

货车滚动轴承早期故障轨边 声学诊断系统

主编 杨树春 马共立
李百泉 张 军



哈尔滨工业大学出版社

货车滚动轴承早期故障 轨边声学诊断系统

主 编	杨树春	马共立	李百泉	张 军
参 编	邢传义	崔 涛	殷鸿鑫	范 帆
	王 驰	李东岳	宗绪国	兰成章
	张志福	吕龙泽	汪旭冉	

哈尔滨工业大学出版社

封面设计：张 军
责任编辑：张 军
出版发行：哈尔滨工业大学出版社
社 址：哈尔滨市南岗区复华道里10号 邮编 150006
电 话：0451-86414749
网 址：<http://hitpress.hj.cn>
印刷：哈尔滨工业大学印刷厂
开 本：787mm×960mm 1/16 印张 10.75 字数 234千字
版 次：2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷
书 号：ISBN 978-7-2603-3041-9
定 价：40.00元

内容简介

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统(TADS)为中国铁路车辆安全防范、预警系统(5T系统)之一,主要是利用声学诊断原理对货车噪声进行采集分析,从而发现轴承的早期故障。

本书详细介绍了货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统,滚动轴承故障分类及声学诊断,TADS系统轨边探测站组成及原理,TADS联网应用,TADS系统运用管理,配套检测设备及使用等内容。

图书在版编目(CIP)数据

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统/杨树春等编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2010.7

ISBN 978-7-5603-3041-9

I. ①货… II. ①杨… III. ①铁路车辆:货车—滚动轴承—故障诊断
IV. ①U279.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第108116号

策划编辑 赵文斌
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街10号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×960mm 1/16 印张 10.75 字数 234千字
版 次 2010年8月第1版 2010年8月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-3041-9
定 价 40.00元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统(TADS)是铁路管理部门关于车辆安全防范预警系统(5T系统)的重要组成部分,是保证铁路运输安全、防止货车脱线、车辆切轴事故发生的重大技术装备设备。系统采用声学技术和计算机技术,对运行货车滚动轴承裂缝、破损等故障进行在线、早期诊断预报,确保行车安全。该技术也适合旅客列车的检测。

目前,中国铁路运营线路里程7万多公里,货车近60万辆,因此,保证货车安全运行成为铁路管理部门的大问题。铁路运营线路上运行的车辆绝大部分采用滚动轴承,滚动轴承故障是货车的主要故障源之一,是影响货车安全运行的最大因素,其故障检测尤为必要。滚动轴承从出现故障到轴承发热有一个相对较长的时间过程,但轴承发热到热切却非常快。对于轴承故障检测,通常采用红外线轴温监测和轨边声学系统监控。红外线轴温监测系统采用的是红外辐射原理,只有轴承发热才能探测到。而滚动轴承早期故障轨边声学系统是在车辆轴承还没有发热时,就能诊断出故障,做到轴承故障早期发现、早期预报。与前者相比,将车辆轴承故障的防范关口提前一个阶段。如果该系统与红外线轴温监测系统结合,可对低温热轴进行预报,大大提高热轴预报的准确率和兑现率,为运输安全提供可靠保障。

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统目前已经在中国铁路线路上安装50多套,设备的运行和预报实现了网络化,通过联网达到了对在铁路线路上运行的货车进行实时监控。通过每年联网预报了很多故障轴承,对达到预报标准的轴承进行扣车分解后,发现都存在不同故障,充分证明该系统可以实现滚动轴承早期故障的实时监测。

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统现已形成网络,为综合评价各种轴承运行状态和质量,为铁路车辆制造和检修提供科学、合理的数据。货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统及相关设备是新型技术,因此必须尽快培养一批熟悉技术懂得业务的技术人员,这是管好、用好、维护好货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统及相关设备的重要基础,本书正是为了使货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统更好地发挥作用,保证铁路线上车辆运行安

