

Risk Level Assessment of Major Risk Sources for Construction of a Highland Railroad Extra-long Tunnel Project

Jun Guo

China Railway 15 Bureau Group Co., Ltd., Shanghai, 200040, China

Abstract

Construction safety is the focus of safety supervision management in the railroad construction industry, so the risk assessment of tunnel construction is essential. In this paper, the traditional assessment method is improved, and the risk level of a major risk source for a highland railroad tunnel construction project is assessed. The assessment process takes into account the unique risk indicators to the construction of China's highland railroad tunnels at this stage, which has certain significance for the construction of similar tunnel projects in the future.

Keywords

highland railroad; extra-long tunnel; risk level; assessment

某高原铁路特长隧道工程施工重大风险源风险等级评估

郭军

中铁十五局集团有限公司, 中国·上海 200040

摘要

施工安全是铁路建设行业安全监督管理的重点, 因此对隧道施工风险评估工作必不可少。论文改进了传统的评估方法, 对某高原铁路特长隧道工程施工重大风险源进行了风险等级评估, 评估过程中考虑了现阶段中国高原铁路隧道建设中特有的风险指标, 对今后类似隧道工程建设具有一定的借鉴意义。

关键词

高原铁路; 特长隧道; 风险等级; 评估

1 引言

随着新一轮西部大开发的推进和“一带一路”的战略推动, 近年来中国西部高原地区特长铁路隧道建设如火如荼^[1]。在高原地区建设特长铁路隧道, 往往会面临高寒、缺氧和高地应力等问题^[2,3], 施工条件恶劣, 施工难度大, 工程地质条件复杂, 极易带来各种施工安全风险, 引发严重工程事故, 使得隧道施工更加困难, 甚至造成人员伤亡和工程经济损失。因此, 对高原地区特长铁路隧道开展风险评估, 对保障隧道施工进度及施工安全具有重要意义^[4]。为此, 论文以某高原铁路特长隧道工程为例, 结合该隧道施工条件及具体情况, 采用改进后的 *LEC* 法进行施工风险评估, 并验证了该方法的可行性, 可为类似高原铁路特长隧道工程的风险评估提供参考。

2 隧道概况

新乌鞘岭隧道为一座布置有斜井的双线隧道, 全长 17125m, 最大埋深 952m, 隧道通过区平均海拔约为

2800m, 属于高海拔高寒地区特长隧道。隧道所处区域的工程地质条件和气象水文条件如下。

2.1 工程地质条件

隧道通过区围岩等级为Ⅲ~Ⅴ级, 断裂构造发育, 主要为区域性大断裂, 断层走向基本为近东西向, 力学特征为压性一压扭性, 具有切割深、延伸长、规模大的特点。断层破碎带一般较宽, 断带物质主要为碎裂岩、断层泥砾; 隧道处于高地应力和极高地应力状态, 地应力以水平应力为主, 在埋深较大处则呈现以水平应力和垂直应力共同作用的复杂应力状态为主。存在膨胀岩、软岩大变形等不良地质和风险。

2.2 气象水文条件

该地区地处高原空气稀薄, 气候垂直分带性明显, 气温寒冷, 日温差大, 阴雨风雪冰雹天气多变, 冰冻时间长, 最大积雪厚度 36cm; 土壤冻结深度 200cm。隧道所在区域年平均气温 0.8℃, 最冷月平均气温 -11.4℃, 极端最高气温 28.1℃, 极端最低气温 -30.6℃; 年平均降水量 426.8mm, 年平均蒸发量 1562.4mm, 根据隧道洞身通过地形地貌、地层岩性、地质构造特征及涌水量计算结果, 发现该隧道以弱富水为主, 地下水较为发育, 中间埋深最大段中等富水, 因

【作者简介】郭军(1977-), 男, 中国安徽阜阳人, 本科, 高级工程师, 从事桥梁隧道施工管理研究。

此在基岩节理裂隙发育带附近，可能会产生集中突涌水。

3 重大风险源的确定

通过与现场施工人员座谈、评估小组讨论、工程类比等方式，从人（指有关作业人员的素质，包括责任感、安全意识、技能水平等）、机（指机械、设备等是否运行正常，是否具有本质安全性）、料（材料本身的特性、材质、规格等符合安全要求）、法（指作业方式、工艺、方法和技术措施符合安全要求）、环（指人的作业环境，机械设备的工作环境）五个方面得到该隧道施工的风险源清单如表 1 所示。

