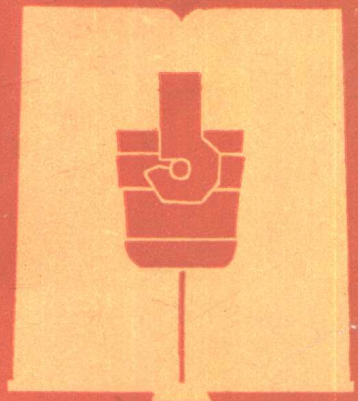
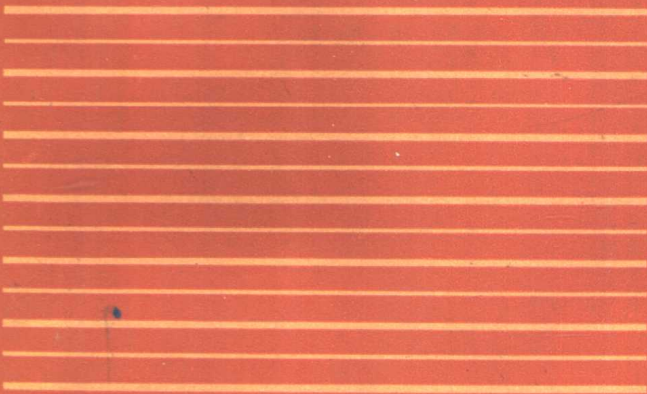


• 高等学校教学用书 •

矿井通风与防尘

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社

高等学校教学用书

矿井通风与防尘

东北大学 王英敏 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

高等学校教学用书
矿井通风与防尘

东北大学 王英敏 主编

冶金工业出版社出版
(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)
新华书店总店科技发行所发行
王河市印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张10.625 字数277千字
1993年10月第一版 1993年10月第一次印刷
印数 1~3100册

ISBN 7-5024-1212-3
TD·195 (课) 定价: 5.05元

前 言

本书是根据冶金类高等院校采矿专业教学计划和《矿井通风与防尘》课程教学大纲的要求编写的。全书包括矿井通风与矿井防尘两部分。矿井通风部分主要论述矿内大气的性质、矿内风流运动的规律、矿井通风管理与检查技术以及矿井通风设计和计算方法；矿井防尘部分主要论述矿尘的性质、以风水为主的综合防尘措施和测尘技术。

本书由东北大学王英敏教授主编（编写绪论、第三、九章）。参加编写的有东北大学陈荣策教授（第十四章），中南工业大学李一智教授（第五、六章），昆明工学院赵梓成教授（第一、七、十三章），北京科技大学李怀宇（第二章）、王静英（第十章）副教授，南方冶金学院陈旺星副教授（第四、十二章）和西安冶金建筑学院陈子芳副教授（第八、十一章）。马鞍山矿山研究院程厉生高级工程师和冶金部安全环保研究院葛云生高级工程师，在初稿审查时，提出许多重要修改意见，各冶金院校通风安全教研室的同志们也提供了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本教材是在冶金工业出版社1979年出版的《矿井通风与安全》教材的基础上改编的。本书删去了原教材中的安全技术部分（另编新著）。矿井通风与防尘的内容，根据近十年国内外的技术发展，本着少而精的原则，有所充实与提高。本教材与《矿井通风与防尘习题集》配套使用，将有助于提高学生分析问题和解决问题的能力。

受编者水平所限，书中可能存在不少缺欠与错误，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

1992.6.

