



基于智能优化算法的 通风网络优化算法研究

库向阳◎著

西北工业大学出版社

基于智能优化算法的通风网络 优化算法研究

库向阳 著



西北工业大学出版社

【内容简介】 本书针对生产实际中矿井通风网络优化面临的理论和技术问题,以矿井通风理论、最优化理论和图论为基础,归纳和概括了通风网络优化分析模型,分析和总结了模型求解算法的优、缺点,利用数据结构 and 图论相关算法技术,自动化建立矿井通风系统优化模型,研究大规模非凸、非线性规划模型求解新算法技术,主要内容包括通风网络自然分风新算法、混合型一体化通风网络优化算法、混合型通风网络风量最优分配和风流最优调控两步法优化算法、附有条件的网络最大流新算法、附有条件最短路径(矢量和栅格格式)算法以及多目标网络优化算法,并通过实例来验证分析算法性能。书后附有主要算法的 Matlab 程序。

本书可作为矿山通风安全、网络优化、运筹学等专业研究生的教材,也可供从事矿山安全、最优化理论方法和运筹学等理论应用研究的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于智能优化算法的通风网络优化算法研究/库向阳著. —西安:西北工业大学出版社, 2012.9

ISBN 978-7-5612-3478-5

I. ①基… II. ①库… III. ①矿井通风系统—最佳化—研究 IV. ①TD724

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 223622 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpu.com

印刷者:陕西天元印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:12.5

字数:298 千字

版次:2012 年 9 月第 1 版

2012 年 9 月第 1 次印刷

定价:34.00 元

前 言

煤炭是国民经济和社会发展的基础,在我国一次能源生产和消费结构中始终占 70%左右的份额,预测 2050 年仍将占 50%以上份额,因此,煤炭在相当长的时期内仍将是我国的主要能源。然而我国的煤矿安全生产形势依然严峻,不容乐观。因此,对减少矿井事故、防止瓦斯灾害的方法和技术仍然值得深入研究。煤矿安全事故所造成的经济损失是重大的,给社会和伤亡人员的家庭所造成的影响与损失是无法估量的。矿井通风系统是矿井开采系统中一个重要子系统,既依附又制约着矿井开采大系统。建立安全、可靠和经济的矿井通风系统是矿井安全生产的基本保证,是确保我国矿山可持续健康发展的重要保障。

据统计,在未来的 10~15 年,我国将近有 1/3 的有色矿山即将进入深部开采,很多煤矿现在已经进入深部开采。随着矿井的开采深度及范围的不断扩大,通风网路的长度、规模(节点数和边数)不断增大,国内地下矿井通风系统的复杂度(即通风网络的分支数)一般都在 300 条以上,而更复杂的通风系统复杂度可达数千条。随着煤矿开采深度的增加和开采规模的不断扩大,矿井通风系统越来越复杂,传统的矿井通风网络优化理论与方法已经不能适应新的煤矿生产实际。这些问题的解决越来越依赖于基础学科理论研究和新技术的开发与应用。

随着开采机械化程度不断提高,矿井生产效率和生产能力大大提高,现代化大型、特大型矿井、深井高温矿井、高瓦斯和有煤与瓦斯突出动力现象的矿井数目日渐增多,矿井供风量越来越大,通风费用越来越高,其在生产经营费用中所占比例越来越大,已对矿井经济效益产生了较大影响。随着社会对煤矿井下生产工作环境、预防和控制煤矿生产安全事故发生、矿区生态环境的重视,矿山生产成本将会越来越高,继续深入开展矿井通风系统优化,有很大社会现实意义和经济意义。

煤矿安全生产是目前社会重点关注的热点问题之一,尤其是在能源紧张,对煤炭的需求量不断增加的情况下,煤矿的安全生产问题更是值得我们关注,这也是建设平安、和谐社会的重要组成部分。研究矿井通风系统的安全可靠性评价方法,及时发现安全生产隐患,从而指导调整与改造通风系统以及救灾决策,也是我们建立以人为本,构建和谐社会的根本需求。

煤矿安全科技的基础理论研究是煤矿灾害防治工作的源泉和根本。开展基础理论研究,揭示煤矿事故的致因和灾害发生机理,摸清事故发生、发展及演化过程,探索灾害预测、预报的敏感性指标或参数,寻找防止事故发生的途径和方法是确保煤矿安全、经济运行的基础,是有效遏制矿井与通风有关的安全事故的理论和技术的保证。在《国家安全生产科技发展规划煤矿领域研究报告》(2004—2010 年)中,已将通风系统安全可靠性评价和优化设计理论基础的研究、煤矿安全经济理论研究作为两个基础理论研究方向。

