

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2021.03.044

# 界牌岭岩质隧道偏压病害及其处治研究

任会<sup>1</sup>, 黄达<sup>2</sup>, 陈立峰<sup>2</sup>, 陈兆<sup>1</sup>

(1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南 长沙 410200; 2. 湖南省高速公路总公司 郴州管理处)

**摘要:**结合界牌岭隧道衬砌纵向裂缝的成因分析及治理,通过建立裂缝性质判断、反推外力大小及位置、结合地质资料判断裂缝成因、开裂结构综合处治等一条新的研究路线,明确背斜挤压构造发育带的岩质隧道偏压成因,由此总结出存在地质偏压的隧道建设需要重点考虑的选线、支护、防排水等关键技术。

**关键词:**隧道; 选线; 背斜; 衬砌; 纵向裂缝

## 1 工程概况

界牌岭隧道是位于厦(门)至成(都)高速公路湖南省汝城至郴州段上的一座短隧道,为岩溶低山地貌。该隧道于2008年11月开工,2012年12月正式建成通车。

隧道近垂直穿越走向近南北的龙溪~二都复核向斜东翼中一小背斜,K76+504处(开裂段)揭露出有呈

透镜状有序排列的角砾岩,具明显压扭型特征,岩芯断面可见擦痕、岩石破碎、裂隙发育,受挤压变形严重。隧道右洞 YK76+365~YK76+495 段洞底为砂质页岩夹煤层等,洞侧、洞顶为硬塑黏土,其中煤层为顺坡向的软弱夹层;隧道 YK76+495~YK76+535 段(裂缝主要发展段)洞底、洞侧、洞顶均为微风化灰岩,但隧道顶板以上微风化灰岩厚度仅 8~30 m。右洞地质纵剖面图如图 1 所示。

