



中国船级社

钢质内河船舶建造规范

2026

第7篇 材料与焊接

目 录

第1章 通则.....	7-1
第1节 一般规定.....	7-1
第2章 材料.....	7-3
第1节 一般规定.....	7-3
第2节 船体结构用钢.....	7-3
第3节 舵杆用材料.....	7-4
第4节 铜质螺旋桨.....	7-5
第3章 船体结构的焊接.....	7-7
第1节 一般规定.....	7-7
第2节 焊缝设计.....	7-8
第3节 主要部位的焊接.....	7-14
第4节 焊缝质量检查与修补.....	7-16
第5节 钢质双体船连接桥和抗扭箱的焊接.....	7-17
第4章 重要机件的焊接.....	7-19
第1节 通则.....	7-19
第2节 轴系的焊接.....	7-19

第 1 章 通则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于内河船舶所用材料和船体结构及主要机件的焊接。

1.1.1.2 本篇未明确规定者，应符合本社《材料与焊接规范》的有关规定。

1.1.2 材料

1.1.2.1 船用材料及其产品，均应由本社认可的制造厂生产并盖有本社的印记，在加工或安装上船以前，应具备本社出具的合格证书。

1.1.2.2 生产材料或产品的工厂应具备必需的生产和试验设备，并具有完善的质量保证体系。

1.1.3 焊接材料

1.1.3.1 用于船体结构、锅炉、压力容器及主要机件、管系等焊接的焊条、焊丝、焊剂等焊接材料应符合我社《材料与焊接规范》的有关规定，并经本社认可。

1.1.3.2 焊接材料的贮存、运输、焊前处理（包括焊条和焊剂烘干、焊丝除锈、气体干燥）和使用应符合焊接材料制造厂使用说明书的要求。

1.1.4 焊接设备

1.1.4.1 焊接用的设备和装置应具有良好的操作性并保持有效的工作状态。

1.1.5 焊接工艺认可

1.1.5.1 在开工建造前，工厂应结合本厂的技术条件和生产经验，制定详细的焊接工艺汇总表，并提交验船师认可。汇总表中应针对建造中焊缝出现于结构与结点的不同位置、形式和尺寸，列出拟使用的焊接工艺规程的名称和编号。

1.1.5.2 对未曾批准过的工艺，制造厂应制定详细的工艺规程并提交本社认可，工艺认可试验合格后方可使用。

1.1.5.3 提交认可的焊接工艺规程应包括下列内容：

- (1) 母材的钢种、钢级和厚度以及交货状态；
- (2) 焊接材料（焊条、焊丝、焊剂和保护气体）的型号、等级和规格；
- (3) 焊接设备的型号和主要性能参数；
- (4) 坡口设计和加工要求；
- (5) 焊道布置和焊接顺序；
- (6) 焊接位置（平、竖、横、仰焊等）；
- (7) 焊接参数（焊接电流、电弧电压、焊接速度和保护气体流量）；
- (8) 焊前预热和道间温度、焊后热处理及焊后消除应力的措施等；
- (9) 施焊环境：现场施焊或车间施焊。
- (10) 其他有关的特殊要求。

1.1.5.4 一般在采用新材料，新工艺或原工艺规程的参数有所改变，且可能影响结构性能（如改变焊接的电参数）或接头型式等，应进行焊接工艺试验，以证实该焊接工艺的适用性。

1.1.5.5 焊接工艺认可试验应在验船师在场时进行。试验结果应记入工艺试验报告，随认可工艺规程一起提交本社认可。

1.1.5.6 如焊接工艺业经本社认可，则以后按此工艺施工时，可免作焊接工艺认可试验。当工厂对已批准的焊接工艺规程进行改动时，应将所有改动的细节向本社报告。本社根据改动的具体内容决定是否重做焊接工艺认可试验

1.1.5.7 认可焊接工艺的适用范围和焊接工艺认可试验应符合我社《材料与焊接规范》的有关规定。

1.1.6 焊工能力认证

1.1.6.1 为保证焊接质量，各船舶、船用产品的制造厂的焊工应按本社《材料与焊接规范》的有关要求参加焊工能力认证。只有持有本社颁发或承认的《焊工能力认证证书》的焊工方可从事与其证书相应的焊接工作。

1.1.7 无损检测

1.1.7.1 无损检测人员应持有本社颁发或认可的《无损检测人员水平认可证书》，并从事与证书的种类或等级相符的无损检测工作。

1.1.7.2 工厂应具有健全的质量保证管理机构，并能有效地运行。重要焊缝应经有经验的焊接检验员监督施焊，以确保焊接质量。

1.1.8 图纸和资料

1.1.8.1 船舶建造开工前，应提交以下资料以备验船师审查：

- (1) 主要结构及部件焊接规格（包括焊缝形状及尺寸）；
- (2) 焊接材料；
- (3) 焊接工艺（包括预热、焊接热输入、焊接层数、焊接顺序、焊后热处理等）；
- (4) 无损检测图。

第 2 章 材料

第 1 节 一般规定

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本章规定了内河船舶船体结构、舵杆、螺旋桨等所用材料的技术要求。

2.1.1.2 新材料、新产品应经本社认可后方可装船使用。

2.1.2 试验和检验

2.1.2.1 材料和产品应经本社验船师检验并签发相应证书，其试验和检验应符合本社《材料与焊接规范》的相应要求。

2.1.3 缺陷的修整

2.1.3.1 轻微的表面缺陷可以用机械方法去除。在适当的条件下，经本社验船师同意，也可采用焊接方法修补缺陷。必要时，验船师可要求对已受影响区域进行适当的无损检测，以证明缺陷已全部消除。

第 2 节 船体结构用钢

2.2.1 适用范围

2.2.1.1 内河船舶船体结构用钢应符合本节规定。

2.2.2 一般要求

2.2.2.1 船体结构用钢的脱氧方法、化学成分、热处理和力学性能等应符合本社《材料与焊接规范》第1篇第3章的规定，各钢级的强度级别见表2.2.2.1。

表2.2.2.1

钢级	屈服强度 R_{eH} (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)
A、B、D、E	235	400-520
AH32、DH32、EH32、FH32	315	440-570
AH36、DH36、EH36、FH36	355	490-630
AH40、DH40、EH40、FH40	390	510-660

2.2.2.2 船体结构用钢的制造、厚度公差、试验和检验等应符合本社《材料与焊接规范》第1篇的有关规定。

2.2.2.3 经船舶所有人申请并经本社同意，对于不参与总纵强度的次要构件及不参与总纵强度的上层建筑，可以采用2.2.2.1以外的材料，但应成批进行化学成分和力学性能检验，其化学分析和力学性能试验结果应符合本社《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节中对A级钢的规定。

