

船舶柴油机 技术状态的诊断

[苏] Б. В. 瓦西里耶夫
Д. И. 科夫曼 合著
С. Г. 爱伦堡

王宝忠 译
吴嘉龄 校



人民交通出版社

283776

船舶柴油机技术状态的诊断

〔苏〕 Б.В.瓦西里耶夫

Д.Н.科夫曼

С.Г.爱伦堡

合著

王 宝 忠 译

吴 嘉 龄 校

人 民 交 通 出 版 社

**ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ**

**Б.В.ВАСИЛЬЕВ,
Д.И.КОФМАН, С.Г.ЭРЕНБУРГ
МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1982**

船舶柴油机技术状态的诊断

**〔苏〕 Б.В.瓦西里耶夫
Д.И.科夫曼 合著
С.Г.爱伦堡**

**王 宝 忠 译
吴 嘉 龄 校**

**人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印**

**开本：850×1168_{1/32} 印张：5 字数：120千
1987年10月 第1版
1987年10月 第1版 第1次印刷
印数：0001—2,370 册 定价：1.55元**

内 容 提 要

本书阐述了河船柴油机诊断的一般原理和实际问题，研究了柴油机主要零部件技术状态诊断的物理学基础、方法、设备和算法，并且着重叙述了船舶柴油机遥控系统的诊断。书中介绍了各种诊断仪器及其使用规则，分析了柴油机主要零部件的典型故障，研究了使用诊断设备防止和发现故障的方法以及预报剩余寿命的方法，并引述了评价内河船队采用柴油机诊断设备的经济效益的方法。

本书可供从事船舶柴油机管理和柴油机诊断设备制造的工程技术人员阅读，也可作为水运院校学生的参考书。

绪 言

内河运输发展的特征表现在：船舶和船队的载重量增长以及船速增加。这就要求不断地提高船舶动力装置功率。船舶装有柴油机动力装置；因此，船舶的使用效率和营运安全性多半取决于主、辅柴油机的技术状态。要保持柴油机处于良好的技术状态，就要花费大量的材料和劳力。由此提出一个问题：必须改进船舶柴油机的维修体制。

提高船舶柴油机的技术维修效率和营运可靠性以及延长其使用寿命的途径之一，就是将技术诊断设备广泛用于船舶、岸上生产工段和修船厂的工作实践中。

技术诊断是一门比较新兴的学问，它研究诊断对象技术状态的表现形式以及分析有关确定和预报技术状态的各种方法和设备〔4，7，23，28〕。技术诊断与控制柴油机工作质量和可靠性直接相关，并有助于提高柴油机的使用效率。

诊断过程包括：确定柴油机在诊断瞬间和未来（预报）的技术状态以及过去（回溯）曾处在何种技术状态。

技术诊断的主要任务在于查明柴油机的技术状态和柴油机是否完好。这样就有可能根据实际技术状态来对柴油机进行技术维修，提高其工作可靠性。技术诊断的第二个任务是确定柴油机正常运行的剩余寿命。而其它，例如当必须查明柴油机应急停车的原因时，则属于技术诊断的第三个任务。

通过诊断可以查明潜在的事故，预防停车，确定计划修理工作所必需的工作量，以及预报柴油机正常运行的使用期限，等等。所有这些可以保证：显著节省为计划预防性修理工作所支付的更换备件费和材料费；延长柴油机使用期限和提高柴油机可靠性。

近年来，苏联和其它各国鉴于上述优点都对柴油机诊断予以巨大注意。柴油机的管理要越来越多地依靠使用测量仪器和计算机来检查与诊断其技术状态。

技术诊断在汽车运输业中获得了最广泛的应用。许多企业里都建立了诊断台、诊断工段或诊断站，它们正在有成效地工作着。目前，业已研制并由工业部门试制出为诊断汽车发动机和整个汽车所必需的主要诊断设备（动力测功试验台、动力制动试验台、诊断点火系统和发动机各机构的移动式工作台以及诊断汽车某些零部件的装置）。实践表明，在中等生产能力的汽车运输企业妥善地使用全套诊断设备时，设备投资费一年内就可以收回，因而经济效益是可观的。

