

海上平台透平滑油冷却器改造实践与成效分析

刘畅

中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300450

摘 要： 海上平台透平设备的稳定运行对生产作业至关重要，滑油冷却器作为保障透平正常运转的关键部件，其性能直接影响设备的可靠性与安全性。本文围绕某海上平台透平滑油冷却器改造项目展开，深入剖析改造前存在的问题，详细阐述所采取的改造措施，并对改造后的效果进行全面评估。通过此次改造，有效提升了冷却器的维保效率和设备性能，降低了安全风险，为海上平台设备维护提供了可借鉴的实践经验。

关 键 词： 海上平台；滑油冷却器；设备改造；维保效率；安全风险

Practice and Effectiveness Analysis of Offshore Platform Smooth Oil Cooler

Liu Chang

Cnooc (China) Co., LTD. Tianjin Branch, Tianjin 300450

Abstract： The stable operation of the offshore platform turbine equipment is crucial to the production operation. As the key component to ensure the normal operation of the turbine, its performance directly affects the reliability and safety of the equipment. This paper focuses on the reconstruction project of an offshore platform smooth oil cooler, deeply analyzes the problems existing before the reconstruction, expounds the reconstruction measures taken in detail, and comprehensively evaluates the effect after the reconstruction. Through this transformation, the maintenance efficiency and equipment performance of the cooler are effectively improved, the safety risks are reduced, and the practical experience for the maintenance of offshore platform equipment is provided.

Keywords： offshore platform; sliding oil cooler; equipment transformation; maintenance efficiency; safety risk

引言

在海上能源开采领域，平台上的透平机组承担着重要的电力供应任务。以某海上平台为例，其配备的透平机组为整个平台提供了约 20% 的电力支持，是保障生产活动稳定开展的核心设备。滑油冷却器在透平机组中扮演着不可或缺的角色，它通过维持滑油的适宜温度，确保透平各部件的正常润滑和运行。然而，由于海上特殊的恶劣环境，滑油冷却器在运行过程中面临诸多挑战，传统的维保方式也难以满足设备高效稳定运行的需求，因此对其进行改造升级迫在眉睫。

一、改造背景

（一）散热难题导致滑油高温

海上环境复杂多变，大风、潮湿、雨雪以及空气中的毛絮等因素，使得透平滑油冷却器在运行一段时间后，翅片表面会附着大量杂质。从微观角度来看，这些杂质包括海盐颗粒、沙尘、微生物以及各类有机碎屑等。在长期的运行过程中，海盐颗粒会在翅片表面结晶，形成微小的盐垢层；沙尘则会填充在翅片的缝隙中，阻碍空气流通；微生物和有机碎屑在潮湿环境下会滋生繁衍，进一步降低翅片的散热性能。这些杂质犹如一层隔热层，严重阻碍了热量的散发。根据传热学原理，热量传递的基本公式为 $Q=hA\Delta T$ （其中 Q 为传热量， h 为传热系数， A 为传热面积， ΔT 为

传热温差）。当杂质附着在翅片表面时，传热系数 h 会显著减小。这是因为杂质的导热性能远低于冷却器本身的金属材质，相当于在热传递路径上增加了额外的热阻。同时，杂质的堆积也会部分覆盖翅片表面，减小了有效传热面积 A 。在这两个因素的共同作用下，传热量 Q 大幅减少，导致滑油无法及时散热，温度持续攀升。在每年 7 - 8 月的酷暑时节，海上平台所处海域的气温常常飙升至 30℃ 以上，海水温度也随之升高。此时，冷却器周围的空气和海水作为散热介质，其温度较高，进一步降低了冷却器的散热能力。因为散热的驱动力是温度差，当环境温度升高时，冷却器与环境之间的温度差 ΔT 减小，传热量 Q 也会相应减少。以实际监测数据为例，在某一高温时段，冷却器进口滑油温度为 60℃，环境温度为 32℃，正常情况下冷却器出口滑油温度可以维持在