2.2.3 船体结构用钢的钢级要求

2.2.3.1 船体结构用钢一般采用A级钢。当船长大于等于120m时，其船中部0.4L区域的钢材等级应符合表2.2.3.1的要求。

表2.2.3.1

构件名称	板厚 t (mm)						
	$t \leq 15$	$15 < t \leq 20$	$20 < t \leq 25$	$25 < t \leq 30$	$30 < t \leq 35$	$35 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$
舳列板、舷侧顶列板、甲板边板	A	B	D	D	E	E	E
舷侧外板	A	A	A	A	B	B	D
甲板、船底板（包括平板龙骨）	A	A	B	D	D	D	E
大舱口船舱口角隅处强力甲板板	A	B	D	D	E	E	E
连续的纵向舱口围板	A	B	D	D	E	E	E

2.2.3.2 船体结构用钢如采用高强度钢时，一般采用AH级钢。当船长大于等于120m时，其船中部0.4L区域的钢材级别应符合表2.2.3.2要求。

表2.2.3.2

构件名称	板厚 t (mm)			
	$t \leq 20$	$20 < t \leq 30$	$30 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$
舳列板、舷侧顶列板、甲板边板	AH	DH	EH	EH
舷侧外板	AH	AH	AH	DH
甲板和船底板（包括平板龙骨）	AH	DH	DH	EH
大舱口船舱口角隅处强力甲板板	AH	DH	EH	EH
连续的纵向舱口围板	AH	DH	EH	EH

2.2.4 冷藏舱室结构的钢级要求

2.2.4.1 当冷藏舱室内结构的最低设计温度低于 0°C 时，除符合本节2.2.2要求外，其甲板板、甲板纵桁腹板、与甲板连接的纵舱壁上列板、以及支承舱口盖的承梁及其面板，所选用的钢材级别一般应符合表2.2.4.1的规定。

冷藏舱内结构用钢的钢级

表2.2.4.1

板厚(mm)	$0 \sim -10^{\circ}\text{C}$		$-11^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$		$-26^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$	
	一般强度钢	高强度钢	一般强度钢	高强度钢	一般强度钢	高强度钢
$t \leq 12.5$	B	AH	D	DH	E	EH
$12.5 < t \leq 25.5$	D	DH	E	EH	特殊考虑 ^①	特殊考虑 ^②

注：① 一般可用奥氏体不锈钢。

② 一般可用 FH 钢级。

2.2.4.2 决定冷藏舱甲板的最低设计温度可以按温度梯度计算法确定，也可按表2.2.4.2确定。若有关的内部舱室之一为非冷藏舱时，则该舱的温度应取为 5°C 。

冷藏舱甲板的设计温度

表2.2.4.2

序号	布 置	甲板温度
1	冷藏舱内甲板无绝缘材料覆盖时	以冷藏舱内温度计算
2	甲板在冷藏舱内的一面用绝缘材料覆盖，而另一面无绝缘时。	以无绝缘材料一面的温度为准
3	甲板的两面均有绝缘材料覆盖： (1) 温差 $\leq 11^{\circ}\text{C}$ 时 (2) $11^{\circ}\text{C} < \text{温差} \leq 33^{\circ}\text{C}$ 时	以甲板上方和下方两舱内的平均温度计算 以甲板上方和下方两舱内的平均温度减去 3°C 后计算

第 3 节 舵杆用材料

2.3.1 适用范围

2.3.1.1 非焊接连接方式的内河船舶舵杆用材料应符合本节的规定。

2.3.1.2 本节未规定的舵杆材料应符合本社《材料与焊接规范》的有关规定。

2.3.2 化学成分

2.3.2.1 舵杆用锻钢材料，其熔炼分析化学成分应符合表2.3.2.1的规定。

表2.3.2.1

C	Si	Mn	S	P	残余元素 ^①		
					Cu	Cr	Ni
≤ 0.39	0.17~0.37	0.5~0.8	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.30

注：① 残余元素总含量应不超过0.80%。

2.3.3 热处理

2.3.3.1 锻钢件应进行正火或正火加回火处理（回火温度应不低于 550°C ）。

2.3.4 力学性能

2.3.4.1 锻钢件试样取样方法应符合本社《材料与焊接规范》第1篇第5章的要求。

2.3.4.2 锻钢件的拉伸试验和冲击试验结果应符合表2.3.4.2的要求。

表2.3.4.2

抗拉强度 R_m (MPa)	屈服强度 R_{eH} (MPa)	伸长率 A_5 (%)	断面收缩率 Z (%)	夏比 V 型缺口冲击试验平均冲击功不小于(J) ^{①②}
		纵向	纵向	
≥440	≥220	≥24	≥50	27
≥480	≥240	≥22	≥45	
≥520	≥260	≥21	≥45	

注：① 夏比V型缺口冲击试验环境温度应为0℃；
② 根据设计和应用，经本社同意可接受其他验收要求。

2.3.5 无损检测

2.3.5.1 舵杆的无损检测应符合本社《材料与焊接规范》第1篇第5章的要求。

2.3.6 修复

2.3.6.1 舵杆在船舶营运中产生的磨损、腐蚀或纵向裂纹的修复应经本社同意；如需采用焊补方法，当材料的碳当量按下式计算所得之值大于0.41%时，其焊接工艺应经认可。焊接工艺应考虑预热、层间温度控制和焊后热处理等。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (%)$$

2.3.6.2 修复后应对修复区域进行外观检查和相应的无损检测。

2.3.7 热轧圆钢

2.3.7.1 当用热轧圆钢制造舵杆时，其直径不应超过150mm。

2.3.7.2 每根热轧圆钢均应进行检验，其化学成分、热处理、力学性能、无损检测和修复应符合本节的规定。

第 4 节 铜质螺旋桨

2.4.1 适用范围

2.4.1.1 本节适用于黄铜合金铸造螺旋桨，包括桨毂和桨叶。

2.4.1.2 青铜合金铸造螺旋桨的制造、试验和检验应符合本社《材料与焊接规范》的有关规定。

2.4.2 化学成分

2.4.2.1 铜质螺旋桨及其部件应逐炉进行化学成分分析，其结果应符合表2.4.2.1的规定。

表2.4.2.1

铜合金种类	化学成分(%)							
	Cu	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb
锰黄铜	55~59	≤1.0	3~4	余量	0.5~1.5	-	<0.5	≤0.1
铝黄铜	67~70	4.5~6.0	2.0~3.0	余量	2.0~3.0	-	<0.5	≤0.1

