



[苏] С. В. 阿斯塔霍夫

Б. А. 瓦季普科

Л. П. 霍利符柯 著

船用机械设计与 使用可靠性评价

陈文先 李来成 邱嗣镐 译

231948

船用机械设计与使用 可靠性评价

C. B. 阿斯塔霍夫

〔苏〕 Б. А. 瓦季普科 著

Л. П. 霍利符柯

陈文先

李来成 译

邱嗣镐

国防工业出版社

内 容 提 要

本书介绍了船用机械产品可靠性的综合评价方法。讨论了机械备件的组成和数量的最佳选择问题。综合评价机械可靠性,可以检验所获得的可靠性指标是否符合标准技术文件的要求,并按可靠性水平选择产品结构的最佳方案。

本书可供从事船舶产品设计工程的技术人员使用,也可供高等院校有关专业的师生以及其他工业部门的有关专业人员参考。

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ МЕХАНИЗМОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

С. В. Астахов

Б. А. Ватипко

Л. П. Холявко

Ленинград «Судостроение» 1979

*

船用机械设计与使用可靠性评价

С. В. Астахов

〔苏〕 Б. А. 瓦季普科 著

Л. П. 霍利符柯

陈文先 李来成 邱嗣鎬 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32 印张57/8 147千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷 印数: 0.001—1,100册

统一书号: 15034·3228 定价: 1.55元

序 言

船舶使用质量在很大程度上决定于包括成套设备的船用机械设备的可靠性。关于可靠性的现代科学状况是以概率论为基础的。概率论方法可以十分具体地评价无故障率、耐用性和适修性等指标。但目前把可靠性研究仅仅限于统计处理故障信息已很不够了。必须认识贯穿在船用机械设备中各个过程的物理概念；必须了解发生故障的性质、修复方式和方法，以及预测故障和损坏程度的方法。

从事船用机械设备维修的设计师和专家，应在自己的工作中学会使用保证可靠性的工程方法，并且在不超出测定和处理测定结果的劳动量消耗范围内，正确组织试验。本书就是要把船舶制造企业、船舶设计和使用部门在致力于提高可靠性水平和服务工作方面的经验加以总结，把目前所完成的那些通常被分散的、综合各个计算阶段的可靠性计算加以系统化，创立一个评价及分析船用机械设计与使用可靠性方面的统一教材。

本书所引用的大量算例均以通俗易懂的方式给出了评价可靠性和备件计算的综合方法。为便于理解，对计算方法、计算程序和图估程序的特点，以及可靠性评价和预测技术性质都作了详尽的说明、分析和具体的方法指导。

在机械设计阶段，备件名称的确定和数量的计算，特别注意有科学根据的处理方法。根据此工作任务，也在书中以很少的篇幅介绍了对理解本书内容所必要的可靠性理论问题。此外，对可靠性的工作组织和服务机构，以及生产计划中使用最新科学成果问题提出了实际的建议。

作者希望本书对工程技术人员在设计阶段按照试验和使用结果进行船舶工程可靠性计算时，能有直接的帮助，同时也将促进可靠性计算在数学方法论上更为完善和系统化。

绪 论

设计是产品制造和保证其使用可靠性的最重要阶段。在这一阶段中，必须解决一系列与可靠性理论和实践直接有关的专门问题。例如，确定可靠性指标名目和定额，产品可靠性的分析评价（预测），备件名称和数量的最优化，可靠性试样试验时，制订验证和保证可靠性指标的方法和纲要。

在直接讨论机械设计时的可靠性评价以前，首先扼要地介绍一下机械的设计过程、设计的各个阶段，包括对可靠性要求的设计文件的基本形式，以及设计时保证可靠性的主要途径和总的原则。

