

船舶焊接检验

陆 钧

(中国船级社舟山办事处, 浙江 舟山 316000)

摘要: 文章主要介绍了船舶焊接主要是焊缝检验的几种方法和要求, 及各种方法利弊的比较。

关键词: 船舶; 焊接; 检验

中图分类号: U672 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001 - 8328 (2004) 03 - 0024 - 04

Abstract: This paper introduces mainly the welding on ship, especially the several methods and demands for inspecting the welding seam, and gives a comparison between the advantages & disadvantages of various methods.

Key words: ship; welding; inspection

钢质海船建造初期, 船体结构中应用的主要是铆接结构, 但随着造船工艺不断地发展, 船体构件的连接, 几乎全部采用了焊接。由于船舶结构的复杂性及多样性, 其构件的连接数量大, 种类多。焊接质量的高低直接影响了船舶修造的质量与安全, 作为现场检验人员来说, 对船舶焊接的检验必须高度重视。

船舶焊接检验主要可分为以下几方面内容: 焊接材料的检验; 焊接工艺的认可; 焊接人员资格的确认及监督; 船体结构的焊接; 海上设施结构的焊接; 重要机件的焊接; 压力管系的焊接; 海底管系的焊接。

以上各部分的主要内容及要求可参见中国船级社 (1998) 《材料与焊接规范》等规范, 下面主要介绍作为现场一线的检验人员如何根据该规范的要求, 在修造船中做好焊接检验。

焊缝的检验包含内容较多, 包括焊缝的焊前检验、焊缝的焊接规格和表面质量检验、焊缝内部质量检验。

1 焊缝的焊前检验

焊接缝经定位焊后对其接缝间隙、坡口, 以及对接缝错边、定位焊质量及焊缝清洁状况等项目的检验称为焊缝的焊前检验。

焊缝的焊前检验为焊接提供符合质量要求的焊接坡口, 是确保焊接质量的基础。焊前检验内容、精度标准与检验方法, 涉及众多项目, 具体要求见

原中国船舶工业总公司《中国造船质量标准 CSQS (1998)》和国际船级社协会《船舶建设及修理质量标准》, 与焊接直接有关的要求, 见表 1。

焊缝焊前检验主要应该按船检认可焊接工艺规定, 检查接缝的间隙与坡口形状, 以确保焊缝能完全焊透, 达到工艺要求, 此外, 还应注意以下问题。

(1) 焊缝坡口区域的铁锈、氧化皮、油污、杂物及车间底漆应予清除, 并保持清洁和干燥。

(2) 当焊接必须在潮湿、多风或寒冷的露天场地进行时, 应对焊接作业区域提供适当地遮蔽, 一般强度船体结构钢如施焊环境温度低于 0℃、材料碳当量大于 0.41%、结构刚性较大、构件板较厚或焊段较短时, 应采取焊前预热措施。

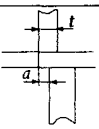
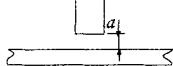

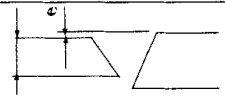

(3) 对高强度钢、铸钢和锻钢船体结构件的焊接应查阅所验船舶的有关工艺文件, 严格执行焊接引弧、定位焊要求、焊前预热及焊后保温或热处理等措施, 并满足船规的要求。

2 焊缝的焊接规格和表面质量检验

焊缝的焊接规格是指对接焊缝的型式与尺寸的规定。焊缝的型式有对接焊缝、角接焊缝、搭接焊缝与塞焊。其中角接焊缝型式中还分别有双面填角焊、双面全焊透角焊、交错断续角焊、链式断续角焊与挖孔焊等。焊缝表面质量检验是焊缝质量检验时首先应该检查的项目, 经检查合格后还要按要求抽样检查其内部质量, 最后进行焊缝的密性试验。

作者简介: 陆钧 (1968-), 男, 浙江舟山人, 大学本科, 高级工程师, 在读研究生, 主要从事船舶现场检验工作。

表 1 检验内容、精度标准与检验方法

检验内容			精度标准		检验方法
			标准	允许	
十字接头的 错位	 a 为错位量 t 为较薄板厚	主要构件	$a \leq 1/4t$	$a \leq 1/3t$	用焊缝量规与 短钢尺检验
		次要构件	$a \leq 1/3t$	$a \leq 1/2t$	
角缝的间隙	 a 为间隙		$a \leq 2.0$	$a \leq 3.0$	
搭接缝间隙	 a 为间隙		$a \leq 2.0$	≤ 3.0	
对接焊缝 的错边	 e 为错边量 t 为较薄的板厚	主要构件	$e \leq 0.1t$ 且 < 3.0	$e \leq 0.1t$ 且 < 3.0	
		次要构件	$e \leq 0.15t$ 且 < 3.0	$e \leq 0.2t$ 且 < 3.0	
手工焊根部 间隙	 a 为间隙		2.0 ~ 3.5	≤ 5.0	

