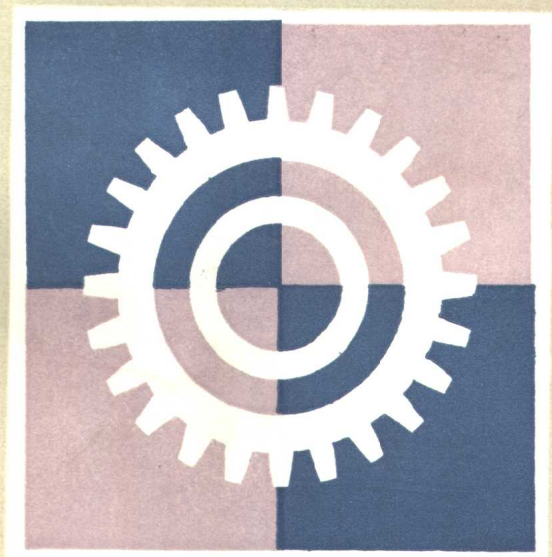


# 美国齿轮 制造新技术

关天顾 译  
孙庆华 校



北京科学技术出版社

# 美国齿轮制造新技术

关天顾 编译

孙庆华 校

北京科学技术出版社

# 《Tooling & Production》讲座材料

1981.2—1981.11

## 美国齿轮制造新技术

关天颖 编译

孙庆华 校

北京科学技术出版社

(北京西外大街140号)

北京市科学出版印刷厂 印

北京市新华书店发行

各地新华书店经售

开本：787×1092毫米1/32印张：2.5 字数：54千字

1983年9月第一版 1983年9月第一次印刷

印数：5000 定价：0.30元

统一书号：15274·905

本社 001.018

## 译 者 的 话

本书是译者根据美刊《工具制造和生产》(Tooling & Production) 第46卷11期(1981年2月)至第47卷8期(1981年11月)上刊载的《齿轮制造技术基础》(Gearmaking basics)讲座的七篇文章编译而成。内容主要介绍圆柱齿轮加工技术,其中包括滚齿、插齿、外齿轮的筒式拉削法、格里森链轮式切齿法和齿轮的精整工艺(剃齿、滚光)等,涉及齿轮刀具、机床和制造工艺方面的各种问题。

书中除介绍齿轮制造的基本技术外,还以大量篇幅介绍了目前美国齿轮制造方面的若干新工艺、新技术以及新的观点。例如筒式拉削法(第五章),它为生产精密外齿直齿轮及其它类似形状的工件提供了具有高生产率和低成本的加工方法。据作者称,一次装夹两个工件时,其生产率可达510件/小时,且加工表面光洁度可达AGMA 9级精度。又如格里森链式滚齿法(第六章),这是一种新的圆柱齿轮展成切齿法,其构思极其巧妙,生产效率特别高,加工成叠齿轮的时间与加工单个齿轮的时间一样。书中对滚刀材料的选用,对多头滚刀的论述,也有一些不常见的见解。书中报导了美国目前监控和防止齿轮滚刀破损的方法,论述了滚刀、插齿刀的选材、热处理、表面处理和刃磨等,也能为国内工厂提供借鉴。

总之,该书内容较为新颖,科学性和实用性较强,对齿

轮制造工作者有一定的启发和参考价值。

在译文中仍保留英制单位,读者可按照 1 英寸 = 2.540 厘米、1 英尺 = 0.3048 米换算。对原文中出现的表面粗糙度值,译者注出了我国相应的光洁度等级,供读者参考。书中出现的美国、瑞典钢号在附录中作了说明。

