

山区高速公路施工过程风险评价模型研究

刘纪坤^{1,2}, 刘恩宇^{1*}, 郭红娟¹, 王翠霞^{1,2}

(1.西安科技大学 安全科学与工程学院, 陕西 西安 710054; 2.西部矿井开采及灾害防治教育部重点实验室)

摘要: 基于系统分析方法对山区高速公路施工过程中的风险因素进行了辨识,在基于作业条件危险性评价法基础上建立了新的风险评价模型——风险处理措施安全补偿系数作业条件危险性评价法,并对该模型的参数进行了赋值和分级。应用该评价模型对某山区高速公路试验段的施工过程存在的风险进行了分析与评价,评价结果与作业条件危险性评价法相比较,有效降低了事故的风险,取得了良好的效果。

关键词: 山区高速公路施工; 风险分析; LECT 风险评价模型

1 前言

随着综合国力的全面提升,中国公路建设正大踏步地向中西部迈进,山区高速公路总里程已超过中国高速公路路网总里程的1/4。由于山区高速公路施工过程中存在复杂多变的施工环境、隐匿潜藏的风险因素和难以控制的危害后果,以目标为导向的管理模式以及施工单位与工程项目部相分离的组织架构,都使得建设施工过程中的安全生产事故不断增加,这一状况引起了各方面的广泛关注。每年因山区高速公路施工造成的人员伤亡和财产损失一直居高不下,给工人的生理和心理、社会声誉以及工程项目的进程都带来了不利的影响,因此对山区高速公路施工过程展开风险分析与风险评价非常重要。

风险分析、评价起源于20世纪30年代的美国,60年代开始了全方位、多系统的研究,80年代初期引入中国。目前,风险分析、评价被应用于多种领域,施工项目应用得尤为广泛。中国学者对山区高速公路施工过程中的风险分析与风险评价进行了比较全面的研究,但大都集中在隧道、桥梁等重难点项目上,对全过程施工的研究较少。笔者就全过程施工过程进行深入的研究,对施工现场存在的风险因素展开辨识与评价,并进行分级管理与控制,保证风险因素处于受控状态,有效预防施工中各类安全事故的发生,以保障施工

安全。

2 山区高速公路施工过程风险分析

风险贯穿于山区高速公路建设的始末,开展风险分析是减少施工中安全生产事故的必要手段。风险因素识别是对项目进行风险分析的重要一步,是整个风险分析的基础。

2.1 风险因素识别的内容

开展风险因素识别是预防和减少安全事故发生的根本方法,同时也是山区高速公路施工过程中控制和降低人员伤亡、财产损失的基本途径。

(1) 风险因素识别首先要确定识别范围。具体指整个施工现场并涵盖了从施工位置的选择、设备的安装、道路的铺设到工程的验收过程中所有的人员、设备、管理制度、技术手段、环境等。

(2) 分析、辨识施工现场所有的风险因素。主要包括施工现场的所有工作人员及管理人员以及他们的心理、生理活动和行为,所有的机械设备、施工工具和材料存在的安全隐患,施行的管理方法及施工工艺不合理之处,自然环境和气候条件对工程项目的不利条件和隐藏的不良因素。

(3) 识别施工现场风险因素存在条件和触发因素以及潜在的危险性。风险因素存在条件主要包括:存放条件(通风状况、堆放方式),设备状况(存在缺陷、完

收稿日期:2018-09-29

基金项目:西安科技大学培育基金项目(编号:201713);西安科技大学博士启动基金项目(编号:2017QDJ016)

作者简介:刘纪坤,男,副教授.E-mail:271143890@qq.com

*通信作者:刘恩宇,男,硕士研究生.E-mail:894204167@qq.com

好程度),防护条件(本安设计、防护措施)等。自然因素和人为因素是导致风险触发的主要因素。自然因素可分为不良气候条件、地质灾害等;人为因素包括误操作、异常心理和生理状态、管理方式不当。潜在危险性是指风险转化为事故所导致后果的严重程度和遭受影响范围的大小,所以认清风险因素的潜在危险性是对风险进行分级评价的基础。

