 - h_l) \times 100\% \quad (6-11)$$

(3)漏风系数

风筒有效风量率的倒数称为风筒漏风系数  $p_q$ 。

金属风筒的  $p_q$  值可按下式计算：

$$p_q = \left( 1 + \frac{1}{3} K D_n \sqrt{R_0 L} \right)^2 \quad (6-12)$$

式中  $K$ —相当于直径为 1m 的金属风筒每个接头的漏风率。

$D$ —风筒直径,m;

$n$ —风筒接头数,个;

$L$ —风筒全长,m。

$R_0$ —每米长风筒的风阻, $N \cdot s^2/m^8$ ;

柔性风筒的  $p_q$  值：

$$p_q = \frac{1}{1 - n h_j} \quad (6-13)$$

式中  $n$ —接头数；

$\eta_j$ —一个接头的漏风率。

### 三、局部通风机

井下局部地点通风所用的通风机称为局部通风机。

要求：体积小、风压高、效率高、噪声低、性能可调、坚固防爆。

#### 1.局部通风机的种类和性能

目前我国煤矿大部分仍沿用六十年代研制的 JBT 系列轴流式局部通风机。具有低效率、低风量风压、高噪声。

近年来，我国已研制开发了一些新产品，如沈阳鼓风机厂研制的 BKJ66-11，对旋风机等。

#### 2.局部通风机联合工作

(1)局部通风机串联

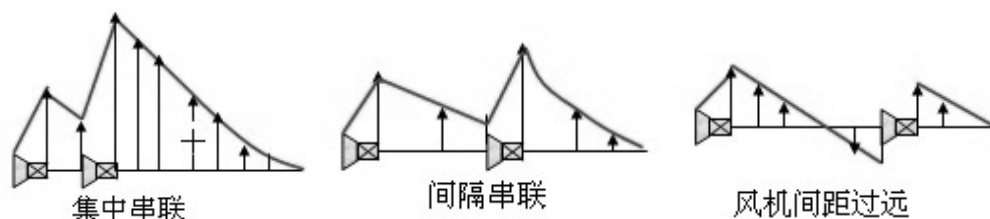


图 6-9 局部通风机串联示意图

(2)局部通风机并联

当风筒风阻不大，用一台局部通风机供风不足时，可采用。

## 第四节 局部通风系统设计

### 一、局部通风系统的设计原则

(1)矿井和采区通风系统设计应为局部通风创造条件；

(2)局部通风系统要安全可靠、经济合理和技术先进。

(3)尽量采用技术先进的低噪、高效型局部通风机。

(4)压入式通风宜用柔性风筒，抽出式通风宜用带刚性骨架的可伸缩风筒或完全刚性的风筒。风筒

材质应选择阻燃、抗静电型。

(5)当一台风机不能满足通风要求时可考虑选用两台或多台风机联合运行。

## 二、局部通风设计步骤

(1)确定局部通风系统，绘制掘进巷道局部通风系统布置图。

(2)按通风方法和最大通风距离，选择风筒类型与直径；

(3)计算风机风量和风筒出口风量；

(4)按掘进巷道通风长度变化，分阶段计算局部通风系统总阻力；

(5)按计算所得局部通风机设计风量和风压，选择局部通风机；

(6)按矿井灾害特点，选择配套安全技术装备。

## 第五节 掘进安全技术装备系列化

### 一、掘进工作面产生事故的原因

(1)掘进工作面是最先揭露煤层，它破坏了煤层中的瓦斯静平衡状态，使大量瓦斯从煤壁和顶板向巷道内涌入。当穿地质构造带时，瓦斯涌出也会增大，因此，在掘进工作面易形成瓦斯积聚超限。

(2)掘进工作面是依靠局部通风机进行独头巷道通风的，其可靠性差，容易发生无计划突然停电停风，形成瓦斯积聚。

(3)掘进巷道断面有限、空间狭窄，打眼放炮、机掘落煤、装煤运输等各生产环节均不断地产生大量煤尘，若防尘效果不良，就会潜伏煤尘爆炸危险。

(4)掘进巷道可燃物集中，有风筒、电缆等，机电设备多，容易发生机电事故和违章放炮，从而形成多种火源，导致瓦斯煤尘爆炸，造成火灾。

掘进安全技术装备系列化，对于保证掘进工作面通风安全可靠具有重要意义。掘进安全技术装备系列化是在治理瓦斯、煤尘、火灾等灾害的实践中不断发展起来的多种安全技术装备，是预防与治理相结合的防止掘进工作面瓦斯、煤尘爆炸与火灾等灾害的行之有效的综合性安全措施。

### 二、保证局部通风机稳定可靠运转

#### 1、双风机、双电源、自动换机和风筒自动倒风装置

正常通风时由专用开关供电，使局部通风机运转通风；一旦常用局部通风机因故障停机时，电源开关自动切换，备用风机即刻启动，继续供风，从而保证了局部通风机的连续运转。由于双风机共用一趟主风筒，风机要实现自动倒台，则连接两风机的风筒也必须能够自动倒风。风筒自动倒风装置有以下两种结构：

##### (1)短节倒风

将连接常用风机风筒一端的半圆与连接备用风机风筒一端的半周胶粘、缝合在一起(其长度为风筒直径的1~2倍)，套入共用风筒，并对接头部进行粘胶防漏风处理，即可投入使用。常用风机运转时，由于风机风压作用，连接常用风机的风筒被吹开，将与此并联的备用风机风筒紧压在双层风筒段内，关闭了备用风机风筒。若常用风机停转，备用风机启动，则连接常用风机的风筒被紧压在双层风筒段内，关闭了常用风机风筒。从而达到自动倒风换流的目的。

##### (2)切换片倒风

在连接常用风机的风筒与连接备用风机的风筒之间平面夹粘一片长度等于风筒直径1，5~3.0倍、宽度大于1/风筒周长的倒风切换片，将其嵌套在共用风筒内并胶粘在一起，经防漏风处理后便可投入使用。常用风机运行时，由于风机风压作用，倒风切换片将连接备用风机的风筒关闭。若常用风机停机，备用风机启动，则倒风切换片又将连接常用风机的风筒关闭，从而达到自动倒风换流的目的。

#### 2、“三专二闭锁”装置

"三专"是指专用变压器、专用开关、专用电缆，"两闭锁"则指风、电闭锁和瓦斯、电闭锁。

其功能是：只有在局部通风机正常供风、掘进巷道内的瓦斯浓度不超过规定限值时，方能向巷道内机电设备供电；当局部通风机停转时，自动切断所控机电设备的电源；当瓦斯浓度超过规定限值时，系统能自动切断瓦斯传感器控制范围内的电源，而局部通风机仍可照常运转。若局部通风机停转、停风区内瓦斯浓度超过规定限值时，局部通风机便自行闭锁，重新恢复通风时，要人工复电，先送风，当瓦斯浓度降到安全容许值以下时才能送电。从而提高了局部通风机连续运转供风的安全可靠性。

#### 3、局部通风机遥讯装置

其作用是监视局部通风机开停运行状态。高瓦斯和突出矿井所用的局部通风机要安设载波遥讯器，以便实时监视其运转情况。

## 4. 积极推行使用局部通风机消声装置

其作用是降低局部通风机机体内部气流冲击产生的噪声。

## 三、加强瓦斯检查和监测

(1)安设瓦斯自动报警断电装置,实现瓦斯遥测。当掘进巷道中瓦斯浓度达到1%时,通过低浓度瓦斯传感器自动报警;瓦斯浓度达到1.5%时,通过瓦斯断电仪自动断电。高瓦斯和突出矿井要装备瓦斯断电仪或瓦斯遥测仪,对炮掘工作面迎头5m内和巷道冒顶处瓦斯积聚地点要设置便携式瓦斯检测报警仪,班组长下井时也要随身携带这种仪表,以便随时检查可疑地点的瓦斯浓度。

(2)放炮员配备瓦斯检测器,坚持“一炮三检”在掘进作业的装药前、放炮前和放炮后都要认真检查放炮地点附近的瓦斯。

(3)实行专职瓦斯检查员随时检查瓦斯制度。

## 四、综合防尘措施

掘进巷道的矿尘来源,当用钻眼爆破法掘进时,主要产生于钻眼、爆破、装岩工序,其中以凿岩产尘量最高;当用综掘机掘进时,切割和装岩工序以及综掘机整个工作期间,矿尘产生量都很大。因此,要做到湿式煤电钻打眼,爆破使用水炮泥,综掘机内外喷雾。要有完善的洒水除尘和灭火两用的供水系统,实现放炮喷雾、装煤岩洒水和转载点喷雾,安设喷雾水幕净化风流,定期用预设软管冲刷清洁巷道。从而达到减少矿尘的飞扬各堆积。

## 五、防火防爆安全措施

机电设备严格采用防爆型及安全火花型;局部通风机、装岩机和煤电钻都要采用综合保护装置 1 移动式 and 手持式电气设备必须使用专用的不延燃性橡胶电缆;照明、通讯、信号和控制专用导线必须用橡套电缆。高瓦斯及突出矿井要使用乳化炸药,逐步推广屏蔽电缆和阻燃抗静电风筒。

## 六、隔爆与自救措施

设置安全可靠的隔爆设施,所有人员必须携带自救器。煤与瓦斯突出矿井的煤巷掘进,应安设防瓦斯逆流灾害设施,如防突反向风门、风筒和水沟防逆风装置以及压风急救袋和避难硐室,并安装直通地面调度室的电话。

实施掘进安全技术装备系列化的矿井,提高了矿井防灾和抗灾能力,降低了矿尘浓度与噪声,改善了掘进工作面的作业环境。

## 本章复习思考题

## 一、填空题

- 1、压入式局部通风机和启动装置,必须安装在\_\_\_\_\_巷道中,距掘进巷道回风口不得小于\_\_\_\_\_米。
- 2、\_\_\_\_\_通风使井下风流处于负压状态。
- 3、根据进出风井筒在井田相对位置不同,矿井通风方式可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 4、“一炮三检”是指\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_必须检查放炮地点附近的瓦斯浓度。
- 5、矿井通风方法分为抽出式、压入式、\_\_\_\_\_三种。
- 6、掘进中的岩巷允许风速最高为\_\_\_\_\_。
- 7、矿井通风方式是指进风井、出风井的\_\_\_\_\_。
- 8、采煤工作面允许最低风速为\_\_\_\_\_。
- 9、主要进、回风巷中的允许最高风速为\_\_\_\_\_。
- 10、矿井通风方式分为中央式、对角式、\_\_\_\_\_、混合式四种。
- 11、构筑临时密闭前,\_\_\_\_\_内支护要完好,无片帮、冒顶,无杂物、积水和淤泥。
- 12、目前我国主要采用长壁式开采,在长壁式开采的采煤工作面进风巷与回风巷的布置有\_\_\_\_\_等型式。
- 13、局部通风机的通风方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
- 14、采煤工作面合理风速范围为\_\_\_\_\_、运输大巷的最高风速为\_\_\_\_\_。
- 15、掘进通风方法分为利用矿井总风压通风和使用\_\_\_\_\_通风。
- 16、局部通风机的工作方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三种。
- 17、掘进巷道的混合式通风应采用\_\_\_\_\_的方式。
- 18、一炮三泥是指\_\_\_\_\_、水泡泥和\_\_\_\_\_。
- 19、采掘工作面的进风流中,按体积计算,氧气浓度不得低于\_\_\_\_\_。
- 20、专为升降物料的井筒,其最高允许风速为\_\_\_\_\_。
- 21、掘进巷道时的通风叫掘进通风。其主要特点是:\_\_\_\_\_,本身不能形成通风系统。
- 22、我国煤矿掘进通风广泛使用压入式局部通风机的方式是由于压入式通风具有\_\_\_\_\_;有效射程大,排烟和瓦斯能力强;能适应各类\_\_\_\_\_;风筒的漏风对排除炮烟和瓦斯起到有益的作用。

- 23、矿井掘进通风的主要方法有利用矿井全风压通风、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
- 24、在瓦斯喷出区域，高瓦斯矿井，煤岩与瓦斯突出矿井中，掘进工作面的局部通风机应采用的三专是：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、专用线路三专供电。
- 25、三专两闭锁中的三专是指\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和专用变压器。
- 26、有瓦斯涌出的掘进工作面，抽出式通风筒的吸风口应安设\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

- 1、我国矿井主通风机的主要工作方法是\_\_\_\_\_。
- A、压入式 B、混合式 C、抽出式
- 2、掘进工作面局部通风通风机的最常用的工作方法是\_\_\_\_\_。
- A、压入式 B、混合式 C、抽出式
- 3、下列各种局部通风方法中属于利用主要通风机风压通风的是\_\_\_\_\_。
- A、扩散通风 B、风障导风 C、局部通风机通风 D、引射器通风
- 4、瓦斯巷道掘进通常选用哪种局部通风机的通风方式\_\_\_\_\_。
- A、抽出式 B、压入式 C、联合式
- 5、《煤矿安全规程》规定，掘进巷道不得采取\_\_\_\_\_通风。
- A、扩散 B、风墙导风 C、引射器通风 D、风筒导风
- 6、采区进回风巷的最高允许风速为\_\_\_\_\_ m/s。
- A、10 B、8 C、6 D、4
- 7、采煤工作面采用\_\_\_\_\_通风方式时，采空区漏风量大。
- A、U型 B、Y型 C、W型 D、U+L
- 8、进风井位于井田中央，出风井在两翼的通风方式称为\_\_\_\_\_。
- A、中央式 B、对角式 C、分区式 D、混合式
- 9、采煤工作面、掘进中的煤巷和半煤岩巷，允许最低风速为\_\_\_\_\_。
- A、1.0 m/s B、0.25 m/s C、0.15 m/s
- 10、凡长度超过\_\_\_\_\_而又不通风或通风不良的独头巷道，统称盲巷。
- A、6 m B、10 m C、15 m
- 11、“一通三防”中的“三防”是指\_\_\_\_\_。
- A、防瓦斯、防尘和防水 B、防瓦斯、防尘和防火 C、防瓦斯、防火和防水
- 12、爆破作业地点附近20米内的瓦斯浓度达到\_\_\_\_\_%时，严禁爆破。
- A、0.5 B、1 C、1.5 D、2
- 13、压入式通风的风流有效射程一般可达\_\_\_\_\_。
- A、5~6 m B、7~8 m C、8~10 m
- 14、安装在进风流中的局部通风机距回风口不得小于\_\_\_\_\_。
- A、5 m B、10 m C、15 m D、20 m
- 15、《煤矿安全规程》规定，主要进回风巷最高允许风速为\_\_\_\_\_。
- A、6 m/s B、8 m/s C、10 m/s D、12 m/s
- 16、\_\_\_\_\_不得采用抽出式通风方式。
- A、煤巷掘进工作面 B、有瓦斯涌出巷道的掘进工作面  
C、岩巷掘进工作面 D、煤岩、半煤岩和有瓦斯涌出巷道的掘进工作面
- 17、\_\_\_\_\_是与通风方式有关的概念。
- A、中央并列式，对角式 B、抽出式，压入式 C、离心式，轴流式 D、以上都不是
- 18、中央并列式通风方式的进风井和回风井间距一般不应小于\_\_\_\_\_。
- A、20 m B、30 m C、50 m D、80 m
- 19、混合式局部通风，抽出式通风筒吸风口与掘进工作面的距离不得大于\_\_\_\_\_。
- A、15 m B、10 m C、5 m D、3 m
- 20、下列不属于三专两闭锁中三专的是\_\_\_\_\_。
- A、专人管理 B、专业电缆 C、专业开关 D、专业变压器
- 21、下列不属于三人连锁放炮的是\_\_\_\_\_。
- A、班长 B、瓦斯检查员 C、放炮员 D、通风工
- 22、为了提高爆破效果和保证安全爆破，炮眼装药后必须装填\_\_\_\_\_。
- A、岩石碎块 B、小木块 C、水炮泥
- 23、爆破地点附近\_\_\_\_\_以内风流中的瓦斯浓度达到1%，严禁爆破。
- A、15米 B、20米 C、25米

- 24、《规程》规定，瓦斯喷出区域或突出矿井的掘进工作面严禁采用\_\_\_\_\_。
- A、抽出式 B、压入式 C、混合式
- 25、下列各项不会减少风筒风阻的措施是\_\_\_\_\_。
- A、增大风筒直径； B、减少拐弯处的曲率半径；  
C、减少接头个数； D、及时排出风筒内的积水；
- 26、下列哪种风筒可适用于多种局部通风方式的是\_\_\_\_\_。
- A、帆布风筒 B、人造革风筒 C、玻璃钢风筒
- 27、井下最多可采用\_\_\_\_\_局部通风机同时向1个掘进工作面供风。
- A. 1台 B. 2台 C. 3台 D. 4台

### 三、判断题

- 1、长抽短压式混合掘进通风的压入风量应小于抽出风量。
- 2、抽出式通风机使井下风流处于负压状态。
- 3、压入式局部通风机可以安装在距回风口15m处的进风巷道里。
- 4、三专两闭锁中的三专是指：专人管理、专用开关和专用变压器。
- 2、在设有各类支架巷道中，巷道风流是指距支架和巷底各50mm的巷道空间内的风流。
- 3、轴流式通风机可采取反转反风。
- 4、通风机常用齿轮联轴器或蛇形弹簧式联轴器。
- 5、井下掘进巷道不得采用扩散通风。
- 6、因为井巷中有阻止空气流通的反作用力，所以要实行机械通风。
- 7、使用3台局部通风机同时向1个掘进工作面供风，以满足风量要求。
- 8、煤岩、半煤岩掘进工作面应采用压入式，不得采用抽出式通风方式。
- 9、混合式通风时，抽出式通风机启动后对应的压入式通风机才能启动。
- 10、采煤工作面和掘进工作面都必须采取独立通风系统。
- 11、溜煤眼不得兼作进风眼。
- 12、1台局部通风机最多只能向2个掘进工作面供风。
- 13、对于装有风电闭锁装置的掘进工作面，电气设备的总开关与局部通风机开关是闭锁起来的。
- 14、台局部通风机不得同时向2个作业的掘进工作面供风。
- 15、利用局部通风机产生的风压对风井进行通风的方法，称局部通风。
- 16、局部通风机的吸入风量要小于全风压的风量。
- 17、井下通风构筑物是主要漏风地点。
- 18、中央式通风方式，边远采区与中央采区风阻相差悬殊。
- 19、每一个生产水平和采区都必须布置单独的回风巷，实行分区通风。
- 20、位于掘进工作面的局部通风机，其噪声不得超过85dB。
- 21、掘进巷道的混合式通风，既可以使用局部通风机通风，又可以使用风障通风。
- 22、混合式通风方式即指中央式和对角式的混合布置。
- 23、风筒针眼漏出的风量比较小。
- 24、利用矿井主要通风机风压通风是局部通风的一种方法。
- 25、应保持密闭前5m内巷道支护完好，无片帮、冒顶。
- 26、局部通风机的风筒出口距工作面不得超过10m。

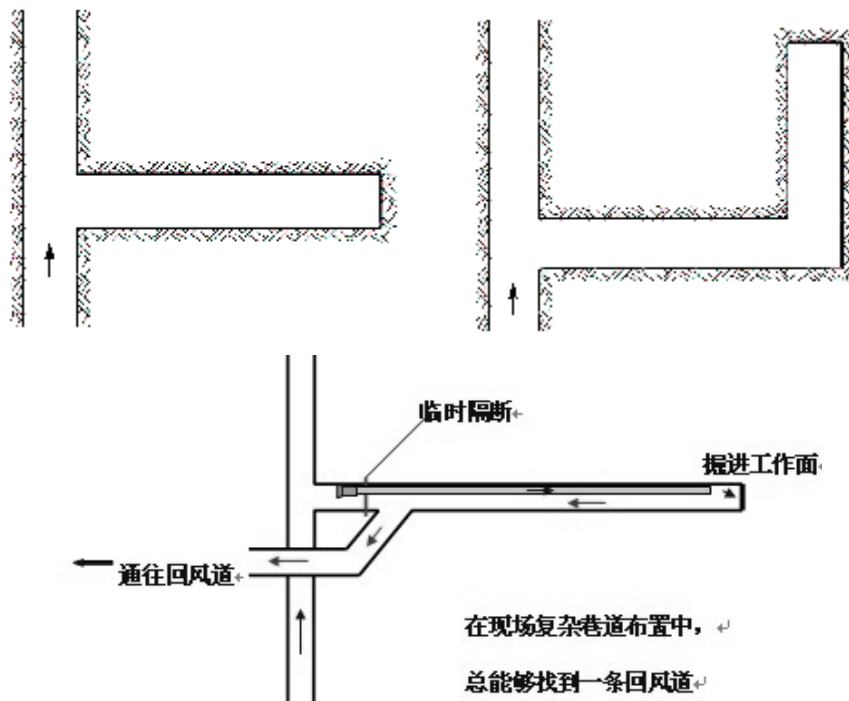
### 四、简答题

- 1、全风压通风有哪些布置方式？试简述其优缺点及适用条件。
- 2、简述引射器通风的原理、优缺点及适用条件。
- 3、简述压入式通风的排烟过程及其技术要求。
- 4、试述压入式、抽出式通风的优缺点及其适用条件。
- 5、试述混合式通风的特点与要求？
- 6、有效射程、有效吸程、炮烟抛掷长度及稀释安全长度的含义是什么？
- 7、可控循环通风的含义及其优缺点、适用条件是什么？
- 8、长距离独头巷道通风在技术上有何困难，应如何克服？
- 9、试述局部通风机串联、并联的目的、方式和使用条件。
- 10、试述风筒有效风量率、漏风率、漏风系数的含义及其相互关系。
- 11、试述局部通风设计步骤。
- 12、局部通风装备选型的一般原则是什么？
- 13、掘进通风安全装备系列化包括哪些内容？并有什么安全作用？

- 14、柔性风筒与刚性风筒的风阻有何异同点？两者的漏风状况有何不同？
- 15、风筒的选择与使用中应注意哪些问题？
- 16、压入式局部通风机的通风方式的适用条件有哪些？
- 17、煤矿主要通风机为什么常用抽出式通风？
- 18、目前我国大部分矿井的主要通风机为什么都采用抽出式通风？
- 19、为什么《规程》规定，生产水平和采区必须实行分区通风？
- 20、为什么目前我国煤矿掘进通风广泛使用压入式局部通风机的方式。
- 21、抽出式局部通风机的通风方式的适用条件有哪些？
- 22、“一炮三检”指的是什么？

### 五、判断、作图与设计

如题图 6-1 所示巷道掘进工作面及新风风流方向，试设计掘进工作面的掘进通风，标出各掘进通风设备名称和有关的参数。



题图 6-1

### 六、计算题

1. 某风筒长 1000 m，直径 800 mm，接头风阻  $= 0.2 \text{ N s}^2/\text{m}^8$ ，节长 50 m，风筒摩擦阻力系数  $0.003 \text{ N s}^2/\text{m}^4$ ，风筒拐两个  $90^\circ$  弯，试计算风筒的总风阻。
2. 为开拓新区而掘进的运输大巷，长度 1800 m，断面为  $12 \text{ m}^2$ ，一次爆破炸药量为 15 kg。若风筒为直径 600 mm 的胶布风筒，双反边联接，风筒节长 50 m，风筒百米漏风率为 1%。试进行该巷道掘进局部通风设计。（1）计算工作面需风量；（2）计算局部通风机工作风量和风压；（3）选择局部通风机型号、规格和台数。（4）若风筒直径选 800 mm 的胶布风筒，其他条件不变时，再重新选择局部通风机的型号、规格和台数。

### 七、名词解释

循环风

# 第七章 矿井通风系统与通风设计

## 【本章主要内容】

- 1、矿井通风系统一类型、适应条件、主要通风机工作方式、安装地点、通风系统的选择
- 2、采区通风一基本要求、进回风上山选择、采煤工作面通风系统
- 3、通风构筑物及漏风一风门、风桥、密闭、导风板；矿井漏风、漏风率、有效风量率、减少漏风措施
- 4、矿井通风设计一内容与要求、优选通风系统、矿井风量计算、阻力计算、通风设备选择
- 5、可控循环通风

## 第一节 矿井通风系统

矿井通风系统是向矿井各作业地点供给新鲜空气、排出污浊空气的通风网路、通风动力和通风控制设施的总称。

### 一、矿井通风系统的类型及其适用条件

按进、回风井在井田内的位置不同，通风系统可分为中央式、对角式、区域式及混合式。

#### 1、中央式

进、回风井均位于井田走向中央。根据进、回风井的相对位置，又分为中央并列式和中央边界式（中央分列式）。

#### 2、对角式

##### (1) 两翼对角式

进风井大致位于井田走向的中央，两个回风井位于井田边界的两翼（沿倾斜方向的浅部），称为两翼对角式，如果只有一个回风井，且进、回风分别位于井田的两翼称为单翼对角式。

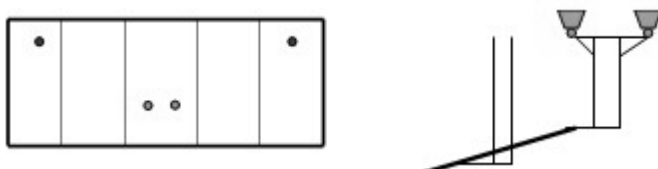


图 7-1 两翼对角式通风系统

##### (2) 分区对角式

进风井位于井田走向的中央，在各采区开掘一个不深的小回风井，无总回风巷。

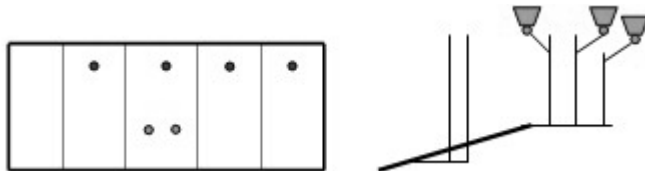


图 7-2 分区对角式通风系统

#### 3、区域式

在井田的每一个生产区域开凿进、回风井，分别构成独立的通风系统。如图。

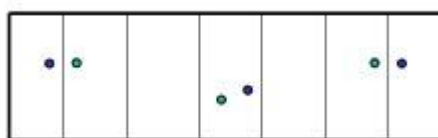


图 7-3 区域式通风系统

#### 4、混合式

由上述诸种方式混合组成。例如，中央分列与两翼对角混合式，中央并列与两翼对角混合式等等。

## 二、主要通风机的工作方式与安装地点

主要通风机的工作方式有三种：抽出式、压入式、压抽混合式。

### 1、抽出式

主要通风机安装在回风井口，在抽出式主要通风机的作用下，整个矿井通风系统处在低于当地大气压力的负压状态。当主要通风机因故停止运转时，井下风流的压力提高，比较安全。

### 2、压入式

主要通风机安设在入风井口，在压入式主要通风机作用下，整个矿井通风系统处在高于当地大气压的正压状态。在冒落裂隙通达地面时，压入式通风矿井采区的有害气体通过塌陷区向外漏出。当主要通风机因故停止运转时，井下风流的压力降低。

### 3、压抽混合式

在入风井口设一风机作压入式工作，回风井口设一风机作抽出式工作。通风系统的进风部分处于正压，回风部分处于负压，工作面大致处于中间，其正压或负压均不大，采空区通连地表的漏风因而较小。其缺点是使用的通风机设备多，管理复杂。

## 三、矿井通风系统的选择

根据矿井设计生产能力、煤层赋存条件、表土层厚度、井田面积、地温、矿井瓦斯涌出量、煤层自燃倾向性等条件，在确保矿井安全、兼顾中、后期生产需要的前提下，通过对多种可行的矿井通风系统方案进行技术经济比较后确定。

中央式通风系统具有井巷工程量少、初期投资省的优点。因此，矿井初期宜优先采用。

有煤与瓦斯突出危险的矿井、高瓦斯矿井、煤层易自燃的矿井及有热害的矿井，应采用对角式或分区对角式通风；

当井田面积较大时，初期可采用中央通风，逐步过渡为对角式或分区对角式。

矿井通风方法一般采用抽出式。当地形复杂、露头发育老窑多、采用多风井通风有利时，可采用压入式通风。

## 第二节 采区通风系统

采区通风系统是矿井通风系统的主要组成单元，包括：采区进风、回风和工作面进、回风巷道组成的风路连接形式及采区内的风流控制设施。

### 一、采区通风系统的基本要求

- 1、每一个采区，都必须布置回风道，实行分区通风。
- 2、采煤和掘进工作面应独立通风系统。有特殊困难必须串联通风时应符合有关规定。
- 3、煤层倾角大于  $12^\circ$  的采煤工作面采用下行通风时，报矿总工程师批准，
- 4、采煤和掘进工作面的进风和回风，都不得经过采空区或冒落区。

### 二、采区进风上山与回风上山的选择

上（下）山至少要有两条；对生产能力大的采区可有 3 条或 4 条上山。

- 1、轨道上山进风，运输机上山回风
- 2、运输机上山进风、轨道上山回风

比较：轨道上山进风，新鲜风流不受煤炭释放的瓦斯、煤尘污染及放热影响，输送机上山进风，运输过程中所释放的瓦斯，可使进风流的瓦斯和煤尘浓度增大，影响工作面的安全卫生条件。

### 三、采煤工作面上行风与下行风

上行风与下行风是指进风流方向与采煤工作面的关系而言。当采煤工作面进风巷道水平低于回风巷道时，采煤工作面的风流沿倾斜向上流动，称上行通风，否则是下行通风。

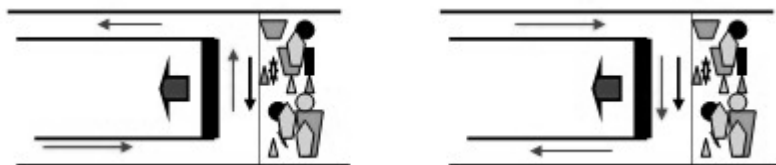


图 7-4 上行通风、下行通风

优缺点：

- 1、下行风的方向与瓦斯自然流向相反，二者易于混合且不易出现瓦斯分层流动和局部积存的现象。
- 2、上行风比下行风工作面的气温要高。

- 3、下行风比上行风所需要的机械风压要大；
- 4、下行风在起火地点瓦斯爆炸的可能性比上行风要大。

四、工作面通风系统

1、U型与Z型通风系统

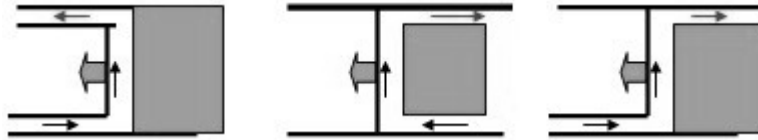


图 7-5 U 型与 Z 型通风系统

2、Y型、W型及双Z型通风系统

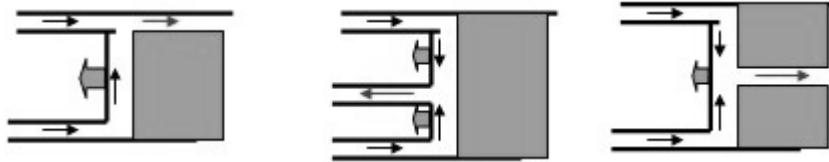


图 7-6 Y 型、W 型及双 Z 型通风系统

3、H型通风系统

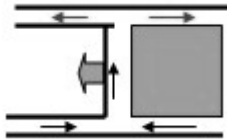


图 7-7 H 型通风系统

### 第三节 通风构筑物及漏风

矿井通风系统网路中适当位置安设的隔断、引导和控制风流的设施和装置，以保证风流按生产需要流动。这些设施和装置，统称为通风构筑物。

一、通风构筑物

分为两大类：一类是通过风流的通风构筑物，如主要通风机风硐、反风装置、风桥、导风板和调节风窗；另一类是隔断风流的通风构筑物，如井口密闭、挡风墙、风帘和风门等。

1、风门

按设地点：在通风系统中既要隔断风流又要行人或通车的地方应设立风门。在行人或通车不多的地方，可构筑普通风门。而在行人通车比较频繁的主要运输道上，则应构筑自动风门。

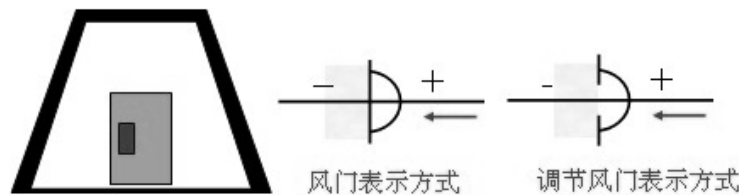


图 7-8 风门

设置风门的要求：

- (1) 每组风门不少于两道，通车风门间距不小于一列车长度，行人风门间距不小于 5m。入排风巷道之间需设风门处同时设反向风门，其数量不少于两道；
- (2) 风门能自动关闭；通车风门实现自动化，矿井总回风和采区回风系统的风门要装有闭锁装置；风门不能同时敞开（包括反风门）；
- (3) 门框要包边沿口，有垫衬，四周接触严密，门扇平整不漏风，门扇与门框不歪扭。门轴与门框要向关门方向倾斜 80° 至 85° ；
- (4) 风门墙垛要用不燃材料建筑，厚度不小于 0.5m，严密不漏风；墙垛周边要掏槽，见硬顶、硬帮与煤岩接实。墙垛平整，无裂缝、重缝和空缝；
- (5) 风门水沟要设反水池或挡风帘，通车风门要设底坎，电管路孔要堵严；风门前后各 5m 内巷道支护良好，无杂物、积水、淤泥。

