

文章编号:1006-2106(2015)07-0106-05

地铁建设安全环保虚拟动态优化控制技术研究^{*}

段晓晨^{**} 张新宁 杜慧慧 张增强

(石家庄铁道大学, 石家庄 050043)

摘要:研究目的:以北京地铁 6 号线某地铁车站项目建设为研究对象,针对明挖段施工、暗挖段施工、盖挖段施工、衬砌等多工种、多专业工程,协同、交叉、平行、立体作业多、干扰大等不利因素,在深入分析以往地铁施工安全与环保管理相关数据资料基础上,针对现实存在问题,将先进的虚拟现实技术和显著性理论、安全与环保动态优化管理技术等方法集成应用于地铁车站土建施工安全和环保管理中,建立科学先进的地铁工程建设安全环保虚拟集成动态优化控制技术系统,开发相应的虚拟动态优化管理软件系统,对地铁建设项目施工全过程安全环保问题进行计算机三维立体可视化虚拟动态优化控制。

研究结论:(1)虚拟现实技术和全面动态优化管理理论的集成应用,可对地铁施工的安全和环保工作进行可视化优化控制,实现安全环保管理从“看不见”到“看得见”;(2)CS 显著性理论、安全环保因素分析等方法的采用可减少确定安全环保重点控制工序的工作量,能够使管理者将日常管理重心放在重点控制工序上,避免盲目管理现象;(3)动态安全环保问题库、原因对策库的建立可使管理者能够对地铁施工安全环保问题进行适时决策;(4)该研究成果适用于土木工程建设管理研究和应用领域。

关键词:虚拟动态管理;安全管理;环保管理;地铁施工管理

中图分类号:U215.1 文献标识码:A

Research on the Virtual Dynamic Optimization Controlling Technology of Subway Construction Safety and Environmental Protection

DUAN Xiao - chen, ZHANG Xin - ning, DU Hui - hui, ZHANG Zeng - qiang

(Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang, Hebei 050043, China)

Abstract: Research purposes: This paper takes a subway station construction project in Beijing subway line six as the research object. There are many collaborative, cross, parallel, multi - dimensional operations interference and negative factors in the construction of the open - cut segments, undercutting segment, cover dig segment, lining and many other multi - work and multi - disciplinary engineering. Based on the basis data in - depth analyzed of subway construction safety and environmental management - related data and the real problems, advanced virtual reality technology, significant theory, safety and environmental dynamic optimization management techniques and other methods are integrally applied to safety and environmental management in the civil construction of subway station, and scientific and advanced virtual integrate dynamic optimization system is established for safety and environmental control technology in subway construction, and corresponding software system used on the virtual dynamic optimization management is developed. Then computer virtual three - dimensional visualization of dynamic optimal controlling is executed in the whole process of subway construction project safety and environmental issues.

^{*} 收稿日期:2015-05-27

基金项目:教育部人文社会科学规划基金项目(11YJAZH121);河北省软科学研究基地项目(12457206D-14);河北省软科学研究计划项目(154576142D);河北省高层次人才资助项目

^{**} 作者简介:段晓晨,1962 年出生,男,教授。

Research conclusions: (1) Virtual reality technology and dynamic optimization of management theory is integrally applied for the first time. Virtualization technology is used to show a three - dimensional, real and dynamic process of metro construction management, and the full dynamic optimization methods for safety and environmental management is applied for dynamic visualization of optimal control, which is the basis for managers timely decision support and decision - making and achieves safety and environmental management from the "invisible" to "visible". (2) The significance of FS theory and safety and environmental factors analysis is used to define the key control process of the safety and environmental protection, which not only reduces the computational workload and allows managers to focus on key control procedures of daily management and avoid the phenomenon of micromanaging and blind management. (3) With the establishment of issues library and cause and countermeasure library for a dynamic safety and environmental protection of the construction, managers can timely make decisions in dynamic management process based on above. (4) The research results of this paper are applied in the civil engineering construction management.

