

# 基于体视化技术的地下采矿方法设计系统研究

刘 晨 杨 鹏 吕文生  
(北京科技大学, 北京 100083)

**摘要:** 从体视化技术的内容、原理、过程等相关技术出发, 结合地下矿山采矿方法设计的概念、研究内容和方法, 提出了整个系统的设计思想和实现技术, 并对三维地学模拟的体视化方法、显示算法等关键技术进行了研究。

**关键词:** 体视化技术; 地下采矿方法; 算法; OpenGL

**中图分类号:** TP 391.9/TD 853 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-8550 (2006) 02-0023-02

## 1 体视化技术

体视化 (volume visualization) 是 20 世纪 80 年代后期兴起的一项非常引人注目的新技术, 它是在吸收计算机图形学、计算机视觉和图像处理等学科相关知识的基础上发展起来的一门交叉学科。作为科学可视化的主要组成部分之一, 体视化研究的是体数据 (volume data) 在计算机中的表示、变换、操作和显示等问题, 对蕴藏在体数据之中的物体或自然现象进行处理、分析和显示。这无疑会帮助人们更好地认识所研究对象的内部结构、属性和内在规律, 使之能够看到物体内部原本不可见的复杂结构。体视化的主要过程见图 1。

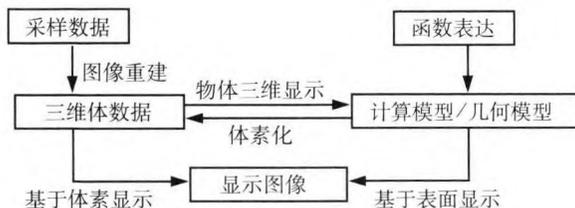


图 1 体视化的主要过程

在地质领域的研究中, 地质、矿山、海洋、气象和地下水等均是真三维动态地理/地质环境现象, 而体数据是对有限空间的一组离散采样, 每个采样点上的采样值都可以是一种或多种, 代表该点上的一个或多个物理属性值, 如位于地下某一位置  $(x, y, z)$  的岩层属性、孔隙度、渗透率、流速与流向等属性。因此, 体数据是真正的三维实体, 它含有物体的内部信息, 适合表示具有真三维特征的地质或其它现象。所以在三维地学模拟中可利用雷达、遥感和钻井等手段获得的各种地学信息通过体视化技术建立三维空间地学模型, 进行地学模拟, 并以图形、图像方式再现三维地学实体, 从而改善勘探地质信息质量, 深入研究和分析地学问题的内在规律, 提高工程决策水平和科学性。

利用三维可视化技术, 建立包含地下巷道、采空区、矿体及地质钻孔的三维立体模型, 能够从任何角度、位置以及任意比例直观地展示地下巷道间、巷道与矿体的关系, 以及矿体属性分布等, 越来越受到广大地矿工程与研究工作者的重视。

## 2 体视化算法分类

人们在地质、地理、医学、生物和流体力学等领域经常遇到大量的三维空间体数据, 如何进行三维体视化是科学计算可视化中最重要的一个研究方向。早期的体视化方法是从体数据中提取曲线和曲面信息, 如轮廓线、等值线和等值面等, 再利用传统的显示方法加以显示, 即通过几何单元拼接拟合物体表面来描述物体三维结构, 这种体数据绘制方法通常称为表面绘制方法。但该方法只能表达物体的外轮廓, 不能深入表达物体内部组成和结构, 整体信息损失得比较多。移动立方体 (MC—Marching Cuber) 算法是面绘制算法的典型代表。

而另一类体可视化方法则是依据视觉原理将三维体元的采样数据直接投影到二维显示平面上。它不会丢失每个体元数据所包含的信息, 使人们可从一幅二维图像中感受到体数据的整体信息, 故通常称其为体绘制方法, 又称直接绘制方法。但是这种绘制算法有一个致命的缺点阻碍了它的发展, 这就是由于体可视化一般处理的是大规模的体数据, 从而导致了计算速度较慢、计算成本较高。因此, 若交互地显示体数据就需要有很强的计算能力和很大的存储空间, 而且它不能用现成的三维硬件, 必须开发专门用于体可视化的硬件。体绘制算法的典型代表是光线投射法 (ray casting) 和足迹表示法 (footprint 或 splatting)。

