

# 无缝药芯焊丝在海洋工程中的应用（上）

德国施坦恩金属线材有限公司    Dr.- Ing. Iris Raffeis, Dr.- Ing. Erturul Engindeniz,  
Dr.- Ing.Reinhard Rosert,   Andreas Holzner

**【摘要】** 本文探讨了高强钢、细晶粒结构钢等各系列钢材在海洋钻井平台应用。通过连续冷却图可以解释如何可以有效控制焊缝的微观结构，以得到所需的力学性能。

通过对实芯焊丝、有缝药芯焊丝、无缝药芯焊丝和金属粉芯焊丝进行试验，研究各种类型焊丝的优缺点，了解无缝药芯焊丝可以特别满足海洋工程的特殊焊接环境要求。另外，本文还介绍了无缝药芯焊丝的焊接工艺的应用，包括对碱性的、金红石和金属粉芯焊丝等三种无缝药芯焊丝的不同性能和应用介绍。

我们还对获得最佳强度和韧性的焊缝质量所需焊接参数的介绍，包括焊接工艺的作用、试件厚度和坡口类形。当然也包括试件的化学成分和 $t_{8/5}$ 冷却时间对抗冷裂纹的介绍，以及干伸长的影响和预热处理对氢、氮含量的影响。

最后对无缝药芯焊丝在海洋工程中的应用实例进行说明。

**1. 概述**

随着陆地石油和天然气资源的不断减少，以及对核能作为未来主要能源的质疑，海洋资源的开发将越来越受重视。因此，海洋资源开发活动越来越活跃，许多新的海洋钻井平台、海洋风力发电平台建立起来，但是，由于风力、潮湿以及波涛汹涌的大海等自然力的因素，需要海洋结构件产品具有特殊的力学性能，如高强度和高韧性。要达到这些要求，不但需要采用合适的钢材和焊丝，而且需将两者之间正确地组合和选配。

**2. 基体材料介绍**

本文研究的是焊接性好的细晶钢，这些钢材的化学成分在适用于海洋钻井平台、海洋风力发电平台所要求的范围内，其力学性能如表1所示。因为这些钢材的化学成分很多，这要求一定的制造工艺来获得，因此它们的分类是按制造工艺而不是其化学成分。

| 表1 细晶钢力学性能 |           |                                |                             |                                                                              |
|------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 品质         | 屈服强度 /MPa | 增强机制                           | 微观结构                        | 等级                                                                           |
| 基本细晶钢      | 275~460   | 固溶强化<br>细晶硬化                   | 铁素体和珠光体                     | S460N                                                                        |
| 热冷轧细晶钢     | 275~700   | 固溶强化<br>沉淀颗粒硬化<br>细晶硬化<br>错位硬化 | 细晶铁素体和珠光体<br>或者针状铁素体<br>贝氏体 | S460M/ML<br>S460QL                                                           |
| 调质细晶钢      | 460~1100  | 固溶强化<br>沉淀颗粒硬化<br>细晶硬化<br>错位硬化 | 退火马氏体                       | S1100Q<br>S690QL<br>S890QL<br>S960QL<br>S1100QL<br>SG690Q<br>SG890Q<br>S960Q |

高强细晶钢和高强钢的一般优点是节约合金元素、降低结构和焊材的消耗量，以及节约成本和材料。图1是这些钢材的强度以及延伸出的新钢种。

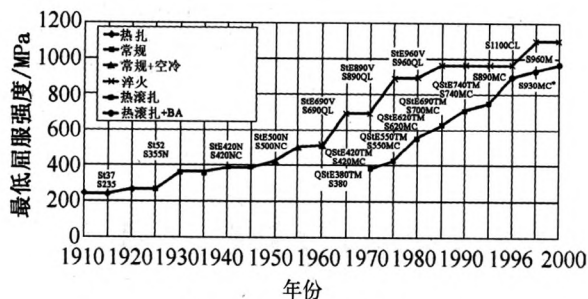
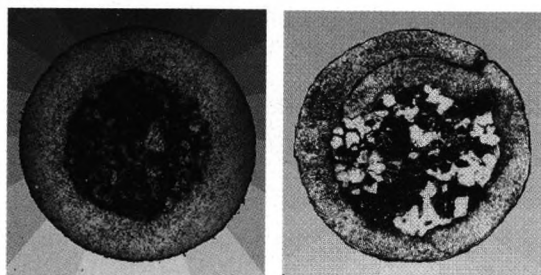


图1 高强钢的发展趋势

### 3. 焊材介绍

对于海洋工程钢结构焊接，可用的焊材有无缝药芯焊丝、有缝药芯焊丝、实芯焊丝和焊条。

如图2所示无缝药芯焊丝和有缝药芯焊丝的截面图



(a) 无缝药芯焊丝

(b) 有缝药芯焊丝

图 2

(1) 无缝药芯焊丝与实芯焊丝对比 与实芯焊丝相比，无缝药芯焊丝重要的优点有：①添加了额外的渣系，可以防止在倾斜、垂直、顶部焊接掉渣现象，特别是金红石焊丝。以及还可以防止O、H、N元素的在熔池的浸入。②按要求灵活精确地加入影响微观结构和稳定电弧的微合金元素。③可使用高的电流密度（350~600A/mm<sup>2</sup>），因此具有更高的焊接效率。④具有更好的润湿性和浸渗性。⑤特别对V形焊缝和角焊缝方面，可减少未熔合缺陷倾向。焊缝表面光滑美观，更高的熔敷效率。⑥金红石型和金属粉芯型即使在100%CO<sub>2</sub>气体保护下，也能达到更少的飞溅。

(2) 无缝药芯焊丝与有缝药芯焊丝对比 与有缝药芯焊丝相比，无缝药芯焊丝的优点有：①抗吸湿性。②无需烘干，即使长期存放在潮湿环境下。③氢含量<5mL/100g。④铜镀层提高了焊丝的导电性。⑤形状均匀刚性好，送丝稳定，特别可用于双丝辊送丝。⑥因为无缝焊丝没有折叠截面，无扭曲应力，这使得焊丝在送丝过程中不产生扭曲，适合于机器人焊接。⑦电弧稳定性好。

### 4. 无缝药芯焊丝的制造工艺

钢带通过高频焊接工艺焊接成管，之后，再通过细晶退火处理以优化焊缝和近缝区的晶粒结构。这种工艺有助于降低凝聚助焊剂的颗粒直径大小。这种焊剂通过振动装置填装到管子中，并且可以通过去应力退火工艺生产更小直径的管子。这允许焊丝转变成最终直径大小的产品。最后，在包装出厂前对焊丝进行表面镀铜和卷轴。

德国施坦恩公司能够生产各种牌号的药芯焊丝，包括无熔渣金属粉芯焊丝、熔渣成形金红石和碱性焊丝。

(1) 金属粉芯焊丝 这些焊丝不产生熔渣，且容易起弧和低飞溅。对于多道焊，其焊道无需清理。由于这种焊丝的可靠划擦点火特性，其非常适合用于机器人焊接；以及由于润湿稳定性，适合于根焊。

(2) 熔渣型药芯焊丝 这种焊丝中的造渣元素，特别是基本的化学成分对力学性能有积极的影响，它们能够最大限度地降低气孔的产生，因为其中的熔渣成分中TiO<sub>2</sub>或CaF<sub>2</sub>能够很好地溶解气孔，这些都是形成热裂纹和气孔的元素。

(3) 金红石药芯焊丝 它主要渣系含有TiO<sub>2</sub>。除此之外，还含有其他如Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和ZrO<sub>2</sub>熔渣成分，电弧稳定剂；以及提高焊接性和力学性能的合金元素。由于金红石药芯焊丝中熔渣的凝固速度快，因此其可适用于大电流焊接、全位置焊接，特别是垂直立向上焊接。总之，金红石药芯焊丝的焊接性非常的优越。该种焊丝的最大屈服强度达到690MPa，冲击吸收能量能承受到-60℃。与实芯焊丝相比，它有优良的全位置焊接特性。

(4) 碱性药芯焊丝 它的主要渣系成分是CaF<sub>2</sub>，其O和S、P、N等有害元素的含量非常的低，F与H反应使其含量<3mL/100g，使其能够在高强钢焊接方面提升焊缝的韧性和抗裂性能。与金红石药芯焊丝相比，这种焊丝的缺点是其中的CaF<sub>2</sub>能产生飞溅和不适合全位置焊接。但是这种焊丝即使在低温情况下也能获得良好的力学性能。

### 5. 应用案例

材料的力学性能受到一定的微观结构影响。为了要获得良好的微观结构，母材的化学成分和焊接

(下转第43页)

6. 焊后结构内应力的消除

(1) 多道焊时，每焊完一层后，锤击焊道表面释放残余应力，但打底层和盖面层除外。

(2) 针对“瘦马”变形，采用线状加热。即在骨架背面加热，先弹出双条位置线对准焊缝根部（焊角根部热影响区内），注意温度严格控制在500~600℃，以微红为宜，要用烘枪，不允许用割刀，速度要均匀，不能过烧，校正时注意观察甲板反面板材弯曲变化。可先直接加热骨架背面（单线法），也可加热骨架背面的两侧（双线法），待主要变形消除后，再在不平处补加线状加热，如图6所示。

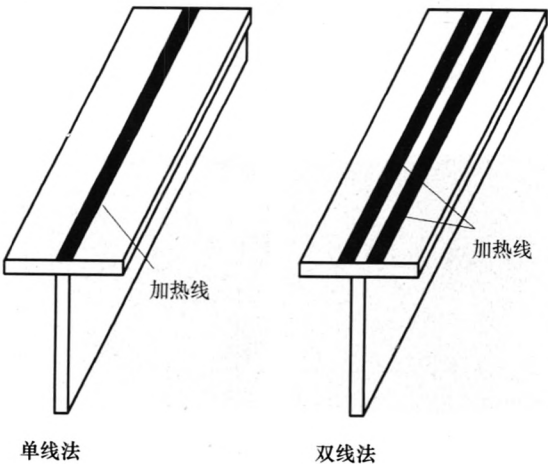


图 6

7. 结语

本文综合考虑影响焊接变形的原因，对各个主要施工节点有针对性地改进工艺，实际生产中取得一定的效果。图7为改进工艺前后两客滚船甲板平整度的对比：右边的后续船，严格按新工艺施工，效果要好于左船。当然目前工艺还有进一步改进的空间，这也是今后工作的努力方向。



图 7

MW (20121013)

(上接第40页)

工艺、焊接参数要仔细地选择（见图3）。

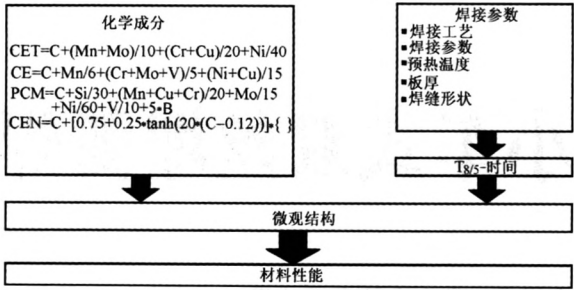


图3 母材成分和焊接参数对力学性能的影响

化学成分的相互关系、焊接参数以及力学性能可通过连续冷却图来解释，图4是一种钢的连续冷却图，其焊接过程是一个非平衡过程。

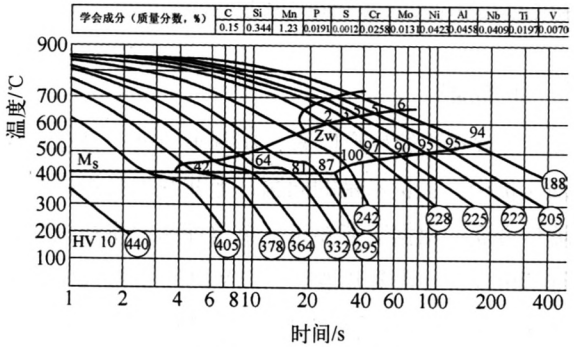


图4 S690QL连续冷却图

S690QL钢的化学成分如图4所示，其成分可用于测试不同的冷却曲线，以及不同温度获得不同的硬度值。对于每一条曲线，都可以测试出其所在的马氏体、贝氏体和铁素体的含量。

温度从800℃降到500℃的时间-温度曲线是最重要的，这个时间称为 $t_{8/5}$ 时间。对于S690QL钢，其 $t_{8/5}$ 钢材微观结构的转变和硬度值，如图5所示。图中还描绘出了该材质的抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率和冲击韧度。以前这些曲线都是单独绘制的。

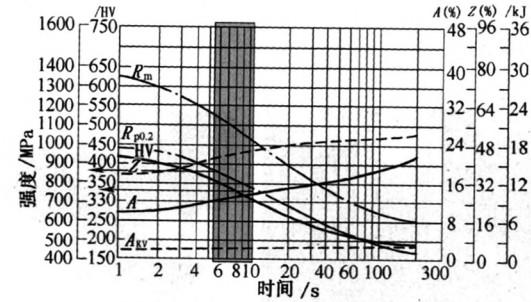


图5 S690QL钢 $t_{8/5}$ 下的力学性能

MW (待续) (20121228)