

# 国际水电站改扩建项目建设重难点探讨

## Key Points Discussion in International Hydropower Reconstruction and Extension Project

徐涛全

Taoquan Xu

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司  
中国·四川 成都 611130  
Chengdu Engineering Corporation Limited,  
Chengdu, Sichuan, 611130, China

**【摘要】**以实际工程为案例,详细梳理了国际水电站项目改扩建项目在勘测设计、施工布置、施工技术等方面存在的重难点,并针对这些重难点提出了实际解决措施,可为类似项目建设提供借鉴。

**【Abstract】**This paper takes the actual project as study objects, and described in detail the difficulties and key points in the detail design, construction layout and construction technology of the international hydropower project reconstruction and extension projects, and puts forward practical solutions for these difficult points, which can provide reference for similar project construction.

**【关键词】**国际工程;水电站;改扩建项目;建设重难点

**【Keywords】**international project; hydropower station; reconstruction and extension project; construction key points

**【DOI】**10.36012/peti.v1i2.833

## 1 背景介绍

以笔者参与过建设的两个国外大型水利水电工程改扩建项目经验为总结。

其一为苏丹罗塞雷斯大坝加高工程(以下简称罗赛项目):罗塞雷斯大坝位于苏丹首都喀土穆东南 550km 处的青尼罗河州首府达玛津市。大坝为混合坝型,河床坝段为混凝土支墩坝(坝后式厂房),河床坝段长 1030m,最大坝高 57m,左右岸为土石坝,左岸土石坝长度约 11km,右岸土石坝长度约 4km,原有水库库容为  $3 \times 10^9 \text{m}^3$ ,水电站装机容量为  $2.1 \times 10^6 \text{kW}$ 。大坝工程于 1960—1967 年期间由意大利英波吉罗公司总承包建成,工程主要用于为水库和喀土穆之间的区域灌溉提供用水并兼顾发电。大坝加高工程是在原有大坝基础上整体加高 10m,使得水库库容增加至  $7.4 \times 10^9 \text{m}^3$ ,土石坝段因坝高增加的需要,需向左右岸延长,并向下游拓宽。加高后的坝体全长由原来的 13.5km 增加至 25.1km,成为世界上最长的大坝。大坝加高工程于 2008 年年初开工(同期国内丹江口大坝加高工程开工),至 2012 年末实质性完工<sup>[1]</sup>。

其二为巴基斯坦塔贝拉四期扩建工程(以下简称塔四项目):塔贝拉水电工程位于巴基斯坦首都伊斯兰堡西北部 113km 处,工程主要用于灌溉、发电、防洪等,包括主坝和副坝,

主、副溢洪道,灌溉隧洞,引水隧洞和发电站,主坝最大坝高 143m,总填筑方量为  $1.2 \times 10^8 \text{m}^3$ ,是迄今为止世界上填筑体积最大的土石坝。该项目始建于 1968 年,1976 年正式发电。塔贝拉水电站是巴基斯坦最重要的水电站之一,是巴基斯坦首都伊斯兰堡最重要的供电来源,其地位相当于中国的三峡工程。塔贝拉水电站自建成以来累计进行过三次扩容,截至目前,前三期水电站厂房总计装机 3478MW。因巴国电力需求上升非常快,全国电力缺口相当大,巴基斯坦水电开发署决定对塔贝拉水电站再次进行扩容,将右岸最后一条引水灌溉隧洞改造为发电洞,并新建一座装机 3 台单机 470MW 的水力发电站,使总装机容量增加至 4888MW。塔四项目于 2013 年末开工,2018 年 2 月 26 日已完成新建发电厂房首台机组投产发电。

两项工程均为在原大坝和电站的基础上进行的改建和扩建工程,且是所在国关乎国计民生的重点工程,项目建设重难点有相似性,提炼总结这两个项目建设的经验和重难点,为后续类似项目建设提供参考和借鉴。

## 2 勘测设计

不同于中国水电工程建设模式,国际工程往往需要承包商参与工程的部分设计工作(如金属结构详细设计、施工图详细设计等),在这两个项目上,承包商在详细设计阶段遇到了

如下难点:

①测量参考系的问题:由于是在已建成的建筑物基础上进行的改扩建,新建筑物与原有建筑物在测量放样方面需匹配原有测量控制系统,对原测量参考系转换为现行测量参考系,详细设计阶段需依赖现场实测数据对建筑物布置参数做调整,以便与现有建筑物准确连接;如罗赛项目在建设阶段曾因为高程系的调整,导致新设计建筑物现场测量放样无法与现有建筑物参数匹配;塔四项目因引水隧洞变形沉降等原因导致新建压力钢管放样无法与现有隧洞轴线准确对接。针对该问题,实际建设过程中,两项目均对项目业主方提供的测量控制点做了复测和校核,并重新建立新的测量控制网,利用新的测量控制网对整个项目新建部分重新测绘原始地形图,详细设计在新测绘的地形图上开展。

②与原建筑物参数匹配的问题:改扩建建筑物需结合原建筑物竣工图参数调整并适应原有建筑物,设计方案限制条件较多;如罗赛项目新建右岸取水口,设计方案需结合原有大坝预留取水口位置和尺寸;又如塔四项目新建3号隧洞和4号隧洞进水塔,需将进水塔与原有引水隧洞相连接,进水塔位置和尺寸同样必须结合原有隧洞设计参数并与原有建筑物尺寸匹配;针对该问题,两项目均对原建筑物重新做了竣工测绘,并将成果反应在新测绘的地形图上,对轴线和建筑物参考线重新做了拟合处理,使之满足测量和放样精度要求<sup>[2]</sup>。

### 3 施工布置

#### 3.1 施工场地

由于是改扩建项目,原工程建设期间遗留的施工临时场地仍具备使用条件,如罗赛项目原大坝建设期间的承包商营地、砂石骨料加工厂、混凝土拌和系统等场地仍具备良好的使用条件;又如塔四项目,主大坝下游场地曾作为塔贝拉二期和三期扩建工程的主要施工临时设施场地使用,在四期扩建中仍然可以非常好地利用作为砂石骨料加工厂、混凝土拌和系统、金结加工厂等设施用地。因此,在工程建设前需做好现场踏勘,并向业主方多收集和了解原工程建设期间的各施工临时场地位置,以便充分利用原有场地和设施,避免盲目布置临时场地。

#### 3.2 施工期水流控制

改扩建项目对于施工期水流的控制难点相对新建期间要更复杂,受制于现有建筑物,选择合适的施工导流方式至关重要。

罗赛项目在对深孔泄洪闸改造和土建结构物修复施工中,需在深孔泄洪闸下游新建围堰以便控制下游水流,且不能影响汛期尼罗河流域统一的泄洪规划,该部位采取分三个枯

水期(11月初至次年6月底)完成改造和修复任务,因此,该部位的围堰需填筑和拆除三次,且施工时间较短(确保深孔泄洪闸修复的工期)。泄洪闸下游由于长期受到泄洪冲砂的影响,该部位水深达13m以上,围堰需在建设期的11月初建成并在下一年6月下旬拆除完成。

塔四项目的新建四期发电厂房位于原3号和4号灌溉隧洞泄洪闸出口部位,施工期间受电站下游尾水的影响,需新建围堰挡水才能为新建厂房提供施工条件。该部位最大水深达33m以上,如采用常规土石围堰,其填筑量将非常巨大,且受场地限制,围堰放坡后将占据部分新建厂房基坑,合理的围堰形式显得非常关键。

罗赛项目实际修建围堰采用当地常见的黑黏土作为围堰填筑材料,围堰形式为均值土围堰,采取加宽围堰顶部,短时间内投入大量大型施工机械快速进占法施工的方式完成围堰填筑,汛期来临前快速拆除。

