

Analysis and preventive measures for water leakage in the main pump seal of the camera water cooling system

Shengchun Liu¹ Wei Ye¹ Guodong Zhang¹ Tongbiao Jie¹ Jie Zhang²

1. Qinghai Dehong Electric Power Technology Co., Ltd., Qinghai, Xining, 810000, China

2. State Grid Qinghai Electric Power Company Electric Power Science Research Institute, Qinghai, Xining, 810000, China

Abstract

As the core equipment of the cooling system, the main pump is the power source for circulating the cooling medium of the phase-shifting camera. Its stable operation directly determines whether the cooling system can dissipate heat efficiently, thereby ensuring the continuous and stable operation of the phase-shifting camera. If the main pump fails, it may cause cooling failure, leading to the shutdown of the phase-shifting camera and causing serious losses. In response to the problem of water leakage in the main pump seal, the root cause was identified through disassembly and analysis of the seal structure, inspection of operational wear and installation accuracy. Firstly, long-term friction between the dynamic and static rings resulted in scratches and wear on the sealing surface; Secondly, the aging of sealing rubber components leads to a decrease in elasticity; The third issue is that the coaxiality deviation exceeds the standard during installation, which damages the sealing effect. To this end, measures have been taken to replace high wear-resistant dynamic and static rings, select aging resistant seals, and optimize installation processes to ensure coaxiality. After the measures were implemented, the problem of water leakage in the machine seal was completely solved, ensuring the safe and stable operation of the camera cooling system.

Keywords

condenser cooling system, main pump seal, water seepage, analysis

调相机水冷系统主泵机封漏水分析及防范措施

刘生春¹ 叶伟¹ 张国栋¹ 解统彪¹ 张杰²

1. 青海德泓电力科技有限公司, 中国·青海西宁 810000

2. 国网青海省电力公司电力科学研究院, 中国·青海西宁 810000

摘要

主泵作为冷却系统的核心设备, 是调相机冷却介质循环的动力源, 其稳定运行直接决定冷却系统能否高效散热, 进而保障调相机持续稳定工作, 若主泵出现故障, 可能导致冷却失效, 引发调相机停机, 造成严重损失。针对主泵机封漏水问题, 通过拆解分析机封结构、检查运行磨损情况及安装精度, 明确根本原因: 一是动静环长期摩擦, 密封面产生划痕与磨损; 二是密封橡胶件老化, 弹性下降; 三是安装时同轴度偏差超标, 破坏密封效果。为此, 采取更换高耐磨动静环、选用耐老化密封件、优化安装工艺保证同轴度的改进措施。措施落地后, 机封漏水问题彻底解决, 确保了调相机冷却系统安全稳定运行。

关键词

调相机冷系统; 主泵机封; 渗水; 分析

1 引言

随着国民经济的高速发展, 我国电力工业发展速度越来越快, 对电力的需求也不断加大, 我国虽然是一个能源大国, 但能源分布极其不均匀, 这就呈现出“源荷隔离”的特点, 这就要求我国电力系统能够实现大规模、跨地区和远距离电能输送, 将西北地区的火电和西南地区的水电输送到南方、

华北、华东等电力负荷中心, 促成“北电南送”和“西电东送”的电能传输格局, 为了在增强特高压直流系统的稳定性前提下, 同时满足大规模功率输送的要求, 配置大容量的动态无功补偿设备是十分必要的, 由于同步调相机跟踪速度比较快、故障率低、噪音小、补偿范围既可以是感性也可以是容性, 所以现在电网进行无功补偿时首要选择的设备是同步调相机, 随着调相机容量的不断加大, 电机内发热量也随之增大, 为了维持电机的良好运行, 需要选择合适的冷却介质和冷却方式, 水冷以其安全可靠, 冷却效果好, 因而被广泛应用, 为了提高调相机冷却系统的安全性和热量导出的高效

【作者简介】董林恒(1986-)男, 中国山东泰安人, 本科, 工程师, 从事项目采办管理研究。

性，水箱以高压水作为调相机内部的传热介质，实现内部热量与外部蒸汽发生器的热交换。因此，提升对主泵机封渗水的故障了解程度并进行良好的处理是实现安全可靠的高压水冷同步调相机的自循环系统的保障^[1]。

2 机封结构分析

主泵机械密封用于内水冷主泵密封，由动环和静环、轴套等组成，它是依据动、静环的光洁而平直的端面相互贴合，并作相对转动而构成的密封装置。靠弹性和内冷水在旋转的动环和静环的接触面上产生适当的压紧力，使两个端面紧密贴合，端面间维持一层极薄的液体膜从而达到密封的目的，液体膜具有流动的动压力和静压力，起着润滑和密封作用。如图 1 所示机封共 5 处密封，形成 a、b、c，3 个可能漏水的密封面。



