

水泥稳定全深式就地再生基层适应性的探讨

拾方治^{1,2}, 陈亚雄¹, 刘端阳³, 李秀君¹

(1. 上海理工大学 环境与建筑学院 上海 200093; 2. 嘉兴市高新交通技术测评研究院 嘉兴 314001;

3. 浙江省嘉兴市公路管理局 嘉兴 314001)

摘要: 针对水泥稳定全深式就地再生基层,设计4种旧沥青面层与半刚性基层铣刨料掺配比例方案,通过室内试验与工程现场试验,对水泥稳定全深式就地再生基层厚度与旧沥青面层掺量的关系进行了探讨.研究表明:当原路面基层顶面弯沉值大于100(0.01 mm),旧沥青面层占再生基层质量比例低于27%时,全深式就地再生基层的厚度应控制在18~25 cm;当原路面基层顶面弯沉值在80~100(0.01 mm),旧沥青面层占再生基层质量比例在27%~50%时,全深式就地再生基层的厚度应控制在15~22 cm.根据旧沥青面层掺量对水泥稳定全深式就地再生基层的厚度进行控制,保障再生基层质量.

关键词: 水泥稳定; 全深式就地再生基层; 旧沥青面层掺量; 适应性; 再生层厚度

中图分类号: U 416.217

文献标志码: A

Adaptability of Cement Stabilized Full-Depth in Situ Regeneration Base

SHI Fangzhi^{1,2}, CHEN Yaxiong¹, LIU Duanyang³, LI Xiujun¹

(1. School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Jiaxing Hi-tech Communication Evaluation Institute, Jiaxing 314001, China;

3. Highway Administration Bureau of Jiaxing City in Zhejiang Province, Jiaxing 314001, China)

Abstract: Four kinds of programs for mixing the old asphalt layer and semi-rigid base milling material were designed for the cement stabilized full-depth in a situ regeneration base. Through indoor and engineering field tests, the relationships between the thickness of the cement stabilized full-depth in the situ regeneration base and the content of old asphalt layer were discussed. The results show that when the deflection of the original pavement base is greater than 100(0.01 mm) and the mass ratio of the old asphalt layer over the regeneration base is less than 27%, the thickness of full-depth in the situ regeneration base should be controlled between 18 cm and 25 cm. While the deflection of the original pavement base varies from 80(0.01 mm) to 100(0.01 mm) and the mass ratio of the old asphalt layer over the regeneration base is between 27% and 50%, the thickness of full-depth in the situ regeneration base should be controlled between 15 cm and 22 cm. According to the content of the old asphalt layer, the thickness of the cement stabilized full-depth in the situ regeneration base can be controlled and the regeneration base quality can be ensured.

收稿日期: 2016-11-07

基金项目: 浙江省公路管理局科技计划(2016-8-12)

第一作者: 拾方治(1977-),男,高级工程师.研究方向:道路工程管理. E-mail:18472689@qq.com

Keywords: *cement stabilized; full-depth in situ regeneration base; content of old asphalt layer; adaptability; thickness of regeneration layer*

随着我国公路交通的快速发展,目前,许多公路尤其数量众多的低等级公路进入大修改造期,这样就会面临沥青面层和基层如何合理处理的问题.当前我国相当比例的公路由于沥青面层较薄,加之超期服役,沥青面层老化严重,将这些公路的沥青面层和基层材料分开铣刨进行再生利用,不仅增加铣刨成本和运输成本,而且由于路面损坏严重,很难将沥青面层和基层彻底分开,沥青面层单独再生利用的难度较大.采用水泥稳定的全深式路面就地再生基层技术将老化严重公路的沥青面层和基层(或部分基层)一并铣刨后与水泥就地拌和加以再生利用,实现了非开挖式一次性施工,施工速度快,交通干扰小,节省了材料和运费,成本较低,非常适合低等级公路的快速改造和养护维修,因此,这种方法已成为工程应用研究的热点课题.

