

两河口水电站心墙防渗料掺砾试验

高 鹏¹, 吴世勇²

(1. 四川二滩建设咨询有限公司, 四川 成都 610051; 2. 二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051)

摘要:为改善作为心墙防渗料的含砾低液限黏土的强度和变形性质,对两河口水电站300 m级心墙堆石坝防渗料进行掺砾研究,分别进行了击实试验和力学性质试验。试验结果表明:随着掺砾比增大,心墙防渗料的最大干密度逐渐增大,最优含水率逐渐减小;掺砾比为40%的心墙防渗料的变形和强度性质较好,临界水力梯度最高;掺砾比为30%和40%的心墙防渗料的渗透系数更接近规范要求。推荐两河口水电站心墙堆石坝心墙防渗料的掺砾比为40%。

关键词:防渗料;掺砾比;击实试验;力学性质;心墙;两河口水电站

中图分类号:TV441

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2012)05-0064-03

An experimental study of gravelly impervious materials for core wall in Lianghekou Hydropower Station//GAO Peng¹, WU Shiyong²(1. Sichuan ertan construction consulting Co., Ltd., Chengdu 610051, China; 2. Ertan Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610051, China)

Abstract: In order to improve the strength and the deformation properties of gravelly low liquid-limit clay as impervious material for a core wall, compaction and mechanical tests were conducted for the clay of the core rockfill dam (300 m in height) at Lianghekou Hydropower Station. The experimental results show that the maximum dry density of mixed materials increases and its optimum moisture content decreases with the increase of gravel content; the strength and the deformation properties of mixed material with 40% gravel is the best and its critical hydraulic gradient is the highest; and the permeability coefficient of the impervious soil with 30% and 40% gravel is closer to the standard requirement. Therefore, the suggested gravel ratio of the impervious soil materials for Lianghekou Hydropower Station is 40%.

Key words: impervious material; gravel ratio; compaction test; mechanical property; core wall; Lianghekou Hydropower Station

两河口水电站位于四川省甘孜藏族自治州雅江县境内的雅砻江干流上,电站总装机容量300万kW。可行性研究阶段推荐土质心墙堆石坝,最大坝高295 m,上游坝坡为1:2.0,下游坝坡为1:1.9,心墙顶宽为6 m,上、下游坡度均为1:0.2,坝体总填筑量约4000万m³,其中,心墙填筑量约429.4万m³。

两河口土质心墙堆石坝坝高达300 m级,其防渗体裂缝及引起的渗流冲刷是影响坝体安全的重要因素,故对防渗土料的要求很高。除应满足防渗性能外,还应具有良好的力学性能,与坝壳堆石的变形相协调,减少心墙拱效应,改善心墙的应力和变形,从而减小心墙裂缝的发生概率。从国内外已建和在建的200 m级以上高土石坝的筑坝经验来看,防渗体基本上都采用砾石土和风化岩等宽级配土料^[1-3]。

采用砾石土作为高堆石坝防渗体,可在压实后获得较高的密度,使心墙具备强度高、压缩性低的特点;一旦心墙开裂,可限制裂缝的开展,改善裂缝形态,减弱沿裂缝的渗流冲刷^[4-8]。

两河口工程防渗心墙料场土料为含砾低液限黏土,虽然其防渗性能均满足设计要求,但是土料粗粒含量偏少,力学指标偏低,压缩性偏大,不适宜作为300 m级高心墙堆石坝心墙防渗料,需进行掺砾以改善其强度和变形特性。

为研究300 m级高心墙堆石坝心墙防渗料的特性,在可行性研究阶段委托不同科研单位进行了坝料的物理和力学特性研究以及现场碾压试验等。本文仅针对两河口心墙料场存在的土料粗粒含量偏低的问题进行室内掺砾改性试验,在保证心墙防渗料

的防渗性能和抗渗性能满足设计和规范要求的前提下,充分改善防渗料的力学指标及抗变形能力,提出适合 300 m 级高坝防渗土料性能要求、便于施工和质量控制且经济合理的掺砾室内试验方案,为现场碾压试验提供依据。

1 试验土料

两河口水电站心墙防渗土料分布较为分散,在工程可行性研究阶段对坝址区上、下游 40 km 范围内的亚中、苹果园、普巴绒和西地等 7 个防渗料主要料源进行了详查。根据料源质量、储量和位置以及开采的可行性,苹果园料场具备成为主要料场的可能,因此选取苹果园料场土料(简称 PK)进行掺砾试验。苹果园料场土料级配如图 1 所示,其中平均级配大于 5 mm 的颗粒占 1.32%,小于 0.075 mm 的细粒占 73.65%,小于 0.005 mm 的黏粒占 23.17%。界限含水率试验表明液限 $w_L = 25.8\%$,塑限 $w_p = 14.7\%$,塑性指数 $I_p = 11.1$,为含砾低液限黏土^[9]。压缩试验结果表明,该土料为一种低压缩性土;抗剪强度参数内摩擦角 φ 最大值为 14.6° ,抗剪强度较低;渗透系数 k 最大值为 6.41×10^{-8} cm/s,临界水力梯度 $i_{cr} > 15.95$,满足规范要求。

