

军队“2110工程”三期建设教材

舰艇结构

JIANTING JIEGOU

朱锡 侯海量 吕岩松 李永清 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



舰艇结构

朱 锡 侯海量 吕岩松 李永清 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以军用舰艇结构为对象,对水面舰艇和潜艇船体结构的组成部分及其受力、功能作用,构件名称、结构形式、连接方法和布置规律等进行了较为系统、完整的阐述,对体现舰艇结构最新发展的有关舰艇结构要求进行了较为深入的分析 and 论述,对体现现代舰艇结构特点的内容进行了专门的阐述,专门介绍了复合材料船体结构发展、结构形式、连接形式等内容,力求体现现代舰艇结构的最新设计思想。

本书可作为船舶与海洋工程、舰船维修、舰船管理工程等专业的教材,也可作为舰艇设计、制造、维修和使用部门工程技术人员及舰员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

舰艇结构 / 朱锡等编著. —北京:国防工业出版社, 2014. 12

ISBN 978 - 7 - 118 - 09733 - 7

I. ①舰… II. ①朱… III. ①军用船—船体结构—研究 IV. ①U674. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 280516 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 21 字数 373 千字

2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书为海军院校重点教材。本书是以船舶与海洋工程专业《舰艇结构课程教学大纲》为依据编写的。随着我国海军现代化建设的不断发展,舰艇(包括水面舰艇和潜艇)的设计与建造已成为我国海军和船舶工业的主要任务之一,因此本书不仅可作为海军工程技术院校舰船工程等专业的教材,同时也可作为普通高等学校船舶与海洋工程专业的教材或参考书。本书内容适合于船舶与海洋工程专业本科生 30~50 学时的教学需要,也适合于从事舰船工程领域工作的相关科技人员自学或参考的需要。

本书编写过程中,作者力求突出以下几个方面:

1. 力求全书内容的系统性和完整性。根据舰船工程专业教学改革“宽口径”的要求,“舰艇结构”课程的教学内容包含水面舰艇结构、潜艇结构、船用复合材料结构三大部分,为此本书共分为四篇:第一篇为舰艇结构的基础知识,第二篇为水面舰艇结构,第三篇为潜艇结构,第四篇为复合材料船用结构。

2. 力求内容上有一定的高度和深度。本书不仅介绍舰艇结构是什么,更注重阐述舰艇结构应具备什么功能,满足什么要求以及如何实现这些功能和要求,从而解决舰艇结构为什么要这样的问题。为此本书将舰艇船体结构要求单独列为一章进行阐述,舰艇具体结构的介绍也是从其功能、受力分析、结构要求、结构形式的思路展开的。

3. 力求反映舰艇结构方面的最新研究成果。为了使读者能够从本书中了解到舰艇结构的发展动态,本书突出了最新科技成果介绍,如结构的隐身设计、模块化设计等设计技术的应用,潜艇锥环柱连接结构,复合材料舰艇结构等新型舰艇结构形式。

4. 突出舰艇结构的军船特色。为使读者对舰艇结构有深刻认识和全面了解,本书对军用舰艇结构基本要求进行了全面的分析和介绍。

5. 为了便于教学,本书给出了较为详细的思考题和习题。

本书内容体系由朱锡教授制定,分为四篇:第一篇舰艇结构的基础知识,共 4 章(第 1 章~第 4 章),由朱锡教授编著;第二篇水面舰艇结构,共 4 章(第 5 章~第 8 章),由侯海量高工编著;第三篇潜艇结构,共 3 章(第 9 章~第 11

IV

章),由吕岩松讲师编著;第四篇复合材料船用结构,共5章(第12章~第16章),由李永清讲师编著。全书由侯海量高工统稿,最后由朱锡教授审阅定稿。本书由吴梵教授主审,并提出了许多宝贵意见;朱红英、周振龙承担了第一篇的部分绘图工作,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编著者知识结构和水平有限,本书在内容上或编排上肯定会有很多不足之处,希望广大读者批评指正。

