

第一章 放样工一般知识

第一节 放样间任务

船舶是一种复杂性的水上工程建筑物，船体建造工艺比较繁杂经过放样、号料、加工、部件、装配、平面、分段装配、船台装配、下水等工序到目前已经有先进技术就是数控下料。

所谓放样，就是说 1:1 (1:10、1:100) 造等不同比例，画出船体及其构件真实形图，采用 1:1 放样称为实际放样，采用 1:10 放样称为比例放样。根据设计单位所制作图纸的线型图和型值进行线型放样。以横剖线、水线和纵剖线，在此基础上进行肋骨线型放样，并根据基本结构图、横剖面图和分段结构图进行线放样，再根据外板展开图进行外板接缝线放样。

第二节 几何作图

几何作图是作图方法一种抽象思维，它外形和性质各种具体的物体。

一、垂直平分线：

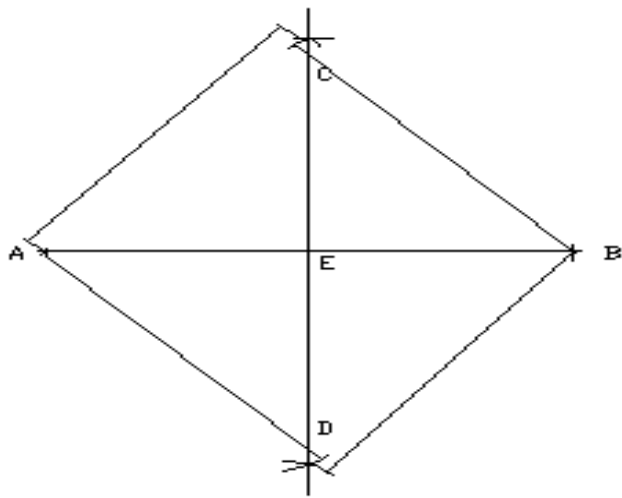
已知线段 AB，求线段 CD 垂直 (\perp) AB，且使 AE=EB。

作法：以点 A、B 作圆心、R 作半径画圆弧，交于 C、D 两点。将 C、D 两点连成一直线，与 AB 交于点 E，即为所求。这里注意的是，R 必须大于 $1/2 * (AB)$ ，垂直平分线的特点是，

$\angle AEC = \angle CEB = \angle BED = \angle DEA = 90^\circ$ 度，垂直平分线上的任意一点与 AB 线段两端间的距离均相等。

有时只要在 AB 线段的一侧作垂直线，其作法为：以 A、B 为圆心，R 为半径画弧交于点 C，

取点 E，使 AE=EB，连接 CE 即得。

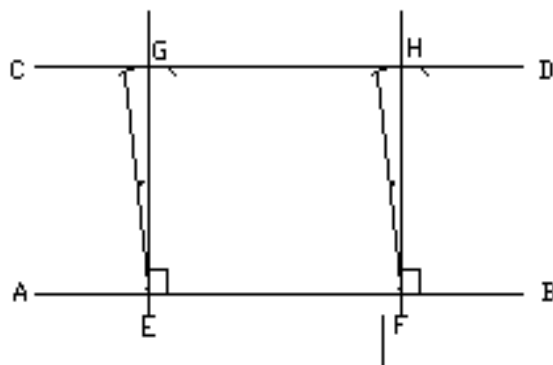


二、 平行线的作法：

所谓平行线，就是同一平面内不相交的两条直线。

已知 AB，求 CD 平行于 AB，其间距为 R。

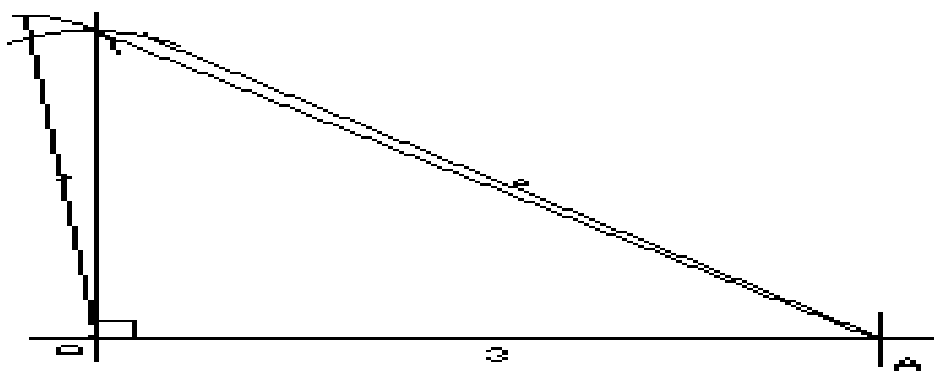
作法：在 AB 线上，以适当距离上的点 E、F 作圆心、R 为半径画圆弧，作直线 CD 与两圆弧相切，CD 即为所求的平行线。平行线的特点是，直线上任意一点与另一直线间的距离均相等， $EG = FH = R$ 。在线型放样和分段画线中，很多相互平行的直线都要使用这个方法。



