

# TB 水电工程设计及技术管理创新与实践

张天伟, 刘金山, 李志, 孙颖

(华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局, 云南 迪庆 674608)

**摘要:** TB 水电工程地处滇西北峡谷地区, 自然条件差, 地质条件复杂, 技术难度大, 施工战线长, 工期紧, 高峰期重叠, 设计周期短, 技术要求高, 要高质量建成 158 m 碾压混凝土重力坝工程, 需要建设单位精心策划和组织。通过对工程建设过程中的设计及技术管理制度、管理模式、科研策划和攻关、设计优化及其他相关工作的回顾, 对项目的设计及技术管理创新与实践过程进行了分析总结, 可为国内外类似项目的管理提供借鉴。

**关键词:** 可研深化研究; 设计优化; 管理创新; TB 水电工程

**中图分类号:** TV51

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7647(2024)S1-0006-07

**Innovation and practice in design and technical management of TB Hydropower Project//ZHANG Tianwei, LIU Jinshan, LI Zhi, SUN Ying** (Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc., Diqing 674608, China)

**Abstract:** The TB Hydropower Project is located in the canyon area of northwest Yunnan, with poor natural conditions, complex geological conditions, high technical difficulties, long construction lines, tight schedules, overlapping peak periods, short design cycles, and high technical requirements. To build a 158 m roller compacted concrete gravity dam project with high quality, the construction unit needs to carefully plan and organize. By reviewing the design technology management system, management mode, scientific research planning and breakthrough, design optimization, and other related work during the construction process of TB Hydropower Project, the innovation and practical process of project design and technology management has been analyzed and summarized, which can provide reference for the management of similar projects at home and abroad.

**Key words:** feasibility study deepening research; design optimization; management innovation; TB Hydropower Project

TB 水电工程为堤坝式水电枢纽工程, 由碾压混凝土重力坝、坝身泄洪建筑物、右岸地下引水发电系统等主要建筑物组成。大坝坝顶高程 1 740 m, 最大坝高 158 m, 水库正常蓄水位 1 735 m, 装机容量 140 万 kW (35×4 万 kW), 属 I 等大(1)型工程<sup>[1]</sup>。

## 1 工程建设难点及特点

**a.** TB 水电工程坝址区吉岔辉长岩分布范围广、储量大, 拟作为混凝土骨料。辉长岩首次用作碾压混凝土骨料, 需深入研究可行性、合理性, 确定技术可靠、经济合理的混凝土配合比<sup>[2]</sup>, 以保证混凝土质量和耐久性满足结构设计要求。

**b.** 枢纽区两岸山体陡峻, 无缓坡及平台, 沿江两岸可利用场地匮乏, 且左岸近坝区域有 S0 滑坡体, 无合适布置场地, 人工砂石骨料加工及混凝土拌和系统无合适场地, 施工场地布置困难。

**c.** 筹建工程、准备工程交叉施工, 导流洞工程工期紧张, 截流目标实现难度大。

**d.** 大坝施工工期仅 19 个月, 月平均上升高度 8.3 m, 高峰期月上升高度达 15 m, 且高峰段持续时间长, 在保证质量的前提下, 做好大坝混凝土连续长时间高升层快速施工, 是本工程大坝碾压混凝土施工的难点。

**e.** 工程区属亚热带气候, 坝址河谷属典型的干热河谷, 气候复杂多变, 干湿季节分明, 旱季跨越冬、春、夏季, 日照强烈、空气干燥, 风季长, 且河谷风大<sup>[3]</sup>, 碾压混凝土大坝采用不设纵缝的大体积混凝土, 需要连续高升层、高强度快速施工, 大坝温度控制和防裂要求高。

**f.** 工程枢纽区右岸上游近坝区的 BT1 崩塌堆积体总方量约 222.78 万 m<sup>3</sup>, S0 滑坡体位于左岸下游, 总方量约 260 万 m<sup>3</sup>, 均处于近坝库岸区, 其稳定

**基金项目:** 华能集团 TB 水电站施工图阶段第一批重大科研项目 (HNKJ55-H87)

**作者简介:** 张天伟 (1985—), 男, 工程师, 主要从事水电工程建设管理和技术管理工作。E-mail: 2852000960@qq.com

性至关重要。如何选择更安全可靠、经济合理的治理方案,确保治理达到预期效果是一大难点。

## 2 建设管理要求

TB 水电工程具有工程建设环境复杂、工程技术难度大、工程建设标准高等特点。在中国华能集团有限公司(以下简称“集团公司”)“高质量、高速度、低造价”基建方针和“安、快、好、省、廉”基建管理总体要求下,落实华能澜沧江水电股份有限公司(以下简称“公司”)“高标准、严要求、重效益、敢创新”的管理理念,遵循“规范有序、协调健康、价值再造”的原则,坚持服务集团公司战略、领先行业发展定位,以建设“六零”工程为目标,争创一流企业,不断提升项目核心竞争力,实现高质量发展。这对工程设计及技术管理以及科研创新工作提出了更高的要求,也承担着更大的责任。

