

水泥填料对心墙沥青混凝土长期水稳定性的影响

何建新, 杨武, 杨耀辉, 游光明

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以优选的心墙沥青混凝土配合比为基础,分别采用质量分数为12%的石灰石粉、6%水泥+6%石灰石粉、12%水泥作为填料配制沥青混凝土试件,研究水泥填料对采用天然砾石骨料的心墙沥青混凝土长期水稳定性的影响。试验结果表明:采用12%石灰石粉为填料的沥青混凝土水稳定系数随浸水时间的延长而不断减小,且在浸水75 h后水稳定系数降至0.88,已不满足心墙沥青混凝土水稳定系数大于或等于0.90的要求;采用12%水泥、6%水泥+6%石灰石粉为填料的沥青混凝土水稳定系数随浸水时间的延长先增大后减小,且在浸水375 h后达到最大,分别为1.02和0.98,在浸水1500 h后水稳定系数仍然能够满足规范要求;用水泥替代部分石灰石粉作填料也可有效改善心墙沥青混凝土的长期水稳定性。

关键词:水泥填料;心墙;沥青混凝土;水稳定系数;长期水稳定性

中图分类号:TV431.5

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2017)04-0059-04

Influence of cement filler on long-term water stability of core wall asphalt concrete//HE Jianxin, YANG Wu, YANG Yaohui, YOU Guangming(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Based on the optimized mixture ratio of core wall asphalt concrete, asphalt concrete specimens were prepared using 12% limestone powder, 6% cement and 6% limestone powder, and 12% cement, respectively. The effect of cement fillers on long-term water stability of core wall asphalt concrete with the natural gravel aggregate was studied. The results show that the water stability coefficient of the specimen with 12% limestone powder decreases with the increase of the immersion time, and the water stability coefficient decreases to 0.88 when the immersion time is 75 h, indicating that it does not meet the requirement that the water stability coefficient of core wall asphalt concrete be greater than or equal to 0.90. The water stability coefficients of the specimens with 12% cement or 6% cement and 6% limestone powder first increase and then decrease with the increase of the immersion time, and reach their maximum values of 1.02 and 0.98, respectively, when the immersion time is 375 h. The water stability factor can still meet the specification requirements when the immersion time is 1500 h. It can effectively improve the long-term water stability of core wall asphalt concrete to use cement to replace limestone powder.

Key words: cement filler; core wall; asphalt concrete; coefficient of water stability; long-term water stability

随着沥青混凝土配制技术的发展,依靠克拉玛依高品质沥青^[1]的资源优势,天然砾石骨料已逐渐应用到心墙沥青混凝土中。由于天然砾石骨料岩性复杂,与沥青的黏附性普遍低于碱性骨料,配制的沥青混凝土的水稳定性较差^[2-3],会影响沥青混凝土心墙的防渗可靠性。工程中常采用添加抗剥落剂、消石灰或水泥等措施来提高沥青混凝土的水稳定性。胺类和非胺类抗剥离剂可有效增强骨料与沥青的黏附性^[1,4],但存在热稳定性和长期性能差的问题且不经济^[5];消石灰可有效提高沥青混凝土的水稳定

性^[6],其掺入量和掺入方式不同效果会不一样^[7];张应波等^[8]研究了采用砾石骨料配制心墙沥青混凝土,并以水泥作填料兼作提高骨料黏附性的措施;何建新等^[9-10]定量评价了新疆某工程砾石骨料的酸碱性,试验表明水泥填料可有效改善砾石骨料与沥青的黏附性,提高沥青混凝土的水稳定性。然而,心墙沥青混凝土属富沥青混凝土,孔隙率小于3%,若按DL/T 5362—2006《水工沥青混凝土试验规程》方法进行心墙沥青混凝土的水稳定性试验,水损害行为在短时间内很难表现,水稳定性很容易就满足规范要求。

