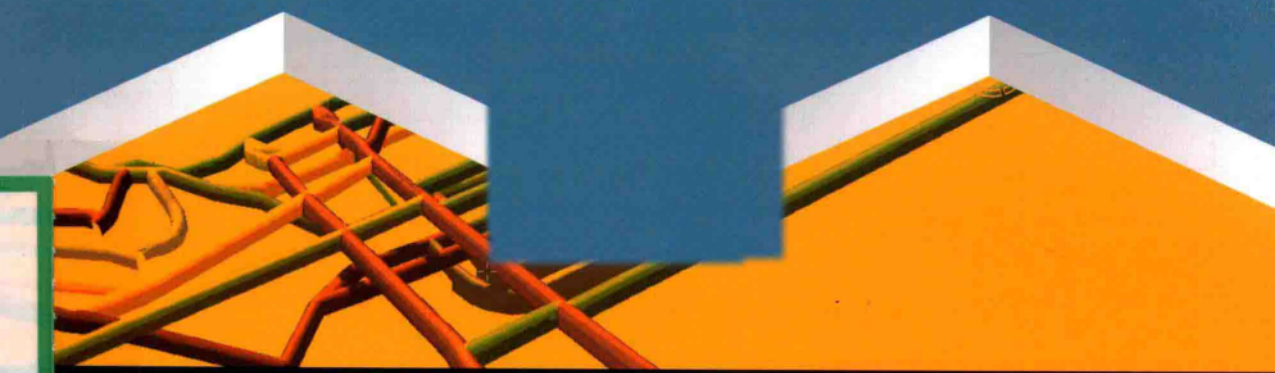


KUANGJING SANWEI
SHISHI SHUZI TONGFENG XITONG
YANJIU YU KAIFA

矿井三维 实时数字通风系统 研究与开发

梅甫定 龚君芳 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

矿井三维实时数字通风系统研究与开发

Kuangjing Sanwei Shishi Shuzi Tongfeng Xitong Yanjiu Yu Kaifa

梅甫定 龚君芳 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内容简介

本书以矿井通风系统作为研究对象,基于框架-插件的结构设计方法,设计了一个框架、六个功能插件和四个图层插件。六个功能插件分别为井巷三维可视化建模插件、通风实时数据动态查询与预警插件、通风网络解算与调节插件、通风机性能测定插件、通风网络可靠性分析与优化插件、通风日常报表管理插件。四个图层插件则分别为巷道图层、风机图层、巷道骨架线图层和风流方向图层。本书以 MapGIS 为系统开发平台,以 Visual C++ 为系统开发工具,开发了一套矿井三维实时数字通风系统,并已用于多对矿井。

本书既可供从事矿山通风管理工作的工程技术人员和从事矿山通风科研工作的科技工作者使用,也可供高等院校采矿工程、安全工程等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿井三维实时数字通风系统研究与开发/梅甫定,龚君芳编著. —武汉:中国地质大学出版社,2016.3

ISBN 978-7-5625-3808-0

I. ①矿…

II. ①梅…②龚…

III. ①矿井通风系统-数字系统-研究

IV. ①TD724-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 322415 号

矿井三维实时数字通风系统研究与开发

梅甫定 龚君芳 编著

责任编辑:徐润英

责任校对:徐梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮编:430074

电话:(027)67883511 传真:(027)67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:170 千字 印张:6.75

版次:2016 年 3 月第 1 版

印次:2016 年 3 月第 1 次印刷

印刷:武汉市籍缘印刷厂

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-3808-0

定价:48.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

矿井通风系统是一个复杂的动态三维空间网络,这一动态特征决定了需要对该系统进行实时评估,判断是否满足通风之功能。若不满足要求,则需对系统及时进行调整,即进行通风系统的优化。通风系统的实时评估与优化调整正是日常通风管理的难点之所在。长期以来,通风系统的优化主要依靠经验或静态的通风网络解算来完成,显然这不符合通风系统的动态特征,当然也难以满足要求。国内外的学者一直在探索解决这个问题,迄今为止,这个问题还没有得到很好的解决。

数字化、信息化代表着矿山技术的前沿,是今后矿业发展的一个重要趋势。本书以矿井通风系统为研究对象,以 MapGIS 为开发平台,以矿井通风理论、三维建模技术、虚拟现实技术、面向对象程序设计、数据传输技术、OA 技术、可视化技术以及计算机图形学理论为依托,通过对若干关键技术的研究,建立了一个科学逼真的矿井三维实时数字通风系统,实现了面向专业分析功能的系统信息可视化、智能化、网络化、集成化,极大地提高了矿井通风管理水平和矿井抗风险能力。

在系统的研发过程中,先后在冀中能源峰峰集团与河南鹤壁煤电股份有限公司下属部分矿井进行了测试,充分吸收了当地通风领域专家与煤矿通风一线管理人员的建议,大大地提高了系统的实用性和科学性。

本书的特色与创新点为:

(1) 开发了三维实时数字通风系统,首次实现实时通风监测信息与三维通风系统巷道模型的结合,实现了在立体场景中对实时通风监测信息的可视化、可靠性分析、预警与通风系统优化。

(2) 基于信息分层管理技术,成功地进行了矿井通风系统几何参数和各种动态参数的有机融合,实现了矿井通风参数数据在三维通风立体图上的实时动态可视化。

(3) 研发出数字通风系统的结构、基础功能与图层等相对独立的独立插件/框架,用户可对数字通风系统插件进行组装、扩展。

作者在多年从事矿井通风科研工作的基础上,参考并吸收了国内外学者在这方面的研究成果,编写了此书,以供广大科技工作者参考使用。中国地质大学(武汉)赵云胜教授、刘修国教授为本书的完成给予了很大的帮助。林增勇、于胜男、李源汇、杨柳也做了很多有益工作,在此一并感谢。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处敬请读者赐教,将不胜感激。

