

# 基于范例推理的浏阳河隧道风化槽段坍方风险评估\*

安永林<sup>1,2</sup>, 彭立敏<sup>2</sup>, 张峰<sup>3</sup>

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 中南大学 土木建筑学院, 湖南 长沙 410075;  
3. 中国中铁四局集团有限公司, 安徽 合肥 230023)

**摘要:** 坍方是隧道常见的突发性风险事件。在对已有坍方隧道实例的原因进行了统计分析, 并对主要原因进行了力学解释后, 进一步应用范例推理方法评估了浏阳河隧道风化槽地段的坍方风险。结果表明: 隧道坍方的主要诱因是围岩破碎和降雨, 这与断层破碎带处的围岩力学性能差、降水弱化围岩力学性和降低围岩有效应力等有关。浏阳河隧道风化槽地段的范例推理的坍方和梁家山隧道相近, 风险为很有可能发生坍方, 建议该地段施工中应注重监测信息的反馈并做好超前地质预报。

**关键词:** 隧道坍方; 范例推理; 风险评估; 浏阳河隧道

**中图分类号:** U459.2; U458 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)03-0075-04

## 0 概述

坍方是最为常见的、比较典型的事故。造成坍方的原因多种多样, 有地质上突发的因素, 也有人们认识上的因素, 但归根到底, 地质因素是决定性的, 因此加强施工地质工作是避免和防止坍方事故发生的根本手段。必须改变“地质工作是设计人员的任务, 而不是施工人员的事”的传统观念<sup>[1-5]</sup>。

目前主要针对坍方的个案进行如下方面的研究并提出相应的整治措施<sup>[6]</sup>: ①结合隧道施工进行围岩收敛、沉降量测, 开展位移反分析和围岩失稳预测研究; ②隧道施工坍塌下围岩与支护结构的力学特性研究; ③隧道开挖引起围岩松弛圈范围和新型支护结构的研究。

隧道坍方风险评价则主要有以下几方面<sup>[7-9]</sup>: 基于层次分析法评价钻爆法施工隧道坍方风险、建立事故树分析岩石公路隧道坍方风险、利用模糊理论评估山岭隧道坍方风险。

隧道坍方事故层出不穷, 但已有的研究大多是对具体隧道的坍方进行分析, 如何利用已有隧道坍方的经验对在建隧道进行坍方分析是本文的主要考虑的问题。本文主要基于范例推理相关理论评估浏阳河隧道过风化槽地段的施工坍方

风险。

## 1 工程概况

浏阳河隧道位于湖南省长沙市东部, 起于长沙市开福区捞刀河镇, 止于雨花区黎托乡, 进口里程 DIHK1560 + 550, 出口里程 DIHK1570 + 670, 全长 10.12 km。隧道场区工程地质和水文地质条件复杂多变, 施工技术难度大, 安全风险高, 具有复杂环境条件下城市隧道工程的特点, 是武广客运专线的重点控制工程<sup>[2]</sup>。

在竖井广州端 DIHK1565 + 120 ~ DIHK1565 + 250 段出现风化槽谷, 强风化最大深度达 53.6 m, 已深入至隧道开挖底部图, 如图 1 所示。

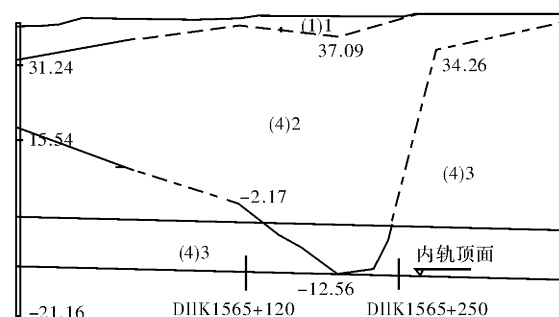


图1 风化槽谷段地质纵断面

注: 1(1) 围岩为填土; 4(2) 围岩为强风化泥质粉砂岩等; 4(3) 围岩为弱风化泥质粉砂岩等。

\* 收稿日期: 2009-03-04

基金项目: 湖南省研究生创新基金项目(3340-74236000004); 中铁四局科技研究开发计划课题(2006-19)

作者简介: 安永林(1981-), 男, 安徽寿县人, 博士, 从事隧道与地下工程结构与防灾的研究. E-mail: anyongling@yahoo.com.cn

