

HUCHI ZHUICHILUN SHUKONG JIAGONG JISHU

Huchi Zhuichilun Shukong Jiagong Jishu

# 弧齿锥齿轮 数控加工技术

李 铭 梁 睦 武良臣 武福军 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

河南省自然科学基金 资助项目  
中原工学院学术专著出版基金

# 弧齿锥齿轮数控加工技术

李 铭 梁 睦 武良臣 武福军 著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书阐述了弧齿锥齿轮切齿工艺、数控加工理论及弧齿锥齿轮数控加工应用,介绍了弧齿锥齿轮切齿方法、机床调整参数、数控技术、数控加工实例、接触区调整和检验。全书共分七章,各章内容为:弧齿锥齿轮加工的基本问题,数控技术概述,多坐标数控加工刀具轨迹生成,刀具轨迹编辑与验证,弧齿锥齿轮数控加工的有关理论问题,螺旋锥齿轮齿面接触区的调整以及弧齿锥齿轮切齿后的检验等。本书可作为高等学校机械工程、管理工程、动力工程、计算机等专业高年级学生和研究生教材,也可供从事计算机辅助设计与制造、齿轮数控加工工艺及编程等工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

弧齿锥齿轮数控加工技术/李铭等著. —徐州:中国矿业大学出版社,2005.7

ISBN 7 - 81107 - 084 - 7

Ⅰ. 弧… Ⅱ. 李… Ⅲ. 弧齿锥齿轮—齿轮加工  
N. TG61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 063813 号

书 名 弧齿锥齿轮数控加工技术

著 者 李 铭 梁 睦 武良臣 武福军

责任编辑 耿东锋

责任校对 周俊平

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 310 千字

版次/印次 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

# 前 言

本书是应中国矿业大学出版社之邀而作。

弧齿锥齿轮是汽车、机床及石油、化工、冶金、矿山机械等设备上广泛使用的一种重要零件。随着机器设备朝着高速、重载、性能可靠等方向发展,对弧齿锥齿轮传动性能和质量提出了新的要求,因此必须提高齿轮的制造精度,而切齿工艺是齿轮加工中的关键问题。近年来,数控(NC)技术及计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术的迅速发展,使传统的机械设计与制造方式发生了根本性变化。数控机床是柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)中最主要的组成部分,数控编程则是应用数控机床进行零件加工的必要前提。利用计算机辅助编程加工弧齿锥齿轮,大幅度地缩短了弧齿锥齿轮的制造周期。特别是在一些普通铣床上,进行数控系统改装后也能适应弧齿锥齿轮的加工,并且能提高齿轮的加工质量,因而具有显著的经济效益和广阔的发展前景,为中小型企业提供了一种加工弧齿锥齿轮投资小、见效快的新途径。

作者与河南理工大学(原焦作工学院)王裕清教授等合作,针对产品机械中弧齿锥齿轮加工的需要,曾到上海汽车齿轮厂、汉阳汽车齿轮厂、咸宁工程机械厂、武汉三轮车修配社等单位进行调研,作者还先后为邵阳地区煤矿机械厂和咸阳地区煤矿机械厂设计制造了弧齿锥齿轮和双曲线齿轮简易铣齿机(除装卸工件外,实现了自动化),解决了刮板输送机中弧齿锥齿轮的加工问题。从20世纪80年代开始,作者还先后承担了河南省和原煤炭工业部自然科学基金项目和科技攻关项目,对弧齿锥齿轮接触区理论和机床调整计算等进行了深入的探索,发表有关弧齿锥齿轮数控加工论文十余篇,为弧齿锥齿轮数控加工技术的理论形成奠定了基础。

本书着重论述了弧齿锥齿轮加工中的基本问题和关键技术,力求在阐明数控加工技术的基本概念和基本知识的基础上,简要阐述数控加工理论和方法,而且结合弧齿锥齿轮加工实际,介绍了弧齿锥齿轮数控加工的应用。在武良臣教授主持下,中原工学院李铭副教授编写了本书的一、二、五章,其余三、四、六、七章由中原工学院副教授梁睦编写。书中编程由河南理工大学武福军完成,最后由武良臣教授统稿。

