

# 上海海运学院

硕士学位论文

船舶状态评估标准与计算机评估系统实现

专业：轮机工程

研究方向：现代船舶管理

研究生：董建华

导师：郑士君

2004年5月

## 摘 要

在航运企业中,为加大船舶管理力度,以提升对船舶安全工作的控制力度,确保所管理的船舶始终处于良好的技术状态与提高船舶营运率,对营运船舶实施状态考核评估。传统的方法是采用百分制对船舶设备及船体结构状态进行打分,这种考核评估方法对促进船舶管理起到了一定的积极作用,但同时也要考虑到在船舶状态评估中,有多数指标是定性的,即使有少量定量指标,对同类船舶来说,评判其管理水平的好与差,与船舶实际技术状态也不具有公正性与科学性,其评价结果有些与船舶实际状况相差较大,导致评估结果的失真。为打破目前船舶状态评估仅仅停留在定性描述和人为主观评定这一层面,本文针对船舶运行状态定量化评估问题作一个探索性的尝试,并设计开发了一套船舶状态评估计算机辅助系统。

本文对船舶设备、船体结构产生故障、缺陷的机理进行分析,从而对把握船舶当前运行状态,对其进行运行状态评价研究提供理论依据。并对当前最新设备状态识别技术作出简单介绍。

本着科学性、实用性、可操作性与激励性四项基本原则,依据我国航运公司营运船舶状态现状,通过对国际海事公约、法规规定,PSC检查船舶适航性要求与近年海损事故调查、分析、研究,并结合航运公司对船舶管理要求与资深船员、专家等管理经验,为船舶状态评估制定了较为科学、客观的评估指标体系与评估标准。

本文首次提出采用层次分析法(AHP)与模糊综合评价法(FCE)相结合的方法对船舶当前状态实施综合评估,这样使综合评估结果更具真实性、科学性。由于对船舶实施状态评估时,评估人员很难对船舶设备、船体结构作出准确的描述,即应用的评语多是优秀、良好、一般、差等,具有很大的模糊性,而船舶状态评估指标体系的建立又具有层次性。所以采用层次分析法与模糊综合评价理论相结合的方法对船舶状态综合评价更为科学、有效。

在船舶状态综合评估模型基础上,运用面向对象和面向组件的设计思想,对船舶状态评估系统进行软件设计开发,系统设计语言采用统一模型语言(UML),进行可视化系统模块构造。利用C/S数据结构平台,采用面向对象的编程模式与Power Builder8.0编程语言,开发了Windows图形界面风格的船舶状态评估计算机辅助系统。

**关键词:** 船舶管理, 状态评估, 状态识别, 层次分析法, 模糊评价

## ABSTRACT

There are some shipping companies, to boost the ship management power, improve the control power of ship safely navigating, assure the managed ship in good work conditions and increase ships working efficiency, which take lots of methods to evaluate ship working conditions. It is one of traditional methods that marking the conditions of the ship's main equipments and structures by percentage. Although the method brings into some play in improving the ship management, its appraising results always does not reflect the actual working conditions. Because there are many qualitative parameters in the ship conditions evaluation procedure, even some parameters is quantitative but to the same type ships say, it is very difficult to judge the ship management level and identify the ship actual technological conditions scientifically and rightly in the method. To break through the present situation that it is only sticking at qualitative description and subjective assessment, the author has attempted to find a new way to resolve how to quantitative the ship working conditions, at last, the author designed and developed the ship conditions assessment computer assistant system.

In the article, the author analyzed the mechanism of faults that induces ships' equipments and structure out of the way. Consequently it offered some academic proofs for identifying and assessing the ship's working conditions. The author also simply introduced some the newest equipments conditions identify technologies.

Based on four principles of science, practicality, maneuverability and inspiritment, the author established the more scientific and impersonal ship conditions assessment guideline system and criteria. It is the compositive production of the investigation of the current situations of shipping, the research and analysis of the international maritime pacts, codes, the requirements of Port State Control (PSC), the statistics of recent averages and the senior seamen and experts' management experiences.

The author first brought forward the integration of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) to assess synthetically the ship working conditions in the article. The result of the assessment by this way was

more real and scientific. When the estimators assessed the ship working conditions, the remarks always were fussy, for example excellent, good, normal, bad and so on. It was very difficult to exactly express the ship conditions. And the establishing of the ship conditions assessment guideline system is hiberarchy. Therefore this method is more efficacious and scientific.

On the basis of the assessment model, using unified model language (UML), we designed the ship conditions assessment system. By adopted object oriented and component based design theory, using C/S data frame and Power Builder 8.0 program language, We finally developed the ship conditions assessment computer assistant system with the style of Windows graphics interface.

Dong Jianhua (Marine Engineering)

Directed by Zheng Shijun.

**KEYWORDS :** ship management, conditions assessment, equipment conditions identification, AHP, FCE

## 目 录

第一章 船舶状态评估综述	1
1.1 国内外研究动态和水平	1
1.2 船舶状态评估研究价值	4
1.3 本文主要研究内容	9
第二章 船舶设备技术状态识别与检测技术	10
2.1 设备故障和故障特征	10
2.2 设备状态识别的概念和内容	12
2.3 状态识别与检测的基本思路	13
2.4 实施状态检测的数学理论	14
2.5 设备状态的检测方法	15
第三章 船舶状态评估基本理论与评估指标确定	18
3.1 评估的一般概念	18
3.2 评估的步骤与内容	19
3.3 船舶状态评估指标的确定	20
第四章 船舶状态评估标准的建立	28
4.1 评估标准	28
4.2 船舶主要设备评估标准的确定	30
第五章 船舶状态综合评估模型	41
5.1 船舶状态评估方法的选择	41
5.2 定性和定量相结合的方法	42
5.3 计算指标权重系数的数据模型——层次分析法 (AHP)	43
5.4 模糊综合评价 (FCE) 的数学模型	47
5.5 层次模糊综合评估模型应用实例	50
第六章 船舶状态评估计算机辅助系统设计与实现	54
6.1 计算机评估系统功能	54
6.2 系统分析	55
6.3 系统设计	56
6.4 系统实现	61
第七章 结论与展望	65

7.1 结论	65
7.2 展望	65
致谢	67
参考文献	68

# 第一章 船舶状态评估综述

随着经济全球化进程的加速,船舶运输在国际贸易往来中的作用越来越重要,船舶的数量与吨位都在快速增加,航行船舶的类型更趋于复杂化,但由于船舶船龄不同,船体结构及船舶设备各异,船舶的安全性能倍受人们的关注。特别进入 21 世纪以来,船舶老龄化日益严重(在国内船舶老龄化问题显得尤为突出),使得船体结构强度下降,抗风浪能力降低,船舶设备工作可靠性下降,故障率增加。据交通事故统计显示:主机、舵机、副机、供电失灵是船舶失控造成碰撞的主要原因,船体破损、导航设备故障、主机、舵机故障是搁浅/触礁海损事故的原因。众多的船舶船体破损及机械故障等因素导致的海损事故给生命财产带来了巨大的损失,给环境带来灾难性的污染。特别是近几年海上连续出现了多起重大的海损事故,更加引起人们对船体结构状况与船舶机电设备安全工作状态的重视,各港口国的主管当局对进入其港口船舶的结构与设备安全心存疑虑,纷纷加强对进入其港口的船舶进行检查,加大了港口国检查(Port State Control, 简称 PSC)检查力度。被进行 PSC 检查的船舶若在检验中一旦发现缺陷产生滞留,其对经营公司所造成的直接或间接的损失是相当巨大。针对这些情况,船舶管理公司采取一系列措施,包括对其所管理船舶的状态进行综合评估,掌握船舶当前运行状态,加大船舶管理力度,以提升对船舶安全工作的控制力,减少或避免 PSC 检查产生缺陷,确保所管辖的船舶始终处于良好的技术状态与航行安全。但是如何才能对船舶当前所处状态做出准确、科学的评估?是当前实施船舶状态评估的一个难题。过去在此方面多以主观定性评估为主,很难对其做出定量客观的评定。对船舶状态评估是一个相当复杂的问题,因为船舶状态评估是一个庞大的系统工程,影响其技术状态的因素也是相当的多,包括船龄、船体结构、机电设备、应急消防设备、船舶通信导航设备等诸多方面。对这些因素的评估也没有一个概念明确清晰的标准作为依据,存在一定的模糊性;而这些因素又相互影响,相互作用,具有一定的层次性。因此可对船舶技术状态采用层次模糊综合评估,评定的结果可以较为准确的反映船舶当前所处的技术状态。

## 1.1 国内外研究动态和水平<sup>[1-8, 10, 41]</sup>

### 1.1.1 国外研究动态

国外其它行业的设备状态监测与评估技术起步的较早,已建立了较为完善的设备

状态评估体系。如美国向来注重质量管理标准的建立,强调以军标来统一和规范各项工作。在1988年,美国防部就签署指令发布了《美国国防部全面质量管理总计划》,并在全军推行全面质量管理体系。如制定了《海军常规装备维修质量评估政策指令》,该指令指出为提高军用装备的战备完好性,定期对军用装备的状态全面评估,并依据评估结果制定维修计划,并强调在进行质量评估时,应重点考虑装备的安全性、可靠性和可用性。

而对于船舶运行状态的评估国外一些船级社较早就进行了探索性研究,并制定了相关的船舶设备状态评估标准与程序,对申请船舶状态评估的船舶实施状态评估检验。如德国劳氏船级社实施的船舶状态评估程序,它是不同于船级检验的一种专业技术服务程序,实施船舶状态评估程序的目的就是要在规定的时间内对申请船舶进行调研、检验,通过对申请船舶实施船体结构、船舶机械与电气设备实际技术状态检测,并对船舶实际运行状态做出综合评估,若船舶状态存在安全隐患,还要对防护措施做出具体安排。德国劳氏船级社状态评估检验是以最新版本的德国劳氏船级社《船舶入级建造规范》的规定作为状态评估标准,状态评估的程序分为状态评估检验与状态评估分析两个部分,对船体以及船舶主要机电设备利用先进的监测技术对装置运行参数记录、审核,并对评估的结果进行评定、分析,对船舶的当前状态做出较为客观的评估,并颁发相应船舶状态评估程序证书。对船舶总的状态评定采用等级制进行划分:甲级:优秀状态;乙级:良好状态;丙级:合格状态;丁级:不合格状态。这样有利于船东对船舶技术状况的把握,并对船舶设备的安全、可靠运行提供保障。日本NK船级社也制定了与此相类似的船舶设备状态评估程序。

### 1.1.2 国内研究动态

目前,国内各行业对设备状态评估研究的差异很大,总的来说,火电厂、汽车和航空领域比较重视,已有较为完整的技术标准和评估体系,且在状态评估理论、评估方法和评估专家系统的研建等方面都有较为深入的研究。航空领域目前已有适应空军部队设备维护工作的国家军用标准GJBZ20022 94《航空机务工作质量综合评判方法》。汽车行业也已制定有较为完善的部标QC/T900-1997《汽车整车产品质量检验评定办法》。

国内几大电厂联合一些科研机构共同开发实施的点检与状态检修工程(818工程)是比较完整的电力设备状态监测与评估系统工程。它是由北京国电拓必拓科技开发中心与东南大学振动控制与信息系统研究所合作,联合全国几大电力研究所共同开发实施的一项电厂点检与状态检修系统工程。该系统对电厂全部被监测设备的振动、温度、油液分析、红外热像分析、电机监测、泄漏监测等状态参数进行集中管理,对设备进

行状态判断、故障诊断，也为状态检修提供较为科学的决策依据。

相对而言，船舶运行状态检测与评定的研究就相对较弱。中国船级社CCS虽制定《钢质船舶建造规范》与《船舶入级规范》作为船体与船舶设备状态入级检验依据，但仅仅是对新造船舶船体及机电设备作了规定，对营运中船舶的船体与船舶机电设备运行状态的评估并未制定出指导性文件，还没有形成完整的评估技术标准和评估体系。我国的航运公司或港口监督部门在对船舶运行状态实施评估时，基本上是以发生海损事故的艘数来统计，并没有考虑到船舶故障或缺陷对船舶运行状态的影响，而且基本上也是以定性评估为主，采用逐项赋值积分法和单项定性加权计分等评估方法。

#### ① 逐项赋值积分评估法

该方法是系统地设计评估检测表，不使重要项目遗漏，对每项检查内容由专家按其重要程度讨论赋予一定的分数值。评估时单项检查完全合格给予满分，部分合格者按规定标准给分，完全不合格记零分，逐条逐项评分，最后累计所有各项得分，得到系统评估的总分，根据实际总得分按规定标准来确定被评估船舶系统的状态等级。

#### ② 单项定性加权计分法

该方法是将状态评估检验表中每个项目赋予“优、良、中、差”定性等级，并赋予相应的权重系数，累计求和后得到实际评估值，即：

$$Q = \sum_{i=1}^n P_i C_i \quad (1-1)$$

式中：  $Q$  ——实际评估值；  
 $P$  ——评估等级的权重系数；  
 $C_i$  ——取得某一评估等级的项数和；  
 $n$  ——评估等级数。

此外，船舶安全检查也是运行状态评估的一种方法，只不过它是就船舶本航次的船舶技术状态进行事前的评估。但现行的检查方法存在着若干缺陷，由于船舶设备种类繁多，船舶在港时间较短及对设备检测的方式方法上的困难，使得大部分检查内容仅集中在消防、救生等项目上，从而遗漏了许多与船舶运行状态直接相关的项目（如船体、动力装置、锅炉、操舵装置、系缆装置等），检查人员由此得出的结论显然具有片面性。同时安全检查制度本身过分体现人为因素，处理意见也不甚明确，使得船舶管理人员很难明确船舶的运行状态究竟处在哪个级别，从而脱离了客观评估的主题。

总之，当前对船舶运行状态检测与评估体系及评估方法的研究还很不完善，而现行定性方法并没有完整、准确反映船舶安全的真实状况，存在一定局限性，在多数情

况下评估结果是粗略的,受评估者的主观因素影响大,同时它只能突出主要因素,忽略了许多次要因素,特别是忽略了不能用精确数学表达的模糊因素,损失了许多有用信息,尤其对于影响因素多且各种因素交织时,难以得出准确的评估结果。所以应建立科学、客观的船舶评估标准,并采用定量和定性相结合的方法来对船舶状态进行客观评估。

## 1.2 船舶状态评估研究价值<sup>[9, 11~13, 33, 36, 43]</sup>

通过对船舶运行状态的综合评估,调查了解公司所属船舶主要设备、船体结构的技术状况,有针对性、预防性的解决船舶所存在的问题,以提高船舶设备的完好率,确保船舶航行的安全性,降低海损率。根据船舶状态综合评估的结果对船舶划分评定等级,为公司决策层提供有力的决策依据,也为船舶的租赁、买卖,船舶间公司的并购等提供重要的参考依据。同时通过对船舶设备与船体结构状态的评估,为船舶主要设备和船体实施状态维护管理提供可靠依据。

### 1.2.1 提高船舶航行的安全性,降低海损率

近几年海上连续出现几次大的海损事故,在国际海事界影响很大,船舶航行的安全性再次引起人们的重视,也促使港口国采取了相应的严厉措施,加大了PSC检查力度。下面对这几起海难作简要的回顾:

1999年12月12日,RINA船级社34000载重吨的油轮“ERIKA”(1975年日本建造)装载31000吨燃油,在法国比斯开湾海岸的航行途中遭遇到恶劣天气,第3艙货油舱右舷纵向舱壁破裂,货油流入相邻的右舷压载空舱,使船舶逐渐产生了右倾。尽管船长及时发现情况并采取了驳油和排压载水等减小横倾的补救措施,但因为海况非常恶劣,船舶在剧烈的摇摆中位于第2和3货油舱及第3右舷压载舱之间的主甲板和右舷船壳板被严重挤压皱折变形,并被撕裂,这进一步加剧了该轮向右倾斜。在巨浪中“ERIKA”艰难地持续了20小时后,随着船体开裂的范围不断扩大,该轮已没有办法自救,最终彻底折断沉没。沉船后大量溢出的货油使长达数百海里的法国海岸线遭到前所未有的严重污染。

2000年3月23日,一艘满载50000吨盐、PRS级的PANAMA型散货船“LEADER L”(1977年日本建造)在距加拿大海岸500海里的水域,在未遭遇恶劣天气的情况下,船体突然开裂,船舶在很快的时间内便折断沉没,导致32名船员中有19人失踪,并造成了巨大的经济损失。

对近几次的重大海难事故原因调查表明,主要有以下原因:船体结构老化且受到

严重腐蚀，从而造成强度不足，大大降低船体结构的可靠性，航行中遭遇恶劣海况容易发生海难；船舶机械设备故障所引发的海难事故。而若对船舶运行状态进行准确、科学、客观的评估，评判其所处的状态等级，提早解决船舶状态评估中所遇到的问题，就能够避免海损的发生。

所以通过对船舶状态的评估，船上的设备管理人员可以依据船舶状态评估的结果，对船舶设备进行维护管理，从而做到有的放矢，使船舶设备始终保持在良好的运行状态，提高船舶安全性，最大限度的减少或避免在PSC检查中产生缺陷，导致滞留，从而降低船舶海损率。

### 1.2.2 为公司决策者提供有力的决策依据，增加经济效益与竞争力

随着国际经济形势的风云变幻，国际航运业也是时起彼伏，航运市场形势不甚明朗，市场竞争也是日趋激烈。为增强航运企业的竞争力，各航运公司一直在积极探索解决问题的方法。如适时做出买卖船舶，造船及租船决策；寻找新的航运经营模式；开辟环球航线；公司之间组成新的班轮工会，运输联盟，进行重组、兼并、收购等等。国际航运公司重组联合的进程在最近几年加快，联盟体成员也在不断发生变化，并以1999年12月马士基（Maersk）兼并海陆（Sealand）的国际班轮业务达到高潮。表1-1和表1-2为1995年以来的国际班轮业联盟及其联盟体成员：

表1-1 第一代国际班轮战略联盟体及其成员

第一代联盟体	全球联盟	伟大联盟	马士基/海陆	韩进/三洲集团
成员	美国总统，大阪商船三井，东方海外，马来国际，渣华	赫帕格劳埃德，日本邮船，东方海皇，铁行航运	马士基，海陆	朝阳，德国胜利/联合阿拉伯，韩进
船舶数量	65	72	109	72
总运力（TEUS）	209645	255705	281421	199404

表1-2 第二代国际班轮战略联盟体及其成员

第二代联盟体	新世界联盟	伟大联盟	马士基/海陆	统一航运联盟
成员	东方海外/美国总统，大阪商船三井，现代商船	赫帕格劳埃德，东方海皇，铁行渣华	马士基，海陆	朝阳，德国胜利/联合阿拉伯，韩进
船舶数量	90	93	167	85
总运力（TEUS）	325487	350197	438089	277000

国际班轮业上述经济行为的最终目的就是为了寻求公司规模经济优势,降低营运成本,使公司利润最大化,增加自身的竞争力。而这些公司在相互兼并、重组、联盟、收购、船舶租赁时,船队就是他们最重要的筹码,在采取这些经营措施前都要对船舶进行整体综合评估以做出下一步裁决。否则,就会做出盲目的裁决将会使公司遭受巨大的经济损失。

同时,通过对船舶主要设备实施客观、科学的状态评估,船舶管理公司也可对所管辖船舶当前的运行工况做出客观的评定,从而为船舶的营运管理,修理航线的优化提供有力的技术支持。

### 1.2.3 为船舶实施状态监测下的维护管理提供决策依据

#### 1.2.3.1 以可靠性为中心的设备维修

以可靠性为中心的维修(Reliability-Centered Maintenance, 简写:RCM)的定义是:制定设备预防维修大纲的一种逻辑规则,它能以最低的费用实现复杂的固有可靠性水平。RCM采用分析的方法,确定为保持设备固有安全性可靠性所必须的维修工作量及各项维修任务的最佳安排,同时做到寿命周期费用最低。RCM是以充分利用设备固有可靠性为着眼点,通过科学的分析,有针对性地确定复杂装置的各项预防维修工作(包括维修保养、检查等)的一套原则和方法。它可在保证设备安全可靠的前提下节约费用,提高设备的利用率,节约费用是RCM目的。