三、直角的作法

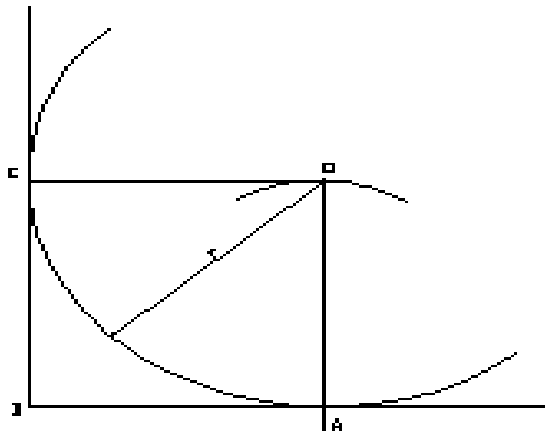
已知 OA ，求 $OB \perp OA$ 。作法：取 $OA=3$ ，以 O 为圆心，4 为半径画弧，以 A 为圆心，5 为半径画弧，两弧交于点 B ，连接 BO ，则 $OB \perp OA$ ，即 $\angle AOB=90^\circ$ 度。

这里要说明： $OA=3$ ， $OB=4$ ， $AB=5$ ，3、4、5 是三个线段的比例，例如：取 $OA=3M$ ，则 $OB=4M$ ， $AB=5M$ 。等依此类推。这种作直角的方法和垂直平分线一样，使用极广。可以此法检查钢板的长、宽边是否成直角。



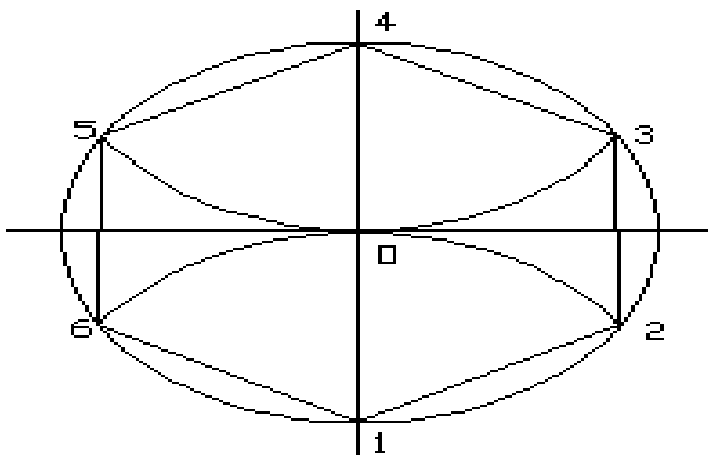
四、用圆弧连接二相互垂直的直线

已知： $AB \perp BC$ ，圆心 O 的半径为 R ，求圆 O 同时切于 AB 和 BC 。作法：1、以 B 为圆心， R 为半径作弧，交 AB 于 A ，交 BC 于 C 。2、以 A 、 C 为圆心，仍以 R 为半径作弧，两弧交于点 O 。3、以 O 为圆心， R 为半径作圆弧，与 AB 相切于 A ，与 BC 相切于 C 。 A 、 C 为二直线与圆弧的相切点。在平面上，直线与圆弧可以相交，也可以不相交，直线与圆、圆弧相交时必有两个公共点，相交时若两点重合成一个公共点，此种情况就称为相切。在切点所在的位置上， $OA \perp AB$ ，相切即意味着由直线光顺地过渡到圆弧，由圆弧地过渡到直线。船体上开矩形孔地方都是圆角过渡，相切的概念可以引伸到直线的。