此外, 还有一类算法, 即以反映数据整体信息为目标又以几何造型作为显示单元的算法, 因此, 在文献 [4] 中将这部分算法归为第三类, 即混合绘制方法。图 3 为三维体数据可视化算法分类。

## 3 采矿方法设计描述

地下采矿方法设计就是根据矿体的自然形态选择合适的采矿方法, 合理布置采矿工程, 对矿体进行控制, 以最少的投入尽量多地回收矿产资源。对于生产矿山, 开采矿体所采用的采矿方法类型是基本确定的, 矿山设计部门的日常工作就是进行采矿方法设计, 即: 在地质剖面上初步布置采准、切割工程, 根据工程布置的需要补充若干地

\* 国家自然科学基金项目 (编号: 50274009)

收稿日期: 2005-10-27

作者简介: 刘 晨 (1981-), 男 (汉族), 陕西汉中中人, 北京科技大学土木与环境工程学院 2003 级在读硕士研究生, 主要从事矿业系统仿真及体视化方面的研究。

质平面及剖面图，并分别在这些图上详细布置采切工程，最后计算各项技术经济指标。

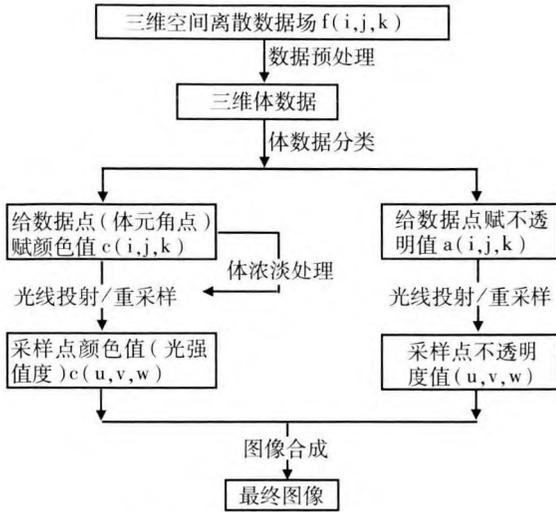


图2 光线投射法的绘制流程

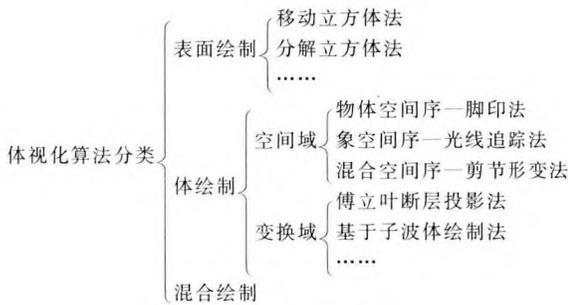


图3 体视化算法分类

采矿设计是对采矿工程进行有机组合的过程，各种采矿方法均是以基本采矿工程的不同布置方式而形成的。不同的采矿方法具有其特定的采矿工程类型、布置方式和指标计算方法，并且基本采矿工程的规格参数是可变动的。

