船舶减摇技术研究进展

**蒋昌师，凌伟**

（中国船舶科学研究中心，无锡，214082）

**摘　要:**综述船舶常用减摇装置包括舭龙骨减摇鳍、减摇水舱、舵减摇等的研究现状, 及近年来出现的新型减摇装置，包括零航速减摇鳍、舵鳍联合减摇、舱鳍联合减摇、Magnus效应回转轴减摇、减纵摇、船舶姿态控制系统等，并对未来的新型减摇装置进行了预测。

**关键词**:船舶减摇;减摇鳍;减摇水舱;舵减摇; 减摇发展

**中图分类号**: **文献标识码**:A

由于受到海浪、海风及海流等因素的影响,船舶在海上航行时不可避免地会产生各种摇荡,其中以横摇最为显著,影响也最大。众所周知,剧烈的摇荡对船舶的适航性、安全性、以及设备的正常工作、货物的固定和乘员的舒适性都会产生很大的影响。所以,一直以来人们都在寻求减小船舶摇荡的方法,研制出了许多船舶减横摇的装置。

据文献记载，人类从19世纪初的帆船年代的舭龙骨开始，就已经开始了船舶减摇的努力和斗争，前后共提出了350余种不同类型的减摇装置，其中用于了实践的达20几种[1]。直到二十世纪九十年代，保留下来的常用船舶减摇装置主要有舭龙骨、减摇水舱、减摇鳍、舵减摇等少数几种。随着人们对乘船舒适性要求的提高和技术的日益成熟，更多新型、高效的减摇装置将陆续出现。

**1　船舶减摇装置简介**

**1. 1　舭龙骨**

早在19世纪初,帆船时代就已开始使用舭龙骨来减小横摇,这是目前应用最广泛,也是最简单的减摇装置。舭龙骨结构简单，一般沿着船长方向安装在船的舭部,在横摇时扰动船体周围的流场,使船产生附加阻尼,并借以增加横摇阻尼从而达到减摇的目的。舭龙骨在任何情况下都有效,在近似共振状态下减摇效果最明显，一般可减小横摇30%左右[2] 。

早在百余年前，贝克等人曾在船的侧面、舭部和底部等处安装舭龙骨，试验结果表明装在舭部的舭龙骨减摇效果最好。分析原因是舭部距船重心最远，舭部曲率大，此处流速较大，从而提高了舭龙骨引起的阻尼力矩。对减摇效果有影响的另一个因素是舭龙骨的尺寸。首先，舭龙骨的宽度对其减摇效果有影响。因为舭龙骨引起的附加阻尼随宽度增加而增大。其次是长度对减摇效果的影响。通常舭龙骨的长度约为L/4～L/2，但因各类船型不同，其长度存在一有效值。当超过有效值时再增加其长度，舭龙骨效能变化不大，因为靠船首尾的舭龙骨处在舭部曲率减小的位置，故阻尼力矩很小。

与其他减摇方式相比较,舭龙骨的显著优点是没有运动部件,且除了通常所做的清除船体表面的维护外无需其他维护。唯一的缺点是装上舭龙骨会使船舶阻力略有增加。另外,由于其结构简单、建造成本低、对航速影响小,且减摇效果较好等优点,目前几乎在所有海船都毫无例外地装有舭龙骨,它已成为海船船体的一部分。

**1. 2　减摇鳍**

减摇鳍是一种最常用的主动式减摇装置,其构造主要包括机翼型的鳍(至少一对) 、转鳍的液压传动装置和电气控制系统。通过控制鳍的运动,可以使鳍产生对抗横摇的扶正力矩,从而达到减小横摇的目的[3]。减摇鳍是各种减摇装置中减摇效果最好的一种，最佳可减摇90%以上。1985年英国“玛丽皇后”号船在大风浪条件下进行了减摇鳍性能试验。结果表明，当减摇鳍工作时，船的横摇角平均在2°左右，而减摇鳍不工作时，横摇角达25°，减摇效果相当可观。