在编写过程中得到了中原工学院领导、科研处和机电学院领导以及河南理工大学王裕清教授的大力支持,他们对本书编写的指导思想和内容提出了许多具体意见,寇世瑶教授、田坤教授也提供了部分资料,在此一并表示感谢。

编写《弧齿锥齿轮数控加工技术》一书是一次尝试,其中有许多问题尚待探讨。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免出现疏漏和错误,恳请读者批评指正。

作 者

2005年3月

## 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 弧齿锥齿轮加工的基本问题           | 1  |
| 第一节 表面成型的方法                | 1  |
| 第二节 圆锥齿轮的齿侧表面及其形成方法        | 1  |
| 第三节 滚切法加工锥齿轮的工作原理          | 2  |
| 第四节 弧齿锥齿轮切齿方法              | 5  |
| 第五节 Y225 型切齿机床的运动及其联系      | 7  |
| 第六节 Y225 型切齿机传动系统的分析与计算    | 10 |
| 第七节 切齿机床调整的主要项目            | 16 |
| 第八节 弧齿锥齿轮加工的工艺问题           | 19 |
| 第九节 在普通铣床上加工弧齿锥齿轮          | 21 |
| 第二章 数控技术概述                 | 24 |
| 第一节 数控机床的基本概念              | 24 |
| 第二节 数控系统的插补原理              | 27 |
| 第三节 数控机床的坐标系统              | 28 |
| 第四节 数控机床的刀具补偿              | 33 |
| 第五节 数控机床的进给速度              | 39 |
| 第六节 数控编程概述                 | 40 |
| 第七节 锥齿轮多坐标切齿机结构配置图         | 45 |
| 第八节 多坐标切齿机成形运动分析           | 49 |
| 第九节 螺旋锥齿轮数控切齿机运动学变换        | 56 |
| 第十节 五坐标数控机床螺旋锥齿轮 NC 加工研究   | 59 |
| 第十一节 螺旋锥齿轮空间曲面 NC 加工插补误差分析 | 65 |
| 第三章 多坐标数控加工刀具轨迹生成          | 71 |
| 第一节 概述                     | 71 |
| 第二节 多坐标点位数控加工刀具轨迹生成        | 73 |
| 第三节 参数线法                   | 74 |
| 第四节 截平面法                   | 77 |
| 第五节 回转截面法                  | 79 |
| 第六节 投影法                    | 80 |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 第七节        | 三坐标球形刀多面体曲面加工刀具轨迹生成 .....     | 81         |
| 第八节        | 曲面交线加工刀具轨迹生成 .....            | 82         |
| 第九节        | 曲面间过渡区域加工刀具轨迹生成 .....         | 84         |
| 第十节        | 裁剪曲面加工刀具轨迹生成 .....            | 86         |
| 第十一节       | 曲面型腔加工刀具轨迹生成 .....            | 88         |
| 第十二节       | 复杂多曲面加工刀具轨迹生成 .....           | 89         |
| 第十三节       | 刀具轨迹的干涉检查与修正 .....            | 90         |
| <b>第四章</b> | <b>刀具轨迹编辑与验证 .....</b>        | <b>93</b>  |
| 第一节        | 刀具轨迹编辑系统的功能 .....             | 93         |
| 第二节        | 刀具轨迹编辑系统的数据结构 .....           | 97         |
| 第三节        | 数控加工的进刀与退刀刀具轨迹生成与编辑 .....     | 100        |
| 第四节        | 刀具轨迹生成与编辑系统的总体结构 .....        | 101        |
| 第五节        | 刀具轨迹验证概述 .....                | 104        |
| 第六节        | 显示法验证 .....                   | 105        |
| 第七节        | 截面法验证 .....                   | 108        |
| 第八节        | 数值验证 .....                    | 110        |
| 第九节        | 加工过程的动态仿真验证 .....             | 111        |
| <b>第五章</b> | <b>弧齿锥齿轮数控加工的有关理论问题 .....</b> | <b>114</b> |
| 第一节        | 弧齿锥齿轮加工概述 .....               | 114        |
| 第二节        | 弧齿锥齿轮加工机床 .....               | 115        |
| 第三节        | 弧齿锥齿轮加工中的数控技术 .....           | 118        |
| 第四节        | 数控机床上切制弧齿锥齿轮的工艺方法 .....       | 121        |
| 第五节        | 长母线弧齿锥齿轮数控加工 .....            | 126        |
| 第六节        | 数控机床上切制弧齿锥齿轮时压力角修正 .....      | 128        |
| 第七节        | 弧齿锥齿轮模块式数控机床的选择 .....         | 131        |
| 第八节        | 啮合质量分析及调整计算 .....             | 133        |
| 第九节        | 弧齿圆柱齿轮加工新方法 .....             | 136        |
| 第十节        | 弧齿圆柱齿轮传动接触斑点分析 .....          | 137        |
| 第十一节       | 双曲线传动弧齿廓形的修正 .....            | 140        |
| <b>第六章</b> | <b>螺旋锥齿轮齿面接触区的调整 .....</b>    | <b>144</b> |
| 第一节        | 锥齿轮齿面接触区 .....                | 144        |
| 第二节        | 弧齿锥齿轮螺旋角的修正 .....             | 149        |
| 第三节        | 弧齿锥齿轮压力角修正 .....              | 151        |
| 第四节        | 刀盘倾斜及相应调整 .....               | 157        |
| 第五节        | 齿面曲率的修正 .....                 | 158        |
| 第六节        | 对角接触的修正 .....                 | 162        |

