

# 抽水蓄能机组推力及下导组合轴承甩油 缺陷分析与处理

彭 兵

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川成都 610213)

**摘要:**抽水蓄能机组具有工况转换复杂,运行方式灵活,快速反应等特点,机组在设计时需要兼顾高转速、双向运行、快速转换、调频和调相、频繁启动和制动等特性,其设计难度远超常规混流式机组。机组的运行性能也是机组设计、制造和安装质量的综合体现。抽蓄机组的转速较高,对推力油槽内的油流搅动、冲击大,易发生推力轴承及导轴承甩油现象,不仅造成资源浪费,而且污染环境,甚至给设备安全带来隐患,并严重影响机组的安全运行及环境安全、健康的管理。笔者对某抽水蓄能电站首台机组在进行调试及试运行期间发电电动机推力下导轴承油槽存在甩油等缺陷情况,分析产生的原因并介绍对推导油槽结构消缺措施及消缺效果。

**关键词:**轴承;油槽;甩油;消缺

**中图分类号:**TV53+3;TM921.41

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-2184(2023)增 1-0045-04

## Analysis and Treatment of Oil Throwing Defects of Thrust and Downward Guided Combined Bearings of Pumped Storage Units

PENG Bing

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** Pumped storage units (PSUs) have complex operating conditions, flexible operation modes, and quick response capabilities. When designing a unit, it is necessary to consider high speed, bidirectional operation, rapid conversion, frequency regulation and phase adjustment, frequent starting and braking, and other characteristics, which makes the design more difficult than conventional units. The operation performance of the PSUs is an overall reflection of the quality of its design, manufacture, and installation. Since the PSUs operates at a high speed, it causes significant turbulence and impact on the oil flow in the thrust bearing tank, easily leading to oil spillage from the thrust bearing and guide bearing, resulting in not only resource waste but also environmental pollution and potential equipment safety hazards, and seriously affecting the safe operation of the units and the management of environmental safety and health. This article analyzes the reasons for such defects during commissioning and test running of the first unit of a pumped storage power station, and introduces measures to eliminate deficiencies in the thrust bearing tank structure and their effects.

**Keywords:** Bearing; Oil tank; Oil throwing; Elimination of deficiencies

### 1 概 论

抽水蓄能机组发电电动机的构造和常规水轮发电机相近,近年来国内投建的抽水蓄能机组采用立式构造。发电电动机按推力轴承的位置分为悬式和伞式两大类。推力轴承布置在转子上方的为悬式;布置在转子下方的为伞式,如转子上方还有一个导轴承的称为半伞式,如无此轴承的称为全伞式。现在抽水蓄能电站机组一般额定转速高于 400 r/min 的发电电动机采用悬式或半伞式。

某抽水蓄能电站发电电动机为立轴、半伞式、密闭自循环空气冷却、三相可逆式凸极同步电机,设备制造厂为哈尔滨电机厂有限责任公司。机组额定转速为 428.6 r/min,发电电动机采用三段轴(含转子中心体)结构,发电机轴与水轮机轴通过法兰联接。发电电动机转子上方设有上导轴承,转子下方设有推力轴承和下导轴承。推力轴承和下导轴承共用一个油槽,采用组合结构,安装在下机架中心体油槽内。采用外加泵外循环的冷却方式,油泵及油冷却器布置于机坑外。上导轴

收稿日期:2023-07-13

承布置在单独的油槽内,导轴承为自润滑、油浸式和分块瓦可调结构。

## 2 下导轴承甩油缺陷及危害

在首台机组启动调试过程中,发现下导轴承甩油、油雾渗漏情况严重,在内/外风洞地面、下机架表面、下机架油挡和定子线棒等位置表面积油,下导吸油雾装置开启后,油挡内的积油通过管路汇集在吸油雾装置油箱内,最大流量可达到约 2 L/min。推力瓦温报警温度为 80 °C,机组运行 1 h,推力瓦温能达到 72.71 °C,整体温度偏高。首台机组在电动机调试运行期间,多支推力瓦温度计及油槽油温测量温度计先后出现跳变、信号中断的现象。推力下导油槽磁翻板液位计在机组运行过程中液位变化浮动大,在打开液位计顶部排气孔后,油会通过顶部排气孔溢出,液位计无法真实反映油槽内油位的情况。