2015年初,养护单位发现隧道右洞汝城端 294 m

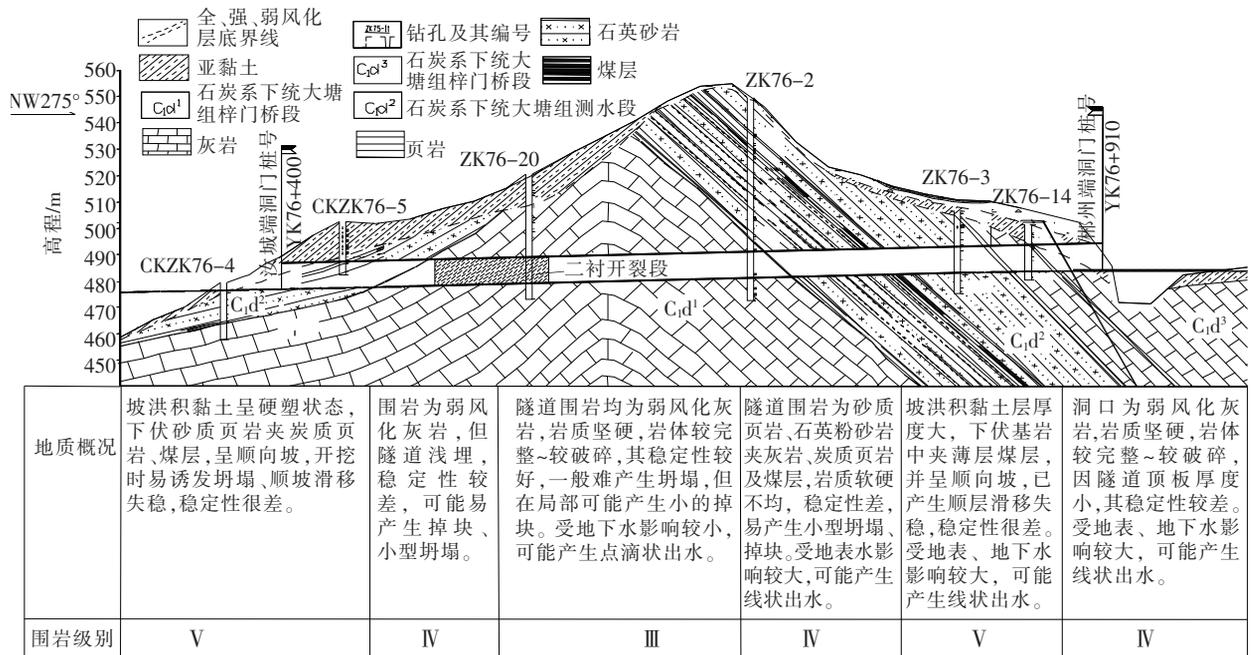


图1 右洞地质纵剖面图

收稿日期:2020-12-11(修改稿)

基金项目:湖南省科技厅重点研发计划项目(编号:2015SK2053)

作者简介:任会,男,硕士,高级工程师。E-mail:107031494@qq.com

范围内右侧拱墙出现较明显纵向裂缝,共计有 26 道纵、环向裂缝,长度为 0.5~21 m,宽度为 0.2~1.7 mm。2017 年 11 月,养护部门用水泥砂浆将裂缝封闭,2 个月,修补后的裂缝再次出现开裂。从 2018 年 6 月开始,在隧道右洞设置 4 个连续观测点,每月对裂缝的发展进行观测,得到的裂缝宽度发展观测图见图 2。

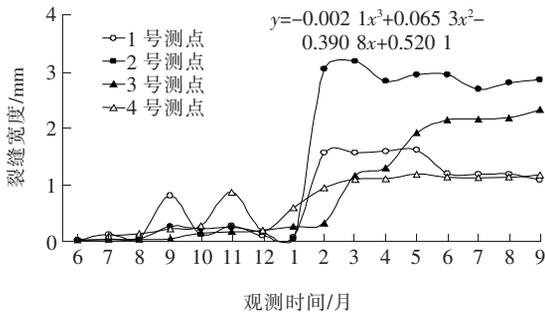


图 2 裂缝宽度发展观测图

由图 2 可知:2 号测点在近 1 年时间内裂缝宽度扩展了 3 mm,3 号测点则一直缓慢发展;1 号和 2 号测点的裂缝在达到 1 mm 后近半年时间内基本稳定;变化比较明显的时间点为 2019 年 1 月。

二衬裂缝在距汝城端洞口 95 m 开始出现,连续分布长度近 71 m(对应主洞桩号 YK76+495~YK76+566),裂缝高度分布在距离检修道高 1.2~2.9 m 范围内,裂缝宽度为 0.5~7.7 mm。

二衬纵向裂缝的存在给结构造成较大安全隐患,影响行车安全,公路管理部门要求及时对隧道结构的稳定性进行评价,并提出处理措施。

## 2 裂缝成因分析

### 2.1 裂缝形态判断

裂缝是混凝土工程中的一种常见缺陷,依据裂缝的成因和性质,混凝土裂缝包括荷载裂缝和变形裂缝两大类。变形裂缝一般情况下分布比较凌乱,形成与施工工艺或材料有关。荷载裂缝主要有弯拉裂缝、剪切裂缝、偏心受拉或受压裂缝等,规律性较强,主要是受力导致。通过在现场开孔检测,发现裂缝外宽内窄,沿隧道侧墙全纵向分布,是比较明显的张裂缝,结合前述裂缝形态特征,可判断该裂缝是较典型的弯拉裂缝。

### 2.2 裂缝成因分析

裂缝出现在拱部起拱线位置,结合现有隧道开裂的情况可知,引起衬砌出现弯拉裂缝都是因为外力作

用导致,其原因主要有 3 种:

(1) 偏压。偏压可分为地形和地质两种成因,该项目隧道开裂段的埋深达 36 m,横断面的地形起伏不大,拱肩也未露头,故不存在地形偏压,只有可能是地质偏压。地质偏压与工程地质条件、岩性、控制性裂隙、节理或层理与隧道的轴线关系等因素相关。

