

隐蔽在大洋深处的利剑——

当代潜艇隐身技术的发展

林 瑛

所有军用舰艇中，潜艇可以说是最具隐蔽性和突然性的。占地球面积70%以上的海洋为潜艇作战、生存提供了极为有利的自然环境。

在二战中，潜艇击沉的舰船数量居各种作战舰艇之首。在战后几次较大局部战争中(如英阿马岛之战，海湾战争)，潜艇无论作为威慑力量还是作为攻击力量也都发挥了巨大的作用。因此世界各主要海军国家都把潜艇力量放在十分重要的位置，对其发展做了相当大的投入。冷战期间，美、前苏联两个超级大国间的军备竞赛刺激了潜艇技术的迅速发展，先后出现了几级闻名于世的潜艇经典之作，如美国的“俄亥俄”级(SSBN)，“洛杉矶”级(SSN)，前苏联的“台风”级(SSBN)，0级(SSGN)，Ak级(SSN)等等。即使在冷战结束后，在战列舰退出历史舞台，对航母和巡洋舰的发展存在不同争议的情况下，对潜艇的发展，各海军大国却都持积极态度，不断地将当代最新科技成果应用于潜艇之上。

美国正在建造的“海狼”级(SSN—21)、俄罗斯正在研制的“北德文斯克”级(855型)等就是典型代表。

有矛必有盾。潜艇技术的发展必然促使反潜技术的发展，各种反潜作战平台、反潜作战武器和反潜侦查系统相继出现，形成了水面、水下、空中、陆基、太空多位一体的综合反潜作战体系，给潜艇的作战和生存带来了极大的威胁，也为潜艇发展带来了一个重要的课题——研究潜艇的各种隐身技术，提高潜艇的隐蔽性和生存概率以及作战的突然打击能力。

一、影响潜艇隐身性的主要因素

1. 结构线型不合理

潜艇结构的大小、形状和反射特性决定了潜艇在被声纳探测时的反射截面大小。一般而言，排水量大，长宽比不合理，非水滴线形的潜艇隐蔽效果差。下潜深度小的潜艇被探测到的概率较大。

2. 辐射噪声

潜艇辐射噪声的主要来源是沿着潜艇壳体和附体(如垂直舵和水平舵)的水动力噪声、螺旋桨产生的噪声及艇内各种机械装置产生的噪声，这是被动声纳探测的主要目标。

3. 磁性特征

潜艇在航行中会引起大地磁场扰动，艇内的机械振动也会使出航前已消过磁的艇体逐渐磁化，形成磁力特有迹象。此外，螺旋桨扰动会在海水中产生局部电流，引起可被磁探仪探测到的地磁场动态变化。

4. 红外特征

常规潜艇在水面状态及通气管状态航行或充电时，推进系统排出的热废气、热冷却水所留下的热踪迹，即使在潜艇转入水下状态后仍难以消失，现代机载高灵敏度红外探测仪可感应到0.001℃的温差变化。核潜艇即使在相当深的水下潜航，反应堆热排水经一定时间浮到海面，一般要高于周围海水0.005℃，且持续时间长达5~6小时，呈现一种高温轨迹的温度特有迹象。

5. 核辐射特征

核潜艇排放的放射性污水、气体和逃逸中子的活化产物会使海水活化物的 γ 射线能谱及放射性核素钾—40、氯—38、钠—24等的体积分布发生变化，形成可探测的核辐射特征。

6. 生物场痕迹

潜艇航行时会干扰生物场形成生物光尾迹，可长达数百米甚至上千米。核动力装置的热废水会使浮游生物灭绝，也显示出海洋色调受干扰后的特有迹象。

7. 水面暴露特征和无线电暴露特征

潜艇水面或通气管状态航行时暴露几率最大，极易成为雷达、声纳、红外探测装置、卫星侦测装置的捕获目标。此外，潜艇进行无线电联络或导航测量时，即使只有几毫秒的信号，也可被先进的无线电探测设备截获并立刻判断出潜艇的方位。

尽管潜艇有占地球表面积70%的广阔活动水域和水下连续隐蔽航行的特殊优势，但由于上述目标特征，如何降低被发现概率，提高生存能力就成为潜艇设计师高度重视的问题。

二、当代潜艇的隐身技术

潜艇隐身技术出现于二战期间。当时潜艇经常要浮出水面或在通气管状态为蓄电池充电，而这一时期出现的雷达成为其“克星”。于是以德国为首的拥有潜艇的国家纷纷寻找减小潜艇被发现几率及提高隐蔽性的方法，从此拉开了潜艇隐身技术发展的序幕。半个世纪以来，潜艇隐身技术在降噪，加吸声涂层和反雷达波涂层，采用新型推进装置，优化潜艇结构和增大潜深，隐蔽通讯和降低电磁及红外辐射等方面已取得了十分显著的效果。