a. 高标准的工程建设目标,要求强化设计管理提高设计质量和效益。TB 水电工程自工程建设伊始,建管局就确定了将工程建设成为精品工程、创国家优质工程金质奖的建设目标。工程设计水平、施工技术水平要求高,需土建、金结、机电等多专业协同,避免专业之间的设计冲突或遗漏;根据工程进度适时进行设计优化,节约工程投资。工程建设的高标准,要求建管局进一步强化设计管理水平,采用先进的设计理念和手段,不断提升 TB 水电工程建设管理规范化、标准化、专业化、精细化水平,为工程创优保驾护航。

b. 工程建设技术难度大,需要推进科研项目管理,支撑生产建设的需求。TB 水电工程坝高 158 m,是 150 m 级高碾压混凝土坝,坝址区地质条件复杂,近坝库岸分布有堆积体、滑坡体等不良地质体,辉长岩首次应用于主体工程骨料等问题需要逐一进行研究论证。工程建设面临着大型地下洞室群开挖、大体积不良地质体处理、高陡边坡岩体稳定、大体积混凝土温度控制、强震区结构抗震、泄洪消能、生态保护及植被恢复、高落差鱼类过坝措施等技术难题。这要求建管局重视科研管理工作,实施重大科研项目,联合科研院所进行技术攻关,为工程建设提供强有力的技术支撑。

c. 高难度的现场施工组织,需要完善施工技术管理,确保施工安全质量和进度。TB 水电工程地处高山狭窄河谷区,工程枢纽布置紧凑,大坝下游两岸山体陡峻,无缓坡及平台,沿江两岸可利用场地匮乏,且左岸近坝区域有滑坡体,无合适布置场地,场内施工道路、人工砂石骨料加工及混凝土拌和系统与有用料场无合适场地,布置困难。现场施工组织

难度极大;工程工期紧、任务重,面临高山峡谷区高碾压混凝土重力坝快速施工的难题,而且施工质量要求高。大坝混凝土于 2022 年 5 月底开始浇筑,2023 年 12 月全线浇筑至坝顶高程,含基础处理和渗控工程、坝身孔洞及金属结构安装,总工期 19 个月,坝高 158 m,大坝碾压混凝土施工平均月上升高度达 12 m,高峰时段达到 15 m 以上,需保持连续高强度混凝土浇筑,才能实现进度目标。对比国内同类工程,达到领先水平。施工组织方案除了需要满足工期进度要求外,还要满足高标准的施工质量要求。这要求建管局建立一套完备的施工技术管理体系,保证施工方案从策划、咨询、评审、实施到评估的完整性,确保现场施工的质量、进度和安全。

d. 复杂环境下安全管理,需要完善的配套体系,确保施工安全和工程安全。由于筹建工程和准备工程同期开展,导流洞与左岸 5 条场内道路同时施工,上、下、前、后立体交叉,施工干扰大、安全隐患突出、道路保通难度大,影响导流洞工程建设;另外,F6 断层与洞线交角较小,进出口卸荷及断层发育部位、导流隧洞从 S0 滑坡体影响区外侧穿过,洞段围岩稳定性差,对隧洞施工安全、成洞安全影响较大。这要求建管局采取一系列强有力的技术措施和安全措施,保证施工安全。

## 3 设计及技术管理的组织及实施

### 3.1 建立健全管理制度体系

为保证建管局各项设计及技术管理工作有据可依、规范运行,根据集团公司、公司各项技术管理制度和《勘测设计合同》,建管局制定了一套较为完善的管理制度,包括《设计管理实施细则》《设计优化及合理化建议奖励实施细则》《工程变更管理实施细则》《科技工作管理实施细则》。通过建章立制,规范了工作管理流程,明确了各方权利义务,强化了各项管理标准,落实了考核激励措施。

建管局建立了由总工程师牵头、局领导及有关部门负责人参与、工程技术专责具体执行的设计及技术管理体系;在工程建设的各个重要阶段成立了局领导为负责人的技术指导机构。建立了常态化的设计及技术管理会议制度,定期召开季度科研工作会、季度设计考核会、月度设计联络会、设计周例会等会议,并根据项目进展及技术评审需要及时组织召开科研评审会、专题咨询会、技术专题会等,在设计科研管理中充分发挥集体决策和商议制度的优势。

