

基于信息化施工和智能化管理的隧道工程 监测与安全评价

黄 敏

(西南交通大学 土木工程学院 成都市 610031)

摘 要: 针对隧道工程建设中海量信息的低管理效率、监测数据的不准确分析和结构安全的未及时预警预报,基于信息化施工思想和智能化管理方法,运用计算机、网络和可视化技术集成研发了具有先进性、可靠性和通用性的隧道工程智能监测及安全评价系统。通过工程实践应用,本系统能够实现海量数据的集成化管理、监控信息的智能化预测、施工风险的信息化预警预报、二衬支护时机的系统化评判和工作报告的人性化生成,从而显著地提高了隧道施工安全和建设质量,并切实加强动态设计和实时优化,也为高效精细化管理提供了可靠的理论依据和技术支撑。

关键词: 隧道工程; 智能监测; 预测预警; 二衬支护时机; 安全评价; 信息系统

由于地质条件的复杂性、施工工艺的多样性以及安全风险的隐蔽性,所以往往都需要布设大量仪器设备进行长期持续地监测工作,从而确保隧道工程顺利安全地建设。境外自动化监测系统最早出现在大坝安全监测领域,譬如:法国 Panda、意大利 DamSafe 和瑞士 GeoMonitor 系统都可实现在线监测,并进行分析评判以探明混凝土结构形态异常情况^[1-3]。境内,河海大学研发了大坝安全综合评价专家系统和在线监控反馈分析系统,已在远程监控、实时分析和网络设计等方面取得了很大进展^[4-5],也为隧道工程信息化施工及智能化监测提供了值得借鉴的拓展思路和实践经验。李元海等运用 GIS 思想和可视化技术提出岩土工程施工监测信息系统(GeoMIS),实现了数据库管理、分析预测和测点图形等功能^[6],可对于监测信息智能化预测及预警预报仍需研究和完善。李天斌等初步建立了隧道信息化监测预测和决策系统(TMFS)^[7],尚需加强工程信息集成化管理以及再丰富预测分析评判方法。近年来,周健,周文波等也进行了一系列探索和研究工作^[8,9]。尽管在自动监测与安全分析领域已经取得了长足的进展,可仍难以满足隧道工程建设和运营管理的实践需要,尤其是在海量数据的管理效率、监

测信息的智能预测和施工风险的信息化预警预报等方面尚存在诸多复杂问题和困难,同时也少有完善的系统软件及其工程实践。

为适应隧道工程建设管理信息化与智能化的发展要求,对智能监测及安全评价系统进行了系统性研究与集成化应用,重点针对海量数据的集成化管理、监测信息的智能化实时预测、施工安全的信息化预警预报和监控工作的人性化管理等方面进行分析研究和功能实现,以期提高隧道施工安全和建设质量,并切实加强动态设计和实时优化,也能够为高效精细化管理提供可靠的理论依据和技术支撑。

1 系统的结构及主要功能

作为面向对象的可视化集成编程系统,Microsoft Visual C++ 既具有程序框架自动灵活生成、代码编写和界面设计集成交互操作等优点,同时还可通过简单设置就能够产生程序框架支持数据库接口、OLE2、WinSock 网络和 3D 控制界面^[10]。另外,SQL Server 2000 可进行高性能设计管理、强大的事务处理以及支持对称多处理器结构、存储过程和 SQL 语言^[11]。因此,采用 Visual C++ 可视化开发平台和 SQL Server 网络数据库技术,自主集

