

Risk Assessment and Analysis of Mud Gushing and Sand Gushing Tunnel Construction

Liangliang Peng

China Railway Five Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Shaoguan Guangdong
Email: 1796087277@qq.com

Received: Aug. 2nd, 2019; accepted: Aug. 20th, 2019; published: Aug. 27th, 2019

Abstract

Mud gushing and sand gushing, as major risks of tunnel engineering in complex geological environment, have always been problems that people pay more attention to. Through long-term research and detection of Karst Section of arch bridge paving tunnel, risk identification and risk assessment of tunnel are carried out by using risk factor checklist method and analytic hierarchy process, and relative control measures are put forward towards high risk such as landslide, mud gushing, sand gushing and large deformation. The residual risk situation should be evaluated to ensure that the risk level is reduced to below a low level and the construction safety is guaranteed, which provides a certain reference value for risk treatment and safe construction of similar difficult and difficult tunnel projects.

Keywords

Mud Gushing and Sand Gushing Tunnel, Risk Identification, Risk Assessment, Control Measures

涌泥涌沙隧道施工风险评估分析

彭亮亮

中铁五局集团第四工程有限公司, 广东 韶关
Email: 1796087277@qq.com

收稿日期: 2019年8月2日; 录用日期: 2019年8月20日; 发布日期: 2019年8月27日

摘要

涌泥涌沙作为复杂地质环境下隧道工程重大的风险一直是人们比较重视的问题, 本文通过对拱桥铺隧道

岩溶段的长期研究和检测，充分利用风险因素核对表法和风险评估的层次分析法对隧道施工中存在的风险进行识别和评估，并对高度施工风险，比如塌方、涌泥、涌沙、大变形提出了相应的控制措施，并对残余风险状况进行评估，确保将风险水平降低至低度以下，保证施工的安全进行，为类似的重难点隧道工程风险处理和安全施工提供了一定的参考价值。

关键词

涌泥涌沙隧道，风险识别，风险评估，控制措施

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

为积极响应国家开发建设西部地区的号召，在复杂地质区域修建大量隧道变得难以避免[1] [2]。在我国隧道的施工过程中，普遍存在隧道涌泥涌沙的风险，从而增加了这一区域施工的难度[3] [4]。因此，研究如何去正确的进行风险识别和风险评估，并对风险做出有效合理的措施来降低风险，是研究人员非常重视的问题。学者们基于断裂损伤和流固耦合建立的理论和数值模拟计算方法已经逐渐成熟，关于隧道风险评估已经有了很多成型的预测模型，山东大学最早建立了突水突泥的风险评估方法和四色预警机制，但是在风险因素影响权值上还没有更为深入的研究。

本文基于层次分析法以怀邵衡铁路拱桥铺隧道岩溶段的风险评估及控制为例，试图说明涌泥涌沙隧道风险评估及控制的一般方法。

2. 工程概况

拱桥铺隧道位于湖南省邵阳市的拱桥铺村，隧道总长为 3866 m，进口里程为 DK112 + 920，出口里程为 DK116 + 786，是最大埋深为 167 m 的单洞双线隧道，设计时速 200 km。隧道区域内下部地层为浅灰色的块状白云岩，中部主要为白云岩以及部分白云质灰岩夹泥晶灰岩，上部地层为浅灰色的块状白云岩。隧道区域岩溶发育，地下水丰富，为全线 I 级风险隧道。

3. 隧道施工风险识别

本工程主要按隧道地形、地质、施工、设计情况[5] [6]，通过参照《铁路隧道风险评估与管理暂行规定》中的隧道施工风险因素核对表，对隧道塌方、涌泥涌沙和大变形进行风险因素识别，结果如图 1 所示。

