

# 解开维捷布斯克水电站的“基因密码”

刘文胜<sup>1</sup>, 陈渝<sup>2</sup>

(1. 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024;

2. 中国电力工程有限公司, 北京 100048)

**摘要:**维捷布斯克水电站是白俄罗斯在建最大的水电站,该电站采用中白两国规范设计,结合了两国工程师的设计理念和智慧,具有许多鲜明的特征。随着我国水电行业国际业务的发展,特别是在较发达地区的业务开展,采用两国的规范进行设计的情况较为普遍。这就要求水电行业的设计人员积极掌控合作方式,学习当地规范和设计理念,为更好开展国际业务夯实基础。

**关键词:**舌瓣门;灯泡贯流式机组;船闸布置;水泥碎石桩技术

**中图分类号:** [TM622]; [TV734.2+1]; TV663

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2018)02-0182-03

## 0 引言

维捷布斯克水电站是白俄罗斯境内西德维纳河上游的第一级电站,位于白俄罗斯维捷布斯克州州府维捷布斯克市东北约8 km,距离首都明斯克约300 km。维捷布斯克水电站装机总容量为40 MW,年均发电量1.5亿 kWh。枢纽布置从左至右分别为左岸土坝、船闸、连接土坝、泄洪闸、厂房、右岸土坝。

维捷布斯克水电站在中国人眼里是个小不点儿,但在白俄罗斯却是在建最大的水电站,被誉为“白俄三峡”,得到了参建各方的高度重视。该电站采用中白两国规范设计,结合了两国工程师的设计理念和智慧,是中白两国的“混血儿”,其具有许多鲜明的特征,比如:泄洪闸采用大孔口并设置舌瓣门排冰泄洪,适应低水头采用灯泡贯流式机组;船闸布置“入乡随俗”,因地制宜采用挡墙土坝,推广水泥碎石桩新技术等。

基因决定特征,本文一一解析这些特征的“基因密码”。

### 1 “混血儿”的由来

维捷布斯克水电站由中国公司采用EPC模式总承包,总承包商与白俄罗斯业主维捷布斯克能源局的合同规定:“设计文件在消防、人员安全,工业安全,卫生规程,生态安全和环境保护方面必须按照白俄罗斯的强制性标准和要求;不受白俄罗斯强制性标准和要求的设计文件可按中国

标准和要求完成。”

总承包商与中国的设计单位签订设计合同规定按照中国规范进行设计;总承包商与白俄罗斯国家电力设计院签订的审查合同规定按照白俄罗斯标准进行审查。在具体的设计过程中就需要发挥中白两国设计人员的智慧来达成共识,维捷布斯克水电站“混血”由此而来。

### 2 为了排冰泄洪采用大孔口并设置舌瓣门

维捷布斯克地区11月至来年的3月月平均气温均低于零度,其中12月至来年2月平均气温处于 $-3^{\circ} \sim -10^{\circ}$ 之间,属于寒冷地区。库区积雪的形成开始于12月的10日至15日,一直持续到3月10日至20日。积雪的历史最厚深度可达61 cm,在冬季平均降雪量为28 cm。在自然地形下的土壤冻结最厚深度可达142 cm,平均一年的土壤冻结可达73 cm。

西德维纳河春汛洪水为概率最大洪水,且洪水伴随冰凌。这就要求泄水建筑物在排泄洪水的同时排泄冰块。为了解决表层过冰的要求,中方工程师首先提双层闸孔泄水方案,即表层过漂浮物,底部过泥沙的布置方案。共设置6孔表孔和6孔底孔,孔口宽度均为12 m;表孔高6.2 m,堰顶高程为132.8 m;底孔高3.2 m,堰顶高程为126 m。表孔和底孔之间由混凝土梁隔开,均采用平板门挡水。经水力学计算双层闸孔泄水方案能满足泄洪要求,也能满足溢流表层通过一定冰块

收稿日期:2018-06-04

的目的。

但白俄罗斯工程师对闸宽 12 m 能否通过大冰块存在较大疑虑。为解除白俄工程师的疑虑,中方又提出大孔口设置舌瓣门方案,即泄洪闸共布置 3 孔,孔口尺寸为 20 m × 9 m (宽 × 高),堰型为 WES 实用堰,堰顶高程为 130 m;工作闸门为弧形闸门,排冰舌瓣门是嵌在弧形闸门门叶上的小门,顶缘与大门叶齐平,它与大门叶配合成整体。当通过启闭机向下游翻到开启时,即可将水库内漂浮的冰块排至下游。舌瓣门高 2 m,宽 11 m。