建管局在设计及技术管理过程中注重强化考核工作,形成了“周督促、月检查、季考核、年总结”的

检查考核机制。

3.2 积极探索技术管理模式创新

a. 建管局在设计及技术管理过程中,逐步形成了“业主主导、多方参与”的技术管理模式。“业主主导”具体表现为业主牵头组织,负责全局规划、重大决策以及组织协调;“多方参与”包括设计单位、施工单位、施工监理、“四大中心”以及外部咨询专家或咨询机构等。

b. 建管局超前介入设计优化工作。分两阶段开展设计优化,在可研批复后工程正式开工建设前,组织开展可研深化研究。进入施工详图设计阶段,组织对招标方案、施工详细设计等进行进一步研究和优化,进一步提升工程建设的安全水平、质量和效益。

c. 结合重大科研试验和智能建造在水电工程建设中的全面应用,创立了“1+3+N”的科技创新与智能建造管理系统,有效地促进了科研项目的实施及科研成果和智能建造系统的推广应用。

d. 为加强工程质量管理、保证施工质量,建管局设立了由试验中心、物探中心、测量中心、安全监测单位构成的工程建设“四只眼睛”。制定了《提升实物工程质量打造 TB 水电工程四只眼睛实施方案》,明确职责与工作内容,形成长效工作机制,充分发挥“四大中心”的专业优势,为解决工程建设有关问题提供了科学的支撑和决策依据,切实提升工程实物质量。

e. 建管局在重大方案审定、重要阶段验收、重大技术研讨等工作中,依托水规总院、科研院所、公司等单位的知名专家积极开展技术咨询工作。例如,邀请水规总院专家组对 TB 水电工程八个方面的重大技术问题进行咨询,引入相关专家开展了绿色智慧砂石加工系统、大坝施工组织设计等重大方案的咨询。建管局还邀请马洪琪院士团队对工程建设技术问题进行指导。

f. 结合建管局智能建造管理平台,建立设计管理系统,引入电子签名和签章系统,实现设计文件线上流转,并直接生成电子设计文件,可实现电子档案一键归档。

3.3 策划实施重大科研项目

建管局坚持提前策划的原则,工程建设之初就积极开展设计深化研究工作,同时结合工程特点开展重大科研项目策划。在此基础上建管局每年征求设计院、科研单位、参建单位及咨询专家组意见,提出下一年度科研工作计划。建管局按照“分级管理”的原则,积极配合公司开展重大科研项目的策划和申报工作,并严格按照公司科技项目管理办法进行管理。对于建管局权限范围内的现场科技项

目,由设计单位等提出立项申请后,按照建管局科技工作管理实施细则进行立项决策,并对项目过程管理及结题验收进行严格把控。

在公司牵头、指导下,建管局共组织策划了 3 项重大设计变更和 6 项重大科研试验项目。重大设计变更包括取消古松石料场、总工期调整、优化库区堆积体治理措施等;重大科研试验项目包括大坝智能建造关键技术研究、地下工程施工智能动态管控技术研发与应用、绿色智慧砂石加工系统关键技术研究与建设、高碾压混凝土重力坝辉长岩骨料应用关键技术研究、峡谷河段高重力坝泄洪消能及雾化深化研究、下泄水温影响研究等。目前部分科研项目已取得研究成果,并很好地指导了工程建设现场施工和设计优化工作。

通过科研项目的实施,不仅满足了现场技术需求,还掌握了一批核心技术和专利成果。按照业主与科研单位知识产权共享的原则,目前已取得发明专利 11 项(包括海外专利 1 项)、实用新型及外观专利 67 项、软件著作权 11 项。

在此基础上,建管局积极倡导各参建单位申报各类奖项,获得第三届中央企业熠星创新创业大赛优秀奖、2022 年度中国岩石力学与工程学会科学技术奖一等奖、云南省电力科技创新成果一等奖、第三届工程建设行业 BIM 大赛一等奖、2022 年度集团公司科学技术进步奖二等奖、华能集团 2022 年度职工技术创新成果一等奖、电力建设工程智慧工地管理二等成果等科技创新奖项 30 余项。

