

文章编号:1005-0523(2011)04-0047-05

铁路施工组织优化设计系统研究与开发

王树杰,杨新安,张业炜,凌保林

(同济大学城市轨道交通与铁道工程系,上海 200092)

摘要:为解决铁路施工组织设计中方案的比选和优化问题,开发了铁路施工组织优化设计系统;介绍了系统的结构、功能及特点,提出了层次分析法、网络计划优化与实施中的优化调整相结合的铁路施工组织优化设计方法。介绍了利用层次分析法进行施工方案比选优化以及施工组织网络计划优化的具体方法。系统实现了整个优化流程和施工组织设计辅助编制,在实际应用中效果良好,为铁路施工组织设计部门提供了一个科学、高效、实用的优化设计工具。

关键词:铁路;优化设计;施工组织设计;层次分析法;网络图优化

中图分类号:TP311.123

文献标识码:A

铁路建设项目涉及专业多、工序衔接复杂,是一项十分复杂的生产活动^[1]。铁路施工组织设计作为指导施工的纲领性文件,是铁路项目建设管理的重要依据。施工组织设计编制中,方案必须经过比选优化;施工过程中,施工组织方案还应根据实际工况进行优化调整。但在铁路建设项目施工组织设计中,长期以来没有一套比较科学、实用的方法进行方案的比选和优化,阻碍了铁路施工组织设计水平的提高以及对施工工期和投资的有效控制。

近年来,铁路施工组织设计与管理系统的研究与开发已有一定发展。中南大学李昌友、周继祖^[2]建立了用一般层次分析法等决策分析方法进行铁路施工组织设计方案选优的数学模型,研制开发了施工组织设计的辅助决策和设计系统。北京交通大学崔德山和西南交通大学李玉括等^[3-4]分别建立了基于B/S的铁路施工方案管理信息系统,实现铁路施工方案的申报、辅助决策等功能。北京铁路局邯郸车务段吴朝辉^[5]对开发铁路施工组织管理信息系统需实现的功能、系统的基本模块等进行了研究。

本文提出了层次分析法、网络计划优化与实施中的优化调整相结合的铁路施工组织优化设计方法,采用VB程序语言开发了铁路施工组织优化设计系统,实现了整个优化流程,并应用于工程实际。

1 系统结构和功能

系统主要由三个基本功能模块组成,总体功能框架见图1。各功能模块具有相对独立性,同时又紧密联系。

1) 数据管理模块。该模块针对铁路施工涉及的工程和专业,把已有的知识、经验、方法等按专业分类,建立知识数据库,利用关键词进行检索查询,便于编制施工组织设计时随时查阅和调用。

2) 方案比选优化模块。该模块首先利用层次分析法对项目提出的多个方案进行比选,选择最佳方案;之后利用网络图进行计划优化和实施过程中的调整优化,实现铁路施工组织优化设计过程。

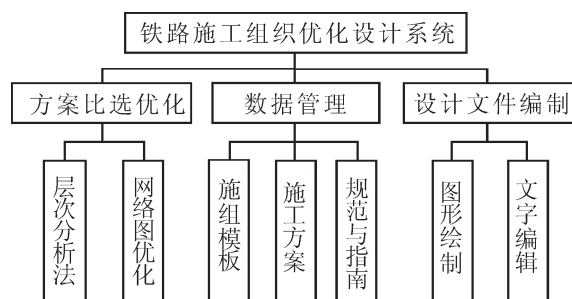


图1 系统总体功能框架图

Fig.1 Frame diagram of general functions of the system

收稿日期:2011-04-06

作者简介:王树杰(1985—),男,硕士研究生,研究方向为道路与铁道工程。

3) 文件编制模块。施工组织设计文件是由文字和图表组成,要求系统应具备较强的图文混排功能。该模块调用Office中的Word作为主编辑器,通过知识数据库管理控件和调用Word内部函数,选择调用相应的施工组织设计模板、施工方案和相应的规范与指南,辅助施工组织设计文件编写。系统实现了对施工组织设计的快速编辑和打印功能。

2 施工组织优化方法

铁路施工要满足质量、安全、工期、投资效益、环境保护和技术创新“六位一体”的要求,其组织设计优化是个典型的多目标优化问题。系统采用层次分析法、网络计划优化与实施中的优化调整相结合的方法对铁路施工组织设计进行优化。首先利用层次分析法针对项目提出的多个方案进行比选,选择最佳方案;之后利用网络图优化对施工方案进行优化;最后在方案实施过程中,利用实际监测结果,对方案进行优化调整。

2.1 施工方案比选优化(层次分析法)