2.4.3 力学性能

2.4.3.1 铜合金螺旋桨铸件试样应符合本社《材料与焊接规范》第1篇第9章的有关规定。

2.4.3.2 铜合金螺旋桨铸件力学性能应符合表2.4.3.2的规定。

表2.4.3.2

合金类型	抗拉强度 R_m N/mm ²	断后伸长率 A_5 %
锰黄铜	≥440	≥20
铝黄铜	≥610	≥15

2.4.4 金相组织检查

2.4.4.1 黄铜合金螺旋桨产品应逐炉进行金相检验，测定α相的比例。α相的比例应取5次读数的平均值，测定结果应不低于20%。

2.4.5 试验和检验

2.4.5.1 铜质螺旋桨的宏观检查、无损检测和静、动平衡试验等应符合本社《材料与焊接规范》第 1 篇第 9 章的有关规定。

第3章 船体结构的焊接

第1节 一般规定

3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章规定适用于船体结构的焊接和检验。

3.1.2 焊接工艺

3.1.2.1 坡口加工应准确定位，装配合拢时，应符合线型要求，不宜强制成型，以避免构件内部存在较大的内应力。若待焊部位坡口或装配间隙过大必须修正时，应征得本社验船师的同意。

3.1.2.2 定位焊的数量应尽量减少，定位焊的焊接材料应采用与焊接时同一级别的焊接材料。对有缺陷的定位焊在施焊前应予以除尽；在去除定位焊和马脚时，应保证母材不受损伤。

3.1.2.3 焊件接缝处的表面应保持清洁、干燥、无氧化物和杂物。在进行多道焊时，应彻底去除和清洁层间熔渣。在进行封底焊前，应在背面根部铲根。

3.1.2.4 当焊接无法避免在潮湿、多风和寒冷露天进行时，应有适当的遮蔽和防护措施。对于环境温度低于0℃时，船体结构的焊接还应遵守以下规定：

(1) 结构进行定位焊时，要加大电流，减慢焊速，适当增大焊段的长度（一般为常温时的1.5~2倍）、熔深及剖面积以保证熔合良好；

(2) 在施焊前，对焊缝两侧各100mm宽度内进行干燥；

(3) 焊接时的电流强度一般要比常温下略有提高，而且焊接必须连续进行，多层焊层间应连续焊完。若受条件限制不能连续焊完，且焊肉的高度未达到母材板厚的一半时，即必须采取保温缓冷措施；

(4) 禁止用锤击法矫正焊接结构。

3.1.2.5 对接焊缝，手工焊时，材料厚度小于或等于4mm，半自动焊和自动焊时，材料厚度小于或等于6mm，可不开坡口。超过上述板厚规定的，应根据不同的焊接方法，采用单面或双面坡口的型式进行焊接。

3.1.2.6 除焊接工艺规程经本社认可用于单面焊之外，所有的对接焊缝均应在其背面根部铲根，进行封底焊。

3.1.2.7 若全焊透对接焊缝因结构原因无法进行封底焊时，经本社验船师同意，允许加固定垫板进行对接焊，此种接头的坡口型式及装配间隙应保证其在垫板上能完全焊透。

3.1.2.8 对接缝与角接缝相交时，对有密性要求的，应将交叉处母材平面的对接焊缝的增强高铲平；对无密性要求的，应将跨过对接焊缝的构件边缘挖孔（通焊孔），使构件与板材贴紧。

3.1.3 焊接材料

3.1.3.1 船体结构所选用的焊接材料的级别应与船体结构用的钢材级别相适应，并符合表3.1.3.1的规定。

表3.1.3.1

焊接材料 级别	船体结构钢级												
	A	B	D	E	AH32	DH32	EH32	AH36	DH36	EH36	AH40	DH40	EH40
1	X												
2	X	X	X										
3	X	X	X	X									
1Y	X				X②			X②					
2Y	X	X	X		X	X		X	X				
3Y	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
4Y	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
2Y40	①	①	①		X	X		X	X		X	X	
3Y40	①	①	①	①	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4Y40	①	①	①	①	X	X	X	X	X	X	X	X	X

注：“X”为适用钢级。

① 在普通强度结构钢焊接中不宜采用过高强度级别的焊接材料。

② 当采用1Y级焊接材料焊接时，母材的厚度不大于25mm。

3.1.3.2 当被焊接的两块母材强度级别不同时，除在结构不连续处或应力集中区域内应选用较高强度等级的焊接材料外，一般可选用与较低强度级别母材相适应的焊接材料。当母材的连接强度相同，韧性级别不同时，除结构受力情况复杂或施工条件恶劣者外，一般可选用与较低韧性级别相适应的焊接材

料。

3.1.3.3 下列钢质船舶构件和结构焊接时应采用低氢型焊接材料：

- (1) 船体大合拢时的环形焊缝和纵桁材对接缝；
- (2) 起重桅柱、吊货杆、吊艇架、拖钩架、尾轴架、油船上的系缆桩等以及与其相连接的构件的焊缝；
- (3) 主机功率大于等于220kW的基座及其相连接的构件。

第2节 焊缝设计

3.2.1 适用范围

3.2.1.1 本节适用于船体结构和构件的焊缝设计，特殊结构应另行考虑。

3.2.2 一般规定

3.2.2.1 船体各种焊接结构上的焊缝，应避免布置在应力集中区域，在结构剖面突变处应有足够的过渡区域，尽量避免焊缝过分集中。结构焊缝的布置还应考虑便于焊工施焊，施焊的焊缝位置尽可能采用平焊。

3.2.2.2 船体结构中的平行焊缝应保持一定的距离，对接缝之间的平行距离应不小于80mm，且尽量避免尖角相交；双体船的连接桥甲板及抗扭箱上封板与片体甲板的纵向对接缝距连接桥与片体的交界处的距离应不小于200mm；对接焊缝与角焊缝之间的平行距离应不小于30mm。

3.2.2.3 外板、甲板的端接缝不应直接布置在大开口的角隅处和上层建筑的端部，外板和底板的端接缝不应直接布置在主机座两端。此类接缝距离上述位置的横边应不小于500mm。

3.2.2.4 船体主要结构的连接，可以采用对接焊，也可以采用搭接焊，除另有规定外，船体外板、甲板、内底板、舱壁板、舱口围板之间的连接及抗扭箱的板材、型材端接处应采用对接焊。

3.2.2.5 船体结构主要构件焊接的细节，包括焊缝型式和尺寸，应在提交审核的图纸上或焊接规格明细表中清楚地标明。

3.2.3 对接与搭接焊缝

3.2.3.1 不同厚度钢板进行对接时，若其厚度差大于等于4mm，则应将较厚板的边缘削斜，使其均匀过渡，削斜宽度应不小于厚度差的3倍。

3.2.3.2 除能保证完全焊透者外，对接焊件的对接边缘应开角度在40°~60°之间的单面或双面坡口。

3.2.3.3 全焊透对接焊缝因结构原因而无法进行封底焊时，允许加固定垫板进行对接焊。但焊缝接头的坡口形式及装配间隙应保证熔敷金属与垫板能完全熔合。

3.2.3.4 承受高拉伸应力或压缩载荷部位的板一般不采用搭接焊连接。当采用搭接焊缝时，焊接系数取0.44，搭接宽度 b 应不小于按下式计算所得之值（但也不应大于45mm）：

$$b = 2t + 15 \quad \text{mm}$$

式中： t ——搭接接头中较薄板的厚度，mm。

3.2.3.5 型钢骨材用搭接焊时，两侧的角焊缝须连续并包角。油船舷侧结构不宜采用搭接。

3.2.4 塞焊与点焊

3.2.4.1 圆孔塞焊应按图3.2.4.1所示尺寸开孔。圆孔塞焊的间距应不大于10倍圆孔直径。

3.2.4.2 长孔塞焊应按图3.2.4.2所示，长孔塞焊的开孔长度 l 应不小于75mm，孔的宽度应不小于板厚的2倍，孔端部呈半圆形。相邻孔缘的距离应不大于长孔长度的2倍。通常长孔塞焊时不必在孔内塞满熔敷金属。