## 2、风桥

当通风系统中进风道与回风道需水平交叉时，为使进风与回风互相隔开需要构筑风桥。按其结构不同可分为三种。

### (1) 绕道式风桥

开凿在岩石里，最坚固耐用，漏风少。

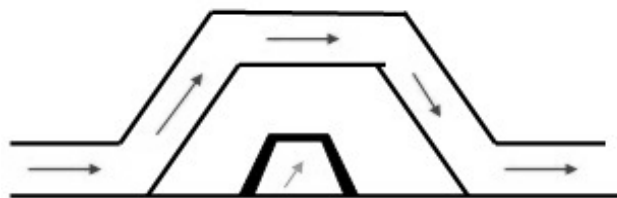


图 7-9 绕道式风桥

### (2) 混凝土风桥

结构紧凑，比较坚固。



图 7-10 混凝土风桥

### (3) 铁筒风桥

可在次要风路中使用。

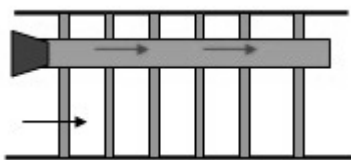


图 7-11 铁筒风桥

## 3、密闭

密闭是隔断风流的构筑物。设置在需隔断风流、也不需要通车行人的巷道中。密闭的结构随服务年限的不同而分为两类：

- (1) 临时密闭，常用木板、木段等修筑，并用黄泥、石灰抹面。
- (2) 永久密闭，常用料石、砖、水泥等不燃性材料修筑。



图 7-12 密闭结构示意图

## 4、导风板

应用以下几种导风板。

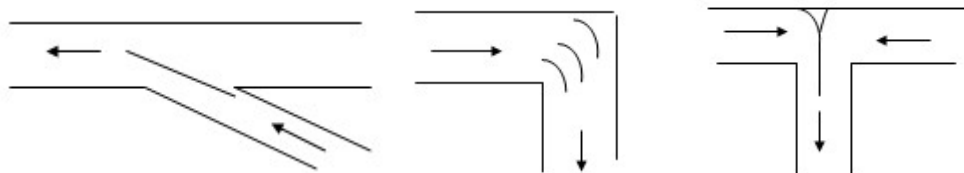


图 7-13 导风板种类

- (1) 引风导风板；
- (2) 降阻导风板；
- (3) 汇流导风板。

## 二、漏风及有效风量

### 1、矿井漏风及其危害性

有效风量：矿井中流至各用风地点，起到通风作用的风量。

漏风：未经用风地点而经过采空区、地表塌陷区、通风构筑物 and 煤柱裂隙等通道直接流（渗）入回风道或排出地表的风量。

漏风的危害：使工作面和用风地点的有效风量减少，气候和卫生条件恶化，增加无益的电能消耗，并可导致煤炭自燃等事故。减少漏风、提高有效风量是通风管理部门的基本任务。

## 2、漏风的分类及原因

### (1) 漏风的分类

矿井漏风按其地点可分为：

①、外部漏风（或称井口漏风）泛指地表附近如箕斗井井口，地面主通风机附近的井口、防爆盖、反风门、调节闸门等处的漏风。

②、内部漏风（或称井下漏风）是指井下各种通风构筑物的漏风、采空区以及碎裂的煤柱的漏风。

### (2) 漏风的原因

当有漏风通路存在，并在其两端有压差时，就可产生漏风。漏风风流通过孔隙的流态，视孔隙情况和漏风大小而异。

## 3、矿井漏风率及有效风量率

(1) 矿井有效风量  $Q_e$  是指风流通过井下各工作地点实际风量总和。

(2) 矿井有效风量率：矿井有效风量率是矿井有效风量  $Q_e$  与各台主要通风机风量总和之比。矿井有效风量率应不低于 85%。

### (3) 矿井外部漏风量

指直接由主要通风机装置及其风井附近地表漏失的风量总和。可用各台主要通风机风量的总和减去矿井总回（或进）风量。

### (4) 矿井外部漏风率

指矿井外部漏风量  $Q_L$  与各台主要通风机风量总和之比。

矿井主要通风机装置外部漏风率无提升设备时不得超过 5%，有提升设备时不得超过 15%。

## 4、减少漏风、提高有效风量

漏风量与漏风通道两端的压差成正比，和漏风风阻的大小成反比。应增加地面主要通风机的风硐、反风道及附近的风门的气密性，以减少漏风。

## 第四节 矿井通风设计

### 一、矿井通风设计的内容与要求

#### 1、矿井通风设计的内容

- (1) 确定矿井通风系统；
- (2) 矿井风量计算和风量分配；
- (3) 矿井通风阻力计算；
- (4) 选择通风设备；
- (5) 概算矿井通风费用。

#### 2、矿井通风设计的要求

- (1) 将足够的新鲜空气有效地送到井下工作场所，保证生产和良好的劳动条件；
- (2) 通风系统简单，风流稳定，易于管理，具有抗灾能力；
- (3) 发生事故时，风流易于控制，人员便于撤出；
- (4) 有符合规定的井下环境及安全监测系统或检测措施；
- (5) 通风系统的基建投资省，营运费用低、综合经济效益好。

### 二、优选矿井通风系统

#### 1、矿井通风系统的要求

(1) 每一矿井必须有完整的独立通风系统。

(2) 进风井口应按全年风向频率，必须布置在不受粉尘、煤尘、灰尘、有害气体和高温气体侵入的地方。

(3) 箕斗提升井或装有胶带输送机的井筒不应兼作进风井，如果兼作回风井使用，必须采取措施，满足安全的要求。

(4) 多风机通风系统，在满足风量按需分配的前提下，各主要通风机的工作风压应接近。

(5) 每一个生产水平和每一采区，必须布置回风巷，实行分区通风。

(6) 井下爆破材料库必须有单独的新鲜风流, 回风风流必须直接引入矿井的总回风巷或主要回风巷中。

(7) 井下充电室必须单独的新鲜风流通风, 回风风流应引入回风巷。

## 2、确定矿井通风系统

根据矿井瓦斯涌出量、矿井设计生产能力、煤层赋存条件、表土层厚度、井田面积、地温、煤层自燃倾向性及兼顾中后期生产需要等条件, 提出多个技术上可行的方案, 通过优化或技术经济比较后确定矿井通风系统。

## 三、矿井风量计算

### (一)、矿井风量计算原则

矿井需风量, 按下列要求分别计算, 并必须采取其中最大值。

(1) 按井下同时工作最多人数计算, 每人每分钟供给风量不得少于  $4\text{m}^3$ ;

(2) 按采煤、掘进、硐室及其他实际需要风量的总和进行计算。

### (二) 矿井需风量的计算

#### 1、采煤工作面需风量的计算

采煤工作面的风量应该按下列因素分别计算, 取其最大值。

(1)按瓦斯涌出量计算:

$$Q_{wi} = 100 \times Q_{gwi} \times k \quad (7-1)$$

式中:  $Q_{wi}$ ——第  $i$  个采煤工作面需要风量,  $\text{m}^3/\text{min}$

$Q_{gwi}$ ——第  $i$  个采煤工作面瓦斯绝对涌出量,  $\text{m}^3/\text{min}$

$k_{gwi}$ ——第  $i$  个采煤工作面因瓦斯涌出不均匀的备用风量系数, 通常机采工作面取  $k_{gwi}=1.2\sim 1.6$  炮采工作面取  $k_{gwi}=1.4\sim 2.0$ , 水采工作面取  $k_{gwi}=2.0\sim 3.0$

(2) 按工作面进风流温度计算:

采煤工作面应有良好的气候条件。其进风流温度可根据风流温度预测方法进行计算。其气温与风速应符合表中的要求:

表 7-1 采煤工作面气温与风速的要求

采煤工作面进风流气温 $^{\circ}\text{C}$	采煤工作面风速 $\text{m/s}$
<15	0.3~0.5
15~18	0.5~0.8
18~20	0.8~1.0
20~23	1.0~1.5
23~26	1.5~1.8

采煤工作面的需要风量按下式计算:

$$Q_{wi} = 60 \times V_{wi} \times S_{wi} \times k_{wi} \quad (7-2)$$

式中  $v_{wi}$ ——第  $i$  个采煤工作面的风速, 按其进风流温度从表中取;  $\text{m/s}$ ,

$S_{wi}$ ——第  $i$  个采煤工作面有效通风断面, 取最大和最小控顶时有效断面的平均值,  $\text{m}^2$ ;

$k_{wi}$ ——第  $i$  个工作面的长度系数。

3) 按使用炸药量计算:

$$Q_{wi} = 25 \times A_{wi} \quad (7-3)$$

式中 25——每使用  $1\text{kg}$  炸药的供风量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$A_{wi}$ ——第  $i$  个采煤工作面一次爆破使用的最大炸药量,  $\text{kg}$ 。

4) 按工作人员数量计算:

$$Q_{wi} = 4 \times n_{wi} \quad (7-4)$$

式中 4——每人每分钟应供给的最低风量,  $\text{m}^3/\text{min}$

$n_{wi}$ ——第  $i$  个采煤工作面同时工作的最多人数, 个。

5)按风速进行验算

按最低风速验算各个采煤工作面的最小风量:

$$Q_{wi} \geq 60 \times 0.25 \times S_{wi} \quad (7-5)$$

按最高风速验算各个采煤工作面的最大风量:

$$Q_{wi} \leq 60 \times 4 \times S_{wi} \quad (7-6)$$

#### 2、掘进工作面需风量的计算

煤巷、半煤岩和岩巷掘进工作面的风量, 应按下列因素分别计算, 取其最大值。

(1) 按瓦斯涌出量计算:

$$Q_{hi} = 100 \times Q_{ghi} \times k_{ghi} \quad (7-7)$$

式中  $Q_{hi}$ ——第  $i$  个掘进工作面的需风量,  $\text{m}^3/\text{min}$

$Q_{ghi}$ ——第  $i$  个掘进工作面的绝对瓦斯涌出量;  $\text{m}^3/\text{min}$

$k_{ghi}$ ——第  $i$  个掘进工作面的瓦斯涌出不均匀和备用风量系数。一般可取 1.5~2.0。

(2) 按炸药量计算

$$Q_{hi} = 25 \times A_{hi} \quad (7-8)$$

式中 25——使用 1kg 炸药的供风量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;

$A_{hi}$ ——第  $i$  个掘进工作面一次爆破所用的最大炸药量, kg

(3) 按局部通风机吸风量计算

$$Q_{hi} = \sum Q_{hfi} \times k_{hfi} \quad (7-9)$$

式中  $\sum Q_{hfi}$ ——第  $i$  个掘进工件面同时运转的局部通风机额定风量的和。

$k_{hfi}$ ——为防止局部通风机吸循环风的风量备用系数, 一般取 1.2~1.3; 进风巷道中无瓦斯涌出时取 1.2, 有瓦斯涌出时取 1.3

(4) 按工作人员数量计算

$$Q_{hi} = 4 \times n_{hi} \quad (7-10)$$

式中  $n_{hi}$ ——第  $i$  个掘进工作面同时工作的最多人数, 人。

(5) 按风速进行验算

按最小风速验算, 岩巷掘进面最小风量:

$$Q_{hi} \geq 60 \times 0.15 \times S_{hi} \quad (7-11)$$

各个煤巷或半煤岩巷掘进面的最小风量:

$$Q_{hi} < 60 \times 4 \times S_{di} \quad (7-12)$$

按最高风速验算, 掘进面的最大风量:

$$Q_{hi} \geq 60 \times 0.25 \times S_{hi} \quad (7-13)$$

式中  $s_{hi}$ ——第  $i$  个掘进工作面巷道的净断面积,  $\text{m}^2$

### 3、硐室需风量计算

独立通风硐室的供风量, 应根据不同类型的硐室分别进行计算:

(1) 机电硐室

发热量大的机电硐室, 按硐室中运行的机电设备发热量进行计算:

$$Q_{ri} = \frac{3600 \times \sum N \times q}{r \times c_p \times 60 \times \Delta t} \quad (7-14)$$

式中  $Q_{ri}$ ——第  $i$  个机电硐室的需风量,  $\text{m}^3/\text{min}$

$\sum N$ ——机电硐室中运转的电动机(变压器)总功率, KW

$\theta$ ——机电硐室的发热系数,

$\rho$ ——空气密度, 一般取  $1.25\text{kg}/\text{m}^3$

$c_p$ ——空气的定压比热, 一般可取  $1\text{KJ}/\text{kgk}$

$\Delta t$ ——机电硐室进、回风流的温度差,  $^{\circ}\text{C}$

采区变电所及变电硐室, 可按经验值确定需风量

$$Q_{ri} = 60 \sim 80 \quad \text{m}^3/\text{min} \quad (7-15)$$

(2) 爆破材料库

$$Q_{ri} = 4 \times v / 60 \quad (7-16)$$

式中  $v$ ——库房空积,  $\text{m}^3$

(3) 充电硐室

按其回风流中氢气浓度小于 0.5% 计算

$$Q_{ri} = 200 \times q_{rhi} \quad (7-17)$$

式中  $q_{rhi}$ ——第  $i$  个充电硐室在充电时产生的氢气量,  $\text{m}^3/\text{min}$

### 4、矿井总风量计算

矿井的总进风量, 应按采煤、掘进、硐室及其他地点实际需要风量的总和:

$$Q_m = (\sum Q_{wt} + \sum Q_{ht} + \sum Q_{rt}) \times k_m \quad (7-18)$$

式中  $\sum Q_{wt}$ ——采煤工作面和备用工作面所需风量之和,  $m^3/\min$ ;

$\sum Q_{ht}$ ——掘进工作面所需风量之和,  $m^3/\min$ ;

$\sum Q_{rt}$ ——硐室所需风量之和,  $m^3/\min$ ;

$k_m$ ——矿井通风系统(包括矿井内部漏风和配风不均匀等因素)备用系数, 宜取 1.15~1.25。

#### 四、矿井通风总阻力计算

##### (一) 矿井通风总阻力计算原则

1、矿井通风设的总阻力, 不应超过 2940Pa。

2、矿井井巷的局部阻力, 新建矿井按井巷摩擦阻力的 10% 计算, 扩建矿井宜按井巷摩擦阻力的 15% 计算。

##### (二) 矿井通风总阻力计算

矿井通风总阻力: 风流由进风井口起, 到回风井口止, 沿一条通路(风流路线)各个分支的摩擦阻力和局部阻力的总和, 简称矿井总阻力, 用  $h_m$  表示。

对于矿井有两台或多台风主要通风机工作, 矿井通风阻力按每台主要通风机所服务的系统分别计算。

矿井通风系统总阻力最小时称通风容易时期。通风系统总阻力最大时亦称为通风困难时期。

对于通风困难和容易时期, 要分别画出通风系统图。按照采掘工作面及硐室的需要分配风量, 再由各段风路的阻力计算矿井总阻力。

计算方法:

沿着风流总阻力最大路线, 依次计算各段摩擦阻力  $h_f$ , 然后分别累计得出容易和困难时期的总摩擦阻力  $h_{f1}$  和  $h_{f2}$ 。

通风容易时期总阻力:

$$h_{m1} = h_{f1} + h_e = h_{f1} + (0.1 \sim 0.15)h_{f1} = (1.1 \sim 1.15)h_{f1} \quad (7-19)$$

通风困难时期总阻力:

$$h_{m2} = h_{f2} + h_e = h_{f2} + (0.1 \sim 0.15)h_{f2} = (1.1 \sim 1.15)h_{f2} \quad (7-20)$$

$h_f$  按下式计算:

$$h_f = \sum_{i=1}^n h_{fi} \quad (7-21)$$

式中

$$h_{fi} = \frac{a_i l_i u_i}{s_i^2} Q_i^2 \quad (7-22)$$

#### 五、矿井通风设备的选择

矿井通风设备是指主要通风机和电动机。

##### (一) 矿井通风设备的要求:

1、矿井必须装设两套同等能力的主通风设备, 其中一套作备用。

2、选择通风设备应满足第一开采水平各个时期工况变化, 并使通风设备长期高效率运行。

3、风机能力应留有一定的余量。

4、进、出风井井口的高差在 150m 以上, 或进、出风井井口标高相同, 但井深 400m 以上时, 宜计算矿井的自然风压。

##### (二) 主要通风机的选择

1、计算通风机风量  $Q_f$

$$Q_f = kQ_m \quad (7-23)$$

式中  $Q_f$ ——主要通风机的工作风量,  $m^3/s$ ;

$Q_m$ ——矿井需风量,  $m^3/s$ ;

$k$ ——漏风损失系数, 风井不提升用时取 1.1; 箕斗井兼作回风用时取 1.15; 回风回升降人员时取 1.2。

2、计算通风机风压

离心式通风机(提供的大多是全压曲线):

容易时期:

$$H_{td \min} = h_m + h_d + h_{vd} - H_N \quad (7-24)$$

困难时期:

$$H_{td\max} = h_m + h_d + h_{vd} + H_N \quad (7-25)$$

轴流式通风机 (提供的大多是静压曲线):

容易时期:

$$H_{sd\min} = h_m + h_d - H_N \quad (7-26)$$

困难时期:

$$H_{sd\max} = h_m + h_d + H_N \quad (7-27)$$

式中  $h_m$ —通风系统的总阻力;

$h_d$ —通风机附属装置 (风硐和扩散器) 的阻力;

$h_{vd}$ —扩散器出口动能损失;

$H_N$ —自然风压, 当自然风压与通风机风压作用相同时取“+”; 自然风压与通风机负压作用反向时取“-”。

### 3、初选通风机

根据计算的矿井通风容易时期通风机的  $Q_f$ 、 $H_{sd\min}$ (或  $H_{td\min}$ )和矿井通风困难通风机的  $Q_f$ 、 $H_{sd\max}$ (或  $H_{td\max}$ )在通风机特性曲线上, 选出满足矿井通风要求的通风机。

### 4、求通风机的实际工况点

因为根据  $Q_f$ 、 $H_{sd\min}$ (或  $H_{td\min}$ )和  $Q_f$ 、 $H_{sd\max}$ (或  $H_{td\max}$ )确定的工况点, 但设计工况点不一定恰好在所选择通风机的特性曲线上, 必须根据通风机的风阻, 确定其实际工况点。

步骤:

(1) 计算通风机的风阻

用静压特性曲线时:

$$R_{sd\min} = \frac{H_{sd\min}}{Q_f^2} \quad (7-28)$$

$$R_{sd\max} = \frac{H_{sd\max}}{Q_f^2} \quad (7-29)$$

用全压特性曲线时:

$$R_{td\min} = \frac{H_{td\min}}{Q_f^2} \quad (7-30)$$

$$R_{td\max} = \frac{H_{td\max}}{Q_f^2} \quad (7-31)$$

(2) 确定通风机的实际工况点

在通风机特性曲线上作通风机风阻曲线, 与风压曲线的交点即为实际工况点。

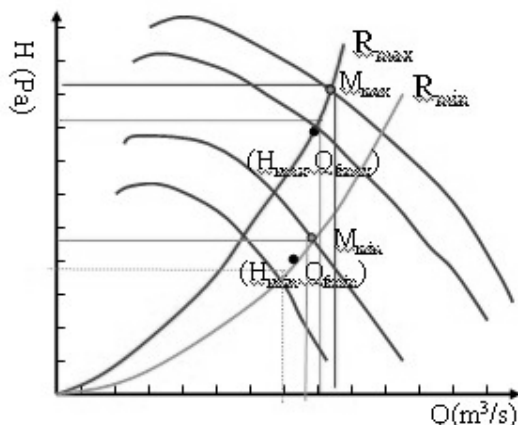


图 7-14 通风机的实际工况点

### 5、确定通风机的型号和转速

根据通风机的工况参数 ( $Q_f$ 、 $H_{sd}$ 、 $\eta$ 、 $N$ ) 对初选的通风机进行技术、经济 and 安全性比较, 最后确定通风机的型号和转速。

### 6、电动机选择

(1) 通风机的输入功率按通风容易和困难时期, 分别计算风所需的输入功率  $N_{\min}$ 、 $N_{\max}$ 。

$$N_{\min} = \frac{Q_f H_{sd \min}}{1000 h_s} \quad (7-32)$$

$$N_{\max} = \frac{Q_f H_{sd \max}}{1000 h_s} \quad (7-33)$$

或

$$N_{\min} = \frac{Q_f H_{td \min}}{1000 h_s} \quad (7-34)$$

$$N_{\max} = \frac{Q_f H_{td \max}}{1000 h_s} \quad (7-35)$$

(2)、电动机的台数及种类

当  $N_{\min} \geq 0.6N_{\max}$  时, 可选一台电动机, 电动机功率为:

$$N_e = N_{\max} \cdot k_e / (h_e h_{tr}) \quad (7-36)$$

当  $N_{\min} < 0.6N_{\max}$  时, 选二台电动机, 其功率分别为:

初期:

$$N_{e \min} = \sqrt{N_{\min} \cdot N_{\max}} \cdot k_e / (h_e h_{tr}) \quad (7-37)$$

后期按选一台电机公式计算。

式中  $\eta_e$ —电机效率;

$\eta_{tr}$ —传动效率。

## 六、概算矿井通风费用

吨煤通风成本是通风设计和管理的重要经济指标。

吨煤通风成本主要包括下列费用:

### 1、电费 ( $W_1$ )

吨煤的通风电费为主要通风机年耗电费及井下辅助通风机、局部通风机电费之和除以年产量, 可用如下公式计算:

$$W_1 = (E + E_A) \times D / T \quad (7-38)$$

式中  $E$ —主要通风机年耗电量;

$D$ —电价, 元/KWh;

$T$ —矿井年产量, 吨;

$\eta_v$ —变压器效率, 可取 0.95;

$E_A$ —局部通风机和辅助通风机的年耗电量;

$\eta_w$ —电缆输电效率

### 2、设备折旧费

### 3、材料消耗费用

### 4、通风工作人员工资费用

### 5、专为通风服务的井巷工程折旧费和维护费折算至吨煤的费用。

### 6、采每吨煤的通风仪表的购置费和维修费用。

## 第五节 可控循环通风概述

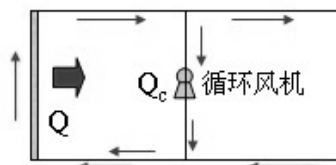


图 7-15 可控循环风

可控循环通风是由英国学者 S.J.LEACH 和 A.SLACK 研究提出, 七十年代初在英国开始应用。之后, 包括中国在内的许多国家也相继对可控循环通风进行了研究和应用。

定义：在低瓦斯矿中，当采掘工作面位于矿井的边远地区，原有通风系统不能保证按需供风，而该地区的回风的风质又比较好时，可以在局部通风系统的进、回风之间安置通风设备、设施和监控设备，对回风进行合理循环控制加以再利用，以增加用风地点的实际风量。此种通风方法称为可控循环风。循环率：

$$h = \frac{Q_c}{Q} \times 100\% \quad (7-39)$$

## 本章复习思考题

### 一、填空题

1. 矿井通风方法是指主要通风机对矿井供风的工作方法，按其安装位置不同，可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三种。
2. 矿井的主要通风设施有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
3. 矿井通风方式是指矿井进风井与回风井的布置方式，常见的矿井通风方法如\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、和\_\_\_\_\_等。
4. 矿井通风系统是矿井\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_的总称。
5. 矿井通风系统图一般可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_。
6. 采煤工作面进风流是指距煤壁及顶、底板各为\_\_\_\_\_和以采空区的切顶线为界的采煤工作面空间的风流。
7. 支架支护的采煤工作面回风流是指距棚梁和棚腿为\_\_\_\_\_的采煤工作面回风巷空间的风流。
8. 矿井必须备有矿井通风系统图和\_\_\_\_\_。
9. 采区内的主要通风构筑物有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等。
10. 在人员和车辆可以通行、风流不能通过的巷道中，至少要建\_\_\_\_\_座风门。
11. 矿井反风方式有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_三种。
12. 中央式通风方式是进风井、回风井均位于\_\_\_\_\_的一种布置方式。
13. 矿井通风系统是指风流由\_\_\_\_\_进入矿井，经过井下各用风场所，然后从\_\_\_\_\_排出，风流流经的整个路线及其配套的通风设施称为矿井通风系统。
14. \_\_\_\_\_是借助某种动力开启和关闭的一种风门。
15. 井下风门按用途分为\_\_\_\_\_、反风门、调节风门。
16. 为截断风流在巷道中设置的隔墙称\_\_\_\_\_。
17. 构筑永久风门，风门前后\_\_\_\_\_内巷道支护良好，无杂物、积水和淤泥。
18. 构筑永久风门时，每组风门不少于\_\_\_\_\_道。
19. \_\_\_\_\_符号代表风门。

### 二、选择题

1. 《规程》规定，矿井至少要有\_\_\_\_\_个安全出口。  
A、2 B、3 C、4
2. 风桥的作用是\_\_\_\_\_。  
A、把同一水平相交的两条进风巷的风流隔开；  
B、把同一水平相交的两条回风巷的风流隔开；  
C、把同一水平相交的一条进风巷和一条回风巷的风流隔开；  
D、把同一水平相交的一条进风巷和一条回风巷的风流相连；
3. 铁筒式风桥漏风率不大于\_\_\_\_\_。  
A. 20% B. 15% C. 10% D. 5%
4. 对于铁筒式风桥，风速要小于\_\_\_\_\_。  
A. 10 m/s B. 8 m/s C. 5 m/s D. 2 m/s
5. 井下风门有\_\_\_\_\_几种？  
A 普通风门，自动风门； B 普通风门，风量门，自动风门，反向风门；  
C 风量门，反向风门； D 反向风门，风量门，自动风门；
6. 下列不属于隔风设施的是\_\_\_\_\_。  
A、临时风门 B、临时密闭 C、防爆门 D、风硐
7. 构筑永久性密闭墙体厚度不小于\_\_\_\_\_。  
A. 0.5 m B. 0.8 m C. 1 m
8. 矿井反风时，主要通风机的供给风量应不小于正常风量的\_\_\_\_\_。

A. 30% B. 40% C. 50%

9. 设在进风、回风交叉处，而又使进、回风互不混合的设施是\_\_\_\_\_。

A. 风门 B. 密闭 C. 风桥 D. 风障

**三、判断题**

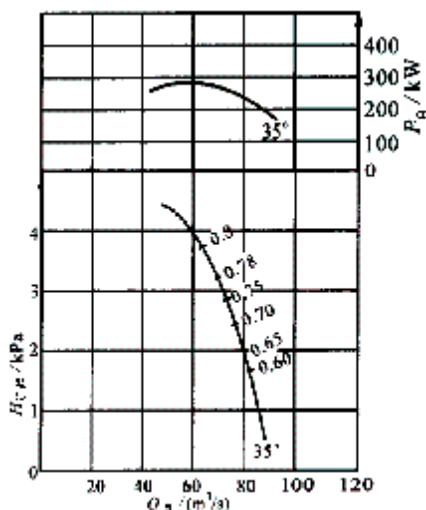
1. 为切断风流又不准行人和通车或封闭已采区和盲巷等设置的构筑物叫挡风墙。
2. 上行通风是指风流在倾斜井巷中向上流动。
3. 有煤与瓦斯突出的采煤工作面，严禁采用下行通风。
4. 风门能隔断巷道风流，确保需风地点的风量要求。
5. U型通风系统是煤矿井下采煤工作面常用的一种通风方式。
6. 风门两侧的风压差越小，需要开启的力越大。
7. 下行通风是指风流在倾斜巷中向下流动。
8. 井下爆炸材料库必须有单独的新鲜风流，回风风流必须直接引入矿井总回风巷。
9. 井下爆炸材料库，每小时通过的风量不得小于其容积的4倍。
10. 按井下同时工作的最多人数计算，每人每分钟供给风量不少于  $4 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

**四、简答题**

1. 采区通风系统包括哪些部分？
2. 试比较运输上山和轨道上山进风的优缺点和适用条件。
3. 何谓下行风？试从防止瓦斯积聚、防尘及降温角度分析上行风与下行风的优缺点。
4. 试述长壁工作面通风系统有哪些类型？并阐述其各自的特点和适用性。
5. 通风系统包括哪些部分？
6. 简述拟定矿井通风系统的原则和要求。
7. 从防止瓦斯积聚、防尘降温等角度分析采煤工作面上行风与下行风各自的优缺点。
8. 矿井通风系统主要有哪几种类型？说明其特点及适用条件。
9. 试述矿井通风系统安全性评价的目的和作用。
10. 堵塞井下漏风通道应从哪些方面着手？
11. 什么叫全矿反风？短路反风？多风井通风矿井在火灾时期如何组织单风机反风与多风机齐反？
12. 抽出式通风的瓦斯矿井，火灾时期反风时瓦斯涌出量增减情况如何估计？
13. 什么叫局部反风？在什么条件下实现局部反风？试述局部反风系统的形式。

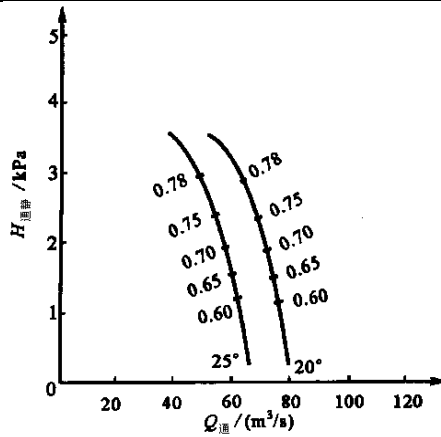
**五、判断、作图与设计**

1. 某矿使用 2K60—1No18 轴流式通风机抽出通风，通风机的个体特征曲线如题图所示，矿井的总风阻  $R=0.56 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ，试求通风机的风量、静压、效率和输入功率各为多少？若矿井总风阻发生变化  $R=0.14 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ，问通风机的运转是否经济？



题图 7-1

2. 某矿使用 2K60—1No18 和 2K60—1No24 两台主要通风机做抽出式通风，一台运转，一台备用。No18 和 No24 通风机的叶片安装角度分别为  $25^\circ$  和  $20^\circ$ ，其特征曲线如题图所示。由于生产急需增加风量，暂时将两台通风机并联运转，已知矿井的总风阻  $R=0.17 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^8$ ，试用作图法求并联运转时矿井的总风量，并判断并联运转是否经济可靠？



题图 7-2

**六、计算题**

1. 某岩巷掘进长度为 300 m，断面为 8 m<sup>2</sup>，风筒漏风系数为 1.19，一次爆破炸药量为 10 kg，采用压入式通风，通风时间为 20 min，求该掘进工作面所需风量。若该岩巷掘进长度延至 700 m，漏风系数为 1.38，再求工作面所需风量。
2. 某岩巷掘进长度为 400 m，断面为 6 m<sup>2</sup>，一次爆破最大炸药量 10 kg。采用抽出式通风，通风时间为 15 min，求该掘进面所需风量。
3. 某岩巷掘进长度 1000 m。用混合式（长抽短压）通风，断面为 8 m<sup>2</sup>，一次爆破炸药量 10 kg，抽出式风筒距工作面 40 m，通风时间 20 min。试计算工作面需风量和抽出式风筒的吸风量。
4. 某煤巷掘进长度 500 m，断面 7 m<sup>2</sup>，采用爆破掘进方法，一次爆破炸药量 6 kg，若最大瓦斯涌出量 2 m<sup>3</sup>/min，求工作面所需风量。