BF40/07

绪 论

采矿工业是生产原材料的基础工业，在国民经济发展中占有重要地位。矿井通风与防尘是防止矿内大气污染，保护矿工安全健康，促进矿业发展的一个重要方面。采矿生产中引起矿内空气污染的主要物质是有毒有害气体和粉尘。矿内常见的有毒气体有一氧化碳(CO)、二氧化氮(NO_2)、二氧化硫(SO_2)和硫化氢(H_2S)。有毒气体中毒可使人员在短时间内丧生。使用柴油机作业的矿井，柴油机废气中的有害物质有氮氧化物(NO_x)、一氧化碳、醛类和油烟。油烟中含有致癌物质3、4苯并芘。开采含铀金属矿床时，矿内空气中含有氡及氡子体。长期吸入这类有害物质可引起肺癌。开采含碳质页岩或煤层的矿床时，从岩层中可析出具有爆炸性的甲烷(CH_4)和其他烃类物质。采矿生产中几乎所有作业工序都产生粉尘，而以凿岩、爆破、装运和破碎工序产尘量较大。矿尘的主要危害是引起尘肺病和矿尘爆炸。此外，矿内热源散热和水分蒸发可使空气温度和湿度增加。长期在高温、高湿环境下劳动可使人员患湿疹或中暑，严重时亦可致命。

矿井通风是在机械的或自然的动力作用下，将地面新鲜空气连续地供给作业地点，稀释并排出有毒有害气体和粉尘，调节矿内气候条件，创造安全舒适工作环境的工程技术。矿井防尘是在采矿生产过程中所采取的尘源控制技术和含尘空气的净化技术。矿井通风与防尘的主要作用在于控制污染物的浓度和空气温度，使之达到安全卫生标准。矿井通风与防尘以流体力学和热力学为理论基础，应用动量、质量、热量传递原理，研究矿内风流运动与污染物运移和沉降的规律以及各项安全卫生工程技术措施。

早在1553年,德国学者阿格里科拉(Agricola, G.)在其所著“金属学”一书中,就描述了矿井采掘工人的尘肺病和用手动风箱的通风方法。明崇祯年间(1637年)宋应星在其所著“天工开物”一书中,记载了用竹筒排放有害气体的方法。欧洲在17世纪曾用火炉通风,到19世纪开始用机械通风。俄罗斯学者罗蒙诺索夫(Ломоносов, М.В.)在1724年提出了矿井中空气自然流动的理论,奠定了自然通风计算的科学基础。1854年英国学者阿特肯逊(Atkinson, J.J.)发表“矿井通风原理”一文,阐明风量与风压降之间的关系,首次提出通风阻力计算公式,为矿井通风阻力计算奠定了理论基础。1904年前苏联科学院院士斯科钦斯基(Скочинский, А.А.)首次应用流体力学方程,将矿内风流做为一维稳定流动进行分析,开创了矿内空气动力学的理论及试验研究。20世纪前半叶,以斯科钦斯基为首的前苏联学者,对矿内风流结构、井巷通风阻力、烟尘排出过程和矿井通风设计计算方法等进行了系统的研究。1949年由斯科钦斯基与科马洛夫(Комаров, В.Б.)合著的“矿内通风学”是这一时期具有代表性的论著。我国学者关绍宗、汪葵葵和侯运广教授于1959年主编了我国第一部矿山通风与安全教材,推动了矿山通风与安全技术的教学和科学研究工作的发展。本世纪50年代以来,矿井通风的理论与技术研究有如下主要进展:(1)对井巷通风阻力进行了广泛的研究与测定,数据更加完整与精确;(2)建立了各类作业面紊流传质方程及污染物浓度分析计算方法,为改善作业面通风方法和风量计算方法提供了理论依据;(3)应用数字电子计算机计算和分析复杂通风网路,为矿井通风系统优化设计与控制提供了有效的方法;(4)射流通风理论与技术有所发展,利用风流动压的方向性调节与控制风流的技术获得应用;(5)矿井火灾时风流非稳定流动规律的研究不断深化,建立起若干典型火风流控制方案;(6)受控循环通风理论推动了空气净化装置的研制和污染源控制技术的发展,为矿井通风防尘提供了新的手段;(7)

