

引水隧洞设计及塌方处理

李玉池

(水电部成都院)

一、引水隧洞设计

(一) 概况

南坪河三级电站有压引水隧洞全长7 016m,设计内径4.5 m。洞线穿过地带为早震且世的中粗粒花岗岩,岩体经多次构造变动,遭受强烈破坏,岩脉穿插繁杂,断层纵横交错,岩体稳定性较差,抗压强度一般为50~90 MPa。

岩脉以辉绿岩脉为主,约为60%以上,其次为闪长岩脉,个别地段出现细晶花岗岩脉。岩脉厚度一般小于2 m,其接触面清晰,界面平滑,多伴有断裂,一般挤压破碎。

断层一般为糜棱岩,片状千糜岩及片状岩组成;多充填断层泥,松软破碎,变模为100~200 MPa。其厚度0.5~2.0 m,隧洞通过地段断层累计长度约为287 m,约为洞长的4.1%。断层主要以逆平移形式出现,以压扭性为主,张扭性次之。

地下水多为脉状裂隙水,局部地段为孔隙性裂隙水。水质属重碳酸钙型,对混凝土有轻微溶出性侵蚀。

隧洞埋深大部超过100 m,跨沟段也超过三倍开挖洞径,满足规范要求。

初设中,对电站引水方式,引水建筑物型式、位置等作了多方案比较。综合地质、施工、运行、工程量及投资等条件后,认为右岸布置有压隧洞引水是本电站的最优选择。

经动能经济比较,电站安装三台4万kW机组,引用流量 $48.6\text{m}^3/\text{s}$,隧洞内径为4.5 m。当电站增容后,引用流量加大至 $53.4\text{m}^3/\text{s}$ 时,如隧洞糙率控制在0.014以内,不增加洞径也可保证满发,为不增加工程量,隧洞直径仍维持4.5m。

(二) 隧洞布置

1.洞线布置 根据地形地质条件,在不过多增长洞线的前提下,洞线布置尽可能便利施工。为此沿线共设七个转弯点,六条支洞。主洞转弯半径最小30 m,最大50m,支洞长度根据地形条件,最短25 m,最长达275 m。两支洞间最大距离为1799 m。从当时的具体条件及施工队伍水平看,布置尚属合理。

2.纵坡设计 本隧洞设计平均纵坡为2.915%,由以下两个控制高程计算得出。

(1)进水口底板高程。该高程由闸坝最低运行水位—汛控水位决定。当汛控水位为1363.5m时,进水口前水位1362 m,为避免洞顶进入空气,进水口顶部保持一定淹没深度。由此推得底板高程为1351.6m。经水力学模型试验与运行实践证明,进口流态良好。

(2)隧洞末端底板高程。此高程与调压井最低涌浪水位有关。当以汛控水位运

行, 负荷由 80 增至 120 MW, 洞内过流由 35.6 增至 53.4 m³/s, 糙率 0.017 时, 计算出调压井最低涌浪水位为 1340.623 m。在满足气体不进入压力管道的条件下, 确定该处底板高程为 1331.348 m。

上述两个高程确定后, 即可计算出引水隧洞的设计平均纵坡。在施工中, 受各种施工条件影响, 不可能保持均一的平均纵坡。为方便施工, 有的洞段纵坡为 0, 而最大洞段达 5.51%, 这就给运行带来了不便, 当隧洞放空检查时可看到, 平坡洞底积水严重。

(二) 永久支护设计

1. 支护型式选择 本隧洞永久支护曾对混凝土、喷混凝土及局部不衬砌等支护型式作过分析比较。由于本电站地处“川滇南北向构造带”上, 隧洞沿线岩脉穿插, 断层纵横, 地质条件复杂; 加之溶出性侵蚀的水质, 不便采用薄层喷混凝土及不衬砌型式。同时过水断面糙率过大, 将影响发电水头, 增加局部损失。综合各种因素, 全面比较后, 确定全线采用 0.3~0.9 m 厚的混凝土衬砌作永久支护, 视荷载情况增设单或双层钢筋。