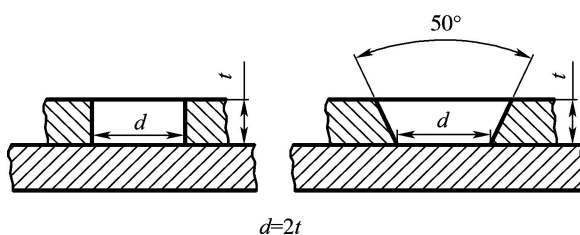


图3.2.4.1

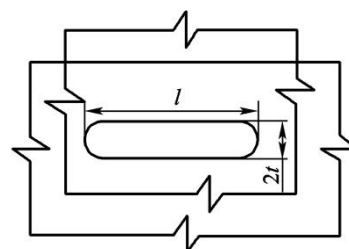


图3.2.4.2

3.2.4.3 船中部区域内，双层底结构的内底板与实肋板及底纵桁的连接不允许采用塞焊。

3.2.4.4 板厚小于4mm的次要结构，如上层建筑（或甲板室）的非主要支撑性内围壁以及顶层上层建筑（或甲板室）围壁等与普通扶强材的连接，可采用单面或双面交错点焊。其直径 d 和点距 l 应符合图3.2.4.4的规定。

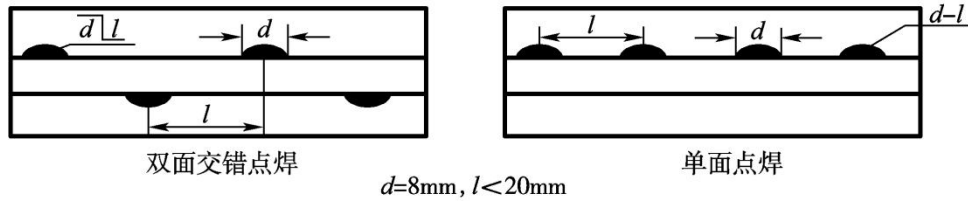


图3.2.4.4

3.2.5 填角焊缝

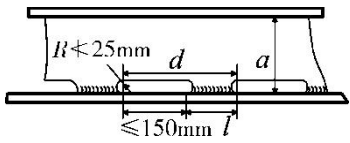
3.2.5.1 板与板、板与型材的“T”形连接应采用填角焊缝。当构件承受高应力时，必须采用双面填角焊、深熔角焊或全焊透角焊。全焊透角焊系指在角焊缝处必须开坡口的焊透角焊。

3.2.5.2 船体角焊缝可按表3.2.5.2所列形式选用，若采用其他角接形式应经本社同意。

角焊缝的型式

表3.2.5.2

序号	角焊缝名称	焊缝图示	备注
1	双面填角焊缝		为双面连续角焊缝的一种，用于一般结构 K ——焊脚高度 h ——焊喉厚度
2	双面深熔角焊缝		为双面连续角焊缝的一种，用于受应力较大的结构
3	双面全焊透角焊缝		为双面连续角焊缝的一种，用于受高应力的结构
4	单面连续角焊缝		上层建筑，或施工受限的情况下可考虑使用该焊接形式
5	交错间断角焊缝		间断角焊缝两端部位连续包焊 l ——焊缝长度 e ——焊缝间距 d ——焊缝节距
6	链式间断角焊缝		间断角焊缝两端部位连续包焊 l ——焊缝长度 e ——焊缝间距 d ——焊缝节距
7	一面连续角焊缝一面断续角焊缝		间断角焊缝两端部位连续包焊 l ——焊缝长度 e ——焊缝间距 d ——焊缝节距

序号	角焊缝名称	焊缝图示	备注
8	挖孔焊	 <p>挖孔高 $\geq 0.25a$ 或 75mm, 取小者</p>	孔端部周围应连续包焊

3.2.5.3 船体结构下列部位的角焊缝应采用双面连续角焊缝:

(1) 风雨密甲板和上层建筑、甲板室外围壁边界的角焊缝, 包括舱口围板、升降口和其他开口处围板的角焊缝;

- (2) 液体舱、水密舱室的周界;
- (3) 基座和支承结构的连接处;
- (4) 装载化学品、食用液体的货舱及淡水舱内的所有角焊缝;
- (5) 中桁材与平板龙骨的连接;
- (6) 双层底内支撑舱壁的肋板和桁材与内、外底板的连接;
- (7) 扁钢型纵骨与板的连接;
- (8) 主机基座纵桁腹板与其水平面板及内外底板;
- (9) 厨房、配膳室、洗衣室、浴室、厕所等处所的围壁下缘与甲板的连接;
- (10) A级防火结构周界的角焊缝;
- (11) 蓄电池间、油漆间等处所周界的角焊缝;
- (12) 设备、甲板机械及系缆桩等系泊设备底座下构件的(加强区域内)角焊缝;
- (13) 高强度钢角焊缝, 以及在高强度钢板上安装附件和连接件时的角接焊缝;
- (14) 其他特殊结构。

3.2.5.4 船体角焊缝的尺寸, 应符合下述要求:

(1) 角焊缝的焊喉厚度 h 按下式计算所得:

$$h = C W_r t_p \frac{d}{l} \quad \text{mm}$$

式中: t_p ——角焊缝连接构件中较薄一块板的厚度, mm。

d ——焊缝节距, mm; 指间断角焊缝中, 前一条焊缝的起始处至后一条焊缝的起始处的长度。如本节表 3.2.5.2 序号 5、6、7、8 中所示; 若角焊缝为连续焊缝时, 令 d 等于 l ;

l ——焊缝长度, mm; 指焊缝的连续长度, 但不应小于 75mm;

W_r ——焊接系数, 船体结构的焊接系数按表 3.2.5.4 选取, 当采用单面连续角焊缝时焊接系数取表中数值的 2 倍;

C ——修正系数, 使用普通钢时, C 值取 1, 使用高强度钢时, C 值取 1.1。

(2) 填角焊缝的焊脚高度 K 应不小于按下式计算所得之值:

$$K = \sqrt{2}h \quad \text{mm}$$

式中: h ——角焊缝焊喉厚度, mm。

焊接系数

表3.2.5.4

序号	连接构件名称	焊接系数	备注
I	一般结构		
1	密性板材(包括桁材和肋板等)的周界	0.34	
2	非密性板材周界	0.13	
3	板格加强筋	0.10	
4	搭接焊缝	0.27	
5	扁钢型纵骨与板	0.21	

