

文章编号: 1674—8247(2019)03—0093—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.020

铁路基床橡胶沥青水泥基防水层施工工法研究

封志军 王毅敏 薛元 曾小波

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:传统路基基床土工材料防水层存在施工接缝多,易形成水囊等不足,其长期防水效果难以保证,易导致铁路膨胀土路基基床产生诸如翻浆、冒泥、鼓起、下沉外挤等病害。为彻底解决这些不足,确保膨胀土基床长期稳定性,研究开发了具有良好抗裂、抗渗、抗疲劳性能的橡胶沥青水泥基防水材料,并结合实际工程形成了工厂化制备,现场连续摊铺、碾压的施工工法。工法提出了防水结构层施工工艺流程、操作要点、施工机具等,并从 E_{vd} 、力学强度、密实度、抗渗性能等方面提出了检验和验收要求,进一步确保了橡胶沥青水泥基防水结构层的施工质量满足相关规范、标准要求。

关键词:高速铁路;膨胀土;路基基床;防水材料

中图分类号:U213.5 **文献标志码:**A

Study on Construction Method for Rubber Asphalt Cement-based Waterproof Layer of Railway Subgrade Bed

FENG Zhijun WANG Yimin XUE Yuan ZENG Xiaobo

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: There are many construction joints in the traditional subgrade bed geotechnical materials waterproof layer, which are easy to form water sac. But the long-term waterproof effect can't be guaranteed and the diseases of railway swelling soil subgrade bed such as mud-pumping, swelling and sinking extrusion etc. may occur. In order to solve these problems thoroughly and ensure the long-term stability of expansive soil foundation bed, rubber asphalt cement based waterproof material with good properties of crack resistance, impermeability and fatigue resistance is developed. Combined with the actual project, the construction method of factory preparation, continuous paving and rolling on site is formed. The construction process, operation points and construction tools of waterproof structure layer are put forward, and the inspection and acceptance requirements from E_{vd} , mechanical strength, density, impermeability and other aspects are put forward to further ensure the construction quality of rubber asphalt cement-based waterproof structure layer meet the relevant specifications and standards.

Key words: high speed railway; expansive soil; subgrade bed; waterproof material

膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩和反复胀缩变形、浸水承载力衰减、干缩裂隙发育等特性,性质极不稳定,其上部构筑物常会由于基础出现不均匀的竖向或水平的胀缩变形,造成位移、开裂、倾斜甚至破坏,且往

往成群出现,危害性很大。我国西南地区已完成的建设项目中,已有部分工程受到膨胀土(岩)的影响。例如,南昆铁路广西段路基大部分位于膨胀土(岩)地段,在运营一段时间后,由于基床下部的膨胀土(岩)

收稿日期:2018-06-18

作者简介:封志军(1979-),男,高级工程师,注册土木工程师(岩土)。

基金项目:云桂铁路膨胀土岩溶地段路基关键技术研究(2010G016-B)

引文格式:封志军,王毅敏,薛元,等. 铁路基床橡胶沥青水泥基防水层施工工法研究[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):93-96.

FENG Zhijun, WANG Yimin, XUE Yuan, et al. Construction Method Research of Rubber Asphalt Cement-based Waterproof Layer of Railway Subgrade Bed[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 93-96.

在地下水和地表水的反复作用下发生的胀缩变形,加之铁路路基上部直接承受列车动力荷载作用,造成南昆铁路路基基床产生了诸如翻浆、冒泥、鼓起、侧向挤压破坏等病害^[1-5],直接威胁列车的安全运行,导致列车慢行、停开,给国家造成重大损失。而传统铁路路基基床土工材料防水层采用搭接或焊接,施工接缝多,特别是接触网基础需要穿过这些柔性隔水材料,这些薄弱环节易成为渗漏点,且由于基床受力不均变形,土工材料防水层容易形成水囊,长期防水效果难以保证。

课题组通过现场调研、方案比选及工艺试验后,研究开发了具有良好抗裂、抗渗、抗疲劳性能的橡胶沥青水泥基防水材料;结合实际工程形成了工厂化制备,现场连续摊铺、碾压的施工工法。

1 橡胶沥青水泥基防水结构层施工工法简介

1.1 工艺原理

膨胀土(岩)不受大气影响,含水率变化幅度较小时,其本身具有较高的力学性能,因此,在膨胀土(岩)路基基床中设置一层全封闭的防排水结构层,可有效隔断地表水向下渗透,降低大气对于膨胀土(岩)的影响,以充分发挥膨胀土(岩)本身的力学性能。以此原理研发了橡胶沥青水泥基防水结构层,其位于基床表层底面,基床底层顶面,由胶凝材料组分(水泥、粉煤灰)、改性组分(弹性颗粒、聚丙烯纤维、乳化沥青、橡胶粉、轻质碳酸钙粉)和砂土体系(中粗砂、细粒土)组成,具有良好的抗渗性、抗裂性及抗疲劳性,且具有较高的力学强度。