作 者

2015 年 9 月

目 录

第 1 章 矿井通风系统软件研究现状	(1)
§ 1.1 研究背景	(1)
§ 1.2 通风系统软件国外研究现状	(1)
§ 1.3 通风系统软件国内研究现状	(3)
第 2 章 三维实时数字通风系统总体设计	(6)
§ 2.1 数字通风系统需求分析	(6)
§ 2.2 系统开发工具与运行环境	(8)
§ 2.3 系统结构设计	(10)
第 3 章 井巷三维可视化系统	(17)
§ 3.1 三维可视化模型构建关键技术	(17)
§ 3.2 图形变换数学模型	(19)
§ 3.3 三维可视化模型开发	(22)
§ 3.4 三维可视化功能	(25)
§ 3.5 三维巷道漫游	(31)
第 4 章 矿井通风监测与预警系统	(33)
§ 4.1 矿井安全生产监控系统主要性能与技术指标	(33)
§ 4.2 矿井安全监测参数	(34)
§ 4.3 传感器选择	(37)
§ 4.4 传感器布置	(40)
§ 4.5 实时数据通信	(48)
§ 4.6 通风预警系统	(51)
第 5 章 通风辅助决策系统	(58)
§ 5.1 通风网络图绘制	(58)
§ 5.2 通风网络解算	(62)
§ 5.3 通风网络调节	(65)
§ 5.4 风机性能曲线处理	(68)
§ 5.5 通风系统可靠性分析	(70)
§ 5.6 通风系统优化分析	(74)
第 6 章 软件功能开发与应用	(78)
§ 6.1 大淑村矿现状	(78)
§ 6.2 系统测试与界面	(79)
§ 6.3 井巷三维可视化应用	(83)
§ 6.4 矿井通风监测与预警应用	(87)
§ 6.5 通风辅助决策系统应用	(89)
主要参考文献	(97)

第1章 矿井通风系统软件研究现状

§ 1.1 研究背景

矿井通风系统是指向井下作业地点供给新鲜空气,排除污浊空气的通风网络、通风动力和通风控制设施的总称。矿井通风系统是一个复杂的动态三维空间网络,这一动态特征决定了需要对该系统进行实时评估,判断是否满足通风之功能。如果不满足要求,则要对系统及适时进行调整,即进行通风系统的优化。通风系统的实时评估与优化调整正是通风管理的难点之所在。长期以来,通风系统的优化主要依靠经验或静态的通风网络解算来完成,显然这不符合通风系统的动态特征,当然也难以满足要求。国内外的学者一直在探索解决这个问题,迄今为止,这个问题还没有得到很好的解决。

本书所提出的三维实时数字通风系统,以矿井通风理论、三维建模技术、面向对象程序设计、数据库传输技术、可视化技术以及计算机图形学理论为依托,综合先进的 GIS 技术及数字三维仿真技术,开发出集井巷三维可视化子系统、风流实时监控与预警子系统、矿井通风辅助决策子系统为一体的数字化通风系统。除了具备通风管理系统的传统功能外,还解决了以下问题:

(1) 多系统的集成应用。软件以 MapGIS 地理信息系统平台为基础,与基于网络的监测、监控系统互联,构建出井巷三维可视化子系统、风流实时监控与预警子系统、矿井通风辅助决策子系统,实现了对信息的分布式处理和综合集成应用,满足了多应用系统间数据交互的需求。

(2) 动态实时信息处理分析。软件利用网络传输技术进行监测信息的及时准确传递,实现数据的实时可视化监测。以通风网络的实时解算思想为指导,在通风计算过程中导入动态信息,根据网络实时解算结果,对通风系统的安全可靠性进行评估分析。通风系统中需要调整或优化改造部分,软件处理分析系统可以给出调整方式或调整参考值。调整后的通风系统是否安全可靠,结果体现在风流预测预警系统中,用以判别是否达到通风系统的优化要求。

(3) 实时数据的三维可视化显示。现阶段已有的部分通风软件实现了巷道的三维可视化,但通风信息的显示仍停留在二维图形上。本软件构建的井巷三维可视化系统完全按照矿井地理信息环境进行模拟,作为矿井逼真的立体缩放,通风系统立体示意图可以直观显示监控数据和井下巷道结构,通过关联实时数据和相应的地理位置,更便于监控数据的查看与管理。

§ 1.2 通风系统软件国外研究现状

从 1953 年数字计算技术首次应用于矿井通风网络分析以来,经过几十年的发展,出现了许多针对矿井通风系统管理的计算机软件,这些软件对矿井通风系统的模拟越来越完善,

也越来越实用。而进入 21 世纪以来,随着多媒体技术和图形图像技术的快速发展,各类可视化技术、虚拟仿真技术得到了广泛的重视,越来越多的研究人员开始将这些技术应用到矿井通风系统的模拟与分析中,利用其进行图形系统的开发、矿井动态监测系统的改造和矿井地理信息系统的开发与研制等。矿井通风系统软件的研究历程如图 1-1 所示。