3.4 创新设计及技术管理模式

3.4.1 超前开展可研深化研究

TB 水电工程地处滇西北峡谷地区,条件艰苦,工程建设难度高,征地移民工程量大,成本高,经济效益指标低,市场竞争力较差。为提高项目市场竞争力和财务可行性,在工程正式开工建设前,建管局组织开展可研深化研究。以可行性研究设计成果为基础,在确保工程安全性和功能性的前提下,结合工程实际条件、可研审查意见和项目核准时的评估意见,对主体工程结构设计、BT1 堆积体处理、施工导流、料源规划和施工总布置、环水保总体设计、移民安置组织设计等方面开展深化研究工作。

a. 通过对 BT1 堆积体处理措施、厂房跨度进行深化研究和优化设计,并通过对基本地质条件的复核分析和主体建筑物的深化设计,对可研设计时有关地质缺陷处理及附属建筑物预估工程量进行了复核,在确保工程安全性和功能性的前提下,尽可能精准计算工程量,达到较精准地概算投资的目的。经优化,主体工程共减少土石方明挖 31.85 万 m<sup>3</sup>、石

方洞挖 3.15 万 m<sup>3</sup>、土石方井挖 4.7 万 m<sup>3</sup>、混凝土 22.15 万 m<sup>3</sup>,节省钢筋 1.2 万 t、锚索 992 束等。

b. 结合分标情况对大坝缆机布置进行优化,缆机不覆盖电站进水口范围,减少缆机覆盖范围,相应地缆机平台长度缩短 56.73 m。同时调整了缆机平台边坡和坝肩开挖支护设计;对坝基及下游消能区地质条件进行了深入分析研究,优化了坝基地质缺陷处理、下游岸坡防护及河道治理措施。结构设计方面,主要对大坝和坝顶附属结构及建筑物(坝顶加宽拱形支撑、坝顶防浪墙、坝顶公路及交通桥等)进行了深化设计。通过优化共减少土石方开挖 24.5 万 m<sup>3</sup>,减少坝基缺陷处理混凝土 2 万 m<sup>3</sup>,减少其他混凝土 12.7 万 m<sup>3</sup>。

c. 输水发电系统结构设计深化研究过程中,对引水隧洞衬砌范围及配筋参数进行了复核和优化,根据规范要求对引水隧洞钢衬段外包混凝土厚度和混凝土参数进行了优化调整,同时根据钢衬抗外压稳定计算成果,减小加劲环工程量。通过优化节省钢筋 4700 t、钢衬钢材 138 t。

d. 从设备布置、方便运行、主厂房安全性及经济性方面综合考虑,对主厂房跨度进行优化,压缩厂房上游侧宽度 0.5 m,开挖跨度由原可研审定方案的 26.1 m 缩减至 25.6 m。由此减少厂房石方洞挖约 1.74 万 m<sup>3</sup>,减少混凝土约 1.59 万 m<sup>3</sup>,节省钢筋约 1088 t,并减少了部分支护工程量。

e. 对近坝库岸的 BT1 堆积体、S0 滑坡体等不良地质体和工程边坡开口线以外的自然边坡稳定安全性进行了深化研究。将 BT1 堆积体治理方案由可研的“2 排抗滑桩+7 排预应力锚索”优化为“1 排抗滑桩+12 排预应力锚索”的布置。对 S0 滑坡体治理,通过类似工程经验对比,并结合模型试验水流流速分布,将贴坡混凝土厚度由 1.5 m 优化为 1.0 m。对工程边坡开口线以外的自然边坡进行了稳定安全分析,对施工区范围内分布较大的 7 处危岩体边坡设置防护处理措施。优化后近坝库岸不良地质体和边坡开口线外危岩体均达到系统稳定安全要求,保证了工程建设期和运行期的安全。优化后减少土石方明挖 31.85 万 m<sup>3</sup>、石方洞挖 3.15 万 m<sup>3</sup>、土石方井挖 4.7 万 m<sup>3</sup>、混凝土 22.14 万 m<sup>3</sup>,节省钢筋 1.2 万 t、锚索 992 束,减少帷幕灌浆 1.29 万 m。另外,考虑工程区开口线以外自然边坡对工程区安全的影响,新增被动防护网 3.34 万 m<sup>2</sup>、主动防护网 6.09 万 m<sup>2</sup>[4]。

f. 施工导流优化。通过多方案对比分析研究,将 2 条导流隧洞断面由 13 m×16 m(宽×高)优化为 11.5 m×15 m(宽×高),相应上游围堰堰高增加 11.6 m,在导流隧洞中部增加一条施工支洞,加快导