水泥稳定全深式就地再生基层的适应性受到旧沥青面层与半刚性基层质量比、原路面承载力状况、再生层厚度等多种因素^[1-3]的影响,国内外的研究大多偏重于再生材料的强度机理分析,缺少工程应用的适应性研究,尚无可以直接指导施工的参考标准.本文针对原路面弯沉值(承载能力)和原路面面层与基层质量比的不同,通过室内试验控制旧沥青面层掺量,室外试验控制旧沥青面层与半刚性基层质量比和再生厚度,研究不同影响因素之间的关系,

提出合理的再生基层厚度范围,从而为全深式就地再生基层的推广应用提供参考.

1 室内试验

1.1 原材料性能分析

本文料源来自桐乡市X811乌塍线沥青路面,选取水泥稳定碎石为基准半刚性材料,试验设计4种旧沥青面层与半刚性基层质量比的再生混合料,质量比分别为0:100,27:73,40:60,50:50,其合成级配组成符合《公路沥青路面再生技术规范》(JTG F41—2008)中1号级配的要求,具体筛分结果如表1所示.对旧沥青面层与半刚性基层不同质量比的再生集料进行了压碎值试验,压碎值结果如表2所示.旧沥青面层经抽提后计算得到油石质量比为3.6%,水泥采用强度等级为42.5的普通硅酸盐水泥,添加的水为饮用水.

从试验结果来看,随着旧沥青面层掺量的增加,19~2.36 mm粒径的通过率逐渐减小,因为面层材料经再生机铣刨后主要以包裹着沥青的集料和旧沥青颗粒存在,面层的沥青混凝土材料有沥青包裹不易破碎成粉料;而2.36 mm以下各筛孔通过率随旧沥青面层掺量的增加而减少,这部分细集料主要为破碎后的半刚性基层材料.

表1 再生混合料的合成级配
Tab.1 Gradation of regeneration mixtures

旧沥青面层与半刚性基层质量比	通过下列筛孔(mm)的百分率/%							
	31.5	26.5	19	9.5	4.75	2.36	0.6	0.075
0:100	100.0	95.5	82.0	61.6	42.1	30.8	10.4	2.2
27:73	100.0	94.3	78.9	58.0	40.4	27.4	16.1	2.6
40:60	100.0	92.2	80.5	57.3	38.1	22.4	17.3	3.2
50:50	100.0	94.1	83.2	53.2	33.3	19.8	20.3	4.8
级配范围	100	90~100	72~89	47~67	29~49	17~35	8~22	0~7

表2 再生集料的压碎值
Tab.2 Crushing value of regeneration aggregates

旧沥青面层与半刚性基层质量比	0:100	27:73	40:60	50:50
压碎值/%	21.14	19.16	18.43	16.82

压碎值试验结果也说明了这个原因,未完全老化的沥青仍具有一定的粘结性.沥青相当于弹簧体包裹着集料,减缓了内部集料在荷载作用下的压力,

导致沥青混凝土在压力机荷载作用下不易分离破碎;并且一部分被压碎的集料与未完全老化的沥青在压力作用下又嵌挤在一起,形成了粘结料,构成的粒径大于碎石单独存在的粒径.因此,随着旧沥青面层掺量的增加,再生集料压碎值减小.

1.2 最大干密度与最佳含水量

本文按5%(质量掺量)的水泥剂量,根据公路

工程无机结合料设计^[4]的步骤进行击实试验,获得含水量-干密度关系曲线,确定最佳含水量与最大干密度.试验结果如表3所示.

表3 再生混合料击实试验结果

Tab.3 Compaction test results of regeneration mixtures

旧沥青面层与半刚性基层质量比	最大干密度/(g·cm ⁻³)	最佳含水量/%
0:100	2.136	7.8
27:73	2.112	7.0
40:60	2.095	6.5
50:50	2.037	5.9

由表3标准击实试验结果可以看出,随着旧沥青面层掺量的增加,混合料的最佳含水量和最大干密度均逐渐减小.这主要是因为沥青对集料的裹覆阻碍了集料对水分的吸收,游离在集料之间的水分增多,混合料吸收的水分减少,导致混合料的最佳含水量呈现降低趋势;相同体积混合料裹覆沥青集料的含量越高质量越小,最大干密度也随之减小.因此,再生基层施工中沥青层较厚时,施工用水量应该予以降低,在全基层铣刨料基础上,旧沥青面层与半刚性基层质量比增加10%,混合料的用水量应减少0.5%左右.