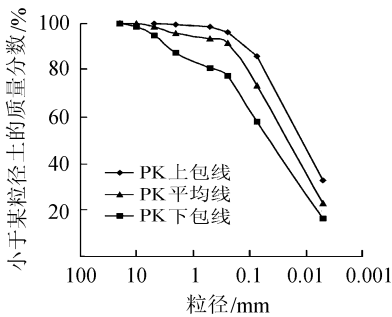


图 1 试验土料粒径分布曲线

根据类似工程经验,并考虑有利于土料掺和均匀,掺砾料最大粒径控制在 100 mm 以下。本次试验掺砾为人工破碎的洞挖板岩夹砂岩,按 100 ~ 60 mm, 60 ~ 40 mm, 40 ~ 20 mm, 20 ~ 10 mm 和 10 ~ 5 mm 粒组进行组合,然后与 PK 料按不同比例掺和,掺砾料级配见图 2。

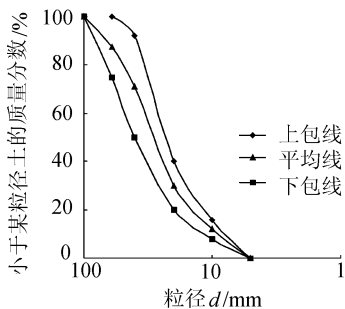


图 2 掺砾料粒径分布曲线

2 试验结果及分析

砾石含量对土的渗透、变形和强度性质有直接影响,为确定适用于心墙防渗料合理的砾石含量,需进行不同掺砾比(质量分数)的击实试验和力学性质试验。本试验选取掺砾比为 0, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% 和 60%, 共 7 种方案。

2.1 不同掺砾比心墙防渗料的击实性质

目前国内外的高土石坝工程,为提高大坝的填筑强度和缩短工期,新型大功率的碾压设备不断投入使用,并根据砾质土的特点,通过加大击实功能来提高防渗与抗渗性能。以往的工程经验表明,采用轻型击实功能试验确定的压实标准,往往导致施工时压实度大于 100%。因此在 300 m 级的高砾质土心墙堆石坝设计过程中采用 2740 kJ/m³ 单位击实功来研究土料特性并确定其压实标准。各掺砾比心墙防渗料击实试验成果见表 1,击实后破碎率测定成果见表 2,其中 P_s 指粒径大于 5 mm 的颗粒质量分数。

表 1 不同掺砾比心墙防渗料击实试验成果

掺砾比/%	最大干密度/(g·cm ⁻³)	细粒干密度/(g·cm ⁻³)	最优含水率/%	P_s (击后)/%	大于 5 mm 颗粒破碎率/%
0	1.980	1.980	12.7	0.00	0.00
10	2.040	1.977	11.0	9.32	4.90
20	2.090	1.972	10.0	18.48	7.55
30	2.160	1.968	9.0	27.83	7.23
40	2.215	1.955	8.0	36.56	8.60
50	2.280	1.943	7.4	45.42	9.18
60	2.300	1.906	6.8	53.80	10.30

击实试验结果表明,随着掺砾比增大,掺和料的最大干密度逐渐增大,最优含水率逐渐减小,击实后大于 5 mm 颗粒破碎率逐渐增大。随着掺砾比从 0 增至 60%,最优含水率由 12.7% 降至 6.8%,最大干密度由 1.980 g/cm³ 增至 2.300 g/cm³,粒径小于 5 mm 颗粒的细粒干密度由 1.980 g/cm³ 降至 1.906 g/cm³。随着掺砾比从 10% 增至 60%,室内有侧限状况下以 5 mm 粒径为界统计,平均破碎率为 4.90% ~ 10.31%,总平均为 8.30%。

值得注意的是,掺砾比为 30% 时,最大干密度为 2.160 g/cm³,比不掺砾土料增加 9.1%;击后 $P_s = 27.83\%$;掺砾比为 40% 时,最大干密度为 2.215 g/cm³,比不掺砾土料增加 11.9%;击后 $P_s = 36.56\%$ 。从最大干密度和击后 P_s 增加比例来看,掺砾比为 40% 的比例增幅较掺砾比为 30% 略为明显。