---

|                   |                            |            |
|-------------------|----------------------------|------------|
| 第七节               | 一端或跛足式接触区的修正.....          | 166        |
| 第八节               | 延伸外摆线齿锥齿轮的接触区修正.....       | 167        |
| 第九节               | 切齿调整中应注意的几个问题.....         | 171        |
| 第十节               | Y225 型铣齿机上加工双曲线齿轮接触区 ..... | 173        |
| <b>第七章</b>        | <b>弧齿锥齿轮切齿后的检验.....</b>    | <b>178</b> |
| 第一节               | 滚动检验机.....                 | 178        |
| 第二节               | 螺旋锥齿轮切齿后的运转检验.....         | 181        |
| 第三节               | 螺旋锥齿轮 $V/H$ 检验法 .....      | 182        |
| <b>参考文献</b> ..... |                            | <b>191</b> |

# 第一章 弧齿锥齿轮加工的基本问题

## 第一节 表面成型的方法

任何表面,都是由一根“发生线”沿着一定的轨道——“导线”运动而成的。

机床上的每一个运动都由一个传动组来实现,机床上运动的数目和性质取决于表面成形方法。工件表面形状在一定的条件下影响表面成形方法和机床运动的主要因素,则是刀具的形式。

### 一、刀刃的形状

(1) 刀刃是一切削线,其形状长短与被形成线完全一致的,称第一类刀刃。

(2) 刀刃是一切削线,其形状长短与被形成线不一致的,称第二类刀刃。

(3) 刀刃是一切削点的,称第三类刀刃。

### 二、形成方法(发生线、导线)

(1) 仿形法:应用第一类刀刃,发生线是刀刃形状的“模印”,它不需要成形运动,如用成形车刀加工成形回转表面。

(2) 滚切法:应用第二类刀刃,刀刃的节线沿待形成线的节线做纯滚动时,刀刃一系列连续几何位置的包络线即为被形成线。这时,需要一个成形运动——滚动,如滚切法加工齿轮,滚刀刃的节线和齿轮节圆做纯滚动时,刀刃一系列连续几何位置的包络线即得齿廓线。

(3) 轨迹法:应用第三类刀刃,发生线是切削点运动时所留下的轨迹,需要一个成形运动。如用尖车刀车外圆时,发生线——圆就是轨迹法形成的。

(4) 相切法:应用第三类刀刃即点状刀刃旋转而形成一个辅助圆,沿形成线运动时,辅助圆的一系列连续几何位置的切线即为所形成的发生线。这时,需要两个成形运动,用刀尖铣外圆即为此法应用之一。

