

潜艇结构分析

QIANTING JIEGOU FENXI

谢祚水 王自力 吴剑国 编著



华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

ISBN 7-5609-3071-9



9 787560 930718 >

定价: 28.00 元

潜艇结构分析

谢祚水
王自力 编著
吴剑国

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

潜艇结构分析/谢祚水 王自力 吴剑国 编著
武汉:华中科技大学出版社, 2004年3月
ISBN 7-5609-3071-9

I. 潜…
I. ①谢… ②王… ③吴…
Ⅲ. 潜艇-结构设计-分析
N. U674

潜艇结构分析

谢祚水 王自力 吴剑国 编著

责任编辑:叶见欣 陈培斌
责任校对:朱霞

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557436

录排:华中科技大学出版社照排室
印刷:武汉首壹印刷厂

开本:787×1092 1/16
版次:2004年3月第1版
ISBN 7-5609-3071-9/U·20

印张:19.25
印次:2004年3月第1次印刷

字数:470 000
定价:28.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社图书营销中心调换)

内 容 介 绍

本书是编著者根据多年的教学经验,收集了大量文献,并且融进编著者的许多科研成果而编写的。可以满足有关专业研究所、高等院校、工厂企业的工程技术人员、设计人员、教师和学生们的需要。

本书内容广泛。涉及潜艇结构设计计算的各个方面,包括作用在潜艇结构上的外力,潜艇的结构特点,耐压船体、舱壁、耐压液舱的应力和稳定性分析计算,结构的疲劳、振动、可靠性分析,结构的优化设计,以及结构的开孔及加强,耐压船体初始缺陷的超差加强等。

前 言

潜艇是酝酿了数百年,只在近几十年才得到迅速发展的一种水下作战舰艇。由于它具有隐蔽性好等显著特点,世界各国都十分重视它的发展。

现代潜艇主要活动于水下,因此,它的设计、制造技术有别于水面舰船,而在结构性能上差别就更大。近年来,潜艇结构设计计算方法有了不少新的进展,但是,没有一本相关的、合适的参考书与之相适应。编著者根据多年的教学经验,收集了大量文献,并且融进编著者的许多科研成果,写成了本书。可以满足有关研究所、高等院校、工厂企业以及领导机关的工程技术人员、管理人员、教师和学生的客观需要。

本书内容广泛。潜艇结构设计计算的各个方面都有所涉及,包括作用在潜艇结构上的外力,潜艇的结构特点,耐压船体、舱壁、耐压液舱的应力和稳定性,结构的疲劳、可靠性,结构的优化设计,以及结构的开孔及加强,耐压船体初始缺陷的超差加强等。

本书十分重视近代结构力学理论在潜艇结构中的应用,进行了许多有限元方法的计算结果与解析法结果的对比分析,可供读者参考。书中还附有计算所需的大量图表,这为设计人员提供了极大的便利。

本书编著者的分工是:第1、2、3、4、5、6、7、9章由谢祚水编写;第8、12章由王自力编写;第10、11章由吴剑国编写。初稿的修改、校正工作由谢祚水完成。

在本书的编著过程中,向玉梅、顾世红、夏红芳,以及王志军、李巍、梅利元、孙倩、施丽娟等给予了许多支持和帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

