

拉姆 2 水电站引水竖井施工方案研究

吴建军, 宋自平

(中国水利水电第十工程局有限公司 国际公司, 四川 成都 610037)

摘要:拉姆 2 水电站引水竖井和竖井底部的高压隧洞为该工程引水系统施工的难点,且其高压隧洞处于施工关键线路上,不具备作为引水竖井底部施工通道的条件。阐述了对引水竖井与调压井布置方案进行调整的建议方案,即将两井采用相同的中心线合并布置,采用矿山快速正井法施工方案开挖竖井以减少施工临建成本和措施费用,缩短了施工工期。

关键词:拉姆 2 水电站;引水竖井;调压井;同中心线合并布置;正井法施工;施工方案;研究

中图分类号:TV7;TV52;TV51;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)05-0070-04

Research on Construction Scheme of Headrace Shaft for Ramu-2 HPP

WU Jianjun, SONG Ziping

(International Engineering Company of Sinohydro Bureau 10th Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610037)

Abstract: The headrace shaft and the high-pressure tunnel at the bottom of the shaft in Ramu-2 HPP pose challenges for the construction of the headrace system, and the high-pressure tunnel is on the critical path of the construction process, which cannot be used as the bottom construction access of the headrace shaft. The authors suggest that the layout scheme of the headrace shaft and surge shaft be adjusted. In the adjusted scheme, the two shafts are arranged by sharing the same center line, and the fast downward excavating method is adopted to reduce the cost of temporary facilities construction and measures, as well as shorten the construction period.

Key words: Ramu-2 HPP; Headrace shaft; Surge shaft; Same center line combined layout; Downward excavating method

1 概述

拉姆 2 水电站位于巴布亚新几内亚独立国东高地省境内的拉姆(Ramu)河上,最大设计引用流量为 $39.7 \text{ m}^3/\text{s}$,利用水头 544 m,装机容量为 $3 \times 60 \text{ MW}$,多年平均年发电量为 11.81 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

拉姆 2 水电站引水系统线路投影总长度为 8 504 m,其中低压引水隧洞长 5 625 m,高压引水隧洞长 2 879 m,两者之间采用引水竖井相连。高压引水隧洞中的 1 265 m 为钢筋混凝土衬砌结构,1 614 m 采用压力钢管内衬。

调压井设在低压引水隧洞末端,采用阻抗式布置,井深 90 m,其中上室深 81.4 m,开挖直径为 7.2 m,衬砌后的直径为 6 m;阻抗孔开挖直径为 4.2 m,衬砌后的直径为 3 m,调压井顶部为明

山布置。

在调压井下游 40 m 处设置引水竖井,井深 401.5 m,开挖直径 4.7 m,衬砌后的直径为 3.5 m,引水竖井上端与低压引水隧洞之间以及其下端与高压引水隧洞之间均采用半径为 30 m 的弧形弯段连接以减少水头损失。

在调压井上游 661 m 处(低压引水隧洞桩号 4+964)设置了 2 号施工支洞,支洞长 280 m;在引水竖井下游 1 689 m 处(高压引水隧洞桩号 2+096)设置了 3 号施工支洞,支洞长 490 m;3 号施工支洞下游的压力钢管内衬洞段长度为 1 150 m。

按照项目施工总进度计划安排,引水系统的全部施工工期为 54 个月。故 400 m 级的引水竖井成为该项目施工的难点之一,同时其处在引水系统施工工期的关键线路上,导致实现施工进度

收稿日期:2022-07-10

目标的难度非常大。为了确保施工进度目标的顺利实现,如何科学选择更为合理的引水深竖井施工方案至关重要。

2 引水竖井施工方案的选择

在水电站工程施工中,对于较深的引水竖井、调压竖井等通常采用反井钻机施工,即利用竖井底部连接的平洞作为施工通道采用反井钻机先施工导孔,然后反扩导孔形成导井作为溜渣通道,再自上而下地采用钻孔爆破方式扩挖竖井至设计断面,爆渣溜至井底通过井底平洞出渣^[1]。鉴于该项目设计有调压竖井和引水竖井两条竖井,在工期上也能将二者安排在不同时间段进行施工,故采用一台400 m级反井钻机即可胜任开挖工作,可以比较充分地利用设备。但施工引水竖井时必须将高压引水隧洞作为井底施工通道,即在高压引水隧洞开挖至引水竖井底部后需停止开挖,先进行引水竖井的导孔贯通、反扩导井和竖井扩挖等施工,待引水竖井开挖支护完成后才能继续高压引水隧洞的钢筋混凝土衬砌施工。

