# 硬梁包水电站水轮机金属蜗壳与压力钢管连接凑合节位置的优化选择

冷秋飞，杨　辉，于青坤，丁　果，刘　亮
（四川华能泸定水电有限公司，四川 泸定　626100）

**摘　要**：硬梁包水电站水轮机蜗壳与压力钢管的连接处设计有凑合节，但压力钢管与蜗壳的连接处是各工序的交汇点，通常会由于水轮机蜗壳的设备制造误差、安装误差、工程测量误差、土建施工浇筑偏差以及压力钢管安装误差而产生误差累计，为了保障施工质量，调整了施工工序，把该处的凑合节取消，待机组座环蜗壳安装完成后，依次安装上游侧压力钢管，凑合节位置设置在钢管运输通道处，再与上游侧的压力钢管相连接。设置凑合节不仅有效解决了以上问题产生的误差累计，还有效克服了凑合节安装产生的强大金属内应力，提高了水轮机安装质量，达到水轮发电站机组安全稳定运行的目的。

**关键词**：水轮机；蜗壳；压力钢管；凑合节
**中图分类号**：TV732.4+1　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2023)01-0057-03

## Optimal Selection of Make-up Joint Position between Metal Spiral Case and Penstock of Hydraulic Turbine in Yingliangbao Hydropower Station

LEN Qiufei, YANG Hui, YU Qingkun, DING Guo, LIU Liang
(Sichuan Huaneng Luding Hydropower Co., Ltd., Luding Sichuan 626100)

**Abstract**: The make-up joint between the spiral case and the penstock of the turbine in the Yingliangbao Hydropower Station is designed and set, but the connection between the penstock and the spiral case is the intersection of various processes. Error accumulation that causes by manufacturing error, installation error, engineering measurement error, civil construction casting error and penstock installation error often exists. In order to guarantee the construction quality, the construction procedure was adjusted and the make-up joint of this place was canceled. After the installation of the spiral case of the unit seat ring is completed, the upstream side pressure steel pipe will be installed in turn, and the position of the make-up joint will be set at the transportation passage of the steel pipe, then connected with the upstream side pressure steel pipe. In order to improve the installation quality of the hydraulic turbine, the installation of the make-up joint not only effectively solves the error accumulation caused by the above problems, but also effectively overcomes the strong metal internal stress caused by the installation of the make-up joint. In this way, the installation quality of the turbine is promoted, and the safe and stable operation of hydroelectric generating units is guaranteed.

**Key words**: Hydraulic turbine; Spiral case; Penstock; Make-up joint

## 1　概　述

硬梁包水电站位于四川省甘孜藏族自治州泸定县冷碛镇境内的大渡河干流上，为四川省大渡河干流最新规划 28 级方案的第 14 级电站，上游为泸定水电站，下游梯级衔接大岗山水电站。电站闸址距上游泸定县城约 25 km，距下游石棉县城约 100 km，距成都市约 300 km，库坝区左岸有省道 S211 相通，在泸定甘谷地与国道 318 相连，交通较为方便。

**收稿日期**：2022-06-05

硬梁包水电站的开发任务主要为发电，采用长引水左岸地下厂房开发布置方式。水库正常蓄水位 1 246.00 m，相应库容 2 075.4 万 $m^3$，调节库容 826 万 $m^3$，具有日调节能力。硬梁包水电站装机 1 116 MW，其中：大电站安装 4 台 270 MW 的水轮发电机组，年利用小时数 4 530 h，可根据电力系统需要与上游泸定水电站一起同步参与调峰运行；生态电站安装 1 台 36 MW 的水轮发电机组，年利用小时数 6 940 h。硬梁包电站与上游双江口水库联合运行多年平均年发电量 51.42 亿

kW·h，枯水期电量 10.66 亿 kW·h，枯水年枯期平均出力 24.7 万 kW。

引水系统布置于大渡河左岸，主要由引水隧洞、调压室和压力管道等建筑物组成。两条引水隧洞平行布置，引水隧洞洞径 ϕ13.1 m，两条引水隧洞洞长分别为 14 326.40 m（1 号引水隧洞）、14 427.89 m（2 号引水隧洞）。调压室为地下埋藏阻抗式，平面布置为长条形，与主厂房、主变室纵轴线平行布置，调压室中心线距机组中心线 186.81 m。整个引水系统采用“一洞一室两机”及“单管单机供水”的布置格局。

1 号调压室连接 1 号引水隧洞及 1 号、2 号压力管道；2 号调压室连接 2 号引水隧洞及 3 号、4 号压力管道。调压室总长 245.80 m。每个调压室长 112 m，宽 23 m，调压室间设 15 m 岩柱隔墙。调压室顶高程 1 313.60 m，底板高程 1 208.70 m，最大室高 104.90 m。