(4) 将已辨识的风险因素登记入库,根据其危险性大小进行分级管理,还要对风险数据库不断地更新,以便确定新的以及潜在的风险因素。

2.2 风险辨识的方法

风险因素识别的方法很多,主要分为直观经验法和系统安全分析法。

(1) 直观经验法:安全管理人员可通过查阅有关资料、现场分析观察、类比推断、使用调查问卷、询问交谈、头脑风暴法、咨询专家等方法辨识风险因素。

(2) 系统安全分析法:事故树(FTA)、安全检查表(SCL)、作业危害分析(JHA)、危险可操作性研究(HAZOP)等常规方法。

3 山区高速公路施工过程风险评价

3.1 风险评价的内容与流程

风险评价是在风险分析的基础上,评价事故发生的可能性以及事故后果的严重程度,在此基础上与对应标准相比较,确定风险的等级,从而采取相应风险控制措施的过程。实施风险评价是对山区高速公路施工中的全部风险进行分级,根据分级结果有针对性地控制风险达到持续改进的目的。风险评价流程见图1。

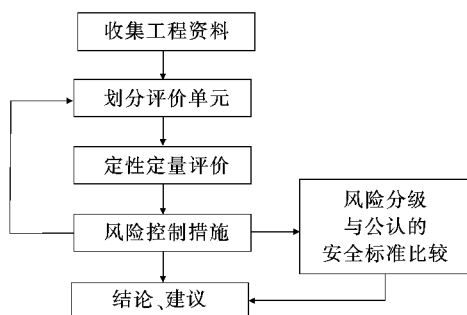


图1 风险评价流程

3.2 LECT 风险评价模型

根据山区高速公路施工的真实情况及特点,提出了基于作业条件危险性评价法的风险评价模型——风险处理措施安全补偿系数作业条件危险性评价法

(LECT)。综合来看,由于山区高速公路施工的技术条件、劳动组织、管理状况和人员素质等因素,会对风险的出现和发展产生很大的影响,如果处理措施及时准确就能降低风险;反之,风险就会扩大增强。因此,风险处理措施是影响风险评价的因素之一。

对于每一种风险因素将事故发生的可能性 L 、人体暴露在评价单元的频繁程度 E 、一旦发生事故造成的损失后果 C 、风险处理措施安全补偿系数 T 共4个影响因素分别分为若干等级并赋予相应的分值。危险性分值 D' 的大小为 L 、 E 、 C 、 T 共4个影响因素的乘积,将其也分为若干等级,根据计算出的 D' 值,对照危险性分值表则可确定该危险因素的等级。具体的公式为:

$$D' = L \times E \times C \times T \quad (1)$$

文中将 T 的取值范围定为 $0 \sim 1$ 。假定风险处理措施安全补偿系数 T 只具备正作用,即只要采取风险处理措施就能降低风险,不会因措施不当或其他原因而扩大风险(文中所采取的风险处理措施都能够有效降低风险,暂未出现致使风险扩大的情况)。 T 值取1时,危险性分值 D' 等同于作业条件危险性评价法的危险性分值 D ,说明未采取措施; T 值越小,得到 D' 值越小,表示风险越小,说明风险控制措施有效。根据这种取值标准,将 T 划分为6个等级。 L 、 E 、 C 在该模型中的意义等同于它们在作业条件危险性评价法中所表示的意义,因而 L 、 E 、 C 可以沿用作业条件危险性评价法中的分级指标。 L 、 E 、 C 与 T 的具体分级指标见表1、2。

