

## 龙琅高速公路安平隧道初步设计阶段风险分析\*

李海波

(龙琅高速公路建设开发有限公司, 湖南 娄底 417000)

**摘要:**以龙琅(涟源市龙塘镇—新化县琅塘镇)高速公路安平隧道工程为依托,采用现场调研、专家访问、理论分析和模型计算等方法,建立工作分解结构和风险分解结构,通过二者耦合进行隧道工程风险源识别;采用专家调查法,对其单一风险事件分别进行风险评估,逐个判断风险源的风险概率等级,构建风险评价指标体系;利用层次分析法和模糊综合评价法对评价指标进行风险分析,得到风险事件重要性排序,并对主要风险事件提出风险控制措施。

**关键词:**工程管理;公路隧道;风险评估;风险控制;初步设计阶段

中图分类号:U415.12

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)01-0139-04

安平隧道为龙琅(涟源市龙塘镇—新化县琅塘镇)高速公路上一条分离式特长隧道,长 3 655 m,设计荷载为公路—Ⅰ级,设计速度 100 km/h。沿线坡积体、软岩大变形、岩溶、采空区及瓦斯分布,且邻近车田江水库,建设规模大,地质条件复杂,一旦出现安全风险事故,将造成极大经济损失和社会影响。该文根据交公路发[2010]175 号《关于在初步设计阶段实行公路桥梁和隧道工程安全风险评估制度的通知》,对该隧道初步设计展开风险评估。

## 1 工程地质概况

安平隧道穿越煤层采空区、富水断层等不良地质(见图 1)。地层为第四系全新统、更新统覆盖层,下三叠系灰岩,二叠系上统硅质页岩、页岩、灰岩夹煤层,二叠系下统灰岩(见图 2)。隧道区有 3 条断层,发育 2 条切割隧道洞身断层,1 条离隧道进口约 500 m。3 条断层对隧道影响地段有限,F5 压性逆断层主要影响隧道围岩的完整性,F5-1 压扭性逆断层影响围岩的稳定,对隧道施工有较大影响。路线走廊带褶皱构造较发育,受褶皱作用,隧道区岩层具层间错动,顺层岩溶较发育。区内新构造运动不明显,局部表现为北东、北北东向断裂,以差异抬升为主。

隧道区岩溶发育,地下水丰富,属于中低山地貌裂隙岩溶水强烈发育区。地下水补给主要来源于大气降水及沿南北向断层与岩溶带的纵向远距离补给。暴雨后出水量为常水量的 20 倍以上。隧道开挖可能引发水害,也存在影响隧道地表居民正常生

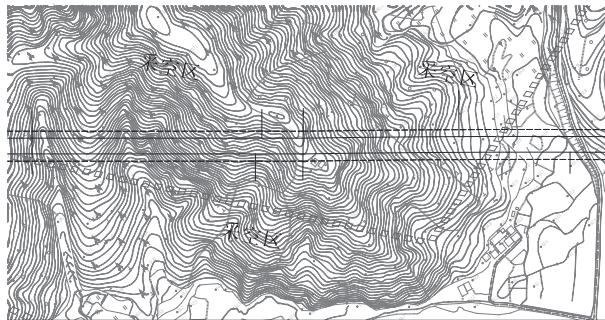


图 1 安平隧道平面示意图



图 2 安平隧道纵断面示意图

产、生活的可能。隧道通过岩溶发育区易产生涌水和突泥现象。

该隧道于 K14+980 附近通过二叠系龙潭组煤系地层 2<sup>#</sup> 煤层,该煤层厚约 0.50 m,为可采烟煤,厚度较稳定,原长冲煤矿及附近的长胜煤矿等均采集该煤层。煤矿资料显示:1<sup>#</sup> 煤层的挥发性指数达 21.31%,固定碳含量为 72.1%,据有关经验公式计算,煤尘爆炸指数达 22.8%;2<sup>#</sup> 煤层为具爆炸性危险煤层,开采时需加强防尘措施;3<sup>#</sup> 煤层的全硫含量达 2.71%,为中高硫煤,如通风条件不好,会导致采空区残留煤氧化而发生煤层自燃。由此可知,该隧道所穿煤层瓦斯绝对涌出量为 0.53 m<sup>3</sup>/min,根据 JTG/T D70—2010《公路隧道设计细则》,为高瓦

\* 基金项目:湖南省交通运输计划科技项目(201715)

