



潜 水 器 安全与操作指南 (I)

沈国鉴 等编译



上海交通大学出版社

111.8.17

359809

S39

潜水器安全与操作指南(I)

沈国鉴
施德培 编译
黄秀章

梁炎生 审校
陈式亮



上海交通大学出版社

沪新登字 205 号

内 容 提 要

本书阐述了载人潜水器的基本组成并对它的设计、建造、试验和操作使用中与安全有关的问题进行了全面、详细的讨论；给出了耐压船体、生命支持系统、机械及电气设备等的一系列设计准则和参数；提供了潜水器入级检验所需的试验与文件的格式，还对潜水器驾驶员的训练、操作以及美国众议院全体会议颁发的载人潜水器安全条例作了介绍。

本书可作我国大专院校海洋工程、船舶工程和潜水专业的教学参考书，也可供研究、设计、建造和使用潜水器部门的技术员、驾驶员、潜水员参考。

潜水器安全与操作指南(I)

出版，上海交通大学出版社

(淮海中路1984弄19号)

发行，新华书店上海发行所

印刷，上海崇明永南印厂

开本：787×1092(毫米)1/32

印张：8.5

字数：189000

版次：1991年5月 第1版

印次：1991年7月 第1次

印数：1-#00

科目：256-300

ISBN7-313-00929-1/U.662

定价：10.00元

编译者序

1982年6月美国海洋技术协会潜水器安全标准分会主席J·A·泼利茨拉夫来上海交通大学讲学，并赠送一套三本潜水器安全与操作指南专著，希望能有助于中国潜水器事业的发展。我们经过多方面努力，从中国船舶工业总公司、交通部广州海上援救装备研究所、上海交通大学水下工程研究所筹集到部分经费支助本书的出版，并组织人员进行了编译审校，现在该书终于出版了，为促进我国海洋技术的发展尽了一分力量。这类专著在我国尚属首次出版，将有助于我国潜水器设计、制造、使用部门所从事的潜水技术的进展。

本书第二、三章由施德培编译，第八章、附录I至VI由黄秀章编译，其余均由沈国鉴编译并全书统稿。上海救捞局科研所梁炎生、陈式亮审校了全稿，我们对此深表感谢！

由于编译者水平和能力所限，错误和不当之处在所难免，希望读者批评指正。

编译者于上海交通大学

1992年1月

目 录

第一章 一般特性	1
1.0 导言.....	1
2.0 潜水器的基本系统.....	1
3.0 潜水器其他系统.....	8
4.0 其他考虑.....	9
第二章 耐压壳体	1 ¹
1.0 导言.....	1 ¹
2.0 结构设计.....	1 ¹
3.0 结构试验大纲.....	21
4.0 质量保证.....	24
5.0 管理.....	25
6.0 文件的提交.....	27
第三章 生命支持	30
1.0 导言.....	30
2.0 氧气系统.....	30
3.0 二氧化碳清除系统.....	42
4.0 应急呼吸系统.....	48
5.0 污染控制系统.....	51
6.0 温度和湿度控制.....	54
7.0 仪表.....	62
8.0 食物和水的供应系统.....	66
9.0 废污处理系统.....	71
10.0 高压作业.....	74

第四章	通信	84
1.0	导言	84
2.0	水面通信	84
3.0	水下通信	86
第五章	机械设备	89
1.0	导言	89
2.0	危险性	90
3.0	可靠性	92
4.0	系统安全	94
5.0	安全检查表	96
第六章	电气设备	98
1.0	导言	98
2.0	外部设备	99
3.0	内部设备	103
4.0	一般考虑	106
第七章	应急设备	109
1.0	导言	109
2.0	应急生命支持系统	110
3.0	应急通信	112
4.0	信号设备	113
5.0	灭火设备	113
6.0	潜水器脱离	114
7.0	应急上浮设备	115
8.0	潜水器回收	116
第八章	试验与文件	117
1.0	导言	117
2.0	设计文件	119

3.0	材料文件	128
4.0	制造过程文件	132
5.0	试验文件	134
6.0	维修保养记录	138
7.0	修改记录	140
附录	试验与文件	141
I	船舶重量控制计算表	141
II	阿尔文所有组成部分重要性等级的定义和 应用	159
III	阿尔文号的材料试验文件	161
IV	阿尔文号耐压壳的质量保证要求	170
V	典型试验报告(四通液压阀)	197
VI	阿尔文号耐压壳试验和检验资料	205
VII	例行维护和检查表	223
VIII	潜水器修理和更改记录格式	232
第九章	训练	237
1.0	导言	237
2.0	选拔标准的发展研究	237
3.0	训练标准和程序	241
4.0	典型训练课目概述	245
第十章	操作	250
1.0	导言	250
2.0	潜水器的装卸设备	250
3.0	对母船的要求	251
4.0	支持设备	252
5.0	消耗和补给	252
6.0	维护检查和试验程序	253