但心墙沥青混凝土有长期的浸水作用,在此条件下水泥作填料对心墙沥青混凝土水稳定性的影响需进一步研究。本文借鉴前苏联提出的将沥青混凝土试件浸水温度由规范的60℃提高到80℃,建立的浸泡75h相当于20℃水中浸泡1a的定量关系^[9],分别采用质量分数为12%的石灰石粉、6%水泥+6%石灰石粉、12%水泥配制沥青混凝土试件,进行沥青混凝土长期水稳定性试验,对比分析了用水泥替代石灰石粉作填料对心墙沥青混凝土长期水稳定性的影响。

1 试验方案

试验所用原材料为克拉玛依石化公司生产的70号(A级)道路石油沥青(技术性能见表1)、新疆屯河水泥厂生产的P·O42.5水泥、石灰石粉(CaCO₃质量分数为87%,技术性能见表2)和新疆呼图壁河天然砾石骨料,经检测所有材料均满足规范要求。保持配合比参数(级配指数、填料用量、沥青用量)不变,填料分别采用12%石灰石粉、6%水泥+6%石灰石粉、12%水泥配制沥青混凝土试件。不同填料分别制备6组压缩试件,每组3个。第1组试件不浸水,置于20℃空气中48h后,在自动控温万能试验机(UTM-5105型)上按DL/T 5362—2006《水工沥青混凝土试验规程》进行压缩试验,其余5组试件分别在80℃恒温水槽中依次浸泡75h、225h、375h、750h、1500h后,置于20℃水中恒温2h后进行压缩试验。虽然沥青与填料混合后形成的胶浆的热稳定性显著提高,但考虑到心墙沥青混凝土的沥青用量比道路沥青混凝土大,为防止试件在80℃下长期浸水产生变形,采用带孔筛网将试件包裹,使试验能正常进行。

表1 沥青的技术性能

项目	针入度/ mm	10℃延 度/cm	软化 点/℃	质量变 化/%	残留针入 度比/%	残留延 度/cm
质量指标	6.0~8.0	≥25	≥46.0	≤0.8	≥61	≥6
实测值	6.8	>100	49.5	-0.06	70.8	16

表2 填料的技术性能

项目	表观密度/ (g·cm ⁻³)	亲水系数	含水率/%	细度 (<0.075mm)/%
质量指标	≥2.50	≤1.0	≤0.5	>85
P·O42.5 水泥实测值	3.08	0.78	0.1	99.8
石灰石粉实测值	2.68	0.62	0.3	92.6

2 试验结果及分析

2.1 材料压缩应力应变特征

3种填料的沥青混凝土试件在空气中和水中(不同浸水时间)的压缩试验结果见表3,沥青混凝土不同浸水时间压缩应力-应变曲线见图1。

表3 沥青混凝土压缩试验结果

浸水 时间/h	填料类型	密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙 率/%	抗压强度 σ_{max} /MPa
0 (空气中)	12%石灰石粉	2.409	1.07	1.67
	6%水泥+6%石灰石粉	2.419	1.26	1.69
	12%水泥	2.421	1.26	1.62
75	12%石灰石粉	2.393	1.72	1.47
	6%水泥+6%石灰石粉	2.418	1.30	1.60
	12%水泥	2.423	1.18	1.53
225	12%石灰石粉	2.407	1.15	1.44
	6%水泥+6%石灰石粉	2.417	1.34	1.66
	12%水泥	2.418	1.38	1.54
375	12%石灰石粉	2.392	1.76	1.28
	6%水泥+6%石灰石粉	2.408	1.71	1.73
	12%水泥	2.416	1.46	1.59
750	12%石灰石粉	2.390	1.84	1.21
	6%水泥+6%石灰石粉	2.410	1.63	1.62
	12%水泥	2.414	1.55	1.53
1500	12%石灰石粉	2.390	1.84	1.14
	6%水泥+6%石灰石粉	2.409	1.67	1.61
	12%水泥	2.415	1.51	1.52

