

通风安全工程 计算机模拟与预测

刘泽功 著



煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

通风安全工程计算机模拟与预测 / 刘泽功著. -北京:
煤炭工业出版社, 1996
ISBN 7-5020-1326-1

I.通… II.刘… III.矿山通风-计算机应用 IV.TD72
-039

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 08700 号

通风安全工程计算机模拟与预测

刘泽功 著

责任编辑: 辛 凡

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街 21 号)

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092\text{mm}^1 / 32$ 印张 $10^1 / 8$

字数 225 千字 印数 1—1,260

1996 年 7 月第 1 版 1996 年 7 月第 1 次印刷

书号 4094 G0370 定价 19.80 元



前 言

通风安全工程计算机模拟与预测是研究和解决矿山通风安全工程问题的一类新型算法,是通风安全理论和计算机技术的有机结合。通风安全工程中的计算机模拟与预测的开发研究在计算机技术发展的推动下,已使通风安全系统现行运行状态实时模拟、再现系统过去和预测系统未来的状态、量化分析通风系统复杂问题成为可能。20多年来,计算机技术在解决矿山通风安全工程复杂问题的实践中已有大量成功事例;把计算机技术与通风安全理论结合起来解决复杂通风安全工程问题的应用前景已引起矿山通风安全界工程技术人员的广泛兴趣。本书是作者近10年来从事计算机在矿山通风安全工程中应用研究和教学工作的结晶,是综合了近年来该研究领域内国内外的动态、吸取了同类研究成果之所长的著作。

全书共分七章,包括概论、通风安全工程计算机模拟与预测基础理论、正常通风时期风网风流状态模拟、矿井风量调节预测、采场风流及温度场模拟与预测、火灾时期风网的风流状态模拟与预测控制、矿山事故分析与预测。本书既论述了通风安全工程计算机模拟与预测的理论方法,又介绍了具体问题解决的过程和技巧。本书在撰写过程中始终得到了吴中立教授、张国枢教授的鼓励、指导和大力支持。张国枢教授在百忙中仔细地审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见;淮南矿业学院通风安全教研室的同志们也给予了大

ABF38/10

力支持和帮助，在此表示诚挚的感谢。

由于作者水平所限，书中定有不少不尽人意之处，衷心恳请广大读者提出宝贵意见。

著 者

一九九五年十二月

内 容 提 要

本书论述了矿山通风安全工程计算机模拟与预测的理论基础和主要方法,建立了通风安全工程中重大技术问题的计算机模拟与预测模型,对矿井正常通风时期风网的风流状态、通风系统调节和控制后的通风效果、采空区的温度场和漏风分布、矿井事故分析与预测、火灾时期风网的风流状态等问题的计算机模拟与预测作了较深入的论述。全书分别从总体概念、基础算法及理论分析、实用算法及应用技巧等诸方面描述了计算机模拟与预测矿山通风安全工程技术问题的全貌,把理论研究成果与实际应用有机的结合成一体。

本书可作为高等院校从事矿山通风安全教学与科研工作的教师和研究生的参考书,对矿山救护、科研、设计与生产等单位的通风安全技术人员和管理工作者也有较高的参考价值。

序

随着开采深度和开采强度的增加,我国煤矿通风安全工作面临着许多复杂的问题。重大的瓦斯、火灾事故发生比较频繁,严重威胁着矿井的安全生产。煤矿开采,作业场所狭小、井巷系统复杂、灾害因素较多,事故分析、预测和救护极其困难。为了保持正常的通风系统、减少事故的发生、保证安全生产,国内外从事矿山通风安全研究的工程技术人员始终致力于对一些重大通风安全工程问题的研究和治理,并获得了一些有实用价值的研究成果。

