

高等教育安全科学与工程类系列规划教材
矿山安全工程系列规划教材

矿井通风学

主编 王文才



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



免费电子课件

ANQUAN GONGCHENG XILIE ANQUAN GONGCHENG XILIE ANQUAN GONGCHENG XILIE

高等教育安全科学与工程类系列规划教材
矿山安全工程系列规划教材

矿井通风学

主 编 王文才

参 编 刘树新 漆旺生 杨 夺 刘业娇



机械工业出版社

本书为高等教育安全科学与工程类系列规划教材之一。全书共 10 章, 主要包括: 矿井空气、矿井空气流动的基本理论、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络中风量的自然分配、矿井风量按需调节、矿井通风系统、掘进通风、矿井通风设计以及矿井空气调节。

本书注重理论与实际的结合, 每章配有大量例题、习题, 习题类型丰富, 有概念解释题、判断题、单项选择题、问答题和计算题。为方便读者学习和使用, 本书附录中还提供了例题和设计计算所必需的数据与图表等。

本书内容包含了煤矿和非煤矿井的通风理论与技术, 并力求突出矿井通风学课程的科学性、系统性、新颖性和实用性, 内容丰富, 知识层次合理, 既有利于学生的学习, 又有利于教师教学, 也有利于工程技术人员的使用。

本书主要作为高等院校安全工程、采矿工程、消防工程等专业的本科教材, 也可供从事矿业工程的科研、设计及工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井通风学/王文才主编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 10
高等教育安全科学与工程类系列规划教材
ISBN 978-7-111-48220-8

I. ①矿… II. ①王… III. ①矿山通风—高等学校—教材
IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 233211 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 冷彬 责任编辑: 冷彬 孙阳 冯铁

版式设计: 赵颖喆 责任校对: 佟瑞鑫

封面设计: 张静 责任印制: 李洋

北京市四季青双青印刷厂印刷

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.25 印张·488 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-48220-8

定价: 39.90 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379469

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

安全工程专业教材编审委员会

主任委员：冯长根

副主任委员：王新泉 吴 超 蒋军成

委 员：（排名不分先后）

冯长根	王新泉	吴 超	蒋军成	季顺利	沈斐敏
钮英建	霍 然	孙 熙	王保国	王述洋	刘英学
金龙哲	张俭让	司 鹄	王凯全	董文庚	景国勋
柴建设	周长春	冷 彬			

序

“安全工程”本科专业是在1958年建立的“工业安全技术”“工业卫生技术”和1983年建立的“矿山通风与安全”本科专业基础上发展起来的。1984年，国家教委将“安全工程”专业作为试办专业列入普通高等学校本科专业目录之中。1998年7月6日，教育部发文颁布《普通高等学校本科专业目录》，“安全工程”本科专业（代号：081002）属于工学门类的“环境与安全类”（代号：0810）学科下的两个专业之一。^①据“高等学校安全工程专业教学指导委员会”1997年的调查结果显示，自1958~1996年年底，全国各高校累计培养安全工程专业本科生8130人。近年，安全工程本科专业得到快速发展，到2005年年底，在教育部备案的设有安全工程本科专业的高校已达75所，2005年全国安全工程专业本科招生人数近3900名。

按照《普通高等学校本科专业目录》（1998）的要求，原来已设有与“安全工程专业”相近但专业名称有所差异的高校，现也大都更名为“安全工程”专业。专业名称统一后的“安全工程”专业，专业覆盖面大大拓宽。同时，随着经济社会发展对安全工程专业人才要求的更新，安全工程专业的内涵也发生了很大变化，相应的专业培养目标、培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化，学生毕业后的执业身份是注册安全工程师。但是，安全工程专业的教材建设与专业的发展出现不适应的新情况，无法满足和适应高等教育培养人才的需要。为此，组织编写、出版一套新的安全工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。

