

浅谈海洋平台齿条的安装以及焊接工艺要点

崔全友 孟祥富

(青岛北海重工有限责任公司现责任公司)

摘要: 海洋钻井平台是实施海底油气勘探和开采的工作基地,它标志着海底油气开发技术的水平,而海上钻井平台起升系统的工作原理是齿轮-齿条机构,在海洋钻井平台的工作过程中,齿轮-齿条机构担负着整个平台的升降工作。因此在建造海洋平台时,齿条焊接及其精度控制一直占据着十分重要的地位。

关键词: 海洋平台 齿条安装 焊接工艺

一、概述:

钻井平台是主要用于钻探井的海上结构物。上装钻井、动力、通讯、导航等设备,以及安全救生和人员生活设施,是海上油气勘探开发不可缺少的手段,主要有自升式和半潜式钻井平台,而我公司主要是建造自升式钻井平台。

自升式钻井平台,由平台体、桩腿和升降机构组成,平台体能沿桩腿升降,一般无自航能力。1953年美国建成第一座自升式平台,这种平台对水深适应性强,工作稳定性良好,发展较快。工作时桩腿下放插入海底,平台被抬起到离开海面的安全工作高度,并对桩腿进行预压,以保证平台遇到风暴时桩腿不致下陷。钻完井后平台降到海面,拔出桩腿并全部提起,整个平台浮于海面,由拖轮拖到新的井位,而钻井平台的升降以及桩腿的预压全是由以齿条以及齿轮箱为主组成的升降系统完成的。

结合我公司近几年海洋工程的建造经验,浅谈一下海洋平台升降装置齿条的焊接及其精度控制。

二、齿条材料的特点及焊接要点

齿条材料的特点

齿条为自升式海上石油平台的关键构件,它承受平台体升、降时产生的载荷。齿条焊接质量的优与劣以及齿条对接缝处的齿间距焊后是否符合公差要求,是保证平台安全使用的必要条件。由于齿条是调质钢,以及齿条的厚度大,刚性大,拘束度大,即使焊缝中有很小的缺陷,也会形成裂纹源,导致裂纹产生。

根据以上特点,调质高强度钢的齿条在焊接时应进行以下工作:

1 调质高强度钢在焊接时应注意:

1.1 控制焊接线能量,避免焊接线能量过大造成焊接接头软化;

1.2 低碳调质钢的特点是含碳量比较低,基体组织是强度和韧性都比较高低碳马氏体+下贝氏体,这对焊接有利。但是,调质状态下的钢材,只要加热温度超过他的回火温度,性能就会发生变化。焊接时由于热循环的作用使热影响区强度和韧性的下降几乎是不可避免的。因此,在焊接低碳调质钢时要注意两个基本问题:

① 要求马氏体转变时的冷却速度不能太快,使马氏体有一“自回火”作用,防止冷裂纹的产生;

② 要求在 800-500℃之间的冷却速度大于产生脆性混合组织的临界速度。

这两个问题是制定低碳调质钢焊接参数的主要依据;

1.3 在焊接过程中控制层间温度,以防止产生不均匀组织,降低焊缝硬度。

2 为保证齿条焊接质量，避免裂纹和保证齿间距公差，应进行：

2.1 焊接性试验

- ① 根据齿条化学成分进行碳当量计算；
- ② 进行齿条斜 Y 型坡口焊接裂纹试验；

2.2 焊接工艺试验

- ① 确定齿条对接焊缝的坡口型式，测量焊接后的收缩余量，作为制定焊接工艺时的依据；
- ② 测量对接焊缝的变形数据，以确定齿条的焊接顺序。

焊接要点

1989 年 9 月，世界上第一座极浅海步行坐底式钻井平台“胜利二号”一步一步在人们惊喜和赞美声中“走路”下水，拉开了我公司在海洋工程建造方面的序幕。至今我公司在海洋工程尤其是自升式钻井平台的建造已有将近 20 年的历史，从起初的胜利作业三号平台到最近的中油海 6 号平台，我们的技术水平不断的完善，产品的质量不断的提高，尤其是升降装置齿条的焊接及其精度控制方面。