这部分的检验，首先应熟悉焊接工艺文件，了解各种焊缝所在钢材的牌号及应选用的焊条牌号和焊接规格。还应了解各种焊缝的型式与标注方法，以及相关规范的要求。

(1) 下列船体结构施焊时是否采用了低氢焊条：船体分段的环形对接缝；船体大接缝处的纵桁材对接缝（海船）；具有较大刚度的构件，如首尾框架、艉轴架等，及其与外板结合船体骨架的接缝（海船）；桅杆、吊货杆、吊艇架、系缆桩、拖钩架等与其相连接的构件的焊缝；功率不小于 220kW 的主机基座及其相连的构件；碳当量大于 0.41 % 的钢材或高强度钢的焊接。

(2) 外形检验：焊缝外形应均匀，焊道与焊道、焊道与基体金属之间应平滑过渡，不得有截面的突然变化；焊缝的侧面角必须小于 90°；焊道表面凹凸，在焊道长度 25 mm 范围内，高低差不得大于 2 mm；对层焊表面重叠焊缝相交处下凹深度不得大于 1.5 mm；对接焊缝道宽度差，在 100 mm 范围内不得大于 5 mm；焊缝表面不得存在表面裂纹、烧穿、未熔合、夹渣和未填满的弧坑等；焊缝表面不允许有高于 2 mm 的淌挂的焊瘤；焊缝表面不允许存在由于熔化金属淌到焊缝以外未熔化的基本金属上的满溢；船体外板、强力甲板和舱口围板等重要部位的对接焊缝，咬边深度 d 允许值为：当板厚 6 mm 时， d 0.3 mm，局部 d 0.5 mm；当板厚 > 6 mm 时， d 0.5 mm，局部 d 0.8 mm。其他部位的对接焊缝及角接焊缝

的咬边深度 d 允许值为：当板厚 6 mm 时， d 0.5 mm；当板厚 > 6 mm 时， d 0.8 mm；船体外板、强力甲板和舱口围板等重要部位以及要求水密的焊缝不允许有表面气孔。

3 焊缝内部检验质量

焊缝内部质量检验应在焊缝焊接规格尺寸与表面质量检验所发现的缺陷修补完工，并复检合格后进行。

焊缝的内部质量可采用射线、超声波、渗透、磁粉等探伤或其他适当方法进行检验。另外水压、气压、煤油试验（实际上也是渗透探伤一种）也可作为一种内部焊缝质量检验的手段。

3.1 射线探伤、超声波探伤

焊缝的内部质量采用射线探伤、超声波探伤，具体的实施见以下规范和标准。中国船级社 2001《钢质海船入级与建造规范》；中国船级社 1996《钢质内河船入级与建造规范》；中国船级社 1998《材料与焊接规范》；原中国船舶工业总公司《中国造船质量标准 CSQS (1998)》；CB/ T323 - 87 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级；CB/ T3177 - 94 船舶钢焊缝射线照相和超声波检查规则；CB/ T3558 - 94 船舶钢焊缝射线照相工艺和质量分级；CB/ T3559 - 94 船舶钢焊缝手工超声波探伤工艺和质量分级。

以上规范和标准，主要体现在船厂技术部门编制的有关焊接工艺文件中，在现场检验的检验人员

主要是确定其工艺和计划是否经船检机构认可，另外还需要注意以下内容，在实际工作中，船厂特别是中小型船厂会经常疏忽。

(1) 无损探伤人员必须要有相应的资格。

(2) 被评定为不合格的焊缝，应及时返修，注意对返修工艺的控制和检验。

(3) 当无损探伤发现焊缝内部有不允许存在的缺陷，并认为该缺陷有可能延伸时，则应在其延伸方向（一端或两端）增加探伤数量，直至达到邻近合格的焊缝为止。

(4) 当所有被检焊缝的一次合格率低于 80 % 时，应对重要部位焊缝追加检查，其数量大约为 10 % ~ 20 %，并应对全部焊接工艺引起注意。

(5) 对焊缝无损探伤数量和位置的控制，特别应注意修船时也应参照执行。

船中 0.6 L 范围内强力甲板和外板的无损探伤数量 n 一般可按中国船级社规范规定的公式计算：

$$n = 0.25 (i + 0.1 W_T + 0.1 W_L)$$

式中： i 为船中 0.6 L 范围内纵横向对接焊缝交叉处的总数； W_T 为船中 0.6 L 范围内横向对接焊缝的总长，m； W_L 为船中 0.6 L 范围内分段合龙的纵向对接焊缝的总长，m。

