

文章编号: 0559-9342(2005)08-0050-04

新疆下坂地水库坝基防渗墙试验施工

龚木金, 刘建发

(中国水电基础局有限公司, 天津 武清 301700)

关键词: 防渗墙; 试验施工; 坝基防渗; 下坂地水库

摘要: 新疆下坂地水利枢纽工程地处高寒、高海拔的边远山区。坝基覆盖层厚达 147.95 m, 透水性强, 易坍塌和漏浆, 块石坚硬, 坝基防渗处理难度罕见。试验表明, 以大深度混凝土防渗墙为主墙, 下接帷幕灌浆的墙幕结合方案可行, 并创造了防渗墙深度、墙内预埋灌浆管深度、 $\phi 1\ 000$ mm 接头管起拔深度三项全国第一, 其中墙内预埋灌浆管深度、 $\phi 1\ 000$ mm 接头管起拔深度为世界之最。

Trial construction of the cut-off wall for the foundation of Xiabandi Reservoir in Xinjiang

Gong Mu-jin, Liu Jian-fa

(China Hydropower Foundation Treatment Bureau Company Ltd., Wuqing Tianjin 301700)

Key Words: cut-off wall; trial construction; seepage control of dam foundation; Xiabandi Reservoir

Abstract: The Xiabandi Water Control Project in Xinjiang is located in a remote mountainous area with high cold and high elevation. The over-burden layer of dam foundation is up to 147.95 m thick and is strong pervious, easy collapse and easy slurry-leakage and hard rock blocks, so that it is difficult to treat the seepage of dam foundation. The tests showed that it is feasible to adopt the combination of the deep concrete cut-off wall with curtain grouting. In this project, such method creates the Three-First in the country, that is, the depth of cut-off wall, the depth of pre-buried grouting pipe in the cut-off wall, and the start-pull depth of F1000 mm pipe. Moreover, the depth of pre-buried grouting pipe in the cut-off wall, and the start-pull depth of F1000 mm pipe ranks the first in the world.

中图分类号: TV543.82; TV543.5; TV62.2(245)

文献标识码: A

下坂地水库位于新疆塔里木河源流叶尔羌河主要支流之一的塔什库尔干河中下游, 是塔什库尔干河梯级开发的龙头水库。水库地处喀什地区塔什库尔干塔吉克自治县境内, 距县城 45 km, 距喀什市 315 km。水库属 II 等大(2)型水利枢纽工程。大坝为沥青混凝土心墙砂砾石坝, 最大坝高 78 m, 坝顶高程 2 996 m, 正常蓄水位 2 960 m, 水库总库容 8.67 亿 m^3 , 电站总装机 150 MW, 多年平均发电量 4.735 亿 $kW \cdot h$, 还可供水 5.6 亿 m^3 , 灌溉面积 8.2 万 hm^2 , 对喀什地区以及叶尔羌河流域的生态环境建设, 提高人民生活水平, 民族安定团结具有重要意义。

1 工程地质条件

工程坝址区河谷呈“U”形, 两岸山高坡陡, 基岩裸露, 坝肩岩体较完整, 强风化较浅, 河床覆盖层主要是由哈木勒堤沟古冰川的推进和后退及“堰塞湖”的形成与溃决等因素形成的

第四系冰碛、冰水堆积物。覆盖层最大厚度 147.95 m, 自下而上可分为: 冰碛层、砂层、冲洪积层、坡积层三大类型。

冰碛层厚度 80~148 m, 岩性复杂, 结构松散且极不均匀, 有架空现象, 以漂石、块石、砾石为主, 块石最大直径可达 8.70 m, 成分以花岗岩、片麻岩、片岩及灰黑色变质岩组成。

砂层位于坝基左侧偏上游冰碛层中, 呈透镜体形式出现, 顺河向长约 460 m, 宽约 170~250 m, 埋深 18~35.4 m, 最大厚度 43.70 m, 结构组成极不均匀, 遇水有坍塌现象。

冲洪积、坡积层分布在河床、漫滩表层, 厚度 3.0~29.3 m, 结构复杂, 颗粒由碎石、粗砾及砂组成, 以粗砾为主, 粒径小于

收稿日期: 2004-04-12

作者简介: 龚木金(1964—), 男, 江西清江人, 高级工程师, 从事地基基础工程技术工作; 刘建发(1963—), 男, 天津武清人, 高级工程师, 从事地基基础处理施工管理工作。