2. 结构设计 结构设计以 1966 年水电部颁发《水工隧洞设计规范》为准则, 即考虑不允许开裂和限制开裂两种标准。本隧洞在进、出口、跨沟段、主支洞交汇处及 $f \leq 2$ 地段, 按不允许开裂计算, 洞身均按限制开裂设计。

3. 设计荷载 考虑以下两种荷载组合情况。

(1) 运行情况。山岩压力 + 衬砌自重 + 内水压力 + 无压满水重。

(2) 检修情况。山岩压力 + 衬砌自重。

由于地下结构抗震条件好, 温差小, 故不考虑地震及温度荷载。另外本隧洞衬砌属厚壁圆筒结构, 故不计灌浆与外水压力。

内水压力由调压井最高涌浪水位确定, 通过水力计算得最大内水头为 47.244 m, 设计取 50 m。由进口至调压井沿程分 20、27、35、42 及 50 m 五级内水头计算内水压力, 各级计算段长由 1300~1730 m 不等。

经计算确定各类型支护段长列表 1。

(四) 灌浆设计

表 1

引水隧洞灌浆包括回填、固结与接缝三种, 分述如下。

1. 回填灌浆 原设计为单、双孔断面交错布孔, 排距 3 m。施工中顶拱混凝土衬砌采用垂直封

衬砌类型	混凝土	单筋混凝土	双筋混凝土
厚度 (m)	0.3~0.4	0.4~0.6	0.6~0.9
累计长度 (m)	2853.5	3209.4	941.6
占洞长比例 (%)	40.74	45.82	13.44

拱, 顶部孔隙较小, 灌浆实践证明无需布双孔, 因而全部改为单孔。孔径 50 mm, 孔深钻入基岩 15 cm 以上, 灌浆压力 0.2 MPa。

2. 固结灌浆 为提高围岩承载能力减少渗漏, 对隧洞进出口、主支洞交汇段、 $f \leq 3$ 及塌方或严重渗水地段均进行固结灌浆。

固结灌浆段总长 1900 m, 布孔排距 3.0 m, 每排 6 孔, 沿断面等距排列, 梅花形布置, 孔径 50 mm。钻孔声波测试得知, 爆破对围岩影响范围, 一般为 1~2 m, 个别 2.5 m, 故灌浆孔由混凝土表面向内深为 3.0 m, 灌浆压力取内水头的两倍, 分别为

0.6、0.8、1.0 MPa。

3.边、底拱施工接缝灌浆 由于隧洞衬砌中，沿断面分成边、顶、底三序，最后封底拱时与先浇筑之边墙部份接缝不密实，特别是纵向止水片下面有连续贯通性孔隙。为保证衬砌的整体性，决定进行接缝灌浆。灌浆孔排距6 m，每排2孔，孔深30 cm，压力0.1 MPa，灌注0.6:1的浓浆。

(五) 支洞设置

综合考虑地质、地形与施工诸条件后，认为本隧洞沿程设置6条支洞为宜，其0*、3*、4*三条要求封堵，1*、2*、5*三条留有通道及检修门，供运行检修之用。

1.支洞堵塞 其长度取三倍开挖洞径，经核算可以承受内水压力对堵塞体的推力。为增强结构整体性及抗渗能力，要求进行固结和回填灌浆。未堵塞部份做喷混凝土保护，以利洞室稳定。

2.主支洞交汇段处理 留有通道的三条支洞与主洞的交汇处支护衬砌考虑加强，加强范围上、下游各12 m，总长为24 m。

未全封堵的1*、2*、5*三条支洞，除供运行检修之用外，还可作为引附近沟水进主洞之用，以增加发电量和提高保证出力。估计各沟枯水流量总计可达1~2 m³/s，可增加电站保证出力2~4 MW，其效益很可观。待积累一定水文资料后，相机开始设计工作。

二、塌方处理

(一) 塌方成因

本隧洞全长7 km，开挖洞径5.5 m左右，施工中沿程塌方共39处，其中大塌方12处，塌方数量之多，规模之大在国内是罕见的。究其原因有内在的地质因素，也有客观的特定条件。

