

矿井通风三维仿真模拟 理论与矿用空气幕理论

杨志强 赵千里 等著

KUANGJING TONGFENG SANWEI FANGZHEN MONI
LILUN YU KUANGYONG KONGQIMU LILUN



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

矿井通风三维仿真模拟理论 与矿用空气幕理论

杨志强 赵千里 杨 斌 杨长祥 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2008

内 容 简 介

本书主要介绍矿井通风三维仿真模拟理论与矿用空气幕理论发展,矿井通风三维仿真理论与应用,矿用空气幕技术理论研究与应用等。本书内容包括:矿井通风系统仿真总体设计与三维仿真建模,矿井通风三维仿真系统 MVSS3.0 的主要功能构架,基于仿真的通风网络拓扑关系的自动构建技术,矿井风机站对旁侧风路的影响研究,矿井风网特征图数学模型研究,基于通风仿真的通风网络风流分配算法及基本定律,最大通风机可视化仿真构建,通风网络单向回路关键技术,基于仿真的通风网络角联结构自动识别技术与应用,基于仿真系统的自然风压研究概论,矿井通风仿真系统可视化研究,矿用空气幕的结构及功能,矿用空气幕引射、隔断、增阻三大理论的应用研究等。

本书可供矿山设计、矿山安全通风的科研院所以及矿山企业的高层管理者、安全科技工作者、消防安全工作者与各级政府的安监部门的工程技术人员阅读,也可供大专院校安全工程专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

矿井通风三维仿真模拟理论与矿用空气幕理论/杨志强,赵千里等著. —北京:冶金工业出版社,2008.7

ISBN 978-7-5024-4528-7

I. 矿… II. ①杨… ②赵… III. ①计算机仿真—应用—矿山通风 ②矿山通风—空气幕—研究 IV. TD72-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 117281 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张 卫 章秀珍 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 王贺兰 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4528-7

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 7 月第 1 版,2008 年 7 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 21.25 印张; 504 千字; 317 页; 1-2000 册

58.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010) 65289081

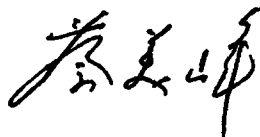
(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

《矿井通风三维仿真模拟理论与矿用空气幕理论》一书，作者主要以硕博论文及1998年以来的有关矿井通风仿真理论与矿用空气幕理论研究与应用成果为基础而著的。矿井通风三维仿真模拟理论，综合应用了通风网络理论、集合论、图论、流体力学、人工智能理论、可靠性理论、可视化理论、面向对象程序设计理论以及计算机图形学，开发了一个集通风网络图绘制、角联风路自动识别仿真、通风网络简化仿真、网络优化调节仿真、风流分配仿真、通风技术改造与通风设计评价等功能仿真为一体的矿井通风三维仿真模拟系统。该仿真模拟系统创造性地实现了信息处理与图形的交互，实现了通风网络解算数据的自动标注，真实地反映了矿井生产过程中通风网络的实际状况，与国际上最著名的波兰科学院的WENTGRAF系统相比，更具有科学性、适用性和灵活性。本仿真模型的建立，为矿山通风系统建立了一个虚拟的矿井通风仿真模拟系统，是矿井通风系统的真实再现，为矿山的通风管理提供了一种科学决策的技术手段。

本书作者在矿用空气幕理论研究与应用篇中，主要对矿用空气幕的结构及功能、矿用空气幕隔断风流替代风门理论模型、矿用空气幕增阻调节风流替代风窗理论模型、矿用空气幕引射风流替代机站理论模型、引射型或隔断型空气幕特性数值分析与试验及矿用空气幕引射、隔断、增阻三大理论的应用研究等部分进行了介绍。与国内外同类研究相比属创新性研究，拓宽了空气幕的研究与应用途径，具有良好的推广应用价值和推广前景。希望读者能从中得到启迪，更好、更科学地做好空气幕应用研究，使其在生产实践中发挥更大作用。