机组运行较长时间后,发电机风洞内地面积油通过下机架基础缝隙渗漏至水车室,为避免风洞地面、定子线棒和下机架上表面积油漫延,机组运行停歇期间安排多人进入风洞进行积油清扫,每日清扫次数不少于 3 次,安排专人观察油槽油位并补油,工作人员进入前后机组隔离措施反复实施,严重影响机组调试及备用时间,巡视极为不便,存在风洞异物带入,人员摔到滑落等人身伤害及设备损坏的安全隐患。甩油及油雾在发电电动机转子磁极和定子线棒造成污染,转子高速旋转时,油雾通过冷却循环风经过转子及定子通风槽至空气冷却器,影响发电机通风散热效果。油污及灰尘吸附在定子线棒绝缘上后,易造成腐蚀,影响线棒绝缘性能,威胁发电电动机的安全运行<sup>[1]</sup>。

## 3 下导甩油缺陷原因分析

机组额定转速为 428.6 r/min,推力下导油槽正常油位在下导瓦中心线位置,推力轴承下油槽共 2 个腔,推力外循环供油泵共三组,其中一组备用,现场测量油槽热油温度为 36.4 °C,经过换热器换热后温度为 18.2 °C,供油流量达到 5 461.8 L/min,供油压力为 0.38 MPa,此冷却油流量、压力及供油温度与设计相同,排除由于外循环冷却及冷油压力造成推力瓦瓦温高及甩油缺陷。推力及下导组合轴承结构及循环油路见图 1。

根据推力油槽的机构及运行经验分析,机组运行时油槽油温逐渐升高,一定程度上造成油体

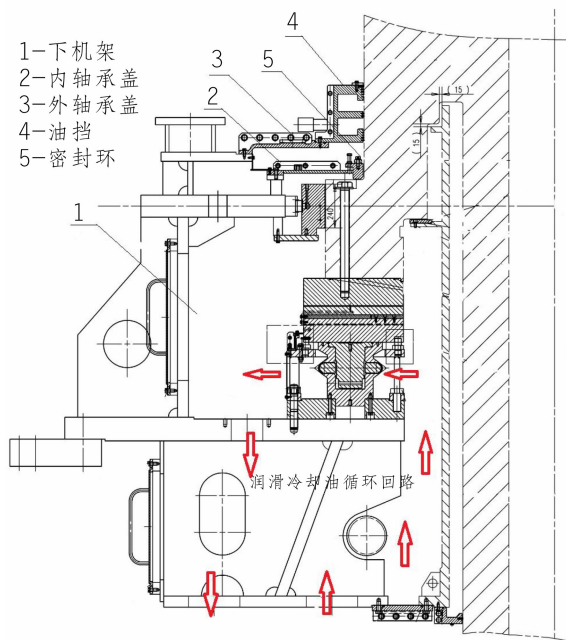


图 1 推力及下导组合轴承结构及循环油路示意图

积膨胀,助推油雾产生,机组旋转时远离大轴侧油槽油位高于靠近大轴中心区域,油位过高后通过落油孔升至内轴承盖后侧区域,内轴承盖与外轴承盖之间空间距离较小,密封环处上升的油无法回流,油通过油挡位置及落油孔上方推力及下导测温线接驳装置处溢出。

