

# 地铁施工安全仪表盘技术研究与应用

丁烈云, 周 迎, 陈丽娟

(华中科技大学土木工程与力学学院工程管理研究所, 武汉 430074)

**[摘要]** 地铁施工安全受工程地质条件、当前施工进度、周边环境等多因素综合影响。通过构建可视化仪表盘, 基于地铁工程三维实体模型, 动态显示在上述各影响因素耦合作用下工程的安全状态, 支持作业风险和危险构件及其影响区域实时预警和控制, 准确识别工程的最危险部位、风险区域分布、等级状态等, 为现场安全管理提供决策支持。

**[关键词]** 地铁; 施工安全; 仪表盘

**[中图分类号]** TH85 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2011)08-0067-06

## 1 前言

我国城市轨道交通尤其是地铁建设正面临史无前例的高潮。“十一五”期间, 已修建完成 1 000 多公里, 计划“十二五”期间还要修建 2 000 多公里, 总投资规划达 11 568 亿元。但由于地铁工程建设难度大、风险高, 加上安全管理控制不力, 造成地铁工程建设事故频发。

传统的安全管理系统多以生成大量的报表形式为项目管理者提供决策支持。然而这些报表之间信息关联性差, 难以从中获得全面和有价值的信息, 也不能够实时监控工程安全状态的重要指标。为解决这一问题, 有学者将虚拟现实技术引入大型工程项目安全管理<sup>[1,2]</sup>, 通过模拟施工建造的过程, 识别施工方案中可能存在风险的关键工序<sup>[3]</sup>。但这种方法一般仅能用于施工前期的预控, 无法对施工过程进行控制。也有学者提出将 4D 技术引入到施工期安全分析中, 实现随着进度不断推进, 计算结构随时间变化内力受力分布情况<sup>[4]</sup>, 但只从力学角度分析了结构体的受力分布情况, 并没有结合周边环境、监测数据以及施工工序风险评估给予施工安全等级划分。另一方面, 目前在安全管理的决策过程中, 多依靠现场工程师的经验等主观因素, 缺乏有效的控制

技术和手段。特别是对于地下工程风险评价研究, 一般采用的是对大量已有数据进行分析的方法<sup>[5-7]</sup>, 分析工具复杂, 无法直接用于指导现场工程师的安全控制, 也无法直观地显示工程结构体和周边环境的安全状况及现场风险的分布情况。

仪表盘是一种基于三维模型和性能分析模型的可视化监控工具, 它的创意来源于飞机驾驶舱<sup>[8]</sup>。用户可通过读数仪表盘的信息, 监控当前工程的执行状况。文章针对地铁施工安全管理的决策需求, 集成施工过程中影响安全状态的各种信息, 如监测数据状态、施工进度、施工作业风险等, 通过耦合分析将安全状态以红橙黄绿 4 个等级直接反馈在地铁施工现场的三维模型上, 通过可视化界面准确反馈各施工部位的安全等级, 直观显示风险区域分布情况等, 为地铁安全管理提供决策支持。

## 2 地铁施工安全仪表盘设计

### 2.1 仪表盘架构分析

仪表盘以现场的工程数据和施工过程安全风险演化规律为基础, 通过耦合分析模型和计算机联机分析处理, 将结果以三维可视化方式呈现于用户。由于仪表盘构建于安全管理业务流程的基础上, 因此安全仪表盘也是一个为管理者提供决策支持的平

**[收稿日期]** 2011-06-05

**[作者简介]** 丁烈云(1955—), 男, 湖北洪湖市人, 华中科技大学教授, 研究方向为工程管理信息化; E-mail: dingly\_wuhan@yahoo.com.cn

台。

仪表盘分为3个主要部分,包括仪表盘的前端显示、数据分析引擎和底层数据库。其中前端显示部分为不同角色的用户提供不同视角的仪表盘信息。例如,监测单位用户重点关注监测点的安全状

态,而施工单位还需关注当前存在风险的施工部位,业主则还需要关注周边环境和构筑物的危险等级。数据分析引擎则为仪表盘的显示提供信息支持,通过判断用户的角色和权限,调用不同的仪表盘视图。安全仪表盘的整体架构如图1所示。