深井热源、空气与围岩热交换和矿井热环境控制理论与技术有较大进展,初步形成矿内空气热力学理论体系;(8)开展了露天矿通风理论与技术的研究。

我国金属矿山,自从本世纪50年代,逐步建立机械通风系统以来,矿井通风防尘技术有以下主要进展:(1)优选合理通风系统类型及构成要素,发展多种形式的分区通风系统和多路进风、多路排风的多扇风机通风系统;(2)建立阶段通风网路,把专用回风井巷引伸到作业面,防止风流串联污染;(3)应用多扇风机串并联作业的多级机站通风系统,均衡风压,减少漏风,提高有效风量;(4)应用电子计算机计算通风网路,选取最佳通风方案,以及应用电子计算机对通风系统自动控制与管理;(5)采用中低压大流量矿用扇风机,提高扇风机的运转效率,节省通风能耗;(6)应用动压通风原理,以导风板、空气幕和无风墙辅扇等装置,进行通风系统的漏风控制和调节风量;(7)优化选择通风井巷断面,选用各种流线型通风构筑物,降低通风阻力;(8)利用已采的旧巷和采空区构成入风预热系统,以地层的潮湿作用防止入风井冬季结冰;(9)利用风压平衡原理,以通风系统的压力分布上控制氧及氮子体的析出量,提高排氮通风的有效性;(10)推广应用以风水为主的综合防尘措施,研制与试用多种新型除尘净化装置,提高了矿山防尘技术水平。

现代矿井通风防尘的任务已扩展为全面的矿山生产环境控制。主要的技术方向是,进一步发展矿井通风防尘的测试技术、计算技术与控制技术,使矿井通风防尘设计与管理向现代技术发展,逐步形成矿山生产环境自动监测与控制的科学管理体系。矿山污染源控制技术、循环净化通风技术和矿山通风全局优化设计与管理,是最有发展前景的重要研究方向。

“矿井通风与防尘”是采矿专业的一门重要专业课。学习“矿井通风与防尘”课程,应使学生掌握矿内大气的性质和风流运动的基本规律,学会矿井通风防尘的检测方法、技术管理措施

和设计计算方法。随着我国采矿工业的发展，不断深化对矿井通风防尘技术理论的研究，引进、开发新的技术措施与先进设备，尽快地把我国矿井通风防尘科学技术水平提高到一个新的高度，赶上和超过世界先进水平，是我国采矿科学技术工作者一项十分光荣的任务。

目 录

绪论.....	(V)
第一章 矿内大气.....	(1)
第一节 矿内空气的主要成分.....	(1)
第二节 矿内空气中常见的有害气体.....	(3)
第三节 放射性气体.....	(9)
第四节 矿内气候条件.....	(13)
第二章 矿内风流的基本性质.....	(21)
第一节 矿内空气的密度及计算.....	(21)
第二节 矿内空气压力及测定.....	(22)
第三节 矿内风流的流动(运动)状态.....	(30)
第四节 矿内风流的流速及测定.....	(32)
第五节 矿内风流的流动(运动)型式.....	(40)
第三章 矿内风流运动的能量方程式.....	(43)
第一节 不可压缩性实际流体能量方程式及其在矿井 通风中的应用.....	(43)
第二节 能量方程在通风阻力测定中的应用.....	(46)
第三节 能量方程式在分析通风动力与阻力关系时的 应用.....	(48)
第四节 有分支风路的能量方程式.....	(56)
第五节 可压缩性实际流体能量方程式.....	(58)
第四章 井巷通风阻力.....	(62)
第一节 概述.....	(62)
第二节 摩擦阻力.....	(63)

第三节	局部阻力和正面阻力·····	(70)
第四节	降低井巷通风阻力的方法·····	(76)
第五节	井巷等积孔与井巷风阻特性曲线·····	(77)
第五章	矿井自然通风 ·····	(81)
第一节	矿井自然通风的基本概念·····	(81)
第二节	矿井自然风压的计算·····	(82)
第三节	矿井自然风压的测定·····	(86)
第四节	矿井自然通风的特性·····	(87)
第五节	矿井自然通风的利用与控制·····	(90)
第六章	机械通风(矿用扇风机及其应用) ·····	(93)
第一节	扇风机的构造与分类·····	(93)
第二节	扇风机的个体特性曲线·····	(97)
第三节	扇风机参数的比例定律·····	(104)
第四节	扇风机的类型特性曲线·····	(108)
第五节	扇风机联合作业·····	(110)
第七章	矿井通风网路中风流基本定律和风量自然分配 ·····	(120)
第一节	概述·····	(120)
第二节	串联、并联通风网路的基本性质·····	(122)
第三节	角联通风网路·····	(127)
第四节	复杂通风网路解算·····	(131)
第五节	应用电子计算机解算通风网路·····	(133)
第八章	矿井风量调节 ·····	(141)
第一节	并联网路的风量调节·····	(141)
第二节	复杂网路的风量调节·····	(151)
第三节	矿井总风量的调节·····	(156)
第九章	矿井通风系统 ·····	(160)
第一节	统一通风与分区通风·····	(160)
第二节	进风井与回风井的布局·····	(164)