机械工业出版社是有着60多年历史的国家级优秀出版社，在高等学校安全工程学科教学指导委员会的指导和支持下，根据当前安全工程专业教育的发展现状，本着“大安全”的教育思想，进行了大量的调查研究工作，聘请了安全科学与工程领域一批学术造诣深、经验丰富的教授、专家，组织成立了“安全工程专业教材编审委员会”（以下简称“编审委”），决定组织编写“高等教育安全工程系列‘十一五’规划教材”^②。并先后于2004.8（衡阳）、2005.8（葫芦岛）、2005.12（北京）、2006.4（福州）组织召开了一系列安全工程专业本科教材建设研讨会，就安全工程专业本科教育的课程体系、课程教学内容、教材建设等问题反复进行了研讨，在总结以往教学改革、教材编写经验的基础上，以推动安全工程专业教学改革和教材建设为宗旨，进行顶层设计，制定总体规划、出版进度和编写原则，计划分期分批出版30余门课程的教材，以尽快满足全国众多院校的教学需要，以后再根据专业方向的需要逐步增补。

① 按《普通高等学校本科专业目录》（2011版），“安全工程”本科专业（专业代码：082901）属于工学学科的“安全科学与工程”类（专业代码：0829）下的专业。

② 自2011年10月，更名为“高等教育安全科学与工程类系列规划教材”。

由安全学原理、安全系统工程、安全人机工程学、安全管理学等课程构成的学科基础平台课程,已被安全科学与工程领域学者认可并达成共识。本套系列教材编写、出版的基本思路是,在学科基础平台上,构建支撑安全工程专业的工程学原理与由关键性的主体技术组成的专业技术平台课程体系,编写、出版系列教材来支撑这个体系。

本系列教材体系设计的原则是,重基本理论,重学科发展,理论联系实际,结合学生现状,体现人才培养要求。为保证教材的编写质量,本着“主编负责,主审把关”的原则,编审委组织专家分别对各门课程教材的编写大纲进行认真仔细的评审。教材初稿完成后又组织同行专家对书稿进行研讨,编者数易其稿,经反复推敲定稿后才最终进入出版流程。

作为一套全新的安全工程专业系列教材,其“新”主要体现在以下几点:

体系新。本套系列教材从“大安全”的专业要求出发,从整体上考虑,构建支撑安全工程学科专业技术平台的课程体系和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时,统一协调与整合,形成一个完整的、各门课程之间有机联系的系列教材体系。

内容新。本套系列教材的突出特点是内容体系上的创新。它既注重知识的系统性、完整性,又特别注意各门学科基础平台课之间的关联,更注意后续的各门专业技术课与先修的学科基础平台课的衔接,充分考虑了安全工程学科知识体系的连贯性和各门课程教材间知识点的衔接、交叉和融合问题,努力消除相互关联课程中内容重复的现象,突出安全工程学科的工程学原理与关键性的主体技术,有利于学生的知识和技能的发展,有利于教学改革。

知识新。本套系列教材的主编大多由长期从事安全工程专业本科教学的教授担任,他们一直处于教学和科研的第一线,学术造诣深厚,教学经验丰富。在编写教材时,他们十分重视理论联系实际,注重引入新理论、新知识、新技术、新方法、新材料、新装备、新法规等理论研究、工程技术实践成果和各校教学改革的阶段性成果,充实与更新了知识点,增加了部分学科前沿方面的内容,充分体现了教材的先进性和前瞻性,以适应时代对安全工程高级专业技术人才的培育要求。本套教材中凡涉及安全生产的法律法规、技术标准、行业规范,全部采用最新颁布的版本。

安全是人类最重要和最基本的需求,是人民生命与健康的基本保障。一切生活、生产活动都源于生命的存在。如果人们失去了生命,一切都无从谈起。全世界平均每天发生约68.5万起事故,造成约2200人死亡的事实,使我们确认,安全不是别的什么,安全就是生命。安全生产是社会文明和进步的重要标志,是经济社会发展的综合反映,是落实以人为本的科学发展观的重要实践,是构建和谐社会的有力保障,是全面建设小康社会、统筹经济社会全面发展的重要内容,是实施可持续发展战略的组成部分,是各级政府履行市场监管和社会管理职能的基本任务,是企业生存、发展的基本要求。国内外实践证明,安全生产具有全局性、社会性、长期性、复杂性、科学性和规律性的特点,随着社会的不断进步,工业化进程的加快,安全生产工作的内涵发生了重大变化,它突破了时间和空间的限制,存在于人们日常生活和生产活动的全过程中,成为一个复杂多变的社会问题在安全领域的集中反映。安全问题不仅对生命个体非常重要,而且对社会稳定和经济发展产生重要影响。党的十六届五中全会首次提出“安全发展”的重要战略理念。

