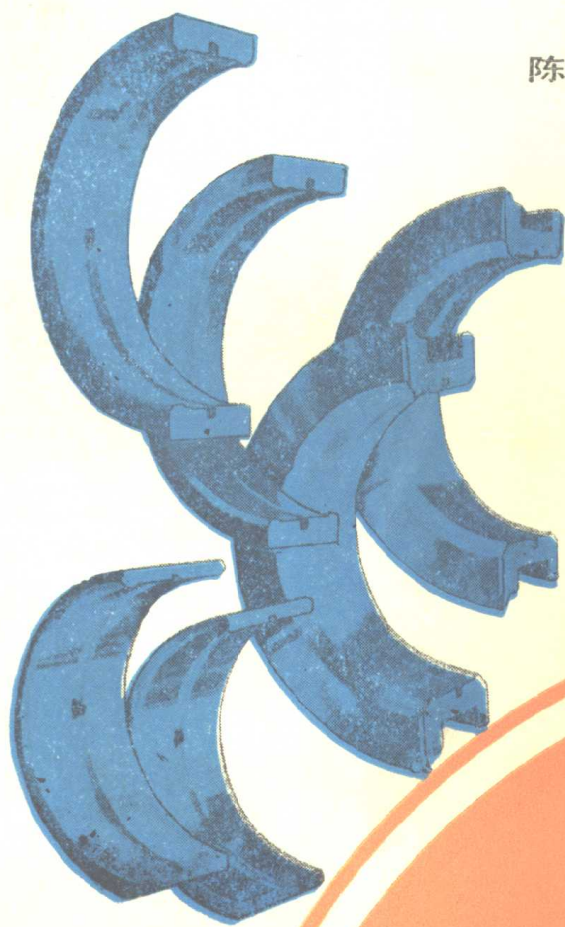


陈伯贤 陈仲儒 编著



滑动轴承的损坏 判别与对策

滑动轴承的损坏、 判别与对策

陈伯贤 陈仲儒 编著

上海科学技术文献出版社

滑动轴承的损坏、判别与对策

陈伯贤 陈仲儒 编著

*

上海科学技术文献出版社出版

(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行

昆山亭林印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 3.25 字数 78,000

1986年2月第1版 1986年2月第1次印刷

印数: 1—4,800

书号: 15192·429 定价: 0.65元

《科技新书目》110—239

序 言

在有机器的地方，就有轴承的存在。不论是一辆手推车还是一座核电站，它们的正常运行同样都需要轴承。在轴承中应用范围最广、人类最早采用的是种类繁多的滑动轴承。

滑动轴承在工作时，既要传递力、又存在与轴颈表面的相对运动(滑动)，这就存在着动摩擦。因此，滑动轴承的运行必定消耗驱动机器的部分能量。同时，轴承和轴颈也会被磨损。轴承摩擦副的磨损，将引起轴承工作状况恶化和摩擦损耗增大，以致使机器的性能发生恶化。显然，对机器性能恶化的程度应该有一个限制，以保证机器的运行有良好的经济效益。这样，人们便按照最佳的社会经济效益，对机器性能的恶化程度加以限制，对机器的使用寿命给予了规定。因此，也要求滑动轴承在机器的使用期内可靠地、低损耗地运行。

滑动轴承的发展过程是不断地满足各种类型机器在发展过程中的新要求的过程。在这个过程中，滑动轴承的各个方面，即轴承的减摩材料、润滑与润滑技术、轴承结构与制造技术、理论与设计技术等是相互促进和交替发展的。迄今，它们已能基本满足各类机器正常运行的要求，并且臻完善。可是，由于尚存在某些未能预测的因素，在机器的实际运行中，滑动轴承仍不时地出现各种形式的故障，从而影响了机器的正常运行，引起人们对轴承损坏和故障的关注。多年来，各国的研究部门和生产部门都相继投入大量的人力、物力和财力，进行轴承损坏和失效状况的调查、轴承失效事例的鉴别和分析、失效的预测和对策的研

究、以及磨损机理的研究,并大力发展工况监测技术。有关这些方面的研究成果,近年来已有大量的论文发表。本书将论述滑动轴承的损坏、失效、以及对失效的预防和对策,旨在为从事滑动轴承设计和制造的工程技术人员和科学工作者,进行滑动轴承的损坏与失效、以及对策方面的研究工作提供资料。

应该指出,在常见的滑动轴承损坏的形式中,大部分都可以在内燃机曲轴轴承的故障中见到,因此,本书中的滑动轴承损坏示例大部分取自内燃机的轴承。显然,除了在轴承的结构和尺寸量级方面有所不同外,对于同一种形式的损坏来说,这些示例的损坏特征是具有代表性的。

