

泥岩风化料在龙虎水库大坝防渗心墙填筑中的应用

卢晓鹏

(云南省水利水电科学研究院,云南 昆明 650228)

摘要:为了解龙虎水库大坝防渗心墙料(当地泥岩风化料)的压实情况,以便为大坝的填筑施工提供科学依据,对泥岩风化料进行现场碾压试验。试验结果表明,由于料源母岩以软岩为主,在碾压和击实过程中砾石破碎率大于30%,压实性满足设计要求;按碾压试验确定的参数施工,防渗性能满足设计要求;料场天然含水率高于且接近最优含水率,施工时不用调整含水率可直接上坝,但要立采混合均匀方可进行填筑;该土料渗透系数小于 $5\times10^{-6}\text{cm/s}$,具有较高的抗渗透变形稳定性。经复核试验验证及蓄水检验,当地泥岩风化料在龙虎水库大坝防渗心墙填筑中的应用是成功的。

关键词:泥岩风化料;防渗心墙;压实性;防渗性;龙虎水库大坝

中图分类号:TU447 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2013)01-0049-04

Application of mudstone weathered material in the filling of impervious core wall for Longhu Reservoir Dam//LU Xiaopeng (Yunnan Research Institute of Water Resources and Hydropower, Kuiming 650228, China)

Abstract: In order to provide a scientific basis for construction of the Longhu Dam, filed compaction tests were carried out to study the compactibility of the local mudstone weathered material used in the filling of the impervious core wall. Tests results show that, the parent rock of the material is mainly soft rock and its gravel breakup rate is larger than 30% during the roller compaction process, so the compactibility of the mudstone weathered material can meet the design requirements of the impervious core wall; the permeability of the impervious core wall can be satisfied by implementing the construction according to parameters obtained from field compaction tests; the natural water content of the material is slightly higher than the optimal moisture content, hence, the material can be directly used in the dam filling after homogeneous mixing, without adjustment of water content of the material; the permeability coefficient of the material is lower than $5\times10^{-6}\text{cm/s}$, and the safety factor of seepage stability of the impervious core wall is relatively high. Hence, it is verified by filed compaction tests that the application of mudstone weathered material in the filling of an impervious core wall for Longhu Dam is successful.

Key words: mudstone weathered material; impervious central core; compactibility; permeability; Longhu Reservoir Dam

1 工程概况

龙虎水库位于云南省牟定县西北部15 km处龙川河上游老虎箐峡口地段,是一座以灌溉为主,兼顾养殖及综合利用功能的中型水库,水库总库容为1 370.18万 m^3 ,兴利库容为1 042万 m^3 ,设计灌溉面积为1 666.67 hm^2 。工程于2003年11月30日开工,2008年5月枢纽主体工程完工。

水库拦河大坝为黏土心墙石碴坝,坝高68.3 m,坝顶长321 m,宽6 m。上游坝坡坡度分别为1:2.2、1:2.4、1:2.5;下游坝坡坡度分别为1:1.8、1:2.0、1:2.0。水库枢纽区地震基本烈度为Ⅶ度。

2 料场的基本特性

龙虎水库槽子地料场位于大坝上游右岸半山坡,东西长约350 m,南北长约120 m,地形坡度为 $18^\circ\sim23^\circ$,基岩为白垩系上统江底河组下段紫红色厚层状泥岩(K_2j^1),料场黏土层为泥岩经全强风化作用后形成。根据泥岩风化程度和地形差异可划分为两个采区,1采区靠近上游,2采区靠近下游,以冲沟为界。

料场可开采厚度一般为2~4 m,剥离层厚度为0.3~0.8 m,距大坝0.5~0.8 km,储量满足设计要求,可开采量为24.21万 m^3 。初设及详查阶段对料