安全发展是科学发展观理论体系的重要组成部分,安全发展与构建和谐社会有着密切的内在联系,以人为本,首先就是要以人的生命为本。“安全·生命·稳定·发展”是一个良性循环。安全科技工作者在促进、保证这一良性循环中起着重要作用。安全科技人才匮乏是我国安全生产形势严峻的重要原因之一。加快培养安全科技人才也是解开安全难题的钥匙之一。

高等院校安全工程专业是培养现代安全科学技术人才的基地。我深信,本套系列教材的出版,将对我国安全工程本科教育的发展和高级安全工程专业人才的培养起到十分积极的推进作用,同时,也为安全生产领域众多实际工作者提高专业理论水平提供了学习资料。当然,由于这是第一套基于专业技术平台课程体系的教材,尽管我们的编审者、出版者夙兴夜寐,尽心竭力,但由于安全学科具有在理论上的综合性与应用上的广泛性相交叉的特性,开办安全工程专业的高等院校所依托的行业类型又涉及军工、航空、化工、石油、矿业、土木、交通、能源、环境、经济等诸多领域,安全科学与工程的应用也涉及人类生产、生活和生存的各个方面,因此,本套系列教材依然会存在这样和那样的缺点、不足,难免挂一漏万,诚恳地希望得到有关专家、学者的关心与支持,希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议。谨祝本系列教材在编者、出版者、授课教师和学生的共同努力下,通过教学实践,获得进一步的完善和提高。

“鸢其鸣矣,求其友声”,高等院校安全工程专业正面临着前所未有的发展机遇,在此我们祝愿各个高校的安全工程专业越办越好,办出特色,为我国安全生产战线输送更多的优秀人才。让我们共同努力,为我国安全工程教育事业的发展作出贡献。

中国科学技术协会书记处书记[⊙]

中国职业安全健康协会副理事长

中国灾害防御协会副会长

亚洲安全工程学会主席

高等学校安全工程学科教学指导委员会副主任

安全工程专业教材编审委员会主任

北京理工大学教授、博士生导师

马长根

2006年5月

[⊙] 现任中国科学技术协会副主席。

前 言

矿井的基建或生产都离不开矿井通风。矿井通风就是依靠机械或自然风压将定量的新鲜空气沿着既定的通风路线连续不断地输送到井下，其作用是：满足回采工作面、掘进工作面、机电硐室、炸药库以及其他用风地点的需要；稀释并排出有毒、有害气体和粉尘等，以保证矿工的安全与健康；调节矿内小气候，以创造良好的工作环境并提高劳动生产率。

煤矿和非煤矿井通风系统的区别在于：一是非煤矿井的通风系统大部分是按垂直方向分阶段通风，而煤矿井一般是按采区通风；二是标志性有害气体有所不同，其主要影响矿井的需风量。但就通风原理和技术而言，两者是相同的。为此，本书在按照煤矿井通风课程要求编写的基础上，特别设置了“7.3 阶段通风网络布局及采场通风（非煤矿井）”和“7.4 采区通风（煤矿井）”两节，以分别讲解非煤矿井的分阶段通风和煤矿井的采区通风；在采煤（矿）工作面和掘进工作面风量计算中，其计算依据包含了煤矿和非煤矿井影响风量的所有因素，以满足煤矿和非煤矿井的风量计算要求。这样一来，本书内容对于煤矿和非煤矿井都是适用的。

本书适用于安全工程、采矿工程、消防工程等本科专业的教学。建议授课学时为48学时，课程结束后安排16~24学时独立的矿井通风与矿井空气检测实验课和2~3周的矿井通风课程设计，以切实掌握本课程的专业实践知识。本课程的先修课程有“流体力学”和“地下采矿学”等。

本书共10章，分别为矿井空气、矿井空气流动的基本理论、矿井通风阻力、矿井通风动力、矿井通风网络中风量的自然分配、矿井风量按需调节、矿井通风系统、掘进通风、矿井通风设计以及矿井空气调节。为方便读者学习和使用，书中公式符号每章自成一个体系，即公式中的每一个符号在同一章中其物理意义和单位量纲是不变的。