T 值判断准则是根据所采取的风险处理措施及其效果来确定的。其中,风险处理措施由风险早期预警、风险应对态度和具体处理措施组成,并对他们赋予相应的权重加权得到,从而将定性分析转为定量评价。

$$f = n_1 f_1 + n_2 f_2 + n_3 f_3 \quad (2)$$

式中: f 为风险处理措施; f_1 、 f_2 、 f_3 和 n_1 、 n_2 、 n_3 分别为风险早期预警、风险应对态度和具体处理措施以及他们相应的权重。

根据 f 值评价措施效果,参考文献[8],结合专家意见将措施效果语言变量定量化,最终得出措施分值。

文中危险性分值 D' 的分级指标与 LEC 法分级指标相同,因为 D' 值的本质代表着某一特定的危险程度,虽然 T 值的出现会改变 D' 的数值大小,但是并不会改变 D' 的本质,即相同数值的 D 与 D' 所表达的危险程度是相同的。所以,此文仍然沿用 LEC 法的分级

表1 L、E、C 分级指标

L 值判定准则		E 值判定准则		C 值判定准则	
事故发生的可能性	分值	人体暴露在评价单元的频繁程度	分值	一旦发生事故会造成的损失后果	分值
必然发生	10	连续暴露	10	大灾难许多人死亡	100
相当可能	6	每天工作时间内暴露	6	灾难数人死亡	40
可能,但不经常	3	每周一次暴露或偶然暴露	3	非常严重一人死亡	15
可能性小,完全意外	1	每月一次暴露	2	严重重伤	7
很不可能,可以设想	0.5	每年几次暴露	1	重大致残	3
实际不可能	0.1	非常罕见地暴露	0.5	引人注目需要救护	1

表2 T 分级指标

风险处理措施	措施效果	措施分值
未采取措施	未降低风险	1.0
未及时发现风险 风险处理态度消极 未采取有效的措施 ...	措施效果不显著	0.8
未及时发现风险 处理措施效果不佳 ...	措施有一定效果	0.7
及时发现风险 风险处理态度积极 果断采取有效措施 ...	措施效果显著	0.5
提前预测预警 及时发现风险 措施到位有效 ...	措施效果相当显著	0.3
措施完全有效	完全控制风险	0

指标,见表3。

表3 危险性分值 D 分级指标

危险性分值 D	危险等级	危险程度
$D \geq 320$	V	极度危险
$320 > D \geq 160$	IV	高度危险
$160 > D \geq 70$	III	显著危险
$70 > D \geq 20$	II	一般危险
$D < 20$	I	轻度危险

4 工程应用

4.1 工程概况

某高速公路 X 标段全长 37.5 km。建有大桥 30 座/9 186.42 m,隧道 8 座/6 406 m,互通立交 3 座,分

离式立交 2 座,全线桥隧比达 47.26%。项目沿线穿越伏牛山、熊耳山、丹江、洛河等山脉和水系,地表形态不规则,地质条件极其复杂,存在边坡塌方、泥石流、渗水、滑坡、危岩体等众多潜在风险;各施工标段高填方、深挖方多,最大的填方深度达 60 m,最大的挖方深度达 68 m。组织难度大,施工风险大,环保要求高。

4.2 主要施工风险因素评价

通过风险分析,对某高速 X 标段进行风险因素识别,得出路基不均匀沉降、边坡塌方、路面开裂、路基水平位移、桥面开裂、漏水、主梁失稳、隧道塌方、渗水、洞口失稳、大变形、突水涌泥、基坑支护、陆上打桩、物体打击、触电为主要施工风险因素,然后应用 LECT 法评价风险,得到了主要施工风险因素的评价结果(表 4)。

4.3 风险分析及控制措施

采用 LECT 评价法对该山区高速公路施工过程进行风险评价,根据 LECT 评价法所采取的不同风险处理措施,得到的风险量化值 D' 较 D 出现了不同程度的下降。由于风险量化值改变量 $|D - D'|$ 的出现,引起了风险分级的变化,其中,16 种主要风险因素中有 9 种风险因素的风险分级结果出现下降并且直接导致这些风险因素的危害程度下降,增加了风险向事故转化的阻力。同时,风险级别的下降还会间接影响到相应事故的预防和应对,因而可以有目的地调整先前的事故预防措施和有针对性地制定未来事故应对手段。在这种“连锁效应”下,最终能够降低施工风险,保障人与财产的安全。

