

碾压沥青混凝土结合面剪切性能试验研究

王怀义^{1,2}, 万连宾³, 杨桂权^{1,2}, 贺传卿^{1,2}

(1 新疆水利水电科学研究院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 2. 新疆水利水电材料工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830049; 3. 新疆额尔齐斯河流域开发工程建设管理局, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 在碾压沥青混凝土下部固化层温度低于规范要求的 70℃ 情况下, 进行了击实结合试验, 通过对结合面上下温度的监测, 进行了固定 45° 角剪切面剪切试验。结果表明: 在下层固化层温度处于 -10℃ 和 30℃ 环境下, 进行浇筑击实, 结合面温度均大于沥青软化点, 并且结合良好; 其结合面剪应力可达到本体的 50% ~ 60%, 并且剪切变形——荷载过程有明显的塑性特征。

关键词: 碾压沥青混凝土; 结合面; 温度; 剪切

中图分类号: TV431.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0057-04

Experiment on shear property of joint surface for roller compacted asphalt concrete

WANG Huaiyi^{1,2}, WAN Lianbin³, YANG Guiquan^{1,2}, HE Chuanqing^{1,2}

(1. Xinjiang Research Institute of Water Resources and Hydroelectric Science, Urumqi 830049, China;

2. Center of Technology Research of Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Material Engineering, Urumqi 830049, China;

3. Xinjiang Irtysh River Basin Development Project Construction and Management Bureau, Urumqi 830000, China)

Abstract: When the curing temperature of roller compacted asphalt concrete is lower than the specification requirements of 70 °C, the paper carried out compaction experiment. Through monitoring the temperature above and under combination surface, it carried out shear test of fixed shear surface of 45 degree. The result shows that when the lower curing temperature is at the circumstance of -10 °C and 30 °C, the temperature of joint surface is higher than that of softening point of asphalt and combines well by pouring out compaction; the shear stress of joint surface can reach 50% ~ 60% of ontology, and shear deformation and loading process have obvious plastic feature.

Key words: roller compacted asphalt concrete; joint surface; temperature; shear

碾压沥青混凝土防渗体施工及运行过程中, 沥青混凝土结合面总是大家所关心的重点, 也是一致认为防渗体的薄弱环节之一。其中在《水工碾压式沥青混凝土施工规范》DL/T5363-2006 中规定“在已压实的心墙上继续铺筑前……当沥青混凝土心墙层面温度低于 70℃ 时, 应采用红外线加热器至 70℃ ~ 100℃”^[1], 才可继续铺筑。可见碾压沥青混凝土结合面温度的要求较高, 以保证两层沥青混凝土达到完全结合的效果。对于在已压实的沥青混凝土层面温度未达到或远低于规范要求的 70℃ 时, 进行继续铺筑沥青混凝土, 结合面的温度变化情况和结合

面剪切性能如何, 目前尚无相关研究。本文研究的目的正是通过此方面的研究, 为在低温条件下碾压沥青混凝土施工质量的控制提供相关的依据。

1 试验原材料

本试验研究所用的沥青是克拉玛依产道路 70 号(A 级)沥青, 其性能指标见表 1。

粗骨料为破碎的石灰石碱性骨料, 细骨料为天然砂, 其技术性能分别见表 2、3。

本次试验采用的填料为 P. O42.5 普通硅酸盐水泥, 其技术性能检验结果见表 4。

表1 70号(A级)道路石油沥青技术性能检验结果 0.1mm, cm, °C, Pa·s, %, g/cm³

检验项目	质量指标		出厂检验结果	样品检验结果
	JTGF40-2004 70号(A级)	DL/T5411-2009		
针入度(25°C, 100g, 5s)	60~80	60~80	72	69
延度(5 cm/min, 15°C)	≥100	≥150	>150	>150
软化点(环球法)	≥46	48~55	49.6	49.5
动力粘度	≥180		339.5	
溶解度	≥99.5	≥99.0	99.79	
闪点(开口法)	≥260	≥260	>280	
密度(15°C)			0.985	
密度(25°C)				0.979
蜡含量(蒸馏法)	≤2.2	≤2.0	1.76	
质量损失	≤0.8	≤0.8	0.085	