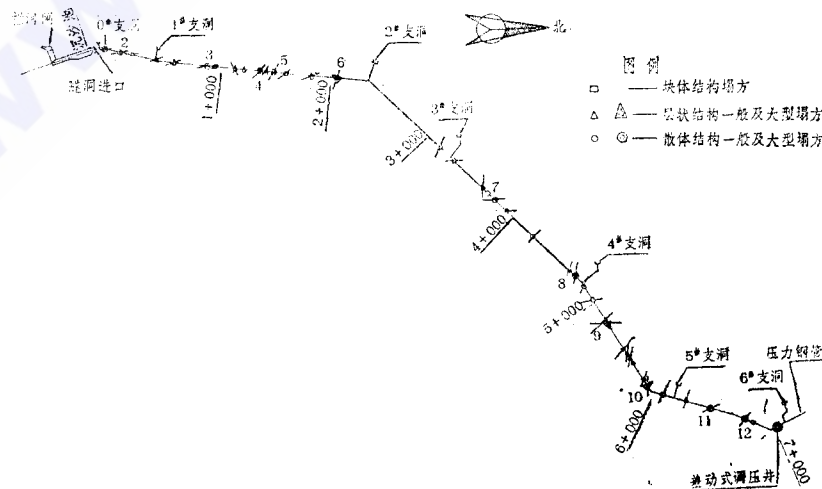


图 1 引水隧洞塌方位置示意图

1.地质因素 多发生在规模较大的断层,或几条中小断层切割交汇处。这些地带或是岩体破碎,结构松散,或是存在着不利的组合面,或是地下水活动强烈,当开挖岩体受扰动后,失去稳定造成塌方。1+326~1+330洞段塌方是其典型代表。

2.支护方法不当 该隧洞临时支护多为木支撑,后续的永久支护衬砌不能及时进行,围岩暴露过久,致使岩体受渗水,卸荷等影响而松弛,在拆除临时支护时发生大塌方。

3.塌方处理措施不当 塌方发生后,由于处理措施不当,而使塌方段围岩稳定加剧恶化,引起连续塌方。1+404~1+410洞段是其代表。

(二) 典型塌方处理

1.插钎法处理 1+326~1+330 洞段塌方 本段塌方由 F_{150} 断层引起。该断层与洞线夹角约 60° ,断层带宽 $6\sim 7\text{ m}$,由断层泥、糜棱岩及压碎岩组成。由于岩体极为破碎,在导洞开挖中即引起了塌高约 25 m 、塌方量约 400 m^3 的大塌方,导洞堵塞已无法前进。为尽快止塌及清理已塌石碴,采用了插钎法。

本法施工步骤是:

(1) 首先在塌方段后方开挖 $1.8 \times 1.4\text{ m}^2$ 斜井,该斜井应在设计衬砌断面以外。

(2) 快接近塌方段时改为平洞,在塌碴中用 $\phi 25$ 钢筋作插钎, 12° 工字钢为横向肋,两侧至岩盘。

(3) 浇筑厚度约 1 m 的混凝土外拱,在此外拱保护下扩挖,最后形成设计断面,浇筑永久衬砌混凝土。

为改善永久支护受力条件,除按常规进行回填,固结灌浆外,对塌顶处用潜孔钻钻 2 个 6 m 深的孔进一步灌浆,以固结塌碴。运行后两次放水检查未见异常。

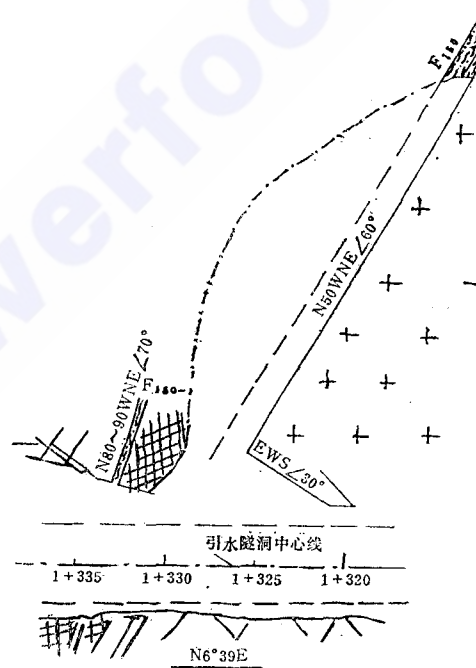


图 2 1+320~1+335 纵剖面

2.设计断面外安全拱处理 1+404~1+410 段塌方 本段为涌水性塌方。此段有相互切割的 F_{239} 和 F_{241} 两断层,断距 12 m 。 F_{241} 断层上盘为塌方的顶部边界,其下盘边界则是 F_{239} 的下盘(见图 3)。下导洞开挖至 $1+406\text{ m}$ 时,钻孔中有大量地下水涌出,爆破后地下水夹带塌方石碴涌入洞内,导洞堵塞,积水深达 $0.4\sim 0.5\text{ m}$ 。清碴后,水夹石碴再次涌入洞内。估计塌方高度约 14 m ,体积约 350 m^3 。

利用塌方后的相对稳定期,在设计支护衬砌断面外浇筑安全拱,其厚度约 2 m 。塌顶部份预埋混凝土运输管,以备后期继续浇灌混凝土或灌浆。

3.喷锚处理 3+781~3+814 段塌方 此段隧洞围岩为中小断层交汇切割形成的

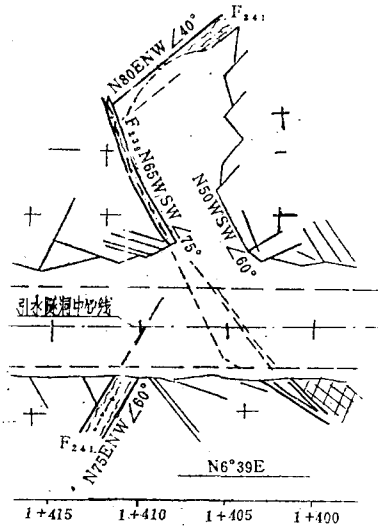


图 3 1+400~1+415 纵剖面

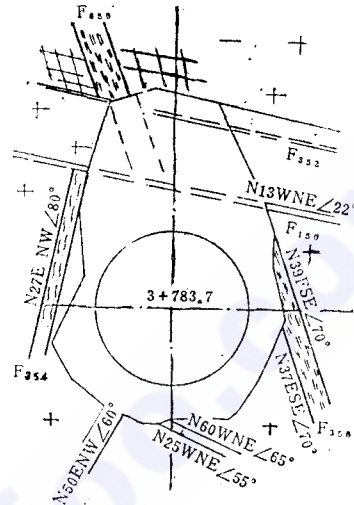


图 4 3+783.7 横剖面

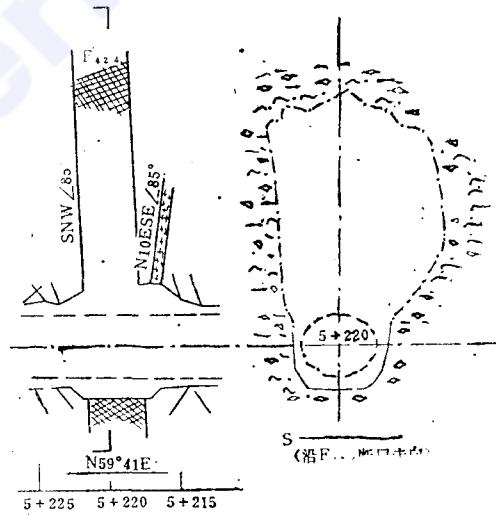
散体结构, F_{354} 、 F_{356} 、 F_{350} 及 F_{352} 四条断层在洞顶交汇, 洞顶还有两组交叉裂隙, 地下水丰富, 成洞条件极差(见图4)。