#### (1) RCM基本观点

① 设备的可靠性是由设备设计决定的,维修工作只能保持或恢复这种固有可靠性,而不能提高这种可靠性;

② 必须根据设备的固有可靠性,而不应完全根据使用时间来确定应做的预防维修工作内容;

③ 强调应在科学分析的基础上,只作为保持或恢复设备固有可靠性所必需的维修工作,避免做多余的和无效的工作;

④ 在维修方式上,不是单纯采用定时(期)方式,而是采用定时方式,视情方式和状态监控方式三者并用。

#### (2) RCM的具体方法

实行以可靠性为中心的维修,核心工作是编好维修大纲。编制以可靠性为中心的维修大纲,一般按以下程序及方法进行:

#### ① 确定重点维修项目。

首先应确定设备中的哪些项目属于主要项目。项目重要与否不是凭经验或直观来判断,而是根据该项目发生故障后产生的后果来确定。凡是对设备整体有安全性、使

用性以及隐患性后果的，均属重要项目。具有以下条件之一的都应列为重要项目：

- 出现故障异常，对设备的安全性有影响；
- 有功能隐患；
- 出现故障异常对设备的使用性能有影响；
- 出现故障异常对设备的费用有明显影响；

② 明确重要项目的内容。

根据故障后果来确定每个重要项目的维修对策。对于涉及安全性后果的项目需要采用预防维修，使产生故障的风险能降至一个可接受的水平；对于涉及使用性后果的项目，如果作预防维修的费用低于使用性后果造成的损失和修复故障的费用，则预防维修是可取的；对于有隐患性后果的项目需要预防维修以保证能在有效的水平上防止多重故障的出现。

③ 确定适用和有效的维修方式

维修方式是维修思想的反映。以可靠性为中心的维修思想采用的是定时、视情和状态监制的事后维修方式相结合的多种维修方式。对于复杂的可修设备的各种系统，各部件具体采用什么维修方式最合理是受多种因素制约的，其中主要的是机件的可靠性特性（即故障性质及其统计分布规律）、安全性、有效性（维修质量、维修时间）及经济性等。贯彻以可靠性为中心的维修思想，实质上是要在保证设备可靠性水平的前提下，只作必要的维修工作，以使所需维修费用最小、换言之就是研究故障规律来制定合理的维修策略，控制维修进行的时机和内容，其关键在于选择维修方式。

④ 确定各项维修工作的合理时间间隔

对设备所需进行的各项预防维修工作选定正确的时间间隔，即确定“定期”的具体时间量值，并把时间间隔相同的工作组合成套，以便执行。

(3) RCM 的特点

以可靠性为中心的维修与传统的维修相比，显然有这样一些特点：

① 对维修作用认识正确，并不认为预防工作越多越细越频，可靠性就越高。

② 维修方式选择合理。根据故障的后果按适用性和有效性的原则来确定视情、定时或状态监控的事后维修方式，打破了过去单一的定时（期）维修和“一刀切”一“全面”维修的做法。

③ RCM 易于应用。它把维修工作的经验和专业知识、逻辑判断、可靠性数据结合在一起，使所制定的大纲只包括必需做的和最好要做预防维修工作，因而达到了以最低的费用实现设备固有的可靠性的目标。

1.2.3.2 船舶设备维修方式

目前，船舶设备的维修一般有图 1-1 所示的四种形式：

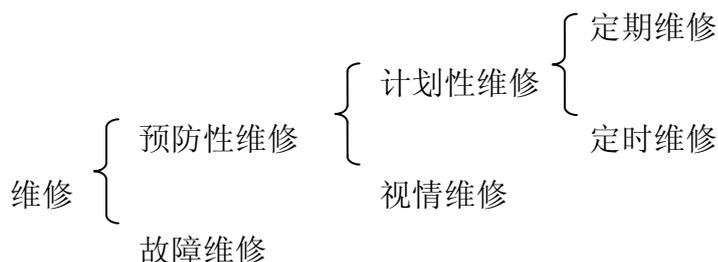


图 1-1 船舶维修方式分类

### (1) 定期维修

定期维修是按照设备的使用频度、使用的重要性、损坏的规律为依据或某些不以磨损为主要特征的设备拟定出一个平均安全运行期限和确保这一使用期限而需要的各级维修。它的特征是设备按照预定的维修计划按日历时间，到时间不论实际情况如何必须进行规定内容的维护保养工作。

### (2) 定时维修

定时维修是以磨损理论为依据，以设备主要零部件的磨损率为基础，定时对设备或设备中某一部件进行维修。它的特征是以设备或重要部件的运转小时来确定维修周期，以检查和更换磨损零部件为维修的主要内容。

定期与定时维修方式都属于计划性维修，它对预防突发性的随机故障，有一定的局限性。

#### 1.2.3.3 事后维修（故障维修）

事后维修是指设备发生故障后才进行维修或更换其中损坏部件，它的原则是不坏不修。除了使用中的一般检查和保养外，不作任何有计划的维护性修理。它的特征是对某种类型的设备采取能修则修、不能修（或不值得修）即换的政策。它适用于某些对生产安全影响不大的设备和低值设备。

#### 1.2.3.4 视情维修

视情维修也称状态监测维修，它对某一设备不预先规定其维修期，而是以设备的运转工况为依据，以工况参数的变化趋向分析为基础，来决定设备是否需要维修，它的特征是以先进的测试技术进行故障诊断、状态监测，通过监测、比较和分析确定设备或部件的技术状况和需要维修的对象。

通过对几种维修方式的比较我们可以看出，只有视情维修能够发挥设备的最大效益，可有效地减少事故的发生，能够做到科学的针对性维修，减少维修不足或维修过剩情况的发生，避免维修的盲目性。特别适用于以磨损故障为主的设备上。所以视情维修是今后船舶设备的进行科学性管理与维修的趋势，这里我们通过对设备的运行工

况状态的整体评估，为船舶设备进行状态管理，实施视情维修作出进一步研究。

### 1.3 本文主要研究内容

本文讨论并建立了对船舶当前状态的综合评估的理论框架和思路，从而为开展船舶状态评估的进一步研究建立一条主线。

(1) 对船舶设备、船体结构产生故障、缺陷的机理进行分析，从而对把握船舶当前运行状态，对其进行运行状态评估研究提供理论依据。并对当前最新设备状态识别技术做出简单介绍。

(2) 船舶状态评估指标体系与评估标准的确定。对系统评估的机理进行介绍分析，针对船舶设备、船体结构的特性建立船舶状态评估的评估指标与状态评估标准。

(3) 提出应用层次分析法 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP) 与模糊综合评估法 (Fuzzy Comprehensive Evaluation, 简称 FCE) 相结合的方法对船舶当前状态实施综合评估，这样使综合评估结果更为真实、科学。由于对船舶实施状态评估时，评估人员很难对船舶设备、船体结构做出准确的描述，即应用的评语多是优秀、良好、一般、差等，具有很大的模糊性，而船舶状态评估指标体系的建立又具有层次性。所以采用层次分析法与模糊综合评估理论相结合的方法对船舶状态综合评估更为科学、有效。

(4) 船舶状态评估计算机辅助系统的开发。应用计算机数据处理技术等方面的优势，使船舶状态评估工作更为高效、合理、方便。

## 第二章 船舶设备技术状态识别与检测技术

为了对船舶运行状态做出正确的认识与评定,首先就要清楚设备故障以及发生故障表现出的特征的基本概念与理论。船舶设备在使用过程中,其零部件持续经受磨损、腐蚀等各种劣化因素的作用,玷污、沉积、结构形状、表面、位置、间隙等发生改变,导致技术性能劣化。随着劣化程度的逐渐增大,设备的各项技术性能指标就会越来越偏离设计指标。从现象上看,船舶设备的功率降低、能力不足、效率下降、结构出现变形、断裂或其它一些技术指标变差,即技术状态劣化。当某些零件因磨损而失去原有功能和精度时,设备就会出现故障,从而使整机的性能下降,甚至导致功能丧失,严重时将威胁到船舶航行的安全性。因而,明确设备可能发生的故障造成的原因,选择准确的设备技术状态指标参数,以表征状态。这样有利于正确把握船舶设备技术状态,以便对船舶整体状态做出准确的评估。

### 2.1 设备故障和故障特征<sup>[16~19,26,28]</sup>

#### 2.1.1 故障的概念

设备故障简单地说是一台装置(或其零部件)丧失了它应达到的功能。随着时间的变化,任何设备从投入使用到退役,其故障发生的频率大多如图 2-1 所示的曲线规律变化。

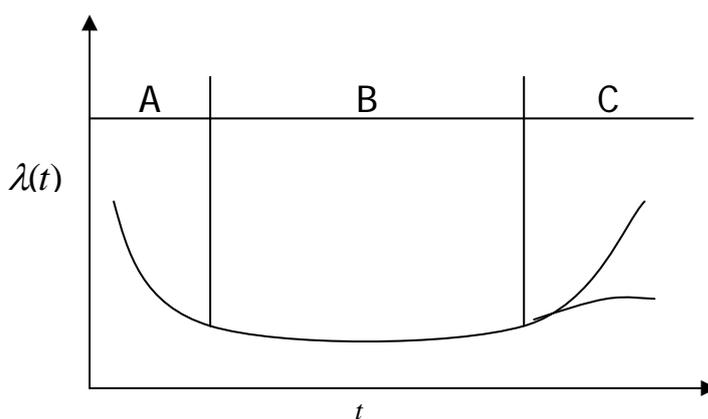


图 2-1 故障发生频率曲线图

变化过程大致分三个阶段：**A** 段为早期故障期，故障率  $\lambda(t)$  为递减函数，亦称磨合期，该时期的故障率通常是由于设计、制造及装配等问题引起的。随运行时间的增加，各机件逐渐进入最佳配合状态，故障率也逐渐降至最低值。**B** 段为偶发故障期或

随机故障期，故障率  $\lambda(t)$  较低且近似为常数。该时期的故障是由于使用不当、操作疏忽、润滑不良、维护欠佳、材料隐患、工艺缺陷等偶然原因所致，没有一种特定的失效机理起主导作用，因而故障是随机的。C 段为耗损故障期，故障率  $\lambda(t)$  为递增函数，是机械设备经长期使用后，零部件因磨损、疲劳，其强度和配合质量迅速下降而引起的，其损坏属于老化性质。

传统的故障观念仅认为零部件的损坏是故障的根源。这种看法只适用于简单的机械，现代机械增加了控制部分（即信息及其执行系统），形成了“人一机整体”，不少时候，机器的零部件完好无损，但也发生故障，因此，故障观念也从微观发展到宏观。宏观故障观念认为，现代设备的故障源至少有零部件缺陷、零（元）件间的配合不协调、信息指令故障、人员误操作、输入异常（原材料、能源、电、汽、工质不合格等）和工作环境劣化等 6 大因素。

### 2.1.2 故障的演变

设备零（元）件功能由正常到不正常的演变过程有 4 种典型情况：①退化失效，即性能逐渐退化，最终因超限而失效，其特点是性能越来越差，是时间的单调函数。②突变失效，即突发的功能完全丧失的失效，事先难于预测。③漂移失效，与劣化失效相比，其性能逐渐劣化的过程较短，往往在一次使用期间即可能恶化到失效范围，但是停机若干时间后再开机，尚能呈现原有良好状态，但不能持久，随后又逐渐劣化。④间歇失效，在失效发生之后，使用情况未变且不经停修而能自行恢复功能，过后又会发生再度失效。

退化失效过程可以划分为 3 各阶段：潜伏期、发展期和损坏期。在潜伏期，劣化因素对零（元）件的作用是微弱的，很难觉察，只有用高灵敏度仪器（如电子显微镜等）才能发现。此时期微观缺陷的演变是缓慢的，某些过长的潜伏期故障往往在零（元）件寿命期内也不会发作，因而被机器其它零（元）件的故障和换修所掩盖。当劣化因素足够强时，在局部足以抵消设计安全系数的保护作用后，就会逐渐加速微观破坏直至走出潜伏期。发展期的特征是损伤发展速度和发展中的缺陷形成，可以用常规仪器设备观察到。这个阶段的时间函数规律往往被作为寿命预测的依据。因此人们建立了多种数学模型加以描述和研究。损坏期的特征是劣化因素强度达到了零（元）件所能承受的极限，恶化情况急转直下，直至零（元）件发生故障或失效。损坏期的特征信息就是事故临危报警的根据。

### 2.1.3 设备发生故障的特征

鉴于多方面的故障源因素，设备的实际故障（尤其是疑难故障），往往程度不同地带带有隐蔽性、随机性和多发性等特征。

(1) 隐蔽性。故障在时间上的演变有潜伏期、发展期至损坏期，有一个从隐蔽到显露的发展过程，最终被人们所觉察，但其初始原因往往难以发现。故障在空间上的蔓延也是由局部到整体，到了事故发生后，人们常常忽略其微观机理的追根求源。故障始发端在时间和空间上的隐蔽性给故障分析造成很大困难，于是人们提出了故障寻因的阶段性问题 and 故障定位的层次性问题。单一故障的始发端由潜伏期进入发展期，再由发展期进入损坏期，即演变三个时期的始末都应具有明确的客观标志。

(2) 随机性。整台设备故障发生的随机性来源于零（元）件故障的随机性（机器设备）、各零部件故障组合的随机性、材质和制造工艺的离散性、运行环境与工况的随机性以及维修状况的随机性。材质和制造工艺的优劣决定了零（元）件对故障发生的影响程度，所以其离散性必然导致故障发生时刻和程度的随机性。运行环境与工况的随机性，即使完全相同的设备，其故障频度和使用寿命也会因承受的破坏因素强度不同而出现很大差异。维护状况的影响因素是：①维修决策与实施方案因人而异；②备件情况不同；③修复工艺、设备、材料之不同；④维修体制不同造成的提前或滞后维修。

(3) 多发性。故障的多发就是故障继发和并发的组合。对实际零件尤其是组合件和整机而言，单一故障发展到某一程度若不及时排除很可能引起另一个（或几个）故障的发生，被引起的故障还可能再引发其他故障，形成了故障因果链。然而一般故障由发展变化期到故障发生，并不是诸方面的全部因素同时表现出来，而只是单一因素或一、两个因素起主要作用。

设备故障还可以分为可预防和不可预防两大类。若可预防故障多，则说明设备的预防维修工作没有到位；若不可预防故障多，说明设备本身的可靠性差，技术档次不高。控制和降低设备的故障，主要从提高预防维修能力、设计制造设备必须注意到其可靠性两方面同时入手。

## 2.2 设备状态识别的概念和内容<sup>[18,20,22,27]</sup>

### 2.2.1 设备状态识别

设备的状态识别就是鉴别设备的技术状态是否正常，若存在故障或缺陷，发现并确定故障缺陷发生的部位，寻找造成故障缺陷的起因，预防故障趋势蔓延并提出相应解决对策。

提高设备利用率的重要途径是减少平均修理时间和平均停机时间来实现的。而这两项时间的减少，除了应改善设备维修的组织管理工作之外，主要应提高维修率。有

资料表明,由于现代设备的高技术性和复杂性,查找故障原因的时间占故障排除总时间的 45%~70%左右。因此,为了提高维修效率,缩短平均维修时间,必须提高设备状态检测的准确率和效率。现代的设备状态检测工程就是在这种背景下产生的,它有以下作用:①控制事故频率,防止事故或故障的重复发生。②帮助找出故障关键,为提高产品质量改进工艺奠定基础。③提高设备的利用率和企业经济效益。④为设备维修管理决策提供信息。

### 2.2.2 状态检测的内容

设备状态检测的手段有传统经验型检测和现代检测两种形式。设备故障由发展变化期到功能丧失期的时间,因设备不同而异,有的只有几秒,有的则好几年。故障征兆通过表象(如噪声、振动频率、电流、气味、火星、结构裂纹等)率先表现和传播。对这些设备异常表象和信息等进行及时科学地辨识和判断,就能较准确地预知潜在故障变化发展的踪迹和趋势,准确评定设备当前所处状态。

现代设备状态检测包括状态检测原理和检测技术两部分。检测原理包括故障机理及检测识别数学。故障机理是研究故障信息发生过程的相关问题,即所谓故障理化过程研究,如机械部件失效的疲劳、磨损、断裂等理化原因的研究,它偏重与故障信号的收集统计。检测数学研究和解决故障信息发生后特征信号的识别提取、推理寻因、预测和故障定位等。

## 2.3 状态识别与检测的基本思路<sup>[15~20,23,27]</sup>

设被检测对象可能发生的全部状态(包括正常和故障状态)组成状态空间  $S$ ,其可测量特征的全体构成了特征空间  $Y$ 。当系统处于某一状态  $S_n$  时,就具有确定的对应特征  $Y_n$ ;反之,一定的特征也对应确定的状态。

状态空间与特征空间组成的两空间呈一一对应的关系如图 2-2,可正反推理,互逆剖析。

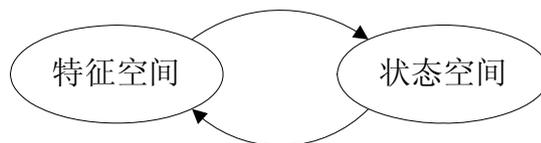


图 2-2 两层空间状态识别模式

若系统可能发生  $n$  种故障,这时把正常系统所处的状态称为  $S_0$ ,把存在不同故障的系统所处的不同状态称为:  $S_1, \dots, S_n$ 。当系统处于状态  $S_i$  时,对应的可测量特

征向量为  $\mathbf{Y}_i = (y_1, \dots, y_m)$ 。状态检测是由特征向量  $\mathbf{Y}_i = (y_1, \dots, y_m)$ ，求出它所对应的状态  $\mathbf{S}$  的过程。因一般故障状态并非清晰，有一定的模糊性，它所对应的特征值也在一定范围内变动，在这种情况下，状态检测就成为按特征向量对被测系统进行归类识别的问题。（对于设备状态模糊性研究本文将在下一章进行具体讨论，在此不再详述）

状态检测实践，并不是对所有故障特征进行检测，常常是按系统的功能结构及它们之间的逻辑联系，一步步地分析问题，并又提出新的检测方向，进一步分析原因，最后确定设备状态。该过程相当于多层特征空间和状态空间之间的对应。多层次空间状态识别的思路模式如图 2-3 所示。通过对特征空间  $I$  的检测，找出对应的状态  $\mathbf{S}_I$ ，由  $\mathbf{S}_I$  扩展出新的特征空间  $II_i$ ，对这一特征空间进行检测，寻找出相对应的更深层的状态。

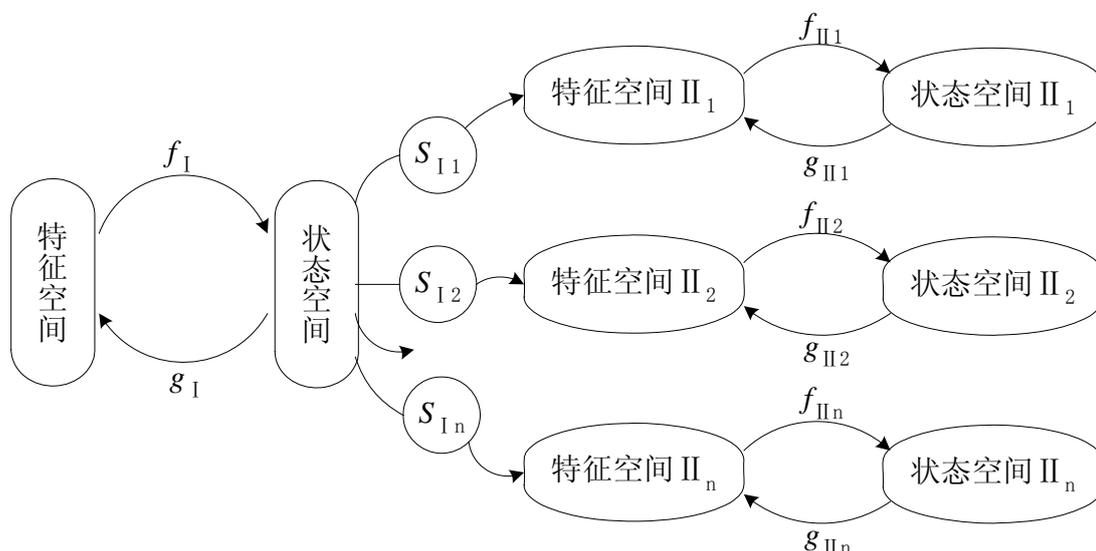


图 2-3 多层次空间状态识别模式

## 2.4 实施状态检测的数学理论<sup>[18-20,26]</sup>

所谓状态检测数学是指与设备状态检测、识别相关的具体信息，用抽象的数学语言或模式进行表达和数学运算。它们一般可分为可靠性数学、诊断数学、形式逻辑、数理逻辑以及新发展起来的模糊逻辑推理等内容。状态检测数学的主要功能为：

