

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005637

# 煤矿钻探装备参数数据库系统实现方案研究\*

连杰

(中煤科工集团西安研究院有限公司 西安 710077)

**摘要:** 针对煤矿钻探设备参数信息收集整理困难的问题,结合钻探装备钻进工艺的要求,构建了钻探装备参数数据库功能框架,数据库的 E-R 模型和数据库结构,同时以钻进参数实时优化、岩性识别、实时浏览等为重点内容,设计了具有多目标参数优化模型、应用 DMP 监测、多叉树数据存储及数据分块调数等功能的钻探参数数据库系统。实验测试分析结果表明,基于 C/S 结构的数据库系统方案运行正常,在钻探装备运行决策和煤矿岩体特性识别方面性能提升效果明显,有助于提高钻探施工管理效率和钻探装备智能化水平。

**关键词:** 煤矿钻探;钻进参数;三维可视化;岩性识别

**中图分类号:** TP311.13;TD421.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## Research on the realization scheme of parameter database system of coal mine drilling equipment

Lian Jie

(Xi'an Research Institute Co., Ltd., China Coal Technology Engineering Group, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** In view of the difficulty in collecting and sorting the parameter information of coal mine drilling equipment, combined with the requirements of drilling technology of drilling equipment, the functional framework, E-R model and database structure of drilling equipment parameter database are constructed. At the same time, with real-time optimization of drilling parameters, lithology identification and real-time browsing as the key contents, the multi-objective parameter optimization model, application of DMP monitoring, data mining and so on are designed. The drilling parameter database system has the functions of multi tree data storage and data block adjustment. The experimental test and analysis show that the database system based on C/S structure works normally, and the performance improvement effect is obvious in the operation decision of drilling equipment and the identification of coal mine rock mass characteristics, which helps to improve the efficiency of drilling construction management and the intelligent level of drilling equipment.

**Keywords:** coal mine drilling;drilling parameters;3D visualization;lithology identification

## 0 引言

煤矿钻探装备在钻进过程中产生的海量参数数据,对于岩体性能识别、钻进工艺优化、成本控制均具有重要影响。但是,当前煤矿钻探装备参数的相关工作,多数仍停留在使用人工方式记录、计算和设计,该种参数管理模式,对于工作人员的专业知识及经验要求极为严格,且很难确保所记录、计算的数据与钻探装备及煤矿工程特性的契合性,尤其,面对煤矿深层钻探开采的现状,钻探设备的参数日趋复杂且受多种因素影响,亟待变革。

文献[1]提出的坑道钻机参数测量系统,可以准确测量

坑道钻机参数并实时报警,但是参数存储在单机文件上的数据存在难以与其他测量系统结合,数据重复读取性差等问题。而数据库技术具有高效存读取特性,可满足煤矿钻探装备参数智能化管理及应用的需求<sup>[2-6]</sup>,依托于数据库技术,国外早在 90 年代即建立了钻探信息化系统,国内的起步较晚,且多数是借鉴和引入国外数据库,但因为国内外煤矿钻探装备类型、工况的差异,应用效果受限。为此,本文拟设计的煤矿钻探装备参数数据库,将结合煤矿实际钻探需求,基于其复杂的工况条件,利用 DMP 监测技术实时评估岩体特性,并以此自动更新、优化设计钻进参数;同时,为实现海量钻进参数的快速读取及利用,将基于多叉树结构

收稿日期:2020-12-31

\* 基金项目:天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2018-TD-ZD016)资助

进行参数存储,并以多线程动态调度实现海量参数的快速浏览,以解决海量参数存储不连续和读取卡顿的问题,在此技术、功能创新应用上,融合 SQL Server 数据库平台,采用客户端/服务器的框架结构,给出了数据库系统的实现方案,以辅助钻探人员进行科学的钻探决策。

### 1 煤矿钻探装备参数数据库的设计方案

煤矿钻探装备参数是识别岩性、进行钻探设计的基础资料,为此,拟设计的数据库应该具备友好的用户界面、快速的响应、参数实时优化等性能,且应该满足钻进参数实时优化、可视化显示、曲线绘制、查询、打印等多种功能,以此为钻进过程提供大数据据分析、计算工具。根据该数据库需求,本文将利用自底而上的方法进行数据库概念结构设计,从类型看,煤矿钻探装备参数包含煤矿钻探工况描述数据、钻头数据、钻孔数据、实时钻进参数数据、钻探时间数据、钻探成本数据等诸多内容;因其类型多样,本文通过对参数数据的聚类分析,以钻探装备为核心,各参数数据围绕此分别描述不同钻探工艺内容,据此,可建立实体和实体之间的联系模型,数据库的部分 E-R 模型如图 1 所示。