中国金属学会采矿分会理事长
中国岩石力学与工程学会副理事长
北京科技大学土木与环境工程学院原院长



2008年6月

前 言

《矿井通风三维仿真模拟理论与矿用空气幕理论》一书，共分三部分：第一部分是矿井通风三维仿真理论与矿用空气幕理论发展篇；第二部分是矿井通风三维仿真理论研究与应用篇；第三部分是矿用空气幕技术理论研究与应用篇。

矿井通风系统是通风路线、通风动力和控制风流的通风构筑物的总称，它是矿山安全生产的主要保障，把仿真系统应用于矿井通风系统中，便构建了一个虚拟的矿井通风仿真系统，为矿山通风系统科学管理提供了支撑。本书介绍的矿井通风仿真模拟系统 MVSS3.0，综合应用了通风网络理论、集合论、图论、流体力学、人工智能理论、可靠性理论、可视化理论、面向对象程序设计理论以及计算机图形学，开发了一个集通风网络图绘制、角联风路自动识别仿真、通风网络简化仿真、网络优化调节仿真、风流分配仿真、通风技术改造与通风设计评价等功能仿真为一体的矿井通风三维仿真模拟系统。该仿真模拟系统创造性地实现了信息处理与图形的交互，实现了通风网络解算数据的自动标注，真实地反映了矿井生产过程中通风网络的实际状况，与国际上最著名的波兰科学院的 WENTGRAF 系统相比，更具有科学性、适用性和灵活性。本仿真模型的建立，为矿山通风系统建立了一个虚拟的矿井通风仿真模拟系统，是矿井通风系统的真实再现，为矿山的通风管理提供了一种科学决策的技术手段。

矿井通风三维仿真模拟系统 MVSS3.0 共具有十二大功能模块：模块Ⅰ能科学、准确、实时地分析通风现状，及时找出存在的问题和原因，提出通风技术改造方案；模块Ⅱ能对矿井通风设计或技术改造设计的合理性做出科学的评价，提出修改设计的方案；模块Ⅲ能自动生成通风系统图和风网特征图，在图上可直观地了解矿井风流状态和拓扑关系；模块Ⅳ能自动识别矿井角联网络和角联风路，并提出解决角联问题的技术方案；模块Ⅴ能自动评价矿井供风、用风、回风三区段匹配情况，并提出最佳匹配方案；模块Ⅵ能建立通风网络优化、简化模块，随时分析井下通风能耗，做到能耗最低；模块Ⅶ能建立火灾救灾决策支持模块，为矿井救灾决策提供科学依据；模块Ⅷ能建立模拟新巷道或新设计的竖井对现有通风系统的影响的评价模块；模块Ⅸ能通过模拟通风系统构筑物新增、拆除或移动，对系统的影响，提出调控最佳方案；模块Ⅹ能通过模拟，确定新增风机站最佳位置和改造方案，提出解决旁侧风路漏风措施；模块Ⅺ能模拟井下巷道断面变化、支护形式的改变对通风系统的影响，提出相应技术措施；模块Ⅻ能进行通风解算模拟局部巷道风量、风阻变化对系统的影

响,为矿井增阻或降阻调节。

我国在矿用空气幕研究方面较国外晚,20世纪60年代才开始研究,就是到了20世纪90年代仍局限于隔断巷道风流方面的研究,尽管有文献提出,当空气幕有效压力大于巷道两边的压差时,会出现过余隔断属于引射器的工作范围,但对空气幕是否还具有引射器或辅扇的功能、引射风量与空气幕的特性之间的关系等,尚未从理论和实践上进行深入研究,尤其是未在大断面大压差条件下进行试验研究。此外,当空气幕有效压力小于巷道两边的压差时,会出现不足于隔断风流的现象,空气幕起增阻的作用,但其阻风率与空气幕有效压力等的关系也尚未从理论和实践上进行深入研究。鉴于此,金川集团公司从1998年开始,与江西理工大学联合进行了深入研究,在实验室通过改变试验巷道的断面积、风机的叶片安装角、风机的功率等对空气幕的特性进行了系统研究与分析,建造了多功能矿用空气幕隔断风流、引射风流和增阻减少风流的理论模型,并在国内多个金属矿山对空气幕的多种功能进行了大量应用研究,在同一巷道断面内研究多机并联空气幕引射风流、隔断风流和对风流增阻,在难以设置通风构筑物的大断面、大风压差运输巷道内成功解决了污风循环、风流短路、风流反向、污风对井筒设备的腐蚀和主井结冰等难题。与国内外同类研究相比属创新性研究,拓宽了空气幕的研究和应用途径,具有良好的推广应用价值或前景。