(1) 描述设备状态。即用数学语言描述设备的技术状态，将被监测设备技术状态的历史、现状以及未来反映出来。这种描述是动态的，应当简洁有效，突出特点，便于实际操作时的判断和决策。

(2) 识别故障。即在复杂多变的技术状态中，能够辨别故障与缺陷的特征，即

判断设备有无缺陷；有何种类故障或缺陷发生。

(3) 寻查故障原因。即从故障特征、现象出发，通过某一数学方法，以最优化的方式搜寻故障原因和发生故障的部位。

(4) 预测故障。即应用经验的知识以及检测信息（包括传统的人为方式诊断信息），通过一定的数学方法，推测故障发展的后果以及设备状态变化的踪迹。预测的内容主要为状态预测、故障时间及后果预测。有故障起因推算其后果的数学逻辑过程为“正向运算”，而由故障现象寻求起因的过程则是“反向运算”。

如前所述，由于描述设备状态的复杂性，也即检测设备故障的复杂性，某一故障可能对应多个故障特征；反之，某一特征又可能对应多种故障，而且其成因与结果常常是多层次的，于是形成因果相连的链状或网状结构，网上的某一现象，既是上一层的结果，又是下一层的原因。形成连环套，一层接一层，又相互依赖，多向相关。而数学，即有从因求果的“正向运算”，又有由果求因的“反向运算”，还有正反双向运算的多功能，正好迎合了设备状态检测复杂性的需要，并使得多因素得集合交叉变为简便得求值运算过程。由于近来计算机技术的高速发展与普及，使得这些运算更为快捷。

状态检测数学是从应用的角度提出来的，它涉及确定型、随机型、模糊型、推理型等一系列广义数学领域而且正处在不断交叉、融合与发展之中。

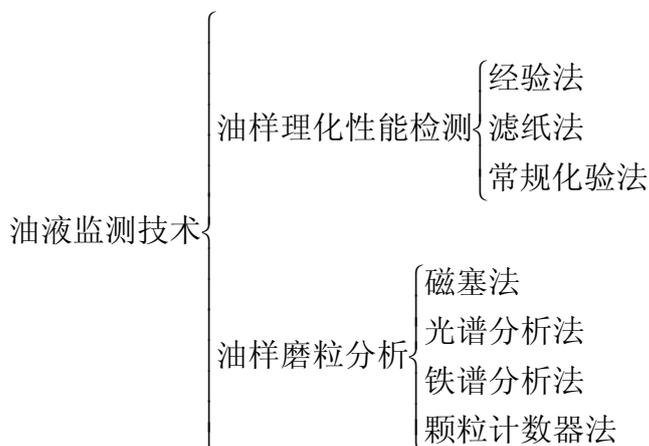
## 2.5 设备状态的检测方法<sup>[18,20,24,~29]</sup>

由于机器设备运行状态千差万别，因而可能出现的缺陷也是多种多样，对设备状态的准确识别所采用的方法也是各不相同的。下面对设备状态评估操作中对设备状态检测识别所应采用的方法及其应用范围作一下简单介绍。

### 2.5.1 油液监测与分析

油液监测技术是通过采集船机设备润滑油样，利用各种分析手段检测油样的性能和其所携带的反映摩擦副技术状态的磨损微粒，获得油样性能参数值和磨粒的成分、尺寸、形貌和数量等信息，以定性和定量地判断船机设备的磨损状态及预测其发展趋势。柴油机运转过程中，即便各运动副处于良好的液体润滑状态也不可避免地产生摩擦热和磨损。润滑油的温度升高使其理化性能逐步下降，更重要的是容纳了大量的磨损产物——金属颗粒和其它污染微粒。润滑油中的金属磨粒成分、颗粒大小和多少与摩擦副的工作情况密切相关。因此润滑油中的金属磨粒是摩擦副技术状态的外部信息。

润滑油监测技术包括润滑油理化性能检测和磨损微粒的分析。根据润滑油理化性能的变化,检测船机设备的润滑状态和由此引起的故障;根据磨粒分析判断磨损部位和程度,诊断磨损故障。油液监测技术的监测过程包括取油样,理化性能检测和磨粒分析,取得检测数据、分析诊断等步骤。油液监测技术包括:



油液监测与分析技术多用于拥有循环油系统的设备,包括船舶柴油机、发电柴油机、齿轮箱、燃油处理装置与滑油处理装置等设备。

### 2.5.2 振动分析和噪声检测

船舶动力机械在运转中的振动是状态诊断的重要信息,振动信号的变化反映着机器内部状态的变化。振动分析法就是对机器主要部位的振动值如位移、速度、加速度、转速及相位值等进行测量,与标准值进行比较,据此可以宏观地对机器的运行状态进行评定。振动分析可以用于确定旋转设备的运行状况,在产生重大损失或导致计划外停机之前,识别正出现的问题,包括正在恶化或有缺陷的轴承、机械松脱、齿轮的磨损或断裂。在轴承或轴损坏之前,振动分析也可以用来检测不对中或不平衡。长期振动趋势分析可以识别质量低劣的维修操作,比如不正确的轴承安装和替换、不准确的轴对中或不精确的转子平衡等。

船舶机械噪声是机器运转时各种声音的混合,包括气流声,如柴油机排气声、燃烧噪声,增压器中的吸排气声等;金属敲击声,如活塞敲缸、气阀落座声等;结构件振动声,如各种罩壳、箱盖的振动噪声;摩擦副相对运动声,如齿轮、轴承等摩擦副发出的声响,等等。船舶设备的噪声是其运转状态的外部表现形式,反映着船机设计、制造、安装和修理的质量及其维护管理的质量。采集噪声信号进行信号处理、状态识别,评定船机设备的运行状态。

### 2.5.3 超声波分析

大部分机器在运行状况下都会放射出声波,这些声音信息(声信号)可以被确认,

而且根据这些声音信号的变化可以识别零部件是否开始磨损或损坏。这使得确认并定位轴承损坏、压缩空气或液压油泄漏、真空泄漏、疏水器泄漏和压力容器泄漏等成为可能。

#### 2.5.4 红外测温技术

船机设备在运转过程中，温度是最基本的工作性能参数之一，零部件的温度变化直接与工况和故障有关。所以进行温度监测可及时判断船机设备工况以保证安全可靠运行。

红外测温技术是一种新的温度测量技术和方法，它是通过测量来自被测目标的红外辐射（包括被测目标的或自身辐射的），而实现对被测目标表面温度的测量。它可以在生产过程中或设备处于运转状况下进行，而不需要中断生产或停机。

#### 2.5.5 主观经验检测方法

当前，主观检测可能是工业上使用的最古老和最普遍的状态识别技术。这些技术费用低廉，而且对许多船舶设备实际监测效果也相对的有效（该方法的有效性仅针对经验丰富的检测人员而言）。这种主观检测法可概括为“眼看、耳听、手抚摸”七字法。

眼看是七字法的基础，因为用耳朵听出来的机器异响讯号和用手抚摸的感觉到的不正常振动，都需要通过眼看才能正确的做出判断，如果没有眼睛看而单凭耳听手感的现象去判断，往往会失去一定的准确性，所以眼看对机器设备运行的状态进行检查必不可少的。

耳听就是根据机器部件禁锢件松开或走形后，在运转中发出的声音来判断部件是否发生故障，也就是从船舶设备机器正常运行的噪声中发现辨别发生故障的个别异响。要作到能从机器运转声音的正常规律中辨别异响，具有相当的难度，对评估检测人员的要求较高。

手抚摸是通过手与机器的某部件或两个部件的紧密接触处，根据各部件机构转动、摇摆、跳动和冲击等的固定规律，用最敏感的指心或掌心感觉出它在运动中有无异常的抖动或震荡等现象，可以直接或间接的发现机器故障，确定设备当前所处状态。

## 第三章 船舶状态评估基本理论与评估指标确定

在航运企业中,对营运船舶设备的状态进行考核评估,沿袭多年的传统是百分制对设备状态指标进行打分,这种考核评估方法对促进船舶搞好设备管理起到了一定的积极作用,但同时也要考虑到船舶设备管理中,有多数指标是定性的,即使有少量定量指标,对同类船舶来说,评判其管理水平的好与差,以及设备的现实状态也不能很公正,其评估结果有些与设备实际状况相差较大,导致评估结果的失真。为打破目前船舶设备状态评估仅仅停留在定性描述和人为主观评估这一局面,针对船舶设备状态定量化评估问题作一个探索性的尝试。

### 3.1 评估的一般概念<sup>[2,30,31,46]</sup>

对某一系统的评估,就是评定该系统的价值。所谓“价值”,如果从哲学意义上说,就是评估主体(评估个人或集体)对某个评估对象(对待开发的系统、待决定的行为等)在理论上或实践上所具有的作用和意义的认识或估计;如果从经济学上来说,价值通常被理解为根据评估主体的效用观点对于评估对象能满足某种需求的认识或估计;而船舶作为系统应该以机械学的观点来看待,在机械学价值通常被理解为评估主体对某个评估对象(多为设备或机械机构等)的效率、功能、安全性及剩余寿命的认识或估计。

评估是一个非常重要的问题,同时也是一项复杂而有较大难度的工作。评估不仅要提出若干替代方案,而且还要通过系统评估技术从众多的替代方案中找出所需的最优方案。这是一项很不容易的事情。首先,系统往往是多目标的(或称多指标的),这些目标或指标构成体系,不同的方案可能在不同指标上各有所长,这时很难确定哪个方案最优。在评估时应对这些目标进行全面的、系统的、综合的评估。例如,对城市的交通系统的评估,不仅要从交通工具的动力、推动等技术方面以及交通线路的建设费用和日常经营费用等经济方面进行评估,还要从交通工具的方便性、舒适性、安全性、美观性等使用方面进行评估,还要从环境保护、能源政策等国家利益方面进行评估。一个在经济方面最优的方案,对环境的损害也许是最大的。其次,对于复杂系统而言,“最优”这个词的含义并不是十分明确的,而且最优的标准也在随着时间而变化着。例如,有些指标没有明确的数量表示,而与使用者或评估者的主管感觉与经验有关,如交通工具的舒适性就是一个很难量化的指标,而且随着社会的发展,人们的舒适性的标准与要求也在不断地变化着。可见,对系统作出客观而全面的评估是十分复杂和困难的,又是十分重要的。

评估与决策有着密切的关系。评估的目的是为了进行正确的决策，而决策需要评估，评估是决策的准备，评估的质量影响着决策的水平。从这个意义上说，评估过程也就是决策过程。但评估与决策仍然是有区别的，第一，系统评估是一项技术工作，可由分析者承担，而决策则是一项领导工作，是领导者的权力与责任；第二，评估是决策的依据，但是重大问题的决策往往还有一些“看不见的”因素在起作用，这些因素往往难以纳入评估工作。

### 3.2 评估的步骤和内容

系统评估是由评估对象（即待评估的系统）、评估主体（即评估者）、评估目的、评估时期、评估地点等要素构成的一个综合性的问题。因此，对评估技术来说，就是首先引进和确定评估尺度（评估指标，评估标准），然后用该评估尺度对评估对象进行测定，确定其价值。所以，评估工作的基本过程是，先确定评估尺度，再对照评估尺度测定评估对象的价值。具体地说，评估的一般步骤如图 3-1 所示。

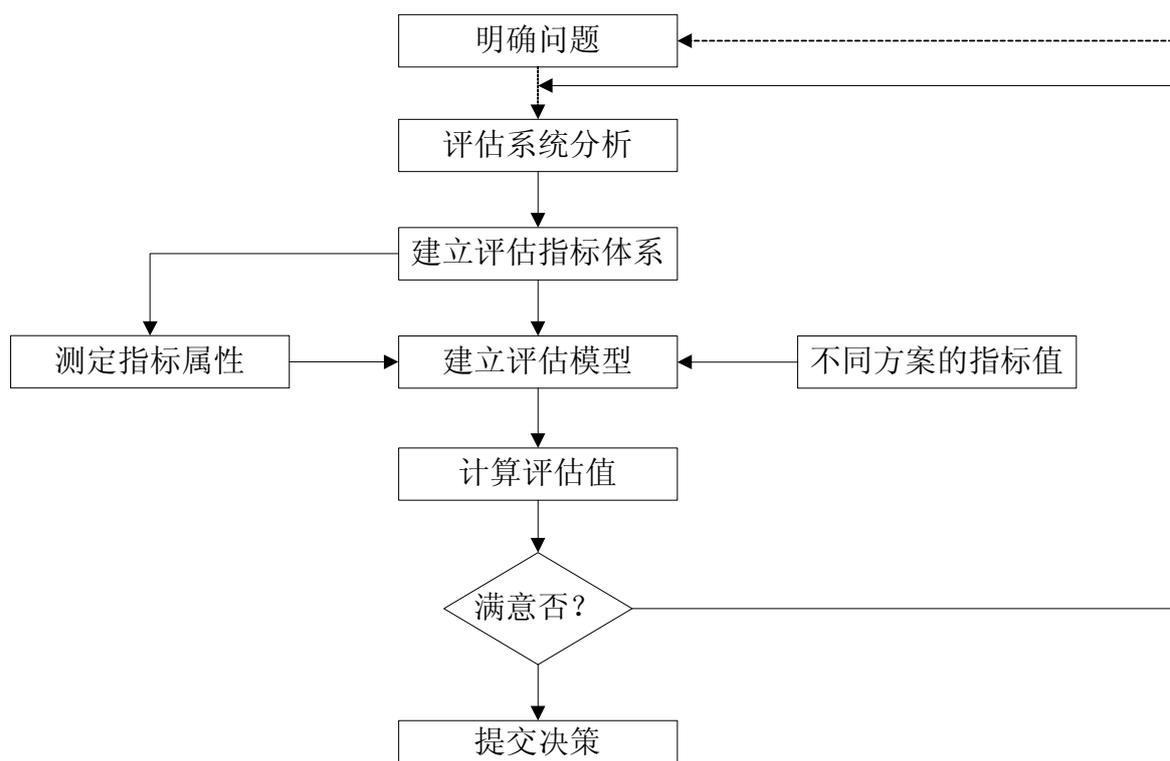


图 3-1 系统评估的基本步骤

由图 3-1 可知，一个较为完整的评估过程一般包括从“明确问题”到“提交决策”多个阶段的内容。下面分别对其作简要介绍。

#### (1) 明确问题

这一阶段主要是明确评估的目标、评估的范围、评估的时期、评估的立场。

明确评估的目标,就是明确为什么要进行评估,以及评估要达到的目的。明确评估的范围,就是确定评估对象评估涉及的地区、部门、内容等。评估的时期包括初期评估(如制定新产品开发方案时进行的评估)、期中评估(如新产品开发过程中进行的评估)、终期评估(如新产品试制成功、并经鉴定合格后进行的评估)、跟踪评估(又称事后评估,如新产品投产若干年后的评估)。不同时期的评估目的不同,评估方法通常也从初期的以定性分析为主过渡到以定量分析为主。明确评估的立场,是指明确评估主体(即评估人)是使用者,还是开发者,或第三者等,这对于以后评估方案和评估指标体系的确定等都有直接的影响。

#### (2) 评估系统分析

当评估问题明确以后,就可以对评估对象进行分析。其内容包括收集资料,对系统的功能、费用、时间等进行预测和估计,系统环境分析,以及替代方案分析等。

#### (3) 建立评估指标体系

指标体系是根据评估目标选择的多个评估指标的集合。建立评估指标体系要注意全面性和可测量性,同时要尽可能简明,避免重复。

#### (4) 建立评估模型

评估指标体系确定后,就要通过评估模型来描述和测定评估对象的指标值。评估模型种类很多,应根据评估目的和评估对象的特点,选择合适的模型。

#### (5) 计算评估值

在这一阶段,可通过评估模型的运行,计算评估对象的指标值。这里,不仅要计算各个指标的评估值,而且还要把它们综合起来,得到整体性的综合评估值。这个过程反映出从整体出发,统筹兼顾、全面衡量的思想。

得到评估值后,应通过咨询、与专家进行对话等方式对该评估结果进行分析和判断。如果认为该评估结构不合理,则应反馈至第二阶段,重新对评估系统进行分析,然后逐阶段找出问题、进行修正。

#### (6) 提交决策

当评估者得到较合理的评估值后,便可撰写报告,提交决策者进行决策。如果这是发现评估仍存在较大问题,一般应反馈至第一阶段,重新进行明确问题等工作。决策者进行决策并实施方案后,应收集实施效果等信息、进行事后评估,以便及时总结经验教训,加以改进。

### 3.3 船舶状态评估指标确定<sup>[10, 27,33-42]</sup>

指标是系统要素外在的表现形式,评估指标体系是由指标组成的系统,是具体、

可操作、系统化的评估标准，是人们认识评估对象系统结构和变化规律的结果。实践中，评估指标体系实际上刻画了被评对象价值的具体形态，为人们提供了获得这类价值的途径，因此，评估指标体系对于价值实践具有重要的指导意义。

### 3.3.1 评估指标的选取原则

由系统评估的基本步骤可知，我们要综合评估船舶的运行状态，第一步工作就是对船舶进行系统的分析，科学、合理地选取评估指标。而一个复杂的系统，从不同的角度评估，有不同的评估指标，要确定其指标就需要进行整理、分类和综合。确定评估指标体系时一般应遵循的原则有：

(1) 目的性原则：选定指标是为了反映评估对象，因此所有指标都应具有较强的目的性，是为了反映系统的安全性。

(2) 可行性和实用性原则：指标体系的设定要具有可操作性和实用性，要考虑到评估指标数据收集时，综合评估模型使用时的方便、快捷。

(3) 实效性原则：所选指标不仅要能够反映一定时期内系统安全性变化，而且还要具有适时性，在指标容易发生变化时也能适用。

(4) 系统性原则：系统论的观点就是指应把事故当作一个整体或系统来加以考虑。因此，综合评估的指标应广泛、系统，能充分反映评估对象的优劣水平。

(5) 定性和定量相结合原则。

此外还要考虑指标体系层次分明和简明科学等要求。

鉴于船舶系统评估的复杂性，为满足以上几点要求，本文在确定评估船舶运行状态的指标时，主要从以下几个方面考虑：

#### (1) 根据船舶安全航行的条件

船舶安全航行的条件主要包括两个方面：一是物理性固定条件，由船舶大小、船体、应急消防设备、主机及其辅助机械设备的材质、结构、性能等构成，这些条件在一般情况下并非人为所能改变的；另一种是技术性可变化条件，包括船舶装载状况，船舶维护及保养等。而本文主要讨论的就是影响船舶安全航行的物理固定条件作为评估指标建立的一部分因素。

#### (2) 根据船舶适航性要求

船舶适航性应考虑以下五个方面：①船舶形状、结构、强度、水密等要素；②人员；③设备与装置：导航定位仪器、航行操纵设备（主机、舵机、锚机）、通信设备、系泊起货设备等；④安全设施及装货要求；⑤资料及备品。

