

国家专业技术人才知识更新工程 (“653工程”)
煤炭行业煤矿机电领域培训教材 (第9册)

矿井通风、排水及压风设备

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王振平

KUANGJING TONGFENG PAISHUI JI YAFENG SHEBEI

国家“十一五”重大人才培养工程

国家人事部直接组织领导

中国煤炭工业协会全面负责实施

国家人事部统一颁发培训证书

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)
煤炭行业煤矿机电领域培训教材

矿井通风、排水及压风设备

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王振平

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是煤炭行业“653 工程”煤矿机电领域培训教材。全书分三编。第一编矿井通风设备,介绍了矿井通风的基础理论、矿井主要通风机及其附属装置、矿井主要通风机的运行特性、矿井主要通风机的电气控制、矿井主要通风机的设备选型与经济运行、矿井主要通风机性能鉴定和矿井局部通风机等;第二编矿井排水设备,介绍了矿井排水设备的分类与结构形式、离心式水泵的工作原理、运转特性和现场性能测试;第三编空气压缩机,介绍了活塞式空气压缩机结构形式及特点、活塞式空气压缩机的工作原理和空气压缩机的经济运行。

本书不仅可作为国家“653 工程”煤炭行业培训教材,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

矿井通风、排水及压风设备/王振平主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2008. 7

国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”)培训教材

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0008 - 2

I. 矿… II. 王… III. ①矿山通风—通风设备—技术培训—教材②矿山排水—设备—技术培训—教材 IV. TD724 TD744

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 104826 号

书 名 矿井通风、排水及压风设备

本册主编 王振平

责任编辑 王江涛

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数 412 千字

版次印次 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价 46.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



国家专业技术人员知识更新工程(“653 工程”) 煤炭行业煤矿机电领域培训教材编审委员会

顾 问：路德信

主 任：孙之鹏 孙继平 宋秋爽

委 员：(以姓氏笔画为序)

于励民 王 虹 王步康

王国法 王虹桥 王振平

王崇林 王喜胜 毛 君

刘东才 刘传绍 刘春生

李长录 李国平 李炳文

李景平 张文祥 张世洪

郑丰隆 荆双喜 姜汉军

袁宗本 夏士雄 铁占续

曹茂永 蒋卫良 鲁远祥

谭国俊

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”)
煤炭行业培训教材编审委员会

顾 问：王显政 濮洪九

主 任：路德信

副主任：姜智敏 孙之鹏 胡省三

钱鸣高 宋振骥 张铁岗

葛世荣 乔建永

委 员：(以姓氏笔画为序)

马念杰 王金力 王金华

王虹桥 卢鉴章 叶醒狮

刘 峰 刘文生 刘炯天

孙继平 陈 奇 杜铭华

宋学锋 宋秋爽 张玉卓

张贤友 周 英 周心权

赵阳升 赵跃民 赵衡山

钟亚平 段绪华 都基安

袁 亮 徐水师 黄福昌

常心坦 彭苏萍 遇华仁

缪协兴 濮 津

《矿井通风、排水及压风设备》

编写人员

领域主编：孙继平 宋秋爽

本册主编：王振平

本册副主编：铁战续 卢平

本册编者：(以姓氏笔画为序)

王永胜 王发辉 闫广

宋先明 陈东海 赵洪刚

韩常俊

序

加快人才培养,是建设创新型国家、强国兴业的重要举措。《中共中央、国务院关于进一步加强人才工作的决定》为加强专业技术人才队伍建设指明了方向,明确了工作重点和政策措施。人事部决定“十一五”期间,在关系我国经济社会发展和科技创新的一些重要行业领域实施专业技术人才知识更新工程(即“653工程”),开展大规模示范性继续教育活动,加快建立健全我国继续教育的工作体系、制度体系和服务体系,大力推动专业技术人员培养工作的深入开展。“653工程”已被列入国家“十一五”发展规划,是国家实施专业技术队伍建设的一项重大人才培养工程。煤炭行业“653工程”是国家“653工程”的重要组成部分,是煤炭行业专业技术人才继续教育工作的示范工程,该工程的全面启动必将有力带动和促进煤炭工业人才培养工作的进程。