2.2 不同掺砾心墙防渗料的力学性质

针对掺砾比为 30%, 40% 和 50% 3 种方案的心墙防渗料进行了直剪、压缩和渗流 3 项力学性质试验,试验结果见表 3。从变形和强度方面看,掺砾比

表 2 不同掺砾比心墙防渗料击实后破碎率测定成果

掺砾比/%	状态	颗粒组成/%						以 5 mm 为界统计 破碎率/%	平均 破碎率/%
		60 ~ 40 mm	40 ~ 20 mm	20 ~ 10 mm	10 ~ 5 mm	<5 mm	>5 mm		
10	击实前	1.89	4.69	2.06	1.37	90.00	10.00	0.69	4.90
	击实后	1.47	4.47	2.05	1.33	90.68	9.32		
20	击实前	3.77	9.37	4.11	2.74	80.00	20.00	1.52	7.55
	击实后	2.54	8.30	4.62	3.01	81.52	18.48		
30	击实前	5.66	14.06	6.17	4.11	70.00	30.00	2.17	7.23
	击实后	4.44	12.81	5.55	5.03	72.17	27.83		
40	击实前	7.54	18.74	8.23	5.49	60.00	40.00	3.44	8.60
	击实后	5.26	17.11	7.28	6.92	63.44	36.56		
50	击实前	9.43	23.43	10.29	6.86	50.00	50.00	4.58	9.18
	击实后	5.35	22.49	9.83	7.75	54.58	45.42		
60	击实前	11.31	28.11	12.34	8.23	40.00	60.00	6.19	10.31
	击实后	6.19	25.37	12.88	9.36	46.20	53.80		

表 3 不同掺砾比心墙防渗料力学性质试验成果

掺砾比/%	强度参数		压缩性质参数		渗流性质参数		
	黏聚力/ kPa	内摩 擦角/(°)	压缩 系数/ MPa	压缩 模量/ MPa	渗透 系数/ (cm·s ⁻¹)	临界 水力 梯度	破坏 类型
30	40	29.6	0.047	27.4	9.03×10 ⁻⁸	15.4	流土
40	40	32.8	0.033	39.1	5.33×10 ⁻⁷	16.8	流土
50	55	29.9	0.029	42.8	4.30×10 ⁻⁶	13.4	流土

为 40% 的土样略优于其他两种土料;从渗透特性来看,掺砾比为 30% 和 40% 的土料渗透系数更接近规范要求,更适应 300 m 级高堆石坝的安全性要求;掺砾比为 40% 的心墙防渗料临界水力梯度 i_{cr} 最高,表明其细粒渗透稳定性最好。

两河口工程所用掺砾料均为人工加工而成,增加掺砾量必将增加投资。综上所述,推荐掺砾比为 40% 较为适宜。

对于一座 300 m 级高堆石坝心墙土料仅有物理和力学性能试验是不够的,为防止心墙拱效应以及遏制拱效应裂缝的危害,可行性研究阶段分专题对心墙土料的应力应变特性、心墙可能产生的裂缝抗冲能力等进行了研究,有关研究结论可查阅相关文献^[10]。

3 结 论

a. 随着掺砾比增大,掺和心墙防渗料的最大干密度逐渐增大,最优含水率逐渐减小,击实破碎率逐渐增大;随着掺砾比从 10% 增至 60%,室内有侧限状况下以 5 mm 粒径为界统计,平均破碎率为 4.90% ~ 10.31%,总平均为 8.30%。

b. 从变形和强度方面看,掺砾比为 40% 的土样略优于掺砾比为 30% 和 50% 的掺和心墙防渗料;

从渗透性质来看,掺砾比为 30% 和 40% 的土料渗透系数更接近规范要求,更适应 300 m 级高堆石坝的安全性要求;掺砾比 40% 的土料临界水力梯度最高。

c. 综合考虑适用、安全和经济等因素,推荐掺砾比采用 40% 较为适宜。为确定适应 300 m 级高坝心墙防渗料性能要求、便于施工和质量控制、经济合理的掺和方案,应通过现场碾压试验进一步对掺砾比进行研究。

参考文献:

[1] 陈志波,朱俊高. 宽级配砾质土三轴试验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(6):704-710.

[2] 陈志波,朱俊高,王强. 宽级配砾质土压实特性试验研究[J]. 岩土工程学报,2008,30(3):446-449.

[3] 朱建华,游凡,杨凯虹. 宽级配砾石土坝料的防渗性及反滤[J]. 岩土工程学报,1993,15(6):18-27.

[4] 温彦锋,蔡红,边京红. 强风化岩防渗土料的压实及渗透特性[J]. 水力发电学报,2000(2):17-24.

[5] 冯业林,孙君实,刘强. 糯扎渡心墙堆石坝防渗土料研究[J]. 水力发电,2005,31(5):43-45.

[6] 宋加升,张四和. 糯扎渡水电站心墙防渗土料工程地质特性研究[J]. 水力发电,2005,31(5):35-36.

[7] 王继庄,董槐三. 软岩风化料高土石坝防渗体的工程特性[J]. 岩土工程学报,1991,13(3):1-12.

[8] 王柏乐. 中国堆石坝工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004.

[9] SL237—1999 土工试验规程[S].

[10] 褚福永,朱俊高,张富有,等. 300 m 级弧形直心墙超高堆石坝应力变形分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(5):506-510.

(收稿日期:2011 - 12 - 21 编辑:周红梅)