

# 双江口水电站水轮机及附属设备选型设计的主要特点

张龙生<sup>1</sup>, 朱亚军<sup>2</sup>

(1. 四川大渡河双江口水电开发有限公司, 四川 马尔康 624000;  
2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610031)

**摘要:**双江口水电站安装 4 台 500 MW 混流式水轮发电机组, 电站处于高海拔地区, 机组单机容量大, 运行水头高, 水头变幅大, 其水力机械设计较其他常规电站有独特之处。文章详细介绍双江口水电站水轮机及其附属设备选型设计的内容, 供类似电站借鉴。

**关键词:**水轮机; 筒形阀; 调速器; 双江口水电站

**中图分类号:**TK733+.1; TV741

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)06-0088-03

## Main Features of the Selection and Design of Hydraulic Turbines and Auxiliary Equipment for the Shuangjiangkou Hydropower Project

ZHANG Longsheng<sup>1</sup>, ZHU Yajun<sup>2</sup>

(1. Sichuan Dadu River Shuangjiangkou Hydropower Project Development Corporation Limited, Maerkang Sichuan 624000;  
2. PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 610031)

**Abstract:** Shuangjiangkou Hydropower Project is equipped with four 500 MW Francis-type hydroelectric generating units. Located in a high-altitude region, the project features large individual unit capacity, high operating head, and significant head variations, making the design of its hydraulic machinery unique compared to other conventional hydropower stations. This article delves into the selection and design of the turbines and auxiliary equipment for the Shuangjiangkou Hydropower Project, offering valuable insights for similar power projects.

**Key words:** Hydraulic turbine; Cylindrical valve; Governor; Shuangjiangkou Hydropower Project

## 0 引言

双江口水电站位于四川阿坝州马尔康市与金川县交界处的大渡河上游干流, 是大渡河干流河段自上而下梯级开发规划的第五个电站, 为大渡河流域上游控制性水库。电站采用坝式开发, 水库正常蓄水位 2 500.00 m, 水库总库容为 28.97 亿 m<sup>3</sup>, 消落深度达 80 m, 调节库容 19.17 亿 m<sup>3</sup>, 具备年调节功能。厂房内安装 4 台 500 MW 立轴混流式水轮发电机组, 电站采用“单机单管供水”及“两台机一尾调室一尾水隧洞”的布置方式。

### 1 水轮机的选型特点

#### 1.1 水轮机运行特点及要求

(1) 双江口水电站装机容量大, 电站建成后主

要供电范围为四川电网, 并参与华中电网内的西电东送; 在冬季运行于日负荷曲线的峰、腰荷部分, 发挥水电站的调峰性能, 电站工作容量 170 万 kW, 事故备用 20 万 kW, 负荷备用 10 万 kW; 在夏季运行于日负荷曲线的基、腰荷部分。因此, 水轮机运行稳定性应放在首位, 使机组投产后能安全、稳定、可靠的运行, 能适应负荷各种变化<sup>[1]</sup>。

(2) 水轮机工作水头高, 水头变幅大, 水轮机的最大水头、额定水头、最小水头分别为 251.4、215.0、155.4 m, 因此水轮机必须具备宽幅度水头的适应能力并能保持在较高效率区, 且在各水头段平稳运行。不同水头段发电量占年电量的比值见图 1。

