指南编号/Guideline No.M-03(201510)

M-03 热交换器

生效日期/Issued date:2015 年 10 月 20 日

©中国船级社 China Classification Society

前言

本指南是 CCS 规范的组成部分，规定船舶入级产品，授权法定产品检验适用技术要求，检验和试验要求。

本指南由 CCS 编写和更新，通过网页 http://www.ccs.org.cn 发布，使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 ps@ccs.org.cn

历史发布版本及发布时间

本版本主要修改内容及生效时间：

目 录

1 适用范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 图纸资料 4

5 原材料及零部件 5

6 焊接工艺评定 6

7 设计技术要求 6

8 型式试验 9

9 单件/单批检验 14

热交换器

1 适用范围

本指南适用于船用热交换器的认可及产品检验，包括：壳管式热交换器（如冷却器、冷凝器、加热器、蒸发器等）、管翅式热交换器（如空气冷却器）、板式热交换器（板片式、板翅式等）；设计压力≤2.5Mpa，介质温度≤250℃。对其它类型热交换器可参照执行。

2 规范性引用文件

2.1 CCS《钢质海船入级规范》。

2.2 CCS《材料与焊接规范》。

3 术语和定义

3.1 CCS《钢质海船入级规范》有关定义适用本指南。

3.2 换热面积：系指被冷却/加热/冷凝介质接触的金属总面积。

4 图纸资料

4.1 申请认可时，下列提交图纸和技术资料应提交 CCS 批准：

(1) 产品主要性能规格表（包括申请认可的全系列产品的换热面积、设计/工作压力、设计/工作温度、工作介质等）；

(2) 总装配图；

(3) 主要零部件图（壳体、管板、封头、芯组、换热板片、夹紧板、夹紧螺栓等）；

(4) 主要零部件理化性能一览表；

(5) 计算书（换热面积计算书，承压件强度计算书）；

(6) 型式试验大纲。

4.2 下列图纸/技术资料应提交 CCS 备查：

(1) 产品适用的技术标准；

(2) 首制产品性能试验报告（如有时）；

(3) 产品使用说明书；

(4) 产品铭牌、出厂合格证等样本；

(5) 主要工艺文件，如壳体的焊接工艺，管板联接工艺等。

4.3 对申请 CCS 型式认可 B 的制造厂，还应提交以下资料：

(1) 有关工厂概况（包括工厂历史及现状）及产品生产历史的说明，如产品经过专门的验证或鉴定，可附上有关报告及证书；

(2) 质量控制计划，制造者应建立认可范围产品的质量控制计划并提交 CCS 审批。质量控制计划应按产品技术要求或标准，规定产品制造过程中的质量保证和控制的方法。该质量控制计划要包括认可后的检验计划，特别应反映 CCS 规范要求的检验和试验要求。

4.4 对申请 CCS 型式认可 A 的制造厂，还应提交一整套覆盖申请认可产品并符合 ISO9000 标准或等效标准的质量管理管理体系文件，其中所包含的按 CCS 规范要求进行检验和试验的程序文件应由 CCS 批准。

5 原材料及零部件

5.1 原材料及零部件主要包括换热器的壳体、管板、封头、芯组、换热板片、夹紧板、夹紧螺栓、联接短管等零部件；

5.2 对壳体、封头、芯组等受压零部件，应在装配前进行 100%的水压试验；

5.3 如 3.5.1 所述的零部件为外购时，申请方必须建立完善的对分包方质量进行控制的方法以确保质量，且必须提供材料质量证明书。

6 焊接工艺评定

热交换器的壳体，如采用焊接结构的，则该焊接工艺需按照 CCS《材料与焊接规范》的有关要求进行焊接工艺评定及批准。

7 设计技术要求

7.1 材料要求

7.1.1 船用热交换器主要零部件材料的选用应适合工作介质的种类、温度和压力等条件。

7.1.2 制造船用制冷装置热交换器的钢板，其标定抗拉强度下限值不得超过430MPa。

7.1.3 接触海水的换热管不应采用紫铜材料制成。

7.1.4 铜/钢复合管板的复合层面加工后，其铜层厚度应不小于 3mm，并应对复合质量进行超声波无损检验，要求见 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 9 节。

7.1.5 壳管式热交换器的Ω形膨胀节一般应用无缝管弯制，且Ω形膨胀节的开口应大于 15mm，高度应大于 1.6R，无缝管的壁厚不得小于壳体强度计算的最小厚度（R－无缝钢管外圆半径）。

