

中等专业学校教学用书

矿井通风与安全

任洞天 主编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统地介绍了矿井通风的基础理论与技术管理知识,煤矿中瓦斯、煤尘、水、火等自然灾害的发生、发展规律与防治措施,以及必要的矿山救护知识。每章之后附有复习题、例题和习题。

本书系煤矿中等专业学校地下采煤专业《矿井通风与安全》课程的教材,亦可作为煤矿干部培训班教材或供煤矿工程技术人员参考。

责任编辑:秦 彪

中等专业学校教学用书

矿 井 通 风 与 安 全

任洞天 主编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安民门外朝内大街16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm^{1/16}, 印张17^{1/2}

字数417千字 印数43,146—74,770

1983年10月第1版 1989年5月第3次印刷

ISBN 7-5020-0267-7/TD·256

书号 2593

定价 3.15元

目 录

绪 论	1
第一章 矿井大气	2
第一节 井下空气的主要成分	2
第二节 井下空气中的主要有害气体	3
第三节 井下气候条件	6
第二章 井巷风量的测算	15
第一节 测风仪表	15
第二节 测风方法与风量计算	17
第三章 通风压力与阻力	20
第一节 矿井空气压力	20
第二节 压力测量	25
第三节 伯诺利方程式及其应用	31
第四节 通风阻力	36
第五节 通风阻力测量	42
第六节 减少通风阻力的方法	48
第四章 机械通风	55
第一节 矿用扇风机	55
第二节 扇风机的特性	57
第三节 扇风机风压与通风阻力的关系	60
第四节 扇风机的性能试验	62
第五节 扇风机的联合工作	66
第六节 扇风机的有关规定和反风	69
第五章 自然通风	74
第一节 自然风压的产生及其特性	74
第二节 自然风压的测算	75
第三节 自然通风的应用	76
第六章 矿井通风系统	80
第一节 主扇的工作方法	80
第二节 矿井通风方式	81
第三节 通风网络的基本形式及其特性	83
第四节 通风网络的解算	87
第五节 控制风流的设施	92
第六节 井巷漏风	96
第七节 矿井通风系统图	98
第七章 风量调节	104
第一节 局部风量调节	104
第二节 矿井总风量调节	112
第八章 掘进通风	119

第一节	总风压通风与引射器通风	119
第二节	局扇通风	121
第三节	局扇通风的技术管理	128
第九章	矿井通风设计	133
第一节	拟定矿井通风系统	133
第二节	计算和分配矿井总风量	134
第三节	计算矿井通风总阻力	138
第四节	选择矿井通风设备	139
第五节	概算矿井通风费用	141
第六节	生产矿井的通风设计	142
第十章	矿井瓦斯	148
第一节	煤层沼气含量	148
第二节	沼气涌出量	155
第三节	矿井沼气爆炸及其预防	161
第四节	沼气浓度的检查	170
第五节	瓦斯喷出与突出及其预防	175
第六节	矿井沼气抽放	188
第十一章	矿尘	202
第一节	矿尘的产生及其危害	202
第二节	煤尘爆炸及其预防	203
第三节	煤矿尘肺病及其预防	210
第四节	矿尘浓度测定	213
第十二章	矿井防天火	217
第一节	矿井火灾的发生	217
第二节	矿井防火	221
第三节	矿井灭火	228
第十三章	矿井防治水	237
第一节	矿井水灾的发生	237
第二节	矿井防治水	238
第三节	矿井透水事故的处理	244
第十四章	矿山救护	246
第一节	矿山救护队	246
第二节	矿工自救	248
第三节	矿井灾害预防和处理计划	250
附录	253

绪 论

《矿井通风与安全》是地下采煤专业的一门重要专业课程。它的基本任务是：根据党的安全生产方针政策，掌握水、火、瓦斯、矿尘和地热等自然灾害的发生和发展规律，应用科学技术手段制服各种灾害，研究井下风流流动的规律，不断地将新鲜空气输送到井下各个工作地点，创造良好的气候条件，达到安全生产的目的。

安全第一是党的一贯生产方针。安全生产是社会主义工业生产和企业管理的一条重要原则。

解放前，广大煤矿工人在帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫下，生活极其贫困，劳动条件十分恶劣，生命安全毫无保障，井下瓦斯、矿尘、水、火、顶板等事故经常发生，夺去了无数工人的生命，遍布各个矿区“万人坑”里的累累白骨，就是对万恶旧社会的血泪控诉，是资本家残害煤矿工人的罪证。

解放后，煤矿回到了人民的手中，矿工成了矿山的主人。党和政府先后颁布了一系列劳动保护法令，制订了《煤矿安全规程》，成立了专门的科学研究机构，建立了煤矿安全仪表、设备制造厂和矿山救护队；在所有统配煤矿都采用了机械通风，并采取了综合防尘措施；对煤与沼气突出和二氧化碳与岩石突出，已初步地总结出了一些比较有效的预防措施，较广泛地采用了开采解放层与抽放沼气技术等，使矿工的劳动条件逐步得到改善。

煤矿安全生产工作关系到煤矿职工安全和健康、保护国家财产和资源的大事，必须引起我们的重视。因此，我们要努力学习煤矿安全生产知识，提高科学技术管理水平，为早日实现煤炭工业现代化作出贡献。

《矿井通风与安全》教材主要的内容包括矿井通风、煤矿安全两部分，共计十四章。由任洞天主编，童阳中、徐在全、卢秉阁、王春新、陈佩宗和方裕章等同志协编。在编写中得到了一些院校和厂矿的大力支持，对此表示衷心的感谢。由于编者水平所限，书中难免有一些缺点和错误，恳切希望读者提出批评指正。

