

铁路隧道工程缺陷整治处理控制

燕永平

(中铁十六局集团 路桥工程有限公司, 北京 101500)

摘要: 结合新建瑞昌至九江铁路吴家铺隧道缺陷整治处理工程实例, 分析铁路隧道工程缺陷形成原因, 针对隧道脱空及空响、衬砌厚度不足、仰拱(底板)底空洞及虚砟、衬砌钢筋保护层厚度不足、衬砌钢筋和施工缝止水带外露、衬砌裂缝和渗漏水、衬砌砼不密实、拱顶掉块及蜂窝麻面和错台等缺陷提出整治处理措施。

关键词: 隧道; 缺陷整治; 裂纹; 脱空; 二次衬砌; 渗水; 蜂窝麻面

中图分类号: U457

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0141-03

铁路隧道工程属地下构筑物, 不确定因素较多, 隐蔽工程较多, 存在的缺陷较多, 若处理整治不好, 安全风险极大, 将导致在联调联试和开通运行中事故频发, 严重威胁运营列车的通行安全, 隧道缺陷整治成为亟待解决的工程问题之一。该文以新建瑞昌至九江铁路吴家铺隧道为例, 通过现场研究及分析, 提出缺陷整治处理方案, 为同类铁路隧道工程缺陷整治处理提供借鉴。

1 工程概况

吴家铺隧道位于江西省九江市, 全长 930.27 m, 隧道最大埋深约 75 m。隧址区为丘陵地貌, 地形起伏, 山体连绵, 地面标高 50~159 m, 相对高差约 110 m。坡体植被发育, 多为乔木夹少量灌木丛。山体自然坡度 20°~30°, 自然山体稳定。隧道出口段净埋深 12~18 m, 地形左侧较高、右侧较低, 属于浅埋偏压隧道。

丘坡表面为第四系全新统坡残积层粉质黏土及细角砾土, 黄褐色, 稍密, 稍湿, 角砾主要为砂岩碎块, 厚度 11.8~19.2 m; 下伏基岩为石炭系船山组灰岩, 青灰色, 黑色, 隐晶质结构, 薄~中层构造, 岩溶极为发育。隧道中段为泥盆系五通组砂岩与石炭系船山组灰岩的交界地段, 两者呈不整合接触, 岩石多破碎。地表水、地下水不发育, 主要为岩溶水, 受大气降雨补给, 季节变化大。

除明洞采用整体式衬砌外, 其余暗洞均采用复合式衬砌结构, 拱墙初期支护与二次衬砌间设防水板(加土工布), 模筑衬砌拱墙环向设计背贴式止水带及中埋式橡胶止水带, 仰拱设置中埋式橡胶止水带, 纵向施工缝设置中埋式橡胶止水带+遇水膨胀橡

胶止水条, 二次衬砌背后以环向间距 8~10 m 设置宽 60 cm 的排水板; 纵向设置贯通的直径 100 mm 的打孔波纹管。

该隧道在提前介入期间发现问题 384 条, 其中: A 类问题 366 条, B 类问题 18 条(缺陷及病害问题等级划分为轻微 C、较严重 B、严重 A); 二次衬砌开天窗处理 8 处, 尺寸最大的为 5.41 m×4 m, 最小的为 2 m×1.5 m。静态验收期间共发现问题 107 条, 其中 A 类问题 66 条, B 类问题 41 条。后期在联调联试期间又发现 A 类问题 2 条。出现的缺陷有拱顶和拱腰麻面、骨料疏松、敲击剥落掉块、施工缝闭环裂纹和错台、二次衬砌及仰拱厚度不足或不密实、衬砌背后空洞空响、长大裂缝、局部渗水、泄水孔堵塞、隧底虚渣等。

2 缺陷形成原因分析

2.1 工程地质条件差

该隧道为浅埋偏压隧道, 地表覆盖层薄弱, 围岩破碎, 自承力低, 引起围岩松动、风化, 整体沉降变形较大, 导致出现二次衬砌表面裂纹及局部渗水、初期支护或二次衬砌侵限厚度不足、泄水孔堵塞。

