

粗骨料超径率对心墙沥青混凝土力学性能的影响分析

伦聚斌, 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: 为了研究超径率对沥青混凝土力学性能的影响, 本文以 19~26.5 mm 的颗粒含量(超径率)、填料浓度、沥青用量三因素进行三水平正交试验, 通过测定沥青混凝土的马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度, 并采用投影寻踪回归分析法(PPR)研究超径率、填料浓度、沥青用量对心墙沥青混凝土力学性能的影响规律。结果表明: 随着超径率的增加, 马歇尔稳定度和流值先减小后增大, 劈裂抗拉强度先增大后趋于稳定; 随着填料浓度的增加, 马歇尔流值和劈裂抗拉强度先增大后减小, 马歇尔稳定度逐渐减小; 随着沥青用量的增加, 马歇尔流值逐渐增大, 马歇尔稳定度和劈裂抗拉强度逐渐减小; 当超径率为 40%、填料浓度为 2.0、沥青用量为 6.8% 时, 心墙沥青混凝土力学性能最优。

关键词: 粗骨料; 超径率; 心墙沥青混凝土; 投影寻踪回归分析法; 劈裂抗拉强度

中图分类号: TV413⁺.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)01-0169-05

The effects of oversized coarse aggregate rate on mechanical properties of asphalt concrete core wall

LUN Jubin, HE Jianxin, WANG Huaiyi

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

Abstract: To study the effects of oversized rate on the mechanical properties of asphalt concrete, the three levels orthogonal tests were conducted considering three factors including the particles content of 19mm ~ 26.5mm (oversized rate), the filler concentration, the amount of asphalt and three levels. The Marshall stability, flow value and splitting tensile strength of asphalt concrete were measured, and the projection pursuit regression (PPR) was used to study the influences of oversized rate, filler concentration, amount of asphalt on the mechanical properties of asphalt concrete core wall. The results showed that, with the increase of oversized rate, both Marshall stability and flow values decreased first and then increased, the splitting tensile strength first increased and then stabilized. With the increase of concentration of filler, Marshall flow value and splitting tensile strength first increased and then decreased, Marshall stability decreased gradually. With the increase of asphalt contents, the Marshall flow value increased gradually, Marshall stability and splitting tensile strength decreased gradually. The the mechanical properties of asphalt concrete core wall were the best when the oversized was 40%, the filler concentration was 2.0, and the use of bitumen was 6.8%.

Key words: coarse aggregate; oversized rate; asphalt concrete core wall; projection pursuit regression; splitting tensile strength

1 研究背景

沥青混凝土心墙防渗土石坝是一种新型的坝体结构, 其优点为构成简单, 建造经济合理, 对骨料的级配要求不高^[1]。根据《土石坝沥青混凝土面板和

心墙设计规范》SL 501-2010 中规定: 碾压式沥青混凝土心墙坝中骨料宜采用碱性岩石破碎料, 且骨料最大粒径不宜大于 19mm^[2], 但我国辽宁碧流河水库、甘肃党河水库以及美国的蒙哥马利水库心墙沥青混凝土骨料最大粒径均采用了 25mm^[3]。李伟

收稿日期: 2016-07-06; 修回日期: 2016-11-12

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); 新疆维吾尔自治区产学研联合培养研究生项目(xjaucxy-yjs-20152030)

作者简介: 伦聚斌(1993-), 男, 河南安阳人, 硕士研究生, 研究方向: 水利工程。

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

军等^[4]研究了公路沥青混凝土劈裂抗拉强度的变异系数与公称最大集料粒径成正比;王雨利等^[5]研究表明粗骨料的最大粒径、颗粒级配对混凝土强度的影响显著;杨晓征^[6]研究将浇筑式沥青混凝土骨料最大粒径由 19mm 提高至 31.5mm 后,沥青用量明显降低且各项性能仍满足规范的要求;何建新等^[7]分析了骨料最大粒径对浇筑式沥青混凝土力学性能的影响,得到马歇尔稳定度及密度增加而马歇尔流值减小。提高心墙沥青混凝土中粗骨料的最大粒径,不仅可以提高破碎骨料的利用率、降低成本,而且还有利于心墙沥青混凝土技术的推广。适当提高粗骨料最大粒径对心墙沥青混凝土力学性能的影响仍需进一步研究。本文采用正交试验的方法研究超径率、填料浓度、沥青用量对心墙沥青混凝土力学性能的影响,并运用投影寻踪回归分析法和投影寻踪仿真单因素法^[8]分析各因素对马歇尔稳定度、流值、劈裂抗拉强度的影响规律,并通过 surfer 软件绘制等值线图确定了各指标的最优区域。