收稿日期: 2024-08-23

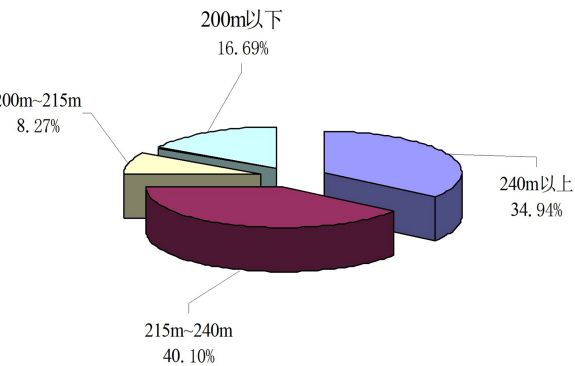


图1 不同水头段发电量占年电量的比值

(3)电站分三期蓄水,初期蓄水时较长,投产初期水轮机需在水库低水位下长时间运行,要求水轮机在较低水头运行时具有良好的稳定性<sup>[2]</sup>。

(4)水轮机设计考虑后续风光水互补的联合运行要求,其中水轮机在0%~30%负荷下满足连续安全稳定运行,30%~45%负荷下振摆值满足国标要求,45%~100%负荷下优于国标要求。水轮机按每天5次启停,100次负荷调整,每月甩负荷1次,每年飞逸1次的运行方式进行疲劳寿命复核。

(5)电站处于高海拔地区,水轮机及其附属设备的电气、机械部分设备均按照海拔2 600 m高度设计,满足高海拔运行环境要求。

1.2 原型水轮机技术参数及模型试验情况

双江口水电站特点是水头变幅大,水轮机效率要求高,最终中标并投产的原型水轮机参数见表1。2021年3月,参建各方对双江口水轮机模型进行了验收,验收结果表明,该电站大水头变幅水轮机模型综合性能优良,满足合同的性能参数要求,可在电站运行条件下高效、稳定运行。

1.3 水轮机主要部件结构特点

(1)转轮。转轮采用厚重结构设计,以满足后续机组频繁启停的要求。转轮厂内组焊、整体运输至主厂房安装间。转轮采用VOD精炼铸造成型的长短叶片<sup>[3]</sup>,叶片数量为15+15;上冠及下环也均采用VOD精炼铸造结构。转轮在现场组焊加工完成后,做静平衡试验。

(2)座环。座环按承受上部机墩混凝土和水轮发电机组整体重量的要求进行设计制造。座环的上/下环板均采用Q 500D—Z25型钢板焊接制作。固定导叶采用厚钢板加工而成,材料为S550Q,部分固定导叶出水边设置筒形阀行

| 表 1 中标投产的原型水轮机参数    |                          |
|---------------------|--------------------------|
| 型号                  | HLD1046—LJ—572.5         |
| 转轮直径 D <sub>1</sub> | 5 725 mm                 |
| 最大水头                | 251.4 m                  |
| 额定水头                | 215.0 m                  |
| 最小水头                | 161.6 m                  |
| 极端最小水头              | 155.4 m                  |
| 额定功率                | 510.0 MW                 |
| 额定流量                | 257.78 m <sup>3</sup> /s |
| 额定效率                | 94.02%                   |
| 最高效率                | 96.57%                   |
| 额定转速                | 166.7 r/min              |
| 额定比转速               | 144.6 m·kW               |
| 吸出高度(对应最低尾水位)       | —12.14 m                 |
| 蜗壳最大水压              | 3.14 MPa                 |
| 最大允许飞逸时间            | 10 min                   |

进导轨,上环板设置三分之一筒形阀高度的行进导轨。分瓣座环在工厂内整体进行预装配,蜗壳小端及大舌板在厂内直接焊接到座环上,并在厂内退火处理。

(3)蜗壳。蜗壳采用610CF高强度钢板焊接制作,现场焊接时进行电加热焊前预热、焊接完成后进行保温消氢处理。蜗壳按单独承受最大内水压力(含水击压力)3.14 MPa设计制造<sup>[4]</sup>。

(4)尾水管。尾水管采用高窄型以适应地下厂房长尾水洞的要求,符合如下控制尺寸:水轮机安装高程(以导叶中心计)为2 236.80 m,尾水管最低底板高程为2 216.00 m。尾水管的出口翘角控制不致产生脱流,尾水管内不设隔墩。金属尾水管断面出口按额定流量时流速不超过5 m/s控制。

(5)顶盖。顶盖采用厚重结构设计,以满足后续风光水互补机组频繁启停的要求。顶盖采用Q 355B、Q 355B—Z25钢板焊接的结构形式,顶盖各组焊件在消除内应力后进行最后机械加工。顶盖分为2瓣运输。顶盖与座环把合螺栓的材质选用与座环材质的强度和硬度匹配,避免安装检修时损坏座环把合孔螺纹。