根据我公司近几年来建造自升式钻井平台的经验，就升降装置齿条的焊接及其精度控制方面做以下阐述。

胜利作业三号平台是我公司建造的我国自行设计建造的第一座齿轮齿条升降的三腿自升式修井作业平台。胜利三号自升式修井作业平台，是我国“九五”期间国家重大技术装备科技攻关项目。它的投产克服了以往修井作业平台不能实现连续升降的弱点，使得海上修井作业范围扩大，作业水深可达 5 至 25 米，并可同时对 9 口井的采油平台修井作业，修井井深可达 4500 米，齿条材质是美国 ASTM A514Q，具体性能指标如表所示：

ASTMA514Q 机械性能指标

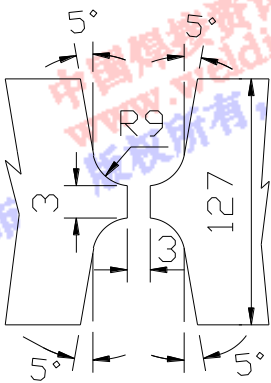
钢号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
ASTMA514Q	690	690-895	-40℃	34

在选择焊接材料和制定焊接参数时，应考虑焊缝及热影响区组织状态对焊接接头强度、韧性的影响。根据等强原则，在建造胜利作业三号平台时，我们选用了韩国现代公司的 S-11018.M，具体性能如表所示

S-11018.M 机械性能试验结果

牌号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
S-11018.M	690	795	-60℃	56、52、50

坡口如图所示



由于胜利作业三号平台齿条模数为 75mm，采用双 U 型坡口可避免坡口开到齿条的齿面上。

焊前准备：

- ① S-11018.M 焊条经 350~400℃烘烤 1.5 小时，S-7016.0 焊条经 320~350℃烘烤 1.5 小时后放在 120~150℃的焊条保温筒中。
- ② 清除坡口内及坡口边缘两侧各 20mm 范围的氧化物、水、油、锈等对焊接质量有影响的杂质。

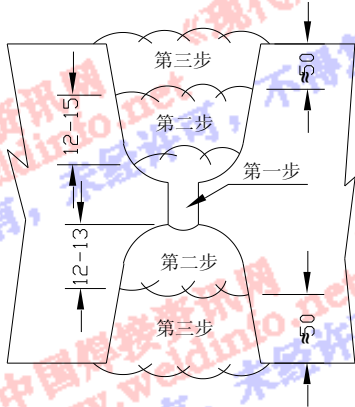
焊前预热：

对于低碳调质钢来说，预热的主要目的是防止裂纹，就是说以降低马氏体转变时的冷却速度，通过马氏体的“自回火”的作用来提高抗裂性能。当预热温度过高时，由于冷却速度太慢，靠近焊缝金属的奥氏体化区可能转变为含有高碳马氏体的铁素体或转变为粗大的贝氏体，这两种显微组织会降低焊接接头的韧性和强度。通过试验，在保证焊接接头不出现裂纹的情况下，将预热温度确定为 160~170℃。

层间温度：160℃~190℃。

后热处理：焊后立即将焊缝及其附近区域加热至 200~210℃，保温 2 小时，然后用石棉布包好缓冷且每小时降温不得超过 50℃。

焊接顺序：



焊后 72 小时进行超声波及磁粉检验。

超声波检验：所有焊缝经超声波检验全部合格，无内部焊接缺陷。

磁粉探伤检验：正反面焊缝经磁粉探伤检验后，无表面焊接裂纹。

焊接工艺评定结果：

A514Q 焊接接头机械性能试验结果

项 目	拉力试验		侧弯弯曲试验 D=6t α=180°	冲击试验（“V”形缺口，-40℃冲击温度）			
	抗拉强度 N/mm ²	断裂位置		焊缝中心	熔合线	熔合线外 2mm	熔合线外 5mm
试 验 值	805、845 855、830 (4 个试样)	母材	合格 (4 个试样)	78、80、38	42、55、40	140、132、68	89、114、84