边坡塌方、路面开裂、漏水、洞口失稳、突水涌泥、物体打击、触电为施工过程中重点预防的风险因素,应针对其各个风险因素制定相应的控制措施并加强安全培训和管理;其余的风险因素虽不会造成严重后果,也需要一些必要的预防手段,抑制风险向事故转化,达到安全的目的。风险控制措施是依照以往相似工程的经验,结合该项目的具体施工状况制订的一套具体、实用

表 4 主要风险因素量化表

风险因素	风险量化评价					危险等级	危害程度	$D=L \times E \times C$ (危害程度)
	L	E	C	T	$D'=L \times E \times C \times T$			
路基不均匀沉降	1	3	15	0.8	36	II	一般危险	45(一般)
边坡塌方	1	6	40	0.7	168	IV	高度危险	240(高度)
路面开裂	3	3	15	0.7	94.5	III	显著危险	135(显著)
路基水平位移	1	3	40	0.3	36	II	一般危险	120(显著)
桥面开裂	1	3	40	0.3	36	II	一般危险	120(显著)
漏水	3	6	15	0.5	135	III	显著危险	270(高度)
主梁失稳	0.2	6	100	0.3	36	II	一般危险	120(显著)
隧道塌方	0.5	2	100	0.5	50	II	一般危险	100(显著)
渗水	3	3	15	0.3	40.5	II	一般危险	135(显著)
洞口失稳	1	6	40	0.5	120	III	显著危险	240(高度)
大变形	0.1	1	100	0.5	5	I	轻度危险	10(轻度)
突水涌泥	3	2	40	0.3	72	III	显著危险	240(高度)
基坑支护	1	3	15	0.5	22.5	II	一般危险	45(一般)
陆上打桩	1	2	7	0.3	4.2	I	轻度危险	14(轻度)
物体打击	3	3	15	0.7	94.5	III	显著危险	135(显著)
触电	6	6	7	0.3	75.6	III	显著危险	252(高度)

的风险控制方案。给定的风险控制措施按照风险早期预警、风险应对态度和具体处理措施 3 方面考虑和实施。其中,风险早期预警更多地体现在边坡塌方、洞口失稳和突水涌泥这些需要提前勘探和监测监控的风险因素中;对于各个风险因素都分别给出了具体处理措

施,用于应对风险的预防和控制;积极的风险应对态度和紧迫的时间观念是风险控制过程中不可或缺的一环,风险应对态度虽然没有直接出现在风险控制措施中,但是,在开展具体的风险控制时应该有直观的表现。具体风险控制措施见表 5。

表 5 风险控制措施

风险因素	风险控制措施
边坡塌方	设置危险警告标识,做好超前支护与边坡维护工作,加强高边坡施工安全保障措施,防止边坡塌方
路面开裂	增强路基及路面强度,改进施工工艺
漏水	采取“排、防、堵、截”相结合的处理方法,疏导地表水,对洞内实施钻孔注浆、凿槽引排
洞口失稳	开展监测监控,提高围岩强度,进行仰坡加固,加强支护
突水涌泥	对断层富水区进行超前探测,实施超前帷幕注浆或者全断面径向注浆等措施
物体打击	做好作业人员个体防护,设置警告标志,加强安全教育培训,提高安全意识
触电	遵守安全操作规程,符合施工现场临时用电安全技术规范,对漏电设备及时检查维修

