

# SOLAR T60 滑油系统的故障分析与管理

宋堂亮

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

**摘要:**明珠 FPSO 的电力主要来源于 4 台透平发电机, 主机的管理对油田的稳定生产极其重要。由于滑油在主机稳定运行中起着润滑、冷却、密封、防腐和清洁等重要作用, 因此在主机的管理中, 滑油系统的管理不仅是一个重点, 也是一个难点。本文主要以 SOLAR T60 透平为研究对象, 针对 SOLAR 透平的历史故障进行多方面分析, 通过分析结果提出相应的管理意见; 再通过文献分析, 结合其他机组的滑油系统管理方法, 为 SOLAR T60 透平提出不同方面的管理办法, 为主机的稳定运行提供保障, 为油田的安全、稳定地生产保驾护航。

**关键词:** SOLAR T60 透平; 滑油系统; 故障分析; 管理意见

## 1 SOLAR T60 滑油系统分析

SOLAR T60 主机的滑油系统主要由预/后润滑回路、主润滑回路、液压回路和其他辅助回路组成。系统的主要设备为润滑油箱、预后润滑油泵、backup 泵、机带泵、滑油冷却器、润滑油呼吸及回收装置、其他辅助设备、管线和控制等设备。

### 1.1 预/后润滑回路

预/后润滑回路主要是在机组启动初期提供润滑油, 或在机组正常停止运转后提供润滑。在启机的过程中, 当机组转速达到 65%NGP 时, 机带泵提供所有滑油, 预后润滑油泵停止; 在停机过程中, 随着机组转速的降低, 机带泵所提供的滑油压力不足以为整个机组提供润滑, 这时预/后滑油泵启动为机组提供润滑。当预后滑油泵出现故障时, 可以由备用滑油泵代替预后滑油泵在启机过程中和停止过程中对发电机轴承、齿轮箱轴承和透平 1# 轴承、2# 轴承、3# 轴承进行润滑。

### 1.2 主润滑回路

机组运行期间, 滑油通过主滑油泵 (P901) 从滑油箱 (R901) 中抽出滑油。滑油的压力是通过主滑油压力控制阀 (PCV901) 来控制的。如果滑油的温度低时, 温控阀 (TCV901) 将会减少去滑油冷却器 (HX901) 的流量, 如果温度持续升高, 温控阀 (TCV901) 将会减少去滑油冷却器 (HX901) 的流量。经过滑油冷却器之后, 滑油会流向主滑油滤器 (FS901) 进行过滤。通过滤器后的滑油通过温井温度计 (TW901)、压力变送器 (TP380) 来监控滑油的温度和压力。最后通过四条支路, 分别润滑透平 2# 轴承、透平 3# 轴承、透平 1#

轴承和齿轮箱轴承、发电机驱动端轴承、发电机的励磁端轴承。

### 1.3 液压回路

主滑油泵所输出的滑油除了去润滑轴承之外, 还有一部分滑油作为液压油来为执行机构提供液压能。在 T60 的滑油系统中, 滑油主要作为可调导叶 (VGV) 执行机构和防喘气阀 (Bleed 阀) 执行结构液压油来提供液压能。

### 1.4 其他辅助回路

滑油系统除了有主润滑回路、预/后润滑回路、液压回路之外, 还有一些辅助回路, 如泄放回路、润滑油呼吸及回收回路和加油回路等。呼吸及回收回路主要由阻火器 (FA901) 和补雾器 (FSA901) 组成, 主要负责润滑油箱正常呼吸和油气的回收, 保证润滑油的消耗在最小的范围内。

## 2 滑油系统故障分析

### 2.1 滑油系统故障分析

通过图 1 和图 2 可以看出, 滑油系统故障所导致的停机比重在 20% 左右。由此可见滑油系统管理的重要性, 而滑油系统的管理又设计到很多方面, 如滑油品质、滑油温度、滑油压力、滑油液位等参数的管理, 还有滑油温控阀、滑油冷却风扇等设备的管理。