矿井通风系统属于流体网络系统,随着矿井生产的进行、地质环境因素的变化而动态变化,而且具有随机性。矿井通风系统应该从技术上可行、运行状态安全可靠、经济上运行成本低三方面来衡量。本书引入系统工程、网络图论、人工智能和最优化理论,利用现代计算机技术手段,对矿井通风系统进行优化设计,运行状态模拟、评价,最优控制和可靠性分析。矿井通风系统的特点为矿井通风系统优化理论与方法提出了更高的要求,而系统工程、网络图论、人

工智能、最优化理论和计算机技术为这一研究提供了强大的理论和技术支持。本书第 1 章介绍本书的选题背景,国内外研究现状和存在问题;第 2 章介绍通风网络的数学模型,是深入学习和研究的基础;第 3 章介绍附有条件的最小支撑树算法,这一算法是计算机自动寻找通风网络回路的算法,是通风网络分风计算和风量调节的基础,尤其适用于有调风地点限制的情况;第 4 章~第 13 章分别论述了复杂通风网络自然分风的一些新的算法、基于遗传算法的一体化通风网络优化算法、基于遗传算法的通风网络两步法风流调节优化算法、基于遗传算法的通风网络风量分配优化算法、网络最小费用最大流双目标遗传算法、点和边有容量约束的网络最小费用最大流算法、基于栈的网络最大流算法、附有条件的网络最短路径算法、栅格数据模型中附有条件的最短路径算法以及灾情巡查问题的两目标优化算法等。

在本书出版之际,特别感谢陕西省自然科学基金、陕西省教育厅专项科研计划、西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室开放基金和西安科技大学培育基金等的资助。

由于笔者从事该项研究的时间、经验和水平有限,本书的不妥或错误之处,敬请有关专家、同行和广大读者不吝指教。

库向阳
2012 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 矿井通风网络优化中存在问题	5
1.4 主要内容和组织	5
参考文献	7
第 2 章 通风网络分析的数学模型	9
2.1 风流流动和变化的基本规律	9
2.2 通风网络分析的数学模型	11
2.3 小结	16
参考文献	16
第 3 章 附有条件的最小支撑树算法	17
3.1 问题的提出	17
3.2 相关预备知识	17
3.3 附有条件的最小支撑树算法	19
3.4 附有条件的最小支撑树算法实例	21
3.5 通风网络基本回路矩阵求解算法	22
3.6 小结	26
参考文献	26
第 4 章 复杂通风网络自然分风的新算法	28
4.1 复杂通风网络解算评述	28
4.2 非线性代数方程组解法评述	30
4.3 基于改进牛顿法的通风网络自然分风解算	31
4.4 基于遗传算法的通风网络自然分风解算	35
4.5 小结	37
参考文献	38
第 5 章 基于遗传算法的一体化通风网络优化算法	40
5.1 一体化通风网络优化模型	41

5.2	通风网络优化模型求解的方法比较	42
5.3	基于遗传算法的一体化通风网络优化	43
5.4	通风网络优化实例	44
5.5	小结	47
	参考文献	49
第 6 章	基于遗传算法的通风网络两步法风流调节优化算法	51
6.1	混合型通风网络两步法优化的基本框架	51
6.2	基于遗传算法的通风网络两步法风流调节优化算法	52
6.3	通风网络优化实例	53
6.4	小结	58
	参考文献	58
第 7 章	基于遗传算法的通风网络风量分配优化算法	60
7.1	混合型通风网络风量分配优化模型	60
7.2	基于遗传算法的通风网络风量分配优化算法	62
7.3	通风网络风量分配优化实例	63
7.4	小结	65
	参考文献	66
第 8 章	网络最小费用最大流双目标遗传算法	67
8.1	问题的提出	67
8.2	问题描述和预备知识	67
8.3	网络最小费用最大流双目标遗传算法	71
8.4	算法实例	72
8.5	小结	76
	参考文献	76
第 9 章	点和边有容量约束的网络最小费用最大流算法	77
9.1	问题的提出	77
9.2	问题描述和预备知识	77
9.3	点和边有容量约束的网络最小费用最大流算法	80
9.4	算法实例	80
9.5	小结	84
	参考文献	84
第 10 章	基于栈的网络最大流算法	85
10.1	问题的提出	85

10.2	问题描述和预备知识	85
10.3	基于栈的网络最大流搜索算法	86
10.4	算法实例	87
10.5	小结	88
	参考文献	88
第 11 章	附有条件的网络最短路径算法	90
11.1	问题的提出	90
11.2	基本概念	90
11.3	附有条件的最短路径算法	92
11.3	算法实例	94
11.4	小结	95
	参考文献	95
第 12 章	栅格数据模型中附有条件的最短路径算法	97
12.1	问题的提出	97
12.2	问题描述和预备知识	97
12.3	附有条件的最短路径算法	100
12.4	算法实例	102
12.5	小结	103
	参考文献	103
第 13 章	灾情巡查问题的两目标优化算法	104
13.1	问题的提出	104
13.2	灾情巡视问题的两目标优化模型	105
13.3	灾情巡视问题的遗传两目标优化算法	107
13.5	灾情巡视问题的蚁群两目标优化算法	111
13.6	小结	117
	参考文献	117
第 14 章	总结与展望	119
14.1	总结	119
14.2	本书主要创新点	121
14.3	进一步研究的方向	122
附录	124
附录 1	附有条件的最小支撑树算法程序	124