书中注释均为译校者所注。

译 者

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第一章 滚刀 (I) .....         | (1)  |
| § 1 滚刀的精度等级 .....        | (1)  |
| § 2 多头滚刀 .....           | (4)  |
| § 3 滚刀齿形的结构设计 .....      | (5)  |
| § 4 提高滚刀利用率 .....        | (7)  |
| § 5 滚刀的刃磨 .....          | (9)  |
| 第二章 滚刀 (II) .....        | (12) |
| § 1 选择刀具的材料 .....        | (13) |
| § 2 制造滚刀的方法 .....        | (16) |
| § 3 关于硬质合金滚刀的情况 .....    | (17) |
| § 4 关于多头滚刀 .....         | (18) |
| § 5 用功率监控器保护滚刀免受破坏 ..... | (19) |
| 第三章 插齿的工艺技术 .....        | (21) |
| § 1 插齿工艺的各种用途 .....      | (22) |
| § 2 工艺设备 .....           | (25) |
| § 3 刀具设计 .....           | (28) |
| § 4 插齿刀的材料 .....         | (31) |
| § 5 插齿刀的刃磨 .....         | (32) |
| 第四章 滚齿 .....             | (35) |
| § 1 滚齿与插齿相比较 .....       | (36) |
| § 2 滚齿机结构 .....          | (39) |

|                                   |                  |      |
|-----------------------------------|------------------|------|
| § 3                               | 关于刀具.....        | (41) |
| § 4                               | 用多头滚刀滚齿.....     | (46) |
| <b>第五章 高生产率切齿法</b>                |                  |      |
|                                   | ——筒式拉削法.....     | (48) |
| § 1                               | 上拉式或上推式拉床.....   | (50) |
| § 2                               | 筒式拉刀.....        | (51) |
| <b>第六章 格里森链轨式切齿法</b> ..... (55)   |                  |      |
| § 1                               | 概述.....          | (55) |
| § 2                               | 与滚齿方法相比较.....    | (59) |
| § 3                               | 链轨式切齿机的其它功能..... | (61) |
| <b>第七章 软齿面齿轮精整工艺概述</b> ..... (63) |                  |      |
| § 1                               | 剃齿.....          | (64) |
| § 2                               | 滚光.....          | (68) |
| <b>附录 美国、瑞典钢号及化学成分</b> ..... (73) |                  |      |

# 第一章 滚 刀(I)

滚刀是一种以展成法切齿的刀具(图1-1)。在展成法切

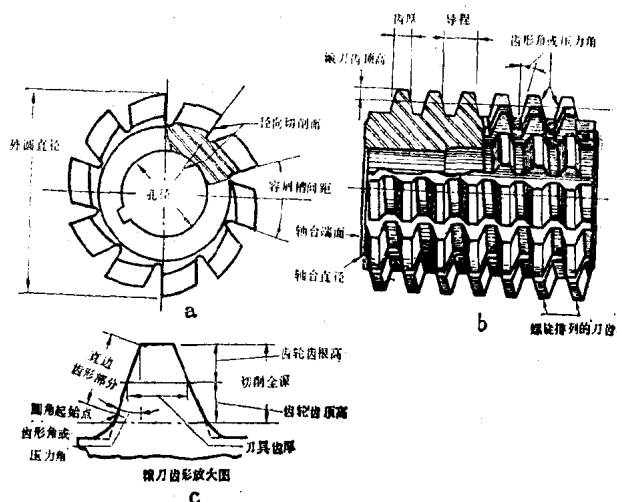


图1-1 滚刀的结构

齿中，齿轮的齿形取决于齿轮和滚刀切削刃之间的相对运动（包括滚刀的走刀运动）。它与仿形法切齿的区别，在于后者的工件齿形完全取决于切削刀具的齿形。

## § 1 滚刀的精度等级

淬硬的高速钢滚刀，按其公差由紧到松，基本上分为四

个精度等级。其公差项目包括径向跳动、导程偏差、齿厚公差和孔径公差等。A级精度的滚刀采用精密磨削；B级精度为一般磨削；C级精度为精密加工，但不磨削；D级精度为一般加工且不磨削。

