

文章编号: 1674—8247(2018)05—0017—06

高寒地区高速铁路隧道衬砌病害整治技术研究

徐胜利

(中国铁路沈阳局集团有限公司, 沈阳 110001)

摘要:近年来,在高寒地区建成运营的高速铁路隧道,因施工缺陷和设计不足造成的隧道衬砌冻胀和渗漏水等病害时有发生,威胁高速铁路运营安全。本文以吉图珲客运专线五峰山隧道衬砌冻胀开裂、掉块等病害整治为例,对隧道病害现象及原因进行分析,并对其进行检测与缺陷严重程度判定,提出了波纹钢板套衬整治施工技术,以期为今后同类隧道病害整治提供有益参考。

关键词:高速铁路;隧道;衬砌;套衬;技术

中图分类号:U25 **文献标志码:**A

Research on Treatment Technology of Tunnel Lining Disease of High-speed Railway in Cold Area

XU Shengli

(China Railway Shenyang Bureau Group Co., Ltd., Shenyang 110001, China)

Abstract: In recent years, due to the construction defects and design deficiency, frost heaving and water leakage are happened sometimes for the lining of tunnel constructed on the high-speed railway in high and cold areas, which threatens the operational safety of railway. Taken the treatment of frost heaving, cracking and dropping of lining of Wufengshan Tunnel on Jilin-Tumen-Huichun Passenger Dedicated Railway as an example, the phenomenon and cause of tunnel disease are analyzed, and the disease is tested and its severity is judged. The treatment technology of corrugated plate casing lining is put forward which could provide references for the same kind of tunnel disease treatment.

Key words: high-speed railway; tunnel; lining; casing lining; technology

吉图珲铁路客运专线位于我国吉林省东部长白山地区,西起吉林市,东至中俄朝三国交界的珲春市,全长 359 km,设计速度 250 km/h,所经地区极寒气温 -44.0℃。2010 年 11 月 1 日开工建设,2015 年 9 月 20 日正式开通运营。该条铁路五峰山隧道先后于 2016 年和 2017 年 2~3 月份出现 4 次衬砌冻胀开裂、漏水、掉块等问题,通过采用波纹钢板套衬加固施工技术对破损衬砌进行加固,确保了隧道安全。本文在对隧道病害原因进行分析的基础上,重点对波纹钢板套

衬加固施工技术及工艺进行研究总结,为今后寒冷地区隧道防寒与防排水设计、施工提供有益参考。

1 工程概况

五峰山隧道位于吉图珲客专铁路安图西—延吉西区间。隧道进口里程 DK 233+761(运营里程 K 348+120),出口里程 DK 237+451(运营里程 K 351+810),全长 3 690 m,最大埋深约 283 m,为单洞双线隧道,洞内铺设砟轨道,设计速度 250 km/h。隧道内

收稿日期:2018-05-18

作者简介:徐胜利(1960-),男,高级工程师。

引文格式:徐胜利. 高寒地区高速铁路隧道衬砌病害整治技术研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(5):17-22.

XU Shengli. Research on Treatment Technology of Tunnel Lining Disease of High-speed Railway in Cold Area[J]. High Speed Railway Technology, 2018,9(5):17-22.

围岩分别为:Ⅱ级围岩1 340 m,Ⅲ级围岩1 830 m,Ⅳ级围岩341 m,Ⅴ级围岩179 m。于2011年3月开工建设,2014年4月完成主体,2015年9月运营通车。

2 隧道病害现象及原因分析

2.1 病害现象

五峰山隧道在2016-2017年两个春融季节,先后4次发生衬砌拱顶冻胀开裂、掉块等较为严重的病害问题。第1次是2016年2月29日,在K 349+143(距隧道进口1 023 m)处拱顶回填注浆口位置和右线起拱线位置,衬砌混凝土发生局部开裂病害。裂纹沿环向约4 m,纵向约4 m;裂缝周边衬砌混凝土局部变形。第2次是2016年3月6日,在K 349+157(距隧道进口1 037 m)处右线拱顶衬砌发生开裂渗水。第3次是2017年2月4日,在K 349+607(距隧道进口1 487 m)处左侧边墙衬砌外鼓变形,鼓起最大处约20 cm,变形衬砌表面存在大量不规则裂纹,并伴有不同程度的表层剥离疏松现象,表面有冰溜。第4次是2017年2月13日,在K 349+676(距隧道进口1 556 m)处两线间拱顶出现渗水,衬砌裂缝变形,如图1所示。

