

惯性导航设备 性能测试与维修性分析

李 安 覃方君 胡柏青 著



科学出版社

惯性导航设备性能测试与维修性分析

李 安 覃方君 胡柏青 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对平台罗经的维修性分析、测试系统研制、关键部件关键回路性能评估方法开展了相关的研究工作。首先从模糊判决和 Bayes 理论两方面对平台罗经定性、定量维修性指标进行了研究;然后介绍了基于虚拟仪器技术的平台罗经维修测试系统设计与实现方法;最后对平台罗经的控制系统——方位稳定回路和其关键部件——陀螺仪分两个层次开展性能分析与评估研究,运用一定的方法预测并识别其初始故障,为平台罗经的视情维修策略提供参考依据。

本书适合于惯性导航设备测试、维修保障方向的教学、科研人员阅读,也可供惯性技术及应用专业方向研究生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

惯性导航设备性能测试与维修性分析 / 李安,覃方君,胡柏青著.
—北京:科学出版社,2017.6
ISBN 978-7-03-053013-4

I. ①惯… II. ①李…②覃…③胡… III. ①惯性导航系统—研究 IV.
①TN966

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 119036 号

责任编辑:张艳芬 姚庆爽 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2017 年 6 月第一次印刷 印张:12

字数:236 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

视情维修试图预测并识别初始故障,这是指故障即将来临,在系统性能严重退化发生之前的一个性能大幅度下降时期;主动维修是抢在故障发生前就采取行动,杜绝故障的发生。平台罗经是大型精密的机电一体化导航设备,除了为舰船提供精确的航向和水平姿态角信息外,还具有类似于惯导系统的短期定位功能。平台罗经一旦发生故障,将严重影响舰船战斗力及航行安全。由于其结构复杂、分机众多,信息用户多达几十乃至上百路,精度要求高,而且涉及本身的监测报警功能有限,部队反映其维修工作强度大、周期长,保障任务完成困难,因此平台罗经的保障成为当前需要解决的突出问题之一。为了降低维修成本、提高维修效率、改进维修方式、革新维修技术,近年来作者针对国内重要惯性导航设备——平台罗经开展基于状态监测的视情维修技术研究,针对平台罗经的控制系统——方位稳定回路和其关键部件——陀螺仪分两个层次开展性能分析与评估研究,运用一定的方法预测并识别其初始故障,为平台罗经的视情维修策略提供参考依据。本书主要工作如下。

(1) 研究了平台罗经维修性定性指标评估方法。

给出了平台罗经定性指标的具体内容,建立了维修性定性指标的多层次评估模型,由平台罗经维修性研究的现状出发,选取了模糊综合评判的方法,并结合层次分析法确定各级指标权重,为求评估结果更准确,引入了维修性核对表并采用0、2、4记分制,在此基础上确定了针对平台罗经的维修性定性评估方法,并利用实际数据对该方法进行了验证。

(2) 研究了平台罗经维修性定量指标评估方法。

选取了平台罗经使用和维修中常见的维修性定量指标,通过研究小样本数据的分析方法,采用其中的 Bayes 理论和模糊综合评判以及 Bayes Bootstrap 相结合的方法对定量指标进行评估,并列举维修时间数据对所选取的方法进行了验证。

(3) 设计了基于虚拟仪器的陀螺电机电信号采集系统。

该采集系统硬件部分包括传感器子系统、USB 采集子系统和笔记本电脑。为了保证测量时不对设备的正常运行造成影响,传感器子系统的设计充分考虑了无损测量的要求,电压和电流传感器采用穿心电流及隔离电压设计,以及反射式红外光电传感器,而基于 USB 总线的采集子系统,更利于多通道高速高分辨率的便携采集。

系统软件部分采用基于 LabVIEW 编程的 DAQ 数据采集,程序设计考虑了采集过程中诸如采样率、缓存等各种参数的设定,满足陀螺电机在实验室和工况条件

下运行时采集实验的完成。陀螺电机电信号采集系统为陀螺电机各种信号的采集以及陀螺电机的性能分析提供了保证。

(4) 提出了基于电机停机阶段反电势的状态特征参数提取方法。

利用采集的启动和停机阶段的转速时间曲线,对陀螺电机进行了动态测试,得到了陀螺电机启停过程中的转矩转速曲线(机械特性曲线)。转矩转速曲线很好地反映了电机的启动力矩、电磁力矩、加速性能。利用反电势信号提取并拟合了陀螺电机停机阶段的转速信息,为对实际装备进行无损转速监测提出新的思路。根据反电势法得到的转速曲线提取了陀螺电机的停机时间,结合启停阶段的动力学模型,利用曲线拟合求分离点以及最小二乘法提取了陀螺电机的落地转速和动态摩擦力矩。通过对停机阶段发电势信号的分析处理,得到了陀螺电机的停机时间、落地转速、动态摩擦力矩等状态特征参数。