虽然上面对每种精度等级都推荐了某种工艺方法，但精度分级的主要依据还是公差数值。例如：对于A级滚刀，并不是说只有采用磨削的工艺才能达到A级精度的公差，其实采用电加工工艺也能达到上述公差（而且刀具寿命还更长）。所以说，实际上滚刀精度分级的唯一依据是刀具的公差，而不论其采用何种刀具制造工艺。

通常，A级滚刀用来切削不再进行其它精整加工（即剃齿和磨齿）的大直径高精度齿轮。最低一级的D级精度滚刀，用于加工低精度齿轮。通常，这类齿轮在滚齿后不要求再进行齿部的精整加工。B级和C级滚刀，一般用于切削在滚齿后还需进行精整加工的齿轮。

多年来，剃前滚削大多采用C级滚刀。然而，近代的汽车变速器为降低其噪音而作的设计改进，要求广泛使用较高精度的齿轮，这又促使要求采用较高精度的滚刀。因为象剃齿那样的齿轮精整工艺，它仅仅能除掉滚齿造成的齿轮误差的50%。如果剃齿前使用精度较高的滚刀切齿，那么剃齿时要求去掉的误差就较少，因此就可以获得一个精度较高的齿轮。由于上述原因，所以在大量生产的汽车行业中，正在推广用精度更高（价格也更贵）的B级滚刀来代替C级滚刀。

此外，在汽车行业中，由于生产率的不断提高而使单头滚刀（见图1-2）正在被多头滚刀（见图1-3）所代替。用多头滚刀滚切齿轮比单头滚刀快，但其滚出齿轮的精度较低。

为了克服这个缺点，许多齿轮制造厂都采用精度较高的 B 级

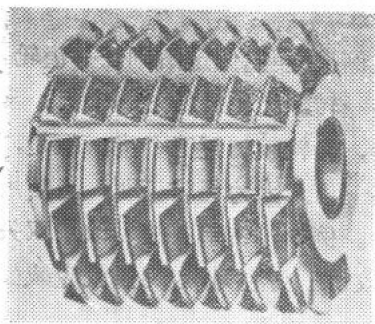


图1-2 单头滚刀外形图

这种滚刀可用在滚齿机上滚高精度齿轮。它也可用作精切。但是，对于高精度齿轮，通常都在滚齿后还采用剃齿、磨齿或滚光精整工序。

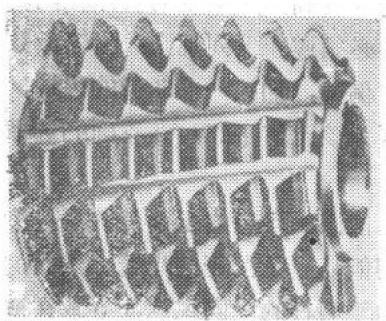


图1-3 多头滚刀外形图

用这种滚刀可提高滚齿生产率，但滚齿后尚需对齿部作精整加工。

或 A 级滚刀来代替 C 级滚刀。这样，虽然刀具费用增加了，但由于多头滚刀提高了切削效率，所以总的经济效果还是好的。

## § 2 多头滚刀

多头滚刀的优点最好用举例来说明。假定滚削任一齿轮。如果用单头滚刀，则刀具每转一转，齿轮就转过一个齿；当用三头滚刀时，刀具每转一转，齿轮就转过三个齿。但是，三头滚刀的切削效率并非提高三倍。因为经验证明，当使用多头滚刀时，走刀量必须减少。例如，由单头滚刀改用双头滚刀，走刀量就应减少 $\frac{1}{3}$ ；改用三头滚刀，走刀量就应减少 $\frac{1}{2}$ 等。

多头滚刀与相应的单头滚刀相比，每增加一个头，其价格约增加10%。例如，一个五头C级滚刀的价格可能比一个单头C级滚刀的价格高40%。为了核算使用多头滚刀的经济性，则必须考虑该刀具价格，包括提高刀具精度的费用在内。

用多头滚刀加工齿轮时，必须遵守下列规则：齿轮齿数与滚刀头数之比不能为整数。例如，加工一个50齿的齿轮，选用双头滚刀是不正确的，因为该比值是25:1。正确的选择方案应该用三头或七头滚刀。