Key words: virtual dynamic management; security management; environmental management; subway construction management

1 研究背景

为了缓解空间容量不足、交通拥挤的状况,目前国内许多城市正在大规模投资兴建地铁工程^[1]。地铁工程大都位于城市热闹繁华的中心地带,地上、地下环境复杂,工程和水文地质条件复杂多变,施工技术难度大,作业面多,施工过程中安全隐患大、安全风险多^[2]。这种风险除体现在地铁工程本身之外,还体现在地铁施工时对周边环境和周边建筑物的影响上^[3]。所以我国的地铁建设在迅速发展的同时,出现了各类安全事故频频发生的严峻现实^[4]。环保方面,地铁工程施工对水文地质、周边建筑、地下管线和居民生活影响很大^[5];另外,在施工过程中还会造成废水污染、噪声污染、废气污染、固体废弃物污染、扬尘遗洒等一系列环保问题^[6]。因此加强地铁建设安全环保控制研究,对于提高地铁建设项目施工经济和社会效益具有重要现实和理论研究价值。本论文运用虚拟现实技术、显著性理论、安全与环保动态优化管理技术等方法,建立了科学先进的地铁工程建设安全环保虚拟集成动态优化控制技术系统,为提升地铁工程施工管理效率和水平提供决策支持和依据。

2 安全环保虚拟集成动态优化控制技术

安全环保虚拟集成动态优化控制技术是指将虚拟现实技术和全面动态优化管理理论集成应用,运用虚拟技术对地铁工程施工方案进行多方案、虚拟三维优化和比选,并三维真实动态展现地铁车站土建工程施工动态管理过程,运用 FC 显著性因素、ABC 因素分析等方法确定安全环保重点控制工序,应用全面安全环保管理、问题原因对策动态决策库、统计法和评分法、

PDCA 循环等全面动态优化管理方法对安全环保进行动态可视化优化控制,统计分析和可视化监控已完工程控制状态,及时可视化预警未完工程存在问题和预控措施,为管理者适时决策提供决策支持和依据。

2.1 施工前建立虚拟静态优化管理系统

首先,以安全环保控制最优化为目标,运用 VR 虚拟技术对施工方案、施工程序、施工工艺进行多方案、多目标虚拟可视化优化,选择最优施工方案。

其次,根据最优方案,运用 FS(Factor - significant) 显著性因素、ABC 因素分析等方法,确定安全环保重点控制工序、分目标和总控制目标体系。

最后,归纳总结以往地铁施工安全环保经验、问题、原因和对策,确定安全环保统计评分法评分标准和规范,建立相应评分标准和经验问题原因对策动态决策库系统。

2.2 施工中建立虚拟动态优化管理系统

第一,建立“五控”一张表和动态施工过程安全环保动态统计分析系统。首先结合各重点控制工序的施工特点确定循环控制周期;其次运用统计法和评分法及时动态统计每个循环控制周期(已完工程)实际安全、环保状态,并与目标比较,将结果显示于“五控”一张表上。

第二,运用虚拟技术,将每个循环控制周期已完工程进度、“五控”一张表动态直观显示于计算机虚拟图上。

第三,根据每个循环控制周期安全环保完成状态,如达到目标,则应总结经验,如达不到目标,则计算机系统会发出红色预警,由施工现场人员根据安全环保问题原因对策库,运用鱼骨分析、戴尔非法、头脑风暴法等,进行原因和对策分析,对下个循环控制周期工程

预控措施进行决策。

第四,在下个循环控制周期中,实施以上预控措施,不断 PDCA 循环优化目标和方案,使施工管理始终处于安全环保优化状态,将安全环保隐患消灭在萌芽状态。

3 案例分析

北京地铁 6 号线某车站土建施工主要包括土建施工(包括建筑、结构设计图纸所示的全部内容,含主体结构、二次结构、地面建筑等)、装修工程、安装工程、降水工程、专项工作、站前广场和所有与本合同段工程施工有关的协调配合工作。由于施工难度大,对交通影响大,交通导改困难,需改迁和保护的管线繁多,该车站是换乘车站,东、西两端为明挖法施工,中间与 14 号线换乘段及 14 号线车站为 PBA(Pile-Beam-Arc 柱梁拱)工法施工,土方运输量大,施工场地狭小,施工工序复杂,施工安全环保管理风险大,人工、材料、机械设备流动性较大,施工管理难度高。为此,建立安全环保虚拟动态优化控制系统如下:

3.1 施工前虚拟静态优化管理系统的建立

3.1.1 运用 VR 虚拟技术选择最优施工方案

北京地铁 6 号线某车站主体结构工程施工分解为围挡和交通导改施工、管线改移、主体结构施工三大部分,工序复杂,安全环保隐患多、风险大,因此必须对施工方案的安全、环保、工期、质量、成本进行多目标、多方案优化和比选,为此建立地铁施工方案虚拟可视化软件系统,现场施工人员可通过人机交互方式对地铁施工工艺方案进行多方案多目标比选和择优。如主体结构施工方案优化过程如图 1、图 2 所示(截图)。通过虚拟可视化比选,确定主体结构最优施工方案为:先东、西两段明挖,再中段 PBA 暗挖,先围护后主体,明挖结构施工从下到上顺作,开挖主体结构采取“竖向分层,纵向分段”,考虑土方外运,并确保为中间暗挖段尽快提供工作面,西段明挖段从东向西施工,东段明挖段从两段向中部施工,中间暗挖在两端明挖段提供施工条件后从东西两侧同时施工。施工总体安排是先主体(车站)后附属(风道、出入口);施工时间安排上是先围护,后开挖支撑,然后结构施工;类别上是先土建后安装及装修。