船底，舷侧和甲板纵骨的对接接头，在 0.4 L 范围内每 10 个检查 1 个，0.4 L 范围内每 20 个检查 1 个。

除此之外，现场验船师还应根据船舶修造的具体情况，适当增加探伤数量。

(6) 射线拍片的布片密度应按钢材的材料级别从高到低递减，纵横向对接焊缝交叉处的布片方向应平行于横向对接焊缝。

(7) 对危险化学品船焊缝的无损探伤，尚应对下列部分进行无损探伤。液货舱舱壁板上所有的焊缝十字交叉处；液货舱边界焊缝应探测裂纹，探测的长度应至少为液货舱边界焊缝总长度的 10 %；当舷侧和船底纵骨以及纵舱壁水平扶强材在横舱壁处中断时，上述构件与横舱壁的焊缝应探测裂纹，探测的长度应至少为骨材与横舱壁连接焊缝总长度的 10 %；当纵向构件和纵舱壁水平扶强材连续地通过横舱壁时，其与横舱壁的焊缝应探测裂纹，探测的长度对舷侧和船底纵向构件至少为总长度 30 %，对纵舱壁水平扶强材至少为总长度的 20 %；当横向构件连续地穿过液货舱纵舱壁时，该构件与边界连接焊缝应探测裂纹，探测的焊

缝长度至少为总长度的 10 %。

射线探伤、超声波探伤、渗透探伤、磁粉探伤能较准确的检查到焊缝的内部和部分表面缺陷，但也存在着以下几方面的局限。

(1) 检测必须要有经专业培训人员进行。

(2) 检测面不广，不可能对所有焊缝检测到。

(3) 检测需要有定期检测的专业仪器。

(4) 检测工序复杂，时间较长。

(5) 对检测人员要求较高，难免有漏判现象。

针对以上的局限，目前大部分修造船厂采用射线探伤、超声波探伤、渗透探伤、磁粉探伤抽查，结合大规模水压、气压、煤油试验的办法，取得了很好的效果。我国现行规范及标准也提出了水压、气压、煤油试验的具体标准。

3.2 水压、气压试验

水压试验是传统的密性试验方法，根据不同的部位，按照有关规范要求将水压至规定的高度，使船体结构和焊缝处于一定的受压状态，然后检查有关结构和焊缝，确定具体的变形和渗漏。其不但可以检测到焊缝，也可以起到强度试验的效果，历来为船检机构所接受。船体水压试验部位参见表 2。

表 2 水压试验或空气气密试验要求

项 目	压力试验要求压力	空气气密试验要求压力
深舱、燃油舱、尖舱	至舱顶最高点以上 2.4 m	0.02 MPa
压载舱	至舱顶最高点以上 2.4 m	0.02 MPa
双层底舱、底边舱	最大工作压力或至溢流管顶，取大者	0.02 MPa
顶边舱	至舱顶最高点以上 2.4 m	0.02 MPa
边舱	最大工作压力或至溢流管顶，取大者	0.02 MPa
用于压载的货舱	至舱顶最高点以上 2.4 m(舱口除外)	不适用
液货舱	至舱顶最高点以上 2.4 m(舱口除外)	0.02 MPa (化学品船不适用)
隔离舱、空舱	至舱顶最高点以上 2.4 m(舱口除外)	0.02 MPa (化学品船不适用)
顶边舱 - 边舱 - 双层底组合舱	至舱顶最高点以上 2.4 m	不适用
舱叶、导流管	2.4 m 压头	0.02 MPa

水压试验尽管可靠、验收方便，但在执行中有较大的局限。

(1) 时间和人力的浪费很大，特别是试验容积较大的船舱时。

(2) 船舱中作试验用的水，往往是从为数不多而直径又不大的管路排出，因此排水时间很长。

(3) 经试验后，船舶和船台潮湿、较脏，试验结束后，搭在船舱内的脚手架和梯子湿滑，在未干

燥前舱内的施工和修正工作不便。

(4) 在试验时, 必须装置供水和排水系统。

(5) 当外面的气温和水温相差很大时, 船体外即挂有水珠, 对缺陷的判断带来一定的困难。

(6) 在发现缺陷时, 必须将试验舱内的水排尽, 并在缺陷消除后重新灌水。

(7) 室外温度在 0 以下时, 试验只可以用热水(效果也不好, 只能对容积较小的船舱进行试验)或者用不致金属生锈的不冻溶液(需经确认)。

(8) 作为焊缝检测手段, 还有一定的局限性。

针对水压试验存在的这些缺陷, 目前广泛采用了空气气密试验作为水压试验的替代, 试验压力可参见表 2。但目前我国的规范规定, 气压试验不能完全替代水压试验, 下列情况必须作水压试验。

