

高等教育“十二五”规划教材

通风安全学

第二版

Tongfeng Anquanxue

主 编 张国枢

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

通风安全学

(第二版)

主 编 张国枢

参加第二版修订人员名单(以姓氏笔画为序)

田水承 刘泽功 李湖生

杨运良 陈开岩 谭允祯

戴广龙

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是高等教育“十二五”规划教材,是对“九五”规划教材《通风安全学》的修订版。全书分三编,共十七章。第一编矿井通风,介绍了矿井通风的基础理论、通风动力、通风网络与风量调节、通风系统与通风设计和空气调节等;第二编矿井安全,介绍了瓦斯、火灾、矿尘、水害四大矿山灾害的防治理论与技术,以及矿山应急救援;第三编通风安全检测与现代化管理,介绍了通风安全检测仪表与技术、通风安全管理及安全生产方针与法规。

本书可供煤炭高等院校采矿工程及相关专业作教材使用,也可供从事煤炭工业科研、设计、管理及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

通风安全学/张国枢主编. —2版. —徐州:中国矿业大学出版社,2011.7

ISBN 978 - 7 - 81070 - 114 - 3

I. ①通… II. ①张… III. ①矿山通风—安全技术—高等学校—教材 IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 087359 号



书 名 通风安全学
主 编 张国枢
责任编辑 马跃龙
责任校对 孙 景 于世连
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 29.5 字数 733 千字
版次印次 2011年7月第2版 2011年7月第1次印刷
定 价 39.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《通风安全学》(第二版)

修订人员名单

主 编：张国枢

参加修订人员名单(以姓氏笔画为序)

田水承 刘泽功 李湖生

杨运良 陈开岩 谭允楨

戴广龙

《通风安全学》(第一版)

编撰审人员名单

主 编：张国枢

副 主 编：谭允祯 陈开岩 刘泽功 杨运良

编著人员：张国枢 谭允祯 陈开岩 刘泽功

杨运良 王海桥 田水承 陈 平

邵 辉 吴 强 李湖生 赵耀江

戴广龙

审 稿：王省身

前 言

(第二版)

《通风安全学》自2000年出版以来,其再版次数之多、发行量之大的事实表明,不仅在我国的煤炭高等教育、教学过程中发挥了教科书的重要作用,而且成为矿山广大工程技术人员和管理工作者最重要的学习资源之一,影响范围深广,得到广大读者的厚爱。值得庆幸的是,该书于2010年荣获“全国煤炭高等教育优秀教材奖”一等奖;并被煤炭高等教育教材建设委员会遴选进入“十二五”规划。

近年来,矿山通风安全的理论和技术得到了长足发展。《通风安全学》中的部分内容已经落后或过时,不能满足教学需求,为此对原教材进行了修订。

本次修订的指导思想是:能反映矿山通风安全学科的新技术、新设备和仪器发展变化,介绍最为典型的示范技术,贯穿理论与实践相结合的精神,进行系统的理论和知识阐述;用新法规和标准替代过时的法规和标准,体现近年来安全法规的发展;同时删除部分相对落后的技术、设备等内容,修订原书中各类文字错误;基本保持原有理论和知识体系,以及理论性强、技术典型和理论与实践相结合的特点。

主要修订(增删)内容有:

第二章对例2-4-3的图和表进行修改。

第四章增加对旋轴流式风机的内容、新型风机型号和特性曲线;对轴流式风机工作原理一节进行修订;第五节的节名由“通风机工况点及其经济运行”改为“通风机工况点及安全经济运行”,对其内容做了相应改动。

第五章的章名改为“矿井通风网络与通风系统分析”,除对部分内容和文字做了修订之外,增加了第一节矿井通风网络图和通风系统图,针对目前出现的大型和特大型矿井生产模式,以及计算机和信息技术在通风中的技术发展,在第五章中增加了“通风系统数字化和复杂通风系统分析”等内容。

第六章局部通风,对第一节局部通风方法进行修订,对第三节局部通风设备中局部通风机内容做了更新,并将第三节中的“风筒阻力计算”和“风筒漏风”内容移至第四节中,分别改为“风筒风阻计算”和“风筒漏风参数计算”。

第七章增加了一节通风能力核定。

第九章矿井瓦斯做了重大修改,其原因是近年来我国治理瓦斯技术有了较大进展,新颁布的规范和规定较多,其内容基本上进行了重新组织,在“瓦斯涌出影响因素”一节中增加了“(三)瓦斯抽采方法及其抽采量”内容,体现了先进的瓦斯治理理念对涌出的影响,突出了人的主观能动作用。

