

国家专业技术人员知识更新工程 ("653工程")
煤炭行业煤矿安全领域培训教材 (第2册)

矿井通风及热害防治

领域主编: 张铁岗 卢鉴章 周心权 王虹桥

本册主编: 常心坦 刘 剑 王德明

KUANGJING TONGFENG JI REHAI FANGZHI

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

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”)
煤炭行业煤矿安全领域培训教材

矿井通风及热害防治

领域主编：张铁岗 卢鉴章
周心权 王虹桥
本册主编：常心坦 刘 剑
王德明

中国矿业大学出版社

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 宋振骐 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

宋学峰 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

国家专业技术人才知识更新工程(“653 工程”)
煤炭行业煤矿安全领域培训教材编审委员会

顾 问：路德信

主 任：孙之鹏 张铁岗 卢鉴章
周心权

委 员：(以姓氏笔画为序)

马 骏 王虹桥 王德明

刘 剑 刘何清 朱红青

李德文 张延松 张明安

武 强 胡千庭 常文杰

常心坦 景国勋

《矿井通风及热害防治》

编写人员

领域主编：张铁岗 卢鉴章 周心权

王虹桥

本册主编：常心坦 刘 剑 王德明

本册编者：常心坦 刘 剑 王明德

张俭让 魏引尚 贾进章

杨胜强 高晓旭 马 恒

李学文

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,全面反映了煤炭工业的科技发展趋势。培训教材突出了新理论、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,涵盖了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不可缺的工具书。

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、现代化的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

“653”工程培训教材《矿井通风及热害防治》和大家见面了。编写组全体成员衷心希望这本教材能够为我国煤矿安全生产形势的根本好转做出贡献,希望工作在煤矿安全战线的同志们能够从中有所收获并不吝赐教。

矿井通风是煤矿生产与安全的基础,在预防和处理井下系统性或区域性灾变的努力中更是如此。矿井通风作为一门历史相对悠久的历史,就实用的角度而言理论体系已相对定型。但我们也清醒地看到,国民经济对于能源的旺盛需求正持续推动着采矿业的迅猛发展,而经济及社会的发展也对采矿的安全保障及环境保护不断提出了新的要求。我们刚刚经历了我国煤炭工业发展史上一段难忘的特大及特别重大事故的高发期,历史的教训历历在目。全矿性和矿井区域性的灾变,其发生、发展和应对处理,无不与矿井通风密切相关;通风、瓦斯、煤尘事故预防、煤矿职业病控制、劳动环境改善,也离不开科学的通风管理。可以毫不夸张地说,没有通风技术奠定的安全基础,就没有现代矿业的发展。正是由于矿井通风在煤矿安全技术及管理中不可替代的重要作用,推动了《矿井通风及热害防治》培训教材的编写出版。

《矿井通风及热害防治》以煤矿现场通风技术管理需求为关注中心,以采矿、通风、安全技术与管理为主要对象,分矿井通风基础、矿井通风方式、矿井通风网络风量分配与调节、矿井通风动力设备及仪表、矿井通风设计及通风管理、矿井热害防治、国内专业刊物矿井通风学术论文综述等七章,概述了矿井通风的理论体系和实用技术,并介绍了矿井通风基础性研究的走向与特点,不仅涉及了矿井通风的完整体系,而且适度介绍了煤矿通风的新增法规和有较强普

适性的应用技术。本书适用于矿井通风、特别是煤矿通风的设计、工程、技术、监察、管理人员,中级以上矿业及安全类专业师生,以及从事煤矿生产相关业务的技术与管理人员的矿井通风培训及参考。

本书在全国煤炭行业“653工程”办公室、“653工程”煤炭行业培训教材编审委员会及“653工程”煤炭行业专家指导委员会的统一部署下完成。张俭让、高晓旭、魏引尚、李学文共同完成了本书第一、五、七章;刘剑、张俭让、贾进章、高晓旭、马恒、魏引尚、李学文合作完成了第二、三、四章;王德明、杨胜强完成了第六章。常心坦承担了全书的协调和定稿。田水承教授、姬长发教授、吴奉亮博士在本书统稿过程中给与了重要的支持,此处一并致谢。

编 者

2007年10月

目 录

序.....	1
前言.....	1
第一章 矿井通风基础.....	1
第一节 矿井通风的基础理论.....	1
第二节 井巷通风阻力	13
第三节 通风动力	18
第四节 矿井通风基本规律	43
第二章 矿井通风方式	46
第一节 矿井通风方式	46
第二节 采区通风	56
第三节 采煤工作面通风	58
第四节 掘进通风	76
第五节 矿井风量	86
第三章 矿井通风网络中风量分配与调节	98
第一节 风量分配基本规律	97
第二节 通风计算软件系统简介.....	100
第三节 矿井通风计算实例简介.....	104
第四章 矿井通风动力设备及仪表.....	124
第一节 矿井通风设备选型.....	123