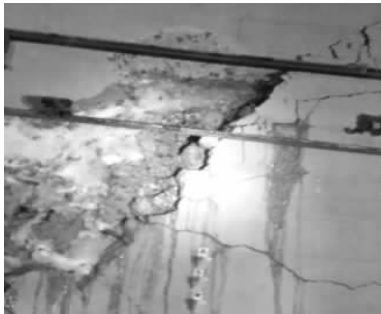


图1 五峰山隧道 K 349+676 处衬砌开裂变形

2.2 原因分析

通过对衬砌破损部位凿除探查及分析,上述4处病害均发生在原设计Ⅱ级围岩无钢筋混凝土衬砌地段,各病害部位均存在衬砌厚度不足、混凝土不密实和背后脱空问题,在春融季节昼夜温差的作用下,衬砌后背脱空部位白天积水,夜间结冰,造成混凝土膨胀开裂^[1-3]。

3 隧道病害检测与缺陷严重程度判定

隧道病害的形成一般由内部条件和外部因素引起。内部条件就是隧道衬砌的各种缺陷;外部因素包括温度、水、围岩特性。为了彻底整治五峰山隧道已发生和后期可能继续发生的衬砌开裂变形问题,原沈阳铁路局组织长吉铁路公司和施工、检测等单位对隧道

衬砌进行了全覆盖检测。

3.1 检测范围和检测内容

检测范围:重点针对隧道洞内2 690 m无钢筋段落衬砌进行检测。

检测内容:隧道二次衬砌背后空腔;隧道二次衬砌厚度;隧道二次衬砌混凝土密实情况;隧道二次衬砌混凝土强度。检测最终获取的数据:缺陷部位、缺陷里程、缺陷长度、衬砌厚度、空洞及不密实大小和及深度、衬砌内部钢筋分布情况、混凝土强度等^[4]。

3.2 隧道缺陷严重程度判定

参照铁运函[2004]174号《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》衬砌混凝土强度缺陷的量化指标及铁运[2011]131号《高速铁路桥隧建筑物修理规则(试行)》衬砌混凝土强度缺陷的量化指标和实际检测结果,对各类型衬砌拱墙混凝土强度缺陷等级进行量化评定,如表1、表2所示。

表1 《铁路运营隧道衬砌安全等级评定暂行规定》衬砌混凝土强度缺陷的量化指标

缺陷项目	缺陷等级	1	2	3	4
	缺陷严重程度	轻微	较严重	严重	极严重
衬砌混凝土强度不足	$l > q_l/q \geq 0.85$	L_q 不限	-	-	-
	$0.85 > q_l/q \geq 0.75$	$L_q < 5$	$L_q \geq 5$	-	-
	$0.75 > q_l/q \geq 0.65$	-	$L_q < 5$	$L_q \geq 5$	-
	$q_l/q < 0.65$	-	-	$L_q < 5$	$L_q \geq 5$

注:① L_q —检测衬砌混凝土强度不足地段的测线连续长度; q —设计衬砌强度; q_l —检测衬砌强度。②检测断面衬砌混凝土的最低强度低于平均值的0.85时,对其缺陷等级评定应提高一级

表2 五峰山隧道拱墙衬砌混凝土强度轻微缺陷量化指标

缺陷项目	主要衬砌类型	衬砌混凝土标准强度 q /MPa	缺陷等级	1
			缺陷严重程度	轻微
衬砌混凝土强度不足	C30 无钢筋混凝土	30	$30 > q_i \geq 26$	L_q 不限
			$26 > q_i \geq 23$	$L_q < 3$
	C35 钢筋混凝土	35	$35 > q_i \geq 30$	L_q 不限
			$30 > q_i \geq 27$	$L_q < 3$
	C40 钢筋混凝土	40	$40 > q_i \geq 34$	L_q 不限
			$34 > q_i \geq 30$	$L_q < 3$