## 2 坍方的统计及原因分析

相关文献总结了隧道塌方的原因有地质因素、施工方法和自然因素等,如图2所示<sup>[4,9]</sup>。

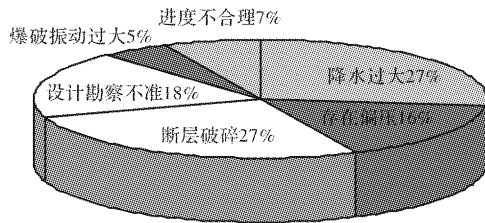


图2 塌方诱发因素所占的比例

对上述原因做进一步的分析可知:断层破碎带和降水占的比例最多,这是因为断层破碎带处的围岩力学性能差(弹性模量、内摩擦角和粘聚力较小,围岩的自稳时间短,自稳能力差);降水一方面劣化围岩力学性能,另一方面是降低了围岩的有效应力,从而更易屈服失稳,如图3所示。

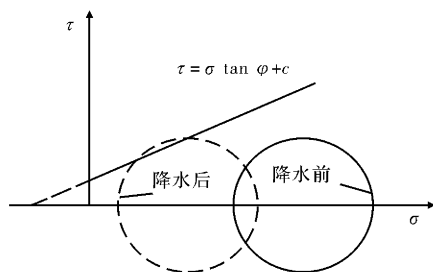


图3 降水下围岩屈服应力变化示意

## 3 隧道坍方风险的范例推理评估

### 3.1 范例推理理论

#### 3.1.1 范例推理的概念

范例推理(Case Based Reasoning, CBR)来源于人类的认知心理活动,是由Shank在1982年提出的<sup>[10]</sup>。

在范例推理中,把当前面临的问题或情况称为目标范例(Target case),而把记忆的问题称为源范例(Base Case)。简单地说,基于范例推理就是由目标范例的提示而获得记忆中的源范例,并由源范例来指导目标范例求解的一种策略。一般地,范例推理具有如下步骤<sup>[10]</sup>:

(1) 范例的提取或检索(Retrieve)根据输入待解决的问题的有关信息,从范例库中检索相似的范例集;

(2) 范例的重用(Reuse)从检索到的一组范例

中获得求解方案,判别是否符合需求,若符合,则重用这些方案(或多个方案的合并解),否则需要修正;

(3) 范例的修改(ReVised)从相似范例中修正求解方案,使之适合于求解当前问题,得到当前问题的新求解方案;

(4) 范例的保存(Retain)将新范例及其解根据一定的策略存入范例库中。

#### 3.1.2 范例的表示方法和检索技术

对于给定目标范例,如何从范例库中检索和选择最为相似的范例决定了范例推理系统的学习与推理性能。范例间的相似性度量是检索的关键。在范例间相似度的评估中,通常是建立一个相似性计算函数对当前范例与旧范例进行比较,常用的相似性度量函数有:距离度量法、局部相似性技术、基于模糊集相似性计算的方法等等<sup>[10]</sup>。

坍方的范例检索中采用欧氏距离进行相似度计算,如下所示:

$$d_{iT} = \left\{ \sum_{h=1}^n w_h (v_i(h) - v_T(h))^2 \right\}^{0.5}, \quad (1)$$

式中:  $d_{iT}$  为目标范例  $T$  与源范例库中第  $i$  个范例之间的欧氏距离,  $d_{iT}$  越小,说明目标范例与该范例越相似;  $v_i(h)$  为范例库中第  $i$  个范例的第  $h$  个属性的值;  $N$  为属性总数;  $w_h$  为属性的权值;  $v_T(h)$  为目标范例  $T$  在第  $h$  个属性下的值。

### 3.2 隧道坍方案例统计

表1给出了我国部分隧道的坍方统计<sup>[7]</sup>。

表1 部分隧道坍方统计

隧道名称	围岩级别	开挖跨度/m	地下水情况	埋深/m	偏压情况	塌方量/m <sup>3</sup>
青岭隧道	V	13	地下水不发育	75	-	15 000
靠椅山隧道	IV	17.04	地下水不发育	70	-	20 000
梁家山隧道	V	14.1	较发育	60	-	2 500
油房头隧道	V	13	一般	15	-	1 400
柳川隧道	V	17.5	地下水发育	63.3	-	20 000
乌坎坝隧道	V	13	地下水发育	26	-	450
旦架哨隧道	V	16.8	地下水丰富	40	-	900
东皋岭隧道	VI	14.8	节理面充水,地下水补给充分	12	-	17 000
马鞍石隧道	IV	10.48	地下水丰富	18	-	320