(5) 提出了一种新的平台罗经方位稳定回路性能评估方法。

将国内外控制系统性能评估方法中的成熟方法——基于最小方差控制的性能评估方法应用于平台罗经稳定回路的性能评估中,运用该方法分别对参数正常及发生变化的稳定回路进行评估,能发现性能指标和稳定回路的状况存在一定的对应关系,性能指标明显下降时能反映出稳定回路存在故障,同时分析两种状况下稳定回路的单位阶跃响应图,对比证明了该方法的有效性;通过对性能指标的统计规律分析,定量地给出了稳定回路可以接受的性能指标的下限,并指出性能指标通常在故障发生前已经达到或小于可接受的极限,可以利用这个特点进行故障的早期预报,进一步提高稳定回路的安全性。对方位稳定回路的仿真分析表明,以最小方差控制为基准的性能评估方法对平台罗经的稳定回路进行性能评估是可行的,为今后进一步研究平台罗经实时性能评估和监测提供了一种新的技术途径。

我们从陀螺仪、稳定回路以及串口输出信息三方面入手,分别采集了陀螺电机的工作状态信息、稳定回路的信息以及串口的输出信息。通过对陀螺仪的可靠性分析,确定作为陀螺仪寿命瓶颈的陀螺电机为研究重点,通过对陀螺电机工作状态的监测,通过对陀螺电机一系列状态特征参数的提取方法的研究,获得了试验数据,并通过对状态特征参数的分析和建模,完成了特征参数的预测。同时,利用声音信号对陀螺电机的工作过程进行了测试,并对其性能状态进行预测。

在本书的编写过程中,海军工程大学导航工程系硕、博士研究生潘华、魏铮、夏俊杰、夏红梅、金云翔、查峰进行了大量文字、图片的整理与编辑工作,在此表示感谢!

本书是作者多年来从事惯性导航设备测试科研工作的总结,限于作者水平,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2017年4月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 研究背景	1
1.2 现状分析	1
1.3 发展趋势及预测	2
第 2 章 平台罗经维修性定性定量评估方法研究	4
2.1 基于模糊判决的定性指标评估方法	4
2.1.1 平台罗经维修性定性指标选取	4
2.1.2 平台罗经维修性定性指标评估	8
2.1.3 维修性定性指标评估方法验证	16
2.2 基于 Bayes 理论的定量指标评估方法	19
2.2.1 平台罗经维修性定量指标选取	19
2.2.2 平台罗经维修性定量指标评估	22
第 3 章 基于虚拟仪器的平台罗经维修测试系统设计	34
3.1 虚拟仪器及电信号采集系统概述	34
3.2 基于 USB 总线的采集系统硬件设计	36
3.2.1 传感器系统组成	36
3.2.2 虚拟仪器硬件采集系统设计	40
3.3 基于 LabVIEW 的采集系统软件设计	42
3.4 陀螺电机多信息采集系统的设计	45
3.4.1 硬件设计方案	45
3.4.2 软件设计方案	49
3.5 稳定回路监测系统的设计	51
3.5.1 测试平台硬件组成	52
3.5.2 测试系统软件设计	54
3.6 串口信息监测系统的设计	56
3.6.1 系统总体结构	57
3.6.2 系统硬件设计	57
3.6.3 数据的提取	60