0.1 mm 的颗粒含量 <10% ,块石最大直径可达 4.00 m ,大多弱风化,坚硬松散无胶结。

覆盖层透水性差异较大,渗透系数在 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/s}$ 之间,为强透水层。

坝区地震基本烈度为Ⅷ度。

2 防渗墙试验的要求

2.1 试验目的

针对下坝地水库坝基下 147.95 m 深厚覆盖层的防渗处理,在可研阶段推荐的方案为上部采用厚 1 m、深 85 m 的混凝土防渗墙,下接灌浆帷幕。在初步设计阶段,为验证设计方案的合理性,要求分别进行混凝土防渗墙和灌浆帷幕的现场试验。为此,本次防渗墙试验应达到以下目的:①找出适用于本工程地层的施工机械最优组合形式;②研究国内现有施工机械在下坝地坝基覆盖层中可成墙的最大造孔深度;③确定防渗墙和墙下灌浆帷幕搭接的最优长度;④研究在漂卵石地层中成墙的施工方法;⑤提出适合于本工程的墙段接头形式;⑥分析本工程的不同地层和不同深度的造墙工效;⑦研究成墙过程中所需采用的固壁泥浆材料及所制备的泥浆性能;⑧研究成墙过程中所要采取的工程处理措施,等等。

2.2 试验内容

本次防渗墙试验内容主要有:①“钻抓法”成槽工艺试验;②槽孔内预埋墙下帷幕灌浆管试验;③深槽孔泥浆下混凝土浇筑工艺试验;④接头管下设计与起拔工艺试验;⑤“双反弧”槽孔接头工艺试验;⑥固壁泥浆试验。

2.3 试验设计指标及技术要求

本次防渗试验工程的防渗墙设计指标及技术要求为:①墙体厚度不小于 1 m;②墙体深度为 100 m (“钻抓法”槽段)和 80 m (“双反弧”槽段);③槽孔孔位中心允许偏差不大于 3 cm;④槽孔孔斜率不大于 0.2% ,接头孔的孔位中心在任一深度的偏差值不大于设计墙厚的 1/3,预埋灌浆管的孔斜率不大于 0.4%;⑤清孔换浆结束 1 h 后,孔底淤积厚度不大于 10 cm,孔内泥浆密度不大于 1.2g/cm^3 ,粘度不大于 30 s,含砂量不大于 5%;⑥墙体混凝土 28 d 抗压强度不小于 20.0 MPa;⑦墙体混凝土 28 d 抗渗标号不小于 W8;⑧混凝土出机口坍落度 18~22 cm,扩散度 34~40 cm;⑨混凝土初凝时间不小于 8 h,终凝时间不大于 48 h;⑩混凝土密度不小于 2.2t/m^3 ;⑪混凝土浇筑时导管埋入混凝土中的深度不小于 1 m,不大于 6 m。

3 防渗墙试验施工

3.1 试验槽孔布置

因本次防渗墙试验内容较多,故需要 2 个施工试验段来实施。1 号防渗墙试验段与 2 号防渗墙试验段的长度分别为 6.00 m 和 3.20 m,其槽孔布置见图 1。

3.2 试验内容的施工安排

在 1 号防渗墙试验段中进行“钻抓法”成槽工艺试验、槽孔内预埋墙下帷幕灌浆管试验、接头管下设计与起拔工艺试验和深槽孔泥浆下混凝土浇筑工艺试验;在 2 号防渗墙试验段中进行“双反弧”槽孔接头工艺试验、槽孔内预埋墙下帷幕灌

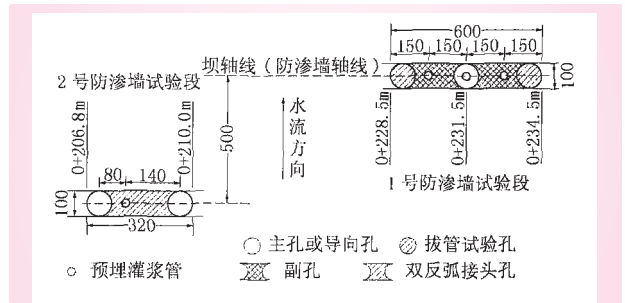


图 1 防渗墙试验槽孔布置(尺寸单位:cm)