2 试验材料

本次试验使用的沥青混凝土原材料包括:粗骨料选用最大粒径为 26.5mm 的碱性岩石破碎料,细骨料选用人工砂,填料选用矿粉,沥青选用中国石油化工克拉玛依石化公司生产的 70 号(A)级道路石油沥青,各材料技术性能指标分别见表 1 粗骨料技术性能、表 2 细骨料技术性能、表 3 矿粉填料技术性能、表 4 70 号(A)级道路石油沥青技术性能。

表 1 粗骨料技术性能					
项 目	表观密度/吸水率/ (g·cm ⁻¹)	%	与沥青黏 附性/级	耐久性/ %	压碎值/ %
指标要求	≥2.6	≤2.0	≥4	≤12	≤30
实测值	2.72	0.3	5	3	17.7

表 2 细骨料技术性能					
项 目	表观密度/吸水率/ (g·cm ⁻¹)	%	水稳定 等级	耐久性/ %	石粉含 量/%
指标要求	≥2.55	≤2.0	≥4	≤15	≤10
实测值	2.71	0.7	10	3	2.7

表 3 矿粉填料技术性能				
项 目	表观密度/亲水系数/含水率/细度(<0.075)/ (g·cm ⁻¹)	%	%	%
指标要求	≥2.5	≤1.0	≤0.5	>85
实测值	2.70	0.5	0.1	100

表 4 70 号(A 级)道路石油沥青技术性能			
项 目	针入度/0.1mm	延度(10℃)/cm	软化点/℃
实测值	71.3	72.4	49.0

3 试验设计方法

将 19~26.5 mm 颗粒含量占 9.5~19 mm 颗粒含量的比例定义为超径率,并用丁朴荣提出的最大密实度理论公式^[9]计算得到 19~26.5 mm 颗粒含量占 9.5~19 mm 颗粒含量的 44%,因此把超径率的 3 个水平分为 0%、25%、50%。通过正交试验的方法研究超径率、填料浓度、沥青用量 3 个因素对心墙沥青混凝土力学性能的影响,填料浓度为沥青用量与填料的比值,粗骨料在沥青混凝土中起骨架作用,细骨料、填料及沥青填充其缝隙,形成相互作用。以劈裂抗拉强度、马歇尔稳定度、流值为考核指标评价各因素的影响程度,而每个因素又分 3 个水平,正交试验设计方案见表 5(表中括号内 1、2、3 分别代表每个因素下的 3 个水平)。试验方法按照《水工沥青混凝土试验规程》DL/T5362-2006 中规定进行^[10]。

表 5 正交试验设计方案			
试验组号	超径率/%	填料浓度	沥青用量/%
1	0(1)	1.5(1)	6.5(1)
2	0(1)	2.0(2)	6.8(2)
3	0(1)	2.5(3)	7.1(3)
4	25(2)	1.5(1)	6.8(2)
5	25(2)	2.0(2)	7.1(3)
6	25(2)	2.5(3)	6.5(1)
7	50(3)	1.5(1)	7.1(3)
8	50(3)	2.0(2)	6.5(1)
9	50(3)	2.5(3)	6.8(2)

4 试验结果及分析

4.1 试验结果

按上述正交试验制备 9 组沥青混凝土试件,进行了马歇尔稳定度及流值试验和劈裂试验,试验结果见表 6。

4.2 投影寻踪回归分析

为研究超径率、填料浓度和沥青用量对沥青混凝土的马歇尔稳定度、流值及劈裂抗拉强度的影响,采用投影寻踪回归分析方法(PPR),它是利用投影

寻踪进行回归的一种数据分析方法^[11],无正态假定的前提,无人确定为回归模型的不合理限制^[12]。因此,采用投影寻踪回归分析法无须假定模型,有效地避免了由于自身局限性而影响回归方程精度的问题,进一步提高了准确性^[13]。对表 6 中 9 组试验数据进行 PPR 分析,反映投影灵敏度指标的平滑系数 $SPAN = 0.50$,投影方向初始值 $M = 5$,最终投影方向取 $MU = 3$,试验组数 $N = 9$,自变量 $P = 3$,因变量 $Q = 1$ 。模型参数为: $M, MU, N, P, Q = 5, 3, 9, 3, 1$ 。

试验组号	试验结果		
	马歇尔稳定度 /kN	马歇尔流值 /0.1mm	劈裂抗拉强度 /MPa
1	7.46	54.8	0.30
2	7.22	91.9	0.36
3	7.04	95.4	0.32
4	7.55	59.3	0.42
5	6.06	90.7	0.42
6	6.73	74.0	0.45
7	8.40	89.4	0.41
8	7.57	89.9	0.47
9	6.94	88.9	0.42