上述试验结果符合 CCS 船级社规范要求。

齿条焊接及其精度完全在公差要求范围之内。

随着胜利作业三号平台顺利下水，在以后的时间里，我们又顺利完成了辽河一号钻井平台、中油海 63 号平台以及中油海 5、6 号平台的建造，其中中油海 5、6 号平台是舢舨船，下面陈述中以中油海 6 号平台为例。

以下是各个平台齿条的特点、焊接材料的选择以及焊接工艺评定结果：

辽河一号钻井平台是我国第一艘电动齿轮齿条升降三腿自升悬臂式平台，采用了多项新工艺、新技术，是海上石油勘探开发中所急需的工程装备，具有广阔的应用前景。该平台的研制成功标志着我国自

升式平台的研究达到了一个新的水平，同时为自升式平台的推广打下了基础，将为我国浅海油田的勘探开发发挥更大的作用。齿条材质是 DILIMAX690E，具体性能指标如表所示：

DILIMAX690E 机械性能指标

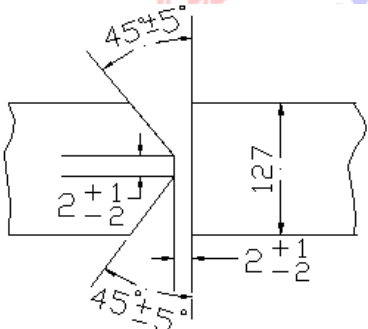
钢号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
DILIMAX690E	630	720-900	-40℃	30

建造辽河一号钻井平台时，我们选用了韩国现代公司的 S-11018. M，具体性能如表所示

S-11018. M 机械性能试验结果

牌号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
S-11018. M	690	795	-60℃	56、52、50

坡口如图所示



辽河一号钻井平台齿条齿间距为 425.5mm，采用双 K 型坡口减少了齿条坡口的加工量，受火焰切割的影响比较小。

DILIMAX690E 焊接接头机械性能试验结果

项目	拉力试验		侧弯试验 D=6t α=180°	冲击试验（“V”形缺口，-40℃ 冲击温度）			
	抗拉强度 N/mm ²	断裂位置		焊缝中心	熔合线	熔合线外 2mm	熔合线外 5mm
试验值	813、825 736、822 (4 个试样)	母材	合格 (4 个试样)	174、178、164	182、192、194	190、200、202	200、194、198

中油海 63 号平台是一艘电动齿轮条升降的四腿自升式试采作业平台，该平台试油系统自成体系，可试验油井的石油储量、气体含量，并根据试验采集的参数确定配管直径等设施，优化投入产出比率，提高经济效益。

齿条材质是 N25HN，具体性能指标如下表所示：

N25HN 机械性能指标

钢号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
N25HN	690	790-940	-40℃	69

我们在建造中油海 63 平台时，由于母材机械性能的提高，在焊接材料的选择上，我们选用了日本神钢的 LB-88LT，实践也证明 LB-88LT 的力学性能完全符合要求。下表是我们对 LB-88LT 做的机械性能试验，所得到的数值

LB-88LT 力学机械性能试验结果

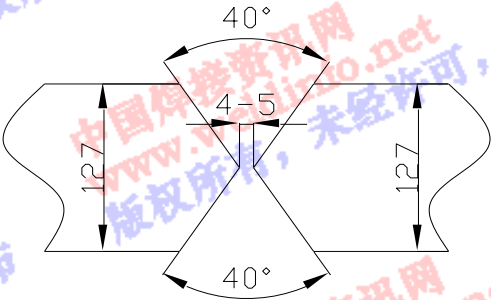
牌号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
LB-88LT	870	905	-40℃	112、114、116

