

综述与机型

我国海洋科考船的电力推进动力系统

刘志兵, 梅 春

(中国船舶工业集团第七〇八研究所, 上海 200011)

摘 要: 结合实船案例对科学考察船的不同电力推进系统进行了介绍和比较分析, 给出了科考船采用电力推进动力系统配置后的振动及噪声情况。分析表明: 电力推进动力系统具有经济、环保、操纵性好、符合科学考察作业功能的优势。指出电力推进正逐渐成为我国科学考察船推进系统的发展方向。

关键词: 科考船; 电力推进; 振动; 噪声

中图分类号: U664.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)06-0001-04

The Electric Propulsion Systems of Our Country's Scientific Survey Vessels

Liu Zhibing, Mei Chun

(Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 200011)

Abstract: Varied electric propulsion systems for scientific survey vessels are introduced and compared with each other based on some application examples, and the conditions of vibration and noise are also introduced. Analysis results show that electric propulsion system features high economic, environmental friendly and easy for operation, and satisfying the functionality requirements of scientific survey vessels. It is put forward that electric propulsion has gradually become the development trend of scientific survey vessels in our country.

Keywords: scientific survey vessel; electric propulsion; vibration; noise

0 引 言

地球上超过 70% 的地域为海洋覆盖, 大国经略必重海洋。而从事所有海上活动的基础, 就是海洋调查和考察。要想开发海洋资源, 发展海洋经济, 就应该研究海洋的科学规律, 了解海洋的历史, 把握海洋的现状。海洋科学考察研究船作为海洋研究的基本载体, 其作用和地位不可替代。一般而言, 海洋科学考察研究船作为海上平台, 拥有实现以下主要海洋研究功能的能力: 海洋地质、海洋地球物理、海洋化学、海洋生物、物理海洋、海洋气象、海洋声学。

美国目前拥有超过百艘的海洋科学考察船; 近邻日韩也各自拥有海洋科学考察船超过 50 艘。而

我国目前装备的海洋科学考察研究船数量十分有限, 属于大洋协会的“大洋一号”和属于极地中心“雪龙号”都是 20 世纪 90 年代买自国外的二手船改装的, 还有就是 20 世纪 70/80 年代装备的几艘“向阳红”号系列船, 现实情况是这些船多已老旧。近几年交付使用的科学考察船有天然气水合物综合调查船“海洋六号”、4 000 t 级海洋科学综合考察船“科学号”以及 12 缆物探船“海洋石油 720”; 在建的项目有厦门大学 3 000t 级轻质海洋科学考察船、国家海洋局极地研究中心的新建极地破冰科考船、国家海洋局海洋一所和海洋三所的 4 500 t 级海洋科学考察船等。虽然有这几艘新建的船舶投入实际使用, 还有在建的多艘尚未交付使用, 但与欧美国家及日韩相比, 我国海洋科学考察

收稿日期: 2013-07-24; 修回日期: 2013-08-01

作者简介: 刘志兵(1979-), 男, 工程师, 主要研究方向为船舶动力装置设计。

研究船缺乏的现状将会严重阻碍我国对海洋的开发,急需得到重视。

科学研究船作为海上科学考察平台,装船的动力装置上与船型相匹配的操纵性、多任务多功能性应该是首要考量的因素;同时由于船上科学家众多且需要从事日程较长的海上研究工作,舒适性也是重要的考量因素。

1 科学考察船动力系统

海洋科学考察船通常具有各种科学调查能力,每一能力对应着各自独特的调查手段,这就要求船舶这一平台具有适应各种调查能力的航行状态。科学考察船根据其调查能力定位的需求对船舶通常有如下几方面的特定要求:

(1) 动力定位能力:海洋科学考察船通常具有海洋生物、海洋地质等调查作业能力,需要释放水下机器人,或者释放海底取样装置如柱状取样器、箱形采泥器等,这些作业对船舶的控位能力和控位精度有一定的要求,根据不同的作业能力要求船舶能够保持一定的位置或一定的航向,在作业状态下不可偏离水下仪器释放位置太远,否则容易造成调查作业设备丢失等情况发生,故通常海洋科学考察船会要求具备动力定位能力。

(2) 灵活的操作性能:科学考察船通常携带多

种需要释放海上的科考仪器及设备,在调查取样结束后需要顺利回收,因此要求船舶应当具有灵活的操纵性能。

(3) 低航速航行性能:具有海洋地球物理调查系统、深海环境探测系统等调查能力的科考船要求具有较好的低速航行性能,例如在约 5 节航速下进行地震勘测气爆测量、深海拖曳操作等。