图 1 机封密封结构与密封面示意图

1 密封 -- 动环与轴承之间密封圈密封；2 密封 -- 动环与轴套之间密封圈密封；3 密封 -- 动环与静环之间的主密封，也即机械密封；4 密封 -- 静环与泵壳之间密封圈密封；5 密封 -- 静环与轴套之间密封圈密封。

密封面 a 渗水，为动环与轴间 O 型圈密封即密封圈 1 失效，内冷水沿主泵轴承渗出。密封面 b 渗水，为动环与静环间机械密封即密封面 3 失效或密封圈 2、5 失效，内冷水沿主泵轴套渗出，密封面 b 渗水多数状态是为动环与静环间机械密封故障。密封面 c 渗水，为泵壳与静环间密封即密封垫 4 失效，内冷水沿静环与泵壳渗出。

3 机封渗水理论分析

主泵机封渗水主要有以下几个原因：

3.1 机封密封圈失效

橡胶件老化、变形，从外观上看密封圈表面疏松、毛糙，失去弹性。机械密封圈失效一般不会出现迅速漏水恶化的现象。

3.2 固定螺母松动

机封共 6 个固定螺母，固定螺母用于固定机封动环座，固定螺母在安装时进行紧固，在启泵时由于水锤作用，导致泵内压力远大于外部压力，在运行过程中出现松动会导致机封动环座不平衡，内外压力不均匀，水膜平衡被破坏，出现渗水。

3.3 弹簧弹力不足

机封内部共有 8 个用于缓冲补偿的弹簧，在启动和运

行时承受一定程度的压力，主泵启动时扭矩较大，弹簧弹力出现偏差，内外压力不均匀，水膜平衡被破坏，出现渗水。

3.4 动、静环平面磨损

引起机封动、静环平面磨损的主要因素有：1、安装异常：可区分为设备安装异常过紧、过松、不平，或安装时将零部件损坏等，拆除机封一般会有磨损迹象，例如烧焦、发黑或划痕痕迹；2、基座异常：基础固定螺栓松动，紧固力矩不平衡，支撑部件刚度变差，导致主泵振动异常，或因基座异常导致振动异常传递，导致机封渗水；3、主泵进出口膨胀节安装不规范：膨胀节补偿器安装对角偏差过大，在启动或运行时导致机封位置受力异常；4、水质差含颗粒：水质中含颗粒，颗粒做为磨料磨损机封平面或拉伤表面产生沟槽、环沟等现象；5、气蚀干磨：检修后进水管和泵腔内有空气，泵开机后，机封高速运转摩擦产生高温，机封干磨失效。两站主泵进口为正压，该原因可基本排除^[2]。两站主泵进出水口采用漏斗型管路加波纹管补偿器结构，当主泵工频启动时，高速电机启动使漏斗型进出口水流不一致，主泵泵腔内产生气腔，进而产生水泵气蚀现象，引起主泵机封渗水，所以要采用软启的方式进行启动，在正常工况下尽量避免主泵工频启动，减小机封渗水的几率^[3]。

4 碳化钨与碳化硅材质分析

碳化硅属于工程陶瓷，它的化学稳定性较好，适用强腐蚀介质，而且导热系数高、膨胀系数小、在高温下性能波动不大，材质较脆。碳化钨是硬质合金的组成部分，硬质合金由难熔金属硬质化合物和钴、镍、铁、钼、铬粘结金属等及其合金组成。机封性能的表征因素主要有极限 PV 值、摩擦系数和韧性，具体分析如下：

4.1 极限 PV 值分析

PV 值是设计和使用机械密封的重要参数。PV 极限值 (limiting pv value) 是指密封失效时达到的最高值。PV 值越大，表示机封工作能力越强。如表 2 所示，碳化钨对碳化钨 PV 值 4.204，石墨对碳化硅 PV 值 17.515。工况相近情况下，石墨对碳化硅更耐用一些。

表 2 机械密封常用材料的极限 PV 值：

不同材料磨损副			备注
密封环材料	静环	pV 极限值 / MPa · m · s^-1	
碳石墨 60~105	镍基耐热冲（131~183）HBS	3.503	比陶瓷耐热冲
	陶瓷（Al2O385%）		不如碳石墨耐热冲，但耐蚀性好得多
	陶瓷（Al2O399%）		耐蚀性优于（Al2O385%）的陶瓷
	碳化钨（Co6W）	17.515	填充青铜的碳石墨极限 pV 值为 14.73
	碳化钨（Ni6W）		可以提高耐磨损性
	碳上碳化硅		良好的耐磨性。碳化硅很便宜。可以相互研磨
碳化硅	90HR15T	17.515	比碳化钨耐热性好，但耐热冲击性差
	90~98HR45N		
	2.800 钴基硬度		良好的耐蚀性。价格昂贵
相同材料磨损副			
密封环材料	硬质		
碳石墨	(60~105) H3	1~751	pV 值低，但能很好地防止表面气泡
陶瓷	87HRC	0.350	适用于密封涂料
碳化钨	92HRC	4.204	采用更好的材料的 pV 值可达 6.481
碳上碳化硅	90HR15T	17.515	很好的耐磨性和抗压性，比碳化硅便宜
碳化硅	60~88HR45N		很好的耐磨性和抗压性，良好的耐热性，中等的耐热冲击性
碳化钽	2.800 钴基硬度		良好的耐蚀性。价格昂贵