遵守上述规则的必要性，能以一理想的无误差的多头滚刀来作说明。假想这样的滚刀能切出无误差的齿轮，然而，当该滚刀装于滚齿机上时，由于刀杆的径向跳动而导致在被切齿轮上产生齿形误差。如果不遵守上述规则，那么在滚齿后的精整工序中要消除这种齿形误差，即使有可能，也将是很困难的，如果遵守上述规则，即不采用整数比，那么由多

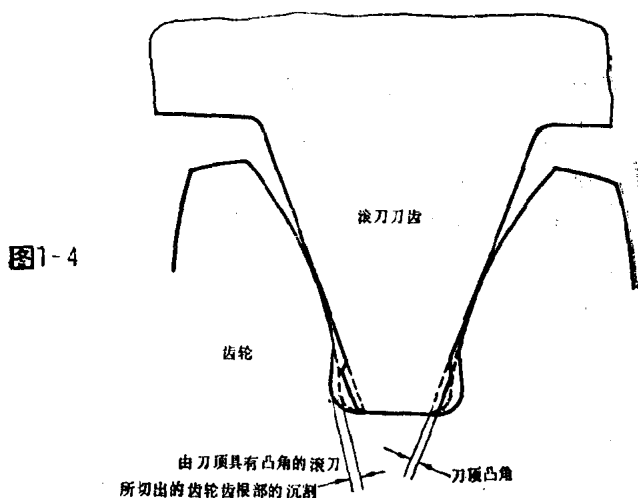
---

• 注：原文为 $\frac{2}{3}$ ，有误，似应为 $\frac{1}{3}$ 。

头滚刀的一个头所产生的展成误差，可以被其后的各个头在相继的展切运动中逐步校正。

### § 3 滚刀齿形的结构

为使滚刀具有多种功能，其齿形有许多种设计方案，这些方案包括对滚刀齿形作各种修正。例如，刀顶具有凸角的滚刀，能使滚出的齿轮在齿根部形成沉割，见图1-4。这种沉割为剃齿提供了径向间隙，以免剃齿刀在工件齿根部留下台阶。



当滚齿后，还需剃齿时，剃齿刀的刀顶角不要切入工件的齿根圆角，也不要在工作上留下剃削的台阶，这一点很重要。对此可采用刀顶具有凸角的滚刀来实现，它能在工件齿根部形成沉割，使剃齿时加工出一个圆滑的根部齿形。

具有倒棱切削刃的滚刀，见图1-5。它能在滚切轮齿的同时，在齿轮的齿顶处切出倒棱。该齿顶倒棱能保护轮齿的齿面免受由于在加工过程中搬运不慎所引起的磕伤。齿面磕伤是齿轮返修的主要原因，因为它妨碍与相配齿轮的正确啮合。

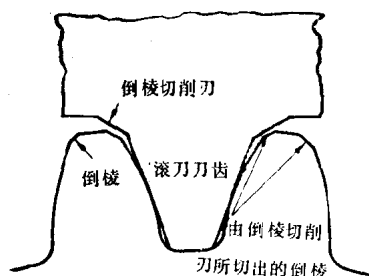


图1-5

具有倒棱切削刃的滚刀，能在展切轮齿的同时，在工件齿顶处切出倒棱。齿顶倒棱可以避免由于搬运不慎而磕伤已加工好的齿面，但有一点很重要，就是齿顶倒棱不要太大，以免影响轮齿的啮合（即轮齿的重合度）。