1.3 强度与模量

根据击实结果确定最佳含水量和最大干密度,水泥剂量(质量掺量)为5%,通过静压法成型150 mm×150 mm的圆柱体试件.养护温度为20℃,相对湿度为96%,经过不同龄期(0~28 d)的养护后,室内试验温度为20℃,测试无侧限抗压强度、劈裂强度和抗压回弹模量,试验结果如图1~4所示.

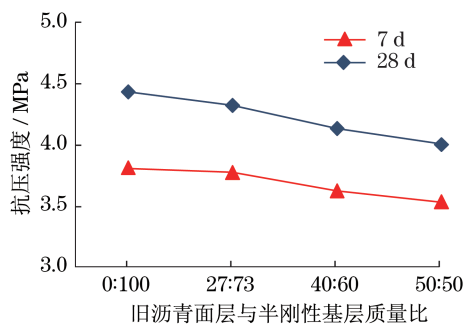


图1 旧沥青面层掺量对抗压强度的影响

Fig.1 Effect of the content of old asphalt layer on the compressive strength

由图1~2可知,随着旧沥青面层掺量的增加,再生混合料的抗压强度和劈裂强度逐渐降低.这主

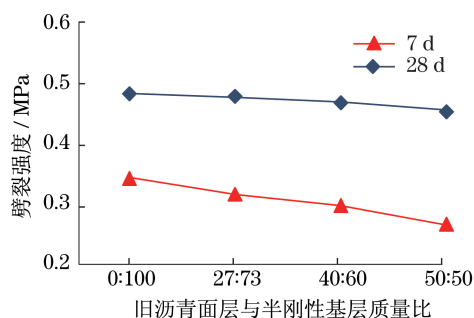


图2 旧沥青面层掺量对劈裂强度的影响

Fig.2 Effect of the content of old asphalt layer on the splitting strength

要是由于未完全老化的旧沥青阻碍了集料之间的水泥水化反应^[5-7],沥青与集料在常温条件下不能产生胶结作用,因此降低了混合料的致密性,对水泥稳定再生料的强度形成产生较大影响.其次,原沥青面层中沥青材料由大功率再生设备铣刨破碎后,剥落的沥青颗粒和裹覆沥青的集料与相同粒径的旧半刚性基层中的石料相比,其颗粒组成不同,一定荷载条件下,使旧沥青与旧集料之间的界面发生破坏,降低了混合料的强度.从强度的降低幅度来看,旧沥青面层掺量由27%增加到40%时,抗压强度降低幅度最大,劈裂强度基本保持线性降低,这说明旧沥青面层掺量超过27%时,对再生混合料的抗压强度影响较大.

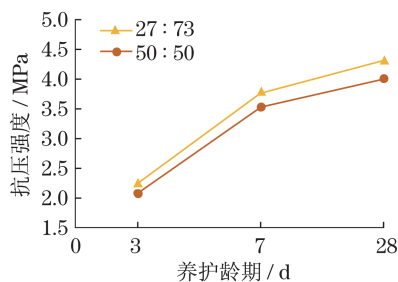


图3 试件养护龄期对抗压强度的影响

Fig.3 Effect of the curing period on the compressive strength

从图3可以看出,随着养护龄期的增长,不同旧沥青面层与半刚性基层质量比的再生混合料强度增长规律基本一致.3~7 d的强度增长幅度较大,7~28 d的强度增长幅度较小,这与水泥强度形成的时期有关.随着水泥水化等反应的进行,胶结料不断生成,再生集料颗粒之间联结性能和结构致密性逐渐加强,7 d以内是水泥稳定再生混合料强度形成的主要时期.