减摇鳍有非收放式和可收放式两种形式。非收放式减摇鳍的鳍以悬臂梁的形式固定在舷外,在控制规律下转动并产生升力。其主要优点是结构简单,几乎适用于各种大型船舶。缺点是与收放式鳍相比，其升力系数较小,因而在等面积同航速的情况下,升力较小。另一方面由于鳍一直伸出船外,会产生附加阻力，且容易损坏。收放式减摇鳍在船舶遇风浪需要减摇时伸出舷外,在控制信号作用下转动鳍,产生稳定减摇力矩。不用时,可将鳍收进舱内。其主要优点是鳍的升力系数较大,鳍收进船舱后不产生附加阻力。缺点是多了一个收放机构,故需占用一定的船内空间,因此该型装置主要装在船中较“肥”舱段内。

根据鳍的形式不同，减摇鳍可分为开襟式（或称带襟翼）鳍和非开襟式（整体式）鳍，如图1所示。对于排水量1000t级以下的中小型船舶，鳍的展弦比较小（为0.5～1.0），可转大角度提升升力，同时考虑到鳍结构应尽量简单，所以常常选择非开襟式鳍。对于大型船舶，鳍的展弦比较大（为1～2），为了提高鳍角升力和抑制空泡，常采用后缘开襟式鳍，在产生同样升力的情况下，开襟式鳍的转鳍功率比非开襟式鳍的要小，且结构简单。

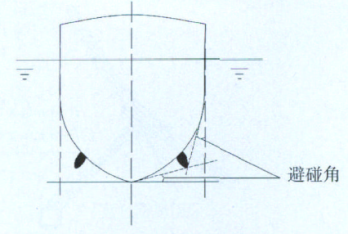
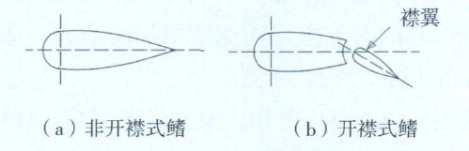


图1 鳍的形式 图2 鳍的安装示意图

减摇鳍通常安装在船中舭部，该处和横摇中心距离最大，减摇效果最好，同时可避免与操舵运动相互影响。对于不可收放式鳍的安装，如图2所示，安装时使鳍限制在避碰角不大于5°之内，以避免发生碰撞。因其他原因不能安装在船中时，其位置应尽量靠前，因为船体前半部分周围流场受扰动较小，边界层较薄，对有效鳍面积影响较小。

**1.3　减摇水舱**

减摇水舱是另一种减小船舶横摇的有效装置,迄今为止它已经有100多年的发展历史[4]。自从1911年佛拉姆成功推出被动U型水舱后,目前已经有各种减摇水舱应用到上千艘各类船舶,特别在20世纪50年代后,减摇水舱得到很大发展。

与减摇鳍相比,减摇水舱的最大优点是船舶在任何航速下(即使停泊时)依然有较好的减摇效果,也就是说减摇效果与航速无关。另外,减摇水舱还有自动化、免维修、操作简单、成本低及可靠性高等特点,还可用来抗横倾和检测稳性,是目前发展的方向。它的基本原理是在船的2/3或1/2总长的两舷侧设置两对水舱,通过检测船的横摇角及横摇角速度选择不同水舱组合,控制气阀的启闭,使水舱内水的横向流动周期和方向与船的摇摆运动周期同步,方向相反,从而达到削减摇摆幅度的目的。但是,其减摇效果不如减摇鳍的减摇效果好,且减摇水舱需占用船内空间,故只适用于有较大空间的船舶。由于减摇效果与船的航速无关,因此减摇水舱可广泛用于低速航行船舶或停泊作业的工程船舶。

减摇水舱从减摇原理来分可以分为被动式减摇水舱、可控被动式减摇水舱和主动式减摇水舱三种,而从结构上可以分为U形水舱、平面槽形水舱等。目前,减摇水舱在货船、客船和工作船上都得到了成功的应用[5]。

1.3.1 被动式减摇水舱

将靠近船中部两舷的水舱在底部用管道连接起来，舱内注入适量的水。利用船本身的横摇运动而引起的水舱内水的物理运动来产生稳定力矩。它不需要任何动力，所以被称为被动式减摇水舱，是各类减摇装置中较简单、造价较便宜的一种。

关于减摇水舱的研究可以追溯到1860年,直到1911年,德国人佛拉姆才成功地提出了被动式U型减摇水舱。被动式减摇水舱因其简便、可靠、经济、不需附加功率,且在低速或无航速情况下都有较好的减摇效果,而成为众多船舶采用的减摇装置之一。但是,被动式减摇水舱只有在船舶谐摇周期附近才有较好的效果,而在较低的横摇周期下,甚至增摇。