**七、名词解释**

矿井通风系统

## 第八章 矿井空气调节概论

矿井空气调节是改善矿内气候条件的主要技术措施之一。其主要内容包括两方面：一是对冬季寒冷地区，当井筒入风温度低于 $2^{\circ}\text{C}$ 时，对井口空气进行预热；二是对高温矿井用风地点进行风温调节，以达到《规程》规定的标准。

### 第一节 井口空气加热

#### 一、井口空气加热方式

井口一般采用空气加热器对冷空气进行加热，其加热方式有两种。

##### 1. 井口房不密闭的加热方式

当井口房不宜密闭时，被加热的空气需设置专用的通风机送入井筒或井口房。这种方式按冷、热风混合的地点不同，又分以下三种情况：

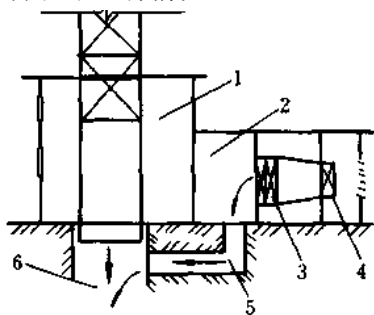


图 8-1

1—通风机房；2—空气加热室；3—空气加热器；4—通风机；5—热风道；6—井筒

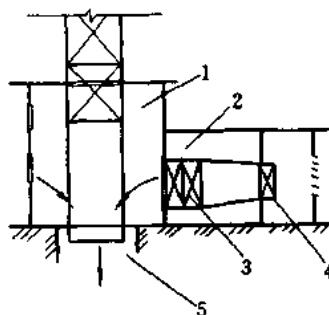


图 8-2

1—通风机房；2—空气加热室；3—空气加热器；4—通风机；5—井筒

(1) 冷、热风在井筒内混合：这种布置方式是将被加热的空气通过专用通风机和热风道送入井口以下 $2\text{m}$ 处，在井筒内进行热风 and 冷风的混合，如图 8-1 所示。

(2) 冷、热风在井口房内混合：这种布置方式是将热风直接送入井口房内进行混合，使混合后的空气温度达到 $2^{\circ}\text{C}$ 以上后再进入井筒，如图 8-2 所示。

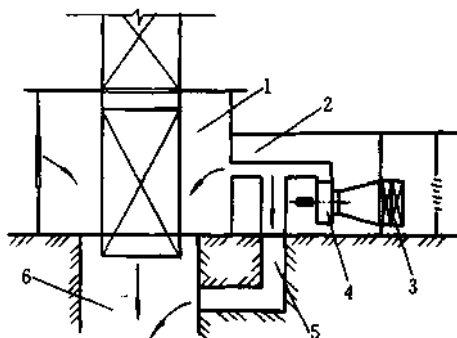


图 8-3

1—通风机房；2—空气加热室；3—空气加热器；4—通风机；5—热风道；6—井筒。

##### (3) 冷、热风在井口房和井筒内同时混合

这种布置方式是前两种方式的结合，它将大部分热风送入井筒内混合，而将小部分热风送入井口房内混合，其布置方式如图 8-3 所示。以上三种方式相比较，第一种方式冷、热风混合效果较好，通风机噪声对井口房的影响相对较小，但井口房风速大、风温低，井口作业人员的工作条件差，而且井筒热风口对面井壁、上部罐座和罐顶保险装置有冻冰危险；第二种方式井口房工作条件有所改善，上部罐座和

罐顶保险装置冻冰危险减少,但冷、热风的混合效果不如前者,而且井口房内风速较大,尤其是通风机的噪声对井口的通讯信号影响较大;第三种方式综合了前两种的优点,而避免了其缺点,但管理较为复杂。

## 2. 井口房密闭的加热方式

当井口房有条件密闭时,热风可依靠矿井主要通风机的负压作用而进入井口房和井筒,而不需设置专用的通风机送风。采用这种方式,大多是在井口房内直接设置空气加热器,让冷、热风在井口房内混合。

对于大型矿井,当井筒进风量较大时,为了使井口房风速不超限,可在井口房外建立冷风塔和冷风道,让一部分冷风先经过冷风道直接进入井筒,使冷、热风即在井口房混合又在井筒内混合。采用这种方式时,应注意防止冷风道与井筒联接处结冰。

井口房不密闭与井口房密闭这两种井口空气加热方式相比,其优缺点见表 8-1。

表 8-1 井口空气加热方式的优缺点比较表

井口空气加热方式	优点	缺点
井口房不密闭时	1. 井口房不要求密闭; 2. 可建立独立的空气加热室,布置较为灵活; 3. 在相同风量下,所需空气加热器的片数少。	1. 井口房不要求密闭; 2. 可建立独立的空气加热室,布置较为灵活; 3. 在相同风量下,所需空气加热器的片数少。
井口房密闭时	1. 井口房工作条件好; 2. 不需设置专用通风机,设备投资少。	1. 井口房密闭增加矿井通风阻力; 2. 井口房漏风管理较为麻烦。

## 二、空气加热量的计算

### 1. 计算参数的确定

(1) 室外冷风计算温度的确定。井口空气防冻加热的室外冷风计算温度,通常按下述原则确定:立井和斜井采用历年极端最低温度的平均值;平硐采用历年极端最低温度平均值与采暖室外计算温度二者的平均值。

(2) 空气加热器出口热风温度的确定。通过空气加热器后的热风温度,根据井口空气加热方式按表 8-2 确定。

表 8-2 空气加热器后热风温度的确定

送风地点	热风温度(°C)	送风地点	热风温度(°C)
立井井筒	60~70	正压进入井口房	20~30
斜井或平硐	40~50	负压进入井口房	10~20

### 2. 空气加热量的计算

井口空气加热量包括基本加热量和附加加热损失两部分,其中附加加热损失包括热风道、通风机壳及井口房外围护结构的热损失等。

基本加热量即为加热冷风所需的热量,在设计中,一般附加加热损失可不单独计算,总加热量可按基本加热量乘以一个系数求得。

即总加热量  $Q$ , 可按公式 (8-1) 计算:

$$Q = aMC_p(t_h - t_l), \text{ KW} \quad (8-1)$$

式中  $M$ —井筒进风量, Kg/s;

$C_p$ —空气定压比热,  $C_p=1.01 \text{ KJ}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$ 。

$a$ —热量损失系数,井口房不密闭时  $a=1.05\sim 1.10$ , 密闭时  $a=1.10\sim 1.15$ ;

$t_h$ —冷、热风混合后空气温度,可取  $2^\circ\text{C}$ ;  $t_l$ —室外冷风温度,  $^\circ\text{C}$ ;

## 三、空气加热器的选择计算

### 1. 基本计算公式

(1) 通过空气加热器的风量

$$M_1 = a \cdot M \frac{t_h - t_l}{t_{h0} - t_l}, \text{ Kg/s} \quad (8-2)$$

$M_1$ —通过空气加热器的风量, Kg/s;

$t_{h0}$ —加热后加热器出口热风温度,  $^\circ\text{C}$ , 按表 8-2 选取;

其余符号意义同前。

(2) 空气加热器能够供给的热量

$$Q' = kS\Delta t_p, \text{ Kg/s} \quad (8-3)$$

Q'—空气加热器能够供给的热量, KW;  
 K—空气加热器的传热系数, KW/(m<sup>2</sup>·K);  
 S—空气加热器的散热面积, m<sup>2</sup>;  
 Δt<sub>p</sub>—热媒与空气间的平均温差, °C。  
 当热媒为蒸汽时:

$$\Delta t_p = t_v - (t_1 + t_{h0})/2, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8-4)$$

当热媒为热水时:

$$\Delta t_p = (t_{w1} + t_{w2})/2 - (t_e + t_{h0})/2, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8-5)$$

t<sub>v</sub>—饱和蒸汽温度, °C;  
 t<sub>w1</sub>、t<sub>w2</sub>—热水供水和回水温度, °C;  
 其余符号意义同前。

空气加热器常用的在不同压力下的饱和蒸汽温度, 见表 8-3

表 8-3 不同压力下的饱和蒸汽温度

蒸汽压力(KPa)	≤30	98	196	245	294	343	392
饱和蒸汽温度(°C)	100	119.6	132.8	138.2	142.9	147.2	151

## 2. 选择计算步骤

空气加热器的选择计算可按下述方法和步骤进行:

### (1) 初选加热器的型号

初选加热器的型号首先应假定通过空气加热器的质量流速(vρ)', 一般井口房不密闭时(vρ)'可选 4~8Kg/m<sup>2</sup>.s,井口房密闭时(vρ)'可选 2~4Kg/m<sup>2</sup>.s。然后按下式求出加热器所需的有效通风截面积 S':

$$S' = M_1 / (v\rho)', \text{ m} \quad (8-6)$$

在加热器的型号初步选定之后, 即可根据加热器实际的有效通风截面积, 算出实际的(vρ)值。

### (2) 计算加热器的传热系数

表 8-4 中列举了部分国产空气加热器传热系数的实验公式, 供学习时参考, 更详细的资料请查阅有关手册。如果有的产品在整理传热系数实验公式时, 用的不是质量流速 (vρ), 而是迎面风速 v<sub>y</sub>, 则应根据加热器有效截面积与迎风面积之比 α 值 (α 称为有效截面系数), 使用关系式, 由 vρ 求出 v<sub>y</sub> 后, 再计算传热系数。

表 8-4 部分国产空气加热器的传热系数和阻力计算公式表

加热器型号	热媒	传热系数 K(W/m <sup>2</sup> ·K)	空气阻力 ΔH(Pa)	热水阻力 Δh(KPa)
5、6、10D	蒸汽	14. 6(vρ) <sup>0.49</sup>	1.76(vρ) <sup>1.998</sup>	D 型: 15.2VW1.96 Z、X 型: 15.2VW1.96
5、6、10Z		14. 6(vρ) <sup>0.49</sup>	1.47(vρ) <sup>1.98</sup>	
5、6、10X		14. 5(vρ) <sup>0.532</sup>	0.88(vρ) <sup>2.12</sup>	
7D		14. 3(vρ) <sup>0.51</sup>	2.06(vρ) <sup>1.17</sup>	
7Z		14. 6(vρ) <sup>0.49</sup>	2.94(vρ) <sup>1.52</sup>	
7X	蒸汽	15.1(vρ) <sup>0.571</sup>	1.37(vρ) <sup>1.917</sup>	
B×A/2	热水	15.2(vρ) <sup>0.50</sup>	1.71(vρ) <sup>1.67</sup>	
B×A/3		15.1(vρ) <sup>0.43</sup>	3.03(vρ) <sup>1.62</sup>	
B×A/2		16.5(vρ) <sup>0.24</sup>	1.5(vρ) <sup>1.58</sup>	
B×A/3		14.5(vρ) <sup>0.29</sup>	2.9(vρ) <sup>1.58</sup>	

注 v<sub>ρ</sub>—空气质量流速, Kg/m<sup>2</sup>.s;

V<sub>w</sub>—水流速, m/s。

如果热媒为热水, 则在传热系数的计算公式中还要用到管内水流速 V<sub>w</sub>。加热器管内水流速可按下式计算:

$$V_w = \frac{M_1 C_p (t_{h0} - t_1)}{S_w C (t_{w1} - t_{w2}) \times 10^3} \text{ m/s} \quad (8-7)$$

V<sub>w</sub>—加热器管内水的实际流速, m/s;  
 S<sub>w</sub>—空气加热器热媒通过的截面积, m<sup>2</sup>;  
 C—水的比热, C=4.1868KJ/Kg·K。

其余符号意义同前。

### (3) 计算所需的空气加热器面积和加热器台数

空气加热器所需的加热面积可按下式计算：

$$S_1 = \frac{Q_1}{K \cdot \Delta t_p} \quad \text{m}^2 \quad (8-8)$$

式中符号意义同前。

计算出所需加热面积后，可根据每台加热器的实际加热面积确定所需加热器的排数和台数。

(4)检查空气加热器的富余系数，一般取 1.15~1.25。

(5)计算空气加热器的空气阻力 $\Delta H$ ，计算公式见表 8-4。

(6)计算空气加热器管内水阻力 $\Delta h$ ，计算公式也见表 8-4。

## 第二节 矿井主要热源及其散热量

要进行矿井空调设计，首先就必须了解引起矿井高温热害的主要影响因素。能引起矿井气温值升高的环境因素统称为矿井热源。

### 一、井巷围岩传热

#### 1. 围岩原始温度的测算

围岩原始温度是指井巷周围未被通风冷却的原始岩层温度。由于在地表大气和大地热流场的共同作用下，岩层原始温度沿垂直方向上大致可划分为三个层带：

变温带：在地表浅部由于受地表大气的影 响，岩层原始温度随地表气温度的变化而呈周期性地变化，称为变温带。

恒温带：随着深度的增加，岩层原始温度受地表大气的影 响逐渐减弱，而受大地热流场的影响逐渐增强，当到达某一深度处时，二者趋于平衡，岩温常年基本保持不变，这一层带称为恒温带，恒温带的温度约比当地年平均气温高 1~2℃。

增温带：在恒温带以下，由于受大地热流场的影响，在一定的区域范围内，岩层原始温度随深度的增加而增加，大致呈线性的变化规律，这一层带称为增温带。

地温率：在增温带内，岩层原始温度随深度的变化规律可用地温率或地温梯度来表示。地温率是指恒温带以下岩层温度每增加 1℃，所增加的垂直深度，即：

$$g_r = \frac{Z - Z_0}{t_r - t_{r0}} \quad \text{m}^\circ\text{C} \quad (8-9)$$

地温梯度：指恒温带以下，垂直深度每增加 100m 时，原始岩温的升高值，它与地温率之间的关系为：

$$G_r = 100/g_r \quad \text{}^\circ\text{C}/100\text{m} \quad (8-10)$$

式中  $g_r$ —地温率， $\text{m}^\circ\text{C}$ ；

$G_r$ —地温梯度， $^\circ\text{C}/100\text{m}$ ；

$Z_0$ 、 $Z$ —恒温带深度和岩层温度测算处的深度， $\text{m}$ ；

$t_{r0}$ 、 $t_r$ —恒温带温度和岩层原始温度， $^\circ\text{C}$ 。

若已知  $g_r$  或  $G_r$  及  $Z_0$ 、 $t_{r0}$ ，则对式 (8-9)、式 (8-10) 进行变形后，即可计算出深度为  $Z\text{m}$  的原岩温度  $t_r$ 。

表 8-5

我国部分矿区恒温带参数

矿区名称	恒温带深度 $Z_0(\text{m})$	恒温带温度 $t_{r0}(^\circ\text{C})$	地温率 $g_r(\text{m}^\circ\text{C})$
辽宁抚顺	25~30	10.5	30
山东枣庄	40	17.0	45
平顶山矿区	25	17.2	31~21
罗河铁矿区	25	18.9	59~25
安徽淮南潘集	25	16.8	33.7
辽宁北票台吉	27	10.6	40~37
广西合山	20	23.1	40
浙江长广	31	18.9	44
湖北黄石	31	18.8	43.3~39.8

表 8-5 列出的我国部分矿区恒温带参数和地温率数值，仅供参考。

### 2. 围岩与风流间传热量

井巷围岩与风流间的传热是一个复杂的不稳定传热过程。井巷开掘后，随着时间的推移，围岩被冷却的范围逐渐扩大，其所向风流传递的热量逐渐减少；而且在传热过程中由于井巷表面水分蒸发或凝结，还伴随着传质过程发生。为简化研究，目前常将这些复杂的影响因素都归结到传热系数中去讨论。因此，井巷围岩与风流间的传热量可按式(8-11)来计算：

$$Q_r = K_t UL (t_{m_0} - t), (kW) \quad (8-11)$$

式中  $Q_r$ —井巷围岩传热量，KW；

$K_t$ —围岩与风流间的不稳定换热系数，KW/(m<sup>2</sup>·℃)；

$U$ —井巷周长，m；

$L$ —井巷长度，m；

$t_{m_0}$ —平均原始岩温，℃；

$t$ —井巷中平均风温，℃。

围岩与风流间的不稳定传热系数  $K_t$  是指井巷围岩深部未被冷却的岩体与空气间温差为 1℃时，单位时间内从每 m<sup>2</sup> 巷道壁面上向空气放出(或吸收)的热量。它是围岩的热物理性质、井巷形状尺寸、通风强度及通风时间等的函数。由于不稳定传热系数的解析解相当复杂，在矿井空调设计中大多采用简化公式或统计公式计算。

## 二、机电设备放热

### 1. 采掘设备放热

采掘设备运转所消耗的电能最终都将转化为热能，其中大部分将被采掘工作面风流所吸收。风流所吸收的热能中小部分能引起风流的温升，其中大部分转化成汽化潜热引起焓增。

采掘设备运转放热一般可按式(8-12)计算：

$$Q_c = \Phi N, (KW) \quad (8-12)$$

式中  $Q_c$ —风流所吸收的热量，KW；

$\Phi$ —采掘设备运转放热中风流的吸热比例系数；

$\Phi$  值可通过实测统计来确定。

$N$ —采掘设备实耗功率，KW。

### 2. 其它电动设备放热

电动设备放热量一般可按式(8-13)计算：

$$Q_e = (1 - h_t) h_m N, (KW) \quad (8-13)$$

式中  $Q_e$ —电动设备放热量，KW；

$N$ —电动机的额定功率，KW；

$\eta_t$ —提升设备的机械效率，非提升设备或下放物料  $\eta_t=0$ ；

$\eta_m$ —电动机的综合效率，包括负荷率、每日运转时间和电动机效率等因素。

## 三、运输中煤炭及矸石的放热

在以运输机巷作为进风巷的采区通风系统中，运输中煤炭及矸石的放热是一种比较重要的热源。运输中煤炭及矸石的放热量一般可用下式近似计算：

$$Q_k = m C_m \Delta t, (KW) \quad (8-14)$$

式中  $Q_k$ —运输中煤炭或矸石的放热量，KW；

$m$ —煤炭或矸石的运输量，Kg/s；

$C_m$ —煤炭或矸石的比热，KJ/(Kg·℃)；

$\Delta t$ —煤炭或矸石与空气温差，℃。

可由实测确定，也可用下式估算：

$$\Delta t = 0.0024 L^{0.8} (t_r - t_{wm}), (°C) \quad (8-15)$$

式中  $L$ —运输距离，m；

$t_r$ —运输中煤炭或矸石的平均温度，一般较回采工作面的原始岩温低 4~8℃；

$t_{wm}$ —运输巷道中风流的平均湿球温度，℃。

## 四、矿物及其它有机物的氧化放热

井下矿物及其它有机物的氧化放热是一个十分复杂的过程，很难将它与其它热源分离开来单独计算，现一般采用下式估算：

$$Q_0 = q_0 V^{0.8} UL, (KW) \quad (8-16)$$

式中  $Q_0$ —氧化放热量，KW

$V$ —巷道中平均风速, m/s;

$q_0$ — $V=1\text{m/s}$  时单位面积氧化放热量,  $\text{KW}/\text{m}^2$ ; 在无实测资料时, 可取  $3\sim 4.6\times 10^{-3}\text{KW}/\text{m}^2$ 。

其余符号意义同前。

### 五、人员放热

在人员比较集中的采掘工作面, 人员放热对工作面的气候条件也有一定的影响。人员放热与劳动强度和个人体质有关, 现一般按下式进行计算:

$$Q_{w0} = nq, (\text{KW}) \quad (8-17)$$

式中  $Q_{w0}$ —人员放热量,  $\text{KW}$

$n$ —工作面总人数;

$q$ —每人发热量, 一般参考以下数据取值: 静止状态时取  $0.09\sim 0.12\text{KW}$ ; 轻度体力劳动时取  $0.2\text{kw}$  中等体力劳动时取  $0.275\text{kw}$ ; 繁重体力劳动时取  $0.47\text{kw}$ 。

### 六、热水放热

井下热水放热主要取决于水温、水量和排水方式。当采用有盖水沟或管道排水时, 其传热量可按下列式计算:

$$Q_w = K_w S(t_w - t), (\text{KW}) \quad (8-18)$$

式中  $Q_w$ —热水传热量,  $\text{KW}$ ;

$K_w$ —水沟盖板或管道的传热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ;

$S$ —水与空气间的传热面积。水沟排水: $S=B_w L$ ,  $\text{m}^2$ ; 管道排水: $S=\pi D_2 L$ ,  $\text{m}^2$ ;

$B_w$ —水沟宽度,  $\text{m}$ ;  $D_2$ —管道外径,  $\text{m}$ ;  $L$ —水沟长度,  $\text{m}$ ;

$t_w$ —水沟或管道中水的平均温度,  $^\circ\text{C}$ ;

$t$ —巷道中风流的平均温度,  $^\circ\text{C}$ 。

水沟盖板的传热系数可按下列式确定:

$$K_w = 1 / \left( \frac{1}{a_1} + \frac{d}{l} + \frac{1}{a_2} \right), \text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}) \quad (8-19)$$

管道传热系数可按下列式确定:

$$K_w = 1 / \left( \frac{d_2}{a_1 d_1} + \frac{d_2}{2l} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{a_2} \right), \text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}) \quad (8-20)$$

式中  $a_1$ —水与水沟盖板或管道内壁的对流换热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ;

$a_2$ —水沟盖板或管道外壁与巷道空气的对流换热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ;

$\delta$ —盖板厚度,  $\text{m}$ ;

$\lambda$ —盖板或管壁材料的导热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ;

$D_1$ —管道内径,  $\text{m}$ ;

$D_2$ —管道外径,  $\text{m}$ 。

## 第三节 矿井风流热湿计算

矿井风流热湿计算是矿井空调设计的基础, 是采取合理的空调技术措施的依据。

### 一、地表大气状态参数的确定

地表大气状态参数一般按下述原则确定:

温度采用历年最热月月平均温度的平均值;

相对湿度采用历年最热月月平均相对湿度的平均值;

含湿量采用历年最热月月平均含湿量的平均值。

这些数值均可从当地气象台、站的气象统计资料中获得。

### 二、井筒风流的热交换和风温计算

研究表明, 在井筒通过风量较大的情况下, 井筒围岩对风流的热状态影响较小, 决定井筒风流热状态的主要因素是地表大气条件和风流在井筒内的加湿压缩过程。根据热力学第一定律, 井筒风流的热平衡方程式为:

$$c_p(t_2 - t_1) + g(d_2 - d_1) = g(z_1 - z_2) \quad (8-21)$$

在一定的空气压力下, 风流的含湿量与风温呈近似的线性关系:

$$d = 622 \frac{j b(t + e')}{P - P_m}, (g/Kg) \quad (8-22)$$

式中  $\phi$ —风流的相对湿度, %;

$t$ —风流温度, °C;

$P$ —大气压力, Pa;

$b$ 、 $\varepsilon'$ 、 $P_m$ —与风温有关的常数, 由表 8-6 确定。

令:  $A = 622 \frac{b}{P - P_m}$ , 则:

$$d = A j (t + e') \quad (8-23)$$

将式(8-23)代入式(8-21)可解得:

$$t_2 = \frac{(1 + E_1 j_1) t_1 + F}{(1 + E_2 j_2)}, (°C) \quad (8-24)$$

组合参数(只是为了简化公式而设的, 没有任何物理意义):

$E_1 = 2.4876 A_1$ ;  $E_2 = 2.4876 A_2 A_1 = 622 b / (P_1 - P_m)$ ;  $A_2 = 622 b / (P_2 - P_m)$ ;  $F = (Z_1 - Z_2) / 102.5 - (E_2 - E_1) \varepsilon'$ 。

(8-24)即为井底风温计算式。

$P_1$ 、 $P_2$ —井口、井底的大气压力, 对于井底大气压力可近似按式(8-25)推算:

$$P_2 = P_1 + g_p (Z_1 - Z_2), (Pa) \quad (8-25)$$

式中  $g_p$ —压力梯度, 其值为 11.3~12.6, Pa/m;

$\phi_1$ 、 $\phi_2$ ——井口、井底空气的相对湿度, %。

当井筒中存在水分蒸发时, 由于水分蒸发吸收的热量来源于风流下行压缩热和风流本身, 这部分热量将转化为汽化潜热, 所以当风流沿井筒向下流动时, 有时井底风温不仅不会升高, 反而还可能有所降低。

表 8-6  $b$ 、 $\varepsilon'$ 、 $P_m$  参数取值表

风温/°C	$b$	$\varepsilon'$	$P_m$ 井下地面	
1~10	61.978	9.324	1016.12	734.16
11~17	50.274	19.979	1459.01	1053.36
17~23	144.305	-3.770	2108.05	1522.08
23~29	197.838	-8.988	3028.41	2187.85
29~35	268.328	-14.288	4281.27	3105.55
35~45	393.015	-22.958	6497.05	4692.24

### 三、巷道风流的热交换和风温计算

风流经过巷道时, 由于与巷道环境间发生热湿交换, 使风温随距离逐渐上升。其热平衡方程式为:

$$M_b C_p (t_2 - t_1) + M_b g (d_2 - d_1) = [K_t U (t_r - t) + K_i U_i (t_i - t) - K_x U_x (t - t_x) + K_w B_w (t_w - t)] L + \sum Q_m \quad (8-26)$$

式中  $M_b$ —风流的质量流量, Kg/s;

$K_t$ —风流与围岩间的不稳定换热系数, KW/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );

$U$ —巷道周长, m;

$t_r$ —原始岩温, °C;

$K_i$ 、 $K_x$ —分别为热、冷管道的传热系数, KW/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );

$U_i$ 、 $U_x$ —分别为热、冷管道的周长, m;

$t_i$ 、 $t_x$ —分别为热、冷管道内流体的平均温度, °C;

$K_w$ —巷道中水沟盖板的传热系数, KW/( $m^2 \cdot ^\circ C$ );

$B_w$ —水沟宽度, m;

$t_w$ —水沟中水的平均温度, °C;

$\sum Q_m$ —巷道中各种绝对热源的放热量之和, KW;

$L$ —巷道的长度, m。

式(8-26)通过变换整理可改写成:

$$(R + E) t_2 = (R + E - N) t_1 + M + F \quad (8-27)$$

由式(8-27)可解得:

$$t_2 = \frac{(R + Ej_1 - N)t_1 + M + F}{(R + Ej_2)}, (^\circ\text{C}) \quad (8-28)$$

其中组合参数:

$$E = 2.4876A; \quad N_t = \frac{K_t UL}{M_b C_p}; \quad N_i = \frac{K_i U_i L}{M_b C_p}; \quad N_x = \frac{K_x U_x L}{M_b C_p}; \quad N_w = \frac{K_w B_w L}{M_b C_p}; \quad N = N_\tau + N_t + N_x + N_w;$$

$$R = 1 + 0.5N; \quad M = N_\tau t_\tau + N_t t_t + N_x t_x + N_w t_w; \quad F = \frac{\sum Q_m}{M_b C_p} - E\Delta j e'; \quad \Delta j = j_2 - j_1.$$

如果巷道中的相对热源只有围岩放热, 则式(8-28) 还可简化为:

$$t_2 = \frac{(R + Ej_1 - N)t_1 + Nt_r + F}{(R + Ej_2)}, (^\circ\text{C}) \quad (8-29)$$

#### 四、采掘工作面风流热交换与风温计算

##### 1. 采煤工作面

风流通过采煤工作面时的热平衡方程式可表示为

$$M_b C_p (t_2 - t_1) + M_b g (d_2 - d_1) = K_t UL (t_r - t) + (Q_k + \sum Q_m) \quad (8-30)$$

式中  $Q_k$ —运输中煤炭放热量, KW; 其余符号意义同前。

将式(8-12)和式(8-23)带入公式(8-30), 经整理即可得出采煤工作面末端的风温计算式, 其形式和式(8-29)完全一样, 只是其中的组合参数略有不同。

对于采煤工作面:

$$N = \frac{K_t UL + 6.67 \times 10^{-4} C_m mL^{0.8}}{M_b C_p} \quad (8-31)$$

$$F = \frac{\sum Q_m - 2.33 \times 10^{-3} C_m mL^{0.8}}{M_b C_p} - E\Delta j e' \quad (8-32)$$

式中  $m$ —每小时煤炭运输量,  $m = \frac{A}{t}$ , t/h;

$A$ —工作面日产量, t;

$\tau$ —每日运煤时数, h。

当要求采煤工作面出口风温不超过《规程》规定时, 其入口风温可按下式确定:

$$t_1 = \frac{(R + Ej_2)t_2 - Nt_r - F}{R + Ej_1 - N}, (^\circ\text{C}) \quad (8-33)$$

##### 2. 掘进工作面

风流在掘进工作面的热交换主要是通过风筒进行的, 其热交换过程一般可视为等湿加热过程。现以如图 8-4 所示的压入式通风为例进行讨论。

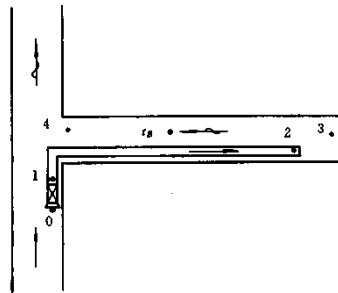


图 8-4

##### (1) 局部通风机出口风温确定

风流通过局部通风机后, 其出口风温一般可按下式确定:

$$t_1 = t_0 + K_b \frac{N_e}{M_{b1}}, (^\circ\text{C}) \quad (8-34)$$

式中  $K_b$ —局部通风机放热系数, 可取 0.55~0.7;

$t_0$ —局部通风机入口处巷道中的风温,  $^\circ\text{C}$ ;

$N_e$  一局部通风机额定功率, KW;  
 $M_{b1}$  一局部通风机的吸风量, Kg/s。

(2)风筒出口风温的确定:

根据热平衡方程式, 风流通过风筒时, 其出口风温可按下式确定:

$$t_2 = \frac{2N_t t_b + (1 - N_t)t_1 + 0.01(Z_1 - Z_2)}{1 + N_t}, \quad (^\circ\text{C}) \quad (8-35)$$

其中:

$$N_t = \frac{K_t F_t}{(K + 1)M_{b1}C_p} \quad (8-36)$$

对于单层风筒:

$$K_t = \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}\right)^{-1}, \quad (\text{kw}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (8-37)$$

对于隔热风筒:

$$K_t = \left(\frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_1} \frac{D_2}{D_1} + \frac{D_2}{2l} \ln \frac{D_1}{D_2}\right)^{-1}, \quad (\text{kw}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (8-38)$$

式中  $t_b$  一风筒外平均风温,  $^\circ\text{C}$ ;

$Z_1$  一风筒入口处标高, m;

$Z_2$  一风筒出口处标高, m;

$K_t$  一风筒的传热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$a_1$  一风筒外对流换热系数,  $\text{KW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$$a_1 = 0.006(1 + 1.471\sqrt{0.6615V_b^{1.6} + D_1^{-0.5}}) \quad (8-39)$$

$a_2$  一风筒内对流换热系数,  $\text{KW}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$$a_2 = 0.00712D_2^{-0.25}V_m^{0.75} \quad (8-40)$$

式中  $D_1$  一隔热风筒外径, m;

$D_2$  一风筒内径, m;

$\lambda$  一隔热层的导热系数,  $\text{KW}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$V_b$  一巷道中平均风速;

$$V_b = 0.4167(K + 1)M_{b1}/S, \quad (\text{m}/\text{s}) \quad (8-41)$$

$V_m$  一风筒内平均风速;

$$V_m = 0.5308(K + 1)M_{b1}/D_2^2, \quad (\text{m}/\text{s}) \quad (8-42)$$

$S$  一掘进巷道的断面积,  $\text{m}^2$ 。

(3)掘进头风温确定

风流从风筒口射出后, 与掘进头近区围岩发生热交换, 根据热平衡方程式, 掘进头风温可按下式确定:

$$t_3 = \frac{1}{R}[(1 + Ej_2 - M)t_2 + 2Mt_r + F], \quad (^\circ\text{C}) \quad (8-43)$$

其中:  $M = ZK_{t3}S_3$ ;  $Z = (2KM_{b1}C_p)^{-1}$ ;  $R = 1 + M + Ej_3$ ;  $F = Z \sum Q_{m3} - E\Delta j e'$

式中  $K_{t3}$  一掘进头近区围岩不稳定换热系数,  $\text{KW}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$S_3$  一掘进头近区围岩散热面积,  $\text{m}^2$ ;