1.2 施工工艺流程及操作要点

1.2.1 施工工艺流程

施工工艺流程,如图1所示。

1.2.2 操作要点

(1)橡胶沥青水泥基防水结构层由胶凝材料组分(水泥、粉煤灰)、改性组分(弹性颗粒、聚丙烯纤维、乳化沥青、橡胶粉、轻质碳酸钙粉)和砂土体系(中粗砂、细粒土)组成。所述的胶凝材料组分、改性组分和砂土体系的质量比为1:(0.38~0.42):(5.0~5.5)。

(2)水泥基混合料采用混凝土拌和站集中厂拌,大规模拌合前,应进行配比试验。

(3)运输车辆采用篷布覆盖,避免水泥基混合料运输过程中水分损失太大。

(4)采用装载机配合平地机按压实厚度20 cm,一次性摊铺到位,碾压的原则为:先静后振,先慢后快,先低处后高处,严禁压路机在已完成的路段上掉头或急刹车。

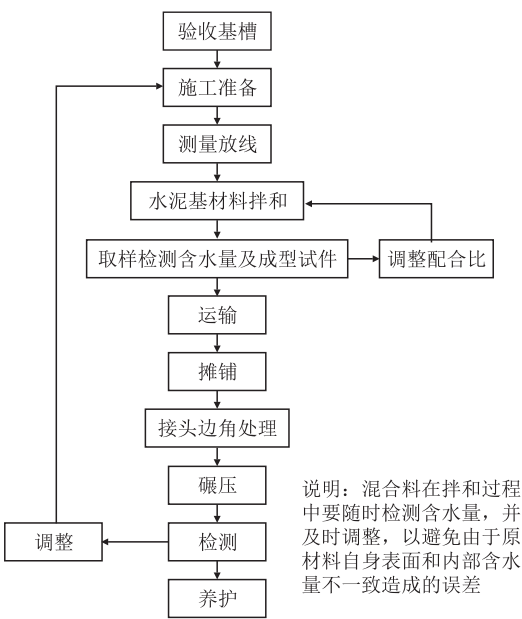


图1 橡胶沥青水泥基防水结构层工艺流程图

(5)施工缝处理:新型改性水泥基防水结构层不连续施工时需要对施工缝进行重点处理,在下一次施工开始前,应将防水结构层施工缝断面削出不少于70°的斜面,凿毛,洒水,然后摊铺碾压,施工结束后在施工缝上涂抹厚5 mm的防水涂层,防水涂层宽度为施工缝两侧各0.1 m。

(6)防水结构层施工结束后需做好养护工作,先洒水,再用土工布覆盖,最后对土工布洒水保湿,养护期至少3 d。

2 材料与设备

2.1 材料

橡胶沥青水泥基防水结构层复合材料包括胶凝组分、弹性组分和砂土体系,各原材料主要性能,如表1所示。

表1 橡胶沥青水泥基防水材料主要原材料及性能要求

组分	原材料	主要性能
胶凝材料	水泥	级为P.O 42.5及其以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,混合材宜为矿渣或粉煤灰
	Ⅱ级粉煤灰	比表面积465 m ² /kg,45 μm方孔筛的筛余为3.6%,烧失量为2.48%
砂土体系	天然河砂	级配合理、质地均匀坚固、吸水率低、空隙率小,细度模数宜在2.4~2.8范围内
	非膨胀性黏性土	颗粒粒径不大于10 mm,且10≤I _p ≤17, W _p ≤40%
弹性组分	橡胶粉	为粒径为5~8目的橡胶粉
	乳化沥青纤维	SBS改性乳化沥青 采用长度为10~20 mm的聚丙烯纤维

2.2 主要机具设备及人员配置

主要机具设备及人员配置,如表2所示。

表 2 机具设备

序号	机械名称	型号	单位	数量
1	振动压路机	YZ20	台	1
2	装载机	ZL50	台	1
3	平地机	GR200	台	1
4	挖掘机	PC220	台	1
5	混凝土拌合站	HZS120	套	1
6	洒水车	10 T	台	1
7	自卸车	20 T	台	5
8	小型压路机	LT-680	台	1

基床防水层试验段投入施工人员 25 人,其中管理人员 5 人。

3 质量控制

橡胶沥青水泥基防水结构层质量控制包括原材料、现场施工两个部分。

(1) 橡胶沥青水泥基防水结构层复合材料包括胶凝组分、弹性组分和砂土体系,各原材料应满足检测要求,如表 3 所示。

表 4 水泥基防排水材料组分单价及每立方价格

组分名称	水泥	粉煤灰	砂	土	乳化沥青	橡胶粉	聚丙烯纤维	弹性防水涂层	专用外加剂
费用/元	60.8	18	26	13	80	114	24	22.5	75

按平均厚度 20 cm 计算,每方可以摊铺 5 m²,约折合 80 元/m²,另外,各接缝处弹性防水涂层,分摊后考虑 5 元/m²,综合考虑人工、机具费用约为150 元/m²。

