

小浪底工程综合消力塘开挖及边坡支护设计与施工

廖忠刚¹, 阎明², 孔彩粉¹

(1. 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003;

2. 水利部天津水利水电勘测设计研究院, 天津 300222)

摘要:介绍小浪底工程泄洪建筑物下游区综合消力塘的开挖及边坡支护设计与施工, 工程中采用了合理的开挖设计方案、科学的施工方法、先进的施工设备, 在消力塘上游边坡增设了抗滑桩和排水洞, 确保消力塘结构的安全。

关键词:消能建筑物; 消力塘; 小浪底水利枢纽

中图分类号:TV653

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)02-0037-03

小浪底工程综合消力塘集中布置在左岸葱沟和西沟之间的山梁上, 该处地形较为平缓, 施工场地宽阔, 便于机械布置, 有利于提高施工强度。消力塘长140~160 m, 宽319 m, 底部开挖高程110~107 m, 总宽度319 m, 塘中设两道中隔墙, 把消力塘分为3个消力池, 消力池末端设有尾堰, 堰后接二级池和钢筋混凝土护坦。

消力塘土石方开挖总量1192万m³, 其中消力塘尾堰前土石方开挖量为911万m³, 土石方各占50%, 消力塘尾堰后土石方开挖量为281万m³, 土方约占90%。根据施工规划进度安排, 开挖总工期28~29个月。

1 开挖设计与施工

1.1 开挖设计

在施工规划时, 参考国际上大型水利水电工程的施工资料, 结合小浪底工程施工条件, 对选用施工机械的生产效率及定额进行分析研究, 作为安排施工进度计划的依据。土方开挖采取侧进台阶法分层取土, 石方开挖采用深孔台阶爆破法, 为了有效地利用挖掘设备, 分层台阶高度分段取为10 m。边坡开挖采用预裂爆破, 沿设计开挖线进行, 一次成型, 以减少施工开挖对边坡岩石的振动, 保证边坡稳定, 减少超挖; 边坡嵌入底板的齿槽和廊道齿槽的开挖采用掏槽爆破方式, 在两侧沿设计线进行预裂, 根据齿槽深度不同, 按3~4 m深进行浅孔分层爆破; 底板开挖采用浅孔爆破结合风镐撬挖进行。

1.2 施工情况

施工开挖包括覆盖层土方开挖、岩石开挖及结

构开挖。土方开挖采用液压挖掘机开挖直接装自卸车, 运至4 km外的弃渣场。岩石大体积开挖采用阶梯钻孔爆破施工, 分层高度10 m, 爆破后使用液压挖掘机开挖直接装自卸车运至碴场。施工开挖共分14个开挖阶段, 从左到右分区分层进行。开挖施工中, 由于上游边坡支护系统进行了设计修改, 承包商的相关设备及施工队伍未能进场, 故在设计坡面外预留14 m的保护层, 作为后继支护及锚索施工的工作平台。左右边坡及尾堰边坡支护形式较简单, 在预留保护层后, 与整个开挖同步进行, 预留的保护层边开挖边进行支护。施工爆破钻孔呈梅花型布置, 孔距3~4 m, 排距2~4 m。依据不同的岩石特征, 施工中单位耗药量为0.35~0.5 kg/m³, 一次爆破规模3000~10000 m³。

边坡及底板廊道结构开挖, 采用预裂爆破的方法, 通过现场试验确定爆破参数如下: 预裂孔孔径70 mm、孔距60~70 cm, 一次预裂孔深大于10 m, 预裂孔装药量200~300 g/m, 药卷直径25 mm, 不耦合系数 $m=2.8$, 孔口堵塞段长度为1~1.5 m。施工中凡控制孔距不大于60 cm的开挖, 其结构面预裂效果良好。对于水平结构的开挖, 采用浅孔爆破、人工撬挖进行, 同时预留2.0 m厚的保护层。

2 边坡支护设计与施工

2.1 边坡支护及加固设计

消力塘边坡由上、下游边坡及左、右边坡组成。经稳定计算, 左、右边坡及下游(尾堰)边坡自身基本稳定, 为防止施工期局部岩块塌滑和岩石风化, 边坡上设计了系统锚杆和挂钢筋网喷混凝土保护。锚杆

