

浅谈工地打磨抽水蓄能机组水轮机座环工艺

闫 征

哈尔滨电机厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150040

[摘要] 文章对某抽水蓄能电站的 3 号座环打磨工作进行了详细描述, 对打磨工具的安装、调整及整个打磨工作的重点及注意事项进行阐述。打磨数据根据导水机构实际加工、预装尺寸确定, 消除了部分加工的控制。为机组运行状态提供有力保证。

[关键词] 座环; 座环变形; 打磨工具调整; 座环打磨

DOI: 10.33142/hst.v4i6.4854

中图分类号: TV734.1

文献标识码: A

Discussion on Grinding Technology of Hydraulic Turbine Stay Ring of Pumped Storage Unit on Site

YAN Zheng

Harbin Electric Machinery Company Limited, Harbin, Heilongjiang, 150040, China

Abstract: This paper describes in detail the grinding work of No. 3 stay ring in a pumped storage power station, and expounds the installation and adjustment of grinding tools and the key points and precautions of the whole grinding work. The grinding data is determined according to the actual processing and pre assembly size of the water guide mechanism, which eliminates the control of partial addition, so as to provide a strong guarantee for the operation state of the unit.

Keywords: stay ring; seat ring deformation; grinding tool adjustment; stay ring grinding

1 概述

某抽水蓄能电站安装 4 台立轴单级混流可逆式水泵水轮机, 单机容量为 350MW, 总装机容量为 1400MW, 额定转速 500r/min, 水轮机工况额定水头 655m, 最大水头 693.3m, 水泵工况为最小水头 661m, 最大水头 712m。

该机组座环采用钢板焊接结构, 蜗壳与座环在厂内整体预装并焊接, 拆分成 2 瓣后发往工地。座环为上、下环板及固定导叶焊接结构, 其上、下环板采用抗层状撕裂钢板 S500Q—Z35 制造, 为保证导叶的端面间隙, 加之座环在工地安装后, 座环上的两个把合平面、两个密封平面, 都不可避免的产生一些变形, 因此座环的 4 个平面上留有 0.5mm 的工地磨圆机加工余量。蜗壳座环在工地组焊成整体后进行 17.05MPa 水压试验, 蜗壳在工地保压状态下浇灌混凝土, 座环上的装配和密封平面都不可避免的产生一些变形。为了消除这些变形, 使座环达到更好的加工质量, 保证导水机构的装配精度, 需要对变形的座环四个平面进行工地打磨。

2 座环尺寸与打磨工具的规格与性能

座环与底环密封面直径: $\phi 5740 \sim \phi 5828$ mm

座环与底环把合面直径: $\phi 5420 \sim \phi 5734$ mm

座环与顶盖密封面直径: $\phi 5845 \sim \phi 5920$ mm

座环与顶盖把合面直径: 内环: $\phi 6115 \sim \phi 6000$ mm

外环: $\phi 6540 \sim \phi 6385$ mm

打磨工具:

磨头电机功率: 3KW、3000rpm;

加工直径范围: 顶盖安装平面: $\phi 6000\text{mm} - \phi 6540\text{mm}$;

上环板止口平面: $\phi 5845\text{mm} - \phi 5940\text{mm}$;

环安装平面: $\phi 5740\text{mm} - \phi 5834\text{mm}$;

下法兰平面: $\phi 5420\text{mm} - \phi 5734$ mm。

设备总重约: 12t

3 工作原理与结构特征:

该座环打磨设备主要由主轴、支撑体、支撑臂、旋转臂、磨头电机、滑座、磨头支座、支座、安装平台、操作平

台和悬臂吊车等部分组成（见座环工地打磨设备装配图）。旋转臂围绕中心主轴旋转，带动磨头运动，完成打磨的圆周运动。该打磨设备设有四个磨头安装位置，一个旋转臂（两侧分别安装有上接长臂和下接长臂）。根据所要打磨部位的不同，磨头分别安装到两个接长臂的相应位置。不同被打磨平面所在位置的差异比较大，上接长臂的上面和一个侧面安装上磨头，分别打磨顶盖与座环把合面 $\phi 6000 \sim \phi 6540\text{mm}$ 、顶盖与座环密封面 $\phi 5845\text{mm} \sim \phi 5940\text{mm}$ 和顶盖与底环把合面 $\phi 5740 \sim \phi 5834\text{mm}$ 环形平面。下接长臂的侧面安装磨头，打磨顶盖与底环密封平面 $\phi 5420 \sim \phi 5734\text{mm}$ 环形平面。上、下两个接长臂呈 180° 度分布。由于该设备要安装在座环的内部，必须要把整个设备架起来，在中间设置四个支撑臂，四个支撑臂分别架在四个支座上，通过支撑臂和支座上的调整螺栓，可对设备进行水平和垂直方向的调整。四个支撑臂和支撑体连成一体，主轴安装在支撑体上。工作时，接长臂和旋转臂绕主轴转动。使用时，由于磨头安装位置的不同，每一个位置上都有一个磨头座，将磨头安装到磨头座上，通过调整磨头座与接长臂处的连接，保证磨头电机的垂直度和砂轮的水平度。磨头的垂直进给由滑座实现。滑座安装在磨头座与磨头电机之间，通过旋转丝杆使滑座带动磨头电机上下移动。更换砂轮时，将滑座移动到最上端，下端留有换砂轮的空间。该设备采用手动推拉方式打磨，因为打磨时不是整个面磨削，只是打磨局部高点，手动使转臂来回运动，操作方便、安全、可靠。

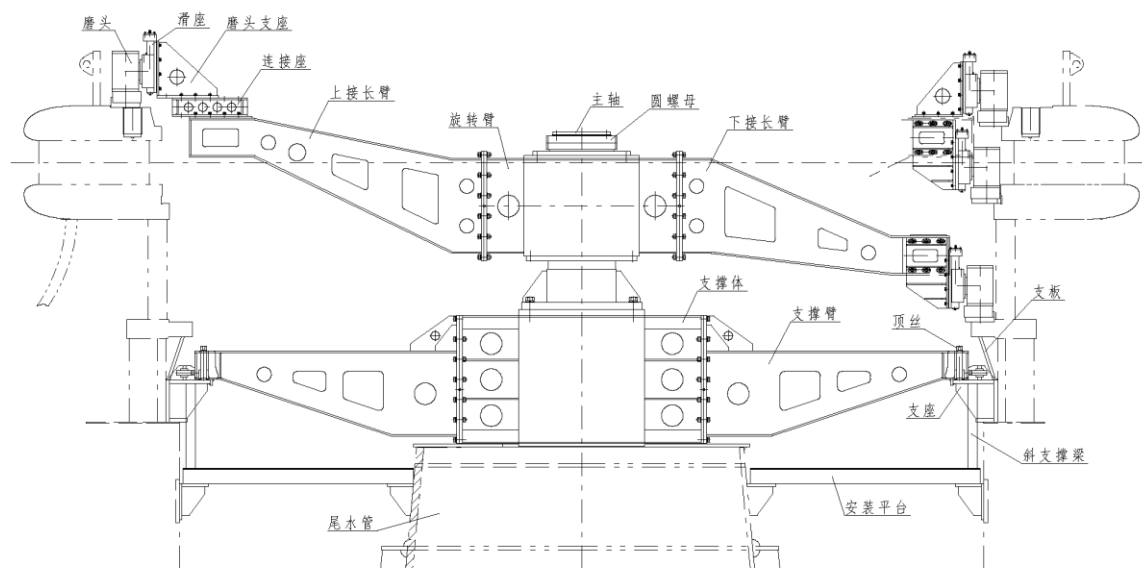


图1 座环工地打磨设备装配

4 设备总体安装

(1) 先搭建安装平台。在尾水管上焊接8个支座，圆周均布，在尾水管上与支座同一水平位置的机坑里衬上对应焊接8个支座，作为搭建安装平台的基础，在两两对应（一个在尾水管上，一个在机坑里衬上）的支座上焊接上工字钢，焊接时要测量好工字钢的位置（尾水管合缝面两侧的支座对称分布），保持均布。然后将8个花纹钢板铺到工字钢上。

(2) 在尾水管上口沿处焊接两块 20mm 厚半圆钢板，半径大于尾水管上口沿半径，用吊车将中心支撑体吊入机坑内，落到尾水管上 20mm 厚半圆钢板上。再将支撑臂、接长臂、支座、磨头座、滑座和磨头等用厂房吊车吊入机坑内。将主轴（已经将旋转臂装到主轴上）吊入机坑，安装到中心支撑体上，粗找中心，将中心支撑体固定在 20mm 厚半圆钢板上（可用搭板焊接）。将悬臂吊车安装到主轴上。在座环上与中心支撑体连接支撑臂对应的位置将四个支座焊接好。如下图。（也可以在座环上先将四个支座焊好，将四个支撑臂安装到支撑体上，用厂房吊车将打磨设备吊起来，把四个支撑臂放到四个支座上。）悬臂吊车安装到设备主轴上端，先将立柱安装到主轴上端，再将支撑座和吊车（除起吊臂和配重臂外）安装到支撑座上，利用厂房吊车将起吊臂（电动葫芦固定到起吊臂上）和配重臂安装好。

