

# 国外船舶舾装现状与发展趋势

李兰美,梁华军

(上海船舶工艺研究所,上海 200032)

**提 要** 本文从舾装设计和管理、预舾装和单元组装、管子加工、区域舾装及模块舾装等方面阐述了国外造船发达国家船舶舾装技术现状及发展趋势。

**主题词** 单元舾装 分段舾装 管子加工  
科技发展预测

## 1 引言

传统的造船工艺,将舾装作业作为船体建造的后续工序,即船体先行建造,船体完工下水后,停靠在舾装码头进行设备、管路、电缆的安装和调试,直至交船。

而根据现代造船模式、壳舾涂一体化的指导思想,舾装必须与船体建造并行或交替进行,从而出现了“预舾装”或“先行舾装”工艺的概念。预舾装分为单元舾装、分段舾装和总段舾装。单元舾装应该与船体建造并行;分段舾装、总段舾装应在分段和总段制作的适当时段进行。舾装单元高度组织化的生产,已为国外先进的船厂所应用,铁舾件、管子零件和局部装配的组件都直接形成舾装单元。

随着造船生产设计、成组技术等先进技术的推广和应用,造船技术由传统的按系统导向的造船方法,逐步朝按区域导向的造船方法发展,按不同的区域,采用最适合于该区域的安装工艺。一切设计、计划、船体建造和舾装均按船的“地理区域”进行。区

域舾装法的首要目标是简化舾装工作,其要领是尽可能将舾装作业提前,以便在建造的初始阶段,在工作安全、出入容易和较好的施工环境下完成舾装作业。据统计,同一舾装工程,在部件、分段、船坞、码头上进行,所耗能量为1:3:6:9,可见,舾装工作的前移,可大大提高生产效率,从而缩短造船周期。

## 2 舾装设计精细化和托盘化管理

早在20世纪70年代,日本的造船企业就已经在舾装作业的设计与管理中实现了托盘化管理。例如,日本三井千叶船厂对全船的舾装件进行了分类,除了大型的设备如主机、柴油发电机、锅炉等,还有仪器仪表、易损设备、消耗品等不进入托盘管理外,其他舾装件的舾装设计与管理均实现了托盘化。托盘管理的舾装品由集配课按计划直接送到现场,再由工人安装到分段上,安装工只需随带工具即可,而且在托盘中还配备了相应的螺丝、螺帽等小五金用品供舾装使用。该项工作具体表现在以下几方面:

(1)按照区域划分进行舾装设计;

(2)按照工序前移思想确定效率最高的舾装阶段;

(3)按照舾装件类型进行托盘化管理(配盘与运送)。

经过多年的应用、改进和完善,目前千叶船厂已应用CIMS技术实现设计、生产、管理一体化,采用分段预舾装、单元组装和总段预装等形式,在专用的厂房、场地开展舾装作业。在总装造船思想指导下,

作者简介:李兰美(1980—),女,工程师。

## 展相结合

现代造船模式,它是以中间产品为生产单元,实现流水作业化。这种思想方法实现了单件、小批量无法使得流水作业化的船舶产品,运用成组技术,将工艺相似的零部件组合在一起,划分成若干个标准的生产单元,经过各工序的统筹优化,空间上分道、时间上有序,从而实现流水线作业。在每个流水线上可大大提高专用设备的利用率,也大大提高了生产效率。

现代造船模式的另一个特点是设计、生产、管理

一体化。要达到这个目标必须实现电算化。而整个设计生产过程必须是信息化的。目前各船厂设计基本实现了电算化,但因资金所限,智能化设备不足,尚未全部做到设计数据直接传输,并作为数据指令直接指挥流水线上的伺服设备执行任务。因此,不少生产线上出现了瓶颈,影响了整个工艺流程的进度,使得引进工艺装备的生产效率难以提高,这是一个值得注意的问题。

舾装与分段制作平行作业,预舾装的范围也不断扩大,部分铁舾件在船体分段装配阶段即已安装并跟踪涂装,船舶下水前几乎所有的舾装件都已安装完毕。

美国的先进造船企业将 LNG 船上直径 100ft 的球体也作为舾装件对待,在舾装设计时考虑得非常周到,并进行托盘化管理,在专用场地上进行舾装作业。有些厂的托盘化管理甚至做到,在各类舾装件采购时就要求供应商根据不同安装阶段涂上不同颜色。另外,在物资采购时,按托盘进行成本控制。