从图4可以看出,养护龄期为7 d和28 d,旧沥

青面层掺量增加,再生混合料的回弹模量呈降低趋势.旧沥青面层含量低于40%时,再生集料的回弹模量有所降低,但材料的柔性增大,有助于提高水泥稳定再生基层的收缩变形能力^[8-9].旧沥青面层掺量高于40%时,回弹模量降低幅度较大,水稳再生基层抗压变形能力较差.

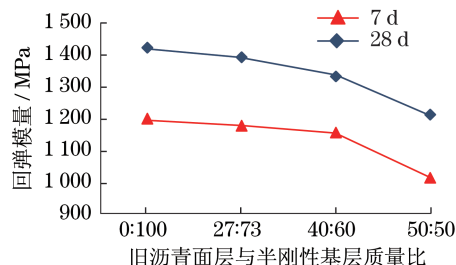


图4 旧沥青面层掺量对回弹模量的影响

Fig.4 Influence of the content of old asphalt layer on the resilience modulus

2 工程应用

2.1 再生方案

再生混合料的室内试验指标满足路用性能后,本文在浙江省桐乡市 X811 乌膝线大中修工程中选取若干试验路段,对旧沥青混凝土 4 种掺量方案进行了施工验证.原路面主要存在块状裂缝、龟裂、坑

槽和松散等病害,路面结构为 5~13 cm 沥青面层 + 18~25 cm 水泥稳定碎石基层 + 宕渣层,各标段内的结构层厚度不一致.试验段内通过控制旧沥青面层掺量分别对应铺筑不同厚度的再生基层,旧沥青面层与半刚性基层质量比与室内试验质量比保持一致,分别为 0:100,27:73,40:60,50:50,再生基层厚度分别控制在 25,22,18,15 cm.采用纯基层就地再生的方案,首先将原路面沥青面层全部铣刨掉,再对基层分别进行不同厚度的就地再生;采用含沥青层就地再生的方案,将沥青面层与不同厚度的基层进行不同厚度的就地再生,每种掺配方案试验路段为 50 m.在再生基层完成后加铺沥青面层,旧路面结构和再生后新路面结构如图 5 所示.再生试验路段施工设备采用维特根 WR2500S 就地冷再生机 1 台,自行式平地机 1 台,单钢轮振动压路机 1 台(净重 25 t),胶轮压路机 1 台(净重 22 t),洒水车 2 台.

2.2 压实度

施工日内对不同方案的再生基层试验段进行压实度检测,本文按照《公路土工试验规程》(JTGE40—2007)中灌砂法进行试验,压实度值为现场压实后的再生基层干密度与坑内混合料标准最大干密度之比,试验结果如表 4 所示.

从压实度试验结果来看,随着旧沥青面层掺量

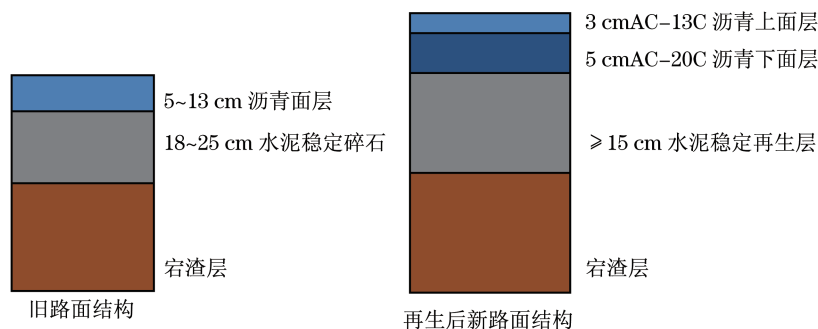


图5 路面结构设计

Fig.5 Design of the pavement structure

表4 再生层压实度试验结果

Tab.4 Compactness test results of the regeneration layer

旧沥青面层与半刚性 基层质量比	不同厚度(cm)再生层的压实度/%			
	25	22	18	15
0:100	99.6	98.8	98.7	99.4
27:73	98.3	98.5	98.5	98.9
40:60	97.6	97.9	98.5	98.6
50:50	96.5	97.3	98.4	97.7

的增加,再生混合料的压实度逐渐减小.当旧沥青面层掺量低于40%、再生层厚度在25 cm以内时,再生层厚度对再生基层压实度基本无影响;当旧沥青面层掺量在40%~50%,再生层厚度对压实度影响较大,旧沥青面层掺量为50%,再生层厚度为25 cm条件下的压实度已小于97%(三级公路再生基层压实度设计要求).

