

现代舰船电力推进设计走向

云峻峰 黄仁和 赵建华

(中国船舶重工集团公司第七一二研究所 武汉 430064)

摘 要: 进入 20 世纪 90 年代后,相关技术及相应应用理论的发展和各型军用舰船性能需求与经济支撑的统一,出现了以美海军 IPS 设计概念为代表的舰船电力推进系统的研究设计新动向。本文分析在 IPS 环境下,对电力推进系统设计走向提出探讨意见。

关键词: 舰船 电力推进 系统 设计探讨

Trend to Marine Electric Propulsion Design

Yun Junfeng Huang Renhe Zhao Jianhua

(The 712 Research Institute, CSIC, Wuhan, 430064)

Abstract: With the development of relative technologies and applicable theories, as well as unity of economic support on performance requirement for various types of navy ships, new research and design trends of marine electric propulsion have emerged since the early 1990s, among which, IPS design concept of the USN is representative. This paper, against IPS background, will make an approach to where electric propulsion system design move towards.

Key words: warship, electric propulsion, system, design approach

0 引 言

从第二次世界大战结束以来,舰船的费用一直在不断增长的进程中,随着现代高新技术的大量采用,加之通货膨胀等因素的影响,导致舰船采办费每隔三五年就翻一番。今天军事装备的设计部门面临的巨大挑战,也许是由于国防预算锐减而带来的能购性危机;冷战时期流行的花很多钱研究、发展、采购、运行、保障和进行现代化改装,追求高能力的舰艇设计思想,不再被接受。然而,在舰船建造中高能力和降低费用的要求,又总是共生的。现代条件下选择标准化、通用化、商用化和模块化就是一种自然的出路。

美海军的综合电力系统(IPS—the US Navy's Integrated Power System)是从传统的舰艇机械系统延伸出来的概念。来源于美海军早期的综合电力推进(IED)计划。当时综合电力推进计划的目的是电力推进的最大能购性和声特性指标。冷战结束后,一段时间声特性要求不复强烈。遗憾的是,通过进一步研究却发现,

IED 的结构在能购性布置中不够坚固耐用。而且在这些研究中还表明,以采用商用标准、通用性和可行性为基础的电力推进结构,在费用和性能上都完全可与机械推进结构竞争。于是,1994 年在美国海军工程师活动日(ASNE Day)上第一次提出了综合电力系统概念。目前,这一概念已被我国接受,并准备付诸实施。

支配电力推进设计的期望,有两大类主要因素:即运行的有效性和能购性。运行有效性因素,包括人员和设备安全性、舰的战斗机动性、生命力、耐久性和现代化改装的难易程度等;能购性因素,包括可生产性、模块化结构、标准化、运行、维护和保障,以及现代化改装和处理等费用组成的采购和全寿期费用。

设计上的考虑,事实是将以上两大类因素捆绑在一起,为满足推进机械系统的各种要求,努力寻找出一种可行又灵活,其基本结构型式在整个系列使用范围内都有效,并且重新使用时又勿需作重大的更改和发展的解决方案。在本文中我们将探讨在 IPS 条件

下,现代舰船电力推进设计中五个方面的问题。

1 能源利用的综合化

综合电力系统的思想基础是降低未来舰队的总成本。在舰船平台上的具体实现途径就是将全舰所需的能源以电力的形式集中提供,统一调度、分配和管理。中心电站的概念也因此而产生。过去,机械推进时期以矿物燃料为一次能源的主机将改变角色,进入功能单一的能量供应源头——中心电站的原动机族。人们希望通过这种方式获得非蒸汽推进的种种优点,同时又保证有蒸汽动力装置系统能提供的综合功率分配的好处,以求实现安装设备的数量及费用减少到最小的目的。但此时对能量的利用观念,已大大有别于过去机械推进的各种联合推进或混合推进方式,也有别于处于过渡期的早年美军采用的综合电力推进(IED)。这就最大限度地抑制了现存要由两个独立电站并可能在低效率工况中长期运行的高费效比因子。因为推进与辅机或高能武器的用电高峰不可能同时出现,中心电站可以十分容易地对此类电力用户进行统一的综合管理,达到能量最有效利用的目的,从而大幅度减小全舰船能源的装舰功率。通常情况下可以减小 20%~25%,有些特种舰船以及装备高能武器的作战舰艇其能源系统的装舰功率可以减小 30%以上。在综合电力系统中,除了能取得减少能源消耗的良好效果外,同时也能较充分地发挥电力推进系统和综合网络系统的结构优势。