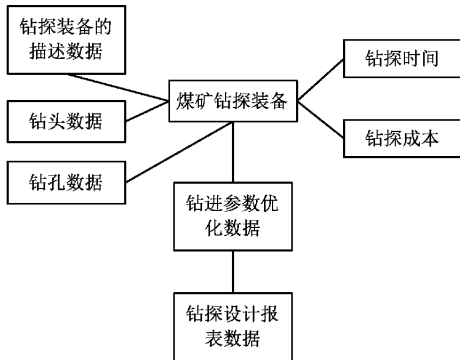


图 1 煤矿钻探装备参数数据库的部分 E-R 模型

结合 E-R 模型,对煤矿钻探装备参数数据库进行整体规划,鉴于钻探全流程内容多样,将根据核心需求,及低耦合高内聚的设计要求,设置系统运维、装备管理、参数管理、钻进管理等 4 大模块,其中,系统运维是设置不同用户的使用权限、数据更新、备份及还原管理;装备管理对钻探装备进行分类编码;参数管理为钻探装备参数的录入、编辑、查询及显示;钻进优化则是煤矿岩体特征识别、钻进参数实时优化,整个数据库的功能结构如图 2 所示。

### 2 煤矿钻探装备参数数据库实现的技术方案

#### 2.1 钻探装备钻进参数的实时优化

煤矿条件复杂多变,受多类因素影响,而钻井数学模型可集中体现这些因素在钻进过程中的规律性,为根据煤矿钻进岩体特性及工矿情况,实时优化钻进参数,本文引入多目标优化方法,融合机械钻速、钻头寿命和钻头比能等多参数,建构钻进参数实时优化模型,目标函数如下:

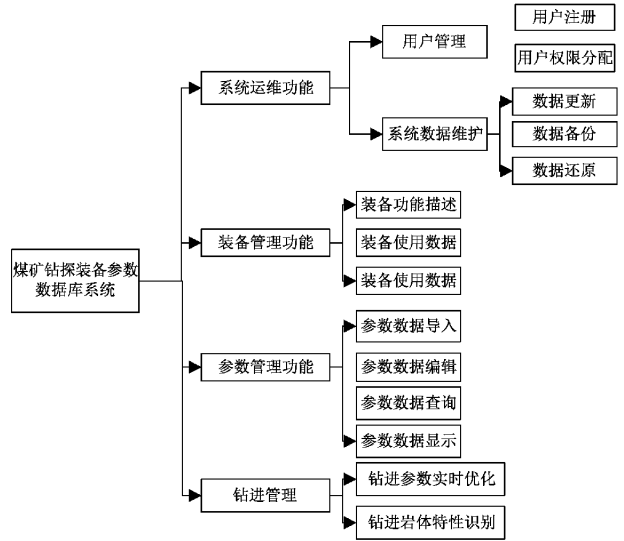


图 2 煤矿钻探装备参数数据库的功能模块

$$F = \min(-F_1, -F_2, F_3) \tag{1}$$

式中:  $F_1$  为机械钻速,因 B-Y 方程充分考量了钻压、转速、钻头磨损与机械钻速之间的关联性,且全部参数可依据煤矿工况数据进行回归分析,准确性更优,故而,选用该方程进行钻速计算;  $F_2$  为钻头寿命,因钻头牙齿较轴承更易磨损,所以,此处以钻头牙齿磨损衡量钻头寿命;  $F_3$  为钻头比能。

同时,因钻压、转速是煤矿钻探装备作用于岩体的基础参数,对于钻速及钻头寿命均有影响,故而,选取这两因素作为决策多目标函数的决策变量,即:

$$\frac{dF}{dt} = f(W, N) \tag{2}$$

式中:  $d$  为钻压指数,  $F$  为钻头总进尺,  $t$  为钻时,  $W$  为钻压,  $N$  为转速。同时,为优化钻进参数,确保钻探装备安全运行,决策变量需满足既定的约束条件,具体如下。

自变量自身的约束条件:钻压、转速最大值不得高于出厂规定,钻头牙齿磨损量应在既定限值内,即:

$$\begin{cases} W_{\min} < W < W_{\max} \\ N_{\min} < N < N_{\max} \\ 0 \leq h \leq 1 \end{cases} \tag{3}$$