### 三、表面形成方法所需要运动

表面形成的二要素是发生线和导线,所以表面的形成方法就是发生线形成方法和导线形成方法的综合。属于切削加工的只有九种方法。

## 第二节 圆锥齿轮的齿侧表面及其形成方法

### 一、圆锥齿轮的齿侧表面

圆锥齿轮的齿侧表面是由齿廓和齿长二要素决定的。锥齿轮的齿廓理论上是一球面曲线,应在球面上形成。但球面是不可展开的,所以,齿廓很难正确判断,更难于制造准确。为简化起见,皆利用背锥(或辅助圆锥)和球面相切且和节圆正交的其上齿廓曲线来代替球面上的齿廓曲线。背锥可展开在平面上,展开后,其齿廓形状为近似的渐开线。

锥齿轮纵向齿长的形状一般都是用节锥齿线形状来代表的,节锥齿线是锥齿轮的节圆

锥和齿侧表面的交线。将节锥展开后,节锥齿线就展开在节平面上。

按展开后节锥齿线的纵向齿长的形状,把锥齿轮分成下列几类:

- (1) 直齿锥齿轮;
- (2) 斜齿锥齿轮;
- (3) 弧齿锥齿轮;
- (4) 摆线齿锥齿轮;
- (5) 渐开线锥齿轮。

按齿高的特征把锥齿轮分成两类:

- (1) 收缩齿的锥齿轮;
- (2) 等高齿的锥齿轮。

## 二、齿侧表面的形成方法

按齿廓的形成方法分仿形法和滚切法两大类。

仿形法又分为两大类:

(1) 所用刀具的刃口形状和齿轮的毛坯的齿廓形状一致,即用第一类刀刃加工的,例如,用盘状模数铣刀或指状模数铣刀加工的齿侧表面的形成方法为“仿形—相切法”。

(2) 用尖刀(第三类刀刃)刨齿,齿侧表面的形成方法是“轨迹—轨迹法”,因为齿廓是刀刃按样板仿形加工出来的。

由于仿形法加工机床运动较简单,生产率和精度低,故应用极少,或只用于粗加工。

滚切法加工的,其齿廓都是用滚切法形成的,齿长则可用轨迹法和相切法形成。

## 第三节 滚切法加工锥齿轮的工作原理

展成法加工圆柱齿轮是应用一对齿轮相互对滚而成的,如齿条刀与被加工齿轮以一定速比进行对滚,插齿刀与被加工齿轮以一定速比进行对滚。同样,加工锥齿轮也是利用一对锥齿轮对滚而成的。即应用假想平面(或平顶)齿轮与被加工齿轮相啮合运动,而进行工作。也就是齿轮毛坯的“节锥面”和假想平面(平顶)齿轮的节锥平面做纯滚动的啮合运动而形成齿廓。

### 一、平面齿轮与锥齿轮的啮合关系

平面齿轮和平顶齿轮都是锥齿轮的特例。

图 1-1 所示为一普通的锥齿轮, $\varphi$  是它的节锥半角, $\varphi_t$  为齿顶圆锥半角, $\varphi_b$  为齿根圆锥半角, $L$  是节锥母线长度。将背锥展开后,即得一扇形齿轮,它的节圆半径为  $R$ ,基圆半径为  $r_0$ ,压力角为  $\alpha$ ,从图中可以看出

$$r_0 = R \cos \alpha$$

$$R = L \tan \varphi$$

因此  $r_0 = L \tan \varphi \cos \alpha$

当  $\varphi = 90^\circ$  时,  $\tan \varphi = \infty$ ; 当  $R = \infty$  时,  $r_0 = \infty$ 。

这时,齿轮的节圆锥变为一平面(或节锥平面),这种锥齿轮我们称之为平面齿轮。图 1-2

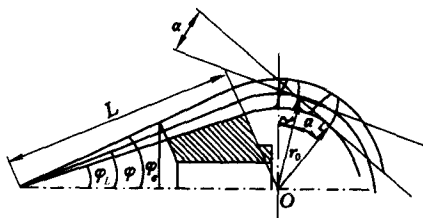


图 1-1 锥齿轮及背锥

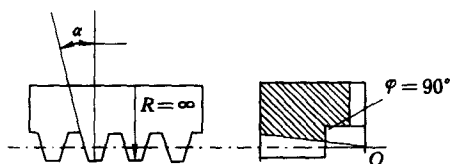


图 1-2 平面齿轮

所示的平面齿轮的“背锥”(已变成一圆柱面)展开后成为一齿条,它的齿廓形状是一直线(非渐开线),这样的平面齿轮理论上仍然可以和一般的锥齿轮相互啮合传动(实际由圆锥齿轮的当量齿数  $z_3 = \frac{z}{\cos \varphi} = \infty$ )。