然而,在综合电力系统统一供电网络下工作的电力推进系统,其电能的源头——中心电站,与陆上的大型供电网络是有本质上的区别的;它也与由独立推进电站向推进电动机供电的情况不同。一般说来,综合电力系统的舰船推进功率通常占供电网络总功率的 60%~70% 乃至更大。所以电力推进系统的设计,则应从综合电力系统全系统的高度入手综合考虑。在此条件下,电力推进负载和电源管理将成为 IPS 中的一个核心问题。电力推进的设计者,需要从现代舰船电力推进系统组成、配置及运行和管理角度,面对系统故障、设备误动作或可能的配置失效情况下,全面、细致地处理好功能实现、可靠性、技术风险应对等一系列问题。目的是为舰船的驱动功能在将来所有可能的各种使用场合中,提供出一个万全的实施方案。从全系统考虑,电力推进系统动态稳定性和电磁兼容性设计,显得尤为突出。

1.1 电力推进系统及 IPS 的动态稳定性问题

电力推进系统的负载是推动舰船在水域中运动的螺旋桨。舰船航行的机动性要求,会驱使其动力系统进入一种极为恶劣的状态中工作。举例说,单纯的作战需要,会要求舰船在全速前进状态下能以最短的时间进入到全速后退航行。事实上在 IPS 条件下,这是一个与舰船总体和电源系统以及全舰所有的用电设备都是休戚相关的大问题。原理上,电力推进系统可以做到比机械推进系统少花一个数量级的时间完成该过程。但此时的 IPS 和船-桨-轴系统及其它投入运行的用电设备,无论在机械或电气方面都难以承受电力推进系统作此响应。舰船在机动期中,电力推进调速设计首先应考虑的是衍生至 IPS 的全系统及其它设备的稳定及安全问题。再有,处于机动期中的舰船,受惯性作用影响会将螺旋桨拉入其水轮机特性区工作,此时如何处理该时段处于发电运行状态的电动机所发出的数额相对不小的电力,又是 IPS 设计涉及多方面的一个综合问题。选择能耗则有背于 IPS 的初衷;选择再生入电网,则处于 IPS 核心地位的容量有限(对电力推进额定功率而言)的中心电站的稳定性是休戚相关的头等大事。它也是全电力系统的瞬态分析及稳定性设计中的首要问题。类似问题还有将静止状态的推进电动机启动到全速的全过程和紧急刹车等。

1.2 电力变换器应用与电磁兼容问题

目前,所谓的现代电力推进,一个主要内容就是交流化;其核心是电力变换器与交流推进电动机的技术组合。在硅半导体工作机理支撑下流行的电力变换器,功率-频率乘积到目前水平下不可能期望很快再有更大的突破。在电力主回路中以开关方式工作的电力变换器,目前给电力推进的设计者企图综合利用能源的努力造成了两个主要障碍:一是我们现在还习用的功率因数问题,二是四处泛滥而我们还在使用传统的分析方法(并不总是有效)去处理电力谐波的问题。

对电机进行更多相数的分解,在实际中减轻了对目前能从市场供应渠道获得的电力电子器件的压力,还延伸出冗余结构,但在经济上并不总是可取的。

更深层的变换器应用技术需要进一步取得突破,如:变换器的效率、可靠性、稳定性、功率密度、与环境噪声的相互作用、与电源的相互作用以及和传动系统之间的相互作用等问题。事实上,人们早已认识到,EMI/EMC 问题将很快成为变换器在一些技术领域

