

基于 LEC 法的高速公路施工安全风险识别与管理

—以 MY 高速为例

普琼香 李帅^(通讯作者) 王开洋

云南交投集团投资有限公司 云南 昆明 650000

【摘要】：高速公路工程建设环境复杂、工序繁多，尤其在交工检测及缺陷处治阶段，面临着多专业交叉作业和边通车边施工的特殊挑战。为了有效控制施工安全风险，本文以 MY 高速公路为工程背景，针对其路基、路面、桥梁及隧道工程中存在的潜在危险源，引入作业环境风险评估法（LEC 法）进行半定量风险评估。评估结果显示，坍塌、高空坠落及隧道地质灾害为本项目高风险点，并据此提出了分级管控措施。实践表明，该方法能有效识别关键风险，显著提升项目安全管理水平，为同类高速公路工程的风险管控提供了参考。

【关键词】：高速公路；LEC 评价法；风险识别；安全管理；缺陷处治

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.063

引言

近年来，随着交通强国战略实施，高速公路建设规模持续扩大。然而，高速公路施工具有线路长、地形地质复杂、桥隧占比高等特点，施工安全风险居高不下。特别是进入交工检测与缺陷处治阶段，涉及高空修补、隧道衬砌处理、路面铣刨等多工种交叉作业，安全隐患更为隐蔽多变。传统安全管理多依赖经验判断和定性分析，缺乏量化评估，导致安全投入针对性不强，隐患排查效率低下。

LEC 评价法作为经典的半定量风险评价方法，通过综合考虑事故发生的可能性、人员暴露频率及后果严重程度，直观反映作业环境的危险程度，已在水利、建筑、电力等领域广泛应用^[1]。

本文以 MY 高速公路项目为例，运用 LEC 法对施工安全风险进行系统识别与评价，制定科学的风险分级管控措施，探索适用于高速公路缺陷处治阶段的安全管理模式，实现安全生产的动态控制和闭环管理。

1 工程概况

1.1 项目简介

MY 高速公路位于云南省楚雄彝族自治州，路线起于牟定县江坡镇，止于元谋县老城乡。土建起讫桩号 K6+588~K15+419，全长 8.831 公里。路面起讫桩号 K0+000~K15+419（ZK15+305），全长 15.419 公里。按双向四车道高速公路标准建设，设计速度

80km/h，路基宽度 25.5m。

1.2 工程特点

(1) 桥隧占比极高：标段内包含特大桥、大桥共 29 座，以及妥妥隧道（左幅 2832m，右幅 2784m），桥隧比高达 66.4%，高空坠落和坍塌风险突出。

(2) 地质条件复杂：隧道地质结构复杂，存在围岩破碎、渗漏水等潜在风险，易引发塌方、突泥突水等地质灾害。

(3) 施工环境特殊：项目涵盖 2 处涉铁工程及 1 处互通枢纽工程，处于交工检测缺陷处治阶段，需对路基沉降、桥梁裂缝、隧道衬砌脱空等缺陷进行修复，工艺交叉、安全管控难度大。

2 施工安全风险识别

根据《公路工程施工安全技术规程》（JTG F90-2015），本项目组建了由项目经理、总工程师及安全专家组成的风险识别小组，采用现场调查法、经验分析法及专家咨询法，从“人、机、料、法、环”五个维度对路基、路面、桥梁、隧道四大分部工程进行危险源辨识^[2]。

2.1 危险源清单

经梳理，本项目施工阶段主要危险源分为：坍塌事故（A 类）、高空坠落事故（B 类）、触电事故（C 类）、火灾事故（D 类）、机械伤害事故（E 类）五大类，识别出具体风险因素 26 项（见表 1）^[3]。