虽然编著者已经作了很大努力,但由于水平有限,本书一定还有缺点甚至错误,诚恳希望广大读者批评指正。

编著者

2003年10月

目 录

第 1 章	作用在潜艇结构上的外力	(1)
1.1	概述	(1)
1.2	潜艇船体的受力	(1)
1.3	耐压船体的计算载荷	(4)
第 2 章	潜艇的结构特点	(8)
2.1	潜艇结构的基本概念	(8)
2.2	耐压船体结构	(12)
2.3	耐压液舱结构	(14)
2.4	舱壁结构	(15)
2.5	非耐压结构的用途和特点	(18)
第 3 章	耐压船体的应力	(20)
3.1	一般环肋圆柱壳	(20)
3.2	肋间环向加筋圆柱壳	(36)
3.3	纵横加筋圆柱壳	(41)
3.4	环向 II 型加肋圆柱壳	(43)
3.5	一般环肋圆锥壳	(46)
3.6	一般环肋锥柱结合壳	(47)
附录		(49)
第 4 章	耐压船体的稳定性	(70)
4.1	概述	(70)
4.2	一般环肋圆柱壳	(72)
4.3	肋间环向加筋圆柱壳	(87)
4.4	纵横加筋圆柱壳	(91)
4.5	环向 II 型加肋圆柱壳	(93)
4.6	环肋圆锥壳	(94)
4.7	环肋锥柱结合壳	(99)
4.8	耐压船体理论临界压力的修正	(102)
4.9	典型实例	(105)
附录		(109)
第 5 章	舱壁的应力和稳定性	(111)
5.1	概述	(111)
5.2	平面舱壁	(111)
5.3	球面舱壁	(124)
第 6 章	耐压液舱的应力和稳定性	(130)

6.1	概述	(130)
6.2	圆环在均匀外压力作用下的静力特性	(130)
6.3	托板式耐压液舱	(133)
6.4	实肋板式耐压液舱	(144)
6.5	准同心圆式耐压液舱	(154)
	附录	(156)
第 7 章	耐压船体圆形开口区结构强度	(160)
7.1	概述	(160)
7.2	围壁加强的正交单圆孔区结构的应力	(161)
7.3	围壁加厚板组合加强的正交单圆孔区结构的应力	(173)
7.4	切口区结构近似计算方法的可靠性	(176)
7.5	围壁加强的圆柱壳单排连续开孔区结构的应力	(178)
7.6	围壁加强的圆柱壳双排连续开孔区结构的应力	(180)
7.7	圆柱壳开孔孔口最大直径的变化	(181)
7.8	圆柱壳开孔区附近环形肋骨与孔口应力的相互影响	(183)
7.9	开孔圆柱壳在静水外压力下的破坏压力	(186)
第 8 章	耐压船体的疲劳强度	(194)
8.1	结构疲劳的基本概念	(194)
8.2	疲劳的起始与扩展	(197)
8.3	应力强度因子	(199)
8.4	潜艇耐压船体疲劳的特点	(203)
8.5	耐压船体疲劳寿命的估算方法	(205)
8.6	耐压船体的疲劳试验	(213)
第 9 章	潜艇结构的振动	(216)
9.1	概述	(216)
9.2	船体的总振动	(218)
9.3	局部结构的自由振动	(229)
第 10 章	耐压结构的优化设计	(244)
10.1	概述	(244)
10.2	离散变量结构的优化设计	(244)
10.3	普通环肋与纵横加肋圆柱壳结构的优化设计	(246)
10.4	肋间环向加筋圆柱壳结构的优化设计	(249)
10.5	传统耐压液舱结构优化设计的数学模型	(251)
10.6	准同心圆式耐压液舱结构优化设计的数学模型	(254)
10.7	耐压液舱结构优化设计实例	(255)
第 11 章	耐压结构的可靠性	(257)
11.1	概述	(257)
11.2	基于 JC 法的耐压结构可靠性	(257)
11.3	基于数值模拟法的耐压结构可靠性	(263)

11.4	耐压结构的系统可靠性.....	(266)
11.5	耐压结构可靠性分析展望.....	(273)
第 12 章	耐压船体的初始缺陷及其加强方法	(275)
12.1	耐压船体初始缺陷对稳定和强度的影响.....	(275)
12.2	耐压船体初始缺陷的允许标准.....	(280)
12.3	耐压船体初始缺陷的测量.....	(283)
12.4	耐压船体初始缺陷的加强方法.....	(287)
12.5	计算实例.....	(292)
参考文献		(296)