(3) 用悬臂吊车作为安装吊车，分别将支撑臂、接长臂、磨头座、滑座和磨头等安装好，调整设备精度，调整后，在座环上相应的位置上焊接好4个支座，用于搭建操作平台，如下图所示。

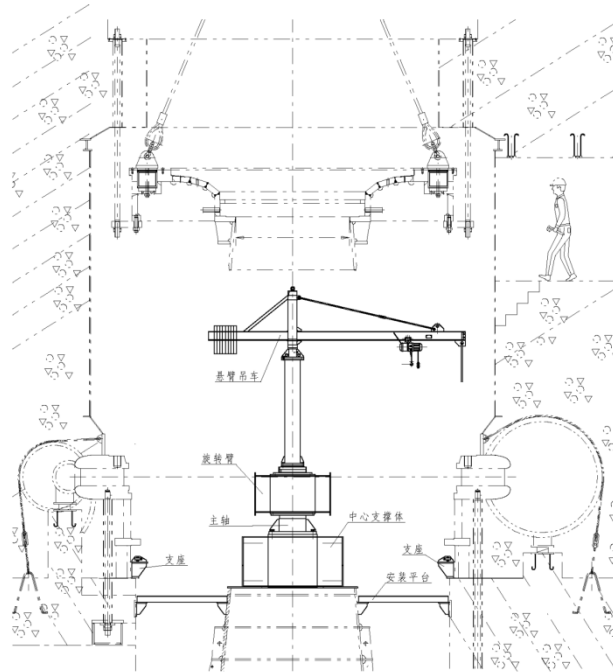


图2 安装平台组装

5 打磨设备的安装调试

打磨设备在出厂前已进行了调试，并达到使用要求。设备出厂时按几大部分包装，不能拆成散件，以方便工地安装。安装调试步骤：

- (1) 先清点件，零件备齐后才能进行安装。
- (2) 先将安装平台安装好，确保稳定后再进行打磨设备的安装（按 S1805 图示）。
- (3) 根据图纸尺寸和所示位置，在座环上找好四个位置（与支座上面的环板上的孔避开，在两孔中间的位置最好），划好线。这四个位置应如图 S1805-1 所示，均布。
- (4) 将四个支座放到这四个位置上。
- (5) 支座底面焊牢，将支座的后面与上面的环板焊接通过支撑板焊接牢固，每个支座两边通过斜支撑梁与安装平台焊接在一起。四个支撑臂分别座在四个支座上。
- (6) 安装上、下两个接长臂。安装好后，开始调整设备。调整设备前，将固定支撑体的搭板拆除。
- (7) 调整设备的水平度和设备中心与座环中心的重合度，要保证设备中心与座环中心重合。这些调整通过支座和支撑臂上的调整螺栓来实现。具体做法如下：
 - a. 接长臂回转，最好保证其径向与座环基准内孔（现场安装确定）的同轴度误差在 0.4mm 以内。根据座环基准内孔的变形取平均值。
 - B. 用经纬仪粗找上接长臂的水平度，要求在 0.1mm 内。
 - c. 把水平仪放在下接长臂的基准面上，接长臂在圆周方向上回转，在对称的 4 个点上进行测量，保证 4 个点水平度差在每米 0.02mm 内。
 - d. 用同样的方法，利用上接长臂检测一次水平度和重合度。
- (8) 将支座上的四个水平螺栓旋紧，固定住设备。将四个支撑臂与四个支座点焊在一起，防止移动，待焊缝冷却后，复测和调整设备的水平度，达到要求为止。
- (9) 需要打磨哪个面，就在相应的接长臂上安装上磨头，磨头在生产厂内已经调试完毕，无需另行调试。在打磨时，电源线要留有足够的长度，以免在磨削时损坏电源线。安装磨头时，要将磨头调平，通过在把合面加铜皮的方法来实现。