续表 1

某隧道	VI	12	地下水丰富	22	-	400
陈峪岭隧道	IV	9	地下水发育	11	存在偏压	1 400
坨家山隧道	IV	10.83	连降暴雨, 裂隙水发育	70	-	1 000
上村隧道	IV	12	掌子面有压力水流出	33	-	860
葵岗隧道	VI	14	岩溶水十分丰富, 地下水出漏	40	-	635
土家湾隧道	V	13.4	含水量大, 且降雨量很大	31~35	-	800
关口垭隧道	IV	11.1	连降大雨, 掌子面有成股水流出	25~32	存在偏压	8 800
某隧道	V	9.7	-	40	-	3 500
二道垭隧道左线	V	12	渗水严重, 正值雨季	50	-	900
某隧道	V	9	地下水发育	11	存在偏压	1 000
火车岭隧道	V	11	一般	55	-	350
萝卜顶隧道	V	11	地下水不发育	40	-	1 600
上虎峪隧道	V	14.5	不发育	4.5	-	150
铁营隧道	V	9.7	-	16	-	2 000
范家岭 1 号隧道	IV	单洞 11.6	地下水较发育	50	-	3 700
土地坨隧道	V	单洞 12.6	地下水不发育	10	-	地表塌陷 3 m × 3 m 的坑
殿会坪隧道	V	6.5	地下水较发育	6	严重偏压	冒顶面积 3 m × 3 m
二庄科隧道	V	13.9	地下水滞留	18	严重偏压	6 000
石牙山隧道左线	V	12.6	地下水不发育	37.7	存在偏压	480
石牙山隧道	IV	12.6	有少许渗水	43	存在偏压	150
喇嘛梁隧道	III	9.7	地下水丰富	20	-	100
城岭隧道	IV	16.75	地下水发育	45	-	1 200
云阳山隧道	V	12.3	地下水发育	20	-	8 000
父子关隧道	V	11.3	渗水、滴水现象严重	6	存在偏压	小的掌子面塌方
后祠隧道	IV	12	地下水丰富	19	-	10 m 的塌方段

### 3.3 范例推理的浏阳河隧道坍方风险评估

为使不可量化的指标进行量化处理, 规定: 地下水贫乏为 1; 地下水比较发育为 2; 地下水发育为 3; 地下水丰富, 有少量涌水为 4; 地下水相当丰富, 有大量涌水为 5。无偏压为 1, 存在偏压为 2, 较偏压为 3, 严重偏压为 4, 很严重偏压为 5。

同时, 为了防止具有较大初始值域的属性与具有较小初始值域的属性相比, 权重过大, 有效地减少误差及不同量纲数据分析, 需要对原始数据进行归一化处理。对于隧道坍方范例推理采用极值法将原数据归一化:

$$c'_i = \frac{c_i - \min c}{\max c - \min c}, \quad (2)$$

式中:  $\min$  和  $\max$  表示属性  $c$  中最大值和最小值。

以武广客运专线浏阳河隧道 D II K1565 + 120 ~ D II K1565 + 250 的风化槽地段为例<sup>[2]</sup>, 该地段为 V 级围岩, 埋深为约 45 m, 不存在偏压情况, 地下水发育。应用公式(2)对该段浏阳河隧道和表 1 进行归一化处理, 并计算其欧式距离下的相似度如表 2 所示。从表 2 中可以看出, 风化槽地段和梁家山隧道的相似度最小, 所以, 隧道发生坍方及坍方量大的可能性很大。

表 2 范例库的归一化处理及相似度计算

隧道名称	围岩级别	开挖跨度/m	地下水情况	埋深/m	偏压情况	相似度
青岭隧道	0.67	0.59	0.00	1.00	0.00	0.50
靠椅山隧道	0.33	0.96	0.00	0.93	0.00	0.61
梁家山隧道	0.67	0.69	0.25	0.79	0.00	0.21
油房头隧道	0.67	0.59	0.00	0.15	0.00	0.50
柳川隧道	0.67	1.00	0.50	0.83	0.00	0.48
乌坑坝隧道	0.67	0.59	0.50	0.30	0.00	0.38
旦架哨隧道	0.67	0.94	0.75	0.50	0.00	0.57
东皋岭隧道	0.33	0.75	0.50	0.11	0.00	0.63
马鞍石隧道	0.33	0.36	0.75	0.19	0.00	0.78
某隧道	1.00	0.50	0.75	0.25	0.00	0.71
陈峪岭隧道	0.33	0.23	0.75	0.09	0.33	0.95
坨家山隧道	0.33	0.39	0.50	0.93	0.00	0.62
上村隧道	0.33	0.50	0.75	0.40	0.00	0.65
葵岗隧道	1.00	0.68	0.75	0.50	0.00	0.61
土家湾隧道	0.67	0.63	0.50	0.40	0.00	0.31
关口垭隧道	1.00	0.42	1.00	0.33	0.33	0.96
某隧道	0.67	0.29	0.25	0.50	0.00	0.40
二道垭隧道左线	0.67	0.50	0.75	0.65	0.00	0.54
某隧道	0.67	0.23	0.50	0.09	0.33	0.78
火车岭隧道	0.67	0.41	0.00	0.72	0.00	0.40
萝卜顶隧道	0.67	0.41	0.00	0.50	0.00	0.38

