

海洋工程结构焊材选用及分析

张涛

1. 公司的主要产品与常用焊材

我公司为国家海洋工程施工一级资质企业，主要产品涉及大型海洋石油天然气导管架、海洋生活平台、大型桥梁、上部模块、系泊系统、海底设备、压力容器设备、处理撬块和海上风力发电设备等。焊接钢种主要是低碳钢、低合金钢、不锈钢、铜镍合金及复合管等，涉及的主要焊接方法包括：焊条电弧焊、药芯焊丝气体保护焊、埋弧焊及钨极氩弧焊等。其中，埋弧焊和药芯焊丝气体保护焊由于焊接质量稳定、生产效率高而被广泛使用。在工程使用中，埋弧焊丝占50%，药芯气体保护焊丝占40%，其余焊丝占10%。

2. 焊材选用案例分析

现代海洋结构工程规模越来越大，海洋工程结构呈现大吨位、厚壁化的发展趋势，而厚钢板的母材制造质量、焊材选用、焊接施工工艺、焊接接头质量控制等在工程建设中尤为重要。钢板厚度越大，微裂纹、夹渣、气孔及未熔合等焊接缺陷出现的概率增大，同时海洋结构承受载荷复

杂，不仅承受巨大的静载荷，而且往往承受由波浪、海流及台风等引起的动载荷，焊缝微缺陷在交变载荷作用下更容易发生破坏。海洋钢结构服役环境恶劣，钢板厚度大、强度高，焊接接头的冲击性能、抗开裂性能和止裂性能要求高，对焊材也提出更高要求。因此，海洋工程结构制造过程中，焊材质量直接关系到建造质量，焊缝的低温冲击韧性和断裂韧性指标尤其受到重视。

我公司在建导管架项目桩腿板厚75mm，桩腿材料为S355KT—40，冲击韧性要求： -40°C 冲击值单值 $\geq 30\text{J}$ ，平均值 $\geq 40\text{J}$ ，CTOD要求： -10°C 单值 $\geq 0.25\text{mm}$ ，焊接质量要求较高。针对我公司焊接工艺使用现状，桩腿焊接采用药芯焊丝气体保护焊打底，埋弧焊进行填充盖面。因此，焊材选型阶段分别选择两种埋弧焊焊丝进行试验。

根据项目低温冲击性能和断

裂韧性要求，从业主批准焊材供应商中选择两种焊材，AWS分类号为：AWS A5.23 ENi1和ENi1K，母材采用S355KT—40，厚度75mm，母材及焊丝化学成分如表1所示。

坡口形式与现场桩腿建造一致，采用对称X形坡口，坡口角度 60° ，根部间隙2~4mm，钝边1~2mm，坡口如图1所示。

参考焊材供应商焊接手册和我公司焊接实践制定焊接参数，具体如表2所示。焊接前坡口两侧75mm范围内预热温度应达到 110°C ，焊道层间温度不能超过 250°C 。

焊接完成后，48h内进行无

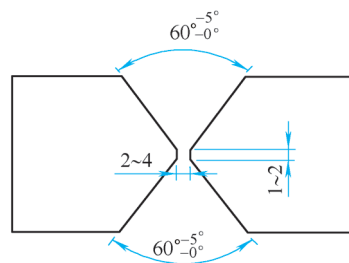


图1 埋弧焊坡口示意

表1 母材及焊丝化学成分（质量分数）

(%)

试验材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni
ENi1	0.09	0.10	1.14	0.007	0.006	0.009	0.06	0.91
ENi1K	0.072	0.45	1.06	0.011	0.006	0.018	0.12	0.94
S355KT—40	0.07	0.10	1.49	0.010	0.001	0.13	0.15	0.37

表2 焊接参数

焊层	焊接方法	电源极性	焊丝直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹	热输入/kJ·mm ⁻¹
填充	SAW	DCEP	4.0	500~630	28~35	300~600	1.40~3.13
盖面	SAW	DCEP	4.0	500~600	28~32	300~560	1.50~2.87

损检测，检测焊缝有无缺陷。从同一张试板上取样分别进行低温冲击性能测试和CTOD试验，试验结果对比如表3、表4所示。

由表3、表4的试验结果可知，ENi1和ENi1K两种焊材的-40℃冲击单值都>30J，平均值都>40J，面部熔合线+2位置都出现冲击吸收能量单值较低现象；-10℃条件下CTOD值都>0.25，ENi1焊材CTOD最大值0.8293mm，ENi1K焊材最大值高达2.1658mm，远高于目标值0.25mm，质量指标方面两种焊材都能够满足项目建造要求。

从经济性分析，ENi1K焊材中Cr、Ni、Cu等贵金属成分高，焊材制造成本和价格较高，大批量使用时焊材成本较高。从焊接质量和焊材经济性综合考虑，选用ENi1焊材用于导管架桩腿建造。桩腿埋弧焊接如图2所示。

3. 对未来焊材研发和发展的期待和建议

随着深海开发的继续深入，海洋钢结构服役条件越来越恶劣，势必会对焊缝低温性能要求越来越高，焊材的生产过程和质量控制也会更加严格。

未来海洋工程用焊材应把握以下几点：

第一，注重焊材的实际使用要求。焊材质量的考察不能仅仅局限在试验室范围内，应该把企

业实际生产中的质量目标作为焊材质量考察标准，满足客户质量要求。

第二，兼顾焊材生产成本与焊接质量。海洋工程焊接质量要求高，焊材生产开发过程不能盲

目追加成本保证质量，更不能专注于成本而放弃质量要求，质量合格稳定并且价格适中的焊材最受企业青睐。

第三，改善药芯焊丝的烟尘和弧光辐射。药芯焊丝大电流焊接时，电弧刺眼、弧光辐射强，保护不到位易引起皮肤泛红、脱皮等症状；另外焊接烟尘多，易导致呼吸系统受损，危害个人健康和污染环境。

表3 埋弧焊低温冲击性能对比

试验温度/℃	试样尺寸/mm×mm×mm	焊材种类	取样位置	缺口位置/mm	冲击吸收能量/J			
					1	2	3	平均值
-40	55×10×10	ENi1	根部	焊缝中心	185	207	136	176
				熔合线+2	>300	>300	>300	>300
			面部	焊缝中心	125	169	133	142
				熔合线	140	226	195	187
				熔合线+2	205	>300	67	>191
				熔合线+5	>300	>300	219.3	>273
-40	55×10×10	ENi1K	根部	焊缝中心	146	188	208	181
				熔合线+2	372	348	300	340
			面部	焊缝中心	171	174	126	169
				熔合线	198	177	202	192
				熔合线+2	36	193	224	151
				熔合线+5	233	323	306	287

表4 埋弧焊CTOD性能对比

焊材种类	测试温度/℃	缺口位置	CTOD/mm	断裂形式	有效性
ENi1	-10	焊缝中心	0.4152	u	有效
			0.4573	u	有效
			0.8293	u	有效
ENi1K	-10	焊缝中心	1.2754	u	有效
			1.6429	m	有效
			2.1658	m	有效



图2 桩腿埋弧焊接

作者简介：张涛，深圳赤湾胜宝旺工程有限公司。 MW 20160403