

乐东气田海水系统稳定性研究

陈柱 王康健 康国强 郑成明 吴红光
(中海石油 (中国) 有限公司海南分公司 海南 海口 570100)

摘要：本文针对乐东 22-1 气田海水系统压力异常引起的生产关停事件进行深入分析，并对比其他同类海上气田海水系统，通过离线功能测试、在线功能测试及阀体解体检查等多种手段综合评估了自力式压力控制阀的控制效果；在考虑气田不同甲板标高的情况下，计算确定了系统最恶劣工况下各节点最高可能压力；根据计算结果和离心泵特性分析了系统压力保护设点的合理性，找到了系统压力异常的根本原因和次要原因，提出了提升海水系统稳定性的方法与措施。

关键词：气田；海水系统；压力；稳定性

1 乐东 22-1 气田海水系统介绍

乐东 22-1 气田海水系统主要用于冷却湿气压缩机和干气压缩机增压后的天然气，是平台重要的生产辅助系统，由 4 台安装在海面以下 12m 左右的 500QHB550-82/3 型离心式潜海水提升泵提供动力，举升的海水经海水自动反洗过滤装置滤除固体杂质后进入压缩机后置冷却器，与高温天然气进行热交换，天然气温度降至约 35℃，换热后的海水直接排放入海。海水提升泵出口压力设计有压力高高停泵逻辑，海水冷却器海水入口设计有压力高高和压力低低联锁关断，冷却器海水侧设置有爆破片，防止冷却器盘管泄漏高压天然气窜入低压侧。系统还设置有压力安全阀、自力式压力控制阀、关断阀等附件。

2 海水系统存在问题现象

在生产过程中出现过几次由于海水系统问题而引起的生产关停事件，暴露出系统存在较大问题，主要体现在以下几个方面：

(1) 两台湿气压缩机和一台干气压缩机运行情况下，湿气压缩机相继停机，海水用量显著减少，干气压缩机海水入口压力迅速上升，达到入口压力高高关断设点，引起干气压缩机停机；

(2) 海水冷却器海水入口设置紧急关断阀，关断阀自身故障导致阀门关闭，冷却海水切断，冷却器下游天然气温度会在 1min 内迅速升高，达到天然气温度高高关

断设点，引起压缩机紧急关停及整个气田三级紧急关停；
(3) 海水用量大幅减少后海水提升泵出口压力急剧上升，达到泵出口压力高高设点，引起所有海水提升泵停泵，影响其他海水用户冷却海水供应；

(4) 海水用量大幅减少情况下，设置在自动反冲洗装置下游的自力式压力调节阀卡滞或迟缓，未起到调节作用，致使海水系统压力持续走高，达到泵出口压力高高关断设点。

3 同类装置海水系统设置对比分析

笔者对比了东方作业公司各装置和白云作业公司番禺 301 气田海水系统的设置方式，对各装置海水系统主要设备和系统设置进行了比较，对比见表。

(1) 东方 13-2 气田采用三台 2000m³/h 定频潜海水提升泵，用气动薄膜式压力控制阀控制海水系统压力，系统设置有安全阀，泵出口无压力高高保护，冷却器低压侧设有压力高高保护和爆破片；

(2) 东方 1-1 气田前期采用两台定频潜海水提升泵，二期改为 4 台变频泵，用气动薄膜式压力控制阀控制海水系统压力，系统设置有安全阀，泵出口有压力高高保护，冷却器低压侧未设置压力高高保护，设有爆破片；

(3) 番禺 301 气田采用两台 1200m³/h 定频潜海水

表 各装置海水系统主要设备和系统设置比较

装置	海水提升泵 (定频 / 变频)	压力控制阀	安全阀	泵出口压力高 高保护 /kPa	冷却器低压侧压力 高高保护 /kPa	爆破片
东方 13-2 气田	定频	薄膜式压力控制阀	有	无	干气 750	有
东方 1-1 气田	定频改变频	薄膜式压力控制阀	有	800	无	有
番禺 301 气田	定频	薄膜式压力控制阀	有	1200	500	有
乐东 22-1 气田	定频	自力式压力控制阀	有	750	干气 500 湿气 A750 湿气 B/C500	有

提升泵, 用气动薄膜式压力控制阀控制海水系统压力, 系统设置有安全阀, 泵出口有压力高高保护, 冷却器低压侧设有压力高高保护和爆破片;