4.2 采用水泥基防排水材料的全封闭路堑基床结构经济效益分析

采用橡胶沥青水泥基防水材料的全封闭路堑式路堑基床结构,从上而下基床表层采用 0.65 m 厚级配碎石 +0.05 m 中粗砂填筑,基床表层底面以下 1.5 m 范围挖除换填,采用 0.2 m 水泥基防水材料 +1.3 m 厚 A、B 组填料回填,于换填底部两侧设置纵向排水盲沟。较传统设计而言,减小了换填厚度,相应土石方、边坡支挡防护工程数量也随之减少,且挖方越大,减小幅度也越大,每延米路基在中心挖深 1 m 的情况下,投资节省 972 元,并随中心挖深的增加,投资节省幅度进一步扩大,中心挖深 15 m 时,投资节省2 766 元/m。经济优势明显。

5 应用实例

为检验新研发的橡胶沥青水泥基防水材料在长期高速列车荷载作用的服役效果,于云桂铁路选取试验点进行试用,并进行了现场激振试验,研究了橡胶沥青水泥基防水材料不同服役环境(干燥、降雨和地下水位上升)下的防水效果,及其对基床动力反应特性的影响,具体过程在文献^[7-8]中有详细描述,此处仅简要

(2) 结合膨胀土特性,数值模拟结果及相关铁路路基规范要求,施工完成后橡胶沥青水泥基防水材料满足指标要求(如表 3 所示)^[6]。

表 3 水泥基防排水结构层质量检测要求

项目	指标要求	检测方法
表观密度	≥ 1 900 kg/m ³	容重法
材料抗压强度	3 d ≥ 1.0 MPa	GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》
	28 d ≥ 2.5 MPa	
静弹性模量/28 d	0.7 GPa ≤ E ≤ 1.5 GPa	
Evd	3 d ≥ 65 MPa	TB 10751-2010《高速铁路路基工程施工质量验收标准》
	28 d ≥ 70 MPa	
抗渗性能	抗渗等级 ≥ P4	JGJ/T 70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》
	抗渗系数 ≤ 10 ⁻¹⁰ m/s	SL 237-1999《土工试验规程》
56 d 软化系数	≥ 0.85	浸水法

4 经济效益分析

4.1 水泥基防排水材料单价分析

针对水泥基防排水材料的组分进行市场调研,各组分市场单价及每立方价格,如表 4 所示。

说明其结果,如图 2 所示。

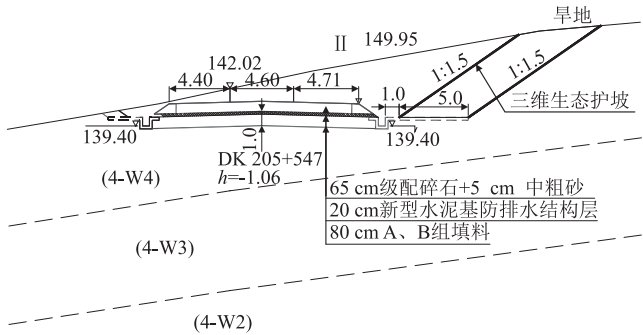


图 2 DK 205 + 547 试验段代表性路基横断面示意图(m)

(1) 水泥基防排水结构层施工完毕后,现场进行了浸水试验,实测数据反应出,浸水后防水结构层顶面的湿度计读数均大幅度增加,而防水结构层底面、换填层以及地基土中的湿度计读数则基本保持不变,说明新型水泥基防排水结构层具有良好的防水效果。

(2) 为验证新型水泥基防排水结构层在极端服役环境下的抗疲劳性能,选取 DK 205 + 480、DK 205 + 542 两处分别进行 200 万次激振试验,试验完成后开挖基床表层,检查发现防水结构层完整无损,无裂纹。

(3) 为检验水泥基防排水结构层在实际工作环境中的抗裂性和防水性,现场激振试验结束后,将基床表层级配碎石挖除,使开挖范围内的防水结构层表面裸

露在外,经受将近18个月的日晒雨淋。试验日期为2013年4月-2014年9月,历经百色地区两个雨季。雨季期间降雨次数多、雨量大,且持续时间长,是检验水泥基防水结构层实际防水效果的佳期。防水结构层底面填料的湿度监测数据,如图3所示。

