

大断面导流洞进出口开挖支护设计与施工

马志峰

(二滩水电开发有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: 随着水电开发建设的加速, 在水电工程中出现的大断面导流洞越来越多。在这些大断面导流洞的施工过程中, 特别是导流洞的进口渐变段和出口段, 容易出现安全问题甚至塌方事故。对目前国内部分已完工或正在施工的大断面导流洞进出口的开挖支护设计与施工方案进行了总结, 并以在不同地质条件下的典型案例加以说明, 可供类似工程参考和借鉴。

关键词: 导流洞; 进出口; 开挖支护; 设计; 施工

Support Design and Excavation for the Inlet and Outlet Section of Large Cross-section Diversion Tunnel

Ma Zhifeng

(Ertan Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China)

Abstract: With the rapid development of hydropower project, there are more and more large cross-section diversion tunnels in engineering practice. The construction of this diversion tunnel is prone to lead safety problems, and even the collapse accident, especially in the transition inlet section and outlet section. The experiences on the support design and construction program of inlet and outlet sections of large across-section diversion tunnels in some hydropower projects in operation or under construction in China are summarized herein, and explained by the engineering practices of typical projects under different geological conditions. These experiences can be as reference to similar projects.

Key Words: diversion tunnel; inlet and outlet; excavation and support; design; construction

中图分类号: TV554.1

文献标识码: B

文章编号: 0559-9342(2011)12-0044-03

我国的水电资源大部分分布在西南地区, 金沙江、大渡河、雅砻江、澜沧江和乌江流域集中了全国70%以上的水能资源。这几条河流的突出特点是落差大、河谷狭窄, 施工导流基本上采用隧洞导流方式。由于目前开发的电站大多位于这些江河的中下游, 河流流量大, 导流标准高, 使得导流洞断面较大。在这些大断面导流洞的施工过程中, 积累了不少经验和教训, 特别是导流洞的进口渐变段和出口段, 是断面最大、地质情况最差的洞段, 也是整个导流洞施工的难点和重点, 在施工过程中容易出现安全问题甚至塌方事故。

1 导流洞进出口的结构特点

由于西南地区大部分河流河谷陡峭, 为了减少明挖工程量, 在导流洞设计中普遍优先采用提前进洞方案, 导致进口洞段地质条件较差, 一般为IV类或III类围岩。同时, 导流洞断面大多为城门洞形, 部分为马蹄形, 在进水塔闸门后都需要设置一个渐变段。渐变段顶拱部位跨度大, 地质条件较差, 矢

跨比大, 体形不利于稳定, 因此渐变段的施工安全是导流洞施工的重点。同样, 为了减少边坡开挖量, 一般设计会考虑晚出洞方案, 导致导流洞出口洞段地质情况较差, 使导流洞出口洞段的施工安全也成为导流洞施工的重点之一。

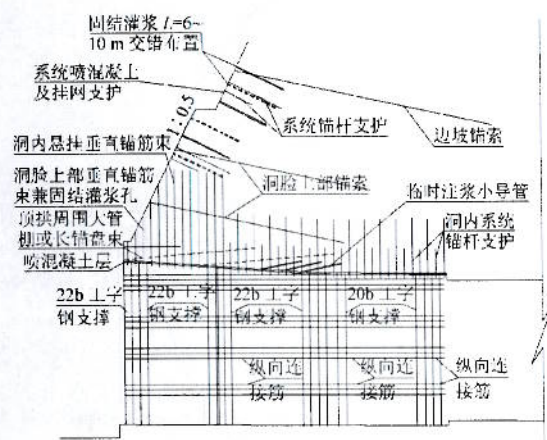
2 进洞前的洞脸支护和超前支护

大型导流洞的进出口洞脸边坡, 一方面因是高边坡的坡脚, 存在整体边坡的稳定支护问题; 另一方面, 由于大跨度洞室的开挖, 需要考虑洞室安全问题。所以, 洞脸部位施工需要采取综合支护措施(见图1)。

