

博斯坦水库沥青混凝土心墙配合比试验研究

彭芳伟

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v8i8.5632

[摘要] 本文以博斯坦水库为例,通过采用正交试验的方法,对12组配合比的马歇尔稳定度、马歇尔流值、孔隙率、劈裂抗拉强度等试验综合对比分析,提出适合博斯坦水库工程特性的2组配合比,并在碱性骨料人工砂最优选配合比的基础上,考虑工程实际情况,采用破碎砾石骨料人工砂替代50%的碱性骨料人工砂,优化配制沥青混凝土。通过试验分析,各项物理、力学性能及防渗性能均满足要求,与同类工程对比各项性能均在合理范围内,2种配合比均可作为心墙用沥青混凝土配合比。

[关键词] 沥青混凝土; 正交试验; 配合比

中图分类号: TU528.42 **文献标识码:** A

Experimental study on mix ratio of asphalt concrete core wall in Bostan Reservoir

Fangwei Peng

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey, Design and Research Institute Co., LTD

[Abstract] Taking Bostan Reservoir as an example, this paper adopted the orthogonal test method to comprehensively compare and analyze the Marshall stability, Marshall flow value, porosity, splitting tensile strength and other tests of 12 groups of mix ratios, and proposed 2 groups of mix ratios suitable for the engineering characteristics of Bostan Reservoir. Based on the optimal mix ratio of alkaline aggregate artificial sand and considering the actual engineering situation, the author proposed 2 groups of mix ratios suitable for the engineering characteristics of Bostan Reservoir. The artificial sand of crushed gravel aggregate was used to replace 50% of the artificial sand of alkaline aggregate to optimize the preparation of asphalt concrete. Through the test analysis, all the physical and mechanical properties and anti-seepage properties meet the requirements, and compared with similar projects, all the properties are within a reasonable range. The two mixtures can be used as the mix of asphalt concrete for core wall.

[Key words] asphalt concrete; orthogonal test; mix ratio

前言

策勒县博斯坦水库位于新疆和田地区策勒县,距策勒县城170公里,距博斯坦乡28公里。大坝采用沥青混凝土心墙防渗,坝顶高程3050.60m,坝顶宽度为8.0m,最大坝高78.6m,大坝长212m。坝址以上集水面积263km²,控制年径流量5742万m³,水库正常蓄水位3048m,相应库容742万m³,死水位3007m,死库容116万m³,调节库容626万m³,设计洪水位3049.80m,校核洪水位3050.35m,水库总库容797万m³,是一座承担灌溉任务的水利工程,工程规模为小(1)型^[1],工程建成后多年平均年供水量为3521万m³。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本次试验中使用的沥青混凝土原材料包括:(1)由施工单位委托送至实验室的新疆瑞德物资有限公司生产的库车AH-90A级

道路石油沥青。(2)碱性骨料由施工单位送至实验室,厂家为新疆正大宏业进出口有限公司,粒径分别为小于2.36mm、2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~19mm以及4.75mm以下的混合料,各粒级骨料经实验室筛分剔除超、逊径供试验使用。(3)砾石骨料破碎人工砂,由施工单位送至实验室,厂家为新疆正大宏业进出口有限公司,粒径为小于2.36mm的人工砂。超径、逊径骨料通过筛分剔除。(4)填料为新疆正大宏业进出口有限公司生产的粒径小于0.075mm矿粉。根据《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范》(SL501—2010)规定^[2],并参考国内沥青混凝土心墙坝的成功案例,博斯坦水库大坝防渗体采用碾压式沥青混凝土心墙。沥青混凝土技术性能指标列主要有9项:孔隙率、马歇尔流值、马歇尔稳定度、弯曲强度、水稳定系数、渗透系数、弯曲应变、内摩擦角、黏结力,本次配合比试验主要对前4项指标进行研究^[3]。

