

文章编号:1006-2106(2015)01-0110-05

# 富水隧道整体道床及隧底病害治理技术研究<sup>\*</sup>

郑保才<sup>\*\*</sup> 张俊兵 薛继明 吉洪江

(中铁三局集团有限公司, 太原 030001)

**摘要:**研究目的:针对某长大富水隧道在运营过程中整体道床与隧底出现张合的现象,对产生病害的原因进行分析,采取合理的整治措施,封堵地下水及注浆加固病害区域,确保铁路线路运营安全。

**研究结论:**(1)现场实践表明病害区域采用组合锚杆锚固方法与定量定压注浆方法治理病害区域的方法是可行的;(2)轨道高程监测结果表明注浆施工前后道床板未发生明显变形,注浆压力满足线路安全控制要求;(3)列车通过时道床板的动态监测结果表明整治后道床板已处于稳定状态,病害区域加固效果良好;(4)该研究成果可为类似长大富水隧道病害治理提供参考。

**关键词:**整体道床;隧底;病害治理;锚杆;注浆

**中图分类号:**U455.6 **文献标识码:**A

## Technology Research of Disease Treatment about Solid Track Bed and Foundation Base of Enriched Water Tunnel

ZHENG Bao - cai, ZHANG Jun - bing, XUE Ji - ming, JI Hong - jiang

(The Third Engineering Group Co. Ltd of China Railway, Taiyuan, Shanxi 030001, China)

**Abstract: Research purposes:** Aiming at the open and merge between solid track bed and foundation base of the enriched tunnel in the process of the railway operation, the causes of diseases is analysed, reasonable management measure is taken, which is used to plug underground water and grout the disease area, so as to ensure the structure safety of the process of the railway operation.

**Research conclusions:** Through the practice of construction, the method of composite anchor anchoring and quantitative amount pressure grouting which is used to cure disease is viable. The result of altitude monitoring shows that there is no obvious deformation happens before and after grouting construction, the grouting pressure can satisfy with the line safety control requirements. The result of dynamic monitoring results of the solid track bed when there is the train pass by shows that solid track bed is in a stable state, there is a good reinforcement effect in the disease area. The results of the study can provide a reference for similar enriched water tunnel diseases treatment.

**Key words:** solid track bed; foundation base; disease treatment; anchor; grouting

### 1 研究背景

随着我国经济和社会发展的不断进步,国家中长期铁路规划的有序推进,在地质复杂地区修建长大铁路隧道越来越多。长大隧道中普遍采用无砟道床作为

线路基础,无砟轨道整体道床具有轨道稳定性高、刚度均匀性好、结构耐久性强、维修工作量少和技术相对成熟等优点<sup>[1]</sup>,实践证明,无砟轨道整体道床在提高线路运营速度,保证列车运行平稳性等方面发挥了重要作用。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2014-04-09

<sup>\*\*</sup> 作者简介:郑保才,1980年出生,男,工程师。

但是近些年随着列车运营速度的提高,在列车动荷载、地下水因素等的作用下,隧道出现了道床局部开裂、隧道底部出现翻浆冒泥、轨道间距发生变化、列车通过时晃车严重等问题。常见的道床病害主要有以下几种形式:(1)混凝土下沉破损,轨道下沉变形;(2)混凝土道床局部产生裂缝;(3)道床混凝土腐蚀破坏。

关于道床病害处理的方法主要有疏导地下水、局部调整线路坡度、压浆填塞及翻修、化学灌浆法、低压注浆补缝技术、施工前期降水、施工渗水井、道床病害分类治理等<sup>[2-9]</sup>。我国前期包括后期修建的一些长大隧道,在隧道投入运营后均会产生一些病害现象,每种病害产生的机理和原因也不尽相同。本文主要结合某富水隧道道床板与隧道底板张合、隧底翻浆等病害进行原因分析及整治施工展开的技术研究及实际应用,相信本文的一些问题分析和解决方法能对类似的工程提供一些参考。