(4) 乐东 22-1 气田采用四台 $550\text{m}^3/\text{h}$ 定频潜海水提升泵, 用自力式压力控制阀控制海水系统压力, 系统设置有安全阀, 泵出口有压力高高保护, 冷却器低压侧设有压力高高保护和爆破片。

通过对比发现, 气田海水冷却系统主要设备与功能基本类似, 但乐东 22-1 气田也呈现出不同的特点:

(1) 乐东 22-1 气田海水系统压力控制采用自力式压力控制阀, 依靠管道流体自身压力作为阀门调节动力, 而其他装置大多采用气动薄膜式压力控制阀。

(2) 海水提升泵出口压力高高关断设点偏低, 东方 13-2 气田甚至没有设置该保护点。

(3) 海水冷却器低压侧压力高高关断设点不统一, 取压点不统一。湿气压缩机 A 设点为 750kPa , 湿气压缩机 B/C 及干气压缩机设点为 500kPa ; 湿气压缩机取压点为手动调节阀下游, 干气压缩机取压点为温度控制阀上游, 因此正常情况下干气压缩机入口海水压力比湿气压缩机高 $50 \sim 70\text{kPa}$ 。

4 乐东 22-1 气田海水系统问题分析

4.1 海水系统自力式压力控制阀效果评估

根据自力式调节阀^[1]超压后未及时进行调节导致泵出口压力高的问题, 气田组织进行了一系列的测试和检查。

4.1.1 离线功能测试

气田正常生产期间, 需要保证冷却海水持续稳定供应, 如果海水压力大幅波动可能导致爆破膜破裂或海水流量不足, 无法通过提高海水系统压力来测试阀门启闭状态, 只能通过离线模式测试。具体测试方法为: 隔离自力式调节阀前后隔离阀, 从阀前预留口打压至调节阀设点压力 600kPa 以上, 自力式调节阀先导阀动作, 主阀上腔海水通过排放口排放, 但阀前压力没有明显变化, 判断主阀未动作。

4.1.2 在线功能测试

气田利用 2022 年停产大修窗口进行了在线功能测试。具体做法为: 缓慢关闭海水冷却器的海水排海阀门, 提高海水系统压力。当海水系统压力超过自力式调节阀设定压力 600kPa 时, 自力式调节阀先导阀动作, 主阀上腔海水通过排放口排放, 但阀前压力没有明显变化, 判断主阀未动作。继续提高海水系统压力至 650kPa , 阀前压力仍然没有明显变化, 阀门未能起到调节作用。

4.1.3 阀体解体检查

离线和在线测试结果表明该阀存在功能问题, 经拆解阀体, 发现阀内部结垢严重, 阀芯阀座紧密贴合在一

起, 导致阀门动作受阻, 无法实现灵敏调节功能, 如图 1 所示。分析认为该类型的自力式调节阀依靠自身流体压力变化进行动作, 实际运行过程中由于阀芯长期被海水浸泡, 阀芯阀座结垢严重, 导致需要参与调节时自身动力不足, 出现明显卡滞现象。而其他装置均选用气动薄膜式压力控制阀 (图 2), 该类型阀门采用外加气源作为调节动力, 从实际应用来看, 气动薄膜式压力控制阀调节更灵活, 压力控制比较平稳, 其应用流程见图 3。

4.2 海水系统主要节点水力学计算

气田海水系统在底层甲板设置压力安全阀, 设点 950kPa ; 中层甲板设置泵出口压力高高保护, 设点 750kPa ; 在冷却甲板海水冷却器低压侧设置压力高高保护, 设点 500kPa 。乐东 22-1 气田采用 500QHB550-82/3 型离心式潜海水提升泵, 额定扬程 82m , 最大扬程 105m , 额定排量 $550\text{m}^3/\text{h}$ 。

4.2.1 系统各节点标高及正常压力

气田所用潜海水提升泵位于海面以下约 12m 处, 启泵按钮、反冲洗过滤器、自力式调节阀等设置在底层甲板。正常情况下反冲洗过滤器上游压力 650kPa , 反冲洗过滤



图 1 乐东 22-1 气田采用的自力式压力控制阀



图 2 同类装置采用的气动薄膜式压力控制阀

器下游（亦即自力式调节阀 PCV4010）压力 650kPa，泵出口压力 490kPa。冷却甲板为系统最高点，正常情况下湿气压缩机后置冷却器海水入口压力 230 ~ 250kPa；干气压缩机后置冷却器海水入口压力 290 ~ 310kPa，系统各设备标高及主要节点正常压力如图 4 所示。

