

砾石骨料破碎对心墙沥青混凝土的性能影响分析

全卫超, 何建新, 王怀义

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 针对心墙沥青混凝土中粗骨料的选择问题, 本文用天然砾石和破碎砾石作为粗骨料, 细骨料均采用天然河砂制备两种沥青混凝土试件。采用室内试验的方法, 分别进行沥青混凝土心墙的水稳定性、拉伸、单轴压缩、小梁弯曲、渗透、静三轴试验。结果表明: 沥青混凝土用天然砾石做粗骨料仅在抗压、抗弯强度比用破碎骨料低。天然砾石可以作为本次配合比优选的粗骨料。

关键词: 砾石骨料; 破碎; 沥青混凝土; 心墙

中图分类号: TV431.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)01-0175-05

Analysis of influence of gravel aggregate broken on performance of asphalt concrete core wall

TONG Weichao, HE Jianxin, WANG Huaiyi

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In view of the problem of choice of coarse aggregate for core wall of asphalt concrete, the paper used natural gravel and broken gravel as coarse aggregate, and took natural river sand as fine aggregate to prepared two kinds of asphalt concrete specimens. It used the method of indoor test to carry out water stability, stretching, compression, bending trabecular penetration, static triaxial tests of asphalt concrete core wall respectively. The results showed that only the compressive and flexural strength of asphalt concrete made from natural gravel coarse aggregate is lower than that from broken aggregate. Natural gravel can be used as the coarse aggregate of mixture ratio priority choice.

Key words: gravel aggregate; broken; asphalt concrete; core wall

心墙沥青混凝土是由粗骨料、细骨料、填料、沥青按一定比例拌合而成的混合料, 为保证骨料与沥青的粘附性, 设计中优先选用了碱性岩石破碎的碎石。天然砾石骨料与沥青粘附性虽差, 但采取一定的工程措施后也可用做沥青混凝土粗骨料, 在中国和伊朗已有工程应用的实践^[1]。我国对沥青混凝土粗骨料破碎研究主要集中在公路交通方面, 陈国明等^[2]用 ASIM D3398 方法测量了 7 种不同粗骨料的平均棱角性 I, 提出粗骨料平均棱角性 I 对沥青混凝土性能的影响; 王德辉^[3]通过研究粗骨料颗粒形状和针片状含量并计算了骨料形状指数, 提出形状指数越大, 沥青混凝土的性能越好; 严琳等^[4]以性能良好的砂浆基材为前提, 研究了粗骨料的形状指

数对沥青混凝土的影响。叶永等^[5]提出了沥青混凝土的力学性能强烈依赖粗骨料。张飞等^[6]提出了粗骨料的棱角性可以提高沥青混凝土的高温稳定性。谢兆星^[7]通过大量试验提出了粗骨料针片状含量越多, 沥青混凝土的力学性能越差。但心墙沥青混凝土沥青用量、填料用料均较高, 粗骨料破碎产生的棱角效应对心墙沥青混凝土的影响程度还有待进一步研究。新疆碱性矿料分布较少, 而天然砾石骨料非常丰富, 将天然砾石直接用作心墙沥青混凝土的骨料, 不但可以加快施工进度, 还可以大大降低工程造价。本文结合新疆某碾压沥青混凝土配合比试验, 分析了砾石骨料破碎对心墙沥青混凝土的性能影响, 为天然砾石骨料直接用于心墙沥青混凝土

收稿日期: 2015-11-04; 修回日期: 2015-12-02

基金项目: 新疆维吾尔自治区高校科研计划科学研究重点项目 (XJEDU2014I016); 新疆水利水电工程重点学科基金 (XJZDXK-2010-02-12); 新疆维吾尔自治区产学研联合培养研究生项目 (xjaucxy-yjs-20151007)

作者简介: 全卫超 (1991-), 男, 河南许昌人, 硕士研究生, 研究方向: 水利水电工程。

通讯作者: 何建新 (1973-), 男, 河南扶沟人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水利水电工程。

提供参考和依据。

1 原材料

坝址区合理经济运距内没有碱性骨料料源,但在坝址区有大量天然砾石和天然河砂。该坝址区粗骨料岩质种类较多,经岩相鉴定及化学成分检测表明该水库所采用的砾石骨料为酸性骨料。破碎粗骨料由天然砾石反击式破碎得来,都为酸性骨料,试验中保证天然砾石粗骨料和破碎砾石粗骨料级配一致,曲线如图 1。

