

基于“双 C”集成的水利水电工程地质三维信息系统

刘军旗¹, 吴冲龙^{1 2}, 刘 刚², 周兴志³, 刘志锋²

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074 ;
2. 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074 ; 3. 长江水利委员会勘测设计院, 湖北 武汉 430010)

摘要 通过分析水利水电工程地质勘察的工作流程和信息处理流程, 提炼出水利水电工程地质勘察工作的 2 个中心(“双 C”), 即数据管理和三维模型。数据管理是水利水电工程勘察信息处理流程中所有工作的数据流中心, 三维模型是这一过程数据的分析与应用中心。基于“双 C”的结合与集成, 建立了比较完整的水利水电工程地质三维信息系统, 可以为工程地质勘察的全程提供有效的数据支持和直观的地空间研究支持。

关键词 水利水电工程 ; 工程地质 ; 三维信息系统 ; “双 C”集成

中图分类号 :TV221.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2009)03-0059-05

Three-dimensional information system for water conservancy and hydropower engineering geology based on “Double C” integration /LIU Jun-qi¹, WU Chong-long^{1 2}, LIU Gang², ZHOU Xing-zhi³, LIU Zhi-feng²(1. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China ; 2. Resource College, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China ; 3. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design Research, Changjiang Water Resource Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract :Through analysis of the work flow and information processing flow of geological investigations in water conservancy and hydropower projects, two centers (“Double C”) are put forward: data management and the three-dimensional model. Data management is a data flow center for processing information used in water conservancy and hydropower engineering investigation. Three-dimensional modeling is the analysis and application center in this process. A fairly complete three-dimensional information system for water conservancy and hydropower engineering geology based on “Double C” is established, which can support effective data and intuitionistic space throughout the engineering geological investigation.

Key words :water conservancy and hydropower project ; engineering geology ; three-dimensional information system ; “Double C” integration

水利水电工程地质工作是工程设计和施工的基础, 一般包括野外踏勘、地质测绘、地质勘探(钻探及山地工程等)、数据采集与整理、地质图编制和地质勘察报告编写等工作。这些工作可以看成是实际工作到抽象数据的一个转换过程, 是一个地质信息的获取、整理、处理、解释和应用的过程。20 世纪 80 年代以来, 随着数据库系统(DBMS)、辅助设计系统(CAD)、地理信息系统(GIS)、三维建模与空间分析系统(3DS)、3S^[1](GIS, GPS, RS)、5S^[2](3S, DPS, ES)、多 S^[3]技术(3S/5S, DBMS, CAD, 3DS 等)以及网络技术引入水利水电工程地质行业以来, 在科学计算、数据管理、辅助制图、三维建模及空间分析评价等方面极大地提高了水利水电工程地质勘察的信息化处理水平。

1 水利水电工程地质勘察的一般工作流程

水利水电工程地质勘察一般分为规划阶段、可行性研究阶段、初步设计阶段、施工阶段及专门问题勘察阶段^[4]。各个勘察阶段的工作范围、工作深度和工作内容有所不同。图 1 以水利枢纽工程为例对该工程的地质勘察阶段、勘察范围、勘察对象、勘察方法和处理流程进行了概括性说明^[5]。图 1 中, 地质勘察处理流程是分析研究通过各种勘察方法获取的各种地质资料是否满足规范要求, 如果不满足规范要求则要求进行补充勘探工作; 如果满足规范要求, 则在所获取资料的基础上进行各类地质图件的编制和勘察报告的编写, 再对所编写的资料进行审查, 如通过审查就可提交并归档。

