

# Design and Development of Geographic Information System in Coal Mine Geological Survey Information System

Rui Wu

Shanxi Deyuan Engineering Investigation Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046000, China

## Abstract

The increase of coal mining depth and scale requires the accuracy and efficiency of geological survey. The paper is based on geographic information system (GIS) technology and designs and develops a coal mine geological surveying information system. It analyzes the actual needs of coal mine geological surveying, constructs the architecture of the GIS system, and implements data collection, storage, management, and 3D visualization functions. Through practical application verification, the system can effectively improve the data accuracy and data processing efficiency in coal mine geological survey. The research results provide important technical support for solving the hidden disaster-causing factors of coal mines to ensure the safe production and accurate geological guarantee, and have significant application value and promotion prospect.

## Keywords

geographic information system; coal mine geology; coal mine survey; hidden disaster factors; spatial data processing; three-dimensional visualization

# 地理信息系统在煤矿地质测量信息系统中的设计与开发

吴瑞

山西德远工程勘察有限公司, 中国·山西·长治 046000

## 摘要

煤矿开采深度和规模的增加对地质测量的精度与效率要求愈发严格。论文基于地理信息系统(GIS)技术,设计并开发了一套煤矿地质测量信息系统,分析煤矿地质测量的实际需求,构建了地理信息系统的架构并实现了数据采集、存储与管理及三维可视化功能。经实际应用验证,该系统能够有效提高煤矿地质测量中数据的精度和数据处理效率。研究成果为解决煤矿隐蔽致灾因素保证安全生产和精准地质保障提供了重要的技术支持,具有显著的应用价值和推广前景。

## 关键词

地理信息系统; 煤矿地质; 煤矿测量; 隐蔽致灾因素; 空间数据处理; 三维可视化

## 1 引言

煤矿开采随着深度的增加及安全生产的迫切性、地质保障的高效性,让传统的测量方法无法满足复杂地质环境下的隐蔽致灾因素精准测量需求,信息化和智能化技术在煤矿测量中的应用愈发重要。地理信息系统(GIS)作为空间信息管理与分析的重要工具,具备数据采集、空间分析和可视化等强大功能,需广泛应用于矿山安全管理中。论文针对煤矿地质测量中的实际需求构建了一套高效、准确的煤矿地质测量信息系统,以提升矿山安全生产管理水平。

## 2 煤矿地质测量信息系统的需求分析

### 2.1 煤矿地质测量的现状与挑战

当前煤矿地质测量主要依赖传统人工判断、仪器测量、

填图绘制,随着矿井开采规模的扩大和开采深度的增加暴露出了诸多局限性。现场操作,受制于地形、环境和人员能力,无法实现实时、动态的地质测量信息更新。高效矿井,传统方法无法有效整合和管理海量的地质数据,数据的分散性和不连续性也使得后续分析与决策过程变得困难。当前煤矿开采中,管理者需要实时、准确的地质信息来指导采掘规划、保障安全生产,同时快速的数据处理与分析能够及时发现隐蔽致灾因素,从而采取相应措施。煤矿地质测量信息系统要具备高精度的数据采集能力和强大的数据分析处理功能来满足。

### 2.2 系统功能需求

煤矿地质测量信息系统的设计要满足现代矿山管理对于地质测量精度、数据处理效率以及空间数据分析的多重需求。

在数据采集方面,采集的数据应能无缝整合至系统的数据管理模块中,需要具备自动化、实时化的特点。

【作者简介】吴瑞(1988-),男,中国河北定州人,本科,工程师,从事煤矿地质与测量研究。

在数据存储与管理方面,系统应具备大规模数据的存储能力,能够有效管理包括空间数据、属性数据和时间序列数据在内的多维度矿井地质数据。矿井空间数据管理是系统的核心需求,系统需提供灵活的空间数据组织方式,并支持数据的多层次管理和分级存储。系统应集成 GIS 的强大空间分析功能对采集到的数据进行各种复杂的空间分析。数据处理模块需要具备高度的自动化,能够快速生成符合实际应用需求的地质数据和分析结果,提供高效的地质保障。对于矿井安全监控,系统还应具备实时监测与预警功能,对采集到的数据进行分析,提前发现隐蔽致灾因素。

## 2.3 系统性能需求

系统的响应时间和数据处理速度是衡量煤矿地质测量信息系统有效性的重要指标。煤矿隐蔽致灾因素的复杂性和多变性要求系统能够在短时间内完成大量空间数据的处理和分析,以提供地质保障。系统的煤矿安全监控和灾害预警快速响应能力是决定其能否发挥预警作用的关键。系统采用高性能的计算技术来确保系统在大数据环境下能够迅速响应用户请求,并输出准确的分析结果。