第4章 基于电信号、声信号的陀螺电机性能分析	63
4.1 磁滞同步陀螺电机运行特性分析	63
4.1.1 磁滞同步电机组成	63
4.1.2 磁滞同步陀螺电机基本方程	65
4.1.3 磁滞同步陀螺电机动力学方程	66
4.1.4 磁滞同步陀螺电机反电势分析	67
4.1.5 磁滞同步陀螺电机可靠性分析	68
4.1.6 磁滞同步陀螺电机动态测试	70
4.2 陀螺电机试验方案设计	72
4.2.1 定量加速寿命试验	72
4.2.2 恒温多样本试验	73
4.2.3 数据采集	74
4.3 基于声信号的电机状态识别和预测	76
4.3.1 陀螺电机声信号的预处理	76
4.3.2 陀螺电机状态识别	78
4.3.3 陀螺电机性能状态预测研究	84
4.4 基于电信号的陀螺电机的寿命预测	91
4.4.1 陀螺电机反电势产生机理	91
4.4.2 基于反电势的状态特征参数的提取	92
4.4.3 状态特征参数的建模	103
4.4.4 状态特征参数的预测	107
4.4.5 结论	112
4.5 基于最小启动电压的陀螺电机寿命预测	112
4.5.1 预测机理	112
4.5.2 数据测量	113
4.5.3 数据建模	114
4.5.4 试验及结论	116
第5章 基于最小方差控制的平台罗经稳定回路性能分析	119
5.1 稳定回路的研究现状	119
5.2 控制系统性能评估的研究及应用现状	119
5.3 单回路性能监测和评估	121
5.4 多回路性能监测和评估	157
参考文献	179

第 1 章 概 述

1.1 研究背景

事后维修或称故障后维修是针对设备发生故障后采取的一种反应性措施,其目的在于恢复系统的操作完整性和生存能力。这类维修措施一般都是与突发或灾难性故障联系在一起的。预防性维修包括日常维护、预防性更换、潜在故障排除、性能下降识别等,通过定期维护保养等措施来达到预防故障的目的;视情维修试图预测并识别初始故障,这是指故障即将来临,在系统性能严重退化发生之前的一个性能大幅度下降时期;主动维修是抢在故障发生前就采取行动,杜绝故障的发生。

定期维修具有管理简单、组织实施方便的优点。然而,实践发现,在定期维修过程中会产生一系列不良后果。第一,定期维修增加总体故障率。根据国外资料统计,由于维修本身造成新故障的事例很多。世界上三大恶性事故:博帕尔毒气泄漏事故、切尔诺贝利核电站事故和阿尔法石油气爆炸事件,其中有两次是由于维修工作造成的。很多企业和部队均有类似的经验教训,本来很稳定的设备经维修后反而出现了很多故障。第二,定期维修浪费了大量的人力物力。美国正在开展的“水面舰艇维修工程分析”使用改进的以可靠性为中心的维修(reliability centered maintenance, RCM)技术,取消了舰艇计划维修系统中大量不必要的预防性维修工作。据估计,维修总费用降低了 40%左右,但装备系统出现故障的概率并没有显著的提高,关键故障的概率几乎没有增加。第三,定期大修使设备的寿命缩短。大型高精尖设备零件很多,每次拆装都要损坏一部分零件,并使很多零件受到外力冲击,使设备总体寿命下降。

为了降低维修成本、提高维修效率、改进维修方式、革新维修技术,近年来作者针对国内重要惯性导航设备——平台罗经开展基于状态监测的视情维修技术研究,针对平台罗经的控制系统——方位稳定回路和其关键部件——陀螺仪分两个层次开展性能分析与评估研究,运用一定的方法预测并识别其初始故障,为平台罗经的视情维修策略提供参考依据。

1.2 现状分析

美国、俄罗斯等国家对惯导、平台系统测试评估设备的研究起步较早,并且达

到了较高的水平。早在 20 世纪 40 年代,麻省理工学院(MIT)仪表实验室就开始了惯导测试设备的研制和测试理论的研究工作。1959 年 5 月,美国决定在 Holloman 空军基地建立中央惯性制导实验室(CIGTF),建立了一套完整的惯性仪表和系统的测试体系,完成了包括阿波罗指令舱、ATM-9IR 空空导弹制导系统等一系列重大计划的惯导、平台系统测试。在两篇美国国防科技报告(AD 报告)中介绍了一种用于潜艇、航母和海洋勘测船的惯性导航系统(DMINS)的故障诊断专家系统,该系统适用于维修中心对惯导、平台系统进行故障诊断与测试,它是建立在原有自动测试设备基础上的在线故障诊断专家系统。