就在这种特例的锥齿轮啮合传动副的基础上,转化为锥齿轮加工机床,即以平面齿轮的一个齿至数个齿转化为刀具,并给该刀具以切削运动,同时使平面齿轮与毛坯获得按原来传动副啮合时应有的对滚运动后,就转化成为一具体的机床。因此,机床上运动着的刀具和摇台在加工过程中起到平面的作用,故得名“假想平面齿轮”。

所有滚切加工锥齿轮机床都是根据这一原理设计的。但是,作为平面齿轮刀具是很难在机床上实现切削运动的。

当机床应用假想平面齿轮原理工作时,刀具的刃口就可以按直线制造,因而简化了刀具的制造。

平面齿轮和锥齿轮啮合时由图 1-3 可知:  $R_{\text{平面}} = \frac{r}{\sin \varphi}$ , 又  $R_{\text{平面}} = \frac{mz_{\text{平面}}}{2}$ ,  $r = \frac{mz}{2}$ , 所以,  $z_{\text{平面}} = \frac{z}{\sin \varphi}$ 。其中,  $m$  为齿轮模数,  $z_{\text{平面}}$  和  $z$  分别为平面齿轮和锥齿轮齿数。若有一对齿轮正交,其齿数为  $z_1$  和  $z_2$ , 节锥半角为  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ , 并且  $\varphi_2 = 90^\circ - \varphi_1$ , 则有一平面齿轮和它们共轲, 此时平面齿轮齿数  $z_{\text{平面}}$  可用以下公式表示

$$R_{\text{平面}} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2}$$

$$R_{\text{平面}} = \frac{1}{2} m z_{\text{平面}}$$

式中,  $r_1 = \frac{1}{2} m z_1$ ,  $r_2 = \frac{1}{2} m z_2$ 。所以  $z_{\text{平面}} = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$ 。

## 二、平顶齿轮与锥齿轮的啮合关系

当锥齿轮的节锥半角  $\varphi = 90^\circ - \gamma$ , 而顶锥半角  $\varphi_0 = 90^\circ$  时, 这种锥齿轮称为平顶锥齿轮。平顶齿轮的特点由图 1-4 可知,  $R$  及  $r_0 = \infty$ , 节锥仍为锥面。故背锥展开后, 轮齿齿廓的形状

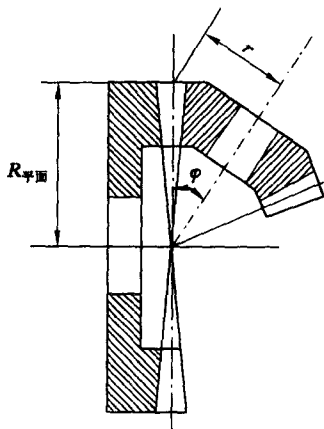


图 1-3 平面齿轮和锥齿轮啮合

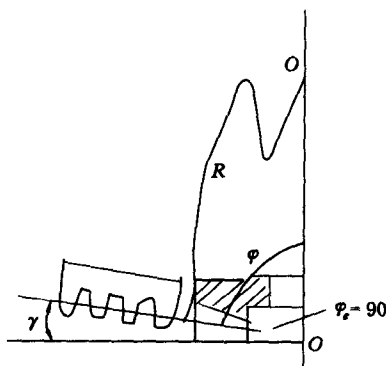


图 1-4 平顶齿轮

已不是直线形,而仍然是渐开线。不过由于 $\gamma$ 角甚小, $R$ 及 $\gamma_0$ 甚大,这时渐开线的曲率很小,接近于直线。

平顶齿轮与锥齿轮啮合时,由图 1-5 可以看出有如下关系: $OAB$  是一直角三角形, $AB$  为锥齿轮的节圆半径,用 $r$ 表示; $OA$  为锥齿轮的节锥母线长度,用 $L$ 表示。