矿用空气幕理论研究与应用主要从矿用空气幕的结构及功能、矿用空气幕隔断风流替代风门理论模型研究、矿用空气幕增阻调节风流替代风窗理论模型研究、矿用空气幕引射风流替代机站理论模型研究、引射型或隔断型空气幕特性数值分析与试验研究及矿用空气幕引射、隔断、增阻三大理论的应用研究等方面进行了介绍。希望读者从中得到启迪,更好、更科学地做好应用研究,使其发挥更大效力。

本书得以顺利出版是与金川集团公司的主要领导及各级领导的大力支持和指导分不开的。尤其在成书过程中给予指导帮助的金川集团公司副总经理包国忠教授级高工、北京科技大学博士生导师高谦教授、辽宁工程科技大学博士生导师刘剑教授、南方理工大学博士生导师王海宁教授等表示最诚挚的感谢和敬意。同时金川集团公司的经营管理者高建科、王福玉、姚维信、刘保卫、陈得信、张周平和技术工作人员党明智、高创州、周松中、颀国星、高志勇、薛希忠、王克宏、孙永川、王永松、拜生学及辽宁工程技术大学李玉成、贾进章、郑丹、马衡和江西理工大学张红婴、任如山、蒋达华、石发恩等参加了编写,在这里一并表示感谢。

著 者

2008年5月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价 (元)
中国爆破新技术	200.00
矿山工程设备技术	79.00
非金属矿加工技术与应用手册	119.00
冶金矿山地质技术管理手册	58.00
露天矿山台阶中深孔爆破开采技术	25.00
矿物资源与西部大开发	38.00
成矿区带地球化学异常评价方法	9.80
胶东招莱地区花岗岩和金矿床	28.00
脉状金矿床深部大比例尺统计预测理论与应用	38.00
散体动力学理论及其应用	42.00
碎矿与磨矿	28.00
磁电选矿	35.00
选矿厂设计	36.00
当代胶结充填技术	45.00
地下装载机——结构、设计与使用	55.00
地下铲运机	68.00
工艺矿物学 (第2版)	32.00
矿石学基础 (第2版)	32.00
矿山生态复垦与露天地下联合开采	20.00
矿浆电解原理	22.00
岩石爆破理论与技术新进展	35.00
矿床无废开采的规划与评价	14.50
矿业经济学	15.00
岩浆提金工艺与实践	20.00
充填采矿技术与应用	55.00
中国矿产资源主要矿种开发利用水平与政策建议	90.00

目 录

第一篇 矿井通风三维仿真理论与矿用空气幕理论发展

0 矿井通风仿真理论与矿用空气幕理论发展概述	1
0.1 矿井通风仿真技术发展	1
0.1.1 矿井通风仿真的基本内涵	1
0.1.2 矿井通风仿真系统国内外研究现状	2
0.1.3 矿井通风仿真系统可视化技术发展	2
0.1.3.1 可视化技术简介	2
0.1.3.2 可视化技术发展现状	3
0.1.4 基于仿真系统的通风技术研究现状	4
0.1.4.1 网络自然分风研究现状	4
0.1.4.2 网络调节与通风系统优化研究现状	4
0.1.4.3 固定分割集条件下的按需分风	5
0.1.4.4 风网特征图研究现状	5
0.1.4.5 角联结构研究现状	5
0.2 矿用空气幕技术理论研究与应用现状概述	6
0.2.1 矿井风流控制技术研究现状	6
0.2.2 矿用空气幕技术研究现状	10