中,尤其是在较大功率应用场合中的制约因素;并且也一直知道变换器的电磁布局以其特有的方式与EMI特性相关。然而,这些问题在目前的大部分实际工程中,还是通过后加补救措施(如设置滤波器和EMI隔离)去对付着解决的。这种方法,就价格、体积和复杂性来说,正在成为变换器应用发展中内在的严重障碍。如果不能对这些问题拿出具有普遍意义的解决办法,人们一直乐观预期的电力电子学的进步与发展会扩大现有频率和功率的可应用范围、开关变换器新的拓扑和结构扩展其应用、通过先进的微处理器技术和新的控制方法实现新的信号处理和控制在,将没有一个方面能够发挥其全部的潜在作用。为此,已有学者呼吁,应该创立一门暂且称作“变换器电磁学”的新领域。

2 供配电系统的中高压化

建立在综合电力系统概念下的供电网络及输配电系统要应对各种类型的负载和负载系统,这样就得全面考虑供电系统各型负载的需求。而发电系统又是根据原动机及其工质的供给而相对集中,且多是安装于舰船总体的居中位置。为此提出了相对集中的分区、分级配电的供电网络设计思想。同时也提出了经济、可靠、高效的电力输送问题。众所周知,提高系统电压、降低馈电电流,以及采用直流输电方式,可以大幅度降低输电损耗和减小输电电缆的重量及尺寸。例如,上万吨级的现代驱逐舰,其供电系统最大功率负载的电力推进系统,额定功率就在上百 MW。目前条件下,很难设想采用 1 000V 以下的低压能将如此大的电能输送或分配。提高供电系统电压等级,对全系统将会带来可观的效益。实际上,从 20 世纪 50 年代就已开始寻求大型船舶提高电力推进系统工作电压的有效途径。进入 80 年代以后,寻求的结果已得到了应用,如“KOTIO”破冰船采用 8.8kV 等级,“伊利沙白二世女王”号客轮则采用 10kV 等级。美国海军在“综合电力系统”计划中,针对现代水面作战舰艇的发电模块,其电压等级统一采用 4.16kV。现代绝缘材料技术、绝缘结构技术、高压电器技术、高压电机技术、功率电子器件技术、电力交换技术,都为电力推进系统提高工作电压等级提供了有效的技术支撑。应该指出的是,提高系统电压是可能的也是现实的,同时也是有代价的,也就是说,系统中的所有相关设备都要与此相适应。一个电压等级就是一个设备系列,并需要一系列相应的标准和规范配套及技术支

撑,更何况电力推进系统所面对的应用对象具有明显的多样性,由于舰船的种类繁多,其吨位、功能、装备、要求各不相同,所以在确定系统工作电压等级时,不仅要考虑技术的先进性和现实性,同时要考虑设备采购、总体建造、运行维护和维修等费用问题。必须进行综合论证,分类船型,确定电压等级系列。

3 动力装置的高功率密度化

体积小、重量轻,这是船舶特别是军用舰船对装船设备的传统要求。动力设备是舰船生命力的保障,因而被称之为舰船的“心脏”,同时也是占用全船排水量份额较大的装船设备系统。它们的体积和重量直接影响舰船的总体性能。以电力推进方式取代热机直接推进,过去最大的障碍就是因为增加了一套等额容量的能量变换设备。因此,尽可能地提高电力推进系统设备的功率密度,减小其重量和体积,就成为电力推进系统,尤其是交流系统及其配套设备研究设计在相当长一段时期内必须要遵循的原则和目标。这里所指的动力设备也同样应该从全电力系统考虑,包括推进电动机、电能变换设备、发电机和原动机(热机)。相关技术的发展,为动力设备的高功率密度化提供了有力的技术支持和手段。例如,采用高磁能级的稀土永磁材料和新型电力电子器件,以及相关应用理论和技术研究设计,永磁电子式换向的推进电动机及可控永磁发电机;应用电力电子技术及其相关理论研究设计,高性能调速设备和高能动态滤波系统及设备等。使用仿真技术和 CAD 技术,对系统和设备性能开展预测研究,进行优化设计等。

