

· 煤矿安全技术丛书 ·

矿井通风

孙承仁 常玉英 李英贤 编著



中国经济出版社

前 言

《煤矿安全技术丛书》(以下简称《丛书》),是根据中华人民共和国煤炭工业部1986年2月颁发,并于1986年7月1日开始执行的《煤矿安全规程》的规定组织编写的。

《煤矿安全规程》第500条明确规定:“直接从事煤矿井下生产建设的职工,都必须进行强制性的安全技术培训,经考核合格并取得《安全资格证书》,才能上岗。否则,干部不能担任领导职务,工人不准上岗。”所以,从事煤矿生产建设的干部和工人都必须学习党和国家有关安全生产的方针、政策;学习和掌握矿山救护、创伤急救的基本知识,能抢救、自救和互救。此外,干部还必须学习安全技术理论知识、井下灾害的发生规律、预防措施和处理方法,能制定职责范围内矿井灾害的预防和处理计划,如遇险情能采取应急措施,正确处理,化险为夷;工人也必须学习矿井安全基础知识、与本工种有关的煤矿安全规程的规定,了解与本工种有关事故的发生规律,学习预防措施和处理方法,遇有险情能采取应急措施,学习本工种的操作规程以及有关设备、仪器仪表的安全操作,做到能排除故障安全生产。

为了满足广大煤矿职工安全技术培训的需要,我们组织北京煤炭管理干部学院、煤炭部技术咨询委员会、重庆煤矿安全研究所等单位有关专家和专业人员编写了《煤矿采掘基础》、《矿井通风》、《煤矿瓦斯防治技术》、《矿尘防治

技术》、《矿井防灭火技术》、《矿压及顶板事故处理》、《矿井水灾防治技术》、《矿井爆破安全技术》、《矿井提升运输安全技术》、《煤矿安全用电》、《煤矿安全监测技术以及矿山救护等书。这套《丛书》适合于从事煤矿生产建设的职工安全技术培训用，并可作为煤炭院校师生的教学参考用书。干部和工人的各种培训班，可根据本地区、本单位的具体情况，结合培训对象，对《丛书》内容酌情增减。

《丛书》在编写过程中，得到了煤炭部有关司局、煤炭部技术咨询委员会，重庆煤矿安全研究所、山西矿业学院、山东矿业学院、开滦矿务局、阳泉矿务局、大同矿务局、北京矿务局等有关同志的大力支持，并由煤炭部安监局朱美丽高级工程师、山西矿业学院刘吉昌副教授、中国矿业学院徐永圻副教授、通化矿务局张卫国总工程师、北京矿务局田荣林总工程师、煤炭部技术咨询委员会童有德高级工程师、北京煤炭管理干部学院王振铎副编审、《煤炭企业管理》编辑部周培玉副主编等同志进行了审阅，提出了宝贵意见，在此一并致以谢意。

书中不足和错误之处，诚请广大读者批评指正。

《丛书》编写组

1986年9月

《煤矿安全技术丛书》编辑委员会

主 编：岳 翰

副主编：贾悦谦 孙承仁 于不凡

编写组成员：（以姓氏笔划为序）

于不凡 万长慈 王家棣 白 帆

孙承仁 刘 明 刘福佺 陈 光

宋 吟 严志才 陆春元 余德绵

张 枫 岳 翰 苗建国 赵其文

袁钟慧 贾悦谦 黄 侃 虞 人

魏 青

目 录

前言	
第一章 矿井大气环境	1
第一节 概述	1
第二节 地面大气	6
第三节 矿井大气	24
第四节 矿井气候条件	38
第二章 矿井风量的确定	62
第一节 概述	62
第二节 矿井所需风量的确定	70
第三章 矿井通风压力的阻力	85
第一节 空气流动的基本规律	85
第二节 矿井空气运动的能量方程	92
第三节 通风阻力	110
第四节 矿井通风经济合理分析	134
第四章 矿井通风动力	140
第一节 自然通风	140
第二节 机械通风	145
第三节 扇风机特性曲线	155
第四节 扇风机的工作点	159
第五节 扇风机的联合工作	161
第五章 矿井通风系统的拟定与选择	167

第一节	矿井通风系统的拟定与选择	167
第二节	采区通风	175
第三节	通风网路	181
第四节	通风构筑物 and 漏风	193
第五节	矿井通风系统改造	200
第六章	掘进通风	208
第一节	通风方法	208
第二节	局扇通风	211
第三节	建井时期的通风	219
第七章	矿井通风管理	233
第一节	管理机构和任务	233
第二节	矿内空气成分和气候条件检测	234
第三节	风量、风速的检查	239
第四节	通风压力和阻力测量	245
第五节	矿井主扇性能鉴定	260
第六节	风量调节和灾变时期的风流控制	272
第七节	矿井通风系统合理性的评判	282

