

小浪底工程帷幕灌浆施工技术特点

张东升, 吴昌春, 张利莉, 唐泉涌

(小浪底水利枢纽建设管理局, 河南 济源 454681)

摘要:分析小浪底水利枢纽的地质情况,并借鉴国外的经验,在小浪底水利枢纽的帷幕灌浆施工中全面采用稳定浆液,同时引进和发展了GIN灌浆方法.通过大量的试验和试验性生产,确定了合理的控制参数和工艺流程.经检测,灌浆后帷幕质量满足技术规范要求,并且节约了工程投资,缩短了工期.

关键词:帷幕灌浆;稳定浆液;GIN法;小浪底水利枢纽

中图分类号:TV543+.82

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2003)03-0044-04

1 地质概况与帷幕设计

1.1 地质概况

小浪底水利枢纽坝址出露的地层主要是二叠纪上统和三叠纪下统硅质砂岩,钙质泥质粉细砂岩,泥质粉砂岩和泥岩.岩层走向北西 $280^{\circ} \sim 290^{\circ}$,倾向北东,倾角 $6^{\circ} \sim 16^{\circ}$.穿过帷幕线的断层主要有 F_1 , F_{236} , F_{238} , F_{240} . F_1 断层分布在右岸河床部位,影响带宽约26 m,为一隔水断层. F_{236} , F_{238} 和 F_{240} 位于左岸,近于平行,在帷幕线处相距80~100 m,为高倾角错动,充填物为断层泥和岩块.岩体裂隙发育,层间连续性较差,可灌性好.

1.2 帷幕设计

小浪底水利枢纽大坝为壤土斜心墙堆石坝,最大坝高160 m,坝顶长1 667 m.工程的防渗体系为以垂直防渗为主,水平防渗为辅.在右岸滩地和河床覆盖层部位采用地下混凝土防渗墙与基岩相接,坝肩和两岸岩体采用灌浆帷幕与大坝心墙一起构成垂直防渗体系.上游设短铺盖,利用天然淤积,通过坝体内防渗层与心墙相接构成水平防渗体系(见图1).

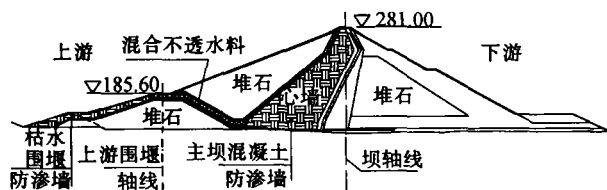


图1 大坝典型横剖面

小浪底水利枢纽防渗帷幕线总长约2 900 m,底线从河床部位60 m高程向两岸逐渐抬高,左岸最高

高程为250 m,右岸最高高程为220 m,为悬挂式帷幕.帷幕主要是为单排孔布置,孔距2 m.两岸坝肩和断层部位,根据不同情况局部增至2~5排.帷幕钻孔最大深度108 m,总工程量约21万m.

枢纽的泄洪、发电系统均布置在左岸.由于洞轴线与帷幕线交叉,所有泄洪洞、发电洞在帷幕线部位均布置“环形灌浆”作为帷幕的一部分与主帷幕相接(见图2).

坝区右岸坡度平缓,除设1号、2号灌浆洞进行少量的帷幕灌浆以外,绝大部分是在岸坡进行.左岸岩体分3层进行施工,即3号、4号灌浆洞与露天钻、灌相互衔接.

根据堆石坝的设计规范,防渗标准为5 Lu.

2 施工技术特点

小浪底水利枢纽是采用国际招标的特大型水利工程,共分3个土建工程标,即大坝工程(I标),进水口、洞群和溢洪道工程(II标),发电设施工程(III标).整个帷幕实际是由4个标来完成,即I标承担坝基和两岸山体的露天帷幕,II标承担帷幕线上泄洪洞群的“环形灌浆”,III标承担引水发电洞的“环形灌浆”,国内标承担1号、2号、3号、4号灌浆洞和副坝及其左右延伸部分露天岩体的帷幕灌浆工作.这样,国内外一些著名的基础处理专业公司同时汇集小浪底,国外先进的施工技术、国内成功的施工经验,在小浪底得到广泛的发挥和交融,形成具有小浪底特色的施工工艺.可以这样说,小浪底的帷幕灌浆施工技术代表了世界灌浆技术的现状和发展趋势,

作者简介:张东升(1969—),男,河南鲁山人,工程师,从事水利水电工程技术管理工作.

