

MEIKUANGTONGFENGANQUANLIANGHUA FENXI
YUFENQUANQUANGUANLI

王 俭 著

煤矿通风安全量化分析 与分区安全管理

煤炭工业出版社

煤矿通风安全量化分析与分区 安 全 管 理

王 俭 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿通风安全量化分析与分区安全管理/王俭著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2010

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3691 - 1

I. ①煤… II. ①王… III. ①煤矿 - 矿山通风 - 安全管理
IV. ①TD72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113981 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 20¹/₂
字数 485 千字 印数 1—1 500
2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 6501 定价 42.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

矿井通风是所有地下采矿作业得以实现的基础。在近、现代采矿发展史中，矿井通风的装备与监控水平虽然取得了长足的进步，但其理论架构与应用技术却并未发生实质性的变化，因而矿井通风在一定程度上被看做是成熟技术，但由于矿井通风安全计算需要有复杂的理论支持且必须进行数学处理，故在煤矿通风安全现场管理中深度计算分析技术的应用甚少。煤矿在我国工业生产领域中事故高发且后果最为严重，其中风源性事故，即与井下空气密切关联的通风、瓦斯、火灾等事故，更是高居煤矿重大灾害之首。防治煤矿风源性重大事故的核心措施在于通风安全，煤矿现场对通风安全深度分析认知的实际需求与其现实应用水平的巨大反差，表明了矿井通风安全计算分析技术仍然是极为重要的研究领域。

《煤矿通风安全量化分析与分区安全管理》即是在这一背景下编写的。本书针对煤矿现场的安全管理需求及通风安全计算技术应用存在的问题展开了深入分析，将通风瓦斯计算分析依其目标划分为相互关联的三个专题，即以通风方案分析为核心的通风设计类计算分析，以监测数据分析及预警为核心的通风安全形势跟踪判断分析，以及以系统规律提取与矿井抗灾能力分析为核心的通风安全应急处理分析。这一划分涵盖了处于现场通风管理需求核心且相关成果已经或接近实用的主要技术领域，拓展并明确了通风安全计算分析技术当前的实际应用范围。本书总结了当前通风安全计算分析技术的应用特点，对于现场经常遇到的通风计算课题展开了多角度的讨论，在计算技术的系统性应用及其与定性分析技术的有效关联等领域提出了诸多重要的改进，并对调风计算等实用课题提出了有效的解决方案并予以程序实现。本书阐述了矿井通风安全形势跟踪分析的现实可能性与应用意义，提出了通过通风安全形势跟踪分析实现通风安全异常早期甄别和预警的处理方法及应用概念，以异常甄别的深度分析，在“合规”的范围内引入预警及其溯源诊断的应用概念，增强了通风安全日常管理的针对性和前瞻性；指出计算分析技术应在矿井通风安全规律提取和应急处理技术性预案编制领域提供支持，以期提高矿井抗灾能力评价的针对性与准确性，有效甄别矿井薄弱环节，在全面把握矿井通风瓦斯规律的基础上，为可能的应急处理提供最佳辅助。全书围绕这

三个应用专题的技术需求和解决方案展开分析，目标明确，条理清晰，系统性强，有较好的实用性和可操作性，体现了将通风安全计算分析技术与管理实践相结合的系统性思路。

本书在分析和总结导致煤矿通风安全事故发生的主要因素的基础上，提出了将煤矿井下环境划分为安全分区、关联通道网，以及分布于其中的安全关注点所组成的安全逻辑系统的概念，事故高发的工作面区域既可看做是通风系统全局不可分割的一部分而加以对待，又可作为从系统中“隔离”出来的分区而加以研究，通过对风源性致灾因素产生、发展、耦合、异变直至成灾的规律性研究，提出了以安全分区为核心的通风安全分析与管理的方法，并对安全分区的独立性分析在矿井抗灾能力评价与薄弱环节辨识中的应用做了有益的探索。针对矿井通风客观基础数据获取与维护这一阻碍通风安全计算技术经常性应用的实际问题，本书提出了以矿井客观风量分配数据获取与确认、风阻分布数据的计算与确认两段计算组成的初始网络解算概念，系统解决了面对矿井通风系统实际的风量与风阻基本数据获取、维护及其验证过程中的问题，大大提高了矿井通风的客观基础数据获取精度，并显著降低了现场应用的技术难度与工时消耗。在此基础上提出了井巷风阻漂移的自动跟踪与修正方法，为通风瓦斯数据的实时在线分析技术的广泛应用奠定了重要基础。