注:① L_q —检测衬砌混凝土强度不足地段的测线连续长度(m); q —设计衬砌强度(MPa); q_i —检测衬砌强度(MPa);②检测断面衬砌混凝土的最低强度低于平均值的0.85时,对其缺陷等级应提高一级

4 隧道衬砌病害整治

4.1 波纹钢板套衬的设置原则

对于检测评定为较严重、严重和极严重的病害处所,采用带保温层的波纹钢板套衬进行加固整治。

(1)拱部环向出现闭合裂缝,采用锚杆、钢带进行加固处理的地段。

(2)拱部脱空面积大于3 m²,深度大于20 cm的地段采用“锚杆加固+轻质混凝土回填”处理的地段。

(3)拱部衬砌厚度不足,采用凿除后植筋修复治理,面积大于 3 m² 地段。

(4)拱部渗漏水点多(每板衬砌多于 5 处)、水量大(滴水呈线),采用拱部打孔注浆处理地段。

4.2 波纹钢板套衬结构设计

波纹钢板套衬结构由防水层、保温层和镀锌波纹钢板组成。局部采用化学锚栓固定。在波纹钢板与原二次衬砌间设置防水层及保温层,套衬(含防水、保温层)总厚度 166 mm。

(1)防水层

防水层采用聚氨酯防水涂料,涂刷在既有二次衬砌表面,厚度 2 mm。化学锚栓在防水层施做前施工完成,防水层涂刷时应搭接至螺杆长度不小于 3 cm,防水层涂刷施工前对衬砌混凝土表面浮沉进行清除^[5]。

(2)镀锌波纹钢板

防水层施工验收完成后,安装波纹钢板套衬。波纹钢板采用波高 110 mm,波长 300 mm,板厚 6 mm 冷轧镀锌波纹钢板,钢材采用 Q345 钢。钢板采用工厂预制,现场拼装的方法进行施工,块间设置法兰,采用 M24 高强镀锌螺栓/螺母连接。波纹钢板与原二次衬砌间设置 M20 化学锚栓连接,锚栓长度 350 mm,锚固深度不小于 200 mm。

(3)保温层

设置于波纹钢板与二次衬砌之间,采用硬质聚氨

酯泡沫材料,聚氨酯保温材料采用现场灌注发泡方式进行施工(该工法已进行室内模拟波纹钢板内灌注发泡实验,充填情况好,材料密实,与混凝土面粘接牢固),最薄处厚度 48 mm。抗压强度不小于 180 kPa,导热系数不大于 0.024 W/(m·K),吸水率不大于 3%,燃烧等级为 B1^[6]。

4.3 波纹钢板套衬结构选型计算

根据现场实际发生的情况,无钢筋混凝土在受衬后积水结冰冻胀力作用产生的掉块,完全以静载形式压在套衬结构上。通过对拟选 3 种规格波纹钢板套衬在 5 种不同掉块荷载下的受力变形情况进行计算和对比分析,确定最终采用哪种波纹钢板套衬。规格一:钢板厚度 5 mm,波高 64 mm,波长 230 mm,波纹板纵向长度 5 m;规格二:钢板厚度 6 mm,波高 110 mm,波长 300 mm,纵向长度 5 m;规格三:钢板厚度 6 mm,波高 110 mm,波长 300 mm,纵向长度 10 m。以规格三为例对 5 种不同掉块荷载下的受力变形情况进行模型计算分析。

(1)工况 1:顶部掉块 1 m×1 m 静压在波纹钢板套衬拱顶时,计算得出波纹钢板套衬的竖向位移为 0.009 m,最大应力为 43.432 MPa。如图 2 所示。