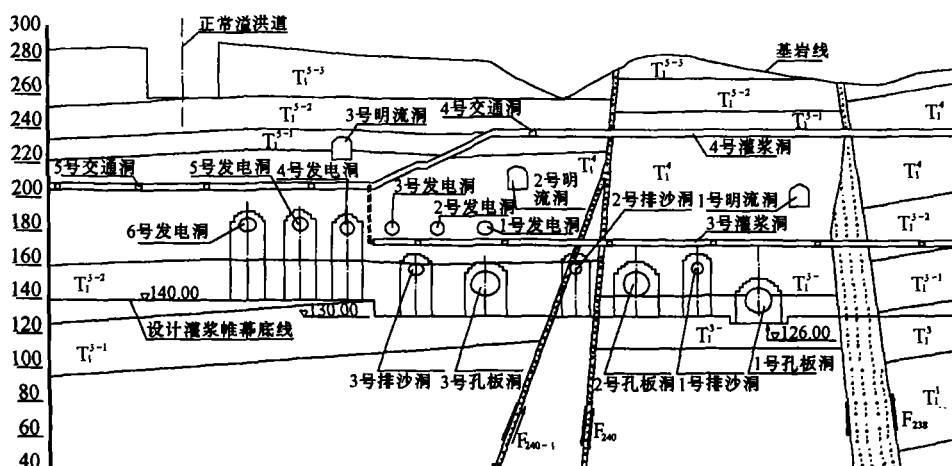


图2 左岸帷幕灌浆剖面(单位:m)

具有鲜明的特点。

小浪底水利枢纽帷幕灌浆钻、灌工艺的主要特点是:钻孔手段是回转和冲击相结合,灌浆是纯压和循环相结合;国内施工技术与国外先进的施工方法相结合;国产钻灌设备与进口设备相结合;记录仪的使用配合纯压和循环灌浆工艺。

2.1 各种钻、灌工艺交融

众所周知,国外的灌浆施工,绝大部分倾向水、气压塞封闭,纯压灌浆方法,而国内则多采用机械循环塞进行循环灌浆,或者采用孔口封闭、孔内循环的灌浆工艺。

由于小浪底的右岸岩体裂隙十分发育,外商曾试图沿用自下而上分段卡塞的施工方法,致使灌浆塞多次由于串浆而被筑死,不得不采用我国国内比较通用的小口径、孔口封闭、孔内循环的方法。然而,在左岸岩石比较完整的地段,则采用自下而上分段卡塞的施工方法获得了成功,大大提高了功效。

小浪底水利枢纽帷幕灌浆是国内少数全面使用灌浆自动记录仪的工程之一,并且将记录仪的使用从纯压灌浆扩展到循环灌浆,这既可提高功效,又确保了施工质量,为今后国内灌浆工艺的自动监测打下了基础。

小浪底帷幕有露天施工作业,有洞内施工作业,深孔和浅孔的差距较大。国外设备技术先进,工作效率高,但大部分体积比较庞大,只适合露天较平缓的地形条件下作业,而国产设备尽管先进性欠缺,然而比较轻巧,机动性较大,价格也比较便宜。冲击钻机进度比较快,但只适合一般的浅孔,而国产回转钻机,尽管钻进速度较慢一些,但可钻进比较深的钻孔。总之,国内外各种设备优化组合使用,发扬其长处,是大规模施工的重要条件。

