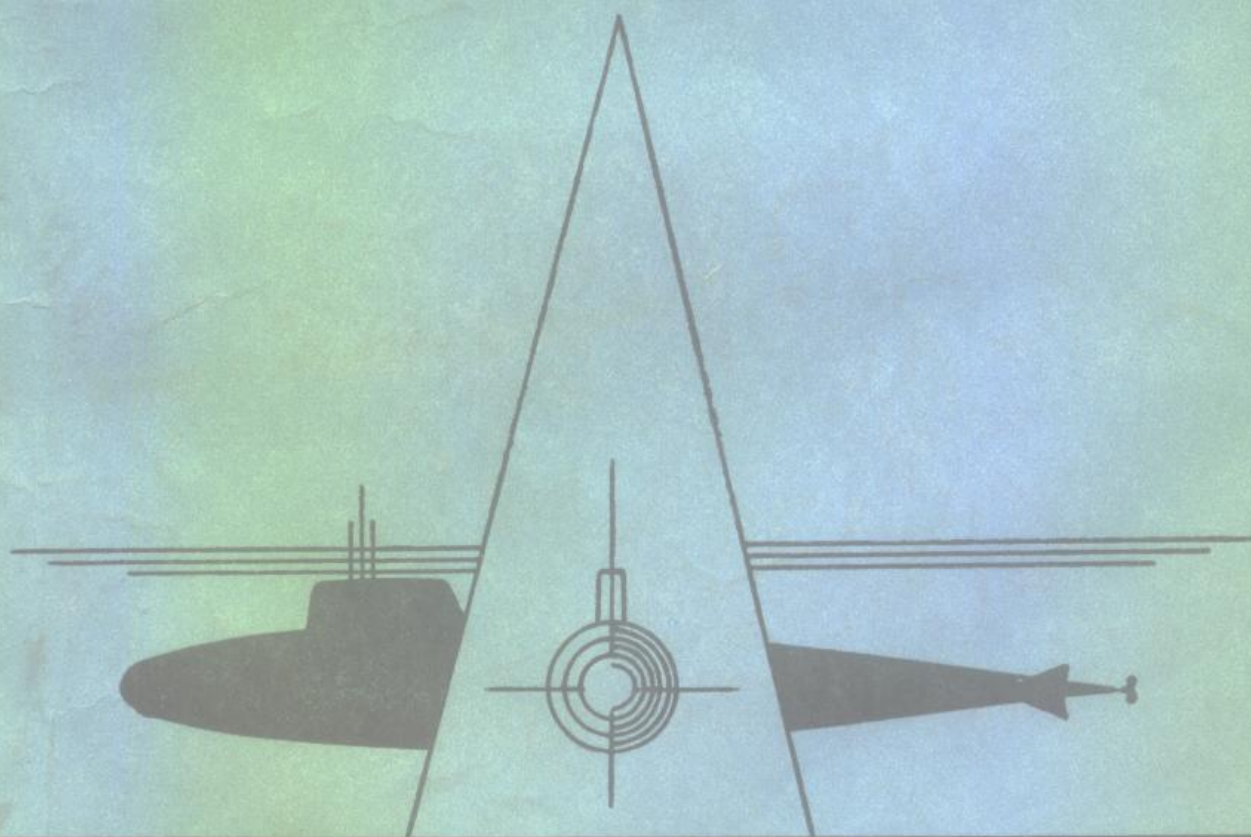


潜艇建造工艺学

邱 桂 林 主 编



國防工業出版社

潜 艇 建 造 工 艺 学

邱 桂 林 主 编

國 防 工 業 出 版 社

内 容 提 要

本书系统地介绍了潜艇建造的工艺过程、工艺方法与基本原理,并对潜艇艇体的建造材料、焊接、腐蚀与防护以及网络分析技术在生产管理中的应用,作了比较详细的介绍。

本书为高等院校船舶工程专业的教学参考书,并适合从事潜艇设计与建造的工程技术人员和工人阅读。

潜艇建造工艺学

邱桂林 主编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张 24³/₄ 578千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷 印数: 001—900册

统一书号: 15034·2235 定价: 2.55元

前 言

本书是根据 1978~1980 年全国高等学校造船类专业图书出版规划编写的。它是高等学校船舶工程专业的教学参考书,也可供船厂工人以及从事潜艇设计与制造的工程技术人员使用。

本书重点讲述了潜艇建造的基础知识,有的章节的末尾对一些工艺方法、工艺措施以及某种理论的适应性与局限性作了一定的分析与探讨。

书中除介绍了潜艇的建造经验外,并对国外在潜艇建造中的一些先进工艺、先进技术也作了适当的介绍。书中各章节的顺序,基本上是依照潜艇建造的工艺流程编排的。

本书由邱桂林同志主编。第二章由武金渭同志编写,第三章由邓景桐同志编写,第四、五、六章由杨定帮同志编写,第一、七、八、九、十章、绪论由邱桂林同志编写。

四三八厂张根福、韩鸿仪等同志参加了本书编写大纲的拟定,并对初稿进行了认真审阅。华中工学院黄风池同志对初稿提出了不少宝贵意见。本书稿最后由华中工学院石仲堃同志作了全面校核。在本书编写过程中还得到了七〇一研究所等单位的大力支持,在此谨致谢意。