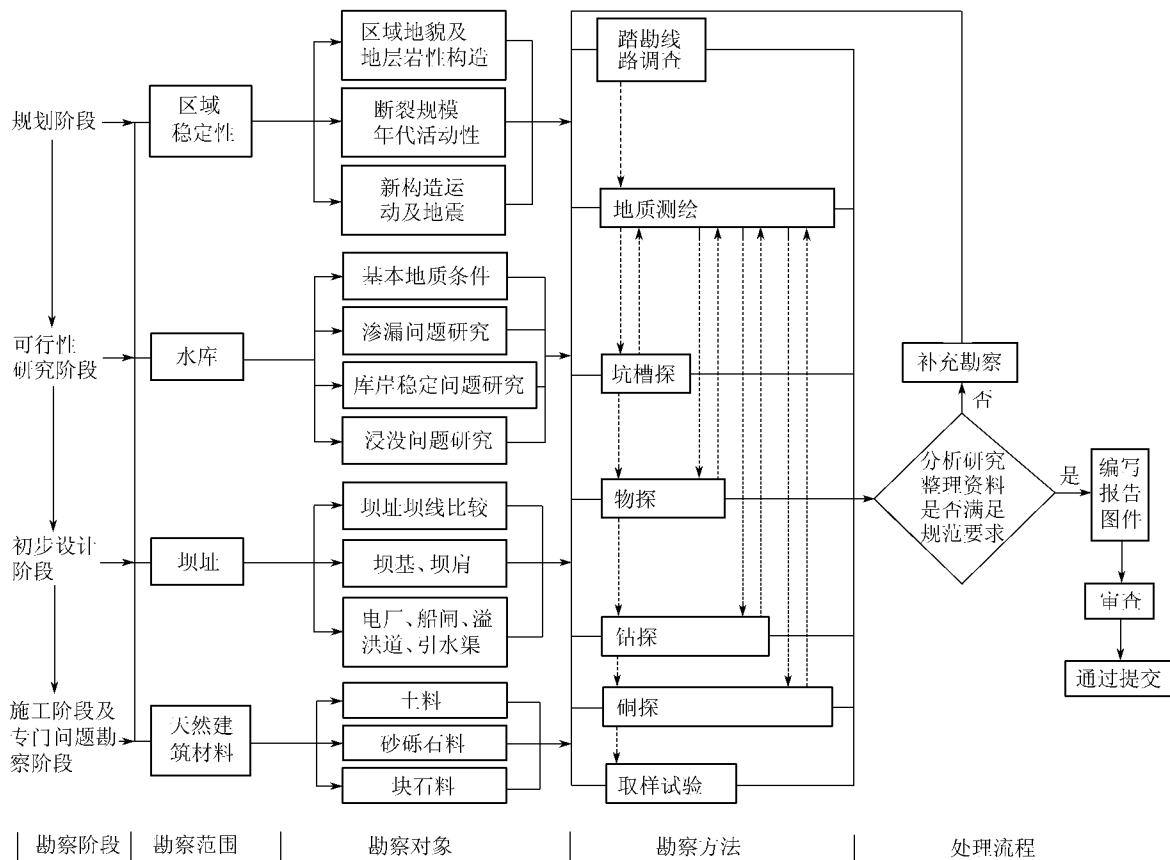


图 1 水利枢纽工程地质勘察流程

从信息处理角度,这一传统过程可以分为数据采集(资料获取)、室内整理、分析处理、编制报告、审查汇报和资料归档 6 个步骤。信息技术的不断引入,给这一过程带来了如下变化。

a. 数据采集阶段 数据采集是所有后续工作的基础,多年来一直试图通过对传统勘探、试验等硬件与操作流程进行改进,目前已有类似自动数据采集设备,如部分试验的自动采集仪器、正在不断改进的钻探设备等,但从整体来看,数据采集的智能化、自动化处理离实用还有很大的差距,这就使数据采集成为目前工程勘察信息化处理的瓶颈之一。

b. 室内整理阶段 传统室内整理工作是对获取的地质资料进行校对、分析和分类等工作。数据库及数据管理技术的发展给传统的室内整理工作带来了较大的变化,形成数据标准化处理、数据库建立、数据录入、数据管理和数据输出这一信息化流程。既可以管理采集到的数据,又可以为数据分析处理、报告编制输出各类主题数据,也可以把各个环节的成果管理起来,从而使室内整理扩展为全流程的数据管理中心。

c. 分析处理阶段 CAD 技术、三维建模技术、空间分析技术、稳定性计算等工程计算与分析技术的发展,使传统的数据分析与处理由二维抽象表达向三维乃至四维的综合表达与分析转变。由于三维可视化与空间分析等技术结合数据库技术可以把工程

勘察对象进行整体数字化表达(三维模型),使传统围绕勘察对象进行的分析处理工作可以围绕三维模型来进行,从而使三维模型成为工程勘察的分析与应用中心。

d. 编制报告阶段 采用辅助设计技术,可以从数据库中提取报告需要的数据、文字描述、统计报表、各种图件等素材,从而可以使报告的编制过程由全人工编制向辅助设计方向转变。

