

巴塘水电站全风化地层调压井开挖与支护方案研究

付 伟

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610036)

摘要:印度尼西亚巴塘水电站调压井所处位置地质条件较差,岩体以全风化地层为主,开挖阶段初期支护安全风险大。项目部经过多种方案对比,最终选择了“灌注桩+冠”、“环梁+锚喷”的支护方式。阐述了对全风化地层情况下调压井的开挖与支护采用的设计方案和施工方法进行的研究与实施,取得了较好的效果,所取得的经验可为后续类似工程施工时参考。

关键词:调压井;全风化;开挖支护;施工方案;巴塘水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)03-0005-03

Overview of Excavation and Support Scheme for Surge Tank in Fully Weathered Stratum of Batang Toru Hydropower Plant

FU Wei

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: The surge tank of Batang Toru Hydropower Plant in Indonesia is mainly composed of completely weathered strata with poor geological conditions, and there is a high risk of support safety during the early excavation stage. After comparing multiple schemes, the final scheme is to use the support method of “bored pile + crown”, “ring beams + anchor” and shotcrete. This article introduces the excavation and support scheme and construction method of surge tank in completely weathered formation, providing a certain reference for the construction of similar projects in the future.

Keywords: Surge tank; Complete weathering; Excavation and support; Construction scheme; Batang Toru Hydropower Plant

1 概 述

调压井为水电站输水系统中的主要建筑物之一,可以充分利用围岩作用,有利于结构安全和整体稳定^[1],且其工程投资较省;但其对地形和地质条件的要求较高。采用圆形调压井有利于工程结构的安全并可减少工程量,笔者根据所能查询和收集到的资料得知:在全风化地层中建设调压井的情况尚不多见。

由我公司承建的巴塘(Batang Toru)水电站位于印度尼西亚北苏门答腊省的巴丹托鲁河中下游。电站额定水头为 275.86 m,设计引用流量为 207.55 m³/s,安装 4 台机组,总装机容量为 524 MW,其上网容量为 510 MW。工程的主要枢纽建筑物包括首部挡、泄水建筑物、引水发电建筑物。在其引水隧洞末端设置有阻抗式调压井。

该调压井大井开挖直径为 28.2 m,衬砌成型后的直径为 25.0 m,开挖深度约为 60.0 m。调压

井上部地层为残坡积土和凝灰岩砂,覆盖层厚约 16 m,中部为全风化凝灰岩,厚度约为 47 m,底部为少量强风化凝灰岩。调压井地质参数统计情况见表 1。笔者针对位于特殊地层的巴塘水电站圆形调压井的开挖支护施工方法进行了研究。

2 设计采用的支护方案

该调压井从开挖面高程 427.00 m 向下开挖至底板高程 367.31 m,直径为 28.20 m。在调压井周边布置了 45 根(每隔 8°布置 1 根)钢筋混凝土灌注桩,其直径为 80 cm。顶端高程为 427.00 m,底端高程为 365.31 m。

在钻孔灌注桩桩顶浇筑冠梁,冠梁的高度为 1 m,厚度为 0.8 m。在调压井井壁设置腰梁,腰梁的高度为 0.5 m,厚度为 0.5 m,沿井壁每 4 m 设置一道。

在调压井井壁设置系统锚杆、挂网和喷混凝土支护,其具体参数为:桩间锚杆直径为 28 mm,长度为 6 m(入岩 5.9 m),环向间距为 2 m,竖向

收稿日期:2024-02-05

表 1 调压井地质参数统计表

岩体名称	天然密度 /(kg·m ⁻³)	弹性模量 /MPa	泊松比	内摩擦角 /°	黏聚力 /MPa
凝灰岩(Ⅲ)	2 180	1 500	0.30	41	1.050
凝灰岩(Ⅳ)	2 080	750	0.35	36	0.450
凝灰岩(Ⅴ)	1 950	500	0.40	31	0.225
凝灰质砂岩(Ⅴ)	1 640	400	0.40	26	0.020
第四纪堆积物	1 580	125	0.35	22	0.020

间距为 4 m;环梁锚杆的直径为 28 mm,环向间距为 2 m,竖向间距为 4 m(同环梁间距),顶部 3 层环梁采用的锚杆长度为 10 m(入岩 9 m),底部 6 层环梁采用的锚杆长度为 8 m(入岩 7 m),中间 6 层环梁采用的锚杆长度为 12 m(入岩 11 m)。钢筋网片的间距为 150 mm×150 mm,喷混凝土强度为 C25。