由于我们的水平有限,书中难免有错误之处,望广大读者提出宝贵意见。

目 录

绪论	1
第一章 潜艇建造计划的制订——网络分析简介	8
§ 1 概述	8
§ 2 基本概念	10
§ 3 网络的绘制、计算与修改	14
第二章 潜艇艇体建造材料	21
§ 1 对潜艇结构用钢的基本要求	21
§ 2 潜艇结构用钢的性能和试验方法	21
§ 3 潜艇结构用钢	32
§ 4 特殊用途的潜艇结构用钢	39
§ 5 国外潜艇结构用钢和其他合金材料	42
§ 6 潜艇和深潜器用非金属材料	49
§ 7 潜艇结构用钢的验收、保养和质量分析	53
第三章 潜艇焊接	60
§ 1 概述	60
§ 2 潜艇建造中常用的焊接设备	60
§ 3 潜艇结构用钢常用的焊接材料	69
§ 4 潜艇艇体结构焊接工艺	73
§ 5 潜艇结构用钢可焊性的评定方法	85
§ 6 潜艇结构用钢的焊接裂缝	90
§ 7 潜艇焊接应力与焊接变形	97
§ 8 艇体结构焊接质量的检查	128
第四章 艇体放样与号料	136
§ 1 概述	136
§ 2 艇体实尺放样	137
§ 3 潜艇壳板和结构的展开	143
§ 4 样板与样箱	157
§ 5 号料	160
第五章 艇体构件加工	163
§ 1 概述	163
§ 2 原材料预处理工艺	166
§ 3 原材料切割工艺	171
§ 4 肋骨加工工艺	185
§ 5 壳板加工工艺	188
第六章 艇体装焊	198

§ 1 潜艇艇体建造方法的选择和分段的划分	198
§ 2 非耐压分段的装焊	203
§ 3 耐压分段的装焊	207
§ 4 艇体总段的装焊	215
§ 5 全艇大合拢	222
§ 6 艇体建造中的质量管理与流水线	230
第七章 耐压艇体的偏差测量与超差加强	236
§ 1 概述	236
§ 2 耐压肋骨与耐压壳板初始偏差的测量方法	237
§ 3 耐压艇体非圆度偏差的换算	246
§ 4 耐压肋骨的超差加强	255
§ 5 耐压壳板的超差加强	260
§ 6 椭圆形耐压指挥室的偏差测量与超差加强	268
§ 7 球面隔壁的变形测量与超差加强	276
第八章 潜艇密性试验与强度试验	282
§ 1 潜艇密性试验	282
§ 2 潜艇强度试验	291
第九章 潜艇下水与进出坞	307
§ 1 概述	307
§ 2 纵向涂油滑道下水设备与下水工艺	311
§ 3 潜艇下水计算	322
§ 4 潜艇进坞与出坞	341
第十章 潜艇艇体的腐蚀与防护	352
§ 1 金属腐蚀的基本知识	352
§ 2 潜艇艇体的腐蚀	356
§ 3 潜艇艇体的防护方法	365
§ 4 潜艇艇体防护材料——油漆	380
参考书目	389

绪 论

潜艇是一种既能活动于水面，又能下潜到水下并在水下活动的舰只。

潜艇建造工艺学是一门研究潜艇建造过程与建造方法的学科。学习潜艇建造工艺学的目的，不仅在于了解和掌握潜艇建造的工艺过程、方法与设备，而且应当掌握按照最合理最经济的原则来组织整个潜艇生产过程的技能，以期最大限度地提高潜艇的生产进度与建造质量。

潜艇在战争中有多种用途（如布雷、反潜、侦察、攻击敌舰、袭击敌方港口与基地等），平时可用来为和平事业服务（如进行水下运输，勘察海底资源，打捞作业等）。因此，发展潜艇建造事业，对反对帝国主义侵略，保卫海防以及发展海洋事业，都有着重要的意义。

一、潜艇的一般特点

从建造工艺的角度看，潜艇的特点主要表现在艇体结构与内部布置两个方面。

在结构上，潜艇通常是由两层壳体，即耐压壳体与非耐压壳体所组成。两层壳体之间的空间较小，且构件较多（见图1）。这就导致潜艇的建造工艺有别于水面舰船。例如在分段建造中，它不能象水面舰船那样采用一次装焊成形的办法，而需分两个阶段进行，即先分别将耐压分段与非耐压分段装焊好，然后再将二者对接成分总段。在船台建造阶段，它不能采用水面舰船的岛式或塔式建造法，而需采用总段建造法。此外，潜艇在放样、加工、下水、舾装等工艺环节上，也有许多与水面舰船不同的地方。所有这些工艺上的不同特点，本书都作了较为详细的介绍。

在内部布置方面，潜艇较之水面舰船更为复杂。为了提高战术技术性能，潜艇的容积往往被限制在最小的程度上。另一方面，潜艇不仅具备水面舰船所需要的一切设备、装置与系统，而且还装备一些适于水下航行和战斗的特殊设备、装置与系统，诸如潜望镜装置、水下通气管装置、雷达与无线电天线的升降装置、抛物装置、水下侦察与通讯联络设备、空气净化与氧气再生设备、水下逃生设备、重量与浮力调整系统、高压与低压空气系统以及纵倾平衡系统等等。从现代潜艇发展的情况来看，对各种设备、装置不仅要求能进行遥控，而且在有些情况下还要求能进行自控。这样必定要扩大电子设备与各种装置的数量。据统计，第二次世界大战末期的潜艇与1940年的潜艇相比，仅电子设备一项所占去的空间与甲板面积就增加了两倍以上，而今天的潜艇所增加的量就更大了。在有限的密闭空间内，要布置如此之多的物件，必然使艇体的舾装复杂化，带来一系列工艺上的困难。

