

基于层次分析法的桥梁施工 风险识别及评估分析

徐佳昕¹, 游波^{1,2*}, 施式亮¹, 刘何清¹, 张阳旗¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院, 湖南 湘潭 411201;
2. 煤矿安全开采技术湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 由于桥梁施工过程中存在大量影响施工安全的不确定性因素, 为保障桥梁施工过程中企业和作业人员的生命财产安全, 本文通过对桥梁施工过程的风险源进行分析辨别, 运用层次分析法, 将导致桥梁施工风险事故的原因进行分层, 对可能导致桥梁施工安全事故的风险因素进行分析评价。分析结果表明: 管理缺陷对桥梁施工风险事故影响最大, 是导致事故的最主要因素。

关键词: 桥梁施工; 风险辨识; 层次分析法; 管理缺陷

中图分类号: X947 文献标志码: A 文章编号: 1672-9102(2020)01-0059-06

Risk Identification and Evaluation Analysis of Bridge Construction Based on Analytic Hierarchy Process

Xu Jiixin¹, You Bo^{1,2}, Shi Shiliang¹, Liu Heqing¹, Zhang Yangqi¹

(1. School of Resources, Environment & Safety Engineering, Hunan University of Science & Technology, Xiangtan 411201, China;
2. Hunan Provincial Key Lab of Coal Safety Mining Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: There are many uncertain factors which affect the construction safety in the process of bridge construction. In order to ensure the safety of life and property of enterprises and workers during bridge construction, this paper analyzes and identifies the risk sources in bridge construction process, using the analytic hierarchy process to stratify the causes of bridge construction risk accidents, and analyzing and evaluating the risk factors which may result in bridge construction safety accidents. The analysis results show that the management defect has the greatest influence on the bridge construction risk accidents, and it is the most important factor that leads to the accidents.

Keywords: bridge construction; risk identification; analytic hierarchy process; management defects

风险分析起源并发展于美国, 后逐渐在欧美等发达国家中得到广泛运用, 国外发达国家极其重视对风险的分析与管理, 相继制定了《风险管理标准》等相关标准, 使得风险管理得到了进一步发展。21 世纪初在 CIB(国际建筑和建设创新研究委员会)会议中就全面系统地研究了工程风险评估法, 阐述了风险分析的重要性。Milan Holicky^[1] 基于社会和经济后果对比的风险优化的概率方法, 为公路隧道安全措施合理决策提供有价值的背景信息, 采用贝叶斯网络并辅以决策节点和效用节点评估备选隧道方案的总体效果, 为风险分析和优化提供了一个有效的工具。Dongjin Kim^[2] 等通过确定 14 个对桥梁造成破坏的一般风险因

收稿日期: 2019-09-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51704110); 湖南省教育厅科学研究重点资助项目(18A183)

* 通信作者, E-mail: 494907336@qq.com

素,制定了基于风险的维修优先排序方法,并通过文献回顾和专家咨询确定了风险因素的评估标准和权重,提出了一种通用的基于风险的排序模型,该模型可与常规方法相结合,用于更合理的桥梁养护优先排序.尽管风险分析与管理在各发达国家得到重视与发展,但风险分析在桥梁施工过程中发展并不完善,目前尚处于研究的初始阶段,还没有形成一套完整的分析体系^[3-5].而我国在风险管理方面的研究与应用相较于欧美等发达国家起步较晚,2001 年才开始桥梁风险相关的研究,且研究水平相对于发达国家较低,体系相对不够完善,也没有得到广泛的运用,还需得到相应的补充和完善^[6,7].本文将针对桥梁施工过程中存在的风险源,使用层次分析法进行分析,从而为桥梁施工工程提供参考.

