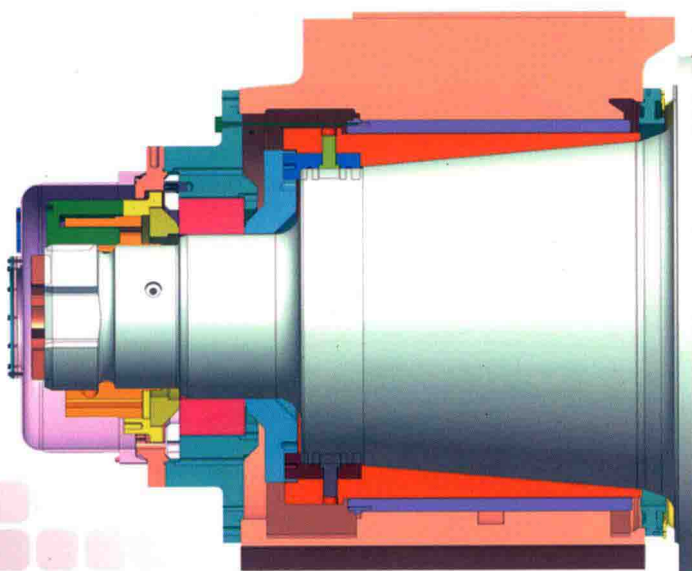


油膜轴承蠕变理论

YOU MO ZHOUC HENG RUBIAN LILUN

王建梅 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

油膜轴承蠕变理论

王建梅 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2018

内 容 简 介

本书共分8章,围绕油膜轴承衬套实际使用中的损伤和破坏形式,将理论计算、实验测试和数值模拟验证相结合,全方位开展了油膜轴承蠕变的相关研究,提出了油膜轴承蠕变理论。分别介绍了油膜轴承和巴氏合金的相关知识、蠕变力学理论基础、蠕变试验研究、油膜轴承蠕变模型、巴氏合金蠕变特性和应力松弛特性、油膜轴承蠕变寿命预测方法。在此基础上,进一步推导出了厚壁圆筒稳态蠕变应力的计算算法等。

本书可供从事机械设计及理论研究和摩擦学研究的科技人员参考,也可供高等院校机械类专业师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

油膜轴承蠕变理论/王建梅著. —北京:冶金工业出版社,
2018.9

ISBN 978-7-5024-7857-5

I. ①油… II. ①王… III. ①油膜—轴承—蠕变理论—
研究 IV. ①TH133.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第187500号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 常国平 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7857-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安县京平诚乾印刷有限公司印刷

2018年9月第1版,2018年9月第1次印刷

169mm×239mm;9.75印张;187千字;143页

46.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

油膜轴承是以专用油膜轴承油作为润滑介质的径向滑动轴承，也称为液体摩擦轴承，具有摩擦系数小、损耗低、刚性高等优点。油膜轴承广泛应用于钢铁、矿山、冶金、电力、航天、航空等系统的高、精、尖关键设备，其运行性能和服役寿命直接关系到设备的生产效率和安全生产。重型机械中应用最常见的是轧机油膜轴承，因其能够适应各种轧制工艺要求而被成功地应用到各类轧机而得名，是重型机械比较理想的轴承。

基础件是机械工业的根基，机械零部件设计则是机械工业的基础技术。轧机油膜轴承作为轧钢机械重要的基础件，安装在轧机支承辊上，堪称轧钢机械的“心脏”，其主要承载件是锥套和衬套。我国油膜轴承锥套的结构从长键配合发展到短键配合，再到目前广泛使用的无键配合，锥套研发技术已经成熟，研发方向逐步结合到衬套的改进上，衬套性能的提升及结构的改进已经成为行业的发展趋势，其设计水平和产品质量决定着设备和生产的安全，运行性能和工作寿命会对轧机的生产效率和钢材的质量产生直接影响。