目前,国内平台罗经的维修保障仍然采用定期维修和故障报修方式。近年来随着状态监测和故障诊断技术应用水平的提高,我国舰船维修方式已经逐步发生了变化,我国第二代主战舰艇装备的维修,越来越多地依赖于装备的综合技术状态,逐步向视情维修转变。国外的平台罗经的故障分布统计数据表明,故障中有 60%属于电子故障,40%属于惯性平台故障,惯性平台故障中 60%属于陀螺仪。而按国内的工艺水平,机、电(即平台和电子线路)的故障率各占 50%。

1.3 发展趋势及预测

视情维修根据系统运行过程中通过机内或外置检测设备所获得的实际状态信息决定维修时间和方式。视情维修区别于传统的预防性定时维修的关键在于,制定维修策略时考虑了系统运行的状态,考虑到每一个系统个体之间由于制造过程、使用保障过程等原因造成的差异,尽可能使每个系统在故障发生前的时刻进行维修,降低故障发生的概率,减少维修过程中的资源浪费。实施视情维修可以显著减少运行和维修费用、提高设备使用可靠度、改善工作过程优化维修任务、减少故障发生次数和提高设备的利用率。

在理论方面,视情维修决策通常是基于数理统计和随机过程理论,许多研究机构和有关学者从理论上对视情维修进行研究。基础理论研究基本可以分为两类:第一类是研究利用数理统计理论、更新过程和点过程理论等,直接建立设备状态和寿命的统计分布,根据数据估计模型中的未知参数,以及费用等目标做出优化;第二类研究通常应用马尔可夫或半马尔可夫决策过程对费用目标的维修策略进行求解,它们都假设系统状态用离散的数值 $\{0, 1, 2, \dots\}$ 表示,其研究重点在于求解维修策略的方法。

在应用方面,许多研究机构和公司针对特定的设备研究了视情维修决策系统,包括数据采集设备、数据分析软件等。1994 年,加拿大多伦多大学机械与工业工程系贾尔丁(Jardine)和马凯斯(Makis)教授组建了视情维修(condition based maintenance, CBM)实验室,开始了视情维修软件的开发与应用,推出了软件包

EXAKT; The CBM Optimizer, 采用比例故障率模型(proportional hazards model, PHM)描述系统状态, 基于费用做维修决策, 并在机械、运输等行业得到了应用。美国国防部海军研究办公室开展了对舰艇的 CBM 项目的研究, 开发了机械预测与诊断系统(machinery prognostic and diagnostic system, MPROS)。MPROS 是一个分布式的、开放的可扩展监测和诊断算法的平台, 综合了预测技术公司(Predict/ DLI)的振动信号分析专家系统、Honeywell 技术中心的状态识别系统、佐治亚理工学院的乔治(George)和他的同事开发的小波神经网络诊断和预测模块以及佐治亚理工学院开发的模糊诊断和预测模块。加拿大阿尔伯塔(Alberta)大学左明建(Zuo)从 2000 年开始, 研究采用小波和神经网络算法的用于旋转机械视情维修优化系统(condition based optimal maintenance, CBOM)。

第 2 章 平台罗经维修性定性定量评估方法研究

维修性(maintainability)是指在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,产品保持或恢复到规定状态的能力。维修性定义提出了“规定的条件、规定的时间、规定的程序和方法、规定状态”四个要点,针对这四个要点的平台罗经的维修要求包括:平台罗经的修理等级;机械部分、电气元器件部分的修理要求;外观、安全性、软件维护、包装运输、提交维修文件等要求;修理范围和项目的要求;维修技术质量要求等。

维修性是反映装备是否便于维修的特性,装备的维修性要求主要由可达性、可装连性、防差错性、(零件、元器件、部件)可互换性、测试诊断性、安全性、可修复性、可抢修性,以及维修工具的可使用性、可监控性、可调试性等方便于维修的技术综合组成。具有良好维修性的装备能够大大提高维修效率、降低维修费用,在平时便于保证装备的战备完好性,在战时能够通过快速抢修保持和恢复战斗力,对战斗战役的胜利起决定性作用。

本章对平台罗经开展维修性评估研究,针对平台罗经的特点选取具体的维修性定性和定量评估指标,针对指标的评估需求收集平台罗经在使用维修中的有关数据并进行整理分类,分别用一定的定性和定量分析方法对数据进行分析,得出整体的维修性评估结果,以期发现平台罗经使用中存在的维修性问题,指导下一步的维修,并为装备维修性大纲的修订和新研制装备的维修性设计提供依据。