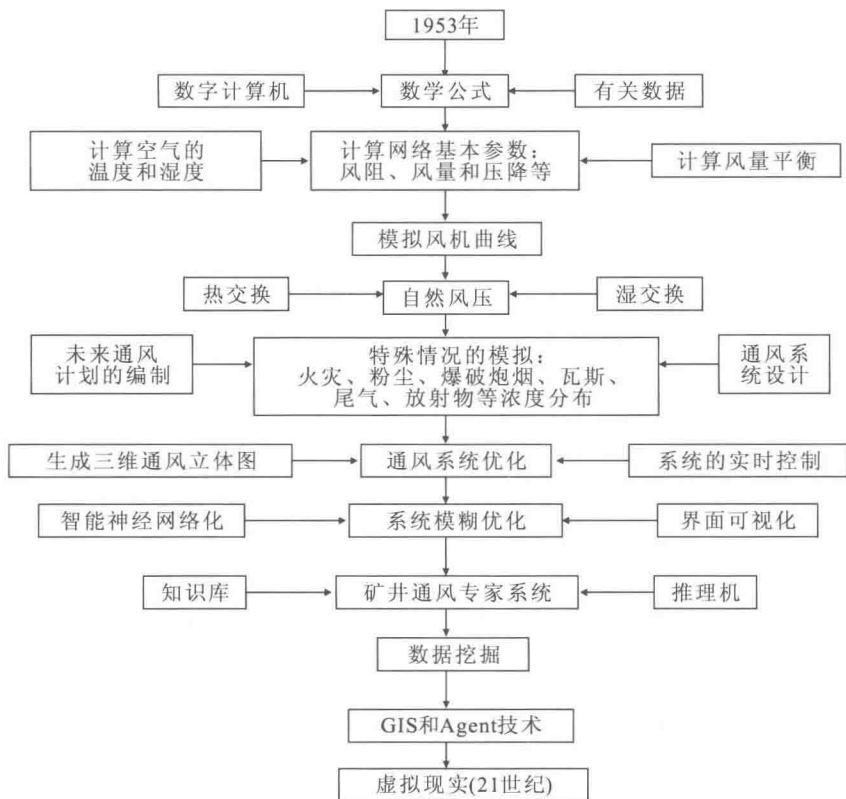


图 1-1 矿井通风系统软件研究历程

1953 年,英国学者 Scott 和 Hinsley 首次将数字计算机技术应用于矿井通风网络分析。1967 年, Wang 和 Hartman 开发出包含多风机和自然通风的立体矿井通风网络计算程序,该软件表明用于解决矿井通风基本参数的应用程序走向一个成熟阶段。在这之后,各国的通风研究人员相继开发出了一系列适用于复杂矿井的通风系统分析软件。

1974 年,宾夕法尼亚州州立大学 Stefanko 和 Ramani 对通风系统网路分析的发展作出了很大贡献。论文《矿井通风系统中柴油废气浓度的数值模拟》研究井下柴油机对通风系统的影响,并提出一系列的相关数学公式,这些数据的有效性得到了相关实测数据的检验。1981 年, Greue 发表了题为《矿井通风系统污染物和燃烧实时分布的计算》的文章,该文章阐述了矿井发生火灾时矿井通风系统的污染模拟情况。在美国,20 世纪 90 年代以前,代表性的矿井通风模拟软件有: PSU/MVS (Didyk, 1974), VENTSIM (Bcklen, 1968), MINES (Hitchcock and Hoover, 1976), VENTS (Wang and Saperstein, 1970; Hartman, 1982), VENTPC (Anon, 1988), MTU/Mine Ventilation Network Simulation (Greuer, 1977), CSM/Vent (Hall, 1976) 和 PENVEN (Anderson and Dvorkin, 1978)。在印度尼

西亚,普遍采用的是 VentPC2000 通风软件。在西方国家,大多数的矿井通风系统网络解算的应用软件已经商业化,而 MinTech、DataMine 两个软件有很强的影响力。其中应用比较广泛的有:

(1) 美国开发的“Ventilation Design 软件”。该软件可以将强制通风与自然通风网络分别以三维图形的方式显示出来,并且支持人机的交互操作。HTME 开发的“VENDIS 软件”通过图形交互显示,为用户提供不同的操作方式。用户可利用键盘或鼠标改变观察视角,通过输入巷道属性、风阻、温度以及节点信息来实现图形的三维显示。美国 MVC 公司开发的“VentPC2003 软件”支持 DXF 格式的文件,系统可直接读取 AutoCAD 图形文件,图形显示功能以不同的颜色区分通风系统的进风、回风状态,同时该软件可以建立通风立体网络图。

(2) 澳大利亚开发的“VENTSIM 软件”。该软件给出多种信息输入端口,用户可以通过直接输入通风信息来参与交互,同时还可以将各种类型的通风构筑物添加到通风网络中。该软件可以模拟井下巷道的瓦斯、温度等通风参数的分布。

(3) 英国 R. Burto 和 S. Bluhm 等开发的“VUMA 软件”。该软件为用户提供了二维和三维通风网络图的显示环境,通过模拟巷道内风流的流动状态,可以直观地在图形中显示瓦斯浓度、温度、粉尘等环境参数。

(4) 波兰 W. Dziurzy'nski 教授等开发的“VENTGRAPH 软件系统”。该软件功能丰富,具备可视化仿真、网络图绘制、火灾及逃生仿真、巷道模拟、灾害与救护培训、安全监测、数据处理与分析、通风网络与采空区仿真等功能。

§ 1.3 通风系统软件国内研究现状

国内通风系统软件研发起步较晚。1984 年,沈斐敏等编写了《微型电子计算机在矿井通风中的应用》的讲义,并于 1992 年改编为采矿专业本科生的教材《矿井通风微机程序设计与应用》,为更多人接触矿井通风网络解算的知识提供了方便。1987 年,原中南矿冶学院吴超在瑞典律勒欧工业大学做访问学者期间,完成专著《Mine Ventilation Network Analysis and Polution simulation》。该专著回顾了国内外矿井通风网络分析的发展历史,阐述了矿井通风网络基本理论并给出了相关的源代码,使用的计算机语言主要是 Fortran77。1991 年,中国矿业大学的张惠忱编写了《计算机在矿井通风中的应用》,为计算机在矿井通风领域进一步应用提供了技术支持。