基金项目:国家“十三五”重点研发计划,项目编号 2016YFB0303603-4

收稿日期:2022-01-20

成研发了隧道工程智能监测及安全评价系统。

1.1 系统的结构

该系统主要由工程信息管理模块、监测信息分

析模块、智能化预测模块、自动预警预报模块、二衬支护时机评判模块和监测报告生成模块共同组成。

本系统的组织架构如图 1 所示。

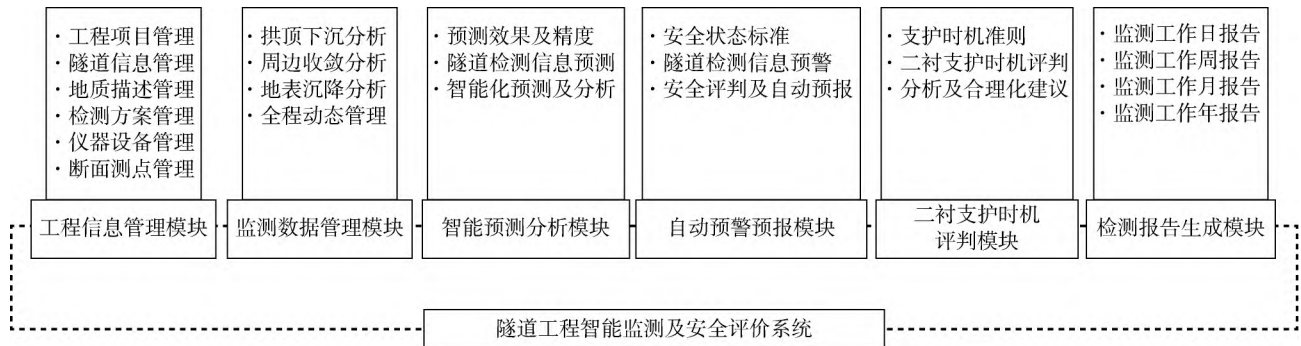


图 1 系统的组成及功能结构

1.2 系统的主要功能

本系统信息化集成工程背景、地质资料和监测方案等形成了完善的综合管理平台,实现了各阶段多类型工程资料的动态信息化管理,并能够对隧道变形、位移及地面沉降等项目进行全过程实时分析和处理,而且集成研发了智能化隧道监控预测技术和方法,同时根据监测量值、发展速率及速率变化趋势对隧道结构进行全程实时的预警和建议,还实现了隧道二衬支护时机的综合分析评判,最后可根据工程管理的不同需要,快速自动化生成多类型多角度信息化集成的监测分析报告。

(1) 工程信息管理。

针对地下工程建设中的海量信息、管理效率弱和软件专业程度低等问题,本系统采用计算机、网络和可视化等技术,率先信息化集成工程信息、地质资料和监测方案等形成了完善的综合管理系统平台,从而实现了各阶段多类型工程资料的动态信息化管理功能,包括对文本型、数值型、图像型和音频视频型信息进行全过程实时录入、查询和修改等。

(2) 监测数据管理。

为满足现场监测与系统管理的同步性,本模块能够对监测数据进行实时远程管理,可完成原始数据的处理转换、单独录入、批量导入和查询修改等。同时,能够灵活便捷地进行隧道变形、隧道位移和地表沉降的时程分析,包括了监测项目累计总量、发展速率和速率变化趋势的实时动态分析,所有图表都可缩放、换色以及更换坐标,并能够打印、存档和管理。

(3) 智能预测分析。

鉴于隧道工程具有的不确定性、模糊性和随机性等特点,本模块采用定量和定性相结合的方法开展预测分析^[12],集成研发了回归分析、成长曲线和神经网络等方法和模型,可根据不同的工程实际和分析目标,针对性地选用相应的预测方法进行计算分析。同时,建立了预测效果评判标准,在此基础上本模块能够智能地选取最优模型进行最佳效果的预测分析,从而实现了隧道监测信息的智能化预测及分析。

(4) 自动预警预报。

在广泛总结境内外规范标准和深刻分析研究成果的基础上^[13,14],确立隧道安全的控制基准,本模块系统地集成了监测量值、发展速率及速率变化趋势对隧道结构进行全过程实时动态的预警和评判,并采用红、黄和绿色作为三等级预警标识,同时激活相应的报警铃声。最后,自动化地提供了警戒时间和量值的分析结果以及应采取技术措施的建议。

(5) 二衬支护时机评判。

本模块确立并设置了隧道二次衬砌支护时机的评判准则,包括拱顶下沉和周边位移的监测量值及发展速率,在已有实测数据的基础上对该 4 个分项在未来一段时间进行智能化预测,从而对隧道二衬支护时机进行实时动态地分析和综合评判,同时自动化地提供了全面可靠的支护时机及建议。

(6) 监测报告生成。

将工程信息、监测成果、预测预警和二衬支护时机等集合为统一整体,本模块实现了多类型多角度信息化集成的监测分析报告,能够根据工程管理的不同需要,快速自动化地生成周报、月报和年报等多

