

高速公路隧道拱顶纵向裂缝检测及处治措施

周杨, 梁国卿

(江西省天驰高速科技发展有限公司, 江西 南昌 330103)

摘要: 针对某高速公路隧道拱顶长约 21 m 的纵向裂缝进行专项检测, 并应用 MIDAS/GTS 软件对最不利断面进行数值模拟计算, 分析二次衬砌支护结构安全状况, 根据现场检测数据和数值计算结果对拱顶纵向裂缝的成因进行分析, 进而提出处治措施。

关键词: 隧道; 衬砌; 拱顶; 纵向裂缝; 处治措施

中图分类号: U457

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0159-03

1 工程概况

某高速公路为双向四车道, 于 1997 年 4 月开工建设, 2000 年 12 月建成通车。该高速公路上某座隧道按中轴间距约 46 m 的平行双洞布置, 右洞长 301 m, 左洞长 214 m。洞身截面采用单心圆拱式曲墙, 底面净宽 10.25 m, 路面横坡采用单向排水坡 2%。衬砌采用一次喷锚和二次模筑的复合衬砌形式。2010 年该隧道定期检查中发现右洞 V 级围岩 YK0+288—280 段拱顶存在 8 m 长纵向裂缝, 2016 年定期检查该位置纵向裂缝长度已发展为 YK0+295—274 共计 21 m(见图 1)。针对上述情况, 2017 年 5 月对出洞口拱顶存在纵向裂缝的二次衬砌区域进行专项检测。右洞围岩衬砌支护参数见表 1。



图 1 右洞拱顶纵向裂缝

表 1 YK0+295—274 段设计衬砌支护参数

项目	参数值	
围岩级别	V 级	
长度/m	21	
初期支护	砼厚/cm	20
	钢支撑间距/cm	80
二次衬砌	砼厚/cm	20
	环向钢筋	无

2 隧道专项检测

2.1 二次衬砌砼取芯检测强度

对 YK0+278、YK0+287.3 及 YK0+292.2 右边墙高 1.35 m 位置二次衬砌进行现场取芯, 高径比为 1:1, 并进行抗压强度试验, 3 个芯样抗压强度分别为 34.9、45.2、43.9 MPa, 强度推定值为 34.9 MPa, 设计标号为 C30, 满足设计要求。

2.2 二次衬砌砼厚度检测

采用 MALA 地质雷达及 800 MHz 频率屏蔽天线对 YK0+295—274 段二次衬砌厚度进行扫描并对扫描结果进行滤波等处理, 得到该区域二次衬砌厚度。测线布置见图 2, 检测结果见表 2。从检测结

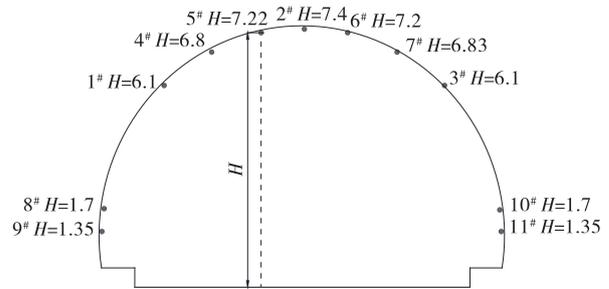


图 2 雷达检测测线布置(单位:m; 小桩号往大桩号方向)

表 2 YK0+295—274 段二次衬砌厚度检测结果

测线号	厚度/cm		测线号	厚度/cm	
	实测平均值	最小值		实测平均值	最小值
1	62.7	60.7	7	57.9	41.2
2	61.7	58.7	8	62.8	51.4
3	61.4	58.2	9	60.7	54.9
4	61.5	53.4	10	62.5	58.6
5	63.6	58.0	11	66.7	62.6
6	58.9	50.3			

果来看, YK0+291 断面拱顶及右拱腰部位二次衬砌厚度与设计值相比偏薄, 拱顶及两侧拱腰平均厚度仅 52.5 cm。

2.3 裂缝深度检测

采用裂缝综合测试仪对拱顶纵向裂缝区域的 16 个测点(右洞拱顶 YK0+275、YK0+276、YK0+277、YK0+278、YK0+280、YK0+282、YK0+283、YK0+284、YK0+285、YK0+287、YK0+289、YK0+291、YK0+292、YK0+293、YK0+294、YK0+295)进行裂缝深度检测, 得到平均裂缝深度为 14.6 cm。从检测