声波是在海洋中唯一能够远距离传播的能量辐射形式，即使一颗装药量只有四磅的炸弹在水中爆炸，距爆炸中心100海里外仍能接收到其声信号。所以反潜侦查中，对潜航的潜艇，探测声场变化是最主要的方式。显然，降低噪声是潜艇隐身最重要的环节。据测算，噪声每降低20分贝，可使己方被动声纳探测距离增加一倍，敌方被动声纳探测距离降低50%，并能缩小敌水中兵器的作战半径，降低其命中精度，同时可使本艇的声模拟干扰装置作战效果提高15倍左右。目前，各先进海军国家主要采取如下几种降噪措施：

(1)采用自然循环压水堆。

采用自然循环压水堆可使中、低速航行时不用主泵。核潜艇上的S6G、S6W等都属于这种压水堆。

(2)取消减速齿轮或改进其设计。

核潜艇的减速齿轮箱噪声级可达125~145分贝。取消减速齿轮需采用电力推进方式。美国目前已有数艘核潜艇采用了电力推进，法国新级别核潜艇则普遍采用电力推进方式。采用斜齿或人字形齿轮也可达到减速齿轮箱降噪目的，

噪声级一般可降低5~10分贝，亦有将齿轮密封在隔音箱内达到目的的。

(3)采用减振筏座技术。

英国核潜艇率先采用减振筏形机座，将主汽轮机、减速齿轮箱、发电机组等都安装在一个大型机械底座上，降噪可达50~60分贝。美国于60年代，前苏联于70年代先后采用并发展了此技术，使整艇降噪效果出现了一个飞跃。

(4)降低螺旋桨噪声

螺旋桨噪声是潜艇高速航行时辐射噪声的主要成分，以高频为主，其伴有潜艇独特的声纹，是探测识别潜艇的最突出线索。以当前的声纳技术，已能具体识别出哪一型潜艇的哪一艘。所以螺旋桨降噪是潜艇降噪中相当重要的一环。

目前采取的主要措施有：

①改进结构，采用大侧斜、变距、多叶(一般为7叶)螺旋桨。这样可使叶片周向载荷均匀，减少空泡，尾部伴流分布均匀。俄罗斯AK级艇螺旋桨叶片为曲面，还可减弱涡凹声音。

②叶片选用高阻尼合金材料，可抑制桨叶振动，降低辐射噪声。如英国的镍镉合金，日本的铁铬铝合金等，使减振效果提高了近20倍。

③气幕降噪。利用艇内空气喷到桨叶低压区，延缓空泡噪声的产生，可降低噪声10~20分贝。

④采用喷水推进和电磁推进及磁流体推进(MHD)技术。

(5)降低水动力噪声

水动力噪声不是潜艇辐射噪声的主要成份，但它对本艇声纳工作有很大影响，现代潜艇多采用低阻力线型以减少紊流产生。尽量减少壳体附件和舷外开孔数量，为潜望镜、雷达、电子支援设备的升降装置安装导流壳板，可保持艇型光滑，降低涡流噪声。改进通气管、排气孔形状，可降低排气口处噪声。

(6)在艇体外表面加装吸声涂层

在潜艇壳体上敷设吸声材料可以吸收本艇自噪声和敌主动声纳探测信号。

据测算，潜艇加装吸声涂层后可使敌方声纳的探测能力降低50%~75%，同时由于吸收了部分本艇自噪声，使本艇声纳基阵区相对安静，提高了本艇声纳探测能力。吸声层的材料基本上是在橡胶基体中加入某些金属微粒，声波入射后使金属粒子运动产生热量，从而消耗声波能量。吸声层有涂料、蒙皮、瓦块等类型，厚度50~150毫米。早在二战期间德国就进行过4毫米厚的合成橡胶吸声层试验。前苏联作为战果首先获得并发展了这一技术，目前俄罗斯在这一领域仍然保持技术领先地位，其大量潜艇都装有消声瓦。据报道，俄潜艇的吸声层可使美MK46鱼雷主动声纳探测距离缩短50%。当然，美国海军在这一领域也不甘落后，80年代发展的固特异A型及AA10型消声瓦与IBM公司的综合作战系统BSY-1综合声纳配合使用，对减小敌主动声纳探测距离有很好的效果。美海军还发展了一种超级隐形层，其具有鱼鳞特性，既可吸收敌主动声纳波，消除某些频率声纳脉冲，也能对本艇发出的噪音进行隔声。

