

文章编号: 1674—8247(2019)05—0087—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.018

## 特长单线隧道无砟轨道施工技术与管理

郭旺明

(大西铁路客运专线有限责任公司, 太原 730000)

**摘 要:**西秦岭隧道全长 28 236 m,受地形限制,全线仅设置两处斜井。为确保施工工期及无砟轨道的施工质量,需从施工工法、作业面划分、人员机械配置、物流组织、施工组织、工艺流程等多方面进行组织与管理。文章严格执行无砟轨道管理相关制度,结合现场施工过程中存在的问题,从设计、施工及管理角度,制定了多项专项管理制度,给出了长大隧道内无砟轨道施工的优化意见,对完善长大隧道内无砟轨道设计、优化无砟轨道施工管理水平具有重要意义。

**关键词:**特长;单线;隧道;无砟轨道;施工技术;管理

**中图分类号:**U215.1      **文献标志码:**A

## Construction Technology and Management for Ballastless Track of Extra-long Single Line Tunnel

GUO Wangming

(Datong Xi'an Railway Passenger Dedicated Line Co., Ltd., Taiyuan 730000, China)

**Abstract:** The west Qinling tunnel is 28 236 m long in total. Due to the limitation of terrain, only two inclined wells are set up along the whole line. In order to ensure the construction period and the construction quality of ballastless track, it is necessary to implement organization and management from the aspects of construction method, operation surface division, allocation of personnel and machinery, logistics organization, construction organization and technological process. The paper strictly implements the relevant system of ballastless track management, formulates a number of special management systems from the angle of design, construction and management combined with the problems existing in the field construction process and gives the optimum opinions on ballastless track construction in long tunnels, which is of significance for perfecting the ballastless track design and optimizing the ballastless track construction in long tunnels.

**Key words:** extra-long; single track; tunnel; ballastless track; construction technology; management

兰渝铁路运营里程 873 km,于 2008 年 9 月开工建设,由于甘肃段地质条件极其复杂,建设难度超乎想象,历时九年之久的艰难建设,于 2017 年 9 月 29 日实现了全线开通运营。西秦岭隧道位于兰渝铁路中部的

甘肃省陇南市境内,该隧道为全线最长双洞单线隧道,长度 28 236 m,全隧采用双块式无砟轨道。该隧道地处秦岭高中山区,山体陡峻,沟谷深切起伏,交通条件极差,全线仅设有两座斜井,在无砟轨道施工过程中受

收稿日期:2018-10-08

作者简介:郭旺明(1979-),男,工程师。

引文格式:郭旺明. 特长单线隧道无砟轨道施工技术与管理[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(5): 87-91.

Guo Wangming. Construction Technology and Management for Ballastless Track of Extra-long Single Line Tunnel [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 87-91.

操作空间、施工工作面、物资运输等条件限制,为确保施工工期及质量,需要丰富的施工现场管理经验与技术。

1 无砟道床施工技术

1.1 设计情况

兰渝铁路西秦岭隧道采用双块式无砟轨道,一次铺设无缝线路。采用 60 kg/m 钢轨、WJ-8 型扣件及 SK-2 型双块式轨枕,过渡段轨枕采用过渡段专用轨枕,轨枕间距 650 mm。道床板采用 C40 混凝土现浇而成,采用连续式结构,直接浇筑在垫层上,道床板宽度为 2 800 mm,厚度为 260 mm,轨道结构高度 515 mm。隧道内曲线超高采用外轨抬高方式设置在道床板上,超高过渡在缓和曲线全长范围内线性过渡。

1.2 施工要素

1.2.1 施工工法

根据国内外无砟轨道施工经验,结合兰渝铁路实际,经技术经济比选,确定采用轨排框架法施工无砟道床,双块式轨枕集中在厂内统一生产,汽运至现场,为确保垫层凿毛效果,采用大型铣刨机洗刨垫层顶面<sup>[1]</sup>。

