

# 丰满重建工程坝基固结灌浆施工质量控制

张 利

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350003

**摘 要:**丰满水电站大坝坝基大小断层约55条,固结灌浆均采用有盖重灌浆,灌浆的工程量大、强度高,同时需解决盖重层混凝土内大量布设的冷却水管、钢筋网、坝内埋设的仪器等,施工交叉问题突出,本文着重就丰满重建工程大坝坝基固结灌浆的施工质量管理和控制工作进行分析和总结。

**关键词:**丰满水电站;固结灌浆;质量控制

## 1 工程概况

丰满电站位于吉林省吉林市松花江丰满峡谷口。重建工程是按恢复电站原任务和功能,在原旧坝下游120m处新建一座碾压混凝土坝,大坝正常蓄水位263.50m,设计洪水位268.20m,校核洪水位268.50m,水库总库容103.77亿m<sup>3</sup>,工程新建6台机组,单机容量200MW,新建总装机1200MW。碾压混凝土重力坝由左右岸挡水坝段、河床溢流坝段、河床偏右的厂房坝段组成。

坝址断裂构造较发育,按产状可分为4组:总宽度达40m~62m;坝址岩体中主要发育4组节理,节理间距一般30cm~100cm,密集处5cm~10cm,多闭合,张开者为钙质及硅质充填;坝址见有数量不多的缓倾角节理,多呈羽列状断续分布,产状零乱,延伸不长,大多闭合或被充填,节理面多台阶。

碾压混凝土重力坝由左右岸挡水坝段、河床溢流坝

段、河床偏右的厂房坝段组成。坝顶高程269.50m,最大坝高94.50m,坝顶总长1068.00m(大坝共分56个坝段,其中1#~9#坝段为左岸挡水坝段,总长162.00m;10#~19#坝段为溢流坝段,总长180.00m;20#~25#坝段为厂房坝段,总长168.00m;26#~56#坝段为右岸挡水坝段,总长558.00m)。

为提高坝基均匀性和整体性,增强基础的承载能力和近坝部位的防渗能力依据坝基岩石条件,对重力坝坝基进行全面固结灌浆处理,固结灌浆孔采用梅花形布置,间、排距均采用3m,个别部位调整为2.5m或2.0m不等。坝基灌浆应按照先固结后帷幕的顺序进行。坝基内的固结灌浆应在混凝土碾压(浇筑)厚度至少3m(F67断层处理部位的固结灌浆压重厚度至少5m)、强度达到50%后进行,灌浆孔应采用分序加密的原则进行施工,主要固结灌浆及工程量和参数及分布情况见表1。

表1 主要固结灌浆及工程量和参数及分布情况

序号	部位	桩号	工程量	间排距	备注
1	1#~9#坝段	0+000.00~0+162.00	6139m	3m × (2~3m)	左岸挡水坝段
2	10#~19#坝段	0+162.00~0+342.00	8268m	3m × 3m	溢流坝段
3	20#~25#坝段	0+342.00~0+510.00	9470m	3m × (2~3m)	厂房坝段
4	26#~54#坝段	0+510.00~1+032.00	29010m	3m × (2~3m)	右岸挡水坝段
5	消力池	0+173.00~0+331.00	8250m	3m × 3m	消力池区域
		0+75.00~0+152.95			

## 2 本工程固结灌浆施工特点

受地域影响,本工程年有效工期短,坝基固结灌浆工程量月高峰强度达10000余米,强度高、工期紧、与混凝土交叉作业干扰大,各种预埋件繁多,在混凝土内灌浆孔难以采用预埋导管形式,在较短工期内完成施工任务有相当难度。

为有利于温控防裂,坝内冷却水管采用1.5 × 1.5m蛇形布置,冷却水管层数多,增加了固结灌浆造孔打断冷却水管机率,给固结灌浆钻孔带来极大考验。

坝基断层较多尤其在F67断层坝段,灌浆压力出现砼抬动、开裂的风险较大。

由于设计变更,坝基分布无数条大小断层,断层底部布置有系统抗裂钢筋,钢筋规格为Φ32mm螺纹钢,断层深槽部位,钢筋网布置多达3~4层,局部甚至更多,致使钻进速度慢,而且易产生孔内事故。因此,如何确保安全快速的在钢筋混凝土内完成造孔成为固结灌浆施工的难点。

