

耐蚀合金特殊螺纹拧接异常原因分析及改进方法

罗 蒙, 刘绍锋

(宝山钢铁股份有限公司, 上海 201900)

摘要:耐蚀合金油套管特殊螺纹常因拧接异常而发生泄漏, 成为安全隐患。从特殊螺纹油套管的密封原理与耐蚀合金材质属性出发, 分析了造成特殊螺纹油套管泄漏的常见原因, 并从螺纹形状控制与检验、镀铜表面处理、现场应用等方面提出改进方法, 减少甚至杜绝拧接异常。对耐蚀合金特殊螺纹设计、现场应用及异常分析具有参考意义。

关键词:油套管; 特殊螺纹; 耐蚀合金; 拧接; 镀铜

DOI:10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2022.6.38.41

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Abnormal Make-up of Anti-corrosion Alloy Premium Connection and Relevant Improvement Measures

LUO Meng, LIU Shaofeng

(Baoshan Iron and Steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: Frequent leakages are found with the anti-corrosion alloy premium connection for the oil tubing and casing due to abnormal make-up, which is regarded as a potential safety hazard. Based on the sealing principle of the premium connection tubing and casing, and the properties of the anti-corrosion metal material, the common causes for the leakage as above mentioned are analyzed. And improvement measures are proposed to reduce even eliminate the make-up abnormality, involving such aspects as control and inspection of the thread shape, surfaced copper-plating treatment and site application etc, which brings about a reference significance for the design, site application and abnormality analysis of the anti-corrosion alloy premium connection.

Key words: oil tubing and casing; premium connection; anticorrosion alloy; make-up; copper plating

在我国川东北, 西北塔里木盆地等地区的油气田开采中常遇到 CO_2 , H_2S 和 Cl^- 等强腐蚀环境, 需要采用耐蚀合金油套管满足井筒的完整性要求^[1]。国内主要耐蚀合金系列产品及典型应用区域见表 1, 国内耐蚀合金油套管产品年需求量预计在 3 万 t/年以上, 宝山钢铁股份有限公司(简称宝钢股份)等国内厂家纷纷开发出相应的耐蚀合金油套管产品, 在我国川气东送, 西气东输等主要气源开采中发挥重要作用^[2-3]。

多数情况下, 耐蚀合金油套管通过特殊螺纹气密封接头(简称特殊扣)逐根连接组成强腐蚀环境的

管柱, 满足腐蚀与密封完整性要求, 因而特殊螺纹的设计、加工与现场应用直接影响到油气的高效安全开采。一些重点区域甚至采用井口氦气检测的方式评价特殊螺纹的产品与拧接质量, 尽管如此国内外一些耐蚀合金特殊螺纹油套管应用环境中还是出现不少的完井前后的渗漏、泄漏情况^[4]。如中石化普光气田某井投产作业时检测某种进口镍基合金特殊螺纹油管 302 根, 故障率 7.492%, 甩管率 5.960%^[3]; Loomis 公司 2008 年对国外典型四类主要特殊螺纹产品进行了氦气检测渗漏情况的调查统计显示, 1 056 口井中因接头泄漏的井数达 238 口, 占总数的 22.50%^[5-7]; 国内西北雅克地区, 中海油南海区域也相继发生过类似的拧接异常导致下井效率低下甚至试压不合的情况。宝钢股份通过试

罗 蒙(1980-), 男, 硕士, 高级工程师, 主任研究员, 从事油套管特殊螺纹的设计开发和制造应用工作。

表 1 国内主要耐蚀合金系列产品及典型应用区域

典型耐蚀合金油套管系列	典型应用区域
5~9Cr 系列	鄂尔多斯盆地
13Cr 系列马氏体不锈钢	塔里木盆地, 中东部储气库
17Cr 马氏体不锈钢	塔里木盆地
22~25Cr 双相不锈钢	华北、西南采热
25~28Cr 系列镍基合金	四川盆地