### 3 预舾装和单元组装技术日趋成熟

国外预舾装和单元组装技术始于上世纪 50 年代末和 60 年代初,发展到今天,已趋于成熟。预舾装的应用不断扩大,单元向标准化、模块化、大型化方向发展。一些大型区域单元,其重量已超过 700 t,安装、拆修方便,且结构互换,使预舾装技术大大向前迈进了一步。目前,韩国大宇船厂上船台前预舾装率已达 90%。

美国国家钢铁和造船公司(NASSCO)从 1986 年以来,一直在为该公司承造的所有船舶制造安装大型综合机械单元,在新的海洋补给船建造纲领中,已最大程度地应用了综合机械单元。例如,低位海水冷却单元、底层机舱的整套单元与船体并行制造,完整组装后上船安装,只需用螺柱固定即可。当时唯一不足的是,这些单元只适用于一种船型。1996 年,NASSCO 开始进一步发展标准机械单元技术,此技术主要应用于主机为 1000~50000 马力低速柴油机的货船机舱。此项技术系统地应用参数分析法评价关键设备,并选择一个或整套相似的解决方案。关键参数包括船型、船舶主尺寸和航速、机舱位置、主机供应商、主机功率、船东选择等<sup>[1]</sup>。

德国 Thyssen Nordssewerk 船厂于 20 世纪 90 年代末,广泛采用大型标准机械单元。该厂已将其单元化方案应用于 16 000 kW 功率的低速柴油机集装箱船建造中,并且向机舱布置相同的以 20 000 kW 功率柴油机为动力的船舶建造方向发展<sup>[1]</sup>。

日本川崎重工也认识到单元化的优点,诸如降低总的生产成本;降低系统和详细设计成本。但日本川崎重工并未完全采用单元化,仅在设计阶段采用标准系统单元,在生产阶段并未采用。

日本石川岛播磨公司 20 世纪 90 年代以来,在货船建造中一直采用标准机械单元进行安装。这些

标准机械单元在专业工厂制造,将小单元连接成一个大单元,然后用驳船运到吴船厂在船上安装。这个大单元安装在机舱内的主机前方到机舱前隔舱壁之间。石川岛播磨公司采用参数设计并稍加修改,将大多数模块应用到各型船舶。

目前,日本石川岛播磨公司对管子单元已部分实现数字化模拟装配。管子单元数字化装配,首先应用装配模拟程序模拟整个装配过程。原理如图 1 所示。

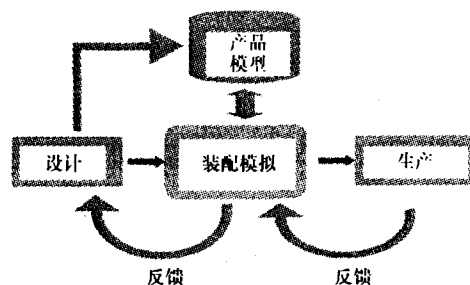


图 1 管子单元数字化装配原理图

在车间的计算机(与船厂局域网相连)上显示装配部件的结构树。

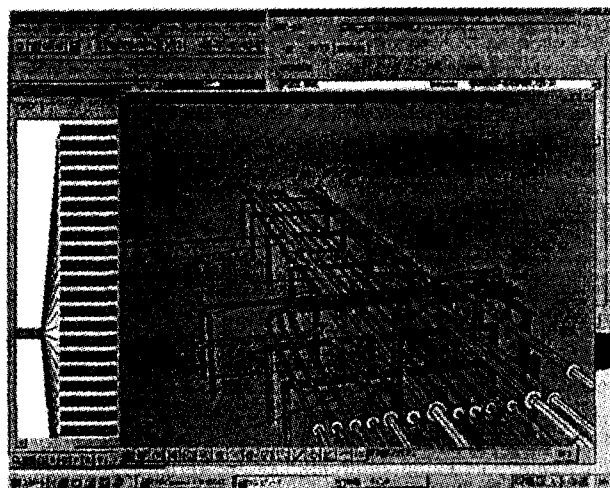


图 2 计算机显示的装配部件结构树

图 2 三维图是任选的一个区域,包括相关部件表,表中列出托盘名、部件种类(支架、管子、阀等)、部件名、二级部件(密封垫、螺母等),以及每个部件之间的连接关系。显示结果非常容易理解,即使无经验的工人也能理解并进行施工。为了使部件可以不按顺序从底部起开始装配,装配模拟程序自动决定装配顺序;同时仔细考虑顶部和底部位置,因为分段装配时可能倒置,尤其支管、短的弯管和对角布置的管子要特别注意。通过计算机直观显示,工人在开始装配前就能发现问题,了解操作程序<sup>[4]</sup>。计算