(6)底环和基础环。底环和基础环分开配置,底环采用螺栓与基础环连接,并能拆卸。底环采用足够数量的垂直圆柱销或圆锥销在座环上定位。基础环和座环应在工厂内进行预装。底环和

基础环均预留了强迫补气接口。

(7)导叶。导叶材料为 ZG06Cr13Ni4Mo,采用整体不锈钢电渣熔铸,导叶轴承结构为 3 支点,导叶上轴套、中轴套分开设置,导叶轴承均采用可调整的自润滑推力轴承。设计时导叶最大开口留有 5%的裕量。

(8)筒形阀。水轮机设置了筒形阀,并将筒形阀关闭接入正常停机及紧急停机流程。筒形阀体采用 Q 355B 制造,其上、下端部长 200 mm 的范围,分别堆焊 04Cr13Ni5Mo 的不锈钢。阀体分为两瓣,分瓣面用高强螺栓进行联接,外部进行封焊用来防止阀体的漏水和变形。固定导叶下游侧设置了行进导轨,同时座环也设有 1/3 筒形阀高度的移动导轨。导向板能在不拆卸筒形阀和水轮机的情况下方便地进行检修、更换和修复。

筒形阀接力器按液压系统最大操作油压或动水关闭产生的最大油压设计。每台筒形阀配置一台 YZ-15-6.3 型油压装置作为压力油源,筒形阀最低操作油压为 4.5 MPa,事故低油压为 5.0 MPa。

## 2 调速器系统选型特点

双江口电站水轮发电机组在系统中担任峰荷、腰荷和事故备用等功能,因此要求调速器具有良好性能指标。最终选择的调速器为具有并联 PID 调节规律的数字式微机电液调速器,额定工作油压为 6.3 MPa<sup>[5]</sup>,导叶接力器的全关和全开时间在 5~50 s 范围内独立可调,主配直径为 150 mm。调速器事故配压阀能同时接收电气和纯机械关闭信号,在完全没有控制电源的情况下可以完成水轮机导叶关闭的控制要求。鉴于部分电站调速器系统管路及阀门长期运行出现漏油情况,双江口水电站速系统压力管道的阀门、管

路、管件、法兰等均按不低于 10.0 MPa 压力等级设计并供货。调速器压力油罐容积计算考虑了水轮发电机组参与风光水互补运行,当油压自正常工作油压下限至最低操作油压之前,在油泵不工作的情况下,压力油罐的容积能至少操作水轮机接力器的“关—开—关—0.5 开”三个半全行程,最终选择的油压装置型号为 YZ-12.5-6.3。

## 3 结 语

双江口水电站水轮机及附属设备选型设计充分考虑了电站水头变幅大、运行水头高的特点,同时水轮机结构及调速器选型兼顾考虑的后续机组参与风光水互补联合运行的工况,转轮模型验收及调速器性能试验验收各指标参数均满足合同要求,电站长期安全稳定运行得到了有力的保障。

### 参考文献:

- [1] 姚建国,朱惠君. 糯扎渡水电站水力机械设计的主要特点[J]. 水力发电. 2012,38(9):79-82.
- [2] 朱亚军. GIBE III 水电站水力机械设计特点[C]. “一带一路”与中国水电设备:2018 年水力机械信息网技术交流会论文集,北京:中国水利水电出版社. 2018.
- [3] 姚建国,王胜华,潘雪梅. 黄登水电站水力机械设计特点[J]. “云南水力发电. 2021(7):218-222.
- [4] 方杰,曹春建,方晓红,等. 白鹤滩水电站水力机械设计特点. 水力发电. 2021(8):78-82.
- [5] 杨加明,朱惠君. 梨园水电站水力机械的主要设计特点[J]. 云南水力发电. 2013(6):121-124.

### 作者简介:

张龙生(1973-),男,汉族,北京人,工程师,硕士,主要从事水电站设备安装调试运行检修管理工作;

朱亚军(1980-),男,江苏徐州人,正高级工程师,硕士,主要从事水电站动力设备设计工作。

(编辑:廖益斌)