第 1 章

作用在潜艇结构上的外力

1.1 概 述

潜艇是酝酿了数百年,只在近几十年才得到迅速发展的一种新型水下作战舰艇。它的出现,将传统的海战由洋面延伸到水下,从而赋予了海洋战争以立体化、隐蔽性等新特点。

早在 16 世纪时,英国人威廉·伯恩就提出了潜艇的原理,但直到 20 世纪初,才出现具备实战能力的潜艇。第二次世界大战爆发时,潜艇在技术性能和海战战术方面均有了很大的改进和发展,各交战国都在作战中大量使用潜艇,使得地球上各大洋的水下充满了杀机。目前,美国、俄罗斯都把潜艇的发展,特别是核潜艇的发展放到了优先地位,并把导弹核潜艇作为一种战略威慑力量,在世界各个海洋中到处游弋。

我国于 20 世纪 50 年代开始建立和发展自己的潜艇部队,继美、俄、英、法之后,已成为世界上第五个拥有战略核潜艇的国家。

进入 21 世纪,潜艇又有了新的发展。就潜艇结构而言,主要是改进船体的结构形式和改变制造船体的材料,以适应船体结构尺寸和下潜深度增大的需要。

1.2 潜艇船体的受力

潜艇在建造与服役过程中,要经历下水、停泊、航行、战斗及检修等过程,在这些过程中,潜艇船体会受到各种外力的作用,这些外力按其作用性质可分为两类:

① 静力 包括船体本身及各种设备的重力、静水压力、坞墩水反力等;

② 动力 包括波浪冲击力、机械工作时由于不平衡而产生的惯性力、各种武器发射时的后坐力及碰撞等。

潜艇具有坚固的耐压船体,上述两类外力主要由耐压船体来承受。目前,在潜艇结构设计中主要是以静力强度作为强度计算的依据。动力强度只是在静力强度计算的基础上做某些校核,是辅助性的。因此,本章主要介绍潜艇受静力作用的一些特性。

1.2.1 潜艇在水面状态的受力

潜艇在水面的受力包括静水中受力与波浪中受力两种情况,如图 1-1 所示。虽然这两种情况下,船体受力大小不同,但力的作用特点却是相同的。下面首先来看一下潜艇在静水中的受力情况。

潜艇漂浮于静水中时,作用在船体的力只有两种,即重力与浮力。

重力由船体质量、机械、武备、燃油和供给品等质量组成。

浮力即海水对船体的静水压力的垂直分力。

当潜艇漂浮于水面并处于平衡状态的时候,重力 P 与浮力 γV 总是大小相等、方向相反,并作用在同一铅垂线上。但是这种平衡仅仅对整个潜艇而言才是正确的。如果我们在潜艇长度方向上单独取出一段来看,这种平衡就不存在了。其原因这是由于重力和浮力在船长方向的分布规律不一致。大家知道,浮力的分布($\gamma v(x)$)沿艇长总是比较有规律的(见图 1-1(b)),而重力的分布($p(x)$)则因各个舱内设备布置的不同,重量的分布总是不均匀的(见图 1-1(b))。如在蓄电池舱和主机舱重量比较集中,指挥舱相对来说重量比较轻。因此,在船长方向上,有些部分可能重力大于浮力,而另一些部分可能重力小于浮力,这种过剩的重力或浮力即成为作用于船体梁上的载荷 $q(x)$ 。潜艇在水面状态可看成为自由漂浮于水面的变断面空心梁,载荷沿船体的纵向分布,由材料力学知识可以知道,在 $q(x)$ 作用下,在船长方向各个断面上的剪力(N_x)、弯矩(M_x)为:

$$N_x = \int_0^x q(x) dx \quad (1-1)$$

$$M_x = \int_0^x \int_0^x q(x) dx dx \quad (1-2)$$

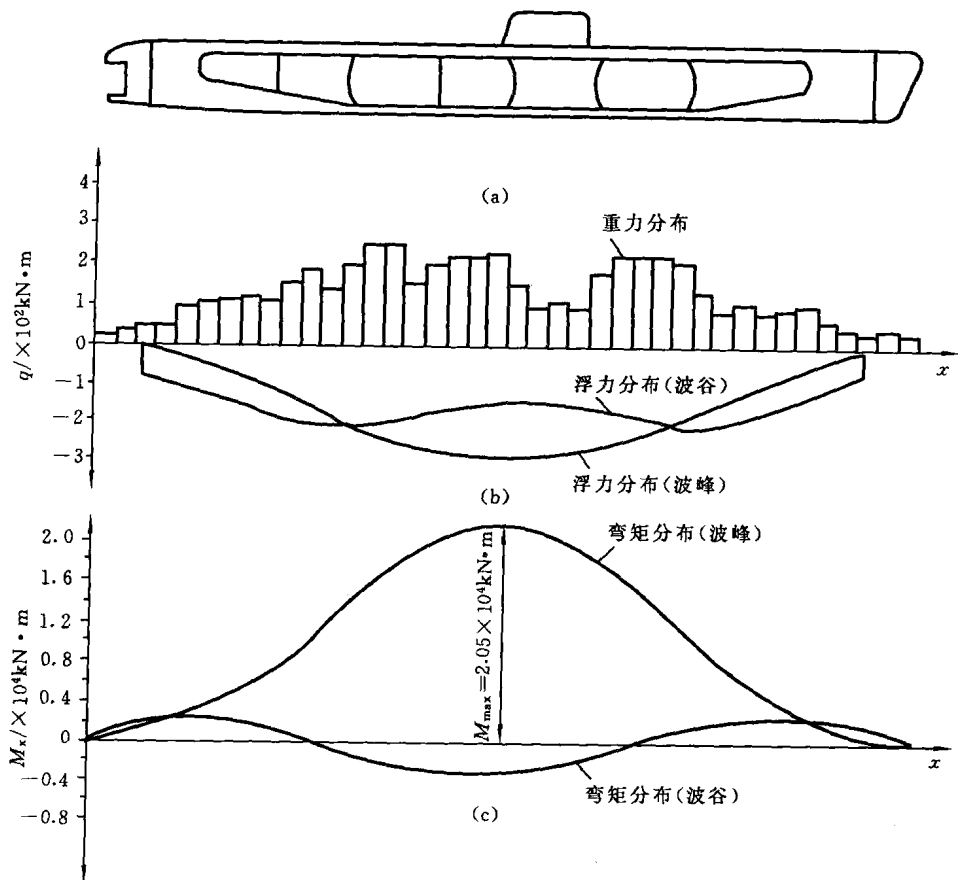


图 1-1

显然,剪力和弯矩的大小,决定于载荷的分布。潜艇在波浪中,虽然其重力分布不变,但由

于波浪的起伏使浮力发生变化,因而载荷也改变,致使作用在船体上的剪力和弯矩亦在改变。由计算表明,当潜艇处于波浪中,若波长 λ 接近于船长 L 时,所产生的剪力和弯矩最大。图1-1(c)所示的是某艇在波浪中的弯矩分布。

剪力的存在,将使船体各断面产生剪应力和剪变形,由于潜艇耐压船体壳体很厚,抗剪剖面模数很大,其所产生的剪应力是很小的。

弯矩的存在,将使船体产生纵向弯曲变形,这种弯曲称为纵向总弯曲。当潜艇处于波峰时,船体弯曲,称之为中拱;潜艇处于波谷时,船体弯曲,称之为中垂。

同样,当潜艇停放在坞内时,由于其各段的重量与墩木反力不等,船体沿纵向也有载荷作用,同样会受到剪力和弯矩作用。纵向总弯矩主要由耐压船体承受,一般忽略非耐压船体纵向构件的作用,因此耐压船体上最大轴向应力为:

$$\sigma_{1\max} = \pm \frac{M_{\max}}{W} \quad (1-3)$$

式中, $W=\pi R^2 t$ ——耐压船体抗弯剖面模数;

R ——耐压船体半径;

t ——耐压船体壳体厚度。

实际计算表明,由于潜艇耐压船体抗弯剖面模数很大,通常 $\sigma_{1\max}$ 较小。因此,跟水面舰船一个显著的不同点是潜艇不必检查水面状态时的总纵强度。

