

二滩水电站导水机构安装

李兴易¹, 张建军²

(1. 中国水利水电第九工程局安装处, 贵州 贵阳 550008; 2. 中国水利水电第五工程局技术处, 四川 广元 628003)

摘要:介绍了由加拿大GE公司设计、GE公司与中国东方电机厂、哈尔滨电机厂联合生产制造的二滩水电站导水机构的安装及结构特点, 以及安装验收标准。同时, 也简单介绍了转轮、水导的结构, 对一些特殊之处与国内大型机组进行了比较, 以便为同行提供一些参考资料。

关键词: 导水机构; 转轮; 水导; 预装; 安装

中图分类号: TV 734

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2000)增-0047-04

1 概述

二滩水电站位于四川省雅砻江下游, 距攀枝花市约46 km。该工程包括一座240 m高的混凝土双曲拱坝及一座地下厂房。地下厂房全长242.9 m, 宽23.7 m, 共安装6×550 MW = 3300 MW水轮发电机组, 每台机组中心间距31 m。安装间位于厂房左侧, 长51 m, 与主厂房同宽, 直接与进厂交通洞相接。

水轮机组为立式半伞混流机组, 承包商分别为: (1) 安装: GYBD 联营体; (2) 制造: 加拿大GE公司及中国东方电机厂、哈尔滨电机厂。安装标准均采用加拿大GE公司提供的技术标准。

2 转轮、底环、活动导叶及顶盖的主要参数及安装标准

2.1 水轮机主要参数

转轮公称直径:	6 257 mm;
额定水头:	165 m;
额定出力:	582 MW;
额定转速:	142.9 r/min;
飞逸转速:	275 r/min;
额定流量:	365 m ³ /s;
转轮安装高程:	▽1 002.5 m;
旋转方向:	俯视顺时针;
蜗壳型式:	金属蜗壳, 包角345°;
水轮机总重:	1 150 t;
水导瓦型式:	巴氏合金筒式瓦;
水导用油量:	1 600 L;
转轮重量:	118.0 t;
大轴重量:	81.5 t;

转轮由不锈钢材料ASTM A 743M 和 ZGoCr13NiMo 制成, 分两瓣运至工地, 转轮上冠过流面采用热套卡栓连接, 上冠外环及下环, 叶片采用焊接, 焊缝探伤合格后, 在现场进行机加工。主要加工控制尺寸: 上冠外环 $\Phi_{5 860 00}^{5 859 88}$ mm; 下

环: $\Phi_{6 359 57}^{6 360 00}$ mm。最后做静平衡试验, 试验标准: 不平衡力矩小于455 N·m。

水导轴承分为4块组装成的筒式瓦, 瓦面为巴氏合金材料, 水导瓦内径 $\Phi_{2 365 11}^{2 365 00}$ mm, 每块水导瓦面上均开有一直角“U”型油槽。当机组转动时, 以利于透平油充分润滑瓦面。

2.2 底环(见图1)

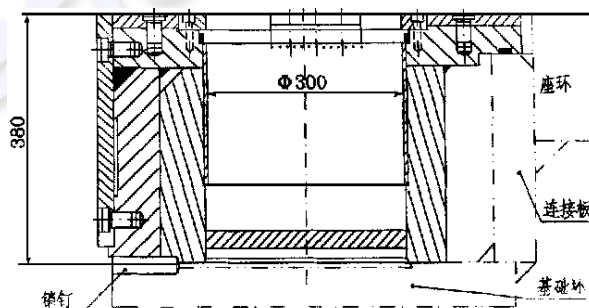


图1 底环示意图

底环分两瓣运至厂房, 然后用螺栓把合成整体。底环母材材质为: ASTM A 516 M, 下部固定部分材质为: ASTM A 240 UNS S41000, 与导叶相接触面的抗磨环材质为: ASTM A 240 UNS S41000, 底环整体重量为: 21.0 t。

底环安装标准如下:

- (1) 安装高程: $\nabla 1 001.389$ m;
- (2) 周向水平: 0.25 mm;
- (3) 径向水平: 0.13 mm;
- (4) 与基础环同心度: 0.25 mm;
- (5) 圆度: 0.13 mm。