最常用的被动式减摇水舱是U形水舱和槽形水舱。被动式减摇水舱的工作原理是使设计的水舱内振荡的固有频率等于船横摇的固有频率。这样，在共振的情况下，水舱随船一起运动，而水舱里的水的运动滞后横摇角90°。同时，当船横摇的固有频率等于波浪的扰动力矩频率时，也发生共振，这时船的横摇角滞后波浪力矩90°。这样水舱里的水的运动就滞后波浪扰动力矩180°。也就是说，水舱里的水的重量引起的稳定力矩方向恰好和波浪扰动力矩方向相反，从而使共振区横摇减小，即所谓的“双共振减摇原理”。

被动式减摇水舱仅在中等海况和船舶初稳心高限定范围以内时，能够在很接近船舶固有频率的附近提供有限的减摇效果，最好的减摇效果可达60%～70%。离开共振区其效果将显著下降，甚至在较长的遭遇周期上会使横摇角增加。它的优点在于设备简单、费用低及在任何航速下均有一定的减摇效果。

为了改善被动式减摇水舱的减摇性能，设计了可控被动式减摇水舱。它主要是在水舱通道上安装节流阀，通过横摇传感装置对阀门开启和关闭的程度进行调节，从而控制水的流量，对比被动式减摇水舱能够在较宽的频率范围内有效工作。

1.3.2 可控被动式减摇水舱

可控被动式减摇水舱是对被动式减摇水舱的一个重要改进。它通过人为地控制水舱中水的流动,使其在各种横摇周期下都能产生满意的效果。可控被动式减摇水舱的两艏液体的流动是根据船舶的横摇情况而受控的,控制作用一般是由两水舱之间的节流阀来实现。可控式减摇水舱有以下优点[6]:(1)减摇效果不受船速的限制,即使船速等于零也不受影响。(2)消耗的能量小。这是因为可控式减摇水舱内水的横向流动是利用船舶本身在波浪上横摇运动所聚集的能量,即利用波能使水舱内的水作横向流动,只有压缩空气管路及主阀启闭要消耗一些能量。(3)造价低、维修费用小。这是因为整套装置几乎没有活动的零部件,且不与水接触,所以构造简单,零部件不易磨损和锈蚀,使用时间长。

1.3.3 主动式减摇水舱

为了弥补被动式减摇水舱的不足，有人提出了主动式减摇水舱。主动式减摇水舱的原理是采用角速度陀螺感应船舶横摇角速度信号，控制阀伺服机构，从而控制阀张开的大小，利用泵将水从一舷打到另一舷的水量来建立稳定力矩。

主动式减摇水舱所需设备很多，主要包括控制系统，伺服系统，测水舱内水头或压力、水流速传感器，大功率泵和原动机等，装置比较复杂，并且费用比较高，所以还没有在实际中得到应用。总之，减摇水舱对改善低速船、海上作业的浮动平台等特种船舶的横摇性能具有独特的优势。

主动式减摇水舱是在两艏之间加入了一个水泵,它可以根据船舶的横摇情况把一个水舱内的水转移到另一个水舱。由于主动式减摇水舱需要在很短的时间内转移大量的水到另一个水舱,在实现起来很困难,故一般很少采用。

近20年来,随着人们对船舶减摇要求的提高,以及计算机和自动控制技术的发展,对减摇水舱进行了较为广泛的研究,取得了突破性的进展,相继提出了一些高性能的减摇水舱(像U型管水舱[7]) ,并成功地应用到数艘实际船上。可控被动水舱正在成为船主要求的必备装置之一。其中特别是新发展的可控被动式减摇水舱与均衡水舱兼用的新型水舱得到更广泛应用。英国布朗兄弟公司和德国英特灵公司都有这类新型水舱系列产品,并在数百艘船上得到应用。例如丹麦多艘大型火车轮渡及多艘货船上都装有德国英特灵公司提供的多功能可控被动水舱,我国“极地号”南极考察运输船和粤海火车轮渡装有该公司提供的被动水舱。这种水舱具有减横摇和抗横倾等功能,实际航行效果良好。实践证明,这种水舱特别适用于滚装船、车客轮渡、集装箱船、钻探船等。它不仅可以减摇和抗倾,而且可以提高装卸效率,减少运输成本。

