

大厚度水稳基层一次摊铺 碾压成型碾压工艺研究

赵承伟^{1,2}, 古鹏翔³, 黄金城²

(1. 广西道路结构与材料重点实验室, 广西 南宁 530007; 2. 广西交通科学研究院, 广西 南宁 530700;
3. 广西桂山高速公路有限公司, 广西 都安 530700)

摘要:大厚度水稳基层一次摊铺碾压成型技术具有提高路面基层结构整体性、加快工程进度、节省施工成本的突出优势,而其质量控制的重点和难点在于碾压成型。文章采用不同碾压机械组合和碾压方式,依托大厚度水稳基层试验段工程,对比分析了三种不同碾压方式下的大厚度水稳基层压实度、平整度的质量控制水平。试验段质量检测结果表明:采用双钢轮初压一遍+32T单钢轮振压3遍+37T胶轮搓揉2遍+双钢轮收光1遍的碾压机械组合和碾压方式可以保证理想的压实效果和平整度水平。
关键词:大厚度;水泥稳定碎石基层;碾压工艺;压实度;平整度

中图分类号:U415.6 文献标识码:A DOI: 10.13282/j.cnki.wccst.2016.11.003
文章编号:1673-4874(2016)11-0012-06

Study on One-time Paving and Rolling Process of Large-thickness Water Stabilized Base

ZHAO Cheng-wei^{1,2}, GU Peng-xiang³, HUANG Jin-cheng²

(1. Guangxi Key Laboratory of Road Structures and Materials, Nanning, Guangxi, 530007; 2. Guangxi Transportation Research Institute, Nanning, Guangxi, 530700; 3. Guangxi Guishan Expressway Co., Ltd., Duan, Guangxi, 530700)

Abstract: The one-time paving and rolling of large-thickness water-stabilized base has the outstanding advantages such as improving the structural integrity of pavement base, speeding up the project progress and saving the construction cost, and the key and difficult points of its quality control are the rolling forming. By adopting the different rolling mechanical combination and rolling methods, relying on the test section engineering of large-thickness water-stabilized base, this article compared and analyzed the quality control level of compaction and flatness of large-thickness water-stabilized base under three different rolling modes. The quality inspection results of test section showed that: the rolling mechanical combination and rolling method of one primary rolling by double steel wheel + rolling 3 times by 32T single-drum vibration + rubbing 2 times by 37T rubber-wheel + one polishing by double steel wheel can guarantee the ideal compaction effect and flatness level.

Keywords: Large thickness; Cement stabilized macadam base; Rolling process; Compaction degree; Flatness

作者简介

赵承伟(1968—), 高级工程师, 主要从事公路试验检测工作;

古鹏翔(1977—), 高级工程师, 主要从事高速公路工程技术管理工作;

黄金城(1978—), 工程师, 主要从事公路试验检测工作。

0 引言

水泥稳定碎石半刚性基层沥青路面是我国最常用的沥青路面结构形式,通

常水稳基层的设计厚度为 55~60 cm,由于受到传统摊铺、碾压机械设备性能的制约,按照底基层、下基层和上基层三层分别先后铺筑养生的方式施工,并且要求单层施工最大厚度 ≤ 20 cm。按照该工艺进行施工可以保证单层水稳基层的施工质量,压实度、平整度和厚度等质量技术指标均相对容易控制。但是,按照该方式分三层施工容易造成水稳层的整体性较差^[1],同时由于每层必须进行 7 d 以上的养生,对施工进度也有较大的影响。

近些年来,随着摊铺、碾压等机械设备的发展,如大功率抗离析摊铺机、大吨位单钢轮压路机、双钢轮压路机等,使得大厚度水稳基层一次摊铺、碾压成型具有技术保障。大厚度水稳基层一次摊铺碾压成型是将原来的三层分层施工变为两层,具有提高路面基层结构整体性、加快工程进度、节省施工成本的突出优势,但其施工难度也提高了很多。为了保证大厚度水稳基层的施工质量,许多研究人员对此进行了研究,例如李定伦^[2]进行了大厚度水稳碎石基层的不同铺筑方式的应用研究,结果表明,现有的常规施工机械和施工条件难以保证压实度和平整度质量,不宜采用全厚式一次摊铺、碾压成型。龚起超^[2]进行了大厚度水稳基层的压实特性研究,结果表明,采用振动成型可以提高水稳基层的最大干密度,有利于控制大厚度水稳基层的压实质量。李炜光^[3,4]研究了大激振力作用下的厚层水稳的压实特性,研究表明,大激振力作用下水稳基层的连续性好,有利于阻止基层底部的反射裂缝。重庆交通大学彭乙霄^[5]以振动压实为试验手段,对水稳基层的施工质量进行研究,提出了大厚度的施工技术和质量控制方法,研究表明,振动成型法进行配合比设计有利于大厚度水稳基层的质量控制,采用 32 t 振动压路机和 30 t 以上胶轮压路机可以满足大厚度水稳基层的压实要求。但是,从目前大厚度水稳基层的研究成果来看,对碾压机械组合和碾压方式对压实度、平整度的共同影响的研究较少,因为碾压工艺不仅决定大厚度水稳基层的压实度,同时也是平整度质量控制的关键^[6]。