2.3 活动导叶(见图5)

每台机组共设有20个活动导叶, 活动导叶采用不锈钢整体铸造, 其材质为: ASTM A 743; 等级: CA-6NM, 单片导叶重为3 050 kg。

活动导叶的主要参数为:

- (1) 导叶分布圆直径: $D_o = 6 992.6$ mm;
- (2) 导叶叶型弦长: $L = 1 150$ mm;
- (3) 导叶最大厚度: $\delta = 204.98$ mm;

收稿日期: 1999-05-03

(4) 导叶相对偏心距:

$$N_0 = \frac{L_1 - L_2}{2(L_1 + L_2)} = \frac{585.07 - 514.93}{2 \times (585.07 + 514.93)} = 0.032$$

(5) 导叶在分布圆 D_0 上叶型长与栅距之比:

$$L/t = \frac{Z_0 \times L}{\pi \times D_0} = \frac{20 \times 1150}{3.14 \times 6992.6} = 1.047$$

式中 Z_0 ——导叶数目 = 20;

L ——导叶弦长;

D_0 ——导叶分布圆半径。

(6) 导叶最大开度: $a_0 = 508 \text{ mm}$;

(7) 导叶端面、立面间隙检查标准: (见图 2)

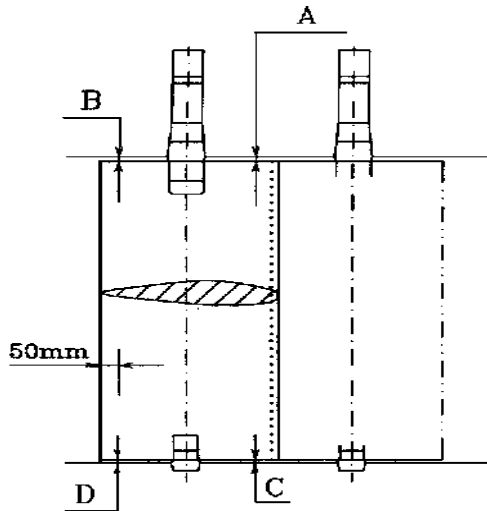


图 2 活动导叶示意图

端面间隙:

$$0.90 \leq A + C \leq 2.00$$

$$0.90 \leq B + D \leq 2.00$$

$$\frac{A + C}{2} < A < \frac{A + C}{2} + 0.20$$

$$\frac{B + D}{2} < B < \frac{B + D}{2} + 0.20$$

立面间隙:

一般位置应用 0.05 mm 塞尺塞不进去, 局部点间隙应 0.13 mm。

2.4 顶盖 (见图 3)

顶盖由框架结构组成, 其材质为: A STMA 516, 等级 55;

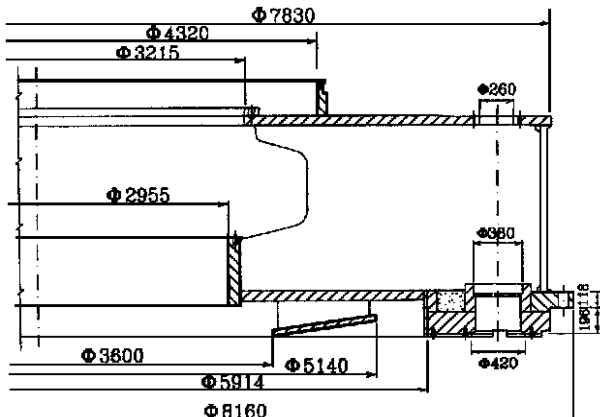


图 3 顶盖示意图

顶盖分两瓣运至厂房后用螺栓把合成整体, 顶盖总重约: 127.00 t。

安装标准:

(1) 挂铅垂线和底环中心偏差: 0.08 mm;

(2) 顶盖中心和铅垂线偏差: 0.12 mm;

(3) 顶盖和底环导叶轴套中心偏差: 0.15 mm;

(4) 顶盖水平: 0.20 mm。

3 导水机构预装

3.1 安装前的准备工作 (见图 4)