2.2 工程材料影响

砼原材料不合格、和易性差、拌和不均匀、运输过程中离析等, 导致砼堵塞泵管、强度不足、漏筋、蜂窝麻面、局部掉块、色差大等。

2.3 施工机具影响

常规二次衬砌台车很难一次浇筑到位, 拱顶脱空及空响现象时有发生; 砼浇筑过程中振捣不到位, 导致蜂窝麻面; 曲线段和加宽段由于二次衬砌台车受限, 易导致错台现象严重; 防水板铺挂焊机的选型

直接影响防水效果等。

2.4 施工方法和措施不当

施工方法与地质条件不相适应;地质条件发生变化,未及时改变施工方法;围岩暴露时间太长,变形难以控制;受工法限制,二次衬砌很难一次浇筑到位,势必在拱顶出现空洞,需对每板二次衬砌拱顶进行回填注浆,但往往被忽略。

2.5 施工管理不到位

施工现场管理人员责任心不强,施工队偷工减料现象严重,隧道施工不符合施工技术规范要求,也是重要原因。常出现的施工质量问题有:仰拱(底板)底空洞及虚砟;超前注浆预支护施工不到位;锚杆长度不足、注浆不饱满、早期强度不足;钢筋网片焊接质量不合格,安装时未能与上循环进行有效搭接;初期支护背后局部脱空,拱脚未能置于稳定、坚固的基础上;钢筋定位不准确,钢筋保护层厚度不足,钢筋和施工缝止水带安装不规范,堵塞排水管等。

3 缺陷整治处理措施

委托第三方对该隧道施工质量进行无损检测,对不同程度的隧道缺陷及病害进行量化,对于检测发现的缺陷部位,采用加密扫描和钻取芯样的方式进行验证,进一步确定缺陷范围和程度。按照缺陷等级情况采用监测、增设锚杆和钢筋、注浆、切槽引排等措施进行处理,考虑已施工结构的完整性,尽量减少拆换。

3.1 缺陷类型

该隧道施工存在的缺陷主要为隧道脱空及空响、衬砌厚度不足、仰拱(底板)底空洞及虚砟、钢筋保护层厚度不足、钢筋和施工缝止水带外露、二次衬砌裂缝及渗漏水、衬砌砟不密实、拱顶掉块及蜂窝麻面和错台。

3.2 整治处理措施

3.2.1 隧道脱空及空响的处理

(1) 二次衬砌与初期支护间脱空处理。1) 二次衬砌结构为素砟的脱空处理。环向空洞长度大于2 m时,若因初期支护侵线造成衬砌厚度小于25 cm,凿除至衬砌厚度不小于25 cm,纵向宽度凿除至衬砌厚度不小于25 cm且凿除宽度不小于0.5 m,周边砟凿毛、植筋挂网补强后灌注砟,并预留注浆孔,砟达到设计强度后注浆填充;若因空洞造成衬砌厚度小于25 cm,凿除至衬砌厚度不小于25 cm,纵向宽度凿除至衬砌厚度不小于25 cm且凿除宽度

不小于0.5 m,周边砟凿毛后灌注砟,并预留注浆孔,砟达到设计强度后注浆填充。环向空洞长度小于等于2 m时,将空洞凿成倒梯形至衬砌厚度不小于25 cm,周边砟凿毛、植筋后灌注砟并预留注浆孔,砟达到设计强度后注浆填充。2) 二次衬砌结构为钢筋砟的空洞处理。将空洞凿成倒梯形,凿除至衬砌厚度不小于20 cm,周边砟凿毛,灌注砟(砟标号比原设计提高一个等级)并预留注浆孔,砟达到设计强度后注浆填充。