参数: $\phi 25$, 总长 3.75 m, 埋深 3.0 m, 间距 1.3 m, 钢筋网采用 $\phi 8 @ 200 \times 200$, 喷混凝土厚 5 ~ 10 cm. 上游边坡段, 按工程地质条件的不同, 分为 3 个结构区段. I 区段主要由 T_1^{-1} 地层组成; II 区段主要为 $F_{245}, F_{236(238)}$ 断层带及其影响带; III 区段的地层上部为 T_1^{-1} , 下部为 T_1^{-2} . 上游边坡倾向与岩层倾向近似一致, 为顺向坡, 岩体结构面发育有 3 组陡倾角节理. 根据边坡岩体结构分析, 上游边坡可能失稳, 其模式是沿泥化夹层滑动. 根据有限元分析, 消力塘上游边坡在自重、地下水和地震力共同作用下, 边坡局部有塑性区出现, 表明边坡不能自稳, 要达到边坡设计安全系数, 需进行系统加固.

系统加固设计: ①在距上游坡脚 59.45 m 处布置排水隧洞, 隧洞总长 888.49 m 左右, 洞底高程 115.0 m, 断面型式为城门洞型, 尺寸为 2.5 m $\times$ 3.0 m, 排水洞内打排水孔形成排水幕, 以降低地下水位. ②采用系统砂浆锚杆增强出口边坡的局部稳定, 锚杆参数为: $\phi 32$, 锚杆长 10 m 和 12 m; 锚杆间距: I 区、III 区为 2.0 m, II 区为 1.0 ~ 1.75 m. ③对暴露的 T_1 岩坡采用挂 $\phi 8 @ 200 \times 200$ 钢筋网加喷 10 cm 厚混凝土保护. ④采用双层保护锚索进行锚固, 锚索倾角 $10^\circ \sim 20^\circ$, 锚索长度根据有限元计算出的塑性区深度和按刚体极限平衡计算的稳定面深度确定, I, II, III 结构区单宽加固力分别为 1200 kN/m, 4340 kN/m 和 1800 kN/m. 各区锚索设计参数见表 1. ⑤布设抗滑桩, 在结构 II 区共设置 6 根抗滑桩, 其中有 5 根为 H 墩型, 桩中心间距 6 m, 断面尺寸 5.5 m $\times$ 2 m, 桩根底部高程设计在 96.0 m 处, 每根桩能抵抗 21 350 ~ 22 550 kN 的推力.

表 1 各结构区锚索设计参数及工程量

结构区	锚索等级/kN	倾角/ $^\circ$	长度/m	锚索数量/根
I 区	2000	5 ~ 10	20 ~ 35	123
	3000	20	20 ~ 50	48
II 区	2000	20	30 ~ 55	107
	3000	20 ~ 25	20 ~ 40	59
III 区	2000	20 ~ 25	35 ~ 50	12
	3000	20 ~ 25	35 ~ 50	12

2.2 施工情况

2.2.1 锚杆、喷混凝土施工

消力塘边坡及底板均设计有锚杆和喷混凝土层, 以对开挖完成的结构面进行支护. 边坡锚杆施工时采用常规的液压钻机钻孔, 注浆机注浆, 人工安装锚杆. 混凝土采用干喷, 混合料由专用拌和楼生产, 5 cm 厚喷混凝土一次完成, 10 ~ 15 cm 厚混凝土重复喷 2 ~ 3 次完成. 锚杆施工完成后, 按 5% 的比例抽检, 以进行张拉试验控制质量. 底板混凝土浇筑前, 首先对结构开挖面进行清理, 然后浇筑 5 cm 厚的素

混凝土垫层, 底板上的垂直锚杆在垫层浇筑完成后进行. 这样即保护了岩面, 也为混凝土结构施工提供了便利条件.

