

高温高压无人井口平台一键自动复产技术研究与经济效益

张晓璐 赵青明 (中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海南 海口 570100)

摘要:南海某平台为高温高压无人井口平台,天然气年产量达到10亿 m^3 ,是助力海南自贸港建设的绿色能源站。但由于井口平台是无人值守平台,在发生生产关停后需要人员乘坐拖轮前往井口平台进行生产恢复工作,此种方式效率极低且受制于天气和时间影响,往往会因为恢复不及时造成几百万方的气量损失,严重影响平台的产能释放。通过顶层控制逻辑设计、现场设备改造,中控系统组态等方式完成无人井口平台一键复产功能改造,实现在中心平台对无人井口平台实施一键恢复生产,从而有效提高生产恢复效率,提高生产时效。

关键词: 高温高压; 井口平台; 一键启动; 复产增效

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0064-03

Research on One-Click Automatic Resumption Technology for High-Temperature and High-Pressure Unmanned Wellhead Platforms and Its Economic Benefits

Zhang Xiaolu, Zhao Qingming (CNOOC (China) Co., Ltd. Hainan Branch, Haikou Hainan 570100, China)

Abstract: A certain platform in the South China Sea serves as a high-temperature and high-pressure unmanned wellhead platform, with an annual natural gas production capacity reaching 100 million cubic meters. It functions as a green energy hub supporting the construction of the Hainan Free Trade Port. However, since the wellhead platform operates unattended, production shutdowns require personnel to travel by tugboat to restore operations. This method is highly inefficient and constrained by weather and time, often resulting in millions of cubic meters of gas loss due to delayed recovery, severely impacting the platform's production capacity. Through top-level control logic design, on-site equipment modifications, and central control system configuration, the unmanned wellhead platform has been retrofitted with a one-click production resumption feature. This enables centralized control of the unmanned wellhead platform for rapid production recovery, effectively improving restoration efficiency and production timeliness.

Keywords: high temperature and high pressure; wellhead platform; one-click start; resumption of production

1 背景

1.1 高温高压无人井口平台现状与困境

南海某平台(以下简称A平台)是高温高压无人井口平台,目前有12口天然气生产井,天然气年产量达到10亿 m^3 。A平台距离中心平台大约5km,日常无人值守,设备需要维保或者发生故障则需要人员从中心平台乘坐拖轮登临A平台进行处理,特别是针对非计划关停这种突发状况,无法第一时间进行生产恢复成了无人平台普遍面临的主要困境。根据无人平台设计原则以及控制逻辑可知,主要影响A平台关停的因素有以下几点:①中心平台发生3级及以上关停会导致A平台3级(生产)关停;②中心平台与A平台通讯中断30min会导致A平台0级(弃平台)关停;③A平台自身逻辑触发的关停。

1.2 高温高压无人井口平台一键复产必要性论述

无人井口平台无论是哪一种关停,均需要维修和生产人员乘坐拖轮并登临A平台进行生产恢复,即使关停发生在白天,维修人员能顺利达到A平台进行生产恢复,整各过程最少也需要4h,如果遇到大风天气无法乘坐拖轮则需申请应急飞机,时间会更久。但如果夜间发生故障,人员无法及时到达A平台,将导致

维修时间将延长至十几个小时,造成的气量损失高达几百万方,严重影响A平台的产能释放,这就是一键复产必要性之一,提高非计划关停后的生产恢复效率。

人员登临A平台需要拖轮进行靠泊,近年来发生多起因轮船靠泊而撞击平台的事件,频繁的靠泊无疑增加了此风险。即使拖轮靠泊成功,人员还需要攀爬软梯登临平台,在登临平台的过程中人员有坠海的风险。因此避免此类安全事故的发生也是增加一键复产功能的必要性之一。

由于A平台无人值守,因此人员在A平台的生产必须从中心平台运送,即每次关停恢复至少需要拖轮往返两次,极大的增加了拖轮使用费用,也必然极大地增加了人工成本,所以从费用控制方面考虑,增加一键复产功能势在必行。

2 一键复产顶层逻辑设计

2.1 软件设计

中心平台和井口A平台的中控系统由PCS(过程控制系统)、F&G(火气系统)及ESD(紧急关断系统)三大系统组成。其中PCS为艾默生的DeltaV系统,F&G和ESD为DeltaVSIS系统,同时A平台中控系统有自己独立的控制器,但是其数据库与中心平台中控

系统数据库为同一个,即A平台相关控制逻辑的实现是由A平台自身控制器实施,但是在中心平台就可以完成A平台相关逻辑的组态、修改与下装。一键复产的逻辑设计不仅要完成一键复产这个功能,更重要的是在实施这个功能的过程中能够安全、稳定。在逻辑设计过程中需要从四个方面考虑:

①安全生产方面,由于进行一键复产时没有人员在A平台进行实地检查,因此需要在逻辑判断过程中优先考虑火气系统的报警以及工艺流程中各参数的阈值情况,将此类参数都列为是否可以开井的判断依据。同时还需要增加一键复产过程中发生意外的紧急停止功能。