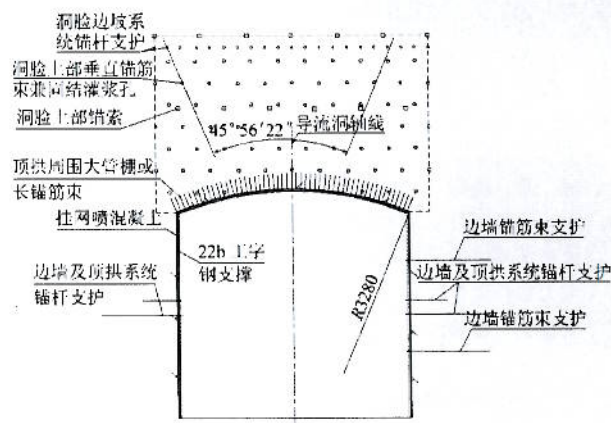
(1) 固结灌浆。由于洞脸部位大多岩石破碎, 结构面发育, 多组节理相互切割, 围岩自稳性较差, 为增强岩石整体性和均一性, 提高围岩的自稳能力, 对导流洞进出口洞脸部位应增加一些固结灌浆。

收稿日期: 2011-03-09

作者简介: 马志峰(1976—), 男, 河南南阳人, 高级工程师, 从事大型水电站建设管理工作。



a 剖面



b 立面

图 1 洞脸超前支护示意

(2) 垂直支护。由于大型导流洞特别是进口渐变段跨度大, 顶部起拱小 (一般圆心角都小于 180°), 开挖后围岩难以自稳, 所以除了在洞脸部位进行固结灌浆加固外, 还要考虑在洞脸边坡上部马道上设置向下深至洞顶的锚筋桩或预应力锚杆, 对下部岩体进行悬吊。

(3) 水平支护。在洞脸上部, 设置深锚索进行深层次锚固, 以确保边坡的整体稳定; 在洞口开挖结构线附近, 利用长锚杆或长锚筋桩进行锁口。有必要的情况下, 在洞脸部位顶拱结构线外围, 进行大管棚施工, 如果渐变段中不良地质段较长, 还可考虑在洞脸及洞内设置 2~3 排大管棚。

一般围岩为 IV 类以下、跨度在 20 m 以上时, 需要采取上述的全部措施; 围岩在 III 类以上且无断层和节理发育、跨度小于 20 m 时, 仅采用洞口锁口即可进洞。大多数工程的导流洞是界于两者之间的, 可根据工程实际情况选取工程措施。

3 进出口渐变段的开挖支护施工方法

由于导流洞进口渐变段的跨度比出口洞段大, 顶拱起拱小, 矢跨比大, 从结构特点上看进口渐变段比出口段更不利于稳定, 因此下面主要以进口渐变段为例, 说明大断面导流洞进出口洞段的开挖支护施工方案。

在进洞前, 除了在洞脸边坡上采取超前支护措施外, 为保证施工安全, 在开挖施工时, 在开挖程序和支护措施上也要采取特定的方法。顶拱的稳定是洞室稳定的关键, 所以, 上层的开挖支护是整个渐变段施工中的难点和重点。下面针对不同工程特点和地质情况, 介绍几种典型的上层开挖支护方法, 其施工程序见图 2。