系统采用层次分析法进行施工方案比选优化,方案比选界面见图2。

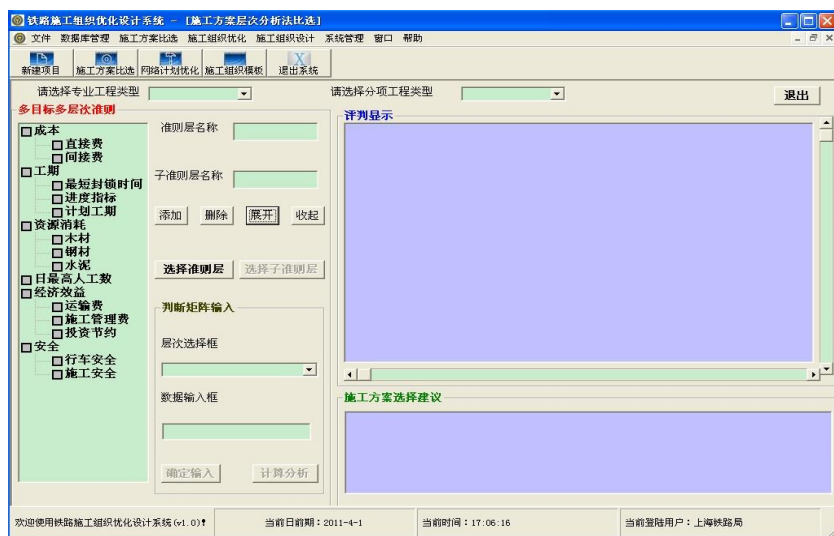


图2 施工方案比选界面

Fig.2 Selecting interface of construction plan

2.1.1 建立影响施工组织方案各因素之间的层次结构

铁路施工组织方案受诸多因素的影响和制约,方案比选时,首先应针对建设项目具体情况和有关要求确定比选的指标^[6],构成方案比选的指标一般可归纳为工期、成本、安全等,而一些指标又可进一步分为若干子因素。图3给出了考虑各影响因素的AHP(层次分析法)层次结构模型。

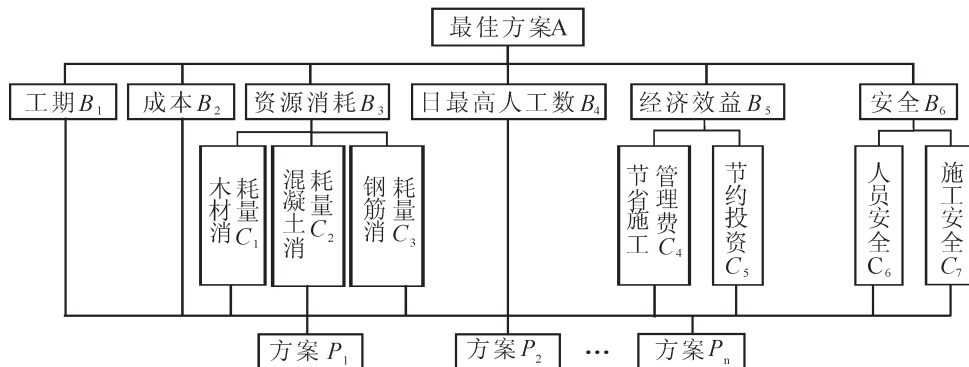


图3 影响施工组织方案各因素 AHP 层次结构模型

Fig.3 APH gradational structure of several factors affecting the construction organization plan

2.1.2 构造判断矩阵

层次结构反映了不同因素之间的关系,但准则层中的各项准则在目标衡量中所占的比重并不一定相同,因此需要构造一个判断矩阵,给出不同层次因素的相对重要程度,也称标度。判断矩阵是以上一层元素作准则将下一层支配元素两两比较所得,见表1。比较的结果用1~9标度法表示。其中1~9标度定义如表2所示^[7]。

表1 判断矩阵模式

Tab.1 Model of the judgment matrix

A	B_1	B_2	$\cdots$	B_m
B_1	b_{11}	b_{12}	$\cdots$	b_{1m}
B_2	b_{21}	b_{22}	$\cdots$	b_{2m}
$\cdots$			$\cdots$	
B_m	b_{m1}	b_{m2}	$\cdots$	b_{mm}

注: b_{ij} 表示对 A 而言, B_i 对 B_j 的相对重要性,用标度表示。

表2 标度的含义

Tab.2 Meaning of the mark

标度	含 义
1	表示两个元素相比,具有同样作用
3	表示两个元素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个元素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个元素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个元素相比,前者比后者极端重要

注:2,4,6,8表示上述相邻判断的中间值。

2.1.3 层次单排序

层次单排序是指根据判断矩阵,计算针对上一层而言,本层次与之有联系的各单元之间重要次序的权重,它是对层次中所有单元针对上一层而言的重要性进行排序的基础,可以归纳为计算判断矩阵特征根和特征向量的问题。