第十章火灾防治中,更新了知识,对防灭火新技术做了补充。第四节的节名改为“火灾预测与预警”,增加“采空区自燃参数观测”;将第六节“灌浆与阻化剂防火”改为“防灭火材

料与应用”，增加“三相泡沫及其应用、胶体防灭火材料及应用和其他防灭火材料”；在第十节“惰气防灭火”中增加“混合注氮和置换注氮”新内容。

第十三章的章名由“矿山救护”改为“矿山应急救援”，增加第一节矿山应急救援体系、第二节矿山应急救援预案，对第三节矿山救护队一节中改写为“现场工作流程”，救护仪器一节中增加了“正压氧呼吸器”和新的生命探测仪。

第十四章通风安全检测仪器仪表一章中做了知识和产品更新、补充水银气压计，对第六节的结构做了较大调整，对矿井安全监测系统内容做了较大修改，增强了技术性和知识性。

第十五章通风安全技术测定一章中，增加了“第九节煤层瓦斯含量测定方法”；在用“解析法”计算瓦斯损失量的方法上，对《地勘时期煤层瓦斯含量测定方法》规范中的方法进行改进，提高了精确性，体现了科学性。

第十六章矿井通风安全管理中，增加安全理念和矿井安全隐患管理等内容，并对原书中过时的内容进行了修订和补充。

第十七章安全生产方针与法规中，用新法规、规范更新了过时的法规和规范；对《煤矿安全规程》部分进行改写。

我衷心希望本书的修订出版能促进矿井通风安全学科的繁荣，为改变我国煤矿安全状况做出贡献。

本次除部分原书作者参加修订外，使用过本教材的老师提出了宝贵的修改意见和建议，中国矿业大学出版社的领导和编辑同志对本教材的修订再版也给予大力支持，在此特表示衷心的感谢。这次虽然做了较多内容修订，但由于时间和精力上的局限，以及其他种种原因，书中可能仍有不能令人满意之处，希望广大读者提出意见、建议。

作 者

2009年7月

前 言

(第一版)

本书是全国煤炭高等学校采矿工程专业《通风安全学》课程的“九五”规划教材,与《煤矿开采学》或《采矿学》配套使用。本书编写的指导思想是:教材内容面向 21 世纪,充分反映近年来国内外矿山通风安全的最新技术发展和较为成熟的科研成果;力求体现煤与非煤结合,既适应本科采矿专业教学需要,又适应现场管理需要,为提高我国采矿工程技术和管理人员的通风与安全技术和知识水平做出应有的贡献。

整个教材内容力求少而精,深入浅出。以传授基础理论和基本知识为主,并适当阐述典型的应用技术,以求理论与实践相结合。

全国通风安全界知名专家、中国矿业大学王省身教授对书稿进行了审校,提出了许多宝贵的意见和建议,并对其内容和文字进行了细致的修改,这对提高书稿质量起到了重要保证作用,在此谨表衷心谢意。

参加本书编写的院校有:淮南工业学院、山东科技大学、中国矿业大学、焦作工学院、西安科技学院、黑龙江矿业学院、湘潭工学院和太原理工大学。本书在编写过程中得到原煤炭部教材规划室吕聪主任、淮南工业学院及其他编者所在学校、教研室领导和同志们的大力支持,在此特表示感谢。

建国 50 多年来,尤其是改革开放 20 多年来,我国的矿山通风安全理论和技术得到迅速发展,通风与安全教材亦有过较多版本,各有特色。本次编写过程中吸收了以前诸教材的优点,参阅了国内外近年来发表的科技文献。为此特向文献作者们表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,错误和不妥之处,恳请读者不吝指正。

作 者

1999 年 6 月

目 录

第一编 矿井通风

第一章 矿井空气.....	2
第一节 矿井空气成分.....	2
第二节 矿井空气中有害气体.....	4
第三节 矿井气候.....	7
第二章 矿井空气流动基本理论	13
第一节 空气主要物理参数	13
第二节 风流能量与压力	17
第三节 通风能量方程	23
第四节 能量方程在矿井通风中的应用	30
第三章 井巷通风阻力	38
第一节 井巷断面上的风速分布	38
第二节 摩擦风阻与阻力	40
第三节 局部风阻与阻力	44
第四节 矿井总风阻与矿井等积孔	49
第五节 降低矿井通风阻力的措施	51
第四章 矿井通风动力	54
第一节 自然风压	54
第二节 矿用通风机的类型及构造	57
第三节 通风机附属装置	60
第四节 通风机的实际特性曲线	63
第五节 通风机工况点及其经济运行	70
第六节 通风机的联合运转	74
第七节 矿井通风设备选型	78
第八节 噪声控制概述	84