编著者

2014年8月

目 录

第一篇 舰艇结构的基础知识	1
第 1 章 舰艇分类与结构组成	1
1.1 舰艇分类	1
1.1.1 船舶分类	1
1.1.2 舰艇分类	2
1.2 舰艇船体结构的组成	9
1.2.1 水面舰艇船体结构的组成	9
1.2.2 潜艇船体结构的组成	12
第 2 章 船体结构的连接与图示方法	15
2.1 船体结构的连接	15
2.1.1 构件之间的连接方法	15
2.1.2 构件之间的连接形式	16
2.2 船体结构的图示方法	21
2.2.1 船体结构图中的图线规定	21
2.2.2 船体构件的图示方法	24
第 3 章 船体材料与强度概念	26
3.1 船体材料	26
3.1.1 舰艇船体钢分类	26
3.1.2 舰艇船体用钢的基本要求及选用等级	30
3.1.3 其他舰用材料	32
3.2 舰艇船体强度概念	33
3.2.1 水面舰艇强度概念	33
3.2.2 潜艇强度概念	40
第 4 章 船体结构的基本要求	44
4.1 概述	44
4.1.1 结构设计过程	44

4.1.2	基本要求的主要内容	45
4.2	船体结构的适用性	45
4.2.1	船体结构的可用性	46
4.2.2	船体结构的可靠性	46
4.2.3	船体结构的紧密性与结构重量	46
4.2.4	船体结构的抗沉性	47
4.2.5	船体结构的安全性	48
4.2.6	船体结构的居住性	49
4.3	船体结构的坚固性	49
4.3.1	船体结构强度	50
4.3.2	船体结构振动控制	50
4.3.3	船体结构完整性	51
4.3.4	船体结构的抗损性	52
4.4	船体结构的被探测性	53
4.4.1	概述	53
4.4.2	船体结构反雷达探测隐身技术	53
4.4.3	船体结构反声波探测隐身技术	56
4.5	船体结构的维修性与保障性	58
4.5.1	概述	58
4.5.2	提高船体结构腐蚀的耐久性	58
4.5.3	提高船体结构维修的简易性	59
4.5.4	运用模块化设计技术	60
4.5.5	船体结构的保障性	60
4.6	船体结构的工艺性与经济性	61
4.6.1	船体结构的工艺性	61
4.6.2	船体结构的经济性	62
第二篇 水面舰艇结构		66
第5章 水面舰艇船体外板、甲板板与舱壁板		66
5.1	水面舰艇船体外板	66
5.1.1	概述	66
5.1.2	外板厚度变化	68
5.1.3	外板的布置	70
5.1.4	外板展开图	73

5.2	甲板板	75
5.2.1	概述	75
5.2.2	甲板板的布置与厚度变化规律	77
5.3	内底板	81
5.3.1	概述	81
5.3.2	内底板的布置	81
5.3.3	内底应注意的主要问题	83
5.4	舱壁板	85
5.4.1	概述	85
5.4.2	舱壁板的厚度变化与布置	86
5.4.3	保证舱壁紧密性的措施	87
5.4.4	轻型舱壁板	89
5.5	外板及甲板板上的开口与加强	90
5.5.1	概述	90
5.5.2	外板与甲板板的开孔及加强原则	92
5.5.3	开口加强结构形式	93
第6章	水面舰艇船体骨架	96
6.1	船体结构的骨架形式	96
6.1.1	概述	96
6.1.2	骨架形式的种类与特征	96
6.1.3	不同骨架形式的优缺点及应用	98
6.2	底部骨架	100
6.2.1	概述	100
6.2.2	底部骨架各组成构件	101
6.2.3	舳龙骨	106
6.3	舷侧骨架	108
6.3.1	概述	108
6.3.2	舷侧骨架的布置与连接	110
6.4	甲板骨架	115
6.4.1	概述	115
6.4.2	甲板骨架的布置与连接	116
6.4.3	甲板舱口角隅处结构	117
6.4.4	挡浪板结构	119

6.5	舱壁骨架	120
6.5.1	概述	120
6.5.2	舱壁扶强材两端结构形式	121
6.6	支柱	123
6.6.1	概述	123
6.6.2	支柱的受力及构成	123
6.7	强力骨架腹板开孔与补强	125
6.7.1	概述	125
6.7.2	强力骨架梁的腹板开口与补强	125
6.7.3	底部纵桁和肋板的开孔与加强	127
6.8	船体中剖面结构图	128
6.8.1	中剖面结构图的作用与表达的内容	128
6.8.2	中剖面结构图的绘制方法	131
第7章	水面舰艇船体首尾端部结构	135
7.1	首端部结构	135
7.1.1	舰首形状	135
7.1.2	作用于首端部的外力	136
7.1.3	首端部的结构	137
7.2	尾端部结构	142
7.2.1	舰尾形状	142
7.2.2	尾端部的外力	143
7.2.3	尾端部的结构形式	143
7.2.4	尾柱	145
7.2.5	尾轴架	148
第8章	上层建筑	151
8.1	概述	151
8.1.1	上层建筑的种类	151
8.1.2	上层建筑的用途与受力	152
8.1.3	上层建筑结构形式	153
8.2	船楼结构	154
8.3	甲板室结构	156
8.3.1	概述	156
8.3.2	强力甲板室结构	157

