

基于DEMATEL-ISM的高速公路隧道施工进度影响因素分析*

郭彤¹, 陈怀志¹, 姜剑¹, 苑显鹏¹, 郭亚宾²

(1.湖南省怀芷高速公路建设开发有限公司, 湖南 怀化 418000; 2.长沙理工大学, 湖南 长沙 410114)

摘要: 通过文献资料、问卷调查及实地调研, 识别出高速公路隧道施工进度的影响因素, 构建DEMATEL-ISM分析模型, 分析各因素之间的作用关系。研究表明: 影响隧道施工进度的根本因素有钻爆技术、质量控制、设备效率及安全管控。

关键词: 公路隧道; 施工进度; 影响因素; DEMATEL-ISM模型

中图分类号: U455.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-2442(2019)12-0021-03

DOI: 10.19298/j.cnki.1672-2442.201912021

Analysis of Influence Factors on Construction Progress of Expressway Tunnel Based on DEMATEL and ISM

GUO Tong¹, CHEN Huaizhi¹, JIANG Jian¹, YUAN Xianpeng¹, GUO Yabin²

(1.Hunan Huaizhi Expressway Construction and Development Co., Ltd, Huaihua 418000, China;
2.Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: Through literature, questionnaires and field research, this paper identifies the influencing factors of expressway tunnel construction progress, and constructs the DEMATEL-ISM analysis model to analyze the relationship between the factors. The research shows that the basic factors affecting the progress of tunnel construction are drilling and blasting technology, quality control, equipment efficiency and safety management and control.

Keywords: highway tunnel; construction progress; influence factors; DEMATEL and ISM model

1 引言

隧道工程是高速公路中重要的工程设施, 能缩短线路长度, 减少坡度, 在很多高速公路中数量占比和规模越来越大。同时, 高速公路投资者对隧道工程的建设质量、安全、进度、投资等目标控制要求也越来越高。然而在高速公路隧道工程建设快速发展的同时, 多变的外部环境、施工工艺难度、参与人员复杂、施工任务繁杂、施工资源配置等不确定性原因也常导致高速公路隧道工程的施工进度延误。因此, 研究高速公路隧道施工进度影响因素及其作用关系比较重要。本文将决策

试验和评价实验法(DEMATEL)与解释结构方程模型(ISM)相结合, 分析高速公路隧道施工进度影响因素间的作用关系, 通过探析影响因素之间的多层递阶结构, 辨识出根本因素、“枢纽”因素、直接因素, 分析关键因素的影响程度, 并针对性地提出相应的控制措施, 确保工程施工进度目标顺利实现。

2 高速公路隧道施工进度影响因素识别

高速公路隧道施工过程中存在很多影响施工进度的因素, 国内外不少学者对此作了相关研究。Reilly提出投资、安全及建成后不能满足设计功能等原因将引起隧道施工进度延误; 孙胜将影响隧道施工工期的因素分为项目环境、业主、设计方、施工设备制造及施工工艺五个方面; 张甲辉将隧道工期延误归纳为业主方问题、项目复杂性、设计方问题、承包商问题、自然条件不利、

*基金项目: 湖南省交通科技项目(201840)

作者简介: 郭彤, 男, 生于1969年, 湖南益阳人, 高级工程师, 研究方向: 公路与桥梁工程。

收稿日期: 2019-08-06

施工资源可得性差等一级因素，并设置材料供应不及时、现场管理混乱等33个二级因素；梁剑锋从气候、设计、设备、劳动生产率、地基状态等方面对高速公路隧道工期管理进行分析等。还有一些学者对隧道施工过程中涉及到的风险进行研究如：光辉基于LEC法并综合考虑人员、管理及环境3个风险影响因子，构建了公路隧道施工风险评价模型；张俊家基于湖南益阳滨江路隧道，对隧道施工周围环境对施工进度影响的程度进行研究；杜梅根据风险源对水下隧道施工进度进行因素分析，建立RBS风险结构；张玮将隧道施工进度与任务造价、技术经济可靠性等其他因素结合，把施工进度管理演变成综合性指标等国内外研究成果对建立高速公路隧道施工进度影响因素体系提供参考。

