

# 固增水电站调压室穹顶开挖支护施工技术

杨 爽, 余文华

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

**摘要:** 固增水电站调压室造型独特, 平面形状成椭圆型, 现场地质结构复杂且多变, 其大跨度调压室穹顶开挖施工难度大、施工安全风险高并受限于工期要求。阐述了所采用的“先导洞, 再分层、分段开挖”的施工工艺既解决了施工中遇到的难题, 又保证了施工安全, 确保了工程的顺利实施。

**关键词:** 调压室; 大跨度; 穹顶; 导洞; 安全; 固增水电站; 施工技术

**中图分类号:** TV7; TV52; TV554

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2022)06-0068-04

## Excavation and Support Technology of Surge Chamber Dome in Guzeng Hydropower Project

YANG Shuang, YU Wenhua

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** The surge chamber of Guzeng Hydropower Project has a unique shape and a runway section. The geological condition of the site was complex and variable, which caused construction difficulties, safety risks and tight schedule in the large-span dome excavation of the surge chamber. The construction technology of "pilot tunnel first, then layered and segmented excavation" was adopted, which greatly ensured the construction safety and the successful implementation of the project.

**Key words:** Surge chamber; Large span; Dome; Pilot tunnel; Security; Guzeng Hydropower Project; Construction technology

### 1 概 述

固增水电站位于四川省凉山州木里县境内的木里河干流上, 采用引水式开发。工程的主要任务为发电, 兼顾下游生态环境用水要求。该电站的装机容量为 172 MW, 引用流量为  $185.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , 水库正常蓄水位高程 2 215 m, 总库容 48.4 万  $\text{m}^3$ , 利用落差 127 m。

固增水电站主要由首部枢纽、引水隧洞、调压室、压力管道、厂房等建筑物组成。其中引水隧洞调压室位于厂房旁的山体中, 平面形状为椭圆型, 垂直高度为 84 m, 长度方向为 42 m, 宽度方向为 18 m, 调压井洞室围岩以变质石英砂岩夹板岩为主。上覆围岩厚度为 121~140 m, 上游侧水平埋深约 81~110 m, 垂直方向的水平深度为 135~160 m, 穹顶高 12 m(高程在 2 245.7~2 257.7 m 之间)。为方便施工, 现场施工了一条交通洞至调压室穹顶底部(高程 2 245.7 m)。

固增水电站调压室穹顶跨度大, 施工难度大、

施工安全风险高, 施工过程中采取了多项施工措施, 解决了大跨度穹顶开挖的一系列技术难题。阐述了固增水电站调压室穹顶开挖支护采用的施工技术。

### 2 施工程序及方法

#### 2.1 穹顶开挖与支护

固增水电站调压室穹顶开挖与支护施工的总则: 采用“先导洞, 再分层、分段开挖, 边开挖边支护”的施工方法。首先在交通洞搭设施工排架作为开挖、支护的施工平台, 然后在交通洞与调压室相接部位以 22%~27% 的坡度进行导洞的开挖施工, 施工导洞的断面尺寸与交通洞尺寸相同, 施工导洞需开挖至调压室另一侧结构线位置; 施工导洞的临时支护应根据现场围岩情况进行相应的施工。施工导洞的开挖及临时支护完成后, 返回交通洞与调压室相接部位, 开始对施工导洞上方穹顶进行分块扩挖至穹顶的设计结构尺寸线并进行永久支护施工<sup>[1]</sup>。完成施工导洞上部穹顶施工后转向两侧施工, 形成两个工作面, 在将穹顶全部

