

某海上油田原油外输泵双台转单台运行可行性分析

曾清平（中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300459）

摘要：海上油田原油外输泵属于关键设备，本着降本增效、节能减排原则，针对2台外输泵改成1台运行进行可行性分析。通过单台外输泵运行的风险分析，制定远程启动的自动控制逻辑及相应的维护保养策略，与原运行方案相比，每日节省电量261kWh。

关键词：原油外输泵；变频器；中控系统；自动控制逻辑

目前，渤海某在产油田的日均原油产量约为635.9m³，而负责将原油输送至目的地的两台原油外输泵均处于较低的运行频率。鉴于当前运营成本的压力和节能减排的社会责任，有必要对是否将两台外输泵改为单台泵运行的方案进行可行性分析。

1 运行现状

该油田处理合格原油经由原油缓冲罐、原油外输泵、原油外输海管输送至另一采油平台集中处理。该油田生产流程简图如图1所示：

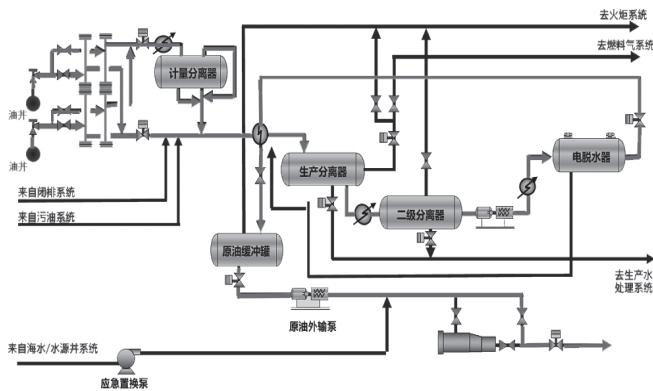


图 1

该油田共配置有三台变频控制的螺杆原油外输泵，目前实行的是两用一备的运行模式。在实际运行中，两台正在工作的外输泵的运行频率通常维持在22Hz至26Hz之间，这使得外输压力在1900kPa至2600kPa之间波动。这一范围反映了泵在适应不同工况条件下的调节能力。

根据7月3日的生产数据显示，当天的原油外输量达到了635.9m³，平均外输速度为26.5m³/h。同时，原油在进入海管之前的人口压力位于1900kPa至2600kPa区间内，而出口压力则稳定在580kPa。在这一天，外输泵A和B的运行频率均为22Hz至26Hz，表明两台泵都在相似的负荷条件下工作。

此外，原油缓冲罐的油液位为800mm，这说明储罐内的原油储备处于一个较为理想的水平，既保证了

生产的连续性，也没有接近满负荷状态，从而降低了因储油空间不足而带来的潜在风险。总体来看，该油田的原油输送系统在当日的运行状况良好，各项指标均在合理范围内，体现了良好的设备性能。

2 外输泵单台运行风险分析

外输泵单台运行时如遇到故障停泵或泵工况下降，都可能会短时间内将海管压力降低至压力低低关断值（800kPa）、接收侧海管压力低低（200kPa）、原油缓冲罐液位上升到液位高高（1450mm）触发平台三级生产关断。针对关断风险进行了以下测试，确认实际时间以便制定相应措施。

2.1 海管压力下降时间测试

7月5日，外输A泵单独运行，取运行压力低点（约1700kPa）进行手动停泵，进行时间和压力变化监测，从而进行自动控制逻辑优化组态。

2.1.1 测试过程如下

① 2024年7月5日，10:10:24 外输泵B泵频率降至20Hz，现场手动停用外输泵B泵；②外输B泵停运后，外输A泵单台运行，频率由23Hz提频至40Hz，原油海管压力1600kPa至2600kPa呈波峰式周期波动；③10:56:41 当外输泵A泵40Hz运行45分钟后，原油海管压力降至第二个波谷期1707kPa，此时模拟现场实际停泵工况，外输A泵40Hz现场手动停泵；④10:57:12，外输A泵开关指示灯红色变为绿色，中控显示外输A泵停泵报警，共计用时31秒，此时原油海管压力1049kPa。10:57:31 原油海管压力降至低低800kPa；共计用时50秒。

2.1.2 测试结论如下

①中控接收停泵信号时间10:57:12，间隔31s，原因为状态信号取自变频器，变频器监测频率降至0Hz，触发停泵信号并传输至中控。从中控逻辑方面考虑，接收停泵信号后，海管压力降至关断值时间约为19s；②手动停泵（模拟故障停泵触发）