第一章 矿井大气

第一节 井下空气的主要成分

人们生活离不了空气，所以，在井下采煤时，就必须把地面新鲜空气送到井下去。地面空气的成分主要是由氧、氮、二氧化碳三种气体组成的混合物。按体积的百分数计算，氧为20.96%；氮为79%；二氧化碳为0.04%。此外还含有数量不定的水蒸汽、微生物和灰尘等。

地面新鲜空气进入井下后，在成分上要发生一系列的变化，如：（1）含氧量减少；（2）混入各种有害气体；（3）混入煤尘和岩尘；（4）空气的温度、湿度和压力也发生变化。变化程度不大的叫新鲜空气，也叫新风；变化程度较大的叫污浊空气，也叫污风或乏风。

尽管井下空气的成分与地面空气不完全相同，但其主要成分仍然是氧、氮和二氧化碳。

一、氧 (O_2)

氧是一种无色、无味、无臭的气体，它对空气的比重为1.11。氧的化学性质很活泼，几乎可与所有的气体相化合。氧能助燃和供人与动物呼吸。

空气中氧的浓度高低对人体健康影响很大。最适于人呼吸的空气中氧浓度为21%左右；当氧浓度降到17%时，人在静止状态尚无影响，但在工作时能引起喘息、呼吸困难和心跳；当氧浓度降到10~12%时，人将失去知觉，对人的生命已有严重威胁；在氧浓度为6~9%时，人在短时间内将死亡。因此，《煤矿安全规程》（以后简称《规程》）规定：在采掘工作面的进风风流中，按体积计算，空气中氧气浓度不得低于20%。

在井下通风不良的巷道中，或发生火灾、沼气和煤尘爆炸后，氧浓度可能降低到很低的程度，因此，在进入这些巷道之前，要认真地进行空气检查，否则可能有窒息的危险。

二、氮 (N_2)

氮是一种无色、无味、无臭的惰性气体，它对空气的比重为0.97，不助燃也不能维持呼吸。在正常情况下，氮对人体无害，但当空气中含氮量过多时，能使氧浓度相对减少，因缺氧而使人窒息。

三、二氧化碳 (CO_2)

二氧化碳是无色、略带酸味的气体，它对空气的比重为1.52，易溶于水，不助燃也不能维持呼吸，略带毒性，对眼睛、喉咙及鼻的粘膜有刺激作用。

二氧化碳对人的呼吸有刺激作用。当肺泡中二氧化碳增多时，能刺激呼吸中枢神经，因而引起呼吸频繁。所以在急救受有害气体伤害的患者时，常常首先让其吸入混有5%二氧化碳的氧气，以加强呼吸。但空气中二氧化碳浓度过高时，又会相对地减少氧的浓度，并使人中毒或窒息。二氧化碳对人体的影响与其浓度有关：浓度为1%时，呼吸感到急促；浓度增加到5%时，呼吸感到困难，同时有耳鸣和血液流动加快的感觉；达10~20%

时,呼吸将处于停顿状态和失去知觉,当浓度达 20~25 %时,人将中毒死亡。因此《规程》规定:在采掘工作面风流中,按体积计,二氧化碳浓度不得超过0.5%。

因为二氧化碳比空气重,所以它常积聚在下山、水仓、溜煤眼以及通风不良的巷道底部。当进入这些巷道时,应认真地进行检查,以防发生窒息事故。

井下二氧化碳的来源是:(1)煤和坑木等物质的氧化;(2)矿井水(主要是酸性水)遇碳酸性岩石(方解石、石灰石等)分解产生;(3)从煤和围岩中放出;(4)爆破工作和沼气、煤尘爆炸以及人的呼吸生成。

第二节 井下空气中的主要有害气体

一、井下空气中的主要有害气体

井下空气中的主要有害气体有:一氧化碳、硫化氢、二氧化硫、二氧化氮和沼气等,这些有害气体总称为瓦斯。

(一) 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体,它对空气的比重为0.97,微溶于水。在一般温度与压力下,一氧化碳的化学性质不活泼,但浓度为13~75%时遇火能引起爆炸。

一氧化碳毒性很强。它的毒性是因为人体内红血球所含血色素对它的亲和力比对氧气的亲和力大250~300倍。因此一氧化碳吸入人体后,就阻碍了氧和血色素的正常结合,使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象,引起窒息和中毒以至死亡。

一氧化碳中毒程度与中毒速度和下列因素有关:(1)空气中一氧化碳的浓度;(2)与一氧化碳接触的时间;(3)呼吸频率和呼吸深度。

人处于静止状态时,一氧化碳与中毒程度的关系,如表1-1所示。

表 1-1 一氧化碳的浓度与中毒程度的关系

CO 浓度		中毒时间	中毒程度	征 兆
毫克/升	% (按体积计)			
0.2	0.016	数小时		无征兆或有轻微征兆
0.6	0.048	1小时以内	轻度中毒	耳鸣、头痛、头昏与心跳
1.6	0.128	0.5~1小时	严重中毒	除有轻度中毒的各种征兆外,并出现四肢无力、呕吐、感觉迟钝、丧失行动能力
5.0	0.40	短时间内	致命中毒	丧失知觉、痉挛、呼吸停顿、假死

一氧化碳中毒后除有表 1-1 中所述征兆外,其显著特征是嘴唇呈桃红色,两颊有红斑点。

若一氧化碳的浓度达到1%时,人只要呼吸几口即可失去知觉,如果长期在含有0.01%的一氧化碳空气中生活与工作,会产生慢性中毒。因此《规程》中规定:井下空气中一氧化碳的浓度不得超过0.0024%。