由于中油海 63 平台齿条模数为 101.6mm，采用双 V 型坡口可避免坡口开到齿条的齿面上，而且双 V 型坡口加工比双 U 型坡口简单。

N25HN 焊接接头机械性能试验结果

项目	拉力试验		侧弯曲试验 D=6t α=180°	冲击试验（“V”形缺口，-40℃冲击温度）			
	抗拉强度 N/mm ²	断裂位置		焊缝中心	熔合线	熔合线外 2mm	熔合线外 5mm
试验值	855、860 (2 个试样)	HAZ	合格 (4 个试样)	134、98、120 106、70、124	124、186、126 160、88、70	69、74、70	104、90、154

坡口如图所示



中油海 6 号平台是我国自行设计的电动齿轮齿条升降自升式钻井平台，平台的主要任务是在水深 40 米范围内的渤海湾海域进行石油钻探作业，具备钻井、固井及辅助试油等能力。条材质是 ASTMA514，具体性能指标如表所示：

ASTMA514 机械性能指标

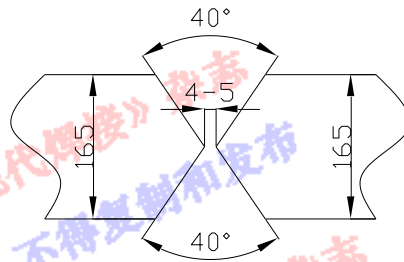
钢号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
ASTMA514	620	690-895	-40℃	27

建造中油海 6 号平台时，我们选用了韩国现代公司的 S-11018. M，具体性能如表所示

S-11018. M 机械性能试验结果

牌号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
S-11018. M	690	795	-60℃	56、52、50

坡口如图所示



中油海 6 号平台齿条比较厚达到了 165 mm，而且模数为 101.6mm，采用 K 型或 U 型坡口，坡口开到了齿条的齿面，因此我们选用了 X 型坡口。

A514 焊接接头机械性能试验结果

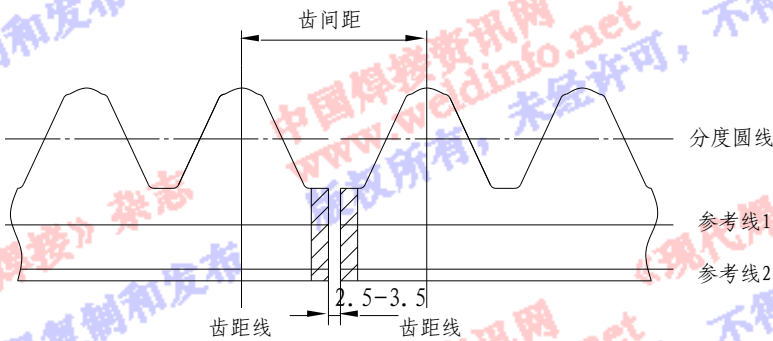
项 目	拉力试验		侧弯曲试验 D=6t $\alpha=180^\circ$	冲击试验（“V”形缺口，-40℃冲击温度）			
	抗拉强度 N/mm ²	断裂位置		焊缝中心	熔合线	熔合线外 2mm	熔合线外 5mm
试 验 值	829、804 804、832 (4 个试样)	HAZ	合格 (4 个试样)	54、49、42 63、49、70	54、72、50 74、50、70	65、58、82	56、72、72

