

振孔高喷灌浆在三峡工程中的应用

陈秀铜

(二滩水电开发有限责任公司,四川 成都 610021)

关键词: 振孔高喷灌浆; 防渗墙; 三峡工程

摘要: 三峡工程电源电站施工围堰防渗采取振孔高喷防渗墙形式。振孔高压喷射注浆是钻喷一体化的高喷灌浆技术,以大功率的振动锤将带有特制喷嘴的高喷杆快速向下振孔,同时用高压设备使浆液、水、气成为高压流从喷嘴中喷射出来,冲击、扰动土体。当钻杆到达预定岩面后,以一定速度向上提升钻杆,使浆液与土体强制混合,待浆液凝固后便形成防渗墙。检测表明,三峡工程电源电站施工围堰高喷防渗墙施工质量优良,各项性能均满足设计要求。

The application of vibrating-hole jet grouting technology on the construction of TGP

Chen Xiu-tong

(Ertan Hydropower Development Company., LTD, Chengdu Sichuan 610021)

Key Words: vibrating-hole jet shotcreting; cut-off wall; Three Gorges Project

Abstract: The vibrating-hole jet grouted cut-off wall has been applied to the construction cofferdam for the power resource station at the Three Gorges Project (TGP). The vibrating-hole jet grouting is a kind of jet grout technology with integrity of drilling and shotconcreting. While the jetting bar with special nozzle lowers down rapidly by powerful vibrating hammer, the high pressure device makes grout, water and air become a high pressure flow and jet out from the nozzle, which strongly impacts and destroys soil body. When drill bar reaches down to the presumptive rock surface, it will be lifted up at certain speed to make grout be mixed with weathered sand forcedly; when grout consolidates, a wall has been formed. It has been based on inspection that the construction quality of the vibrating-hole jet grouted cut-off wall in the construction cofferdam at TGP is excellent and all its performance indexes can meet the design requirements.

中图分类号: TV543.8(263)

文献标识码: B

三峡工程电源电站施工围堰为 IV 级临时建筑物,设计洪水标准为 20 年一遇,相应流量为 $72\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$,下游水位为 $76.95\ \text{m}$ 。围堰轴线长 $144.53\ \text{m}$,堰顶高程 $78.5\ \text{m}$,堰顶宽 $12\ \text{m}$ 。下游围堰防渗采用振孔高喷防渗墙。

高压喷射灌浆是将水力采煤原理用于地基处理的一种工法,是利用能量高度集中的高压射流冲切地层,并将注入的固化浆液与冲切的原地层颗粒就地混合搅拌,同时随着喷射流束的不同运动方式,形成所需要的防添加固体。振孔高喷防渗墙是采用高压喷射注浆技术构筑的连续板墙状凝结体结构,能够起到很好的阻水作用。振孔高压喷射注浆是一种钻喷一体化的高喷灌浆技术,以大功率的振动锤将带有特制喷嘴的高喷杆快速向下振孔,同时用高压设备使浆液、水、气成为高压流从喷嘴中喷射出来,冲击、扰动土体。当钻杆到达预定岩面后,以一定速度向上提升钻杆,使浆液与土体强制混合,待浆液凝固后,便形成了防渗墙。

1 施工技术要求

三峡工程电源电站下游围堰防渗施工在新填筑的结构较

松散的风化砂中进行。施工中,堰体可能产生较大的沉陷变形,漏、串浆的可能性大,应采取与之相适应的措施及设备,确保施工质量、安全和进度。

1.1 高喷墙技术参数

围堰防渗墙为单排高喷墙,下游侧基岩面以上 $2.0\ \text{m}$ 高度范围内增加一排振孔高喷墙,孔距 $0.6\ \text{m}$,排距 $0.8\ \text{m}$,高喷作业形成的单排旋喷成墙厚度不应小于 $0.8\ \text{m}$,双排旋喷成墙厚度不应小于 $1.0\ \text{m}$,且应满足以下技术指标要求:①抗压强度 $R_{28} \geq 3\ \text{MPa}$;②抗折强度 $T_{28} \geq 0.8\ \text{MPa}$;③渗透系数 $K_{30} \leq 1 \times 10^{-5}\ \text{cm/s}$;④整体允许渗透坡降 $J > 50$;⑤初始切线模量 $E_0 = 500 \sim 800\ \text{MPa}$ 。