斯隧道工区,所经煤层易产生爆炸和自燃。

## 2 安平隧道风险评估

### 2.1 隧道特点与难点

(1) 隧道穿越发育区域性断层,影响带总宽 80~140 m,地下水量丰富,活动强烈,对隧道围岩的定级及施工影响大。

(2) 隧道局部路段通过长冲煤矿采空区,采空区地段成为地下水的汇集通道和主要径流通道,易

产生涌水和突泥现象。

(3) 该隧道属于瓦斯隧道,所经煤层易产生爆炸和自燃。

(4) 隧道区地面有大量村庄分布,隧道开挖后可能因为地下水的疏干引起地面村民用水困难。

### 2.2 风险源检查

根据该隧道工程的特点与难点,类比西山隧道和米仓山隧道专家风险事件等级矩阵,得到该隧道专家风险事件等级矩阵(见表1)。

表1 安平隧道工程专家风险事件等级矩阵

风险事件	后果等级	洞口失稳	塌方	瓦斯	突水涌泥	大变形	岩爆	结构风险	交通事故	火灾	总体风险
概率等级		3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
洞口失稳	3	Ⅲ									
塌方	4		Ⅲ								
瓦斯	2			Ⅲ							
突水涌泥	3				Ⅲ						
大变形	3					Ⅲ					
岩爆	3						Ⅱ				
结构风险	4							Ⅲ			
交通事故	3								Ⅱ		
火灾	3									Ⅱ	
总体风险	3										Ⅲ

### 2.3 重大风险辨识

(1) 车田江水库蓄水倒灌。该隧道出口紧邻车田江水库,隧道进口标高比水库溢洪道标高低 55.2 m,存在水库蓄水通过隧道出口或岩溶通道涌入隧道的风险(见图3)。

(2) 煤层采空区突水。隧道存在打通矿井巷道的风险,巷道内大量地下水可能涌入隧道,对隧道施工、运营安全和环境影响极其恶劣。

(3) 地下水位不可逆转下降。隧道施工穿透所有向斜岩层,岩层中滞留的地下水将向隧道排泄,降低地下水水位;隧道开挖时地下水沿构造带大量涌出,暗河内地下水沿陡节理、溶洞和溶蚀裂隙大量涌出,可能导致地下水水位下降;K15+820—920 段溶洞和溶蚀裂隙发育,溶蚀裂隙和小型溶洞形成地下水通道,隧道通过时揭穿溶洞将出现涌水,导致地下水水位下降。当地下水大量排泄时将导致山体地下水水位急剧下降,严重影响区域的生态环境和居民的生产、生活。

(4) 高水头富水断层、岩溶及地下暗河突水、突泥。该隧道通过 F5—1 断层,地下水丰富,地下水位

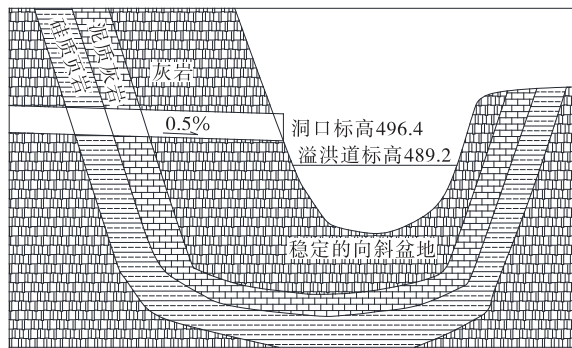
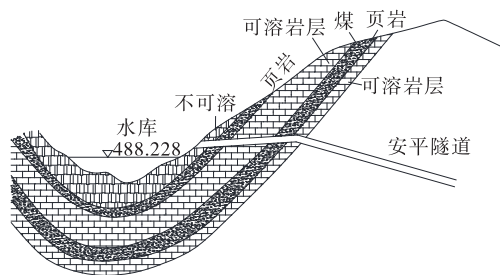


图3 安平隧道出口地质结构示意图(单位:m)