由于减摇鳍在低航速时减摇效果较差，而减摇水舱虽然减摇效果没有减摇鳍高，但减摇水舱的减摇效果跟航速大小没关系，如果能够将二者组合起来，按一定规则协调一起工作，则二者能够优劣互补，在全航速范围内实现完美的减摇效果。几年前就开始有厂家陆续推出舱-鳍联合减摇系统。减摇鳍与减摇水舱联合控制，不但能在全航速范围内减摇，还能有效减少减摇鳍规格尺寸。而鳍与抗倾水舱结合，也可有效提高减摇鳍的减摇效果。

**1. 4　舵减摇**

与减摇鳍、减摇水舱相比,舵减摇是一项较新的减摇技术,它最早由荷兰在20 世纪70 年代提出。船舶的横摇周期一般在7～15 s之间,而艏艉摇一般在20～40 s之间,靠舵对横摇和艏艉摇响应的差异,控制舵角,以达到一定的减摇效果。目前的实验研究表明,舵减摇的效果可达60%左右。由于它不需要一套专门的减摇装置,因此在船舶工程界倍受关注。舵减摇的理论基础是[8]:舵的低频运动主要影响船舶的艏摇,而舵的高频运动则主要影响船舶的横摇,同时也增加了船舶的航行阻力,但比减摇鳍的要小。与减摇鳍相比,利用舵在操舵时产生的横摇力矩进行减摇的舵减摇装置造价低、所占船内空间少、使用维修方便,故舵减摇技术引起了人们的广泛关注。但其需要高速操纵器以及低船速时舵效较差。1972年, Cowley和Lambert探讨了用舵作为稳定装置的可能性,并在一艘商船上试验成功,因而引起人们的关注。八十年代初,中国大型船舶科技研究中心就展开了舵减摇的理论和实验研究,主要是研究安装舵减摇装置的可行性,并探讨了舵减摇的最优控制规律和舵减摇的效果。九十年代以来,对舵减摇的研究更为深入,理论研究表明舵减摇装置具有较高的减摇效果。我国在舵减摇方面的研究也是集中在军舰上的应用。尽管很多公司已经把舵减摇当成成熟产品一样在市场上进行推广，但对舵减摇的研究却远没有结束。目前舵减摇的研究主要集中在算法的改进、转舵机构的可靠性提高以及舵减摇与其他减摇装置联合减摇等方面。

1）舵鳍联合控制

事实上，舵鳍联合控制的想法早在1972年，也就是刚刚开始探讨舵减摇理论的同时，就被Carley和Duberley提出来：将自动舵和减摇鳍综合控制，应该比分别控制两个系统获得更好的性能。之前，人们重点研究的是舵鳍联合控制是否有意义及是否可行，并针对各种不同的问题的解决方法，从理论上提出了初步的舵鳍联合控制器。90年代之后，舵鳍联合控制逐渐成为了研究热点。

1994年3月，英国皇家海军一艘装备了舵鳍联合控制器的护卫舰进行了第一次海上试验，该控制器是采用经典的频域分析方法设计出来的。海试的结论是：对舵机不进行任何的改造，利用舵辅助鳍减摇，同样可以提高减摇效果。1999年，美海岸警卫队借助已经在WMEC901级舰上安装的舵减摇装置的基础上，研究舵鳍联合减摇系统的情况。结果表明，对于装备普通舵和减摇鳍的舰船，利用现有舵机设备进行多输入多输出的舵鳍联合控制，能在保证航向保持控制精度的同时提高减摇效果，是在性能与实现简易性之间最佳的折中。 从此，业界才逐渐统一认识，承认舵鳍联合控制的价值。

进入21世纪后，美国、日本、法国、澳大利亚、英国、中国等国的学者纷纷提出了各种提高舵鳍联合控制系统减摇效果的控制策略和算法，舵鳍联合减摇系统已经开始在各类船舶上实船应用。其中最有代表性的有法国戴高乐航母上采用了一对12m2的减摇鳍和一对19m2舵减摇进行联合减摇。

