

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.04.016

基于 CAD/GIS 技术的公路隧道及围岩体三维可视化系统

王丽园, 陈楚江

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 针对公路隧道勘察设计多个阶段大量丰富、准确的工程信息未能有效管理、缺乏再利用的现状, 提出将 CAD、GIS 技术运用于公路隧道的信息资料数据库管理。通过对工程实例调查标准化和整合多来源、多个时期、多样格式和多数数据标准的公路隧道信息, 以三维可视化作为重要特征, 建立平面图与隧道各类附属设施、隧道设计资料数据库、隧道设计模型、地质及地形三维模型之间的联系。构建公路隧道设计的三维可视化管理系统, 建立了覆盖公路复杂隧道的设计、运营、养护等多阶段的信息管理、共享服务平台。通过 vc2005 和 ObjectArx2008 开发工具实现, 并在厦门翔安海底隧道中进行了应用, 取得良好效果。

关键词: 隧道工程; 隧道围岩; CAD/GIS; 可视化系统; 共享

中图分类号: U451+.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2012) 04-0091-05

3D Visual System of Highway Tunnel and Surrounding Rocks Based on CAD/GIS

WANG Liyuan, CHEN Chujiang

(CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan Hubei 430056, China)

Abstract: Aimed at the inefficient data management and lack of data reuse about the mass ample and accurate engineering information from highway tunnel's multi design stages, CAD and GIS were proposed to be applied to expressway tunnels' engineering information and database management. By standardizing project instance investigation and integrating highway tunnel information from different sources, stages and data formats, regarded 3D visualization as an important characteristic, the relations among plan view, tunnel ancillary facilities, tunnel design database and model, geologic model and terrain model, etc. were built. Based on these, a 3D visual management system of highway tunnel designing was put forward, and a highway tunnel information management and shared platform system that covers designing, operating and maintenance stages of complex highway tunnel was built. The system's development has been completed by VC2005 and ObjectArx2008 and applied in Xiang'an subsea tunnel in Xiamen, and made a good effect.

Key words: tunneling engineering; tunnel surrounding rock; CAD/GIS; visual system; share

0 引言

当前, 我国公路隧道总量不断增长, 截止 2010 年底, 全国公路隧道 7 384 处, 其中长隧道 1 218 处、202.08 万 m, 特长隧道 265 处、113.80 万 m^[1]。长大隧道的设计不仅要综合地形、地质、道路等因

素, 还涉及机电、通风、排水、环保景观等多个专业。传统的二维设计采用三视图的方法来反映工程的平、纵、横 3 个侧面, 不能明确体现出工程不同部分在空间上的逻辑关系, 难以生动、形象表达设计者的最终意图^[2]; 同时, 很难对勘察设计多阶段的信息资料进行有效管理^[3]。

收稿日期: 2011-08-31

作者简介: 王丽园 (1980-), 女, 湖北咸宁人, 硕士. (keylly_wong@126.com)

近年来,国内出现了许多公路隧道三维设计、数据分析及管理方面的探索研究。如张建斌、朱合华等利用 AutoCAD 三维图形平台建立地层三维模型、隧道及附属设施的三维模型,并实现信息查询及地层模型的开挖功能^[4]; 揣景华等利用 Multigen Creator 进行公路隧道的仿真建模,提高隧道三维视觉的真实感受和虚拟场景的细节表达能力^[5]; 钟登华等利用 GIS 技术实现公路隧道三维建模,并利用 3DMax 实现隧道三维场景动画浏览^[2]; 解福奇、朱合华等采用时态 GIS 数据模型对隧道施工数据进行动态管理,并以三维模型反映其施工进度等^[6]。但是,现有研究均未能完全覆盖公路隧道勘察设计各阶段,在繁琐的工程资料管理、隧道及围岩体快速、自动建模,隧道设计与地质信息的查询与分析,基于虚拟仿真技术的可视化设计方案比选及分析、最终成果三维展示等方面互有欠缺,同时,未能为未来公路隧道在运营、养护阶段提供一个可视化信息共享平台。

基于 CAD/GIS 技术的隧道及围岩体三维可视化系统的设计目标是:通过对工程实例调查标准化和整合多来源、多个时期、多样格式和多数据标准的隧道信息,根据设计成果快速建立隧道仿真景观以更好的进行隧道设计成果的动态三维展示,辅助海底隧道三维空间设计;对繁杂的工程设计信息和工程相关设施的空间信息管理和分析,为海底隧道工程的数字化与信息管理提供一套完整、先进的技术手段与方法,并为公路隧道生命全周期的后续施工、运营、养护等环节提供准确、直观的数字化、信息化平台。

