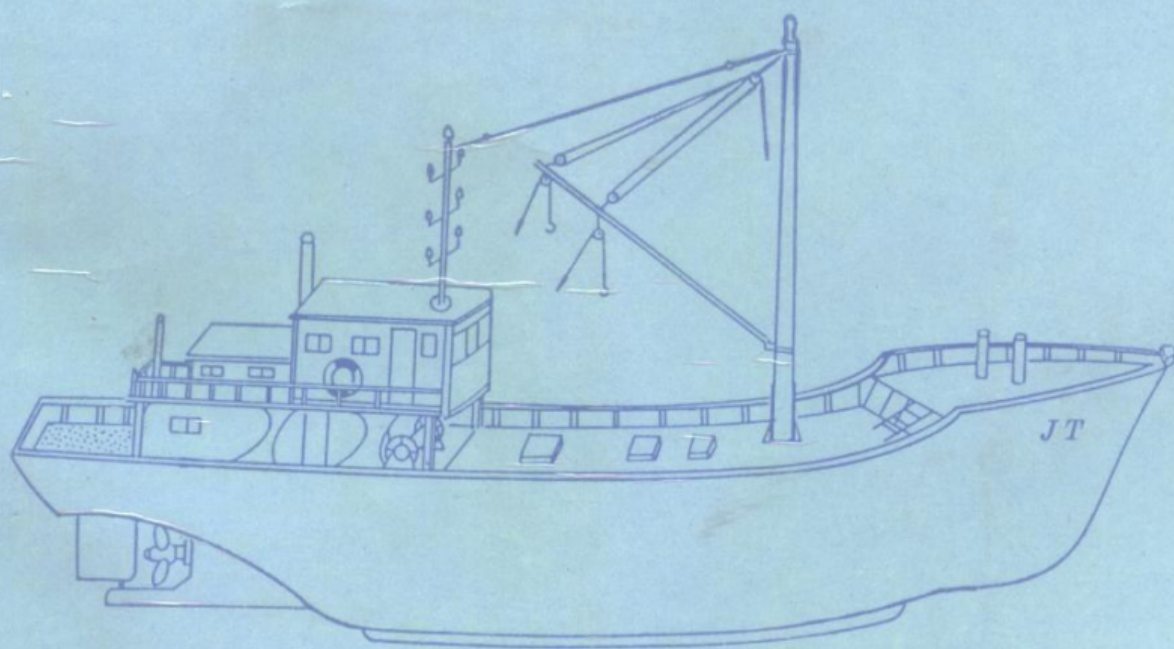


船用柴油机的可靠性

李岳春 郭于光 编译

CHUANYONG CHAIYOUJI DE KEKAOXING



上海交通大学出版社

370761

船用柴油机的可靠性

李岳春 郭于光 编译

上海交通大学出版社

内 容 提 要

柴油机可靠性的提高是确保柴油机有效利用的最有前途且最经济的方向之一。本书系统地阐明船用柴油机可靠性的理论基础、评定与分析方法。全书共分6章:柴油机可靠性的概念、柴油机的可靠性分析、柴油机的可靠性与其传动型式和用途的关系、柴油机的技术维护保养和修理、柴油机的储备量、柴油机可靠性的保障,并附有80年代典型船用柴油机的可靠性实例。本书的主要特点是综合研究了船用柴油机的可靠性理论,并以此为基础建立了旨在确保船用柴油机可靠性的统一体系。

本书可供从事柴油机科研、生产、使用与管理人员及高等院校师生参考。

沪新登字 205 号

船用柴油机的可靠性

出版:上海交通大学出版社
(上海华山路 1954 号)
发行:新华书店上海发行所
印刷:
开本:787×1092(毫米)1/16
印张: 11

字数: 308000
版次:1993 年 7 月第 1 版
印次:1993 年 8 月第 1 次
印数:1—2000
科目:239—299

ISBN7-313-01167-9/TK·42

定价:12.00 元

前 言

无论是远洋、沿海的船舶,还是内河的机动船舶,或是海军的舰船,均需要有可靠的推进柴油机和其他辅助柴油机。因而,近几年柴油机的设计、研制、生产、使用部门,都十分重视柴油机的可靠性的分析与研究。在提高柴油机的技术、经济指标的同时,积极努力地减少柴油机的故障,提高使用寿命,降低维修工作量,千方百计的提高柴油机的可靠性。

为了确保船用柴油机的可靠性,必须在设计阶段就引进可靠性的概念,进行可靠性的分析、计算和设计;在生产制造工厂内要具备有一整套的质量保证体系,保证生产制造质量;在使用阶段也同样需要用船部门具备一整套使用、维修的手段与措施,主要包括:在使用方面,尤其是新型舰船,装备的主管部门必须要对柴油机进行一定时间内的监督使用,科研部门和生产厂家均要参加,根据使用中反馈的信息,进行系统的可靠性分析、研究,以改进柴油机的结构和制造工艺,完善使用维护措施等。在保养维修方面,推广先进的微机化的监控和维修技术,使用先进的技术诊断设备和手段对柴油机的热工参数、技术状态进行监测、检查,维修工作要在专门的具备维修条件的工厂中,由经培训合格的人员进行维修。