全面编写的。全书分为6章,第1章介绍货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统组成,第2章介绍滚动轴承故障分类及声学诊断原理,第3章介绍 TADS 系统轨边探测站,第4章介绍 TADS 联网应用,第5章介绍 TADS 系统运用管理,第6章介绍配套检测设备。各章节之间既保持相对独立,又存在内在的联系。读者可根据需要选读其中的有关内容。

本书由杨树春、马共立、李百泉、张军主编,邢传义、崔涛、殷鸿鑫、范帆、王驰、李东岳、宗绪国、兰成章、张志福、吕龙泽、汪旭冉参加了编写。在编写过程中得到有关使用单位的大力支持,提供了很多有益意见,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2010年7月

目 录

第1章 货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统	1
1.1 系统概述	1
1.2 系统构成	2
1.2.1 地面探测站	2
1.2.2 节点服务器	4
1.2.3 铁路局服务器	4
1.2.4 铁道部服务器	4
1.2.5 复示终端	4
1.3 系统网络	5
1.3.1 系统网络结构图	5
1.3.2 多级监控体系的实现	6
第2章 滚动轴承故障分类及声学诊断	8
2.1 滚动轴承故障分类	8
2.1.1 引起故障的原因	9
2.1.2 故障部位	10
2.1.3 故障严重程度	11
2.2 滚动轴承声学诊断	13
2.2.1 振动与噪声	14
2.2.2 声学诊断技术	15
2.3 关键技术	15
第3章 TADS 系统轨边探测站	17
3.1 设备的构成	17
3.1.1 室外部分	17
3.1.2 室内部分	21
3.2 TADS 功能及指标	27
3.3 TADS 的安装与调试	29
3.3.1 室外设备安装	29
3.3.2 室内设备安装	39

3.3.3	软件的设置及操作	53
3.3.4	设备调试	76
3.4	设备维护	82
3.4.1	远程维护	82
3.4.2	现场维护	89
3.4.3	故障处理	90
3.4.4	程序升级及系统重做注意事项	96
第4章	TADS 联网应用	97
4.1	服务器软件的安装	97
4.1.1	运行环境	97
4.1.2	安装 TADS 数据处理程序	97
4.1.3	数据处理流程	98
4.1.4	服务器配置	100
4.2	客户端软件的安装	103
4.2.1	安装轴承声音图谱播放软件	103
4.2.2	IE 浏览器的配置	105
4.3	网站使用	105
4.3.1	用户注册和登录	105
4.3.2	日常监控	107
4.3.3	过车查询	112
4.3.4	车辆追踪	115
4.3.5	故障轴查询	116
4.3.6	统计报表	118
4.3.7	报警管理	121
4.3.8	当日信息	128
4.3.9	系统监控	129
4.3.10	使用帮助	130
第5章	TADS 系统运用管理	131
5.1	故障报警	131
5.2	预报及反馈	133

5.2.1 TADS 预报单次一级轴承故障	133
5.2.2 达到扣车报警的轴承故障	133
5.3 分解及反馈	134
5.3.1 分解	135
5.3.2 分解结果反馈	136
5.3.3 运用管理	136
第6章 配套检测设备	138
6.1 概述	138
6.2 功能及技术指标	139
6.2.1 功能	139
6.2.2 技术指标	140
6.3 配套设备使用	142
6.3.1 TADS 综合检测仪表	142
6.3.2 TADS 室外动态模拟设备	150
6.3.3 TADS 标准声源	155
6.3.4 TADS 声学传感器定标尺	157
附录1 TADS 车辆方位和轴位的定义	159
附录2 TADS 预报故障轴承检查	160
参考答案	161

