

核电汽轮机顶轴油泵常见问题及处理

武书安

台山核电合营有限公司, 广东 台山 529228

摘 要 : 介绍了核电汽轮机附属顶轴油泵（高压柱塞泵）的系统设备原理、运行方式及常见故障，着重介绍了顶轴油泵调试和运行过程中出现的故障及处理，并提出了顶轴油泵入口管道在安装和调试过程中需注意的问题，为同类型顶轴油泵的安装、调试和运行管理提供了有益的参考。

关 键 词 : 顶轴油泵；问题处理；压力波动

Common Problems and Treatment of Jacking Oil Pump for Nuclear Power Steam Turbine

Wu Shu'an

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., LTD., Taishan, Guangdong 529228

Abstract : This paper introduces the system equipment principle, operation mode and common faults of the top shaft oil pump (high pressure pump with high pressure piston pump), emphasizes the faults and handling of the top shaft oil pump, and puts forward the problems to be noted in the installation and debugging of the top shaft oil pump inlet pipeline, which provides a useful reference for the installation, debugging and operation management of the same type of top shaft oil pump.

Keywords : jacking oil pump; problem handling; pressure surge

前言

汽轮机顶轴油系统的主要作用是在汽轮发电机组启动、停运及低转速时向各轴承提供高压油，将转子顶起，以减少摩擦和降低盘车电动机的启动转矩，避免汽轮机在低转速过程中轴颈与轴瓦之间的干摩擦，保证设备安全，同时将轴瓦产生的部分热量带出。核电汽轮发电机组具有进汽蒸汽参数低、比热容大的特点，启机前启动顶轴油系统进行盘轴，可确保转子受热均匀，避免转子发生弯曲、变形，目前核电机组容量不断增大，部分大容量核电机组的轴系由1个高中压合缸、若干个低压缸及发电机转子组成，故较其他机组重量更大，顶轴油系统的作用也显得尤为重要^[1]。

本文将主要介绍某核电站汽轮机配套顶轴油泵的结构原理及调试、运行过程中油泵故障原因和处理方法。

一、顶轴油泵结构及工作原理

（一）顶轴油泵结构

顶轴油泵制造商为德国力士乐，属于轴向斜盘式柱塞泵，型号为A11VO190DRS/11R-NPD12N00，由压力控制和带负荷传感控制，主要结构有柱塞、斜盘、缸体、壳体、配流盘、回程盘、压力控制阀、负荷传感控制阀等部件组成^[2]。

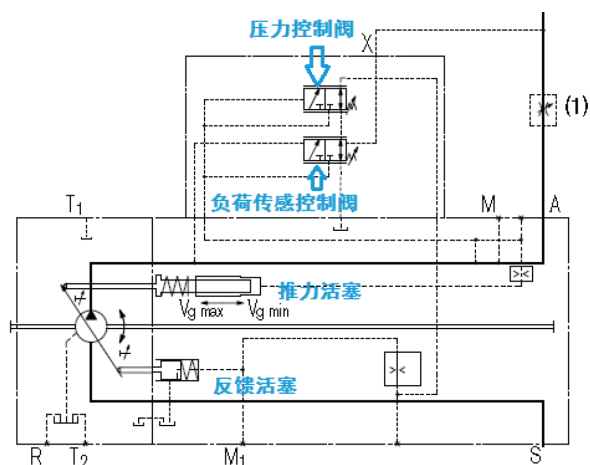
（二）顶轴油泵工作原理

顶轴油泵为DRS压力控制，带负荷传感控制的功能，但一般出厂时泵厂家根据现场实际情况把负荷传感控制阀调整螺钉调到最大，负荷传感控制阀阀芯左移并始终保持不变，失去流量控制功能。当负载压力高于设定的起跳压力时，压力控制阀阀芯右移，压力油通过压力控制阀进入反馈活塞杆，推动斜盘角度减小

至0，系统流量接近于0；当系统压力小于设定的保护值时，压力控制阀阀芯左移，反馈活塞液压力泄回油箱，斜盘在推力活塞作用下，斜盘角度被推至最大值，此时泵排量达到最大，压力可以稳定在设定的压力范围内的任意值，流量保持不变，压力由负载决定。如图1所示。