镜板把和螺栓在推力头顶部设计为沉孔、密封环与大轴水平间隙为 3 mm,垂直间隙为 5 mm,推力头泵孔沿推力头周围共设计 6 个,下导瓦共 16 块,下导瓦之间为凹槽,导轴承座圈环板整圈为齿形,后侧共 15 个落油孔,机组运行时油槽内镜板、推力头等机组转动部件高速旋转带动透平油在油槽内作圆周高速运动,受落油孔等上述结构阻挡而改变运动方向,扰乱透平油自然流态,油流飞溅、碰撞和轴承内的气体混合,形成压力雾化<sup>[2]</sup>,油及油雾经过密封环间隙及推力头沉孔时,形成泵效应,造成内外轴承盖之间密封空间积油且油槽内压增大,油顺着大轴向上爬油。转子旋转时,循环风通过转子上下区域经过转子通风槽、定子通风槽至空气冷却器,在转子下引风板上引两根补气管至油挡上进行补气,油挡上方为负压区域,油挡内外的压差也会将油挡内的油雾气体压出<sup>[3]</sup>。

经过后期油槽排油检查及观察油槽液位计变化幅度,油流流速快且冲击大,RTD 电缆按照原铁丝护笼固定方式,在正反向高速油流的冲击作

用下,RTD 电缆与周边坚硬物体形成刚蹭,使得电缆绝缘磨损,导致 RTD 监测数据出现跳变和信号中断。机组发电及抽水运行时推力瓦温度都较高,在启动高顶情况下,温度迅速降低,判断推力瓦两侧进油边倒角较小,透平油进入镜板与推力瓦之间油量较小,且前一块推力瓦的经过润滑变热后的油正对后块瓦的进油边,依次循环形成热油回路,极大地降低推力瓦润滑冷却效果。

#### 4 缺陷处理措施

油雾及甩油的产生是一系列因素共同作用的结果,因此对于油雾的治理也必须从整个系统上考虑。除了适当降低油槽油位及油槽透平油运行温度外,治理甩油及油雾的两个重要手段是优化油的循环回路和提高密封结构的密封性能。油的流态差是产生油雾的最根本原因,只有优化了油路的循环,才能从根本上减少油雾的产生。常见的优化油的循环回路措施有:在转动部件周围设置阻旋装置和防溅装置;对于外冷轴承合理选择冷油压;优化冷油进入轴承室内的出口设计,防止溅油;提高油盆密封性能,优化通气回路,防止气泡产生等<sup>[4]</sup>。某抽水蓄能电站首台机组调试运行过程中,通过对吸油雾装置改造、吸油雾及补气管路增加节流孔板,外轴承盖上增加呼吸器、大轴上增加甩油环、油槽内部结构改造等系列措施反复修改试验,主要措施如下:(1)油位调整及增大内密封的上腔空间。机组正常运行时,油槽油位在下导瓦中心线位置,为减少机组旋转带动油位上升的高度,并增加内外轴承盖之间的密封空间,达到对飞溅及油雾的缓冲效果,根据机组运行实际经验调整,油槽油位降低 80~110 mm(降低 80 mm 时油位距离下导瓦底部 40 mm)后,机组长时间运行,导瓦温度稳定。外轴承盖与下机架通过螺栓整圈把和固定,在外轴承盖与机架之间增加 150 mm 高的支撑环,增加新支撑环结构,将油挡、推力油槽盖和吸油雾环管整体抬高,有效地增大内轴承盖与外轴承盖之间的空间。推力轴承盖与支撑环把合面、支撑环合缝把合面和支撑环与下机架把合面之间通过密封条可靠密封。密封环基支撑环安装见图 2。