## 2 工程概况

某隧道为单线隧道,采用双块式无砟轨道。运营过程中在隧道上行线(16 m)段列车通过时底板和道床板之间有明显张合现象,道床板最大动态沉降监测达到9 mm,列车通过时晃车严重,病害段采取限速通过。根据前期水文地质调查报告及隧道开挖揭露情况,该段地下水发育,形式主要为基岩裂隙水、岩溶水。

## 3 病害原因分析

整体道床产生病害往往是多个因素的综合表现,针对该隧道的实际情况,从以下几个方面进行分析。

列车振动的影响:隧道在运营前期,整体道床并未发现存在渗漏水、道床变形等破坏现象,病害发生在隧道开通运营2年后,道床病害的产生具有较为明显的振动及时间效应。

整体道床的结构性能:根据前期设计情况,该段为二级围岩,隧道底部无仰拱,整体道床直接作用在底板充填层上,充填层混凝土强度为C30,强度较低。在病害整治钻孔过程中发现底部极易出现卡钻等情况,底板围岩整体性较差,较破碎,强度较低且地下水极为丰富。

水文地质的影响:隧道水对道床的影响不可忽视,在病害整治过程中,初步估算病害区域两侧水沟内水流量可达到 $80\text{ m}^3/\text{h}$ 。地下水对病害的发生、发展所起的作用是缓慢持续的,病害的演变是从道床和充填层之间的微小裂缝逐渐扩大,在列车动载主动作用下,道床上下张合产生抽吸,地下水将混凝土中的细小颗粒逐步带走。

前期施工的影响:该隧道为富水隧道,在限量排放的隧道防排水原则下,整体道床仍不能保证是在无水条件下作业,大量的动水将充填层及整体道床混凝土中的细骨料带走,影响了混凝土的级配,从而弱化了混凝土强度。

根据对隧道前期施工及病害段底板及两侧水沟内出水情况综合分析,病害产生原因为列车的动荷载及丰富地下水的影响下,充填层及道床混凝土发生变形,道床与充填层之间出现张合,进而影响到列车运营,同时前期动水条件下施工整体道床也是影响原因之一。

## 4 病害整治方案及原则

### 4.1 病害整治总体方案

病害整治总体方案有以下几个主要步骤:第一,引排隧道底板表面出水,保证作业环境良好;第二,控制道床板变形及裂隙发展,控制轨面沉降,封堵隧道底面不规则通道;第三,固定道床板,钻孔注浆,加固隧道底板及围岩,同时封堵该区域内出水通道;第四,钻设疏水通道,引排隧道衬砌及隧道结构外围出水。

### 4.2 病害整治总体原则

总体原则:先锚后注、注浆加固、化零为整、堵排结合。

先锚后注:在进行道床病害综合整治注浆前期,首先需对道床板进行固定,主要拟采用锚杆与连接螺纹钢组合锚固道床,确保道床板在施工前后不发生上浮现象。

注浆加固:主要是指在进行病害整治施工过程中,针对道床底部及两侧边沟内出水情况采用注浆技术进行堵水和加固的方法,结合不同的问题采用不同的注浆材料和不同的注浆方式进行施工。

化零为整:主要体现在封堵底板出水施工过程中,按照设计钻设注浆孔,在实施注浆过程中,逐个进行注浆,同时,在注浆过程中保留一个或者几个泄压孔,确保注浆过程中在压力和注浆量方面均能保证不超过设计值,确保注浆封堵效果,最终在集中出水的注浆孔或者泄压孔实施注浆封堵,达到最终整体封堵出水区域的目的。

堵排结合:主要针对在处理道床底板内地下水施工过程中,为达到良好的封堵效果,对围岩内地下水的处理原则是堵水及排水相结合的方法,既要保证道床底板及围岩的一定范围内地下水不富集,同时也要对隧道整体结构一定范围内的地下水寻找合理的排水通道,确保地下水能沿着两侧水沟排至下游,防止地下水富集,水压集中抬高道床。