本洞段采用全断面开挖, 喷锚作临时支护, 个别地段喷锚后再架钢支撑, 尽管地质条件差, 但施工措施得当, 有效地控制了塌方。本段最大塌方高度仅3m, 累计方量约200 m³。

4. 钢支撑、安全外拱结合处理 5+216~5+224 段塌方 此段塌方由 F_{424} 断层引起, 塌方量约800 m³, 是本隧洞大规模塌方之一(见图5)。

本段施工采用全断面开挖, 通过 F_{424} 断层时采用钢排架作临时支护, 但由于排架施工质量欠佳, 未与顶部围岩紧密接触, 随时间效应, 围岩变形, 形成塌方压倒钢支撑。由于上、下盘岩石较完整, 塌方仅限于 F_{424} 断层范围。

利用塌方相对稳定期, 及时出碴重新架设钢支撑, 在其上铺设钢板, 以策安全。同时利用该钢板作模板浇筑混凝土外拱, 浇筑时预埋钢管伸入塌腔内, 以备后期处理之用。



5+225~5+215 纵剖面 5+220 横剖面
图 5

三、结束语

南垭河电站设计施工均在70年代,干扰较多。从运行后五年的成果来看,设计施工质量良好,但也有不少经验教训值得记取。

1.洞线布置,转点和施工支洞偏多,由于转点多,不仅增加隧洞总长度,而且增加水头损失,降低发电效益。支洞多增加工程量及辅助设施是显而易见的缺点。

2.对地下水活动的预见性不够。如钻孔出水,说明可能有储水层,应预见到会有涌水性塌方出现,应及时采取排水措施排水后再继续施工。

3.沿线通过岩体较差、断层多,是引起塌方的内在地质因素。但并不是“遇断必塌”。施工因素在此起着重要的作用,及时的临时支护及支护型式是破碎岩体洞室开挖成败的关键。由于对此缺乏足够的认识,如喷锚支护直到施工中期才开始引进,成套的新奥法施工程序到施工后期才开始了解,致使本可避免的塌方也发生了。采用喷锚临时支护最大限度地控制了3+781~3+814段的塌方,正说明了施工因素的重要性。

4.由于塌方不同程度的影响了永久支护设计,应结合具体情况采取相应对策,以加固岩体,增强围岩承载力为本,充分利用临时支护,最大限度地减少永久支护工程量。

(上接37页)

根据唐山抗震经验总结,主副厂房地震烈度按8度设防。本厂房外围护结构选型,主厂房用预制钢筋混凝土大型墙板,装配整体式大型屋面板;副厂房用框架填充砖墙;均可满足8度抗震要求。

大型墙板为横向条板,以减少竖向分缝,为增加延性,提高抗震能力,墙板与主厂房钢筋混凝土排架柱柔性连接。平缝为构造防水,竖缝为填料、构造结合防水。外墙选用槽形板,肋朝内,墙板下纵肋整体预制遮阳板(宽50cm),一次安装成功。墙板挂于柱外,肋上下侧面预埋通长钢板,用以安装带形钢窗,施工很方便。

预制装配整体式大型屋面板,本身具有较强的抗震力,问题在于防止脱落,加强锚固和增强屋盖结构的整体性。本厂房选用了装配整体式构造,在屋面梁上预埋钢板,焊牢屋面板四角,补缝,板端留间隙23cm,梁上留插筋,板面上铺 $\phi 6$ 间距 300×300 mm钢筋网,浇筑200号厚40mm混凝土整体面层。

副厂房楼盖、屋盖用预制钢筋混凝土圆孔板,上浇200号钢筋混凝土整体面层,框架填充砖墙,只要有可靠的锚固,拉筋,与梁柱密缝,是可以达到8度抗震要求的。本厂房用不低于75号砖,50号水泥石灰混合砂浆砌筑,钢筋混凝土柱上预埋2 $\phi 6$ 拉筋,平整埋入砖墙中,伸入墙内1m。沿墙高,水平浇150号钢筋混凝土加强肋,两端与柱相联。

本电站厂房建筑在设计中成功地采用多项新材料新技术新结构,得到了水电部七局南垭河分局的支持,取得了预期的效果。