4.2.2 最恶劣工况下最高可能压力计算

根据离心泵特性曲线^[2]可知，排量为零时扬程最大，即泵最高可提供 105m 水柱（粗略计算以海平面为基准），假设冷却水系统关闭所有排海口的极端工况下，可以利用压强公式计算出冷却甲板海水冷却器入口压力（标高 47.8m）、中层甲板泵出口压力（标高 29m）和底层甲板安全阀处压力（标高 22m）最高值。

冷却甲板冷却器入口最高压力为：

$$P_1 = \rho gh_1 = 1.025 \times 10^3 \times 10 \times (105 - 47.8) = 586300 \text{ Pa} = 586.3 \text{ kPa}$$

中层甲板泵出口最高压力为：

$$P_2 = \rho gh_2 = 1.025 \times 10^3 \times 10 \times (105 - 29) = 779000 \text{ Pa} = 779 \text{ kPa}$$

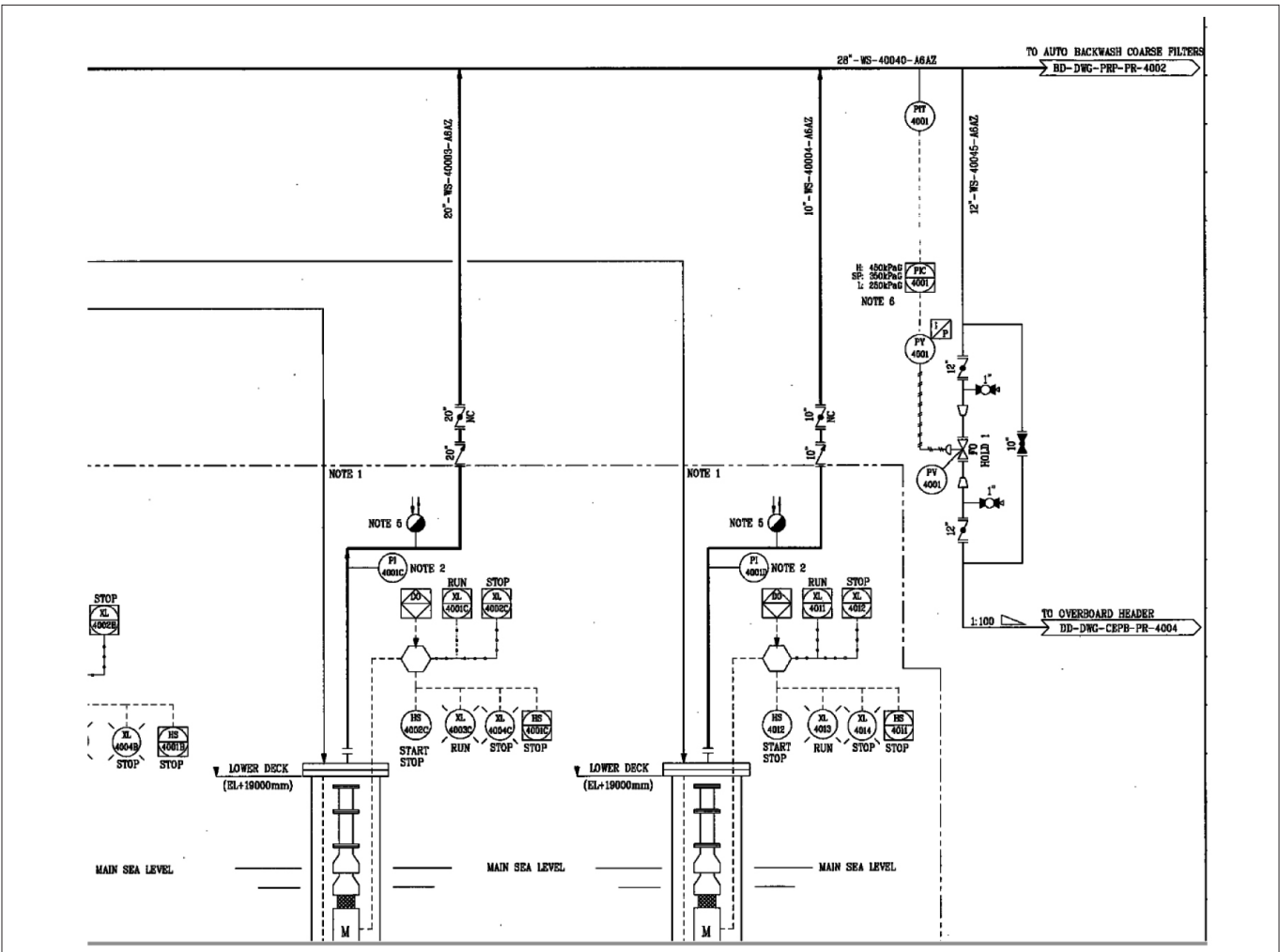


图 3 气动薄膜式压力控制阀应用流程图

冷却甲板，海水冷却器入口压力高高取点——47.8米	干气压缩机冷却器海水入口290-310kPa 湿气压缩机冷却器海水入口230-250kPa
主甲板——37米	
中层甲板，泵出口压力高高取点——29米	正常压力：490kPa
底层甲板海水过滤器、PCV4010——22米	正常压力：过滤前650kPa 过滤后560kPa
海平面——0米	
潜海水泵——-12米	

工况下系统压力均不会超过设计压力，可参照东方 13-2 气田设计，取消泵出口压力高高关断设置，保证压力控制阀故障情况下海水提升泵亦不会因此设置而停机，持续提供冷却水，避免事态扩大。

图 4 海水系统各点标高及压力示意图

底层甲板安全阀处最高压力为：
 $P_3 = \rho gh_3 = 1.025 \times 10^3 \times 10 \times (105 - 22) = 850750 \text{Pa} = 850.75 \text{kPa}$
式中： ρ —海水密度，取平均密度 $1.025 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ；
 g —重力加速度，取 10N/kg 。

4.2.3 系统压力高高设点必要性及合理性分析