综合电力系统的优点之一,是具有引进新技术的潜力。在技术上,最大程度相互独立的模块间建立接口标准,在对其它模块影响最小的情况下能够完成对模块的改进。

3.1 传统电机的选用与改进

推进电动机的选型在电力推进系统设计中处于核心的位置。传统的交流异步电动机和电励磁同步电动机,依然在电力推进系统设计选型之列。但异步电动机与电励磁同步电动机相比,在体积和重量方面有明显的优势(体积约小 3%~4%,重量约轻 15%~20%)。异步电动机采用矢量或直接转矩控制的变频器调速,可以获得近似直流电动机工作特性的效果,而且应用也较成熟。但一般说来,它不太适合于需要多极数或大气隙的情况。据报道,Alstom 的 20MW/180r/min 先进异步电动机(AIM)较有效地解决了功

率因数低和因气隙较小而带来的耐受冲击等问题,因而被认为是从电励磁同步电动机向大容量实用化永磁电机过渡中的一种很有竞争力的技术。美海军已对其做出了选择。电励磁同步电动机在大型工业驱动中仍然占有一席之地,此类电动机其磁极的结构大而重和转子绕组所需的横截面大,比异步电动机重。一种倾向认为,电励磁同步电动机在近期有被脉宽调制控制的异步电动机所取代的趋势。这大概也就是美海军在 1998 年的 IPS 项目中,提出的水面作战舰船标准电力推进模块采用鼠笼型异步电动机的主要原因。

3.2 永磁电机的研究与应用

在各种新型船舶推进电动机中还有超导励磁的直流电机、超导单极电机、高磁通常规励磁的单极电机、永磁推进电机等。在这些新型推进电机中,永磁推进电机较容易得到近期效果。永磁电机与传统电机相比,具有效率高、体积小、重量轻等一系列以高功率密度为特征的优势。为此,各国海军均投入很大的力量进行开发。已发表了许多论著,对各种形式的永磁电机的原理、设计进行了论证和分析,也有超过 MW 级的永磁推进电动机长期考核试运行成功的报道。显然永磁电机正处在走向成熟过程的发展时期,但它已被证明是目前能较大幅度提高推进电动功率密度的最有效途径,径向磁场结构的永磁电机与电力变换设备的一体化设计更能突出其优势。从工作原理上分析,电力变换器技术与电机设计技术的有机结合,将是实现交流推进直流电机特性化的有效实现途径。似乎这也是各国研究的目标。近年来,为了进一步提高永磁电机的功率密度,从结构上扩展电机中的能量转换有效空间,积极开展轴向磁通(横向磁场)永磁电机的开发工作,并已初见成效。

目前,永磁电机技术与民用感应电机展开竞争。根据使用需求,在高效率或较大功率密度的基础上,竞争的焦点则汇集在低功率等级可调转速驱动应用段。永磁电机适合舰船推进的功率范围,因符合综合电力系统推进电动机接口规格而受到海军重视。除德国、法国、俄罗斯外,美国 Newport News 造船厂已在研制采用永磁技术的 18.6MW 舰用无刷直流推进电机。

3.3 新型电力推进的研究

当前,超导电磁推进的研究工作是试图在船尾海水与船体之间产生一个迫使两者发生相对运动的强大驱动力。理论上分析,它具有推进效率高、安静无

噪声、操纵性好、推力大、综合效益高等特点。据国外报道,超导电磁推进已进入应用研究阶段,正在进行超导磁体的结构强度、海水电解、磁场屏蔽等一系列重大工程应用技术问题的研究。这些还均属理论上作原理性的探索工作。据乐观者的估计,21 世纪将有一部分舰船采用超导电磁推进装置,以取代螺旋桨推进装置。

在螺旋桨模式下,低温超导单极电机多年来已取得若干进展,并开始从试验模型发展到半工业应用阶段。美、英两国在进行长时间陆地试验基础上,还分别进行了 1 000kW 和 3 000kW 超导单极电机电力推进系统的实船试验,据说对万 kW 级电机亦进行了多年的深入研究。

