

# 循环水泵故障原因分析及处理

杨有兴

（华能南京金陵发电有限公司，江苏 南京 210034）

**摘 要：**华能金陵电厂 2×1030MW 超超临界燃煤机组四台循环水泵由于设计、制造、安装、运行等原因，自投运以来相继出现振动超标、叶轮断裂等严重故障，经过联轴器改型、轴系安装工艺改进、水导轴承润滑改进、叶轮加厚、吸入喇叭口流线改进等措施，截止到 2013 年 3 月四台循泵已全部改造结束，目前运行平稳，振动合格。

**关键词：**循泵；振动；锥形联轴器；叶轮；改造

## 1 概况

华能金陵电厂 2×1030MW 超超临界燃煤机组四台循环水泵由日立泵制造（无锡）有限公司生产(简称泵厂)，型号：2600HDC-13，为抽芯导叶式混流泵，流量 16.3 m<sup>3</sup>/s，扬程 15.6 m，采用扩大单元制运行方式，即夏季采用二机三泵运行，其它季节采用一机一泵运行，泵房布置为全露天布置。四台循泵分别于 2009 年 9 月和 2010 年 6 月安装完成并进入试运行状态，由于设计、制造、安装、运行等各方面的原因，自投入运行以来四台泵相继出现振动严重超标、叶轮断裂等各种故障，尤其是 2011 年 11 月 9 日—12 月 1 日期间的近一个月内，相继出现了 2A、1A、1B 三台循泵叶轮断裂的严重故障，危急时刻仅依靠#2 机的一台正常循泵加一台断裂叶片的循泵供应二台机组的循环冷却水，险些造成停机事故，严重影响了机组的安全运行。

期间电厂多次组织沈阳水泵厂、太仓电厂、利港电厂、上海检修公司等单位水泵方面的专家以及泵厂日方、中方技术专家、电厂相关专业技术人员进行专题讨论、原因分析、吸取其它制造厂循泵的长处，与泵厂技术人员一同制定了改造方案，经过 16 次解体检修和应急抢修，不断的改进优化，经过锥型联轴器改型、轴系安装工艺改进、水导轴承润滑水改进、水泵叶轮加厚、吸入面积扩大等措施改造，目前四台循泵运行平稳，振动合格。

## 2 故障现象及部件损坏情况

以下为 2010 年 7 月 1B 循泵解体情况：

(1) 中间轴上部轴颈磨偏 4mm，见图 1。



图 1 中间轴上部轴颈磨偏

(2) 下轴轴颈磨损约 15mm，最深处 40mm，见图 2。



图 2 下轴轴颈磨损

(3) 赛龙轴承偏磨，间隙最大处约 6mm，见图 3。



图 3 赛龙轴承偏磨

(4) 叶片断裂一只、另一只裂纹深及根部，见图 4。



图 4 叶片一只断裂、另一只裂纹

(5) 导叶体破损(中间为断裂的叶片)，见图 5。



图 5 导叶体破损

### 3 故障原因分析

(1) 叶轮设计安全系数偏低以及铸造缺陷，叶根厚度偏薄，叶片承受弯扭应力安全余度不够，在振动超标、叶轮与壳体有偏磨等非正常运行工况下，容易产生应力集中，薄弱处首先出现裂纹，进而发生疲劳断裂。

(2) 锥形联轴器的加工工艺无法保证连接后三轴的同心度：水泵轴由三根组成，上、中、下三轴之间采用锥孔联轴器连接，理论上锥型联轴器的连接方式是目前较为先进的一种连接技术，连接方便，对中

性好，但由于国内加工工艺无法保证锥形联轴器的同心度，三根泵轴连接后，转子同心度严重超标，甚至达到 7mm 以上，1B 循泵解体中轴套均呈单面磨损，表明 1B 循泵三根轴连接后的同轴度出现较大的拐点，这是故障的根本原因。

(3) 设计、加工工艺问题：泵-电机之间的联轴器并帽紧固后导致联轴器晃度超标，泵-电联轴器连接后，在填料轴套处的晃度就达到 0.2mm 以上，此处晃度到叶轮处将放大 30 倍，运行中将会造成偏磨。见图 6。

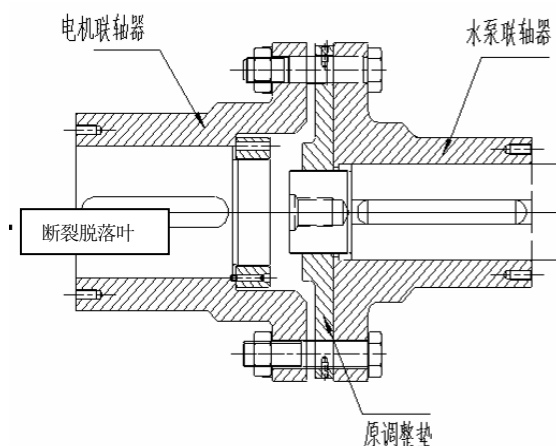


图 6 泵-电机之间的联轴器

(4) 进入冬季，长江水位下降严重，循泵运行工况落入设计区域之外，振动加大，运行工况恶劣。

(5) 设计原因：计算分析，叶轮进口锥形喇叭吸入口面积过小，导致流速达 14.6 m/s，喇叭吸入口流速过快引起泵转子部件转动失稳，产生振动。

(6) 循泵出口蝶阀缺陷加速循泵损坏：由于出口蝶阀行程指示与蝶阀阀杆错位，停泵过程中，蝶阀未关闭到 15° 位置，泵未自动停用，泵在小流量下运行时间超过 2min，堵转时间超限(设计堵转时间为 38s)，泵在极限工况下运行时间超限。