45℃左右。但随着杂质的积累，出口滑油温度逐渐升高，当达到68.33℃的高报值时，若不及时处理，机组就会面临停机风险。一旦滑油温度达到高报值，若现场处理不及时，机组内部的零部件就会因高温而面临严重的损坏风险。例如，透平轴承受高温滑油影响，润滑效果减弱，磨损加剧。高温降低滑油黏度，导致金属直接接触，磨损速率急增，严重时可能出现烧瓦现象，威胁机组运行及电网稳定。为维持设备运行，需采取降低机组负荷或水喷淋冷却措施。降低负荷会影响发电效率，降低生产进度；水喷淋虽能降温，但会加速金属腐蚀，且冷却效果难以控制，影响设备性能稳定性。同时，应急措施会降低电网冗余度，削弱应对突发状况的能力，降低设备整体效能^[1]。

（二）维保效率低下的困境

冷却器上部防护网设计不合理，采用对开式结构（尺寸为2000*1300），每片防护网由20颗螺丝固定，重量约65kg。从力学角度分析，这种结构设计使得拆卸防护网时，维修人员需要克服较大的重力和摩擦力。由于螺丝数量较多，且分布在较大的面积上，在狭小的海上平台空间内，操作空间有限，维修人员难以使用大型工具来提高拆卸效率。使用普通扳手拆卸螺丝时，由于周围设备的阻挡，无法使用较长的扳手来增加扭矩，只能采用较小的工具，费力且耗时。每次进行维护作业时，拆卸防护网就需要耗费约1.5小时，而整个维护工作平均耗时约2小时，拆卸防护网的时间占比高达75%，极大地降低了维保工作效率^[2]。

从冷却器上部进行吹扫清洁时，受翅片特殊结构的影响，底部附着物很难彻底清除。冷却器翅片通常具有紧凑的结构，翅片间距较小，且形状复杂。当从上部进行吹扫时，气流在翅片间流动会受到强烈的阻力和紊流影响。根据流体力学原理，气流在复杂的通道中流动时，会形成局部的涡流和死区，使得部分区域的气流速度较低，无法对杂质产生足够的冲刷力。底部附着物由于重力作用以及气流难以到达，很难被彻底清除。部分杂质会积压在冷却器风扇夹层内，当风扇启动后，这些杂质又会随着气流重新分布，再次附着在翅片上，导致清洁效果大打折扣，无法从根本上解决散热问题。若要提高清洁效果，就需要对冷却器进行整体拆除翅片，从底部进行清洁、吹扫。这一过程涉及放空排气、翅片拆卸、翅片吊装、翅片清洁、翅片回装、加油排气等一系列繁琐操作。在放空排气过程中，需要严格按照操作规程进行，确保系统内的压力和介质得到妥善处理，否则可能会引发安全事故。例如，如果排气不彻底，拆卸翅片时残留压力可能喷出介质，伤及人员和设备。翅片拆卸吊装受冷却器位置和结构限制，需特殊设备和高技能人员。靠近排烟侧的50颗翅片螺栓因空间狭小，拆卸难度大，需特殊扳手并精确操作。冷却器位置为吊装盲区，高处和吊装作业风险高，需辅助设备和多人协作。整个维护过程约10小时，期间透平机组需停机，影响平台电力供应和生产^[3]。

（三）现场空间与环境的制约

滑油冷却器安装在平台的废热甲板（格栅甲板），该区域四台透平相隔距离近，大型工具如高压清洗机难以搬运至现场。从空间布局角度来看，平台的甲板空间有限，设备布置紧凑。滑油