高,隧道开挖揭穿断层时可能发生涌水、涌泥和突水、突泥,严重威胁隧道施工安全。断层带隧道开挖

时以淋雨状地下水为主,多处地带可能出现涌水、突水现象。

(5) 衬砌结构失效或使用寿命降低。山体地下水水位高,将对隧道结构产生较大压力,影响隧道结构的安全和使用寿命,导致隧道结构开裂、渗水甚至无法正常运行。

(6) 煤矿瓦斯突出风险。该隧道属于高瓦斯隧道,所经煤层易产生爆炸和自燃。

## 2.4 专家调查风险事件等级分析

该隧道各重大风险事件等级专家调查统计见图4~9。根据专家调查结果,对各重大风险事件的初始风险及残留风险等级进行划分,结果见表2。

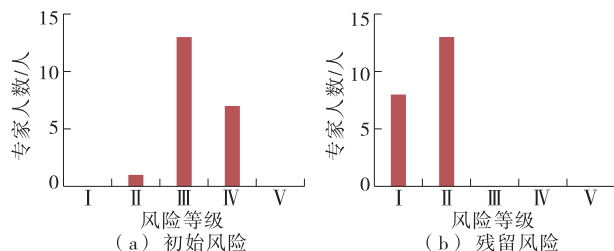


图4 蓄水倒灌风险等级专家调查统计

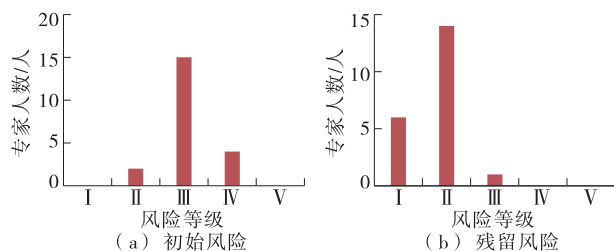


图5 煤层采空区突水风险等级专家调查统计

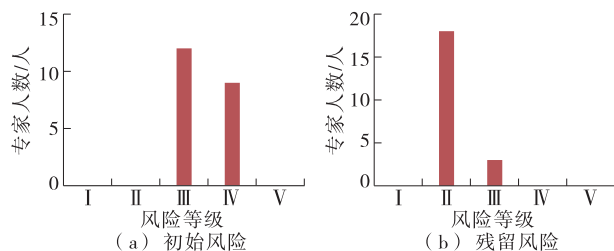


图6 高水头富水断层、岩溶及地下暗河突水、突泥风险等级专家调查统计

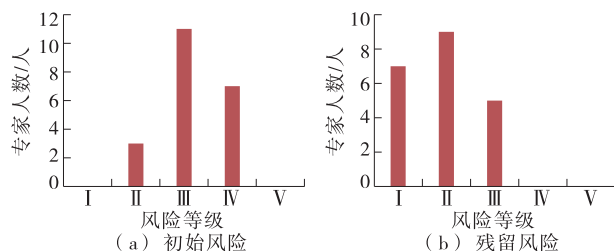


图7 衬砌结构失效或使用寿命降低风险等级专家调查统计

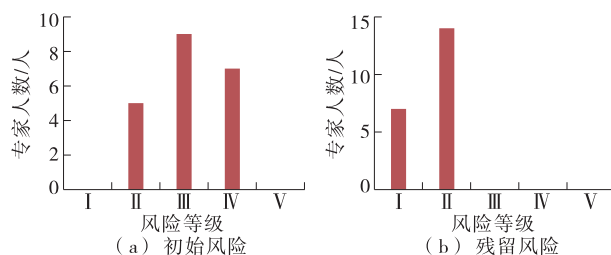


图8 煤地层瓦斯突出和煤层爆炸、自燃风险等级

专家调查统计

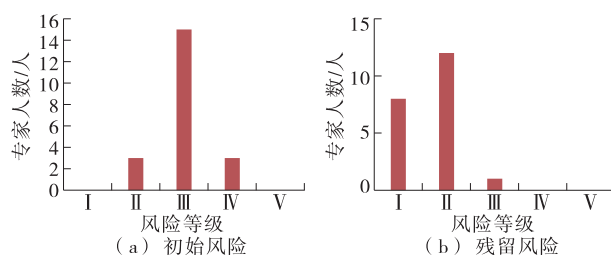


图9 琅塘端长冲煤矿采空区沉降塌陷风险等级

专家调查统计

表2 安平隧道专家调查风险等级分析结果

风险事件	风险等级	
	初始风险	残留风险
车田江水库蓄水倒灌	Ⅲ	Ⅱ
煤层采空区突水	Ⅲ	Ⅱ
高水头富水断层、岩溶及地下暗河突水、突泥	Ⅲ	Ⅱ
衬砌结构失效或使用寿命降低	Ⅲ	Ⅱ
含煤地层瓦斯突出和煤层爆炸、自燃	Ⅲ	Ⅱ
琅塘端长冲煤矿采空区沉降塌陷	Ⅲ	Ⅱ
隧道洞口失稳	Ⅱ	Ⅰ
地下水水位不可逆转下降	Ⅲ	Ⅲ