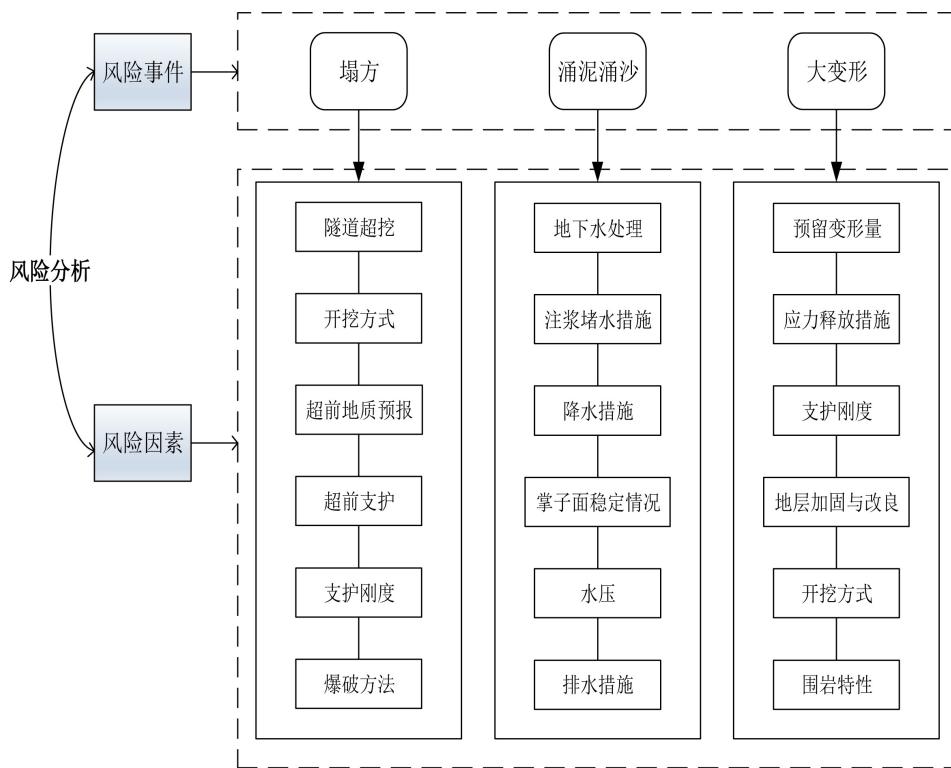
4. 隧道施工风险评估

4.1. 风险评估对象范围及目标

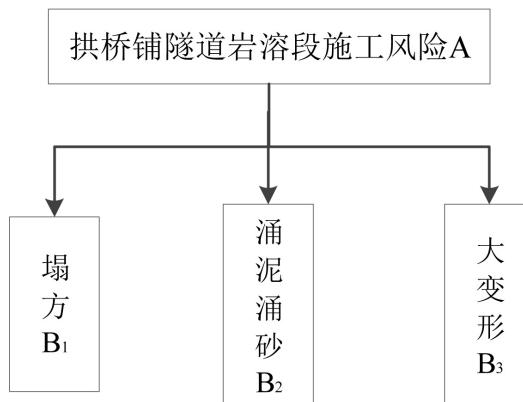
本次隧道施工将对人员伤亡、经济损失、工期延误、环境影响等风险事件进行全面评估，主要目标是把潜在的风险因素识别出来，进而确定风险的等级，提出科学合理的风险处理措施，将各类风险降低，从而保障工程的安全施工。

4.2. 风险评价层次分析法

- 1) 建立递阶层次结构

**Figure 1.** Risk identification of mud gushing and sand gushing tunnel construction**图 1.** 涌泥涌沙隧道施工风险识别

根据风险评估体系所得的风险因素建立图 2 所示的拱桥铺隧道岩溶段施工风险的递阶层次结构图。

**Figure 2.** Hierarchical structural chart of construction risk in Karst Section of arch bridge tunnel**图 2.** 拱桥铺隧道岩溶段施工风险的递阶层次结构图

2) 构造判断矩阵

首先根据已经建立的递阶层次结构来确定上下层元素的隶属关系。假设同层共有 n 个风险因素分别为 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ，将所有因素对上一层元素的重要程度进行成对比较，如 A_i 与 A_j 比较，用 1~9 的比例度 a_{ij} 来反映它们的相对重要性。若相比得 a_{ij} ，则 A_i 与 A_j 相比的判断为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ，从而得到一个的判断矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 4.2 \\ 14 \\ 1.458 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.4 \\ 4.667 \\ 0.486 \end{bmatrix}$$

③归一化。

将上式中的平均值除以三个平均值之和($1.4 + 0.486 + 4.667 = 6.553$)。即得到矩阵 A 的特征向量 W 。

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 3 \\ 5 & 1 & 8 \\ 1/3 & 1/8 & 1 \end{bmatrix}$$

3) 计算单一准则下元素的相对权重

①计算矩阵 A 的各行之和。

$$W = (0.214 \quad 0.712 \quad 0.074)^T$$

④计算最大特征值。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 3 \\ 5 & 1 & 8 \\ 1/3 & 1/8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.214 \\ 0.712 \\ 0.074 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.578 \\ 2.374 \\ 0.234 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{3} \left(\frac{0.578}{0.214} + \frac{2.374}{0.712} + \frac{0.234}{0.074} \right) = 3.066$$