齿条的焊前组装及装焊顺序

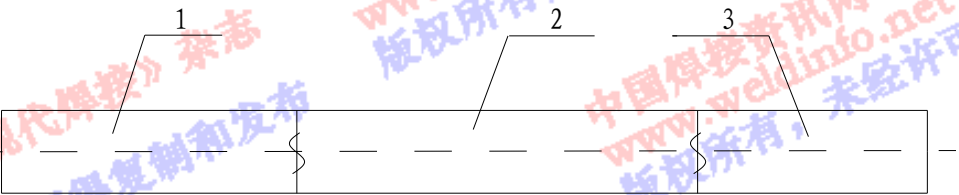
海上钻井平台起升系统的工作原理是齿轮-齿条机构，在升降系统工作时，当前对轮齿啮合以后，后续的各对轮齿也能依次啮合，而不是相互顶住或分离，因此齿条焊接及其精度控制变的格外重要。

根据我公司的建造经验，自升式钻井平台的齿条材料板厚大多在 120 mm 以上，对于坡口型式为 X 型坡口的焊接以中油海 63 平台为例做一下简单阐述，考虑到齿条的焊接收缩变形，因此在焊前应留有一定的收缩余量，一般留 2.5~3.5mm。

齿条安装尺寸，如下图所示：

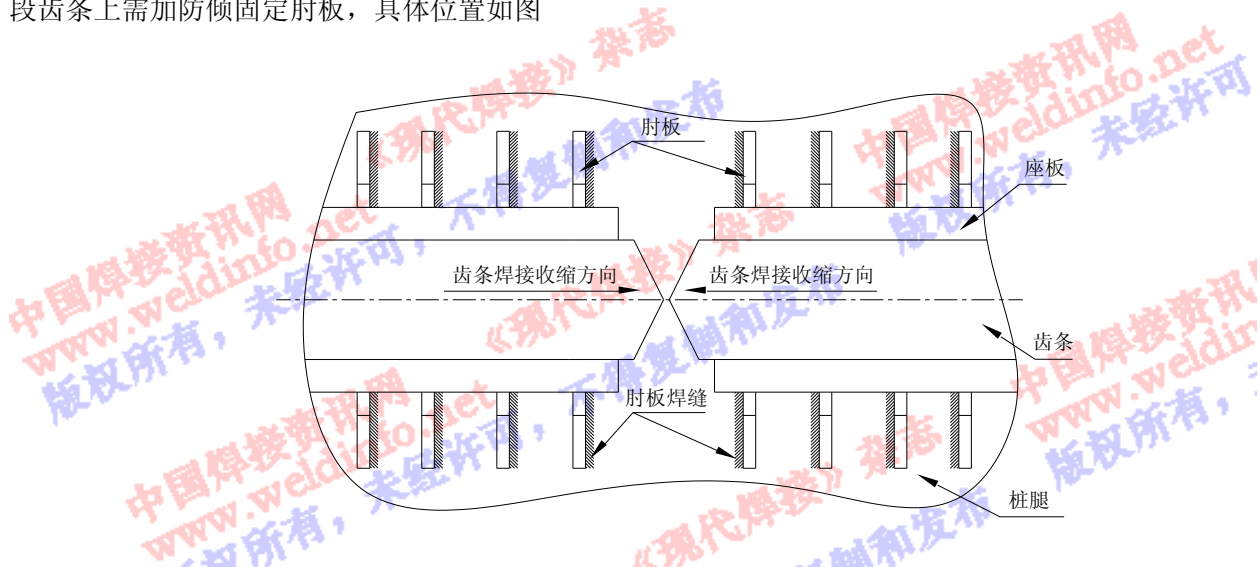


焊接齿条对接



安装齿条 1、2、3

将齿条 2 做为基准段。将齿条 2 的座板断续焊在桩腿上，1、3 齿条座板不可点焊在桩腿上。在三段齿条上需加防倾固定肘板，具体位置如图



调整齿条 1、2 安装尺寸，由 4 名焊工对称焊接齿条对接缝。

调整齿条 2、3 安装尺寸，由 4 名焊工对称焊接齿条对接缝。

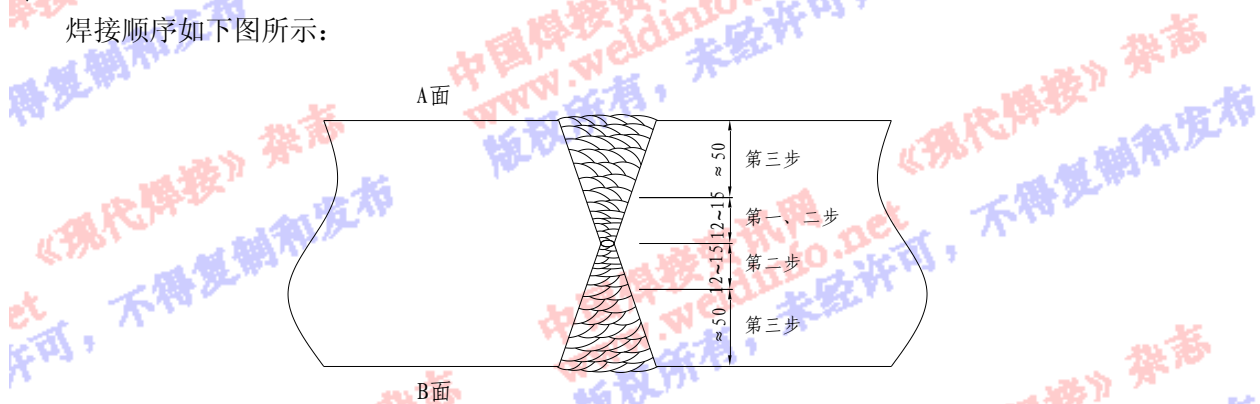
齿条检验合格后将焊缝增强高磨去，与齿条表面齐平。

预热温度：150-160℃

层间温度：160-190℃