本书是在中国机械工程学会摩擦学学会和中国内燃机学会中小功率柴油机专业委员会的帮助和支持下编写的,并收集了这两个学会共同主办的1982年和1983年“内燃机轴承学术讨论会”的资料。在本书的编写过程中,机械工业部上海内燃机研究所、中国船舶工业总公司上海船用柴油机研究所、上海轴瓦厂、海陵第一配件厂和杭州轴瓦厂等单位提供了许多有价值的轴承损坏的样品和资料。此外,高崇基、孙智义和梁炬仁对本书的初稿进行了校阅,并提出了很好的意见和建议,在此表示深切的谢意。

限于水平,错误与不妥之处在所难免,望广大读者指正。

编 者

一九八五年八月

目 录

序言

第一章 滑动轴承概述	1
一、引言	1
二、轴承的结构	3
三、轴承的减摩材料	4
四、轴承的制造技术	5
五、轴承的设计	5
六、使用条件	6
第二章 滑动轴承的损坏与分析	8
一、概述	8
二、轴承损坏的分析.....	10
三、轴承的损坏.....	11
四、轴承损坏的相关因素.....	23
第三章 滑动轴承的损坏特征、失效与对策	27
一、正常磨损.....	27
二、擦伤.....	30
三、划伤.....	36
四、粘着.....	38
五、咬死.....	43
六、杂质入侵.....	45
七、过热.....	51
八、轴承减摩层变形.....	54

九、疲劳.....	56
十、腐蚀.....	65
十一、电火花浸蚀.....	70
十二、气蚀.....	70
十三、微动磨损与微动腐蚀磨损.....	78
十四、浸蚀.....	82
十五、机械的故障.....	84
十六、气泡、气孔与夹杂物.....	91
参考文献.....	97

第一章 滑动轴承概述

一、引言

滑动轴承(以下简称轴承)是最常用、最古老的一种机械零件。根据我国史料的记载:公元前 2698 年至公元前 2599 年间,“黄帝作车”;公元前 2000 年前后,“后稷作水碓”;公元前十一世纪前后,出现了“辘轳”;公元前约 500 年时,出现了“滑车”;公元前二世纪,“纺车”开始问世;在《晋史》中已经有了“绞车”的记载。这些史料中的“车”、“水碓”、“辘轳”、“纺车”和“绞车”,都应用了轴承。尽管当时轴承的结构十分简单,但是它们的功能和现代轴承完全相同。

应用轴承的机械,在工作时轴承中必然会出现摩擦、摩擦热和磨损现象。为了减小轴承的摩擦和改善它的工作状况,人们应用了润滑剂,发展了润滑的方法。我国《史记》中曾记载有:“稀膏棘轴,所以为滑也。”西晋张华所著的《博物志》中也记载:“酒泉延寿县南山出泉水,大如筰,注地如沟,水有肥如肉汁,取著器中,始黄后黑如凝膏,燃极明,与膏无异。膏车及水碓甚佳”。这表明了我国很早就开始采用动物的脂肪油作为轴承的润滑剂,后来采用矿物润滑剂来润滑轴承。

早期的轴承是利用天然的材料制造的,例如用木材、石料等。在我国《天工开物》第九卷《车》中有记载:“凡车质惟先择长者为轴,短者为毂,其木以槐、枣、檀、榆为上。檀质大久劳则发热,有慎用者。”这表明了人们很早就对作为轴承减摩材料的木

材,进行了材料性能的研究。随着在使用中对轴承要求的提高,以及冶金技术的发展,约于公元前400年就出现了金属轴承。在我国《吴子》一书中曾有记载:“青铜有余,则车轻人。”“铜”就是金属轴承衬垫——金属轴瓦。

虽然在我国古代和古埃及都曾对轴承的机构和润滑进行了研究,但是真正系统地进行轴承的试验研究和理论研究工作,还是在近百年来才开始的。这些研究工作的成果大大地推动了轴承技术水平的提高和发展。据记载,在 Leonardo Da Vinci (约1500年) 的笔记中已有早期的滑块和转轴的试验装置图。在1500年至1832年期间,已经发行了25期《摩擦与润滑》的刊物。1847年,Adams 获得了铁道轴承的专利。1856年, Penn 研究了木质轴承,并成功地研制了承载能力达 5488 Nm^{-2} 的木质解轴承。1883年, Tower 进行了轴承的流体润滑状况的试验研究工作,在这个试验的基础上,1886年, Reynolds 用分析的方法推导出了描述轴承间隙空间中润滑油膜压力的分布方程——Reynolds 方程。1904年, Sommerfeld 在这方面作了发展,从而建立了流体动力润滑理论。1897年, Kingsbury 进行了空气轴承的试验研究工作。1947年, Burwell、Stone 和 Underwood 等人将 Reynolds——Sommerfeld 理论推广至发动机的动载轴承中。近年来,随着电子计算机的应用,轴承的理论研究工作已经有了很大的进展。目前,在轴承形状、润滑剂性质、轴系振动、轴承弹性变形、紊流、失稳及轴承失效的预测等方面的研究工作都取得了很好的成果。