7.0 操作程序.....	255
第十一章 法律考虑.....	256
1.0 保险.....	256
2.0 登记.....	256
3.0 外贸.....	257
附录 I	257
附录 I	260

第一章 一般特性

1.0 导 言

一艘名符其实的潜水器首先是一艘水下船舶，其次也是一艘水面船舶，并且在两种使用方式下都是稳定的。有些潜水器只符合上述准则之一或两者都不符合，这些潜水器应另作别论，^①但一个必不可少的原则是潜水器必须是安全的。一艘正规的潜水器可以分成以下七个主要系统：

- 船体结构
- 耐压壳体
- 压载系统
- 推进系统
- 操纵系统
- 生命支持系统
- 导航系统

这些系统对潜水器来说是绝对需要的。系统的基本组成和规模取决于任务使命。

潜水器内外的任何其他系统或者增加潜水器的能力，或者说它们是上述七个主要系统的分系统或备用系统。

2.0 潜水器的基本系统

① 主要系统和分系统的设计准则是根据任务的需要。任务

确定了潜水器的使用范围，从而深度、速度、操纵性、持久性、稳性、容量和导航要求也可决定。这些特性就是潜水器系统设计的基本依据。

2.1 耐压壳体

耐压壳的内部容积取决于潜水器的任务、持续时间、人员空间和导航要求(如果可能，要考虑到观察窗的配置)。这些参数一旦确定，如整个潜水器是合为一体的，必须综合考虑使耐压壳体的形状最为适宜。耐压壳设计准则将在第二章“耐压壳体设计指南”中详细叙述。一般，对于0~5000英尺的中等深度潜水器，其耐压壳体必须在1.5倍的操作深度下试压，压溃深度至少为2倍操作深度。对于更深的潜水器，安全系数较低(例如压溃安全系数为操作深度的1.5倍)。

耐压壳体和它的加强的开口(贯穿)及附件连接处必须进行强度分析。必须考虑在静态压力的基础上加冲击载荷的情况。腐蚀(氧化、电解作用和坑蚀)还有工作温度的范围也必须加以考虑。

2.2 压载系统

潜水器上的压载系统分成两种：固定压载和可变压载。固定压载由固定的浮力材料和压载重量组成，后者与龙骨中的铅相似。可变压载系统包括三个相互独立的系统，即主压载系统、辅助压载系统和如果需要还有纵倾系统。

各压载系统的容量决定于潜水器的静稳性。静稳性分析包括列表计算潜水器上所有组成部分的重量和浮力(如可计入)以及由这些重量和浮力引起的对固定参考平面的力矩(一般取固定参考面是通过基线、首垂线和纵中心线)，这个分析

叫做重量平衡*。横向和纵向的重量和浮力力矩应为零。垂向重量力矩和浮力力矩间的差额决定潜水器的稳性。浮心(C.B)必须总是在重心(C.G)之上。应该进行下列计算:

1. 潜水器重量和浮力

a. 干重

b. 水面排水量

c. 水下排水量

d. 工作深度的储备浮力: 即在工作深度时假定所有压载水舱被吹除或正常上浮时要丢弃的重量已被丢弃时潜水器的净浮力。

e. 工作深度应急浮力: 即依靠所有正常的和应急的浮出水面的措施潜水器在工作深度能利用的净浮力。

2. 稳性(B·G 和 G·M**)

a. 水下稳性

b. 水面稳性, 压载水舱已吹除

c. 在潜水器各处增加载荷的影响

d. 纵倾系统的影响

e. 在最大工作深度吹除任一或所有压载水舱的影响

f. 在最大工作深度丢弃任一或所有正常及应急可抛压载的影响。

静稳性分析是最难于完成的工作之一。潜水器设计者为了使最后结果是一个稳定的潜水器必须反复布置各个部件。

* 见第八章附录 I 参考表格。

• 见第八章附录 I 参考表格。

** BG 为重心和浮心之间的距离, GM 为按一般造船习惯定义的稳心高。

在方案设计开始时，就需要对潜水器上所有部件有详细的了解。考虑到重量计算的可能的不精确性，在重量平衡中包括一项“建造者余量”，它占总排水量的2%到10%。

要求稳性数值是潜水器类型和它的形状因子——即横截面形状的函数。一般，对于5~10吨圆形截面的小潜水器，最小的 \overline{BG} 值是1~2英寸。潜水器越大 \overline{BG} 值也越大。潜水器压载系统必须保证潜水器甚至在下潜和上浮过程中有正的稳性。 \overline{BG} 值也受根据任务所要求的纵倾角大小的控制。

