

JINSHU QIEXIAO DAOJU SHEJI SHOUCHE

金属切削刀具设计手册

单行本

加工锥齿轮的刀具

袁哲俊 刘华明 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



金属切削刀具设计手册

单行本

加工锥齿轮的刀具

袁哲俊 刘华明 主编

袁哲俊 赵航 于继龙 王家喜 编著



机械工业出版社

本手册系统全面地介绍了各种金属切削刀具的结构及其设计,包括普通刀具和复杂刀具的设计。手册共分16章,介绍了刀具的共同问题:刀具几何参数的定义和刀具材料;普通刀具部分介绍了车刀、孔加工刀具、铣刀和螺纹刀具;复杂刀具部分介绍了拉刀、数控刀具、齿轮刀具和加工非渐开线齿形工件的刀具。对常用的标准刀具,扼要地介绍了刀具的结构特点和设计方法。对非标准刀具和一些参考资料中叙述较少的先进高效刀具,则较详细地介绍了它们的设计方法。手册中除附有大量的图表、数据、标准资料、部分刀具合理正确使用的经验资料和技术要求外,对不少刀具列有详细的设计计算步骤,并附有设计示例和工作图。手册末附有刀具夹持部分的结构和尺寸,作为设计时参考。

本手册可供刀具设计人员作为案头书,并可供刀具制造和使用的工程技术人员以及机械制造专业的师生参考。

本单行本包括直齿锥齿轮刀具和曲线齿锥齿轮加工刀具的结构、参数及设计方法等。

图书在版编目(CIP)数据

加工锥齿轮的刀具/袁哲俊,刘华明主编. —北京:机械工业出版社,2009.6

(金属切削刀具设计手册

ISBN 978-7-111-27328-8

I. 加… II. ①袁… ②刘… III. 锥齿轮-齿轮刀具-技术手册
IV. TG721-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第089489号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:周国萍 版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2009年7月第1版第1次印刷

210mm×285mm·3.75印张·151千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27328-8

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379733

封面防伪标均为盗版

金属切削刀具设计手册编委会

主 编	袁哲俊	哈尔滨工业大学教授
	刘华明	哈尔滨工业大学教授
编 委	顾祖慰	哈尔滨汽轮机厂副总工艺师、高级工程师
	赵 鸿	航天科工哈尔滨风华有限公司总经理、研究员
	曹聚盛	哈尔滨量具刀具厂仪器分厂厂长、高级工程师
	姚英学	哈尔滨工业大学教授
	薄化川	哈尔滨工业大学教授
	于继龙	哈尔滨第一工具厂总工程师、高级工程师
	董英武	哈尔滨第一工具厂高级工程师
	王 扬	哈尔滨工业大学教授
	周 明	哈尔滨工业大学教授
	刘献礼	哈尔滨理工大学教授
	孙柏春	哈尔滨先锋机电技术开发有限公司高级工程师

金属切削刀具设计手册编者

第1章	刀具几何参数的定义	刘华明
第2章	刀具材料	杨立军、王扬、王娜君
第3章	车刀和刨刀	赵鸿、周明、刘献礼
第4章	孔加工刀具	刘华明、曹聚盛
第5章	铣刀	顾祖慰、马彪、汪津泽
第6章	拉刀	薄化川
第7章	螺纹刀具	刘献礼
第8章	数控机床用工具系统	孙柏春
第9章	成形齿轮刀具	袁哲俊、张文生
第10章	齿轮滚刀	莽纪成、张新国
第11章	加工蜗轮、蜗杆的刀具	刘华明、黄劭楠
第12章	插齿刀和梳齿刀	袁哲俊、姚英学
第13章	剃齿刀	袁哲俊、谢大纲
第14章	直齿锥齿轮刀具	袁哲俊、赵航
第15章	曲线齿锥齿轮加工刀具	于继龙、王家喜
第16章	加工非渐开线齿形工件的刀具	董英武、刘华明、王东鹏
附录	刀具常用数表	袁哲俊

《金属切削刀具设计手册》单行本 出版说明

《金属切削刀具设计手册》注重实用性、先进性、系统性，汇集了各种金属切削刀具的结构及其设计，包括普通刀具和复杂刀具的设计，具有“内容先进翔实、设计示例步骤详尽、作者学识丰富专深、标准符合国家最新”的突出特色，是从事刀具设计和使用的工程技术人员必备的案头工具书。

《金属切削刀具设计手册》自2008年出版以来，受到了包括企业、研究院所以及高校等的专业读者的广泛欢迎。从读者的反馈来看，手册能围绕金属切削工具的结构及其设计，为读者提供可靠的数据，详细的设计计算步骤、设计示例和工作图，帮助读者解决工作中遇到的刀具设计和使用问题。

在手册的使用过程中，一些读者提出了手册较厚，使用不方便的问题。为此，我们针对手册的形式进行了调研，结果表明，单行本的模式得到了许多读者、作者的肯定和期待。为了满足设计和使用人员对某类刀具设计和使用的需要，更加方便设计和使用人员查用，我们决定编辑出版《金属切削刀具设计手册》有关章的单行本。

从刀具的种类出发，考虑到一些刀具设计和使用人员从事相对具体、独立的刀具设计和使用工作，《金属切削刀具设计手册》单行本包括《车刀和刨刀》（含刀具几何参数的定义）、《孔加工刀具、铣刀、数控机床用工具系统》（含刀具常用数表）、《拉刀》、《螺纹刀具》、《加工锥齿轮的刀具》、《加工圆柱齿轮和蜗杆副的刀具》，读者可根据需要灵活选购。

机械工业出版社

前 言

我国的刀具制造业已有较长的历史，改革开放以来，特别是近几年随着我国机械制造业的蓬勃发展，刀具工业已发展到相当大的规模，不仅有数量较多的专业工具厂，而且大量的机械制造厂都在使用和生产刀具。我国现在的生产总值和制造业规模，仅次于美国、日本，最近又超过了德国，已居世界第三位。我国已是世界制造大国，机床拥有量世界第一，年消耗刀具近 20 亿美元。提高切削技术、正确设计和选用先进高效精密刀具，能大大提高机械制造的生产率，提高产品质量，降低生产成本，对整个机械制造工业影响极大。先进高效刀具是提高机械制造业水平和提高加工效率的最积极因素之一。

但是国内专门的刀具设计书还比较少，系统全面地介绍各种刀具设计的书更缺。为解决刀具设计的急需，为从事刀具设计的工程技术人员提供一本实用的案头书，我们组织编写了本书。本书系统全面地介绍了各种金属切削刀具的结构及其设计，包括普通刀具和复杂刀具的设计。全书共分 16 章，介绍了刀具的共同问题：刀具几何参数的定义和刀具材料；普通刀具部分介绍了车刀、孔加工刀具、铣刀和螺纹刀具；复杂刀具部分介绍了拉刀、数控刀具、齿轮刀具和加工非渐开线齿形工件的刀具。对常用的标准刀具，扼要地介绍了刀具的结构特点和设计方法。对非标准刀具和一些参考资料中叙述较少的先进高效刀具，则较详细地介绍了它们的设计方法。本书编写取材，尽量采用经过生产实际检验过的资料，同时也适当注意国内外刀具技术的新发展。书中除附有大量的图表、数据、标准资料、部分刀具合理正确使用经验资料和技术要求外，对不少刀具列有详细的设计计算步骤，并附有设计示例和工作图。书末附有刀具夹持部分的结构和尺寸，作为设计时参考。

参加本手册编写的有哈尔滨工业大学、哈尔滨第一工具厂、哈尔滨量具刀具厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨风华有限公司、哈尔滨理工大学、哈尔滨先锋机电有限公司、黑龙江科技学院等单位的多名同志。本书由袁哲俊、刘华明担任主编。编写中得到很多工厂、学校和科研院所同志的帮助，并提供资料和意见，在此一并致谢。本次手册编写过程中，哈尔滨量具刀具厂曹聚盛高工不幸因病去世，对此我们深表哀悼。

由于受到本书篇幅限制，还有不少刀具设计内容未能编入。由于我们水平有限，编写仓促，书中缺点错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编 著

目 录

《金属切削刀具设计手册》单行本出版说明

前言

第 14 章 直齿锥齿轮刀具 1

- 14.1 直齿锥齿轮刀具概述 1
 - 14.1.1 直齿锥齿轮简介 1
 - 14.1.2 直齿锥齿轮的仿形加工法和刀具 2
 - 14.1.3 按无瞬心包络法加工的圆拉铣削法 3
 - 14.1.4 展成法加工直齿锥齿轮 4
- 14.2 成对展成锥齿轮刨刀 4
 - 14.2.1 成对展成锥齿轮刨刀的工作原理 4
 - 14.2.2 锥齿轮刨刀结构尺寸的确定 5
 - 14.2.3 标准锥齿轮精刨刀的结构尺寸 7
 - 14.2.4 直齿锥齿轮精刨刀技术条件 8
 - 14.2.5 直齿锥齿轮粗刨刀 9
- 14.3 成对展成锥齿轮铣刀 10
 - 14.3.1 成对展成锥齿轮铣刀的工作原理 10
 - 14.3.2 铣刀盘直径和内凹角的确定 10
 - 14.3.3 铣刀盘和刀齿的结构 11
 - 14.3.4 铣刀盘刀齿的主要技术要求 12
- 14.4 成形定装锥齿轮滚刀 13
 - 14.4.1 成形定装锥齿轮滚刀的工作原理 13
 - 14.4.2 成形定装锥齿轮滚刀的齿形计算 13