1 研究背景及意义

随着我国交通运输行业的发展,桥梁工程也逐渐增加.但桥梁施工过程中,工程结构十分复杂、建筑规模较大、工期较长并且还含有许多不确定因素,不仅降低了桥梁施工的安全性,还严重影响桥梁施工的顺利进行.在世界科技水平不断飞跃的过程中,我国的道路桥梁施工工艺质量也有了极大的提高,这一工程的成长大大提升了人们的出行质量,同时也将我国的经济水平提升到一个飞速发展的阶段.尽管国内外很多学者在这一领域做出了不少成就,但道路桥梁施工在风险管理方面依然存在理念落后、水平不一等无法否认的安全问题^[8-10].尤其是最近这几年里,在道路桥梁施工建设飞速发展的过程中,我国发生了几回严重的施工安全质量事故,给国家和人们的生命财产以及安全健康造成了巨大的威胁,同时引起了十分低劣的社会影响^[11].因此,为了提升桥梁施工的安全水平,降低桥梁施工的风险率,保障工人的生命安全与健康,减少生命财产损失,提高生产经营单位的经济利益,实现安全投资效益最优化,必须根据事故情况对桥梁施工进行研究.

2 桥梁施工风险源识别

风险是对组织危险程度的客观性衡量,是系统可能形成事故和事故发生以后造成结果的组合体.风险源是造成桥梁施工风险事故的来源,所以,对桥梁施工事故的风险源进行分析、整理与评估在桥梁施工事故预防方面具有十分重要的意义^[12].在桥梁施工中,风险表示的是妨碍施工正常进行的不确定事件,贯穿于整个项目施工的各个阶段,它不仅会使工程事故率上升,还可能给项目带来巨大的经济损失^[13].不管哪一个系统在各种各样的情形下,是不存在百分之百的安全或者危险.风险也可以理解为对损失形成的不能确定的表现.

根据对桥梁实际施工作业程序,结合《桥梁工程事故对照表》和《企业职工伤亡事故分类》(GB-6441),分析得出桥梁施工过程中存在的风险源,如表 1 所示.

表 1 桥梁施工风险源识别

序号	施工工艺	危险源
1	基桩施工	坍塌、物体打击、高处坠落、机械伤害、中毒窒息、放炮、触电
2	承台施工	坍塌、物体打击、高处坠落、放炮、触电
3	墩柱施工	坍塌、起重伤害、物体打击、高处坠落、触电
4	主梁施工	坍塌、物体打击、高处坠落、起重伤害、机械伤害、触电、车辆伤害(跨省道施工)
5	T 梁、盖梁施工	坍塌、物体打击、高处坠落、触电
6	机械安装施工	坍塌、高处坠落、起重伤害、触电

3 桥梁事故风险评估

根据对桥梁施工风险源的辨识结果,可以发现桥梁施工风险安全事故复杂多样,导致桥梁施工风险事故的原因也十分复杂,本文将导致桥梁施工风险事故的原因分为人的不安全行为、机械或物的不安全状态、不良的作业环境以及管理缺陷四大方面,并参考其他学者对层次分析法的研究与运用方法,采用层次

分析法对桥梁事故风险进行分层评估^[14]。

桥梁施工风险评估步骤:

- 1) 建立桥梁施工风险评估层次结构模型;
- 2) 构造出各层次中的所有比较矩阵,并利用两两比较法得出单个影响因素的权重;
- 3) 对各影响因素的权重进行排序,并给出安全措施建议。

层次分析法是一种系统性的研究方法,在分析过程中每一层评价因素权重值的设置均会对最后的结果造成相关的影响,且不同层次不同的评价因素对评价结果的影响是量化的,清楚明确,评价过程中不需要大量的定量数据信息,计算简单易行,结果明确。层次分析法将评价因素划分为 3 个层级,并结合定性和定量的分析方法对风险因素进行分析评价,通过层次分析法分析,可以找出导致桥梁施工风险事故的因素,并根据各因素之间的隶属关系依次进行排列,得出桥梁风险评估层次分析图如图 1 所示。