序号	连接构件名称	焊接系数	备注
II 双层底			
1	非密性中桁材与平板龙骨	0.27	
	与内底板	0.21	
2	中桁材与水密肋板	0.34	
	与实肋板	0.21	
3	实肋板与内外底板	0.16	端部 0.2 跨距长度内, 取 0.21
	与纵舱壁	0.34	
4	旁桁材与内外底板	0.16	端部 0.2 跨距长度内, 取 0.21
	与实肋板	0.21	
	与水密肋板	0.27	
5	纵骨与内外底板	0.13	
6	组合肋板与内外底板	0.13	
7	内底边板与外板	0.34	
8	内舷板(或纵舱壁)与内底板或外底板	0.44	
9	支撑舱壁的肋板和桁材与内、外底板	0.44	
III 单层底			
1	中内龙骨与平板龙骨	0.27	
	与其面板	0.21	
2	实肋板与中内龙骨及纵舱壁	0.27	
	与外板	0.16	端部 0.2 跨距长度内, 取 0.21
	与其面板	0.13	
3	旁内龙骨与外板	0.16	端部 0.2 跨距长度内, 取 0.21
	与其面板	0.13	
	与实肋板	0.27	
4	中内龙骨、旁内龙骨与横舱壁	0.34	
5	首、艉尖舱、深水舱内肋板与外板	0.21	
6	船底纵骨与外板	0.13	
7	底肋骨与外板	0.13	
8	内舷板(或纵舱壁)与船底板	0.44	
IV 舷侧骨架			
1	强肋骨、主肋骨、舷侧纵桁腹板与外板	0.16	
	与其面板	0.13	
2	肋骨与外板	0.13	
3	舳肘板与内底边板或实肋板 与外板	0.34	
4	舷侧纵桁与横舱壁	0.27	
5	纵骨与外板	0.13	
6	强肋骨、主肋骨与舷侧纵桁	0.27	
7	内舷强肋骨、主肋骨、舷侧纵桁与内舷板 与其面板	0.16	
8	内舷肋骨、内舷骨纵骨与内舷板	0.13	
9	首、艉尖舱、深水舱内肋骨、纵骨与外板; 强肋骨腹板与其面板	0.21	
V 甲板及其支承结构			
1	悬臂梁与甲板	0.44	
	与面板	0.21	

序号	连接构件名称	焊接系数	备注
2	强横梁与甲板及其面板	0.16	
3	横梁与甲板	0.21	甲板货船
		0.13	其他
4	深水舱、尖舱内横梁与甲板	0.21	
5	甲板纵骨与甲板	0.21	甲板货船
		0.13	其他
6	甲板纵桁与甲板板以及与其面板	0.21	
7	甲板纵桁与横舱壁	0.27	
8	支柱两端与其构件	0.34	
9	内舷板（或纵舱壁）与甲板	0.44	
VI	舱壁与轴隧		
1	水密舱壁的周围与其相连部分	0.44	
2	轴隧及内底板或外板与舱壁	0.34	
3	非水密舱壁的周围与其相连部分	0.13	
4	所有舱壁与其扶强材	0.13	
5	舱壁水平桁及垂直桁与舱壁及其面板	0.21	
6	纵舱壁与横舱壁	0.34	
VII	油船、散装化学品船液货舱区域		
1	底部主要构件之间的连接	0.44	
2	甲板主要构件之间的连接	0.34	
3	密性舱壁周界	0.44	
4	非密性舱壁周界	0.21	
5	强肋骨、舷侧纵桁与外板	0.27	
6	舷侧肋骨与外板	0.21	
7	船底纵骨与外板	0.21	在船首 0.25L 区域
8	甲板纵骨与甲板	0.21	
VIII	机舱结构		
1	非密性中桁材（或中内龙骨）与平板龙骨和内底板	0.27	
2	非密性中桁材（或中内龙骨）与实肋板	0.27	
3	中内龙骨与其面板	0.27	
4	实肋板、旁桁材（旁内龙骨）与内外底板	0.21	
5	旁桁材（旁内龙骨）与实肋板	0.27	
6	旁内龙骨、实肋板与其面板	0.21	
7	主机座纵桁腹板与其面板	0.44	腹板厚度 $\geq 12\text{mm}$ 时全焊透
8	主机座纵桁腹板与外板和内底板	0.44	
9	主机座纵桁与实肋板	0.27	
10	主机座纵桁与肘板、隔板	0.21	
11	纵向或横向普通骨材与外板	0.13	
IX	甲板及舱口		
1	强力甲板的甲板边板与舷侧顶列板	0.44	船中部 0.4L 板厚 $\geq 12\text{mm}$ 时全焊透
2	强力甲板与内舷板	0.44	大舱口船中部 0.4L 区域全焊透
	与纵通舱口围板	0.44	
3	其他甲板对外板和舱壁板（液舱边界除外）	0.21	
4	甲板与非纵通舱口围板	0.34	角隅处取 0.44
5	甲板与舱口端梁	0.27	

序号	连接构件名称	焊接系数	备注
6	甲板与舱口纵桁	0.34	
7	纵通舱口围板与其面板	0.34	
8	非纵通舱口围板与其面板	0.27	
9	舱口围板与其垂直桁、水平桁	0.27	
10	舱口围板与其水平扶强材	0.13	
X	上层建筑与甲板室		
1	外围壁与甲板	0.34	第一层
		0.21	其余各层
2	内隔壁与甲板	0.13	
3	围壁间的连接	0.21	
4	甲板横梁、纵桁与甲板	0.13	
5	围壁板与其扶强材	0.13	
XI	舵		
1	内部隔板与舵叶板	0.44	
2	舵叶板与内部隔板的长孔塞焊	0.44	
3	组合下舵杆与舵叶顶板	0.44	连续焊
XII	舾装设备及其他		
1	桅、起重柱等与甲板	0.44	全焊透
2	甲板机械基座与甲板	0.34	
3	系缆桩等系泊设备底座与甲板	0.34	
4	工程船专用设备底座与船体结构	0.34	
5	舳龙骨与外板	0.34	
6	人孔盖围槛与甲板、内底板和舱壁板	0.21	
7	外板或风雨密围壁上的门框结构	0.34	
9	水密门上的加强筋	0.21	
10	通风筒、空气管等的围板与甲板	0.21	
11	通风筒等附件	0.21	
12	流水管及排水管与甲板	0.44	
13	舷墙和栏杆的支柱等与甲板	0.34	
14	跳板强横梁、强纵桁与跳板甲板	0.34	
15	跳板强横梁、强纵桁与其面板	0.34	
16	跳板纵骨与跳板甲板	0.21	
17	跳板边桁材与跳板甲板	0.34	
XIII	双体船连接桥和抗扭箱		
1	连接桥强横梁腹板与甲板及其面板	0.27	
2	连接桥横梁与甲板	0.21	
3	首、尾抗扭箱构件与甲板及端部封板	0.34	
4	甲板纵桁腹板与甲板及其面板	0.27	
5	连接桥甲板纵骨与甲板	0.21	
6	首、尾抗扭箱底封板与片体侧板（单面满焊）	0.34	
7	连接桥强横梁腹板与片体舷侧	0.34	
8	连接桥纵桁腹板与强横梁腹板及抗扭箱前后封板	0.34	
9	纵隔板与横隔板及前后封板	0.34	
10	纵、横隔板与上下封板	0.27	