$\sum Q_{m3}$  一掘进头近区局部热源散热量之和, KW。

其余符号意义同前。

掘进头近区围岩不稳定换热系数可按下式确定:

$$K_{t3} = \frac{I\Phi}{1.77R_3\sqrt{F_{03}}}, \quad (\text{kw}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \quad (8-44)$$

其中:  $\Phi = \sqrt{1 + 1.77\sqrt{F_{03}}}$ ;  $R_3 = \sqrt{R_0 l_3 + R_0^2}$ ;  $R_0 = 0.564\sqrt{S}$ ;  $F_{03} = \frac{at_3}{R_0^2}$ 。

$\lambda$  一岩石的导热系数,  $\text{KW}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ;

$a$ —岩石的导温系数,  $m^2/h$ ;

$\tau_3$ —掘进头平均通风时间,  $h$ ;

$l_3$ —掘进头近区长度,  $m$ 。

### 五、矿井风流湿交换

当矿井风流流经潮湿的井巷壁面时, 由于井巷表面水分的蒸发或凝结, 将产生矿井风流的湿交换。根据湿交换理论, 经推导可得出井巷壁面水分蒸发量的计算公式为:

$$W_{\max} = \frac{a}{g}(t-t_s)UL\frac{P}{P_0}, \quad (kg/s) \quad (8-45)$$

式中  $a$ —井巷壁面与风流的对流换热系数;

$$a = 2.728 \times 10^{-3} e_m V_b^{0.8}, \quad (kw/m^2 \cdot ^\circ C) \quad (8-46)$$

$\gamma$ —水蒸气的汽化潜热,  $2500 KJ/Kg$ ;

$t$ —巷道中风流的平均温度,  $^\circ C$ ;

$t_s$ —巷道中风流的平均湿球温度,  $^\circ C$ ;

$U$ —巷道周长,  $m$ ;

$L$ —巷道长度,  $m$ ;

$P$ —风流的压力,  $Pa$ ;

$P_0$ —标准大气压力,  $101325Pa$ ,  $V_b$ —巷道中平均风速,  $m/s$ ;

$e_m$ —巷道壁面粗糙度系数, 光滑壁面  $e_m=1$ ; 主要运输大巷  $e_m=1.00 \sim 1.65$ ; 运输平巷  $e_m=1.65 \sim 2.5$ ; 工作面  $e_m=2.5 \sim 3.1$ 。

由湿交换引起潜热交换, 其潜热交换量为:

$$Q_q = W_{\max} g = a(t-t_s)UL\frac{P}{P_0}, \quad (kw) \quad (8-47)$$

式中符号意义同前。

必须指出: 公式(8-3-22)是在井巷壁面完全潮湿的条件下导出的, 所以由该式计算出的是井巷壁面理论水分蒸发量。实际上, 由于井巷壁面的潮湿程度不同, 其湿交换量也有所不同, 故在实际应用中应乘以一个考虑井巷壁面潮湿程度的系数, 称为井巷壁面潮湿系数, 其定义为: 井巷壁面实际的水分蒸发量与理论水分蒸发量的比值, 用  $f$  表示, 即:

$$f = \frac{M_b \Delta d}{W_{\max}} \quad (8-48)$$

该值可通过实验或实测得到。求得井巷壁面的潮湿系数后, 即可求得风流通过该段井巷时的含湿量增量:

$$\Delta d = \frac{f W_{\max}}{M_b} \quad (8-49)$$

由含湿量增量, 即可求得该段井巷末端风流的含湿量和相对湿度:

$$d_2 = d_1 + \Delta d \quad (8-50)$$

$$j_2 = \frac{P_v}{P_s} \times 100\% \quad (8-51)$$

式中  $P_v$ —水蒸气分压力, 可用下式计算:

$$P_v = \frac{P_2 d_2}{622 + d_2}, \quad (Pa) \quad (8-52)$$

$P_s$ —饱和水蒸气分压力, 可用下式计算:

$$P_s = 610.6 \exp\left(\frac{17.27 t_2}{237.3 + t_2}\right), \quad (Pa) \quad (8-53)$$

## 第四节 矿井降温的一般技术措施

它主要包括: 通风降温、隔热疏导、个体防护等, 本节仅介绍其中几种主要措施。

### 一、通风降温

1. 加大风量
2. 选择合理的矿井通风系统

### 二、隔热疏导

所谓隔热疏导就是采取各种有效措施将矿井热源与风流隔离开来，或将热流直接引入矿井回风流中，避免矿井热源对风流的直接加热，从而达到矿井降温的目的。隔热疏导的措施主要有：

1. 巷道隔热
2. 管道和水沟隔热
3. 井下发热量大的大型机电硐室应独立回风

### 三、个体防护

## 第五节 矿井空调系统设计简介

当采用一般的矿井降温措施，不能有效地解决采掘工作面的高温问题时，就必须采用矿井空调技术。所谓矿井空调技术就是应用各种空气热湿处理手段，来调节和改善井下作业地点的气候条件，使之达到规定标准的一门综合性技术。

### 一、矿井空调系统设计的依据

矿井空调系统设计的主要依据是行业法规（如《煤矿安全规程》等）和上级主管部门的书面批示。此外还必须收集下列资料或数据：

- (1) 矿区常年气候条件，如地表大气的月平均温度、月平均相对湿度和大气压力等；
- (2) 矿井各生产水平的地温资料和等地温线图；
- (3) 矿井设计生产能力、服务年限、开拓方式、采区布置和年度计划等；
- (4) 采掘工程平（剖）面图、通风系统图和通风网路图；
- (5) 矿井通风系统阻力测定与分析数据，如井巷通风阻力、风阻、风量等；
- (6) 井巷所穿过各岩层的岩石热物理性质，如导热系数、导温系数、比热和密度等；
- (7) 矿井水温和水量。

### 二、设计的主要内容与步骤

矿井空调系统设计是一项非常复杂的工作，其主要设计内容和步骤如下：

- (1) 矿井热源调查与分析，查明矿井高温的主要原因及热害程度，并对矿井空调系统设计的必要性作出评价；
- (2) 根据实测或预测的风温，确定采掘工作面的合理配风量，并计算出采掘工作面的需冷量，做到风量与冷量的最优匹配，以减少矿井空调系统的负荷；
- (3) 根据采掘工作面的需冷量、已采取的一般矿井降温措施及生产的发展情况，确定全矿井所需的制冷量，并报请有关部门核准；
- (4) 根据矿井具体条件，拟定矿井空调系统方案，包括制冷站位置、供冷排热方式、管道布置、风流冷却地点的选择等，并进行技术经济比较，确定最佳方案；
- (5) 根据拟定的矿井空调系统方案，进行供冷排热设计，并进行设备选型；
- (6) 进行制冷机站（硐室）的土建设计，选取合理的布置方式；
- (7) 制冷机站（硐室）内自动监控与安全防护设施的设计，制定设备运行、维护的管理机制；
- (8) 概算矿井空调的吨煤成本和其它经济性指标。

### 三、矿井空调系统的基本类型

目前国内外常见的冷冻水供冷、空冷器冷却风流的矿井集中空调系统的基本结构模式如图 8-5 所示。它是由制冷、输冷、传冷和排热四个环节所组成。由这四个环节的不同组合，便构成了不同的矿井空调系统。这种矿井空调系统，若按制冷站所处的位置不同来分，可以分为以下三种基本类型：

#### 1. 地面集中式空调系统

它将制冷站设置在地面，冷凝热也在地面排放，而在井下设置高低压换热器将一次高压冷冻水转换成二次低压冷冻水，最后在用风地点上用空冷器冷却风流。其结构如图 8-6 所示。

#### 2. 井下集中式空调系统

井下集中式空调系统如按冷凝热排放地点不同来分，又有两种不同的布置形式：一是制冷站设置在井下，并利用井下回风流排热，如图 8-7 所示。这种布置形式具有系统比较简单，冷量调节方便，供冷管道短，无高压冷水系统等优点；二是制冷站设置在地面，但冷凝热在地面排放，如图 8-8 所示。

这种布置形式虽可提高冷凝热的排放能力，但需在冷却水系统增设一个高低压换热器，系统比较复杂。

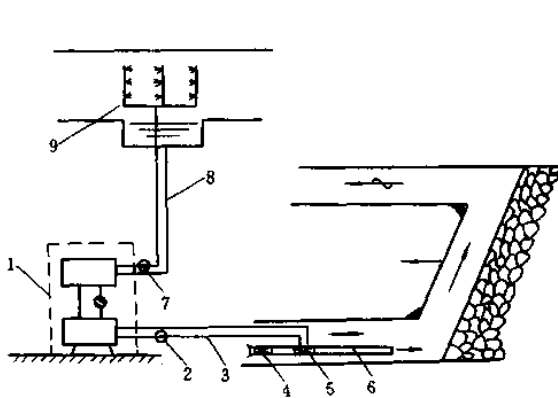


图 8-5 矿井空调系统结构模式

1—制冷站；2—冷水泵；3—冷水管；4—局部通风机；5—空冷器；6—风筒；7—冷却水泵；8—冷却水管；9—冷却塔。

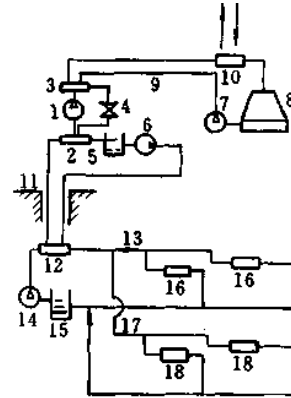


图 8-6 地面集中空调系统

1—压缩机；2—蒸发器；3—冷凝器；4—节流阀；5、15—水池；6、7、14—水泵；8—冷却塔；9—冷却水管；10—热交换器；11、13、17—冷水泵；12—高低压换热器；16、18—空冷器。

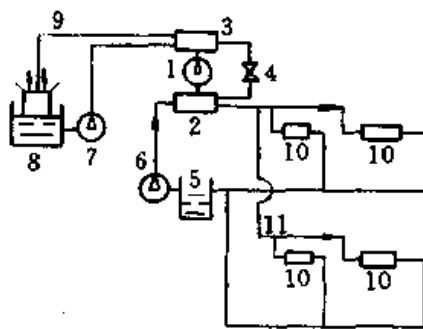


图 8-7 制冷站设在井下，井下排除冷凝热

1—压缩机；2—蒸发器；3—冷凝器；4—节流阀；5—水池；6—冷水泵；7—冷却水泵；9—冷却塔；10—空冷器；8、10—空冷器；13—高低压换热器；14—冷却水管；15—冷却水泵；16—冷却塔；17—换热器。

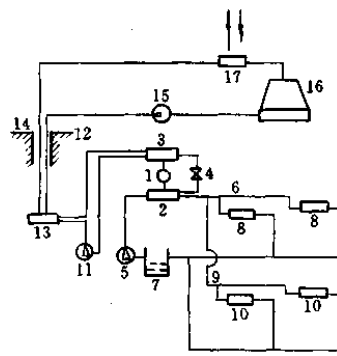


图 8-8 制冷站设在井下，地面排除冷凝热

1—压缩机；2—蒸发器；3—冷凝器；4—节流阀；5、11—冷水泵；6、9、12—冷水管；7—冷水池；8、10—空冷器；13—高低压换热器；14—冷却水管；15—冷却水泵；16—冷却塔；17—换热器。

3. 井上、下联合式空调系统

这种布置形式是在地面、井下同时设置制冷站，冷凝热在地面集中排放，如图 8-9 所示。它实际上相当于两级制冷，井下制冷机的冷凝热是借助于地面制冷机冷水系统冷却。

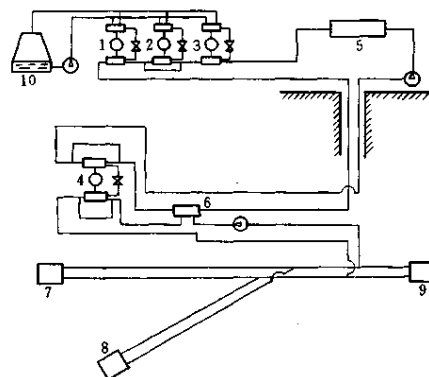


图 8-9 井上、下联合式空调系统

1~4—制冷机；5—空气预冷器；6—高低压换热器；7~9—空冷器；10—冷却塔。

上述三种集中式矿井空调系统相比，在技术上的优缺点见表 8-7

制冷站位置	优点	缺点
地面	1. 厂房施工、设备安装、维护、管理方便； 2. 可用一般型的制冷设备，安全可靠； 3. 冷凝热排放方便； 4. 冷量便于调节； 5. 无需在井下开凿大断面硐室； 6. 冬季可用天然冷源。	1. 高压载冷剂处理困难； 2. 供冷管道长，冷损大； 3. 需在井筒中安装大直径管道； 4. 空调系统复杂。

井下	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 供冷管道短, 冷损小;</li> <li>2. 无高压冷水系统;</li> <li>3. 可利用矿井水或回风流排热;</li> <li>4. 供冷系统简单, 冷量调节方便;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 井下要开凿大断面的硐室;</li> <li>2. 对制冷设备要求严格;</li> <li>3. 设备安装、管理和维护不方便;</li> </ol>
联合	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可提高一次载冷剂回水温度, 减少冷损;</li> <li>2. 可利用一次载冷剂将井下制冷机的冷凝热带到地面排放。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 系统复杂;</li> <li>2. 设备分散, 不便管理。</li> </ol>

#### 四、制冷站负荷的确定和制冷设备的选择

### 本章复习思考题

#### 一、简答题

1. 井口空气有哪几种加热方式? 简述它们各自的优缺点。
2. 高温矿井选择矿井通风系统时, 一般应考虑哪些原则?
3. 简述通风降温的作用及效果。
4. 简述矿井集中空调系统设计的内容和步骤。
5. 矿井集中式空调系统有哪几种类型? 各有什么优缺点?

#### 二、计算题

1. 某矿井总进风量为  $130 \text{ kg/s}$ , 冬季井口空气计算温度为  $-28^\circ\text{C}$ , 采用井口房不密闭的加热方式, 冷热风在井口房混合。混合前的热风温度为  $30^\circ\text{C}$ , 混合后的温度为  $2^\circ\text{C}$ , 热媒为压力  $343\text{kPa}$  的饱和蒸汽, 试选择合适的空气加热器。
2. 某矿井恒温带深度  $Z_0=30 \text{ m}$ , 恒温带温度  $t_{r0}=15^\circ\text{C}$ , 地温率  $g_r=45\text{m}/^\circ\text{C}$ , 试求该矿井垂深  $500\text{m}$  处的原岩温度。
3. 某矿一段大巷长  $100 \text{ m}$ , 巷道断面形状为半圆拱, 断面积为  $14 \text{ m}^2$ , 原岩温度为  $35^\circ\text{C}$ , 巷道中平均风温为  $22^\circ\text{C}$ , 围岩与风流间的不稳定换热系数为  $5.82 \times 10^{-4} \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。求该段巷道围岩放热量。
4. 某一水平掘进巷道, 断面积为  $10 \text{ m}^2$ , 采用  $11 \text{ kW}$  的局部通风机压入式通风, 风筒直径为  $800 \text{ mm}$ , 局部通风机入口处巷道中的风温为  $25^\circ\text{C}$ , 吸风量为  $250\text{m}^3/\text{min}$ , 空气密度为  $1.23\text{kg}/\text{m}^3$ 。风筒的有效风量率为  $48\%$ , 试计算风筒出口的风温。
5. 某回采工作面风量为  $600 \text{ kg}/\text{min}$ , 空冷器入口空气温度为  $31^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $88\%$ , 大气压为  $101325\text{Pa}$ 。欲使空冷器出口风温为  $24^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $100\%$ , 求空冷器的供冷量。

# 第九章 矿井瓦斯

## 【本章主要内容】

- 1、瓦斯概念
- 2、煤层瓦斯赋存与含量
- 3、矿井瓦斯涌出
- 4、瓦斯喷出与突出
- 5、瓦斯爆炸与预防
- 6、瓦斯抽放

## 第一节 概述

矿井瓦斯是煤矿生产过程中，从煤、岩内涌出的各种气体的总称。煤矿术语中的瓦斯指的就是甲烷。物理化学性质。无色、无味、无毒、比空气轻，微溶于水。

危害：爆炸，突出，人员窒息、环境污染。

作用：能源、化工原料。

## 第二节 煤层瓦斯赋存与含量

### 一、瓦斯的成因与赋存

#### （一）矿井瓦斯的生成

煤层瓦斯是腐植型有机物（植物）在成煤过程中生成的。

成气过程两个阶段一是生物化学成气时期；二是煤化变质作用时期。

#### （二）瓦斯在煤体内存在的状态

煤体是一种复杂的多孔性固体，包括原生孔隙和运动形成的大量孔隙和裂隙，形成了很大的自由空间和孔隙表面。

煤层中 瓦斯赋存两种状态：游离状态、吸附状态。

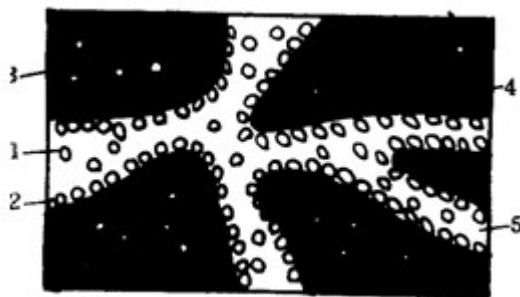


图 9-1 瓦斯在煤内的存在形式示意图  
1-游离瓦斯；2-吸着瓦斯；3、吸收瓦斯；4-煤体；5、孔隙

### 二、煤层中瓦斯垂直分带

形成原因：当煤层直达地表或直接为透气性较好的第四系冲积层覆盖时，由于煤层中瓦斯向上运移和地面空气向煤层中渗透，使煤层内的瓦斯呈现出垂直分带特征。

四带： $\text{CO}_2$ - $\text{N}_2$ 带、 $\text{N}_2$ 带、 $\text{N}_2$ - $\text{CH}_4$ 带、 $\text{CH}_4$ 带。

表 9-1

煤层内的瓦斯呈现出垂直分带特征

名称	气带成因	瓦斯成分 %		
		N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
CO <sub>2</sub> —N <sub>2</sub> 带	生物化学—空气	20~80	20~80	<10
N <sub>2</sub> 带	空气	>80	<10~20	<20
N <sub>2</sub> —CH <sub>4</sub> 带	空气—变质	20~80	<10~20	20~80
CH <sub>4</sub> 带	变质	<20	<10	>80

瓦斯风化带下界深度确定依据：可以根据下列指标中的任何一项确定。

- (1) 煤层的相对瓦斯涌出量等于 2~3m<sup>3</sup>/t 处；
- (2) 煤层内的瓦斯组分中甲烷及重烃浓度总和达到 80%（体积比）；
- (3) 煤层内的瓦斯压力为 0.1~0.15MPa；
- (4) 煤的瓦斯含量达到下列数值处：长焰煤 1.0~1.5 m<sup>3</sup>/t (C.M.)，气煤 1.5~2.0m<sup>3</sup>/t (C.M.)，肥煤与焦煤 2.0~2.5m<sup>3</sup>/t(C.M.)，瘦煤 2.5~3.0m<sup>3</sup>/t(C.M.)，贫煤 3.0~4.0m<sup>3</sup>/t(C.M.)，无烟煤 5.0~7.0m<sup>3</sup>/t(C.M.)（此处的 C.M.是指煤中可燃质既固定碳和挥发分）

### 三、影响煤层瓦斯含量的因素

煤的瓦斯含量是指单位体积或重量的煤在自然状态下所含有的瓦斯量（标准状态下的瓦斯体积），单位为 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>(cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)或 m<sup>3</sup>/t(cm<sup>3</sup>/g)。

煤的瓦斯含量包括游离瓦斯和吸附瓦斯含量之和。

主要影响因素：

1、煤的吸附特性—煤的吸附性能决定于煤化程度，一般情况下煤的煤化程度越高，存储瓦斯的能力越强。

2、煤层露头

3、煤层的埋藏深度—深，瓦斯大

4、围岩透气性、泥岩、完整石灰岩低透气性

5、煤层倾角—大，瓦斯小，小，瓦斯大

6、地质构造—封闭地质，瓦斯大，开放的，瓦斯小

7、水文地质条件—水流，带走瓦斯

### 四、煤层内的瓦斯压力

瓦斯流动动力高低以及瓦斯动力现象的基本参数。

瓦斯压力测定：打钻、封孔、测压

瓦斯带内瓦斯压力变化规律：

未受采动影响的煤层内的瓦斯压力，随深度的增加而有规律地增加，可以大于、等于或小于静水压。

瓦斯压力梯度：

$$P = g_p(H - H_0) + P_0 \quad (9-1)$$

或

$$P = g_p(H - H_1) + P_1 \quad (9-2)$$

式中  $P$ —预测的甲烷带内深  $H$ (m)处的瓦斯压力，MPa

$g_p$ —瓦斯压力梯度，MPa/m

$P_1, P_2$ —甲烷带内深度为  $H_1, H_2$ (m)处的瓦斯压力，MPa。

$P_0$ --甲烷带上部边界处瓦斯压力，取 0.2MPa。

$H_0$ ---甲烷带上部边界深度，m。

## 第三节 矿井瓦斯涌出

（普通涌出、特殊涌出）

### 一、瓦斯涌出量

#### 1、含义

矿井建设或生产过程中从煤岩内涌出的瓦斯量

#### 2、瓦斯涌出量表示方法

绝对瓦斯涌出量：单位时间涌出的瓦斯体积，单位为  $\text{m}^3/\text{d}$  或  $\text{m}^3/\text{min}$ ：

$$Q_g = Q \times C / 100 \quad (9-3)$$

相对瓦斯涌出量--平均日产一吨煤同期所涌出的瓦斯量，单位是  $\text{m}^3/\text{t}$ 。

$$q_g = Q_g / A_d \quad (9-4)$$

## 二、影响瓦斯涌出的因素

决定于自然因素和开采技术因素的综合影响。

### (一) 自然因素

- 1、煤层和围岩的瓦斯含量，
- 2、地面大气压变化。

### (二) 开采技术因素

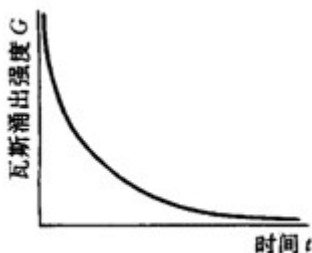


图 9-2 瓦斯从暴露面涌出的变化规律

- 1、开采规模—产量与瓦斯涌出量的关系复杂
- 2、开采顺序与回采方法 --先开采，大；回采率低，大；顶板管理
- 3、生产工艺-初期大，呈指数下降
- 4、风量变化---单一煤层，随风量减而增，煤层群
- 5、采区通风系统
- 6、采空区的密闭质量

## 三、矿井瓦斯涌出来源的分析与分源治理

按划分目的的不同，对矿井瓦斯来源有三种划分方式：

按水平、翼、采区来进行划分，作为风量分配的依据之一；

按掘进区、回采区和已采区来划分，它是日常治理瓦斯工作的基础；

按开采区、临近区划分，它是采煤工作面治理瓦斯工作的基础

## 四、瓦斯涌出不均系数

正常生产过程中，矿井绝对瓦斯涌出量受各种因素的影响其数值是经常变化的，但在一段时间内只在一个平均值上下波动，峰值与平均值的比值称为瓦斯涌出不均系数。

矿井瓦斯涌出不均系数表示为：

$$k_r = Q_{\max} / Q_a \quad (9-5)$$

式中： $k_g$ —给定时间内瓦斯涌出不均系数；

$Q_{\max}$ —该时间内的最大瓦斯涌出量， $\text{m}^3/\text{min}$ ；

$Q_a$ —该时间内的平均瓦斯涌出量， $\text{m}^3/\text{min}$ ；

方法：确定区域，进回风量、瓦斯浓度

## 五、矿井瓦斯等级

### 1. 矿井瓦斯等级划分

依据：按照平均日产一吨煤涌出瓦斯量（相对瓦斯涌出量）和瓦斯涌出形式，划分为：

低瓦斯矿井： $10\text{m}^3$  及其以下；高瓦斯矿井： $10\text{m}^3$  以上；煤与瓦斯突出矿井。

### 2. 矿井瓦斯等级鉴定

(1) 鉴定时间和基本条件 矿井瓦斯等级的鉴定工作应在正常生产的条件下进行。

(2) 测点选择和测定内容及要求。

(3) 矿井瓦斯等级的确定。

## 六、矿井瓦斯涌出量预测

瓦斯涌出量的预测：指根据某些已知相关数据，按照一定的方法和规律，预先估算出矿井或局部区域瓦斯涌出量的工作。

瓦斯涌出量的预测的方法：

- (1) 统计法  
 A、瓦斯涌出量梯度：深度与相对涌出量的比值  
 B、物理含义  
 C、计算  
 (2) 算法法:以煤层瓦斯含量为基础进行计算。

## 第四节 瓦斯喷出

瓦斯喷出：大量承压状态的瓦斯从煤、岩裂缝中快速喷出的现象。

### 一、瓦斯喷出的分类

根据喷瓦斯裂缝呈现原因的不同，可把瓦斯喷出分成：

地质来源形成的和采掘卸压形成的两大类。

### 二、瓦斯喷出的预防

预防瓦斯喷出，首先要加强地质工作，查清楚施工地区的地质构造、断层、溶洞的位置、裂隙的位置和走向、以及瓦斯储量和压力等情况，采取相应的预防或处理措施。分为：

- 1、当瓦斯喷出量和压力不大时，黄泥或水泥沙浆等充填材料堵塞喷出口；
- 2、当瓦斯喷出量和压力较大时，可能的喷出地点附近打前探钻孔，探测、排放。

前探钻孔的要求：

- (1)10 m 外，打钻 75mm，3 个
- (2)边掘边打超前钻，超前 5 m，不少 3 个孔；
- (3)裂隙、溶洞、破坏带打超前钻,75mm,2 个，超 5m

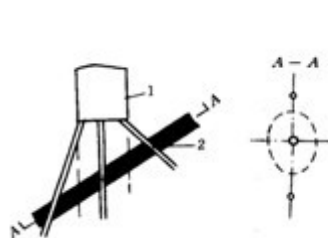


图 9-3 立井前探钻孔  
1-立井；2-煤层

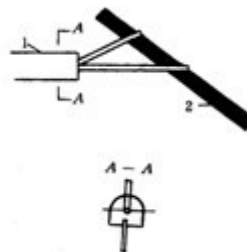


图 9-4 石门前探钻孔  
1-石门；2-煤层

## 第五节 煤与瓦斯突出及其预防

### 一、概述

含义：在极短时间内，从煤岩内以极快速度向采掘空间涌出煤岩和瓦斯。

危害：

### 二、突出的机理

突出的机理是关于解释突出的原因和过程的理论。突出是十分复杂的自然现象，它的机理还没有统一的见解，假说很多。多数人认为，突出是地压、瓦斯、煤的力学性质和重力综合作用的结果。

### 三、突出的一般规律

- 1、突出多发生在一定的采深以后；
- 2、突出多发生在地质构造带、应力集中区；
- 3、突出的强度和次数，与煤层厚度、倾角、硬度、透气性等有关；
- 4、突出与瓦斯关系，瓦斯压力小含量低，可能发生突出。
- 4、突出大多发生在落煤、放炮工序
- 5、突出前有预兆

### 四、预防煤与瓦斯突出的主要技术措施

防突措施分类：

区域性防突措施：实施以后可使较大范围煤层消除突出危险性的措施，称为区域性防突措施；

局部防突措施：实施以后可使局部区域(如掘进工作面)消除突出危险性的措施称为局部防突措施。

(一)、区域性防突措施

区域性防突措施主要有开采保护层和预抽煤层瓦斯两种。

1、开采保护层

保护层：在突出矿井中，预先开采的、并能使其它相邻的有突出危险的煤层受到采动影响而减少或丧失突出危险的煤层称为保护层。

被保护层：后开采的煤层称为被保护层。保护层位于被保护层上方的叫上保护层，位于下方的叫下保护层。

1)、开采保护层的作用

- (1)地压减少，弹性潜能缓慢释放；
- (2)煤层膨胀变形，形成裂隙与孔道，透气性增加；
- (3)煤层瓦斯涌出后，煤的强度增加

2).保护范围

保护范围：指保护层开采后，在空间和时间上使危险层丧失突出危险的有效范围。

(1)垂直保护距离

保护层与被保护层间的有效垂距:上：急<60m,缓：<50m；下：急<80m,缓：<100m

(2)沿倾斜的保护范围

确定沿倾向的保护范围就是沿倾向划定被保护层的上、下边界(以冒落角)。

$$y_1 = 180 - b - \Delta - a \tag{9-6}$$

$$y_2 = 180 - g - \Delta + a \tag{9-7}$$

(3)沿走向的保护范围。

超前距一般不得小于两个煤层之间垂直距离的两倍，至少不小于 30m。

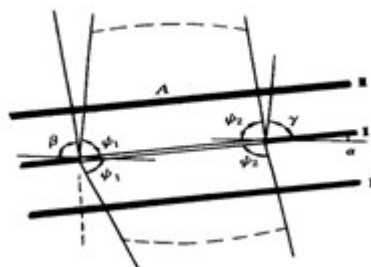


图 9-5 沿煤层倾斜的保护范围  
A-保护范围

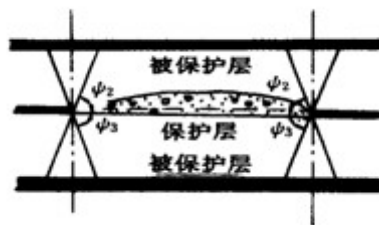


图 9-6 沿走向的保护范围

(4)煤柱的影响

(二)局部防突措施

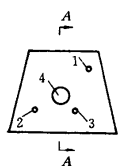


图 9-7 测定排放半径的钻孔布置

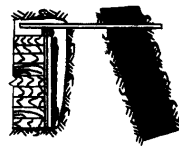


图 9-8 金属骨架

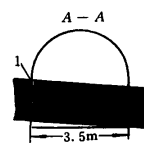
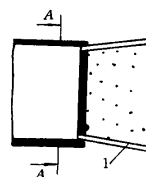


图 9-9 卸压槽

1、松动爆破

作用机理：

2、钻孔排放瓦斯—3.5~4.5 孔/m<sup>2</sup>

作用机理：

3、水力冲孔---在煤岩柱保护下，高压水

作用机理：

4、超前钻孔

作用机理：

5、金属骨架

作用机理：见图 9-8

6、超前支架

作用机理：

7、卸压槽：

见图 9-9

8、震动放炮

- 1)、岩柱厚度>1.5m
- 2)、炮眼数和炮眼布置，单列三组楔形掏槽
- 3)、装药量： $f=3\sim4, 4\sim5\text{kg/m}^3, f=6\sim8, 5\sim7\text{kg/m}^3$
- 4)、注意事项

(1)撤人；(2)断电，(3)30min 检查；(4)防止扩大(矸石堆和反向风门)

五、突出的预测

突出危险性预测是防治煤与瓦斯突出综合措施的第一步。突出危险性预测包括区域性预测和工作面预测。

(一)、预测指标

- 1、煤的瓦斯放散指数  $\Delta P$ ：一般情况下， $\Delta P > 15\sim 25$  时有突出危险。
- 2、煤的坚固系数  $f$ ：当  $f < 0.6\sim 0.8$  时有突出危险； $f > 1.2$  时，无突出危险。
- 3、软煤比 软煤分层厚度与煤层总厚度之比称软煤比，亦称揉皱系数。该值越高，煤层越不稳定，突出可能性越大。
- 4、钻孔瓦斯涌出量和钻渣量 这是一种可以在掘进工作面即时预测有无突出危险的方法，它综合反映了工作面前方煤体渗透性、破坏程度、瓦斯涌出速度和岩层应力状态。

(二)、突出预兆

- 1、煤层结构和构造
- 2、地压增大
- 3、瓦斯及其它

## 第六节 爆炸及其预防

### 一、瓦斯爆炸过程及其危害

1. 瓦斯爆炸的化学反应过程

瓦斯爆炸最终的化学反应式为： $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

如果  $\text{O}_2$  不足，反应的最终式为： $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{CO} + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$