“通风专家 3.0”开发始于 20 世纪 80 年代中期,经历近 10 年的不断完善,是当时国内较为先进的采矿应用软件,适用于各类井下开采矿山的通风系统优化设计和相关设计。通过该系统设计的国内外大中型矿山已超过 50 座,取得了较好的通风效果和经济效益。“通风专家 3.0”采用汇编语言、编译 BASIC、数据库(FoxPro)等计算机语言综合编程,兼容 DOS 6.22/Windows9x 操作系统,软件系统全部为菜单结构,界面友好,使用简单,支持键盘以及鼠标操作,程序代码简洁,运算速度快。通风专家系统主要由原始数据处理、矿井通风网络解算、通风图绘制、结果报表、风机数据库、知识库等六大模块组成,可对复杂通风系统进行网络生成、网孔圈定、风机优选、网络解算、结果报表生成等;系统可自动记录原始节点坐标,自动组建通风系统网络。此外,还可以采用任意角度和比例生成通风系统立

体图以及通风平面图等。

20 世纪 80 年代末到现在,国内各大专院校、科研单位在通风可视化、通风网络解算、通风网络模拟等方面做了大量的研究,开发出一大批矿井通风软件,并成功应用到矿井生产中。除“通风专家 3.0”外,其他主要有:

(1) 西安科技学院于 1992 年开发的“CFIRE 软件系统”。具有建立在严密数学推导基础上的计算机模拟功能,使得该系统建立了很强的准实战环境能力。

(2) 中国矿业大学于 1993 年开发的“矿井火灾救灾决策支持系统”。该系统具备自动绘制通风系统图、矿井灾害模拟、k 条最佳救灾与避灾路线选择等功能。

(3) 山东科技大学于 1999 年开发的“矿井灾变处理系统”。该系统通过矿井火灾模拟,可以显示出矿井火灾发生时的最佳避灾路线。

(4) 太原理工大学开发的“虚拟矿井通风系统”。该系统具备巷道立体图形模拟显示;自动或半自动生成矿井通风系统图与通风网络图;对温度、风速、瓦斯浓度等井下通风参数进行实时监测与分析,能够模拟灾变并进行反风调节。

(5) 辽宁工程技术大学于 2000 年开发的“矿井通风仿真系统(MVSS)”,现已升级到 MVSS3D.NET 版本。MVSS3D.NET 的功能主要分为四部分:通风系统的网络化管理、通风网络解算与调节、通风系统改造仿真、通风系统的分析与评价,其中,通风系统的网络化管理功能可实现通风系统数据的实时传输。

(6) 北京龙德时代科技发展有限公司开发的“一通三防信息管理系统”。该系统为用户提供主要通防设施或构筑物在井巷模拟图形上的添加、删除与编辑功能,同时完成各类通风报表的管理查询和输出。

(7) 北京龙软科技有限公司开发的“通风安全管理信息系统”。该系统能自动生成通风网络图和通风系统立体图,以及通风报表的自动输出;同时该系统还提供了实时查看基于网络的矿井安全监测数据的功能。

(8) 煤炭科学研究总院抚顺分院开发的“数字化矿山安全监控系统”。该系统为用户提供了动态浏览煤矿安全监测监控数据的功能,通过数据与图形的有机融合,实现了监测、监控数据的图形化。

(9) 中国矿业大学韩文骥等开发的“矿井通风安全预警仿真系统”。该系统为用户提供了煤矿通风管理的多个辅助功能:通风系统的计算机管理、三维巷道模拟的显示、二维图形下的瓦斯等通风参数的实时显示、最短避灾路线模拟显示、事故的分析与预测等。

根据国内通风软件检索结果,列举出软件的主要性能指标如表 1-1 所示。

从表 1-1 中可以看出,这些网络分析程序使用的计算机语言各异,有 Fortran、Visual Basic 和 Visual C++ 等。最常用的迭代方法是 Hardy-Cross 迭代法。这些程序可以处理多节点、多风机的复杂通风系统,有些还考虑了自然风压的影响。主要输入数据有摩擦风阻、断面尺寸、巷道长度、局部阻力。如果考虑自然风压的影响,则要给出节点的空间位置。大多数程序中,风机特征曲线是给定的,有些还考虑到巷道的漏风。可以用数字化仪来输入网络数据。一般输出数据为各分支的风量、阻力和压降,固定风量分支的调节,风机的工况点,最优叶片安装角,各分支温度,柴油机废气,放射性元素,相关费用,立体矿井通风网络图,有关火灾的数据。一般来说,矿井通风软件有如下功能:①确定矿井通风系统的最优布局;②评判矿井通风网络中风流稳定性和矿井通风网络调节;③分析和估计矿井通风网络参

表 1-1 国内通风软件一览表

作者	推出时间	所用语言	主要结构及功能
赵以葱	1992	Fortran77	根据多孔介质流体动力学理论,把采空区看作是非均匀连续介质;风流在介质中的流动是过渡流,邻近层瓦斯稳定地、均匀地(或非均匀地)涌入采空区,瓦斯在介质中的扩散符合 Fick 定律,由此建立了系列稳态条件下的数学模型。
刘剑	1993	Fortran CAD 系统	可查询采场剖分信息。根据漏风源、汇位置坐标,可查询对应的单元号是否为边界单元等;根据漏风源、汇的漏风量,计算单元号,确定单元地质区号及渗透系数等;绘制二维和三维的采场域图,漏风源、汇位置及编号图,采场剖分图,流线或流管图,等压线或等压面图等。
刘师少	1994	Foxbase+2.10	程序设计模块化;提供舒适可靠的人机交互工作环境;具有较强的图形处理功能。
谭国运	不详	Fortran77 Dbase-III	采用通路法进行风量调节,在计算矿井通风网络调节的同时可以发现通风阻力最大的区段和地点,为降低阻力、改造通风系统提供途径;其次,该系统采用一体化通风管理方法,收到良好效果。
曾无畏	1994	DBASE	包含矿井通风管理中的矿井通风、矿井防突、瓦斯抽放、矿井防火、矿井防尘一、矿井防尘二、安全措施和矿井通风质量评比 8 个项目,每项中均具有数据的编辑、修改、查询和打印功能。
蒋军成	1995	Fortran	可用于生产矿井的风量优化调节计算和新井通风设计的调风计算;既可进行局部通风网络的风量调节计算,也可进行全矿规模的风量调节计算(包括多风机系统的风量调节计算)。
谢贤平	1995	GWBASI	计算机集散控制系统的管理程序,下级计算机的采样及控制程序。两者之间利用通讯软件相互联系,进行数据交换和信息传递。
黄元平	1995	C 语言	软件用户界面良好,使用方便;采用动态内存管理技术可以直接使用扩展内存,因而原则上可用于任意大小的网络优化问题。
杨娟	2001	Visual C++ ODBC	主要包括动态调节系统、数据库系统与矿井通风网络图绘制系统等模块。
李钢 陈开岩	2004	Visual C++ 6.0	矿井通风需风量计算软件。按照矿井风量计算的方法和步骤,并引入特殊条件下的经验公式,利用 DAO 数据库访问技术,访问原始数据,计算出符合矿井需要的风量,设计人员可从中选取一个最适宜风量。该软件可以用于新矿井的通风设计及生产矿井的风量调节。
袁梅 章壮新	2005	VB6.0	分别用牛顿法、斯考特-恒斯雷法及斯考特-恒斯雷法+塞德尔技巧三种算法编制了矿井自然分风子网络的电算程序。
杜学胜 杨勇	2005	VB6.0 GIS	在 Windows 平台上采用组件化程序设计方法,将地理信息系统和矢量化的概念引进到矿井通风之中,以 VB6.0 和地理信息系统控件 MapX,开发出矿井通风管理软件,同时利用 MapXTheme 开发出 WebGIS 系统。