然而哪项参数或设备才是管理的关键呢? 下面就滑油系统的报警作一统计分析, 如图 3 所示。

由统计分析可得滑油温度报警达到报警总数的 64% 之多, 由此可见滑油温度的管理才是滑油系统温度的关键。而滑油压力、滑油液位等参数也会间接的影响

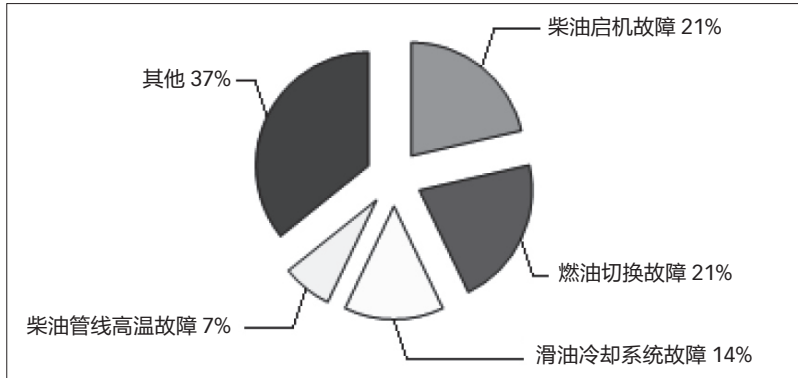


图1 Solar C机故障统计图

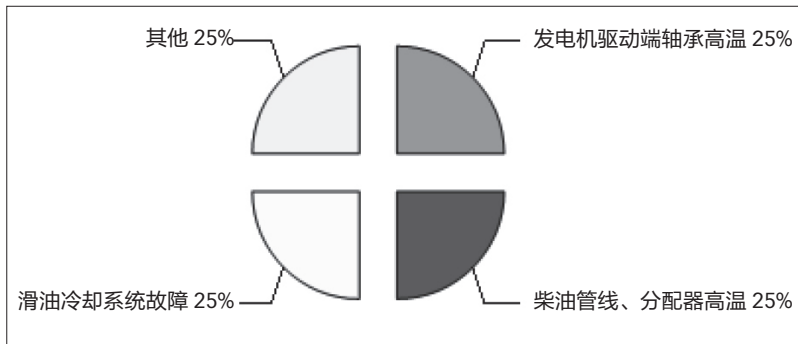


图2 Solar D机故障统计图

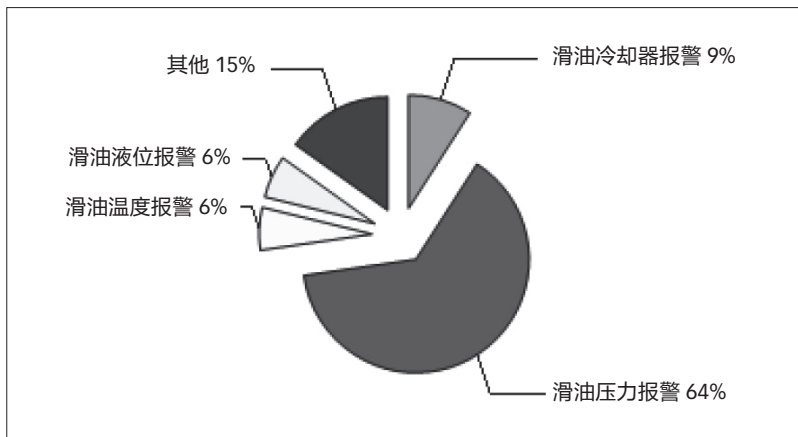


图3 Solar主机滑油系统报警统计图

到滑油温度。通过历史记录分析发现滑油温度高的主要原因有 T1 温度高、滑油压力低、滑油液位低、滑油冷却风扇脏堵和滑油温控阀故障等原因，而其中影响最大的则是滑油温控阀故障，直接会带来停机的风险。下面就一次温控阀的历史故障进行分析。

### 2.2 滑油系统监控数据分析

如表所示，T1 温度是指主机壳外环境的温度，当外界温度升高时直接影响滑油冷却器的散热效果，从而影响滑油头的温度。由此可见 T1 温度和透平滑油温度呈正相关关系。

滑油头压力是指滑油润滑轴承前的压力，因为汽

轮机是高速旋转的设备，其透平 1# 轴承、2# 轴承、3# 轴承、发电机轴承和齿轮箱轴承需要有压润滑，只有保证滑油的系统压力在 0.3MPa 左右才能产生给透平产生充分的油膜，保证良好的润滑。

滑油箱温度是滑油轴承润滑后泄放的温度，此温度可以粗略的显示各轴承的大概温度。滑油箱的温度与 T1 温度和机组的负载有着紧密的联系。当 T1 温度持续升高时，进入主机壳内的风的温度就会比较高，不能对滑油箱起到良好的降温效果；当机组负载升高时轴承的负载就会增大，发热量也会很高，使泄放温度升高。具体到每个轴承也有相应的监控温度，如发电机励磁端轴承温度、发电机驱动端轴承温度、发电机推力轴承内圈温度、发电机推力轴承外圈温度和发动机推力轴承温度等，都可以监控机组的润滑效果。

滑油箱液位代表整个滑油系统的滑油量，当滑油箱液位降低后就意味着系统滑油量的减少，这样就不能保证油膜的长期存在而影响润滑效果，当然表征出来的是滑油的温度高，此时就需要补加滑油到 340mm 左右。

滑油滤器压差是指通过温控阀后的滑油要进行过滤，压差高时表明滑油的品质较差，同时也会影响滑油的压力；当滑油压力降低后，就会导致油膜失稳，影响润滑效果，使滑油温度升高。