1.2.2 潜艇在深水中受力

潜艇处于水下状态时,作用在船体上的外力有深水静压力和重力、浮力,沿船长分布不均引起的剪力和弯矩。然而,潜艇耐压船体全船有限元分析表明,水下状态时这些剪力、弯矩所产生的应力相对于深水静压力引起的应力要小很多,可以忽略。

深水压力直接由耐压船体来承受,为了研究作用在耐压船体上静水压力的大小,从耐压船体长度方向取出单位长度的耐压船体来看,水压力分布沿高度方向成线性变化,其作用的压力可分为两部分,如图1-2所示。

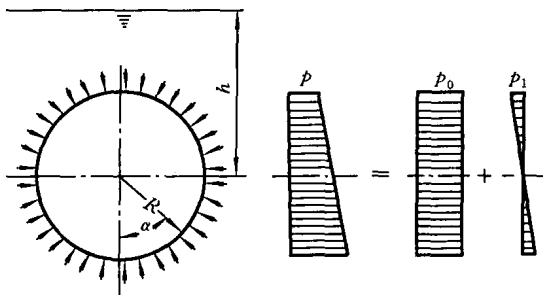


图 1-2

1. 均匀分布的载荷

均匀分布载荷为:

$$p_0 = \gamma h \quad (1-4)$$

式中, γ ——水的密度;

h ——耐压船体轴线至自由水面的距离,即潜艇下潜深度。

2. 三角形分布的载荷

三角形分布载荷为:

$$p_1 = \gamma R \cos \alpha \quad (1-5)$$

式中, R ——耐压船体半径;

α ——决定于耐压船体上各点位置的角度。

3. 耐压船体的载荷

作用在耐压船体上的载荷为:

$$p = p_0 + p_1 = \gamma h + \gamma R \cos \alpha \quad (1-6)$$

比较上述两部分载荷可以看出, $\frac{p_1}{p_0}$ 的最大比值为 R/h 。对于现代潜艇, 耐压船体半径一般为 2~5m, 而极限下潜深度达到 200~600m 时, R/h 一般为 0.01~0.02。为了计算方便, 可忽略 p_1 的影响。

结论 如果潜艇在深水压力作用下, 耐压船体的强度有保证, 那么, 在纵向总弯曲力矩作用下的强度一定有保证, 即潜艇不必校核总纵强度。潜艇在深水中的受力可以简化为一个均匀载荷, 其值等于耐压船体轴线至自由水面高度的水柱压力。这就是说, 潜艇耐压船体所受的外力很简单, 一般只要考虑均匀的深水压力, 即

$$p \approx \gamma h = 0.0098h \quad (\text{MPa}) \quad (1-7)$$

1.3 耐压船体的计算载荷

1.3.1 计算深度、计算载荷的基本概念

在设计潜艇时, 按潜艇的战术技术要求通常规定了潜艇的工作深度和极限深度。

工作深度是指潜艇在正常使用过程中所能达到的最大深度。在此深度上, 潜艇能作任意次的、长期的停留而不引起耐压船体永久变形。此深度与极限深度 h_e 的关系为:

$$h_0 = (0.8 \sim 0.9) h_e \quad (1-8)$$

极限深度是指潜艇下潜的最大深度。在此深度上, 潜艇只能作短时的、有限次的(在整个服役中一般不超过 300~500 次)停留而不引起耐压船体永久变形。潜艇下潜至极限深度通常是为了回避攻击或由于操纵偏差, 因此, 相应于极限深度的静水压力是偶然的。