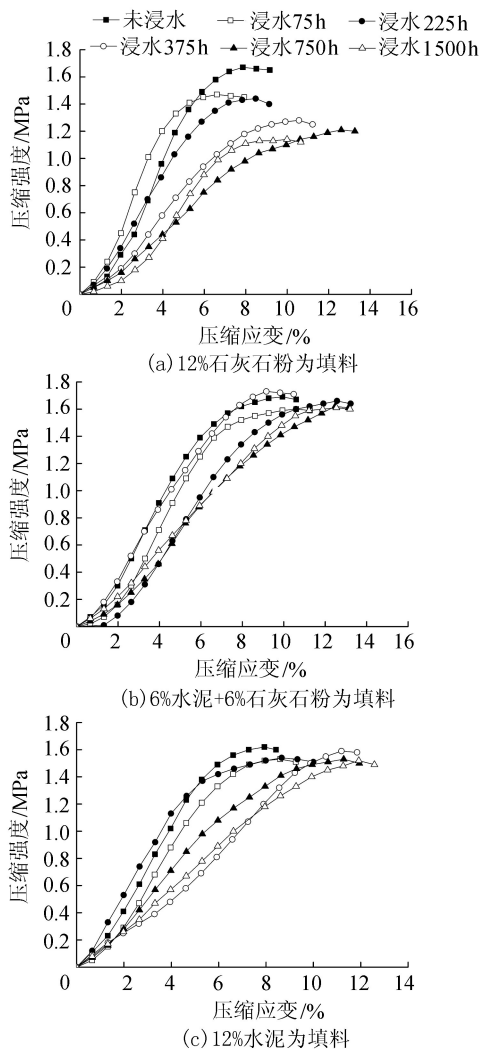


图1 不同浸水时间的沥青混凝土压缩应力-应变曲线

图1可以看出,未浸水时3种填料的沥青混凝土压缩应力-应变曲线均表现为弹塑性材料的破坏

特征,分为3个阶段,即线性上升阶段、非线性上升阶段和峰值点以后的缓慢下降阶段;峰值强度几乎相等,对应的应变均为8%左右,且随着水泥掺量的增加,线性特征明显增强。随着浸水时间的增长,12%石灰石粉为填料的沥青混凝土压缩应力-应变曲线直线段斜率有减小的趋势,且峰值强度不断下降,破坏时的应变不断增大;6%水泥+6%石灰石粉为填料的沥青混凝土压缩应力-应变曲线形状基本相近,各曲线峰值强度变化不明显,破坏时的应变略有增大,材料的压缩性能变化不明显;12%水泥为填料的沥青混凝土压缩应力-应变曲线的线性特征相对明显,各曲线峰值强度变化不大,破坏时的应变不断增大,材料适应变形能力也有所增大。

2.2 水稳定系数变化规律

通过测定沥青混凝土浸水前后的抗压强度,评价沥青混凝土的长期水稳定性,计算方法参考DL/T 5362—2006《水工沥青混凝土试验规程》:

$$K_w = \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$

式中: K_w 为水稳定系数; R_1 为不浸水试件抗压强度平均值,MPa; R_2 为不同浸水时间下试件抗压强度平均值,MPa。水稳定系数计算结果见表4。

表4 沥青混凝土的水稳定系数计算结果

浸水时间/h	不同填料沥青混凝土水稳定系数		
	12%石灰石粉	6%水泥+6%石灰石粉	12%水泥
75	0.88	0.95	0.94
225	0.86	0.98	0.95
375	0.77	1.02	0.98
750	0.72	0.96	0.94
1500	0.68	0.95	0.94

由表4可以看出,随着浸水时间的延长,采用12%石灰石粉为填料的沥青混凝土水稳定系数逐渐减小,且水稳定性系数均小于0.90,已不能满足规范 $K_w \geq 0.90$ 的要求。由于沥青混凝土长期在80℃高温环境下,加快了水介质进入试件内部,沥青的极性小于水分子,水分子与沥青混凝土中骨料的极性分子结合,使得沥青与骨料的黏附性减小,导致沥青与骨料快速剥离,沥青混凝土的水稳定系数不断减小。

