

'96卷

大连理工大学教授学术丛书

复 杂 曲 面
优 化 造 形

OPTIMUM

PROFILING FOR

COMPLICATED

CURVED SURFACE

姚南珣 著

大 连 理 工 大 学 出 版 社

大连理工大学教授学术丛书'96 卷

复杂曲面优化造形

姚南珣 著

大连理工大学出版社

**The Professors Academic Works Series
of the Dalian University of Technology '96**

Optimum Profiling For Complicated Curved Surface

Yao Nanxun

Dalian University of Technology Press

图书在版编目(CIP)数据

复杂曲面优化造形/姚南珣著. —大连:大连理工大学出版社,
1996.12

(大连理工大学教授学术丛书'96卷)

ISBN 7-5611-1232-7

I. 复… I. 姚… II. 曲面-精密切削-造形-最佳化 N.TG506.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 01267 号

大连理工大学教授学术丛书'96 卷

复杂曲面优化造形

姚南珣 著

* * *

大连理工大学出版社出版发行

(大连市凌水河 邮政编码 116024)

大连海事大学印刷厂印刷

* * *

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.375 字数: 228 千字

插图: 4

1996 年 12 月第 1 版

1996 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

* * *

责任编辑: 韩 露 方延明

责任校对: 蒋 浩

封面设计: 孙宝福

* * *

ISBN 7-5611-1232-7

定价: 14.00 元

TH · 22

本书出版由

**国 家 自 然 科 学 基 金
中共大连市委、大连市人民政府 资助
大连理工大学学术著作出版基金**

Publication of the book is financed by

**The National Natural Science Foundation of
China,**

**The Dalian Municipal Government
and**

**The Publishing Academic Works Foundation
of the Dalian University of Technology**

序

复杂曲面的精确加工,过去一直是机械制造业中经常遇到而不易解决的技术难题。近年来,由于数控技术的一些新进展,使复杂曲面的一次精确成形成为可能。但由于复杂曲面的精确加工造形是一项难度很大且理论性很强的工作。它涉及多项专门基础知识,如微分几何、啮合理论、矢量矩阵、优化设计、数值运算、数控技术等等。因此,复杂曲面的精确加工造形,目前基本还停留在针对具体对象,作为专门问题来研究解决,其成果则作为工厂的技术诀窍加以保密。有关复杂曲面,特别是刀具常用的复杂曲面的精确加工造形,到目前为止还没有看到这方面系统讲述共性规律和理论的著作。这类复杂曲面在现代机械制造工业中,特别是尖端技术和国防工业中应用日益增多,且往往成为重要的关键环节。姚南瑛教授这本《复杂曲面优化造形》学术著作,系统讲述了复杂曲面造形的共性规律、理论和方法,对这种复杂曲面的加工具有普遍的指导意义。

本书系统阐述了复杂曲面精确加工造形的共性理论和各种新方法。第一篇介绍了复杂曲面加工造形的基本共性数学基础。第二篇提出了复杂曲面加工造形的运动学理论,并用这种方法建立了多种曲线和复杂曲面的数学模型。第三篇阐述了多种复杂曲面加工造形的方案和方法,通过逐一分析使读者不仅了解了不同的方案和方法,并且能在具体加工时选择最佳方案。第四篇提出优化拟合和逼近造形的共性原理和方法,使复杂曲面的精确加工造形能获得更好的结果。

本书是作者多年从事这方面工作和研究的总结,内容丰富、分

析深入、讲解清晰。很多内容是作者创造性的研究成果,不仅讲述了不同的方案和方法,而且还阐述了复杂曲面精确加工造形的共性规律、原理和方法,是一本高水平的学术专著。本书阐述和研究的内容又正是生产中亟需研究解决的重要技术难题,因此对实际生产具有重要的实用价值,对进行复杂曲面的加工造形工作是一本极重要的参考书。