(4) 电站的冗余度:科学考察船上配置有几大系统的科考设备,各种科考设备要正常工作需要船上提供足够的满足要求的电能,因此,科学考察船需要电站有一定的冗余度。

(5) 低噪声、低振动性能:科学考察船携带大量探测设备,探测设备对船舶自身噪声要求比较高,为了不影响船舶探测设备的测量精度,故科学考察船要尽可能地选用低振动、低噪声的设备,降低船舶的自身噪声。

结合上述可知,科学考察船的动力配置要求有别于常规船舶。而选择综合电力推进的推进型式,有利于满足船舶低速航行、电站冗余度要求高、振动低、噪声低等要求;选择全回转桨类型推进装置,适合于科学考察船的动力定位、操纵性好等的要求。

国内最近交付和正在建造中的几型科考船的推进型式见表 1。

表 1 国内新建和在建科考船推进型式

科考船型	海洋六号	科学号	海洋一所/三所 4 500 t 船	厦门大学 3 000 t 科考船	新建极地 破冰科考船
推进型式	综合电力推进	综合电力推进	综合电力推进	综合电力推进	综合电力推进
电站	3 台主发电机组 1 台停泊机组	3 台主发电机组 1 台停泊机组	3 台主发电机组 1 台停泊机组	3 台主发电机组	4 台主发电机组
艏侧推	2 套	2 套	2 套	1 套	2 套
艉侧推	无	无	无	2 台	无
主推进	Z 型全回转舵桨	吊舱式全回转	吊舱式全回转	轴桨推进	全回转舵桨
交船时间	2009 年	2012 年	预计 2014 年	预计 2015 年	预计 2016 年

注:表中几型船的停泊发电机组和主发电机组可并网运行

2 电力推进动力系统

2.1 船用电力推进装置的发展

轴系螺旋桨因其传动机械结构简单可靠、成本低、效率高是船舶上应用最为广泛的推进装置。螺旋桨由其机械结构的传动形式的不同,又分为传统轴系连接的定距桨或者是调距桨。轴系中可以包括齿轮箱、联轴节等多种机械传动装置。由于推进效率更高,可以成对反向旋转的螺旋桨也是一种先进的船舶推进装置。但是以往由于这种螺旋桨的机械传动方式过于复杂,可靠性不够,难以得到广泛应用。

电力是以电能作为动力的能源,发明于 19 世纪 70 年代,电力的发明和应用掀起了第二次工业化高潮。电动机动力装置,包括低速变频直流电机,变频交流电机等。电力推进将一次能源如燃料化学能通过发电动力装置转化成电力,再经输电、变电和配电将电力供应到推进用电机。使用电动机推进船舶为各式各样船用发电装置的应用提供了便利。

以往全回转推进器又被称为舵桨,配置这种结合了舵和桨的功能的推进装置的船舶,其操纵性得到很大的提高。因其传动机械结构比较复杂,成本比较高,多是应用在操纵性要求较高,如狭窄港湾

内作业的拖船等；或者是定位能力要求较高，如海上平台服务船等。

20 世纪 90 年代开始，随着大功率交流电机变频调速技术和电力推进元器件的日臻完善，以及 Z 型推进器、吊舱推进器的设计制造技术日趋成熟，电力推进系统在船舶上的应用得到了迅速发展。电力推进装置可以避免在传动上采用了过于复杂以致不够可靠的机械结构，在全回转推进器和成对反向旋转的螺旋桨推进装置上均有了很大的发展。

2.2 电力推进系统的优点

综合电力推进系统的主要特征是利用同一套船舶综合电站向全船提供推进动力、辅助设备电力和日用电量，利用电能实现船舶机动和完成相关使命任务的一个完整的系统。综合电力推进系统一般包括：柴油机(原动机)、发电机、配电设备、电动机驱动(变流调速)装置、推进电动机、系统监控设备等。

综合电力推进系统与常规柴油机直接驱动螺旋桨系统相比，具有明显优势，主要表现如下。

2.2.1 较高的经济性和平衡环保特性

电站由多台柴油发电机组组成的电力推进船舶，电站的柴油发电机组可根据不同工况下的负荷来决定并入电网的发电机台数。当用电量负荷较低

时，可仅运行一台机组，随着用电负荷的增加，可投入数台机组运行(见图 1)，这样的配置模式可尽可能使每台发电柴油机组运行在较高负荷率状态下，柴油机效率较高，燃油消耗率相对较低，且燃烧较充分，有利于柴油发电机组的维护保养，达到最大的经济性，并节省能源。