1.2.2 作业面划分

西秦岭隧道左右线根据斜井设置情况及物流运输方案均划分为 4 个作业面,由 4 个通道组织物流运输,分别为西秦岭进口、店子坪斜井、罗家理斜井和西秦岭出口 4 个作业面,如图 1 所示。本文主要选取了左线无砟道床对西秦岭无砟轨道施工管理与技术情况进行介绍。

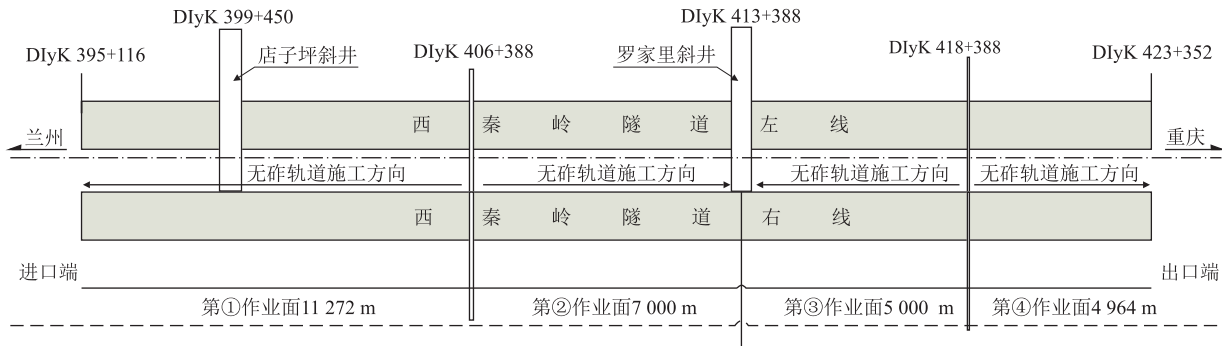


图 1 西秦岭隧道无砟轨道作业面划分示意图

1.2.3 进度安排

根据作业面划分情况,第一作业面为关键线路,计划工期 5 个月,月均需完成 2 254 m,日均需完成 75 m,结合国内同类隧道无砟轨道施工进度情况,单线长大隧道要满足此进度目标极为困难。鉴于此,在无砟轨道正式开工前,建设单位组织施工单位进行了多次施工演练,确定工序循环时间为 22 h,安排备用时间 2 h,按 24 h 一个循环计算。

1.2.4 人员配置

根据每循环进度安排,日均完成 80 m 的进度指标,经过多次演练,确定单作业面每班组配备施工人员 85 人。

1.2.5 装备配备

根据每循环作业进度安排,施工现场每作业面装备龙门吊 3 台,走行轨道 500 m,轨排组装机 4 套,轨排吊具 2 套,轨排排架 30 榀,合 195 m。其余配套设施根据主要设施合理配置。

1.2.6 验收标准

根据原铁道部关于印发工管技[2013]35 号《无砟

轨道和高速道岔首件工程评估实施细则》的通知相关要求,制定验收标准如表 1 所示。

1.2.7 物流组织

(1)交叉施工单位协调组织

因西秦岭隧道站前及四电工程由四家单位组成,且各单位共用两处斜井组织物流,为提高物流效率,成立由建设指挥部专人负责协调小组,全隧布设好通讯设施,确保通讯畅通,每天超前对接物流计划,按照计划统一调度指挥车辆通行。

(2)材料倒运组织

布设有 3 台 10 t 龙门吊对轨排架、模板系统、龙门吊走行轨、小型机具设备进行倒运转场;双块式轨枕、道床板结构钢筋、混凝土及其他耗材等的进场,在线路上单向行驶,并把混凝土供应作为无砟轨道施工物流组织的关键环节。