## 5 病害整治施工

### 5.1 道床锚固施工

根据上述确定的整体道床病害整治原则,锚固及注浆加固环节是道床病害综合整治施工技术的关键环节。道床锚固施工中需要根据施工过程中注浆压力确定合理的锚杆长度及锚固长度。根据现场试验锚杆拉拔力数值,验算在确定注浆压力条件下,道床板的稳定性。单根锚杆的拉拔力测试锚杆的拉拔力约为 38 MPa,通过换算,拉拔力大小为 28.5 kN,根据拉拔力和粘锚力的关系<sup>[10]</sup>,粘锚力系数取 1.04 倍,即粘锚力为  $28.5 \times 1.04 = 29.64$  kN。当注浆压力为 0.2 MPa 时,道床板安全满足要求。

锚固方案采用隧道边沟内锚杆锚固与横向螺纹钢连接(部分)相结合的方法。道床锚固锚杆采用  $\phi 28$  mm,锚杆深入边沟底板以下 1.62 m 左右,采用树脂药卷全长锚固。道床锚杆锚固形式如图 1 所示,其中锚杆与道床的连接方式采用 200 mm  $\times$  200 mm 角铁,长度不小于 250 mm,角铁的一侧卡在道床板上,一侧紧贴道床侧面,将锚杆垫板固定在角铁上。在锚杆施工完成一个循环(1 d)后,采用锚固螺栓上紧即可。

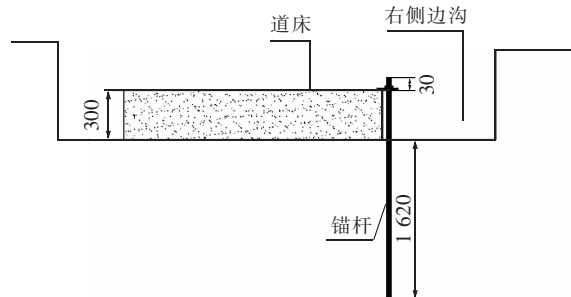


图 1 道床锚杆锚固形式示意图(单位:mm)

整体道床采用两侧边沟内布置锚杆锚固道床,锚杆间距控制在 1.95 m 范围内,按照隧道轴向方向布置三组(6 根)锚杆,如图 2 所示。

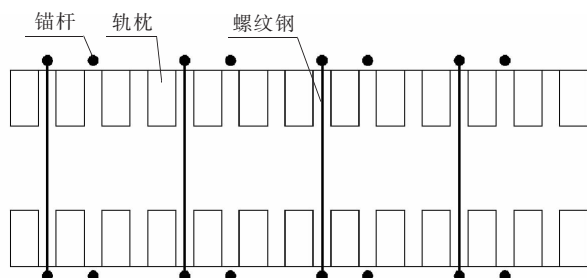


图 2 道床锚杆锚固位置示意图

### 5.2 病害段注浆施工

注浆加固的主要原则:先卸压后注浆,即在注浆

前,需要在两侧边沟内或者水沟钻孔进行卸压,在保证注浆压力达到设计值后,有一定的卸压通道,保证道床稳定;其次,双向施工,先施工病害段两端,再进行道床两侧边沟注浆,后期打斜孔进行道床底部注浆施工。

注浆孔及泄压孔布置:注浆孔布设在边沟内,由病害段两侧各 2 m 处开始布孔,采用斜孔形式,梅花形布设,间距为 1.0 m,线路左侧钻孔长度为 1.5 m,与水平方向成 45°角,线路右侧与水平方向夹角 70°(因线路两侧边沟宽度不同,故夹角不等),钻孔长度为 0.9 m,两侧斜孔底面在同一平面。