验及文献参考,成功解决了管拧异常情况。现分析耐蚀合金、特殊螺纹拧接异常原因,并提出改进方法。这对耐蚀合金特殊螺纹设计、现场应用及异常分析有参考意义。

1 耐蚀合金特殊螺纹管拧异常原因分析

为规避专利风险,不同厂家设计出不同结构尺寸的满足不同级别的气密封要求的特殊螺纹产品。如宝钢股份近十年分别开发出满足ISO 13679:2002《石油和天然气工业 套管和管连接的测试程序》CAL IV等级的 BGT2 与满足 API RP 5C5—2017《油管和套管接头试验方法》暨 ISO 13679:2019 CAL IV 等级的 BGT3 产品,大量应用于国内外天然气开采开发。这种典型接箍式螺纹—金属密封面—扭矩台肩结构的特殊螺纹结构如图 1(a)所示,其中内外螺纹啮合保证特殊螺纹的拉伸、压缩性能;内外螺纹端金属密封面过盈配合保证特殊螺纹的密封性能;内外螺纹端扭矩台肩对顶用来限位与抗扭,保证螺纹与密封结构发挥作用。螺纹连接,金属密封与扭矩台肩达到 0.01 mm 精度,三者通过扭矩正常装配后保证螺纹与密封面在轴向达到设定的过盈配合,满足复合载荷下的密封完整性要求。

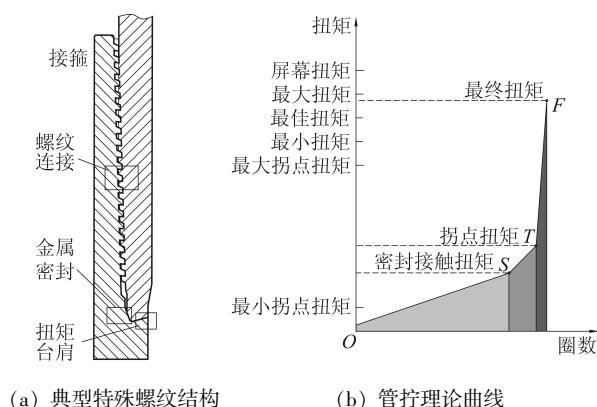


图 1 典型特殊螺纹结构与管拧曲线

不同螺纹类型拧接扭矩会根据外径、壁厚、钢

级制定推荐最小、最佳与最大扭矩。如图 1 (b)所示,特殊螺纹最终拧接扭矩由螺纹、密封面及台肩对顶扭矩组成^[7]。为保证最终密封完整性,拐点扭矩有具体的要求,如 BGT2 油套管的拐点扭矩应为最佳扭矩的 10%~70%,既保证连接过盈,又保证最终的台肩限位啮合。特殊螺纹拧接时需要使用带扭矩曲线的专用设备进行监测。然而由于技术性或重要性认识不清,设备能力差别等诸多主观客观原因,现场管拧经常出现漏判或者误判情况,导致非正常拧接特殊扣入井,造成试压泄漏或者环空带压等异常。图 2(a)所示为合格曲线,台肩与密封面接触良好;图2(b)所示为扭矩拐点高,密封面接触而台肩无接触应力或接触应力低下,有泄漏风险,需要重拧入井;图 2(c)所示为无扭矩拐点,密封面无接触应力,会直接造成泄漏,需要检查确认。在实际拧接过程中,图 2(b)~(c)由于螺纹脂等情况会出现暂时试压合格情况,但随着载荷温度等情况变化泄漏。值得注意的是实际管拧操作曲线与理论曲线会略有区别。

跟踪某气田 $\Phi 73.02\text{ mm}\times 5.51\text{ mm}$ L80-13Cr 共 414 支特殊螺纹入井参数,其中图 2(a)类曲线占比 84.2%,图 2(b)类曲线占比 8.6%,图 2(c)类曲线占比 7.2%。由于图 2(b)和图 2(c)类占比 15.8%,存在风险甚至明显泄漏曲线入井,导致该井后续试压不稳,造成较大的经济损失。