矿井通风系统复杂,通风安全工程中一些重大事故的发生、发展过程和处理方法也是因时、因地而变化的,解决这一类问题受限制的条件较多,事故的可预见性较差,人工预测和参数计算必将对约束条件进行大量的简化并带有一定的经验性,难以获得较满意的结果。《通风安全工程计算机模拟与预测》关于通风安全工程计算机模拟与预测的内容是研究和解决矿山通风安全工程问题的一类新型算法,是通风安全理论和计算机技术的有机结合,已使实时模拟通风安全系统现行运行状态、再现系统过去和预测系统未来的状态及量化分析通风系统的复杂问题成为可能;它以通风安全理论为基础,建立模拟预测模型,以计算机为工具,立足解决实际问题,在通风系统风流状态模拟、风量调节预测、采空区温度场及漏风场的模拟预测、事故分析与预测等方面的研究方法和成果对解决通风安全工程问题有重大的实用价值。

目前，国内外关于应用计算机技术解决通风安全问题的研究论文已许多，但作为应用计算机技术模拟与预测解决重大通风安全工程问题的专著、《通风安全工程计算机模拟与预测》尚是第一本。本书提出的对通风安全工程中重大问题进行模拟与预测的理论、方法新颖，反映了作者十几年来从事计算机在矿山通风安全工程中应用的研究和教学工作的成果。

我国计算机在通风安全中的应用与其它行业相比还比较落后，随着计算机的逐步普及和计算机技术的不断发展，《通风安全工程计算机模拟与预测》著作的出版，不仅为解决通风安全工程重大问题提供了新的理论方法和途经，对促进计算机在矿山通风安全中的应用也将起着推动作用。

吴中立

一九九五年十二月

目 录

第一章 概论	1
第二章 通风安全工程计算机模拟与预测基础理论	8
第一节 计算机模拟与预测的一般概念	8
第二节 通风安全工程计算机模拟与预测算法模型	10
第三节 通风安全工程问题动态矩阵预测控制算法	16
第四节 计算机模拟与预测步骤	25
第五节 计算机模拟与预测在通风安全工程中的应用	30
第三章 正常通风时期风网风流状态模拟	34
第一节 风流状态模拟的数据准备与处理	34
第二节 风网风流模拟的基本概念与理论依据	68
第三节 风网独立回路选择方法	76
第四节 测风求阻法解算复杂通风网络	87
第五节 通风系统现状模拟	107
第四章 矿井风量调节预测	143
第一节 矿井风量调节的基本方法	143
第二节 风网调节控制的数学分析	146
第三节 风网调节预测	156
第四节 矿井通风系统调整预测实例	162
第五章 采场风流及温度场模拟与预测	170
第一节 概述	170
第二节 采场风流流场数学描述	171
第三节 采空区冒落带漏风场的模拟与预测	181

第四节	采空区温度场预测的一般方法	195
第五节	采空区温度场的数学描述	201
第六节	采空区温度场的计算机模拟及预测	205
第六章	火灾时期风网的风流状态模拟与 预测控制	216
第一节	概述	216
第二节	矿井火灾的燃烧物与生成物	219
第三节	火灾时期巷道烟流蔓延规律的分析	227
第四节	火灾时期风网风流状态计算机模拟	234
第五节	火灾时期风流状态调节与控制的模拟示例	251
第七章	矿山事故分析与预测	257
第一节	矿山事故分析与预测概论	257
第二节	井下事故发生位置的预测	265
第三节	火灾时期最佳避灾与救灾路线的选择	279
第四节	选择最佳避灾与救灾路线的计算机 模拟示例	287
第五节	火灾气体爆炸性的计算机判断	296
参考文献		311

第一章 概 论

矿山通风安全工程的电子计算机模拟与预测，即是以电子计算机技术为基础，依据通风系统中过去和现在的已知信息及数据，运用科学的方法，再现通风系统过去的运行面貌，发现和掌握系统运行过程中的运行状态，预计与推测系统运行发展的未来。70年代计算机在煤炭工业中的广泛应用以来，促进了矿山通风安全工程理论的发展，推动了通风安全理论在生产实际中的更深入的应用。通风安全工程中许多用理论无法解决、人工无法解算的问题，用计算机模拟与预测可以比较容易解决。如复杂矿井通风网络的解算、矿井环境系统的实时安全监测、灾变时期的通风系统风流状态分析及最优控制、矿山救灾专家系统等都是借助于计算机技术实现的。