后热处理：焊后立即将焊缝及其附近区域加热至 200℃ 左右，保温 1.5~2 小时后，用石棉布包好缓冷。

焊接顺序如下图所示：



第一步：在 A 面使用 S-7016.0 进行打底焊。

第二步：对 B 面面进行清根处理后，两名焊工分别在 A、B 面使用 LB-88LT 或 S-11018. MΦ 3.2 焊条同时对称施焊，使用填充 12~15mm 厚焊缝金属。为避免产生角变形，两名焊工施焊电流应相同。

第三步：两名焊工分别在 A、B 面使用 LB-88LT 或 S-11018. MΦ 4.0 焊条同时对称施焊。为避免产生角变形，两名焊工施焊电流应相同。

焊后 72 小时进行超声波以及磁粉检验。

座板的安装

齿条与桩腿之间的是由过渡板连接的，也就是所谓的座板，因此在焊接齿条对接缝之前，先进行座板与齿条的焊接，然后进行齿条对接，再进行桩腿与座板的焊接，最后进行后装座板的焊接。一般座板的材质是船用高强钢 E36，而中油海 63 平台的座板材质是高强度淬火回火钢 E500，但是结构形式与其他平台差不多，因此我们将中油海 63 座板的安装做一下简单的阐述。

E500 机械性能指标				
钢号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
E500	500	610~770	-40℃	50

