

高流速大粒径漂卵石复杂条件下非通航河道疏浚 施工技术研究

巫德武

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:水电开发项目通过拓挖水电站下游河道以增加水头、提高装机容量可以取得良好的经济效益。然而,受河道水文气象、地质条件等现场复杂条件的影响,部分电站下游河道不具备拓挖条件。阐述了大渡河沙坪一级水电站下游河道治理工程,针对高流速、大粒径漂卵石复杂条件下非通航河道疏浚施工技术进行的研究,提出了复杂条件下河道疏浚技术难题的解决思路及方法,所取得的经验可为类似工程疏浚施工提供参考。

关键词:沙坪一级水电站;大粒径漂卵石;复杂条件;非通航河道;疏浚;施工技术

中图分类号:TV7;TV52;TV851

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)03-0022-03

Research on Dredging Construction Technology of Non-navigable River under Complex Conditions such as High Velocity and Large Particle Size Boulders and Pebbles

WU Dewu

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

Abstract: In hydropower development projects, good economic benefits can be achieved by the expansion of downstream river channels of hydropower stations to increase water head and increase installed capacity. However, due to complex site conditions such as hydrometeorology and geological strata of river channels, some downstream river channels of hydropower stations do not have the conditions for expansion and excavation. This paper introduces the research on the dredging construction technology of non-navigable river under complex conditions such as high velocity and large particle size boulders and pebbles of the downstream river treatment project of Shaping I Hydropower Station in Dadu River, and puts forward the ideas and methods to solve the technical problems of river dredging under complex conditions, so as to provide reference for similar projects.

Keywords: Shaping I Hydropower Station; Large particle size boulders and pebbles; Complex conditions; Non-navigable river channel; Dredging; Construction technology

1 概述

沙坪一级水电站采用河床式开发,为二等大(2)型工程,总装机容量为 360 MW。其下游河道治理标为电站闸坝下游河道“闸下 0+190 至渠 1+739.36”区间内河床和岸坡的开挖、防护工程的施工,下游河道的治理长度约为 1 549 m,平均拓挖深度约为 3~4 m,较天然尾水可增加装机容量 90 MW。该河道治理段的典型断面底宽 80 m、纵坡综合坡比为 0.07%,整治断面采用复式梯形断面,边坡坡比为 1:1.5~1:2。河道开挖工程量约为 120 万 m³。该工程于 2021 年 11 月 1 日开工,分四个枯水期施工。

该工程位于大渡河流域非通航河道,其河床基础为第四系冲洪积覆盖层,主要为大粒径漂卵石层,厚度为 25.0~34.6 m,开挖料板结严重,部分河段大孤石较多,河道施工期的流量主要由上游枕头坝一级水电站出库流量决定。该电站为日调节,发电由省调决定,出库流量变化较大且难以提前预知,施工期的流量最小值为 350 m³/s,最大值为 3 250 m³/s,河道流速为 2.5~6.0 m/s,最低水位时其水面以下的开挖深度有近 8 m,河道较为狭窄,水深较深,疏浚施工难度极大。因此,正确选用控制水流的方法、开挖机械的组合以及施工时段成为疏浚成败与否的关键,及时进行疏浚施工技术研究很有必要。

收稿日期:2024-03-18

2 河道疏浚施工技术的研究

2.1 疏浚方案的选择

国内外河道疏浚工程较多,但大多数疏浚项目位于通航河道,其施工船舶的组织较为方便,且疏浚开挖多为静水或低流速河道开挖,开挖料以泥土、沙砾石、卵砾石为主;而对于高流速、大粒径开挖料的非通航河道疏浚案例极少^[1-5]。该工程所在的大渡河流域由于水文地质条件复杂,在确保施工进度、质量、安全及成本的前提下尚无可借鉴的成功船挖经验。

根据《水电工程施工机械选择设计规范》NBT 10237—2019 及已有的施工经验,对于大粒径漂卵石河道通常采用铲斗式挖泥船及抓斗式挖泥船配合驳船开挖。由于该工程位于非通航河段,自航船无法通过水路驶达,而且陆地道路亦无法满足自航运输船的需要(道路宽度不具备整船运输的条件,整船分解后再运输至现场安装的方案存在较大的安全风险且成本高昂);通过水下地形测量得知:流量为 350 m³/s 时河床中心线附近的水深为 2~8 m,平均流速为 2.5 m/s,日常流速为 4 m/s,枯期最大流速可达 6 m/s。由于水位与流量变幅大、河水流速高、两岸锚固条件差,采用非自航船时安全风险高、施工难度大、可操作性低。项目部经调研后得知:同流域类似项目采用非自航船开挖效率低、施工成本高,且因非自航船安全性较差,当地政府原则上已不批准在工程流域内非自航船作业的手续。

