

水工 2 号循环泵振动大原因分析和预防措施

庞树民

秦皇岛发电有限责任公司 河北秦皇岛

【摘要】本文对水工 2 号循环泵振动大从结构、备件质量等方面进行了综合分析，并提出了修复方案和预防措施，为设备安全运行、巡点检提供参考。

【关键词】循环泵；振动；损坏原因；预防措施

【收稿日期】2022 年 11 月 18 日 **【出刊日期】**2022 年 12 月 23 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20220063

Cause Analysis and Preventive Measures for Vibration of Hydraulic Circulating Pump No.2

Shumin Pang

Qinhuangdao Power Corporation Limited, Qinhuangdao

【Abstract】In this paper, the vibration of No. 2 hydraulic circulating pump is comprehensively analyzed from the aspects of structure and spare parts quality, and the repairing scheme and preventive measures are put forward, which can provide reference for safe operation of equipment and spot inspection.

【Keywords】 Circulating Pump; Vibration; Damage Cause; Preventive Measures

1 概述

秦皇岛发电有限责任公司 1、2 号汽轮机组为哈尔滨汽轮机厂生产的 200MW 机组，为 1992 年 11 月、1993 年 8 月分别投产发电，配套的循环泵是由长沙水泵厂生产的混流泵，型号为 60LKXB-26A，额定流量 13392m³/h，扬程为 25.0m，电机功率 1250kw。2009 年由于我公司一期机组烟气排放指标无法满足国家环保要求，锅炉烟气系统增加了海水脱硫设备，但循环泵提供的海水量无法满足烟气脱硫对海水的需求，在 2009 年分别对 1 号机、2 号机循环泵进行增容改造，流量增加至 16392m³/h，扬程为 25.0m，电机功率增大至 1600kw，满足了烟气脱硫海水的用量，保证了脱硫效率符合国家标准。但随着循环泵运行时间的增加和备件质量的问题凸显，在 2015 年 3 月 30 日、2017 年 6 月 26 日、2018 年 5 月 13 日、2019 年 3 月 8 日 2 号循环泵相继发生振动增大和运行异音的缺陷，导致循环泵无法正常运行，影响了机组的安全稳定运行。

2 水工 2 号循环泵结构形式

2.1 水工 2 号循环泵结构

水工 2 号循环泵为立式可抽芯结构形式的斜流泵，长沙水泵厂生产，型号为 60LKXB-26AG，额

定流量 16392m³/h，扬程为 25.0m，电机功率 1600kw。循环泵主要由吸入喇叭口、叶轮、叶轮室、导叶体、外接管、内接管、泵轴、轴承支架、导轴承、支撑板、出水弯管、联轴器等部件组成。吸入喇叭口、下外接管、中间外接管、上外接管支撑板、出水弯管从下到上连接在一起组成不可抽出的外筒体部分；叶轮室、导叶体、内接管和轴承支架从下到上连接在一起组成可抽出部分的固定部分；叶轮装在下主轴上，上、中、下三根主轴通过套筒联轴器连接，组成可抽出部分的转动部分；盖板和导流壳固定在出水弯管上。

2.2 水工 2 号循环泵叶轮

叶轮是循环泵的心脏，由轮毂、叶片、压板等组成。叶轮材质为 ZG0Cr18Ni12Mo2Ti，由轮毂、不锈钢叶片整体铸造，叶片叶型设计根据模型叶片严格按几何相似换算，铸件经热处理消除应力后，对叶片表面进行打磨清除夹沙及表面硬皮。我公司一期循环泵叶轮为开式结构，叶轮叶片与叶轮室之间为曲面配合，叶片与叶轮室的配合角度为 30°，材质为 ZG0Cr18Ni12Mo2Ti，叶片数量为 5 片。叶轮出厂前须经过动、静平衡检测，符合 G6.3 标准，否则运行中极易造成泵振动增大引起叶轮磨损。