我很高兴看到这本学术著作能够出版。我相信本书的出版对我国复杂曲面的精确加工造形技术的发展,对我国机械工业的技术发展,能起到促进作用。

哈尔滨工业大学教授 袁哲俊

1996年12月

前 言

目前,在机械制造业中,曲面加工特别是复杂曲面加工已经成为一种专门的加工领域。复杂曲面加工是理论性很强的工作,完成复杂曲面加工会反复用到一些专门的理论知识,如微分几何、啮合理论、矢量矩阵、优化方法、数值运算等等,这通常不是机械制造业中从事一般机械加工者工作中常会遇到或应用的,因此也不是他们比较熟悉的。而复杂曲面加工本身又是一项工程性很强的生产工作,工作中面临解决一系列机械学、加工设备、制造精度等生产实际的制造理论问题,这又非一般基础理论科学工作者的所长。所以,复杂曲面加工的特殊性在于,它是一项多学科、综合性很强和理论与实践紧密结合的工作。过去的年代,限于生产和科学发展的条件,遇到这类工作中有关困难问题时,由于缺乏有针对性的一般理论与方法的指导,往往只能作为专题组织攻关,攻关的成果则作为企业的诀窍(Know-how)加以保密。所以至今尚未能见到系统介绍和指导进行这方面工作的理论与实践书籍。

曲面或复杂曲面加工成为一个专门的加工领域,是随着各种复杂曲面在机械行业中应用日益广泛、作用日益突出、加工要求日益提高而提出的一种发展需要。复杂甚至异型曲面的零件或工模具,目前已广泛应用于现代机械制造、造船、冶金、化工、轻工、电子、航天以及国防尖端工业中,尤其在一些有特殊要求、关键性的机械设备、装置或工艺上,它们往往起着举足轻重的关键作用。但是制造各种复杂异型曲面却一直是国内外生产中的难题。过去由于生产中没有适用于普遍情况的复杂异型曲面加工规律可循,

我国长期以来制造复杂或异型曲面往往只能针对不同对象,最后凭工人经验和手艺用试凑中不断返修的办法去解决。而国外先进工业国家,也同样是处在针对具体对象具体研究解决的阶段,只是在某些具体对象上已找到一些具体的先进工艺,作为它们的技术诀窍或专利加以保密或保护。因此,把复杂曲面加工当做一个专门的领域,研究它们的共同规律,进一步提高这个领域的整体制造水平,这也是时代发展提出的迫切需要。因此,这将会大大推动各种复杂甚至异型曲面更广泛地在工业各部门中得到应用,这也是衡量国家机械工业水平不断提高的一个重要标志。

作者过去长期从事刀具复杂曲面设计制造的教学与研究工作。我国改革开放后的70年代末和80年代初,根据生产需要,作者投入解决两项国外的技术剖析工作。这是两台花大量外汇引进的专门磨削复杂刀具曲面的精密机床。机床上配置的先进砂轮修整装置,可以根据计算方法去调整,使机床只需一次调整就可磨出达到高精度要求的刀具曲面。但是外商只卖给我国机床,先进的调整技术作为诀窍不予提供。这样,工厂虽高价引进了先进机床,却只能按一般试凑法去调整使用,不能充分发挥机床原有的先进性能,造成极大浪费。经过两年多时间,作者与工厂合作攻下了这两项技术剖析的难关,充分达到了发挥机床原有先进性能的目的。从这项工作中作者也体会到:解决复杂曲面加工问题是有共性的,过去所以没能形成一套用于指导解决这类问题的普遍性原理,是由于这类问题具有多学科、综合性强和实践性强两方面特点,在理论综合归纳上有一定难度。所以才会出现了目前外国人把某些摸索到的具体先进方法作为技术诀窍或专利来卡我们的情况。因此我们必须继续努力,做外国人也尚未做到的事,总结一套具有普遍指导意义的复杂曲面加工理论,走出一条有我国自己特色的复杂曲面生产道路。作者的这种想法,首先得到了国家自然科学基金委员会的充分肯定与支持,从1985年开始,连续三次给予资助,使此项

研究得以坚持和连续下来。十几年来工作,一面研究总结一面结合解决复杂曲面加工中的难题,先后取得的比较重要的理论和应用成果共二十余项,获得的国家级和国家教委以上的科技进步奖励四次,并有三项中国发明与实用新型专利。本书就是在这样的想法和基础上,总结了十多年来的工作与成果写成的。为此也向国家自然科学基金委员会谨致深深的谢意。

本书的主题思想是阐述复杂曲面优化造形理论和新方法,因为这是复杂曲面加工有关理论的最核心部分。本书在所述及的具体理论和方法方面的主要贡献是,首次提出了:①数控仿形的主方向特征点加工法;②空间成形包络法造形的极限条件与最小安装转角 $\delta_{\min}$ 概念;③接触线变化的包络法工具廓形精确设计法;④渐开线啮合的带传动分析法;⑤空间展成的投影媒介齿条分析法;⑥球面螺旋齿轮的构形与投影媒介齿轮分析法;⑦线接触的异型渐开线齿轮的等效啮合齿轮设计原理与方法;⑧曲线拟合的特征逼近法;⑨拟合的最小二乘评定与最小区域评定的通用数学模型;⑩复杂异型曲面拟合的变性共轭原理;⑪复杂曲面多目标造形整体优化的原理与方法。此外,本书还探讨了复杂曲面向动态拟合优化造形的发展趋向。