3.1.2 确定安全环保重点控制工序与控制目标

首先,将主体结构施工最优方案分解为 70 个具体施工工序。

其次,对以往地铁施工每个工序所发生的安全环保问题和事故频数进行统计,运用显著性因素方法

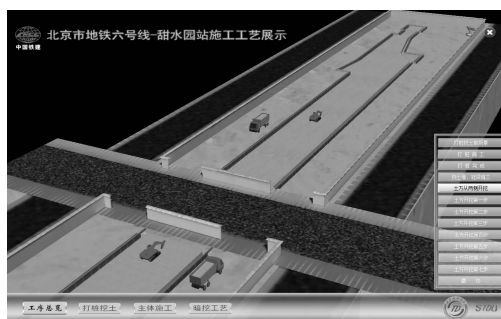


图 1 地面开挖施工工艺虚拟演示

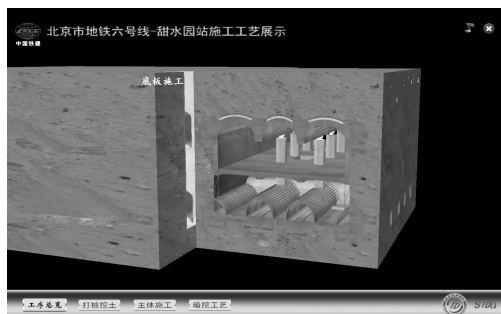


图 2 暗挖施工工艺虚拟演示

(是指 20%~30% 的因素影响作用约占了总因素影响的 70%~80%,为此把这些因素称为显著性因素)、ABC 因素分析等方法,计算出显著性因素和主要因素,确定安全、环保重点控制工序如下:南半幅围护桩施工,北半幅西侧围护桩施工,北半幅东侧围护桩施工,第 10 段土方开挖,第 8 段土方开挖,第 8 段底板施工,第 8 段站台层边墙施工,第 8 段中板施工,第 8 段站厅层施工,第 8 段顶板施工,施工用电安全,防火、防汛、防雪安全,土方运输。

最后,建立各重点控制工序的安全环保分目标和总体控制目标体系。

3.1.3 建立安全环保评价数据库系统

针对重点控制工序,根据安全环保统计评分方法,制定安全环保检查评价和评分标准,在对以往地铁施工安全环保历史数据资料分析基础上,将安全与环保问题原因对策实行分类编码标准化管理,建立的相应评分标准、问题原因对策库。建立的相应基础数据库体系包括公共数据库、工期和成本数据库、质量数据库、安全数据库、环保与文明施工数据库以及应急预案数据库,为施工动态决策提供支持。

3.2 建立地铁施工安全与环保管理软件系统

首先,建立“五控”一张表和动态施工过程安全环保动态统计分析系统。本文以明挖车站土方开挖为例,以一周为一个控制周期进行动态控制,每个控制周

期完成后,运用统计评分评价分析法,按表1、表2进行安全和环保实际状况动态统计和评价。

表 1 安全动态评价表

工序名称	土方开挖	检查方式	—	检查数量	—	检查者	—	检查日期	—
检查项目		统计法计分法							
序号	名称	频数	检查次数		占比	满分		实际得分	
1	4-1-9 安全管理	0	7		0	10		10	
2	4-1-1 文明施工	0	7		0	10		10	
3	4-7-3 影响地下交通线	7	7		7/7	10		0	
...	
小计		9	—		—	100		70	
实际完成总体评价		合格							

注:本表为示意表,具体内容和管理软件生成。下同。

表 2 环保动态评价表

工序名称	土方开挖	检查方式	—	检查数量	—	检查者	—	检查日期	—
检查项目		统计法计分法							
序号	名称	频数	检查次数		占比	满分		实际得分	
1	5-9-1 现场围挡	0	7		0	10		10	
2	5-9-2 封闭管理	0	7		0	10		10	
3	5-1-1 噪声超过标准限值	7	7		7/7	10		0	
...	
小计		21	—		—	100		70	
实际完成总体评价		合格							