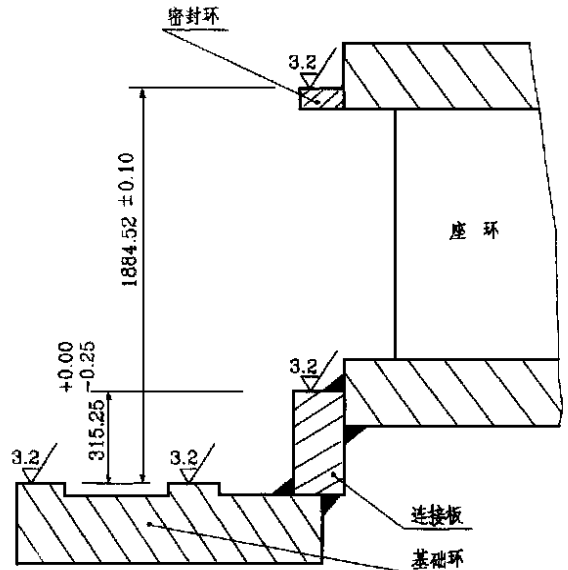


图 4 导水机构埋入部分示意图

测量基础环内、外环及连接板、密封环的高程、水平, 对于低于设计高程的区域采用局部堆焊方法处理, 然后用专用工具对基础环的内、外环及连接板、密封环上表面进行打磨。

打磨标准:

(1) 基础环内、外环高程: $\nabla 1.001.389 \text{ m}$;

(2) 基础环内、外环周向水平: 0.25 mm;

(3) 基础环径向水平: 0.13 mm;

(4) 连接板水平: 0.25 mm;

(5) 密封环水平: 0.25 mm。

注: 每道环的水平测量取周向均布 40 个点。

3.2 底环装配、预装

底环分两瓣运至厂房, 通过销钉定位、螺栓连接。装配前将清扫干净的两瓣底环分别放置在 6 个支墩上, 使两组合面相距约 10 mm, 调平后在组合面上涂 Loctite 胶 (该胶由 GE 公司提供, 固化后起到密封作用), 在连接螺栓的螺纹上涂少许二硫化钼后安装上, 在两个把合面上同时拧紧螺栓, 直到力矩达 $5.860 \text{ N} \cdot \text{m}$ 即可, 用塞尺检查组合间隙标准为: 0.02 mm 塞尺塞不进去, 局部处允许 0.02 mm 塞尺塞深不超过 10 mm。且组合面工作面不允许有错牙, 检查底环厚度应符合设计尺寸:

$380^{+0.00}_{-0.25} \text{ mm}$, 并在 1 号、6 号、11 号、16 号导

叶套筒处标出 X、Y 方向的 4 条细线, 以便安装时与机坑内中心及方位基准相对应。安装底环与连接板相接处下部的 $\Phi 16 \text{ mm}$ 橡胶盘根, 用 Loctit380 胶粘接接头, 用 Loctite Ultra

Blue 胶将盘根固定在槽内,以防起吊底环时盘根脱落。

起吊底环并调平,吊入机坑,利用座环和底环的间隙初调底环中心并调整底环方位。通过已确定好的机组中心线挂钢琴线,以此为基准调整底环中心,周向测 8 点检查底环与基础环同心度;检查底环和座环的相对位置,并做好记录。

底环调整后,如果有一些底环安装螺杆与基础环中对应螺孔错位,须标记这些孔并将底环吊出后加以处理。

底环与基础环间通过 60 个 M 30 的双头螺栓连接,安装时应在螺纹上涂 Loctite 242 胶,然后在底环上对称均匀拧紧至力矩 $280 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

复测底环圆周方向和径向的水平、同心度圆度及方位应符合要求,并做好记录。

标出 20 个销钉位置,销钉和活动导叶处于同一径向线上。在底环销钉的位置打磨,使之和基础环无错牙,以便钻孔和铰孔,用磁力钻钻 $\varnothing 19.5 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ 孔,然后用 $\varnothing 20 \text{ mm}$ 铰刀铰孔,装入 $\varnothing 20 \text{ mm}$ 销钉并保证其接触面积 75%,然后用 E-309 焊条将销钉与基础环焊接上。

