

文章编号: 1001- 4500(2000)03- 0024- 05

# 浅谈自升式平台结构修理的检验

陈如学

(中国船级社湛江分社, 广州湛江 524005)

**摘 要:** 自升式平台特殊构件为传递极端载荷并有应力集中的重要构件, 其修理应在验船师的监督下进行, 修理工艺应符合相关规范、标准的要求。

**关键词:** 特殊构件; 超高强度钢; 修理工艺

**中图分类号:** P75

**文献标识码:** A

海上平台结构复杂, 各部位构件差异很大, 按照 CCS 规范, 根据各构件的受力情况及其破损后对整个平台安全性的影响分为特殊构件(一种传递极端载荷并有应力集中的重要构件)、主要构件(对保持平台结构的整体完整性有重要作用的构件)和次要构件。平台结构材料的选择原则与船舶不同, 船舶结构选材是根据不同部位(船中 0.4L 以内或以外, 离主甲板的远近)、构件厚度及设计使用的环境温度三个条件确定, 多数选用普通强度钢, 部分选用高强度钢; 平台是根据构件的种类(特殊、主要、次要)、设计使用温度及构件厚度等条件确定, 有的构件选用高强度钢, 有的构件不可避免要选用超高强度钢。由于高强度钢及超高强度钢的使用, 给平台的修理赋予很多特色。本文针对以下三方面特殊构件的修理检验, 谈谈个人的体会:

- (1) 裂纹的修理检验;
- (2) 水平拉筋、斜拉筋换新检验;
- (3) 桩腿齿条堆焊检验。

## 1 裂纹修理检验

自升式平台裂纹多产生于桩腿与桩腿箱焊接处及平台拖航时桩腿固定位置附近的 K 型节点。这里以一桁架式平台为例, 谈一谈桩腿与桩腿箱焊接处裂纹修理的体会。

底部桩腿结构形式为: 桩腿底部为近似六面体的桩脚箱, 每一桩腿有三个立柱, 每一立柱由弦板及弦弧板组成。每一弦板上有左右二排齿条, 弦板一直延伸至桩脚箱底, 而弦弧板终止于桩脚箱顶, 桩腿齿条通过液压齿轮与上壳体联接。桩腿与桩腿箱连接处焊缝集中, 刚性大。

齿条、弦板、孤板的材料采用超高强度钢如 A STM 514, 桩腿箱的结构材料、桩腿与桩腿箱的连接三角板的材料采用高强度钢如 EH 36。

A STM 514 是屈服强度为  $70\text{kg}/\text{mm}^2$  (100K si) 调质钢, 抗拉强度为  $80\text{kg}/\text{mm}^2$ , 碳当量为 0.6, 50mm 的延伸率为 18%。此种钢的可焊性较差, 容易产生延时裂纹。

根据 CCS《海上移动平台建造后检验规程》(1994) 的规定: 桩脚与桩腿箱的连接焊缝(包括连接所用的肘板、复板等加强结构)应进行 100% 的磁粉探伤。现场检验发现裂纹大多数出现在焊缝熔合线附近, 即软化区与淬硬区交界处, 此处硬度有突变。

桩腿与桩腿箱焊接处裂纹修理主要的检验环节有: 工艺的审批及现场检验。

### 1.1 修理工艺的审批

收稿日期: 2000-02-18

作者简介: 陈如学(1968- ), 男, 工程师。

裂纹修理前应对其修理工艺进行审批。工艺审批的依据: CCS 规范, AWS (美国焊接协会) 等行业标准。工艺审批时还应考虑修理厂的经验, 如果该厂未曾进行过此类构件的修理, 应进行工艺认可。

工艺审批时应注意: 裂纹的去除, 填焊的焊接参数, 焊后检验。

### 1.1.1 裂纹的去除

使用磨具将裂纹磨掉, 打磨方向尽量与主应力方向一致(即竖向), 磨坑的形状应便于焊接, 最终打磨应使用旋转磨具, 不能使用盘形磨具(盘形磨具打磨, 构件表面有条状纹路)。