第1章 货车滚动轴承早期故障 轨边声学诊断系统

1.1 系统概述

随着铁路提速调度的进行,货车速度的提高和车站停车时间的缩短,给货车的安全运行增加了压力。我国目前的车辆安全监测水平与提速运行存在较大矛盾,货车提速后有关部件的故障率有增大的趋势,而轴承故障是货车运行中的主要故障源之一,也是影响货车安全的最大因素。与其他机械零部件相比,滚动轴承的一个显著特点就是其寿命的离散性很大,即用同样的材料、同样的加工工艺和生产设备制造出来的同一批轴承,在相同的工况条件下,其寿命也可能有较大的差别。有的轴承因远未达到设计使用寿命时就出现了各种故障,所以加强轴承的监测和诊断,及时了解和掌握轴承的工作状态,尽量发挥轴承的工作潜力,避免或减少事故的发生,对货车的安全运行具有十分重要的意义。

为预防由轴承故障引起的事故,在全国铁路主要干线上大量安装了红外轴温探测系统,形成了探测网络,以便及时发现温度过高的轴承,防止燃轴、切轴和脱轨事故,取得了很好的效果。与滑动轴承不同的是,滚动轴承从故障发生到发热烧损的时间比较漫长。一般情况下故障轴承并不表现出明显的高温,而一旦表现出温度过高就已经到了故障的后期,如不及时停车处理,轴承温度将急剧上升并很快烧损,造成中途停车,降低铁路运输能力和经济效益。这种故障报警或处理不及时,就有可能引发切轴、脱轨等重大事故,进而造成严重的行车中断和经济损失,对铁路的市场竞争力也带来不良的影响。从铁路的统计情况看,每年都有相当数量的轴承处在“带病服役”状态。在列检中经常会发现许多货车轴承故障(其中有些故障程度已经很严重),但红外轴温探测系统并未报警,对行车安全构成较大的、潜在的威胁。为提高铁路行车的安全性,避免或减少由轴承引发的燃轴、切轴和脱轨事故,中国铁路对货车轴承早期故障探测的新技术与新装备有迫切的需求。

货车滚动轴承早期故障轨边声学诊断系统(Trackside Acoustic Detector System 简称为TADS),采用声学诊断技术和计算机网络技术,通过对运行中的货车轴承噪声信号的采集和分析,识别轴承的工作状态,可提供有效的轴承内部早期故障诊断结果,在热轴之前发现故障。

这是一项高新技术在铁路行业应用的重要成果,为实现我国铁路跨越式发展和安全技术装备现代化发挥重要的作用。它与红外轴温探测系统相结合,共同构成货车轴承的安全保障系统,能更加有效地防止切轴和脱轨,提高轴承故障的防范水平,使列检对滚动轴承的检查,从人判为主逐步过渡到人机结合、机判为主的阶段。轨边声学诊断系统增强了轴承的预警能力,将防范关口前移,体现了“预防为主”的安全指导思想,使行车安全性更高,从而确保行车安全,提高铁路运输的效率和服务水平,增强市场竞争力。

1.2 系统构成

TADS 主要由地面探测站、节点服务器、铁路局服务器、铁道部服务器、复示终端组成。下面分别介绍各个部分。

1.2.1 地面探测站

TADS 地面探测站是 TADS 的核心,分为室外、室内两大部分。室外部分主要由 TADS 轨边设备和 AEI 设备组成,轨边设备有声学传感器阵列和轮传感器组成。室内部分主要由机柜和 UPS 电源组成。室内机柜里有防雷箱、AEI 主机、远近端放大器、KVM 箱、HUB 箱、远程电源控制箱、SIPS 箱、主处理计算机、远端信号采集处理计算机和近端信号采集处理计算机。

地面探测站具有数据采集、计轴计辆、车次车号自动识别、故障判别、故障定位等功能。主处理计算机、远端信号采集处理计算机、近端信号采集处理计算机等都采用专用工控机系统,安装 Windows XP 操作系统。工控机系统具有强大的网络功能,运行稳定,易于使用。地面探测站计算机实时向节点服务器传送数据报文。

1. 声学传感器阵列

传感器阵列放置在一个特殊设计的保护箱内,箱内装有风扇和保护门,保护箱具有抗震、防水和防灰尘功能,适应轨边环境。根据车辆轴承的尺寸及运行机理,即车轮旋转 2 周,轴承滚动体旋转 1 周的特点,对于轴承内部任何一部位出现故障时,声学传感器阵列都要全面、准确地拾取故障轴承所产生的振动声音。