(2) 初期支护背后脱空处理。对于检测发现的缺陷部位加密检测,进一步确定脱空范围。由于单纯注浆回填需穿透防水板,需进行拆换处理,拆换前先在脱空范围内拱墙部位采用自进式中空注浆锚杆对围岩进行注浆加固,然后对脱空范围内的整版二次衬砌进行拆换处理,重新浇筑衬砌前采用 $\phi 42$ 钢花管对初期支护背后空洞进行注浆回填处理。注浆完毕后重新安装防水板,灌注砟(砟标号比原设计提高一个等级)并在拱顶预留回填注浆管道,砟达到设计强度后对初期支护与二次衬砌间的空洞进行回填注浆处理。

3.2.2 衬砌厚度不足的处理

(1) 因拱部脱空导致衬砌厚度不足的处理措施同脱空处理。

(2) 因欠挖造成的拱墙二次衬砌厚度不足的处理。1) 因欠挖导致二次衬砌厚度不足(二次衬砌有效厚度为:Ⅱ、Ⅲ级围岩大于30 cm,Ⅳ、Ⅴ级围岩大于设计厚度80%),纵向不足的长度小于5 m,衬砌背后无空洞,且衬砌表面无裂纹和渗漏水、衬砌背后无空洞和系统锚杆缺失、无不密实等叠加缺陷,监测稳定无变形时,通过标识、标记,按照长期观察+监测进行处理。2) 因欠挖导致隧道拱墙二次衬砌厚度不足,纵向不足的长度大于5 m时,采用衬砌锚杆补强。3) 因欠挖导致隧道拱墙二次衬砌厚度不足时,凿除重新施作,采用凿除、植筋、钢筋砟嵌补+锚杆加固,重新施作的砟厚度满足原设计要求。

(3) 因欠挖造成仰拱及填充(底板)厚度不足的处理。1) 仰拱及填充(底板)厚度大于设计厚度80%,基底无虚砟,砟强度满足设计要求,无裂缝及渗漏水时,通过标识、标记,按照长期观察+监测进行处理。2) 仰拱及填充(底板)厚度为设计厚度的70%~80%,基底无虚砟,砟强度满足设计要求时,采用 $\phi 22$ 砂浆锚杆加固,锚杆长5 m,间距0.8 m(横向) \times 1.0 m(纵向)。3) 仰拱及填充(底板)厚度小

于设计厚度 70% 时,返工处理。

3.2.3 仰拱(底板)底空洞及虚砟的处理

对于仰拱(底板)强度、厚度满足要求,隧道拱墙衬砌无脱空、开裂、施工缝张开,系统锚杆施工无缺失、仰拱(底板)无开裂和渗漏水的情况,采用钻孔注浆填充、锚杆加固处理。

3.2.4 衬砌钢筋保护层厚度不足、钢筋和施工缝止水带外露的处理

(1) 对于施工期间遗留的外露非结构钢筋头,采取截断、拔出钢筋后使用环氧砂浆封闭钢筋孔进行处理。

(2) 对于二次衬砌结构钢筋外露和钢筋保护层厚度不足的情况,对外露钢筋进行除锈防锈处理后涂刷防碳化层(水泥基渗透结晶型材料),采用机械喷涂方式,喷涂厚度不小于 2 mm。

(3) 对于施工止水带外露,凿除外露止水带处砟,重新安装好止水带,并对凿除部分按空洞凿除处理原则进行修补。

3.2.5 衬砌裂缝和渗漏水的处理

(1) 衬砌裂缝宽度小于 0.3 mm 且无渗漏水,经观察裂缝稳定无发展,不影响结构安全时,涂刷水泥基渗透结晶涂料对裂缝进行修补。

(2) 对于施工缝、沉降缝处的月牙形裂缝,纵向宽度小于等于 15 cm,存在掉块风险时,采取凿除处理措施,凿除后比照空洞处理方法进行处理,并将二次衬砌结合部打磨平顺。