迄今,已经能够制造直径从 $10^{-1} \sim 10^3 \text{ mm}$ 量级,转速从 $10^{-3} \sim 10^5 \text{ min}^{-1}$ (最大线速度可达 $120 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 或更高) 量级,轴承载荷从 $10^2 \sim 10^6 \text{ N}$ 量级的各种不同类型的轴承。轴承的设计和制造技术也已日臻完善。

二、轴承的结构

如前所述,最早的轴承是采用与壳体同一种材料,在壳体上直接加工而成的。后来,将轴承制造成一个独立的零件,再固定在壳体,即轴承座中。轴承的工作表面,则根据其工作的要求不同而加工成不同的形状。

自 Babbit(于1939年获得专利)成功地研制出浇铸的轴承锡基合金后,发展了双金属轴承,即采用强度较低、表面性能良好的金属作为轴承减摩层,采用强度较高的金属作为轴承衬背的轴承。

1929年,美国成功地在钢带上连续浇铸轴承合金,制成双金属带料,并采用这种带料大批量地制造轴瓦。在这以后,轴承衬垫的壁厚日趋减薄,形成了现今的薄壁轴瓦。

为了进一步提高轴承的承载能力,并保持轴承表面性能好,在双金属轴承的基础上发展了三层或三层以上的多层轴承,即由轴承衬背、强度较高的合金承载层、以及材料较为柔软和具有良好表面性能的磨合层所组成的一种轴承。

近年来,为适应高转速轻载器械的需要,以气体为润滑介质的箔轴承也迅速地发展。

简言之,当设备及轴承的作用和要求不同时,已经有了不同形式的、有效的轴承结构来满足该设备在性能、寿命、工作可靠性和经济指标方面的要求。

现有轴承的种类繁多,对轴承的分类方法也各有不同。如果按载荷作用方向区分,可分为径向轴承和轴向轴承。其中,径向轴承又可分为全周径向轴承、半周径向轴承、部分径向轴承和多油楔轴承等。而轴向轴承又可分为单环轴承、半环轴承和瓦块轴承等。按轴承的装配状况区分,可分为固定瓦轴承和可倾瓦

轴承。按轴承的工作表面形状区分,可分为圆柱轴承、椭圆轴承、阶梯轴承、平面轴承、圆锥轴承、球面轴承、箔轴承和特殊形状轴承等。按轴承截面的结构区分,可分为多孔轴承、层轴承、单金属轴承、双金属轴承、三金属轴承和多层金属轴承等。

三、轴承的减摩材料

一般来说,在工作温度下具有一定强度的固态金属和非金属都可以作为轴承的减摩材料。然而,为了满足轴承减摩材料性能和轴承制造技术经济性的要求,作为工业产品的轴承减摩材料,常用的材料主要有列各种:

1. 白合金(又称巴氏合金): 锡基白合金和铅基白合金等;
2. 铜基合金: 铜铅合金、铅青铜、锡青铜、磷青铜和铝青铜等;
3. 铝基合金: 铝锡合金、铝硅合金和铝铅合金等;
4. 锌基合金;
5. 镉基合金;
6. 铸铁;
7. 银;
8. 橡胶;
9. 石墨;
10. 工程塑料: 尼龙、聚醛树脂、酚醛树脂、环氧树脂、聚四氟乙烯(PTFE),以及它们的混合物等;
11. 粉末烧结轴承材料: 铜基合金、铁基合金等;
12. 薄箔: 金属薄箔、非金属薄膜(带)等;
13. 木材、宝石等。

对于某些需要改善表面性能、以及热传导性能的轴承,往往

要在轴承工作表面上涂覆一层很薄的（如厚度为0.015~0.05 mm）表面涂层。一般采用铅-锡、铅-钢、铅-锡-铜、铅-锡-铋等作为磨合层的涂层材料。采用铜、银等作为改善热传导性能的涂层材料。

四、轴承的制造技术

通常根据轴承的材料、尺寸、结构、以及生产的批量等因素，从技术经济的原则来选择相应的制造方法。轴承的制造过程一般可以分为两部分：1) 轴承材料或胚料的制造；2) 轴承的制造。

