

# 660MW 机组海水循环系统完善及改进

张荣发, 彭 浩

(江苏射阳港发电有限责任公司, 江苏 射阳 224300)

**摘 要:** 通过对海水循环系统设备的现状分析, 排查故障点和薄弱点, 拟制定相应的完善措施, 提高设备的健康水平, 确保机组安全稳定运行, 并且为#6 机组设备安装积累经验, 使设备更加适应该厂的特殊工况。

**关键词:** 海水循环系统; 浒苔; 设备安全; 原因; 完善措施

## 0 前言

江苏射阳港发电有限责任公司三期两台 660MW 机组 (#5、#6 机组) 工程采用扩大单元制直流供水系统, 海水循环泵房设计为 4 台海水循环泵, 室内布置, 循泵进水流道前池部分设计安装液压钢闸门、拦污栅及清污机、旋转滤网等设备。#5 机组投运, 相应#5A、#5B 循泵及相关设备也已投运, 循环冷却水通过钢制海水循环母管输送到#5 机组凝汽器, 海水循环母管相配套设计安装进出口电动蝶阀、二次滤网、胶球清洗装置等设备。

通过一期、二期机组海水循环系统的设计、安装、运行、维护的经验总结, 我厂海水循环系统设备承受数倍于同类型电厂恶劣工况, 黄海水质泥沙含量和含盐量均最高, 处于内河入海口, 海上和内河的水草、水藻以及生活垃圾聚集, 并随涨落潮徘徊在循环水取水口。

作为黄海之滨第一台超超临界 660MW 机组, 其海水循环泵单台取水量是 135MW 机组的四倍, 最大流量达到  $43200\text{m}^3/\text{h}$ , 因此从工程设计、设备安装、机组调试各个阶段, 通过调研、考察、分析、技术攻关等手段, 采用新技术、新材料、新思路对海水循环系统进行优化、完善, 使海水循环设备安全可靠得到不断提高。

## 1 海水循环系统设计阶段的优化措施

### 1.1 循泵房结构土建设计优化

据南京水利科学研究院河港研究所 1995 年实测资料分析, 1995 年底, -0.15m 河宽在 167~192m 之间, 河底高程为 -5.05~-6.55m; 在频率为 97% 的低水位时, 裁弯河自然河道水深约为 2.60~2.70m,

因此海水循环泵房取水口的条件复杂, 取水河道为海水涨落潮通道, 泵房前河水流向为双向流, 泵房为岸边开敞式、垂直于河道, 且水深条件差, 加之含沙量较大, 水流条件比较复杂。

由于地理条件限制, 本期工程取水设施前沿河底将挖至 -5.00m, 泵房的进水口下沿标高为 -4.50m。为保证水泵最小淹没深度, 泵房设计沉井施工, 泵房地底 -9.7m, 并且为减少水流对水泵的扰动, 进一步优化泵房流道设计, 使进水流道具有较理想的水流进水条件、较小的水头损失, 防止回流、旋涡和吸入空气等现象发生, 使海水循环泵运行平稳、不产生振动、气蚀等不利现象, 维持水泵运行在高效工作点附近。

### 1.2 拦污栅及清污机设计优化

根据三期 660MW 火电机组的海水循环系统流量大, 水草和杂物多的特点, 在设计泵房前池拦污栅时, 提出多种方案进行优化: 活动拦污栅、固定拦污栅、水岸栅栏、液压清污机、吊篮式清污机、翻斗式清污机等等, 最终优化设计, 选型为固定式拦污栅、翻斗式清污机, 提高拦污栅过水面积,

拦污栅设计宽度 5300mm, 高度 15700mm, 根据循泵房设计特征水位资料得知, 在频率  $P=99\%$  设计枯水位 -2.14m 时, 拦污栅淹没深度为 7.56m, 即在最低潮位时, 拦污栅过流截面积为  $5.3\text{m}\times 7.56\text{m}$  (循泵进车间钢闸门孔尺寸:  $5.3\text{m}\times 2.7\text{m}$ ), 满足实际运行需求。