机上显示的装配程序如图3~图5所示;图3表示管子支架装配后的情况,图4表示20%的管子已安装;图5表示80%的管子已安装的情况。

为了使工人在管子车间内就能找到所需的部件表,日本石川岛播磨公司还在管子车间模拟装配系统中应用便携式计算机,使工作效率大大提高。

另外,国外先进造船企业的单元组装技术,正不断向标准化和大型化发展,并趋向单元组装与船体总段建造相结合,即在船体总段上安装大型区域性单元。例如,韩国大宇船厂一个完整的总段重量达到3000t。

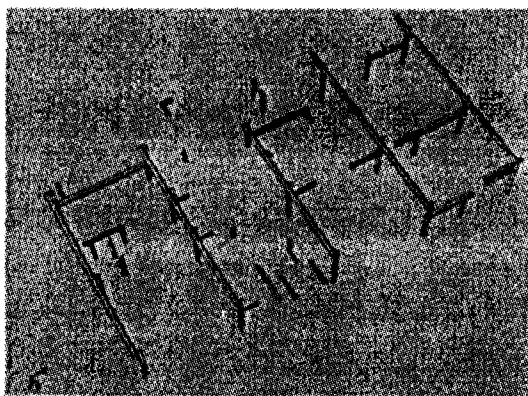


图3 计算机模拟管子安装过程1

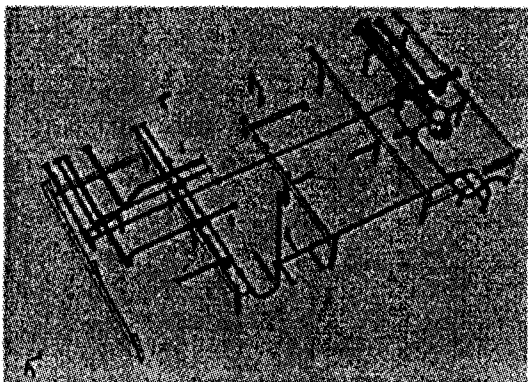


图4 计算机模拟管理安装过程2

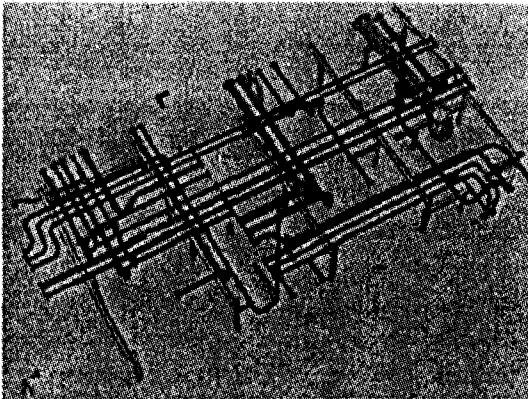


图5 计算机模拟管理安装过程3

#### 4 模块舾装技术是发展方向

模块化造船是船舶建造方法的一个重要发展趋势,尽管目前在结构模块上还没有明显的突破,但功能模块的应用日趋增多,如机舱模块、卫生单元模块、上层建筑模块等等,取得了不小的成效。目前,许多国家还在加紧进行模块技术的开发,随着相关技术的不断突破,模块技术将使未来船舶建造发生革命性的变革。美国国家钢铁造船公司对战略海洋补给船的机舱采用模块化设计和建造,结构和舾装单元的制作同时进行,绝大多数舾装系统和设备的安装,在单元舾装或分段舾装阶段进行,最终缩短了建造周期和降低了建造成本。其建造方针规定的设计建造过程见表1。采用模块化舾装技术由此而带来的变化见表2。

当设计阶段将要结束时,制造工程部就根据建造方针编制生产计划,这时,制造工程部、舾装规划部、生产管理部组成一个计划实施组,这个组包括设计者、计划编制者和总工艺师(简化相关新设计的人员)。这个组的职责是解决设计的可制造性问题,最终确定是否采纳设计的建议和制定生产工序。建造方针的连续性是由制造工程部的机舱监造师来维持的,机舱监造师是计划实施组的成员<sup>[2]</sup>。

