

# 某山岭隧道二次衬砌渗水影响因素研究

梅 华, 赵鹏宇, 谢 政, 韩保刚

(长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064)

**摘 要:**渗漏水作为隧道中的一种常见病害,由于各自隧道的不同特点,其影响因素也各不相同。以渗漏水情况、隧道施工情况和周边水文地质情况为基础,分析了甘肃某在建隧道进口段二衬发生渗漏水现象,认为该隧道渗漏水发生的原因主要有水文地质因素、施工因素和防排水因素。运用专家调查法和层次分析法对渗漏水影响因素进行主次分析,得出主要影响因素有防排水系统的施工不规范和防排水系统受损,次要影响因素有二次衬砌施工质量不合格、防排水材料不合格和地表水及地下水丰富。通过分析渗漏水影响因素,为该隧道的渗漏水病害治理提供依据。

**关键词:**隧道;渗漏水;层次分析法

**中图分类号:**U45

**文献标志码:**A

## 引 言

隧道在运营中经常会有各种各样的病害产生,而渗漏水是隧道运营中最常见的病害形式,对隧道的正常运营会产生很严重的危害。虽然主要的渗漏水原因有周边水文地质、设计施工原因和防排水系统自身的原因等,但由于各自隧道所处的内外条件各不相同,产生渗漏水病害的具体原因也是千差万别,且各自隧道渗漏水的影响因素主次也有所不同。针对渗漏水病害的危害,不少专家和技术人员对隧道渗漏水产生原因<sup>[1-3]</sup>进行了较为系统的归类分析,且运用了层次分析法、模糊数学等进行分析总结,得到了一些相关研究成果,基本上是对众多隧道产生渗漏水病害因素的规律总结。实际中对于具体的某个隧道渗漏水分析,应针对性的进行相应的分析研究,才能得出符合实际的结论。

本文对甘肃某隧道二次衬砌渗漏水病害情况进行分析,找出了产生渗漏水病害的原因,并对其影响因素运用层次分析法进行主次分析,得出结论为该隧道渗漏水病害的治理和后续施工提供依据,并为今后类似工程提供参考。

## 1 工程概况

### 1.1 工程地质概况

隧道全长 1378 m,为甘肃省省道 313 线改扩建项目,单线双向双车道二级公路曲线隧道。隧址区地貌类型属于侵蚀中高山区,地形起伏大,海拔高程为 1798~2080 m,山体坡度为 20°~50°,地势呈北高南低。建设区气候属暖温带半湿润气候区,多年平均气温 6.9℃,平均降雨量约 700 mm。区域地质属华南板块南秦岭(西秦岭)构造带,由一系列反复褶皱组成。主要地层为二叠系迭山组,主要岩性为黑色炭质页岩,含碳钙质板岩,灰褐色泥钙质千枚化板岩和深灰色石灰质页岩,间夹石英脉。隧道进出口段为第四系冲洪积砂砾石和含砂及小砾低液限粉质粘土,以及破崩碎块石土,前者地层结构密实,边坡稳定性较好,后者较差。根据地表调查和设计地勘钻孔观测地下水位等综合分析该隧道地下水丰富。

### 1.2 衬砌和防排水设计

隧道进口段按 V 级围岩施工,二次衬砌为 C25 模筑混凝土,厚度为 50 cm;初期支护喷射 C20 混凝土厚度为 26 cm,分 2 次喷射。防排水设计采用全断面铺挂

收稿日期:2013-05-16

基金项目:甘肃省交通厅科研项目(2012-6100-01-003334)

作者简介:梅华(1986-),男,湖南常德人,硕士生,主要从事岩土与隧道工程方面的研究,(E-mail)meihua3412@163.com

350 g/m<sup>2</sup>无纺布和 1.2 mm 厚 EVA 防水板,防水板搭接长度大于 0.1 m,接头采用爬焊机焊接;环向布设 TMF12 × 3.5 cm 排水盲管,均按 10 m 设置一环;横向排水管采用 Φ116HDPE 横向双壁波纹管,间距为 10 m;纵向排水管采用 Φ116HDPE 双壁半圆打孔波纹管,内径 100 mm,外径 116 mm;中央排水沟采用 Φ300 半边打孔 HDPE 双壁波纹管;环向施工缝设置带注浆管的遇水膨胀止水条,间距 9 m,变形缝和沉降缝处均设置背贴式橡胶止水带,规格为 10 mm × 300 mm。