拦污栅的栅条宽度为 60mm, 其宽度设计原则为既要分担旋转滤网的拦污压力, 有效拦截大体积杂物, 避免旋转滤网设备故障, 又要避免栅条过小杂物堆积导致固定式拦污栅瘫痪。

### 1.3 旋转滤网设计改进措施

#5 机组旋转滤网型号为 XKC-3500, 两侧进水, 网块中间单侧出水, 与二期旋转滤网结构形式基本相同, 网孔净尺寸  $6.43 \times 6.43 \text{mm}$ , 滤网最小淹没深度  $6500 \text{mm}$ , 滤网前后的设计允许水位差  $1500 \text{mm}$ ;

为提高旋转滤网的结构强度, 应对水草和浒苔的侵袭, 具体改进措施如下:

(1) 主框架采用  $\Phi 76 \times 4$  不锈钢管, 支撑框架采用  $\Phi 57 \times 3.5$  不锈钢管, 与导轨采用焊接连接方式, 大大提高结构强度。

通过技术探讨, 厂家在#6 机组的旋转滤网制作中采用加重型框架结构, 并且网块背面设计辅助滚轮, 框架增加中间导轨, 使滤网前后的设计允许水位差达到  $2000 \text{mm}$ 。

需要澄清的是, #5 机组旋转滤网框架加固和#6 机组旋转滤网改动设计, 提高了设计允许水位差, 不等于旋转滤网可以在  $2000 \text{mm}$  水位落差下可安全运行, 只是确保在极端情况下滤网框架不会瘫痪损毁。况且在频率  $P=99\%$  设计枯水位  $-2.14 \text{m}$  时, 落差达到  $600 \text{mm}$  时, 就已经是海水循环泵运行最低水位, 落差达到  $1700 \text{mm}$  时, 循泵已经到达极限低水位。如图 1 所示。

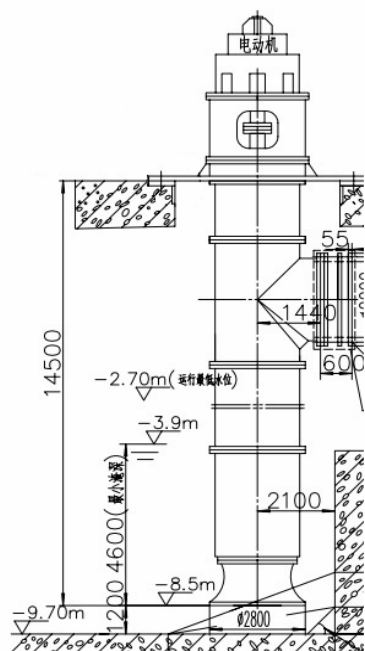


图 1 循泵

(2) 旋转滤网由于是两侧进水, 单侧中间出水的特性, 网块靠近海水循环泵侧积聚杂物量较大, 就导致冲洗水将大量杂物堆积在旋转滤网排污槽的死角

目前改进措施为: 在旋转滤网罩壳北侧 (及靠近循泵侧) 下部开一个横向清理孔, 使用杠杆定期人工清理, 借助冲洗水压力及时排污出去, 避免堆积影响冲洗水冲洗效果。

## 2 海水循环系统安装阶段的改进措施

### 2.1 海水循环泵设计和安装改进措施

长沙水泵厂生产的三期海水循环泵为 88LKXA-14 型立式转子可抽式斜流泵, 特点是在泵外筒体不拆卸的情况下, 转子可单独抽出泵体外进行检修, 电动机与泵直联, 泵吸入口垂直向下, 吐出口水平布置并在泵基础层之下。

结构特点决定该型号的水泵轴承静止部件 (赛龙轴承、轴承支架、轴承内接管等) 只有靠叶轮室下端的防转块, 和叶轮室下端精加工锥面与吸入喇叭口精加工锥面之间的摩擦力稳固, 中间导轴承 A 和 B, 通过内接管与导叶体叶轮室连接; 泵运转时, 微观上分析中间导轴承 A 和 B 在外加管内  $0.1-0.2 \text{mm}$  间隙中晃动, 如果循泵长期汽蚀等恶劣工况下运行, 加上泥沙冲刷磨损, 间隙逐渐放大, 导致振动加剧。