机舱采用模块化设计和建造的方法,其设计和生产特点见表3。

#### 5 管子加工趋向于自动化流水线技术

自上世纪70年代初开始,国内外船厂开始使用管子加工流水线,德国的奥斯得利公司已为世界各有关行业建造了50多条管子加工流水线,应用范围适合所有管子制造行业,其自动化程度可视客户的实际需要而定。

美国JESSE公司在管子加工流水线设计和建造方面具有很强的实力,设计和生产的流水线达到一流水平。该公司为某船厂管子加工车间建立了三条管子加工流水线,分别为小管生产线,中管生产线和大管生产线。所有管子生产活动都是在办公室中用一台PC机控制的。切割和弯曲的数据传送到生产线控制计算机和CNC弯管机控制计算机,这些计算机则将生产线的生产数据反馈到办公室计算机。

表1 采用模块化舾装所规定的设计建造过程表<sup>[1]</sup>

合同设计阶段	详细设计阶段	生产执行阶段	
建造方针的设计 * 市场因素 * 协议因素 * 建造经验 * 设备限制  产品 * 合同设计 * 设计和建造方针	详细设计和建造方针的细化 * 建造计划 * 布置图 * 系统管路 * 主要设备布置策略 * 电气布置 * 舾装单元的详细设计 * 精度控制 * 运行和维护  产品 * 详细设计 * 建造方针	生产计划 * 详细的建造方针 * 制造计划 * 材料托盘 * 详细的生产计划 * 材料的采购  产品 * 生产用的设备和材料	生产 * 制作 * 装配 * 安装 * 测试  维护 * 反馈和分析

表2 模块化舾装技术带来的效果<sup>[2]</sup>

尺寸	海洋补给船设计	传统的设计	海洋补给船相对传统船
基座/单元钢材重量(t)	>150%	100%	提高>50%
管子			
有管架(m)	<80%	100%	下降>20%
无管架(m)	<80%	100%	下降>20%
电缆			
动力电缆(m)	<80%	100%	下降>20%
自动化设备电缆(m)	<80%	100%	下降>20%
预舾装			
机械设备(%)	>80%	>60%	提高>20%
管子(%)	>80%	>60%	提高>20%
电气设备(%)	>80%	>60%	提高>20%
电缆(%)	>30%	>60%	提高>20%

表3 模块化舾装设计和建造的特点<sup>[2]</sup>

设计特点		生产特点	
布置图 * 功能设备由舾装件单元协同定位 * 绝大部分辅助设备进行单元舾装 * 布置以使系统尺寸最小化为原则  系统路径 * 预先设计系统路径 * X,Y,Z坐标路径 * 系统交叉最少  电力系统结构及布置图 * 布置电力系统 * 按照逻辑布置动力和自动化系统 * 电气设备布置支持模块建造	详细设计 * 单元结构包括完整的基座、格栅、楼梯、管架及电缆挂钩 * 根据起重设备设计单元结构 * 由供应商在可行处布置滑座 * 管路系统在安装时用机械接头 * 电缆布置支持模块建造  运行和维护 * 监控设备按照逻辑布置 * 阀件、测深管等布置到容易触及的地方 * 考虑设备的维修和移动	模块建造 * 综合机械单元中包括绝大多数系统和设备 * 单元(包括指定区域的所有系统)要尽量减少在船上舾装 * 单元舾装包括管子测试和电器冷爆检验  生产方针 * 低层单元舾装由在船上的方位来确定 * 对主推进装置和大型辅机在船上安装有详细的生产方针 * 用环氧树脂镶嵌安装轴套,取消艉轴套现场镗孔	精度控制 * 结构分段,舾装件单元及主推进装置的安装有常规基准线 * 地面舾装件装配架用船的基准及胎架 * 设备和系统的校准在详细设计中考虑  生产效益 * 绝大多数舾装件的安装从船上舾装移至地面舾装阶段 * 钢结构和舾装件平行建造 * 改进了方法,提高了安全性