场泥岩风化石料进行了大量的物理力学性能试验。料场平均天然含水率为 27.5% ~ 30.2%, 平均天然干密度为 1.41 ~ 1.49 g/cm³。土料为黏土质砾(GC), 多为泥岩风化石料, 细料为高液限黏性土, 粗粒风化剧烈, 岩块疏松易碎, 击后破碎率大于 30%。颗粒分析表明料场土料级配连续, 大于 5 mm 的粗砾质量分数为 36.2% ~ 45.1%; 小于 0.075 mm 的细粒质量分数为 32.5% ~ 39.5%; 小于 0.005 mm 的黏粒质量分数为 18.0% ~ 22.0%。土料属中等压缩性, 直剪强度摩擦角在 18° ~ 20° 之间, 渗透系数小于 5 × 10⁻⁶ cm/s。从国内外土石坝使用软岩风化石料作为防渗料的经验看, 只要粗砾质量分数的上限不超过 50% ~ 60%, 细粒质量分数的下限不小于 15%, 最大粒径不超过碾压铺土层厚 2/3 的碎(砾)石类土料可用作心墙防渗料。龙虎水库槽子地料场的级配均在此范围, 可满足心墙防渗料的要求。

3 不同砾石质量分数的影响

为了解槽子地料场粗砾(粒径大于 5 mm)质量分数的大小对压实性的影响^[1], 人工配制不同掺砾量(0、30%、50%、60%、70%、78.9%)的砾石进行大型击实试验。不同掺砾量的击实成果见表 1, 不同掺砾量击实前后颗粒分析级配曲线见图 1。

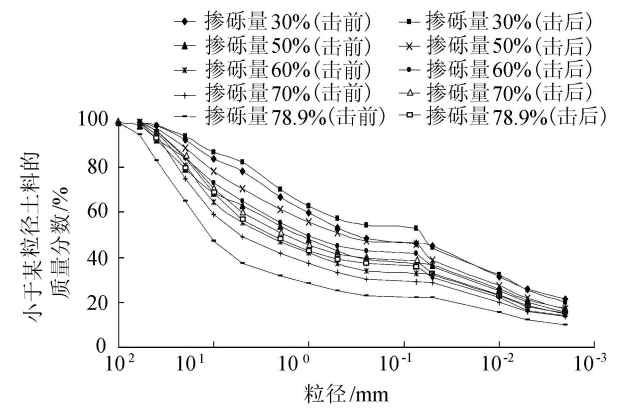


图 1 槽子地料场不同掺砾量击实前后颗粒分析级配曲线

从试验成果看: 土料中掺入粗砾后, 随着掺砾量的增加, 破碎率增大, 但由于粗砾风化程度高, 击后

易破碎为泥质软岩风化石料, 粗、细粒的性质相差不大, 故击实干密度变化不大。大坝防渗心墙填筑施工时, 对料场泥岩风化石料立采混合均匀后进行填筑, 填筑土料物理力学指标满足心墙料填筑设计指标要求。

4 泥岩风化石料碾压试验结果分析

龙虎水库大坝防渗心墙土料以泥岩风化石料为主, 由于料源物理性能存在较大差异, 为了解泥岩风化石料的压实情况, 为大坝的填筑施工提供科学依据, 进行了大量的现场碾压试验。土料的压实性主要用碾压后的密度来反映^[2], 从现场碾压试验中获得的大量数据及成果说明压实度除与材料的性质有关, 还与级配、含水率等条件密切相关, 同时与碾压机械及碾压参数(如碾压遍数、铺土厚度)也有关。

4.1 不同土料的压实性

压实干密度随级配、土性不同而变化。从料场碾压前后级配的变化情况看, 槽子地料场 2 个采区粗砾最大粒径为 200 mm, 大于 2 mm 的砾石质量分数碾压前约为 50%, 碾压后随碾压遍数的增加降低至 16.0% ~ 40.0%; 0.075 ~ 2 mm 的砂粒质量分数碾压前约为 14.0%, 碾压后平均增加了 5.0% 以上; 小于 0.075 mm 的细粒质量分数碾压前后变化尤为显著, 1 采区碾压前平均值为 8.0%, 碾压后超过 50.0%, 2 采区碾压前平均值为 33.5%, 碾压后增大至 50.0%。槽子地料场的粗砾碾压后容易破碎, 由于 2 采区的粗砾较 1 采区的坚硬, 1 采区碾压后的干密度较 2 采区的低, 1 采区干密度值为 1.41 ~ 1.46 g/cm³, 2 采区干密度值为 1.44 ~ 1.54 g/cm³。

