

文章编号: 1001- 4500(2001)02- 0037- 06

海上固定平台受损构件的修理与评估

龚顺风 金伟良

王全增

(浙江大学结构工程研究所, 杭州 310027) (大连理工大学工程力学系, 大连 116024)

摘 要: 对海上固定平台受损构件的原因作了分析, 提出了海上平台受损构件修理的特点、原则和选择修理方案时所应考虑的因素。简述了海上固定平台受损构件的修理方法, 并对各种修理方法做了评估分析, 以供海洋工程工作人员在对受损构件维修时参考。

关键词: 海上固定平台; 受损构件; 修理
中图分类号: P752 **文献标识码:** A

1 引言

近年来对海上建筑物进行修理和加固的需求日益增多, 而且十分迫切。修理是指为恢复建筑物结构原来的使用性能或恢复结构本来形状和工作条件, 并使其可靠性恢复到原来的或可以接受的安全水平所采取的一种矫正损伤的工程技术措施。而加固则意味除了恢复结构的原状以外, 还要使结构得到加强, 达到超出原设计要求的承载能力, 这样做既可以避免再次发生类似的损伤, 也能使其具有防止其它可以预见损伤的能力。通常, 只有在原有强度不足或多次发生损伤的情况下才采取加固措施。

近 20 年来, 美国、英国、挪威等国相继开展了对海上平台受损构件修理与加固的研究工作, 并取得了显著的进展, 而我国在这一领域的研究工作起步较晚。中国海洋石油总公司对“渤海八号”平台的受损构件做过灌浆维修、加固工作的研究, 并将“海上结构物的检测、维护与修理”作为科研攻关项目。

2 海上平台构件损伤的原因

分析受损构件的成因, 有助于修理方法的选择, 也是受损构件修理的第一项必须进行的工作。Tebbett IE 在《最近五年钢质平台的修理经验》一文中, 对世界上 100 起需要修理的海上平台损伤原因进行了分析, 见下表。

表 海上平台构件受损原因

损伤原因	至 1981 年损伤(起)	1982~ 1986 年损伤(起)	两时间总计(起)
落物	9(15%)	0	9(9%)
碰撞	17(28%)	5(13%)	22(22%)
安装损伤	4(6%)	1(2%)	5(5%)
疲劳损伤	17(28%)	14(36%)	31(31%)
设计提高	7(11%)	9(23%)	16(16%)
焊接缺陷	1(2%)	2(5%)	3(3%)
混凝土施工	1(2%)	0	1(1%)
其它	5(8%)	8(21%)	13(13%)
总计	61	39	100

收稿日期: 2000-12-22
作者简介: 龚顺风(1975-), 男, 博士生。



由表可以看出:

(1) 落物造成的砸伤减少, 说明操作与管理水平不断提高。可以预料, 这类损伤还将减少, 但很难杜绝。

(2) 由于平台管理和生产操作水平的提高, 使得碰撞和安装过程造成的损伤也呈现下降趋势。

(3) 由于疲劳引起的损伤比例较大, 五年之内由 28% 上升至 36%。在所述的 100 起损伤中, 疲劳损伤共 31 起, 占 31%, 是海上构件损伤的第一成因。这是平台老化和随平台服务年限增长可以预料的现象。所以, 这类损伤的修理, 必然引起人们的重视。

(4) 表中其它原因引起的损伤比例在提高, 其中包括由于平台基础遭到损害所造成的平台损伤。所以重视基础的设计和施工变得更为重要, 而且必须加固平台基础的防护, 研究修复平台基础的工程技术。

(5) 疲劳损伤和基础受到损害比例的增大, 也提醒平台的操作者要特别注意平台的水下检测, 特别是对管节点的检测, 及早发现问题, 尽早进行修理与加固, 以减少平台的修理费用, 使平台的可靠性始终保持在较高的水平上。

3 受损构件修理特点、原则和方案的选择

海上钢结构物常常需要进行维护、修理和加固。这是三种性质不同、方法有别的工程后期作业。

海上钢结构物受损构件的修理具有如下特点:

(1) 受损构件的修理相对整体结构来说是局部的, 或者是一个构件的局部, 或者是一个节点的局部。

(2) 受损构件的修理在恢复其自身本来力学性能的同时, 对整体结构静力性能影响较小, 对整体结构的动力特性的影响因其质量的改变在某些情况下(如节点灌浆或卡箍修理)可能产生较为明显的影响, 但对整体可靠度不会产生不可接受的不良影响, 除非所选择的修理方法或工程技术措施不当。

(3) 修理施工作业环境差, 施工作业受水深、风、波浪、冰等海洋环境的影响, 使得有效作业时间短, 辅助作业时间长。

(4) 修理费用高, 在某些情况下可能相当昂贵, 常成为修理方法选择的制约条件。

(5) 修理所用的工程技术比较复杂, 要求相应的技术与工艺水平较高, 要有技术熟练的技术人员和工人进行施工。

受损构件的修理, 要选择适于上述特点的方法, 以期达到预期的效果。

海上钢结构受损构件修理设计的一般原则:

(1) 应预先完成被修理结构的检测和调查工作, 检查被修理结构的实际情况, 如原结构的钢材性能, 分析产生受损和缺陷的原因, 评价结构的技术现状等。

(2) 选择适于受损结构技术状态、受损程度、海洋环境条件(主要是水深)和技术适应能力的修理方法, 达到技术与结构状态的同一, 效果和经济性的协调。

(3) 要进行技术经济比较, 完成若干修理方案的计算工作。考虑在负荷下修理或部分负荷下修理的实际荷载量级, 及修理时产生的应力对被修理结构承载力的影响; 修理工艺和顺序对被修理结构状态的影响; 综合评定出适合被修理结构实际情况的最佳方案。

(4) 受损构件的修理应以不恶化或少影响被修理结构的抗力为原则, 并应尽力兼顾结构可能同时加固的需要, 以求事半功倍, 一举两得。

海上平台受损构件的修理方案, 可根据施工条件、工程量、修理用钢量、修理所用工件的制造和安装用工、平台可能停产的时间来选择。方案选择时, 要考虑如下因素:

(1) 为了减少修理工作量, 或在某些情况下完全不进行修理, 要查清和利用已有结构的承载潜力,

改善受力结构的工作条件。

(2) 修理作业应尽可能在负荷下进行,或利用生产间歇时间进行,尽量做到不停产或少影响生产的修理方案。

(3) 所选择的修理方法,应考虑平台将来生产的发展、改造更新和现代化的可能,以便和加固的要求结合起来,避免修理过后还需加固的二次施工。

(4) 要选择材料适宜、能源省、便于制造安装、修理用工少、造价低和工期短、确保施工质量和便于质量检查的方案

(5) 结构加工和拼装应尽量在陆上进行,尽量减少现场工作量。

4 海上平台受损构件修理方法

4.1 裂纹打磨修理

裂纹打磨修理,又称修理打磨,是修理技术。海洋平台在环境动力荷载作用下,可能产生疲劳裂纹,或由于焊接原因产生延迟裂纹。这些裂纹的存在,使结构或构件的承载能力降低,强度下降,在裂纹尖端处产生高拉应力,损害了抗疲劳性能。一般,当裂纹尺度较小的情况下,它对强度的影响,尚不是致毁性,而对疲劳抗力的影响如不及时修理,消除尖端高应力,将是灾难性的。消除的方法是打磨裂纹,使裂纹变成凹槽,降低尖端应力。

裂纹打磨修理适于带有非穿透裂纹的管节点或构件,打磨后出现的凹沟不作其它处理。经对打磨修理过的试件和未打磨修理的试件做疲劳性能对比试验,证明这种修理方法是有效的。

4.2 水下焊接修理

水下焊接作为海洋钢结构物的连接技术,已经成为海洋能源开发工程、船舶维修、水上救助工程和海军建设不可缺少的工艺手段。近几十年来,随着开发海洋事业的兴起和发展,海上钢结构物的维护与修理,也极需这种水下焊接技术。

我国目前尚无水下焊接技术规范或规程,专门的著述也较少。就世界范围来说,由于水下焊接还处于迅速发展阶段,许多方法和技术还处于实验研究和探索阶段。因此,水下焊接如何分类,目前还没有统一的规定。一般都从水下焊接所处的特殊环境,将水下焊接大体上分为四类:湿式水下焊接,干式水下焊接,局部干式水下焊接,特种水下焊接。

