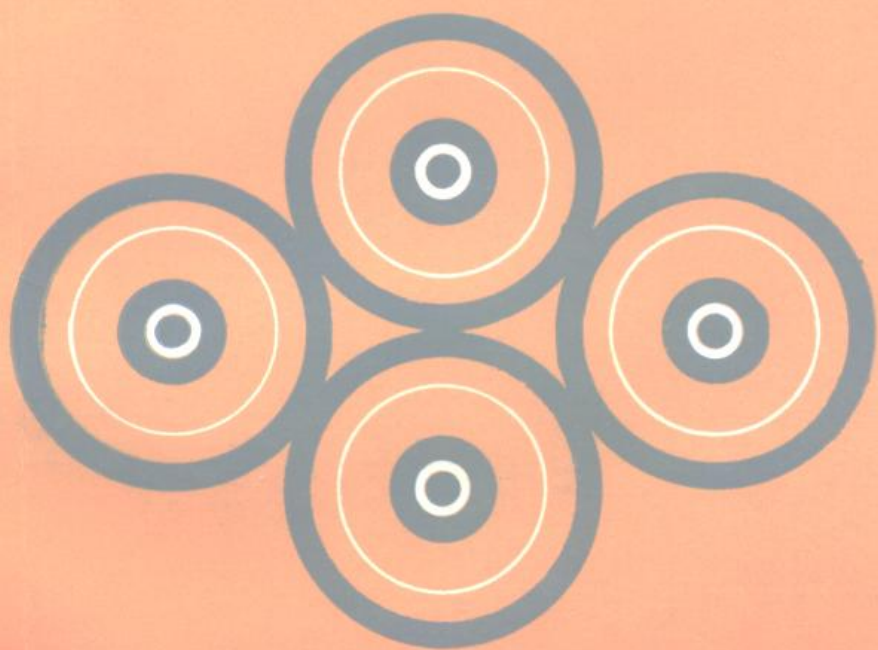


滚动轴承的 诊断与维修

王德志 编著



中国铁道出版社

滚动轴承的诊断与维修

王德志 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国铁道出版社

1994年·北京

(京)新登字063号

内 容 简 介

内燃机车、电力机车上使用的滚动轴承，工作时负荷大、转速高，承受各种冲击振动，工作条件十分恶劣。本书主要介绍滚动轴承的结构原理、故障成因及防治措施，从理论和实践两方面进行深入剖析，对轴承的参数选择、组装要领、零件选配、检查修理、故障诊断等技术都作了系统的介绍。全书图文并茂，是一本理论与实践紧密结合的参考书。

本书适合从事机车、车辆专业的工程技术人员、领导干部，大、中专学校师生学习参考。

滚动轴承的检修与修理

德志 著

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 杨宾华 封面设计 翟 达

各地新华书店经售

北京燕山联营印刷厂印

开本：787×1092毫米1/32 印张：7.375 插页：1 字数：163千

1984年5月 第1版 第1次印刷

印数：1—4000册

ISBN 7-113-01642-1/TH·42 定价：5.80元

前 言

滚动轴承已在铁路机车车辆上得到广泛地采用。过去社会上也出过一些有关滚动轴承的书，但多数介绍滚动轴承结构和设计计算等方面的内容，而涉及运用、维修的论著较少，本书拟在这方面做些探讨，以便抛砖引玉满足广大运用维修部门需要。

在铁路内燃机车和电力机车上，用在牵引电动机和轮对轴箱上的滚动轴承负荷大，转速高，承受着各种冲击振动，工作条件十分恶劣，故本书选择牵引电动机轴承为主要讨论对象，兼顾轮对轴箱及其他轴承，对滚动轴承的结构原理，故障成因及防治措施从理论和实践两方面进行深入浅出地剖析，对轴承的参数选择，组装要领、零件选配、检查修理、诊断、润滑等技术进行系统的讨论。在上述讨论中将围绕ZQDR410电机装用的8G32426型轴承展开，这是因为这种电机较其他牵引电机的平均负荷更大，而且是单边传动，工作条件更为恶劣，更具有代表性。在论述中也适当插入其他滚动轴承的内容，力求使讨论的内容和结果具有广泛的代表性。