因为 $L = \frac{r}{\sin \varphi}$ ,又 $L = \frac{R_{\text{平顶}}}{\cos \gamma}$ ,所以 $\frac{r}{\sin \varphi} = \frac{R_{\text{平顶}}}{\cos \gamma}$ ,从而得

$$R_{\text{平顶}} = \frac{r \cos \gamma}{\sin \varphi}$$

而 $R_{\text{平顶}} = \frac{1}{2} m z_{\text{平顶}}$ , $r = \frac{1}{2} m z$ ,因此, $z_{\text{平顶}} = \frac{r \cos \gamma}{\sin \varphi}$ 。

其中, $\gamma$ 为锥齿轮齿根角,一般很小,所以 $\cos \gamma = 1$ 。这

时, $z_{\text{平顶}} = \frac{z}{\sin \varphi} = z_{\text{平面}}$ 。

由此可见,平顶齿轮和平面齿轮的差别是很小的,因此,在实际应用中不论是应用平面齿轮和毛坯啮合还是应用平顶齿轮和毛坯啮合原理的机床,刀具刃口都可制造成直线形的。

### 三、平面齿轮、平顶齿轮与切齿机关系分析

目前用滚切法加工的机床,有应用平面齿轮和毛坯啮合的原理的,例如美国 GLen Son 公司的弧齿锥齿轮铣床 No116、No106 等;也有应用平顶齿轮和毛坯啮合的原理的,例如苏 528、苏 525 型等弧齿锥齿轮铣床,我国生产的 Y236、Y225 等机床也属于这种原理设计。

应用平面齿轮原理的机床,为了得到机床上假想的平面齿轮,摇台的结构比较复杂。如图 1-6 所示,以刨齿机为例,刨刀必须沿着毛坯的齿根锥面运动,所以,摇台上必须有使刀具倾斜的位置,即刨刀的导轨要和摇台端面倾斜成 $\gamma$ 角(毛坯的齿根角),但 $\gamma$ 角是个变数,随工件参数不同而不同。因而摇台须随 $\gamma$ 的改变而改变其倾斜角度。于是,结构变得复杂,刚性亦受到影响,不过在应用时机床调整计算较简单方便。

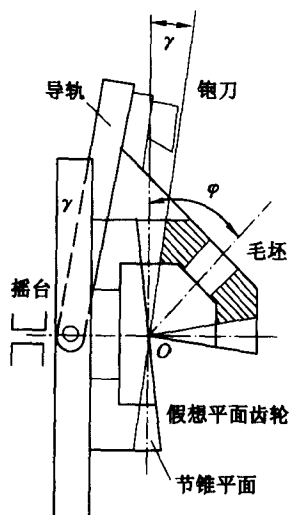


图 1-6 平面齿轮原理工作的刨齿机

为了简化摇台结构、增强刚性,大多数锥齿轮加工机床是应用平顶齿轮代替平面齿轮的,这时刀具的运动轨迹和摇台端面永远平行,不必调整,但机床在计算调整方面就较为复杂。

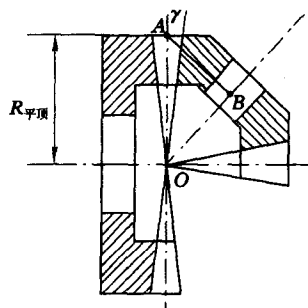


图 1-5 平顶齿轮和锥齿轮啮合

## 第四节 弧齿锥齿轮切齿方法

### 一、用平面齿轮加工等高弧齿锥齿轮

根据计算,弧齿锥齿轮的当量齿数

$$z_d = \frac{z}{\cos \beta_m \cos \varphi}$$

当节锥角  $\varphi = 90^\circ$  时,当量齿数  $z_d$  就等于无限多齿数,齿形就是直线了。这样,弧齿轮就是平面齿轮。如图 1-7 所示,作为刀具的平面齿轮,其节锥面为一平面  $AOA$ ,其节锥角  $\varphi = 90^\circ$ 。