采用6%水泥+6%石灰石粉和12%水泥为填料的沥青混凝土水稳定性系数均大于0.90;随着浸水时间的增长,沥青混凝土水稳定性系数均呈先增大后减小的规律,在80℃水中浸泡375h后(相当于20℃水中浸泡5a)水稳定性系数均达到最大,分别为0.98和1.02,在80℃水中浸泡1500h后(相当于20℃水中浸泡20a)水稳定系数仍然满足规范要求。由于沥青混凝土试件长期处于80℃高温条件下,加快了水分子、沥青、骨料之间的物理化学作用。一方

面水更容易进入沥青混凝土内部,使部分水泥填料与水加速发生水化反应,水溶液呈现碱性,再与酸性的沥青发生化学反应,增强了沥青与骨料的黏附性;另一方面随着一些难溶于水的水化产物的增多而填充孔隙,使得沥青混凝土更加密实。水分进入试件内部的多少直接影响水化的速率与程度,随着浸水时间的增加,试件内部的水泥不断水化,以水泥为填料的沥青混凝土的水稳定系数有所增大;随着时间继续增加,水泥水化作用也逐渐越弱,同时水损害作用逐渐增强,水稳定系数又开始缓慢减小。可以看出,以水泥为填料对沥青混凝土的水稳定性有较好的改善作用。

从表4还可以看出:6%水泥+6%石灰石粉为填料的沥青混凝土试件的水稳定系数最大。由于石灰石粉后期具有较高的水化活性,加之80℃的水热条件,石灰石粉中的 CaCO_3 与水泥中的 C_3A 继续发生反应,即: $\text{CaCO}_3 + 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{H}_2\text{O} = 4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$,生成的水化碳铝酸钙与其他水化产物相互搭接,结构更加密实,这样也改变了沥青混凝土的内部结构,促使沥青混凝土水稳定性提高。以水泥和石灰石粉混合作为沥青混凝土的填料更有利于心墙沥青混凝土的长期水稳定性。

3 结论

a. 以水泥为填料的沥青混凝土压缩应力-应变来看,长时间浸水后试件的抗压强度下降不明显,且水泥水化产物也没有增强沥青混凝土的脆性,相反,沥青混凝土的柔性有所增强。

b. 水泥填料可明显改善心墙沥青混凝土的长期水稳定性,使得天然砾石骨料与沥青之间的黏附作用明显增强,所配制的心墙沥青混凝土的长期水稳定性可以满足规范的要求。

c. 用水泥替代部分石灰石粉作填料能很好地保证心墙沥青混凝土的长期水稳定性,关键是选择合适的替代量,这样做也可节约工程成本。

参考文献:

[1] 张苛,张争奇. 含盐高湿地区沥青抗剥落剂的应用[J]. 武汉大学学报(工学版),2015,48(1):64-68. (ZHANG Ke, ZHANG Zhengqi. Application of anti-stripping agents to salty and humid area [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2015,48(1):64-68. (in Chinese))

[2] 天然砾石骨料在沥青混凝土心墙中的适用性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.

[3] 天然砾石骨料界面与沥青胶浆黏附性能研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2015.

[4] AMERI M, KOUCHAKI S, ROSHANI H. Laboratory

evaluation of the effect of nano-organosilane anti-stripping additive on the moisture susceptibility of HMA mixtures under freeze-thaw cycles [J]. Construction and Building Materials, 2013, 48(11): 1009-1016.

[5] WEI J M, ZHANG Y Z, ZHANG Y, et al. Effect of anti-stripping agents on surface free energy of asphalt binders [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2011, 35(2): 162-165.

[6] HESAMI S, ROSHANI H, HAMEDI G H, et al. Evaluate the mechanism of the effect of hydrated lime on moisture damage of warm mix asphalt [J]. Construction and Building Materials, 2013, 47(5): 935-941.

[7] HAO P, LIU H A. Laboratory study of the effectiveness of various additives on moisture susceptibility of asphalt mixtures [J]. ASTM Journal of Testing and Evaluation, 2006, 34(4): 261-268.

