

完整性操作窗口在南海某深水气田的首次应用

王聚团

中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东 深圳 518067

摘 要:完整性操作窗口(Integrity Operating Window, IOW)是油气田和炼化企业设备设施完整性管理在工艺操作层面的重要组成部分。随着危害和可操作性(Hazard and Operability, HAZOP)以及基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)等工艺安全技术的推广, IOW 可与离散控制系统(Distributed Control System, DCS)建立操作互动、与 RBI 建立深度融合、为 HAZOP 提供风险评估依据等,在提升工艺安全管理方面越来越受到重视。通过对 IOW 标准的简介,着重阐述了 IOW 首次在南海某深水气田的建立方法、过程、结果和实际应用的意义,表明 IOW 不仅可以有效提升设备设施完整性管理水平和工艺安全管理水平,还可以深度融入到数字化、智能化油气田的建设中,建议在海上油气田全面推广 IOW。

关键词:完整性操作窗口;首次建立;完整性管理;工艺安全;智能化油气田

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2022.01.005

First implementation and application of integrity operating window (IOW) in South China Sea deep-water gas field

WANG Jutuan

CNOOC China Limited, Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong, 518067, China

Abstract: Integrity Operating Window (IOW) is an important part of asset integrity management in oil and gas fields and chemical and refining companies at the process operation level. With the development of Hazard and Operability (HAZOP) and Risk Based Inspection (RBI) technology, IOW can enhance the process safety management by building interaction with Distributed Control System (DCS) operation, establishing in-depth integration with RBI and providing risk assessment basis for HAZOP. Through an introduction to the IOW standard, this paper focuses on the significance of the method, process, results and practical application of the first implementation of IOW in a deep-water gas field in the South China Sea. The results show that IOW technology can not only effectively upgrade the asset integrity management level and process safety management, it can also make contribution to the development of digital and intelligent oil and gas field. Therefore, it is recommended to apply IOW technology widely in all offshore oil and gas fields.

Keywords: Integrity Operating Window (IOW); First implementation; Integrity management; Process safety; Intelligent oil and gas field

收稿日期:2021-08-27

基金项目:中海石油(中国)有限公司流花 29-2 天然气开发项目(SZ-1TB-180014)

作者简介:王聚团(1988-),男,河南驻马店人,工程师,学士,主要从事海洋石油天然气开发与生产工作。E-mail:wangjt14@

cnooc.com.cn

0 前言

设备设施完整性管理是一个完善的、系统的管理过程,是用整体优化的方式确保设备设施在整个生命周期,达到可靠性、安全性、环保性以及经济性的要求^[1-2]。设备设施完整性管理主要从设计建造、检验维修和工艺安全三方面进行。在设计建造方面,主要是确保设计建造符合国内、国际的法律法规以及相应的设计标准和规范;在检验维修方面,主要是制定和执行基于风险、状态和时间的检验维修计划^[3-4];在工艺安全方面,主要是将影响设备完整性的工艺操作参数控制在合理范围内。

海上油气田尤其是深水油气田,在实际的设备设施完整性管理中面临环境工况恶劣、设备设施种类繁多、风险管控要求高、维修难度大且成本高等问题^[5]。经过近几十年的技术发展,中国海上油气田的设备设施管理,尤其是在设计建造和检验维修方面,已经形成了一套相对完整的管理体系^[6-7]。但在工艺安全方面,目前仍然依赖于有经验的的生产操作员在基于离散控制系统(Distributed Control System, DCS)中进行日常管理,尚未形成一套行之有效的工艺安全管理系统。随着危害和可操作性(Hazard and Operability, HAZOP)以及基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)等工艺安全管理技术的引进和普及^[8-9],针对海上油气设备和管道失效的工艺因素进行持续的监测和分析,对可能存在的工艺安全风险进行评估并制定应对措施,应该受到重视。

完整性操作窗口(Integrity Operating Window, IOW)是美国石油协会(American Petroleum Institute, API)从工艺安全角度查找并消除设备失效的因素、降低设备的腐蚀风险,专门制定的针对工艺操作参数控制的一套推荐做法(API RP 584《完整性操作窗口》,以下简称 API RP 584)^[10]。IOW 是设备设施完整性管理在工艺运行操作层面的重要组成部分,当前仅在国内外的一小部分陆地炼化企业有初步应用,但随着其在南海某深水气田的首次应用,将会在海上油气田逐步得到推广。

1 IOW 类型与建立流程

IOW 是一套被定义的工艺操作参数界限,通过建立、设定和监控这些操作界限(如高报警、高高报警、低报警、低低报警),一旦超出这个界限,IOW 将会反馈一个警报,提示操作参数已经超限,并需要采取已经制定的响应措施,将操作参数重新控制在正常范围内,从而预防设备的失效或工艺安全事故的发生,确保设备设施的安全运行。

1.1 IOW 类型

根据影响设备完整性和可靠性的不同工艺参数,可以将 IOW 分为两种类型,即物理型 IOW 和化学型 IOW。物理型 IOW 主要是指在设计变量范围内维持控制的关

键工艺流程参数,如设计压力、操作压力、气体分压、压差、操作温度、露点、流量和药剂注入量等。化学型 IOW 主要是与工艺中的化学反应和流体的含量有关,如 pH 值、水含量、硫含量、盐含量、氧含量、氨含量和总酸值等。