## 3 隧道重大风险分析、评估与控制

### 3.1 水库蓄水倒灌风险

隧道施工对水库的不利影响主要为形成直通水库的渗流通道,造成水库水位下降。

### 3.2 突水、涌泥风险

对破碎带或涌水的地段,设计超前地质探孔进行探测,做好超前围岩预注浆方案;对重点地段加强勘测,并制订对应工法的施工组织方案。

加强超前预报,采用超前泄水孔进一步降低地下水的水头压力,将风险损失等级降低至Ⅲ级。

采用超前帷幕注浆的方式超前加固围岩,做好应急预案。

### 3.3 瓦斯风险

(1) 施工前地质调查与试验。收集相关煤矿的瓦斯资料,并走访附近居民了解煤层瓦斯出露情况;进行地表地质调查,了解岩层分类、地下水位、瓦斯溶解量及种类、瓦斯压力,并从地层形成历史和地质构造角度判断瓦斯存在的可能性及瓦斯的涌出量和范围;对钻孔内气体、土样或稳定液(泥水)进行化验,分析瓦斯的成分和含量;通过推算开挖岩体的体积或瓦斯在水中的溶解度进行通风设计。

(2) 施工中调查与试验。对于可能蕴藏瓦斯的隧道区段,除在已开挖隧道内测量瓦斯浓度外,在开挖面前方进行水平钻孔探测,释放瓦斯,防止瓦斯突出;采用便携式瓦斯检测器随时检测开挖面、废弃土石堆积处和内衬砌钢模附近瓦斯滞留情况,检测时间主要为钻爆作业前后、工作人员换班前后。

(3) 瓦斯突出危险性预测及判别。通过超前钻孔探煤、开挖中钻瓦斯测压孔进行瓦斯突出危险性预测,若测试数据中出现指标超限(临界指标见表3)的情况,即判定有瓦斯突出危险。

表3 瓦斯突出危险性预测临界指标

预测指标	预测方法	突出危险性临界值
$P/MPa$	瓦斯压力法	0.74
$D$	综合指标法	0.25
$K$		20(无烟煤)、15(其他煤)
$\Delta h_2/Pa$	钻屑指标法	160(湿煤)、200(干煤)
$K_1/[mL \cdot [(g \cdot min^{1/2})^{-1}]]$		0.4(湿煤)、0.5(干煤)

(4) 安全通风措施。根据隧道出口段穿越煤层的特点,将 ZK153+320—440 和 YK153+250—365 段划定为瓦斯工区,加强瓦斯工区的通风系统,施工期间实施连续不间断通风。

(5) 建立瓦斯风险实时预警体系。建立严格的瓦斯风险实时预警体系,包括预警监测体系和预警管理体系,设立专职瓦斯检测员,并配备瓦斯检测仪和便携式自动报警仪,加强瓦斯监测,及时提供瓦斯信息。根据洞内有害气体浓度情况,采取表4所示技术措施防范瓦斯风险。

表4 瓦斯预警值

瓦斯浓度/%	处理措施
$<0.25$	采用通用设备,正常作业
$0.25 \sim 0.5$	停止洞内焊接作业
$0.5 \sim 1$	在采用矿用防爆型设备的基础上,加强瓦斯浓度监测与通风,并发出第一次报警
$1 \sim 1.5$	警戒预防,禁止放炮,加速通风,并切断工作面电源
$>1.5$	自动发出报警,停止作业,撤出人员,打开高压风,加速洞内空气(含瓦斯)流动,冲淡瓦斯浓度

(6) 瓦斯事故应急救援预案。为预防瓦斯突发事件发生,保证隧道内施工人员安全,减少单位财产损失,制订瓦斯风险应急预案,提出施工人员防范及安全应急救助措施。

## 4 结语

该文结合安平隧道地质环境和建设环境,构建多因素的隧道风险评估模型,识别安平隧道风险源,分析初步设计方案的风险等级;针对重大风险源提出风险控制对策,并对残余风险进行评估。结果显示,除腹水断层水位变化为Ⅲ级风险外,其他风险均为Ⅱ级及以下。其研究结果可为安平隧道建设和管理提供技术支持。

### 参考文献:

[1] 陈自海,陈建军,杨建辉.基于模糊层次分析法的盾构

隧道施工风险分析[J].地下空间与工程学报,2013,9(6).

[2] 韩利,梅强,陆玉梅,等.AHP—模糊综合评价方法的分析与研究[J].中国安全科学学报,2004,14(7).

[3] 鲁光银,朱自强,李华,等.公路隧道岩体质量分级的模糊层次分析法[J].中南大学学报:自然科学版,2008,39(2).

[4] 杜雁鹏.软质板岩隧道大变形力学行为与控制技术研究[D].长沙:中南大学,2011.

[5] 郭磊.浅埋暗挖水下隧道管棚作用机理及开挖扰动效应研究[D].长沙:中南大学,2012.

[6] 朱显镇.长株潭跃进湖段桥改隧方案评价与施工安全控制研究[D].长沙:中南大学,2014.

[7] 王璞.龙琅高速公路安平隧道工程初步设计阶段风险分析研究[D].长沙:中南大学,2017.

收稿日期:2019—07—30