2.2 普遍采用稳定浆液

根据小浪底的地质情况,吸收国外的施工经验,

经过试验后确定采用稳定浆液进行帷幕灌浆。

2.2.1 稳定浆液的概念

事实证明,浓浆和稀浆灌入岩体以后形成的结石强度和耐久性是完全不同的。前者结石强度高,耐久性好;后者则强度低,结石易水解。较浓浆液的使用正逐渐被人们所接受,然而较浓的浆液的粘滞度和粘聚力均较大,影响了灌浆的效果,从而引出稳定浆液的概念。所谓稳定浆液就是具有较小的析水率、较低的粘聚力和良好的流动性的中等浓度的浆体。为了得到真正意义上的稳定浆液,用膨润土来降低浆液的析水率,用高效塑化剂来改善浆液的流动性。经过大量室内及现场试验并参考国外的经验,选用了如下性能浆液作为稳定浆液的控制指标。水灰比:0.7~0.75,密度:1.62~1.68 g/cm³,2h析水率:小于5%,马氏漏斗粘度:小于35 S,粘聚力:小于4 N/m²,28 d结石强度:大于15 MPa。

2.2.2 稳定浆液的试验

稳定浆液的试验工作大部分是在室内进行的。为了论证现场施工条件对浆液的影响,针对业已确定的室内配方,在现场进行了校核性试验,结果和室内试验无大的出入。

稳定浆液选用浆材:仰韶牌 525 号普通硅酸盐水泥,山东高阳膨润土厂生产的膨润土,山西三重集团公司生产的缓凝型 RC-M 减水剂和天津雍阳减水剂厂生产的 UNF-5 非引气型高效减水剂。

在大量试验的基础上,推荐两种配方供现场应用(见表1)。

表1 现场实际用配方

编号	水灰比	膨润土含量/%	减水剂名称	减水剂用量/%	马氏漏斗粘度/S	密度/(g·cm ⁻³)	粘聚力/(N·m ⁻²)	2h析水率/%
1	0.70	2.0	RC-M	0.60	32	1.63	3.1	1.23
2	0.75	0.8	UNF-5	0.80	33	1.64	0.51	2.00

注:粘聚力用旋转粘度计测试。

2.2.3 稳定浆液的制作

在具备了制浆系统以后,制浆工艺流程一般如下:向搅拌机加定量水→加成品膨润土膏→加水泥

高速搅拌 3 min → 加减水剂 → 搅拌 1 min → 稳定浆液。

这里值得注意的是:①所谓成品膨润土膏即膨润土经过充分水化后获得,一般浸润时间要 6 h 以上;②加水泥后必须高速搅拌,以使水泥颗粒充分分离;③由于原材料的不均质性,经常性地进行现场指标测试是十分必要的;④稳定浆液制备以后,就可以直接输送至灌浆部位进行灌浆。

2.2.4 稳定浆液主要优点

经过工程实践,稳定浆液主要具备以下几方面优点:①简化施工工艺;②增加了浆液结石的强度(一般都在 20 MPa 以上),提高了灌浆帷幕的耐久性;③增加了充分利用浆液的可能性,减少了浆液的浪费;④稳定浆液灌注所能达到的帷幕质量,完全可以满足设计要求。

2.3 GIN 灌浆方法的引进和发展

2.3.1 GIN 灌浆法的基本概念

GIN(grouting intensity number)法是目前国际上正在推广应用的一项新的灌浆技术,是由瑞士灌浆专家隆巴迪(Lombardi)等人提出。GIN 即灌浆强度值,定义为灌浆孔段上灌浆压力 P (MPa)和单位灌注量 V (L/m)的乘积,即 $GIN = PV$ 。GIN 灌浆法的原理就是在一个特定的地质条件下,如欲获得较均匀的灌浆帷幕,只要将 GIN 值设定一个常数,即保持孔段上消耗一致的能量即可。为了控制过大的压力和过多的不必要灌注量,要规定一个允许最大压力 P_{max} 和允许最大灌注量 V_{max} ,这样就形成了一个 GIN 值包络线(见图 3)。