矿井瓦斯爆炸是一种热—链反应过程(也称连锁反应)。

2. 瓦斯爆炸的产生与传播过程

爆炸性的混合气体与高温火源同时存在，初燃(初爆)→焰面→冲击波→新的爆炸混合物

3、瓦斯爆炸的危害

高温—2150~2650；高压—几~20at，有害气体 CO，冲击波

### 二、瓦斯爆炸的主要参数

1、瓦斯的爆炸浓度

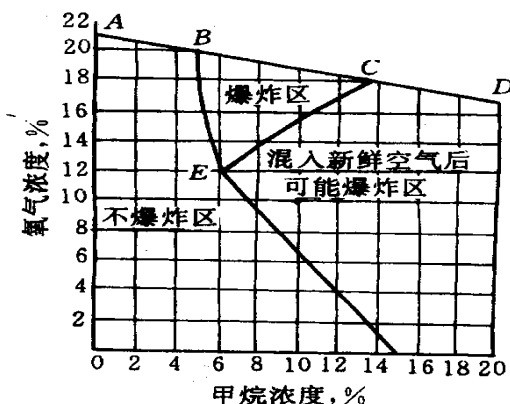


图 9-10 科瓦德爆炸三角形

在正常的大气环境中，瓦斯只在一定的浓度范围内爆炸，这个浓度范围称瓦斯的爆炸界限，其最低浓度界限叫爆炸下限，其最高浓度界限叫爆炸上限，瓦斯在空气中的爆炸下限为 5~6%，上限为 14~

16%。

瓦斯爆炸界限不是固定不变的，它受到许多因素的影响，其中重要的有：

- (1) 氧的浓度
- (2) 其它可燃气体

混合气体中有两种以上可燃气体同时存在时，其爆炸界限决定于各可燃气体的爆炸界限和它们的浓度。可由公式求出：

$$N = 100 / (C_1 / N_2 + \dots + C_n / N_n) \quad (9-8)$$

式中  $N$ ——多种可燃气体同时存在时的混合气体爆炸上限或下限， %；

$C_1、C_2、C_3\dots C_n$ ——分别为各可燃气体占可燃气体总的体积百分比， %；

$C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n = 100\%$

$N_1、N_2、N_3\dots N_n$ ——分别为各可燃气体的爆炸上限或下限， %；

- (3) 煤尘

本身具有爆炸，300~400℃挥发气体

- (4) 空气压力

压力大，分子接近，碰撞几率增加范围扩大

- (5) 惰性气体

可以降低瓦斯爆炸的危险性。

## 2、瓦斯的最低点燃温度和最小点燃能量

瓦斯的最低点燃温度和最小点燃能量决定于空气中的瓦斯浓度，瓦斯-空气混合气体的最低点燃温度，绝热压缩时 565℃，其它情况时 650℃。

最低点燃能量为 0.28mJ。

## 3、瓦斯的引火延迟性

引火延迟性：安全意义。

## 三、煤矿井下瓦斯爆炸事故原因分析

### 1、火源

井下的一切高温热源——电气、放炮、摩擦、静电

### 2、发生地点

掘进工作面占 80%~90%，采煤工作面占 10%~20% 采煤工作面发生地点上隅角，采煤机药割附近掘进面发生的原因：

## 四、预防瓦斯爆炸的措施

### (一)防止瓦斯积聚

所谓瓦斯积聚是指瓦斯浓度超过 2%，其体积超过 0.5m<sup>3</sup> 的现象。

1、搞好通风。

2、及时处理局部积存的瓦斯。

1)、采面上隅角瓦斯积聚处理；

2)、综采面处理

3)、顶板附近层状积聚处理；

4)、顶板冒落孔洞内积聚处理；

5)、恢复有大量瓦斯积存盲巷或打开封闭

3.抽放瓦斯

4、经常检查瓦斯浓度和通风状况

### (二)、防止瓦斯引燃

防止瓦斯引燃的原则，是对一切非生产必需的热源，要坚决禁绝。生产中可能发生的热源，必须严加管理和控制，防止它的发生或限定其引燃瓦斯的能力。

### (三)、防止瓦斯爆炸灾害事故扩大的措施

万一发生爆炸，应使灾害波及范围局限在尽可能小的区域内，以减少损失。

## 第七节 瓦斯抽放

### 一、概述

规定：当回采工作面瓦斯涌出量 $>5\text{m}^3/\text{min}$ ；掘进工作面瓦斯涌出量 $>3\text{m}^3/\text{min}$ ，采用通风方法解决瓦斯问题不合理时，应该抽放瓦斯。

抽放瓦斯的方法：

按瓦斯的来源分三类：开采煤层、邻近层、采空区抽放

按抽放的机理分为两类：未卸压和卸压抽放

按汇集瓦斯的方法分为三类。钻孔、巷道抽放、钻孔与巷道综合抽放

贯彻“先抽后采，监测监控，以风定产”十二字方针

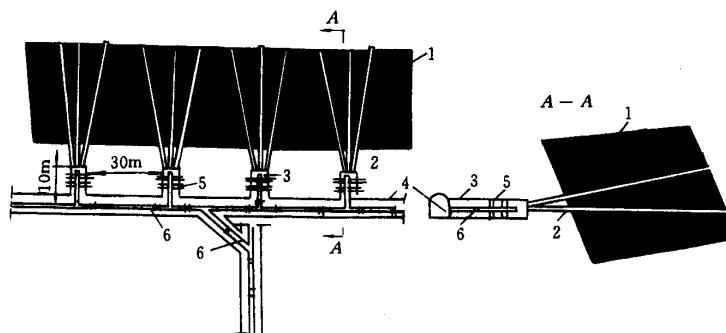
## 二、开采煤层的瓦斯抽放

开采煤层的瓦斯抽放，是在煤层开采之前或采掘的同时，用钻孔或巷道进行该煤层的抽放工作。

### 1、未卸压的钻孔抽放

本法适用于透气数较大的开采煤层预抽的瓦斯。

按钻孔与煤层的关系分为穿层钻孔和沿层钻孔；按钻孔角度分为上向孔、下向孔和水平孔。我国多采用穿层上向钻孔。



9-11 钻孔法抽放开采煤层的瓦斯

1-煤层；2-钻孔；3-钻场；4-运输大巷；5-密闭墙；6-抽瓦斯管道

钻孔参数：

钻孔方向：我国多为上向孔；

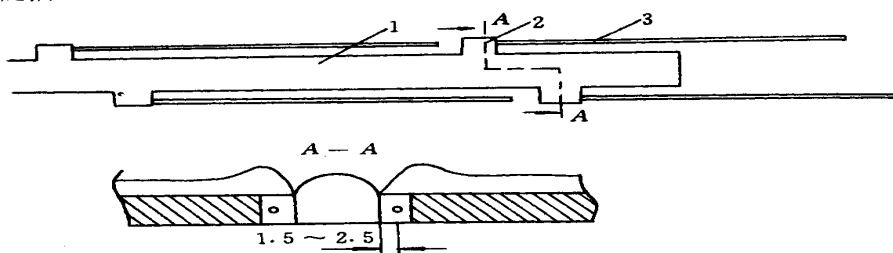
孔间距：30—50m

抽放负压：孔口负压不超过 14kPa

钻孔直径：70—100mm

### 2、卸压的钻孔抽放

#### 1)、随掘随抽



9-12 随掘随抽的钻孔布置

1-掘进巷道；2-钻窝；3-钻孔

#### 2)、随采随抽

顶板走向钻孔，顶板巷道。

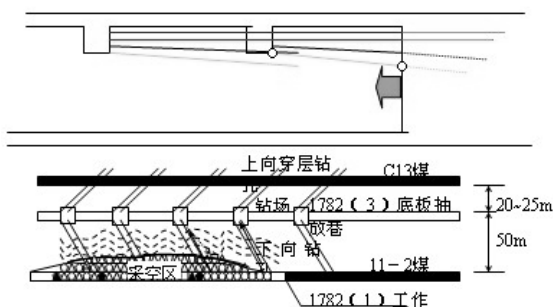


图 9-13 1782 (3) 底板抽放巷钻场钻孔布置图

### 3、人工增加煤层透气系数的措施

- 1)、水力压裂;
- 2)、水力割缝;
- 3)、深孔爆破
- 4)、酸性处理;
- 5)、交叉钻孔。

### 三、邻近层的瓦斯抽放

邻近层含义

为什么邻近层抽放总能抽出瓦斯呢?

煤层开采后,在其顶板形成三个受采动影响的地带:冒落带、裂隙带和变形带,在其底板则形成卸压带。 $\lambda$ 增大。注意问题

参数: 钻场位置; 钻场或钻孔的间距; 钻孔角度; 钻孔进入的层位; 孔径和抽放负压

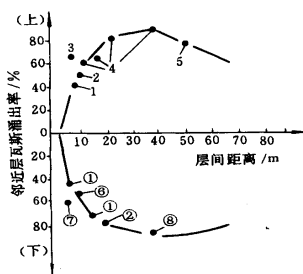
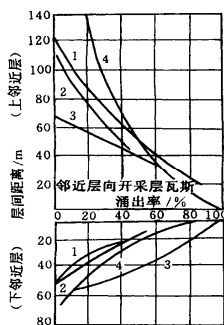
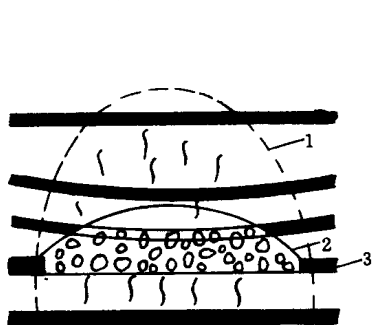


图 9-14 煤层回采后顶、底板围岩的变化 图 9-15 不同层间距的邻近层瓦斯涌出率 图 9-16 瓦斯抽放率与层间距的关系  
 1、卸压层; 2-冒落层; 3-开采煤层 1-中国; 2-荷兰; 3-前苏联; 4-德国 1-中梁山; 2-北票; 3-阜新; 4-阳泉; 5-包头;  
 6-南桐; 7-鸡西; 8-天府

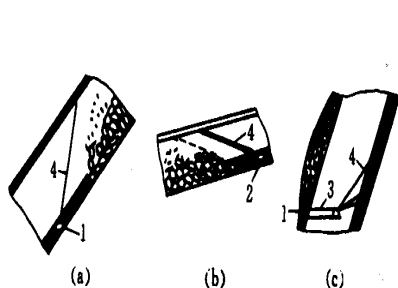


图 9-17 钻场位置

1-运输巷道; 2-回风巷道; 3-岩巷; 4-钻孔

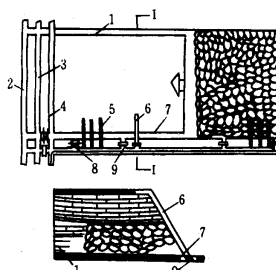


图 9-18 倾斜高抽巷抽放方

1-工作面进风巷; 2-胶带输送机上山; 3-轨道上山; 4-回风上山; 5-抽放钻孔; 6-岩石高抽巷; 7-工作面风巷; 8-抽放瓦斯管; 9-工作面尾巷

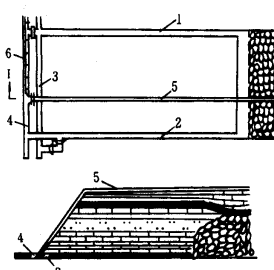


图 9-19 走向高抽巷抽放方式

1-工作面避风巷; 2-工作面回风巷; 3-避风上山; 4-回风上山; 5-岩石真抽巷; 6-抽放瓦斯管

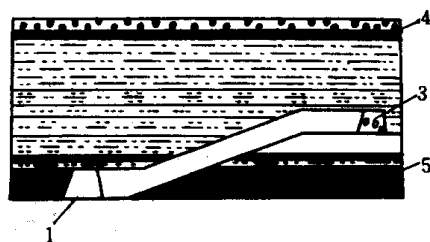
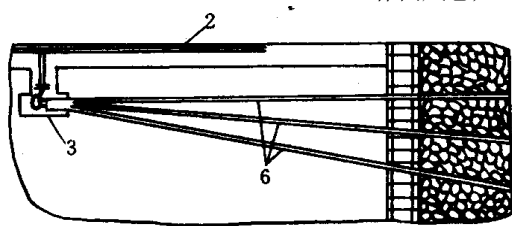


图 9-20 钻场位于顶板

1-回风巷; 2-抽放管; 3-钻场; 4-4 号煤层; 5-7 号煤层; 6-钻孔

### 四、采空区抽放

采空区瓦斯抽放可分为全封闭式抽放和半封闭式抽放两类。全封闭式抽放又可分为密闭式抽放、钻孔式抽放和钻孔与密闭相结合的综合抽放等方式。半封闭式抽放是在采空区上部开掘一条专用瓦斯抽放巷道(如鸡西矿务局城子河煤矿),在该巷道中布置钻场向下部采空区打钻,同时封闭采空区入口,以抽放下部各区段采空区中从邻近层涌入的瓦斯。抽放的采空区可以是一个采煤工作面(如松藻矿务局打通二矿),或一两个采区的局部范围(如天府矿务局磨心坡煤矿),也可以是一个水平结束后的大范围抽放(如中梁山矿务局)。

### 五、围岩瓦斯抽放

煤层围岩裂隙和溶洞中存在的高压瓦斯会对岩巷掘进构成瓦斯喷出或突出危险。为了施工安全,可超前向岩巷两侧或掘进工作面前方的溶洞裂隙带打钻,进行瓦斯抽放(如广旺矿务局唐家河煤矿)。

### 六、瓦斯抽放设备

抽放瓦斯的设备主要有钻机、封孔装置、管道、瓦斯泵、安全装置和检测仪表。

钻机：根据钻孔深度选择，可用专用于打抽放钻孔的钻机（装有排放瓦斯装置），也可以用一般钻机。钻孔打好后，将孔口段直径扩大到 100~120mm，插入直径 70~80mm 的钢管。

封孔：用水泥砂浆封孔，也可以用胶圈封孔器或聚胺脂封孔。封口深度视孔口附近围岩性质而定，围岩坚固时 2~3m，围岩松软时 6~7m，甚至 10m 左右。

其它：封孔后，必须在抽放前用弯管、自动放水器、流量计、铠装软管(或抗静电塑料软管)、闸门等将钻孔与抽放管路连接起来。

#### 1、抽放瓦斯的管道

一般用钢管或铸铁管。管道直径是决定抽放投资和抽放效果的重要因素之一。管道直径  $D$  (m) 应根据预计的抽出量，用下式计算：

$$D = [4Q/(60pu)]^{1/2} \quad (9-9)$$

式中： $Q_c$ —管内气体流量， $m^3/min$ ；

$v$ —管内气体流速， $m/s$ ；

管内瓦斯流速  $V: 5m/s < V < 20m/s$ ，一般取  $V=10\sim 15m/s$ 。这样才能使选择的管径有足够的通过能力和较低的阻力。

大多数矿井抽放瓦斯的管道内径为：采区的 100mm~150mm，大巷的 150mm~300mm，井筒和地面的 200mm~400mm。

管道阻力计算：管道铺设路线选定后，进行管道总阻力的计算，用来选择瓦斯泵。管道阻力计算方法和通风设计时计算矿井总阻力一样，即选择阻力最大的一路管道，分别计算各段的摩擦阻力和局部阻力，累加起来即为整个系统的总阻力。

摩擦阻力  $h_f$  (Pa)可用下式计算：

$$h_f = (1 - 0.00446C) L Q_c^2 / k D^6 \quad (9-10)$$

式中  $L$ —管道的长度， $m$ ；

$D$ —管径  $cm$ ；

$K$ —系数，见表 9-2。

$Q_c$ —管内混合气体的流量， $m^3/h$ ；

$C$ —混合气体中的瓦斯浓度。

表 9-2

管径 (cm)	3.2	4.0	5.0	7.0	8.0	10.0	12.5	15.0	>15.0
k	0.05	0.051	0.053	0.056	0.058	0.063	0.068	0.071	0.072

局部阻力一般不进行个别计算，而是以管道总摩擦阻力的 10%~20%作为局部阻力。管道的总阻力  $h_R$  为：

$$h_R = (1.1\sim 1.2) \sum h_{fi} \quad (9-11)$$

#### 2、瓦斯泵

常用的瓦斯泵有，水环式真空泵、离心式鼓风机和回转式鼓风机。

水环式真空泵的特点是真空度高、负压大、流量小、安全性好(工作室内充满介质，不会发生瓦斯爆炸)。适用于抽出量不大，要求抽放负压高矿井。

离心式鼓风机适用于瓦斯抽出量大 (20~1200 $m^3/min$ )，管道阻力不高 (4~5kPa) 的抽放情况下。

回转式鼓风机的特点是，管道阻力变化时，风机的流量几乎不变，所以供气均匀，效率高。缺点是噪音大，检修复杂。

#### 3、流量计

为了全面掌握与管理井下瓦斯抽放情况，需要在总管、支管和各个钻场内安设测定瓦斯流量的流量计。目前井下一般采用孔板流量计，如图(9-7-11)所示。孔板两端静压差  $\Delta h$ (可用水柱计测出)与流过孔板的气体流量有如下关系式：

$$Q = 9.7 \times 10^4 \times K \{h \times P / [0.716 \times C + 1.293(1 - c)]\}^{1/2} \quad (9-12)$$

式中  $Q$ —温度为 20℃，压力为 101.3Pa 时的混合气体流量， $m^3/min$ ；

$h$ —孔板两端静压差，Pa；

$P$ —孔板出口端绝对静压，Pa；

$C$ —瓦斯浓度，%；

$K$ —孔板流量系数,  $K=K_1 \times c \times S_k \times 60$  ( $m^{2.5}/min$ )

$C_1$ —流速收缩系数, 取 0.65;

$K_1$ —孔板系数(加工精度好时取 1);

$S_k$ —孔板孔口面积,  $m^2$ ;

#### 4. 其它装置

##### 1) 放水器

为了及时放出管道内的积水, 以免堵塞管道。在钻孔附近和管路系统中都要安装放水器。最简单的放水器为“U”形管自动放水器当 U 型管内积水超过开口端的管长时, 水就自动流出。

##### 2) 防爆、防回火装置

抽放系统正常工作状态遭到破坏, 管内瓦斯浓度降低时, 遇到火源瓦斯就有可能燃烧或爆炸。为了防止火焰沿管道传播, 正常抽放时, 瓦斯由进气口进入, 经水封器由出口排出。管内发生瓦斯燃烧或爆炸时, 火焰被水隔断、熄灭、爆炸波将防爆盖冲破而释放于大气中。

防回火网多由 4~6 层导热性能好而不易生锈的铜网构成, 网孔约 0.5mm

《规程》规定, 利用瓦斯时, 抽出瓦斯中的瓦斯浓度不得低于 30%; 不利用瓦斯时, 用于干式抽气设备, 瓦斯浓度不得低于 25%。

抽出的瓦斯, 可以按其浓度的不同, 合理地加以利用: 浓度为 35~40% 时, 主要用作工业、民用燃料; 浓度 50% 以上的瓦斯可以用作化工原料, 如制造炭黑和甲醛。抚顺、阳泉、天府、中梁山和淮南等局矿都已建厂生产。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

- 保护层是指为消除或削弱相邻煤层的\_\_\_\_\_或冲击地压危险而先开采的煤层或矿层。
- 矿井五大自然灾害是指\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 矿井瓦斯涌出形式有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 我国现场一般把矿井瓦斯划分为: \_\_\_\_\_、掘进区瓦斯和\_\_\_\_\_三部分
- 根据矿井相对瓦斯涌出量、矿井绝对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式, 我们可以把瓦斯矿井划分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和突出矿井。
- 预防瓦斯喷出的措施有探、排、引、堵、通五字方针, 探指的是\_\_\_\_\_ ; 排指的是排放或抽放瓦斯; 引指的是将瓦斯引至回风流; 堵指的是\_\_\_\_\_ ; 通指的是单独通风、加大供风量。
- 当压力一定时, 瓦斯的引火延迟性取决于\_\_\_\_\_和火源温度。
- 瓦斯爆炸必须同时具备三个条件: \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 预防瓦斯爆炸的措施有: \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和限制瓦斯爆炸范围扩大的措施。
- 在煤矿的任何地点都有发生瓦斯爆炸的可能性, 但大部分发生在\_\_\_\_\_。
- 瓦斯在矿井中发生爆炸时, 将产生\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和有害气体。
- 瓦斯爆炸对煤矿的危害主要表现在两个方面, 是\_\_\_\_\_ ; 二是\_\_\_\_\_。
- 引燃瓦斯的火源可归纳为 4 类, 即: \_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和摩擦火花。
- 防止突出常用的局部防突措施有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和松动爆破 5 种。
- 瓦斯在媒体中存在的状态有\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种。
- 突出的预兆可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 根据瓦斯来源不同, 瓦斯抽采方法可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 在采煤工作面容易发生瓦斯爆炸的地点主要在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 瓦斯积聚是指局部瓦斯浓度达到\_\_\_\_\_% , 体积超过\_\_\_\_\_  $m^3$  的现象。
- \_\_\_\_\_是矿井正常生产条件下, 平均每日产 1 t 煤所涌出的瓦斯量, 常用单位为  $m^3/t$ 。
- 温度每升高\_\_\_\_\_, 吸附瓦斯的能力约降低\_\_\_\_\_。
- 瓦斯在煤层中的运移有两种形式: 一是扩散运动; 二是\_\_\_\_\_。
- \_\_\_\_\_往往是造成同一矿区瓦斯含量差别的主要原因。
- 一通三防中的三防是指\_\_\_\_\_、防尘和\_\_\_\_\_。
- 矿井瓦斯是混合物, 其中含量最多的是\_\_\_\_\_。
- 采煤工作面的瓦斯按来源可分为本煤层瓦斯、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 我国煤矿安全生产的指导方针是\_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_。
- 煤与瓦斯突出的次数和强度随\_\_\_\_\_增加而增多。

### 二、选择题

- 1、若下列气体集中在巷道的话，应在巷道底板附近检测的气体是\_\_\_\_\_。  
A 甲烷与二氧化碳 B 二氧化碳与二氧化硫 C 二氧化硫与氢气 D 甲烷与氢气
- 2、已知某矿相对瓦斯涌出量是 8m<sup>3</sup>/t，绝对瓦斯涌出量是 45m<sup>3</sup>/min，在采掘过程中曾发生过一次煤与瓦斯突出事故，则该矿属于\_\_\_\_\_。  
A 低瓦斯矿井 B 高瓦斯矿井 C 煤与瓦斯突出矿井
- 3、预防煤与瓦斯突出最经济，最有效的区域性防治措施是\_\_\_\_\_。  
A 煤层注水 B 开采保护层 C 瓦斯抽放
- 4、回采工作面容易引起瓦斯积聚地点是\_\_\_\_\_。  
A 上隅角与采煤机切割部 B 下隅角与采空区  
C 采空区 D 回风顺槽与采空区
- 5、下列三项中不是瓦斯性质的是\_\_\_\_\_。  
A、扩散性 B、比空气重 C、渗透性
- 6、《规程》规定，矿井在采掘过程中，只要发生过\_\_\_\_\_煤与瓦斯突出，该矿井即定为突出矿井，发生突出的煤层即定为突出煤层。  
A、1次 B、2次 C、3次
- 7、高瓦斯矿井采掘工作面瓦斯检查次数每班至少\_\_\_\_\_次。  
A、3 B、2 C、1
- 8、当空气中混入可爆炸性煤尘或可燃气体时，瓦斯爆炸的下限将会\_\_\_\_\_。  
A、下降 B、升高 C、不变
- 9、发生煤与瓦斯突出的煤层的瓦斯压力一般在\_\_\_\_\_以上。  
A. 100 kPa B. 250 kPa C. 400 kPa D. 500 kPa
- 10、抽出式通风的主要通风机因故障停止运转时，\_\_\_\_\_。  
A 井下风流压力升高，瓦斯涌出量减少  
B 井下风流压力降低，瓦斯涌出量增加  
C 井下风流压力不变，瓦斯涌出量不变  
D 井下风流压力升高，瓦斯涌出量增加
- 11、瓦斯有吸附态转化为游离态的现象叫\_\_\_\_\_。  
A、解吸 B、吸附 C、二则都有
- 12、下列哪种气体的加入会使瓦斯爆炸浓度的上限升高的是\_\_\_\_\_。  
A、二氧化硫 B、二氧化氮 C、一氧化碳 D、二氧化碳
- 13、下列不会造成瓦斯爆炸的火源是\_\_\_\_\_。  
A、明火 B、摩擦火花 C、机电火花 D、矿用安全炸药爆破
- 14、惰性气体的加入会导致瓦斯爆炸浓度范围\_\_\_\_\_。  
A、减下 B、扩大 C、不变
- 15、当空气中氧气浓度低于\_\_\_\_\_ %时，瓦斯遇火时一般不会爆炸。  
A、10 B、12 C、18 D、20
- 16、甲烷报警器和甲烷断电仪具有\_\_\_\_\_功能。  
A. 指示 B. 报警 C. 切断被控电源 D. 指示、报警、切断被控电源
- 17、矿井瓦斯等级，是根据矿井\_\_\_\_\_划分的。  
A. 相对瓦斯涌出量 B. 相对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式  
C. 绝对瓦斯涌出量 D. 相对瓦斯涌出量、绝对瓦斯涌出量和瓦斯涌出形式
- 18、瓦斯在煤层中的赋存状态有\_\_\_\_\_。  
A. 游离状态 B. 吸附状态 C. 游离状态和吸附状态 D. 自由运动状态
- 19、矿井瓦斯的主要来源有\_\_\_\_\_。  
A. 掘进区 B. 回采区 C. 已采区 D. A+B+C
- 20、下列因素增大不会增大突出危险性的是\_\_\_\_\_。  
A、地压 B、瓦斯压力 C、煤的强度
- 21、下列不属于区域性防突措施的是\_\_\_\_\_。  
A、开采保护层 B、煤层注水 C、预抽瓦斯 D、超前钻孔
- 22、下列抽放设备中，可作为测量用具的是\_\_\_\_\_。  
A、放水器 B、瓦斯泵 C、孔板流量计 D、防回火网
- 23、空气中瓦斯浓度的增大会导致煤尘爆炸浓度下限\_\_\_\_\_。  
A、减下 B、增大 C、不变

24、串联通风的两个掘进工作面，进入串联工作面的风流中，瓦斯和二氧化碳浓度都不得超过\_\_\_\_\_ %。

- A、0.5 B、1 C、1.5 D、2

### 三、判断题

- 1、矿井瓦斯是一种混合物。
- 2、瓦斯喷出是一种普通涌出。
- 3、瓦斯喷出需要喷出的通道。
- 4、开采保护层能彻底的消除瓦斯突出。
- 5、甲烷是一种具有燃烧爆炸性，易溶于水的气体。
- 6、瓦斯爆炸实质上是一种剧烈的氧化反应。
- 7、达到爆炸限度的瓦斯只要遇到高温火源就会爆炸。
- 8、在瓦斯爆炸中，反向冲击波的压力较正向冲击波要小，所以其破坏性也小。
- 9、当地面大气压力下降时，会引起矿井瓦斯涌出量的下降。
- 10、矿井开采深度越大，瓦斯含量就越高，涌出量就越大。
- 11、对于抽出式矿井，其他条件不变，通风动力增大，瓦斯涌出量增大。
- 12、瓦斯浓度过高时只会燃烧，不会爆炸。
- 13、在瓦斯爆炸造成的伤亡中，一氧化碳中毒致死占很大比重。
- 14、井下一切高温火源都能一起瓦斯爆炸或燃烧。
- 15、发生瓦斯爆炸的原因是出现高浓度的瓦斯。
- 16、开采煤层的瓦斯含量小，开采时瓦斯涌出量一定小。
- 17、工作面产量增加时，瓦斯涌出量必定会随之增大。
- 18、抽放瓦斯可以减少突出的危险性。
- 19、保护层开采后，被解放层的应力和瓦斯压力都相应减下。
- 20、在煤矿采掘生产过程中，放出瓦斯的现像称为矿井瓦斯涌出。
- 21、甲烷在煤矿井下各种有害气体中所占比中最大，可达80%~90%以上。

### 四、简答题

- 1、什么叫保护层和被保护层？
- 2、预防瓦斯爆炸主要有那三个方面的措施，如何预防瓦斯积聚？
- 3、简述采煤机附近瓦斯积聚的处理方法。
- 4、瓦斯突出的危害是什么？
- 5、简述煤与瓦斯突出的预兆？
- 6、采煤工作面上隅角瓦斯积聚的原因是什么，如何处理？

## 第十章 矿井火灾防治

### 【重点与难点】

- 1、煤炭自燃理论;
- 2、煤炭自燃预测预报;
- 3、防灭火技术
- 4、均压防灭火;
- 5、火灾时期风流控制

### 第一节 概述

#### 一、火灾与矿井或煤田火灾的概念

在矿井或煤田范围内发生, 威胁安全生产、造成一定资源和经济损失或者人员伤亡的燃烧事故, 称之为矿井或煤田火灾。

#### 二、矿井火灾的类型及其特性

##### 1、按引火原因分类

(1) 内因(自燃)火灾。

(2) 外因火灾。

##### 2、消防分类

A类火灾: 煤炭、木材、橡胶、棉、毛、麻等含碳的固体可燃物质

B类火灾, 指汽油、煤油、柴油、甲醇、乙醇、丙酮等可燃液体

C类火灾, 指煤气、天然气、甲烷、乙炔、氢气等可燃气。

D类火灾, 象钠、钾、镁等可燃金属燃烧形成的火灾。

##### 3、其它分类方法。

还有按火源特性, 可分为原生火灾与再生火灾; 按火源产生的位置, 可分为井上火灾与井下火灾等。

#### 三、防灭火研究的内容

煤矿火灾防治是一项系统工程, 其理论与技术的研究内容应围绕一个目标和三个问题。

### 第二节 矿井外因火灾及其预防

#### 一、物质燃烧的充要条件

1、必要条件—可燃物、助燃物、高温能量 火源。

2、充分条件—三个必要条件同时存在, 互相作用;  $Q_{生} > Q_{散}$   
煤矿常见的外因火源主要有以下几种:

(1) 电能热源

(2) 摩擦热

(3) 放明炮、糊炮等

(4) 明火(高温焊渣、吸烟)

#### 二、外因火灾的预防

1、我国的消防方针----预防为主, 消防结合

2、防火对策-----矿井火灾的防治可以采取下列三个对策:

## 1) 技术(Engineering)对策

(1)灾前对策---防止起火、防止火灾扩大

(2)灾后对策---报警、控制、灭火、避难

## 2) 教育(Education)对策 ---- 知识、技术、态度

3) 管理(法制(Enforcement))对策---制定各种规程、规范和标准,且强制性执行。

这三种对策简称“三E”对策。前两者是防火的基础,后者是防火的保证。

**三、预防外因火灾的技术措施**

预防火灾发生有两个方面:一是防止火源产生;二是防止已发生的火灾事故扩大,以尽量减少火灾损失。

## (一) 防止火灾产生

1、防止失控的高温热源产生和存在。按《煤矿安全规程》及其执行说明要求严格对高温热源、明火和潜在的火源进行管理。

2、尽量不用或少用可燃材料,不得不用时应与潜在热源保持一定的安全距离。

3、防止产生机电火灾。

4、防止摩擦引燃

(1)防止胶带摩擦起火。胶带输送机应具有可靠的防打滑、防跑偏、超负荷保护和轴承温升控制等综合保护系统;

(2)防止摩擦引燃瓦斯。

5、防止高温热源和火花与可燃物相互作用。

## (二) 防止火灾蔓延的措施

限制已发生火灾的扩大和蔓延,是整个防火措施的重要组成部分。火灾发生后利用已有的防火安全设施,把火灾局限在最小的范围内,然后采取灭火措施将其熄灭,对于减少火灾的危害和损失是极为重要的。其措施有:

1、在适当的位置建造防火门,防止火灾事故扩大。

2、每个矿井地面和井下都必须设立消防材料库。

3、每一矿井必须在地面设置消防水池,在井下设置消防管路系统。

4、主要通风机必须具有反风系统或设备,反风设施并保持其状态良好

**第三节 煤炭自燃的理论基础****一、煤炭自然机理**

主要的有黄铁矿作用学说、细菌作用学说、酚基作用学说以及煤氧化化学学说等

**二、煤的氧化特性**

1、所有品种煤在常温下都吸氧,但吸氧速度不同。

2、煤的吸氧速度与所在空气中的氧浓度成正比,即

$$\frac{dm}{dt} = UC \quad (10-1)$$

3、在温度不变条件下,吸氧速度常数随时间按指数规律衰减,即

$$U = U_1 e^{-Ht} \quad (10-2)$$

4、吸氧速度常数U与煤自身温度之间符合幂函数关系

5、煤在氮气中加热后再冷却可使它的活性增加,并有重新恢复到原有活性的可能。

6、吸氧速度常数U与粒度之间成复杂关系

**三、自燃发火与自燃发火期**

自燃发火:有自燃倾向性的煤层被开采破碎后在常温下与空气接触发生氧化,产生热量使其温度升高,出现发火和冒烟的现象:(1)明火、冒烟、火炭;(2) $T > 70^\circ\text{C}$ ;(3) $\text{CO}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 等超临界值并上升。

自燃发火期:从煤层被开采破碎接触空气之日起,至出现自燃现象或温度上升至燃点为止所经历时间。以月或天。

**四、煤炭自条件**

1、具有自燃倾向的煤被开采后呈破碎堆积状态。

2、有较好的蓄热条件。

3、有适量的通风供氧。

4、上述三条件共存的时间大于煤的自然发火期。

### 五、影响煤炭自然发火的因素

#### 1、煤的自然性能

- (1) 煤的分子结构。
- (2) 煤化程度。煤的自然倾向性随煤化程度增高而降低。
- (3) 煤岩成分。镜煤>亮煤>暗煤>丝炭
- (4) 煤中的瓦斯含量。它类似用惰性气体稀释空气对氧化发生的影响
- (5) 水分。既有加速氧化的一面，也有阻滞氧化的因素。
- (6) 煤中硫和其它矿物质，煤中含有的硫和其它催化剂，则会加速煤的氧化过程。

#### 2、开采技术

矿井的开拓方式、采区巷道布置、回采方法和回采工艺、通风系统和技术管理等开采技术和管理水平，对自然发火起决定性影响。

- (1) 矿井开拓方式和采区巷道布置。
- (2) 回采方法和回采工艺，但其决定的因素是回采率和工作面推进速度

#### 3、影响采空区自燃的因素

##### (1) 采空区三带划分

对于后“U”通风系统(一源一汇)的采空区，按漏风风速、采空区氧气浓度、采空区遗煤温升速度和遗煤发生自燃的可能性采空区可分为三带：

散热带： $L_1=5\sim 20m$ ，由于自由堆积，空隙漏风大， $Q_{生}<Q_{散}$ ，

自燃带： $L=20\sim 70m$ ，空隙、漏风小， $Q_{生}>Q_{散}$

窒息（不自燃）带III：漏风小，氧气浓度低

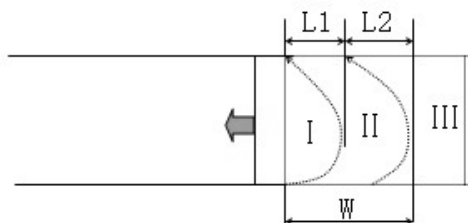


图 10-1

划分三带的指标有三种：

- ①采空区漏风风速  $V$  ( $V>0.9m/s$  为散热带； $0.9\geq V\geq 0.02m/s$  为自燃带； $V<0.02m/s$  为自窒息带。);
- ②采空区氧浓度 ( $C$ ) 分布 (认为  $C<8\%$  为窒息带， $C\geq 8\%$  为自燃带)；
- ③采空区遗煤温升速度 ( $dt>1^{\circ}C/d$  为自燃带)。

由于缺少深入的理论研究和试验结果，此指标目前尚难以应用。

##### (2) 采空区遗煤自燃的条件及其影响因素

设自燃带的最大宽度为  $L_1+L_2$ ，工作面的推进速度为  $V$ ，自然发火期为  $\tau_s$ ，在自燃带内煤暴露于空气的最长时间为  $\tau$ (月)，则

$$t = (L_1 + L_2)/V \quad (10-3)$$

当  $\tau_s \leq \tau$  时，可能发生自燃。

#### 4、漏风

在煤炭氧化过程的热平衡关系中，漏风起两方面的作用：一是向煤提供氧化所必须的氧气，促进氧化发展；二是带走氧化生成的热量，降低煤温，抑制氧化过程发展。

苏联学者等研究表明，采空区及煤柱的漏风强度在  $0.1\sim 0.24 m^3/(\min.m^2)$  时容易自然发火。有的作者认为不会导致自燃的极限风速低于  $0.02\sim 0.05 m^3/(\min.m^2)$ ；封闭采空区密闭墙漏风压差在  $300Pa$ 、漏风强度在  $0.02\sim 1.2m^3/(\min.m^2)$  时容易自然发火的<sup>[136]</sup>。因此，有一定局限性。但对我们研究自燃问题是有参考价值的。把风速控制在易燃风速区之外，是从通风的角度预防自然发火的原则。

#### 5、地质因素

地质因素主要有：

- (1) 倾角。
- (2) 煤层厚度。
- (3) 地质构造。在有地质构造的地区，自燃危险性加剧。
- (4) 开采深度。

### 六、煤的自然过程及特点

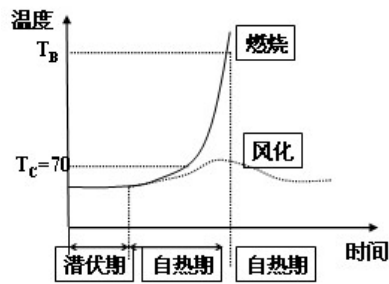


图 10-2 煤的自然过程

#### 1、潜伏（自燃准备）期

以物理吸附，煤温开始升高，无宏观现象。

#### 2、自热阶段

自热过程是煤氧化反应自动加速、氧化生成热量逐渐积累、温度自动升高的过程。

#### 3、自燃阶段

煤温达到其自燃点后，若能得到充分的供氧（风），则发生燃烧，出现明火。

#### 4、熄灭

降到燃点以下。

## 第四节 矿井火灾预测和预报

根据煤田地质勘探或在矿井开采的过程中，所采集的煤样的分析化验结果和自然发火的统计资料，判定待开采煤层的自燃严重程度及其在空间上的分布规律，为有针对性制定防灭火措施提供可靠的依据。

### 一、煤层自燃倾向性的鉴定方法

1992年版的《煤矿安全规程》执行说明规定采用吸氧量法。

表 10-1 30℃常压下吸氧量

等级	自燃倾向等级	褐煤、烟煤	高硫煤、无烟煤	硫含量
I	容易自燃	≥0.8	≥1.0	>2.0%
II	自燃	0.41~0.79	0.8~1.0	>2.0%
III	不易自燃	≤0.41	≤0.8	<2.0%

### 二、煤层自然发火期的估算方法及其延长途径

#### 1、煤层自然发火期的估算

(1) 统计比较法---生产矿井，揭煤统计，分煤层统计，以最短

(2) 类比法---根据地质资料，参照吸氧量鉴定，对照同类矿井

#### 2、延长煤层自然发火期的途径，其途径有：

(1) 减小煤的氧化速度和氧化生热。

(2) 增加散热强度，降低温升速度。

### 三、矿井外因火灾预测

矿井外因火灾预测是，通过井巷中的可燃物和潜在火源分布调查，确定可能产生外因火灾的空间位置，及其危险性等级。

### 四、矿井火灾的预报

根据火灾发生和发展的规律，应用成熟的经验和先进的科学技术手段，采集处于萌芽状态的火灾信息，进行逻辑推断后给出火情报告。

主要有：

#### 1、利用人体生理感觉预报自然发火

依靠人体生理感觉预报矿井火灾的主要方法有：

(1) 嗅觉；

(2) 视觉；

(3) 感（触）觉。

2、气体成分分析法

(1) 指标气体及其临界指标

能反映煤炭自热或可燃物燃烧初期阶段特征的、并可用来作为火灾早期预报的气体叫指标气体。

(2) 常用的指标气体

①一氧化碳 (CO)

②Graham 系数  $I_{CO}$

$$I_{CO} = \frac{100CO}{\Delta O_2} = \frac{100CO}{0.265N_2 - O_2} \quad (10-4)$$

③乙烯。

④其它指标气体。国外有的煤矿采用烯炔比 (乙烯和乙炔 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 之比) 和链烷比 (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>/CH<sub>4</sub>) 来预测煤的自热与自燃。

五、连续自动检测系统

1、束管系统

(1)、采样系统

(2)、控制装置

(3)、气样分析

(4)、数据贮存、显示和报警

2、矿井火灾监测与监控

## 第五节 开采技术防火措施

一、矿井自燃火源的分布规律

1、采空区。采空区火灾占 50% 以上。

2、煤柱。

3、巷道顶煤。

4、断层和地质构造附近。

二、开拓开采技术防火措施

要求:

(1)提高回采率

(2)限制或阻止空气流入疏松煤体, 消除供氧(减少漏风、减小压差)

(3)漏风风速小于自燃风速

(一) 主要技术措施

1、合理地进行巷道布置

(1)尽量岩巷, 有利于均压;

(2)区段巷道分采分掘;

(3)无煤柱开采技术

2、选择合理的采煤方法和先进的回采工艺, 提高回采率, 加快回采进度。

3、选择合理的通风系统。

4、坚持自上而下的开采顺序。

5、合理确定近距离相邻煤层和厚煤层分层同采时两工作面之间的错距, 防止上、下之间采空区连通。

(二) 灌浆系统

灌浆系统由制浆、输浆和灌浆三部分组成。

1、浆液的制备

(1)浆液性能。对浆液性能的基本要求是, 浓度适当, 渗透能力强。水土比。

(2)浆材的选取。浆材必须满足一定的基本要求。

(3)浆液的制备工艺。

2、浆液的输送

(1)输浆压力与输浆倍线

输送浆液的压力有两种。一是利用浆液自重及浆液在地面入口与井下出口之间高差形成的静压力进

行输送,叫静压输送;当静压不能满足要求时应采用加压输送。 $L$ —总长度, $H$ —入出口高差, $h$ —泵压力

$$N = \frac{L}{H} \quad (10-5)$$

$$N = \frac{L}{H+h} \quad (10-6)$$

### (2) 灌浆管道的选择

当管道中浆液恰好处于无沉积的悬浮状态时的流速,称为临界流速( $v_c$ )时,也叫不淤流速。

$$V_c = \frac{4Q_m}{3600pd_c^2} \quad (10-7)$$

### (3) 灌浆钻孔

#### (三) 灌浆防火方法

按与回采的关系分,预防性灌浆有:采前预灌、随采随灌、采后封闭灌浆等三种。方法

##### (1) 钻孔灌浆。

在煤层底板的集中运输或回风巷道或专门开掘的灌浆巷道内,每隔一定距离(10~15m)向采空区打钻灌浆,

##### (2) 埋管灌浆。

##### (3) 工作面洒浆。

##### (4) 综采工作面插管灌浆。

## 二、阻化剂防火

在化学上,凡是能减小化学反应速度的物质皆称为(inhibitors)。

作用机理:增加惰性、形成液膜、充填、蓄水、降温。

### 1、阻化剂的评价指标及其影响因素

#### (1) 阻化率

按公式(10-8)计算阻化率:

$$E = 100(A - B)/A \quad (10-8)$$

$A$ ,  $B$ --分别为原煤样和阻化煤样在规定的实验条件下氧化5小时放出的 $CO$ (pmm)或 $SO_2$ (mg)。

#### (2) 阻化剂的阻化寿命

阻化剂喷洒至煤体表面后,从开始生效至失效所经过的时间叫阻化剂寿命。单位为月。

阻化剂的寿命可用下式表示: $V$ —衰减速度

$$t = \frac{E}{V} \quad (10-9)$$

### 2、阻化剂选择

煤矿使用的阻化剂有:氯化钙、氯化镁、氯化铵以及水玻璃等。以及工业废液等。

### 3、阻化剂防火工艺方法

主要方法是:表面喷洒、用钻孔向煤体压注以及利用专用设备向采空区送入雾化阻化剂。

## 第六节 均压防灭火

均压防灭火的实质:利用风窗、风机、调压气室和连通管等调压设施,改变漏风区域的压力分布,降低漏风压差,减少漏风,从而达到抑制遗煤自燃、惰化火区,或熄灭火源的目的。

### 一、调压设施均压防灭火的原理

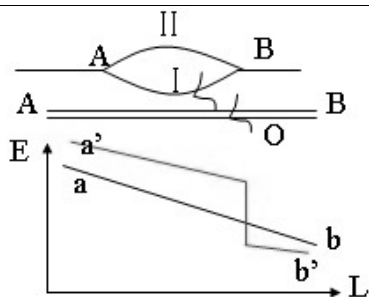


图 10-3 调节风窗调压的原理

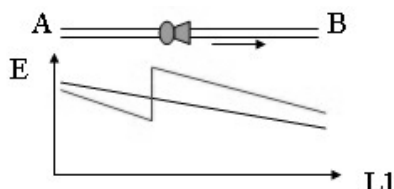


图 10-4 风机调压的原理

(一) 调节风窗调压的原理

特性：上风侧压力增加，下风侧

实质：增阻减风，改变调压风路上的压力分布，达到调压目的。

前提条件：本分支风量允许减少

(二) 风机调压的原理

在需要调压的风路上安装带风门的风机，利用风机产生的增风增压作用，改变风路上的压力分布，达到调压目的。

特性：

前提：以增加风量为前提。

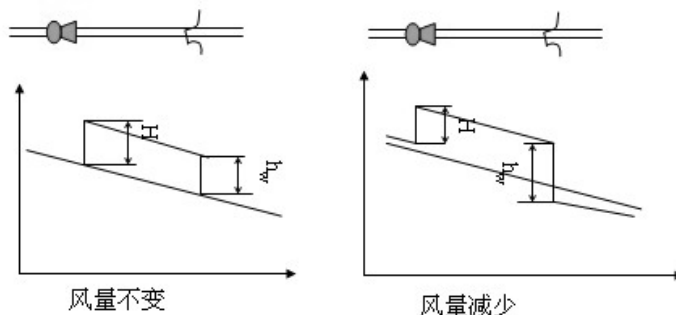


图 10-5 风窗-风机联合调压原理

(三) 风窗-风机联合调压的原理

1、风窗 - 风机增压调节

所谓增压调节是指使两调压装置中间的风路上风流的压能增加。增压调节又可分为风量不变和减少两种。

2、风窗 - 风机联合降压调节

作降压调节时，风窗安装在上风侧，风机安装在下风侧。

二、生产工作面采空区自燃火源或高温点的调压处理

(一) 采空区的漏风形式

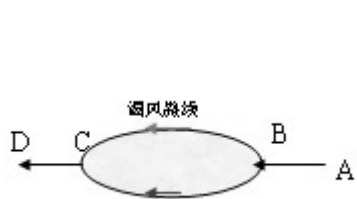


图 10-6 并联漏风

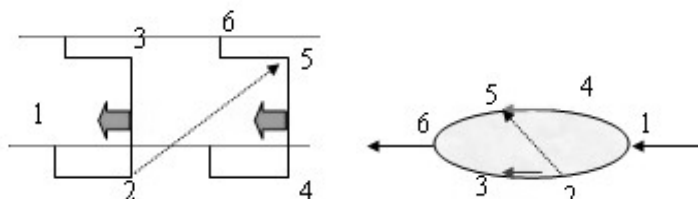


图 10-7 角联漏风

1、并联漏风

如图 10-6 所示，是后退式回采 U 形通风系统，工作面采空区漏风分布平面示意图。

2、角联漏风

(二)、调压处理方法：

(1)、当火源或高温点处于自燃带 II 中后部（靠近窒息带）时，则可用降低漏风压差的方法，减小漏风带宽度，使窒息带复盖高温点。

(2)、高温点位于自燃带的前部，可采用在工作面下端挂风帘的方法来减小火源所在区域内的漏风，同时加快工作面的推进速度，使窒息带快速复盖高温点。

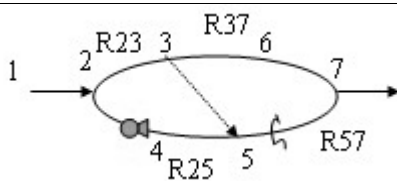


图 10-8 角联漏风

3、角联漏风

采空区内除存在并联漏风外，还有部分漏风与其它风巷发生联系，这种漏风叫角联漏风。

调压处理方法：

(1)在风路中安装风门和风机等调压装置，降低漏风源的压能，提高漏风汇的压能。

(2)改变相邻支路的风阻比，使之保持：

$$\frac{R_{23}}{R_{25}} \approx \frac{R_{37}}{R_{57}} \tag{10-10}$$

具体措施

三、调压气室-连通管调压防灭火的原理与应用

一般适用于封闭火区灭火。有单气室与双气室调压两种。

(一)、双调压气室—连通管调压原理与应用

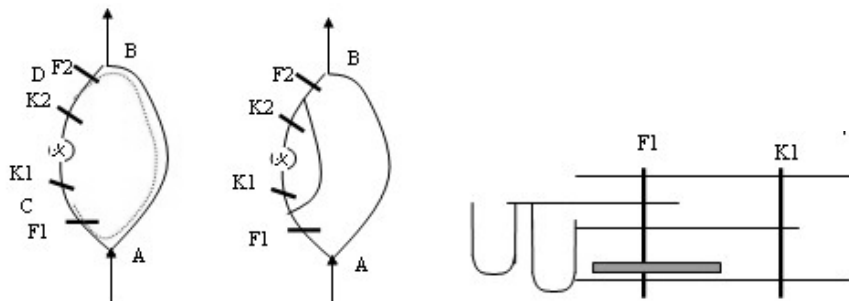


图 10-9 双调压气室—连通管调压原理与应用

1、布置方式

K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>：密闭墙。

F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>：辅助密闭墙。

在密闭墙和辅助密闭墙形成的调压气室之间铺一根金属管。

2、调压原理

辅助密闭墙增加火区的漏风风阻，降低火区的漏风压差；连通管与火区并联，起到并联分风和降压的作用。

3、调压时的火区动态观察

(二)、单调压气室—连通管调压原理与应用

1、布置方式及其调压原理。

在回风侧构成调压气室，同时利用金属管将调压气室与火区进风侧相连。

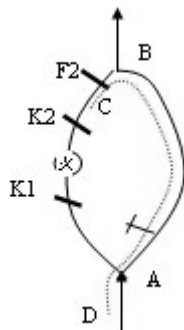


图 10-10 单调压气室—连通管调压原理

要消除火区漏风，需满足下式：

$$\frac{R_T}{R_M} = \frac{R_{DA}}{R_{AB}} \tag{10-11}$$

式中 R<sub>T</sub>—连通管(包括闸门)风阻；

$R_M$ —辅助密闭墙 M 与 CB 巷道风阻之和；

$R_{AB}$ ,  $R_{DA}$ —分别为巷道 AB 和 DA 的风阻；

2、火区的动态观测

四、调整通风系统调节漏风压差

(一)调整通风系统的原则

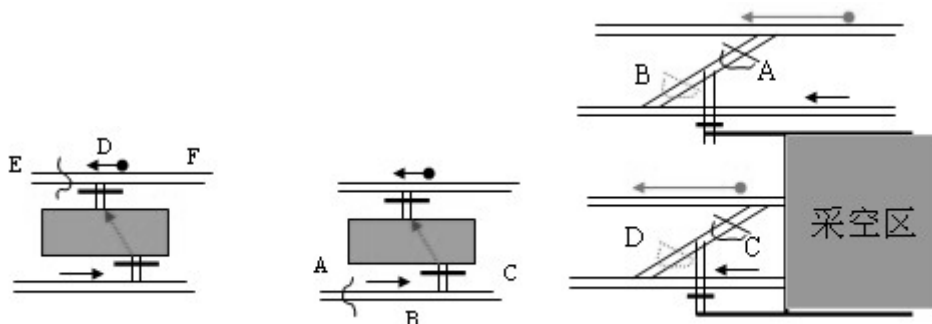


图 10-11 通风系统的调整原则

- 1、增加火区或采空区的并联(低风阻)风路；或减少火区并联分支的风阻或风量(不得在该分支增阻)。
- 2、增加火区所在分支或其漏风流经路线上其它分支的风阻；在非漏风流经的路线上减阻。增阻或减阻巷道离火区或采空区越近，效果越好。
- 3、当火区的漏风源与漏风汇分别处于进回风井附近时，应设法降低主要通风机负压；
- 4、降低火区漏风源的压能，增加其漏风汇的压能。

(二)通风构筑物的合理位置

在有漏风源或漏风汇附近的风路上，设置增阻型通风构筑物时，应遵循的总原则是：既起到应有的风流调节和控制作用，又不增大火区或采空区的漏风压差。

具体而言：

- 1、若在有并联漏风的风路上设置风窗等增阻型通风构筑物时，其位置不应选择在漏风的源与汇之间。
- 2、在有漏风源或漏风汇附近的风路上安设增阻型通风构筑物时，应将其设在漏风源的上风侧，或漏风汇的下风侧。
- 3、风门、调节风门和密闭墙等控制风流的设施设置后，应使采空区或火区同处于进风或回风侧，以降低其漏风压差。

## 第七节 惰气防灭火

惰气系指不可燃气体或窒息性气体，主要包括氮气、二氧化碳以及燃料燃烧生成的烟气（简称燃气）等。

### 一、氮气防灭火

氮气既可以迅速有效的扑灭明火，又可以防止采空区遗煤自燃。使用注氮灭火的火区具有恢复工作量大、不损坏设备等优点。

#### 1、(液)氮气防灭火原理

- (1) 氮气注入采空区后具有降低氧浓度的作用；
- (2) 液氮灭火还具有冷却降温作用。在 20℃ 的环境温度下，液氮的汽化热为 423 kJ/kg。直接用液氮注入火区时，液氮气化，吸收热量，使火区气体、煤层和围岩的温度降低，火区冷却会加速火源熄灭；
- (3) 在封闭火区的过程中，氮气注入火区后，兼有抑爆作用。

#### 2、氮气制取

三种工艺方法：一是深冷空分法 99.9%；二是碳分子筛变压吸附法；三是膜分离法。

#### 3、生产工作面采空区注氮防火

向采空区注入氮气要根据具体条件确定注氮制度（方式）。在有自燃早期预报时，一般应采用非连续注氮，以降低成本。并根据高温点的温度或 CO 浓度大小选择注氮强度、注氮口的位置以及注氮时工作面风量选择等。

#### 4、注氮处理封闭火区

(1) 向封闭火区注氮。有条件时注氮过程中逐渐缩封火区,以提高注氮效果。

(2) 定向注氮,目标惰化。注氮时使氮气流经火源点,用氮气流置换漏风气流;或者用数个钻孔能包围火源点进行注氮,这就是目标惰化。

(3) 提高注氮效果的途径 适当增加密闭墙的气密性,限制漏风量;增大注氮强度和保持注氮的连续性;选择合适的注氮口位置。

## 二、湿式惰气灭火

湿式惰气是燃料油与一定比例的空气混合在惰气发生装置(机)内经充分燃烧后产生的烟气。由于烟气中基本上是惰性气体或不可燃气体,因此,将其压入火区后,可起到惰化火区、窒息火源的作用;压入正在密闭的火区可起到阻爆作用。

惰气发生装置及其性能参数:产气量,燃油耗量,耗水量,供水压力,出水温度。

# 第八节 矿井火灾时期通风

## 一、火风压及其计算方法

火灾时高温烟流流过巷道所在的回路中的自然风压发生变化,这种因火灾而产生的自然风压变化量,在灾变通风中称之为火风压。

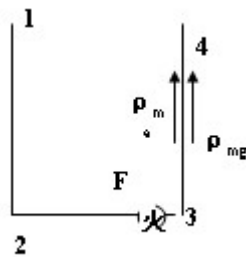


图 10-12 模型化的通风系统

在如图 10-12 所示的模型化的通风系统中,在 F 点发火,由于火源下风侧 3-4 风路的风温和空气成分发生变化,从而导致其密度减小,该回路产生火风压,根据火风压定义可得:

$$H_f = Zg(\rho_{ma} - \rho_{mg}) \quad (10-12)$$

式中  $H_f$ —火灾时 1-2-3-4-1 回路的火风压, Pa;

$Z$ —1-2-3-4-1 回路的高差, m。

$\rho_{ma}$ 、 $\rho_{mg}$ —分别为 3-4 分支火灾前后空气和烟气的平均密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

## 二、火风压的特性

### 1、火风压出现的位置。

火风压产生于烟流流过的有高差的倾斜或垂直巷道中。

2、火风压的作用相当于在高温烟流流过的风路上安设了一系列辅助通风机;

3、火风压的作用方向总是向上。

火风压的大小和方向取决于:烟气流过巷道的高度、通过火源的风量、巷道倾角、火源温度和火源产生的位置。

## 三、火灾时期风流紊乱规律及防治

### 1、风流的紊乱形式

风流紊乱的形式主要有:旁侧支路风流逆转、主干风路烟流逆退和火烟滚退三种形式。

(1) 旁侧支路风流逆转。当火势发展到一定的程度时,通风网路中与火源所在排烟主干风路相连的某些旁侧支路的风流可能出现与正常风向相反的流动,在灾变通风中把这种现象叫做旁侧支路风流的逆转。

(2) 主干风路烟流逆退。

(3) 火烟滚退。

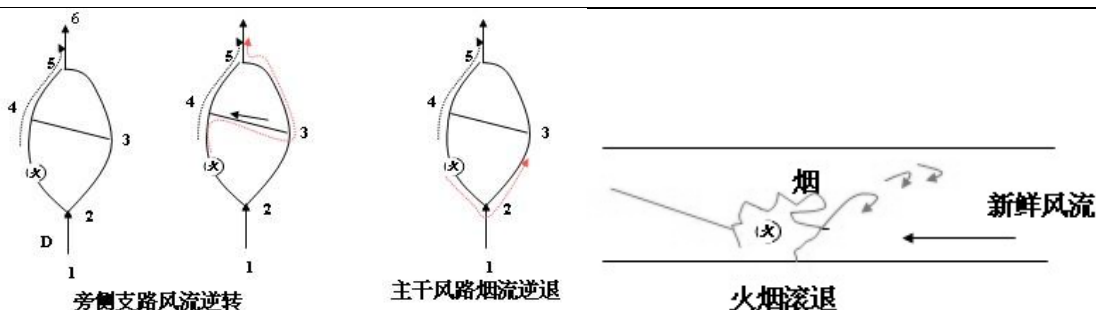


图 10-13 风流的稳定形势

## 2、风流紊乱的原因、规律及其防治

(1) 上行风路产生火风压

发生风流逆转的原因主要是：

- ①因火风压的作用使高温烟流流经巷道各点的压能增大；
- ②火源下风侧风阻增大（巷道冒顶等原因），导致主干风路火源上风侧风量减小，沿程各节点压能降低。

风流逆转的规律是，上行风路产生火风压，旁侧支路风流逆转。旁侧支路风流是否发生逆转，与本分支的风阻大小无关。风流逆转的过程一般是，风量先逐渐减小，至停止，到反向。旁侧支路风量减小，则可能是逆转的前兆。

为了防止旁侧风路风流逆转，主要措施有：

- ①降低火风压；
- ②保持主要通风机正常运转；
- ③采用打开风门、增加排烟通路等措施减小排烟路线上的风阻；

(2) 下行风路产生火风压

在下行风路中产生火风压，其作用方向与主要通风机作用风压方向相反。当火风压等于主要通风机分配到该分支压力时，该分支的风流就会停滞；当火风压大于该分支的压力时，该分支的风流就会反向。主干风路风阻及其产生的火风压一定时，风量越小，越容易反。防止下行风路风流逆转的途径有：减小火势，降低火风压；增大主要通风机分配到该分支上的压力。

(3) 风流倒退的原因、规律及其防治

由于火源处产生大量烟气以及风流加热后体积膨胀，类似于在火源处增加了一条风路（可称之为虚拟风路）。其体积流量超过原来风量，会导致烟流倒退。发生倒退的原因是：烟气的增量过大；主通风机风压作用于主干风路的风压小。

## 四、灾变时期风流控制

1、矿井发火时对通风制度的基本要求

- (1) 保护灾区和受威胁区域的职工迅速撤至安全地区或井上；
- (2) 有利限制烟流在井巷中发生非控制性蔓延，防止火灾范围扩大
- (3) 不得使火源附近瓦斯聚积到爆炸浓度，不容许流着火源的风流中瓦斯达到爆炸浓度，或使火源蔓延到有瓦斯爆炸的地区；
- (4) 为救护创造条件。

2、火灾时常用的通风制度

- (1) 维持正常通风，稳定风流。①火源位于采区内部；②网络复杂的高瓦斯；③独头巷道；④采区或矿井回风道；⑤减少向火源供风
- (2) 停风机—(1)进风井口，(2)独头巷道  $CH_4$  浓度>上限，(3)主通风机成为阻力；
- (3) 反风—(1)全矿反风；(2)区域性反风；(3)局部反风
- (4) 风流短路—进风系统

# 第九节 矿井火灾处理与控制

## 一、灭火原理

- (1) 冷却，把燃烧物质的温度降低到燃点以下。
- (2) 隔离和窒息，使燃烧反应体系与环境隔离，抑制参加反应的物质。

(3) 稀释,降低参加反应物(液、气体)的浓度。

(4) 中断链反应。

## 二、直接灭火

采用灭火剂或挖出火源等方法把火直接扑灭, 称谓直接灭火法

### (一) 常用灭火剂及其使用方法

可用于扑灭火源的物质, 称为灭火剂。常用的灭火剂有水、泡沫、干粉、二氧化碳、四氯化碳、卤代烷、惰气、砂子和岩粉等。

#### 1、水

水是不燃液体, 是消防上常用的灭火剂之一。使用方法有水射流和水幕两种形式。

#### 2、泡沫

泡沫是一种体积小, 表面被液体围成的气泡群。泡沫的比重小, 且流动性好, 可实现远距离立体灭火, 具有持久性和抗燃烧性, 导热性能低, 粘着力大。泡沫复盖在火源周围, 形成严密的复盖层, 并能保持一定时间, 使燃烧区与空气隔绝, 具有窒息作用; 复盖层具有防辐射和热量向外传导作用; 泡沫中的水份蒸发可以吸热降温, 起到冷却作用。

泡沫灭火剂可分为化学灭火剂和空气泡沫灭火剂两类。

#### 3、干粉

干粉灭火剂是目前公认的灭火效力较高的一种新型的化学灭火剂。应用范围比较广泛。

干粉灭火的原理:

干粉靠加压气体的压力从喷嘴内喷出, 形成一股雾状气流, 射向燃烧物, 接触火焰和高温后, 受热分解, 吸热并放出不燃气体 ( $\text{NH}_3$  和  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ), 可以稀释火区范围内的氧浓度; 干粉及其热解产物可抑制碳氢自由基生成, 破坏燃烧链反应; 细的粉末在高温作用下溶化、胶结, 形成复盖层具有良好的“热帐”作用。

#### 4、卤代烃灭火剂

常用的卤代烃灭火剂是用氟、氯、溴取代甲烷和乙烷中的氢而成, 因此也叫卤代烷灭火剂。

灭火原理:

在氮气的压力作用下, 灭火剂立即成雾状喷出。形成比重大、扩散慢的气体, 能在较长时间内滞留在火区内。其作用是降低火区氧浓度之外, 中断链反应, 阻止燃烧, 并兼有一定窒息和冷却作用。

#### 5、砂子和岩粉

砂子和岩粉在煤矿广泛应用于扑灭电气火灾。

### (二) 消除可燃物

直接灭火除了向火源喷射灭火剂以外, 在有些条件下还可以清除可燃物, 消除燃烧的物质基础。煤矿常用的是挖除火源。

### (三) 用凝胶处理高温点和自燃火源

凝胶是近年来应用于煤矿井下防火较为广泛的材料, 由基料(硅酸盐(水玻璃))+促凝剂(碳酸氢氨等盐类)+水(90%左右)组成。

灭火原理:

凝胶基料和促凝剂都具有阻化作用, 加之含有大量水份, 在一定的压力下, 注入到高温点周围的煤体中。在成胶前凝胶易于流动, 能够渗透到煤体碎裂的内部。既可起到阻止氧化作用, 又可封堵漏风(裂隙)通道, 防止漏风渗入; 其内固聚的大量水份, 遇高温受热蒸发, 还可以起到吸热降温作用。