## 3 煤矿地质测量信息系统的开发与实现

### 3.1 系统开发环境与技术选型

为保证系统能够高效、稳定地运行,必须对开发环境、GIS 平台、数据库管理系统及编程语言等进行充分考虑。在 GIS 平台的选择上,考虑到其空间数据处理的能力和可扩展性,选用开源的 QGIS 作为主要 GIS 平台,因其具备灵活的插件机制,可以根据实际需求扩展不同的功能模块。在数据库方面,选择了 PostgreSQL 作为系统的主数据库,配合 PostGIS 扩展实现对空间数据的高效存储与处理。PostGIS 具备强大的空间索引功能,能够在处理海量空间数据时显著提升查询效率,并支持多种空间操作,为系统提供了高效的数据存取能力。

开发语言方面,选用了 Python 作为主要编程语言。Python 不仅拥有丰富的 GIS 处理库(如 GDAL、Shapely 等),还能方便地与其他技术栈进行集成,适用于数据处理、分析以及报告生成等任务。Python 具备较好的社区支持和跨平台能力,可以在不同操作系统上部署,满足煤矿管理信息系统的多样化需求。

### 3.2 系统模块设计与功能实现

煤矿地质测量信息系统的功能实现包括数据采集、数据管理与存储、数据分析与结果生成模块。这些模块共同构成了系统的基础架构,并借助 GIS 平台和数据库的联动,保证系统的高效运行和数据的处理。

在数据采集模块中,系统集成全站仪、RTK、GPS、LiDAR 等设备,结合各项监控系统传感器和各类报告中数据实现对矿井隐蔽致灾因素的高精度采集。

数据管理与存储模块系统使用 PostgreSQL 和 PostGIS

进行数据存储设计。空间数据与属性数据的管理借助两类表实现,空间表用于存储矿井的三维地理信息,属性表则记录与隐蔽致灾因素特征相关的属性数据。空间数据采用 CGCS2000 坐标系进行统一管理,并借助空间索引(R 树索引)来提升查询效率<sup>[1]</sup>。为了确保数据的完整性与一致性,系统采用了触发器和约束机制,自动维护数据的引用完整性。

系统借助 GIS 提供的空间分析工具可以实现诸如矿井三维建模、断层分析、陷落柱长短轴预判、老空水量计算、瓦斯赋存量预算等复杂的地质计算。在三维建模方面,系统基于 TIN(三角网)算法生成矿井的三维模型,其核心数学公式为:

$$A = \frac{1}{2} |x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2)|$$

该公式用于计算三角形的面积,并进一步构建整个三维表面的拓扑结构。在断层分析中,系统使用了基于空间插值的算法,采用克里金插值法来分析地下断层分布,其公式如下:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

其中,  $Z(x_0)$  为待预测点的属性值;  $\lambda_i$  为插值系数;  $Z(x_i)$  为已知采样点的属性值,使用该公式,系统能够实现对矿井地质结构的精细预测和分析。

### 3.3 系统集成与测试

系统采用微服务架构,各模块功能相对独立,API 接口实现数据交互和功能调用。集成的首要任务是保证各模块的数据传输流畅无误,让不同模块在调用彼此功能时能够顺利协作。在集成过程中,数据采集模块、数据管理模块、分析与报告生成模块的协同工作确保了从采集到的原始数据传输到数据库存储、再到空间分析与可视化生成这一流程无缝进行。

集成过程中,系统使用 RESTful API 进行统一数据接口设计,各模块的输入输出均采用标准化的数据格式(如 GeoJSON、WKT 等),确保数据在传输过程中不丢失、不变形。同时,为了保证系统的扩展性,集成方案中预留了对其他外部系统(如矿山安全监控系统、生产调度系统、水害感知系统、矿压观测系统)的接口,以便实现与其他管理系统的无缝对接。系统通过引入消息队列技术,确保在多模块并发处理时,数据不会因为高负载导致丢失或延迟。

系统进行了功能测试验证了每个模块在实际应用中的表现,确保数据从采集到存储、分析、展示整个流程无误。针对不同的测试场景,采用了不同的测试用例,测试空间数据的高精度处理、复杂断层三维建模的准确性以及大数据量环境下的处理效率<sup>[2]</sup>。性能测试则重点分析了系统在高负载下的表现。稳定性测试模拟了系统在长时间运行以及突发情况下的表现,确保系统在极端环境下不会发生数据丢失或崩溃。