在焊接材料的选择上，我们选用了韩国现代公司的 SC-91K2 药芯焊丝，下表为 SC-91K2 机械性能试验结果

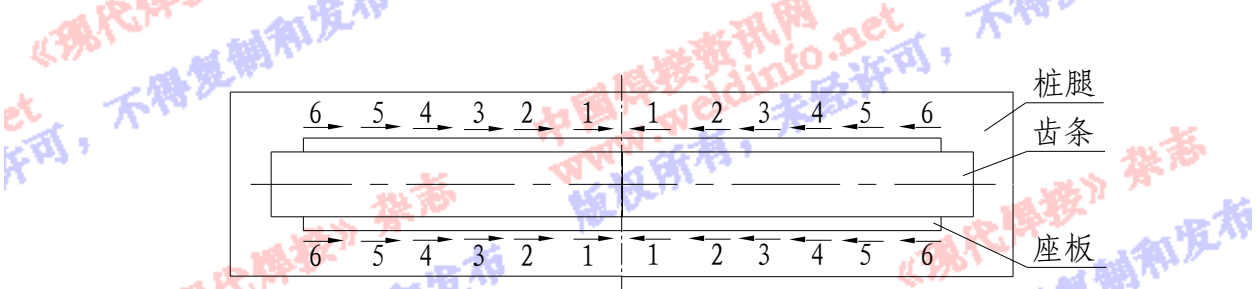
SC-91K2 机械性能试验结果				
牌号	屈服强度 MPa	抗拉强度 MPa	冲击温度	冲击功 J
SC-91K2	500	615	-40℃	194、148、178 196、190、132

E500 板对接焊接工艺评定，力学试验结果

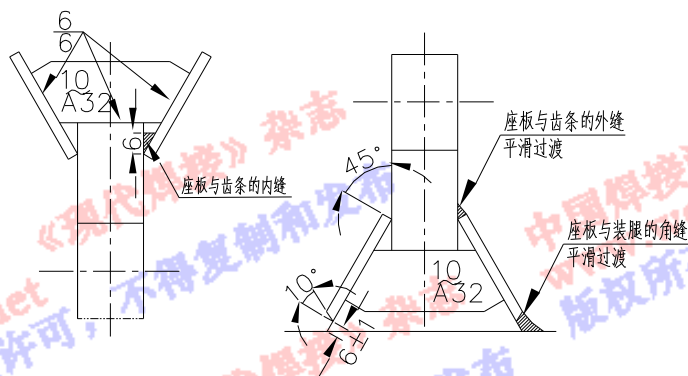
E500 焊接接头机械性能试验结果								
项目	拉力试验		弯曲试验		冲击试验（“V”形缺口，-40℃冲击温度）			
	抗拉强度 N/mm ²	断裂位置	D=4t α=180°		焊缝中心	熔合线	熔合线外 2mm	熔合线外 5mm
试验值	670 680 (2 个试样)	HAZ	正弯 合格	反弯 合格	68、76、116	158、152、160	170、154、158	140、148、174

座板与齿条的焊接

焊接座板与齿条外缝的角缝时，由双数焊工对称与齿条中心线，从齿条中间向两边采用分段退焊法，每段长度约 400 mm，且齿条两侧一定同时施焊。



座板与齿条的外缝预留 200mm 缓焊部位，此缓焊部位待安装后装座板时再进行焊接，座板与齿条的内缝不留缓焊段。坡口型式和焊角尺寸



预热温度：150-160℃

层间温度：160℃-190℃

后热处理：焊后立即将焊缝及其附近区域加热至 200℃左右，保温 1.5-2 小时后，用石棉布包好缓冷。

焊后 72 小时进行磁粉检验。

三、认可试验结果：

1、焊缝外观检验：正反面焊缝边缘整齐，表面光滑，无任何表面缺陷。

2、超声波检验：所有焊缝经超声波检验全部合格，无内部焊接缺陷。

3、磁粉探伤检验：正反面焊缝经磁粉探伤检验后，无表面焊接裂纹。

上述试验结果符合 CCS 船级社规范要求。

齿条焊接及其精度完全在公差要求范围之内。

四、小结

在石油和天然气资源较为紧张的今天，海洋资源变的极为重要，鉴于经济实力和技术力量的不足，我国涉足海洋油气开采较晚，因此海洋工程有着广阔的市场前景。

海洋平台是实施海底油气勘探和开采的工作基地，它标志着海底油气开发技术的水平，而海洋平台又是以齿条-齿轮为升降系统，因此齿条焊接及其精度控制以及裂纹的控制是海洋工程的制造过程的关键，我公司通过焊前齿条的预组装、焊前预热以及后热处理的控制等一些措施，使这一问题得到了解决。