潜艇在服役过程中既然允许它有限次地在极限深度上作短时停留, 那么, 也就说明极限深度不是它的破坏深度。这是因为在设计耐压船体强度时考虑了一定的强度储备, 以比极限深度更大的深度作为计算依据, 此深度称为计算深度。相应于计算深度下的静水压力称为计算载荷。结构强度储备通常用安全系数 K 来表示, 因此, 计算深度与极限深度的关系为:

$$h_c = K h_e \quad (1-9)$$

图 1-3 所示的是工作深度、极限深度与计算深度之间的关系。

1.3.2 安全系数处理的基本方式

结构强度储备通常用安全系数来表示。根据结构破坏的不同形式及工作特点, 安全系数的处理有不同的方式。

1.3.2.1 许用应力法

这种方法是将安全系数考虑在许用应力中。用这种方式进行强度计算时,首先根据外载荷计算出结构中最大应力 $\sigma_{\max}$, 根据材料的危险应力(一般取 σ_s), 以适当的安全系数确定材料的许用应力 $[\sigma]$, 按 $\sigma_{\max} < [\sigma]$ 进行检验。

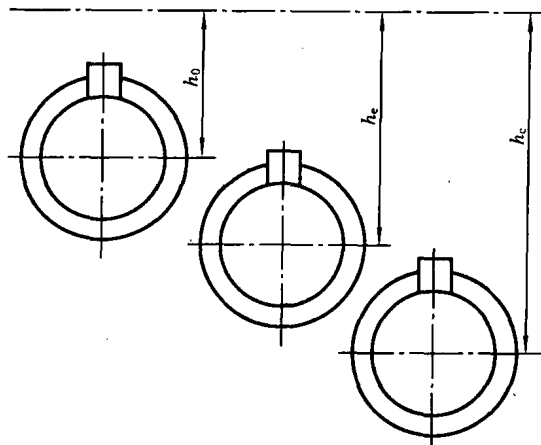


图 1-3

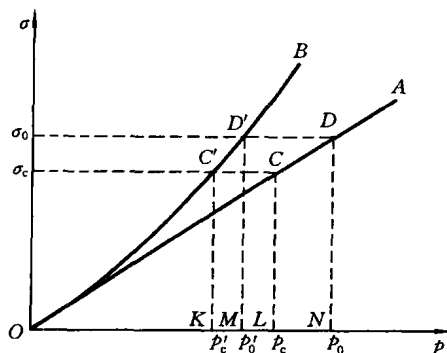


图 1-4

这种方法只有当结构中的应力与载荷成线性关系时,结构才具有所要求的强度储备。如果结构中应力的增加比载荷增加得快,那么,按许用应力法计算的结构将导致实际强度储备不足。如图 1-4 所示,当应力与载荷成线性关系(直线 OA)时,名义强度储备为:

$$K_0 = \frac{\sigma_0}{\sigma_c}$$

式中, σ_0 ——危险应力, MPa;

σ_c ——计算应力, MPa。

实际强度储备为:

$$K_1 = \frac{p_0}{p_c}$$

式中, p_0 ——破坏载荷, MPa;

p_c ——计算载荷, MPa。

由图中可以看出,

因为

$$\frac{\overline{OD}}{\overline{OC}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{OL}}$$

所以

$$\frac{\sigma_0}{\sigma_c} = \frac{p_0}{p_c}$$

即

$$K_0 = K_1$$

(1-10)

因此,结构的名义强度储备为实际强度储备。

当应力与载荷不成线性关系(曲线 OB)时,由图 1-4 中可以看出,

$$K_0 = \frac{\sigma_0}{\sigma_c} = \frac{\overline{OD}}{\overline{OC}}$$

$$K_1 = \frac{p'_0}{p'_c} = \frac{\overline{OM}}{\overline{OK}}$$

因为

$$\frac{\overline{OD}}{\overline{OC}} > \frac{\overline{OM}}{\overline{OK}}$$

所以

$$K_0 > K_1$$

(1-11)

即实际强度储备小于名义强度储备。

1.3.2.2 危险应力法

这种方法将安全系数考虑在载荷中。用这种方法进行强度计算时,首先根据作用于结构上的载荷,以适当的安全系数确定计算载荷。按计算载荷计算出结构中的最大应力,以该最大应力小于材料的危险应力作为检验标准。