结果来看, 拱顶裂缝未贯穿整个衬砌断面, 平均裂缝深度约占衬砌设计厚度的 1/4。

2.4 二次衬砌轮廓线检测

采用隧道断面检测仪按照规范要求将存在拱顶裂缝的 YK0+291、YK0+285、YK0+279 断面与 YK0+265 断面轮廓线进行对比, 同时将相邻无裂缝的 YK0+270 与 YK0+265 断面轮廓线进行对比, 检测结果见表 3、图 3。根据检测结果, YK0+291、YK0+285、YK0+279 断面存在左右侧及纵向拱顶轮廓线不对称的情况。

表 3 右洞断面二次衬砌轮廓线检测结果

检测部位	与 YK0+265 对比洞周轮廓线偏差值/cm				检测部位	与 YK0+265 对比洞周轮廓线偏差值/cm			
	YK0+291	YK0+285	YK0+279	YK0+270		YK0+291	YK0+285	YK0+279	YK0+270
右侧拱部	4.72	3.69	2.88	0.61	左侧拱部	3.14	1.68	2.05	0.60
	4.40	3.53	2.87	0.28		2.38	-0.22	1.54	0.23
	3.28	4.26	3.44	0.67		1.73	-0.67	2.13	-
	2.57	3.16	2.31	0.20		0.20	-0.85	-0.17	0.28
	3.00	3.02	1.81	0.21		1.55	-0.59	-0.70	0.06
右侧边墙	1.00	2.10	0.15	0.27	左侧边墙	-1.40	-1.67	-0.48	-0.04
	0.06	0.74	-0.63	0.51		-0.40	0.53	0.84	-0.14
右侧拱部及边墙平均偏差值	-1.01	0.43	-0.09	1.14	左侧拱部及边墙平均偏差值	-0.45	0.42	2.41	0.45
	2.49	2.73	1.68	0.55		0.84	-0.17	0.95	0.21
拱顶	4.36	3.67	2.42	1.04					

注: +、- 分别代表实测断面测点在 YK0+265 轮廓线外侧和内侧。

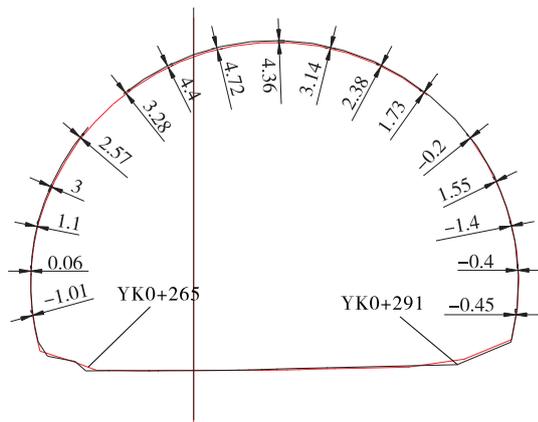


图 3 右洞断面二次衬砌轮廓线示意图
(单位: cm; 大桩号往小桩号方向)

3 数值模拟计算

结合该隧道竣工图资料及现场检测结果, 采用

有限元计算软件 MIDAS/GTS, 选取整体衬砌厚度最不利的 YK0+291 断面进行二次衬砌支护结构安全验算。

3.1 计算模型的假定

- (1) 所有材料均为均质、连续、各项同性。
- (2) 二次衬砌采用梁单元模拟, 围岩与衬砌之间的相互作用采用弹簧单元模拟, 弹簧单元只承受压力, 不承受拉力。
- (3) 不考虑空间效应, 采用平面应变模型计算。

3.2 计算模型的确定

计算模式采用荷载-结构模式, 二次衬砌采用二维梁单元模拟, 梁单元宽度为单位宽度, 即 1 m, 共划分为 158 个单元。采用弹簧单元模拟基底土及边墙围岩与衬砌的相互作用, 将弹簧单元设置为只能受压。整个衬砌的梁高按实测平均厚度 0.525 m

计算,参考现场取芯强度推定值,衬砌强度按 C30 考虑。结构计算参数根据 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》选取(见表 4)。