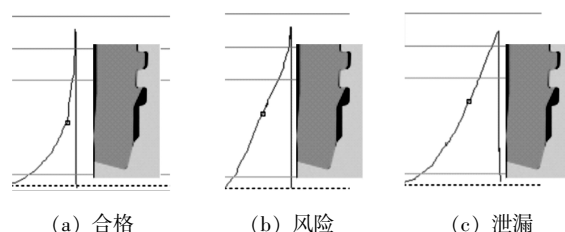


图 2 合格、风险与泄漏的特殊螺纹拧接曲线

通过试验及现场应用跟踪发现,小规格、薄壁、低钢级、耐蚀合金特殊螺纹最易发生如图 2 (b)~(c)所示拧接异常:

(1) 小规格、薄壁、低钢级特殊螺纹产品由于本身设计扭矩值低,对应拐点扭矩要求高,受不稳定因素扰动影响大。如典型 $\Phi 73.02\text{ mm}\times 5.51\text{ mm}$, $\Phi 88.9\text{ mm}\times 6.45\text{ mm}$, $\Phi 139.7\text{ mm}\times 7.72\text{ mm}$ 规格, L80-13Cr 钢级, 95-13Cr 等。

(2) 13Cr、镍基等耐蚀合金是典型的难加工材料,加工效率低下,容易造成螺纹梳刀磨损,引起

内外螺纹齿顶齿底划道,与尺寸设计值不一致,同样造成内外螺纹干涉。耐蚀合金特殊螺纹内外螺纹加工划道如图3所示。

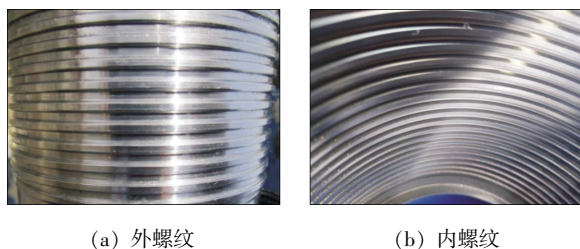


图3 耐蚀合金特殊螺纹内外螺纹加工划道

(3) 耐蚀合金一般采用接箍镀铜外螺纹喷丸等类似的表面处理来满足抗黏结要求。接箍螺纹不同位置的镀铜厚度目前还不能有效在线检测,因此当接箍镀铜厚度超标(图4),尤其是齿侧镀铜厚度超标,很容易造成拧接时内外螺纹齿侧导向角与承载角(原本)间隙位置发生干涉(图5),消耗过多扭矩引起拧接异常。

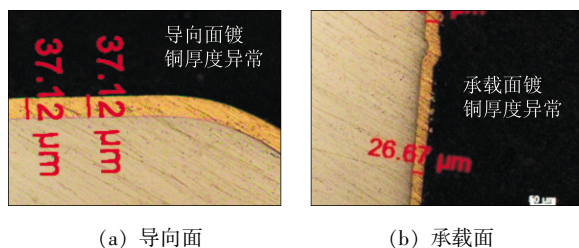


图4 耐蚀合金特殊扣接箍镀铜厚度异常

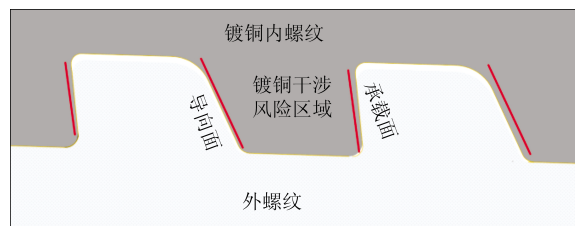


图5 耐蚀合金接箍螺纹镀铜敏感区域

2 改进方法

通过分析耐蚀合金特殊螺纹管拧异常原因发现,螺纹的异常干涉是造成拧接异常的根本原因,如何在设计和工艺过程中避免非常重要。

特殊螺纹齿形在轴向尽量减小齿侧间隙,一般是同类API偏梯形螺纹间隙的一半甚至更小。如图5所示,首先在螺纹设计与表面处理工艺制定时,充分考虑到镀铜与磷化表面处理的差异性,给镀铜留有充分的余地,甚至对于镀铜产品差别设计