油膜轴承巴氏合金具有承受高负荷和耐磨的良好性能，属于低熔点合金，在工作过程中必然会发生微观的蠕变现象，合金蠕变相比油膜厚度属于同一量级或更高，对油膜的润滑性能、承载能力、轴承寿命和钢材质量都会产生不可忽略的负面影响。另外，由于巴氏合金在使用时涉及加热再成型，其使用性能不仅与材料本身的属性有关，还需综合考虑工艺、设计和制造。国内对巴氏合金的使用状况大多通过

实验方法测试获知,对巴氏合金的蠕变特性、使用寿命、厚度优化等问题,缺乏相关的理论支持。

本书的主要内容为:(1)油膜轴承概述:简要介绍油膜轴承和巴氏合金的概念、蠕变产生条件和蠕变理论研究概述;(2)蠕变力学的基础理论:阐述了一维应力蠕变、多维应力蠕变和厚壁圆筒蠕变的基础理论,以及蠕变损伤和蠕变寿命的基础理论;(3)巴氏合金蠕变试验研究:阐述了蠕变试验方法和实验数据处理方法;(4)巴氏合金蠕变特性:内容包括巴氏合金蠕变力学性能、巴氏合金蠕变模型、蠕变对合金力学性能的影响、巴氏合金蠕变特性数值模拟和厚度优化;(5)巴氏合金蠕变寿命:内容包括稳态蠕变本构方程、蠕变寿命计算和评估模型、编制蠕变寿命预测软件、结合工程实例进行验证;(6)厚壁圆筒稳态蠕变应力的计算:推导了均匀载荷条件下和非均匀载荷条件下的稳态蠕变应力计算算法;(7)厚壁圆筒蠕变的模拟:阐述了蠕变问题的有限元法,开展了厚壁圆筒稳态蠕变二维分析和基于油膜轴承衬套的蠕变三维分析;(8)油膜轴承衬套合金的应力松弛特性:内容包括应力松弛试验、油膜轴承合金稳态蠕变方程和巴氏合金的应力松弛特性。

本书的特点是面向钢铁行业轧机油膜轴承的实际应用,顺应油膜轴承的发展趋势,立足对关键基础件的技术前沿问题进行攻关,系统开展以巴氏合金 SnSb11Cu6 为对象的油膜轴承蠕变理论研究,揭示了油膜轴承蠕变特性和蠕变对合金力学性能的影响,是对油膜轴承设计理论与计算方法的补充与完善,体现了基础理论与工程实际应用的结合,对延长巴氏合金寿命、提高合金使用性能、抑制合金疲劳损伤、提升整机性能,有着理论性的拓展;同时可以为机械零件设计的科学计算与评价提供理论参考,为生产实践提供必要的技术支持。

本书旨在为读者提供轴承类零部件或合金类的相关基础理论与算法，并为工程应用提供一定的知识服务和技术支持。本书可供从事机械设计及理论研究的科技人员参考，也可供高等院校机械类专业师生和企业人员阅读。

本书是作者所在课题组成员多年来科学研究成果的结晶。借本书出版之际，向资助本书出版的国家自然科学基金煤炭联合基金项目(U1610109)、山西省基础研究计划(自然)项目(201601D011049)和太原重型机械装备协同创新中心(山西省1331工程)专项资助表示由衷的感谢，并向在攻读硕士研究生期间共同参与相关工作的侯成、薛亚文、苗克军、夏全志、张婉茹、唐雪峰、赵雅琪、姚坤表示衷心的感谢！封面图片由太原重型机械集团油膜轴承分公司提供，在此一并表示感谢。

创新之作，不当之处在所难免，欢迎广大读者批评与指正。

作 者

2018年5月于太原

[illegible]