浆管试验和深槽孔泥浆下混凝土浇筑工艺试验。

3.3 成墙方法

1 号防渗墙试验段 3 个主孔由 ZCF-1500 型冲击反循环钻机钻进,直至深度 102 m。1 个副孔由冲击反循环钻机“钻劈法”施工;另 1 个副孔使用 HS843HD 型钢绳抓斗直接抓取,当抓到 39 m 时遇到 2.4 m 的大块石而抓不动,虽配备了 1 个 100 kN 重齿,但因其有 1 条较大的横向裂缝而没敢使用,致使抓斗出现故障,并在抓取时经常发生卡抓斗的现象。为了防止出现孔内事故,故将该副孔 39 m 以下部分改用冲击反循环钻机“钻劈法”施工。成槽后清孔换浆,在试验段中心线下设 3 根外径 $\phi 110 \text{mm}$ 的预埋灌浆管,其长度为 100 m,间距为 1.5 m。在两端孔下设计外径 1 m 的接头管,其深度分别为 61.4 m 和 72.7 m。其后采用泥浆下直升导管法浇筑混凝土。接头管下部的接头混凝土采用冲击反循环钻机钻凿。

2 号防渗墙试验段为“双反弧”接头试验段,两端导向孔同时采用 CZ-30 型冲击钻机钻凿至深度为 80.10 m,其后清孔验收,合格后采用泥浆下直升导管法同时浇筑混凝土。当混凝土待凝 24 h 后,采用 ZCF-500 型冲击反循环钻机,在“双反弧”接头孔的中心钻凿 1 个直径为 1 m 的导孔,直至深度 80 m,接着使用近弧点为 1.2 m 的刚性双反弧钻具扩孔成双反弧形,直至 80 m,后再使用液压扩张式“双反弧”刷子钻具刷洗两端导向孔混凝土壁上的泥皮和地层残留物。成槽后清孔换浆,清孔验收合格后在试验段中心线下设 1 根外径 $\phi 89 \text{mm}$ 的预埋灌浆管,其长度为 80 m。最后采用泥浆下直升导管法浇筑混凝土。

3.4 固壁泥浆试验

试验施工制浆用的粘土是乌鲁木齐青年膨润土厂生产的膨润土,其检验结果见表 1;试验施工用于堵漏材料为乌恰红粘土和下坝地 II 号料场的白粘土,其检验结果见表 2;膨润土和红粘土泥浆性能指标见表 3。

表 1 膨润土检验结果

检验项目	钻井液用膨润土 SY/T5060—93 标准值			实测值	合格与否
	一级	二级	三级		
$\phi 600$ 读数	≥ 30.0	≥ 30.3	≥ 23.0	32.0	符合一级
滤失量/mL	≤ 15.0	≤ 17.0	≤ 22.0	13.0	符合一级
动切力/ Pa	$\leq 1.5 \times PV$ 值	$\leq 3 \times PV$ 值	—	9.5	符合二级
湿度/%	≤ 10.0	≤ 12.0	≤ 12.0	9.6	符合一级
湿筛分析 (0.074 mm 筛余) %	≤ 4.0	≤ 4.0	≤ 4.0	3.0	合格

表2 红粘土和白粘土检验结果

粘土名称	各颗粒组成百分数/%					液限	塑限	塑性指数
	>0.1 mm	0.1~0.05 mm	0.05~0.01 mm	0.01~0.005 mm	<0.005 mm			
乌恰红粘土	0	8	9	16	67	39.58	20.22	19.36
下坂地II号白粘土	0	6	30	30	34	43.57	30.28	12.79

表3 膨润土和红粘土泥浆性能指标

项目	膨润土(浓度 5.2% 加碱 2%)	膨润土(浓度 5.9% 加碱 2%)	红粘土 (加碱 2%)
造浆率/(m ³ /t)	19.61	17.24	3.22
密度/(g/cm ³)	1.035	1.040	1.20
漏斗粘度/s	36(马氏)	39(马氏)	18.5(500/700 mL漏斗)
塑性粘度/cp	4.0	4.0	—
含砂量/%	0.3	0.3	0.5
胶体率/%	—	—	98.5
稳定性	—	—	0.005
失水量/(mL/30 min)	—	—	10.0
泥饼厚/mm	—	—	1.0
1 min 静切力/(N/m ²)	—	—	3.6
10 min 静切力/(N/m ²)	6.1	9.7	4.1
动切力/(N/m ²)	4.6	6.1	—
pH 值	8.5	8.5	8.5