机械设计包括以下阶段：技术任务书、技术论证、初步设计、技术设计和施工设计。

在技术任务书阶段要研究以下问题：

——使用机械的环境条件和其它条件，机械工况和在工作循环中每一工况的持续时间，机械及其组件每一工作循环的周期性及持续时间；

——循环数或在日历时间内的工作持续性（年、考验周期或航行自给周期，等等）；

——以规定的工作条件，为其它目的短期或长期使用机械的可能性；

——对可靠性数量的特征要求。

对机械可靠性要求的基本数量特征，

——大修前的平均寿命；

——报废前的平均寿命；

—— γ 百分比寿命；

——大修前的平均使用期限；

——报废前的平均使用期限；

——不进行技术维护（与局部或全部拆卸、更换个别易损组件和零件，以及随后进行调机等有关的技术维护）的机械额定工作时间或无故障使用周期。通常，无故障使用周期或每次这样周期内的额定工作时间应与船舶自持力相符，或者是其倍数，但不应超过一年或者与此期限相当的额定工作时间；

——在规定时间（在额定工作时间内或运行中）内无故障工作概率；

——故障间工作时间；

——准备程度系数；

——操作准备程度系数；

——修复平均时间；

——每年技术维护的总平均劳动量。

对于各种不同机组部件，可靠性指标名目根据各种不同因素加以减少或增加。对于主要机组部件，可靠性指标的名目按标准文件（ГОСТ, OCT）规定。

在技术任务书中所规定的各种问题和对可靠性的要求，都应从可行性、技术经济合理性和其它因素加以仔细分析。

在机械设计时完成保证可靠性的主要工作。

在技术证论阶段：

——对国内外同类型机械产品的可靠性指标进行比较分析，以选择保证可靠性的主要方向；

确定对机械组件和配套设备可靠性的要求；

——对设计决定的各种可用方案进行初步评价，说明所建议的方案在满足对可靠性和技术维护所规定的要求，以及对外界影响因素的稳定性方面能达到最优的理由；

——初步选择配套设备；

——对所选用的机械结构方案进行可靠性的定性分析。

在初步设计阶段：

——要从理论上验证和预估机械设计决定的各种方案的可靠

性，并对所建议的方案进行详细分析和论证；

——选择配套设备；

——编制配套设备可靠性指标和耐各种环境影响的稳定性的审查清单；

——研究机械和电气过载以及气候影响的防护问题；

——研究使用的安全性问题；

——制订船舶设计、使用和修理阶段保证可靠性的纲要。

在技术设计阶段：

——详细确定机械、电气和气候载荷的标准；

——详细确定配套设备清单及其可靠性的特征值；

——最后选择设计方案；

——计算机械可靠性，并对它进行定性分析；

——计算备件品种和数量；

——建立机械功能监控系统；

——原则上确定新组件、装配件、模型或整机可靠性试验的必要性；

——制定机械技术维护制度和措施；

——制定技术诊断的方法和措施；

——详细确定保证可靠性的纲要。

在编制试件完工文件阶段：

——校核和修正强度计算；

——校核备件的可靠性计算；

——编写使用文件中关于保证在使用中保持所要求的可靠性水平的章节；

——编制组件或整机可靠性试验的专门纲要；

——最后给出机械可靠性水平的结论；

——详细确定船舶制造、使用和修理阶段中保证可靠性的纲要。

在保证机械设计可靠性的总体工作中，最重要的一环是对其可靠性的定量和定性分析。

定量评估机械设计可靠性的方法具有一系列缺点，如有关组合零部件的可靠性信息的可信度很小，在计算方法中要采用一系列假设，等等。因此，除对可靠性指标的定量估计外，还必须对机械结构进行可靠性的定性分析。定性分析的实质是将机械或设备的结构划分成单独的组合部分、装配件、液压和电气系统部分，并按照一系列准则分析这些部分。