1.2 钻孔技术要求

钻孔均为垂直孔,孔径 $\phi 170 \sim 180\ \text{mm}$,孔位偏差 $\leq 5\ \text{cm}$,孔底偏斜 $< 1\%$,孔底伸入弱风化岩 $0.3 \sim 0.5\ \text{m}$ 。

收稿日期: 2004-09-03

作者简介: 陈秀铜(1976—),男,湖北利川人,硕士,主要研究方向为水利水电施工仿真技术。

1.3 振孔旋喷灌浆参数

振孔旋喷灌浆参数见表 1。

表 1 振孔旋喷灌浆参数

项目	压力 /MPa	风量 /(m ³ /min)	浆量 /(L/min)	提升速度 /(cm/min)	旋转速度 /(r/min)	浆液密度 /(g/cm ³)	喷嘴 /(个×mm)
气	0.7~1.2	1.5~3.0		15~20			
浆液	35~38		≥140	1(岩面和斜坡 1 m 内)	15~25	1.4~1.45	2×2.9

1.4 施工材料

(1) 采用强度等级为 32.5 MPa 的普通硅酸盐水泥, 水泥新鲜无结块, 通过 0.08 mm 方孔筛余量 ≤5%, 水泥在使用前应做质量检测。

(2) 搅拌水泥浆所用的水应符合混凝土拌和用水标准。

(3) 高喷作业采用两管法(浆、气), 浆液密度为 1.4~1.45 g/cm³, 水泥浆液随配随用并应过滤, 浆温控制在 5~40 °C 范围内, 一次浆液使用时间控制在 4 h 以内。

(4) 浆液水灰比为 1.0:1.0~1.0:1.1。当需要减缓水泥浆液沉淀速度及保持良好的可喷性或改善高喷墙变形适应能力时, 可在浆液中加入适量的膨润土和碳酸钠。

1.5 旋喷步骤

当振孔喷管钻至预定深度后, 及时按照设计配比配制好水泥浆液, 并按以下步骤进行操作:

(1) 按设计转速原地喷射。

(2) 按设计旋喷方法, 输入水泥浆和压缩空气, 待泵压和风压升至设计值且孔口返浆比重不小于 1.3 g/cm³ 后, 开始提升高喷管。

(3) 按设计的旋转和提升速度匀速提升高喷管, 进行自下而上的旋喷灌浆作业。

1.6 振孔高喷入岩问题

原则上要求振孔造孔至基岩面(58 m 高程左右)后入岩 0.3~0.5 m, 如遇完整的、特别坚硬的基岩(弱—微风化花岗岩)钻杆强烈反弹时, 应坚持强振 2~3 min 才能进行喷灌; 对于基岩面顶部裂隙发育或堆积有碎石的部位, 造孔时虽然有反弹现象但却有一定的进尺(如 10 cm/min 左右)时, 应坚持下振至钻喷杆产生强烈反弹后才能开始高喷作业。

2 施工方法

2.1 施工工艺流程

施工工艺流程见图 1。

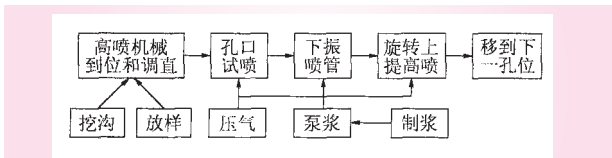


图 1 振孔高压旋喷灌浆施工工艺流程

2.2 施工方法

(1) 导槽开挖。用反铲沿防渗轴线开挖宽 1 m、深 2~3 m 的导槽, 然后人工回填 1~2 m, 减少废浆等排放的污染。

(2) 钻孔定位。采用参照定位法, 即用地面标志定好机架的两个点, 以这两个点来确定孔位, 孔的定位偏差 ≤5 cm。

(3) 机架定位及调整。机架定位后, 调整振管垂直度, 调整精度为 0.2%。

(4) 钻孔及高压旋喷灌浆。振管达到预定的岩面深度, 振锤出现强烈反弹后, 再慢速旋转下振 0.3~0.5 m, 然后开始上提和高压灌浆, 提升速度为 15~20 cm/min。在高喷管提升接近桩顶前, 应从桩顶以下 1 m 开始慢速提升至桩顶, 并在桩顶停止提升, 喷灌数秒钟。

2.3 特殊情况处理

旋喷注浆过程中, 冒浆量小于注浆量的 20% 为正常现象, 超过 20% 或者完全不冒浆时, 应分析原因, 根据实际情况一般采取以下措施:

(1) 当地层中有较大的空隙引起不冒浆时, 应立即停止提升, 降低水压, 减少水量, 加浓浆液(必要时加入速凝剂), 增大注浆量, 填满空隙, 待孔口返浆后再继续旋喷。

(2) 当冒浆量过大时, 可通过提高喷射压力或适当缩小喷嘴孔径, 或加浓浆液密度, 适当加快旋转和提升速度, 减少冒浆量。

高喷灌浆因故中断时, 应将高喷管下沉至停喷点以下 0.5 m, 待恢复高喷灌浆后再按要求正常作业, 因故停机超过 1 h 时, 应对泵体和输浆管路进行妥善清洗。

3 高喷防渗墙质量检测与试验

围堰高喷成墙于 2004 年 2 月 10 开始施工, 至 2004 年 3 月 18 日完成, 高喷防渗墙质量检测主要包括开挖检查、钻孔取芯检查、压水试验检查等。

3.1 防渗墙开挖检查

防渗墙在围堰轴线上共布置了 4 个孔径为 91 mm 的质量检查孔(垂直孔), 其桩号分别为 0+006.3、0+061.2、0+087.6、0+126.3, 孔深以伸入基岩 0.5~1 m 为准。另外, 在位于围堰的轴线上, 桩号为 0+057.0~0+060.0 和 0+127.2~0+130.2 处各挖一个深 2 m、长 3 m 的条形槽, 检查防渗墙的有效成墙厚度和连续性。

3.2 防渗墙注水试验

为检验高喷防渗墙的防渗效果, 进行了现场整孔注水试验(见表 2)。

表 2 现场整孔注水试验结果

孔号	注水时间	注水历时/min	最大漏水量/(L/min)	稳定漏水量/(L/min)	注水压力/MPa	渗透系数/(cm/s)
检 1	2004-05-11	40	0.016	0.01	0.06	4.0×10^{-12}
检 2	2004-04-08	65	0.6	0.4	0.06	5.35×10^{-6}
检 3	2004-04-16	40	0.28	0.26	0.06	3.72×10^{-6}
检 4	2004-04-17	40	0.16	0.06	0.05	1.21×10^{-6}

3.3 钻孔取芯检查

沿防渗墙轴线布置检查孔, 钻孔深度小于防渗墙深度 1~2 m, 干钻作业, 在检查孔的中部和底部取芯样。每个检查孔取 3 组试样, 做室内抗压强度、渗透系数、破坏比降等检测(见表 3)。

3.4 检测结论

经土方开挖, 防渗墙头部出露, 外观质 (下转第 63 页)

时额定热容量。因此采用熔断件的热容量值与被保护设备的热容量值进行选择校验熔断件可以满足要求,对断路器是安全的。

由于 FR 的非线性性和快速导通特性,将操作过电压限制在 2.5 倍额定相电压之内,其残压值约为 $U=2.5 \times \sqrt{2} U_n / \sqrt{3} = 28.17 \text{ kV}$, 小于运行中发电机及变压器的冲击耐压值 29.3 kV, 更小于出厂时的冲击耐压值(额定电压为 13.8 kV), 因此 FR 可避免发电机及变压器免受操作过电压的冲击。假如没有 FR, 限流熔断器的操作过电压将达 38 kV 以上, 大于运行中发电机及变压器的最大冲击耐压值 35.2 kV, 设备将会受到很大的电压冲击而损坏。

从以上各方面的分析计算可以看出, FU 的额定电流选定为 250 A 是满足安全性和可选择性要求的。同时也必须装设 FR 以限制操作过电压。

4 结 语

经过理论计算和实践证明, FUR 组合保护装置有其很大的优越性, 在江垭水电站厂用电系统中已成功运用, 它减少了设备的误动率, 有效的保护了主要电气设备, 提高了电站的经济效益。但在选用该设备时, 应多方案比较, 综合考虑和计算, 既要保证电站的安全性, 又要保证动作的可靠性和选择性。从该电站对断路器的保护设备的选型中可得出以下结论, 同时也是在通常设计中易于忽视的方面。

(1) 对短路电流较大的电站, 在普通真空断路器不能满足

(上接第 43 页)