4.2 含水率与压实干密度的关系

料场进行了最优含水率和最优含水率±(2% ~ 3%) 这 3 种状态下的选择性试验及最优含水率下的复核试验。结果表明含水率对土料压实干密度的影响较大, 含水率等于最优含水率时各土料可得到最佳的压实效果。在最优含水率状态下, 槽子地料场 1 采区土料碾压 8 遍后均可达到现场控制指标,

表 1 槽子地料场不同掺砾量砾石击实成果

掺砾量 /%	击实功/ (kJ · m ⁻³)	最大 干密度/ (g · cm ⁻³)	最优 含水率/%	各粒径的质量分数/%							
				>5 mm		5 ~ 0.075 mm		0.005 ~ 0.075 mm		<0.005 mm	
				击前	击后	击前	击后	击前	击后	击前	击后
0	595	1.5	30.3								
30	595	1.5	27.5	21.6	17.8	32.1	29.4	46.3	52.8	26.0	26.0
50	595	1.5	26.8	36.9	29.6	25.8	24.7	37.2	45.7	21.0	21.8
60	595	1.5	26.3	42.8	35.0	24.5	23.3	32.7	41.7	18.0	20.0
70	595	1.5	25.3	50.8	40.1	20.2	21.6	29.0	38.3	16.0	18.6
78.9	595	1.5	25.0	62.7	43.7	15.3	20.2	22.0	36.1	12.0	16.4

即现场击实成果的最大干密度为 1.46 g/cm^3 ;槽子地料场 2 采区土料碾压 10 遍后也达到了 1.54 g/cm^3 的最大干密度。

从碾压后的现场观察及开挖探坑情况看,含水率偏小(比最优含水率小 $2\% \sim 3\%$)时,碾压层表面易被凸块碾碾压刨松,有的地方粗、细粒结合不好,遇水易产生湿陷,对坝体的防渗不利^[3];含水率较大(比最优含水率大 $2\% \sim 3\%$)时,各碾压过程未出现弹簧土和涌土现象,在碾压试验中未出现剪切破坏现象。

测得各料场的天然含水率为 29% 左右,料场 1 采区的最优含水率为 29.5% ,料场 2 采区的最优含水率为 25.5% 。各料场土料经剥除表层立采混合后运输至坝面铺土,天然含水率可损失 $2\% \sim 3\%$,施工中不需调整土料含水率可直接上坝碾压,从而简化了施工工艺^[4]。

4.3 碾压遍数与干密度的关系

在碾压 6、8、10、12 遍后,用挖坑灌水法进行密度测试^[5],结果表明同一含水率、同一铺土厚度下压实干密度随碾压遍数的增加而增大,密度大幅度增加主要发生在碾压 8 遍前,一般说来碾压 8 遍后增幅逐渐减小。各场次的沉降观测成果也显示碾压遍数为 6~8 遍时,沉降量最大,8~10 遍时沉降减小,10~12 遍时沉降几乎为零。

在最优含水率下,当碾压遍数为 8 遍和 10 遍时,铺土厚度为 30 cm、35 cm 时的干密度均可达到现场控制干密度(1 采区 1.46 g/cm^3 ,2 采区 1.54 g/cm^3),其中,2 采区的压实干密度值均大于初设阶段 1.50 g/cm^3 的设计指标。

4.4 铺土厚度与干密度的关系

在碾压试验中,铺土厚度分别取 30 cm、35 cm、40 cm。一般情况下,压实干密度随铺土厚度的增加而逐渐减小^[6],本次试验结果(图 2)也证明了这一结论。设计铺土厚度时应考虑土料在含水率下限时土层底部不产生干松土层及达到设计干密度条件下使施工效率最高。