下面叙述在可靠性定性分析时应考虑的因素和同时应完成的工作。

结构新颖 应说明新机械产品的结构与老产品结构的区别，所引用的新发明对可靠性的影响，以及是否必要对结构各个部分进行专门研究和试验。

结构过载保护 根据机械运行工况的条件，确定可能的过载。说明组件保护是如何规定的，机械中有无单独保护装置或总的保护装置。

采用的材料 研究本型结构中非经核准材料的采用问题，以及对可靠性的可能影响。指明进行专门研究和试验的必要性。分析由于不正确选用接触金属而发生电解腐蚀的可能性和其它问题。通常，在结构中应采用业经核准的材料。

强度安全系数 研究主要承载零件的强度安全系数值，确定采用多大值符合现行的标准和要求，提高或降低这种零件的安全系数将会引起何种后果。

零件连接、间隙和公差 研究零件连接与通用标准的偏差情况，如滑动轴承上的间隙和齿轮间的啮合间隙是否增大或减小。当偏离标准值时应查明原因。

热影响 从保证零件热膨胀间隙和避免卡紧的角度分析结构和结构的热力平衡情况。校核热力计算。

耐环境影响 根据机械在船上的安装部位，分析其周围环境的可能影响，如温度、湿度、溅油溅水或冲洗、结冰、波浪冲击等等。根据周围环境影响，研究保证密闭性或防水性应达到的程度、冲水时的供水、所采用的涂层和滑动连接的保护，等等。

耐用性 按照耐用性的相似计算资料进行简要分析,将零部件按组别编组。指明低寿命的零部件及其在备品中的贮备数,以及由维护人员进行迅速更换的可能性等。

润滑系统 研究有滑动接头和所采用的润滑系统、在敞开部分修复润滑系统的可能性、润滑材料的牌号数、对于润滑的可能热影响、润滑油槽受污的可能性,以及在使用时保证经常润滑的必要条件,等等。

适修性 按第三章所述方法进行分析。

工业橡胶制品的使用 使用经验证明,工业橡胶制品(皮碗、密封物等)对机械可靠性有着相当重要的影响。因此,要详细地研究其数量、橡胶牌号、耐用性、在备品中的贮备数、在使用条件下进行更换的可能性,以及橡胶制品故障的后果。

制造工艺特点 研究保证可靠性所必需采取的特殊措施。这里仅研究与所设计机械的制造有关的特殊工艺问题。

制造时抽验和试验特点 解决与机械抽验和试验有关的专门问题,例如专用量具的采用。特别要研究各组件或整机进行可靠性专门试验的必要性问题。预先编制可靠性试验概略计划,确定试验的持续时间,以及制造专用试样的必要性,等等。

使用中的最偶然故障 研究偶然发生的故障及其后果,发生事故的可能性和在使用条件下排除故障的技术可能性。

组件和同类机械的使用数据 分析由收集和整理统计信息结果所获得的有关组件和同类机械的所有信息。比较所设计的机械出现同类故障的可能性,并在已制造的机械上作出设计修改的说明,以避免同类机械使用中所记载的故障。

使用和技术维护特点 研究使用与技术维护的安全性问题;研究对维护人员操作熟练程度的特别要求;研究有关安全性的特殊问题,以及使用中可能的事故工况与维护人员在此时应采取的行动,等等。

在综合分析结果时,应对各组件作出简明的定性分析结论和整机可靠性的定量和定性评估结论,并将计算结果与技术任务书

中对每组可靠性指标的要求进行比较。

在设计时评价机械的可靠性,就是计算其可靠性的数量特征,与技术任务书中所提出的可靠性要求进行比较,必要时,研究使可靠性达到必要水平的相应措施。

可靠性理论和实践的基本概念及研究的主要对象是产品的工作能力,即以技术标准文件(ГОСТ13377-75)所规定的参数,完成给定功能的状况。同时,研究产品功能指标逐渐变化的状况,并从保持输出参数角度预测其运行状况。

作为产品在所要求的时间间隔内保持自己功能特征的可靠性;是以耐用性、无故障率、适修性和贮存性来表征的。现代的理论 and 实践可以计算耐用性、无故障率和适修性的数量特征。