时间 10:56:41 (图 2)，海管压力降至关断值时间 10:57:31，间隔约为 50s，可满足目前外输泵启泵加速时间 40s。

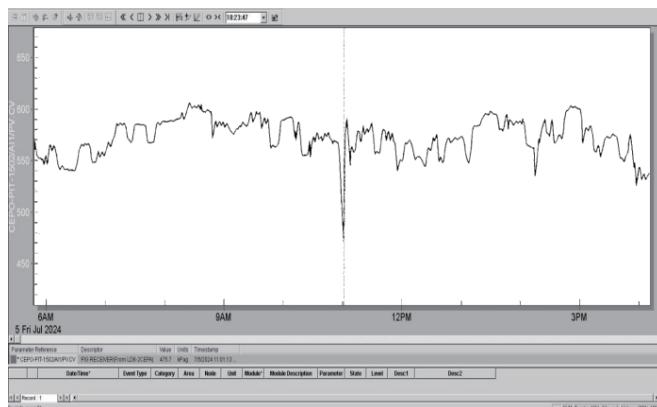


图 2

经确认，输入侧海管压力下降至 800kPa 时，接收侧海管压力最低下降到 475.5kPa (关断值 200kPa) 未触发关断信号。因此，只需保障输入侧海管压力即不触发相应关断。

2.2 原油缓冲罐液位上升测试

当原油外输泵停泵后，原油缓冲罐液位将快速上升触发三级关断。通过容积法计算原油缓冲罐液位由日常操作液位上升至关断液位所有时间，根据原油缓冲罐相关参数 (容积: 12.8m³, 尺寸: 2000mmX3400mm, HH 液位: 1450mm, OP 液位: 800mm) 计算过程如下：

根据压力容器容积计算公式，原油缓冲罐液位由 800mm 上升至 1450mm，进液量为 5.27m³。根据 7 月 3 日生产数据，原油日产量 635.9m³/d (26.5m³/h) 计算，原油缓冲罐液位由日常操作液位 800mm 上升至关断值 1450mm 大约用时 12 分钟。同时原油缓冲罐的设计容量和形状对于防止过快溢出至关重要。如果在未来的改造中能适当增大缓冲罐的容量或将罐体设计成更有利于临时存储的形状，那么即便是在单台外输泵失效的情况下，也能争取更多的时间来解决问题，减少触发关断的风险。

基于上述两项测试的结果，可以得出单台外输泵一旦停机，海管压力的下降速度非常快，工作人员赶往现场手动处理的时间明显不足。因此，建议考虑实施远程启动或增加自动启动的功能，以确保在紧急情况下能够及时恢复系统的正常运行。在测试过程中还发现，由于停泵导致的压力骤降会对系统产生额外的应力，长期以往可能会对管道的物理完整性造成影响。因此，除了关注停泵后的快速响应机制外，还需要定

期对管道进行全面检查，以防止潜在的结构损伤。另外，考虑到停泵后短时间内压力即降至关断阈值，应当加强实时监控系统的能力，确保在压力异常下降时能立即发出警报，同时启动备用系统或采取其他预防措施来避免不必要的全面停产。

3 增加远程启动功能风险分析

与厂家沟通，原油外输泵可增加自动启动功能。原油外输泵增加远程启动或者自动启动功能，需要在中控增加远程控制信号、工艺流程进出口阀门提前导通、主电机变频启动时长测试等功能。针对 3 项操作进行风险分析如下：

3.1 工艺流程提前导通风险分析

按照原油外输泵操作程序，在启泵前需要进行排气、底水排放、盘泵等操作，确保启泵正常。如果没有进行上述相应检查的情况下便开始操作，可能会引发诸如泵体气蚀、出口压力过低、电机过载等一系列风险。根据我们在 7 月 3 日 16:00 至 7 月 4 日 8:00 期间进行的测试显示，将原油外输泵 C 泵的入口和出口球阀导通后，在 16 小时内，泵内的油水分层情况和脱气情况并未显著影响启泵。但是，如果泵在更长时间内处于停用状态，泵体和过滤器内的原油和水会逐渐分层，导致在再次启动时无法建立起足够的压力。特别是由于原油的粘度较高，备用泵在进出口阀门全开状态下，如果泵体内原油长时间不流动，则原油会逐渐凝固，这可能会在自动启动时造成过载，进而导致泵的停机。为了保证备用泵在应急情况下能够顺利地自动启动，我们提出使用柴油置换的方法来解决泵体内原油凝固以及油水分层的问题。具体措施包括使用隔膜泵添加 -35# 柴油对备用泵的进出口管线及泵体进行柴油置换，以此来降低泵在启动时由于原油粘度大而导致的电机过载的风险。此外，我们建议每月将备用泵 C 泵和 B 泵定期进行切换维保，进行手动盘泵和排液检查，一旦发现泵体内有粘稠原油的情况，还需要对泵进出口管线及泵体进行柴油置换，确保备用泵在自动启动时，其工况保持良好。

3.2 中控增加控制功能风险分析

原设计在中控室无法实现对外输泵的远程启停控制，但在今年 6 月份，我们已经完成了铺设电缆、修改逻辑以及增加远程启停功能的工作。本次的改动不需要重新铺设电缆，只需修改控制程序即可。在远程启动逻辑组态下装时，我们将采用增量下载模式，即只下载程序中新增或修改的部分，这样做可以大大减