由于上述原因，潜艇的大小尺度较之于水面舰船更加取决于所需要容纳各种各样的物

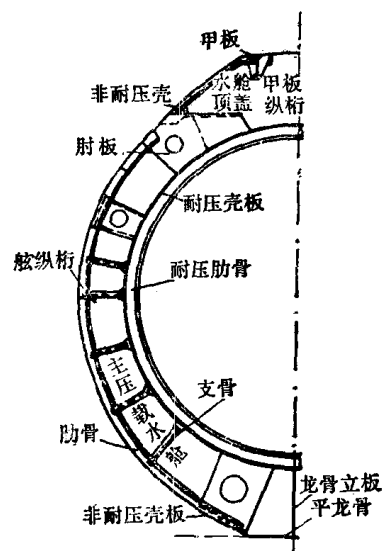


图1 潜艇结构示意图

体的空间。另外，为使潜艇得以下潜，要求潜艇整个范围内的平均密度能做到与水的密度相等（而水面舰船的平均密度远比水小），因此在潜艇建造中，对其空间（容积）的控制特别严格，所谓“控制空间”、“限制容积”的工艺术语就是由此而来的。

潜艇要潜入水下，承受深水压力的作用，故对艇体的强度与紧密性的要求远比水面舰船高。为此，耐压艇体通常要采用高强度的合金钢建造，其横截面都设计成正圆形。在耐压艇体的装焊过程中要求不能产生气孔与裂缝等焊接缺陷，并尽可能减小非圆度变形，严格确保艇体的装焊质量。

二、潜艇的分类

潜艇的分类方法很多，这里着重介绍两种与建造工艺关系较为密切的分类方法。

（一）按照艇体的结构形式分为：

1. 单壳体潜艇：这种潜艇只有一层耐压壳体（艏艉端除外），见图2(a)。其主压载水舱设在耐压壳体内或艏艉端耐压体之外（参见图5）。

2. 双壳体潜艇：这种潜艇有两层壳体，耐压壳体整个地被非耐压壳体所包围。主压载水舱设在两层壳体之间（见图2(c)）。

3. 个半壳体潜艇：这种潜艇的耐压壳体有一部分被非耐压壳体所包围，而有一部分（通常为龙骨附近的耐压壳体）则裸露着，见图2(b)。这种结构形式的潜艇，现在很少建造。

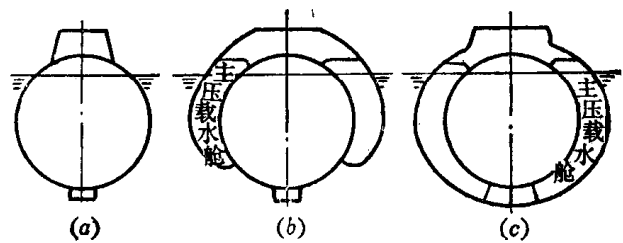


图2 潜艇结构形式

(a) 单壳体；(b) 个半壳体；(c) 双壳体。

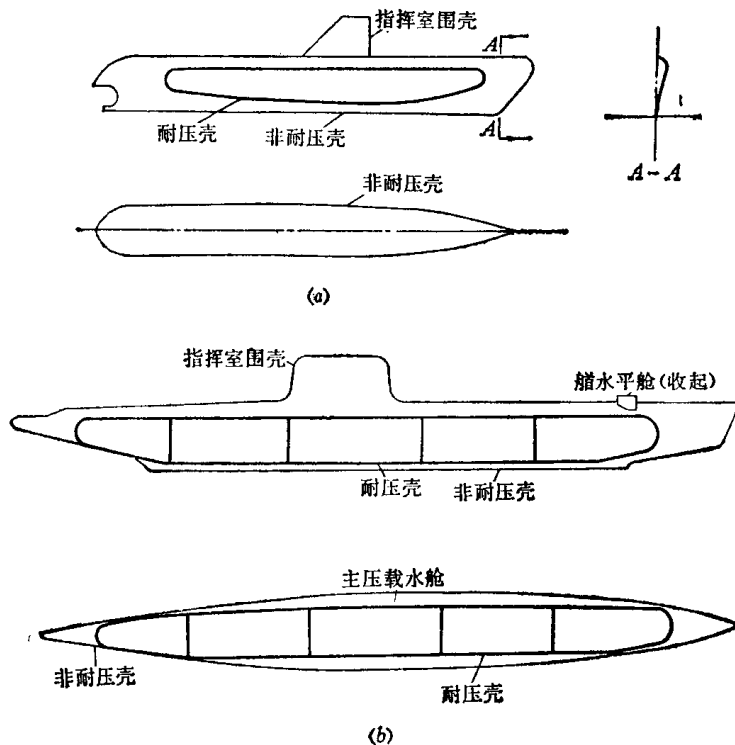


图3 常规型潜艇

(二) 按照艇体线型分为:

1. 常规型潜艇: 这种潜艇的线型与水面舰船相近, 长宽比在 11 以上。其水面性能好, 而水下性能差。现代潜艇很少采用这种艇型 (图 3)。

2. 水滴型潜艇: 这种潜艇船钝艏细, 整个外型类似一颗水滴, 长宽比约为 7~9 (图 4)。它的水面性能甚差, 但水下性能极好。

3. 过渡型潜艇: 这种潜艇的线型是仿鲸鱼体型设计的, 故又称之为鲸鱼型潜艇, 其长宽比在 9 左右, 见图 5。这种潜艇的水面与水下性能介于上述两种艇型的潜艇之间, 故又称之为过渡型潜艇。

此外, 按照排水量的大小又可分为大型潜艇 (排水量在 2000 吨以上)、中型潜艇 (排水量在 1000~2000 吨)、小型潜艇 (排水量在 1000 吨以下) 与袖珍潜艇 (排水量在 40 吨以下); 按照动力装置的类型分为常规动力潜艇与核动力潜艇; 按照武备可分为鱼雷潜艇与导弹潜艇等等。