尽管目前已经有了提高船用柴油机可靠性的措施,但其水平仍然难以满足航运事业的发展和海军的使用的要求。实践证明,船用柴油机的可靠性的提高是确保柴油机有效使用的最有前途的、且最经济的方向之一。减少轮机人员的工作量和疲劳,节省人力,提高柴油机的可用性和安全性,在很大程度上也取决于提高柴油机的可靠性。近年来,对船用柴油机可靠性的研究投入了很大的力量,虽有收益,但主要是机械类设备的可靠性在理论的研究工作还迟于电子类设备可靠性研究工作,相差甚大,主要是机械类设备的可靠性在理论上的定量分析、计算不成熟,实践中对零部件和系统的可靠性的分析、统计、实验数据的积累还缺少,需进一步重视机械类设备的可靠性的研究,尤其是加强典型机械类设备—船用柴油机的可靠性理论方面的研究。

本书编译的目的在于系统地阐明船用柴油机可靠性的理论基础、概念、评定与分析的方法。全书共六章,其主要特点是综合研究了船用柴油机的可靠性理论,从船用柴油机可靠性的基本概念入手,在理论上定量地分析、计算了船用柴油机的可靠性,确定柴油机及零部件可靠性的科学的评价指标,阐明了船用柴油机可靠性与整个动力系统、保养维修、操纵使用、零备件储备的关系,进行优化。并以此为基础,建立了旨在确保船用柴油机可靠性的统一体系。本书除主要编入原苏联 Б. В. ВАСИЛЬЕВ、С. М. ХАНИН 所著《НАДЕЖНОСТЬ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ》之外,并收进了八十年代末、九十年代初国外主要船用柴油机的可靠性之精华部分。

本书第 1、2、6 章,附录 3、4 由李岳春编译,第 3、4、5 章,附录 1、2 由郭于光编译,熊琳、王云祥、李乐、许佩玉负责译审。

为了促进我国船用柴油机可靠性的研究工作的发展,编译者愿将此书奉献给从事柴油机和机械类设备的科研、教学、生产、使用和管理的工程技术人员,及高等院校师生,以资参考。限于编译者的水平,书中错误在所难免,欢迎广大读者批评指正。

感谢海军领导机关、711 研究所的领导 and 同志们对本书出版工作的支持。

编译者

一九九三年一月二十八日

目 录

1 柴油机可靠性的概念	(1)
1.1 质量和可靠性的一般概念	(1)
1.2 可靠性指标	(2)
1.2.1 无故障连续性指标	(4)
1.2.2 耐久性指标	(6)
1.2.3 修理适应性	(6)
1.2.4 完整性指标	(7)
1.2.5 可靠性综合指标	(7)
1.3 故障	(10)
1.3.1 指数分布律	(15)
1.3.2 正态分布律	(15)
1.3.3 对数正态分布律	(16)
1.3.4 伽玛分布律	(16)
1.3.5 威布尔分布律	(16)
1.4 确保可靠性的费用支出	(17)
1.5 柴油机利用效率及其可靠性的控制	(20)
2 柴油机的可靠性分析	(25)
2.1 使用条件的评定	(25)
2.2 主要零、部件的磨损	(27)
2.3 故障流与工作时间及工作参数的关系	(30)
2.4 无故障连续性指标、耐久性指标和修理适应性指标的确定	(37)
2.4.1 观测试验方案	(37)
2.4.2 无故障连续性指标	(39)
2.4.3 耐久性指标	(42)
2.4.4 修理适应性指标	(44)
2.5 期望寿命的预测	(45)
2.6 可靠性指标的评定	(47)
2.6.1 无故障连续工作的持续时间	(47)
2.6.2 拆修前的寿命	(48)
2.6.3 零部件的无故障连续性和寿命	(49)
3 柴油机的可靠性与其传动型式和用途的关系	(51)
3.1 直接传动式柴油机	(51)
3.2 带倒顺车减速齿轮传动装置的柴油机	(56)
3.3 高速船舶用柴油机	(61)
3.4 辅助柴油机	(65)
4 柴油机的技术维护保养和修理	(68)
4.1 技术维护保养和修理的种类	(68)

4.2 技术维护保养和修理的周期性.....	(71)
4.2.1 零件的技术状态.....	(71)
4.2.2 排除故障的工作量.....	(73)
4.2.3 技术维护保养的效率.....	(74)
4.2.4 技术状态的监视(检查).....	(75)
4.2.5 柴油机事故损坏的损失.....	(76)
4.3 优化的方法和准则.....	(77)
4.3.1 按技术利用系数优化的方法.....	(77)
4.3.2 按折算的费用进行优化的方法.....	(79)
4.4 技术维护保养的优化期限.....	(80)
4.5 拆修和修理的优化期限.....	(83)
5 柴油机的储备量.....	(88)
5.1 储备品的种类和储备量的优化.....	(88)
5.2 备件需求量的计算.....	(92)
5.2.1 备件的消耗定额.....	(92)
5.2.2 备件的需求量.....	(93)
5.2.3 零、部件的备件优化.....	(95)
5.3 柴油机总量的技术状态自动化预报系统.....	(96)
6 柴油机可靠性的保障.....	(100)
6.1 决定可靠性的使用因素.....	(100)
6.2 工况的选定.....	(103)
6.3 技术状态的诊断.....	(109)
6.4 使用期限的优化.....	(114)
6.5 提高柴油机的使用效率和修理效率.....	(118)
参考文献.....	(122)
附录一 几种船用柴油机对提高可靠性的措施.....	(123)
附录二 船用柴油机新材料的发展.....	(135)
附录三 智能化船用柴油机的发展.....	(138)
附录四 国内外大功率船用柴油机主要技术参数.....	(144)