开挖至结构线并进行永久支护后,再向下层开挖至穹顶底部高程,继而完成穹顶开挖。调压室开挖分块情况见图1。

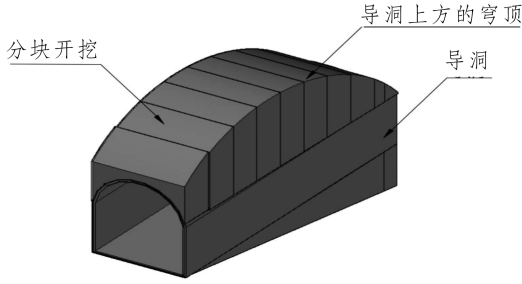


图1 调压室开挖分块示意图

## 2.2 穹顶开挖采用的主要施工方法

将调压室穹顶开挖分为两个区域:(1)调压室施工导洞顶部穹顶区域;(2)调压室施工导洞穹顶左右两侧区域。将两个区域划分为两层开挖:第一层高7 m,高程为2 257.7~2 250.7 m;第二层高5 m,高程为2 250.72~2 245.7 m。

(1)调压室施工导洞顶部穹顶区域采用的开挖施工方法。固增水电站调压室穹顶开挖时,首先在交通洞与调压室相接部位进行施工导洞的开挖。施工导洞为城门洞型,开挖断面尺寸和调压室交通洞一致,均为5.5 m×6 m(宽×高)。施工导洞采用三排斜向掏槽孔,主爆炮孔交错均匀布置,掏槽孔、辅助孔采用 $\phi 32$  mm药卷连续装药,周边孔采用 $\phi 25$  mm药卷间隔装药,若遇围岩很软时则采用导爆索代替炸药卷;施工导洞的爆破开挖进尺根据不同围岩划分为三种:Ⅲ类围岩每循环进尺1.5 m,Ⅳ类围岩每循环进尺1.2 m,Ⅴ类围岩每循环进尺0.6 m。在施工导洞开挖过程中,每个开挖循环均进行临时支护,对于一般围岩喷5 cm厚混凝土,对于围岩差的部位施工随机锚杆。当施工导洞开挖至调压室穹顶设计结构线后,将开挖工作面调整至交通洞与调压室相接部位;沿施工导洞进行施工导洞上方调压室穹顶的开挖。随着施工导洞上方穹顶开挖的施工,开挖的进尺、弧度会有所增大,进而对爆破的要求也有所提高。为保证开挖质量,将开挖进尺每循环控制在1 m。测量放线前,计算出掌子面各个周边孔孔深向上的倾斜角度,并在现场用油漆绘出至穹顶中心方向的尾线。钻孔施工时,要求根据倾斜角度调整钻机的角度以保证施工质量。穹顶开挖情况见图2。

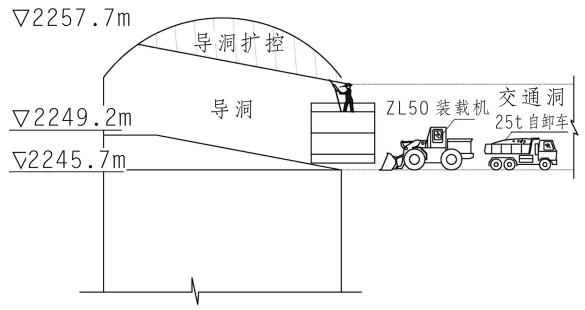


图2 调压室穹顶开挖示意图

(2)调压室施工导洞穹顶左右两侧区域采用的开挖施工方法。由于调压室穹顶跨度为18 m,安全风险高,在施工导洞上方穹顶系统支护全部完成后,对穹顶两侧的开挖进行了生产性试验以确定最终的开挖方法。每侧划分为15个施工区域,将每个开挖循环控制在1.8 m。开挖过程中,周边孔的孔距按照0.5 m布置,钻孔的角度控制按照同心圆同一高程进行控制,测量放线时以同心圆原理先计算周边孔各个孔的进尺末端与周边孔形成的方向角,依次放出各孔位线<sup>[2]</sup>。调压室施工导洞穹顶左右两侧区域开挖情况见图3。