2.3 水工 2 号循环泵导轴承结构形式

水工 2 号循环泵共设计 4 个导轴承，导叶体内安装两个，中间轴承支架内安装 1 个导轴承，填料函下部安装 1 个导轴承。导轴承采用的是丁腈橡胶内衬水润滑轴承，橡胶材质虽具有弹性好，工作平稳，可减少冲击和噪音，价格低廉等优点，但橡胶导轴承必须在充分的流体润滑条件下工作，否则运行中容易发生脱胎。

3 水工 2 号循环泵振动大原因分析及预防措施

2015 年 3 月 30 日 02:30 水工 2 号循环泵声音异常、出口压力摆动。测循环泵振动值：东西 0.069mm、南北 0.070mm、垂直 0.012mm，停止 2 号循环泵运行。对 2 号循环泵进行解体检查，发现循环泵下导轴承内衬脱胎、导轴承固定螺丝脱落。

2017 年 6 月 26 日，水工 2 号循环泵振动增大，最大值东西 0.069mm、南北 0.067mm、垂直 0.022mm，运行有异音，停止 2 号循环泵运行，对其进行解体检查，发现导叶体下部导轴承、轴承支架轴承内衬从基体内脱出、分离；导叶体上部导轴承、上导轴承磨损，间隙超过 1.0mm；导叶体内两个导轴承轴套、填料轴套磨损，磨损深度 1mm。

2018 年 5 月 13 日水工 2 号循环泵振动增大，最大值东西 0.055mm、南北 0.052mm、垂直 0.036mm，停止 2 号循环泵运行，对其进行解体检查，发现导叶体下部导轴承固定螺母八个，七个脱落；导叶体内上、下部导轴承内衬磨损，间隙超过 1.0mm；导叶体内与下导轴承配合的轴套磨损，深度 2mm；下轴做径向跳动检测，两端 0.02/0.08mm，中间 0.26mm（标准 ≤ 0.10 mm）。

2019 年 3 月 8 日水工 2 号循环泵振动增大，最大值东西 0.061mm、南北 0.016mm、垂直 0.013mm，运行有异音，停止 2 号循环泵运行，对其进行解体检查，发现与导叶体导轴承配合的轴套发生偏磨，磨损深度 2mm，下轴做径向跳动检测，最大 0.50mm；对叶轮做静平衡试验，不平衡重量最大 7.48kg。

通过对 2015-2019 年水工#2 循环泵振动大解体后检查情况分析，泵轴弯曲度超标、叶轮动静平衡不符合标准、导轴承内衬耐磨性差是振动增大的主要原因。

3.1 泵轴运行中发生弯曲

循环泵泵轴设计材质为 2205 双相不锈钢，具有

优异的耐海水腐蚀性能，它是既有奥氏体又有铁素体组织结构的钢种，而且此二相组织独立存在，含量都较大。根据两相组织的特点，只要正确地控制化学成分和热处理工艺，就可以使双相不锈钢兼有铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢的优点，即既具有奥氏体不锈钢的优良韧性和焊接性，又具有铁素体不锈钢较高强度和耐氯化物应力腐蚀性能。

2019 年 3 月 8 日水工 2 号循环泵振动增大，最大值东西 0.061mm、南北 0.016mm、垂直 0.013mm，运行有异音，停止 2 号循环泵运行，对其进行解体检查，发现与导叶体导轴承配合的轴套发生偏磨，磨损深度 2mm，下轴做径向跳动检测，最大 0.50mm；经专业会讨论，进行直轴处理，直轴后径向跳动须小于 0.10mm。

直轴工艺：

(1) 测量轴弯曲，绘制轴弯曲曲线。

(2) 在最大弯曲断面的整个圆周上清理，检查并记录好裂纹的情况。

(3) 按将轴凸面向上放置在专用台架上，在靠近加热处两侧装上百分表以观察加热后的变化。

(4) 用石棉布把最大弯曲处包起来，以最大弯曲点为中心把石棉布开出长方形的加热孔。加热孔长度（沿圆周方向），约为该处轴颈的 25%-30%，孔的宽度（沿轴线方向）与弯曲度有关，约为该处直径的 10%-15%。