(1) 中部预留岩柱法。该方法是在进行洞室开

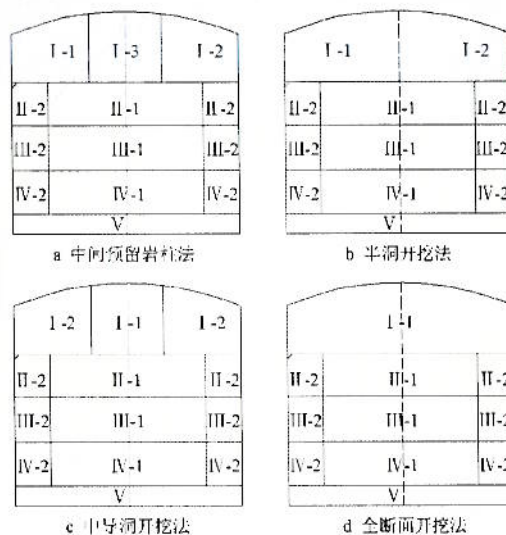


图 2 进口渐变段开挖支护程序示意

挖时, 先开挖左右侧导洞, 然后进行导洞的临时支护, 再开挖中部预留的岩柱, 最后加强支护整个顶拱。主要施工程序为: 洞脸部位超前支护 → 上层左侧导洞开挖 → 上层左侧导洞系统喷锚支护 → (上层左侧导洞超前注浆小导管施工, 此工序根据岩石情况增加或减少, 下同) → 上层右侧导洞开挖 → 上层右侧导洞系统支护 → (上层右侧导洞超前注浆小导管施工) → 上层中部预留岩柱开挖 → 上层中部顶拱系统喷锚支护 → 第 II 层中部拉槽开挖 → 边墙保护层开挖 → 边墙系统喷锚支护 → 第 III、IV 层开挖及支护 (与第 II 层程序相同) → 底板保护层开挖及支护。该方法缩小了一次开挖过程中的顶拱跨度, 减小了开挖初期的应力变形, 限制了围岩松弛范围, 有利于顶拱的稳定, 但工序多, 开挖和临时支护时间长, 如果临时支护不能有效限制围岩的应力变形, 在混凝土衬砌前, 可能导致掉块甚至塌方事故。

(2) 左右半洞开挖法。该方法是在进行洞室开挖时,分左右侧先后进行开挖支护。主要施工程序为:洞脸超前支护→上层左侧半洞开挖→上层左侧半洞系统喷锚支护→上层右侧半洞开挖→上层右侧半洞系统喷锚支护→第Ⅱ层中部拉槽开挖→边墙保护层开挖→边墙系统喷锚支护→第Ⅲ、Ⅳ层开挖及支护(与第Ⅱ层程序相同)→底板保护层开挖及支护。此方法比中部预留岩柱法大大减少了施工工序,也缩小了一次开挖的顶拱跨度,有利于加快施工进度,在地质条件允许和洞室跨度不是特别大时,应优先采用。

(3) 中导洞开挖法。该方法是在洞室开挖中先开挖中部导洞,对顶部进行支护后再开挖两侧。主要施工程序为:洞脸超前支护→(中导洞超前注浆小导管施工)→中导洞开挖→中导洞系统喷锚支护→(左右侧超前小导管施工)→左右侧开挖→左右侧系统喷锚支护→第Ⅱ层中部拉槽开挖→边墙保护层开挖→边墙系统喷锚支护→第Ⅲ、Ⅳ层开挖及支护(与第Ⅱ层程序相同)→底板保护层开挖及支护。此方法和左右半洞开挖法一样,都是对洞室断面分两次开挖,有利于缩小初期开挖顶拱跨度,减少围岩变形,有利于顶拱的稳定,不同之处在于中导洞开挖法先开挖中导洞,在开挖两侧时增加了临空面,有利于减少对两侧边墙的爆破扰动,适合地质情况对边墙不利的洞室开挖。

(4) 全断面开挖法。该方法是在洞室开挖时上半洞一次开挖到位。对于岩石条件较好,围岩为Ⅱ类或Ⅲ类,且洞脸无断层,节理不发育,跨度不大于16m的洞室,在洞脸部位做好一定的超前支护措施后,可以考虑采用全断面一次开挖到位。

一般出口洞身段顶拱较进口渐变段的体形好,有利于自身的稳定,出口段的开挖与支护可根据自身的特点和地质条件,参考进口渐变段的方法,选用合适的支护措施和开挖方法。

4 导流洞进口渐变段施工典型案例

4.1 小湾工程

(1) 工程概况。1、2号导流洞进口渐变段长度均为30m,开挖断面为从25.4m×25.2m渐变到20.4m×23.2m的城门洞形断面。渐变段分布有少量弱风化和卸荷岩体,围岩岩性主要为黑云花岗片麻岩(MV-1)夹少量片岩,Ⅳ级结构面的小断层(f)和挤压面(gm)较发育,属Ⅳ类围岩,围岩稳定性较差,加之渐变段最大开挖跨度达25.4m,且顶部大部分平直,仅两侧起拱,开挖后围岩难以自稳。为此,在渐变段施工中必须采取有效的超前支护措施和特定的开挖方案,防止洞顶塌落。