1 柴油机可靠性的概念

1.1 质量和可靠性的一般概念

在原苏联国家标准中,针对应用于科学、技术和生产上的技术产品,其中包括柴油机及其零部件,规定了其可靠性和质量方面的术语和基本概念的定义。

船用柴油机是动力源,这就决定了其应用范围,额定功率、最大功率和最小功率、转速、缸径和活塞行程、平均有效压力、自动化程度、使用各类品质燃油的运行能力等,都是用于表征柴油机特性的技术要素。

船用柴油机的质量,由说明其在船舶上执行动力源功能的一些特性来综合确定。这些特性包括:

可靠性——说明柴油机和无故障运行的连续性、耐久性、修理适应性和完整性、平均无故障工作时间、故障流参数、拆修前规定寿命、大修前规定寿命及报废前的规定寿命、技术维护保养的单位作业用工量,拆修的单位作业用工量和大修单位作业用工量以及完整性期限等等;

经济性——从经济性方面评定材料、燃油和机油的利用情况(单位重量、单位材料用量、单位燃油耗量和单位机油耗量,更换机油前的工作时间等)以及评定柴油机制造费用和使用费用的支出;

工艺性——评定柴油机生产条件的适应性和确保高劳动生产率的适应性(单位制造用工量和其他等);

运输适合性——确定柴油机对运输的适合性(重量、体积尺寸和其他等)。

评定柴油机质量的还有下列指标:

工(作)效(率)学指标——说明柴油机的维护保养和操纵的方便性,是否符合保健卫生技术标准的要求(综合的工效学指标和其他等);

美学指标——说明柴油机的结构和型式的文字说明能力和合理性,及其生产形式的完善(综合美学指标和其他等);

标准化和通用化——评定柴油机标准化制件的利用程度和其组合部件的通用化水平(重复性系数、可使用性系数和其他等);

专利权指标——说明柴油机专利发明证书,在国内和国外的被保护程度以及在国内和国外柴油机专利发明纯洁性及其顺利实现的可能性(专利保护指标、专利纯洁性指标和其他等);

生态指标——评定柴油机对周围环境(介质)的影响,(单位氧化氮、碳和碳氢化合物的排放;光通量减弱系数和其他等);

安全性指标——说明在操纵和维护保养柴油机时的劳动安全性(噪声水平和振动水平、综合的劳动安全指标和其他等)。

为了确定船用柴油机质量的指标,人们常采用计算的方法、检验的方法和实验的方法,实验的方法是柴油机在工厂或在使用过程中进行试验主要采用且最为可靠的一种方式。

可靠性是柴油机质量中最重要的一个指标。它是:当柴油机参数均低于规定极限值时,在给

定工况并遵循给定使用条件和技术维护保养、修理条件的情况下，确定柴油机在船上完成动力源功能的性能。

船用柴油机在使用过程中，其零部件可能处于下述四种可能状况之一即：完好状态、不完好状态、有工作能力状态和无工作能力状态。

柴油机符合标准技术文件和设计文件所有要求的状态称为完好状态，但是所有要求中即使有一项要求不能满足的话，柴油机即被认为处于不完好状态。

柴油机在有工作能力状态下，所有表示其能完成动力源功能的参数值都要符合标准技术文件和设计文件的要求，例如功率，转速，逆转(倒车)时间等参数都属于这些参数。但当这些参数中的某一项参数超出其允许的极限值，则柴油机即属处于无工作能力状态。

完好状态的概念要比有工作能力状态的概念宽一些。有工作能力状态与完好状态的柴油机的区别在于，前者只要满足正常使用下一定要完成的那些要求。很明显，有工作能力状态的柴油机可能是不完好状态的柴油机。举例来说，在机油消耗量超过允许值时，柴油机处于不完好状态，可它却仍保持了自己的正常工作能力。

1.2 可靠性的指标

可靠性的概念包括无故障连续性、耐久性、修理适应性和完整性。

无故障连续性是柴油机在某个工作小时或某个运行期间连续地保持工作能力的性能。对船用柴油机来说，这是个重要的特性，因为船用柴油机的工作能力受到破坏就要影响船舶航行的安全。

耐久性是柴油机在所规定的技术保养和修理制度下极限状态来临前保持工作能力的性能。寿命和使用期限是耐久性的特性。寿命是柴油机从使用开始或修复后开始到进入极限状态止的可用能力，以工作小时为单位表示。使用期限是柴油机从使用开始或修复后开始到进入极限状态止按日历计算的使用持续时间。在达到规定的寿命时，柴油机就应停止使用。

修理适应性，是柴油机通过技术保养和修理，预防和发现故障及损伤，使之能保持和恢复有工作能力状态的性能。完工费用和停留时间长短则取决于柴油机的结构对进行技术保养和修理的适应性。柴油机的修理适应性取决于它的适检性、可达性、易拆卸性、可还原性、通用性、可互换性，以及结构的组合程度和其他因素。

由于技术保养和修理时所进行的工作性质不同、维护保养人员的素质和专业技术程度的差异、以及材料基础的不同，决定了在进行这些工作时，对柴油机结构的适应性也有一定程度的不同要求。这是操作工艺性的术语、修理工艺性的术语和修理适应性的术语同时使用的原因。人们把柴油机结构对操作使用前、使用过程中和使用结束后的工作适应性的结构特性称之为操作工艺性。柴油机操作工艺性含执行维护保养和诊断作业的可达性、方便、简单、易磨损件的通用性和可互换性，柴油机部件和整机的适检性等等。修理工艺性则表示柴油机的结构对进行修理的适应性。作为柴油机的制造、试验和使用所有各个阶段，研究、分析和评估的对象，操作工艺性和修理工艺性具有独立的意义。