鉴于从高压引水隧洞开挖到引水竖井底部后所需的反井钻机导孔贯通时间至少需要考虑5 d,反向扩大钻头反扩导井按5~6 m/d计算需要约2.5个月时间,加之反井钻机拆除考虑15 d,竖井钻孔爆破扩挖至设计断面及支护施工按3 m/d计算需要考虑4.5个月时间,容错浮动时间考虑10 d,则整个工期需要考虑8个月的时间。

从3号施工支洞到引水竖井底部施工线路上的工程量主要包含:①2179 m长的隧洞单头开挖支护;②1225 m长的钢筋混凝土衬砌;③464 m长的压力钢管内衬及混凝土回填;④压力隧洞的回填灌浆、固结灌浆及接触灌浆;⑤3号施工支洞的封堵。因此,这条施工线路上的工程量和施工难度非常大,导致其成为引水系统的施工难点之一,就工期而言没有多少可压缩的空间,在不考虑将其作为引水竖井施工通道的情况下,其已然成为施工的关键线路;如果还要考虑将高压引水隧洞工作面作为引水竖井开挖的施工通道,其施工工期将无法满足要求。

在引水竖井顶部,若从2号施工支洞口推进到引水竖井顶部,其单头开挖长度为981 m,可以比较快地到达竖井顶部,故对引水竖井考虑正井法施工在工期上是可行的。通过参考国内外类似

工程的施工,如中东克卡夫哈亚邓抽蓄项目高压竖井^[2]、新疆喀双隧洞KS10勘探试验洞项目等,一个400~500 m级的水电工程项目的竖井采用正井法施工在方案上是可行的。项目部经综合分析比较后认为:该项目引水竖井应考虑正井法施工方案。

3 竖井合并布置方案

引水竖井的施工考虑正井法施工方案,需要在井口布置提升设备以满足施工人员上下井、出渣、支护、通风、抽排水等施工需要,如采用简易的提升装备则只能选择人工持手风钻打眼放炮、人工掏渣、简易吊桶提升、在井壁扩挖耳洞以满足施工人员避险等措施,这些措施施工工艺落后,人员安全很难得到保证,风险很大,完全不能满足深竖井安全施工的需要^[3]。若要采用机械化程度高且成熟可靠的施工工艺进行正井法施工,则要求必须在竖井顶部扩挖洞室,布置井架、提升绞车等安全可靠的提升装备以满足提升和为竖井施工提供安全作业平台的需要,并在井口提供必要的施工工作平台。但若在拉姆2水电站引水竖井井口进行洞室扩挖以实现提升设备布置和提供井口施工平台,必定会带来大量的洞挖、安全支护、混凝土回填等工程量,将导致发生大量的施工措施费用支出。

由设计报告知:拉姆2水电站的调压井与引水竖井的布置位置仅相距40 m。这是因为设计方案按照常规设计将引水竖井与低压引水隧洞之间设计了圆弧连接段并将调压井考虑在低压引水隧洞直段末端,而调压井的上室开挖直径为7.2 m,阻抗孔段的开挖直径为4.2 m,且因引水竖井的开挖直径为4.7 m,两者相差不大,如果调整引水竖井位置与调压井处于同一中心线上、将两井合并布置,即可以充分利用调压井顶部的明挖平台布置井架、绞车等设备,还可提供井口施工平台,从而为采用快速正井法施工工艺施工竖井创造条件;且调压井阻抗井段的开挖直径可以加大到与引水竖井相同,均采用4.7 m以便于井内施工吊盘的布置。拉姆2水电站调压井和引水竖井合并布置的建议情况见图1。将调压井与引水竖井采用同一中心线结合布置并采用快速正井法施工已在厄瓜多尔德尔西水电站项目中得到成功应用^[4],这也从另