(2) 滑坡。滑坡也分为土质滑坡和岩质滑坡,隧道洞顶的覆盖层有黏土、砂岩和灰岩,洞身位于灰岩岩层中。若是滑坡引起,只可能是岩质滑坡。岩质滑坡受层间裂隙控制,一般发生在断层破碎带、下伏软弱岩层、顺向坡及坡脚严重破坏段。对隧道结构而言,是一种极为严重的偏压,变形剧烈,一般会导致隧道结构迅速剪断而破坏。

(3) 地应力。由于构造运动的发展,岩层内部普遍存在较大的水平地应力,尤其是在褶皱等构造运动强烈的地段,其一般在中国活动断裂发育的西南及华北片区较为发育。据现有资料,隧道内部出现水平应力集中的地段一般在埋深均超过 500 m 处。

该项目的衬砌裂缝发展缓慢,施工期也未在开裂段的隧道侧壁发现贯通性的断层破碎带或节理裂隙密集发育带。总体而言,该段地质情况较好,详勘判定该段的围岩级别为Ⅲ级。又由于隧道总体埋深不大,故推测隧道开裂是因为地质偏压与外部因素综合影响导致,主要理由如下:

(1) 岩层倾向不利:开裂段岩层的倾向为 NE42°~50°,由于隧道穿越了背斜构造带,其轴部受挤压作用较为强烈,一般均发育有构造裂隙。隧道开裂段正处于砂岩向灰岩过渡的区域,主要结构面也沿此角度与隧道斜交。

(2) 施工扰动:隧道施工采用的是矿山法,施工过程中的爆破造成围岩周边出现裂隙。隧道右侧有一处露天矿区,距离隧道最近距离为 570 m,采矿过程中的爆破震动导致围岩内部的裂隙进一步延伸,灰岩表面裂隙向深处发展与隧道周边的裂隙贯通。

(3) 地下水的影响:裂缝贯通后,地下水集中通过裂隙,地下水一方面降低了岩体的抗剪强度;另一方面为岩体沿陡倾角裂隙向临空面(隧道)蠕变提供了有利条件,衬砌因受较大推力而变形和开裂。

为便于处治,需确定外力的规模和大小,下面拟采用反算的方式分析外力的规模:首先通过计算截面的开裂弯矩判断衬砌的外力大小和位置;其次分析地质资料,建立围岩—结构的整体力学模型,通过试算不同角度的岩层裂隙面找出导致结构开裂的最不利结构

面,探究地质偏压的来源和外力规模。

### 2.2.1 衬砌抗力计算

#### (1) 截面计算

项目开裂段二次衬砌采用 C25 素混凝土,结构厚度为 40 cm,素混凝土开裂弯矩的计算按受弯构件法向应力进行验算,取衬砌截面尺寸为单宽  $b=1\ 000\text{ mm}$ 、 $h=400\text{ mm}$  计算混凝土法向应力:

$$\sigma_{ck} = \frac{M_k}{W_0} \quad (1)$$

取  $\sigma_{ck} \leq 0.95f_{tk}$  作为开裂控制条件。将  $\sigma_{ck} = 2.01\text{ N/mm}^2$ 、 $W_0 = \frac{bh^2}{6} = 2.67 \times 10^7\text{ mm}^3$  代入,计算得到开裂弯矩标准值  $M_k = 51\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

#### (2) 构件计算

构件抗力计算按照周边有弹性支撑的拱进行计算,开裂段衬砌无仰拱,底部支撑采用铰接模拟。通过试算右侧墙位置截面达到开裂弯矩所受的均布外力规模,模拟出距离墙底 2.84 m(裂缝宽度最大的位置)达

到开裂弯矩的单宽衬砌结构受均布力为 250 kN/m。

#### (3) 衬砌抗力计算小结

通过以上分析得知:二衬开裂的最小纵向单位长度推力为 250 kN/m,外力在环向距拱脚为 2.2~3.2 m、纵向 80 m 长度范围内分布。由于开裂段采用复合式衬砌支护,衬砌由初期支护和二衬组成,模拟的是二衬开裂受到的外力,初期支护的抗力暂未考虑,故该段的衬砌外侧推力不小于 250 kN。

