

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.05.008

# 大厚度水泥稳定碎石基层双层连续摊铺技术应用研究

苏敏

(广东省高速公路有限公司,广东 广州 510420)

**摘要:**结合广东省某高速公路连接线大厚度(36 cm)水泥稳定碎石基层采用双层连续摊铺技术的实例,通过设计并铺筑4种不同技术措施的路段,对双层连续摊铺施工过程中的路段长度、层间黏结、碾压工艺及质量检测等关键问题进行对比试验和分析,最后根据对比施工路段的检测结果,提出施工建议。

**关键词:**大厚度水泥稳定碎石基层;双层连续摊铺技术;层间黏结;施工技术;质量控制

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

## 0 引言

水泥稳定碎石基层因具有板体性强、强度高、水稳定性好,且料源丰富、造价低、施工速度快等特点,已成为中国高等级公路中最主要的基层材料<sup>[1]</sup>。对于沥青路面结构,水泥稳定类基层的厚度通常较厚,达到36~60 cm。由于施工技术、施工机械性能的限制,通常都采取分层摊铺、分层碾压成型、分层养生的施工方式,即先摊铺下层的混合料、碾压成型、养生,待养生结束后再摊铺上层混合料,碾压、养生。很明显,这种施工方式需要进行两次持续时间较长的养生,工期较长,且由于上层混合料是摊铺在已经完成养生的、表面平整的下层板体上,两层之间的黏结状态较差。基层间的这种接触状态与在路面结构设计时假定的完全连续状态不同,致使路面结构在行车荷载作用下的荷载效应大于计算值,使路面的实际使用寿命低于预期,影响其耐久性。近年来,双层连续摊铺工艺由于减少了一次养生工序,可以有效缩短工期、节约施工造价,且能使基层具有良好的整体性,因而在基层施工中逐步得到了应用<sup>[2-3]</sup>。

针对广东省某高速公路连接线改扩建工程任务重、工作面窄、工期紧的实际困难,采用双层连续摊铺技术进行厚层水泥稳定碎石混合料的施工,并通过对比不同层间措施、不同间隔时间对施工质量的

影响,提出双层连续摊铺的施工技术及质量控制技术,既保证了工期,又提高了施工质量。

## 1 技术准备

### (1) 原材料选择

水泥选用P.O42.5水泥。集料为井坑石场生产的普通碎石,其技术性能见表1。水泥、集料均满足《沥青路面施工技术规范》(JTGF40—2004)的要求<sup>[4]</sup>。

表1 集料的技术性能

集料	集料粒径/mm	针片状含量/%	压碎值/%	含泥量/%	塑性指数
石屑	0~4.75	—	—	—	11
	4.75~9.5	8.7	—	0.7	—
碎石	9.5~19	11.1	16.4	0.3	—
	19~26.5	9.8	—	0.3	—
技术指标要求		≤20	≤26	—	≤12

### (2) 混合料配合比设计

水泥稳定碎石混合料级配采用骨架密实型级配并提高粗集料含量。为减少离析,按“S”形曲线进行级配调整,3个关键筛孔(4.75 mm、2.36 mm、0.075 mm)的通过率尽量靠近规范推荐级配的下限,控制0.075 mm筛孔的通过率约为3%,通过调整,最终确定所用集料比例为:(19~26.5 mm)碎石:(9.5~19

收稿日期:2023-07-21(修改稿)

基金项目:广东省高速公路有限公司项目(编号:2019-KT5)

作者简介:苏敏,男,硕士,高级工程师.E-mail:88945116@qq.com

mm)碎石:(4.75~9.5 mm)碎石:(0~4.75 mm)石屑=20:33:12:35。参照《沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)<sup>[4]</sup>,分别配制水泥剂量为5%、5.5%、6%的3种混合料,振动压实成型 $\phi 150\text{ mm}\times 150\text{ mm}$ 圆柱体试件,通过无侧限抗压强度试验,确定水泥掺量为5.0%,混合料最大干密度为 $2.292\text{ g/cm}^3$ ,最佳含水量为5.40%,强度代表值为6.9 MPa。