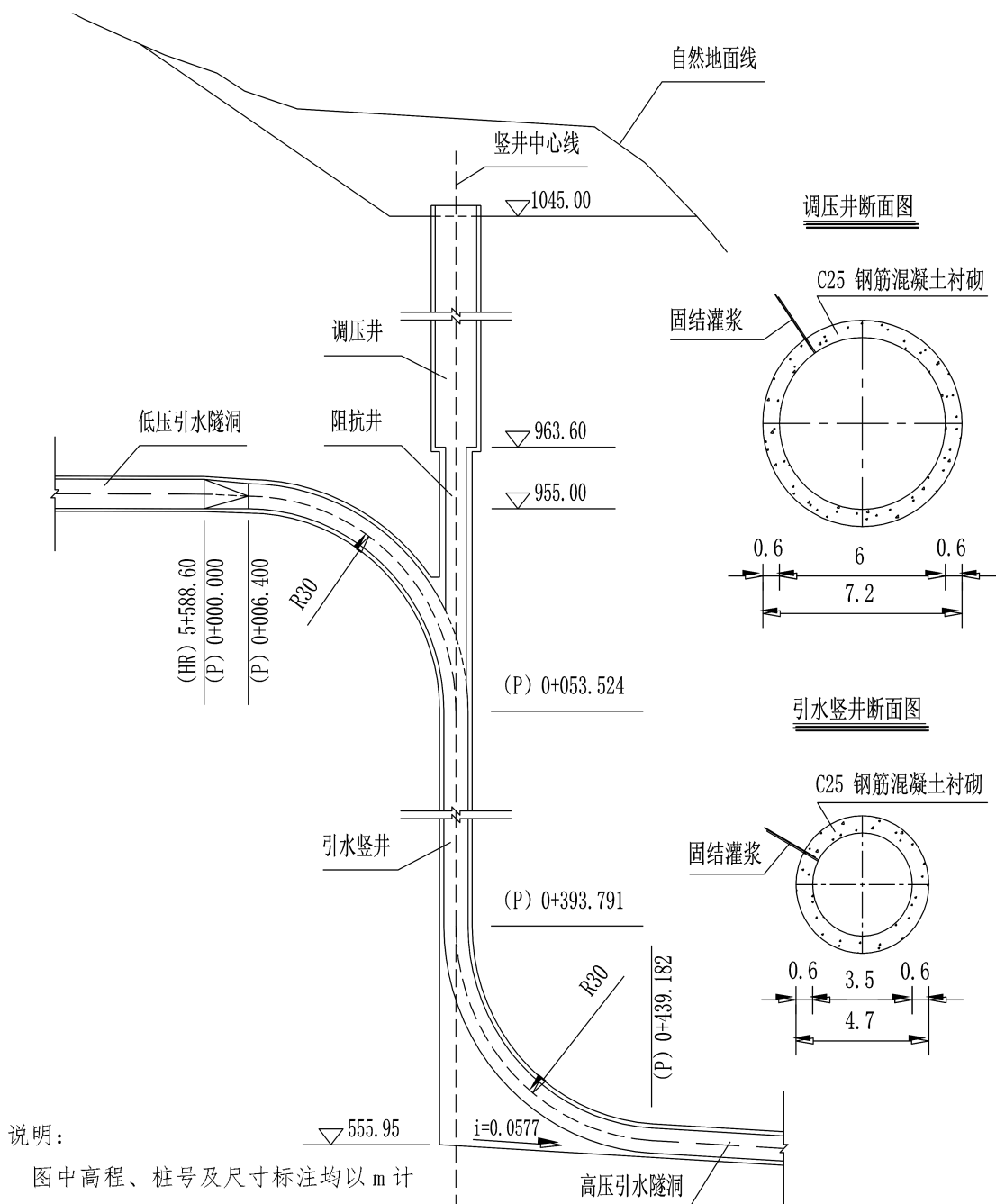


图 1 拉姆 2 水电站调压井和引水竖井合并布置建议图

一个侧面印证了在拉姆 2 水电站项目实施此类方案的可行性。

4 快速正井法施工方案

快速正井法施工是参考矿山正井法施工深竖井的施工工艺,具体做法为:在井口布置井架、卷扬机等设备,采用吊盘作为竖井施工的工作平台,布置伞钻进行竖井开挖钻孔,中心回转式抓岩机挖渣,提升系统配吊桶出渣、运送支护材料等进行

竖井施工。所布置的井架、绞车、吊盘及提升系统在竖井开挖完成后,仍可继续用于竖井滑模衬砌施工时的人员、材料、设备等井内运输。项目部最终建议在该工程快速正井法施工方案中主要设备参数的选择及施工措施的安排如下:

(1)拉姆 2 水电站调压井的开挖直径为 7.2 m,引水竖井的开挖直径为 4.7 m,两个竖井迭加的总深度为 489.05 m,可以采用Ⅲ型桁架式

无缝钢管凿井井架。该井架总高度约为21 m,基础中心跨距为12 m×12 m,总重量约为33 t,工作时的悬吊总荷载大于1 500 kN,能够满足直径5~7 m、深度600 m以内竖井的施工需要。在井架顶部设天轮平台,设置凿井提升天轮1个、吊盘悬吊天轮2个、稳绳悬吊天轮2个,在井架中部设置一层作业平台用于安装自动翻渣装置。调压井明挖时可以考虑足够的场地布置井架及卷扬机系统并提供安装、开挖期出渣及支护材料堆放等井口施工平台。施工时先进行调压井井口5 m的开挖,可以采用明山开挖的方法和设备开挖并进行锁口施工,再施工井架基础,安装井架。