经查询气田海水系统材质为玻璃钢，压力等级为 A7，承压能力为 2000kPa，系统设计压力为 950kPa，安全阀设定压力为 950kPa，即在最极端工况下，各节点压力均不会超过系统设计压力，泵出口压力高高关断设点没有设置的必要性。冷却甲板海水冷却器^[3]低压侧压力高高关断设点设计理念应为防止冷却盘管破裂，高压侧压力窜入低压侧，而非防止海水本身压力过高，因此低压侧压力高高关断设点应当介于海水在该点的最高压力（586.3kPa）和爆破片破裂压力（950kPa）之间。

5 乐东 22-1 气田海水系统稳定性提升建议与措施

根据以上分析可知，乐东 22-1 气田海水系统不稳定的根本原因是系统压力控制阀功能失效，次要原因是系统压力保护设点设置不合理，要提高海水系统稳定性，彻底解决系统存在的问题，可从以下几个方面进行：

（1）将现有 6 英寸 150BL 自力式压力控制阀更换为气动薄膜式压力控制阀，提高调节稳定性和灵敏度，从根本上解决压力控制问题；同时改造升级防海生物装置，提高消杀效果，防止海生物生长、结垢等导致阀门卡滞。

（2）根据前述计算，结合离心泵运行特点，最极端

（3）提高冷却甲板冷却器低压侧海水压力高高设点至 750kPa，既能起到防止高压侧压力意外窜入低压侧的作用，又不受海水侧自身压力影响，可以大大提升系统稳定性。

6 结语

乐东 22-1 气田因海水用户用水量大幅波动导致系统关停等一系列连锁反应，从本质上看是由于系统阀门设置不合理，忽视了气田多台压缩机同时运行情况下对冷却海水的稳定需求及海水环境下自力式调节阀的响应灵敏度，同时也缺乏对海水系统压力的全面评估，存在过度保护问题。后期将自力式压力控制阀更换为气动薄膜式压力控制阀，并调整系统压力保护设点后，应对海水用量突变的能力将显著增强，海水系统的稳定性会有质的提升。

参考文献：

[1] 施俊良. 调节阀的选择 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，1986: 125-128.

[2] 赵恒. 浅谈离心泵的变频调速 [J]. 氯碱工业，002(12): 44-45.

[3] 谭红莹，高铭志，张佃臣，等. 某海洋平台发电动机海水冷却器腐蚀分析 [J]. 天然气与石油，2020, 38(04): 83-88.

作者简介：陈柱（1982.11-），男，汉族，重庆人，本科，高级工程师，研究方向：海洋石油天然气管理。