压力管道由上平段、上弯段、竖井段、下弯段及下平段组成。其中下平段设置有压力钢管与水轮机金属蜗壳相连，钢管内径 ϕ8 500 mm，材质 Q345R，钢板厚度 32～42 mm，其中凑合节钢板厚度为 42 mm。

## 2　凑合节的布置

硬梁包水电站水轮机由金属蜗壳组成，引水隧洞水轮机侧由金属压力钢管组成，根据施工工序及安装工艺，在金属蜗壳进口与金属压力钢管连接处设计凑合节，以达到两个部件连接的目的。但压力钢管与蜗壳的连接处是各工序的交汇点，往往会由于水轮机蜗壳的设备制造误差、机组安装误差、工程测量误差、土建施工浇筑偏差以及压力钢管安装误差而产生误差累计，给工程施工质量带来严重的隐患。因此，正确的选择凑合节的设置位置，不仅能够提高工程的安装质量，还能够提高工程的施工进度，减少工程造价，保障水轮发电站机组安全稳定经济运行的目的。

### 2.1　蜗壳进口设置凑合节的传统施工工序

蜗壳进口设置凑合节是目前较为普遍的设计施工方法，根据硬梁包水电站工程施工组织设计，压力钢管在水轮机上游位置，在水轮机埋入部分座环蜗壳安装之前，压力钢管便提前进行了安装，并完成了混凝土的浇筑，此时只留下凑合节与后续安装的座环蜗壳相连，完成引水系统与发电设备系统相联接的目的。

安装流程为：压力钢管⟶蜗壳⟶凑合节

### 2.2　蜗壳进口设置凑合节质量控制的难点

(1)压力钢管工程从水电建设的划分是属于引水系统的部分，往往采用土建施工建立的测量坐标系，测量精度相对于机电工程较低，此时完成安装并浇筑的压力钢管便产生了第一次的测量误差及安装误差，并且此处安装好的压力钢管末端无形中便成了水轮发电机组安装中的基准点，控制着机组的安装高程及安装中心位置。

(2)同时水轮发电机组的安装其安装精度较高，往往会使用机电安装专用的测量坐标系，使其更体现机组各部件之间的相对位置，尽量减少红外全站仪测量次数，以达到减少测量误差，控制累计误差的目的。由于机组座环的安装高程及中心方位安装精度较高，同时水轮机的肘管及锥管也已安装浇筑完成，也成了机组安装的第二个安装基准点，根据机械装配的基本理论，同一个机械部套有两个安装基准是缺乏合理性[1]，将会产生强大的内部应力[2]及误差累计，并不能得到有效解决，会在压力钢管及蜗壳中心线上产生中心偏差△，凑合节设计位置见图 1。为了克服这两个基准点产生的中心线偏差，工程设计当中在金属蜗壳(进口)与金属压力钢管连接处设计凑合节，但由于机组布置及施工空间的限制，往往凑合节只能设计为 300～500 mm 左右的长度(硬梁包设计为 300 mm)。

(3)根据多个工程项目的施工经验，该处设备制造误差、安装装配误差、工程测量误差、土建浇筑偏差以及压力钢管安装误差所产生的中心线误差累计最大达到几厘米甚至十几厘米，完全由 300～500 mm 凑合节来消除以上累计的误差非常有限，根本不能够满足现行施工规范的要求。根据现有的施工方法，压力钢管与蜗壳产生中心线偏差的时候，为了保证两个部件能够有效连接，通常根据中心线偏差的大小，把凑合节切割成数量不等的瓦片，最后把这些瓦片重新拼凑起来，使压力钢管与蜗壳成为一体，最后通过焊接的方法完成两个部件连接的目的[3]。

(4)实际工程中由于压力钢管及蜗壳中心线上产生中心偏差超过规范，或者超标过大，为了保证压力钢管与蜗壳的连接，势必会将凑合节切割

成数量更多的瓦片，才能保证两者能够有效地凑合在一起。凑合节切割的瓦片越多，产生的纵向焊缝就越多，产生的金属内应力也就越大，给压力钢管的安全运行带来严重隐患。

(5)在施工过程中产生压力钢管和蜗壳进口连接处高程超标，中心轴线超标的情况(规范要求蜗壳进口直管段与机组 Y 轴的距离应小于 0.003D(转轮直径)，高程±5 mm[4]，中心偏差±12 mm[5])，往往还会产生凑合节切割瓦片数量过多、瓦片长度过短(相邻纵缝间距不应小于 500 mm[5])，凑合节纵缝、环缝对口径向错边量超标，(纵缝不能大于钢板厚度的 10%且不大于 2 mm，环缝能大于钢板厚度的 15%且不大于 3 mm[5])，拼凑处理工程量增加，焊接热影响区增大的实际问题，因而影响到压力钢管安装的质量，给水电站的运行带来严重的安全隐患。