湿式水下焊接是指潜水焊工在湿式环境对焊件和焊接电弧不采取任何辅助屏护措施而进行焊接的方法。湿式水下焊接是采用与大气下常用焊接不同的焊接设备、焊接材料和焊接工艺,在水下湿式环境下直接实施的焊接技术,具有移动方便、迅速,可以在可潜水深的任何位置实施焊接,机动灵活,适应性强等优点。湿式焊接周围接触的是水,不是空气。这两种介质有着不同的物理化学性质,这就给水下焊接带来一系列困难,水下焊接可见度差和光的折射造成操作困难,焊缝中氢含量高容易引起氢裂,水下焊接的冷却速度快,使焊缝和热影响区中出现马氏体等淬硬组织。这三方面的障碍,是这种水下焊接方法在一段时期内发展缓慢的根本原因。

干式水下焊接,是指把包括焊接部位在内的一个较大的范围里的水人为地排开,使潜水焊工能在一个干的气相环境中进行焊接的方法。具体地说,就是潜水焊工在水下的一个大型干式气室中焊接。干式水下焊接分为两种:一是高压干式水下焊接,二是常压干式水下焊接。

湿式水下焊接设备比较简单,灵活方便,造价低,但焊接质量不好,而干式水下焊接虽然焊接质量好,但造价高,适用范围窄,使上述水下焊接方法都难于满足日益发展的海洋开发事业的要求。于是,一种新的水下焊接方法,局部干式水下焊接便应运而生了。

局部干式水下焊接,是潜水焊工处于水中而把焊接部位周围局部区域的水人为地排开,形成一个较小的局部气相区,使电弧在其中得以稳定燃烧,实施焊接。局部干式水下焊接在一定程度上改善了焊接

质量,修理费用也相对便宜。美、英、日等国在这方面都取得了很大的进展。

水下焊接除了上述之处,还有特种水下焊接,如铝热焊、摩擦焊、电子束焊、爆炸焊和螺柱焊等。这些焊接方法,需要特殊的设备和专门的技术,而且费用高昂,所以很少在海洋石油工程中应用。

4.3 板壳加强法修理

当构件的工作截面受损变小,承载力降低时,可用贴附、包敷一层钢材的方法,使原受损构件的截面增大,从而增加承载力,弥补因构件受损所丧失的承载能力。所用的贴附或包敷钢材,主要用焊接连接,其次是螺栓连接。

板壳补强修理,是用板或壳或补强筋去修理构件的损伤,它属于增大截面的补强修理。这种修理能不同程度的使受损构件的强度、刚度和稳定性得到恢复,唯有其疲劳寿命,弄不好往往是越补越糟,也就是说,这种修理方法对提高受损构件的疲劳寿命可以肯定地说不会有多大益处。所以,当采用这种修理方法时应进行疲劳方面的评估。

4.4 节点灌浆修理

对于受损伤的管节点,或需要加强的管节点,都可用节点灌浆修理加固技术达到工程目的。其方法就是在管节点所处的部位灌注水泥浆,形成内部灌浆的钢管节点。

灌浆节点充分利用混凝土的抗压性能来提高节点的承载能力,节点内被水泥浆充填,大大提高了它的径向刚度,使灌浆节点承载由非灌浆时的弯曲抗力为主转变为灌浆后大多部位以薄膜应力为主,只有少数部位因钢管与混凝土的分离,弯曲应力仍然高一些。这样,就使灌浆节点的应力分布均匀,降低了管节点的应力集中程度,使应力集中系数大大降低,从而改善了节点的疲劳性能。由于管节点的刚度提高了,水泥固结材料又不容易压缩破坏,从而也提高了它的冲剪强度和极限承载能力。

节点灌浆修理与加固技术是一项得到国内外海洋工程技术部门十分重视的提高节点承载力和延长其使用寿命的工程技术措施,也是一种效果好,费用低的维修技术。

4.5 卡箍修理

卡箍是针对受损构件的外形做成的外包结构,可以是两瓣或多瓣的,并用螺栓把各瓣连接起来,形成一个管夹,把受损构件夹紧,依靠管夹与受损构件之间的摩擦力或剪力键来传力。主要有四种形式:机械卡箍,灌浆卡箍,压力灌浆卡箍,树脂卡箍。其中灌浆卡箍在海上平台修理中应用最多,因为这种卡箍与其它卡箍相比,具有效果好、施工方便和比较经济的特点。