注:加碱量均为泥浆固相材料质量的百分数,浓度 5.2%膨润土 1 m³ 泥浆中膨润土 51 kg、水 982 kg、碱 1.02 kg;浓度 5.9%膨润土 1 m³ 泥浆中膨润土 58 kg、水 976 kg、碱 1.15 kg;红粘土 1 m³ 泥浆中红粘土 311 kg、水 890 kg、碱 6.22 kg。

由表 1~3 中可知:①膨润土品质达到二级膨润土标准,其制备的泥浆的性能指标符合“SL174—1996《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》”中要求,可以用作防渗墙固壁泥浆。②红粘土和白粘土均为低液限粘土,下坂地II号料场的白粘土的粘粒含量低于 50%粉砂粒含量高达 66%,塑性指数低于 20,而乌恰红粘土的粘粒含量高于 50%,达到 67%,塑性指数接近 20。按照“SL174—1996《水利水电工程防渗墙施工技术规范》”的要求,下坂地II号料场的白粘土不能作为防渗墙固壁泥浆用的粘土;而乌恰红粘土可以作为防渗墙固壁泥浆用的粘土,但需要加入分散剂。③红粘土泥浆的粘度偏低,用作防渗墙堵漏材料极佳,而用作防渗墙固壁泥浆时欠佳,需要与膨润土泥浆混合使用。

3.5 下设与起拔接头管

防渗墙是由各单元墙段连接成的,墙段间的接缝是防渗墙的薄弱环节。为了验证拔管连接在下坂地坝基防渗墙中的可行性,在 1 号防渗墙试验段的两个端孔进行接头管下设与起拔试验。本次防渗墙试验施工中使用起拔接头管的设备是由中国水利水电基础工程局研究所自行研制的专利产品——BG1000 型拔管机。

当 1 号防渗墙试验段槽孔清孔验收合格后,利用起重机对准孔位将接头管逐节下入槽孔中。由于起重机的起吊吨位限制,故在 SY-01-1 号孔中下入接头管的有效深度为 61.40 m,在 SY-01-5 号孔中下入接头管的有效深度为 72.70 m。

当接头管底部混凝土浇筑时间达到 6 h 后,即可活动接头管,当起拔接头管的油压达到一定起拔压力时,将接头管起

出 1.5 m;当起拔接头管的油压低于该起拔压力时,使用微动装置活动接头管;当起拔接头管的油压较小时,不活动接头管。按照这个实践经验,逐节起出接头管。

3.6 预埋灌浆管

购买的钢管长为 6 m,先将其焊接成每段长度 12 m,并用钢筋在其上焊接 1 个定位架,这个定位架一方面是起定位作用,以保证预埋管的垂直度;另一方面是为了将 1 个槽孔内的各根预埋管连接成为一个整体桁架,便于加快下设速度。定位架为长方体框架,其长度小于接头管的净间距 20 cm,宽度小于设计墙厚 20 cm,高度为 50 cm。

槽孔清孔验收合格后,按规定的平面位置,使用履带起重机先将预埋灌浆管的桁架底段下入槽中,并稳妥地架立于孔口,其余段利用起重机车起吊,与底段进行逐段对接。预埋灌浆管接口处利用电焊机牢靠地进行焊接,每一接口处竖向加焊 3 根短钢筋,以确保接口处强度。当一段预埋管桁架与另一段预埋管桁架相互对接完毕后,利用起重机进行下设。下设时要缓慢、平稳,对正桁架在槽孔中的位置,遇到阻力时不得强行下放,以免桁架变形,造成管体移位,影响下设精度。

3.7 试验的施工难点

(1)地层中含有大量的大块石,块石坚硬,致使造孔进度缓慢。

(2)块石在孔内常呈“探头”状态,致使钻孔常出现偏斜。

(3)两个防渗墙试验段中要求进行试验的内容较多,因而要求两个试验段的造孔斜率均不得大于 0.2%,比 SL174—1996《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》中要求的孔斜率严格得多。