本书在编写过程中得到中国铁道出版社机车车辆编辑室领导和同志们的大力支持和帮助，林连照同志对本书做了全面审核，提出了许多宝贵意见，在此一并表示谢意。由于编者理论水平不高，书中难免有谬误之处，敬请读者批评指正。

目 录

绪 论	1
第一章 滚动轴承的寿命与故障	6
第一节 轴承的寿命	6
第二节 轴承的故障	13
第二章 滚动轴承烧损的热阻理论模式	22
第一节 轴承烧损的两个必存条件	22
第二节 轴承烧损的热阻理论模式	25
第三节 轴承烧损的故障过程	28
第四节 牵引电动机轴承内圈过盈量的合理选择	36
第三章 滚动轴承的疲劳故障机理和最佳游隙	48
第一节 轴承疲劳破坏机理的概述	48
第二节 轴承剪切应力和接触应力	53
第三节 疲劳破坏过程与轴承材质	59
第四节 轴承的磨损寿命与影响轴承游隙的因素	63
第五节 轴承最佳游隙的选择与计算	69
第四章 滚动轴承的解体与选配修理	73
第一节 轴承解体	73
第二节 轴承的清洗与检查	78
第三节 轴承的测量与修理	84
第四节 轴承的组装与试验	90
第五章 滚动轴承运行状态的诊断	107

第一节	什么是技术诊断.....	107
第二节	滚动轴承技术诊断概述.....	110
第三节	轴承的温度测量技术.....	112
第四节	轴承振动测量综述.....	120
第五节	轴承的噪声测量技术.....	124
第六节	轴承的振动测量技术.....	135
第七节	轴承振动诊断标准的建立.....	141
第八节	轴承的其他测量技术及各种测量 技术的评述.....	155
第六章	滚动轴承的润滑.....	161
第一节	轴承润滑的必要性.....	162
第二节	轴承脂的基础油粘度和油膜厚度 计算.....	164
第三节	轴承脂的其他性能指标及如何合理 选择轴承脂.....	181
第四节	轴承脂的填充.....	185
第五节	轴承脂的老化与换油周期.....	193
第六节	轴承使用过程中油脂的补充.....	197
第七章	滚动轴承寿命预测问题及国内外有关轴 承技术的发展动向.....	199
第一节	滚动轴承寿命计算中的计算工况.....	199
第二节	国内滚动轴承设计制造技术的发展 情况.....	203
第三节	国外滚动轴承设计制造技术的发展 动向.....	207
附录	滚动轴承代号表示法.....	219
	主要参考文献.....	229

绪 论

滚动轴承是一种精密的部件，它被广泛地应用于各种机器上，特别是需要高速转动的机械是离不开滚动轴承的，所以，滚动轴承被誉为机器的眼珠，是一点也不过分的。

在铁路运输行业中，滚动轴承广泛地用于新型的机车车辆上，例如各型内燃、电力机车和新型客、货车的轮对轴箱，以及牵引电动机的轴承等都是装用滚动轴承的。这些轴承，如果在运行中发生故障，轻则会造成列车停运、晚点，重则会导致列车脱轨颠覆，造成国家财产和人民生命的重大损失。因此在充分利用轴承有效寿命的前提下，不断提高轴承的检修工艺水平，着力开发滚动轴承的诊断技术，逐步降低滚动轴承的故障率，就成为广大轴承检修、保养人员追求的重要目标。

机车车辆的滚动轴承在十分恶劣的条件下工作。它不但要承受巨大的轴重重力和牵引力，还要承受通过钢轨接头、道岔时的冲击力，而且经常遭受风、沙、雨、雪的侵袭，例如对机车牵引电动机端盖部分实测的振动加速度就高达18~20g之多。由于这些原因，使用部门对机车车辆滚动轴承的制造、选配、组装和日常检查维护等，提出比一般机械所用的轴承具有更高的要求。