ε_e	弹性应变	a	厚壁圆筒内径, mm
ε_0	总应变	b	厚壁圆筒外径, mm
ε_c	蠕变应变	$P(\theta)$	非均匀径向压力, MPa
$\dot{\varepsilon}_c$	蠕变速率, s^{-1}	P_i	厚壁圆筒所受内力, MPa
$\overline{\varepsilon}_c$	等效蠕变速率, s^{-1}	P_0	厚壁圆筒所受外压力, MPa
ε_θ	周向应变	K	厚壁圆筒外/内半径之比
ε_r	径向应变	θ	水平地面的夹角, ($^\circ$)
ε_z	轴向应变	p_1	初始油膜压力, MPa
ε_{ci}	蠕变应变分量	n	应变硬化指数
$\gamma_{r\theta}$	剪切应变	k	强化系数
σ_θ	周向应力, kN	D	球压头直径, mm
σ_r	径向应力, kN	d	压痕平均直径, mm
σ_z	轴向应力, kN	h	油膜厚度, mm
$\overline{\sigma}$	等效应力, kN	δ	半径间隙, mm
σ_m	平均应力, kN	e	偏心距, mm
σ_i	任意半径处应力, kN	β	黏压系数
σ_{ir_2}	外半径处的应力, kN	h_1	初始油膜厚度, mm
σ_0	应力松弛初始应力, kN	$\overline{h}_e$	弹性体油膜厚度, mm
$\tau_{r\theta}$	周向应力, kN	Δh_e	油膜厚度增量, mm
u_r	径向位移, mm	Q	蠕变激活能
v_θ	周向位移, mm	p	应力指数
K_h	蠕变影响系数	η	润滑油黏度, $Pa \cdot s$

y	SnSb11Cu6 硬度	E_r	相对误差
Φ	蠕变率	ε	相对偏心率
S_T	真实应力, MPa	μ	泊松比
y_H	布氏硬度	A	与显微组织相关的常数
c	半径间隙, mm	$d\varepsilon_{ij}^e$	弹性应变增量
R	玻尔兹曼常数	$d\varepsilon_{ij}^p$	塑性应变增量
ΔH	激化能	N_D	保载条件下疲劳与蠕变的等值寿命, h
ε_p^*	累积塑性应变	θ_i	蠕变参数
ΔP	塑性应变	η_0	大气压下的黏度, Pa · s
x_T	工作温度, °C	a_m	压力相关的系数
$\dot{\varepsilon}$	稳态蠕变速率, s ⁻¹		
ϕ	应力函数		

目 录

1 基础知识	1
1.1 油膜轴承概述	1
1.1.1 油膜轴承	1
1.1.2 衬套	3
1.2 巴氏合金概述	4
1.2.1 巴氏合金	4
1.2.2 巴氏合金蠕变	5
1.3 蠕变理论研究	7
2 蠕变力学基础	9
2.1 蠕变基本概念	9
2.1.1 蠕变力学的提出	9
2.1.2 蠕变的定义	9
2.1.3 蠕变的微观解释	10
2.1.4 蠕变曲线	11
2.1.5 蠕变机理	12
2.1.6 影响蠕变强度的因素	13
2.2 一维应力蠕变的基础理论	13
2.2.1 一维应力下的蠕变本构方程	14
2.2.2 常用的蠕变理论	15
2.3 多维应力蠕变的基础理论	18
2.3.1 等效应力、等效蠕变速率和等效蠕变应变	19
2.3.2 流动法则	20
2.3.3 应力与蠕变速率的关系	21
2.3.4 稳态与非稳态蠕变分析	21
2.4 厚壁圆筒稳态蠕变的理论基础	21
2.4.1 稳态蠕变的计算说明	21
2.4.2 厚壁圆筒蠕变计算的基本方程	22
2.4.3 边界条件	22