2）舵与水舱联合控制

Rolls-Royces公司在安装有减摇水舱的船舶上，建议用户安装该公司研制的舵与水舱联合控制系统，其好处是在不增加额外减摇设备的情况下，通过对操舵仪进行升级，即可实现在系泊及航行状态下均可减摇，还可消除自动舵引起的横摇。

**2　船舶减摇装置的发展**

近年来，世界船舶技术在大型化、高速化、高性能化三个方面的进步非常明显，这对船舶减摇技术提出了新的要求和挑战。特大吨位的船舶需要超大型减摇装置，减摇装置的产品线需要进一步向大型方向拓展。而高速船舶会要求减摇装置解决纵向姿态的控制等要求，同时还要进一步降低减摇鳍对船舶的阻力，研究能应用于高速场合的鳍翼。船舶高性能化的发展则导致各种不同的性能优异的船型的出现。这些不同的船型的减摇需求一般都不尽相同，如高速穿浪双体船要求减少甲板抨击，小水线面双体船要求对船舶的整个航行姿态可控，且可使船运行在随波逐流的模式。人们对舒适度要求的变化在豪华游艇上表现尤为突出。这种游艇要求减摇装置在停泊时具有与航行时同样的减摇效果，且其“豪华”的定位要求减摇装置的工作必须是“静悄悄”的。另外还表现在设备的运行状况再也不能同八九十年代一样钻到机舱去检查，而是通过信息技术，以直观形象的图形动画等模式呈献给用户。所有这些要求的变化，在十几、二十年前是无法想象的，现今，借助先进的工业与信息化技术，已经渐渐成为现实。

**2.1 新型减摇装置**

常规减摇鳍、减摇水舱作为人们最为接受，同时应用也是最为广泛的船舶减摇装置，在最近的二十年里，技术得到了充分的发展，并克服自身某些方面的不足，越来越受到用户欢迎，预计今后相当长的时间里，两种减摇装置还会在船舶减摇领域占有重要地位，虽然颠覆性的技术变革不太可能发生，但局部性能的改善与提高相信还会不停出现，使得产品更加完善。

但应当看到，虽然在大部分情况下，船舶的减摇需求通过前面所述的四种减摇装置能够被满足，但随着船舶技术的发展，更多的新型船型被开发出来，以上这些传统的减摇装置就难以胜任很多新船型的减摇任务及安全性、适航性、耐波性要求。所以，伴随着新船型的出现，在最近的二十年的时间里，诸多新式减摇装置被开发出来，有的甚至成为一些新型船舶的必不可少的设备之一。

1）全航速都能减摇的设备

前面介绍过的舱鳍联合减摇就是这样的设备，舱鳍联合减摇不光可在系泊和航行两种状态下减摇，且减小了减摇鳍尺度，提高了减摇效果。

虽然减摇水舱能够让在系泊状态下的船减摇，但毕竟减摇效果较低，占用空间太大，在小船或性能要求极高的船上难以被接受。最近几年刚刚投放到市场的零航速减摇鳍是目前最有发展潜力的减摇装置。该装置除了系泊和航行都能减摇这一优势外，更重要的是，理论上它在零航速时可以达到与航行时同样的减摇效果。自从1998年Quantum公司推出了世界第一款零航速减摇鳍以来，已经有多家公司陆续研制成功了零航速减摇鳍。具有代表性的有Rolls-Royce公司（图3）、Blohm+Voss industries公司（图4）、意大利Rodiquez公司、美国Arcturus Marine公司（图5）、韩国Krosys公司等。



图3 Quantum公司零航速减摇鳍 图4 Blohm+Voss industries零航速减摇鳍

图6为美国某公司开发的Maglift型“Magnus效应回转轴”减摇装置，适合于低航速下减摇。工作时旋转轴方向和转速不停根据船舶横摇情况进行调整来达到减摇要求。该装置停机时，回转轴自动沿水流方向贴在船壳板上，减少阻力。目前该公司开发出的产品已形成系列，可满足25m～160m长的中小型低速船舶（2kn～16kn）的需要。

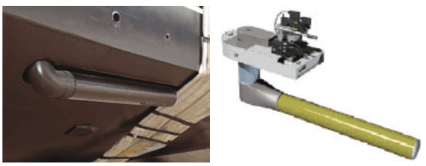
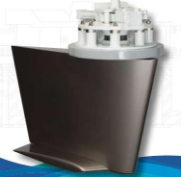