以上各类潜艇的建造工艺大致相同, 唯双壳体潜艇与单壳体潜艇, 大型潜艇与小型潜艇, 水滴型潜艇与常规型潜艇之间的建造工艺差别甚大。

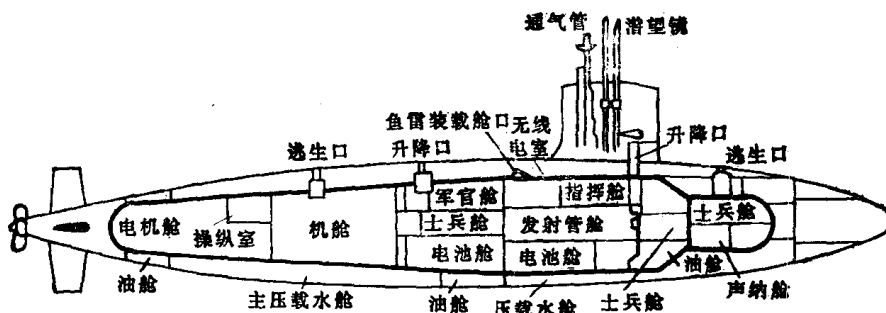


图 4 水滴型潜艇 (日本“涡潮”级潜艇) 示意图

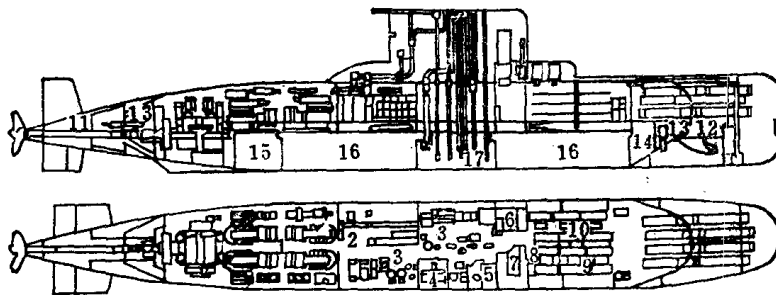


图 5 过渡型潜艇 (西德 209 型潜艇) 示意图

1—主机舱; 2—机械控制中心; 3—战斗情报中心; 4—通信中心; 5—厕所; 6—艇长室; 7—厨房; 8—军官舱; 9—士官舱; 10—士兵舱; 11—艇压载水舱; 12—舷压载水舱; 13—纵倾平衡水舱; 14—鱼雷舱; 15—燃油舱; 16—蓄电池舱; 17—调整水舱。

三、潜艇建造过程概述

潜艇的整个建造过程一般可归纳为生产准备、艇体建造、艇体舾装和性能试验等四个阶段。其中以艇体建造工时最多, 技术难度也较大, 是最主要最基本的工艺阶段, 因此它是本书叙述的重点。

下面将上述各工艺阶段的主要工作内容作一梗概的说明。

1. 生产准备。生产准备是一项重要的工作，对提高产品质量，缩短产品周期，降低产品成本，有着密切的关系。其主要工作内容有：

(1) 设计图纸的汇集、审查与工艺资料的编制。

产品的设计图纸与技术文件，必须在开工之前（一般在开工前三个月）汇齐，并进行严格的审查。工厂要根据设计资料，结合本厂的具体情况，编制出各种工艺文件与施工图纸。为便于查阅，施工图纸须按一定的方式进行分类。通常是按专业如船体、轮机、电气、管系、木作、武备、装置、设备等分为若干大类，再按建造阶段、所在部位（分、总段）将各大类分为若干组，并编上图号。一般图号第一位数字代表类，第二位数字代表组，第三位数字为图序。

随着现代造船技术的发展，不少工厂将用于生产的施工图纸与工艺文件，放在准备投影图、总布置图、线型图、结构图和技术说明书的过程中进行编制，即采用所谓施工法设计。它的优点是能将所有可能影响艇体建造的细节，都按达到最经济的生产观点来加以考虑。具体来说即是密切结合工厂的情况，诸如厂房的布局、起吊运输设备以及加工、焊接、装配设备等，来进行艇体结构设计、分段划分、建造方案的选择，并使舾装件尽可能形成单元，再在此基础上制定出详细的工艺程序和施工方法。这样做虽然在设计中要多费一些工时，但它可以减少设备的投资和提高生产率。

(2) 制定建造计划。建造计划（包括建造进度）的制定，必须适应需方（海军）的需要和本厂的实际情况。为了使计划订得先进合理，便于生产组织与管理，从而最大限度地缩短建造周期，提高劳动生产率，现代船厂广泛采用网络分析技术来制订建造计划。

(3) 原材料、设备以及船厂设施的准备：

a. 原材料包括金属材料与非金属材料。工厂接到生产任务后，应根据需要量，向有关部门订货。交货的时间应纳入生产计划，既要避免待料，又要避免材料的积压。

b. 设备包括艇用设备与建造所需的工装设备。一般艇用设备与通用工装设备需要外购（应开出详细清单向外订货），而专用的工装设备往往由工厂自行设计制造。无论是外购还是自制，其交货日期同样务须纳入生产计划。

c. 工厂的设施，首先要准备好船台或船坞。对它们的适应性与可靠性应进行校核，如不合要求应采取措施进行加固或扩建。此外对于起重运输设备以及其他设备、设施有时要作必要的修整。

(4) 技术关键摸底和新工艺新技术的引进。根据设计与生产计划的要求，对各工艺项目进行分析，找出技术关键和生产难题，并制定解决措施，如组织人力攻关，开展科学试验和技术革新等。随着科学技术的发展，应注意新工艺、新技术的引进，以提高建造水平。

2. 艇体建造。艇体建造包括如下几个主要工艺环节，即线型放样、构件加工、艇体装焊（包括部件装焊和分、总段装焊）、耐压艇体的偏差测量与超差加强、密性、强度试验、下水等。这些工艺环节的具体任务和施工方法，本书各有关章节作了较详细的介绍，这里不再赘述。