现已开始研制第二代新式诊断设备，并且基于全套综合式惯性试验台和可获取60~80个参数的信息测量变换器系统，已创制出汽车及其发动机的自动化诊断站的工业母型机。这类诊断站基本上可保证自动组织和记录发动机和汽车的诊断。

在铁路运输业中，采用光谱分析法分析滑油中的磨损产物，来诊断内燃机车柴油机。为此，建立了光谱实验室网，它定期地从各内燃机车取得滑油试样，在完成其分析后，通过电传电报通信将分析数据传送给铁路计算中心。计算中心根据专用程序处理分析结果，评定柴油机技术状态，并将最后报告通知铁路管理局。管理局则作出关于内燃机车是否可以继续营运，或者是否需要组织对柴油机进行技术维修的决定。

在一些造船和航运发达的国家里，对船舶技术设备技术状态的诊断呈现出越来越大的兴趣。并且，首先创制并获得应用的是海船大型低速柴油机的诊断系统。这类柴油机的诊断系统多半是在电子计算机的基础上制成的。同时，使用船用电子计算机或分散型诊断系统，它可处理限定的信息以及评定柴油机某些部件和机组的技术状态。诊断系统在结构上通常与集中控制系统结合在一起，或者做成独立式的。在诊断系统中所使用的是专用或通用的小型或微型电子计算机。更大型的电子计算机普及应用得比较

少；它们除检查和诊断功能外，还具有控制动力装置和船舶的功能。

诊断系统可连续或定期地测量和分析表征柴油机工作过程质量和技術状态的各单值参数。在诊断系统中可以使用传统型式热工参数传感器和信号装置，也可以使用专为测量摩擦偶件间隙、振动特性、噪声特性以及其它确定柴油机技术状态的参数而研制的各种设备。

应当指出，在采用电子计算机的诊断系统中，现已装在海船上的有：STL 公司为 B & W 柴油机研制的 CC-10 型诊断系统；奥特隆尼卡 (Autronica) 公司为苏尔寿柴油机制造的 MI-1、NP-1 和 NK-2 简化型诊断系统。

在“亚历山大·普罗科菲耶夫”型、“诺沃兹布科夫”型以及其它一些海船上，装有各种型式诊断柴油机和动力装置的系統。它们的使用经验可为制造工业母型机提供必需的资料。

在内河船队，船舶柴油机采用技术诊断，首先要研究诊断方法、设备、标准和算法，找出在柴油机使用和修理过程中实际应用技术诊断的最佳操作和组织的原则，以及积累统计数据 and 生产经验。

此外，如果不制造出足够完善的诊断设备，不组织其批量生产，船舶柴油机技术诊断就无法发展。

船舶柴油机技术诊断是在实现下列原则的基础上发展的：不拆卸，各种诊断方法和设备的通用性，仪表的配套性，保证在船舶管理和技术维修中使用诊断设备的高度机动性和效率等。在这方面，以采用电子技术和计算机技术为基础的诊断方法和设备是大有希望的。

柴油机中的许多缺陷可以采用非破坏性检查方法来检出，此时无需拆开柴油机，也不会破坏其功能。采用这些方法不仅可检出缺陷及其部位，而且也能预防材料性质可能发生的变化以及柴油机各零部件的故障。使用非破坏性检查法可以确定铸造生产、加工和管理上的缺陷。众所周知，在柴油机管理和修理中正在使

用大量各种非破坏性检查方法和仪器，例如 x 射线照相、超声波检验、磁力探伤以及与这些方法相应的仪器等。

河船柴油机技术诊断的应用与发展可分为如下三个阶段。

船舶柴油机技术诊断发展的第一个阶段主要是研究诊断对象，寻找最佳的诊断方法，以及研制相应的装置和仪器。

在柴油机技术诊断领域中各种研究以及实验和设计工作所取得的成果，已使制造某些诊断设备和完善其使用操作方法成为可能。在此基础上，柴油机技术诊断便于于船舶上以及维修企业中。在此阶段，诊断是以诊断工作与技术维修过程的最佳结合为基础的，也是单独修正维修周期和维修工作量的手段。