结合上述研究成果，制作调查问卷，向有关工作人员发放问卷450份，有效问卷数量达245份，符合研究要求。根据调查结果及专家意见，对因素进行归纳总结，见图1。

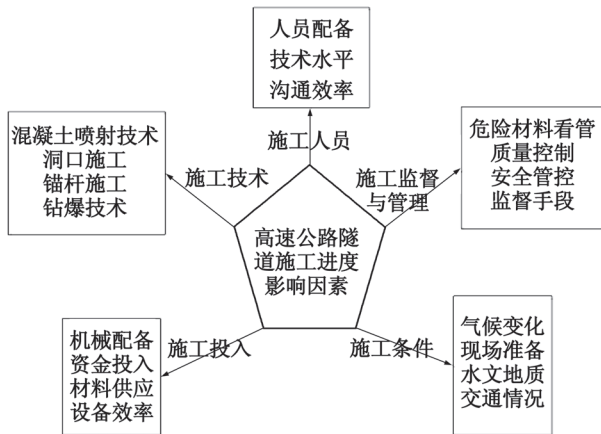


图1 高速公路隧道施工进度影响因素

3 隧道施工进度影响因素分析的DEMATEL-ISM模型构建

DEMATEL运用图论与矩阵论原理对因素进行归纳和影响程度评价。ISM可将复杂系统分解为层次清晰的多级递阶形式，清晰反映元素间结构关系，为因素选择及分析提供手段。为弥补两种方法自身缺陷，研究提出集成DEMATEL与ISM方法，以降低ISM模型中可达矩阵的计算复杂度及计算量，从而简化可达矩阵的计算过程，更易于明确隧道施工进度的关键因素、因素层级划分及因素关系界定，使分析结果更具科学性、可靠性。

DEMATEL-ISM模型构建遵循以下步骤：

(1) 构建高速公路隧道施工进度影响因素直接影响平均关系矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ ：通过问卷形式确定因素间关系，得直接影响平均关系矩阵A，其中：

$$a_{ij} = \begin{cases} 3 & 67\% \text{的专家认为} x_i(x_j) \text{对} x_j(x_i) \text{有高影响} \\ 2 & 34\% \sim 66\% \text{的专家认为} x_i(x_j) \text{对} x_j(x_i) \text{有中影响} \\ 1 & 1\% \sim 33\% \text{的专家认为} x_i(x_j) \text{对} x_j(x_i) \text{有低影响} \\ 0 & \text{所有专家均认为} x_i(x_j) \text{对} x_j(x_i) \text{无影响} \end{cases}$$

(2) 构建规范直接影响矩阵 $B=(b_{ij})_{n \times n}$ ：对矩阵A进行标准化处理，可得规范直接影响矩阵：

$$B=(b_{ij})_{n \times n} = \frac{A}{\max_{1 \leq i \leq n} \left[\sum_{j=1}^n a_{ij} \right]}$$

(3) 构建综合影响矩阵 $C=(c_{ij})_{n \times n}$ ：综合影响矩阵C可以全面反映不同因素间的相互影响关系，其中 $C=(c)_{n \times n}$

$$=B+B^2+B^3+\dots+B^n = \frac{B(I-B^{n-1})}{I-B}$$

(4) 在整体影响矩阵C基础上，得各因素对其他因素的影响程度 $f_i = \sum_{j=1}^n c_{ji} (i=1, 2, \dots, n)$ 、受其他因素的影响程度 $e_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} (i=1, 2, \dots, n)$ 、各自的重要程度 $r_i = f_i + e_i$

以及与其他因素之间的关系程度 $z_i = f_i - e_i$ 。

(5) 结合整体影响矩阵C和单位矩阵，构建整体影响矩阵 $T=(t_{ij})_{n \times n}$ ，同时设定合理阈值 $\lambda=0.1$ ，得到ISM模型中的可达矩阵 $M=(m_{ij})_{n \times n}$ 。 m_{ij} 取值原则为：当 $m_{ij} > \lambda$ 时， $m_{ij}=1$ ；当 $m_{ij} \leq \lambda$ ， $m_{ij}=0$ 。

(6) 遵循 $R(x_i) \cap Q(x_i) = R(x_i)$ 的原则对影响因素进行划分，并计算因素影响综合值G。其中可达集合 $R(x_i)$ 表示可达矩阵中要素 x_i 对应的行中，包含有1的元素所对应的列元素集合；先行集合 $Q(x_i)$ 表示可达矩阵中要素 x_i 所对应的列中，包含有1的矩阵元素所对应的行元素集合； $G=Q_i(\alpha r + \beta e)$ ， $\alpha=0.625$ ， $\beta=0.375$ ；

$$Q_i = \frac{1/L_i}{\sum_{j=1}^n 1/L_j}$$

L_i 代表第i个层级。

4 案例分析

4.1 HZ高速公路隧道工程概况

本文以HZ高速公路毛里坡隧道为例，进行影响其施工进度的因素分析。毛里坡隧道为连拱隧道，长

280m, 围岩分布复杂, 工期较长, 同时为确保相邻的TSX大桥T梁顺利通过梁体架设, 需要及时贯通, 具体包括洞口开挖及防护、洞身开挖及初支、仰拱及填充、二衬、明洞及洞门、防排水、装饰等工程。