2 水利水电工程地质三维信息系统的组成

水利水电工程地质三维信息系统的主要目标是通过原始勘探数据来建立符合工程级精度的三维模型,并围绕三维模型对传统的工程地质勘察流程进行改造^[6]。系统主要包括 4 个子系统:数据库子系统、三维建模与空间分析子系统和网络子系统(图 2)。

数据库子系统管理与项目相关的所有数据,包括工程基本资料、工程区区域地质调查资料、工程测绘资料、工程钻探资料、山地工程资料、勘探取样资料、工程地质试验资料、水文地质调查与测试资料、物探资料、工程地质问题调查资料、工程地质条件调查资料、天然建筑材料调查资料和各子系统的成果资料等^[7-10],包括数据采集、数据标准化、数据管理、数据处理工作,可为二维制图子系统、三维建模与空间分析子系统及网络子系统提供数据和管理成果资

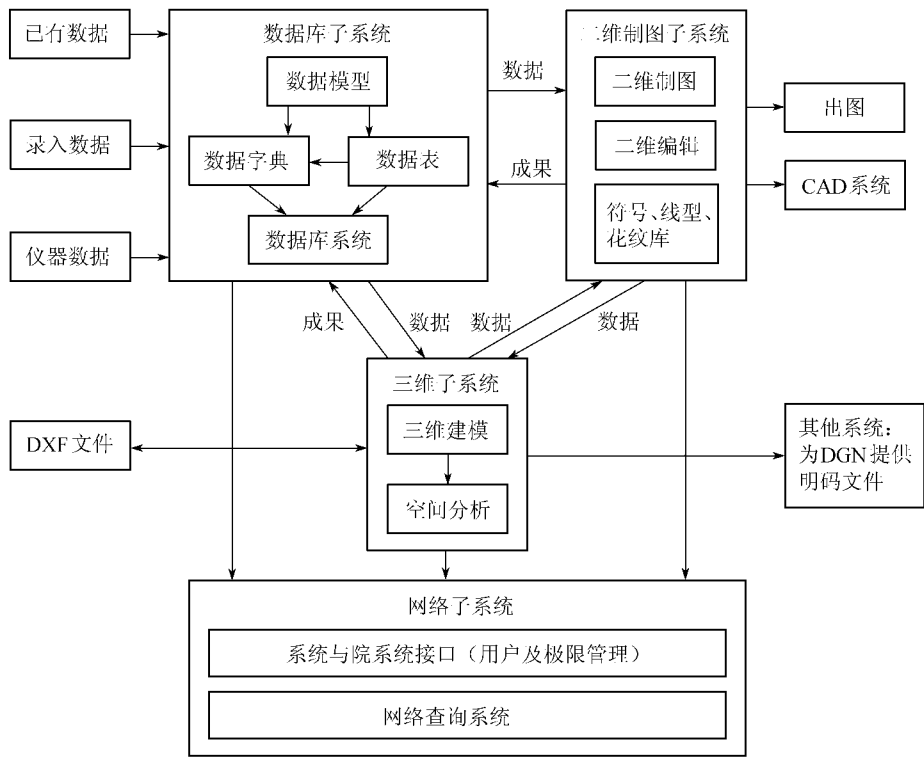


图2 系统组成及关系

料。完成5类图件的辅助编绘任务,包括工程地质图等的平面图类、纵横剖面图等的剖面图类、综合地层柱状图等的柱状图类、平硐展示图等的展示图类和等值线图等的分析图类。三维建模和空间分析子系统主要是依据前面2项工作提供的数据来建立高精度的三维模型,并通过在此三维模型上进行多种空间分析来为设计和施工等专业提供分析与设计的依据^[11-12]。网络子系统主要包括网络用户管理与成果资料查询的管理与处理,即实现网络数据采集、数据分析和二维与三维成果的查询检索。