(3)会车组织

每 2~3 km 左右线横通道处预留一处约 30 m 长会车道,此会车道处两侧电缆及排水沟槽暂不施作,用于会车,预留沟槽随无砟道床一同施作;安排专人在拌

表 1 无砟轨道验收标准表

序号	检查项目		标准要求	检验数量	序号	标准要求
1	垫排组 装、铺设	轨向	2 mm/10 m 弦	每年轨排支撑架处检查 1 次		-
2		高低				-
3	混凝土 道床板	顶面宽度	± 10 mm	1 断面/60 m	尺量	满足精度要求
4		中线位置	2 mm		全站仪	精度要求
5		顶面与承轨台两相对高差	± 5 mm		尺量	满足精度要求
6		伸缩缝位置	± 5 mm		尺量	-
7		平整度	3 mm/1 m		尺量	满足精度要求
8	外观		道床板表面平整、排水顺畅	全面检查		满足要求
9			外观清洁,无污染,线条顺直,混凝土无碰损	全面检查		无砟轨道线形个别位置线条不顺直

合站、隧道进出口、斜井口、斜井与隧道正洞连接处和钢筴桥错车处负责协调物流组织,并做好行车记录,起到控制车流量和提高运输效率的效果。

1.3 施工工艺及流程

1.3.1 施工工艺

(1) 施工准备

① 外业准备

A. 监理单位组织开展线下工程验收并对进场材料、设备、工器具进行进场检验工作,平行见证施工单位进行配合比选取试验。

B. 施工单位按照程序开展隧道线路拟合工作,完成沉降评估和 CPIII 测设评估等相关工作。

C. 开展现场接口工程检验及垫层凿毛、冲洗和测量放样等工作。

D. 完成开工报告(试验段)的审批工作。

E. 根据工程需要,开展无砟轨道试验段的施工总结工作。

② 内业准备

A. 施工单位编制无砟轨道专项施工组织设计文件、无砟轨道作业指导书、轨道精调方案并按建设单位的管理流程报批。

B. 施工单位组织开展无砟轨道管理及作业人员的培训和考核和三级技术交底工作,该项工作要求在监理单位见证下开展,并报送建设单位相关部门备案。

C. 完成标段试验段总结及相关技术资料的修编工作。

(2) 施工阶段

① 底层钢筋加工与安装

为提高工作效率和加工质量,横向钢筋全部在加工场集中加工,运送到现场安装,纵向钢筋与横向钢筋(含轨枕桁架钢筋横向钢筋)交叉点处设绝缘卡进行绝缘连接,以解决纵横向钢筋节点绝缘问题;底层钢筋安装完毕后,按梅花型布置 40 mm × 40 mm × 40 mm

同强度混凝土垫块,每横向交叉处不少于 4 块<sup>[2-3]</sup>。

② 组装轨排

轨排在分枕组装平台上组装,具体工序为散枕→安装工具轨及扣件→轨排尺寸调整、检查→轨排加固<sup>[4]</sup>。

③ 轨排就位

铺装龙门吊从分枕组装平台上吊起轨排运至铺设地点,按中线和高程定位,误差控制范围:高程 - 10 ~ 0 mm、中线 ± 10 mm。相邻轨排间使用夹板联结,每接头安装 4 套螺栓,初步拧紧,轨缝留 6 ~ 10 mm。每组轨排按准确里程调整好轨排端头位置。