### (四) 灌浆灭火

灌浆灭火是煤矿井下常用的一种灭火方法。灌浆灭火的方法因火源位置而异。

常用的方法有: 井下巷道(钻窝)打钻灌浆、在火区密闭墙上插管灌浆和地面钻孔注浆三种。

## 三、隔绝灭火

当火源不能直接将火扑灭时, 为了迅速控制火势, 使其熄灭, 可在通往火源的所有巷道内砌筑密闭墙, 使火源与空气隔绝。

### (一) 密闭墙的结构和种类

分为: 临时密闭、永久密闭和防爆密闭三种。

#### 1、临时密闭墙

其作用是暂时切断风流, 控制火势发展。为砌筑永久密闭墙或直接灭火创造条件。

#### 2、永久密闭墙

较长时间地(至火源熄灭为止)阻断风流, 使火区因缺氧而熄灭。其要求是具有较高的气密性、坚固性和不燃性, 同时又要便于砌筑和启开。

#### 3、防爆密闭墙

在有瓦斯爆炸危险时，需要构筑防爆密闭，以防止封闭火区时发生瓦斯爆炸。防爆密闭墙一般是用砂袋堆砌而成。

(二) 密闭墙的位置选择

密闭墙的位置选择合理与否不仅影响灭火效果，而且决定施工安全性。

封闭火区的原则是：密、小、少、快四字。

密是指密闭墙要严密，尽量少漏风；小是指封闭范围要尽量小；少是指密闭墙的道数要少；快是指封闭墙的施工速度要快。

(三) 封闭火区的顺序

目前基本上有两种：

一是先进后回（又称为先入后排）；二是进回同时。

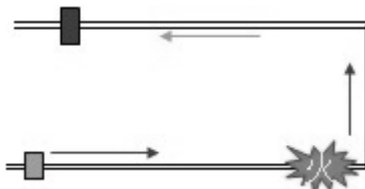


图 10-14 封闭火区顺序

四、封闭火区的方法

封闭火区的方法分为三种：

1、锁风封闭火区

从火区的进回风侧同时密闭，封闭火区时不保持通风。这种方法适用于氧浓度低于瓦斯爆炸界线 ( $O_2 < 12\%$ ) 的火区。

2、通风封闭火区

在保持火区通风的条件下，同时构筑进回风两侧的密闭。

3、注惰封闭火区

第二、三种方法，即封闭火区时保持通风的方法在国内外被认为是最安全和最正确的方法，应用较广泛。

五、扑灭和控制不同地点火灾的方法

- 1、井口和井筒火灾
- 2、井底火灾
- 3、井下硐室火灾
- 4、通风巷道火灾
- 5、采煤工作面火灾
- 6、独头巷道火灾

本章复习思考题

一、填空题

- 1、根据引火源的不同，矿井火灾可分为\_\_\_\_\_和外因火灾。
- 2、发生矿井火灾的原因、地点是多样的，但都必须具备三个条件，即：\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和空气，俗称火灾三要素。
- 3、自然发火期是煤炭自然发火危险程度在时间上的度量，自然发火期越\_\_\_\_\_的煤层自然发火危险程度就越大。
- 4、早期识别和预报煤炭自然发火的方法有：\_\_\_\_\_、分析井下空气成分的变化、测定可能发火区域及其围岩和附件空气的温度。
- 5、预防煤炭自然火灾主要有四个方面的措施，即：开拓开采技术措施、\_\_\_\_\_措施、阻化剂防火措施和\_\_\_\_\_措施。
- 6、均压法也叫调节风压法。均压法防止漏风的实质是降低或消除漏风通道两端的\_\_\_\_\_。
- 7、矿井火灾的灭火方法可分为3类，即：\_\_\_\_\_、隔离灭火和\_\_\_\_\_。
- 8、煤炭自燃必须具备的条件是：煤本身具有\_\_\_\_\_；煤呈碎裂状态存在；连续适量地供给\_\_\_\_\_；散热条件差，热量易于积聚。
- 9、内因火灾多发生在\_\_\_\_\_、巷道两侧受地压破坏的煤柱、巷道中堆积的浮煤或片帮冒顶处、与地面老窑的连通处。\_\_\_\_\_、摩擦火\_\_\_\_\_、和瓦斯煤尘爆炸。
- 10、煤炭自燃需要经历三个阶段，分别为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和自燃期。

11. 均压通风防止漏风的原理是采取措施来降低或消除漏风通道两端的\_\_\_\_\_，从而减少或消除漏风，达到预防自燃的目的。

## 二、选择题

- 下列火灾事故中，哪种火灾属于内因火灾。\_\_\_\_\_
  - 遗煤自燃
  - 摩擦起火
  - 放炮起火
- 电器设备着火时，应首先\_\_\_\_\_。
  - 直接用水灭火
  - 切断电源
  - 撤出人员
- 在煤自燃过程中，\_\_\_\_\_的温度不会明显的升高。
  - 潜伏期
  - 自热期
  - 自燃期
- 通过分析\_\_\_\_\_气体能够判断煤炭是否自燃。
  - 二氧化碳
  - 氧气
  - 一氧化碳
- 火风压产生的原因是由于空气的\_\_\_\_\_，从而导致火风压的产生。
  - 质量增加
  - 密度减小
  - 压力升高
- 火区封闭后，常采用\_\_\_\_\_使火灾加速熄灭。
  - 直接灭火法
  - 隔离灭火法
  - 综合灭火法
- 具有使用设备少，投资小，见效快的优点的井下防灭火方法是\_\_\_\_\_。
  - 预防性灌浆
  - 喷洒阻化剂
  - 注惰
  - 均压通风
- 下列哪种气体浓度的变化可以作为早期预报内因火灾的指标\_\_\_\_\_。
  - 氧气含量的减少；
  - 一氧化碳含量的增加；
  - 二氧化碳含量的减少；
  - 二氧化硫含量增加；
- 火灾发生在回风侧时，为控制风流防止灾害扩大应\_\_\_\_\_。
  - 正常通风
  - 全矿反风
  - 区域反风
  - 风流短路
- 含硫量增加会导致煤尘的爆炸危险性\_\_\_\_\_。
  - 减下
  - 扩大
  - 不变

## 三、判断题

- 煤尘连续爆炸后，爆炸压力变化不大。
- 隔绝灭火法实质上是使火源缺氧而窒息的灭火方法。
- 矿井火灾也叫矿内火灾，分为外因火灾和内因火灾。
- 井下一旦发生火灾，遇险人员应立即沿回风巷撤退。
- 目前普遍认为煤炭自燃的原因时煤氧复合作用的结果。
- 一般情况下，无烟煤的自燃倾向性要大于褐煤。
- 煤的自燃倾向性与自燃危险程度是一致的。
- 煤层的自燃发火期的长短基本保持不变。
- 由于自燃会导致水分蒸发，形成露珠，所以当发现凝有水珠时，可以断定附近煤体已经自燃。
- 研究发现，当采空区单位面积上的漏风量大于  $1.2\text{m}^3/\text{min}$  时，就不会发生自燃火灾，所以，可以通过加大漏风来防治煤的自燃。
- 阻化剂防火实际上只是进一步利用和扩大了水的防火作用。
- 井下火灾是井下一氧化碳的主要来源。
- 水作为万能灭火剂可以扑灭任何火灾。
- 煤炭自燃的过程是热量不断积聚，温度不断升高的过程。
- 一个煤层的自燃发火期是相同的。
- 井下发生自燃火灾时，其回风流中一氧化碳浓度升高。

## 四、简答题

- 内因火灾多发生在哪些地方？
- 什么叫矿井火灾？它分哪几类？各有何特点？
- 煤炭自燃过程有哪几个阶段？各阶段有何特征？
- 影响煤炭自燃的因素有哪些？
- 什么叫自然发火期？怎样确定自然发火期？
- 我国煤的自燃倾向性分哪几个等级？其等级是如何确？
- 试述煤炭自燃的早期识别及预报方法。
- 矿井防火的一般措施有哪些？
- 试述外源火灾的预防措施。
- 从开采技术方面可采取哪些措施预防煤层自然发火？

- 11、煤尘爆炸必须具备哪些条件？
- 12、均压防火有哪些方法？各种方法的内容是什么？
- 13、按煤的自燃情况，采空区如何划分为“三带”？
- 14、试述预防性灌浆时泥浆的作用、制备和灌浆方法。
- 15、泥浆代用材料有哪些？
- 16、什么叫土水比？预防性灌浆的灌浆量怎样确定？
- 17、怎样预防灌浆事故的发生？
- 18、阻化剂溶液防火的作用是什么？试说明喷洒阻化剂的工艺系统。
- 19、发生火灾时的行动原则是什么？
- 20、发生火灾时控制风流方法有哪些？简述其适用条件相应注意的问题。
- 21、什么叫火风压？如何计算？对矿内风流有何影响？怎样防治？
- 22、直接灭火法的具体作法？试述高倍数空气机械泡沫灭火的工艺流程及灭火原理。
- 23、防火墙有哪几种？各用什么材料建筑？
- 24、试述封闭火区的顺序和注意事项。
- 25、抛。试述灌浆、向封闭区注惰性气体和二氧化碳的作用以及具体做法。
- 26、试述火区注氮的作用原理、氮的输送和井下注氮的工艺流程。
- 27、火区管理包括哪些内容？
- 28、封闭火区内火源熄灭的标志有哪些？
- 29、启封火区方法有几种？各自的做法是什么？
- 30、什么叫矿井火灾？矿井火灾发生的三要素是什么？
- 31、试述地面火灾和井下火灾的特点？
- 32、什么叫内因火灾？什么叫外因火灾？试比较二者的不同特点，并从中总结处理两类火灾的指导思想与方法。
- 33、为什么有的煤能发生自燃而有的则不能自燃？
- 34、煤的自燃过程分哪几个阶段？各个阶段的特点有哪些？
- 35、如何评价各类阐述煤自燃的假说？
- 36、厚煤层开采为什么最易发生煤的自燃？
- 37、煤的自燃倾向性、煤层自燃发火危险程度、煤层自然发火期三个概念的确切含意如何理解？它们之间的互相关联何在？
- 38、煤矿里在什么地点最易发生自燃火源？
- 39、为什么说提高开采技术水平、改善通风条件是增强矿井固有防火能力、防止煤自燃的关键性决策？
- 40、如何早期识别煤炭自燃火灾？早期识别煤炭自燃的标志气体有哪些？
- 41、有哪些煤的自燃征兆可凭人的感官予以识别？汽油味的发现是井下自燃火灾发生的可靠标志，但为什么在火源的近旁并不明显？
- 42、为什么外因火灾最易酿成恶性事故？
- 43、防止外因火灾要从哪几个方面着手？
- 44、什么叫预防性灌浆？为什么灌浆能防止煤炭自燃的发生？
- 45、灌浆浆材基本性能参数有哪些？如何解决当前灌浆土源匮乏的问题？请列举出各种代用浆材。
- 46、预防性灌浆的方法有哪些？各种方法适用的条件是什么？
- 47、预防性灌浆系统如何进一步完善？
- 48、阻化剂防火的适用条件有哪些？利用阻化剂防止煤自燃还有哪些问题需要解决或进一步考查？
- 49、我国煤矿常用的阻化剂有哪些？什么是阻化寿命、阻化率？
- 50、用水灭火应注意哪些问题？用水灭火的适用条件是什么？
- 51、试述防火墙的类型？各种防火墙的作用及其结构？
- 52、在瓦斯采区或矿井使用隔绝灭火法应选用什么类型的防火墙？画出耐爆防火墙的结构。
- 53、采用隔绝法灭火时，为了防止瓦斯爆炸事故的发生，防火墙的位置如何选择？火区封闭顺序如何安排？
- 54、为什么封闭火区时最易发生瓦斯(包括火灾气体)爆炸？监测火区瓦斯情况有哪些手段或技术？
- 55、湿式惰气的成份有哪些？如何利用湿式惰气灭火？请介绍国内使用湿式惰气成功灭火的实例。
- 56、火区注惰的条件、火区熄灭的标志有哪些？试述火区启封的方法及其适用条件。
- 57、试述火风压的概念？火风压的生成及其作用？它的特点有哪些？
- 58、试述火灾时期见种常见的主要的风流紊乱形式？

- 59、火灾时期旁侧支路风流逆转的原因何在？如何防止逆转的发生？试介绍你们所了解的旁侧支路风流逆转的实例。
- 60、火灾时期上行通风的主干风路为什么会发生风流倒退现象？如何防止倒退的发生？
- 61、火灾时期下行通风的主干风路也会发生风流倒退，但是它和上行通风的主干风路烟流的倒退发生的原因不同，请予以分析说明。
- 62、如何防止下行项风的主干风路在火灾时期发生烟流的倒退？
- 63、请介绍火灾时期现场反风成功的实例与失败的实例，并从中分析总结其教训与经验。
- 64、为什么说在处理矿井火灾时不能轻易改变主扇工作状况？在什么条件下可以采取停扇的措施？或者说停止主扇运行是正确的？
- 65、多风井通风的矿井，发生火灾时，为什么不允许停止担负火区通风的主扇？
- 66、火灾时期如何观察主扇房水柱计的变化？水柱计液面上升，压差增大，液面下降，风压减小，或者说发生突变等都在说明什么问题？
- 67、当你在井下发现火情时，怎么办？

# 第十一章 矿山防尘

## 【主要内容】

- 1、 矿尘及其性质
- 2、 尘肺病
- 3、 煤尘爆炸及预防
- 4、 综合防尘

## 第一节 矿尘及其性质

### 一、矿尘的产生及分类

矿尘是指在矿山生产和建设过程中所产生的各种煤、岩微粒的总称。几种常用的分类方法。

#### 1、按矿尘粒径划分

- (1)粗尘— $>40\mu\text{m}$ , 空气中易沉降;
- (2)细尘— $10\sim 40\mu\text{m}$ , 肉眼可见, 在静止空气加速沉降;
- (3)微尘— $0.25\sim 10\mu\text{m}$ , 光学显微镜可见, 在静止空气等速沉降;
- (4)超微尘— $<0.25\mu\text{m}$ , 电子显微镜观察, 扩散动力。

#### 2、按矿尘的存在状态划分

- (1)浮游矿尘: 悬浮于矿内空气中
- (2)沉积矿尘: 从矿内空气沉降下来的矿尘

#### 3、按矿尘的粒径组成范围划分

- (1)全尘(总粉尘): 各种粒径的矿尘之和,  $1\text{mm}$  以下;
- (2)呼吸性粉尘:  $5\mu\text{m}$  以下,

### 二、矿尘的危害

矿尘具有很大的危害性, 表现在以下几个方面:

- (1)污染工作场所, 危害人体健康, 引起职业病。
- (2)某些矿尘(如煤尘、硫化尘)在一定条件下可以爆炸。
- (3)加速机械磨损, 缩短精密仪器使用寿命。
- (4)降低工作场所能见度, 增加工伤事故的发生。

### 三、含尘量的计量指标

#### 1、矿尘浓度

其表示方法有两种:

- (1)质量法: 每立方米空气所含 浮尘的毫克数,  $\text{mg}/\text{m}^3$
- (2)计数法: 每立方米空气所含 浮尘的个数,  $\text{个}/\text{m}^3$

#### 2、产尘强度

指生产过程中, 采落煤中所含的粉尘量, 常用的单位为  $\text{g}/\text{t}$ 。

#### 3、相对产尘强度

指每采掘 1 吨或 1 立方米矿岩所产生的矿尘量, 常用的单位为  $\text{mg}/\text{t}$  或  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

#### 4、矿尘沉积量

单位时间在巷道表面单位面积上所沉积的矿尘量, 单位为  $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

### 四、矿尘性质

#### 1、矿尘中游离 $\text{SiO}_2$ 的含量

矿尘中游离  $\text{SiO}_2$  的含量是危害人体的决定因素, 其含量越高, 危害越大。煤矿上常见的页岩、砂

岩、砾岩和石灰岩等中游离  $\text{SiO}_2$  的含量通常多在 20%~50%，煤尘中的含量一般不超过 5%。

## 2、矿尘的粒度与比表面积

矿尘粒度：矿尘粒度平均直径， $\mu\text{m}$

矿尘的比表面积：单位质量矿尘的总表面积； $\text{m}^2/\text{kg}, \text{cm}^2/\text{g}$

矿尘的比表面积与粒度成反比，粒度越小，比表面积越大，因而这两个指标都可以用来衡量矿尘颗粒的大小。

## 3、矿尘的分散度

矿尘整体组成中各种粒级尘粒所占百分比称为矿尘的分散度。

分散度有两种表示方法：

(1)重量百分比：各粒级重量所占总重量的百分比；

(2)数量百分比：各粒级颗粒数所占总颗粒百分比；

粒级的划分是根据粒度大小和测试目的确定的，我国工矿企业将矿尘粒级划分为 4 级：小于  $2\mu\text{m}$ 、 $2\sim 5\mu\text{m}$ 、 $5\sim 10\mu\text{m}$  和大于  $10\mu\text{m}$ 。

矿尘分散度是衡量矿尘颗粒大小构成的一个重要指标。矿尘总量中微细颗粒多，所占比例大时，称为高分散度矿尘；反之，如果矿尘中粗大颗粒多，所占比例大，就称作低分散度矿尘。矿尘的分散度越高，危害性越大，而且越难捕获。

## 4、矿尘的湿润性

矿尘的湿润性是指矿尘与液体亲和的能力。

亲水性矿尘：容易被水湿润

疏水性矿尘：不容易被水湿润

## 5、矿尘的荷电性

因空气的电离以及尘粒之间的碰撞、摩擦等作用，使尘粒带有电荷，可能是正电荷，也可是负电荷。

## 6、矿尘的光学特性

矿尘的光学特性包括矿尘对光的反射、吸收和透光强度等性能。

# 第二节 矿山尘肺病

## 一、尘肺病及其发病机理

尘肺病：以长期吸入大量微细粉尘而引起的以纤维组织增生为主要特征的肺胸部疾病。

### 1、尘肺病的分类

煤矿尘肺病按吸入矿尘的成分不同，可分为三类：

(1)硅肺病(矽肺病)，由于吸入含游离  $\text{SiO}_2$  含量较高的岩尘而引的尘肺病称为硅肺病。患者多为长期从事岩巷掘进的矿工。

(2)煤硅肺病(煤矽肺)，由于同时吸入煤尘和含游离  $\text{SiO}_2$  的岩尘所引起的尘肺病称为煤硅病肺。患者多为岩巷掘进和采煤的混合工种矿工。

(3)煤肺病。由于大量吸入煤尘而引起的尘肺病多属煤肺病。患者多为长期单一的在煤层中从事采掘工作的矿工。

### 2、尘肺病的发病机理

进入人体呼吸系统的粉尘大体上经历以下四个过程：

(1)在上呼吸道的咽喉、气管内，含尘气流由于沿程的惯性碰撞作用使大于  $10\mu\text{m}$  的尘粒首先沉降在其内。经过鼻腔和气管粘膜分泌物粘结后形成痰排出体外。

(2)在上呼吸道的较大支气管内，通过惯性碰撞及少量的重力沉降作用，使  $5\sim 10\mu\text{m}$  的尘粒沉积下来，经气管、支气管上皮的纤毛运动，咳嗽随痰排出体外。

(3)在下呼吸道的细小支气管内，由于支气管分支增多，气流速度减慢，使部分  $2\sim 5\mu\text{m}$  的尘粒依靠重力沉降作用沉积下来，通过纤毛运动逐级排出体外。

(4)粒度为  $2\mu\text{m}$  左右的粉尘进入呼吸性支气管和肺内后，一部分可随呼气排出体外；另一部分沉积在肺泡壁上或进入肺内，残留在肺内的粉尘仅占总吸入量的 1%~2% 以下。

## 二、尘肺病的发病症状及影响因素

### 1、尘肺病的发病症状

尘肺病分为三期：

第一期：重体力劳动时呼吸困难、胸痛、轻度干咳。

第二期：中等体力劳动或正常工作时，感觉呼吸困难，胸痛、干咳或带痰咳嗽。

第三期：做一般工作甚至休息时，也感到呼吸困难、胸痛、连续带痰咳嗽，甚至咯血和行动困难、

## 2、影响尘肺病的发病因素

### (1) 矿尘的成分

能够引起肺部纤维病变的矿尘，多半含有游离  $\text{SiO}_2$ ，其含量越高，发病工龄越短，病变的发展程度越快。

对于煤尘，引起煤肺病的主要是它的有机质(即挥发分)含量。

### (2) 矿尘粒度及分散度

$5\mu\text{m}$  以上的矿尘对尘肺病的发生影响不大； $5\mu\text{m}$  以下的矿尘可以进入下呼吸道并沉积在肺泡中，最危险的粒度是  $2\mu\text{m}$  左右的矿尘。

### (3) 矿尘浓度

尘肺病的发生和进入肺部的矿尘量有直接的关系，也就是说，尘肺的发病工龄和作业场所的矿尘浓度成正比。

### (4) 个体方面的因素

## 第三节 煤尘爆炸及预防

### 一、煤尘爆炸的机理及特征

#### 1、煤尘爆炸的机理

煤尘爆炸是在高温或一定点火能的热源作用下，空气中氧气与煤尘急剧氧化的反应过程，是一种非常复杂的链式反应。一般煤尘爆炸机理及过程主要表现在以下方面：

(1) 煤本身是可燃物质，当它以粉末状态存在时，总表面积显著增加，吸氧和被氧化的能力大大增强，一旦遇见火源，氧化过程迅速展开；

(2) 当温度达到  $300\sim 400^\circ\text{C}$  时，煤的干馏现象急剧增强，放出大量的可燃性气体。

(3) 形成的可燃气体与空气混合在高温作用下吸收能量，在尘粒周围形成活化中心，当活化中心的能量达到一定程度后，链反应过程开始，游离基迅速增加，发生了尘粒的闪燃；

(4) 闪燃所形成的热量传递给周围的尘粒，并使之参与链反应，导致燃烧过程急剧地循环进行。

#### 2、煤尘爆炸的特征

(1) 形成高温、高压、冲击波

(2) 煤尘爆炸具有连续性

(3) 煤尘爆炸的感应期 即煤尘受热分解产生足够数量的可燃气体形成爆炸所需的时间。

(4) 挥发分减少或形成“粘焦”

(5) 产生大量的 CO

### 二、煤尘爆炸的条件

煤尘爆炸必须同时具备三个条件：煤尘本身具有爆炸性；煤尘必须悬浮于空气中并达到一定浓度；存在能引燃煤尘爆炸的高温热源。

我国煤尘爆炸的引燃温度在  $610\sim 1050^\circ\text{C}$  之间，一般为  $700\sim 800^\circ\text{C}$ 。煤尘爆炸的最小点火能为  $4.5\sim 40\text{mj}$ 。

### 三、影响煤尘爆炸的因素

#### 1、煤的挥发分

煤尘的可燃挥发分含量越高，爆炸性越强。

#### 2、煤的灰分和水分

煤内的灰分是不燃性物质，能吸收能量，阻挡热辐射，破坏链反应，降低煤尘的爆炸性。

#### 3、煤尘粒度

粒度对爆炸性的影响极大。 $1\text{mm}$  以下的煤尘粒子都可能参与爆炸，而且爆炸的危险性随粒度的减小而迅速增加。

#### 4、空气中的瓦斯浓度

瓦斯参与使煤尘爆炸下限降低。瓦斯浓度低于  $4\%$  时，煤尘的爆炸下限可用下式计算：

$$d_m = kd \quad (11-1)$$

式中： $d_m$ —空气中有瓦斯时的煤尘爆炸下限， $\text{g}/\text{m}^3$ ；

$d$  煤尘的爆炸下限,  $g/m^3$ ;

$k$  - 系数, 见表 11-1.

表 11-1 空气中的瓦斯浓度对应的  $k$  值

空气中的瓦斯浓度(%)	0	0.50	0.75	1.0	1.50	2.0	3.0	4.0
$k$	1	0.75	0.60	0.50	0.35	0.25	0.1	0.05

5、空气中氧的含量

空气中氧的含量高时, 点燃煤尘的温度可以降低; 氧的含量低时, 点燃煤尘云困难, 当氧含量低于 17% 时, 煤尘就不再爆炸。含氧高, 爆炸压力高; 含氧低, 爆炸压力低。

6、引爆热源

四、煤尘爆炸性鉴定

五、预防煤尘爆炸的技术措施

预防煤尘爆炸的技术措施主要包括三个方面。

(一)、减、降尘措施

指在煤矿井下生产过程中, 通过减少煤尘产生量或降低空气中悬浮煤尘含量以达到从根本上杜绝煤尘爆炸的可能性。

方法很多, 下面主要介绍煤层注水。

1、煤层注水实质

在回采之前预先在煤层中打若干钻孔, 通过钻孔注入压力水, 使其渗入煤体内部, 增加煤的水分, 从而减少煤层开采过程煤尘的产尘量。

煤层注水的减尘作用主要有以下三个方面:

①煤体内的裂隙中存在着原生煤尘, 水进入后, 可将原生煤尘湿润并粘结, 使其在破碎时失去飞扬能力, 从而有效地消除尘源

②水进入煤体内部, 并使之均匀湿润。当煤体在开采中受到破碎时, 绝大多数破碎面均有水存在, 从而消除了细粒煤尘的飞扬, 预防了浮尘的产生;

③水进入煤体后使其塑性增强, 脆性减弱, 改变了煤的物理力学性质, 当煤体因开采而破碎时, 脆性破碎变为塑性变形, 因而减少了煤尘的产生量。

2、影响煤层注水效果的因素

①煤的裂隙和孔隙的发育程度

裂隙和孔隙的发育程度不同, 注水效果差异也较大。煤体的裂隙越发育则越易注水。

煤体的孔隙发育程度一般用孔隙率表示, 系指孔隙的总体积与煤的总体积的百分比。根据实测资料, 当煤层的孔隙率小于 4% 时, 煤层的透水性较差。

②上覆岩层压力及支承压力

③液体性质的影响: 0.5%洗衣粉

④煤层内的瓦斯压力

煤层内的瓦斯压力是注水的附加阻力。所以在瓦斯压力大的煤层中注水时, 往往要提高注水压力, 以保证湿润效果。

⑤注水参数的影响

煤层注水参数是指注水压力、注水速度、注水量和注水时间。

3、煤层注水方式

注水方式是指钻孔的位置、长度和方向。按国内外注水状况, 有以下 4 种方式:

①短孔注水, 是在回采工作面垂直煤壁或与煤壁斜交打钻孔注水, 注水孔长度一般为 2~3.5m;

②深孔注水, 在回采工作面垂直煤壁打钻孔注水, 孔长一般为 5~25m;

③长孔注水, 从回采工作面的运输巷或回风巷, 沿煤层倾斜方向平行于工作面打上向孔或下向孔注水, 孔长 30~100m。

④巷道钻孔注水。

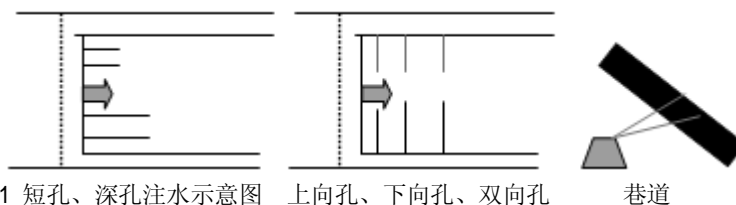


图 11-1 短孔、深孔注水示意图 上向孔、下向孔、双向孔

巷道

#### 4、注水系统

注水系统分为静压注水系统和动压注水系统。

静压注水：利用管网将地面或上水平的水通过自然静压差导入钻孔的注水叫静压注水。

动压注水：利用水泵或风包加压将水压入钻孔的注水叫动压注水，水泵可以设在地面集中加压，也可直接设在注水地点进行加压。

#### 5、注水设备

煤层注水所使用的设备主要包括钻机、水泵、封孔器、分流器及水表等。

#### 6、注水参数

##### ①注水压力

注水压力的高低取决于煤层透水性的强弱和钻孔的注水速度。

适宜的注水压力是：通过调节注水流量使其不超过地层压力而高于煤层的瓦斯压力。

##### ②注水速度(注水流量)

注水速度是指单位时间内的注水量。钻孔的注水速度随钻孔长度、孔径和注水压力的不同而增减。一般来说，小流量注水对煤层湿润效果最好。

##### ③注水量

注水量是影响煤体湿润程度和降尘效果的主要因素。

##### ④注水时间

每个钻孔的注水时间与钻孔注水量成正比，与注水速度成反比。

#### (二)、防止煤尘引燃的措施

##### 1、清除落尘

##### 2、撒布岩粉

##### 3、设置岩粉棚

由安装在巷道中靠近顶板处的若干块岩粉台板组成，台板的间距稍大于板宽，每块台板上放置一定数量的惰性岩粉。

##### 4、设置水棚

水棚包括水槽棚和水袋棚两种。

##### 5、设置自动隔爆棚

自动隔爆棚是利用各种传感器，将瞬间测量的煤尘爆炸时的各种物理参量迅速转换成电信号，指令机构的演算器根据这些信号准确计算出火焰传播速度后选择恰当时机发出动作信号，让抑制装置强制喷撒固体或液体等灭火剂，从而可靠地扑灭爆炸火焰，阻止煤尘爆炸蔓延。

#### (三)、限制煤尘爆炸范围扩大的措施

## 第四节 矿山综合防尘

矿山综合防尘是指采用各种技术手段减少矿山粉尘的产生量、降低空气中的粉尘浓度，以防止粉尘对人体、矿山等产生危害的措施。

### 一、通风除尘

通风除尘：指通过风流的流动将井下作业点的悬浮矿尘带出，降低作业场所的矿尘浓度。

效果主要影响因素：风速及矿尘密度、粒度、形状、湿润程度等。

最低排尘风速：能使呼吸性粉尘保持悬浮并随风流运动而排出的最低风速称为最低排尘风速。

最优排尘风速：能最大限度排除浮尘而又不致使落尘二次飞扬的风速称为最优排尘风速。

一般来说，掘进工作面的最优风速为  $0.4\sim 0.7\text{m/s}$ ，

机械化采煤工作面为  $1.5\sim 2.5\text{m/s}$ 。

### 二、湿式作业

利用水或其它液体，使之与尘粒相接触而捕集粉尘的方法，它是矿井综合防尘的主要技术措施之一。

机理:

- 1、水能湿润矿尘，增加尘粒的重力；
- 2、将细散尘粒聚结为较大颗粒，加速浮尘沉降；
- 3、使落尘不易飞扬。

特点:

- 1、湿式凿岩、钻眼

实质

- 2、洒水

洒水降尘是用水湿润沉积于煤堆、岩堆、巷道周壁、支架等处的矿尘。

- 3、喷雾洒水

定义：将压力水通过喷雾器在旋转或冲击作用下，使水流雾化成细散的水滴喷射于空气中。

雾体结构：喷出雾体的几何形状。

$L_a$ —射程，雾粒以很大速度作直线运动。

$L_b$ —作用长度，喷雾器的最大喷射距离。

$\alpha$ —扩张角，其值愈大雾体的截面积愈大。

适用条件：广泛用于采掘切割、爆破、装载、运输等生产过程。

- 4、水炮泥和水封爆破

水炮泥就是将装水的塑料袋代替一部分炮泥，填于炮眼内。

要求：塑料袋难燃、无毒、有一定强度。

作用原理

### 三、净化风流

净化风流是使井巷中含尘的空气通过一定的设施或设备，将矿尘捕获的技术措施。

- 1、水幕净化风流

水幕是在敷设于巷道顶部或两帮的水管上间隔地安上数个喷雾器喷雾形成的。喷雾器的布置应以水幕布满巷道断面尽可能靠近尘源为原则。

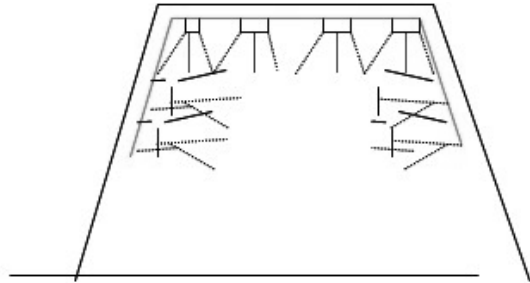


图 11-2 水幕净化风流示意图

一般安设位置为:

- ①矿井总入风流净化水幕：距井口 20~100m 巷道内；
- ②采区入风流净化水幕：风流分叉口支流里侧 20~50m 巷道内
- ③采煤回风流净化水幕：距工作面回风口 10~20m 回风巷内；
- ④掘进回风流净化水幕：距工作面 30~50m 巷道内；
- ⑤巷道中产尘源净化水幕：尘源下风侧 5~10m 巷道内。

水幕是净化入风流和降低污风流矿尘浓度的有效方法。

- 2、湿式除尘装置

除尘装置(或除尘器)是指把气流或空气中含有的固体粒子分离并捕集起来的装置,又称集尘器或捕尘器。

根据是否利用水或其它液体,除尘装置可分为干式和湿式两大类。煤矿一般采用湿式除尘装置

### 四、个体防护

个体防护是指通过佩戴各种防护面具以减少吸入人体粉尘的一项补救措施。

主要包括:

- 1、防尘口罩
- 2、防尘安全帽(头盔)

## 本章复习思考题

### 一、填空题

- 1、呼吸性粉尘是指粒径在\_\_\_\_\_μm 以下，能被吸入人体肺泡区的浮尘。
- 2、煤尘爆炸必须同时具备四个条件：\_\_\_\_\_、煤尘必须悬浮于空气中并达到一定浓度、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
- 3、预防煤尘爆炸和限制爆炸范围扩大的措施有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和限制煤尘爆炸范围扩大的措施。
- 4、根据吸入矿尘的成分不同，煤矿尘肺病可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和硅煤肺病。
- 5、煤层注水后，煤体的强度和脆度下降，可塑性增加，减少开采中\_\_\_\_\_的产生量；煤体水分增加，使煤尘飞扬能力降低，可以减少浮尘量。
- 6、降尘的具体措施有\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、水封爆破水炮泥、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和清扫落尘。
- 7、矿尘按成分可以划分为\_\_\_\_\_和岩尘。
- 8、矿尘按存在状态可以划分为\_\_\_\_\_和落尘。
- 9、矿尘是煤矿五大自然灾害之一，其危害有\_\_\_\_\_；在一定条件下可以发生爆炸；磨损机械，引起机械使用寿命下降；使工作面劳动卫生条件恶化，诱使其他事故的发生。

### 二、选择题

- 1、下列风速中属于最佳排尘风速的是\_\_\_\_\_m/s。  
A 1      B 2      C 3      D 4
- 2、呼吸性粉尘是指粒径在\_\_\_\_\_微米以下，能被人体肺泡吸入的粉尘。  
A、20    B、10    C、5
- 3、在采煤面工作的一线工人，最有可能得\_\_\_\_\_。  
A、硅肺病    B、煤肺病    C、硅煤肺病

### 三、判断题

- 1、矿井的浮尘和落尘在一定条件会互相转化的。
- 2、煤尘的挥发性决定煤尘是否具有爆炸性。
- 3、煤尘只要达到一定浓度，遇高温火源就会发生爆炸。
- 4、矿尘分散度越高，危害性越大。
- 5、能够进入人体的矿尘都是呼吸性粉尘。
- 6、煤尘爆炸产生的冲击波的速度大于火焰的传播速度。
- 7、煤尘的粒度越小，爆炸性就越强。
- 8、采掘过程中煤尘的产生量要大于运输和转载过程中煤尘的产生量。
- 9、煤层注水既是防尘措施，也可以作为防突措施。
- 10、在有瓦斯、煤尘爆炸危险的煤层中，在掘进工作面放炮前后附近 20m 的巷道内，都必须洒水降尘。

### 四、简答题

影响尘肺病发病的因素主要有哪些？

## 第十二章 矿山防水

### 【本章主要内容】

- 1、地面防治水
- 2、井下防治水
- 3、矿井突水及处理

凡影响、威胁矿井安全生产、使矿井局部或全部被淹没并造成人员伤亡和经济损失的矿井涌水事故都称为矿井水灾。

造成矿井水害的水源主要有大气降水、地表水、含水层水、岩溶陷落柱水、断层水、以及旧巷或老空区积水等。

### 第一节 地面防治水

地面防水是指在地表修筑各种防排水工程，防止或减少大气降水和地表水渗入矿井。

根据矿区不同的地形、地貌及气候，应从下列几方面采取相应的措施：

1. 慎重选择井筒位置  
井口（平硐口）和工业场地内主要建筑物的标高应在当地历年最高洪水位以上
2. 河流改道
3. 铺整河底
4. 填堵通道
5. 挖沟排（截）洪
6. 排除积水
7. 加强雨季前的防汛工作

### 第二节 井下防治水

井下水害来势凶猛，俗有“水老虎”之称。矿井防治水可归纳为“查、探、放、排、堵、截”六个字。

#### 一、做好矿井水文观测与水文地质工作(查)

1. 做好水文观测工作--收集地表水、井下水源的水压、水位、和水量、井下涌水量变化。
2. 做好矿井水文地质工作—冲击层厚度、各分层的透水、含水性；断层和裂隙位置、落差、延伸、含水导水性；含水层与隔水层数量、位置、厚度、岩性；老窑和现采小窑的范围、采空区积水分布。

#### 二、井下探水

“有疑必探，先探后掘”是采掘工作必须遵循的原则。

遇下列情况之一者时，必须探水：

- (1)接近水淹井巷、老空、老窑或小窑时；
- (2)接近含水层、导水断层、陷落柱时；
- (3)接近可能出水钻孔和各类防水煤柱时；
- (4)接近可能与地表水体相通的断裂破碎带或裂隙发育带时；
- (5)上层采空区积水，在两层间垂直距离小于采高 40 倍或巷高 10 倍的下层采掘工作以及采掘工作面有明显出水征兆时。

#### 1、探水起点的确定：

- 1)积水线—积水区域范围线；水位标高，积水量；

2)警戒线—积水线外 60m，红色，超前探水，边探边掘；

3)探水线—根据积水位置、积水量、地质、水文地质、采空区和巷道受矿压力等影响。

探水线规定：对于老窑、采空区、峒室等积水清楚， $P < 1\text{Mpa}$ ，岩层不小于 20m，煤层不小于 30m；积水区位置边界不清楚，最小不小于 60m；小窑、断层等，不小于 60m；石门揭含水层不小于 20m。

## 2、探水钻孔布置

(1)探水超前距离、允许掘进距离、帮距和密度确定：探水-掘进-再探水-再掘进。超前距一般 20m，帮距与超前距一样。钻孔密度 $< 3\text{m}$ 。

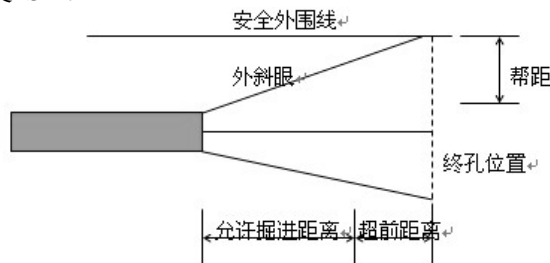


图 12-1 探水钻孔布置

### (2) 探水钻孔布置

原则：巷道掘进所占空间应有钻孔控制，且钻孔间距小于巷道高度、宽度、或煤层厚度。

#### ①平巷钻孔

对于薄煤层，3 组，每组 1~2 个钻孔；厚煤层，3 组，每组不少于 3 个钻孔

#### ②上山巷道钻孔布置

对于薄煤层，5 组，每组 1~2 个钻孔；厚煤层，5 组，每组不少于 3 个钻孔，至少有一孔见顶或见底。

## 三、放水（疏干）

有计划地将威胁性水源全部或部分地疏放掉，是消除水患的有效措施之一。

### 1. 疏放老空水

- (1)直接放水—当水量不大，不超过排水能力；
- (2)先堵后放—与巨大水源有联系，动力储水量大；
- (3)先放后堵—虽有补给水源，但补给量不大，
- (4)用煤柱或构筑物先隔离，水量大，水质坏，准备好设备排，或留隔水保护煤柱。

### 2. 疏放含水层水

- (1)地面打钻抽水—环形钻孔、排形钻孔
- (2)井下疏水巷道疏水
- (3)用井下钻孔疏水—放射状、排状、立井泄放孔

## 四、截水

截水是利用水闸墙、水闸门和防水煤（岩）柱等物体，临时或永久地截住涌水，将采掘区与水源隔离，使某一地点突水不致危及其它地区，减轻水灾危害的重要措施。

防水煤（岩）柱厚度：最小垂直距离 BR，20m

防水墙：地点、承压、材料、墙厚。水闸墙是用不透水材料构成的永久性构筑物，用于隔绝有透水危险的区域。

水闸门：防水闸门一般设置于井下运输巷内，正常生产时防水闸门敞开着，当突然发生水患时，闸门关闭将水阻挡于闸门之外。

## 五、矿井注浆堵水

注浆堵水就是将配制的浆液压入井下岩层空隙、裂隙或巷道中，使其扩散、凝固和硬化，使岩层具有较高的强度、密实性和不透水性而达到封堵截断补给水源和加固地层的作用，是矿井防治水害的重要手段之一。

## 第三节 矿井突水及其处理

### 一、矿井突水征兆

凡是井巷掘进及工作面回采过程中，接近或沟通含水层、被淹巷道、地表水体、含水断裂带、溶洞、陷落柱而突然产生的突水事故称矿井突水。突水前，在工作面及其附近往往显示出某些异常现象，这

些异常统称为“突水征兆”。

1. 与承压水有关断层水突水征兆

工作面顶板来压、掉渣、片帮、支架倾倒等；底膨胀、底鼓张、底“爆”响声；先出小水、再出大水；采场或巷道瓦斯涌出量增大。

2. 冲积层水突水征兆

岩层发潮、滴水、且逐渐增大，局部冒顶、水量突增、水时清时混，流砂；溃水、溃砂，

3. 老空水突水征兆

发潮、发暗、挂汗、发凉、吱吱水声、铁锈呈红色

二、恢复被淹矿井及安全措施

1. 排除积水的方法

(1)直接排干

(2)先堵后排

2. 排水恢复期的安全措施

保持良好通风，经常检查气体含量；严禁一切明火，防瓦斯爆炸；在井筒内安装排水设备时佩戴安全带和自救器在恢复井巷时应注意冒顶坠井事故。

本章复习思考题

一、填空题

1. 预防性灌浆方法可分为\_\_\_\_\_、边采边灌和\_\_\_\_\_3种方法。
2. 矿井涌水的水源可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 矿井水灾发生的基本条件是：\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_。
4. 井下防治水的措施可概括为6个字，即：\_\_\_\_\_、测、探、\_\_\_\_\_、截、\_\_\_\_\_。
5. 造成矿井水灾的原因，概括起来主要有以下几个方面：（1）\_\_\_\_\_；（2）井筒位置设计不当；（3）资料不清盲目施工；（4）低劣施工不讲质量；（5）\_\_\_\_\_；（6）技术差错造成事故；（7）\_\_\_\_\_。
6. 防水墙是井下防水、截水的一种设施，根据防水墙的服务时间的长短和作用不同，可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
7. 老空区透水的特点是出现，\_\_\_\_\_，水的酸度大，水味发涩，有臭鸡蛋味。
8. 地下水源包括含水层水、断层水和\_\_\_\_\_。
9. 井下探放水的原则是\_\_\_\_\_，先探后掘。
10. 煤层预注水的方法有\_\_\_\_\_和浅孔注水。

二、选择题

1. 根据矿井水灾发生的原因统计，治理矿井水灾可以通过治理\_\_\_\_\_来降低水灾的发生。  
A、违章作业，管理不善 B、提高技术水平 C、不可避免，防不胜防
2. 下列各项不是预防性灌浆作用的是\_\_\_\_\_。  
A、泥浆对煤起阻化作用； B、包裹采空区浮煤，隔绝空气；  
C、冷却作用； D、填充作用；
3. 水力冲孔的作用是\_\_\_\_\_。  
A、巷道掘进 B、水力采煤 C、局部防突 D、煤层注水

三、判断题

1. 煤层注水后会降低煤的强度。
2. 游泥是断层水的透水预兆。
3. 透水预兆中顶板“挂汗”多为平形水珠，有“承压欲滴”之势。
4. 若要准确判断“挂汗”是否为透水预兆，可以剥离一层煤壁面，仔细观察新面是否潮湿，若潮湿则是透水预兆。
5. “挂红”是老空区的透水预兆。
6. 为了排泄井下涌水，一般平巷都有一定的流水坡度。
7. 如果井下煤壁“挂汗”，说明将要接近突水区。
8. “游泥”是断层水的透水预兆。
9. 断层水一般补给比较充足，多属于“活水”。

# 第十三章 矿山救护

## 第一节 矿山救护队

矿山救护队是处理矿井火灾、瓦斯、煤尘、水、顶板等灾害的专业性队伍，是职业性、技术性组织，严格实行军事化管理。

### 一、矿山救护组织与任务

#### (一) 矿山救护队的组织

##### 1. 区域矿山救护大队的组织

各省(区)煤炭管理机构将本省(区)的产煤地区，以 100km 为服务半径，合理划分为若干区域。在每个区域选择一个交通位置适中、战斗力较强的矿山救护队，作为重点建设的矿山救护中心，即区域矿山救护大队。区域矿山救护大队由 2 个以上中队组成，是完备的联合作战单位。

##### 2. 矿山救护中队的组织

矿山救护中队距服务矿井一般不超过 10km 或行车时间一般不超过 15min。矿山救护中队是独立作战的基层单位，由 3 个以上的小队组成，直属中队由 4 个以上的小队组成。

##### 3. 辅助矿山救护队的组织

辅助矿山救护队应根据矿井的生产规模、自然条件、灾害情况确定编制，原则上应由 3 个以上的小队组成。辅助矿山救护队应设专职队长及专职仪器装备维修工，负责日常工作。辅助救护队直属矿长领导，业务上受矿总工程师(或技术负责人)和矿山救护队领导。

#### (二) 矿山救护队的任务

矿山救护队的任务是：

- (1) 救护井下遇险遇难人员；
- (2) 处理井下火、瓦斯、煤尘、水和顶板等灾害事故；
- (3) 参加危及井下人员安全的地面灭火工作；
- (4) 参加排放瓦斯、震动性放炮、启封火区、反风演习和其它需要佩用氧气呼吸器的安全技术工作；
- (5) 参加审查矿井灾害预防和计划，协助矿井搞好安全和消除事故隐患的工作；
- (6) 负责辅助救护队的培训和业务领导工作；
- (7) 协助矿山搞好职工救护知识的教育。

#### (三) 矿山救护队进行矿井预防性工作的主要内容

(1) 经常深入服务矿井熟悉情况，了解各矿采掘布置、通风系统、保安设施、火区管理、运输、防水排水、输配电系统、洒水灭尘、消防管路系统及其设备的使用情况；各生产区队、班(组)的分布情况，机电峒室、火药室、安全出口的所在位置，事故隐患及安全生产动态等。

(2) 协助矿井搞好探查古窑，恢复旧巷等需要佩用氧气呼吸器的安全技术工作。

(3) 协助矿井训练井下职工、工程技术人员使用和管理自救器。

(4) 宣传党的安全生产方针，协助通风安全部门做好煤矿事故的预防工作。

(5) 帮助矿长、总工程师掌握救护仪器使用的基本知识。

### 二、矿山救护工作原则

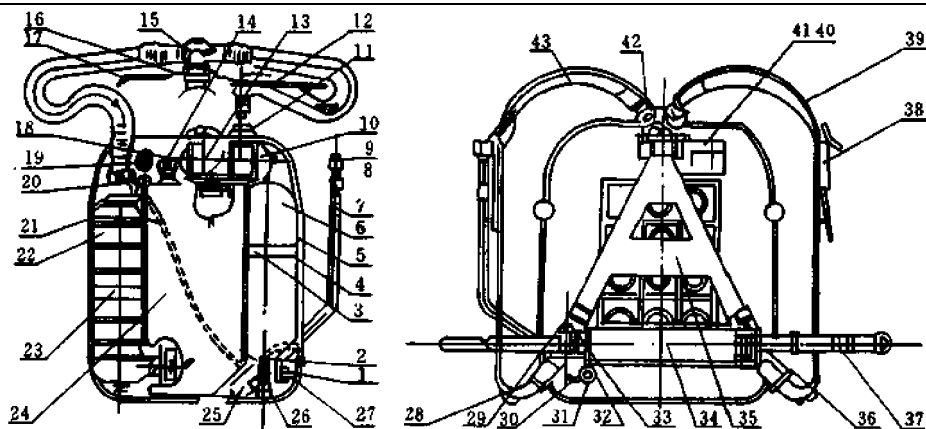
#### 三、矿山救护队的常用技术装备

为保证矿山救灾过程中救护指战员的自身安全和对遇险遇难人员施行人工呼吸急救，矿山救护队必须配备一定数量的氧气呼吸器、自动苏生器、氧气充填泵、氧气呼吸器校验仪、救护通讯器材、冰冷防护服和寻人仪等仪器设备。

##### 1. 氧气呼吸器

氧气呼吸器是一种与外界空气隔绝的个体防护装置。国内生产的有 AHG-2、AHG-3、AHG-4 和 AHY-6 等型号，它们的工作原理基本相同，其有效使用时间分别为 2h、3h 和 4h。

AHG-4A 型氧气呼吸器，是带压缩氧气储备的隔绝再生式闭路循环呼吸保护器具，它由呼吸循环系统、氧气供应系统和辅助装置组成。其构造如图 13-1 所示。



13-1 AHG-4A 型氧气呼吸器

1—外壳；2—手动补给接头；3—氧气瓶左紧带；4—氧气瓶右紧带；5—开口销；6—氧气瓶；7—压力表导管；8—氧气压力表；9—垫圈；10—降温器；11—吸气阀；12—右头带；13—保护片；14—自动排气阀；15—呼吸软管组件；16—口具组件(或全面罩)；17—左头带；18—输氧管；19—调节器；20—联调节器导管；21—呼气阀；22—清净罐；23—清净罐束紧带；24—呼吸袋；25—分路器；26—氧气瓶开关；27—联氧气瓶导管；28—调节带；29—钩环螺帽；30—手动补给按钮；31—压力表开关；32—联接螺丝；33—保护管；34—腰垫；35—A型带；36—联接钩环；37—腰带；38—哨子；39—左肩带；40—螺钉；41—垫圈；42—扣环；43—右肩带。

AHG-4A 型氧气呼吸器的呼吸联接器具有口具和呼吸面罩两种形式，见图 13-2 和图 13-3。当在闷热的井巷里从事较重工作时，选用口具可使面部散热良好。而选用面罩则具有可同时用口鼻呼吸、能说话、对面部有保护作用等优点。

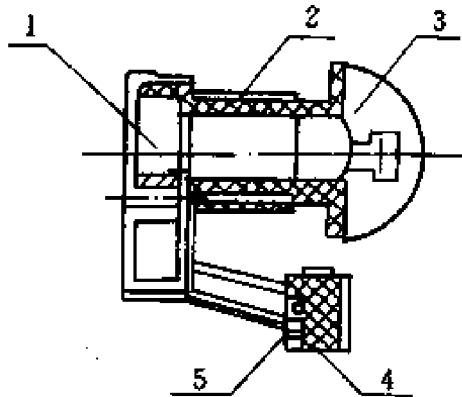


图 13-2 口具

1—口具主体；2—扎紧线绳和保护套；3—口片；  
4—颈托软垫；5—保护套

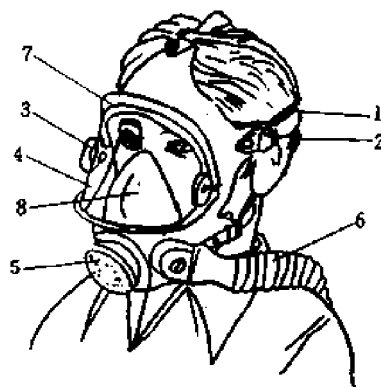


图 13-3 呼吸面罩

1—头带；2—带扣；3—手柄；4—眼窗玻璃；  
5—传声器；6—呼吸软管；7—擦水器；8—阻水罩

## 2. 自动苏生器

自动苏生器是一种自动进行正负压人工呼吸的急救装置，它适于抢救如胸部外伤、中毒、溺水、触电等原因造成的呼吸抑制或窒息的伤员。我国救护队现用的 ASZ-30 型自动苏生器的构造和工作原理如图 13-4 所示。

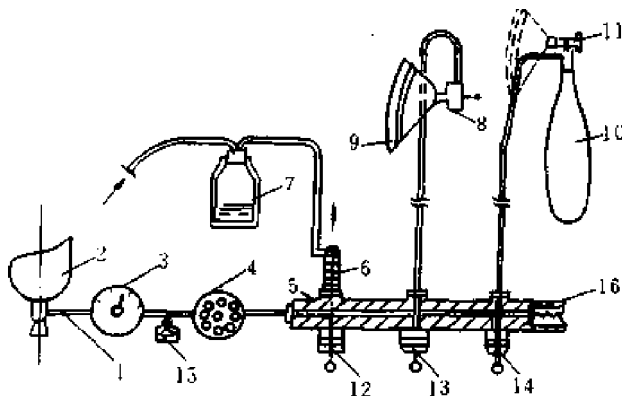


图 13-4 自动苏生器工作原理示意图

1—氧气管；2—氧气瓶；3—压力表；4—减压阀；5—配气阀；6—引射器；7—吸引瓶；8—自动肺；9—面罩；10—储气囊；11—呼吸阀；12、13、14—开关；15—逆止阀；16—安全阀

3. 氧气充填泵
4. 氧气呼吸器校验仪
5. 矿山救护通讯设备
6. 冰冷防热服
7. 寻人仪

## 第二节 矿工自救

### 一、发生事故时在场人员的行动原则

发生事故后，现场人员应尽量了解和判断事故的性质、地点和灾害程度，迅速向矿调度室报告。同时应根据灾情和现有条件，在保证安全的前提下，及时进行现场抢救，制止灾害进一步扩大。在制止无效时，应由在场的负责人或有经验的老工人带领，选择安全路线迅速撤离危险区域。

### 二、矿工自救设施与设备

#### (一) 避难硐室

避难硐室是供矿工遇到事故无法撤退而躲避待救的一种设施。

#### (二) 压风自救装置

压风自救装置是利用矿井已装备的压风系统，由管路、自救装置、防护罩(急救袋)三部分组成。

#### (三) 自救器

自救器是一种体积小、携带轻便，但作用时间较短的供矿工个人使用的呼吸保护仪器。

自救器分为过滤式和隔离式两类，隔离式自救器又有化学氧和压缩氧两种

#### 1. AZL-60 型过滤式自救器

这种自救器是用于矿井发生火灾或瓦斯爆炸时防止 CO 中毒的呼吸保护装置，它适用于周围空气中 O<sub>2</sub> 浓度不低于 18% 的条件下。当 CO 浓度小于 1.5%、环境温度在 50℃ 以下时，使用时间可达 60min。该自救器的外形如图 13-5 所示，过滤药罐的结构如图 13-6 所示。

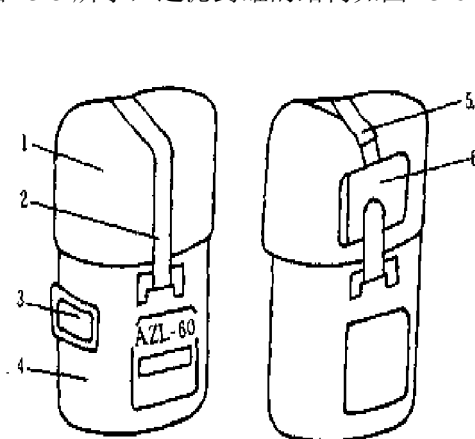


图 13-5 自救器外形

1—上壳；2—封口带；3—号码牌；4—下壳；  
5—开启搬手；6—腰带环

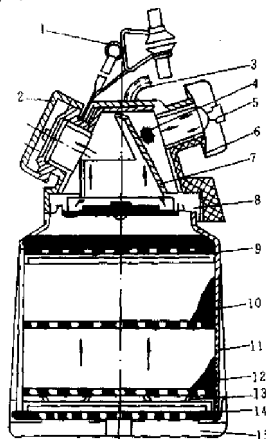


图 13-6 自救器滤毒罐结构示意图

1—鼻夹；2—呼气阀；3—头带；4—降温网；  
5—牙垫；6—口具；7—口水挡板；8—吸气阀；  
9—滤尘层；10—触媒层；11—隔热纱带；12—干燥剂；13—补偿弹簧；14—滤尘层；15—减振垫

佩带自救器的方法步骤：掀起保护罩，再用拇指掀起红色的开启搬手，拉断封印条；撕掉封口带，拨开外罐上部并扔掉；握住头带，把药罐从外罐中拉出，并扔掉外罐下部；从口具上拉开鼻夹，把口具片塞进牙齿与嘴唇之间，并咬住牙垫；用两手轻轻拉开鼻夹垫，夹在鼻子上，并立即用口呼吸；取下矿帽，把头带套在头顶上；戴上矿帽，撤离危险区。

#### 2. AZH-40 型化学氧自救器

这种自救器为隔离式自救器，可用于矿井发生各种灾害情况下矿工的自救。该自救器有效作用时间为：步行速度 5.5km/h 或从事中等强度劳动(196 000N·m/h)时，不少于 40min，静坐条件下大于 2h。

#### 3. 自救器的选用原则

对于流动性较大，可能会遇到各种灾害威胁的人员应选用隔离式自救器；在有煤与瓦斯突出矿井或突出区域的采掘工作面，应选用隔离式自救器。其余情况下，一般应选用过滤式自救器。

**4. 自救器的佩戴注意事项**

- (1) 戴上自救器后, 吸气温度逐渐升高, 表明自救器工作正常。决不能因吸气干热而把自救器取下。
- (2) 化学氧自救器佩戴初期生氧剂放氧速度慢, 如条件允许, 应缓慢行走, 等氧足够呼吸时再加快速度。撤退时最好按每小时 4~5km 速度行走, 呼吸要均匀, 千万不要跑。
- (3) 佩戴过程中口腔产生的唾液, 可以咽下, 也可任其自然流入口水盒降温器, 严禁拿下口具往外吐。
- (4) 在未到达安全地点前, 严禁取下鼻夹和口具, 以防有害气体的毒害。

**5. 自救器的佩戴注意事项**

- (1) 戴上自救器后, 吸气温度逐渐升高, 表明自救器工作正常。决不能因吸气干热而把自救器取下。
- (2) 化学氧自救器佩戴初期生氧剂放氧速度慢, 如条件允许, 应缓慢行走, 等氧足够呼吸时再加快速度。撤退时最好按每小时 4~5km 速度行走, 呼吸要均匀, 千万不要跑。
- (3) 佩戴过程中口腔产生的唾液, 可以咽下, 也可任其自然流入口水盒降温器, 严禁拿下口具往外吐。
- (4) 在未到达安全地点前, 严禁取下鼻夹和口具, 以防有害气体的毒害。

## 第三节 现场急救

矿井发生水灾、火灾、爆炸、冒顶等事故后, 可能会出现中毒、窒息、外伤等伤员。在场人员对这些伤员应根据伤情进行合适的处理与急救。救护指战员在灾区工作时, 只要发现遇险受伤人员, 都要把救人放在第一位。

**一、对中毒、窒息人员的急救**

在井下发现有有害气体中毒者时, 一般可采取下列措施:

- (1) 立即将伤员抢运到新鲜风流中, 安置在安全、干燥和通风正常地点。
- (2) 立即清除患者口、鼻内中的污物, 解开上衣扣子和腰带, 脱掉胶鞋。并用衣被等物盖在伤员身上以保暖。
- (3) 根据心跳、呼吸、瞳孔、神志等方面, 判断伤情的轻重。
- (4) 人工呼吸持续的时间以伤员恢复自主性呼吸或真正死亡时为止。

现场急救常用的人工呼吸和恢复心跳的方法:

- (1) 口对口吹气法
- (2) 仰卧压胸法
- (3) 俯卧压背法
- (4) 心脏挤压法

**二、对外伤人员的急救****1、对烧伤人员的急救**

- (1) 尽快扑灭伤员身上的火, 缩短烧伤时间。
- (2) 检查伤员呼吸和心跳情况, 查是否合并有其他外伤、有害气体中毒、内脏损伤和呼吸道烧伤等。
- (3) 要防止休克、窒息和疮面污染。伤员发生休克或窒息时, 可进行人工呼吸等急救。
- (4) 用较干净的衣服把伤面包裹起来, 防止感染。在现场除化学烧伤可用大量流动的清水冲洗外, 对疮面一般不作处理, 尽量不弄破水泡以保护表皮。
- (5) 把重伤员迅速送往医院。搬运伤员时, 动作要轻柔, 行进要平稳。

**2、对出血人员的急救**

常用的暂时性动脉止血方法有:

- (1) 指压止血法
- (2) 加压包扎止血法
- (3) 止血带止血法

**二、对外伤人员的急救****1、对烧伤人员的急救**

- (1) 尽快扑灭伤员身上的火, 缩短烧伤时间。
- (2) 检查伤员呼吸和心跳情况, 查是否合并有其他外伤、有害气体中毒、内脏损伤和呼吸道烧伤等。
- (3) 要防止休克、窒息和疮面污染。伤员发生休克或窒息时, 可进行人工呼吸等急救。
- (4) 用较干净的衣服把伤面包裹起来, 防止感染。在现场除化学烧伤可用大量流动的清水冲洗外,

对疮面一般不作处理，尽量不弄破水泡以保护表皮。

(5)把重伤员迅速送往医院。搬运伤员时，动作要轻柔，行进要平稳。

## 2、对出血人员的急救

常用的暂时性动脉止血方法有：

(1)指压止血法

(2)加压包扎止血法

(3)止血带止血法

## 3、对骨折人员的急救

对骨折人员首先用毛巾或衣服作衬垫，然后根据现场条件用木棍、木板、竹竿等材料做成临时夹板，对受伤的肢体临时固定后，抬运升井，送往医院。

## 三、对溺水者的急救

发生水灾后，应首先抢救溺水人员。人员溺水时，由于水大量地灌入的肺部，可造成呼吸困难而窒息死亡。所以，对溺水人员应迅速采取下列急救措施：

(1)把溺水者从水中救出后，要立即送到比较温暖和空气流通的地方，脱掉湿衣服，盖上干衣服，不使受凉。

(2)立即检查溺水者的口鼻，如果有泥沙等污物堵塞，应迅速清除，擦洗干净，以保持呼吸道通畅。

(3)使溺水者取俯卧位，用木料、衣服等垫在溺水者肚子下面；或将左腿跪下，把溺水者的腹部放在救护者的右侧大腿上，使头朝下，并压其背部，迫使其体内的水由气管、口腔里流出。

(4)上述方法控水效果不理想时，应立即做俯卧压背式人工呼吸或口对口吹气式人工呼吸，或体外心脏挤压。

## 四、对触电者的急救

(1)立即切断电源。

(2)迅速观察伤员的呼吸和心跳情况。如发现已停止呼吸或心音微弱，应立即进行人工呼吸或体外心脏挤压。若呼吸和心跳都已停止时，应同时进行人工呼吸和体外心脏挤压。

(3)对触电者，如发现有其他损伤(如跌伤、出血等)，应作相应的急救处理。

## 本章复习思考题

### 一、填空题

1、自救器是一种小型的供矿工随身携带的防毒器具。是矿工在井下遇到\_\_\_\_\_、瓦斯或煤尘爆炸、煤岩与瓦斯\_\_\_\_\_等灾害事故时进行自救的一种重要装备。

2、佩戴过滤式自救器的方法是：\_\_\_\_\_；拉开封口带；扔掉上部外壳；取出过滤罐；咬口具；\_\_\_\_\_；摘下矿工帽，戴好头带；戴好矿工帽。

3、自救器按其作用原理不同，可分为\_\_\_\_\_和隔离式自救器。

### 二、选择题

1、矿井常用的过滤式自救器可以使用\_\_\_\_\_次。

A、多次 B、2 C、1

### 三、判断题

1、自救器只能使用一次，不能反复使用。

2、当井下发生爆炸事故时，现场人员应及时佩戴自救器，尽快撤离现场。

3、过滤式自救器只能使用一次，不能重复使用。

4、过滤式自救器在使用过程中，过滤罐慢慢变热，吸气温度升高，表明自救器正常工作。

5、戴自救器比不戴自救器呼吸困难，这是不正常的。

6、佩戴自救器撤离险区，在没有达到安全地点之前，绝对不能取下鼻夹和口具。

7、对二氧化氮中毒者可以用压胸的人工呼吸法。