## 2 渗漏水概况

隧道进口浅埋段二次衬砌渗水均位于 K56 + 921 ~ K56 + 933 范围内,共 13 处渗水处,其中左侧有 4 处(图 1),右侧有 9 处。左侧有 1 处线状渗水,2 处点状渗水和 1 处施工缝渗水;右侧有 4 处线状渗水,4 处点状渗水和 1 处施工缝渗水。根据渗水情况,左侧线状渗水、点状渗水和施工缝渗水分别编号为 ZX1、ZD1 和 ZD2、ZS;右侧线状渗水、点状渗水和施工缝渗水分别编号为 YX1 ~ YX4、YD1 ~ YD4 和 YS。隧道洞口段渗水处渗水量(2012 年 10 月 7 日)统计结果见表 1,渗水量较大的各线状渗水处详细记录情况见表 2。



图 1 右侧边墙渗水状况

表 1 隧道各渗水处渗水量测试结果

编号	渗水量 (L/h)	编号	渗水量 (L/h)	编号	渗水量 (L/h)
ZX1	43.0	YX1	21.8	YD1	3.7
ZD1	14.3	YX2	27.2	YD2	10.0
ZD2	5.8	YX3	44.0	YD3	5.4
ZS	103.6	YX4	29.1	YD4	7.6
		YS	84.3		

## 3 渗漏水原因分析

### 3.1 水文地质因素

(1) 周边地表水和地下水丰富,上部表面植被茂盛,地表常年有汇水溪流,且区域属暖温带湿润气候区,年降雨量超过 700 mm。

表 2 线状渗水处渗水情况详细记录

编号	位置	渗水情况描述
ZX1	K56 + 925.9 左侧边墙	渗水缝长度 0.7m, 浸润宽度 0.3m; 隧道路面向上 0.5m ~ 1.2m 高范围内, 竖直向下。
YX1	K56 + 921 右侧边墙	渗水缝长度 1.5, 浸润宽度 0.4m; 隧道路面向上 0 ~ 1.5m 高范围内, 竖直向下。
YX2	K56 + 921.3 右侧边墙	渗水缝长度 0.9m, 浸润宽度 0.3m; 隧道路面向上约 1.3m 高范围内, 近似水平。
YX3	K56 + 926.3 右侧边墙	渗水缝长度 0.6m, 浸润宽度 0.4m; 隧道路面向上约 1.3m 高范围内, 近似水平。
YX4	K56 + 931.1 右侧边墙	渗水缝长度 1.2m, 浸润宽度 0.3m; 隧道路面上 0.5m ~ 1.2m 高, 竖直向下。
ZS	K56 + 933 左侧边墙	渗水缝长度 5.2m, 浸润宽度 0.6m; 隧道路面向上 0 ~ 5.2m 高范围内, 竖直向下。
YS	K56 + 933 右侧边墙	渗水缝长度 3.3m, 浸润宽度 0.5m; 隧道路面向上 0.5m ~ 38m 高范围内, 竖直向下。

(2) 隧道进口地表地形地貌特征及浅埋。该隧道进口段上方汇水面积超过 100 万平方米,山体呈一平面,并略微向隧道洞口的凹槽形状,坡度为 25° ~ 70°,在隧道洞口段约 150 m 内坡度较缓为约 30°,中间有数条深沟汇聚。渗漏水病害段埋深较浅,为 0 ~ 32 m,地表水和地下水易渗流到隧道结构处。

(3) 隧道进口段围岩破碎,表面均为强风化的碎石和松散的坡积层,岩石节理裂隙发育,岩体中孔隙和裂隙连通性好,其中部分位于坡积体堆积较松散,水在岩体中渗透性较好。

### 3.2 施工因素

(1) 防水系统的施工不规范。主要有 EVA 防水板搭接处未密实,对施工缝、变形缝处止水条和止水带的安装不正确,出现渗漏水现象。

(2) 排水系统施工不规范。横向和纵向排水管堵塞或连接不密实,导致隧道结构外侧汇集大量水产生水压,将防水系统压裂渗漏水。

(3) 二次衬砌施工不合格。由于变形大侵界,二衬浇筑厚度不够<sup>[4]</sup>;浇筑不密实,存在渗漏水通道孔隙;施工中不进行养护,以致混凝土达不到抗渗标号的设计要求。