④ 轨排粗调

轨排粗调按照先中线调整,后高程调整再紧固成组的方式进行,当中线偏差控制在 ± 5 mm,高程误差控制在 - 5 ~ - 2 mm 范围时,方可进入下一道工序。

⑤ 顶层钢筋安装

同底层钢筋一样,横向钢筋全部在加工场集中加工,运送到现场安装,安装顶层钢筋要统筹做综合接地钢筋的焊接工作,确保单根接地钢筋接头电阻值不大于 2 Ω。

⑥ 钢筋体系绝缘测试

采用高阻测定仪进行测试,在 500 V 直流电压下测定其电阻值,两端测试点为钢筋卡入卡子部分的上下中心点,非接地钢筋中任意两根的电阻应大于 2 MΩ。

⑦ 安装模板

必须使用刚度和加工精度较高的钢模板,模板安装前应先检查模板平整度、模板清洗情况、脱模剂涂刷情况,必须更换损坏或弯折的模板,并使用“∟”型支撑加固。

⑧ 轨道精调

轨道精调按照轨枕编号→全站仪设站→测量轨道数据→调整中线→调整高程的方式反复进行,前一站

调整完成后,下一站调整时需重叠上一站调整过的8到10根轨枕,精调数据达到下表要求后紧固轨排架及模板支撑,复查精调数据合格后进入下一道工序<sup>[5]</sup>。

#### ⑨浇筑道床混凝土

轨道板混凝土按高性能混凝土的技术要求进行配合比设计和控制,自动计量拌合站集中拌制,混凝土运输车运送至施工现场,龙门吊吊装料斗浇注入模,插入式振捣器振捣密实;混凝土浇筑时合理调整料斗位置,避开轨距撑杆和支撑螺杆,避免混凝土冲击轨距撑杆、支撑螺杆而引起轨距和轨道中线变化,下料后应及时振捣,防止轨排上浮。混凝土浇筑过程应安排在当天气温变化幅度最小的时段,温度变化不宜超过15℃。在混凝土浇筑完成抹面前再次用轨检仪检测轨道数据,及时发现并调整轨道参数至偏差允许范围内<sup>[6]</sup>。

#### ⑩抹面成型

混凝土入模后0.5 h内采用木抹完成粗平,1 h后再用钢抹抹平,抹面应形成设计要求的横向排水坡;为防止混凝土表面产生细小裂纹,在混凝土入模3~4 h后进行二次抹面,抹面时严禁洒水湿润或掺加水泥,并防止过渡操作影响表面混凝土质量,抹面的同时要加强工具轨下方、托盘下方、支撑螺杆和轨枕四周等部位的处理,清理钢轨、轨枕、扣件、和支撑架表面的灰浆。

#### ⑪轨排应力释放

混凝土初凝后(具体时间由试验员根据钢球压痕试验确定后通知现场领工员),松开支承螺栓1/4~1/2圈,同时松开扣件和鱼尾板螺栓,避免温度变化时钢轨伸缩对混凝土造成破坏。

#### ⑫混凝土养生

混凝土最后一次抹面完成后,用土工布覆盖塑料管滴漏的方式进行养护,并在其上覆盖塑料薄膜以达到保水的目的,确保混凝土表面的土工布能保持充分潮湿的状态;混凝土养护期间,指定技术人员分时段进行养护并做好记录,确定混凝土需要养护的时间并书面告知养护人员,当气温低于5℃时,可采用覆盖塑料布+干燥棉布织物+塑料膜进行保温<sup>[7]</sup>。

#### ⑬轨道复测

在混凝土浇筑完成48 h内完成轨道状态复测,将复测数据和浇筑前数据进行比对,对于偏差较大的,认真分析和查找原因,避免下一循环重复出现。

#### ⑭轨道架拆除

当道床板混凝土达到5 MPa后,可以开展轨排架

拆除工作,首先按顺序向上调整螺柱支腿1~2 mm;然后松开扣件,按顺序拆除排架,拆除模板,最后确认扣件全部松开后,吊装轨排架运至轨排组装区域清理,其余工器具人工清理完成后,倒运至下一循环场地继续使用<sup>[8]</sup>。

#### (3)维管验交阶段

##### ①混凝土试件检测

对道床板同条件养护试件按期进行测试,对经测试的试件强度有问题的道床板依规处理。

##### ②成品保护

道床板浇注完毕后,必须安排专人对混凝土成品进行保护,同时做到轨道扣件不被破坏和盗窃,未安装扣件的螺栓孔须进行堵塞,防止杂物进入。

##### ③道床板沉降监测

经测试,西秦岭隧道最大水平主应力值SH为16.80~27.45 MPa,岩石饱和抗压强度RC为30~100 MPa,计算RC/SH为1.10~5.69,均小于7,根据《工程岩体分级标准》划分,本区处于高地应力段落。为此道床板浇筑完成后,建设单位优化布设了道床板沉降检测体系,作为道床板施做的重要评价资料。