⑤一致性检验。

a) 计算一致性指标 CI

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

式中: n : 判断矩阵的阶数。

当 $\lambda_{\max} = n$, $CI = 0$, 为完全一致; 当 $\lambda_{\max} > n$, 表示判断矩阵不具有一致性, 需要引入一致性指标, CI 值越大, 判断矩阵的一致性越差, 一般只要 $CI \leq 0.1$, 则认为判断矩阵的一致性在可以接受的范围内。判断矩阵的维数($n \geq 4$)越大, 表示判断的一致性越差, 故应放宽对高维判断矩阵一致性的要求, 可以引入平均随机一致性指标 RI 进行修正。

b) 相应的平均随机一致性指标 RI

平均随机一致性指标是在多次(500 次以上)重复进行随机判断矩阵特征值的计算之后取算术平均数得到的。1~15 阶重复计算 1000 次的平均随机一致性指标如表 1 所示。

Table 1. Average random consistency index RI

表 1. 平均随机一致性指标 RI

矩阵参数	1	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41
矩阵参数	9	10	11	12	13	14	15	
RI	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58	1.59	

c) 计算一致性比率 CR

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当判断完全一致时, $CR = 0$; 一般只要 $CR < 0.1$, 就认为这个判断矩阵的一致性在可以接受的范围内。

根据上述公式, 当 $n = 3$ 时:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.066 - 3}{3 - 1} = 0.033$$

查表 1, 当 $n = 3$ 时, $RI = 0.52$, 则:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.033}{0.52} = 0.06 < 0.1$$

判断矩阵 A 的一致性在可以接受的范围内, 因此, 权重向量 W 可以接受。

4) 计算各元素的组合权重

在上述一致性检验通过的基础上, 并由计算结果得知: 在拱桥铺隧道下穿段施工中的风险因素根据对施工风险的影响程度, 从大到小依次排列为:

$$\frac{(0.712)}{\text{涌泥涌砂}} > \frac{(0.214)}{\text{塌方}} > \frac{(0.074)}{\text{大变形}}$$

4.3. 初始风险评定

通过对研究区域的地层岩性、工程地质和水文地质进行全面分析后, 根据其风险概率和事故发生的后果等级统计出拱桥铺隧道岩溶段的初始风险等级, 详见表 2。

Table 2. Initial risk scale
表 2. 初始风险等级表

序号	风险事件	概率等级	后果等级	风险等级	风险因素分析
1	塌方	4	3	高度	该段存在大面积的与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区, 推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽, 围岩溶蚀较严重, 岩体比较破碎
2	涌泥涌砂	5	4	极高	该段存在大面积与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区, 推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽, 围岩的整体稳定性较差, 其中掌子面左侧溶腔内填充物为干硬性黄粘土, 右侧溶腔内为碎石夹砂
3	大变形	4	3	高度	该段存在大面积的与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区, 推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽, 围岩破碎, 自稳定性较低

5. 隧道施工风险对策措施

经过初始风险评估可知, 拱桥铺隧道岩溶段涌泥涌沙施工风险极高, 塌方和大变形施工风险为高度, 为确保工程的顺利施工和风险的有效控制, 对上述三种风险分别采用以下措施:

5.1. 塌方风险控制措施

1) 施工中严格遵循“预探支、严注浆、短进尺、弱爆破、强支护、勤量测、紧衬砌、及时反馈”的施工原则。

- 2) 加强超前地质预报工作。用超前地质钻探和地质雷达进行中长距离的预测，在钻爆法利用地质素描和长炮孔进行短距离预测，长短配合，及时修改支护参数，给超前支护和止水提供依据。尤其遇到工程不利地质、软弱带和节理裂隙带时，有必要认真及时地分析和观察开挖过程中的岩性变化。遇有突水、突泥和勘探孔完整性差的情况，必须及时调整施工方法。
- 3) 隧道开挖前拱顶 120° 范围采用双层 Φ108 管棚支护。初期支护设置全环 HW175 型钢钢架加强，钢架间距 0.5 m/榀。二衬采用加强型二次衬砌，即采用厚度 80 cm 的 C35 钢筋混凝土。