有关可靠性理论的基本概念、名词术语和准则详见附录 I。可靠性保证纲要是反映全面审查船舶工程可靠性结果的重要文件。船用机械产品可靠性典型保证纲要详见附录 II。

目 录

第一章 船用机械耐用性指标的确定	1
§ 1 耐用性指标	1
§ 2 确定耐用性指标的方法	3
§ 3 确定耐用性指标的前提	4
§ 4 分析和评估耐用性指标的程序和步骤	6
§ 5 强度与耐用性的关系	13
第二章 无故障率指标的计算	19
§ 6 基本理论的前提和计算公式	19
§ 7 无故障率指标的计算程序	30
§ 8 根据少量故障数据计算船用机械无故障率 指标的方法特点	31
§ 9 在电子计算机上计算船用设备可靠性的组织	38
第三章 船用机械适修性分析和可靠性综合指标	44
§ 10 适修性的特征和可靠性综合指标	44
§ 11 适修性指标的计算方法和程序	47
§ 12 船用机械适修性的定性分析	49
第四章 备件在保证船用机械可靠性中的作用	55
§ 13 概论与总则	55
§ 14 船用机械进行计划技术维护和日常修理 所需备件数量的确定	58
§ 15 考虑船用机械偶然故障情况所需备件数量的确定	59
§ 16 确定单套备件的总程序	79
§ 17 备件准备程度系数	80
§ 18 确定修理套备件数量的程序	81
§ 19 船用机械备件充足性概率值的确定	82
第五章 用少量信息在电子计算机上计算船用机械可靠性	101
§ 20 船用机械可靠性计算方法结构的选择	101

§ 21	在数字电子计算机上进行计算的原始数据的准备	103
§ 22	检验统计假设和建立参数值的置信域	104
§ 23	在模拟数字控制台上,准备纸带译码打印程序Π1 结果的指南	108
§ 24	对各种假设差异性和必须的数据容量的验前估计	111
§ 25	在给定样本容量时,用程序Π3 自动建立 随机量分布律差异性的基础表格	115
§ 26	培训工程技术人员使用数字电子计算机 计算船用可靠性的经验	121
结束语		126
附录		128
I	可靠性的基本概念、术语和数量特征	128
II	船用机械产品可靠性典型保证纲要	134
III	船用机械零件耐用性计算实例	145
IV	电器组件元件的 σ_{1i} 和 σ_{2i} 系数与载荷及环境温度的关系曲线	149
V	用数字电子计算机计算液压绞车可靠性指标的实例	153
VI	绞盘和绞车平均修复时间的规定定额实例	157
VII	AЭT _p C 型渔船用绞车的可靠性及其备件数量的估算实例	163
VIII	确定备件数的图谱	168
IX	备件充足性 K 的概率表	173
参考文献		173

第一章 船用机械耐用性指标的确定

§ 1 耐用性指标

正如船用机械设计经验所证明的那样，在设计阶段，为了评价机械耐用性，用以下指标已完全足够：

大修前的平均寿命；

报废前的平均寿命；

大修前的平均使用期限；

报废前的平均使用期限；

γ 百分比寿命；

修理间的寿命。

按照苏联国家标准 ГОСТ 13377-75 规定，寿命系指产品从开始使用或从中修或大修后，修复到临近极限状态的工作时间。

产品极限状态系指产品由于下述原因而必须停止继续使用的状态：安全性的要求受到不可排除的破坏；或由于规定参数超出规定范围，而又不能排除；或者由于使用效率降低到低于允许程度，而又不能排除；或者由于需要进行中修或大修。

极限状态的特征（准则）由该产品的标准技术文件来规定。

不可修复的产品在发生故障时，或者在使用期达到预定的极限允许值或总的工作时间的情况下，达到极限状态。

由于主要参数超出允许值规定范围的不可逆性和产品使用效率降低到比允许值低的不可逆性，或由于该型产品在规定的使用周期后出现故障强度有规律的增大，所以，使用期限和工作时间的极限允许值应从考虑使用安全性来规定。不可修复产品的使用极限期限或极限总工作时间可用计算方法、经验统计方法或同时用这两种方法来确定。