第二篇 矿井通风三维仿真理论与应用

1 金川矿井通风仿真数学模型	15
1.1 矿井风流状态仿真数学模型	15
1.2 矿井通风网络仿真数学模型	16
1.3 通风网络风流分配仿真数学模型	17
1.4 通风网络优化调节仿真数学模型	17
1.4.1 网络优化调节仿真目标函数	17
1.4.2 矿井功耗最小调节仿真数学模型	18
1.5 角联风路自动识别仿真数学模型	19
1.6 通风网络简化仿真数学模型	21

1.7 最大通风能力仿真数学模型	22
1.7.1 单一源汇网络与半割集	22
1.7.2 极值流目标函数	23
1.7.3 基于最大通风能力的独立通路法与通路法	23
1.7.3.1 基于最大通风能力的独立通路的概念及其算法	23
1.7.3.2 独立通路法确定网络的极值程序模块	24
2 矿井通风系统三维仿真总体设计与三维仿真建模	26
2.1 三维仿真系统发展	26
2.1.1 计算机图形学的发展	26
2.1.2 三维计算机图形学方法及应用	27
2.1.2.1 三维建模技术	27
2.1.2.2 三维造型技术	27
2.1.2.3 三维图形变换	27
2.2 矿井通风三维仿真系统总体设计	28
2.2.1 系统数据结构设计	28
2.2.1.1 系统数据模型	28
2.2.1.2 系统数据流	29
2.2.2 系统总体功能结构设计	29
2.2.3 系统主要功能	30
2.2.3.1 系统的三维自动构建	30
2.2.3.2 图形的三维显示	30
2.2.3.3 风流动态模拟	31
2.2.3.4 图属三维交互查询	31
2.2.4 矿井通风系统三维仿真构建技术路线	31
2.3 基于通风仿真的矿井通风系统普查	32
2.3.1 矿井通风系统普查的目的	32
2.3.2 矿井通风系统普查的项目	32
2.4 基于矿井通风仿真的矿井通风系统参数测试	33
2.4.1 通风阻力系数测试	33
2.4.1.1 通风阻力系数测试的目的和意义	33
2.4.1.2 通风阻力系数测试的内容	33
2.4.1.3 通风阻力系数测试准备	34
2.4.1.4 通风阻力系数测试步骤	34
2.4.1.5 通风阻力系数测试模型	35
2.4.1.6 通风阻力系数测试方法	36
2.4.2 基于矿井通风仿真的风机性能测试	38
2.4.2.1 风机性能测试的目的和任务	38
2.4.2.2 风机性能测试方案和方法	40

2.4.2.3 风机性能测定数据整理和计算	40
2.4.3 基于矿井通风仿真的巷道断面与风速、风量测定	43
2.4.4 矿井通风系统评价指标模型	43
2.4.5 基于矿井通风仿真的通风构筑物测试	44
2.5 矿井通风系统三维仿真建模	45
2.5.1 通风系统三维仿真建模的基本思想	45
2.5.2 通风网络三维建模	45
2.5.2.1 建模方法和流程	45
2.5.2.2 截面形状、草图平面和草图坐标的确定	45
2.5.2.3 两分支巷道接口问题的研究	46
2.5.3 通风参数自动标注的方法研究	46
2.5.3.1 竖井风向箭头的三维建模	47
2.5.3.2 斜井风向箭头的三维建模	47
2.5.3.3 巷道风向箭头的三维建模	47
2.5.3.4 通风参数自动标注模块的实现	48
2.6 矿井通风系统三维仿真文档创建	48
2.6.1 矿井通风三维仿真系统数据库设计	49
2.6.1.1 数据库技术与面向对象技术	49
2.6.1.2 系统属性数据及管理方式选择	50
2.6.1.3 程序设计原理	50
2.6.2 矿井通风三维仿真系统图的录入	55
2.6.2.1 巷道的录入	56
2.6.2.2 插入节点	57
2.6.2.3 绘制构筑物	57
2.6.2.4 绘制通风动力装置	57
2.6.2.5 绘制风流方向	57
2.6.3 三维通风仿真系统图的拓扑关系修改	58
2.6.3.1 巷道方向的修改	58
2.6.3.2 系统图简化与取消简化	59
2.6.4 三维仿真系统图的检验	60
2.7 矿井通风机应用仿真系统构建	62
2.7.1 系统组成及功能	62
2.7.1.1 基础参数设置	62
2.7.1.2 仿真控制	63
2.7.1.3 系统性能分析	64
2.7.2 程序设计	65
2.7.2.1 数据存取管理设计	65
2.7.2.2 可视化操作界面设计	66
2.7.2.3 特性曲线回归分析处理	66