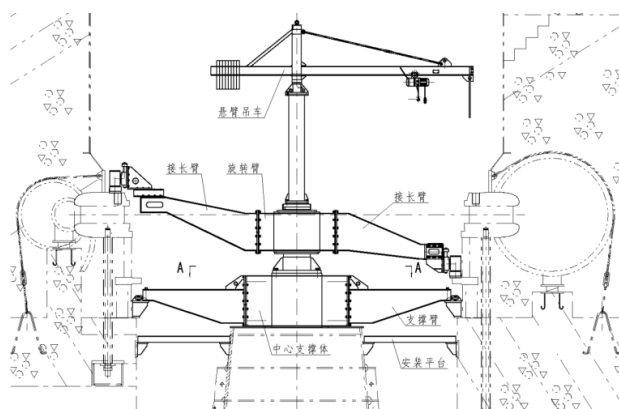


图3 打磨设备安装

6 打磨数据测量及分析

根据导水机构中心线及配合尺寸 808H7mm, 利用水准仪、钢钢尺等确定座环上下法兰面加工量, 要求圆周均布 32 点进行测量, 并进行清晰明显标记。同时参考底环厚度、顶盖厚度及导叶瓣体高度的测量数据、顶盖下沉量、底环下沉量, 相关数据反馈设计, 得出最终座环上下平面工地打磨后尺寸, 按照如下要求控制:

- (1) 座环顶盖把合面至下环板与底环配合面高度按 $667.2 \pm 0.05\text{mm}$ 加工 (优先保证);
- (2) 座环顶盖把合面至上环板第二道密封面高度按 $135.04 \pm 0.05\text{mm}$ 加工;
- (3) 座环下环板与底环配合面至底环把合面高度按 $820.07 \pm 0.05\text{mm}$ 加工;
- (4) 导水机构中心线至顶盖把合面高度按 $383 \pm 0.2\text{mm}$ 加工;
- (5) 现场加工面光洁度统一按 Ra3.2 要求。

7 座环各平面打磨

根据各平面加工量及所做标记, 选择合适的单次加工量 ($0.01 \sim 0.05\text{mm}$), 从高点开始打磨, 逐渐扩大打磨范围, 直至全部面都能打磨到 (打磨一圈都能产生连续磨削火花), 然后整圈打磨到尺寸。

第一, 打磨顶盖与座环把合面。因为敦化顶盖把合面宽, 以环槽分成了两个环面, 打磨设备分成两次打磨, 先打磨外环, 调整打磨半径后打磨内环。从测量数据看, 外环和内环一周的高低差超过了预留的打磨量, 因此两个环面不需要去量打磨, 只要整个面磨平, 满足粗糙度和平面度即可。打磨内环时, 在一周打磨平整后, 测量两个环的平面度, 保证平面度符合要求。如有必要, 需要调整磨头半径, 继续打磨外环。

第二, 打磨顶盖与座环密封面。首先以顶盖把合面为基准, 用内径尺配合平尺, 测量到顶盖密封面的尺寸, 确定打磨余量。如果打磨余量不够, 返回打磨顶盖把合面。更换磨头位置, 并调整好半径尺寸、周向和径向垂直度后, 打磨平面到一周平整。再次测量到顶盖把合面的尺寸, 检查是否还有加工余量。然后整圈打磨到尺寸范围内。打磨期间要多次测量尺寸, 尤其是即将进尺寸公差时, 以保证尺寸及平面度。

第三, 打磨底环与座环密封面。打磨期间的要求与打磨顶盖密封面相同。

第四, 打磨底环与座环把合面。因为打磨平面大, 打磨后的平面热变形也比较明显, 所以打磨时要减少打磨量, 测量数据要在打磨完一段时间后, 并多次测量验证。其余要求与打磨顶盖密封面相同。

表1 顶盖与座环把合面打磨后数据 (用钢钢尺测量, 单位 mm)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
内环	8.82	8.82	8.82	8.82	8.82	8.81	8.82	8.82	8.81	8.81	8.81	8.82	8.82	8.82
外环	8.83	8.83	8.83	8.83	8.86	8.86	8.85	8.85	8.85	8.85	8.83	8.84	8.85	8.85
序号	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
内环	8.82	8.82	8.82	8.82	8.81	8.82	8.82	8.82	8.82	8.81	8.82	8.81	8.81	8.81
外环	8.85	8.85	8.86	8.86	8.85	8.85	8.85	8.85	8.85	8.83	8.85	8.83	8.82	8.83
序号	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40		
内环	8.81	8.82	8.82	8.81	8.82	8.82	8.83	8.82	8.82	8.82	8.82	8.83		
外环	8.83	8.85	8.84	8.83	8.84	8.84	8.84	8.81	8.83	8.83	8.82	8.83		

