

# 水下导弹发射装置结构材料应用研究

肖冰

(中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039)

**摘要:** 介绍了英国朴次茅斯大学对水下导弹发射装置的外形设计与材料应用研究。通过对材料的具体分析,结果表明,该水下发射装置较之目前正在采用的常规水面导弹发射装置更不易为敌方所侦测,即使通过声纳装置也难以侦测到。

**关键词:** 水下; 导弹发射装置; 潜水艇; 外形设计; 材料

**中图分类号:** TJ765      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2012)02-0104-04

## Application Research of Structural Materials of Underwater Missile Launcher

XIAO Bing

(No.59 Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** This article introduced the analysis and study of shape design and materials application of underwater missile launcher in Portsmouth, UK. Through specific analysis of materials, it was concluded that the underwater missile launcher is more difficult to be detected by enemy even with sonar by comparing with current ordinary surface missile launcher.

**Key words:** underwater; missile launcher; submarine; shape design; materials

现代海战中,潜水艇具有隐蔽性好、机动范围大和生命力强的特点<sup>[1]</sup>,大多数潜水艇仅能够下潜约400 m,海洋的平均深度在5~6.5 km之间,因此海洋的军事用途潜力尚未充分开发。针对此种情况,英国朴次茅斯大学研究了一种能在潜艇内发射导弹的水下导弹发射装置,以充分发挥潜水艇的水下功能。其优点如下:雷达无法探测;热追踪导弹在水下不起作用;间谍卫星摄影机不能对其摄影;水下导弹发射装置可以在洋底四周游弋,相比水面导弹发射装置更难被侦测。

水下导弹发射装置的缺点如下:声纳能够侦测水下导弹发射装置;必须为水下导弹发射装置提供食物或其它给养;敌方能够侦测到从水下导弹发射装置排出的废物。在某种程度上是可以克服这些缺点的,例如为了减少被声纳侦测到,可以采用隐形潜艇设计方案<sup>[2]</sup>,采用具有高声纳吸收系数的材料建造艇身。

## 1 结构设计

潜艇耐压壳的形状通常为采用顶端盖板封闭、

收稿日期: 2011-11-24

作者简介: 肖冰(1966—),女,四川成都人,研究员级高级工程师,主要从事国防科技情报研究。

加刚性环的圆筒,如图1所示。耐压壳有时被处于无水状态的液压壳所包围,因而不可能出现静水压造成的故障。

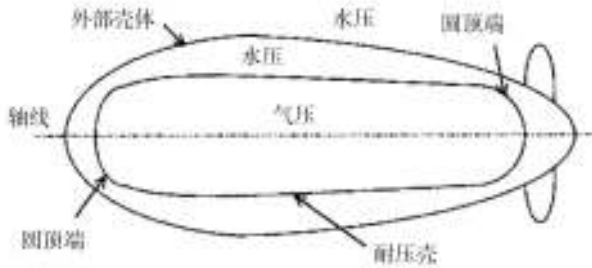


图1 潜艇艇身示意

Fig. 1 Sketch map of submarine hull

采用圆筒的优点为:有效抵抗外部静水压的影响;能够获得额外的内部空间压力;较之同体积的球形,圆筒是最佳的流线型设计且圆筒形状更易对接。

潜艇耐压壳采用圆筒形壳的缺点为:圆筒有两个顶端,乘员在舱内活动不便;对于水下圆筒形壳体,存在静液力稳定性和动液力稳定性的问题;不容易按三维空间运动。

导弹发射装置大多数时间在水下静止,该装置移动时,也仅仅缓慢移动。因此,优良的流线型并非必须的。为了体现采用圆筒的优点及消除圆筒具有两个顶端的缺点,主艇身按圆环形制造效果会更好,如图2所示。

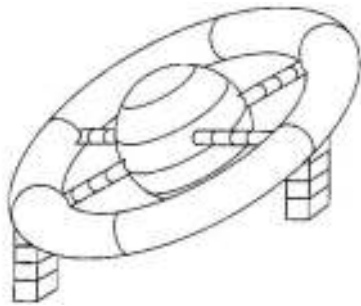


图2 水下导弹发射装置示意

Fig. 2 Sketch map of the underwater missile launcher

主艇身的平面图不必为纯圆环,可以为六边形、八边形或类似形状。如果是六边形或八边形<sup>[9]</sup>,则可以采用波状耐压壳<sup>[2,4]</sup>分段建造艇身(如图3所示),然后用螺栓将其连接起来。