- 14.4.3 成形定装锥齿轮滚刀的其他结构尺寸 16
- 14.5 成形锥齿轮铣刀 17
 - 14.5.1 盘形锥齿轮铣刀 17
 - 14.5.2 指形锥齿轮铣刀 19
- 14.6 用标准刀具加工非标准锥齿轮 20
 - 14.6.1 用标准锥齿轮刨刀加工非标准锥齿轮 20
 - 14.6.2 用标准成对齿轮铣刀加工非标准锥齿轮 21
 - 14.6.3 用标准锥齿轮刨刀加工鼓形齿锥齿轮 21

第 15 章 曲线齿锥齿轮加工刀具 23

- 15.1 弧齿锥齿轮铣刀 23
 - 15.1.1 弧齿锥齿轮加工方法概述 23
 - 15.1.2 弧齿锥齿轮铣刀盘 24
- 15.2 长幅外摆线齿锥齿轮铣刀 39
 - 15.2.1 长幅外摆线齿锥齿轮加工原理 39
 - 15.2.2 长幅外摆线齿锥齿轮的分类 40
 - 15.2.3 长幅外摆线齿锥齿轮铣刀 40

参考文献 51

第 14 章 直齿锥齿轮刀具

14.1 直齿锥齿轮刀具概述

14.1.1 直齿锥齿轮简介

直齿锥齿轮用于传递相交轴之间定传动比的旋转运动。直齿锥齿轮比螺旋齿锥齿轮在设计 and 制造上都较简单，故在各种机械中常被采用。

1. 基本啮合概念

图 14-1 所示是一对共轭的锥齿轮，两齿轮的锥顶同一点，相互以节锥做无滑移的滚动，故仅齿面上和锥顶等距的点才能啮合接触，齿廓上共轭各点必在同一球面上，锥齿轮的齿廓表面理论上应是球面渐开线表面。

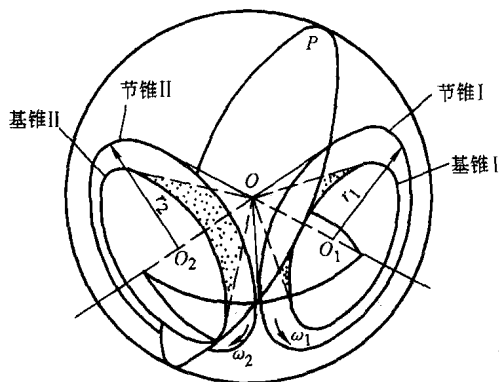


图 14-1 锥齿轮球面啮合

2. 锥齿轮的背锥和当量齿轮

由于球面渐开线不能在平面中展开，设计计算和制造都很困难。故生产中采用近似齿形来代替，常用的方法是用锥齿轮大端上和节锥相垂直的背锥上的参数来代替球面上的参数。这样代替可将锥面展开成平面，虽有一定误差，但使计算和制造大为简化。

图 14-2 是一对共轭锥齿轮，将其背锥展开成扇形面，再补画成完整的齿轮。这展开后补全的齿轮称为锥齿轮的当量齿轮，它近似地反映了锥齿轮大端的齿形和啮合情况。

当量齿轮的模数和分度圆压力角即为锥齿轮大端的模数和压力角。在锥齿轮的节锥角为 δ_1 和 δ_2 时，当量齿轮的节圆半径 r_{1v} 、 r_{2v} 与锥齿轮大端的节圆半径 r_1 、 r_2 关系为

$$\left. \begin{aligned} r_{1v} &= \frac{r_1}{\cos\delta_1} \\ r_{2v} &= \frac{r_2}{\cos\delta_2} \end{aligned} \right\} \quad (14-1)$$

当量齿轮的齿数 z_{1v} 和 z_{2v} 为

$$\left. \begin{aligned} z_{1v} &= \frac{2\pi r_{1v}}{\pi m} = \frac{2}{m} \times \frac{m z_1}{2\cos\delta_1} = \frac{z_1}{\cos\delta_1} \\ z_{2v} &= \frac{z_2}{\cos\delta_2} \end{aligned} \right\} \quad (14-2)$$

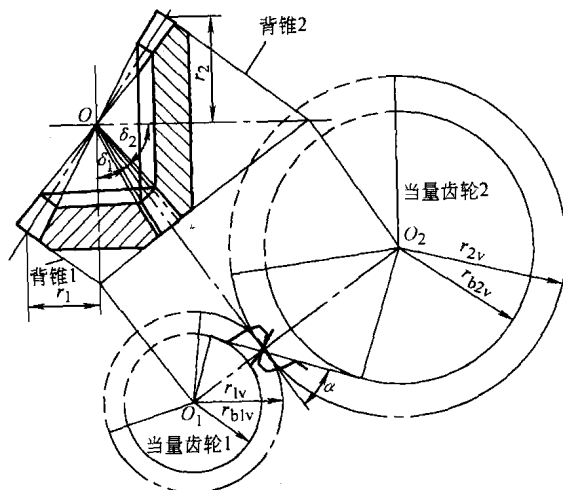


图 14-2 锥齿轮的背锥和当量齿轮

当 $\delta_1 + \delta_2 = \varphi = 90^\circ$ 时

$$\left. \begin{aligned} z_{1v} &= \frac{z_1}{\cos\delta_1} \\ z_{2v} &= \frac{z_2}{\cos\delta_2} \end{aligned} \right\} \quad (14-2a)$$

3. 直齿锥齿轮基本参数的计算

直齿锥齿轮为收缩齿，大端模数大，小端模数小。锥齿轮计算时大端取标准值（模数），这是由于大端尺寸便于测量。直齿锥齿轮各参数的计算见表 14-1。

表 14-1 直齿锥齿轮各参数计算表

序号	名称	代号	计算公式	
			小齿轮	大齿轮
1	传动比	i	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\sin\delta_2}{\sin\delta_1}$	
2	两齿轮轴间角	φ	$\varphi = \delta_1 + \delta_2$	
3	平面齿数	z_c	$z_c = \frac{z_1}{\sin\delta_1} = \frac{z_2}{\sin\delta_2} = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$	
4	节锥母线长度	L_c	$L_c = \frac{r_1}{\sin\delta_1} = \frac{r_2}{\sin\delta_2} = \frac{1}{2} m z_c$	
5	齿面宽	B	平时取 $B = \frac{1}{3} L_c$	
6	节锥角	δ	$\tan\delta_1 = \frac{\sin\varphi}{i + \cos\varphi}$	$\delta_2 = \varphi - \delta_1$
7	节圆直径	d	$d_1 = z_1 m$	$d_2 = z_2 m$
8	齿顶高	h_a	$h_{a1} = (h'_a + x_1) m$	$h_{a2} = (h'_a + x_2) m$
9	齿根高	h_f	$h_{f1} = (h'_a + c' - x_1) m$	$h_{f2} = (h'_a + c' - x_2) m$
10	齿根角	γ'	$\tan\gamma'_1 = \frac{h_{f1}}{L_c}$	$\tan\gamma'_2 = \frac{h_{f2}}{L_c}$
11	根锥角	δ_r	$\delta_{r1} = \delta_1 - \gamma'_1$	$\delta_{r2} = \delta_2 - \gamma'_2$
12	顶锥角	δ_a	$\delta_{a1} = \delta_1 + \gamma'_2$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \gamma'_1$
13	顶圆直径	d_a	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1} \cos\delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2} \cos\delta_2$

我国和外国的标准直齿锥齿轮的基本参数见表 14-2。

表 14-2 各国标准直齿锥齿轮的基本参数

国别	齿形种类和标准号	模数或径节	基准压力角 α	齿顶高系数 h'_a	顶隙系数 c^*
中国	标准齿形	m	20°	1	0.25
	标准齿形	m	20°	1	0.2
	短齿齿形	m	20°	0.8	0.3
前苏联	标准齿形	m	20°	1	0.2
德国	标准齿形	m	20°	1	0.1236
	短齿齿形	m	20°	0.8	0.1
英国	标准齿形	DP	20°	1	0.25
美国	标准齿形 (格利森制)	DP	$14 \frac{1}{2}^\circ$	1	DP < 20
			$17 \frac{1}{2}^\circ$		0.188
			20°		DP > 20
			$22 \frac{1}{2}^\circ$		0.2