第三节	主扇工作方式与安装地点·····	(167)
第四节	阶段通风网路结构·····	(171)
第五节	采场通风网路及通风方法·····	(174)
第六节	矿井通风构筑物·····	(177)
第七节	通风系统的漏风及有效风量·····	(188)
第十章	局部通风 ·····	(192)
第一节	局部通风的方法·····	(192)
第二节	局部通风计算·····	(196)
第三节	长巷道、天井、竖井掘进时的通风·····	(203)
第十一章	矿井通风设计 ·····	(212)
第一节	矿井通风设计的任务与内容·····	(212)
第二节	矿井通风系统选择的原则·····	(214)
第三节	全矿所需风量的计算·····	(216)
第四节	矿井风量分配·····	(225)
第五节	全矿通风阻力计算·····	(227)
第六节	矿井通风设备的选择·····	(229)
第七节	通风井巷经济断面的选择·····	(232)
第八节	通风设计经济部分的编制·····	(235)
第十二章	矿井通风管理与监测 ·····	(233)
第一节	矿井通风管理与监测的主要内容·····	(233)
第二节	矿井总风量和风量分配的测定·····	(239)
第三节	矿井通风阻力的测定·····	(242)
第四节	主扇工况测定·····	(248)
第五节	矿井通风系统自动化管理·····	(251)
第十三章	矿井通风技术发展中的若干问题 ·····	(255)
第一节	循环通风·····	(255)
第二节	使用柴油机设备的矿井通风·····	(257)
第三节	含铀金属矿山的排氦通风和防氦措施·····	(260)
第四节	深热矿井降温措施·····	(262)

第五节	空气预热·····	(265)
第十四章	矿井防尘·····	(270)
第一节	矿尘的产生、性质及危害·····	(270)
第二节	通风除尘·····	(278)
第三节	湿式作业·····	(283)
第四节	密闭抽尘及净化·····	(291)
第五节	个体防护·····	(309)
第六节	测尘技术·····	(310)
附录 I	·····	(318)
附录 II	·····	(319)
附录 III	·····	(320)
附录 IV	·····	(321)
附录 V	·····	(324)
参考文献	·····	(325)

第一章 矿内大气

第一节 矿内空气的主要成分

地面空气一般由以下主要气体混合组成：

	质量浓度	体积浓度
氧	23.17%	20.90%
氮	75.55%	78.13%
二氧化碳	0.05%	0.03%
其他稀有气体	1.28%	0.94%

此外，地面空气中尚含有一定量的水蒸气、微生物与灰尘等。

在地球上，经常进行一系列气体的产生和消失的化学物理的反应过程。往往由于这些过程的相互作用，而使空气的主要成分保持不变。如动物吸气时吸进氧，呼气时放出二氧化碳，而植物的光合作用则相反，吸收二氧化碳，放出氧气。在局部地区（如工业区和城市区），地面空气往往被自然界和人们生活、生产过程产生的各种烟尘及有毒有害气体所污染。但由于地面空气的存在量十分巨大（ $5.1 \times 10^{15} \text{ t}$ ），并具有特别大的流动性和一定的扩散性，因此地面空气的主要成分仍能保持稳定不变。然而，从环境保护的角度出发，对于局部污染严重地区，三废（废气、废渣、废水）的处理问题应引起足够的重视，必须采取切实可行的防护措施。