按照《海商法》规定：由于船舶适航性不合要求而造成的海损事故，承运人是要承担赔偿责任。在进行海事分析的过程中不难发现，有相当一部分的海事是由于不适

航所致（约占 27%），而这其中，由于船舶船体与设备缺陷原因造成的又占了相当大比例，如船体强度难以抵抗风浪的袭击，主机故障，安全设备陈旧简陋，船舶设备技术故障等。

我国《海上交通安全法》第四章 NO. 19 条规定：当船舶处于不适航状态，将会被主管机关禁止离港，必须采取必要的整改措施。因此在船舶状态评估时，不能不考虑适航性对船舶条件的要求。

### （3）根据 PSC 检查的重点项目及在检查中船舶存在的主要缺陷统计

根据 SOLAS 及其相关法规要求，PSC 检查有二大重点：船员是否适任，船舶技术状态是否良好，其中涉及到船舶因素的检查重点有：船体状况、结构强度、载重线标志、消防救生设备、防污染设备、助航设备、无线电设备、导航设备、系泊设备、主机、副机、舵机、锅炉、电器设备、报警设备、货物及其装卸设备等。

根据对船舶适航性检查及 PSC 检查的统计记录可知，导致船舶滞留的缺陷项目主要有：

- ①推进装置和其他主要机械以及电气设施不能正常工作；
- ②主、辅、舵机、锅炉不能正常工作；
- ③信号灯或声响信号设备没有，不符合要求或严重腐蚀；
- ④无线电设备没有或不能正常工作；
- ⑤航行设备没有或不能正常工作，仪器误差未能消除，故障未修复；
- ⑥消防设备、应急救生设备工作不正常或不能工作；

⑦重要区域的损坏或锈蚀，或影响适航性或局部承重强度的甲板和船体等的板材及与其相关扶强材的麻点锈蚀。

可以认为这些发生缺陷而导致滞留的结构与设备是对船舶航行安全最重要的。在几个检查的项目中，船体及船舶设备的因素占了绝大部分，这与船舶的检验项目也是一致的，充分体现了船体及设备在船舶状态评估中的重要地位。

### （4）根据与船舶自身因素有关的海事机损事故案例分析材料

根据对海上交通现象（事故）的调查，这是制定评估指标的一个重要手段，即可以通过统计大量的海事案例，了解事故的构成与船舶自身因素的关系，如船舶类型与事故的构成、船舶尺度（吨位）与事故的构成、船龄与事故的构成、船舶设备状态与事故的构成等，分析船舶自身因素对海事的影响规律。如对近年海事事故调查会发现，在船舶自身因素造成的海事中，主要有船体结构、机器设备（动力装置及其附属设备）、航行设备（舵机）的因素，且绝大多数事故船舶船龄已超过 15 年。

### （5）征求专家、资深船员等的意见

在确定评估指标时，采用定性分析并借助于专家调查。因为专家、资深船员有着一定的理论水平和丰富的实践经验，他们是最有发言权的，他们认为对船舶运行状态影响大的一些因素对确定船舶状态评估指标是有着极大的参考价值的，甚至起着决定性的作用，这也是制定评估指标的一条捷径。

本文在综合考虑以上几个方面的基础上，经过一定的调查研究分析，对以上所涉及到船舶自身因素的诸多方面进行必要的筛选，加以合理归纳整理，选取那些对船舶航行安全有直接影响的要素。例如在船舶设备方面，由于种类众多，哪些设备对航行安全是最主要的，哪些是无关紧要的，必须做出一个划分，不可能对所有与船舶运行状态有关的设备都进行评估，否则评估起来即繁琐，也不利于改善评估结果的准确性。所以本文在对船舶运行状态做出整体评估时，着重以船舶的四机一炉（主机、副机、舵机、锚机、锅炉）、船体结构、救生消防应急设备、船舶通信导航设备等几个方面作为评估船舶状态的指标，可以说，上述设备的安全可靠运行对船舶的航行安全性、PSC 检查的适航性起着至关重要的作用。

船舶自身因素中的其他方面也采用同样的处理方法，舍小求大，舍轻求重。因此，我们将影响船舶运行状态的因素应用主层次分析法进行多层次分析（具体方法再后面有关章节有详述），分成三层：第一层为目标层，第二层为评估准则层，第三层为评估因素层，最终得到如下的船舶运行状态评估指标体系。如图 3-2 所示。



图 3-2 船舶状态评估指标体系

### 3.3.2 船舶状态评估指标的分析

下面对以上评估指标体系中的各指标进行逐一的分析，具体说明为何可以用这些指标来评估船舶的状态。

#### 3.3.2.1 船龄和船舶状态评估的关系

船龄是一个对船舶安全影响很大的因素，因为随着船龄的增长，船体结构强度下降、船舶设备技术状况下降、船舶故障增加、海事发生的概率加大，特别是船龄达 15 年以上的船舶，一般进入耗损失效期，由于老化、疲劳、蚀耗等原因，故障逐年增多。

据统计表明，1990 年—1994 年间全世界造成人员损失的散货船沉没事故为 25 起，船龄最小的是 14—16 年，最大的是 22—26 年，其中超过 18 年船龄的为绝大多

数。事实说明，船龄与事故的发生率成正比例关系。当然，有些船舶虽然船龄较高，但由于平时保养维护做的好，仍然保持了较好的技术状态，但这是特例，就一般情况而言，船龄越大，灭失率越高是不容回避的事实。例如不同船龄的船舶的灭失率资料就说明了这一点。如表 3-1，表 3-2 所示。

表 3-1 灭失率和船龄的关系

船龄	0-4	5-9	10-14	20-24
灭失率	1/769	1/625	1/323	1/76

表 3-2 散货船 1990 年——1996 年 海难事故统计

船龄	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24
海难总艘数	1	3	6	24	29
平均每年的船舶总艘数	772	737	1188	785	821
每年发生海难的概率（千分比）	0.2	1.1	0.7	4.4	5.0

很明显，15 年以上船龄是发生海难的危险期，综观 1983——1993 年期间损失的散货船中，其平均船龄是 18.9 年，在 PSC 检查中，发现问题较多甚至产生滞留的船舶中，老龄船舶也是占了相当大的比例，这就说明老龄化给船舶航行带来的不安全性。目前中国船级社（CCS）在接受船舶初次检验和加强安全评估时就非常重视船龄，以适应国际海事界对老旧船舶管理日趋严格的形势。所以在对船舶进行状态综合评估时首先应把船舶的年龄因素考虑进去，视其为一项重要指标。

### 3.3.2.2 船舶主要设备与船舶状态评估的关系

IMO 将船舶事故原因分为三类，第一类是人为的差错，第二类是船舶设备的故障，第三类是与船舶无关的原因。其中所谓的设备故障指的是船舶技术系统的故障、舵机和船舶主机的故障、通讯导航设备的故障等。在进行海事分析时不难发现，有相当一部分大的海事事故是船舶设备技术状态有缺陷造成的，诸如操舵装置、动力装置、船舶副机及供电系统、重要的船载导航设备等影响船舶适航性的机械设备的损坏或故障，常常是引发海损事故的主要原因。如许多碰撞事故、触礁、搁浅事故、翻沉事故等就是因为动力装置故障，舵机失灵关键时刻舵效为零，船舶副机及供电故障，通讯导航仪器故障造成的，而且由于船舶设备故障形成的事故占总事故的百分比是比较固定的。

美国 1970—1979 年对碰撞事故的统计，由于船舶设备方面的故障引发的事故占到总事故的 7% 左右，我国对港口事故原因统计资料也证实了这一点。见表 3-3。

表 3-3 部分港口事故原因统计表

	青 岛 港 (1987-1992)	大 连 港 (1982-1992)	黄 埔 港 (1981-1986)	厦 门 港 (1987-1996)
机器设备故障占事故的百分比	6.85%	8%	4.7%	8.3%

所以交通部在《关于报告船舶重大事故隐患的通知》中将船舶机电设备——船舶主机、副机、锅炉、舵机、机件、电器、航行及通讯设备、应急设备等的故障列为船舶四类重大事故隐患之一。由此可见，控制船舶设备的隐患、缺陷会有效减少事故的发生，因此应从船舶设备的缺陷或故障入手，分析有哪些设备（部件）直接影响船舶的运行状态。通过归纳总结“巴黎备忘录附录《监督程序指南》”，“德国劳氏船级社《船舶状态评估指南》”，SOLAS 公约及我国《PSC 检查缺陷出来指南》和安全检查的项目，船级社规范以及相关国际公约要求，得出属于直接影响船舶状态的设备有：船舶主推进装置（主机）、船舶发电原动机（副机）、舵机、锅炉（简称四机一炉）、应急、消防、救生设备、防污染设备、主/应急发配电系统、自动控制系统、各类报警系统、安全保护系统、通信导航设备等。这些设备分属船舶的各个不同的系统，事实上，船舶系统就是由主机系统、空气系统、海水系统、装卸货设备、甲板舾装设备、电力系统、淡水系统、发电原动机系统、船体部分、工程机械设备、防污染系统、滑油系统、燃油系统、通讯导航系统、船舶推进与操纵系统、生活设施、冷藏空调通风系统、安全与应急设备、蒸汽系统、自动化监测与遥控系统等构成。很显然，这些分系统所属设备的工作状态对船舶综合状态都有所影响，但是它们的影响程度的重要性是不同的，如有些设备的状态对船舶安全航行的影响微乎其微，我们在此就不作考虑，否则设备评估指标就过于繁琐，影响船舶状态的综合评估的真实性。所以本文着重选取与船舶安全状态密切相关的设备：主机、副机、锚机、舵机、锅炉（四机一炉）、自动化监测与遥控系统、安全与应急设备、通信导航设备来作为评估船舶设备运行状态的指标。

### 3.3.2.3 船体结构强度与船舶状态评估的关系

船体结构是船舶运行状态中的一个重要因素，在船舶灭失事故中，有相当大一部分是由于船体产生缺陷导致的。我们前面提到的近年两起海损实例均是由于船体结构腐蚀老化造成的强度不足而造成；1990 年有 23 艘散货船船体损伤，其中 12 艘沉没。1991 年有 14 艘因船体损伤造成全损灭失；根据日本海事协会 1987 年对 6075 艘入级船舶的统计，就船体损伤而言，在总损伤件数中，表现为磨损者占 66.8%，变形者（凹陷）占 9.9%，开裂者占 22.4%。变形损伤是指船体外板及其内部骨架发生型变，主

要与结构局部强度有关,是由碰撞、搁浅、风浪冲击、重货挤压等局部受力过大造成,而磨损和开裂与船体总综强度关系较大,如果从对船舶状态影响程度大小及出现机会来考虑,磨损和开裂是对船体结构强度影响较大的两个方面。

船体结构的磨损和裂纹是随着船龄的增加而增加的,现已证明:船体外壳板的恶化程度是与船龄成正比的,据统计在 25 起发生事故的船舶中,有 44% 在发生事故前已经检验出结构有不同程度的损伤老化,由于船体强度不足以抵抗大风浪,事故的发生就是必然的了。其中特别是船体的腐蚀磨损对安全影响很大,耗蚀对所有船舶都不可能避免,因为船体厚度减少,剖面模数势必减少,也就意味着安全性的减少。按照我国《营运船舶检验规则》规定,各板材厚度比原值减少超过一定的百分比,则认为该构件强度不够,应予以加强或换新。对于裂缝,无论是疲劳还是磨损造成的,也不论这裂缝是何等微不足道,都不允许有丝毫的疏忽,因为裂缝一旦存在就会造成局部应力的集中点,造成裂缝扩大,导致全面腐蚀损耗。因此在 PSC 检查中,就有船体外板、横梁、肋骨、肋板、甲板、舱壁等项目的检验,充分体现了船体安全状态在船舶运行状态中的重要地位。

从海事的表现形式及海事后果对生命、财产及海洋环境构成的实际威胁来看,船体及结构的完整显得十分重要。因为海事(碰撞、触礁、搁浅、浸水、倾覆等)多与船体损伤相联系,同时海事后果也以船体破损最为严重,不仅造成生命、财产重大损失,还会对海洋环境造成严重的污染。据劳氏船级社的统计,94、95 年间因船舶进水沉没引起的全损事故,占了全损事故总数的一半以上,而船体结构破损是进水的最主要原因。因此,船体及其结构的完整,是保证实现船舶必需的各种性能,如稳性、抗沉性和操作性的先决条件。随着时间的推移,船舶的老龄化进程不以人的意志为转移,重视船体强度问题已越来越重要,控制船体缺陷是保证船舶安全航行的先决条件。巴黎备忘录的港口国检查委员以重点检查船体机构为切入点,对特定船舶进行了两次突击大检查。一次是在 1999 年 4 月 1 日至 1999 年 6 月 30 日,对进入其港口、15 年船龄 30000 总吨以上的散货船进行突击大检查;另一次是在 2000 年 9 月 1 日至 2000 年 11 月 30 日,对 15 年船龄 3000 总吨以上的油轮集中进行结构性扩大检查,检查范围覆盖整个巴黎备忘录区域的港口。由此可看出 PSC 检查已经在船体结构强度上足够重视,也加大了检查力度,这是对中国船队普遍存在船舶老龄化现状的严峻考验。所以船体结构也是制定船舶状态综合评估指标体系的一项重要指标。

## 第四章 船舶状态评估标准的建立

在明确船舶状态评估指标体系之后，还有一项重要工作就是评估标准的确定，为实施状态评估提供依据。

### 4.1 评估标准<sup>[2,8,31,33~39]</sup>

评估标准的涵义是评估主体对价值客体需要的反映，是意识到的价值标准和现实化的价值标准的统一。评估标准是一定实践经验的总结，需要转化为利益，主体需要的丰富性就转化为主体利益的丰富性，形成了主体的评估标准体系。

由评估标准的含义我们可以认识到在制定船舶状态评估标准时就应坚持“来源实践，高于实践，指导实践”的原则，使其真正成为评估船舶设备运行状态的指导性依据，达到航运公司“以评促管，以管促效”的目的。因此，制定船舶状态评估标准时，要遵循以下的原则，考虑以下四个依据：

#### 4.1.1 制定评估标准的四个依据

(1) 依据当前我国航运公司营运船舶状态现状 在世界航运市场竞争日趋激烈的今天，我国航运船舶发展极不均衡，既有七八十年代建造的机舱操纵的老龄船舶航行，同时，国际上相当先进的高度自动控制的第五代、第六代新式集装箱船舶投入远洋运输。所以说这就给船舶状态评估体制的建立带来一定的困难，很难制定出一个统一的标准来对船舶所属设备、船体结构等作出评估。因此，船舶状态评估标准的制定要从航运公司营运船舶的实际状况出发，力争科学。

(2) 依据国际公约、船级社相应规范等要求 为加强国际航运船舶安全管理，规范航运市场，降低海损事故发生率，一些国际航运组织制定了大量的公约、规范等，这些相关国际公约、规范都要作为船舶状态评估标准建立的指导性文件。如国际海事组织（IMO）《1974年国际海上人命安全公约》（1974SOLAS公约）以及其备忘录及其后来的修订版本；也要满足港口国监督（PSC）的检查标准，以避免在PSC检查中产生滞留；船级社制定的各种船舶规范，譬如中国船级社（CCS）制定的《钢质海船入级与建造规范》等。这些指导性文件、法规是判断船舶适航性的重要依据，所以可作为船舶状态评估标准的可行性的基本保证。

(3) 依据船舶管理公司的安全管理体系要求 航运船舶管理公司为加强对船舶的管理，增强公司对船舶的控制力度，确保船舶安全营运并提高公司经营效益，根据

国际 ISM 规则都制定相应的安全管理标准，这些安全管理体系可船舶状态评估标准建立的重要依据。譬如中远集装箱运输有限公司制定的《中远集运安全管理体系》规定了船舶安全管理和安全操作基本要求，主要包括对船舶营运安全的管理，驾驶台管理，甲板、船体、舱室的管理要求，轮机管理，证书、文件及资料管理，应急设备与演练，防污染，船舶安全管理监控等安全管理及安全操作基本要求。

(4) 依据船舶管理人员多年来对船舶设备、船体结构的管理经验 科学的评估标准都是依实践为依据，我们制定船舶状态评估标准遵循的原则就是“来源实践，高于实践，指导实践”，船舶设备日常维护、保养、维修都是技术性很强的工作，就要求船舶管理人员必须具备丰富的实船操作经验，才能够确保船舶设备安全、高效工作。因此，制定船舶状态评估标准就必须在总结船舶资深管理专家（主要包括船舶管理技术专家，船舶资深老轨、船长等）的经验基础上取众家之长，经过分析、综合、提高，从而建立起更加符合船舶管理公司的实际，更加合理和科学的评估标准。

#### 4.1.2 制定评估标准时应遵循的几个原则

(1) 科学性原则 评估标准项目和内容、评估标准和方法、权重系数确定与设计，必须能够反映营运船舶当前的真实状态，要抓主要矛盾，即主要性；选择的评估项目指标含义必须明确、界限清楚、易于理解。

(2) 实用性原则 评估标准要能够促进船舶设备、船体结构的安全运行、管理。

(3) 可操作性原则 可操作性是指从评估数据的采集到评估方法的实施，都要简单易行、操作方便、易于量化。有的内容虽然很重要，但不易于收集的不列入，可通过其它形式考核。标准可以用数量表示的，应尽可能量化，尽量减少定性信息和人为因素。

(4) 激励性原则 激励性是开展各项评估活动的根本目的。没有激励性的评估活动是毫无意义的，浪费人力物力。通过船舶状态评估，必须能区分出船舶管理的好坏，管理水平的高低，并且辅以奖优罚劣，才能有效推动评估活动的开展，充分调动有关人员的积极性，提高对船舶设备、船体结构的综合管理。因此，评估标准要便于打分和统计，并能准确界定船舶状态的优劣，管理水平的高低，分出档次。

#### 4.1.3 船舶状态评估标准基本内容

船舶设备、船体结构的工作状况取决各主要部件技术性能参数，并通过各运行参数综合反映，各参数指标是反映设备状况良好与否的代表性参数。对船舶主机、副机、锚机、舵机、锅炉（四机一炉）分别采用技术性能指标及运行参数指标综合评估，对船舶消防设备、应急设备、防污染设备、自动控制及报警系统、通信导航设备及船体部分则采用定性方法进行评估。

采用定性方法进行评估时,对被评估对象运行状态的描述采用五级评估尺度:优秀(E)、良好(G)、一般(N)、差(B)、较差(W),即决断集={优秀,良好、一般、差、较差}。

## 4.2 船舶主要设备评估标准确定<sup>[8,30,31,38,39]</sup>

对船舶主要设备(四机一炉)、船体结构、消防设备、应急设备、防污染设备、自动控制及报警系统、通信导航设备等实施状态评估的评估标准如下:

### 4.2.1 船舶主机

船舶主机采用定性评估与定量评估相结合的评估方法。定量评估指标由技术性能指标  $S_m$  及运行参数指标  $R_m$  组成,综合指标分值为 100 分。其中,技术性能指标占 50%,运行参数指标占 50%,如图 4-1 所示。