对于心墙沥青混凝土马歇尔稳定度:

$$\beta = [1.0901 \ 0.3615 \ 0.1127]$$
$$\alpha = \begin{bmatrix} 0.0148 & -0.9956 & 0.09280 \\ 0.0004 & 0.12170 & -0.9926 \\ 0.1127 & -0.7608 & -0.6391 \end{bmatrix}$$

对于心墙沥青混凝土马歇尔流值:

$$\beta = [0.8124 \ 0.4641 \ 0.3717]$$
$$\alpha = \begin{bmatrix} 0.00220 & 0.68150 & 0.7378 \\ -0.0037 & -0.9149 & 0.40360 \\ 0.18670 & -0.5038 & -0.8434 \end{bmatrix}$$

对于心墙沥青混凝土劈裂抗拉强度:

$$\beta = [0.9021 \ 0.3859 \ 0.2008]$$
$$\alpha = \begin{bmatrix} 0.0673 & 0.7054 & -0.7056 \\ -0.0116 & -0.4836 & -0.8752 \\ -0.0121 & 0.9719 & -0.2349 \end{bmatrix}。$$

3 项考核指标的实测值与仿真值的误差见表 7 PPR 模型分析结果。从表中数据可以看出所有指标的仿真值与实测值两者拟合较好,马歇尔稳定度的最大相对误差为 4.1%,马歇尔流值的最大相对误差为 4.1%,劈裂抗拉强度的最大相对误差为 3.3%,均小于 5%,9 组试验的合格率为 100%。这说明 PPR 模型能够很好地反映各因素的交互作用以及对心墙沥青混凝土马歇尔稳定度、流值及劈裂抗拉强度性能影响的内在规律。对于马歇尔稳定度自变量的相对权值分别为:超径率 1.00000,填料浓度 0.65027,沥青用量 0.25978,可以看出对马歇尔稳定度影响程度依次是超径率→填料浓度→沥青用量;对于马歇尔流值自变量的相对权值分别为:填料浓度 1.00000,超径率 0.94823,沥青用量 0.69030,可以看出对马歇尔流值影响程度依次是填料浓度→超径率→沥青用量;对于劈裂抗拉强度自变量的相对权值分别为:超径率 1.00000,沥青用量 0.65265,填料浓度 0.11310,可以看出对劈裂抗拉强度影响程度依次是超径率→沥青用量→填料浓度。

试验组号	马歇尔稳定度/kN			马歇尔流值/0.1mm			劈裂抗拉强度/MPa		
	实测值	仿真值	相对误差/%	实测值	仿真值	相对误差/%	实测值	仿真值	相对误差/%
1	7.460	7.530	0.9	54.800	54.318	-0.9	0.300	0.310	3.3
2	7.220	7.203	-0.2	91.900	90.737	-1.3	0.360	0.350	-2.8
3	7.040	6.935	-1.5	95.400	97.728	2.4	0.320	0.329	2.8
4	7.550	7.476	-1.0	59.300	61.740	4.1	0.420	0.417	-0.8
5	6.060	6.311	4.1	90.700	90.547	-0.2	0.420	0.413	-1.6
6	6.730	6.653	-1.2	74.000	72.884	-1.5	0.450	0.446	-1.0
7	8.400	8.300	-1.2	89.400	86.817	-2.9	0.410	0.408	-0.5
8	7.570	7.714	1.9	89.900	90.598	0.8	0.470	0.478	1.8
9	6.940	6.849	-1.3	88.900	88.931	0.0	0.420	0.419	-0.2

为了在试验区内找到最优点,分析了单因素对各考核指标的影响规律。由图 1 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度随超径率的变化规律可以看出,随着超径率的增加,马歇尔稳定度和流值先减小后

增大,劈裂抗拉强度先增大后趋于稳定。这说明在沥青混凝土中大粒径石子起到骨架作用,而超径率小于 25% 时骨架作用还不明显,超径率达到 40% 后沥青混凝土内骨架作用最为充分,其强度提高。且大粒径石子越多,骨料的不均匀系数越大,试验中试件的粒径效应会显现出来,粗颗粒会承担更多压力,提高了沥青混凝土抗破坏能力和变形能力。由图 2 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度随填料浓度的变化规律可以看出,随着填料浓度的增加马歇尔流值和劈裂抗拉强度先增大后减小,马歇尔稳定度逐渐减小。说明随着填料浓度的增加,有更多的填料与沥青产生交互作用使得沥青胶浆的粘性增大,物理学性能增强^[14],且填料浓度为 2.0 时达到最大值。若再增加填料浓度导致浓度过大,将会使填料数量过多,沥青胶浆性能会发生变化:热稳定性增大,低温抗拉性降低;柔性降低,强度增大,变形适宜性降低;黏结力减小,与骨料黏结能力削弱。同时,沥青胶浆增多,沥青混凝土胶浆的体积率增加。使沥青混凝土的马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度减小。由图 3 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度