该设计与水下钻井装置的设计相类似,如果采

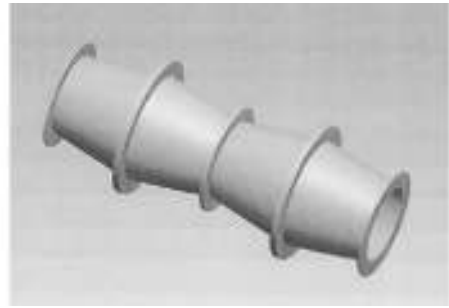


图3 波状耐压壳的建造方法

Fig. 3 Construction method of undulance pressure hull

用喷水式推进器进行变位操纵和推进,则导弹发射装置可以像直升飞机一样三维运动。由于采用此类发射装置形状,稳定性几乎不成问题,建议在圆环中心悬挂球形壳,通过走道通向导弹舱、鱼雷舱等,如图3所示。

## 2 材料应用环境分析与结构适应性设计

由于该潜艇设计方案使用深度将达到5 000 m,能否成功研发此类系统将取决于潜艇各部分使用材料的性能,根据前人的研究可知需要具有各种性能的高级材料,但是以复合材料和复合合金为主。

水下压力容器所用材料不仅要能承受极高的外部压力,而且还必须具有能承受其他环境影响的性能。需要具备的主要性能如下:优良的耐腐蚀性、较高的强度质量比、较佳的声学性能。

### 2.1 材料环境适应性分析

在选择材料时,需要考虑全面腐蚀和应力腐蚀裂纹的因素,在海洋环境中,已广泛研究了腐蚀,并得到了大量有关腐蚀速率的数据。因此,腐蚀预测和腐蚀防护则相对容易。

浸没表面的侵蚀主要受通过锈层和海洋有机物的氧扩散速率支配。某些海洋有机物也能够产生集中的电解槽效应以及硫化效应<sup>[5]</sup>。

还有一种局部失效的形式,在应力和腐蚀同时作用下,比两种单独作用加在一起时所预计的失效更为严重。有许多影响应力腐蚀裂纹的变量,包括合金成分、张应力(内部的或被施加的)、腐蚀性环境、温度与时间。有一些消除内部应力的方法,可通

过利用断裂力学,提出解决材料应力裂纹敏感性的方案。

设计潜艇耐压壳时可考虑的主要材料有高强度钢、铝合金、钛合金和复合材料。

### 2.1.1 高强度钢

潜艇制造所常用的某些高强度钢的性能见表1。

表1 高强度钢的强度

Table 1 Strength of high strength steel

材料	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	杨氏 模量/GPa	压缩屈服强 度/GPa	热 处理
HY80	7.8	207	550	调质
HY100	7.8	207	690	调质
HY130	7.8	207	890	调质
HY180	7.8	207	1240	调质

HY80是表1中所示最普遍使用的高强度钢材, HY80同时也普遍用于工业应用,包括压力容器、储罐和商船。

### 2.1.2 铝合金

表2是铝合金强度,铝合金比高强度钢具有更好的强度质量比。铝合金除了具有高的强度质量比之外,还具有实用性、低成本和易加工性。铝合金具有呈阳极性的缺点,当其用于水下物体时易受腐蚀,但是通过特殊设计改性可以避免这些问题<sup>[9]</sup>。

表2 铝合金的强度

Table 2 Strength of aluminum alloys

材料	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	抗张强 度/Mpa	0.2%容许 应力/MPa
5086-H1116	2.8	290	207
6061-T6	2.8	310	276
7075-T6	2.9	572	503
7075-T73	2.9	434	400
L65	2.8	—	390

铝合金难以达到焊缝金属和母材相匹配的强度,因而必须使焊缝比周围母材厚,或使焊缝位于小应力区域。

### 2.1.3 钛合金

钛合金具有比铝合金更大的强度质量比,具体参数见表3。

表3 钛合金的强度

Table 3 Strength of titanium alloys

材 料	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	极限抗拉 强度/MPa	屈服强度/ MPa
6-4合金(退火)	4.5	896	827
6-2-1-1合金	4.5	869	724
6-4 STOA合金	4.5	870	830
CP-2	4.5	345	276

由于钛合金具有如此大的强度质量比,是用于大型潜艇耐压壳的理想材料。钛合金的缺点之一是价格比铝合金约高5.5倍。

### 2.1.4 复合材料

表4显示了各种复合材料的强度和相对成本。

船舶等海洋构筑物中使用最普遍的复合材料为GRP。GRP具有极高的强度质量比,且较之其它复合材料成本相对较低。MMC具有许多超越GRP和CFRP的优点,但尚处于发展阶段,且其成本极高。如果构筑物容易遭受纵向弯曲,则采用MMC比GRP更好,这是因为前者比后者的拉伸模量大得多。