[8] 张应波, 王为标, 兰晓, 等. 土石坝沥青混凝土心墙酸性砂砾石料的适用性研究 [J]. 水利学报, 2012, 43(4): 460-466. (ZHANG Yingbo, WANG Weibiao, LAN Xiao,

et al. Research on the suitability of acidic gravels for asphalt core of embankment dam [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(4): 460-466. (in Chinese))

[9] 何建新, 朱西超, 杨海华. 采用砾石骨料的心墙沥青混凝土水稳定性性能试验研究 [J]. 中国农村水利水电, 2014(11): 109-112. (HE Jianxin, ZHU Xichao, YANG Haihua. Experimental research on the gravel aggregate water stability performance of asphalt concrete core wall [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(11): 109-112. (in Chinese))

[10] 杨耀辉, 何建新, 王怀义. 心墙沥青混凝土配制中砾石骨料酸碱性判定方法的探讨 [J]. 水电能源科学, 2015(9): 117-120. (YANG Yaohui, HE Jianxin, WANG Huaiyi. Discussion on the method of determining the acidity and alkalinity of the gravel aggregate to construct core wall asphalt concrete [J]. Water Resources and Power, 2015(9): 117-120. (in Chinese))

(收稿日期: 2016-07-27 编辑: 骆超)

(上接第 46 页)

[6] KASHEFIPOUR S M, BAKHTIARI M. Hydraulic jump in a gradually expanding channel with different divergence angles [C] // 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment. Vancouver, Canada: [s. n.], 2009: 91-98.

[7] LUDOVIC C, GILLES B. Experimental and numerical investigation of flow under sluice gates [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012(4): 367-373.

[8] 李占松, 高双聚, 杨玲霞. 平原区水闸闸下消能防冲与闸门控制运行 [J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(5): 46-48. (LI Zhansong, GAO Shuangju, YANG Lingxia. Energy dissipation and scour prevention and control operation of sluice gates in plain regions [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(5): 46-48. (in Chinese))

[9] 王海阳, 傅宗甫. 超低弗劳德数闸下消能试验 [J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(6): 73-76. (WANG Haiyang, FU Zongfu. Experiments on under sluice energy dissipation at ultra-low Froude number [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(6): 73-76. (in Chinese))

[10] 张羽. 浅析上海市水闸安全鉴定 [J]. 浙江水利科技, 2016(3): 67-69. (ZHANG Yu. Analyses the safety appraisal of sluices in Shanghai [J]. Zhejiang Hydraulics, 2016(3): 67-69. (in Chinese))

[11] 蔡新. 水利工程安全隐患与病害特点 [J]. 小水电, 2004(6): 35-37. (CAI Xin. Water conservancy engineering safety hazard and damage characteristics [J]. Small Hydropower, 2004(6): 35-37. (in Chinese))

[12] 秦毅, 顾群. 全国病险水闸成因分析及加固的必要性 [J]. 水利水电工程设计, 2010, 29(2): 25-26. (QIN Yi, GU Qun. Causes and necessity of reinforcement to gates with potential risks in China [J]. Design of Water Resources and Hydroelectric Engineering, 2010, 29(2): 56-59. (in Chinese))

[13] 康立荣, 徐文俊, 吝江峰. 江苏大中型病险水闸概况及主要加固措施探讨 [J]. 水利建设与管理, 2014(3): 56-59. (KANG Lirong, XU Wenun, LIN Jiangfeng. Overview of Jiangsu large and medium-sized sluice and discussion of main reinforcement measures [J]. Water Conservancy Construction and Management, 2014(3): 56-59. (in Chinese))

[14] 周逢强, 何文浩. 芦埠港闸工程安全评价及除险加固设计浅探 [J]. 江苏水利, 2015(6): 10-12. (ZHOU Fengqiang, HE Wenhao. Briefly explore of safety assessment and consolidation design for Lubugang sluice engineering [J]. Jiangsu Water Resources, 2015(6): 10-12. (in Chinese))

(收稿日期: 2016-06-27 编辑: 骆超)

