

保证鱼雷在任何水深条件下发射,使鱼雷既可采用推进发射方式也可以采用自航发射方式,推进系统所具有的变速能力保证鱼雷时刻具备最佳的控制性能。推进系统在潜艇上也不需维护、监控或环境控制,舰队配发的鱼雷至少有5年的搁置寿命。

Mk48 Mod6 AT鱼雷燃料舱内装有312千克“奥托Ⅱ”燃料,该燃料以高能硝酸酯为基础,是一种高性能和安全的单组元推进剂。该推进剂的安全性主要体现在,对装卸冲击、振动和温度都不敏感,由于点燃困难,也具有较低的火险。同时,这种推进剂非常稳定,没有腐蚀性,因此具有良好的贮存性能,能在鱼雷燃料舱中保存10年而无需任何维护,在通常的受控贮存条件下,无需任何维护和监控,可贮存75年而保持安全、有效。到目前为止,美国海军已经使用“奥托Ⅱ”燃料35年以上而未出现任何安全问题。

Mk48 Mod6 AT鱼雷推进系统还采用有降噪措施,主要包括加装一个内置消声器,在后段壳体上加了阻尼减振层,把推进器转子改为侧斜转子等,措施的采用大大降低了鱼雷的辐射噪声。
软件升级

Mk48 Mod6 ADCAP鱼雷是20世纪80年代末服役的,其设计目的是为了对付高速、深潜核潜艇的威胁。当威胁变化时,鱼雷通过软件升级可以得到性能的提升和扩展。Mk48 Mod6 ADCAP鱼雷分别在1991年、1994年、1997年和2001年进行了4次针对浅水作战性能的软件升级,每一次软件升级都为Mk48 Mod6 ADCAP鱼雷增加了新能力。当然,每次软件升级都伴随着一整套试验,这其中包括硬件闭环模拟试验以及水中试验,用以确保改进不影响鱼雷已有的性能。美国海军还新近开发出了鱼雷下载器系统(TDS),它能方便、迅速地对现有的鱼雷进行软件升级。通过TDS系统,作战人员不必将鱼雷从潜艇中卸下,送到中级维修站拆解开后,再进行软件的更新,而是在潜艇中就可直接把最新的软件安装到鱼雷中。目前,Mk48系列鱼雷过去所有的软件升级都被应用于Mk48 Mod6 AT鱼雷。



— 法国“凯旋”级核潜艇的后视图,可以看到泵喷推进器。

泵喷推进器

——低噪声的核潜艇推进方式

王天奎 唐登海

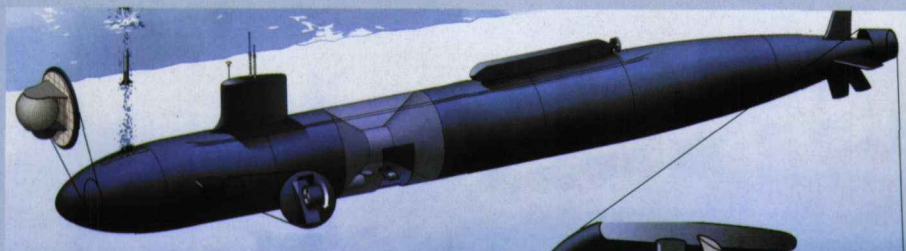
上世纪80年代,英国在“特拉法尔加”(Trafalgar)级攻击型核潜艇上率先装备了一种新型的泵喷推进器(Pump Jet Thruster)。这种推进方式可以有效降低潜艇的辐射噪声,因而倍受世界各海军强国的关注。随后,英国在“前卫”(Vanguard)级以及“机敏”(Astute)级核潜艇上,法国在“凯旋”(Le Triomphant)级核潜艇上,美国在“海狼”(Seawolf)级、“弗吉尼亚”(Virginia)级核潜艇上,纷纷采用泵喷推进器取代已被广泛应用的七叶大侧斜螺旋桨。据不完全统计,至今世界上以泵喷推进器作为推进方式的核动力潜艇已达几十艘之多。

采用泵喷推进的潜艇与采用大侧斜螺旋桨推进的潜艇相比,最大的优点是可以大幅度降低潜艇推进器的辐射噪声、提高潜艇的低噪声航速。以美国“海

狼”级攻击型核潜艇为例,该艇水下最高航速30节以上(有报道可达35节),水下30米时的低噪声航速大于20节,辐射噪声接近于海洋环境噪声,被美国官方称为当今世界上最安静、最快的潜艇。

