

# 全电力推进舰船的电力系统评估指标体系研究

陈新刚 硕士/工程师 海军装备论证研究中心舰船所[100073]

冀路明 工程师 海军装备论证研究中心舰船所[100073]

徐彬 硕士/工程师 海军装备论证研究中心舰船所[100073]

**摘要** 简要分析了全电力推进系统的特点,在此基础上提出一套能够定量分析全电力推进系统的评估指标体系,举例对这一指标体系进行了定义及定量分析,并对评估指标的隶属度函数及其权重进行了初步探讨。

**关键词** 电力推进 评估指标

**中图分类号** U664.14

## 0 概述

随着电力电子技术、微电子技术和现代电机及其控制理论的迅速发展,交流调速技术逐渐成熟起来,具备了宽调速范围、高稳态精度、快速动态反应等先进技术,电力推进在二十世纪八十年代后期有了长足的发展,应用领域越来越广泛。舰船采用全电力推进系统在总体性能、推进效率等方面得到显著提高,其优势越来越突出。美、英等发达国家竞相斥巨资研制电力推进的新一代主战舰船,并取得了重大进展,舰船采用全电力推进已成为舰船动力发展的趋势。

传统意义上的电力系统评估工作,主要在发电、配电部分,负载并不作为研究的重点;同时在推进系统的评估中又基本不涉及电力系统部分。全电力推进系统实现了船、机、电一体化,面对这一全新的推进系统,如何突破系统中的关键技术(总体技术、调速控制技术、供电技术等),设计、生产高品质的关键部件(高压断路器、变频器、永磁电机等)无疑是亟待解决的问题,但要对此系统进行总体优化配置和有效性全面论证,则建立全电力推进系统的评估指标体系将是一迫切的任务。

## 1 全电力推进系统评估体系的建立

对于舰船总体、动力、电力系统评估而言,常用的评估方法有系统分析法、逻辑分析法、灰色评估法、模糊综合评判法、层次分析法等。层次分析法是一种结合定性和定量分析的方法。该方法具有思路清晰、方便简洁、适用面广、系统性强等特点因而得到了广泛的应用,本文的指标体系将建立在此方法的基础上。

层次分析法根据所论证研究问题的性质以及研究最终所要达到的目标,把研究对象分解成不同的组成元素,并按各元素之间的隶属关系或相互平行关系分组,形成一个不相交的层次,即递阶层次结构。

递阶层次模型的建立是综合评估的前提和基础。同时递阶层次结构模型的建立又是一项颇具创造性的复杂工作,模型构建得是否合理和完善,将直接影响全电力推进系统方案评估决策结果。如果所建模型过于简单,则评估结果的置信度降低;过于复杂,则可能导致综合评估工作无法完成。

建立评估对象递阶层次结构模型的基本方法是:以全电力推进系统总体性能为最高目标,通过广泛的调查研究,掌握评估的范围、目标、包含的元素以及各元素之间的相互关系,然后将各个元素按照它们的性质集成组,并萃取它们的共性看成系统中更高一层次元素,这些元素又按照一些特性组合,从而形成更高层次的元素,依次进行,直至最终形成单一的最高目标,即所要评估决策问题的总目标。

在各种国家标准、军用标准、部级标准和规范中,涉及到舰船总体、动力、电力系统的指标约三百多个。显然在建立动力装置评估体系模型时不可能全部选作评估指标的;另外在舰船方案初步论证阶段,动力、电力系统有些指标引起的舰船总体性能差异,在不同的方案间并不能明显反映出来。因而,在建立全电力推进评估体系模型时有必要对相关指标进行筛选,使建立的模型能够全面、合理地反映动力装置的特点,同时尽量简单方便、易操作。一般地,模型应具有以下的特点:

① 全面通用性,即所建立的模型应全面地反映

不同舰船动力、电力系统的战术技术性能。

② 规范性,即模型中的每一个元素指标应有明确的定义和统一的度量方法。

③ 可比性,即所有的指标数据必须能够在一定的准确程度上表达出来,同一层次中的指标应具有可比性。

本文提出的全电力推进系统的评估指标如表 1 所示

表 1 全电力推进评估指标

战 术 技 术 性 能	机 动 性	启动时间
		变工况机动性
		制航机动性
	航    速	全速
		巡航速
	可靠性及 维修性	有效度
		平均修复时间
		平均故障间隔时间
	生命力	抗冲击性
		抗破损性
	隐身性	红外探测性
		水声探测性
	电站性能	电站容量
		过载能力
供电品质	调压性能	
	调速性能	
保护能力	故障监测点设置	
	断路器分断能力	
巡航续航力		
经 济 性 能	初建费用	论证设计费
		建造费
	使用维修费	运行费
		维修费
其 它 技 术 指 标	重    量	
	尺    寸	面积比
		容积比
		进排气道占甲板面积
	操纵性能	
	电磁兼容性	
风险分析		

该指标评估体系基本上能够全面反映舰船全电力推进的总体性能。

## 2 评估指标的定义及定量

表 1 共列出了 30 个全电力推进的具体指标,限于篇幅不一一对其进行定性及定量分析,现以舰船的机动性、经济性为例,对其进行定义及定量分析。

### 2.1 启动时间

舰船全电力推进系统的机动性能也称工况过渡

性,是各种舰船的一个重要战技指标,在舰船排水量和舰型确定的情况下,对舰船的机动性能起着决定性的作用。它表明全电力推进系统从一个工况转变到另一个工况的过渡能力,即主机组和操纵系统最适合的方法,如启动、加速、制动等有效措施来达到工况转换,然后再稳定在指定工况的能力,这直接影响到舰船本身的回转、拖曳、离靠码头和回避紧急事故的能力。因此舰船全电力推进系统机动性对舰船加速、制航能力影响很大,直接关系到能否有效地打击敌人,保护自己。对舰船全电力推进系统的机动性能进行定量计算比较复杂,目前一般利用仿真技术来定量分析,通过仿真可以模拟舰船全电力推进系统和船体的运动规律,具有安全、准确及经济等优点,国外海军十分注重运用仿真技术进行机动性的分析和研究,如英、美、法等国已经在这方面开展了深入的工作,我国也已逐渐开展研究工作,已取得一定成果。

启动时间是指舰船全电力推进系统由静止状态变为运转状态的最短时间,包括启动前的准备、暖机备车及带负荷三个过程。对于不同的系统,其启动时间相差很大。根据国家军用标准规定:燃气轮机从冷态起动到发出设计全功率的时间应不超过 10 分钟;柴油机从冷态起动到发出持续功率的时间应不超过 20 分钟。全电力推进的启动时间应基本与其电站选用的机型一致。

### 2.2 变工况机动性

变工况机动性一般是指舰船从最低航速到全速的加速时间和航行距离,有时也采用从最低航速到一定百分比全速的加速时间和航行距离。如对某船全电力推进系统的试验结果:加速时间为 29 秒,航行距离约 340 米。

### 2.3 制航机动性

制航工况机动性是指舰船从最大航速减速到停航的惯性停船时间和最短滑行距离。这二个指标值的变化也较大,停船时间一般限值为 1 分钟以内,滑行距离一般在 2.5~4 倍舰长之间。

### 2.4 论证设计费、建造费、运行费、维修费

舰船全电力推进系统的经济性指标一般可按全寿命费用的概念分成论证设计费、建造费、运行费、维修费。这几项费用指标在初步论证设计阶段比较难以准确确定,一般可以通过与方案相似的舰船的实际费用比较加以估算。