14.1.2 直齿锥齿轮的仿形加工法和刀具

直齿锥齿轮理论齿形应为球面渐开线，沿齿长方向为收缩齿，这种理论正确的直齿锥齿轮加工极难，实际生产中采用近似齿形的加工方法。直齿锥齿轮可用多种不同原理和不同方法加工，有相应的多种不同的加工直齿锥齿轮的刀具，其中仿形加工法加工直齿锥齿轮又有如下不同方法。

1. 成形铣齿法

(1) 盘形铣刀 用于加工中等模数、精度不高的直齿锥齿轮。由于加工效率低、加工精度低，仅在修配和单件生产中使用。

(2) 粗加工用盘形铣刀 大量生产中为提高切齿效率，采用大直径粗切盘形铣刀加工直齿锥齿轮。切齿情况如图 14-3 所示，在专用的单轴或多轴铣床上切削锥齿轮。切齿时，除铣刀的旋转切削运动外，铣刀并沿齿轮齿长度方向做往复运动（也可齿轮移动）切出轮齿的全长。粗切时，轮齿切到全深，齿侧面留精切留量，一齿切完后，

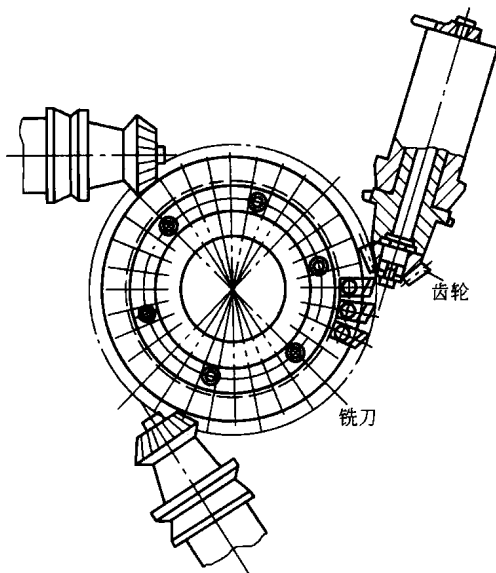


图 14-3 用大直径盘形铣刀粗切锥齿轮

进行分度后再切第二齿。图 14-4 所示为这种大直径（ $\phi 500 \sim \phi 600\text{mm}$ ）的粗切盘铣刀结构，刀齿分左右切齿和右切齿并且交错排列，分别切齿槽的左右两侧齿面。

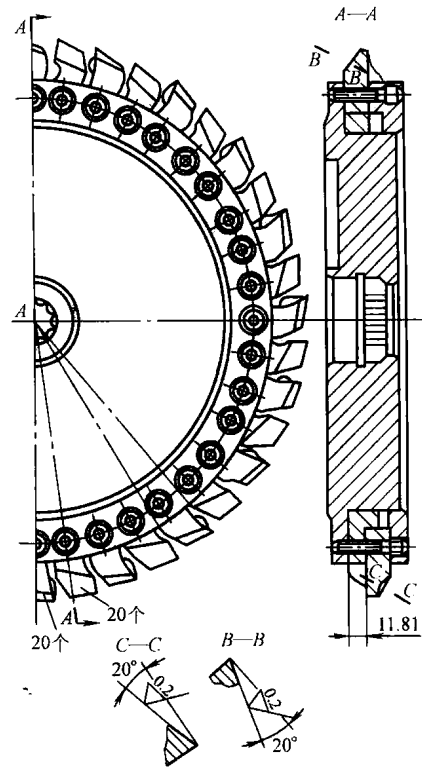


图 14-4 粗切盘铣刀的结构

(3) 指形铣刀 用于加工大模数直齿锥齿轮。由于直齿锥齿轮的大端到小端的齿槽宽度、高度和齿形均不相同，故用指形铣刀加工时精度很低，仅在精度要求不高时才能使用。

2. 靠模仿形刨齿法

这是一种较老的加工直齿锥齿轮的方法，用于加工模数较大的齿轮。

靠模仿形刨齿的工作原理如图 14-5 所示。在图 14-5a 中可看到，刨刀刀架在导轨上做往复刨削运动，导轨可以围绕通过齿轮节锥顶点的两条相互垂直的轴线旋转，使刨刀刀尖的切削轨迹始终通过锥顶。导轨支臂的滚柱沿靠模板滚动，以加工出要求的齿轮齿廓，每切完一齿进行分度后再切第二齿。精切时，刨刀仅用半径为 1mm 左右的刀尖圆角切削，生产率很低。

靠模板的廓形是根据齿轮节锥角按球面渐开线（或当量齿轮齿的渐开线）计算的。每台刨齿机带一套靠模板。可根据齿轮的节锥角选用靠模板。

靠模板是按齿厚 $s = 0$ 情况下设计的。实际切齿时，应根据锥齿轮背锥当量齿轮的齿厚半角，将靠模板转过相应的角度使用，如图 14-5b 所示。

用仿形靠模法加工直齿锥齿轮时，可以调整靠模板的转角和偏位量加工出不同节锥压力角、不同节锥角和不同齿数的齿轮。

3. 成形定装滚齿法

此方法主要是在仪表工业中加工小模数直齿锥齿轮。

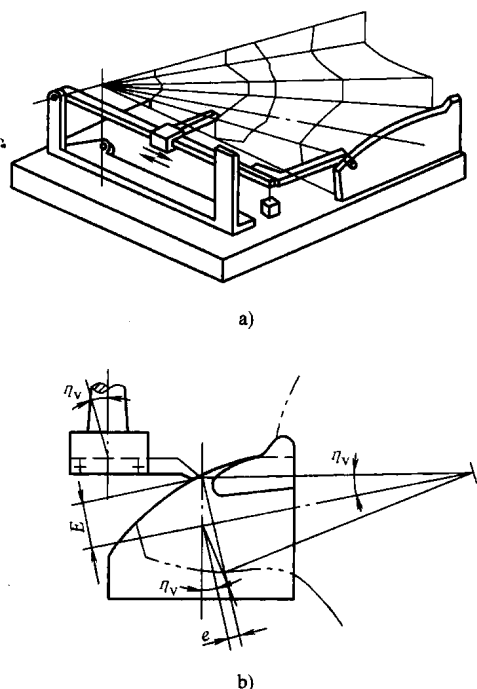


图 14-5 用靠模仿形刨齿法加工直齿锥齿轮

a) 靠模仿形刨齿工作原理 b) 仿形刨齿时靠模板转角

滚刀有两个刀齿分别切锥齿轮齿槽的两侧表面。滚刀转一转，锥齿轮转过一个齿，有一定的传动比，此外滚刀沿齿槽方向进给，切出齿槽的全长。此方法可以切出锥齿轮要求的收缩齿（即大端和小端不同齿宽），但大端和小端切出的齿形相同，仅适用于加工低精度锥齿轮。

14.1.3 按无瞬心包络法加工的圆拉铣削法

在大量生产中，用圆拉铣刀按无瞬心包络法加工直齿锥齿轮，加工原理图如图 14-6 所示。在汽车拖拉机工业中，用这方法加工中等模数（ $m \leq 6\text{mm}$ ）的直齿锥齿轮，切每一齿槽仅需 3s 左右，生产率为展成刨齿法的 8 倍。

圆拉铣刀直径 400 ~ 600mm，采用镶齿结构，如图 14-6a 所示。有 15 ~ 17 块扇形刀块，每个刀块有 4 ~ 5 个刀齿，分粗切齿、半精切齿和精切齿。粗切齿主要以顶刃工作，每个刀齿比前一刀齿升高 0.1mm 左右，逐个切入齿槽直到全深。半精切齿是粗切齿的最后几个刀齿，它们的顶刃切削量不大，而是侧刃将齿槽大端切宽。在半精切齿和精切齿之间有空缺，需要时可以加装倒角用的成形刀齿。

精切齿是最后加工齿形表面的。每个刀齿切一窄条齿形表面，由于刀盘中心位移，下个刀齿切相邻的窄条齿形表面。圆拉铣刀盘一般有 20 个精切齿，可以保证加工出的齿形表面获得要求的齿形精度和加工表面粗糙度。图 14-7 所示为圆拉铣法加工出的齿面，图中表示出精切齿在齿面上的切削痕迹。

精切齿后面有空挡，所对中心角为 44° ，被切齿轮到这里时进行分度，分度时刀具不需退离齿轮，圆拉铣刀连续转动，切削速度采用 30 ~ 40m/min，刀具转一转即切完一齿槽，加工效率很高。