图2是系统组成及各个子系统之间的关系图,首先要求数据库子系统能接收已有的其他格式的数据,如前期以文本文件或Excel格式或其他数据库格式存储的数据,也要能接收用户的直接输入和一些仪器设备传出的数据,同时要能接收二维和三维子系统有价值的中间数据与成果数据,还要能为二维制图子系统、三维建模与空间分析子系统和网络子系统等提供各类数据。要求二维制图子系统能通过数据库独立制图,也要能通过数据库和三维模型绘制地质图,既可以直接在绘图仪或打印机上出图,也能直接为其他CAD系统提供交换文件和为三维模型提供建模数据。要求三维建模与空间分析子系统既可以接收数据库的数据,也可以接收二维制图子系统的成果,同时还能接收其他系统的数据或成果,如为Microstation软

件提供明码文件等。网络子系统可以对以上原始数据、有价值的中间数据和最终的成果数据进行局域网或远程的查询浏览或信息检索。由此可以看出数据采集、图件辅助编制、三维建模、空间分析、网络查询检索、其他数据的专题输出等工作都是围绕数据库管理而展开,即在后台,数据管理是工程勘察信息处理的数据中心。

三维模型是工程勘察对象的数字化重建,水利水电工程地质三维信息系统在以下几个方面对工程地质勘察流程进行了改造:①数据采集:可以直接接收试验仪器记录的数据,可以进行传统数据录入,也可以把数据录入和接收与三维模型绑定,直接通过三维模型进行录入;②图件编绘:结合数据库、辅助设计技术,在三维模型上切制二维勘察图件;③空间分析:包括在三维模型上进行平面和剖面的剖切分析、等值线分析、虚拟钻孔或平硐分析、地下建筑物地质环境分析等;④信息查询:通过三维模型进行不同主题的空间与属性信息的综合查询;⑤工程分析计算:通过三维模型上选定不同单元,并调用不同主题处理模块,对勘察对象的整体或局部进行统计、计算和工程分析;⑥报告报表生成:生成选定部位或全部的专题报告报表等。以上这些数据应用工作都可以围绕三维模型来进行。

水利水电工程地质三维信息系统以标准化为基础,针对目前水利水电工程地质数据处理流程和目前信息技术的发展现状,从野外数据采集到数据管

理、地质图编制、三维模型建立、三维空间分析和为设计专业提供地质依据,基本涵盖了传统地质勘察的整个流程,是一个比较完整的地质勘察系统。由于各个子系统涉及的信息技术是相对独立的,而水利水电工程勘察信息处理是一个连续的过程,因而这些子系统的有机集成是工程勘察信息处理的需要,也是工程勘察工作的需要。

3 信息处理中的“双(Center)”分析

3.1 数据流流程中心——数据及数据管理

水利水电工程地质勘察的一般过程是通过踏勘线路调查、地质测绘、钻探、物探、硃探和取样试验等获取关于研究区(工程区)地表与地下地质情况的数据,在这些数据的基础上编制地质图件、对数据进行统计分析和编制工程勘察报告。从工程地质勘察的实际工作内容与流程上来看,工程勘察包括获取数据和对获取的数据进行分析和总结 2 部分工作,即通过测绘与勘探等手段获取地质体地表与地下数据,并进行图件编制和报告编写等工作,在这个过程中,图件编制和报告编写等都是围绕所获取的数据来进行的。

从信息处理角度来看,工程勘察信息处理可以分为数据采集与管理与数据应用 2 部分工作。首先,采集数据,所有搜集到的数据和工程勘探获取的数据都通过数据库来进行管理。二维地质图制作过程是一个从数据库中提取数据、对所提取的数据进行加工并把加工好的数据(做好的地质图)返回到数据库的过程。三维建模过程是一个从数据库中提取数据(包括原始数据和经过二维子系统加工过的数据),把提取到的数据加工成三维模型并把建好的三维模型保存在数据库中的过程。工程分析、统计、计算、查询等过程也是提取数据、加工并显示加工成果的过程。因而,从水电工程地质数据流流程来看,数据及数据管理是整个信息处理过程的基础和中心,以数据管理为中心,接收多种格式和类型的数据^[13],管理好所有地质勘察的原始数据和其他环节的成果数据,同时为二维辅助制图、三维建模、空间分析、报告编制和其他数据应用环节等提供所需要的数据,形成数据流流程的中心。因而,在内部(系统后台)以数据和数据库为中心和主线进行水利水电工程地质三维信息系统的集成是可行的、合理的,也符合工程地质勘察的实际情况和信息技术的发展趋势。