表2 粗骨料技术性能检验结果 g/cm³, %

检验项目	技术指标	检验结果
表观密度	≥2.6	2.67
与沥青粘附性(级)	≥4	5
针片状颗粒含量	≤25	6.2
压碎值	≤30	4.5
吸水率	≤2	0.63
含泥量	≤0.5	0.3
耐久性(硫酸钠干湿循环5次的质量损失)	≤12	3.4
有机质含量	浅于标准色	浅于标准色

表3 细骨料技术性能检验结果 g/cm³, %

检验项目	技术指标	检验结果
表观密度	≥2.55	2.65
吸水率	≤2.0	1.08
水稳定等级(级)	≥6	9
含泥量	≤2	0.9
耐久性(硫酸钠干湿循环5次的质量损失)	≤15	3.2
有机质含量	浅于标准色	浅于标准色

表4 填料技术性能检验结果 g/cm³, %, mm

检验项目	技术指标	检验结果
表观密度	≥2.5	3.09
亲水系数	≤1.0	0.65
含水率	≤0.5	0.1
细度 < 0.6	100	100
< 0.15	>90	100
< 0.075	>85	98.4

本试验研究中碾压沥青混凝土采用的配合比见表5。

2 试验方案及结果

2.1 两种方案的试验方法

试验方案1是用马歇尔稳定度试模先击实成型33 mm高度的试件,即标准试件高度的一半,分别成型4个试件,其中1个试件,在其表面以下20 mm处钻温度测试孔。然后将所有试件置于-10°C恒温箱中恒温24 h,取出后立即浇入150°C左右沥青混凝土,开始击实成型上部,其中1个试件则不断记录

表5 碾压沥青混凝土质量配合比

材料种类	石子			砂子 2.36~0.075	填料(水泥) 14	70号(A级) 道路石油沥青(油石比) 6.9
	19~9.5	9.5~4.75	4.75~2.36			
配合比	23	19	17	27		

上部热沥青混凝土表面与下部试件表面以下20 mm处的温度变化;同时,再采用相同沥青混凝土拌合物,正反面击实,一次成型高度67 mm的试件3个;将分层击实的3个试件和一次击实成型的3个试件分别加工为长方体试件,试件尺寸长×宽×高为80 mm×50 mm×67 mm,供剪切试验使用,最后的剪切

试验均在室温下进行。

试验方案2与方案1基本相同,仅是分层成型的试件第一层成型后,放入30°C恒温箱中恒温24 h,后续的试验方案与方案1相同。

2.2 两方案的温度试验结果

两方案的温度试验主要的区别为下层成型试件

的温度不同,即下层试件成型后分别在 -10°C 和 30°C 的环境下放置 24 h 后,立即在室内 20°C 的温度环境下将制备好的下层试件与温度高达 150°C 的沥青混凝土拌合物相接触,并击实成型。从图 1 和图 2 两方案的温度过程线可知,下层试件温度最高分别升至 49.9 和 50.5°C ,均高于沥青的软化点 49.5°C ,说明此时在结合面以下 20 mm 处沥青均已软化,有利于在上层击实过程中,将上部热沥青混凝土中的骨料部分击入下层,提高结合面的整体性。同时温度试验结果表明,底层已固化的沥青混凝土温度差距虽然很大,但在 150°C 左右的热沥青混凝土拌合物覆盖下,其升温是很迅速的,大约在 $8\sim 10\text{ min}$ 左右,即可达到沥青软化点温度,而且与最高温度值相差不大。

