

黑龙江省重点图书

刀具制造中的 几何理论及其应用

(黑龙江省自然科学基金重点课题)

唐余勇 董 敏 著

哈尔滨工业大学出版社

黑龙江省重点图书

刀具制造中的几何理论及其应用

(黑龙江省自然科学基金重点课题)

唐余勇 董 敏 著

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本专著是刀具制造方面在其实施 CAD/CAM、FMS 研究时非常适用的科技参考书。内容包括：刀具制造相关的理想点线面方程，制造刀具的工具截形参考曲线相关的逆包络理论及其应用实例，求得刀具廓面相关的包络理论及其应用举例，中点中线法、中点偏移法在寻求最佳刀具造形中的应用，综合应用实例，共五章。

本专著既可作为机械、应用教学有关研究方向的研究生教材，又可供从事与刀具相关工作的科技工作者参考。

刀具制造中的几何理论及其应用

Daoju Zhizaozhong de Jihe Lilun jiqi Yingyong

(黑龙江省自然科学基金重点课题)

唐余勇 董敏 著

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

黑龙江省文联印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 4.875 字数 106 千字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1 000

ISBN 7-5603-1092-3/TH·49 定价：6.00 元

前 言

为了响应著名一级教授吴大任老前辈关于“要把基础科学理论尽可能广泛地用于一切技术中”的倡导；为了促进我国在刀具制造中充分挖掘现有设备潜力、不断提高刀具产品质量和科技含量等方面的研究，现将作者负责并直接参与研究的有关“刀具制造中的几何理论及其应用”方面的成果整理成这本拙著。

为使本书具有几何理论与刀具制造技术紧密结合的特色，本书采取了边介绍几何理论、边介绍相应刀具实例的叙述方法；为迅速提高读者化刀具制造难题为相应教学模型的能力，本书借绪论介绍了这类研究的一般程序和应注意的问题，进而按通常这类课题所涉及的几何问题的先后，按章逐一叙述，并在最后一章给出几个综合性实例和对应的几何模型，即对多种刀具制造问题作了循序渐进的详细介绍；本书以介绍通用模型为主，试图达到举一反三、同时又不致冗长的效果；本书假定读者具有微积分和微分几何的基础知识，叙述中又重温了相应的结论，对不多见的几何概念、公式还作了专门简介，具有可直接读通的通俗性特色；而由于书中实例多经生产验证，因而又具有直接指导刀具制造实践的功能。总而言之，本书具有“工业数学”的色彩。

顺便指出的是，国内外工业界与数学界的合作正呈日益

广泛、深入之趋势，“工业数学”这个名词正越来越深入人心，而培养工业数学家的计划已在实施。在这个形势下，作者把这本拙著呈献给读者，亦是希望对刀具方面数学家早日诞生、壮大尽点微力。因为刀具制造不仅要用到几何，而且还要用到概率论、最优化方法等其它数学分支相关的知识，而只有刀具涉及的各种数学对应的工业数学色彩的读本陆续出版，才有可能提供培养全能刀具数学家的条件。因此，应当提倡刀具方面的科技人员多学点相关数学知识，数学方面亦当有一些人员学点刀具知识，尤其当鼓励后者。从文献[1]—[3]、[13]和[41]不难看出，不论从什么角度看，均大有益处，既可出应用色彩强的教材，有效地提高教学质量，又可以出成果、出论文、出人才、出效益，又何乐而不为呢？！

在成书过程中，主要选用了作者及作者指导的研究生的有关刀具方面的研究成果，书后的参考文献也就仅列出了有作者署名和作者指导的研究生的刀具制造方面相关文献，其目的是为了读者查阅方便，而不是说本书各相关内容仅有作者有所研究。事实上，国内外这方面研究的队伍极为宏大，相关论文、专著也有不少，但是如同本书宗旨、结构、特点的却尚未曾有，否则本书就没有必要问世了！

因所引文献关系，本拙著以本人为第一作者。但当强调指出的是：本书从动议到大纲、从具体撰写到成书，董敏副教授所作贡献都是主要的、决定性的；没有他夜以继日的艰辛努力，本拙著问世是难于想象的；本人的工作只是提供论文资料、协助与统稿。另外，周敏高工、王明德副教授也参加了部分章节的撰稿工作，没有他们的帮助，此书也是难以问世的。

考虑到作者毕竟是应用数学的研究者，刀具制造仅略知

皮毛，加上成书时间匆促，疏漏之处在所难免，尤盼读者批评指正！在此谨向读者致以诚挚的敬意和深深的谢意！

唐余勇

1994年12月31日

目 录

绪 论	(1)
0-1 挖潜问题	(1)
0-2 确定选题问题	(2)
0-3 研究程序问题	(3)
0-4 模拟计算问题	(5)
0-5 扩大战果问题	(6)
第一章 求刀具制造相关的点线面方程	(8)
§ 1-1 几何常识简介	(8)
1-1-1 几何常识	(8)
1-1-2 注意点	(13)
§ 1-2 前刀面	(13)
1-2-1 插齿刀的前刀面	(14)
1-2-2 硬质合金格利森铣刀盘刀齿的前刀面	(15)
1-2-3 拉刀的前刀面	(17)
§ 1-3 后刀面	(17)
1-3-1 齿轮滚刀的侧铲面	(18)
1-3-2 插齿刀的侧刃后刀面	(19)

1-3-3 硬质合金格利森铣刀盘刀齿的侧刃后刀面···	(21)
1-3-4 拉刀刃口所在的螺旋面	(22)
§ 1-4 刀具制造中的直线	(24)
1-4-1 主轴与砂轮轴	(24)
1-4-2 几类刀具前刀面上的直母线	(26)
§ 1-5 刃口曲面	(26)
1-5-1 拉刀刃口曲线	(27)
1-5-2 球面铣刀的刃口曲线	(27)
§ 1-6 磨制形线	(30)
1-6-1 磨制砂轮曲线截形机构与相应的几何模型···	(31)
1-6-2 磨制球面铣刀后刀面的机构与相应的几何 模型	(32)
§ 1-7 刀具制造相关的重要点	(34)
1-7-1 格利森铣刀盘刀齿顶刃曲线的中点	(35)
1-7-2 剃前刀具的沉割起始点	(36)
1-7-3 阿基米德滚刀侧铲面的中心点	(40)
§ 1-8 木工螺旋刨刀	(40)
1-8-1 原理	(41)
1-8-2 相应模型	(41)
§ 1-9 本章注记	(43)
第二章 求刀具制造中的工具参考截形	(45)
§ 2-1 逆包络理论	(46)
2-1-1 一般理论	(46)
2-1-2 交线型	(47)
2-1-3 包络型	(48)

2-1-4 盘状型	(50)
2-1-5 指状型	(51)
2-1-6 柱状型	(53)
§ 2-2 齿轮滚刀磨用砂轮的参考截形	(54)
2-2-1 盘状型	(54)
2-2-2 指状型	(59)
§ 2-3 插齿刀磨用砂轮的参考截形	(60)
§ 2-4 螺旋拉刀磨用砂轮的参考截形	(63)
§ 2-5 格利森铣刀盘磨用砂轮的参考截形	(64)
§ 2-6 钻沟形成工具截形的注记	(65)
§ 2-7 本章注记	(66)
第三章 求实得刀具廓面方程	(68)
§ 3-1 包络理论	(68)
3-1-1 平面曲线族的包络	(68)
3-1-2 曲面族的包络	(69)
3-1-3 二次包络	(70)
§ 3-2 齿轮滚刀的实得侧铲面	(71)
§ 3-3 插齿刀的实得侧刃后刀面	(73)
3-3-1 一次包络法	(73)
3-3-2 二次包络法	(78)
§ 3-4 拉刀实得刃口所在曲面	(79)
§ 3-5 格利森铣刀盘刀齿实得侧刃后刀面	(81)
§ 3-6 钻尖后面	(84)
3-6-1 拟螺面变导程磨法	(84)
3-6-2 双后角磨法	(90)

§ 3-7 本章注记	(93)
第四章 寻求最佳刀具造形的理论与应用	(94)
§ 4-1 中点中线法及中点偏移法	(95)
§ 4-2 滚刀型刀具制造中的相应模型	(96)
§ 4-3 螺旋拉刀依刃口修正砂轮截形的模型	(98)
§ 4-4 插齿刀制造中的对应模型	(99)
§ 4-5 格利森铣刀盘的工具修形	(99)
§ 4-6 合格齿长、齿面精度与前角	(100)
第五章 综合性实例及其模型	(103)
§ 5-1 提高径向铲磨刀具精度的通用几何模型 ...	(103)
5-1-1 机床调整的几何表达式	(104)
5-1-2 砂轮参考截形	(104)
5-1-3 实得侧铲面方程	(106)
5-1-4 最佳方案的获取	(106)
5-1-5 注记	(108)
5-1-6 指状工具的相应模型	(110)
§ 5-2 制造插齿刀的通用几何模型	(112)
5-2-1 无设计误差插齿刀 CAD 的几何模型	(112)
5-2-2 磨用砂轮参考截形	(114)
5-2-3 实得侧刃后刀面	(115)
5-2-4 最佳砂轮的获取	(116)
5-2-5 应用方面的注记	(117)
5-2-6 工业实现问题	(119)
§ 5-3 螺旋拉刀的制造问题	(120)

5-3-1 螺旋拉刀的前刀面与侧刃所在螺旋面	(120)
5-3-2 磨用砂轮的参考截线	(122)
5-3-3 实得刃口曲线	(122)
5-3-4 改进方案	(123)
5-3-5 注记	(125)
§ 5-4 硬质合金格利森铣刀盘的设计与制造问题...	(125)
5-4-1 前刀面与侧刃后刀面	(126)
5-4-2 磨用砂轮参考截形	(127)
5-4-3 实得侧刃后刀面	(130)
5-4-4 砂轮修形	(131)
5-4-5 注记	(132)
§ 5-5 麻花钻的钻沟问题	(133)
5-5-1 四板搓搓制钻沟	(134)
5-5-2 扇形板轧制钻沟	(135)
5-5-3 扭制钻沟	(136)
5-5-4 磨(铣)制钻沟	(137)
5-5-5 注记	(138)
§ 5-6 本章注记	(138)
参考文献	(139)

绪 论

这里主要介绍刀具制造方面在实施 CAD/CAM、FMS 的相关几何模型研究时的几个问题，希望能给读者在阅读后续五章内容前有一个常识性的基础，以便更好更快地掌握全书的内容实质，并能灵活地用于自己的研究课题之中，尽快提高刀具制造难题为相应几何模型、进而借助计算机求得满意解决的能力。

0-1 挖潜问题

刀具制造的趋势是数控化、硬质合金化、不重磨等。然而在目前，应当看到：跟踪、赶超世界先进技术非常必要之外，挖掘现有设备潜力、传统工艺的革新仍然是不容忽视的重要研究领域。事实上，目前财力不允许大面积地采用国际先进技术，因为这样投入过大；挖潜、革新却具有投入较小，搞好了同样可以出世界先进水平的刀具产品，因此这方面课题在刀具制造研究者面前仍占有重要地位。正因为如此，本书以介绍利用现有设备、革新传统设计与工艺方法，加上现代数学模拟、计算机辅助求解等手段相配合的研究成果为主体。很明显，从本书的内容可以看出，如果上数控技术，仅

需将本书有关节段模型对应的程序存入数控设备附设的单片机或微机中，便可达到当今国际先进水平（只是比如本书从一章到四章所介绍方法解决刀具制造问题投入要多很多），而如无误差设计法的插齿刀则可领先于世界（目前现状）。而且还可以看到，相应的某些产品采用本书方法仍可达到世界最优产品的质量，当然如材料或涂层方面问题则另当别论。

0-2 确定选题问题

工具厂、大企业的工具分厂或车间的技术人员研究课题大多由用户的定货确定，而其他刀具制造研究者的课题却是选定的，因此对后种研究者来说，有一个确定选题问题。

一般地，确定刀具制造方面的选题同其它研究一样应有两个前提：一是有希望成功；二是要有价值，至少比现状强得多。试图用一个砂轮在传统机床上按传统工艺连续磨制一把滚刀的侧铲面，而且希望理想侧铲面与实际磨得的侧铲面之间没有造形误差，这个课题一是没有必要，二是没有希望，就会象研究永动机一样空费精力，毫无成功的可能。因而在确定选题前，首先当考虑选题的目标是否有希望达到，千万不可把没有指望的目标当成奋斗目标。

在有希望成功的前提下，无妨一试。比如阿基米德滚刀，国外合格齿长为齿长的五分之四，国内仅为二分之一，既然国外能做到，国内产品存在差距，就存在着成功的希望，且确有研究的经济价值，无妨认真研究研究。确定课题的研究价值和确认课题有无成功的希望一样，不能光凭热情和想象，而是要建筑在调查研究、尤其是在向第一流刀具专家求教的基础上。应当提倡确定选题之前认真查阅文献、走访专家，做

到心中有数,否则会导致重复做前人或他人已做工作的现象,这样就很不合算了。

0-3 研究程序问题

经调查、研究、判断,确定了刀具制造选题后,研究工作就要开始。对于刀具制造课题,由于其特殊性,确有特殊的规律可循,即有一个一般的研究程序可供参考。本书的章次按排正是按此程序编排的。当然对某些具体课题,不一定需要走遍全过程,这从本书的目录亦能够看到这一点。

首先当求出理想的、刀具制造相关、且将在所研究中用到的点线面方程,使后续研究有一个基准。值得指出的是,现有的刀具设计方面的资料不全是十全十美的,比如传统的插齿刀设计方案是近似的,又如剃前刀具的某些文献的设计方案也是不完善的,需要做进一步完善方面的工作。因为只有设计得完美,或者说尽可能完美些,制造研究才可能有一个可靠依托。文献 [16]、[26]、[47] 等首先作的工作就是使已有设计方案趋于完善,这对本书来说,当然是属从属性的工作。在本书中,求刀具相关的点线面方程也就列为第一章,在这一章中将涉及较为广泛的几何知识,尤其是微分几何相关的知识,且远远超过后续各章所用的几何知识,读者当有一个思想准备。

本书第二章所介绍的内容对应于刀具制造研究的第二步工作,就是依据第一章求出的理想的点线面方程,寻求制造这些刀具各自所用工具的廓面方程或截形方程。由于刀具在切削工件时的特殊需要,前角、顶刃后角、侧刃后角等必不可少,这就造成了刀具被加工的廓面与工具廓面的瞬时接触

线是不断变化的现实，而又不可能在加工刀具过程中随时改变工具廓面，也就仅能以某一瞬时的接触线来确定工具廓面或截形，因而刀具制造中造形误差是不可避免的，关键在于选择最佳的工具廓面或截形，使实际加工出来的刀具更理想。实现这个目标至少还需要三个步骤：第一步由某瞬时接触线求出工具廓面；第二步用此工具加工刀具、即求出实际得到的刀具廓面；第三步依据实得刀具廓面与理想刀具廓面之间的造形误差修正工具廓面或截形，直至刀具造形理想。因此第二章中依逆包络原理、即依瞬时接触线求出的工具廓面或截形仅仅是参考廓面或参考截形。为了使此瞬时接触线趋于理想，又考虑到该接触线往往是斜卧于刀具廓面上的，一般地选择关心的刀具齿面上中心点作为接触点，并据此求出接触线。仅管如此，偏离求得的接触线较远的刀具齿面上的两角点造形误差往往依旧偏大，因此即便选择中心点为接触点，仍旧需要前述的第二步、第三步，方可有最理想的刀具造形。当然这样选择可以使求得的工具截形修正方便些，模拟计算时迭代次数少些，即可节省研究时间。

本书第三章对应于几何中的包络理论，即介绍依据包络原理求出实际得到的刀具廓面。其思路是将运动叠加在工具廓面上，而得到曲线族或曲面族的方程，再加上包络条件求之。

第三章所求得的实得刀具廓面与第一章介绍的对应的理想刀具廓面之间一般存在造形误差，于是需要建立两廓面对应点之间造形误差的计算公式，据造形误差修正工具廓面或截形的模型，这是第四章的内容。在第四章中将介绍中点中线法和中点偏移法，运用这两种方法与机床调整参数的优选相配合，以求出最佳刀具造形的最终方案

当声明的是，前四章内容顺序就是刀具制造研究的一般程序，书中第五章仅仅是前四章的综合。当然本书第五章不是简单地将前四章各类刀具相关内容拼合在一起，而是按课题的需要，有机地将前四章相关内容整理、充实成一个完整的刀具制造课题的相应论文，而且与前四章叙述的内容、模型往往有所不同，更强调接近实际些。

在本段当举例说明两点：一是上述四个步骤不是每个刀具制造课题必须具有的；二是个别课题的步骤有可能比这四个步骤还要多。如球面铣刀、木工螺旋刨刀等仅需第一章所涉内容便可顺利解决；而车刀、钻沟的制造等主要靠第二章方法解决；而钻尖后面则仅仅需用第三章的包络理论，当然相当大的一部分课题仍需走遍全过程。有的步骤还要多，比如硬质合金格利森铣刀盘的制造课题首先当遇到它的设计问题，而且是一个多目标优化问题，如果考虑这一点，则增加步骤就是不可避免的了。该课题已有专著专论过，故本书有关节段仍以前述四步骤介绍它。综上所述，这类课题一般有四个步骤，特殊的例外。

0-4 模拟计算问题

上段实际上是介绍了寻求刀具制造对应几何模型的程序，有了几何模型，就当借助计算机进行模拟计算，很自然地会遇到下述几个问题。

初值问题。准确的初值不但可以大大节省机时，而且可以避免走不少弯路。一般地，刀具制造对应的几何模型含有多个超越方程或超越方程组，而超越方程往往多解，工程解却往往唯一，如初值偏离工程解稍远，很可能求出的解不是

工程解，使研究陷入困境。因此，给出较为理想的初值是刀具制造课题求解时当首先要注重解决的问题。这里介绍两种可供参考的方法：一是充分利用工程背景，因为待求量往往有其与刀具相关的工程含义，它的工程含义决定了它的定义域，而由于课题的特定背景，又有了新的限制，因而往往可以给出较为理想的初值；二是待求量往往与已知量存在着工程上的联系，借助于这些量的几何关系，可借助作示意图估计待求量的理想初值。

计算方法问题。因为不存在对每种工程计算都是最佳的计算方法，而超越方程，其波的频率很难估计，这里仅能提点建议，应尽量回避含导数的算法，以防止切线越出解的存在区域；同时无妨多用几种算法，择优而用之。

累计误差问题。从整体模型分析中可以看到，对刀具制造课题来说真正影响累计误差的仅是最终确定的工具截形和包络方程，这里涉及的式子并不多；而如果注意到将大项、小项分别集中，防止了大项吃掉小项尾数的情况发生；则无妨先用单精度调试程序，后再用双精度计算刀具课题，便可确保有效数字的位数，这点还是应当放心的。

0-5 扩大战果问题

本书侧重介绍通用几何模型，即侧重介绍一个几何模型可适用于同类不同的齿形、前角、后角、螺旋角的多种刀具模型计算，且至多差点子程序和参数值。这种介绍方法本身就是一种扩大战果的有效方法。

生产第一线的技术人员特别注重实际，但却容易忽视扩大战果问题。例如有的技术人员可以解决复杂的滚刀制造问