

文章编号:1672-9331(2020)04-0016-07

# 大跨度桥梁挂篮施工风险评价

刘小燕<sup>1</sup>, 邹爱平<sup>1</sup>, 朱 杰<sup>2</sup>, 杨琪毅<sup>1</sup>, 唐 威<sup>3</sup>, 杨小康<sup>4</sup>

(1. 长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 长沙理工大学 设计艺术学院, 湖南 长沙 410114;  
3. 广东省建筑工程机械施工有限公司, 广东 广州 510000; 4. 长沙理工大学 文学与新闻学系, 湖南 长沙 410114)

**摘 要:** 为有效评价大跨度桥梁挂篮施工风险, 以潭江特大桥为背景, 根据其挂篮悬臂施工工艺及施工现场组织管理情况, 研究了在挂篮悬臂施工过程中影响桥梁施工质量与人员安全的风险因素。首先, 进行风险源识别与分析, 寻找影响桥梁施工质量和人员安全的风险因素, 建立多层次模糊评价模型及评价体系; 其次, 利用层次分析法计算各层向量, 得出影响桥梁施工质量和人员安全风险因素的排序; 最后, 结合模糊数学原理确定风险评价等级。研究结果表明: 潭江特大桥桥梁施工质量和人员安全风险状态为良, 与实际情况比较接近。研究成果为保障潭江特大桥施工质量和人员安全提供了有力的科学依据。

**关键词:** 挂篮悬臂施工; 桥梁施工质量; 人员安全; 模糊层次综合分析法; 风险因素

**中图分类号:** TU411

**文献标志码:** A

## Risk assessment of hanging basket construction of long-span bridge

LIU Xiao-yan<sup>1</sup>, ZOU Ai-ping<sup>1</sup>, ZHU Jie<sup>2</sup>, YANG Qi-yi<sup>1</sup>,  
TANG Wei<sup>3</sup>, YANG Xiao-kang<sup>4</sup>

(1. School of Civil Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2. School of design and art, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

3. Guangdong Provincial Architectural Engineering Machinery Construction Co., Ltd., Guangzhou 510000, China;

4. Department of Literature and Journalism, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

**Abstract:** In order to assess the risk of large-span bridge hanging basket construction effectively, Tanjiang super large bridge was taken as the background. Based on the hanging basket cantilever construction technology and the construction site organization and management, the risk factors affecting the bridge construction quality and personnel safety during the hanging basket cantilever construction process were studied. First, the risk sources were identified and analyzed, the risk factors affecting the bridge construction quality and personnel safety were looked for, and the multi-level fuzzy evaluation model and evaluation system were constructed. Then, the analytic hierarchy process was used to calculate the vectors of each layer to obtain the order of the risk factors affecting the bridge construction quality and personnel safety. Finally, the fuzzy mathematics principle was used to determine the evaluation level. The results show that the risk status of the bridge construction quality and personnel safety is good, close to the actual situation relatively. This study pro-

**收稿日期:** 2020-03-30

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划项目(2015CB057701)

**通讯作者:** 刘小燕(1963—), 女, 湖南桃江人, 长沙理工大学教授, 主要从事桥梁结构分析与工程控制方面的研究。

E-mail: 1792855938@qq.com

vides a powerful scientific basis to ensure the construction quality and personnel safety for the Tanjiang super large bridge.

**Key words:** hanging basket cantilever construction; bridge construction quality; personnel safety; fuzzy analytic hierarchy process; risk factor