第一章 矿井大气环境

第一节 概 述

矿井大气环境是地面空气在井巷条件下的状态及其受到煤矿生产的自然因素和生产特性的影响所发生的物理、化学的变化。即矿井大气环境是地面大气在井巷条件下的特定状态。因此它们之间，既有相同处，又有相异处。

为了保护矿工的身体健康和生命安全，保证生产正常地发展，就应使井巷中的作业地点保持良好的大气环境。

在长期的生产斗争和生活实践过程中，人们认识到：在劳动条件比较适宜的情况下，劳动者能够保持着良好的心理状态，正常的生理功能。由于劳动者心情舒畅、体力充沛、精神集中，从而确保劳动者在体力或脑力两方面都能顺利、有成效地进行工作。

劳动条件所涉及的因素很多，错综复杂，既有与生产有关的生产性因素，也有社会性因素。它们之间相互影响、相互制约。只要其中一个因素（无论是化学的、物理的、还是生物的）发生不协调；或是劳动休息制度不健全、社会心理的周围环境等出现不正常，都将使劳动条件发生较大的改变，或使原来诸因素的平衡状态遭到破坏，不仅使人体感到不舒适，而且影响劳动效率，甚至危及劳动者肌体的健康和生命安全，也会导致设备的毁坏、资源的损失和生产停滞，

后果是严重的。

因此，对劳动条件的控制是生产过程本身的迫切需要，更是为了保护劳动者的健康、安全，提高劳动生产率、促进工业企业的发展。这也是工业企业管理现代化的重要内容。对劳动条件的控制程度，即在劳动生产过程中达到舒适、卫生、安全等方面的程度，是衡量工业企业现代化管理水平的尺度，也是现代化工业文明的重要标志。

煤炭生产在我国主要属地下作业，在其生产过程、劳动过程和生产环境（即劳动条件）中，存在对劳动者的健康和劳动能力可能产生有害作用的因素，即生产性有害因素。

一、生产过程中的有害因素

1. 化学因素

(1) 有毒有害物质，如 CH_4 、 CO_2 、 CO 、 NO_2 、 H_2S 、 SO_2 、 NH_3 、 H_2 等在常温、常压下呈气态的物质，以及由固体升华或液体蒸发而成的蒸气；