根据不同的工艺参数超限运行对设备完整性和可靠性造成的结果,可以将 IOW 分为安全操作区间及关键界限和标准界限,见图 1。关键界限是指如果某项工艺参数超出关键界限值并持续一定的时间,就可能迅速导致设备失效。标准界限是指如果某工艺参数超出标准界限值并维持一定的时间,就可能在一定的时间内导致设备失效。

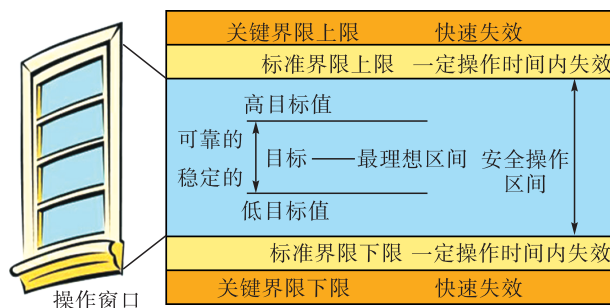


图 1 安全操作区间及关键界限和标准界限的划分图

Fig. 1 Zones of operation including target ranges with standard and critical limits

1.2 IOW 建立流程

API RP 584 明确规定了 IOW 建立的流程,见图 2。IOW 建立流程主要分为五个步骤:定义设计和操作条件、定义设备失效机理、罗列导致设备失效的工艺参数、设定工艺参数界限、制定超限后的响应措施。

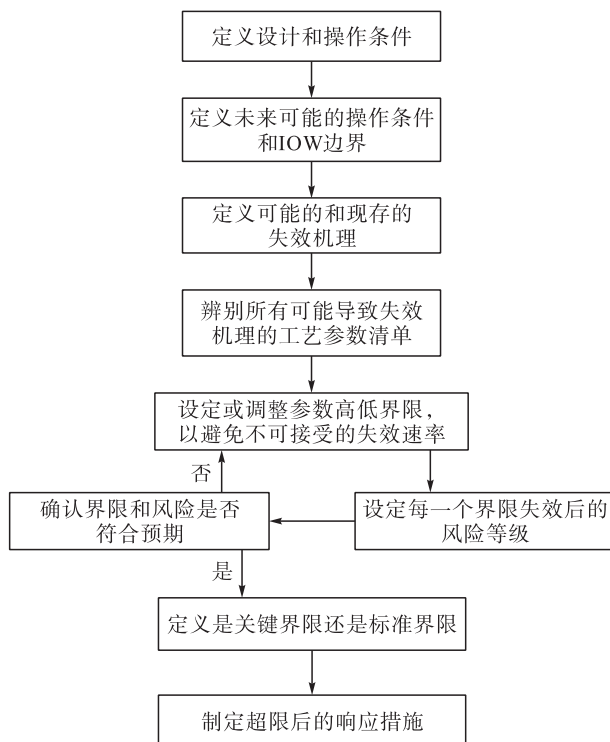


图 2 IOW 的建立流程图

Fig. 2 Process of IOW implementation

2 IOW 在南海某深水气田的首次建立

南海某深水气田主要设施包括 1 套包含 18 口井的水下生产控制系统、2 条 558.8 mm 的海底天然气管道、中心平台主工艺分离及压缩系统、1 套乙二醇回收装置以及若干化学药剂注入系统,其水下生产工艺见图 3,平台生产工艺见图 4。由于此次 IOW 建立只考虑了液相工艺流程,因此图 4 不包含气相工艺流程。

根据 API RP 584 首次在某南海深水气田建立的 IOW 系统,共选取了 143 个关键工艺参数作为基础,为简单起见,以下仅以选取的部分 IOW 参数为例,介绍该深水气田 IOW 系统的建立过程。

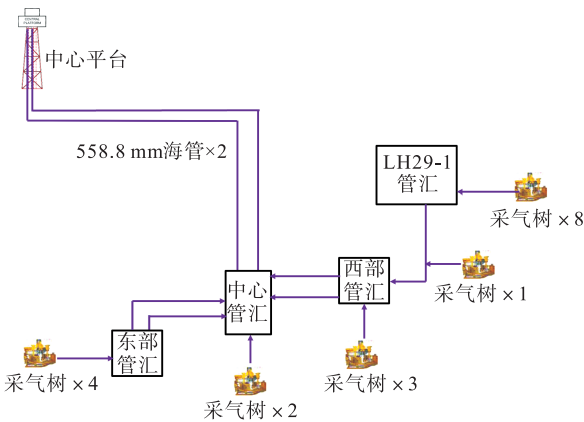


图 3 南海某深水气田水下生产工艺简图

Fig. 3 Simplified subsea production process of deepwater gas field located in South China Sea