8.3.3	轻型甲板室结构	158
8.3.4	伸缩接头	159
第三篇 潜艇结构		164
第9章 潜艇耐压船体结构		164
9.1	潜艇耐压船体结构概述	164
9.1.1	耐压船体的功用和结构要求	164
9.1.2	耐压船体的一般形状	164
9.1.3	耐压船体尺寸	165
9.2	耐压船体结构	166
9.2.1	耐压船体壳体	166
9.2.2	耐压船体肋骨	169
9.2.3	导弹舱结构	175
9.2.4	耐压船体锥、柱结合部过渡结构	175
9.3	舷间耐压水舱结构	177
9.3.1	托板式舷间耐压水舱	177
9.3.2	实肋板式耐压水舱结构	178
9.3.3	实肋板带纵骨式舷间耐压水舱	179
9.4	耐压船体内部耐压水舱结构	181
9.5	耐压指挥室结构	182
9.5.1	功用和要求	182
9.5.2	耐压指挥室的形状	183
9.5.3	椭圆形(卵圆形)指挥室构造	183
第10章 舱壁结构		185
10.1	舱壁结构的功用、结构要求及其分类	185
10.1.1	舱壁的功用	185
10.1.2	舱壁结构的要求	185
10.1.3	舱壁的分类	186
10.2	球面舱壁结构	186
10.2.1	概述	186
10.2.2	球面舱壁的工作条件及其结构要求	186
10.2.3	球面舱壁的构造	188
10.2.4	舱壁上的附属设备结构	190
10.3	端部球面舱壁结构	192

10.4	平面舱壁结构	192
10.4.1	耐压平面舱壁结构	192
10.4.2	端部平面舱壁结构	195
10.4.3	非耐压平面舱壁结构	195
10.4.4	轻舱壁的结构	196
第11章	潜艇非耐压结构	197
11.1	非耐压舷间结构	197
11.1.1	非耐压液舱壳板	198
11.1.2	非耐压船体构架	198
11.1.3	非耐压水舱纵桁结构	201
11.1.4	舷间水舱舱壁结构	202
11.1.5	水舱的附属结构	203
11.2	上层建筑结构	205
11.2.1	上层建筑壳板构造	205
11.2.2	上层建筑构架	206
11.3	指挥室围壳结构	207
11.3.1	指挥室围壳的形状、布置位置及尺寸	208
11.3.2	指挥室围壳的构造	209
11.4	潜艇首尾部结构	209
11.4.1	潜艇首部结构	209
11.4.2	尾部结构	212
11.5	坞龙骨结构	215
11.6	耐压船体内部非耐压舱柜结构	216
第四篇	复合材料船用结构	218
第12章	船用复合材料基础	218
12.1	复合材料概述	219
12.1.1	复合材料的定义	219
12.1.2	复合材料的组成	219
12.1.3	复合材料的分类	221
12.1.4	复合材料原理	223
12.2	纤维增强复合材料	226
12.2.1	纤维增强复合材料基础	226
12.2.2	玻璃钢	238