附录 2	通风网络自然分风的牛顿法算法程序	125
附录 3	基于遗传算法的一体化通风网络优化算法程序	127
附录 4	基于遗传算法的通风网络两步法风流调节优化算法程序	141
附录 5	基于遗传算法的通风网络风量分配优化算法程序	152
附录 6	网络最小费用最大流双目标遗传算法程序	160
附录 7	点和边有容量约束的网络最小费用最大流算法程序	172
附录 8	基于栈的网络最大流算法程序	177
附录 9	附有条件的网络最短路径算法程序	182
附录 10	灾情巡视问题的蚁群两目标优化算法程序	184
后记	190

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

在我国能源储量中,煤炭资源是主要的基础性能源之一,对保障国家能源安全占重要的地位。2006年,全国煤炭在一次能源消费结构中的比例高达 69.3%;2007 年原煤产量为 25.23×10^9 t,同比增长 1.91×10^9 t,增长 8.91%;2008 年,全国原煤产量为 27.9×10^9 t,同比增长 1.93×10^9 t,增长 7.65%,分别占一次能源生产和消费的 76.7%和 68.7%,在短期内这一结构不会发生根本性的改变。如果没有足够的可替代能源补充,预计 2050 年,煤炭所占能源的比例不可能低于 50%^[1-4]。从图 1-1 统计的我国原煤产量^[5-6]可以看出,原煤产量依然在逐年增长,但增长速度有所放缓。

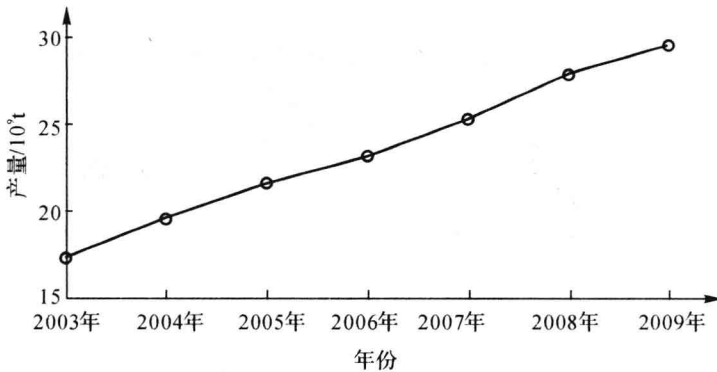


图 1-1 中国 2003—2009 年原煤产量

煤炭开采行业是我国工业灾害最严重的行业,安全生产形势相当严峻^[7]。如图 1-2 所示为我国近几年来煤矿生产百万吨死亡率变化情况,从图中可以看出该比率在逐年下降,并在 2009 年历史性地首次实现低于 1 人/ 10^6 t),这与我国政府、企业相继采取各种安全措施来保障煤矿的安全生产密切相关。但是,我国的煤矿安全生产状况仍不容乐观,煤矿事故时有发生。如 2009 年 9 月 9 日,河南平顶山新华四矿发生瓦斯爆炸事故,76 人遇难;2009 年 11 月 21 日,黑龙江龙煤集团鹤岗分公司的新兴煤矿发生瓦斯爆炸事故,造成 108 人死亡;2010 年 4 月 1 日,陕西省韩城市泉子沟煤矿发生瓦斯燃烧事故,9 人死亡。这给人民群众带来了莫大的身心创伤,同时表明煤矿生产事故防治工作的紧迫性和严峻性。

在煤矿事故中,瓦斯事故所占的比例最大。从表 1-1 统计的近 6 年来我国煤矿事故发生频率以及人员伤亡情况^[8-9]可以看出,瓦斯事故所占的比例和死亡人数有所降低,但瓦斯事故死亡人数在煤矿事故死亡人数中的比例依然很大。如 2007 年,我国煤矿企业共发生伤亡事故 2 421 起,死亡 3 786 人,比 2006 年分别下降 17.8%和 20.2%;煤矿瓦斯事故起数和死亡人数

分别下降 16.8% 和 17.8%，其中重特大瓦斯事故起数和死亡人数，同比分别下降 15.4% 和 6.1%。2008 年，我国煤矿企业共发生伤亡事故 1 901 起，死亡 3 218 人，同比分别下降 33.1% 和 28.2%，其中，较大瓦斯事故（一起事故死亡 3 人以上 10 人以下）量和死亡人数分别下降 24.1%，29.8%，重特大瓦斯事故（一起事故死亡 10 人以上）量和死亡人数分别下降 18.2% 和 23.5%。虽然近两年来事故死亡人数有所减少，但煤矿瓦斯爆炸等重特大事故时有发生，使得煤矿安全生产仍为社会关注的焦点。