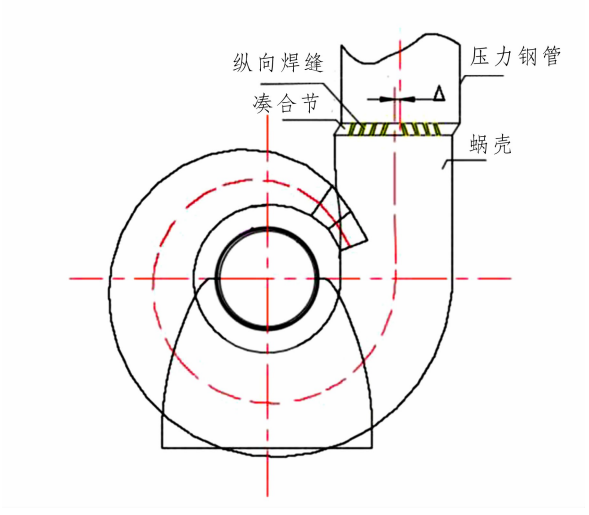


图 1　凑合节设计位置

## 3　凑合节的布置优化

为了改进在蜗壳进口设置凑合节产生的施工难点及其容易产生的质量缺陷，硬梁包水电站根据施工总体布置，改变以上传统的设计施工方案，修改工程施工组织设计，调整施工顺序，首先安装压力管道下支洞上游侧压力钢管，再安装水轮机的座环及金属蜗壳，其次安装压力管道下支洞下游侧的压力钢管，最后把凑合节的位置向压力钢管上游测延伸，根据硬梁包工程的设计方案，把凑合节位置设置在压力管道下支洞位置，凑合节优化位置见图 2。该位置不仅空间开阔，还便于施工，对凑合节安装质量起到积极的保障作用。

安装流程为：上游侧压力钢管⟶蜗壳⟶下游侧压力钢管⟶凑合节。

这样安装顺序的调整，本质上是减少了压力钢管作为安装基准，只保留了水轮机的肘管、锥管及座环作为安装基准的情况，更体现机组各部件之间的相对位置方法，从机械制造及装配工艺的角度分析，这种方案是合理的。这种安装方案的调整，能够有效解决压力钢管与蜗壳的连接处各工序的交汇点所产生的误差累计，从理论和实践上能够保证压力钢管及蜗壳在同一个中心线上，从而能够有效地控制凑合节安装产生的金属内应力，达到提高水轮机安装质量，保障水轮发电站机组安全稳定运行的目的。

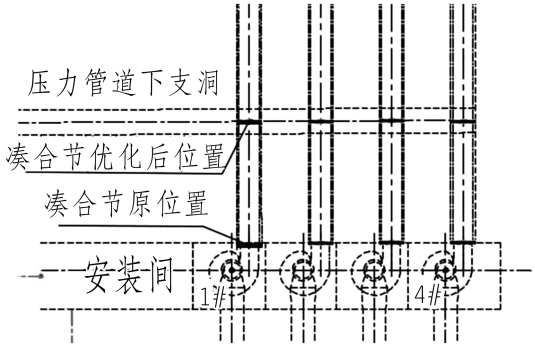


图 2　凑合节优化位置

## 4　结　语

水电站水轮机蜗壳与压力钢管连接的凑合节一直以来都是施工中的难点，为了克服由于这种难点产生的质量缺陷，硬梁包电站改变了压力钢管及蜗壳的施工顺序，取消了蜗壳与压力钢管连接的凑合节，把凑合节设置在压力钢管下支洞位置。这种布置优化及安装方案的调整，对同类型电站压力钢管及凑合节的安装具有借鉴意义。

**参考文献：**

[1]　曹剑. 机械制造工艺及精密加工技术应用[J]. 中国高新科技，2022(10)：17-18. DOI：10. 13535/j. cnki. 10－1507/n. 2022. 10. 05.

[2]　靳红泽. 水电站凑合节合龙缝焊接拘束应力测试方法[J]. 焊接技术，2019，48(S2)：123-125. DOI：10. 13846/j. cnki. cn12－1070/tg. 2019. s2. 036.

[3]　高文军，占乐军，刘兴胜，黄伟，王安爱. 蜗壳压力钢管间凑合节一次性安装工艺探索与实践[J]. 云南水力发电，2021，37(05)：94-97.