表 1 风险源清单

风险指标	指标说明
坍塌	由于支护参数、支护时机、爆破或工法不当等引起的围岩滑塌
涌水突泥	地下水的力学作用使岩体、衬砌发生水力劈裂，大量水体或泥水混合物沿缝隙涌入隧道
洞口失稳	边坡坡率过小、排水设施失效或边坡上方荷载过大等引起隧道洞口破坏
机械伤害	机械传动部位防护缺失、设备带“病”运转等引起的伤害
大变形	在高地应力、地下水、膨胀岩作用下，围岩产生具有累进性和明显时间效应的塑形变形导致支护破坏
车辆伤害	机动车运动中物体的倒塌、坠落或挤压引起的事故
电伤	因带电部位的裸露、漏电、雷电、静电等电危害造成的触电、烧伤等伤害
高处坠落	施工期间从台车或脚手架坠落造成的伤亡
爆炸	火药存放、使用不当导致的意外伤亡和财产损失
电伤	触电、烧伤和其他因触电部位的裸露、爬电、雷电、静电等造成的伤害
疫情	施工人员和物资供应不能及时到位影响工期、甚至是疫情扩散导致停工
缺氧	高原地区气压低和空气稀薄所引起的人员缺氧和机械设备失效
低温	低温引起的结构破坏和人员冻伤等

邀请专家对上述风险源进行专项评估后最终确定该隧道施工过程中常规重大风险源为坍塌、洞口失稳、涌水突泥、爆炸和大变形，特有重大风险源为疫情和缺氧。

4 重大风险源的风险等级评估

4.1 评估方法

中国隧道施工重大风险源的风险评估一般采用 *LEC* 法。该方法中风险危害性由三个独立变量决定，分别为事故发生的可能性（*L*）、人员暴露在危险环境中的频率（*E*）和风险造成的损失（*C*）。由评估小组成员按规定标准对 *L*、*E*、*C* 分别评分，取分值集的平均值作为 *L*、*E*、*C* 的计算分值，用计算的危险性分值（*D*）来评价作业条件的危险性等级。用公式可表示为：

$$D = LEC \quad (1)$$

LEC 方法存在一定的局限性：该方法只考虑了风险指标固有的危险性，忽略了采取合理的监测与控制措施后降低风险的可能；风险损失方面只考虑了某一风险指标带来的人员伤亡和经济损失，没有反映其对周边群众生活以及社会和自然环境的负面影响，而这些在国内铁路隧道的建设中已成为比较重要的舆情关注点。

综合上述因素，论文对传统的 *LEC* 方法做出了适当改进，并得出用于计算风险源危险性分值的 *GLEW* 法，其公式如下：

$$D = GLEW \quad (2)$$

其中，*G* 为风险指标的监测情况和控制措施；*L* 和 *E* 的定义与式（1）相同；*W* 为风险指标造成的损失。下面详细介绍式（2）中各项变量的评分规定。

风险监测情况和控制措施 *G* 取施工中对风险指标的监测情况评分 *G*₁ 与风险指标的控制措施评分 *G*₂ 之和，*G*₁ 与 *G*₂ 的评分标准见表 2。

表 2 *G*₁ 与 *G*₂ 的评分标准

分值	<i>G</i> ₁	<i>G</i> ₂			
		安全管理和组织人员	人员素质	技术和安全措施	安全条例和应急措施
1.0	没有监测措施或监测到风险的概率低于 10%	不充足	差	落后或不适用	无
0.8	监测到风险的概率超过 50%	有安全组织但未形成网络	中等	良好	不完善或实施一般
0.5	一定可以监测到风险	完美的安全防护网络体系	优秀	先进且适用性强	完善且实施良好

事故发生的可能性 *L* 以及人员暴露在危险环境中的频率 *E* 的评分标准如表 3 所示。

表 3 *L* 和 *E* 的评分标准

分值	<i>L</i>	分值	<i>E</i>
1.00	绝对可预见的	1.00	持续
0.60	很有可能	0.60	在每天的工作时间内
0.30	很有可能但不频繁	0.30	每周一次
0.10	偶尔	0.20	每月一次
0.05	未必	0.10	每年几次
0.02	非常不可能	0.05	很少
0.01	几乎不可能	—	—

风险指标造成的损失（*W*）由下式计算：

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 \quad (3)$$

表 4 W 的评分标准

分值	W_1	分值	W_2	分值	W_3
0.60	$F \geq 30$ 或 $S \geq 100$	0.10	绝大多数群众反应激烈	0.30	严重破坏生态环境, 社会影响恶劣
0.50	$10 \leq F < 30$ 或 $50 \leq S < 100$	0.09	大多数群众有意见	0.27	严重污染生态环境, 社会影响严重
0.45	$3 \leq F < 10$ 或 $10 \leq S < 50$	0.07	部分群众有意见	0.22	中度污染生态环境, 社会影响较严重
0.40	$F < 3$ 或 $S < 10$ 或 $M \geq 5$	0.06	少部分群众有意见	0.18	轻微污染生态环境, 需考虑社会影响
0.35	$M < 5$	0.05	极少数群众有意见	0.15	几乎不污染生态环境, 社会影响轻微
分值	W_4	分值	W_5	分值	W_6
0.40	$J \geq 10000$	0.20	大于一年	0.40	完全丧失使用功能
0.35	$5000 \leq J < 10000$	0.18	六至十二个月	0.30	主要功能严重丧失
0.30	$1000 \leq J < 5000$	0.15	三至六个月	0.25	主要功能部分丧失
0.25	$100 \leq J < 1000$	0.12	一至三个月	0.20	辅助功能严重丧失
0.20	$J < 100$	0.10	小于一个月	0.15	辅助功能部分丧失