3.2.5.5 所有角焊缝焊脚高度K值应不小于3mm。当采用认可的单道自动深熔焊工艺时，焊脚高度可取计算值的85%，但仍应不小于3mm。

3.2.5.6 凡焊缝长度在300mm以内者，则一律采用连续焊。骨材端面与板（如有时）、肘板与板或构件的焊接，采用双面连续焊，焊接系数取0.34。

3.2.5.7 当船体构件采用间断角焊缝时，对下列部位在包角焊缝的规定长度内应采用双面连续角焊缝：

- (1) 骨材的端部，应为连续包角焊，其包角焊缝的长度应为骨材的高度或不小于75mm，取其大者；
- (2) 骨材端部削斜时，其加强焊长度应不小于削斜长度；骨材端部以焊接固定时，其加强焊长度应不小于骨材高度；
- (3) 各种构件的切口、切角、开孔（如流水孔、透气孔等）的两端，应按下述规定进行包角焊：当板厚大于12mm时，包角焊缝的长度应不小于75mm，板厚小于等于12mm时，其包角焊缝长度应不小于50mm；
- (4) 各种构件对接接头的两侧均应有一段对称的角焊缝，其长度应不小于75mm。如图3.2.5.7所示；

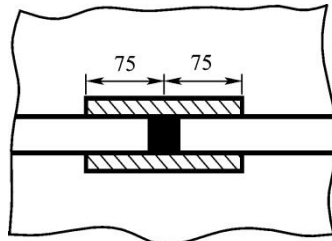


图3.2.5.7

(5) 双体船连接桥强横梁、纵桁与甲板的角焊缝在端部1.5倍腹板高度范围和抗扭箱纵、横隔板与上下封板角焊缝在端部隔板高度范围应为双面连续焊。

3.2.5.8 当船体构件采用挖孔间断焊时，孔的两端应呈圆弧形，并应光滑。但在下列位置处，不准开孔：

- (1) 在肘板趾端的应力集中区域内；
- (2) 与主支承构件相交时，其主肋骨、纵骨及扶强材等的相交处两侧至少各230mm区域内。

3.2.5.9 当构件贯穿水密或油密舱壁时，舱壁上的贯穿孔应按有关标准要求设置密性补板，并按图3.2.5.9(1)所示，在密性焊缝一侧的贯穿构件上切割一小半圆孔，从半圆孔到舱壁处应为包角双面连续角焊缝，以确保舱壁的密性。

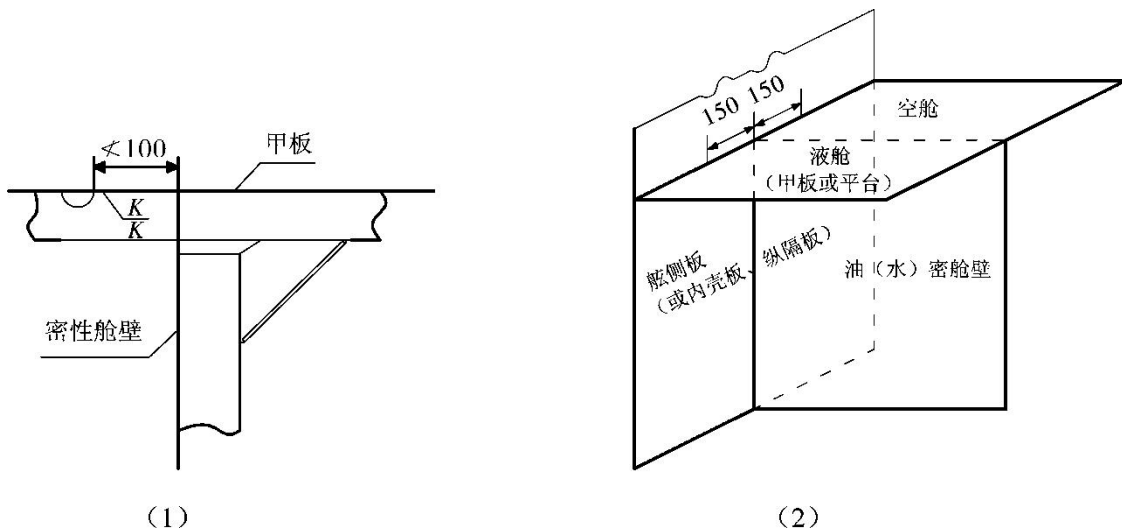


图3.2.5.9

邻接液舱的舱壁，为了防止危险气体或液体渗漏至相邻舱室内，在紧靠油气密或水密舱壁前后150mm的填角焊缝应有适当的坡口并确保焊透。见图3.2.5.9(2)。但也允许采用其他等效措施。

3.2.5.10 双层底实肋板或旁桁材人孔孔口补强环形面板与腹板应采用一面连续另一面间断的角焊缝或双面连续角焊缝，焊接系数取0.21。

第3节 主要部位的焊接

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 除确能保证完全焊透者外，对接焊焊件边缘应开单面或双面坡口，坡口角度一般在 40° ~ 60° 之间；若焊件边缘拟加工成其他坡口形式时，则应征得本社的同意。

3.3.1.2 若全焊透对接焊缝因结构原因而无法进行封底焊时，经验船师同意，允许加固定垫板进行

对接焊。此种接头的坡口形式及装配间隙应保证熔敷金属与垫板能完全熔合。

3.3.1.3 船体构件的角焊缝和板材的对接缝在交叉处，应符合下列规定：

(1) 应将交叉处的对接焊缝的余高铲平，或将跨过对接焊缝的构件腹板边缘挖孔（通焊孔），以使构件与板材能贴紧，保证焊接质量；

(2) 连续角焊缝的构件腹板上如有对接焊缝时，应先焊好对接焊缝，并将角焊缝处的余高铲平，然后进行连续角焊接。

3.3.2 首柱、尾柱、舵杆和尾轴架的焊接

3.3.2.1 当船体结构件（如首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等）的材料为铸钢或锻钢时，其焊接应符合下列要求：

(1) 如焊件的含碳量达到0.23%或刚性较大时，则在焊前和焊后均应采取相应的预热和保温措施；

(2) 采用手工焊、CO₂气体保护焊进行焊接的首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等应在焊后进行消应力处理。若首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等构件尺度较大，整体热处理条件不足时，允许采用有效的局部热处理方法。