图5 Trac零航速减摇鳍 图6 Magnus效应回转轴

2）具备减纵摇功能的减摇设备

船舶横摇带来的不利影响，纵摇也同样存在，而激烈的纵摇将会造成螺旋桨露出水面，发生飞车现象，显然这对主机的正常工作是有害的。还会使船底露出水面，产生抨击，出现船体抨击应力及局部流体冲击力，这些对船体的结构可能是危险的。激烈摇摆形成的甲板掩湿，使得在甲板上的正常战斗操作难以完成或是设备货物受到损害。所以某种意义上来说，减纵摇更具迫切性。因此，早在1879年英国亨特船厂德E·德鲁西特就在一艘汽轮上装了一对艏鳍以减小纵摇。1955年至1990年美国、英国、前苏联等国均对减纵摇进行研究和实船试验，结果表明，船舶纵摇是可以进行抑制的，加装艏鳍的减摇效果可达30%～40%。（船舶纵向减摇系统介绍）。国内哈尔滨工程大学也从90年代后开始研究减纵摇技术，并于2002年在一条400t的船上进行了耐波性试验，迎浪下减摇效果29%～40%。

但实际上，因常规排水型船舶，纵摇惯性矩和纵摇阻尼要远大于横摇阻尼，使得船的纵摇响应要比横摇小，对船舶安全性的影响远小于横摇，也使得减纵摇的代价和难度远远高于减横摇。因此，常规船的用户对减纵摇的需求并不太强烈，客观上也导致了减纵摇实船安装的案例很少见。上述的试验船的吨位也都不大，很少有超过1000t的。

但纵摇和纵倾问题在高速小船上的的确确是一个影响到了安全性的非常严重的问题。进入二十一世纪后，高速艇和游艇等高性能船舶市场快速增长，船舶减纵摇技术又受到了前所未有的重视。且随着现代控制技术及其他相关学科技术的发展，减纵摇技术已经不局限于安装艏鳍这一种方法，且在减纵摇的同时，往往还能减横摇、减少垂荡、控制横倾和纵倾，性能卓越的新产品新技术层出不穷，让人耳目一新。

图7是美国一公司为航速达60kn游艇和商船供货的姿态控制设备，安装在高速船的尾部，可用来控制航行时船舶的纵倾和纵摇。中间带扩展翼的还可控制横摇和航向，在高速时为降低阻力扩展翼又可自动收回。



图7 姿态控制设备

3）新船型的姿态稳定与控制

为突破常规船舶性能和适应特殊环境要求，人们提出了各种各样具有某些特殊性能的船舶。进入新世纪以后，随着世界海洋经济的发展，这些高性能的新船型过去还处于概念设计和理论研究，如今很多已变成了现实，被开发出来并成功应用到军舰、海洋执法、海上交通运输、高档游艇等领域。这些新船型包括气垫船、可控水翼艇、穿浪双体船、多体船、高航速船、地效应船、冲翼艇、飞翼艇等，这些船在实现自己的高性能的同时，往往在耐波性或航行和飞行姿态方面存在问题，要求减摇装置在实现传统的减少横摇的幅值外，还帮助解决这些问题。以小水线面双体（SWATH）船为例，该船耐波性好、操纵性好、甲板面积大，优点非常多，但却存在纵向运动稳定性问题，如设计不好，航行时纵向运动易失稳甚至倾覆。但通过对安装在潜体内侧的四只鳍进行控制，则可很好的解决这个问题，并可同时减横摇、纵摇、垂荡，还可使SWATH运行在随波模式，避免恶劣海况下，波浪对跨桥的抨击和甲板上浪，效果非常明显。图8是美国IEI公司为国内的一条SWATH船（新世纪一号）设计的姿态控制系统。



图8 SWATH航行姿态控制系统

**2.2 现有减摇装置的发展趋势**

综合上述传统减摇装置的发展现状以及新开发出的减摇装置的技术特点，我们可以对目前的减摇装置未来的发展方向作出判断。预计常规减摇鳍、零航速减摇鳍、舵减摇、减摇水舱、Maglift等现有的减摇装置在今后相当长的一段时间内将会继续应用下去，但可以肯定，这些产品一定会被不断改进与创新，越来越收到用户欢迎。发展方向不外乎以下几个方面。