采矿设计包括：1) 方案设计，如开拓方案；2) 专业性设计，如通风系统、运输和机电等设计；3) 工程设计，如车场、巷道断面、交叉点和硐室施工设计等。

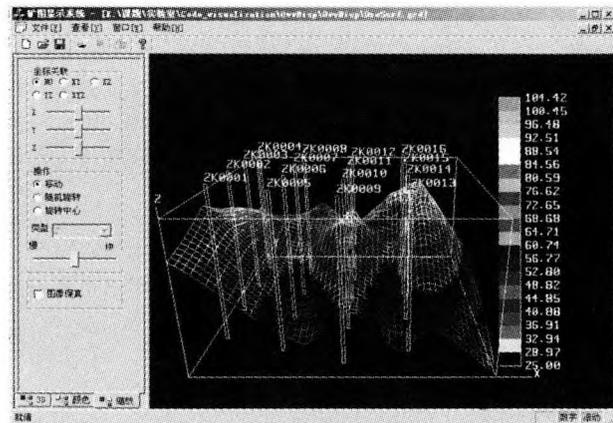


图4 系统界面

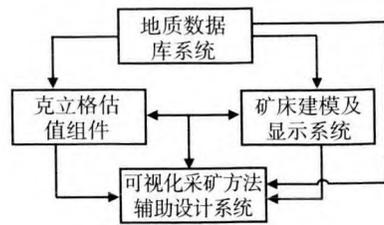


图5 系统逻辑结构图

### 4 用 Visual C# 作为开发平台设计系统

Visual C# 是一种可视化程序开发平台，它是基于数据流模型，程序描述的是模块间的数据依赖关系，支持模块级的编程；用它编制的程序，用户无需涉及程序代码。因而，它可以提供良好的可视化应用开发环境，并且也易于实现与 OpenGL 图形开发库的接口。

通过调用克立格组件<sup>[8]</sup>对钻孔数据进行空间插值计算，可得到矿床任意点的三维体数据。然后系统调用 OpenGL 图形库使矿床以三维形式显示出来，然后在此基础上进行采矿工程布置，进而就可以完成特定的采矿方法设计。通过交互式的可视化采矿设计，可以将采矿工艺的各个环节，编制成界面友好、交互性强的可视化采矿设计系统，将地质资料处理与管理、岩石力学、矿化模型、设备选择、采矿设计和经济评价等模块有机地结合起来，可方便地分析和考虑诸多的因素，提高采矿设计的速度和质量。

### 5 结语

本文根据地下矿采矿方法设计系统研究工作的需要，提出将体视化技术应用到地下采矿设计系统的开发工作中。通过体数据信息，使采矿工作者能查看到矿体内部结构及属性，展现矿体的位置、属性以及空间关系特征，这与传统的二维图形相比有了很大的提高。通过矿体与采矿工程体的集成显示，使工程技术人员能够直观及时地了解采矿工程的布置情况，辅助工程技术人员进行采矿方法的选择以及采掘进度计划的安排。

随着体视化技术的深入发展，在矿业领域应用的范围将会越来越广泛。采矿方法设计系统也将随着新技术的发展进入到智能化和自动化，传统的人工劳动和操作方法将会被取代，人类将会更高效、更自由地开采矿物资源。

#### 参考文献：

- [1] 管伟光. 体视化技术及其应用. 北京: 电子工业出版社, 1998.
- [2] 李仲学, 李翠平. 矿床仿真及体视化技术. 《计算机仿真》, 2000 (5): 6~8.
- [3] 僧德文. 基于 OpenGL 的真实感图形绘制技术及应用. 《计算机应用研究》, 2005 (3): 173~175.
- [4] 戴光明, 李庆华. 三维体可视化若干问题研究. 《计算机工程》, 2002 (7): 48~49.
- [5] 胡金星, 吴立新. 三维地学模拟体视化技术的应用研究. 《煤炭学报》, 1999 (4): 345~349.
- [6] 朱响斌, 唐敏. 基于八叉树的三维实体内部可视化技术. 《中国图像图形学报》, 2002 (3): 229~231.
- [7] 李冠峰. 体可视化的快速光线投射算法. 《工程图学学报》, 2000 (3): 97~99.
- [8] 朱灵法. 克立格组件及其开发. 《中国矿业》, 2004 (12): 64~66.

# 陡坡铁路在露天开采中的应用

刘家明 程崇强 于洋

(中冶北方工程技术有限公司, 辽宁鞍山 114002)

**摘要:**攀钢朱家包包铁矿(朱矿)陡坡铁路试验于2003年11月通过鉴定,为我国陡坡铁路的使用开辟了先河。本文主要叙述了陡坡铁路的试验和在朱矿修改设计中的应用情况。

**关键词:**露天矿运输;陡坡铁路;双机牵引;效率

**中图分类号:**TD 57 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-8550(2006)02-0025-02

## 1 概述

我国露天矿山铁路运输大多采用25%~30%的缓坡铁路运输,在开采时每下降一个开采台阶即须铺设1200~1400 m铁路线路。在空间不足的情况下,只有以增加折返次数来弥补,这样增加了运输距离和台阶宽度,使采场空间越来越小,丢失挂帮矿,缩短铁路运输服务年限,从而不得不用大量资金更新运输方式。国外先进矿山经验证明,加大铁路运输线路坡度既能缩短其距离又能延伸铁路深度和延长服务年限,减少运输线路压矿,降低运输成本,可达到获得较大经济利益的目的。