##### ④隧道本体二次沉降监测评估

待道床板施工完成后,需要进行隧道基础沉降观测,观测期为3个月,其中0~1个月内每周采集分析数据1次,1~3个月内,每两周采集分析数据1次,以上数据均由专业评估单位评估,连续检测3个月且评估合格后,方可终止隧道基础沉降检测。

##### ⑤长轨铺设及精调

长轨铺设后通过调整扣件,将轨道各项指标调整至设计绝对位置,而且将轨道线型的方向、高低、水平、轨距及轨距递减率、高低递减率调整至规格允数值范围,保证轨道平顺。调整顺序为:“先轨向,后轨距”;“先高低,后水平”。

##### ⑥竣工验收及移交

无砟道床施工完成后,经建设单位统筹协调组织,经过相关的静态、动态等验收合格后,一并将实体工程、资料等移交接管单位并办理相关的移交手续。

### 1.3.2 建设管控体系

#### (1)管理制度

在严格执行中国铁路总公司无砟轨道管理相关制度的情况下,建设单位结合自身情况出台了《无砟轨道施工管理细则》、《无砟轨道施工指导意见书》、《无砟轨到施工工程质量和工程进度考核实施细则》等管理制度,为无砟轨道的管理工作提供了制度保证。

## (2) 管理方法

①建设单位成立无砟轨道建设管理小组。小组成员由公司各部门和建设指挥部抽调组成,同时下发《关于开展无砟轨道达标创优活动安排的通知》,举办了两次大型的观摩会,通过这两次观摩会为全线无砟轨道施工立标打样、创设标杆。

②严格执行无砟轨道试验段制度,要求各标段均进行施工前条件评估、试验段施工和试验段验收三项基本工作,只有三项均通过验收后方可在标段内全面开展无砟轨道的施工工作。

③严格日常检查考核,无砟轨道建设管理小组组织设计、评估、监理单位每月开展两次无砟轨道质量抽查,建设指挥部不定期进行检查,严格履行建设程序,紧抓无砟轨道施工质量,奖优罚劣。

## 2 施工注意事项

### 2.1 线路拟合

西秦岭隧道在贯通后,设计单位对控制点进行加密,为保证无砟轨道线路的平顺性,施工单位委托有资质的测设单位对轨道线路进行了线路拟合,建设单位组织施工、监理、设计单位对拟合数据进行了复核,复核通过后方可进行无砟轨道施工。

### 2.2 垫层验收及凿毛

道床板直接在垫层上施工,施工中应严格控制垫层的高程及排水坡面。为了提高垫层顶面凿毛质量,全隧均采用铣刨机铣刨,有效保证了垫层的凿毛效果。

### 2.3 中心水沟施工

西秦岭隧道TBM开挖段落设计有中心水沟,由于长大隧道贯通误差偏大,故水沟施工安排在隧道贯通后进行,确保中心水沟不侵入轨枕块下侧,以免影响道床质量。

### 2.4 垫层顶面清洗

单线隧道作业面小,排水面单一,故垫层顶面冲洗工作难度极大,施工中利用隧道两侧的排水沟存水,利用高压水枪冲洗垫层顶面,冲洗工作分两次进行,第一次为铺设钢筋以前,第二次为浇筑混凝土前,第二次冲洗完成将模板底部封闭,确保施工废水及杂物不进入道床。