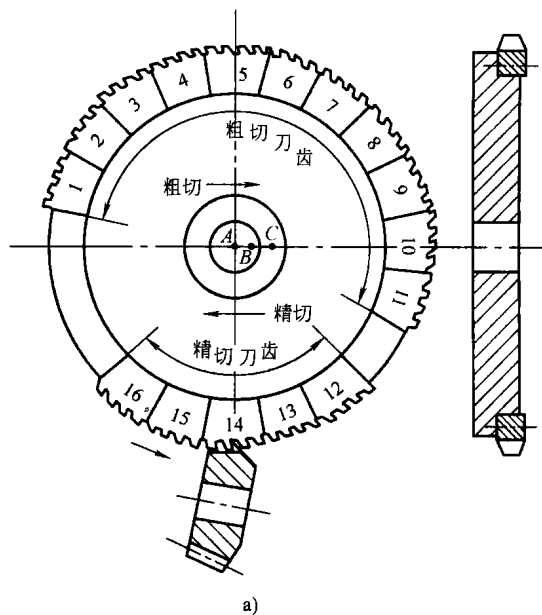


图 14-6 圆拉铣刀切直齿锥齿轮原理图

a) 结构 b) 原理

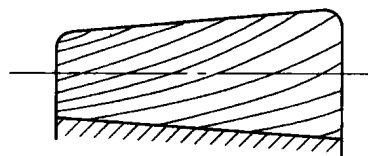


图 14-7 用圆拉铣刀切削出的齿面痕迹

圆拉铣刀工作时除有旋转切削运动外，还有沿齿槽底方向的直线进给运动。粗加工时是从轮齿槽小端向大端，精加工时进给运动方向相反，从大端切向小端。进给运动由机床凸轮控制，如图 14-6b 所示。

开始切削时，刀具中心在 A 点，粗切齿开始切齿槽小端，刀具向大端进给，这阶段是逆铣和拉削的复合过程。当拉铣刀中心到 B 点时，进给停止，粗切齿继续切削，这阶段是拉削过程。然后刀具中心进给到 C 点使齿槽全长完成粗切和半精切。从 C 点改成反向进给进行精切，精切是顺铣和拉削的复合过程。刀具中心回到 D 点时精切完成，进行分度，刀具中心回到 A 点开始切下一个齿槽。

圆拉铣刀精切齿齿形的要求：

- 1) 被切锥齿轮齿形，大端齿形曲率半径大于小端齿形的曲率半径，大端齿槽宽度大于小端的齿槽宽度。
- 2) 为便于制造，刀具采用圆弧齿形。
- 3) 各刀齿齿形圆弧半径都相同，但圆弧中心位置不

同, 这样可以用同一成形砂轮在不同位置磨各刀齿的齿形。

4) 刀齿制成铲齿结构, 用钝后刃磨前面, 前角采用 15° 。

5) 采用不同的刀齿厚度, 以便获得不同点的要求齿槽宽度。采用不同的刀齿厚度还可以加工出鼓形齿直齿锥齿轮。

6) 用圆拉铣刀加工出的锥齿轮齿形, 不是渐开线而是近似的圆弧齿形; 这种齿形的锥齿轮副有很好的啮合传动性能, 但不能和其他方法加工出的锥齿轮啮合, 因齿形不同。

14.1.4 展成法加工直齿锥齿轮

展成法加工直齿锥齿轮可以得到精度较高的齿轮, 并且有较高的加工效率, 是现在生产中加工直齿锥齿轮的主要方法。加工直齿锥齿轮的展成法有如下几种方法。

(1) 成对展成刨刀刨齿法 这是现在生产中最常用的加工直齿锥齿轮的方法。使用成对刨齿刀在专用的锥齿轮刨床上, 按平顶产形轮的原理加工直齿锥齿轮。加工时两把刨刀切轮齿的两侧表面, 由展成运动包络切出轮齿的齿形。切完一个齿后进行分度切下一个轮齿。这种方法加工的锥齿轮可以达到一定的精度, 由于刀具简单, 虽生产率不太高, 仍在生产中得到广泛使用。

(2) 成对展成铣刀盘切齿法 这种方法是使用两把铣刀盘在专用的锥齿轮铣齿机上切齿。加工时两把铣刀盘切齿槽的两侧面, 由展成运动包络切出轮齿的齿形表面, 切完一个齿槽后, 进行分度再切下一个齿槽。由于铣刀盘直径较大, 故不需沿轮齿长度方向的进给运动。铣刀盘做成内凹切削表面, 可以加工出鼓形齿直齿锥齿轮。这种方法加工直齿锥齿轮不仅加工效率高, 并且加工出的齿轮质量也好, 因此在成批生产直齿锥齿轮时应用日益广泛。

(3) 磨齿法 应用展成原理磨齿, 其工作原理和用成对展成铣刀盘加工直齿锥齿轮相同, 只是铣刀盘换成了砂轮。这种方法用于精度要求很高的直齿锥齿轮的加工。

14.2 成对展成锥齿轮刨刀

14.2.1 成对展成锥齿轮刨刀的工作原理

1. 切齿原理

(1) 平顶产形轮 成对展成锥齿轮刨刀加工锥齿轮

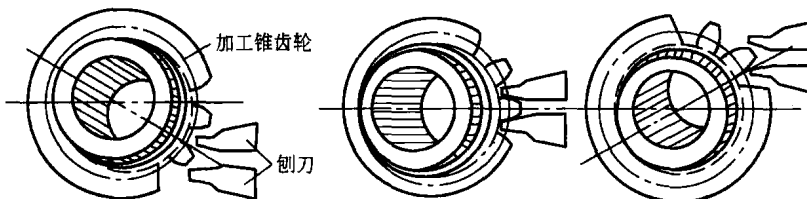


图 14-9 锥齿轮刨刀的展成切齿过程

2. 刨齿刀的切削角度

(1) 后角 标准锥齿轮刨刀制造时没有后角, 工作后角靠机床刀座倾斜得到, 机床刀座倾角取 12° , 即刨齿刀的顶刃后角 α_c 为 12° 。

精刨齿刀的主切削刃为其侧刃, 当顶刃后角为 α_c 时,

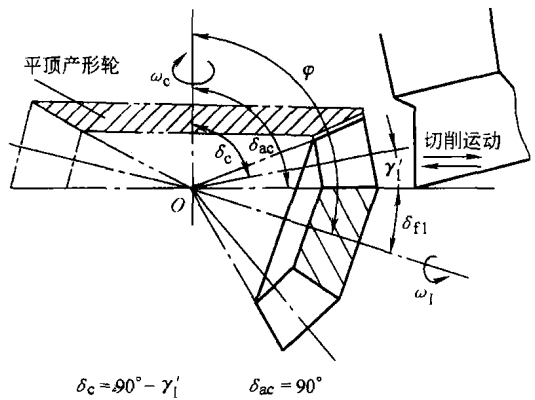


图 14-8 锥齿轮刨刀切齿时的平顶产形轮

时, 为简化机床结构采用平顶产形轮, 如图 14-8 所示。采用平顶产形轮后, 刨刀的切削运动方向将始终在同一平面内, 不需要因被加工锥齿轮根锥角不同而改变切削方向。但这将使产形轮的节锥角不是 90° , 加工出的锥齿轮节锥压力角将不是标准值, 但成对锥齿轮的压力角相同, 能满足锥齿轮传动要求。

(2) 展成切齿运动 锥齿轮刨刀切齿时采用平顶产形轮, 刨刀切削运动方向和机床摇台的轴线 (产形轮) 垂直不变, 使机床结构简化, 刚度提高。加工时, 锥齿轴线和产形轮轴线夹角 φ 应为

$$\varphi = 90^\circ + \delta_{f1}$$

式中 δ_{f1} ——被切锥齿轮的根锥角。

切齿时的滚切比 i 为

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{\cos \gamma_1'}{\cos \delta_1} = \frac{z_c \cos \gamma_1'}{z_1} \quad (14-3)$$

式中 z_c ——平顶产形轮齿数。

加工时, 刨刀在机床摇台的刀座上做往返切削运动。刀尖沿锥齿轮的根锥母线运动。刨刀后退空行程时, 由于摆动刀座作用, 刨刀抬起避免擦伤工件。被切锥齿轮和机床摇台 (连同刨刀) 做展成运动, 刨刀逐步切入工件, 直到完全包络切出全部齿形, 如图 14-9 所示。然后齿轮退回, 刨刀随机床摇台快速反转退回, 齿轮分度再切下一个轮齿, 直到加工完毕。

侧刃后角为 α_c , α_c 应在切削刃的法向测量, 侧刃后角 α_c 可用下式计算

$$\sin \alpha_c = \sin \alpha_0 \sin \alpha_e \quad (14-4)$$

当刨齿刀的齿形角 $\alpha_0 = 20^\circ$ 、顶刃后角 $\alpha_e = 12^\circ$ 时, 侧刃 (主切削刃) 后角 $\alpha_c = 4^\circ 10'$ 。

(2) 前角 前角 γ 应在侧刃 (主切削刃) 的法向测量。前角值根据加工材料选取, 切钢时取静态前角 $\gamma = 20^\circ$ 。刃磨和检验时需要知道刨齿刀横截面和纵截面中的前角 γ_1 和 γ_2 , 如图 14-10 所示, γ_1 和 γ_2 值可用下式计算

$$\left. \begin{aligned} \tan \gamma_1 &= \tan \gamma \cos \alpha_0 - \tan \alpha_e \sin \alpha_0 \\ \tan \gamma_2 &= \tan \gamma \sin \alpha_0 + \tan \alpha_e \cos \alpha_0 \end{aligned} \right\} \quad (14-5)$$