在管子加工设备方面,出现了前所未有的新技术、新装备。Olimpia 80 管子切割机,是一台双刀切割的切割设备,它能使管子切割速度达到40~50m/min,切割精度达 $\pm 1\text{mm}$ 。双刀安装在滑座上并放置在一个旋转支撑上,旋转支撑则插入到管子内部,通过该支撑的旋转可以完整地切断管子。管子是通过液压装置压紧的,由一台 PLC 控制,并自动决定机器的操作,以及由被加工管子、采用的刀具、小车和刀具的速度,以及刀具的位置来确定加工数值,这样,切割过程既快又方便。该机的刀具选择范围较广,从高速钢刀具到镶嵌硬金属的刀具均可。

管子的切割已趋向于采用激光、等离子等新的切割方法。例如 TRUMPF 的 Tubematic 就是专门为管子切割开发的激光切割机。它可加工圆形、扁形、椭圆形、正方形、矩形的管子,直径从20mm到150mm,长度从3000mm到6500mm的管子都可以加工。加工的管子材料有低合金钢、铝合金和不锈钢。依照用户需求, Tubematic 还可以安装 TRUMPF CO<sub>2</sub> 激光割刀,输出功率分别为1800W、2400W、3000W,这使低合金钢管子的切割壁厚达到6.4mm。

随着造船技术的发展,出现了便携式等离子管子切割设备。例如, Lincoln Electric 的 Pro-cut,其规格有25、55和80。由于采用 Lincoln 的 Vortech 技术,因而 Pro-cut 能对更厚的金属切得更快、更精确,并且使用寿命长,十分轻便。

## 6 区域舾装技术已由民船转向军舰

费城海军船厂在“KITTY HAWK”号舰(CV-

63)的改装上开始应用区域舾装技术,随后在“KITTY HAWK”号的后续舰(CV-64)的改装上也使用了区域舾装技术。首先把全舰划分成许多区域,划分的每个区域并非只是船体的一部分,包含作业区域的舾装和涂装。费城海军船厂在日本石川岛播磨公司专家的指导下,对上述军舰作了如下区域划分(参见图6):

区域1——舱室(第四甲板以下)、水线以下船体、舵、锚和锚链;

区域2——四个主机舱及其上部第四甲板上的隔间、轴隧、烟道、螺旋桨和轴;

区域3——两个辅机舱及其上部第四甲板上的隔间;

区域4——所有弹药舱及武器升降机;

区域5——七间泵房、三间应急发电机房、两间舵机房、空调机舱、冷却室和第三甲板以下的其他库房(第三甲板以下的舱室并非全是区域1~区域4的区域);

区域6——第二、第三层甲板上可居住舱室;

区域7——飞机修理库及相关办公室和储藏室,飞机升降舱和相关机舱;

区域8——主甲板到飞行甲板之间的可居住舱、办公舱和电气舱室(不包括区域2、区域4、区域7各区域的舱室);

区域9——飞行甲板、飞机弹射器和相关舱室,及喷射器交流装置和相关机舱;

区域10——上层建筑及其他飞行甲板上的结构物<sup>[3]</sup>。

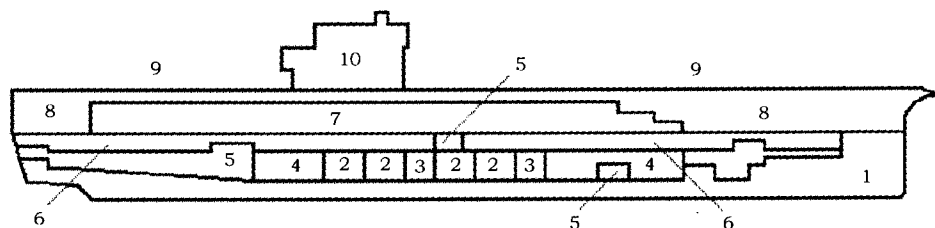


图6 费城船厂对改装军舰的区域划分图

为了更有效地向工人传达信息,费城海军船厂把舾装工作说明制成小册子。每本小册子都明确对应一个区域,也包括船上作业场地,并且指定了一个或更多的作业阶段。用石川播磨公司的术语说,也就是每本小册子都对应一个或更多的托盘。为了小册子能够容易复印,小册子用标准尺寸的纸张。小

册子都包含模块化的信息,因此,一些内容稍加修改或不修改就可以用在其他船上。船上区域/阶段所需的详细信息,由设计者提取出来并编入小册子。车间工作所需的详细信息,也是小册子内容的一部分。小册子有效地向工人传达了一项特定作业所需

[下转第26页]