注: 表中 F 为死亡人数; S 为重伤人数; M 为轻伤人数; J 为经济损失(万元)。

其中, W_1 为人员伤亡情况; W_2 为群众稳定性情况; W_3 为自然与社会环境影响情况; W_4 为经济损失情况; W_5 为工期延误情况; W_6 为功能缺失情况, 各个参数评分标准如表 4 所示。

评估小组成员按照上述规定的标准打分后, 可利用式(2)计算得到风险指标对应的风险分值, 最后对照表 5 进行风险等级评定。

表 5 风险等级评定标准

风险等级	四级	三级	二级	一级
分值	> 1.0	$0.1 \sim 1.0$	$0.05 \sim 0.1$	< 0.05
危险程度	极度危险, 不能继续作业	非常危险, 需要整改	比较危险, 需要注意	稍有危险, 可以接受

4.2 风险等级评定

邀请业内知名专家组成评估小组, 使用 *GLEW* 法针对不同施工区段和围岩等级下的重大风险源分别开展了风险等级评定工作。由于篇幅所限, 这里仅给出Ⅲ级围岩下, 各个施工区段重大风险源为坍塌时的评分及对应的风险等级, 见表 6。

其他重大风险源风险等级判定过程与此类似, 不再赘述, 最终得出该隧道重大风险源风险等级评价如表 7 所示。通过与 Q/CR9247—2016《铁路隧道工程风险管理技术规范》中风险矩阵法的评价结果对比, 发现该隧道工程运用 *GLEW* 法得到的重大风险源风险评价等级与之相同, 验证了该方法的合理性, 可据此采取相应措施, 达到预防和减小风险损失的目的。

表 6 Ⅲ级围岩下各个施工区段坍塌风险等级评定

参数	坍塌			
	洞口	正洞	斜井	正洞与斜井交汇处
G1	0.80	0.80	0.50	1.00
G2	0.80	1.00	0.80	0.80
L	0.30	0.60	0.30	0.60
E	0.20	0.10	0.20	0.10
W1	0.45	0.50	0.45	0.40
W2	0.18	0.27	0.22	0.18
W3	0.18	0.27	0.22	0.18
W4	0.25	0.40	0.30	0.25
W5	0.20	0.40	0.30	0.25
W6	0.30	0.40	0.30	0.25
D	0.15	0.24	0.14	0.14
风险等级	三级	三级	三级	三级

表7 重大风险源风险评级

序号	施工区段	围岩等级	常规重大风险源					特有重大风险源	
			坍塌事故	洞口失稳	涌水突泥	爆炸事故	大变形	疫情	缺氧
1	隧道正洞	V级、IV级围岩	三级	二级	三级	三级	二级	二级	二级
		III级围岩	三级	—	二级	三级	二级		
2	隧道洞口	V级、IV级围岩	三级	二级	二级	三级	二级		
		III级围岩	三级	—	二级	三级	二级		
3	斜井	V级、IV级围岩	三级	二级	三级	三级	二级		
		III级围岩	三级	—	二级	二级	二级		
4	斜井与正洞交汇处	V级、IV级围岩	三级	二级	三级	三级	二级		
		III级围岩	三级	—	二级	二级	二级		

5 结语

论文在分析风险源清单的基础上确定了新乌鞘岭隧道的重大风险源,并对传统的评估方法加以改进后对重大风险源进行了风险等级评定,所得结论如下:

①低温、缺氧和疫情是现阶段中国高原铁路隧道建设中特有的风险指标,应在风险评估时予以重视;

②风险评估时应综合考虑采取合理的监测与控制措施后降低风险的可能性,以及风险损失对周边群众生活、社会和自然环境的负面影响;

③论文提出的评估方法在确定高原铁路长大隧道施工重大风险源的风险等级时具有一定的合理性,可以在此类工程施工风险评估中应用。

参考文献

- [1] 赵锡灿.公路隧道总体安全风险评估指标及方法优化探究[J].公路交通技术,2021,37(3):132-137.
- [2] 艾祖斌,张晨曦,曾兆文,等.长大深埋隧道未开挖段岩爆灾害风险评估[J].中国安全生产科学技术,2019,15(8):6.
- [3] 魏利伟,王峰,张强.青藏高原典型隧道施工安全风险评价研究[J].价值工程,2019(16):4.
- [4] 张利军.高原高寒地区隧道施工风险管理[J].城市建设理论研究(电子版),2013(34):683-684.
- [5] 光辉,曹立梅,邹强.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):5.
- [6] 王鹏忠.青藏高原地区隧道施工安全风险评价[D].兰州:兰州交通大学,2021.