船舶柴油机技术诊断发展的第二个阶段，则是在大型船舶或是在岸上生产工段和修船厂利用自动化诊断设备来自动探查故障和组织诊断。这样，与提高柴油机可检性相结合，就可以在劳力耗费最少、准确性高且可靠的情况下实现对柴油机技术状态进行定期的和连续的监督。

在第三个阶段中，柴油机技术诊断将是船队技术管理自动控制系统的主要单元之一，并且是有效控制船舶柴油机技术维修工艺过程的手段。

本书作者在河船柴油机技术诊断领域内从事了多年的研究。作者所积累的经验已有可能将船舶柴油机诊断的基本原理、方法和设备加以系统化，拟定继续发展柴油机诊断的途径，并做出有关柴油机诊断在船舶技术维修总体制中的重要作用的结论。

本书对船舶柴油机技术诊断的所有问题并未叙述得都同样详尽。阐述最详细的是中、高速柴油机的诊断问题；对于海船和渔船的大型低速柴油机的诊断原理只是扼要地作了介绍，后者具有特殊的结构特点和管理特点。

利用本书研究的船舶柴油机技术状态诊断的方法、设备和操作法，可以解决船舶技术管理的重大课题，并可考虑柴油机工作过程及其技术状态变化过程的概率特性。

本书提出的诊断方法和结构方案，将对广大专家在研究用来

解决柴油机诊断课题和探查故障的技术设备时有所裨益。

必须指出，在船上实现柴油机技术状态的诊断，不仅受到诊断设备本身相当复杂的限制，而且要受柴油机技术维修体制变化的约束，但这可由诊断结果所取得的效益予以补偿。

柴机油技术诊断在船上的应用取决于：是否掌握诊断方法，是否生产出成批的诊断设备和制定典型的诊断操作过程。同时，最复杂而又最繁重的任务是研究诊断设备并组织其批量生产。应当指出，在内河船队发展柴油机技术诊断方面有四个主要方向：

- 1.修正诊断方法，编制符合理想条件的诊断参数目录，创制具有高度可检性特点、结构新颖的柴油机；

- 2.寻找各种途径来创制在原理上全新的诊断系统，它应建立在物理方法和定量估算柴油机各零部件结构参数的装置的基础上；

- 3.研究并组织多种多样诊断设备的生产，以便有可能转为综合诊断柴油机技术状态和取得最大的效果；

- 4.建立自动化诊断站及其与河运自动控制系统相互联系的系统。

当然，上列各点并不完全，只涉及一些主要问题。解决这些问题，对于继续发展和完善船舶柴油机技术状态诊断设备以及提高其在船队中的使用效率，定会产生相当大的作用。

本书是总结并系统地阐述船舶柴油机技术状态诊断资料的初次尝试。作者希望，本书不仅可供河运专家阅读，而且对于其它部门从事柴油机诊断的专家也会是有用的。

目 录

绪言

第一章 船舶柴油机诊断的物理学基础和任务	1
第一节 船舶柴油机的技术状态及其在营运过程中 的变化.....	1
第二节 诊断的物理学基础.....	9
第三节 船舶柴油机技术状态的诊断方法.....	15
第四节 船舶柴油机的综合诊断和元件诊断.....	19
第五节 船舶柴油机技术维护的诊断和工艺.....	24
第六节 船舶柴油机技术状态诊断设备使用效果的 评价.....	30
第二章 船舶柴油机技术状态的确定	34
第一节 气缸活塞组的诊断.....	34
第二节 涡轮增压器和配气机构的诊断.....	55
第三节 曲轴线的诊断.....	65
第四节 喷油设备的诊断.....	71
第五节 柴油机各系统的诊断.....	77
第三章 遥控系统技术状态的诊断	82
第一节 主要型式遥控系统的特点.....	82
第二节 遥控系统的典型故障和缺陷.....	92
第三节 遥控系统的诊断方法和设备.....	117
第四节 遥控系统的诊断.....	138
参考文献	144