2.4.4 应力函数与相容方程	23
2.5 应力松弛	23
2.5.1 应力松弛特性概述	23
2.5.2 应力松弛与蠕变的关系描述	23
2.5.3 基于蠕变理论的应力松弛分析	24
2.6 蠕变损伤理论	24
2.7 蠕变寿命理论	27
2.7.1 Kachanov-Robatnov 损伤理论	27
2.7.2 蠕变寿命预测模型	27
2.7.3 蠕变裂纹扩展	28
2.7.4 疲劳、蠕变及环境腐蚀的交互作用	28
3 巴氏合金蠕变试验研究	29
3.1 蠕变试验方法	29
3.1.1 蠕变试验原理	29
3.1.2 蠕变试验目的	30
3.1.3 蠕变试验标准	30
3.1.4 蠕变试验设备	31
3.1.5 蠕变试验试件	35
3.1.6 蠕变试验的操作步骤	36
3.1.7 蠕变试验的测试内容	38
3.1.8 蠕变试验方案对比	42
3.2 试验数据处理	43
3.2.1 蠕变试验数据影响因素	43
3.2.2 试验数据的频数统计	46
3.2.3 比例折算及变形差值处理	46
3.2.4 非线性拟合迭代算法	47
3.2.5 初值的自适应算法	48
3.2.6 数据的非线性拟合结果与处理	49
4 巴氏合金的蠕变特性	55
4.1 巴氏合金蠕变力学性能	55
4.2 巴氏合金蠕变模型	57
4.2.1 SnSb11Cu6 蠕变模型	57
4.2.2 基础蠕变模型	57

4.2.3 不同模型的对比分析	60
4.3 蠕变对合金力学性能影响	61
4.3.1 巴氏合金金相试验	61
4.3.2 试验结果分析	62
4.4 蠕变试验的数值模拟	68
4.4.1 试件蠕变分析模型	68
4.4.2 试件蠕变分析参数	70
4.4.3 模拟结果与算法	72
4.5 巴氏合金蠕变特性模拟	76
4.5.1 油膜轴承有限元模型	76
4.5.2 运转参数与载荷分布	76
4.5.3 蠕变特性的数值模拟	76
4.5.4 巴氏合金厚度优化	80
5 巴氏合金蠕变寿命	83
5.1 稳态蠕变本构方程	83
5.1.1 基于 Dorn 理论的稳态蠕变本构方程	83
5.1.2 基于恒速理论的稳态蠕变本构方程	85
5.2 蠕变寿命计算模型	85
5.3 蠕变寿命评估模型	86
5.4 蠕变寿命预测软件	88
5.4.1 功能介绍	88
5.4.2 计算流程图	88
5.4.3 工程实例	88
6 厚壁圆筒稳态蠕变应力	90
6.1 厚壁圆筒蠕变	90
6.2 均匀载荷条件下稳态蠕变应力	90
6.2.1 建立数学模型	90
6.2.2 诺顿本构方程下的算法推导	91
6.2.3 指数形式下的算法推导	93
6.3 非均匀载荷条件下稳态蠕变应力	95
6.3.1 算法推导	95
6.3.2 厚壁圆筒的蠕变应力	99
6.3.3 工程应用	100

7 厚壁圆筒蠕变的模拟	104
7.1 有限元法基本知识	104
7.1.1 有限元法的基本思想	104
7.1.2 有限元的求解模块	105
7.2 蠕变问题的有限元法	106
7.2.1 隐式蠕变法	106
7.2.2 操作步骤	108
7.3 厚壁圆筒稳态蠕变二维分析	108
7.3.1 建立模型	108
7.3.2 诺顿稳态蠕变本构方程	109
7.3.3 模拟结果	110
7.4 基于衬套的蠕变三维分析	111
7.4.1 温度载荷与应力载荷	111
7.4.2 模拟参数	113
7.4.3 三维蠕变模型	113
7.4.4 模拟结果	113
8 衬套合金的应力松弛特性	118
8.1 应力松弛试验	118
8.1.1 蠕变速率试验	118
8.1.2 金相试验	119
8.2 巴氏合金 SnSb11Cu6 稳态蠕变方程	120
8.3 理论分析	121
8.3.1 以诺顿关系稳态蠕变方程为对象的分析	121
8.3.2 以指数关系稳态蠕变方程为对象的分析	122
8.4 有限元分析	123
8.4.1 模拟过程	123
8.4.2 结果与讨论	124
参考文献	127
附录 油膜轴承巴氏合金蠕变寿命分析软件介绍	132