图 3 则为施工现场测试的温度情况。经过一冬

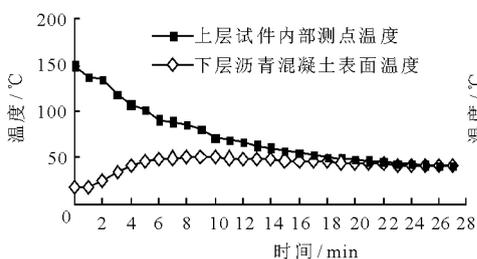


图 1 方案 1 的温度测试过程线

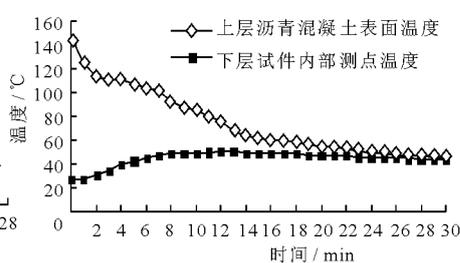


图 2 方案 2 的温度测试过程线

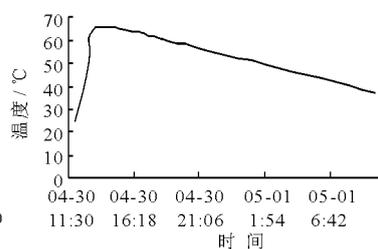


图 3 施工现场温度过程线



照片 1 固定 45° 角剪切面剪切试验

$$\sigma = \frac{F \times \cos(\theta)}{S} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{F \times \sin(\theta)}{S} \quad (2)$$

式中: σ 为正应力, MPa ; τ 为剪应力, MPa ; F 为极限荷载, N ; θ 为剪切面与水平面的夹角, $(^{\circ})$; S 为剪切面积, mm^2 [3]。

方案 1 及方案 2 的固定 45° 角剪切面剪切试验结果见表 6。剪切试验结果表明,下层固化层恒温温度为 -10°C 和 30°C 的分层击实成型试件,其剪应力均低于一次成型试件的剪应力,仅为其剪应力的 $55\% \sim 60\%$ 。在照片 2 中左侧为分层试件,右侧为一次成型试件,可见分层试件沿结合面较平滑的剪断,而一次成型试件,剪切面不平滑,同时明显有剪胀现象。

天后,底部固化层在浇筑了入仓温度为 155°C 热沥青混凝土后温度的变化过程,温度计埋设位置在表面 25 cm 处。可见施工现场底层温度可升至 60°C 以上,而且相比实验室温度试验结果,升温时间长,温度更高,降温缓慢。这是由于室内试验中试件体积小并且热容量也相对较少,受环境温度影响较大。

2.3 两方案的剪切试验结果

为了便于测试结合面剪切性能,故采用固定 45° 角剪切面应变控制进行剪切试验 [2],根据荷载与变形关系曲线,取曲线中荷载峰值为最大极限荷载,通过公式 1 和公式 2 分别计算试件在极限荷载状态下的正应力 (σ) 和剪应力 (τ)。将方案 1 和方案 2 成型分层试件的正应力和剪应力,分别与一次成型试件的剪切性能相比较。试验过程的见照片 1。

由一次成型试件的典型剪切变形—荷载过程线 (见图 4) 及分层试件的典型剪切变形—荷载过程线 (见图 5) 可见:首先,碾压沥青混凝土的剪切过程明显不同于普通水泥混凝土的剪切过程,充分反映了碾压沥青混凝土塑性的特点,即当剪切荷载达到最大值后,剪切变形持续进行,并仍能承受一定的荷载;其次,一次成型试件剪切荷载达到最大值后,其随剪切的变形,荷载下降较为缓慢,而分层试件荷载则下降较快。分析原因,由于分层成型试件的结合面中骨料嵌于下层固化层的骨料相对较少,其承受剪切荷载的能力也较弱。

3 试验结果分析

(1) 室内试验中,下层固化层分别放置于 -10 及 30°C 环境下恒温 24 h 后,再浇筑 150°C 左右的热沥青混凝土,并击实成型,下层温度分别升高至 49.9 和 50.5°C 。而施工现场下层固化层温度则可升到 65°C ,高于室内试验的温度,以上试验中,下部固化层温度均超过沥青软化点的温度 49.5°C ,这有利于上、下层的结合。因为,沥青的软化点表示了沥青的热稳定性,当沥青温度超过软化点后,其失去了原有的稳定性,在外力功的作用下建立新的稳定状态,即

接触面的结合。

(2) 下层固化层分别放置于 -10°C 及 30°C 环境下恒温 24 h 后,再浇筑 150°C 左右的热沥青混凝土,击实成型的试件,在室温 20°C 环境下,进行固定 45° 角剪切面剪切试验,一次成型试件的正应力和剪应力分别为 1.40 和 1.37 及 1.17 和 1.14 MPa; -10°C 恒温再浇筑成型的试件,结合面的正应力和剪应力分别为 0.84 和 0.82 MPa,剪应力为一次成型试件强度的 60%; 30°C 恒温再浇筑成型的试件,结合面的正应力和剪应力分别为 0.65 和 0.63 MPa,剪应力