本书由内蒙古科技大学王文才教授担任主编。具体的编写分工为：第4~6章由王文才编写；第1章和第7章由内蒙古科技大学的刘树新编写；第8章和第9章由华北科技学院的漆旺生编写，其中8.5.2节、8.5.3节、9.5节和9.7节内容由内蒙古科技大学王文才编写；第2章和第3章由内蒙古科技大学的杨夺编写；第10章由内蒙古科技大学的刘业娇编写。本书的编写框架和目录拟定、编写体例设计以及全书内容统稿由王文才完成。

本书是由安全工程系列规划教材编审委员会组织编写的，在本书的编写过

VIII 矿井通风学

程中，编审委员会积极组织专家对本书的编写大纲和书稿进行数次审纲和审稿工作，在此，对编审委和有关专家的工作表示诚挚的谢意。

在本书编写过程中参考了许多同行的教材、专著和论文，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间比较仓促以及编者的水平所限，缺点和错误在所难免，敬请大家批评指正。

编 者

目 录

序	
前言	
第1章 矿井空气	1
1.1 矿井空气成分	1
1.2 矿井空气状态及其物理性质	7
1.3 矿井空气物理性质	19
本章习题	21
第2章 矿井空气流动的基本理论	24
2.1 矿井风流流动特征	24
2.2 矿井风速测定	28
2.3 矿井风流运动的连续性方程与能量方程	36
2.4 矿井能量方程的应用	46
本章习题	50
第3章 矿井通风阻力	55
3.1 摩擦阻力	55
3.2 局部阻力	59
3.3 降低矿井通风阻力的措施	64
3.4 井巷通风阻力定律及矿井通风特性	65
3.5 矿井通风阻力测定	69
本章习题	76
第4章 矿井通风动力	79
4.1 自然风压	79
4.2 矿用通风机及其附属装置	85
4.3 通风机的工作特性	96
4.4 通风机的经济运行及优化调节	108
4.5 通风机联合作业	115
4.6 矿井主通风机的性能测定	121
本章习题	126
第5章 矿井通风网络中风量的自然分配	135
5.1 矿井通风网络中风流流动的基本定律	135
5.2 矿井简单通风网络	138
5.3 矿井复杂通风网络	141
本章习题	149
第6章 矿井风量按需调节	153
6.1 矿井并联通风网络局部风量的调节	153
6.2 矿井复杂通风网络局部风量的调节	163
6.3 矿井总风量的调节	166
6.4 基于均衡通风原理的矿井通风网络优化调节	168
本章习题	171
第7章 矿井通风系统	175
7.1 矿井通风系统的类型	175
7.2 主通风机工作方式与安装地点	180
7.3 阶段通风网络布局及采场通风(非煤矿井)	182
7.4 采区通风(煤矿井)	186
7.5 矿井通风构筑物	196
7.6 矿井漏风及其控制	200
本章习题	204
第8章 掘进通风	206
8.1 掘进通风方法	206
8.2 掘进工作面需风量计算	215
8.3 局部通风装备	219
8.4 局部通风设计	228
8.5 长巷道、天井及竖井掘进时的局部通风	231
8.6 掘进通风安全技术装备系列化	236
本章习题	239
第9章 矿井通风设计	242

X 矿井通风学

9.1 拟定矿井通风系统	243	10.6 矿井空调系统	291
9.2 矿井总风量的计算与分配 ...	245	本章习题	297
9.3 矿井通风阻力的计算	251	附录	300
9.4 选择矿井通风设备	253	附录1 井巷摩擦阻力系数 α 值 (空	
9.5 通风井巷经济断面的计算 ...	256	气密度 $\rho = 1.2\text{kg/m}^3$) ...	300
9.6 矿井通风费用的计算	258	附录2 井巷局部阻力系数	
9.7 改扩建矿井通风设计	259	ξ 值	305
本章习题	263	附录3 标准大气压下不同温度时空气	
第10章 矿井空气调节	265	的饱和绝对湿度与饱和水蒸气	
10.1 矿井气候条件	265	分压	306
10.2 井口空气加热	270	附录4 由风扇湿度计读数查相对	
10.3 矿井主要热源及其散		湿度	307
热量	275	附录5 典型系列矿用通风机特性	
10.4 矿井风流热湿计算	282	曲线	308
10.5 矿井降温的一般技术		参考文献	313
措施	287		