注浆时间为每个天窗点第一个小时,第二个小时用于浆液初凝及进行下个天窗点的施工准备及轨面监控量测。

注浆加固由轨道板两侧对称进行,采用手动注浆泵注浆,注浆时打开泄压孔,直至浆液流出,关闭阀门停止注浆。

采用注浆量与压力双控:注浆加固由两端向病害区域中心顺序施作,注浆时打开两端泄压孔。向中心区域注浆过程中逐步打开两侧水沟内泄压孔与注浆孔阀门进行泄压,直至浆液流出为止,关闭阀门停止注浆。如水压仍较大或注浆初始压力较大,则考虑在边沟内钻孔进行泄压。

单孔注浆压力控制在 0.2 MPa,单孔注浆量计算参照以下公式:

$$Q = \pi R^2 a k k_1 k_2 \quad (1)$$

式中  $Q$ ——单孔注浆量( $\text{m}^3$ );

$R$ ——浆液扩散半径(m);

$a$ ——注浆孔深度(m);

$k$ ——岩体空隙率(%);

$k_1$ ——注浆系数,0.7~0.9;

$k_2$ ——浆液损耗系数,1.1~1.4。

根据本工程实际情况,浆液扩散半径取 1 m,注浆孔深度取 1 m;岩体空隙率取 3%,注浆系数取 0.7;浆液损耗系数取 1.1,带入式(1)计算得:

$$Q = \pi \times 1^2 \times 1 \times 3\% \times 0.7 \times 1.1 = 0.07$$

浆液浓度取 2 000  $\text{kg}/\text{m}^3$ ,单个孔注浆质量 140 kg。为取保施工过程中轨道线路安全,采用多次注浆、限量注浆的方法,每孔注浆次数为 3 次,单孔单次注浆量控制在 40 kg。

注浆材料及设备:注浆材料采用水泥基抗流失快凝 AB 料,该材料具有初凝时间短、流动性强、后期强度大等特点,初凝时间在 30 min 左右。浆液的配比采用 A : B = 1 : 1 (质量比);(A + B) : 水 = 1 : 1 (质量比)的配合比,人工搅拌均匀采用手动注浆泵注浆。

### 5.3 施工监测及病害整治效果

#### 5.3.1 施工监测

注浆压力、浆液流量控制:施工过程中须确保压力不超过 0.2 MPa,浆液单孔注浆量不超过 40 kg。

注浆过程中轨面监控量测:注浆过程中将道尺放置于注浆孔附近的轨道断面上,全程监控两股轨道相

对高程的变化。

注浆结束后轨面变形监控量测:在注浆结束后,采用水准仪对整个病害治理区域内的测点进行相对高程监测,确保注浆结束后,列车通过前轨面线性满足安全行车要求,轨面变形监测点布置示意图如 3 所示。

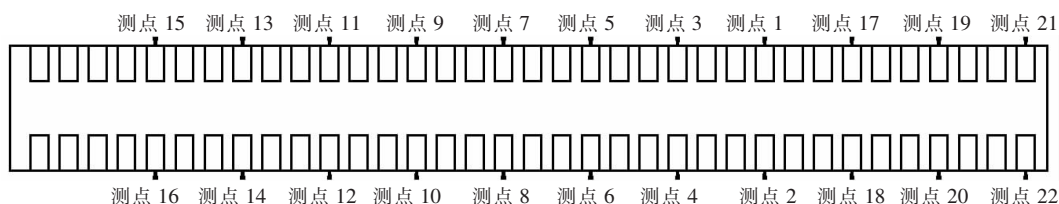


图3 轨面变形监测点布置示意图

通过布置在道床板两侧的 8 个监控点,对列车通过前后道床板的动态变形进行监控量测,衡量注浆加固效果。

#### 5.3.2 整治效果

轨面静态监控量测:通过注浆前后对布置在轨面的监测点进行水准高程监测,在整个注浆过程中未发现轨面出现明显的变化。

道床数据监控:通过布置在两侧水沟边墙的动态监测架,监测列车通过前后动态变形,线路右侧道床板的变形最大值由 6 mm 降至 0.5 mm,线路左侧道床板的变形最大值由 7 mm 降至 0.5 mm。