(2) 气溶胶，即飘浮在空气中的生产性粉尘、烟和雾；

1) 粉尘、为悬浮在空气中的固体微粒、大小多在 $0.1-10\mu$ ，如煤尘、矽尘、及其它固体的微粒；

2) 烟为悬浮在空气中直径小于 0.1μ 的烟状固体微粒；

3) 雾为悬浮在空气中的液体微粒，多系蒸气冷凝或液体喷洒而形成。

2. 物理因素

(1) 异常的气象条件，如（地热、地下水所引起的高温、高湿等；

(2) 矿山压力，如冲击地压、围岩塌落、以及与其有

关的瓦斯突出等；

(3) 噪声、振动，如风动工具、局扇、压缩空气机及铆、锻工作，能引起“职业性难听”“振动性疾病”；

(4) 放射性(物质)，如电焊——强烈的紫外线、煤层含有微量的放射性元素——镭、铀等。

二、劳动过程中的有害因素

1. 劳动组织和制度不合理，如劳动时间过长，劳动休息制度不健全等；

2. 劳动强度过大或安排不当，如安排的作业与劳动者生理状况不适应等；

3. 个别器官或系统过度紧张，如运动器官，指、掌或前臂发生腱鞘周围炎；关节炎及关节周炎；视觉器官紧张，形成视力障碍、充血、流泪、甚至视网膜剥离；

4. 长时间处于某种不良体位，或使用不合理的工具等，形成滑囊炎。

由于上述有害因素，使劳动者作业能力降低、差错增加、头昏脑胀、全身乏力、甚至瞌睡。

三、生产环境中的有害因素

1. 生产场所不固定、空间狭小；

2. 井巷与地面之间的通道数量、断面积有限；

3. 地质构造复杂带来潜在危险，如断层褶曲等处易发生事故；

4. 井巷中潮湿、黑暗，不见一丝阳光。

综上所述，煤矿生产具有自然条件的复杂性和生产的特殊性。煤矿生产环境中不仅生产过程产生污染和存在危险因

素（即采掘技术的合理性、设备的安全性及人机关系等），而且环境自身就存在着污染源和潜在的灾害。所以，煤矿对生产环境的控制尤为重要。

矿井通风是煤矿生产系统中重要的基础环节之一，是指在煤矿生产、建设中，使作业场所（回采、掘进及硐室等）构成空气流通的系统（即构成输送空气的进、出通路），利用自然因素或机械设备为动力，连续不断地输送足够数量的新鲜空气，并构筑设施和采取必要的手段及方法控制空气流动线路、强度、清洁度、温度以及适当调节湿度、以满足作业人员和生产过程的需要，创造一个卫生、安全、良好的生产环境。可概括为：矿井通风是由通风系统、网络、设备、设施及管理等部门组成的。

矿井通风的基本任务是：连续地供给井下作业地点足够的新鲜空气，以满足人的生理和生产过程所需的氧气；将自然涌出或生产过程产生的污染物——有毒有害气体（包括人呼出的气体、皮肤分泌散发的气味）和矿尘等稀释到容许的污染程度（即安全浓度），并排出作业地点；对井巷内空气的气温、湿度及风速等进行调节，为井下创造一个良好的、舒适的劳动环境；保证系统可靠、风流稳定、抗灾能力强。

党和国家一贯重视劳动保护和安全生产。建国初期，我国煤矿迅速消除了独眼井和自然通风井，国营煤矿全部采用了机械通风。煤矿的通风安全状况得到了很大的改善。近年来，随着煤炭工业的迅速发展，不少矿井进行了安全调整，进行了大量的安全技术措施工程、对通风能力不足、系统不合理的矿井进行了技术改造，取得了较好的成效，并摸索出和创造了有益的经验。

但是，由于煤炭产量连续大幅度上升，而矿井风量增长

幅度却不大，不少矿井通风能力仍不适应生产的发展，甚至有些矿井通风能力严重失调，影响安全生产。问题的关键在于井巷通风能力低，巷道失修率高。有的矿井由于巷道失修，使矿井通风阻力增加13%—78%。1982年统计，我国统配和重点煤矿中属于中等通风阻力或以上的矿井占40.2%；高阻力矿井占15%以上。其通风耗电量却占全国煤矿总耗电量的50%以上。矿井的通风耗电一般占原煤生产电耗的1/4到1/3，而少数矿井通风电耗达到原煤电耗的50%以上。如果全国煤矿通风压力下降 $1\text{mmH}_2\text{O}$ ，则全年就可以节省电力900万度，节约电费72万元。这是一个发人深思的数字。

当前，还有将近五分之一的矿井通风能力不足，需要继续增加通风能力。与此同时，随着生产的发展、矿井延深、矿井瓦斯等级升高，又会出现一些矿井需要进行改造，增加风量。如果缺乏经济观点，忽视经济效益，不采取降低通风阻力，减少漏风等技术措施，只单纯依靠更换大风机增加风量，不仅使煤矿通风安全状况得不到根本的改善，而且每年将多耗电13.5亿度，电费多1.08亿元，这笔浪费是十分惊人的，也是一项值得十分重视的经常性的工作。

多年实践证明，矿井通风是煤矿控制生产环境的重要手段，也是煤矿安全生产的有力保证，更是影响煤矿经济效益的重要环节。如果不注意或稍加忽视矿井通风工作，则瓦斯、煤尘、火等事故就不可能从根本上得到防治；不能保证生产不断增长的需要；工人处于闷热的条件下工作，影响职工的身体健康和劳动生产效率。正如矿工们所讲的那样：“一风去百害”，可见矿井通风直接关系到“安全第一”方针的落实，直接关系到煤炭生产的持续稳步增长，也直接关系到改变煤炭工业形象。因此煤矿各级领导、采矿工作者一定要

充分认识矿井通风工作的重要性，切实认真地做好这项工作。

今后在矿井通风工作中，仍须坚持贯彻执行“安全第一”的方针，通过科学管理和系统改造使矿井通风安全面貌从根本上得到改善，为彻底改变煤炭工业形象创造条件；在技术上要充分重视扩大井巷的通过能力，采取降低通风阻力、减少漏风等措施，保证足够的风量，适应矿井生产能力；保证系统合理可靠，风流稳定，通风成本降低，并且提高系统的抗灾能力。