核潜艇采用泵喷推进器的缘由

核潜艇通常分为战略导弹核潜艇和攻击型核潜艇。前者以弹道导弹为主要武器,用于打击陆上战略目标,是国家战略核力量的主要组成部分;后者以鱼雷和战术导弹为主要武器,用于攻击水面舰船、潜艇和地面重要目标,是实施海洋控制不可缺少的作战兵力。核潜艇具有强大的攻击力和独特的隐蔽性、机动性,能够远离基地长期潜航,具备与海军编队其他兵力协同作战、执行多种



↑ 美国“海狼”级核潜艇尾部的泵喷推进器。

声。为了推迟转子叶片的空化、降低转子的噪声，通常采用能降低转子入流速度的减速型导管；定子为一组与来流成一定角度的固定叶片，使转子入流产生预旋或吸收转子尾流的旋转能量，同时用于固定导管；转子为类似于螺旋桨的旋转叶轮，通过与水流的相互作用产生推力，推动潜艇达到要求的航速。

泵喷推进器可根据转子和定子的前后位置分为两类：定子布置在转子的前面称为“前置定子式”，定子布置在转子的后面则称为“后置定子式”。“前置定子式”泵喷推进器的定子可以使潜艇尾部流入转子的水流产生预旋，起到均匀来流的作用、改善转子的进流条件，从而提高潜艇的推进效率、降低推进装置的噪声，但转子的推进效率稍低。“后置定子式”泵喷推进器由于定子可以回收转子尾流中的部分旋转能量，转子的推进效率相对较高，但噪声稍高。潜艇上大多采用“前置定子式”泵喷推进器，而鱼雷上则采用“后置定子式”泵喷推进器。

与采用七叶大侧斜螺旋桨相比，核潜艇采用泵喷推进器具有以下特性：

(1) 推进效率高。泵喷推进器的定子（无论前置或后置）可以减少推进器尾流中的旋转能量损失，增加有效的推进能量；泵喷推进器的导管（无论是减速导管还是加速导管）可以减少转子叶稍滑流损失、增加有效推力，从而提高泵

战斗任务的能力，因此一直是国际上各海军强国激烈竞争的焦点。但核潜艇一旦暴露行踪就会失去固有优势，容易被敌跟踪、打击，生存能力大大降低。随着声探测技术的迅速发展，如何降低辐射噪声、减少被敌方声呐发现的几率，已成为核潜艇技术的重点研究课题。

推进器噪声是核潜艇的主要噪声源之一，且暴露在艇体外，很容易向水中辐射噪声。在低航速时，推进器的低频线谱噪声的频率低、强度大，且能辐射到很远的海区；在中、高航速时，旋转噪声随航速而增强，逐渐超过低频线谱成为潜艇的主要噪声；一旦推进器的桨叶产生空泡，则噪声将大大增强，推进器噪声成为潜艇的主要噪声。因此，降低核潜艇的噪声必须先降低推进器的噪声。

另外，为了充分发挥核潜艇的作战效能，攻击型核潜艇逐步向高航速、安静型方向发展，新一代安静型攻击型核潜艇的水下最高航速超过30节、低噪声航速达到20节。这就给推进器的设计提出了新的课题：如果仍旧采用传统的单个七叶大侧斜螺旋桨推进，则由于螺旋桨的负荷过大，桨叶将提前出现空化，使核潜艇的低噪声航速下降；如果为了推迟空泡的产生，必须加大螺旋桨的桨叶面积，则导致螺旋桨的效率下降、噪声增大。

为了替新一代核潜艇寻找合适的低噪声推进方式，美、英、法、俄等国家花费大量的人力、财力，开展了广泛、深入的研究和试验，最终形成了两种不同的解决途径：一种是以俄罗斯为代表，采用2套七叶大侧斜螺旋桨推进的方式，将总的螺旋桨负荷一分为二，如“库尔斯克”号核潜艇上就采用了这种推进

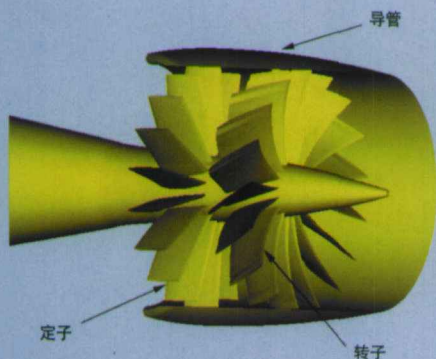
方式；另一种就是全新的泵喷推进器方式，欧美国家新近建造的核动力攻击型潜艇均采用这种推进方式。应用结果表明，核潜艇采用泵喷推进器比采用七叶大侧斜螺旋桨具有更好的声隐身性能。