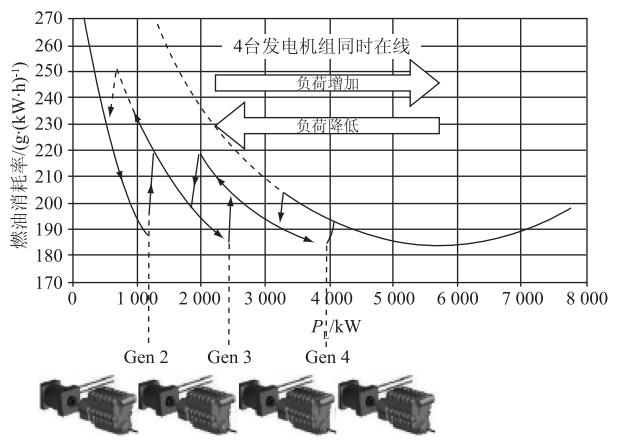


图 1 多台柴油发电机组的油耗曲线图

某科考船的电力负荷分析，电力推进船舶电站运行情况如表 2。在不同的工况下有不同的组合搭配，每种组合下发电柴油机基本都能运行在较高负荷率下，油耗率均相对较低，如图 2。

表 2 某科考船电力负荷概况

工况		巡航	进出港	全速	动力定位	地震勘测	停泊
主发电机×3 台	使用	1	2	2	3	2	0
	备用	2	1	1	0	1	3
停泊发电机×1 台	使用	0	0	1	0	0	1
	备用	1	1	0	1	1	0
在网机组负荷率		82%	60%	77%	71%	66%	71%

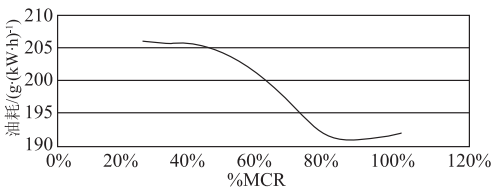


图 2 单台柴油机负荷率-油耗曲线

如果柴油机总是在低负荷率运行时，单位功率的燃油消耗率将较高，此时的燃油得不到充分燃烧，会产生相对更多的氮氧化物和硫氧化物。电力推进船舶配置多台柴油发电机组，运行的柴油机多处在最佳燃油消耗状态下，其燃油消耗率较低且燃烧比较充分，在节省燃料的同时也能降低单位功率输出下的废气排放，减小了对大气环境的污染。

2.2.2 操纵性

全回转桨可以在水平面实现 360°自由旋转，

推进方向可以根据需求实现 360°的所需推力，可以方便地操作船舶的前进、后退和船舶回转，使船舶具有良好的操纵性能。全回转桨和艏侧推的配合使用，可以大大地缩小船舶的回转半径，甚至实现船舶的左右平移，可以更好地对船舶进行定位，以满足船舶的作业工况需求；全回转桨允许利用改变螺旋桨的旋转方向或 180°的转动水下推进舵桨来紧急停船，船舶的紧急停船距离比常规动力船舶要短很多，这样船舶进出港靠泊码头也更加方便灵活，更加安全。

某科考船船长 99.8 m，试航时采用全回转舵桨配合艏侧推进行有关各项操纵性试验，试验结果如下：

(1) 回转试验：15 节全速回转性试验测得回转直径为 160 m；

(2) 停船试验：从 15 节全速航行至停船的最短时间为 101 s；

(3) 原地回转试验：原地回转时间为 294 s。

2.2.3 可靠性

综合电力推进系统可以通过调节电站运行发电机组的数量，使柴油机工作在最佳状态，柴油机的辅助设备通用且互为冗余。多台发电机组的配置，供电网络的灵活结构形式和有效保护手段，使综合电力推进系统具有较强的抗故障能力。

2.2.4 船舶舒适性

电力推进船舶的机舱的布置不再受轴系和螺旋桨的限制，可以比较灵活地布置，因此机舱的布置位置可以远离住舱和实验室处所，而机舱的振动和噪声水平是全船振动和噪声的源头，这样可以明显地降低住舱和实验室区域的振动和噪声水平，有效提高船舶的舒适性。

电力推进船舶由于螺旋桨与柴油机没有机械联系，省去了常规柴油机推进系统中的传动轴

系，消除了原动机与螺旋桨之间的刚性连接，螺旋桨不会通过传动轴系对原动机及船体产生振动冲击，使船舶的振动大大减轻，从而改善了船舶的舒适性。

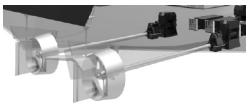
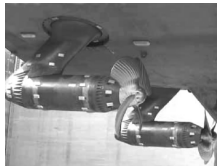
电力推进系统的原动机一般采用船用中速柴油机，中速柴油机体积小、重量轻，布置灵活；还可以采取措施将柴油发电机组安装在弹性基座上，对柴油发电机组的振动进行有效隔离，从而减小了柴油发电机组传到船体以至水下的噪声。

