



“十二五”普通高等教育规划教材

矿井通风与安全

唐敏康 支学艺 主编

Kuangjing Tongfeng Yu Anquan



中国质检出版社
中国标准出版社



“十二五”普通高等教育规划教材

Kuangjing Tongfeng Yu Anquan

矿井通风与安全

唐敏康 支学艺 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风与安全/唐敏康主编. —北京:中国质检出版社, 2015. 4

“十二五”普通高等教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 5026 - 4084 - 2

I. ①矿… II. ①唐… ②支… III. ①矿井通风 ②矿井安全 IV. ①TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 282645 号

内 容 提 要

本书系统介绍了矿山井下开采过程中的通风安全知识, 主要包括矿内大气、矿内风流的动力学基础、矿内风流流动的能量方程式、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络、矿井风量调节、掘进工作面通风、矿井通风系统、矿井通风设计、矿井通风管理与检测、矿山防尘、矿山防火和矿山防水等 14 个篇章的内容。

本书可作为高等院校采矿工程、安全工程、交通隧道工程等相关专业的本科生、研究生教材, 也可作为相关专业教学参考书, 同时可供从事矿山开采研究、设计、生产的工程技术人员, 以及各级矿山领导、管理人员参考阅读。

中国质检出版社
出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 15.5 字数 367 千字

2015 年 4 月第一版 2015 年 4 月第一次印刷

*

定价: 35.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68510107

— 审 定 委 员 会 —

主 任 宋守信 (北京交通大学)

副主任 吴 穹 (沈阳航空航天大学)

委 员 罗 云 (中国地质大学)

蒋军成 (南京工业大学)

钮英建 (首都经济贸易大学)

王述洋 (东北林业大学)

许开立 (东北大学)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 唐敏康 (江西理工大学)
支学艺 (江西理工大学)

副 主 编 陈国芳 (江西理工大学)
丁元春 (江西理工大学)

编写人员 张永亮 (青岛理工大学)
许秦坤 (西南科技大学)
刘 琦 (中原工学院)
徐文斌 (中国矿业大学)
叶 青 (湖南科技大学)
梁 辰 (江西理工大学)
郑 宇 (江西理工大学)
阳 平 (江西理工大学)
陈 苹 (江西理工大学)
余俊斌 (江西理工大学)
庄珍珍 (江西理工大学)
肖爱红 (江西理工大学)

序 言

众所周知，安全是构建和谐社会的基础。安全生产事关人民群众生命和国家财产安全，是保护和发展社会生产力、促进社会和经济持续健康发展的基本条件，是社会文明与进步的重要标志，也是提高国家综合国力和国际声誉的具体体现。在全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化、实现中华民族伟大复兴的进程中，安全生产在国家安全、经济和社会发展中占据越来越重要的地位。安全工程则是指在具体的安全存在领域中，运用的种种安全技术及其综合集成，以及保障人体动态安全的方法、手段、措施。安全工程的实践，为使人们在生产和生活中，生命和健康得到保障，身体及其设备、财产不受到损害，提供直接和间接的保障。安全工程专业是培养适应社会主义市场经济发展的需要，掌握安全科学、安全技术和安全管理的基础理论、基本知识、基本技能，具备一定的从事安全工程方面的设计、研究、检测、评价、监察和管理等工作的基本能力和素质，德、智、体全面发展的高级专业人才。随着现代工业生产规模日趋扩大，生产系统日益复杂，加之高新技术的不断引入，生产过程中涉及环境、设备、工艺和操作的危险因素变得更加复杂、隐蔽，产生的风险越来越大，事故后果也越来越严重。因此，社会对安全工程专业人员的要求越来越高，安全工程专业的人才市场需求也越来越大。