5 结论

(1) 深入分析了风险分析阶段,指出了风险分析的主要内容,提供了一些常用的风险辨识方法,为山区高速公路施工过程风险辨识提供了参考。

(2) 根据施工现场情况,提出了风险处理措施安

全补偿系数作业条件危险性评价法。对参数 T 进行深入研究和分析,从风险处理措施的 3 个方面——风险早期预警、风险应对态度和具体处理措施考虑并加权赋值,结合风险处理效果将定性评价定量化。

(3) LECT 评价法通过提供一定的风险处理措施,明显地降低风险因素的危险等级和危害程度,为风险分级管控提供可靠的依据。同时,能够准确、直观地

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.03.063

集成进度和风险的价值工程模型在公路工程设计 方案优选中的应用研究

李珏, 刘焕

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:公路工程项目设计方案比选时,传统价值工程(Value Engineering 简称 VE)模型考虑以最优成本实现项目必要功能,可能会忽略项目进度和风险,从而导致结果偏差,影响评价的科学性。该文在分析方案优选影响因素的基础上,引入进度指标和风险评价,构建改进的价值工程模型,并以公路工程软基处理设计案例进行实证优选分析。模型采用模糊层次分析法评价项目绩效指标和蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟方法评价项目综合风险。改进的价值工程模型将为项目利益相关方提供一种方案评选参考方法。

关键词:公路工程; 价值工程; 风险; 进度; 方案优选

1 引言

价值工程(Value Engineering 简称 VE)是一种高效的管理技术,最初运用在美国的军事工业,并先在制造业中广泛应用,而后开始推行运用于工程行业,目标是以最优的寿命周期成本实现必要的功能或绩效,VE与工程项目管理有机结合,可以提高管理效率。工程

设计阶段是公路工程投资控制的关键阶段,在该阶段运用价值工程理论对设计方案优化比选,可以有效实现投资的最优运用。在公路工程设计方案优选应用中,焦隆华、郑长安和段劲等将 VE 运用于路线方案、隔离设施和边坡防护方案比选中,都取得了较显著的经济效益。但运用于公路工程方案比选的 VE 普遍还是制造业中运用 VE 的基本结构,仅考虑以最优成本完成项目必要功能或绩效,这可能会忽略对工程项目

找出重点风险因素,并且可以根据风险分级结果为风险的预防和处理制定相应的对策措施。

(4) 将 LECT 评价法应用于某高速 X 标段的施工现场,根据评价结果确定了边坡塌方、路面开裂、漏水、洞口失稳、突水涌泥、物体打击、触电为施工过程中重点风险因素。根据参数 T,从风险早期预警、风险应对态度和具体处理措施入手,制定了风险控制措施,对其进行重点防护,有效降低了施工风险,印证了该风险评价模型的可靠性。

参考文献:

[1] 吴忠广,王海燕,陶连金,等.高速公路高边坡施工安全总体风险评估方法[J].中国安全科学学报,2014(12).
[2] 柳皎,李夕兵,官凤强,等.基于安全学原理的大跨浅埋隧道施工风险辨识[J].地下空间与工程学报,2015(3).

[3] 刘建国,沈铭龙,马强.模糊网络分析法在公路山岭隧道施工风险分析中的应用[J].岩石力学与工程学报,2014(s1).
[4] Yu H, Yuan Y, Qiao Z, et al. Seismic Analysis of a Long Tunnel Based on Multi-Scale Method[J]. Engineering Structures, 2013, 49(2):572-587.
[5] 陈洁金,张永杰.下穿既有桥梁隧道施工风险定量评估方法[J].中南大学学报:自然科学版,2015(5):1862-1868.
[6] 李鹏.山区高速公路建设安全评价方法研究[D].长安大学硕士学位论文,2013.
[7] 刘辉,孙世梅.基于改进 LEC 法的公路隧道施工安全评价研究[J].现代隧道技术,2015(1).
[8] 吉武军.大范围山区环境下高速公路施工风险控制研究[D].西南交通大学硕士学位论文,2013.

收稿日期:2018-10-18

作者简介:李珏,男,博士,副教授.E-mail:lij93@csust.edu.cn