(4)当遇到由砂层变漂石层时,在其分界处附近易出现渗漏浆现象,并伴随发生坍塌现象。

3.8 针对施工难点采取的策略

(1)遇大块石钻进困难时,采取钻孔爆破或定向聚能爆破,炸药量和雷管数量需根据块石大小和深度而定,以防槽孔坍塌。

(2)造孔过程中,各班经常检查孔斜情况,出现孔斜及时纠偏。

(3)造孔过程中,一旦发生漏浆、塌孔现象,立即向孔内填入粘土和新制膨润土泥浆,然后用冲击钻头将填入的粘土挤压密实。

(4)预计到达砂层与漂石层分界处附近时,将冲击反循环钻进改为冲击钻进,以使地层挤压密实。

4 试验工程质量

各项质量检查的结果表明,施工工序质量全部符合设计标准。两个试验段的混凝土取样试件平均抗压强度为 25.1 MPa,标准差为 2.69 MPa,强度保证率为 96.9%,强度不低于

强度标准值的百分率为 100%,其中 1 号试验段和 2 号试验段的混凝土抗压强度平均值分别为 24.3 MPa 和 25.5 MPa,根据 DL/T5144—2001《水工混凝土施工规范》,试验施工混凝土生产质量水平达到优秀等级,两试验段的混凝土抗渗标号均达到 W8,满足设计要求,施工质量评定为优良等级。

5 试验施工工效

本次防渗墙试验施工工效见表 4,不同施工设备、地层和深度的施工工效见表 5。

表 4 防渗墙试验施工工效

试区	单元号	地层	每台设备 1 日施工实际工效/m			
			进尺/m	纯钻	生产	平均
1 号试验段	SY-01	砂砾石层	24.00	6.97	6.45	6.45
		砂层	188.80	5.09	4.58	3.74
		漂块石层	399.20	2.98	2.62	2.16
		小计	612.00	3.55	3.14	2.57
	SY-02 (导向孔)	砂砾石层	4.00	3.91	3.91	3.91
		砂层	29.70	3.07	2.47	2.35
2 号试验段	SY-03 (双反弧孔)	漂块石层	46.40	2.54	1.70	1.42
		小计	80.10	2.76	1.99	1.70
		砂砾石层	4.80	7.20	6.41	6.41
	SY-04 (导向孔)	砂层	34.20	4.34	4.01	3.72
		漂块石层	57.00	3.41	3.26	2.78
		小计	96.00	3.79	3.58	3.17
本试验段合计	SY-04 (导向孔)	砂砾石层	4.00	4.37	3.43	3.43
		砂层	27.80	3.26	2.54	2.42
	漂块石层	漂块石层	48.30	1.78	1.75	1.51
		小计	80.10	2.18	2.02	1.78
	砂砾石层	砂砾石层	12.80	5.28	4.80	4.80
		砂层	91.70	3.60	3.12	2.88
两试验段	本试验段合计	漂块石层	151.70	2.64	2.30	1.97
		小计	256.20	3.12	2.64	2.40
		砂砾石层	36.80	6.05	5.56	5.56
	砂层	砂层	280.50	4.78	4.28	3.71
		漂块石层	550.90	3.13	2.69	2.22
	合计	合计	868.20	3.58	3.12	2.60

从表 4、5 可看出:

(1) 1 号防渗墙试验段的试验施工平均工效比 2 号防渗墙试验段的要高 6.6%。这是由于 1 号防渗墙试验段使用冲击反循环钻机钻孔比 2 号防渗墙试验段使用冲击钻机钻孔要快 38.31% 之故。

(2) 两个试验段的砂砾石层的平均施工工效高于砂层的平均施工工效 49.87%,砂层的平均施工工效高于漂块石层的平均施工工效 67.12%。

(3) 双反弧孔(SY-03 孔)的平均施工工效高于两端导向孔(SY-02 孔和 SY-04 孔)的平均施工工效 78.09%~86.47%。尽管双反弧孔要先进行导向孔钻凿,再进行扩孔,但其工效仍然高于其两端导向孔的工效。这是由于双反弧孔的导向孔使用冲击反循环钻机钻孔施工之故。

(4) 不管使用何种施工设备进行防渗墙施工,随着深度增加,其施工工效降低。深度 60~80 m 的平均施工工效比深度 0~60 m 的平均施工工效低 22.30%;深度 80~102 m 的平均施