作为一门数值计算技术，计算机模拟与预测是系统工程、管理科学、运筹学等学科广泛应用的研究方法之一，其应用范围遍及财政经济、政府决策、生产管理、生产工艺、军事运筹、交通运输、矿业开采、通讯、工程设计、科学试验、环境保护等领域，并且是处理许多交叉学科问题的有效手段。据统计，在日本企业用系统工程解决的实际管理与决策问题中，有80%以上是通过计算机模拟与预测方法解决的。

计算机模拟这一概念（原始于系统仿真，System Simulation），最初由冯·诺依曼于本世纪40年代提出，当

时由于计算机刚问世, 该技术主要表现为用统计试验方法 (Conte Carlo 方法) 求解。随着计算机工业和软件技术的发展, 计算机模拟与预测在工业中的实际应用有了重大的突破, 如美国的军事作战模拟、经济对策模拟和排序问题的模拟等。1952 年, 美国成立了模拟学会。从 60 年代开始, 随着专用模拟语言的出现和成熟, 计算机模拟技术得到了迅速发展, 1962 年, 模拟语言 SIMSCRIPT 和 GPSS 等先后研制成功。目前, 已有数个有关模拟的国际性组织出版各自的学术刊物, 每年组织几十次国际性或地方性学术会议。

我国于 50 年代开始应用 Conte Carlo 方法求解一些科学计算问题, 特别是核工业中的某些物理计算问题, 但真正较普遍的起步是在 70 年代末。随着高科技发展的需要, 计算机模拟与预测技术在我国有了较大的发展, 如矿业中工艺方法论证及比较、井底车场调度模拟、井下运输系统计算机模拟、生产计划及生产环境计算机模拟、火灾时期风流状态计算机模拟, 电力工业中的电网运控及调度计算机模拟等。系统工程、管理科学和运筹学等领域中的计算机模拟与预测也有了较广泛的应用和发展。

矿山通风安全工程中的计算机模拟与预测的发展与应用, 大大提高了从事矿山通风与安全工程的科研、设计、管理与矿山救护人员对通风安全工程这一研究对象的洞察能力, 提供了在更高层次上处理分析通风安全工程问题的手段。众所周知, 通风安全工程涉及的问题复杂、受限制约条件较多, 虽然早在 50~60 年代对矿山通风安全工程中的一些重大问题人们就着重于理论研究, 并取得了一些有意的研究成果, 如矿井灾变时期风流状态参数计算与控制研究、通风网络的图解法, 对矿井的通风安全管理起到了很大作用,

但完美的理论与应用实践之间存在着巨大的差距，主要表现在以下几个方面：

(1) 理论研究的基点是建立描述被研究对象或系统的精确数学模型。在通风安全工程中所涉及的对象往往是多输入、多输出的高维复杂系统，其数学模型很难建立；即使建立起来了比较精确的数学方程，但附带有众多的约束条件，用数学理论和手段很难求解。因此，从工程实用角度来说，往往需要作大量简化，从而很难得到精确描述研究对象的数学模型。如矿井火灾时期巷道风流分布计算、火风压计算公式都是在对约束条件作了许多简化后得到的，不同的建模环境，对约束条件所作的简化处理不同，其获得的结果也不同，目前，火风压的计算公式就有多种。

(2) 通风安全工程研究的对象或系统的结构、参数和环境具有很大的不确定性。由于这些不确定性的存在，按照理想条件建立的数学模型或者是经过简化后的模型处理和解决实际问题时，往往不能达到预期效果，有时甚至会得到相反的结论。在矿山通风安全工程中，人们关注的问题是通风系统在不确定（不稳定）性条件下，如何确知系统的运行特性参数。