随着船员人数的逐渐减少，和减轻船员劳动强度的需要，确保柴油机的高操作工艺水平显得特别紧迫。

为确保船用柴油机的操作工艺性，总的要求如下：提高其适应性；延长技术保养期；提高零、

部件的无故障连续性和耐久性；减少要求定期检查的部件数量并发展集中控制系统；减少要求定期(时)技术保养和检查的部件数量；零、部件、燃油和润滑油的标准化和通用化；确保柴油机对执行监视——诊断、调节、紧固、拆装、润滑和修理等工作的适应性；减少紧固件种类和专用工、夹具的零件等等。

完整性是柴油机在运输和保管期间及以后保持无故障连续性、耐久性和修理适应性等指标值的性能，即连续地保持完好状态和有工作能力状态的性能。对河运船队的船用柴油机来说，由于其季节性使用和船舶在冬季的长时间停航，完整性具有实质性的意义。

船用柴油机的可靠性取决于大量的反映其结构、生产和使用条件的因素，这就导致柴油机技术状态和可靠性的变化都带有随机的性质，在评定和分析可靠性指标时^[2, 4, 10, 12, 14]就必须应用概率论的方法。

随机现象的结果(事件)，虽不能预言，但可用概率性来评估其可能出现的程度，事件的概率性 $P(A)$ 是随机事件 A 客观可能性的量度。可靠事件的概率为 1，而不可能事件的概率为 0，因而，随机事件的概率是处于极限内的正值真分数 $0 \leq P(A) \leq 1$ 。

事件 A 出现的频率以相对频率，或独特性 ω 来评定。 ω 是出现事件 A 的试验次数 m 与试验总数 N 之比，即 $\omega = m/N$ 。

当试验次数增加时，相对频率与该事件 $P(A)$ 的概率相似。

事件可能有各种各样的性质。如果一个事件出现排斥了另一事件出现的可能性，则这样的事件就被称为不被相容或不相容事件。例如柴油机在给定的时间内无故障连续工作的概率 $P(t)$ 与其故障的概率 $Q(t)$ 是不相容的，是对立的事件。对它们来说，关系式 $P(t) + Q(t) = 1$ 都是正确、适用的。

如果说，一个事件出现的概率，不受其他事件的出现或不出现的影响而改变的话，则这种事件称之为独立事件。例如，柴油机喷油器和机油泵的故障都是独立事件，因为他们的出现，没有互相的联系。从独立事件 n 中发生的某个事件的概率等于这些事件概率的乘积，即

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = P(A_1)P(A_2) \dots P(A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i)。$$

可用随机量来从数量上评定随机事件。

为了说明随机量，就必须了解其所应用的这些或另外一些数值的概率。随机量可能值与其概率间的关系，可用随机量分布律来确定。

离散随机量分布律作业的最简单形式是分布序列，在分布序列中确定的概率 P_i 与随机量每个可能值 x_i 相适应，即

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n;$$

$$P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n。$$

为便于直观和形象化，离散随机量的分布律可以制成图表示明，任何随机量分布律作业的最一般与最广泛应用的方法就是表示为随机量概率分布的积分函数，或是分布函数。

将 X 小于某个数 x 的概率表示为函数 $F(x)$ ，该函数则被称为随机量 x 的分布函数： $F(x) = P(X < x)$ 。

分布函数具有以下特性：

当 $x_2 > x_1$ ： $F(x_2) > F(x_1)$ 时，分布函数为增函数；

如果 $x \rightarrow -\infty$ ，则函数趋于 0；

如果 $x \rightarrow +\infty$ ，则函数趋于 1。

随机量分布律 X 亦可由概率分布的微分函数——分布密度, 或故障频率来表示;

$$f(x) = F'(x) = dF(x)/dx.$$

在解决大量的可靠性实际问题时, 没有必要了解随机量所有可能的数值以及与其相应的概率, 而利用一定数量给出足够随机量信息的指标是比较方便的。这些指标反映了分布的最实质性特点, 并被称为是随机量的数值表征。

数学期望值表示了随机量在数轴上的位置, 确定某个平均值, 在平均值周围, 则集中了其所有可能的值, 因此, 数学期望值有时也被称为随机量的平均值:

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i P_i.$$

随机量数值的离散度对数学期望值来说, 通常用方差 D , 平均方差 σ 以及平均方差与数学期望值之比的离差系数来评定, 如:

$$D[X] = \sum_{i=1}^n (x_i - M[X])^2 P_i; \quad \sigma[X] = \sqrt{D[X]}; \quad \nu[X] = \sigma[X]/M[X].$$

离差系数越小, 平均值周围的随机量组合就越密, 离散度也越小。

可以采用柴油机工作时间随机量、上述已阐明的数值表征量以及描述柴油机技术状态的其他一些性能的随机量数值表征量的指标, 并用这些指标的数量来评定其可靠性。

1.2.1 无故障连续性指标

1. 柴油机其部件或零件的无故障连续工作的概率 $P(t)$ 就是在给定的工作时间 t 极限内不发生故障的概率。它具有如下特性:

$$0 < P(t) < 1; P(0) = 1; P(\infty) = 0$$

(见图 1.1)。

无故障连续工作的概率可按在工作时间 t 过程中无故障连续运行的产品数量 $N(t)$, 对初始瞬时 $t=0$ 已正常工作的产品数量 $N(0)$ 之比来统计确定, 即

