

第八章 船舶设计与建造



德育导学：

船舶建造过程是不断演变和优化的，“海之魅力号”的奇迹故事证实了船舶分段建造的巨大优势。

“海之魅力号”，是英国皇家加勒比海游轮公司旗下的一艘巨型豪华游轮。整艘游轮 280 米长、30 多米宽，重达 7.4 万吨，总计有 12 层楼高，最多可容纳 3000 名游客和船员。

但由于“海之魅力号”游客数量猛增，“海之魅力号”渐渐无法满足需求。于是，皇家加勒比海游轮公司决定对游轮进行改造，使其能容纳更多游客。

最终采取的游轮改造方案竟是——将这艘 280 米长的豪华游轮从中间切开，然后在断为 2 截的游轮中间再增加一截船体，从而使整艘邮轮增长 22 米。



豪华游轮“海之魅力号”艄部增长

“海之魅力号”的切割工作是在荷兰鹿特丹市科佩尔·维罗尔姆造船厂的码头上进行的，由于游轮总计高达 12 层甲板，施工人员花了足足 6 天时间切割，才将它从上到下一分为二。甚至，一个正好位于船体中间的游泳池也被切成了两半。然后，施工人员利用特制的滑动轨道，花了 3 个小时将船身分离到指定位置，以便腾出空间安装新的船体。

短短 6 个星期之后，一艘“加长版”的超级游轮“海之魅力号”就大功告成。据悉，“加长版海之魅力号”可提供 151 多个舱位，同时它还增加了许多新设施——诸如顶层游泳池甲板上的悬空吊桥、蹦床以及一个可容纳 108 人的巨大餐厅。载客增加 30%。“加长版海之魅力号”的改造费用高达 3000 万英镑。通常这样一艘豪华邮轮的造价至少为 5 亿英镑，而且制造周期将长达数年。而“海之魅力号”在短短一个多月内就魔术般地“变身”，堪称是一项奇迹。

第一节 船舶设计概述

船舶是一种水上的工程建筑物，其特点是技术复杂、投资大、使用期长，与国民经济、国防建设等许多方面有着密切关系。船舶是一项复杂的系统工程，它既是整个水运大系统的

一个分系统，受系统各方面的影响和约束，船本身又由许多子系统构成，这些子系统间相互影响、相互制约，甚至是矛盾的，因而船舶设计是一个相当复杂的过程，是一门综合性的科学技术。

船舶设计包括了船体设计和轮机、电气等专业设计，而船体设计又可分为总体设计和局部设计。船舶设计是根据船舶的设计任务书，通过分析、研究、计算、绘图等工作，从选择船舶的主要要素、船体型线类型、动力装置，估算和计算各项性能，选定有关材料和设备，直至作出为建造船舶所需的全部图纸与技术文件的过程。

现代船舶的设计，不但解决设计“怎样的船”，而且要解决“怎样造船”的问题，更要思考“怎样造更易于建造、便于维护、经济性更好的船”的问题。

一、船舶设计的基本原则

船舶设计是一项相当复杂且综合性强、涉及面广的工作，每一条船的设计要求均有所不同。用正确的原则来指导船舶的设计工作，是关系到设计质量的一个重要问题，必须加以重视和认真研究。船舶设计中必须遵守船舶设计工作的基本原则。

1、严格遵守国家有关规范、法规及有关国际公约

船舶设计必须严格遵守国家颁布的各种技术规范和法规。国际航行船舶还必须符合相关国际公约的技术要求。规范是国家颁布的技术法律文件。为了保证人民生命财产、船舶及其所载运货物的安全，保护海洋江河的自然环境，国家有关部门以及有关国际组织制定了许多的公约、规范和法规，如不符合这些技术法律文件的规定，设计图纸将无法通过船检部门的审查，船厂不得开工，建造好的船舶如不符合要求，船检部门不发证书，船舶无法投入营运。

常用的主要国际公约有：《国际海上人命安全公约》、《国际载重线公约》、《国际海上防污染公约》等。中国船级社所颁布的主要规范有：《钢质海船入级与建造规范》、《海船载重线规范》、《钢质内河船入级与建造规范》等。军用船舶也有一系列相应的设计建造规范。

2、切合实际. 讲求实效

船舶设计中要切合实际，讲求实效，这是一条重要的原则。在新船型开发研究、新船设计中，既要考虑长远的需要和技术发展趋势，也应适合当前经济发展水平，实事求是，讲求实效。不应片面地、盲目地追求技术的先进性，造成经济性下降。在研究采用某项新技术装备的合理性时，也须从技术先进性和经济效益加以综合考虑。船舶设计中应注重降低造价和日常的营运开支的措施，选用技术性能可靠、维修保养方便、经济实用的设备。在讲求经济效益和社会效益的前提下，结合我国的国情，切合实际地采用新技术，追求船舶设计的先进性。

3、树立系统观念. 抓住主要矛盾

在具体设计某一船舶或解决某一局部问题时，不应将其孤立起来，应树立系统的观点，把它放到整个系统中进行分析研究，搞清楚在系统中地位和作用，以及同其他子系统间的关系和相互影响，协调好它们的关系，处理好各种矛盾。

船舶同水运系统的其他分系统如港口、航道条件等存在矛盾，船舶本身的各个子系统之间也存在各种错综复杂的内在矛盾。在主机已定情况下，增加载重量与提高航速之间有矛盾；降低船造价与提高船舶设计标准之间有矛盾；提高稳性与缓和横摇之间有矛盾；船舶航向稳定性与操纵灵活之间有矛盾；船体结构强度与节省材料之间有矛盾。船舶设计就是在一个充满矛盾系统中，解决和协调好各类矛盾的过程。在设计开始时要根据船的使用任务进行全面综合分析研究，找出设计的主要矛盾，确定设计方案，即使在设计解决每一局部问题时，同样应找出影响这一问题的诸矛盾中的主要矛盾方面，分清主次。

4、满足安全适用、经济美观的要求

作为一般性准则，安全、适用、经济、美观是衡量一艘新船设计成功与否的标准。

（1）安全

船舶的安全可靠，是一个关系到国家和人民生命财产的重大问题，是船舶的一个基本质量指标，是船舶设计的基本前提。国家和国际上所颁布的各种技术法规和公约，为保证船舶的安全，对结构、载重线、稳性、分舱、消防、救生、起重、通信、建造等诸方面都作了明确的规定。船舶设计人员应认真研究，严格执行，确保所设计船舶的技术条件符合各种规范及公约要求。除了对船体结构和总体性能方面的约束外，船上的某些重大设备(如主机)和某些重要部件(如推进器、舵)的可靠与否，对船舶的安全性影响很大，在设计时也应充分注意。

（2）适用

适用性是指新船能否完成预定的任务并满足使用要求。这是建造船舶的目的。对民用运输船，保证运输能力与提高运输质量是设计的基本着眼点。如货船设计中，载重量、航速、舱容、装卸效率等；而客船的载客量、客舱标准、设备条件、航速、耐波性、安全性等方面则是应重点考虑的。

（3）经济

所谓船舶经济性，就是指船舶完成规定任务时，资金的耗费和积累情况。显然适用性是经济性的重要前提，不适用就谈不上经济性；同样，只考虑适用而不考虑经济效益也行不通。在船舶设计中，怎样花较小的代价取得较大的收益，使船有较好的经济效益是设计民用运输船舶中考虑的中心问题。

（4）美观、舒适

船舶造型的美观和船舶内部的适居性是其中的两个方面，船舶在满足安全、适用、经济的要求前提条件下，力求使船舶外观造型美观，船员和旅客居住舱室的舒适，随着经济的发展和人民生活水平的提高，人们对美观和舒适的要求越来越高，如果设计者重视，往往所花的代价很小，而收到的效果却相当好。

二、船体设计的工作内容

一艘新船的设计工作涉及面很广，从专业看包括以下几个方面：船体、轮机、电气等；而在船体方面，又包括总体、性能、结构、舾装等各个部分，同时在船舶设计的各个不同阶段，设计者所要完成的工作内容又是不同的。

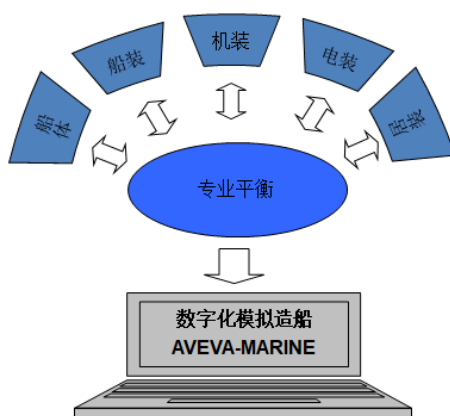


图 8-1 数字化设计内容

1、设计的依据—设计任务书

船舶的技术综合，配套复杂，投资较大，使用周期较长，因此对船舶的设计与建造必须持认真、慎重的态度，一艘船舶的问世，大致要经历船型论证、设计和建造三个阶段。经过船型论证，产生新船的设计任务书，对新船提出使用任务和技术要求，作为设计的依据和出发点。

民用船舶的设计技术任务书主要包括：

(1) 航区航线

这是指新船的航行区域。海船通常分为沿海、近洋、远洋等。内河船常按水系名称来分，如我国长江水系分 A、B、C 级。定航线船通常给出停靠的港口等。不固定航线船(游荡船或不定航线船)通常只给出主要航行的航线或航区。



思考与创造：不同的航区对于船舶的设计有什么影响呢？

(2) 用途

提出新船担负的任务，载重数量和性质。客船包括旅客人数、舱室标准等要求。货船包括货物的数量、理化性质、舱容等要求。一般货物给出载重吨数，而集装箱船通常为箱数，舱容的要求通常以积载因数 C (m^3/t) 来表征货物所需的容积，即每吨货所需求的货舱容积数。货物不同， C 值亦不同。 C 值越大，则对舱容要求越多，船的主尺度相对也就越大。对液体货物，通常用其密度 ρ 来表征其理化性质。有时还会对船提出某些特殊要求，如装大件货、重货等，对多用途船则要指明各种用途的具体要求。

(3) 布置特征

提出新船的船型（即船的建筑特征）包括上层建筑形式、机舱位置、甲板层数、甲板间高、货舱划分、首尾特征等。

(4) 船级

提出按什么规范哪一级设计新船的要求。如结构上按哪一个船级社的规范设计，稳性应符合哪一稳性规范的哪一级船的要求，航行于国际航线的船舶符合有关国际公约和规定，并要依照国际惯例办理申请入级手续，经检验合格后，发给相应的船级证书，才能进行国际航行。

(5) 动力装置

给出主机的类型，功率（或型号）及台数的要求。

(6) 航速、续航力和自持力

船舶航速常有试航速度与服务航速之分。民用运输船的设计任务书中应提出达到满载试航速度（ kn ）、续航力（在规定的航速或主机功率下，船上所带的燃料储备量可供船航行的距离）和自持力（船上所带淡水和食物可使用的天数）的要求。