可互换螺纹的尺寸形式。

镀铜厚度及刀具磨损均是造成特殊螺纹拧接干涉的主要原因,目前镀铜检验停留在平均厚度测量、破坏性抽样等方法,不能解决根本问题。宝钢股份根据API Spec 5B—2017《套管、油管 and 管线管螺纹的加工、测量和检验规范》塞规紧密距测量做法启示,开发出镀铜接箍全螺纹的塞规测量方法,用于批量镀铜接箍的抽样检验,如图6(a)所示。针对规模化生产提出一种内、外螺纹的测量方法,可以便捷有效测试内、外端螺纹的齿形变化情况,避免不合格螺纹流入下道工序,如图6(b)所示。同时对刀具刃口齿形,验收与产品要求的分等级管理也可以改善异常出现。

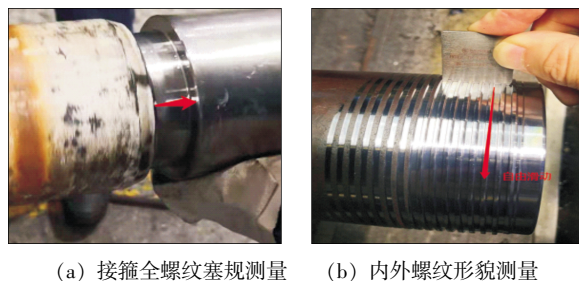


图6 规模化生产螺纹测量方法

油田现场应用操作十分关键,拧接等工序是决定管柱气密封完整性的最后屏障。如图1(b)所示,现场操作时除按照推荐扭矩进行螺纹拧紧以外,更应该对拧接曲线进行判断,确认台肩限位,出现拐点扭矩才能安全入井。

如图7所示,对 $\Phi 88.9 \text{ mm} \times 6.45 \text{ mm}$ L80-13Cr(接箍镀铜处理)的相同扣型与尺寸,采用同一公司摩擦因数0.9的BESTOLIFE2000型号螺纹脂与摩擦因数1.1的BESTOLIFE72733型号螺纹脂比较,拐点扭矩出现巨大差异,后者拐点超过前者60%以上。可以看出拐点扭矩值的大小与摩擦因数不成正比。因而在现场应用时应使用与产品推荐同品牌与型号的螺纹脂,避免带来不确定因素。

3 结 语

耐蚀合金特殊螺纹油套管由于难加工,镀铜等表面处理工艺控制与检验方法难,容易造成拧接异常泄漏。通常来说,现场拧接操作对拧接曲线的错误判断是泄漏的直接原因;扭矩台肩未达到规定的限位要求,密封面未能完全实现设计的过盈配合是导致特殊螺纹泄漏的根本原因;开发制造者对特殊