随沥青用量的变化规律可以看出,随着沥青用量的增加马歇尔稳定度和劈裂抗拉强度先缓慢减小,当沥青用量超过 6.8% 时迅速减小,马歇尔流值先增大后趋于稳定。这说明随着沥青用量的增加,骨料之间的自由沥青增加,相对来说结合沥青减少,黏结力下降,因此沥青混凝土的流动性增加,强度降低。同时借助 PPR 模型寻找数据的内在结构,对试验结果进行仿真分析。结合上述的分析结果可知,沥青用量为 6.8% 时,3 个考核指标相对较优,因此将沥青用量定为 6.8% 并运用 surfer 软件绘制出马歇尔稳定度、流值及劈裂抗拉强度的等值线图,进而对 3 张图做重合分析,可直观定出 3 项考核指标的最优区域。

由图 4(a)马歇尔稳定度等值线图、图 4 (b)马歇尔流值等值线图可以看出马歇尔稳定度、流值均在合理范围之内,满足要求;由图 4(c)劈裂抗拉强度等值线图可以看出劈裂抗拉强度达到最大值的区域为:超径率 35% ~ 45%,填料浓度 1.7 ~ 2.1。因此,本次试验推荐最优的超径率为 40%,胶浆浓度为 2.0,沥青用量为 6.8%。