本书站在矿井通风安全量化分析的科研前沿，瞄准煤矿通风安全的实际需求，对整合通风安全计算技术、提高通风安全计算技术的现场应用水平具有重要的指导和借鉴意义。

目 次

1 矿井通风及其逻辑系统	1
1.1 矿井通风的技术目标及安全管理	1
1.2 通风计算基础概述	6
1.3 通风检测数据处理	16
1.4 通风安全数据管理	26
2 通风网络基础解算	34
2.1 风量分配数据的全局化推演与验证	34
2.2 风阻数据获取与确认	45
2.3 矿井的通风动力特性	55
2.4 矿井通风计算基础数据组及其管理	58
3 通风分析与图形	63
3.1 节点风压计算及其应用	63
3.2 通风灵敏度	71
3.3 角联风道分布分析	90
3.4 通风网络图的概念与成图	95
3.5 通风网络图分析	101
4 矿井通风分析计算	114
4.1 常用的通风方案技术分析简介	114
4.2 调风计算	120
4.3 风阻数据维护	123
4.4 通风区域划分与控制	131
4.5 矿井通风设计	141
5 自然通风与火灾通风	145
5.1 自然通风分析	145
5.2 采空区及封闭火区的均压分析	149
5.3 火灾通风分析	155

6 矿井通风安全逻辑系统	165
6.1 煤矿安全逻辑系统概念的提出	165
6.2 煤矿安全逻辑系统的安全分区分析	172
6.3 通风安全的全局分析	190
7 通风安全监测数据跟踪分析	195
7.1 通风安全监测及其数据应用	195
7.2 蒙特卡罗方法的应用	204
7.3 安全分区的数据整合与处理	216
7.4 监测数据的关联分析	222
8 通风安全应急处理	230
8.1 通风安全应急处理预案	230
8.2 矿井通风安全反应特征与关联特征分析	238
8.3 通风安全应急预案分析	253
8.4 通风安全应急处理预案编制	268
8.5 通风安全应急预案的可操作性检验及其演练	278
9 矿井通风安全计算的软件实现	285
9.1 矿井通风安全计算功能的划分与组合	285
9.2 矿井通风安全计算数据与图形处理	288
9.3 矿井通风安全计算软件的标准化应用	293
9.4 矿井通风安全计算软件简介	296
参考文献	314

1 矿井通风及其逻辑系统

煤矿是我国工业生产事故最为集中、事故后果最为严重的行业。经过全国上下的不懈努力,21 世纪最初数年间煤矿经历的特别重大事故高发的严峻局面有所扭转,安全形势明显改善。通风安全作为防治煤矿重大事故与灾变的核心措施,其科技进步和管理提升对于煤矿安全形势的根本性好转具有重大的现实意义和深远的社会意义。虽经巨大努力,近年来煤矿通风安全形势的逐步好转仍未从根本上消除煤矿安全的脆弱性,安全科技发展落后于实际需求,安全管理粗放的局面尚未彻底改观,从而显示了煤矿通风安全技术发展的必要性、紧迫性与挑战性。

1.1 矿井通风的技术目标及安全管理

1.1.1 煤矿通风的技术目标

煤矿通风是为保障煤矿安全生产而向由巷道和工作面构成的复杂网络系统提供新鲜风流所采取的全部措施的统称。矿井通风是一门历史悠久的技术,伴随着矿井井工开采的出现和扩大而不断发展,成为采矿活动不可或缺的基本保障,并在其发展过程中逐渐形成完整的理论体系与装备支撑基础。正由于矿井通风与采矿活动密不可分的关联,矿井通风成为得到人们普遍理解和认同的概念,在众多的矿井通风教科书与专著中已难以寻觅其统一而严密的定义。

在本书中同样没有为矿井通风这一已得到广泛使用的专业术语下定义,但是将从矿井通风所设定的工程目标、矿井通风所涉及的系统基础及其范围、通风技术支撑的主要领域、通风技术得以支撑的理论基础和矿井的通风实践等角度出发,对矿井通风这一技术概念作出适当的归纳。

矿井通风之所以与采矿活动、或者说与矿井的存在与运行密不可分,首先在于它提供了采矿活动所需的新鲜风流,为人员进入井下工作场所并实现连续作业创造了基本条件;其次,矿井通风是处理伴随于采矿活动而产生并严重威胁矿井安全生产的有毒有害气体及粉尘的基本手段,没有有效的通风支持就没有矿井的最起码的安全;再次,矿井通风又是建立和维持井下良好作业环境的基本因素,是控制职业健康伤害及职业病,保证劳动者的基本环境权益并维持较高劳动生产率的核心措施;最后,通风措施是控制和处理全矿灾变的必要前提,是控制矿井火灾、煤层自然发火、瓦斯煤尘爆炸等区域性恶性灾变的基础和实施应急救援的保障。矿井通风的工程目标如下:

- (1) 为井下人员及相关设备提供充分和满足质量要求的新鲜风流。
- (2) 处理并消除有毒有害气体、粉尘、放射性物质及其衍生物的超量积聚,提供与供风相关的安全保障。
- (3) 建立并维持良好的生产环境,保证温度、湿度、风速等环境参数及有毒有害气体与粉尘浓度等空气质量指标符合职业健康标准,杜绝井下岗位对从业人员健康可能造成

的尘肺病等职业伤害。

(4) 预防和处理风源性事故，并提供控制手段和技术保障。

煤矿通风的工程目标如图 1-1 所示。从图 1-1 可以看出，矿井通风是在煤矿极为复杂的井巷系统中维护风源性工程安全和从业人员职业健康的重要基础，是矿井正常运行的前提和保障，是煤矿安全最为关键的因素。