三种不同规格波纹钢板在 5 种不同尺寸掉块静压时的变形计算数值如表 3 所示。

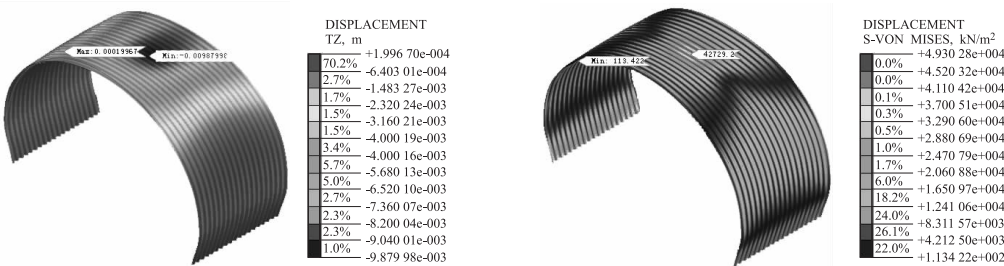


图 2 工况 1 造成波纹钢板变形(左)和应力(右)图

表 3 三种不同规格波纹钢板在不同掉块静压下的变形计算数值

波纹钢板规格	规格一		规格二		规格三				
衬砌掉块尺寸	1 m×1 m	2 m×2 m	1 m×1 m	2 m×2 m	1 m×1 m	2 m×2 m	2 m×4 m	3 m×4 m	3.75 m×4 m
套衬竖向位移/m	0.029	0.110	0.010	0.019	0.009	0.017	0.047	0.070	0.081
套衬最大应力/MPa	85.388	342.712	42.729	80.474	43.432	87.383	245.626	311.742	339.371

(2)工况 2:顶部掉块 2 m×2 m 静压在波纹钢板套衬拱顶时,计算得出波纹钢板套衬的竖向位移为 0.017 m,最大应力为 87.383 MPa。如图 3 所示。