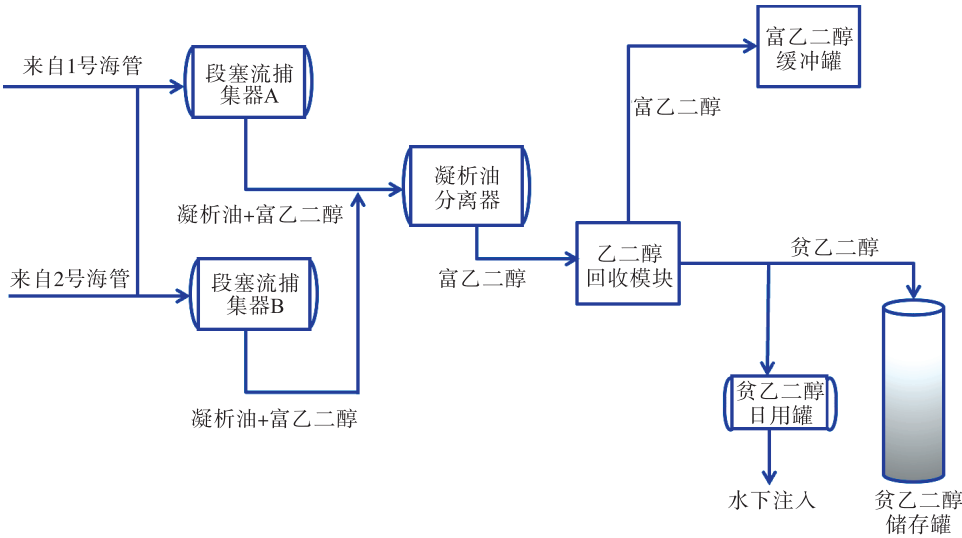


图 4 南海某深水气田平台生产工艺简图

Fig. 4 Simplified platform production process of deepwater gas field located in South China Sea

2.1 定义工艺操作条件

该深水气田的定义工艺操作条件见表 1,日产气量 $1\,557 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右,单管运行气量在 $708 \times 10^4 \sim 991 \times$

10^4 m^3 之间,单口井乙二醇的注入量不低于 5.65 L/h / 10^4 m^3 ,LH29-1 管汇温度不低于 $20\text{ }^\circ\text{C}$,乙二醇处理装置正常入口流量 $45 \text{ m}^3/\text{h}$,阻垢剂泵出口压力维持 12.6 MPa 。

表 1 定义的工艺操作条件表

Tab. 1 Defined process operation conditons

日产气量 / 10^4 m^3	单管运行气量 / 10^4 m^3	单井乙二醇注入量 / ($\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-3}$)	LH29-1 管汇温度 / $^\circ\text{C}$	乙二醇处理装置入口流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	阻垢剂泵出口压力 / MPa
1 557	708 ~ 991	> 5. 65	> 20	45	12. 6

2.2 建立 IOW 清单

针对该深水气田的定义工艺操作条件,通过分析可能造成相关设备失效的机理及风险,发现单管运行气量过低会造成海管积液严重、过高则会造成海管冲蚀,井口乙二醇注入量过低会造成井口管线形成水合物并冻堵,乙二醇处理装置入口流量波动会造成管线冲蚀加

剧,乙二醇再生塔塔底温度过低会造成乙二醇产品含水量超标、过高会造成乙二醇蒸发损失,阻垢剂泵出口压力过高会造成管线超压。在明确存在的风险后,对不同工艺参数设定具体操作界限以及超限后的响应措施,并形成 IOW 清单,见表 2。IOW 清单包括工艺参数的基本信息、IOW 类型、操作界限、超限后的风险,以及超限后的响应措施。

表 2 IOW 清单表

Tab. 2 IOW register

参数	编号	IOW 界限类型	关键界限上限	标准界限上限	标准界限下限	关键界限下限	超限后风险	超限后响应措施
海管 A 运行气量 / 10^4 m^3	FIT-1508A	标准界限	—	1 274	425	—	低于下限海管会形成段塞,流程不稳定;高于上限会造成海管冲蚀	低于下限,启动气田循环;高于上限,调整进入海管的井口产量
LH29-2 井口乙二醇注入量 / $(\text{L} \cdot \text{h}^{-1} \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-3})$	LH29-2-A1H MEG	关键界限	—	—	—	5.65	井口管线形成水合物并冻堵	立即上报总监,并下调井口产量或加大井口乙二醇注入量
LH29-1 管汇温度 / $^{\circ}\text{C}$	LIHM PPTT1-TT	关键界限	84	80	20	10	低于下限,有水合物形成风险;高于上限,有超过管线材质设计温度的风险	低于下限,降低井口产量或加大井口乙二醇注入量;高于上限,检查温度变送器
乙二醇处理装置入口流量 / $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	FIC-5000	标准界限	—	65	25	—	低于下限,工艺流程不稳;高于上限,管线冲蚀加剧	低于下限,启动预处理系统内循环;高于上限,停止系统内循环并检查来料控制
阻垢剂泵出口压力 / MPa	PI-3650	标准界限	—	15.5	12.6	—	低于下限,药剂无法注入井口;高于上限,有管线超压风险	低于下限,检查药剂系统;高于上限,停止注入并检查系统压力

