

滚动轴承的 润滑脂润滑

GREASE LUBRICATION IN ROLLING BEARINGS

【荷兰】皮特 M 卢赫特 编著
《滚动轴承的润滑脂润滑》翻译组 译



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

非外借

滚动轴承的润滑脂润滑

Grease Lubrication in Rolling Bearings

【荷兰】皮特 M 卢赫特 编著

《滚动轴承的润滑脂润滑》翻译组 译

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是摩擦学系列丛书之一,包括滚动轴承的润滑脂润滑机理、润滑脂的组成和性能、润滑脂在轴承中的寿命、润滑脂流变特性和润滑脂老化、弹性流体动力接触下润滑脂油膜厚度计算、可靠性理论、润滑脂润滑对轴承寿命的影响以及润滑脂的润滑密封、工况监控、润滑脂测试标准和润滑脂润滑系统等内容。涵盖了国际上至今为止滚动轴承的润滑脂润滑的主要内容。

本书适用于从事滚动轴承设计、可靠性和维护以及润滑脂研发、应用等领域的设计师、工程师和相关技术人员参考,也可作为高等院校相关专业的高年级大学生及硕士研究生课程。

著作权合同登记 图字:01-2017-6370号

Grease Lubrication in Rolling Bearings

By Piet M. Lugt, ISBN:978-1-118-35391-2

Copyright © 2013 John Wiley & Sons, Ltd

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with China Petrochemical Press Co. LTD and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

中文版权为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

滚动轴承的润滑脂润滑 / (荷)皮特·M·卢赫特编著;
《滚动轴承的润滑脂润滑》翻译组译. —北京:
中国石化出版社, 2017. 9

书名原文: Grease Lubrication in Rolling Bearings
ISBN 978-7-5114-4692-3

I. ①滚… II. ①皮… ②滚… III. ①滚动轴承-润
滑脂-研究 IV. ①TH133.33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第237196号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米16开本23印张562千字

2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷

定价:120.00元

中文版序

滚动轴承是装备与制造业中关键的基础零部件，在高端装备中起到举足轻重的作用，甚至成为在高速铁路、高精密机床、风力发电机、飞机发动机领域中制约中国自主制造的堡垒。滚动轴承中大约 90% 是采用润滑脂润滑的，因润滑不当导致了 40% 左右的滚动轴承失效。将润滑脂作为滚动轴承除内圈、外圈、保持架、滚动体之外的第五大要素，结合滚动轴承的运行规律，揭示润滑脂的流动与润滑机理，将是提升滚动轴承性能的重要途径。

本书的原著者 Piet M. Lugt 博士是 SKF 公司的高级科学家，在滚动轴承的润滑领域有数十年的研发经验。这本书的写作也历经了近十年，汇集了作者与多位领域内研究者的成果，并结合了国际上相关学术界的前沿进展。这本译著的出版，对我国滚动轴承行业以及润滑脂润滑行业了解国际发展趋势有重要的意义。本书图文并茂，理论与实践并重，数据详实，为一本不可多得的，跨越轴承界、润滑界、学术界与工程界的重要文献。

本书的翻译者来自国内顶尖的润滑脂生产企业——中国石化润滑油天津分公司，也得到了 SKF(中国)的有关专家鼎力支持。业界的丰富经验和顶尖级工作者的合作，使本书的翻译内容切中原文，与原著的详实中肯相得益彰。这本译著的出版将对国内轴承与润滑领域的发展做出重要贡献。

随着我国走向制造强国进程的不断推进，希望能引进和看到更多这类产学研密切结合、理论与实践并重的优秀书籍。

中国科学院院士 雒建斌

2017 年 5 月 清华园

原著者序

随着经济的飞速发展，中国的轴承生产和润滑脂制造在世界上的地位变得越来越重要。高端的轴承和润滑技术为提高旋转设备性能和可靠性提供了有力的保障，进而为中国乃至全世界的节能减排做出了巨大贡献。

轴承和润滑脂分别隶属于机械和石化领域，特别是在中国，它们之间的相关性还很有限。和其他参考书相比，本书的独特之处在于成功将这两个领域的知识结合成有机的整体。本书可用于高等院校教材和相关行业技术人员的参考书。