(2)竖井的开挖施工主要包括伞钻钻孔爆破、抓岩机出渣和平底、人工锚喷支护等工序。鉴于竖井直径不大,考虑一台中心回转式抓岩机即可满足出渣需要。另外,由于调压井位于山脊,而其下部的引水竖井埋深大,初步判定不会出现大量涌水的情况;对于排水,主要考虑施工废水,其水量不大,故主要考虑吊桶排水或小型吊泵排水,而不考虑在吊盘上设置卧泵、水箱等。因此,建议该项目考虑配置双层吊盘即可满足施工要求。同时,双层吊盘比较安全,可以避免由于盘面荷载分布不均匀产生倾斜或翻转的风险^[5]。其上层盘为保护盘,下层盘为工作盘,上下盘间距按3 m考虑,吊绳悬吊点设在上层盘。吊盘在完成调压井开挖后应进行改造,缩小直径以适应引水竖井的施工。

(3)伞钻的型号选择按引水竖井的开挖直径考虑,可选择SJZ5.5型,该型伞钻有3个支撑臂、5个动臂,钻孔深度最大为3.5 m,重约5.3 t,调压井施工时,伞钻圈径以外的炮孔采用手风钻钻孔。另外,竖井井壁支护用的锚杆钻孔亦采用手风钻。

(4)根据引水竖井的开挖直径可选用HZ-4型中心回转式抓岩机,该机型抓斗容积为0.4 m³,提升能力约为1 t,生产效率为40~50 m³/h。吊桶采用2个容积为2 m³的坐底桶,施工时轮换使用。

(5)提升绞车、吊盘绞车、稳绳绞车等的型号根据项目的实际情况进行选择;封口盘可在现场制作钢结构,设置供吊桶进出的封口门;在竖井完成25~30 m开挖施工后再进行封口盘的安装,

供电线管、通信线管、供风管、排水管等均进行吊挂,以便于井筒的正式挖掘和支护施工。

(6)施工时应合理安排低压引水隧洞和竖井的衔接时间,宜先完成低压引水隧洞至竖井的洞挖施工,再安排竖井下挖到与平洞贯通;两个工作面同时施工时其错开的距离应保持约30 m。洞室贯通后应做好低压引水隧洞的截排水工作,避免影响到引水竖井的延深施工。

(7)在施工工期上,引水竖井底部高压隧洞的开挖工期为32个月,而采用快速正井法施工方案施工的竖井井挖工期为12~15个月,留给调压井明挖及井架安装等的准备时间长达17~20个月,施工工期安排的灵活性非常高。如果考虑在竖井井挖完成后适当进行部分高压引水隧洞的开挖以减轻高压引水隧洞工作面的工期压力也是可以做到的。

5 需要继续深入研究的问题

项目实际施工时,可就是否选用伞钻及中心回转式抓岩机再作深入的探讨,以找到更为适合项目的施工方案,真正实现项目的安全施工、节能施工。另外,建议设计单位对电站的水头损失再做进一步的研究,以尽可能地减小引水竖井与低压引水隧洞弧形连接段的半径,使洞井的布置更为协调、合理,比如采用对连接段局部加钢里衬减小糙率的措施。

6 结 语

拉姆2水电站是中国电建国际工程有限公司与深圳能源组成联合体共同参与竞标、中标后由中国电建国际工程有限公司EPC承建全部工程的项目。项目的设计方案除应考虑电站运行的可靠性外,还应充分考虑施工方案的可行性及降本增效。文中提出的将引水竖井调整到与调压井采用同一中心线布置的方案,为采用一套井架及配套井挖施工设备快速正井法施工竖井创造了条件,为减少施工措施费用、降低临建成本、节约施工工期提供了更优的解决方案,亦期待将快速正井法施工方案应用于水电工程项目深竖井施工增加更多的实证。

参考文献:

- [1] 刘国中. 黄家湾首部枢纽工程引水发电洞竖井段反井钻机施工技术研究[J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(2): 171-173.