式中:  $h$  为钻头牙齿的相对磨损量。

各变量之间的彼此配合约束条件:钻压、转速两者最优值乘积,不应超出生产预设的钻压与转速乘积的限值<sup>[5]</sup>,即:

$$WN < P_D \tag{4}$$

式中:  $P_D$  为煤矿钻机装备的最大输出功率。

据此,可得煤矿钻探装备的钻进参数实时优化模型为:

$$\begin{aligned} & \min(-v, -t_f, S_e) \\ & \text{s. t. } \begin{cases} W_{\min} < W < W_{\max} \\ N_{\min} < N < N_{\max} \\ 0 \leq h \leq 1 \\ WN < P_D \end{cases} \end{aligned} \tag{5}$$

式中:  $S_c$ 、 $v$ 、 $t_f$  分别为钻头比能、机械钻速、钻头寿命。

## 2.2 煤矿岩体特性的监测识别

鉴于煤矿钻探工况复杂,在钻进过程中需实时掌握岩体特征,以便优化钻进参数,本文选用 DPM 监测技术,对钻探装备的钻孔参数进行实时跟踪监测,所设计的 DPM 监测仪安装在钻探装备上,由传感器和参数处理两大模块构成,如图 3 所示,其中,传感器模块包含距离、传动、压力等传感器组成<sup>[7]</sup>,分别用于监测钻探装备的钻孔深度、钻速、钻进操作时煤矿井下空气流压强;参数处理模块则可由 R8232/模拟输出转换器将电压或电子脉冲信号,以 1~10 次/s 的采样频率传输给钻进参数采集系统。

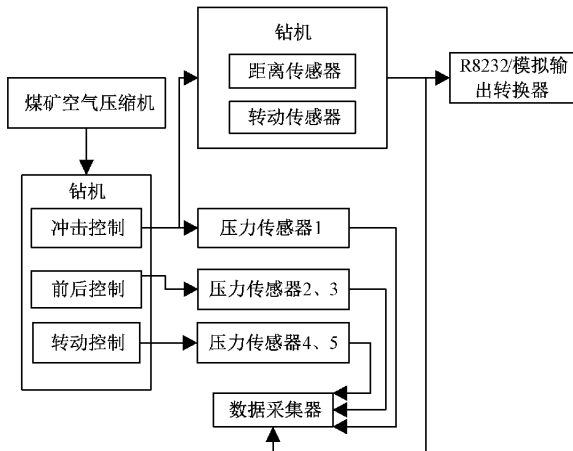


图 3 煤矿钻探装备钻进过程的 DPM 监测仪

利用 DPM 监测仪获取的煤矿钻探装备钻进过程参数,可表示为参数与时间的曲线,据此可将不同钻探装备钻孔的 DPM 时间序列数据表示为<sup>[8]</sup>:

$$DPM_k(t_i, I) = f_k(t_i, I) \quad (6)$$

式中:  $k$  为 DPM 监测到的钻探装备运行随时间变化的参数,  $k$  为煤矿钻井编号,  $t_i = t_{i-1} + \Delta t$  为采样时间,  $\Delta t$  为采样时间间隔,多设定为 0.5 s 或 1 s。结合上式, DPM 监测可获得钻探装备钻进岩体至拔出全过程参数数据,该数据可反映钻探装备钻孔过程随时间变化、煤矿下岩体抗钻强度变化,透过此,可知钻探装备有时钻速较快,耗时较少,有时钻速过慢,耗时长,其一定程度反映了地下岩土体的抗撞、抗钻的强度,可用于识别煤矿岩体特性。

## 2.3 钻探装备参数曲线的绘制及浏览

煤矿钻探设备参数数据量较大,以 1:1 绘制曲线,易造成曲线过长,影响绘制效率和快速浏览性<sup>[9]</sup>,为解决该问题,本文采用多叉树存储方式,以施工日期分级存储,也即每日钻探参数存储在一个二进制数据文件中,以当日的日期为命名,以日文件夹→月文件夹→年文件夹的层次进行钻探设备参数的存储,如此,不同结点之间形显著的分支、层次关系,每个结点均可以通过节点索引找到存储位置,便于多叉树的遍历查询。而且,本文采用 VC++ 开发工具,其融合 DirectX API 三维动画、支撑 Windows 视窗操作系

统,可便捷的绘制钻探装备参数曲线。为提高浏览速度,将钻探装备参数日采集量存至一个实时数据模板中,在开发程序中,预设一个全局定位变量,用以标定数据模板中曲线起始点的参数位置<sup>[10-11]</sup>。在绘制曲线中,先将曲线滑动距离转换为时间,而后,求解出拟显示参数曲线的起始点时间,并利用折半查找法确定其在数据模板中的位置,查找到新位置将其赋值给全局定位变量,如此,从该全局定位变量中提取出数据模板中绘制曲线的钻探装备参数,依次逐点画线,便可实现曲线同步快速绘制及浏览。

