

强夯法在土石坝加固中的应用

武荣生¹ 龚万豹²

(湖北省十堰市水利水电局,湖北 十堰 442000;2.湖北省十堰市水利水电建筑勘测设计院,湖北 十堰 442000)

摘要:介绍湖北省丹江口市剑河水库用强夯法替代其它碾压机具对坝体进行加固的方法.通过强夯前后的测试对比,并经过 3 年多正常运行,证明强夯法不仅适用于基础处理,也可对土石坝进行加固补强.

关键词 强夯法;土石坝;加固

中图分类号:TV541+.1 文献标识码:B 文章编号:1006-764X(2001)08-0025-03

强夯法又称强力夯实法,即用重锤(一般为 80~300 kN)从高处(一般为 6~40 m)自由落下,强大的夯击能量在地基中产生强烈的冲击波,从地表夯击点出发的纵波和横波可传至地层深处,使土体从表层到深层得到不同程度压缩、夯实,以提高其强度和降低其压缩性,被广泛应用于地基处理.湖北省丹江口市剑河水库坝体扩建,大坝外坝培厚加固中石渣代料由于种种原因碾压不实,后采用强夯法进行处理,获得较好的效果.

1 工程简况

丹江口市剑河水库位于武当山麓剑河中下游,距下游武当山镇 6 km.该库始建于 1963 年,为粘土心墙代料坝,坝高 24 m(坝顶高程 258.0 m),总库容

195 万 m³.1994 年,为了满足以防洪为主,兼顾灌溉、供水、养殖和旅游发展的要求,将该工程由小(1)型水库扩建为中型水库.对大坝进行外坝培厚,加高部位为粘土斜墙代料坝,分二期施工.一期工程坝顶高程由 258.0 m 加高至 272.0 m,加高 14 m(图 1),二期工程坝顶高程加高到 282.0 m.

剑河水库扩建一期工程于 1994 年 3 月开始对大坝外坝代料进行填筑,到 1997 年 4 月完工,施工期长达 38 个月,填筑深度 16.73 m,填筑量 5.22 万 m³.底部 6.14 m 厚度为石渣代料,中间 7.81 m 为级配较均匀的河床沙砾料;上部 2.78 m 为石渣混合料,级配不匀,粒径偏大.采用分层碾压,每层填筑厚 0.5 m,但仅用 75 型推土机和 12 t ZL30 装载机碾压 2 遍,碾压强度不够,经质检部门现场检验,达不到设计要求,

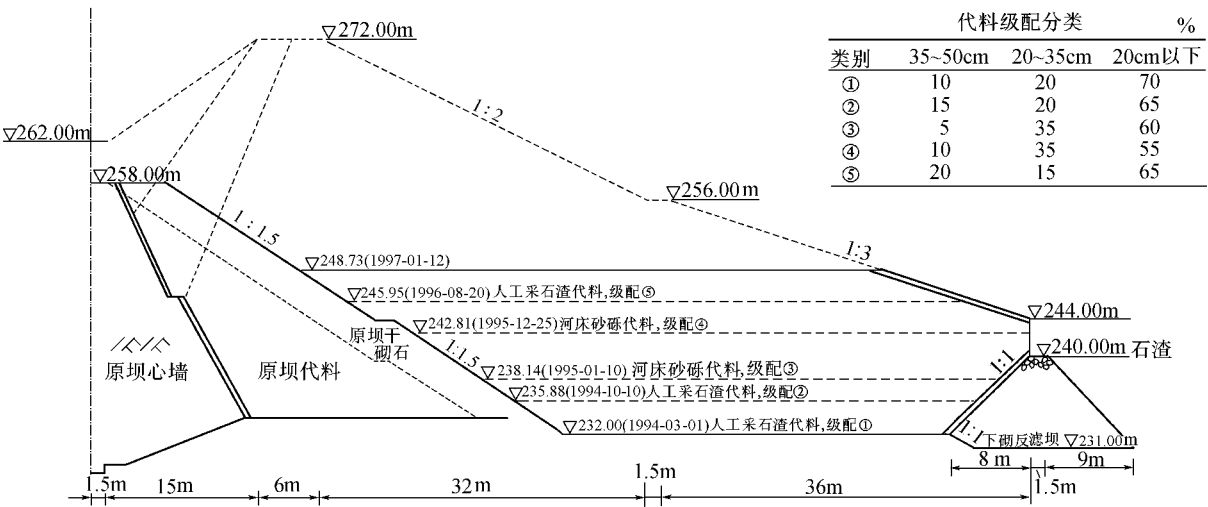


图 1 外坝坝体横剖面

作者简介 武荣生(1945—),男,湖北武汉人,高级工程师,主要从事水利工程设计和施工工作.