(下转第81页)

工将其整平。由于陶粒混凝土较轻,很容易产生离析现象,因此,需要人工进行二次搅拌。

d. 振捣与找平。用铁锹摊铺陶粒混凝土,其厚度应略高于设计标高,再用拍板等工具及时将浮在表面的陶粒压入混凝土中直至其砂浆泛上,再用平板振动器振动使其密实。振动过程中,若仍有陶粒浮出表面,需由人工将其压入混凝土中。

e. 养护。陶粒混凝土铺装完毕,应及时覆盖塑料薄膜和保温材料,由专人定时进行浇水养护。

4.3 注意事项

(1)无缝钢管的安装必须焊接牢固,防止陶粒混凝土浇筑时导致钢管上浮。

(2)使用陶粒混凝土时,一定要注意使用符合相关质量要求的材料。所有材料不仅应根据设计要求进行选择,还要在进场时进行验收。陶粒需进行试验以确保其密度、导热系数、强度和密度能够满足使用前的相关质量要求。

(3)陶粒混凝土的生产与拌和必须采用强制式拌合机搅拌,陶粒在拌和前需进行预湿处理。

(4)由于陶粒混凝土在运输过程中可能会因运输距离较远或等待浇筑时间较长易造成坍落度损失、离析,对其采取的解决措施为:可以在卸料前掺入适量的减水剂进行搅拌,以满足施工所需的和易性要求,但严禁直接加水。

(5)浇筑成型后,宜采用拍板、刮板、辊子或振动抹子等工具及时将浮在表层的粗陶粒颗粒压入混凝土内;若颗粒上浮面积较大,可以采用表面振动器复振,使砂浆返上,再作抹面。

5 应用效果与结语

白龙江大桥旧桥于2020年1月启动旧桥桥面铺装调平层施工,共耗时7d完成旧桥桥面钢管铺设及陶粒混凝土浇筑施工,比原钢筋混凝土桥面铺装计划14d减少施工工期7d,提高效率约50%。采用无缝钢管作为骨架比钢筋网绑扎作为骨架减少混凝土用量约170 m³,陶粒混凝土

(上接第73页)

- [2] 毛小东,许伟,程焯焯.正井法在中东抽蓄K项目超深竖井中的应用[J].工程建设,2018,50(12):59-64,69.
- [3] 吕海强.正井法施工在东涌水库输水隧洞竖井开挖中的应用与探索[J].人民珠江,2013,34(6):71-74.
- [4] 师广山,张帆,王旭辉.结合正井法施工的水电站调压井和竖井合并布置设计[J].西北水电,2020,39(3):67-69.
- [5] 李涛,赖泽金,徐支松.探析超深立井凿井吊盘的结构[J].

的使用比普通混凝土减少自重约20%,整体无缝钢管混凝土减少铺装层自重约25%,达到了原旧桥设计自重要求。经养护合格后检测无缝钢管混凝土满足C50混凝土强度要求。在其施工完成后,广元周边如陇南、苍溪、青川均发生过3~5级地震,经对白龙江旧桥表观检测未发现因地震引起铺装层、桥面层开裂或变形的情况发生。将无缝钢管陶粒混凝土应用在旧桥铺装层改造中,取得了高效施工、轻质高强、抗震平稳的效果,而且节约了投资,减少了施工成本,取得了良好的社会效益。

广元三江新区基础设施建设白龙江大桥工程采用无缝钢管陶粒混凝土进行旧桥铺装调平层施工取得成功并积累了实践经验,解决了旧桥铺装调平层与新建桥梁铺装层高差大的难题,大大减少了旧桥的桥梁自重,保证了旧桥铺装层的强度要求,优化了桥梁铺装调平层施工工艺,缩短了施工工期,所取得的经验可供类似桥梁铺装调平工程借鉴,亦可在建筑行业需要轻质高强、工期紧张、抗震需求高的相关领域进行推广应用。

参考文献:

- [1] 李继业.混凝土配制实用技术手册(第三版)[M].北京:化学工业出版社,2015.
- [2] 周子涵.管材和管件选用手册[M].北京:机械工业出版社,2012.
- [3] 耿飞.陶粒混凝土制备及强度性能试验研究[J].低温建筑技术,2014,36(11):4-5.
- [4] 张广成.高强度陶粒混凝土抗震性能研究[J].低温建筑技术,2010,32(3):42-43.
- [5] 杨亚彬.钢管混凝土结构模型试验与分析设计[M].北京:中国环境出版社,2014.

作者简介:

- 赵腾飞(1986-),男,河南巩义人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
- 廖祯虎(1968-),男,四川资阳人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工
作;
- 覃 晟(1993-),男,湖南湘西人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)

山西建筑,2012,38(10):35-36.

作者简介:

- 吴建军(1967-),男,四川简阳人,国际公司副总经理,高级工程师,硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工
作;
- 宋自平(1979-),男,四川威远人,项目总工程师,正高级工程师,从事土木工程施工技术与管理工
作。

(责任编辑:李燕辉)