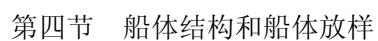
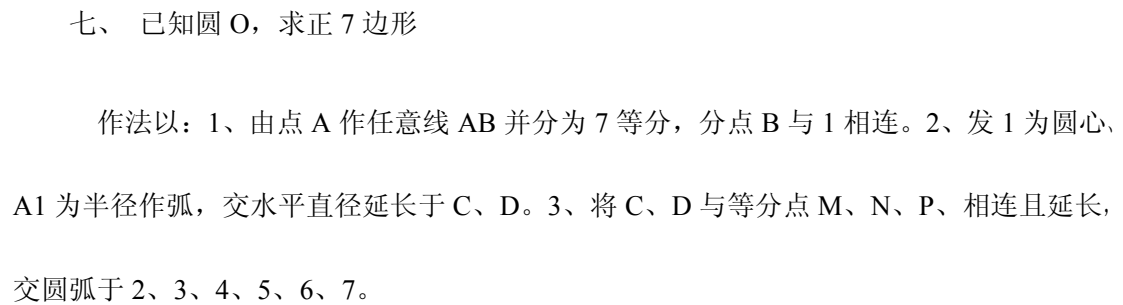
五、 已知圆 O，求 6 等分圆周，且作内接正 6 边形

作法：作垂直的直径，以 1、4 为圆心，O 圆的 R 为半径作弧交于 2、6、3、5。 1、2、3、4、5、6 即为等分点。顺次连接各点即得内接正 6 边形。



六、 已知圆 O，求圆的内接正五边形。

作法：1、作相互垂直的直径。2、作 OO_2 的垂直平分线 AB，得平分点 O。3、以 O_1 为圆心、 O_1O_2 为半径画圆，交 OO_2 于 C。4、连 CO_1 即为正五边形的边长，顺次取 1、2、3、4、5 各点相应边线，即得圆的内接正五边形。



结构放样有以下三种：1、横式结构。2、纵式结构。3、混合结构。放样图纸也是分为三种：

1、线型图。2、肋骨线型图。3、外板展开图。4、总布置图。5、船体理论线图。6 基本结构图和横中剖面图。7、首部结构图和首柱图。8、艉部结构图和艉柱图。9、曲型纵、横隔

壁图。船体分段属于工艺图纸，主要由舷侧视图、甲板视图、船舱和船底视图组成。

船体线型放样的目的是：把线型图放样到上船台 1:1 的实际船舶大小，调整线型的光顺性。

如果拿一个萝卜从头到艉打开分成两半，这样萝卜就像一只小船。

第五节 船舶机电设备安装工艺

一、预舾装

预舾装工艺是将传统的码头、船内的舾装作业提前到分段、总段上船台前进行的一种舾装方法，使舾装的高空作业平地做，外场作业内场做，仰装作业俯装做，从而减少了码头、船内多工种的混合作业，并使劳动条件得到改善、质量提高、建筑周期缩短。开始采用预舾装工艺，设计部门根据船体结构的轮廓线，将船体舾装件、机电设备等按系统绘在图纸上或样台上，解决各系统间布置的相互位置，然后绘制预舾装件的安装图、零件图，清册和图表。生产部门将一部分舾装件，例如管子进行预制并开始船体分段上预装。使一部分舾装作业实现了分段预舾装。但当时的舾装作业是从车间制造到安装，采用了按专业系统进行的方法，因此预舾装率不高，预舾装工艺尚处于起步阶段。随着生产设计、成组技术等先进造船方法的应用，预舾装也按区域、按功能系统进行设计、制造和安装，分段预舾装。总段预舾装工艺得到广泛的推广应用。盆舾装就是其中一项新颖的预舾装工艺。盆舾装就是机舱底部由底部双层底分段、舷侧分段及隔舱分段组成一只形似盆形的总段，然后将底部单元吊入总段内定位，最后进行内底板上方的总段正转舾装，这样的预装方法称为盆舾装，开始接触并研究实施盆舾装技术，由于当时工厂起吊能力不足，而且船体结构全部为横向结构，质量无法保证。为此，采取实施局部盆舾装的方案以取得经验。实施区域为主机关部至机舱前舱壁，包括两侧的深油舱的盆舾装获得了成功。6.3万吨原油船、6.8万吨原油船、7万吨散货船、7.3万吨散货船、2.7万吨散货船上实施盆舾装工艺，综合预舾装率达到90%以上，取得了较明显的经济效益和社会效益。