第 1 章 矿井空气

矿井生产过程中,必须持续不断地将地面新鲜空气输送到井下各个作业地点,一是供给人员呼吸之用,二是稀释和排除井下各种有害气体和矿尘,三是创造一个良好的矿井气候条件,以确保井下作业人员的身体健康、劳动安全和高效作业。

1.1 矿井空气成分

1.1.1 地面空气及其进入井下后的变化

地面空气又称为大气,是由多种气体组成的混合气体。大气中除了水蒸气的比例随地区和季节变化较大以外,其余化学组成成分相对稳定,尽管随时间、地点和海拔高度有所变化,但变化不大。一般将不含水蒸气的空气称为干空气,它的组成成分和体积分数分别为氧气 20.96%、氮气 79% 和二氧化碳 0.04%。地面空气从井筒进入井下就成了矿井空气。由于受井下各种自然因素和生产因素的影响,与地面空气相比,矿井空气将发生一系列变化。其变化主要有:

1. 混入了有害气体和矿尘

具体为:

- 1) 煤层、岩层中涌出的有害气体,如甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)、硫化氢(H_2S)等。
- 2) 井下物质氧化、燃烧、爆炸等产生的有害气体,如二氧化碳(CO_2)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO_2)等。
- 3) 爆破产生的炮烟及各作业工序产生的微细矿尘。
- 4) 井下人员呼吸以及燃油设备产生的废气等。

2. 氧气浓度降低

主要原因是:

- 1) 有害气体的大量涌出会冲淡氧气的浓度。
- 2) 井下物质氧化、人员呼吸等消耗氧气。
- 3) 井下火灾、爆炸等灾害会消耗大量氧气。
3. 矿井空气的温度、湿度等状态参数发生了变化

由于井巷围岩的散热与氧化、井下人员和机电设备的散热以及水分蒸发等原因,会使得井下空气温度升高、湿度增大,空气的其他状态参数也会发生相应的变化。

地面空气进入矿井以后发生了一系列的变化，习惯上将流动在矿井井巷及井下工作地点的空气称为矿井空气。相对于地面空气，在成分和性质上变化不大的矿井空气称为新鲜空气，简称新风，如进风井巷中的空气。把流经采掘工作面及硐室等工作地点或受到井下矿尘和有害气体污染的、在成分和性质上变化较大的矿井空气称为污浊空气，简称污风或乏风，如回风井巷中的空气。通常以用风地点为界，将用风地点以前的风流称为新鲜空气，或进风流；将用风地点以后的风流称为污浊空气，或回风流。

1.1.2 矿井空气的主要成分及其基本性质

尽管矿井中的空气成分有了一定的变化，但主要成分仍同地面一样，由氧气、氮气、二氧化碳和其他微量气体组成。

1. 氧气 (O₂)

氧气是一种无色、无味、无臭的气体，对空气的相对密度为 1.105（标准状态下空气的密度为 1.293kg/m³）。氧气是很活跃的的化学元素，易使多种元素氧化，能助燃。

氧气是维持人体正常生理机能所不可缺少的气体。人类之所以能够在地球上生存，是因为人体不断汲取食物和吸入氧气，通过氧化作用，进行细胞的新陈代谢作用而维持的。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。一般情况下，人在休息时的需氧量为 0.2~0.4L/min，在工作时为 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。表 1-1 所示为人体缺氧症状与空气中氧气浓度的关系。当氧气浓度降低时，人体就会产生不良反应，严重者会因缺氧窒息甚至死亡。

表 1-1 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

矿井中由于有害气体的涌出、物质氧化、人员呼吸等消耗氧气，会导致井下空气中氧气浓度降低。在通风不良或停风的巷道，氧气的浓度可能降低到 5% 以下，贸然进入会导致窒息死亡，我国煤矿每年都发生多起因缺氧造成的窒息死亡事故。另外，对于井下瓦斯积聚区域或采空区，不可盲目送入空气；否则，会使之达到瓦斯爆炸的条件或引发煤炭自燃。