安全工程专业的本科教育是我国培养安全工程专业高级人才的重要途径，也是确保安全科学与技术能够蓬勃发展的重要基础。如何培养能适应现代科学技术发展，满足社会需要的安全科学专门人才，是安全工程高等教育的核心问题。为此，教育部和国务院学位委员会对安全工程专业作出了调整，将“安全科学与工程”升级为一级学科，下设“安全科学”“安全技术”“安全系统工程”“安全与应急管理”“职业安全健康”等5个二级学科。而教育部高教司给出的安全工程（本科）专业的培养目标是“培养能够从事安全技术及工程、安全科学与研究、安全监督与管理、安全健康环境检测与监测、安全设计与生产、安全教育与培

训等方面复合型的高级工程技术人才”。

我国绝大多数高校的安全工程专业都是为适应市场需求而于近些年开设的，其人才培养的硬件、软件和师资等都相对较弱，在安全工程专业课程体系的构成上缺乏共识，各高校共性核心的内容少，而且应用性课程多，理论性课程少；工具性课程多，价值性课程少。课程设置的差异，导致安全工程专业的教材远不能满足本专业教学的需要和学科发展的需要，为此，中国质检出版社根据教育部《“十二五”普通高等教育本科教材建设的基本原则》，组织北京交通大学、江西理工大学、中国地质大学、沈阳航空航天大学、南京工业大学、河北科技大学、东北林业大学、西安石油大学等多所相关高校和科研院所中具有丰富安全工程实践和教学经验的专家学者，编写出版了这套以公共安全为方向，既有自身鲜明特色又体现国家和学科自身发展需要的系列教材，以进一步提高安全科学与工程类专业的教学水平，从而培养素质全面、适应性强、有创新能力的安全技术人才。该套教材从当前社会生产的实际需要出发，注重理论与实践相结合，满足了当前我国培养合格安全工程专业人才的迫切需要。相信该套教材的成功出版发行，必将会推动我国安全工程类高等教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，对国家新世纪应用型人才培养战略的成功实施起到推波助澜的作用。

教材审定委员会

2015年4月

前 言

• FOREWORD •

矿产资源是人类社会赖以生存和发展的重要物质基础，是国民经济重要的原材料之一，任何国家的经济发展都高度依赖矿产资源，正处于工业化快速发展时期的中国对矿产资源的依赖更为突出。近年来，矿产资源在开采过程中的安全问题日益突出。矿井通风与安全、矿山防排水、矿山防灭火、爆破安全、地压安全、提升运输安全以及尾矿库安全等都严重影响着矿山企业的生产和经济效率。

矿井通风与安全是矿山开采安全生产的关键环节。矿井通风的基本任务就是不断地向井下各作业地点供给足够数量的新鲜空气，稀释和排除各种有毒、有害气体及放射性气体和粉尘，调节矿内气候条件，创造一个良好的工作环境，并保证井下工人安全健康，提高工人劳动生产率。

地面新鲜空气进入矿井后，由于凿岩、爆破、装矿、运矿和卸矿等作业的进行而被污染，形成井下污浊空气。井下污浊空气的组成成分与地面新鲜空气差别较大，主要表现为混入了粉尘、增加了有害气体、降低了氧的含量。粉尘是在采矿生产过程中（如凿岩、爆破、装卸矿石等）所产生的矿石或岩石的细微颗粒。部分粉尘可长期飘浮在矿井空气中，飘浮的粉尘、特别是游离二氧化硅（ SiO_2 ）粉尘，被人吸入肺部经长期的积聚变化，就会引起职业病，即矽肺病，严重危害人体健康。井

下爆破、矿石氧化与自燃、坑木腐烂、井下无轨设备排出的尾气、井下火灾等都会产生有毒有害气体。这些气体主要包括：一氧化碳（CO）、二氧化氮（NO₂）、硫化氢（H₂S）和二氧化硫（SO₂）等，当它们的浓度超过一定值后，短时期内就能使人中毒死亡。

本书设有矿内大气、矿内风流的动力学基础、矿内风流流动的能量方程式、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络、矿井风量调节、掘进工作面通风、矿井通风系统、矿井通风设计、矿井通风管理与检测、矿山防尘、矿山防火和矿山防水14个篇章的内容。