在全电力推进系统的运行费用中,原动机的耗油量是一很重要的影响指标,表 2 列举了几型燃气轮机、柴油机的各相关性能指标。

表 2 几型原动机相关性能指标

型 号	额定功率 (kW)	额定转速 (r/min)	重量 (kg)	外形尺寸 (mm)	燃油耗率 (g/kW·h)
LM2500	20220	3600	20650	8076×2640×2440	250
GT25000	19410	3270	21000	8090×2450×4000	272
16PA6VSTC	5180	1050	3000	6133×2197×3440	216
MTU20V956TB92	3990	1455	16280	4780×1600×2860	222
MAN16V28/32A	3920	775	37000	6580×2015×3032	194

### 3 评估指标隶属函数的确定

舰船全电力推进系统评估指标一般能确定常规的取值范围,也即是人们在经过大量的实践后所公认的较为合理的取值区间。然而这些区间并不具有非常严格与明确的取值边界,为一模糊集合。此外,当进行方案论证或综合评估方案的某一性能是否良好,对其是否满意时,所用到的“良好”、“满意”等也都是模糊概念,具有模糊性,所以各方案中性能指标的满意度,应采用模糊数学的方法来确定各性能指标的隶属函数。

确定隶属函数的方法较多,根据不同的对象采用的方法也会不同。比较通用的方法是采用专家评分法获得所需的数据,再通过曲线拟合来确定函数表达式,这虽然带有一定的主观性,却反映了大量的经验积累。其它常用的方法还有模糊统计法、三分法、二元对比排序法、模糊分布法。

在许多实际应用中,也可采用请有实际工作经验的人员评分的方法直接给出所研究系统某些评估因素对各评价等级的隶属度,并在应用过程中不断加以修改调整。

对于全电力推进系统每一项评估指标,在给出了各指标的取值区间后,依据以上理论和方法,并参考有关文献可确定评估指标的隶属函数。

通过分析可以知道,评估指标的隶属函数一般可分成三种型式:升型指标、降型指标和中间型指标,即指标的隶属度(或满意度)分别随指标值单调增加、单调下降或先增后降,如图 1 所示。

图中,曲线 I 表示升型指标,曲线 II 表示降型指标,曲线 III 表示中间型指标。

### 4 评估指标的权重计算

评估指标的权重是指在指标评估体系中底层指标对决策问题总目标的影响或决策中相对重要程度的一种主观评价和客观标准的定量表示。指标的权重是综合评估中非常重要的参数,它具有两重性,并