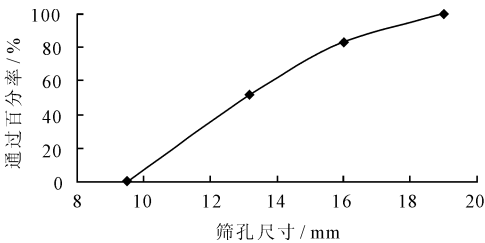


图 1 粗骨料 9.5 ~ 19 mm 颗粒级配曲线

图中看出两种粗骨料级配良好。天然砾石表面光滑,外形圆润,磨圆度好,经过破碎得到的破碎骨料有棱有角,形状不规则,有一定量的针片状。在对天然砾石骨料和破碎砾石骨料的黏附性试验中,分

别选取有代表性的骨料进行黏附性试验,结果表明两种骨料的黏附性等级均为 4 级,并无差异。

骨料颗粒表面的粗糙度和颗粒形状,对沥青混凝土的强度影响很大。骨料表面越粗糙,形成凹凸的微表面,经过压实后,颗粒之间能形成良好的齿合嵌锁,使混合料具有较高的内摩阻力。在工程应用中,有时为了改善混合料的施工和易性,常采取掺加天然砂以取代部分石屑,这是由于天然砂表面比较光滑而使摩阻力降低的缘故^[8]。细骨料两者都采用天然河砂,天然河砂级配曲线如图 2。

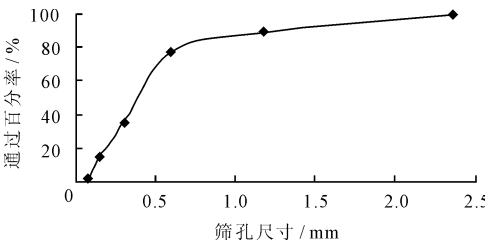


图 2 天然河砂颗粒级配曲线

为保证沥青与骨料的黏附性,填料均采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,沥青均采用克拉玛依石化公司生产的 70 号(A 级)道路石油沥青,技术性能如下表 1。

表 1 克石化公司产 70 号(A 级)道路石油沥青样品的技术性能

技术指标	质量指标		出厂检验结果	样品检测结果
	JTGF40 - 2004	SL501 - 2010		
	70 号(A 级)			
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	60 ~ 80	60 ~ 80	70	67.3
延度(5cm/min,10℃)/cm	≥25	≥25	45	35.5
软化点(环球法)/℃	≥46	≥46	50.9	50.0

2 配合比试验

《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范》(SL501 - 2010)和《水工碾压式沥青混凝土施工规范》(DL/T5363 - 2006)两个标准中都推荐水工沥青混凝土的矿料级配设计可采用丁朴荣教授提出的公式计算获得。丁氏公式基于泰波公式,只不过是填将料(集料小于 0.075 mm 粒级部分)用量先单独确定。

丁氏级配公式为:

$$P_i = P_{0.075} + (100 - P_{0.075}) \frac{d_i^n - 0.075^n}{D_{max}^n - 0.075^n}$$

依据《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范》(SL501 - 2010)中推荐以及根据本工程的实际选取配合比的三个参数:即矿料级配指数、填料用量

和油石比(即沥青用量)为影响因数,每个因数取三个水平,按 $L_9(3^4)$ 均匀正交表安排的试验方案,九个试验组的沥青混凝土配合比试验结果参数详列于下表 2:

以孔隙率、稳定度、流值为考核指标分别进行极差分析和方差分析。沥青混凝土选择级配指数为 0.39、沥青用量为 6.6%、填料含量为 12%。

3 试验结果分析与讨论

从表 3 可看出破碎骨料构成的沥青混凝土试件抗压强度平均高出天然砾石骨料 0.5 MPa,变形模量都高出平均高出 29 MPa,破碎砾石作为集料的沥青混凝土密度较小,孔隙率较大,这是因为砾石骨料破碎以后,表面可能存在着微裂痕,沥青胶浆难以补