接着,将表1、表2结果与该工序安全环保分目标比较,通过计算机系统自动显示于“五控”一张表上,如表3所示。

表3 “五控”一张表

施工班组:土方工程施工队

时间:2011.4.5 ~ 2011.4.15

填表人：

工作描述	工序名称	第 10 段土方开挖	是否关键工序	否	是否显著工序	是
	工序内容	挖方、土方外运、喷锚、支撑等				
	地点	甜水园站东侧				
	主要材料组成	水泥(不低于 42.5 普通水泥)、混凝土(C20)、钢筋网片(φ6.5@150)等				
	劳动机械组织	操作人员(69 人)、挖掘机(CAT320,9 台)、龙门吊(2×5 t,3 台)等				
	紧前工序	北半幅东侧冠梁施工				
	紧后工序	第 10 段底板施工				
	最早开工时间	2011.4.5	最迟开工时间	2011.4.15	实际开工时间	2011.4.5
计划目标	本期计划 工作量/m³	本期工作计划 成本/元	质量目标	安全目标	环保目标	
	500	23 575	优良	优良	优良	
实际完成	500	24 877	优良	合格	合格	
状态	正常	超支 1 302 元	达到质量目标	未达到安全目标	未达到环保目标	
责任人	—	—	—	—	—	
存在问题	…	…	…	4-2-3 挖土作业时, 有人员进入挖土机作 业半径内	5-1-1 没有严格按照夜 间、白天施工噪声控制标 准控制作业	
未完工作预警	…	…	…	预计达到安全目标	预计达到环保目标	

续表 3 “五控”一张表

施工班组:土方工程施工队		时间:2011.4.5~2011.4.15		填表人:	
原因分析及拟采取预控和应急措施	原因:Ⅰ-4 施工人员责任心差、情绪大; 对策:Ⅰ-4-1 加强施工人员的管理	原因:Ⅲ-6 噪声大的机械在夜间施工; 对策:Ⅲ-6-1 采用低噪声、低振动的施工机械施工,减轻噪声扰民
施工管理情况动态分析	“五控”目标基本数据库、“五控”目标计算及动态优化方法库、问题原因对策库、施工工期造价动态分析表、质量动态分析表、安全动态分析表、环保动态分析表、施工组织机构设置情况表、横道图、网络图				

其次,运用虚拟技术,将每个循环控制周期已完工程进度、“五控”一张表动态直观显示于计算机虚拟图上。

然后,现场施工管理人员及时根据实际安全环保状态,如达不到目标需要实时根据问题原因对策库,找出问题原因,并进行决策,拟定下一循环周期需采取的措施,并填入“五控”一张表中。

最后,在下一循环周期中,执行预控措施,并进行检查落实。运用 PDCA 原理,循环往复地进行以上循环,直至总目标实现。

4 结 论

(1)虚拟现实技术和全面动态优化管理理论的集成应用,可对地铁施工的安全和环保工作进行可视化优化控制,实现安全环保管理从“看不见”到“看得见”。

(2)CS 显著性理论、安全环保因素分析等方法的采用可减少确定安全环保重点控制工序的工作量,能够使管理者将日常管理重心放在重点控制工序上,避免盲目管理现象。

(3)动态安全环保问题库、原因对策库的建立可使管理者能够对地铁施工安全环保问题进行适时决策。

参考文献:

[1] 段晓晨,马变晓,王兆雨,等. 高速铁路域区域生态本底评

价方法研究[J]. 铁道工程学报,2015(1):7-11.
Duan Xiaochen, Ma Bianxiao, Wang Zhaoyu, etc. Research on the Primitive Ecological Conditions Evaluation Method of High-speed Railway Region[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015(1):7-11.
[2] 刘丹. 城市轨道交通工程造价控制分析[J]. 铁道工程学报,2014(6):104-108.
Liu Dan. Analysis of Cost Control of Urban Rail Transportation Construction[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014(6):104-108.
[3] Elba U, Brian W. National Review of Hurricane Evacuation Plans and Policies: a Comparison and Contrast of State Practice[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2003(37):257-275.
[4] Campi, John P. Total Cost Management at Parker Hannifin[J]. Management Accounting, 1989(1):37-46.
[5] Dojerty, Paul. Total Cost Management in the Internet Age[J]. Management Accounting, 2001(4):18-23.
[6] R. Malcolm, W. Horner. New Property of Numbers - the Mean Value and Its Application to Data Simplification [J]. The Papers to the Royal Sociaty, 2004(12):1-12.
[7] Shi Xinyan, Zhangping, Liang Yicong. Preparation and Compatibility of EVM/TPU Blend [J]. Journal of Macromolecular Science, 2007(3):17-24.