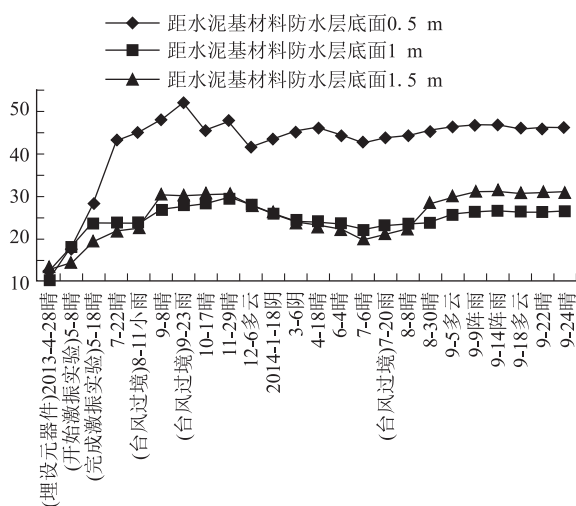


图3 DK 205 + 480 湿度变化检测记录图

由图3可知,防水结构层以下,同一深度处含水率波动很小,基本保持不变;防水结构层以下,随着深度的增加,含水率越低;距防水结构层1 m以下至1.5 m,各处含水率几乎为一恒定值。

综上所述,经过两个雨季,防水结构层底面填料的湿度基本保持不变,说明水泥基防水结构层具有良好的抗渗性。橡胶沥青水泥基防水层经过一年日晒雨淋完整无损,没有出现裂纹或鼓胀现象,说明改性水泥基防水结构层具有良好的抵抗自然营力作用的能力。

6 结论

(1) 采用橡胶沥青水泥基防水结构层的全封闭路堤式路堑基床结构,较传统设计而言,其刚度大,防水效果好,可减小底层换填厚度,降低工程造价。

(2) 采用橡胶沥青水泥基防水结构层,减小了路基开挖工程量,相应的边坡防护量,堆放弃土的临时用地也相应降低,经济、环保,有利于土地的节约。

(3) 铁路路基基床橡胶沥青水泥基防水结构层组成材料购买方便,可利用现有施工单位水泥搅拌站现场搅拌,采用路堤填方工程的压实设备压实,施工方便,质量更好控制。

(4) 铁路路基基床橡胶沥青水泥基防水结构层在长期列车荷载作用下,变形小,不会出现类似柔性材料在长期荷载作用下,在轨道下方形成的水囊,长期防水

效果好。值得在膨胀土(岩)、湿陷性黄土以及其它对防止表水入渗有严格要求的铁路路堑基床工程中推广采用。

参考文献:

- [1] 王叶娇. 降雨对膨胀土路堑边坡的稳定性影响分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2013.
WANG Yejiao. Influence of Rainfall on Stability of Expansive Soil Slope[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2013.
- [2] 吕海波, 曾召田, 赵艳林. 干湿交替环境下膨胀土的累积损伤初探[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(6): 119-123.
LV Haibo, ZENG Zhaotian, ZHAO Yanlin. Preliminary Study on Accumulative Damage of Expansive Soil in Alternation of Wetting-drying Environment[J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(6): 119-123.
- [3] 唐朝生, 施斌. 干湿循环过程中膨胀土的胀缩变形特征[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(9): 1376-1384.
TANG Chaosheng, SHI Bin. Swelling and Shrinkage Behaviour of Expansive Soil During Wetting-drying Cycles[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(9): 1376-1384.
- [4] 杨和平, 肖夺. 干湿循环效应对膨胀土抗剪强度的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2005, 2(2): 1-6.
YANG Heping, XIAO Duo. The Influence of Alternate Dry-wet Effect on the Strength Characteristic of Expansive Soils[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2005, 2(2): 1-6.
- [5] 谭汉义. 既有南昆线膨胀岩(土)路基病害类型、原因及增建二线路基处理方案[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(1): 83-87.
TAN Hanyi. Type and Reason of Disease of Expansive Rock and Soil Subgrade on Existing Nan-Kun Railway and Treatment Scheme of Newly-built Second Line[J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(1): 83-87.
- [6] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].
TB 10621-2014 Code for Design of High Speed Railway[S].
- [7] 王亮亮. 高速铁路膨胀土路堑基床结构及其动力特性试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2014.
WANG Liangliang. Study on Expansive Soil Cutting Subgrade Bed of High Speed Railway and Its Dynamic Characteristics[D]. Changsha: Central South University, 2014.
- [8] 杨果林, 王亮亮, 房以河, 等. 云桂高速铁路不同防水层基床动力特性现场试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(8): 1672-1677.
YANG Guolin, WANG Liangliang, FANG Yihe, et al. In-Situ Test On Dynamic Characteristics of Cutting Subgrade with Different Water Proof Layers along YunGui High Speed Railway[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2014, 33(8): 1672-1677.

(编辑: 赵立红 白雪)