### 2.2.2 围岩最不利结构面分析

通过前述分析可知,隧道二衬纵向裂缝的形成主要是受地质偏压引起,二衬开裂主要是背斜挤压构造带裂隙与隧道围岩裂隙形成了贯通面、在地下水作用下向洞内蠕动导致。下面采用 Midas GTS 有限元计算软件建立隧道的整体力学模型,结合上节的构件计算成果,模拟结构面存在对二衬内力的影响,并判断贯通裂隙面的位置。

岩土力学参数取值见表 1。图 3 为隧道地质横剖面及破裂面二衬弯矩图。

表 1 岩土力学参数

岩土类别	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	泊松比	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/( $^\circ$ )	虚拟厚 度系数	弹性模量/ MPa
表层黏土	20	0.33	21	23	—	21
强风化碳质页岩	21	0.26	—	31	—	16 000
强风化砂岩	22	0.25	—	33	—	12 000
弱风化灰岩	24	0.28	—	58	—	28 000
破裂面(界面)	—	0.45	60	20	0.1	15

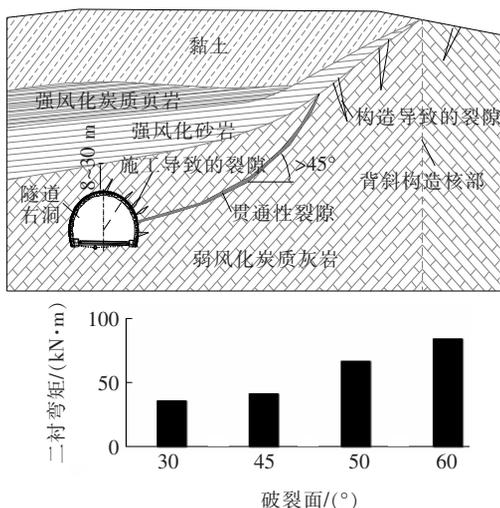


图 3 隧道地质横剖面及破裂面二衬弯矩示意图

图 3 显示:当破裂面倾角达到  $45^\circ$  以上时,二衬弯矩急剧增大,破裂面与水平面角度为  $50^\circ$  时,二衬弯矩

达到  $67\text{ kN} \cdot \text{m}$ ,前述的开裂弯矩计算表明此时的二衬已经破坏。

### 2.3 验证

2019 年 7 月,公路管理部门在隧道右洞两侧边墙部位每 5 m 钻一个排水孔,通过对排水孔的流量观测和岩芯分析,验证了上述分析。

(1) 地下水情况。隧道裂缝最宽的位置恰好是地下水最大的位置,排出的地下水均为浑浊的泥浆。而右洞左壁没有开裂段的孔内没有水流出,可知二衬开裂最严重的段落围岩裂隙已经贯通到地表顶部,地下水通过围岩裂隙作用在衬砌拱部。

(2) 岩芯情况。钻泄水孔过程中,每个孔位都预留了岩芯,通过观测岩芯,可以发现隧道衬砌背后的围岩出现了裂隙,岩芯的裂隙面与上述分析得到的角度基本吻合。

通过开设泄水孔和取芯,可以得知:隧道衬砌纵向裂缝发育段背后的围岩出现了直通地表的裂隙,由此形成了一条新的排水通道,裂隙的形成既降低了围岩的强度,又加剧了二衬开裂。

### 3 病害处治

对隧道二衬进行加强需重点处理二衬纵向裂缝发育段和隧道的渗漏水状况,保障行车安全。参照现有资料,提出隧道裂缝处治采用裂缝封闭、衬砌加固、渗漏水引排 3 项综合性处理措施。

#### 3.1 裂缝封闭

根据衬砌裂缝宽度,采取不同的整治方法:

(1) 小于 0.2 mm 的裂缝:在裂缝部位涂刷环氧砂浆封闭裂缝的方法进行整治,外刷水泥结晶性防水涂料。

(2) 大于 0.2 mm 的裂缝:用低压注浆法进行整治,通过压注改性环氧树脂灌缝胶充填封闭裂缝,黏结裂缝,阻止其进一步发展。

#### 3.2 衬砌加固

隧道开裂的主要原因是地下水及围岩蠕滑的综合作用,处治方案在隧道衬砌表面开设了泄水孔降低地下水的影响。由于二衬开裂段的错台不明显,故处理方案主要是恢复开裂段二衬的承载能力,保持二衬的拱圈完整,采用锚网喷射混凝土处理。喷射混凝土采用 C25,锚杆采用  $\phi 42 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$  钢花管兼注浆管。

#### 3.3 渗漏水引排

地表主要是疏通排水系统,封闭现有裂缝:在积水的洞顶平台和开裂的坡口线外 3 m 设置多层环向 C20 素混凝土截水沟,并与原截水沟连通,保证地表径流的畅通;地表裂缝则采用黏土回填,并采用小型夯机夯实,减少地表水顺裂缝下渗。

洞内设置 1 m 长  $\phi 110$  UPVC 横向排水管,沿目前隧道开裂的二衬段,每 5 m 设置一道,在衬砌部位设置引流槽,减少隧道衬砌后面的水头压力。

#### 3.4 处理效果

整个工程于 2019 年 10 月处理完毕,经过连续的观察和检测,隧道裂缝没有再发展,隧道渗漏水状况得

到极大改善,处理取得了成功。

## 4 结论

(1) 界牌岭隧道垂直穿越背斜构造带,衬砌的开裂段临近背斜的核部,围岩强度较好,但岩体裂隙发育,受隧道工程施工过程中开挖、毗邻矿区采矿爆破等综合影响,造成周边围岩裂隙贯通,形成了贯通的陡倾角裂隙,在地下水及岩溶的影响下,围岩向隧道内挤压,形成偏压,造成二衬开裂和渗漏水。

(2) 当岩层裂隙倾向隧道方向的角度大于  $45^\circ$  时,隧道受偏压作用将急剧增大。故路线选线过程中,应注意根据构造带的发育情况,隧道选址尽量采用与背斜轴部垂直的大角度穿越构造带,避开岩层起伏较大的段落,将隧道设置在岩性较单一的稳定岩体内。

(3) 隧道衬砌在背斜核部区域需根据岩层走向和倾向,采用抗偏压的钢筋混凝土二次衬砌结构,提高安全储备。

(4) 在隧道洞内设置环向排水孔,降低岩体内的孔隙水压力,改善围岩的受力情况,减小作用在衬砌结构上的水头压力。

#### 参考文献:

- [1] 雷波,漆泰岳,陈小雨,等.基于对应分析模型的隧道纵向裂缝主成因分析[J].铁道标准设计,2013(10).
- [2] 鲍志伟.浅谈隧道衬砌存在的病害问题及其处理与防治[J].中国科技信息,2012(3).
- [3] 刘艳明.石牛岭隧道地表坍塌原因分析及处理方案探讨[J].中外公路,2018(3).
- [4] 孙智慧,邢逸航,唐勇,等.背斜核部层状软硬岩区隧道变形时空效应分析[J].中外公路,2019(1).
- [5] 梁师俊.洞窟下紧邻隧道爆破振动响应分析及控爆措施研究[J].中外公路,2019(3).
- [6] 夏润禾,崔小鹏,周泉.复杂地质隧道衬砌变形分析与工程治理技术[J].铁道工程学报,2015(8).
- [7] 冯冀蒙,仇文革,王玉锁,等.既有隧道病害分布规律及围岩环境等级划分研究[J].现代隧道技术,2013(4).
- [8] 杨航.解析高速公路隧道衬砌施工与维护技术[J].低碳世界,2017(28).