声学传感器用于拾取车辆轴承运转产生的声音信号,采用指向性设计,直接朝向轴承,具有很好的声学波瓣图,能够减少其他噪声影响。

声学传感器的指向区域大约在 6.5 m 左右。若采用单独的声学传感器,在这么大的指向区域内保持接收信号灵敏度的一致性是不可能的,从而难于进行轴承故障的准确判别。TADS 采用单侧 6 个声学传感器,每个传感器指向性设计的有效区域为 1.1 m 左右,并相互交叉,保

证了任一个轴承在探测区域内,传感器接收的轴承振动信号是连续的,使得系统对轴承信号的拾取更加全面和准确,保证了系统对故障轴承诊断的可靠性和准确性。

2. 车轮传感器

用卡具固定在钢轨上,当货车接近时,自动启动系统,用于车轮定位、计轴和测速等。

3. AEI 天线

发射微波信号,同时接收由标签反射回来的已调制信号,读取车次、车号信息。

4. 防雷箱

是对各种传感器信号、通信信号、控制电源信号等进行抗雷电冲击及抗浪涌保护的装置,具有与室外连接的信号和电源进行防雷隔离的作用。

5. 放大器箱

由于采用6个声学传感器,就要求6个声学传感器接收信号的灵敏度一致,因此系统在每个传感器与放大器之间采用自适应校准技术,保证了6个声学传感器接收信号灵敏度的一致性。

6. 电源信号控制分配箱(SIPS)

对各种信号提供接口电路、信号分配,控制声学传感器阵列箱保护门开启或关闭。对车轮传感器、麦克采集的信号进行整合处理,使之适于计算机进行信号识别。

7. 信号采集处理计算机

分远、近端信号采集处理计算机,也称从机,主要用于信号采集、处理,通过建立的数学模型完成故障轴承的诊断判别工作。

8. 主处理计算机

协同远、近端采集计算机(从机)同步工作,对判别的轴承故障数据进行综合评价分析,存储数据,完成与上位机的通信。远、近端从机负责采集并处理声音传感器阵列和车轮传感器的信号,主计算机负责两台从机间的同步、数据通信和存储。三台计算机通过各自网卡和网络交换机连接。

9. HUB 集线器、KVM 转换器

将主从三台计算机联网,提高轨边设备综合处理数据能力及数据的高速交换能力。

10. AEI 识别设备

识别货车的车次、车号信息,进行计轴、计辆、测速,并将有关信息数据提供给TADS设备,完成对预报的故障轴承车号和轴位的自动定位。

1.2.2 节点服务器

节点服务器完成基本的数据处理及接口报文形成等功能,并给铁路局服务器上传数据报文,对系统数据传输进行实时监控。也可以不设置节点服务器,数据直接传送给铁路局服务器,由铁路局服务器完成数据处理形成报文。

1.2.3 铁路局服务器

铁路局服务器是 TADS 网络的关键部分。服务器系统软件采用具有 NT 内核的 Win 2000 操作系统和 Oracle 8i 大型数据库,负责接收节点服务器发来的接口报文(包括数据、声音和自检信息等),创建数据库和监控管理网站,并对轴承状况进行跟踪评判,对故障轴承进行告警预报。铁路局服务器实现的主要功能如下:

- ①实时显示、接收并处理 TADS 探测站的数据报文,建立数据库,对地面探测站采集数据进行入库管理,对故障轴承进行跟踪对比、预报;
- ②把处理结果上传铁道部;
- ③查询、统计、打印通过货车的轴承声学检测信息;
- ④追踪故障轴承的发展过程。

1.2.4 铁道部服务器

铁道部服务器 TADS 系统是数据库的中心,它建立全路车辆滚动轴承运行状态数据库和各种轴承故障档案数据库,通过收集大量的数据,建立滚动轴承早期故障诊断专家系统,自动调整系统判别模型,综合评价各种轴承运行状态和质量,为铁路车辆制造和检修提供科学、合理依据。