井下一氧化碳的来源是:(1)井下火灾;(2)沼气、煤尘爆炸;(3)爆破工作。由于沼气、煤尘爆炸会迅速地生成大量的一氧化碳,因此对人危害最大。

一氧化碳的快速测定方法可使用 DQJD-1 型多种气体检定器。该仪器是由比长式一氧化碳检定管和吸气泵组成。比长式一氧化碳检定管如图 1-1 所示,它是以活性硅胶为载

体，吸附化学试剂碘酸钾和发烟硫酸充填于细玻璃管中制成。测量时，含有一氧化碳的空气通过检定管，一氧化碳与指示胶所载试剂发生化学反应，形成一个棕色环。随气流通过，棕色环前移，而移动的距离与被测环境空气中的一氧化碳浓度成正比。于是，在玻璃管的刻度上可直接读出被测环境空气的一氧化碳浓度。西安煤矿仪表厂生产的一氧化碳检定管有三种不同规格，其测定范围是： C_1D 型(0.0005~0.01%)； C_1Z 型(0.005~0.1%)； C_1G 型(0.05~1%)。测定时可根据一氧化碳的不同浓度选用。

吸气泵如图1-2所示，它是由上压盖2、下压盖7和橡皮波纹管3组成的吸气球，上压盖带有插管座1为进气口，下压盖带有出气阀门8为排气口，弹簧6可使气球压缩后恢复原位，链条4是限制弹簧伸张力以保持气球为50毫升的容积；支撑环5是支撑波纹管使其不变形。

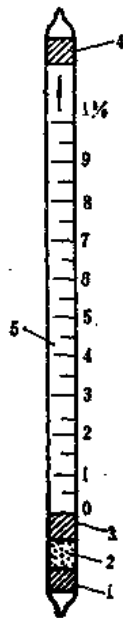


图 1-1 比长式一氧化碳检定管

1、4—玻璃丝；2—硅胶消除剂；3—玻璃粉；
5—白色指示剂

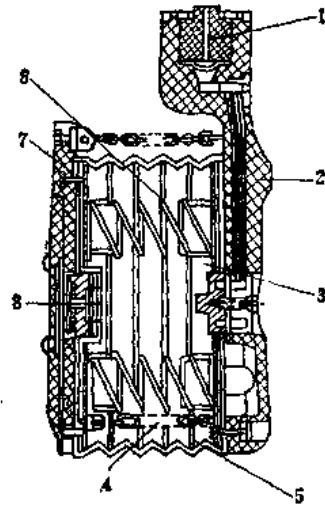


图 1-2 吸气泵

1—插管座；2—上压盖；3—橡皮波纹管；4—链条；
5—支撑环；6—弹簧；7—下压盖；8—出气阀门

使用时将检定管两端打开，按检定管上的箭头指向插入吸气泵的管座内，手握吸气泵使其完全压缩后，放松气泵开始计算时间到90秒钟后，即可拔出检定管。如被测空气中含有—氧化碳，则检定管上就出现一个棕色变色圈，由变色圈的高度可以直接从检定管刻度上读出一氧化碳的浓度。如果被测—氧化碳浓度很低，用 C_1D 型低浓度检定管也不易测出，可增加通过检定管气样的体积，即增加吸气泵的动作次数。例如吸气泵连续动作五次后，从检定管刻度上读得—氧化碳浓度为0.0018%，则实际—氧化碳浓度为：

$$\frac{\text{检定管刻度示值}}{\text{吸气泵动作次数}} = \frac{0.0018\%}{5} = 0.00036\% (3.6\text{PPM})$$

(二) 硫化氢 (H_2S)

硫化氢是无色、微甜、有臭鸡蛋味的气体。它对于空气的比重为1.19，易溶于水。硫化氢能燃烧，当浓度达4.3~46%时，具有爆炸性。

硫化氢有很强的毒性，能使血液中毒，对眼睛粘膜及呼吸道有强烈的刺激作用。当空气中硫化氢的浓度达到0.01%时，就能嗅到气味，流唾液，流清鼻涕；达到0.05%时，半小时内就能引起严重中毒；达到0.1%时，在短时间内就有生命危险。因此《规程》规定：井下空气中硫化氢的浓度不得超过0.00066%。

井下硫化氢的来源是：（1）坑木的腐烂；（2）含硫矿物（黄铁矿、石膏等）遇水分解；（3）从旧巷涌水中或自煤及围岩中放出；（4）爆破工作。

硫化氢的快速测定可使用比长式硫化氢检定管与吸气泵进行，其测定方法与一氧化碳相同。

（三）二氧化硫（SO₂）

二氧化硫是一种无色、具有强烈硫磺燃烧味的气体，它对空气的比重为2.2，易溶于水。由于它对眼睛及呼吸器官有强烈的刺激作用，矿工们称之为“瞎眼气体”。

二氧化硫与呼吸道的湿表面接触后能形成硫酸，因而对呼吸器官有腐蚀作用，使喉咙及支气管发炎，呼吸麻痹，严重时会引起肺水肿。当空气中二氧化硫的浓度达0.0005%时，嗅觉器官能闻到刺激味；达0.002%时，有强烈的刺激，可引起头痛和喉痛；达0.005%时，引起急性支气管炎和肺水肿，短时间内即死亡。因此《规程》规定：井下空气中二氧化硫的浓度不得超过0.0005%。