因此,本文依托河池至都安高速公路(简称河

都高速公路)NoB 合同段,进行大厚度水稳基层一次摊铺碾压成型的施工工艺研究,河都高速公路设计的路面结构为 18 cm 沥青面层+36 cm 5% 水稳基层+20 cm 4% 水稳底基层+18 cm 级配碎石垫层,本文对 36 cm 大厚度水稳基层一次摊铺、碾压成型进行碾压工艺研究。工艺试验总共进行三次,2013 年 6 月 23 日、7 月 4 日、8 月 26 日先后在 K78+800~K79+080 右幅、K85+400~+860 右幅、K89+950~K90+100 右幅采用不同的碾压设备组合和碾压方式进行了大厚度水稳基层一次摊铺碾压施工工艺的试验路施工(以下简称为第一次、第二次、第三次),试验路总长分别为 270 m、460 m、150 m,研究不同碾压设备组合和碾压方式对压实度、平整度的共同影响。

1 原材料

(1) 水泥:采用武鸣红狮水泥厂生产的 P. C32.5 复合硅酸盐水泥。

(2) 碎石:根据设计文件和施工规范的要求,碎石分四种规格,分别是 1[#]料(19~31.5 mm);2[#]料(9.5~19 mm);3[#]料(4.75~9.5 mm);4[#]料(0~4.75 mm)。

(3) 水:拌合站使用水采用干净、清洁的地下水,经外检水质合格。

2 配合比设计

配合比设计的任务主要是:确定混合料的矿料级配;确定最佳水泥用量;确定最佳含水率;确定最大干密度。级配设计考虑了三个方面:(1)根据云南、广西、贵州等地大厚度基层施工经验,大厚度水稳基层混合料组成设计宜根据压实厚度适当调整粗细集料比例,兼顾混合料的骨架密实性和施工性;(2)为防止早期开裂,应设置粉料及水泥集料上限,同时要兼顾水稳碎石基层抗冲刷特性,设置粉料及水泥剂量下限;(3)级配组成应符合抗离析组成设计理念,保证各级集料能有效填充、施工均匀。

通过试验,级配设计确定的合成级配及掺配比例如 表 1 所示。

表 1 配合比材料试验掺配比例表

项目	通过下列方筛孔(mm)的重量百分比(%)							规范要求			
	31.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075	液限 (%)	塑性 指数	针片状 (%)	压碎值 (%)
级配 范围	100	68~86	38~58	22~32	16~38	8~15	0~3	<28	<6	<20	<26
通过率	100	76.0	51.3	30.4	20.0	10.1	2.6	15.5	1.3	16.4	22.7
掺配 比例		19~31.5 mm 28%		9.5~19 mm 20%		4.75~9.5 mm 28%				0~4.75 mm 24%	

本文采用重型击实和静压成型法进行配合比设计,为了保证配合比设计结果的可靠性,采用试验加核查的方式进行控制,最后采用中试核查后的配合比进行施工控制。

表 2 项目各参建方配合比试验结果表

配合比 结果	最大干 密度 (g/cm ³)	最佳含 水量 (%)	预定压 实度 (%)	水泥:集料 配合比 (重量比)	强度(MPa)	
					7 d	偏差系数 (C _v %)
施工试验	2.354	4.3	98	5.0:100	7.6	11.2
监理核查	2.354	4.4	98	5.0:100	7.4	10.5
中试核查	2.355	4.4	98	5.0:100	6.9	8.4

