



# 目 录

## Content

第一章 船舶机损案例分析	1
第一节 研究的意义	1
第二节 船舶机损案例分析	3
第三节 船舶机损案例库查询软件	29
第二章 船舶机损故障树分析	32
第一节 故障树分析方法	32
第二节 船舶机损故障树分析	36
第三节 船舶机舱典型故障树分析软件	48
第四节 船舶应急事件处理软件	49
第三章 人因失误的分析	53
第一节 船舶机舱人机系统分析	53
第二节 人为失误的分析	55
第三节 船员心理状态测试	66
第四章 机舱设备的状态监测	72
第一节 设备状态监测及故障诊断	72
第二节 船舶动力装置分层诊断模型	77
第三节 监测参数及监测界面	84
第五章 主机工作过程故障仿真	94
第一节 主机工作过程的仿真建模	94
第二节 故障仿真及分析	106
第三节 基于主成因分析的故障诊断	114
第四节 基于相对偏差分析的故障诊断	118
第五节 燃油喷射系统故障仿真	123
第六章 柴油机振动诊断机理分析	138
第一节 活塞—缸套磨损	138
第二节 气阀间隙异常	142
第三节 主轴承磨损	146

第四节	排气阀漏气 .....	150
第七章	船舶机舱的综合安全评估 .....	154
第一节	安全评估的基本理论 .....	154
第二节	船舶机舱系统的安全评估 .....	157
第三节	船舶机舱安全评估软件 .....	164
附录一	船舶机损案例清单 .....	173
附录二	船舶应急事件处理清单 .....	185
附录三	应用软件安装提示 .....	191
参考文献	.....	192

# 第一章 船舶机损案例分析

本章介绍船舶电站、辅机和主机系统的机损案例,包括事故发生的过程、分析与处理和经验教训,并对已收集的 400 多个案例进行统计分析。

## 第一节 研究的意义

近 40 多年来国际上一系列重大灾难性事故的发生,如前苏联切尔诺贝尔核电站泄漏事故、美国“挑战者”号航天飞机爆炸事故、英国伦敦火车相撞事故和我国“大舜”号船“11.24”特大海难事故等,使人们深刻认识到人因失误已成为现代工业生产过程中最大的事故潜在源。

现代化设备对安全性和可靠性提出越来越高的要求,特别是航空、航海、核工业等部门。许多设备的故障倘若不能事先发现并加以预防,那么一旦发生事故将会造成人员伤亡甚至严重的环境污染。2002 年 11 月 13 日,巴哈马籍油船“威望”号从拉脱维亚驶往直布罗陀,由于天气状况恶劣和船只过于陈旧,13 日晚在驶至距西班牙加利西亚省海岸约 5n mile 处搁浅,随后船体裂开一个大裂口,并导致燃油外泄;19 日断裂成两半,并相继沉入大海。尽管船上所载有的 7.7 万吨燃油仅泄漏了一部分,但仍然污染了西欧的部分海域,造成大量生物的死亡,海滨被严重污染,生态学家称这可能是世界上最严重的漏油事件之一。2003 年 2 月,仅造价就花费了十几亿美元的美国“哥伦比亚”号航天飞机在着陆前 16 分钟出现技术问题,最终爆炸解体,航天飞机所载 7 名宇航员同时遇难。

20 世纪下半叶,世界船队规模明显壮大。据资料推算,从 70 年代初到 90 年代末,船舶数量由约 5.5 万艘增长为近 7 万艘,船舶总吨由 2.5 亿增长为 6 亿。而船舶的全损和推定全损率,则由前 35 年的 0.4% ~ 0.7%,降为后 15 年的 0.2% ~ 0.4%,如图 1-1 所示。同时,航海技术进步成果显著;船舶动力技术完成了由燃煤向燃油的更替;雷达广泛用于船舶导航和避让;基于电子计算机和卫星通信技术的 GMDSS(全球海上遇险与安全系统)强制投入使用,使船舶能对外界随时通信和求援;GPS(全球定位系统)能方便地随时提供船位;港口及附近的 VTS(船舶交通服务系统)大量投入使用,有效地协调着船舶间的航行关系。大量有利于改进海上安全的技术和要求被用于船舶运输,科技进步使船舶驾驶变得越来越方便,但同时也使船舶的机舱设备变得更加复杂而更难维护管理。