(3)工况 3:顶部掉块 2 m×4 m 静压在波纹钢板

套衬拱顶时,计算得出波纹钢板套衬的竖向位移为 0.047 m,最大应力为 245.626 MPa。如图 4 所示。

(4)工况 4:顶部掉块 3 m×4 m 静压在波纹钢板套衬拱顶时,计算得出波纹钢板套衬的竖向位移为

0.070 m,最大应力为 311.742 MPa。如图 5 所示。

(5) 工况 5:顶部掉块 3.75 m×4 m 静压在波纹钢

板套衬拱顶时,计算得出波纹钢板套衬的竖向位移为 0.081 m,最大应力为 339.371 MPa。如图 6 所示。

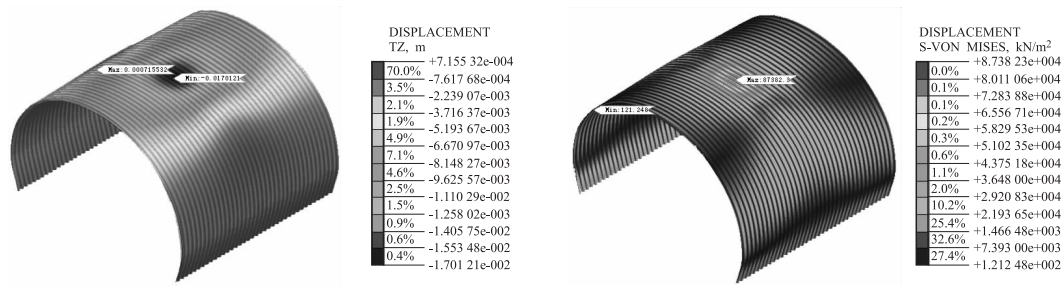


图 3 工况 2 造成波纹钢板变形(左)和应力(右)图

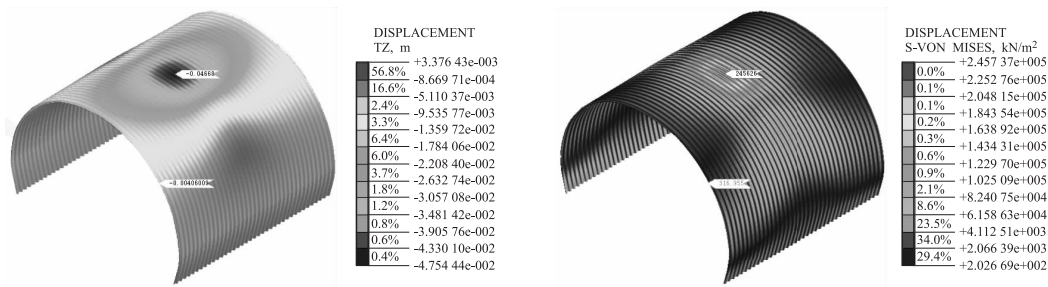


图 4 工况 3 造成波纹钢板变形(左)和应力(右)图

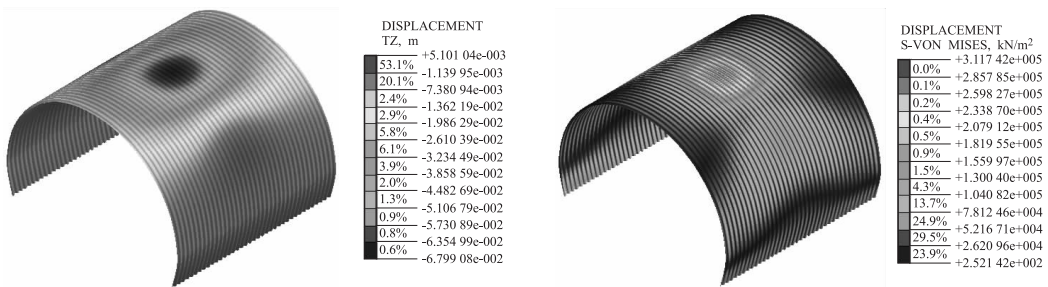


图 5 工况 4 造成波纹钢板变形(左)和应力(右)图

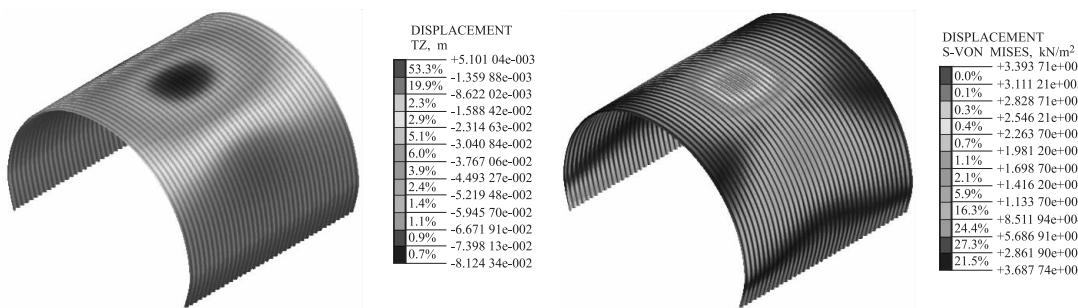


图 6 工况 5 造成波纹钢板变形(左)和应力(右)图

通过对表 3 数据进行分析,同时结合现场实际考虑最不利情况,最终确定选用规格三型波纹钢板套衬对评定为较严重及以上等级病害衬砌进行了加固整治。

4.4 波纹钢板套衬施工

4.4.1 波纹钢板套衬制作与试拼装

波纹钢板由工厂集中预制加工,加工完成的板片预拼装检验,保证无错台,接缝严密。加工完成后首先

在洞外试拼。

4.4.2 波纹钢板储存

按照所有作业面每个天窗安装完成量和板片进场时间间隔及进场数量,计算波纹钢板储存量,保证现场存储量不少于300 t(即150环,按20个作业面,存储量满足4天安装施工需要)。

4.4.3 波纹钢板套衬安装

(1)测量定位。利用全站仪和激光水平仪,测量放出每环波纹钢板环向端头断面线和底部波纹钢板底沿标高(放样时需考虑线路坡度,板片与坡度垂直)。

(2)作业平台搭设。波纹钢板安装作业平台采用门式脚手架搭设,长180 cm×宽121.9 cm×高193 cm。

(3)施工滑道拼装。波纹钢板提升采用Φ42钢管和Φ22螺纹钢加工成滑道,钢管与螺纹钢之间设竖向、斜向支撑钢筋,形成骨架体系;两环骨架之间用螺纹钢连接(底部焊接),起到固定和加固作用,骨架间距60 cm;脚手架平台做为滑道外部支撑,二者帮扎牢固。