表 5 不同施工设备、地层和深度的施工工效

施工设备	深度/m	地层	进尺/m	每台设备 1 日施工工效/m		
				纯钻	生产	平均
冲击钻机	0~60	砂层	82.30	4.02	3.97	3.64
		漂块石层	150.80	2.49	2.09	1.78
		小计	233.10	2.88	2.49	2.17
	60~80	砂层	24.70	3.36	2.40	2.20
		漂块石层	27.70	1.88	1.70	1.36
		小计	52.40	2.37	1.97	1.66
	80~102	砂层	22.00	2.72	1.93	1.56
		漂块石层	—	—	—	—
		小计	22.00	2.72	1.93	1.56
	0~102	砂层	129.00	3.59	3.18	2.69
		漂块石层	178.50	2.37	2.02	1.70
		合计	307.50	2.76	2.38	2.01
冲击反循环钻机	0~60	砂层	82.12	11.04	10.13	8.21
		漂块石层	182.28	4.12	3.58	2.72
		小计	264.40	5.79	4.99	3.78
	60~80	砂层	43.88	4.24	3.84	3.56
		漂块石层	97.92	2.73	2.35	2.01
		小计	141.80	3.07	2.67	2.32
	80~102	砂层	48.90	3.76	3.37	3.13
		漂块石层	47.10	2.33	2.07	1.75
		小计	96.00	2.89	2.58	2.23
	0~102	砂层	174.90	5.68	5.14	4.61
		漂块石层	327.30	3.26	2.84	2.30
		合计	502.20	3.83	3.36	2.78
抓斗	0~80	砂层	15.00	114.29	95.49	84.19
		漂块石层	43.50	75.65	23.05	18.88
		合计	58.50	96.83	30.52	25.07
合计	0~60	砂层	179.42	6.42	6.05	5.50
		漂块石层	376.58	3.57	3.01	2.44
		小计	556.00	4.17	3.59	2.96
	60~80	砂层	68.58	3.87	3.16	2.91
		漂块石层	125.62	2.48	2.17	1.82
		小计	194.20	2.84	2.54	2.30
80~102	砂层	70.90	3.36	3.06	2.39	
	漂块石层	47.10	2.33	2.07	1.75	
	小计	118.00	2.75	2.33	2.03	

注:抓斗施工在 39 m 以下因漂块较大抓取不动,而改用冲击反循环钻机施工。

工工效比深度 60~80 m 的平均施工工效低 11.74%。

(5) 冲击反循环钻机的施工工效比冲击钻机的施工工效高,其平均工效要高 38.31%。其中,深度 0~60 m 范围内高 74.19%,60~80 m 范围内高 39.76%,80~102 m 范围内高 42.95%。

(6) 无论使用何种施工设备进行砂层造孔施工比进行漂块石造孔施工要快。

(7) 抓斗在砂层中的施工工效高,每台设备 1 日平均工效为 84.19 m,而在漂块石地层中的施工工效低,平均工效为 18.88 m,但比冲击钻机或冲击反循环钻机在漂块石层中的工效要高,只是抓不动过大的漂块石或易卡斗体。若配备重凿配合施工,可能会更好地发挥抓斗高效率施工的优势。

6 结论

本次防渗墙试验施工,经过周密的计划、精心组织和施工,施工过程中严格监控,完成了预定的试 (下转第 58 页)

3 现场平衡范例

以某水轮发电机现场平衡为例,介绍时-频方法的应用过程。机组容量为 300 MW,额定转速为 136.4 r/min,是三导悬式结构。圆盘转子支架共有 16 个支臂,沿转动方向编号,相位基准与转子支架 1 号支臂一致。机组存在机架振动大,上导、下导轴承处振动大等问题。

3.1 平衡过程

(1) 机组在额定转速 136.4 r/min 下空转运行,测量转子的不平衡力相位 $\alpha_0=15^\circ$, 上机架径向振动转频幅值 $A_0=0.25$ mm。相位波形如图 6 所示。

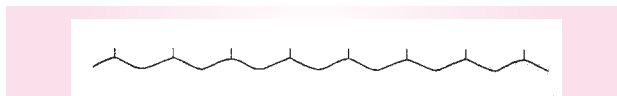


图 6 轴振及相位波形示意

(2) 把总质量为 90 kg 的试重块,用螺栓固定在转子支架 9 号支臂上半径为 4 170 mm 处。试重块的方位为 180° 。

(3) 机组再次空转运行,重复(1)的测量,得到转子的不平衡力相位 $\alpha_0=15^\circ$ 对应的幅值 $A_1=0.20$ mm。

(4) 由式(6)计算,应加平衡块质量为 450 kg,放置方位为相对相位基准 195° 。根据实际操作时方便和安全,确定平衡块的位置为:在 9 号支臂上加 140 kg,在 10 号支臂上加 300 kg。