二期海水循环泵曾经出现过类似情况, 最终导致内接管断裂, 中间导轴承支架随泵轴一起转动, 如不及时发现处理, 将会出现泵轴弯曲、泵壳断裂等恶性事故 (某电厂就有一台循泵出现类似事故)。具体完善措施如下:

(1) 中间导轴承支架均用不锈钢垫片尽量垫实, 并且与轴承支架焊接固定, 尽可能减少轴承支架晃动间隙。

(2) 循泵运行时, 使用听棒辨别泵体内是否有金属摩擦和撞击声响, 查看填料是否保持少量清水流出 (如果大量海水喷出, 可判断内接管有损伤), 尽早发现问题, 避免事故发生。

### 2.2 冲洗水泵及出口滤网

旋转滤网的冲洗水极为重要, 为确保冲洗效果, 要求设计院增设冲洗水泵出口滤水器, 实际使用效果很好, 旋转滤网的喷嘴堵塞缺陷大大降低, 并且将冲洗水泵滤网由进口改为出口, 提高了滤网过滤效果, 实现自动反冲洗, 通过压差或定时排污, 定时排污间隔设置为  $30 \text{min}$ , 排污时间为  $10 \text{min}$ , 通过将排污水排入清污机排污槽, 同时实现了清污机排污槽自动排污功能。

冲洗水泵运行情况为，机械密封寿命短，解体检查发现，厂家为 3000r/min 冲洗水泵设计采用无保护轴套、无固定销、聚四氟乙烯密封圈的机械密封，见图 2。



图 2 机械密封

从左依次为机械密封弹簧、动环、动环密封圈、静环密封圈、静环；

动环与轴之间直接接触，加上聚四氟乙烯密封圈与金属摩擦力小，导致泵轴磨损严重，最终轴封大量漏水；

通过合理选型，要求厂家提供 MG1-35 F 橡胶型号的机械密封（图 3），该型号的机械密封设计橡胶波纹管，既是次级密封件，又作为动环的驱动件。动环通过 L 环和弹簧传动，不用粘结，机械密封弹簧和动环通过橡胶波纹管阻隔，有效的保护轴套，并且橡胶填补已受损的泵轴，目前使用正常。

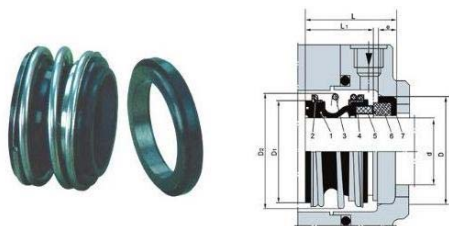


图 3 MG1-35 F 橡胶型号的机械密封

### 3 机组调试阶段的系统优化与改进

#### 3.1 拦污栅清污机调试阶段改进措施

##### 3.1.1 拦污栅及清污机调试过程故障分析

（1）清污机耙斗提前闭合：分两种情况，一种情况是耙斗在导轨中擦碰导致提前闭合，这种情况通过磨合调整，目前基本正常；另一种情况杂物导致阻碍耙斗导致提前闭合，如果杂物堆积在拦污栅栅条上，经过多次上下动作，即可完成清理。如果杂物卡在导轨中，耙斗无法下行提前闭合，只有通过隔离进水间清理或制作专用工具来解决。

（2）清污机耙斗无法闭合：一般为杂物堆积在栅条上较多导致无法闭合，通过对耙斗加配重即可完成闭合，并有效的捞杂物和水草。

（3）清污机自动无法投运、无法定位或无法动作等故障，通常为 7 个接近开关故障，导致 PLC 无

法满足执行条件导致，通过排除即可完成修复，其中机械定位连杆的上行停止指令的两只接近开关最为关键，两只接近开关二取一停止钢丝绳卷筒电机，如果两个同时失灵就导致钢丝绳卷筒继续运转，耙斗继续上行导致设备损坏。