第一章 船舶柴油机诊断的 物理学基础和任务

第一节 船舶柴油机的技术状态 及其在营运过程中的变化

任何机械，包括船舶柴油机在内，都可看作是一个工程系统，它乃是一定数量共同作用的元件（机组、部件和零件）有序的组合，并可用来完成给定的功能。

每个工程系统都可由完全确定的结构和发挥功能的方法来描述。所谓系统的结构，是指系统各元件之间相互联系和相互作用特性而言。这种特性取决于系统各元件的几何参数以及机械、热力、电气和其它一些特性值。这些参数和特性值 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 可足够充分地表征任一机械在该时刻的技术状态、工作能力和工作质量。这些值就叫作技术状态参数。技术状态参数在营运过程中是变化的，从额定值 $X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nn}$ 变化到极限值 $X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nn}$ ；极限值是由机械继续运行在技术-经济上是否合理来决定的。各参数的瞬时值与额定值之差 $\Delta X_{i1} = X_{n1} - X_{i1}$ 表征机械状态偏离额定工况的程度，而瞬时值与极限值之差则表征剩余寿命。象柴油机这样复杂的机械，其技术状态和工作能力是用整个参数群来表征的。

由此可见，所谓船舶柴油机技术状态，是指柴油机的工作能力、技术完好状态以及符合标准技术文件所规定的各项要求的程度而言的。

柴油机在某一段工作时间 t 的技术状态 $X(t)$ 取决于：

1. 由结构特点以及材料和制造质量所决定的初始技术状态 X_0 ;

2. 用参表征的使用条件; t) Z 数

3. 技术状态变化规律性 $F(t)$, 它与柴油机结构以及材料和制造的质量有关, 是由主要零部件的磨损和破坏过程的特性来决定的。综合上述各点, 可得出:

$$X(t) = f(X_0, Z, F, t)$$

柴油机技术状态各参数变化的规律性, 对组织柴油机管理的影响很大。熟习这些规律性具有巨大的实际意义, 因为据此可以规定标准参数, 决定最佳的技术维修期, 以及编制更换柴油机零部件计划, 等等。

总结实验数据和分析大量研究资料表明, 柴油机技术状态各参数的变化是充分单调的, 完全可以确定, 并可根据工作时间用 n 次有理整函数来表示:

$$X = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$$

式中: X ——技术状态参数(磨损、间隙、压力、温度等);

a_0 ——当 $t = 0$ 时技术状态的初始参数;

$a_1, a_2, \dots, a_n$ ——决定参数 X 与工作时间 t 的关系特性和程度的系数。

$a_1, a_2, \dots, a_n$ 各系数值(相应地选取它们)实际上可表示零件、部件、机组或整个柴油机技术状态各参数变化的所有规律性。同时, 试验数据可用一次~三次函数充分地予以说明(表 1)。

表征柴油机及其部件技术状态变化的函数的单调性, 使得有可能预报何时会出现极限状态, 并能确定合理采用技术维修的范围。

此外, 还发生一个问题: 在柴油机全部故障中是否有类似的规律性可循? 将故障分为突发性和渐进性的, 以及定量地评定二者的比例, 就有可能回答所提出的问题。

突发性故障的特征是, 柴油机的一个或几个给定参数发生突变, 它是在营运中瞬间出乎意料地出现的。突发性故障的产生是

表 1

参 数	函数的各系数值 $X = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$			
	a_0	a_1	a_2	a_3
124HC18/20(M400) 柴油机滑油消耗量	3.52	0.9×10^{-8}	-0.7×10^{-8}	—
64CH18/22 柴油机气缸套凸缘支承面的 不平行度	0.04	0.005	-0.0005	0.00002
64CH18/22 柴油机气缸体下部配合带 直径的变化	0.013	0.00084	0.00013	—
6NVD36柴油机气缸套的磨损	-0.29	-1.13	-1.04	0.91
8NVD48柴油机曲轴轴颈的磨损	0.035	0.0033	—	—
8NVD48柴油机曲轴轴颈的圆度	0.01	-0.001	0.0001	—
8NVD48柴油机连杆小端轴承套的间隙	0.17	0.11	0.00027	—

由于材料中潜在的缺陷，营运中各种不能容许的因素（柴油机过载、推进器碰撞到冰上等）作用的结果，或者是由于管理人员违反了操作规程。突发性故障的实例可列举如下：曲轴因圆角附近应力集中而折断；连杆因早已存在的裂纹扩展而断裂；高压燃油管由于疲劳应力而破裂；等等。