2. 氮气 (N₂)

氮气是一种无色、无味、无毒的气体，对空气的相对密度为 0.97，微溶于水，不助燃；化学性质稳定，一般不与其他物质发生反应，在矿井生产中常被当做惰性气体用来灭火或惰化采空区。正常情况下，空气中的氮气对人体无害，但是在井下有限的空间里，当空气中氮气浓度过高时，将相对降低氧气浓度而使人缺氧窒息。由于氮气无毒，实际生产中可以通过检测氧气的浓度来预防氮气的危害。

导致矿井空气中氮气浓度增大的原因主要有：①从煤层或围岩中涌出氮气。许多低瓦斯矿井的煤岩层气体中，氮气往往占有较大的比例。②在矿井防灭火中人为注入氮气，惰化采

空区时注入的氮气泄漏。③铵类炸药爆破以及含氮有机物的腐烂等产生一定量的氮气。

3. 二氧化碳 (CO₂)

二氧化碳是无色、略带酸臭味的气体，对空气的相对密度为 1.52，是一种较重的气体，略有毒性，很难与空气均匀混合，不助燃，易溶于水。

新鲜空气中含有的微量二氧化碳对人是无害的。但二氧化碳对人体的呼吸有刺激作用，所以在为中毒或窒息的人员输氧时，常常要在氧气中加入体积分数为 5% 的二氧化碳，以促使患者加强呼吸。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。表 1-2 所示为空气中二氧化碳浓度对人体的影响。

表 1-2 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，常常积聚在煤矿井下的巷道底板、水仓、溜煤眼、下山尽头、盲巷、采空区及通风不良处。矿井中二氧化碳的主要来源有：煤和有机物的氧化；人员呼吸；井下爆破；井下火灾；瓦斯、煤尘爆炸等。有时也能从煤岩中大量涌出，甚至与煤或岩石一起突然喷出，给安全生产造成重大影响。

1.1.3 矿井空气中的有害成分及其基本性质

1. 一氧化碳 (CO)

一氧化碳是无色、无味、无臭的气体，对空气的相对密度为 0.97，能与空气均匀混合，微溶于水，能燃烧，当体积分数达到 13% ~ 75% 时遇火源有爆炸性。

CO 可令人体中毒，中毒的时间和产生的症状因 CO 的浓度不同而不同（见表 1-3），这是因为人体血液中的血红蛋白专门在肺部吸收空气中的氧气以维持人体的需要，而血红蛋白与 CO 的亲合力超过它与氧的亲合力的 250 ~ 300 倍，血红蛋白与 CO 亲和就形成 CO 血红素，妨碍人体内的供氧能力，使人体各部分组织和细胞产生缺氧现象，引起一系列血液中毒现象，严重时造成窒息死亡。

表 1-3 一氧化碳中毒程度与其浓度的关系

一氧化碳浓度 (体积分数,%)	主 要 症 状
0.016	数小时后有头痛、心跳、耳鸣等轻微中毒症状
0.048	1h 可引起轻微中毒症状
0.128	0.5 ~ 1h 引起意识迟钝、丧失行动能力等严重中毒症状
0.40	短时间失去知觉、抽搐、假死，30min 内即可死亡

4 矿井通风学

一氧化碳中毒的一个显著特征是中毒者黏膜和皮肤呈樱桃红色，两颊有红色斑点。井下发生瓦斯、煤尘爆炸后的空气中，一氧化碳的浓度可以达到1%~3%（体积分数）。

矿井中一氧化碳的主要来源有煤炭的氧化和自燃、爆破作业、矿井火灾、瓦斯及煤尘爆炸以及井下燃油设备废气等。据统计，在煤矿发生的瓦斯爆炸、煤尘爆炸及火灾事故中，70%~75%的死亡人员都是因一氧化碳中毒所致。

2. 甲烷（CH₄）

甲烷又称沼气，它是没有颜色、没有气味的气体，比空气轻，对空气的相对密度为0.55，扩散性较空气高1.6倍，极难溶于水。甲烷对人基本无毒，但浓度过高时，会使空气中氧含量明显降低，使人窒息。甲烷的化学性质不活泼，通常情况下不与其他物质发生反应，但当其在空气中达到一定浓度（体积分数为5%~16%）并遇到高温（650~750℃）时能引起爆炸。