##### 3.1.2 针对故障调试阶段采取的改进措施

（1）上述当耙斗导轨中出现杂物堵塞，如图 4（隔离进水间后水下拦污栅的导轨中的杂物堵塞情况）：



图 4 拦污栅耙斗导轨杂物堵塞

如果机组运行无法隔离进水间，只有制作专用工具进行导轨清理。

专用工具用槽钢制成，略小于拦污栅耙斗导轨，如图 5 所示，使用行车吊起插入耙斗导轨中，就能轻松清理出上图中的编织物等杂物，这样耙斗可恢复正常工作。

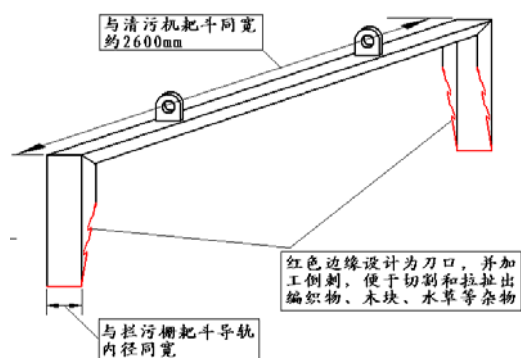


图 5 拦污栅耙斗导轨杂物清理专用工具

（2）由于进水间时常进入较大悬浮杂物（漂浮杂物浮动拦污装置可以大部分阻挡），如塑料桶、树根、木箱甚至床板等，造成清污机耙斗无法正常工作，如果在闸门槽中放入一道闸网，即可有效的阻拦大杂物，设计原则为有效拦截并且不会导致频繁吊起清理，设计网孔直径为 400mm（直径小于

400mm 的杂物清污机耙斗完全可以抓起), 并有三道托钩, 避免杂物起吊时脱落。

注: 实际进入进水间的悬浮杂物有最大尺寸超过 500mm 的树根、有 2000mm×1000mm 的床板等等。

### 3.2 二次滤网调试阶段的改进措施

#5 机组二次滤网采用常州某公司生产的 EDF(W)-2200 型滤网(见图 5), 滤网采用网芯固定排污斗旋转结构型式, 通过排污斗间歇步进旋转依次与网芯分格对中定位排污。充分利用进出水压差实现逐一对网芯分格局部强力反冲洗, 排污斗逐一与网芯分格对中并持续反冲洗 10~60s(可调), 取得良好的排污效果。

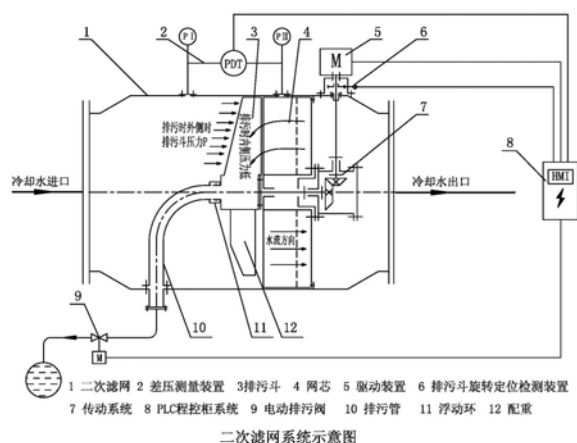


图 5 二次滤网系统示意图

在浒苔爆发的极端情况下, 二次滤网面临前所未有的压力差, 循泵开启时, 大量浒苔瞬间将二次滤网网芯堵塞, 使滤网前后压差达到 0.1MPa 左右, 直接导致二次滤网无法旋转, 调试期间相继采取连续排污、手动人工排污等手段均无法正常运行。

#### 3.2.1 二次滤网调试运行阶段出现的故障:

(1) 因在浒苔爆发的极端情况下, 二次滤网一直在高压差状态(滤网采用连续不间断方式压差持续在 0.02 MPa 左右)下运行, 排污斗在高压差下发生形变, 排污斗和网芯橡胶密封条之间预留间隙过小, 导致两间发生摩擦、卡涩;

(2) 排污斗的配重块不平衡, 排污斗圆周旋转上行比下行力矩偏大;

(3) 二次网驱动装置未考虑在浒苔爆发的极端情况下, 需过续旋转的要求, 电机易发烫, 并且多次热电偶动作;