②工艺流程方面,因为A平台的关断阀、放空阀均为液控阀门,且液压油均由井口控制盘控制,而一键复产涉及到井口液压阀门的开关,所以首先要考虑井口控制盘的负荷,保证井口控制盘的液压稳定,确保顺利开井。其次由于每一口井的产量都不同,因此还需要考虑自动开井时候的顺序,增加由操作员选择的权限。

③控制逻辑方面,因为一键复产涉及到12口井的顺序开关以及其他工艺流程阀门的操作,还需考虑F&G及ESD的相关信号,涉及信的输入输出信号繁多,如果采用组合逻辑的方式进行判断和执行太过繁琐,因此本设计采用顺序控制逻辑设计。

④操作界面方面,因为一键复产涉及到整个平台工艺流程恢复,因此在设计功能按键时需要增加确认功能防止操作员误操作,其次操作画面要避免内容太复杂,导致在一键复产过程中操作员需要关注过多信息,影响复产效率,同时还需要考虑一键复产过程中出现意外情况,人工可以及时干预。

2.2 硬件设计

一键复产功能所需要的硬件功能包括井口控制盘的远程开关井功能、采油树油嘴的远程调整功能、工艺流程相关阀门的远程开关功能、泵类的远程控制功能、抽屉柜远程控制功能、控制室暖通系统的远程控制功能等。由于与一键复产功能相关设备设施已经存在,优先考虑将其进行改造以实现所需功能。

①井口控制盘的远程开关井功能,主要将开关主翼阀的手拉阀门更换为手/电一体的阀门即可实现远程开关井功能,注意不能影响到关停时关闭井口控制盘的相关逻辑,不能降低安全性;②采油树油嘴的远程调整功能,主要将采油树油嘴的手动执行机构更换为电动执行机构即可实现远程调整油嘴功能,电动执行机构需要配备手动功能,防止故障情况下无法开关油嘴;③工艺流程相关阀门的远程开关功能,主要将

阀门的手动执行机构更换为电动执行机构、并将手动复位电磁阀更换为远程复位电磁阀即可实现阀门的远程开关功能,电动执行机构需要配备手动功能,防止故障情况下无法开关阀门;④泵类的远程控制功能,主要对泵的启停线路进行改造,增加2P的控制电缆将启停控制回路接入中控继电器,增加远程启停功能;⑤抽屉柜远程控制功能,有两种设计思路,一种是增加抽屉柜电动操作执行机构,实现抽屉柜的远程分合闸及复位等相关功能,另一种是将原ESD跳闸信号跳主回路改为跳控制回路,增加控制回路跳闸复位功能;⑥控制室暖通系统的远程控制功能,考虑到中控室需要良好的通风且需要保证控制器的运行温度,因此需要能够远程启停风机、风闸、空调。其中对风机、风闸控制回路进行改造,将控制回路信号线接入中控,增加远程控制功能。空调增加通讯面板,通过Modbus与中控系统进行通讯,实现对空调的远程控制功能。

3 一键复产功能改造

3.1 硬件改造

根据硬件设计思路,对A平台相关设备进行改造,实现了井口控制盘的远程开关井功能、采油树油嘴的远程调整功能、工艺流程相关阀门的远程开关功能、泵类的远程控制功能、抽屉柜远程启动停止功能、控制室暖通系统的远程控制功能等,为下一步的软件设计提供了硬件支持。

由于远程控制功能改造基本为手动阀门增加电动执行机构,便不重复介绍,以井口控制盘为例进行说明。通过井口控制盘增加远程控制功能改造,将原有的手动阀门更换为手/电一体的阀门,实现液控主阀和翼阀的远程控制,且不影响手动操作功能及安全性。原井口控制盘在发生3级关停后手拉阀会关闭,需要人员在现场重新拉起阀门才能打开主阀和翼阀,经过改造后操作人员可以在中控远程开关主阀和翼阀,实现了对井口控制盘的远程操作。

3.2 顺序控制设计与组态

顺序控制是一种按照预定程序进行的控制方式,它能够使各个执行机构或单元按照一定的顺序进行动作,从而实现生产过程的自动化。由于海上天然气生产平台各工艺流程关联性强,同时对安全要求高,所以整体的顺序控制在海上平台应用较少,此次改造也是一次大胆的尝试。

顺控的核心是基于中控系统的控制系统,需要现场各设备按照预定的程序进行动作。顺控逻辑的顶层设计需要确保系统的可靠性和稳定性,如果因条件判断不到位就进入下一步程序,将会存在较大的安全隐患,所以程序需要配置一键启动,工况判断、紧急停止,

步骤旁通,报警中断等功能。

此次一键复产逻辑设计充分考虑系统的安全性、稳定性和可操作性,操作总体设计为一键启动、停止、复位,正常一键启动选择 START、停止顺控选择 STOP,顺控逻辑走完再次执行顺控选择 RESET,当程序正在执行过程中无法选择 RESET,需要先 STOP 才能 RESET,主要功能如下:

条件判断。当顺控在执行每一步动作时,都会提前判断执行动作的条件,当条件不满足时,出现红色和黄色交替闪烁。主要包含启动前的火气信号确认、井口控制盘的液位参数、高低压开关是否报警等。

条件旁通。逻辑顺控中判断条件的每一步都涉及到旁通。当此步骤无法进行可以进行人工干预,由操作员判断是否选择旁通以进行下一步。其中还包含了首次开井的旁通设计,如操作员不需要开某口井可以先进行旁通,则一键复产后该井不会打开,方便工艺人员调配产。

动作执行。顺控在每一步都会有相应的动作执行,其中当执行到对应的某一步时,对应的画面上会从灰色变为绿色,表示正在执行该步的动作,操作人员可以通过顺序流程图看到一键复产进行到哪一步。

条件参数设置。针对一些可变动的条件,设计与操作员互动窗口,操作员可根据实际情况,对判断条件进行参数设置。如井口控制盘液压油液位、液压油泵出口压力等参数都可以根据实际情况进行设置。

4 一键复产功能实施

根据硬件改造情况以及软件设计情况,一键复产程序设计遵从顺控程序设计基本原则,本着安全第一、稳定复产的思想,根据设备恢复优先级不同的实际情况,运用模块化设计,制定一键恢复生产和一键恢复暖通两个模块。

根据一键复产逻辑设计,对顺序控制逻辑进行组态,生产恢复顺控逻辑步骤如下:根据现场实际需求设置需要开的井,以及油嘴开度;系统自检,首先对 F&G 及 ESD 系统关停信号检测,无相关报警信号方可进行下一步;判断井口控制盘液压油液位和主副回路液压油压力,达到设定值方可复产;点击 START 开始运行一键复产,判断流程上的 SDV 和 BDV 状态,并关闭所有井的主翼阀、油嘴开度调零,保证按照既定顺序进行开井;公共模块主翼阀回路电磁阀打开,为主翼阀回路供给液压油;依次打开对应井进生产管汇电动阀;依次关闭对应井进测试管汇电动阀;依次检查对应井的井下安全阀状态反馈、井控盘液压油压力/液位确认;依次检测压力开关状态,判断是否需要旁通;依次打开各单井主阀,并检查主阀状态反馈、

井控盘液压油压力液位确认;依次打开各单井翼阀,并检查主阀状态反馈、井控盘液压油压力液位确认;依次给单井电动油嘴赋设定值,并进行电动油嘴反馈值确认(设定值和反馈值 $< 4\%$,否则延迟 15S 报警);程序结束。

暖通恢复顺控逻辑一键恢复的必要条件包括:确认中压柜正常供电,中控分体空调、风机处于停机状态,风闸关闭状态。其主要步骤如下:点击一键恢复暖通按钮;确认中压柜正常供电(ACB1/ACB2/ACB3/ACB4 合闸);确认空调/风机/风闸所在房间烟雾探头/热探头状态正常;启动空调/风机/风闸并确认空调/风机/风闸启动;房间温湿度确认正常;判断空调/风机/风闸启动;程序结束。

5 实践应用及经济效益

通过对高温高压无人井口平台一键复产技术研究与实践,不仅在技术上论证了无人井口平台一键复产功能的可行性,同时与以往人工复产相比提高了的可靠性和安全性,更是为以后无人井口平台设计提供了新思路和设计方法。一键复产技术的成功实施取得了如下成果:

提升开采安全:发生关停后,人员无需再前往 A 平台,减少了人员攀爬软梯登临 A 平台的次数,降低了人员坠海风险,也降低了拖轮靠泊时撞击平台的风险。

技术应用前景:南海作为国家海洋油气资源准备的重要海域,大量丰富的海洋油气资源亟需开发,无人井口平台作为未来的趋势,一键复产功能必不可少,此次的成功实践也为将来无人井口平台设计提供了新思路。

经济效益方面,此次改造提高了井口平台生产恢复效率,减少往来井口恢复生产的拖轮成本、人员作业等综合成本,按照每次停产复产所需 3-4h,每次可减少天然气损失 62 万方,一次复产节约产量损失综合成本 100-150 万元。

参考文献:

- [1] 赵旭,柏泽,廖飞,周小昌.海上气田井口平台一键复产技术探索与应用[J].中国仪器仪表,2025(7):84-88.
- [2] 霍通达.海上油田生产井口抬升原因及应对策略[J].石化技术,2023,30(1):231-233.
- [3] 郑成明,刘向阳,石咏衡,吴红光.某海上气田智能化建设探索[J].油气田地面工程,2022,41(4):59-62.
- [4] 章绍龙.基于大数据技术智慧油田的现状与发展思考[J].中国设备工程.2019(3):216-217.
- [5] 黄旭,刘少帅.智能化背景下海上油气田节能技术创新研究与应用进展[J].天津科技,2025(3):13-16.