### 3.3 防排水因素

(1) 防水系统受损。施工完成后,由于受围岩压力过大,将防水板拉裂或移位,止水条和止水带被移位或拉断,产生渗水通道<sup>[5]</sup>。

(2) 排水系统受损。施工完成后,由于受到很大的围岩压力,纵、横向排水管被压裂堵塞,排水盲管被压扁,无法正常排水。

(3) 防排水材料本身不合格。防排水材料本身由存在孔洞或裂隙,或防排水材料的强度不高,易被损坏<sup>[6]</sup>。

## 4 影响因素层次分析

通过以上分析可知,渗漏水的原因很多,为了找出

其主要原因,运用层次分析法<sup>[7-8]</sup>进行建模分析其影响因素大小。

4.1 层次结构模型建立

根据以上分析,得出如图2所示的渗漏水影响因素层次结构模型图。目标层记为A,准则层分别记为B1、B2和B3,指标层分别记为C1~C9。

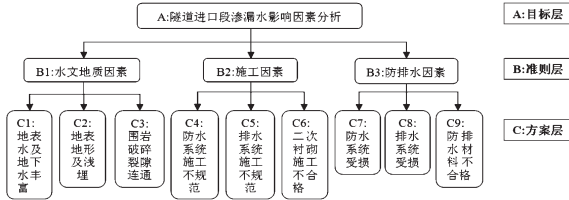


图2 隧道进口段渗漏水影响因素层次结构模型

4.2 模型计算及一致性检验

(1)各层次判断矩阵的构造。采用1~9及其倒数标度的方法,具体取值见表3。其中, $a_i$ 与 $a_j$ 为同一层不同的指标, $k_{ij}$ 表示 $a_i$ 比 $a_j$ 的重要程度判定值<sup>[7-8]</sup>。

表3 判断矩阵重要程度判断取值表

比较重要程度	$k_{ij}$	$k_{ji}$
$a_i$ 比 $a_j$ 重要程度一样	1	1
$a_i$ 比 $a_j$ 稍微高	3	1/3
$a_i$ 比 $a_j$ 明显高	5	1/5
$a_i$ 比 $a_j$ 强烈高	7	1/7
$a_i$ 比 $a_j$ 绝对高	9	1/9
$a_i$ 比 $a_j$ 介于各等级之间	2,4,6,8	1/2,1/4,1/6,1/8

通过现场专家和经验丰富的现场技术人员按照专家调查法<sup>[9]</sup>进行调研,并统计分析构造出对应的判断矩阵,求出对应的最大特征根 $\lambda_{max}$ ,然后将其代入相应判断矩阵构造出的其次方程组计算出特征向量,A-B、B<sub>1</sub>-C、B<sub>2</sub>-C和B<sub>3</sub>-C的n阶判断矩阵及其特征向量的计算结果见表4~表7。

表4 判断矩阵A-B及其特征向量

A	B1	B2	B3	特征向量
B1	1	1/7	1/6	0.0609
B2	7	1	5	0.6044
B3	6	1/5	1	0.3347

表5 B1-C判断矩阵及特征向量

B1	C1	C2	C3	特征向量
C1	1	5	3	0.6034
C2	1/5	1	1/3	0.1052
C3	1/3	3	1	0.2914

表6 B2-C判断矩阵及特征向量

B2	C4	C5	C6	特征向量
C4	1	3	7	0.5890
C5	1/3	1	5	0.3391
C6	1/7	1/5	1	0.0719

表7 B3-C判断矩阵及特征向量

B2	C7	C8	C9	特征向量
C7	1	3	3	0.5385
C8	1/3	1	3	0.3333
C9	1/3	1/3	1	0.1282

(2)层次单排序及一致性检验。层次单排序是同一隶属关系的各因素对属于上一层次相应因素相对重要性的排序<sup>[8]</sup>。层次单排序权重衡量相对重要性,各因素权重值为特征向量进行归一化后的相应分量。分别对A-B、B<sub>1</sub>-C、B<sub>2</sub>-C和B<sub>3</sub>-C矩阵的 $C_i$ 和 $R_i$ 按公式计算:

$$C_i = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$R_i = (\bar{\lambda} - n) / (n - 1)$$

其中, $C_i$ ( $i=1,2,3,4$ )为一致性指标,用于衡量专家调查法得出结果的不一致程度; $R_i$ 为随机一致性指标,为保证层次分析法的适用性; $\bar{\lambda}$ 取值为多个n阶随机互反矩阵最大特征值的平均值。

根据随机一致性比例 $CR_i$ 满足 $CR_i = C_i / R_i < 0.1$ 时,表明判断矩阵有很好的-一致性,判断合理。对单排序进行检验得出 $CR_i$ 分别为0.0186、0.0169、0.0143、和0.0102均大于0.1,表明不一致程度均在允许范围内。

(3)层次总排序及一致性检验。层次总排序是指所有影响因素对总目标相对重要性的排序<sup>[8]</sup>。由最高层到最低层逐层进行一致性检验,计算CI和RI指标,然后计算随机一致性比例CR对B层与 $A_j$ ( $j=1,2,3$ )相关因素进行比较的总排序检验。

$$CI = \sum_{j=1}^m CI(j) a_j$$

$$RI = \sum_{j=1}^m RI(j) a_j$$

$$CR = CI / RI$$

其中, $CI(j)$ 和 $RI(j)$ 为B层有关因素对上层(A层)因素 $A_j$ 的层次单排序一致性指标和随机一致性指标; $a_j$ 为 $A_j$ 的层次总排序权重值, $m=3$ 。