12.2.3	高性能纤维增强复合材料	241
12.3	船用复合材料	241
12.3.1	船用复合材料性能要求	241
12.3.2	船用复合材料性能特点	244
12.3.3	船用复合材料发展前沿	248
第 13 章	复合材料船体结构形式及其元件	250
13.1	复合材料船体结构形式	250
13.1.1	单层平整外板无骨架船体	250
13.1.2	槽形板结构船体	251
13.1.3	带骨架平板结构船体	252
13.1.4	双层外板船体	253
13.2	复合材料船体的骨架	253
13.2.1	骨架形式	253
13.2.2	骨架布设	255
13.2.3	骨架剖面结构	256
13.3	轻质高强复合材料船体结构	258
13.3.1	蜂窝夹芯结构	260
13.3.2	泡沫夹芯结构	261
13.3.3	夹芯加筋结构	262
第 14 章	复合材料船体结构节点与连接形式	266
14.1	船体结构连接形式与方法	266
14.1.1	连续连接	266
14.1.2	机械连接	269
14.1.3	混合连接	271
14.2	复合材料船体结构典型节点	272
14.2.1	舷侧结构节点	272
14.2.2	甲板与上层建筑的连接结构节点	274
14.2.3	舳龙骨连接节点形式和连接方法	275
14.2.4	骨架交叉结构节点形式和连接方法	276
14.2.5	基座结构节点形式和连接方法	281
14.2.6	舱壁结构节点形式和连接方法	282
14.2.7	龙骨的结构形式及连接节点	284
14.3	复合材料船体结构连接形式选用	285

第 15 章	复合材料船用典型局部结构与制备	289
15.1	声纳导流罩	289
15.2	雷达天线罩	290
15.2.1	典型雷达罩整体结构	291
15.2.2	雷达天线罩板块结构	292
15.2.3	雷达天线罩骨架结构	293
15.2.4	防弹雷达天线罩	293
15.3	复合材料隐身桅杆	294
15.4	复合材料上层建筑	295
15.5	复合材料防护结构	296
15.6	复合材料螺旋桨	298
15.7	其他复合材料结构	300
15.7.1	复合材料舵	300
15.7.2	复合材料翼	301
15.7.3	潜艇可拆板	302
15.7.4	潜艇指挥室围壳	303
15.7.5	局部结构与舱段	304
15.7.6	部分设备组成及元件	305
第 16 章	复合材料船体结构	309
16.1	复合材料船体结构概述	309
16.1.1	早期复合材料船体结构	309
16.1.2	现代复合材料船体结构	312
16.1.3	复合材料耐压壳	313
16.2	复合材料船体结构特点	314
16.2.1	复合材料船体结构的可设计性	314
16.2.2	复合材料船体结构的工艺性	315
16.2.3	复合材料船体结构设计需注意的问题	318
16.3	复合材料船体结构发展现状	319
参考文献		323

第一篇 舰艇结构的基础知识

第 1 章 舰艇分类与结构组成

1.1 舰艇分类

1.1.1 船舶分类

船舶是指能航行、停泊于水域,从事运载、作战、作业和科研等活动的构造物,是各种船、舰、艇、舢板、筏以及水上浮动作业平台等的统称。

船舶分类可根据其各种功能或特点,从不同的角度给出不同的分类方法。主要分类方法有:使用功能分类、航行区域分类、航行状态分类、动力装置分类、推进形式分类、上层建筑形式或机舱位置分类、主船体结构形式分类以及主船体材料分类等。船舶以使用功能可分为军船、民船、运输船、工程船、渔业船等,其中军船又可分为水面舰艇和潜艇;船舶以航行区域可分为远洋船、沿海船、海峡船、内河船等;船舶以动力装置可分为帆船、机动船、机帆船、核动力船、内燃机船、汽轮机船、燃气轮机船、电力推进船等;船舶以推进形式可分为常规螺旋桨推进船、喷水推进船、吊舱螺旋桨推进船、空气螺旋桨推进船等;船舶以主船体材料可分为木质船、水泥船、钢质船、铝质船、纤维增强复合材料船等。下面重点介绍船舶以航行状态的分类方法。

船舶航行状态分类方法是由船舶在航行中船体所受的支承力的不同来区分的,它分为静水力支承、水动力支承、空气静力支承及空气动力支承 4 种航行状态(图 1-1-1)。静水力支承航行状态的船舶为排水型船,包括水面排水型船和水下排水型船(潜艇)。排水型船舶的船体重力由船体排开海水所产生的静浮力支持。在排水型船中,除常规排水型船以外,还包括双体船(多体船)、小水线面船、深排水型船等特殊排水型船。水动力支承航行状态的船舶主要是滑行艇、水翼艇等船舶,它们在水面高速航行时,船体吃水很小或离开水面,船体重量主要靠与水接触的部分船体或水翼产生的水动升力支持。空气静力支承

2 舰艇结构

航行状态的船舶是指气垫船,它是由船底的高压空气室把船体抬起,使船底与水面之间形成空气垫,并借助空气螺旋桨的驱动高速行驶。空气动力支承航行状态的船舶是指冲翼艇,或称气翼艇及地效应船,它是利用冲入翼下的高速气流所产生的升力,以及船体和机翼贴近水面高速行驶时产生的地面效应升力支承船体重量,因而又称地效应船。