少因程序下装过程中可能出现的程序丢失风险。同时，在组态下装前，我们会完成程序的备份工作，以便于在必要时恢复原有设置。此外，我们还考虑到了外输泵无法停机的风险。本次的程序修改仅涉及 PCS (过程控制系统) 的部分，不会影响到 ESD (紧急停车系统) 的功能。远程启动程序只是在启动信号上并入了一路新的启动信号，所有原有的停泵信号依然有效。这意味着当生产需要紧急关断时，外输泵仍然能够及时停止运行，不会因为增加了远程启动功能而造成外输泵误启动后无法停机的问题。

3.3 变频器启动时长影响

变频器特性决定了外输泵启动是逐步加速，目前变频器参数定值中加速时间设置为 40 秒（从 0 到加速到额定转速的时间），可能存在启动未完成海管压力已经低低关停。因此需将加速设置时间小于外输泵停泵后海管压力低低的时间（50 秒）。根据外输泵启动力矩需求以及厂家经验，将加速时间、减速时间 40 秒改为 35 秒。根据 7 月 4 日测试，外输泵在加速过程 20 秒时外输泵出口压力已超过 800kPa，综上变频器启动时长不会延长外输泵自动启动程序升压时间。

结合泵体进行柴油置换、增加逻辑风险分析得出结论，原油外输泵增加远程控制功能风险可控。

4 原油外输泵组态逻辑简述

原油外输泵 A/B/C 选用任意一台单泵运行，剩余两台泵则分别处于不同的备用状态。其中一台泵处于在线备用状态，即该泵的前后阀门处于常开状态，一旦接收到逻辑启泵信号后，可以立即启动并投入运行；而另一台泵则处于离线备用状态，其前后阀门处于关闭状态，在启用之前需要进行一系列的流程检查以确保安全。

为了进一步提升系统的灵活性和可靠性，中控系统在操作界面上增加了外输泵自动启动逻辑的选择模块——“投入”与“切除”。当需要将某一台外输泵转为在线备用状态时，操作人员可以通过中控操作界面点击“切入”按钮，从而将自动启动逻辑投入使用。这样的设计使得系统能够在不同工况下灵活调整泵的运行状态，提高了应对突发情况的能力。

以 B 泵正常运行为例，假设 A 泵处于在线备用状态，而 C 泵则处于离线隔离状态。在这种情况下，自动启泵控制逻辑将会监测 B 泵的状态，并在其出现故障时触发在线备用泵 A 泵的启泵指令。具体而言，正常运行时，B 泵向中控发送启泵信号，而 C 泵则发送

停泵信号。因此，当中控接收到 B 泵的故障信号与 C 泵的停泵信号时，系统将会自动启动 A 泵，以保障外输作业的连续性。

值得注意的是，平台的三级及以上关断信号对 A、B 泵的关停逻辑是一致的，这意味着在发生高级别关断信号时，无论是关停 B 泵还是其他泵，都不会引发 A 泵的误启动。这一设计有效地避免了因信号冲突而导致的非预期事件，增强了系统的整体安全性。

通过上述措施，不仅提高了原油外输泵系统的自动化水平，同时也加强了系统的安全性和可靠性，使得在各种复杂工况下，系统都能够保持高效稳定的运行。这对于确保海上油田生产的连续性和安全性具有重要意义。

5 功耗测试

为了精确测量三台原油外输泵的功耗情况，每台泵的供电马达控制单元均配备了先进的多功能电能表。经过精心准备，我们在 7 月 4 日和 7 月 7 日进行了两次现场试验，以收集外输泵在不同工作模式下的实际耗电量数据。实验结果显示，当两台外输泵同时运转时，设定频率为 25Hz 的情况下，每天的耗电量达到了 1523kWh；而在单台泵运转时，频率调整至 40Hz 的情况下，日耗电量为 1262kWh。

通过对这两种运行模式的数据，可以明显看出，当从双泵运行转换为单泵运行后，每日可节省的电量为 261kWh。这是一个相当可观的数字，尤其是在能源成本日益上升的今天。如果我们进一步计算这笔节约下来的电量所对应的费用，按照电价每千瓦时 0.7 元的标准来计算，那么每年因此而节省下来的电费总额将达到 6.7 万元人民币。这项测试不仅为我们提供了宝贵的能耗数据，而且也揭示了一个重要的节能机会。通过优化运行策略，合理安排泵的启动和停机时间，不仅可以降低运营成本，还能减少能源消耗，对环境保护也有积极意义。此外，这样的节能措施还可以作为提升企业形象的一个亮点，展示企业在可持续发展方面的努力和成就。

总之，通过对原油外输泵功耗的细致测试与分析，我们不仅找到了一种有效的节能方法，也为未来进一步优化系统运行提供了数据支持。这对于提高企业的经济效益和社会责任表现都具有十分重要的意义。

参考文献：

[1] 王沙, 陈文峰, 彭宇等. 南海某无人平台外输泵工艺设计研究 [J]. 海洋石油, 2021, 41(03):99-104.