本书由江西理工大学、青岛理工大学、西南科技大学、湖南科技大学、中原工学院和中国矿业大学联合编著，江西理工大学为主编单位。丁元春、张永亮编写第1章至第3章，陈国芳、刘琦编写第4章至第6章，支学艺、叶青编写第7章至第9章，唐敏康、许秦坤、徐文斌编写第10章至第14章，全书由唐敏康统稿审查。研究生梁辰、郑宇、阳平、陈革、余俊斌、庄珍珍、肖爱红协助做了大量的辅助性工作。

本书可作为高等院校采矿工程、安全工程、交通隧道工程等相关专业本科生、研究生教材，也可作为相关专业教学参考书，同时可供从事矿山开采研究、设计、生产的工程技术人员，以及供各级矿山领导、管理人员参考阅读。

编者

2015年4月

目 录

• CONTENTS •

第 1 章 矿内大气	(1)
1.1 矿内空气主要成分及其基本性质	(1)
1.2 矿内空气中常见的有毒有害气体	(3)
1.3 放射性气体	(8)
1.4 矿尘的产生及其危害	(10)
1.5 矿井气候	(14)
思考题	(24)
第 2 章 矿内风流的动力学基础	(25)
2.1 关于流体的几个基本概念	(25)
2.2 矿内空气的主要物理参数	(26)
2.3 矿内空气压力及其测定	(31)
2.4 矿内风流流动状态及型式	(36)
思考题	(39)
第 3 章 矿内风流流动的能量方程式	(40)
3.1 风流能量	(40)
3.2 理想流体的连续性方程	(41)
3.3 不可压缩实际流体能量方程式	(42)
3.4 矿内风流的能量方程式及其应用	(44)
思考题	(53)
第 4 章 矿井通风阻力	(55)
4.1 矿井通风阻力概述	(55)
4.2 井巷摩擦阻力	(55)

4.3	井巷局部阻力和正面阻力	(59)
4.4	井巷通风阻力定律	(63)
4.5	降低井巷通风阻力的方法	(63)
4.6	矿井总风阻与矿井等积孔	(64)
	思考题	(66)
第5章	矿井通风动力	(67)
5.1	矿井自然通风	(67)
5.2	矿井机械通风	(73)
5.3	扇风机的个体特性曲线	(77)
5.4	扇风机的联合作业	(81)
	思考题	(87)
第6章	矿井通风网络	(88)
6.1	矿井风流运动的基本定律	(88)
6.2	串联、并联通风网络的基本性质	(91)
6.3	角联通风网络的基本性质	(94)
	思考题	(97)
第7章	矿井风量调节	(98)
7.1	局部风量调节	(98)
7.2	矿井总风量的调节	(104)
7.3	矿井通风网络解算	(105)
	思考题	(112)
第8章	掘进工作面通风	(114)
8.1	掘进工作面通风的方法	(114)
8.2	掘进工作面风量计算	(117)
8.3	掘进通风设计	(119)
8.4	长巷道、天井掘进时的通风	(122)
	思考题	(127)
第9章	矿井通风系统	(128)
9.1	统一通风与分区通风	(128)
9.2	进风井与回风井的布局	(130)
9.3	主要扇风机的工作方式与安装地点	(132)
9.4	中段通风网络结构	(135)
9.5	采场通风网络及通风方法	(137)