在煤矿生产中，通常把以甲烷为主的这些有毒有害气体总称为瓦斯。

甲烷主要由煤层中涌出，是煤层的伴生气体，是对煤矿安全危害最为严重的有害气体。

3. 二氧化氮（NO₂）

炸药爆破时会产生一系列氮氧化物（NO_x）。NO_x中的NO极不稳定，与空气中的氧结合生成NO₂。NO₂主要来源于矿井炸药爆破和柴油机工作时的废气。

二氧化氮是一种红褐色气体，有强烈的刺激性气味，对空气的相对密度为1.59，易溶于水。

二氧化氮是井下毒性最强的有害气体。它遇水后生成硝酸，对眼睛、呼吸道黏膜和肺部组织有强烈的刺激及腐蚀作用，严重时可引起肺水肿。

二氧化氮的中毒有潜伏期，容易被人忽视，二氧化氮的中毒程度与其浓度的关系见表1-4。中毒初期仅是眼睛和喉咙有轻微的刺激症状，常不被注意，有的在严重中毒时尚无明显感觉，还可坚持工作，但经过6h甚至更长时间后才出现中毒征兆。主要特征是手指尖及皮肤出现黄色斑点，头发发黄，吐黄色痰液，发生肺水肿，引起呕吐甚至死亡。

表 1-4 二氧化氮的中毒程度与其浓度的关系

二氧化氮浓度（体积分数，%）	主 要 症 状
0.004	2~4h 内不致显著中毒，6h 后出现中毒症状，咳嗽
0.006	短时间内喉咙感到刺激、咳嗽，胸痛
0.01	强烈刺激呼吸器官，严重咳嗽，呕吐、腹泻，神经麻木
0.025	短时间即可致死

4. 二氧化硫（SO₂）

二氧化硫是无色、有强烈硫黄气味及酸味的气体，当空气中二氧化硫浓度达到0.0005%（体积分数）时即可嗅到刺激气味。它易溶于水，对空气的相对密度为2.32，是井下有害气体中密度最大的，常常积聚在井下巷道的底部。

二氧化硫有剧毒，其中毒程度与其浓度关系见表1-5。空气中的二氧化硫遇水后生成硫酸，对眼睛有刺激作用，矿工们将其称之为“瞎眼气体”。此外，也能对呼吸道的黏膜产生强烈的刺激作用，引起喉炎和肺水肿。

表 1-5 二氧化硫的中毒程度与其浓度的关系

二氧化硫浓度 (体积分数, %)	主 要 症 状
0.0005	嗅到刺激性气味
0.002	头痛、眼睛红肿、流泪、喉痛
0.05	引起急性支气管炎和肺水肿, 短时间内有生命危险

矿井中的二氧化硫主要来源于含硫矿物的氧化与燃烧、在含硫矿物中爆破以及从含硫煤体中涌出。

5. 硫化氢 (H_2S)

硫化氢是无色、微甜、略带臭鸡蛋味的气体, 对空气的相对密度为 1.19, 易溶于水, 当浓度达 4.3% ~ 46% (体积分数) 时具有爆炸性。

硫化氢有剧毒, 其中毒程度与其浓度的关系见表 1-6。它不但能使人体血液缺氧中毒, 同时对眼睛及呼吸道的黏膜具有强烈的刺激作用, 能引起鼻炎、气管炎和肺水肿。当空气中浓度达到 0.0001% (体积分数) 时可嗅到臭味, 但当浓度较高时 (体积分数为 0.05% ~ 0.01%), 因嗅觉神经中毒麻痹, 臭味“减弱”或“消失”, 反而嗅不到。

表 1-6 硫化氢的中毒程度与浓度的关系

硫化氢浓度 (体积分数, %)	主 要 症 状
0.0001	有强烈臭鸡蛋味
0.01	流唾液和清鼻涕、瞳孔放大、呼吸困难
0.05	0.5 ~ 1h 严重中毒, 失去知觉、抽搐、瞳孔变大, 甚至死亡
0.1	短时间内死亡