井下二氧化硫的来源是：（1）含硫矿物缓慢氧化或自燃生成；（2）从煤或围岩中放出；（3）在含硫矿物中爆破生成。

二氧化硫的快速测定可使用比长式二氧化硫检定管与吸气泵进行，其测定方法与一氧化碳相同。

（四）二氧化氮（NO₂）

二氧化氮是红褐色气体，它对空气的比重为1.57，极易溶于水，对眼睛、鼻腔、呼吸道及肺部有强烈的刺激作用。二氧化氮与水结合成硝酸，因此对肺部组织起破坏作用，引起肺部的浮肿。

二氧化氮中毒后的最重要特征是经过6小时甚至更长的时间才能出现中毒征兆，即使在危险的浓度下，起初也只是感觉呼吸道受刺激，开始咳嗽，但经过20~30小时后，就会发生较严重的支气管炎，呼吸困难，手指尖及头发变黄，吐出淡黄色痰液，发生肺水肿，引起呕吐现象，以致很快死亡。

当空气中二氧化氮浓度为0.004%时，2~4小时，还不会引起中毒现象；当浓度为0.006%时，就会引起咳嗽，胸部发痛；当浓度为0.01%时，短时间内对呼吸器官就有很强烈的刺激作用，咳嗽、呕吐、神经麻木；当浓度为0.025%时，很快使人中毒死亡。因此《规程》规定：井下空气中二氧化氮的浓度不得超过0.00025%。

通常放炮后生成一氧化氮。因一氧化氮极不稳定，遇空气中的氧即转化为二氧化氮。因此，放炮后应加强通风，或喷雾洒水，排出二氧化氮之后方可进入工作面。

二氧化氮的快速测定可使用比长式二氧化氮检定管与吸气泵进行，其测定方法与一氧化碳相同。

（五）沼气（CH₄）

沼气是一种无色、无臭、无味的气体。但有时由于伴生着碳氢化合物和微量硫化氢，会发出一种类似苹果香的特殊气味。沼气对空气的比重为0.554，差不多比空气轻一半，容

易积聚在巷道的顶板处，特别容易积聚在上山巷道的掘进头。

沼气不易溶于水，有迅速扩散的性质。沼气的渗透性很强，较空气大1.6倍，容易从邻近煤层经过岩层裂缝与孔隙聚集在采空区内。沼气本身虽无毒，但当空气中浓度较高时，就会相对地降低空气的氧含量，使人窒息。沼气不助燃，但当它在空气中的浓度较低时，遇火源能够燃烧，当浓度在5~16%之间，遇火即能爆炸。

井下沼气的来源是在生产过程中从煤层和岩层中放出的。放出量的大小，是用矿井沼气涌出量来说明的。矿井沼气涌出量可用两种方法表示：

1. 绝对沼气涌出量 是指在单位时间内涌出沼气的立方米数。用符号 Q_{CH_4} 表示，单位为米³/分或米³/日。

2. 相对沼气涌出量 是指平均日产煤一吨的沼气涌出量。用符号 q_{CH_4} 表示，其单位为米³/吨。

为了便于对沼气矿井进行管理，依据不同的沼气涌出量或二氧化碳涌出量确定供风标准，按照平均日产一吨煤涌出沼气体积的大小和沼气涌出形式，矿井沼气等级划分为：

低沼气矿井	10立方米及其以下
高沼气矿井	10立方米以上
煤与沼气突出矿井	

二、防止有害气体危害的措施

为了防止有害气体的危害，应采取以下措施：

1) 加强通风，将各种有害气体冲淡到《规程》规定的浓度以下，是目前与井下有害气体作斗争的主要措施之一。

2) 加强检查，应用各种仪器监视井下各种有害气体的动态，以便及时采取相应的措施。

3) 如果某种有害气体的产生量比较大，可采用抽放措施。如我国有许多矿井将沼气抽至地面，并加以利用。

4) 井下通风不良的地区或不通风的旧巷内，往往聚集大量的有害气体。因此，在不通风的旧巷口要设栅栏，并挂上“禁止入内”的牌子。若要进入这些旧巷时必须先进行检查，当确认对人体无害时才能进入。

5) 当工作两有二氧化碳放出或放炮生成二氧化氮时，可使用喷雾洒水的办法使其溶于水。在所使用的喷洒水中加入石灰或一些药剂，效果会更好。

6) 若有人由于缺氧窒息或呼吸有毒气体中毒时，应立刻将中毒者移到有新鲜空气的巷道或地面，并进行人工呼吸（ NO_2 、 H_2S 中毒除外）施行急救。

第三节 井下气候条件

井下气候条件是指井下空气的温度、湿度和风速三者的综合作用。人不论在休息或工作时，身体不断的产生和丧失热量，以保持人体热平衡，使体温保持在36.5~37℃，如果失去这种平衡，人体就感到不舒适。这种热平衡直接受井下气候条件的影响。因此，气候条件的好坏，对人体的健康和劳动生产率的提高有着重要的影响。

一、井下空气的温度

井下空气的温度是影响气候条件的主要因素，温度过高或过低时，都会使人感到不舒

适。最适宜的井下空气温度是15~20℃。

影响井下空气温度的因素有：岩层温度、地面空气的温度、井下生成热及吸热过程、空气压缩或膨胀等。

一般在地面以下20~30米深度地带，岩层温度在全年内保持不变，其温度等于该地区年平均地表温度（或高于年平均气温1~2℃），这一地带称为恒温带。在恒温带以下，岩层温度随着深度的增加而升高，不受地面气候变化的影响。岩层温度增加与深度成正比，用地温率表示，即岩层温度增加1℃时所增加的垂直深度（米）。它与岩石的性质、种类有关，因此各地不同。我国抚顺龙凤矿测定其平均地温率为25~30米，淮南九龙岗矿为55米。因此，只要知道本地区的恒温带温度和地温率，就可用下式预计深部水平地层的岩层温度。