必须对已填筑部位进行加固处理.因坝体填筑深度已达 16.73 m,若采用振动碾碾压,影响深度有限,不能达到补强加固的要求.而强夯法具有足够的影响深度,且工期短,施工简单,造价低,压实效果明显,但土石坝坝体代料的碾压用强夯法替代传统碾压机具是否可行,对周边建筑物影响有多大,心中无底.为保证安全有效,先进行坝体强夯试验,测定代料的容量、孔隙率,确定夯锤重量、夯距、夯击次数、沉降量控制标准、布点方式,以及测试对原坝和周边建筑物的影响,确定最佳的施工参数和方案,然后对每个夯击点进行测试,控制夯实效果.

2 夯前大坝外坝代料碾压状况测试

2.1 夯前大坝代料填筑碾压情况

剑河水库大坝外坝代料填筑施工,于 1994 年 3 月 1 日开工,分 5 个阶段进行填筑,截止 1997 年 1 月,从高程 232.0 m 填至 248.73 m,填筑最大深度 16.73 m,分层填筑和碾压情况见表 1.

2.2 测试方法和结果

采用取现场实地取样测试的方法.试坑直径 1.0~2.0 m,取样深度 1.2~1.5 m.体积采取换沙法求得,大粒径石料采用排水法、浮重法求取,小粒径石料用排水法测试体积.干容量用炒干和风干求得.

坝体所填筑的石碴代料取自大坝右岸,由人工开采获得.其岩性为元古界武当山群,白二河组第三

亚组为变质砂岩、灰绿泥石片岩、局部夹石英云母片岩,岩土力学指标见表 2.

经测试,现场混合料天然密度为 2.44~2.60 t/m³,平均为 2.56 t/m³.坝体 3 处试坑的测试结果见表 3 和表 4.

2.3 测试结果分析

a. 对填筑代料试坑取样观测,在试坑表层需用铁镐来松动;0.5 m 以下可人工手拣,近于散石坑;0.5~1.5 m 间的块石间空洞较多,小者如鼠洞,大者如猫洞,密度偏小,级配不均,碾压不实.

b. 试坑中取出的石碴代料,大部分岩石强度高,密度大(2.47~2.78 g/cm³),为中等—微风化程度,形态呈片状,长厚比在 3~5 之间,自然堆放呈“相间”状态,碾压效果不佳.

c. 从 3 个试坑测试的级配分析,大于 50 cm 直径块石含量从 0 到 15.3%,相差极大;大于 20 cm 粒径的含量从 15.9%到 28.4%,相差近 1 倍,级配分布不均.

d. 从测试出的干密度分析,该坝体填筑材料属于中等—微风化程度的变质砂岩和绿泥石片岩,根据《堆石坝体设计》和《碾压式土石坝设计手册》(水利部水利水电规划设计总院编,1989)中介绍的国内外有关资料得出,此类岩性软化系数为 0.53,碾压后干密度为 2.27~2.41 t/m³,孔隙率为 0.15~0.22.本工程岩石密度大,软化系数大于 0.5,干密度仅 1.93

表 1 坝体代料分层填筑和碾压情况

阶段	时 间	高程/m	填筑高度 /m	填料粒径级配/%			填筑材料	碾压机具	每层厚度 /cm	碾压遍数
				> 35cm	20 ~ 35cm	< 20cm				
1	1994-03 ~ 1994-10	232.00 ~ 235.88	3.88	10	20	70	石 渣	ZL30 装载机 75 推土机	50	2
2	1994-10 ~ 1995-01	235.88 ~ 238.14	2.26	15	20	65	石 渣	ZL30 装载机 75 推土机	50	2
3	1995-01 ~ 1995-12	238.14 ~ 242.81	4.67	5	35	60	河底砂砾料	ZL30 装载机 75 推土机	50	2
4	1995-12 ~ 1996-08	242.81 ~ 245.95	3.14	10	35	55	河底砂砾料	ZL30 装载机	50	2
5	1996-08 ~ 1997-01	245.95 ~ 248.73	2.78	20	15	65	石 渣	ZL30 装载机	50	2

表 2 岩土力学指标

岩 石 种 类	密度/(g·cm ⁻³)	软化系数
变质砂岩(强风化)	2.76	0.5 ~ 0.6
变质砂岩(弱风化)	2.85	
绿泥石片岩(强风化)	2.66	0.4 ~ 0.5
绿泥石片岩(弱风化)	2.70	

表 3 试料级配

试坑号	% 级 配				
	> 50cm	50 ~ 40cm	40 ~ 30cm	30 ~ 20cm	< 20cm
1	15.3	1.3	5.1	9.5	68.9
2	4.3	5.1	5.4	9.9	75.3
3	0	8.8	5.6	14.0	71.6

表 4 密度测试

试坑号	总重 /kg	总体积 /L	天然密度 (g·cm ⁻³)	干粒总重 /kg	干粒体积 /L	含水量 /%	相对密度	干密度 (g·cm ⁻³)	孔隙比	孔隙率 /%
1	2372.9	1206.0	1.93	2325.4	890.6	0.1	2.63	1.93	0.35	26.1
2	962.2	486.0	1.98	906.2	352.5	2.2	2.64	1.94	0.35	26.2
3	721.0	324.0	2.23	712.6	291.9	1.2	2.65	2.20	0.195	16.3