道床张合情况:列车通过前后道床张合现象已基本消失(目测)。

边沟底板出水情况:线路边沟内已基本无大的明显出水点。

地质雷达检测结果:采用地质雷达检测注浆前后道床、边沟区域内密实情况,结果表明,病害区域内底板充填密实。

## 6 结论

(1)采取的技术措施达到了控制道床及隧底病害发展、整治现有病害的目的,且效果较好,说明目前采取的方法是可行的。

(2)在进行道床病害整治施工过程中,需坚持“先锚固,后注浆”的原则,尤其是在前期施工锚杆孔的过程中,为解决钻孔塌孔、卡钻而进行的护孔注浆时,需特别坚持以上原则,防止因注浆引起道床上浮,影响线路营运安全。

(3)道床锚固锚杆采用全长树脂锚固方式,通过锚杆抗拔力试验反算锚杆粘锚力,验算注浆压力大小是否符合道床板安全控制要求的方法是可行的。

(4)在进行底板注浆加固过程中,需坚持“先卸压,后注浆”的原则,即在注浆加固施工前,应统筹安排注浆孔的布置,优化注浆顺序,确保在注浆过程中浆液不流失、同时浆液具有足够的扩散半径和凝结时间,在规定的时间内达到扩散至预定的空间,控制好浆液的初凝时间,确保浆液的初凝强度。

(5)在进行道床锚固和后期底板注浆加固过程中,注浆材料的选择需有针对性,前期锚杆孔护孔注浆施工中应确保浆液具有早强性、遇水膨胀性、注浆压力小等特点,后期底板加固过程中材料的选择应保证材料具有一定的初凝强度、较好的流动性、较高的后期强度等特点。

(6)注浆过程中采用的手动注浆泵可灵活调整和控制注浆压力、注浆量,且小型注浆泵体积小、重量轻、操控性强,可满足既有线施工空间小,大型机具不宜运输、搬运等要求。

(7)施工过程中动态监测和静态监测是安全施工的重要保证,及时的道床动、静态信息反馈,是衡量施工效果、安排施工接续、确保线路安全的前提和保障,施工过程中需保证监测工作的连续性和时效性。

## 参考文献:

- [1] 钟贞荣. 地铁无碴轨道整体道床病害理论分析及有限元模拟[D]. 湖南衡阳:南华大学,2008.  
Zhong Zhenrong. Theoretical Analysis and Finite Element Simulation on the Monolithic Track Bed Diseases of MTR Ballastless Track [D]. Hengyang: University of South China, 2008.
- [2] 郭飞,刘庆潭,李雅萍. 铁路隧道整体道床的沉降与基底状况关系的分析[J]. 中国铁道科学,2007(1):40-43.  
Guo Fei, Liu Qingtan, Li Yaping. Analysis of the Relationship between Subsidence of Monolithic Roadbed