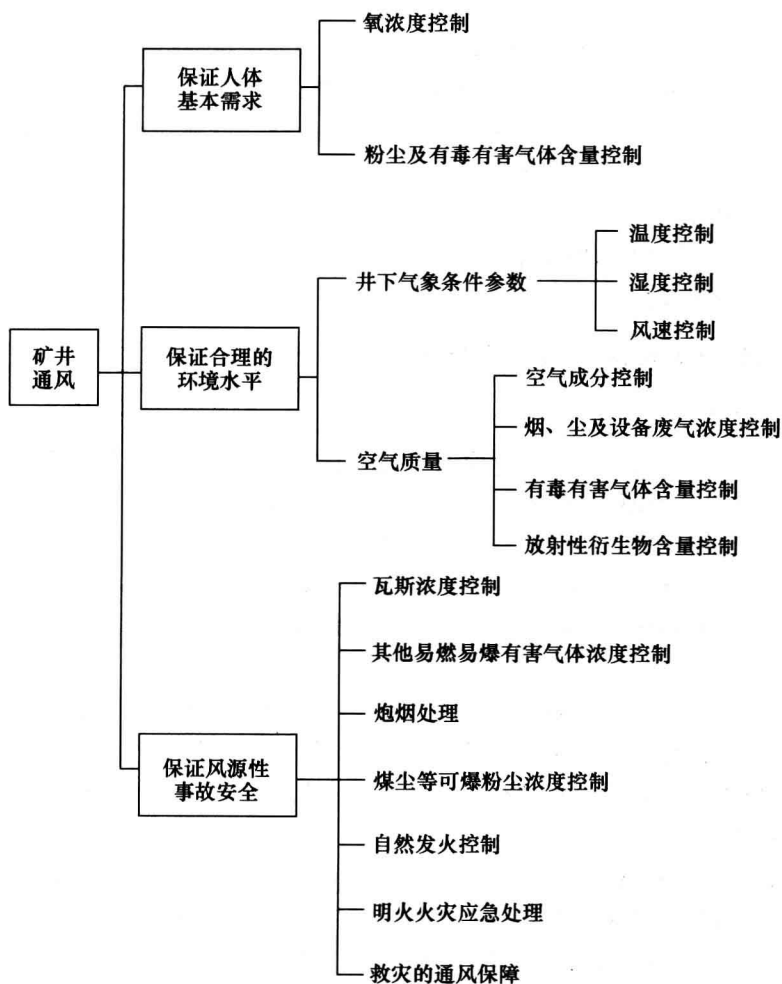


图 1-1 煤矿通风的工程目标

1.1.2 煤矿通风的系统构成与技术领域

矿井通风构成了矿井生产活动范畴内的重要系统，具体包括：

——矿井通风的服务对象—工作面、井巷及硐室等。

——通风动力设备—矿用通风机（主要通风机、辅助通风机、局部通风机等）及特殊通风装备（压风引射器、热力推动装置等）。

——通风控制设施设备—风门、风墙、风窗、风桥、风幛及风帘等。

——通风监测控制系统—通风、瓦斯、气象条件等参数监测控制系统，人工检测体系，以及设施设备参数监控等。

——与矿井井巷系统相关联的现实与潜在的漏风区域—采空区、密闭区、巷间及井下与地面间重要漏风通道等。

——从更宏观和泛化的角度而言还包括通风数据管理、通风技术支持及通风管理等。

在通风系统的各分项中,井巷组成了复杂的网络系统,它既是矿井通风的服务对象,又是通风风流得以通过的通道。因此在矿井通风中,“井巷”和“风道”是近乎同一的概念,只是“井巷”有更多的描述实体环境的含义,而“风道”则强调井巷所形成的风流通道对于通风的影响和作用。

矿井通风是十分专门的技术领域,其日常的跟踪管理需要具体而精细的技术分析加以支撑。通风的技术领域包括:

——通风检测。风速、风压、温度、井巷尺度、设备运行数据等可直接检测参数,以及风阻、通风机特性曲线等系统性检测参数。

——通风计算与分析。通风机特性等检测计算、风量分配计算、通风方案分析计算、通风优化计算、系统分析、通风安全参数关联分析、监测参数统计分析及通风安全形势预测预警等。