正常的地面空气进入矿井后，当其成分与地面空气成分相同或近似，符合安全卫生标准时，称为矿内新鲜空气。由于井下生

产过程，产生了各种有毒有害的物质，使矿内空气成分发生一系列变化。其表现为：含氧量降低，二氧化碳量增高，并混入了矿尘和有毒有害气体（如 CO 、 NO_2 、 H_2S 、 SO_2 ……），空气的温度、湿度和压力也发生了变化等。这种充满在矿内巷道中的各种气体、矿尘和杂质的混合物，统称为矿内污浊空气。

矿内空气的主要成分是氧、氮和二氧化碳。而氮为惰性气体，在井下变化很小。

1. 氧 O_2 氧为无色、无味、无臭的气体，比重为1.11。它是一种非常活泼的元素，能与很多元素起氧化反应，能帮助物质燃烧和供人和动物呼吸，是空气中不可缺少的气体。

当氧与其他元素化合时，一般是发生放热反应，放热量决定于参与反应物质的量和成分，而与反应速度无关。当反应速度缓慢时，所放出的热量往往被周围物质所吸收，而无显著的热力变化现象。

人体维持正常的生命过程所需的氧量，取决于人的体质、神经与肌肉的紧张程度。休息时需氧量为 $0.25\text{L}/\text{min}$ ，工作和行走时为 $1\sim 3\text{L}/\text{min}$ 。

空气中的氧少了，人们的呼吸就感到困难，严重时会同因缺氧而死亡。当空气中的氧减少到17%时，人们从事紧张的工作会感到心跳和呼吸困难；氧减少到15%时，会失去劳动能力；减少到10~12%时，会失去理智，时间稍长对生命就有严重威胁；到6~9%时，会失去知觉，若不急救就会死亡。

我国矿山安全规程规定，矿内空气中氧含量不得低于20%。

2. 二氧化碳 CO_2 二氧化碳是无色，略带酸臭味的气体，比重为1.52，是一种较重的气体，很难与空气均匀混合，故常积存在巷道的底部，在静止的空气中明显的分界。二氧化碳不助燃也不能供人呼吸，易溶于水，生成碳酸，使水溶液成弱酸性，对眼鼻、喉粘膜有刺激作用。

二氧化碳对人的呼吸起刺激作用。当肺气泡中二氧化碳增加

2%时，人的呼吸量就增加一倍，人在快步行走和紧张工作时感到喘气和呼吸频率增加，就是因为人体内氧化过程加快后，二氧化碳生成量增加，使血液酸度加大刺激神经中枢，因而引起频繁呼吸。在有毒气体（譬如 CO 、 H_2S ）中毒人员急救时，最好首先使其吸入含5% CO_2 的氧气，以增强肺部的呼吸。

当空气中二氧化碳浓度过大，造成氧浓度降低时，可以引起缺氧窒息。当空气中 CO_2 浓度达5%时，人就出现耳鸣，无力，呼吸困难等现象；达到10~20%时，人的呼吸处于停顿状态，失去知觉，时间稍长有生命危险。

我国矿山安全规程规定：有人工作或可能有人到达的井巷，二氧化碳不得大于0.5%；总回风流中，二氧化碳不超过1%。

第二节 矿内空气中常见的有害气体

金属矿山井下常见的对安全生产威胁最大的有毒气体有：一氧化碳（ CO ）、二氧化氮（ NO_2 ）、二氧化硫（ SO_2 ）、硫化氢（ H_2S ）等。

一、有毒气体的来源

1. 爆破时所产生的炮烟 炸药在井下爆炸后，产生大量的有毒有害气体，种类和数量与炸药的性质、爆炸条件与介质有关。在一般情况下，产生的主要成分大部分为一氧化碳和氮氧化物。如果将爆破后产生的二氧化氮，按1L二氧化氮折合6.5L一氧化碳计算，则1kg炸药爆破后所产生的有毒气体（相当于一氧化碳量）为80~120L。