2.7.2.4 曲线动态绘制	66
2.7.2.5 同步机制和接口	66
2.7.3 结论	66
2.8 网络属性数据查询与编辑	67
2.8.1 巷道属性数据查询和编辑	67
2.8.2 节点属性数据查询和编辑	67
2.8.3 构筑物属性数据查询和编辑	67
2.8.4 仿真系统中通风动力装置查询和编辑	68
3 矿井通风三维仿真系统 MVSS3.0 的主要功能构架	70
3.1 矿井通风三维仿真模拟系统 MVSS3.0 主要功能构架设计	70
3.1.1 矿井通风十二大仿真功能模块设计	70
3.1.2 矿井通风三维仿真模拟系统 MVSS3.0 三要素设计模块	70
3.1.3 矿井通风仿真系统功能设计与其他同类产品的比较	71
3.2 矿井通风三维仿真系统主要功能构建体系	72
3.2.1 模拟评价通风系统设计或通风技术改造方案	72
3.2.2 模拟验证新增或拆除通风设备或通风构筑物情况	72
3.2.3 模拟通风系统现状或“三区”匹备状况	73
3.2.4 模拟巷道断面规格、支护类型变化及风路增减阻调节情况	73
3.2.5 按需调节仿真功能	73
3.2.6 可视化仿真功能	73
3.2.7 矿井通风系统综合分析与评价功能	73
3.2.8 自动生成各种分析报告	74
3.2.9 鼠标右键功能	74
3.2.10 其他绘图、辅助工具及帮助功能	75
3.3 矿井通风仿真系统功能仿真	75
3.3.1 典型通风仿真系统模型构建	75
3.3.2 矿井通风仿真系统功能仿真	80
3.3.2.1 仿真模拟新掘井巷的贯通和报废	80
3.3.2.2 仿真模拟井巷断面或长度变化	81
3.3.2.3 仿真模拟巷道冒落、杂物堵塞	82
3.3.2.4 模拟通风构筑物的个数、位置、调节量	83
3.3.2.5 模拟通风动力设备的数量、位置和特性,井下多级机站通风	84
3.3.2.6 网络风流按需分配仿真	85
3.3.2.7 网络调节节点法	87
3.4 矿井通风仿真系统 MVSS 功能模拟举例	90
3.4.1 原始数据	90
3.4.2 仿真模拟增加或删除风路对周围风路的影响	91
3.4.2.1 仿真模拟增加风路对周围风路的影响	91