不是安全客观的量,有一定的主观成分,受到评判者所处的地位、看问题的角度、对问题的价值取向的影响。

目前,计算权重的方法很多,常用的有二项系数法、层次分析法(AHP)、德尔菲法(又称专家咨询

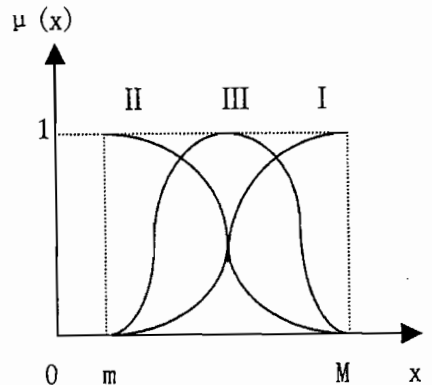


图 1 隶属函数分布图

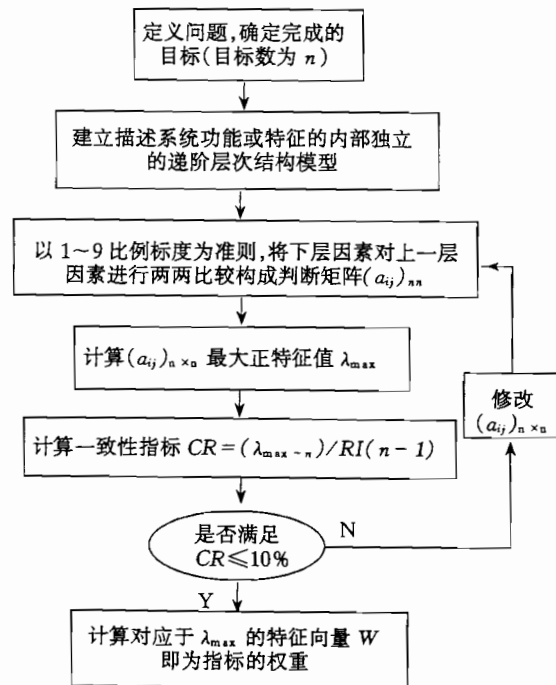


图 2 AHP 法计算指标权重流程图

模糊、灰色、物元评价法等,其共同的特点是以专家评分为基础。其中应用最广的是美国匹兹堡大学教授 T. L. Saaty 70 年代中期提出的层次分析法 (Analytic Hierarchy Process 简称 AHP 法)。该方法是一种将定性和定量分析相结合的系统分析方法,是分析多目标、多准则复杂大系统的有力工具,具有思路清晰、方法简便、适用面广、系统性强等特点。

AHP 法中计算指标权重的流程如图 2 所示。

## 5 结束语

本文通过舰船全电力推进系统的特点分析,基于层次分析法提出了一套能够定量分析全电力推进系统的评估指标体系,举例对这一指标体系进行了定义及定量分析,并对评估指标的隶属度函数及其权重进行了初步探讨,应用本系统可对全电力推进系统进行定量分析。

# Study on Assessment Factors of Propulsion System of Fully-electric Ship

—by Chen Xingang, Ji Luming and Xu Bin

**Abstract** Features of propulsion system of fully-electric ship are analyzed, and based on the analysis, a group of assessment factors which can be used to quantitatively analyze the system of this kind is proposed. The group of assessment factors is defined and analyzed quantitatively by an example. And subordinate degree and weight values of the group of assessment factors are discussed tentatively.

**Key words:** Fully electric propulsion Assessment factor

## 中国造船工程学会科技咨询工作委员会

新一届科技咨询工作委员会(下称咨委会)2001 年 9 月在南京成立。咨委会由中国造船工程学会主要支持部门以及所属各专业学术委员会、学术活动中心、期刊编辑部和各省(区)、市造船工程学会推荐的 40 名专家组成。

咨委会是学会理事会领导下的工作委员会,是代表学会组织和开展科技咨询工作的工作机构,咨委会接受常务理事会的监督和检查。挂靠在中国船级社,办公地点设在中国船级社总部。

**1. 宗旨:**调动和发挥广大会员以及船舶与海事界专家的才智和潜力,遵守国家及有关部门制订的关于开展咨询工作的路线、方针和政策,为政府、各相关行业和企事业单位提供有偿咨询服务,不以营利为目的,促进国民经济发展。

### 2. 主要任务

- 1) 制订学会科技咨询工作规划;
- 2) 对船舶及海洋工程设施的发展战略、规划、方针政策提供咨询意见;
- 3) 接受委托,组织科技项目的论证、鉴定和技术评审等工作;
- 4) 开展继续教育,举办培训班、讲习班;
- 5) 推广新船型、新产品、新材料、新技术、新工艺;
- 6) 创办并管理所属的科技咨询实体;
- 7) 组织承办编辑、出版相关出版物的有关工作;
- 8) 组织国际合作和开展展览市场;
- 9) 其他。

### 3. 组织机构

1) 主任委员:黄平涛(全国政协委员、中国造船工程学会常务副理事长、中国船舶重工集团原总经理、教授级高工)

2) 副主任委员:陈映秋(中国船级社副总工程师、教授)

郑明(海军装备技术部原部长、海军少将)

陈洪生(中国远洋运输集团公司副总裁、高级经济师)

3) 秘书长:程天柱(学会常务副秘书长、教授级高工)

4) 咨委会设办公室,办公室在秘书长领导下,负责处理日常工作。