(2)优化油槽密封。油槽密封关键部件主要有油挡及推力、下导测温线出油槽的接驳装置,油挡分上下两个腔与大轴接触共设置 3 道密封,为

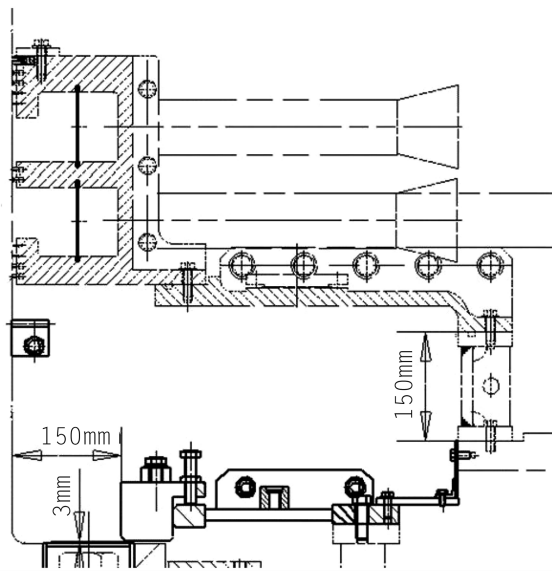


图 2 密封环及支撑环安装示意图

保证密封效果,上下两道密封除原有铜齿密封外,在油挡上增加随动式接触密封,密封为高密度耐磨柔性材料,并在槽内布置弹簧,在大轴旋转时保证密封与大轴间接触密实,并在油挡最顶部重新安装加厚加密毛刷,保证油挡的整体密封效果。为避免补气及吸油雾管路在油挡上下两个腔内短路,在上下腔内中间安装隔板,在隔板上均匀开孔,确保周围能够均匀补气及吸收油雾。推力及下导测温线在油槽内部汇集一股后,沿下机架内壁垂直向上通过导轴承座圈环板预留孔洞后,向上从接驳装置处引出,由于垂直测温线阻挡圆周方向高速旋转的透平油,油飞溅正对接驳装置且油顺着测温线不断向上爬升,为阻断向上的油流,在圈环板预留孔洞安装封堵板,封堵板由底座和夹板构成,底座焊接在机架上,夹板分为两瓣,夹紧引线防止其窜动,夹板与引线间有“C”型橡胶条,防止磨损测温线,避免油飞溅窜入上腔,更换常规无法承压的接驳装置,选用丁腈橡胶加氢处理的密封件且能够承压 0.2 MPa 的模块化接驳装置。

(3)稳定液面结构优化。推力头在下导瓦下方位置水平设计共 6 个泵孔,推力头旋转时此 6 个孔水平喷油,主要起到润滑下导瓦的作用,为减少扰动油流作用,现场使用丝堵对称封堵 4 个孔,导轴承温度未发生变化。推力头镜板把合螺栓沉孔在旋转时透平油搅动效果较大,现场使用与孔深度相同的且外缘带倒角的圆筒,焊接在推力头螺栓孔内,确保上平面齐平。原设计密封环靠近

大轴,改造时将密封环直径放大,密封环内圆距离大轴距离为150 mm,有效地避免形成间隙泵效果并与大轴之间预留了足够的缓冲空间。导轴承座圈为齿形,为保证到轴承座圈内径圆滑,防止油流激荡,增设挡油板,挡油板用于座圈立面开口,两侧焊接固定在座圈上,挡油板安装示意图见图3。导轴承座圈环板一圈落油孔设计目的将上腔油回落至下腔,由于油流高速旋转液位上升,为避免油通过落油孔上涌和飞溅且座圈立面齿形开口已满足导轴承润滑油上下交换,在落油孔上下安装封堵板,封堵板之间通过螺杆连接固定。内轴承盖与外轴承盖之间远离大轴侧水平及垂直挡板原设计为树脂绝缘材料,且水平与垂直挡板周圈预留了3 mm 间隙,为防止下腔油通过周圈水平间隙向上腔窜油,又能确保上腔油能够回落至下腔,重新优化挡板结构,内轴承盖外侧的水平及垂直挡板结构更改为全封闭钢板结构,提高部件的刚性,并在挡板水平与垂直拐角处,周圈均匀开设17 mm×17 mm 的方孔,这样既能减少油的飞溅进入上腔,又能保证上腔的积油能够回落至下腔。