3.4.2.2 仿真模拟删除风路对周围风路的影响	91
3.4.3 仿真模拟机站位置的变化对周围风路的影响	92
3.4.3.1 拆除地面主扇, 在 1150 水平回风道设井下机站, 且不加调节	92
3.4.3.2 拆除地面主扇, 在 1150 水平回风道设井下机站, 并加调节	92
3.4.4 模拟评价某矿井主回系统通风技术改造方案的可行性	93
3.4.4.1 技术改造方案	93
3.4.4.2 仿真模拟	93
3.4.5 模拟 1300m、1350m 两机站移位与西主扇停开效果, 并从中给出解决方案 ...	95
3.4.6 仿真模拟矿用空气幕设置方案对通风系统的影响	97
3.4.6.1 仿真模拟矿用空气幕引射风流替代机站现场方案	97
4 基于仿真的通风网络拓扑关系的自动构建技术	100
4.1 矿井通风系统拓扑关系	100
4.1.1 矿井通风系统拓扑关系的概念	100
4.1.2 矿井通风系统拓扑关系的表表示	100
4.1.3 矿井通风系统拓扑关系特点	100
4.1.3.1 巷道与节点之间的关系直接影响仿真结果	101
4.1.3.2 巷道与构筑物	101
4.1.3.3 巷道和通风动力装置	101
4.1.3.4 巷道与风流方向	101
4.2 矿井通风系统拓扑关系可视化程序实现机制	101
4.2.1 巷道与节点	101
4.2.2 巷道与构筑物和通风动力装置	102
4.2.3 巷道与风流方向	102
4.3 拓扑关系可视化程序设计	103
4.3.1 巷道类与节点类	103
4.3.2 巷道类和构筑物类或通风动力装置类	103
4.3.3 巷道类和风流方向类	104
4.4 通风网络拓扑关系自动建立与维护	104
4.5 矿井通风网络拓扑分析和数据分析	109
4.5.1 网络拓扑分析	109
4.5.1.1 进风井和出风井	109
4.5.1.2 图的连通性	109
4.5.1.3 单向回路	110
4.5.1.4 风流反向巷道	110
4.5.2 数据分析	111
4.5.2.1 固定风量巷道	111
4.5.2.2 测试风量巷道	111
4.5.2.3 调节风阻巷道	112

4.5.2.4 最大阻力路线	112
4.5.2.5 误差分析	112
5 基于仿真的通风网络自动简化技术与应用	114
5.1 通风网络自动简化程序设计	114
5.1.1 通风网络自动简化程序设计框图	114
5.1.2 通风网络自动简化技术	114
5.1.3 通风网络自动简化实例	116
5.2 通风网络简化与参数等效变换	117
5.2.1 通风网络串联、并联与角联等效参数变换	117
5.2.2 ∇ 型与Y型网络的非等效变换	118
5.3 网络简化实现Q-H平衡图的层次性	118
6 矿井风机站对旁侧风路的影响研究	121
6.1 井下机站对旁侧风路的影响原理	121
6.2 并联网络上的机站容易导致扇风机工况不稳	121
6.3 用矿井通风仿真系统模拟运算机站对旁侧风路的影响	122
6.3.1 用模拟运算验证井下机站对旁侧风路的影响	122
6.3.2 用MVSS3.0模拟运算验证风路风阻对风流方向的影响	123
6.4 防止旁侧风路风流反向的措施分析	124
6.4.1 旁侧风路设置机站消除循环风	124
6.4.2 循环体外设置机站消除循环风	125
6.4.3 某矿井通风网络旁侧风路风流分析	126
7 矿井风网特征图数学模型研究	127
7.1 矿井风网特征图研究现状	127
7.2 矿井风网特征图的概念	127
7.3 风网特征图的五线模型	128
7.3.1 节点线	128
7.3.2 回路线	129
7.3.3 通路线	129
7.3.4 割集线	130
7.3.5 风阻特性曲线	130
7.4 风网特征图——平衡图绘制机制	130
7.4.1 确定网络节点的纵坐标	130
7.4.2 用深度优先搜索法搜索从源点到汇点的通路	131
7.4.3 将通路中风量最小的分支的风量定义为该通路的宽度	131
7.4.4 对通路分支进行着色	131
7.4.5 通路作交集运算	131