(3) 确定通风系统在不稳定条件下的运行特性参数必须依靠的手段很烦琐。在实际应用中要考虑手段的经济与合理性，因此，理论研究必须简易，以满足实时性的要求，而不是为了应用某一理论或公式需作大量的准备工作。

这些来自于实际的原因和约束条件，阻碍了矿井通风安全理论在矿业生产实践中的有效应用，同时也对通风安全理论向更深步的研究提出新的要求。

在矿山通风安全学科领域里，为了克服理论与应用之间

的不协调，从事矿山通风安全技术开发的研究人员作了大量工作，试图把其它研究领域里的科学理论、先进技术引入到矿山通风安全工程中来，如模糊数学、系统工程、系统辨识、专家系统和计算机模拟技术等。人们开始面对矿山通风的特点，寻求各种对模型要求低、约束条件少、便于利用电子计算机处理、检测的计算方法，以获取复杂通风系统运行特性参数。

众所周知，在计算机应用于矿井通风安全工程中以前，复杂通风网络的解算是十分烦琐的，有时要获得精确解甚至是不可能的。虽然世界各国从事矿山通风安全工程工作的学者作了很大的努力，但其效果并不十分令人满意。早在 50 年代，日本学者平松良雄等对矿井通风网路的解算曾研制了电气模拟网路解算装置^{〔19〕}，此模拟装置是由许多可变电阻器、数个电源以及电压表、电流表组装起来的。根据电子线路中的欧姆定律，用可变电阻器在 4 级范围内精确的给出任意巷道的风阻 R_i 与通过风量 Q_i 的积值（即 $R_i Q_i$ ），各自由 4 个滑动可变电阻器组成；以电源装置代表主要通风机，模拟主要通风机风压的电压是可以自由调节的，其数值可以有电压表测得；模拟流过各巷道风量的可变电阻器上的电流可用电流表测得。这种利用电子线路装置完成对复杂通风网络的模拟解算也是非常困难的，因此，其模拟风网在实际应用中受到很大限制。

电模拟解法是利用某一物理现象或物理特性去重现所需要研究的由相同数学方程式表示的另一对象，是一种传统的模拟方法。目前，国内外发展趋势是将模拟计算机（模拟器）与电子计算机通过数模转换器连接起来，用电子计算机来控制模拟计算机的运转，使这种联合计算机兼有模拟与数

字计算机的功能。自从高速的电子计算机出现后,陈旧的模拟计算机(或模拟器)已日趋见少,逐步被具有可编程功能的高速电子计算机所代替。

近年来,我国矿业系统对计算机在行业中的应用开展了广泛的研究。尝试了计算机在矿山通风安全工程及矿山救护中的应用,其中包括矿井通风设计、通风安全管理信息系统、矿井通风系统改造中的通风系统电算模拟、各种场的计算机模拟及数值分析、决策分析预测、火灾模拟、救灾专家系统及矿井通风 CAD 技术等。计算机模拟与预测通风安全工程中的重大技术问题在煤炭行业中占有很重要的地位。目前,在我国由于矿井通风安全工程所涉及的环境、系统及问题极其复杂且困难较多,计算机技术的应用范围和水平还落后于其它行业。如何使计算机技术在矿山通风安全工程中得到全面的推广应用,并使其在通风安全管理、瓦斯防治、火灾防治及矿山救护中发挥出潜力、获得良好的经济效益,仍是值得深入探索的问题。