——通风决策。通风设计、决策辅助及分析决策等。

——通风应急处理。通风安全应急预案编制与分析、通风应急决策与指挥及应急处理技术等。

——通风管理。系统评价、运行管理、通风决策管理及通风数据管理等。

——通风工程的相关图件。通风系统图、采掘工程平面图、通风网络图、立体通风系统图、通风安全管理用图、通风安全相关的系统简图及相关的数据分析用图等。

——通风数据共享与应用。数据的获取与管理、数据的实时在线分析、数据展示、数据的网络化共享及数据的系统化存储与调用等。

煤矿通风的逻辑系统如图1-2所示。

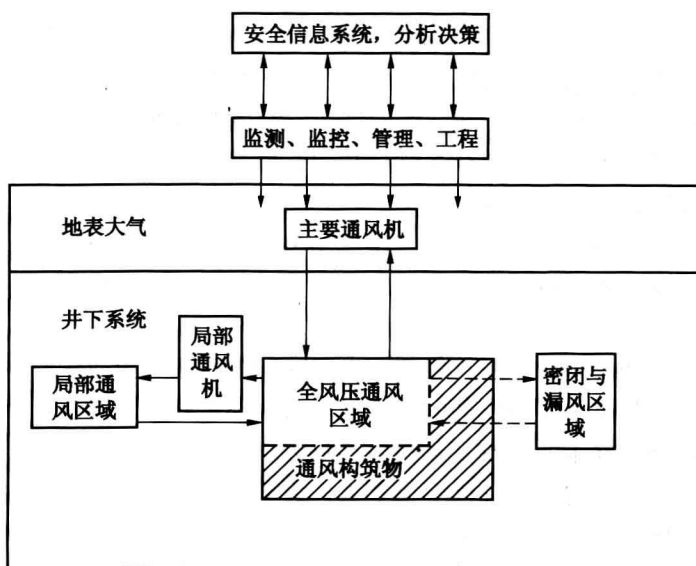


图1-2 煤矿通风的逻辑系统

在对于矿井通风、特别是煤矿通风有了概括的了解之后，还需对煤矿通风安全的概念加以约定，以便于对本书的阅读。通风安全就其狭义而言，可理解为矿井通风系统及其运行所涉及的与风流监控相关的安全领域，主要限于对可能影响或表达矿井风流分配的因素的管理、分析与控制；就其广义而言，通风安全不仅包含了矿井通风自身的安全问题，而且覆盖了所有在日常的安全管理中和应急处理时与矿井通风有着密切关联的安全领域，主要包括瓦斯、煤尘、防灭火等，即覆盖了煤矿的全部风源性安全问题。在本书中，“通风安全”取其广义的内涵，而且专指煤矿的通风安全。

1.1.3 煤矿通风安全所涉及的基础理论及其技术特征

矿井通风涉及的基础理论领域是较为宽泛的，主要包括以下内容。

(1) 数学。除初等数学的全部内容之外，应用较多的专门化数学分支包括线性代数、微积分、数理方程、数值分析、概率统计、离散数学、数学分析、模糊数学、组合数学与图论及系统工程等。

(2) 力学。矿井通风涉及的力学问题较多，因此需要较为坚实的力学基础加以支持。主要包括流体静力学、流体动力学、渗流力学及气体扩散力学等，同时在分析瓦斯运移规律等问题中也广泛应用到岩石力学及相关的力学分支。

(3) 热学。主要包括热力学和传热学（传导传热、对流传热、辐射传热）。

(4) 化学。主要包括普通化学、分析化学、有机化学、物理化学等。

(5) 物理。物理是众多理论与技术的重要基础，其中很多分支经长期的实验与理论发展后已成为独立的研究领域，如力学、热学及光学等。矿井通风安全的开拓性学术研究和与其他前沿科技发展一样，大量涉及物理学各分支领域研究成果的应用，但是从实际应用的角度，除了以上所列举的学科领域，物理学的分支——光学、声学、物理化学与表面物理、原子物理学等对深入理解矿井通风相关技术有较为突出的作用。

(6) 相关应用学科领域。主要包括通风安全学、采煤学、安全工程学、煤田地质学、工程测量学、管理学及安全经济学等。

(7) 相关的技术领域。与矿井通风安全相关的监控、束管、钻孔、抽放、排水、供水、注氮、灌浆、通信等系统，通风安全设备、工程机械、检测仪表、个人防护装备等硬件条件，电气防爆、施工控制等工作，以及通风安全的综合跟踪分析、应急分析、计算机辅助分析等业务，涉及更为广泛的众多学科知识领域，如强电、弱电、机械、计算机、遥测遥感等领域的知识，就不一一列举了。

应该指出，以上说明仅用于描述矿井通风安全理论与应用体系的背景概念，而且即使同一技术领域也会存在相异目标的不同需求，因此对其理论基础广度和深度的要求会有很大的区别。

矿井通风有其严密的理论体系，但其出发点和归宿点仍属于应用技术范畴。矿井通风安全的实践是其理论与技术不断发展的基本推动力和不可缺少的重要环节，其中矿井通风在其长期的发展历史中并未明显改变其初衷和目标，因而被看做是一门古老的技术；而随着经济和技术的发展，新建的矿井已变得更大、更深、更有效率、更加高产，由此引发的瓦斯、地热、冲击地压等连带问题更加突出。当今社会对于安全的重视在不断加强，煤炭行业以至从业者个人对煤矿环境和健康的保护意识也正日益提高。矿井通风安全面临着前所未有的压力去适应这一新的形势，这种压力正是推动矿井通风安全技术发展的重要动