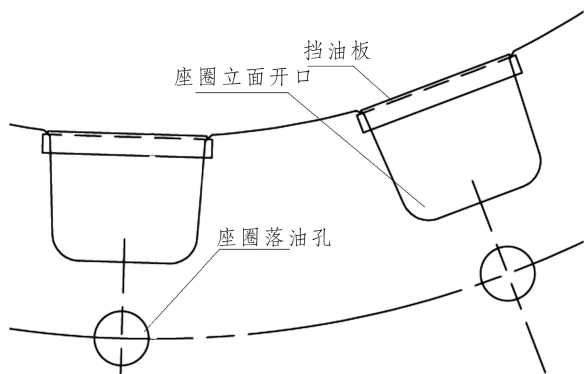


图3 挡油板安装示意图

(4)其他结构优化。推力轴承运行温度较高,原设计在推力瓦之间有一块水平的导流板,现将水平导流板更换为导流刮油一体的导流板,拆除推力瓦外绝缘隔油板及支撑座,安装新导油板,导油板与推力瓦各处间隙在1.5 mm 以上,确保推力瓦灵活不受限制,转子落下时,通过调整刮油板下方腰型孔及螺栓,实现刮油板与镜板紧量-0.1~0 mm,刮油板与镜板接触部件为高密度耐油柔性材料,下部设置弹簧,保证推力头旋转时,刮油板始终与镜板接触,有效地阻断推力瓦周

向的热油循环。推力瓦周向两侧进出油边倒角太小,现场对12块推力瓦的进出油边进行两侧对称修型,以增加进入推力瓦的冷油量,从而降低瓦温,修瓦时注意按照瓦扇形弧度内窄外宽的原则进行,瓦边两侧修10 mm 宽,高度0.3 mm 的倒角,剩余宽度区域平滑过渡。机组后续运行时,推力瓦温由原来72℃降低至53℃<sup>[5]</sup>。推力轴承测温线固定及防护方式优化,使处于油流中的温度计引线均有固定架或槽盒保护。推力瓦温度计出瓦后,温度计铠装丝至油槽底部,采用绑扎带固定在高压油支管上的方式,使轴瓦RTD电缆引出在较短的引出长度点进行固定,避免过长引线无约束,增强引线电缆的抗冲击能力,防止油流冲击损坏引线或使RTD脱出推力瓦。所有推力油槽内引线(单根引线、环线、侧壁引线)均用半圆刚性圆管进行封闭保护,防止油流冲击。推力油槽的液位计与油槽之间增加阻尼油箱,减少液位计应油流扰动大,造成的不真实晃动,保证了油位测量的准确度。

## 5 结 语

后续机组经过上述措施反复验证后,推力下导油挡无甩油情况,风洞及吸油雾装置基本无油雾渗出,油槽内推力轴承及导轴承温度平稳,从根本上解决了甩油及其他缺陷问题,确保了机组安全稳定运行。

高转速机组的油雾问题是困扰水电站的常见问题,产生的原因基本类同,油雾治理必须充分了解各种密封形式的特性,了解机组的特点,系统的考虑问题,进行针对性的实施改造,方能起到事半功倍的效果。

## 参考文献:

- [1] 罗大鹏. 水轮发电机组下导甩油分析及处理[J]. 科技风, 2009(13):202.
- [2] 魏玉国. 水轮发电机甩油及油雾问题分析与处理[J]. 防爆电机, 2015(01):35-37.
- [3] 冯金山. 水轮发电机组下导油槽甩油原因及处理[J]. 红水河, 2004(02):34-36.
- [4] 赵海英. 二滩水电站1号机组水导油槽进水原因分析及处理措施[J]. 中国农村水利水电, 2009(12):151-153.
- [5] 张志勇. 水轮发电机组下导轴承瓦温偏高的处理[J]. 机电信息, 2018(12):66-67.

## 作者简介:

彭兵(1977-),男,四川平昌人,高级工程师,工学士,从事水电站机电设备安装与技术管理。(责任编辑:廖益斌)