计算矩阵特征值和特征向量的方法很多,一般情况下,可以用近似方法计算 $\lambda_{\max}$ 和 W 。最常用的有和法与根法两种,系统采用和法。其步骤如下:

- 1) 将 A 中元素按列归一化得矩阵 A_0 ;
- 2) 将 A_0 中元素按列相加;
- 3) 所得到的行向量归一化得排序权向量 $W=(W_1, W_2, \cdots, W_n)$;
- 4) 按下列公式计算判断矩阵最大特征根 $\lambda_{\max}$ 。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \tag{1}$$

2.1.4 检验一致性

在构造判断矩阵时,主观判断与实际情况不一定要完全一致,但当它偏离一致性较大时,排序结果就不能反映客观实际,因此需对其一致性进行检验。一致性检验的步骤如下:

- 1) 计算一致性指标 $C.I.$

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

式中: n 为判断矩阵的阶数。

当 $\lambda_{\max} = n$, $C.I. = 0$,为完全一致;当 $\lambda_{\max} > n$,判断矩阵不具有完全一致性,需要引入一致性指标, $C.I.$ 值越大,判断矩阵的一致性越差,一般只要 $C.I. \geq 0.1$ 就认为判断矩阵的一致性可以接受。判断矩阵的维数($n \geq 4$)越大,判断的一致性将越差,故应放宽对高维判断矩阵一致性的要求,于是引入平均随机一致性指标 $R.I.$ 进行修正。

2) 平均随机一致性指标 $R.I.$ 。平均随机一致性指标是多次(500次以上)重复进行随机判断矩阵特征值的计算之后取算数平均数得到的。前人得出的1~15阶重复计算1 000次的平均随机一致性指标如表3。

表3 平均随机一致性指标 $R.I.$

Tab.3 Average random consistency index $R.I.$

矩阵参数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R.I.$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59

3) 计算一致性比例 $C.R.$

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (3)$$

当判断完全一致时, $C.R. = 0$, 一般只要 $C.R. < 0.1$, 就认为这个判断矩阵的一致性可以接受。

2.1.5 层次总排序

利用同一层次中所有层次单排序的结果, 就可计算针对上一层而言, 本层次所有单元重要性的数值, 该数值即为层次总排序。这一步骤是由上而下逐层进行的, 最终计算得到方案层的总排序, 即为方案的优劣排序。

2.2 施工组织网络计划优化

网络计划是一种利用网络图来表示各项工作的先后顺序和相互关系的统筹计划方法, 又是一种有效的生产管理方法^[8], 在铁路建设领域得到了广泛应用。但在应用网络图的过程中特别是网络计划的优化与控制时有大量繁重的计算, 利用人工计算实现较为困难, 这在很大程度上阻碍了网络计划优化的推广。

系统利用 VB 与 Project 联合编程技术, 将 Office 中的 Project 组件作为网络图优化的工具箱, 解决了网络图的自动生成, 并通过利用计算机技术来完成那些大量而繁重的计算, 实现网络图优化。系统建立良好的用户界面, 通过 VB 语言调用 Project 内部函数, 实现系统对 Project 的控制与操作, 更加简化了网络计划与优化过程, 提高了施工管理水平。

1) 工期优化。系统先利用 Project 完成好网络图, 当计算工期不满足要求工期时, 可根据每项工作的最短持续时间及关键线路, 调整关键线路上相关工作的持续时间^[9]。系统计算出网络计划的时间参数、关键线路后, 通过不断调整直到任务的工期满足规定的要求, 便得到满足规定工期优化后的网络计划。

2) 资源优化。网络资源优化一般分为资源有限—工期最短优化和工期规定—资源均衡优化两种。前者要求在物资供应有限制的条件下, 保持预先规定的施工工艺顺序, 寻求工期最短方案。后者要求在满足工期不变的条件下, 通过利用非关键工作的总时差, 调整其工作的最早开始和结束时间, 使资源动态曲线尽可能地均衡。系统中主要通过资源调配中对“仅在有效时差中调配”和“调配操作可在剩余工时中创建分隔”的选择来分别实现网络图资源优化的两种方法。

3) 成本优化。利用网络图进行成本优化首先在于不断地从工作的持续时间和费用的关系中, 找出能使计划工期缩短而又能使直接费用增加额最少的工作, 然后考虑间接费用随着工期缩短而减少的影响, 把不同工期的直接费用和间接费用分别叠加, 即可求出工程成本最低时对应的最优工期和工期指定时对应的最低工程成本^[10]。优化过程始终在网络计划的关键线路上选择费用率最低的工作, 缩短其持续时间, 达到缩短工期的目的。系统能快速地计算出关键线路及关键工作, 并及时计算出项目的总成本, 在缩短关键工作的持续时间时, 可以提示此工作是否变为非关键工作, 最后可快速生成费用最优的网络计划。