1.2.5 复示终端

复示终端包括红外中心复示终端、车辆段复示终端。列检所复示终端和其他复示终端。各复示终端通过访问各级服务器管理网站,实现对 TADS 探测数据的实时监控,对故障轴承进行报警,并可以对历史探测数据进行查询和统计。其主要功能如下:

- ①实时复示相关 TADS 处理的过车报文和轴承故障报警信息,并进行处理、显示、打印、存储、汇总、统计分析;
- ②实时对 TADS 设备状况进行监视,打印显示地面设备故障等信息;

- ③准确监测地面 TADS 设备预报的轴承故障情况,实现故障轴承的报警和跟踪;
- ④各复示终端通过 TADS 轴承声音图谱播放软件,可以在线收听故障轴承和正常轴承的声音,并观看相应声音图谱、正常轴承和故障轴承声音的三维图谱。

1.3 系统网络

1.3.1 系统网络结构图

TADS 网络结构由数据信息采集级和两个应用级(铁路局应用级、铁道部应用级)组成,如图 1.1 所示。

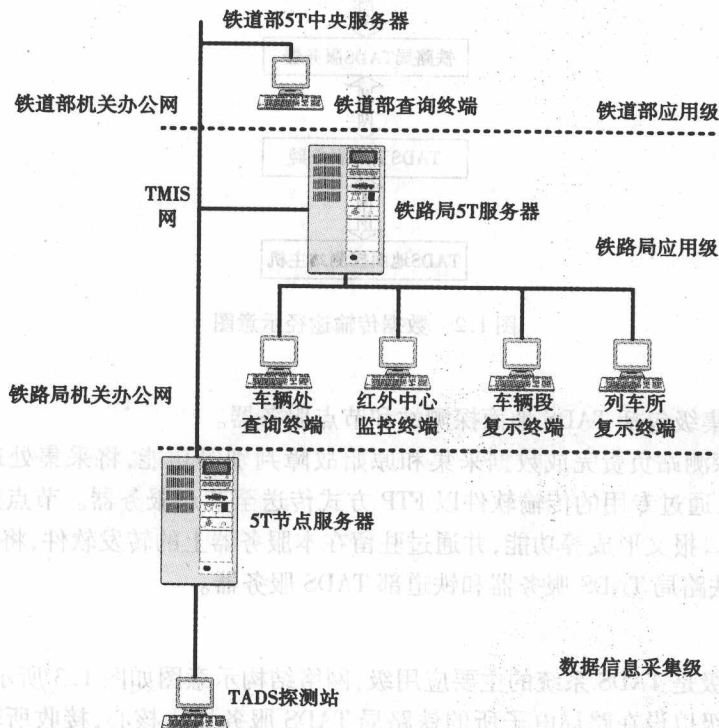


图 1.1 TADS 系统网络结构示意图

1.3.2 多级监控体系的实现

TADS 轨边设备安装在货车进站方向,探测的数据经过探测站中央数据处理计算机进行分析和处理形成数据报文,通过专线或 TMIS 网以 FTP 方式发送至节点服务器。TADS 节点服务器再通过 TMIS 网以 MQ 方式上传至路局服务器和铁道部中央服务器,各级服务器对数据报文进行分析和入库,同时根据分析的结果,对轴承的故障情况进行报警。设立 TADS 系统列检所复示终端、车辆段复示终端、路局红外中心监控终端、路局车辆处查询终端和铁道部查询终端,通过访问相应级别的服务器,实现对货车滚动轴承运行状况的多级监控。