通过对修建多道丁坝作为开挖作业平台进行河道疏浚施工可行性分析得知:根据最低水位(流量为 350 m³/s)河道治理开挖断面图,该水位时河面的平均水面宽度为 77.6 m,平均水深为 4.48 m,平均开挖深度为 7.9 m,按挖机作业半径 20 m 测算,所需丁坝填筑方量达 76 万 m³。该方量仅为填筑至高程 560 m,仅能满足 1 150 m³/s 流量以下河道的开挖。由于河道水位昼夜变化大的影响(通常流量为 350~2 400 m³/s),丁坝易遭冲毁而造成维护费用高昂、施工成本极大,故其不具备可行性。

结合该工程河道狭窄及其水文特点,项目部最终决定采用大斗容常规臂挖机及长臂挖机作为疏浚机械、利用低水位时段组织施工,先开挖左岸河道以降低河床的整体水位,然后在右岸修建矮

丁坝进一步引导右岸水流至左岸后开挖右岸河道,从而完成了对整个河道的开挖。由可行性分析得知:根据上游枕头坝一级水电站近几年出库流量的统计信息,流量为 350 m³/s 时的一个枯期的平均时长为 631 h,400 m³/s 时的一个枯期的平均时长为 1 300 h,500 m³/s 时的一个枯期的平均时长为 1 642 h,经测算,先开挖完成左岸河道,在较低水位时河床水位下降约 1.5 m,对应 500 m³/s 流量时的河道断面,左右岸分别采用 21 m 的长臂挖机其作业范围可以满足整个河道的开挖需要,因此,最终将河床中心的开挖施工时段确定为 500 m³/s 流量。根据现场实际情况,最低水位时河道的最大开挖深度约为 8 m,所采用的 21 m 长臂挖机的最大开挖深度约为 11 m,其能够满足开挖深度要求,该方案具有可行性。

2.2 疏浚施工方案

项目部最终根据水位流量关系曲线并结合水上水下地形测量及工期要求,在流量为 500 m³/s 以下时组织对河床中心进行开挖,流量为 800 m³/s 以下时组织向河床两岸开挖。由于河床主流偏右岸,因此而首先组织左岸开挖。采用大斗容常规臂挖机及长臂挖机组合开挖,先采用大斗容反铲开挖,对于常规反铲开挖不到的部位采用长臂挖机开挖,常规臂挖机斗容为 2.5 m³ 以上,长臂挖机臂长为 21 m、斗容为 2 m³,利用大斗容反铲及长臂反铲从河床至河岸采用退挖法完成了左岸河道的开挖。左岸开挖完成后,河床水位整体下降,河道主流改至左岸、右岸河床揭露面增加,此时,在右岸修建矮丁坝,其顶宽 2 m,顶高程按 800 m³/s 流量水位控制,利用开挖料修筑,坡比为 1:1.3~1:1.5,填筑长度由右岸河床中心控制,每 200 m 设置一道,通过右岸矮丁坝将水流进一步引导至疏浚后的左岸,右岸水位进一步降低,从而完成剩余河道的开挖。

2.3 施工要点

- (1)通过在反铲长臂上标记开挖深度并配合水下测量,有效地控制了河道出现超欠挖。
- (2)各开挖分区沿开挖河段设立便于观测的水尺,且各开挖工作面设置的水尺不少于一组,将水尺设置在便于观测、水流平稳、影响小和不易被碰撞的地方。
- (3)流量为 800 m³/s 以下时进行河道开挖

(过程根据实际情况略微调整),根据实测流量,上游电站的下泄流量到本标段的时间为 40~60 min,水情流量监测 APP 实时显示上游电站每 3 min 的流量,现场管理人员每 10 min 需关注一次水情变化,建立现场水位与流量的对应关系,结合现场水位尺读数提前进行水情预警,以保障流量大时人员设备及时撤离,确保施工安全。

(4)采取横向由河道内水、陆分界位置向岸坡方向开挖,纵向由上游向下游开挖的顺序。因河道开挖料含水量较大、将其直接装车运输至渣场不能满足当地道路运输管理要求,故对河道内的开挖采用先翻挖至较高的河滩地沥干后再二次开挖装运至指定渣场的方式进行施工。

