

# 锦屏二级水电站区域地质环境与引水隧洞工程地质条件解析

宋 威, 许述礼

(中国人民武装警察部队 水电第一总队, 广西 南宁 530028)

关键词: 区域地质; 小金河断裂; 受力状态; 高地应力; 岩爆; 锦屏二级水电站

中图分类号: P64 (271)

文献标识码: B

文章编号: 1000-0860 (2010) 05-0033-03

## 1 概 述

锦屏二级水电站位于四川省凉山彝族自治州境内的雅砻江锦屏大河弯处雅砻江干流上, 电站装机容量为 4 800 MW, 单机容量 600 MW, 多年平均发电量 242.3 亿 kW · h, 保证出力 1 972 MW, 年利用小时 5 048 h。它是雅砻江上水头最高、装机规模最大的水电站, 属雅砻江梯级开发中的骨干水电站。

## 2 区域地质环境

锦屏山在大地构造部位上属通天河断褶带东部边缘, 毗邻扬子断块边界。此区的变质岩系, 都属于传统地质学中的地槽区沉积建造产物。锦屏山区地层强烈褶皱和陡倾断裂带, 与其客观地质环境和地质构造历史发展密切相关。锦屏山地层遭受强烈褶皱和多条走向断裂切割, 构造线 NE - NNE 向展布, 显示出受强大的 NW - NWW 向构造力作用, 同时与其东侧刚性地质体阻抗分不开。这个刚性地质体, 即扬子断块西部的川滇 SN 向岩浆岩带。这个岩浆岩带是以安宁断裂为基础, 早在 19 亿年前 (元古代) 就有岩浆侵入和喷发, 继后各构造期多有岩浆侵入乃至喷发、固化地壳而形成的。岩浆岩带基实坚硬, 抗侵蚀性强, 在地质历史上少遭海水浸没, 故有康滇古陆之称, 少量沉积盖层亦受基底隆起形态控制, 受后期构造运动作用, 形成近 SN 向复背斜, 所以又有康滇台背斜之称。诸多之称都反映了一个实质性问题, 它是自晋宁期以来发育形成的坚实抗力地质体, 它的西边界就是小金河断裂。

从地史发展、沉积建造、变质作用等差异性上

看, 都反映出小金河断裂是控制沉积环境和变质作用的大断裂。小金河断裂即是扬子断块 (大陆台块) 与通天河断褶带 (三江断褶带) 的分界断裂。沿断裂带有基性和超基性岩浆活动 (侵入和喷发), 它控制了区域不同块体地史发展和地块活动。

小金河断裂及其外侧边缘的金河—箐河断裂 (地壳断裂), 东侧的岩浆岩带存在, 与锦屏山区地质结构关系密切。这个岩浆岩带 (川滇 SN 向构造带), 在海西期又以安宁河大断裂为基础, 应其全球性地壳开裂 (岩浆活跃开裂), 成为攀西裂谷, 有大量基性和超基性岩浆侵入和喷发, 富积成生以钒钛磁铁矿为主的多种稀有金属矿床。自印支期以来, 因印巴断块与欧亚板块碰撞, 古特提斯海消亡, 青藏断块崛起并受喜马拉雅山断褶带和昆仑山断褶带夹挤, 向东挤压出现通天河断褶带雏形 (又称金沙江断褶带、三江断褶带), 派生出 EW 向构造应力, 使三江地区结束海侵。固化后的沉积岩层发育早期平面“X”构造面, 此时攀西裂谷也进入封闭时段。

燕山期印巴断块持续向北推进挤压作用, 其东北部边界断裂发展成向东北方向的犄角突刺 (阿沙姆突刺), 并持续地顶进, 汇同青藏断块向东挤压, 通天河断褶带 (三江断褶带) 形成。小金河断裂以西沉积岩褶皱的同时发生区域变质。锦屏山西北的九龙山区又有花岗岩 ( $\text{I}_5$ ) 和花岗闪长岩 ( $\text{I}_5$ ) 侵入, 因其岩浆岩体的生成, 阻抗了通天河断褶带派生构造力直接向东传递, 经九龙山岩体储有足够应力能之后, 再向外

收稿日期: 2010-03-05

作者简介: 宋 威, 男, 助理工程师。

传送, 并因其存在出现木里山字形构造。木里山字形 NE 弧所派出的构造应力, 汇同九龙岩体传递出构造应力联合作用, 使锦屏山岩层承受 NW - NWW 向主动的挤压, 同时又受东侧牦牛山岩体抵抗反作用力作用, 即出现两刚夹一柔的受力状态, 故此出现锦屏山的强烈褶皱和压性—压扭性走向断裂。