流洞施工进度。通过优化减少石方洞挖 9.88 万 m<sup>3</sup>、混凝土 2.23 万 m<sup>3</sup>,节省锚杆 6711 根、金属结构 280 t;因围堰加高增加围堰填筑 32.92 万 m<sup>3</sup>;节约投资约 2961.88 万元。

g. 料场规划深化研究。可研阶段主体工程混凝土骨料优先利用工程开挖利用料,不足部分由古松石料场开采补充<sup>[5]</sup>。深化研究后,对开挖可利用量进行细化分析计算,通过加强施工管理提高开挖有用料利用率等措施,优化取消了古松石料场开采。同时,结合工程布置,为改善尾水水流状态,缩短尾水隧洞,在尾水出口局部扩挖开采石料作为补充混凝土骨料,满足工程建设骨料需求,为取消石料场和尾部式厂房取消尾水调压室创造了条件。通过优化减少剥离土石方 126 万 m<sup>3</sup>,节省锚杆 11514 根、锚索 200 束,缩短排水孔 1.71 万 m;尾水出口料场增加剥离土石方 32.8 万 m<sup>3</sup>、钢筋 193.9 t、锚索 344 束、锚杆 18926 根、排水孔 2.47 万 m。

h. 施工交通工程深化研究。结合料场规划优化和施工总布置调整等,取消 13 号古松石料场开采道路、6 号出线平台公路(永久公路)、17 号至 TB 沟道路,取消厂房顶拱③施工支洞,新增 1 条导流洞施工支洞。减少场内道路里程 2.87 km。

i. 砂石加工、混凝土生产及浇筑系统。①将砂石加工系统布置在 TB 沟沟口,将大坝混凝土系统布置在右岸进场交通洞下游侧,厂房混凝土系统布置在 4 号上坝道路与 2 号道路连接部位。②缆机控制范围水平向由坝 0+046.73 m~坝 0+120 m 调整为桩号 0+005 m~0+105 m,进水口坝段混凝土另布置门塔机浇筑;左岸副塔平台宽 10 m,右岸主塔平台宽 15 m。减少土石方明挖 87.8 万 m<sup>3</sup>、槽挖井挖 9.23 万 m<sup>3</sup>,节省锚杆 1.57 万根、锚索 316 束,增加混凝土 1.8 万 m<sup>3</sup>。

j. 取消石料场开挖及对施工总布置优化,对环境保护工程、水土保持工程等项目进行相应优化,节约投资约 2220 万元。

可研深化研究成果报原可研审查单位评审通过。本阶段共计优化减少投资 5.08 亿元。

3.4.2 做好招标设计策划工作

由于 TB 水电工程提速建设,将筹建期、准备期和建设期合并,同步开展。因此,为了更好地做好各标段的划分,减少干扰和招标工作量,建管局把技术管理关口前移,在招标阶段注重对分标方案的研究和招标方案的细化评审。对于分标方案,考虑投资规模适当,在现有水电市场情况下,除方便合同分类及招、投标,便于合同管理和施工监督,相关工序尽量合并,标段适度集中,便于引进专业能力强的施工

队伍,利于标段连续施工与资源的合理配置等考虑外,在工程建设互相干扰和进度优化方面,综合考虑设计进度、国内施工单位的技术水平及施工总进度相适应,以确保发包方造价、质量、工期三个主控目标的实现。在主体工程分标过程中,通过综合考虑上述关系,对大坝工程的标段划分进行了两个方面的重要调整:①由于工程截流和大坝工程招标在导流洞分流后方可实施,远滞后于导流洞工程标,因此在导流洞工程标段中,为减少大坝基坑施工压力,在河床截流前提前启动大坝岸坡和坝肩开挖,将大坝岸坡和坝肩在某一高程以上的开挖支护纳入导流洞标中,利用左岸高程 1 630. 00 m 平台和右岸高程 1 678. 00 m 进水口建基面平台作为集渣平台和出渣场地,既有效利用了有利的地形和建筑物平台,又可使大坝岸坡和坝肩开挖提前启动,其中岸坡开挖支护包含了左右岸缆机平台的开挖支护,其提前形成为大坝标进场后缆机能快速运行打下了基础;②将电站进水口的①~⑤坝段划分到输水发电系统标段,既可减少输水发电系统与进水口坝段的干扰,施工场地划分相对较容易,又可以使大坝标和输水发电系统标的合同额更加均衡,使标段规模适中,有利于现场管理。另外,将导流隧洞施工支洞和引水发电系统的两条施工支洞及进厂交通洞划入筹建期的辅助洞室开挖标,为导流隧洞标和地下厂房标进场后快速进入主体施工创造了条件。通过综合考虑各个阶段和各个标段的各项因素,使标段规模适中,干扰降到最低,管理和协调工作量减少,有效缩短招标流程,减少招标工作量。