利用计算机获得的信息,正在成为煤矿企业日趋重要的生产要素,矿山通风安全信息资源开发的深度及综合利用水平的提高将对矿山通风安全管理及矿井安全生产的发展起到巨大的作用。目前,全国各煤炭管理局和矿务局及所属矿井大都装配了微型计算机,主要用于矿井的通风安全报表、生产计划、工资、财务、人事档案和设备管理等方面。已有近 40 个矿务局及煤炭管理局和煤炭工业部计算机中心实现了微机联网,可实现全国范围内的煤矿企业通风报表、统计及劳动工资等的信息传输。平顶山矿务局十二矿、晋城矿务局王台铺煤矿和大同矿务局王村煤矿已开发了集矿井监测与管理信息系统为一体的现代化煤矿企业综合信息系统。

全国矿业院校和科研院所从事通风安全教学和研究的科研人员利用计算机对矿山通风安全问题进行了大量的研究工作,东北大学开发出了伤亡事故原因分析专家系统,通风系统选择专家咨询系统;中国矿业大学北京研究生部研制了MECS瓦斯爆炸推测专家系统和PSSS顶板支护方式选择专家系统;矿井通风专业委员会与枣庄柴里矿、兖州南屯矿、大屯姚桥矿合作,针对以上各矿井的具体条件,分别研制了矿井火灾救灾专家系统、矿井通风技术管理及火灾救灾决策支持系统以及矿井通风系统设计与管理决策专家系统;福州大学根据事故树理论,应用计算机对事故发生概率进行了预测;煤炭科学研究总院抚顺分院与抚顺矿务局合作研制了“抚顺矿区V型采煤工作面火灾时期风流状态及救灾指挥专家系统”。

计算机在矿井环境安全监测中也得到了广泛的应用。目前,一些煤矿,尤其是高瓦斯矿井已装备了我国自行设计的KJ2、KJ4、A1等监测系统,系统可根据生产调度指令对通风系统进行监测、控制和调节,并可对风量、风压、温度、瓦斯浓度等进行自动检测,还能按照所研究的数学模型对多台主要通风机的联合运转实现优化控制。计算机在环境监测系统中是数据采集、处理、加工和控制的中心。

由于矿井通风系统的复杂性和灾变时期风流状态的不稳定性,通风与安全工程的许多重要的实际问题不能或很难用解析求解法或试验方法解决,这时利用计算机数学模型方法模拟或预测就成为非常有效的方法和手段。由于计算机模拟与预测对于解决复杂系统和不稳定系统问题的适应性和有效性,它在矿山通风安全工程中有着诱人的应用前景。作为一种有前途的解决矿山通风安全工程实际问题的新型算法和手

段，计算机模拟与预测在矿山通风安全工程中的深入和推广
应用，必将对提高我国通风安全管理水平、改善矿山安全面
貌起到显著的推动作用。

第二章 通风安全工程计算机 模拟与预测基础理论

第一节 计算机模拟与预测的一般概念

通风安全工程计算机模拟与预测与传统的电模拟算法不同，它以计算机为工具。就通风网络模拟解算而言，应用计算机模拟解算法与应用电路（或电网络）模拟解算法在基本原理和基础理论方面都有着本质上的区别。传统的电网络模拟法是利用某一物理现象或某些物理参量去重现具有相同或相似结构数学模型的另一个对象，平松良雄等学者的通风网络解算电模拟装置就是根据通风学中的通风阻力定律与电工学中的欧姆定律具有相似结构、电工学中的克希荷夫电流定律和电压定律与通风学中的节点风量闭合定律和回路风压闭合定律具有相同的数学模型而建造的。通风安全工程计算机模拟与预测，是直接以通风安全工程中某一系统或问题为研究对象，依据矿井通风安全基本理论，衍用其它学科的理论和方法，以计算机为工具，在计算机上重现所研究的通风安全问题的现状和对其未来状况作出科学的预测，而不是借助于其它研究结果来演推再现研究对象的特性参数。

通风安全工程计算机模拟与预测研究的对象是很复杂的系统。从计算机模拟的角度来看，系统是客观世界的组成部分，是其中各种不同客体的有机综合体。而所谓客体是指系