在最优含水率下,槽子地料场 1 采区铺土厚度为 35 cm 时,碾压 8 遍后可获得现场击实 1.46 g/cm^3 的压实干密度,见图 2(a)。由于 2 采区的粗粒较 1 采区的粗粒风化程度低,在凸块碾作用下铺土厚度取 30 cm 虽可达到初设阶段 1.50 g/cm^3 的设计干密度,但需碾压 10 遍才能达到现场击实 1.54 g/cm^3 的控制干密度,见图 2(b)。为保证水库大面积的施工质量,建议铺土厚度取 30~35 cm,并严格控制不得超厚。

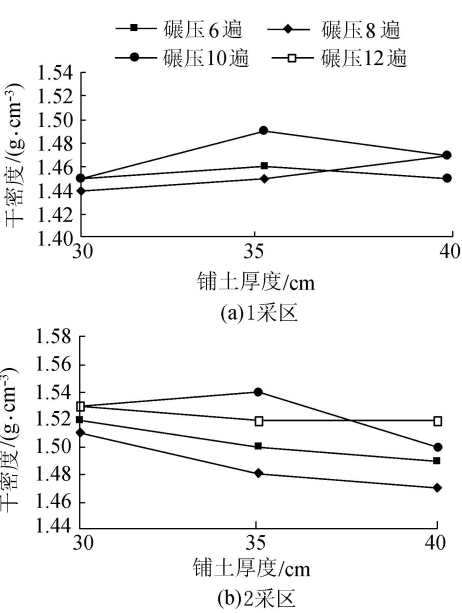


图2 槽子地料场最优含水率下铺土厚度与干密度的关系曲线

4.5 碾压土料的渗透性

对土料在复核场分别进行了 2 次现场垂直渗透试验(现场注水试验)及原状样室内大型渗透试验^[7],试验成果见表 2。由表 2 可知,料场土料试验现场渗透系数和原状样室内渗透系数均小于 $5\times 10^{-6}\text{ cm/s}$;1 采区和 2 采区的平均现场渗透系数分别为 $2.58\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 和 $4.29\times 10^{-6}\text{ cm/s}$;1 采区和 2 采区的平均室内渗透系数分别为 $1.16\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 和 $1.67\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 。

表2 现场渗透试验及原状样室内渗透试验成果

10 ⁻⁶ cm/s			
开采区	试验组数	现场渗透系数	原状样室内渗透系数
1 采区	1	3.81	1.05
	2	1.35	1.28
2 采区	1	3.84	2.64
	2	4.74	0.70

槽子地料场 1、2 采区土料属风化软岩料,室内渗透系数较现场渗透系数小。从心墙防渗、孔隙水压力消散等因素考虑,防渗体的渗透系数并不是越小越好,心墙防渗料只要做好下游反滤保护,渗透系数小于 10^{-5} cm/s 就可满足防渗要求^[8]。由于槽子地料场土料经碾压后室内和现场渗透系数均小于 $5\times 10^{-6}\text{ cm/s}$,因而是较好的防渗材料。水库蓄水后,坝后渗漏量变化稳定、合理,不同库水位下实测渗流量均小于设计值,表明泥岩风化料在龙虎水库大坝防渗心墙填筑中的应用是成功的。

5 泥岩风化料填筑施工主要控制措施

a. 上坝施工碾压铺土厚度 30~35 cm,施工中

应防止铺土过厚导致碾压层下部不能压实,振动碾压遍数为8~10遍可满足设计要求。为避免施工过程中产生漏压现象,以碾压10遍为宜。

b. 大坝施工碾压时为使上下层面结合紧密,在上一层碾压完成时,应在刨松面洒水至压实层相应的含水率方可进行下一层铺土。

c. 由于料场土料含粗粒较多,上坝卸料时要防止因粗粒集中造成局部渗透系数增大,并注意立采混合均匀方可上坝进行填筑。

6 结 论

a. 龙虎水库泥岩风化石料级配连续,可满足心墙防渗料的要求。粗粒风化程度高,疏松易碎,击后破碎率大于30%,压实性满足设计要求。

b. 通过标准功能下各碾压料的现场击实试验,得出槽子地料场1采区和2采区的最大干密度分别为1.46 g/cm³和1.54 g/cm³,相应的最优含水率分别为29.5%和25.5%,碾压过程中无涌土、剪切破坏现象。