$$t = t_{\text{恒}} + \frac{Z - Z_{\text{恒}}}{\epsilon_{\text{地}}} \quad (1-1)$$

式中 t ——深度为 Z 米处的岩层温度，℃；

$t_{\text{恒}}$ ——恒温带的岩层温度，℃；

Z ——地表至某处的深度，米；

$Z_{\text{恒}}$ ——恒温带的深度，米；

$\epsilon_{\text{地}}$ ——地温率，米/度。

当空气流入井下后，因与岩层有温差，故在流动的同时进行热交换。如地面空气温度低于岩层温度时，则岩石放热，使气温逐渐升高；反之，则岩石吸热，使气温逐渐降低。

地面空气的温度对井下气温是有直接影响的，冬季地面温度很低，冷空气流入矿井后会使得井下温度降低，如不预热，入风井会有结冰现象。夏季地面温度很高，热空气流入井下后会使得气温升高。特别是浅井，由于不能有充分的热交换时间，一般是井下的气温随地面的季节不同而变化，冬季气温低，夏季气温高。

井下的煤炭、坑木、硫化矿物、油垢等都能氧化而产生二氧化碳和热量，经氧化生成2克二氧化碳时（相当于空气中二氧化碳增加0.1%）能产生热量4.3千卡，可使1立方米空气温度升高14.5℃，可见氧化发热也是井下气温升高的因素之一。但是水分蒸发能从空气中吸收热量使气温降低，一公斤水蒸发时可吸收0.585千卡的热量，能使1立方米的空气降低1.9℃。水的蒸发是降低温度的主要因素之一，因风流排出时带走大量的水分，其蒸发时所吸收的热量也是相当大的。

当空气沿井筒向下流动时，由于空气受到压缩面产生热量，一般垂深每增加100米，其温度升高1℃左右；相反空气向上流动时，则又因膨胀面降温，平均每升高100米，温度将下降0.8~0.9℃。

通风是降温的主要措施之一，当风流通过巷道或工作面时，吸收热量，可随风流排出地面，如矿井供风量越大，则吸收热量越多，温度就会降低。如矿井风量不足，温度会升高，而且也不易把瓦斯带走。

综合上述，当地面空气进入井下后，由于受上述诸因素的影响，沿途气温要发生变化。在进风井与井底车场附近，由于岩石的吸热和散热作用，对气温起调节作用，在夏季使气温降低，在冬季使气温升高。当风流流经一定距离后，不论冬季或夏季，气温将随进风路线的延长面逐渐升高，当到达回采工作面时，温度一般达到最高。回风路线的气温沿

途略有下降，且常年变化不大。

井下采掘工作面温度《规程》规定：采掘工作面的空气温度不得超过26℃。

随着矿井开采深度的增加以及综合机械化采煤方法推广，大型机电设备的应用，高温矿井在我国相继出现。因此，矿井的降温工作就成为迫切的任务。

二、井下空气湿度

空气的湿度是指空气中所含的水蒸汽量。表示湿度的方法有两种：

1. 绝对湿度 是指每立方米或一公斤空气中所含水蒸汽的克数。

2. 相对湿度 是指某一体积空气中实际含有的水蒸汽量与同温度下的饱和水蒸汽量之比的百分数，用公式表示如下：

$$\varphi = \frac{f}{F_{\text{饱}}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 φ ——相对湿度，%；

f ——空气中所含水蒸汽量（即绝对湿度），克/米³；

$F_{\text{饱}}$ ——在同一温度下空气中饱和水蒸汽量，克/米³（见表1-2）。

表 1-2 饱和水蒸汽量

t°	在1立方米 空气内 (克)	在1公斤 空气内 (克)	水蒸汽压力 (毫米水银柱)	t°	在1立方米 空气内 (克)	在1公斤 空气内 (克)	水蒸汽压力 (毫米水银柱)
-20	1.1	0.8	0.96	14	12.0	9.8	11.99
-15	1.6	1.1	1.45	15	12.8	10.5	12.79
-10	2.3	1.7	2.16	16	13.6	11.2	13.64
-5	3.4	2.6	3.17	17	14.4	11.9	14.5
0	4.9	3.8	4.58	18	15.3	12.7	15.5
1	5.2	4.1	4.92	19	16.2	13.5	16.5
2	5.6	4.3	5.29	20	17.2	14.4	17.5
3	6.0	4.7	5.68	21	18.2	15.3	18.7
4	6.4	5.0	6.04	22	19.3	16.3	19.8
5	6.8	5.4	6.53	23	20.4	17.3	21.1
6	7.3	5.7	7.00	24	21.6	18.4	22.4
7	7.7	6.1	7.49	25	22.9	19.5	23.8
8	8.3	6.6	8.02	26	24.2	20.7	25.2
9	8.8	7.0	8.58	27	25.6	22.0	26.7
10	9.4	7.5	9.21	28	27.0	23.4	28.4
11	9.9	8.0	9.84	29	28.5	24.8	30.1
12	10.6	8.6	10.52	30	30.1	26.3	31.8
13	11.3	9.2	11.23	31	31.8	27.9	33.7

通常所说的湿度都是指相对湿度而言，一般认为相对湿度在50~60%为适宜。

井下空气的相对湿度一般用手握温度计测定。手握湿度计如图1-3所示，它是将两支温度计装在一个金属框架上，其中一支为干温度计，另一支为湿温度计（水银球外包裹湿纱布）。测定时手握摇把以每分钟150转的速度旋转1~2分钟，由于湿纱布上水分充分蒸发，吸收热量，使湿温度计的读数降低，与干温度计读数发生差异。根据干、湿温度计的读数差值和干温度计上的读数就可在表1-3中查得相对湿度值。