2.1 基于模糊判决的定性指标评估方法

选取平台罗经使用和维修中常见的维修性定性指标,应用层次分析法确定各指标权重,然后采用模糊综合评判的方法对平台罗经的系统维修性作出评估,这种方法能够发现平台罗经在使用阶段维修性的薄弱环节。

2.1.1 平台罗经维修性定性指标选取

维修性定性指标一般包括可达性、标准化和互换性、维修安全性等,从平台罗经实际使用和维修的实践角度出发,选择了以下 11 类定性指标作为维修性评估指标。

(1) 设计简化性。

如果装备结构复杂,而且没有采取相应的便于维修的措施,那么一定会增加修理的困难和工作量。因此在平台罗经满足规定功能要求的条件下,要尽可能使它的组成结构简化。通过简化不必要的功能、合并重复的功能,尽量减少零部件的品种和数量,从而达到减少维修项目、降低装备故障率、简化使用和维修操作、降低对使用和维修人员的技能要求的目的。

(2) 良好的可达性。

可达性是指对装备维修或操作时,接近不同组成部分的相对难易程度。良好的可达性要求平台罗经的维修部位能够“看得见、够得着”,不需要拆卸、搬动其他机件或拆装简便,容易到达维修部位,同时还要求留有检查、修理或更换所需要的空间,尽量保证维修人员在正常姿态下就能操作。可达性是维修性要求中最重要的一条。通过合理的结构设计,恰当的维修孔口和维修通道的设置,以及检查点、测试点、拆装空间等的合理布局都能够提高平台罗经的可达性。

(3) 可操作性。

可操作性是指装备的拆卸、组装、调整等具体操作,符合人的生理特点、便于控制和维修。具有良好可操作性的装备,维修方便、快捷,能够大大简化维修程序、节省维修时间,同时能够减轻操作强度以及维修人员的生理和心理负担。

(4) 提高标准化和互换性程度。

装备的标准化、互换性和通用化包括:优先选用标准件;使故障率高及易损坏的零部件具有良好的互换性和必要的通用性;功能相同的模块能够完全互换等要求。提高平台罗经的标准化和互换性程度能显著减少维修备件品种、数量,不仅利于设计和生产,也使维修保障简便,大大缩短维修工时。

(5) 具有完善的防差错措施及识别标记。

防差错措施及识别标记是指从装备设计上采取措施消除发生维修差错的可能性。例如,在维修的零部件、备品、专用工具等上面做出识别记号,以便于维修人员区别辨认,避免因认错而发生事故。同时要求平台罗经具有“错不了”“不会错”和“不怕错”的功能,即装错了就装不进,发生差错立刻就能发现;维修操作符合人的习惯和公认惯例,按习惯进行就不会出错;采用容错技术,使某些错误操作不至于造成严重的事故等。

(6) 测试性。

好的测试性是指便于确定装备状态并方便对其进行检测和诊断故障。装备的检测诊断是否准确、快速、简便,对维修性有重大影响。特别是电子产品,在其维修时间中有大部分都花在了检测诊断上。统计数据显示,在检测手段落后的电子产品维修中,有60%以上的时间用在检测和诊断故障上,一旦把故障部位检查出来,通常换件就可以排除故障。因此检测设备和检测方式的选择以及检测点的配置都

是评估平台罗经维修性应考虑的重要问题。

(7) 良好的战场抢修性。

武器装备都应该具有良好的战场抢修性。平台罗经作为舰船重要的导航装备之一,其战场抢修性直接影响舰船战斗力的发挥,关系到战斗战役的胜败,它的战场抢修性必须作为维修性定性评价的重要指标之一。同时,战场抢修性作为武器装备的一个重要特性和平时的维修性要求相互促进但又有所区别。

(8) 符合维修的人机工程要求。

维修的人机工程(human engineering)是研究设备维修中人的各种能力(如体力、感观力、耐受力、心理容量)、人体尺寸等因素对提高维修工作效率、质量和减轻人员疲劳等方面的影响。如果平台罗经的维修人员能够在低的噪音、良好的照明、合适的工具、适度的负荷强度下工作,并能保持良好的工作姿势,就能提高维修人员的工作质量和效率、降低维修时间。