机械卡箍是靠金属之间的摩擦力传力,是卡箍修理的早期形式。传递荷载的能力仅靠摩擦力,所以很小。修理时需对受损部位做详细精确的水下测量,卡箍须和受损构件外形适配密合,这两项工作都难达到理想要求。另外,紧固卡箍时,容易使内管受损。它的优点是比较经济,海上工作时间短。现在这种卡箍已较少应用。

灌浆卡箍是指在受损构件与外套管夹的环形空间灌注水泥浆,增大摩擦系数和承载力。为了进一步增加承载力,可设置剪力键。因此,又可把灌浆卡箍分为:无剪力键的卡箍承载力虽高于机械卡箍,无剪力键的卡箍承载力虽高于机械卡箍,但仍然较低,较少使用。有剪力键的灌浆卡箍承载力大为提高,性能可靠,如果填充膨胀水泥,性能更好,是目前世界上用得最多的一种合理卡箍。

压力灌浆卡箍,这种卡箍通常叫做加压灌浆卡箍,但它不是高压灌浆,而是用双紧螺栓后加的压力。加压灌浆卡箍的强度是由水泥浆与钢管表面的粘结力再加上由双紧螺栓张紧在交界面上产生的摩擦力共同提供的。但是,要用后张法在深水中对高强螺栓增加张力却是十分困难,这无论是采用扭矩法、转角法或扭剪型高强螺栓,都难准确达到规定的张力值。这种加压方法,不如用膨胀水泥增加压力既方便又比较可靠。所以,这种压力灌浆卡箍不如带剪力键的灌浆卡箍用得得多。

树脂卡箍与灌浆卡箍有某些相似,不同的是在环形空间填充的是树脂而不是水泥浆,它具有更高的粘结强度的优点,从而不需剪力键和外加的螺栓力。良好的表面处理,对这种卡箍十分重要。但树脂粘结强度在海水环境条件下的耐久性还无可靠的依据,所以除在混凝土结构中采用过树脂卡箍之外,在

钢结构的修理中还没采用过这种方法。

5 结语

海上平台的修理与加固技术研究,是一项庞大而又复杂的高难度应用技术课题。它涉及的学科多,研究内容也十分广泛,它的每一个修理技术,都是一个独立的、耗资巨大的研究项目。

综观课题的研究成果,可以得出以下几点结论:

(1) 海洋平台的修理与加固技术,其方法很多,适应条件不同。因此,在选用这些方法时,一定要求结合被修理工程的具体条件,如海洋环境条件,损伤情况,结构物的重要性,要求达到的修理加固程度,具备的修理技术和设备,以及可能投入的费用大小等,综合评定和选用修理方法,并做出技术经济评价,保证其经济的合理性。

(2) 修理和加固的重要依据和前提条件是可靠和精确的检测,尤其是损伤的成因、程度和受损部位的形态与形状的尺寸大小。有了可靠的检测依据,才能有正确的修理方案和机构设计,才能有好的预期效果。

(3) 维护与修理应力求及时,防患于未然。一般来说初始的损伤范围小,程度轻,容易修理,投入也少。而如果等到危及结构正常使用时的安全程度,必将急于抢修,不仅难于保证质量,花费也大,造成不应有的损失。因此,平台的定期检测和平时的必要监控,实在是十分必要。