3.4.3 积极开展设计优化工作

进入施工图设计阶段,公司和建管局高度重视 TB 水电工程的设计优化管理工作,建立了一套有效的管理制度,并以科研试验成果为支撑,在确保工程

安全、运行可靠的前提下积极推动设计优化工作。设计优化工作由建管局委托设计单位总体策划,优化方案由建管局通过组织专家委员会、邀请专家咨询、提请公司指导等方式开展评审,并按公司、建管局管理办法进行考核奖励。

截至目前,已开展 BT1 堆积体抗滑桩设计优化、建基面选择及坝基开挖优化、坝基固结灌浆设计优化、集运鱼系统设计优化、输水隧洞混凝土衬砌设计优化、输水系统灌浆设计优化、出线场电缆竖井结构层设计优化、施工总进度设计优化,节约投资约 2.93 亿元。

3.4.4 深入推进精细化设计工作

建管局积极协调设计单位开展三维设计、标准化设计、动态化设计工作,不断提高设计质量和效率。

a. 采用三维设计。传统水电工程设计产品主要通过二维设计成果展示,不能直观反映设计产品的内部构造,再加之各专业之间衔接不紧密,易造成设计中的“错、碰、漏、缺”现象,给工程建设带来不利影响。为有效避免上述问题,建管局大力推动三维设计工作。目前已在主体工程中全面使用,如图 1、图 2 所示。

b. 推动标准化设计。建管局积极在主体工程中推动标准化设计工作,使施工质量更易于保证,达到统一、协调、美观的效果,方便后期运行管理、维修。目前大坝廊道、电梯井楼梯以及观测房的设计等已取得了部分成果。

c. 开展动态设计。建管局高度重视动态设计工作,针对工程建设中地形、地质、水文条件及其他客观因素不断变化的特点,通过专题评审、专家咨询或科研试验等方式,及时对设计方案进行动态调整并组织实施。建管局根据公司要求,重大设计调整均报请公司审查。

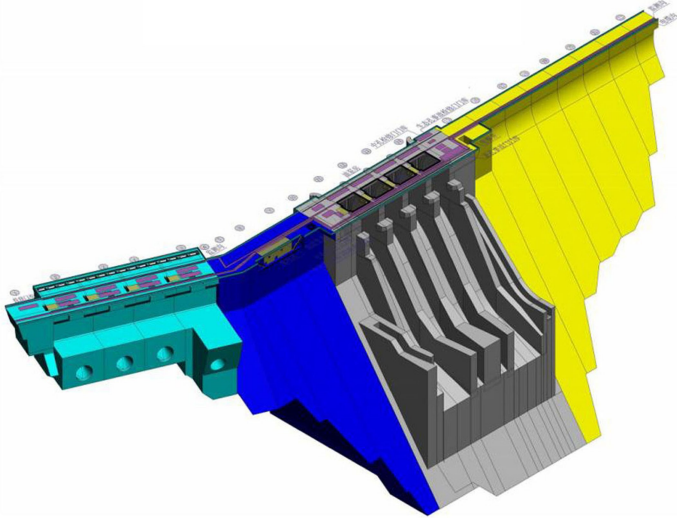


图 1 大坝三维设计图

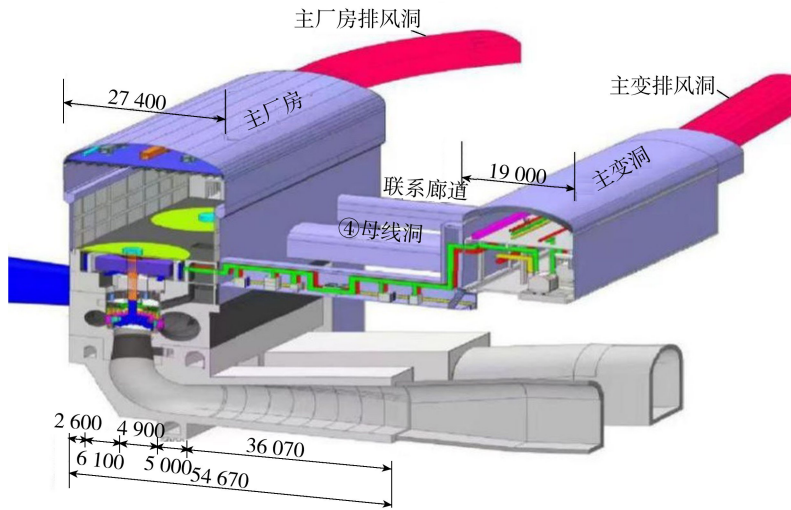


图2 主厂房三维设计图

### 3.5 超前开展施工技术方案研究

建管局积极参与重大施工技术方案的审查工作,通过学习调研、专家咨询、专题讲座、专题评审、现场试验研究等方式,不断优化施工方案和引进新工艺、新技术,有效地指导了现场施工。