4.2 影响隧道施工进度因素提取

在图1基础上, 结合HZ高速公路实际情况, 通过专家咨询与现场调查, 提取施工进度影响因素, 分别为: 技术水平、人员配备、沟通效率、材料供应、现场准备、监督手段、洞口施工、监控量测、钻爆技术、质量控制、设备效率、气候变化、安全管控。

4.3 DEMATEL-ISM模型应用

应用DEMATEL-ISM模型进行毛里坡隧道施工进度影响因素分析, 得到HZ高速公路隧道施工进度影响因素可达矩阵M, 以及各因素影响程度。

根据可达矩阵M及层次划分原则, 可将HZ高速公路隧道施工进度影响因素划分三个层级, 见图2。

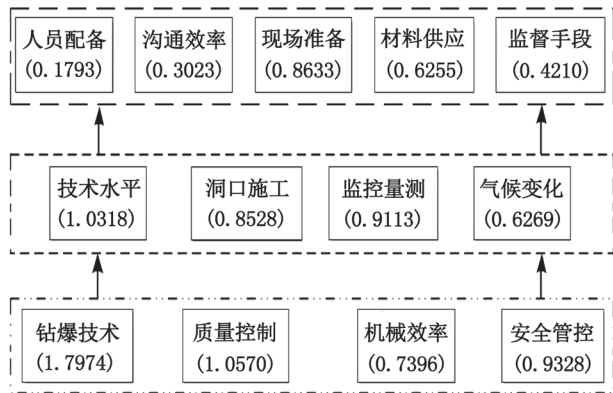


图2 影响因素的层级递阶结构

4.4 模型结果分析

(1) HZ高速公路隧道施工进度影响因素呈分层作用关系。HZ高速公路隧道施工进度影响因素分为三个层级: 钻爆技术、质量控制、设备效率及安全管控处于第三层级, 界定为影响隧道施工进度的根本因素, 是其他因素产生作用的“源头”; 技术水平、洞口施工、监控量测及气候变化位于第二层, 界定为影响隧道施工进度的间接因素, 受根本因素影响同时制约第一级影响因素, 界定为“枢纽”因素; 人员配备、沟通效率、现场准备、材料供应及监督手段直接作用于隧道施工进度, 界定为直接因素。

(2) HZ高速公路隧道施工进度各因素的影响程度存在差异。第三级因素中影响程度较大的为钻爆技术和质量控制; 第二级因素中影响程度较大的为技术水平;

第一级因素中影响程度较大的为现场准备, 这与HZ高速公路隧道施工实际情况相符。其一, 钻爆施工技术在隧道施工过程中占主要地位, 当前我国广泛使用直眼型或大中空孔型的掏槽进行钻爆施工。为此HZ精心设计布局和安排人员, 按照隧道施工规范积极开展钻爆施工工作, 做好防护支撑措施, 为隧道施工安全提供强有力的保障。其二, 对隧道工程中的每一个施工环节进行严格质量控制, 并认真做好后续检查工作, 可提高隧道施工的进度。为此HZ公司遵循安全第一、质量先行的原则, 促使施工人员树立安全和质量为首位的观念, 保证施工质量达到标准, 施工安全有效。其三, HZ高速公路隧道工程施工单位重视新型施工技术的研发和应用, 如对边仰坡开挖施工和明洞工程、支护技术、混凝土喷射技术不断推陈出新, 同时组织施工人员积极学习先进技术, 提高自身综合能力, 保障施工连续性。其四, 施工准备主要包括驻地建设和现场布置; 为此HZ公司将临时用房安置在地质稳定、排水良好和水电路畅通的区域, 并将生产生活用房分开搭建, 同时要求施工现场各种防火、防高空坠落、安全帽等安全标识牌按照国家有关规定统一制作, 悬挂于工地醒目位置, 避免出现不良情况影响施工进度。▲

参考文献

- [1] Reilly J J.The management process for complex underground and tunneling projects[J]. Tunnelling & Underground Space Technology, 2000 (1) : 31-44.
- [2] 孙胜.隧道工程施工工期的风险因素分析[J].黑龙江水利科技, 2013 (3) : 138-139.
- [3] 张甲辉.工程项目工期风险作用路径及防范研究[D].重庆: 重庆大学, 2014.
- [4] 梁剑锋.高速公路项目工期管理和工期风险研究[D].天津: 天津大学, 2012.
- [5] 光辉.顾及风险影响因子的LEC法在公路隧道施工安全评价中应用研究[J].公路工程, 2016 (5) : 151-155.
- [6] 张俊家.自动化监测技术在隧道施工安全预警中的应用[J].公路工程, 2019 (2) : 14-18+68.
- [7] 杜梅.多种影响因素耦合作用下水下隧道施工进度风险评价[D].重庆: 重庆交通大学, 2017.
- [8] 张玮.公路隧道工程进度控制策略分析[J].昆明冶金高等专科学校学报, 2016 (3) : 41-44.