$$P(t) = N(t)/N(0).$$

这时, $N(0)$ 越大, 无故障连续性工作的概率确定就越精确。如果产品在发生故障前的工作时间 $f(t)$ 或 $F(t)$ 分布律已经知悉, 则

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - F(t).$$

2. 故障的平均工作时间, 或一次故障的工作时间, 都是柴油机的工作时间对其在这段工作时间内故障数的数学期望值之比。这个指标说明柴油机一个故障发生的平均工作

时间。一次故障的工作时间可以通过柴油机总工作时间对其故障总数之比来统计评定。即

$$T_0 = \sum_{i=1}^N t_i / \sum_{i=1}^N r_i,$$

式中: t_i 为 i 台柴油机在试验或观察期内的的工作时间, $h(i=1, 2, \dots, N)$; r_i 为 i 台柴油机在试验或观察期内的故障数量; N 为试验过的柴油机数量。

对不可修复的柴油机来说, 一次故障的平均工作时间与故障前的平均工作时间相应, 故障前的平均工作时间按下述公式要求:

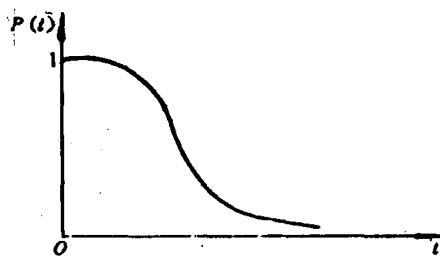


图 1.1 无故障连续工作概率随工作时间变化的关系曲线

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^N t_i / N,$$

式中: t_i 为第 i 台柴油机故障前的工作时间, t_i ; N 为试验过的柴油机数量。

在知道了第一批故障发生前柴油机工作时间的分布规律 $f(t)$ 时, 就可按下述公式得到故障前的平均工作时间,

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt,$$

或

$$T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

因而, 不可修复的柴油机故障前的平均工作时间从数值上等于无故障连续工作概率的曲线面积。

3. 可以确定一个工作时间范围, 即在该时间过程中柴油机不发生故障的概率为 100%, 以此作为规定的无故障连续工作时间。若规定的无故障连续工作时间为 500h, 则这就意味着所有柴油机都应无故障地工作 500h。与原苏联标准 ГОСТ 4.367—85 相应, 可以用不间断工作的规定寿命指标来替代规定的无故障连续工作时间, 该不间断工作的规定寿命指标与柴油机确定的工作时间相应, 在确定的工作时间到达之后, 柴油机就该停止使用, 以便进行技术维护保养工作。

4. 故障流参数是柴油机在整个自由、短暂的工作时间内的平均故障次数与这个工作时间值之比(为被研究的时刻而确定的可修复柴油机发生故障的概率密度)。

柴油机的使用过程可描述如下: 柴油机开始工作, 并工作到出故障为止, 故障发生后对其工作能力进行修复, 柴油机又重新工作到故障发生等等。故障的瞬时时刻形成流, 即所谓的故障流。任何故障流的特性是其主函数——整个工作时间内故障次数的数学期望值:

$$\Omega(t) = M[r(t)],$$

式中: $r(t)$ 为整个工作时间 t 的故障次数。

故障流参数 $\omega(t)$ 说明了在短暂的工作时间间隔内的平均故障次数:

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}.$$

故障流参数以关系式 $\Omega(t) = \int_0^t \omega(t) dt$ 与主函数相联系。

故障流参数以统计法确定作为柴油机在单位工作时间内的平均故障次数:

$$\omega(t) \approx \frac{\sum_{i=1}^N r_i(\Delta t)}{N \Delta t},$$

式中: $r_i(\Delta t)$ 为第 i 台柴油机在工作时间 Δt 内的故障次数; N 为被试验的柴油机数量。

柴油机故障流参数按照其工作时间的典型变化示于图 1.2。柴油机的整个使用期由三个特性阶段组成: 磨合运转(从 0 到 t_1), 正常使用阶段(从 t_1 到 t_2) 和工作时间达到后剧烈老化 t_2 。对正常使用期来说, 故障流正常, 也就是说, $\omega(t) = \text{常数}$, 为其特点。因为对正常使用期来说, ω 就是单位工作时间内的平均故障次数, $r = \omega t$ 。在这种情况下故障的工作时间, $T_0 = t \sqrt{r} = 1/\omega$ 。由此可见, 正常使用期的一次故障工作时间应等于故障流反参数值, 并与无故障连续工作的平均时间相应。

5. 不可修复的对象产生故障的概率假定密度称为故障密度。该假定密度被确定用于该瞬时时刻不产生故障条件下的被研究的工作时间。

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1}{1 - F(t)} = \frac{dF(t)}{dt}.$$

故障密度可经统计确定,为在单位工作时间内产生故障的对象数量与在所研究瞬时工作时间内无故障连续工作的对象数量之比值,

$$\lambda(t) \approx \Delta N / [\Delta N(t)],$$

式中: ΔN 为在工作时间间隔 Δt 内产生故障的对象数量; $\Delta N(t)$ 为在工作时间 t 内无故障工作的对象数量。

故障密度的典型变化曲线和故障流参数的变化曲线相同,也有三个特征阶段,即磨合运转阶段,正常工作阶段和激烈老化阶段。故障密度是不可修复对象工作到第一个故障发生前既合适又重要的可靠形指标,因此,它也广泛地被用来评定一次性使用的零部件(活塞环,垫圈,密封件,气门等)的无故障连续性。