二、单元舾装

单元舾装是指舾装件（如机械设备、管路、仪表等）按不同的特性和要求（功能、区域）先在车间内进行配套安装、调试、组合成单元，然后以单元为整体进行舾装。根据不同内容，单元还可以分为零部件单元、功能性单元、区域性平面单元、整体性平面单元、通用化标准化单元等。零部件单元是指几个零件或部件的组合，是最小的组装单元，例如灯与灯架组合；门框与门、拉手、锁等的组合等。功能性单元是按舾装设备的功能特征组合成立体的单元。例如主机活塞和缸套冷却水功能单元、主机润滑单元、日用供水单元、辅助锅炉给水单元等。区域性平面单元是将机舱或其他舱室划分为一定区域，并把区域内，例如机舱花铁板以下所有设备、管路、阀件时，在公共支承结构上联成一平面，组装完毕吊上船安装。整体性平面单元是把机舱底部管系连同花铁板上的全部辅机，组成一个完整的大单元，在主甲板盖装之前，将它一次吊入舱内定位安装。通用化、标准化单元是在大量建造组装单元的基础上，进行单元的通用化和标准化工作，从而产生了通用化、标准化单元，这些单元可安装在不同类型的船舶上。单元舾装的方法实现了舾装单元建造与船体建造的平行作业，变外场作业为内场作业，改善了管子安装作业的条件，缩短了造船周期。长江客货船时，机舱双层底开始采用平台单元组合法，将整个区域里所有管子安装、现校后，分成7个单元，分别整体运到船台上的机舱内定位安

装。单元舾装的经验，在设计建造1.6万吨多用途船机舱部分的过程中，将机舱内的设备分别组合成14个单元。其中3个为管子单元，11个为功能单元都是以机械设备及其底座（或箱柜）为主体，连同周围有关阀件和管路组成，这种功能单元具有功能性强，布置灵活等优点。

三、管系

船舶管系是船舶动力装置的重要组成部分，传统的管系施工工艺是在船舶下水后，基座、设备安装完毕，先由有经验的铜工根据管系布置图上船弯制样棒，然后经过回车间下料、弯制管子、上船校核、再回车间烧焊、试压及表面处理，最后上船安装，管子施工要经过二进三出的工艺过程，不但工序繁多，而且劳动强度大，施工周期长。从60年代开始，传统的管系施工工艺逐步被淘汰，管系工艺由管系放样工艺、弯管工艺和管子安装工艺所组成。

管系放样工艺 首先在912（I）消磁船上开始进行管子放样。具体做法是以管子“三联单”替代管子样棒，车间根据“三联单”弯制管子，在平台上划线落料、然后按系统校管、点焊法兰，再拆下焊法兰、试压及表面处理，最后一次上船安装。这样，使管子施工与船体建造并行作业，大大缩短了造船周期，使该船下水后17天码头动车，显示出管系放样的优越性。随着管系放样推广，放样技术不断改进，1970年在建造某导弹驱逐舰时成立了由铜工、电工、白铁工组成的综合放样组，将管系、电缆、风管等综合在一起进行综合放样，放样的速度和质量都明显提高。在建造某大型登陆舰时，开始把综合放样与施工设计有机地结合在一起，管系放样进行分层、分区域的尝试，共分成机舱、辅机舱、艏部、上层建筑等几个区域，避免了按系统放样各系统抢占空间的情况，使管路的排列更加合理、整齐、美观。在管系放样工艺的发展过程中，管系放样的手段也不断地改进和完善。在刚开始进行管系放样时，采用的样台地板上以1:2的比例放样；1971年后改为桌面上比例放样，用1:5、1:10甚至1:25的比例在三夹板或涤纶薄膜上进行放样、随着电子计算机技术的推广使用，管系放样使用了“PCPS”程序系统。在小型布缆船上采用了该程序进行管系综合放样，通过输入管子坐标点，由计算机打印管子零件图、参数和管子套料表等。