为了确定水泥稳定碎石混合料从首车出料到摊铺碾压完成的合理路段长度,分别按摊铺后立刻压实、摊铺后闷料1~5 h再压实等不同条件成型标准试件<sup>[5]</sup>,得到相应的强度随延迟时间的变化关系见表2。根据水泥稳定碎石混合料的设计强度标准值不小于5.0 MPa的要求,确定施工的容许延迟时间为不大于5 h。

表2 容许延迟时间试验结果

时间	强度代表值/MPa	平均值/MPa	变异系数/%
立刻压实	6.9	8.0	8.21
闷料1 h再压实	6.6	7.7	8.53
闷料2 h再压实	6.4	7.2	7.09
闷料3 h再压实	6.1	7.1	8.34
闷料4 h再压实	5.9	7.0	9.20
闷料5 h再压实	5.6	6.5	8.10

### (3) 机械设备配置

施工机械的合理配置是确保双层连续摊铺施工质量的关键,参考类似工程的施工经验<sup>[6-10]</sup>,本试验段所配备的主要施工机械见表3。

表3 施工机械配置

机械名称	型号/规格	数量	状况
稳定土拌和楼	徐工WBC800型	1座	良好
稳定土摊铺机	中大DT-2100	1台	良好
单钢轮压路机	中联26 t	1台	良好
单钢轮压路机	中大power YZ39 t	1台	良好
胶轮压路机	宝马30 t	1台	良好
双钢轮压路机	宝马13 t	1台	良好
洒水车	10 m <sup>3</sup>	2台	良好
自卸车	50 t	12台	良好

## 2 试验段概况及试验方案

试验段位于连接线的左半幅,桩号为LK0+760~LK1+080,全长320 m,路面宽度15 m,在已通

过验收的底基层(20 cm)上还设计有两层水泥稳定碎石基层:18 cm上基层+18 cm下基层,总厚度为36 cm。

双层连续摊铺时需探讨的问题:①上/下基层摊铺的合理时间间隔;②如何提高上/下基层间的层间黏结强度。将试验段分成4小段,不同的时间间隔通过每段双层铺筑施工段落长度控制,不同层间黏结强度通过洒水和洒水泥浆的方式控制。

工作面摊铺碾压长度按容许延迟时间进行控制,即混合料拌和、出料、运输、摊铺到碾压完成所需时间不超过5 h。经过试验段试拌试铺确定工作面长度(表4)。由水泥初终凝时间(230 min)和强度与延迟时间的关系,可知工作面1施工长度满足初凝时间要求,工作面2、3满足终凝时间(375 min)要求,且都满足容许延迟时间不超过5 h的要求。

表4 试验路段摊铺方案

工作面	施工桩号	段落长度/m	首车出料至双层摊铺完成所用时间/h	层间处理措施
1	LK0+760~LK0+810	50	3	洒水
2	LK0+810~LK0+890	80	5	洒水
3	LK0+890~LK0+970	80	5	洒水泥浆
4	LK0+970~LK1+080	110	8	洒水

## 3 施工工艺

水泥稳定碎石混合料基层的双层连续摊铺与普通摊铺的最大区别在于只需进行一次养生,减少了一次养生时间,从而缩短建设工期。因此,其施工工艺大部分类似于普通水泥稳定碎石混合料的施工工艺。保证其施工质量的关键在于正确把握两层摊铺碾压的时间间隔、采取合理措施加强上下两层间的结合、上层摊铺碾压时不致破坏已碾压成型的下层。本文主要介绍与普通水泥稳定碎石混合料施工间的不同之处。

### (1) 下基层碾压方式

下层混合料摊铺后,即可进行碾压成型。由于还要摊铺上层,且为了增强上、下层之间的黏结效果,下层碾压密实后不需终压收光轮迹。可采用的碾压工艺为:①初压:采用26 t的单钢轮压路机静压

1遍,并横扫碾压(速度控制为1.5~1.8 km/h);②复压:26 t单钢轮压路机大振碾压5遍,前进的时候在初压阶段原横扫的位置再横扫一遍(速度控制为1.5~1.8 km/h)。碾压完成后,立即检测压实度。