在应急情况下潜水器的稳性将减小，但必须始终保持为正值。必须精确地计算出应急情况下的静稳性。计算结果决定操作人员和水面指挥人员必须遵循的工作程序。对各种应急情况下作出的稳性分析是事故分析的组成部分。

2.2.1 可变压载 可变压载系统由两个或三个完全独立的系统，即主压载系统、辅助压载系统和纵倾平衡系统组成。

主空气—压载水系统唯一的用途是给予潜水器在水面时以附加的干舷和稳性。主压载水舱通常被包在减阻外壳内。减阻外壳与其内部的部件之间的空间被分成各自独立的几部分并被填塞起来。当潜水器已上浮水面时，可用低压气吹除压载水舱内的水。主压载水舱的容积不应小于10%潜水器的排水量。在水面时获得干舷和稳性的另一个方法是使用可抛重量系统。这个系统可以与下潜上浮可抛重量系统或应急可抛重量系统合并在一起。

辅助或可变压载系统必须能补偿由于海水密度变化(因温度、盐度变化)引起的重量变化、人员重量变化、设备重量变化以及还要能补偿用机械手或其他提升设备回收上来的物体的重量。

辅助或可变压载系统流通常有一耐压的水舱(水舱能承受最大深水压力), 改变舱中的水量从而浮力得到改变。在2000英尺极限深度范围内, 可用空气将水压出。大于此深度空气的密度比水更大, 因此不能使用空气将水压出。

抽水也能在大深度时改变舱内液体的数量。为增加这种系统的可靠性, 舱内液体应是非腐蚀性的, 并在耐压水舱外面包有柔性囊。这种系统基本上是简单的, 问题是要有可靠的阀和泵。

除了变化浮力的耐压舱方法外, 可抛重量能用来改变重量浮力比。在可抛重量系统中大部分重量(50~100磅)主要用来造成下潜时的负浮力或上升时的正浮力, 小部分重量(2~5磅)是用来得到中性浮力。

两种系统的浮心位置必须使潜水器的纵倾角为零。纵倾平衡系统可作为压载系统的一部分。纵倾平衡系统不改变潜水器的净浮力但改变潜水器纵向轴的角度。在较复杂的潜水器中亦改变横轴的角度。

获得纵倾的最简单方法是靠手在潜水器上移动重量直至达到预期的纵倾姿态。当潜水器正在下潜时, 不允许用这种方法来改变纵倾。但是与重量移动系统配合使用来改变潜水器在水下的纵倾姿态是可行的。

小型潜水器通常使用的方法是把水银从一个舱转移至潜水器纵向另一端部的舱里去。通常用油来作为输送水银的介质。系统可以是手控装在操作人员耐压球内的泵, 也可以是全自动的。通常使用水银是因为它的比重大。水银应放置在耐压壳体之外, 因为它的蒸气有毒。

也可以用水或其他液体与空气联合使用, 来代替水银系统。这种方法效率较低, 因为它要求较大体积和重量的耐压

水舱。在潜水器上移动例如蓄电池的重量也是可行的。

由于潜水器的复杂性和尺度小，浮力、压载和纵倾系统总是相互有关的，因此每个系统总是多用途的。不存在一个绝对独立的系统。可是为了应付事故，主、辅压载系统都要有备用系统。

改变压载的动力可以是空气、泵(电动、液压或手动)或可抛重量(电动、液压或手动)。由于压载控制系统的重要性，它必须有高度的可靠性和备用系统。提高压载控制系统可靠性的实际方法，随所用系统类型而异。压载控制系统在潜水前必须进行检验以保证功能的正常。

2.2.2 固定压载 固定压载分成两类：浮力压载和重量压载。从固定压载得到的浮力或重量是不变的，除非在盐度、温度波动引起密度变化、可压缩性的变化和所用材料的吸水特性变化时才会引起变化。所有这些浮力变化必须在重量平衡中以及为潜水器制订的操作程序中加以考虑。