数,如阻力,风量,温度,湿度,主、局扇参数,粉尘,爆破炮烟,柴油机排放废气浓度等;④对通风系统进行实时控制,制定未来通风计划;⑤数值模拟矿井火灾的发生、发展过程,解算火灾时期矿井通风系统的风流状态,从而对火灾的救灾、避灾进行决策。

第2章 三维实时数字通风系统总体设计

矿井通风系统的总体设计是矿井通风系统管理和优化设计等必不可少的工作。对矿井通风系统安全有效地设计应建立在科学的通风系统选择及合理确定工作面用风量的基础上。随着我国矿井通风技术从理论到实践整体水平的提高,通风系统从开拓到达产期的风量分配规律以及风流流动规律也逐渐被深入地研究并掌握。利用这些规律指导矿井通风系统的设计已经成为矿井通风领域中的一个重要课题。从我国矿井通风系统设计来看,工程经验类比法在许多矿山实际上已演化为“一矿一方案”,甚至“一局一方案”的非科学的通风系统设计模式。这种模式不是设计方案过于保守,就是不能满足特定工期的需求。真正能经济、有效运行的通风系统很难通过工程经验类比法来得到。另一方面,真正能经济、有效运行的通风系统需要进行大量的计算工作和周密的设计。现场的条件千差万别,在对矿井通风系统稳定特征的许多因素的描述与判断过程中专家经验成分较大,有一定的随意性和不确定性。对于这些不确定性,有经验的专家能够正确地判断,而对一般的工程人员却难以区分,这就会限制科学方法的应用,现场推广应用存在极大的难度甚至是不可能的。因此,利用已知的数据来指导通风系统的设计而且不受地区、人员的限制成了一个突出的问题。

飞速发展并迅速普及的计算机技术为复杂通风系统网络分析提供了有力的支持。将计算机技术应用于矿井通风网络解算,输入原始网络数据以及特殊的约束条件后,由计算机完成通风系统的网络解算,预计各条风路中的风量分配,在此基础上选择合理的通风方案和计算正确的网络参数,不仅可以依照国家有关的技术规程和标准进行通风系统的设计,而且可以使科学方法得以推广,发挥其应有的作用。因此,可以预见,矿井三维实时通风系统的开发并推广应用,可以极大地提高矿井通风系统设计与管理的科学化程度,其应用前景十分广阔。

§ 2.1 数字通风系统需求分析

数字矿井通风系统是数字矿山的重要组成部分,目前实用的数字矿井通风系统软件不多,因此,自行开发一套基于 Windows 平台和矿井通风网络解算的软件具有较高的应用价值。

2.1.1 用户需求分析

本软件的用户是地下矿山现场的通风技术人员,他们既有相应的专业理论知识,又有一定的工程实践经验,可以直接参与到软件开发工作中。本软件可以为用户在技术决策上给以支持,提高其技术决策的科学性和可靠程度,使工程技术人员从繁杂的矿井通风日常事务中解脱出来。

2.1.2 硬件环境需求分析

随着计算机技术的发展与普及,目前我国各矿(区)基本上都配备了大量的计算机及各

种外部设备,矿区的设备及技术水平均能满足一般应用程序的运行需求,因此,本系统开发成功后具有广泛的应用前景和推广应用的客观条件。

2.1.3 设计技术需求分析

设计技术需求分析应遵循以下原则:

(1) 针对性。系统应从矿井的通风日常管理工作出发,为通风管理人员提供实时有效的决策参考。

(2) 实用性。系统应具备良好的人机操作界面,方便用户进行操作管理,系统应为用户提供足够的实用参考价值。

(3) 可扩充性。系统应具备可扩展、易维护的基础设计,通过预留多处接口以便实现系统的进一步更新与完善。

(4) 完备性。系统的功能应涵盖矿井通风管理的诸多内容,具备三维可视化模拟显示、通风实时监测与预警、通风辅助决策等功能。

(5) 动态性。系统由外界输入的信息应具备动态性,系统数据处于实时变化之中,同时保证系统的数据处理由静态向动态转变。

(6) 可靠性。系统基础数据的读取与输出、用户针对系统的相关操作都要以系统的正常运行为基础,确保系统结果的可靠性。当出现数据库局部破坏等错误时,系统应体现出及时的纠错能力,同时需要完成数据的备份与恢复。