(2) 开挖前的超前支护措施。开挖支护施工开始之前,主要做了以下超前支护:在导流洞渐变段洞顶部平台上布置6排辐射灌浆孔,孔径110mm,对洞脸部位进行固结灌浆;顶部除了灌浆加固外,灌浆前在每个灌浆孔内先置入25m长的3φ32mm锚筋桩。在洞口顶部开挖线以上1m外增设2排长度18m的3φ32mm环向锚筋桩作为水平支护,间排距3m×3m,矩形布置,伸入弱风化底界内。

(3) 开挖支护方案。渐变段Ⅰ层开挖方案采用4m×4m小导洞超前,洞口10m大跨度段分左右两侧进行半洞法开挖,其余20m段全断面一次扩挖到位。渐变段边、顶拱进行系统锚杆+20a工字钢拱架+25cm钢纤维混凝土一次支护。在实际开挖过程中,开挖下部时收敛观测资料显示,2号洞右边墙变位较大、较快,发现后及时在整个2号洞右边墙增加了9m长125kN级预应力锚杆支护,间排距1m×1m,有效抑制了边墙的进一步变形。

4.2 瀑布沟工程

(1) 工程概况。渐变段岩体为变质玄武岩,裂隙发育,为Ⅳ类围岩,存在较多的人字形不稳定体,围岩自稳能力差,加之渐变段为方变圆断面,最大断面尺寸21m×19.5m,若不采取有效的开挖与支护措施,将存在较大的安全隐患。

(2) 开挖前的超前支护措施。除对洞脸边坡进行系统锚喷支护外,还对洞脸部位进行固结灌浆;洞口采用30m长的超前大管棚进行锁口。

(3) 开挖支护方案。上半洞是按中导洞方法开挖支护,不同的是在中导洞开挖后先进行中部的支撑,且在下部开挖时预留中部岩柱,最后拆除中部岩柱。施工过程中中导洞钢拱架和钢桁架施工紧跟工作面,两侧扩挖滞后中导洞不超过5m,中导洞和两侧开挖前均须进行小管棚超前固结灌浆(φ48mm, L=6m, 间距50cm, 角度10°)和超前锚杆支护(φ25mm, L=4m)。主洞边墙增加锚筋束(3φ28mm, L=12m, 间排距2m)支护。在进行中下层开挖时,锚筋束及时跟进,最大单响药量控制在15kg以内。

4.3 官地工程

(1) 工程概况。官地工程左岸导流洞进口50m为渐变段,开挖断面从25.6m×25.0m渐变为20m×23m,以Ⅳ、Ⅴ类围岩为主,岩石破碎、风化、强卸荷,围岩自稳能力差;边坡岩体为P₃β₂杏仁状玄武岩,岩体弱风化,强~弱卸荷,以Ⅳ类岩体为主。

(2) 开挖前的超前支护措施。(下转第71页)

洪水,当库水位降到某一水位(不低于 185 m)时,预报洪水开始呈下降趋势,并且预报以后不会再有大的降雨和洪水出现,水库开始减小下泄流量,并回蓄后期部分洪水,预泄阶段结束。

(2) 滞洪阶段。当水库预泄到某一时段,预报洪水继续上升,此时为满足防洪要求,在不影响大坝本身防洪安全的前提下,结合区间洪水过程,开始控制下泄流量,起滞洪削峰作用,预泄阶段结束。

(3) 退水阶段。当气象预报明确今后一段时间无大的降雨和洪水发生时,预报洪水流量逐渐呈下降趋势,水库进入退水阶段,此时应根据洪水预报和气象预报结果,结合下游防洪要求,继续限制下泄流量,同时考虑后期蓄水和发电要求。