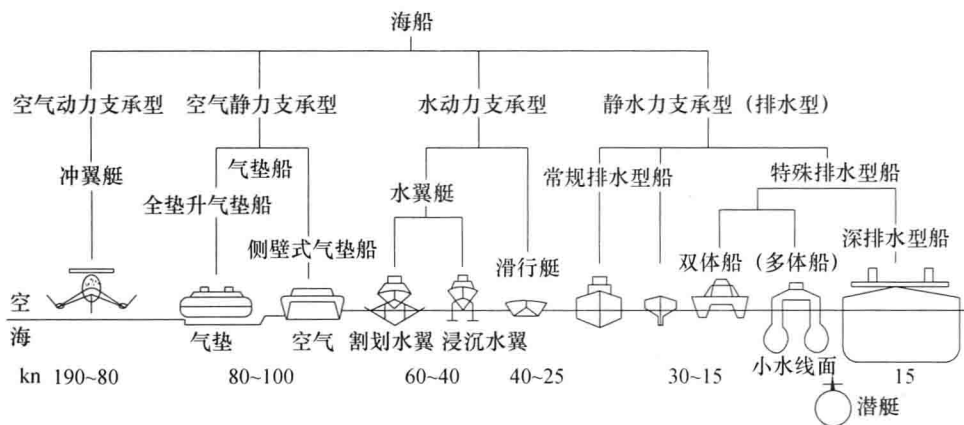


图 1-1-1 按照舰船航行状态分类的海船种类

1.1.2 舰艇分类

海军通常将舰艇分为水面舰艇和潜艇两大类,水面舰艇是指只能在水面航行、作业和作战的军用船舶,潜艇是指可以在水下航行、作业和作战的军用船舶。

舰艇通常按照使用功能和吨位对舰艇进行分类,其目的是为了在平时能妥善维护管理舰艇与组织训练,在战时能正确使用舰艇,充分发挥各种舰艇所具有的性能与特点,协同配合,以争取海战的胜利。

1.1.2.1 水面舰艇分类

水面舰艇按吨位(正常排水量的大小)将其划分为 8 个吨级,并将正常排水量 500t 及其以上的水面舰艇称为舰,正常排水量小于 500t 的水面舰艇称为艇,如表 1-1-1 所示。

水面舰艇另一种分类方法是按舰艇使命任务的不同进行划分,分为不同的舰类、舰种和舰级(型)。水面舰艇通常分为水面战斗舰艇、两栖舰艇和辅助舰船三大类,而每一舰类又可根据基本任务的不同,划分为不同的舰种,同一舰种根据排水量大小的不同或武器装备的不同分为不同的舰级(型)。关于“舰级”和“舰型”,其内涵往往根据习惯的不同而有所不同。我国在同一舰种下,可以

分大型、中型和小型三个“级别”的舰艇,而每个“级别”下面又有不同的“型号”。但是美国人将舰艇“型号”称为“舰级”,如“伯克”级驱逐舰、“尼米兹”级航母等。下面分别给予介绍。

表 1-1-1 水面舰艇的 8 个吨级

吨级	正常排水量 Δ/t	吨级	正常排水量 Δ/t
1	$10000 \leq \Delta$	5	$500 \leq \Delta < 1000$
2	$5000 \leq \Delta \leq 10000$	6	$200 \leq \Delta < 500$
3	$2500 \leq \Delta < 5000$	7	$50 \leq \Delta < 200$
4	$1000 \leq \Delta < 2500$	8	$\Delta < 50$

1. 水面战斗舰艇

具有直接作战能力的水面舰艇称为水面战斗舰艇。水面战斗舰艇根据基本任务、功能及吨位的不同,又可分为下列各舰种:

(1) 航空母舰:它以飞机为主要作战武器,是现代海战的主力舰。它对于战争的制空权和制海权具有举足轻重的作用。航空母舰根据排水量大小和功能可分为不同的舰级(型)。例如,按排水量可分为小型航空母舰,排水量为 10000 ~ 40000t;中型航空母舰,排水量为 40000 ~ 60000t;排水量 60000t 以上的为大型航空母舰。航空母舰按作战功能分,可分为反潜航空母舰(直升机航空母舰)、两栖攻击型航空母舰和舰队攻击型航空母舰等。航空母舰按动力装置分,可分为常规动力航空母舰和核动力航空母舰。