3 施工过程控制

(1) 确定松铺系数,控制松铺厚度

按以往施工经验确定试铺松铺系数,然后通过测量确定真实的松铺系数。测量时每10 m为一个断面,每一断面进行 B₁、B₂、B₃ 三个点标高检测, B₁ 点为距中线2 m, B₂ 点为距中6 m, B₃ 点为距中10 m。先测下承层各点标高 H_地,摊铺后,测出各点标高 H_松,压实度检测合格后,测出各点标高 H_实,然后计算松铺系数:松铺系数=(H_松-H_地)/(H_实-H_地)。根据河都高速公路前期厚20 cm水泥稳定碎石松铺系数为 1.30 进行初步控制,前面施工80 m后通过测量发现需要调整,按 1.36 松铺系数进行正式控制,换算松铺厚度,设计厚度为 36 cm,则松铺厚度为 36 cm×1.36=48.9 cm。

(2) 混合料级配控制

为了检验拌合、摊铺后水稳基层铺面级配的可

靠性,试验段施工过程中,在摊铺现场取料进行了水洗筛分,其筛分结果如表 3 所示。从筛分结果来看,三次施工过程中混合料的级配均在规范要求范围内,说明混合料级配控制可靠、稳定,满足大厚度水稳基层的施工要求。

表 3 各路段混合料筛分检测结果表

项目	通过下列方筛孔(mm)的重量百分比(%)						
	31.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
级配 范围	100	68~86	38~58	22~32	16~38	8~15	0~3
第一次 通过率	100	79.4	53.2	30.7	19.5	9.5	2.7
第二次 通过率	100	79.8	51.5	30.2	21.6	11.2	2.1
第三次 通过率	100	72.5	43.3	25.7	18.0	9.4	2.8

(3) 含水量控制

含水率也是大厚度水稳施工控制的重点,若含水率偏低,水泥不能充分发生水化反应、碾压难度增大;含水率偏高,碾压过程中容易出现软弹现象、后期容易出现开裂问题。

本文大厚度水稳基层混合料的最佳含水量是 4.3%,混合料的含水量宜控制在最佳含水量 0.5%~1%之间,现场用酒精燃烧法检测含水量。第一次试验段含水量检测为 4.5%~4.7%,大于最佳含水量 0.2%~0.3%,满足要求;第二次试验段含水量检测为 4.19%~4.95%,有 3 个点小于最佳含水量 4.3%,15 个点大于最佳含水量 4.3%,含水量控制

不均匀;第三次试验段含水量检测 8 个点为 4.18%~4.33%,有 5 个点小于最佳含水量 4.3%,3 个点大于最佳含水量 4.3%。

(4)水泥剂量控制

为了避免水泥剂量过低造成水稳基层承载力不足,或水泥剂量过高造成水稳基层开裂等问题,因此,对水泥剂量的控制也是大厚度水稳基层施工控制的重点。本文对施工过程中的水泥剂量进行了严格的检测,三次试验段的检测结果分别见表 4~6。从检测结果来看,三次试验段过程中水泥剂量的添加均在允许波动范围内,并且比较稳定,满足大厚度水稳基层质量控制要求。

表 4 第一次试验路水泥剂量滴定(EDTA)检测数值表

桩号及位置	锥形瓶号	滴定前读数	滴定后读数	EDTA (ml)	平均 (ml)	水泥剂量 (%)
K78+780 右	1	0.2	11.3	11.1	11.1	4.8
	2	11.3	22.4	11.1		
K78+835 右	1	0.7	11.9	11.2	11.2	4.8
	2	11.9	23.0	11.1		
K78+900 右	3	0.8	11.9	11.1	11.1	4.8
	4	11.9	22.9	11.0		
K78+931 右	1	22.9	34.3	11.4	11.3	5.0
	2	34.3	45.4	11.1		
K79+065 右	1	0.9	11.9	11.0	11.2	4.8
	2	11.9	23.2	11.3		

注:设计水泥剂量 5.0%,不小于设计值-1.0%

表 5 第二次试验路水泥剂量滴定(EDTA)检测数值表

桩号及位置	锥形瓶号	滴定前读数	滴定后读数	EDTA (ml)	平均 (ml)	水泥剂量 (%)
K85+420 右	1	0.1	10.8	10.7	10.9	4.6
	2	10.8	21.9	11.1		
K85+491 右	1	22.5	34.0	11.5	11.3	4.9
	2	34.0	45.1	11.1		
K85+580 右	1	22.6	33.2	10.6	10.9	4.6
	2	33.2	44.3	11.1		
K85+655 右	1	0.5	11.6	11.1	10.9	4.6
	2	11.6	22.2	10.6		
K85+850 右	1	0.8	12.2	11.4	11.2	4.8
	2	12.2	23.1	10.9		