充裂隙所产生的微孔隙。在加载速率为 1 mm/min 的集中荷载下,沥青混凝土中的骨料骨架承受了大部分内力,破碎以后的骨料表面有棱有角,破碎骨料

在成型的沥青混凝土压缩试件中嵌挤锁结,在无侧限单轴压缩下,破碎骨料之间的内摩擦力表现为较高的抗压强度。

表 2 沥青混凝土 40℃ 试验配合比及试验成果

试件组 编号	级配 指数	填料用 量/%	沥青用 量/%	实测 密度值	最大理论 密度值	空隙率/ %	流值/mm	稳定度/ kN	沥青体积 百分率/%	料粒间 隙率/%	饱和度/ %
1	1(0.36)	1(14%)	1(6.3%)	2.46	2.491	1.12	3.99	12.77	13.73	14.85	92.50
2	1(0.36)	2(12%)	3(6.9%)	2.44	2.465	0.84	4.75	12.45	14.72	15.56	94.63
3	1(0.36)	3(10%)	2(6.6%)	2.44	2.471	1.28	3.89	13.84	14.14	15.43	91.76
4	2(0.39)	1(14%)	3(6.9%)	2.45	2.470	0.71	4.84	11.38	14.77	15.47	95.46
5	2(0.39)	2(12%)	2(6.6%)	2.45	2.476	1.11	4.40	13.33	14.20	15.31	92.75
6	2(0.39)	3(10%)	1(6.3%)	2.45	2.482	1.30	3.16	14.44	13.65	14.95	91.46
7	3(0.42)	1(14%)	2(6.6%)	2.45	2.481	1.05	5.03	11.32	14.23	15.28	93.22
8	3(0.42)	2(12%)	1(6.3%)	2.47	2.499	1.35	3.28	14.08	13.74	15.09	91.08
9	3(0.42)	3(10%)	3(6.9%)	2.44	2.462	1.06	4.06	12.54	14.66	15.73	93.28

表 3 沥青混凝土压缩试验成果对比表

材料	试件 编号	密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙率/ %	最大抗 压强度	最大抗压强 度时的应变	变形 模量/
				σ _{max} /MPa	ε _{σmax} /%	MPa
破	1	2.45	1.05	2.80	5.11	100.00
碎	2	2.45	1.00	3.24	3.60	100.00
料	3	2.45	1.07	3.23	4.36	104.21
砾	1	2.46	0.97	2.38	5.64	63.65
石	2	2.48	0.16	2.78	5.19	82.27
料	3	2.47	0.56	2.83	5.77	71.91

表 4 可以看出两者的水稳定系数相差为 0.01, 几乎相同。研究结果表明,当沥青含量大于 5.5% 时,骨料表面就有一定厚度的沥青膜包裹,在这样的条件下,即使沥青混凝土的孔隙率为 4%,酸性骨料对沥青混凝土的水稳定性也没有明显影响^[9]。水稳定试验是将一组沥青混凝土放入 60℃ 水中 48 h 后的抗压强度和另外一组放置在 20℃ 空气中的沥青混凝土抗压强度进行对比,沥青混凝土心墙作为大坝的防渗系统,工作环境长期与水进行接触,在今后的试验中延长浸泡时间对研究沥青混凝土的长期水稳定性有一定的价值。

表 5 试验结果表明,以破碎砾石骨料构成的沥青混凝土小梁弯曲试件抗弯强度高出砾石骨料 0.2 MPa。这是因为在单点加载模式下,破碎骨料表面相互摩擦形成较高的内摩阻力。而天然砾石骨料表面光滑,磨圆度好,在施加荷载时表面光滑的粗骨料之间摩擦力较小,在集中荷载下骨料之间易滑移。

表 4 沥青混凝土水稳定试验成果对比表

材料	条件	试件编号	密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙 率/%	最大抗压 强度 σ _{max} /MPa	水稳定 系数
破碎料	浸水	1	2.45	1.05	1.79	0.97
		2	2.45	1.05	1.93	
		3	2.46	0.65	1.96	
	不浸水	1	2.46	0.65	1.86	
		2	2.47	0.24	1.99	
		3	2.45	1.05	1.97	
砾石料	浸水	1	2.48	0.16	1.49	0.96
		2	2.47	0.56	1.41	
		3	2.45	1.37	1.33	
	不浸水	1	2.47	0.56	1.52	
		2	2.47	0.56	1.46	
		3	2.45	1.37	1.39	

表 5 沥青混凝土小梁弯曲试验成果对比表

材 料	试件 编号	密度/ (g·cm ⁻³)	最大荷 载/N	抗弯强 度/MPa	最大荷 载时挠 度/mm	最大 弯拉 应变/%	挠跨 比/%
破碎料	1	2.45	350	1.78	4.33	3.11	2.50
	2	2.44	320	1.63	3.99	2.61	2.11
	3	2.45	320	1.53	3.99	3.12	2.50
砾石料	1	2.47	260	1.39	6.28	3.77	3.14
	2	2.46	260	1.38	6.58	3.95	3.29
	3	2.46	290	1.50	6.00	3.62	3.00