### 4 处理对策、改进方案及实施

#### 4.1 提高设计、制造、加工工艺，是解决金陵电厂循泵故障的根本

(1) 叶轮进口锥形喇叭吸入口重新设计、制作，扩大吸入面积，进水流速减小，喇叭内流速变化均匀，经 CFD 数值分析比改造前的进水喇叭管内流速较小且均匀，减少了流体对叶轮产生的外扰力。见图 7。

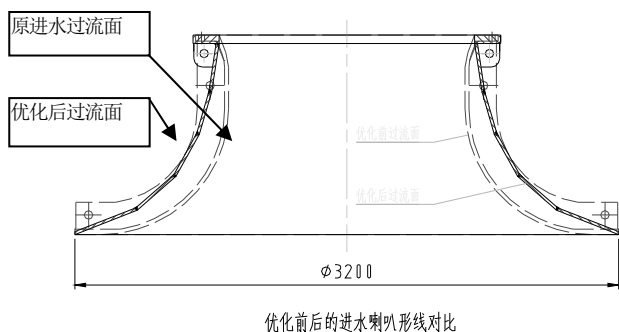


图 7 叶轮进口锥形喇叭扩大吸入面积

(2) 叶轮叶片加厚, 提高叶片疲劳强度和安全倍率, 经重新设计目前叶片厚度由 22mm 增加至 31.8mm, 叶片疲劳强度的安全系数由 2.07 提高至 11.95, 同时叶轮上动平衡机作动平衡, 使叶轮的质量平衡控制在 40g 以内。

(3) 循泵三轴之间联轴器改为套筒式联轴器, 但必须改进加工工艺, 控制间隙、保证同心度合格, 在电厂多次要求下, 泵厂在工厂内制作了校验平台, 在出厂前三轴联接模拟现场情况, 对连接后的三轴进行检测, 晃度 $\leq 0.30\text{mm}$  方能出厂。

(4) 泵-电联轴器改进: 原并帽外径车小, 仅起并帽作用, 减少泵-电联轴器之间的平面接触数量, 保证平面与轴线的垂直度(见图 8)。泵-电联轴器连接后, 加盘根处跳动误差不超过 0.10mm。

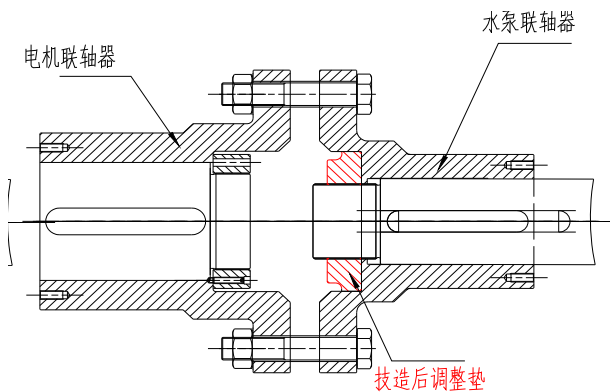


图 8 泵-电联轴器改进

(5) 水泵下部二只赛龙轴承改进为进口橡胶轴承。

#### 4.2 优化安装工序、控制安装工艺质量

(1) 壳体部件拉钢丝找中心, 盘根室与下部导叶体配合止口处的同心度 $\leq 0.50\text{mm}$ 。

(2) 导叶体与泵壳的配合平面水平度 $\leq 0.05\text{mm/m}$ 。

(3) 推力头水平 $\leq 0.03\text{mm/m}$ 。

(4) 安装过程中转子护套管暂时不组装, 转子进行预安装, 对泵转子叶轮的晃度进行校验、调整, 经过调整, 泵轴叶轮处的晃度控制在 0.35mm 以内。

#### 4.3 其它改进方案

(1) 水导轴承冷却水进行改造: 吸取 KSB 循泵的经验, 原水导轴承润滑冷却介质改为工业水, 提高使用寿命。

(2) 严格安装工艺, 确保泵壳各法兰连接强度, 在泵壳上下同心度合格后, 各法兰配制定位销孔。

(4) 返厂检测修复护套管的法兰水平度 $\leq 0.035\text{mm/m}$ , 保证同心度 $\leq 0.10\text{mm}$ 。

(5) 更换进水喇叭连接管和导叶体止口圆环, 调整径向配合间隙至  $0.50 \pm 0.05\text{mm}$ 。

(6) 对循泵运行工况进行摸索, 在冬季长江水位较底的情况下, 调整凝器循环水室出水门的开度, 保证循泵出口压力在 0.05MPa(g)以上, 减少流量、提高压头, 保证循泵运行工况稳定。

#### 5 改进实施后效果:

从 2010 年 7 月 1B 循泵出现振动故障, 到 2013 年 3 月 1A 循泵改造结束, 历时 2 年半, 4 台循泵已全部进行了改造, 改进后, 4 台循泵电机上部实测径向振动 0.03 mm、轴向振动 0.04mm, 总体运转情况良好, 各项运行参数均在标准范围内, 其中 1B 循泵目前已连续运行一年多, 运行稳定。

#### 6 结束语

经过联轴器改型、轴系安装工艺改进、水导轴承润滑改进、水泵叶轮加厚、叶轮吸入面积加大等改造, 目前四台循泵运行平稳, 提高了循泵安全运行的可靠性, 循泵的运行寿命由最初的 6 个月提高到了目前的 2 年。但由于先天问题较多, 制造厂制造工艺、加工质量仍未能保证 100%合格, 今后在加工工艺、泵轴的同心度、现场安装质量等方面仍需不断改进, 同时循泵目前的结构仍有继续改造的必要和潜力, 以最终实现循泵的长周期(3 年以上)安全运行, 确保百万机组循泵的安全可靠性。