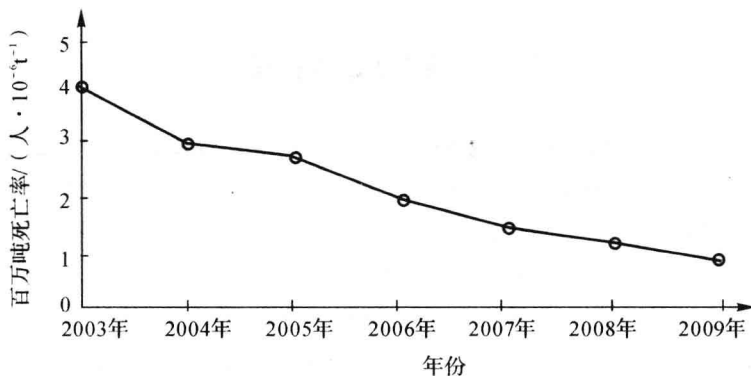


图 1.2 2003—2009 年我国煤矿百万吨死亡率

表 1-1 2005—2010 年我国煤矿事故与瓦斯事故统计

年份	煤矿事故起数/起	死亡人数/人	瓦斯事故起数/起	瓦斯事故比例/(%)	瓦斯事故死亡人数/人	瓦斯事故死亡率/(%)
2005 年	3 306	5 938	414	12.5	2 171	36.6
2006 年	2 945	4 746	327	11.1	1 319	27.8
2007 年	2 421	3 786	272	11.2	1 084	28.6
2008 年	1 901	3 218	182	9.6	778	24.2
2009 年	1 616	2 631	157	9.7	746	28.4
2010 年	1 403	2 433	135	9.6	593	24.4

综上所述，我国的煤矿安全生产形势依然严峻，不容乐观。因此，对减少矿井事故、防止瓦斯灾害的方法和技术仍然值得深入研究。

据统计，在未来的 10~15 年，我国有近 1/3 的有色矿山即将进入深部开采，很多煤矿现在已经进入深部开采^[10]。随着矿井的开采深度及范围的不断扩大，通风网络的长度、规模（节点数和边数）不断增大，国内地下矿井通风系统的复杂度（即通风网络的分支数）一般都在 300 条以上，而更复杂的通风系统复杂度可达数千条。随着煤矿开采深度增加，开采规模不断扩大，矿井通风系统越来越复杂，煤矿通风已经成为煤矿安全生产的重要制约因素。主要表现为：①通风网络结构复杂，通风方式不合理，风流不稳定，增加了技术管理难度；②由于系统复杂，存在风量分配不均现象；③矿井通风阻力过大，系统通风能力不足；④采空区存在漏风现象，使得矿井有效风量减少；⑤生产任务重，瓦斯排放量大，需风量加大。矿井通风系统日益复杂，通风问题的难度越来越大，传统的矿井通风网络优化理论与方法已经不能适应新的煤矿生产实

际。这些问题的解决越来越依赖于基础学科理论研究和新技术的开发与应用。

随着开采机械化程度不断提高,矿井生产效率和生产能力大大提高,现代化大型、特大型矿井、深井,高温矿井,高瓦斯和有煤与瓦斯突出动力现象的矿井数目日渐增多,矿井供风量越来越大,矿井通风费用越来越高,其在生产经营费用中所占比例越来越大,已对矿井经济效益产生较大影响。据统计,我国矿井风机的运转效率一直较低,运转效率仅约40%,比设计的风机效率降低了一半以上,通风能耗约占矿井总能耗的1/3,通风电费约占通风能耗的70%,矿井通风电费一般可占全矿用电费用的20%~30%,个别矿井甚至更高^[6]。这些统计数据表明,矿山通风系统优化有巨大的经济效益和社会效益。随着社会对煤矿井下生产工作环境、预防和控制在煤矿生产安全事故发生、矿区生态环境的重视,矿山生产成本将会越来越高,继续深入开展矿井通风系统优化,有很大社会现实意义和经济价值。

矿井通风系统属于流体网络系统,随着矿井生产的进行、地质环境因素的变化而动态变化,而且具有随机性。矿井通风系统应该从技术上可行、运行状态安全可靠、经济上运行成本低三方面来衡量。因而需要引入系统工程、网络图论、模糊数学、人工智能、最优化理论,并利用现代计算机技术手段,对矿井通风系统进行优化设计、运行状态模拟、评价和最优控制。矿井通风系统的特点为矿井通风系统优化理论与方法提出了更高的要求,而系统工程、网络图论、模糊数学、人工智能、最优化理论和计算机技术为这一研究提供了强大的理论和技术支持。引入新的理论与方法将成为矿井通风系统优化与控制研究的发展方向。