一定会在我公司得到迅速推广。

### 3.4 进一步扩大分段无余量合拢比例

在日本船厂,分段无余量合拢比例一般都在98%以上。包括我公司在内的国内大型造船企业,对吨位较大、平行舢舨较长、方形系数较大的船舶也能做到90%以上。如何对中小型、平行舢舨较短的船舶扩大分段无余量合拢比例,进而提高总装造船效率,是摆在我们面前的一个重要课题。

在我公司,大合拢时带有余量的分段一般在舢舨和机舱区域。货舱区的分段合拢时只在局部带有少量余量,其部位一般在纵横舱壁底部和甲板纵缝。分段带有余量进行合拢,说明分段制造与合拢定位精度有时达不到理想要求,也说明在精度管理的全过程控制中还做不到精细和有效。

针对公司目前现状,扩大分段无余量合拢比例,应该采取以下几方面措施:

(1)加强对底部分段的建造精度控制,内底板的平整度和集装箱船的穴槽部位应作为精度控制的重点;改进底部分段的建造方法(如采用“井桁式”建造法或“块块”建造法)也是减少焊接变形的有效措施;

(2)机舱区域的分段,尽量在反造的状态下完成总组,个别曲面外板留有的少量余量,应在加工后或总组后进行切割;

(3)我公司通常把货舱区域的甲板分解在5个分段上(左右舷侧分段、纵舱壁分段和左右边甲板),在这种情况下,应仅选择左右各一道合拢缝留有补偿量;

(4)对舢舨线型变化曲率较大的T形肋骨、肋板、舱壁等部位,应尽快开发变截面坡口切割手段,以保证分段形位。

## 4 小结

本文从技术层面上提出了进一步推进造船精度管理对实施总装造船方法的重要性和迫切性,提出了一部分当前公司面临的技术问题和解决问题的方法。实际上,造船精度管理技术的提高,在很大程度上还取决于船厂的生产管理水平、设计人员与工人的技术素质、生产设备条件,以及工厂决策层对推进这项技术的重视程度。

大连船舶重工推行造船精度管理技术已长达30多年时间,在前20多年的时间里,经常出现时进时退、时松时紧的情况,因此步子迈得不大。原因在于没有一个自上而下的推进组织和科学系统的推进计划,没有建立起精度控制保证体系,没有推进经费的支持,没有把这项工作与全面质量管理工作有效结合起来。

2005年12月,大连地区两大船厂按照中国船舶重工集团公司的要求,实现了整合重组。两大船厂在分开15年后又重新走到了一起,这是实现强强联合,做强做大造船主业的新起点。在重组前,两厂推进造船精度管理技术各有特色。目前已经做到取长补短和优势互补。随着公司总装造船方法的逐步实施,必将为进一步推进造船精度管理技术提供广阔的空间。

[上接第8页]

要的信息,而不提供其他多余的信息。每本小册子的封面都明确指明计划、概况和作业区域。“作业说明”中指出作业所需的电缆和管路,这些电缆和管路也允许邻近区域的作业者临时作业使用。这样,使船上的作业降到最少且有组织性,因此大大提高了安全性。小册子最后一部分是“质量改进表”,它让工人针对同一类型的作业,提出将来如何改进的反馈意见<sup>[3]</sup>。

## 7 结语

船舶舢舨装技术一直被国外先进造船国家所重视,并不断地进行研究和开发相关技术。当前,船舶预舢舨装技术趋向于集成度高的舢舨装单元,而舢舨装单元正向着大型化、标准化、模块化方向发展。同时,随着造船模式的不断发展,船舶大型化,以及巨型总段建造技

术的应用,在总段上安装大型区域性单元,使总段日趋巨型化是未来舢舨装技术发展的方向。

## 8 参考文献

- 1 Jaquith P E, Burns R M, Duncleliff L A, et al. A parametric approach to machinery unitization in shipbuilding. *Journal of Ship Production*, 1998, 14(1): 60
- 2 Jaquith P E, Burns R M, Dunbarr S E, et al. modular engine room design and construction for the strategic sealift ships. *Journal of Ship Production*, 1996, 12(6): 232
- 3 <http://www.nsnet.com/shippics/NSY>
- 4 Okumoto Yasuhisa, Hiyoku Kentaro. Digital manufacturing of pipe unit assembly. *Journal of Ship Production*, 2005, 21(4): 143
- 5 程古林,李天生. 船舶舢舨装工作前移的探讨. *造船技术*, 2005, (4): 25