3.3.2.2 焊接接头应经探伤检查，焊缝内部不应有裂纹、未焊透以及影响强度的有害缺陷存在。

3.3.3 主机基座的焊接

3.3.3.1 主机基座纵桁腹板厚度大于或等于12mm时，则水平面板与腹板的角接接头处，应对纵桁腹板的边缘开坡口，其坡口型式可按施工情况决定。角接接头两侧的焊缝外型、尺寸应均匀对称，焊脚系数应符合表3.2.5.4的要求。

3.3.4 小夹角角接缝的焊接

3.3.4.1 在船体的结构设计中，应考虑到不使角接缝造成较小的夹角，以避免施焊困难。

3.3.4.2 内底边板与舷侧外板的角接焊缝，其坡口角度应不小于45°，如图3.3.4.2所示。若小于45°，则可将内底边缘开坡口，并在该坡口处进行单面连续焊，其底层焊道应选用较小直径的焊条施焊。

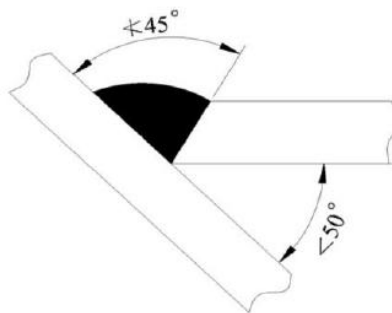


图3.3.4.2

3.3.4.3 肘板的角接焊，若遇小夹角时，可在钝角的一侧施焊，但肘板的两端应有足够长的包角焊缝。

3.3.5 桅、柱的焊接

3.3.5.1 由钢板弯制成的起重桅（柱），其柱体的纵向接缝和横向接缝均应为单面坡口的对接焊缝，且应完全焊透。

3.3.5.2 起重桅（柱）贯穿强力甲板时，与桅连接处的强力甲板，及与船体结构连接的桅端部，均应开坡口焊透。

3.3.6 槽型舱壁的焊接

3.3.6.1 槽形舱壁板的拼接焊缝，应布置在槽形的平直部分上。

3.3.6.2 槽形舱壁与船底板（内底板）、甲板的连接应采用双面连续焊。

3.3.7 高强度钢焊接

3.3.7.1 焊接高强度钢材时，应按表3.1.3.1选用与母材相适应的并经本社认可的低氢型高强度焊接材料。焊接时，应考虑预热并注意控制热输入和道间温度。

3.3.7.2 在船体结构中采用高强度钢时，其焊缝的外形应光滑，不应有过高的焊缝余高。

3.3.7.3 若船体构件（如首柱、尾柱、舵叶等）是由高强度钢板组焊而成的，则施焊后应考虑对其进行退火处理，以消除焊接时的残余应力。退火温度应达临界温度之上，然后缓慢冷却。

第4节 焊缝质量检查与修补

3.4.1 适用范围

3.4.1.1 本节规定适用于钢质船体结构的焊缝检验与修补。船体以外的钢结构的焊缝检验与修补应经本社批准后方可执行。

3.4.2 表面质量检查

3.4.2.1 当船体结构施焊完工后，应对已完工的全部焊缝进行表面质量检查。

3.4.2.2 完工焊缝的表面应成型均匀、致密，平滑地向母材过渡，没有裂纹和未熔合现象，以及不应有的咬边、气孔、夹渣、焊瘤、弧坑等缺陷存在。若存在以上所述的缺陷时，应在焊缝内部质量检查和密性试验之前，修补完毕。

3.4.2.3 船体分段建造中所产生的焊缝缺陷，均应在合拢前修补完毕。

3.4.3 内部质量检查

3.4.3.1 船体焊缝施焊完工后应对主体焊缝的内部质量进行无损检测。除本节明确规定检测方法外，无损检测可采用射线、超声波或其它有效方法进行，无损检测的工艺和评定标准应经本社同意^①。

3.4.3.2 船体焊缝无损检测的数量和位置可根据实际情况由船厂和现场验船师商定。

3.4.3.3 对于在船中0.5L范围内的船体强力甲板和外板，无损检测点的数量（n）可以按下式计算：

$$n = 0.16k(i + 0.1W_T) + 0.04W_L$$

式中：n —— 船中0.5L内的无损检测点，个；

k —— 船中0.5L内板列的平均宽度，m，可按下式计算：

$$k = \frac{\text{船中横剖面处的周长（开口除外）}}{\text{横剖面处见到的板列数}}$$

i —— 船中0.5L内的纵、横向对接焊缝交叉处的总数；

W_T —— 船中0.5L内的横向对接焊缝的总长，m；

W_L —— 船中0.5L内的分段合拢的纵向对接焊缝的总长（对于无纵向对接焊合拢缝的船可取为船中0.5L范围内所有纵向对接焊缝长度），m。

无损检测点的布置密度应按结构的重要性和受力大小从高到低递减。

纵横向对接焊缝交叉处的检测方向应平行于横向对接焊缝。

检测点一般采用射线方法进行检测，经本社同意，也可采用超声检测，超声检测点长度为500mm。

3.4.3.4 船中0.5L范围以外的强力甲板和外板，拍片数量一般为本节3.4.3.3规定区域数量的10%~20%，且允许采用适量的超声波检测方法进行检测。

3.4.3.5 甲板、船底和舷侧纵向构件（纵桁和纵骨）的对接接头，在船中部0.5L范围内每5个检查1个，0.5L范围外每10个检查1个；当上述部位的纵向构件采用球扁钢时，其对接接头在船中部0.5L范围内每10个检查1个，0.5L范围外每20个检查1个。

3.4.3.6 强力甲板上且在船中部0.4L范围内连续的舱口围板，应对围板和面板的对接接头进行射线或超声波检测，检测长度为焊缝总长的5%。

3.4.3.7 对于整体建造的船舶，无损检测的抽检比例由船厂和本社验船师商定，应在上述规定基础上适当增加。

3.4.3.8 对散装运输危险化学品船的无损检测，除满足本节3.4.3.1~3.4.3.7的规定外，尚应对以下部位进行无损检测：

- (1) 液货舱舱壁上所有的焊缝十字交叉处；
- (2) 液货舱周界焊缝应探测表面裂纹，探测的长度应至少为液货舱周界焊缝总长度的10%；
- (3) 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，除本条(2)要求以外，上述构件与

^①无损检测工艺和评定标准参照《船舶钢焊缝射线检测工艺和质量分级》（CB/T 3558）和《船舶钢焊缝超声波检测工艺和质量分级》（CB/T 3559）。

横舱壁连接的焊缝应探测表面裂纹。探测的长度应至少为骨材与横舱壁连接焊缝总长度的10%；

(4) 当纵向构件和纵舱壁水平扶强材连续地通过横舱壁时，除本条(2)要求外，其与横舱壁连接的焊缝应探测表面裂纹。探测的长度对舷侧和船底纵向构件至少为总长度的30%，对纵舱壁水平扶强材至少为总长度的20%。