表 4 围岩和衬砌的物理力学指标取值

项目	指标取值	
围岩级别	V 级	
埋深/m	5	
弹性模量/GPa	围岩	—
	衬砌	31
泊松比	围岩	0.35
	衬砌	0.20
容重/(kN·m ⁻³)	围岩	20
	衬砌	23
弹性抗力系数/(MPa·m ⁻¹)	围岩	100
	衬砌	—
计算摩擦角/(°)	围岩	40
	衬砌	—

3.3 计算荷载的确定

隧道开挖宽度 $B_1 = 12.4$ m,开挖高度 $H_1 = 9.93$ m。由于埋深 $H < h_q$,按照规范规定,围岩压力按照浅埋隧道第一类情况计算,二次衬砌承受释放荷载比例为 70%(见表 5)。

表 5 计算断面荷载压力

项目	围岩压力/(kN·m ⁻²)	
	竖向	水平
V 级围岩	100	22.0
二次衬砌承受荷载	70	15.4

3.4 计算结果

整个衬砌截面受压,最大轴力发生在仰拱与拱脚交界处,为 -619.7 kN;最小值发生在拱顶,为 -289.0 kN(见图 4)。弯矩在拱顶处达到最大值,为 128.7 kN·m;拱顶内侧受拉,最小值发生在仰拱与拱脚交界处,为 -81.2 kN·m(见图 5)。最大应力发生在拱顶且为拉应力,最大值为 2.37 MPa。

隧道是整体结构,如果采用仅以单轴抗拉或抗压强度作为稳定性评价指标的经典材料力学方法评价处于复杂应力条件下的衬砌结构不太合适,有必要将衬砌结构所受的轴力及弯矩换算成安全系数,

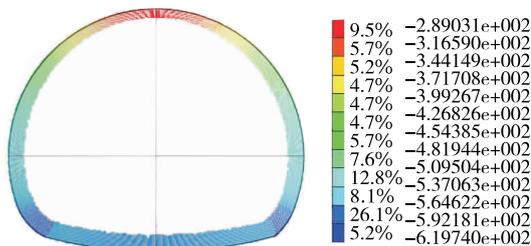


图 4 轴力计算结果云图(单位:kN)

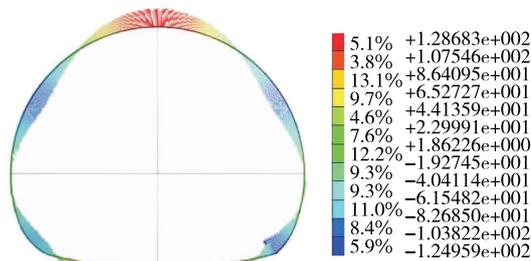


图 5 弯矩计算结果云图(单位:kN·m)

同时结合隧道变形等综合评价衬砌的支护效果。按 JTG D70—2004《公路隧道设计规范》计算截面安全系数,结果见表 6。

表 6 衬砌结构安全系数

截面	轴力/ kN	弯矩/ (kN·m)	偏心 距/m	安全 系数
拱顶	-289.0	128.7	0.44	1.6
拱腰	-470.7	-107.4	0.23	2.5
仰拱与拱脚交界处	-619.7	-81.2	0.13	6.0
边墙	-561.4	-30.9	0.06	24.2

根据计算结果,二次衬砌拱顶及拱腰部位按抗拉强度作为控制承载能力时其抗裂安全系数小于《公路隧道设计规范》规定的最小强度安全系数。

4 裂缝成因分析

根据现场实测结果和数值模拟计算结果,导致该隧道拱顶纵向裂缝的原因如下:1) 拱顶 YK0+295—274 段纵向裂缝属于结构性裂缝,二次衬砌结构为素砼无配筋设计,在衬砌施工时厚度控制较差导致厚度偏薄,的情况下,拱顶及拱腰位置抗裂安全系数不满足规范对最小安全系数的要求,拱顶及拱腰部位抗裂性能差、安全储备不足;2) 存在拱顶裂缝的 YK0+291、YK0+285、YK0+279 等断面在隧道横断面方向存在左右侧洞周不均匀收敛和纵向不

(下转第 175 页)

- [2] 李林紫.公路桥梁施工中预应力技术施工质量控制分析[J].交通世界,2017(20).
- [3] 李周沛,欧阳娜.锚下预应力智能反拉系统检测研究[J].公路与汽运,2015(5).
- [4] 杨福林.预应力混凝土梁桥锚下有效预应力提升分析[J].广东公路交通,2017(3).
- [5] 黄兴,韩伟威,陈赞.高速公路桥梁施工安全评估及控制[J].公路与汽运,2013(6).