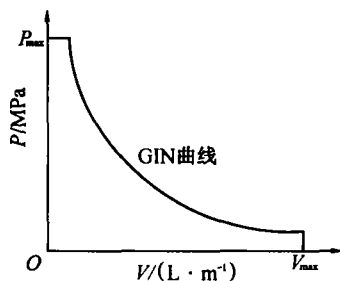


图 3 GIN 包络线

2.3.2 GIN 灌浆法的技术要点和改进措施

GIN 值确定以后,在施灌过程中,以实践经验为基础,控制中等流速的灌浆速率,灌浆过程曲线只要与 GIN 包络线相交则视为灌浆结束。

GIN 法的灌浆技术要点是:①使用稳定浆液;②用选定的 GIN 包络线控制灌浆压力和灌浆注入量;③控制中等灌浆速率。

GIN 法的优点是:①简化灌浆工艺;②幕体大致均一,减少了水泥用量;③计算机监控灌浆全过程,能够保证灌浆质量。

小浪底水利枢纽引进 GIN 灌浆的主要目的是验证 GIN 法的合理性和适用性;综合 GIN 法和我国传统灌浆技术两者的优点,探索出一种适合我国国情的新的灌浆方法和灌浆工艺。

经过研究探讨,我们对隆巴迪的灌浆方法进行了适当改进:

a. 采用限流和限速的原则制定结束标准。灌浆速度控制标准:进行孔深 10 m 以上的灌浆时,灌浆速度不大于 10 L/min;进行 10 m 以下的灌浆时,灌浆速度不大于 15 L/min;注入量限制标准:按 200 L/m 平均注入量控制。结束标准分以下 4 种情况:①当累计注入量小于规定的控制量,压力达到最高值,注入率小于 1 L/min 时,持续 30 min 结束灌浆。②当累计注入量大于规定的控制量,压力达到最低值时,持续 30 min 结束灌浆。③当累计注入量大于规定的控制量,压力低于最低值时,停灌 15 min,恢复灌浆。如在 30 min 内压力达到最低值,按②中要求结束灌浆;如果 30 min 内压力达不到最低值,则再停灌 15 min,重复以上过程,直到满足②中要求。④当累计注入量大于 5 m³,而不起压,则换用 0.5:1 浓浆灌注,当累计注入量达到 10 m³ 时,可以结束灌浆。

b. 根据不同深度确定几个不同的 GIN 值区段。

经过改进,更加确保了灌浆质量,也不失体现 GIN 灌浆法的优越性。

2.3.3 工程质量

小浪底水利枢纽帷幕灌浆工程,在垭口副坝、2 号灌浆洞、4 号灌浆洞 3 个部位进行了 GIN 灌浆试验和试验性生产,累计进尺 3 815.10 m,水泥注入量为 421 254.10 kg。

所有部位经 GIN 灌浆以后,成果资料完全符合正常的灌浆规律。

检查孔的压水试验结果表明,灌浆质量完全达到了设计要求。

2.3.4 与常规法对比

GIN 灌浆法在小浪底工地的应用实践,除完全能保证工程质量以外,和同部位的常规灌浆相比,可节约水泥用量 50% 以上。同时,工效也可提高 1 倍以上。

2.3.5 灌浆资料的计算机处理

随着计算机的普遍应用,灌浆资料的汇总、整理、分析完全实现了计算机化。灌浆过程中和灌浆结束以后所有成果图表均用计算机完成,免去了繁琐的手工劳动,提高了工效,并可随时对灌浆质量进行

跟踪分析,成果资料的质量也大大地提高。

3 工程质量

小浪底水利枢纽帷幕灌浆工程单耗次序递减符合正常规律,检查孔检查结果完全满足设计要求小于 5 Lu 的指标,说明小浪底帷幕灌浆质量是有保证的。在小浪底水利枢纽施工质量评定中,帷幕灌浆工程被评定为优良。