(4)波纹钢板安装。安装前提前施做首环底部锁脚锚杆、整环化学锚栓、固定横担。首环波纹钢板拼装

采用挂线法确定波纹钢板环向起始断面,人工将底部第一块波纹钢板送至安装位置,化学锚栓上套5 cm长限位管,板片穿过化学锚栓,板片底沿与测量标高线重合,环向边与起始断面线重合,定位准确后将波纹钢板推至与限位管贴紧,紧锢化学锚栓和锁脚锚杆螺母。第二块波纹钢板送至滑道,紧贴滑道表面,牵引挂钩与波纹钢板螺栓孔相连,通过人工提升波纹钢板至安装部位,人工托举波纹钢板进行孔位对接,待孔位对接准确后穿10.9级M24高强螺栓,扳手初拧固定。整环波纹钢板通过以上方式提升、拼接成环后,检查纵向、环向接头部位,确保无翘边、错台、板缝交错分布无通缝等,使用定扭扳手(显数据扭力扳手)对所有连接螺栓进行紧锢。后续每环仍由滑道提升至安装部位,按两侧向拱顶中间拼装工艺,化学锚栓、锚杆波纹钢板安装完成后施做。波纹钢板片接头处粘贴密封胶条,采用人工或千斤顶托举波纹钢板孔位对接,环、纵向孔位对准后穿10.9级M24高强螺栓,梅花扳手初拧固定。拼接成环后,检查纵向、环向接头部位,板缝密贴、无较大错台,再使用定扭扳手对所有连接螺栓进行紧锢,扭力矩需达到340 N·m。首环波纹钢板安装工序如图7所示。

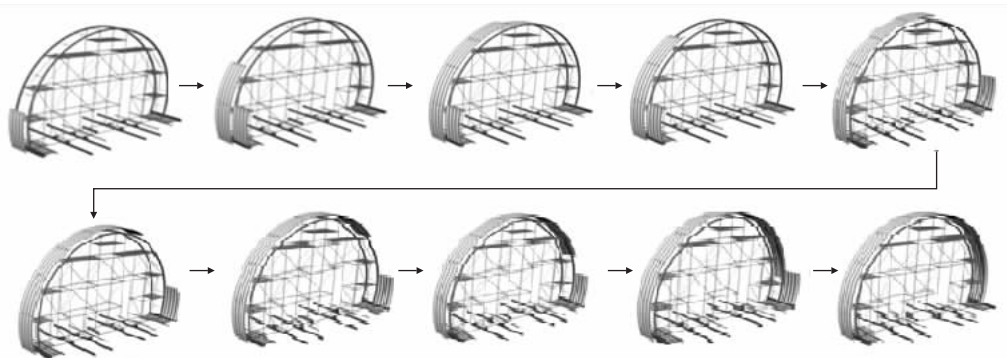


图7 首环波纹钢板安装工序示意图

(5)波纹钢板二次防腐。对拼装固定好的波纹钢板结构,其中锚杆头、搭接部分、施工中损坏镀锌层的部位等,进行二次防腐处理。外露锚杆头涂刷氟碳漆2遍,然后涂刷绝缘漆1遍;其他部位直接喷涂聚氨酯涂层,涂层厚度不小于1.5 mm^[7]。

(6)波纹钢板悬挂固定。波纹钢板底部由锁脚锚杆固定,波纹钢板两侧(底部两块)与原衬砌间用M20化学锚栓固定。

4.4.4 化学锚栓施工

为保证波纹钢板与既有衬砌结构成为整体受力结构,利用波纹钢板片上预留化学锚栓孔,将衬砌与波纹钢板进行连接固定,连接方式采用化学锚栓植筋,植筋深度为钻入既有衬砌混凝土20 cm,环向间距1.2 m,

且单根植筋拉拔力不小于2.0 kN。

4.4.5 自发泡聚氨酯保温材料施工

波纹钢板定位安装牢固后(按1~2环波纹钢为一施工节段),采用高压聚氨酯自动浇筑机(灌注压力控制在0.1~0.3 MPa,终压0.5 MPa)对预留好的波纹钢板与衬砌混凝土间隙进行填充,填充厚度不小于5 cm,填充由拱脚向拱顶分节段依次充填。填充工艺流程:波纹钢板接缝及板片检查→自发泡聚氨酯材料试验→灌注设备组装→连接注浆管→由拱脚向拱顶分节段灌注材料→整环灌注完毕→专用清洗剂清洗管路。