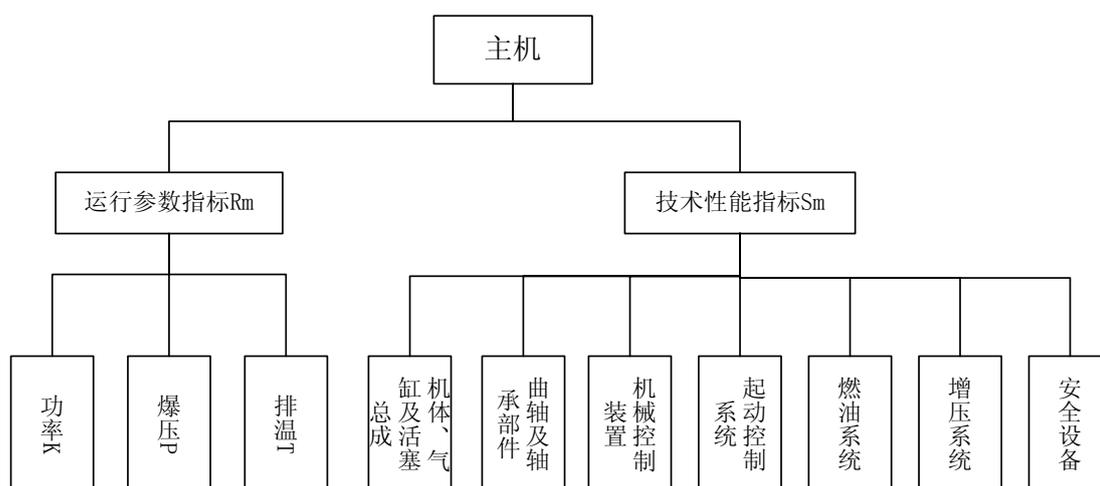


图 4-1 船舶主机评估指标

#### 4.2.1.1 运行参数指标

(1) 评定船舶主机运行状况主要评定主机营运功率、各缸爆压以及排烟温度参数。各运行参数指标应参照该机型说明书要求。

(2) 运行参数指标  $R_m$  总分为 100 分。其中主机功率指标占总分值的 80%，爆压指标占总分值的 10%，排烟温度指标占总分值的 10%。

(3) 评定主机当前运行功率是将主机当前可以达到的输出功率与持续服务功率(CSR)相比较。当运行功率  $\geq 98\%$  持续服务功率(CSR)时,指标系数  $K_m=1.0$ ,其余条件下所对应的指标系数  $K_m$  参见表 4-1 所示。

(4) 评定主机爆压是将主机单缸爆压与其它各缸爆压之差与主机各缸爆压的平

均值相比较,其比值作为评定主机的爆压指标。当比值 $\leq \pm 4.0\%$ 时,指标系数 $P_m=1.0$ ,其余条件下所对应的指标系数 $P_m$ 参见表 4-1 所示。

(5) 评定主机排烟温度是将主机单缸排烟温度与主机各缸排烟温度的平均值相比较,其比值作为评定主机排烟温度的指标。对于所有船舶当比值 $\leq \pm 10^\circ\text{C}$ 时,其指标系数 $T_m=1.0$ ,其余条件下所对应的指标系数 $T_m$ 参见表 4-1 所示。

表 4-1 主机评估参数表

评估参数	指标范围				
	$\geq 98\%$	95%~98%	90%~95%	90%~85%	$< 85\%$
功率(K)	$\geq 98\%$	95%~98%	90%~95%	90%~85%	$< 85\%$
指标系数( $K_m$ )	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80
爆压(P)	$\leq 4.0\%$	4.0%~4.5%	4.5%~5.0%	5.0%~6.0%	6.0% $<$
指标系数( $P_m$ )	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80
排温(T)	$\leq 10^\circ\text{C}$	10~20 $^\circ\text{C}$	20~30 $^\circ\text{C}$	30~40 $^\circ\text{C}$	40~50 $^\circ\text{C}$
指标系数( $T_m$ )	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

#### 4.2.1.2 技术性能评估

船舶主机技术性能由主机部件及系统所组成。主机技术性能评估项目如表 4-2 所示:

表 4-2 主机技术性能评估项目

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
机 体 、 气 缸 及 活 塞 总 成	气缸盖						
	活塞部件						
	活塞及活塞环						
	填料函 II						
	气缸套						
	气缸油注油器						
	十字头、连杆部件						
	十字头轴承						
	连杆轴承						
	伸缩管						
	滑块及导板						
	机体机架						

	贯穿螺栓						
	底脚螺栓						
曲轴及轴承部件	曲轴						
	主轴承						
	推力轴承						
	减震器						
	平衡装置						
	盘车机						
机械控制装置	齿轮箱链轮传动						
	张紧装置						
	凸轮轴轴承						
	凸轮及滚轮						
起动空气系统	调速器						
	机械传动部件						
	空气分配器						
	主起动阀						
	缸头起动阀						
	控制阀件及管系						
	超速保护						
	(进) 排气阀						
	液压驱动装置						
	提升装置						
燃油系统	喷油器						
	高压油泵及附件						
	高压油管						
	凸轮装置						
	提升装置						
	换向装置						
增压系统	压气端						
	涡轮端						
	喷嘴环及环罩						

	轴承组件						
	转子部件						
	润滑系统						
	空冷器泄漏						
	扫气箱阀件						
	辅助风机						
安 全 设 备	缸头安全阀						
	扫气箱安全阀						
	曲柄箱防爆阀						
	温度仪表及传感元件						
	压力仪表及传感元件						
	盘车机限位开关						

#### 4.2.2 船舶副机

船舶副机与主机选择的评估方法与评估项目像类似，即采用定性定量相结合的方法，不同之处在于航行中的船舶副机可能有多台，所以在评估时要对各台副机进行单独评估，然后在进行计算算出其算术平均值。对副机实施评估主要参照主机评估标准，在此不在累述。

#### 4.2.3 舵机

对船舶舵机实施评估时主要采用定性评估方法，评估项目及评估标准如表 4-3 所示。

表 4-3 舵机评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述					
		E	G	N	B	W						
液 压 系 统 部 分	主油泵											
	辅油泵											
	管系											
	仪表附件											
机 械 传 动 部 分	润滑情况											
	舵柱、舵叶											
电 气	马达情况											

控制部分	绝缘情况						
时间指标	正常转舵时间指标 $T_n$						
	应急转舵时间指标 $T_e$						

#### 4.2.4 锚机

对船舶锚机实施评估时主要采用定性评估方法，评估项目及评估标准如表 4-4 所示。

表 4-4 锚机评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
液压系统部分	主油泵						
	辅油泵						
	油马达						
	管系						
	冷却系统						
	仪表附件						
机械传动部分	润滑情况						
	离合器及刹车装置						
	锚机基座底脚螺栓						
	锚机基座锈蚀情况						
	锚链锈蚀情况						
	锚机链轮制动器						
	锚机止链器						
电气控制部分	马达情况						
	绝缘情况						
基本性能	起锚性能						
	刹车性能						

#### 4.2.5 锅炉

对船舶锅炉实施评估时主要采用定性评估方法，评估项目及评估标准如表 4-5 所示。

表 4-5 锅炉评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
给水部分	水泵情况						
	管系阀件						
	仪表附件						
燃烧器部分	燃烧器						
	燃油系统						
	管系阀件						
	仪表附件						
锅炉本体部分	炉膛情况						
	烟道情况						
	水管闷堵						
	安全阀件						
	水位表附件						
电气控制部分	自动控制装置						
	报警系统						
性能	蒸发量（蒸汽压力）						

## 4.2.6 自动监测与控制设备

对船舶自动监测与控制设备实施评估时主要采用定性评估方法，评估项目及评估标准如表 4-6 所示。

表 4-6 控制设备评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
主应急配电系统	主要电缆						
	主开关						
	联络开关或转换接触器						
	主配电板						
	应急配电板						
	分配电箱						

	蓄电池充放电板						
自动 控制 系统	自动化电站						
	主机架控系统						
	泵浦自动控制系统						
警报系统	机舱警报系统						
	紧急警报						
	主机相关						
	副机相关						
	发电机配电板相关						
	舵机相关						
	其他重要警报						
	污水高位警报						
	机舱火警警报						
	其他警报						
	火警警报系统						
	二氧化碳施放警报						
	货舱警报（烟雾、污水）等						
	驾驶台航海警报						
冰库呼叫警报							
安全 保护 系统	主机安全保护系统						
	自动减速						
	自动停车						
	副机安全保护系统						
	锅炉安全保护系统						

#### 4.2.7 通信导航设备

对船舶通信导航设备实施评估时主要采用定性评估方法，评估项目及评估标准如表 4—7 所示。

表 4-7 通信导航设备评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
无线电通信设备	VHF						
	雷达应答器						
	DSC 值班无线电装置						
	NAVTEX 接收机						
	INMARSTA 设备						
	应急无线电示位标						
	遇险值班频率接收机						
	双向无线电话						
航行设备	航海罗经						
	磁罗经						
	陀螺罗经						
	自动操舵仪						
	无线电导航设备						
	无线电测向仪						
	雷达						
	ARPA 雷达						
	GPS 接收机						
	计程仪						
	测探仪						

## 4.2.8 安全应急设备

对船舶安全应急设备实施评估时主要采用定性评估方法, 评估项目及评估标准如表 4-8 所示。

表 4-8 安全应急设备评估标准

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
消防设备	消防泵						
	水泵						
	马达						

	管系阀件						
	仪表附件						
	应急消防泵						
	水泵						
	马达（原动机）						
	关系阀件						
	仪表附件						
	消防管系						
	消防栓、阀件						
	机舱应急吸入阀						
	国际通岸接头						
	管系锈蚀情况						
	防火分隔门、水密门						
	机舱天窗、风机防火挡板						
	机舱油舱、柜速闭阀						
应急设备	应急发电机（电源）						
	应急空压机						
	应急蓄电池组						
	应急广播及总警报系统						
救生设备	救生艇发动机						
	艇架及附属机械						
防污设备	油水分离器						
	15ppm 监控装置						
	焚烧炉						
	生活污水装置						

#### 4.2.9 船体部分

对船体实施评估时，根据船体甲板、舱盖板、通风筒、压载水舱等情况实施进行定性评估，判断其状态。详细的评估项目见表 4-9 所示。

表 4-9 船体评估项目清单

	评估项目	工作状态					缺陷描述
		E	G	N	B	W	
船体甲板	主甲板						
	艏艉甲板						
	舷墙						
	水密设施						
	甲板管系						
货舱	水密情况						
	舱口围						
	锈蚀情况						
	通风设备						
	开启、关闭装置						
压载水舱	管系阀件						
	透气、测量管						
	锈蚀情况						
	通风设备						

对船体及甲板涂层状态及锈蚀状态的评估，依据中国船级社（CCS）检验规定采用三级评估标准，涂层的评定结果有良好、一般、和较差三种状态。见表 4-10 所示。

船体及甲板凹陷状况评估标准参见表 4-11。

表 4-10 涂层状态评估标准

涂层状态	良好状态	一般状态	较差状态
锈蚀状况			
点状锈蚀	数量较少		
轻度锈蚀	面积较小	大于检查区域的 20%	
结构边缘涂层脱落	局部脱落	大面积脱落	
焊缝涂层脱落	小于检查区域的 20%	大于检查区域的 20%	
硬质锈皮	轻度	小于检查区域的 10%	大于检查区域的 10%
涂层普遍脱落	仅有少量脱落	小于检查区域的 20%	大于检查区域的 20%

表 4-11 船体及甲板凹陷状况评估标准

项目		标准值	极限值	备注
船壳板	平行板	$\pm 2/1000\text{mm}$	$\pm 3/1000\text{mm}$	横向测量距离 (min.L=3m)
	前后部位	$\pm 3/1000\text{mm}$	$\pm 4/1000\text{mm}$	
强力甲板(除横跨甲板)及双层底顶板		$\pm 3/1000\text{mm}$	$\pm 4/1000\text{mm}$	
舱壁		$\pm 4/1000\text{mm}$	$\pm 5/1000\text{mm}$	
其它		$\pm 5/1000\text{mm}$	$\pm 6/1000\text{mm}$	

## 第五章 船舶状态综合评估模型

前几章已经就船舶当前状态的检测识别作了探讨,并且建立了船舶状态评估指标体系与状态评估标准,实施船舶评估操作的准备工作基本完成,评估人员已经可以对所管辖的船舶实施状态评估。但对整个状态评估程序而言,还剩余关键性的一步未完成——建立评估模型,即评估方法的选择。即评估人员对船舶设备、船体结构状态评定结果怎样进行计算与处理,才能使船舶状态综合评估值更为客观、科学。在本章中我们针对这个问题进行研究探讨,并根据研究的结果来建立船舶状态综合评估模型。

有关评估理论与方法的思路可大致归纳为以下三类:第一类是以数理统计为基础的理论,它是数学理论和解析方法对评估系统进行严密的定量描述和计算。这种方法是评估目标和约束条件清楚明了,不过这种方法常需在假定的条件下才能进行,有时在实际应用受到一定限制。第二类是以统计为主的理论和方法,它是通过统计数据建立评估模型。这是一种实验性的评估方法,能够处理那些无法用测量手段得到评估值的问题,但由于这种方法只是通过找出历史统计数据的规律来进行评估,难免存在某些片面性。第三类是以评估对象的实际效果是否满足目标来进行衡量的方法,例如计算机仿真技术就是属于此类,它不必对评估对象进行全面而客观的描述和评价,而只需判断哪个方案的实施结果更接近目标的实现。

现有的对单个对象实施评估的方法有数十种之多,比较常用的主要有以下几种,成本——效益分析法,关联矩阵法,关联树法,模糊综合评价法,层次分析法等等。当评估对象有多个评估指标时,最终要将多个指标的评估值综合起来,得到综合评估值,这就是综合评估。从总体上可将目前国内外常用的评估方法分为:专家评价法、经济分析法、运筹学和其它数学方法。其中最后一种方法有可分为以下几个类别:多目标决策法、数据包络分析法、层次分析法、模糊综合评价方法、数学统计方法等。

### 5.1 船舶状态评估方法的选择<sup>[2, 31,44,48]</sup>

对船舶状态评估过程设计到设备的性能、效率与人的感情、行为、判断等方面,它是一个特殊而复杂的过程。所以,船舶状态的评估必须同时考虑多个方面、多个环节和多个因素。可以说,对船舶状态的评定工作本质上就是一个多因素的综合评估问题。因而,对船舶现行状态定量评估的关键就是针对评估问题的特点,如何选择合适的方法,以建立一个科学合理的船舶状态综合评估数学模型。

在实际问题的评估中，单因素的评估总是比较好办的，难的就是多因素的综合评判。美国人扎德（LAZadeh）从实践中总结出这样一条互克性原理：“当系统的复杂性日趋增长时，我们作出系统特性的精确而有意义的描述能力将相应降低，直到某一阈值，一旦超过它，精确性和有意义性将变成两个几乎排斥的特性。”这就是说，系统的复杂程度越高，即影响因素越多，则有意义的精确化能力便越低。

仔细考虑一下各种较为复杂的事物，特别是包括人的心理、判断行为等因素在内的各种事物，不难发现其中存在有许多不确定性，而这种不确定性中有许多并非传统的随机性，而是由于各种概念外延的不确定性而造成的一种模糊性。即事物在中介过渡时所呈现的“亦此亦彼”性。它是排中律的一种破缺。在人类高级的心理活动中，诸如综合评估过程、多维决策过程等，伴随着错综复杂的关系，模糊性的普遍存在更是不容置疑的。因为，只要是包含着某种评估的人类行为，其中的重复和空隙就是在所难免的。而且，事物的复杂性意味着因素的众多和繁杂，当人们不可能对全部因素都进行考察，而只是能在一个压缩了的低维因素空间上来观察问题时，即使本来是明确的事物或概念，也可能变得模糊起来。不难看出，船舶状态评估测度问题显然存在着上述的模糊性。譬如对船舶设备状态的描述方法通常有：优秀、良好、一般、差等定性表示，而这些定性表示方式无法用一个严格意义上的判断标准来衡量，而是一个模糊性概念。对这类模糊性现象的处理、描述与分析，模糊数学是一种有效的方法。它把传统数学从二值逻辑的基础扩展到连续值上来。同时，对船舶状态进行综合定量评估时，还必须对多个层次的各个因素的具体状态进行数量化的综合。即将人们的比较判断的思维过程在较多的层次上进行数量化，获取船舶状态评估指标权重系数。而对这类问题的处理亦有一种简明实用的方法——层次分析法（AHP）。因此，本课题选用层次分析法与模糊综合评价法作为处理问题的工具，采用定量和定性相结合的方法。

## 5.2 定性和定量相结合的方法<sup>[30,46]</sup>

定性分析方法和定量分析方法是系统工程研究中常用的两种基本方法。定性分析方法通常是指从事物的现象入手对事物的特征、本质进行深入的研究、分析的方法。通常利用经验、常识来对所研究的系统进行本质的分析。在许多情况下，定性分析是决定研究方向的；定量分析则是指利用各种传统的数学方法对事物进行精确的、数量化的“量”的分析。定量分析提供了系统行为的数学表示。

近年来，随着系统工程方法的出现，利用单纯的定性分析方法或单纯的定量分析

方法难以解决科学研究中的具体问题，因而，人们探索利用定性和定量相结合的方法对复杂的系统进行深入的分析。这种方法对于系统建模、结构分析、系统诊断、系统预测等许多环节都是十分有效的。船舶状态综合评估体系设计的设备检验的项目众多，结构复杂，因此，本课题试图利用定性分析和定量分析相结合的方法来建立评估模型。利用定性分析的方法分析建立评估指标体系；再通过专家调查将专家经验和常识转化为各个指标重要度对比；然后再通过层次分析法得到各指标重要度的定量化表征，即获得权重向量；最后运用模糊综合评价得出定性和定量相结合的综合评估结果。利用定性和定量相结合的方法进行系统分析和评估，可以弥补单纯应用定性分析法或单纯应用定量分析法所产生的不足。

### 5.3 计算指标权重系数的数学模型——层次分析法 (AHP) [2,30,31,44,48]

层次分析法 (AHP) 是美国著名运筹学家、匹兹堡大学教授 T·L·萨蒂 (T.L.Saaty) 于七十年代中期提出的。它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、多准则的复杂系统的有力工具。AHP 的基本思路是评价者首先将复杂问题分解为若干组成要素，并将这些要素按支配关系形成有序的递阶层次结构；然后通过两两比较，确定层次中诸要素的相对重要性；最后评价各层次的重要程度，得到诸要素的评价对象中的权重系统。利用层次分析法确定指标权重的主要步骤如下：

#### (1) 建立递阶层次结构模型

对任何一个系统进行评价，都要首先明确评价的目标、评价的准则以及被评价的方案等。因此，我们先要分析评价系统中所包含的因素，按照因素的相互关联影响以及隶属关系，将因素按不同层次聚集组合，形成一个多层次的结构模型。通过对船舶系统结构模型进行分析，参考国内外有关资料并征询专家意见，得到船舶状态综合评价指标体系及分层，如图 3-2 所示。对方案层中因素如主要设备主机、副机、锅炉、舵机、锚机等子层进一步的细化在以后的相关章节再具体讨论，在此不在细分。

#### (2) 构造比较判断矩阵

递阶层次结构建立后，第二步就是在各层要素中进行两两比较，并引入判断尺度将其量化，构成比较判断矩阵。

比较判断矩阵是以上一层的某要素  $H_k$  为评价准则，对下一层次的要素  $A_1$ 、 $A_2 \dots A_n$  进行两两比较，按判断尺度确定其相当重要度  $a_{ij}$ ，以此作为元素值，建立判断矩阵：

$H_K$	$A_1$	$A_2$	...	$A_j$	...	$A_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1j}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2j}$	...	$a_{2n}$
$A_i$	$a_{i1}$	$a_{i2}$	...	$a_{ij}$	...	$a_{in}$
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nj}$	...	$a_{nn}$

判断尺度表示要素对要素的相对重要性的数量尺度，常用的有九标度判断尺度，如表 5-1 所示。

表 5-1 1—9 标度判断尺度表

判断尺度	重要性等级
1	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 同等重要
3	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 稍微重要
5	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 明显重要
7	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 重要的多
9	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 绝对重要
2, 4, 6, 8	表示相邻标度的中间值

本课题为了使被调查专家对各要素的重要度更容易作出判断，避免产生逻辑错误，采用三标度判断尺度的判断矩阵，其判断尺度如表 5-2 所示。

表 5-2 1—3 标度判断尺度表

判断尺度	重要性等级
1	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 同等重要
2	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 比 $A_j$ 重要
0	对 $H_K$ 而言, $A_i$ 没有 $A_j$ 重要