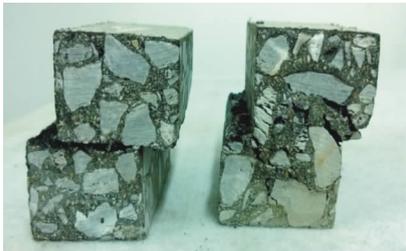
为一次成型试件强度的 55%。这是由于碾压沥青混凝土结合面沥青含量相对较高,且骨料相对较少;换言之,相对于碾压沥青混凝土本体,结合面单位面积上骨料面积较小,故造成其抗剪能力较弱。

(3) 从图 4 及图 5 可知,碾压沥青混凝土剪切变形—荷载过程与水泥混凝土不同,有着明显的塑性特征,即最大荷载后仍有一定的抗剪能力;但相对于碾压沥青混凝土本体,沥青混凝土沿结合面的抗剪能力下降较快,这正是由于结合面中提供主要抗剪能力的骨料相对较少所致。

表 6 方案一及方案二固定 45° 角剪切面剪切试验结果

$^{\circ}\text{C}$, mm, N, ($^{\circ}$), mm^2 , MPa, %

试件编号	下层恒温	试验成型方法	长	宽	高度	荷载	角度	面积	正应力	平均	剪应力	平均	剪应力比值
1		一次	80	50	67	7942.9	45	4000	1.42	1.40	1.39	1.37	60
2			80	50	67	6701.2	45	4000	1.20		1.17		
3			80	50	67	8781.4	45	4000	1.57		1.54		
4	-10	分层	80	50	68	4832.3	45	4000	0.86	0.84	0.84	0.82	
5			79	50	67	4909.1	45	3950	0.89		0.87		
6			80	50	67	4320.3	45	4000	0.77		0.76		
7		一次	70	50	71	5315.5	45	3500	1.09	1.17	1.06	1.14	55
8			70	50	71	6102.8	45	3500	1.25		1.22		
9	30	分层	70	50	71	3117.0	45	3500	0.64	0.65	0.62	0.63	
10			70	50	72	3325.0	45	3500	0.68		0.66		
11			71	50	72	3156.2	45	3550	0.64		0.62		



照片 2 分层试件和一次成型试件剪切后形貌

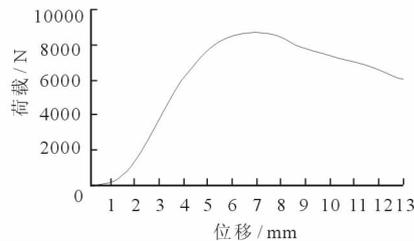


图 4 一次成型试件典型剪切变形—荷载过程线

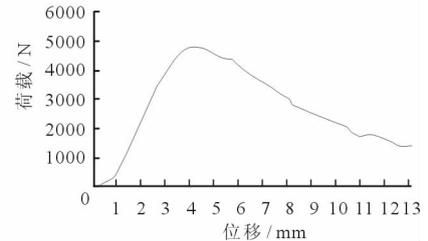


图 5 分层成型试件典型剪切变形—荷载过程线

4 结 语

(1) 当结合面温度大于沥青软化点时,无需达到 70°C 以上,再施以外力功,可实现热沥青混凝土与固化层的结合,并且结合面剪应力可达到碾压沥青混凝土本体的 50% ~ 60%。

(2) 碾压沥青混凝土的剪切过程区别于水泥混凝土,有着明显的塑性过程,并且沿结合面剪切时的剪应力相对本体下降较快。

(3) 基于本文试验成果,再加之工程实践证明,当结合面温度大于沥青软化点时,无需达到 70°C 以

上时,便可进行后续碾压施工,不仅可减少误工费时的表面加热的工序,而且可大大提高施工速度。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T5363—2006《水工碾压式沥青混凝土施工规范》[S]. 北京:中国水利水电出版社,2006.
- [2] 牛定华,胡庆兴,刘建华. 岩石变角剪切仪的研制[J]. 实验室研究与探索,2001,20(1):66—67.
- [3] 李栋伟,汪仁和. 冻土抗剪强度特性及试验研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版),2004(5):52—55.