表 1 沥青混凝土配合比试验结果

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(0.1mm)	稳定度(kN)	劈裂抗拉强度(MPa)	沥青体积百分率(%)	料粒间隙率(%)	饱和度(%)	备注
1	0.36	11%	6.30%	2.43	2.448	0.83	28.97	6.86	3.88	14.35	15.39	93.27	40℃
2	0.42	13%	6.30%	2.43	2.447	0.89	32.8	7.06	3.84	14.37	15.24	94.31	40℃
3	0.39	15%	6.30%	2.42	2.448	0.96	31.27	6.64	3.88	14.37	15.32	93.77	40℃
4	0.42	11%	6.60%	2.42	2.437	0.64	31.63	6.7	3.63	14.35	14.93	96.18	40℃
5	0.39	13%	6.60%	2.42	2.437	0.77	34.33	6.16	3.55	14.33	15.1	94.92	40℃
6	0.36	15%	6.60%	2.41	2.438	0.99	32.13	6.23	3.56	14.3	15.29	93.55	40℃
7	0.39	11%	6.90%	2.41	2.426	0.51	37.1	6.17	3.45	14.31	14.78	96.86	40℃
8	0.36	13%	6.90%	2.41	2.428	0.76	39.57	6.2	3.29	14.27	15.03	94.97	40℃
9	0.42	15%	6.90%	2.41	2.428	0.82	42.53	6.07	3.61	14.24	15.24	93.49	40℃
10	0.36	11%	7.20%	2.4	2.416	0.7	37.5	6.23	3.31	14.21	14.93	95.19	40℃
11	0.42	13%	7.20%	2.4	2.418	0.7	44.83	6.01	3.37	14.22	14.95	95.1	40℃
12	0.39	15%	7.20%	2.4	2.418	0.74	47.23	5.9	3.15	14.21	15.01	94.66	40℃

1.2试验方法

本次沥青青墙混凝土配合比试验采用正交试验方案,选择沥青混凝土配合比中的三个因素,分别为:矿料级配指数、填料用量和沥青用量,每个因素取3~4个水平。按照要求制备马歇尔试件,测定试件密度、孔隙率、劈裂抗拉强度、稳定度和流值为考核指标。按L₉(3³)+3正交表安排的试验方案。在配合比试验中,粗骨料分成三级,即2.36~4.75mm、4.75~9.5mm、9.5~19mm,根据试验使用的矿质材料级配情况进行级配设计计算,确定各试验组中各料的质量配合比,按各试验组配合比试配沥青混凝土进行相关试验,试验结果见表1。

2 试验结果分析

根据沥青混凝土正交设计试验方案的马歇尔试验结果,以孔隙率、稳定度、流值、劈裂抗拉强度为考核指标分别进行级差分析和方差分析。

2.1极差分析

极差分析见表2所列,可以看出:在孔隙方面,填料的用量对孔隙率的影响最大,其次是沥青的用量,级配指数对孔隙率影响不明显,在研究中发现,孔隙率的试验误差估计值为0.01%,表示孔隙率的测量结果相对准确。对于流值而言,沥青的用量对其影响最为显著,其次是填料的用量,而级配指数对流值的影响并不明显,流值试验中的误差估计值为1.59mm,这意味着在测量流值时可能存在较大的误差。在稳定度方面,沥青的用量对稳定度的影响最为显著,其次是填料的用量,而级配指数对稳定度的影响并不明显,稳定度试验中的误差估计值为0.04kN,这一范围内的误差是可接受的。至于劈裂抗拉强度,沥青的用量对其影响最大,

其次是级配指数,而填料的用量对劈裂抗拉强度的影响不明显。

2.2方差分析

方差分析结果详见表3。根据试验结果,矿料的级配指数对考核指标的影响程度中,稳定度影响最大、孔隙率次之、流值排第三,劈裂抗拉强度最小。填料用量对考核指标的影响程度中,流值影响最大、稳定度次之、孔隙率排第三,劈裂抗拉强度最小。沥青用量对考核指标的影响程度中,稳定度影响最大、孔隙率次之、流值排第三,劈裂抗拉强度最小。各考核指标的试验误差与极差分析中估计的试验误差相近。从表中的试验离差系数CV值可以看出,流值为4.35%、稳定度为0.62%、孔隙率为1.75%、劈裂抗拉强度为2.85%,各指标的试验成果精度均表现较高水平。