按这种方法计算的结构,不论应力与载荷是否成线性关系,都可以保证结构具有所需要的强度储备。

1.3.2.3 混合法

潜艇耐压船体强度计算中安全系数处理的一般原则是:潜艇耐压船体结构主要承受深水压力,在正常工作条件下,其最大载荷 $p_c = \gamma h_c$ 。在事故状态下,潜艇下潜深度可能超过极限深度甚至接近破坏深度,而耐压船体结构强度基本上以壳板稳定条件作为控制破坏的基础,其应力的增加远比载荷增加快,因此,主要的是将安全系数计入到载荷中。但是,由于结构中各个构件在抵抗外力中所起的作用不同,结构的重要性及各部位应力的性质不同,因此,目前潜艇强度计算中,一部分强度储备统一考虑在载荷中,一部分强度储备分别考虑在应力中,并根据不同的结构制定不同的许用应力标准。统一考虑在载荷中的强度储备即为安全系数 K 。

1.3.3 影响安全系数 K 的一些主要因素

安全系数 K 的确定,要考虑可能影响结构强度的各种因素。主要的有下列几方面。

1.3.3.1 材料方面

材料方面的影响通常包括如下几方面。

①材料几何尺寸的偏差主要是指轧钢厂提供的船用钢材,按国家标准,允许材料实际的几何尺寸与名义尺寸之间有一定的偏差。目前潜艇计算规则中,计算厚度一般按最大负偏差考虑(通常将名义厚度减去 $0.75 \sim 1.0\text{mm}$),因此,在安全系数中不再考虑材料几何偏差的影响。

②机械性能方面的影响通常包括弹性模数 E 、泊松比 μ 、屈强比 σ_s/σ_b 等。在强度计算中, σ_s 、 E 一般都取材料试验的最低值,因此是偏于安全的。但随着潜艇下潜深度增大,高强度钢材的采用, σ_s/σ_b 要提高,这对结构的抗爆能力及低周疲劳是不利的,因此在安全系数中应该考虑这些不利因素。

1.3.3.2 设计计算公式的可靠性

在《潜艇结构设计计算方法》中所采用的强度和稳定性计算公式,一般都经过大量的实物和模型试验,证明是可靠的,因此安全系数中一般可以不考虑这方面的影响。

1.3.3.3 生产建造方面

生产建造方面的影响因素是很复杂的,但主要是结构的残余应力和几何形状的偏差。

①从材料加工到船体装配焊接中,在结构内部不可避免会产生残余应力。残余应力对结构强度的影响,目前还不能用计算方法精确确定。但是,由于强度计算公式都是建立在实物和模型试验的基础上的,而试验模型本身亦具有残余应力,因此,这种影响一定程度上可以认为在计算公式中已经作了考虑。

②几何形状偏差的影响是指潜艇在建造过程中不可避免地会产生各种偏差(壳板与肋骨不圆度,板壁差异,肋骨位置偏差,肋骨腹板不垂直度及焊缝的局部变形等),其中壳板与肋骨的初挠度对耐压船体的强度和稳定性有明显的影响。根据建造实艇时实测统计分析,肋骨初挠度一般不大于 $0.25R\%$,壳板初挠度一般不大于 $0.2t$ 。在此范围内的偏差对强度和稳定性的影响,已在计算公式中考虑了几何非线性的修正。至于个别超过上述范围的偏差,则由超差加强给予弥补。

1.3.3.4 管理使用方面

①潜艇在服役过程中,由于种种原因常有失事超深的可能。现代潜艇水下航速增大,高速行驶的潜艇,因失操而引起的附加深度必将增大,根据对某些工况的计算,认为取极限下潜深度的 $25\%\sim 35\%$ 比较合适。