2.1.4 系统功能需求分析

三维实时数字通风系统所需要实现的主要功能有:

(1) 井巷三维可视化模拟显示。目前矿井日常通风安全管理所使用的各类通风图件不具备立体效果,不能直观模拟显示井下全景。系统应具备井巷三维可视化、通风构筑物可视化、通风参数可视化以及通风机运转可视化等功能,以实现三维场景管理、三维动态查询、巷道虚拟漫游等操作。

(2) 矿井通风实时监测与预警。当前矿井监控系统提供的实时数据直观性不强,且缺乏分析数据发展趋势的功能。系统应具备在三维仿真系统图上直观显示通风实时信息的功能,并能与监测数据库保持同步的动态更新,能够对监测数据进行曲线分析;系统应具备预警报警功能,当某监测点信号超过所设置的报警界限时,能够产生实时声音、图像、报警信号,管理人员可通过调取报警窗口以查看敏感信息,及时进行报警确认。

(3) 矿井通风辅助决策功能。

1) 自动绘制通风网络图与通风系统图。系统应具备自动绘制通风网络图与通风系统图的功能;系统可根据巷道节点的三维拓扑关系自动生成直观双线立体系统图,并且可以进行任意旋转和缩放,也可将相关信息自动标注在巷道。

2) 实时通风网络解算。通过导入实时通风参数数据,利用相关通风网络解算方法进行实时通风网络解算,为通风网络调节提供依据。

3) 通风网络调节。当前矿井通风网络调节主要依靠经验历经数次调节来完成。系统应根据实时监测数据分析与通风网络解算结果,给出通风调节的参考值或参考方式。

4) 矿井主要通风机性能曲线处理。系统提供主扇曲线拟合模块,该模块可拟合出一条

二次曲线,同时给出图形和系数,从而达到对通风机的工况及性能分析。

5) 通风系统可靠性分析与优化。依据实时监测信息、预警信息以及网络结算分析结果,系统应具备通风系统安全可靠性与网络优化功能。依据通风系统的可靠性分析,针对存在的问题进行通风网络的改造与优化。

6) 通风日常报表管理。矿井的通风日常管理生成的各类报表与数据主要靠手工进行输入、处理,效率较低且易出错。系统应具备自动输出通风日常报表管理的功能。

三维实时数字通风系统功能结构如图 2-1 所示。

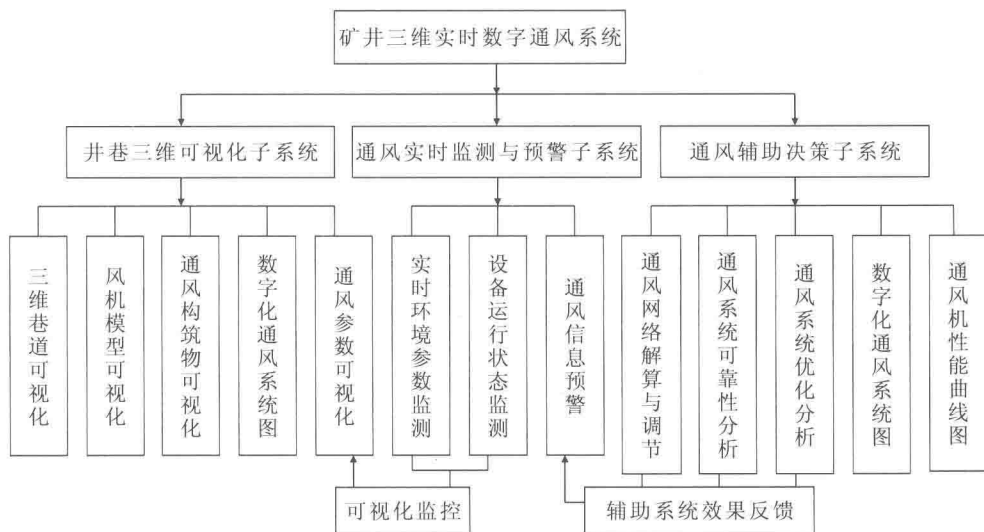


图 2-1 三维实时数字通风系统功能结构图

§ 2.2 系统开发工具与运行环境

2.2.1 开发平台

矿井实时数字通风系统采用 GIS 系统为平台,充分利用 GIS 软件的现有功能,以构建一体化的解决方案。在比较了多种软件的基础上,选用了武汉中地数码科技有限公司自主产权的新一代国产超大型分布式 GIS 基础软件平台——MapGIS 7.0。MapGIS 7.0 体系结构采用的是多层的思想,面向服务,能高效存储与管理多源异构的海量空间数据,支持三维实时建模与分析,支持分布式计算、共享和集成,支持多模式多粒度的空间信息服务,在面向海量、分布式的国家基础地理设施建设中得到广泛应用。

MapGIS 7.0 主要功能包括数据输入、数据处理、数据库管理和空间分析等,具体如下:

(1) 数据输入。数据输入是空间数据管理和维护的第一步,是 GIS 的关键功能之一。使用 MapGIS 在建立空间地理数据库时,可以接受扫描仪、数字化仪、GPS 等输入手段,可以实现从其他类型的空间数据到空间数据库的建库。

(2) 数据处理。原始空间数据在完成空间数据库建库工作后,为了消除其不一致性、误

差等,还需要进行数据编辑、数据校正、消除误差、修整图形、变换坐标等步骤。这些工作主要通过 MapGIS 的其他数据处理子系统来完成,如图形编辑系统、拓扑编辑系统、投影变换等。

(3) 数据库管理。在 MapGIS 中,通常使用图形数据库来管理空间属性,同时借助专业属性库进行专业属性的管理。

1) 图形数据库管理系统。图形子系统是 GIS 软件的重要组成部分,被用在数据获取、数据处理、数据检索查询和输出的各个过程中,分别扮演数据的存储者、资料的提供者、处理结果的归宿处、绘图展示的各种数据源等角色。