4) 施工计划实施中的优化调整。在铁路建设项目实施进度监测过程中, 一旦发现实际进度偏离计划进度, 即出现进度偏差时, 系统可以通过网络图分析产生偏差的原因及其对后续工作和总工期的影响, 必要时采取合理、有效的进度计划调整措施, 确保进度总目标的实现。进度调整的系统过程如图4。

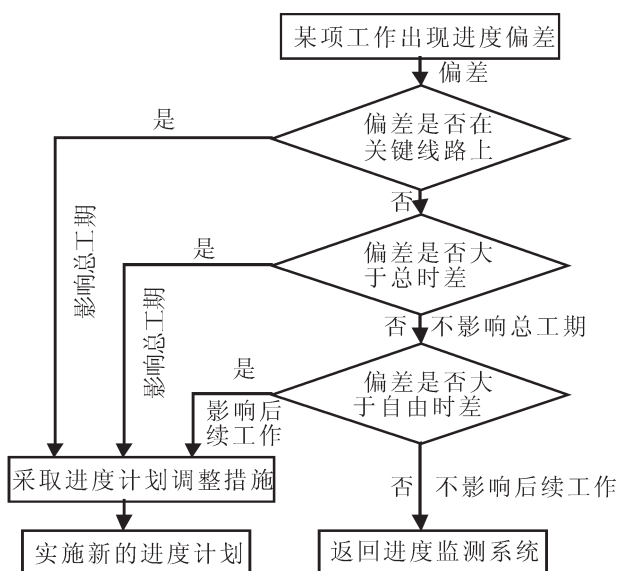


图4 进度调整的系统过程
Fig.4 Systematic process of schedule adjustment

3 系统应用

该系统已作为上海铁路局《铁路建设项目施工组织设计系统优化》项目中的科研成果得到了应用,并作为《铁路营业线实施性施工组织设计指南》(建议稿)的附件得到推广。系统在宁启铁路以及宁安铁路各标段施工组织设计应用中显示,决策优化效果良好,并可以很好地辅助编制,系统功能完善。

4 结语

1) 根据铁路建设项目施工组织的复杂性和动态性开发了铁路施工组织优化设计系统,系统具有辅助决策和优化、辅助编制等功能。

2) 系统采用层次分析法、网络计划优化与实施中的优化调整相结合的优化方法对铁路施工组织设计进行优化。

3) 系统已在部分线路施工建设中得到了应用,并在应用的基础上进行了改进和完善。

参考文献:

- [1] 路仲希. 铁路工程施工组织设计[M]. 北京:中国铁道出版社,1985.
- [2] 李昌友,周继祖. 建设项目施工组织设计的辅助决策和设计系统[J]. 国防科技大学学报,2001,23(4):73-77.
- [3] 崔德山. 基于Web的铁路施工方案管理信息系统研究[J]. 铁路计算机应用,2003,12(11):7-9.
- [4] 李玉括,吕红霞,陈韬,等. 铁路施工方案管理信息系统设计[J]. 铁路计算机应用,2006,15(2):17-19.
- [5] 吴朝辉. 开发铁路施工组织管理信息系统的探讨[J]. 科技资讯,2009(16):186.
- [6] 候学渊,廖少明. 铁路施工组织方案比选的层次分析法[J]. 地下工程与隧道,1993(4):24-32.
- [7] 许树柏,郑金森. 实用决策方法:层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.
- [8] 徐江,李敏. 项目管理软件Project2000的使用[J]. 四川建筑科学研究,2001,27(2):26-27,73.
- [9] 中华人民共和国建设部. 建标[1999]198号 工程网络计划技术规程[S].
- [10] 王宏剑. 铁路施工组织相关问题的探讨[D]. 成都:西南交通大学,2007.

Research and Development of Organization Optimization Design System of Railway Construction

Wang Shujie, Yang Xinan, Zhang Yewei, Ling Baolin

(Department of Urban Mass Rail Transit and Railway Engineering, Tongji University, Shanghai, 201804, China)

Abstract: To solve the problem of the scheme optimization in the railway construction organization design, the organization optimization design system of railway construction is developed. The structure, function and characteristics of the system are introduced. The railway construction organization design optimization method is proposed, which combines the AHP, the network plan optimization and the optimization & adjustment in the process of implementing. Both the specific processes adopting AHP to choose the optimized construction scheme and the construction organization network plan optimization methods are introduced. The system realizes the entire process of the optimization and the auxiliary establishment of the construction organization design, and the effects in practical application are good, which provides a scientific, efficient and practical optimization design tool for design departments of the railway construction.

Key words: railway; optimization design; construction organization design; AHP; network optimization