## 3 施工质量控制要点

①钻孔位置与设计孔位偏差不得大于10cm、钻孔孔

深必须达到设计孔深，孔底残留不得大于20cm。

②灌浆孔在灌浆前应进行压力水裂缝冲洗，裂隙冲洗直至回水清静为止。冲洗水压采用灌浆压力的80%并不大于1MPa。

③采用普通浆液的需要时要进行浆液变换。开灌拟采用2:1。灌浆浆液拟采用2:1、1:1、0.8:1、0.5:1或3:1、2:1、1:1、0.5:1(四个比较级)。

④当采用自上而下分段阻塞式灌浆法。灌浆塞应塞在该灌浆段段顶以上50cm，防止漏灌。

⑤灌浆时，射浆管距孔底不得大于50cm。

⑥本工程大部分为浅层基岩固结灌浆，采用一次升压法，对断裂构造发育、注入率较大的孔段采用逐渐升压至设计压力。灌浆压力采用0.3~1.2MPa。

#### 4 施工质量控制措施

##### 4.1 施工材料控制

施工所有的材料严格执行招标文件中规定的甲供材料，所有材料经过检验合格后方可使用到工程施工中。

##### 4.2 检验计量设备控制

施工中测量仪器压力表、温度计、千分表等送吉林市计量测试研究所进行率定，自动记录仪经长江水利委员会长江科学院率定，在施工中现场监理工程师进行了检验<sup>[1]</sup>。

##### 4.3 加强监督管理力度

按全过程旁站工序施工，及时发现解决问题。结合本工程特点坝基固结灌浆施工前设置了质量控制W、H点。同时为进一步提高固结灌浆施工质量，明确了坝基固结灌浆工程各灌浆孔的质量检查项目、质量标准及检测方法见表2。

表2 固结灌浆工程质量检查项目、质量标准及检测方法

项类	检查项目		质量标准	检测方法	
主控项目	1	钻孔	孔深	深入基岩5-20cm	钢尺、测绳量测
	2	灌浆	灌浆压力	0.3-1.5Mpa	自动记录仪，压力表等检测
			灌浆结束条件	$Q \leq 1L/min$	自动记录仪或压力表、量浆尺等检测
	3	施工记录、图表		齐全、准确、清晰	查看资料
一般项目	1	钻孔	孔序	按先后排序和孔序施工	现场查看
			孔位偏差	$\leq 10cm$	钢尺量测
			终孔孔径	大于38mm	卡尺量测钻头
	2	灌浆	灌浆段位置及段长	2、5、7m	核定钻杆、钻具长度或用钢尺、测绳量测
			钻孔冲洗	回水清静、孔内沉淀小于20cm	观看回水，量测孔深
			裂隙冲洗与压水试验	回水清静时不大于20min	测量记录时间、压力和流量
			浆液及变换	2:1、1:1、0.8:1、0.5:1	比重秤、量浆尺、自动记录仪等检测
			特殊情况处理	无特殊情况发生，或虽有特殊情况，但处理后不影响灌浆质量	根据施工记录和实际情况分析
			抬动观测	小于200 $\mu m$	千分表等量测
			封孔	不大于1L/min，继续灌注30min	目测或钻孔抽查

结合丰满坝基灌特点，我们采取以下措施：

冷却水管按要铺设后，其固定方式在浇筑层面采用U形卡的加固方式进行固定。冷却水管、监测仪器与灌浆孔孔位绘制在同一施工图上，然后根据实际布置图再次校核调整固结灌浆孔位，固结灌浆孔位实际偏差控制不大于10cm，孔斜不大于2%。

**通讯作者：**张利，1985年5月，汉族，女，重庆，中国水利水电第十六工程局有限公司，丰满项目部竣工办主任，中级工程师，本科，132013，研究方向：工程技术质量管理、竣工档案验收。

钻孔开孔钻进时，将钻机固定牢固，用罗盘校对钻孔角度，确保钻孔孔向正确。在混凝土钻进过程中如果钻孔速度突然减慢，停钻检查，判定是否钻遇冷却水管。

对事故孔重新移孔并建立台账。通过上述措施，减少固灌造孔时打断冷却水管的机率，并避免对预埋件的破坏。

采用分级升压方式，逐级升高到规定压力值，注入率30L/min时，使用最低一级压力灌注，当注入率减少到20L/min时，再升高一级压力，直到到结束标准。

## 5 固结灌浆工艺试验

为更好的指导现场施工,探求合理的施工工艺及施工参数,本工程选取大坝溢流坝段14#坝段、F67断层部位32#坝段、右岸挡水坝段35#坝段,具有代表性的部位进行了生产性试验区。试验如下:

14#坝段共布置3排固结灌浆孔,排间距3m,抬动观测孔采用风动冲击器钻孔,钻机以H680履带式钻机为主,辅以XY-2PC地质钻机;物探测试孔采用地质钻机配金刚石钻头钻孔,并取芯。灌浆分2序进行施工,先施工周边再施工中间孔。基岩段小于5m的孔段采用全孔一次性灌浆,基岩段大于5m的孔段采用自上而下分段卡塞灌浆,所有均采用孔内循环,单孔灌浆。