牵引电动机的轴承在整个轴承需求量中所占比例不大，但对其要求却十分严格。它既要求有很高的可靠性，又要求能满足传动装置、电机性能和几何尺寸等方面的要求，还提出了相应的维修方面的要求。由于滚动轴承是电机的转动部

分,是相对于机体运动的支承装置和摩擦配合副。它对电机能否正常运转及其性能的发挥起着重要的作用。这就意味着要求电机的滚动轴承必须是一个十分可靠的部件。但实践表明,在工作条件恶劣的牵引电动机中,滚动轴承的故障是时有发生,其故障率约占电机落轮修故障件数的1/10。近几年来,由于在定期检修时加强了对轴承的换修工作,其故障率才略有下降,但平均仍达5%以上(参见表0—1)。1985年各型牵引电动机落轮修及轴承故障率如表0—2所示。

牵引电动机的滚动轴承在机车定期检修中的换修量也很大。据1982年的统计,装用4G32926轴承的牵引电动机,平均每年要更换1/3的滚动轴承。表0—3中列出了1985年各型牵

近年来各型机车牵引电动机

落轮修故障中轴承故障比例

表 0—1

机 型 \ 年 份	1982	1983	1984	1985
东风、东风 ₂ 及东风 ₃	10.1%	—	4.9%	3.6%
东风 ₄ 、东风 ₅	10.8%	13.8%	10.4%	5.5%
韶山 ₁	8.1%	9.6%	5.5%	7.8%

注: ND₂、ND₃型内燃机车的传动侧轴承在落轮修中尚未发现故障。

1985年落轮修牵引电动机中滚动

轴承故障比率

表 0—2

电 动 机 型 号	410	650	204
牵引电动机落轮修总台数	330	396	690
其中故障轴承	18	31	25
轴承故障比率(%)	5.5	7.8	3.6
统计走行Mm(千机公里)	90200	58320	120910
每100Mm(十万公里)轴承落修(件)	0.02	0.053	0.021

1985年牵引电动机滚动轴承更换量统计

表 0—3

项 目	电动机型号及部位	410		650		204	
		传动侧	换向器侧	传动侧	换向器侧	传动侧	换向器侧
落轮修		38	40	51	41	66	48
架 修		360	352	94	100	411	278
大 修		446	169	48	48	约500 *	约350
合 计		844	561	193	189	977	676
相应机型走行 Mm	113665	113665		58600	58600	123450	123450
每100Mm(十万公里)更换		0.743	0.494	0.329	0.323	0.791	0.548

* 按更换率为1/3估算, 相应换向器侧按约为传动侧更换数量的70%。

引电动机更换滚动轴承的统计, 其数量也是很大的。这就不仅消耗了大量的材料, 而且成为进一步延长检修周期的制约因素。

在滚动轴承的各类故障中, 以牵引电动机及轮对轴箱的轴承烧损对运输影响最大, 其次是保持架及滚动面损伤, 还有在解体检修时经常发现轴承零件磨损到限以及疲劳损坏需要换修的问题, 以上合称为滚动轴承的四大故障。就我国目前的轴承质量情况看, 理论上应占主导地位的轴承疲劳故障并不突出, 而其他三项比较常见, 这种情况说明, 我国滚动轴承的制造工艺与世界先进水平尚有很大差距。

轴承先期损坏多数是由最短命的保持架故障(磨损、裂纹、铆钉脱落等)所引起的。因此改进保持架的结构和制造质量, 是轴承行业在七、八十年代的主要课题之一。其次是轴承内圈的损伤、报废也较严重。

需要说明的是, 当前讲的滚动轴承故障率, 是在现行维修制度的基础上统计的。以我国内燃机车牵引电动机装用的滚动轴承为例, 每年约有2/5的轴承要经过架修修程的检修,

而其中将有近1/3被更换。因此，如果把现行维修制度的检修周期缩短，就肯定可以使轴承故障率降低。不过这样做就需要投入更多的人力、物力，而且检修周期是按照一台机车的总体来制订的，它不可能受滚动轴承这个单一因素影响而随意缩短。所以，降低滚动轴承故障率的途径，主要有如下三条：