a. 通过调研吸取先进管理经验和技术。2019年10月组织到乌东德、白鹤滩电站调研工程建设信息化、智能化施工技术;2020年2月在国电大渡河流域中心调研流域大坝智能监控技术;2023年12月到雅鲁藏布江中游4座已建和在建的水电站调研工程创优相关工作等。

b. 邀请水规总院对重大设计、施工技术问题把关。邀请水规总院专家对近坝区不良地质体处理、施工总布置规划调整、重力坝坝基可利用岩体及建基面选择、施工总进度与导流方案优化、下泄水温影响研究、升鱼机系统和集运鱼系统研究、施工总进度调整、截流方案、下闸蓄水方案及首台机组及全厂共用系统设备启动等项目进行了专题咨询,对重大设计、施工技术问题进行把关。

c. 开展招标方案前置审查及咨询。先后组织对导流洞和坝肩开挖支护工程、输水发电系统土建及金属结构安装工程、大坝土建及金属结构安装工程、主体工程砂石加工系统、安全监测设计方案等数十项招标设计方案进行前置审查与评审,有效提升了招标质量。

d. 邀请相关专家对大坝施工进行全面咨询。2021年邀请行业相关领域专家对大坝混凝土入仓方式、施工道路规划、温控措施、拌和系统方案等进行咨询,及时发现施工组织管理和施工工艺上的问题,进一步优化了现场施工管理和技术方案。

e. 积极参与和主导重大施工技术方案的评审。建管局积极参与和主导重大施工技术方案的评审,

如大坝混凝土入仓规划方案、进水塔混凝土浇筑施工方案、地下厂房岩锚梁开挖及混凝土施工方案、地下厂房基坑混凝土施工方案等,技术方案的评审完善有效地促进了现场施工组织管理的优化。

f. 有针对性地开展新工艺、新技术的探索。为推动新技术、新工艺在TB水电工程的应用,建管局在大坝混凝土碾压试验过程中积极开展智能导引、压实度智能预测分析、无人驾驶碾压、智能喷雾系统、智能保温、智能锚索张拉系统试验;在引水发电系统混凝土施工中开展CGM高强无收缩水泥应用、化学锚栓、聚氨酯软木弹性垫层、斜井无人挖机遥感下井扒渣施工设备、小断面隧洞水磨钻开挖技术试验研究等,在新技术、新工艺的储备和推广应用方面积累了很好的经验。

## 4 管理成效及亮点

### 4.1 主要管理成效

a. 形成系统完善的管理制度和流程。工程建设伊始,建管局就建立了设计及技术管理制度,形成管理框架。通过在工程建设过程中的不断补充、完善,使得设计及技术管理制度的内容更为详细,更具有针对性,操作更为流畅。目前,已形成设计管理、设计监督管理、科研项目管理、设计优化管理、工艺工法管理等一系列技术管理制度成果。此外,“四只眼睛”管理体制的建立,进一步完善了“四大中心”的管理体系,能充分发挥专业优势。

b. 设计优化经济效果显著。在可研深化研究阶段,累计优化减少投资5.08亿元。施工详图阶段依托科技试验攻关推进的TB水电工程重大设计优化项目3项,重大科研试验项目6项,一般设计优化项目13项,累计节约投资约2.93亿元。两阶段共计优化减少投资约8亿元,设计优化经济效益非常

显著。

c. 取得多项知识产权和奖项。通过科研项目的实施,掌握了一批核心技术和专利成果。目前已取得发明专利 11 项(其中海外专利 1 项)、实用新型及外观专利 67 项,软件著作权 11 项。先后获得国家级奖项 1 项,省部级奖项 10 余项,其他奖项 30 余项。知识产权和奖项成果丰硕。

d. 实物工程质量全面提升。在建设单位的大力倡导和支持下,各参建单位发扬“比、学、赶、超”的精神,打造了一系列工程建设的精品,如地下厂房开挖、坝肩槽开挖、电站大坝廊道衬砌、地下厂房免装修混凝土等,都获得了国内水电界专家的好评。立足于“创精品工程、获国家优质工程金质奖”,践行“金奖引领、过程创优”理念,参建各方精心组织、精心施工,打造了多项国内或世界第一;大坝取出了世界第一长芯(长 26.5 m),智能建造技术全面应用于工程建设,建成行业内第一座绿色智慧砂石加工系统等。