燕山运动后期, 三江断裂顺扭及北部陆壳应力能, 通过邻区的甘孜—色达断块传送作用到本区, 又出现了 NNE 向的构造应力场叠加。这个力无力使锦屏山产生跨越褶断, 而牵就利用已有构造破碎岩带消能, 使其松弛, 陡倾构造面和层面亦应其受力状态, 产生不同性质的力学性质叠加。岩层中的早期剪切裂隙带, 经褶皱翻转, NW 向裂隙带转变成近 EW/S 的中缓倾角裂隙带, 后来成为平张结构面(带); 而早期 NE 向裂隙带褶翻后变成 N50°~70°W/NE 60°~70°压扭性叠加构造面(带), 在质软低强度的板岩和绿片岩中, 因受压扭性应力叠加, 发展成片理化、劈理化、裂面绿泥石化裂隙密集带, 并残储 NNE 向构造应力能。

锦屏一级水电站坝址区, 边坡开挖时揭露出的煌斑岩脉, 产状: N40°~50°E/SE 60°~70°; 物质成分以辉石为主, 属基性—超基性岩浆入侵而成, 根据产状推测, 岩脉根部与小金河断裂同体, 应属小金河断裂带组成部分。

### 3 引水隧洞工程地质条件

锦屏山山势挺拔, 雅砻江河弯水急, 水能资源丰富, 理当开发利用。故早有裁弯取直开发方案。但因山势地理条件所限, 对隧洞工程地质条件, 在前期的

勘测阶段难以查得十分清楚, 仍需经过开挖揭露加深认识, 依据客观地质结构, 阐明隧洞所有的工程地质问题, 见表 1。

上述构造岩, 无不与小金河大断裂有关, 只因再胶结和固化程度不同而已, 还都是断裂构造岩带, 整个锦屏山结构岩体都应属小金河断裂体系, 从卫星影像图上看, 锦屏山就是小金河大断裂带主干断裂西侧 NE 向条形透镜体。况且锦屏一级水电站坝肩又有煌斑岩脉, 宽 2~4 m, 产状稳定又与锦屏山断裂带平行, 故认定整个锦屏山是一个构造岩带, 即小金河断裂的破碎带。

上述构造岩带, 后期胶结固化好的成洞条件好, 储能条件也好, 在埋深大的洞段必然因地应力回弹出现爆塌。相对完整的砂板岩和大理岩更是如此。固化和胶结不良的, 在高地应力作用下, 因其低强度爆裂塌顶、边墙垮塌、滑塌、底板爆弹松动破坏。中厚层状大理岩分布在锦屏山体中部, 虽受断层夹控, 但临空条件差储能条件好, 自然是高等级岩爆段, 强岩爆频繁发生, 连续分布, 对施工安全危险性更大, 采取什么样防护措施对保障人身安全至关重要。在完整大理岩段底板开挖时, 也同隧洞主体开挖时一样发生爆片弹射伤人, 但可采取覆盖和浇水防护, 爆裂松动造成清基“超挖”在所难免, 如留预爆层必然增加一道工序, 拖长工期增大资金投入。

大理岩是可溶岩, 受断裂构造作用破碎, 便是地下水活动通道, 发育不同规模岩溶管道和储水空间, 洞挖过程中必然会出现漏水、涌水, 西端下坡开挖容易淹没洞体, 因岩溶洞体形态千变万化, 各种探测手

表 1 锦屏二级水电站引水隧洞开挖揭露的岩石及其性质

围岩分类	主要特性及组成物质
花斑大理岩	断层带剪切扭动碾磨的岩块及糜棱岩, 被后来充填物胶结而成
破碎块状大理岩	成生与上大体相同, 只是破碎后未遭受强压碾磨而已
集块状大理岩	断层影响带的大理岩块, 被碎屑物充填及次生钙质胶结固化而成。再次受力, 时常出现块体周边软岩揉皱破裂
黑色结晶灰岩	超高压高温条件下, 高炭化的构造岩
斑状大理岩	断裂带挤压错动构造岩
条带大理岩	在地壳震荡控制作用下, 间隔沉积后经区域变质所成, 其特征保持条带厚度状态, 但不稳定且多见断头、间断的不连续性。说明条带经过扭错构造作用后经钙质胶结的构造岩
砂板岩	此洞体开挖砂板岩时混夹进来的大理岩岩块, 也有后期次生透镜状条带
绿片岩	锦屏山东侧的绿片岩是玄武岩变质岩, 亦可称为大断裂的构造岩。其质地软弱, 遇水泥化, 强度降低。在高地应力作用下, 揭露后扩容蠕变性最强。西端洞体中的绿片岩是泥岩变质的, 是强褶皱高压扭错绿泥石化所致, 仍是挤压破碎故视为断层带构造岩

从隧洞纵断面图中可知, 被走向断层切隔的厚层状大理岩, 质地相对坚硬, 结构完整性较好, 地貌上为锦屏山脊, 宏观上可视是为被断层夹持在中间的透镜状岩体(见区域地质图和卫星影像图)。其中也会有溶塌再胶结的角砾岩带和构造破碎角砾岩带

(下转第 37 页)