(7) 结构

提出有关船体与上层建筑的材料，船体结构型式，特殊加强等要求。

(8) 设备

提出起货设备的能力及型式、舵设备、减摇装置、通风空调、导航设备等方面的要求或希望。

(9) 性能

提出新船各种装载情况的浮态和初稳性要求或希望，有时也提出耐波性、操纵性等方面要求。

(10) 船员及生活设施

给出船舶各类人员的编制，居住舱室及其他舱室标准等。

(11) 尺度限制

提出新船的主尺度限制，如船长、吃水、船宽及水上部分的高度等。这些限制主要由泊位、航道、船闸、船坞和桥净空高度所造成。大船通常限制吃水。内河船则对吃水和水面上固定上层建筑高度等方面的限制较多。

设计任务书是进行船舶设计的基础，是关系到新船成败的关键，如果任务书中对新船的

使用任务及技术要求提得不合理，即使在设计中尽了很大努力，也不可能设计出一艘成功的新船，甚至会造成重大损失，因此在设计中如果发现了新船设计任务与技术要求方面的重大问题，应进行协商妥善解决。

普通船舶的设计任务书通常由用船部门提出，但有时也可经用船部门和设计部门共同协商后由设计部门负责编制。

2、船体设计的工作内容

船舶设计是一个不断深化的过程。下面以扩大的初步设计（或称基本设计）阶段，船体设计所要完成的内容为例加以说明。

（1）确定新船的排水量、主尺度及船型系数

这是船舶设计中最基本的首要工作。新船的主尺度合理与否，是关系新船成败的主要因素之一。通常确定新船主尺度与船型系数时要考虑的因素有：保证重量与浮力的平衡；满足船舶布置地位的需要（即满足船舶本身设备和所载货物要求的舱容、甲板面积等方面的要求）；保证船的各项技术与经济性能；考虑使用、工艺等条件。

（2）船体型线设计

船体型线是关系到新船全局性的设计项目之一。船体型线合理与否，影响到船的性能、总布置、结构、工艺等多方面。船体型线图是总布置设计、船体结构、舱容与性能计算，以及机舱布置等设计项目的依据与基础。船体型线设计应与有关设计项目，特别是与总布置设计协调进行。

（3）总布置设计

通常在船舶设计初期，确定总体设想，选择与确定船的主尺度时，就要对新船的总布置格局，包括甲板层数、建筑特征、机舱位置等进行构思，勾画总布置草图。尤其对客船、汽车渡船、调查船等布置地位型船舶更是如此。

勾画总布置草图对确定一组适宜的主尺度有重要影响，待新船的主尺度确定以后就要进行正式的总布置设计。通常它需与船体型线设计协调进行，总布置设计的内容包括船主体、上层建筑及外部造型设计，进行纵倾调整，保证船有适宜的浮态；进行舱室内部和甲板设备的布置，规划通道与梯口等。总布置图是设计人员最能发挥主动性与创造性的项目之一，它的合理与否，对新船的使用要求，技术性能，经济效益及结构工艺等都有重要影响，也是其他设计项目的主要依据之一。

（4）船体结构设计

船体结构设计是船舶设计的一个重要内容，包括根据船的类型、使用要求及特点，选择船的结构形式；根据船的主尺度，总布置图和建造规范等计算与确定船体结构构件；绘制典型横剖面结构图；全船基本结构图并进行船体强度的校核。

（5）船舶舾装设备设计

包括根据船的使用要求及有关规范，计算、设计与选择船的锚泊与系泊设备、舵设备、起货设备、救生设备、消防设备等。

（6）各种技术性能与经济计算

各种性能计算是船舶设计的重要内容，通常包括船舶的浮性，稳性（初稳性与大倾角稳性两部分）、抗沉性（特别是对海洋客船有要求）、快速性（包括阻力估算与设计螺旋桨，估算出船的航速）、最小干舷、登记吨位等。显然，各性能与使用要求、经济效益、船的安全性等有密切关系。

经济性计算包括船的造价、营运开支、货运及客运收入、年利润等内容和净现值、必要货运费率、内部投资收益率等经济指标。显然，对于民用运输船，经济性好坏是核准新船设计方案的一个重要方面，而且往往是最主要的标准。

（7）材料及设备清单

包括船体钢料（不同板材及型材的规格与数量）、各种设备与装置的型号及数量，舱室木作绝缘及甲板敷料的标准和数量等。显然，它们是估算船舶造价的重要依据。

三、船舶设计的特点

前面我们仅以初步设计为例，简要介绍了船舶设计的主要内容。从这些内容可以看出船舶设计是一项复杂的工作，除内容多、涉及面广外，这些工作内容还存在着互为条件的关系，如总布置设计应同型线设计协调进行，在总布置设计时要知道型线的特征，而型线设计又要求以总布置设计和其他设计项目为依据与基础，因此设计不可能一下子得到结果。用设计螺旋线的概念可形象地反映上述逐步近似过程的特点和内容。

根据船舶设计实践，其特点可以归纳如下：

（1）综合分析，权衡处理，有所侧重。这是船舶设计的一个重要的特点，设计者应充分重视。在初步设计的各个环节上包括的主尺度及船型系数的选择，各项技术性能指标的确定，主要设备的选定，特殊技术措施的采取等等，都应注意在设计过程中根据不同船舶、不同设计条件，综合分析、比较，权衡处理，对于主要问题，应有所侧重，优先加以解决。

（2）逐步深化，不断反馈，渐趋完善。在船舶设计过程中，主要要素、总体方案的确定等设计项目不可能像解方程一样，可以得到精确的答案。在设计过程中应根据各种性能和结构等方面设计和计算结果，多次进行反馈，不断的修正和改进，逐步近似，最后才能趋于完善，了解了这一特点，有利于我们掌握设计的方法，在不同的设计阶段采用不同方法来处理设计问题。

（3）在借鉴与继承的基础上创新。现代船舶是科学技术不断发展的成果，各类船舶都有其独特的发展演变过程，但也都有由其使用任务所决定的共性问题，这决定了它们必然具有许多相近的技术特征和内在规律，合理地吸取和利用这类经验和规律性，可以减少盲目性，使新船设计有较为可靠的基础。

当然借鉴并不意味着不加分析的死搬硬套，继承也只能继承过去的精华，而且新设计的船一般都有新的要求和新的情况，设计工作必须符合新船的特点，做到在设计中有所创新。

（4）密切合作，相互协作，组织有序。船舶设计工作是一个涉及面非常广泛而复杂的系统工程，包括了船体、轮机、电气等多方面的专业内容。在设计工作的组织中，应注意到各个专业之间和专业内部的密切合作，在设计中应注意相互协调。一艘船的设计工作在船体方面、轮机方面和电气方面之间以及其内部都存着大量的矛盾，作好协调工作有利于设计工作的顺利进行。

四、船舶设计程序及内容

（1）编制设计技术任务书

设计技术任务书是船舶设计的依据，它全面地反映了对设计船技术性能的要求，并对船的主要技术要素做了具体规定，如船舶类型、用途、吨位、航速、机电设备等。设计技术任务书的各项技术要素，不能凭空编造，必须经过充分的调查研究，有时还要辅以必要的技术经济论证，才能确定下来。而这些要素一旦确定以后，设计船的技术经济性能大体就被确定了。从这个意义上说，任务书的编制，也是船舶设计的一个重要组成部分。

（2）初步设计

初步设计是按设计技术任务书进行的。在这个阶段里，要确定与船舶技术经济性能关系最大的一些项目，如船的主尺度和排水量、船体型线、建筑形式及总体布置、基本结构、主辅机及主要装置系统等。同时要进船舶主要性能计算，绘制型线图、总布置图、中剖面结构图等主要图纸，编制出全船说明书和材料设备清单。

这个阶段所提供的各项技术文件应能表明船的总体性能，应能据此判断设计船在技术上、

经济上的合理性、可靠性及满足任务书各项要求的程度，并作为审批的依据。

（3）技术设计

在初步设计被审查批准之后，即可着手技术设计，技术设计是初步设计的进一步深入。新船的所有主要技术性问题，都须在这个阶段内解决，要做大量准确详细的计算工作，并绘制数量较多的图纸。

这个阶段所提出的技术文件和图纸，应能满足验船部门审查、承造厂进行生产准备、估算。

（4）施工设计

技术设计被验船部门审查批准之后，根据建造厂的具体生产技术条件和船舶各项标准文件，应制订建造该船所需的船体、轮机、电气三方面的全部施工图纸和技术文件，称为施工设计。在船体方面要绘制分段结构施工图和制订工艺规程，以及绘制船舶设备、舾装的施工图等。

（5）完工设计

船舶在建造施工中，往往会对原设计作一些修改，如房间设备变动、某一设备的更换，以及经倾斜试验确定了准确的重心垂向高度等。因此，原来的设计图纸和技术文件（如浮态与稳性计算等）就与实船不完全相符了。为反映真实情况，在船舶竣工之后，应按实际情况修改图纸及进行必要的修改计算，为用船部门提供竣工图纸和技术资料，即制订完工文件。

船舶设计阶段的划分并不是一律如上所述。可以根据产品特点、资料的完整程度、设计人员的经验等具体情况的不同而有所不同。如有的单位就把初步设计与技术设计合在一起称为扩大初步设计。有些小型船舶，把初步设计、技术设计、施工设计全部合在一起，整个设计一次完成，设计审批工作也只做一次。

五、设计工作方法

（1）调查研究

设计人员从接受设计任务时起，就应考虑进行调查研究工作，广泛征求使用部门及航道、港务、船厂等有关部门的意见和看法；搜集有关的资料（包括国外实船资料和文献）；在可能的情况下，更应到相近的实船上做深入调查和体验，以获得第一手资料，使设计从一开始就建立在比较符合客观实际的基础上。随着设计工作的深入，设计人员有时还需带着设计方案和问题，通过各种形式做深入的调查研究，征求意见。这样就可少走弯路。

（2）借鉴与创新

在新船设计时，设计者常采用一种行之有效的方法——母型改造法。所谓母型，即与新船在主要方面相近的实船或已设计好的船。将母型各项要素按设计船的要求用适当的方法加以改造变换，即可得到新船的相应要素，这是一种既方便又可靠的设计新船的办法。借鉴过去的精华，结合新船的特点，考虑到新技术、新设备、新工艺、新材料在新船上的应用，做到有所创新。

（3）逐步近似

由于船舶的内在矛盾错综复杂，设计工作不可能一次完成，而是循着一个逐步近似的过程。初次近似只考虑少数主要因素，而后一次近似则计入更多的因素。后一次近似结果是前一次近似的修正、补充和发展，经过几次近似，最终得到符合各项要求的设计结果。

六、现代船舶设计软件简介

自 60 年代以来，计算机在我国船舶设计中的应用，已经历了几个阶段性的历程，即从单项计算程序到单项程序的组合系统、集成程序系统、交互设计系统等，为船舶设计开创了新途径，业已成为船舶设计中不可缺少的有力工具，使设计工作无论在速度还是在质量等方

