

# 基于多目标优化的无碴轨道铺设施工方案优选

张国安<sup>1</sup>,王孟钧<sup>1</sup>,李 屹<sup>2</sup>

(1.中南大学 土木建筑学院,湖南 长沙 410075;2.中南大学 商学院,湖南 长沙 410083)

**摘 要:**科学地选择施工方案,是促进建筑企业实现技术创新管理和科技进步的关键。分析了无碴轨道长轨铺设施工方案选择的影响因素,应用模糊关系优选理论建立了施工方案选择的多目标优化模型,并应用于工程实践,有效解决了施工方案的多目标优化决策问题。

**关键词:**多目标优化;无碴轨道;施工方案

中图分类号:U215

文献标识码:A

文章编号:1001-7348(2009)11-0019-03

工程建设是一个复杂的系统,不同的施工方案达到的实施效果各异,有时甚至关系到整个工程项目的成败<sup>[1]</sup>。在无碴轨道长轨铺设施工中,施工方案的选择是整个工程顺利进行的重要基础。如何选择最优施工方案,以实现工期、成本、质量、安全等目标的整体优化,是项目管理者十分关注的问题<sup>[2]</sup>。

## 1 无碴轨道长轨铺设施工方案优选的影响因素

无碴轨道长轨铺设施工是与众多因素相关的系统工程,需在保证环境、安全、质量、工艺科学、各参与方满意的前提下,兼顾降低造价和缩短工期,从而实现经济效益和社会效益<sup>[3]</sup>。因此,无碴轨道长轨铺设施工方案优选是复杂的多目标决策问题,只有综合考虑各种主、客观影响因素,才能作出正确的方案决策<sup>[4]</sup>。

在进行无碴轨道长轨铺设施工方案优选时,需重点考虑的影响因素有:施工技术的可行性、综合成本(不含轨料外的施工成本:万元/Km)、施工难易程度、施工相互干扰程度、进度(m/天)、工艺的科学性、施工对环境的影响、质量安全的可靠性等。上述因素中,既有定量指标(如综合成本、进度),也有定性指标(如施工难易程度、质量安全的可靠性),它们共同构成评价施工方案优劣的准则。

## 2 多目标优化理论基础

多目标问题不存在一个使所有目标同时达到最优的方案,需借助理想点法求解,其思路是将最靠近理想点的解作为多目标优化解。对于多目标的不同量纲,可通过模糊数学的隶属函数进行度量,用距离特征值计算,以与理想点的距离最接近的解为多目标优化解<sup>[5]</sup>。

### 2.1 模型描述

设求解的问题有P个目标:

$$f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$$

使目标优化(最大或最小),数学表达式为:

$$\max \text{或} \min \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)\} \quad X \in D$$

若有 $X^*$ ,使 $f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)$ 达到最大或最小,则称 $X^*$ 为理想点,即:

$$F(X^*) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]^T$$

满足多个约束条件。定义在非劣解中与理想点最接近的解称为多目标的优化解。

若求得多目标的非劣解为:

$$F_1(x) = [f_{11}(x_1), f_{12}(x_1), \dots, f_{1p}(x_1)]^T$$

$$F_2(x) = [f_{21}(x_2), f_{22}(x_2), \dots, f_{2p}(x_2)]^T$$

...

$$F_k(x) = [f_{k1}(x_k), f_{k2}(x_k), \dots, f_{kp}(x_k)]^T$$

The Problem of Embeddedness [J].The American Journal of Sociology, 1991, 91(3):481-510.

[8] FREEMAN, L. Centrality in social networks: Conceptual clarifications [J]. Social Networks, 1979(1):215-239.

[9] 高展军, 李垣. 战略网络结构对企业技术创新的影响研究 [J]. 科学学研究, 2006, 24(3).

[10] BARNEY, J. Firm Resources and Sustained Competitive Advantage [J]. Journal of Management, 1991, 17(1):99.

[11] Kraatz, M S. Learning By Association? Interorganizational Networks and Adaptation To Environmental Change [J]. Academy of Management Journal, 1998, 41(6):621-643.

(责任编辑:赵贤瑶)

理想点为:

$$F^*=[f_1^*, f_2^*, \dots, f_p^*]^T$$

式中 $f_j^*$ 由原目标优化求出。

求 $f_j^*$ 可统一表达为:

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$$

使 $\max$ 或 $\min f_j(x)$ 约束于 $q_j(x) \leq 0 (j=1, 2, \dots, m)$ 。

从而将非劣解的理想点用最优的隶属函数表征,均以 $\mu(f_{ij})$ 表达,它们在目标论域上的模糊子集为:

$$\underline{F}_1=[\mu(f_{11}), \mu(f_{12}), \dots, \mu(f_{1p})]^T$$

$$\underline{F}_2=[\mu(f_{21}), \mu(f_{22}), \dots, \mu(f_{2p})]^T$$

$$\dots$$
  
$$\underline{F}_k=[\mu(f_{k1}), \mu(f_{k2}), \dots, \mu(f_{kp})]^T$$

理想点的目标值亦可表达为目标论域上的模糊子集:

$$\underline{F}_k=[\mu(f_1^*), \mu(f_2^*), \dots, \mu(f_p^*)]^T$$

由此,不同量纲的目标值,均可用模糊数学的方法寻优计算,即最接近 $F^*$ 的解为优化解。

### 2.2 目标隶属函数

以理想点的目标值为优来表征的隶属函数,通常有定量、定性指标两种,下面分别进行描述<sup>[6]</sup>:

(1)定量指标的目标隶属函数。若目标属性越小越优,则最优的隶属函数为:

$$\mu_{ij} = \frac{\max(f_{ij}) - f_{ij}}{\max(f_{ij}) - f_{ij}^*} \quad (1)$$

式中, $\mu_{ij}$ 为第*i*方案第*j*目标则最优的隶属函数; $f_{ij}$ 为第*i*方案,第*j*目标函数值(也即目标值); $\max(f_{ij})$ 为第*j*目标值的最大值; $f_{ij}^*$ 为第*j*目标值的优化值。

若目标属性越大越优,则最优的隶属函数为:

$$\mu_{ij} = \frac{f_{ij} - \min(f_{ij})}{f_{ij}^* - \min(f_{ij})} \quad (2)$$

式中, $\min(f_{ij})$ 为第*j*目标值的最小值。

(2)定量指标的目标隶属函数。定性目标可用模糊评语来表达,并赋予模糊数值,从而按式(2)计算隶属函数。

(3)目标的权重系数。目标的权重系数表明目标的重要性,权重系数大,相对重要性大。求权重系数一般有层次分析法、模糊关系方程式反求权重系数法、专家打分法等<sup>[7]</sup>。

### 2.3 寻求优化解

用模糊数学的模糊性及其度量中的距离概念寻求优化解,即与理想点距离最近的非劣解为多目标的优化解。在模糊数学的距离概念计算中有几种不同的公式,本文采用其中较常用的相对海明(Hammin)距离求优化解公式<sup>[8]</sup>。 $\underline{F}^*$ 、 $\underline{F}_i$ 是目标论域中的两个模糊子集,二者间的相对海明距离定义为:

$$\lambda[\underline{F}^*, \underline{F}_i] = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P (1 - q_j) |\mu(f_j^*) - \mu(f_{ij})| \quad (3)$$

式中, $q_j$ 为第*j*目标的权重系数,显然 $\sum_{j=1}^P q_j = 1$ 。

取 $\min \lambda[\underline{F}^*, \underline{F}_i]$ 为多目标优化解,即该方案距离理想点最近,也即最优方案。

## 3 无碴轨道长轨铺设施工方案优选实例

### 3.1 工程背景

乌鞘岭隧道是目前已建亚洲第一长隧道,也是贯通兰武(兰州至新疆铁路的兰州至武威段)二线的咽喉要道,该隧道为两单洞隧道,采用钻爆法施工。本文研究乌鞘岭隧道左线中DK163+135至DK183+185段,共计20.05km整体道床无缝线路的长轨铺设施工方案。

由于隧道长,通风、照明条件差,修建施工便道困难,施工中对作业人员健康损害较大,要求加快施工进度;隧道内连续坡道使轨道作业机械容易溜逸,加之施工期间人员及机械多且相互干扰,存在安全风险,极易造成安全事故。

### 3.2 制定可行施工方案

根据工程特点,可供选择的施工方案有3个:

方案1:拖拉法,一次性放送并铺设长轨法,即利用自制的放送架并配合牵引设备(装载机)一交性放送长轨;

方案2:纵向推送法,也是一次性铺设法,利用长轨运输车、卷扬机等设备,并依靠电机驱动滚轮转动的摩擦力连续推送长轨;

方案3:换铺法,属常规铺轨法,先铺设好短轨(工具轨),再将厂焊的长轨条运达并焊接成单元轨节,对其进行应力放散、锁定焊接,如此反复逐一换铺。

### 3.3 进行方案优选

#### 3.3.1 确定指标及权重

根据专家经验和工程特点,确定各施工方案的评价指标及相应权重,如表1所示。

表1 各施工方案评价指标

主要指标	指标值			指标属性	
	权重	方案1	方案2		方案3
施工技术的可行性	0.15	0.85	0.8	0.9	↑
综合成本	0.25	4.5	6.5	9	↓
施工难易程度	0.05	0.75	0.85	0.9	↓
施工相互干扰程度	0.10	0.8	0.75	0.8	↓
进度	0.10	1300	1500	1000	↑
工艺的科学性	0.05	0.9	0.9	0.85	↑
施工对环境的影响	0.10	0.85	0.85	0.9	↓
质量安全的可靠性	0.20	0.95	0.95	0.9	↑