矿井中硫化氢的主要来源有: 坑木等有机物腐烂; 含硫矿物的水化; 从老空区和旧巷积水中放出; 有些矿区的煤、岩层中也有硫化氢涌出。

6. 氨气 (NH_3)

氨气是一种无色、有浓烈臭味的气体, 对空气的相对密度为 0.6, 易溶于水。当空气中的氨气浓度达到 30% (体积分数) 时遇火有爆炸性。

氨气有剧毒。它对皮肤和呼吸道黏膜有刺激作用, 可引起喉头水肿, 严重时会使失去知觉, 以致死亡。

氨气的主要来源是铵类炸药爆破、有机物腐烂、含氨的凝胶材料释放等。

7. 氢气 (H_2)

氢气是无色、无味、无毒的气体, 对空气的相对密度为 0.07, 难溶于水, 是井下最轻的有害气体。空气中氢气浓度达到 4% ~ 74% (体积分数) 时具有爆炸危险。

井下氢气的主要来源是蓄电池充电, 有的中等变质的煤层中也有氢气涌出。此外, 矿井发生火灾和爆炸事故时也会产生氢气。

8. 氡气

氡气是一种无色、无味的气体, 对空气的相对密度为 7.7, 是自然界唯一的天然放射性气体, 半衰期为 3.8 天, 能溶于水和有机溶剂, 在油脂中的溶解度是水中的 125 倍。氡是惰性气体, 一般不参与化学反应。

氡及其子体（氡在衰变过程中所产生的中间产物）是放射性元素，在蜕变过程中会产生一定量的 α 、 β 、 γ 射线，对人体有辐射危害。井下天然放射性元素对人体的危害，主要是氡及其子体衰变时所产生的 α 射线。吸入这些含氡空气，氡及其子体易沉积在呼吸道上，对呼吸道及肺组织造成辐射危害。

矿井空气中氡气的主要来源是井巷围岩（特别是含铀矿物岩层）及由地下水析出。

9. 矿尘

在采掘生产过程中所产生的煤（或矿）和岩石的细微颗粒，统称为矿尘。矿尘特别是呼吸性粉尘能引起矿工尘肺病，煤尘能引起爆炸。

1.1.4 矿井空气主要成分及有害成分的安全标准

1. 矿井空气主要成分安全标准

矿井空气的主要成分中，由于氧气和二氧化碳对人员身体健康和安全生产影响很大，所以《煤矿安全规程》（以下简称《规程》）对其浓度标准作了明确规定。主要如下：

采掘工作面的进风流中，氧气浓度不得低于20%（体积分数）；按井下同时工作的最多人数计算，每人每分钟供给风量不得少于 4m^3 。

在采掘工作面的进风流中，二氧化碳浓度不得超过0.5%（体积分数）；采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中二氧化碳浓度不得超过1.5%（体积分数），矿井总回风巷或一翼回风巷中二氧化碳浓度不得超过0.75%（体积分数）。

2. 矿井空气中有害气体安全标准

为了防止矿井空气中有害气体对人体和安全生产造成危害，《规程》中对其安全浓度（允许浓度）标准作了明确规定，见表1-7。

表 1-7 矿井空气中有害气体最高允许浓度

有害气体名称	符号	最高允许浓度（体积分数，%）
甲烷	CH ₄	采掘工作面的进风流中为0.5 采区回风巷、采掘工作面回风巷风流中为1.0 矿井总回风巷或一翼回风巷中为0.75
一氧化碳	CO	0.0024
氧化氮（换算成二氧化氮）	NO ₂	0.00025
二氧化硫	SO ₂	0.0005
硫化氢	H ₂ S	0.00066
氨	NH ₃	0.004
氢气	H ₂	0.5

3. 矿井空气中矿尘安全标准

《规程》对作业场所空气中粉尘（总粉尘、呼吸性粉尘）浓度的规定见表1-8。

4. 矿井空气中氡的安全标准

GB 18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》规定，工作场所中氡持续照射情况下活度浓度的限值为 $500\text{Bq}/\text{m}^3$ （Bq——贝可勒尔，简称贝可，是放射性活度的国际计量单价，1Bq等于每秒发生一次衰变）。