1. 数据传输途径

TADS 探测站主机和各个服务器之间的数据传输途径如图 1.2 所示。

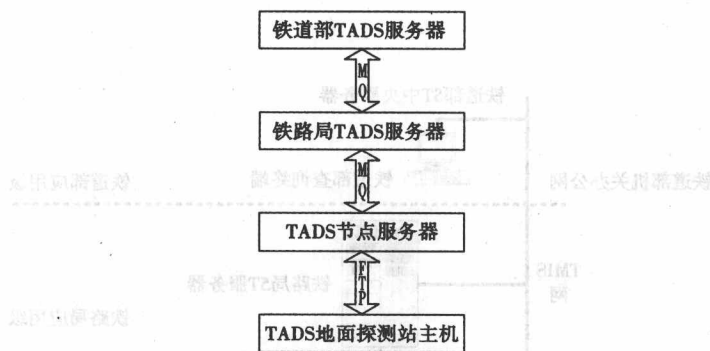


图 1.2 数据传输途径示意图

2. 信息采集级

数据信息采集级包括 TADS 地面探测站和节点服务器。

TADS 地面探测站负责完成数据采集和原始故障判别等功能,将采集处理后的探测数据形成数据报文后,通过专用的传输软件以 FTP 方式传送至节点服务器。节点服务器完成基本的数据处理及接口报文形成等功能,并通过驻留在本服务器上的转发软件,将接收到的报文以 MQ 方式上传至铁路局 TADS 服务器和铁道部 TADS 服务器。

3. 铁路局应用级

铁路局应用级是 TADS 系统的主要应用级,网络结构示意图如图 1.3 所示。

铁路局应用级以设在路局电子所的铁路局 TADS 服务器为核心,接收所辖各节点服务器发来的接口报文(包括数据、声音和自检信息等),并将其存储到本地创建的 ORACLE 数据库中。各路局服务器通过 ORACLE 的 DB LINK 功能,远程访问铁道部 TADS 中央数据库,对轴

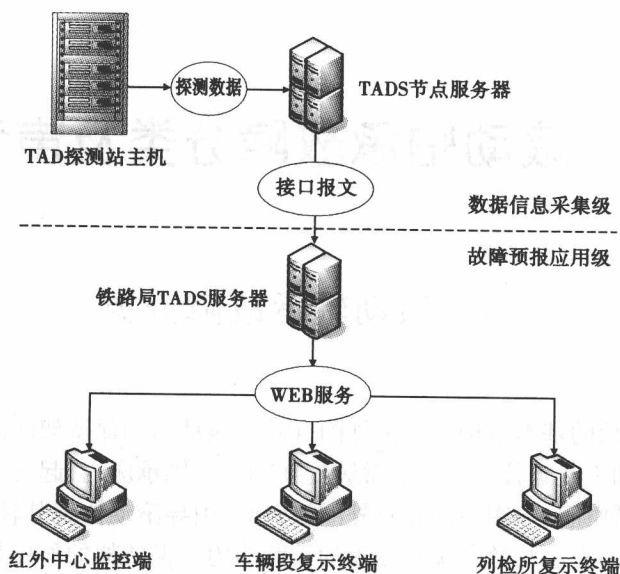


图 1.3 铁路局应用级网络构成示意图

承状况进行联网评判,并且可以对故障轴承进行告警提示,对其在全路的历史预报情况进行追踪。在铁路局服务器中建立 TADS 监控管理网站,车辆处查询终端、红外中心监控终端、车辆段复示终端和列检所复示终端可以通过 IE 浏览器进行访问,实现对 TAD 探测数据的实时监控,对故障轴承进行报警处理,并可以对历史探测数据进行查询和统计,通过 TADS 轴承声音图谱播放软件,还可以在线收听故障轴承和与之对应的正常参考轴承的声音,并观看声音图谱。

4. 铁道部应用级

在铁道部设立中央服务器,接收全国铁路所有 TADS 探测站的检测信息报文,建立 ORACLE 数据库,将分析处理后的所有数据完整地存储,通过创建 ASP.NET 架构的部级监控管理网站,为各个终端的访问提供接口和软件支持。