②潜艇在使用过程中,耐压船体会受到腐蚀。耐压船体腐蚀量的大小与材料的性能、海区的自然条件及平时的维修保养有关。根据统计,潜艇耐压船体壳板腐蚀量一般为 $0.1\sim 0.125$ mm/年,而一般潜艇服役期限为 $20\sim 30$ 年。为了保证潜艇在一定的服役期内极限下潜度保持不变,有的在强度计算的基础上把壳板厚度额外增厚几毫米,也有的把腐蚀对强度的影响计入到安全系数中。由于腐蚀量只与材料的腐蚀率及服役期有关,因此,对于极限深度大、耐压船体尺寸大的潜艇,由于壳板厚度大,考虑腐蚀的安全系数时相对可以取小些,反之则大些。

由上述分析可以看出,安全系数的确定是很复杂的,主要是考虑潜艇的失事超深及腐蚀的影响,当然也要考虑由于实艇与模型试验差别而又不能通过理论分析来估计的一些不利因素。

结论 对于现代潜艇而言,安全系数 K 需要在深入的理论与试验研究的基础上慎重确定,目前通常在 $1.3\sim 1.6$ 范围内选取,即

$$p_c = (1.3 \sim 1.6)p_s \quad (1-12)$$

第 2 章

潜艇的结构特点

2.1 潜艇结构的基本概念

潜艇以水下活动为主,必须有坚固的船体来承受巨大的深水压力。因此,潜艇与水面舰船不同,它的结构可分为耐压结构与非耐压结构两部分。通常耐压结构包括耐压船体、耐压水舱、耐压指挥台、耐压舱壁等。非耐压结构包括非耐压船体水密结构和非水密结构,前者主要指潜艇舷间压载水舱结构,后者按其位置不同又可分为上层建筑、指挥台围壳及首、尾端结构,以及耐压船体内部的非耐压舱壁等。图 2-1 所示的是潜艇各部分结构的分布情况。

潜艇的典型结构形式有三种,即单壳结构、双壳结构和一个半壳结构。

对于小型潜艇,因其排水量较小,相应的储备浮力也很小,一般采用单壳结构,压载水舱布置在耐压船体内部,如果采用双壳结构,那么舷间水舱就很狭窄,不但建造困难,而且平时维修保养人员也无法进入水舱内,所以采用单壳结构比较适合。现代西欧、北美国家一些潜艇尽管排水量达到 1000 t 以上,由于其设计思想是以水下为主,储备浮力比较小,一般只占排水量的 10%~15%,仍采用单壳结构形式,压载水舱布置在耐压船体内部。

图 2-2 所示的为单壳潜艇的舢剖面结构。

一个半壳结构多见于二次大战前的潜艇,那些潜艇排水量一般为 700~1000t,储备浮力占排水量的 30%左右。若水舱布置在耐压船体内部,将占去很大容积,如水舱布置在耐压船体外部构成双壳,则其舷侧空间又太窄,不能满足建造和维修使用的要求,而且双壳将使外壳重量增加,因此做成一个半壳结构比较合适。现在这种结构形式已很少采用。图 2-3 所示的为一个半壳体潜艇的舢剖面结构。

对于中、大型潜艇,排水量比较大,其相应的浮力也比较大,潜艇主要工作在水下,为了造成光顺的外形减小水下航行的阻力,大部分做成双壳结构。图 2-4 所示的为双壳体潜艇的舢剖面结构。

单壳结构具有结构简单、重量轻、湿表面积小、施工维修方便和同等功率下可获得较高航速等优点,但也具有储备浮力小、抗沉性差、线型不易光顺等缺点。双壳结构则具有储备浮力大、抗沉性好、耐压船体内有效容积大、有利于空间布置等优点,其不足之处主要是增加了潜艇的体积,增加了船体的自重,影响潜艇航速的提高。目前,西方国家主要采用单壳结构,而俄罗斯除袖珍潜艇和非战斗 U 型潜艇外,都采用双壳结构。

对潜艇结构的基本要求是结构要合理。

①结构应具有足够的强度和刚度。潜艇在使用过程中,船体各部分结构受到各种外力的作用,要求结构在一定的外力作用下应该不会被破坏,不产生超过允许的变形(或丧失稳定),这