2.3 弯沉值

本文为评价基层最适宜的再生厚度,在再生基

层施工前和完成养护 7 d 后,根据《公路工程质量检验评定标准》(JTGF80/1—2004),对不同方案试验路的基层顶面采用贝克曼梁法进行弯沉试验,测试车采用后轴 10 t 双侧 4 轮标准轴载 BZZ-100 的自卸货车,试验结果如图 6 所示.

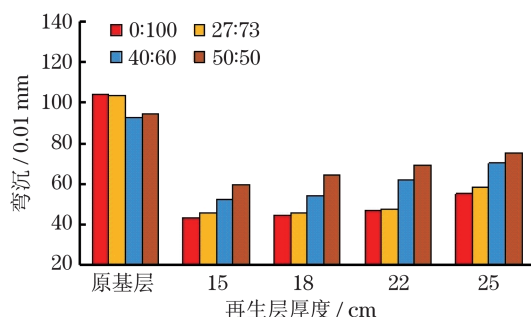


图 6 再生基层顶面弯沉试验结果

Fig.6 Deflection test results of the regeneration base

从弯沉试验结果来看,经过水泥稳定全深式就地再生后,使用全基层铣刨料再生厚度为 15 cm 的原路面弯沉降低幅度最大,降低了 58%,再生层厚度为 25 cm 的原路面弯沉降低了近 47%;旧沥青面层掺量为 50%,再生厚度为 15 cm 的原路面弯沉降低了近 37%,再生层厚度为 25 cm 的原路面弯沉降低了 20%.因此,再生混合料中旧沥青面层的掺量越小,再生基层路面的弯沉降低效果越显著.

2.4 取芯

对养护 7 d 后的试验段进行钻孔取芯,取芯机采用 HZ-20A 型钻孔取芯机.取芯发现,当旧沥青面层掺量大于 40%,再生层厚度超过 22 cm,取出的芯样底部松散,高度普遍达不到设计要求.再生层设计厚度 25 cm,旧沥青面层与半刚性基层质量比为 50:50,取出的芯样厚度仅 22 cm(见图 7).这是因为施工工艺与压路机设备一致的情况下,旧沥青面层掺量过高导致集料之间嵌挤能力不足,未完全老化的柔性沥青与半刚性基层在水泥作为稳定剂的条件下,由沥青包裹的面层材料与基层材料之间仅依靠结构的填充形成骨架结构^[10-13],水泥难以形成强有力的粘结.当旧沥青面层掺量小于 40%,再生层厚度超过 22 cm 时,取出的再生基层芯样均较完整.再生层设计厚度 25 cm,旧沥青面层与半刚性基层质量比为 27:73,取出的芯样厚度达到 25 cm(见图 8).这是因为压路机碾压厚度较薄,且沥青混凝土含量较低,沥青混凝土在再生混合料结构中处于半刚性基层材料的空隙中,沥青混凝土四周形成了水泥稳定碎石的牢固骨架结构,所以再生后保持着较高的强度.



图 7 取芯厚度 22 cm

Fig.7 Core thickness 22 cm



图 8 取芯厚度 25 cm

Fig.8 Core thickness 25 cm

3 适应性分析

全深式就地再生基层施工中,应根据原路面基层的弯沉值和旧沥青面层与半刚性基层的质量比,调整再生基层厚度.通过对旧路面面层或和基层一起就地铣刨拌合形成强度均匀的再生基层,从而增强路面结构的承载力.