由以上分析可见，滑油系统的各个参数的变化都会引起滑油温度的变化，因此在巡检的过程中，在关注滑油温度变化的同时，也要关注其相关压力、液位和压差等参数。

## 3 滑油系统的管理意见

### 3.1 滑油系统的点检及维保管理

日常巡检注意滑油的温度、压力、液位和各轴承的温度，观察有无滑油管路渗漏，查看各个润滑油看窗的颜色、油量多少和润滑油泡沫等，注意观察滑油冷却器的脏堵现象，发现脏堵后及时清理。更换滑油过滤器时，一定要把油放空再提起过滤器，否则将影响更换效果；定期查看取样后的结果，并制定曲线图；最后，在加油前一次加油连续运转最好不超过 3 年，中途不能补加不同品牌、不同批次的油品。

滑油系统的日常维保工作，一般有清洗滑油冷却器

风冷片、更换滑油滤器和滑油箱加滑油等。

在清洗滑油冷却器风冷片时一定要注水流的压力，保证较小的压力使冷却水呈雾状水流洒在冷却器上，严禁用带压的水管线直接冲在冷却片上，防止大量的水流向电动机的接线端上，导致电动机故障。

在更换滑油滤器时，首次要将要换的滤器从主滑油回路中隔离出来，然后泄压后再更换滤器滤芯。更换完毕后，最重要的一项便是给滑油滤器排气，这样就会防止有空气进入滑油系统而加速油的氧化，增加系统中的杂质污染。同样，汽轮机的油质状况也影响着发电机密封油系统的安全运行：油中含杂质多，会使密封瓦磨损，造成自对中密封瓦的调整卡涩，使发电机漏氢量增大；若油中含水分多，窜入发电机内，将使机内氢气湿度增大，这正是氢冷发电机氢气湿度高的主要原因之一，也是氢冷发电机护环存在氢致裂纹的主要原因。密封油油质差，油中含空气量增大，会造成发电机内氢气污染。

### 3.2 滑油油品的管理

工作液取样的目的是取得能代表整个系统中的工作液样品，GE技术规范中对工作液的取样主要有如下要求：

(1)“增压泵入口取样”代表由增压泵通过主油泵供给轴承的工作液；

(2)“主油箱回油室滤网前取样”代表系统返回的工作液；

(3)“油箱底部取样”代表经分离、沉淀后的工作液；

表 监控数据设定值

参数	设定值
T1 环境温度	-
滑油头压力	低报：282.69kPa；低关断：172.37kPa
滑油头温度	高报：68.3℃；高关断：73.89℃；低报：43.3℃
滑油箱温度	低关断：11.1℃
滑油箱液位	低报：285mm；低关断：210mm
滑油箱压力	-
滑油滤器压差	高报：206.84kPa
滑油泄放温度	高关断：135℃
发电机励磁端温度	高关断：95℃
发电机驱动端温度	高关断：95℃
发电机推力轴承内圈温度	高关断：95℃
发电机推力轴承外圈温度	高关断：95℃
发动机推力轴承温度	高关断：135℃

(4)“油净化系统进口取样”代表净化前的工作液；

(5)“油净化系统出口取样”代表净化后的工作液；

(6)“汽轮机各轴承出口取样”代表轴承润滑后的工作液；

(7)“子系统回油母管取样”代表子系统工作液。

## 4 结语

本文首先对 Solar T60 透平的滑油系统进行了详尽分析，介绍了滑油系统主滑油回路、预/后滑油回路和液压回路的主要部件的功能和参数，更加清晰地说明了滑油系统的功能。然后对润滑油 BP Turbinol X32 的性能和油品检验报告进行了分析，使读者对润滑油的油品有了初步认识。

通过对 Solar T60 透平滑油系统的故障关断及报警进行统计及分析，发现主机的关断故障有 25% 左右来源于滑油系统的故障，在滑油系统的故障中的滑油温度高占到 64%。因此，本文就滑油头的温度与滑油头压力、T1 温度、滑油液位和滑油箱温度等参数进行了对比分析，发现滑油头压力、T1 温度、滑油液位和滑油箱温度等参数均与滑油头温度呈正相关，因此在日常的巡检中要特别关注这些参数的相对变化，早发现隐患，尽早解决。

本文分析了一些国内有关滑油系统管理的期刊文献，发现在滑油系统的管理中滑油品质的管理和滑油系统中油膜的稳定性管理尤为重要。因此，结合这两方面提出了一些管理意见，为主机的深入管理打下了基础。最后，在滑油系统的日常点检和维保管理、油品管理、油膜稳定性管理提出了一些建议，希望对主机 Solar T60 透平的管理起到一定作用，保障油田电力的稳定。

### 参考文献：

[1] Installation and Maintenance Instructions Taurus™ 60 Gas Turbine-Driven Generator Set[M]. Solar, 2004.

[2] 王赤夫. 大型汽轮发电机组润滑油系统现状分析[J]. 湖北电力, 1999, 6(19): 39-41.

[3] 尹绪雨. 大型汽轮发电机组油膜失稳故障诊断技术的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2009.

[4] 凌廷亮, 王恒, 黄同华. 汽轮发电机组油膜振荡的诊断及处理[J]. 四川电力技术, 1997(3): 44-47.