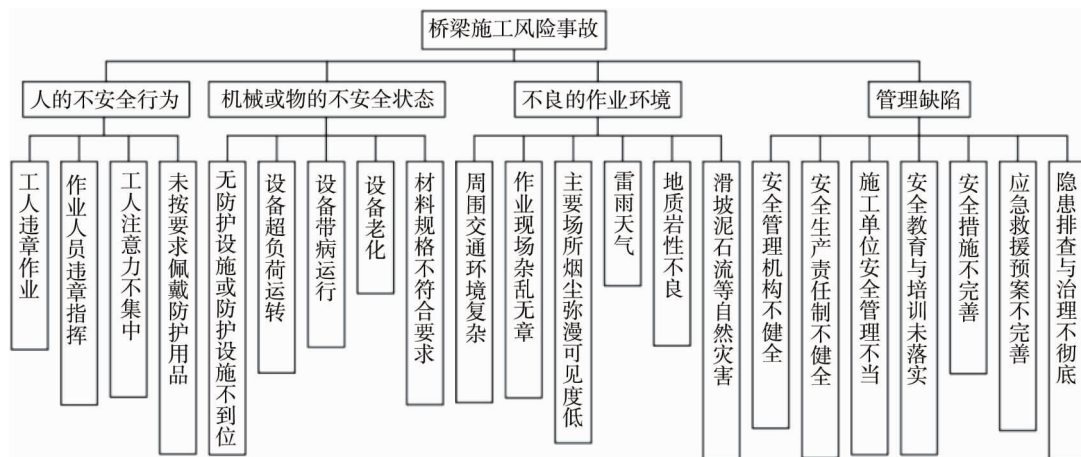


图 1 桥梁风险评估层次分析

3.1 准则层各影响因素对目标层桥梁施工风险事故的重要程度

根据建立的层次分析模型,请经验丰富的专家人员用两两比较的方法对各风险因素进行比较评分,求出准则层中人的不安全行为、机械或物的不安全状态、不良的作业环境和管理缺陷相对应目标层—桥梁施工风险事故的重要程度,并构造出其判断矩阵如表 2 所示^[15]。

表 2 C-C 判断矩阵

目标层	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	1	2	4	1/5
C ₂	1/2	1	3	1/6
C ₃	1/4	1/3	1	1/7
C ₄	5	6	7	1

用方根法分别计算出准则层人、物、环、管这 4 个评价因素的权重向量近似值 w' 分别为

$$w'_1 = 1.125; w'_2 = 0.707; w'_3 = 0.330; w'_4 = 3.867.$$

对以上计算出的各评价因素的权重近似向量值 w'_i 进行归一化处理得

$$w_1 = \frac{w'_1}{\sum_1^4 w'_i} = 0.19; w_2 = \frac{w'_2}{\sum_1^4 w'_i} = 0.12;$$

$$w_3 = \frac{w'_3}{\sum_1^4 w'_i} = 0.05; w_4 = \frac{w'_4}{\sum_1^4 w'_i} = 0.64.$$

使用 MATLAB 编程计算出判断矩阵 C-C 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 4.1539$, 为确保使用该法分析评估得出

的结果合理可靠,需 C-C 判断矩阵进行一致性判断,根据查阅资料可知,当 $n=4$ 时,其随机一致性比率

$$RI=0.9, \text{因此: } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0513, CR = \frac{CI}{RI} = 0.057 < 0.1, \text{符合要求.}$$

3.2 指标层各因素相对于准则层的重要程度

根据准则层各评价因素权重向量的计算方法,通过两两比较,得出指标层各因素对准则层的相对重要程度计算结果见表 3~表 6.

表 3 C_1 -P 判断矩阵

C_1	P_1	P_2	P_3	P_4
P_1	1	1	3	1/4
P_2	1	2	3	1/4
P_3	1/3	1/3	1	1/5
P_4	4	4	5	1

根据矩阵 C_1 -P 用 MATLAB 编程计算得 $\lambda_{\max}=4.0973, CI=0.0324, RI=0.04 < 0.1$, 满足要求. $P_1 \sim P_4$ 所占的权重向量为 $w=(0.18, 0.18, 0.07, 0.57)$.