7.1.6 板式换热器换热板片的名义厚度应不小于 0.5mm，板片成型减薄量应不大于板片厚度的 25％。

7.1.7 密封垫的材料选用应适合工作介质的种类、温度、压力以及环保等要求。板式热交换器的垫片厚度应具有正偏差，公差值如下表 7.1.7：

垫片厚度公差值表 **表 7.1.7**

单板公称换热面积，m^2	≤0.3	＞0.3～1.0	＞1.0
垫片厚度偏差，mm	+0.1 0	+0.2 0	+0.3 0

7.1.8 板片波纹深度、垫片槽深度偏差如下表 7.1.8：

波纹深度、垫片槽深度偏差表　　表 3.7.8

深度偏差值，mm	单板公称换热面积，m2		
	≤0.3	＞0.3～1.0	＞1.0
波纹	±0.1	±0.15	±0.20
垫片槽			

7.1.9　空气冷却器的翅片必须带有强化传热的扰动结构，其厚度为 0.15～0.2mm。

7.1.10　换热管应下列试验：

(1)　压扁试验：将管子压扁至内表面相碰，应无破损和裂纹；

(2)　扩口试验：用 45°夹角冲头将管子端部外径扩大 30%，应无破损和裂纹；

(3)　拉力试验：在万能材料试验机上进行，应不低于材料标准的要求。

7.2　制造要求

7.2.1　对于壳式热交换器，应保证筒体内壁与折流板之间的间隙不大于表 7.2.1 的规定：

筒体内壁与折流板之间的间隙　　表 7.2.1

筒体内径	配合间隙　mm
＜150	1.8
≥150～800	2.6
＞800	3.6

7.2.2　热交换器管板与筒体法兰连接的环节螺栓数不得超过螺栓总数的一半。

7.2.3　U 形管、蛇形管弯制成型后，按下表 7.2.3 规定直径的钢球，应能顺利从管中通过。

通球直径表 **表 7.2.3**

r/d 弯曲半径/管径	通球直径		r/d 弯曲半径/管径	通球直径	
	无接头	有接头		无接头	有接头
2～3.5	0.70d	0.65d	＞5～10	0.85d	0.80d
＞3.5～5	0.75d	0.70d	＞10	0.90d	0.85d

7.2.4 换热管与管板的联接为胀接时，管板孔的管桥最小尺寸应大于 3 倍换热管的壁厚。

7.2.5 管板上管孔的粗糙度≤6.3μm，换热管与管板的胀接长度不得超过管板厚度的 90%；换热管与管板胀接后壁厚减薄率按下式计算，其值应不大于 12%。

$$q=(t_0-t_1)/t_0\times 100\%$$

式中：q —— 壁厚减薄率，%；

t_0—— 换热管与管板胀接前的壁厚，mm；

t_1 —— 换热管与管板胀接后的壁厚，mm。

7.2.6 热交换器端盖与海水接触时，均应配置防蚀锌块/棒。

7.2.7 空气冷却器翅片与换热管的连接必须坚固密合，其贴合周长不得小于管孔整个周长的 85%。

7.2.8 空气冷却器换热管与管板的连接工艺必须坚固可靠；

7.3 强度要求

7.3.1 承压件（壳体、管板、端盖、换热管等）的强度应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章的有关规定进行计算；制冷系统热交换器承压件的强度还应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 5 篇第 2 章第 3 节的要求。

7.3.2 热交换器壳体上连接短管的强度应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章的有关规定进行计算。

7.3.3 热交换器壳体上的焊接法兰连接型式应满足 CCS《钢质海船入级规

范》第 3 篇第 2 章的有关要求。

7.3.4　热交换器壳体上的开孔与加强应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章的有关规定进行计算。

7.3.5　热交换器管板的最小厚度应不小于 14mm。

7.3.6　螺纹管（整体低肋管，一般用于滑油冷却器）管外壁加工肋片后的外经应不大于其两端光滑部分的外径，成形后的整体螺纹管最薄壁厚应满足 7.3.1 的要求；

7.4　压力试验要求

7.4.1　主要受压零部件包括热交换器壳体、热交换器端盖及芯组等，应单个进行水压试验或组装后整体进行水压试验。

7.4.2　组装完工后的热交换器两侧均应进行液压试验，试验压力应为设计压力的 1.5 倍，但不得低于 0.4MPa（空气冷却器的气侧除外）。

8　型式试验

8.1　典型样品的选取

8.1.1　初次认可时，所选样机应覆盖工厂的加工能力、制造水平。一般应按照申请认可的每一系列产品按照最高工作压力、最大换热面积和工作压力/热面积中间值的各选 1～2 台样机；如产品系列性能范围很窄，也可仅选择最高工作压力、最大换热面积的各 1 台样机或仅选取最大工作压力的 1 台样机。