潜艇泵喷推进器的构造及特性

潜艇泵喷推进器是由环状导管、定子和转子构成的组合式推进装置。环状导管的剖面为机翼型，罩住转子和定子，它是泵喷推进器内外流场的控制面。如采用具有吸声和减振的材料制造，则可以屏蔽转子及内流道产生的噪

率先装备泵喷推进器的英国“特拉法尔加”级攻击型核潜艇。





↑“前置定子式”泵喷推进器示意图。注意定子、转子以及机翼型剖面的环状导管。



↑艇尾与泵喷推进器装配示意图。

喷推进潜艇的推进效率。泵喷推进器与艇体匹配良好的泵喷推进潜艇,其推进效率可达到0.8~0.85。

(2)辐射噪声低。泵喷推进器的辐射噪声低是由于:①泵喷推进器的转子在导管内部,导管可起到屏蔽和吸声的作用,另外,位于前方的定子可以使转子进流场更均匀,从而减少转子的脉动力,降低推进器的线谱辐射噪声;②泵喷推进器旋转叶轮(转子)的直径一般小于螺旋桨,在相同转速下,泵喷推进器桨叶的旋转线速度较低,可以降低推进器的旋转噪声。国内外研究和应用的结果表明:低航速下,泵喷推进器的低频线谱噪声比七叶大侧斜螺旋桨小15分贝以上,宽带谱声级总噪声下降10分贝以上;高航速下,泵喷推进器的降噪效果更为明显。

(3)临界航速高。潜艇的临界航速是指潜艇在一定潜深下推进器不产生空泡的航速。泵喷推进器采用减速导管和前置定子,使转子叶片处的进流场速度相对较低且更均匀,从而有效推迟了叶片梢涡空泡和桨叶空泡的产生,提高了潜艇的低噪声航速。

(4)构造复杂、重量大。泵喷推进器是一种组合式推进器,构型和结构比螺旋桨要复杂得多;而且对于导管、定子和转子以及艇体之间的相互配合要求很高,给泵喷推进器的设计、制造和安装带来一定困难。泵喷推进器的重量是普通螺旋桨的2~3倍,对艇体的配平、艇体尾部的结构强度和推进器轴系的振动等带来较大影响。

泵喷推进器的未来发展

随着声探测技术的飞速进步,在未来海战中,核潜艇的声隐身性能将是决定战斗胜负的关键,努力降低核潜艇的噪声必将成为潜艇研究的主要课题;而推进器是核潜艇的一个主要噪声源,低噪声推进器的研究和应用势在必行。因此,具有低噪声优势的泵喷推进器,将成为未来几十年核潜艇推进器的一个重要发展方向。

经过长期研究,泵喷推进器已成功应用于新一代核潜艇,而且其发展方兴未艾,主要的发展方向是:

(1)完善泵喷推进器的设计技术。潜艇泵喷推进器的导管、定子和转子之间存在复杂的相互作用,另外,泵喷推进器工作在潜艇艇体的尾部,推进器和艇体之间又存在复杂的相互作用。导管、定子和转子的设计及相互间的最佳配合、艇体线型的设计以及与泵喷推进器

的最佳配合,将直接影响泵喷推进器的水动力性能、空泡性能和噪声性能。为了使泵喷推进器在核潜艇上得到广泛应用并取得显著的降噪、增效效果,需要发展和完善基于水动力学和水声学的交叉学科,以及能优化艇体和泵喷推进器综合性能的潜艇泵喷推进器设计方法。

(2)应用新材料和先进制造技术。结构复杂、重量大、制造费用高是泵喷推进器的最大缺陷,据说俄罗斯核潜艇上没有采用泵喷推进器就是由于这个原因。因此,采用耐腐蚀、重量轻、有减振和降噪效果的复合材料、智能材料,也是泵喷推进器的重点研究方向。英国海军新一代“机敏”级核潜艇上装备的泵喷装置,由于采用了精密铸造技术铸造的镍铝青铜铸件、导管采用了新型复合材料,耐腐蚀寿命从原来的2年增加到25年、重量减少了11吨,而且大大改善了抗冲击性能。

(3)采用大功率、低轴转速的动力装置。泵喷推进器的旋转噪声与转速的4次方成正比,因此降低转速可以使旋转叶片的线速度下降,叶片产生的涡流强度减弱,从而降低作为推进器主要声源之一的涡流噪声,同时提高推进器的推进效率。美国采用七叶大侧斜螺旋桨推进的“洛杉矶”和“俄亥俄”级潜艇的推进器转速为150转/分,而采用泵喷推进器推进的“海狼”级潜艇的推进器转速在130转/分左右。



美国采用泵喷推进器的“弗吉尼亚”级核潜艇在船坞中。