3 开挖与支护采用的施工方法

3.1 主要施工程序

调压井覆盖层开挖→灌注桩施工→锁口冠梁施工→第一层开挖(正井法机出渣)→第一层锚杆、挂网、喷混凝土→第二层开挖支护…→第一根腰梁浇筑(开挖至腰梁高程后施工)→第 N 层开挖支护…→第二根腰梁施工…→开挖支护完成。

3.2 覆盖层开挖

覆盖层为全风化地层,主要采用推土机集渣、1.3 m³ 挖机装 20 t 自卸汽车将其运至渣场堆存。

3.3 灌注桩施工

灌注桩作为调压井的竖向超前支护措施在调压井开挖前必须施工完成,而且必须严格控制灌注桩的孔底偏差。如果灌注桩偏向调压井内部,对其占压的结构部分必须凿除,严重时将造成整个支护体系失效。因此,必须重点把控灌注桩的垂直度和孔底偏差。

灌注桩的钻孔设备选用三一 320D 型旋挖钻机,配备 50 t 履带吊安装钢筋笼,其具体施工方法为:

(1) 孔口护筒的埋设。为控制桩位、导正钻具,保证钻机稳定,防止孔口和孔壁坍塌、维护泥浆面、固定钢筋笼,需要在孔口以下 4 m 范围内设置护筒。护筒采用 8 mm 厚的钢板卷制而成,护筒内径应比桩径大 20 cm^[2]。为避免护筒在施工过程中发生变形,在其端部和中部外层各加焊了一道加强箍。

护筒顶面宜高出地面 500 mm,将护筒四周用土夯实。应控制护筒中心线与桩位中心线的偏差不大于 50 mm,护筒倾斜度应小于 0.5%,以最大限度地减小钻孔偏差。

(2) 化学泥浆的制备。鉴于调压井地质条件较差,现场采用可利尔泥浆(化学泥浆)护壁。具体步骤为:首先,用挖机开挖出一个容积约 80 m³ 的泥浆池,从施工水池抽取清水至泥浆池,人工配合将泥浆粉顺喷射的清水加入到泥浆池中可以使其快速溶解,但不能将其直接加入孔中(容易结块),泥浆粉与水的比例按 0.01%~0.1% 配制。化学泥浆应根据不同的地层配制不同的粘度。化学泥浆的配制情况见表 2。

表 2 化学泥浆配制表

序号	地质条件	每 100 m ³ 水中 泥浆粉掺量 /kg	粘度 /s
1	黏土和页岩	20~60	17~19
2	淤泥、细砂和中砂	30~70	18~22
3	粗砂、较小的砾石	40~90	20~30
4	卵砾石	90~120	30~38

(3) 成孔。由于护壁式灌注桩对孔底的偏差和垂直度要求较高,为方案是否成功的关键,因此,在旋挖钻机选用时应尽量选择合适的型号或偏大一个型号的设备,并在钻孔过程中根据不同的地层制定出具有针对性的钻孔偏差控制措施。

旋挖钻机就位后,必须将其平整、稳固,必要时在履带下面垫 10 mm 厚的钢板,以确保在钻孔过程中设备不发生倾斜和偏移。应将垂直度控制在偏差不大于 0.5%。钻孔至设计深度后进行孔深、垂直度、泥浆浓度、沉渣厚度等检查^[3],确认其符合要求后方可进行下道工序施工。

清孔通常分 2 次进行。第 1 次清孔在钻孔完成后立即进行;第 2 次清孔在下钢筋笼和灌注混凝土导管安装完毕进行。清孔方式根据现场实际

条件选用,清孔过程应测定沉浆指标,清孔后的泥浆密度应小于 $1.15 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。清孔结束时应测定孔底淤积的厚度,孔底的淤积厚度一般应小于 5 cm,同时应保证净孔深度不小于设计桩深;第 2 次清孔结束后应通过持续补浆以保持孔内的水位不下降,并应在 30 min 内灌注混凝土。若超过 30 min,应重新测定孔底淤积的厚度。

(4) 钢筋笼的制作及安装。钢筋笼分段制作,其分段长度为 12 m,钢筋笼内每 2 m 设加强箍以确保钢筋笼在移动、起吊时不变形,相邻两段钢筋骨架的接头应错开搭接。钢筋笼分段吊装,接头采用搭接焊。