8.1.2　重新认可时，可在每一系列产品中仅选取 1 个最具代表性的或市场需求量最大的型号作为样机。

8.1.3　工厂为保证认可产品满足预期的使用要求，有责任按本社接受的标准和使用环境自己进行热工性能试验和流体阻力试验，或效用试验，并保证这些试验合格。

8.2　型式试验项目应包括：

(1)　主要零件如换热管/片、管板、壳体、封头、夹紧螺栓和夹紧板材料化学成分力学性能试验。

(2) 换热管的检验。

(3) 换热板片检验。

(4) 主要受压零部件如壳体、封头、芯组水压试验。

(5) 振动试验（仅对空气冷却器）。

(6) 无损探伤（热交换器壳体、成型的换热板片）。

(7) 整机压力试验。

(8) 焊接工艺试验。

(9) 本社审图部门针对特殊型式热交换器提出的其它型式试验项目。

8.3 试验条件应满足下列要求：

(1) 工厂的试验室/试验台如作为认可试验的试验场所，CCS 验船师应按照 8.3(2)要求核查并确认满意。否则，所有试验应在 CCS 承认的验证、试验机构进行。

(2) 试验用测量仪器/仪表应具有有效计量检定证书，且压力表的精度应不低于 1.6%。

8.4 试验方法及要求应包括：

(1) 主要零部件原材料理化性能试验应符合下列要求：

① 热交换器壳体、端盖、热交换管/片、管板、夹紧螺栓和夹紧板等重要部件均需进行原材料理化性能试验，如采购的原材料或铸件系持有 CCS 产品证书的除外；

② 对铸件，如条件允许，应尽量在验船师在场的情况下在为申请方供货的铸造厂现场取样并封样，如现场取样确有不便，也可由已进货的铸件本体上所带的附铸试棒代替。

③ 试验方法及结果判定应按照 CCS《材料与焊接规范》相关章节的要求。

(2) 换热管的检验按本指南 7.1.10 的规定进行，螺纹管、U 形管、蛇形管的检验按下列规定进行：

① 螺纹管除按本指南 7.1.10 的规定进行检验外，还应符合 7.3.6 的规定；

② U 形管、蛇形管除按本指南 7.1.10 的规定进行检验外，还应符合 7.2.3 的规定。

(3) 换热板片的检验按本指南 7.1.6～7.1.9 的规定进行。

(4) 主要受压零部件水压强度试验应符合下列要求：

① 主要受压零部件包括热交换器壳体、热交换器端盖及芯组等，一般可采取单个进行水压试验或组装后整体进行水压试验两种方法进行；

② 不同类型的热交换器受压零部件液压试验压力按下列方法确定：

(a) 对热交换器壳体、端盖、芯组，试验压力应为设计压力的 1.5 倍，时间为 15min；

(b) 对铸铁或铸铜端盖防蚀处理前、换热管，试验压力设计压力的 2 倍，时间为 15min。

③ 试验时试件表面应清洁并无任何涂层，试件表面应无渗漏及“冒汗”现象。

(5) 空气冷却器振动试验应符合下列要求：

① 振动试验的目的是考核空气冷却器换热管与管板连接工艺的可靠性；

② 试验在振动试验机上进行，试样水平安装，迎风面与试验机用螺钉刚性连接，水腔充满水，水压为被试热交换器的水侧工作压力；

③ 探索性振动试验，确定试样在整个试验频率（4～50Hz）中是

否存在共振，试验频率及振幅如下表 8.4.(5)：

振动试验频率 **表 8.4**

振动频率 Hz	频率间隔 Hz	振幅 mm	停留时间 S
4～33	1	±0.25	15
34～50	1	±0.076	15

④ 若在探索性振动试验中发现有共振频率，则在共振频率至少进行 2 小时振动试验；如果没有共振，则以频率 50Hz，振幅±0.4mm 进行 2 小时振动试验；

⑤ 试验完毕，应对热交换器进行全面检查，各连接处应无松动、脱焊和变形，不得渗漏；

⑥ 振动试验也可以在柴油机耐久试验时与柴油机配机进行考核。

⑦ 对于空气冷却器，如果申请方能提交该型号空气冷却器在实船上使用良好的记录和数据，经 CCS 审查满意后，可以考虑免除该型号空气冷却器的振动试验。

(6) 无损探伤（热交换器壳体、板式热交换器成型后换热板片）应符合下列要求：

① 热交换器的壳体如采用焊接结构，应按照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 7 章的要求进行无损探伤。