第五章 矿井通风风量调节与系统分析	87
第一节 矿井通风系统图与网络图	87
第二节 通风网络中风流流动基本定律	92
第三节 简单网络特性	94
第四节 通风网络动态特性分析	98
第五节 矿井风量调节	100
第六节 应用计算机解算复杂通风网络	103
第七节 矿井通风系统分析	112
第六章 局部通风	117
第一节 局部通风方法	117
第二节 掘进工作面需风量计算	124
第三节 局部通风装备	126
第四节 局部通风系统设计	132
第五节 掘进安全技术装备系列化	135
第七章 矿井通风设计与能力核定	139
第一节 矿井通风系统	139
第二节 采区通风系统	142
第三节 通风构筑物及漏风	148
第四节 矿井通风设计	154
第五节 可控循环通风概述	164
第六节 矿井通风能力核定	165
第八章 矿井空气调节概论	168
第一节 井口空气加热	168
第二节 矿井主要热源及其散热量	172
第三节 矿井风流热湿计算	175
第四节 矿井降温的一般技术措施	181
第五节 矿井空调系统设计简介	183

第二编 矿井安全

第九章 矿井瓦斯	190
第一节 概述	190
第二节 煤层瓦斯赋存与含量	190
第三节 矿井瓦斯涌出与等级鉴定	195
第四节 瓦斯喷出	204
第五节 煤与瓦斯突出及其预防	206
第六节 瓦斯抽采	221

第七节 爆炸及其预防·····	235
第十章 火灾防治 ·····	245
第一节 概述·····	245
第二节 外因火灾及其预防·····	246
第三节 煤炭自燃理论基础·····	248
第四节 火灾预测与预警·····	253
第五节 开采技术防火措施·····	258
第六节 防灭火材料与应用·····	260
第七节 均压防灭火·····	268
第八节 惰气防灭火·····	274
第九节 火灾时期通风·····	277
第十节 矿井火灾处理与控制·····	281
第十一章 矿尘防治 ·····	290
第一节 矿尘及其性质·····	290
第二节 矿山尘肺病·····	293
第三节 煤尘爆炸及预防·····	295
第四节 矿山综合防尘·····	305
第十二章 矿山防水 ·····	314
第一节 地面防治水·····	314
第二节 井下防治水·····	315
第三节 矿井突水及其处理·····	326
第十三章 矿山应急救援 ·····	329
第一节 矿山应急救援体系·····	329
第二节 矿山应急救援预案·····	330
第三节 矿山救护队·····	331
第四节 矿工自救·····	337
第五节 现场急救·····	342
第三编 通风安全检测与现代化管理	
第十四章 通风与安全参数检测与监控 ·····	348
第一节 风速测量仪表·····	348
第二节 压力测量仪器·····	350
第三节 粉尘浓度检测仪器·····	354
第四节 温度、湿度检测仪表·····	357
第五节 气体检测仪器与仪表·····	359

第六节 煤矿安全监控系统	365
第十五章 通风安全技术测定	373
第一节 漏风测定	373
第二节 矿井通风阻力测定	375
第三节 自然风压测定	380
第四节 主要通风机性能测定	382
第五节 局部通风机性能和风筒参数测定	386
第六节 煤层瓦斯压力测定	392
第七节 煤层透气系数测定与计算	394
第八节 煤的坚固系数和瓦斯放散指数测定	396
第九节 煤层瓦斯含量测定	398
第十六章 矿井通风安全管理	404
第一节 通风安全管理概论	404
第二节 通风安全管理业务及其计算机管理	409
第三节 掘进通风管理	411
第四节 瓦斯管理	413
第五节 火区管理	416
第六节 安全技术措施计划及矿井灾害预防和计划	418
第七节 安全隐患管理	421
第十七章 矿山安全生产方针与法规	424
第一节 安全生产方针	424
第二节 矿山法律法规体系	425
第三节 矿山安全法规简介	426
附 录	
附录一 通风中常用单位换算	434
附录二 不同温度下饱和水蒸气分压(单位:hPa)	435
附录三 由风扇温度计读值查相对湿度	436
附录四 $i-d$ 曲线图($P=101\ 325\ \text{Pa}$)	437
附录五 井巷摩擦阻力系数 α 值(空气密度 $\rho=1.2\ \text{kg/m}^3$)	438
附录六 井巷局部阻力系数 ξ 值表	443
附录七 不同叶轮直径和级数(功率)风机性能参数表	444
参考文献	451