面都有了极大的提高。

计算机的应用给船舶设计带来了极大的便利,计算机的应用已深深地渗入到现代船舶设计的各个阶段和环节中。在船型论证、方案分析、性能计算、强度校核、结构分析、设备布置、内装设计等各个设计环节中所需的各种计算、分析、绘图工作都有相应的计算机辅助设计 CAD 软件。设计中,现代船舶设计者正越来越多的使用虚拟现实技术,可以通过计算机屏幕,直接体验所设计船舶的工作环境的各种感受。

目前在船舶设计中常用的软件类型约有:计算机辅助船舶设计 CAD 软件;计算机辅助船舶结构设计 CAD 软件;计算机辅助船舶性能计算软件;计算机辅助船舶管系设计 CAD 软件;船舶资料数据库等,由于设计、生产的日益一体化,因此在设计中还常用到计算机辅助船舶制造 CAM 软件。这些软件有的是单项计算程序,但许多软件已组合形成计算机辅助船舶设计、制造和管理集成系统。目前,中国船舶行业应用较多的 CAD 软件系统主要有 TRIBON、CATIA、FORAN、CADDSS、NAPA 以及拥有中国自主知识产权的东欣船舶设计与建造系统 SPD 和 HDSHM 系统:

1、TRIBON 专业造船系统

TRIBON 系统是由瑞典 KCS (Kockums Computer System AB)公司设计开发用于辅助船舶设计与建造的计算机软件集成系统,也是一个先进的专家系统。TRIBON 的前身产品是 STEELBEAR, KCS 公司从 1958 年就开始开发此产品,后来该公司兼并了 AU-TOKON 公司和 SCI-IIPKO 公司,将 STEEL-BEAR, AUTOKON 和 SCHIFFKO 三大船舶设计系统合并,于 1992 年推出了 TRIBON 系统 M1 版,此后陆续升级到 M3 版本,2006 年该公司被英国 AVEVA 公司收购,推出 AVEVA 系列船舶行业版本。

该软件的特点在于用计算机建立船舶的生产信息数据库,通过在计算机建立一个实船模型,不仅完成绘制生产用图纸,还能进行各种信息数据的计算、管理和统计,这些生产信息可以提取,用于生产制造,实现设计与生产准备的统一。

进入 20 世纪 90 年代以来,我国有多家船舶设计单位和科研院所购买了该软件。在一定时期内 TRIBON 软件的大量使用提高了我国的船舶造船水平,TRIBON 软件集成制造系统功能的充分发挥,大大提高设计效率,减少工作量,缩短造船周期,使我国的造船水平与国际接轨,能够参与到国际竞争当中。目前,其国内用户最为广泛,如图 8-2。

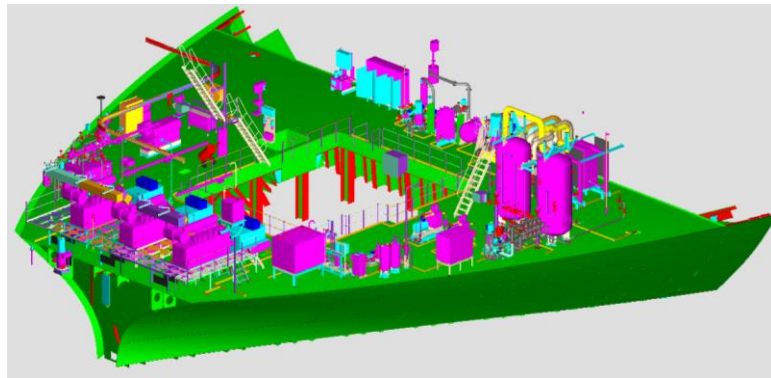


图 8-2 基于 TRIBON 软件的机舱总段设计

当然在应用中 TRIBON 软件的不足之处也比较明显:

(1) 开发环境落后

TRIBON 系统是在 DOS 系统环境下开发并逐渐完善的系统,这使得在 Windows 环境下操作繁琐,可视化程度低,一定程度上阻碍了它的应用和发展。

(2) 不能完全适应国内船厂情况,二次开发繁琐

TRIBON 系统本身提供了两种语言供用户提取数据,一种是宏语言 MACRO,另一种是建

模语言 PLM。按照原文件存储性质不同,可分为三类,即图形文件、建模数据文件、标准部件数据文件。针对这三种不同类型的数据,又采用了三种不同类型的提取方法。目前,只有科研能力较强的造船厂和研究所可以把这些数据抽取到外面的 SQL 和 Oracle 数据库中进行后续的处理和输出到其他 CAD 三维系统中进行更进一步的建模加工处理。如在二次开发比较成有沪东中华造船厂、广船国际和渤海造船厂。

(3) 拓扑关系不能动态更新

虽然 TRIBON 建立了统一的生产信息数据库,建立了构件间的拓扑关系,使得某一构件的数据一旦被修改,有拓扑关系的构件数据同时发生变化(假设修改合理),但它的变化是“假变化”,需要对这些构件的编辑对话框重新运行后,才能在三维视图中看到改动后构件的样貌。另外,在系统中,一旦模型修改,相应的图纸也会相应地发生更新,这种更新不是实时更新,需要操作者从数据库中重新调用,这在操作中往往会带来其他小麻烦。

(4) 熟悉软件时间长,培训费用高

由于 TRIBON 软件操作复杂,对技术人员专业素质要求高,使得许多企业和研究院所放弃了正规培训,靠帮助文件在实践中摸索,往往只应用了其中部分功能,并通过二次开发或结合其他软件共同应用。

2、CATIA 软件系统

CATIA 是英文 Computer Aided Tri-Dimensional Interface Application 的缩写,是世界上最主流的 CAD/CAE/CAM 一体化软件,隶属于法国 Dassault System 公司。现在的 V5 版本应用于 UNIX 和 Windows 两种平台,功能强大,广泛应用于航空航天、汽车制造、造船、机械制造等行业,它的集成解决方案覆盖所有的产品设计与制造领域,全球用户超过 13000 个,目前国内船舶行业的主要的客户是广州文冲船厂和烟台莱佛士船厂,使用 CATIA 进行船舶三维设计,取代了传统的二维设计。

(1) 为船厂提供系统级的解决方案

国内造船业的特点是建造船舶种类繁多,批量小,这样就加大了设计、制造和管理的难度。同时,从产品全生命周期的角度来讲,一艘船交付以后的整个维护费用,应该是造船本身成本的 3—4 倍,在几十年的运营周期里随时面临着维护的问题。CATIA 软件系统提供了这种功能,帮助船厂提高在造船行业特别是民船市场的竞争力。

(2) DMU 电子样机功能推动生产力的提高

与 CATIA 共同构成 PLM 系列的产品 DELIMIA,采用新一代的虚拟仿真技术,在计算机上完全实现设计、制造全部流程,直接可观测到制造结果,可对不合理的地方及时修改,达到全生产过程的最优。

(3) 支持不同应用层次的可扩充性

CATIA V5 对于开发过程、功能和硬件平台可以进行灵活的搭配组合,可为产品开发链中的每个专业成员配置最合理的解决方案。允许任意配置的解决方案,可满足大中小型船舶企的需要。

(4) 内核与操作平台的选择

CATIA V5 是在 Windows NT 平台和 UNIX 平台上开发完成的,并在所支持的硬件平台上具有统一的数据、功能、版本发放日期、操作环境 and 应用支持。CATIA V5 在 Windows 平台的应用可使设计师更加简便地同办公应用系统共享数据;而 UNIX 平台上 NT 风格的用户界面,可使用户在 UNIX 平台上高效地处理复杂的工作

(5) 可视化程度高,易学易用

CATIA 软件的界面友好,三维模型立体逼真,操作符合人们习惯,易学易用。

在国内船舶行业实际应用中表现出的主要不足之处:

(1) 并非专业造船软件

CATIA 软件率先用于飞机航天、汽车行业，后由于其强大的功能和良好的口碑，继而开发出船舶设计模块。从软件设计理念、操作习惯来看不是完全符合船舶行业的特点和习惯，这就使得在船舶设计尤其是生产设计中产生一些不便。

(2) 仿真缺陷

CATIA 软件是基于点、面、体素开发的实体软件，对于船舶行业中的声、光、电无法做逼真的仿真。

与 CATIA 软件的强大功能和系统技术结构相比，软件在造船模块方面的一些缺陷不影响其成为船舶行业优秀的系统级 PLM 软件。

3、FORAN 专业造船系统

FORAN 专业造船系统是西班牙 SENER 工程系统公司研发的。该公司原是西班牙著名的多学科工程咨询公司，由造船工程师于 1956 年组建。服务领域覆盖了航空航天、民用建筑、动力工程、流程加工业以及船舶与海洋工程，其所有部门和业务活动全部获得了 ISO 9001、ISO 14001 和 OSHAS18001 认证。

作为进入中国造船领域的新贵，FORAN 具有很多优点：

(1) 专业性

FORAN 是一款包含船舶设计所有专业覆盖船舶设计全过程的全面而完整的解决方案，为造船的全过程提供了集成化的整体解决方案，50 多年来，SENER 设计的船舶已超过 1000 艘。进入中国市场不久，目前拥有七〇一所、爱克伦（中国）集团船舶及海洋工程技术中心、江苏科技大学、哈尔滨工程大学等用户。

(2) 软件设计更加合理

目前的版本是基于 windows、面向对象体系、Oracle 数据库重新开发的，可以实现异地协同设计，很好的实现了单一数据共享的并行工程的设计模式，使得设计系统和管理信息系统之间的数据交换极为简单。这就使得用户界面极为友好、操作方式和设计流程符合船舶设计的工程习惯，FORAN 成为易于学习、易于操作的系统，无需复杂的 IT 支持。创新与二次开发更易满足客户需求，这也是引起客户兴趣的一个亮点。

FORAN 彻底避免了 TRIBON 软件初始化数据不能共享、数据库维护及管理不便、拓扑关系不能动态更新的弊病，真正实现了三维可视化总体设计，2D-3D 之间无缝转换，仿真功能，真正实现高效、可靠。

(3) 提出了数字化造船解决方案

以实现船舶产品全生命周期管理为目标，现有商业化的 PLM 软件为框架，采用开放式的船舶 CAx 软件作为上游的研发设计工具，以及制造过程管理软件 MPM 为下游的制造工具软件，并能和企业原有的或准备配置的 ERP、CRM、SCM、MES 等管理软件紧密集成并满足企业个性化需求的全企业统一的数字化造船平台。

不足之处主要有以下几点：

(1) 性能计算模块功能较弱

在 FORAN 的应用过程中，性能计算模块不能满足船舶性能计算的需要，有些还需借鉴其他的性能计算软件。

(2) 个别操作命令需改进

不通类型的船舶结构相差较大，有些建模命令虽能满足建模需求但操作方法复杂，不够直观。

据了解这些不足正在软件的推广过程中进行改进，相信这个优秀的软件在中国的船舶行业能够有更快的发展。

4、CADD5 15.0 专业造船软件

CADD5i 软件是美国 PTC 公司提供的、基于 UNIX 操作系统的计算机辅助设计与绘图系

统软件，曾服务于制造业的不同行业。CADD5 15.0 是 PTC 公司专门面向造船业推出的解决方案，它所提供的新特性和扩展功能可以帮助造船企业提高生产能力、改善易用性并增强协作性，解决造船业大装配结构的规模和复杂性的独特需求，并符合行业产品开发标准，已经成为我国军船设计制造的主要软件产品。