为了便于突出和介绍在复杂曲面优化造形理论和方法上所进行的摸索创新工作,全书将由四个部分去合成:①第一篇简略集中介绍复杂曲面加工造形基本内容上的数学应用情况,其目的有二,一是避免在以下介绍一些主要创新工作时重复叙述共同性的数学内容,二是这样也便于读者对本书的理解与阅读;②第二篇把运动学作为复杂曲面加工造形进行创新工作必须首先考虑的重要内容提了出来,这是根据作者自身的体会,为了破除对国外技术迷信的需要;③第三篇是作者多年在摸索与创新工作中具体接触的各种复杂曲面加工造形方案的归纳与总结,通过逐一地分析,希望能启发读者广开思路,便于在加工选择中比较使用;④第四篇优化拟合

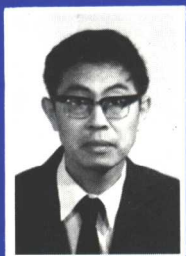
与逼近造形是复杂曲面加工应解决的精髓内容,本书着重介绍了一些新的理论、方法及其发展。

作者近十多年的研究与工作,是在王殿龙、康德纯两位同志的协助与支持下进行的,很多工作也包含了他们的劳动,因此在本书行将完成之际,对他们的努力表示由衷的感谢。

由于水平和实践覆盖面所限,本书的论述难免会有疏漏或失误,敬希各位同行和专家不吝赐教。

著 者

1996年11月于大连理工大学



作者简介

姚南珣, 1931 年生。1953 年毕业于大连工学院机械系。现为大连理工大学机械系教授。曾任国家自然科学基金委员会机械学科评审组成员, 中国高校金属切削研究会副理事长兼东北分会理事长, 辽宁省刀具技术协会副理事长, 大连市刀具技术协会名誉理事长等职务。长期从事复杂曲面加工领域的教学、研究与生产实践工作。

近 20 年来, 他所领导的课题组结合解决复杂曲面加工领域的生产难题攻关, 探索该领域的指导性理论, 先后完成了滚刀齿形铲磨原理的研究及应用、复杂和异型曲面优化造形基本理论研究等 20 多项科技成果。在磨削异型曲面的变性共轭原理、异型的渐开线齿轮几何造形原理等方面发表 50 多篇论文, 主编《数学在刀具设计中的应用》一书, 获得两项中国发明专利和一项实用新型专利, 先后获得国家级和国家教委科技进步奖四项、市级科技进步奖六项和中国发明展览会铜牌一枚。1988 年被授予辽宁省有突出贡献专家荣誉称号。

内 容 简 介

本书是作者在多年从事复杂曲面加工领域的教学、研究和生产实践基础上,总结其研究成果和经验体会写成的。书中阐述的主要内容——复杂曲面优化造形,可以作为解决当今复杂曲面加工领域各种实践问题时的一种指导理论加以使用。全书对解决复杂曲面造形归纳为四个方面关键工作,并对其涉及的理论和方法,分别给予了介绍。这四个方面关键工作内容是:(1)数学建模;(2)运动学方案构思;(3)加工造形方案的具体设计;(4)造形的优化与拟合。书中还通过实例对一些新理论和新方法作了介绍。