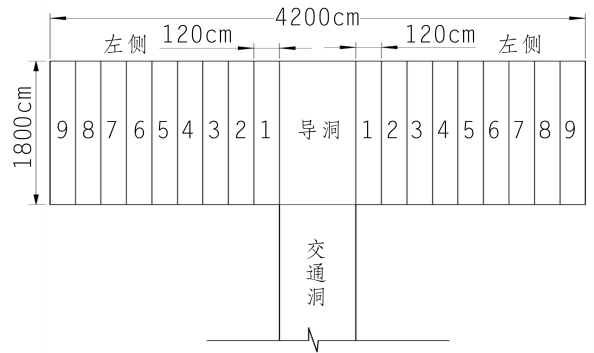


图3 调压室施工导洞穹顶左右两侧区域开挖示意图

## 2.3 穹顶支护采用的施工方法

设计支护参数:①顶拱部位:带垫板的砂浆锚杆直径为32 mm( $L=9$  m),普通砂浆锚杆的直径为28 mm( $L=6$  m),交错布置,环向间距为1.2 m,纵向排距为1 m,锚杆外露20 cm;喷混凝土C25,厚25 cm;挂钢筋网 $\phi 6.5$  mm@15 cm×15 cm,布置I20b钢拱架,间距1 m;在拱脚附近2 252.3 m高程、2 251.1 m高程设置两层锁脚带垫板(垫板尺寸为15 cm×15 cm×0.6 cm)砂浆锚杆,直径为32 mm( $L=12$  m)<sup>[4]</sup>,纵向间距1 m,锚杆外露12 cm。②2 245.7 m高程以上边墙、端墙部位:喷混凝土C25,厚15 cm;挂钢筋网 $\phi 6.5$  mm

@15 cm×15 cm;带垫板砂浆锚杆直径 32 mm( $L=12$  m),普通砂浆锚杆直径 32 mm( $L=9$  m),交错布置,间排距 1.2 m,外露 12 cm。

在调压室穹顶开挖、支护过程中,其支护类型分为临时支护和永久支护。临时支护在施工导洞开挖过程中施工,其余支护为永久支护。调压室支护施工步骤为:开挖完成→清理掌子面→掌子面封闭喷护→6 m 锚杆施工→铺设钢筋网→安装 I20b 工字钢→9 m 带垫板锚杆施工→喷射混凝土施工→下一循环开挖施工。

顶拱开挖后及时喷射 5 cm 厚混凝土对岩体进行封闭,然后安装  $\phi 6.5$  mm@15 cm×15 cm 钢筋网,再安装 I20b 钢拱架。为保证锚杆质量,喷混凝土时采用分层喷护(预留 10 cm 厚度)方式,待锚杆检测合格后再喷至设计厚度。由于调压室穹顶钢拱架拱脚处受力较大,为保证穹顶 I20b 钢拱架的支护质量,拱脚处必须按照设计图纸进行施工。

锚杆施工:锚杆造孔采用潜孔钻,临时锚杆造孔采用手风钻;对于长度 12 m 的锚杆采用套筒连接。当拱肩长 9 m 的锚杆在现场无法安装时,采用套筒连接。锚杆的安装施工采用脚手架作为施工平台,配合手拉葫芦和装载机进行安装。

因调压室穹顶开挖支护分区导致现场出现多个临时断面,为保证施工安全,在围岩较差的部位施工随机锚杆。

锚杆采用先插杆后注浆的方式施工,带垫板的锚杆在锚杆砂浆终凝后再加装垫板,加装垫板时必须保证螺母车丝牢固,垫板采用 15 cm×15 cm×0.6 cm 的 A3 钢板。锚杆安装后,在砂浆强度未达到 70% 前避免敲击、碰撞和拉拔锚杆。带垫板锚杆情况见图 4。