2.2.2 锚索施工

锚索布置在消力塘上游边坡区域, 根据锚索布置及施工设备能力, 每 3.5 ~ 4.0 m 为一个工作台阶, 可以在坡面锚喷及支护完成后进行或先进行施工. 施工在预留的开挖平台上进行, 施工工序如下: 测定孔位 $\rightarrow$ 钻孔 $\rightarrow$ 固壁灌浆 $\rightarrow$ 压水试验 $\rightarrow$ 重新钻孔 $\rightarrow$ 送索 $\rightarrow$ 安装导向管及锚墩浇筑 $\rightarrow$ 锚固灌浆 (间隔 7 ~ 10 d) $\rightarrow$ 张拉 (超张拉及锚固张拉) $\rightarrow$ 补偿张拉 (断层带区域) $\rightarrow$ 外露钢绞线剪切和外保护罩安装 $\rightarrow$ 结束.

钻孔压水试验, 当水压压力达到 0.1 MPa 后, 每 10 min 测 1 次流量, 连续测 4 次, 流量读数小于 0.5 L/min, 单位吸水率小于或等于 0.01 为合格. 不合格时, 对钻孔进行固孔灌浆, 灌浆在 0.5 MPa 时开灌. 在规定压力下, 测定的吸浆率不大于 0.4 L/min, 并继续进行灌注 30 min 后可结束灌浆, 然后进行第二次压水试验, 直到满足要求.

a. 锚索结构. 锚索由多组钢绞线组成, 3000 kN 锚索为 19 束, 2000 kN 为 12 束. 每束钢绞线直径为 15.24 mm, 由 7 根直径为 5 mm 的碳素钢丝组成, 伸长 1% 时的最小荷载为 254.0 kN, 屈服强度为 1810 MPa. 组装时, 在内锚固段 (一般为 12 m) 除去胶套, 并进行清洗, 配置隔离架及全长波纹管, 波纹管内外径分别为 103 mm 和 117 mm (2000 kN), 112 mm 和 125 mm (3000 kN), 见图 1.

b. 锚固灌浆. 锚索送入孔内后进行锚固灌浆, 灌浆压力控制在 0.4 ~ 0.7 MPa 之间, 灌浆采用 BW200/40 灌浆泵, 锚索内灌浆管有两根, 一根是外保护套内侧灌浆管, 用于外保护套内的灌浆; 另一根是对保护套外灌浆, 使浆液凝固后与岩面接触.

c. 张拉. 锚索张拉在锚固灌浆 7 ~ 10 d 后或试件取样单轴抗压强度达到 30 MPa 后进行. 施工中使用的张拉设备为 YCD-400 型液压千斤顶, 并配备相应的量测仪器. 这些仪器设备在施工前及施工中定期进行率定, 依据施工技术规范要求, 锚索进行张拉时先进行设计吨位 125% 的超张拉, 并记录相应的绞线伸长值. 经统计, 整个锚索张拉的伸长值均满足技术规范要求. 超张拉合格后, 全部松弛, 再次张拉到设计吨位的 80% 进行锁定, 锁定后切去多余的钢绞线, 并用保护罩进行保护. 断层影响区域的锚索, 张拉锁定 7 ~ 10 d 后, 进行一次补偿张拉, 以减小钢绞线的松弛及压应力的丧失.