3. 舾装。潜艇舾装是一项十分繁杂的工作。它包括：艇体系统和设备的安装、动力

装置的安装、各种升降装置的安装、甲板（平台）附件的安装、木工作业、舱室的装饰、油漆作业、绝缘作业、帆缆作业以及属于武备方面的一些安装工作等。这些工作千头万绪，不仅需要各种专业工种的配合和大量的技术力量参加，而且需要严密的生产组织和科学的生产管理。因为成千的舾装零部件往往分布在艇的所有施工图纸上，工作中任何微小的疏忽，都可能造成大量的返工。为避免发生返工和质量事故，从而提高舾装的进度和质量，不少船厂在舾装中采用了网络分析技术进行生产管理。

现代艇体的舾装工作，一般采取与艇体建造平行进行的方式。也就是当艇体在车间装焊成分、总段时，各种舾装件和制品也同时安装到分、总段之内。这样分、总段在船台合拢后，只需安装合拢处的舾装件就可以了。对于布置很拥挤的舱室，目前舾装常用的作法是制作大比例尺（1:20, 1:10）的布置图，包括甲板图、仰视图和四周的立面图。这些图应表示出舱室所有的物件，如管路、阀门、通话管、放气装置、机械设备、电缆、接线盒、通风围阱以及设备的拆除通道等，同时还应画出舱室电缆和管路走向的“线路图”。在某些情况下，还要采用模型或完工后舱室的照片。模型的比例，一般采用 1:1。这样做的目的是为了在组装的标准化、维护修理的可达性、工作的可靠性和艇员的舒适性方面获得最佳的布置方案。目前在潜艇舾装中，较为先进的方法是单元组装法，将舱室分成若干舾装单元（每个单元常取 1/4 舱室空间），事先在车间的平台上完成各个单元的全部舾装件的安装，然后利用车间的行车将舾装单元调入已装焊好的舱室之内。在总段内仅完成单元之间的连接工作以及少量的舾装件的安装。这样做可减轻工人的劳动强度，提高安装精度和舾装进度。

4. 性能试验。潜艇建造完工之后，在服役之前必须进行一系列的试验（俗称试车），以考核其使用性能是否符合要求。

试车通常分为两个阶段：

第一阶段：系泊试验（亦称码头试验）。它是在船厂码头或附近浮筒旁，将艇系住进行的。主要在于检验所有机械装置、电气、观通设备等的安装质量及其工作可靠性。如主、辅机运转是否正常，其性能是否与图纸和技术文件规定的相符；各管系是否畅通，紧固处有无渗漏现象；驾驶及救生设备的操作是否灵活可靠；电讯设备使用是否正常等。此外还应对各种阀门进行检查，为航行试验作好准备。

第二阶段：航行试验（俗称试航）。它是在系泊试验结束以后，在领海或公海上进行的。其目的是最后检验机械、仪器装备、装置、艇体及全艇性操纵工作的可靠性，并确定其各种航海性能与战斗性能。

进行航行试验的潜艇，必须经舰队司令（或海军基地指挥员）、承造厂厂长以及订货方首席代表认可并发给许可证后，方可进行。

航行试验有时也分成两个阶段进行，即工厂试验与国家试验（交货试验）。国家试验是在工厂试验全部结束之后，潜艇的性能得到了确定，各种机械、仪器、装置、艇体的质量及全艇性的操纵工作得到保证，并且艇上的供应品的备件和工具都很齐备的情况下进行的。

在系泊试验和工厂试验中已由军代表验收的项目，一般再不列入国家试验之内。国家试验的项目主要有：武备（鱼雷导弹）的发射；各种航行状态（包括水面状态、通气管状态

和水下状态等)的航速和续航力的测定;潜艇深水下潜试验;艇体、舷侧锁闭器、鱼雷发射管及各种艇体上的开口处的密闭装置的密封性;艏轴和舵的工作情况;厕所、厨房、残渣抛出装置、下潜系统、疏水和舱底水系统的工作情况;航海仪器、射击指挥仪器、升降装置、声纳器械的工作情况等等。对于新设计的潜艇,或成批建造的第一艘艇,或经过改建以及大修的潜艇,往往除需进行上述试验外,还需作些研究性的试验,如艇体的振动性能,艇的摇摆和俯仰性能试验等等。这些试验可以为研究课题和以后新设计潜艇提供具体的参考资料。

四、潜艇建造工艺发展情况

早在十八世纪初,人类就开始了潜艇的制造。但在十九世纪末以前,无论是设计与制造,都还处于摸索阶段。当时造艇的材料只有木材和铁两种。木质艇用铁钉连接,为防止泄漏常在艇壳外部铺覆一层浸油的皮革。铁质潜艇则采用铆接连接。此阶段的潜艇,不论是结构、装备还是使用性能都很简陋,严格来说只是一种水下游动器具,在战争中无多大实用价值。

从二十世纪初到第二次世界大战期间,潜艇建造结束了摸索阶段,开始进入现代潜艇的设计与制造阶段。在此期间建造的潜艇,总长在60~80米的范围内,最大排量达到了1600吨(德国U21型潜艇),最大水面航速在16节以上,最大水下航速超过了10节。从建造工艺上看,四十年代前虽然应用了钢材建造艇体,但是建造方法并没有发生显著的变化。当时一般都采用整体装配,壳板及艇体结构仍以铆接连接。四十年代焊接技术应用到造船业之后,潜艇建造才开始有了显著变化。由于焊接取代了铆接,使得潜艇得以采用分段建造法和总段建造法,从而提高了建造质量,加快了建造进度。德国在第二次世界大战中,实施了工艺总段建造法,战争期间它共造了1117艘潜艇,平均每月能生产16.4艘,最高纪录达到35艘之多。这种造艇速度是前所未有的。当然这主要是战争的刺激,其国内生产高度军事化的结果,但与焊接技术的应用,建造工艺的改进也是分不开的。