渐进性故障的特征是，一个或几个给定参数单调地变化，通常是柴油机零部件自然磨损或老化的结果。渐进性故障的特征表现为：在发生故障以前的时间内参数呈有规律性的变化（在出现突发性故障之前，上述参数的变化实际上不会发生）。柴油机渐进性故障的实例有：缸套和冷却系统管路的腐蚀破坏；各种零件的磨损；涡轮增压器和水冷却器中的结垢；等等。

应当指出，突发性故障只能根据表现形式来确定。因此，将故障分为突发性和渐进性的，在相当大的程度上是假定的；一般，故障的分类与下列因素有关：熟悉技术状态变化规律的程度；是否使用柴油机技术状态诊断和检查设备；柴油机结构。

表 2 列出了船舶主柴油机的故障分类（根据列宁格勒水运学院的资料）。由表 2 可见，中速柴油机的故障约一半（37~63%）属于渐进性的。

在渐进性故障的总数中，有 50~60%（约占总故障数的 30%）

表 2

柴 油 机 型 号	故 障 数 %	
	渐 进 性	突 发 性
64HP36/45 (Г60)	40	60
8NVD48-2AY	60	40
6—84HCП18/22	37	63
124HC18/20 (M401)	80	20

直接与技术维护的质量和是否定期维护有关。此外，在突发性故障中，可划分出一部分假突发性故障；凡是由于不够熟习技术状态规律性以及没有相应的检查和诊断仪器等原因而发生的故障，均应属于这一部分。主柴油机的假突发性故障数约为突发性故障总数的20%（占总故障数的10%左右）。

因此，根据技术状态的变化规律性就可得知：由于渐进性故障和假突发性故障的减少，柴油机今后可能发生的故障至少要比目前减少29.6%。渐进性故障和假突发性故障在柴油机技术维修过程中借助诊断设备可以及时防止。

即使是同一种型式的柴油机，其制造质量和营运条件也是不一样的，它们与大量因素有关。这些因素的组 合 是 随 机 的，因此，甚至是同一种型式柴油机在相同的条件下运行，其技术状态的变化在每一具体情况下也是不同的，即具有某些变差（图 1 和

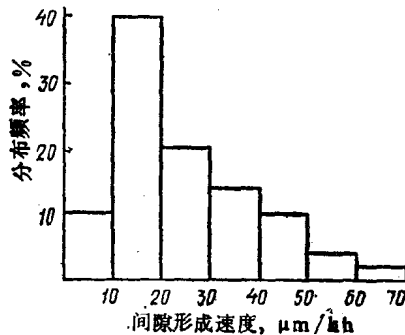


图 1 64HP36/45 (Г60) 柴油机缸套-活塞偶件间隙形成速度的分布

图2)。由此可见,柴油机总合技术状态的变化是随机的,可用随机量分布律来描述。

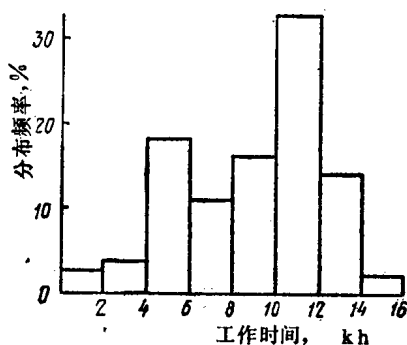


图2 8ЧНСП18/22柴油机活塞达到极限状态
(孔口部发生裂纹)时工作时间的分布

在处理列宁格勒客运港“流星”号内燃机船的 M400和 Ч10.5/13 柴油机运行的实验数据以及绘制其状态参数数学模型的基础上,查明了其技术状态各参数的分布律(表3)。

表3

分布律	技术状态参数	参数平均值	变差系数
指数	主柴油机在大修前的期间内发生故障前的 工作时间,		
	h/第一次故障	672	1
	h/第二次故障	530	1
	h/第三次故障	441	1
正态	消耗量, kg/h,		
	燃油	88.2	0.07
	润滑油	5.4	0.14
	航行期间的工作时间, h,		
威布尔	主柴油机	1221	0.21
	柴油发电机	135	0.28
	主机使用期限, h,		
	第一次大修前	2261	0.44
	第二次大修前	2968	0.28
	第三次大修前	3508	0.26
	报废前	4517	0.33