由于刀座倾角影响, 刨齿刀侧刃的工作前角 γ_p 应为

$$\gamma_p = \gamma - \alpha_e = \gamma - \arcsin(\sin \alpha_0 \sin \alpha_e) \quad (14-6)$$

当 $\gamma = 20^\circ$ 、 $\alpha_0 = 20^\circ$ 、 $\alpha_e = 12^\circ$ 时, 侧刃实际工作前角 γ_p 为 $15^\circ 50'$ 。

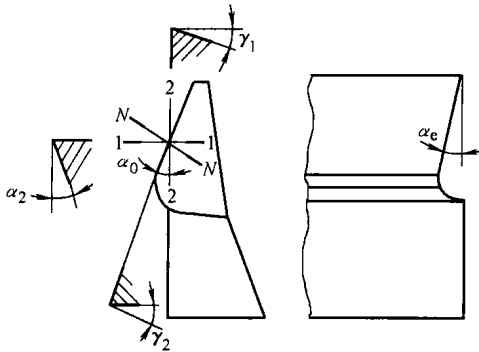


图 14-10 锥齿轮刨刀的前角

3. 锥齿轮刨刀的齿形角和加工齿轮的节锥压力角

(1) 锥齿轮刨刀的齿形角 锥齿轮刨刀在机床上装夹时, 刀座有倾角 α_e , 切齿时刨齿刀沿齿轮根锥母线方向切削, 而锥齿轮的有效压力角应是节锥压力角。由于不同锥齿轮的根锥角 δ_f 是变化的, 因此加工出的锥齿轮的节锥压力角不等于刨齿刀的齿形角, 将受刨齿刀安装倾角 α_e 和齿轮根锥角 δ_f 变化的影响, 加工出锥齿轮的节锥压力角是不等于刨齿刀的齿形角的。

如要求锥齿轮得到标准的节锥压力角 α , 刨齿刀的齿形角必须修正。但齿形角的修正值是与被加工锥齿轮的根锥角 δ_f 有关, 而不同锥齿轮的齿根角各不相同, 刨齿刀的齿形角也要修正成不同值, 刨齿刀将成为加工特定参数锥齿轮的专用刀具, 使用极为不便。

现在生产中实际采用的方案是将锥齿轮刨刀的齿形角制成标准值 $\alpha_0 = 20^\circ$ 。加工出的锥齿轮节锥压力角 α' 将略小于 20° , 但由于被加工的共轭锥齿轮副的根锥角是相同的 (或相差不大), 因此共轭齿轮的节锥压力角是相等的, 不影响齿轮的啮合传动。

(2) 用标准刨齿刀切出的齿轮节锥压力角 刨齿刀按刀座倾角 α_e 装夹后, 与切削方向垂直的平面中的刀刃投影齿形角 α'_0 (图 14-11a) 为

$$\tan \alpha'_0 = \tan \alpha_0 \cos \alpha_e \quad (14-7)$$

上式求得的 α'_0 是产形轮轮齿在与顶锥母线 ($\delta_{a0} = 90^\circ$) 相垂直的锥面中的齿形, 此 α'_0 不等于与节锥母线相垂直的锥面 (背锥) 中的压力角 α' , 这是由于根锥角 δ_f 引起的变化。从图 14-11b 可看到, 锥齿轮的工作压力角 α' 应是在与节锥母线相垂直的 $N-N$ 截面中的齿形。从图中的关系可以推导出 α' 的关系式

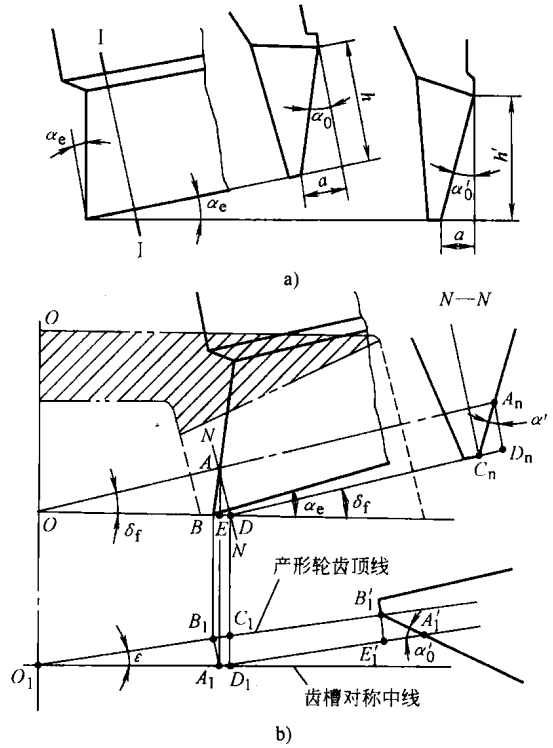


图 14-11 标准刨齿刀切出的齿轮节锥压力角

- a) 由安装倾角引起的齿形变化
- b) 由根锥角 δ_f 引起的齿形变化

$$\tan \alpha' = \frac{\tan \alpha_0 \cos \alpha_e}{\cos \delta_f \sqrt{1 - (\tan \delta_f \tan \alpha_0 \cos \alpha_e)^2}} \quad (14-8)$$

分析式 (14-8) 可知, α_0 和 α_e 为常数, 因此 α' 角是与齿轮的根锥角有关。不同齿轮的根锥角 δ_f 不同, 故得到的齿轮节锥压力角 α' 并不同。但一对共轭的锥齿轮根锥角相等, 即 $\delta_{f1} = \delta_{f2}$, 这对锥齿轮的节锥压力角也必然相等, 即 $\alpha'_1 = \alpha'_2$, 故这对锥齿轮可以正常啮合。

如共轭的锥齿轮根锥角略有差别, 则加工得到的节锥压力角 $\alpha'_1 \approx \alpha'_2$, 如差值不大, 这对锥齿轮还是可以啮合的。例如, 一对锥齿轮的参数为 $\alpha_0 = 20^\circ$ 、 $\alpha_e = 12^\circ$ 、 $\delta_{f1} = 2^\circ 10'$ 、 $\delta_{f2} = 3^\circ 50'$, 经计算得到 $\alpha'_1 = 19^\circ 36'$ 、 $\alpha'_2 = 19^\circ 38'$, 二者的差值不大, 且和 20° 相差也不大, 这对锥齿轮是可以使用的。

14.2.2 锥齿轮刨刀结构尺寸的确定

锥齿轮刨刀的结构参数 (图 14-12) 部分是与在机床上的装夹有关。主要结构参数的确定原理如下:

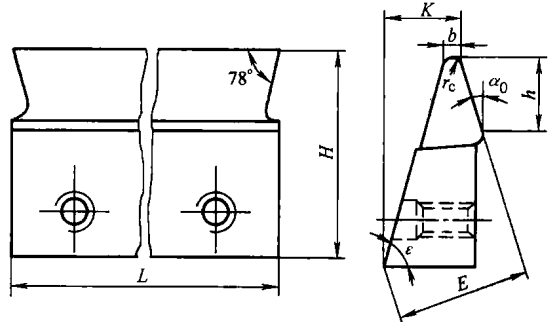


图 14-12 锥齿轮刨刀的结构参数

(1) 刨齿刀的顶刃宽度 b 刨齿刀的顶刃宽度 b 应小于锥齿轮小端槽底的宽度，并应大于大端槽底宽度的一半，以免在大端留下残余金属（如锥齿轮齿槽已粗切则不受此限制），即应保持

$$W_{fi} > b > \frac{1}{2}W_{fe} \quad (14-9)$$

锥齿轮的槽底宽度可以按共轭的平顶产形轮计算，大小端槽底宽度分别为

$$W_{fe} = \left(\frac{\pi m}{2} \mp \tau m \right) - h_f \tan \alpha' \approx \left(\frac{\pi m}{2} \mp \tau m \right) - h_f \tan \alpha_0 \quad (14-10)$$

$$W_{fi} = \frac{L_i}{L_e} W_{fe} \approx \frac{2}{3} W_{fe} \quad (14-11)$$

式中 τ ——齿厚切向修正系数，大轮用正，小轮用负。对标准锥齿轮， $\alpha_0 = 20^\circ$ ， $h_f = 1.2m$ ， $\tau = 0$ ，得到

$$\begin{aligned} W_{fe} &= 0.7m; \quad W_{fi} = 0.46m \\ 0.46m &> b > 0.35m \\ b &= 0.4m \end{aligned} \quad (14-12)$$

(2) 刨齿刀切削部分的高度 h 刨齿刀切削部分的高度 h 是根据该刨刀所加工的最大模数 m 决定的，即

$$h = 2.5m \quad (14-13)$$

(3) 刀尖圆角半径 r_c (图 14-13) 刨齿刀的刀尖圆角半径 r_c 允许的最大值不得超过下式规定。

$$r_c = \frac{c}{1 - \sin \alpha_0} \quad (14-14)$$

式中 c ——齿轮顶隙。

当锥齿轮大小端顶隙不等时，上式中的 c 值应取小端值。对标准锥齿轮刨刀 $c = 0.2m$ 、 $\alpha_0 = 20^\circ$ ，允许取的最大刀尖圆角半径为 $r_c = 0.3m$ 。