32#坝段共布置4排固结灌浆孔,排距2-3m,间距3m,采用风动冲击器钻孔,钻机以H680履带式钻机为主,辅以XY-2PC地质钻机。灌浆分2序进行施工,分序加密,先施工周边再施工中间孔。由于固结灌浆孔深入基岩15m,因此采用自上而下分段卡塞灌浆,灌浆时采用孔内循环,单孔灌浆。

35#坝段共布置3排固结灌浆孔,排间距3m,采用风动冲击器钻孔,钻机以H680履带式钻机为主,辅以XY-2PC地质钻机。灌浆分2序进行施工,分序加密,先施工周边再施工中间孔。由于固结灌浆孔深入基岩8m,因此采用自上而下分段卡塞灌浆,灌浆时采用孔内循环,单孔灌浆。

通过对试验区的钻孔、灌前简易压水试验、灌浆施工,获取了灌区地层岩性、灌浆孔透水率,开灌压力、耗灰量及可灌性等相关技术及施工参数。验证了本工程选用的钻孔设备和灌浆机具以及自动记录仪等设备方便,性能可靠;验证选用的施工参数及工艺满足工程质量要求。同时为后续灌浆施工找到较为合理措施如下:

确定了灌浆压力固结灌浆压力范围为0.6Mpa~1.2Mpa之间,固结灌浆I序孔灌浆压力按0.6Mpa~1.0Mpa,II序孔灌浆压力按0.8Mpa~1.2Mpa控制,固结灌浆浆液水灰比采用2:1、1:1、0.8:1、0.5:1四个比级。溢流坝段岩石完整部位固结灌浆浆液水灰比采用3:1、2:1、1:1、0.5:1四个比级。

为确保固结灌浆施工进度,在正常施工中,对于地质条件良好、岩体较完整的部位,在保证正常供浆的前提下,固结灌浆同序孔可采用并联灌注,并联孔数不大于3个,这样不仅节省了灌浆管路的重复拆除时间,而且

提高了灌浆泵使用效率,加快了钻孔施工进度。

在保证质量的前提下,采用“自下而上分段卡塞灌浆”方法可以加快施工进度,坝基固结灌浆以自下而上分段卡塞灌浆为主,在地质缺陷部位采用自上而下分段灌浆。

通过7d和14d试验单孔声波和每孔间声波剖面测试,分析发现7d与14d波数提高率随时间增长并不是很明显。因此固结灌浆声波质量检查的待凝时间定为7d,以减少该工序占用直线工期,加快固结灌浆施工进度<sup>[2]</sup>。

## 6 灌浆效果分析

丰满水电站大坝固结灌浆完成的灌浆孔5050个,共9273段,灌浆进尺72692.63m。通过检查和数据分析,成果如下:

①I序孔灌前透水率为5.74Lu~120.05Lu,II序孔平均透水率为1.31Lu~5.03Lu。其中II序孔平均透水率小于I序孔。

②I序孔平均单位耗灰量2.6kg/m~84.8kg/m,II序孔平均单位耗灰量1.1kg/m~11.5kg/m,I、II序孔灌浆量级差比较大,单耗较大的孔随着孔序的不断加密显现出逐渐减小的变化趋势,符合灌浆规律。

③灌后检查透水率在0.02Lu~2.50Lu之间,符合小于5Lu的设计要求,压水检查合格率100%。

④灌后基岩测试平均波速值为5.03km/s,灌前灌后波速提高率满足设计相关要求,并未出现灌后小于3.0km/s或灌前、灌后波速大于6.0km/s的异常点,总体检查结果满足设计要求。

## 结束语

从丰满水电站坝基固结灌浆完成的9#-45#坝段共37个单元,单元工程合格率100%,单元工程优良率达91.9%。从灌浆成果资料和灌后检查结果可知,坝体基岩完整性得到了提高,单位透水率、岩体波速都能达到设计值。上述检查结果表明,灌浆效果显著。

## 参考文献

[1]田育功.中国RCC快速筑坝技术特点[C]//中国大坝工程学会,西班牙大坝委员会.国际碾压混凝土坝技术新进展与水库大坝高质量建设管理——中国大坝工程学会2019学术年会论文集.中国大坝工程学会、西班牙大坝委员会,中国大坝工程学会,2019:62-72.

[2]田育功.碾压混凝土快速筑坝技术[M].北京:中国水利水电出版社,2010.