该机组顶轴油泵按照设计设定的压力值为285bar，流量为242L/min。从油泵工作原理分析，此类型油泵斜盘角度只有两种状态，最大、最小。当系统压力值小于设定值285bar时，斜盘角度始终保持最大值，系统流量恒定，当系统压力值达到285bar时，斜盘角度变为0，系统流量为0。其次，顶轴油泵额定流量由斜盘角度决定，系统额定流量设定为242L/min小于油泵最大排量290L/min，因此需要对斜盘角度限位螺钉进行调整，减小斜盘可以达到的最大角度值，从而满足现场系统的流量要求^[3]。

作者简介：武书安（1983.2-），男，汉族，山东省菏泽市，工程师，大学本科，电力生产：汽轮发电机及油系统检修。



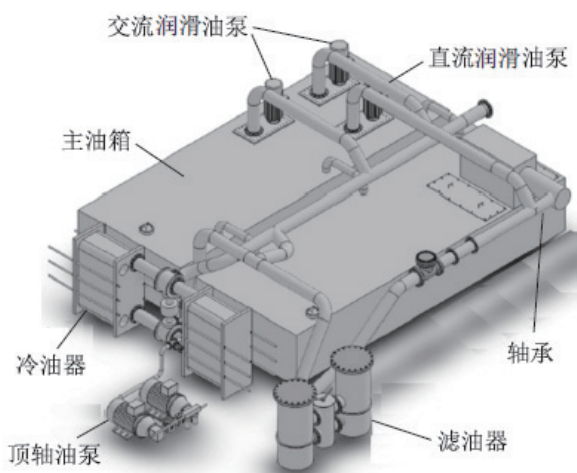
> 图1 顶轴油泵控制回路示意图

二、顶轴油泵调试及运行过程中几个典型故障及处理

（一）顶轴油泵喘振并伴有较大的异音

工程调试阶段，当润滑油泵和顶轴油泵同时运行时，顶轴油泵出现喘振并伴有较大的异音。此问题不仅影响现场工作的开展，长期运行还可能导致顶轴油泵损坏。因此，从根本上解决异音问题，对保护机组安全运行具有重要意义。

该核电站汽机润滑顶轴油系统布置如图2所示，系统主要由交流润滑油泵、直流润滑油泵、顶轴油泵、冷油器、温控阀、滤油器及油管路等设备组成，润滑油泵和顶轴油泵均从润滑油主油箱取油，经过套装油管供油至各轴瓦。顶轴油泵单独运行状态良好，泵运行噪音、振动、出口顶轴油压均正常；当同时启动润滑油泵，顶轴油泵将出现间歇性的类似金属撞击异音，同时出口压力伴随小幅波动。顶轴油泵异音的频繁出现将会加重泵体损耗，导致零部件损坏，缩短顶轴油泵的使用寿命。



> 图2 润滑顶轴油系统布置示意图

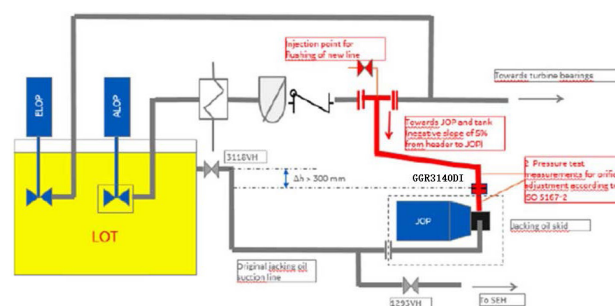
顶轴油泵取油来自润滑油主油箱供油，在辅助润滑油泵运行情况下，供油至轴承的油液回流到主油箱，给油箱中的油液带来了大量气泡。分析顶轴油泵异音的来源，通过现场试验证明润滑油回油撞击油面而产生的气泡是导致异音的根本因素。顶轴油泵从主油箱吸取含有大量气泡的润滑油后出现喘振，并伴有异常噪