7.4.6 确定矩形块左下角点坐标	131
7.4.7 确定矩形块右上角点坐标	132
7.4.8 以此类推直到所有分支各就各位	132
7.5 立体网络的风网特征图	132
7.6 含有角联分支的通风网络平衡图研究	133
7.6.1 角联分支的不稳定性	133
7.6.2 通风网络平衡图研究	134
7.7 风网特征图的功能	135
7.8 矿井风网特征图可视化研究	137
8 基于通风仿真的通风网络风流分配算法及基本定律	141
8.1 通风网络风流分配研究现状	141
8.2 基于通风仿真的通风网络——串并联风网特性	141
8.2.1 串联风网特性	141
8.2.1.1 串联风网计算模型	141
8.2.1.2 串联风路等效阻力特性曲线的绘制	142
8.2.2 基于通风仿真的并联风网特性	142
8.2.2.1 并联风网计算模型	142
8.2.2.2 并联风路等效阻力特性曲线的绘制	143
8.3 基于通风仿真的通风网络解算数学模型	144
8.3.1 通风网络图的绘制原理	144
8.3.2 矿井通风网络图及其表示方法	145
8.3.2.1 矿井通风网络图	145
8.3.2.2 矿井通风网络图的表示法	145
8.3.3 通风网络图的绘制、解算和数据管理一体化模块	146
8.3.3.1 系统的总体模块设计	146
8.3.3.2 系统中主要功能模块的实现	146
8.3.4 基于通风仿真的通风网络解算的基本定律	147
8.3.4.1 矿井风量守恒定律	147
8.3.4.2 闭合回路能量守恒定律	148
8.3.4.3 矿井通风阻力定律	149
8.3.4.4 回路风压平衡定律	149
8.3.4.5 节点风压法的基本原理	149
8.3.4.6 拟线性法解法	151
8.4 基于通风仿真的通风网络风流分配算法	152
8.4.1 Barczyk 法	152
8.4.2 Cross 法	154
8.5 基于通风仿真的分流算法中的一些具体问题	156
8.5.1 基准分支的拟定与迭代处理	156

8.5.2 通风机械特性曲线的处理	156
8.5.3 分流算法评估	156
9 矿井通风机可视化仿真构建	158
9.1 矿井通风机可视化仿真的意义	158
9.2 矿井通风机运行特性	158
9.2.1 通风机的特点	158
9.2.2 通风机性能模型	159
9.2.2.1 通风机风压模型	159
9.2.2.2 通风机风量模型	160
9.2.2.3 通风机功率模型	160
9.2.2.4 通风机效率模型	161
9.2.2.5 空气密度模型	161
9.3 通风机的特性曲线和网路性能曲线	162
9.4 矿井通风机可视化仿真的功能	162
9.4.1 虚拟通风机的建立	162
9.4.2 通风机个体特性化-参数初始化	163
9.4.3 通风机性能测试数据处理	165
9.4.4 风机性能曲线的绘制及相关操作	166
9.4.5 通风机性能分析和工况分析	167
9.4.6 仿真控制	170
9.5 风机可视化程序设计	170
9.5.1 总体设计	170
9.5.2 数据存取管理设计	170
9.5.2.1 数据存取管理方式的选择	171
9.5.2.2 数据库及访问技术的选择	173
9.5.3 数据库的设计	173
9.5.3.1 概念结构设计	173
9.5.3.2 逻辑结构设计	174
9.6 特性曲线的自动绘制和性能分析程序设计	178
9.6.1 坐标系统的建立	178
9.6.1.1 VC++ 中坐标系统	178
9.6.1.2 坐标系统的设计	179
9.7 矿井通风机可视化仿真研究结论	180
10 通风网络单向回路关键技术	182
10.1 通风网络单向回路问题的提出	182
10.2 含有单向回路的通路算法	183
10.2.1 通路矩阵	183