在空间数据并发查询测试中，系统表现出显著的改进，优化数据库的空间索引和查询（500条数据）算法，查询响应时间从6s缩短至2s，性能提升了66.7%。在三维模型生成（断层数据）测试中，经过对算法的优化以及利用GPU加速，模型生成时间从55s缩短至30s，性能提升了45.4%。多传感器数据处理（10传感器）测试则验证了系统在高并发环境下的稳定性和效率，通过引入流数据处理框架，使数据处理时间从12s减少到4s，性能提升66.7%。系统长时间运行（连续72h）测试验证了系统故障率从1次/72h减少至0次/72h，性能改进100%。

## 4 系统应用与性能优化

### 4.1 煤矿地质测量信息系统的实际应用案例

煤矿地质测量信息系统极大地提升了煤矿生产管理的效率与安全性。在位于山西太原的麦地掌煤矿项目中由于地质构造复杂，存在多层断裂带和隐伏陷落柱，给煤矿的日常生产带来了巨大的安全隐患。传统的测量方式难以有效获取地下断层和塌陷区的详细数据，且由于人工预判误差较大影响了矿山的整体生产规划和安全评估。

在此项目中，煤矿地质测量信息系统使用集成全站仪、RTK、GPS和LiDAR设备，对矿井内外的空间数据进行了高精度采集，在复杂地质条件下，系统可以多次采样和误差修正，生成了极为详细的矿井三维模型。数据采集完成后，系统使用PostGIS对大量空间数据进行了存储与管理，并借助GIS平台进行空间数据的分析和可视化操作。在三维建模中，该系统重现了矿井地下复杂的断层分布和塌陷区的地质特征。对这些断层和隐伏陷落柱的精确分析，系统极大地提升了矿井管理层对隐蔽致灾因素的认识，从而制定了更加有效的采掘规划和预防措施。

### 4.2 系统性能优化与扩展

矿井空间数据量的不断增加让系统面临的数据处理压力逐渐加大，在大规模三维建模、断层分析和实时监测等复杂操作中，系统的响应时间和数据处理速度成为影响其有效性的核心问题。为了提升系统的性能，主要从数据存储、处理算法优化以及硬件扩展等多个维度进行了优化。在数据存储层面，系统采用了分布式存储技术，对PostgreSQL数据库的集群部署实现了数据的并行处理与存储。此举大幅提升了系统的数据存储与读取速度，特别是在大规模数据并发访问时，系统的响应时间得到了显著缩短<sup>[1]</sup>。在空间数据处理方面，针对GIS的空间分析模块进行了优化，重点提升了缓冲区分析、插值分析以及三维建模的算法效率。改进三角

形划分规则减少了冗余运算，使得三维模型生成的时间缩短了约30%。

在硬件层面，系统引入高性能的图形处理单元（GPU）提升了大规模三维可视化渲染的效率。在复杂矿井地质数据可视化过程中，GPU加速技术有效提升了三维模型渲染的速度，能够实时查看三维结构变化。在系统的扩展性设计方面，系统采用了微服务架构，Docker容器化技术实现了系统模块的独立部署与升级，方便根据实际需求进行灵活扩展。

为了验证优化后的系统性能，进行了多组压力测试，测试内容包括空间数据并发查询、三维模型生成、实时监测数据处理等。表1列出了系统在不同场景下的性能指标，展示了优化前后系统在处理速度和响应时间方面的改进效果。

表1 系统在不同场景下的性能指标

场景	优化前响应时间	优化后响应时间	性能提升比例
空间数据并发查询（1000条）	5s	2s	60%
三维模型生成	45s	30s	33%
实时监测数据处理（10传感器）	10s	3s	70%

借助这些优化，系统在面对复杂地质环境和大规模数据处理时，优化后的系统能够更加高效地完成数据采集、处理与分析任务。

## 5 结语

论文在地理信息系统（GIS）技术上设计开发了一套煤矿地质测量信息系统，成功解决了传统测量方法精度不足、效率低下等问题。多模块集成与优化，该系统实现了空间数据采集、存储、处理、分析与三维可视化功能，提升了煤矿生产的安全性与管理效率。实际应用表明，该系统能够适应复杂地质环境，并有效提高测量精度与工作效率。未来，该系统在结合更多智能化技术的基础上，将进一步拓展其功能，为煤矿智能化发展提供更有力的技术支持。

### 参考文献

- [1] 张慧丽.煤矿地质测量中数字化测绘技术的应用分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(21):160-162.
- [2] 赵琛,唐凝,曹其嘉.煤矿测量地理信息系统设计与应用研究[J].能源与环保,2022,44(3):87-92.
- [3] 陈汉章.GIS技术在露天煤矿的深化应用研究[J].内蒙古煤炭经济,2020(15):59-60.