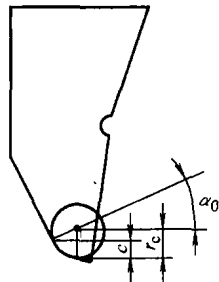


图 14-13 刨齿刀的刀尖圆角半径

如果用刨齿刀加工出的齿轮的齿根曲率半径 ρ_{min} 大于刀尖圆角半径，可近似用下式计算

$$\rho_{min} = \frac{(h_f - r_c)^2}{\frac{zm}{2 \cos \delta} + h_f - r_c} + r_c \quad (14-15)$$

(4) 刨齿刀夹固部分尺寸 刨齿刀的夹固部分制成楔形使夹固可靠，楔角取 $\epsilon = 73^\circ$ (IV型为 75°)，用 2~5 个螺钉固定在机床刀座上。

刨齿刀的 K 值 (图 14-14) 是一个重要尺寸，它保证刀尖 A 点的运动轨迹通过机床摇台的中心 O 点。由于 K 值不易测量，平时控制 α_0 、 H 、 E 值的精度， K 值与 α_0 、 H 、 E 值的关系为

$$K = \frac{E - H \sin \alpha_0}{\cos \alpha_0} \quad (14-16)$$

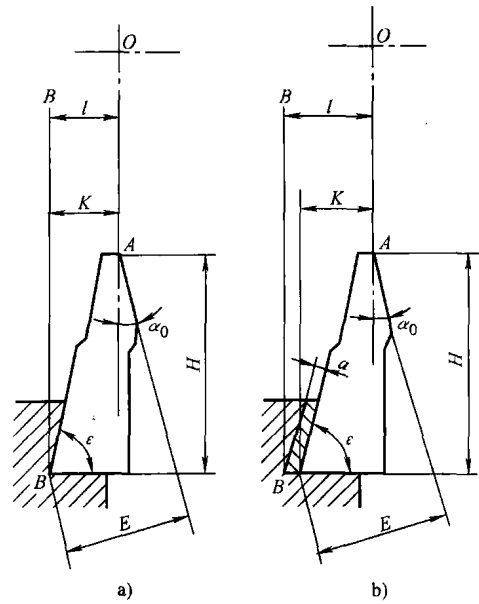


图 14-14 刨齿刀夹固部分尺寸
a) $H = 75\text{mm}$ b) $H = 60\text{mm}$

机床刀座上 BB 线离摇台中心 O 点的距离 l 是固定的。在图 14-14a 的情况下 (相当于 I、II 型和 IV 型中 $H = 75\text{mm}$ 的刨齿刀) $K = l$ ，在图 14-14b 的情况下 (III 型和 IV 型中 $H = 60\text{mm}$ 的刨齿刀)，由于 l 值较大，为减少刨齿刀的厚度，加入厚度为 a 的垫片， a 值用下式计算

$$a = (l - K) \sin \epsilon \quad (14-17)$$

表 14-3 中是四种形式 (I、II、III 和 IV 型) 刨齿刀的 H 、 α_0 、 E 、 K 、 l 、 ϵ 、 a 值。

(5) 刨齿刀的厚度 B 刨齿刀的厚度 B 从图 14-14 的关系可用下式计算

$$B = \frac{E}{\cos \alpha_0} - (H - h) \tan \alpha_0 \quad (14-18)$$

表 14-3 锥齿轮刨刀夹固部分的尺寸

(单位: mm)

刨齿刀型式	H	α_0	E	K	机床距离 l	刨刀楔角 ϵ	垫片厚度 a
I	27	20°	18.63	10	10	73°	0
	27	15°	16.65	10	10	73°	0
	27	$14^\circ 30'$	16.44	10	10	73°	0
II	33	20°	25.85	15.5	15.5	73°	0
	33	15°	23.51	15.5	15.5	73°	0
	33	$14^\circ 30'$	23.27	15.5	15.5	73°	0
III	43	20°	27.39	13.5	19.4	73°	5.64
	43	15°	25.62	15	19.4	73°	4.21
	43	$14^\circ 30'$	25.29	15	19.4	73°	4.21
IV	60	20°	39.78	20.5	30.5	75°	9.66
	60	15°	35.33	20.5	30.5	75°	9.66
	60	$14^\circ 30'$	34.87	20.5	30.5	75°	9.66
	75	20°	54.31	30.5	30.5	75°	0
	75	15°	48.87	30.5	30.5	75°	0
	75	$14^\circ 30'$	48.31	30.5	30.5	75°	0

14.2.3 标准锥齿轮精刨刀的结构尺寸

JB/T 9990.1—1999 中规定了直齿锥齿轮精刨刀的基本形式和尺寸, 共有 4 种形式: I 型 (27mm × 40mm), II 型 (33mm × 75mm)、III 型 (43mm × 100mm), IV 型 (60mm × 125mm, 75mm × 125mm), 其尺寸分别见表 14-4、图 14-15、表 14-5、图 14-16、表 14-6、图 14-17、表 14-7 和图 14-18。

表 14-4 I 型 (27mm × 40mm) 锥齿轮精刨刀尺寸
($m = 0.3 \sim 3.25\text{mm}$) (单位: mm)

模数范围	B	h	b	(H)	t	H ₁	R
0.3~0.4	10.36	1.0	0.12	25	0.5	21	0.10
0.5~0.6	10.54	1.5	0.20	24			0.15
0.7~0.8	10.73	2.0	0.28	24			0.21
1~1.25	11.16	3.2	0.40	23	1.0	18	0.30
1.375~1.75	11.53	4.2	0.60	22			0.40
2~2.25	11.93	5.3	0.80	20	1.5	18	0.60
2.5~2.75	12.36	6.5	1.00		2.0		0.75
3~(3.25)	12.76	7.6	1.20	18	2.5	16	0.90

注: 1. 模数 3.25mm 尽量不采用。
2. (H) 的数值为参考值。

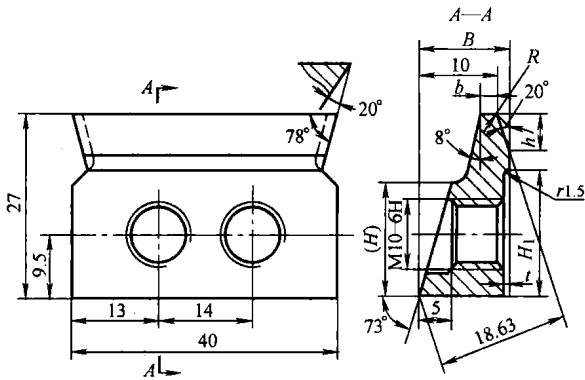


图 14-15 I 型锥齿轮精刨刀尺寸 ($m = 0.3 \sim 3.25\text{mm}$)

表 14-5 II 型 (33mm × 75mm) 锥齿轮精刨刀尺寸
($m = 0.5 \sim 5.5\text{mm}$) (单位: mm)

模数范围	B	h	b	(H)	t	H ₁	R
0.5~0.6	16.04	1.5	0.20	29	0.5	27	0.15
0.7~0.8	16.23	2.0	0.28				0.21
1~1.25	16.66	3.2	0.40				26
1.375~1.75	17.03	4.2	0.60	23	1.0	18	0.40
2~2.25	17.43	5.3	0.80				0.60
2.5~2.75	17.86	6.5	1.00	23	1.5	18	0.75
3~(3.25)	18.26	7.6	1.20				0.90
3.5~(3.75)	18.70	8.8	1.40	18	2.0	16.5	1.00
4~4.5	19.36	10.6	1.60				1.20
5~5.5	20.05	12.5	2.00				1.50

注: 1. 模数 3.25mm 和 3.75mm 尽量不采用。
2. (H) 的数值为参考值。

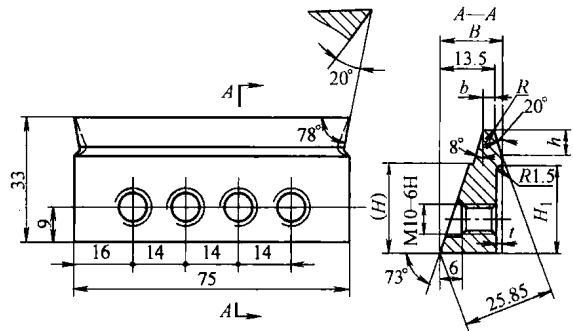


图 14-16 II 型锥齿轮精刨刀尺寸 ($m = 0.5 \sim 5.5\text{mm}$)

表 14-6 III 型 (43mm × 100mm) 锥齿轮精刨刀尺寸
($m = 1 \sim 10\text{mm}$) (单位: mm)