(5) 当横向构件连续地穿过液货舱纵舱壁时，该构件与周界连接焊缝应探测表面裂纹。探测的焊缝长度至少为总长度的10%。

3.4.3.9 高强度钢焊接的无损检测，应在焊接完成48小时后进行。

3.4.3.10 对除3.4.3.3~3.4.3.6外的船体结构，下列重要部位的焊缝也应采用适当方法随机抽样进行无损检测：

- (1) 船体结构中要求全焊透的角焊缝；
- (2) 内底、其他连续甲板和舱壁及其连续纵骨的对接焊缝；
- (3) 主机基座腹板和面板的全焊透角焊缝；
- (4) 起重桅（柱）柱体的对接焊缝；
- (5) 其他认为重要的、承受高应力的或失效后可能影响重大的受力焊缝。

3.4.3.11 船体结构与起重基座（起重柱）间的节点无损检测要求如下：

- (1) 对全焊透的角焊，应进行100%超声波检测及100%磁粉（或渗透）检测；
- (2) 对深熔焊角焊或填角焊，应进行100%磁粉（或渗透）检测。

3.4.3.12 当无损检测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）增加探伤范围，直至达到邻近合格焊缝为止。

3.4.3.13 当实际检测过程中发现合格率低于80%或对个别部位的焊缝质量存疑时，验船师应根据具体情况，适当增加检测数量。

3.4.3.14 无损检测的位置和结果应记入报告，并应提交本社验船师认可。

3.4.4 焊缝修补

3.4.4.1 所有有缺陷的焊缝段，应采用碳弧气刨、风铲或其他方法彻底清除（不允许用电弧或气焰进行清除），并在焊补后进行复检。

第5节 钢质双体船连接桥和抗扭箱的焊接

3.5.1 一般规定

3.5.1.1 在船体开工建造前，制造厂应制定焊接工艺规程并提交本社认可。

3.5.1.2 连接桥构件的安装及焊接，应采取适当措施，控制连接构件变形及装焊后连接桥总体变形所引起的片体纵向变形。

3.5.1.3 本节无规定者，参照本篇其他章节的有关规定。

3.5.2 对接焊缝

3.5.2.1 连接桥甲板、抗扭箱应封板及型材、板材之端接处，应采用对接焊。

3.5.2.2 连接桥甲板及抗扭箱上封板与片体甲板的纵向对接焊缝不应布置于连接桥与片体交界处，此接缝距离交界处应不小于200mm。

3.5.3 角接焊缝

3.5.3.1 连接桥甲板、抗扭箱底封板及型材、板材之端接处，应采用构件开坡口的全焊透角焊（或其他确保焊缝焊透的措施），此处焊缝应采用低氢焊接材料施焊。

3.5.4 加强焊

3.5.4.1 连接桥横梁腹板及抗扭箱横隔板与甲板的角接焊缝的1.5倍腹板或隔板高度和在肘板区域内应为双面连续焊。

3.5.4.2 连接桥强横梁和连接桥横梁肘板与片体舷侧板的焊接、连接桥纵桁与横梁腹板的焊接及抗扭箱纵隔板与横隔板及与前、后封板间的角接焊缝应采用双面连续焊，焊缝系数取0.44。

3.5.4.3 连接桥纵桁与强横梁、抗扭箱纵隔板与横隔板及前、后封板间的连接，其端部加强焊长度应不小于腹板高度。

3.5.5 其他

3.5.5.1 抗扭箱底封板与环形骨材的连接，应采用塞焊方式施焊，底封板与抗扭箱横隔板面板应采用长孔塞焊。塞焊要求塞焊孔根部有足够熔深。

3.5.5.2 对顶逢等薄板结构可采用密集型点焊。

3.5.5.3 连接桥结构与片体连接处的肘板禁止使用搭接焊。

3.5.6 连接桥抗扭箱结构的焊缝检验

3.5.6.1 当连接桥抗扭箱结构施焊完工后，应对全部焊缝进行外观检查。

3.5.6.2 连接桥及抗扭箱结构焊接缝应作无损探伤检验，无损探伤的数量和位置可根据实际情况由船厂和验船部门商定，下列主要焊缝应作重点抽检：

- (1) 抗扭箱前、后封板与舱壁板或片体强框架的对接缝；
- (2) 抗扭箱横隔板与舱壁板或片体强框架的对接缝；
- (3) 横桁腹板与舱壁板对接缝；
- (4) 抗扭箱前、后封板腹板的对接缝；
- (5) 连接桥甲板与片体内侧上甲板边板的对接缝。

3.5.6.3 连接桥建造完毕后，应对下列部位进行密性试验（表3.5.6.3）：

表3.5.6.3

试验部位	试验要求
连接桥甲板	冲水试验
连接桥构件与片体连接	涂煤油试验
抗扭箱	充气试验：0.02MPa

第4章 重要机件的焊接

第1节 通则

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章适用于柴油机、减速齿轮箱、轴系及杆系的焊接。

4.1.2 材料

4.1.2.1 焊接材料、所采用的钢板、型钢、铸锻件材料符合本篇的有关规定。

4.1.3 焊接结构

4.1.3.1 构件的焊缝应采用开坡口对接焊，以保证全厚度焊透。并应尽可能采用俯焊。

4.1.3.2 不同厚度的构件对接时，其厚度差大于或等于4mm时，应对厚板的边缘进行削斜，其长度应不小于厚度差的4倍。

4.1.3.3 形状复杂的构件，应避免焊缝尖角相交或截面突变。

4.1.4 预热

4.1.4.1 在下列情况下应考虑采用适当的焊前预热措施：

(1) 当焊接大型构件和复杂构件以及设计图纸上特别规定的重要机件时；

(2) 当被焊构件或机件材料的含碳量大于0.23%或碳当量 $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$ 大于0.41%时；

(3) 当在环境温度低于0℃和/或湿度较大的环境下进行焊接时。

第2节 轴系的焊接

4.2.1 适用范围

4.2.1.1 本节适用于机械转动轴系及舵杆的焊接。

4.2.2 焊接

4.2.2.1 施焊前应按工艺规程焊制试件。试件应模拟实际构件的工艺条件，焊制具有代表性的焊接接头，进行熔敷金属拉伸试验、接头横向拉伸试验、弯曲试验、以及宏观组织检查。

4.2.2.2 轴系及舵杆在焊接前应均匀地进行预热，在焊接过程中严格注意保温，预热的温度可根据所选用的材料决定。

4.2.3 热处理

4.2.3.1 轴系及舵杆经焊接后应进行热处理消除应力。

4.2.4 无损探伤

4.2.4.1 轴系及舵杆的缝应采用磁粉探伤或其他有效方法进行检查。