井下空气的湿度是随着地面空气湿度和井下滴水情况不同而变化的。在冬季地面空气进入井下后，因温度升高，空气的饱和能力加大（ $F_{\text{饱}}$ 值变大），使相对湿度降低，所以沿途要使井巷中的水分蒸发，进风路线的井巷就显得干燥；在夏季正相反，地面空气进入井下后，因温度降低，空气的饱和能力变小，使相对湿度升高，此时空气中的一部分蒸汽就可能凝结成水珠，使井巷显得潮湿。由此可知，井下一般夏季潮湿，冬季干燥。

矿井总回风巷道和出风井，相对湿度都在95%以上，而且一般常年变化不大。

三、井巷中的风速

井巷中的风速过低或过高，都会影响工人的身体健康。风速过低时，使汗水不易蒸发，体热不易散失，人就会感到闷热不舒适；风速过高时，易使工人感冒，煤尘飞扬，对工人的健康和安全生产极为不利。因此《规程》规定了不同井巷中的最高和最低允许风速，如表1-4所示。

综采工作面当采取煤层注水湿润煤体和采煤机喷雾降尘等措施后，经总工程师批准，可以适当加大风速，但不得超过每秒5米。

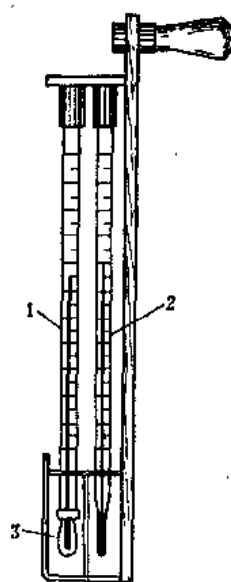


图 1-3 手摇湿度计

1—湿温度计，2—干温度计，
3—湿纱布

表 1-3 由干、湿温度计读数查相对湿度

干温度计 的指示数 (℃)	干温度计与湿温度计指示数之差(℃)							干温度计 的指示数 (℃)	干温度计与湿温度计指示数之差(℃)								
	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	4	19	100	91	81	72	64	57	50	41
6	100	86	72	59	46	33	21	8	20	100	91	81	73	65	58	50	42
7	100	87	74	60	48	36	24	14	21	100	91	82	74	66	58	50	44
8	100	87	74	62	50	39	27	16	22	100	91	82	74	66	58	51	45
9	100	88	75	63	52	41	30	19	23	100	91	83	75	67	59	52	46
10	100	88	77	64	53	43	32	22	24	100	91	83	75	67	59	53	47
11	100	88	79	65	55	45	35	25	25	100	92	84	76	68	60	54	48
12	100	89	79	67	57	47	37	27	26	100	92	84	76	69	62	55	50
13	100	89	79	68	58	49	39	30	27	100	92	84	77	69	62	56	51
14	100	89	79	69	59	50	41	32	28	100	92	84	77	70	64	57	52
15	100	90	80	70	61	51	43	34	29	100	92	85	78	71	65	58	53
16	100	90	80	70	61	53	45	37	30	100	92	85	79	72	66	59	53
17	100	90	80	71	62	55	47	40									

四、空气调节

人体内由于食物的氧化和分解产生大量的热量，其中约有1/3消耗于人体组织内的生理化学过程，并维持一定体温，其余2/3的热量要散发到体外。人体散热靠对流、辐射和蒸发三种方式，而这三种方式的散热效果，则决定于空气的温度、湿度和风速三者的综合作用。如果温度高、湿度大、风速小时，三种散热作用都很小，体内热量散失不出去，就会

表 1-4 井巷中最高和最低允许风速

井 巷 名 称	允许风速(米/秒)	
	最 低	最 高
无提升设备的风井和风硐	—	15
专为升降物料的井筒	—	12
风桥	—	10
升降人员和物料的井筒	—	8
主要进、回风道	—	8
架线电机车巷道	1.0	8
运输机巷道, 采区进、回风道	0.25	6
回采工作面、掘进中的煤巷和半煤岩巷	0.25	4
掘进中的岩巷	0.15	4
其它人行巷道	0.15	—

感到十分不舒服;相反,如果温度低、湿度小、风速大时,三种散热作用都很强,人体就会感到散热过多,容易引起感冒或其他疾病。因此,矿井通风工作者的重要任务之一,就是要创造良好的气候条件,对空气进行调节,使其适应人体的要求。

(一) 空气预热

在我国北方,冬季地面气温很低,易使井筒和井筒附近结冰,影响运输提升工作和工人的身体健康,因此需要将冷空气预热,使进风井口的气温经常保持在 2°C 以上。预热的方法一般采用蒸汽或暖水的散热器,其布置方法有两种:

1) 如图1-4所示,散热器安装在井筒旁边,以专用联络道与井筒相联,冷空气从扇风机出来经散热器使空气温度提高到 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$,然后进入井筒与冷空气混合,使混合后的气温不低于 2°C 。这种布置方法由于热空气是从井口下部的联络道进入井筒,故未解决井口房的采暖问题。