本书的翻译工作需要译者在润滑脂润滑方面有很深的造诣，在此我非常感谢参与本书翻译工作的来自中国石化和斯凯孚(中国)的专家，他们都在轴承和润滑脂领域拥有数十年的研发、生产和应用经验。我很荣幸能够通过这样的机会将这本书介绍给更多的中国读者。

皮特 M 卢赫特
斯凯孚工程研究中心，荷兰

译者的话

经过三十多年高速工业发展，中国已经逐渐成长为世界制造基地，各行各业对轴承的需求不断提升，据中国轴承协会统计，2015年新增轴承190亿套，并且每年会以3%~5%的比例增加，质量水平也在不断提高。轴承质量水平是一个国家基础制造技术的体现，提高轴承技术水平会极大地节约能源，同时对提升下游机械设备的可靠性尤为重要。据统计，90%以上的滚动轴承采用润滑脂润滑，润滑脂的技术水平与轴承的技术水平息息相关。润滑脂从成分上看是一种石油化学产品，但从功能分析来说应该是一种摩擦润滑材料。中国润滑脂的产销量超过世界的三分之一，理所当然地应成为润滑脂生产强国。但是就目前而言，润滑脂组成的设计、产品质量以及应用水平还有待提高。再有，轴承的使用者对润滑脂和润滑机理以及应用知识的欠缺，也会造成换油周期短、过早失效、轴承寿命降低等问题。因此，有关滚动轴承的润滑脂润滑方面的知识传播是很有必要的。

近年来，中国轴承制造者和设计者对润滑脂在轴承中的润滑行为表示出极大的兴趣和关注。润滑脂作为滚动轴承第五大元件的认识逐渐为中国的轴承行业所接受，润滑脂的功能也成为轴承或主机设备的一部分，例如噪声性能、低温启动性能和低能耗。同时润滑脂研究和制造者也渴望了解和掌握润滑脂的理论基础、摩擦学特性、润滑机理、轴承相关的机械行为等知识，以提高润滑脂的研究进程，开发更为高端的润滑脂产品。基于此，我们将《滚动轴承的润滑脂润滑》一书介绍给大家，就理论和实践而言，此书是滚动轴承的润滑脂润滑方面最为全面的唯一一本专著。

《滚动轴承的润滑脂润滑》一书的作者 Piet M. Lugt 博士是具有深厚的摩擦化学背景和轴承设计科学家，是全球最大轴承企业 SKF 工程研究中心的资深专家。他在这本著作中索引了 640 篇公开发表的轴承润滑脂文献，几乎涵盖 2013 年以前的全球所有该领域的研究成果，这本书的出现对轴承润滑脂的润滑技术传播具有划时代的意义。该著作作为机械轴承行业和石油加工行业架起了一个桥梁，一则作为轴承设计者走向润滑脂润滑领域提供渠道，在设计轴承过程中提高对润滑脂组成和润滑机理的理解，选对选好润滑脂这个轴承的重要部件；同时润滑脂研究者借助这本书可以掌握润滑脂在轴承中的行为和功能，理解润滑脂在轴承运行可靠性中的影响因素，加快轴承润滑脂新产品的研发速度都是有益的。

本书的翻译组由轴承和润滑脂领域的有关专家组成，他们分别来自全球著名的轴承企业 SKF 轴承公司和全球著名的润滑脂企业中国石化润滑油有限公司天津分公司。其中第 1~8 章由刘庆廉翻译，第 9~12 章由冯强翻译，第 13~15 章由刘建龙翻译，第 16、17 章由石俊峰翻译。整个翻译工作的校对和核查工作量较大，专业性强，由张国江、韩波及吴宝杰完成。宋静和中国石化润滑油润滑脂研究院轴承所的技术人员对其中的文章进行了文字整理工作。在本书的翻译工作中，原书作者 Piet M. Lugt 博士给予全面支持，并提供了原著的勘误表；中国石化润滑油有限公司天津分公司、斯凯孚(中国)销售有限公司、斯凯孚全球技术中心给予大力支持，在此一并表示感谢，也特别感谢中国科学院院士、清华大学机械工程系主任雒建斌教授在百忙之中为本书作序。