表 4 C_2 -P 判断矩阵

C_2	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9
P_5	1	1/2	1/2	2	1/4
P_6	2	1	1	3	1/3
P_7	2	1	1	3	1/3
P_8	1/2	1/3	1/3	1	1/5
P_9	4	3	3	5	1

根据矩阵 C_2 -P 用 MATLAB 编程计算得 $\lambda_{\max}=5.0567, CI=0.0142, RI=0.01 < 0.1$, 满足要求. $P_5 \sim P_9$ 所占的权重向量为 $w=(0.11, 0.19, 0.19, 0.07, 0.46)$.

表 5 C_3 -P 判断矩阵

C_3	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}
P_{10}	1	1/3	1/2	2	1/4	5
P_{11}	3	1	2	3	1/4	6
P_{12}	2	1/2	1	3	1/3	5
P_{13}	1/2	1/3	1/3	1	1/4	3
P_{14}	4	4	3	4	1	4
P_{15}	1/5	1/6	1/5	1/3	1/4	1

根据矩阵 C_3 -P 用 MATLAB 编程计算得 $\lambda_{\max}=6.4949, CI=0.099, RI=0.08 < 0.1$, 满足要求. $P_{10} \sim P_{15}$ 所占的权重向量为 $w=(0.07, 0.23, 0.18, 0.08, 0.41, 0.04)$.

表 6 C_4 -P 判断矩阵

C_4	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}	P_{20}	P_{21}	P_{22}
P_{16}	1	1/3	1/2	1/5	1/4	1	1/5
P_{17}	3	1	2	1/4	1/3	2	1/4
P_{18}	2	1/2	1	1/3	1/2	3	1/3
P_{19}	5	4	3	1	3	4	2
P_{20}	4	3	2	1/3	1	3	1
P_{21}	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1	1/3
P_{22}	5	4	3	1/2	1	3	1

根据矩阵 C_4 -P 用 MATLAB 编程计算得 $\lambda_{\max}=7.3413, CI=0.0569, RI=0.04 < 0.1$, 满足要求. $P_{16} \sim P_{22}$

所占的权重向量为 $w = (0.05, 0.09, 0.09, 0.33, 0.18, 0.05, 0.22)$ 。

3.3 各影响因素权重比例排序

1) 人的不安全行为对桥梁施工安全事故影响的权重为

$$0.18 \times (0.18, 0.18, 0.07, 0.57) = (0.032, 0.032, 0.013, 0.103)$$

2) 机械或物的不安全状态对桥梁施工安全事故影响的权重为

$$0.18 \times (0.11, 0.19, 0.19, 0.07, 0.46) = (0.020, 0.034, 0.034, 0.013, 0.083)$$

3) 不良的作业环境对桥梁施工安全事故影响的权重为

$$0.07 \times (0.07, 0.23, 0.18, 0.08, 0.41, 0.04) = (0.005, 0.016, 0.013, 0.006, 0.029, 0.003)$$

4) 管理缺陷对桥梁施工安全事故影响的权重为

$$0.57 \times (0.05, 0.09, 0.09, 0.33, 0.18, 0.05, 0.22) = (0.029, 0.051, 0.051, 0.188, 0.103, 0.029, 0.125)$$