2) 专业属性库管理系统。GIS 应用非常广泛,面向的具体业务千差万别,空间数据的专业属性也各有不同,因此,MapGIS 采用专业动态属性库来完成对不同属性的定义。通过动态属性库,用户能根据业务需求定制属性字段,从而实现在同一软件中管理面向不同应用领域的各类专业属性。

(4) 空间分析。空间分析是 GIS 区别于 CAD (计算机辅助制图) 的主要特点之一,它提供了数据查询和数据分析功能,主要包括矢量分析、空间分析和数字高程模型 DEM 三部分。GIS 系统的主要特征如下:

1) 以空间信息为基础组织数据。GIS 管理的数据主要以空间数据为主。这些空间数据具有一定的位置信息和相关属性。空间位置信息一般按照特定经纬网、高斯-克吕格坐标网、UTM 坐标网或方里网等基础的地理坐标系统来描述。

2) 有多维结构特征。GIS 中存储的空间数据一般可以描述多维模式,地理平面坐标位置构成第一和第二维信息,高程或具体专题内容中的专业属性构成第三维或更多维信息。GIS 在空间位置和专题属性信息之间通过属性码建立联系,因此对研究空间实体的信息综合提供了可能性,也为实现信息的传递、多层次分析和筛选提供了方便。

3) 数据具有规范化和数字化特征。GIS 管理的数据在输入和管理过程中经过了规范化和数字化的步骤,适应计算机处理的需要,满足了多要素之间的分析、运算、对比和相关分析的要求。

4) 空间数据具有时序特征。随着时间的流逝,空间信息的属性也在变化,因此空间实体的属性信息表现出明显的时间特征。空间信息属性基于时间序列的积累,反映了对应的空间实体的动态变化。结合空间实体的其他属性,可以对空间地物及自然界的发展进行综合分析、反演和预测。

2.2.2 开发语言

C++ 语言因其灵活性、高效性在大规模软件开发中得到广泛应用,成为主流的开发语言之一。目前主流的 GIS 软件首选的专业语言同样是 C++。Visual C++ 是微软提供的 C++ 集成开发环境,为开发 Windows 下的应用系统的不二选择,具有无可比拟的优势。

(1) 较强的灵活性。应用 Visual C++ 开发地理信息系统软件时,因 C++ 语言的通用性和使用的广泛性,可以方便地采用多种模式对流程和数据完成操作,可以直接或通过接口与第三方组件、软件等完成协作。

(2) 易于扩展。用 Visual C++ 开发的 GIS 系统,不是在现有系统上的简单的二次开发和应用,也不受相关系统的限制。开发者可以在开发过程中完成技术积累和创新,不断地提

高和完善开发技术,构建完整的产品体系。因此可以方便地以此为基础,使其在相关的领域实现不同的辅助设计(CAD)、信息管理系统(MIS)、控制系统(CIS)、决策系统(DSS)、矿井通风仿真系统等,实现各领域的产品线。

(3) 具有自主知识产权。开发者使用Visual C++直接开发的系统具有自主知识产权,在一些行业应用和后继发展中具有无与伦比的优势。

Visual C++应用于矿井通风系统:

(1) 因矿井通风三维模型、网络图比较复杂且多变,在具体实施环境下需定制部分操作或界面,对软件的可维护性要求较高。Visual C++作为集成开发工具,提供了多种附加工具,并提供了组件开发的支持,这些为开发矿井通风的可维护性提供了有力的技术支撑。

(2) Visual C++支持面向对象的程序设计方法,支持在面向对象的分析与设计时直接对实体进行面向对象的建模,可以借助现有UML等建模工具和语言,构建标准化的软件开发流程,较好地实施软件开发过程,保障软件质量。

(3) Visual C++对于硬件驱动、操作系统底层编程能力强,方便与外部设备的接口对接,容易实现打印、扫描等系统功能。

(4) Visual C++提供了强大的数据库编程接口,可以方便地实现数据库操作,从而为空间信息数据、通风专业属性数据的存储管理打下坚实基础。

(5) Visual C++语言抽象能力好,代码简洁,便于编写高质量的代码。

(6) Visual C++提供标准的STL、MFC类库,并直接支持对API接口函数的调用,且有非常丰富的第三方功能库和界面库,内置了丰富的图形展示和操作功能。

综上所述,最终决定选择Visual C++作为系统的开发工具。

2.2.3 运行环境

系统运行的软、硬件环境如表2-1、表2-2所示。

表 2-1 硬件环境

设备名称	最低配置
CPU	主频 1.60GHz
内存	1G
显卡	GForce4400
硬盘	80G

表 2-2 软件环境

软件名称	环境说明
MapGIS 环境	分析评价子系统是基于 MapGIS 平台的二次开发应用软件。这是提供应用环境
ACCESS2003	提供强大的数据库
Visual C++ 6.0	微软开发环境
Windows2000、WindowsXP	以上操作系统平台
Microsoft Office	涉及功能项中报表生成模块

§ 2.3 系统结构设计

传统的通风仿真系统,在编译开发出来之后,就不允许对现有的系统进行更改或扩充,一旦要对某个功能进行扩充,则必须对整个系统进行编译开发,这就大大增加了研制开发的费用,而且有些无须修改的功能属于重复开发,费时费力。针对上述存在的问题,提出了基于框架-插件的矿井数字通风系统的设计方法。在此基础上设计了一个框架、六个功能插件和四个图层插件。其中,六个功能插件分别为井巷三维可视化建模插件、通风实时数据动态

查询与预警插件、通风网络解算与调节插件、通风机性能测定插件、通风网络可靠性分析与优化插件、通风日常报表管理插件，而四个图层插件则分别为巷道图层、风机图层、巷道骨架线图层和风流方向图层。