由于翻译组的水平有限，有纰漏之处敬请读者多多赐教。

翻译组

《滚动轴承的润滑脂润滑》

翻 译 组

翻译组成员：

刘庆廉 吴宝杰 冯强 石俊峰 刘建龙

中国石化润滑油有限公司天津分公司

张国江 斯凯孚(中国)销售有限公司

韩波 宋静 斯凯孚全球技术中心

前 言

技术发展和轴承的开发是齐头并进的。世界上有超过 500 亿套轴承随时在运转着。它们是除了螺母和螺栓以外最为广泛应用的机械零件，在许多应用中对轴承性能的要求不断增加。轴承承担负荷的能力近年来获得巨大提高，但是能量损失却有所降低。这意味着在实践中对于相同型号和尺寸的轴承应用时间会更长，同时摩擦扭矩会更低。在轴承中长的使用寿命和低的摩擦力矩只能通过合适的润滑剂来实现，也就是说通过建立润滑油膜把滚动体和套圈分开，以至于避免粗糙接触。对于润滑油润滑，使用经典的弹性流体动力润滑模型可以很容易计算润滑油膜的厚度。对于润滑脂而言，这个过程变得很困难。这里有几个因素起作用，如基础油的分离、基础油的流动和贫油，而且润滑脂的机械和热老化及其成分同样影响润滑油膜的形成能力。

润滑脂的研究主要有 3 个方面：第一是研发具有长寿命和可以应用于低温和高温高速情况下的润滑脂；第二是研发预测工具，比如数字模型和专家系统；第三是由设计轴承结构体系来增加润滑脂寿命，例如由此优化润滑脂的流动性。所有这些方面都要求对润滑脂的润滑机理有一个基本的理解。

轴承工业对润滑脂润滑剂有特殊的兴趣。超过 90% 的滚动轴承用润滑脂润滑并且密封后完成一生的运转。实际上类似于滚动体和密封件，润滑脂也成为轴承的一个元件。另外轴承的内部设计对润滑脂的性能也有一定影响。这本专著提供了现有的关于润滑脂润滑不同方面知识的综述，以及现有存在于公开发表的文献中有关状态模型的情况。

换言之，针对滚动轴承润滑，这本书就润滑脂润滑剂的物理和化学方面进行了论述，其目的是服务于石油和轴承工业的研究及其工程人员，也可以用于在研究生课程中对此有兴趣的人们。

我引用了包括润滑脂、滚动轴承、密封件和润滑系统等不同领域专家的信息和成果。下面的人员在不同章节贡献很多材料：Dave M. Pallister 完成了第 3 章润滑脂组成和第 8 章润滑脂老化；Pieter Baart 完成了第 7 章润滑脂分油和第 14 章的密封；Marco T. van Zoelen 和 Cornelis (Kees) H. Venner 完成了第 9 章和第 10 章的膜厚；John H. Tripp 和 Slavco Velickov 完成了第 11 章的润滑脂动力学；Antonio Gabelli 完成了第 13 章轴承寿命部分；Raimund Stockhammer 和 Paul Conley 完成了第 17 章润滑系统。John H. Tripp 是第 12 章可靠性的主要作者。第

16 章的很多原文来源于 Ben Huiskamp。

我请了很多专家来审核这本书的部分内容；Bas v. d. Vorst (流变性)，Sebastien Blachere (可靠性)，Rihard Pasaribu (润滑脂老化)，John Tripp (润滑脂流动)，Pieter Baart (流变性)，Brian Murray 和 Alan Thomson (状态监测和维护) 和 Dick Meijer (润滑脂组成)。Marylou Rood 创建了很多图表，Walter Verhaert 编辑了所有的文献。

非常感谢 SKF 专家组的同事们 Alejandro Sanz、Håkan Lindgren、Domenico Bosco、Frank Berens、Frank Fiddelaers、Victoria van Camp、Gerwin Preisinger、Ferdinant Schweitzer、Filip Rosengren、Göran Lindsten、Cornelia Haag、Jürgen Kreutzkaemper、Risto Kuukkanen、Rihard Pasaribu 和 Steve Lane 等对文章内容关键性的审查和建设性的意见。

我想对 Alejandro Sanz 发起这个项目和在整个写作过程中他的一直支持表达我的真诚谢意。

我特别鸣谢 Alexander de Vries、Alan Begg、Edward Holweg 和 Eva Karlsson 等人，因为他们批准我开始这一工作，同时感谢 Alexander de Vries 对最终文件的批准。

皮特 M 卢赫特
SKF 工程研究中心，荷兰

系列前言

全球有超过 200 亿套轴承采用润滑脂润滑，并运转在各种各样的机械设备上。经验表明大约有超过 80% 提前失效的轴承来源于润滑问题。这是一本期待已久的用于陈述以滚动接触轴承润滑脂润滑为重要主题的书籍。

这本书揭示了关于润滑脂润滑机理的讨论，然后描述了润滑脂的配方和性能，润滑脂在轴承中的寿命，润滑脂流变特性和润滑脂老化。文章进一步用弹性流体动力接触计算了润滑脂油膜厚度，开始于理论分析，结束于温度对润滑脂动力学的影响。接下来的章节解释了可靠性理论，这个理论用润滑脂润滑对轴承寿命影响的描述进行佐证。在单独的章节中也讨论了润滑脂的润滑密封。这本书以工况监控、润滑脂测试标准和润滑脂润滑系统等来结束全部内容。在这本书中，感兴趣的读者可以发现有关润滑脂和润滑脂润滑滚动轴承的所有信息。

这本书的特点在于它的全面性。通过实际应用诠释了润滑脂特性的原理和滚动轴承润滑，过程中突出了轴承寿命和可靠性。作者深入地研究了主题，同时也涉猎了相关领域，并用通俗易懂的方式展现给大家。

基于这本书的内容和细节层次，它可以推荐于摩擦学、机械设计、可靠性和维护等领域的高年级大学生及硕士研究生课程。实践中的工程师和设计师们也会发现这本书非常具有参考价值。这本书为 Wiley 摩擦学系列书籍添光放彩。

Gwidon Stachowiak

University of Western Australia

符号表

a	=	加速度		$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
a	=	Walther 方程中的常数	第 3 章	$[\text{cSt}]$
a	=	球形粒子的直径	第 14 章	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
a_x, a_y	=	Hertz 接触区半径		$[\text{m}]$
a^+, a^-	=	承压区域的边界位置	第 9 章	$[\text{m}]$
a_{slf}	=	寿命修正系数	第 13 章	$[-]$
A	=	速度因数 $A = b_f \times n \times d_m$	第 4 章	$[\text{r} \cdot \text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
A	=	表面积		$[\text{m}^2]$
AW	=	抗磨(添加剂)	第 13 章	$[-]$
b_f	=	轴承系数	第 4 章	$[-]$
b_{brg}	=	轴承系数	第 13 章	$[-]$
b	=	稠化剂纤维直径	第 7 章	$[\text{m}]$
$b_{1,2}$	=	润滑系数常数	第 13 章	$[\text{m}]$
b	=	密封件唇口接触区的膜宽	第 14 章	$[\text{m}]$
B	=	轴承宽度		$[\text{m}]$
Bin^*	=	宾汉数 $Bin^* = \frac{\tau_y}{K} \left(\frac{D}{2u_{av}} \right)^n$	第 6 章	$[-]$
c	=	接触区上两点的相互距离	第 9 章	$[\text{m}]$
c	=	滚动接触应力-寿命指数	第 13 章	$[-]$
c	=	Walther 方程中的常数	第 3 章	$[\log_{10} \log_{10} \text{cSt} / \log_{10} K]$
$c_{1,2}$	=	污染系数常数	第 13 章	$[-]$
C	=	相关函数	第 11 章	$[-]$
C	=	滚动轴承的动载荷	第 13 章	$[\text{N}]$
C	=	含量	第 13 章	$[\%]$
C_s	=	硫含量	第 13 章	$[\%]$
CEY	=	屈服点的计算机评定	第 5 章	$[\text{Pa}]$
d	=	轴承内径		$[\text{m}]$
d	=	一个吸引子的尺寸	第 11 章	$[-]$
d_c	=	关联维度	第 11 章	$[-]$
d_d	=	浸湿试验中的水滴直径	第 13 章	$[\text{m}]$
d_e	=	弹性变形	第 13 章	$[\text{m}]$
d_r	=	滚子直径	第 10 章	$[\text{m}]$

d_{rr}	=	两个滚子间的距离	第 10 章	[m]
d_m	=	节圆直径	第 10 章	[m]
D	=	轴承外径或管径	第 6 章	[m]
D	=	扩散系数	第 13 章	[$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
D	=	Deborah 数	第 5 章	[-]
e_1	=	屈服能量密度	第 5 章	[Pa]
E	=	杨氏模量		[Pa]
E_c	=	椭圆积分	第 13 章	[-]
EHL	=	弹性流体动力润滑	第 9 章	[-]
E'	=	当量弹性模量	第 9 章	[Pa]
		$\frac{2}{E'} = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}$		
E	=	活化能	第 3 章	[$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$]
EP	=	极压(添加剂)	第 13 章	[-]
f	=	单位体积力	第 9 章	[$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$]
f	=	稠化剂体积分数	第 7 章	[-]
f	=	达西摩擦因子 $64/Re$	第 6 章	[-]
f	=	概率密度函数	第 12 章	[s^{-1}]
f_0	=	初始纤维体积分数	第 7 章	[-]
f_{\max}	=	最大纤维体积分数	第 7 章	[-]
fm_0	=	初始纤维体积分数	第 7 章	[-]
f_s	=	$f_s = \rho\omega^2 r \frac{\partial r}{\partial s}$	第 9 章	[$\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$]
F	=	载荷	第 9 章	[N]
F	=	累积分布函数	第 12 章	[-]
F_a	=	轴向载荷		[N]
F_r	=	径向载荷		[N]
$F_{c,r}$	=	颗粒受到的径向力	第 14 章	[N]
F_c	=	椭圆积分	第 13 章	[-]
$F_{d,r}$	=	颗粒受到的径向阻力	第 14 章	[N]
F_{body}	=	体积力	第 7 章	[N]
F_{friction}	=	摩擦力	第 7 章	[N]
F_{lip}	=	密封唇受力	第 14 章	[N]
g	=	重力加速度	第 7 章	[$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
G	=	剪切模量	第 5 章	[Pa]
G'	=	储能模量	第 5 章	[Pa]
G	=	工况参数	第 14 章	[-]

G''	=	损耗模量	第 5 章	[Pa]
G^*	=	复合剪切模量 $G^* = G' + iG''$	第 5 章	[Pa]
G	=	轴承质量	第 4 章	[kg]
G	=	材料参数 $G = \alpha E'$	第 9 章	[-]
G_a	=	Sisko 模型中管道压力降因数	第 6 章	[-]
G_p	=	补充润滑的润滑脂量	第 4 章	[g]
h	=	油膜厚度	第 9 章	[m]
h	=	间隙的高度	第 5 章	[m]
h	=	风险函数(=p)	第 12 章	[s ⁻¹]
k	=	渗透性	第 7 章	[m ²]
$h_{cs,0}$	=	初期贫油油膜厚度	第 9 章	[m]
h_c	=	中心油膜厚度	第 9 章	[m]
h_m	=	最小油膜厚度	第 9 章	[m]
h	=	普朗克常数(6.63×10^{-34})	第 3 章	[J · s]
h_d	=	油滴的高度	第 4 章	[m]
h_{00}	=	油膜厚度方程中的参数	第 9 章	[m]
h	=	油膜厚度	第 9 章	[m]
\tilde{h}	=	自由表面层厚度	第 9 章	[m]
\tilde{h}_∞	=	平均油层厚度(整个滚道)	第 9 章	[m]
$\tilde{h}_{0,\infty}$	=	中心线处初始油膜厚度	第 10 章	[m]
$h_{c,0}$	=	初始中心油膜厚度	第 10 章	[m]
\tilde{h}_i	=	初始油层厚度	第 9 章	[m]
h_{eff}	=	全浸入润滑中心油膜厚度	第 9 章	[m]
h_{cs}	=	贫油润滑中心油膜厚度	第 9 章	[m]
h_{EHL}	=	流体动力润滑油膜厚度	第 9 章	[m]
h_D	=	Damiens 模型下贫油润滑状态中心膜厚	第 10 章	[m]
h_R	=	残余层膜厚	第 9 章	[m]
h_T	=	总膜厚	第 9 章	[m]
h_Z	=	Van Zoelen 模型下贫油润滑状态中心膜厚	第 10 章	[m]
H	=	Shannon 熵模型	第 11 章	[-]
H	=	累计风险函数	第 12 章	[-]
k	=	玻尔兹曼常数 $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K 或 $k = 8.62 \times 10^{-5}$ eV/K		
k	=	渗透性	第 7 章	[m ²]

k	=	反应速率系数, 单位取决于反应级数		
k_f	=	用于 GFT 模型的轴承系数	第 4 章	[-]
K	=	水存在情况下载荷校正系数	第 13 章	[-]
K	=	润滑脂稠度指数	第 5 章	[Pa · s ⁿ]
		$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n$		
K	=	塑性黏度 $\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}$	第 5 章	[Pa · s]
K_0	=	常压下润滑脂稠度指数	第 9 章	[Pa · s ⁿ]
K	=	Walther 方程中的常数	第 3 章	[log ₁₀ log ₁₀ cSt]
K	=	润滑脂稠度指数	第 5 章	[Pa · s ⁿ]
		$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n + \eta_b \dot{\gamma}$		
K'	=	润滑脂稠度指数	第 5 章	[Pa · s ⁿ]
		$\tau = [\tau_y^n + (K' \dot{\gamma})^n]^{1/n}$		
l_t	=	滚道总长度	第 9 章	[m]
L_p	=	轴承百分数寿命	第 12 章	[MRevs]
L_p	=	润滑脂百分数寿命	第 12 章	[hour]
L_{pq}	=	置信限为 q 的百分数寿命	第 12 章	[hour]
\bar{L}	=	平均寿命	第 12 章	[hour] 或 [MRevs]
L_p	=	在温度 p 时的参考寿命	第 4 章	[hour] 或 [MRevs]
L	=	无量纲材料参数	第 9 章	[-]
		$L = \alpha E' \left(\frac{E' R_x}{\eta_0 u_s} \right)^{-\frac{1}{4}}$		
L	=	长度		[m]
L_{entr}	=	入口长度	第 6 章	[m]
\hat{L}_p	=	L_p 的最大似然估计	第 12 章	[hour] 或 [MRevs]
L'_p	=	L_p 的平均值无偏估计	第 12 章	[hour] 或 [MRevs]
L''_p	=	L_p 的中值无偏估计	第 12 章	[hour] 或 [MRevs]
\tilde{L}_p	=	分组淘汰试验中 \hat{L}_p 的估计	第 12 章	[hour] 或 [MRevs]
\mathcal{L}	=	似然	第 12 章	[s ⁻¹] 或 [-]
m	=	质量		[kg]
m	=	相空间的维度	第 11 章	[-]
m	=	剪切稀化参数 $m = 1/n$	第 6 章	[-]
m	=	法向压力系数	第 5 章	[-]
M	=	无量纲载荷参数	第 9 章	[-]
		$M = \frac{F}{E' R_x^2} \left(\frac{E' R_x}{\eta_0 u_s} \right)^{\frac{3}{4}}$		
M	=	力矩	第 5 章	[N · m]
M	=	相对分子质量	第 3 章	[-]

M_{oil}	= 基础油的质量	第 8 章	[kg]
N	= 阿伏加德罗常数(6.02×10^{23})	第 3 章	[mol ⁻¹]
NN	= 非牛顿	第 5 章	[-]
N_1	= 法向应力差	第 5 章	[Pa]
N_2	= 法向应力差	第 5 章	[Pa]
n	= 剪切稀化系数	第 5 章	[-]
	$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n + \eta_b \dot{\gamma}$		
n	= 过度碾压次数	第 13 章	[-]
n	= 旋转速度		[r · min ⁻¹]
n	= 长度 L 上的测量点总数	第 13 章	[-]
n	= 轴承数量	第 12 章	[-]
n_0	= 测试轴承数量	第 12 章	[-]
n_c	= 轴承内接触区的数量	第 10 章	[-]
n_{max}	= 脂润滑的极限转速	第 4 章	[r · min ⁻¹]
n_{opt}	= 油滴脱离内圈滚道的速度	第 4 章	[r · min ⁻¹]
nd_m	= 速度因数 $n \times d_m$	第 4 章	[mm · r · min ⁻¹]
p	= 寿命公式中的指数	第 13 章	[-]
p	= 压力		[Pa]
p	= 瞬时失效概率	第 13 章	[s ⁻¹]
p_{body}	= 单元体积外部主体力	第 7 章	[N · m ⁻³]
$p_{friction}$	= 单元体积摩擦力	第 7 章	[N · m ⁻³]
Δp	= 压差	第 6 章	[Pa]
p_h	= 最大赫兹压力	第 9 章	[Pa]
p_r	= Roelands 方程中的常数(1.962×10^8)	第 3 章	[Pa]
p_{NN}	= 非牛顿流体的压力	第 6 章	[Pa]
P	= 当量载荷	第 13 章	[N]
Pe	= 佩克莱特数	第 5 章	[-]
	$Pe = \frac{6\pi\eta a^3 \dot{\gamma}}{kT}$		
Pen	= 锥入度	第 5 章	[1/10mm]
P_u	= 疲劳载荷极限	第 13 章	[N]
\hat{q}_y	= 流向滚道两侧的油的质量	第 9 章	[kg · s ⁻¹]
q	= 流动速度	第 7 章	[m · s ⁻¹]
q_x, q_y	= 单位长度的体积流量	第 9 章	[m ² · s ⁻¹]
q	= 比质量流量(单位长度的质量流量)	第 9 章	[kg · s ⁻¹ · m ⁻¹]
q	= 流动速度	第 7 章	[m · s ⁻¹]

\hat{q}	= 流向滚道两侧的油的质量	第 9 章	[kg · s ⁻¹]
q	= 百分比置信区间的主元函数	第 12 章	[-]
Q	= 流速	第 5 章	[m ³ · s ⁻¹]
r	= 混合油层与未压缩全浸入膜厚的比例	第 9 章	[-]
rev	= 旋转		[-]
r	= 半径		[m]
r	= 纤维半径	第 7 章	[m]
r	= 失效数量	第 12 章	[-]
R	= 较大半径		[m]
R	= 理想气体常数		[J · mol ⁻¹ · K ⁻¹]
R	= 可靠性	第 12 章	[-]
R	= β 的精度: $R = \frac{v_{0.95}(r,n)}{v_{0.05}(r,n)}$	第 12 章	[-]
$Roller$	= 锥入度的变化(滚筒安定性)	第 8 章	[1/10mm]
Re	= 雷诺数 $Re = \frac{\rho\mu D}{\eta}$	第 6 章	[-]
Re_{av}	= 用 η_w 计算的雷诺数	第 6 章	[-]
R_q	= 粗糙度的参数	第 13 章	[m]
	$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z^2 dx}$		
R_{sk}	= 粗糙度的参数	第 13 章	[-]
	$R_{sk} = \frac{1}{nR_q^3} \sum_{i=1}^{i=n} z_i^3$		
R_o	= 外侧半径		[m]
R_c	= 密封接触的径向位置	第 14 章	[m]
s	= 在轴对称表面的坐标	第 10 章	[m]
$S(t)$	= 时间 t 时的轴承幸存概率	第 12 章	[-]
t	= 时间		[s]
t_{tr}	= 转化时间	第 10 章	[s]
t_c	= 特征时间 $t_c = \eta/G$	第 5 章	[s]
T_0	= 在 η_0 时测量的温度	第 3 章	[K]
T	= 温度		[K]
T_c	= 流体动力润滑膜中心温度	第 9 章	[K]
$T(^{\circ}C)$	= 摄氏温度	第 3 章	[$^{\circ}C$]
T_g	= 玻璃态温度	第 3 章	[K]
u	= 速度		[m · s ⁻¹]