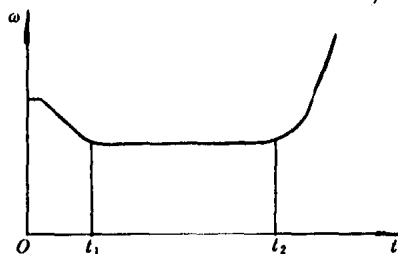


图 1.2 故障流参数的变化

1.2.2 耐久性指标

船用柴油机及其零部件的耐久性说明了其寿命或使用期限。其工作时间称为寿命。而其从使用开始到发现极限状态来临的时刻止,按日历计算的持续时间称为使用期限。对船用柴油机来说,通常要确定下列寿命:拆修前寿命,大修前寿命和报废前寿命。这时候,通常要指明,这个寿命是规定寿命,还是平均寿命或 r 百分数寿命。

规定寿命,即柴油机的总工作时间,在达到总工作时间时,应停止使用,与是否进行拆修或应予报废等状态均无关。制造厂所规定的额定寿命,目的是从安全性和经济性的观点出发及时停止柴油机的使用,并在技术文件中予以阐明,这个规定寿命也可用于其他一些单独的零部件。

平均寿命确定作为柴油机拆修,大修或报废前工作时间的数学期望值。如果柴油机寿命具有分布密度 $f'(t)$,则平均寿命可按下列公式求出:

$$R_{cp} = \int_0^{\infty} t f'(t) dt.$$

在具有柴油机相应的寿命实际数据时,就可用统计法求出平均寿命,作为算术平均值。

规定使用期限——柴油机按日历计算的使用持续期限。在达到该持续期限时,不论其技术状态如何,都必需对柴油机进行拆修,大修,或报废处理。规定使用期限也适用于柴油机的零部件。

报废前的平均使用期限应与柴油机从使用开始到结束前,按日历计算的使用持续期限相符。柴油机的使用期限取决于机械磨损或无形磨损,机械磨损和无形磨损的后果,导致了柴油机的进一步使用变成不允许或者是经济上不合理。平均使用寿命由各单台柴油机使用期限的算术平均值来确定。

1.2.3 修理适应性

1. 修复概率,是柴油机修复或有工作能力状态的时间不超过给定时间的概率。柴油机在发生故障后修复或有工作能力状态的过程在于发现故障并消除其不良后果。修复的时间与许多因素(故障的性质,柴油机的结构特点,保养工作人员的专业水平,工具和专用夹具的质量和数量等等)有关,而且是一种随机变量。如果修复时间具有分布密度 $f_1(t)$,则柴油机在给定时间 t_0 的修复概率可按下述公式求出:

$$P(t_0) = \int_0^{t_0} f_1(t) dt.$$

修复概率值可用在给定时间内被修复对象数与可被修复对象总数比值来确定:

$$P(t_0) = n_0 / N_0.$$

式中: n_0 为在 t_0 时间内被修复的对象数; N_0 为 t_0 时间内应该修复的对象数。

2. 平均修复时间可确定为对象有工作能力状态修复时间的数学期望值。在按照长时间连续计算结果而取得的统计数据来确定平均修复时间时, 这个指标可按下述公式求得:

$$T_1 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_i,$$

式中: r 为在观察过程中发生的故障量; t_i 为在第 i 次故障下修复或有工作能力的时间, h 。

从实际上说, 由于本身的直观性, 平均修复时间, 也就是柴油机由故障引起的平均停车时间, 所以这个指标已取得了广泛地推广。

1.2.4 完整性指标

完整性的平均期限就是完整性的数学期望值:

$$T_2 = \int_0^{\infty} t f_2(t) dt.$$

式中: $f_2(t)$ 为完整性期限的分布密度。

完整性的平均期限可确定作为受观察柴油机实际完整性期限的算术平均值。

对内河船舶的柴油机来说, 其制造厂通常规定的完整性平均期限为 18 个月, 该完整性期限也可推广用于配套的零件和备用件上。

1.2.5 可靠性综合指标

1. 准备性系数。除了根据用途没有规定使用对象的计划期外, 对象在任何时刻都处于有工作能力状态的概率。准备性系数可看作是受观察柴油机的总工作时间 t_1 与这些柴油机在整个给定的使用时间中产生故障后修复或有工作能力的总时间 t_2 和总工作时间 t_1 之和的比值:

$$K = t_1 / (t_1 + t_2),$$

式中: t_1 为在整个给定的使用期中柴油机的总工作时间, h ; t_2 为在整个给定的使用期中发生故障后柴油机修复所用的总时间, h 。

准备性系数同时表示了柴油机两种不同的特性: 无故障连续性和修理适应性。在这种情况下, 准备性系数只考虑了柴油机产生故障后为修复工作而被迫停车的时间。

2. 技术利用系数。这是柴油机处于有工作能力状态的时间数学期望值与此值和由技术保养所造成的停车时间, 在使用期限中产生故障后的修复时间数学期望值及计划修理的总停车时间四项之总和的比值。这样, 技术利用系数就既考虑到柴油机由于产生故障的停车, 也考虑到由于其定期计划技术维护保养和技术修理的停车。技术利用系数可以用受观察柴油机总和的工作时间与在整个给定的使用期中由于故障, 技术维护保养和修理所需柴油机停车的总停车时间和总工作时间的总和之比值来确定。

$$K' = t_1 / (t_1 + t_2 + t_3 + t_4),$$

式中: t_1 为柴油机在整个给定的使用期中的总工作时间, h ; t_2 为柴油机产生故障后的总修复时间, h ; t_3 为计划修理的总停车时间, h ; t_4 为计划技术保养的总停车时间, h 。