计算结果 $CR = 0.048 < 0.1$ ,表明其不一致程度在允许范围内。因此,单排序检验和总排序检验一致性通过。

层次总排序(渗漏水影响因素大小)的计算结果见表8。

4.3 计算结果分析

由表3可知,该隧道出现渗漏水病害的主要影响因素是对防水和排水系统的施工不规范与防水和排水系统受损,次要影响因素有二次衬砌施工不合格、防排水材料不合格和地表水及地下水丰富,围岩破损裂隙连通和地表地形及浅埋对隧道渗漏水影响很小。通过分析,可知发生渗漏水现象,主要是施工中对防排水系统没有安装好,出现防水板不密实和排水管堵塞。

表 8 隧道进口段渗漏水影响因素大小

影响因素	权重值	百分比/%	排序
C1:地表水及地下水丰富	0.0369	3.69	7
C2:地表地形及浅埋	0.0067	0.67	9
C3:围岩破碎裂隙连通	0.0178	1.78	8
C4:防水系统施工不规范	0.3560	35.60	1
C5:排水系统施工不规范	0.2050	20.50	2
C6:二次衬砌施工不合格	0.0435	4.35	5
C7:防水系统受损	0.1801	18.01	3
C8:排水系统受损	0.1114	11.14	4
C9:防水材料不合格	0.0426	4.26	6

## 5 结论及建议

(1) 由以分析上可知,产生渗漏水的主要原因是对防排水系统的施工不规范和由于该段受围岩压力大对防排水系统产生了一定的破坏。由于施工队伍的水平较低,加上洞口段围岩稳定性差,出现重结构、轻防水的错误认识,对防排水系统的没有按规定的要求施工;围岩压力大而且分布较复杂,在围岩和刚性衬砌之间的防排水系统被破损,但如果施工人员按规范施工,围岩破坏的影响应该很小。因此,产生渗漏水的最主要原因是施工的不规范。

(2) 通过对该隧道渗漏水原因分析和采用层次分析法进行影响因素大小的判定,找出了产生渗漏水的主要影响因素,为后续治理提供了帮助,作为一种分析思路为今后类似工程提供参考。

## 参 考 文 献:

- [1] 张世豪,张 斌.石灰质条件下隧道渗漏水的分析与处理[J].铁道建筑,2011(2):72-75.
- [2] 邹育麟,何川,周 艺,等.重庆高速公路现役营运隧道渗漏水病害统计及成因分析[J].公路交通科技,2013(1):86-93,101.
- [3] 斜逢光,刘新荣,石建勋.杭徽高速公路连拱隧道渗漏水分析及治理[J].地下空间与工程学报,2011(4):764-769.
- [4] 刘光明.软弱破碎围岩隧道大变形机理及控制措施研究[D].湖南:中南大学,2012.
- [5] 吴程辉.强富水板岩隧道防排水施工技术[J].贵州工业大学学报:自然科学版,2008,37(6):180-183,192.
- [6] 张小华.承德市公路隧道防排水问题研究[D].天津:河北工业大学,2010.
- [7] 石建勋,刘新荣,曹万智,等.改进的 AHP 对连拱隧道渗漏水病害影响因素评价[J].地球物理学进展,2013(2):182-187.
- [8] 宋 飞,赵法锁.地下工程风险分析的层次分析法及 MATLAB 应用[J].地球科学与环境学报,2008,30(3):292-296.
- [9] 吴 坚,黄 俊,李升连.基于专家调查法的公路隧道洞口失稳风险分析[J].地下空间与工程学报,2009,12(增):1407-1411.

## Analysis on Influencing Factors of Leakage Water on the Concrete Lining Surface of a Mountain Tunnel

MEI Hua, ZHAO Peng-yu, XIE Zheng, HAN Bao-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** As a common disease in tunnel, water leakage has diverse influencing factors due to the different characteristics of tunnels. According to leakage water, construction and surrounding hydrogeology condition, the paper analyzes the leakage water on the concrete lining surface of a mountain tunnel in Gansu, reaches a conclusion that hydrogeology, construction and water proof and drainage are the major factors of leakage water, and analyse the primary and secondary of influencing factors by expert research and analytic hierarchy process, obtains that the major influencing factors are not standardized construction and damage of waterproof and drainage system, and the secondary influencing factors are unqualified construction quality of lining, unqualified material of waterproof and drainage and abundant surface and groundwater. Through the analysis of influencing factors of water leakage, this paper provides a basis for the disease management.

**Key words:** highway tunnel; leakage water; analytic hierarchy process