一般来说,以数据为中心的集成可以采用 2 种方式来进行:一是通过数据库为各种数据应用提供接口文件,即数据库响应各数据应用部分提交的数据需求申请,并以数据交换文件的形式为其提供所有的需求数据;另一种方法是各种数据应用工作直

接从数据库中提取需要的数据。水利水电工程地质三维信息系统主要采用第 2 种方式。下面以利用钻探数据、采用 B-rep 数据组织模式进行三维建模为例进行简单说明(实际建模过程还会用到测绘、硃探、槽坑探等大量数据,三维数据组织模式也有多种选择)。数据库依据三维建模的需要,提供钻探数据和依据钻探数据绘制的地质剖面、地质平面等数据,建立各个空间层面,如地表面、地下水位面、各级风化界面、各地层层面等,依据 B-rep 数据组织模式进行各层面的属性编码与组织,并对侧面进行封闭处理,形成初步的三维模型。在这一过程中,三维建模所需要的所有数据直接从后台数据库中提取,建好后经过审查的三维模型又以索引记录的方式和直接大字段存储 2 种方式存储在后台数据库中,从而把三维建模与数据管理有机地集成在一起。

3.2 数据应用中心——三维模型

地质勘察工作就是研究地质体的组成及地质结构与构造等的工作,即地质勘察工作都是围绕地质体而展开。三维模型是通过三维可视化等手段,把获得的一维、二维数据三维化的过程,是地质体的数字化模拟与重现,因而其信息处理工作也可以围绕三维模型展开。

随着三维可视化^[14-16]技术的逐渐成熟,从工程初期就可以开始建立部分三维模型,如地表模型可以利用搜集到的数据和前期的测绘数据来建立。此时平面图的制作就可以通过地表模型在零平面或水平面上的投影而得到,原来在平面图上进行的勘探布设工作也可以直接在三维模型上进行。可以通过三维模型(开始也许只是一个简单的地表模型)进行勘察数据的采集(通过属性关键字将三维模型与属性数据库关联)与处理,切制或编制二维图,完善三维模型,进行空间分析和工程数据统计、计算等多项应用工作。随着获取数据的逐渐丰富、三维模型的逐渐完善,很多工作可以直接围绕三维模型展开,从而使三维模型成为工程勘察信息处理的应用中心。

水利水电工程地质三维信息系统的建模方式主要采用矢量剪切的方式进行,即先建立一个包含研究区域的简单空间体(如长方体),再建立各个层面,如各地层面等,用每个层面(曲面)分别通过矢量剪切技术分割包含整个勘察对象的简单空间体,使简单空间体逐渐被剪切成与勘察数据符合的复杂地质体的过程。图 3 是围绕三维模型进行数据采集工作的示意图。其原理是:三维模型上每个空间图形对象(点、线、面、体)都赋有对应的属性,可以通过在三维模型上选中需要录入的对象,如布设的某个钻孔,或通过在布设钻孔图层的属性表中选中某个具体的钻孔(这 2 个操作是等效的),这样就获得了“工程名

称 + 钻孔编号'的关键字,把三维模型上空间图形数据的属性与后台数据库中对数据表的关键字对应起来,就可以通过调用钻孔属性数据录入界面来录入对应钻孔的相关数据,从而实现在三维模型上进行数据采集工作。



图3 在三维模型上进行数据采集工作

图4是基于三维模型和数据库绘制二维剖面的示意图。图中左侧是从三维模型上(此时的三维模型只有地表和地下水位面等少数基本确认的信息)切出的剖面,有地形线和地下水位线等,还需要从数据库中调用钻孔数据等来完成钻孔的绘制、地层等分层处理、图形整饰等辅助制作。随着三维模型的逐渐丰富,从三维模型上剖切出的剖面内容也会更加丰富。如三维模型已有地层信息,则可直接切出地层的连接与对比线条,如三维模型还有各风化层面,还可以切出各级风化线条,此时从数据库中调用数据(如钻孔数据等)不仅可以进一步丰富剖面内容(如取样、注水试验等的标识),还可以对三维模型的精度进行进一步的验证。