模数范围	B	h	b	(H)	t	H ₁	R	
1~1.25	14.70	3.3	0.4	35	1.0	36	0.30	
1.375~1.75	15.03	4.2	0.6				35	0.40
2~2.25	15.43	5.3	0.8				33	0.60
2.5~2.75	15.86	6.5	1.0	30	1.5	18	0.75	
3~(3.25)	16.26	7.6	1.2				31	0.90
3.5~(3.75)	16.70	8.8	1.4	30	22.5	22	1.00	
4~4.5	17.36	10.6	1.6				28	1.20
5~5.5	18.05	12.5	2.0	22.5	1.5	22	1.50	
6~6.5	18.96	15.0	2.4				24	1.8
7	19.50	16.5	2.8	20	2.0	19	2.10	
8	20.41	19.0	3.2				18	2.40
9	21.32	21.5	3.6	20	2.0	18	2.70	
10	22.23	24.0	4.0				17	3.00

注: 1. 模数 3.25mm 和 3.75mm 尽量不采用。
2. (H) 的数值为参考值。

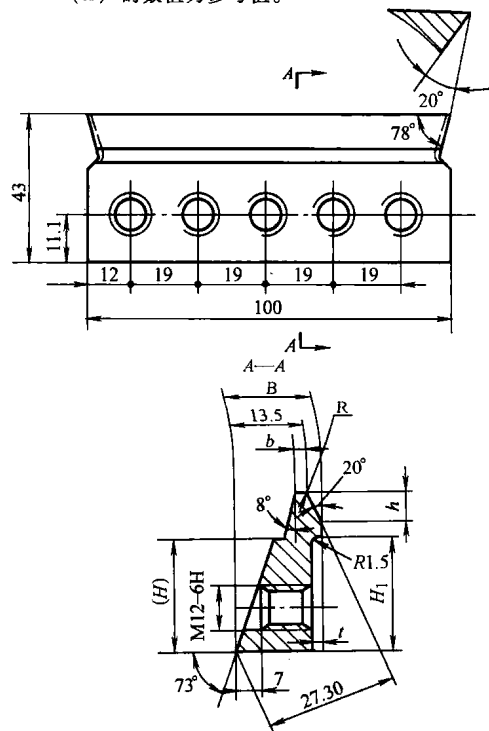


图 14-17 III 型锥齿轮精刨刀尺寸 ($m = 1 \sim 10\text{mm}$)

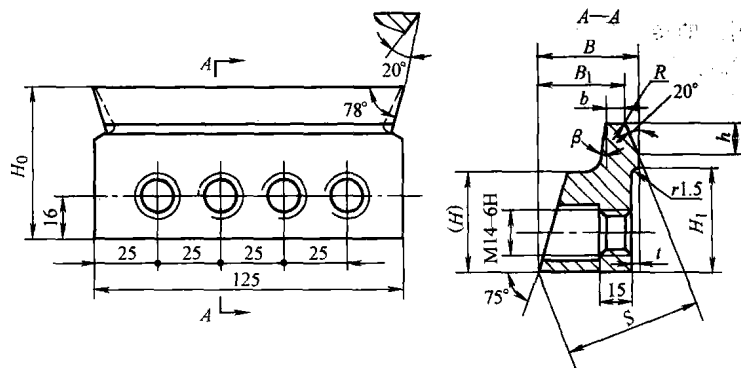


图 14-18 IV型锥齿轮精刨刀尺寸 (m=3~20mm)

表 14-7 IV型 (60mm×125mm, 75mm×125mm) 锥齿轮精刨刀尺寸 (m=3~20mm) (单位: mm)

模数范围	B	H ₀	b	h	B ₁	(H)	t	H ₁	β	S	R
3~(3.25)	23.26	60	1.2	7.6	20.5	48	1.5	48	8°	39.78	0.90
3.5~(3.75)	23.70		47	1.00							
4~4.5	24.35		45	1.20							
5~5.5	25.04		44	1.50							
6~6.5	25.94		41	1.80							
7	26.50		39	2.10							
8	27.41		36	2.40							
9	28.32		34	2.70							
10	29.23		31	3.00							
11	29.89		29	3.30							
12	30.72		26	3.60							
14	42.44		75	5.6				32.8			30.5
16	44.15	33		4.80							
18	45.86	28		5.40							
20	47.60	25		6.00							

注: 1. 模数 3.25mm 和 3.75mm 尽量不采用。
2. (H) 的数值为参考值。

14.2.4 直齿锥齿轮精刨刀技术条件

JB/T 9990.2—1999 规定直齿锥齿轮精刨刀的技术条件如下。

(1) 技术要求

1) 刨刀用 W6Mo5Cr4V2 或同等性能的高速钢制造, 其工作部分硬度为 63~66HRC。

2) 刨刀表面不应有脱碳层和软点。

3) 刨刀表面不应有刻痕、裂纹、毛刺、磕刃、锈迹及烧伤等影响使用性能的缺陷。

4) 刨刀 (见图 14-19) 表面粗糙度按表 14-8 的规定。

5) 尺寸偏差, 形状和位置公差

- ① α 角的偏差见表 14-9。
- ② 齿顶宽度 b 的偏差见表 14-9。
- ③ 尺寸 S 的偏差见表 14-10。

表 14-8 刨刀的表面粗糙度 (单位: mm)

检查表面	表面粗糙度	检查表面	表面粗糙度
刀齿前面	R _a 0.63	定位面	R _a 0.63
工作面	R _a 0.32	底面和侧面	R _a 1.25
非工作面	R _a 1.25	齿顶面和齿顶圆弧面	R _a 3.20

表 14-9 α 角及齿顶宽底 b 的偏差

模数/mm	0.3~0.8	>0.8~2.75	72.75~6.5	>6.5~10	>10~20
α 角的偏差	±6'	±5'	±4'	±3'	±2'
齿顶宽度 b 的偏差	js11	js12	js13		js15

表 14-10 尺寸 S 的偏差 (单位: mm)

规格	27×40	33×75	43×100	60×125	75×125
S 尺寸的偏差	±0.02	±0.05			

- ④ δ 角的偏差为 ±5'。
- ⑤ 高度 H₀ 的偏差为 js10。
- ⑥ 底面宽度偏差见表 14-11。

表 14-11 底面宽度偏差 (单位: mm)

B	偏差
<18	±0.055mm
>18~30	±0.065mm
>30	±0.080mm

- ⑦ β 角的偏差为 ${}^0_{-40}$ 。
- ⑧ 全长的偏差为 js15。

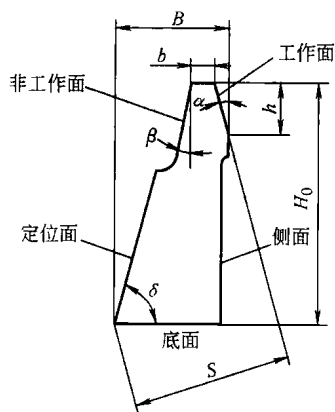


图 14-19 直齿锥齿轮精刨刀的技术要求

⑨ 螺钉孔中心线相互间以及中心线与底面距离偏差为 $\pm 0.30\text{mm}$ 。

(2) 标志和包装

1) 标志

① 刨刀底面上应标志：制造厂商标、模数、基准齿形角、规格、材料（普通高速钢不标）。

② 包装盒上应标志：产品名称、制造厂名称、地址和商标、模数、基准齿形角、规格、材料、件数、制造年份、标准编号。

2) 包装。刨刀在包装前应经防锈处理；并应采取措，防止在运输过程中受到损伤。

14.2.5 直齿锥齿轮粗刨刀

用刨刀粗加工直齿锥齿轮可用三种方法：展成法、切入法（不展成）和展成切入组合法。用展成法粗切可得到均匀精切留量，但生产率低。为提高生产率可用两把刨刀切两个齿槽，每次分度转两个齿槽，可提高效率 1 倍。

粗刨刀仅切削部分与精刨刀不同。图 14-20 所示是几种不同的锥齿轮粗刨刀。为提高粗切齿效率，通常用不展成的切入法，粗刨齿刀顶刃为主切削刃，应磨出正前角。常使用的粗切刨齿刀有以下几种。

(1) 梯形粗刨刀（见图 14-20a）这种粗刨齿刀制成梯形直线齿形。如采用双分度切入法时，粗刨齿刀齿形应与齿槽形中心线对称。故刀具齿形角 α_1 和 α_2 应为 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ 、 $\alpha_2 = \alpha - \Delta\alpha$ 。 $\Delta\alpha$ 为根锥的背锥当量齿轮的齿距半角， $\Delta\alpha$ 值为

$$\Delta\alpha = \frac{\pi}{z_v} = \frac{\pi}{z} = \frac{\pi \cos \delta_f}{z} \quad (14-19)$$

这种梯形粗刨刀用切入法时，得不到均匀的精切留量，锥齿轮齿数少时尤其严重。

(2) 成形粗刨齿刀（图 14-20b）这种粗刨齿刀是根据加工齿轮专门设计的，可以得到较均匀的精切留量。但锥齿轮齿面宽度较大时，大小端齿槽形状相差较大，仍得不到均匀的精切留量。采用单齿分度较双齿分度得到的精切留量要均匀些。