挂篮悬臂施工法是修建大跨度预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥、砼拱桥、斜拉桥等常用的施工方法之一,特别是在桥墩较高、桥梁主梁跨度较长、跨越山谷和河流或桥下净空受到限制的情况下,优先考虑此施工法。挂篮悬臂施工具有适用性强、操作方便等优点,通过吊篮控制受力进行分段悬臂作业,可提升整体施工作业的灵活性和工作效率,但同时也增加了施工的复杂性,例如高空作业、工序繁多、人员和设备的精心控制等,这些方面的影响会对桥梁施工质量和人员安全带来隐患。若施工时发生安全事故,必然会带来人员伤亡及桥梁经济方面的损失<sup>[1-2]</sup>,因此有必要对桥梁施工质量与人员安全进行评价。目前,广大学者在桥梁施工方面进行了很多研究。李保<sup>[3]</sup>通过分解桥梁悬臂施工工艺,阐述了挂篮悬臂施工的质量控制要点;谢敬华<sup>[4]</sup>分析了连续刚构桥在挂篮施工期间存在的相关问题,并提出了相应的预防和控制措施;张文鑫<sup>[5]</sup>围绕挂篮悬臂浇筑法的施工工艺要点展开探究,提出了在挂篮施工过程中可行的安全管理措施;薛学军<sup>[6]</sup>阐述了桥梁挂篮悬臂施工的原理,指出其施工质量管理要点,并提出了加强施工效果的相关措施;陈露<sup>[7]</sup>分析了桥梁挂篮施工的安全风险内涵,并通过分解其工艺流程分析其中的安全影响因素,将故障树、模糊理论与贝斯网络相结合,构建了挂篮施工的安全风险动态评价模型;唐韬<sup>[8]</sup>阐述了挂篮施工工艺并分解其工艺过程,得出挂篮施工的风险源,建立了挂篮施工的安全风险评价模型,通过作业条件危险性评价法(LEC)和模糊层次综合评价法得出挂篮施工风险情况,并根据评价结果提出了针对性的风险控制建议;付红安等<sup>[9]</sup>采用可拓模糊理论建立了跨既有线悬臂施工连续梁桥施工阶段风险模型,为类似桥梁的施工风险管理提供了借鉴;俞素平<sup>[10]</sup>分析了在现浇桥施工期间发生安全事故的原因,构建了施工期间的风险评价模型,为下阶段采取相应措施提供了可靠依据。这些研究在一定程度上降低了桥梁施工方面的风险,但

针对桥梁施工质量和人员安全风险的研究却较少。因此,本研究根据挂篮悬臂施工工序的特点,分析在其施工过程中存在的风险因素,采用模糊层次综合评价法对桥梁施工安全进行评价。

现有的研究成果基本上都在研究如何规避桥梁施工所面临的风险,研究内容往往是单方面的分析,对其他可能存在的影响因素分析较少。本研究根据挂篮悬臂施工工序的特点,首先,分析在桥梁施工过程中存在的风险因素;然后,利用层次分析法和模糊综合评价法的优点建立风险评价模型,并计算各层权重集;最后,基于模糊数学的最大隶属度原则对桥梁施工质量和人员安全进行评价。

## 1 项目概况

潭江特大桥位于中山至阳春高速公路开平至阳春段的 TJ01 施工段,是一座连续刚构桥,全长 2 110 m,桥宽(2×16.5)m。桥梁上部结构采用预应力混凝土先简支后连续 T 梁和预应力混凝土小箱梁,下部构造采用柱式墩、板式墩,桥台采用肋式台,基础均采用钻孔灌注桩。主桥的桥跨布置为 75 m+135 m+75 m,主梁采用预应力混凝土变截面箱梁,箱梁为单幅单箱室断面,箱梁中支点根部梁高 8 m,跨中及边跨现浇段梁高 3.2 m,梁高采用 1.8 次抛物线,箱梁采用 C55 混凝土。主桥箱梁单个 T 构纵向分 16 个梁段及 1 个合拢段,1~6 号梁段长 3.5 m,7~11 号梁段长 4 m,12~16 号梁段长 4.5 m,边跨现浇段长 6.34 m,边跨和中跨合拢段均长 2 m。0,1 号梁段采用托架现浇,2~16 号梁段采用挂篮悬浇,合拢段采用吊架现浇,边跨现浇段采用支架现浇。

由于该桥施工工期较短,又是在高空作业的情况下进行悬浇施工,施工作业平台相对狭小,同时还受到内、外部环境因素的影响,这些都会导致施工过程不确定性因素的增加,使施工难度增大,施工精度也会在一定程度上受到影响,施工质量