1 系统总体框架

基于 CAD/GIS 技术的隧道及围岩体三维可视化系统是一个集设计资料管理,快速、自动化三维建模,工程信息查询与分析于一体的综合性可视化技术系统,三维可视化是其重要特征。系统能基于隧道断面文件、线位文件、钻孔及地质数据、地形数据、隧道设备设施文件实现隧道、地形、建筑、钻孔、地层、卡索板、照明、管网等的交互式快速建模,并实现基于 CAD 模型的隧道穿越地层开挖、任意剖面切割显示等可视化操作。自动生成的三维模型可直接应用于隧道虚拟仿真场景的制作并经由 3DMax 环境实现虚拟场景的漫游以及与二维地图的动态关联显示等,同时对隧道设计文件及相关资源进行可视化管理。

系统的最终目标是为隧道设计及管理人員提供有力的三维可视化技术保障,为海底隧道工程的数字化与信息管理提供一套完整、先进的技术手段与方法,并为公路隧道生命全周期的后续施工、运营、养护等环节提供准确、直观的数字化、信息化平台。具体包括:(1) 对项目工可、勘察、设计等各个阶段的工程文件资料的管理;(2) 集成 CAD 视图环境,可以对关联的 CAD 设计图进行实时查看;(3) 基于项目设计资料在 CAD 环境下快速、自动生成隧道、地层、地形及照明、管网、卡索板等隧道附属设施的三维模型;(4) 集成 GIS 与 Access 关系数据库技术,利用 GIS 管理空间信息和对应的属性数据,关系数据库管理隧道、设备设施的设计信息及地质钻孔信息;(5) 具有自动建立和更新多种数据库的能力,以实现项目设计资料的有效管理;(6) 提供友好的图形或条件查询界面,能方便访问公路隧道工可、勘察及设计阶段的任意信息;(7) 建立隧道设计方案的可视化比选手段与平台,可以进行不同自然条件下设计方案与城市环境景观的和谐性分析。

为实现上述目标,整个系统由三维自动建模系统、数据库管理系统、信息处理与分析系统、可视化信息系统组成。基于 CAD/GIS 技术的隧道及围岩体三维可视化系统中,需要获取、处理和管理多种类型的数据,有图形数据、表格数据、模型数据、文档数据,如表 1 所示。GIS 主要用于采集、存储、显示、查询、分析和表示各种与隧道勘察、设计相关联的图形与属性信息;CAD 主要用于隧道设计断面、地质断面剖面图、地形图信息的读取与交互,图形及模型数据的读取、显示与交互等。为了更直观、形象地展示隧道设计理念,提高方案审查效率,系统加入了中视典 VRP 三维虚拟仿真平台插件用于设计方案的可视化比选与分析。从功能与数据流看,系统最终以三维视图、二维视图及文件及模型管理器等多个模块组合而成,系统概念框架如图 1 所示。

表 1 数据特征表

Tab. 1 Data characteristics table

数据名称	图形	表格	模型	文档
隧道线位信息		√		√
各类设计图	√			√
地质图及钻孔信息	√	√		√
地形图	√			√
工程各阶段报告				√
隧道、地层及地形				
三维模型	√		√	√

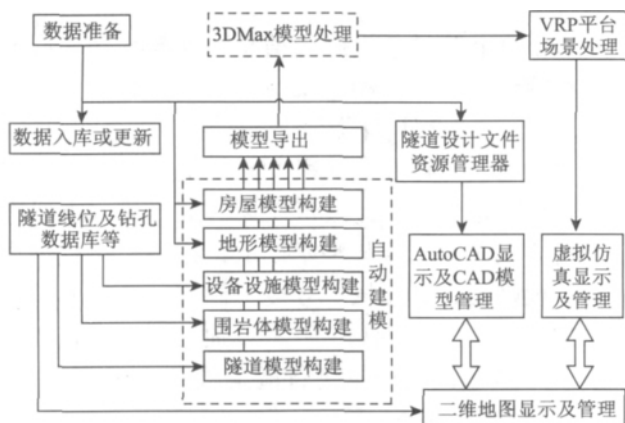


图1 系统框架图

Fig.1 Diagram of system framework

隧道及围岩三维自动建模模块是三维自动建模系统的重要组成部分,也是构建整个三维可视化系统的重要基础,它主要通过对隧道、地质勘探钻孔、地质剖面图等数据的人机交互及自动化建模方法完成,模型坐标系采用项目设计阶段采用的地方坐标系,所有自动建立的三维模型以 dwg 文件进行存储。