1. 提高滚动轴承的制造质量和运输时的安全可靠。从我国目前的实际状况出发，应采用真空脱氧钢，凸度滚子型线，双兜孔保持架。在运输时采用各零件或组件分开包装等做法。

2. 提高滚动轴承的组装质量。应严格执行规定的组装工艺，采用有效的诊断手段判定和筛选存在质量隐患的零件及检验组装好的轴承，以实现预期的组装质量。

3. 增加滚动轴承的诊断次数。具体做法可在现行维修制度最低一级修程的周期内，增加必要的技术诊断作业次数。这一工作是以开发先进的技术诊断手段为前提的。

对于运用维修部门来说，应把注意力主要放到后两项，这是不言而喻的。

“技术诊断”是进行技术设备可靠性检测和判断的一门新兴科学。它不仅可进行设备的功能检验，而且可预测一定期限内技术设备和被诊断对象的状态。对于滚动轴承而言，技术诊断就是通过不解体进行检测的方法，早期发现轴承故障，以便采取措施，防止突发性事故的发生。

滚动轴承的工作可靠性和寿命，即使在良好的工作条件下，也存在一定的分散性。对于重要的设备，特别是在恶劣条件下工作的设备，它所装用的滚动轴承工作可靠与否，还能继续运行多长时间，自然成为运用部门格外关注的问题，同时它往往和明显的经济利益或者相当严重的事故损失直接

相关，因此诊断技术自然成为运用部门十分注重的技术开发领域。在国际上有关轴承诊断与维修的论著和研究，主要是由各大轴承公司的主持下完成的，其目的是为了市场和产品开发。而我国过去主要是参照苏联的管理模式，同时滚动轴承在我国又是“皇帝女儿不愁嫁”的走俏商品，因此，轴承制造及研究部门较少地循此方向着力，以致也很少向用户提供丰富多彩的、切实可行的运用技术，以及相应的服务性专著。本书编者作为一个长期从事轴承运用的技术人员期望能在此方面做些有益的工作。

第一章 滚动轴承的寿命与故障

第一节 轴承的寿命

滚动轴承的寿命一般是指轴承失效前运行的累计转数、累计工作时间或运行里程而言。轴承的寿命，在不同的场合有不同的称谓和含义。常用的有疲劳寿命、磨损寿命、故障寿命和使用寿命等。

一、疲劳寿命

疲劳寿命是指轴承主要运动件的材质达到疲劳极限，造成轴承失效之前的累计工作时间。

在设计工作中，轴承的寿命是以下式进行计算的：

$$L_h = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^\epsilon \quad (1-1)$$

式中 L_h ——轴承零件发生材质疲劳破坏前的工作时间(h)；

n ——计算工况时的轴承转速(r/min)；

C ——额定动负荷(N)；

P ——当量动负荷(N)；

ϵ ——寿命指数，滚子轴承为3.3，球轴承为3.0，实验证明它并非常数，而是随载荷量值和性质稍有变化的；

α_1 ——可靠性系数；

α_2 ——材料系数；

α_3 ——使用条件系数。

1. 额定动负荷与当量动负荷

所谓额定动负荷是指轴承在假定的运转条件下，其额定寿命为100万转时轴承所能够承受的负荷。当量动负荷是指轴承的实际负荷按照确定额定动负荷的运转条件进行转换了的假定负荷。由于在此假定负荷的作用下，轴承的寿命和实际负荷条件下的寿命相同，故称为当量动负荷。

额定动负荷与当量动负荷的计算方法，可参阅有关资料。

2. 可靠性系数 α_1

许多重要机械设备都希望轴承的可靠性高于90%。当可靠性为90%时 $\alpha_1 = 1$ ，可靠性提高， α_1 值逐渐减小，其数值列于表1—1中。

可靠性系数表

表 1—1

可靠性(%)	90	95	96	97	98	99
疲劳寿命的代号	L_{110}	L_{15}	L_{11}	L_{13}	L_{12}	L_{11}
α_1	1.0	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