攀钢集团矿业公司在朱矿进行的陡坡铁路工业性试验已通过鉴定。证明采用40%~45%陡坡铁路技术是先进和安全可靠的。

## 2 试验主要内容和结果

根据文献[1],通过对224 t、150 t电机车和150 t电机车双机陡坡铁路运输的研究和不同条件下(坡度、牵引矿车数)的试验表明:

——224 t电机车牵引12节KF-60型重矿车,冲坡速度为0 km/h的情况下,可在40%~45%陡坡铁路上启动上坡正常运行;

——150 t电机车牵引6节KF-60型重矿车可在40%

~45%陡坡上启动(启动加速度为0.018~0.04 m/s<sup>2</sup>,距离100~200 m);而牵引8节以上时,必须在平路上启动(启动加速度0.12~0.17 m/s<sup>2</sup>,距离>80 m);

——150 t双机牵引12节KF-60型重载矿车可在平路上启动,在40%~45%陡坡上正常运行。

## 3 理论计算及结果

由于目前还没有224 t电机车的基本阻力计算公式,所以选用150 t电机车的计算公式。计算时所用参数为:机车黏着重量224 t/150 t;黏着系数0.22(启动时0.28);速度25 km/h(启动10 km/h);限制坡度45%;矿车载重60 t;自重35 t。两种电机车分别计算不同坡度时牵引和启动矿车数见表1、2。

表1 150、224 t电机车不同坡度时能牵引的矿车数/节

坡度(%)	39	40	41	42	43	44	45
224 t	10.43	10.11	9.79	9.57	9.26	9.04	8.72
150 t	6.91	6.70	6.60	6.38	6.17	6.06	5.85

表2 150、224 t电机车在不同坡度启动时牵引矿车数/节

坡度(%)	39	40	41	42	43	44	45
224 t	9.89	9.57	9.36	9.04	8.83	8.62	8.30
150 t	6.60	6.38	6.28	6.06	5.85	5.74	5.53

## 4 设计中采用的矿车组成及限制坡度

根据选取技术先进、可行、可靠、经济合理的坡度及

收稿日期:2005-12-01

作者简介:刘家明(1969-),男(汉族),辽宁鞍山人,中冶北方工程技术有限公司高级工程师。

## Research of underground mining method design system based on Volume Visualization Technique

LIU Chen, YANG Peng, LV Wen-sheng

(Beijing Science & Technology University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The principle, contents and procedures of Volume Visualization Technique are introduced together with introduction of definition, contents and means of underground mining method design. On this basis, the design philosophy & realization technique of underground mining method design system are explained. Besides, some key techniques such as visualization method and displaying algorithm used to 3-dimensional earth-scientific model are analyzed.

**Key words:** Volume Visualization Technique; underground mining method; algorithm; OpenGL

列车组成原则,结合试验、计算结果及朱矿生产需要选用了两个设计方案。

#### 4.1 150 t电机车牵引方案

由表1、2可知150 t电机车在40‰限制坡度上的牵引矿车数为6.70节,启动为6.38节,据此设计选用6节60 t矿车;从朱矿在40‰~45‰陡坡铁路上的运行试验结果来看,选用6节60 t矿车是切实可行的。而牵引8、9节矿车在40‰限制坡度上运行需必要的技术限定(如启动距离不小于80 m等)。因此在40‰的限制坡度情况下只能采用牵引(或推进)6节矿车。