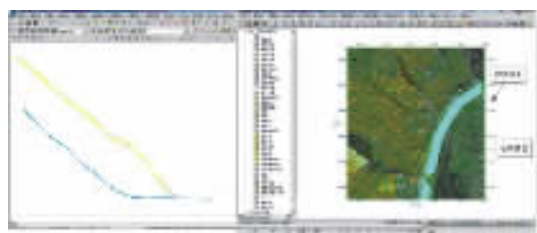


图4 通过三维模型和数据库绘制二维剖面

图5是基于三维模型的多截面分析及其剪切后的结果,属于三维模型的空间剖切分析,其原理是三维模型的矢量剪切分析。

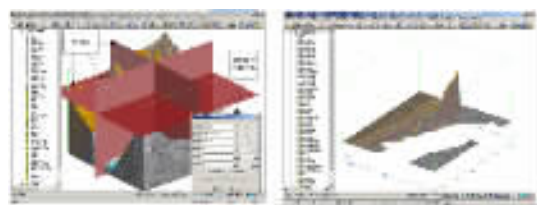


图5 基于三维模型的空间剪切分析

4 结 论

水利水电工程地质三维信息系统采用“双C”技术框架对系统各子系统进行集成和管理。在系统后台以数据为中心,通过数据库来实现数据的采集和

管理,为二维辅助制图、三维建模、空间分析、网络查询浏览等数据应用环节和其他软件系统提供所需要的数据,形成数据流流程的中心,即“双C”技术框架中的一个“C”(Center)。同时,由于三维模型是三维地质体的模拟和数据式重现,是所有地质勘察工作的对象和研究主体,可以通过三维模型来进行勘察数据的采集与处理,切制或编制二维地质图,完善三维模型,进行空间分析和工程数据统计、计算等多项应用工作,即三维模型是“双C”技术框架中的另一个“C”(Center)。这2个中心,一个是隐式的后台数据出入与管理中心,一个是显式的前台应用平台与中心,两者结合可以对地质勘察的数据采集、数据管理和数据应用等环节进行各项信息处理,从而建立起“双C”集成技术框架,可以有效地把系统集成成为一个完整的整体,为工程勘察的全程提供数据支持和直观的空间分析与研究支持。

参考文献:

- [1] 李德仁.论RS、GPS与GIS集成的定义、理论与关键技术[J].遥感学报,1997,1(1):64-68.
- [2] 杜道生.GPS、RS、GIS的集成与应用[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,1995:200-209.
- [3] 汪新庆,刘刚,袁艳斌,等.岩土工程勘察点源程序信息系统的开发[C]//全国岩土工程青年专家学术会议论文集.武汉[出版者不详]2000:73-79.
- [4] GB50287—1999,水利水电工程地质勘察规范[S].
- [5] 刘军旗.水利水电工程地质三维信息系统研究与应用[D].武汉:中国地质大学(武汉)2007.
- [6] 吴冲龙,刘刚,田宜平,等.地矿勘查工作信息化的理论与方法问题[J].地球科学:中国地质大学学报,2005,30(3):359-365.
- [7] 手册编委会.工程地质手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [8] 唐大雄.工程岩土学[M].北京:地质出版社,1999.
- [9] GBJ123—1988,土工实验方法标准[S].
- [10] GB50021—1994,岩土工程勘察规范[S].
- [11] MAO Xiao-ping, HUANG Yan-hu, WU Chong-long. Application of volume element model in 3-D seismic forward simulation[J]. Acta Geophysica Sinica, 1998, 41(4):573-583.
- [12] 李绍虎,吴冲龙,田宜平,等.铲状断层三维可视化建模及矢量剪切[J].岩石力学与工程学报,2006,25(2):3841-3846.
- [13] 刘军旗,黄长青,吴冲龙.长江堤防工程地质信息管理策略及实现方法[J].长江科学院院报,2007,24(4):38-41.
- [14] 龚健雅,夏宗国.矢量与栅格集成的三维数据模型[J].武汉测绘科技大学学报,1997,22(1):7-15.
- [15] 李清泉,李德仁.三维空间数据模型集成的概念框架研究[J].测绘学报,1998,27(4):325-330.
- [16] 宋海良,王帅,刘杰,等.大型地下洞室群地质信息三维可视化分析与应用[J].水利水电科技进展,2007,27(6):80-84.

(收稿日期:2008-07-15 编辑:骆超)