(9) 维修安全性。

维修安全性是在维修活动中避免发生人员伤亡或设备损坏的特性。维修安全性要求在装备的储存、运输、维护、修理全过程中安全,从根本上防止维修中的事故发生。例如,当设备处于故障状态,同时又被部分分解,这种情况下维修人员在作部分运转以检查排除故障时也要安全,保证不会遭受电击、机械损伤及高温、有毒、辐射等伤害。平台罗经如果具有良好的维修安全性就可以使维修人员在无心理压力的情况下工作,因此这也是评估平台罗经的维修性时必须考虑的问题。

(10) 维修工具和测试仪器。

装备在维修时应做到不需要或尽量少需要专用的维修工具和测试仪器,同时工具和测试仪器的专用转接件、专用转接器等也应该尽量不需要。这样维修人员就不用额外携带维修工具和测试仪器,减轻了维修人员的体力负担,减少了工具混淆的问题,也便于在战场等条件不足情况下的维修。

(11) 维修性技术文档。

装备应配有全面翔实的维修性技术文档,其中包括装备维修性大纲、维修技术手册、培训手册、BDAR 手册等,便于维修人员进行故障查找、维修方法参考和战场抢修等维修活动。

如表 2.1.1 所示,平台罗经平时的维修和战场抢修有较大的区别,同时也有一定的联系。例如,装备的可达性、模块化、标准化与互换性、防差错、人机工程等平时的维修性指标,与抢修性就有很大关联,能够相互促进。但是抢修性还要求装备具有针对战场环境的特殊性能,如容许取消或推迟预防性维修,采取便于人工替代的措施、便于截断切换或跨接、便于置代、便于临时配用、便于拆拼修理的措施等。

表 2.1.1 平台罗经平时维修和战场抢修区别

各项指标	平时维修	战场抢修
目标	以最低费用保持和恢复装备的规定状态，满足战备要求	以最快的时间恢复战损装备基本功能，满足作战要求
对象及特点	主要是装备系统的自然故障、人为故障。故障原因、故障机理、故障模式通常可以预见，其他一些因素往往也有其规律性	主要是战斗损伤，如鱼雷损伤、炸弹碎片穿透、能量冲击甚至核、生、化学污染等；战时特殊性下设备的使用强度多变或加大、人员误操作等
场地	三级维修：基层级、中继级、基地级	战地抢修、靠前抢修（在装备损伤现场或靠近现场的地域实施）
方法	规定的程序和方法	可以是临时性的措施，如粘接、焊接、捆绑、拆拼等，修理方法不确定，极端情况下甚至只要自救甚至逃离就可以了
人员	规定技能的维修人员	操作人员或在损伤现场的任何维修人员
设备工具和器材	复杂、齐全	简单、不足

根据战场抢修的特点，主要提出以下几项标准作为平台罗经战场抢修性的评判指标。

(1) 容许取消或推迟例行维修。

作战情况下对时间的要求非常紧急，平时进行的某些例行维修工作应取消或推迟，这就要求平台罗经具有足够的耐受性，保证取消或推迟某些例行维修工作不会导致安全性故障后果。其次，能够推迟到什么程度，应有详尽必要的说明，或者通过增设报警器和指示器等装置，确保操作人员在安全使用的范围内工作。

(2) 便于人工替代。

战场上当自动装置功能失灵时，可由人工替代操作，保证装备能够继续工作。此外，还应当便于由人员使用手工工具对装备进行抢修。要达到这些目的，应尽量减少专用设备、设施和工具；大型部件应设置人工搬动时使用的把手；可修单元的质量大小应限制在一个人可搬动的程度，并设置人工搬动时所需要的把手；为便于人工安装和对中，应尽可能放宽配合和定位公差。

(3) 便于截断、切换或跨接。

装备发生战斗损伤后可以通过截断、切换或跨接某些通路，确保一些重要的局部功能能够继续执行。例如，对必需的流程和电路提供备用途径，在主通路损坏时

能够进行切换或重构,还需保证截断某些非基本部分不会造成事故。另外要有适当的标示,便于识别特定的管路或线路。此外要在管线的全长或适当位置加标记,以追踪流向。还应设置附加的接线端子、电缆、管道、轴、支撑物等,以备战时替换或跨接。

(4) 便于置代。

置代是指用本来不能通用的装备去替换损坏的装备,以便使装备恢复主要作战能力。实现置代要求装备的相关接口有一定的“耐受性”或“兼容性”。例如,发动机的功率不同,但基座相间,战场紧急损伤情况下就可以替代。