力。

从技术管理的角度来看,当前煤矿的通风安全保障技术着力于矿井通风的全局性技术分析与实时多点安全监控。

煤矿井巷依据地质条件和采矿工艺所设定的连通格局定义了各矿相互不同且极为复杂的网络系统,在此系统中的风流分配具有全局性,每一个可能采取的通风控制措施均会对安全系统的风量分配造成影响,因此,煤矿的通风管理是对全系统的管理而不可能仅限于局部。科学管理的基础在于对全系统的技术性分析。矿井通风所遵循的基本控制由质量守恒方程、能量守恒方程、井巷的通风特征方程三者构成。解算该控制方程组能够在已知井巷风阻参数的条件下获得矿井风量分配数据,进而支撑矿井通风的全局分析。求解该控制方程的技术和过程一般称之为矿井通风网络解算,是通风分析计算的基石。煤矿通风安全又是实践性非常强的工作,需要具备通风基本原理指导下的丰富经验才能够做到得心应手。在所有的煤矿里,总工程师、通风副总、通风专管工程师/技术员、测风员均必须是由于全矿井巷系统极为熟悉、而且对于通风状况判断及控制极为熟悉的专业人员。

煤矿生产是在复杂井巷系统中实现的,全局性的技术分析保障了对于整个通风系统的深度理解和有效控制,但是还需要掌握系统内各点的实际状况才能准确判断矿井各区域的安全水平并决定应对措施。煤矿井下多点实时监控即是这一措施的基本特征。自现代意义上的采矿活动开始以来的数百年间,瓦斯检测、风量检测、巷道巡视等即由专门人员按照规程规定定时定范围进行,并依据监测数据决定是否采取相应的措施。近年来煤矿安全监控系统的出现,使得对于井下特定场所的连续监测/监控成为可能,构成了与专职人员检测和控制相平行的独立的通风瓦斯安全保障系统,大大提高了矿井的安全保障水平。究其特点,这些系统仍属点触发控制,其逻辑依据在于“监测点安全与其邻域安全存在着直接关联”这一基本判断。

事实证明,矿井通风的全局性技术分析与安全保障的实时多点监控相结合是保障煤矿安全生产的有效方式。由此发展的矿井通风计算分析技术同样反映了这样的特征。近年来煤矿广泛使用的安全监控系统能够对于各个传感器的测值进行巡检和展示,形成单点测值的统计图形,并以单点测值与安全规范的比对决定当前状况是否安全以及是否报警。矿井人工检测同样表现出各测点数据单独统计判断以决定安全状况的特点。

1.1.4 近年来我国煤矿安全形势的发展需求

进入21世纪以来,国家经济建设的快速发展大大增加了煤炭的需求,国家以前所未有的增幅实现了产量的逐年递增(表1-1),为保证国民经济的高速发展提供了必要的能源保障。

表1-1 我国煤炭产量

10^8t

年 份	产 量	年 份	产 量
2000	12.5	2005	21.1
2001	13.8	2006	23.8
2002	14.15	2007	25.3
2003	16.67	2008	27.16
2004	19.6	2009	30.5

与此同时, 21 世纪初煤矿的伤亡人数在 20 世纪末的较高水平上继续有所升高, 特别是煤矿的特别重大事故从次数到频度都有显著的攀升, 并于 2004—2005 年达到了顶点, 连续出现多起百人以上的特别重大恶性事故, 造成了巨大的社会震动。此后国家果断地启动了以明确煤矿安全责任、严格立法并加大惩处力度、加强管理为显著特征的应对措施, 并大幅增加了对煤矿的安全基础建设投入, 带动煤炭企业重视安全基础建设与人员培训, 并取得显著成效, 煤矿伤亡人数近年来持续减少 (表 1-2)。

表 1-2 2000—2009 年煤炭事故起数、死亡人数、百万吨死亡率

年 份	事故起数/起	死亡人数/人	百万吨死亡率/%	瓦斯事故数/起	瓦斯事故死亡人数/人
2000	2720	5796	5.77		3313
2001	3082	5670	5.14		
2002	4344	6995	4.94	592	2261
2003	4143	6434	4.170	596	2118
2004	3641	6027	3.08	377	
2005	3341	5986	2.836	414	2171
2006	2977	4746	2.04	327	1319
2007		3786	1.485		
2008	1901	3092	1.182	128	778
2009	1616	2631	0.892		

但是, 煤矿安全的影响与控制因素构成难以准确应对的复杂系统, 因此煤矿安全状况的改进是一项系统工程, 而且充满了潜在的风险和难以避免的反复。应该清醒地看到, 我国煤矿的事故率和人员伤亡规模仍处于不可容忍的高位, 煤矿仍是极具安全风险的行业, 在相当长的时期之内, 煤矿安全不断改善的表现背后仍隐藏着潜伏的脆弱性。面对煤矿严峻的安全形势, 我国近年来极具针对性的应对策略和措施已经显示出效果, 初步遏制了特别重大安全事故高发的势头, 但重大事故频发、瓦斯爆炸等风源性事故的死亡人数居高难下的格局仍无根本性改观。