(5) 机组再次空转运行,上机架振动由 0.25 mm 减小为 0.05 mm,取得了很好的平衡效果。

3.2 振动试验结果

(1) 通过对发电机转子的动平衡,解决了上机架振动、上导和下导摆度大的问题,试验结果见表 1。机组在满负荷 300 MW 运行时,上机架径向振动峰峰值为 0.09 mm,下机架径向振动为 0.02 mm,上导摆度为 0.25 mm,下导摆度为 0.39 mm,满足机组安全稳定运行的要求。

(2) 转子上加平衡质量 440 kg,在额定转速 136.4 r/min 时,可使上、下导轴承受到的径向力减小约 370 kN,由此使轴承摩擦损耗减小约 46 kW,不仅使机组达到良好的稳定运行性能,而且能增加机组的发电效益。

(上接第 53 页) 验项目内容和工程量,防渗效果是好的,试验获得了成功,并取得了丰硕的成果,为我国在深厚覆盖层中进行基础处理积累了宝贵的经验,又使我国混凝土防渗墙施工水平提高到了一个新水平。

(1) 下坝地坝基防渗墙的成墙设备最优组合为冲击反循环钻机、冲击钻机和抓斗。

(2) 在下坝地地层中可以建造深度达 102 m 的混凝土防渗墙。

(3) 下坝地水库坝基厚 1.0 m、深 102 m 的防渗墙试验取得成功,使得下坝地深厚覆盖层采用上墙下幕防渗处理方案有了较充分的比选依据。

(4) 建造下坝地防渗墙时可采用以冲击反循环钻机钻主孔,抓斗抓副孔,对不适合抓斗抓取的土层(即大块石或密度

表 1 机组振动、摆度值(峰峰值)

mm

工况	上机架 径向振 动	下机架 径向振 动	下机架 垂直振 动	顶盖径 向振动	上导 摆度	下导 摆度	水导 摆度
平衡前 空转	0.25	0.03	0.06	0.18	0.56	0.61	0.15
试重时 空转	0.20	0.02	0.03	0.19	0.48	0.50	0.14
平衡后 空转	0.05	0.02	0.05	0.21	0.16	0.15	0.09
空载	0.12	0.02	0.06	0.22	0.29	0.25	0.13
出力 50 MW 时	0.12	0.02	0.05	0.22	0.29	0.36	0.18
出力 200 MW 时	0.13	0.02	0.09	0.26	0.27	0.39	0.22
出力 300 MW 时	0.09	0.02	0.03	0.10	0.25	0.39	0.18

4 小结

本文阐述了基于时-频分析,用于水轮发电机转子现场的动平衡方法。应用该方法,一次起机判定不平衡力的方位,二次起机确定影响系数,第三次起机即完成平衡工作,与其他的方法相比,具有仪器设备轻便,起机次数少,平衡精度高,试重后即能显著降低机组振动幅值等优点,因而,非常适于现场平衡,值得推广。

参考文献:

- [1] 陶星明,刘光宁.关于混流式水轮机水力稳定性的几点建议[J].大电机技术,2002(2)
- [2] 李启章.对大型机组振动、裂纹问题的探讨[A].大中型混流式水轮机运行稳定性——全国水轮机标准化技术委员会论文集专集二[C].2004.40-42.
- [3] 水电六局、四局.水轮发电机的安装[M].北京:水利电力出版社,1979.
- [4] 姚大坤.影响系数法在水电机组动平衡中的应用[J].黑龙江电力,2001(5)
- [5] 姚大坤.大龙潭水电站 1 号机组振动故障处理[A].见:电力系统安全[M].北京:中国经济出版社,2004.898-901.

大、深度大的地层)使用冲击钻机钻劈副孔的“钻抓法”和“钻劈法”成槽工艺。

(5) 接头管法”和“双反弧法”的墙段连接试验均获得成功,但下坝地地层中含有大量大块石,应优先采用“接头管法”。

(6) 在下坝地坝基覆盖层中建造防渗墙时,其施工工效随深度的增加而降低,但每台设备 1 日综合平均工效可达到 2.60 m 以上。

(7) 百米深墙成槽施工中应采用优质膨润土泥浆固壁效果好,乌恰红粘土和下坝地 II 号白粘土可作为下坝地防渗墙施工的堵漏材料。

(8) 下坝地防渗墙施工中遇漏浆时采用回填粘土堵漏,遇大块石时采用钻孔爆破或聚能爆破的处理措施是合适的。