3.2.2 通过抢修采取以下应急措施适应浒苔爆发极端工况

(1) 拆除所有网芯格栅上的橡胶密封条, 增加排污斗和网芯格栅之间的间隙, 避免两者摩擦导致过力矩;

(2) 增加排污斗配重块的重量, 平衡排污斗圆周运行力矩;

(3) 加大二次网驱动装置电机功率, 并且将电机由全密封形式改为有冷却风扇的电机形式, 具备连续运行的条件。

通过上述的应急措施的实施, 二次滤网的可靠性得到有效提高, 但过力矩动作的情况还偶有发生, 因此, 需要进一步分析和处理, 提高二次滤网的运行可靠性。

在进行设备模型试验和故障点排查, 发现二次滤网在水草杂物较多的工况下, 网芯前后及排污斗处出现较大压差, 配套 660MW 机组的二次滤网与小机组比较下, 排污斗迎水面面积较大, 因此排污斗承受相当大压力, 导致排污斗和排污管之间的浮动环出现错位, 同时造成静环和动环扭矩瞬间加大, 最终执行器拒动, 二次网发生故障信号。二次滤网排污斗承受压力  $P$  计算如下:

$$P = S \times p$$

$P$ : 排污斗承受压力;

$S$ : 排污斗迎水面面积, 约  $0.65\text{m}^2 = 650000\text{mm}^2$ ;

$p$ : 排污斗迎水面承受的压强, 可等同于压差值  $\Delta h$ , 当极端情况下压差值可达 0.05~0.1MPa;

由上述计算可得, 排污斗承受压力  $P$  约 32.5~65kN, 在如此大的压力下排污斗轴发生变形, 出现偏心旋转。

根据上述情况计划采取以下措施:

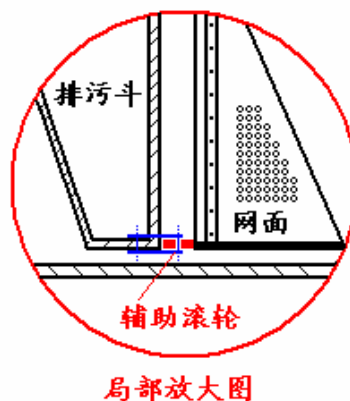


图 6 加装辅助滚轮

如图 6 所示, 在排污斗自由状态下, 将浮动环调整与排污斗中心、排污弯管中心同心的情况下,



在排污斗距轴心最远端上加装辅助滚轮，这样在极端工况下，滚轮着力点在网芯外圆框架上，辅助滚轮既保持了排污斗和网芯合适距离，又保证了浮动环在较同心的状态下转动工作，同时大大减小了排污斗的转动力矩，从而彻底的解决应付极端状况的故障隐患。同时，#6 机组已排产二次滤网的排污斗轴强度进行加强，使之能够承受更大的压差而不变形。