#### (2) 铺筑上基层前洒水/水泥浆

在进行上基层摊铺前,应采用洒水车对下基层表面洒水,使其保持湿润状态,以增强上、下基层间的黏结。为了对比不同层间处理方式时的上、下层间的黏结效果,在工作面3上改为喷洒水泥浆,水泥浆用量及其水灰比根据已有工程经验定为 $0.385\text{ g/cm}^3$ 及1.5:1。

#### (3) 上基层铺筑与压实

下基层摊铺压实至拟定的长度后,摊铺机应立即返回至起点,开始上基层的摊铺。由于运料车是在刚摊铺碾压完成的下基层上行驶,所以最好是倒进,不要在刚铺好的下基层上掉头,避免急刹车,以免破坏刚碾压成型下的基层。

上基层的碾压组合为:①初压:采用单钢轮压路机(26 t)静压1遍,并横扫碾压(速度为1.5~1.8

km/h);②复压:单钢轮压路机(26 t)大振碾压5遍,前进的时候在初压阶段原横扫的位置再横扫一遍(速度为1.5~1.8 km/h);③终压:采用轮胎压路机(30 t)和双钢轮压路机(13 t)交替静压2遍(控制速度为2.5~3.0 km/h)。

上基层压实后应立即测量压实度与平整度,须保证整个基层的压实度与平整度均能达到规范要求。

#### (4) 养生

碾压完成后,必须在24 h内把透层、下封层做好,靠混合料自身水量养护。对已完成碾压并经压实度检测合格后应立即进行养生,不能延误。养生期不应小于7 d,且养生期间禁止车辆在其表面行驶。

## 4 施工效果检测及分析

### (1) 压实度及平整度

各层碾压完成后,按照《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)<sup>[4]</sup>对其进行压实度和平整度的检测,结果见表5。

表5 压实度及平整度测试结果

工作面	桩号	下基层				上基层			
		压实度/%	厚度/cm	平整度		压实度/%	厚度/cm	平整度	
				平均值/mm	合格率/%			平均值/mm	合格率/%
1	LK0+770	98.7	17.7	6.2	80	99.3	17.6	6.2	80
2	LK0+850	98.2	17.5	5.3	80	99.7	17.9	5.9	90
3	LK0+920	99.7	17.9	5.9	80	100.2	17.5	5.9	80
4	LK1+020	97.9	18.2	5.0	90	99.6	18.1	4.7	100

从表5可以看出:采用双层连续铺筑技术施工的上、下基层的压实度与平整度均能满足规范要求。

#### (2) 基层的整体性

采用双层连续摊铺技术的目的之一在于消除以往分层施工中存在的层间分离现象。为此,在上基层压实结束后,采用人工挖试坑的方法对上、下基层交界面的黏结情况进行观测,结果表明上、下基层层间未出现明显分层,黏结情况良好。养生结束后,钻芯取样,钻至下基层底部,发现:上层芯样、下层芯样均完整、密实;但是,未喷洒水泥浆的工作面取出的芯样上、下层间已断裂分离,难以取出完整的芯样;而喷洒水泥浆的工作面3可以取出完整的芯样(图

1)。说明喷洒水泥浆可以增强上、下层之间的黏结性,提高其整体性。因此,即使采用双层连续摊铺技术,仍然建议层间洒布水泥浆,以确保层间的良好黏结效果。



(a) 界面洒水



(b) 界面洒布水泥浆

图1 不同位置处的钻芯芯样

### (3) 抗压强度

将在试验路所取的芯样切割成  $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  的标准试件,测试其无侧限抗压强度,试验结果如图 2 所示。