② 板式热交换器成型后换热板片，应采用渗透法进行检测，发现微裂纹的应报废。

(7) 整机压力试验应符合下列要求：

① 组装完工的热交换器的两侧均应进行液压试验，试验压力应为设计压力的 1.5 倍，但不得低于 0.4Mpa（空气冷却器除外），试验时间为 15min，试验介质为常温清水，不得渗漏；

② 空气冷却器的空气侧应按设计压力进行气压试验，试验时间为 15min，不得渗漏；

③ 真空热交换器的真空腔试验压力为设计压力加上 0.1Mpa，试验时间为 15min，不得渗漏；

④ 制冷系统热交换器液压试验合格后，其制冷剂侧还应进行气密试验，试验压力应为设计压力，试验时间为 30min，不得渗漏；

⑤ 板片式热交换器两腔应分别进行水压试验，试验压力应为设计压力的 1.25 倍，试验时间为 15min，试验介质为常温清水，不得有渗漏和两腔串通现象。

⑥ 对管程设计压力大于壳程设计压力的壳管式热交换器，接头试压应按图纸规定或按与 CCS 商定的方法进行。比如采用整体试压时，若壳程材料应力小于或等于 0.9 倍的σs,可采用管/壳程等压试验方法；或，如未按前者进行试验，则在原压力试验基础上，采用壳程增加氨渗漏试验的方法。

(8) 焊接工艺试验应符合本指南指南 6 的规定。

(9) 除上述各条以外，对特殊的、异型产品，以及 CCS 认为有必要，或者图纸/技术条件规定进行的其它试验项目，由验船师和申请方协商后进行。

8.5 试验项目的确定和减免

8.5.1 初次认可时一般应进行本指南指南 8.2 中适用的全部试验项目。如满足以下条件，申请方可书面申请减免本指南 8.2(5)规定的试验项目，CCS 将根据申请方的生产情况、产品的生产历史及使用记录等予以考虑。

(1) 申请方能够提供近期（一年内）由技术权威机构（国家质监总局，或国防科技试验室等）出具的相应试验项目的试验报告；

(2) 申请方能够提供（一年内）由 IACS 成员船级社签署的相应试验项目的试验报告；

(3) 申请认可的成品是以技术出让或授权方式生产，且技术出让或授权的产品已经获得 CCS 设计认可。

(4) 申请方能够提供近期（一年内）由使用方（配套的柴油机厂家）出具的相应试验项目的试验报告。

8.5.2 认可证书换新时应重新认可，如产品的设计图纸、生产工艺未发生变化，且 CCS《钢质海船入级规范》对该类型产品的技术要求无变化，可以免除 8.2(2)～8.2(5)，8.2(8)条试验。但 CCS 保留要求重新做型式试验的权力。

9 单件/单批检验

9.1 取得 CCS 设计/型式认可资格后，工厂按认可条件（包括装备、工艺等）生产的船用换热器，经 CCS 进行单件/单批检验合格后，方可装船使用。

9.2 认可后产品检验的具体检验方式 CCS 将在颁发设计/型式认可证书时书面通知工厂。

9.3 单件/单批检验应按下表 9.3 所列项目进行。

单件/单批检验试验项目 **表 9.3**

型式认可 B 后产品检验	设计认可后产品检验
1、审核主要零件材料性能试验报告	1、审核主要零件材料性能试验报告
2、审核工厂整机压力试验报告	2、审核工厂整机压力试验报告
3、审核无损检测报告（有要求时）	3、审核无损检测报告（有要求时）
4、外观检查	4、外观检查
5、按每型产品数量的 5%抽样进行整机压力试验	5、逐台进行整机压力试验

9.4 获得 CCS 型式认可 A 的制造厂的产品检验

9.4.1 获得 CCS 型式认可 A 的制造厂，应按照 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章第 4 节的要求，申请定期审核。

9.4.2 检验方式主要以报告审核为主，所有试验项目应由制造厂独立完成；制造厂应在交付产品前提交产品检验申请，并同时提交涵盖上述 9.3 条型式认可 B 后产品检验 1～4 条中所有试验/检验项目的报告/记录/文件等，由 CCS 验船师进行报告审核。

9.5 制造厂在申请产品检验的同时，应提交已完成的检验报告或资料（CCS 要求见证的项目除外）和产品质量证明书，如 CCS 要求见证相关试验，则证书

在验船师完成检验后签发。

9.6　在热交换器的认可/检验过程中，除执行本指南有关规定以外，还应参照 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章的具体要求。