表 6 第三次试验路水泥剂量滴定(EDTA)检测数值表

桩号及位置	锥形瓶号	滴定前读数	滴定后读数	EDTA (ml)	平均 (ml)	水泥剂量 (%)
K90+012	1	0.7	12.4	11.7	11.6	5.1
	2	11.8	23.3	11.5		
K90+025	1	11.0	22.3	11.3	11.4	5.0
	2	20.2	31.6	11.4		
K90+051	1	10.0	21.6	11.6	11.5	5.0
	2	22.4	33.8	11.4		
K85+089	1	0.9	12.2	11.3	11.4	5.0
	2	11.3	22.8	11.5		

(5)碾压控制

碾压工艺是本文研究的重点,主要是针对不同碾压设备的组合和碾压方式进行研究,本文大厚度水稳基层试验段施工压路机配置为:1台 13/17 t 的双钢轮+1台 32 t 的大吨位单钢轮+1台 37 t 的胶轮压路机。为了分析不同的碾压工艺对压实度、平整度等质量指标的影响,本文设计了三种碾压工艺,分别在不同的试验段进行试验,碾压工艺的设计如表 7~9 所示。

第一种基本属于传统的碾压工艺,只是采用了大吨位的 32 t 单钢轮压路机(传统通常为 26 t),大吨位压路机第一遍碾压时应采用前静后振的碾压方式,避免产生较大的拥包,见表 7。

表 7 第一次试验路碾压工艺参数表

压实遍数	压路机类型	碾压方式
第一遍	32 t 振动压路机	前静后振
第二遍	32 t 振动压路机	前振后振
第三遍	32 t 振动压路机	前振后振
第四遍	37 t 胶轮压路机	—

第二种碾压工艺采用了双钢轮,因为水稳基层过后,摊铺机的松铺厚度偏大,初始密度偏小,若直接采用大吨位的单钢轮压路机,初始压缩变形大,容易发生推移拥包。所以,采用吨位较轻的双钢轮,相当于提高初始摊铺压实度,减小大吨位压路机的压缩量,提高平整度。此外,本次减少了 32 t 振动压路机的遍数,见表 8。

表 8 第二次试验路碾压工艺参数表

压实遍数	压路机型号	碾压方式
第一遍	13/17 t 双钢轮压路机	前静后振
第二遍	32 t 振动压路机	前静后振
第三遍	32 t 振动压路机	前振后振
第四遍	37 t 胶轮压路机	—

第三种碾压工艺为了保证压实度和平整度均能达到理想的效果,不减少32 t振动压路机的遍数,同时在初始增加小吨位的双钢轮提高初始压实度基础上,也在胶轮碾压完毕后,再采用双钢轮进行收光,进一步提高大厚度水稳基层的平整度,而且双钢轮的碾压遍数少,前后调整灵活,见表 9。

表 9 第三次试验路碾压工艺参数表

压实遍数	压路机型号	要求压实度(%)
第一遍	13-17 t 钢轮压路机	前静后振
第二遍	32 t 振动压路机	前静后振
第三遍	32 t 振动压路机	前振后振
第四遍	32 t 振动压路机	前振后振
第五遍	37 t 胶轮压路机	前振后振
第六遍	13-17 t 钢轮压路机	前振后静

4 质量检测

根据大厚度水稳施工的经验,压实度和平整度是其质量控制的重点和难点,因此,本文主要针对不同碾压工艺下的压实度和平整度进行分析。

(1) 压实度

从压实原理来说压路机的激振力是随着压实层的深度增加而逐渐衰减的,所以,厚度越厚,压实层底部的压实功就越小,为了全面掌握大厚度水稳基层的压实效果,本文针对大厚度的上部、下部分别进行了压实度的检测。

第一次试验段的压实度检测结果如表 10 所示,从该压实度检测结果来看,采用该碾压工艺能满足压实度要求,同时其上下部的压实度比较接近,相差应 $\leq 1.2\%$,说明当混合料处于松散状态时压路机激振力有效传递到大厚度水稳基层底部。