表 6 试验结果表明,砾石骨料所构成的沥青混凝土抗拉强度与破碎砾石骨料相当,平均值都在 0.67 Ma 左右。主要原因是拉伸过程中,沥青混凝

土试件出现面破坏,沥青与骨料的粘结力起主导作用,而天然砾石在长期生成过程中,砂砾石表面形成了一层铁、铝和其它金属化合物,使天然砾石与沥青的粘附性大大改善^[10]。

表 6 沥青混凝土拉伸试验结果对比表

材 料	试样 编号	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙率/ %	抗拉强度/ MPa	抗拉强度 对应的拉 应变/%
破碎料	1	2.45	1.05	0.64	1.02
	2	2.45	1.05	0.69	1.07
	3	2.46	0.99	0.67	1.06
砾石料	1	2.47	0.56	0.72	2.02
	2	2.46	0.97	0.63	2.11
	3	2.47	0.56	0.65	2.03

表 7 结果表明破碎砾石骨料所构成的沥青混凝土渗透系数和天然砾石相差在 1.10×10^{-9} 左右,差值的数量级很小。因为在沥青膜的包裹下,水很难进入沥青混凝土内部,砾石骨料破碎后形成的微裂隙缺陷被弥补。

对表 8 中不同应力下的静三轴试验结果进行对比,两种骨料构成的沥青混凝土每种应力下的最大偏应力和最大压缩体应变平均值相差为 0.2 MPa,相当接近。

表 9 可以看出破碎砾石骨料所构成的沥青混凝土黏聚力为 497 kPa,内摩擦角为 28.8° ,天然砾石骨料黏聚力为 443.9 kPa,内摩擦角为 28.7° ,由于骨料的表面粒形特征在沥青的包裹作用下嵌挤结构被减弱,静三轴试验得到的非线性参数差别不明显。

表 7 沥青混凝土渗透试验成果对比表

材 料	试样 编号	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	试验温度/ $^{\circ}\text{C}$	渗透系数/ ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	温度校 正系数	标温渗 透系数
破碎料	1	2.45	25.0	5.00×10^{-9}	0.890	4.45×10^{-9}
	2	2.46	25.0	5.15×10^{-9}	0.890	4.58×10^{-9}
	3	2.45	25.0	5.02×10^{-9}	0.890	4.47×10^{-9}
砾石料	1	2.47	25.0	6.38×10^{-9}	0.890	5.68×10^{-9}
	2	2.45	25.0	6.56×10^{-9}	0.890	5.84×10^{-9}
	3	2.46	25.0	6.12×10^{-9}	0.890	5.45×10^{-9}

表 8 沥青混凝土静三轴试验结果对比表

材 料	围压 σ_3 / MPa	密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	最大偏应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) / MPa	最大偏应力时 对应的轴向应 变 $\varepsilon_{1\max}$ / %	最大压缩体 应变 ε_v / %	最大压缩体应变时最大压缩体应变时 的应力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) / MPa	最大压缩体应变时 的轴向应变 ε_1 / %
破碎料	0.2	2.44	1.990	5.651	-0.043	0.636	0.987
	0.3	2.44	2.210	6.433	-0.049	0.847	1.161
	0.4	2.43	2.422	7.157	-0.062	1.101	1.431
	0.6	2.44	2.802	7.846	-0.056	1.512	1.804
砾石料	0.2	2.45	1.756	5.575	-0.025	0.497	0.914
	0.3	2.45	2.063	5.854	-0.031	0.736	1.281
	0.4	2.46	2.257	6.459	-0.044	0.805	1.364
	0.6	2.45	2.636	6.881	-0.062	0.988	1.358

表 9 沥青混凝土 E_{μ} 模型静三轴试验参数

材 料	模量数	模量指数	内摩擦角	凝聚力 C /	破坏比	非线性系数		
	K	n	$\varphi / (^{\circ})$	MPa	R_f	G	F	D
破碎料	741.3	0.31	28.8	0.497	0.63	0.58	0.06	4.64
砾石料	593.0	0.29	28.7	0.444	0.54	0.56	0.04	3.97

4 结 论

本文通过选用天然砾石骨料和破碎砾石作为心墙沥青混凝土的粗骨料,对比两者的力学性能,可得出以下结论:

破碎砾石作为粗骨料的棱角效应在心墙沥青混凝土中明显减弱,部分力学性能与天然砾石相当。

天然砾石骨料所构成的沥青混凝土在单轴压缩和小梁弯曲这两项试验中的强度较之破碎砾石骨料偏低,但满足设计规范要求。

粗骨料在心墙沥青混凝土中受力后骨架结构变化需进一步做微观研究,本次优先配合比试验推荐该水库心墙沥青混凝土粗骨料可用天然砾石。

参考文献:

[1] 岳跃真,郝巨涛,孙志恒,等. 水工沥青混凝土防渗技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[2] 陈国明,谭忆秋,石昆磊,等. 粗集料棱角性对沥青混合料性能的影响[J]. 公路交通科技,2006,23(3):6-9.