系统数据库采用 Access 小型关系数据库建立,主要用于存储隧道线位信息、地质勘探信息、设备设施信息、地层分类信息以及颜色配置信息等。GIS 技术用于对线位、地质勘探钻孔、设备设施、模型等与地理位置属性紧密相关的多种数据综合管理,以 Access 数据库为基础进行信息的查询与分析,并对 VRP 插件中虚拟仿真三维场景与数据库信息进行自动关联。

2 系统设计方法

基于 CAD/GIS 技术的隧道及围岩体三维可视化系统较为复杂,以下就三维自动化建模系统、数据库管理系统、系统框架设计等 3 个主要方面进行阐述。

2.1 三维自动化建模系统

三维自动化建模对象包括隧道、地形、建筑、钻孔、地层、卡索板、灯光照明、管网等的交互式快速建模。建模过程主要通过不同 AutoCAD 图形的交互及后期的模型自动化计算建模方法共同完成。对于工程设计中的参与三维建模的多种 CAD 文件有部分需要根据建模及交互要求进行图形的标准化处理,主要包括隧道横断面设计图及地形图文件。各类文件参与建模的情况如图 2 所示。

隧道和围岩体是三维建模系统中的重要部分,二者的图形数据预处理与交互均在 AutoCAD 环境中

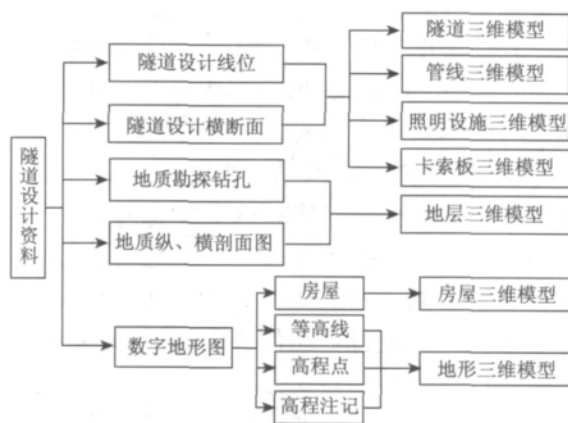


图2 各类资料参与建模的关系图

Fig.2 Relation diagram of various kinds of data in modeling

完成。隧道三维建模首先需要在 AutoCAD 环境中对隧道横断面设计图进行标准化处理;然后对隧道不同 Excel 格式线位,如左线、右线、服务洞、车行横洞及人行横洞等进行线位信息整理,在 AutoCAD 环境下通过人机交互方式拾取标准化后的横断面图,并根据录入的线位信息分别以扫描法完成各个隧道单洞的三维建模;最后对根据线位信息已经确定空间位置而生成的多个单洞模型通过 CGS 方法进行多模型的正则运算,完成复杂隧道的三维模型建模。

围岩体三维建模的数据通常为地质勘探钻孔。为提高围岩体三维模型的精度,系统将地质纵、横断面剖面图作为地质勘探的重要成果,以虚拟钻孔形式作为建模约束引入到围岩体三维建模中。

建模过程中,地质勘探钻孔图及各种地质剖面图的虚拟钻孔在 AutoCAD 环境下通过人机交互进行,数据录入界面与数据库动态相关,记录钻孔桩号、孔口及孔底坐标、地层岩性并实时入库。围岩体根据真实及虚拟钻孔数据库的信息建立地层三维模型,同时,系统将对地层三维模型边界的线段加密并根据地质剖面图信息建立新的虚拟钻孔,进一步提高三维地质模型边缘处的精度。最后,对所有真实及虚拟钻孔进行标准化,构建钻孔平面 Delaunay 三角网及地层分层面 Delaunay 三角网,采用基于三棱柱的方法建立隧道围岩地层三维模型。

2.2 数据库管理系统

如表 1 所示,系统要管理的数据包括了图形、表格、属性、文档等不同类型。对不同特征的数据采用不同的形式进行管理。基于 GIS 技术及 Access 小型关系数据库系统,为信息的管理与共享提供了有效的手段。对于图形、三维模型、文档等数据,