三标度判断尺度的判断矩阵只是一个间接判断矩阵，在计算各指标权重时需转换成九标度判断尺度的判断矩阵。其具体转换方法为：

在间接判断矩阵中，对应各个指标的判断标度之和得到排序指数  $r_i$ ，最大的为  $r_{\max}$ ，最小的为  $r_{\min}$ ，以  $r_{\max}$  和  $r_{\min}$  各自对应的要素进行比较，用九标度判断尺度进行判断，得到相对重要度  $b_m$ ，则其对应九标度判断矩阵  $\mathbf{B} = (b_{ij})_{n \times n}$  各要素  $b_{ij}$  为：

$$\text{当 } r_i - r_j \geq 0 \text{ 时, } b_{ij} = 1 + \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1) \quad (5-1)$$

$$\text{当 } r_i - r_j < 0 \text{ 时, } b_{ij} = \frac{1}{1 + \frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1)} \quad (5-2)$$

### (3) 计算指标权重向量

为了从判断矩阵中提炼出有用的信息, 达到对事物的规律性认识, 为决策提供科学的依据, 就需要计算每个判断矩阵的权重向量和全体判断矩阵的合成权重向量。确定指标权重向量的方法有多种, 常用的算法有: 特征向量法 (EVM), 对数最小二乘法 (LLSM), 最小二乘法 (LSM), 最小偏差法 (LDM) 等。这些算法计算精度较高, 要求评定因素分析严格, 但因其计算方法较为复杂, 大大增加计算工作量, 而实际上只能获取对判断矩阵  $\mathbf{B}$  的粗略估计, 因此计算其精确的特征值是没有必要的。实践证明, 在实际应用中采用求和法或求根法来计算特征值的近似值已经能够满足计算指标权值的要求。

本课题对船舶状态评价研究中主要采用求根法来计算特征值的近似值  $\mathbf{W}$ , 其步骤如下:

由定理: 对判断矩阵  $\mathbf{B}$  的全部列向量求每一分量的几何平均, 再规范化后的向量就是权重向量。所以, 对判断矩阵  $\mathbf{B}$  每行诸元求几何评价, 有:

$$\bar{w}_i = \left( \prod_{j=1}^n b_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5-3)$$

再规范化, 便得到权重向量

$$w_i = \frac{\left( \prod_{j=1}^n b_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{k=1}^n \left( \prod_{j=1}^n b_{kj} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5-4)$$

得到  $\mathbf{W} = (\mathbf{W}_1, \mathbf{W}_2, \dots, \mathbf{W}_n)$ , 即为  $\mathbf{B}$  的特征向量得近似值, 也是各评价因素得相对权重得近似值。

### (4) 判断矩阵得一致性检验

在实际评价中评价者只能对 **B** 进行粗略的判断，可能会产生判断矩阵不一致性的错误。造成这种情况的原因主要有两个，一是专家在进行两两比较时的价值取向和定级技巧，二是重要性等级赋值的非等比性。为了检验判断矩阵 **B** 的一致性（相容性），根据 AHP 的原理，可通过计算一致性指标（简写 CI）进行判断：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (5-5)$$

判断矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$  为：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(BW)_i}{nW_i} \quad (5-6)$$

对判断矩阵 **B** 有，当  $\lambda_{\max} = n$  时，由  $CI = 0$ ，矩阵 **B** 完全一致；当  $\lambda_{\max} \geq n$  时，CI 的值大于零，矩阵 **B** 稍有不一致； $\lambda_{\max}$  与  $n$  的差越大，即 CI 值越大，矩阵 **B** 的不一致性也就越大。

随着判断矩阵维数  $n$  的增大，判断的一致性就越差，维数  $n$  对矩阵的一致性造成一定的影响。萨迪（Saaty）建议取一致性指标（CI）对平均随机性指标均值（RI）之比，即一致性比率（CR）作为一致性检验的判别式

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5-7)$$

其中，RI 为平均随机一致性指标，它是仅与判断矩阵的维数有关的指标。RI 的取值如表 5-3 所示。

表 5-3 平均随机一致性指标 RI 的值

矩阵维数 $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

注：当矩阵维数  $n \leq 2$  时，矩阵不存在不一致问题，所以不必检验。

对每个判断矩阵 **B** 求 CR，当  $CR < 0.1$  时，认为此判断矩阵 **B** 有满意的一致性，即评判较为合理，否则，需要重新评审来确定判断矩阵数据。

## 5.4 模糊综合评价 (FCE) 的数据模型<sup>[1~2,44,45,47]</sup>

模糊综合评价法(FCE)是近年来发展较快,应用范围正在迅速拓展的一种新方法,其优点在于考虑到了客观事物内部关系的错综复杂性和价值系统的模糊性。

### 5.4.1 模糊综合评价的基本原理

模糊综合评价是在考虑多种因素的影响下,运用模糊数学工具对某事物作出综合评价。设  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  为刻划被评价对象的  $m$  种因素即因素集,  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  为刻划每一因素所处状态的  $n$  种决断即决断集。这里存在着两类模糊集,以主观赋权为例,一类是标志因素集  $U$  中诸元在人们心目中的重要程度

的量,表现为因素集  $U$  上的模糊权重向量  $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ ; 另一类是  $U \times V$  上

的模糊关系,表现为  $m \times n$  模糊矩阵  $R$ , 这两类模糊集都是人们价值观念或偏好结构的反映。再对这两类集施加某种模糊运算,便得到  $V$  上的一个模糊子集

$\tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 。因此,模糊综合评价是指寻找模糊权重向量

$\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_m) \in F(U)$ , 以及一个从  $U$  到  $V$  的模糊变换  $\tilde{f}$ , 即对每一因素  $u_i$  单独做

出一个判断  $\tilde{f}(u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \in F(V)$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , 据此构造模糊矩阵

$R = [r_{ij}]_{m \times n} \in F(U \times V)$ , 其中  $r_{ij}$  表示因素  $u_i$  具有评语  $v_j$  的程度。进而求出模糊综合评价

值  $\tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \in F(V)$ , 其中  $b_j$  表示被评价对象具有评语  $v_j$  的程度, 即  $v_j$  对模糊

集  $\tilde{B}$  的隶属度。

所以,模糊综合评价的数学模型涉及三个要素:

(1) 因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ;

(2) 决断集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ;

(3) 单因素判断  $\tilde{f}: U \rightarrow F(V)$ ,  $u_i \alpha \tilde{f}(u_i) = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}) \in F(V)$ 。

由  $\tilde{f}$  可诱导模糊关系  $R_f \in F(U \times V)$ , 其中  $R_f(u_i, v_j) = \tilde{f}(u_i)(v_j) = r_{ij}$ , 而由  $R_f$  可构成模糊矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5-8)$$

对于因素集  $U$  上的权重模糊向量  $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ , 通过  $\tilde{R}$  变换为决断集  $V$  上的

模糊集  $\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R}$ ，于是  $(U, V, \tilde{R})$  构成一个综合评价模型，它像一个如图 5-1 所示的转换器。若输入一个权重分配  $A \in F(U)$ ，则输出一个综合评价  $B = A \circ R \in F(V)$ 。

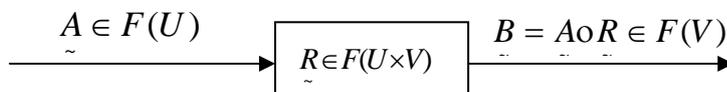


图 5-1 模糊转换器

模糊综合评价的基本步骤

步骤 1 确定评价对象集、因素集和评语集。

根据实际需要确定评价的对象集、评价的因素集和评语集（即决断集）。

对象集： $O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_l\}$ ，因素集： $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ，决断集： $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

步骤 2 建立  $m$  个评价因素的权重分配向量  $A$ 。

评价因素集中的每个因素在“评价目标”中有不同的地位和作用，即各评价因素在综合评价中占有不同的比重，这个比重我们称之为权重值，确定权重值的方法有很多，可以采用专家咨询法、层次分析法或“相对重要程度相关等级计算法”等。在本文中权重向量的确定主要采用层次分析法来获得。

步骤 3 通过各单因素模糊评价获得模糊综合评价矩阵。

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \Lambda \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \Lambda & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \Lambda & r_{2n} \\ & & \Lambda & \Lambda \\ r_m & r_{m2} & \Lambda & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (5-9)$$

每一个评价对象都应建立一个综合评价矩阵  $\tilde{R}$ ，其中  $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, r_{i3}, \Lambda, r_{in})$  为第  $i$  个因素  $u_i$  的单因素评价，所以  $r_{ij}$  表示第  $i$  ( $1 \leq i \leq m$ ) 个因素  $u_i$  在第  $j$  ( $1 \leq j \leq n$ )

个评语  $v_j$  上的频率分布，一般将其归一化使之满足  $\sum_{j=1}^n r_{ij} = 1$ 。

步骤 4 进行复合运算可得到综合评价结果

$$\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (B_1, B_2, \Lambda B_n) \quad (5-10)$$

其中  $B_j = \bigvee_{i=1}^m (a_i \wedge r_{ij})$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ 。  $\wedge$  表示  $a_i$  与  $r_{ij}$  比较取最小值,  $\vee$  表示在

$m$  个  $(a_i \wedge r_{ij})$  的最小值中取最大值。

步骤 5 计算每个评价对象的综合分值

综合评价的目的是从对象集中选出优胜对象, 所以还需要将所有对象的评价结果进行排序, 将综合评价结果  $\tilde{B}$  转换为综合分值  $M$ , 于是可依  $M$  值大小进行排序, 从而可挑选出最优者。

#### 5.4.2 多级模糊综合评价数学模型

在实际应用中, 评价对象的因素集往往并非只是单一的, 而是有若干组组成, 这样就形成多级模糊综合评价的问题。下面就依二级模糊综合评价模型为例, 来求解决多级模糊综合评价的问题。沿用上面提供的模糊综合评价数学模型的思

路, 我们将因素集  $U$  分成若干组  $U = \bigcup_{i=1}^p U_i$ , 其中  $U_i \cap U_j = \emptyset$ ,  $i \neq j$ , 设

$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im_i}\}$ , 于是  $U = \{u_{11}, \dots, u_{1m_1}, u_{21}, \dots, u_{2m_2}, \dots, u_{p1}, \dots, u_{pm_p}\}$ , 令

$\bar{U} = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ , 称  $\bar{U}$  为第 2 层因素集, 其元素  $U_i$  为第 1 层因素集  $U$  的子集, 仍旧对比进行综合评价, 便得到多级模糊综合评价模型, 具体步骤如下。

步骤 1 对第 2 层的第  $i$  组  $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im_i}\}$  中诸因素进行单因素评价, 即建立模糊映射  $\tilde{f}_i: U_i \rightarrow F(V)$ , 其中  $\tilde{f}_i(u_{ik}) = (r_{k1}^{(i)}, r_{k2}^{(i)}, \dots, r_{kn}^{(i)}) \in F(V)$ , 于是可求得评价矩阵  $\tilde{R}_i$ , 以  $(U_i, V, \tilde{R}_i)$  为原始模型, 在  $U_i$  中给出诸因素的权重分配  $\tilde{A}_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im_i})$ , 求得综合评价  $\tilde{B}_i = \tilde{A}_i \circ \tilde{R}_i \in F(V) (i=1, 2, \dots, p)$ 。

步骤 2 考虑第 2 层因素集  $\bar{U} = \{U_1, U_2, \dots, U_p\}$ , 以  $\tilde{B}_i$  作为因素  $U_i$  的单因素评价, 建立模糊映射  $\tilde{f}: \bar{U} \rightarrow F(V)$ ,  $U_i \alpha \tilde{f}(U_i) = \tilde{B}_i$ , 于是得到第 2 层的模糊关系综合评价矩阵

$$R_{\sim} = \begin{bmatrix} B_1 \\ \sim \\ B_2 \\ \sim \\ M \\ \sim \\ B_p \\ \sim \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \Lambda & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \Lambda & b_{2n} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ b_{p1} & b_{p2} & \Lambda & b_{pn} \end{bmatrix} \quad (5-11)$$

以  $(U, V, R)$  为原始模型, 在  $\bar{U}$  中给出诸因素的权重分配  $A = (a_1, a_2, \dots, a_p) \in F(U)$ , 求得综合评价  $B = A \circ R \in F(V)$ 。

$B$  即为二级模糊综合评价模型的综合评价, 类似地, 可推广到多级模糊综合评价模型。二级模糊综合评价模型的步骤可由下面二级转换器表示 (如图 5-2)。

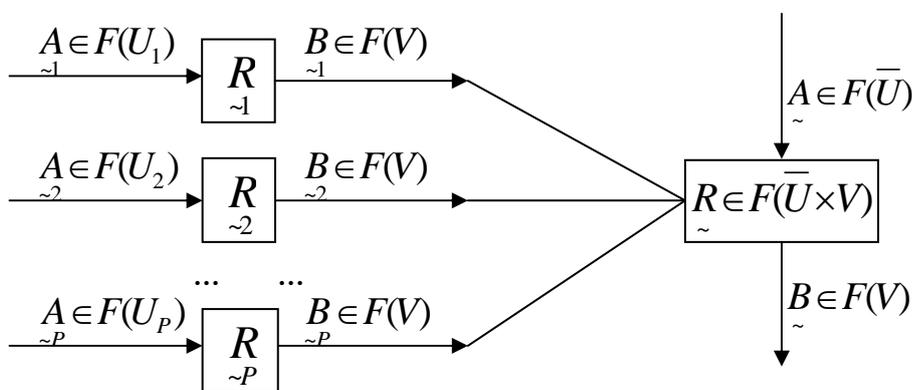


图 5-2 二级模糊转换器

### 5.5 层次模糊综合评估模型应用实例<sup>[2,30,44,47]</sup>

利用刚才介绍的层次模糊综合评估模型来评定某船用辅锅炉的运行状态, 该辅锅炉的评估指标如图 5-3 所示。

为了确定各指标权重, 首先进行专家调查。由技术专家、资深船员根据其多年的工作和实践经验对各个指标的重要度进行两两比较, 并利用层次分析法编制计算机程序计算, 得到各个指标的相对权重。



图 5-3 船舶辅锅炉评估指标

根据专家交回的调查表中每一个评价指标相对重要度两两比较的判断赋值表，通过计算可得到评估指标权重的一个参考值。由式 5-5、5-6、5-7 计算随机一致性比率  $CR$ ，当  $CR < 0.1$  时比较判断矩阵具有满意的一致性，则评价指标权重的参考值可用；若  $CR \geq 0.1$  时，比较判断矩阵不一致，参考值舍弃，必须进行修正。

依据上述计算方法编成计算机程序运算，运行得到锅炉状态评估指标权重。如

表 5-4 至表 5-8 所示。

表 5-4 锅炉整体权重指标

指标	燃烧器部分	电气控制部件	给水部分	锅炉本体部分
权重	0.35	0.15	0.35	0.15

表 5-5 燃烧器组件权重指标

指标	燃烧器	燃油系统	管系阀件	仪表附件
权重	0.34	0.29	0.14	0.23

表 5-6 电气控制部件权重指标

指标	自动控制装置	报警系统
权重	0.53	0.47

表 5-7 给水部件权重指标

指标	水泵情况	管系阀件	仪表附件
权重	0.51	0.14	0.35

表 5-8 锅炉本体部件权重指标

指标	炉膛	烟道	水管闷堵	安全阀件	水位表附件
权重	0.19	0.20	0.22	0.21	0.18

下面按照模糊综合评价的基本步骤对该锅炉进行综合评估。

由因素集  $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\} = \{\text{燃烧器部分, 电气控制部件, 给水部分, 锅炉本体部分}\}$ ;

$U_1 = \{U_{11}, U_{12}, U_{13}, U_{14}\} = \{\text{燃烧器, 燃油系统, 管系阀件, 仪表附件}\}$ ;

$U_2 = \{U_{21}, U_{22}\} = \{\text{自动控制装置, 报警系统}\}$ ;

$U_3 = \{U_{31}, U_{32}, U_{33}\} = \{\text{水泵, 管系阀件, 仪表附件}\}$ ;

$U_4 = \{U_{41}, U_{42}, U_{43}, U_{44}, U_{45}\} = \{\text{炉膛, 烟道, 水管闷堵, 安全阀件, 水位表附件}\}$ 。

对锅炉各部件运行状态的评估描述决断集（也称评语集），为：

$V = (V_1, V_2, V_3, V_4, V_5) = (\text{优秀, 良好, 一般, 差, 较差})$  并在评语集  $V$  中规定  $V_1=100, V_2=80, V_3=60, V_4=40, V_5=20$ 。

将上述主层次分析法获得的锅炉各零部件在评估中的权重表示如下：

$A = (0.35, 0.15, 0.35, 0.15)$

$A_1 = (0.34, 0.29, 0.14, 0.23)$

$A_2 = (0.53, 0.47)$

$A_3 = (0.51, 0.14, 0.35)$

$$A_4=(0.19, 0.20, 0.22, 0.21, 0.18)$$

现在由技术专家、资深船员等 10 人组成评估专家组对该锅炉实施评价, 其评估结果如下:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.1 & 0.3 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

根据各自得权重并利用模糊矩阵进行复合运算, 得出一级综合评估:

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = (0.3, 0.29, 0.2, 0.2, 0.2)$$

$$\tilde{B}_2 = \tilde{A}_2 \circ \tilde{R}_2 = (0.4, 0.3, 0.2, 0.3, 0.1)$$

$$\tilde{B}_3 = \tilde{A}_3 \circ \tilde{R}_3 = (0.35, 0.3, 0.3, 0.2, 0.1)$$

$$\tilde{B}_4 = \tilde{A}_4 \circ \tilde{R}_4 = (0.22, 0.21, 0.21, 0.22, 0.1)$$

将  $B_1, \tilde{B}_2, \tilde{B}_3, \tilde{B}_4$  归一化处理, 并将所得向量作为上层指标评价矩阵, 得出二级综合评估:

$$B = A \circ R = (0.28, 0.24, 0.24, 0.16, 0.17)$$

$\tilde{B}$  归一化得

$$B' = (0.257, 0.22, 0.22, 0.147, 0.156)$$

由此, 计算出该锅炉运行状态的综合得分为:

$$W = \sum_{k=1}^m b_k v_k = B' \cdot V = 65.5$$

## 第六章 船舶状态评估计算机辅助系统设计与实现

对船舶设备状态评估的过程涉及到大量而且关系复杂的数据,若由人工进行数据处理即繁琐、效率低下又很难保证质量。考虑到计算机高效的数据计算处理能力,开发一套计算机辅助系统,辅助船舶管理部门进行各种数据处理,使用该系统对评估数据用计算机加以管理,即有助于加速数据处理的速度,保证数据之间的一致性,同时也提高了船舶状态评估工作的效率和质量。

### 6.1 计算机评估系统功能<sup>[32, 51~53, 57~59]</sup>

#### 6.1.1 系统功能综述

根据船舶管理公司实施船舶状态评估工作的现行管理模式与操作流程的要求,本系统的主要功能是船舶评估项目基础数据的管理,评估数据的录入、计算、查询,与评估报表的输出(包括船舶状态评估缺陷非类表、船舶状态评估分析表等)等与船舶状态评估工作过程控制有关的工作任务。