本书可供复杂曲面加工领域的工程技术人员、研究开发人员、教师和研究生参考使用,也可作为有关专业研究生、大学本科生的教学参考书。

目 录

序

前 言

第一篇 复杂曲面加工造形的数学应用 1

第一章 矢量方程的应用..... 3

1.1 曲线、曲面的矢量方程表示..... 3

1.2 矢函数的运算 4

1.2.1 矢量代数 4

1.2.2 矢函数的微分和积分 7

1.3 曲面加工中常用矢量方程运算示例 9

第二章 微分几何基础知识应用 11

2.1 空间曲线的弧长、曲率和挠率 11

2.1.1 弧长..... 11

2.1.2 曲率..... 12

2.1.3 挠率..... 13

2.1.4 平面曲线的相对曲率..... 16

2.1.5 曲线的弗雷耐(Frenet)标架 17

2.2 曲面的微分性质..... 18

2.2.1 曲面的第一和第二基本形式..... 18

2.2.2 曲面的法曲率..... 20

2.2.3 曲面的主曲率和主方向..... 24

2.2.4 直纹面和可展曲面..... 28

第三章 矩阵与包络原理 34

3.1 矩阵	34
3.1.1 矩阵	34
3.1.2 矩阵运算	35
3.1.3 几种特殊矩阵	37
3.2 坐标变换	42
3.2.1 坐标平移变换	43
3.2.2 坐标旋转变换	44
3.2.3 联合的坐标变换	47
3.2.4 矢量运动	50
3.3 包络原理	51
3.3.1 平面曲线族的包络	51
3.3.2 空间曲面族的包络	55
第二篇 复杂曲面加工造形的运动学	63
第四章 简单运动合成的曲线	66
4.1 直线与回转运动合成的平面曲线	66
4.1.1 阿基米德曲线	66
4.1.2 渐开线	67
4.1.3 变幅的渐开线	69
4.1.4 对数螺线	70
4.2 等速的回转与回转运动合成的平面曲线	71
4.2.1 外摆线类曲线	71
4.2.2 内摆线类曲线	73
4.3 直线与回转运动合成的空间曲线	75
4.3.1 圆柱螺旋线	75
4.3.2 圆锥螺旋线	76
4.4 回转与回转运动合成的空间曲线	79
第五章 直线与圆弧母线运动造形的曲面	82

5.1 以直线母线运动造形的曲面·····	82
5.1.1 圆柱面·····	82
5.1.2 圆锥面·····	84
5.1.3 单叶双曲面·····	86
5.1.4 直纹螺旋面·····	87
5.2 以圆弧为母线运动造形的曲面·····	89
5.2.1 圆环面·····	89
5.2.2 圆弧螺旋面·····	92
第三篇 复杂曲面加工造形的基本方案 ·····	95
第六章 复杂曲面加工造形的仿形法 ·····	98
6.1 仿形法造形的基本特点·····	98
6.2 靠模仿形法·····	99
6.2.1 一般的靠模仿形法·····	99
6.2.2 可调整的靠模仿形法 ·····	100
6.2.3 先进的靠模仿形技术 ·····	102
6.3 机构仿形法 ·····	103
6.3.1 机构仿形造形的典型实例 ·····	103
6.3.2 几种有成效的机构仿形砂轮修整器的剖析 ·····	105
6.4 数控直接造形 ·····	110
6.4.1 数控直接造形的一般概念 ·····	110
6.4.2 直接仿形加工中的运动学本质分析 ·····	111
6.4.3 主方向特征点加工法 ·····	112
6.4.4 主方向特征点加工法应用实例 ·····	113
第七章 复杂曲面加工造形的成形法 ·····	122
7.1 成形法造形的基本特点 ·····	122
7.2 直接成形 ·····	123
7.2.1 成形柱面与成形回转面的直接成形 ·····	123

7.2.2 成形螺旋面及其他成形曲面的直接成形	128
7.3 平面接触线的成形包络	132
7.3.1 成形包络的基本概念	132
7.3.2 成形阿基米德曲面成形包络造形可能性分析 ...	133
7.3.3 成形球面螺旋面的成形包络造形	134
7.3.4 大批量生产中平面接触线的成形包络法造形的 一个实例	136
7.4 空间接触线的成形包络	137
7.4.1 成形圆柱螺旋面的成形包络法造形及其工具廓 形设计原理	138
7.4.2 空间接触线的成形包络法造形中产生的干涉 问题	141
7.4.3 空间接触线的成形包络法造形的特殊形式	148
7.5 接触线变化的成形包络	149
7.5.1 接触线变化的成形包络特点	149
7.5.2 接触线变化的成形包络法中工具廓形设计 原理	153
第八章 复杂曲面加工造形的展成法	158
8.1 展成法造形的基本特点	158
8.2 平面展成	158
8.2.1 齿轮平面展成的刀具廓形	158
8.2.2 渐开线齿轮的平面展成造形	161
8.2.3 平面展成法造形中产生的干涉问题	163
8.3 空间展成法造形基本原理的分析	166
8.3.1 空间展成法造形原理的一般概念	166
8.3.2 空间展成法造形的投影媒介齿条分析法	167
8.4 空间展成法造形的各种形式实例	173
8.4.1 滚齿中滚刀基本蜗杆的造形	173