煤矿安全生产是目前社会重点关注的热点问题之一,尤其是在能源紧张,对煤炭的需求量不断增加的情况下,煤矿的安全生产问题更是值得我们关注,这也是建设平安、和谐社会的重要组成部分。研究矿井通风系统的安全可靠性评价方法,及时发现安全生产隐患,从而指导调整与改造通风系统以及救灾决策,也是我们建立以人为本,构建和谐社会的根本需求。

煤矿安全科技的基础理论研究是煤矿灾害防治工作的源泉和根本。开展基础理论研究,揭示煤矿事故的致因和灾害发生机理,摸清事故发生、发展及演化过程,探索灾害预测、预报的敏感性指标或参数,寻找防止事故发生的途径和方法是确保煤矿安全、经济运行的基础,是有效遏制矿井与通风有关的安全事故的理论和技术的保证。在《国家安全生产科技发展规划煤矿领域研究报告》(2004—2010年)中,已将通风系统安全可靠性评价和优化设计理论基础的研究和煤矿安全经济理论研究作为两个基础理论研究方向^[1]。

1.2 国内外研究现状

矿井通风系统优化,是从通风系统分析开始到给出最优矿井通风系统为止的一系列工作的总称。矿井通风系统研究已有70多年的历史。早先人们可利用的计算工具比较简陋,对很多复杂的工程问题无法直接求解,通常采取简化处理或凭经验解决。到20世纪40年代,电子计算机出现并很快普及,使许多学科的基础理论和实用技术研究得到前所未有的发展,同时,也推动了矿井通风系统优化研究的开展,并取得了一系列令人瞩目的成就。矿井通风系统从经验型设计到优化设计,从经验型管理到专家决策型辅助管理,从基础理论到计算机数值模拟和调节最优化,从定性评价到定量评价等诸多方面均发生了深刻的变化,成为当今矿山安全工程领域极其活跃的分支之一。

矿井通风工程最优化问题由来已久。在20世纪40年代初计算机还未出现以前,一切工

程技术问题的求解都依靠人工计算完成,能够解决的问题一般较简单。例如一条巷道断面的最优化,或凭经验选择一条最大阻力路线进行通风设计,通风机设备优选也是靠通风设计师手头上掌握的设备资料,采用人工尝试法逐个筛选的。直到 20 世纪 40 年代中期,随着电子计算机的出现乃至整个计算数学领域的发展,才为最优化方法开辟了更加广阔的天地,特别是出现了一些较为有效的非线性规划方法。20 世纪 80 年代以后,最优化技术在矿井通风工程领域才真正开始了卓有成效的应用研究。现在分别从以下两方面归纳矿井通风系统优化国内外研究现状。

(1) 矿井通风网络设计优化。如在保证矿井需要风量的前提下,求使通风巷道的掘进费、维护费和通风电费总和为最小的巷道最优断面以及相应的矿井最优风压值。

近年来,随着系统工程、最优化理论与算法以及计算机应用的迅速发展,矿井通风井巷断面优化技术研究也取得了长足进展。研究的对象由单巷道到简单串、并联网络再到复杂网络。优化的目标函数从只考虑巷道掘进费和维护费到既考虑巷道掘进费和维护费又考虑到通风费用;优化的约束条件从决策变量的上、下限到附加遵循巷道网络风流流动定律约束。优化模型趋于合理,优化方法由处理单巷道或简单网络的解析分析法到处理复杂网络数值计算法^[12-14,16]。具体算法可分为通路法和网络法两类,以网络法更为适用。这些方法仅仅局限于研究静态的通风系统井巷网络,尽管有些方法在计算费用和投资时考虑了时间价值因素,但对于系统的分析仍然采用静态方法。谭允祯等学者系统研究了通路风道断面的优化和复杂通风网络风道断面的优化,在此基础上研究了矿井通风系统风压优化问题,简化了优化模型,采用了简单的 Lagrange 乘数法来求解^[15]。陈开岩等学者在考虑优化模型的阶段适用性、费用模型的准确性、井巷通风摩擦阻力因数与断面的相关性、费用和投资的时间价值以及通风系统的动态性等多因素分析的基础上,建立了一套完整的井巷断面优化的数学模型和算法。陈开岩分析了整体、分层和动态的优化思想的特点,提出了适用于大型复杂问题更为有效的分层动态优化思想,并采用了可变容差法来求解,该求解方法仅仅适用于小规模的非线性优化问题^[12]。

(2) 矿井通风网络优化。矿井通风网络可分为自然分风网络、控制型分风网络和混合型分风网络三类。已经证明,在满足矿井总风量要求的条件下,自然分风网络的功耗自动达到最小^[18,20-21]。因此,矿井通风网络优化的对象主要是针对后两种类型。在控制型分风网络中,各分支的风阻和风量已知,需要解决的问题是风机的最小风压和各调节分支的调节量。由于各分支的风阻和风量已知,其风压也就自然确定了。对于这种网络的优化与调节问题是一个线性规划问题^[13],该问题已得到很好的解决^[21]。在混合型分风网络中,部分分支按需分风,剩下的分支则自然分风。地下矿井通风网络一般都是这种形式的分风网络。这类网络的优化问题依然是通风网络空气动力消耗最小和通风费用最低。由于该网络的某些分支的风量是未知的,故目标函数是非线性的;风量、风阻与风压损失之间的关系以及回路风压平衡关系也是非线性的。这些特点归结为混合型分风网络的优化与调节是一个非常复杂的非线性规划问题。长期以来,人们大多采用分解算法^[19]来解决这类通风网络的分风问题,即分别对自然分风网采用自然分风解算,这样可使得所有分支的风量都成为已知,混合型分风网络变成控制型分风网络;然后采用控制型分风网络的方法进行优化与调节。但是,研究表明,分解算法至少对按需供风分支加风窗调节不是功耗最小解^[21],于是文献[21]提出了角联巷道最优风阻调节法,文献[22]提出了递推法,文献[23]对混合型分风网络中的简单角联网络进行了调节分析,提出了分解算法的可分解条件和不考虑风窗调节功耗和风机功耗条件下的全局最优模型。事实

上,目前提出的种种方法只适用特定的网络类型或特殊的应用条件,所谓的全局最优模型也只是近似条件下的全局最优模型。

非线性规划问题中的凸规划理论研究相对成熟,而非凸规划理论研究则相对薄弱一些^[25-27]。非线性规划问题传统上通常采用解析法或数值迭代法求解。当目标和约束函数状态较为简单、变量数较少时,采用解析法求解是有效的,可得到精确解。但是基于矿体赋存环境的复杂性,多数最优化设计问题的目标和约束函数状态较复杂而且变量数也较多,因此常采用数值迭代法求解^[22-23]。但对于通风网络优化问题中普遍存在的多峰现象,传统的数值迭代法是有局限性的,往往只能得到局部最优解而得不到全局最优解。因此不少学者开始将已经在其他领域取得很好效果的优化算法引入矿井通风网络优化中,用来解决矿井风量优化调节问题,并且已经取得了一定的成果^[30-33]。但是这些现代优化方法对于大规模非线性混合优化问题效果并不理想,难以适应现代化复杂通风网络的需要。

文献[34]和[35]提出了矿井通风网络的模糊优化数学模型,为使矿井通风分析过程和分析结果更符合工程实际情况提供了一条新途径,提出模糊优化问题的数值解法。大规模模糊优化数学模型的求解是较为困难的^[36-37],对复杂的矿井通风网络更是如此。文献[38]在给定的网络拓扑和风巷特征条件下求解风流分配和压力分布以及风机的工况点,采用遗传算法寻求自然分风条件下矿井通风网络的全局最优解,但没有将现代优化算法与传统解非线性方程组方法结合起来,不能解决大规模矿井自然分风问题。

1.3 矿井通风网络优化中存在的问题

(1)自然分风网络、控制型分风网络问题已经被很好地解决了,但是混合型分风网络仍然是一个难题,大规模的自然分风网络和混合型分风网络优化仍然困难。

(2)自然分风网络和混合型分风网络优化中的理论问题仍然不够完善,即非线性方程组和非线性非凸规划中最优解的性质、最优解存在条件、可靠高效的求解方法有待完善。

(3)没有涉及通风机定位、选型和通风点漏风辨识优化模型和求解方法。

(4)确定性优化模型研究较多,但是不确定性规划建模和求解方法仅仅提出相关思想。

(5)尽管目前通风网络优化已经有许多求解方法,但均未能达到全局意义上的最优求解方法。

(6)建立通风网络优化模型,往往依靠多次人一机交互进行,对人的依赖性较强,智能化、自动化程度较低。

(7)在矿井通风网络断面优化模型中,没有完全考虑巷道网络风流流动定律约束,与实际有一定的差距。

(8)目前的通风网络优化模型和求解方法不能较好地解决调风地点约束条件。

1.4 主要内容和组织

矿井通风系统的任务是利用通风动力,以最经济的方式向井下各用风地点提供质优量足的新鲜空气,以保证井下作业人员的生存、安全和良好的工作环境。针对生产实际中矿井通风网络优化面临的理论和技术问题,以矿井通风理论、最优化理论、图论为基础,归纳和概括通风

网络优化分析模型,分析和总结模型求解算法优、缺点,利用数据结构和图论相关算法技术,自动建立矿井通风系统优化模型,研究大规模非凸非线性规划模型求解新算法。本书概括和归纳了附有条件的网络优化模型、网络多目标优化模型,将现代智能算法与多目标优化理论、图论相结合,归纳附有条件的网络优化模型、研究网络多目标优化求解新算法。通过 Matlab 软件实现相应的算法,并进行算法测试和比较。本书主要包括下述研究的内容。

(1)首先,归纳了三类附有条件的最小支撑树数学模型,在最小支撑树传统算法基础上,以邻接矩阵为数据存储结构,提出了三类附有条件的最小支撑树算法。最后,通过实例进行了算法测试和比较。