随着科学技术的发展,特别是数控技术和自动焊接技术的应用,近年来潜艇生产中的机械化程度获得了很大的提高,并开始向自动化生产发展。板材预处理流水线(或自动线),板材成型加工流水线已在潜艇生产中获得广泛的应用,而利用回转和平移装置进行艇体分段装焊、运送和合拢的所谓“罗泰斯”建造系统,也开始应用到潜艇建造中来。目前国内外正在大力研制潜艇“数学船型”。数学船型研制成功以后,工厂根据其所提供的数学依据,便可利用计算机直接进行艇体构件的数控切割与数控加工,从而使艇体从放样到加工形成一条完整的生产流水线,既可减轻工人的劳动强度,又可免除许多重复劳动及可能产生的误差,使生产进度与产品质量获得提高。

从潜艇发展的趋势来看,今后对建造工艺上的要求必将愈来愈高。未来潜艇的发展将致力于提高其隐蔽性与水下机动性。潜艇最大下潜深度可望由现在的600米提高到2000米;最大水下航速可望由现在的30多节提高到50节以上,并要最大限度地降低噪声。为达到这一目的,务必使艇体的建造材料、艇体结构及动力装置等多方面获得改善。从目前的情况来看,钛、铝合金及非金属复合材料用于建造潜艇艇体是很有希望的。用非金属复合材料来建造艇体,必将引起建造工艺上的巨大变革。在艇体结构上,有人建议采用两层

或三层具有横向构架的耐压壳体，也有人设想采用如图 6 所示的几个互相连接的球形壳所组成的艇体结构。为了减小噪声，提高水下航速，国内外正在研究应用仿生学原理来设计潜艇，如美国曾对如图 7 所示的所谓“无噪声”潜艇模型作过试验。此外为了提高水下的机动性，潜艇上的电子设备将进一步扩大。总之，随着潜艇的发展，艇体材料、艇体结构方面的改变以及艇内设备的增加，必将要求潜艇建造工艺作相应的改进以至变革。因此，作为一个潜艇建造工作者，必须注意不断地改革工艺装备、工艺方法、生产管理技术，并要随时注意在潜艇建造中引进先进的科学技术，只有这样才能适应潜艇发展的需要，从而提高潜艇的生产进度与建造质量。

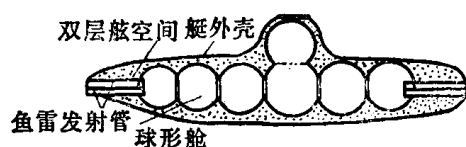


图 6 球形壳接合成的潜艇结构

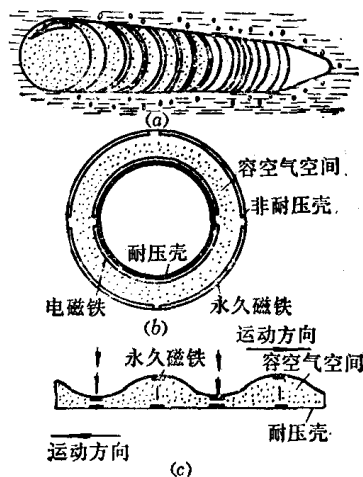


图 7 “无噪声”潜艇模型

第一章 潜艇建造计划的制订——网络分析简介

§ 1 概 述

潜艇的装备日趋复杂,建造中的头绪(工艺项目)也愈来愈多。为了使整个建造工作尽可能地加快,获得最好最经济的效果,就需要制定出合理的建造计划(包括生产进度),以便切实地、更为细致地控制各个工艺项目的建造工作能按次序地进行,使管理人员能随时做到心中有数,全面地正确地指挥生产,使生产各个环节在整个建造过程中协调一致,不致发生窝工或为了赶进度而加班的现象,从而最大限度地提高生产率,降低生产成本。现今能满足这种要求的方法就是网络分析(亦即统筹法)。这种方法,目前已在各个工程领域得到应用,当然也能运用于潜艇建造中来。一般来说,工程任务愈复杂,应用网络分析的价值则愈大。

网络分析来源于“程序鉴定和检查技术”(PERT)及“临界路线法”(CPM)。从数学的角度看,某种程度上它是运筹学的一种应用。用网络分析进行生产管理的基本思想是找出生产过程中影响全局的主要矛盾,即工期最长的工艺路线(称之为临界路线或主要矛盾线),从而决定各项任务(工序)的开工日期,并根据各项任务所需要的原材料、人力、设备与资金作出日程上的安排。

