

# Causes and Countermeasures of Frequent Bearing Damage of IS100 Type Generator Stator Cooling Water Pump

Erzhong Jin

Qinhuangdao Power Generation Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066003, China

## Abstract

This paper analyzes the reasons for the damage of the bearing channel of the IS100-65-250 stator cooling water pump for the 3 and 4 generator units of Qinhuangdao Power Generation Co., Ltd., are studied and analyzed, and solutions are implemented in phases to demonstrate the necessity and feasibility of retrofitting the internal cooling pump, it provides a feasible way to improve the reliability of internal cooling pump.

## Keywords

internal cold pump bearing; damage; modification

## IS100 型内冷泵轴承频繁损坏原因及对策

金二中

秦皇岛发电有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066003

## 摘要

论文通过对秦皇岛发电有限责任公司3号、4号发电机组IS100型内冷泵轴承频繁损坏的原因进行研究分析,分阶段实施了解决方案,对内冷泵换型改造必要性及可行性进行论证,为提高内冷泵运行可靠性提供了一条可行之路。

## 关键词

内冷泵轴承; 损坏; 改造

## 1 引言

秦皇岛发电有限责任公司3号、4号机组发电机为上海电气集团生产的QFSN-320-2型发电机,每台机组内冷水系统装设两台IS100-65-250型清水泵,该内冷泵参数如下:转速:2950r/min,流量:100m<sup>3</sup>/h,扬程:80m,效率:72%,配套电机功率:37kW,允许吸上真空高度:5.9m,泵生产厂家:江苏武进水泵厂,投运日期:1995年10月。内冷泵结构形式为单级单吸悬臂式离心化工泵,泵体、叶轮、密封环材质为硅青铜,泵轴材质为1Cr18Ni9Ti不锈钢,轴承体支架材质为铸铁,泵轴封为集装式机械密封,泵轴承为两盘6307深沟球轴承,轴承润滑油为N32汽轮机油。泵输送介质为发电机定子冷却水,介质温度约40℃。早期为解决内冷泵电机电流大问题,内冷泵叶轮外径由250mm切割至225mm。近年来内冷泵频发轴承损坏问题,严重影响发电机电内冷水系统安全运行。

## 2 3号、4号发电机组内冷泵轴承损坏问题表象及泵解体检查情况

3号、4号发电机组内冷泵现存轴承频发损坏问题,主要表现为:泵经解体检修后运行初期各运行参数均正常,轴承振动振幅均不大于0.02mm,轴承振动加速度均不大于10m/s<sup>2</sup>,轴承温度均不大于50℃,流量及出口压力参数正常。经大约6个月运行后轴承振动加速度开始缓慢上涨,伴随轴承加速度增大,轴承温度有小幅上升现象。维持运行约3个月,泵轴承振动加速度可上涨至20m/s<sup>2</sup>以上,轴承可明辨较尖锐运行异音,此时泵轴承振动加速度上涨幅度较快,至轴承振动加速度上涨至30m/s<sup>2</sup>以上,判定轴承失效。内冷泵因轴承失效解体检查情况如下:轴承宏观可见滚珠、滚道有均布小麻点,非传动侧轴承较传动侧轴承更为明显;轴承内、外圈与泵轴轴颈、轴承室内孔配合情况良好,配合位无明显磨损及配合间隙过大或紧力过小现象;泵转子冷态轴向窜量符合装配标准;泵密封环及叶轮口环无明显磨损,配合间隙符合装配标准;泵轴承室润滑油一般呈暗色、透明度下降,润滑油中无明显颗粒性杂质;泵机封及其他密封面无泄漏<sup>[1]</sup>。

【作者简介】金二中(1971-),男,本科,从事火电厂汽轮机检修管理研究。

### 3 3号、4号发电机组内冷泵轴承损坏初步原因分析及已实施的对策

通过对内冷泵解体检查轴承状况及运行状况的监测,分析可得内冷泵轴承损坏的原因及已采取的对策如下:

#### 3.1 内冷泵轴承室振动振幅偏大

内冷泵运行中轴承室振幅偏大可能造成轴承运行状态不稳定,轴承受振动冲击增大,轴承运行寿命缩短。引起轴承振动振幅偏大的主要原因有:转子不平衡;联轴器中心偏差大;基础刚度不足;泵零部件配合精度差;密封环与叶轮口环间隙不均匀造成水力冲击等。通过查阅内冷泵检修台账可知,内冷泵在2010年以前曾多次出现过因轴承振动振幅偏大问题造成的反复检修,泵运行中轴承振动振幅最大可达0.06mm以上。针对此问题已采取以下对策:实施了泵和电机基础共用底座灌浆充实项目,泵入口管加装支撑,提高基础整体刚度;通过检修文件包升级修编,提高检修工艺和质量标准,在执行检修文件包过程中严格质量验收控制,泵轴弯曲度控制在0.02mm以内,密封环间隙控制在标准范围内,存在超差现象立即更换密封环,轴承内孔与轴颈配合紧力控制在0~0.03mm,轴承外圈与轴承室内孔配合间隙控制在0~0.03mm,联轴器内孔与轴配合紧力控制在0~0.03mm,叶轮内孔与轴配合间隙控制在0~0.049mm,转子组装跳动值控制在0.08mm以内,转子轴向窜量控制在0.12~0.20mm,联轴器中心偏差控制在端面不大于0.04mm、径向不大于0.06mm;在2015年内冷泵解体检修过程中还曾发现联轴器与弹性块配合精度差问题,通过新加工联轴器、提高配合精度解决此问题;2016年内冷泵解体检修发现轴承室内孔与轴承外圈配合间隙超标,更换轴承室后泵运行轴承振动振幅明显下降。另外,每次更换叶轮均对叶轮实施动静平衡试验,确保转子质量平衡。通过上述措施,内冷泵轴承室振动振幅明显下降,现内冷泵运行中轴承室振幅均在0.03mm以下,运行平稳。

#### 3.2 轴承润滑问题

轴承润滑问题包括:润滑油品质不良,内冷泵检修中对轴承及轴承室清理不干净、有颗粒物杂质留存,轴承室油位低,轴承润滑效果不佳等。2020年内冷泵运行过程中发现轴承振动加速度有明显增大趋势,现场检查发现轴承室因轴封失效油位下降,且油位观察窗较脏未及时发现问题,造成轴承润滑效果不佳,轴承振动加速度增大。针对上述问题,在泵检修或运行中采取以下措施控制:规范润滑油添加标准,统一润滑油规格为32号汽轮机油,严禁混加6号液力传动油及其他牌号润滑油;内冷泵检修中对轴承室清洁度检查设停工待检点验收,各级验收人员检查后方可安装转子,轴承采用加热安装;不准使用手锤铜棒或套管手锤直接敲击安装,轴承安装之前用清洁煤油清洗轴承,避免在转子安装过程中轴承室进入异物;规范设备定期巡视检查制度,每日对内冷泵轴承室油位检查,发现

油位下降立即补充润滑油,每六个月定期更换轴承室润滑油;规范轴承牌号,为保证轴承运行中润滑油的润滑有效性和单一型,不建议使用带防尘盖的轴承及带油封的轴承。通过上述措施可有效保证轴承润滑油不良造成的轴承损坏问题<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 新轴承质量问题

轴承供应市场比较混乱,对新轴承的质量验收经验不足,质量标准不好把控,假冒品牌仿真度较高,造成假轴承、翻新轴承进入安装环节。应用假轴承、翻新轴承在内冷泵上运行,可造成轴承运行寿命缩短,甚至在运行中突然发生故障。在2013年以前,曾发生过因假冒伪劣轴承进入安装环节,造成泵运行半年发生轴承损坏事件。针对此问题,规范轴承采购流程,严格质量验收,建立与大品牌轴承授权代理商良好的信息沟通,可保证避免有质量问题的轴承进入安装运行环节,近几年来未发生此类问题。

#### 3.4 轴承负荷异常

轴承负荷异常包括转子轴向负荷异常和转子径向负荷异常。转子轴向负荷异常的原因如下:转子轴向力交变作用在轴承上。泵组装过程中转子冷态预留窜量过小,运行中转子受热膨胀后两端轴承压盖对轴承产生轴向紧力,造成泵轴变形,轴承受压盖交变压力作用,转子轴向负荷异常;联轴器轴向间隙过小,泵和电机联轴器半对轮轴向间隙过小甚至端面近似贴合状态,在运行中泵和电机轴向窜动,造成转子受轴承压盖轴向交变压力作用,也可能造成转子轴向负荷异常。针对上述原因分析,规范检修文件包对轮间距离标准为2~4mm,将冷态转子窜量标准由0.12~0.20mm修正为0.20~0.35mm,确保轴承运行中不受附加轴向外力。泵转子径向负荷异常的主要原因是内冷泵实际流量与额定流量偏差较大。内冷泵压水室结构为螺旋形压水室,通过查阅相关资料可知,采用螺旋形压水室结构的离心泵,在运转中会产生作用于叶轮上的径向力,使轴受交变应力,产生径向挠度。采用螺旋形压出室的泵在额定工况时,蜗室各断面中的压力基本上是均匀的。离心泵的实际流量小于额定工况流量时,蜗室中的液体流速减慢,而叶轮出口处介质的速度由出口速度三角形可看出大于额定工况时的速度,同时也大于蜗室中的速度。从叶轮中流出的液体不断撞击着蜗室中的液体,使蜗室中的液体接受能量,蜗室中的液体压力便自隔舌开始向扩散管进口不断增加。当泵的流量大于额定工况流量时,与上述情况相反,从叶轮中流出的液体的速度小于额定工况时的速度,也小于蜗室中的液体流速。两种液体蜗室中撞击使蜗室中的液体不断传出能量,以增加从叶轮中的介质速度,造成的结果是,蜗室中的液体压力自隔舌至扩散管进口逐渐降低。蜗室各断面中的压力不相等,介质作用于叶轮出口处的圆周面上的压力也各不相等。于是在叶轮上就产生一个偏垂直方向的径向力。又因为叶轮周围液体压力分布的不均匀,破坏了叶轮中液体的轴对称流动,压力大的地方液体