和人员安全很难得到保障。因此,识别和分析施工过程的影响因素是非常必要的。

## 2 施工风险分析

风险因素是指在施工过程、运营过程或其他过程中影响桥梁质量和人员安全的因素,各风险因素之间相互影响、相互制约。在不同的施工过程中也可能存在相同的风险因素。因此,需要了解各风险因素的性质和它们之间的隶属关系。

挂篮悬臂施工工艺有效地提高了桥梁施工作业的效率和速度,同时也提高了桥梁的跨越能力。但在挂篮悬臂浇筑过程中,影响桥梁施工质量和人员安全的风险因素众多,各种因素相互影响,关系错综复杂,对桥梁施工质量和人员安全的影响程度各不相同,且挂篮悬臂施工工序烦琐,再加上是高空作业,施工过程存在各种安全隐患。因此,需要识别施工过程中各种安全风险因素。本研究根据挂篮悬臂施工工序,从动态控制和静态控制角度对挂篮施工、节段浇筑施工、预应力张拉施工、合拢段施工、施工管理、人员作业及环境等方面进行分析,并结合施工现场和工程经验识别其中的风险因素。

### 2.1 挂篮施工

挂篮施工以桥梁 0、1 号节段作为施工平台进行浇筑作业,再以浇筑的节段为平台,直到完成最大悬臂端的浇筑。其中,挂篮作业的关键工序为挂篮拼装、挂篮前移、挂篮锚固、挂篮拆除等。在施工过程中,由于挂篮拼装和拆除操作不规范、挂篮前移左右不同步、挂篮构件有损伤或锚固不牢靠、挂篮变形量大、未对挂篮进行试压试验及挂篮控制点有误差等原因,都有可能影响桥梁施工质量和人员安全。此外,挂篮本身存在高空作业风险,需要编制专项施工方案,并书面告知作业人员其中的危险性。通过对挂篮施工进行安全检查,可在一定程度上预防挂篮施工带来的风险。

### 2.2 节段浇筑施工

在混凝土悬臂的浇筑过程中,以挂篮的底篮作为施工平台开始浇筑,而混凝土在浇筑过程中可能存在局部离析、振捣不密实、模板截面尺寸偏差、未对称浇筑以及相邻节段有错台等风险;混凝土在浇筑完成后进入养护阶段,在养护期间因养

护不到位,有蜂窝或麻面,甚至出现裂缝等问题;另外,当关键工序或隐蔽工程完成后,未经质量检查验收就私自覆盖,混凝土本身的收缩徐变及配合比不合理,都有可能影响节段浇筑的施工质量,导致桥梁线形偏差、受力不安全,从而直接影响整个桥梁的结构安全。

### 2.3 预应力张拉施工

在混凝土浇筑完成,且混凝土强度达到设计强度的 75% 以上时,进行预应力筋的张拉。在桥梁施工过程中,结构的预应力损失具有不可避免性和不可预见性。因此,在穿插和张拉预应力筋时,施工人员应遵循相应的操作规程,防止预应力张拉滑丝或断筋、预应力管道堵塞、锚具碎裂或故障、锚固区混凝土局部开裂、预应力筋张拉不到位等影响桥梁的质量和安全性。在张拉后对孔道进行压浆,检查孔道是否压浆到位。同时,施工人员也应注意器具的使用,以防伤到自己。

### 2.4 合拢段施工

合拢段施工是构建成桥的最后一道工序,标志着桥梁主体结构即将结束,同时也是桥梁施工最关键的步骤之一。合拢段施工质量的好坏直接体现了桥梁建设的成败。在施工准备阶段,加强对吊架安装质量和悬臂端的监控,以防因混凝土收缩徐变及配重不合理使悬臂端相对高度过大;同时劲性骨架的焊接、合拢方案的实施、温度骤变、施工荷载都会使桥梁结构产生过大的变形和附加内力。在浇筑过程中,应严格监控合拢时的温度并监测混凝土的坍落度,以防错失最佳合拢时机。