目前，CADD5 15.0 已经在武昌造船厂、武汉船舶设计研究所、大连船厂、山海关船舶重工、天津新港造船厂等国内客户中获得成功应用。实现了以三维设计为统一平台的数字化产品建模，建立了协同设计制造的工作环境，大大以提高企业的研发效率和设计能力。

CADD5 软件对操作环境要求较高，虽然安全性较高，还是限制了它在中国船舶企业的推广，主要客户为军品客户，民船较少。另外，CADD5 升级较缓慢，界面不够友好。

5、NAPA 船舶设计软件

NAPA 的全称是 naval Architecture Package,该软件是由芬兰的 NAPA 公司开发的一套主要用于船舶总体性能计算的软件,也可用于船舶结构的有限元建模、强度分析及船体结构的设计。公司成立于上世纪 80 年代初,至今已有三十年的历史。由于公司对软件的不断开发、更新和推广以及软件本身的可操作性和计算结果的可靠性,NA PA 赢得了越来越多的用户,目前已有多家船级社、船厂和设计公司采用 NAPA 计算船舶的总体性能。是芬兰 NAPA 公司开发的船舶设计软件包。它是一个不断扩充的系统软件,每年均会推出两个最新版本。目前主要包括总体设计、结构设计(NAPA STEEL)和船用装载计算机软件系统(ONBOARD-NAPA)。NAPA 总体设计涵盖了船舶设计所有的设计工作。它的功能包括线型生成、静水力计算、完整稳性计算、舱容(包括纵倾舱容)计算、破舱稳性(包括确定性破舱和概率性破舱)计算、可浸长度计算、谷物稳性计算、集装箱配载、配载计算、下水计算和倾斜试验报告、航速预估和螺旋桨设计、耐波性和操纵性分析计算、空船重量统计等等。

上述这些工作,NAPA 软件通过生成和存储同一个数据库,保持这些计算所用数据的同步性和一致性。这种同步性和一致性把设计人员从以前各个计算间需要人工更新数据的艰苦劳动中解放出来,使设计人员能更好地发挥设计才能,从而大大提高工作效率,促进我国船舶事业更好更快地发展。

6、东欣船舶设计系统、建造系统

东欣船舶设计系统和建造系统是由上海东欣软件工程有限公司研发的,该公司是沪东中华造船(集团)有限公司投资控股的软件公司,软件开发具有良好的企业生产使用背景。公司开发的船舶软件主要包括造船设计软件(SPD)、造船建造软件和造船 ERP(造船生产计划、造船物流管理、劳动力资源管理、船舶成本管理、人力资源管理、企业财务管理、船舶成本核算、船舶质量管理、设备信息管理)软件,公司拥有软件著作权和软件产品证书近 20 项。该公司软件产品已在国内 200 余家船舶制造厂、设计院所、大专院校成功应用,取得了十分明显的社会效益和经济效益。东欣软件为我国船舶工业推进现代造船模式,实现精细化管理,降低成本,缩短造船周期,增强企业竞争力作出了贡献。

东欣软件通过近十年的不断开发,目前已经具备了船舶生产设计所需的绝大部分功能,并且在人机交互方面也日臻完善。该软件涵盖了船体、舾装、船电、管系、风管等诸多专业领域。在船体方面,拥有型线设计、型线光顺、船体结构建模、报表生成、图纸生成、套料等多种功能。

第二节 船舶建造概述

船舶建造是在综合采用各种先进技术和现代科学管理的前提下指导的施工过程,即如何把设计阶段 经过试验和计算并按照规定而设计绘制的船舶图样转变成实船,同时在正常技

术指标的控制 下能够确保船舶的使用性能。

要想将一个出色的船舶设计变为一个实实在在的产品,除了要吃透设计者的设计思想外,工艺设计显得尤为重要,因此充分了解和掌握现有的生产能力及手段,充分发挥其潜能并加以认真执行,才会得到应有的效果。如今,在吸取了国际上先进生产技术“成组技术”的情况下,大力推行“壳舾涂一体化区域造船”法,壳舾涂一体化是指船体建造、舾装和涂装一体化(Integrated Hull Construction, Outfitting and Painting, 简称 IHOP),是世界造船界共同探求的目标。日本、美国、加拿大和西班牙等国都有与 IHOP 相关的论述和实践。目前,国内造船界为缩短造船周期,扩大造船总量,正在大力推行壳舾涂一体化区域造船法。

为了说明船舶制造技术的发展过程,现以分类特征、企业形态和时间为坐标,绘制技术水阶阶梯图,如图 8-3,图中在时间上将造船技术的发展划分为三个阶段:传统造船技术、现代造船技术和未来造船技术,在水平上将造船技术的发展分为五级。

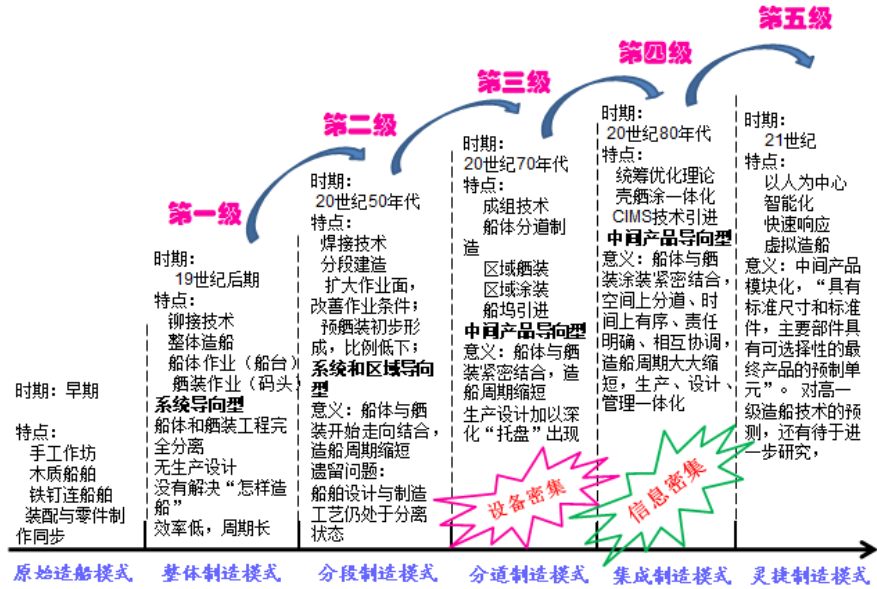


图 8-3 造船模式的演绎及划分

一、现代造船工艺流程

现代造船理念“以统筹优化理论为指导,应用成组技术原理,以中间产品为导向,按区域组织生产,壳、舾、涂作业在空间上分道、时间上有序,实现设计、生产、管理一体化,均衡、连续地总装造船”,如图 8-4。

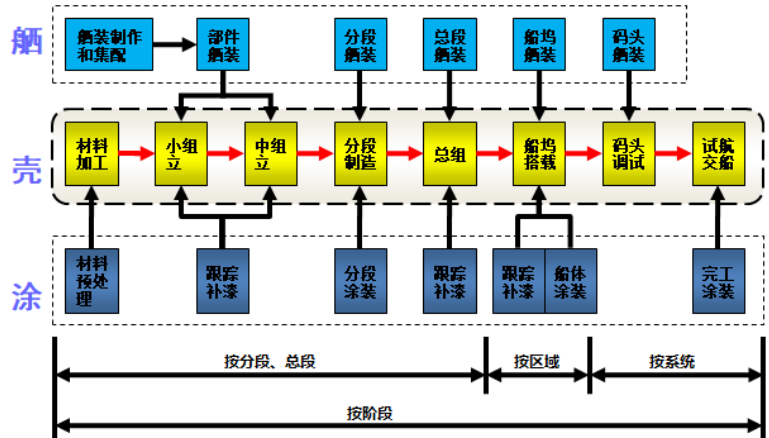


图 8-4 现代造船模式主流程

在过去的很长一段时期内，造船工艺分为船体建造和舾装工艺两大部分。但是由于近些年来，船舶建造的大型化以及环保的要求和宜人性的要求，导致船舶涂装工程量大大增加，质量要求也不断提高，涂装技术得到迅速发展，从而促使涂装作业从舾装作业中分离出来，形成独特的涂装生产作业系统。因此造船工艺分为船体建造、舾装和涂装三种不同类型又相互关联、相互影响的制造技术。



补充学习：

成组技术

成组技术的核心是成组工艺，它是把结构、材料、工艺相近似的零件组成一个零件族（组），按零件族制定工艺进行加工，从而扩大了批量、减少了品种、便于采用高效方法、提高了劳动生产率。零件的相似性是广义的，在几何形状、尺寸、功能要素、精度、材料等方面的相似性为基本相似性，以基本相似性为基础，在制造、装配等生产、经营、管理等方面所导出的相似性，称为二次相似性或派生相似性。

例如，表现在船体建造方面，可以将不同类型船舶的肋骨、纵骨进行成组，虽然形状略有不同，但生产的工艺程序相似，这样大大提高了设备的利用率。

船体建造就是将材料加工制作成船体构件，再将它们组装焊接成中间产品（部件、分段、总段），然后吊运至船台上（或船坞内）总装成船体的工艺过程。船体用材料多为钢材，其作业内容一般包括船体号料、船体构件加工、中间产品制造和船台总装等。

船舶舾装作业是将主船体和上层建筑以外的机电装置、营运设备、生活设施、各种属具和舱室装饰等安装到船上的工艺过程。它不仅使用钢材，还使用铝、铜等有色金属及其合金，使用木材、工程塑料、水泥、陶瓷、橡胶和玻璃等多种非金属材料。舾装作业涉及装配工、焊工、木工、铜工、钳工、电工等多达十多个工种。船舶舾装按专业内容可分为机械舾装、电气舾装、管系舾装、船体铁板装、木舾装等；按舾装作业阶段可分为舾装件制作、舾装托盘、分段舾装、总段舾装、船内舾装等；若按区域舾装法可分为机舱舾装、甲板舾装、住舱舾装和电气舾装等。

船舶涂装作业是在船体内外表面和舾装件上，按照技术要求进行除锈和涂敷各种涂料的工艺过程。涂装可使金属表面与腐蚀介质隔开，达到防腐蚀处理的目的。按作业顺序一般包括钢材预处理、分段涂装、总段涂装、船台涂装和码头涂装等几个阶段。