在钢筋笼外侧设置用于控制保护层厚度的垫块,其间距竖向为 2 m,横向圆周不得少于 4 处并均匀布置。在钢筋笼顶端设置吊环,将钢筋笼放入孔时保持其垂直状态,对准桩孔缓慢放入,避免其碰撞孔壁。钢筋笼全部入孔后检查其位置是否居中,就位后立即加固以防止钢筋笼下沉或上浮,并需保证在安放导管、清孔或灌注混凝土过程中不发生位移。

(5) 灌注混凝土。混凝土的灌注采用 250 mm 直径的钢制导管,导管接头采用抱箍连接。对于灌注混凝土,必须保证其设计强度和施工工艺要求。灌注前检查其流动性、和易性和坍落度,并应将坍落度控制在 180~220 mm。

导管上方设 1 m^3 的料斗,由 50 t 履带吊起吊并采用一块钢板做隔离塞,当料斗混凝土装满时,采用吊车的副钩将隔离塞移除且罐车放料应连续进行。灌注过程中,应时刻注意观测孔内泥浆返出的情况,如有异常,必须采取相应的措施进行处理。

混凝土灌注过程中,宜将导管的埋深控制在 2~6 m,并根据混凝土的和易性进行调整,在混凝土灌注过程中应将导管在一定范围内上下移动以防止混凝土凝固,严禁将导管提出混凝土面。

应将混凝土灌注标高控制在比设计桩顶标高高出 0.5~1.0 m,不得过高,也不得过低,并应保证桩头质量。

3.4 开挖

鉴于该调压井所处地层以坡积层和全风化凝灰岩砂为主,故反井法不适用该地层。项目部根据现场的实际情况和工期要求最终选择正井法进

行开挖,布置了一套 16 t 的双向门机用于出渣和设备吊运。

为确保调压井的整体稳定,共分为 4 个区幅开挖,单个区域开挖完成后立即进行支护。

3.5 锚杆及挂网喷混凝土施工

锚杆的设计长度为 9 m 和 12 m,选择 CM488D 型管棚钻机钻孔,钻孔完成后及时下杆并注浆,注浆方式选择小导管,锚杆上绑直径为 20 mm 的 PE 管,PE 管管口距离孔底 50 cm,从孔底注浆至孔口并需确保注浆饱满。

挂网采用人工绑扎固定,喷混凝土采用湿喷工艺,喷混凝土的厚度必须保证其不低于设计值。

3.6 冠梁及环梁混凝土施工

冠梁及环梁混凝土施工流程:测量放样→灌注桩钢筋保护层混凝土凿除→钢筋制安→模板安装→混凝土浇筑→模板拆除→混凝土养护。

测量放样:根据预先在调压井顶部建立的坐标控制网放好结构线并设置标桩。

灌注桩钢筋保护层混凝土凿除:测量定位后,人工使用电镐(锤)进行凿除、凿至桩身钢筋面。施工时,应注意避免破坏桩身钢筋。完成后,由测量人员再次进行放样,进行下一道工序。

钢筋制安:根据设计图纸进行钢筋的下料与制作,将制作成型的钢筋分别堆放并挂上标牌,采取防雨、防锈蚀、污染的保护措施,运至现场后按设计图进行绑扎并将其固定不变形。环梁为独立结构,钢筋的间、排距和保护层厚度必须满足设计要求。

模板安装:采用木模现场加工。每块模板的高度、长度需根据井身弧形确定以便于运输和吊装,模板拼装采用 U 型卡和拉模筋连接及木枋固定。

混凝土浇筑:所采用的原材料及半成品料均须通过检测,待其合格后方能使用。按照业主工程师批准的配合比进行混凝土配制。混凝土在厂房拌合站生产,使用混凝土罐车运至现场,通过安装在井壁的溜管入仓,采用 $\Phi 50$ 振捣器插入振捣密实。

3.7 安全监测

开挖过程中,分别在调压井井口、腰线及底部布置了多点位移计、锚杆应力计以及表面变形声光报警装置。监测显示的结果与设计院计算出的

(下转第 15 页)