但是这样的平面齿轮刀具是很难在机床上实现切削运动的。实际上加工圆弧伞齿轮的刀具不是一个完整的平面齿轮,只是用一个圆形刀盘,刀盘上面装着若干个直线齿形的刀具。

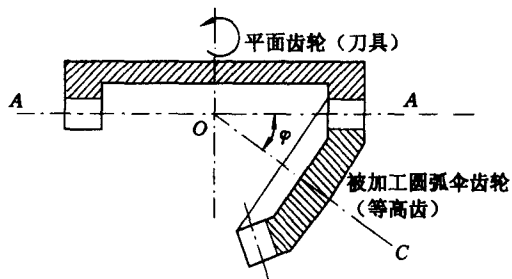


图 1-7 平面齿轮原理加工等高弧齿锥齿轮

当刀盘绕自身轴线旋转时,就形成平面齿轮的一个齿。当然,只是在原地旋转是无法使被加工齿轮展成的。只有在自转的同时还做公转,公转到被加工齿轮相啮合(切削)时,方能切成一个齿。这个既自转又公转的刀盘所走过的轨迹就形成了所谓平面齿轮。由于这个平面齿轮实际上是看不到的,所以又称为“假想平面齿轮”。

图 1-7 所示为在专用弧齿铣上加工圆弧伞齿轮时的实际情况。铣刀盘固定在机床的摇台上,刀盘由一马达驱动围绕它自身中心旋转,形成切削运动。刀盘上刀具的直线刀刃的轨迹恰恰与假想平面齿轮相吻合。由于机床上并不存在假想平面齿轮这一零件,所以说切削刃的运动轨迹,无形中起到代替假想平面齿轮的作用。被切齿轮的安装,须使节锥顶点与这个假想平面齿轮顶点相重合,同时使轮坯的齿根圆锥(根锥)与刀盘齿轮端面相切。机床上的摇台带着它上面的刀盘,由一个马达经过齿轮、蜗杆蜗轮传动产生旋转,工件也同时旋转以形成展成运动。

为保证摇台的转速(假想平面齿轮的转速或刀盘公转的转速)和工件的转速有一定的关系(对滚),机床上有传动链联系,其传动比为

$$i = \frac{z}{z_{\text{平面}}}$$

式中  $z$ ——被切齿轮齿数;

$z_{\text{平面}}$ ——假想平面齿轮的齿数。

但

$$z_{\text{平面}} = \frac{z}{\sin \varphi}$$

式中  $\varphi$ ——被切齿轮的节锥角。

若被切齿轮副  $z_1 z_2$  的轴交角  $\delta = 90^\circ$ , 则

$$z_{\text{平面}} = \frac{z_1}{\sin \varphi_1} = \frac{z_2}{\sin \varphi_2} = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$$

只要按照这个速比关系就可铣切出所需要的等高齿弧齿轮。

至于刀盘本身自转速度与展成速度无关,仅影响刀具的耐用度和生产率。当工件上的一个齿切完后,工件和刀盘离开,工件进行分度,摇台快速回到原来位置,再进行第二个轮齿的切削,这些过程都是自动进行的。

## 二、用平顶齿轮加工收缩齿弧齿伞齿轮

用  $\varphi=90^\circ$  的假想平面齿轮加工收缩齿时(见图 1-8),其锥角  $\varphi=90^\circ+\gamma$  ( $\gamma$  为被切齿轮的齿根角)。因此,当加工收缩齿时,刀盘(代替假想平面齿轮的一个齿)的轴线与假想平面齿轮(摇台)的轴线要倾斜一个角度,这个角度等于  $\gamma$ 。这样,用铣刀盘的齿顶平面代替假想平面齿轮顶锥面的一部分,才能使被切伞齿轮底在  $\varphi-\gamma$  的根锥面上。对于不同的伞齿轮,按照这种原理加工弧齿锥齿轮时,机床必须保证能够调整铣刀盘轴线与假想平面齿轮轴线的夹角。这样,机床结构就变得复杂,还降低了机床刚度。

在生产实际中,常用假想平顶齿轮代替平面齿轮来加工收缩齿。假想平顶齿轮就是一个锥顶角等于  $90^\circ$  的锥齿轮,即其齿顶是一个平面,而节锥面变成一个锥面  $AOA$ (见图 1-9)。这时,铣刀盘的旋转轴线和假想平顶齿轮轴线平行。从理论上讲,这个假想平顶齿轮的齿形已不是直线,但为了制造刀具方便起见,铣刀盘刀刃仍然做成直线形,因此这样加工的锥齿轮齿形在理论上是有误差的,但与假想平面齿轮加工出的锥齿轮相差不多,其误差在允许范围以内。这些误差可以采取一系列措施加以纠正,如调整机床和刀盘等。