目前,将临界温度在液氮温区(77K)以上的超导材料称之为高温超导材料。高、低温超导电机的主要区别是在于超导磁体、冷却方式和低温容器等方面。目前对超导单极电机主要开展的研究工作有:电机参数选择、提高电压技术、大电流集电技术、超导磁体系统、电机结构及磁屏蔽等。

3.4 原动机的研究与改进

在这里还应特别提到的是,采用全电力推进后,机械推进时期的“主机”将改变角色融入被赋予新使命的中心电站中,作为原动机处于能量供应链的源头。它的性能会直接影响全电力系统的优劣,甚至直接影响舰船总体性能。正因为如此,各国仍然为新型电力推进舰船用的原动机投入更多的力量来研究高效高指标的机型。IPS 概念中就将中冷回热燃气轮机(ICR)定为原动机,并专门强调它是为克服简单循环燃气轮机功率密度低的缺点而研制的。美国人计划在 2004 年将第 1 台 ICR 装备到 DDG-51 驱逐舰以取代舰上的 4 台 LM2500。不仅如此,人们也还在对各种热机的联合使用开展多方案研究,如柴-燃联合系统(CODLAG)和燃气轮机蒸汽轮机复合循环系统(COGES)等。因此,原动机的发展趋势也是舰船电力推进系统研究设计者必须要十分关注的问题。

寻求和开发高功率密度的动力装置,或许总是舰船动力设计中的一个长久话题。

4 高新技术密集应用的电力推进系统自动化

舰船的监视控制系统,几乎一直是保持着对每级舰型都是专门设计的模式,并在此基础上对每种专用控制系统发展和保持其制造、使用和后勤保障能力。结果是监控系统发展和保障都极为昂贵。由开放性

结构(Open architecture)支持的标准监视控制系统,不同于目前舰上的专用控制系统。它因能最大限度地使用商业标准而避开了专用系统的种种弊端,在网络提供的互联能力和标准接口支持下,通过采用软件模块来充实控制系统或实现特殊功能,将是一个十分有效的途径。为适应这种发展,美海军研究咨询委员会(NRAC)在关于“舰艇系统与设备自动化”的报告提出:“自动化以及同舰上作战与控制系统相综合的机械控制系统的好处,是使水面舰艇能对付 21 世纪的威胁。”要求这种结合必须被包括进 2010 年水面舰艇的运行特性中。其技术上的指导思想,是由传感(探测)、传输、解释和机械状态监控与损害管理所需要的船体机械与电气(HM&E)参数结合在一起的机械监控系统与舰上的作战及控制系统实时地综合在一起,组成目前所说的平台综合管理系统。它将成为支配 IPS 条件下监视控制系统设计的主要因素。

毫无疑问,舰船的 IPS 概念,将会引发出一个庞大而繁杂的高新技术复合体。处在其中的电力推进系统的监控与管理设计有下列若干问题值得关注。

4.1 电力推进系统监控定位为平台综合管理系统内的自治

如果采用平台综合管理系统概念,则 IPS 是其中的机械监控系统中一个主要子系统,电力推进则是另一层次的子系统。在目前综合电力系统概念下的电力推进系统,自然要适应以全舰平台为基础的综合监控与管理的要求。在平台综合管理系统模式下,原来传统的轮机自动化系统将侧重于机械系统的生存能力/抗战斗损伤能力,如实时状态评估、快速系统重构、基于状态的维修策略、面向操作和维修人员的决策支持等。

考虑到电力推进在舰船上的重要性,必须同时详细设计和综合电力推进系统与平台综合管理系统及机械监控系统与 IPS 的关系。处于资源利用与分配环境中的电力推进系统技术内容,将被高层的管理者符号化为可进行双向存取的信息库。而在电力推进系统内发生的种种伴生有形、有声、有光和热特征的机电能量变换过程,将区域化为被舰船平台总体顶层定义了优先级的一种相对局部的自治行为。在 2002 年服役的德国 212 潜艇上采用 SIEMENS 的 NAUTOS 平台综合管理系统的设计,具有实用参考价值。