同时,因物理计算机的存储容量有限,无法一次调入所有煤矿钻探装备参数,为此,本文采用动态调入数据文件方法,一次调入一个数据文件;且为确保系统多线程运行时,钻探装备参数曲线浏览的顺畅性,将显示界面内参数刷新频率控制在 5 次/s 以内<sup>[12]</sup>,并创建专门负责参数动态调度的工作线程,分离出主线程绘制钻探装备参数的实时曲线,由此,具备工作优先级的主线程便可快速响应曲线浏览请求。多线程参数调入实现过程中首先建构一个 CDdata 类,在 Data.CPP 文件中添加下列代码:

```
Dword WINAPI ThreadFunc(CData * pData) { pData->
LoadData();
Return 0;
}
Void CData::CreateThreadForLoadData() { //通过线程动态调用数据函数
Dword dwThreadId;
M_hThread = CreateThread(Null, 0, (Unsigned long) _stdcall *
(Void *) ThreadFunc, this, 0, &dwThreadId); //线程创建
}
Void CData::LoadData() {
.....(钻探装备参数动态调用函数及代码)
```

## 2.4 数据库的应用技术配置

煤矿钻探装备参数数据库将采用 C/S 架构模式,也即由客户端应用程序和后台服务器端构成,用户端通过 ODBC 数据源与服务器端进行连接,如此,便可将客户端视为一个黑匣子,限制了用户端的访问权限<sup>[13]</sup>,只有权限用户才能向服务器端发送参数曲线浏览、钻进参数实时优化及岩性识别等服务请求,由服务器端通过运算分析将结果反馈至客户端。同时,选用 SQL Server 2018 作为数据库管理系统,对煤矿钻探装备参数进行存读取、计算分析和优化,以 Visual Basic++ 6.0 作为前段的开发工具,以 Windows 操作系统作为客户端支撑,数据库接口选用以 COM 组建形式实现的 ADO 技术,但在通常情况下 VC++ 不支持 ADO 对象,需采用 #import 命令将 ADO 库文件导入其中<sup>[14]</sup>,部分代码如下:

```
#import "C:\Program Files\Common
Files\System\ado\msado15.dll"
No_Namespace Rename(" EOF", "ADO EOF") Rename
```

(“BOF”, “ADO EOF”)

而后,通过创建内含 ADConn 成员变量和函数的连接数据库类代码<sup>[15]</sup>,便可基于 ADO 技术完成对煤矿钻探装备参数数据库的访问和结果反馈。

### 3 煤矿钻探装备参数数据库的应用测试及分析

为测试煤矿钻探装备参数数据库的应用效果,本文以新疆准格某 1 900~1 950 m 深煤矿井为例,通过钻进参数监测曲线的实时浏览,判定其处于沙湾组地层,选用适配该地层的 FX56SX3 型号的 PDC 钻头进行钻探,且为增强钻压、防止钻井倾斜,辅助以 Power-V 垂直钻井系统。

在 1 902~1 935 m 钻井深度段,因钻压、转速设置适当,与预期一致,在钻进至 1 935 m 时,因岩性产生变化,钻压提升,转速未改变,引致实际与预期转速过大差距,为此,在 1 950 m 位置,应用数据库中钻进参数实时优化模型,通过计算分析增强转速,以让机械转速以最佳状态进行高速钻进,钻进监测数据如表 1 所示。

表 1 某段钻孔参数数据库监测数据

钻孔深度/ m	回转压力/ MPa	给进压力/ MPa	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )
1 902	10.34	4.24	157
1 910	10.87	4.14	166
1 920	11.21	4.48	155
1 930	10.52	4.31	151
1 935	17.41	8.78	83
1 940	17.83	8.24	79
1 950	23.63	9.37	156

钻进过程中岩体识别应用分析时,首先采用 DPM 监测技术对 10 个煤矿钻探工地、15 个钻探装备的钻进进行全过程监测,钻探装备为气压潜孔锤旋转冲击钻机、液压回转钻机,10 个煤矿的岩体各异,包含火山、花岗岩、砂岩等。利用 DPM 监测所得的钻进速度,测算出煤矿岩体的单轴抗压强度,如图 4 所示,在新的钻场环境中根据关联曲线快速识别了煤矿岩体特性。