第二节 地面大气

一、大气的分布

根据探测得知，从地球表面往上到1100公里或1400公里的高空（一般认为到1000公里）都存在着空气。在这以外，即为神奥莫测的宇宙空间了。

按其物理特征，大气层可分为：对流层（地表到12公里空中）；平流层（对流层顶到100公里高空）；电离层（平流层顶到1000公里高空）。多数空气存在于接近地表的地方，随着距地表距离的增大，单位体积的空气质量相应的减少，即空气的密度随高度增加而减小。据测定：在海平面，温度为 0°C 时， 1m^3 的空气具有 1.3kg 的质量；而在6公里高空处， 1m^3 空气质量却只有 0.6kg 。实测表明，仅有少量杂质能到达3公里以上的高空，而多数情况下，烟、气、雾等仅局限在一二百米高空活动中。因此，对流层（尤其是地表以上3公里左右范围内）与人类及其他生物生存有着密切的联系。

二、大气的组成成分及其性质

(一) 大气的组成

大气的活动与任何一种单一气体的活动完全相同，但是，它却是由多种气体、水汽、固体微粒及微生物等组成的混合物。它的组分是非常复杂的。

在标准状态下，干空气的成分（按体积计算）如表1-1所示。空气中氮、氧、氩和二氧化碳等四种成分占了总量的99.997%，其中氮、氧含量较稳定，其变化仅在0.004%以内。除此之外，空气中还有微量的氦、氖、氦、甲烷、臭氧、氧化氮、氢等，这些气体通常称为稀有气体。

表 1-1

名 称	化 学 式	按体积%	名 称	化 学 式	按体积%
氮	N ₂	78.084	钾	K	0.00010
氧	O ₂	20.946	氢	H ₂	0.00005
氩	Ar	0.934	氧化氮	NO ₂	0.00003
二氧化碳	CO ₂	0.033	氙	Xe	0.000008
氖	Ne	0.0018	臭 氧	O ₃	0.000001
氦	He	0.00053	氡	Rn	0.6 × 10 ⁻¹⁸
氪	Kr	0.00010	二氧化硫、	NH ₃ 、SO ₂ CO	少量变化大
甲 烷	CH ₄	0.00010	一氧化碳		

空气中的水汽是重要的物质，它使“干空气”成为湿空气。在空气中含水汽量有时能多达空气体积的百分之三，但是多数情况下则不到百分之一。

(二) 大气组成成分的性质及来源

1. 氮 (N₂)

氮以游离状态存在于空气中，或以化合状态寓于矿物质内。游离的氮是无色、无味、无臭的气体；比重为0.97；不助燃、不助呼吸，化学性不活泼，属于惰性气体。

空气中氮的来源很广。直接来源是地层中岩石涌出；燃烧含氮的燃料；火山爆发。间接来源是动植物死后，体内的蛋白质被微生物分解成硝酸盐或铵盐回到土壤中，其中一部分硝酸盐在反硝化细菌作用下变成游离氮回到大气中。

游离的氮在空气中约占78%，对人体不仅无害，而且有着抑制氧化过急的作用。在高压作业（如水下作业、沉箱作业等）中，减压处理不当则会引起“潜涵病”。氮含量过高时，能抑制激烈的氧化（爆炸、火灾等），也能使人窒息死亡。

2. 氧 (O₂)

游离氧是无色、无味、无臭的气体，比重为1.11，化学性活泼，能与大多数元素化合，能助燃，助呼吸。

氧是人类和其他生物赖以生存的基本条件之一。人吸进空气是通过鼻子、咽喉、气管、支气管进入肺泡，经物理性扩散，进行气体交换：空气中的氧被吸入血液中，并输送到人体各器官组织内分解由食物中所摄物的养料，形成热能、机械能，供给人体新陈代谢的需要，维持人的生命；血液将体内氧化生成的二氧化碳丢弃在肺泡内，然后随呼气排出体外。

人对氧气的需要量取决于：人体质的强弱，劳动强度的大小和神经紧张的程度。常以呼吸系数 k 表示，即：

$$k = \text{CO}_2 / \text{O}_2 \quad (1-1)$$

式中 k ——呼吸系数，如表1-2所示；

CO_2 ——二氧化碳排出量，升/分 (L/min)；

O_2 ——耗氧量, L/min。

表 1-2

状 态 (中等身材)	呼吸频率 (次/分)	吸收量 (升/次)	需氧量 (升/分)	二氧化碳 排出量 (升/分)	呼吸系数 $k=CO_2/O_2$
静止躺卧	17	0.4	0.24	0.19	0.79
静止站立	17	0.6	0.33	0.26	0.79
行走、4.5公里/时	17	1.5	1.00	0.87	0.87
行走、8公里/时	20	2.5	2.50	2.35	0.94
戴呼吸器繁重劳动	30	3.0	3.20	3.40	1.06