9.6	矿井通风构筑物	(139)
9.7	矿井通风系统的漏风及有效风量	(145)
	思考题	(147)
第10章	矿井通风设计	(149)
10.1	概述	(149)
10.2	矿井通风系统设计的内容和原则	(150)
10.3	全矿所需风量的计算	(157)
10.4	矿井风量分配	(163)
10.5	全矿通风阻力计算	(164)
10.6	矿井通风设备的选择	(165)
10.7	通风井巷经济断面的选择	(167)
10.8	通风设计经济部分的编制	(168)
	思考题	(169)
第11章	矿井通风管理与检测	(171)
11.1	概述	(171)
11.2	矿井通风管理体系的管理原则	(171)
11.3	矿井通风管理与监测的主要内容	(172)
11.4	矿井通风系统鉴定指标	(173)
11.5	矿井通风阻力的测定	(176)
11.6	矿井主扇工况的测定	(180)
	思考题	(182)
第12章	矿山防尘	(183)
12.1	概述	(183)
12.2	矿山粉尘的产生及其性质	(183)
12.3	矿山粉尘的危害	(186)
12.4	矿山粉尘治理	(188)
12.5	粉尘测定原理及种类	(202)
	思考题	(205)
第13章	矿山防火	(206)
13.1	概述	(206)
13.2	矿山外因火灾的预防	(206)
13.3	矿内内因火灾的预防	(209)
13.4	矿内火灾的消灭	(214)
	思考题	(218)

第 14 章 矿山防水	(219)
14.1 概述	(219)
14.2 矿井充水条件	(219)
14.3 地面防水	(221)
14.4 井下防水	(222)
14.5 发生透水事故时应采取的措施	(226)
思考题	(227)
附录	(228)
主要参考文献	(233)

第 1 章 矿内大气

1.1 矿内空气主要成分及其基本性质

井下空气的主要来源是地面空气(大气),而地面空气一般由表 1-1 所示的主要气体混合组成。

表 1-1 地面空气主要成分^[1]

气体成分	质量浓度 /%	体积浓度 /%
氧气(O ₂)	23.17	20.90
氮气(N ₂)	75.55	78.13
二氧化碳(CO ₂)	0.05	0.03
其他稀有气体	1.23	0.94

此外,地面空气中尚含有一定量的水蒸气,且水蒸气的浓度随地区和季节而变化,其平均浓度约为 1%;另有尘埃和烟雾等杂质。

地面空气进入矿井以后,由于受到污染,其成分和性质要发生一系列的变化,如氧浓度降低,二氧化碳浓度增加;混入各种有毒、有害气体和矿尘;空气的状态参数(温度、湿度、压力等)发生改变等。一般来说,将井巷中经过用风地点以前、受污染程度较轻的进风巷道内的空气称为新鲜空气;经过用风地点以后、受污染程度较重的回风巷道内的空气,称为污浊空气。

矿内空气主要成分除氧气(O₂)、氮气(N₂)、二氧化碳(CO₂)、水蒸气(H₂O)以外,还混入大量的有害气体,如瓦斯(CH₄)、一氧化碳(CO)、硫化氢(H₂S)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、氨气(NH₃)、氢气(H₂)和矿尘等。

1.1.1 氧气(O₂)

氧气为无色、无味、无臭的气体,比重约为 1.11。它是一种化学性质比较活泼的气体,能与多种物质发生化学反应,放出热量;具有助燃性和氧化性,在化学反应中提供氧,从而帮助物质燃烧;同时它还是我们人类和动物呼吸所必不可少的气体。

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 0.25L/min,工作和行走时为 1~3L/min。

空气中的氧气浓度直接影响着人体健康和生命安全,当氧气浓度降低时,人体就会产生不良反应,严重者会缺氧窒息甚至死亡。人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系如表 1-2 所示。

表 1-2 人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系

氧气浓度(体积分数)/%	人体主要症状
17	静止状态无影响,工作时会感到喘息、呼吸困难和强烈心跳
15	呼吸及心跳急促,无力进行劳动
10~12	失去知觉,昏迷,有生命危险
6~9	短时间内失去知觉,呼吸停止,可能导致死亡

地面空气进入井下后,氧气浓度会有所降低,氧气浓度降低的主要原因有:井下人员的呼吸消耗;矿内各有机物(木材、支架等)和无机物(矿物、岩石)的氧化,矿物自燃,矿井火灾,以及瓦斯、煤尘爆炸等对氧气的消耗。此外,井巷内不断放出的各种有害气体,也会相对降低氧气的浓度。