(2) 战列舰:它是第二次世界大战以前的海军主力舰,以大口径火炮为主要攻击武器,火炮口径最大达 420mm,其排水量为 20000 ~ 90000t。该舰种在第二次世界大战后由于航空母舰的崛起(制空权重要性的再认识)而被淘汰。20 世纪 80 年代以后,美国重新启用和改装了两艘战列舰,并在海湾战争中显示了巨大的威力,但其高昂的建造费和维护保养费使其不再成为军事家的首选舰种。

(3) 巡洋舰:它可以参加航空母舰编队作战,也可独立完成对海对岸攻击,其排水量为 6000 ~ 30000t。现代巡洋舰以导弹和直升机为主要对空、对舰和反潜攻击武器。

(4) 驱逐舰:它是海战的多面手,可以参与编队作战;可为航空母舰及运输舰队护航,担任反潜和对空对海作战;可担负巡逻警戒、封锁海域、对敌舰或海岸攻击、协同快艇作战等任务。目前驱逐舰正向着大型化和综合化发展,并有取代巡洋舰的趋势。驱逐舰排水量为 3000 ~ 12000t,其中 8000t 以上称为大型驱逐舰。

(5) 护卫舰:它的主要任务是护航、护渔、巡逻等,其排水量为 500 ~ 4000t。由于护卫舰排水量较小,因而多为单一作战功能,如导弹(对海)护卫舰、反潜护卫舰及防空护卫舰等。护卫舰按排水量可分为大型、中型和小型三个级别。

(6) 猎潜舰艇:它的主要任务是在近海区域搜索与攻击敌潜艇,也可担负护航、巡逻、布雷等任务。猎潜舰艇的主要武器有反潜直升机、反潜鱼雷、深水炸弹等。

(7) 布雷舰艇:它的主要任务是在重要海域、航道、港口布设水雷,以封锁敌港口、航道,或阻止敌舰进攻。

(8) 猎、扫雷舰艇:它的主要任务是解除敌人的布雷封锁,为舰队、港口开通航道。

(9) 快艇:通常将速度较快、吨位较小的舰艇统称为快艇。快艇按武器装备的不同分为导弹艇、鱼雷艇、护卫艇等,按航行状态不同可分为滑行艇、水翼艇、气垫船和冲翼艇。快艇作为海岸防卫的突击力量,在近海防御中发挥着积极的作用。

2. 两栖舰艇

两栖舰艇是指主要用于对岸登陆、支援和攻击的两栖作战舰艇。两栖舰艇主要包括两栖指挥舰、两栖攻击舰、两栖运输舰、火力支援舰、登陆舰艇等。我国以近海防御为主,两栖舰艇发展较少,目前只有登陆舰艇,并常与水面战斗舰艇合称水面战斗舰艇。登陆舰艇按排水量分为大型、中型和小型三个级别,其吨位范围如表 1-1-2 所示。

3. 辅助舰船

凡以直接或间接方式为战斗舰艇提供各种支援、保障和训练、试验等使命的军用舰艇,称为辅助舰船。辅助舰艇按其使命可划分为三个大类,即战斗支援类、后勤保障类和科研试验训练

表 1-1-2 登陆舰艇吨级

名称	正常排水量 Δ/t
大型登陆舰	$\Delta \geq 1500$
中型登陆舰	$500 \leq \Delta < 1500$
登陆艇	$\Delta < 500$

类。战斗支援类舰船主要从事水面、水下收集军事情报,进行海战救难、援助等活动,并为战斗舰艇提供各种战斗支援。它包括电子侦察和电子对抗船、卫星通信船、打捞救生船、援潜救生船、深潜救生艇及航标船、测量船等。后勤保障类舰船是指为舰艇部队、基地建设提供运输、供应、维修、居住、卫勤、工程等服务的舰船。它包括运输船、补给船、供应船、综合修复船、拖船、浮船坞、工程船、医院船、救护艇、交通舰艇、消磁船等。科研试验训练类舰船是指在海上进行科学试验及各类新武器试验测量,对官兵进行海上训练的舰船。它包括水声试验船、航天测量船、武器试验船、鱼雷跟踪试验船、训练船、靶船等。