由于150 t电机车牵引6节矿车不能满足运输能力要求,设计时考虑了采用150 t电机车双机牵引方案,从要求来看9节矿车即可满足,但是电机车的利用率大幅度降低,投资大、运营成本增加,达不到降低运营费的目的。为了提高机车的效率,设计时考虑采用150 t电机车双机牵引12节60 t矿车的方案。试验证明,150 t双机在平路启动时,牵引12节重矿车在40‰~45‰陡坡上正常运行,技术上是可行的,但双机牵引12节矿车列车长为197.288 m,这样要求站场有效长度较长,使采场内展线困难。

#### 4.2 224 t电机车牵引方案

由表1、2可知224 t电机车在40‰限制坡度上牵引矿车数为10.11节,启动9.57节,据此设计选用9节60 t矿车是切实可行的(对牵引9节矿车进行了牵引和推进两种方式试验)。同时在42‰限制坡度上可牵引9.57节、启动9.04节。因此设计中选用224 t电机车牵引(或推进)9节60 t矿车采用42‰限制坡度也是可行的。

#### 4.3 选用150和224 t电机车方案比较

——各方案技术经济比较(表3)。

——选出优秀方案:

- 从技术上看,选用224 t电机车牵引9节60 t矿车充分采用了先进的技术和工艺,是先进和可靠的,并可以满足生产运输要求;而150 t电机车牵引12节60 t矿车还需补充推进上坡试验;

- 从采场条件看,朱矿采场选用铁路单水平折返方案采场条件宽松。而采用150 t电机车双机牵引9节60 t矿车,虽然坡度可以提高,但是站场有效长度变长,对采场仍然不利,选用224 t电机车正好弥补了这方面的不足;

表3 各牵引方案比较

方 案	150 t 电机车双机		224 t 电机车 牵引 9 节矿车	
	9 节矿车	12 节矿车	42‰限坡	40‰限坡
万吨吨位值/t	0.462	0.571	0.667	0.667
机车效率/t·t <sup>-1</sup>	1.8	2.4	2.41	2.41
列车长/m	158.096	197.288	143.176	143.176
站场有效长/m	185	225	170	170
限制坡度‰	42	40	42	40
线路长/m	5 375	5 798	5 285	5 468
采场内线路平均 坡度‰	24.6	22.8	25.0	24.1
采场展线条件	一般	差	好	一般
优选顺序	四	三	一	二

注:机车效率:牵引重量/机车总重量。

- 从经济角度看,224 t电机车牵引9节60 t矿车方案万吨吨位值(0.667 t)最高,机车效率最高,42‰坡度铁路方案线路最短,其运营效果最好。每年按1 200万 t运量计算,224 t电机车牵引9节60 t矿车42‰坡度方案可分别比224 t电机车牵引9节60 t矿车40‰坡度方案、150 t电机车双机牵引9节矿车42‰坡度方案和150 t电机车双机牵引12节矿车40‰坡度方案节省77、38和215万元。

综上所述,充分尊重试验成果、结合理论计算、系统全面考虑采场实际情况,采场内选用224 t电机车牵引9节60 t矿车,限制坡度为42‰,但是考虑到224 t电机车为新产品,同时朱矿现有为数不少的150 t电机车,因此在设计中已经充分地留有150 t电机车双机牵引12节60 t矿车的可能。

## 5 结语

朱矿陡坡铁路试验的成功和通过设计的转化,对于我国露天矿铁路的继续使用起到了促进作用,为目前使用铁路的露天矿提供了新的发展空间,如对鞍钢齐大山铁矿北采区、东鞍山及本钢歪头山铁矿等都有一定的借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] 攀枝花钢铁(集团)公司、马鞍山矿山研究院《陡坡铁路运输系统研究鉴定报告》

## Steep-slope railway used in open-pit mine

LIU Jia-ming, CHENG Cong-qiang, YU Yang

(Northern Engineering & Technology Corporation, MCC, Anshan 114002, China)

**Abstract:** The test of steep-slope railway used in Zhujiabaobao Iron Mine of Panzhihua Iron & Steel Co. Ltd. has been approved in November 2003, which is an important contribution to promotion of steep-slope railway application in Chinese open-pit mines. The test procedures and the application of steep-slope railway in modified design of Zhujiabaobao Iron Mine are explained.

**Key words:** transportation in open-pit mine; steep-slope railway; double locomotives traction; efficiency