以往在舰船建造中,建造计划是采用横道图(也称条形图)表示的,称之为条形计划法。它是将建造中主要工艺过程以日期为标尺用线条的形式表示出来的。见表1-1。它只

表1-1 某潜艇一龙骨分段装焊计划(横道图)①

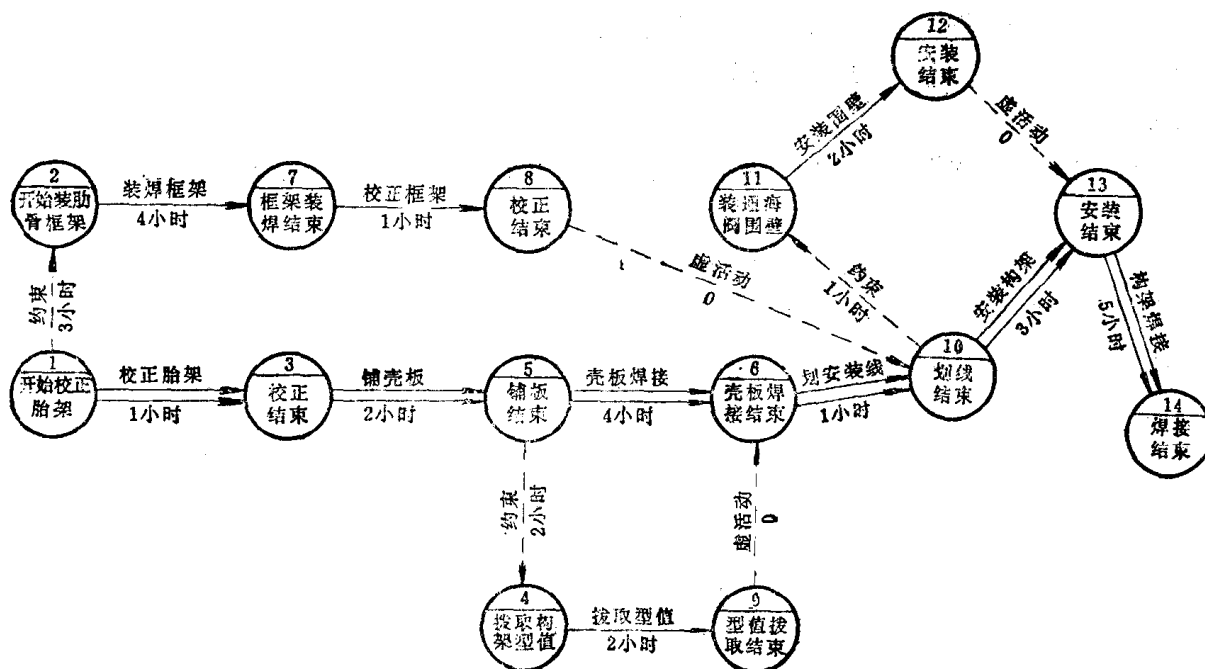
编号	工艺项目名称	人数	时 间 (小时)															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	校正胎架	2	—															
	铺设外壳板	2		—	—													
	焊接外壳板	4				—	—	—										
	划构架安装线	2								—								
	安装构架	2									—	—	—					
	焊接构架	4												—	—	—	—	—
	装焊肋骨框架	2	—	—	—													
	校正肋骨框架	1					—											
	到放样楼按取构架安装位置型值	1				—												
	装焊通海阀围壁	2								—								

① 表中数据是假设的。

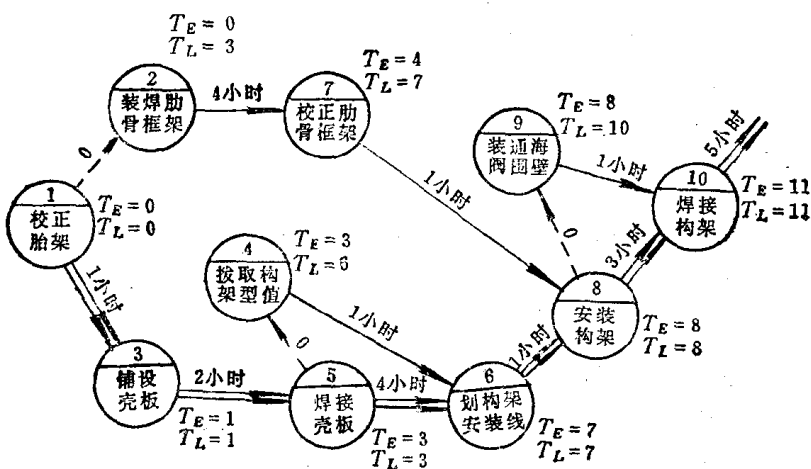
能大概地说明一项大的工程中,各个过程和事件是怎样地交错重迭和相互联系,而无法描述所进行的工程的逻辑程序及各作业或工序之间的相互依赖关系。此外它也不能提供一种方法来估算一个工序的几个部分所需要的时间和它们对整个工程的影响,更难以鉴别哪些部分是在最短期间内完成整个工程的关键所在。具体来说,网络分析与条形计划法相比

较，有如下几方面的好处：

1. 网络图能直接反映各工序间的衔接关系，并能使各工程项目之间的主从关系清晰地表现出来，便于管理人员掌握全局，统筹兼顾。图 1-1 即是表 1-1 所示的某潜艇龙骨分段的建造网络。可见它比横道图更能直观地清楚地反映出工艺流程和各工序之间的关系。



(a) 活动网络(双代号法)



(b) 事件网络(单代号法)

图 1-1 潜艇龙骨分段的建造网络(假设)

T_E —最早开工时间; T_L —最晚开工时间。

2. 它可以把临界路线的长度和浮动(即时差)之间的相对关系,作为衡量计划方案优劣的标准。经过调整,可以找出一个最好的计划方案。

3. 能表明采取什么样的措施调整可得到最好的方案。例如当工程工期过长,时差过大时,就可以考虑把临界路线上的工艺项目分解成若干平行作业,或者通过技术革新缩短这些项目的绝对工期,或者从非临界路线上抽调一部分人力,到临界路线上的工程项目中

来，以期缩短整个工期。

4. 便于对生产进行管理。生产主管人员对于哪里是主要矛盾，哪里工期最长，需要的人力、设备最多，最易出问题，哪里有余地等等，能随时做到心中有数，便于及时采取措施，预先防止可能出现的一些问题，确保任务如期完成。

5. 有了网络图可以使原材料供应的时间扣得更紧一些。原材料过早地储存，不但积压资金，多占仓库面积，增加自然损耗和维护保养工作，而且最终必然影响社会主义建设扩大再生产的进度。