柴油机技术状态各参数的指数分布律具有如下特点：各参数的变化率与柴油机工作时间无关，始终不变。在此分布律下，不能通过计划-预防性措施使柴油机技术状态各参数变化率明显降低。这个分布律是与下列因素有关的各过程所特有的，即偶然因素的突然作用、柴油机结构的缺陷、柴油机使用条件以及恢复柴油机各过程的稳定等。

这组过程模型在实际中应用得极为广泛。属于这组过程模型的有：排除故障所需的工作量和时间；比较复杂的部件、机组和整个柴油机发生故障前的工作时间；等等。

一些与柴油机工作时间有关并且基本上是由柴油机的磨损和老化来决定的技术参数，是按照正态分布、 γ 分布和威布尔分布型的多参数定律分布的。这些分布律的特征主要表现为：技术状态各参数的变化率随柴油机工作时间的增加而增大。

正态分布律是柴油机下述技术状态参数所特有的，这些参数是在大量因素作用下形成的，其中每个因素的影响与各因素（燃油和滑油消耗量、与腐蚀-机械和侵蚀性磨损有关的渐进性故障以及其它等等）作用的共同影响相比，是不大的。

γ -分布形成的规律性也是直接与大量因素的影响有关的。但是，在此情况下某些因素的优势作用却会逐渐表现出来，从而导致正态分布律形成条件的破坏和分布不对称。

例如，主、辅柴油机实际上同时投入使用以及在航行结束时逐渐退出使用，就属于这些占优势的因素，这些因素决定了内河船舶主、辅柴油机工作时间的 γ -分布。

受少量因素影响且其中部分因素是占优势的过程和参数，多半服从于威布尔分布律。柴油机的使用寿命和发生故障前的工作时间以及排除柴油机比较简单的部件和机组故障所需的工作量和时间等，可以归入这种分布规律性。

分析柴油机技术状态在营运过程中变化的规律性，可以做出许多重要的结论。

现行的计划-预防性技术维修体制的基础在于，必须进行和

周期性地根据平均统计数据所规定的一些工作。这些数据主要适用于编制计划，而在大多数情况下并不反映具体柴油机技术维修的实际需要，因为维修的实际需要取决于一系列偶然因素。

柴油机在运行过程中要受到大量偶然因素的作用，所以其技术状态各参数是相当分散的。同时，技术状态各参数的变差越大，柴油机定期技术维修体制的效能就越小，因而采用诊断的效果就越大。

利用概率理论和数理统计学可以得到有关柴油机技术状态各参数分布律的数据，并能预测技术维修和备件等的需要情况。但是，根据概率理论针对具体柴油机所做的计算，总具有不确定的性质。在评价具体柴油机的技术状态时，只能通过单个的检查来消除这种不确定性。

诊断可提供有关柴油机技术状态的客观信息，在此基础上可

表 4

柴油机可靠性指标	各种牌号柴油机可靠性指标的数值							
	6ЧНП18/22	8ЧНП18/22	M400	M401	Г60	Г70-5	8NVD84A2Y	6J1275ППН
发生故障前的工作时间, h/故障	1623	1270	697	820	745	500	610	986
航行期间危险故障概率	0.2	0.37	0.82	0.56	0.63	0.51	0.34	0.26
航行期间不拆开气缸活塞组的情况下柴油机工作概率	0.8	0.55	0.67	0.84	0.6	0.82	0.92	0.81
拆修前 $r = 80\%$ 的柴油机 r - 百分数使用期限, h	5570	3040	1650	2080	4350	3180	3370	1740
拆修前柴油机平均使用期限, h	6960	3800	2200	2500	5430	3970	4210	2180
拆修前使用期限的变差系数	0.152	0.214	0.25	0.20	0.093	0.145	0.172	0.28
排除故障所需的工作量, 人·h/故障	20.3	25.3	25.2	65.6	5.3	53	5.8	19.4
排除故障所需的备件费, 卢布/故障	30.5	42	109.5	503.3	19.4	18.2	13.1	80.1