主要采用 GIS 技术进行管理,其中三维模型数据在 AutoCAD 中根据不同类型分层存储^[7]。系统数据库采用 Microsoft Access 数据库作为项目数据库平台,根据项目具体情况自动构建,不同的隧道工程项目对应不同的数据库,但其结构相似。

项目数据库主要存储隧道工程线位信息、地质勘探信息、约束钻孔信息、地层分类信息及地层颜色配置信息,同时对消防、供电、急救电话、排水等机电附属设施进行空间信息存储。Access 数据库信息随项目设计进度的变化动态更新。数据库中的表分为固定部分与动态创建部分,固定部分是针对地质勘探信息、约束钻孔信息、地层分类信息、以及颜色配置信息的存储设计的固定不变的数据表,如图 3 所示。

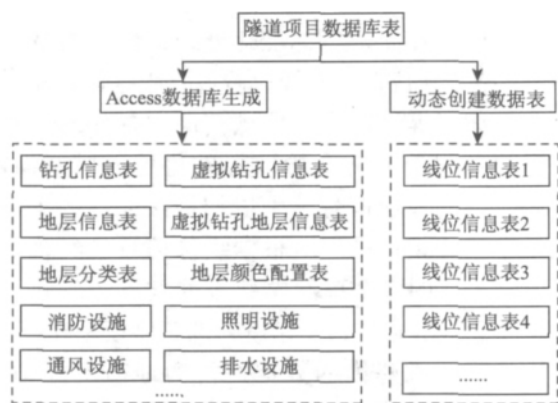


图3 隧道项目数据库表的生成

Fig.3 Generation of highway tunnel project database tables

动态创建的数据表部分是针对不同项目的隧道类型的设计差异动态构建的存储隧道线位信息的数据表。对于单线隧道则动态生成的数据表主线隧道线位表;对于分离式隧道,则可能包含隧道左线、右线、服务洞、车行横洞、人行横洞等多个组成部分,并创建多个对应的数据表。

2.3 系统的信息处理与可视化

系统设计三维可视化的目的是为了基于设计信息快速、自动建立隧道及围岩体、隧道附属设施等对象的三维模型,同时能对围岩体进行分析,为设计方案的评审提供准确、直观的分析与评价手段。

可视化是人们直观研究和分析隧道设计数据的强有力手段。在隧道设计方案及围岩体地质结构的实时分析与评价中,隧道及围岩体三维模型能清楚地反映出设计方案的整体与细节成果;通过地层三维模型上任意横断面的动态剖切,实时生成地质横断面剖面,能准确、清晰地提供隧道穿越地区的地

质条件参考。

对于机电等设备设施等信息,则以符号化形式直接在隧道工程区域的二维地图上予以显示,其信息来源于交通工程设计文件。

由于隧道走廊带中工程关心的主要对象均能实现快速三维建模,因此隧道设计的最终成果可以在自动建立的全部三维模型基础上,在 3dMax 软件中进行纹理贴图、灯光烘焙等美工制作,并导入系统引入的 VRP 三维虚拟仿真软件,通过人机交互方式对建立的虚拟仿真场景进行隧道设计方案更直观、形象的全方位展示。

2.4 系统开发的技术思路

本系统涉及的软件环境包括 AutoCAD、Access、Excel 等。系统框架开发基于 C++ 语言,与 AutoCAD 环境的集成与交互则通过 ObjectArx 进行二次开发,与 Access 及 Excel 软件相关的数据查询与交互利用 SQL 语言及微软公司提供的 OLE 控件。

系统运行主要由自动建模、隧道设计文件资源器、虚拟仿真显示及管理、二维地图显示及管理等组成。自动建模模块基于相关信息自动构建隧道模型、围岩模型、地形模型、隧道附属设施模型、房屋模型等相关模型;隧道设计文件资源管理器用于对项目的设计文件进行动态管理;VRP 平台场景处理则将自动创建的三维模型导出到 VRPlatform 进行场景进一步美化处理,最后生成 .vrp 后缀的虚拟场景文件。