(5) 选用较小的焊咀对加热处的轴面加热。加热对焊咀距轴面约为 15-20mm，先从孔中心开始，然后和两侧移动，均匀地周期地移动焊咀。当加热至 500-550℃时（轴表面呈暗红色），立即用石棉布把加热孔盖起来，以免冷却过快而使轴表面硬化或产生裂纹。

3.2 叶轮运行中磨损动静平衡不符合出厂标准

由于叶轮浇铸时受工艺限制，叶片根部与轮毂交汇处没能浇铸出足够大的过渡圆角，在铸件后期处理时对此处进行了堆焊，叶片根部与轮毂交汇处的过渡圆角均为后期堆焊形成。目前出现的裂纹主要是由于焊缝在冲刷过程中发生了缝隙腐蚀和晶间腐蚀引起，与叶片在旋转做功时所受的水压力无关，不是机械力裂纹，而是腐蚀裂缝。同时由于海水中的泥沙等杂质对泵叶片、轮毂等部件的冲刷，造成叶轮的动、静平衡存在偏差（叶轮修复时静不平衡

重量达 7.48 千克), 造成泵轴运行中出现不规则摆动, 导致导轴承内衬与泵轴发生摩擦, 由于导轴承内衬为橡胶材质, 弹性大, 致使泵轴、轴套发生偏磨, 由此引起导轴承间隙增大, 循环泵振动增大。

3.3 导叶体内上、下导轴承内衬脱胎, 导轴承内衬从基体内大部分脱出导轴承

内衬材质为丁腈橡胶, 由于导轴承内衬橡胶与基体结合不牢固, 随着运行时间的增加造成导轴承内衬与基体出现分离, 并从导轴承基体中退出, 造成循环泵振动增大。

3.4 防止循环泵振动增大造成部件损坏的预防措施

循环泵作为发电厂的重要辅助设备, 一旦由于循环泵的叶轮、导轴承等故障退出运行(叶轮的制造工期为 90 天左右), 将直接影响凝汽器和脱硫设备的安全运行。鉴于目前 2 号循环泵叶轮叶片出现汽蚀, 叶片容易磨损的设计存在问题, 需要储备一台叶轮作为事故备件, 以确保循环泵叶轮出现故障时能够及时修复, 提高机组运行的可靠性。同时在采购叶轮时应对叶轮的制造工艺、验收标准等方面进行详细阐述。

(1) 导轴承内衬更换成赛龙材质防止脱胎

鉴于循环泵橡胶导轴承制作工艺、容易脱胎等问题, 需要将导轴承的内衬更换成赛龙材质, 我公司二、三期循环泵赛龙导轴承已运行了 7 年, 未发生过内衬脱胎等问题。

赛龙轴承是加拿大汤姆森一戈登公司 20 世纪 60 年代为船舶应用研制的独特产品, 在加拿大它已成功替代了橡胶轴承。赛龙是合成树脂和合成橡胶技术的混合物, 是由三次元交叉结晶热凝性树脂制造而成的聚合物, 属于一种非金属高分子化合物。它具有出色的抗磨损性和自恢复弹性, 能承受高压和冲击载荷, 特别是自润滑性能好, 可在干摩擦状态下工作, 并能减少噪声和振动。赛龙轴承不仅具有橡胶导轴承的优点, 且可以在 1-2 分钟内干运转, 不需要预先用水润滑, 抗磨能力强, 具有较长的使用寿命, 可以延长轴的使用寿命, 降低维护轴的费用, 是取代橡胶轴承的理想产品。赛龙轴承采用过盈安装, 采用液氮在-196℃的温度下冷冻安装, 杜绝了运行中脱胎的情况发生。