5.2. 涌泥涌沙风险控制措施

- 1) 采用超前地质预报、红外探水仪、钻机超前探孔和每个循环开挖前采用钻杆钻孔等探测手段对前方围岩进行综合预测预报，判断掌子面前方围岩地质水文情况，适时调整支护类型、二衬等。
- 2) 为保证正洞施工开挖安全，在掌子面右侧，设置释能减压洞室，通过精准爆破揭示溶腔达到释放溶腔中存储的能量的目的。
- 3) 因掌子面右侧溶腔充填为灰白色砂土状物质，软~流塑，无自稳能力，因此在隧道开挖前最好以超前小导管预注浆的方式加固围岩，加固圈厚度一般不小于 3 m。

5.3. 大变形风险控制措施

- 1) 隧道开挖前，采用超前小导管预注浆加固围岩，加固环厚度约为 3 m；双层管棚用于支撑 120 度范围的拱顶。管棚纵向长度为 40 m，周向间距为 30 cm。
- 2) 施工过程中，加强对拱桥铺隧道岩溶段的监测，监测项目包括：隧道结构三维变形、应力应变等。根据监测结果，结合工程实际进行综合分析，最终做出合理的风险预测，及时将结果反馈在施工方，调节施工方法，做好安全准备措施。
- 3) 加强施工监控和测量，实施信息化建设。测量地表沉降、围岩收敛以及拱顶沉降，及时整理分析数据，进而反馈设计和施工，调节设计参数，保障施工安全。当围岩变形收敛值过大甚至接近控制警戒值时，应尽快采取加固措施[7]。

6. 风险控制结果

通过采取上述措施，将风险程度降低以后再次进行残余风险评估来检验措施是否有效[8]，详见表 3。

Table 3. Residual risk register
表 3. 残余风险登记表

序号	风险事件	概率等级	后果等级	风险等级	风险因素
1	塌方	3	2	中度	该段存在大面积的与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区，推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽，整个围岩破碎，溶解裂隙发育，稳定性差
2	涌泥涌砂	4	3	高度	该段存在大面积的与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区，推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽，稳定性整体较差。其中掌子面左侧溶腔内填充物为干硬性黄粘土，右侧溶腔内为碎石夹砂
3	大变形	3	2	中度	该段存在大面积的与地表存在连通关系的凹槽状低阻异常区，推测该段为一处面积较大的岩溶凹槽，围岩稳定性较差

7. 结语

通过对怀邵衡铁路拱桥铺隧道岩溶段风险因素的识别、评估以及施加相应的控制措施，保证了工程

的顺利施工，并可以得出以下结论：

- 1) 基于层次分析法对拱桥铺隧道岩溶段的详细分析，结果表明，不良地质、地层岩性、超前地质预报对结果的影响最大；其次控制因素为超前支护、地下水处理措施和支护刚度；最后围岩等级，开挖方式等对结果影响不大。
- 2) 提出了针对三种风险的应对和处理方式，可以为涌泥涌沙隧道从风险评估、方案设计、施工组织、应急处理等方面提供借鉴，实现工程风险的可控与管理。
- 3) 在怀邵衡铁路拱桥铺隧道应用该风险管理方法，成功减低了风险，优化了施工组织设计，保证了工程顺利施工。

参考文献

- [1] 骆伟, 曹波, 陈智勇. 穿越板岩与灰岩接触带隧道涌水涌泥处理方法及应用[J]. 湖南交通科技, 2018, 44(4): 165-168.
- [2] 刘升传, 刘磊, 崔成玉. 余凯高速重安江隧道涌水突泥风险评估与管理信息系统建立[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(12): 212-214.
- [3] 严竞雄. 隧道突水涌泥风险管理[J]. 建设科技, 2017(18): 120-121.
- [4] 杨志刚, 周伟. 贵州地区典型溶岩隧道处治探讨[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(7): 194-196.
- [5] 李建军. 大相岭隧道挤压变形段涌泥涌水处理技术[J]. 铁道建筑技术, 2010(8): 27-30.
- [6] 刘东波. 隧道突水涌泥灾害风险模糊综合评价分析与研究[J]. 铁道建筑技术, 2018(8): 36-39+69.
- [7] 李德臣. 岩溶隧道突水突泥风险评估及应用[J]. 建筑技术开发, 2017, 44(14): 60-61.
- [8] 陆春宁. 隧道施工风险评估关键技术研究[J]. 西部交通科技, 2018(10): 179-182.



知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN: 2326-3458，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org