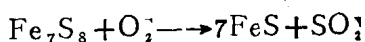
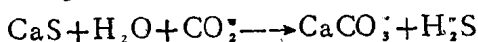
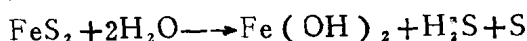
2. 柴油机工作时产生的废气 柴油机的废气成分很复杂，它是柴油在高温高压下燃烧时所产生的各种有毒有害气体的混合体。一般情况下有氮氧化物、含氧碳氢化合物、低碳氧化合物、油烟等，但其中的主要成分为氧化氮、一氧化碳、醛类和油烟等。柴油机排放的废气量由于受各种因素的影响，变化较大，没

有统一的标准。一九七五年一机部、冶金部召开的废气净化座谈会上，提出了坑内矿用柴油机废气排放指标，列入表1—1。当管理不善时，柴油机释放的废气，往往超过上述指标，恶化井下空气。

表1—1 坑内柴油机废气排放指标

成分	135系列柴油机		105系列柴油机	
CO	10.06	g/kW·h	10.06	g/kW·h
NO _x	6.71	g/kW·h	8.05	g/kW·h
CH	1.34	g/kW·h	1.34	g/kW·h

3. 硫化矿物的氧化 在开采高硫矿床时，由于硫化矿物缓慢氧化除产生大量的热外，还会产生二氧化硫和硫化氢气体，如



在含硫矿岩中进行爆破工作，或硫化矿尘爆炸以及坑木腐烂和硫化矿物水解，都会产生硫化气体（SO₂，H₂S）。

4. 井下火灾 当井下失火引起坑木燃烧时，会产生大量一氧化碳，如一架棚子（直径为180mm，长2.1m的立柱两根和一根长2.4m的横梁，体积为0.17cm³）燃烧所产生的CO约97m³，这样多的CO足使断面为4~5m²的巷道在2km长范围以内的空气中CO含量达到致命的数量。

在煤矿中瓦斯和煤尘爆炸，也会产生大量的一氧化碳，往往成为重大死亡事故的主要原因。

二、各种有毒气体的性质

1. 一氧化碳CO 一氧化碳是无色、无味、无臭的气体，对空气的比重为0.97，故能均匀地散布于空气中，不用特殊仪器

不易察觉。一氧化碳微溶于水,一般化学性不活泼,但浓度在13~75%时能引起爆炸。

一氧化碳极毒:当空气中CO浓度为0.4%时,在很短时间内人就会失去知觉,抢救不及时就会中毒死亡。

日常生活中的“煤气中毒”就是CO中毒。一氧化碳的毒性是因为:人体的血液中的血红素是专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要,而血红素有另外一种特性,就是它与一氧化碳的亲合力超过它与氧的亲合力的250~300倍。由此,当人体吸入含一氧化碳的空气后 一氧化碳很快与血红素相结合,这就大大降低了血红素吸收氧的能力,使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象,引起窒息和血液中毒,严重时造成死亡。

一氧化碳的中毒程度和中毒快慢与下列因素有关。

(1)空气中一氧化碳的浓度。人处于静止状态时,CO浓度与人中毒程度关系如表1—2。

表1—2 一氧化碳浓度与人体中毒程度的关系

中毒程度	中毒时间	CO浓度 (mg/L)	CO浓度 体积比(%)	中毒特征
无征兆或有轻微 征兆	数小时	0.2	0.016	
轻微中毒	1h以内	0.6	0.048	耳鸣,心跳,头昏,头痛
严重中毒	0.5~1h	1.6	0.128	头痛,耳鸣,心跳
				四肢无力,哭闹,呕吐
致命中毒	短时间内	5.0	0.400	丧失知觉,呼吸停顿

(2)与含有CO的空气接触时间。接触时间愈长,血液内CO量就愈大,中毒就愈深。

(3)呼吸频率与呼吸深度。人在繁重工作或精神紧张时,呼吸急促,频率高,呼吸深度也大,中毒就快。

(4)与人的体质和体格有关。人们经常处于CO略微超过允