采用焊接陶瓷垫片辅助实现焊缝单面焊双面成型。正面焊缝焊接时其底层焊缝熔透且背缝成型良好;焊接背面焊缝时不需要对焊缝进行清根,能够达到焊缝免清根焊透,从而解决了狭小空间焊缝刨缝清根的难题,提高了焊接效率,降低了焊接变形。(6)创新地采用便于安装拆卸、可重复使用的支撑加固件进行支撑,在实现变形控制的同时避免了临时支撑焊接造成的打磨、消缺等不利影响。(7)合理地布置吊耳,通过多次吊装翻转,为焊接提供了最佳的平焊位置,将立焊、仰焊变为平焊,极大地提高了焊接质量和焊接效率。(8)后期可拓展对其他产品,尤其是复杂结构的模块化制造技术的研究。

(上接第 7 页)

变形规律基本一致^[4],监测到的锚杆应力最大值为 125.4 MPa,对应该部位三维有限元计算得到的锚杆应力为 235.9 MPa。监测到的表面变形最大值为 18 mm,计算得到的该部位变形值为 61 mm,实际监测值均远小于设计值,且均在开挖 7 d 之后趋于稳定,现场巡视未发现表面裂纹和明显变形,证明调压井采用的支护方案安全、可靠。

4 类似工程需要注意和可借鉴的要点

(1)由于护壁灌注桩受地质条件的影响较大,必须确保地质情况无明显突变、无夹石、溶洞等,施工过程必须确保灌注桩的垂直度和孔底偏差。如果出现灌注桩大面积偏向调压井内,在其开挖过程中需要将占压结构的灌注桩凿除,并可能导致设计方案的失败。

(2)针对地质条件较差且断面较大的调压井,分幅开挖、分幅支护可以有效地确保其结构的安全。但应确保开挖后及时进行支护,避免出现支护滞后导致的井壁变形^[5]。

(3)由于该调压井地质条件较差,对锚杆的钻孔和灌浆效果应引起高度重视。鉴于全风化地层锚杆造孔比较困难,选用合适的钻机至关重要。针对全风化地层,管棚钻机具有移动灵活,扭矩大,成孔效果好等特点;而小导管灌浆可以确保锚孔的灌浆质量,并可确保锚杆在整个支护体系中的作用。

参考文献:

[1] 于尧. 浅谈水工金属结构专业设备三维模型创建和编码应用[J]. 城市道桥与防洪, 2019, 36(11):172-174.
[2] 田文恒,黄成林. 犍为航电枢纽船闸人字门制造的关键工艺[J]. 四川水力发电, 2020, 39(4):61-64.
[3] 水工金属结构焊接通用技术条件:SL 36-2016 [S].
[4] 姬玉媛. 工程机械中陶瓷衬垫 MAG 单面焊双面成形工艺研究[J]. 金属加工(热加工), 2015, 66(14):58-60.
[5] 水电工程钢闸门制造安装及验收规范:NB/T 35045-2014 [S].

作者简介:

周菊兰(1971-),女,四川资中人,副高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;
田文恒(1971-):男,云南昭通人,正高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。
(编辑:李燕辉)

(4)该工程地下水不太丰富,且开挖完成后的全风化凝灰岩砂具有一定的稳定性,如果地下水比较丰富且地质条件差,则需要考虑采用额外的超前支护措施。

5 结 语

笔者重点介绍了在全风化地层中修筑调压井采用的设计支护参数及施工方法。在施工过程中严格控制灌注桩的垂直度及孔底偏差,锚杆采用小导管灌浆,并采用分幅开挖的方式和支护方案,最终顺利地完成了该调压井施工。监测结果表明:所采用的设计和施工方案针对类似地层是适用的,不但节约了工期、投资,也确保了施工安全,所取得的施工经验对类似深基坑、竖井工程施工能够起到一定的借鉴作用。

参考文献:

[1] 刘有全,张利平. 赞比亚下凯富峡水电站大型调压井围护支护参数优化研究[J]. 西北水电, 2022, 41(6):120-126.
[2] 韩志文. 钢护筒封隔桩基下采空区巷道施工方案[J]. 山西建筑, 2015, 41(26):96-98.
[3] 建筑桩基技术规范:JGJ 94-2008[S].
[4] 杨海波,姜俊红. 大型调压室围岩稳定分析[J]. 人民长江, 2009, 40(12):5-7, 93.
[5] 汪韵雅,彭岩岩,包春燕. 地下工程软岩支护施工技术分析[J]. 工程技术研究, 2020, 5(22):20-21, 99.

作者简介:

付 伟(1972-),男,重庆市人,副高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。
(编辑:李燕辉)