续表 2

上虎峪隧道	0.67	0.73	0.00	0.00	0.00	0.63
铁营隧道	0.67	0.29	0.00	0.16	0.00	0.62
范家岭 1 号隧道	0.33	0.46	0.25	0.65	0.00	0.40
土地坳隧道	0.67	0.55	0.00	0.08	0.00	0.57
殿会坪隧道	0.67	0.00	0.50	0.02	1.00	1.35
二庄科隧道	0.67	0.67	0.25	0.19	1.00	1.07
石牙山隧道左线	0.67	0.55	0.00	0.47	0.33	0.45
石牙山隧道	0.33	0.55	0.25	0.55	0.33	0.49
喇嘛梁隧道	0.00	0.29	0.75	0.22	0.00	0.99
城岭隧道	0.33	0.93	0.50	0.57	0.00	0.49
云阳山隧道	0.67	0.53	0.50	0.22	0.00	0.46
父子关隧道	0.67	0.44	0.75	0.02	0.33	0.85
后祠隧道	0.33	0.50	0.75	0.21	0.00	0.73
浏阳河隧道	0.67	0.68	0.25	0.57	0.00	

## 4 结论

(1) 隧道坍方的主要原因为隧道地层为断层破碎带和降雨, 进一步从力学上对上述原因做了阐述: 断层破碎带处的围岩力学性能差(弹性模量、内摩擦角和粘聚力较小, 围岩的自稳时间短, 自稳能力差); 降水一方面裂化围岩力学性能, 另一方面是降低了围岩的有效应力, 从而更易屈服失稳。

(2) 隧道坍方是极其复杂的, 但复杂现象中总存在一些相似性关系。基于范例推理理论评价了

浏阳河隧道风化槽地段的坍方风险和梁家山隧道最接近, 所以, 隧道很有可能发生坍方, 建议在该地段施工中应注重监测信息的反馈并做好超前地质预报。

## 参考文献:

- [1] 安永林, 彭立敏, 杨伟超. 基于 fds 仿真火灾温度下隧道衬砌安全评估[J]. 灾害学, 2008, 23(2): 96-100.
- [2] 彭立敏, 施成华, 安永林, 等. 浏阳河隧道施工关键技术及风险管理研究[R]. 长沙: 中南大学土木建筑学院, 2008.
- [3] 安永林, 彭立敏, 赵丹, 等. 基于不同地表倾角的连拱隧道施工优化分析[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(2): 39-42.
- [4] 李刚. 防坍方救援方案浅析[J]. 山西建筑, 2007, 33(21): 335-336.
- [5] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [6] 王士民, 刘丰军, 叶飞, 等. 隧道坍方研究中的数值技术发展现状[J]. 现代隧道技术, 2006, (S0): 86-91.
- [7] 王燕, 黄宏伟, 薛亚东. 钻爆法施工隧道塌方风险分析[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2009, 25(1): 23-27.
- [8] 周建昆, 吴坚. 岩石公路隧道塌方风险事故树分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(6): 991-998.
- [9] 周峰. 山岭隧道塌方风险模糊层次评估研究[D]. 长沙: 中南大学土木建筑学院, 2008.
- [10] 董辉. 基于支持向量机的岩土非线性变形行为预测研究[D]. 长沙: 中南大学土木建筑学院, 2007.

# Case-based Reasoning Assessment on Tunnel Collapse Risk of the Weathered Trough Section of Liuyang River Tunnel

An Yonglin<sup>1,2</sup>, Peng Limin<sup>2</sup> and Zhang Feng<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha 410075, China;

3. China Railway No. 4 Engineering Group Co., Ltd., Hefei 230023, China)

**Abstract:** Collapses are common tunnel accidents. Causes of some tunnel collapse examples are statistically analyzed and the important ones of them are mechanically explained. Collapse risk of the weathered trough section of Liuyang River Tunnel is evaluated afterwards by case-based reasoning. It is shown that the main inducing factors of tunnel collapses are weak rock and rainfall, for weak rock has very poor mechanical properties and would weaken rock mechanics and reduce the effective stress in surrounding rock. Collapse risk of Liuyang River Tunnel is likely to occur. It is suggested that more attention should be paid to monitoring information feedback and geological prediction.

**Key words:** tunnel collapse; case-based reasoning; risk assessment; Liuyang River Tunnel