(7)反雷达波涂层材料

吸波材料是指能吸收和衰减由空间入射而来的电磁波能量的复合材料，由其制成的吸波涂层要求①对微波吸收率高，反射率小；②对电磁波吸收频带宽；③能在较宽温度范围内工作，化学性能稳定；④具有较好的机械强度。通过采用反雷达波涂层，改进潜艇露出水面部分形状，以及增加主动电子干扰措施等综合技术，通常可使敌方雷达探测距离只有原来的十分之一。法国埃尔特罗公司研制了一种潜艇甲板以上部分用的反雷达伪装用防弹结构材料，由片状塑料或合成材料加金属导线、金属网络及吸波材料组成，其强度与7毫米钢板相同，吸波性能在3~5.5厘米波段范围都是很好的，具有一定代表性。

(8)改进和发展电子技术

电子技术的飞速发展及计算机的普遍使用，使潜艇侦测、导航、通讯、指挥系统发生了巨大变化，也为其隐身创造了更好的条件。

①改善水声设备，提高先敌发现能力。美、英、法、俄的核潜艇上普遍装备了拖曳式线列阵被动声纳，该类系统的机电拖缆长900~2000米，线列阵长50~200米，一般能探测到20~40海里的目标方位信号。较具代表性的如“海狼”级上的TB—16(监视型)和TB—23(战术型)，探测距离可达100海里。80年代后期，国外还研制装备了潜艇舷侧长列阵被动声纳，使用低频工作，能自动跟踪4个以上目标，精度为0.25°~0.5°。

②改善导航系统。导航对潜艇安全隐蔽航行和作战十分重要，而惯性导航的应用已较为普遍，成为潜艇导航中最受重视的系统。美海军对此研究最早，投资最多，技术水平也最高。其导航星全球定位系统有24颗主卫星，可在全天候情况下提供位置精度10米，速度精度0.1米/秒，时间精度100微秒的精确导航数据。美“俄亥俄”级潜艇上的MK29Mod7型惯导系统和静电陀螺监控器外部重调时间较其替代的旧型号延长了3~10倍，大大减少了潜艇上浮次数，提高了隐蔽性。为“海狼”级研制的AN/WSN—3和N2000捷联式静电陀螺导航仪定位精确，可靠性均在4000小时以上。

③对潜通讯技术。为降低潜艇因发送或接收CM(22)信号的暴露率，各国十分重视对潜通讯技术。

(9)常规潜艇的新型动力装置AIP

常规潜艇由于动力系统需要外部空气才能工作，因此不得不经常浮出水面，破坏了其隐蔽性。多年来，许多国家积极进行了潜艇不依赖空气的动力装置研究工作。其中，瑞典、美国、日本、前苏联等国积极进行了斯特林发动机的研究工作，瑞典已有3艘装斯特林发动机的潜艇下水服役。德国、荷兰等国在闭式循环柴油机以及燃料电池方面做了深入研究并已进行了实艇海试。法国则侧重于研究闭式循环蒸汽轮机。潜艇在低速航行时使用AIP装置，高速航行时使用蓄电池，而且可以在水下航行时为蓄电池充电，从而大大提高了水下续航力，降低了暴露率，同时噪声也大为降低。

(10)增大潜深

现代潜艇大都采用高屈服强度材料制造艇壳，核潜艇最大潜深已达900米以下(俄A级)，常规潜艇潜深也普遍达到了300米以下。

三、潜艇隐身技术的发展趋势

继续采用各种新技术降低潜艇噪声，无疑仍是提高潜艇隐身的主要手段，但潜艇隐身的诸多技术应用是相

辅相成的，且随着综合反潜体系的拓展，反潜技术水平的提高，全面协调地提高潜艇的整体隐身能力也日益显得重要。目前各国在潜艇隐身技术发展上十分重视以下几个方面：

- 继续进行消声瓦的研究，延长其使用寿命，降低成本，解决消声瓦与艇体粘合的牢固问题，减少由于潜艇高速航行或碰撞造成的脱落现象。
- 研究新型大功率低噪声的核潜艇反应堆，优化传动方式和减振降噪措施。
- 研究应用新型推进方式和推进装置，减少机械和水动力噪声。
- 研究更先进的主、被动声纳等侦测设备，提高先敌发现能力。
- 发展先进的电子对抗技术，提高潜艇被发现和受到攻击时的规避能力。
- 发展隐蔽通信技术，重点解决潜艇深潜状态下的双向通信问题。
- 积极发展AIP技术，提高常规潜艇水下续航力。

四、结束语

潜艇隐身能力目前已成为潜艇设计时首要考虑的技术指标之一。面向21世纪的新型潜艇如美国的“海狼”级和“百人队长”级核潜艇，俄罗斯的“北德文斯克”级核潜艇等均采用了大量新的隐身技术，不仅噪声级达到了90分贝左右，即与海洋背景噪声大致相同，是真正的“安静”型潜艇，而且在其它隐身性能方面，也都是十分优异的。可以预见，随着潜艇隐身技术的发展，游弋于大洋深处的潜艇将会更隐蔽、更“安静”、更具有突然攻击力，真正成为隐蔽在大洋深处的利剑。

[选择本期文章题目](#)



MSEO