获得固定浮力的方法很多。有的潜水器它的所有浮力从耐压壳体获得。因此这类潜水器没有附加浮力的要求。这种特性只能在耐压壳材料和几何形状正好与深度要求相适应时才能实现。应该提到，为了实现这个特性耐压壳尺寸将是很大，或者必须使用很高强度重量比的材料。

获得浮力的另一种方法是在一轻容器内放置低密度液体如汽油。这个容器与周围的海水联通，故两种液体之间的压力差可以忽略。因为在下潜时汽油的压缩速度几乎是海水的两倍，故必须释放弹丸(可抛弃重量)以抵消这种压缩性的影响。

上浮时必须排出汽油。另一种与海水的膨胀系数更接近的低密度液体是乙烷，每次下潜它所要求潜水器带的弹丸较

少。如果浮力系统发生漏泄，其结果将是灾难性的。为了增加系统的可靠性应该按照破损稳性和事故分析把液体容器划分成各自独立的几部分。

由环氧树脂基体和酚或玻璃小球组成的人造泡沫材料已在很大程度上用于现有潜水器中作为补充浮力。这些人造泡沫的密度目前已低到每立方英尺 30 磅，它们可以铸成任何需要的形状，并且它们是可以切削加工的。可是在一定压力下，密度越低吸水率越高。在潜水器设计中由于只允许少量的浮力损失，吸水率必须作为时间的函数来考虑。当达到极限的限度时，这些泡沫必须更换。另一种材料如泡沫状的铝和镁目前正在研究，最终将用于生产。

还有另外一种获得浮力的方法是使用高强度材料做成的空心球。这个方法消除了带小球的人造泡沫的吸水问题和小球漏泄问题。但必须认识到空心球的破损意味着由它提供的浮力的完全丧失。因此，用此方法获得浮力的潜水器必须能防止任何一个空心球或它的复合体的压溃。采用这种浮力系统时，必须对空心球可能产生的爆裂危险作出分析。

2.3 推进系统

推进系统用来推进潜水器。潜水器的推进方式基本上与水面船舶的一样。几乎所有现有潜水器都是用螺旋桨推进，普通螺旋桨或导管螺旋桨都被采用。喷水推进虽然效率低也还是被采用。

推进动力为电动或液压。推进系统准则将在第五章“机械设备”和第六章“电气设备”中叙述。

2.4 操纵系统

潜水器上的操纵系统必须能改变潜水器的航行方向，以

回避障碍或任务的需要。潜水器的水下和水面的操纵性都必须考虑。

2.5 生命支持系统

生命支持系统的功能在于提供足够维持生命的呼吸气体。这个系统的容量根据预定的潜水器最长任务的持续时间和应急需要而定。此系统将在第三章“生命支持系统”和第七章“应急设备”中进一步详细叙述。

2.6 导航系统

导航系统可采用最现代化复杂技术。但潜水器的使用要求决定导航系统的复杂程度。最低的要求必须包括深度计和罗径。

在高能见度海区操作时，观察窗在潜水器导航中起主要作用。电视摄像头可作为附加观察之用。为提高能见度可采用高照度的灯光外照明。另外，系统的主要仪表还包括：测深仪、回声探测仪、速度指示器、磁罗经或电罗经以及避碰声纳。这些仪器的综合使用可提供最低限度的导航手段。

采用更精密的导航系统是有好处的，例如对水面船只或放置在海底的应答器的相对位置的测定等。最后，一个完整的惯性导航系统也可以在潜水器中结合使用。

3.0 潜水器其他系统

3.1 应急系统

在应急系统中居首要的仅具有唯一功能，就是紧急情况

下确保潜水器安全浮出水面。该系统依靠向水舱充压缩空气或抛丢可弃重量使潜水器获得正浮力。该系统可以是手动控制或完全自动控制或两者均有。

其他的应急系统是包括操作系统的备用或替代手段。一般，关键的自动操作系统如主、辅压载系统应有手动做为备用手段。

3.2 仪器设备

仪器系统的功能就是监视或控制潜水器内的各种系统。潜水器使用的仪器设备的多少决定于预期的功能的要求。基本仪器设备是：

- 压载情况指示器
- 蓄电池电压表
- 生命支持监控系统(手动或自动)
- 深度探测仪
- 通信设备(见第四章)

其他可用来增加潜水器安全性和可靠性的仪器设备是：

- 功率消耗表
- 接地探测仪(主要用于高压系统)
- 功率调节仪
- 蓄电池系统：单个电池电压表
 单个电池电解液面指示器

4.0 其他考虑

4.1 运输

水下潜水器的运输分为两个方面。首先是潜水器由基地