- [6] 方晓玥.现浇预应力桥梁质量的监督管理探讨[J].公路与汽运,2016(3).
- [7] 李梦晨.基于模糊网络分析法的高速铁路施工质量风险评价研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [8] 陈永瑞.基于施工质量的大跨径钢箱梁悬索桥成桥安全状态评估[D].西安:长安大学,2015.

收稿日期:2018-04-09

(上接第161页)

均匀拱顶变形,洞口段强风化板岩受地表水下渗影响衬砌背后围岩孔隙水压力增大。

5 处治措施

(1) 针对拱顶纵向裂缝及拱腰部位的环向裂缝,对于宽度为0.2~2 mm的裂缝,采用注射环氧树脂浆等化学浆液的方法修补;对于宽度大于2 mm的裂缝,采用压力灌入超细水泥浆等方法修补。同时对于宽度大于0.5 mm的裂缝,采用凿槽并结合注浆充填的方法修补。另外,针对拱顶纵向裂缝,在对裂缝进行注浆充填后,沿缝粘贴宽度不低于60 cm的碳纤维布。

(2) 全断面粘贴不小于5 mm的钢板(钢带),相邻钢板(钢带)搭接长度不小于40 cm。采用锚栓锚固结合压力注胶的方法进行粘贴。

参考文献:

- [1] 李晓.鹰鹞山隧道衬砌纵向裂缝检测与处置对策[J].铁道建筑建设,2016(3).
- [2] 李水明.浅谈隧道二次衬砌混凝土裂缝成因与处理[J].铁道建筑技术,2008(增刊1).
- [3] 叶飞,何川,夏永旭.公路隧道衬砌裂缝的跟踪监测与分析研究[J].土木工程学报,2010,43(7).
- [4] 张晓航.公路隧道衬砌裂缝产生原因和整治措施[J].路基工程,2007(4).
- [5] 刘学增,张鹏,周敏.纵向裂缝对隧道衬砌承载力的影响分析[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10).
- [6] 王华牢,刘学增,李宁.纵向裂缝隧道衬砌结构的安全评价与加固技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增刊1).

收稿日期:2017-07-17

(上接第167页)

portation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 101.

- [7] 袁月波.关于高速公路通行费收入预测的探讨[J].江西建材,2016(10).
- [8] 刘星.高速公路通行费预测技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2015.
- [9] 陈昌兰.高速公路上市公司盈利能力分析[D].成都:西南财经大学,2011.
- [10] 刘红心.2010—2012年高速公路上市公司盈利能力分析[J].财经界:学术版,2014(2).
- [11] 符蓉.高速公路行业多元化经营状况和盈利能力分析:以宁沪高速为例[J].中国管理信息化,2017,20(11).
- [12] 杨晓伟.浅议合理编制公路建设工程投资估算[J].铁路工程造价管理,2014,29(3).
- [13] 梁亚莉.计重收费模式下基于收费系数的高速公路通行费收入预测研究[J].交通科技与经济,2017,19(4).

- [14] 胡丹,朱一红.建设高速公路资金投入的多元化发展[J].现代经济信息,2012(20).
- [15] 王建强,习江鹏,郗恩崇.高速公路改扩建项目的投资效益分析[J].公路交通科技,2010,27(5).
- [16] 魏伟.浅析高速公路改扩建项目的投资效益[J].商业文化:上半月,2011(5).
- [17] 国务院令 第417号,收费公路管理条例[S].
- [18] 田宇.高速公路建设项目投资决策研究[D].西安:长安大学,2015.
- [19] Bain R. Error and optimism bias in toll road traffic forecasts[J]. Transportation, 2009, 36(5).
- [20] 王金霞.公路工程项目投资估算方法的研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [21] 马惠萍.高速公路通行费预算绩效审计评价体系研究:基于辽宁省2015年高速路通行费数据[D].沈阳:辽宁大学,2017.

收稿日期:2018-01-23