种工作报告,并可完成远程无线联机打印和文档储存管理。

2 工程应用与实践

2.1 工程概况

炎汝高速公路大奎隧道,起于湖南炎陵县龙渣乡双奎村牛角湾组,设计为全长 3.2 km 的分离式隧道,最大埋深近 330 m。隧址区工程地质条件复杂,软弱围岩所占比例较大,而且地质勘查显示有 6 条断层断裂破碎带,洞口浅埋偏压带等不良地质地段,施工环境保护要求高,因此,隧道建设的技术难度和安全风险均较大。为了全面掌握围岩稳定性、支护结构承载性能、二衬支护时机和施工方案优化等,大奎隧道进行了有效的施工监控量测和地质超前预报,涵盖了隧道变形(拱顶下沉和水平收敛)、洞口浅埋段地表沉降、围岩与支护状态和地震波地质素描等,因此共布设了 100 余处重点断面、200 多个测点和近 600 处掌子面地质描述。

2.2 大奎隧道智能监测及安全评价

为了集成化管理工程资料、信息化监控隧道施工和智能化评判安全状态,将本系统应用于炎汝高速公路大奎隧道,达到了高效综合管理工程信息、地质资料和监测方案等,能够对隧道变形、位移及地面沉降进行全过程实时动态管理和分析,而且实现了隧道建设的智能化预测预警及预报,还提供了二衬支护时机的综合分析及合理化建议。以下则是该系统在大奎隧道建设与管理中的应用实践。

2.2.1 工程信息管理

针对隧道工程信息数据的特征,本系统将其分为文本型、数值型、图像型和音频视频型进行实时动态集成化管理,同时采用了树形结构和下拉菜单方式对工程信息进行分类型分层次的管理,包括了添加、修改、删除和查询等功能。

将本系统应用于大奎隧道的建设和管理中,分别从工程项目、隧道信息、仪器设备和断面测点方面进行信息数据的录入和整编,而且根据相关隧道规范标准确立并完善了地质描述项目及其内容,可为隧道安全施工提供及时可靠的第一手地质资料;另外监测内容包括了必测项目、选测项目和用户自定义,可用鼠标在左侧列表选取拟监测项目,然后在右侧绘图区中点击完成添加测点的部位,从而实现了监测项目文本、数值和图像信息的同步一体化管理,相关应用成果见图 2~图 5。



图 2 工程项目信息管理示例



图 3 隧道工程信息管理示例



图 4 隧道地质素描示例

2.2.2 监测数据管理

鉴于监测成果需由实测记录二次转换所带来的信息管理滞后问题,本模块根据不同监测项目的特



图 5 隧道监测方案示例

点针对性地编制了实测原始数据转换为监测成果信息的计算程序,同时为了高效地管理海量的监测信息,该模块完成了实时远程的自动计算转换、单独录入、批量整编和查询修改等功能,如图 6 所示。



图 6 监测数据录入查询示例

同时,本模块能够灵活便捷地进行拱顶下沉、周边收敛和地表沉降的时程分析,包括了监测项目累计总量、发展速率和速率变化趋势的实时动态分析,并且提供了多种模型的拟合以准确地掌握复杂监测数据的发展规律,如图 7 所示。

2.2.3 智能预测分析

在对监测项目规律特点充分掌握的基础上,本模块提供了用户自主选择回归分析、成长曲线或神经网络方法进行单模型预测分析,主要步骤为依次选取监测时间段、预测模型种类及预测时间,再点击预测按键即可进行计算分析,最终会在左侧图形中

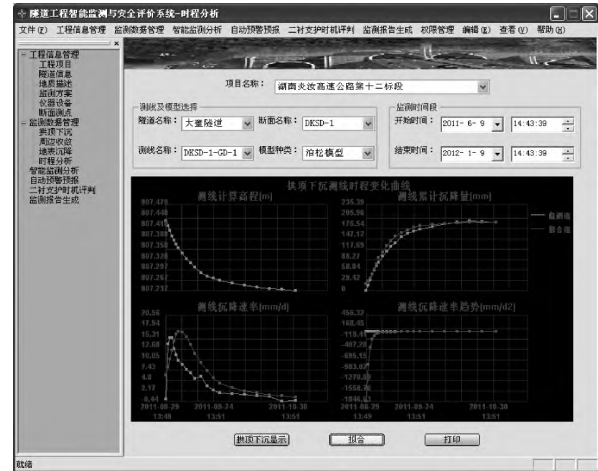


图 7 监测数据时程分析示例

自动地绘制预测曲线,同时也在右侧列表中生成预测结果。通过选取预测参数及效果,能够呈现出已采用方法的计算参数及剩余标准差和相关系数组成的预测精度。另外,当选取智能化预测功能时,本模块会采用所有方法分别进行计算分析,并依据预测效果的评判标准,自动地将最佳效果对应的最优模型及其预测结果列放在右侧列表中的第三项,即是预测模型及结果栏目的第一项,同理排列其余次序,相关应用成果见图 8、图 9。