3.3 导叶预装

根据 GE 公司工艺要求,导叶预装数量应为导叶总数的 40%,即 3 号、5 号、8 号、10 号、13 号、15 号、18 号、20 号共 8 个导叶。将 8 个导叶清扫干净,测量导叶大小头的端面高度,同时,在底环相应的轴套孔内安装下端轴密封盘根,盘根的下料长度 L 以下端轴直径 D 加上盘根直径来计算,即 $L = \pi \cdot (D + d) = 3.14(299.80 + 12) = 979.05 \text{ (mm)}$,在盘根上涂一层润滑油,以免装配时擦伤。用专用吊具将导叶吊入相应位置,在导叶插入轴套过程中,放置导叶应灵活自如,并将导叶放置在接近关闭位置处就位。

3.4 顶盖的装配、预装

顶盖分两瓣运至安装间,其组装方式也是通过销钉定位,螺栓连接。首先,应将清扫干净的两瓣顶盖分别放在已调平的支墩上,且将其组合面相距 10 mm。顶盖组合面也采用橡胶盘根密封,在密封槽上涂硅橡胶,以保证组合盘根安上后不脱落。在对应的孔中装入偏心销,在两个把合面同时紧固螺母,使两边组合缝的间距均匀减小,直到完全接触,拧紧螺母至力矩 $5.860 \text{ N} \cdot \text{m}$,用塞尺检查组合面间隙,其标准同底环。用内径千分尺检查上部固定迷宫环圆度应符合安装标准,组合工作面应无错牙。

在顶盖上部 1 号、6 号、11 号、16 号轴套位置标出 X 、 Y 方向 4 条细线。这些线将用于与底环上相应的基准线相对应,也可作为调整上、中、下轴套同心度的基准。

根据测量出的 8 个导叶大小头端面的高度,在导叶上端面大小头位置放置 0.9~2.0 mm 不同厚度的垫片,使之既能保证导叶端面总间隙,又能调整顶盖水平。

用带有导链或调节螺杆的起吊装置来起吊调平顶盖,初调方位后吊入机坑。由于上、中轴套厂家已装好,所以,吊装时应特别小心,以免碰伤轴套。

在顶盖与控制环相接面以 $+Y$ 方向为起点均分 12 个测点,以控制顶盖水平。如检查水平不合格,可采用千斤顶顶起调整,通过在导叶上端面加减垫片进行调平。

以底环为基准挂钢琴线找中心,调整上下固定止漏环的同心度,利用 GE 公司提供的导叶套筒测量盖板,从顶盖上 1 号、6 号、11 号、16 号导叶轴套孔中心挂钢琴线,测量调整导叶上、中、下轴套的同心度,直到调整合格为止。

在顶盖上任选均布的 12 个螺栓孔位置,测量顶盖法兰与座环法兰之间的间隙,并加工相应厚度的垫片,放入对应位置,装上连接螺栓并将力矩拧至设计力矩的 50%,即 $12.850 \times 50\% = 6.425 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ 。拧紧前,螺杆及螺母应涂二硫化钼。复测底环、顶盖的同心度,测量导叶端面总间隙,检查顶盖水平应符合要求。

利用磁力钻将顶盖上 $\varnothing 30 \text{ mm}$ 孔扩钻至 $\varnothing 40 \text{ mm}$ 并直钻到座环上,深度为从顶盖上部向下 200 mm 用铰刀铰孔,并配以相应销钉,销钉的接触面积应 75%。

卸掉 12 个预装螺栓,再次复测顶盖水平座应符合要求,给顶盖与座环相连接的 120 个螺栓孔编号,测量并记录相应孔号顶盖与座环的间隙、错位大小;吊出顶盖,按编号及测量记录加工垫片,将吊出的顶盖按标注的位置将螺孔错位处进行扩孔打磨,以确保正式安装时能顺利进行。

4 导水机构安装

4.1 底环、导叶的安装

由于该机组上、下止漏环为间隙式,预装验收合格后底环及 8 支导叶不再吊出。清扫其余 12 个导叶后,对号分别将其吊入机坑内。

4.2 顶盖安装

在基础环的 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 4 个方向分别放上厚 10 mm 楔子板各一对,测量调平固定好,然后将已连轴的转轮吊入机坑,检查转轮与底环的间隙,以保证转轮基本处于中心位置,以免顶盖吊入时相碰。