当原路面基层顶面弯沉值大于 100(0.01 mm),在路面损坏较为严重的路段,可将沥青面层和基层全部进行全深式就地再生,旧沥青面层占再生基层质量比应控制在 27% 以内;或者将沥青面层铣刨掉,对基层进行就地再生,作为新路面的基层,再生后压实度能够满足大于 97% 的要求,再生后的基层顶面弯沉值可控制在 60(0.01 mm) 以内,全部基层材料再生弯沉值可控制在 45(0.01 mm) 以内.因此,全深式就地再生基层的厚度应控制在 18~25 cm.当原路面基层顶面弯沉值在 80~100(0.01 mm),路面损坏一般的路段,可将沥青面层和全部或部分上基层进行全深式就地再生.旧沥青面层占再生基层质量比宜控制在 27%~50%,再生后作为新路面的基层或底基层,再生后基层顶面弯沉值可控制在 60~75(0.01 mm).因此,全深式就地再生基层的厚度应控制在 15~22 cm.

4 结 论

本文结合 X811 干线公路养护大中修工程,对旧沥青混凝土的掺量与全深式就地再生基层适应性的关系进行了研究,研究的主要结论如下:

a. 随着养护龄期的增加,旧沥青面层与半刚性基层不同质量比的再生混合料的无侧限抗压强度、劈裂强度、回弹模量增长规律基本一致,再生混合料中旧沥青面层掺量越低、养护期越长,再生混合料的强度和模量越高.全深式就地再生基层施工中应保证再生路段养护期至少在 7 d 以上.

b. 随着旧沥青面层掺量的增加,混合料的最佳含水量和最大干密度逐渐减小,主要是因为沥青对集料的包裹,阻碍了集料对水分的吸收,导致混合料吸收的水分减少,游离在集料之间的水分增多.因此,含沥青层的再生基层施工时,在全基层铣刨料基础上,旧沥青面层与半刚性基层质量比增加 10%,混合料的用水量应减少 0.5% 左右.

c. 再生混合料的压实度随旧沥青面层掺量的增加而减小,当旧沥青面层掺量在 27%~50% 时,压实度随再生层厚度的增加而减小,旧沥青面层掺量越高,压实度降低幅度越大.

d. 在原路面基层顶面弯沉值较大的条件下,旧沥青面层的掺量越高,全深式就地再生基层控制的厚度越低.相反,在原路面基层顶面弯沉值较小的条件下,旧沥青面层掺量可适量增加,再生基层厚度可予以提高.

参考文献:

[1] 裴建中,贾彦顺,张久鹏,等.沥青路面结构可靠度的研

究进展及展望[J].中国公路学报,2016,29(1):1-15.

[2] 王周凯.公路路面水泥稳定就地冷再生关键技术与工程应用研究[D].杭州:浙江大学,2015.

[3] 邵伟跃,李洁.水泥稳定旧沥青路面材料强度的影响因素研究[J].交通世界,2011(3/4):245-248.

[4] 交通部公路科学研究院.公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2009.

[5] 王浩宇.全深式沥青路面现场冷再生技术研究[D].西安:长安大学,2014.

[6] 吴正光,徐剑,康爱红,等.水泥稳定废旧沥青混合料的强度试验[J].扬州大学学报(自然科学版),2014,17(1):71-74.

[7] AUTELITANO F,GIULIANI F. Electric arc furnace slags in cement-treated materials for road construction: mechanical and durability properties[J]. Construction and Building Materials, 2016, 113: 280-289.

[8] 李清富,张鹏,刘晨辉.聚丙烯纤维半刚性基层抗裂性能研究[M].郑州:黄河水利出版社,2010.

[9] 周英超,杨君英.水泥稳定碎石基层含水量对回弹模量影响的试验研究[J].路基工程,2015(4):110-113.

[10] 吴静,王发洲,胡曙光,等.集料-水泥石界面对混凝土损伤断裂性能的影响[J].北京工业大学学报,2013,39(6):892-896.

[11] 拾方治,马卫民.沥青路面再生技术手册[M].北京:人民交通出版社,2006.

[12] ELSHARIEF A, COHEN M D, OLEK J. Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone[J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33(11): 1837-1849.

[13] 谭忆秋.沥青与沥青混合料[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2007.

(编辑:丁红艺)