4.2 新技术的应用

一般来说,商用技术是先从自动化领域进入舰船

平台的。20 世纪 90 年代初期开始,大多数控制概念都是以标准化监控系统(SMCS—Standard Monitoring and Control System)研发规划的一部分而开发的。为了进一步降低舰船控制系统的采购成本,在一些舰船上开始采用了工业过程控制用的可编程控制器(PLC)作为局部控制器。

基本的 IPS 策略要求提供分级的高度分布的控制功能,为获得强大的生命力,智能化部件(即模块,还包含传感器)的概念仍然是适用的。电力的分级结构事实上意味着控制也要分级结构。具有智能化、严酷环境条件适应性、集成、开放结构、支持远程组态功能、适时性操作等特点的现场总线控制,目前是非常适合于电力推进系统自动化技术应用的。已经出现的中间件 OPC(OLE(Object Linking and Embedding) for Process Control),在当前有可能为众多厂商产品共存而形成的异构环境中做无缝系统集成,提供问题解决之道。当然,现场总线控制在功能实现的适时性和设备及电缆的本质安全品质方面,要适用于舰船电力用户,还有大量的基础技术工作要做。电力推进设计中同时要处理相互间连环耦合的毫秒级的电磁过程、秒级机械时间常数、以分钟计算的船舶机动期运动变化时间、还有更长时程的温度场惯性。设计师要面对的是整个系统的实时性有效问题,如采样期的不控性,算法的时分实现,多级系统中的任务管理调度及同步,模拟信号的离散化,通信中的时间片管理,实时中断响应入口分配与传输延时等等都是直接影响系统实时性的因素。这些时间敏感因素必须有效地处理得当,不然很容易造成数据无效甚至于系统崩溃。

4.3 适应未来的技术发展

可以预料,未来控制系统的结构将分为三个层次:底层是各种自动化子系统;操作者在应用的顶层;中间层智能控制子系统,进行协调、资源管理和对任务要求下的子系统重新配置。下一代 IPS 的控制策略将顺应这种发展,IPS 本身及其下的各模块,在平台综合管理系统模式下的系统集成中,处于不同层次子集位置上。

从企业集成结构发展起来的,包含有许多思想、哲理和观念的,并综合了应用系统行业特征、计算机知识、通信技术和系统工程方法的现代系统集成思想,必定很快会在以全舰平台为基础的综合监控与管理方面获得应用。

随着还在继续重复每隔十八个月就性能、速度翻番发展的 CPU 嵌入到传统传感器应用;另一端,计算

机网络及信息处理技术的日新月异发展正在延伸着一个大网络小系统环境;在顶层的新型控制策略、媒体虚拟技术、实时工程数据库及知识工程等的进入又在改变着早期对系统状态→信号→数据直到信息的解释和利用方式;还有无处不在的 GPS 和 Internet 等全面覆盖支持。事实上,现在已有人在研究以陆基信息中心为基础,实现全海军或舰队的实时资源管理和决策支持。在那里,舰船上的每一个设备都是“可见”受控的。远程维修也不再是幻想。

5 系统工程设计的模块化、标准化、通用化

标准化、通用化是过去在产品设计中一直努力遵循的设计原则之一,其目的就是尽可能降低产品的生产成本和维修成本,并以标准化率作为评价指标。美国在综合电力系统整体框架内,按分系统划分的功能模块化设计思想,实际上是标准化、通用化技术在分系统功能层次上的扩展和延伸。这种模块化设计思想,首先还是由于时代的变迁,是在新形势下军事需求与经济支撑能力相统一的产物。