对于可修复产品，根据以下一个原因或几个原因而不能继续使用，或者不宜再用的开始瞬间来确定过渡到极限状态：产品不可能在允许的水平上保持使用的安全性、无故障率和有效性；由于磨损和老化，产品变为这种状态，即此时的修理不允许要求大量的修理费；或者不能保证能力与可用性恢复到必须的程度。

可修复产品过渡到极限状态，而其故障一般不在同一时间内发生。在故障情况下，这种产品靠日常的修理来恢复其工作能力，即失去工作能力的产品不一定处于极限状态，相反，可能过渡到极限状态，却尚未丧失工作能力。

在大多数情况下，与工作能力参数有关的只是一些即时值可以在个别瞬间内实际确定的数值。而为了评估产品的技术状况，则不必累积任何时间间隔内的这些即时值。此外，目前已制造的很多技术诊断设备，可以在瞬间内确定产品的技术状态。产品过渡到极限状态，甚至故障，都是由很多因素造成的。其中很多因素只是局部控制或完全不能控制，而某些因素甚至还不知道。所以，过渡到极限状态都是在偶然瞬间发生的，相应地，寿命是一个随机量，对于同一类型的产品它是各不相同，而且也是事先不知道的。

任何一个随机量，其寿命均可用概率分布来表征。

寿命概率的拟合分布相应于正态分布。这些分布是特殊情况，威布尔分布、 Γ 分布和对数正态分布，等等。

寿命分布是产品耐用性最重要的特征之一。同时，与寿命分布有关系的量都是耐用性指标：平均寿命（数学期望）、寿命的平均方差、寿命偏倚系数、 Γ 百分比寿命。这些指标可以属于报废前、大修前的平均寿命和其它随机量。

根据产品的使用状态及其利用系数，耐用性指标可以是平均寿命或者平均使用期限。对于“动力”产品，平均寿命是其耐用性的决定性指标。这种产品在工作状态时的作用载荷比在中断时，即等待、保存、运输或技术维护状态时作用的载荷要大。动力产品的利用系数是相当大的，而过渡到极限状态首先仅仅根据总工

作时间决定。

对于不属“动力”的产品，平均使用期，即使用的日历持续时间是决定性指标。这种产品在周围介质的影响下，具有自然老化的特点。这种产品的工作状态一般是短期的，利用系数也不大，而过渡到极限状态由使用的日历持续时间和周围介质决定。

自然，在评估“动力”和“非动力”产品的耐用性时，必须考虑和分析耐用性的两个主要指标——平均寿命和平均使用期限。

§ 2 确定耐用性指标的方法

设计时评价机械耐用性不是一个脱离设计的孤立过程。因此，在整个设计和强度、耐疲劳计算过程中，都要自始至终注意保证所要求的耐用性指标和可靠性的其它指标。

评价机械的耐用性是设计过程的最后阶段。在这一阶段中，借助于可靠性理论的一些较完善方法，利用同类机械产品使用的统计数据来规定耐用性指标，并就改善耐用性指标和可靠性的其他指标，作出建议、制订出措施。

为了在设计过程中保证技术任务书所要求的耐用性指标和在最后阶段评价机械耐用性时，避免大的结构修改，必须遵守保证耐用性的基本准则。

在机械设计的技术任务书中，除了对耐用性的要求外，首先要规定修理循环和技术维护结构。对于非船用机械，如果在设计时提出最佳修理间周期和技术维护策略的任务，那末，对于船用机械，除了此任务外，设计时还必须考虑与船舶修理循环结构相协调的修理循环和技术维护所要求的结构。

在一般情况下，船用机械设计包括机械部分的结构设计，配套的电气设备和液压设备的选型和组成。因此，在设计和评估耐用性和可靠性的其它指标时，应按结构形式将所有的机械零部件分成机械、电气和液压三个部分。