2.3 建立 IOW 在线管理系统

IOW 清单的制定是建立 IOW 在线管理系统的前提。IOW 清单中与工艺参数相对应的调整与优化通常都在 DCS 系统上完成,而 DCS 系统则由中控操作员轮流进行操作。中控操作员的职责是在 IOW 超限发生后及时采取调整措施,使其重新回归正常工况。为统计并分析 IOW 超限的根本原因,同时减少中控操作员的工作负荷,并避免不同中控操作员的不连续性和操作差异性,该深水气田在建立 IOW 在线管理系统时,并未直接在 DCS 系统上进行创建,而是采用陆地远程连接 DCS 系统的方式进行创建,并指定专门的工程师对整个 IOW 在线管理系统进行操作和维护。

考虑到 IOW 大量实时数据的计算与分析,IOW 在线管理系统的建立采用了 Spotfire 数据处理软件。Spotfire

数据处理软件是美国 TIBCO 公司研发的以可视化功能为中心的数据分析工具,它能连接多种类型的数据源文件,通过简单操作,即可以利用其优秀的即席分析能力和丰富的可视化图表,得到数据的可视化结果。

南海某深水气田的 IOW 在线管理系统架构见图 5。在该系统中,海上 DCS 系统中的 IOW 数据通过卫星链接传到陆地的生产管理系统 (Production Management System, PMS) 中,通过 PMS 中专门数据接口连接到 Spotfire 数据处理软件,由 Spotfire 数据处理软件对接收到的 IOW 数据,根据设定的界限进行实时监测和处理,对超限的 IOW 进行汇总和计算,并形成每日 IOW 超限记录和每月 IOW 超限报告,由专门的工程师对超限情况进行分析,并提出相应的改进措施。

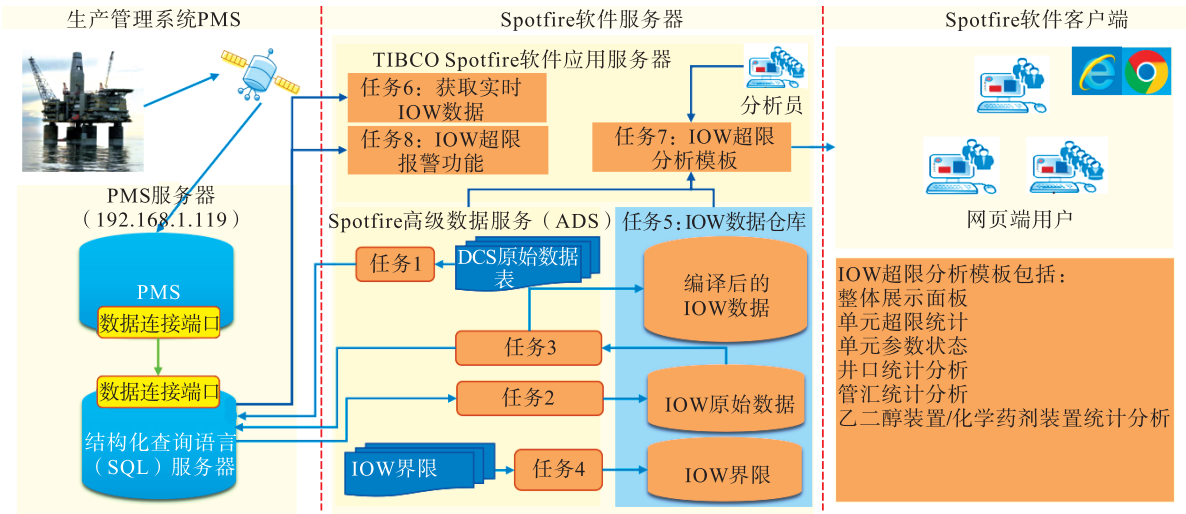


图 5 IOW 在线管理系统架构图

Fig. 5 Structure of IOW online management system

2.4 建立 IOW 超限报告体系

2.4.1 IOW 每日的超限记录

2021 年 7 月 14 日的 IOW 超限记录界面见图 6, 该记录详细展示了不同生产单元中不同工艺参数的 IOW 超

限情况, 以超限记录中的 LH29-1 管汇温度为例。如图 6 所示, LH29-1 管汇温度一直在标准界限的下限值 20 °C 左右波动, 并伴有短暂的超限发生。