### 2.5 施工管理

风险是客观存在的,且具有不确定性。在工程中,影响施工质量的主要因素有人、材料、机械、方法及环境等五个方面(4M1E)。施工企业通过施工管理体系对施工质量及人员安全进行控制,即制定相应的规章制度,建立安全组织机构来规范施工人员的行为,实施施工安全措施,如实施安全教育、排除施工现场安全隐患、制定应急和救援方案及危险源辨识预案等措施。主要负责人对施工技术交底要做到分级要求,确保施工人员掌握施工技术。检测材料、机器设备的管理制度不严或安全监控不到位,都有可能使桥梁施工质量和

人员安全受到威胁。另外,还要进行工序交接检查,提高桥梁施工质量,保障人员安全。

### 2.6 人员作业及环境

人是参与桥梁建设的决策者、管理者和作业者,而人的意识和活动在施工作业中对施工质量和自身安全存在影响。同时,桥梁结构处于自然环境中,不可避免地会受到人的因素和各种自然环境因素的影响,而人的因素又起着决定性的作用。在桥梁施工过程中,人员安全意识淡薄、基础素质能力不足、违规作业、人员配置不当或不足等都有可能造成人员伤亡或施工质量不合格。此外,桥梁施工所处的自然环境及人员施工作业环境也都有可能影响桥梁施工质量和人员安全,如冬季施工、雨季滑坡、安全防护设施不足、工作环境未有警告标志及场地杂乱等,这些因素不可忽视。

## 3 模糊层次综合分析法风险评价模型

### 3.1 构建评价模型

针对潭江特大桥挂篮悬臂施工的特点,本研究对上述可能影响潭江特大桥桥梁施工质量和人员安全的六个方面的因素进行分类,并建立桥梁施工质量和人员安全风险评价的结构层次模型。该模型由上到下分为 3 层,第一层为目标层,包含一个元素,表示分析的最终目标;第二层为主准则层,由相互独立、隶属于目标层的若干个子系统组成;第三层为次准则层,由影响主准则层的因素指标组成。风险因素评价集由所构建的结构层次模型的某一层风险因素组成。根据前人的研究成果和工程实践经验,本研究构建了桥梁施工阶段施工质量和人员安全风险评价指标体系,其目标层为挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险;主准则层为挂篮施工工序六个方面的二级评价指标;次准则层为主准则层下的 30 个一级评价指标。一级评判是指通过次准则层权重与其评价矩阵对主准则层进行评判;二级评判是指通过主准则层权重与其评价矩阵对目标层进行评判。表 1 为挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险评价指标体系。

表 1 挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险评价指标体系

Table 1 Risk evaluation index system of construction quality and personnel safety for hanging basket cantilever construction bridge

主准则层	次准则层
挂篮施工 A <sub>1</sub>	安装、拆除操作不规范 a <sub>11</sub>
	未编制或编制的专项施工方案不合理 a <sub>12</sub>
	挂篮变形量较大 a <sub>13</sub>
	未进行加载试压 a <sub>14</sub>
	挂篮构件有损伤或锚固不牢靠 a <sub>15</sub>
节段浇筑施工 A <sub>2</sub>	养护不到位 a <sub>21</sub>
	混凝土配合比不合理 a <sub>22</sub>
	相邻节段有错台、裂缝 a <sub>23</sub>
	混凝土局部离析 a <sub>24</sub>
	混凝土振捣不密实,出现蜂窝 a <sub>25</sub>
预应力张拉施工 A <sub>3</sub>	预应力管道堵塞 a <sub>31</sub>
	压浆不到位 a <sub>32</sub>
	预应力欠拉或过大 a <sub>33</sub>
	预应力出现滑丝或断丝 a <sub>34</sub>
	锚固区混凝土局部开裂 a <sub>35</sub>
合拢段施工 A <sub>4</sub>	悬臂端相对高度过大 a <sub>41</sub>
	未按合拢方案施工 a <sub>42</sub>
	劲性骨架焊接不牢固 a <sub>43</sub>
	与设计合拢温度相差过大 a <sub>44</sub>
	配重不合理 a <sub>45</sub>
施工管理 A <sub>5</sub>	安全规章实施和教育不到位 a <sub>51</sub>
	安全组织机构不完整 a <sub>52</sub>
	应急救援方案、危险源辨识预案不合理 a <sub>53</sub>
	检查制度不严格 a <sub>54</sub>
	技术交底不到位 a <sub>55</sub>
人员作业及环境 A <sub>6</sub>	安全意识淡薄 a <sub>61</sub>
	人员基础素质水平不足 a <sub>62</sub>
	人员配置不当或不足 a <sub>63</sub>
	自然环境影响 a <sub>64</sub>
	人员作业环境混乱 a <sub>65</sub>