(5) 便于临时配用。

临时配用是指当装备某部位发生损伤时,利用捆绑、矫正、粘接等方法修补损坏部位,或利用其他现场临时找到的物品来替代损坏的产品,使装备的主要功能能够维持。能够做到临时配用要求平台罗经的公差尽可能放宽,降低安装定位精度,还应提供较大的安装空间,便于现场手工制作和安装。

(6) 便于拆拼修理。

便于拆拼修理的装备在发生战场损伤时,能够用同型或者不同型装备上的相同单元替换损伤的单元,从而有可能将两台损坏的装备修复成一台好的装备。如果装备具有良好的标准化、通用性、互通性和互换性,特别是模块化,就便于拆拼修理,同时须在 BDAR 手册中进行说明。美军坦克就在装备的 BDAR 手册附录中列出了这种坦克在哪些国家有装备,以便战时利用友军或敌军坦克进行拆拼修理。

(7) 使损伤装备易于脱离战斗环境。

装备出现损伤后若不能现场修复,应具有能够撤离战斗环境的措施或能力,以避免进一步的损伤。可采取的措施有:设置牵引钩、牵引环、机械手等,以便于连接牵引钢索进行救援。

(8) 使装备具有自修复能力。

自修复能力指装备具有各种自动切换、自动补漏、自充(气、液)等功能。

(9) 选用易修的材料。

选用修复简便,不需要或很少需要专门设备、工艺的材料,从而方便平台罗经在战场上进行修补或矫正。

以上都是评判平台罗经战场抢修性好坏的具体指标,此外,为了便于平台罗经进行战场抢修,还应提供详细的 BDAR 手册等文档资源。

2.1.2 平台罗经维修性定性指标评估

由于有多类指标,每类指标下又分别有具体的要求,要得到平台罗经整体维修性的评估结果应采用综合评判方法,如灰色分析法、神经网络方法、模糊综合评判方法等。

由于平台罗经属价格贵、批量小的大型复杂导航装备,对灰色分析法需要的参考数列以及神经网络的训练样本都存在一定的局限性。而模糊综合评判的方法对参考数列和样本量都没有要求,并且能够将定性指标定量化,因此采用模糊综合评判的方法来评估平台罗经的整体维修性。

权重的确定是模糊综合评判的关键问题之一,各指标的权重应尽量符合实际情况,常用德尔斐(DELPHI)法、专家调查法和层次分析法(AHP)确定权重,还可以采用证据融合的方法确定权重。德尔斐法是利用专家集体智慧通过划分重要性序列值、编制优先得分表来确定各因素的权重,这种方法较为复杂;专家调查法通过专家打分来计算权重,但当涉及的因素较多时,专家难以确定确切的权重数值;而层次分析法具有实用性、系统性和简洁性等特点,我们采用层次分析法确定各维修性指标的权重。

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)是美国数学家 Saaty 在 20 世纪 70 年代提出的。层次分析法是一种能够将人们的主观判断进行整理和综合的客观方法,它能够将定性分析与定量分析相结合,得出系统分析与决策的综合评价。这种方法的主要特点是通过建立递阶层次结构,把人们的主观判断转化为若干因素之间两两重要度的比较,从而将定性问题用定量的方法来进行描述。利用层次分析法确定平台罗经维修性定性指标模糊综合评判中的各级指标权重值,基本步骤如下:

(1) 分析各级维修性指标中具体指标之间的关系,建立维修性评估指标的多层次结构模型。

(2) 根据 1~9 标度法对同一级别的各评估指标关于上一级别某一指标的重要性进行两两比较,构造判断矩阵。

(3) 计算判断矩阵的最大特征根和权重值。

(4) 对判断矩阵进行一致性检验。如果一致性检验的结果符合要求,则所求得的各级权重值的合理性予以承认,否则就返回第(2)步重新构造判断矩阵,直至通过一致性检验为止。