### 2.5 现场管控措施

单线隧道内空间小,施工交叉多,道床板施做完成后须安排专人对成品进行保护,防止行人走行未达到强度要求的道床板,杜绝重物在道床板上存放。

### 2.6 隧道临时通风

西秦岭隧道长度28.236 km,人字坡设置,中间

高,两边低,且进出口为曲线,因此隧道内空气难以流通。在施工过程中,由于天气、外部风向等影响,洞内部分地段会形成水雾,导致无法进行无砟轨道的精调作业,阻碍施工生产。因此,根据现场情况,在作业面内需采取通风设备。

由于大型风机进场会影响无砟轨道施工正常物流运输及作业循环效率,为了获得理想的升压效果,通过类比和数值模拟的验证,西秦岭隧道最终选择采用射流风机进行通风。射流风机的纵向间距为140~160 m。四台射流风机是按照两台一组布置,这种布置方式风机喷射出的气流会相互影响,根据实验测试结果,射流风机的横向间距在3~4 m(射流风机中心距)是比较合适的,能获得较大的升压力。隧道临时通风效果直接关系到精密测量的精度和效率,故须根据隧道特点进行测试,根据测试结果确定风机的功率、布置间距等参数。

### 2.7 作业面组织

隧道内可利用净高8 m,净宽4.4 m,无法用大型吊装设备运送设备材料,如果从洞外周转的话,运转材料费时长,严重制约工程进度。针对上述问题,在每个作业面配置3台10 t的龙门吊,用于现场材料设备的运转,并在作业面前后设置存物平台,用于材料、设备和工器具的存放。在成品段存放材料设备时,做好支撑设施,保证成品不被损坏。

## 3 问题与建议

### 3.1 道床板外侧排水设计需优化

本项目道床板与电缆沟之间未设置纵向排水沟,积水依靠线路纵坡排除,由于现场施工垫层标高控制原因,导致部分区段存在积水情况。因此,建议设计单位在单线隧道轨道板两侧设置排水槽,并在施工过程中严控垫层顶面标高,以便道床板两侧积水及时有效的排除。

### 3.2 增设单线隧道的避车洞设置

建议对于斜井设置条件困难的长大单线隧道,每隔一定距离(3 km左右)设计避车洞,便于提高施工期间的物流效率,降低物流组织难度,提高施工效率,同时也可以作为将来道床板更新换代和隧道救援的物料存放场所。

### 3.3 高地应力隧道增设沉降观测点

根据兰渝铁路高地应力隧道沉降观测经验来看,只在隧道侧壁进行沉降观测难以满足无砟轨道的沉降

(下转第96页))

[J]. 低碳世界, 2018, 8(3): 266 – 267.

LIN Wenpu. Case Study on Technical Key Points of Support Cast-in-situ Construction of Cast-in-situ Continuous Box Girder [J]. Low Carbon World, 2018, 8(3): 266 – 267.

[2] 郑鹏, 陈华, 陈添, 等. 现浇箱梁跨越既有桥梁的支架设计与施工技术[J]. 建筑施工, 2018, 40(11): 1973 – 1975.

ZHENG Peng, CHEN Hua, CHEN Tian, et al. Supporting-frame Design and Construction Technology of Cast-in-Place Box Girder for Spanning Existing Bridge [J]. Building Construction, 2018, 40(11): 1973 – 1975.

[3] 赵志凯. 桥梁上部结构支架现浇施工技术研究[J]. 交通世界, 2018, 25(24): 74 – 75.

ZHAO Zhikai. Study on In-situ Construction Technology of Bridge Superstructure Support [J]. Transpworld, 2018, 25(24): 74 – 75.

[4] 何亮. 高速铁路大跨度桥梁工程支架现浇梁及钢管桩施工[J]. 建筑技术开发, 2018, 45(13): 98 – 99.

HE Liang. Construction Technology of Cast-in-place Beam and Steel Pipe Pile for Large Span Bridge Project of High-speed Railway [J]. Building Technique Development, 2018, 45(13): 98 – 99.

[5] 田钦, 袁瑞杰, 丁利. 跨线桥梁 0 号块悬臂施工支架体系的受力分析[J]. 四川建筑, 2018, 38(3): 152 – 154.