参考文献

- [1] Wylde J G, Haswell J. Fatigue of fillet welds with toe cracks removed by grinding[Z]. Intl Conf Fatigue of welded constructions, Brighton, U K, April 1987.
- [2] Tubby R J, Wylde J G Remedial Grinding: A Viable repair technique for fatigue cracks in tubular joints[A]. OTC 6457.
- [3] Reed R L, Smith J K. The structural repair of a north sea platform using underwater wet welding techniques[A]. OTC 6652.
- [4] Tebbet I E. 最近五年钢质平台的修理经验[A]. 海上结构物检测、维护与修理技术文集第 I 集[C]. 渤海石油海上工程公司.
- [5] 宋宝天. 水下焊接与切割[M]. 机械工业出版社, 1989.
- [6] Grover J L, Egan G R. 凹陷杆件的焊接修理评估[A]. 海上结构物检测、维护与修理技术文集第 II 集[C]. 渤海石油海上工程公司.
- [7] 吴子全, 彭壮街. 灌浆技术在海上导管架水下构件维修加固中的运用[J]. 中国海上油气, 1990, 2(3).
- [8] 布朗 G M, 霍尔梅斯 R, 凯尔 J. 应用灌浆法提高焊接管节点的疲劳寿命[A]. 海上结构物检测、维护与修理技术文集第 I 集[C]. 渤海石油海上工程公司.
- [9] Tebbet I E, Beckett C D, Billington C J. 用灌浆加强管节点的冲剪强度[A]. 海上结构物检测、维护与修理技术文集第 I 集[C]. 渤海石油海上工程公司.
- [10] Shuttleworth F P 等. 设计海上结构修理卡箍的一种新方法[A]. 海上结构的检测、维护与修理技术文集第 I 集[C]. 渤海石油海上工程公司.
- [11] 中国船级社. 海上移动平台入级与建造规范[S]. 人民交通出版社, 1992.
- [12] Winkworth W J, Fisher P J. Inspection and repair of fixed platform in the north sea [A]. OTC 6937 [C].
- [13] Inspection, maintenance and repair of offshore platforms: A system approach, [A]. OTC 5386 [C].

The Repair of Damaged Members on Offshore Fixed Platform

Gong Shunfeng Jin Weiliang

(Institute of Structural Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China)

Wang Quanzeng

(Department of Mechanics, Dalian University of Technology, Dalian, 116024, China)

Abstract The reasons for the damage of members on offshore fixed platform are analyzed. The characteristics, the principles of repair of the damaged members and the factors to be considered in selecting the repair program are presented. The repair methods of damaged members in offshore fixed platform are briefly described and reviewed in this paper as well.

Key words: offshore fixed platform, damaged members; repair

一种全新的污水除油工艺可实现海上零排放

挪威罗格兰德研究院(RH)称已研究出一种既节省费用又可明显提高采出水除油效果的工艺方法。据RH负责这一工艺开发的主管科学家亨利斯克恩称,这种被称为CTour的工艺方法使用现有技术既可明显提高脱除分散成份的效果,亦可用于脱除溶解成份。

CTour的工艺由挪威国家石油公司、英国石油——阿莫科、埃尔夫、菲利普斯、挪威科瓦纳工艺系统公司(KPS)以及挪威国家污染局和研究署共同资助。该工艺已在挪威获得专利权,并已在其它地区使用,KPS已获准在世界范围内销售。

该方法是在采出水进旋流器除油之前,向采出水中注入凝析液。该工艺的部分秘密在于凝析液与含油污水相混合。

所进行的一系列试验表明,采出水经CTour工艺的一台旋流器处理后,含油量从最初的139ppm降至7.2ppm。目前,挪威现行法规规定的外排水含油量为40ppm。采出水再经另一台旋流器进行继续处理后,除油效果进一步改善,含油量低于0.3ppm。

该工艺也可去除水中的溶解成份。由于过去没有去除溶解成份的方法,因此目前挪威对外排放水中溶解成份的浓度没有法规要求。这些溶解成份是苯、甲苯、二甲苯和聚合芳香烃类,其毒性比油更大。

用两台旋流器进行的一系列相同的试验表明,苯含量从最初的467.7ppb降到24.1ppb,萘从3178ppb降到12.3ppb。聚合芳香烃类浓度从296降到1.1。

挪威政府在白皮书中已计划到2005年在其海域实现采出水含油量为零的排放目标。亨利斯克恩称,采用CTour工艺有望实现这一目标。上述实验中,几乎在任何情况下溶解成份的浓度均被降到了低于“预计无影响浓度”(PNEC),实际相当于“零排放”。

就分散成份而言,目前还没有仪器能测出精确的结果。然而,亨利斯克恩称已有了优化这一工艺的大致目标,并有充分的理由相信可对CTour工艺进行进一步开发,使外排水中分散成份和溶解成份的含量达到“零排放”。

各种可行性经济研究已表明,CTour工艺技术可用于海上平台,只需增加很少一部分投资和操作费用。该工艺不但可使采出水达到法规规定的排放要求,同时还具有一定的经济效应。它可提高一级分离的能力,即使含水量很高的亦能保持最大的产油量。

(胜利设计院王敏捷)