### 3.3 增设浮动拦污装置应对浒苔

#5 机组进入分步调试和整组启动阶段，恰逢黄海海域大规模浒苔绿潮暴发。大量浒苔漂浮聚集，阻塞航道，导致我厂旋转滤网和二次滤网瘫痪。



a) 旋转滤网网面 b) 二次滤网网面

图 7 滤网网面浒苔堵塞

浒苔是管状膜质、丛生的藻类，管状中空或者至少在藻体的柄部和藻体边缘部分呈中空，在水体中呈漂浮状态；经过了解在水工机械设计领域，清理拦截浒苔的设备目前还是空白。

因此为应对浒苔专门组织了技术攻关小组，通过若干次的小组讨论，最终确定在海水循环泵房取水口外侧河道中设置浮动拦污装置。

#### 3.3.1 浮动拦污装置

初步设计和布置结构如图 8。

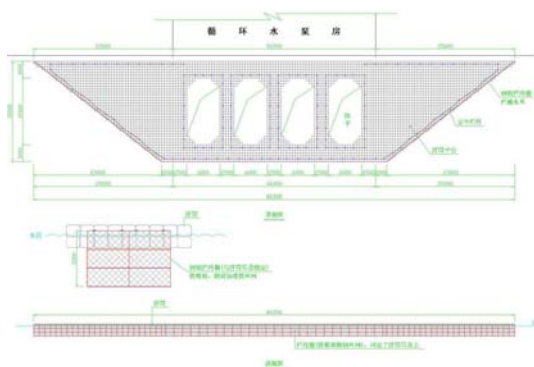


图 8 浮动拦污装置结构图

浮动拦污装置的固定方式如图 9。

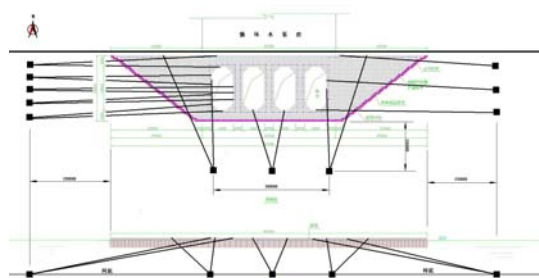


图 9 浮动拦污装置的固定

上述浮筒的传统锚固方式在我厂潮汐河道中，无法有效固定，并且上游密集的锚绳穿过拦污栅，造成大量的水草和垃圾缠绕堆积，最终顺锚绳从浮动拦污装置外圈拦污栅下端越过，到达拦污装置的中间，最终吸入海水循环泵房进水间，如图 10 所示。

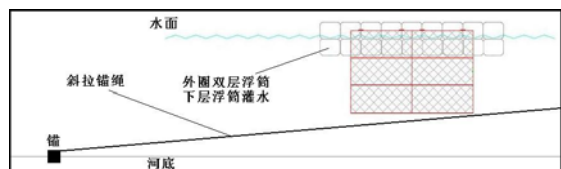


图 10 传统锚固方式致使杂物进入循环泵房

#### 3.3.2 浮动拦污装置优化改进措施

针对上述情况，与厂家进行研究，修改方案，利用海水循环泵房临水面光滑平整的特性，制作滑轮组（见图 11）。

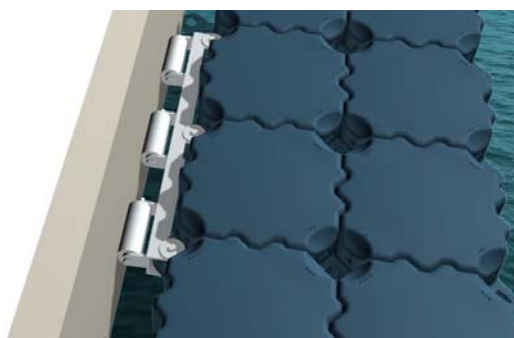


图 11 滑轮组

改变锚固措施，在海水循环泵房两边码头各设置两个系船柱，取消水下的锚绳，采取水上锚绳加固。

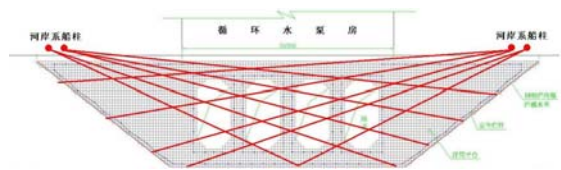


图 12 锚固措施改进

实施完善措施有以下预计效果：

(1) 系船柱锚固措施可以使浮筒紧贴海水循环泵房进水口，无空隙；

(2) 取消水下锚绳尽可能的减少水草和杂物进入海水循环泵进水间;

(3) 锚绳在水上便于检查和维护, 避免锚绳断裂后吸入海水循环进水间导致设备故障。

#### 4 结束语

通过不懈努力, 海水循环系统通过了前期的调试运行、机组整体启动和 168 小时运行的严峻考验, 并对所有设备的现状进行深层分析, 排查故障点和

薄弱点, 制定相应的完善措施, 提高了设备的健康水平, 确保了机组安全稳定运行。

---

#### 作者简介:

张荣发 (1965-), 男, 江苏盐城人, 工程师, 从事电厂基建和设备维护管理工作;

彭 浩 (1973-), 男, 江苏盐城人, 工程师, 从事电厂汽机设备生产维修和基建工作。