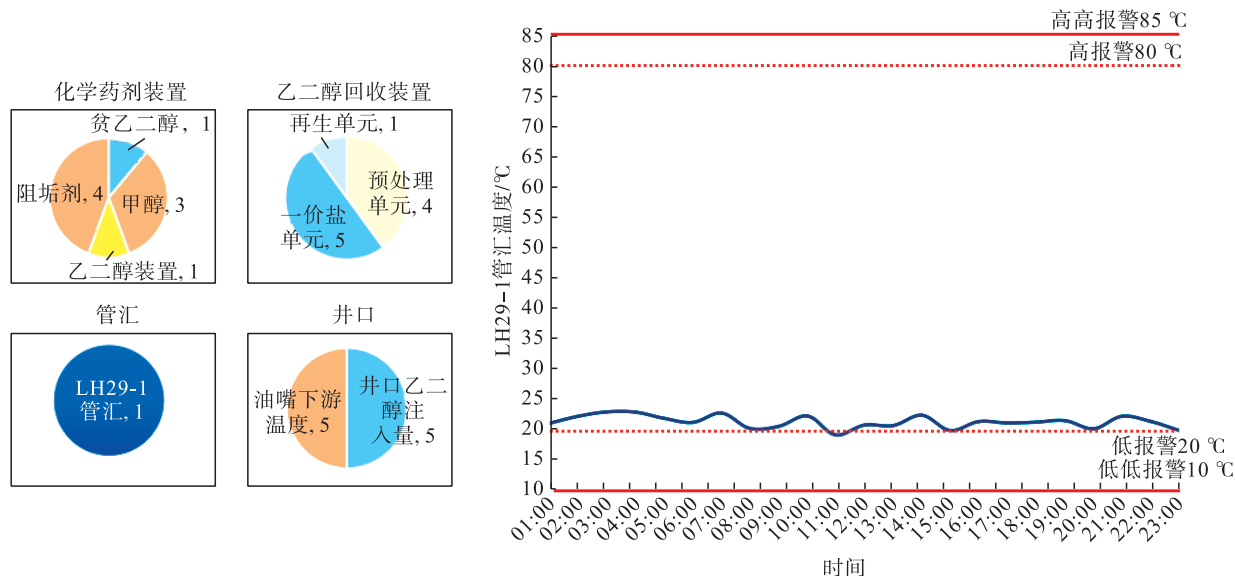


图 6 IOW 每日超限记录界面图(2021 年 7 月 14 日)

Fig. 6 Daily IOW excursion log (14th July 2021)

工程师分析图 6 IOW 超限记录时, 首先要了解在超限发生后, 中控操作员是否按照 IOW 清单执行对应的响应措施, 然后查找发生超限的根本原因, 并制定相应的改进措施, 以避免超限的再次发生。鉴于 LH29-1 管汇温度一直在标准界限下限附近波动, 专门工程师在确认中控操作员执行了响应措施后, 进一步分析在该温度条件下形成水合物的必备条件。LH29-1 管汇形成水合物的临界条件是压力达到 23 MPa 且温度达到 5.6 °C, 因此在当前操作条件下 (压力 10.2 MPa, 温度 21 °C) 没有形成水合物风险, 并建议重新设定 LH29-1 管汇温度标准界限和关键界限的下限值, 以符合实际操作工况。

2.4.2 IOW 每月的超限报告

图 7 为 2021 年 7 月的 IOW 超限报告, 该报告详细展示了在不同生产单元中不同工艺参数当月所有的 IOW 超限情况, 并分别记录了各个生产单元平均每日的超限次数、月度累计超限次数及超限趋势。

图 8 为乙二醇处理装置月度的 IOW 超限报告, 该报告详细记录了乙二醇处理装置中每个 IOW 参数每日累计超限时间和每月累计超限时间, 并用不同的颜色区分, 白色表示每日超限时间在 30 min 以内, 黄色表示每日超限时间在 30 min ~ 24 h, 灰色表示每日超限时间为 24 h (灰色主要用来表示该参数对应的设备处于离线状态)。

IOW 每月超限报告由生产部门和工艺安全部门定期进行联合分析, 在每日记录的分析基础上, 针对频繁

发生的超限情况或者累计超限时间长的工艺参数制定相应的整改措施, 针对性地改进或优化。

2.5 IOW 在线管理系统的持续改进

南海某深水气田 IOW 在线管理系统虽然已经建立并且开始实际应用, 但仍然存在改进之处。

在建立 IOW 清单时, 尽管 API RP 584 没有要求在 IOW 清单上显示 IOW 超限后的风险评估结果, 但如果能够在 IOW 清单及 IOW 在线管理系统中明确显示超限后的风险评估结果^[11], 会从根本上强化 IOW 管理人员的风险防控意识, 严格控制中高风险超限的发生。

IOW 在线管理系统建立之初, 为有效推进系统测试, 只包含了 143 项关键工艺参数, 而该深水气田实际的关键工艺参数如气井环空压力等^[12-13]至少有 300 多项, 应该对 IOW 在线管理系统进行扩容, 增加更多的 IOW 关键工艺参数。

目前, IOW 在线管理系统的关键工艺参数大多为物理型 IOW, 对于化学型 IOW 如 pH 值、含水量、H₂S 含量、氯离子含量、防腐剂余量等则鲜有录入。针对化学型 IOW 应该尽快纳入到该系统进行统一管理。

IOW 在线管理系统目前受限于卫星链路的宽带速率和工业控制网络的安全要求, 尚不能发送即时的超限警报到专门工程师或更高级别的 IOW 管理人员。研究并建立专用的超限警报发送通道, 及时对超限情况进行处理, 应引起重视。