冷却器周围被其他设备和管线环绕，留给搬运大型工具的通道狭窄且曲折。高压清洗机体积较大，需要一定的搬运空间和操作空间，但现场无法满足这些条件。即使勉强将高压清洗机搬运至附近，也无法在有限的空间内展开作业，无法充分发挥其清洗效果。冷却器上方安装有水喷淋管线，下方是冷却器电机，且现场甲板存放物资繁多，导致维保工作场地空间极为有限。狭小的空间使得零部件摆放杂乱无章，严重影响维保人员的操作和工具设备的使用。在进行维护作业时，维修人员需要小心翼翼地避免碰撞周围的设备和管线，增加了操作的难度。同时，现场甲板存放的物资占据了大量的空间，使得零部件在维护过程中无处摆放，只能随意放置，不仅容易造成零部件的丢失和损坏，还会影响维修人员的行动路线，降低工作效率。海上平台夏季高温高湿的工作环境对维保人员的身体健康影响较大。在高温环境下，人体的新陈代谢加快，容易出现疲劳、中暑等症状。高湿度的空气会使人体的汗液难以蒸发，进一步加重身体的不适感。从生理学角度来看，高温高湿环境会导致人体的核心温度升高，当核心温度超过一定限度时，会影响人体的神经系统、心血管系统和呼吸系统的正常功能，降低人的反应速度和工作能力。例如，在这样的环境下，维修人员进行复杂的操作时，容易出现失误，原本熟练的操作也会变得缓慢而困难，从而延长了作业时间，增加了时间成本^[4]。

二、改造措施

（一）防护网优化设计

对冷却器上方的防护网进行切割改造，根据实际需求将其加工成特定形状。在切割过程中，严格遵循设计尺寸和工艺要求，确保防护网的结构强度和稳定性不受影响。在对半切割后的防护网半扇边缘安装两个合页，使防护网能够实现快速开启和关闭。安装完成后，对合页进行多次开关测试，检验其灵活性和可靠性，以满足实际维保工作的使用需求。通过这一改造，在进行冷却器维保作业时，无需再花费大量时间拆卸和安装防护网，大幅提高了工作效率^[5]。

（二）开设检修孔创新

在冷却器翅片与冷却风扇夹层开设检修孔，通过这个检修孔，维保人员可以直接检查冷却风扇叶轮的完好状况。这一举措避免了在检查叶轮时对冷却器进行大规模拆卸，有效减少了工作量和维护时间。利用检修孔进行底部吹扫，能够全面清洁冷却器翅片。底部吹扫的方式可以彻底清除翅片底部的附着物，避免杂质积压在风扇夹层内，显著提高了清洁效果，增强了冷却器的散热能力。在开设检修孔时，充分考虑了其位置、大小和形状，确保既便于操作，又不会对冷却器的正常运行产生不利影响^[6]。

（三）工作区域清理整顿

对滑油冷却器所在区域存放的物资进行全面清理，合理规划物资存放位置，为维保工作腾出充足的空间。清理工作不仅改善了现场的工作环境，减少了零部件丢失和损坏的风险，还提高了维保工作的安全性和效率。同时，建立了完善的物资管理规范，

确保后续物资存放有序，不会对维保工作的开展造成阻碍。

（四）标准化操作规程制定

将滑油冷却器的维保操作流程更新到统一的设备维保操作规程中，形成标准化、规范化、可视化的作业指导文件。组织机械专业人员进行培训，使他们熟悉现场设备的运行状况和新的操作规程，确保每一位维保人员都能熟练掌握新的维保方法和技术要求。对冷却器改造后的效果进行持续跟踪，记录一段时间内滑油冷却器维保操作的消耗时间。通过对这些数据的统计分析，验证新的操作规程和维保措施的有效性，为后续工作的持续改进提供数据支持^[7]。

三、改造效果评估

（一）维保效率显著提升

改造前，滑油冷却器的维保平均作业时长高达 10 小时，而改造后，经过多次实际维保测试，平均维保时间缩短至 3.88 小时。通过计算维保效率提升率，能更直观地体现改造效果。维保效率提升率计算公式为：维保效率提升率 =（改造前平均维保时间 - 改造后平均维保时间）÷ 改造前平均维保时间 × 100%。将数据代入公式可得：（10-3.88）÷ 10 × 100%=61.2%。这一显著提升减少了设备停机时间，为平台生产提供了更充足的运行时间，增加了自发电时长，有效降低了因设备维护导致的生产损失。