煤炭工业是我国的基础产业。发展振兴煤炭工业,人才队伍建设是关键。实施大基地、大集团战略,推进节约发展、清洁发展、安全发展,实现可持续发展,必须以强有力的专业技术队伍作保证。当前,煤炭工业已进入新的历史发展机遇期,但同时又面临着煤炭主体专业人才匮乏、知识更新滞后的严峻挑战。推进实施“653工程”旨在拓展煤矿专业人才培养的广阔空间。根据《煤炭行业专业技术人才知识更新工程(“653工程”)实施办法》,“十一五”期间每年将为110家国有大型煤炭企业培训1万名左右的高级专业技术人才,为5000多家规模以上煤炭企业培训3万名左右的中高级专业技术人才,五年全国煤炭行业将培训20万名左右。国家人事部委托中国煤炭工业协会全面负责煤炭行业“653工程”的组织实施工作,实行统一组织、统一规划、统一教学大纲、统一发证和归口管理、分级实施、分类指导,创造性地推进“科教兴煤”战略,全面提升煤炭行业专业技术人才队伍素质,从而为煤炭工业的全面、协调和可持续发展提供强大的人才保障和智力支持。

为适应煤炭行业实施“653工程”的需要,我们组织全国有关专家学者编写了《国家专业技术人才知识更新工程(“653工程”)煤炭行业培训教材》,这一教材具有以下三个突出特点:

第一,突出重点专业领域,培训内容丰富。煤炭行业“653工程”专家指导委员会根据煤矿实际需要,立足当前、着眼长远,选定的煤矿专业领域和培训内容都是煤炭行业和企业所必需的。包括采煤工程、煤矿安全、煤矿机电、煤田地质与测绘、煤炭洁净利用及矿区环保这五个重点专业领域,以及高效高回收率采煤方法与技术等34个专业培训方向,全面反映煤炭工业的科技发展趋势。培训教材突出新理论、新知识、新装备、新技术、新方法、新工艺、新材料、新标准、新法规、新政策和新问题等内容,涵盖煤炭行业专业技术人才知识更新的重点,具有很强的针对性。

第二,体现学术权威,保证培训质量。顺利、高效地实施“653工程”,搞好专业技术人才培训,教材编写质量和所体现的学术水平必须得到切实的保证。为此,实行了首席专家负责制,从全国煤炭行业的高等院校、科研院所和煤炭企业推选出一百余名在各自学术研究领域

颇有建树和创新的业内知名专家,领衔编写这套培训教材,集中了院校、科研机构和企业多年来理论与实践的丰硕成果,包含了专业基础知识、理论系统讲解,也集锦了一些极具参考价值的典型应用案例。这是建国以来我国煤炭行业在专业技术人才继续教育方面一次规模最大、最为全面的新知识展示,是提高全行业专业技术人员技术水平的一批好教材。

第三,培训方向明确,教材实用性强。根据不同的专业培训对象,立足矿山,站在世界煤炭工业科技发展前沿,针对我国“十一五”煤炭科技发展的需求,广泛吸纳新知识、新技术和新信息,坚持理论与实践相结合、理论知识与案例分析相结合,把专业技术知识内容进行科学分解,编写成34个分册,既系统成书又独立成册,便于不同领域内的工程技术人员各取所学、研读提高。因此,本套教材既是优秀的培训教科书,也是一套煤炭专业技术人员实际工作中必备的工具书。

我衷心希望这套凝聚着煤炭行业专家学者智慧与心血的教材,能够在实际教学培训中发挥应有的重要作用;同时也希望广大基层专业技术人员通过认真学习、刻苦钻研,不断提高理论水平和实际应用能力,为加快建设新型、现代化煤炭工业做出积极的贡献。

王显政

二〇〇七年四月八日

前 言

《煤炭工业发展“十一五”规划》提出要大力培养煤矿专业技术人才,要求采取有针对性的特殊措施,进一步加快煤矿主体专业人才的培养。本书是煤炭行业“653 工程”煤矿机电领域培训教材之一,主要介绍矿井通风、排水及压风设备。教材内容面向 21 世纪,充分反映近年来国内外矿井通风、排水和压风设备的最新技术发展情况和较为成熟的科研成果,力求体现理论和工程实践相结合,既适应煤炭企业技术人员培训教学的需要,又能适应现场管理的需要,为提高我国矿山工程技术和管理人员的矿山机械技术和知识水平做出应有的贡献。