TIAN Qin, YUAN Ruijie, DING Li. Stress analysis of Block 0 Cantilever Construction Support System for Overpass Bridge [J]. Sichuan Architecture, 2018, 38(3): 152 – 154.

[6] 阙名前. 跨既有高速公路桥梁施工支架拆除方案[J]. 山西建筑, 2011, 37(5): 167 – 168.

QUE Mingqian. On Bridge Construction Falsework Demolishing Scheme on Existing Highway [J]. Shanxi Architecture, 2011, 37(5): 167 – 168.

[8] 周焕, 胡辉. 特大桥梁箱梁承重支架施工技术要点探析[J]. 建筑技术开发, 2018, 45(11): 51 – 53.

ZHOU Huan, HU Hui. Analysis of Construction Techniques of Load-bearing Bracket of Super Large Bridge Box Girder [J]. Building Technique Development, 2018, 45(11): 51 – 53.

[7] 陈宏亮. 桥梁施工中模板与支架的拆除及卸落[J]. 山西建筑, 2015, 41(3): 169 – 170.

CHEN Hongliang. The Demolition and Unloading of Template and Support in Bridge Construction [J]. Shanxi Architecture, 2015, 41(3): 169 – 170.

[9] 戴勋. 山区支架现浇箱梁施工技术的应用研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2014.

DAI Xun. Study on Application of Construction Technology of Cast-in-situ Box Girder with Support in Mountainous Area [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2014.

(编辑: 车晓娟 张红英)

(上接第 91 页)

评估要求,故建议在同类隧道的沉降观测中增加对隧道底板的沉降观测。

参考文献:

[1] 赵国祝. 双块式无砟轨道快速施工综合技术及配套设备、工装技术[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.

ZHAO Guozhu. Comprehensive Technology for Rapid Construction of Double-block Ballastless Track and Auxiliary Equipment and Tooling Technology [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2012.

[2] 何华武. 无砟轨道技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.

HE Huawu. Ballastless Track Technology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

[3] 刘同江. 特长单线铁路隧道无砟轨道道床施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2009, 26(12): 56 – 64.

LIU Tongjiang. Construction Technology for Ballastless Railroad Bed in Extra-long Single Track Tunnel [J]. Railway Construction Technology, 2009, 26(12): 56 – 64.

[4] 张梅. 客运专线铁路无砟轨道施工手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.

ZHANG Mei. Construction Manual of Ballastless Track for Passenger Dedicated Line [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2009.

[5] 贾磊. CPⅢ网在 CRTS I 型双块式无砟轨道施工中的应用[J]. 山西建筑, 2009, 35(23): 362 – 363.

JIA Lei. Application of CPⅢ Net in Construction of CRTS I Double-block Ballastless Track [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(23): 362 – 363.

[6] 李方东. 武广铁路客运专线 CRTS I 型双块式无砟轨道施工关键技术[J]. 铁道建筑, 2010, 50(1): 26 – 29.

LI Fangdong. Key Technologies for Construction of CRTS I Double-block Ballastless Track on Wuhan-Guangzhou Passenger Dedicated Line [J]. Railway Engineering, 2010, 50(1): 26 – 29.

[7] 冯承哲. CRTSI 型双块式无砟轨道道床板施工技术[J]. 华东公路, 2016, 39(4): 121 – 123.

FENG Chengzhe. Construction Technology for Bed Slab of CRTS I Double-Block Track [J]. East China Highway, 2016, 39(4): 121 – 123.

[8] 孟祥义. 白云山隧道无砟轨道施工技术[J]. 铁道勘察, 2010, 36(4): 100 – 103.

MENG Xiangyi. Technology for Construction of Ballastless Track in Baiyunshan Tunnel [J]. Railway Investigation and Surveying, 2010, 36(4): 100 – 103.

(编辑: 苏玲梅 张红英)