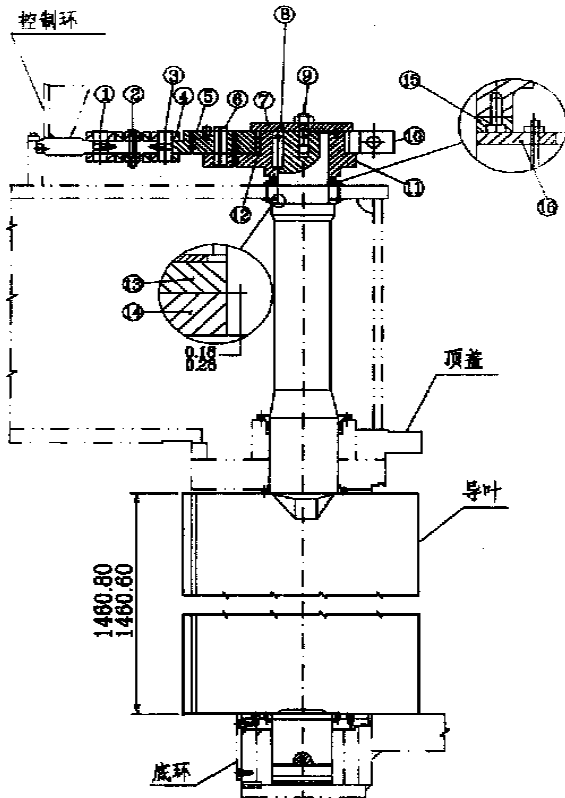
安装导叶中轴套 $\varnothing 12 \text{ mm}$ 密封盘根和顶盖法兰处 $\varnothing 16 \text{ mm}$ 盘根。在座环上将与顶盖相连接的 120 个螺栓安装上。螺栓安装前,应在螺纹上涂二硫化钼,在已安装上的 120 个螺栓上对号将 120 个已加工好的垫片装上。

将顶盖细心吊入机坑就位,装上定位销钉及螺母,用风动扳手均匀对称初紧螺母,然后用 GE 公司提供的 1.70 的力矩放大扳手,将 120 个螺栓均匀对称将其拧至 $12.850 \text{ N} \cdot \text{m}$,检查顶盖与座环连接处的垫圈不应有松动且接触良好,否则应重新处理。

4.3 主、副拐臂安装及导叶间隙调整(见图 5)

在顶盖上每个导叶处安装轴承垫块及调整垫片,在顶盖下部与导叶上端轴相接处装有垫片及滑动轴承块。主拐臂与导叶上端轴通过 6 个 $\varnothing 30 \text{ mm}$ 销钉相套接,副拐臂通过一套筒与主拐臂相连接,副拐臂背部设有开口,用 M 60 的双头螺栓连接拧紧,副拐臂前端通过剪断销与主拐臂连接;通过调整导叶上盖板及下部垫片来控制导叶提升高度,该垫片不分层剥落,每层 0.02 mm 厚。调整前测量导叶上端轴上端面与导叶上端盖之间的间隙“ a ”,再根据导叶需要上提量“ b ”,计算出加垫厚度 $\delta = a - b$ 。

在上述工作完成后,即可用钢丝绳捆绑导叶,调整导叶立面间隙直达到标。



1—偏心销钉; 2—连接板螺栓; 3—销钉; 4—连接板; 5—副拐臂; 6—直销钉; 7—上盖板; 8—主拐臂销钉; 9—上盖板螺栓; 10—副拐臂开口; 11—主拐臂; 12—主、副拐臂间套筒; 13—顶盖下部上轴承块; 14—顶盖下部下轴承块; 15—主拐臂上下轴承块; 16—主拐臂下下轴承块。

图5 导水机构总装图

将控制环调整至全关位置,即可进行对控制环与副拐臂的连杆安装工作;连杆与副拐臂用 $\varnothing 65 \text{ mm}$ 销钉连接,连杆与控制环用 $\varnothing 75 \text{ mm}$ 的偏心销连接,偏心距为 6.0 mm 。连接完成后,用 $M 24$ 的内六角螺栓两只,将每个偏心销顶死,扭矩为 $420 \text{ N} \cdot \text{m}$,以保证偏心销不转动,从而保证导叶立面间隙不变化。