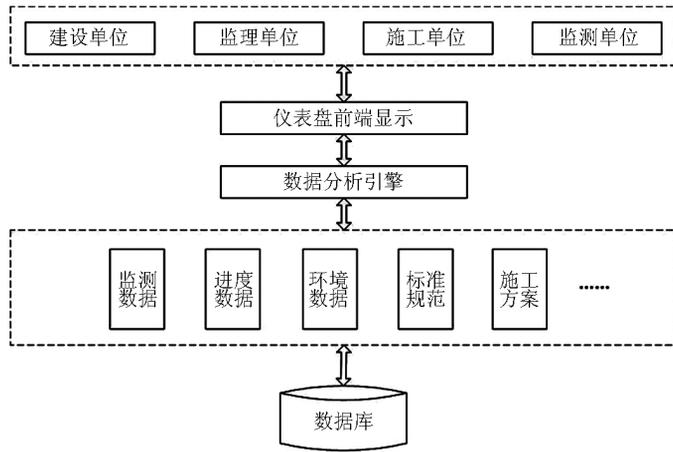


图1 地铁施工安全仪表盘架构

Fig.1 Framework of safety management dashboard for metro construction

项目各参建主体通过仪表盘获取当前的安全状态信息。数据分析引擎通过解析用户的管理需求和权限,自动生成个性化的仪表盘视图。数据分析引擎建立了用户请求与仪表盘视图的对应关系,同时也建立了仪表盘视图和耦合分析模型的关系。仪表盘对用户的响应是执行一个数据解析的流程。在解析流程中,定义了各种不同数据源之间的信息交换协议、仪表盘视图与耦合模型之间传递的参数。

仪表盘的信息来源于工程现场产生的一系列数据。通过采集监测数据、进度数据以及现场环境等信息,基于交换协议,集成各类信息,形成数据集市。用户则通过数据分析引擎,获取仪表盘信息。

## 2.2 仪表盘功能及视图设计

文章构建的地铁施工安全仪表盘是基于工程三维模型而建立的。用户可通过访问三维模型,获取工程的相关信息,如周边的环境、地下管线的分布情况以及施工地段的岩土地质信息。

三维模型的建立为地铁安全管理提供了可视化

界面,场景显示清晰直观。根据设计图纸建立面向安全的三维综合模型,包括了建筑、结构、管线等实体信息,并集成安全属性,如土质分层、监测点类型、构件材质、地下管线类型等信息。因此,仪表盘中的三维模型不仅具有设计参数、空间参数还具有工艺参数和时间参数等信息,将零散的二维图纸还原成三维模型,结合施工计划,产生空间和时间的关联,使仪表盘能够灵活全面地表现工程的状态。通过将警情信息直接发布在仪表盘上,及时反馈报警部位及危险程度,管理者可根据系统提供的施工进度信息、危险程度及影响范围等信息采取相应措施。

仪表盘的功能如表1所示。通过对地铁施工过程的模拟和进度跟踪,实时采集监测点的状态,结合标准规范,自动判断监测点的危险等级,如图2所示。同时在三维模型中定位其影响的结构构件、周边构筑物 and 地下管线,如图3所示。结合施工过程风险演化规律,动态显示施工现场各区域的安全风险等级,如图4所示。

表 1 地铁施工安全仪表盘功能表

Table 1 Function of safety management dashboard for metro construction

综合信息查询		进度可视化		安全状态可视化				
基坑周边环境介绍	基坑土质情况	监测点信息	方案预演	危险行为探测	监测点状态	构件安全状态	形象进度安全状态	安全区域划分
提供施工工点周边环境、地下管线、重要机械设备的综合查询	提供施工工点的岩土地质信息和特性查询	提供监测点类型、位置信息,实时监测值查询,监测点安全等级显示	通过获取最新的进度计划,对施工方案进行预演	根据预演的施工方案,结合工程施工标准和规范,自动检测当前施工方案可能存在的风险	在施工过程中对各监测点的状态进行跟踪,根据实测数据分析监测点安全状态,划分为红橙黄绿 4 种安全等级	根据构件监测点的安全状态,定位到对应的构件,以红橙黄绿 4 种颜色反映构件的安全等级及其影响范围	根据监测点的安全状态,结合构件的安全状态综合判断周边构筑物和环境的安安全等级	根据当前监测数据及监测点、监控单元的安全等级,结合地铁施工过程风险演化规律,自动计算当前条件下的安全风险分布的情况,包括安全区域的风险等级、影响范围及可能产生的后果,并给出不同风险等级下的控制措施

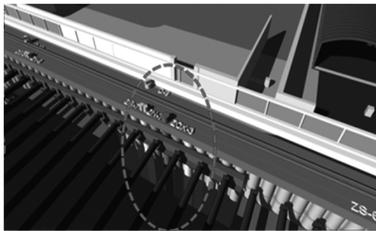


图 2 监测点安全状态仪表盘

Fig. 2 Safety status of monitoring items shown in dashboard

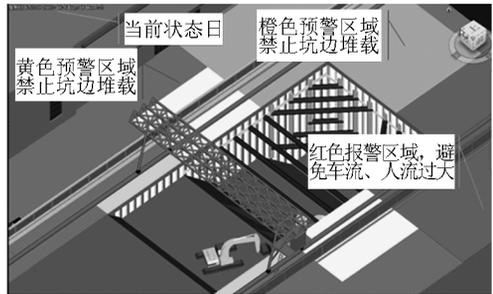


图 4 地铁施工安全决策仪表盘

Fig. 4 Dashboard for decision making in metro construction safety management

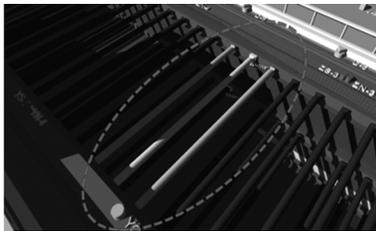


图 3 结构构件安全状态仪表盘

Fig. 3 Safety status of structural elements shown in dashboard

测点的安全。其中,监控单元指的是工程结构体的某一个构件(如地连墙、围护桩等)或者是周边构筑物和环境的某一个实体单元(如地下管线或临近建筑物等)。监测点的状态影响到监控单元的安全,而监控单元的安全又会影响到工点的安全。因此,在建模过程中不仅需要对各个控制单元进行实体建模,还需要对各控制单元之间的关联规则进行建模。

对于实体模型,与安全相关的参数包括:空间参数、时间参数、设计参数、工艺参数(任务关系)、监测参数、力学参数、相关联的其他实体、其他安全风险参数。

在构建了 3 个层次的实体模型之后,需要对不同层次之间有关联关系的实体进行关系建模。例如,在盾构法深基坑施工过程中,监控单元的安全状态与对应的监测项目之间的关系如表 2 所示。

### 3 地铁施工安全仪表盘的实现

#### 3.1 建模技术

地铁施工安全仪表盘是基于三维模型而构建的,因此对工程进行建模是实现仪表盘的核心技术。地铁施工过程中的安全控制单元包括 3 个层次,从上至下分别为工点的安全、监控单元的安全以及监

表 2 深基坑工程监控单元与监测点之间的关系

Table 2 The relationship between controlling elements and monitoring items in foundation pit construction

单元类型	施工工法	控制单元	预警单元	监测项目			
结构体	盾构法	管片衬砌	环	地表沉降	管片衬砌变形	管片内力	管片衬砌和地层间接接触应力
周边环境	建(构)筑物		幢	建(构)筑物变形			
	地下管线		节	管线沉降			

对于这种实体与实体之间的关系,可以通过构建规则库来进行存储。例如,当某钢支撑所对应的监测点 ZL1-10083 的测出轴力大于预警值时,则不仅监测点的状态会变成红色,其对应的钢支撑也会变成红色。

### 3.2 数据流向规划

根据对国内相关地铁集团的安全管理模式分

析,构建了系统的信息传递机制,主要包括上行和下行两条不同的数据流程。其中上行数据流程主要是将地铁工程现场的各种信息采集传输到系统,系统将采集到的信息进行分析处理后,通过仪表盘显示给用户。根据用户的不同权限,调用不同的仪表盘视图,具体如图 5 所示。

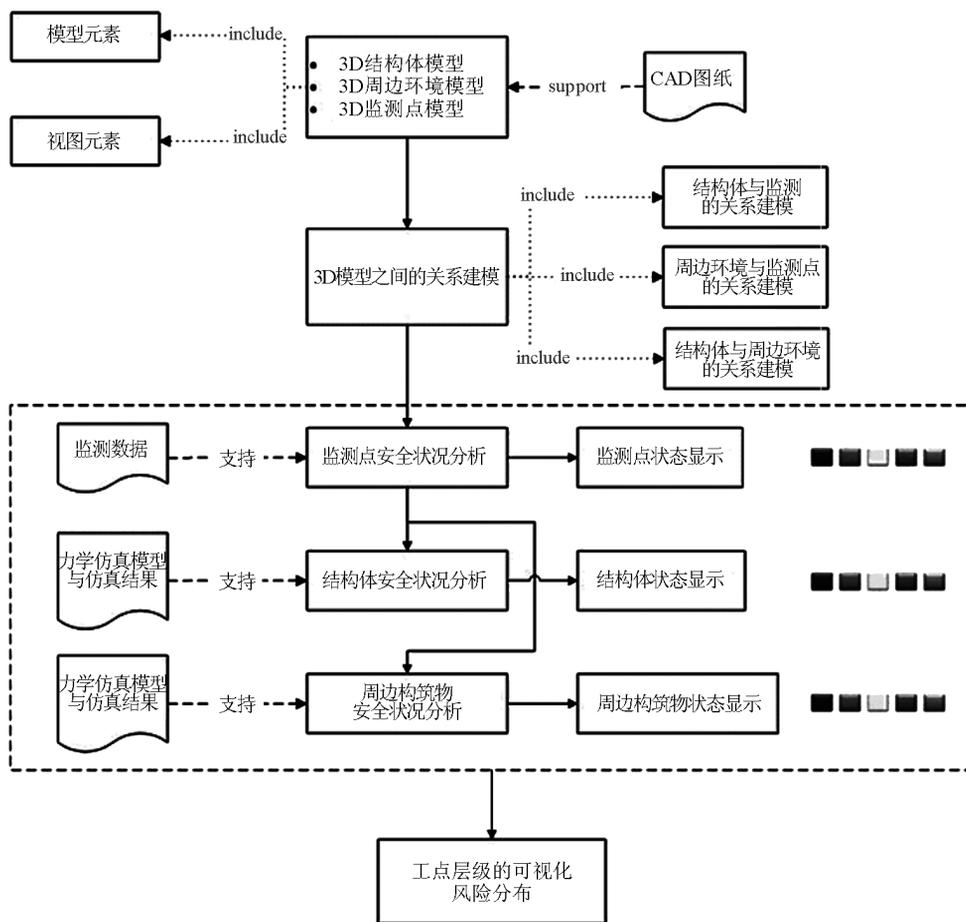


图 5 地铁安全仪表盘的数据流向规划

Fig. 5 Scheme of data flow in metro construction dashboard for safety management



- [2] 张利,张希黔,石毅. 虚拟施工技术应用实践和研究开发展望[J]. 工业建筑,2003(11):49-51,75.
- [3] Sang Uk Han, Feniosky Peña - Mora, Mani Golparvar - Fard, et al. Application of a visualization technique for safety management [C]//Proceedings of the 2009 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, 2009: 544 - 551.
- [4] Hu Zhenzhong, Zhang Jianping, Deng Ziyin. Construction process simulation and safety analysis based on building information model and 4D technology [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13( z1 ):266 - 272.
- [5] Gregory Carter, Simon D Smith. Safety hazard identification on construction projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management,2006,132:197 - 205.
- [6] Clark GT, Borst A. Addressing risk in seattle' s underground [J]. PB Network, 2002(1):34 - 37.
- [7] Sturk R, Olsson L, Uohansson U. Risk and decision analysis for large underground projects, as applied to the stockholm ring road tunnels [J]. Tunneling and Underground Space Technology, 1996,11(2):157 - 164.
- [8] Song K, Pollalis S, Peña - Mora F. Project dashboard: concurrent visual representation method of project metrics on 3D building models[C]// Proc Int Conf on Computing in Civil Engineering, ASCE, 1 - 10. 2005.

## Research and application of safety management dashboard for metro construction

Ding Lieyun, Zhou Ying, Chen Lijuan

(Research Institute of Construction Management, School of Civil Engineering & Mechanics,  
Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

[**Abstract**] Metro construction safety is affected by many factors, such as engineering geology condition, nearby buildings and engineering design plan, etc. This paper proposes a dashboard tool based on 3D models to control the safety of metro construction. Risk activities and current safety status of the construction can be identified and shown via this dashboard. It can help project managers to figure out the safety status of the construction and risk activities intuitively and timely which improves safety management in metro construction.

[**Key words**] metro construction; safety management; dashboard