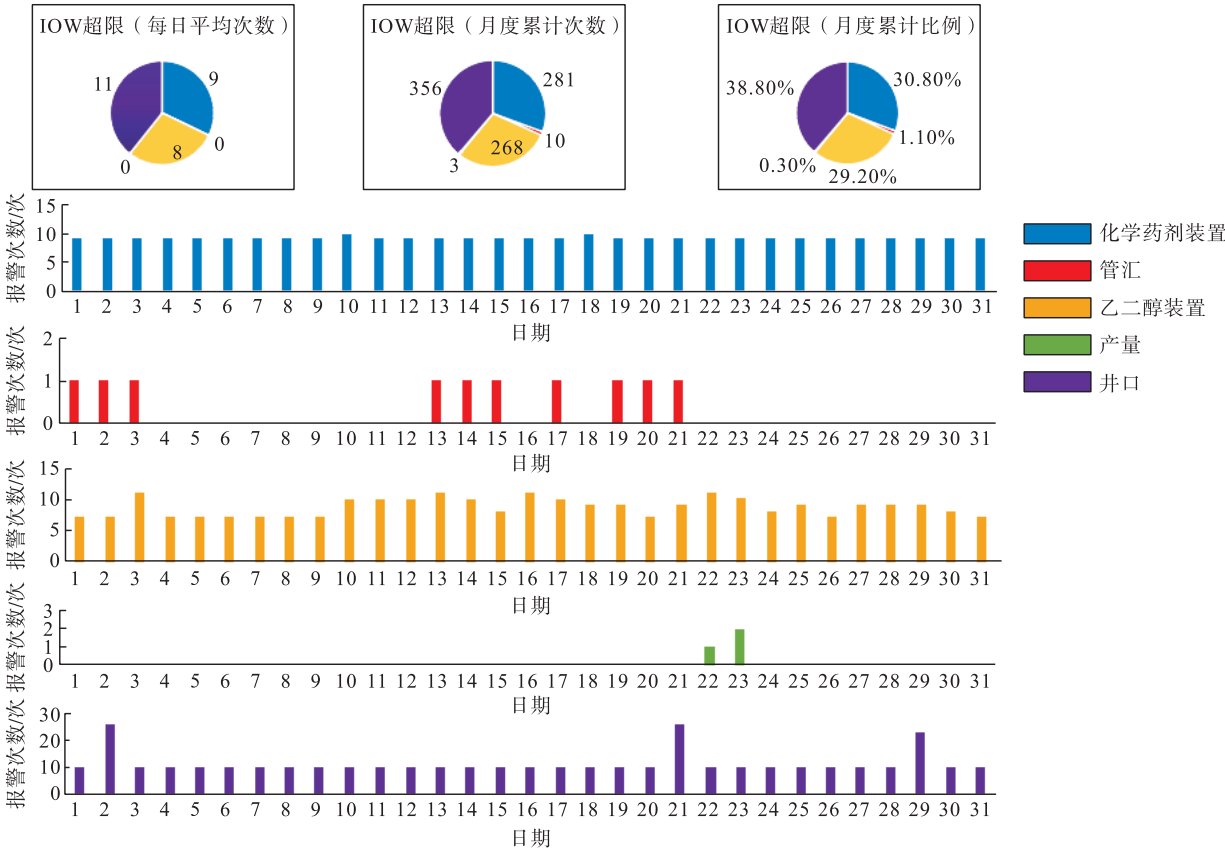


图7 IOW 每月的超限报告图(2021 年 7 月)
Fig. 7 Monthly report of IOW excursion(July 2021)

日期	预处理A套 流量	预处理B套 流量	A套循环泵 压力	A套预闪蒸罐 压力	A套真空泵 压力	B套真空泵 压力
	FIC-5000	FIC-5003	PI-5007	PIC-5005	PI-5077	PI-5117
1	1.00	0.19		1.00	1.00	
2	1.00	0.20		1.00	1.00	
3	1.00	0.18		1.00	1.00	
4	1.00	0.18		1.00	1.00	
5	1.00	0.19		1.00	1.00	
6	1.00	0.19		1.00	1.00	
7	1.00	0.17		1.00	1.00	
8	1.00	0.00		1.00	1.00	
9	1.00	0.00		1.00	1.00	
10	1.00	0.00		1.00	1.00	0.28
11	1.00	0.10		1.00	1.00	1.00
12	1.00	0.21		1.00	1.00	1.00
13	1.00	0.22		1.00	1.00	1.00
14	1.00	0.07		1.00	0.13	1.00
15	1.00	0.01		1.00		1.00
16	1.00	0.14		1.00		1.00
17	1.00	0.11		1.00		1.00
18	1.00	0.09		1.00		1.00
19	0.38	0.62		0.37		1.00
20	0.11	1.00				1.00
21	0.16	1.00				1.00
22	0.28	1.00				1.00
23	0.12	1.00				1.00
24	0.43	1.00				1.00
25	0.27	1.00			0.40	0.60
26	0.26	1.00			1.00	
27	0.26	1.00			1.00	
28	0.08	1.00			1.00	0.61
29	0.00	1.00			0.69	0.68
30	0.00	1.00				1.00
31	0.03	1.00				1.00
累计	20.39	14.87	18.37		17.22	18.17