而在齿顶具有倒棱的齿轮上，磕碰通常不会损伤渐开线齿形部分。许多大量生产的齿轮制造厂，在其滚刀计算书上都包括有倒棱切削刃的设计。

还有一种滚刀由具有倒棱切削刃的滚刀演变而来，叫切顶滚刀，见图1-6。用这种滚刀滚齿的同时，工件的齿顶圆也被加工到要求尺寸。应用切顶滚刀的最好例子是：在一根

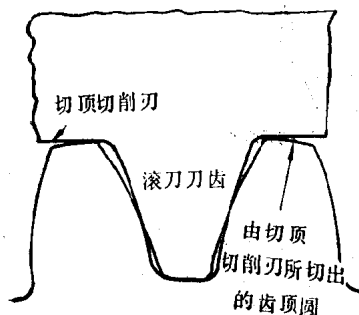


图1-6

切顶滚刀能在展切轮齿的同时切削出齿轮的齿顶圆，所以该齿轮的齿顶圆与齿圈是同心的。

长轴的中间位置需加工一齿轮，滚齿后，该零件被热处理。热处理以后，通常是用量棒测量出齿圈的径向跳动，并对其反复校直。然而，采用切顶滚刀所滚出的齿轮，就可直接测量其齿顶圆的径向跳动，而不需用量棒，因为此时齿顶圆与齿圈是同心的。

最后，还有一种具有耐磨损特性的滚刀叫全圆齿顶滚刀。它与普通滚刀的不同之处在于后者的刀顶是平的，其两侧仅有较小半径的圆角。滚刀磨损首先发生在该刀顶圆角与直边侧刃的相切处，所以圆角半径越大，其耐磨特性越好。因此，只要有可能，应尽量将滚刀的刀顶设计成用一个大圆弧相连的全圆齿顶的型式。

## § 4 提高滚刀利用率

在切削若干个齿轮以后，滚刀最好要改变其与齿轮毛坯的相对位置，以便用几圈新的刀齿来进行切削，这就叫做串刀。串刀能以手动操作来实现，并应在刀齿的磨损量未达到0.020英寸之前将滚刀作移位。它也能利用某些滚齿机所具有的自动串刀机构实现自动串刀。

手动串刀是麻烦的，因为操作者不能总是认真地去检测串刀时的刀齿磨损量。要是能做到这一点的话，那么手动串刀也是不困难的。尤其在快要下班时，那时滚刀也许已处在严重磨损的状态，但未察觉，因而又转给下一班的操作者继续使用，其结果是使滚刀极度变钝或者擦伤刀齿。

为提高滚刀的使用寿命，应该在刀齿磨损0.015~0.020

英寸后就进行串刀。因为此时刀齿已经变钝，再继续使用的话，其磨损量很快就会达0.040英寸。这样，滚刀在重磨时就需磨去更多的余量，其结果是缩短了刀具寿命。

提高滚刀使用寿命的另一种方法是采用加长型滚刀。以往滚刀的长度是与其直径相等的，如：3英寸×3英寸，5英寸×5英寸等；而加长型滚刀，如直径×长度为3英寸×7英寸，它允许在每次使用时作更多次的串刀，同时也延长了刀具的连续工作时间，因而减少了由于频繁地更换滚刀所引起的机床停机时间。

最近对整体硬质合金滚刀和镶片硬质合金滚刀的研制工作，为提高滚刀的使用性能开辟了良好的前景，其目的都是为了延长刀具寿命。然而，有一个问题至今尚未解决，就是确定何种适当的硬质合金成分，使其韧性足以承受滚齿时所产生的断续而强烈的冲击。尤其是在切削钢的时候，这种冲击会很快使硬质合金刀齿产生崩刃。

关于用硬质合金材料代替常用的滚刀材料，即T-15、M-35和M-42优质钢等在成本上是否经济的问题，这很难作简单的比较。现用下面的实例来加以说明。最近某工厂用整体硬质合金滚刀切削铝质齿轮，该滚刀以某一段刀齿工作了几个月，其刀齿磨损量仅为0.005英寸。有一天，正当滚切至中途时，操作者关了机床午休去了。午休后，再启动机床时，滚刀就碎裂了。一把价值2000美元的滚刀就这样报废了。所以这类刀具成本虽然如此高，但还不成问题，主要是其脆性（极易崩刃），加上操作者的使用不当，妨碍了这类刀具的推广使用。因此，为了使硬质合金滚刀能成功地应用于齿轮的大量生产，操作者必须事先经受专门的教育和培训。