常用的金属衬背多层轴承材料（胚料）的制造方法主要有：静铸法、离心浇铸法、带料连续浇铸法、带料烧结法、带料辊轧法以及带料烧结浸渍法等。多孔轴承则采用烧结法制造轴承的胚料。整体式工程塑料轴承胚料的制造方法主要有：注射模型成形法、挤压成形法、合成树脂粉末浸渍法等。

轴承的结构、尺寸和材料性质不同，它的制造方法也不同。整体式轴承和厚壁轴承通常采用机械切削方法制造。薄壁轴瓦与卷制整圆轴承一般先用冲制成形法成形，然后用机械切削方法制造。宝石轴承则需要用磨削和研磨的方法制造，其工艺流程包括：切料、打孔、扩孔、磨削、磨油穴和孔、精磨、以及研磨等。

轴承磨合层的制造方法，目前主要有电沉积法和静铸法等。

五、轴承的设计

不同类型和不同要求的轴承，其设计方法与设计内容也不同。对于批量生产而要求较高的轴承，其完整的设计通常包括下列四方面内容：

1. 系统设计和结构设计:确定轴承的结构方案、基本尺寸、各个结构要素、轴承的衬背和减摩层材料、涂层材料、以及相关零件(如轴系、轴承座和连接零件等)的结构和尺寸等,以及零件图样。

2. 轴承工作特性的分析和设计:轴承的润滑状况和特性参数的分析和计算;润滑系统参数和结构要素的设计;轴承工作表面形状的设计;轴承摩擦损耗和热平衡的分析等。

3. 可靠性设计:预测和评定轴承的工作可靠性,并将资料反馈至结构设计和容许差设计中。

4. 容许差设计:综合平衡机器、轴承的制造和使用三方面的技术经济性,确定轴承的容许差(零件和组件的公差)和相关条件。

六、使用条件

轴承的使用条件与轴承的工作可靠性和使用寿命是密切相关的,尤其是经常处在变负荷条件下运行的设备。

轴承的使用条件应能保证轴承的运行状况达到在设计时所确定的轴承运行的基本技术要求。轴承的使用条件主要有:轴承的装配质量;轴承与轴承座、以及壳体的匹配条件;轴承工作表面与轴颈的匹配状况;轴承的载荷与运行工况;轴承的润滑和冷却条件;润滑剂的品质和清洁度等。通常,正常的轴承使用条件是由设备的技术要求和维护保养技术规范来保证,但是,操作人员的使用技术水平和责任感也是十分重要的。例如,柴油机中润滑油的碱值(KOH 值 mg/g , 如图 1 所示)是随着润滑油的品种和运行时间而变化的,当碱值低于某一界限值(例如 1mg/g)时,将严重地影响轴承的工作可靠性,这就要求操作人员注意,并及时地更换润滑油。

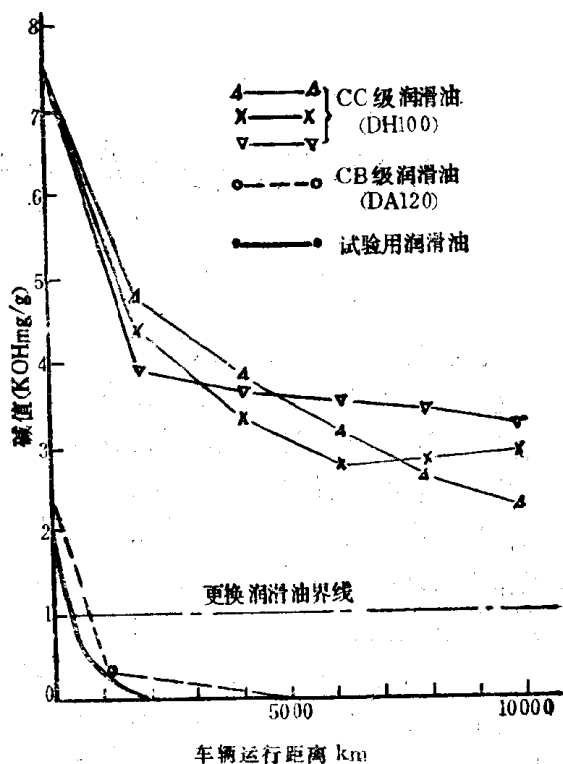


图1 使用过程中润滑油碱值的变化

第二章 滑动轴承的损坏与分析

一、概 述

对轴承材料、结构、制造技术、设计、以及使用条件等方面进行了长期的研究,使得现代轴承的技术指标达到了相当高的水平,能满足各种设备和机械的工作要求。目前,轴承已经成为人们在生产、科研和生活中不可缺少的一种零件。