图8 乙二醇处理装置月度的 IOW 超限报告图(2021 年 7 月)
Fig. 8 Monthly IOW excursion report of MEG recovery unit(July 2021)

3 IOW 的实际应用意义

目前,尽管 IOW 在国内外并未大范围推广和应用,但其在南海某深水气田的首次成功应用,对中国海上油气田的管理,尤其是在设备设施完整性管理、工艺安全管理方面具有重要的指导意义,对当下数字化、智能化油气田建设也有借鉴作用。

3.1 提升油气田完整性管理水平

IOW 从工艺安全的角度,通过结合关键工艺参数的超限和超限可能带来的风险,可以准确识别可能导致设备失效的工艺原因,并针对具体的工艺参数进行合理的调整及优化,制定出超限后的响应措施,便于日常的风险分级管理,既控制了设备的失效风险,又达到生产效益的最大化。

IOW 的管理,不仅可以通过物理和化学控制,控制承压设备的使用寿命及可靠性,还可以与 RBI 进行深度融合^[14-15]。RBI 的主要功能是识别风险、调整检验周期、提供设备与管道优化的检验策略,通过 IOW 与 RBI 的深度融合,及时进行腐蚀回路的参数更新和优化,对腐蚀回路的腐蚀风险进行精确调整和控制,并更新腐蚀回路的检验频次和方法,从而降低腐蚀回路失效的风险。

3.2 提升油气田的工艺安全管理

IOW 的本质是通过建立新的工艺操作规则,控制关键工艺参数在正常的运行区间,确保设备的完整性及使用可靠性,减少工艺安全事故的发生。

通过 IOW 建立,可以持续监测工艺操作参数的界限,确保工艺生产安全和工艺产品质量;持续训练中控操作人员操作方法并加深对工艺流程风险的认识;持续提升生产管理人员的工艺分析水平并改进工艺技术;根据 IOW 的分析结果进行工艺变更,更有针对性地进行相应的变更管理和风险管控。

除此之外,通过 IOW 建立可以维持工艺系统的稳定,还可以减少控制系统警报次数。根据 ANSI 的标准^[16],每个中控操作员在每小时能够有效处理的最大警报数是6个,若超过则中控操作人员无精力专注处理警报。通过 IOW 可以有效控制并减少警报的发生,从而促使中控操作人员更加专注于警报的处理和工艺的操作,确保工艺安全。

3.3 融合数字化、智能化油气田建设

当前各大油气公司都在向数字化、智能化转型^[17],转型的核心在于智能设备和仪表的广泛应用,而智能设备和仪表应用的根本目的就是实现对工艺参数的监测和控制。IOW 在线管理所建立的工艺参数数据库可以作为智能化仪表选型、完整性管理数据平台建设和生产工艺流程优化的基础,经由专门的电仪工程师、工艺工

程师和腐蚀工程师进行数据管理与分析,建立不同的风险模型,用来推进数字化、智能化油气田的建设。数字化、智能化油气田的控制系统比普通油气田的控制系统更为集中和丰富,中控操作人员的响应速度也会因智能化的建设而提升,因此 IOW 在线管理可以直接在这种控制系统中建立,并由中控操作员进行 IOW 的日常管理和维护,但 IOW 超限记录和报告仍应交给专门的工程师进行统一的分析。

4 结论

IOW 的内容非常丰富,但它提供的操作窗口概念却简单明了,建立 IOW 在线管理的过程也非常简单且可操作性极强。IOW 清单的建立、IOW 在线管理系统的建立与 IOW 超限报告体系的建立,可以作为 IOW 管理的一个基本流程。目前尽管 IOW 在国内外的应用较少,但它在提高工艺设备的安全性和可靠性方面有着其他技术无可比拟的优越性。IOW 在某南海深水气田的首次成功应用表明,IOW 可以进一步推广至海上油气田使用,不仅可以提高海上油气田的设备设施完整性的管理水平,也可以提升工艺安全管理水平、减少工艺安全事故的发生,同时也能深度融合到数字化、智能化油气田的建设中。

参考文献:

- [1] 许涛,赵军凯,朱宪,等.基于风险分析的 FPSO 资产完整性管理[J].安全与环境工程,2009,16(6):85-87.
XU Tao, ZHAO Junkai, ZHU Xian, et al. FPSO asset integrity management based on risk analysis [J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 16 (6): 85-87.
- [2] 陈贻良,李劲.论天然气处理厂资产完整性管理[J].石油规划设计,2014,25(5):1-4.
CHEN Gengliang, LI Jin. Asset integrity management for natural gas purification plant [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2014, 25 (5): 1-4.
- [3] 郭文敢,吕劲,易涤非,等.深水浮式生产装置资产完整性管理技术研究[J].天然气与石油,2020,38(6):131-135.
GUO Wengan, LYU Jin, YI Difei, et al. Research on asset integrity management technology of deepwater floating production unit [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38 (6): 131-135.
- [4] 袁远,徐立新,祝传钰,等.资产完整性管理在海洋油气平台装备管理中的应用[J].石油和化工设备,2020,23(4):62-65.
YUAN Yuan, XU Lixin, ZHU Chuanyu, et al. Asset integrity management application on offshore oil & gas equipment [J]. Petro & Chemical Equipment, 2020, 23 (4): 62-65.
- [5] 唐洋.海洋平台设备设施完整性管理体系建立[J].设备