1）结构更加简单集成，设备成本更低，船上安装更加方便

包括Maglift等原理完全不一样的诸多新型减摇装置的出现，以及减摇鳍装置自身的改进，将使得今后减摇装置比当前的产品更加简单，设备更加集成，在船上安装将会变得更加快捷方便，安装难度大大降低，并使得设备占舱空间和设备重量进一步减小，设备的材料成本、制造成本、安装成本、维护维修成本大幅降低。

2）设备噪声更低，航行阻力更小，性能更加可靠

液压驱动的低噪声设计甚至电驱的应用，将会使设备的噪声显著降低，更加符合人类对舒适度的要求，符合军舰声隐身要求。而具有良好流体动力性能的新型鳍翼的应用，除了降低水下噪声以外，还降低了流体阻力。随着可靠性理论在船舶减摇装置上的成功应用，设备的可靠性也达到了前所未有的水平。

3）功能更加全面，实现船舶姿态控制

单一减横摇的减摇装置的应用将会越来越少，而能同时减横摇纵摇和垂荡，控制船舶横倾和纵倾的综合减摇装置或船舶姿态控制系统将会取而代之。姿态控制系统既可以是一种设备，又可以是多种设备的联合控制。也包括减摇装置与舵一起同时控制船舶姿态和航向的情况。联合减摇装置，除了实现航行时减摇，在低航速或系泊状态同样减摇。

4）控制系统更加智能，减摇效果更好

未来的减摇装置，将一改目前的减摇装置减摇效果受波浪和船舶参数的变化影响的现状，变得更加智能，能够自动识别外界参数的变化并作出调整，始终保持最佳的减摇效果。且对于各种故障均能作出准确详细的指示，甚至能够在一定程度上进行自我恢复。

**2.3 未来的新型减摇装置**

另外，笔者预计不远的将来，以下几种新型减摇装置会被人们开发出来，并受到市场欢迎。

1）磁流体减摇

磁流体用于船舶推进已有近三十年的历史。1992年日本人率先研制成功世界第一台磁流体推进器实物，安装在“大和一1”号船上试航成功，标志着磁流体推进研究进入了一个新阶段,目前许多造船大国纷纷对此技术进行详细研究。据预测，此种推进方式将是本世纪最具发展前景的船舶推进方式之一。磁流体推进是利用海水中电流和磁场间的相互作用力使海水运动而产生的一种推进方法。磁流体推进是把海水作为导电体，利用磁体在通道内建立磁场，通过电极向海水供电，此时载流海水就会在与它相垂直的磁场中受到电磁力（洛伦磁力）的作用，其受力方向按左手定则确定。海水受力时沿电磁力方向运动，其反作用力即推力推进船舶运动。在磁场一定的情况下，电流大、电磁力大、推力也大、船运动的速度就快；反之，电流小、电磁力小、推力也小，船运动的速度也慢。当电流方向改变时，电极的极性也改变，电磁力和推力的方向也改变，船舶运动的方向也随之改变。这样就可以利用调节电流大小的方法来控制船的速度，利用改变电极的极性来操纵方向[9]。

磁流体推进器还有相当多的问题需要解决，如产生超大磁场的超导磁体技术、能在海水中长期工作的电极材料、超导低温容器技术等，这些技术距离在船上长期应用还有相当大的差距。但据资料，这些技术目前已在美国、日本、以及中国中科院不停的取得进步，相信在船舶上全面应用之日可待。

几乎可以肯定，只要在船舶推进上应用没问题，这项技术必将会很快应用于船舶减摇。早在2004年、2005年国内就已有大学提出了磁流体减摇专利。

与推进类似，磁流体用于减摇也有诸多优势，跟航速无关、跟海况和船况无关、振动小、噪音低、舱外无运动部件、可靠性高（不考虑元件自身可靠性）。且若推进器本身用的是磁流体，则用磁流体减摇的成本将会非常低。

2）喷水舭龙骨减摇

舭龙骨是出现最早应用最广泛也是最简单的减横摇装置，但长期以来，由于对横摇的减少相当有限，只有20%左右，人们谈到减摇装置时很少会提起它。但如果将喷水推进技术与舭龙骨减摇结合，形成喷水舭龙骨减摇装置，则将会有广阔的应用前景。