补充学习：

在考虑如何更有效地组织船舶舾装的工作过程中推行采用托盘管理的思想，大大方便了舾装作业的开展。下面让我们一起来学习托盘管理的精髓。

“托盘”是造船的实用术语。从形象看是一个钢质材料制成的筐，承载着托盘表所列的舾装件、连接件，按照作业小组的工作物量，送到指定的作业地点，所以也称“任务包”。

托盘的内涵与意义：

1. 托盘本质上包含了一种管理思想，表达了完成工作单元的信息和指令；



托盘运输

2. 托盘设计必须贯彻托盘表不能“跨阶段、跨区域、跨类型”编制的原则；3. 设计人员必须基于生产进度、施工区域划分、现场施工条件及施工劳动量来划分托盘，否则编制的托盘表将会给现场施工造成混乱；
3. 托盘设计的关键是保证托盘配齐率，确保制造和装配的完整性。

二、船舶放样与号料

1、船体放样作用

放样作为船体建造施工阶段的第一道工序；不仅是对设计意图的体现，而且也是对设计工作的一次检验、补充和修改。同时，它为后续工序（号料、加工、装配、焊接、检验等）提供施工资料。因此，放样的主要作用有以下几点：

（1）暴露和修正初步设计时的型线误差

将船舶型线设计时所绘制的1: 50或1: 100的型线图在放样间地板上按1: 1的比例放样，或者把型值输入电子计算机进行运算来暴露缺陷、发现问题、修顺型线、对应型值，以消除误差。

（2）补充和完善详细设计时的结构细节

在船舶结构设计时，由于船体形状复杂，仅设绘了基本结构图、中横剖面图、分段结构图等主要结构图纸，而实际施工中所需要的船体各构件的准确形状、详细尺寸和安装位置，则由放样来加以补充和完善。

（3）检验和纠正生产设计时的施工缺陷

设计人员在生产设计中难免会发生一些考虑不周、遗漏等不符合施工要求的缺陷，需要在放样时加以更正或修改。

2、船体放样、号料的方法

船体放样经历了实尺放样、比例放样和数学放样三个阶段，目前，各船厂都早已以数学放样取代了传统的实尺放样和比例放样。它不仅使放样方法发生了根本的变化，也对号料、加工、装配等后续工序产生深刻的影响。船体放样和生产设计合一以后，整个计算机系统能辅助人工完成船体生产设计和放样的大量工作。

根据船体生产设计（含放样）的任务，向计算机输入或调用初步设计、详细设计的图表文件，数据信息。经过程序系统的处理，完成船体生产设计包括放样在内的大量工作，输出船体生产设计的工作图表，施工信息文件。目前它能完成的工作有：

（1）船体型线的光顺，肋骨型线和结构线的放样；

（2）船体结构零件的自动生成，外板及其他构件的展开；

（3）钢材零件的套料，数控切割、号料的处理；

（4）胎架型值及分段装配数据的计算；

（5）其他数据的计算和统计，如焊缝长度、焊接工时统计，重量重心计算、下水计算等。

由此可见，进行数学放样，尤其是放样和生产设计合二而一以后，不但完成了原来实尺或比例放样的全部任务，还做到了许多在手工放样条件下难以完成的工作。

3、号料与套料

（1）号料

号料作业是在钢板或型钢上画出船体构件展开后的真实形状，并标注船名、构件名称、加工及装配符号等。

实尺放样时，号料用的是样板、样条、样箱和草图。比例放样时，号料用的是样板图、仿形图和部分样板。数学放样时，则分别提供“型钢号料图册”、“手工号料图册”和“数控号料图册”。型钢号料操作简单。手工号料的零件都是形状简单，易于用手工作图完成的板

材零件。形状复杂的船体零件则采用数控切割和数控号料。如肋板常带有曲线(型线)边缘,其上有较多开孔(人孔、减重孔、型材贯通孔、流水孔、透气孔、通焊孔)。这类零件在手工放样时必须订制样板或绘制样板图。数学放样时都采用数控切割号料,在零件切割的同时,划出其上的结构位置线和基准线作为装配的依据。这类形状复杂的零件在船体结构中占有相当大的比例。

(2) 套料

把若干个板厚、型材规格相同的构件合理地排列在一张钢板或型钢上,并依此进行号料以达到有效利用原材料的目的,称为套料。在实尺放样和比例放样阶段,套料作业都是手工完成的。采用数学放样以后,套料作业主要由计算机完成,称为数控套料,这就是计算机以一定比例给出船体构件的图形,并将这些图形在相同比例的钢板边框内进行合理排列,使钢材的利用率达到最高的程度,以取得最好的经济效益。图8-5为由计算机完成的船体零件数控套料图。

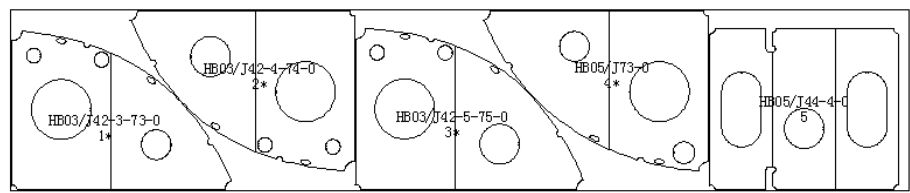


图 8-5 船体零件数控套料图

三、船体构件加工

1、钢材预处理

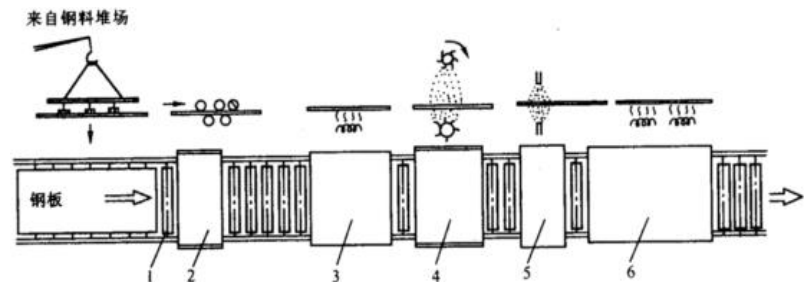
船厂使用的钢板和型钢,由于钢厂轧制时冷却收缩不均匀或运输堆放中的种种影响,难免出现变形和轻微的锈蚀。使用前,船厂都先对钢材进行矫正和除锈,并涂上防护涂料,这个工艺过程称为钢材预处理。

船体结构中的平直型钢构件,应先将将有变形的型钢在型钢矫形机(撑床)上矫直,再进行号料和切割。对于弯曲的型钢构件,则不必预先矫直,直接进行号料、切割和弯曲加工。

钢板的矫正一般都在七辊或九辊矫平机上进行。少数厚度超过矫平机加工范围的变形钢板。可使用大功率液压机或三辊弯板机进行矫平。

钢板除锈是清除其表面的氧化质和锈斑,以保证油漆质量,防止钢板锈蚀。船厂采用的除锈方法有机械法(抛丸、喷丸和弹力敲击)、化学除锈(酸洗)、电热法(火焰涂锈)和喷涂带锈涂料等。

船厂都把钢板的矫正、除锈、涂漆和烘干等机械装置,按工艺流程用传送滚道连接起来,组成钢材预处理自动流水线,见图8-6。钢板由钢料堆场吊至传送滚道1,由它送入矫平机矫平2。经预热装置3预热后进入抛丸除锈机4除锈。然后在喷涂装置5内喷涂防护底漆,最后经烘干机6烘干送往号料或加工场地。



1-传送滚道; 2-钢板矫平机; 3-预热装置; 4-抛丸除锈机; 5-喷漆装置; 6-烘干装置

图 8-6 钢材预处理流水线示意图

2、船体构件的边缘加工

边缘加工是指对构件进行边缘切割、开坡口和各种孔口。零件边缘全部为直边的构件称为直边构件，带有曲线边缘的构件称为曲边构件。

(1) 直边构件的边缘加工

直边构件的边缘切割完全是直线切割，按板厚和直边长短，可在压力剪切机、龙门剪切机、半自动气割机和高精度门式气割机上进行。压力剪切机适合剪切短的直边。龙门剪切机具有剪切效率高和剪切线准确的优点，适合剪切长的直线边缘。在使用剪切设备进行直边构件剪切时，还要用刨边机或铣边机进行焊接坡口的加工。

(2) 曲边构件的边缘加工

大量船体构件都带有曲线边缘。曲线构件的边缘加工，可以用滚剪机进行机械剪切，也可以用手工割炬、半自动气割机、光电跟踪切割机和数控切割机等气割设备进行切割。数控切割目前在船厂应用广泛。它是依靠数学放样提供的数控指令带或程序卡作为控制信息，操纵切割机自动进行构件边缘切割的。数控切割机同时可以进行零件上的号料工作。数控切割号料具有简化工艺过程、改善劳动条件、提高切割速度和割缝质量等优点。

数控切割、数控号料和数控绘图在原理上都是相同的，只是在执行机构上分别装的是割嘴、号料头、画笔而已。数控切割的过程见图8-7，代表操作指令的编码讯号输入专用电子计算机后，经过运算发出相应的电讯号，控制执行机构、完成构件边缘的切割。

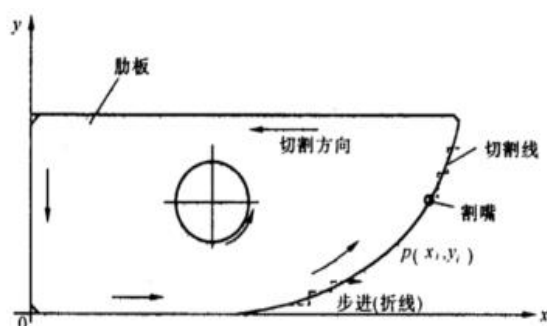


图 8-7 数控切割示意图

3、船体构件的形成加工

对于具有弯曲或折曲等空间形状的船体构件，边缘孔口切割后，还需要进行成形加工。船体构件的成形加工包括单向曲度板和复杂（双向）曲度板的弯制、板的折边和型材的弯曲。

(1) 单向曲度板的弯曲加工

这类构件如舳列板或其他部分外板和甲板，只具有圆柱形或圆锥形的简单空间形状。只需在三辊弯板机上来回滚压，用样板不断检查，即可获得所需形状。图8-8为三辊弯板机辊弯钢板示意图。