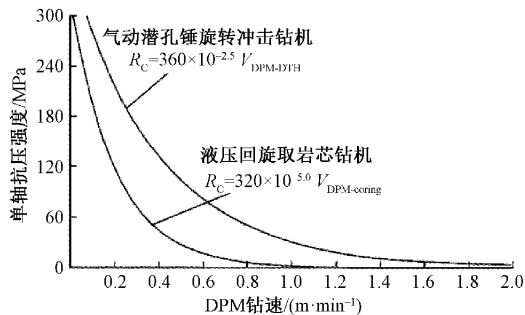


图 4 DPM 监测钻速与煤矿岩体抗压强度的关联曲线

通过使用钻进参数数据库发现,如表 2 所示,传统人工参数优化方法,未能及时进行施工决策的改变,也未精确预期最优的机械钻速,而数据库中的钻进参数实时优化模型,根据积累经验数据,可精确预期钻探装备的优化机械转速,从而可准确计算并控制钻探装备以最优钻压和转速进行施工。

表 2 钻进参数数据库使用效果对比

	数据库效果	原始效果
数据展示	波动曲线	瞬时数据
岩性识别	自动	人工
装备状态判定	自动	人工
控制反应速度	快速	延时

但是基于现有相关条件的限制,本文尚有不足之处,需要继续不断完善:1)实时采集参数类型及准确度有限,对岩体特性和钻探装备运行状态仅能达到定性监控,实现定量监控还需继续提高输入输出参数的质量与数量;2)数据优化模型还处于逻辑优化层级,可引入自学习算法等进行更深层次数据优化。

### 4 结 论

上述研究以钻探装备参数数据库为研究对象,结合煤矿钻探开采的实际需求,给出了数据库的主要功能模块及实现的技术框架,该数据库创新性在于不局限于单纯的参数导入导出,其重点在于利用数学模型、智能监测技术,来对海量钻探装备参数进行实时监测、快速浏览及优化利用,迎合了煤矿钻探装备数字化、智能化发展的需求,可有效提高未来煤矿钻探的效率,对安全开采具有重要影响。

### 参考文献

- [1] 翁寅生,姚克,殷新胜.坑道钻机参数测量系统及其在煤矿中的应用[J].煤矿安全,2016,47(11):117-123.
- [2] 方鹏,姚克,王松,等.煤矿井下定向钻机钻进参数监测系统研制[J].煤炭科学技术,2019,47(12):124-130.
- [3] 张幼振,张宁,邵俊杰,等.基于钻进参数聚类的含煤地层岩性模糊识别[J].煤炭学报,2019,44(8):2328-2335.
- [4] 刘光星,李巧花.基于改进蚁群算法的钻进参数优化[J].西安石油大学学报(自然科学版),2019,34(4):31-36.
- [5] 姚克,田宏亮,姚宁平,等.煤矿井下钻探装备技术现状及展望[J].煤田地质与勘探,2019,47(1):1-5,14.
- [6] 方鹏.煤矿坑道定向钻机钻进参数监测系统设计[J].工矿自动化,2019,45(1):1-5.
- [7] 鄢志丹,耿艳峰,魏春明,等.连续波脉冲随钻数据传输系统设计与实现[J].电子测量与仪器学报,2018,32(12):85-92.

- [8] 刘德赞,王迎春,张籍,等.月壤钻进加载机构的研制与控制性能研究[J].电子测量技术,2018,41(17):7-14.
- [9] 曹佳豪,刘宇.基于多叉树和 Spark 的改进 Apriori 算法[J].信息技术,2018(6):128-132.
- [10] 郑红梅,彭丹丹,顾森茂,等.基于 CMSE 的随钻脉冲信号提取算法研究[J].电子测量与仪器学报,2018,32(3):170-176.
- [11] 黄秦,李英冰,范雨东.兴趣点数据的组织模型与检索算法[J].测绘科学,2018,43(8):141-145,150.
- [12] 闫利,胡晓斌,谢洪.车载 LiDAR 海量点云数据管理与可视化研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(8):1131-1136.
- [13] 鲜于文攀,吕小波,赵其华,等.不同加载条件下含预制单裂隙岩石强度和变形特性研究[J].中国测试,2017,43(12):124-129.
- [14] 王凯,王荣鹏,刘宇,等.基于 Pareto 最优原理的钻机钻进参数多目标优化[J].中国机械工程,2017,28(13):1580-1587.
- [15] 金业权,王茂林.综合考虑成本和钻速的 PDC 钻头钻进参数优化设计[J].石油钻探技术,2012,40(5):13-16.

#### 作者简介

连杰,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向为钻探仪器开发。

E-mail:lianjie@cctegxian.com