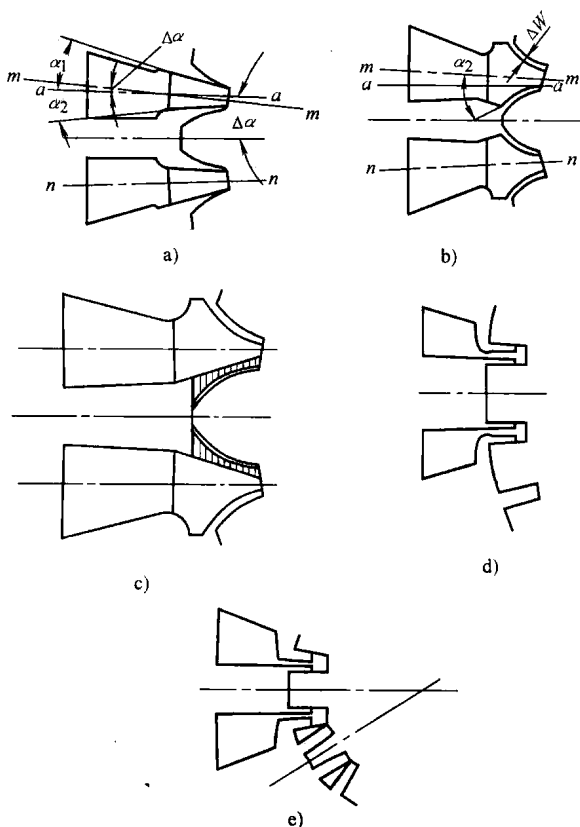


图 14-20 粗加工用锥齿轮刨刀

a) 梯形粗刨刀 b) 成形粗刨齿刀 c) 内刃成直线
d) 割刀式粗刨齿刀 e) 单分度法

成形粗刨齿刀内刃近顶处（即齿轮近齿根处）斜度常很小，齿轮齿数少时更甚，这将使该处刀具后角很小。应注意使侧刃后角不小于 $1^\circ 30'$ ，有必要时可将内刃做成直线，如图 14-20c 所示。

(3) 割刀式粗刨齿刀（图 14-20d）加工模数大于 10mm 的锥齿轮时，可用这种粗刨齿刀先开槽，再用梯形或成形粗刨齿刀进行第二次粗切。如模数很大时，可用图 14-20e 所示的单分度法，每齿槽经过割刀式粗刨齿刀两次切削得到梯形齿槽，再用成形粗刨齿刀切削以减少精切留量。

割刀式粗刨齿刀的结构如图 14-21 所示，尺寸见表 14-12。

表 14-12 割刀式粗刨齿刀结构尺寸

(单位: mm)

刀号	形式	a	b	c	d	e	f	h_1	h_2
1	I	60	91.8	30.3	4	1.6	0.2	22	38
2	I	60	91.8	30.2	5	2.7	0.3	28	32
3	II	60	116.8	30.1	6	2.3	0.4	28	32
4	II	75	122.3	30.1	6	2.2	0.4	35	40
5	II	75	122.3	30.1	7	3.2	0.4	35	40
6	II	75	122.3	30.1	8	4.3	0.4	43	32
7	II	75	122.3	30.0	9	5.3	0.5	43	32
8	II	75	122.3	30.0	10	6.3	0.5	43	32

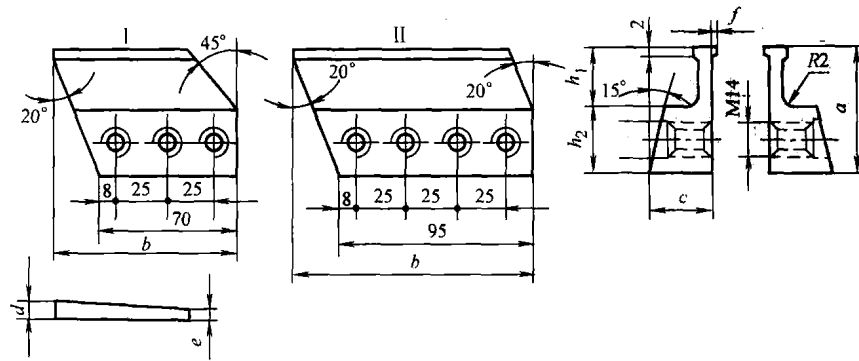


图 14-21 剃刀式粗刨齿刀结构

14.3 成对展成锥齿轮铣刀

14.3.1 成对展成锥齿轮铣刀的工作原理

图 14-22 所示是成对展成锥齿轮铣刀的工作原理。两把铣刀盘组成平面产形轮的一个轮齿，与被切锥齿轮做啮合展成运动，加工出齿轮齿槽的廓形。加工时铣刀盘做旋转切削运动（相当于平面产形轮不动），被加工锥齿轮围绕产形轮滚动（作展成运动），铣完一个齿槽后，铣刀盘退出，分度，回到原位再切下一个齿槽。有的机床同时完成粗切和精切，铣削过程如下：先靠凸轮径向切入完成粗铣，向一侧做展成运动完成半精铣，再反向做展成运动完成精铣。

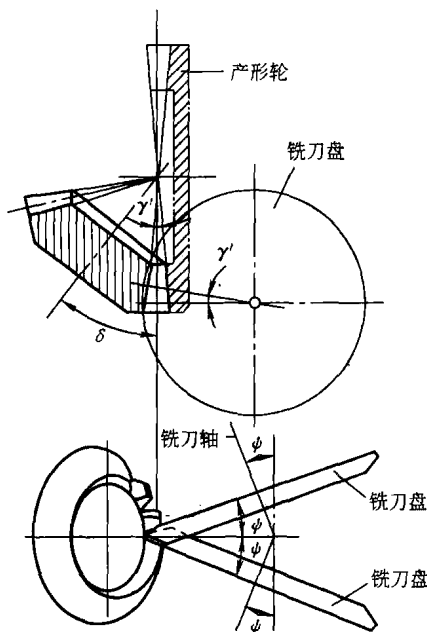


图 14-22 成对展成铣刀加工锥齿轮原理

成对展成锥齿轮铣刀加工齿轮时，采用平面齿轮（节锥角 $\delta_c = 90^\circ$ ）作为产形轮，如图 14-22 所示的上图。被加工锥齿轮齿根角 γ' 变化时，只要调整锥齿轮和铣刀盘的相互位置，即可使铣刀盘的顶圆和锥齿轮的根圆锥相切，故产形轮不必用平顶齿轮。

改变两铣刀盘间的夹角，可适应轮齿槽宽的不同收缩

角。两铣刀盘刀齿相互插入，工作时做同步旋转，形成平面齿轮的轮齿。铣刀盘切削速度常用 $40 \sim 60 \text{ m/min}$ ，切一齿槽仅需 $20 \sim 40 \text{ s}$ ，加工效率较高，约为成对锥齿轮展成刨刀的 $2 \sim 4$ 倍。

成对展成锥齿轮铣刀和成对展成锥齿轮刨刀虽然都是用展成法加工直齿锥齿轮，但前者加工时用平面产形轮，后者用平顶产形轮，二者使用的加工产形轮不同，加工出的锥齿轮的节锥压力角不同，故锥齿轮不能互换使用。

14.3.2 铣刀盘直径和内凹角的确定

用这方法加工锥齿轮时，铣刀没有沿齿槽长度方向的运动，故加工出的轮齿槽底长度方向为圆弧曲线，凹入量 ΔH （见图 14-23）可用下式计算

$$\Delta H = \frac{B^2 \cos \psi}{4d_{a0}} \quad (14-20)$$

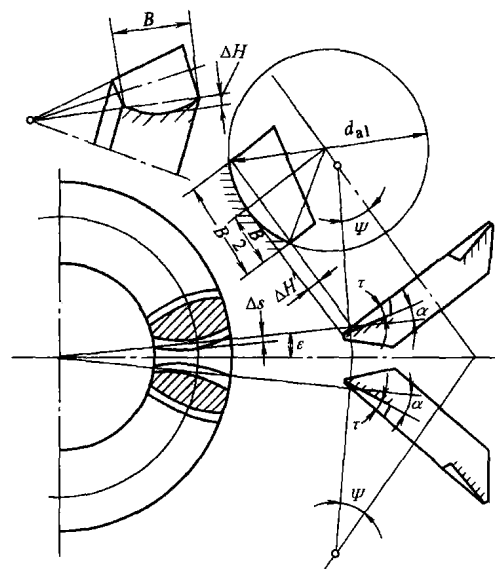


图 14-23 铣刀盘内凹角对加工齿轮的影响

为使 ΔH 值不致太大，应采用大直径的铣刀盘。表 14-13 是几种双轴锥齿轮铣齿机所用的铣刀盘直径。由于铣刀盘直径相对于锥齿轮齿面宽度的比值较大，故 ΔH 值较小，对锥齿轮轮齿的强度影响不大。