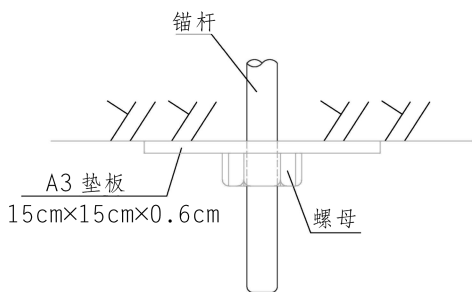


图 4 带垫板锚杆示意图

网喷混凝土施工:清除松动危石,对于欠挖的部位先行进行局部处理。挂网喷护部位采用  $\phi 6.5$

mm@15 cm×15 cm 单层钢筋网;系统锚杆施工完成后开始安装钢筋网,利用系统锚杆固定钢筋网,如系统锚杆间距过大,可以采用锚钉进行固定。

钢拱架施工:在穹顶布置 I20b 钢拱架,间距 1 m,拱架间布置  $\phi 25$  mm 的螺纹钢@1 m,钢拱架与锚杆通过锁定钢筋焊接连接。钢拱架施工情况见图 5。

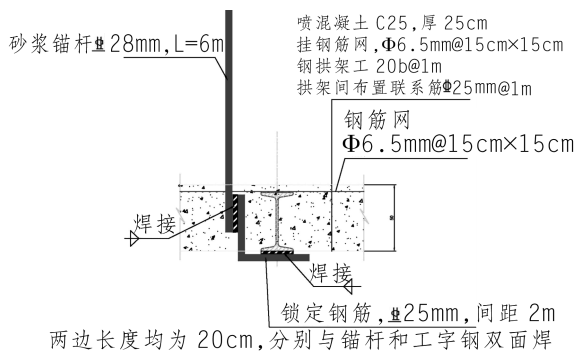


图 5 钢拱架施工示意图

单榀 I20b 工字钢由 6 节拼装组成,相邻两节之间通过两块 28 mm×28 mm×15 mm 的钢板和 4 套 M24 螺栓螺母连接。工字钢连接板情况见图 6。

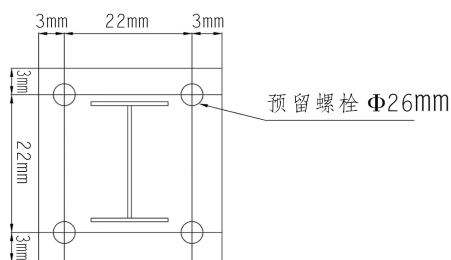


图 6 工字钢连接板示意图

架设钢架在简易改装的台车上进行。现场的工字钢采用装载机或吊车结合人工进行吊装。在工字钢架设的同时,用  $\phi 25$  mm 联系钢筋与上一榀工字钢进行连接,联系筋间距 1 m。每架设一节时,先上好 M24 连接螺栓(不上紧),用临时支撑撑住工字钢,再用  $\phi 25$  mm 联系钢筋与上一榀工字钢连接,安装完成后检查工字钢与测量参照点引线的误差后再进行局部调整。

排水口施工:对于调压室 2 246 m 高程以上的井筒四周以及穹顶布置系统排水孔,孔深深入基岩 3 m。穹顶环向间距为 2.4 m,纵向排距为 2 m;边墙及端墙的间排距为 2.4 m。开挖过程中,在地下水集中出露位置增设排水孔用于引排。

安全监测:在调压室穹顶开挖、支护施工过程中

中,安排专业监测人员在现场布置临时监测点和永久监测点,划分观测标段并安装观测仪器,监测人员每天对观测结果进行收集和分析并提供给施工方。施工方根据监测数据及时调整下一阶段的施工方法以保证施工安全及质量。具体设置要求为:在穹顶顶部设置14个锚杆应力计和6套多点位移计。

### 3 针对不良地质洞段采用的施工方法

#### 3.1 不良地质洞段的开挖

在调压室开挖过程中会遇到各种不良地质情况,为保证施工安全及质量,项目部坚持采用了“短进尺,弱爆破,强支护,勤观测”的施工方法<sup>[4]</sup>。

(1)涌水段采用的开挖措施。根据水文地质资料和对交通洞已经开挖情况进行分析得知:调压室的围岩以Ⅳ类为主,地下水较丰富,存在塌方和涌水的可能。主要采取“防、排、引”相结合的工程措施。在排水设施上,做到有充裕的排量准备。项目部根据已掌握的地质资料,对可能出现突水涌水的洞段加强了观测并密切关注。