2.3.1 插件技术概述

2.3.1.1 插件的相关概念

插件技术是实现软件应用框架架构的核心技术之一，以即插即用方式重用不同人员的开发成果，从而达到快速构建软件和复用，减少软件开发的成本和周期，提高软件产品的质量和开发效率。GIS应用框架是实现了GIS应用领域通用的完备功能（除去特殊应用的部分）的底层服务，而不是应用程序的小片程序。将插件技术引入GIS应用框架的开发实现中，有利于促进地理信息技术的发展和应用。

插件技术把整个应用程序分成宿主程序和插件两个部分，宿主程序与插件能够相互通信，并且在宿主程序不变的情况下，可以通过增减插件或修改插件来调整和增强应用程序功能，能从应用系统中进行“热拔插”，对功能模块进行方便、安全的装卸，而不必重新编译整个系统，类似于计算机上的USB接口。计算机的硬件设备是由许多插件板连接而成的，而这些插件板又是将许多具有独立功能的集成电路插件按插件板的设计要求组装连接而成的。各种插件卡插到计算机主板上，通过总线使它们相互通信、协同工作，计算机的迅速发展与此种结构特征及集成电路的发展是分不开的。近年来受到硬插件技术的启发，人们开始研究软插件技术，与硬插件系统类似，软插件系统由总线（也称宿主程序）、接口和插件三部分组成，如图2-2所示。

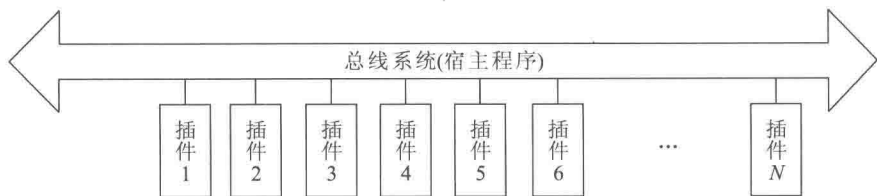


图 2-2 软插件系统示意图

(1) 宿主程序。Windows 平台上一般表现为一个可执行的文件（一般为 .EXE 文件），这个可执行文件负责启动整个系统，将插件系统所需的插件加载到自己的进程地址空间中，插件系统所需要的插件是一些服务性的插件，常驻进程之中。宿主程序还必须对插件进行管理，不同产品的服务性插件的设计都不完全相同，但是对插件进行管理的功能是一定要实现的。

(2) 插件。能够动态地插入到系统中，提供给插件系统相对简单的功能，但是多个插件能够使系统功能完善，完成许多复杂功能的处理，是插件系统的重要组成部分。在插件中必须提供给宿主程序调用的接口，当宿主程序需要调用插件的时候能够找到这个接口，以完成与宿主程序的通信与交互，并且使得宿主程序能够得到插件的相关信息。

(3) 接口。宿主程序和插件能够互相结合在一起工作，必须有一套互相协作的规则和协议来使不同来源的程序互相协调工作，完成这些规则和协议的部分称为插件系统的接口。这

是一个逻辑上的接口，由宿主程序和插件各完成一部分，它们共同完成插件的插入、调用、停止以及宿主程序与插件之间的交互。

2.3.1.2 插件的分类

目前应用比较普遍的插件，大致上可分为以下几类。

(1) 批处理式。类似于批命令的简单插件，它一般是文本文件，这种插件的缺点是功能比较单一、可扩展性极小和自由度非常低。

(2) 脚本式。使用某种语言把插件的程序逻辑写成脚本代码，而这种语言可以是 Python，或是其他现存的已经经过用户长时间考验的脚本语言，甚至你可以自行设计一种脚本语言来配合你程序的特殊需要。当今最流行的是 XML，其特点在于，稍有点编程知识的用户就可以自行修改你的脚本。

(3) 动态函数库 DLL。插件功能以动态函数库的形式存在。主程序通过某种渠道（插件编写者或某些工具）获得插件函数签名，然后在合适的地方调用它们。

(4) 聚合式。顾名思义，就是把插件功能直接写成 .EXE。主程序除了完成自己的职责外，还负责调度这些“插件”。这使插件与插件之间、主程序与插件之间的信息交流困难了许多。

(5) COM 组件。插件需要做的只是实现程序定义的接口，主程序不需要知道插件怎样实现预定的功能，只需要通过接口访问插件，并提供主程序相关对象的接口。这样一来，主程序与各插件之间的信息交流就变得异常简单，并且插件对于主程序来说是完全透明的。

2.3.1.3 基于插件技术的软件开发方法

上面介绍了五种插件类型，其中批处理式和脚本式因为功能比较简单很少应用；聚合式相当于创建了另外一个进程，实际开发过程中一般以外挂的形式出现；比较常用的是普通的 DLL 插件和 COM 插件两种形式，二者关键的区别在于插件接口的实现上。普通的 DLL 插件使用导出函数作为接口，而 COM 插件则使用 COM 规范中特有的创建与管理接口的方法。在插件的实现过程中，绝大部分的实现都是使用导出函数作为插件提供服务的接口。

基于插件技术的软件开发，可以根据产品的具体情况采用面向对象的分析与设计方式，也可以采用面向构件的设计方式。唯一需要注意的是要遵循插件系统的原理，重点去处理在设计中经常出现的问题。

2.3.2 应用框架概述

2.3.2.1 框架的概念

框架 (Framework) 的概念出现于 20 世纪 80 年代，是目前主流软件架构的技术之一。框架是一个“可复用”的、“半成品”的应用，它建立在领域分析的基础上，由一组互相协作的组件组成，通过这些组件及其协作关系定义了应用系统的体系结构，同时通过扩展热点 (Hot spots) 组装用户开发的组件，以处理领域变化性。框架面向特定领域，集成了主流复用技术，不仅为特定领域内共性问题的解决提供了统一的业务应用系统骨架，同时又提供了相应的机制来支持领域内变化性特征的隔离、封装和抽象，兼顾了系统的稳定性和灵活性，