轴承在工作过程中受到轴承载荷的作用,同时在工作表面与轴颈工作表面之间有相对滑动,因此轴承工作表面必然产生或多或少的材料损失和形状变化。此外,由于力的作用,轴承与其它相配合的零件之间的配合状态也会产生变化。也就是说,轴承在工作过程中将不断地出现不同程度的损坏。当轴承损坏的程度超过预先规定的范围时,其功能的恶化将造成设备技术经济指标的损失超过规定值,这时认为轴承失效。

轴承在运行中所出现的损坏现象,有些是必然发生的(如磨损等),有些是偶然发生的(如疲劳、气蚀等)。问题是如何有效地控制必然性损坏的增长速度和偶然性损坏的概率,使它们不超过设计时预先规定的范围,即在规定的使用期内,轴承失效的概率不应超过可靠性设计中所规定的范围。这是轴承的设计者、制造者和使用者所共同努力的目标。

批量生产的轴承,尤其是高速高载的轴承,由于还存在一些尚未能确切预测的因素,有时会导致产品质量或工作状况不符合所规定的技术要求(当然,这种现象发生的概率是很小的,并

取决于轴承的设计水平和制造水平),即有可能引起某些轴承的失效。这些因素主要有下列几方面:

1. 轴承的设计

由于对轴承摩擦副在实际运行中的工作状况尚未能完全了解,或者无法用准确的物理模型和数学模型来描述,以及在容许差设计中根据最佳的技术经济指标所给定的允差可能偏大,使得轴承的设计工作状况与实际运行状况存在差异。

2. 轴承的制造

通常,轴承的制造和质量检验是按照数理统计原理,根据最佳技术经济效益来选择制造工艺和设备、调整设备、确定检验装置和抽样检验方法以及控制产品质量。显然,这样会有一些概率(例如 0.3%)的产品质量不符合要求。这些不合格的产品有时也会作为合格产品而被接收。因而,使用的轴承有可能是不符合设计技术要求的。

3. 轴承的使用条件

设备运行工况和条件的变化,也会使轴承的实际运行条件与设计时所预测的使用条件之间存在差异。

通常,设备在运行中由于轴承失效而允许引起故障的概率,在可靠性设计中应给予规定。设备不同或使用要求不同,对它的可靠性要求也不同。例如,荷兰 SWD 公司规定该公司生产的 TM14 型柴油机因故障停机的时间不得超过使用时间的 0.5%;美国 Cummins 柴油机公司规定其柴油机产品的故障率不得超过 0.5%;英国“发动机工程师与用户协会”规定使用 PC 系列发动机的意外停机时间不超过使用时间的 3% 等。由于设备是由几个乃至成千上万个零件组成的,而在运行中它的各个零件发生失效的事件是独立的,因此,为了保证设备运行的可靠性,要求它的每一个零件发生失效的概率应该是很小的,对轴承

的要求也是这样的。换言之,在正常情况下轴承失效是允许发生的,但是失效的概率应该远远地小于该设备所允许发生故障的概率。本书将在这种条件的基础上,讨论常见的轴承损坏现象。

二、轴承损坏的分析

分析轴承损坏的目的在于了解轴承损坏的原因与规律性,从而确定防止或缓和轴承损坏的方法和改进措施,以避免轴承再度出现该种形式的损坏或失效。

对轴承损坏的分析就是对轴承损坏原因进行逻辑推断的过程。为此,首先要收集、观测和检查已经损坏的轴承;判别轴承损坏的形式和程度;收集轴承在使用过程中发生损坏的详细情况,以及有关的技术资料和报告,必要时包括设计资料;然后进行失效的判别和损坏原因的逻辑推断,从而确定造成轴承损坏的原因。

对于没有工况监测装置的大多数设备,在拆检时所发现的轴承损坏情况往往已经十分严重,而且损坏的起因也难以分辨。为了正确分析损坏原因,需要收集与轴承损坏有关的全部资料,因为一些微小的细节往往对推断和断定损坏的真正原因将提供十分重要的线索。

对与轴承相关的其它零件也需要进行必要的仔细检查,并且在进行逻辑推断的过程中充分地考虑这些资料。由于在许多场合下,一个轴承或其它相关零件的损坏可能会引起另外的轴承或零件的损坏。因此,进行全面的检查对于正确的分析是很有帮助的。

如果在设备中轴承损坏已经十分严重,或者设备中同一种轴承全部损坏时才被发现,这时很少留下能够表明最初引起轴承损坏原因的迹象。在这种情况下,还是应该特别仔细地检