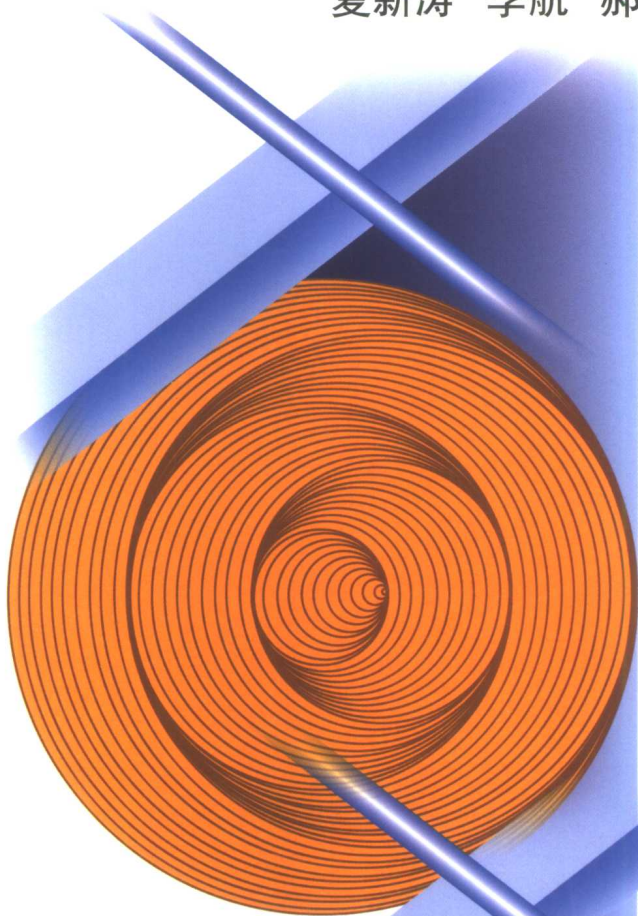


无心磨削的理论与实践

夏新涛 李航 郝钢 著



国防工业出版社

National Defence Industry Press

<http://www.ndip.com.cn>

无心磨削的理论与实践

夏新涛 李航 郝钢 著

国防工业出版社

·北京·

54

41
业

图书在版编目(CIP)数据

无心磨削的理论与实践/夏新涛等著. —北京:国防
工业出版社, 2002. 10

ISBN 7-118-02802-9

I. 无... II. 夏... III. 无心磨削 IV. TG580.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007594 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 7¼ 185 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 12.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

作者简介



夏新涛, 湖南衡东人, 1957 年生于河南新乡。现为洛阳工学院机电工程系教授, 轴承研究所所长, 中国机械工程学会高级会员, 河南省机械工程学会理事, 河南省重点学科机械学学科学术带头人, 轴承杂志社特约编委。主要从事滚动轴承设计与制造、精密测量与数据处理以及计算机应用等方面的教学和研究工作。获得河南省机械工业科技进步一等奖 1 项、河南省教学改革优秀成果二等奖 1 项, 主持和参与完成国家自然科学基金项目 1 项、省部级自然科学基金项目 6 项, 在国内外学术期刊和学术会议上发表论文 60 余篇, 出版学术专著 2 部、教材 1 部。



李航, 安徽蚌埠人, 1962 年生于河南洛阳。工学硕士, 中国机械工程学会高级会员, 现为洛阳工学院机电工程系副教授。主要从事专用设备的设计与制造及先进制造技术的教学和研究工作。曾获得河南省机械工业科技进步一等奖和二等奖各 1 项、机械工业部优秀教材二等奖 1 项, 主持或参与完成国家自然科学基金项目 2 项、省部级自然科学基金项目 2 项、河南省科技攻关项目 2 项, 在国内外学术期刊和学术会议上发表论文 10 余篇, 出版教材 1 部。



郝钢, 1959 年 9 月 1 日出生, 洛阳工学院兼职教授, 鞍山市工商联合会(总商会)副会长, 鞍山市工业经济联合会副会长, 鞍山市劳动模范。现任鞍山钢铁轴承有限公司董事长、党委书记。

序

无心磨削是一种传统的重要的加工技术。多年来,在制造技术领域形成了自己独特的工作原理和方法,由于其特殊性,对它的研究比较少,有关方面的文章和资料也不多,而专著更是少见。夏新涛、李航、郝钢等教授根据自己多年的教学和科研工作,在广泛调研国内外相关发展状况的基础上,写成了本书,值得庆贺。

该书有以下一些特点:1) 重视理论分析的广度和深度,同时又注重实验研究和生产实践,使理论与实践密切结合;2) 论述了无心磨削的一般机理,更重视从运动学和动力学的高度来进行分析,突出了动态特性,准动力学成圆理论,能够深入浅出有层次;3) 不仅从无心磨削的单元技术进行了阐述,而且从系统的角度进行了综合评价,优化设计等研究;4) 在内容上既注重基础知识,又着重反映近年来的科研成果,因此,具有先进性和实用性;5) 一般和典型相结合,通过圆锥滚子的无心超精研将无心磨削的整个技术贯穿起来。

本书的出版,对制造技术的发展具有重要意义,读者肯定会有所受益。该书可供广大从事机械制造工程的工程技术人员和大学教师参考,也可作为研究生的教材或教学参考书。

王先逵

2001.10.18

前 言

无心磨削的工作原理早在 1853 年就已初步形成。一百多年来,国内外许多专家和学者对无心磨削和无心磨床的技术与理论中的诸多问题进行研究,取得了一系列很有价值的成果。

多年来,因工作的需要,我们对无心磨削中一些重要问题进行了比较深入和系统的理论与实验研究,经归纳整理,形成此书,献给新世纪。

本书共有八章,第一章介绍无心磨削的基本概念和发展状况。第二章在总结了各种无心磨削成圆理论的基础上,提出“准动力学成圆理论”,并进行了相应的实验研究和计算机模型仿真研究。第三章以新的数学方法建立工件的运动模型,提出工件“移动稳定性”和“转动稳定性”两个新概念,从而揭示了无心磨削的力学本质。关于用硬砂轮进行无心粗磨的实验研究,为这两个新概念提供了有力的论证。第四章重点研究无心磨削系统的动态性能问题,内容包括:四自由度动态特性模型及其控制原理,无心磨削的动态成圆稳定条件以及稳定性的计算方法,动态尺寸精度的数学模型、评价方法以及实验研究的例子。第五章提出最新的导轮修整模型。第六章研究无心磨削系统的计算机诊断与控制原理,进一步论证“准动力学成圆理论”的有效性,还以模糊数学和数理统计为基础,给出无心磨削系统的综合评价方法。第七章研究无心磨削工艺系统的最优化问题,涉及到多目标模糊优化原理、多指标正交实验原理和最优解评价的模糊集合理论。第八章论述无心超精研中,导轮的设计和制造以及工件的运动稳定性等基本问题。

本书由夏新涛、李航和郝钢联合撰写,夏新涛统稿。

清华大学王先逵教授详细全面地审阅了本书,提出了许多宝

VI

贵意见,并为本书作序,本书的写作得到周福章教授、周彦伟教授、聂松涛副教授和郑远中高工的大力支持,国防工业出版社的编辑为出版本书付出了艰辛的劳动,谨在此一并致谢!

许多国内外专家和学者的研究成果(见本书参考文献)为我们的写作提供了极大的帮助,特此致谢!

感谢我们各自的家人对我们的工作所给予的理解和支持!

无心磨削的理论与实践是丰富多彩的,远非本书所能概括,书中的缺点和错误也在所难免,恳请读者批评指正。希望通过我们共同的努力,使本书更加完善。

作 者

2001年9月15日

内 容 简 介

这是一本阐述无心磨削技术基础的学术专著。本书较系统地介绍了无心磨削的基本概念和原理,详细阐述了成圆理论、工艺系统的动态性能、工件的运动特性、工艺系统的诊断控制与综合评价、导轮的修整、工艺参数的最优化设计原理以及无心超精研方法等内容。

本书可供轴承、拖拉机、汽车、机床、工具、油泵油嘴、纺织、航空、电机和仪表等各类机械制造的科技人员阅读,也可作为机械类专业的研究生和本科生的参考书。

目 录

第一章 概论	1
1.1 无心磨削的基本概念	1
一、无心磨削的基本原理	1
二、无心磨削的特点	3
三、无心磨削的工作方法	5
1.2 无心磨床的分类	8
1.3 无心磨削的发展历史概况	9
一、无心磨床的发展与工作图式的演变	9
二、我国无心磨床的发展	13
三、无心磨削理论研究概述	14
1.4 无心磨削的发展趋势	15
第二章 无心磨削的成圆理论	17
2.1 概述	17
一、成圆的概念	17
二、定位误差和合成误差	18
三、不同支承磨削形式的成圆问题	19
四、各种成圆理论	20
2.2 自身定位的几何成圆理论	22
一、几何关系	22
二、几何成圆过程	23
三、支承式无心磨削的情形	28
2.3 非自身定位的几何成圆理论	29
2.4 静态成圆理论简介	32
2.5 准动力学成圆理论	33
一、准动力学谐波生成理论	34

二、实验结果分析	39
三、计算机仿真	40
四、小结	44
第三章 无心磨削的运动特性	45
3.1 概述	45
3.2 工艺系统与工件运动的关系	48
一、导轮的状态	48
二、砂轮的状态	49
三、托板的状态	49
3.3 工件运动学	49
一、导轮的运动	49
二、工件的运动	49
三、砂轮的运动	51
四、工件的相对速度及其方向余弦	51
3.4 工件受力状态	53
一、空间力系	53
二、空间力系求解	54
3.5 运动特性分析	55
一、 $\sum Y$ 和 $\sum M_Y$ 的意义	55
二、两个基本概念	56
三、工艺参数对 $\sum Y$ 的影响	57
四、工艺参数对 $\sum M_Y$ 的影响	58
3.6 运动特性的实验验证与应用	59
一、问题及其分析	59
二、措施	60
三、结果	61
第四章 无心磨削工艺系统的动态性能	62
4.1 概述	62
4.2 无心磨削工艺系统的动态特性	63
一、无心磨削工艺系统的振动模型	63
二、无心磨削工艺系统的运动方程与固有频率	65
三、无心磨削工艺系统的动态特性	69

四、无心磨削工艺系统动态特性的控制	73
4.3 无心磨削工艺系统的动态稳定性	80
一、动态稳定性的基本概念	80
二、支承式无心磨削再生振动的产生	82
三、支承式无心磨削的稳定条件	84
四、磨削稳定性的计算方法	89
五、支承式无心磨削动态稳定性的实验研究	91
六、外圆无心磨削的动态稳定性	93
七、无心磨削稳定性区域的计算机辅助分析	94
4.4 无心磨削的动态尺寸精度	100
一、动态尺寸精度的概念	101
二、动态尺寸精度的数学模型	110
三、变值系统误差规律的确定	113
四、无心磨削尺寸精度的评价与工艺控制	115
五、动态尺寸精度评价的实验研究	120
第五章 导轮的修整	123
5.1 概述	123
5.2 导轮的理想曲面	124
一、接触条件	124
二、接触线方程	125
三、导轮理想曲面	126
四、参数 L 和 h 的计算	128
五、导轮理想截面半径的求解步骤	129
5.3 导轮理想曲面的近似修整	129
一、导轮的近似修整方法	129
二、导轮修整参数的选择	131
第六章 无心磨削工艺系统的诊断、控制与 综合评价	134
6.1 概述	134
6.2 圆度误差的诊断与控制	135
一、谐波控制线	135
二、谐波诊断原理	137

三、谐波控制原理·····	138
四、谐波诊断与控制的实验研究·····	140
6.3 无心磨削系统加工精度的综合评价 ·····	143
一、加工精度综合评价概述·····	143
二、加工精度的构成和评价规则·····	143
三、加工精度的实验安排与综合评价计算·····	145
四、无心磨削系统加工精度综合评价的实验实例·····	147
第七章 无心磨削系统工艺参数的最优化方法 ·····	150
7.1 概述 ·····	150
7.2 无心磨削工艺参数的多目标模糊优化设计 ·····	151
一、优化空间与目标·····	151
二、约束条件的建立·····	153
三、问题的模糊化·····	156
四、最优水平的二级模糊综合评价·····	159
五、优化的数值解法·····	162
六、实例分析·····	164
7.3 无心磨削工艺参数的正交实验方法 ·····	165
一、实验条件及方案·····	165
二、预选较优目标·····	167
三、最优目标的确定·····	172
7.4 基于准理想解的最优解模糊评价原理 ·····	174
一、问题的提出与分析·····	174
二、基于准理想解的最优解评价方法·····	177
三、最优解评价的应用实例·····	178
第八章 无心超精研方法 ·····	180
8.1 概述 ·····	180
8.2 无心超精研螺旋导辊的理论廓形及其简化 ·····	181
一、符号·····	181
二、工作原理·····	182
三、导辊廓形方程·····	182
四、有关参数的确定·····	185
五、导辊廓形的简化·····	187

六、计算实例·····	188
8.3 加工螺旋导辊的砂轮截形设计·····	189
一、砂轮理论截形·····	189
二、边界条件·····	193
三、砂轮简化截形·····	195
四、导辊误差·····	196
五、计算实例·····	199
8.4 无心超精研的运动特性·····	200
一、工作原理·····	200
二、运动学·····	201
三、动力学·····	207
四、接触角对转动特性的影响·····	213
参考文献·····	215

第一章 概 论

1.1 无心磨削的基本概念

一、无心磨削的基本原理

无心磨削是一种高生产率的精密加工方法,它是在无心磨床或带无心夹具(例如电磁无心夹具)的内、外圆磨床上进行的。在外圆无心磨床上磨削工件外圆表面,叫做无心外圆磨削(或外圆无心磨削);在带无心夹具的内、外圆磨床上磨削工件内、外表面,称为支承式无心磨削(或履式无心磨削)。无心外圆磨削和支承式无心磨削统称为无心磨削。

图 1-1 是无心磨床的一种形式。其主要部件有砂轮部件 2、导轮部件 5、进给机构 6、托板 3、砂轮修整器 1、导轮修整器 4 和床身 7 等。本书主要研究砂轮、导轮部件和托板。在磨削时,这三大部件和工件具有一定的相对几何位置,如图 1-2 所示。

在图 1-2 中, W 表示工件, G 表示砂轮, C 表示导轮, B 表示托板。砂轮的作用是磨削工件,因而又称磨削轮(或磨轮),它和工件的接触点 1 叫做磨削点。导轮的作用是引导和控制工件的运动,它和工件的接触点 2 叫做控制点。托板是用来支承工件的,它和工件的接触点 3 叫做支承点。另外,导轮和托板联合起来,可对工件进行定位;因此,2、3 两点又叫做定位点。

正常工作时,磨轮和导轮同向旋转,它们的转速分别为 n_G 和 n_C ;工件的转速为 n_W ,其转向和砂轮相反。通常,为使工件以进给量 f_{wa} 作轴向运动,导轮轴线应相对砂轮轴线倾斜一个角度 α , α 被称为导轮倾角。由于导轮倾角 α 的存在,导轮应具有近似于单叶回转双曲面的形状,以保证工件和导轮线接触。一般认为,工件的

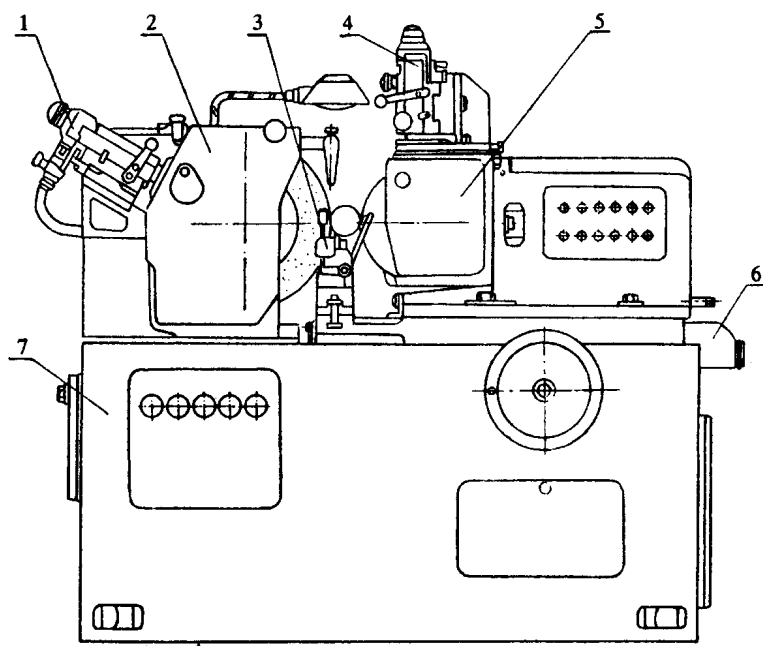


图 1-1 无心磨床示意图

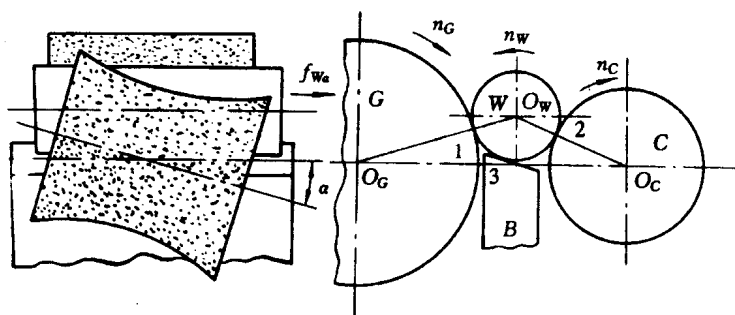


图 1-2 砂轮、导轮和托板的相对位置示意图

运动完全取决于导轮。严格说,这种观点是不全面的。从整个磨削过程来看,若磨削短小工件,则工件的线速度 $|\vec{v}_w^0|$ 和导轮的线速度 $|\vec{v}_c^0|$ 都沿导轮轴线变化,但二者的变化规律完全不同,如图

1-3 所示。这至少说明工件的运动不仅仅取决于导轮。理论和实践一致表明,工件的运动不仅和砂轮、导轮、托板的材料以及砂轮运动、导轮运动、磨削余量有关,而且还受到无心磨削几何布局的影响。因此,工件的运动是砂轮、导轮和托板联合作用的结果。

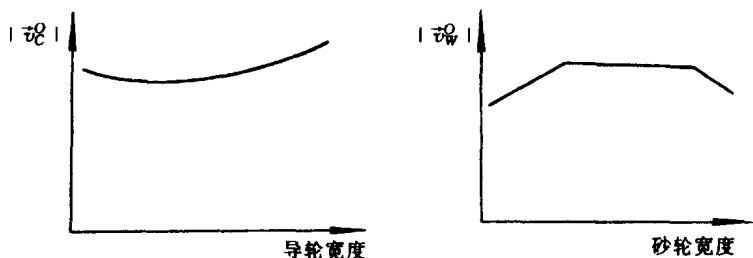


图 1-3 导轮与砂轮表面线速度

二、无心磨削的特点

无心磨削是工件中心不固定的磨削。由于工件定位表面不是理想圆柱形,而是不规则的波浪形(即圆度误差和波纹等),如图 1-4 所示。因此,随着工件的转动,其表面波纹上的任一点 M 周期性地依次通过定位点 3 和 2,从而使工件中心 O_w 在图 1-4 平面内作周期性的移动,没有固定的位置,即所谓“无心”。无心磨削(包括

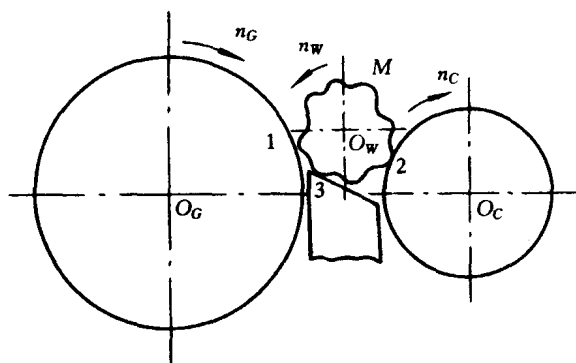


图 1-4 无心磨削的几何布局

支承式无心磨削) 和其它定中心磨削的根本差别就在于此, 这也决定了无心磨削方法的某些独具特点。

现在, 通过和定心磨削相比较来说明无心磨削的特点。

图 1-5 是定心磨削轴类工件外圆的例子。可以看出, 工件的定位表面是两端的中心孔, 夹具定位元件是两个顶尖。静态磨削时, 顶尖轴线和砂轮轴线的距离不变。这就使磨削表面相对于磨轮有了确定的位置。应该注意, 定位中心孔不是在本工序加工的表面, 其定位精度仅与定位基面及定位元件的精度有关, 与磨削表面的原始精度及磨削过程无关。工件的转动是靠连接主轴的夹具夹紧元件带动的, 二者没有任何相对滑动。这就决定了砂轮与工件间的相对运动受机床传动结构的影响, 几乎和磨削过程无关。

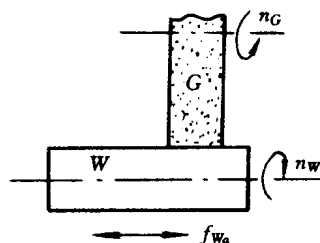


图 1-5 定心磨削

无心磨削和定心磨削不同, 磨削表面就是定位表面(即自身定位), 定位元件是导轮和托板。工件中心相对砂轮和定位元件在径向平面内是运动而不是静止的。工件的运动受砂轮、导轮和托板的联合影响。

综上所述, 和定心磨削比较, 无心磨削具有以下特点:

① 工件中心不固定。这是无心磨削所独具的特点。正是这一特点, 使得无心磨削和定心磨削无论在理论上还是在实践上都有着本质的差别。这就是说, 在研究无心磨削和支承式无心磨削的运动学、动力学、动态成圆理论、表面质量特征以及工艺系统动态特性等一系列问题时, 如若忽略了“无心”的概念, 必将会得出错误的或具有很局限性的结论。