[3] 王德辉. 粗骨料对自密实混凝土工作性能的影响[J]. 重庆建筑,2010(5):20-23.

[4] 严琳,杨长辉,王冲. 粗骨料颗粒形状指数、级配对自密实混凝土工作性能的影响[J]. 混凝土,2011(1):75-77+80.

[5] 叶永,陈洪凯. 沥青混凝土中粗集料影响实验研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2014,38(1):21-30.

[6] 张飞,高辉,朱浩然. 沥青路面失稳性车辙成因浅析[J]. 石油沥青,2007,21(5):62-66.

[7] 谢兆星. 集料特性对沥青混合料性能影响研究[D]. 西安:长安大学,2006.

[8] 张怀生. 水工沥青混凝土[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:222-223.

[9] Wang Weibiao, Zhang Yingbo, Hoeg Kaare, et al. Investigation of the use of strip-prone aggregates in hydraulic asphalt concrete[J]. Construction & Building Materials, 2010,24(11):2157-2163.

[10] 孙君森,王为标,林鸿镁. 碾压混凝土坝的沥青防渗[M]. 西安:陕西人民出版社,2003.

(上接第 174 页)

积高度达到最大值,因此从坝后最大淤积高度结果可知,水力插板透水丁坝的透水率范围应低于 30%。

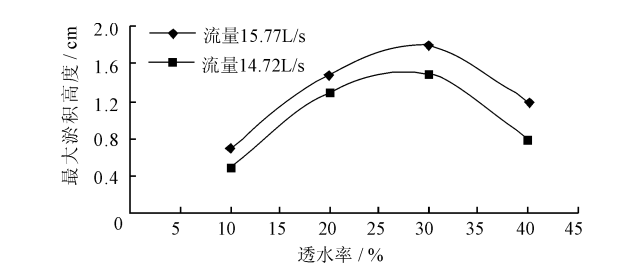


图 7 不同透水率的水力插板透水丁坝坝后最大淤积高度图

4 结 论

本文通过水槽试验,对不同透水率下水力插板透水丁坝坝后作用区的缓流效果、局部冲刷深度、坝后最大淤积高度进行了研究,由试验结果分析总结出以下结论:

- (1)水力插板透水丁坝坝后流速的减缓效果明显,但不同透水率下坝后的缓流效果近乎相同。
- (2)水力插板透水丁坝坝头最大冲刷深度随着透水率的增大而减小。
- (3)随着透水率的增加,水力插板透水丁坝坝后最大淤积高度先增加后减小。在透水率越 30% 时,坝后最大淤积高度达到最大值。因此,为使水力

插板透水丁坝达到较好的防冲促淤效果,其透水率应选为 30% 左右。

参考文献:

[1] 周银军,刘焕芳,何春光,等. 透水丁坝局部冲淤规律试验研究[J]. 水利水运工程学报,2008(1):57-60.

[2] 周银军,刘焕芳,何春光,等. 桩柱透水丁坝水流特性试验研究[J]. 泥沙研究,2009(5):58-62.

[3] 赵渭军,严盛,宣伟丽,等. 涌潮河口桩式丁坝的护滩保塘效果分析[J]. 水利学报,2006,37(6):699-703.

[4] 李玉建,侍克斌,周峰. 游荡型河道透水整治建筑物研究综述[J]. 人民黄河,2002,24(11):15-17.

[5] 刘国起,李玉建,侍克斌,等. 水力插板透水丁坝在新疆多沙河流上优越性的初步研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(1):122-126.

[6] 李玉建. 塔里木河干流泥沙治理途径及井桩桩透水丁坝研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.

[7] 库尔班·依明,阿里木江胡达拜地. 水力插板技术在新疆粉细沙河床防洪工程中的应用[J]. 水利科技与经济,2012,18(9):92-93.

[8] 程军. 水力插板技术在第三师水利工程中的应用[J]. 中国水运(下半月),2014,14(12):211-212+198.

[9] 库尔班·依明. 浅析新疆叶尔羌河东河滩段防洪堤基础防冲处理方案[J]. 人民珠江,2014,35(3):64-66.

[10] 刘国起. 水力插板透水丁坝数值模拟初步研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.