（二）设备性能明显增强

通过优化防护网设计、开设检修孔和清理工作区域等一系列改造措施，有效解决了冷却器的散热问题。改造后，对不同透平机的滑油冷却器进行监测，数据显示，某透平机滑油冷却器进出口温差可达 24.5℃，翅片平均温度为 45.7℃；另一透平机滑油冷却器换热温差为 12℃，翅片平均温度高达 67.2℃。滑油冷却器清洗更换后，翅片与翅片间的清洁程度显著提高，冷却风扇的冷却效果得以充分发挥，增大了因脏污而减小的换热面积。根据传热学原理，传热效率公式为 $Q=K \times A \times \Delta T$ （其中 Q 为传热量， K 为传热系数， A 为换热面积， ΔT 为传热温差）。改造后，换热面积 A 增大，传热温差 ΔT 也发生了有利变化，使得传热量 Q 增加，从而

提高了冷却器的冷却效率，保证了透平在各种工况下尤其是夏季高温时段的正常运转，显著提升了设备效能^[8]。

（三）安全风险大幅降低

改造前，整体拆检维护过程涉及高处作业、吊装作业等高风险操作。优化防护网设计和开设检修孔后，减少了不必要的高处和吊装作业，从源头上降低了安全风险，保障了维保人员的人身安全。清理工作区域改善了现场作业环境，减少了因场地杂乱引发的安全隐患，进一步降低了安全事故发生的可能性。虽然难以用具体数据精确量化安全风险降低的程度，但从实际操作过程和事故发生频率的变化来看，安全风险得到了有效控制，为维保工作营造了更安全的环境。

（四）推广应用价值凸显

海上平台的滑油冷却器在结构和运行环境上具有一定的相似性，本次改造应用成果具有良好的推广应用性。其他海上平台可借鉴本项目的成功经验，对自身的滑油冷却器进行类似改造。通过应用这些改造措施，有望提高维保效率，降低设备故障率，保障平台设备的稳定运行。这不仅能为单个平台带来经济效益，还能为整个海上石油生产行业提供有益的技术参考，推动行业设备维护水平的提升。

四、结论

通过对某海上平台透平滑油冷却器的改造实践，成功解决了冷却器在散热、维保效率以及现场空间和环境制约等方面存在的难题。改造后的冷却器在维保效率、设备性能和安全风险控制等方面取得了显著成效，同时具有较高的推广应用价值。这一项目为海上平台设备维护提供了创新思路和实践范例，表明在面对复杂的设备运行问题时，通过深入分析、合理设计和有效实施针对性的改造措施，可以实现设备性能的提升和运行可靠性的增强。在未来的海上平台设备管理中，应继续关注设备的运行状况，不断探索和应用新技术、新方法，进一步提高设备维护水平，保障海上能源生产的稳定和安全。

参考文献

- [1]李明,张伟.海上平台设备维护技术的研究与应用[J].海洋工程装备与技术,2020,7(3):156-162.
- [2]王芳,陈华.散热技术在复杂环境下的应用分析[J].热能工程学报,2019,34(4):35-42.
- [3]刘刚,赵亮.机械结构改造对设备性能提升的影响[J].机械设计与制造,2021,45(2):45-50.
- [4]张悦,李强.工业设备标准化维保流程的构建与实践[J].工业工程与管理,2022,27(5):56-62.
- [5]李书凯.海洋石油平台透平滑油冷却器选型分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(11):111-113. DOI:10.3969/j.issn.1673-4076.2022.11.040.
- [6]石帅.滑油冷却器强化换热与阻力特性研究[D].黑龙江:哈尔滨工程大学,2013. DOI:10.7666/d.D429377.
- [7]钟凯诚,高金虎,赵云,等.透平滑油冷却器新增自动水喷淋系统[J].设备管理与维修,2022(5):119-120. DOI:10.16621/j.cnki.issn1001-0599.2022.03.51.
- [8]张涛.海洋石油平台透平发电机组滑油冷却器改造[J].今日自动化,2022(10):103-104,149. DOI:10.3969/j.issn.2095-6487.2022.10.jrzdh202210035.