近几年我国新造的几艘科学考察船成功地应用了综合电力推进技术，且在业界反响不错，目前综合电力推进技术已成为科学考察船舶动力技术发展的主流趋势之一。

2.3 几种电力推进装置的对比

电力推进系统也有几种推进型式，有类似于常规推进的推进电动机驱动轴系和螺旋桨的轴桨推进，还有 Z 型全回转舵桨以及吊舱式全回转舵桨，其比较如表 3 所示。

表 3 三种电力推进型式对比

推进型式	轴桨电力推进	机械式全回转舵桨	吊舱式舵桨
有无轴系	有轴系及高弹联轴节，需要进行严格轴系校中	有短的传动轴及高弹联轴节，安装时需进行校中	无轴系，无需校中等。
动力定位	需艏侧推配合实现动力定位	舵桨可 360° 旋转，有利于动力定位	舵桨可 360° 旋转，有利于动力定位
电机位置	舱内布置，通过直线轴系驱动螺旋桨	舱内布置，靠近舵桨	水下布置
功率传递	等同于常规主机驱动	有高速旋转的伞齿，损耗稍高	电机直接驱动螺旋桨轴，传递功率损耗低
占用空间	有电机和长轴系，占用较大空间	舱内需要布置电机，占用一定空间	无轴系，推进电机布置在水下，节省空间
工厂安装	轴系安装等同于常规柴油机推进，下水前安装完毕	舵桨及推进电机单独进舱，可视情况下水后码头安装	舵桨单独进舱，可视情况下水后码头安装
振动噪声	低	稍高	低
初投资	低	中	高
维护成本	低	中	高
图示			

3 减振降噪

科学考察船对振动和噪声的要求较高，为了改善科学考察船船载声学测量仪器工作环境，减低船舶自身噪音对船载声学仪器测量结果的影响，提高

声学设备探测质量，科学考察船一般需要对动力装置采取必要的减振降噪措施，保证科学探测仪器的测量精度等。

(下转第 13 页)

告的内容总结与优化；②疲劳寿命的分析；③各监测项目的相关性分析；④环境因素与结构状态关系的分析；⑤报警阈值的修正和系统有关参数的优化；⑥柴油机整体健康状态描述及养护建议的补充等。

4 结 语

本文提出了船舶柴油机健康状态的评价指标—健康度的概念，通过层次分析法构造了柴油机系统的评估模型，结合可量化数据的无量纲化和专家系统的直接评分分析了健康度的计算，实现了柴油机健康状态的在线综合评估。同时也为柴油机的养护提供了即时的健康状态信息，及早发现灾难性破坏隐患，以便及时采取有效的措施。

(上接第 4 页)

某科考船采取了诸如电站柴油机双层隔振安装、机械设备弹性安装、机械处所围壁敷阻尼材料、机械和空调系统隔音降噪等措施，实船效果比较理想。试航时测得振动数据为：机舱柴油发电机组处所的振动为 $0.6\text{ (mm}\cdot\text{s}^{-1})$ ，机舱控制室的振动为 $0.9\text{ (mm}\cdot\text{s}^{-1})$ ，大大小于 CCS 船级社规范要求达到的标准；居住舱室的振动大部分仅为 $0.2\sim 0.6\text{ (mm}\cdot\text{s}^{-1})$ 左右，比 CCS 船级社规范要求的客船指标低一个数量级。且在全速航行 15 节时船长室的噪声为 41 dB(A)，达到 CCS 船级社规范所要求的客船乘客高级舱室的最高要求。

4 总 结

本文结合实船案例对科学考察船的电力推进系

参考文献

[1] 赵伟. 船舶柴油机监测与故障诊断技术研究[D]. 大连:大连海事大学. 2006.

[2] 张小明,刘健敏,乔新勇,等. 柴油机健康状况评估及其方法[J]. 装甲兵工程学院学报,2008,22(2):30-34.

[3] 许树柏. 层析分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.

[4] 16PA6STC 柴油机故障诊断和排除方法[R]. 2010.

[5] 曹束,周根贵,张定岳. 一种基于 AHP 和模糊理论的多方案综合评判方法[J]. 浙江工业大学学报,2003,31(4):355-359.

[6] 朱孔来. 评价指标的非线性无量纲模糊处理方法[J]. 系统工程,1996,14(6):58-62.

统进行了介绍，并结合实船分析了科考船应用电力推进动力系统配置后的振动及噪声情况。分析表明，采用电力推进动力系统的我国新一代科学考察船具有经济、环保、操纵性好、符合科学考察作业功能的要求。电力推进正逐渐成为我国科学考察船推进系统的发展方向。

参考文献

[1] 俞文胜. 船舶电力推进未来发展方向[J]. 世界海运, 2007(3).

[2] 亢晓勇. 现代船舶电力推进系统的发展研究[J]. 中国水运,2009(1).

[3] 708 研究所. “科学号”“海洋六号”船舶全船说明书[R].