综上所述,根据计算出的各评价指标的权重大小排出各因素与桥梁施工安全事故影响相关程度的排序,结果见表7。

表7 桥梁施工安全事故影响因素权重排序

目标层	准则层	指标层		排序
		分层	权重	
桥梁施工 安全事故	人的不安全行为(0.18)	工人违章作业	0.032	10
		作业人员违章指挥	0.032	11
		工人注意力分散	0.013	17
		未(按要求)佩戴防护用品	0.103	4
	机械或物的不安全状态(0.18)	无防护设施或防护设施不到位	0.020	15
		设备超负荷运转	0.034	8
		设备带病运行	0.034	9
		设备老化	0.013	18
		材料规格不符合要求	0.083	5
	不良的作业环境(0.07)	周围交通环境复杂	0.005	21
		作业现场杂乱无章	0.016	16
		作业现场烟尘弥漫,能见度低	0.013	19
		雷雨天气	0.006	20
		地质岩性不良	0.029	12
		滑坡、泥石流等自然灾害	0.003	22
	管理缺陷(0.57)	安全管理机构不健全	0.029	13
		安全生产责任制不健全	0.051	6
		施工单位安全管理不当	0.051	7
		安全教育与培训未落实	0.188	1
		安全措施不完善	0.103	3
		应急救援预案不完善	0.029	14
			隐患排查不彻底	0.125

3.4 安全措施

由以上分析可知,影响桥梁施工安全事故的因素有很多,且各自所占的权重各不相同,根据评价分析的结果可知,管理缺陷对桥梁施工影响程度最大,是导致桥梁施工安全事故最主要的原因,其中对工人的安全教育与培训落实情况、隐患排查与治理情况以及安全措施的落实情况对桥梁施工安全有重大的影响。因此,为实现桥梁施工工程安全顺利进行,首先是要加强桥梁施工过程中的安全管理工作,尤其是要加强对工人的安全教育与培训,提高工人的作业能力、安全知识、安全技能以及作业人员的责任心。同时要建立健全的安全生产管理机构,完善安全生产责任制,切实做好桥梁施工过程的隐患排查与治理工作,认真落实“安全第一、预防为主、综合治理”的安全生产方针。

4 结论

1)管理缺陷是导致桥梁施工风险事故的最主要原因,可为桥梁施工风险识别体系的建立提供参考.

2)针对分析出的影响桥梁施工的风险因素排序,提出了在桥梁施工过程中,要加大施工安全管理的力度,建立完善的安全生产责任制度,认真做好事故隐患排查与治理相关工作,认真落实工人的安全生产教育与培训工作等安全措施,能有效保障桥梁施工安全进行.

参考文献:

- [1] Holicky M. Probabilistic risk optimization of road tunnels[J]. *Structural Safety*, 2009,31(3):260-266.
- [2] Kim D, Lee Y, Lee M J. Development of Risk-Based Bridge Maintenance Prioritization Methodology[J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2018,22(10):3718-3725.
- [3] 万震.大型桥梁施工安全风险管理与应用[D].郑州:郑州大学,2017.
- [4] 李振鑫.大跨度桥梁施工期风险评估研究[D].郑州:郑州大学,2011.
- [5] 刘文涛.桥梁施工安全风险评估与应用研究[D].西安:长安大学,2015.
- [6] 张月胜.高速公路桥梁施工风险识别及应对措施[J].*交通运输研究*,2014,42(16):170-172.
- [7] 罗嘉珂.XYY桥梁工程项目施工风险管理研究[D].沈阳:东北大学,2015.
- [8] 吕哲.桥梁施工风险及安全控制[J].*山东交通科技*,2017(4):108-110.
- [9] 高魏魏.公路桥梁施工安全管理问题研究[J].*山西建筑*,2017,43(36):255-256.
- [10] Cheng J, Xu M, Chen Z. A Fuzzy Logic-Based Method for Risk Assessment of Bridges during Construction[J].*Journal of Harbin Institute of Technology(New Series)*,2019,26(1):1-10.
- [11] 丁勇.浅析道路桥梁施工安全管理的重要性[J].*低碳世界*,2017(5):219-220.
- [12] 金文生.桥梁施工过程中危险源识别技术及评价研究[D].天津:河北工业大学,2012.
- [13] 许德西.基于模糊综合评价的桥梁施工风险评估方法[J].*企业技术开发*,2013,32(23):152-153.
- [14] 张谢东,郭俊峰,余建宜,等.山区高墩大跨桥梁施工过程中的风险识别[J].*桥梁建设*,2008(6):80-83.
- [15] 常健,张志军.基于层次分析法的桥梁安全综合评价研究[J].*山西建筑*,2014,40(2):154-156.