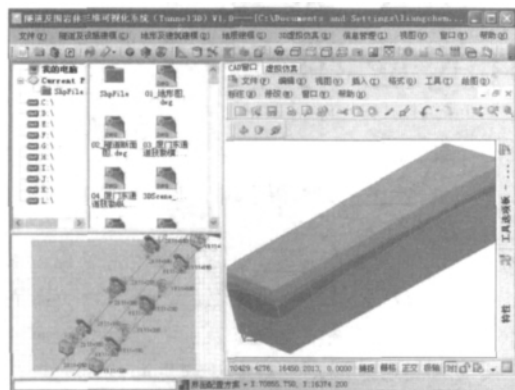
整个系统的 AutoCAD、VRP 虚拟仿真及二维地图 3 种显示环境分别侧重于表现不同方面。AutoCAD 显示是对 CAD 平台下创建的设计文件及自动构建的原始模型的显示,在提供人机交互手段的条件下基于原始模型进行任意地质剖面切割显示管理;虚拟仿真显示则是侧重对隧道工程整体虚拟效果的显示管理;二维地图显示则侧重对隧道工程区域地理信息数据以及隧道线位、中桩点、隧道设备设施的显示及管理。通过 GIS 技术基于空间坐标的信息动态关联有效关联系统 3 种显示环境。

2.5 系统的实现

根据本文的研究方案,开发了隧道及围岩体三维可视化系统。系统界面分为文件资源管理、二维平面视图、AutoCAD 图形查看及交互、VRP 虚拟仿真视图四个视图区,其中 AutoCAD 交互界面与 VRP 虚拟仿真界面通过预置设置的方式,采用交互切换的方式进行界面布置。

系统开发采用 Visual C#.net 2005 为开发平台,同时集成 AutoCAD2008 环境,通过 Object ARX2008

二次开发工具,加入了 VRPlatform SDK 的三维虚拟仿真插件完成系统开发。系统已实现了隧道及围岩体三维快速自动建模、围岩体地质剖面分析、隧道设计信息查询、隧道虚拟仿真场景三维漫游(图4)、项目文件资源管理等全部功能。



(a) CAD环境围岩体分析界面



(b)虚拟仿真界面

图4 系统完成的CAD分析及虚拟仿真界面

Fig.4 CAD analyzing and visual simulation interfaces displayed by the system

2.6 工程应用

厦门翔安海底隧道是一项公路跨海工程,起自厦门市湖里区五通,止于厦门市翔安区西滨,是我国大陆地区第1座海底隧道。隧道整体呈东北向分布,全长约9 km,其中海底隧道5.95 km(海域段4.2 km),最深在海平面下约70 m。隧道按双向6车道高等级公路标准设计,设计采用三孔隧道方案,两侧为行车主洞各设置3车道,中孔为服务隧道。左、右线隧道各设通风竖井1座,隧道全线共设12处行人横通道和5处行车横通道。

基于CAD/GIS技术的三维可视化系统,对项目工可、勘察、设计等多个阶段、多种类型及格式的工程报告、地质资料、地形资料、设计资料、交通工程资料、视频资料等多种文档进行了数据信息的标准化与整合,并根据设计成果对隧道、隧道附属

设施及工程穿越区域约120 m宽的地层进行真实模型的三维重建。所有项目信息均根据相应对象通过准确、真实的空间坐标及模型拓扑关系建立了厦门翔安海底隧道三维信息数据库,使用户可进行工程属性、隧道内部附属设施、隧道区域任意地层断面以及不同设计方案等工程信息结果的查询;以时间表为基础建立的报告文档资料数据库,能与相应的工程模型对象进行交叉查询,更好地服务于项目竣工后项目的运营及养护。

工程三维可视化系统建成后,从运行效率、响应速度及工程信息准确性等多方面进行了试行和验证,均取得了较好的使用效果。以围岩体三维建模准确性为例,海底隧道的场区内的地质情况主要为花岗岩地层,主要不良地质包括:两岸全强风化层、翔安侧浅滩段部分透水砂层、海域段多处全强风化深槽(囊)。对建立的地层三维模型进行任意横断面的剖切,并对照真实的地质勘探钻孔及地质剖面图信息进行验证,二者完全符合。

3 结论

本文介绍了CAD、GIS技术在公路隧道及围岩体三维可视化系统的应用及开发,描述了系统的设计思想及实现过程,并在厦门翔安海底隧道中进行了实际应用,且取得了良好效果。系统最大特点是研究并实现了以为公路隧道设计完成后的运营及养护阶段提供完整的信息共享平台为目的的覆盖公路隧道设计的三维可视化系统,对于促进我国公路隧道生命全周期的智能运输系统(ITS)的发展有重要意义。