随着工作时间的提高, 准备性系数和技术利用系数有下降的趋势。(见图 1.3)。

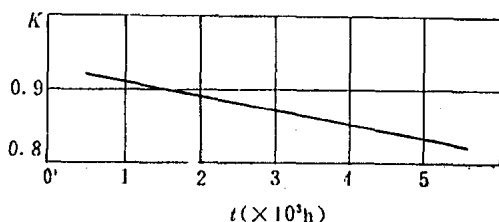


图 1.3 M400 型柴油机技术利用系数与工作时间的关系曲线

柴油机的修复及计划保养和修理的持续时间乃由若干个分量相加而成。等候时间通常是与船员船上工作的繁忙性，岸上生产工段专家们对船上的呼叫，备件的缺乏，工厂的负荷程度有关，准备结尾时间花费在工位准备，工具和材料准备，也花费在熟悉技术文件及技术指南等方面。

辅助时间则用在工作过程中，船员和工人们必要的休息和处理个人问题上。

直接用来完成技术保养和修理的操作时间称为作业时间。作业时间首先是由辅助时间和主要时间组成。在辅助时间里，通过部件的部分拆卸和某些零件的卸下进行柴油机完成工作的准备，以确保要进行工作的位置的可达性。辅助时间还包括花费在安装被卸下零部件的时间。辅助时间取决于柴油机结构的使用工艺性，也表示了要求技术保养和修理的零部件的可达性。在主要时间过程中，直接要完成一些必要的工作，例如，调节工作，更换机油，零件更换，技术诊断，滤器清洗等。技术保养(修理)的作业持续时间表示柴油机技术保养修理工作的繁忙性，并在一定程度上可确定柴油机处于非工作状态下的时间。

3. 技术保养(拆修，大修)总的单位作业持续时间是柴油机在某个使用期中技术保养(拆修，大修)作业持续时间的数学期望值对其在同一使用时期工作时间的数学期望值之比值：

$$T_1 = \frac{\sum_{i=1}^N t_{bi} n_i}{\sum_{i=1}^N t_i},$$

式中： N 为被试验柴油机的数量； t_{bi} 为第 i 台柴油机的技术保养(拆修，大修)的作业持续时间， h ； n_i 为第 i 台柴油机在给定使用期内的技术保养(拆修，大修)次数； t_i 为第 i 台柴油机在给定使用期内的工作时间， h 。

4. 技术保养(拆修，大修)总的单位作业工作量是柴油机在某个使用期内技术保养(拆修，大修)作业工作量的数学期望值与其在同一使用期内工作时间的数学期望值之比。这个指标的计算程序近似于柴油机技术保养(拆修，大修)总的单位作业持续时间的计算。

柴油机技术保养和修理所花费的时间和工作量的支出费用应在具体可比较的工作条件下(如机构，工艺，材料—技术保障工作，工作人员的专业技术程度等)确定。在确定综合的指标时，给定的工作时间通常应包含各种技术保养和修理。在确定准备系数的给定工作时间时，利用柴油机拆修前的规定寿命是合理的。而在确定技术利用系数和技术保养(拆修，大修)的总单位作业持续时间(完工量)时，则利用柴油机大修前的规定寿命。

在统计数据的基础上，可以确定，河运船舶基本型号的柴油主机，技术保养的总单位作业完工量为千时；采用可逆转减速齿轮箱传动装置的非逆转中速柴油机为 170~200 人工时；可逆转带直接转动装置的可逆转中速柴油机为 260~300 人工时；倒带顺离合器的高速柴油机为 670~740 人工时。而技术保养的总单位作业完工量，为柴油机技术保养和修理合在一起的总单位作业完工量的 80%~86%。这说明柴油机技术保养的劳动支出要比其修理支出超出好几倍。

计划技术保养的工作量最大(89%~93%)。计划技术保养按主要作业的劳动量分配详见表 1。

表 1.1

作 业 名 称	柴油机技术保养的作业完工量(%)			
	64HCH 18/22	64HCH 27.5/36	84HP 3.18	64HP 36/45
燃油箱, 机油箱和空气箱的补给, 放出沉渣并吹洗;	15	12.7	13.4	18.1
清理油和空气箱等容器, 过滤器, 冷却器, 离心机, 涡轮增压气机等部件工作面的污垢, 部件拆修等;	22	23.5	22	13.7
清理排除渗漏, 污泥等;	18.6	16	16.3	20.8
检查外部连接件, 紧固件, 仪器仪表和指示器, 检查间隙, 拧紧, 调节;	24.5	21.7	19.5	18.7
检查内腔以监视部件状态;	6.5	6.2	16.6	18.5
通过在柴油机(或在试验台上)的检查试验来检查部件的工作能力;	8	16	7.9	6.4
定期检查运行工作情况和柴油机情况;	5.2	3.6	3.8	3.4
其他工作(取机油试样, 手动润滑等);	0.2	0.3	0.5	0.4

柴油机及其部件的非计划修复工作的工作量, 为技术保养单位总作业完成量的 7%~11%。80%~90% 的故障和支出费用发生在 7~10 种零件上, 其零件数量为 60~90 个, 仅占柴油机零件总数的 0.6%~1.5%。通常柴油机的可靠性受到气缸, 活塞组零件, 供油系统, 悬挂物件, 气缸盖和遥控系统限制。燃用重油则从实质上增大了柴油机技术保养的工作量。例如, 采用发动机燃油的 64HP36/45 型柴油机比其在燃用柴油时的保养完工量要增高 30% 以上。这基本上是因为需要经常拆卸并清理喷油器, 清洗精、粗燃油滤器, 维护燃油分离器, 吊升气缸盖以便清除积碳并研磨排气门。