(2)总结目前复杂通风网络自然分风解算和非线性方程组的解算优、缺点。引入阻尼牛顿法、拟牛顿方法进行复杂通风网络自然分风解算,比较了牛顿法、阻尼牛顿法、拟牛顿方法解算收敛速度、精度,验证了理论结论。把遗传算法与通风理论、图论相结合,提出了复杂通风网络自然分风新算法,最后进行试验、测试。

(3)概括了混合型一体化通风网络优化的模型,分析了目前混合型通风网络优化的四种求解方法的优、缺点。针对混合型通风网络优化的要求,提出了混合型通风网络风量分配和风流调控一体化的优化思路。在通风网络理论和图论的基础上,引入遗传算法随机产生两个动态网络的邻接矩阵和余树弦风量值,使用附有条件的最小支撑树算法产生两个最小支撑树,进而求得相应的回路矩阵。通过余树弦风量值和回路矩阵等分别计算通风网络风量分配值和风阻调节值,基于通风总功率和约束条件构建广义最小化目标函数,依此对调节方案进行评价,使用遗传算法中的进化算子对调节方案实施进化操作,最终得到满意解并进行了试验、测试。

(4)归纳了混合型通风网络风量最优分配和风流最优调控两步法优化基本框架。首先,在满足矿井通风风量需求的基础上,实现风量分配优化。然后,结合矿井通风网络实际调风需求,引入遗传算法随机产生动态网络的邻接矩阵,使用附有条件的最小支撑树算法求解部分余树弦(调风地点)约束下的最小支撑树和独立回路矩阵,根据回路矩阵计算通风网络余树弦风阻调节值,在通风总功率和约束条件基础上构建广义最小化目标函数,依此对调节方案进行评价,使用遗传算法中的进化算子对调节方案编码实施进化操作,并通过迭代得到满意解,最后进行了试验、测试。

(5)按照混合型通风网络风量最优分配和风流最优调控两步法的优化思路,归纳了通风网络风量分配优化模型,引入遗传算法随机产生动态网络的邻接矩阵和余树弦风量初始值编码,使用附有条件的最小支撑树算法生成最小支撑树和独立回路矩阵,通过解码和回路矩阵计算通风网络树枝风量值。由通风总功率和通风网络从进风口到回风口的所有道路阻力小于或等于其所含的风机压力约束条件构建增广目标函数,依此对风量分配方案进行评价,使用遗传算法中的进化算子对调节方案编码实施进化操作,通过迭代最终得到满意解并进行了试验、测试。

(6)提出了几个网络优化问题新算法:①针对点和边有容量约束的网络最大流问题的特点,通过定义了有向路径和残量网络的概念,利用网络分解和合成思想,提出点和边有容量约束的网络最大流新的算法。②根据割集定义和最大流-最小割定理,以邻接矩阵存储网络数据,利用栈作为数据组织形式对所有割集进行遍历,提出了网络最大流新算法。③分析了目前最短路径算法的特点和存在的问题,归纳了附有条件最短路径的数学模型,提出了附有条件的最短路径算法。④以栅格数据模型为图或网络描述方式,基于贪心算法思想,提出栅格数据模

型中附有条件的最短路径算法并进行了试验、测试。

(7)提出了几个多目标网络优化问题新算法。①概括出条件约束下的网络最小费用最大流问题的两目标优化数学模型,针对点和边有容量约束的网络最小费用最大流问题特点,定义了有向路径、有向路径单位流费用和残量网络的概念。依据可行流分解定理,以邻接矩阵为网络数据存储结构,使用数据结构中的遍历方法,实现了网络最小费用最大流新算法。②归纳出以网络流量最大、费用最小为双目标函数,网络节点容量、分支容量为约束条件,最小支撑树对应的余树弦流量为变量的网络最小费用最大流双目标优化模型,引入多目标遗传算法进行求解。③分析目前灾情巡视问题求解方法存在的缺陷,归纳出灾情巡视问题两目标优化模型。针对灾情巡视问题模型特点,引入遗传算法、蚁群算法和多目标优化理论,提出两个灾情巡视问题的蚁群两目标优化算法,提出两个灾情巡视问题的遗传算法两目标优化算法并进行了试验、测试。

矿井通风网络优化问题和网络多目标优化问题,为最优化理论和方法提出了挑战,但同时也提供了一个富有发展前景的研究机遇和广阔的应用领域。矿井通风网络优化理论与方法的研究能够完善非线性优化理论、多目标优化理论,拓展非线性优化问题和多目标优化问题的求解方法、应用领域,增强相关最优化算法的适用性。研究高效、可靠、可行的矿井通风网络优化算法,提高矿井通风网络优化模型准确性,为生产矿井通风网络优化和控制、矿井防灾和安全提供强有力的技术支持。