参考文献:

References:

- [1] 交通运输部综合规划司. 2010年公路水路交通运输行业发展统计公报[R]. 北京:交通运输部综合规划, 2011.
Comprehensive Planning Department of the Ministry of Transport. 2010 Highway and Waterway Transport Industry Development Statistical Bulletin [R]. Beijing: Comprehensive Planning Department of the Ministry of Transport, 2011.
- [2] 钟登华,刘奎建,吴康新. 公路隧道三维建模与可视化实现[J]. 工程图学学报, 2005, 26(4): 81-87.
ZHONG Denghua, LIU Kuijian, WU Kangxin. 3D Modeling and Visualization of Highway Tunnels [J]. Journal of Engineering Graphics, 2005, 26(4): 81-87.

(下转第113页)

- 2006, 24 (1): 30-35.
- [7] 唐珏琳. 基于主动安全理念的道路规划、设计研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
TANG Yuli. Research on Road Planning and Design Based on Positive Safety Ideas [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [8] ATZE D, HANS D, MARTIN V M. Method for Assessing Safety of Routes in a Road Network [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2007, 2019: 82-90.
- [9] 雷英杰. MATLAB 遗传算法工具箱及应用 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
LEI Yingjie. MATLAB Genetic Algorithm Toolbox and Application [M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2005.
- [10] 陆化普. 交通规划理论与方法 [M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2006.
LU Huapu. Theory and Method in Transportation Planning [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [11] LI Jibing, LAN C J, GU Xiaojun. Estimation of Incident Delay and Its Uncertainty on Freeway Networks [J]. Journal of the Transportation Research Board, 2006, 1959: 37-45.
- [12] SAWALHAL B Z, SAYED T. Evaluating Safety of Urban Arterial Roadways [J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127 (2): 151-158.
- [13] 姬杨蓓蓓. 交通时间持续时间预测方法研究 [D]. 上海: 同济大学, 2008.
JIYANG Beibei. Research on Prediction Method of Traffic Incident Duration [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [14] 刘伟铭, 管丽萍, 尹湘源. 基于决策树的高速公路事件持续时间预测 [J]. 中国公路学报, 2008, 18 (1): 99-103.
LIU Weiming, GUAN Liping, YIN Xiangyuan. Prediction of Freeway Incident Duration Based on Decision Tree [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 18 (1): 99-103.
- [15] LING Qin, BRIAN S. Characterization of Accident Capacity Reduction [R]. Virginia: Center for Transportation Studies University of Virginia, 2001.

(上接第95页)

- [3] 张刚, 张平, 蒋春杭, 等. 公路隧道信息管理系统 GIS 应用研究 [J]. 中国交通信息产业, 2007 (10): 104-106.
ZHANG Gang, ZHANG Ping, JIANG Chunhang, et al. Research on the Application of GIS in Highway Tunnel Information Management System [J]. China Transport Information Industry, 2007 (10): 104-106.
- [4] 张建斌, 朱合华, 朱岳明, 等. 厦门翔安海底隧道数字化建模技术 [J]. 岩土力学与工程学报, 2007, 26 (6): 1237-1242.
ZHANG Jianbin, ZHU Hehua, ZHU Yueming, et al. Digital Strata Modeling and Its Application to Xiang'an Subsea Tunnel in Xiamen [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26 (6): 1237-1242.
- [5] 揣景华, 蒋万民. 公路隧道视景仿真建模技术 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2006, 26 (1): 63-66.
CHUAI Jinghua, JIANG Wanmin. Modeling of Highway Tunnel Scene Simulation [J]. Journal of Chang'an University: Nature Science Edition, 2006, 26 (1): 63-66.
- [6] 解福奇, 朱合华, 李晓军, 等. 时态 GIS 数据模型及其在隧道工程中的应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5 (3): 546-552.
JIE Fuqi, ZHU Hehua, LI Xiaojun, et al. Temporal GIS Model and Its Application in Tunneling [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5 (3): 546-552.
- [7] 程鹏根, 李大军, 史文中, 等. 基于 GPS、GIS 技术的桥梁结构健康监测与管理信息系统 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (2): 48-52.
CHENG Penggen, LI Dajun, SHI Wenzhong, et al. Bridge Structural Health Monitoring and Management System Based on GPS and GIS Techniques [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (2): 48-52.