## § 5 滚刀的刃磨

滚刀刃磨是在滚刀的所有刀齿上，对其整个前刃面进行磨削，直至刀齿的顶面和两侧面上所有能观察到的磨损痕迹全部消除为止。

为保证滚刀刃磨后的精度，必须控制下列诸因素：容屑槽的槽距（包括相邻的和不相邻的）、前角和导程。

**容屑槽的槽距** 齿轮滚刀的槽距公差，是指在任意两个相邻槽距或不相邻槽距之间所允许的分度总偏差。如果超过这个公差，则各排刀齿在同一直径上的齿厚就会发生变化，结果使各切削刃不能与理论导程保持一致，如图1-7中所示。这样的滚刀所切出的齿轮齿形就不正确，随着各排刀齿在刃磨时所磨去的余量过多或不足，而使该齿轮的齿形相应的成为凸出或凹下。

通常，使滚刀在刃磨时产生槽距误差的原因是：由于滚刀与刃磨心轴的配合较松、刃磨心轴的顶尖孔粘污或有毛刺、以及机床调整不当等引起的径向跳动、和砂轮变钝等。

**前角** 滚刀前刃面公差是指从刀齿切削刃的齿顶到齿根沿前刃面线所允许的总偏差。如果不能满足这个公差，而当前刃面的齿根部所磨去的余量过多或不足时，对零前角滚刀而言，就会出现正前角误差或负前角误差，如图1-8中所示那样。（注：对于正前角滚刀，应在其轴台上标明前角的大小和前刃面的偏置量。）用有前刃面误差的滚刀所切出的齿轮，不会具有正确的渐开线齿形。前刃面具有正前角误差的滚刀，将使齿轮的齿厚减薄。而具有负前角误差的滚刀，则使切出

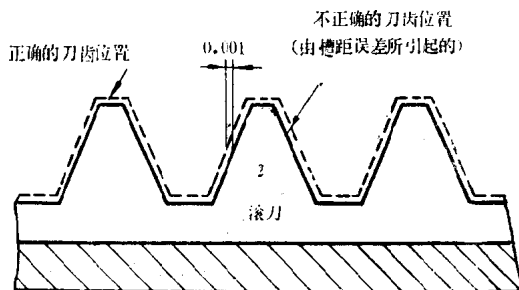
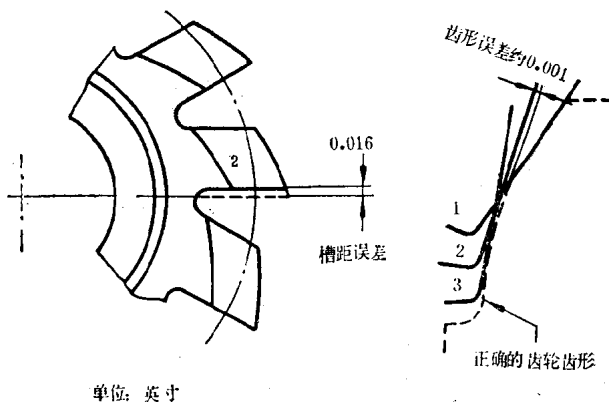


图1-7

齿轮的轮齿变得短而厚。前刃面误差是由于砂轮相对于滚刀轴线的位罝不正确所引起的。

**容屑槽导程** 容屑槽导程公差是指在滚刀任一排刀齿的前刃面上所允许的导程总偏差。导程误差对滚刀的全部刀齿均有影响，它使得包括齿形两侧面在内的各切削刃的轮廓不正确。

用有导程误差的滚刀切出的齿轮，其齿形亦不正确。轮齿呈不对称，有偏斜的倾向。引起导程误差的原因是：有配