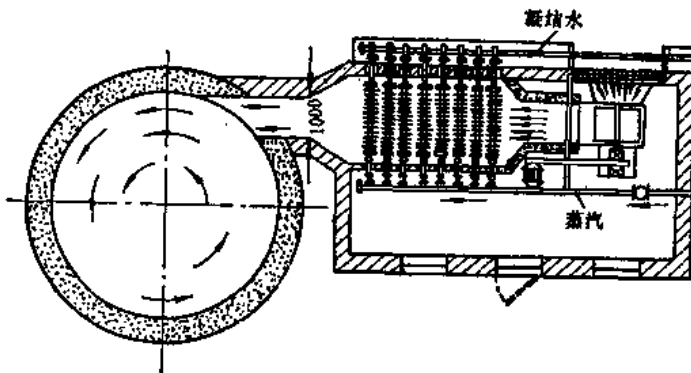


图 1-4 蒸汽预热装置

2) 如图1-5所示,在井口房两侧底板上设置单排散热器1,散热器外为百叶窗2,散热器上方设置足够数量的冷风窗3,这样可使井口房负压不至过大(一般为 $6\sim 8$ 毫米水柱),并可避免热风上浮。井口房大门尽量采用便于管理的自动风门,以保证井口房的密闭。这种布置方法的优点是:冷热风在井口房混合,解决了井口房的采暖问题;预热室无风机,使管理简单无噪音。其缺点是:井口房要用自动风门密闭,冷热风量配比不易控制。实践证明这种方法优越性较大,在我国东北、华北地区得到广泛应用。

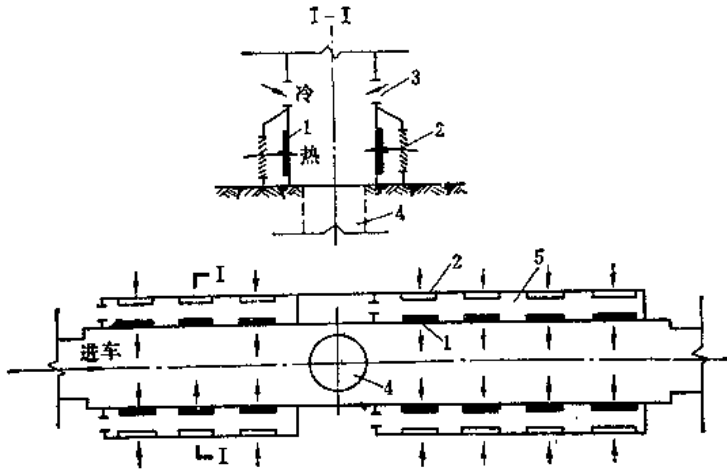


图 1-5 井口空气预热室

1—散热器；2—百叶窗；3—冷风窗；4—井筒；5—预热室

(二) 降温措施

在我国南方和一些深部开采的矿井，在地温和其他放热因素的作用下，如果采掘工作面的温度超过《规程》规定的 26°C 时，就应采取下列降温措施：

1. 通风降温

通风降温是目前国内外深热矿井降温的措施之一，通风降温主要从以下几个方面考虑：

1) 建立合理的通风系统，提高工作面的有效风量

对于深热矿井，为保证把一定数量和质量的空气有效地送到井下各用风地区，就必须建立合理的通风系统。否则，即使采用空调设施或其他局部冷却措施，对整个矿井来说，其降温效果不会很好。

在考虑进风井与出风井的相对位置时，从降温效果来看混合式最优，对角式次之，中央式较差。

深井的风路长、阻力大，进风段空气与热源进行热交换的时间增长，促使空气沿途升温。因而，在开拓、采准系统布置上，要尽量使进风巷道选择在矿岩传热系数小，热源温度较低及进风风路短的地区。合理划分采区，在条件许可时实现分区通风或用大直径钻孔直措向工作面供风，都可大大缩短进风风路的长度。

在采区通风系统中，如将回采工作面的U型通风系统(图1-6 a)改为W型通风系统(图1-6 b)，能使工作面的气温降低。W型通风系统的主要优点是使工作面内的风流路程缩短一半，因而工作面的温度提高量只等于U型通风系统的一半左右，工作面风量能增加一倍。所以W型通风系统能达到降温的目的。

综采工作面采用U型通风系统时，一般将机电设备安装进风巷。为防止机电设备散发的热量随风流进入工作面，应遵守《规程》第119条规定下，可将上行通风改为下行通风，或将机电设备安装设在回风巷道中。例如平顶山矿务局六矿，将回采工作面的上行通风改为下行通风，使工作面入风流气温由 25.6°C 下降

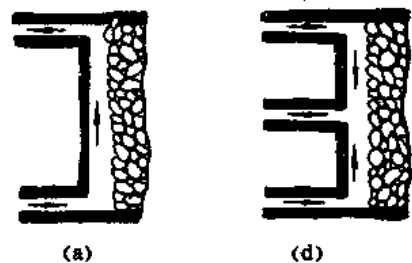


图 1-6 工作面通风系统

(a) U型通风系统；(b) W型通风系统

到 21.6°C ，下降 4°C ，改善了工作面的气候条件。

2) 适当加大进风量

井下热源，一种是放热量基本上不受风量的增减而变化（如机电设备等局部热源），当进风量增大，可使单位风量吸收的热量减小，从而空气温升比不增加风量时为低。另一种热源（如高温岩石、热水及压气管道等）其放热量随风量的增加而有所增加，但单位风量的温升也将有所下降。此外，由于风量的增加，可使井巷风速提高，从而改善了矿井空气的冷却效果和气候条件。

增大风量的降温效果主要取决于气温与热源的温度差、热源的传热系数和进风风路的长短。因此，增大风量的降温措施是有条件的，否则，风量过大将导致通风费用的增加，井巷风速过高引起粉尘再次飞扬，而降温效果却很差。

2. 制冷降温

仅靠通风，仍不能使矿井气候条件得到改善时，就需要采用冷却措施。若能得到天然冷水，就可用管道将冷水导入矿井，用空气冷却器冷却空气。例如在进风井口喷淋冷水是一种简单易行的冷却措施，用于解决距井口不远的高温场所的降温有一定效果。但是，当得不到天然冷水时，就需要采用制冷机降温。