本教材内容包括矿井通风、排水和压风设备的基础理论和工程实践内容,力求少而精,深入浅出。以传授基础理论和基本知识为主,适当介绍典型的工程实践应用技术,以求理论与实践相结合。

参加本书编写的单位有:兖矿集团有限责任公司、安徽建筑工业学院、河南理工大学。本书编写过程中得到全国煤炭行业“653 工程”办公室、兖矿集团有限责任公司领导和煤矿机械相关部门及其他编者所在单位的领导和同仁的大力支持,在此表示感谢。教材编写过程中,吸收了以前相关教材的优点,参阅了国内外近年来发表的科技文献,为此特向相关作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 3 月

目 录

第一编 矿井通风设备

第一章 概述	3
第一节 矿井空气成分.....	3
第二节 矿井通风阻力.....	5
第三节 矿井通风动力	10
第四节 矿井通风系统	12
第二章 矿井主要通风机	13
第一节 矿井轴流式通风机	13
第二节 矿井离心式通风机	27
第三章 矿井主要通风机运转	39
第一节 通风机实际特性曲线	39
第二节 通风机运行工况	46
第三节 矿井通风机联合运转	49
第四章 矿井主要通风机附属装置	55
第五章 通风机电气控制部分	61
第一节 通风机主电动机	61
第二节 通风机高压供电系统	63
第三节 通风机低压系统	63
第四节 通风机 PLC 控制系统.....	66
第六章 矿井主要通风机设备选型与经济运行	68
第一节 矿井主要通风机设备选型	68
第二节 主要通风机经济运行分析	72
第七章 矿井主要通风机的性能鉴定	89
第一节 风机运行特性参数的测定	89
第二节 工况调节	92
第三节 数据整理与特性曲线绘制	93

第四节 主要通风机性能鉴定实例	93
第八章 矿井局部通风装备	105
第一节 局部通风机装备	105
第二节 局部通风系统设计	108
第三节 新型高效大能力局部通风机	113
第四节 局部通风机性能测试	119
第五节 局部通风安全技术管理	124
第六节 长距离掘进局部通风技术	128
第七节 局部通风机供电与闭锁	130

第二编 矿井排水设备

第一章 离心泵概论	137
第一节 离心泵的定义及分类	137
第二节 离心泵的主要零部件及结构形式	140
第二章 离心泵的工作理论	152
第一节 离心式泵的基本方程	152
第二节 离心泵的性能曲线	165
第三节 离心泵的联合工作	170
第四节 离心泵运行工况的调节	177
第三章 离心泵的相似理论	180
第一节 相似条件	180
第二节 相似定律	181
第三节 比例定律与相似抛物线	182
第四节 离心泵的比转速	183
第四章 离心泵的选型设计	185
第一节 任务和步骤	185
第二节 选择排水系统	185
第三节 预选泵的形式和台数	186
第四节 确定管路趟数和泵房内管路布置	187
第五节 计算管径选择管材	188
第六节 计算管路特性	189
第七节 确定工况验算排水时间	192
第八节 计算允许吸水高度	192
第九节 电动机的选择	193

第五章 离心泵的现场性能测试	194
第一节 离心式水泵性能测试的基本原理	194
第二节 离心式水泵性能参数的测试	194
第三节 测试结果的分析处理	203

第三编 空气压缩机

第一章 活塞式空气压缩机	209
第一节 活塞式空气压缩机概述	209
第二节 活塞式空气压缩机的工作原理	211
第三节 活塞式空气压缩机的主要部件	217
第二章 空气压缩机的经济运行	235
第一节 空压机的启动、运转和停车	235
第二节 空压机的经济运行	235
第三章 螺杆式空气压缩机	241
第一节 螺杆式空气压缩机的工作原理与结构	241
第二节 螺杆式空气压缩机的主要技术参数	244
第三节 螺杆式空气压缩机的工作特性	245
第四节 螺杆式空气压缩机与往复式空气压缩机的比较	246
参考文献	248

第一编 矿井通风设备

第一章 概 述

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,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,创造良好的工作环境,保障井下作业人员的身体健康和安全。这种利用机械或自然通风动力,使地面空气进入井下,并在井巷中做定向和定量流动,最后排出矿井的全过程称为矿井通风。矿井通风是保障矿井安全的最主要技术手段之一。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、矿井空气的安全标准、矿井空气流动特性以及矿井通风动力,为进一步强化对矿井通风机的学习奠定基础。