(3) 对于拱部砟环形裂缝,拱部裂缝造成砟独立成块时,先钻孔进行探测,若二次衬砌砟厚度满足设计要求、无空洞、面积小于 0.3 m^2 ,凿除后比照空洞处理方法进行处理;若面积大于 0.3 m^2 ,独立成块、砟背后有空腔,则按二次衬砌空洞处理方法处理;若面积大于 0.3 m^2 ,未独立成块,则对裂缝进行注浆处理,并做好观测。

(4) 对于拱部环向裂纹,对裂纹范围内的砟进行全面检查,清除不稳定部分,对裂缝采用压注环氧树脂固结处理,并将裂缝表面打磨平顺后涂刷水泥基渗透结晶性防水涂料。

(5) 对于点漏、大面积渗漏水,先对缺陷部位进行加密探测,确定需处理范围;然后对渗漏水及缺陷部位进行注浆封堵,将水流集中,通过凿槽埋管(槽)直接引排。

(6) 对于施工缝渗漏水,先对渗漏水地段周边砟进行加密探测,有缺陷的作返工处理。处理前对

施工缝周边砟进行注浆止水,然后对施工缝进行注浆封堵,注浆完毕后沿施工缝位置切槽埋管排水。

(7) 对于仰拱(底板)渗漏水,先凿除第二层仰拱填充,采用瞬变电磁法对仰拱渗漏水地段(出水点前后 100 m)进行排查,对隧道施工质量进行加密探测。根据探测情况对仰拱下渗漏水点、仰拱及仰拱填充施工缺陷进行注浆及锚杆加固处理,注浆完毕后沿施工缝位置切槽埋管排水,重新浇筑第二层仰拱填充。

3.2.6 衬砌砟不密实、拱顶掉块及蜂窝麻面和错台的处理

凿除有掉块、易脱落的砟,当剩余砟强度合格且厚度满足设计厚度的 80% 时,将凿除面打磨平整;当剩余砟强度合格但砟厚度不满足设计厚度的 80% 时,参照衬砌厚度不足的处理方案进行处理。对衬砌存在砟蜂窝麻面的部位进行回弹试验,若砟强度满足设计要求,则凿除松散砟并打磨平整,表面涂刷防水防锈涂料。

水沟及电缆槽部位高度以下的仰拱及二次衬砌存在错台时,可不作处理。在保证拱部二次衬砌砟不侵入隧道建筑限界,且错台高度小于或等于 3 cm 时,采用合理方式打磨平整;如错台高度大于 3 cm,则制订专项整治方案。

3.3 施工注意事项

(1) 成立现场生产及安全指挥机构,明确职责,落实责任,对施工人员进行培训。加强施工管理,每步施工均作记录,确保施工质量及运营安全。

(2) 隧道缺陷整治前制定相应预防、控制和救援措施,配备针对衬砌开裂加固、掉块、掉拱、坍塌、溃垮等风险进行应急抢险的机具、物资和技术准备;严重地段进行衬砌结构加固前采用钢架进行临时支护,确保隧道结构和施工安全。

(3) 施工前核对病害的具体里程,对病害区段进行现场调查和检测验证,对新发现的衬砌拱部背后空洞等缺陷或病害按相关措施进行处理。

(4) 注浆施工前进行注浆试验,严格按照试验配比进行施工,充分掌握浆液的凝胶时间,并使用机械搅拌,保证注浆材料的可灌性。注浆施工中经常监测压注量、注浆压力,做好注浆记录。注浆施工后,布设注浆检查孔检测注浆回填效果,未达到注浆要求的,重新注浆。压浆检查在第一次注浆后 5~7 d 进行。

(下转第 160 页)

参考文献:

- [1] 何美丽,刘霖,刘浪,等.隧道塌方风险评价的未知测度模型及工程应用[J].中南大学学报:自然科学版,2012,43(9).
- [2] 苏永华,刘科伟,张进华.基于粗糙集重心理论的公路隧道塌方风险分析[J].湖南大学学报:自然科学版,2013,40(1).
- [3] 关晓吉.基于可拓联系云模型的隧道塌方风险等级评价方法[J].中国安全生产科学技术,2018,14(11).
- [4] 杨卓,戎晓力,卢浩,等.基于熵权物元可拓理论的隧道塌方风险评估[J].安全与环境学报,2016,16(2).
- [5] 秦胜伍,吕江峰,陈剑平,等.基于最大熵一属性区间识别的隧道塌方风险评价[J].人民长江,2017,48(19).
- [6] 孙彦峰.理想点法在隧道塌方风险等级评价中的应用[J].隧道建设,2016,36(11).
- [7] 陈建宏,宋灿,邬书良,等.改进未知测度理论的隧道塌方风险评估及控制[J].黄金科学技术,2016,24(6).
- [8] 陈诚.基于改进熵权-TOPSIS的隧道塌方风险等级分类[J].水力发电,2016,42(6).
- [9] 陈洁金.山岭隧道塌方风险模糊层次分析[J].岩土力学,2009,30(8).
- [10] 吕擎峰,霍振升,赵本海,等.基于模糊层次和后果当量法的隧道塌方风险评估[J].隧道建设,2018,38(增刊2).
- [11] 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).
- [12] 安岩,邹志红,王晓静.基于粗糙集理论的水质模糊综合评价[J].工业工程,2015,18(1).
- [13] Pawlak Z. Rough sets [J]. International Journal of Information and Computer Science, 1982, 11(5).
- [14] 万荣,阎瑞霞.基于粗糙集和模糊层次分析法的客户需求权重确定方法[J].科技管理研究,2018(4).
- [15] 王先甲,张熠.基于 AHP 和 DEA 的非均一化灰色关联方法[J].系统工程理论与实践,2011,31(7).
- [16] 曹未,蒲光杰.基于 AHP-熵权的模糊物元模型在 DSM 效果综合评价中的运用[J].电力与能源,2015,36(5).
- [17] 徐文娟.城市生态文明建设模糊综合评价[J].上海工程技术大学学报,2017,31(4).

收稿日期:2020-01-19

(上接第 103 页)

公路立交设计采用菱形立交方案时,为方便收费管理、控制投资,通过调整匝道布置减少收费站的设置,控制投资、节约造价;基于交通安全、通行效率考虑而进行变异的菱形立交,其目的主要是改善菱形立交中次要道路转向交通的交通组织、通行效率,通过适当的变形提高菱形立交的交通适应性。在进行具体菱形立交方案设计时,应综合各方面因素,因地制宜地选择立交形式,安全、经济地实现立交功能,达到立交设计目标。

参考文献:

- [1] 刘俊,代茂华,龚凤刚,等.菱形立交在“不收费”高速公路中的应用探讨[J].华东公路,2014(5).
- [2] 刘子剑.互通式立体交叉设计原理与应用[M].北京:人民交通出版社,2015.
- [3] 胡鹏.基于用地限制的菱形立交改型研究[J].城市道桥与防洪,2015(7).

收稿日期:2019-07-26

(上接第 143 页)

(5) 整治结束后,对整治地段进行检测,达不到要求的返工处理。

4 结语

该文针对隧道后期缺陷整治处理措施进行梳理,根据隧道工程缺陷特性选择合适的整治方法,确保缺陷整治处理到位不留隐患,保证列车的安全运行。隧道施工中应重视过程控制、过程管理,防患于未然,以尽量少地出现工程缺陷,将损失降到最低。

参考文献:

- [1] 铁运函[2004]174号,铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定[S].
- [2] GB 50010-2010,混凝土结构设计规范[S].
- [3] 黄可臣.隧道病害整治施工工艺[J].建筑工程技术与设计,2015(10).
- [4] 段超.浅谈高速铁路隧道防水施工技术[J].科技创新导报,2011(29).
- [5] 田单,张炜.浅谈高速铁路隧道质量缺陷整治方法[J].江西建材,2017(15).

收稿日期:2020-01-25