打磨后应 MPI 确认裂纹已完全去除。

### 1.1.2 填焊的焊接参数

#### (1) 焊条的选择及使用要求

EH36 与 EH36, EH36 与 ASTM 514 连接处选用的焊条为 E7106, ASTM 514 与 ASTM-514 的连接选用 E11016G。

E7016 及 E11016G 为低氢焊条, 低氢焊条的使用有繁杂的规定, 无论如何我们应有这样的概念: 焊条使用前应烘烤, 焊条暴露于空气中有时间限制, 超过限定时间应重新烘烤, 重新烘烤仅允许一次。根据 AWS 的规定: 对于 E7016 焊条, 拆包后应在 120 烤炉中烘至少 4 小时, 然后装入保温箱, 焊条在空气中 longest 的暴露时间为 4 小时; 重新烘烤应在 260~430 的烤炉中烘至少 2 小时。对于 E11016G 焊条, 拆包后应在 370~430 烤炉中烘至少 1 小时, 然后装入保温箱, 焊条在空气中 longest 的暴露时间 1/2 小时; 重新烘烤应在 370~430 的烤炉中烘至少 1 小时。

高强度钢的焊接应严格控制焊条的使用, 主要目的是防止氢裂(hydrogen induced crack)。焊条药皮和大气中的水分与电弧接触时有原子状态的氢析出, 容易溶解于熔化金属中, 当急速凝固时若不能全部逸出, 而残存在凝固焊缝金属中, 随着焊缝金属温度的下降, 所残存的氢向母材方向扩散, 继而进入淬硬组织的热影响区, 因受拘束应力的作用而产生裂纹, 且氢容易使

金属脆化。氢的脆化作用和氢的含量成比例增大, 淬硬组织(如马氏体)越多和含碳量越高的钢材, 扩散氢的作用越显著。

#### (2) 预热温度及层间温度

根据 AWS 的规定, 厚度 63.5mm 以下的 ASTM 514 钢板预热温度及层间温度最低为 107 , 但不能高于 205 。焊前预热主要是防止初层裂纹, 预热范围为焊接部位周围至少 75mm 宽; 控制层间温度主要是让氢和热应力有充分的时间扩散, 减少线能量的输入, 减少当前焊道对下层焊道的焊热作用。

#### 3) 线能量

线能量 = 电压 × 电流 / 焊接速度

线能量大, 焊接效率高。但线能量过大, 焊接区域急速加热, 焊接部位的温度偏高, 相对冷却速度偏大, 金属容易脆化, 对于高强度钢易产生淬硬组织; 线能量大, 热影响区大, 热影响区中的软化带显著加大, 降低接头强度性能(调质钢在热影响区的外侧, 因为焊接热的作用, 加热到回火温度以上的区域, 要产生强度下降的软化带, HT80 钢约降低 HV 20-40, 软化带的宽度约为 1~3mm, HT80 焊接接头的硬度分布如图 1。调质钢所生成的软化带其程度小时, 对于接头的强度可以看作无影响); 线能量大, 焊条药皮燃烧速度快, 不能有效地保护熔池。

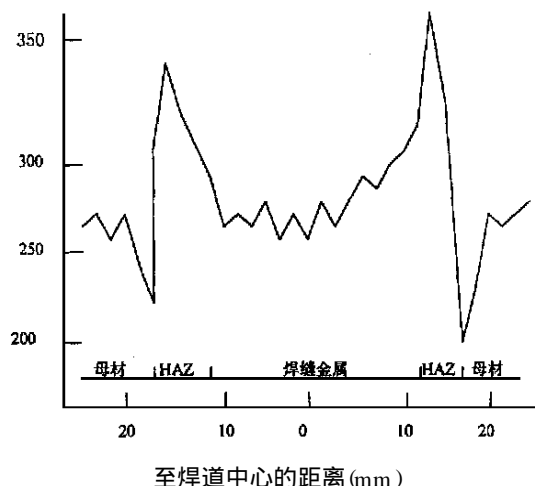


图1 焊接接头的硬度分布(HT80)

线能量一般选用 25kJ/cm 左右, 按规范线

能量不能大于  $50\text{kJ}/\text{cm}$ 。电压为  $21\sim 24\text{V}$ ，电流  $140\text{A}$  左右，焊接速度约  $9\text{cm}/\text{min}$ 。最优秀的焊工，焊接时电流可保持在  $90\text{A}$  左右。