单环平面度 0.03mm, 两环平面度 0.05mm, 粗糙度 1.6。

表 2 顶盖与座环密封面、底环与座环密封面和底环与座环把合面打磨后数据 (用内径尺测量, 单位 mm)

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	135.02	135.02	135.02	135.02	135.02	135.03	135.02	135.02	135.02	135.02	135.03
Y	667.15	667.15	667.15	667.15	667.15	667.15	667.15	667.16	667.16	667.15	667.16
Z	820.06	820.07	820.06	820.07	820.05	820.05	820.05	820.05	820.05	820.06	820.06
序号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
X	135.02	135.02	135.02	135.03	135.02	135.02	135.03	135.02	135.03	135.02	135.03
Y	667.15	667.16	667.16	667.16	667.15	667.15	667.15	667.16	667.15	667.16	667.15
Z	820.06	820.06	820.05	820.06	820.06	820.05	820.05	820.07	820.06	820.06	820.06
序号	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
X	135.02	135.02	135.02	135.03	135.03	135.03	135.03	135.02	135.02	135.02	
Y	667.16	667.16	667.16	667.16	667.16	667.16	667.16	667.15	667.15	667.15	
Z	820.07	820.08	820.07	820.07	820.06	820.06	820.05	820.06	820.07	820.06	

顶盖与座环把合面到顶盖与座环密封面尺寸用 X 代表, 设计值为 $135.04 \pm 0.05\text{mm}$; 打磨后尺寸: 135.02~135.03mm, 平面度: 0.01mm, 粗糙度: 1.6。顶盖与座环把合面到底环与座环密封面尺寸用 Y 代表, 设计值为 $667.2 \pm 0.05\text{mm}$; 打磨后尺寸: 667.15~667.16mm, 平面度: 0.01mm, 粗糙度: 1.6。顶盖与座环把合面到底环与座环把合面尺寸用 Z 代表, 设计值为 $820.07 \pm 0.05\text{mm}$; 打磨后尺寸: 820.05~820.08mm, 平面度: 0.03mm, 粗糙度: 1.6。

以上工序全部完工后, 底环落到座环上, 利用底环与座环间的止口调整底环与座环同心, 然后用水准仪测量底环的水平如下数据 (单位 mm):

表 3 底环水平数据 (单位 mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
底环水平	161.28	161.28	161.28	161.29	161.30	161.30	161.28	161.30	161.29	161.29
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
底环水平	161.26	161.27	161.27	161.26	161.25	161.24	161.24	161.25	161.26	161.28

底环装配后平面度 0.06mm, 测量位置直径 5190mm, 所以底环水平 0.012mm/m。

表 4 底环浇筑二期混凝土后水平 (单位 mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
底环水平	161.28	161.28	161.28	161.29	161.30	161.30	161.28	161.30	161.29	161.29
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
底环水平	161.26	161.27	161.27	161.26	161.25	161.24	161.24	161.25	161.26	161.28

至此整个座环打磨工作完成。打磨数据优良。整个施工过程从安装到最后打磨合格, 工期大致 20 天。

8 结束语

座环打磨前, 基准面 (顶盖与座环把合面) 水平偏差值: 0.70mm; 顶盖与座环密封面水平偏差值为: 0.69 mm; 底环与座环把合面水平偏差值为 0.66mm。底环与座环密封面水平偏差值为 0.59mm。

座环打磨后, 顶盖与座环把合面水平偏差最大差值: 0.06mm; 顶盖与座环密封面水平偏差值为: 0.06 mm; 底环与座环把合面水平偏差值为 0.14mm; 底环与座环密封面水平偏差值为: 0.10 mm。

由此可见, 座环经现场加工打磨后安装面精度比以往手工打磨安装的精度有大工误差。所以座环现场打磨加工保证了导水机构安装质量, 对导叶的端部间隙能很好幅度的提高。为机组运行状态提供有力保证。

[参考文献]

- [1] 施庭东. 高水头抽水蓄能电站座环加工工艺探讨[J]. 水电站机电技术, 2021, 44(9): 11-13.
- [2] 庭彭潜, 顾志坚, 陈弘昊, 等. 大型抽水蓄能电站机组国产化关键技术研究与应用[J]. 水力发电, 2021, 47(2): 9-13.

作者简介: 闫征 (1984.10-) 男, 毕业院校: 哈尔滨理工大学; 现就职单位: 哈尔滨电机厂有限责任公司。