单向曲度板除辊弯外，也可以在液压机上用普通压模压制成形。在液压机上压弯操作复杂，劳动强度比较大。

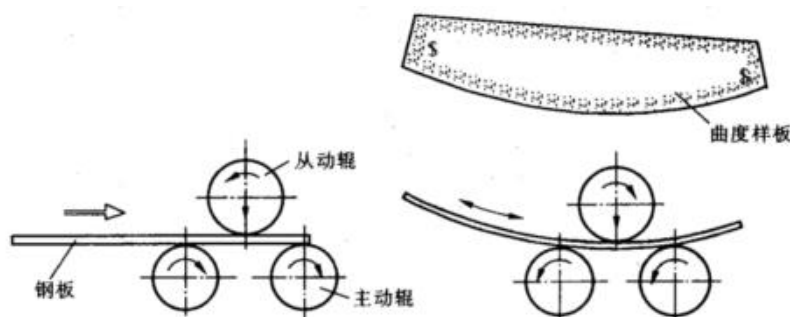


图 8-8 三辊弯板机弯板示意图

(2) 复杂曲度板的弯曲加工

小尺寸、大批量、具有复杂弯曲形状的板金零件，可在液压机上使用专用压模压制成形，但这在船体加工车间中很少应用。具有双向弯曲的船体外板，通常都是在三辊弯板机或液压

机完成一个方向的弯曲加工，然后用水火弯板工艺进行另一个方向的弯曲加工。

水火弯板是利用钢材局部加热和冷却时产生的热塑压缩变形达到成形目的的。首先，用氧—乙炔焰对构件的一定部位进行局部加热。因受热的只是部分金属，它的膨胀就受到周围冷金属的阻碍，在加热到一定温度时（600-700℃），该处金属就产生塑性压缩变形。让其在空气中自然冷却，或在加工钢板的正面或反面，用冷水浇淋加热线的周围，使其快速冷却收缩。正是这种加热部位的局部收缩，导致钢板的弯曲，以获得构件所需要的曲度和形状。图8-9中所示为同向弯曲的帆形板和异向弯曲的鞍形板的弯曲过程示意图。

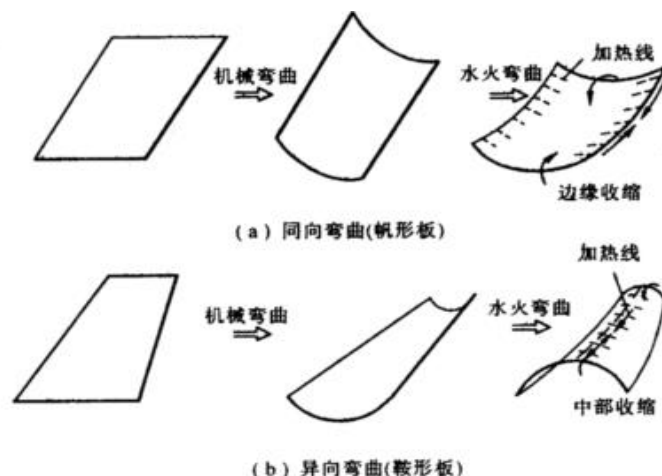


图 8-9 水火弯板示意图

（3）构件的折边

船体构件的折边或折角，可在专用的折边机上进行。也可在液压机上用模具压制。有时，在三辊弯板机上附加辅助装置，也能对钢板进行折角加工。

（4）型钢弯曲加工

弯曲的型钢构件在船体结构中数量很多，如肋骨、横梁和纵骨。型钢弯曲加工主要采用逆直线法。所谓逆直线是一条特殊的线，弯曲前，它在平直的型钢上是一条曲线，当型钢腹板边缘逐段被弯成与肋骨型线吻合后，该曲线就变为一条直线，如图8-10。这样，在型钢加工过程中，可通过不断拉线检查该曲线是否变直来控制工件的形状。近年来数控型钢冷弯机的采用，使型钢冷弯加工过程实现了机械化和自动化。

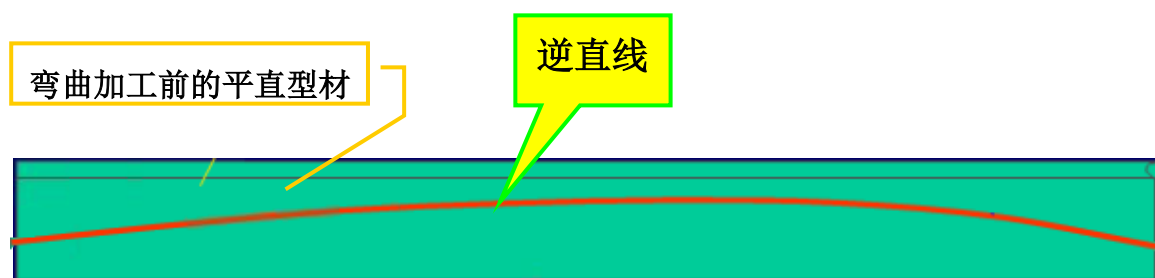


图 8-10 肋骨加工逆直线法

四、船体预装配

1、船体部件装焊

船体结构中的肋板、强肋骨、桁材、肋骨框架等,都是由零件一次装配而成,都是部件。图8-11所示为普通肋骨框架的装配过程。首先在铁质平台上画出框架的肋骨型线,标出外板板缝、纵桁位置线。依次对肋板、肋骨、横梁进行定位,使它与肋骨型线吻合,并和中线等基

准线对准。最后安装舳肘板和梁肘板,装配好的肋骨框架应在同一平面内。再进行框架的焊接。最后矫正可能存在的变形,使之符合误差要求。在框架上标明基准线、板缝、纵桁位置,并对框架作临时支撑加强。

通过测量对零件进行定位,装配过程中的划线(基准线、结构线、切割线)、零件定位后的夹紧固定、焊接和矫正是部件装配中的基本操作。

数量很大的平直和弯曲的丁字钢(纵桁、强肋骨、强横梁)、平板的焊接,大多采用自动装焊,零件的定位、压紧由机械、液压、气动装置完成,自动焊接。

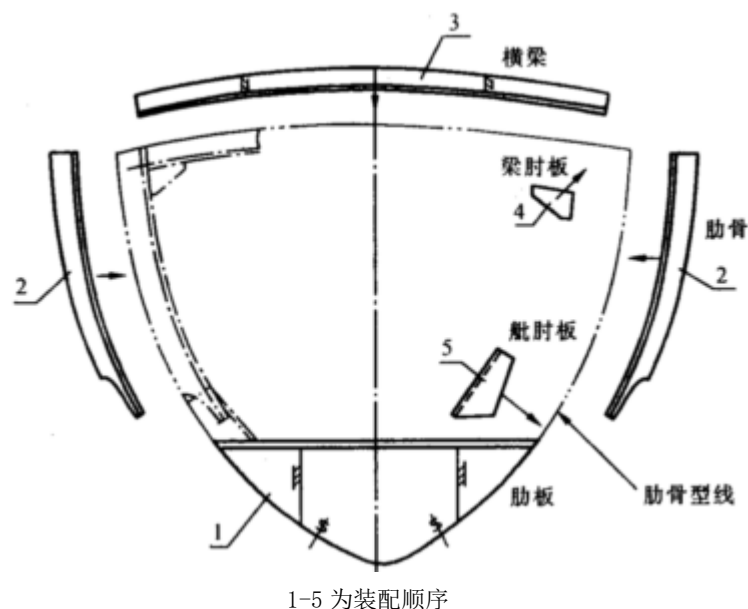


图 8-11 肋骨框架装配过程

2、船体分段装焊

分段结构类型的标准化是造船作业标准化的重要内容之一。为使分段制造的工艺流程合理化,通常将分段分为以下三种。

(1) 平面和曲面分段平舱壁、内底板、平台、平直的甲板和舷侧分段,在平台上进行装焊。甲板、舷侧和底部曲面分段在支柱式胎架上装焊。

(2) 立体和半立体分段由外板、内底板、甲板和舱壁板组成的封闭或半封闭分段,如双层底、带纵舱壁的舷侧分段、轴隧和球鼻艏等。根据装配基面选择可在平台或胎架上装焊。

(3) 大型分段和总段由若干个子分段组成,如甲板、舱壁组成的“T”型段,由舷侧、甲板、平台组成的“F”型段等。

分段按装配时的位置可分为正装法、倒装法和侧装(或卧装)法。根据结构尺寸、工艺装备和施工方便确定。平台、双层底分段可在平台上反装,艏、艉柱分段常用侧装法,艏艉总段在胎架上倒装。以平面为基面时,划线、骨架安装比较方便,且有利于采用自动、半自动焊接。

分段的各种不同装配方法,主要反映拼板划线后的内部骨架的不同装配顺序上。自分段中心开始,向前后、左右交叉装配纵横构件称为放射法(又称贴靠法)。先装间断构件、后装连续构件的称为插入法。在专用平台先将包括纵骨在内的纵横骨架装焊成整体,再吊上已划线的铺板上的称为分离装配法。各种方法各有优缺点,根据优化工艺方法的原则加以选择,现在则反映在由生产设计提供的分段工作图中。

下面以正装法的双层底立体分段(图8-12)制造过程为例介绍分段制造工艺。

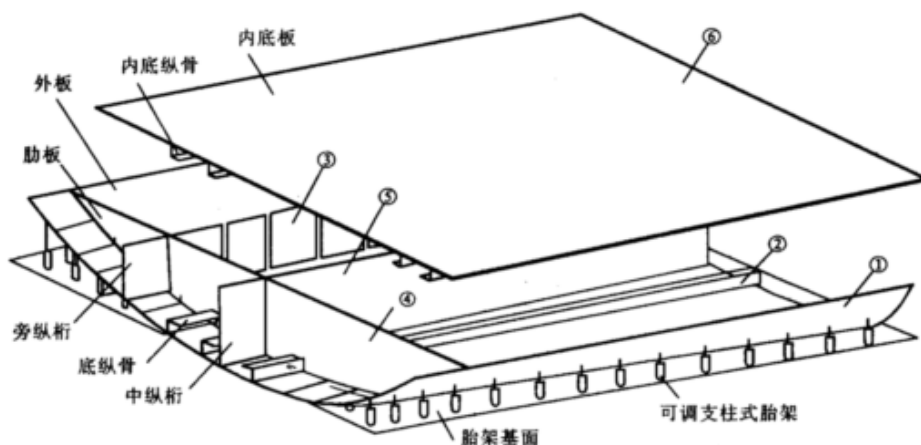


图8-12 双层底正装法

- (1)胎架装备;
- (2)铺板并焊接外板板缝;
- (3)划基准线、纵横骨架位置线;
- (4)装底纵骨,焊接;
- (5)采用插入法,依次装间断侧桁材、肋板、最后装中纵桁,进行内部骨架之间以及骨架与外板之间的角焊缝焊接;
- (6)安装管路、直梯等舾装件;
- (7)吊上已装焊内底纵骨的内底板,焊接;
- (8)分段下胎、翻身;
- (9)扣槽,进行外板封底焊;
- (10)火工矫正分段变形;
- (11)划分段轮廓线和定位基准线;
- (12)分段结构性验收;
- (13)分段二次除锈和涂漆。



思考与创造：船舶首部分段宜采用哪种装配方法？舵叶分段呢？

3、船体总段装焊

船体总段装焊有以下两种方法。

(1) 分段合拢正造法

适用于型线较平直的中部总段。先制造底部、舷侧、甲板和舱壁等分段，再以底部分段为基础，依次装配舱壁、舷侧和甲板分段。对分段进行测量、定位，有余量的分段，还要进行余量划线和切割。总段正造见图8-13。