#### (4) 焊后检验

根据 AWS 的规定，ASTM 514 钢材，焊后无损检测需待焊接完成 48 小时后进行。按业主要求一般焊后 MPI 定为焊接完成后 72 小时进行。

外观检验与 MPI 同时进行，根据我社规定：焊缝表面成型均匀、致密、平滑地向旧焊缝过渡，无弧坑，咬边  $0.5\text{mm}$ ，焊瘤  $1+0.1b$ （焊缝宽）mm。

### 1.2 现场检验

裂纹的修理检验应注意到以下几点：

(1) 裂纹打磨后（即开始焊接前）进行 MPI，验船师必须现场，明确裂纹是否已完全消除，打磨的形状是否便于焊接，最重要的是，根据现场情况，是否还有附加的要求。如有一次现场检验时发现第三沉箱内 T 型材与光齿面连接处有一裂纹，打磨深度已达 T 型材腹板厚度的  $2/3$  以上，因此要求此处完全刨开，坡口按新的标准打磨成形后焊接。一般来说工艺书不可能编写得很全面，因此对一些特殊情况施工人员不可能处理好，需要验船师现场确定。

(2) 施工过程中随机检查工艺的执行情况。不定期检查的好处在于施工人员不知验船师何时到他身边，使其自觉按工艺进行施焊。

(3) 严格控制预热的温度、范围、速度及层间温度。对于具有高拘束度构件的局部预热，速度应尽可能慢，如采用脉冲电热丝，效果最好；如条件局限只能采用火炬，应充分注意加热范围及温升速度。其次层间温度容易被忽略，几乎所有的焊工都想加快施工速度，层间温度过高会产生裂纹。

(4) 焊接后 72 小时进行 MPI 时，验船师必须现场确认。

根据 CCS 的规定，应对水平拉筋、斜拉筋进行 100% 的目视检查，飞溅区及有明显腐蚀迹象的部位应进行测厚。根据经验腐蚀严重的部位常出现在锌块底、锌块焊腿与飞溅区。

管材不加垫板单面焊的焊接技术分为上行焊、下行焊及水平焊，这三种焊接方法各自有不同的技术要求：

#### (1) 下行焊

其坡口的形状及间隙要求如图 2。

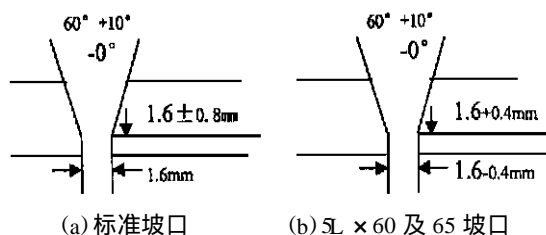


图 2 坡口示意图

第一道焊 (Stringer pass) 如果管径足够大，要求两人同时施焊，一起从上往下焊，典型的焊道剖面如图 3，第一道焊间隙太小、根部太大、电流太小会产生焊透不足及未熔合；若电流过大、间隙太大、根部太小会烧穿。如工作条件允许，第一道焊一般采用 TIG 法焊接。手工焊时采用小直径焊条。