1 基础知识

1.1 油膜轴承概述

1.1.1 油膜轴承

油膜轴承是以专用油膜轴承油作为润滑介质的径向滑动轴承，也称为液体摩擦轴承，具有摩擦系数小、损耗低、刚性高等优点。油膜轴承广泛应用于钢铁、矿山、冶金、电力、航天、航空等系统的高、精、尖关键设备，其运行性能和服役寿命直接关系到设备的生产效率和安全。应用于重型机械中最常见的是轧机油膜轴承（见图 1-1 和图 1-2），是典型的重载油膜轴承，它安装在轧机支承辊上，堪称轧钢机械的“心脏”，其主要径向承载件是锥套和衬套。

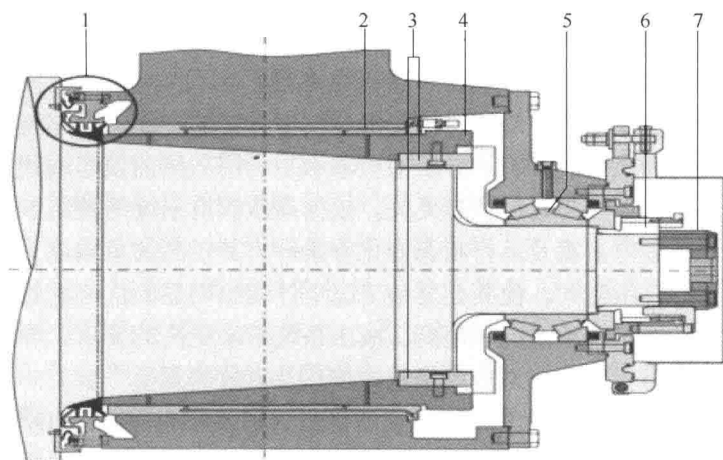


图 1-1 油膜轴承安装位置

1—密封装置；2—巴氏合金衬套；3—花键；4—薄壁锥套；
5—止推轴承；6—液压锁紧装置；7—辊端适配装置

油膜轴承的工作原理是：在轧制过程中，由于轧制力的作用，迫使轧辊轴颈移动，轴承中心与轴颈中心产生偏心，轴承与轴颈之间的间隙形成发散区和收敛区两个区域。当旋转的轴颈把具有黏度的润滑油从发散区带入收敛区时，沿轴颈旋转方向轴承间隙由大变小形成油楔，使润滑油产生压力。油膜内各点压力沿轧制方向的合力即为油膜轴承的承载力。当轧制力大于承载力时，轴颈中心与轴承

中心之间的偏心距增大。在收敛区内轴承间隙沿轴颈旋转方向变陡,最小油膜厚度变小,油膜压力变大,承载力变大,直至与轧制力达到平衡,轴颈中心不再偏移,油膜轴承与轴颈完全被润滑油隔开,理论上形成了全流体润滑^[1]。

油膜轴承分为动压油膜轴承、静压油膜轴承和静-动压油膜轴承三种形式^[2],根据配套机型和工艺流程的具体需求酌情选用。动压油膜轴承的成膜方式是基于流体动压润滑的基本原理,轴在最初的启动时,锥套与衬套之间产生固-液混合摩擦,其摩擦力使轴颈发生反方向的偏移,随着转速的升高,更多的油液进入轴承内并形成动态的油楔,同时油膜产生一定的压力。轴的转速稳定后,动态油压与轴承径向载荷达到力平衡,此时油膜压力的大小、区域分布都基本稳定,最大峰值区域接近出油口端,受偏心力的影响,轴的中心在轴转动方向的下方,转速越快,轴的中心点越接近轴承的几何中心^[3]。