4.2 摩擦系数分析

查阅《SH/T 3156-2009 石油化工离心泵和转子泵用轴

封系统工程技术规范》：含颗粒工况，机械密封一般采用碳化硅对碳化硅。当工艺介质为水时，碳化钨对碳化钨的摩擦系数大（0.08），石墨对碳化硅的摩擦系数小（0.02）。工况相近情况下，石墨对碳化硅更耐用一些。

表3 机械密封常用材料摩擦系数：

摩擦副材料		摩擦系数 f	说 明
动环	静环		
石墨	陶瓷	0.07	密封介质为水 碳化硅与碳化钨摩擦系数均为最小。因此，端面产生的摩擦热少，加上热导率大，所以承载能力强，不易产生端面热裂
	碳化钨	0.02	
碳化硅	碳化钨	0.02	碳化钨与碳化钨摩擦系数均为最小。因此，端面产生的摩擦热少，加上热导率大，所以承载能力强，不易产生端面热裂
	碳化钨	0.02	
碳化钨	陶瓷	0.08	碳化钨与碳化钨摩擦系数均为最小。因此，端面产生的摩擦热少，加上热导率大，所以承载能力强，不易产生端面热裂
	碳化钨	0.08	

4.3 韧性分析

查阅金属材料手册，韧性为材料在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力。韧性越好，则发生脆性断裂的可能性越小。碳化硅作为工程陶瓷材料，相比于碳化钨材料韧性更小，更易碎裂。高速旋转与震动的电机主泵，应选择韧性更强的机械密封，碳化钨对碳化钨更符合现场实际需求。

结合主泵电机运行工况多次机封异常，韧性相对其他特性更为重要，韧性异常将导致故障迅速恶化。咨询阀冷与主泵厂家，新投运工程已将使用碳化钨机封列入招标规范书，综合考虑建议将调相机水冷主泵碳化硅机封更换为碳化钨机封。

5 运行维护建议

在设备检修时，需开展以下工作：基座检查；膨胀节对角偏差测量；水质分析试验；主泵同心度测试调整。

现场主泵出现渗水时：主泵启动渗水持续运行正常，切机启动正常：对应密封圈失效，此时一般不需要进行处理；

主泵启动正常，运行中渗水，切机启动正常：对应密封圈失效，此时一般不需要进行处理；主泵启动渗水持续运行正常，切机启动仍渗水持续运行正常：对应固定螺母松动或弹簧弹力不足，此时一般不需进行处理。固定螺母松动时可进行调节，弹簧弹力异常时需更换主泵机封。

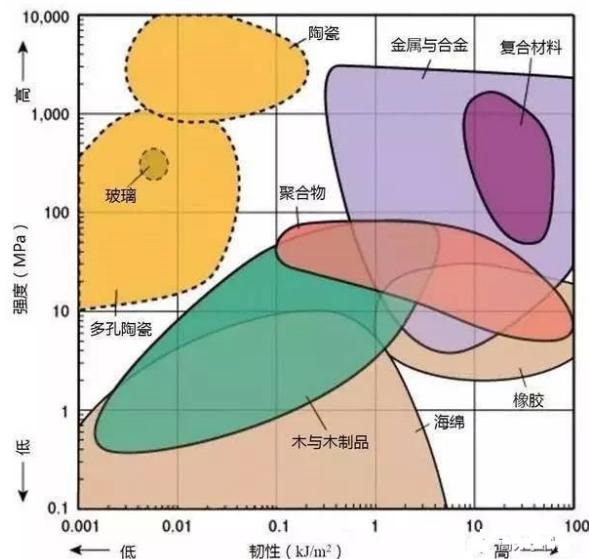


图4 材料韧性比对

参考文献

- [1] 华仔，水泵机封漏水的故障原因及处理 密封技术网2016-08-10
- [2] 陈伟，石油化工离心泵和转子泵用轴封系统工程技术规范SH/T 3156-2009
- [3] 国网湖南省电力有限公司，国网湖南省电力有限公司电力科学研究院，国家电网有限公司.变电站调相机水冷却系统管道流速测量装置、系统及其应用方法