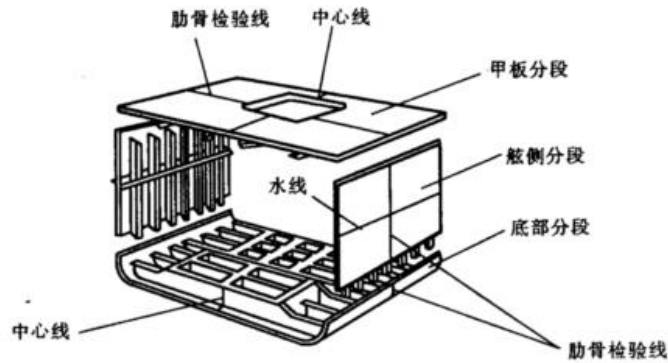
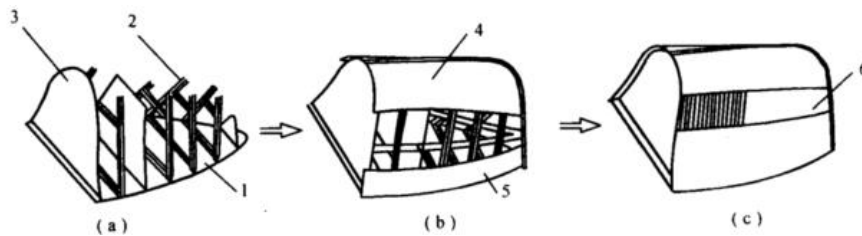


图 8-13 总段正造法

（2）总段倒装法

这是在甲板胎架上由船体零、部件直接装配总段。外板型线变化较大的艏、艉部和艏楼多采用这种方法装配。图8-14所示为小型船舶首部总段的装配过程。它是在甲板的胎架上先装焊甲板，划好构架线后，依次装上肋骨框架、横舱壁和舷侧纵桁，进行焊接。并以此作为内胎架吊装外板和托底分段而形成总段。



1-甲板；2-肋骨框架；3-舱壁；4-托底分段；5-舷顶列板；6-满档外板

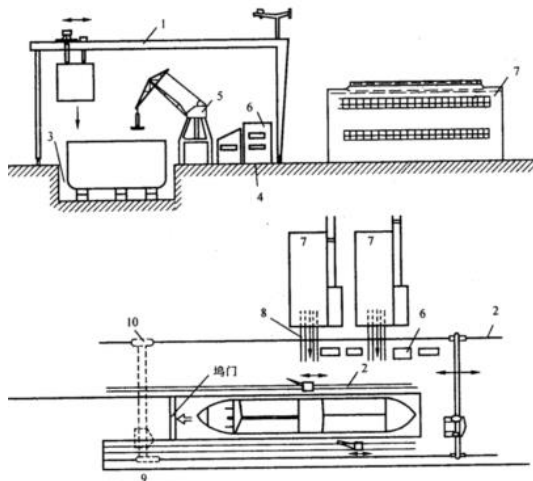
图 8-14 首部总段倒装法

五、船体总装

1、船台与造船坞

船台和造船坞是把完工的分段最后合拢成完整船体的施工场地。船台和造船坞上配有大型吊车、焊接设备以及电、氧气、乙炔、水和压缩空气等各种能源供应设施。并具有将船舶送入水中的下水装置。船台(及造船坞)都和分段制造区及船体装焊车间相毗邻,以尽量缩短将完工分段运至船台的距离。图8-15所示为一造船坞及其相邻的装焊车间、起重设备的布置。

造船坞适于建造大型船舶。其上配置横跨船坞和一侧分段合拢区的大跨距龙门式起重机。在造船坞中,建造中的船舶处于水平状态,这给船体装配和设备安装都带来许多方便。



1-大起重门式起重机;2-轨道;3-造船坞;4-坞侧场地;5-门座式起重机;
6-船体大分段;7-装配焊接车间;8-分段流动方向;9-水域;10-门式起重机水上卸货位置

图 8-15 造船坞及起重设备

2、船台合拢

船台合拢方法的选择,主要考虑充分利用船台面积,扩大作业范围,以最大限度地缩短船台周期。有利于控制船体变形,有利于舾装、涂装工作的开展。现代船厂经常采用的方法有以下几种。

(1) 总段建造法

总段的大小是从上甲板到船底,随船型不同有C型、D型等总段。通常是以舾装工作量大、周期长的机舱段作为定位总段先吊上船台。再依次向首尾吊装相邻的总段。对于小型船舶或有小车的水平船台上,环形总段的建造最具优越性。总段建造时船台工作量最少,船体变形容易控制,预舾装程度高如图8-16。密性试验和船壳涂装均可提前。但它对船台起重能力要求较高。

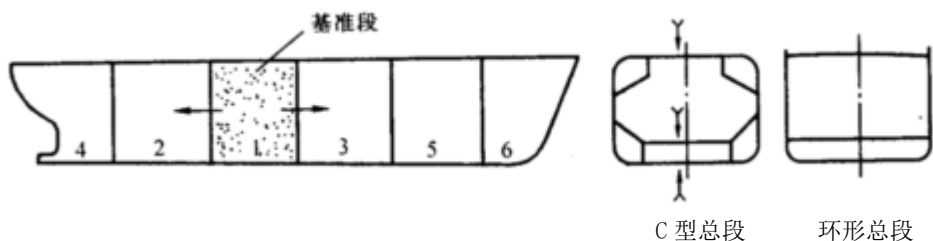


图 8-16 总段建造法



图 8-17 分油机系统的单元预舾装

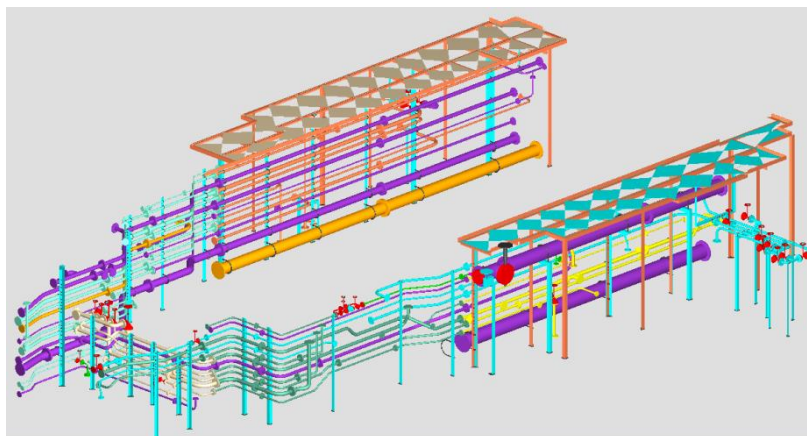


图 8-18 机舱管束单元模块先行预舾装

(2) 层式建造法

以船底分段为基准,机舱区分段作为定位段。将全船分为三个层次进行装配,第一阶段将底部分段以尾到首连续接通形成第一层次;第二阶段将舱壁以及下舷侧分段向首尾连续吊装形成第二层次;第三阶段将上舷侧分段及甲板分段向首尾吊装形成第三层次;此法船台工作负荷均衡,基线挠度容易控制,同类分段制造时间集中,效率高。但不利于预舾装,船台涂装工作量有所增加。

(3) 塔式及岛式建造法

采用塔式建造时,将靠近机舱前端的底部分段先吊上船台定位作为基准段。然后向首尾、向两舷、向上依次吊装其他分段。施工中的船体始终成下宽上窄的塔状,故称塔式建造。见图8-19(a)。

若将船体划分为2-3个建造区域,每个区域各选定一个基准段,按塔式建造法施工。区域之间最后以嵌补分段相连接,称为岛式建造,图8-19(b)为双岛式示意图。此法充分利用船台,扩大施工面,缩短船台周期。船台装焊工作负荷比较均衡。分区控制船体基线挠度也不易超差。但嵌补分段施工难度较大。

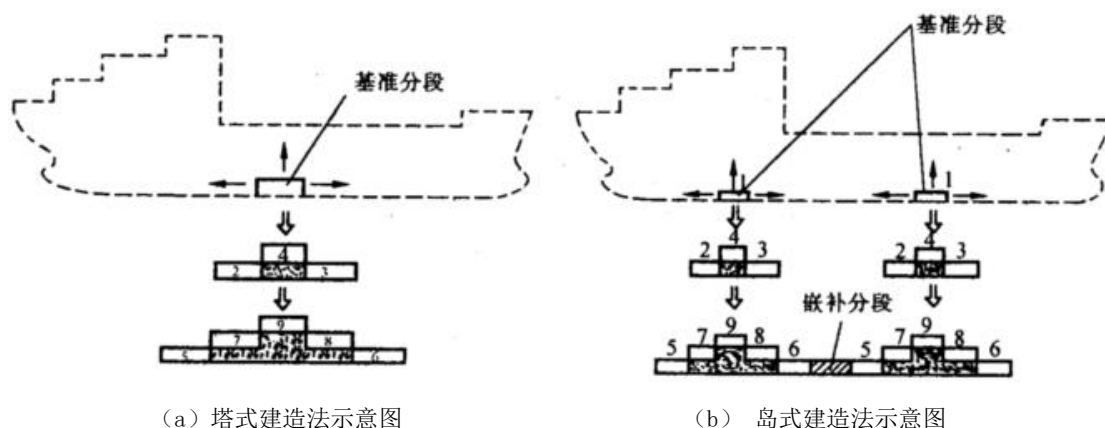


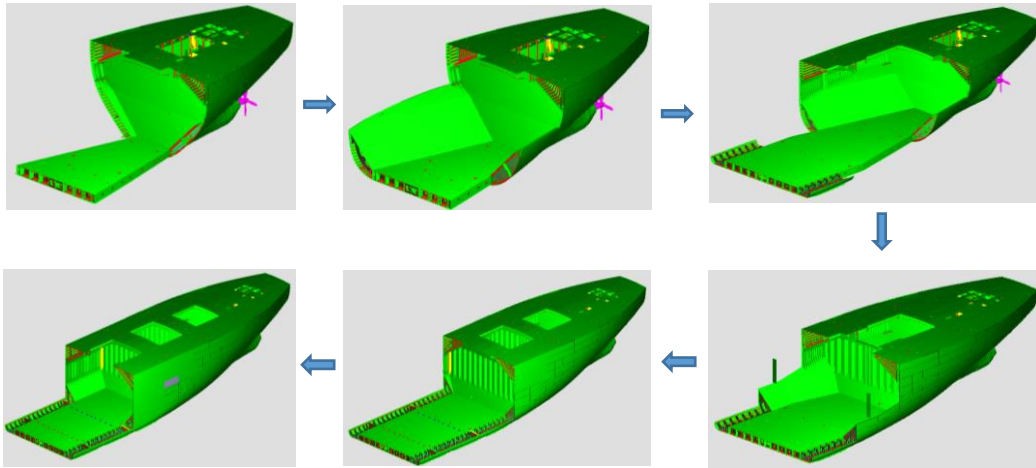
图 8-19 塔式及岛式建造法

此外,还有在大船台上造小船采用的串联法和在小船台上造大船采用的两段水上合拢法。一般应用较少。无论采用哪种方法进行船台分段合拢,都必须以船台上的基准进行精确的定位。有余量的分段还要进行余量的划分切割。为保证船体的形状和主尺度,采取必要的反变形措施。船台装配焊接工作结束以后,要测量船体主尺度和基线的挠度。



补充学习:

三维模拟船坞快速搭载



六、船舶密性试验

密性试验是在船体分段装焊结束及船体总装完成时要进行的工作，目的是检查外板、舱壁等的焊缝有无渗漏现象，以保证船舶的航行安全。通过密性试验，还可分析焊接缺陷产生的原因，为某些工序提供改进意见。其次，对于船舶设计上要求作强度试验的船体结构，还具有检验其在静载荷作用下，船体结构强度好坏的作用。

密性试验常用的方法有水压试验、冲水试验、气压试验、冲气试验、煤油试验和油雾试验等。近年来，还出现了适应分段预舾装要求的真空试验、角焊缝充气试验等无损探伤试验。下面介绍这几种常见的密性试验方法。

1、水压试验

水压试验是各国船级社认可的密性试验方法之一，即逐舱灌水并在船外观察焊缝处有无渗漏现象。其技术要求为：将水灌至所规定的高度，15分钟后检查有关结构和焊缝，不应有变形和渗漏现象。当外界气温低于 0°C 时，则应采取加热措施，使试验介质温度保持在 5°C 。水压试验最适宜于新设计的新型船舶需要做强度试验的舱室，此时密性试验和强度试验共同完成。作为单纯的密性试验，水压试验在船厂用的越来越少了。

2、冲水试验

冲水试验也是各国船级社认可的密性试验方法之一，即在板缝一侧冲水，在另一侧观察焊缝处有无渗漏现象。试验时喷水出口处的压力至少为 0.2MPa 。冲水试验主要用于水密门和窗、风雨密钢质舱盖、轴隧、海底阀箱、甲板室顶的露天部分和外围壁等水密构件的密性试验。冲水试验前，舱口盖和水密门按船员操作规范关闭。由于冲水使大量自来水流失，造成船舶及船台上环境污染，故用冲气、油雾试验来代替。

3、气压试验

气压试验也是各国船级社所认可的密性试验方法之一，即密封试验舱并充以一定压力的压缩空气(通过减压阀充入)，在焊缝另一面涂以起泡剂(肥皂液)，观察有无渗漏起泡现象。其技术要求为：气压试验的压力应不小于 0.02MPa ，但不应大于 0.03MPa 。试验时一般可充气到 0.02MPa ，保持压力15min，检查压力无明显下降后再将舱内气压降至 0.014MPa ，然后喷涂或刷涂肥皂水进行渗漏检查。采用气压试验与采用水压试验相比，可以大大简化密性试验过程，降低成本，节省时间，效果可靠。要求必须在舱室完整的情况下进行，但无法对舱

室做强度试验。

4、充气试验

充气试验是在焊缝的一侧冲气，在另一面涂上肥皂液，若发现起泡，即表明该处焊缝存在缺陷。我国规定：充气试验用的气压不应低于0.4~0.5MPa，要求同一段焊缝两面均冲气和涂肥皂液，以保证试验质量。同时规定：只有短而直的焊缝方可用冲气试验代替冲水试验。实践证明，冲气试验检查焊缝缺陷有较高的敏感性，特别是对检查水密舱壁纵骨穿过处的补板焊缝较为敏感，有其独到之处。

5、煤油试验

煤油试验也是各国船级社认可的试验方法。试验前，在焊缝的一侧先涂上宽度40-50mm的白粉，然后在另一侧涂上煤油，过一定时间后观察白粉上是否有油渍，在白粉层上不出现煤油痕迹者为合格。煤油试验在试验前要做充分的准备工作，试验时间较长，试验后还得清除白粉，试验工作较为繁琐。大面积采用显然不经济，多用于中小型船舶和焊缝的二次检验。

6、油雾试验

油雾试验是用煤油和压缩空气通过喷雾装置产生出具有一定压力的油雾，利用压力雾的强渗透作用检查焊缝是否渗漏。试验时，将油雾喷射到被试验焊缝处，在焊缝反面检查是否有煤油渗出。该试验操作简便，试验效果比冲水试验和煤油试验好，可以像冲水试验那样应用于分段建造中的密性试验。

7、真空试验

真空试验是通过装在被测焊缝处的真空盒上的空气排出器，来吸取其内部空气检查焊缝是否泄漏的。真空盒的盒体是透明的，以保证泄漏可见，并且将压力计安装在真空盒上。试验时将焊缝反面涂肥皂液，如焊缝有泄漏，则在真空盒中会看到气泡。真空试验可用于所有舱柜周界的焊缝，中纵舱壁、横舱壁及内壳纵壁的所有角焊缝，所有予合拢缝、合拢焊缝，货油舱区集油井处焊缝等。

8、角焊缝充气试验

角焊缝充气试验是在被测角焊缝一端开孔注入空气，在另一端用压力测量表测量其压力，并在角焊缝上涂肥皂液，检查焊缝是否泄漏。在角焊缝两端要安装连接件，以用来空气注入和压力表测量，并在试验后保留，两连接件外端要有20mm全焊透。试验时压缩空气将穿过连接件注入角焊缝，任何泄漏将通过涂于角焊缝上的肥皂液呈现出来。角焊缝充气试验后，连接件的所有开口将通过适当的焊接封闭。

建造大、中型船舶时，船体的密性试验最好能在内场或平台上趁分段制造完时就进行。然后再进行分段除锈、涂漆工作，仅在分段大接头处留出200mm左右宽度不涂油漆，在船台上只进行大接头部位的密性试验。船体密性试验的提前，可以有助于将大部分在船台上或船坞内进行的难度较大的密性试验作业，移到分段装配阶段中进行，大幅度地减少船台密性试验范围，对缩短船台周期极为有利；其次，由于密性试验在工作条件良好的内场或平台上进行，免受脚手架、照明、天气、温度和湿度等的影响，能提高密性试验的质量，并减轻劳动强度；另外，在分段装配过程中已完成密性试验的地方即可进行舱室涂装，所以能使舱室的涂装质量得到提高，而且涂装工作的生产效率也可得到提高。

七、船舶下水

船舶下水是当船舶建造工程大部分完工之后，利用某种下水设备，将船舶从建造区移至水域区的工艺过程。由于船台(或造船坞)的施工条件要比舾装码头优越得多，所以应当想方设法尽量扩大下水前的船舶完工量，以提高造船的综合生产能力，缩短造船的总周期。

随着造船工艺的发展，预舾装工艺的应用达到相当高的程度。目前，在一般船厂中，下水前的船舶舾装完工量往往可达70%~80%，甚至超过90%—95%。为了船舶下水，船厂根

据自身的条件和生产的要求,可选择各种不同的下水方式和厂水设施。按船舶下水原理可分为:重力式下水、漂浮式下水、机械化下水3大类,下面介绍几种常用的下水方式。

1、漂浮式下水

这是一种简单而安全的下水方法。将水注入船舶建造区,依靠船舶自身的浮力漂浮而起的下水方法称为漂浮式下水。

图8-20所示的造船坞是漂浮下水的设施,船体是在坞内建成的。由于新船的空船重量较小,具备漂浮条件时的吃水也较小,因此造船坞的坞深较修船坞为浅。但从结构上看与修船坞很相似,也是由坞门将水域和坞室隔开,坞内的水抽干后即可在坞内造船,此时船是呈水平状态建造。下水时,先在坞内注水,使船漂浮起来,当坞内与坞外的水位平齐时,即可开启闸门,拖船出坞。这种下水方法操作简单安全可靠。但造船坞的基建投资较大。

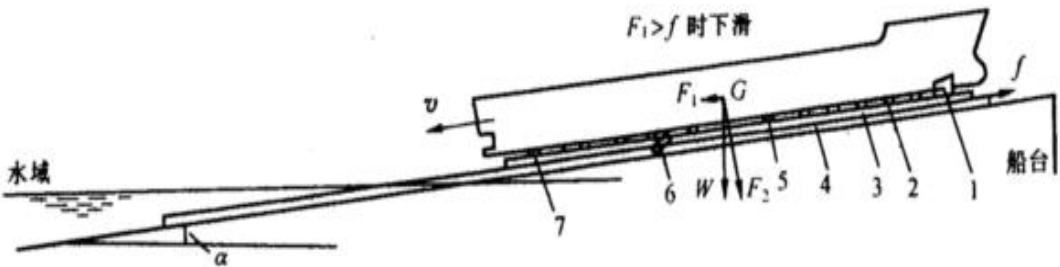


图 8-20 船坞

2、重力式下水

重力式下水是船舶依靠自身重力在倾斜滑道上产生的下滑力,克服滑道与滑板间的摩擦阻力而下滑入水中的下水方法。它适合于在倾斜船台上建造的船舶下水,分为纵向下水和横向下水两种。

图8-21所示为纵向重力式下水装置。船舶下水前,在滑道与滑板之间涂以润滑剂。下水时先拆除船底的全部龙骨墩、边墩和支撑,使船舶重量移到滑道和滑板上。再松开阻止滑板滑动的制动装置,船舶连同滑板,下水支架一起自行滑入水中。这种方式适用于大、中、小各类船舶,设备简单,但下水准备时间长,操作复杂,劳动强度大。



1-前支架; 2-首金属支架; 3-滑板; 4-滑道; 5-下水龙骨墩; 6-止滑板机; 7-尾金属支架;

α-沿台倾角; f-摩擦阻力; W-下水重量; F1-下滑力

图 8-21 纵向重力式下水装置

3、纵向船排滑道下水

它是在纵向滑道基础上增设带轮的船排组成的。承载船舶的整体或分节船排的顶面与轨道面始终保持平行。船舶下水时由绞车牵引船排,船舶借滚轮轨道上移动,将船舶送入水中,

见图8-22,船排连同下水船舶依靠重力下滑。

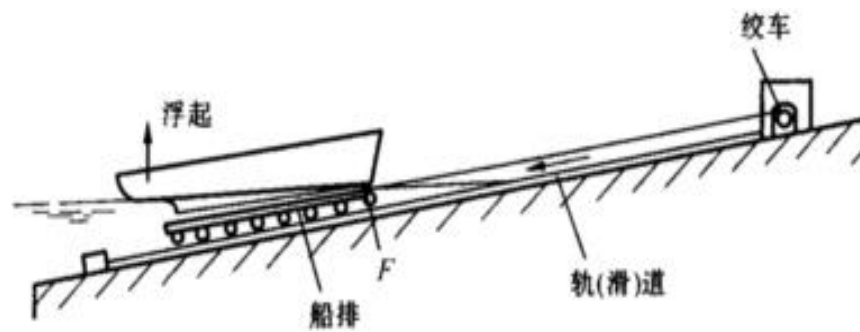


图 8-22 纵向船排滑道

4、气囊下水

船舶气囊下水是应用比较广泛的一种下水方式图8-23。该技术不需要传统技术的滑道或者浮船坞，不需要复杂的机械设备，能够最快最简单的完成船舶下水、船舶上岸任务，能够为船厂节约大量投资和时间。不占用场地，尤其适合于新建厂或者某些临时船舶下水、上岸任务，例如偏远地区的船舶上岸修理等项目。



图 8-23 气囊下水