1) 制冷机工作原理

最常用的压缩式制冷机是利用液态制冷剂蒸发时吸收潜热的原理。图 1-7 为这种制冷机的原理示意图。制冷剂通过压缩机变成高温高压的汽化状态后进入冷凝器，被冷水冷却液

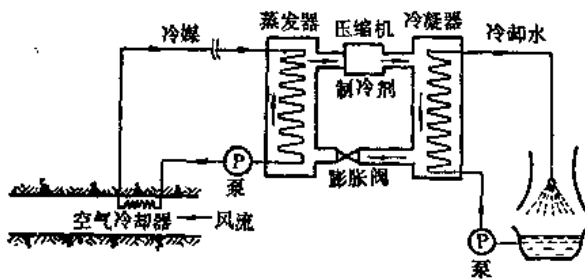


图 1-7 制冷机工作原理图

化成为液体，然后经过膨胀阀进入蒸发器进行绝热膨胀。此时制冷剂已成为液体和气体的混合物，再通过从冷媒的盘管中吸收热量达到完全汽化，从而降低了冷媒的温度。冷媒通过泵及管道送至设在工作面附近的空气冷却器以冷却工作面高温空气，达到降温目的。

2) 设备组成及类型

制冷设备由制冷机、空气冷却器和循环水冷却等三大部分组成。其中制冷机又由压缩机、蒸发器和冷凝器构成。

矿井制冷机按其压缩机结构不同分为活塞式和透平式，中小型矿井常用活塞式，大中型矿井常用透平式。

空气冷却器有喷淋式（对需降温的进风喷淋冷水）和管道式（管内通冷水，管外通空气）及翅片（管道外壁装有鱼翅样叶片）三种。管道式和翅片式空气冷却器比喷淋式效率高，即用较少的冷水，就能发挥和喷淋式同等的冷却作用。缺点是设备成本及维护费用较高，通风阻力较大，粉尘易粘着在管道及鱼翅片上。喷淋式优点，是能净化空气。

制冷机的制冷能力，可用千卡/时或冷吨等单位表示。1冷吨为24小时内把1000公斤 0°C 的水冷冻成 0°C 的冰时的能力，相当于3320千卡/时。

根据制冷机的安装情况不同，分移动式 and 固定式两种。移动式容量较小，但搬动方便，大多用于掘进工作面或局部高热地区。

3) 制冷剂及冷媒

制冷剂（工质）是制冷机中用来吸收被冷却物（冷媒）的热量，并将热量传给周围介质的物质。通常采用氟-12及氟-22作为制冷剂。

冷媒是制冷系统中用来传递冷效应的中间物质，常用的冷媒为水及盐水等。

4) 布置方式

制冷机的布置方式有三种：1) 制冷机设在地面，冷却总进风流；2) 制冷机设在井下，冷却部分进风；3) 制冷机设在地面，冷媒通过绝热管道送至井下空气冷却器。

第一种布置方式，在工程施工、维修使用上较为方便，另外，制冷机的冷却水处理也较为方便。但是冷却了的空气，在送往工作面途中，由于地热的传递及空气压缩热又会被加热，井下冷却效果较低。第二种布置方式，则工程施工、维修、使用较为麻烦，并且制冷机在井下需要大量的冷却水。在矿井中处理这样大量的冷却水是很麻烦的。第三种布置方式的缺点是成本较高，冷媒在送往空气冷却器的途中多少会被加热。不过，冷媒管采用优质绝热材料，冷媒加热问题即可解决。这种方式的优点是，冷却水容易处理，能够有效地冷却井下工作面，因此，目前广泛采用的是这种方式。

3. 减少各种热源放热

1) 减少氧化放热 氧化放热和局部热源放热是使矿井风流温升的重要原因，因此，最大限度减少巷道中的煤尘含量，实行坑木代用，缩短从工作面到地面的运煤时间以及采用专门的材料涂沫巷壁可以大大降低其氧化放热量。

2) 排除机械放热 井下大型机电硐室必须设置独立的通风系统，将高温空气排入回风道中。

3) 巷壁绝热 巷道绝热在新掘出的巷道中有一定效果，在较老的通风干线中巷壁绝热是不合理的，因为经较短时间通风后围岩放热量将变得很小。在矿用绝热材料中，按绝热性和安全性好及成本低的要求，以导热系数低的高炉和锅炉炉渣为好。巷壁绝热多用于矿井热害严重的局部区段，矿井大量采用巷道绝热，将导致吨煤成本的增高。因此，巷壁绝热只是在技术经济合理的基础上采用。

4) 防止压风管道散热 敷设于井巷中的压风管道的压气通常温度达70~80℃，也能使风流温升。因此，冷却压风机排出的压气，使其降至井巷风流的平均温度，或把压风管道用绝热材料包扎，便能减少这种温升。

5) 热水处理 矿井中如有热水散热，可用排水钻孔或沿回风巷用管道排往地面；掘进时遇含水构造裂隙可采用水泥浆加速凝剂或化学注浆法堵水；热水从水沟排出时，可在巷道水沟上加盖板。

(三) 调整风速

对于气温较高的采掘工作面，要求相应的风速与之相配合。温度高要求风速大，温度低要求风速小。温度和风速之间比较合适的关系如表1-5所示。

表 1-5 温度和风速的适合关系

空气温度 (°C)	<15°	15~20°	20~22°	22~24°	24~26°
适宜的风速 (米/秒)	<0.5	<1.0	>1.0	>1.5	>2.0