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。由于受到井下许多自然因素和生产过程的影响,矿井空气与地面空气在成分和质量上又有程度不同的区别。

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,亦称为湿空气。

干空气是指完全不含有水蒸气的空气,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	惰性稀有气体氩、氖、氫、氫、氫等计在氮气中
氮气(N ₂)	79.00	76.71	
二氧化碳(CO ₂)	0.04	0.06	

二、矿井空气的主要成分及其基本性质

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。如氧含量降低,二氧化碳含量增加;混入各种有毒、有害气体和矿尘;空气的状态参数(温度、湿度和压力等)发生改变等。一般来说,井巷中用风地点以前、受污染程度较轻的进风巷道内的空气,称为新鲜空气;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。

1. 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

劳动强度	呼吸空气量/(L/min)	氧气消耗量/(L/min)
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

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。

2. 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(其相对密度为 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。所以在抢救遇难者进行人工输氧时,往往要在氧气中加入 5% 的二氧化碳,以刺激遇难者的呼吸机能。但当空气中二氧化碳的含量过高时,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浓度的关系如表 1-1-4 所列。

表 1-1-4

二氧化碳中毒症状与浓度的关系

二氧化碳浓度(体积)/%	主 要 症 状
1	呼吸加深,但对工作效率无明显影响
3	呼吸急促,心跳加快,头痛,人体很快疲劳
5	呼吸困难,头痛,恶心,呕吐,耳鸣
6	严重喘息,极度虚弱无力
7~9	动作不协调,大约 10 min 可发生昏迷
9~11	几分钟内可导致死亡

矿井空气中二氧化碳的主要来源是:煤和有机物的氧化,人员呼吸,碳酸性岩石分解,炸药爆破,煤炭自燃,瓦斯、煤尘爆炸等。此外,有的煤层和岩层也能长期连续地放出二氧化碳,有的甚至能在很短的时间内突然喷出或与煤岩粉一起突然大量喷出二氧化碳,给矿井的安全带来极大的危害。例如,吉林省营城煤矿五井曾在 1975 年 6 月发生过一起二氧化碳和岩石突出的事故,突出岩石 1 005 t 和二氧化碳 11 000 m³。

3. 氮气(N₂)

氮气是一种惰性气体,是新鲜空气中的主要成分,它本身无毒、不助燃,也不供呼吸。但空气中含氮量升高,势必造成氧含量相对降低,从而也可能造成人员的窒息性伤害。正因为氮气具有的惰性,因此可将其用于井下防火和防止瓦斯爆炸。

矿井空气中氮气主要来源是:井下爆破和生物的腐烂,有些煤岩层中也有氮气涌出。

三、矿井空气主要成分的质量(浓度)标准

由于矿井空气质量对人员健康和矿井安全有着重要的影响,所以《煤矿安全规程》对矿井空气主要成分(氧气、二氧化碳)的浓度标准作出了明确的规定:采掘工作面的进风流中,氧气浓度不得低于 20%,二氧化碳浓度不得超过 0.5%,总回风流中不得超过 0.75%;当采掘工作面风流中二氧化碳浓度达到 1.5%或采区、采掘工作面回风道风流中二氧化碳浓度超过 1.5%时,必须停工处理。

第二节 矿井通风阻力

当空气沿井巷运动时,由于风流的黏滞性和惯性以及井巷壁面等对风流的阻滞、扰动作用而形成通风阻力,它是造成风流能量损失的原因。井巷通风阻力可分为两类,即摩擦阻力(也称为沿程阻力)和局部阻力。

一、摩擦风阻与阻力

(一) 摩擦阻力

风流在井巷中做沿程流动时,由于流体层间的摩擦和流体与井巷壁面之间的摩擦所形成的阻力称为摩擦阻力(也叫沿程阻力)。在矿井通风中,克服摩擦阻力的能量损失,常用单位体积(1 m³)风流的能量损失 h_f (Pa) 来表示。由流体力学可知,无论层流还是紊流,以风流的压能损失来反映的摩擦阻力可用下式来计算:

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \rho \frac{v^2}{2} \quad (1-1-1)$$