在冷战时期出于国家利益或政治需要,各国的军备研制在优先保证不断投入的前提下,几乎都是遵循专用系统、专用装置或设备、甚至专用部件的设计模式。IPS 出现的原旨是试图为解决上述矛盾,降低舰队的整个寿期费用,提供出一条有效的解决途径。在 IPS 条件下,把设计工作定义成一个将任务需求转换为硬件和软件的过程。设计特定舰船用的综合电力系统结构,就是为满足其特定的性能要求而对模块进行剪裁。由于舰艇应用范围变化可能相当大,综合电力系统要在实际中获得成功的关键是能否充分确定模块之间的接口标准,使机械模块的设计、建造和综合与最终的构型无关。目前在进行详细费用估算或费用比较时,人们还一直在争论不休,IPS 还未发展成熟前这种争论总是存在的。事实上,在 IPS 的各个模块未定义出准确的机械、电气、控制间接口功能和性能参数的定量指标之前,开展实质性的设计工作是困难的。

IPS 为简化设计工作,提出了一个基于标准模块的“综合电力系统设计程序”。该设计程序是通过《设计数据表》(Design Data Sheet)(DDS)说明的。将设计工作分七个基本步骤,设计程序流程的逻辑结构仅提供各级费效比约束条件下的唯一出口。在进行具体步骤之前还需要有一套完整的舰船要求,其中包括整个寿期费用目标和采购费用目标。此时的系统设计

工作似乎是选择和按舰船要求剪裁模块的过程,但这种剪裁必然会涉及到对物理和软件特性的修改,以满足配置的特定要求。然而剪裁可能会出现改变电力、信息或控制接口标准的要求,在设计新舰时这种工作是令人生畏的。

工程设计的本质是为实现某一特定的具体项目,利用成熟技术进行创造的过程。在工程系统设计中,遇到的大多数问题几乎普遍属于典型的大范围的和模糊不清的问题,它们与目前的理论所能够处理的简单且意义明确的对象还存在着相当的距离;而要了解领域中的各种问题又需要复杂的理论和大量的实践经验。电力推进设计师往往在权衡可靠性与经济性这一对矛盾时,或在寻求“船-桨-机”有机综合与平衡时并不总能从 IPS 给出的设计程序中找到出口。应该说,模块化、标准化、通用化是一个超越行业的全社会工程。美海军的 IPS 概念只是企图在舰船行业内为轮机部门的动力设计,在以降低舰船设备的采购和整个寿期费用为第一目标条件下提供一种可行的解决之道。

6 结 语

IPS 是技术发展进程中的产物,是在继承传统的基础上,在现实条件下的新发展,并正在推动舰船电力推进技术的进步。受篇幅限制,在本文中,仅就电力推进设计中的五个方面问题进行了概略性的探讨,所涉问题未向技术实现层面进一步展开。有不少问题还未提及,如设备方面的主回路开关设备、燃料电池能源、吊舱式推进和系统方面的电力推进适用性设计和电力推进用户设计问题等等。应该看到,IPS 只是美国人在现代条件下,为寻求解决其海军舰船动力发展之道而提出的概念,其中有许多值得我们学习和借鉴的东西。但这种技术概念也同时打上了他们自己环境的经济、政治、地域和人文因素等的烙印。事实上,IPS 与欧洲的英国人执行的 IFEP 也有区别。无论是 IPS 或 IFEP 亦都还远非成熟,也都需要在发展中继续不断完善。就我们国家而言,还需要付出更多的探索和实践。更何况对舰船动力行业而言,许多支撑的基础技术也正在不断发展和出现,例如永磁电机技术、超导电机技术、喷射推进技术、核能发电,再如计算机的基础技术——CPU,性能还在继续着每十八个月不断翻番的摩尔定律生命期,信息技术正在改变人类的生活方式,知识工程进入技术舞台等等。所有这些,

(下转第 18 页)

早期的电机存在着两个问题:(1)使用液氮低温超导;(2)液态金属大电流集流电刷,它使得电机在负载瞬变时产生一个先天性的动态不稳定缺陷。从目前的研究来看,高温超导和固体银质纤维电刷的发展与应用将在下一代单极电动机中避免这些问题,当前 10MW 级单极电机大电流集流的论证工作仍在进行之中。