1948 ~ 1979 年,海上安全主要依赖技术进步和海员行为,帆船、蒸汽机船、内燃机船共存,该时期船舶全损率为 0.5% ~ 0.7%,总吨损失率为 0.25% ~ 0.4%。1980 ~ 1999 年,IMO(国际海事组织)成立后制定的三大公约生效并在使用中不断完善,SOLAS 74(1974 年国际海上人命安全公约)于 1980 年生效,对船舶的构造、设备、无线电通信、航行安全操作等给出了具体规定;MARPOL 73/78(1973 年国际防止船舶造成污染公约及 1978 年议定书)于

1983 年生效,对船舶防污染构造、设备、操作给出了具体规定;STCW 78(1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约)于 1984 年生效,规范了海员任职资格和值班行为。其结果是船舶全损率稳步降为 0.2% ~ 0.4%,总吨损失率也呈总体下降趋势。

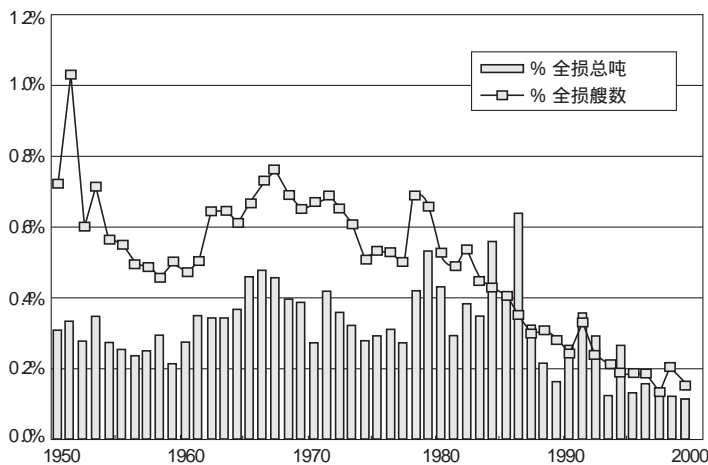


图 1-1 1950 ~ 1999 年船舶全损统计图

虽然世界船队 1999 年的船舶全损率仅 1.47‰,总吨损失率仅为 1.16‰,即为  $10^{-3}$  级,但比较汽车  $10^{-4}$  级的损失率,船舶的全损率显然是太高了,而现代人类能接受的最高风险率仅为  $10^{-4}$ ,并会在 21 世纪逐步变为  $10^{-5}$ 。据 DNV(挪威船级社)估计,世界船队每年的事故损失高达 100 亿美元;ILU(伦敦保险行)1996 年统计,海上船员死亡高达 1190 人。可见,海上安全状况依然很不理想。

中华人民共和国海事局 2001 年发布的《水上交通事故年报》统计,1999 年共发生水上交通事故 832 件,死亡 769 人,沉船 249 艘,直接经济损失约 25100 万元,与 1998 年同比分别下降 15.5%、上升 26.9%、下降 15.9%、上升 13.5%,其中死亡 3 人以上事故 73 件,死亡人数 747 人;死亡 10 人以上事故 12 件,死亡人数 453 人;直接经济损失 500 万元以上的事故共 8 件,事故直接经济损失 2.5 亿元(包括未审结上报的估计数字)。特别是 1999 年 10 ~ 12 月,连续发生多起重、特大水上交通事故,给国家和人民生命财产造成了严重损失。1999 年客船、客滚船、客渡船共发生水上交通事故 96 件,死亡 406 人,沉船 26 艘,直接经济损失约 11387.1 万元,分别占全国总数百分比的 11.5%、52.8%、10.4%、45.5%。从这组统计数字看出:死亡人数和经济损失约占事故总数的 50% 左右,水上客运安全形势不容乐观。其中 1999 年共发生责任事故 787 件,非责任事故 31 件,扣除部分未结案事故,非责任事故只占事故总数的 3.8%。所以加强船公司管理、船舶管理和船员管理是降低水上交通事故发生的根本途径。