弯管工艺 60年代以前，弯曲管子采用炉灶热弯工艺，即将管子用炉灶加热，然后在平台上弯曲的原始方法，管子热弯工艺适用于各种材料、各种管径的管子，但弯曲半径较大，弯管精度难以保证，加热次数多会造成材料强度下降，工人劳动强度大、能耗大、效率低。1958年起，工厂开展技术小改革、小发明的活动，研制成机械弯管机，出现了管子机械冷弯工艺。上海船厂自制了七八台机械弯管机，分别弯制管子内径为1/2~1寸、1.25~1.5寸、2~3寸、4~6寸等几种规格，3寸以下内径的弯管机采用电动机带动的无芯弯管，3寸以下内径的弯管机采用液压传动有芯弯管，工厂从此不再用人工弯管。管子机械冷弯工艺能保证管子尺寸精度和材料强度，节约能源，减轻劳动强度，提高效率，但弯管弯曲的半径较小。为了克服管子机械冷弯的不足，上海船厂在1965~1966年间自制了1台火焰弯管机，火焰弯管属机械热弯，在管子待弯曲部位用氧乙炔火焰进行环状局部加热，形成一圈很狭的加热区，待弯制的管子在加热区缓慢移动，加热弯曲，已弯曲部位再用环状喷水冷却。这样边加热边弯曲边冷却，直至所需弯曲段为止，狭窄的红热弯曲带保证了管子截面的椭圆度符合要求，火焰弯管可用较小的功率弯制大口径管子。弯管工艺经历了手工热弯、机械冷弯、机械热弯几个阶段，降低了劳动强度，提高了生产效率和质量，逐渐扩大了管子的规格和范围，为建立管子加工生产流水线奠定了基础。制造管子加工生产流水线。流水线主要由管子自动料架、定长切割机、法兰自动校装及焊接机、液压程控弯管机组成，各设备间用管子输送线联通。1978年，流水线进行调试运行，由于当时液压程

控弯管机尚未完工，流水线至直管法兰焊妥为止。为了实现弯管的无余量下料，成立了管子弯曲工艺研究课题组，对弯管的无余量下料工艺进行研究。经过对400余根管子弯曲成各种不同角度后进行现场实测，积累了一批常用规格钢管弯曲过程中延伸量和回弹角的数据，结合国外有关资料，制订了钢管弯曲延伸量和回弹角的实用查表。按该表进行了1400余次管子试弯，终于使弯管无余量下料工艺获得成功，1986年3月在中华造船厂召开现场鉴定会，通过部级鉴定。该课题获船舶总公司颁发的1987年科技进步三等奖，并为实现弯管的先焊后弯工艺创造了必要的条件。引进了数控弯管机、法兰定位机和马鞍形切割机，马鞍形切割机能切割两根管子相交时的相贯线接口，切割精度高，并能一次割出坡口，使该厂的弯管工艺技术达到了90年代国际水平。

管子敷设工艺 管子敷设工艺经历了现场或实物排装、单元组装分段预装的发展过程。50年代至60年代中期，修船与造船的管子施工，是先到现场用样棒弯制出所需更换或新制管子的样子，再按样棒制作管子，然后上船排装，修船时常用实物靠模型复制新管子，管子加工安装时间长。造船时，工人根据原理图施工，即使是同类型船舶的管子敷设，因各人的经验不同，管子的起向、形状也有很大差异。管子采用了放样和预制后，管子敷设开始与预舾装和单元舾装结合在一起，进行单元组装和分段预装。单元组装的方法实现了管子敷设与船体建造的平行作业，分段预装方法改善了管子敷设作业的条件，提高了效率，缩短了造船周期。

四、电缆

建造的船舶吨位较小，数量少、工艺落后，电缆敷设工艺采用陆上一般电气安装方法如穿电线管敷设安装。60年代期间随着船舶建造能力的扩大以及学习苏联的电缆敷设工艺，中华造船厂在电缆敷设与紧固技术中采用“紧钩”、骑马（卡）、导板等敷设和紧固电缆。70年代后，电缆敷设工艺得到了进一步的发展与提高，，电缆从采用“紧钩”敷设发展到采用尼龙电缆扎带、金属及金属挤塑、金属涂塑、金属包塑电缆扎带进行绑扎紧固电缆的新工艺。

电缆敷设贯穿水密舱壁时必须水密，尤其是战斗舰艇，为确保其战斗能力，必须满足“两个舱进水不沉”的性能要求，为此，通舱电缆的密封工艺，解决了密封填料及其电缆通舱的结构