4 结 语

a. 小浪底水利枢纽帷幕灌浆各个部位采用了不同的方法进行施工,同样达到了设计所要求的防渗标准。这说明,在充分分析工程地质情况的前提下,经过试验研究,在保证质量又节约投资的原则下,寻求进度快、工艺简单的施工方法是从事基础处理工程人员应遵循的准则。

b. 小浪底水利枢纽帷幕灌浆的设计思想是先

进的,各种施工工艺的采用,提供了比较和鉴别的可能性。灌浆工程也应解放思想,既要尊重过去多年积累的经验,又要敢于冲破陈旧观点的束缚,探索灌浆工程的发展道路。

c. 稳定浆液和 GIN 方法的引进及在小浪底水利枢纽中的成功应用,显示出其很大的优越性和生命力。尤其在我国的孔口封闭、自上而下循环灌浆法的基础上嫁接 GIN 法工艺是可行的,它综合了孔口封闭法和 GIN 法两种工艺的优点,更易于推广使用。

d. 在小浪底帷幕灌浆工程中,试验采用了计算机监控系统,实现了较远距离的遥测和控制,为实现我国灌浆施工的现代化开辟了道路。

e. 小浪底水利枢纽在帷幕灌浆施工中取得了一些经验。但由于各个工程的具体情况不同,尚需结合具体工程具体研究,不可千篇一律。

(收稿日期:2002-11-01 编辑:傅伟群)

·简讯·

我国的三大风电场

风力发电是一种可持续发展的可再生能源,也是一种洁净而无污染的能源。我国虽然利用风能时间较早,但发展却不尽如人意,截至 2001 年,装机约 41 万 kW,在亚洲还不及印度,居第 2 位。在我国现有的 20 多个并网型风电场中,较具规模的有以下 3 个:

a. 达坂城风电场。位于新疆乌鲁木齐市南郊,风能带面积约 1 600 km²,东西长约 80 km,在 30 m 高度的平均风速为 8 m/s,年满负荷运行小时在 3 000 h 以上,是一个风力资源十分丰富的风电场,规划装机在 100 万 kW 以上。自 20 世纪 90 年代以来,通过三期建设,至 20 世纪末,共有风机 110 余台,总容量达 5.75 万 kW。2001 年又利用荷兰政府贷款,新增了 500 kW 机组 51 台和 600 kW 机组 10 台,使风机总数增至 170 余台,总容量达到 8.9 万 kW,是我国目前最大的风电场。“十五”期间还准备利用亚洲开发银行贷款,使风机容量增至 12 万 kW。

b. 南澳风电场。位于广东沿海南澳县所属 37 个大小岛屿上,海域面积 4 600 km²,年平均风速 8.54 m/s,年有效风速达 7 000 h,满负荷运行小时在 2 500 h 以上,风况属于世界最佳行列。自 1989 年成立南澳风能开发公司,在 20 世纪内,采用多元化投资,先后进行了 9 期开发,从瑞典、丹麦、美国 and 西班牙等国引进风机,又和浙江、上海、汕头、香港等地合作,研制了国产化风机,使该场风机总数达 130 余台,总容量达 5.37 万 kW,是我国第二大风电场,也是亚洲最大的海岛风电场。2001 年又分别和 3 家公司签约,一个是中国华能集团公司共同开发南澳岛东部风力资源,一个是德国英华威有限公司联合开发海上风电场,一个是中外合资的丹南风能有限公司合作开发风电。合作计划共同投资 13 亿元,增长风机 210 多台,扩充容量 14.6 万 kW,计划在 3 年内完成,使南澳成为世界著名的“风电岛”。

c. 辉腾锡勒风电场。位于内蒙乌兰察布盟锡林以南,是我国重要的风电场之一,规划装机 120 万 kW。1996 年开始建场,5 年间不断扩充机组,至 20 世纪末,共有风机 63 台,总容量达 3.73 万 kW。2001 年利用德国政府贷款,又新增了 9 台 600 kW 机组,于 2002 年初投入运行,从而使风机增至 72 台,容量增至 4.27 万 kW,成为我国第三大风电场。2002 年 3 月,内蒙古电力公司又和国家电力总公司龙源风能有限责任公司签订了合作意向书,计划 3 年时间,共同开发 10 万 kW 风电。并优先使用龙源国产化风机。此外,又利用美国贷款,增装 19 台 750 kW 风机。

如进展顺利,到“十五”末的 2005 年,上述 3 个风电场的风机总容量均在 10 万 kW 以上。

(吴葵高供稿)