2.2.3 抗滑桩施工

抗滑桩采用钻爆法施工. 由于桩断面较小, 并且

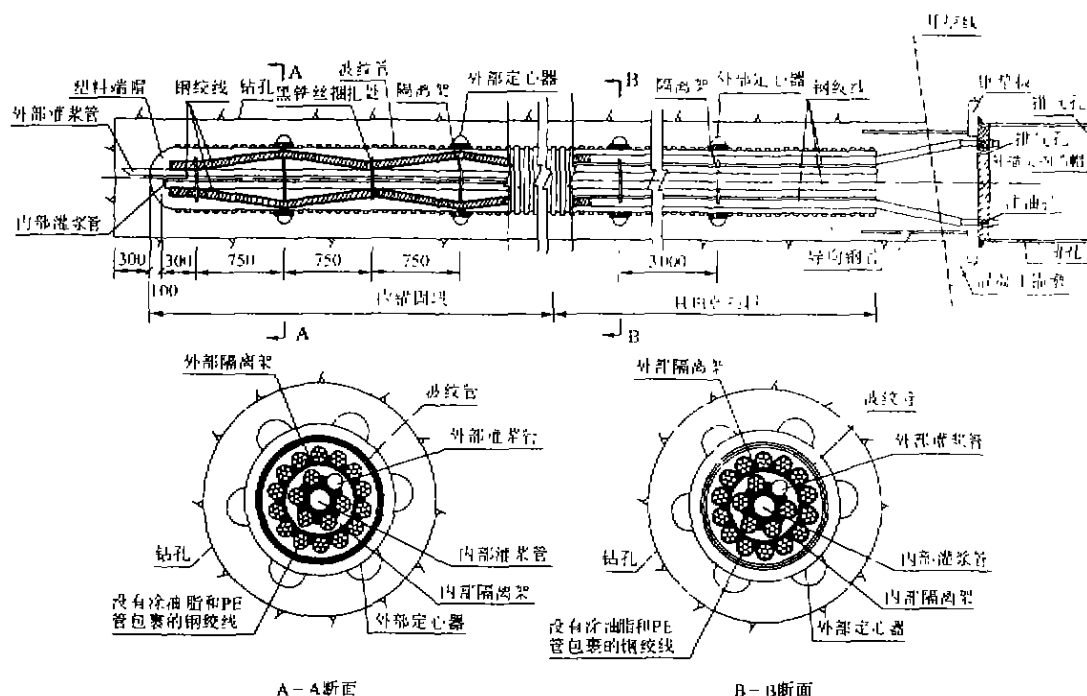


图1 锚索剖面

受施工干扰及地下水的影响,日平均进尺为1.0 m。桩井开挖中采用喷混凝土、短锚杆、挂网及型钢支撑的方法保证施工安全。开挖完成后,分节安装钢筋笼,每根桩钢筋平均70t,浇注C40混凝土。

3 结 语

消力塘于1998年6月底投入运行,运行后的观测成果表明,整个消力塘的开挖支护设计及施工组

织设计是合理的,上游边坡采取的加长锚索和抗滑桩等措施也是非常有效的,不仅满足了施工期消力塘边坡的稳定要求,同时也满足了消力塘投入使用后的安全运用要求。实践证明,合理的开挖、边坡支护设计与施工,对消力塘及整个泄水建筑物的安全运用起到了重要作用,对其它工程的设计与施工也有一定的参考价值。

(收稿日期:2000-09-27 编辑:张志琴)

(上接第6页)

- [12] 陈传友,等.水资源与可持续发展[M].北京:中国科学技术出版社,1999.
- [13] 陈家琦.浅谈“水资源”和“水资源学”[J].水问题论坛,1994(3):15~19.
- [14] 曹凤中,等.环境与可持续发展[M].北京:中国科学技术出版社,1999.
- [15] 孙广文,等.地球与环境科学导论[M].北京:中国科学技术出版社,1995.
- [16] 温克刚,等.气象与可持续发展[M].北京:中国科学技术出版社,1999.
- [17] 王春元,等.水资源经济学及其应用[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [18] 石玉林,陈传友.资源——资财之源[M].济南:山东教育出版社,2001.
- [19] 汪恕咸.资源水利的理论内涵和实践基础(节录).水利水电科技进展,2000,20(2):1.
- [20] 福地崇生.水资源的经济学[J].陈善译.水利水电科技进展,2001,21(3):64~66.

(收稿日期:2001-10-26 编辑:马敏峰)

(上接第21页)

参考文献:

- [1] 王式功.沙尘暴研究进展[J].中国沙漠,2000,20(4):349~356.
- [2] Pyke K. Aolian dust and dust depos[M]. London: Academic Press Inc Ltd,1987.113~126.
- [3] 史培军,严平,高尚玉.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71~77.
- [4] 吕文.三北地区沙漠化成因及其防治对策[J].防护林科技,2001(1):28~31.
- [5] 刘树坤.我国西部大开发中的灾害与生态环境问题[J].水利水电科技进展,2000,20(5):2~5.

(收稿日期:2001-03-26 修回日期:2002-04-10 编辑:熊水斌)