由表 1-2 中看出, 劳动强度越大则呼吸系数也越大。一般情况下 k 在 0.8 左右, 中等劳动强度为 0.8—1, 繁重劳动 $k > 1$ 。空气中氧含量多寡, 人体也会出现不同反应, 如表 1-3 所示。

表 1-3

空气中氧含量	人 体 的 反 应
17%	静止状态无影响, 工作时会引起喘息, 呼吸困难和心跳失去理智, 时间稍长, 即有生命危险 失去知觉, 呼吸停止, 几分钟内如不急救会死亡。
10%~12%	
6%~8%	

氧在空气中约占 21% (体积)。它是由地球表面上的绿色植物所进行的光合作用 (即把 O_2 和水转变成简单糖的过程中) 中放出的。因此, 使地球表面上约 80 公里厚的大气层中氧的数量相当稳定。

3. 二氧化碳 (CO_2)

游离的 CO_2 是无色、略带酸臭味的气体。比重 1.52, 易溶于水, 不助燃、不助呼吸。

空气中 CO_2 浓度约为 0.033% (体积), 比氮约少 2600

倍。在正常浓度下,CO₂对人是无害的。但当空气CO₂增加时,不仅对人的眼、鼻和口腔粘膜产生刺激,还引起呼吸中枢神经兴奋而加快呼吸频率;随浓度增大,人体会出现相应的症状,直至呼吸中枢麻痹而窒息死亡,如表1-4所示。

表 1-4

二氧化碳含量%	人 体 的 反 应
1	呼吸感到急促
3	呼吸量增加两倍,人很快发生疲劳现象
4~5	呼吸感到困难、耳鸣,血液流动加快
6	发生严重的喘息,极度虚弱无力
10	头痛,处于昏迷状态
10~12	呼吸处于停止状态
20~25	中毒死亡

大气中CO₂来源于:人类和动物的呼吸;死亡的有机体(动植物残骸)被微生物分解,使蛋白质、碳水化合物和脂肪破坏,最后氧化变成CO₂、水及其它无机盐类;火山爆发和森林火灾。自本世纪以来,大量开发和使用化石燃料(煤、石油、天然气)也增加了大气中的CO₂。

三、空气的物理性质

空气是多种气体混合组成的,经实验证实它同样符合理想气体的特性,即在恒温条件下,其体积与压力之乘积不变(PV=C)。因此可把空气视为“单一气体”,同样可用一般的物理量来描述空气的气体状态的特性。

(一) 密度 单位体积空气的质量,以 ρ 表示,即:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{G}{g} \cdot \frac{1}{V} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-1)$$

式中 M ——空气的质量, kg; 按公制单位表示质量时, 单位为 $\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}$;

V ——质量为 M 的空气所占体积, m^3 ;

g ——重力加速度, 标准的重力加速度为 $9.80665\text{m}/\text{s}^2$, 我国境内 g 值可取 $9.8\sim 9.81\text{m}/\text{s}^2$;

G ——质量为 M 的空气所受的重力, 即:

$$G = Mg \quad \text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 \text{ 或 } \text{N} \quad (1-2)$$

按国际单位制 (简称国际制) 力的单位用 N , 即质量为 1kg 的物体得到 $1\text{m}/\text{s}^2$ 的加速度所受的力为 1N ($1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$)。

公制单位是以质量为 $M\text{kg}$ 的物体受重力加速度 g 来计算重力 G , 以 kgf 表示, 习惯称为重量。

两种单位制之关系, 依公式 (1-2), 以 $M = 1\text{kg}$, 则得出: $G = 9.81\text{N}$, 即表示质量为 1kg 的物体所受重力为 $9.81\text{N} = 1\text{kgf}$ 。

空气密度以公制单位表示 $\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$ 。

(二) 比容 单位质量空气的体积, 以 ν 表示, 即:

$$\nu = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-3)$$

比容与密度互为倒数。

(三) 重率 单位体积空气的重量, 以 γ 表示, 即:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \rho g \quad \text{N}/\text{m}^3 \quad (1-4)$$

按公制单位, 重率单位为 kgf/m^3 。

两种单位制计量单位不同, 不能混淆, 如表1-5所示。

(四) 粘性 空气抵抗剪切力的特性, 即空气流动时, 由于分子间和分子与管壁的摩擦而使相邻气层流速不同产生