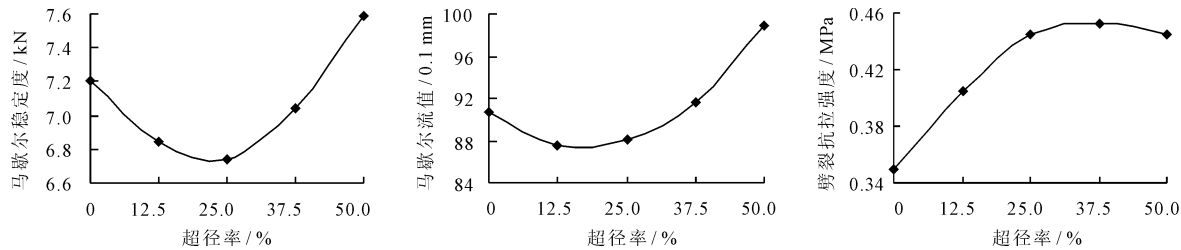


图 1 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度随超径率的变化规律

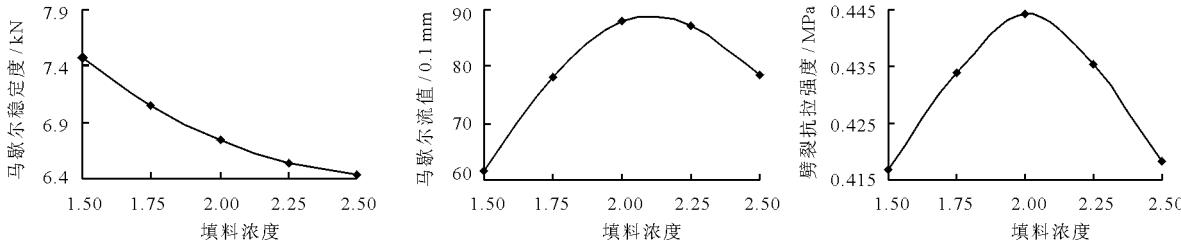


图 2 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度随填料浓度的变化规律

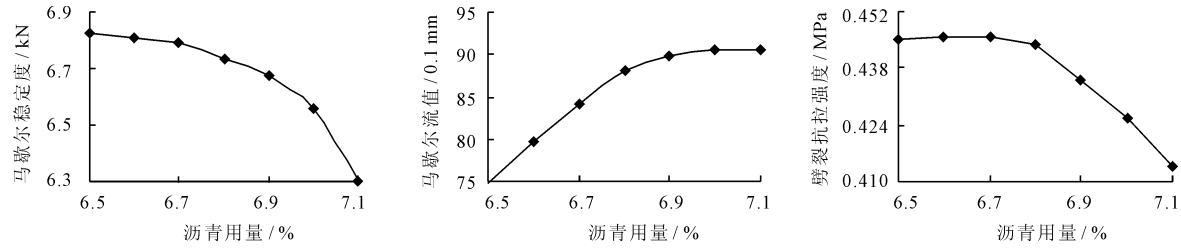


图 3 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度随沥青用量的变化规律

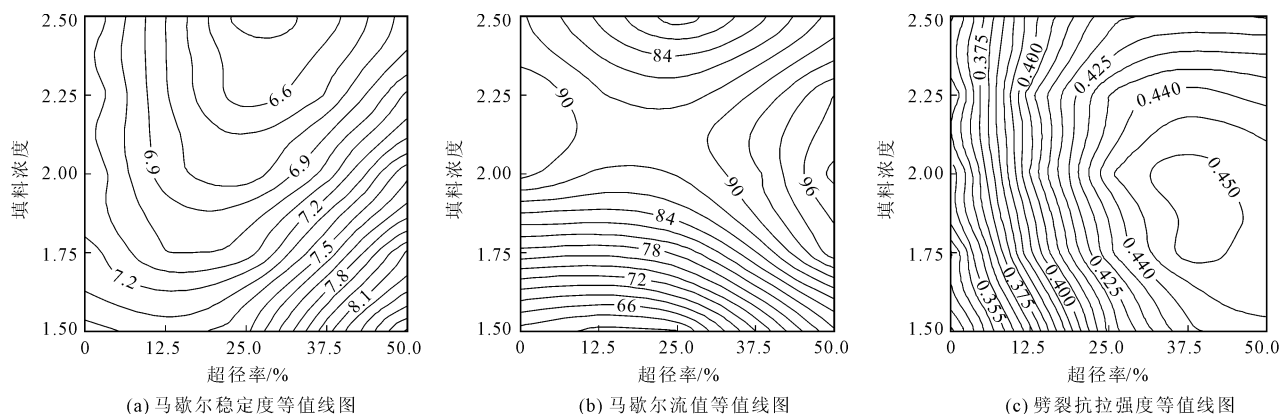


图4 马歇尔稳定度、流值和劈裂抗拉强度等值线图

5 结论

本文在正交试验的基础上通过投影寻踪回归分析法(PPR)研究了超径率、填料浓度、沥青用量对心墙沥青混凝土的流值、马歇尔稳定度、劈裂抗拉强度的影响,主要结论如下:

(1)超径率对马歇尔稳定度的影响程度最大,随着超径率的增加马歇尔稳定度先减小后增大;填料浓度对流值的影响程度最大,随着填料浓度的增加流值先增大后减小。

(2)超径率对劈裂抗拉强度的影响程度最大,随着超径率的增加劈裂抗拉强度先增加后趋于稳定,适当提高骨料最大粒径可有效地提高心墙沥青混凝土的劈裂抗拉强度。

(3)通过对最优区域的分析可得,当超径率为40%,填料浓度为2.0,沥青用量为6.8%时,心墙沥青混凝土的性能可达到最优。

参考文献:

[1] 朱 晟,闻世强. 当代沥青混凝土心墙坝的进展[J]. 人民长江,2004,35(9):9-11.
[2] 中华人民共和国水利部. SL 501-2010 土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2010.
[3] 中华人民共和国水利部. SL 514-2013 水工沥青混凝土施工规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013.
[4] 李伟军,赵永祯,张 军,等. 公称最大集料粒径对沥青混

合料劈裂强度影响数值分析[J]. 华东公路,2013,(1):94-96.
[5] 王雨利,管学茂,潘启东,等. 粗骨料颗粒级配对混凝土强度的影响[J]. 焦作工学院学报(自然科学版),2004,23(3):213-215.
[6] 杨晓征. 骨料最大粒径对浇注式沥青混凝土性能影响研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2013.
[7] 何建新,杨晓征,马晓兰,等. 骨料最大粒径对浇注式沥青混凝土力学性能影响研究[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(5):88-91+95.
[8] 刘大秀,郑祖国,葛毅雄. 投影寻踪回归在试验设计分析中的应用研究[J]. 数理统计与管理,1995,14(1):47-51.
[9] 全卫超,何建新,王怀义. 砾石骨料破碎对心墙沥青混凝土的性能影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(1):175-179.
[10] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T5362-2006. 水工沥青混凝土试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
[11] Hall P. On projection pursuit regression[J]. Annals of Statistics,1989,17(2):573-588.
[12] 何建新,杨耀辉,杨海华. 基于 PPR 无假定建模的沥青胶浆拉伸强度变化规律分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(2):189-192.
[13] 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
[14] 杨耀辉,何建新,杨海华. 填料级配及浓度对心墙沥青混凝土的性能影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(4):192-195.