3. 材料系数 α_2

材料系数有两个含义：其一是指轴承的钢材，对于一般轴承钢， $\alpha_2 = 1$ ；渗碳钢 $\alpha_2 < 1$ ；真空脱气钢 $\alpha_2 = 2 \sim 3$ ；电渣重熔钢 $\alpha_2 = 1 \sim 2$ 。其二是指润滑材料而言。由于润滑材料的选取与使用条件系数 α_3 的关系密切，因此常把它并在一起用 $\alpha_{2,3}$ 标示之。

4. 使用条件系数 α_3

所谓使用条件是指轴承的润滑、转速、运转温度等对轴承寿命的影响。

决定 $\alpha_{2,3}$ 的因素为：

- A. 有效润滑油膜；
- B. 负荷大小和性质；
- C. 轴承结构决定的接触面形状；
- D. 润滑材料的清洁度；
- E. 润滑材料的添加剂。

滚动轴承的疲劳寿命，通常是以轴承的正常设计、制造、维修和运用条件，其中也包括正常的润滑条件为前提的。一般地说，疲劳寿命就是轴承的设计寿命。也就是说，它是在系数 $\alpha_{2,3} = 1$ 时的寿命。上述的前提条件主要包括下述几点：

1. 液体或半液体润滑，在整个运行时间内正常的得到保持。
2. 计算载荷和转速的设计值与实际工况相吻合。
3. 测定润滑脂的基础油粘度时，取实际工作温度，而且能达到预定的要求。
4. 运行中的轴承不承受异常的振动和冲击，且内部不受污染。
5. 轴承材质和组装工艺等无明显缺陷。
6. 磨损寿命在上述条件下，长于疲劳寿命。

关于使用条件，是一个非常复杂的因素群。为了便于分析轴承的故障和运行效果，概略说明于下，但确切的定量说明则需试验或实践作出回答。先从影响最大的有效润滑油膜厚度说起。

有效润滑油膜厚度常用粘度比 K 来表征。

$$K = V/V_1$$

式中 V_1 是指轴承在不同转速和不同结构尺寸条件，能形成分隔滚动体和滚道所必需的润滑油脂的粘度，称之为成膜粘度；而 V 是指实际选用油脂的粘度指标。他们的相互作用

影响使 $\alpha_{2,3}$ 按表1—2所示数值变化。一般 K 不应低于0.4。

油膜厚度清洁度等对轴承寿命系数的影响 表 1—2

K	0.1	0.2	0.4	1.0	2.0	3.0	≥ 4.0	说 明		
								摩擦副状态	滚动元件状态	相关条件
$\alpha_{2,3}$							3.8	液体摩擦	为油膜隔开	清洁度高、负荷较低
$\alpha_{2,3}$	0.7	0.8	1.0	1.5	2.4	3.2		边界摩擦	不能完全被油膜隔开	清洁度良好，有添加剂
$\alpha_{2,3}$	0.15	0.22	0.3	0.77	1.7	2.1		不良摩擦	发生金属接触摩擦	有杂质混入

负荷率用轴承允许动载荷与当量动载荷之比值大小，予以考虑。一般情况下，比值高于8说明是轻载，低于4者为重载。对于一个稳定的实际轴承工作副，通常由润滑和清洁度制约着轴承的统计寿命。

滚动面的压应力很高，一般可达 1000N/mm^2 数量级（ZQDR410电机按持续工况计算可高达 10^4N/mm^2 ）。与压应力相应的能量主要用于材料变形（即固体流动）。还有一部分用于形成剪切应力，它的量虽不及压应力大，但经 10^7 次循环，也会使材料发生局部塑性变形、冷作硬化、位错堵塞加剧，产生微裂纹并发育形成典型的疲劳破坏。由此不难理解，上述疲劳发展的过程将随着轴承硬度增加，塑性变形减少而变缓，也会随着材质内杂质减少而推迟，两者均可使轴承的疲劳寿命有所延长。