#### 6.1.2 系统总体架构

船舶状态评估系统功能模块架构如图 6-1 所示。

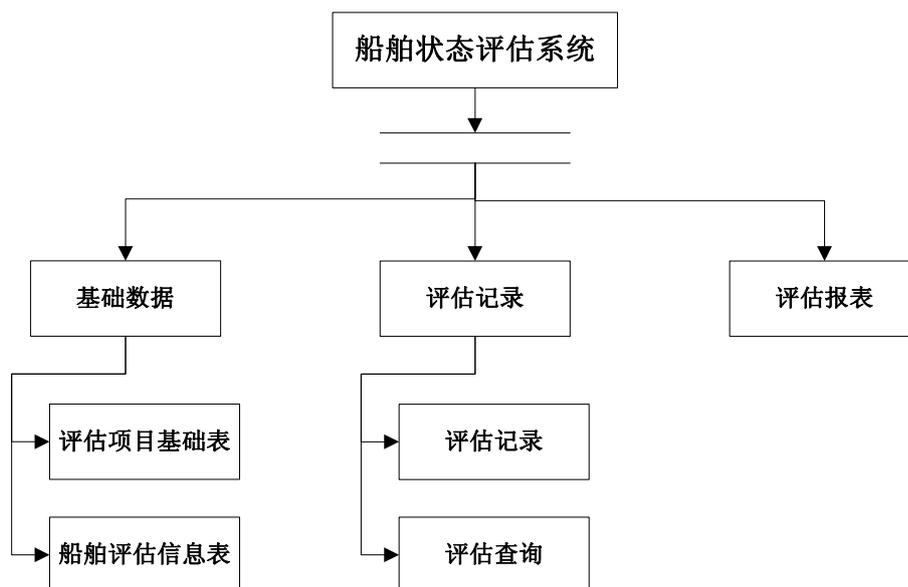


图 6-1 系统功能模块架构图

### 6.1.3 系统需求

**基础数据管理：**依据前面已经建立的评价指标体系与评价标准的各项指标制定实施船舶状态评价的评估项目。评估项目基础表模块主要是完成基础评估项的添加、修改、删除、查询等功能；船舶评估信息表模块可针对船舶所属不同部门以及船舶类型的不同来选取所要进行评估的项目，针对受评船舶来对评估项目添加、修改等，为定量评估项目设定标准值与权值，并可对其进行修改。

**评估记录：**该模块是对船舶状态评估结果进行录入、计算处理与查询。船舶状态评估员根据实施评估检验的情况录入评估项目的结果，有定量评估项目与定性评估项目两个录入数据窗口，计算机根据录入数据进行计算处理，自动计算出该项检验设备的评价值，并根据各项评估项目的汇总计算出该船舶综合状态评价值。评估查询可根据实施状态评估的时间段、评估人、船舶所属部门等对评估结果进行多功能查询。

**评估报表：**根据船舶管理公司实施船舶状态评估要求输出各类评估报表。主要有：船舶状态缺陷分类表、船舶状态评估结果、船舶状态评估汇总表、船舶状况改善方案表、船舶状况评估分析表等。

## 6.2 系统分析

根据实施船舶状态评估计算机管理的要求，对船舶状态评估系统设立的业务项目有：基础数据，评估记录，评估报表。船舶状态评估系统的总体业务流程如图 6-2 所示，整个模块主要以对船舶评估信息录入与评估记录为主，完成对船舶状态评估结果的处理与计算机管理。

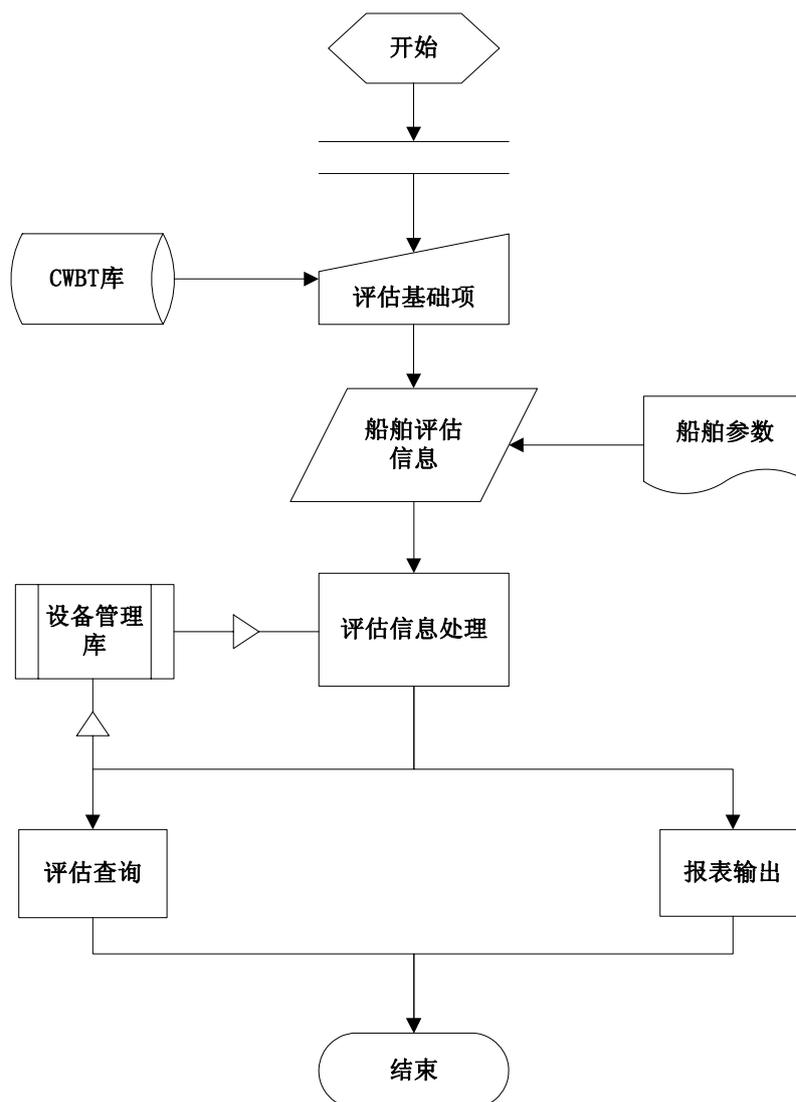


图 6-2 系统总体业务流程图

### 6.3 系统设计

在计算机软件系统的分析与设计中，首先需要准确的描述用户需求中的功能需求，以便进一步确定系统中应该建立哪些对象。Use Case 图提供了这样一种方法，所谓 Use Case 图是指系统的外部事物 Actor（活动者）与系统的交互，它表达了系统的功能。Actor（活动者）是用户作用于系统的一个角色（Role）；Use Case（用例）是对系统的用户需求（主要是功能需求）的描述，表达了系统的功能和所提供的服务。

#### 6.3.1 绘制 Use Case 图

现在我们依据用户对评估系统提出的功能需求采用 Use Case 图对船舶状态评估计算机系统进行分析设计。首先根据船舶状态评估系统的职责范围和需求确定系统的活动者：评估员与船舶管理人员。评估员是对船舶状态评估工作的操作者；船舶管理

人员是对评估工作的受用者，他可对评估结果进行查询、分析，为做好船舶管理的下一步工作提供决策。

评估员主要与四个 Use Case：“基础信息管理”、“船舶评估信息”、“评估记录”和“报表输出”存在联系；船舶管理人员主要与两个 Use Case：“评估信息查询”和“报表输出”存在联系。评估系统用例分析（Use Case 图）如图 6-3 所示。

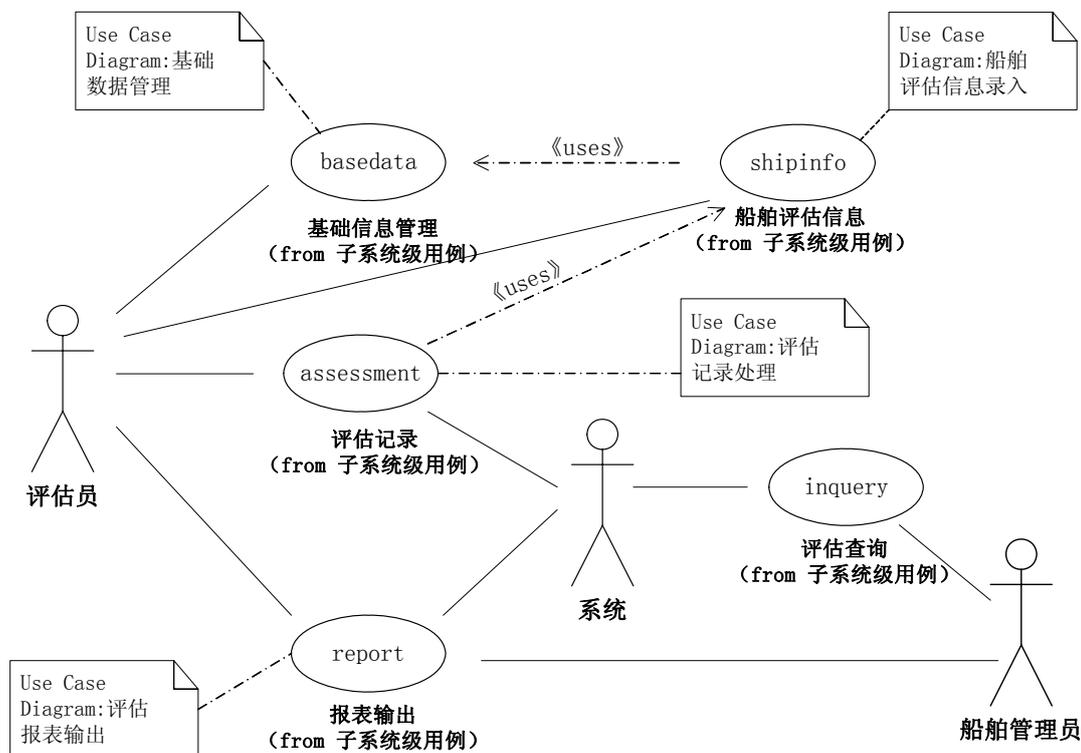


图 6-3 评估系统用例分析（Use Case 图）

下面对船舶状态评估系统的 Use Case 作简要的说明。

#### （1）Use Case “基础信息管理”

船舶评估员启动基础信息管理，Use Case “基础信息管理”就开始运行。它提供评估基础项目的添加、修改、查询、删除以及被评设备对应 CWBT 码的选取等功能。对于 Use Case “基础信息管理”还可以进一步细分为 Use Case “定量评估项目”和 Use Case “定性评估项目”两个部分。

#### （2）Use Case “船舶评估信息”

当船舶评估员登录系统并进行船舶评估信息操作时，Use Case “船舶评估信息”就开始运行。评估员可针对不同类型的船舶来决定基础评估项目的哪些项参与本船的评估，哪些项不参与评估，并进行保存以获得该船舶所要进行评估的项目信息。对于 Use Case “船舶评估信息”也可进一步细分为 Use Case “定量评估项目”和 Use Case “定性评估项目”两个部分。

### (3) Use Case “评估记录”

当船舶评估员登录系统并进行评估记录时，Use Case “评估记录”就开始运行。评估员可根据对船舶状态评估的结果进行信息录入，并进行保存。计算机系统根据保存的数据对其自行运算处理，从而获得船舶单项设备状态评价值以及船舶状态综合评价值。对于 Use Case “评估记录”也可进一步细分为 Use Case “定量评估”和 Use Case “定性评估”两个部分

### (4) Use Case “评估查询”

当船舶管理人员登录系统启动评估查询时，Use Case “评估查询”就开始运行。它首先对用户进行身份验证并确定所属部门，然后根据身份确认来现实所管辖船舶评估信息，并可对其进行多功能查询与统计分析。

### (5) Use Case “报表输出”

当船舶评估员或船舶管理人员登录系统启动报表输出时，Use Case “报表输出”就开始运行。它提供多种报表输出功能，包括对船状态缺陷分类表、船舶状态评估结果、船舶状态评估汇总表、船舶状况改善方案表、船舶状况评估分析表等。

在绘制 Use Case 图时不但要明确 Use Case 与活动者评估员之间的联系，而且也要把 Use Case 之间的联系表现出来。Use Case 间的联系常见的有《Uses》、《Include》、和《extend》等联系。在图 6—3 中，Use Case “船舶评估信息”与 Use Case “基础信息管理”，Use Case “评估记录”与 Use Case “船舶评估信息”之间都有《Uses》联系，即它们在运行时 Use Case “船舶评估信息”用到了 Use Case “基础信息管理”进行信息录入，Use Case “评估记录”用到 Use Case “船舶评估信息”来进行信息录入。

## 6.3.2 建立动态行为模型

系统的动态行为模型由交互图（顺序图和协同图）、状态图、活动图表达。在系统的分析和设计中应对主要的 Use Case 绘制这些图形，以便分析系统的行为，印证和修改系统的静态结构，满足用户的需求，以达到系统的目标。

### (1) 建立顺序图

要绘制顺序图首先要对一个 Use Case 编写交互活动的剧本，然后确定参与交互活动的对象，确定交互事件。

以船舶状态评估系统的 Use Case “基础信息管理”为例来确定交互事件，以绘制 Use Case “基础信息管理”的顺序图，如图 6—4 所示。Use Case “基础信息管理”是活动者“船舶评估员”和“注册登录”接口对象、“设置评估项目表单”接口对象、“设置评估项目”对象发生的交互，其中交互事件如下。

#### ① 登录

“船舶评估员”登录船舶状态评估系统进行评估项目基础信息设置。“船舶评估员”发出登录消息，并输入用户标识（ID）和口令。

### ② 验证

“注册登录”接口对象响应登录消息，检查用户标识（ID）和口令。如果正确无误，则可以继续下一步交互，否则提示用户重新输入用户标识（ID）和口令，进行新一轮的身份验证。

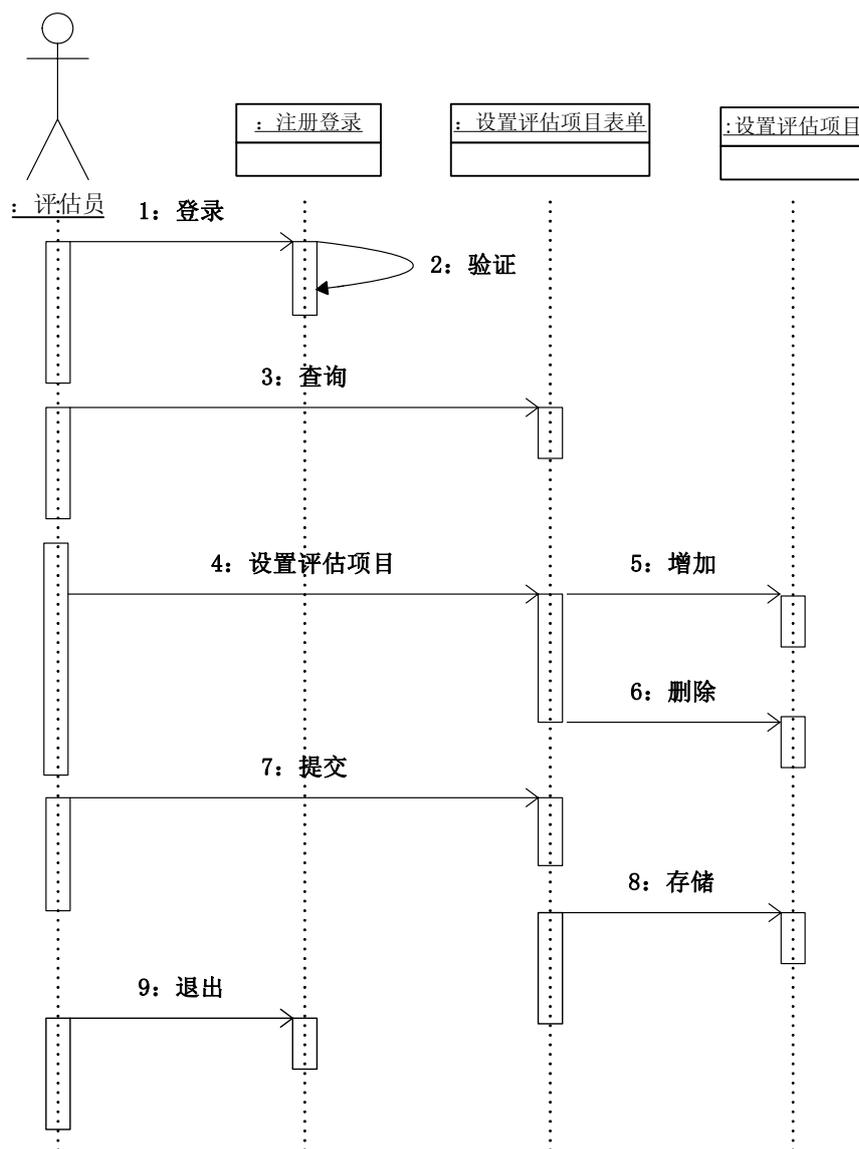


图 6-4 Use Case “基础信息管理” 顺序图

### ③ 查询

“船舶评估员”发出要求查询已有评估项目的设置信息的信息，“设置评估项目表单”接口对象应该消息，按照所选船舶设备评估指标即查询条件从数据库中找到相关的评估项目，在系统中现实，并反馈查询信息成功或失败的信息给“船舶评估员”。

#### ④ 设置评估项目

“船舶评估员”发出基础评估项目设置的消息，进行设置基础评估项目的活动。“设置评估项目表单”接口对象响应该消息，根据“船舶评估员”的要求决定是进行增加基础评估项目还是删除评估项目的活动。

#### ⑤ 增加评估项目

“设置评估项目表单”接口对象发出增加评估项目消息，“设置评估项目”对象响应该消息，并在设置基础评估项目表中增加指定的评估项目。

#### ⑥ 删除评估项目

“设置评估项目表单”接口对象发出删除评估项目消息，“设置评估项目”对象响应该消息，并在设置基础评估项目表中删除制定的评估项目。

#### ⑦ 提交

在完成了基础评估项目设置操作后，“船舶评估员”发出请求提交的消息，进行存储基础评估项目设置的操作。“设置评估项目表单”接口对象响应该请求。

#### ⑧ 存储

“设置评估项目表单”接口对象发出“存储”消息，“设置评估项目”对象响应消息，进行数据库存储操作，把课程设置的结果数据真正存入数据库。

#### ⑨ 退出

“船舶评估员”发出退出系统的消息，“设置评估项目”接口对象响应请求，关闭系统。

### (2) 建立状态图

通过建立状态图来表现一个对象（类）的生命史。对于一些实现重要行为动作的对象应当绘制状态图。绘制状态图需要确定一个对象的生命期可能出现的全部状态，哪些事件将引起状态的转移，将会发生哪些动作。

对于船舶状态评估系统中针对某条船舶进行评估信息管理，可能产生的状态有以下几种：“初始化”状态，“添加评估项目”状态，“删除评估项目”状态，“取消”状态和“关闭/存储”状态，又根据船舶状态评估项目的性质不同区分为“定性”与“定量”两种情况。船舶评估信息管理状态图如图 6-5 所示。

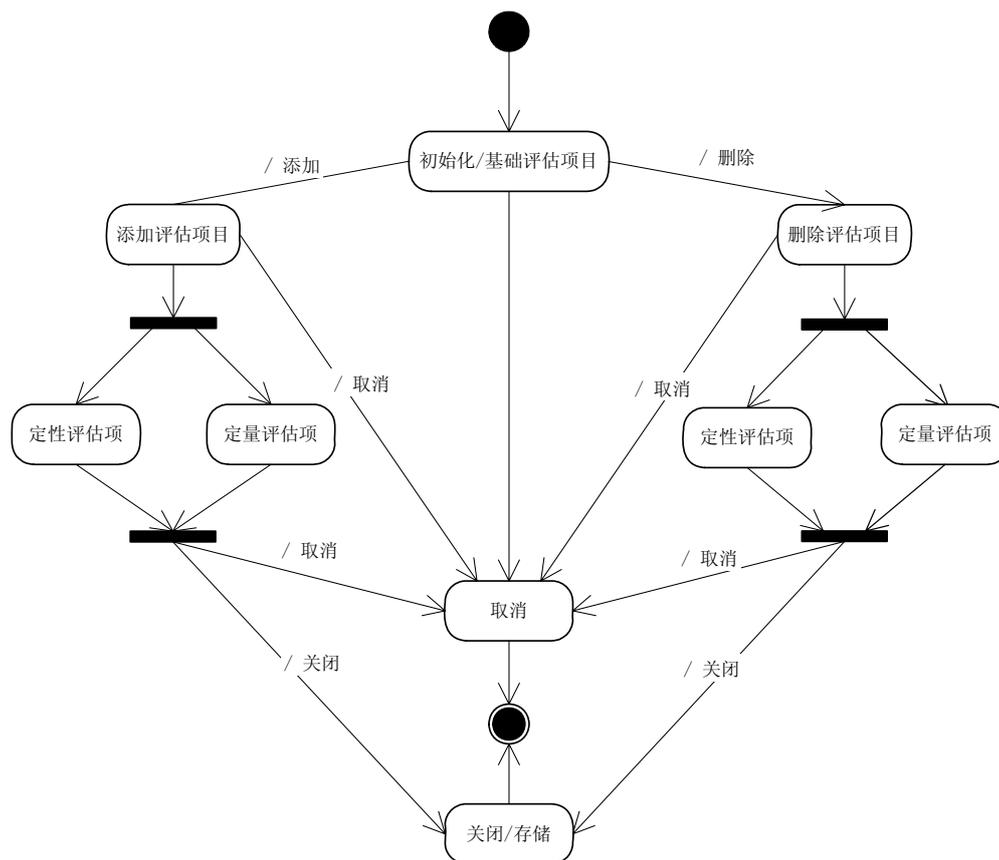


图 6—5 船舶评估信息管理状态图

### (3) 建立活动图

活动图的主要作用是表示系统的业务 workflows 和并发处理过程。对于一个系统可以针对主要的业务 workflows 绘制活动图。绘制活动图需要确定参与活动的对象、动作状态、动作流，以及对象流。对船舶状态评估系统的“评估记录”活动绘制活动图如图 6—6 所示。