图 8 智能化预测分析示例

2.2.4 自动预警预报

根据境内外隧道规范标准,建立了由监测量值、发展速率及速率变化趋势共同组成的隧道施工安全标准,因此,本模块推荐了一般工况的默认值,同时也提供用户根据工程特点自主选取相应的控制标准。在预警预报工作开展之前,先依据现有监测成果对未来一段时间内隧道状态进行合理地预测,然



图 9 预测效果及精度示例

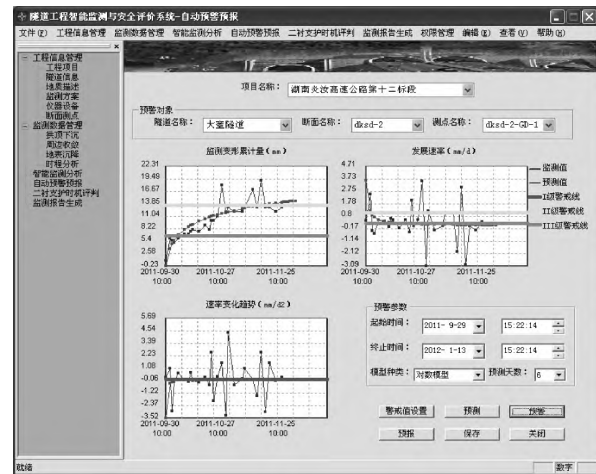


图 11 隧道监测信息预警示例

后选取预警控件分别从上述 3 个方面进行预警和综合评判,并按照安全等级由低到高顺序标识出红色、黄色和绿色,若隧道某断面某时间已达到甚至超过红色严重危险等级,本系统会自动激活并发射相应的报警铃声。最后,本模块采用文本和数值形式自动化地提供了警戒时间和警戒量值的分析结果以及应采取技术措施的建议,其应用成果见图 10~图 12。

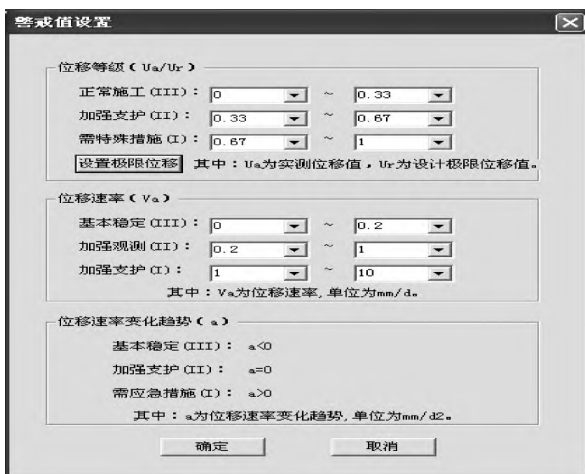


图 10 警戒值设置示例

2.2.5 二衬支护时机评判

通过计算分析拱顶下沉和周边位移的监测量值及发展速率以综合评判隧道二次衬砌的支护时机^[15,16],本模块推荐了一般工况的默认值,同时也提供用户根据工程特点自主选取相应的控制标准。首先设置计算参数以进行拱顶下沉和周边位移的预测分析,然后选取时机计算控件,本模块将依据时机评判准则进行实时动态的综合分析评判,并在结果



图 12 自动化预报及建议示例

表框中显示出隧道二衬支护时机的计算结果。同时,在左侧图形横轴和纵轴中采用绿色线条分别绘制出满足评判标准的支护时间点及相应量值,见图 13。



图 13 二衬支护时机评判及建议示例

2.2.6 监测报告生成

本系统成功地应用于大奎隧道的建设和管理中,将工程信息、监测成果、预测预警和二衬支护时机集合为统一整体,本模块实现了多类型多角度信息化集成的监测分析报告,并能够根据工程管理的不同需要,快速自动化地生成周报、月报和年报等多种工作报告,包括单独模块的部分结果和完整系统的全面成果,同时也可完成远程无线联机打印和文档储存管理,如图 14 所示。



图 14 监测报告自动生成示例

3 结语

鉴于隧道工程建设中的海量信息、管理效率低和软件针对性不强等问题,在准确分析隧道施工特性和深入研究智能预测预警方法的基础上,采用计算机、网络和可视化等技术,研究提出了隧道工程智能监测与安全评价体系和计算分析方法,并成功地应用于工程实践。

(1)率先信息化集成工程资料、地质条件和监测方案形成了较完善的综合管理系统平台,能够对监测工作进行实时远程管理,包括原始数据的处理转换、单独及批量导入和查询修改,并可对隧道变形、位移及地面沉降等项目进行全过程实时分析,从而实现了多阶段多类型工程信息的动态信息化集成管理。

(2)鉴于隧道工程建设具有的不确定性、模糊性和随机性等特点,在定量计算和定性分析相结合的基础上,依据预测效果评判标准,提出并建立了智能化预测方法及模型,能够合理地选取最优模型进行最佳效果的隧道监测信息预测分析。同时,系统集成监测量值、变化速率及其发展趋势对隧道结构

进行全过程实时预警及预报,并基于拱顶下沉和周边位移的监测量值及发展速率进行二衬支护时机的动态分析和综合评判,从而提供了全面可靠的预警预报结果和支护时机建议。为满足隧道建设管理的不同需要,本系统能够灵活便捷地自动生成多类型多角度的监测分析报告,并可完成远程无线联机打印和文档储存管理。

(3)本系统能够实现海量数据的集成化管理、监控信息的智能化预测、施工风险的信息化预警预报、二衬支护时机的系统化评判和工作报告的人性化生成功能,从而显著提高了隧道施工安全和建设质量,并切实加强了动态设计和实时优化,也为高效精细化管理提供了可靠的理论依据和技术支撑。

参考文献:

- [1] 张强勇,陈晓鹏,刘大文,等. 岩土工程监测信息管理与数据分析网络系统开发及应用[J]. 岩土力学,2009,30(2):362—373.
- [2] 叶英,穆千祥,张成平,等. 隧道施工多元信息预警与安全管理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(5):900—907.
- [3] BULLETIN. Automated dam monitoring system guidelines and case histories[M]. Paris: ICOLD Publications,2000.
- [4] 梁桂兰,徐卫亚,何育智,等. 边坡工程监测信息可视化分析系统研发及应用[J]. 岩土力学,2008,29(3):849—853.
- [5] 吴中如,顾冲时. 大坝安全综合评价专家系统[M]. 北京:科学技术出版社,1997.
- [6] 李元海,朱合华. 岩土工程施工监测信息系统初探[J]. 岩土力学,2002,23(1):103—106.
- [7] 李天斌,王兰生,李永林,等. 隧道围岩稳定性信息化监测、预测与决策系统[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(1):2405—2408.
- [8] 周健. 基于 GPS/GIS/GSM 的公路隧道运营管理系统研究[J]. 中国公路学报,2004,17(3):112—1116.
- [9] 周文波,胡珉. 盾构隧道信息化施工智能管理系统设计及应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(2):5122—5127.
- [10] 谭浩强. C++ 程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [11] 陈志泊,王春玲. 数据库原理及应用教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [12] 张顶立,黄俊. 地铁隧道施工拱顶下沉值的分析与预测[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(10):1703—1707.

- [13] 重庆交通科研设计院. JTD D70—2004 公路隧道设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [14] 铁道第二勘察设计院. TB 10003—2005 铁路隧道设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [15] 中交第一公路工程局有限公司. JTG F60—2009 公路隧道施工技术规范[S]. 北京:人民交通出版社,2009.
- [16] 中铁二局集团有限公司. TB 10204—2002 铁路隧道施工规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2002.

Tunneling Project Monitoring and Safety Evaluation based on Informatization Construction and Intelligent Management

HUANG Min

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: Aiming at the low management efficiency of massive information, inaccurate analysis of monitoring data, and untimely early warning and forecast of structural safety in tunnel projects construction, based on the idea of informatized construction and intelligent management methods, an intelligent monitoring and safety evaluation system for tunnel projects that is robust, reliable and versatile is developed by incorporating the computer, network and visualization technology. Through application in project practice, this system can realize integrated management of massive data, intelligent prediction of monitoring information, informationized early warning and prediction of construction risks, systematic evaluation of secondary lining support timing, and humanized generation of work reports, thus significantly improve the safety and construction quality of tunnel construction, and effectively strengthen dynamic design and real-time optimization, which also provides a reliable theoretical basis and technical support for efficient and refined management.

Key words: tunnel engineering; intelligent monitoring; early-warning and forecast; time for secondary lining ; safety evaluation; information system