所取得的实际数据证明, 降低柴油机技术保养完工量的潜力还很大。为了实现这个可能性, 就必需进行下述相应的工作: 提高柴油机的无故障连续性和耐久性; 进一步发展事故预报信号系统, 并进一步扩展监视参数的项目; 优化过滤器和分离器的清理过程及曲轴箱添加机油过程的自动化程度, 推行柴油机技术状态的自动记录和技术诊断手段等。

1.3 故障

柴油机是在极限状态来临而逐渐地丧失有工作能力状态,或是在某个零件发生故障时而突然丧失有工作能力状态。柴油机的这种状态称为极限状态,即在该状态下不允许或不适合。柴油机到达极限状态就会引起暂时地停止使用,或是彻底地停止使用。

柴油机不可修理的零部件有两类特有的极限状态:第一类是在故障发生时来临的极限状态,它与无工作能力状态相符合;第二类极限状态是由于存在产生故障的危险而不允许进一步使用,即是具有工作能力的部件或零件的极限状态。在这种情况下就要确定部件或零件报废前的规定寿命或使用期限,例如为连杆螺栓规定了报废前的规定寿命。

柴油机极限状态的准则示明于技术文件中。根据进一步使用的危险性,不允许降低使用效率和给定指标超出允许极限,它将造成不可能或是不合适进一步使用。在文件中对极限状态作了规定。例如,主要件和基础件的允许磨损、功率损失、燃油和机油耗量的增大值等都是柴油机极限状态的判据。

由于故障的后果,柴油机会发生从有工作能力状态向无工作能力状态过渡。计划技术保养和修理期中柴油机的被迫停车,非计划修理中给定指标的偏差超出允许极限(例如,气缸盖裂纹,排气门折断,废气温度升高超出允许值等)都是柴油机故障的特征。

对船用柴油机来说,其故障具有不同的性质。故障产生的原因,互相联系,消除的方法和结果,都以不同的方式影响船舶的运行。

按照故障的后果,柴油机的故障可分为在船上消除的故障;要求送往工厂消除的故障和导致报废的故障。例如,连杆拉断,曲轴箱内爆炸通常都导致柴油机报废,而像气缸体或机架底座发生裂缝,曲轴折断等都只能在工厂才能把故障消除。

按照故障产生的性质,故障则可分为渐进性故障和突发性故障。渐进性故障的特点是长时期的逐步地改变某一个或几个给定指标的值,基本上是与材料的磨损,锈蚀,疲劳和蠕变等过程有关。这样的故障可以通过检查及进行技术保养与维修来及时地预防,也可在规定柴油机及其零部件的使用期限时加以考虑。突发性故障的出现是瞬间的,意料不到的。属于这类故障的有零件折断,密封装置破裂等等。产生这些故障的原因,大多数在于外部负荷的很大随机性,或是出现不利因素,而结构设计时又没预料到其影响。

故障分为渐进性和突发性故障,毕竟是有条件的,表 1.2 阐明了船用柴油机故障的统计数据。

表 1.2

柴 油 机 牌 号	故 障 数 (%)	
	渐 进 性 故 障	突 发 性 故 障
6ЧНП 36/45 (Г-60)	40	60
8 ПВД 48/2АУ	60	40
6~8 ЧНМ 18/22	37	63

柴 油 机 牌 号	故 障 数 (%)	
	渐 进 性 故 障	突 发 性 故 障
12 ЧНС 18/20 (M401)	80	20

在突发性故障中有一部分是有条件制约的突发性故障，由于对技术状态变化规律性的不够熟悉以及缺乏相应的检测和技术诊断仪器而发生的故障等都属于这一类的故障。船用主机有条件制约的突发性故障约占突发性故障总数的 20%。这样，船用柴油机通过技术保养和修理，预防有条件制约的突发性故障就有了减少发生的先决条件。

按照故障产生的原因，可分为结构性故障，生产性故障和使用性故障。结构性故障是由于柴油机的结构不完善，或是确定的规则被破坏，或是设计的标准被破坏而产生。例如，柴油机设计时，没有考虑到随机负荷会大大地超过额定的使用负荷；对某种柴油机采用了不完美的结构；采用了不相应的材料等都会发生这样的故障。生产性故障的产生是由于柴油机的制造和修理时所规定的工艺程序不完善或受到破坏。这样的故障基本上是由于工艺和生产上的管理不严格造成的。使用性故障是由于柴油机的使用规则遭到破坏而产生的。不遵照技术保养运行图，使用了未经规定的燃油和机油工作细则，长时间的超负荷运行等，这些都是使用规则受到破坏的典型事例，导致了柴油机产生故障。

船舶柴油机产生故障的主要原因这是由于其结构和制造工艺的不善，使用因素的故障小于 35% (见表 1.3)。

表 1.3

柴 油 机 牌 号	故 障 性 质 (%)		
	结 构 性	生 产 性	使 用 性
6 ЧНСП 18/22	17	65	18
8 ЧНСП 18/22	24	60	16
6 ЧНП 36/45 (Г60)	33	47	20
6 ЧНП 36/45 (Г70—5)	40	43	17
8 ИВП 48/2AY	29	38	33
6 Д275 ИЭ1—III	18	52	30
12ЧНС 18/20 (M400)	35	40	25