4.4 主汛期汛限水位动态控制实施方案

(1) 如库水位以低于主汛期控制水位 187 m 进入汛期,则水库以蓄水为主,同时满足发电要求。

(2) 当预报洪水即将入库时,在洪水入库前提前加大发电腾库,若发电腾库不足以降低库水位至 187 m 时提前开始预泄。

(3) 当预报的洪水流量小于 2 000 m³/s 时,按预报流量预泄,利用电站机组放水,结合发电运用,逐步降低库水位。

(4) 当预报流量为 2 000~7 600 m³/s 时,按小于预报流量下泄。

(5) 当预报入库流量为 7 600 m³/s 以上时,按相应下游防洪对象分级预泄。

(6) 洪水消退,库水位回落期间,为减轻下游洪水灾害,水库仍要控制泄量。当气象预报明确今后一段时间无大的降雨,洪水情况发生时,水库可逐渐回蓄部分洪水,使库水位蓄至主汛期最高控制水位 190 m。

4.5 主汛期汛限水位动态控制效益

当主汛期汛限水位在 187~190 m 之间动态运

行时,重复利用库容,每次洪水可使水库增加 0.5 亿 m³ 调节水量,水流电量增加 300 万 kW·h;高水位运行降低水耗增加发电量 1 500 万 kW·h。依据多年运行数据统计分析,主汛期汛限水位在 187~190 m 之间动态运行,每年可增加发电量 3 000 万 kW·h。

5 结 语

(1) 随着水文测报技术和手段的不断进步,水库调度管理水平的不断提高以及自动化设备的充分利用,合理调控主汛期汛限水位成为可能。“洪水资源化”将逐步取代以往的“洪水控制”理论。

(2) 对主汛期汛限水位的合理调控,充分挖掘了现有工程的潜力,不改变现有的防洪标准,不降低下游防洪标准,不增加任何工程措施,也不增加库区的移民淹赔费用,能取得巨大的经济效益,体现了科学技术是生产力这一观点。

(3) 依据洪水预报与防洪要求,实行有序预泄和常规调度相结合的运行方式,对主汛期汛限水位实行动态管理,应充分利用沅水流域梯级电站洪水预报系统,加强流域内调控措施。

参考文献:

- [1] 吴作平. 沅水流域梯级电站优化运行方式与效益分析[J]. 水电能源科学, 2007, 25(2):33-35.
- [2] 陈英. 水库优化调度及经济运行[J]. 灯泡贯流式机组技术, 1997(1): 8-10.
- [3] 唐志辉, 周腊, 裴庆芳. 库容调度在提高低水头水电厂经济效益中的应用研究[J]. 黑龙江水专学报, 2002, 29(4): 14-17.
- [4] 马光文, 王黎. 水电竞价上网优化运行[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [5] 张传勇. 水电站经济运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [6] 张传勇. 水电能优化管理[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.

(责任编辑 陈 萍)

(上接第 46 页) 在进口洞脸边坡范围, 各增加 2 排深层锚索 (1 500 kN, $L=30$ m); 在进口洞脸边坡设竖直锚筋桩, 锚筋桩孔兼固结灌浆孔, 孔钻至顶拱开挖面, 内插锚筋束 (2 ϕ 25 mm, $L=3.5\sim 20.0$ m) 并连接到洞身的钢支撑上, 间排距为 1.2 m $\times$ 3 m, 梅花形布置。对进口洞段顶拱和边坡形成对穿锚筋束吊挂。在进口洞脸及洞内顶拱范围布置两排大管棚, 管棚规格为 $\phi 108$ mm $\times$ 6 mm, $L=20$ m, 间距 50 cm, 排距 10 m, 上倾角 10°。在开挖时先进行超前小导管 (小管棚) 施工, 小导管布置在顶拱部位, 导管规格为 $\phi 50$ mm $\times$ 4 mm, $L=6$ m, 间距 50 cm, 排距 3 m, 上倾角 10°。

(3) 开挖方案。上半洞施工时, 前 30 m 采用预留岩柱法, 后 20 m 采用左右半洞开挖法施工。顶拱支护为常规喷锚及钢支撑, 边墙加设锚筋束。

5 结 语

绝大部分导流洞进出口洞身段的开挖施工方案基本上属于文中所述几种类型, 对于正在施工或准备施工的导流洞, 可根据其自身结构特点和工程地质条件, 选用适合而又经济的开挖支护方案, 确保工程的施工安全。

(责任编辑 常 青)