~2.2 g/cm³,说明坝体代料碾压不实。

由上述分析可知,剑河水库大坝外坝填加高填筑碾压质量低,需要采取补救措施以消除隐患。

3 强夯法加固设计和施工

经夯前夯后的试验,确定了强夯法的主要参数,如落距、夯击次数、夯击能量、锤距、夯击有效深度等。

a. 有效深度 $D = KMH/10 = 5\text{ m}$ 。其中, K 为安全系数,一般取 0.5~0.8,本工程取 0.5; M 为锤重,结合理论与实践,该工程选用锤重为 100 kN; H 为落距,根据加固范围的代料填筑厚度,经现场不同落距试验及检测代料密度,确定选用落距为 10 m。

b. 夯击能量 $E = MH = 1\,000\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

c. 锤底面积不宜太大,约为 2~4 m²。本工程选用 1.6 m×1.6 m=2.56 m²,满足设计要求。

d. 锤距,夯击点按正方形网格布置,设计锤距 2 m,每 4 m² 夯一点。采用间隔夯击,先夯 1、3、5 序,后夯 2、4、6 序。在施工时发现间距过密,将锤距改为 2.5 m,即 6.25 m² 一夯点,保证了夯击质量。

e. 每点锤击数的确定。根据现场试夯和对夯前夯后取样试验,规定每击点最后 3 锤累积沉降量控制在 20 cm 以内,夯后自然密度要求达到 2.35 g/cm³,该工程需加固夯击平面 3 916 m²,实夯 635 个夯点,夯击锤数 3 378 锤,平均每点 5.33 锤。

(上接第 19 页)

运行等一般都进行了详细的分析计算,在扩大流域面积时要考虑水库的综合能力,如水库的泄洪能力、最大蓄水量、调节能力等,还应调查泄洪道的承受能力,做到心中有数,才能制定切实可行的规划。在规划引水路线时,既要着眼当前,又要考虑长远,可从下游开始,逐步往上游发展,还应考虑与山区的综合治理相结合。围山河要与环山路相协调,把开挖的土石方就地处理,修成环山路或台田,并且搞好绿化,栽植经济林等,改善区域生态环境。

b. 确定合理的引水道比降。引水道的比降要根据地质、地貌、植被等综合因素进行设计,岩石基础比降宜陡,可节省开挖方量,松散基础比降宜缓,以防冲刷。

c. 确定合理的引水道的断面。引水道的过水断面要进行详细的计算和设计,以便准确安全地把水引向水库。一般情况下,上游断面小,下游断面大,且与比降结合考虑,做到既不浪费投资,又不出现问题。

为了测定强夯对老坝体和干砌石体的影响,在强夯施工前对老坝体和干砌石体各设 4 个观测点,强夯后测得最大的变化量为 5 mm,这表明强夯对老坝、干砌石体无明显影响。

4 结 语

将强夯法应用于剑河水库坝体代料加固补强处理是成功的。

a. 从效果看,强夯前石碴代料自然密度仅为 1.93~2.22 g/cm³,强夯后为 2.35~2.50 g/cm³,提高 20%;孔隙率夯前为 0.298,夯后为 0.11,密度大大提高。经强夯,最大累计沉降量为 780 mm,最小累计沉降量为 390 mm。这是其它机具无法达到的。

b. 从施工速度看,从机械进场到强夯完毕,仅用 14 d 时间。

c. 从经济方面看,若采用碾压方案,需投资 110 万元,而采用强夯法仅用了 5.12 万元(强夯直接费用为 2.92 万元)。

d. 从施工方面看,机械化程度高,整个施工场地不足 10 人(含测量人员),施工简单,干扰小。

e. 强夯法不仅可用于加固软基,还可用于土石坝、堆石坝以及堆石面板坝的坝体施工及加固处理。

(收稿日期 2000-12-22 编辑 马敏峰)

d. 考虑引水道的泄洪问题。为了使引水道安全运行,还应考虑非常时期引水道的泄洪问题。引水道一般应能自行泄洪,这样可不设专门管理人员,以减少管理费用。运用方法为在山谷、冲沟、塘坝等位置设计出过水最高水面,若超过其最高水面,水应自动溢流,并建设相应的溢流工程,这样才能保证引水道的正常工作。

e. 定期进行引水道的检查和维护。引水道建成后要定期进行检查和维护,特别是汛期,更应该经常检查和修理,以防出现险情,造成不应有的损失或灾害。

3 结 语

山区部分水库因蓄水不足难以发挥应有的作用,通过围山河法、引洪渠法及综合法三种方法可扩大水库的流域面积,解决其蓄水不足的问题。此经验对同类蓄水不足的水库,具有实际指导意义。

(收稿日期 2000-12-04 编辑 张志琴)