自叶轮中流出少。压力小的地方液体自叶轮中流出多。由于沿叶轮的圆周液体流出的多少不一样,所以作用于叶轮圆周上的液体动反力也不一样,这又引起一个偏水平方向的径向力。作用于叶轮上的径向力就是上述两个径向力的向量和。泵转子产生的径向力与实际流量和额定流量的偏差成正比,实际流量和额定流量的偏差越大,转子产生的径向力越大。交变的径向力通过泵轴传递在轴承上,造成轴承径向负荷异常,内冷泵 6307 深沟球轴承的滚珠及滚道受异常的交变径向力作用碾压冲击,产生金属疲劳,随运行时间增加,轴承滚珠、滚道金属材料表面逐渐剥落,形成小麻坑,直至轴承失效,单泵两盘轴承受径向力对比,靠近叶轮侧轴承受径向力比靠近电机侧轴承大,轴承损坏也较严重,同期实测轴承振动加速度也较大,分析结果与泵解体检查问题表象基本符合。3号、4号机组内冷泵额定流量为 100m<sup>3</sup>/h,受发电机内冷水需求影响,实际流量约为 55m<sup>3</sup>/h,实际流量与额定流量存在较大偏差,导致泵运行中转转子产生一个较大的交变径向力。通过径向力计算公式:  $F=9.18KHDB \times 1000$  (N) 计算,该泵在实际流量 55m<sup>3</sup>/h 运行工况下,转子受交变径向力大约为 700N,因泵额定转速为 2950r/min,故交变频率为 50Hz,此为内冷泵轴承频繁损坏的主要原因。在 2010 年左右,通过对内冷泵叶轮外径切割,使泵额定流量有所下降。叶轮已实施按外径的 10% 切割,计算额定流量减小至 90t/h,有效解决了电机电流大问题,但对消除转子径向力效果不明显,现 3号、4号机组内冷泵仍存在轴承频繁损坏问题。通过试验性调整泵出口再循环门开度可适当增大泵实际流量,减小实际流量与额定流量偏差。由于泵出口再循环门为截止阀,调节流量性能较差,运行中内冷水流量保持不稳定,管道振动增大,且电机电流增加,经济性较差,因此对 3号、4号机组内冷泵实施降流量换型改造,是解决泵轴承频繁损

坏的可行之路<sup>[1]</sup>。

### 4 3 号、4 号发电机组内冷泵降流量改造的必要性和可行性

通过以上对 3 号、4 号发电机组内冷泵轴承频繁损坏问题的分析和分阶段治理历程可知,泵实际流量与额定流量偏差较大、转子受介质交变径向力是造成泵轴承频繁损坏的根本原因。由于某公司 3 号、4 号机组内冷泵在机组设计选型时额定流量富裕度较大,造成在机组实际运行中因实际流量与额定流量偏差导致的转子径向交变力产生,轴承因持续交变应力作用金属材料疲劳剥落,随运行时间增加轴承失效。此问题造成内冷泵平均检修周期明显缩短,影响内冷水系统安全运行,且通过内冷泵叶轮切割及出口再循环门调节流量均难以达到预期效果,对 3 号、4 号机组内冷泵实施降流量改造是解决当前问题的有效途径。根据机组发电机内冷水实际流量及压力参数,设计生产新内冷泵,利用 2023 年机组检修机会实施安装,方案可行。新内冷泵额定流量设计值为 70m<sup>3</sup>/h,扬程为 70m,可保证发电机在特殊工况下内冷水流量有一定裕度的前提下,与实际流量接近,有效解决内冷泵轴承频繁损坏问题。通过对同型号发电机组内冷泵运行情况调研,采用以上额定参数选型的内冷泵,运行实测轴承振动均正常,平均检修周期 2 年以上,完全满足发电机内冷水运行要求。

#### 参考文献

- [1] 关醒凡.泵的理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1987.
- [2] 刘钊,史磊,叶太阳,等.基于逻辑控制的换流站阀冷控制保护设备系统设计[J].机械设计与制造工程,2021(11):49-54.
- [3] 胡江勇.空分液氧泵电机拆装及找正技术[J].设备管理与维修,2017(13).