第六节 切割、铆接、焊接工艺与装备

一、切割

船舶制造的切割工艺与装备，大致经历了手工火焰切割、机械切割、光电跟踪切割、仿形切割、数控切割及数控等离子切割等六个发展阶段。

解放前和解放初期，主要是以修船为主，同时建造一些小型的船舶，当时各船厂设备陈旧，大部分船舶是采用铆接，板材较簿、加工切割以机械剪切为主。由于火焰切割技术具有轻便、操作灵活等优点，很快在工厂生产中获得应用；但当时火焰切割的质量和精度比较低、一般手工火焰切割的表面粗糙度为0.5~1.5毫米之间，板边缘直线度上2毫米。光电监控跟踪自动切割机，提高了工效与质量，其切割后板边缘的断面粗糙度在0.5~1毫米范围内。该厂又采用了仿形切割和半自动切割机在生产中逐步替代了手工切割，光电跟踪切割机、靠模切割机获得了广泛使用；同时又开发配置了自制的圆规割炬、靠模板切割小器具。这些切割技术在建造“风”字号万吨船上发挥了很大作用，不仅减轻了工

人的劳动强度，而且提高了切割精度和工作效率。

自动碳刨机，适用于倾角不大于 15° 的钢板上平面刨槽。并在万吨货船的肋板试生产，质量符合要求。数控火焰切割机，以多年来积累的CNC技术为基础，经过十多年的持续开发，WKQ数控（火焰、等离子）系列切割机产品。WKQ系列数控切割机因具有自动点火、自动升降、自动穿孔、自动切割、喷粉划线、喷水冷却、返回重割、动态图形跟踪显示等功能，伺服系统采用闭环控制，响应速度快、定位精度高、割缝质量好，各项精度指标均达到国外同类产品的标准，，因此获得机电部颁发的火焰切割机械产品合格证书，二、铆接

铆接技术是船舶建造业早期采用的一种主导工艺。首次开始采用铁甲材料和铆接技术，直到20世纪30年代，舰体分段以及合拢均以铆接工艺为主。这种工艺是由4名工人组成一组分别负责烧铆钉、送铆钉、撑铆钉及打铆钉的工序，当时船舶上用的铆钉其最大直径为1英寸。劳动强度高，工作效率低。浅水客轮时采用铆、焊混合的船体结构，其中铆接工艺占96~97%，手工电弧焊接工艺占3~4%。这种铆焊混合结构船的设计，是由全铆船转化而来，很多地方还保留了铆接时的习惯结构，开始焊接工艺只是用在角钢对接接头上，上层建筑填角焊，后来向傍板的横向对接接头、双重底内构架与船底板的角接头等部位发展。当时之所以大量采用铆接工艺技术，其主要原因是受焊接技术的限制，又受到船厂的场地，起重能力的制约。起初，船厂只有土船台，没有起重设备，只能采用散装的办法在船台上总体制造，随着添置了5吨履带吊车才有可能制造半立体分段，焊接的采用率也随之增加，到1954年建造“大众”号3000吨沿海客货轮时，电焊率已提高到15%。1954年建造的500吨油驳和250匹渔轮时电焊率达30%。1956年平均电焊采用率达52%。1957年平均电焊采用率达98%。建造了第一艘全焊接结构的船舶“克凌”号黄河破冰船，其船型小，排水量仅147.5吨，并编制了电焊造船工艺。该厂扩展了新厂区、建造了冷加工车间、小合拢平台、中合拢平台和船台，配置了15吨高架吊车，具备了中型船舶的建造能力，从此摆脱了铆接的影响，装配和电焊工艺技术趋于成熟。

三、焊接

焊接是现代造船的关键工艺之一，它在船舶建造中的应用水平直接影响造船的质量和建造周期。上海造船焊接技术的发展大致经历了三个发展阶段：

铆接及铆焊混合阶段 船舶建造以铆接技术为主。建造2400吨级钢质“平海”号巡洋舰起，开始在船舶建造中采用电焊工艺技术，当时是对不重要的船壳部分或者施工部位比较困难地方的钢板之间的连接采用手工电弧焊接工艺，而对钢板与龙骨之间的连接仍然采用铆接工艺，这一阶段建造的船舶多半采用铆焊混合技术连接法，称之为“半电焊造船法”。第二次世界大战以后，随着电焊技术的日趋完善，世界各国在造船中全面推行焊接新技术，设计建造的634吨“民泰”号和“民铎”号两艘船时开始了全部采用电弧焊接造船工艺。