主要符号表

序号	符 号	意 义	序号	符 号	意 义
1	ρ	空气密度(可用下标区分不同状态和性质的气体密度)	34	p	各种比和比率,有效风量率
2	ρ_v, ρ_s	饱和水蒸气含量	35	ΔP	煤的瓦斯放散指数
3	φ	相对湿度	36	h	相对静压,阻力
4	δ	相似比例系数(可用下标表示不同物理量的比例系数)	37	h_t	相对全压
5	γ	重力相对密度,水的汽化潜热	38	h_{Rd}	通风机装置阻力
6	α	摩擦阻力系数,对流放热系数,导温系数	39	h_R	通风阻力
7	μ	绝对黏度	40	h_{vd}	通风机装置动压
8	ν	运动黏度	41	h_{vf}	通风机动压
9	τ	时间	42	h_l	局部阻力
10	λ	沿程阻力系数,导热系数	43	h_f	摩擦阻力
11	ξ	局部阻力系数,瓦斯的压缩系数	44	H_{sd}	通风机装置静压
12	Δ	纵口径	45	H_{td}	通风机装置全压
13	ω	角速度	46	H_s	通风机静压
14	ψ	壁面潮湿率	47	H_t	通风机全压
15	ϵ	粗糙因子	48	H_N	自然风压
16	θ	湿润边界角	49	\overline{H}	通风机压力系数
17	C_p	定压比热	50	\overline{H}_t	通风机全压系数
18	C	浓度(可用下标区分各种浓度)	51	\overline{H}_s	通风机静压系数
19	Δ	差值,增量	52	H_f	火风压
20	A	矿井等积孔,产量	53	H	深度
21	A^c	煤的灰分	54	Z	高程
22	M	质量,质量流量	55	S	面积
23	m	质量流量,煤层厚度	56	D	直径
24	I	比焓	57	d	比重,含湿量,管道直径
25	V^c	煤的挥发分	58	d_e	当量直径
26	V	体积,容积,速度	59	R_w	水力半径
27	v	空气的流速	60	R_f	摩擦风阻
28	ν	空气的比容	61	R_l	局部风阻,漏风风阻
29	g	重力加速度;加下标后表示各种参数增深率	62	R_m	矿井总风阻
30	G	重量,产尘量	63	R	风阻(下标表示不同类型)
31	G_0	巷道暴露面的瓦斯初始涌出强度	64	T	热力学温度
32	P	压力,绝对静压	65	t	温度
33	h_v	动压	66	Q	体积流量,风量,发热量,瓦斯涌出量 (可加下标表示不同性质的量)
			67	Q_m	矿井风量
			68	Q_i	主要通风机工作风量

续表

序号	符 号	意 义	序号	符 号	意 义
69	Q_d	采区总风量	90	\bar{N}	通风机功率系数
70	Q_l	外部漏风风量	91	E	机械能(下标表示区别类型)
71	Q_h	掘进面风量,小时注浆量	92	n	转速,状态指数
72	Q_w	采煤工作面风量,注水流量	93	q	回路风量,比注水量
73	Q_o	其他用风地点风量	94	W	煤的水分
74	Q_r	独立通风硐室风量	95	F_f	浮力
75	Q_a	局部通风机风量	96	f	岩石硬度系数,黏滞力
76	Q_g	瓦斯绝对涌出量	97	F	卡他度常数
77	U	周长	98	$F_{a \cdot w}$	尘—液界面的表面张力
78	q_g	相对瓦斯涌出量	99	X	煤层瓦斯含量
79	L_p	声压级	100	$F_{w \cdot a}$	液—气界面的表面张力
80	L	长度	101	X_o	煤的剩余瓦斯量
81	η_s	静压效率	102	X_f	煤的游离瓦斯含量
82	η	效率,漏风率	103	K_r	巷壁的不稳定传热系数
83	η_m	电机效率	104	K	各种系数和比率(加下标区分)
84	η_t	风机全压效率	105	Bi	比欧准数
85	η_v	容积效率	106	K_d, K_w	干、湿卡他度
86	η_{tr}	传动效率	107	Re	雷诺数
87	a, b	煤的瓦斯吸附常数	108	R_o	通用气体常数
88	η_h	水力效率	109	K_{ur}	基尔比契夫准数
89	N	功率,混合气体的爆炸界限	110	Fo	傅里叶数