塔四项目受场地限制,实际采用了直腹式钢板桩围堰,施工过程中攻克了深水钢板桩围堰施工技术难题和超深高喷防渗墙施工技术难题。

#### 3.3 料场

两项工程均在建设时选择了当地材料作为筑坝材料,且坝体体积庞大,几乎将项目周边可利用的材料开采殆尽,因此,在两项工程改扩建施工期,面临筑坝材料缺乏的难题。

罗赛项目加高工程土方和石方开挖工程量约 $5.25 \times 10^6 \text{m}^3$ ,土方和石方填筑约 $1.7466 \times 10^7 \text{m}^3$ ,混凝土浇筑约 $1.522 \times 10^6 \text{m}^3$ ,考虑土石方平衡调配,开挖料的利用后,仍需开采大约 $1.5 \times 10^7 \text{m}^3$ 的土料和石料。工程开工后承包商和项目咨询工程师第一时间着手在项目周边寻找新的料源,开展大量勘探试验工作,为后续填筑工程做好了充分的料源准备。

塔四项目扩建工程主要工程量如下:土方开挖大约 $3.05 \times 10^5 \text{m}^3$ ;石方开挖约 $1 \times 10^6 \text{m}^3$ ;土石方填筑约 $8.39 \times 10^5 \text{m}^3$ ;混凝土浇筑约 $4.31 \times 10^5 \text{m}^3$ ;考虑开挖料的利用,仍需另行寻找约 $1 \times 10^5 \text{m}^3$ 的填筑料。该项目同样遇到工程现场因原工程建设已将能够开采的料场开采殆尽而需要重新寻找新的料源。而该项目有一项非常重要的混凝土结构物拆除约 $2.69 \times 10^5 \text{m}^3$ ,经过现场试验和与项目咨询工程师的技术沟通,最终将缺少的填筑料采用混凝土拆除后的材料用于填筑工程,达到了物尽其用的目的,节省了工程成本<sup>[3]</sup>。

### 4 施工技术

#### 4.1 建(构)筑物拆除与建筑物保护的技术难点

罗赛项目大坝坝顶加高前,需按设计要求对部分结构物

予以拆除,出于对现有大坝安全的考虑,施工过程中不允许采用液压破碎锤等大功率设备用于拆除,仅能采用风镐等工具人工拆除。

罗塞大坝新建右岸渠首工程,渠首坝段下游设计有混凝土消力池底板,为了完成渠首坝段下游消力池底板施工任务,必须先对渠首坝段下游施工区域内的坝基进行开挖清理。咨询工程师的设计开挖图纸给出了坝基开挖范围以及开挖的深度、坡比大小,整个基础开挖长 77m,宽 39.55m,根据对现场原始地形进行的测量,结合渠首坝段地质探坑的探测结果,渠首段基础开挖量为:覆盖层约  $2 \times 10^4 \text{m}^3$ ,岩石约  $1 \times 10^4 \text{m}^3$ (开挖区域均为中等风化的片麻岩,岩石坚固系数  $f=7\sim 10$ )。该项目技术要求中明确规定了在永久工程及设施或其他结构物 10m 范围内不允许爆破作业,因此,基础开挖过程中只能在距离原大坝 10m 以外的部位采取控制爆破的方式开挖,10m 内的均采用液压破碎锤开挖完成(尽管效率低)。实际开挖过程中为确保原大坝和电站厂房的安全,进行了爆破前的质点振动速度核算,并通过调整单响药量和调整梯段延时的方式,达到控制爆破质点振动速度的目的。

塔四项目为建设 4 期扩建规划中的新厂房、新压力钢管的建基面,需要对原有的 3#、4# 隧洞出口部位的混凝土结构进行拆除,主要包括原 4# 隧洞出口泄洪道及挑流鼻坎的拆除、原 4# 隧洞出口右翼墙的拆除、原 3# 隧洞出口消力池底板的拆除、原 3#、4# 隧洞中隔墙的拆除、原 3#、4# 隧洞出口弧门控制塔的拆除、原 4# 隧洞出口弧门附属结构的拆除、原 4# 隧洞出口压力钢管及二岔管外包混凝土的拆除等,拆除部位最近距离现有前 3 期正常发电的发电厂房仅 35m。

塔四项目混凝土结构物拆除主要采取了如下措施:

①梯段爆破深度选择与混凝土原施工分层层厚一致,即炮孔不穿透混凝土施工缝;若炮孔穿透混凝土施工缝,则炮孔内宜采用分段装药形式,除在炮孔孔口处堵塞外,还应在混凝土层间分缝处堵塞;

②尽量创造好的临空面条件,使爆破效果更好;

③经调整优化,将钢筋混凝土拆除的炸药单耗控制在  $0.7\sim 1\text{kg}/\text{m}^3$ ,无筋混凝土拆除的炸药单耗控制在  $0.4\sim 0.7\text{kg}/\text{m}^3$ ,碾压混凝土拆除的炸药单耗控制在  $0.3\sim 0.4\text{kg}/\text{m}^3$ ;

④混凝土预裂爆破采用液压钻钻孔,孔径为 76mm,孔距 70cm,采用空气间隔不耦合装药形式,药卷直径为 32mm,线装药密度控制在  $230\sim 260\text{g}/\text{m}$ ;

⑤采用经验公式  $v=k\alpha(Q^{1/3}/D)^\alpha$ ,对现有厂房机组中心处的爆破振动进行估算,通过爆破试验逐步调整装药量,达到控制爆破的效果;

⑥通过其他非爆破手段,如液压破碎锤、绳锯切割、静态破碎剂等均在无法使用爆破的部位达到了良好效果。

在上述建(构)筑物拆除过程中,均采用了控制爆破技术,并在每次爆破前均安装爆破振动监测仪,用以监测爆破质点振动速度,采用质点振动速度作为爆破控制的参数,采取减小单响药量,多梯段延时爆破的方式严格使每次的爆破质点振动速度控制在设计范围内<sup>[4]</sup>。

## 4.2 新老混凝土结合的技术难点

罗塞项目设计在现有大坝基础上整体加高 10m,原混凝土大坝为支墩坝,单纯加高坝顶无法满足大坝结构稳定,因此,需要对原大坝支墩加厚加宽。如何使得新浇筑的混凝土与原支墩混凝土结构达到共同承担新增水头荷载的目的,就需要采取工程措施使得新老混凝土良好结合。因原大坝建于 1967 年,大坝加高工程始于 2008 年,原大坝混凝土碳化现象严重,因此,需要对新老混凝土结合部的老混凝土表面做清除处理(设计拆除厚度达到 50cm)。实际施工过程中采用了人工手持风镐拆除结合高压水枪喷射处理的方式对混凝土结合面处理。为确保新浇筑混凝土与原支墩坝结合良好,结合面还预先安装了锚杆(筋)并对新浇筑混凝土采取温控措施(严格控制混凝土水化热,使得最大温升不超过  $30^\circ\text{C}$ ),防止新老混凝土层间结合出现开裂。

塔四项目在新建取水口竖井与原引水隧洞结合部位,同样采取了新老混凝土结合控制措施(温控措施和预先施工锚杆相结合),达到了较好的效果。

## 5 结语

改扩建水电站项目受原有大坝、电站建筑物等的制约,相比常规新建水电站项目,其难度和复杂程度均要高得多,因此,在项目投标阶段需考虑制约因素对工程造价的影响(最好是收集原工程竣工图纸资料,针对改扩建项目特点提出工程措施并计算在工程造价中),在实际工程施工过程中需要因地制宜地采取合理的工程措施,避免和减少施工活动对原有电站建筑物的影响。

### 参考文献

- [1]彭明.罗塞雷斯大坝加高工程之 KENANA 渠首开挖安全控制技术[J].四川水力发电,2016,35(6):33-36.
- [2]周厚贵.大坝加高混凝土施工技术研究综述[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2015,36(5):23.
- [3]蒲海琴.苏丹罗塞雷斯大坝加高工程项目均质黑黏土围堰的设计与施工[J].水利水电施工,2016(4):5-7.
- [4]沈俊峰,拓瑜,杨合谊.塔贝拉水电站四期扩建项目复杂环境混凝土拆除技术[J].四川水力发电,2018,37(3):136-140.