4.4.6 波纹钢板套衬基础混凝土施工

(1)电缆槽凿毛与杂物清理。人工利用风镐对电

力电缆槽底部混凝土进行凿毛处理,凿除面积大于总面积的75%以上,凿除的混凝土块装袋及时从隧道内运出^[8]。

(2)地脚螺栓和套衬基础接地端子安装。在原电力电缆槽底部位置,采用手持电钻每隔30 cm钻孔(必须保证顺直成线),孔径 $\Phi 16$,孔深20 cm,安装 $\Phi 14$ 螺纹钢作为新旧混凝土接茬钢筋(埋入沟槽底混凝土20 cm,外露55 cm)。每隔30 cm预埋M20的地脚螺栓,与接茬钢筋焊接牢固。套衬基础接地采用 $\Phi 16$ “L”形桥隧接地端子,每组套衬(套衬结构按衬砌伸缩缝每组断开)设置,连接接地端子与波纹钢板的钢筋需双面焊接。

4.4.7 波纹钢板接地施工

将波纹钢板、既有带电设备通过连接线、接地端子与既有接地设备相连接(必要时波纹钢板片上开孔)。每单元套衬基础预埋接地端子,端子与波纹钢板焊接,通过连接线与电缆槽内贯通地线相连接,达到接地、导电目的。

波纹钢板施工及整治效果如图8所示。



图8 波纹钢板施工及整治效果实景图

5 结论

已建成的高寒地区高速铁路隧道受原设计衬砌级别低,衬后排水措施不完善,衬砌存在施工质量缺陷,季节性气温变化大,高速列车通过时的风压作用等影响,在春融季节容易产生衬砌冻胀开裂及掉块问题。通过采用波纹钢板加固整治技术,能够有效解决隧道衬砌冻胀开裂、脱落问题,效果良好,可用于对运营铁路隧道衬砌较严重以上病害进行加固补强,成本低,施工时间短,可利用夜间天窗施工,对高铁运营影响小,

具有推广价值。

参考文献:

- [1] 何川,谢红强.多场耦合分析在隧道工程中的应用[M].成都:西南交通大学,2007.
HE Chuan, XIE Hongqiang. Application of Multi-field Coupling Analysis in Tunnel Engineering [M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [2] 罗勇.隧道衬砌开裂机理及控制方法研究[D].成都:西南交通大学,2010.
LUO Yong. Study on the Mechanism of Crack Generation and Control Methods of Tunnel Lining [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [3] 关宝树.隧道工程维修管理要点集[M].北京:人民交通出版社,2004.
GUAN Baoshu. Collection of Key points of Tunnel Maintenance and Management [M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [4] 周翔.山岭隧道质量无损检测及缺陷力学特性研究[D].成都:西南交通大学,2005.
ZHOU Xiang. Study on Quality Non-destructive Testing and Mechanical Property of Defect of Mountain Tunnel [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005.
- [5] 姜文利.铁路隧道防水层的施工技术解析[J].商品与质量(房地产研究版),2014,21(7):677.
JIANG Wenli. Analysis on Construction Technology of Railway Tunnel Waterproof Layer [J]. Merchandise and quality (Version of the Real Estate Study), 2014, 21 (7): 677.
- [6] 陈礼伟.浅析隧道病害调查方案与处理技术[J].现代隧道技术,2004,41(2):53-57.
CHEN Liwei. A Brief Analysis on Investigation Scheme and Treatment Technology of Tunnel Disease [J]. Modern Tunnelling Technology, 2004, 41 (2): 53-57.
- [7] 张团结.昌福铁路隧道病害整治[J].铁道建筑,2015,55(2):79-81.
ZHANG Tuanjie. Treatment of Tunnel Disease of Nanchang-Fuzhou Railway [J]. Railway Engineering, 2015, 55 (2): 79-81.
- [8] 高菊如,张博,袁玮,等.既有线铁路隧道病害综合整治技术与设备配套研究[J].现代隧道技术,2013,50(6):24-31.
GAO Juru, ZHANG Bo, YUAN Wei, et al. Research on Complicated Treatment Technology and Equipment Matching of Tunnel Disease of the Existing Railway [J]. Modern Tunnelling Technology, 2013, 50 (6): 24-31.

(编辑:车晓娟 白雪)