在正常通风的井巷和工作面中,氧气浓度与地面相比一般变化不大,不会对人体造成太大影响。但在井下盲巷、通风不良的巷道中或发生火灾、爆炸事故后,应特别注意对氧气浓度的检查,以防发生窒息事故。

我国《金属非金属矿山安全规程》(后面简称《规程》)中规定,矿井空气中氧含量不得低于20%。为此,必须对矿井进行不断的通风,将适量的新鲜空气源源不断地送到井下,这是矿井通风最基本的任务之一。

1.1.2 氮气(N₂)

氮气是无色、无味、无臭的惰性气体,是新鲜空气的主要成分,相对密度为0.97,微溶于水,不助燃,无毒,不能供人呼吸。

氮气在正常情况下对人体无害,但当空气中的氮气浓度增加时,会相应降低氧气浓度,人会因缺氧而窒息。在井下废弃旧巷或封闭的采空区中,有可能积存氮气。然而,由于氮气为惰性气体,因此可将其用于井下防灭火和防止瓦斯爆炸。

矿井中的氮气主要来源于:井下爆破;有机物的腐烂;天然生成的氮气从矿岩中涌出等。

1.1.3 二氧化碳(CO₂)

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、喉黏膜有刺激作用。

二氧化碳对人的呼吸起刺激作用。当肺泡中二氧化碳增加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。为此,在有毒气体(如CO、H₂S)中毒人员急救时,最好首先使其吸入含5%二氧化碳的氧气,以增强肺部的呼吸。

当空气中的二氧化碳浓度过高时,将使空气中的氧气含量相对降低,轻则使人呼吸加快,呼吸量增加,严重时也能造成人员中毒或窒息。空气中二氧化碳浓度对人体的危害程度

如表 1-3 所示。

表 1-3 空气中二氧化碳浓度对人体的影响

二氧化碳浓度(体积分数)/%	人体主要症状
1	呼吸加深,急促
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,很快疲劳
5	呼吸困难,头痛,恶心,耳鸣
10	头痛,头昏,呼吸困难,昏迷
10~20	呼吸停顿,失去知觉,时间稍长会死亡
20~25	短时间中毒死亡

二氧化碳比空气重,常常积聚在矿井的巷道底板、水仓、盲巷、采空区及通风不良处。

矿井中二氧化碳的主要来源有:有机物的氧化、人员呼吸、井下爆破、井下火灾、爆炸等。有时也能从矿岩中大量涌出,甚至与岩石一起突然喷出,给安全生产造成重大影响。

二氧化碳窒息同缺氧窒息一样,都是造成矿井人员伤亡的重要原因之一。

《规程》规定:采掘工作面的进风流中,二氧化碳不超过 0.5%。

1.2 矿内空气中常见的有毒有害气体

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。

1.2.1 有毒有害气体的来源

1.2.1.1 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化合物。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。

1.2.1.2 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物。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,没有统一标准,1975 年原一机部、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 1-4。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。

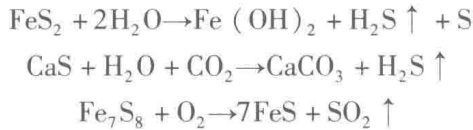


表 1-4 坑内柴油机废气排放指标

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)

1.2.1.3 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)。

1.2.1.4 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 0.17m³)燃烧所产生的 CO 约 97m³,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。在煤矿的瓦斯和煤尘爆炸,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。

1.2.2 有毒有害气体的性质及安全浓度标准

1.2.2.1 有毒有害气体的性质

1.2.2.1.1 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,一般化学性质不活泼,但浓度在 13%~75% 时能引起爆炸。

一氧化碳中毒: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,而血红素的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 1-5。

(2)与含有 CO 的空气接触时间。接触时间越长,血液内 CO 量就越大,中毒就越深。