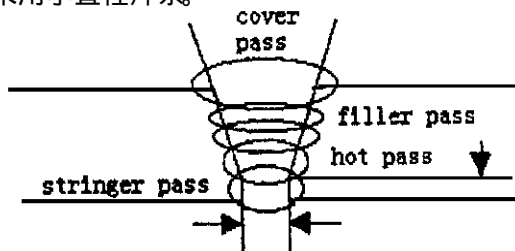


图 3 各焊道示意图

第一道焊清洁后，尽快进行第二道焊 (hot pass)，一般在 5 分钟内，电流足够大以便能熔去第一道焊的咬边及一些残渣。

第三道焊 (filler passes) 电流能熔化坡口边缘，且要保证层间温度，除此之外没有特殊的要求。

最终焊道 (cover pass) 应高出管表面  $0.2\sim 1.6\text{mm}$ ，宽度每边应超出坡口边各  $1.6\text{mm}$ 。

#### (2) 上行焊

### 2 水平拉筋、斜拉筋的换新检验

上行焊所需的焊道比下行焊少,效率比下行焊高,一般用于厂房内的焊接。它的坡口要求如图4所示,坡口的角度、间隙比下行焊大。

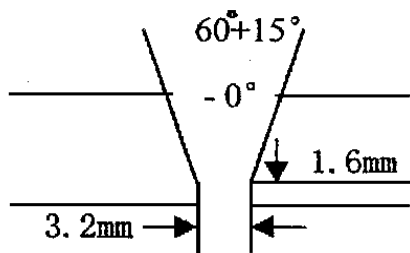


图4 坡口的形状

### (3) 水平焊

水平焊的坡口与上行焊一样,需要注意的是焊道的焊接次序如图5所示。

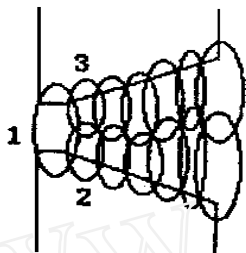


图5 水平焊道的焊接顺序(1, 2, 3为其焊接顺序)

以材料为API 5L × 65 拉筋的更换为例, 5L × 65 的材料特性如下: 最小屈服强度 = 65Ksi, 最小抗拉强度 = 77Ksi, 碳当量 = 0.5。

工艺审批时需注意:

(1) 明确使用何种焊接方法, 上行焊或下行焊;

(2) 坡口的加工要求为冷加工, 即使用砂轮打磨;

(3) 第一道焊使用最小直径焊条3.2mm;

(4) 焊接参数: 预热、层间温度 120~180; 电压 24~26V; 第一、二道焊的电流(焊条直径 3.2mm) 80~130A, 中间道焊的电流(焊条直径 4.0mm) 110~180A, 最后道焊的电流(焊条直径 5.0mm) 150~240A。焊接速度约每分钟 10cm。

(5) 明确接受标准, 如API 1104 (Standard for welding pipelines and related facilities)。

防止产生裂纹, 应注意:

(1) 正确预热;

(2) 第一道焊尽可能大, 则焊接速度尽可能小, 熔敷尽可能多的金属;

(3) 第一道焊未完成前不能移动定位管夹;

(4) 第一道焊结束后, 第二道焊尽快进行, 一般在5分钟内。

现场检验时需注意:

(1) 装配时准确定位;

(2) 装配间隙应控制在 3~4mm;

(3) 用磨具进行坡口加工;

(4) 注意第一焊道的质量;

(5) 注意层间温度及焊道的清洁;

(6) 施焊 48 小时后进行最终检验。

## 3 桩腿齿条堆焊检验

如果桩腿齿条磨损严重, 啮合间隙过大, 平台升降时齿轮会发出很大响声, 且平台颤动。齿条的磨损极限, 具体问题要具体分析, 一般超过 5mm 时应进行堆焊修理。

对于未曾有过此种齿条修理经历的船厂, 施工前一般应进行堆焊试验, 验证拟采用的工艺是否可行(验证原齿面和堆敷金属熔合是否紧密; 原齿面、堆敷金属硬度是否平滑过渡; 由于堆焊是否会诱发裂纹等)。以一平台齿条的修理为例, 齿条的材料为ASTM 514, 工艺批准前进行了堆焊试验, 72 小时后进行检验且剖开焊缝测出原齿面、堆敷金属的硬度值, 硬度HV 值如下表(随机测量)。

硬度测量显示原齿面最硬(因为长年累月的挤压), 母材为ASTM 514 钢材的硬度。堆焊后将齿面剖开, 测量三层, 平均硬度分别为 227、237 及 258, 证明堆焊后各层硬度能良好过渡。原齿面在焊热的作用下能回火软化。

在测量硬度的同时进行着色探伤, 未发现裂纹。证明堆焊工艺合格。

齿条的堆焊现场检验

齿条自由度大, 仅有根部被拘束, 因此堆焊相对容易。检验需注意:

## (1) 堆焊前旧齿面打磨干净;

原齿面	母材	堆敷金属 上表面	堆敷金属 中间	堆焊后 原齿面
451	268	249	286	239
447	253	191	228	253
410	267	284	272	246
421	269	246	246	260
410	269	206	214	215
397	268	198	256	330
404	262	227	231	277
399	257	213	229	259
423	268	249	187	269
431	273	236	237	250
平均:				
418	267	227	237	258

## (2) 按工艺预热;

(3) 焊后用齿模进行测量, 上齿面各接触点的间隙不应有过大的差异, 一般测量 5 组, 一组

5 点, 各点差别不超过 2mm。主要考虑的是: 上齿面为受力面, 如果各接触点有太大的差异, 虽然焊后表面的硬度并不很高 (HV 300 以下), 受力不均匀也会产生裂纹;