动压油膜轴承因受到油膜生成条件的影响,通常在转速变化不大的不可逆轧机中使用,在轧辊频繁启动、制动和反转的情况下,不仅难以达到液体润滑的效果,而且油膜厚度及工作辊的相对位置都会发生异常的变化,操作流程也比较繁杂,轧制精度受到很大的影响。静压油膜轴承是利用高压油顶起轴颈,使其悬浮于轴承中,油膜的形成与运行状态无关,依据高压润滑系统的控制参数执行具体操作,所以比较适应重载及运行状态变化等条件,其较高的承载能力、较长的使用寿命、广泛的应用空间,使其在复杂工况下体现出明显的优势和特点,但连续运转的高压,必然对润滑系统和超高压液压系统带来更高的要求,导致整个系统对故障的承受能力较低,容易造成机械的损坏及事故的发生^[4]。

结合动压油膜轴承和静压油膜轴承的优点,研发出静-动压油膜轴承。设计中解决的关键问题是满足静压承载能力所需的油腔尺寸,同时必须保证动压承载区域的承载能力和面积。静-动压油膜轴承的工作特点是在轧辊低于极限速度、启动、制动等运行工况下,启动静压油辅助系统,支撑轧辊以达到运行要求,待稳定运行后,高压油停止泵送,使轴承进入动压润滑状态,减轻高压系统的负担,提高轧机的安全性和可靠性^[5]。

随着油膜轴承内部结构的不断提升和改进,控制系统也在日渐完善,其工作原理依然遵循滑动轴承的基础理论^[6]。正常工作必须满足形成润滑油膜的三个条件:上下表面构成收敛的楔形间隙、两表面间存在足够的相对速度并且运动方向要使腔内油液从楔形口的大口流入、小口流出,油液达到承载所需的黏度指标。

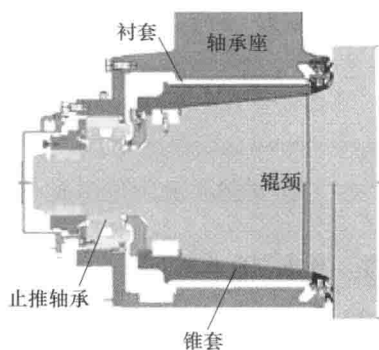


图 1-2 油膜轴承结构简图

油膜轴承因其承载需求,使用专用的润滑油液(油膜轴承油),轴颈的旋转速度根据实际轧制工况而定,其承载能力主要取决于形成的楔形间隙^[7]。大多数轧机油膜轴承属于低速或中速重载轴承,形成的油膜厚度很小,承载力很大。油楔间隙的大小发生微弱的变化都会对油膜轴承的整体性能产生极大的影响^[8]。衬套巴氏合金因其自身的材料特性,经历长期受载产生的时效变形远大于弹性变形,产生的变形量在很大程度上改变了油楔的相对间隙,带来一系列的连锁反应,削弱了承载能力,并且工作辊的相对位置也会发生改变。

轧机油膜轴承的失效形式有磨损、划伤、锈蚀、片状剥落、塑性流动、龟裂和烧熔等。磨损现象是在不理想的润滑状态下,锥套与衬套发生了非液体摩擦,造成两表面的金属损伤;划伤是由于侵入较硬杂质,在表面碾压出肉眼可见的沟痕;锈蚀的原因在于润滑油的品质不符合标准或轴承密封性不足使得轴承部件表面发生氧化直至失效;片状剥落是由于巴氏合金发生位错或结合力不足而产生的巴氏合金脱落;塑性流动多是因为巴氏合金在工作中载荷过大受到挤压,其边缘挤入油槽或挤出轴向端面;龟裂是巴氏合金层受到切向拉应力后出现损伤裂纹;烧熔是指巴氏合金的熔化,原因多是压力过大或轴承相对间隙异常。