### 3.2 建立模糊评价集

根据挂篮悬臂施工对桥梁施工质量和人员安全的影响程度及发生后果的严重程度,将风险分为四个等级,即评价集  $V=\{I, II, III, IV\}=\{优, 良, 中, 差\}$ 。为了能进行统一处理,将评价等级进行了量化<sup>[11]</sup>(见表 2)。

表 2 挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险等级

Table 2 Risk levels of construction quality and personnel safety for hanging basket cantilever construction bridge

评价尺度值	等级	评价结果
90~100	I	优
80~90	II	良
70~80	III	中
70 以下	IV	差

4 风险评价

4.1 计算指标权重

首先建立判断矩阵。由层次分析法确定各层的因素集之后,评价同一层次中每个因素的相对重要程度。相对重要程度由各因素两两比较得

到。一般由专家通过 1~9 标度法<sup>[12]</sup>对各因素赋值,得到判断矩阵,再计算判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ ,求出所对应的特征向量,这些特征向量即构成判断矩阵相对重要性的权重集向量  $\omega=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n)$ 。由于专家根据工程经验和专业知识判断因素之间的相对重要程度,各因素的赋值会受到主观因素的影响,这就使评价结果的客观性不能得到保证。因此,需要对判断矩阵进行一致性<sup>[12]</sup>检验,最终得到各指标的评价结果。

根据潭江特大桥施工现场的实际情况,邀请相关专家通过 1~9 标度法对影响因素的各指标进行两两比较并赋值,构造判断矩阵并通过计算得到权重集向量。挂篮施工的判断矩阵和权重集向量如表 3 所示。同理可得其余次准则层和主准则层的权重集向量,由于篇幅所限,在此不一一列举。

表 3 挂篮施工的评判矩阵

Table 3 Evaluation matrix of hanging basket construction

$A_1$	评价指标内容	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	$a_{15}$	$\omega_1$
$a_{11}$	安装、拆除操作不规范	1	5	2	3	1/2	0.302
$a_{12}$	未编制或编制的专项施工方案不合理	1/5	1	1/2	1	1/2	0.097
$a_{13}$	挂篮变形量较大	1/2	2	1	2	1/3	0.162
$a_{14}$	未进行加载试压	1/3	1	1/2	1	1/2	0.107
$a_{15}$	挂篮构件有损伤或锚固不牢靠	2	2	3	2	1	0.332
$\lambda_{\max}=5.273, CI=0.068, CR=0.061<0.1$							

次准则层的权重集向量为:

$\omega_1=(0.302,0.097,0.162,0.107,0.332),$

$\lambda_{\max}=5.273,CI=0.068,CR=0.061。$

$\omega_2=(0.073,0.477,0.187,0.187,0.076),$

$\lambda_{\max}=5.376,CI=0.094,CR=0.084。$

$\omega_3=(0.069,0.075,0.194,0.468,0.194),$

$\lambda_{\max}=5.439,CI=0.110,CR=0.098。$

$\omega_4=(0.058,0.212,0.190,0.413,0.127),$

$\lambda_{\max}=5.169,CI=0.042,CR=0.038。$

$\omega_5=(0.067,0.195,0.206,0.413,0.119),$

$\lambda_{\max}=5.337,CI=0.084,CR=0.075。$

$\omega_6=(0.478,0.192,0.071,0.067,0.192),$

$\lambda_{\max}=5.044,CI=0.011,CR=0.010。$

主准则层的权重集向量为:

$\omega=(0.214,0.082,0.082,0.333,0.097,0.192),$

$\lambda_{\max}=6.237,CI=0.047,CR=0.038。$

4.2 一级综合评价

根据现场实际施工情况及管理方式,由各专家根据表 2 的风险等级对各因素指标进行打分,并采用梯形隶属度函数<sup>[13]</sup>确定各指标的评价矩阵  $R_i$ ,结合各层的权重集得到一级评价向量  $C_i$ ,即  $C_i=\omega_i\times R_i$ 。

$C_1=\omega_1\times R_1=$

$(0.302,0.097,0.162,0.107,0.332)\times$   
 $\begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 1.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.9 & 0.0 & 0.0 \\ 0.3 & 0.7 & 0.0 & 0.0 \\ 0.8 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$   
 $(0.465,0.535,0.000,0.000)$

式中: $\omega_1$ 为挂篮施工的权重集向量; $R_1$ 为对应的评价矩阵。

其余一级评价向量  $C_2 \sim C_6$  的计算,可以此类推。将所得的一级评价向量  $C_1 \sim C_6$  合成得到一级模糊矩阵  $R$  :

$$R = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.465 & 0.535 & 0.000 & 0.000 \\ 0.334 & 0.303 & 0.363 & 0.000 \\ 0.068 & 0.346 & 0.586 & 0.000 \\ 0.439 & 0.561 & 0.000 & 0.000 \\ 0.124 & 0.373 & 0.503 & 0.000 \\ 0.316 & 0.472 & 0.135 & 0.077 \end{bmatrix}$$

由最大隶属度原则可得,挂篮施工、节段浇筑施工、预应力张拉施工、合拢段施工、施工管理、人员作业及环境的权重分别为 0.535,0.363,0.586,0.561,0.503,0.472,其安全风险评价为良、中、中、良、中、良。

4.3 二级综合评价

二级综合评价是主准则层对目标层所进行的综合评判。首先,次准则层对主准则层评判得到一级模糊矩阵  $R$  ;然后,主准则层的权值向量  $\omega$  与一级模糊矩阵  $R$  相乘得到二级模糊矩阵向量  $B$  ,即  $B = \omega \times R$  ;最后,根据最大隶属度原则可得到评价结果。

$$B = \omega \times R = (0.351, 0.481, 0.153, 0.015)$$

评价结果表明:一级评价值为 0.351,二级评价值为 0.481,三级评价值为 0.153,四级评价值为 0.015。根据模糊数学的最大隶属度原则,其最大值为 0.481,即挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险总体状态为良。

5 结论

本研究以潭江特大桥为例,分析并识别出桥梁施工质量和人员安全存在的风险因素。以挂篮施工、节段浇筑施工、预应力张拉施工、合拢段施工、施工管理、人员作业及环境六个方面,建立挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险评价指标体系。结合层次分析和模糊综合评价理论,构建挂篮悬臂施工桥梁施工质量和人员安全风险评价模型。结论如下:

1) 通过对潭江特大桥挂篮悬臂施工的安全风险进行评价可知,挂篮施工、合拢段施工、人员作业及环境的权重分别为 0.535,0.561,0.472,其安

全风险评价结果为良;节段浇筑施工、预应力张拉施工和施工管理的权重分别为 0.363,0.586,0.503,其安全风险评价结果为中;总体施工的权重为 0.481,其安全风险评价结果为良。这些评价结果与潭江特大桥的实际施工情况比较接近,说明本研究的成果能较客观地反映潭江特大桥挂篮悬臂施工的实际安全状态。

2) 结合施工全过程,以动态及静态控制思想分析影响桥梁施工质量和人员安全的风险因素,并构建风险评价模型,为同类工程提供了一定的借鉴,同时在桥梁施工质量风险防范及人员安全指导等方面也具有积极的现实意义。