(4) 修理结束应进行平台的升降试验, 检查平台升降齿轮啮合情况;

(5) 升降试验后再次检验齿条情况。

## 4 结束语

平台结构较为复杂, 不同的部位采用不同的焊接工艺。一座自升式平台建造时一般有 40 个以上的焊接工艺规格。平台修理时更加复杂, 即使同一部位 (构件), 由不同的施工方修理, 其修理工艺都不尽相同。这要求我们具体问题具体分析, 在规范的基础上寻求解决的方法。

以上内容是个人检验体会, 仅供读者参考, 不足之处请赐教。

## 20 世纪末科技进步产生的经济和环境效益显著

据美国矿物能源办公室发布的科技报告报道, 由于技术进步美国每年少钻井 22000 口, 但开发的油气储量却等同于 1985 年的水平。该报告详细介绍了美国石油工业的技术进步及所产生的经济效益和环境效益。

这份报告总结了过去 30 年来美国石油工业所取得的 36 项科技成果。例如:

- 过去 15 年中如果没有技术进步, 那么, 今天就需要 4 口井才能达到 1985 年 2 口井所达到原油产量。

- 由于减少的钻井口数和提高了油气井的生产能力, 今天美国油气作业者每年钻井废井废液减少 1.48 亿桶。

- 今天的钻井技术使作业者节省井场占地面积 70%, 这对诸如阿拉斯加普拉德霍湾等环境敏感地区特别重要。

- 与常规技术相比, 采用模块化钻机和小井眼钻井使作业者减少井场清理面积 75%。

- 目前正在开发新的声波和振动装置, 以替代爆破产生地震信号的作法, 从而可减少噪音和保护人类、海洋和动物生命。

报告还特别强调美国对新的井下油水分离技术的重视。该技术既可提高油井产量, 又可降低必须进行处置的采出水量达 95%。

报告还提到了目前正在开发的消除气体释放的新技术。该技术可回收目前油气作业过程中释放掉的 95% 以上的甲烷气体。在未来, 工厂和发电厂释放的二氧化碳 (另一种温室气体) 可以被注入油藏、煤层或天然气储气库内, 从而避免将其释放到大气中。

王勇 摘译自美国《油气勘探与生产科技成果报告》

control environment load were given to each type of platform. This can be regarded as an instruction and reference for the structure design, strength review, site inspection and safety operation of offshore platforms.

#### **The Main Technologies used in the Structure Reconstruction of Bohai No. 4 Platform**

..... Yan Jinling, Han Weiguo (21)

Some key technologies used in the structure reconstruction of Bohai No. 4 self-elevating drilling platform from slot form to cantilever form are summarized and introduced in this article.

#### **The Repairing of Special Structure Members on Self-Elevating Rigs** ..... Chen Ruxue (24)

The special members of the self-elevating rig are regarded as important primary structural elements of the rig, on these members, the stress concentration may occur and the critical load will transfer, so it is suggested that the repairing of these members has to be complied to the requirements of the relevant Rules and Codes and the repairing work has to be performed under the supervision of the Surveyor.

#### **A Review and Summary on the National Production of Jack-up Gearing System for Kantan No. 2 Platform** ..... Luo Ninggen (29)

The repairing and renewing of the jack gearing system on Kantan No. 2 platform are introduced and the experience of the process of its national production is reviewed and summarized.

#### **Project Management in the Development of Pinghu Offshore Oil and Gas Field**

..... Cao Xuejun, Zheng Yuping, Xu Wenbing (32)

This article describes briefly the contents of the Pinghu Oil and Gas Field and its main features. The experience obtained from the project management work of this project is given in this article as well.

#### **The Development and Prospect of Software Package for Offshore Floating Production System**

..... Gao Huanqiu, Sun Boqi (40)

The software package developed by China Ship Scientific Research Center (CSSRC) for offshore floating production system is introduced briefly. The contents, the methods, the examination and the application of the main modules of this software package are described respectively.

---

**Edited by:**

**Editorial Office "China Offshore Platform"**

**P. O. Box 032-201 Shanghai, 200032 China**

**Tel: 021-64399626-2121 Fax: 021-64390908**