(2)破碎段采用的开挖措施。在开挖过程中,如遇断层、软弱夹层或破碎带时,项目部会同地质工程师、工程技术人员、设计代表和现场监理工程师一起查明现场详细的地质条件,并视具体情况分别采取了以下处理方法:

①在不良工程地质洞段中开挖洞室时,必须制定切实可行的施工方案,一般应遵守下列原则:进一步调查地质条件,必要时可采用超前钻探、打探洞等方法进一步了解地质情况,做好地质预报。减少对围岩的扰动,采用“短进尺、弱爆破、及时加强支护和勤观测”的原则进行洞挖施工。

②在松散、软弱破碎的岩体中开挖洞室,尽量减少对围岩的扰动,宜采用先护后挖、边挖边扩或先对岩体进行加固后再开挖等方法。或者采取一掘一支护,稳步推进,即每开挖完成一循环后先喷混凝土、然后打锚杆、挂网,再喷混凝土至设计厚度的方法,如此循环掘进。当围岩稳定性特别差时,爆破后立即喷混凝土封闭岩面,出渣后再安装工字钢、打锚杆、挂网、喷混凝土。

③在围岩较差洞段设置临时变形观测点并加强对该部位的观察。如果后续发现变形,将根据变形情况采取不同的支护措施。

#### 3.2 针对不良地质洞段采用的处理方法

对于施工过程中遭遇到的断层破碎带、塌方、涌水、裂隙等不良地质洞段,项目部采取了安全防护、超前地质预报、安全监测等处理措施进行治理<sup>[5]</sup>。

对于不良工程地质洞段的施工,一般遵守以下原则:

(1)详细调查该洞段的地质条件,必要时可布置勘探孔、勘探洞等进一步了解地质情况,做好地质预报。

(2)减少对围岩的扰动,采用短钻孔、弱爆破和多循环作业措施。

(3)做好排水工作,锁好洞口,清除危石,做到一掘一支护。

(4)分部开挖、分部支护。

(5)采用小导管注浆或预注浆等方法进行超前支护,然后按照边开挖、边支护、边衬砌的方法施工。

(6)掌握不良工程地质问题的性质,及时采取有效的支护措施。

(7)加强监测,勤检查、勤巡视并及时分析所取得的监测成果和检查情况。

## 4 结语

固增水电站引水隧洞调压室造型独特,平面呈椭圆型,地质结构复杂且多变,开挖时存在诸多问题,针对这些问题,施工中采用“先导洞,再分层、分段开挖”的施工工艺,使用普通锚杆与带垫板锚杆结合的支护方法,并在施工过程中进行了安全监测,取得了较好的施工效果,保证了调压室穹顶开挖的施工安全及施工质量。

### 参考文献:

- [1] 唐君,邓雨露,等.白鹤滩水电站左岸尾水调压室穹顶开挖技术创新应用[J].水利水电技术,2017,48(增刊2):1-6.
- [2] 贺斌.大型地下厂房尾水调压室穹顶开挖测量控制技术[J].云南水力发电,2018,34(6):127-130.
- [3] 田树申,杨振韬.不良地质条件调压室穹顶开挖支护施工技术[J].黑龙江水利科技,2013,41(7):29-33.
- [4] 黄汝东,杨继承.白鹤滩水电站尾水调压室穹顶开挖支护施工技术[J].水利水电技术,2015,46(增刊2):57-59.
- [5] 陈静,饶佳龙.大跨度地下洞室穹顶开挖施工技术及其质量控制研究[J].智能城市,2017,3(2),173.

### 作者简介:

杨爽(1997-),男,四川成都人,助理工程师,从事水利水电工程施工项目技术与质量管理工作;

余文华(1989-),男,湖北黄冈人,项目经理助理兼技术部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)