在装备部有关部门设立查询终端,通过铁道部机关办公网与铁道部服务器相连。装备部查询终端实时显示全国铁路所有 TADS 的货车检测报文,同时通过访问中央服务器,实现全国铁路各种数据的查询、分析和统计。

第2章 滚动轴承故障分类及声学诊断

2.1 滚动轴承故障分类

铁路货车滚动轴承的基本结构一般由外圈、内圈、滚动体和保持架四部分组成。内圈通常装配在轴径上,并与轴一起旋转。外圈通常装配在轴箱或轴承座内,起支撑作用。滚动体位于内圈和外圈之间。当轴径与内圈一同相对外圈旋转时,引导滚动体绕其轴心自转,同时绕内外圆滚道滚转。滚动体的大小与数量决定轴承的承载能力。保持架的作用是使各滚动体均匀分布,防止互相碰撞、摩擦,并在一定程度上引导滚动体滚动良好。其具体结构如图 2.1 所示。



图 2.1 轴承结构图

滚动轴承由于材料的缺陷、加工或装配不当、润滑不良、水分或异物侵入、腐蚀剥落以及过载等原因,都可能导致其早期损坏。当然,即使在安装、润滑和使用维护都正常的情况下,经过一段时间的运转,轴承也会出现疲劳剥落和磨损等现象,影响机器的正常工作。滚动轴承的故障可根据引起故障的原因、故障的部位、故障严重的程度进行分类。

2.1.1 引起故障的原因

1. 疲劳剥落

滚动轴承工作时,滚道和滚动体表面既承受载荷又相对滚动,由于交变载荷的作用,首先在表面下一定深度处(最大剪应力处)形成裂纹,进而扩展到接触表面层发生剥落坑,最后发展到大片剥落,这种现象就叫做疲劳剥落。

疲劳剥落会造成运转时的冲击载荷、振动和噪声加剧。在正常工作条件下,疲劳剥落往往是滚动轴承故障的主要原因。我们习惯上所说的轴承寿命就是指轴承的疲劳寿命。

2. 磨损

由于滚道和滚动体的相对运动(包括滚动和滑动)和尘埃异物的侵入等都会引起表面磨损,而当润滑不良时更会加剧表面磨损。磨损的结果使轴承间隙增大,表面粗糙度增加,从而降低了轴承的运转精度,降低了机器的整体运动精度,振动及噪声也随之增大。对于精密机械中所有的轴承,往往就是磨损量限制了轴承的寿命。此外,还有一种所谓的微振磨损,即轴承本身不旋转而振动时,由于滚动体和滚道接触面间有微小的、往复的相对滑动,因而导致微振磨损产生,其结果在滚道上形成波纹状的磨痕。

3. 塑性变形

在工作负荷过载的情况下,轴承受到过大的冲击载荷或静载荷,或者因为热变形引起额外的载荷,或者当有高硬度的异物侵入时,都会在滚道表面上形成凹痕或划痕,这使轴承运转时产生剧烈的振动和噪声。而且,一旦产生上述凹痕,由此所引起的冲击载荷可能还会进一步引起附近表面的剥落。

4. 腐蚀

腐蚀也是滚动轴承的常见故障之一。一方面,当水分直接侵入时就会引起轴承腐蚀;另一方面,当轴承停止工作时,轴承温度下降到零度,空气中的水分凝结成水滴附在轴承的表面上也会引起腐蚀。此外,当轴承内部有电流通过时,在滚道和滚动体之间的接触点处,电流通过很薄的油膜引起火花,使表面局部熔融,在表面上形成凹凸不平的波纹状。高精度的轴承往往由于表面腐蚀,丧失精度而不能继续工作。

5. 断裂

当载荷超过轴承滚道或滚动体的强度极限时会引起轴承零件的破裂。此外,由于磨削加工、热处理或装配时引起的残余应力、工作时的热应力过大等,也有可能造成轴承零件的断裂。

6. 胶合

所谓胶合是指一个表面上的金属黏附到另一表面上的现象。在润滑不良、高速重载的情