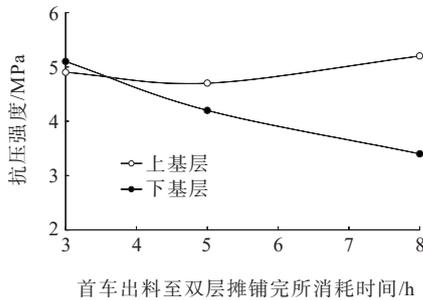


图 2 芯样无侧限抗压强度试验结果

由图 2 可以看出:随着双层摊铺施工段落长度的增大,首车出料至双层摊铺完所用时间越长,上下基层摊铺的时间间隔越长,下基层芯样强度随上、下基层摊铺时间间隔的增大而降低。当上基层摊铺碾压在下基层混合料水泥终凝之前完成时,下基层芯样的强度均能满足不小于 4 MPa 的要求;而当上基层摊铺碾压工作在下基层混合料水泥终凝之后进行时,下基层强度降低较大。其原因在于:碾压成型但未进行养生的下基层尚处于半稳定状态,在上基层碾压激振力的作用下,下基层混合料易出现一定的位移和变形,使水泥早期水化、凝结产生的水化产物及其结构被破坏,胶结作用减弱,导致下基层的强度降低。因此,采用双层连续摊铺技术时,每个施工段落的长度应该是自首车出料至段落施工完成之间的时间间隔不超过水泥的终凝时间,对于本工程而言,施工段落的长度为 80 m。

### (4) 层间性能

采用室内单面直剪试验与直接拉拔试验对双层水泥稳定碎石基层界面强度进行研究<sup>[11-13]</sup>。所取芯样来自工作面 2、3。试验结果见表 6。

表 6 不同层间处理方式剪切试验及拉拔试验结果

芯样来源	抗剪强度			拉拔强度		
	平均 值/kPa	变异系 数/%	代表 值/kPa	平均 值/kPa	变异系 数/%	代表 值/kPa
工作面 2 (洒水)	80.5	8.7	77.2	20.5	10.4	17.5
工作面 3 (洒水泥浆)	111.5	8.6	108.1	51.6	9.6	48.8

由表 6 可知:洒水泥浆的芯样的层间抗剪强度比洒水芯样的层间抗剪强度提高了 40.02%,层间拉拔强度提高了 178.86%。说明采取洒水泥浆的方式可以大幅提高层间抗剪强度和拉拔强度。

## 5 结论

(1) 采用双层连续铺筑技术铺筑水稳碎石基层压实度、平整度能够符合规范要求。

(2) 在上、下基层的界面喷洒水泥浆可以大幅提高层间的黏结强度、抗剪强度、拉拔强度,提高基层整体性。

(3) 每段水泥稳定碎石基层双层连续铺筑的施工段落长度由容许延迟时间控制,即自首车出料至段落施工完毕消耗的时间不超过 5 h。

## 参考文献:

- [1] 兰伟伟.高速公路半刚性基层沥青路面的耐久性影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2020,16(9):131-133.
- [2] 平国超.水泥稳定碎石基层双层连续摊铺施工工艺与质量控制[D].天津:河北工业大学,2014.
- [3] 杜茜.大厚度水泥稳定碎石基层施工控制要点[J].山西建筑,2017,43(34):156-158.
- [4] 交通部公路科学研究所.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2005.
- [5] 吕会,庄园.水泥稳定混凝土再生骨料在干线公路基层中的应用[J].中外公路,2017,37(6):288-292.
- [6] 王斌.水泥稳定碎石两层连铺施工关键技术研究[J].黑龙江交通科技,2017,40(1):61,63.
- [7] 王选仓,王吉昌,杨育生,等.沥青路面双层摊铺与传统摊铺等效厚度转换试验研究[J].公路交通科技,2014,31(1):21-25.
- [8] 任福松,傅志强.双层连续摊铺水泥稳定碎石基层[J].交通标准化,2010(Z1):163-166.
- [9] 王军.厚层水泥稳定碎石基层分层连续施工技术研究[D].西安:长安大学,2015.
- [10] 杨磊.双层水泥稳定碎石基层连续摊铺工艺[J].交通世界,2013(21):158-159.
- [11] 易祥军.基于多目标加权的水泥混凝土桥面防水材料优选[J].中外公路,2020,40(3):298-302.
- [12] 贾进,甘孟松.考虑界面状态的复合式路面层间黏结性能研究[J].中外公路,2018,38(5):73-78.
- [13] 万田宝.水泥稳定钢渣碎石基层力学特性及微观分析[J].中外公路,2023,43(3):248-252.