第二节 矿井通风常用仪器·····	136
第三节 矿井通风安全相关仪器装备·····	145
 第五章 矿井通风设计与通风管理 ·····	150
第一节 矿井通风设计·····	149
第二节 矿井通风安全管理·····	154
 第六章 矿井热害防治·····	167
第一节 矿井热环境·····	166
第二节 矿井热害防治一般技术措施·····	176
第三节 矿井空调技术·····	181
 第七章 国内专业刊物矿井通风学术论文综述·····	190
第一节 通风系统理论研究·····	190
第二节 通风系统分析应用研究·····	201
 参考文献·····	207

第一章 矿井通风基础

第一节 矿井通风的基础理论

一、矿井空气概述

矿井通风是保障矿井安全最主要的技术手段之一。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,以供人员呼吸,并稀释和排出井下各种有毒、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。

(一) 矿井空气组成

空气在进入矿井之前被称为地面空气,有去除了水蒸气的干空气与含有水蒸气的湿空气之分。干空气的组成成分比较稳定,其主要成分如表 1-1 所列。

表 1-1 干空气的组成成分表

气体成分	按体积计/%	按质量计/%
氧气(O ₂)	20.96	23.23
氮气(N ₂)	79.0	76.71
二氧化碳(CO ₂)	0.04	0.06

注:惰性稀有气体氦、氖、氩、氪、氙等计在氮气中。

湿空气中的水蒸气含量则可能在较大的范围内变化,且显著影

响湿空气的物理性质和状态。

空气进入矿井之后,由于煤岩所吸附的气体释放、矿井生产作业、煤岩氧化、人员呼吸等因素,其成分会有较为显著的变化。这种在矿井作业过程中沿矿井井巷流动的空气便被称为矿井空气。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,《煤矿安全规程》对矿井空气主要成分的浓度标准做出了明确的要求。规程要求,采掘工作面进风流中的氧气浓度不得低于 20%,二氧化碳浓度不得超过 0.5%;总回风流中二氧化碳浓度不得超过 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。对其他相关气体的浓度标准同样也有着严格的规定。

(二) 矿井空气中的有害气体及防治措施

矿井空气中最为常见的有害气体是甲烷(CH_4),通常称为矿井瓦斯,其主要来源于成煤的地质过程中所生成并保留在煤层中的吸附瓦斯,无色、无味、无毒,与空气的相对密度为 0.554,可燃,可爆。在煤矿的采矿活动中,煤层中甲烷的赋存平衡被打破后从煤体中释放出来,对其处置不当则有可能引发煤与瓦斯突出、瓦斯积聚爆炸、人员窒息等严重的灾变及事故,因而是煤矿最为关注的矿井有害气体。正是由于瓦斯治理对于煤矿安全的极端重要性,矿井瓦斯将作为专门课题予以介绍。

除大家较为熟悉的 CO_2 之外,矿井空气中其他常见有害气体主要有 CO 、 NO_2 、 SO_2 、 NH_3 、 H_2S 、 H_2 等,其基本性质如下:

——一氧化碳(CO):无色、无味、无臭,相对密度 0.97,微溶于水,可燃,可爆,剧毒。

——硫化氢(H_2S):无色、微甜,有浓烈的臭鸡蛋味,相对密度 1.19,易溶于水,可燃,可爆,剧毒。

——二氧化氮(NO_2):褐红色气体,有强烈的刺激性气味,相对密度 1.59,易溶于水,有强烈的刺激及腐蚀作用,剧毒。

——二氧化硫(SO_2):无色、有强烈的硫磺气味及酸味,相对密

度 2.22,易溶于水,有强烈的刺激及腐蚀作用,剧毒。

——氨气(NH_3):无色、有浓烈臭味的气体,相对密度 0.596,易溶于水,可爆,有强烈刺激作用。

——氢气(H_2):无色、无味、无毒,相对密度 0.07,可燃,可爆。

由于上列常见有害气体对于矿井安全生产的重大影响,《煤矿安全规程》对其安全标准做了明确的规定,如表 1-2 所列。

表 1-2 矿井空气中有害气体的最高允许浓度

有害气体名称	符号	最高容许浓度/%
一氧化碳	CO	0.002 4
氧化氮(换算成二氧化氮)	NO ₂	0.000 25
二氧化硫	SO ₂	0.000 5
硫化氢	H ₂ S	0.000 66
氨	NH ₃	0.004

防止有害气体危害主要采取如下措施:

(1) 搞好通风工作,供给井下足够的新鲜空气,保证将各种有害气体冲淡到允许浓度以下。

(2) 做好检查工作,掌握各种有害气体产生的原因及规律,及时采取适当的预防及处理措施。

(3) 对局部有害气体含量较高、涌出量较大的地区,可采用抽放或局部通风的办法,使其降到安全浓度以下。

(4) 有针对性地采取适当技术措施,阻断有害气体进入矿井风流,或使其从风流中分离出去。对爆破产生的和工作面涌出的 CO_2 等有害气体,可采用喷雾洒水的方法,使其溶于水中,以降低其在空气中的含量。如鹤壁四矿煤层有 H_2S 涌出,在开采前预先向煤体中注入石灰水,辅以石灰水喷洒,有效地降低了 H_2S 气体的影响。对采掘工作面爆破作业所产生的大量 NO_2 ,也可利用水炮泥和喷雾洒水等措施来降低有害气体在空气中的浓度。

(5) 加强检测与检查,如有异常情况,及时采取措施,防止有害气体大量积聚与大量涌出。

(6) 按标准构筑用于封闭井下火区、盲巷或服务于瓦斯抽放的各种密闭,并定期检查与维修,保持完好,防止有害气体涌出。定期采样分析封闭区内的气体,及时掌握其变化。

(三) 矿井气候

矿井气候:矿井气候主要受矿井空气温度、湿度和流速三个参数综合作用的影响。这三个参数也称为矿井气候条件的三要素。

新陈代谢是人类生命活动的基本过程之一。人体散热主要是通过人体皮肤表面与外界的对流、辐射和汗液蒸发这三种基本形式进行。对流散热取决于周围空气的温度和流速;辐射散热主要取决于环境温度;蒸发散热取决于周围空气的温度、相对湿度和流速。矿井气候条件的三要素是影响人体热平衡的主要因素。

人体热平衡关系式:

$$q_m - q_w = q_d + q_z + q_r + q_{ch} \quad (1-1)$$

式中 q_m ——人体在新陈代谢中的产热量,取决于人体活动量;

q_w ——人体用于做功而消耗的热量, $q_m - q_w$ 为人体排出的多余热量;

q_d ——人体对流散热量,当空气温度低于人体表面温度时为正,反之为负;

q_z ——汗液蒸发或呼出水蒸气所带出的热量;

q_r ——人体与周围物体表面的辐射散热量,可正也可负;

q_{ch} ——人体由热量转化而没有排出体外的能量; $q_{ch} = 0$ 时,人体处于热平衡状态; $q_{ch} > 0$ 时,人体温度将升高;当 $q_{ch} < 0$ 时,人体温度将降低。

衡量矿井气候条件的指标包括以下参数:

① 干球温度:干球温度是以温度表直接测取的空气温度。

② 湿球温度:湿球温度是考虑水在空气中蒸发吸热影响时的空气温度,是衡量气候条件的重要指标。

③ 等效温度:等效温度定义为湿空气的焓与比热的比值,它是一个以能量为基础来评价矿井气候条件的指标。

④ 同感温度:同感温度是通过实验,依据受试者对环境的感觉而得出的衡量气候条件的指标。根据实验得到的同感温度计算图,可获取被测环境的同感温度。

⑤ 卡他度:卡他度是综合反映气温和风速对气候条件影响的一种度量值,用卡他计测定,分为干卡他度和湿卡他度。

我国现行评价矿井气候条件的指标是干球温度。

二、矿井空气流动基本理论

(一) 空气主要物理参数

(1) 温度

温度是描述物体冷热状态的物理量,是表示矿井气候条件的主要参数之一。热力学绝对温度用符号 T 表示,单位为 K。国际单位制还规定摄氏温标为实用温标,用 t 表示,单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标的每 1°C 与热力学温标的每 1 K 完全相同,它们之间的关系为:

$$T = 273.15 + t \quad (1-2)$$

(2) 压力(压强)

空气的压强在矿井通风中习惯称为压力,以下将沿袭这一习惯用法。空气的压力也称为空气的静压,用符号 P 表示,它是空气分子热运动能量的宏观表现。空气压力常用的单位包括 Pa、MPa、mmHg、mmH₂O、bar 等。

(3) 湿度

表示空气中所含水蒸气量的多少或潮湿程度的物理量,可分为绝对湿度、相对湿度和含湿量三种。

① 绝对湿度:每立方米空气中所含水蒸气的质量,其单位与密度单位相同(kg/m^3)。在一定的温度和压力下含有极限值水蒸气的湿空气叫饱和空气,这时水蒸气分压力叫饱和水蒸气分压力。

② 相对湿度:单位体积空气中实际含有的水蒸气量与其同温度下的饱和水蒸气含量之比称为空气的相对湿度。相对湿度愈小,空气