- of Railway Tunnel and the Situation of Foundation Base [J]. *China Railway Science*, 2007(1): 40 – 43.
- [3] 程学武,董敬. 隧道内整体道床的破裂原因分析及整治[J]. *铁道工程学报*, 2009(5): 64 – 68.
- Cheng Xuewu, Dong Jing. Analyses of the Cause for the Fracture of Monolithic Concrete Bed in Tunnel [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2009(5): 64 – 68.
- [4] 苗晓岐. 九燕山隧道病害原因分析及整治措施建议[J]. *铁道工程学报*, 2003(2): 70 – 73.
- Mao Xiaoqi. Analysis on Reason of Defects in Jiuyanshan Tunnel and Suggestion of Measures for Their Regulation [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2003(2): 70 – 73.
- [5] 翟可. 预防富水铁路隧道道床翻浆冒泥病害的设计施工措施探讨[J]. *隧道建设*, 2013(5): 388 – 392.
- Zhai Ke. Discussion on Countermeasures to Avoid Roadbed Mud Flow in Railway Tunnels in Water – rich Area [J]. *Tunnel Construction*, 2013(5): 388 – 392.
- [6] 于春华. 城轨交通整体道床病害及整治[J]. *铁道工程学报*, 2008(12): 83 – 86.
- Yu Chunhua. The Solid Track Bed Defect of Urban Mass Transit and Its Treatment [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2008(12): 83 – 86.
- [7] 钟贞荣,罗科炎,杨仕教,等. 整体道床病害分析与整治[J]. *华东交通大学学报*, 2007(4): 37 – 40.
- Zhong Zhenrong, Luo Keyan, Yang Shijiao, etc. The Analysis and Treatment of the Track on Solid Bed Damage [J]. *Journal of East China Jiaotong University*, 2007(4): 37 – 40.
- [8] 杨新安,高艳灵. 沪宁铁路翻浆冒泥病害的地质雷达检测[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004(1): 116 – 119.
- Yang Xinan, Gao Yanling. GPR Inspection for Shanghai – Nanjing Railway Trackbed [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004(1): 116 – 119.
- [9] 黄先国. 水泉湾隧道道床病害整治技术[J]. *铁道建筑技术*, 2008(6): 65 – 67.
- Huang Xianguo. Treatment Technologies for Roadbed Diseases in Shuiquanwan Tunnel [J]. *Railway Construction Technology*, 2008(6): 65 – 67.
- [10] 陆士良,汤雷,杨新安. 锚杆锚固力与锚固技术[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1998.
- Lu Shiliang, Tang Lei, Yang Xinan. Anchor Bolt Anchoring Force and Technology [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1998.
- ~~~~~
- (上接第 92 页 From P. 92)
- [3] 陈洪波. DF450/24 型架桥机架施工技术[J]. *铁道工程学报*, 2001(2): 101 – 103.
- Chen Hongbo. DF450/24 Type Bridge Erection Technologies Railway Engineering [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2001(2): 101 – 103.
- [4] 王峰. 石太客运专线 TLJ900 型架桥机过隧道架梁施工技术[J]. *铁道工程学报*, 2007(S1): 269 – 273.
- Wang Feng. Construction Technique of Girder Erection with Bridge Girder Erecting Machine TLJ 900 While Passing Through Tunnel on Shijiazhuang – Taiyuan Railway Passenger Dedicated Line [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2007(S1): 269 – 273.
- [5] 刘爱国. 桥梁建设的安全重心——架桥机安全运行探讨[J]. *中国安全科学学报*, 2010(3): 70 – 75.
- Liu Aiguo. Discussion on Safety Operation of Bridge Machine [J]. *China Safety Science Journal*, 2010(3): 70 – 75.
- [6] 张乐亲,邹毅. 苏通大桥 TP75 节段拼装式架桥机研究设计[J]. *桥梁建设*, 2007(4): 78 – 81.
- Zhang Leqin, Zou Yi. Gantry for Segmental Assembling of Sutong Bridge [J]. *Bridge Construction*, 2007(4): 78 – 81.
- [7] 韩兴旭. JQ450 型架桥机在广珠城际轨道交通线中的应用[J]. *铁道工程学报*, 2010(1): 96 – 98.
- Han Xingxu. Application of Bridge Girder Erecting Machine JQ450 in Construction of Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2010(1): 96 – 98.
- [8] 张耀辉,陈士通. 大型架桥机设备在高铁施工中的应用[J]. *筑路机械与施工机械化*, 2011(4): 24 – 29.
- Zhang Yaohui, Chen Shitong. Application of Large Bridge Machines in High – Speed Railway Construction [J]. *Road Machinery & Construction Mechanization*, 2011(4): 24 – 29.
- [9] 王晓刚,魏黎. 客运专线箱梁通过隧道运架的探讨和分析[J]. *铁路工程造价管理*, 2011(3): 15 – 18.
- Wang Xiaogang, Wei Li. Discussion and Analysis of the Carriage and Erection of Box Girders in Passenger Dedicated Lines through Tunnels [J]. *Railway Engineering Cost Management*, 2011(3): 15 – 18.