(5)左岸先行疏通后,右岸低水位时揭露的面积较原始河道大大增加,右岸开挖区域通过设置丁坝进一步引导水流、创造出良好的开挖环境。

(6)对于河道内的大孤石采用破碎锤破碎处理后反铲装车处理的方式进行处理,对河床中难以用挖机开挖上岸的大孤石采用水下挖深填埋的方式进行处理。

(7)现场管理人员在施工作业前首先观察并了解工作面的情况,充分熟悉地形地貌和便道的基本情况,在各开挖区域明确应急撤离路线并标示出撤离路线。

(8)现场管理人员及安全人员必须随时观察流量信息,当流量在 $600\text{ m}^3/\text{s}$ 以下时方可进行正常的开挖作业;流量为 $600\sim 1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时必须做好撤离的准备,根据实际情况随时撤离;当流量超过 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时,所有机械必须转移至安全平台、人员撤离。

(9)配置 40 t 自卸车作为运渣设备,运渣车的数量需根据挖机数量、挖装时间、运输时间综合确定。施工过程中应根据实际工效及工期强度的要求对现场机械设备进行动态调整。

(10)开挖边线及坡比应严格按照设计图纸施工,避免施工造成河岸坍塌失稳;施工过程中必须严格控制超欠挖,必须满足相关规范及设计要求。

(11)临水作业人员必须穿戴救生衣,临水设备必须配置救生圈。施工过程中应配置安全员对临水作业进行实时安全监督。

(12)成立了应急处置组织机构,明确了各岗位人员的职责,制定出有针对性的应急预案并组

织演练。

(13)建立了水情预警机制,每台运输车辆及所有机械操作手均配置了对讲机,以便在水情预警时通知及时撤离。

2.4 方案实施后取得的效果

通过采取先左岸后右岸,右岸修建矮丁坝等方式进行施工期的水流控制,利用低水位时段配置 2.5 m^3 以上斗容的反铲及臂长 21 m、斗容 2 m^3 的长臂反铲进行河道开挖,对河床中难以用挖机开挖上岸的大孤石采用水下挖深填埋的方式进行处理,以及通过水位流量实时监测及现场预报等一系列安全措施保障了现场施工开挖的安全;通过在反铲长臂上标记开挖深度、配合水下测量,有效地控制了河道超欠挖。该方案经过两个枯期的实施,单台常规反铲的开挖强度约为 $3\text{ 万 m}^3/\text{月}$ 、长臂挖机的开挖强度约为 $1.5\text{ 万 m}^3/\text{月}$,其疏浚施工强度能够满足施工进度要求,开挖断面亦满足设计要求,机械设备运行安全可靠,未发生安全事故,施工成本得到了有效控制。项目部将所取得的经验推广至邻近标段,适用性较强。

2.5 经济效益

通常类似河道的开挖采用非自航铲斗船,但在确保进度、质量、安全及成本的前提下,高流速、大粒径开挖料的非通航河道采用非自航铲斗船尚无借鉴的成功经验。经调研该流域中的类似工程:枕头坝一级水电站疏浚采用 $40.0\text{ m}\times 12.0\text{ m}\times 2.2\text{ m}$ 非自航疏浚船作为水上平台,在该平台上配置一台 CAT336 反铲及一个抓斗进行水下开挖,其开挖深度为 4 m,配备两台 10 m^3 泥驳船运渣,平台船一班 8 人,两班倒,两个枯期开挖约 15 万 m^3 。平台船及泥驳船共花费 158 万元,船工及动力费为 30 万/月,完工后平台船折旧处理费约为 14 万元。该工程进场后根据市场调研、联系造船厂进行疏浚平台船初步设计并报价,其报价与枕头坝一级水电站相近,若新造自航船其建造费用为 600~700 万元,代价过高。因此,从施工成本考虑,采用该工程疏浚方案较常规非自航船施工节省成本约 $38\text{ 元}/\text{m}^3$,经济效益明显。

3 结 语

笔者依据沙坪一级水电站下游河道治理工程,针对高流速、水位变动大且频繁、大粒径漂卵

(下转第 36 页)