3) 对于在桥梁施工中存在的一些常见问题,如预应力张拉施工和合拢段施工等,若解决不好,在运营过程中往往会引起合拢段下沉过大、底板裂缝等问题。因此,需要对此展开进一步的系统研究,力求实现技术突破,为风险评价提供更可靠的依据,进而丰富现有研究体系的内容。

〔参考文献〕

[1] 覃明. 基于 SCL-LEC-FCEM 法的挂篮施工安全评价[J]. 广东水利水电,2014(4):67-71.  
QIN Ming. Safety assessment of form traveler construction based on SCL-LEC-FCEM method [J]. Guangdong Water Resources and Hydropower,2014(4): 67-71.

[2] 薛飞. 铁路桥梁连续梁挂篮施工技术研究[J]. 黑龙江科学,2019,10(8):102-103.  
XUE Fei. Research on construction technology of railway bridge continuous beam hanging basket[J]. Heilongjiang Science,2019,10(8):102-103.

[3] 李保. 大跨径连续梁桥挂篮悬臂施工及质量控制要点[J]. 山西交通科技,2008(5):38-40,46.  
LI Bao. The construction and quality control of large-span continuous beam bridge suspended wagon cantilever[J]. Shanxi Science & Technolgy of Communications,2008(5):38-40,46.

[4] 谢敬华. 连续刚构桥挂篮施工常见问题的预防与控制研究[J]. 智能城市,2019,5(1):64-65.  
XIE Jing-hua. Study on prevention and control of common problems in hanging basket construction of continuous rigid frame bridge[J]. Intelligent City,

- 2019,5(1):64-65.
- [5] 张文鑫. 大桥挂篮施工及安全管理措施[J]. 建筑安全,2019,34(6):28-31.  
ZHANG Wen-xin. Construction and safety management measures of bridge hanging basket[J]. Construction Safety,2019,34(6):28-31.
- [6] 薛学军. 桥梁悬臂挂篮施工质量管理要点分析[J]. 中国建材,2019(8):134-136.  
XUE Xue-jun. Analysis on the key points of construction quality management of bridge cantilever hanging basket[J]. China Building Materials, 2019 (8): 134-136.
- [7] 陈露. 基于贝叶斯网络的桥梁挂篮施工安全风险动态评估研究[D]. 武汉:华中科技大学,2019.  
CHEN Lu. Research on dynamic assessment of safety risk of bridge hanging basket construction based on Bayesian network[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2019.
- [8] 唐韬. 预应力混凝土斜拉桥挂篮施工安全风险研究[D]. 武汉:华中科技大学,2016.  
TANG Tao. Research on safety risk management of hanging basket in construction of prestressed concrete cable-stayed bridge [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology,2016.
- [9] 付红安,李晓钟. 跨既有线悬臂施工连续梁桥施工阶段风险评价[J]. 工程管理学报,2013,27(5):88-92.  
FU Hong-an, LI Xiao-zhong. Risk assessment of continuous beam bridge construction stage of cantilever construction across existing line[J]. Journal of Engineering Management,2013,27(5):88-92.
- [10] 俞素平. 现浇桥梁施工安全风险评估的模糊层次分析法[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2014,27(3):70-74.  
YU Su-ping. Fuzzy analytic hierarchy process for safety risk assessment of cast-in-place bridge construction[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering: Natural Science Edition,2014,27(3):70-74.
- [11] 董大旻. 建设施工危险源研究与管理[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008.  
DONG Da-min. Study and management of construction hazard [M]. Beijing: China Labor and Social Security Press,2008.
- [12] 戴树和. 工程风险分析技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.  
DAI Shu-he. Engineering risk analysis techniques[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2007.
- [13] 刘俊娟,王伟,程琳. 基于梯形隶属函数的区间数模糊评价方法[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(2):390-392.  
LIU Jun-juan, WANG Wei, CHENG Lin. Interval number fuzzy evaluation based on trapezoid subordinate function[J]. Systems Engineering and Electronics,2009,31(2):390-392.