具体来说，就是将传统舭龙骨结构进行改进，内部设计成水流通道，高压水通过舭龙骨下面的沿船长方向排列的水口喷到舷外，与喷水推进类似，喷水产生的反作用力形成了横摇稳定力矩，两舷的喷水启停和喷水压力由控制系统根据船舶摇摆方向来控制，即可实现减摇。这种减摇方式，也与航速、浪向及船具体情况无关，在小型船舶，特别是安装了喷水推进装置的船上，将会受到欢迎。

3）船用局部减摇装置

局部减摇是指对船上布局地方而非整船的摇荡的幅值进行控制，例如船员休息室、床铺、手术工作台、吊机底座等，这些局部减摇装置可安装在没有安装整船减摇装置的船上，如仅仅将船员休息室设置减摇设备，这可降低设备成本，又可满足最低限度的减摇需求。当然这些局部减摇装置还可安装在已经装有减摇鳍等一级减摇装置的船上，充当二级减摇装置，进一步减少摇荡幅值，做到“纹丝不动”，这在一些特殊场合极有必要，例如医院船的手术台的减摇，还有一些豪华游艇的减摇房间、减摇床等。

**3　结论与展望**

本文对单一减摇装置以及综合减摇装置的工作原理和性能特点进行了详细综述，并总结了现有的减摇技术发展的趋势，另还对未来比较有应用前景的新型减摇装置进行了预测。通过分析比较可知，单一减摇装置在功能上具有一定的局限性,而综合减摇装置综合了单一减摇装置的优点,可以满足船舶在各种航态下的减摇要求,并且其减摇性能远远好于单一减摇装置的减摇性能。但是,如果对船舶采用综合减摇方案进行减摇,将必须提供专门的减摇鳍驱动装置,并且对已有船舶的结构改造程度比较大,这样将造成船舶减摇成本的提高。因此,为了节约成本,目前的许多船舶都未安装减摇装置,少数安装了的却又不能满足减摇要求,造成海上事故不断发生。综上所述,综合减摇装置面临的主要问题是减摇成本比较高。对此,我们可以通过发展船舶的综合控制技术,使得减摇鳍的驱动力来源于减摇系统本身,而不需额外添加,从而降低减摇成本。对于改造成本高的问题,可以通过大力发展新的综合减摇技术来解决。只有降低了减摇成本,综合减摇装置才能更广泛地应用到各类船舶上,才能从根本上保证船舶航行的安全。需要指出的是，受文章篇幅所限，文中总结罗列的技术现状和发展趋势并不非常全面，比如，在对比国外产品现在和过去的可靠性指标时，发现产品的可靠性在近年有了较大提升的这一技术现状就没有进行叙述。另外，因掌握的资料、情报范围有限，描述的情况必定不是非常全面，欢迎同行交流指正。

**参考文献:**

[1] 郭大勇, 梁利华, 等. 新型主动式减摇装置的仿真研究 [J]. 自动化技术及应用, 2001(3): 20-22.

[2] 段祥云,段学民. 渔船横摇减摇装置- 舭龙骨[J]. 河北渔业,1998 (3) : 26 - 28.

[3] 许叙遥. 船舶减摇技术的若干研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2003.

[4] Reza Moaleji, Alistair R, Greig. On the development of ship anti- roll tanks[ J ]. Ocean Engineering, 2007, 34 (1) : 103 - 121. [ 27 ] 　BassD W. Roll Stabilization for Small FishingVesselsUsing Par2 avanes and Anti - rolling Tanks[ J ]. Marine Technology, 1998, 35(4) : 74 - 84.

[5] 赖志昌. 船舶减摇水舱试验台架及仿真方法研究[D ]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2001.

[6] 曲筱杰. 可控式减摇水舱在船舶上的使用[ J ]. 江苏船舶,1997, 15 (3) : 15 - 18.

[7] Thongchai Phairoh, Jen - Kuang Huang. Modeling and analysis of ship roll tank stimulator systems [ J ]. Ocean Engineering, 2005,32 (8) : 1037 - 1053.

[8] 孔金标,钱国梁. 新型舵减摇系统[ J ]. 船舶性能研究, 1992(66) : 73 - 84.

[9] 陈颖. 船舶磁流体推进技术的实际应用[J]. 广东造船, 2011(4): 43-46.