3 磁流体动力(MHD)推进系统

如果电压 V 施加在两块相隔 d 距离的金属板上,并将金属板置于导电率为 σ 的导电液体里,那么,它将在液体中产生的电流密度:

$$J = \sigma (V/d)$$

如果磁通密度 B 被垂直施加在电流上,那么,液体就会产生一个喷射的机械力:

$$F = J \times B \text{ (N/m}^3\text{) 液体}$$

这就是磁流体推进的基本原理。

MHD 推进的最大特点是完全消除了螺旋桨叶片周围产生的空泡速度极限现象。由于没有螺旋桨

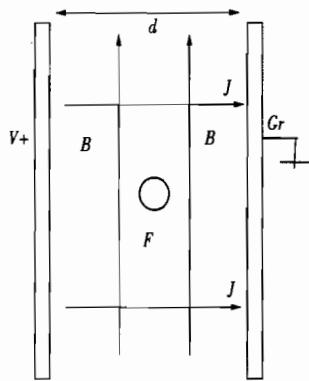


图 1

或其他运动部件,因此系统运行极为安静,并且可随时进行维护。

MHD 推进原理早在 20 世纪 60 年代,就由加利福尼亚大学的研究人员在其所建造的一艘小型模型船上得到验证,当时他们使用常规的磁体。80 年代,日本科学家也在其他模型船上利用液氮超导磁体论证了这个理论。尽管这艘重 1.1t、长 3.51m(11.5 英尺)的模型船的速度仅为 0.76m/s(1.5kn)。随后,改进的模型船“大和-1”在日本神户市进行了试验。“大和-1”的磁通密度达到 4T,速度约为 6kn,能效仅为 4%。

美国的 ARGONNE 国家实验室、NEWPORT NEWS 船厂和 NEWPORT RL 海军水下系统中心也使用 6.4m(21 英尺)液氮超导磁体证实了这个原理。人们认为,技术和经济上可行的 MHD 推进系统的开发费用可能会很大。因此,直到目前为止还没有真正意义上的用于船舶或潜艇推进系统的磁流体推进技术的开发研究。

总而言之,专家们认为,如果把现有的成熟技术综合起来,用于军船电力推进系统的最终具体细节的设计是可行的。美国和其他国家目前的研发情况表明,综合电力推进在未来 5~10 年内将得以应用,已毋庸置疑。

作者简介:郭国才,男,1958 年出生,现从事电力推进情报研究。

进装置情报研究论文集[C].第七一二研究所.2000

作者简介:

云峻峰:男,1940 年生。1964 年毕业于哈尔滨军事工程学院船电专业,原 712 所所长,现任 712 所科技委主任,研究员,曾获得船舶总公司科技进步一等奖、二等奖、三等奖。编著的《船舶电力推进原理》于 1993 年出版。享受国家政府津贴。

黄仁和:男,1943 年 10 出生,研究员,华中工学院电机工程系毕业,一直从事电力推进系统、自动测试、计算机技术工业应用研究。主持过多项研究或工程项目技术工作,发表过技术论文十余篇,荣获国防科工委 2000 年度国防科学技术奖二等奖。现为海军“十·五”预研某重大关键技术项目主任设计师。

赵建华:男,1965 年生。1990 年毕业于哈尔滨船舶工程学院自动控制系自控理论及应用专业,获硕士学位。现任 712 所副所长,研究员。曾获得船舶总公司科技进步二等奖。

(上接第 8 页)

必定会在不久的将来,从各个方面对舰船动力产生直接影响,其中有的肯定会是深远的。

参 考 文 献

- [1] 龚九功.国外舰船全寿期经济及其管理模式.第七〇一研究所.1994
- [2] 龚九功译.国海军 21 世纪水面舰艇发展动向[A].21 世纪国际海军舰艇技术发展研究资料集(一)[C].中国船舶工业总公司七院第七〇一研究所.1995
- [3] 辛路译.美国海军的综合电力系统[A].《舰艇电力推进译文集》[C].中国舰船研究院第七一四、七一二研究所.1997.12
- [4] 黄友朋等.国外舰船电力推进前景分析[A].舰船电力推进装置情报研究论文集[C].第七一二研究所.2000
- [5] 梅端经.舰船用超导电机研制的新发展[A].舰船电力推