表 10 第一次试验路压实度检测结果表

桩号及位置	最大干密度 (g/cm ³)	最佳含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	要求压实度 (%)	实测压实度 (%)
K78+810 右 8 m(上部)		4.3	2.494	4.7		105.9
K78+810 右 8 m(下部)		4.3	2.465	4.7		104.7
K78+930 右 6 m(上部)	2.354	4.3	2.452	4.5	98	104.2
K78+930 右 6 m(下部)		4.3	2.430	4.5		103.2
K79+050 右 9 m(上部)		4.3	2.459	4.6		104.5
K79+050 右 9 m(下部)		4.3	2.452	4.6		104.2

第二次试验段的压实度检测结果如表 11 所示,从表 11 可知,该碾压工艺虽然能满足规范要求,但其整体压实效果明显比第一次差,主要原因是其减少了32 t压路的遍数。同时其上下部压实度相差较大,最大达到了 4.2%,主要原因是为了提高平整度,初压采用小吨位双钢轮压路机,提高了上部的初始密实度,形成了“壳效应”,一定程度上影响了压路机的激振力有效传递。

表 11 第二次试验路碾压五遍后的压实度数值表

桩号及位置	最大干密度 (g/cm ³)	最佳含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	要求压实度 (%)	实测压实度 (%)
K85+450 右 7 m(上部)		4.3	2.372	4.31		100.8
K85+450 右 7 m(下部)		4.3	2.307	4.95		98.0
K85+600 右 6 m(上部)		4.3	2.376	4.39		100.9
K85+600 右 6 m(下部)	2.354	4.3	2.315	4.84	98	98.3
K85+755 右 7 m(上部)		4.3	2.408	4.19		102.3
K85+755 右 7 m(下部)		4.3	2.309	4.93		98.1
K85+835 右 5 m(上部)		4.3	2.406	4.31		102.2
K85+835 右 5 m(下部)		4.3	2.307	4.92		98.0

第三次试验段的压实度检测结果如表 12 所示,从该压实度检测结果来看,该碾压工艺压实度检测结果满足规范要求,其上部压实度和第一次比较接近,说明增加双钢轮压路机对于压实度贡献不大,而下部压实度较第二次有了明显提高,上下压实度差 $<2.0\%$ 。

表 12 第三次试验路碾压五遍后的压实度数统计表

桩号及位置	最大干密度 (g/cm ³)	最佳含水量 (%)	干密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	要求 压实度 (%)	实测 压实度 (%)
K90+017 右 7 m(上部)		4.3	2.463	4.19		104.6
K90+017 右 7 m(下部)		4.3	2.406	4.31		102.2
K90+042 右 3 m(上部)		4.3	2.425	4.21		103.0
K90+042 右 3 m(下部)		4.3	2.380	4.33		101.1
K90+068 右 9 m(上部)	2.354	4.3	2.437	4.18	98	103.5
K90+068 右 9 m(下部)		4.3	2.402	4.28		102.0
K90+093 右 5 m(上部)		4.3	2.433	4.20		103.4
K90+098 右 5 m(下部)		4.3	2.386	4.31		101.4

(2) 平整度

由于大厚度水稳基层的松铺厚度大,压缩量大,而且采用大吨位压路机,因此,平整度控制是其施工质量控制的难点。本文对现场平整度检测进行统计,得出不同试验段的平整度检测情况如表 13 所示。

表 13 不同试验段平整度检测结果统计表

检测段落	检测尺数	不合格尺数	合格率(%)
第一次试验段	60	17	71.7
第二次试验段	130	22	83.1
第三次试验段	30	1	96.7

从该检测结果来看,第一次试验段平整度控制水平最差,主要是由于没有使用双钢轮进行初压,

因为摊铺机松铺后混合料的松铺密度较小,直接采用大吨位的压路机会造成初始压缩量大,同时容易造成松铺混合料推移、拥包,所以导致平整度控制偏差。

第二次试验段平整度控制水平明显得到改善,主要原因是增加了小吨位的双钢轮压路机进行初压,使得大吨位压路机碾压前,铺面的松铺密度大幅提高,铺面对大吨位推移拥包的抵抗能力增强,所以明显提高了平整度的控制水平。

第三次为了进一步提高平整度的控制水平,增加了收光的双钢轮压路机,从平整度的检测结果来看,收光的效果比较明显,说明双钢轮收光可以有效处理胶轮碾压完后的轮迹和压路机停机处的小拥包。