(1) 如全部液舱均采用空气气密试验时, 则至少应对每种类型的液舱提供 1 个作水压试验。

(2) 如水压试验发现结构薄弱或严重缺陷或渗漏时, 则验船师可要求对所有液舱作水压试验。

规范中不允许气压试验完全替代水压试验, 这主要是从强度试验角度出发, 如单从焊缝密性试验角度出发, 是完全可以替代水压试验的, 这样在船舶修理时如必要就可用气压试验完全替代水压试验。气压试验同水压试验相比有其优越性, 但也应看到它的局限性。

(1) 部分舱室需另加装密封板。

(2) 对较大的舱室试验时, 充气时间较长。

(3) 检查人员工作量, 要比水压试验大。

(4) 在使用气压试验时, 通常辅以肥皂水以检测缺陷, 但对较大舱室, 查找缺陷比较困难。

(5) 在气温较低时, 需在肥皂水中添加防冻剂, 这就使得操作过程比较复杂。

(6) 如舱室密封不完全, 容易产生误检现象。

(7) 作为焊缝检测手段, 有一定的局限性。

用气密试验、气压试验可以用来检验焊缝的密性, 即检验是否有贯穿的裂缝、气孔等缺陷。但对于焊缝内部的缺陷如内部裂缝、非贯穿气孔及多孔、未焊透、未熔合等, 采用这些检验方法是不可能检查出来的, 就得借助射线、超声波等技术了。如果单纯就焊缝密性检验的角度出发, 笔者认为煤油试验可以替代大部分的气压试验、水压试验。煤油试验最简单、可靠, 又切实可行, 目前这种方法

在大多数修造船企业中广泛应用。

3.3 煤油试验

煤油试验是在船体检查面上涂以煤油, 利用煤油的渗透作用检查是否渗漏的试验。

其试验方法及注意事项, 大体介绍如下。

(1) 在检查面的焊缝上先涂白垩粉水溶液, 其宽度小于 40 mm, 干燥后进行试验, 若气温在 0 以下, 可用盐溶液或酒精作溶剂配制。

(2) 在检查面焊缝的反面涂上足够的煤油, 在试验过程中焊缝表面应保持煤油薄层。

(3) 合格标准。当周围气温在 0 以上时, 煤油试验持续时间可按表 3 规定, 当气温低于 0 时, 持续时间应适当延长。在达到规定持续时间后, 检查焊缝表面上的白垩粉表面, 应无渗出的煤油斑迹, 即为合格。

表 3 煤油试验持续时间

焊缝厚度 (mm)	持续试验时间 (min)			
	水平焊缝		垂直焊缝	
	水密	油密	水密	油密
6	20	40	30	60
7 ~ 12	30	60	45	80
13 ~ 15	45	80	60	100
> 25	60	100	90	120

我国现行标准规定, 在煤油试验时, 被试验的焊缝在检验一面应涂以白垩粉, 冬天还必须掺以不至损坏粉浆的防冻液。但据笔者多年来在修造船厂的试验来看, 在有缺陷的焊缝表面, 不涂上白垩粉, 黑色的油斑在金属表面上也能很清楚地呈现出来。因此, 笔者认为只要被试验焊缝足够干净, 在煤油试验时, 完全可以不涂白垩粉。这样可以省去多余的工序, 提高效率, 在冬季寒冷期间, 由于廉价而又不冻溶液难以买到, 这又可以给企业解决一个实际困难。请现场检验人员实际掌握。

在实际煤油试验操作中, 还应注意: 可能对部分角焊缝有漏检现象; 对部分线型较复杂处, 操作较困难; 与水压试验相比, 比较不直观, 对实际检验人员的责任心要求较高。

文中列举了焊缝检验试验的基本知识, 着重探讨了焊缝试验的几种方法。随着科学技术的发展, 焊接学科也会不断提高、更新, 我们只有不断地学习新技术, 积累实际经验, 才能把工作做得更好。

收稿日期: 2003 - 06