大孔口设置舌瓣门方案的布置看似常规,但是采用了很多新技术来保证排冰泄洪的畅通和建筑物的安全:1)宽 20 m 大闸孔,这在已建的泄洪闸中首屈一指,满足了白俄方对大尺寸冰块能通过泄水建筑物提出的要求。2)钢衬包裹闸墩前缘,既能破碎大冰块又减轻了冰块撞击闸墩的影响。3)弧形闸门上设置舌瓣门,保证了小流量时冰块也能通过枢纽,避免冰块在枢纽区上游的堆积对建筑物造成持续伤害。

中白两方工程师通过多次探讨,并委托西安理工大学进行了大孔口舌瓣门排冰泄洪的水工模型试验,试验表明大孔口设置舌瓣门满足大冰块过闸、小流量淌凌的各项要求,最终白俄工程师认同了中方提出的大孔口设置舌瓣门方案。

### 3 适应低水头采用灯泡贯流式机组

西德维纳河坝址区为平坦的冲积平原,河道宽阔顺直(河宽 120 m),来水量大,利用水头低,采用灯泡贯流式机组,具有较高过流能力和比转速,结构简单,施工方便,布置紧凑、投资较小。

维捷布斯克电站为河床式厂房,额定水头 9.1 m,额定流量 123.77 m<sup>3</sup>/s,转轮直径 3.95 m,单机容量 10 MW,技术成熟。厂房布置于坝址区的右岸,左侧紧邻泄洪闸,具备挡水功能,厂房坝段总体尺寸为 59.94 m × 46.1 m × 47 m (长 × 宽 × 高)。流道分为进口段、流道中段、出口段,灯泡贯流式机组安装在流道中段。技术供水系统,直流盘柜、厂用变等布置在尾水副厂房中,空压机室布置在右岸厂区的空地上,油罐室、消防用水布置在安装间下部的房间内。整个厂房布置紧凑,设计简单,施工方便,厂房坝段的混凝土量约为 4.7

万 m<sup>3</sup>,投资较小,经济效益高。

### 4 “入乡随俗”进行船闸布置

本工程船闸为 IV 级船闸,设计最大船舶吨级为 500 t,设计通航船舶船体长度 85 m,船体宽度 12.5 m,船体吃水深度 1.7 m,吃水线以上尺寸 11 m。船闸规模中等,设计多处体现了“入乡随俗”的思想。

在总体布置上,结合地形,统筹规划,永临结合,将船闸主体结构布置在导流明渠位置,节省工期和投资。同时,为了避免船闸下游引航道对左岸原有夏令营营地的影响,船闸中心线轴线向右旋转 5°,达到互不干扰的目的。

对于船闸尺寸,中白两国规范有较大差别。依据中国规范,船闸闸室的尺寸需要 105 m × 16 m (长 × 宽),下游引航道直线段长度需要 170 m;而白俄罗斯规范计算的船闸闸室尺寸为 94 m × 13.5 m (长 × 宽),下游引航道直线段长度为 84 m。经比较,依据白俄规范确定的船闸尺寸大大减少了船闸上下游引航道对两岸的影响,节省了投资;同时,依据白俄规范确定的船闸尺寸也获得了白俄罗斯水运管理局和白俄罗斯国家审查委员会的认可和批准。中国工程师通过计算分析认为尽管按白俄规范确定的尺寸不满足中国规范的要求,但是能够基本满足通航要求,最终入乡随俗按白俄规范确定船闸尺寸。

### 5 因地制宜采用挡墙土坝

本工程共有三处布置了土坝,分别是左岸土坝段、连接土坝段和右岸土坝段。秉承土坝“就近取材、减少弃料”的设计思想,土坝上坝料采用基坑开挖料,基坑开挖料为细砂和壤土。对于具体结构型式,中白两方工程师又出现了分歧,白俄方建议采用混凝土面板土石坝,中方建议采用混凝土挡墙土坝。

混凝土面板土石坝方案坝体采用碎石和土填筑,碎石层作为排水层,上下游边坡坡度都为 1:3;采用混凝土面板、高压旋喷防渗墙及附属结构和橡胶止水作为防渗结构。挡墙土坝方案坝体主体结构为混凝土挡墙,挡墙后填筑基坑开挖料,下游坡度为 1:3;挡墙、高压旋喷体和橡胶止水作为防渗结构。