船舶焊接技术逐步发展、完善、提高阶段，各船厂引进和推广应用苏联的埋弧自动焊和半自动焊、电渣焊等新技术，这是中国造船焊接技术发展的重大转折点，它促使船体放样、船体加工及装备等工艺都进行了相应的改革。沪东造船厂在“01”产品的建造中引进了苏联的A π C-1000型，TC-17M-Y型自动埋弧焊机，并首次采用了YOHN13/55等低氢型焊条手工电弧焊，焊丝CB-08A和焊剂OC π -45埋弧自动焊，以及焊丝CA-08A和焊剂 ϕ π -9埋弧半自动焊等工艺，摆脱了完全采用手工焊的落后状态。1、电渣焊技术成功地应用于铸钢尾柱等大截面工件和1.2万吨自由锻造水压机部件80~

120毫米厚低碳钢的焊接，而采用整焊接结构形式的水压机在世界万吨级水压机制造中属首创。、也在建造的第二艘万吨船“风光”号及以后的各艘万吨船艉柱上采用了电渣焊工艺，焊机选用上海电焊机厂生产的丝极电渣焊机及工厂自行改装的熔嘴电渣焊机。建造一批万吨级大型船舶，这时又在各船厂中开始研制和应用二氧化碳气体保护焊接技术，单位组成的试验小组对大环缝全位置进行了双丝混合气体保护自动焊的试验研究并应用于实船生产。电垂直自动焊会战组，研制成强制成型气电垂直自动焊机。该机采用光导管熔池液面自动调节控制系统，可一次焊接成功板厚为12~25毫米的船体大合拢外板垂直对接焊缝，保护气体为氩气和二氧化碳混合气体，焊丝直径为 $\phi 2$ 毫米药芯焊丝。该设备的研制成功并在5艘万吨船和1艘大型破冰船上焊接了58条垂直焊缝，总长达500多米，采用气电垂直自动焊接新工艺后可提高生产效率4倍，生产成本可降低50%。与此同时，自由成型三丝多向自动焊机。该焊机采用三根焊丝分层同时焊接，焊接规范各自调节互不干扰，焊机沿着装有永久磁铁的磁性软轨爬行，用氩气和二氧化碳混合气体保护，焊丝用08Mn2Si 直径时为 $\phi 1.0$ 毫米，背面用紫铜衬垫，从而可达单面焊双面成型，大大提高了生产效率研制成功了压力架铜衬垫单面焊双面成型的焊接设备并应用在各种万吨船舶壳体拼板焊接工作和各种工业的施工中，板厚适宜于小于18毫米，该压力架设计有11只缸体，气缸内径为195毫米，每缸的压力为1500公斤，总设计压力达16.5吨，铜垫的上顶力是以槽钢制成的气室加橡皮密封再配以顶柱充气而成。其所焊的焊缝质量均能满足船舰的要求，能较大幅度提高劳动生产率。与此同时，焊机厂研制成功SDZ型双丝滑块水冷铜垫式单面自动埋弧焊工艺及设备，可进行板厚小于等于20毫米的拼板焊接。共同开发研制成功了预热焊丝埋弧自动焊接工艺及设备，用于舰船某些低合金高强钢的焊接，用附加交流电源对焊丝进入电弧区以前进行预热，只需较小焊接电流就能进行正常焊接，并提高了焊接接头的低温冲击韧性，确保了舰船的焊接质量。