## 6.4 系统实现<sup>[52, 54-56]</sup>

### 6.4.1 Client/Server 体系结构

随着微机的发展，其运算速度越来越快，而且价格低廉。在利用网路将终端机（一般为微机）和数据库服务器连接后，就可以从数据库服务器中存取数据，而且部分工作可以由终端机来完成，以分散数据库服务器的负担，这样数据库服务器就不必是价格昂贵的大型主机了。这就是客户机/服务器数据库 (Client/Server, 简称 C/S) 网络结构。

客户机/服务器结构与以往的 PC 机系统相比具有如下优点：

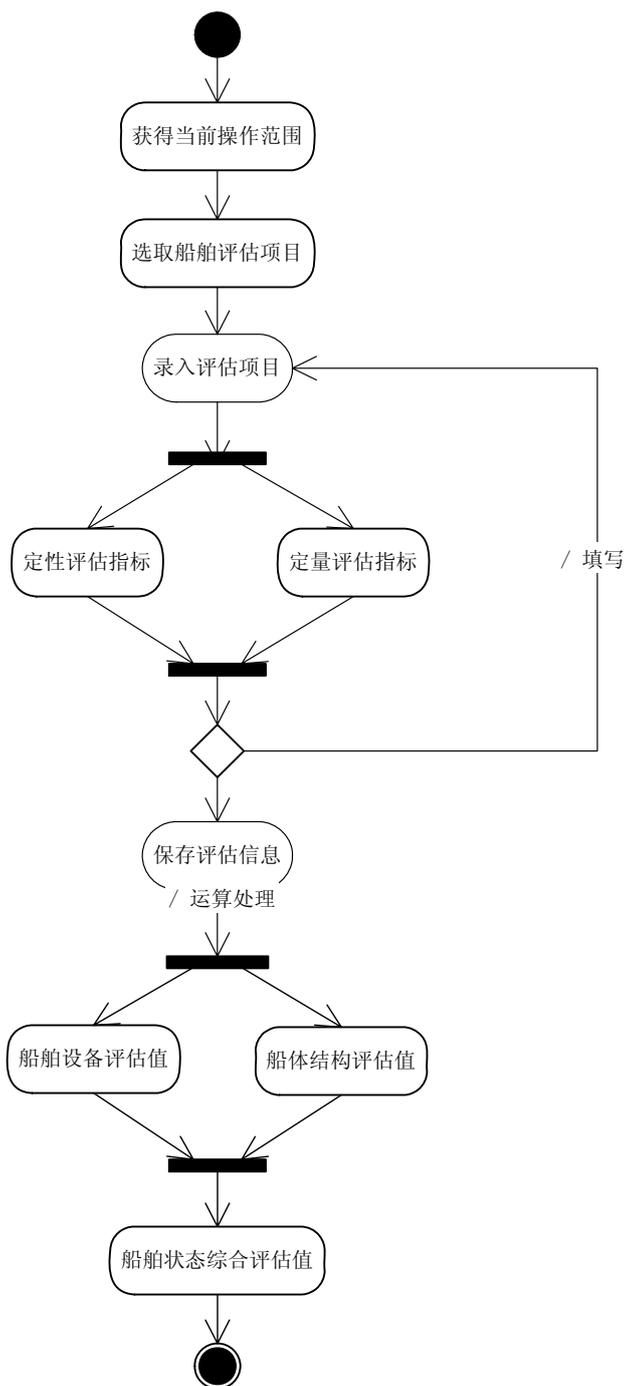


图 6-6 “评估记录”活动图

(1) 分离了数据库管理系统和应用程序，数据库系统和应用开发工具相互独立。这增加了系统配置和灵活性，开发人员可以选用其熟悉的、功能强大的开发工具进行开发，从而可以提高生产率和应用系统的功能。例如：不同数据库（如：Sybase、Oracle、Sql server、Access 等）的用户可以选用一种编程语言如 PowerBuilder 进行应用程序开发，C/S 结构为此提供了方便。

(2) 可以把安全管理、数据完整性控制、数据存取、部分应用逻辑等需要集中

管理的工作集中放在服务器上来完成。

(3) 可以把应用程序的设计、开发部分，完整性工作放在客户端完成。在应用开发好后，它既可以操作所有可连接到的不同的数据库，又可以安装在多个客户机上操作一个共同的数据库。

(4) 客户机/服务器数据库结构带来了主机系统的“缩小化”，由于用户界面及部分应用逻辑在工作站上独立完成，所以应用系统对主机的要求降低了许多：在小型企业，甚至用 PC 机服务器亦可胜任工作。因此，客户机/服务器数据库结构可以使整个系统的费用有较大程度的降低。

(5) 由于可以灵活使用和搭配各种设备来建立客户机/服务器数据库结构，所以不同需求的人可以使用不同机器的处理能力来完成自己的工作，从而可以节省开支。

#### 6.4.2 开发工具

在对系统进行开发时，数据库工具将采用 Microsoft SQL Server 2000，开发工具采用 PowerBuilder 8.0 进行开发。

##### 6.4.2.1 Microsoft SQL Server2000 介绍

Microsoft SQL Server 2000（简称 SQL Server）由一系列相互协作的组件构成，能满足最大的 Web 站点和企业数据处理系统存储和分析数据的需要。SQL Server 提供了在服务器系统上运行的服务器软件和在客户端运行的客户端软件，连接客户和服务器的网络软件则由 Windows NT/2000 系统提供。SQL Server 的客户机/服务器提供了许多传统主机数据库所没有的先进功能。数据库的访问并非局限于某些已有的主机数据库应用程序，它能与客户机/服务器开发工具和桌面应用程序紧密集成，可以使用很多方法访问数据库，如 Visual Basic、Visual C++、PowerBuilder、Delphi、Visual FoxPro、Access 等，而且 SQL Server 的客户端的应用程序可以通过 SQL Server 提供的应用程序接口来访问服务器数据。作为客户机/服务器数据库系统，SQL Server 的特性如下：

- (1) Internet 集成。SQL Server 数据库引擎提供完整的 XML 支持。
- (2) 可伸缩性和可用性。
- (3) 企业级数据库功能。
- (4) 易于安装、部署和使用。
- (5) 大容量数据仓库。
- (6) 关系数据库功能强大。

##### 6.4.2.2 PowerBuilder 8.0 开发工具

本系统采用 PowerBuilder 8.0 作为系统的开发语言，它是美国 Sybase 公司推出

的一种功能强大的快速数据库应用开发工具。相对于其他任何的应用开发工具，PowerBuilder 8.0 可以使开发速度更快、成本更低、质量更高、功能更强，并具有如下特点：

- (1) 可视化开发环境；
- (2) 可用拖放式设计方法开发图形用户界面；
- (3) 多平台的开发环境；
- (4) 客户机/服务器开发模式，作为前端的开发工具，可以和各种后端数据库管理系统协同工作；
- (5) 开放性，可以和第三方软件开发商提供的工具无缝集成；
- (6) 强大的数据提取控制能力，PowerBuilder 8.0 提供了功能强大的数据窗口对象 (DataWindows Object)。它可以充当数据库和用户之间的界面，一方面能连接数据库，并从后台数据库中取出所要数据，以各种风格显示出来；另一方面它能接受用户修改数据的要求，自动修改、更新数据库中的数据。本系统的实际应用程序开发过程中，应用了不少数据窗口。

#### 6.4.3 系统界面

本系统用户界面的设计采用 Windows 风格标准，界面干净整洁，操作宜人化。船舶状态评估系统界面布置参见图 6-7 所示。



The screenshot shows a software window titled '设备评估' (Equipment Evaluation) with a '评估查询' (Evaluation Query) sub-window. The sub-window displays a table of assessment items for the ship '新会河' (Xin Hui He) on '2003/05' by the 'may' group. The table includes columns for '序号' (Serial Number), '评估项目' (Evaluation Item), '总体评价' (Overall Evaluation), '状态评价' (Status Evaluation), and '缺陷描述' (Defect Description). A summary table at the bottom provides statistics on the number of items, average scores, and defect counts.

序号	评估项目	总体评价	状态评价	缺陷描述
1	(进)排气管	100.00	无缺陷	
2	安全设备	100.00	无缺陷	
3	超速保护	100.00	无缺陷	
4	齿轮箱锥轮传动	70.00	一般缺陷	
5	底脚螺栓	70.00	一般缺陷	
6	调速器	70.00	一般缺陷	
7	辅助风机	50.00	严重缺陷	
8	缸头安全阀	70.00	一般缺陷	
9	缸头起动机	70.00	一般缺陷	
10	高压油泵及附件	70.00	一般缺陷	
11	高压油管	50.00	严重缺陷	
12	贯穿螺栓	70.00	一般缺陷	
13	滑块及导板	70.00	一般缺陷	
14	换向装置	70.00	一般缺陷	
15	活塞及活塞环	70.00	一般缺陷	
16	机体机架	70.00	一般缺陷	
17	机械传动部件	70.00	一般缺陷	
18	机械控制装置	50.00	严重缺陷	
19	减震器	70.00	一般缺陷	
20	空冷器漏泄	70.00	一般缺陷	
21	空气分配器	50.00	严重缺陷	
22	控制附件及管系	100.00	无缺陷	
23	连杆轴承	70.00	一般缺陷	
24	盘车机	100.00	无缺陷	
25	盘车机限位开关	100.00	无缺陷	
26	喷油器	70.00	一般缺陷	
27	喷油环及环罩	70.00	一般缺陷	
28	平衡装置	50.00	严重缺陷	
29	起动机空气系统	70.00	一般缺陷	

评估项目数	60	平均分	60.17	一般缺陷数	33	严重缺陷数	10
工单缺陷数	32	检查缺陷数	23	技术性缺陷数	33.00	综合分	38.50

图 6-7 评估系统界面布置图

## 第七章 结论与展望

对于船舶技术状态准确客观评估的研究,有利于加强船舶设备、船体技术状态的监控,提高船舶管理公司对船舶安全状态的控制力度,为船舶航线优化、领导层决策等提供切实有效的技术依据;为使得企业并购,船舶买卖、租赁等做到有据可依;同时也为船舶实施状态监控下的维修提供技术依据。

### 7.1 结论

通过对国际海事法规、公约,以及海损、海难等分析研究,并结合船舶公司的实际情况,大量收集总结专家的宝贵经验,建立了较为客观、科学的船舶状态评估指标体系与评估标准,使实施状态评估做到有据可依。

采用模糊综合评价模型改进了现有的船舶状态评估方法,克服了现有方法评估过程单一化、主观化的缺点,很好的解决了评估过程中定性指标难于比较的困难,在定性与定量之间通过模糊数学的理论架起了一座桥梁。

因素权重集的确定采用 AHP 法,极大地消降了传统权数确定过程中的主观随意性成分。该方法建立在分层次、单目标、单准则两两对比判断基础上,最易区别优劣高低。并采用符合人们思维判断过程的 1—3 比率标度方法,对人们的思维判断过程进行数量化。

利用 SQL2000 数据库与 PB8.0 开发工具开发了一套船舶评估计算机辅助系统。充分利用计算机运算速度快、数据储存量大等优势,便于船舶状态评估数据的处理,并为进一步完善船舶评估工作积累宝贵的数据。

### 7.2 展望

船舶状态评估的研究工作在我国才刚刚起步,船舶作为一个机构庞大、复杂的综合系统,所属设备种类复杂,还很难寻求出一套有效方法对其整体状态做出精确的描述,本文仅是对船舶状态综合评价所采用的方法做出探索性研究,还有大量的工作需要进一步去探索、研究。

对船舶设备及船体的状态的识别仅是立足于离线检测技术,随着监测技术的发展,特别是大量的在线监测技术在船舶上的应用,在线获取机械设备的运行技术参数,使描述设备状态的数据更为真实、可靠。

船舶评估指标的选取还不够全面、合理，主观性还较强，有待于进一步的调整优化，应用模糊综合评价法的科学性与模糊关系矩阵  $R$  及权重分配  $A$  有关，而对它们的确定还不够准确，采用专家调查法确定评估指标隶属度，还存在一定的主观性。对于评价指标体系的建立还不够全面具体，还可做出进一步的细化。

对于船舶状态评估计算机辅助系统的研制还属于初期研发阶段，评估标准与系统功能还需要在实践中继续完善，以提高它的实用性与科学性。

## 致 谢

在导师郑士君副教授的亲切关怀和悉心指导下完成了本学位论文。学习期间，导师在学习、研究、生活等方面给予了无微不至的关怀，从选题、课题研究直至论文撰写、修改和正式论文提交等全部过程都得到了导师的精心指点和循循教导。两年多来，导师潜心治学的态度、锐意创新的科研精神、坦荡开阔的襟怀及对人的热情和信任，都给作者留下深刻的印象，这对作者今后的工作和人生道路必将产生深远的影响。在此，对导师的辛勤培养表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意！

在课题研究之中，得到中远集装箱运输船舶管理公司专家们的支持和帮助，并得到课题组全体同仁的鼎力支持和帮助，使论文得以顺利完成，在此深表谢意。此外，对一直以来给予我帮助和关心的老师、同学和朋友们表示感谢！

最后，特别感谢我的父母与家人，谢谢你们一致以来对我的默默支持和关心！

## 参考文献

1. 汪培庄. 模糊系统理论与模糊计算机. 科技出版社, 1996-3
2. 秦寿康. 综合评价原理与应用. 电子工业出版社, 2003-6
3. 王生凤等. 几种维修质量评估方法的探讨. 中国标准化, 2002-9
4. Guidelines for Condition Assessment Program .Germanischer Lloyd Head Office , 2002-1
5. 中华人民共和国船舶检验局. 船舶与海上设施法定检验规范. 北京:人民交通出版社, 1999
6. GJBZ 20022-94. 航空机务工作质量综合评判方法, 1994
7. QC/T 900-1997. 汽车整车产品质量检验评定办法, 1997
8. 中国船级社. 钢质海船建造与入级规范. 人民交通出版社, 2002
9. 陈联沐. 船舶设备管理信息系统开发:【学位论文】. 上海: 上海海事大学, 2004
10. 黄志. 对船舶安全状况的评价及研究:【学位论文】. 大连: 大连海事大学, 2000
11. 丁小波. 船舶与航运企业整体资产评估研究:【学位论文】. 大连: 大连海事大学, 2001
12. 徐进. 谈船舶 PMS 检验与 CWBT. 航海技术, 2002-1
13. 唐达列. 客船的资产评估方法探讨. 江苏船舶, 2002
14. Determination of a cost optimal.predetermined maintenance schedule.By Havard J.Thevik, 2000
15. 费名盛. 关于机车柴油机极限技术状态评定的探讨. 内燃机车, 1994
16. 刘艳研. 机械设备的故障分析与维修. 机械研究与应用, 2003 (4): 87~88
17. 张瑞友. 船体结构中疲劳裂纹的分析与修复. 中国修船, 2003 (6): 21~23
18. 林子务. 纺织设备状态维修研讨. 棉纺织技术, 2002, 30 (6): 376~379
19. 石博强等. 机械故障诊断的分行方法——理论与实践. 冶金工业出版社, 2001
20. 张安华. 机电设备状态监测与故障诊断技术. 西北工业大学出版社, 1995-3
21. 凌树森. 可靠性在机械强度设计和寿命估计的应用. 宇航出版社, 1986
22. 吴国华等. 设备的状态监测与工况评估. 山西机械, 1999-6

23. 张国忠. 检测技术. 中国计量出版社, 1997
24. 周志敏. 红外诊断技术在电器设备状态检修中的应用. 设备管理与维修, 2002
25. Marine Maintenance Systems and Class Surveys-Alternative Survey Arrangements .By Ron Riselli, 2000
26. 张雨. 设备状态监测与故障诊断理论和实践. 国防科技大学出版社, 2000
27. 谢小鹏. 设备状态识别与维修决策. 中国石化出版社, 2000
28. 钟秉林. 机械故障诊断学. 机械工业出版社, 1997
29. 虞和济. 振动诊断的工程应用. 冶金工业出版社, 1990
30. 上海海运学院系统工程教研室主编. 系统工程, 1998-10
31. 王宗军. 综合评价的方法、问题及其研究趋势, 1998, 1 (1): 73~79
32. Joseph Giarratano. 专家系统原理与编程 (英文版、第三版). 机械工业出版社, 2002
33. 吴兆麟. 海事调查与分析. 第一版. 大连海运学院出版社, 1993
34. 评估船舶的安全性绝非易事. 船检信息, 1993-2
35. 张春来. 船舶设备安全状态的量化评价. 大连海事大学学报, 1998, 24 (3): 6~9
36. 关政军. 船舶交通事故的分析. 大连海事大学学报, 1997, 23 (3) 46~51
37. 金家善, 严华, 谭猛泉等. 舰用设备技术状态综合评估的结构完整性模型. 船舶工程, 2003, 25 (6): 64~67
38. 中远集装箱运输有限公司. 船舶设备状况评估标准, 2003/6
39. 香港远洋运输公司. 船舶状态联合评估标准, 2002
40. 交通部推广组编. CWBT 船舶设备维护指南, 1993
41. RULES FOR BUILDING AND CLASSING STEEL VESSELS 1998-1999. American Bureau of Shipping (ABS), 1998
42. Machinery Planned Maintenance and Condition Monitoring. Lloyd' s Register-Marine Service, 2001
43. 吴恒. 现代轮机技术管理. 大连海事大学出版社, 1998
44. 林军. 层次模糊综合评价在机器设备成新率评定中的应用. 西南工学院学报, 2001 (2): 74~77
45. 雷涛. 设备状态的模糊综合评估. 东北重型机械学院学报, 1996, 20 (2): 182~

185

46. 王丰效. 定性指标体系综合评价研究. 固原师专学报(自然科学版), 2002, 23(6): 6~8
47. 王生凤等. 装备维修质量模糊综合评估研究. 改装维修, 2002-11
48. 赵平等. 人机系统危险状态评定的 AHP 方法研究. 沈阳航空工业学院学报, 1998
49. 张亮等. 基于人工智能的电气设备状态综合分析方法. 绍兴电力局, 2000
50. 金家善. 舰船动力装置经济性的概念、模型及其应用. 海军工程学院学报, 1999
51. 张龙祥. UML 与系统分析设计. 人民邮电出版社, 2001
52. 柴跃廷. 应用软件系统开发. 清华大学出版社, 1998
53. 邓瑞鹏, 丁坚勇. 发电厂电气设备状态检修管理信息系统的设计, 2002, 4(4): 20~22
54. 罗晓沛. 数据库技术(高级). 清华大学出版社, 1999
55. 李代平等. SQL Server2000 数据库应用基础. 冶金工业出版社, 2002
56. 陈明等. PowerBuilder 8.0 高级编程技术. 北京希望电子出版社, 2002
57. 李小隼. 先进制造中的智能监控技术. 科技出版社, 1999
58. 汤兵勇. 模糊控制理论与应用技术. 清华大学出版社, 2002
59. 刘曾良. 模糊技术与神经网络技术选编(4). 北京航空航天大学出版社, 1999