音。出现此故障的原因主要是泵体内积聚了大量气体，在泵运行时气体无法排出，在泵内出现反复压缩爆破产生异音并且泵体出现喘振现象^{[4][5]}。

针对此故障可通过减少泵入口气体含量解决。该电站通过提高顶轴油泵入口压力及改造入口管路坡度来降低气泡的聚集度，进而达到消除异音的目的。具体措施主要包括以下部分：

- 1) 从双联滤油器的出口管道（润滑油母管）新增吸油管道，接入顶轴油泵吸油管道，润滑油母管内润滑油已经过润滑油辅助油泵加压且从油箱底部取油。
- 2) 新增顶轴油泵入口管道上设置节流孔板（ $\Phi 15\text{mm}$ ），确保润滑油母管油压满足系统要求。

改造原理见图3。



> 图3 顶轴油泵入口油管改造示意图

（二）顶轴油泵出口油压异常波动

该核电站1号机组大修下行期间，在机组解列前提前启动顶轴油泵双泵。运行启动双泵运行7分钟后顶轴油泵出口压力出现波动，运行15分钟后触发跳泵逻辑；现场更换泵出口调压阀后压力波动仍然存在。在汽轮发电机组打闸后，顶轴油泵出口压力大幅波动，其中2号泵出口压力到达最低152bar，触发泵出口压力低于200bar跳泵逻辑而跳泵，通过手动启动按钮重新启动2号泵（共发生两次跳泵），当汽机转速降低至567rpm后顶轴油泵出口压力趋于稳定，盘车转速下顶轴油泵出口压力稳定，未出现压力波动情况^[6]。

针对此故障通过现场实际流量测量及《管道限流孔板的设置》流量计算公式进行理论计算，得出原因是调试时新增顶轴油泵入口管道上节流孔板孔径 $\Phi 15\text{mm}$ 时，节流孔板前在母管油压2.15bar情况下，流量仅137.85 L/min，不能满足单台顶轴油泵流量242L/min的设计要求，不足的流量需要通过主油箱取油，由于主油箱中润滑油含有气泡，含气泡的油被大量吸入顶轴油泵后，泵产生剧烈的压力波动和喘振^[7]。

此故障通过以下措施解决：

- 1) 结合现场流量测量及原设计要求，应在1.5bar压差状态下，满足孔板流量 $\geq 242\text{L/min}$ 的要求。经过计算，将节流孔板孔径由15mm扩大至23.86mm，对应孔板流量为260L/min。扩大孔板孔径可以减少/避免顶轴油泵从润滑油主油箱侧取油量（此取油口为气泡密度/体积较高区域）。
- 2) 降低润滑油主油箱负压。主油箱负压高会导致泵吸入压头不足。
- 3) 在标准范围内降低主油箱母管油压。母管油压降低会减小

进汽机轴瓦的润滑油流量和循环倍率，流量减小会减少气体进入润滑油，而循环倍率减小则增加油液在油箱内停留时间，有利于油液内气体析出。

（三）顶轴油泵泵体振动高

该核电站顶轴油泵在运行过程中出现过振动高问题，振动最大达到21mm/s，顶轴油泵振动高对顶轴油泵运行及机组启停机带来重大影响。出现此故障的原因主要是顶轴油泵基座产生共振、泵运行时泵体内气体积聚引起的喘振以及顶轴油泵内柱塞运动不畅^[9]。

根据现场实际情况锁定故障点，针对故障点通过以下措施解决：

1) 调整顶轴油泵基座，检查接触是否有虚脚，在两地脚之间增加支撑，改变泵的固有频率，避开不同流量工况下的共振区间。

2) 针对泵内气体聚集引起的喘振，则需要提高泵入口压头，尽量减少泵入口有不凝结气体进入，特别是更换新泵要进行充油排气操作。

通过采取以上措施，成功解决了顶轴油泵在运行过程中出现过振动高的问题。

（四）顶轴油泵出口压力逐渐降低

该核电站汽轮机顶轴油泵长时间采用双泵运行方式，主要是因为单泵运行时如出现故障，另一台泵启动时间会超过设计要求的时间。在设备调试初期就采用双泵同时运行的逻辑，但顶轴油管道均是按照单泵运行的流量进行设计，在双泵运行的情况下会造成一台泵憋压。根据现场运行经验，一直憋压的泵会出现泵出口压力逐渐降低的现象^[9]。