表 3 高喷防渗墙钻孔取芯检查结果

试样编号	初始切线模量/MPa	抗折强度/MPa	抗压强度/MPa	渗透系数 K_s /(cm/s)	渗透比降 J
检 2-1-1	923.66	2.7	7.5	9.67×10^{-8}	18.08
检 2-1-2	815	3.4	7.3	1.19×10^{-7}	36.17
检 2-1-3	909.98	3.2	6.5	1.24×10^{-7}	54.25
检 3-1-1	1 586.7	5.0	9.2	1.946×10^{-8}	18.315
检 3-1-2	1 266.7	4.6	6.4	6.43×10^{-8}	36.63
检 3-1-3	1 077.8	5.8	8.6	6.51×10^{-8}	54.94

量检查表明, 墙体成形完整, 墙体宽度大于设计要求, 其轴线平直, 外观质量优良; 检查取出芯样, 芯样完整、坚硬, 物理力学性能能满足设计要求。检测表明, 高喷防渗墙施工质量优良, 各项性能均满足设计要求。

4 结 语

振孔高压喷射灌浆技术, 在三峡工程三期下游土石围堰防渗施工中, 以优质高效的突出优势首次获得成功, 此次用于电源电站下游围堰防渗工程, 是该项技术的进一步推广和发展。实践证实, 高压喷射灌浆是一种能与周围介质实现可靠柔性连接、施工速度快、适用范围广、机动灵活的一种有效防渗措施。

振孔高压喷射灌浆在风化砂、回填层、淤砂层及花岗岩的全风化层中扩散性较好, 能得到较好的防渗效果。在 1.0、0.8 m 孔排距时, 能实现单排桩间可靠的连接。在强风化层的上

要求时, 可选用负荷开关或 FUR 组合保护装置, 不论选择哪种设备, 均应满足动作的可靠性和可选择性, 以及截流过电压对主要设备的危害。

(2) FUR 组合设备中 FU 的额定电流选择不能单纯按负荷电流选择, 应充分考虑熔断时间与下级断路器在动作时间上的配合性, 并应取得生产厂家准确的电流—时间关系曲线、热容量曲线等参数。

(3) 应对 FU 的限流性进行校验, 以便选择轻型断路器或负荷开关、隔离开关等电气设备。

(4) 根据熔断时间计算(或查曲线)FU 的热容量, 该值应大于断路器或负荷开关在该熔断时间内的热容量, 且小于其额定时间内的热容量, 确保电气设备在熔断时间内的安全。

(5) 由于 FR 的能量转移, 降低了操作过电压, 有效地保护了主要电气设备免受过电压的冲击, 但应对 FR 的残压水平与电气设备的冲击耐压水平进行比较校验。

(6) 如有条件可在发电机母线引下线位置设置 1 组隔离开关, 以便于设备的检修和更换, 同时不影响机组的正常运行。

参考文献:

- [1] 电机工程手册编辑委员会. 电机工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 第 2 版.
- [2] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册(电气一次)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1982.

部、块球体架空层、卵石层, 必须通过缩小孔距, 增加排数, 调整喷射参数, 方能保证防渗体的连续性和可靠性; 在强风化层下部和弱风化岩体内, 由于基岩强度较高, 高倾角裂隙发育, 高压水射流切割破碎能力有限, 高喷灌浆难以形成防渗墙体; 在一般工艺难以解决的陡坡等特殊地段, 用高压旋喷所营造的防冲旋喷桩体之间, 防渗体与陡坡岩石之间, 连接十分牢固可靠, 其喷射盲区可以通过调整参数予以解决。

振孔高喷灌浆工艺在风化砂、回填层、岩石的全风化层等地层中钻进效率高, 但对于孔深超过 30 m 的深孔中的平抛垫底卵石、砂卵石层、原河床的淤沙层、块球体及强风化蚀余块球体层的钻进成孔及成孔垂直度等, 仍需更多的工程实践和深入研究。

为改善基础的渗漏条件, 可在高喷防渗墙下进行帷幕灌浆, 共同构成防渗体, 可以作为基础防渗结构的一种新的尝试。

参考文献:

- [1] 周志远, 任晓峰, 刘鹏. 三峡工程三期土石围堰防渗墙施工工艺试验[J]. 国外建材科技, 2003, 24(5): 56-58.
- [2] 徐镇凯, 汪文彬. 高压喷射注浆造防渗墙法在防洪工程中的应用[J]. 南昌水专学报, 2002, 21(4): 25-28.
- [3] 陈促颐, 叶书麟. 基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [4] 查振衡, 张义东. 对目前高喷灌浆几个问题的探讨[J]. 人民珠江, 2001, (5): 40-41.
- [5] 魏长法. 高喷防渗墙在长江堤防建设中的应用[J]. 基础工程, 2002, 5(8): 22-24.