2.3配合比复演

综合以上试验分析,考虑到工程区各种气候条件及抗震要求,结合配合比设计的极差及方差分析,在7、9号配合比的基础上,为进一步提高沥青混凝土的稳定度,增大流值及劈裂抗拉强度,同时降低孔隙率,补充了13号配合比,初步选择级配指数为0.42、沥青用量为6.9%、填料用量为11%的配合比为推荐配合比。结合施工要求,在推荐配合比的基础上,在细骨料中掺加50%的砾石骨料人工砂以改善沥青混凝土的和易性,补充了14号配合比,级配指数为0.42、沥青用量为6.9%、填料用量为11%。在选定最佳配合比之前,我们进行了沥青混凝土的配合比复演,复演后沥青混凝土的密度、理论最大密度、马歇尔稳定度、马歇尔流值均能在合理范围之内,并能满足规范要求,因此,采用碱性骨料人工砂以及掺半砾石骨料人工砂配制的沥青混凝土均可作为本工程沥青混凝土配合比。

表 2 L₉(3⁴)+3 试验方案、试验结果和极差分析表

项目		沥青 用量	填料 用量	级配 指数	空列	试验结果			
		1	2	3	4	空隙率 (%)	流值 (mm)	稳定度 (kN)	劈裂抗拉强度 (MPa)
1		6.30%	11%	0.36	2	0.83	28.97	6.86	3.88
2		6.30%	13%	0.42	1	0.89	32.8	7.06	3.84
3		6.30%	15%	0.39	3	0.96	31.27	6.64	3.88
4		6.60%	11%	0.42	3	0.64	31.63	6.7	3.63
5		6.60%	13%	0.39	2	0.77	34.33	6.16	3.55
6		6.60%	15%	0.36	1	0.99	32.13	6.23	3.56
7		6.90%	11%	0.39	1	0.51	37.1	6.17	3.45
8		6.90%	13%	0.36	3	0.76	39.57	6.2	3.29
9		6.90%	15%	0.42	2	0.82	42.53	6.07	3.61
10		7.20%	11%	0.36	2	0.7	37.5	6.23	3.31
11		7.20%	13%	0.42	1	0.7	44.83	6.01	3.37
12		7.20%	15%	0.39	3	0.74	47.23	5.9	3.15
					Σ	9.31	439.9	76.24	42.54
					x	0.78	36.66	6.35	3.54
孔隙率 (%)	K1	2.68	2.68	3.28	3.08	试验误差估计值为 (%) 0.01			
	K2	2.4	3.12	2.98	3.13				
	K3	2.09	3.51	3.05	3.1				
	K4	2.14	—	—	—				
	K1	0.89	0.67	0.82	0.77				
	K2	0.8	0.78	0.74	0.78				
	K3	0.7	0.88	0.76	0.77				
	K4	0.71	—	—	—				
	R	0.18	0.21	0.08	0.01				
流值 (0.1mm)	K1	93.03	135.2	138.17	146.87	试验误差估计值为 (mm) 1.59			
	K2	98.1	151.53	149.93	143.33				
	K3	119.2	153.17	151.8	149.7				
	K4	129.57	—	—	—				
	K1	31.01	33.8	34.54	36.72				
	K2	32.7	37.88	37.48	35.83				
	K3	39.73	38.29	37.95	37.43				
	K4	43.19	—	—	—				
	R	10.49	4.49	3.41	1.59				
稳定度 (kN)	K1	20.57	25.97	25.53	25.47	试验误差估计值为 (kN) 0.04			
	K2	19.09	25.43	24.87	25.32				
	K3	18.43	24.84	25.84	25.45				
	K4	18.15	—	—	—				
	K1	6.86	6.49	6.38	6.37				
	K2	6.36	6.36	6.22	6.33				
	K3	6.14	6.21	6.46	6.36				
	K4	6.05	—	—	—				
	R	0.81	0.28	0.24	0.44				
劈裂抗拉强度 (MPa)	K1	11.6	14.28	14.05	14.23	试验误差估计值为 (MPa) 0.1			
	K2	10.74	14.05	14.03	14.35				
	K3	10.35	14.2	14.46	13.96				
	K4	9.84	—	—	—				
	K1	3.87	3.57	3.51	3.56				
	K2	3.58	3.51	3.51	3.59				
	K3	3.45	3.55	3.61	3.49				
	K4	3.28	—	—	—				
	R	0.58	0.06	0.11	0.1				