- 管理与维修, 2018(13):99-101.
- TANG Yang. Establishment of asset integrity management system for offshore platform [J]. Plant Maintenance Engineering, 2018 (13): 99-101.
- [6] 石 帅, 胡 军, 夏向阳. 石油化工企业设备完整性管理[J]. 化工管理, 2021(7):155-157.
- SHI Shuai, HU Jun, XIA Xiangyang. Equipment integrity management in petrochemical enterprises [J]. Chemical Enterprise Management, 2021 (7): 155-157.
- [7] 姜昌亮. 石油天然气管网资产完整性管理思考与对策[J]. 油气储运, 2021, 40(5):481-491.
- JIANG Changliang. Consideration and countermeasures of asset integrity management of oil and gas pipeline networks [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40 (5): 481-491.
- [8] 戴金辉. 完整性操作窗口管理方法及应用意义[J]. 设备管理与维修, 2019(19):21-22.
- DAI Jinhui. Management and application of integrity operating window [J]. Plant Maintenance Engineering, 2019 (19): 21-22.
- [9] 陈 炜, 陈学东, 顾望平, 等. 石化装置设备操作完整性平台(IOW)技术及应用[J]. 压力容器, 2010, 27(12):53-58.
- CHEN Wei, CHEN Xuedong, GU Wangping, et al. Integrity operating window (IOW) technology and application of petrochemical plants equipment [J]. Pressure Vessel Technology, 2010, 27 (12): 53-58.
- [10] American Petroleum Institute. Integrity Operating Window: API RP 584 [S]. Washington, D. C.: American Petroleum Institute, 2014.
- [11] 谭清磊, 陈国明, 付建民. 基于 IOW 的高含硫气田集输管网操作风险评估[J]. 天然气工业, 2014, 34(11):134-140.
- TAN Qinglei, CHEN Guoming, FU Jianmin. Operation risk assessment based on IOW of flow and gathering lines in a high-sulfur natural gas field [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34 (11): 134-140.
- [12] 于水杰, 崔卫华, 刘洪彬, 等. 油气井全生命周期完整性管理规范研究[J]. 钻采工艺, 2020, 43(5):24-26.
- YU Shuijie, CUI Weihua, LIU Hongbin, et al. The study of well integrity management over well lifecycle [J]. Drilling & Production Technology, 2020, 43 (5): 24-26.
- [13] 同武军, 赵维青, 杜 威, 等. 南中国海深水开发井环空压力管理实践[J]. 石油化工应用, 2017, 36(9):24-27.
- TONG Wujun, ZHAO Weiqing, DU Wei, et al. Management method for annular pressure build up of deepwater well in South China Sea [J]. Petrochemical Industry Application, 2017, 36 (9): 24-27.
- [14] 余 进, 蒋金玉, 王 刚, 等. 加氢裂化高压空冷系统的腐蚀与完整性管理[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2016, 33(2):36-39.
- YU Jin, JIANG Jinyu, WANG Gang, et al. Corrosion and IOWs of high-pressure air coolers in hydrocracking unit [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2016, 33 (2): 36-39.
- [15] 喻 灿, 张文博, 王 申. 硫酸装置液硫焚烧单元关键设备的腐蚀控制[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2021, 38(3):41-44.
- YU Can, ZHANG Wenbo, WANG Shen. Corrosion control of key equipment in incineration process of sulfuric acid unit [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2021, 38 (3): 41-44.
- [16] American National Standard Institute. Management of alarm systems for the process industries: ANSI/ISA - 18.2—2016 [S]. California: American National Standard Institute, 2016.
- [17] 高尚建. 油气行业设备设施完整性管理数据仓库建设研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2020, 10(5):105-106.
- GAO Shangjian. Research on construction of data warehouse for integrity management of equipment and facilities in oil and gas industry [J]. Modern Industrial Economy and Informationization, 2020, 10 (5): 105-106.
- [18] 贾爱林, 郭建林. 智能化油气田建设关键技术与认识[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1):118-122.
- JIA Ailin, GUO Jianlin. Key technologies and understandings on the construction of smart fields [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39 (1): 118-122.
- [19] 宋 旭, 赵雪峰, 李宏斌, 等. 油气田地面工程智能化建设探索[J]. 油气田地面工程, 2021, 40(7):1-5.
- SONG Xu, ZHAO Xuefeng, LI Hongbin, et al. Exploration on intelligent construction of oil and gas field surface engineering [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2021, 40 (7): 1-5.
- [20] 张 颖, 何骁勇, 郑 伟, 等. 海上油气田仪控系统智能化方案探讨[J]. 仪器仪表用户, 2021, 28(6):107-109.
- ZHANG Ying, HE Xiaoyong, ZHENG Wei, et al. Intelligence solution of offshore oil & gas field instrumentation & control system [J]. Instrumentation Customer, 2021, 28 (6): 107-109.