船舶焊接技术向高效、节能、机械化、自动化方向发展阶段 随着国内外船舶需要的不断增长，要求船厂能提供更大型船舶，从而也推动了焊接技术的发展，高效焊接技术指导组的有组织、有计划、有步骤的指导与协调下，大力推广应用高效焊接技术，重点推广应用铁粉焊条、下行焊条、重力焊条等高熔敷率焊条焊接，二氧化碳气体保护焊接，各种衬垫单面焊双面成型焊接，气电垂直自动焊接，RF法双丝单面埋弧自动焊接、熔嘴电渣焊接等高效焊接新工艺、新技术、新装备，从而使各厂的造船产量不断增长，船台建造周期不断缩短、焊接质量提高，工人劳动条件改善、取得了显著的经济效益和社会效益。引进了挪威TTS平面分段流水线，该流水线总长193米，设置定位焊接、切割、型材、装焊等12个工位，引进了型材装焊机，24头重力焊门架及二氧化碳气体保护焊机等设备，设计能力每工班生产12×12米平面分段三个。在建造国内第一艘半潜式海上石油钻探船“勘探3”号中攻克了高压管的焊接技术，这些高压管线大多承受700kg/cm²及350kg/cm²压力，这些高压管焊接的关键是解决钨极氩弧焊焊接管坡口接头根部焊道背面焊缝成型和低氢焊条操作技术，焊工技能要达到6GR级也是国际上最高焊工考试等级。船舶工艺研究所设计制造的双丝埋弧自动焊机进行了压力架式的FCB（焊剂铜垫法）双丝单面埋弧自动焊接工艺，并获得中国船舶检验局（ZC）的认可，4200吨散装货船的建造中获得推广应用。国外船厂经验，自行设计研制焊剂垫装置，配置进口双丝埋弧自动焊机进行RF法焊接工艺试验研究，技术达到国外船厂的水平，焊接效率提高3~4倍。该工艺相继在8艘6万吨级船舶大拼板中应用，共计焊接14000余米焊缝。单面埋弧自动焊终端裂纹的研究，该成果是以热弹性有限元程序计算出焊接温度场和焊接附近的热变形，进而计算出合适的定位焊缝布置和带缝弹性熄弧板尺寸，可有效地防止终端裂纹的产生，该方法适用于焊剂铜垫（FCB法）双丝单面埋弧焊，焊接船体结构中的甲板、内底板、外板、隔舱板等拼板长接缝时防止终端裂纹。建造了高强度钢液化石油气船（简称LPG船）和低温钢液化石油气船，其中3000立方米全压式液化石油气船的液货舱罐采用屈服强度为620MPa强度钢，而4200立方米液化石油气船的液货舱罐体因最低工作温度为-104℃采用了

5%Ni 钢，这两种材料在我国海船建造史上均属首次使用，焊接接头的各项性能指标均符合设计要求。

四、焊接质量控制与试验

自从焊接技术应用到造船行业之后，焊接质量控制成为一个重要课题。5各船厂只进行焊缝表面质量的控制，焊缝尺寸要符合图纸要求，主要由焊工本人执行。一些船厂相继成立了检验科和无损检测室，当时的无损检测项目少，检测手段只有 γ 射线检测，随着船厂的产品变化和发展，无损检测技术有了进步，船体焊缝质量检验开始应用 X 射线及超声波检测法。同时还有39043/82柴油机产品等，无损检测的工作量与难度有了增加，检测方法也逐渐健全，有射线、超声、磁粉、渗透着色等检测方法，射线探伤设备从100kV 发到150、300kV，超声波检测设备从电子管到晶体管，检测精度和可靠性均有很大提高。为适应造船登高作业，仪器趋向小型化、便携化，为适应柴油机零件形状磁化要求，磁粉检测需要从过去单一的卧式机发展为用磁轭半波等的检测仪器，渗透着色检测改变了沿用20多年原配方，研制出了低毒渗透着色液，同时编写了《超声波探伤》、《磁粉和渗透探伤技术》等书，由国防工业出版社出版。从普通散装船、油轮到特种船舶，从水中到陆地到天空不断更新，迫使无损检测技术与国际接轨，各船厂相继编制了检测工艺、程序，采用国际标准，评定质量和国际接轨。以超声波检测为例，无损检测技术人员攻克了从普通对接焊缝到 T. K. Y. 型管接点焊缝质量检测，这也是超声波检测中最难的检测技术，对全国的船舶行业无损检测人员进行资格认可和考核，行使独立按考核条件进行培训，考核发证的工作。自行开发研制成功 HD 系列着色探伤剂。该产品具有灵敏度高、检测缺陷宽度 0.5μ 、渗透力强、毒性低、稳定性好、色泽鲜艳、清洗方便，对一般金属无腐蚀等优点。该产品在焊接试验方面，冷裂纹插销试验机、焊接参数计算监控仪以后，可定时评定与焊接冷裂纹有关的焊接和钢板各种参数，焊接电弧能量、预热温度、拘束度、含氢量等。焊接参数计算监控仪是应用高精度的传感器和微型计算机测量、计算、显示、记录焊接时的10个最基本参数如电弧电压、焊接电流、送丝速度、焊接速度、熔敷率、电弧能量消耗、线能量、燃弧时间累计、焊丝消耗量和焊接工件温度，上述两项试验设备是焊接工艺试验、质量控制、成本分析等领域内理想的测试工具，HY—80型焊接烟尘测定器，是一种快速正确的焊接烟尘测试装置，该装置获得部级科研奖。便携式 TS-II 型焊接烟尘净化器，可作为焊接船舶内底板、双层底、油箱柜等密封容器等场合的通风净化空气的器具，使用方便安全。