“中空注浆锚杆或水泥砂浆锚杆 + 钢纤维硅粉喷射混凝土”, 局部增加随机锚杆和钢筋挂网; 类围岩洞段则以“超前锚杆 + 中空注浆锚杆或水泥砂浆锚杆 + 钢纤维硅粉喷射混凝土”进行支护, 部分洞段增加随机锚杆、钢筋挂网和格栅拱架或型钢拱架等加强支护。锚杆孔采用锚杆台车或三臂凿岩台车钻孔, 杆体安装和注浆采用机械辅以人工施工。喷射混凝土采用湿喷法施工, 喷射料由洞外拌和系统生产, 搅拌罐车运至工作面, 喷射台车施喷, 液态无碱速凝剂在喷嘴出口处加入到喷射料中, 无碱速凝剂的掺用量一般为 6% ~ 8%。部分岩爆频发洞段还采用了喷射掺纳米材料的钢纤维硅粉混凝土进行快速封闭, 纳米材料的掺用量一般为水泥用量的 8% ~ 10%。

## 6 隧洞混凝土衬砌工艺

引水隧洞混凝土衬砌采取“先仰拱后边顶拱”的方法进行, 沿洞轴方向浇筑分缝长度 15.0 m。仰拱(约 1/4 圆)采用液压滑模浇筑, 滑模全长约 4.5 m, 由下料段、振捣段、成形段、收光段等组成, 行走部分采用液压驱动, 滑移速度为 21 mm/min, 平均每天

可滑浇 20 m 左右。为了使断面两侧弧线顺利成形, 采用小塌落度的二级配混凝土, 罐车运输, 皮带机入仓, 人工持  $\phi 60$  振捣棒振捣, 成形后初凝前人工完成表面收光作业。边顶拱采用有轨自行式钢模台车浇筑, 台车长 15.1 m, 混凝土为 14 ~ 16 cm 塌落度的二级配混凝土, 罐车运输, 电动拖泵入仓, 仓内由人工持  $\phi 80 \sim 100$  振捣棒振捣, 仓外由附着式振捣器振捣。

## 7 结 语

锦屏二级水电站 4 条引水隧洞单洞长度约 16.7 km, 隧洞开挖断面 13.0 m, 最大埋深达 2 525 m, 隧洞沿线地质构造复杂, 具有洞线长、洞径大、高埋深等特征, 施工过程中不可避免地会遇到岩爆、溶洞、突(涌)水、塌方、软岩等不良地质洞段, 参建单位多方投入进行研究商讨对策, 实施了超前地质预报、岩爆防治、隧洞群声光电报警系统、逆坡排水、突(涌)水演练等专项措施, 对超长引水隧洞的顺利贯通提供较好的安全保障条件。

(责任编辑 林雁庆)

(上接第 30 页)

求开挖爆破完成后, 开挖面炮孔残留率在 95% 以上, 开挖面平整, 危石仅需人工简单处理, 爆破石渣均按照预定方案出渣, 工作闸室操作室开挖支护用时 72 d 完成, 工作闸室操作室以下开挖支护用时 101 d 完成, 除底部平洞与竖井交叉处沿裂隙面局部塌落外, 其他均未出现超挖, 爆破效果良好。

## 5 结 语

通过对糯扎渡水电站右岸泄洪洞工作闸室开挖

技术的施工实践, 为今后地下大洞室开挖提供了很好的经验: (1) 导井采用自下而上分层开挖爆破, 扩挖分区开挖爆破, 充分利用中部交通通道解决上部高大的开挖方法, 通过技术措施解决安全问题, 确保施工方法安全可靠; (2) 上下之间夹层岩体采用垂直导井、周边预裂爆破扩挖技术, 有效缩短工期, 节约成本; (3) 多种方案综合采用, 根据不同的部位和特点, 合理解决交通通道问题是开挖支护工程的关键所在。

(责任编辑 陈小敏)

(上接第 34 页)

段难以探得十分清楚。所以要做好突涌水逃生预防措施, 以减少损失。

绿片岩分布的洞段多大体垂直洞体, 除顺层理出现片理化外, 还有一组由 NE 向构造裂隙带, 褶皱翻转后变成 NW - NWW / NE  $60^\circ \sim 70^\circ$  裂隙带, 后受 NNE 构造力作用左旋压成为劈理化结构带, 其面光滑微波延伸, 绿片岩质软低强度, 劈理化强度更低, 又大体平行洞体, 是围岩扩容变形的优势面(带), 是隧洞开挖中 类不良地质段。绿片岩扩容后的围岩

遇水泥化, 甚难灌浆固结, 虽然不是断层破碎岩带, 但比断层带对工程影响和威胁更大。

本区现今构造应力仍是印巴断块向北漂移推进产生构造力, 经青藏断块东侧的三江断褶带顺扭产生的 NW 向构造力作用, 又有甘孜—色达断块向南的挤压力, 经鲜水河断裂分解后的作用力, 联合作用产生 NNW 向构造应力, 使锦屏山体受压储能。隧洞开挖后高地应力在山体中的孔口应力集中, 发生围岩扩容和岩爆。围岩的强松动圈厚度约为洞径的 1/2。

(责任编辑 林雁庆)