10.2.2	无单向回路的通路矩阵算法	185
10.2.3	含有单向回路的通路矩阵算法存在的问题	187
10.3	有向图深度优先搜索	188
10.3.1	有向图中任意两节点之间的正向深度优先搜索	188
10.3.2	有向图中任意节点的深度优先遍历搜索	191
10.3.3	搜索策略与退栈策略	191
10.4	无向图深度优先搜索	192
10.5	深度优先搜索法确定流体网络的全部通路	193
10.6	有向宽度优先搜索	194
10.7	深度优先搜索法确定含有单向回路的通风网络的全部通路	195
10.8	避免单向回路出现或减少单向回路影响程度的方法探讨	197
10.8.1	优化矿井机站位置	197
10.8.2	在旁侧风路或循环体外增设机站	197
10.8.3	网络优化调节减少循环风的影响	197
10.9	含有单向回路的风网平衡图绘制方法	198
10.10	单项回路算法结论	199
10.10.1	深度优先搜索法确定含有单向回路的通路矩阵	200
10.10.2	含有单向回路时的流体网络平衡图绘制	200
11	基于仿真的通风网络角联结构自动识别技术与应用	201
11.1	角联结构研究现状	201
11.2	角联通风网络稳定性与利弊分析	201
11.2.1	角联风路与非角联风路稳定性分析	201
11.2.2	角联网路的利弊性分析	203
11.3	角联分支的定义与性质	203
11.4	角联网络 θ 结构七元组	205
11.5	基于通风仿真的通风网络角联结构算法	206
11.5.1	通路法	206
11.5.2	路径法	209
11.6	角联分支的风向判别	211
11.7	角联分支对通风系统可靠度的影响	214
11.7.1	角联分支的多少对通风系统可靠度的影响	214
11.7.2	角联分支可靠度大小对通风系统可靠度的影响	214
11.8	角联风路自动识别与分析实例	215
11.9	角联风路治理技术	216
11.9.1	系统分析	216
11.9.2	治理步骤和调整方案	217
11.9.3	角联风路治理技术	217
11.10	角联结构的可视化	218

12 基于仿真系统的自然风压研究概论	219
12.1 自然风压研究的意义	219
12.2 自然风压研究现状	219
12.3 自然风压的概念和实质	220
12.3.1 自然风压的概念	220
12.3.1.1 自然热位差	221
12.3.1.2 水平气压差	221
12.3.1.3 大气自然	221
12.3.2 自然风压的实质	222
12.4 基于仿真系统的自然风压分析方法	222
12.4.1 自然风压分析方法一	222
12.4.1.1 黏性流体运动模型	222
12.4.1.2 黏性流体微元流束伯努利方程	222
12.4.1.3 黏性流体总流的伯努利方程	224
12.4.1.4 用平均密度求解自然风压	227
12.4.2 基于仿真系统的自然风压分析方法二	228
12.4.2.1 热力学第一定律	228
12.4.2.2 气体稳定流动的能量方程式	229
12.4.2.3 对流换热模型	231
12.4.2.4 对水平巷道自然风压能量的研究	232
12.4.2.5 对存在高差巷道自然风压能量的研究	232
12.5 某矿井自然风压的计算及其规律	235
12.5.1 基于仿真系统的自然风压的计算	235
12.5.2 基于仿真系统的自然风压的变化规律与特性	240
12.6 自然风压对网络分流的影响	241
12.6.1 网络分流预处理	241
12.6.2 有自然风压影响下的计算	242
12.7 四季自然风压的影响	247
12.7.1 夏季不稳定分支风流反向判别式	247
12.7.1.1 14 平硐风流停滞或反向的条件判别式	247
12.7.1.2 14 平硐和 24 平硐风流同时反向的判别式	248
12.7.2 冬季不稳定分支风流反向判别式	248
12.7.2.1 24 平硐风流停滞或反向的条件判别式	248
12.7.2.2 24 平硐风流反向, 35 风流停滞或反向的判别式	249
12.8 自然风压研究结论	249
13 矿井通风仿真系统可视化研究	251
13.1 可视化技术发展及矿井通风系统可视化研究现状	251