实践表明，即使同样的材质和同样的使用条件，由于热处理、机械加工、选配等工艺的影响，轴承疲劳寿命仍有很大的分散性。设计中的计算结果，只是表征可靠度为90%，且系数 $\alpha_{2,3}$ 为1.0时的寿命。

二、磨损寿命

磨损寿命是指轴承由于正常磨损，游隙增大到规定限度

之前的累计工作时间。就当今的轴承工业的发展水平而言，它应长于疲劳寿命，但是实际上牵引电动机轴承却恰恰相反，磨损寿命低于疲劳寿命，这是一个明显的差距。当然磨损寿命还受到凭经验确定的“检修限度”的影响，如果限度不合理，也会造成不必要的更换。

国际上一些抗磨性能好的轴承，它们的磨损量不大，轴承实际寿命的终结是受疲劳寿命制约的。

各种滚动轴承给定的寿命，多数是由统计分析而获得（例如以检修记录数据统计计算滚动轴承的磨损寿命），再经理论化及实验验证后，作为生产厂家标定的寿命值。它标示在正常条件下滚动轴承的实际工作能力。

三、故障寿命

它是轴承发生故障，丧失工作能力之前的累计工作时间。

在牵引电动机的运用实践中，轴承的故障损坏曾占很大比例。其损坏的原因大部分是轴承内圈与轴配合不当、保持架先期损坏、润滑不良或牵引齿轮齿形失真等引起的轴承烧损，以及一部分先期疲劳损坏等。这种破损的复杂性决定着轴承的故障寿命必须分门别类地进行统计和研究。对于机车运行故障，人们比较习惯地使用故障寿命的概念，而对于解体后的那部分先期疲劳损坏、外伤、裂损、电蚀、锈蚀等，则仅作为广义故障寿命来统计。这种习惯性定义不够科学，需做些调整。这里所指的故障寿命是广义的故障寿命。这是因为运行故障虽然时有发生，但就件数的量值来说，它远低于解体后发现的先期损坏的数量，因此故障寿命应该是两种故障的总和所决定的。一般为了简化计算和统计的方便，常仅把解体发现的故障数量从检修记录中整理出来，计算轴承的故障寿命，也就够精确了。

四、使用寿命

使用寿命是上述三种寿命的泛指性提法。在理论上(设计上)它是指轴承的疲劳寿命；而在正常使用条件下它表征轴承的磨损寿命；但在使用条件不正常，或者制造、设计有缺陷时，则实际上代表着轴承的故障寿命。不过在实际的统计工作中，使用寿命是三者总和所决定的，不再分层，因而成为包容三种寿命因素所表现出来的轴承寿命了。

在生产实践中，只要作好分层统计，上述不同层次的轴承寿命是可以明确区分的，例如某机车修理工厂，在1986年度共检修了轴箱滚动轴承1008套，更换了其中的310套，这个数量就是同轴承使用寿命相联系的，若再加上运用部门在相应修程时的更换数和临时故障更换数，就可以计算出轴承的使用寿命了。

在被更换的310套轴承中，零件磨损的(包括保持架磨损)为140套，它与轴承的磨损寿命相联系；内圈裂纹为75个，透锈松缓的为70个，它们多与轴承组装不良等因素有关，是与轴承故障寿命相联系的；还有21套轴承产生剥离，点蚀，这是典型的疲劳损坏，其数量为被检查轴承总数量的2%。从这里可以看出，剥离等疲劳性故障是轴承报废的相当次要的因素，这种情况表明：在我国现有制造、运用条件下，以滚动轴承疲劳现象为基础的轴承额定寿命、实际寿命、平均寿命等理论疲劳寿命，与实际统计的故障寿命相差很远。因此这种疲劳寿命只能作为轴承零件潜在能力或轴承可靠程度的标志而已。

顺便指出，在某些特殊情况下，轴承的寿命是由特定条件所决定的。比如检测仪器、坐标镗床、磨床等设备中的轴承，是以该轴承精度能否满足预期加工精度来判定是否报废