## 2.2 结构材料设计分析

### 2.2.1 耐压壳设计

某潜艇大体形状为一个环形部分,环绕着一个球形部分,这两部分由4条圆柱形通道连接着。当该潜艇具有大直径且有深潜能力时,潜艇壁必定非常厚,这将意味着此艇不会遭受结构性纵弯。因此,其结构不必用刚性环加固或制成波状船体。

### 2.2.2 潜艇所需壁厚

与直径相比,由于潜艇壁厚,所以利用Lame(拉梅)线<sup>[6]</sup>计算的环形室和走道部分壁厚十分精确。同样,球形壳部分的壁厚可以利用厚壁壳理论进行计算<sup>[6]</sup>。

表5和表6给出了铝合金、钛合金及GRP所制成的环形室和连接通道的计算壁厚。由于高强度钢的强度质量比太低而不予采用,故未给出高强度钢的计算壁厚。由于未确定球形室的直径,因此未给出其壁厚。然而,可以根据与表5及表6中所给出的壁厚定做球形壳。

根据表5和表6得知,金属材料由于壁厚较大,不宜用于建造该潜艇。此外,GRP具有优良的声吸收系数见表7,故而用GRP材料建造的潜艇敌方难

表4 复合材料的强度与相对成本  
Table 4 Strength and relative costs of composites

材料	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )	纤维体积率	拉伸模量/GPa	抗压强度/MPa	相对成本
GRP(环氧/单向S-玻璃纤维)	2.1	0.67	65	1 200	1
GRP(环氧/缠绕S-玻璃纤维)	2.1	0.67	50	1 000	3.2
CFRP(环氧/单向HS纤维)	1.7	0.67	210	1 200	3.0
CFRP(环氧/单向HS纤维)	1.7	0.67	170	1 000	5.1
MMC(6061单向铝/碳化硅纤维)	2.7	0.5	140	3 000	11
MMC(6061单向铝/氧化铝纤维)	3.1	0.5	190	3 100	15

表5 环形室壁厚  
Table 5 Toroidal wall thickness

材 料	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	屈服强度/ MPa	外径/ m	壁厚/ m
铝合金 7075-T6	2.9	503	11.95	0.97
钛合金 6-4 STOA	4.5	830	11.05	0.52
GRP 环氧/S-玻璃 纤维复合材料	2.1	1 200	10.69	0.35

表6 连接通道的壁厚  
Table 6 Wall thickness for connecting walkways

材 料	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	屈服强度/ MPa	外径/ m	壁厚/ m
铝合金 7075-T6	2.9	503	8.36	0.68
钛合金 6-4 STOA	4.5	830	7.34	0.37
GRP 环氧/S-玻璃 纤维复合材料	2.1	1 200	7.49	0.24

以侦测。

根据表 7,可以看出玻璃纤维具有与吸音板同样优良的声吸收系数。

### 3 结语

水下导弹发射装置的发射环境是一个复杂的环境,需要从试验与分析入手<sup>[7]</sup>,材料的应用以及主艇身结构类型有八边形、六边形等,但具体的结构及使

表7 某些声吸收系数  
Table 7 Some sound absorption coefficients

材料	500 Hz	2 000 Hz
实心壁上的吸音板	0.85	0.65
树脂粘结的 50 mm 玻璃纤维	0.70	0.75
实心壁上的大理石	0.01	0.02
游泳池中的水	0.01	0.02

用材料都要根据水下弹道环境、出水环境以及海面环境作重点研究。使用具有优良声吸收性能的 GRP 复合材料制造的导弹发射装置,不仅会让敌方难以侦测还使艇内噪声等级达到容许值。

### 参考文献:

- [1] 姚奕, 聂永芳. 潜射导弹运载器水下发射关键技术研究[J]. 飞航导弹, 2010, (2): 18—21.
- [2] ROSS C F. The Silent Submarine, Inaugural Lecture[D]. UK: University of Portsmouth, 1992.
- [3] SMITH C S. Design of Marine Structures in Composite Materials[M]. UK, 1990.(余不详)
- [4] ROSS C F. Pressure Vessels: External Pressure Technology [M]. UK: Chichester, 2001.
- [5] HAUX G. Subsea Manned Engineering[M]. UK: London, 1981.
- [6] CASE J, CHILVER L, ROSS C F. Strength of Materials and Structures[D]. Loudon: Oxford, 1999.
- [7] 方宁, 宋召青. 潜载垂直发射导弹水下弹道建模与仿真[J]. 海军航空工程学院学报, 2010, 25(3): 25—29.