c. 料场天然含水率高于且接近最优含水率,施工时不用调整土料含水率可直接上坝,但要注意立采混合均匀方可上坝进行填筑。

d. 通过不同碾压参数的选择性碾压试验可知,料场土料压实性较好,铺土厚度为35 cm时,1采区碾压8遍后干密度可达1.46 g/cm³,2采区碾压10遍后可达1.54 g/cm³,建议施工碾压铺土厚度为30~35 cm。

e. 料场复核场的现场渗透试验及原状样室内渗透试验成果表明,土料渗透系数小于5×10⁻⁶ cm/s,属中低压缩性土,各项指标均可满足心墙防渗料要求。

参考文献:

[1] 蔺静,郭义昌. 柳沟水库除险加固工程碾压试验[J]. 水利水电科技进展,2006,26(增刊1):127-129. (LIN Jing, GUO Yichang. Willow ditch reservoir dam reinforcement engineering filling test [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26 (Supl): 127-129. (in Chinese))

[2] 王静. 软岩砾石料填筑防渗心墙的工程应用研究[J]. 人民长江,2011,42(17):66-68. (WANG Jing. Engineering application of soft gravel material in filling of impervious core wall [J]. Yangtze River, 2011, 42 (17): 66-68. (in Chinese))

[3] 任红云,刘海军,彭国强. 双板振动沉模防渗墙的质量分析与控制[J]. 水利水电科技进展,2009,29(2):52-55. (REN Hongyun, LIU Haijun, PENG Guoqiang. The quality analysis and control of cutoff wall of double-plate vibration

sinking-mold[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2009,29(2):52-55. (in Chinese))

[4] 白永年. 中国堤坝防渗加固新技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.

[5] 张春燕,赵峰,倪锦初,等. 弱膨胀土筑堤碾压试验研究[J]. 人民长江,2011,42(16):80-82. (ZHANG Chunyan, ZHAO Feng, NI Jinchu, et al. Study on rolling test of embankment filling with weak expansive soil [J]. Yangtze River, 2011, 42(16): 80-82. (in Chinese))

[6] DL/T 5129—2001 碾压式土石坝施工规范[S].

[7] GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S].

[8] 赵仕杰. 南洋水库黏土心墙风化石料坝设计与施工[J]. 水利水电技术,2007,38(12):35-38. (ZHAO Shijie. Design and construction control of weathered material-filled dam with clay core for Nanyang Reservoir [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2007, 38 (12): 35-38. (in Chinese))

(收稿日期:2012-04-10 编辑:骆超)

· 简讯 ·

中国水文学术讨论会在河海大学隆重举行

2012年12月10日和11日,中国水文学术讨论会在河海大学隆重举行。会议由水利部水文局、国际水文计划(IHP)中国国家委员会、国际水文科学协会(IAHS)中国国家委员会和中国水利学会水文专业委员会共同举办,河海大学承办,南京水利科学研究院、长江水利委员会水文局和江苏省水利学会协办,水利部水资源司、国科司、水文局相关负责人,全国水文系统、科研单位、高等院校的专家学者参加了讨论会。

本次会议主题为“中国水文科技新发展”,主要议题涉及水文基础理论研究及应用、水文水资源监测、防汛抗旱水文测报、水资源分析评价与系统开发研究和环境水生态分析评价与质量管理等。中国科学院院士刘昌明、工程院院士王浩以及河海大学水文水资源学院余钟波教授等分别作了专题报告。会议共收到学术交流论文260篇,大会组织方将遴选出的部分优秀论文分专题由河海大学出版社结集出版。

(本刊编辑部供稿)