针对此故障可对顶轴油系统进行优化改变泵自身运行状况，主要通过以下措施解决：

1) 优先解决顶轴油泵双泵运行问题，通过逻辑优化或加装蓄能器使顶轴油泵切换时切换时间合格；

2) 优化顶轴油泵运行逻辑，在机组日常运行期间或启停机时采用双泵运行，在大修期间汽轮机盘车转速下可手动启动单台顶轴油泵运行，尽量减少双泵运行时间；

3) 一般出现顶轴油泵压力逐渐降低时，都和顶轴油泵的调压阀有关，在每次大修时对顶轴油泵调压阀进行更换，可避免发生

故障的频率。

三、新电厂顶轴油泵安装调试注意事项

对于新电厂而言，如果在设计、安装及调试的过程中能提前对顶轴油泵系统进行科学合理的优化，可以避免很多“雷区”，使得顶轴油系统在机组商运后平稳运行^[10]。

总结该核电站机组顶轴油泵调试和运行经验，提出如下几项建议：

1) 在设计阶段，顶轴油泵入口取油有必要设计两路取油点，一路来自油箱，在汽轮机盘车转速或低转速时，润滑油主油箱含气量较运行时相对较少，顶轴油泵不会出现喘振现象；一路来自润滑油母管，在汽轮机日常顶轴油泵试验或机组启停机时，母管取油经过加压可有效避免气体进入顶轴油泵。

2) 在设计阶段，对顶轴油系统流量进行合理规划，特别是取油点流量、轴瓦需求流量以及顶轴油泵设计流量等关键参数，充分考虑相互影响，保持较大安全余量。

3) 目前润滑油主油箱内部一般都采用多层隔断且设置有回油区和吸油区，设计要求实现润滑油回油在油箱中呈“S”型流动，主要作用是减缓回油流速，使回油中不凝结气体最大限度的被油烟风机抽走。因此，顶轴油泵在润滑油主油箱的取油口应尽量设计在吸油区交直流润滑油泵附近，此处润滑油含气量最小。

4) 顶轴油泵配置及启动逻辑方面，尽量做到一备一用或两备一用，调试时关注和解决顶轴油泵切换超时问题，避免出现多泵同时运行。

5) 安装时对顶轴油泵基座进行科学调整，避开油泵各工况下共振区间，必要时增加顶轴油泵支撑。

四、结语

德国力士乐柱塞泵在国内电厂润滑顶轴油系统应用广泛。本文通过对德国力士乐柱塞泵结构原理及某核电机组调试、运行过程中顶轴油泵出现故障原因和处理方法的介绍，为新电厂顶轴油系统的设计、安装调试和运行维护提供一定的参考。

参考文献

- [1] 卢扬, 周林林, 李松海, 等. EPR 机组汽轮机顶轴油泵运行异音问题研究与处理. 大亚湾核电. 2020 (2): 42-45.
- [2] 郭允, 潘国辉, 高海平, 等. 液压系统噪声的分析与控制 [J]. 液压气动与密封, 2003 (6): 24-25.
- [3] 徐仕海, 邓晓晖, 李诚. 百万核电汽轮发电机组顶轴油泵振动问题处理 [J]. 东方汽轮机, 2015, (03): 56-58+74.
- [4] 郑文杰. 汽轮机顶轴油系统振动分析及处理 [J]. 机电信息, 2020, (20): 9-10.
- [5] 许森, 叶昊东, 吴尚泽. 顶轴油泵一用两备控制策略及逻辑解析 [J]. 东北电力技术, 2020, 41(05): 60-62.
- [6] 谢尉扬. 汽轮机顶轴油系统及相关问题研究 [J]. 汽轮机技术, 2016, 58(03): 223-225.
- [7] 林志勇. 一起顶轴油系统异常事故分析 [J]. 科技风, 2015, (05): 6.
- [8] 陈鑫, 丁超, 张耀华. 汽轮机顶轴油系统调试方法及常见问题分析处理 [J]. 冶金动力, 2018, (08): 53-54+57. DOI: 10.13589/j.cnki.yjdl.2018.08.017.
- [9] 张瑞山, 王宏伟, 葛智平, 等. 330MW 汽轮机组调试过程中顶轴油系统出现的问题及处理 [J]. 中国电机(技术版), 2015, (12): 81-82.
- [10] 潘伟. 顶轴油管断裂导致 #1 机 #4 轴承烧瓦的故障处理及分析 [J]. 应用能源技术, 2013, (11): 18-20.