从失效的形式和原因中可以看出,轴承的损伤与巴氏合金的使用状况密切相关,在设计与使用中,提高巴氏合金的可靠性是降低失效程度的重要手段。

1.1.2 衬套

油膜轴承的主要径向承载件是锥套和衬套。锥套通常使用高硬度的高合金钢为材料制作,且锥套在其工作中所受到的应力相对较小^[9]。在实际生产过程中锥套的损坏和失效相对较少。衬套则在承受重载和较大的冲击载荷下容易损坏,其结构和运行过程中的受力情况对油膜轴承最终的使用性能起着至关重要的作用^[10]。衬套的使用性能体现为工作中巴氏合金层与润滑油液的力学行为^[11],油膜压力使巴氏合金产生初始应变,巴氏合金长期受载会产生蠕变应变,改变了轴承的楔形间隙,对油膜形成及压力分布产生很大的影响,并且逐步增大的应变会使巴氏合金表现出宏观裂纹损伤甚至破坏。

油膜轴承衬套主要对旋转轴起支撑作用,主要由基体材料钢和合金衬层组成。轴的载荷主要由合金衬层内的硬质质点负载^[12]。当衬层磨损时,由于摩擦只会在轴承的部分表层上发生,轴与衬层的硬质质点接触,润滑油将会滞留于衬层受摩擦部分的内低凹处,该特点要求衬层材料不应该太软,否则因为受到轴承的压力,衬层材料会发生塑性流动或与轴黏结,衬层中的硬质质点将会被挤出,从而导致合金被烧熔,损坏轴颈^[13]。但是,比较硬的衬层材料也不合适,材料太硬不容易跑合。因此,轴承衬套需要由硬质基体金属与较软金属的结合组成。衬套衬层合金材料应该具备一定的强度和合适的塑性和韧性。锡基巴氏合金因其

良好的适应性、嵌入性和抗黏合能力，被选作油膜轴承符合条件的理想材料。

通过对国内一些轴承生产厂家和使用轴承的钢厂进行了解，发现目前油膜轴承在实际使用中衬套的主要损伤和破坏形式有磨损、划伤、片状剥落、塑性流动等，如图 1-3 所示。

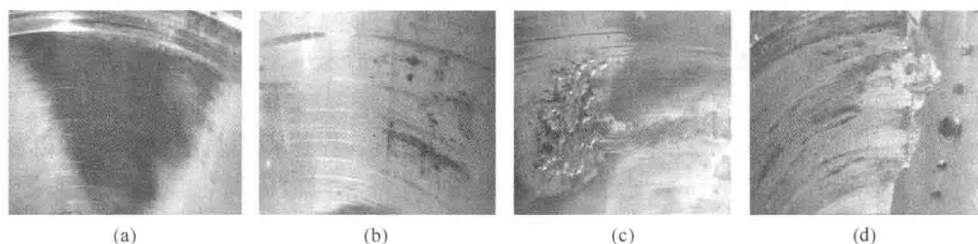


图 1-3 几种常见损坏形式

(a) 磨损；(b) 划伤；(c) 片状剥落；(d) 塑性流动

为了解衬套损伤和破坏的原因，笔者走访调研了国内油膜轴承的一些使用厂家。了解到衬套发生损坏的一些情况发生在生产过程中工人对于衬套的装配和运行过程中的操作失误，有些是由于实际生产过程中出现的一些极端状况，大部分是由于轴承衬套产品的结合性能问题导致的衬套失效。衬套在运行过程中发生损坏，将直接导致全部生产线停止运行，会对经济效益造成重大的损失。经常失效的则是衬套巴氏合金。每年全国各大钢厂都有相当数量的轴承衬套因各种原因损坏无法继续使用，衬套的失效必然给企业造成重大经济损失。巴氏合金属于低熔点合金，在轴承的工作环境下，合金失效大多数是由于疲劳破坏或巴氏合金摩擦接触而造成的，这是一种蠕变形式。巴氏合金的蠕变对油膜润滑性能有着不可忽略的负面效应，将会严重影响油膜轴承的使用寿命。