注:↓表示越小越优,↑表示越大越优;定性指标用模糊评语表达,评语集区间为[0,1]。

#### 3.3.2 计算目标隶属函数值

按式(1)、(2)分别计算定量、定性目标的隶属函数值。以施工技术的可行性和可靠性目标为例:

表2 各施工方案目标隶属函数值

指标项目 \ $\mu_{ij}$	方案 1	方案 2	方案 3
施工技术的可行性	0.5	0	1
综合成本	1	0.5556	0
施工难易程度	1	0.3333	0
施工相互干扰程度	0	1	0
进度	0.4	0	1
工艺的科学性	1	1	0
施工对环境的影响	1	1	0
质量安全的可靠性	1	1	0

方案1  $\mu_{11} = \frac{0.85-0.8}{0.9-0.8} = 0.5$

方案2  $\mu_{21} = \frac{0.8-0.8}{0.9-0.8} = 0$

方案3  $\mu_{31} = \frac{0.9-0.8}{0.9-0.8} = 1$

其它目标隶属函数值的求解过程同上,结果见表2。

3.3.3 求解多目标优化解

由式(3)计算相对海明距离,其中 $\mu(f_j^*) = 1$ ,即为该目标的最优值。

方案1:  $\lambda[F_1^*, F_1] = [(1-0.15) \times (1-0.5) + (1-0.25) \times (1-1) + (1-0.05) \times (1-1) + (1-1) \times (1-0) + (1-0.1) \times (1-0.4) + (1-0.05) \times (1-1) + (1-0.1) \times (1-1) + (1-0.2) \times (1-1)] = 0.233$

方案2:  $\lambda[F_2^*, F_2] = [(1-0.15) \times (1-0) + (1-0.25) \times (1-0.5556) + (1-0.05) \times (1-0.3333) + (1-0.1) \times (1-1) + (1-0.1) \times (1-0) + (1-0.05) \times (1-1) + (1-0.1) \times (1-1) + (1-0.2) \times (1-1)] = 0.340$

方案3:  $\lambda[F_3^*, F_3] = [(1-0.15) \times (1-1) + (1-0.25) \times (1-0) + (1-0.05) \times (1-0) + (1-0.1) \times (1-0) + (1-0.1) \times (1-1) + (1-0.05) \times (1-0) + (1-0.1) \times (1-0) + (1-0.2) \times (1-0)] = 0.656$

$\min \lambda[F_i^*, F_i] = \min \{0.233, 0.340, 0.656\} = 0.233。$

因此,方案1为最优方案。

4 实施效果与评价

近年来,我国建筑企业不断开拓进取,积极创新管理

方法和手段,但仍存在诸如施工决策中主观随意性较大,对整个工程缺乏系统把握等现象。而且,众多人为因素及自然因素的影响进一步加大了施工管理难度。因此,科学地选择施工方案,统筹兼顾进度、成本、质量、安全、环境等目标,是促进建筑企业实现技术创新管理和科技进步的关键。

施工方案优化源于理论与实践的有机结合。本文工程实例中,充分考虑了影响施工方案决策的各种因素,建立了科学的评价指标,并应用多目标优化理论进行决策,实现了决策的科学化,从而保证了施工组织的协调性及科学合理性,使乌鞘岭隧道左线整体道床铺轨工程提前20天完工,顺利通过了质量一次性验交,达到了安全文明施工标准,被评为优良工程。由此证明,利用多目标优化理论进行施工方案优选,具有科学性、必要性和可行性,可在工程建设实践中积极推广和运用。

参考文献:

- [1] 郭陕云.隧道施工技术方法及方法遴选之我见[J].隧道建设,2006(6).
- [2] 周敏娟,李万庆.多目标系统模糊优选理论在地铁施工中的应用[J].河北建筑科技学院学报,2004(1).
- [3] 徐杨青.深基坑工程优化设计理论与动态变形控制研究[D].武汉:武汉理工大学,2001.
- [4] 卜东雁.价值工程在施工方案优选中的应用与研究[D].西安:西安建筑科技大学,2008.
- [5] 金华征.考虑市场环境的多目标输电网优化规划研究[D].上海:上海交通大学,2007.
- [6] 林镇周.论多目标优化在电力工程施工中的应用[J].电力建设,2000(9).
- [7] 解国仁,邓西录.基于多目标模糊优化方法施工方案技术[J].辽宁工程技术大学学报,2002(5).
- [8] 高志云.基于多目标决策的工业厂址优化选择研究——以武汉市为例[D].武汉:武汉大学,2005.

(责任编辑:万贤贤)