作者简介：李帅，男（1990.00—），汉族，河北保定人，硕士，高级工程师，研究方向：交通工程地下工程方向。

资助课题：云南山区含盐地层公路隧道围岩注浆关键技术研究（云南省科技厅科技计划项目基础研究项目 202401AU070049）。

表1 高速公路施工危险源清单

类别	名称
坍塌事故 A	A1 路基开挖方法不当; A2 不良地质未做有效支护; A3 边坡坡顶坡脚未做排水或排水不良, 导致浸泡引起的土体强度下降; A4 脚手架、模板安装拆除作业不规范; A5 隧道衬砌混凝土拱顶未灌满或间断
高空坠落事故 B	B1 临边防护不到位; B2 作业人员未系安全带或错误使用安全带; B3 防护栏杆损坏, 操作层下无安全防护层; B4 作业平台脚手板未铺满或铺设不平稳; B5 擅自攀爬脚手架、钢筋架、起重机架等非通行路径
触电事故 C	C1 带电作业未正确使用防电保护用品; C2 临时用电接零接地不良; C3 移动照明使用高压电源或线缆破损; C4 非电工从事电工作业; C5 电动工具未经过漏电保护装置或漏电保护装置不合格
火灾事故 D	D1 高温期间未加强对电器设备散热和负荷管理; D2 动火作业火花引燃周围可燃物; D3 易燃油料、木材、包装物堆放不当; D4 消防器材未定期进行安全检测
机械伤害事故 E	E1 人员进入机械回转半径或作业盲区; E2 起重指挥不当, 吊钩挂设不牢, 超载吊装; E3 机械设备意外故障; E4 机械设备操作不当、违规操作; E5 一闸连接多台电动机或工具; E6 操作机械设备时未采取相应的防护措施

3 基于 LEC 法的风险评估

3.1 LEC 安全评估法理论基础

LEC 安全评估法 (又称作业环境风险评估法或 Graham 评价法) 可用于评估作业人员在潜在危险环境中所面临的风险水平^[4]。

LEC 法通过三个独立变量的乘积计算作业条件的危险性: L (事故发生可能性)、E (人员暴露频率)、C (事故后果严重程度), D 值用于划分风险等级, 公式为:

$$D = L \times E \times C$$

3.2 量化评估计算过程

对 L、E、C 三个变量赋予不同分值, 计算 D 值并划分风险等级, 各变量分值及对应描述如表 2 所示。项目部邀请 20 位具有研究生以上学历的行业人员 (职称包括含工程师、副教授等), 对 26 项风险因素进行打分, 取平均值得到各因素的 L、E、C 值并计算 D 值, 结果如表 3 所示。

表2 LEC 分值及程度描述

指标	L				
分值	10	6	3	1	0.5
标准	完全可以预料	相当可能	可能, 但不经常	很不可能, 可以设想	不发生

指标	E				
分值	10	6	3	1	0.5
标准	连续暴露	经常暴露	有时暴露	很少暴露	几乎不暴露
指标	C				
分值	100	40	15	7	1
标准	10 人以上死亡或特别重大财产损失	1-2 人死亡或较大财产损失	严重伤残或一定财产损失	轻伤或较小的财产损失	轻微伤或轻微财产损失
指标	D				
分值	≥320	160-320	70-159	20-69	<20
风险等级	五	四	三	二	一
标准	极其危险, 立即停止作业	高度危险, 应立即整改	显著危险, 需要整改	一般危险, 需要注意	稍有危险, 可以接受

表3 高速施工安全风险因素的危險性评价

风险因素	A1	A2	A3	A4	A5
D	546.88	174.41	511.41	504.49	335.75
风险因素	B1	B2	B3	B4	B5
D	425.82	327.38	675.85	152.59	84.15
风险因素	C1	C2	C3	C4	C5
D	169.2	164.79	231.36	131.32	119.34
风险因素	D1	D2	D3	D4	E1
D	169.31	271.78	246.17	129.25	204.49
风险因素	E2	E3	E4	E5	E6
D	269.73	52.43	238.55	146.48	214.36

3.3 评估结果

MY 高速公路施工阶段风险分布呈以下特征:

(1) 极度危险源 (五级) 占比高: 五级风险共 7 项, 占 26.9%, 主要集中在坍塌 (A1、A3、A4、A5) 和高空坠落 (B1、B2、B3)。其中, “B3 防护栏杆损坏, 操作层下无安全防护层” 的 D 值高达 675.85, 为全项目最高风险点。这与本项目桥隧比高、高空作业频繁的特点高度吻合。