从结构上看,对于面板土石坝方案,混凝土面板分缝止水结构复杂、止水接头及安装固定施工难度大,混凝土浇筑容易出现缺陷。工程所在区域属于寒冷地区,较薄的面板和外界环境接触面大,受气候环境的影响较重,相对比较容易受冰雪冻融损坏;而且,为坝体安全和控制面板的变形,对其下部的坝体分区及填筑质量有较高的要求。对于挡墙土坝方案,挡墙结构直立,厚重,止水可靠,防渗可靠性高,其对墙后填土要求相对较低,整体安全性较高。

从防渗型式来看,对于面板土石坝方案,挡水坝基采用趾板与防渗墙连接的结构形式,由于变形差异导致接缝止水受拉较重,相对不利;防渗墙轴线与相邻坝段也不在同一轴线上,相差较远,导致挡水建筑物防渗轴线走向复杂多变,给施工造成较大困难。对于挡墙土坝方案,采用挡墙结构后,挡水建筑物基础防渗墙轴线统一在一条直线上,施工较为方便;同时上部混凝土结构与防渗墙之间连接止水为受压状态,防渗结构可靠性大为提高。

从工程量及投资来看,面板土石坝方案与挡墙土坝方案工程量主要区别在于混凝土量、坝体排水体碎石量:挡墙土坝方案增加混凝土量 $7\ 900\text{ m}^3$ ,而碎石量填筑减少 $48\ 000\text{ m}^3$ ,由于当地缺少碎石而采购价格不低,故可以认为两方案总费用基本相当。

中白两国工程师经过多次探讨分析认为,与面板土石坝方案相比,挡墙土坝方案更为安全可靠,施工简单,最终选用挡墙土坝方案。

## 6 推广应用水泥碎石桩技术

本工程泄洪闸建基面高程为 $121.5\text{ m}$ 。根据地勘资料,闸址区 $110\sim 122\text{ m}$ 高程为索日河冰碛沉积砂壤土, $110\text{ m}$ 高程以下为白云岩层。根据泄洪闸基底应力计算结果,闸底最大应力约为 $260\text{ kPa}$ ,而砂壤土地基最大承载力为 $170\text{ kPa}$ 。不满足地基承载力要求,需进行地基处理。在泄洪闸地基处理方式选择上,中白两国工程师也提出了不同的方案,白俄方建议采用混凝土灌注桩,中方建议采用水泥碎石桩。

水泥碎石桩是CFG桩的一种,不添加粉煤

灰,增大地基承载力同时提高地基的密实度。水泥碎石桩复合地基是由桩间土和桩体共同承担荷载,综合桩长、桩径、桩间距、桩身强度和天然地基承载力等5个因素进行优化,在理论计算基础上结合实际工程施工经验,得出最佳的设计。水泥碎石桩具有施工速度快、工期短、质量容易控制、工程造价低廉等特点,目前已成为中国应用最普遍的地基处理技术之一。

白俄方工程师之前从未接触过CFG桩,通过多次沟通和介绍,白俄工程师最终认可了水泥碎石桩方案,这是我国成熟工程经验在国际工程中的成功实践。

## 7 结语

维捷布斯克水电站的这种“混血儿”模式并非独有。中国电力工程顾问集团中南电力设计院设计的白俄罗斯别列佐夫国营地区电站 $400\text{ MW}$ 联合循环发电机组项目也采用了同样的模式。随着我国水电行业国际业务的发展,特别是在较发达地区的业务开展,采用两国的规范进行设计的情况较为普遍。这就要求水电行业的设计人员积极掌控合作方式,学习当地规范和设计理念,为更好开展国际业务夯实基础。

此外,尽管部分国外工程师水电设计经验较少,思维刻板,但其慎重、严谨的职业精神值得称道。所以,设计的过程中我们更要充分开启智慧,积极沟通,将我国已成熟的技术经验应用到国际工程中去。

## 参考文献:

- [1] 谈松曦,水闸设计[M],北京:水利电力出版社,1986.
- [2] 谢佩珍,堰、孔双层泄流时坝面形成的纵向旋涡[J],水利科技,1992. 12.
- [3] 赵孟津、张鸿伟,高压旋喷桩防渗墙在水工建筑物中应用实践[J],中国水运,2012. 06.

## 作者简介:

刘文胜(1986-),男,汉族,湖南邵阳人,高级工程师,大学本科,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水电工程坝工设计专业;

陈渝(1984-),男,汉族,江苏盐城人,工程师,硕士研究生,现供职于中国电力工程有限公司,从事国际市场能源项目的开拓与执行。

(责任编辑:卓政昌)