20 世纪 90 年代后期,由于全球海损和机损事故中暴露出越来越多的人因操作失误,国际航运界已普遍意识到人因失误是船舶事故的主要原因。国际海事组织的海事安全委员会(MSC)下属所有分委会都致力于船舶事故的人因分析,并在国际安全管理规则(ISM)和 STCW 95 公约中强调安全生产过程中人的因素分析。近年来世界上许多航运部门相继开展了这方面的研究,如意大利船舶研究中心推出的欧洲研究项目“MASIS II”,加拿大运输安全

委员会发起的“机舱资源管理”培训机构等。IMO 也作了重大转向,从原来的重视船舶、船员的“硬件”管理转为更加重视船公司的“软件”管理。IMO 为了实现“使航行更安全、海洋更清洁”的目标,正在试图通过 ISM 和港口国监控(PSC)来促使船旗国、船公司、船员和船级社有效地履行 IMO 的 SOLAS 74/94 有关规定,并要求限期执行。

IMO 自 1948 年成立以来,为保证海上船舶安全尽了很大努力,但世界船舶总吨全损长期徘徊在 0.2%~0.4% 之间,IMO 的努力被海事形势的复杂化所抵消。21 世纪后,高速船和滚装船大量投入营运,无人驾驶船舶也开始出现,将使得海上安全形势更趋复杂。总之,海事安全形势不容乐观。

船舶机舱是一个集机、电、热、液为一体的复杂系统,其运行状态直接影响着整个船舶的安全运行。由船舶机损事故造成的经济损失动辄上百万元,甚至危及船舶,造成恶劣的环境污染。国内外统计数据表明,船舶机损事故的 2/3 是由人的原因引起的。随着远洋船舶的大型化、高速化、少人化、智能化,船员将面对更为丰富的信息交互和更加复杂的人机界面,对人的生理、心理状态将产生许多消极影响,对人的信息处理能力将提出更高的要求,对人的认知能力极限将提出更大的挑战,矛盾将越来越突出。因此,进行船舶机损事故分析和安全评估技术的研究,加强船舶的安全管理已成为当务之急。

随着现代海运事业的迅速发展,远洋船舶正趋于大型化与自动化,船舶机舱设备也越趋复杂。在实际生产运营过程中出现异常现象时,面对错综复杂的现场信息,仅仅依靠机舱管理人员去快速分析故障原因并采取正确的处理方法,变得越来越困难。因此,综合状态监测、人因分析和安全评估的船舶安全评估技术,对促进船舶运输的管理现代化,提高船舶运输效率、效益,保证运输安全和降低运输成本,保护海洋环境具有很大实用价值,正成为船舶运输研究领域的一个热点。

## 第二节 船舶机损案例分析

### 一、典型机损案例

在分析船舶机损案例之前,先介绍一些船舶典型的机损案例。

#### 1. 扫气箱火烧导致增压器飞车损坏

发生经过:

5RTA38 机国内选用时是在 20 世纪 80 年代初,当时是属世界上较先进的机器之一,为达到降低油耗,使节油效果显著,该机设计成超长冲程匹配高增压直流扫气,排气阀又采用了最先进的液压控制装置,且有自动旋转等特点,一改苏尔寿公司习惯使用的横流扫气的办法,生产该机时又是我国首先成批投入,所以制造过程中难免要发生这样或那样的缺点。自 6 台机投入营运后都相继发生了扫气箱火烧的故障,个别船导致增压器飞车爆裂事故,后来各船吸取了一些教训,及时加强检修和行之有效的措施后,重复性的事故发生率则下降很大。现具体介绍某船连续三次的事故概况:

某船主机为 5RTA38 型,匹配一台 VTR304-32 型增压器(定压增压)。该船制造投入营运两年后,接连在一年时间内先后发生三次由于扫气箱火烧,导致增压器飞车而损坏。