5 导水机构附件安装

5.1 导叶金属密封安装(见图6)

金属密封位于导叶上下端面,设计成可以拆卸和更换的密封,为今后检修提供方便。

金属密封首先应预装,根据预装测量值来决定下部所加橡胶垫的厚度及垫片厚度。预装时先不装垫片,测量导叶端面与导叶间的间隙,然后按下式配置垫片:

$$\begin{aligned} \text{底部调整垫片} &= (X + 0.66) \begin{matrix} - 0.0 \\ + 0.1 \end{matrix} (\text{mm}) \\ \text{上部调整垫片} &= (X + 0.1) \begin{matrix} - 0.0 \\ + 0.1 \end{matrix} (\text{mm}) \end{aligned}$$

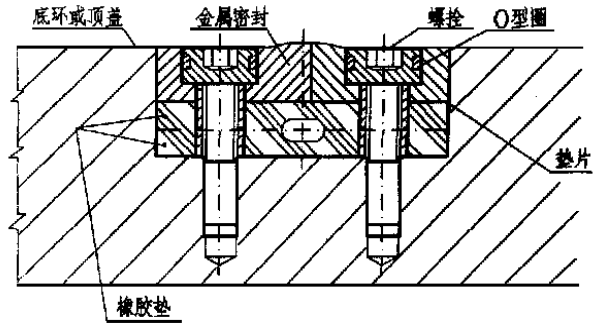


图6 导叶上下端面密封图

式中 X ——导叶端部与金属密封间隙;

0.66 ——下部橡胶的压缩量;

0.1 ——上部橡胶的压缩量。

5.2 导叶中轴密封安装

导叶中轴周围设有“L”型橡胶密封及止推环,止推环由2块扇形组成,其作用是扣紧“L”型橡胶密封,从而保证止水;止推环与导叶中轴间隙应控制在 $0.15 \sim 0.18 \text{ mm}$,以保证导叶在转动时不将止推环挤掉。

与导叶中轴相接的顶盖内部,由于结构上的原因,均有凹坑。为防止积水,GE公司设计将这些凹坑用混凝土填平,这样做既保证了顶盖内不积水,又方便了顶盖排水通畅。

6 结语

通过对导水机构的安装介绍,可以比较出GE公司所设计的水机方面特点及不足之处。如基础环内外环的打磨、密封环的焊接打磨,其特点是能够保证现场安装的精度,但所用的测量打磨时间较长,每台机平均需 32 d 左右。控制环与连杆连接采用偏心销方式,从而可以保证连杆与副拐臂的连接精度,并不做微量调整,但应注意偏心销的方位,以确保两个锁紧螺栓均能锁紧。导叶的提升可通过剥离垫片来控制,从而给施工带来很大方便。底环、导叶套筒均采用 DAVA 材料制成,这种材料不进行自润滑,只需用干布清扫即可。但缺点是脆性大,在吊装导叶、顶盖时应特别小心,一旦损坏,不易更换。金属密封下部采用橡胶垫,中间加调整垫,上部采用黄铜密封即可保证与导叶端间的压紧接触,又便于更换。

通过对二滩电站导水机构的安装,既可提高单位整体对大型机组的安装水平,也使个人学到了不少国外的先进技术和经验,使我国在制造、安装技术上跨上了一个新台阶。

作者简介:

李兴易(1970年-),男,贵州遵义人,中国水利水电第九工程局工程师,学士,从事水力机械安装工作;

张建军(1962年-),男,河北永清人,中国水利水电第五工程局高级工程师,学士,从事水电工程机械及金属结构安装、设计工作。

《四川水力发电》再次荣获四川省“优秀期刊”称号

在刚刚结束的四川省第二届优秀期刊评选中,《四川水力发电》再次荣获四川省“优秀期刊”称号并被评为自然科技类期刊二等奖,并获奖状和证书。这是继《四川水力发电》杂志于1995年四川省首届

优秀期刊评比中获“优秀期刊”称号、自然科技类期刊三等奖和1999年获“四川省质量一级期刊”称号之后获得的又一殊荣。

本刊记者 李燕辉