3 结论

通过采用正交试验的方法,对12组配合比的马歇尔稳定度、马歇尔流值、孔隙率、劈裂抗拉强度等试验综合对比分析,提出适合博斯坦水库工程特性的2组配合比,并在碱性骨料人工砂最优优选配合比的基础上,考虑工程实际情况,采用破碎砾石骨料人工砂替代50%的碱性骨料人工砂,优化配制沥青混凝土,配合比

为: 骨料最大粒径19mm、级配指数为0.42、沥青用量为6.9%、填料用量为11%,通过试验分析,各项物理、力学性能及防渗性能均满足要求,且掺加50%的砾石骨料人工砂可进一步增加沥青混凝土的和易性,与同类工程对比各项性能均在合理范围内,推荐13号(碱性骨料人工砂)和14号(掺加50%砾石骨料人工砂)作为心墙用沥青混凝土配合比。

表 3 试验结果方差分析表

流值	方差来源	变动平方和	自由度 v	方差 V	F	显著性	临界值
	沥青用量	298.99	2	149.495	58.77	有一定影响	$F_{0.05}(2,2)=99.0$
	矿粉用量	49.354	2	24.677	9.7	有一定影响	$F_{0.05}(2,2)=19.0$
	级配置数	27.317	2	13.659	5.37	不显著	$F_{0.10}(2,2)=9.0$
	误差	5.087	2	2.544			
	总和	380.75	8				
	试验误差=		1.59	0.1mm			
	试验成果离差系数=		4.35	%			
稳定度	方差来源	变动平方和	自由度 v	方差 V	F	显著性	临界值
	沥青用量	1.166	2	0.583	375.46	显著	$F_{0.05}(2,2)=99.0$
	矿粉用量	0.159	2	0.079	51.14	有一定影响	$F_{0.05}(2,2)=19.0$
	级配置数	0.123	2	0.062	39.68	有一定影响	$F_{0.10}(2,2)=9.0$
	误差	0.003	2	0.002			
	总和	1.45	8				
	试验误差=		0.04	KN			
	试验成果离差系数=		0.62	%			
孔隙率	方差来源	变动平方和	自由度 v	方差 V	F	显著性	临界值
	沥青用量	0.073	2	0.037	197.37	显著	$F_{0.05}(2,2)=99.0$
	矿粉用量	0.085	2	0.043	230.26	显著	$F_{0.05}(2,2)=19.0$
	级配置数	0.013	2	0.006	33.94	有一定影响	$F_{0.10}(2,2)=9.0$
	误差	0	2	0			
	总和	0.17	8				
	试验误差=		0.01	%			
	试验成果离差系数=		1.75	%			
劈裂抗拉强度	方差来源	变动平方和	自由度 v	方差 V	F	显著性	临界值
	沥青用量	0.546	2	0.273	26.82	有一定影响	$F_{0.05}(2,2)=99.0$
	矿粉用量	0.007	2	0.003	0.32	不显著	$F_{0.05}(2,2)=19.0$
	级配置数	0.029	2	0.0146	1.44	不显著	$F_{0.10}(2,2)=9.0$
	误差	0.02	2	0.01			
	总和	0.6	8				
	试验误差=		0.1	Mpa			
	试验成果离差系数=		2.85	%			

[参考文献]

[1]中华人民共和国水利部.SL 252-2017水利水电工程等级划分及洪水标准[S].北京:中国水利水电出版社,2017.

[2]中华人民共和国水利部.SL501-2010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]国家能源局.DL/T5362-2018水工沥青混凝土试验规程[S].北京:中国电力出版社,2019.

作者简介:

彭芳伟(1985--),男,汉族,湖南邵东人,本科,工程师,研究方向:水利工程材料试验。