参 考 文 献

- [1] 鲍云樵. 我国能源形势和中部省份能源可持续发展战略[J]. 山西能源与节能, 2007.
- [2] 马蓓蓓, 鲁春霞, 张雷. 中国煤炭资源开发的潜力评价与开发战略[J]. 资源科学, 2009, 31(2): 224 - 230.
- [3] 王广德. 关于当前煤炭经济运行形势的分析[J]. 中国矿业, 2009, 18(2): 1 - 4.
- [4] 刘见中. 我国煤矿安全的科技需求与对策[J]. 煤矿安全, 2009, 40(8): 112 - 115.
- [5] 黄盛初. 国内外煤炭工业发展趋势与煤矿安全战略[J]. 中国煤炭, 2009, 35(9): 5 - 9.
- [6] 国家安全生产监督管理总局. <http://www.chinasafety.gov.cn/newpage/>.
- [7] 王显政. 以防止瓦斯灾害为重点 开创煤矿安全生产工作新局面[R]. 全国煤矿瓦斯防治现场会议文件, 2002.
- [8] 周晓峰, 王结实, 阚恒. 我国煤矿安全现状的思考[J]. 中州煤炭, 2009, 5: 110 - 112.
- [9] 重庆能源网. <http://www.cqenergy.com/xxpt/8422.htm>.
- [10] 王丛陆, 吴超. 矿井通风及系统可靠性[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [11] 国家安全生产监督管理局, 国家煤矿安全监察局. 国家安全生产科技发展规划煤矿领域研究报告(2004—2010年), 2003.
- [12] 陈开岩. 矿井通风系统优化理论及应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [13] 徐逢甲. 下标搜索法求解巷道网最优断面[J]. 中国矿业大学学报, 1987, 16(4): 18 - 22.
- [14] 徐瑞龙. 巷道断面优化的通路法[J]. 阜新矿业学院学报, 1993, 12(2): 23 - 28.
- [15] 谭允祯. 矿井通风系统优化[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1992.
- [16] 王志亮, 徐景德, 周心权. 矿井通风巷道最优断面的探讨[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35

- (4):100 - 103.
- [17] 陈长华. 用通路法确定通风网络最优断面与风压[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 22(4):48 - 49.
- [18] 谭允祯. 风道断面优化的动态分析法[J]. 煤炭学报, 1991, 16(2):23 - 25.
- [19] 王惠宾. 矿井通风网络理论与算法[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 1996.
- [20] Wang Y J. Ventilation network theory[M]. In: Hartman H L, ed. Mine ventilation and air conditioning . 2nd ed. Chapter 17. New York: John Wiley & Sons, 1982.
- [21] 徐竹云. 矿井通风系统优化原理与设计计算方法[M]. 北京:冶金工业出版社, 1996.
- [22] 黄翰文. 矿井通风网络平衡图理论及其应用[J]. 煤矿安全, 1981(5).
- [23] 刘承思. 通风网络计算原理[M]. 济南:山东科学技术出版社, 1990.
- [24] 傅贵. 矿井通风系统分析与优化[M]. 北京:机械工业出版社, 1995.
- [25] 陈宝林. 最优化理论与算法[M]. 2版. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [26] 黄红选, 韩继业. 数学规划[M]. 2版. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [27] 张光澄. 非线性最优化计算方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [28] 黄元平, 李湖生. 矿井通风网络优化调节问题的非线性规划解法[J]. 煤炭学报, 1995, 20(1):14 - 20.
- [29] 李湖生. 矿井按需分风优化调节的研究进展[J]. 矿业安全与环保, 1997, 1:8 - 11.
- [30] 张玉祥, 杨昌玲. 快速模拟退火算法及矿井通风网络全局优化[J]. 武汉工业大学学报, 1998, 20(1):40 - 42.
- [31] 钟茂华, 陈宝智. 基于遗传算法的矿井火灾时期风流优化控制[J]. 煤炭学报, 1998, 23(2):161 - 164.
- [32] 王战权, 赵朝义, 云庆夏. 用遗传算法进行通风系统优化的研究[J]. 矿业安全与环保, 1999, 6:6 - 8.
- [33] 李江, 陈开岩, 林柏泉. 遗传算法在矿井通风网络优化中的应用[J]. 中国矿业大学学报, 2007, 36(6):789 - 793.
- [34] 谢贤平, 冯长根, 赵梓成. 矿井通风网络模糊优化数学模型及其数值解法[J]. 中国安全学报, 1999, 9(6):23 - 28.
- [35] 谢贤平, 等. 矿井通风系统的优化及其模糊性[J]. 金属矿山, 1993(3):1 - 12.
- [36] 刘宝碇, 赵瑞清, 王刚. 不确定规划[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
- [37] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 于歆杰, 周根贵, 译. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [38] Xie Manping, Feng Changgen, Wang Hailiang. Analysis of Mine Ventilation Network Using Genetic Algorithm. Journal of Beijing Institute of Technology, 1999, 8(2): 144 - 149.