第一編

矿井通风

第一章 矿井空气

矿井通风是保障矿井安全的最主要技术手段之一。在矿井生产过程中,必须源源不断地将地面空气输送到井下各个作业地点,以供给人员呼吸,并稀释和排除井下各种有毒、有害气体和矿尘,创造良好的矿内工作环境,保障井下作业人员的身体健康和劳动安全。这种利用机械或自然通风为动力,使地面空气进入井下,并在井巷中做定向和定量地流动,最后将污浊空气排出矿井的全过程就称为矿井通风。因此,矿井通风的首要任务就是要保证矿井空气的质量符合要求。

为此,本章将着重阐述矿井空气的主要成分,井下各种常见的有害气体,矿井空气的安全标准以及矿井气候条件等主要问题,为进一步学习矿井通风的基本理论奠定基础。

第一节 矿井空气成分

地面空气进入矿井以后即称为矿井空气。矿井空气由于受到井下各种自然因素和生产过程的影响,其与地面空气在成分和质量上有着程度不同的区别。

一、地面空气的组成

地面空气是由干空气和水蒸气组成的混合气体,通常称为湿空气。

干空气是指完全不含有水蒸气的空气,它是由氧、氮、二氧化碳、氩、氖和其他一些微量气体所组成的混合气体。干空气的组成成分比较稳定,其主要成分如表 1-1-1 所列。

表 1-1-1 地表大气组成成分

气体成分	按体积计/%	按质量计/%	备 注
氧气(O ₂)	20.96	23.23	惰性稀有气体氮、氖、氩、氪、氙等计入氮气中
氮气(N ₂)	79.00	76.71	
二氧化碳(CO ₂)	0.04	0.06	

湿空气中仅含有少量的水蒸气,但其含量的变化会引起湿空气的物理性质和状态发生变化。

二、矿井空气的主要成分及基本性质

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。

尽管矿井空气与地面空气相比,在性质上存在许多差异,但在新鲜空气中其主要成分仍然是氧、氮和二氧化碳。

(一) 氧气(O₂)

氧气是维持人体正常生理机能所需要的气体。人类在生命活动过程中,必须不断吸入氧气,呼出二氧化碳。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,人体需氧量与劳动强度的关系如表 1-1-2 所列。

表 1-1-2 人体需氧量与劳动强度的关系^[5]

劳动强度	呼吸空气量/L·min ⁻¹	氧气消耗量/L·min ⁻¹
休息	6~15	0.2~0.4
轻劳动	20~25	0.6~1.0
中度劳动	30~40	1.2~1.6
重劳动	40~60	1.8~2.4
极重劳动	40~80	2.5~3.0

当空气中的氧浓度降低时,人体就可能产生不良的生理反应,出现种种不舒适的症状,严重时可能导致缺氧死亡。人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系如表 1-1-3 所列。

表 1-1-3 人体缺氧症状与空气中氧浓度的关系^[5]

氧浓度(体积)/%	主要症状
17	静止时无影响,工作时能引起喘息和呼吸困难
15	呼吸及心跳急促,耳鸣目眩,感觉和判断能力降低,失去劳动能力
10~12	失去理智,时间稍长有生命危险
6~9	失去知觉,呼吸停止,如不及时抢救几分钟内可能导致死亡

造成矿井空气中氧浓度降低的主要原因有:人员呼吸;煤岩和其他有机物的缓慢氧化;煤炭自燃;瓦斯、煤尘爆炸。此外,煤岩和生产过程中产生的各种有害气体,也使空气中的氧浓度相对降低。所以,在井下通风不良的地点,空气中的氧浓度可能显著降低,如果不经检查而贸然进入,就可能引起人员的缺氧窒息。缺氧窒息是造成矿井人员伤亡的原因之一。

(二) 二氧化碳(CO₂)

二氧化碳不助燃,也不能供人呼吸,略带酸臭味。二氧化碳比空气重(与空气的相对密度为 1.52),在风速较小的巷道中,底板附近浓度较大;在风速较大的巷道中,一般能与空气均匀地混合。

在新鲜空气中含有微量的二氧化碳对人体是无害的。二氧化碳对人体的呼吸中枢神经有刺激作用,如果空气中完全不含有二氧化碳,则人体的正常呼吸功能就不能维持。所以在抢救遇险者进行人工输氧时,往往要在氧气中加入 5% 的二氧化碳,以刺激遇险者的呼吸机能。但当空气中二氧化碳的浓度过高时,也将使空气中的氧浓度相对降低,轻则使人呼吸加快,呼吸量增加,严重时也可能造成人员中毒或窒息。空气中二氧化碳对人体的危害程度与