5 结语

通过对大厚度水稳基层不同碾压工艺的对比研究,可以得出如下结论:

(1)大厚度水稳基层施工应配置相应大功率、大吨位的摊铺、碾压等机械设备,应至少配置碾压设备包括:13/17 t双钢轮压路机 1 台、32 t大吨位单钢轮压路机 1 台、36 t以上胶轮压路机 1 台。

(2)大厚度水稳施工不能采用常规厚度施工的小吨位压路机,32 t大吨位单钢轮压路机对大厚度水稳基层压实贡献较大,为保证压实度的质量控制合格,至少满足其碾压 3 遍以上,其中第一遍为前静后振。

(3)双钢轮压路机可以有效提高大厚度水稳基层的平整度控制水平,采用其初压可以提高铺面的初始压实度,减少大吨位压路机造成推移拥包现象;采用其进行收光可以有效消除胶轮轮迹和压路机的停机造成的小拥包。

(4)对于 >36 cm厚的大厚水稳基层一次摊铺碾压成型,建议采用文中的第三种碾压工艺,利用大吨位单钢轮压路机在保证压实度合格的基础上,可采用小吨位双钢轮压路机提高平整度质量。●

(下转第 66 页)

注意施工开始过程中参数的设定,需要精确调试,以保证钢筋笼箍筋的间距和焊接质量。

5 使用效果分析

通过使用数控钢筋笼成型机进行钢筋笼加工,不但实现了工厂化和自动化生产程度,优化了施工工艺,提高了产品质量和工效,还极大地节约了成本,具有很好的推广价值。

以加工本项目六坡大桥下构 14 号墩柱钢筋笼为例子。该墩柱长 21 m,直径 1.5 m。

(1)采用传统人工加工及时间为:骨架加工及安装需要 8 个工人工作 3 h;箍筋加工及安装要 2 h。而采用数控钢筋笼成型机进行钢筋笼加工后,所用人工及时间为:人工为 3 人,完成时间为 1 h。由此可见工效提高了 7 倍。

(2)质量方面:传统人工加工钢筋存在主筋间距、螺旋筋间距误差大;钢筋不顺直等质量通病。而采用数控钢筋笼成型机作业,主筋间距及螺旋筋间距误差小,主筋顺直不变形,螺旋筋及箍筋点焊采用自动二氧化碳保护焊,焊接质量能够保证,在运输过程中不变形。

(3)成本方面:从时间方面算,时间减少了两个小时,人工减少了 7 倍,节约了成本。

但目前该设备尚存在一定的缺陷,有待进一步改进。(1)主筋的上口弯钩需要在笼体成型后用专用液压钳弯制,设备本身无法直接完成;(2)加强箍筋的焊接组装需要单独增加设备配件,或由人工完成。

6 结语

数控机床制作钢筋笼,使得钢筋笼的加工基本上实现机械化和自动化,减少了人工加工各个环节的工艺时间和配合偏差,大大提高了钢筋笼成型的质量和效率,为钢筋笼的集中制作、统一配送提供了良好的技术和物质基础。同时,数控钢筋笼成型机的使用大大减轻了操作人员的劳动强度,为项目创造了良好的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]范立础.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [2]李 建.探析数控机床机械技术加工效能的提高[J].中国科技信息,2014(16):151-152.
- [3]陈新亚.数控机床及加工中的新技术[J].河南机电高等专科学校学报,2006(2):6-7,33.

收稿日期:2016-10-22

(上接第 17 页)

参考文献

- [1]范文东.整体性基层水泥稳定碎石使用研究[D].西安:长安大学,2012.
- [2]李定伦,罗 竟,邓廷权,等.大厚度水泥碎石基层铺筑方式的应用研究[J].公路工程,2015(5):204-207.
- [3]李炜光,范文东,韩 庆.大激振力作用下厚层水稳碎石压实特性研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程

版),2011(2):241-245.

- [4]李炜光,范文东,韩 庆,等.整体性基层水泥稳定碎石结构使用现状研究[J].公路,2011(9):38-42.
- [5]龚起超,钟 凯.大厚度水泥稳定碎石基层压实特性研究[J].公路工程,2012(6):222-223.
- [6]肖世品.厚层水泥稳定碎石基层压实机理及路用性能研究[D].西安:长安大学,2009.

收稿日期:2016-10-22