1.2 巴氏合金概述

1.2.1 巴氏合金

巴氏合金又名白合金或乌金，多用于相对低硬度轴转动的高耐磨材料，使用类型主要分为锡基合金和铅基合金，其中锡基合金的牌号有 SnSb4Cu4、SnSb8Cu4、SnSb8Cu8、SnSb11Cu6、SnSb12Pb10Cu4，铅基合金的牌号有 PbSb16Sn1As1、PbSb15Sn10、PbSb15Sn5、PbSb10Sn6。

铅基合金相对于锡基合金所需成本小，但是铅基巴氏合金的强度、硬度、耐腐蚀性、导热性都相对差一些，而且铅属于重污染金属，不利于对环境的保护，所以锡基合金的使用更为广泛，表 1-1 详细列出了锡基巴氏合金的化学成分及各元素所占的比分，其中主要元素为锡、铅、锑、铜。锑和铜的作用是提高合金强度与硬度，加入少量的砷是防止成分的偏析和晶粒的细化。

表 1-1 锡基巴氏合金的化学成分 (%)

牌 号	化 学 成 分									
	Sn	Pb	Sb	Cu	Fe	As	Bi	Zn	Al	Cd
SnSb4Cu4	余量	0.35	4.0~ 5.0	4.0~ 5.0	0.06	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05
SnSb8Cu4	余量	0.35	7.0~ 8.0	3.0~ 4.0	0.06	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05
SnSb8Cu8	余量	0.35	7.5~ 8.5	7.5~ 8.5	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05
SnSb11Cu6	余量	0.35	10.0~ 12.0	5.5~ 6.5	0.08	0.05	0.05	0.005	0.005	0.05
SnSb12Pb10Cu4	余量	9.0~ 11.0	11.0~ 13.0	2.5~ 5.0	0.08	0.10	0.08	0.005	0.005	0.05

注：表内没有标明范围的值都是最大值。

巴氏合金的组织特点决定着它的使用性能，在软相基体上均匀分布着硬相质点，软相基体使巴氏合金具有非常好的嵌入性、顺应性和抗咬合性，并在磨合后，软基体内凹，硬质点外凸，使滑动面之间形成微小间隙，成为贮油空间和润滑油道，有利于减小摩擦；上凸的硬质点起到支承作用，有利于承受载荷。巴氏合金广泛应用于轧钢机、涡轮机、内燃机、发电机组等大型高速或中低速重载设备，被公认为支撑轴承中轴衬及轴瓦的首选材料。

油膜轴承衬套普遍使用的巴氏合金以 SnSb11Cu6 和 SnSb8Cu4 两种牌号为主，其中 SnSb8Cu4 多用在低速重载的轴承。SnSb11Cu6 的组织为锡基 α -固溶体、 Cu_6Sn_5 和 SnSb；SnSb8Cu4 的组织为锡基 α -固溶体和 Cu_6Sn_5 。其中，锡基 α -固溶体为软相、SnSb 和 Sb_8Cu_4 为硬相。硬相数量占合金的 15%~30% 为宜；过少，合金较软、机械强度低、易变形；过多，合金硬而脆、韧性差、易脆裂^[14]。

1.2.2 巴氏合金蠕变

巴氏合金的熔点、硬度和屈服强度相对其他金属偏低，其物理性能见于表 1-2。在高速重载工作条件下，伴随着工作温度的升高，巴氏合金的力学性能会明显下降，承载能力和疲劳强度也会大幅度降低^[15]。其原因是与巴氏合金浇铸质量和工作时产生的微裂纹存在着密切的关系，微裂纹的产生取决于轴承的力学行为，即巴氏合金蠕变。蠕变行为主要受温度和时间的影响，还与工作环境有关，在长时间的运转状态下，严重影响着油膜轴承的稳定性和使用寿命。