#### 4.2 管理工作亮点

a. 全工程绿色智能建造系统的应用,实现了对碾压混凝土热升层进行精准在线监控;将混凝土智能温控和碾压质量监控有机结合;建立了大坝工程施工信息采集与质量进度控制的综合管理平台,对参建单位进行信息化管理,提高了管理水平;提出了大体积混凝土防裂智能化温控理论方法与实现技术,全面实现了温控智能化;智能灌浆系统的应用,实现了灌浆工程“一键启动”,全过程自动化、智能化控制,实现了工程建设全面的施工信息采集。

b. 可视化工艺手册、视频的应用,是 TB 水电工程技术管理的又一亮点。通过凝聚参建各方的智慧,创建了全过程智能碾压混凝土可视化工法,印发《工艺提升 35 条》应知应会口袋书与《大坝碾压混凝土施工工艺标准化手册》等可视化工艺手册,制作大坝碾压混凝土工艺视频,以数字、图片、视频方式高度浓缩和固化了现场优良工艺成果,使作业人员、管理人员更易于理解工艺操作要点,直观掌握操作要求,有效地降低了工艺控制的难度,极大地促进了管理水平的提升。

c. 标准化工艺的推广,从倡导关键工艺“首建制”入手,抓好施工工艺过程各环节管理工作。针对碾压混凝土、大坝防渗区、溢流面混凝土、主厂房混凝土、帷幕灌浆等重点项目,自首仓施工开始,严格工艺措施编制、技术方案审查、组织实施和过程监督,总结创立了大坝碾压混凝土“双仓总制”“三刀五平”“三推四碾”施工管控工艺,通过固化人员、固化工艺、固化流程、固化器具等措施,不断固化优良工艺

质量成果。通过深入开展工艺效果检查和评价、持续改进工艺质量,全面推广标准化工艺,最终达到了全面提升工艺管理水平和实物工程质量的目的。

d. 首次研发并应用了设计管理系统。将设计精细化模型自动与设计管理 WBS 挂接,设计成果与设计 WBS 建立关联,实现了设计成果与设计模型的映射。实现了设计产品的线上审批、流转及下发,引入数字签名技术,具备了设计文件的电子归档功能。

#### 5 结 语

在新时代水电工程开发背景下,TB 水电工程通过积极开展科技研发工作,充分发挥科技引领和支撑作用,提前预判工程技术难题,以科研成果支撑现场施工组织管理水平的提升、设计优化工作的推进以及新技术的推广应用,通过借鉴、引入新的管理模式、创新管理手段,改进现场施工组织管理模式,优化施工技术方案,极大提升了工程建设的技术管理水平。

#### 参考文献:

[ 1 ] 陈前仕,黄芳芳,郭勇军.托巴水电站主体砂石加工系统设计与应用[J].水利建设与管理,2023,43(10):53-58. (CHEN Qianshi, HUANG Fangfang, GUO Yongjun. Design and application of main body sand and gravel processing system for Toba Hydropower Station[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2023, 43(10):53-58. (in Chinese))

[ 2 ] 刘尚坤,何金龙,刘紫玫,等.辉长岩骨料全级配碾压混凝土力学特性研究[J].人民长江,2024,55(3):190-198. (LIU Shangkun, HE Jinlong, LIU Zimei, et al. Mechanical properties of full-graded roller compacted concrete of gabbro aggregate[J]. Yangtze River, 2024, 55(3):190-198. (in Chinese))

[ 3 ] 张高举.TB 水电站 BT1 堆积体二期治理工程抗滑桩施工方案[J].水利水电快报,2022,43(增刊 2):42-46. (ZHANG Gaoju. Construction plan for anti sliding pile of BT1 accumulation phase II treatment project of TB Hydropower Station [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2022, 43(增刊 2):42-46. (in Chinese))

[ 4 ] 李泰熙.托巴水电站边坡稳定分析及加固措施评价[D].杨凌:西北农林科技大学,2015.

[ 5 ] 宗传阳,詹敏利.托巴水电站古松料场开采运输方案研究[J].中国水能及电气化,2014(12):19-22. (ZONG Chuanyang, ZHAN Minli. Research on mining and transportation plan for gusong material yard of Toba Hydropower Station [J]. China Water Power & Electrification, 2014(12):19-22. (in Chinese))

(收稿日期:2024-09-29 编辑:熊水斌)