龄期时的膨胀率。

试验结果分析:采用北京厚德交通“HD—THJ”调和剂和四川恒高抑制剂均能对碱活性骨料进行有效的抑制,其掺量为 15%左右时抑制效果最佳。

4.7 粉煤灰和聚丙烯纤维双掺

笔者采用固定聚丙烯纤维的掺量(1.0%)和不同的粉煤灰掺量进行了组合碱骨料反应抑制试验,粉煤灰采用四川神华天明发电有限公司生产的 F 类Ⅱ级粉煤灰,当粉煤灰掺量分别为 20%、25%和 30%时,测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期时的膨胀率。

试验结果分析:采用粉煤灰与聚丙烯纤维双掺组合后,通过数据分析得知:双掺组合中的聚丙烯纤维基本不产生作用,主要是粉煤灰的抑制效果发挥作用。

5 结 语

笔者通过试验分别掺入锂盐、粉煤灰、火山灰、硅灰、外加剂、聚丙烯纤维材料对混凝土碱骨料反应进行了抑制试验数据的整理分析与研究,得出以下结论:

(1)按照参考文献[3]中的控制要求,在粉煤灰中的游离氧化钙含量符合相关规范要求的条件下,F 类粉煤灰、火山灰、硅灰和外加剂材料能够对碱骨料反应进行有效的抑制,而锂盐(碳酸锂)和聚丙烯纤维单独使用时几乎没有抑制作用。

(2)F 类粉煤灰和火山灰对碱骨料反应抑制的效果与其品质成正比:Ⅰ级灰优于Ⅱ级灰;其掺

量越大,抑制效果越明显。

(3)调和剂和抑制剂能够对碱活性骨料进行有效的抑制,其掺量越大,抑制效果越好;掺量的大小与外加剂品质和原料的有效浓度有关。

(4)硅灰能够对碱骨料反应进行有效的抑制,其掺量越大,抑制效果越好;但硅灰掺量太大对混凝土的流动性影响较大。

通过对本次试验取得的检验结果进行分析得知:应优先推荐选用粉煤灰对碱骨料反应进行有效抑制;其次,选用碱骨料反应抑制外加剂对其进行抑制。在实际工程项目应用中,可以根据成本测算择优选择性价比较高的抑制方案。在绰斯甲水电站工程抑制碱骨料反应试验成果中,其成果报告得到了相应验证,所取得的试验检验分析结果具有较好的指导意义和实际操作价值,可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 崔博涛,邓良超,董瑞靖,等. 阜康抽水蓄能电站骨料碱活性及抑制试验研究[J]. 四川水泥,2020,55(12):327-329.

[2] 程恒. 高拱坝混凝土碱-骨料反应变形控制方法[P]. 中国专利:CN202110526816. 8,2021. 07. 30.

[3] 水工混凝土砂石骨料试验规程:DL/T 5151-2014[S].

[4] 徐文峰. 一种混凝土骨料抑制碱活性的方法[P]. 中国专利:CN201910326939. X,2019. 07. 16.

[6] 朱盛胜,白银. 水泥自身所含碱和外加 NaOH 对碱骨料反应影响[J]. 甘肃水利水电技术,2011,55(2):21-23.

作者简介:

陈 行(1985-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作. (编辑:李燕辉)



(上接第 24 页)

石等复杂条件下非通航河道疏浚存在的施工难点进行研究,结合现场实际情况提出了合理的解决方案,通过采取先左岸后右岸、右岸修建矮丁坝等方式进行施工期的水流控制,利用水情流量监测系统以及电站历年下泄流量大数据进行分析得知:在流量为 500~800 m³/s 时段,利用大斗容反铲及长臂反铲开挖,采取横向由河道内水、陆分界位置向岸坡方向开挖,纵向由上游向下游开挖的顺序,其疏浚进度、质量、安全及成本控制良好,所取得的经验可为后续类似工程施工参考。

参考文献:

[1] 王娜,孔卫东. 河道清淤施工方案设计[J]. 河北工程技术高等专科学校学报,2010,21(4):13-14.

[2] 韦洪舰. 河道清淤疏浚施工现状及常见问题的分析[J]. 低碳世界,2016,6(33):88-89.

[3] 徐海波,杨兴明. 河道疏浚施工技术与管理[J]. 山西建筑,2021,47(16):175-176,179.

[4] 蔡振邦. 航道疏浚工程的技术措施探讨[J]. 中国新技术新产品,2016,24(15):120-121.

[5] 李长雨. 河道疏浚技术在河道整治中的应用研究[J]. 黑龙江水利科技. 2022,50(2):172-174.

作者简介:

巫德武(1991-),男,广西宁明人,项目总工程师,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)