高水平的煤矿安全依赖于管理、基础建设、科技进步和人员素质诸因素良好而均衡的发展。毋庸置疑, 影响煤矿安全形势的关键控制因素本身处在不断的变化之中, 因此在特定时期重点处理特定的突出问题将最有利于改善煤炭行业内影响最大的安全关键问题。但是从长远来看, 煤矿安全形势的根本好转取决于安全管理、科技进步、人员素质和安全基础建设的全面发展。目前, 在以法制建设和责任追究为核心的管理措施取得明显成效、煤矿基础设施得到重大改善的条件下, 有必要更多地关注技术进步及人员素质的提高, 以保证煤矿安全的持续改善。

1.2 通风计算基础概述

1.2.1 通风基础数据测取与精度保障

在矿井通风管理与计算中, 需要有较高精度的矿井通风现状数据作为基础。反映矿井

通风实际的客观专业数据是认识管理或研究对象并形成准确概念的基础,是开展系统分析和计算的前提,也是实现正确决策和应对的必需。矿井通风是实践性及工程性特点明显的复杂技术体系,通风基础数据是通风技术管理的基本保障。

1) 通风基础数据概述

矿井通风的基础数据原则上包括实现网络解算所需的基本参数,其中包括通风网络结构数据,即表达通风系统拓扑结构的风道号、始节点、末节点等参数,风量、风阻等井巷通风特征参数,以及矿井主要通风机以风量—风压数据对表达的通风特性参数。从管理角度而言,受到最大关注的是风量数据,而从计算的角度来看,风阻数据具有同样的重要性。

原则上来说,矿井通风的基础数据是客观数据,需要通过现场测定和数据处理得到,通风阻力测定和风机性能测定就是测取相关通风基础数据的常规方法。由于对风阻数据需求的广泛性,部分科研单位和矿山现场在不同条件下对有较大普适性的井巷通风摩擦阻力系数进行了汇编,使得巷道风阻可在巷道尺度、支护等简单测量数据和描述的基础上计算得到。随着绝对气压计精度的提高,通风阻力测定也广泛采用了绝对气压计法,部分取代了费工费时的沿巷道测风压差的常规方法。一般来说,通过对现场测定数据或试验转换数据的计算处理所获得的巷道风阻,均属于直接或间接的现场数据。

巷道风量测定是煤矿现场通风管理中的常规业务,主要用风地点和重要通风控制点的风量是煤矿通风安全管理严密跟踪的数据。巷道风量一般采用机械式风表测取断面的平均风速并结合断面面积数据计算得到,近年来热球式及涡流式等各种原理的风速计逐渐得到应用,煤矿安全监控系统也有多种风速传感器可供选择。各矿均设有专职的测风员定期巡视,而且也普遍设置了一定数量的风速传感器以及时了解系统内的通风状况。通风瓦斯数据除由专业人员随时检测和报告,以及由监控系统实时监测和展示以外,通常以日报和旬报的形式向矿井管理及技术人员通报。

井巷系统的拓扑结构数据是巷道连接格局的客观描述,在计算中需要将井巷进行抽象化后得到风道号和始末节点号数据,用以准确表达通风网络的拓扑结构。通风网络解算往往由于涉及十分复杂的系统,因而几乎无一例外都需要通风系统图和通风网络图的配合。用于通风网络计算的通风系统图与采掘工程平面图的基本区别之一就在于通风系统图对于通风网络拓扑结构数据的标注,而对通风系统分析有着重要作用的通风网络图则是典型的井巷系统拓扑图。

矿井主要通风机性能测定的主要内容是测定风机以风量—风压数据对表达的特性曲线,以便对通风机的适用性与运行特性有具体而准确的了解。由于主要通风机的性能与现场安装质量有关,主要通风机的性能测定一般均在现场进行。测定通常使用高精度仪表在不考虑井下通风负荷的条件下以逐次增阻或减阻的方式进行。主要通风机性能测定参数均需转化为标准条件下的数据。测定获取的风量—风压、风量—功率、风量—效率曲线是指导矿井通风管理的重要技术资料。

风量、风阻、通风机性能特性及井巷系统的拓扑结构等数据在采集和确认的过程中各自有其造成误差的可能和原因。一方面,误差是所有测定所不可避免的,特别是在煤矿生产条件下以合理的人力时间成本采集数据时,其精度通常低于实验室的精确测定;另一方面,现场管理对数据的精度要求也比高精度的实验室测定低,一般认为3%~5%的误差

是允许的,在某些情况下,误差范围可放大到 10%。因此,有些人认为基础数据的采集及数据中潜在的误差似乎很容易控制在合理的范围之内,实际情况并非如此。在通风计算的工程应用中,数据的采集、精度控制,以及在生产条件下的精度跟踪与保障(数据维护)仍然是煤矿通风安全计算分析及计算机应用的重要科研课题。

2) 通风系统拓扑结构数据

巷道一旦形成则只有使用和维护状态的变化而不会有空间位置的变化,因此井巷系统拓扑结构数据是相对固定的数据。涉及通风系统拓扑结构数据的误差主要表现在以下两个方面:

(1) 理解或表达错误。这类差错属于随机性差错,有些能够经检验而发现,如巷道号重复、节点号重复等;有些则无法经检验而发现,如表达的巷道连接格局与实际不符。

(2) 通风系统简化。为使图面清晰而有利于分析,如为了在采用通风网络图进行通风分析时保证分析效率,往往需要在正确保留通风系统特征表达的前提下显著降低图面的复杂程度。将通风系统内低风阻的短巷道段予以忽略往往是简化通风网络结构的常用处理方法,如井底车场及水平运输大巷上的三角岔一般都处在风量充沛的进风区域,其中包括的三条弯道长度不大,其本身的通风参数受关注的程度很低。即使将这三条巷道全部保留也难以看出对矿井风量分配的明显影响。若舍弃这三条短巷而将其简化为一个节点,则可使网络系统减少两个节点和三条风道,效果十分显著。应该看到,每一个小的简化处理对全系统的影响很小,但是通风网络的逐级非等效简化相综合则可能带来较为明显的误差。就整体而言,通风系统简化是涉及网络拓扑结构的主要误差源。精度可控的通风系统简化是技术性和实践性很强的工作,其有效应用能够显著加深对于矿井通风系统的理解并提高通风分析的效率。

3) 风量数据

风量数据是由专人巡视检测并得到安全监控系统连续监测支持的重要监控数据。《煤矿安全规程》对于全矿总风量及井下各特定区域的风量有明确而严格的规定,并要求将检测数据以报表的形式通报所有相关人员。但换一个角度来看,又会发现风量数据与通风计算分析及计算机应用的需求不相适应的问题。

(1) 《规程》严格规定了设立风量监控点的要求,加上各矿自己安排的风量监测点,这些有确定风量检测数据的风道组,其总数通常不超过矿井通风系统风道数的 25%,甚至有可能低到 10% 左右;对于其余 75% ~ 90% 的风道风量仅有粗略的概念,缺乏系统性的跟踪,通常对这些风道风量的了解存在着较大的误差。

(2) 在通风计算和监控中,每一条风道的风量参数都是重要的参与数据,部分风道风量的定性概念可能不会影响矿井通风的日常管理,但会对需要确定数据的通风计算及其后续分析产生影响,准确的风量数据的缺失将使某些计算无法达到预期目标。例如,在多数非检测风道的客观风量不确定的条件下,若以矿井通风现状为参照的通风网络验证性计算缺乏一组客观完整的风量分配数据,则将很难保证对成果数据组验证的完整性和客观性。

(3) 在上述条件下,检测数据本身的精度同样难以检验。检测数据少,因而数据间缺乏交叉检验的基础。由分析可知,风表测风产生的误差可能来自于风表校正误差及失校误差,风表稳定性不佳带来的误差,气象参数变化造成的误差,断面测量误差,断面的真

实风速分布向平均风速转化的测定方法误差,人为操作误差,以及多点测定时间不对应造成的误差等。虽然普遍认为在井巷测风站的风量检测精度可控制在3%~5%以内,但在其他地点就很难保证,特别是在工作面等非规整地点的风量检测往往难以有明确的精度把握。在缺乏交叉检验的情况下,对于具体的风量检测数据的精度很难予以系统性的评价。

(4) 由于现场风量检测的内在误差,局部冗余的测点布置将可能暴露出因测定误差所表现出来的数据矛盾问题。例如,有些矿井将全部进风通道与回风通道均纳入风量检测范围,理论上其数据转换到标准大气条件之下是平衡的;但是由于不可避免的测量误差,客观测定的数据一般是不平衡的。由此可以预计,如果全矿所有的风道风量均经过了检测,风量数据的冗余将暴露出数据误差所带来的风量不平衡的问题。在没有系统性的平差处理的情况下,部分风道的风量误差会在另一部分风道风量的推算中引起误差累积效应,从而出现显著的风量数据偏离。

4) 风阻数据

风道风阻数据的获取是矿井通风管理的基础性工作,通常采用压差计法或绝对气压计法测定计算而得。风阻数据不像风量或风压数据那样可以直接测定,需要通过测定风量、风压等数据后间接求得。通风的日常管理以风量为基本指标,而风阻并不作为通风管理的显性标准出现。风阻作为重要的通风基础数据,是矿井通风深度分析计算的基本前提之一。通风系统内各风道的风阻数据可能存在的误差或缺失会直接影响通风网络解算的精度,因此对其测定、精度及维护等必须给予足够的关注,以保证通风计算的有效实施。

风阻是间接测定的数据,其测定过程称为通风阻力测定。风阻是根据现场测定的风道风量、风压、温湿度、巷道尺度及测点高程等参数,经转换到标准大气条件后,由巷道的通风特征方程求出。影响风阻数据获取精度的因素主要包括:

(1) 通风阻力测定依照风压测定仪器和方法的不同分为压差计法和气压计法。通风阻力测定精度控制的难点在于风流的压降(巷道两端间因风流克服巷道阻力而造成的全压降低)测定。风流在同一条风道内的风压一般变化不大,通常在0.1~100 Pa以内,多数在0.5~30 Pa的范围内,但在风速很高或很长的风道,其压降有可能高达数百帕。就原理而言,压差计法的精度达到量程的千分之一即可满足工程要求,这一目标相对容易满足。矿用压差计结构简单,价格也较低。压差计法要求待测压差的两点之间有气密的连通管,故该法耗费人工多、测定时间长,常因连通管的气密性或连通性出问题而严重影响测定的精度和进度。气压计法以绝对气压为测定数据,因而测定过程简捷易行。但是,由于巷道内的绝对气压一般为101.325 kPa左右,千分之一精度的压差测定改用绝对气压测定则需要实际测定数据的约二十万分之一的精度来保障,达到这一目标是十分困难的。大气压力本身的波动及区域间的影响滞后等因素往往已达到测量精度所要求的这一数量级水平,但是每米高度的补偿值约为10 Pa,要从绝对气压的测定数据中通过高差补偿来准确地辨别出巷道风流压降,其精度保障问题就显得十分突出。因此,采用绝对气压计法进行现场通风阻力测定时,其精度一般低于压差计法。

(2) 由于通风阻力测定及测定数据处理具有一定的难度,专业人员多年来开展了大量标准巷道风阻精确测定及实验室模型巷道测定与比例转换计算的基础工作,形成了巷道通风摩擦阻力系数表,用以指导井巷的风阻确定,是矿井通风设计和计算的常用工具。权

威单位提供的井巷摩擦阻力系数是由专业人员以高精度仪表在典型条件下完成的,可信度较高,但由于现场的井巷条件各不相同,因而相应数据仅适用于预先限定的某些巷道条件下使用,具体取值需要依据现场情况结合使用者的经验选定。该方法所获取的现场井巷风阻值的误差一般在5%~20%之间。这一精度可以满足新矿井通风设计的要求,对于已有通风系统则可能会产生一定的甚至较大的误差,对计算结果的影响主要来自于误差的累积效应。

(3) 在矿井条件下,部分巷道除摩擦风阻外还存在一定的局部风阻,如断面急剧变化、弯道、风流分合、设备占用及堆积物等会产生局部风阻,有时这类局部风阻可能会达到较高的水平;同时,为调节风流的流量与流向,部分风道中需要修建通风构筑物以达到控制的目的,除风桥属于通过式通风构筑物以外,其他通风构筑物均会显著增大所在风道的局部风阻。在简化的通风计算中,通常将高局部风阻的风道作为断开的风道进行处理,而在较为详细的分析计算中,部分或全部有通风构筑物的风道可能有必要包括在计算的通风网络中。无论属于何类局部风阻,也无论在计算中将作何处理,局部风阻的计算或估计均是需要解决的问题。较低局部风阻的取值误差将显著影响井巷的风量分配的计算精度,而高于一定程度的局部风阻的取值所产生的误差将逐步降低。部分类型的局部风阻在较为标准的条件下有计算公式,也有部分试验数据作参考,但整体上的取值基础较差,主要依靠现场测定或通过风量反推确定。

(4) 煤矿的通风阻力测定须定期进行。《煤矿安全规程》第一百一十九条指出:“新井投产前必须进行1次矿井通风阻力测定,以后每3年至少进行1次。矿井转入新水平生产或改变一翼通风系统后,必须重新进行矿井通风阻力测定。”通风阻力测定沿着由进风井向回风井的路线进行,测定路线选取一至数条,通常不能覆盖矿井的全部巷道。在现场测定未覆盖的巷道中往往包括部分非规整或失修巷道,这些巷道风阻取值的误差难以估计。一般来说,对这些巷道通风参数的了解程度并不显著影响日常通风安全管理;但在通风网络计算中,这些巷道的风阻取值不仅会影响该巷道本身的风量,而且会影响其他巷道的风量计算值,因此需要重视巷道风阻的合理取值。

(5) 在网络解算中,风阻数据的误差对计算所得的风量分配数据误差有直接的影响,而且这些影响有可能形成不利的累积,使得某些区域的风量计算值相对于矿井通风实际情况出现显著误差。在已知每一条风道的风阻都有或多或少的误差的条件下,虽然对于误差累积效应可以进行理论上的预测,但相当困难。风阻数据是通风计算中最难以获取和维护的数据,但却是通风网络计算中最核心的数据,值得引起更大的重视。

5) 主要通风机工作特性数据

矿井主要通风机性能测定也须定期开展。《煤矿安全规程》第一百二十一条要求:“……新安装的主要通风机投入使用前,必须进行1次通风机性能测定和试运转工作,以后每5年至少进行1次性能测定。”通风机测定的主要任务是测取在风量—风压坐标系内的工作特性曲线,以及与该曲线相对应的功率与效率曲线。用于通风网络计算的矿主要通风机特性参数是表征其运行特性曲线的风量—风压数据对,通常采用3~10对数据进行表征。

通风计算中的通风机特性数据同样会表现出一定的误差,其主要原因有:

(1) 测定误差。矿井主要通风机的测定工作在风机入风硐的狭小空间里进行,条件