[4]　中国电力企业联合会 GB/T8564-2003 水轮发电机组安装技术规范[S]. 北京：中国标准出版社，2004.

(下转第 100 页)

围以下至德威大桥桥头，采用单排混凝土防淘墙＋岸坡混凝土面板防护。地框墙结构参数与明渠出口地连墙相同，混凝土防淘墙厚 1 m，深 30 m，护坡混凝面板厚 0.5 m。导流明渠出口及下游防护布置见图 3。

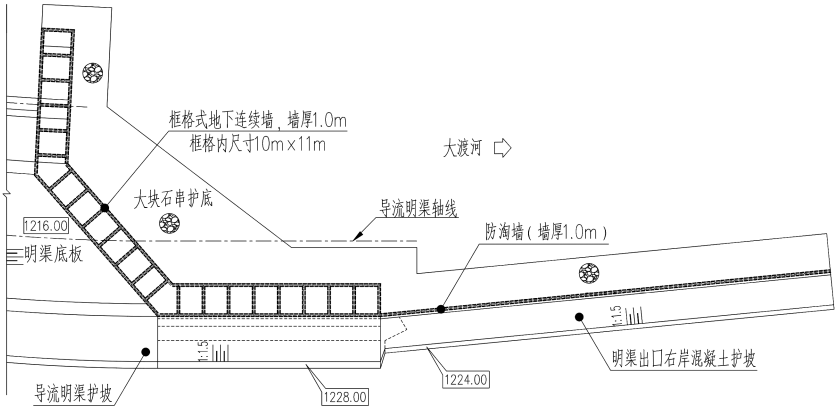


图 3　导流明渠出口及下游防护布置图

## 5　结　语

（1）硬梁包水电站采用三期导流方案，在河床右岸布置导流明渠。经综合研究比较，大流量、窄河道和深覆盖层基础特点下，明渠宽度从 60 m 增至 80 m，导流工程量及投资增加较大，但出口水力学指标及下游河道冲深却无改善，最终导流明渠底宽选定为 60 m。

（2）导流明渠出口流速达 11.65 $m^3/s$，出口及下游冲刷严重，为保障明渠出口及下游的稳定，研究采用了框格式混凝土地下连续墙防护方案。该方案作为一种基础处理方案在工民建行业已有成熟的设计、施工经验，有效地解决了明渠出口及下游防冲刷问题。

（3）目前硬梁包水电站导流明渠已投入运行，运行状况整体较好。硬梁包水电站在大流量、窄河道和深覆盖层基础的特点下，导流明渠规模及布置方案、出口冲刷防护方面研究取得的宝贵工程经验可供类似工程提供借鉴。

**参考文献：**

[1]　中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司硬梁包水电站可行性研究报告[R]. 报告编号：CD410 KX-13-9(1)，2014.

[2]　水电工程施工组织设计规范[S].

[3]　水电工程施工导流设计规范[S].

[4]　陈义军，任金明，吕国轩. 龙开口水电站导流明渠设计[J]. 大坝与安全. 2014，(5)：24-25.

[5]　雷运华，黄勇. 桐子林水电站框格式地下连续墙设计研究[J]. 黑龙江水利科技. 2013，41(3)：1-4.

**作者简介：**

白学超（1993-），男，四川成都人，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，工程师，学士，从事水利水电工程施工组织设计工作；

黄志鸿（1994-），男，福建宁德人，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，助理工程师，硕士，从事水利水电工程施工组织设计工作；

梁存绍（1974-），男，四川成都人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事水电工程建设管理工作；

邵　帅（1993-），男，湖南株洲人，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，工程师，硕士，从事水利水电工程施工组织设计工作.

**（责任编辑：吴永红）**

（上接第 59 页）

[5]　中国电力企业联合会 GB50766-2012 水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范[S]. 北京：中国计划出版社，2012.

**作者简介：**

冷秋飞（1974-），男，四川仁寿人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事水电站机电和金属结构施工管理及水电站安全生产管理工作；

杨　辉（1971-），男，甘肃宁县人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，学士，从事水电工程机电项目管理及水电站安全生产管理工作；

于青坤（1981-），男，辽宁大连人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，注册安全工程师，硕士，从事电站安全生产管理；

丁　果（1985-），男，重庆九龙坡人，四川华能泸定水电有限公司，高级工程师，硕士，从事电站安全生产管理工作；

刘　亮（1984-），男，内蒙古通辽人，四川华能泸定水电有限公司，工程师，学士，从事水电站机电设备生产准备、检修维护工作.

**（责任编辑：吴永红）**