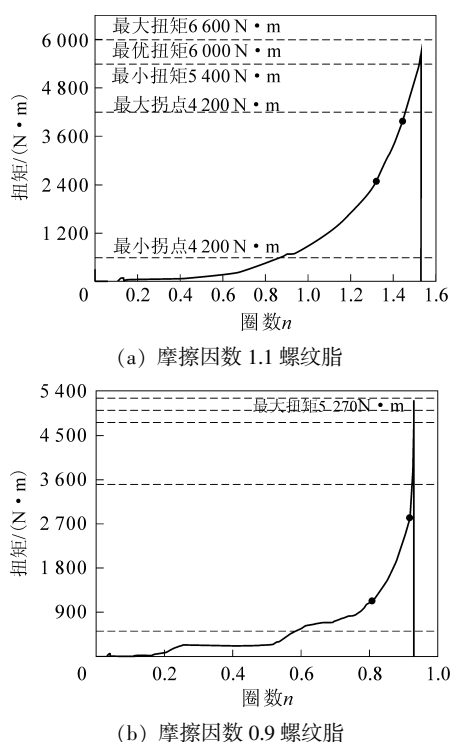


图7 使用不同螺纹脂管拧同一特殊螺纹曲线

螺纹认识不足,忽视设计、工艺等耐蚀合金的特殊属性,造成泄漏风险后移至现场操作,是造成该类异常的主要原因。

针对原因分析,分别从齿形设计、齿形检验与镀铜检验以及现场应用的拧接判断、螺纹脂选用提

出改进方法。采用以上改进方法对 717 支 $\Phi 73.02 \text{ mm} \times 5.51 \text{ mm}$ BG13Cr-110 BGT3 进行管拧扭矩拐点过程能力跟踪统计,所有拐点均满足产品设计要求,过程能力指数 C_p 达到 1.16,说明改进方法切实有效。

4 参考文献

- [1] 吕祥鸿,梁伟,计玲,等.高温条件下几种耐蚀合金管柱材料的抗腐蚀性能对比分析[J].西安石油大学学报(自然科学版),2018,33(5):101-106,126.
- [2] 张忠铎,张春霞,陈长风,等.高酸性腐蚀气田用镍基合金油套管的开发[J].钢管,2011,40(4):23-28.
- [3] 刘殷韬,黎洪,冯成军.国产镍基合金油管在高酸性气田的矿场应用与评价[J].钻井工程,2016,36(增刊1):167-171.
- [4] 李海伟,李梦雪,孟凡琦,等.气密封检测技术在储气库井应用研究[J].石油化工应用,2018,37(3):35-38.
- [5] 王双来,彭娜,刘卜.高温高压井特殊螺纹接头的选用与评价试验[J].钢管,2016,45(1):64-71.
- [6] 吴翔实,高连新.特殊扣石油套管接头上扣扭矩计算方法[J].华东理工大学学报(自然科学版),2017,43(4):584-590.
- [7] 胡志立,李建亮,吴丹,等.一种高气密封油套管特殊扣的研发[J].焊管,2021,44(6):24-30.

(收稿日期:2022-05-13;修定日期:2022-07-20)

● 简 讯

2022 年全国钢管生产技术在四川省成都市召开

2022 年 11 月 9—11 日,2022 年全国钢管生产技术在四川省成都市召开。来自钢管生产、科研、设计、检测、教学单位以及钢管生产设备制造单位的 80 余名代表参加了线下会议,200 余名代表参加了线上会议。本次会议共收到论文 110 余篇。

会议由中国金属学会轧钢分会(简称轧钢分会)主办,钢研纳克检测技术股份有限公司(简称钢研纳克)承办,《钢管》杂志为支持媒体。轧钢分会副主任丁波采用线上方式向出席本次会议的领导、专家和各位代表表示热烈欢迎和诚挚问候,对大家克服疫情影响、积极维护和参加本次会议表示衷心感谢!钢研纳克无损检测事业部副总经理刘光磊、四川省金属学会副秘书长滕建明分别致欢迎词。

轧钢分会副主任委员、包钢(集团)公司董事李晓采用线上方式作了题为《迎接挑战 奋力有为 保持钢管行业健康发展》的主题报告。中国钢结构协会钢管分会高级顾问、教授级高级工程师庄钢作了题为《我国连轧钢管生产装备及工艺技术发展》的专题报告;钢研纳克无损检测事业部副主任张海龙作了《管材自动探伤技术及装备研究》的专题报告;北京科技大学工程技术研究院教授、博士生导师余伟采用线上方式作了《智能制造在钢管生产线的应用》的专题报告;东方电气集团东方锅炉股份有限公司高级工程师敬仕煜作了《锅炉管的现状与研究》的专题报告。

会议选取了优秀论文进行宣讲交流,参会代表围绕钢管生产新工艺、新技术、新发展,无损检测新技术,智能制造技术,钢管标准等内容进行了交流探讨。代表们支持本次会议召开的钢研纳克的热情接待表示衷心感谢。

(本刊)