评估指标层次结构是由影响评估问题的多个指标按不同属性分组,每组作为一个层次构成的评估指标体系。结合平台罗经的实际使用和维修情况,把 11 类指标作为平台罗经维修性定性评判标准,对每一类指标又分别列出几项具体的评判标准,例如,设计简化性又可分为简化合并功能、减少零部件的种类和数量、减少维修人员三项具体指标。由此,将评价系统的总目标——平台罗经维修性定性评估分解为三个层次,最高层表示要进行综合评判的问题,第一层表示设计简化性、可达性、战场抢修性等一级评判指标,第二层表示各一级评判指标下的二级指标,建立平台罗经维修性多层次评估模型,如图 2.1.1 所示。

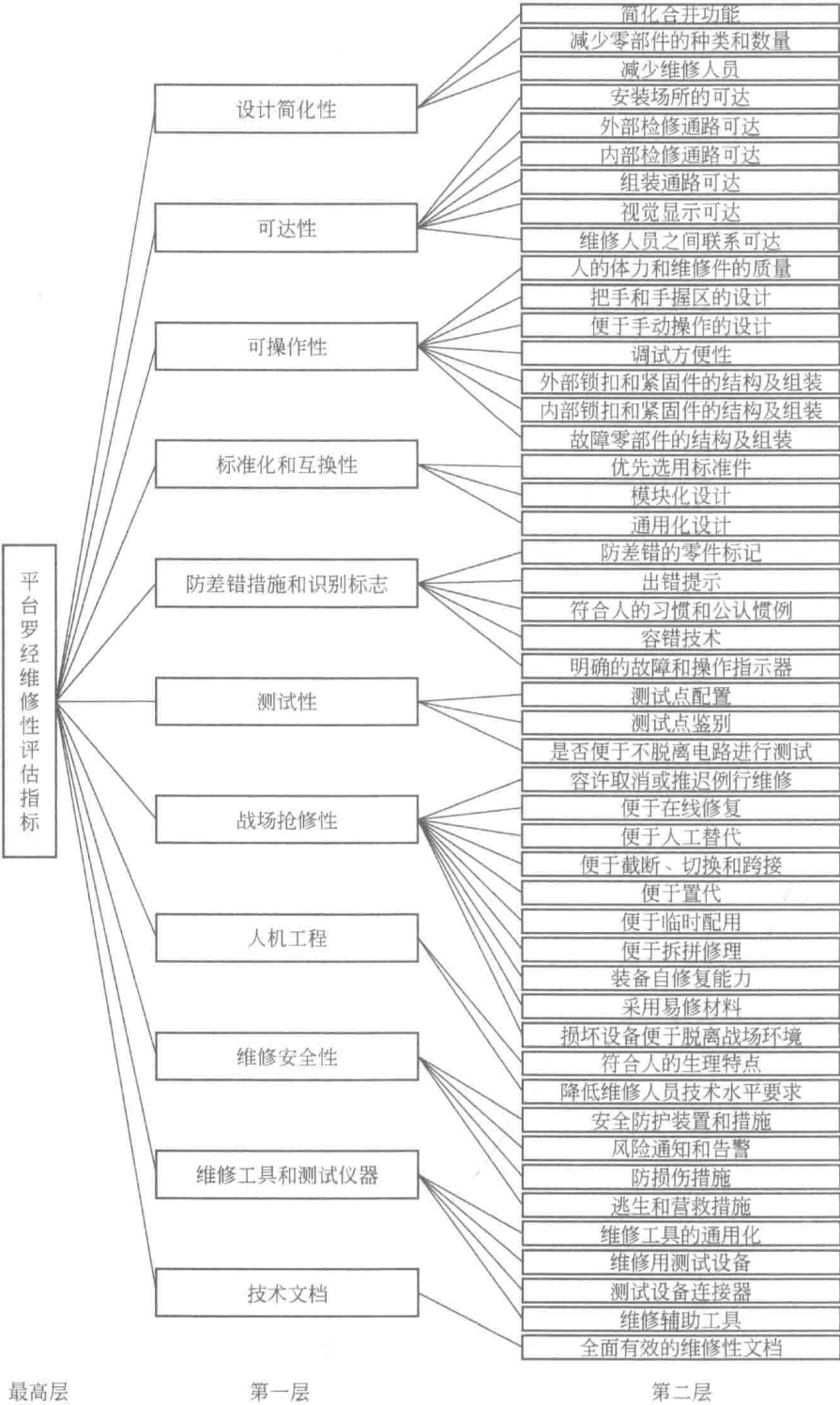


图 2.1.1 平台罗经维修性定性指标多层次评估模型