为了保证在船上采用技术维护策略，在设计过程中，应将所

有机械的零部件（包括配套的电气设备和液压设备），按耐用性等级分成机械、电气和液压三个组。

第一组——耐用零部件，其平均寿命（平均使用期限）应不低于技术任务书所规定的在报废前的机械平均寿命。这类零部件的特征是在机械总造价中单价高、外形尺寸大、制造工艺复杂、使用中磨损和老化不大。这组零部件包括：主要基件（基座、减速器壳体、机盖、支架、起货卷筒、起重轴、低速起重齿轮传动装置）；电气和液压动力设备（如果工业部门生产的设备具有所要求的耐用性指标）；磨损和老化过程慢的零件和装配件；各种固定零件、间隔环、盖和楔子等等。

第二组——非耐用零部件，其平均寿命应不低于技术任务书所规定的、在大修前的机械平均寿命。这类零部件的特征是转速高、受载程度大、载荷交变、剧烈磨损、老化、在机械造价中单价不高、易达性和可换性，等等。这组零部件包括：减速器的高速传动装置、电机轴、联轴节、轴承零件和其它零件，以及大多数的电气和液压配套设备，等等。

第三组——易损零部件，此类零部件在报废前的平均寿命，应保证在计划的技术维护管理和修理之间的机械工作能力。这组零部件的主要特征是可以快速更换。属于这组零部件的有：自动阀、制动挡板、滑块、橡胶制品和一部分配套设备。

以上各组零部件的耐用性指标定出机械使用寿命的顺序：第一组零部件的平均寿命到机械报废；第二组零部件的平均寿命到机械大修；第三组零部件的平均寿命到机械技术维护和修理（小修或中修）的周期。

§ 3 确定耐用性指标的前提

确定机械到大修前和报废前的平均寿命可用以下三种途径进行：对耐用性、强度和耐疲劳进行分析计算；按同类机械产品的试验资料或使用资料；根据配套的电气设备和液压设备的技术标准和设计文件。

在船用机械结构中，采用的大量各种电气设备和液压配套设备，都具有已知的耐用性特征。因此，在本书中，首要的任务是对机械组零部件进行可靠性和耐用性的分析和评价。至于电气和液压设备，在计算中，根据它的供应技术标准和设计文件，引用可靠性的原始数据，并考虑到载荷强度、在用率和使用情况、老化和机械影响等有关系数。

为了分析和评估零件的耐用性，规定零件过渡到极限状态的主要原因和磨损、老化以及疲劳破坏等特征。

零件过渡到极限状态的主要原因之一是表面破坏和由于结构表面相互作用而造成的磨损。

当互相作用的表面发生位移时，通常会发生挤压。两表面挤压是销、键、螺纹连接和其它机械零件破坏的特征类型。

表面间互相滑动会引起表面磨损。此种情况用提高表面硬度、加工精度和正确选择润滑剂的方法，可以大大地减少由磨损引起的塑性变形。互相作用零件的无滑动的滚动会引起表面层疲劳，这种疲劳使金属微粒从接触表面剥落。

当金属硬度不够以及单位压力很大时，也会出现挤压现象。这种互相作用的零件，如滚动轴承和凸轮机构的滚轮。当滚动带有相对滑动时（这发生于齿轮传动中），会出现磨损和疲劳，而在许多情况下出现表面挤压。

因此，零件间和表面间互相作用的每种形式是其磨损和破坏最常见的特征类型。这种磨损和破坏都会导致极限状态和故障。

任何机械、零部件的机械组都是由普通零件和轴、齿轮传动装置、轴承等装配件所组成。

表1所列机械中最常用的零件、装配件，以及它们过渡到极限状态的原因和强度计算类型。

为了分析和评估机械的耐用性，在设计阶段必须具有以下原始资料：

- 技术任务书中所规定的对机械耐用性的要求；
- 修理循环和技术维护的结构；