(2) 高度危险源 (四级) 分布广: 四级风险共 11 项, 占 42.3%, 覆盖触电、火灾及机械伤害等方面, 说明日常作业中的违规行为是事故的重要诱因。

(3) 系统性风险显著: 坍塌风险 (A 类) 平均 D

值最高,路基开挖、隧道衬砌及支架安拆是安全管控的重中之重。特别是“A5隧道衬砌拱顶未灌满”引发的空洞,不仅影响结构质量,更可能引发运营期塌方。

4 施工安全风险分级管控措施

4.1 五级风险的管控措施

针对五级风险(极其危险)的重点管控,此类风险必须立即停工整改,直至风险降级^[5]。

(1)防坍塌措施:①路基与边坡的开挖严格执行“分级开挖、分级防护”原则,严禁超挖。在雨季施工前必须做好截水沟和排水沟,防止水浸泡导致土体强度下降。对不稳定边坡增设位移监测断面,一般纵向每隔50-100m设置一个,实施动态监测。②支架与模板施工时,脚手架作业人员必须持证上岗。支架搭设前必须进行专项设计验算及技术交底。混凝土浇筑时,严禁采用大罐漏斗直接冲击模板,防止局部超载引发坍塌。②针对二衬拱顶脱空的风险,采用雷达进行无损检测,对脱空部位进行钻孔注浆回填。若脱空严重,需进行二衬置换,置换过程严禁爆破拆除,采用机械破除并保留钢筋。

(2)防高空坠落措施:①在桥梁作业平台、通道、基坑周边必须设置符合国标的防护栏杆,并挂设密目式安全网。严禁擅自拆除安全防护设施。②强制推行“双保险”制度。高处作业人员必须佩戴安全带,且安全带必须系挂在牢固的构件或专设的生命线上,严禁低挂高用。对不具备挂安全带条件的区域,必须设置安全绳。

4.2 四级风险的管控措施

针对四级风险(高度危险)的重点管控,此类风险需制定专项施工方案,并由专职安全员现场监督。

(1)防触电措施:严格实行TN-S接零保护系统,坚持“一机一闸一漏一箱”。配电箱必须防雨、防潮。电工必须持证上岗,每月对线路、漏电保护器进行一

次全面检查。移动照明必须使用安全电压,严禁使用破损线缆。

(2)防火灾措施:动火作业:严格执行动火审批制度,焊接、切割作业现场必须配备足够的消防器材,并设专人监护。清理周围易燃物(如沥青、木材、包装物)。高温期间加强电器设备散热管理,氧气瓶、乙炔瓶严禁暴晒且远离火源。

(3)防机械伤害措施:划定机械作业盲区,设置警示标志,专人指挥。挖掘机、起重机作业半径内严禁站人。起吊前必须检查钢丝绳磨损情况,严禁超载、斜拉。遇5级以上大风停止露天吊装作业。

4.3 三级以下风险的管控措施

针对三级以下风险的常规管控,通过日常巡查和班前教育进行控制。

规范材料堆放,确保作业通道畅通。对消防器材进行定期点检,确保有效。严禁非电工操作电气设备,操作电气设备及机械时严格佩戴保护措施。加强工人安全教育,杜绝擅自攀爬脚手架等不安全行为。

5 结语

本文运用LEC法对MY高速公路施工安全风险进行系统识别与量化评价,并提出针对性管控措施。实践表明,LEC法将模糊的安全隐患转化为具体的D值,使管理者能直观识别重难点,合理分配安全资源;针对五、四级风险实施了重点监控和技术改造;项目实施期间,未发生重伤及以上生产安全事故,实现了“零重伤”目标。

LEC法能有效结合专家经验与现场实际,为复杂环境下的风险分级提供科学依据,解决了传统管理“眉毛胡子一把抓”的问题。

通过构建“评估-分级-管控-应急”闭环管理体系,严格执行分级管控措施,可以有效遏制重特大事故发生。

参考文献:

- [1] 李金昱,蒯乾坤,雍佳璇,等.基于LEC法的水上光伏工程施工风险评估与控制[J].四川水泥,2025,(09):39-41.
- [2] 靳进钊.山区高速公路施工危险源识别及安全评价技术[J].交通世界(运输.车辆),2013,(05):93-94
- [3] 武润香.LH高速公路施工安全风险研究[D].太原理工大学,2023.
- [4] 彭玲茜.基于LEC评价法的建筑施工安全风险分析与管控[J].黑龙江科学,2023,14(22):138-140.
- [5] 李艺彤,郭永成,司马艳,等.基于改进LEC评价法的高层建筑施工危险源评估与管控[J].三峡大学学报(自然科学版),2019,41(4):55-59.