(2) 循环泵泵轴径向跳动检测要求

循环泵泵轴共三段, 每根之间采用套筒联轴器连接, 三根泵轴直径均为 160mm, 长度分别为 3.3m、3.9m、4.5m, 材质为 2205 双相不锈钢, 循环泵运行中一旦出现振动增大, 需要对三根泵轴进行径向跳动检测, 确保泵轴径向跳动小于 0.10mm。

4 循环泵叶轮修复方案

4.1 工序

(1) 由于叶轮室内壁由于磨损、偏研, 依据叶轮室图纸要求的配合面倾角, 加工修正内壁至规圆。

(2) 由于叶轮叶片严重磨损, 需要将叶片磨损部位按照磨损前叶轮的型线补焊同材质不锈钢板, 然后根据叶轮零件图加工至规定尺寸。

(3) 对叶轮叶片与轮毂连接部位的两处裂纹进行挖补处理。

4.2 工艺

(1) 叶轮材料为 ZG0Cr18Ni12Mo2Ti, 化学成份与 316 不锈钢材料相当, 因此采用的焊材为: 316 焊丝和 316 焊条(牌号 212), 或 022 焊条(即 316L 焊条)。氩弧焊丝规格选用 $\Phi 2.5\text{mm}$, 电焊条规格选用 $\Phi 3.2\text{mm}$ 。

(2) 焊接方式采用氩弧焊与电弧焊相结合的方式。对于较深较窄的打磨区域, 先用氩弧焊作为底焊, 后在其上作电弧焊覆盖焊, 或直接全部氩弧焊填补, 视填补空间定。对于面积较大, 较平坦区域, 则直接采用电弧焊覆盖填补。按照叶轮材质, 焊前无需进行预热处理, 焊后也无需进行热处理。如室温低于 5℃、空气湿度大于 75%时需对工件进行预热, 预热温度为 100℃左右。不锈钢焊条使用前必须进行 150℃持续保温 1 小时烘干, 并在施工过程中放置在通电的保温桶内保持干燥。

4.3 修复标准

叶轮叶片根部与轮毂交汇处、叶片根部与围带交汇处进行着色检查, 无裂纹、气孔、夹渣、咬边等缺陷, 叶轮过流部分的表面粗糙度为 Ra12.5-25。

5 结束语

本文通过对 2 号循环泵振动大的原因和预防措施进行了详细分析, 认为控制叶轮、导轴承和泵轴出厂质量是保证设备安全运行的重要一环, 在叶轮修复或订购备件签订技术协议时详细写明叶轮的验收标准、铸造工艺、动静平衡标准、材质要求, 同时在机组检修时做好拦污栅、旋转滤网的检查、维

护,防止海水中带入大的固体杂物,可以极大地减少叶轮损坏事故的发生。同时导轴承内衬更换成赛龙内衬和基体进行结构改进可以防止脱胎现象的发生,泵轴在运行一个大修周期后进行径向跳动的检测,确保泵轴弯曲度符合检修规程要求,以提高循环泵和汽轮机组运行的安全性、可靠性。

参考文献

- [1] 一期循环泵运行、维护说明书 长沙水泵厂
- [2] 秦电 1 号机 2 号循环泵叶轮、泵轴修复技术协议
- [3] 秦电一期循环泵增容改造技术方案
- [4] 沈阳石化电站泵有限公司热直轴法直轴工艺 Q/SSDB—06—04—2016 鲁彦、赵奎福

- [5] 秦电水工二期循环泵叶轮备件技术规范
- [6] 秦电 7 号循环泵叶轮围带损坏原因分析报告 金属室
- [7] 秦电#3 机#5 循环泵叶轮修复技术方案
- [8] 秦山核电站海水循环泵故障浅析 水泵技术 2004.1 鲍旭东 江腊涛
- [9] 600MW 机组海水循环泵轮毂腐蚀原因分析 华东电力 2006.11 杨点中 楼玉民 周江

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS