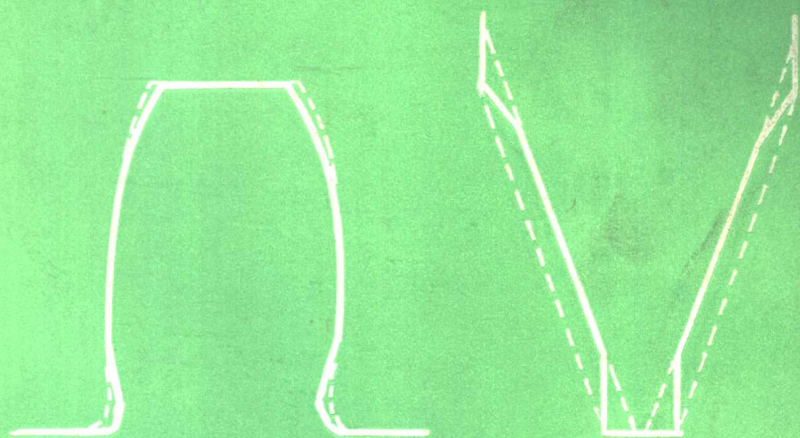
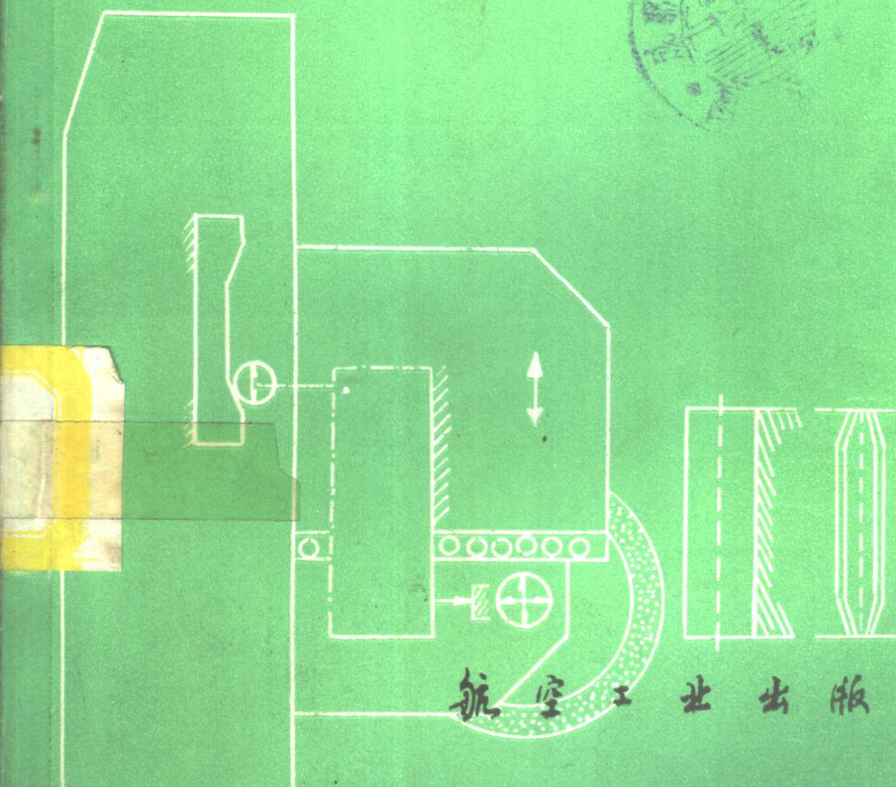




近代齿轮制造工艺

江甫炎 编著



航空工业出版社

责任编辑：苑 朝

封面设计：霍振源

ISBN 7-80046-596-9



9 787800 465963 >

ISBN 7-80046-596-9

G·106

定价：7.70元

近代齿轮制造工艺

江甫炎 编著

航空工业出版社

1994

(京)新登字161号

内 容 简 介

本书重点论述近代航空齿轮中凸齿形的加工,许多资料取自国外引进技术;近代引人注目的硬齿面加工,如滚、插、剃(包括剃齿新方法)以及珩齿的发展,均占有一定的篇幅。

齿轮国标GB10095—88,正在全国广泛宣贯,本书对齿轮标准的演变,新旧标准的异同,变化的原因以及与加工工艺的关系,有较详尽的论述,文中收集了国内外齿轮常用材料及热处理方法以及热处理工序在工艺路线中的位置安排。

本书对齿轮加工产生误差的原因,以及如何减少误差,提高加工精度,均有所分析。

本书为高等工科院校机械制造工艺及设备专业的教材;也可作为从事齿轮工艺、设计、检验等工作的技术人员和工人的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

近代齿轮制造工艺/江甫炎编著. —北京:航空工业出版社, 1994.6

ISBN 7-80046-596-9

I.近… II.江… III.齿轮加工—工艺 IV.TG610.6

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第06268号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1994年6月第1版

1994年6月第1次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 16

字数: 389千字

印数: 1—2000

定价: 7.70元

前 言

本书历经十余载，逐步修改充实而成。1980年编成讲义；1985年《齿轮工艺》由航空部教材编审室审定出版；1991年《齿轮工艺》续篇付印。在此基础上再经进一步整理、充实，《近代齿轮制造工艺》方于1993年6月脱稿。

本书从齿轮工艺的发展和基础理论入门，对齿轮精度与测量作了系统的分析，使之与齿轮加工紧密相结合，并为宣贯齿轮国标（GB10095—88），提供理论依据。在近代齿轮加工章节中，硬齿面滚、插、剃以及剃、珩新工艺等方面，均具有近代先进性的特色；中凸齿形（修形齿）的磨削加工，是目前国内引人注目的课题，其中收集整理了引进资料，并通过多年来指导毕业设计以及计算机辅助设计，对生产实践具有一定的启发作用；所收集的国内外齿轮材料与热处理的资料，对于齿轮工艺的编制以及产品误差分析，均具有相互联系的作用。

综观全书，有别于传统教材，它以圆柱齿轮加工为主线，并与相关的知识相联系（如基础理论、精度检测、热处理），内容立足于工厂，使之具有实用性和先进性。书中资料大都取自航空工厂，这对日益发展的汽车、机床、冶金、化工等行业，也有参考价值。

本人曾在工厂从事齿轮设计、工艺、试验等工作长达二十年之久，深知作为一个工厂齿轮技术人员所需的直接和间接的知识，后转入航空院校执教《齿轮工艺》课，在撰写此书时，曾多次赴航空齿轮工厂（车间）收集资料，并得到许多技术人员的帮助，提供了许多极其宝贵的资料。如西安航空发动机公司引进的英国斯贝（Spey）发动机，由杨业材、包友金、乌燮华等同志所写的《中凸齿形加工》技术总结；中南传动机械厂郭振光同志所提供的《新型珩齿工艺》；哈尔滨航空发动机公司袁宝成研究员级高级工程师所供给的《红环（Red Ring）成形磨齿机》，此外还有《齿轮》、《机床》、《工具技术》、《机械制造》、《航空工艺技术》、《航空制造工程》、《机械工程师》等科技杂志中专家们的论文。没有这些来自生产和科研的资料，那就无从使本教材具有特色，而我也仅仅是起到中间桥梁的作用，使齿轮加工的新技术进入课堂，为培育莘莘学子而尽职。在此，我向这些提供资料的同行们表示深深的谢意。在出版过程中，南京航空航天大学孙如冈教授为之审稿，在此表示衷心的感谢。

本书虽经十余载的教学实践，并作过多次补充和修改，限于本人水平，错误在所难免，敬请读者批评指正。

江甫炎

1993.6.

目 录

第一章 齿轮加工工艺的发展	(1)
1.1 齿轮齿形的演变.....	(1)
1.2 国外齿轮加工工艺的发展.....	(2)
1.3 我国齿轮加工工艺的现状与发展.....	(3)
1.4 国内外齿轮加工工艺的比较.....	(8)
第二章 齿轮工艺基础理论	(11)
2.1 渐开线性质及其方程.....	(11)
2.2 机械原理中有关术语和定义.....	(12)
2.3 齿轮测量中的有关项目.....	(13)
2.4 齿轮加工有关原理.....	(14)
2.5 外啮合直齿及斜齿几何计算的程序设计.....	(14)
第三章 齿轮的精度与测量	(25)
3.1 齿轮标准的演变及其特点.....	(25)
3.2 制定齿轮精度标准应考虑的问题.....	(27)
3.3 齿轮一转精度(第Ⅰ公差组).....	(29)
3.4 齿轮一齿精度(第Ⅱ公差组).....	(38)
3.5 轮齿接触精度(第Ⅲ公差组).....	(41)
3.6 齿轮副的检验和要求.....	(44)
3.7 齿轮的侧隙.....	(46)
3.8 精度等级的选择与检验组的组合.....	(52)
第四章 近代齿轮加工	(55)
4.1 国内外齿轮加工近况.....	(55)
4.2 滚齿.....	(56)
4.3 插齿.....	(65)
4.4 剃齿.....	(71)
4.5 珩齿.....	(84)
4.6 磨齿.....	(95)
4.7 研齿.....	(105)
4.8 抛齿.....	(106)
第五章 中凸齿形加工方法与计算	(108)
5.1 中凸齿形的特性及加工原理.....	(108)
5.2 在 GG24 成形磨齿机上加工中凸齿形的方法.....	(110)
5.3 在 S 10 成形磨齿机上加工中凸齿形的方法.....	(127)
5.4 蜗杆砂轮磨齿机.....	(134)

5.5 红环 (Red Ring) 成形磨齿机	(139)
5.6 中凸齿形的检验	(153)
5.7 成形磨齿法的误差分析	(153)
5.8 成形磨齿工艺分析	(158)
第六章 齿轮加工的误差分析	(162)
6.1 齿轮加工误差的相互关系	(162)
6.2 几何偏心引起的误差分析	(165)
6.3 运动偏心引起的误差分析	(167)
6.4 e_1 和 e_2 的合成、补偿与转化	(171)
6.5 齿轮一齿转角误差分析	(178)
6.6 齿轮接触精度的误差分析	(186)
6.7 运用整体误差曲线对齿轮加工误差分析的简介	(189)
第七章 齿轮常用材料及热处理	(190)
7.1 齿轮常用材料	(190)
7.2 齿轮钢材与热处理的关系	(190)
7.3 齿轮常用钢的热处理	(190)
7.4 各类齿轮常用钢的热处理要求	(205)
7.5 齿轮热处理的检验	(211)
7.6 齿轮新材料及热处理	(215)
第八章 齿轮加工工艺规程	(225)
8.1 齿轮定位基准的选择	(225)
8.2 齿形加工及选择	(227)
8.3 热处理工序在工艺规程中的位置	(229)
8.4 齿轮工艺规程分析	(232)
8.5 实现工艺方案的措施	(238)
主要参考资料	(250)

第一章 齿轮加工工艺的发展

1.1 齿轮齿形的演变

生产力发展使齿轮齿形不断演变, 齿轮工艺也随之改进和提高。最原始的齿轮的齿形是直线形, 仅起拨挂作用, 采用硬木制造; 随后出现铜和铸铁齿轮, 齿形为未进行理论推演的圆弧形, 这时, 齿轮的加工均用手工生产。

17世纪末, 出现摆线齿形, 由于制造和安装较困难, 未能在各部门推广, 此时, 采用成形法切齿, 但铸造工艺还是制造齿轮的主要方法。

18世纪, 尤拉 (L. Euler) 对渐开线作为齿形进行了深刻的论述。后来, 沙菲里 (Savary) 进一步完善这一方法, 称之为 (Euler. Savary) 方程。为渐开线齿形的广泛应用奠定了理论基础。卡蒙斯 (M. Camus) 建立了齿轮接触点轨迹的概念, 称之为 (Camus) 定理, 或齿廓啮合基本定律, 至今仍在齿轮设计和制造中起很大的作用。

19世纪的工业革命对于齿轮的性能和数量都有较高的要求。威利斯 (R. Willis) 论述了渐开线齿形中心距可变性的优点, 对渐开线的实用做出了较大的贡献。柯佩 (Hoppe) 奠定了变位齿轮的理论, 后来柯蒙里 (J. Comly) 创造了齿轮展成加工原理, 他们在齿轮设计和制造方面做出了较大的贡献。

为了弥补渐开线齿形的不足, 20世纪初, 美国人最早提出圆弧齿形, 20年代, 埃柯斯特·威利得海伯 (Ernest Wildhaber) 申请圆弧齿轮的专利, 但未进行生产, 由诺维柯夫 (Novikov) 于50年代完成这项研究。60年代, 国际齿轮会议为了纪念他们, 将这种圆弧齿轮命名为W. N齿轮。世界许多国家都在进行圆弧齿轮的研究工作, 并已将W. N齿轮用于汽车、水泥、造纸等工业, 最近已成功地用于直升机。我国1958年开始研究此种齿轮, 1972~1980年先后提出过20多种齿形, 其研究成果已用于矿山、化工等部门。

近年来, 航空工业以及其他工业的不断发展, 高速重载齿轮箱的需求量日益扩大, 传统的渐开线齿形逐渐为渐开线修形齿形所取代。所谓修形 (包括齿向和齿形的修形) 就是把齿轮的刚体啮合发展到实体 (弹塑性体) 的啮合。齿轮在高速、重载下工作, 由于在弹性变形、热变形等复杂因素影响下, 原来是标准的渐开线齿形产生了变形, 使瞬时传动比改变, 造成动载荷, 以致影响齿轮寿命并使噪声增大。为了消除这些影响, 预先对齿向或齿形进行修形, 使齿轮在静止或空载时, 看上去啮合得很不好, 但随着负荷增加, 轮齿变形也逐渐增加, 而啮合状态却能逐渐改善, 在进入预定的工作状态时, 具有最好的啮合状态。齿轮的修形量被视为技术秘密, 在一般资料中是难以获得的。为了实现这种齿形的加工, 60年代, 马格 (Maag) 磨齿机就设计了可调节修形量的B. C修形装置; 英国斯贝 (Spey) 发动机的修形齿轮则采取成形磨削, 我国也大都用此法加工。

近代渐开线齿形 (包括修形齿)、摆线齿形、圆弧齿形同时并存, 其中渐开线齿形仍然占主要地位, 由于它们各自有其独到的优越性, 不可能让其中任一齿形完全取代。新的齿形仍然可能出现, 作为工艺人员应该适应形势, 创造新工艺来实现设计的要求。

1.2 国外齿轮加工工艺的发展

20世纪以来, 齿轮的需求量已成几何级数猛增, 齿轮工艺也随之得以迅速发展。本世纪初期, 德国创造了滚齿机, 美国出现了插齿机, 尤其是美国格里森 (Greason) 公司的刨齿机和铣齿机的出现, 使锥齿轮和双曲线齿轮的加工和应用得到了较大的发展; 瑞士奥利康 (Oerlikon) 铣齿机中出现了等高齿系列; 航空、舰艇以及其他方面对齿轮传动提出了高速、大功率的需求, 以磨齿为代表的硬齿面加工技术开始出现。20年代, 瑞士马格 (Maag) 公司创造了磨齿机, 随后, 许多国家各类型的磨齿机和各种磨齿方法的研究相继出现。40年代, 美国创造了剃齿机, 为软齿面精加工做出了较大的贡献。60年代, 日本发展起来的大负前角硬质合金滚刀超硬滚切和蜗杆式珩磨是大型精密齿轮硬齿面加工的一项引人注目的新技术。

自70年代以来, 各种齿轮的制造精度, 普遍提高1级左右, 有的甚至2~3级, 如机床齿轮由6~8级提高到4~6级。

轮齿修形的加工工艺是目前大功率、高速、重载齿轮制造所需解决的重要课题。此外, 硬齿面加工, 尤其是大型硬齿面齿轮的切齿与热处理工艺的发展, 如超硬切齿、滚内齿、成形磨齿、大模数齿轮珩齿、弹性砂轮抛光以及深层渗碳等新工艺, 正在生产上不断地试验与应用。

国外近代齿轮加工工艺的发展, 主要有两方面:

1. 硬齿面制造技术仍居主导地位, 国外发达国家的工业齿轮, 表面硬化和整体淬火调质硬度在HB350上下的所谓中硬齿面几乎已完全取代硬度低于HB300的软齿面。瑞士和德国多数采用渗碳淬硬磨齿工艺, 以求用最少的材料消耗取得高承载能力; 美国 and 德国某些公司, 在大量应用渗碳磨齿技术的同时, 根据自身情况及产品要求仍有不少采用滚→剃→氮化; 滚→剃→对研或中硬滚, 这就形成一种以渗碳磨齿为主, 多种工艺并存的技术多样化局面, 欧洲一些厂家开发高精度硬齿面刮削技术, 如马格公司的SH250/300S(H)系列插齿机可加工精度DIN 5级, 粗糙度 $R_a 0.32$, 最大模数50mm, 直径7350mm的大型齿轮, 这些进展和趋势宣告了由磨削工艺垄断硬齿面齿轮精密加工的局面已被打破。

2. 计算机及其他微电子技术在齿轮设计、制造、热处理与试验过程控制和生产管理等方面广泛应用, 技术日臻成熟、效果显著。

欧美主要工业国开展齿轮CAD也仅十来年, 其发展是很迅速的。当前计算机及微电子技术用于齿轮加工主要表现为: 计算机数值控制CNC机床, 加工中心、柔性加工系统和测量中心迅速发展。如瑞士Reishaur公司已有近40%机床是CNC机床, Renk、Lafkin等厂采用三坐标测量仪, Maag最近推出全自动检查仪; CNC齿轮加工机床近几年已有新的突破, 一些日本制造的CNC滚齿机已在欧美工厂使用, 目前日本三菱重工、广岛机床厂已小批量生产中小型($\phi 500$ 左右)普通精度CNC滚齿机, 这是CNC齿轮机床的一个飞跃。

国外许多工厂已使用计算机对齿轮热处理进行控制。

1.3 我国齿轮加工工艺的现状与发展

一、我国齿轮加工工艺的现状

我国50年代才开始建设齿轮制造业。60年代中期已奠定了初步基础，建起了许多齿轮机床、工具、量仪、专业齿轮和齿轮箱制造厂，形成了门类比较齐全的齿轮制造工业的体系。随着70年代的若干大型成套设备的引进，我国齿轮技术水平在试制样机与备件的攻关中缩小了与国外先进水平的差距。80年代改革开放政策使齿轮技术获得进一步提高。30多年来，我国已逐渐形成一支世界上人数最多的齿轮专业队伍，在齿轮设计与优化、强度理论、制造工艺等方面都有相当的技术力量。

在齿轮机床方面，已能生产加工3~6级精度的齿轮磨床，如表 1-1 所示。我国也试制了一些功率大（36000kW），线速度高（150m/s）和高精度（4级）的高速齿轮装置。

表 1-1 五类主要磨齿机的性能和特点

磨齿机类型	大平面砂轮	碟形双砂轮	锥面砂轮	蜗杆砂轮	成形砂轮
代表性型号与 磨齿模数 m	Y 7125, $m2\sim12$; Y 7432, $m2\sim12$; 5892 A, $m2\sim12$;	Y 7032, $m2\sim12$; Y 70160, $m2\sim12$; Mang (瑞士), $m4\sim16$	Y 7131, $m1.5\sim6$; Y 7132, $m1.5\sim6$; Y 7150 D, $m2\sim12$; Y 7132 D, $m1\sim8$	YA7232 A, $m5$; Y 7215, $m4\sim4.5$; Y 7120 K, $m2.75$ ~3.25 ; 5832(苏), $m0.1\sim2$	Y 7550, $m>2$; Y 73100, $m>2$
磨齿精度 (JB179-83) 与粗糙度	3 级 $R_a0.2(\nabla9)$	4 级 $R_a0.63\sim0.2$ ($\nabla8\sim\nabla9$)	5 级 $R_a1.25\sim0.63$ ($\nabla7\sim\nabla8$)	4~5 级 $R_a0.63\sim0.2$ ($\nabla8\sim\nabla9$)	5~6 级 $R_a1.25\sim0.63$ ($\nabla7\sim\nabla8$)
相对生产效率	0.2~0.3	0.1~0.16	0.22~0.26	以蜗杆砂轮型为 1	0.8~1
加工对象与 加工特点	齿宽较窄的 直、斜圆柱齿轮; 插齿刀、剃齿刀。 能进行齿顶、齿 根修缘	直、斜圆柱齿 轮。能进行齿顶、 齿根修缘, 并可 加工鼓形齿	直、斜圆柱齿 轮。YC7150 型能 进行齿顶、齿根修 缘, 并可加工鼓形 齿	直、斜圆柱齿轮	直、斜圆柱齿 轮。能进行齿顶、 齿根修缘, 并可 加工圆弧齿轮
适用批量与 工艺装备要求	成批生产。需 按工件配备分度 盘与渐开线凸轮	小批、成批生 产。需按工件配 备滚圆盘及分度 盘	单件、小批和成 批生产	成批和大批生 产。需配备修整砂 轮的滚压器	大批、大量生 产。需配备齿形 样板
备 注	为配合高精度 的分度盘与渐开 线凸轮, 尚需有 专用的磨床	MSD-32-X 型 可用 K 磨削法, 生产效率提高 30%~60%, 且 只须配10件滚圆 盘	不需配备滚圆盘 及分度盘, 大大减 少工艺装备	滚压器需由螺纹 磨床进行磨削。砂 轮需经动平衡	需制造与检验 齿形样板的设备

80年代我国开始试贯齿轮新标准,等效采用ISO标准的我国齿轮国标 GB 10095—88, 已正式实施。齿轮精度贯彻国标,对齿轮刀具也提出了更高的精度要求,同时也相应颁布

了齿轮刀具国标。

表1-2、表1-3、表1-4和表1-5分别列出齿轮滚刀、剃前滚刀、插齿刀和剃齿刀新的国标与所加工齿轮GB10095—88精度等级的对应关系。

表 1-2 滚刀与工件精度关系

滚 刀 精 度 等 级	可 加 工 齿 轮 精 度 等 级
A A A	6
A A	7~8
A	8~9
B	9

表 1-3 剃前滚刀与工件精度关系

剃 前 滚 刀 精 度 等 级	可 加 工 齿 轮 精 度 等 级
A	6~7
B	8

表 1-4 插齿刀与工件精度关系

插 齿 刀 精 度 等 级	可 加 工 齿 轮 精 度 等 级
A A	6~7
A	7~8
B	8~9

表 1-5 剃齿刀与工件精度关系

剃 齿 刀 精 度 等 级	可 加 工 齿 轮 精 度 等 级
A	6~7
B	7~8

新、旧标准虽然刀具精度等级相同，但其精度指标彼此都有差别，选择不当，会导致废品。

70年代以来，随着国外硬齿面技术的发展，在我国开始推广硬齿面工艺，现已能成批制造出用于加工硬齿面的超硬刀具；国产新系列的滚齿机已能适应加工硬齿面齿轮的要求。

在齿轮检测仪器方面,1968年我国首创了齿轮整体误差测量理论和方法,并在此理论基础于1970年研制成了整体误差测量仪,使我国齿轮测量技术发展到了动态综合测量的新阶段。

根据齿轮精度新标准的误差项目的分组规定及合理的分组搭配,汇总了五种常用的误差分组与需用量仪,如表 1-6 所示。

表 1-6 五种常用的齿轮误差测量项目及需用量仪

种类	误差项目的选用	被测齿轮精度等级	需 配 备 的 量 仪 (三组中可任选其中一组)	
			分组号	仪 器 名 称
1 种	ΔF_p Δf_{pt} Δf_f ΔF_β (或 ΔF_b) $\Delta f_{px}^{(2)}$ $\Delta f_{f\beta}^{(3)}$	5~8 (中、小齿轮)	1	自动齿距仪 ^① (或蜗杆式单啮仪); 齿形检查仪; 齿向检查仪 (或接触线检查仪)
			2	全齿宽整体误差单啮仪
			3	截面整体误差单啮仪; 齿向检查仪 (或接触线检查仪)
		5~8 (大齿轮)	1	大齿轮齿形齿向仪; 上置式自动齿距仪
			2	上置式自动齿距仪; 上置式齿形仪; 上置式齿向仪 (或上置式接触线检查仪); 轴向齿距仪 ^② ; 波度仪 ^③
2 种	$\Delta F_{I'}$ $\Delta f_{I'}$ ΔF_β (或 ΔF_b)	5~9 (中、小齿轮)	1	全齿宽整体误差单啮仪
			2	截面整体误差单啮仪; 齿向检查仪 (或接触线检查仪)
			3	一般单啮仪 ^④ ; 齿向检查仪 (或接触线检查仪)
3 种	$\Delta F_{I''}$ $\Delta f_{I''}$ ΔF_b (或 ΔF_β)	7~9 (中、小齿轮)		双啮仪; 公法线千分尺; 接触线检查仪 (或平行度检查装置)
4 种	ΔF_p Δf_{pt} Δf_{pb} ΔF_b $\Delta f_{px}^{(3)}$	7~9 (中等规格齿轮)	1	万能测齿仪; 接触线检查仪
			2	齿距仪; 基节仪; 接触线检查仪
		7~9 (大齿轮)	3	齿距仪; 基节仪; 接触线检查仪; 轴向齿距仪 ^④
5 种	ΔF_r Δf_{pb} ΔF_b	10~12		齿圈径向跳动仪; 基节仪; 接触线检查仪 (或平行度检查装置)

注: ① 7 级精度以下齿轮可用万能测齿仪代替;

② 宽斜齿轮需加的测量项目;

③ 6 级精度以上宽斜齿轮加检项目;

④ 成对测量, 可测量 3 级精度的齿轮副。

我国可提供作为商品的齿轮量仪如表 1-7 所示。近期哈尔滨量具厂已发展了电子式的自动齿距仪, 不但可以测高精度的中等规格的齿轮, 并且还能旁置测量大齿轮的齿距。

近年来, 结合贯彻齿轮精度标准, 广泛开展了基础工艺技术的试验研究, 如精滚工艺试验, 确定经济工艺的技术条件和精度等级; 修磨剃齿刀齿形以获得齿面理想的接触区; 改变刀具材料实现硬齿面滚、插和剃齿; 采用平衡剃齿刀和负变位剃齿刀消除齿形中凹现

表 1-7 我国的齿轮量仪品种情况

序 号	仪器名称	型 号	生 产 厂	规 格	备 注
1	自动齿距仪	ZJY 4D	成量		可测 4 级
		3406	哈量	$m1\sim40$	可测 4 级
2	万能测齿仪		成量	$m1\sim10$ $D\sim360$	
3	万能测齿机	3001	哈量	$m1\sim16$ $D\sim450$	可测 4 级
4	万能渐开线检查仪	3201	哈量	$m1\sim16$ $D\sim450$	可测 5 级
5	单盘渐开线检查仪	3202	哈量	$m1\sim16$	可测 4 级
6	螺旋线检查仪	3301	哈量	$m1\sim16$	
7	齿形齿向测量仪	3204	哈量	$m1\sim16$	可测 5 级
8	接触线检查仪				
9	单面啮合整体误差测量仪 (全齿宽整体误差单啮仪)	CZ450	工 具 所	$m1\sim10$ $D\sim450$	齿形齿向 5 级 切向 4 级 周节 3 级
10	单啮仪 (截面整体误差单 啮仪)	CD320G	北量	$m1\sim6$ $D\sim320$	齿形 5 级齿距 切向 4 级
11	大齿轮齿形齿向测量仪	PFSU1200	哈量	$D\sim1200$	可测 5 级
		DLY1200	工 具 所	$D\sim1200$	
12	上置式自动齿距仪	3408	哈量	$m1\sim40$	可测 4 级
			重机	$m1\sim20$	可测 4 级
13	上置式齿形仪	CXY15	北量	$m3\sim25$	
14	上置式齿向仪		工 具 所		正在开发中
15	上置式接触线检查仪				
16	双啮仪	3101	哈量	$m1\sim10, D50\sim300$	
		SNY3	成量	$m1\sim10, C50\sim300$	
		CA120	北量	$m0.2\sim1, D\sim120$	
17	轴向齿距仪	ZCY15	北量		
			重机		
18	波度仪	CYQ005	重机		
19	齿距仪 (手提式)		哈量 成量		
20	基节仪 (手提式)		上量		
21	齿圈径向跳动仪		上量		

续表1-7

序 号	仪器名称	型 号	生 产 厂	规 格	备 注
22	公法线千分尺		各厂		
23	齿厚卡尺		各厂		
24	万能滚刀检查仪	GDY250 GDY300	成量		可测 A A 级
25	卧式滚刀检查仪	GDW1	成量		

象；改变珩轮结构和材料，提高齿形精整质量以及磨齿齿形和齿向修形等新工艺试验研究，都大大地促进了齿轮精度水平的提高。

我国螺旋锥齿轮，大多采用美国格里森制，这种齿轮生产量大，但因切齿计算和调整复杂，生产上难以获得理想的齿面接触区，制造质量差，使用寿命不长。70年代以来，在引进国外先进加工设备与整套计算机程序的基础上，开展了对螺旋锥齿轮啮合理论的研究，消化掌握其程序软件，已能用微机对切齿调整卡进行计算，并自动调整加工偏差，使齿面接触区达到比较理想的位置，并大大地提高了工效。此外根据数控原理，应用微机对环面蜗杆螺旋齿面进行抛物线修形，已用于生产。随着 CAD/CAM 技术的发展，齿轮的 CAD/CAM 也将得到很好应用和发展。

二、我国齿轮加工工艺的发展

我国齿轮制造技术与国外相比还有很大的差距，今后几十年应从下面几方面去开展：

1. 突出硬齿面制造技术的研究和推广

我国沿用了近20年的产品或产品系列将被新的硬齿面或中硬齿面齿轮系列所代替，可以预言，提高齿轮齿面硬度和制造精度已是大势所趋。然而硬齿面制造技术是一门综合技术，它与机床、刀具、材料及热处理均有密切关系，因此，这一项目应包括成套技术研究和推广。

① 硬齿面加工机床的结构、速度、刚度、功率等的分析和研究；

② 硬齿面切削刀具的结构参数、材料及热处理关系、刀具的制造及精度、刀具寿命等的研究。

③ 开展硬齿面及中硬齿面齿轮用钢材料筛选试验和热处理研究，掌握其热处理工艺可控性，使我国齿轮用钢材料系列化、热处理规范化。

2. 加强计算机技术的应用

80年代初，我国已有个别高等学校开始研究齿轮优化设计和 CAD，并初步研制了 CAD 软件，但在辅助制造（CAM）方面工作开展的较少，今后应加强计算机和微电子技术齿轮制造和过程控制方面的应用，结合机电一体化开发一些精度要求较高（如修形）和过程控制（如材料热处理）的微机控制加工系统。

3. 普遍提高加工精度

目前一般磨齿精度为 6~7 级，尚未普遍掌握修形技术；滚齿精度多为 7~9 级，应在加强质量控制与提高人员素质基础上，把普通磨齿精度稳定在 6 级以上；滚齿精度稳定在 7 级，为此，国内应能较大量提供性能良好的相应机床，并改善刀具质量。

1.4 国内外齿轮加工工艺的比较

通过下列六个表的比较,我们可以了解世界主要国家齿轮制造技术的现状,也可以从中找出我们的差距,并为我国齿轮制造技术赶上世界先进水平做出贡献。

表 1-8 国内外齿轮制造精度比较

齿 轮 种 类			国 外 水 平		国内或上海市水平			
					国 内		上 海 市	
			一 般	最 高	一 般	最 高	一 般	最 高
机 床 齿 轮 精 度 〔级〕	圆 柱 齿 轮	$m < 1$	6	1~2 (德国)	7	1	7	6
		$m = 1 \sim 10$	6	1~2 (德国)	7	1~2	7	3
		$m > 10$	6	3 (德国)	8	5	8	7
	圆 锥 齿 轮 $m 1 \sim 10$		6	2~3 (美国)	8	1~2	8	7
	蜗 轮 副 $m 1 \sim 10$		5	1 (德国)	8		8	3
汽 车 齿 轮 精 度 〔级〕	滚 齿		6 (DIN标准)		7~8 (JB179—60)			
	插 齿		6 (DIN标准)		7~8 (JB179—60)			
	剃 齿		5~7 (DIN标准)		6~7 (JB179—60)			
	珩 齿		5~7 (DIN标准)		6~7 (JB179—60)			

表 1-9 国外齿轮加工切削速度与生产率比较

项 目		国外1980年左右水平	国内和上海市目前的水平
滚 齿	切削速度 〔m/min〕	一般 100	国内 100 上海市 20~30
	每小时产量〔件〕 (齿轮参数/机床型号) 汽车齿轮每小时产量〔件〕	65 ($m 3.75$ Z29/Pfauter p25) 美国 德国 20~80	上海市 2.4 ($m 2$ Z39/Y3150) 上海市 10
插 齿	冲程数〔次/min〕	一般 > 1000	上海市 200
	圆周进给量 〔mm/冲程〕	3	上海市 0.3
剃 齿	每小时产量〔件〕 (齿轮参数/机床型号) 汽车齿轮每小时产量〔件〕	31 $m 3$ Z18/Liebherr 高速插齿机 美国 德国 30	上海市 2.4 ($m 2$ Z21/Y54) 上海市 5
珩 齿	每小时产量〔件〕 (机床型号) 汽车齿轮每小时产量〔件〕	180 (Carl Hurth 257-7) 美国 德国 英国 日本 120~180	上海市 20 (Y4232) 上海市 40
珩 齿	汽车齿轮每小时产量〔件〕	美国 德国 英国 日本 100~150	上海市 60

表 1-10 国内外高参数齿轮加工及修形技术方面比较

项 目		国 外 水 平	国内目前水平
外 齿 轮	硬齿面加工技术	美国、瑞士、德国采用磨齿工艺， 日本采用磨齿、超硬磨齿和珩齿工 艺	磨齿和珩齿工艺
	软齿面和中硬齿面加工技术	一般用滚齿、日美还采用剃齿， 高精度齿轮还采用磨齿工艺	一般用滚齿工艺和剃齿工艺
内 齿 轮	硬齿面加工技术	用氮化齿轮，用硬质合金插齿刀 插齿，采用磨齿、珩齿工艺	个别工厂采用了成形磨齿
	软齿面和中硬齿面加工技术	采用插齿、剃齿、车齿工艺，大 直径内齿轮采用滚齿工艺	一般用插齿工艺
齿轮修形技术		已普遍采用	少数工厂采用
达到的精度等级	一 般	5 级(DIN)	7~8级 (JB 179—60)
	最 高	1 级(DIN)	1~2级 (JB 179—83)
达到的齿面粗糙度 齿轮寿命 噪声水平		R_a 1.6~0.1 μ m 一般大于10~15年 <80dB	R_a 3.2~0.2 μ m 一般为3~5年 90dB

表 1-11 各国切齿机床加工精度的对比

机床类别	国 别	厂 商 及 型 号	普 通 级	精 密 级	高精度级
滚 齿 机	日本	东芝公司	5		1
		三菱重工	5		
	德国	Pfauter公司	6	4	1~2
		Schiess	5		
		MODUL	5		
	前苏联	Komcomorey	7	6	4
	中国	平均水平	7	6	4
磨 齿 机	日本	津上 蜗杆型	4		
	德国	Höfler 锥面型	4		
		Carl Hurth 大平面型	3	2	
		Niles 锥面型	5	4	
	瑞士	Reishauer 蜗杆型	4	3	
		Maag 双碟型	4	3	
	中国	秦川机床厂 大平面型Y7125	4	3	
		锥面型	5	4	
		上海机床厂 锥面型	5		
		蜗杆型	5		
		上海第一机床厂 蜗杆型	6		

表 1-12 国内外齿轮量仪与测试技术方面比较

项 目		国 外 水 平	国内目前水平
一般量仪 高效率量仪（拖、汽齿轮用） 加工过程中控制工艺因素的量仪		拥有量多，精度高 已在应用 已在应用	拥有量不足，高精度量仪较少 几乎没有 几乎没有
特殊 量 仪	大齿轮量仪	已在应用	无
	专用小模数齿轮量仪	已在应用	无
	圆弧、圆锥、摆线、谐波非圆齿轮等的量仪	已在应用	无
机电一体化量仪 齿轮误差和传动链误差的谱分析技术 测量噪声的全息摄影技术		多种，应用较多 已用于诊断齿轮质量 已在应用	甚少 刚开始应用 尚未开展

表 1-13 国内外产品性能比较

项 目 产品	寿命（年）		噪声(dB)		负荷系数		精度GB10095—88	
	国 内	国 外	国 内	国 外	国 内	国 外	国 内	国 外
高速齿轮	5~10	>10~15	95~98	<95	10~16	20~30	5~6 $R_a 0.32 \sim 1.25$	4 $R_a 0.32 \sim 0.63$
低速重 载齿轮	2~5	10~15	90~93	<85	<20	30	8 $R_a 1.25 \sim 5$	6~7 $R_a 0.32 \sim 2.5$
机床齿轮	2~5	≥ 10	80~85	<80			6~8 $R_a 1.25 \sim 2.5$	6~7 $R_a 0.16 \sim 2.5$
减速器	5~10	10~20	>85	<85			7~8 $R_a 1.25 \sim 5$	6~7 $R_a 0.32 \sim 1.25$
汽车齿轮	10~15 $\times 10^4 \text{ km}$	40 $\times 10^4 \text{ km}$	>85	75~80			8~9	6~7
拖拉机齿轮	4000~ 6000 h	8000~ 10000 h					9~10	6~7