6. 如果在网络图上增加时间坐标，便可以完全代替条形图，能反映条形图所反映的一切。

7. 管理部门能从未按期完工的活动中，选择最适于加速进度的措施。例如要使一条关键路线上的工期缩短两天，让一项二名工人四天完成的工作人数加倍，比让一项十名工人四天完成的工作人数加倍，显然更为恰当。虽然这两种措施，对总的持续时间所起的作用是一样的。

正因为这样，网络分析在工程中愈来愈得到广泛应用。下面我们仅就网络分析的一般原理与应用情况作一梗概的介绍。

§2 基本概念

一、网络

网络又称网络图或工序流程图。它是表示工程中（或一个大工程中的某个管理区）各工艺项目的逻辑顺序、工期长短及彼此间的从属关系的一种带箭头的图表（参见图 1-1～图 1-3 等）。它能反映工程（或管理区）中的主要矛盾和次要矛盾。

二、事件与活动

网络的基本单元是事件和活动。事件是时间的一个点，在规定的一项作业（或活动）的开始和完成的网络上是一个转折点或控制点。它在网络上用一个圆圈来表示。圆圈内标有识别编号。

活动是一项作业、一件工作或一个工序。对于造船来说，它是某项建造工作的某个阶段，例如制作管子、安装管子、管子绝缘等都可以称之为项活动。完成一件工作，需要时间，因此必然有一个开始事件和终结事件。活动在网络上是用连接事件带有箭头的线来表示的。上面注有作业的简要说明和完成该作业所需时间（称活动时间），如图 1-1(a) 所示。

三、事件网络与活动网络

网络的编制与表示的方式有两种，一种叫事件网络（也叫单代号法），如图 1-6(b) 所示。这种网络每项活动只用一个编号表示，在箭杆上仅需写上完成这项活动所需要的时间。另一种叫活动网络（也叫双代号法），如图 1-1(a)、图 1-2 与图 1-3 所示。这种网络每项活动需要用“开始”与“结束”两个编号来表示，在箭杆上不仅要写出活动时间，而且

还要写出活动的名称。

这两种网络在实用中各有利弊。事件由于用一个编号表示一项活动，且可以不采用虚活动，故容易编制，也不易出差错。而活动网络每个活动需要两个编号表，并要用到虚活动，采用平行交叉表示方法，因而绘制起来较麻烦，特别当网络出了差错要修改时，就更为麻烦，常常需要更动许多编号。但活动网络将活动的逻辑关系表示得清晰醒目，便于阅读和查核。本节所介绍的系以活动网络为主，穿插介绍事件网络。

四、虚活动与约束

实践中常常发现有两个或两个以上的活动，有着共同的开始事件与终结事件；也常常存在着有共同事件的一系列平行活动。为了表明这些活动和事件的依赖关系，一般需要引用所谓虚活动。虚活动在网络中用带箭头的虚线表示（参见图 1-1～图 1-3）。虚活动不需要时间，它仅表示一事件同另一事件之间的关系，并确保不同路线上的活动能正确地同步。尽管虚活动本身没有工作内容和时间，但它能反映一项活动可以在另一项活动开工后多少时间开始，或表明一项活动必须在另一项活动开工之后过一定的时间才能开始。工程上把这样的虚活动称之为约束。约束含有时间的概念，因此在箭头上标有时间。如图 1-2

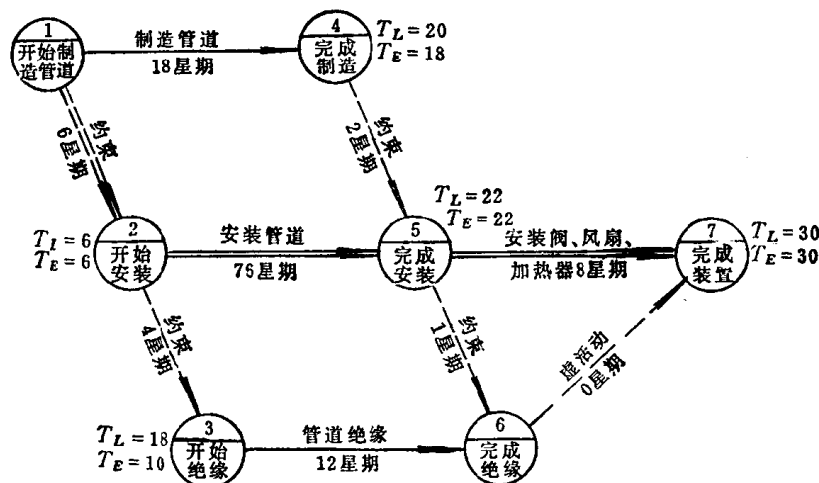


图 1-2 通风系统安装网络（活动网络）

1-4、2-5 和 3-6 称为梯形活动或平行活动。

所示的通风系统安装网络中，事件①-②之间的约束，表示管道的安装必须在管道的制造开始之后 6 星期才能开工；事件②-③之间的约束，表示管道绝缘工作必须在管道安装工作开始之后 4 星期才能开工。而在图 1-3 所示的潜艇总段装焊网络中，事件①-④之间的约束，表示龙骨分段的装焊可以在耐压分段装焊（小壳圈装配）开始后 53 小时动工。事件①-③与①-⑤之间的约束有着同样的含义。由于约束有时间的概念，故又称之为实时虚活动。

此外虚活动还可以用来表示：

1. 把一个任务分为两个或两个以上的任务。如要把图 1-4(a) 中任务⑩-⑳分为两个任务，可以绘成为图 1-4(b) 的形式。

2. 一个任务完成之后，几个任务同时进行的情况。如在图 1-5 中，任务②-⑤、③-⑥、及④-⑥，就是在任务①-③完成以后同时开工的。

此外，通过虚活动还可以把各个不同活动的开始点联成为一个起始点等。