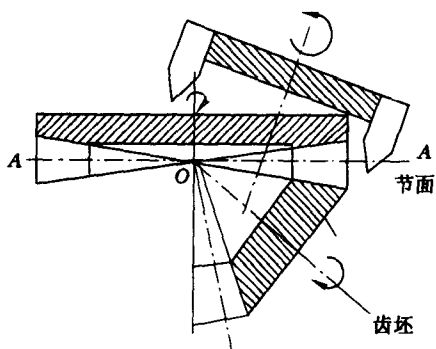


图 1-8 假想平面齿轮加工收缩齿

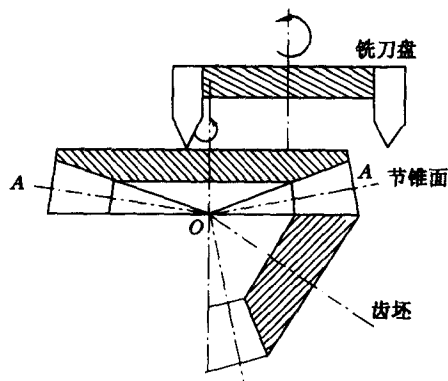


图 1-9 假想平顶齿轮加工收缩齿

这样,机床上取消了调整铣刀盘轴线的倾斜方向的机构,简化了机床结构,也提高了机床的刚度。

## 三、圆弧齿锥齿轮切齿方法(见表 1-1)

表 1-1

圆弧齿锥齿轮切齿方法表

| 切齿方法         | 加工特性                             | 需要机床           | 需要刀盘    | 优缺点                          | 适用范围                  |
|--------------|----------------------------------|----------------|---------|------------------------------|-----------------------|
| 单刀法<br>单面切削法 | 大轮和小轮轮齿两侧表面粗切一起切出,精切单独进行,小轮按大轮配切 | 至少需要 1 台万能切齿机床 | 1 把双面刀盘 | 接触区不太好,效率低,但可以解决机床和刀具数量不够的困难 | 适用于产品质量要求不太高的单件和小批量生产 |

续表 1-1

| 切齿方法                  |         | 加工特性                                                                           | 需要机床                                             | 需要刀盘                                             | 优缺点                                      | 适用范围                      |
|-----------------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| 双<br>面<br>切<br>削<br>法 | 单面双面切削法 | 大轮的粗切和精切使用单独的粗切刀盘和精切刀盘同时切出齿槽两侧表面。小轮粗切使用1把双面粗切刀盘;小轮粗切分别用1把外精切刀盘和内精切刀盘切出齿槽的两侧面   | 至少需要1台万能切齿机床                                     | 大轮 { 粗切1把<br>精切1把<br>小轮 { 粗切1把<br>外精切1把<br>内精切1把 | 接触区和齿面光洁度较好,生产效率较前者高                     | 适用于产品质量要求不太高的小批量和中批量生产    |
|                       | 固定安装法   | 加工特性和单面双面切削法相同,但每道工序都在固定的机床上进行                                                 | 大轮 { 粗切1台<br>精切1台<br>粗切1台<br>小轮 { 外精切1台<br>内精切1台 | 大轮 { 粗切1把<br>精切1把<br>小轮 { 粗切1把<br>外精切1把<br>内精切1把 | 接触区和齿面光洁度均好,生产效率也比较高。但是,需要的切齿机床和刀盘数量都比较多 | 适用于大批量生产                  |
|                       | 半滚切法    | 加工特性和固定安装法相同,但大轮采用成形法切出,小齿轮轮齿两侧表面分别用展成法切出                                      | 和固定安装法相同                                         | 和固定安装法相同                                         | 优缺点和固定安装法相同,但大轮精切比用展成法的效率可以成倍地提高         | 适用于传动比 $i > 2.5$ 的大批量流水生产 |
|                       | 螺旋成形法   | 加工特性和半滚切法相同,但在大轮精切时,刀盘还具有轴向的往复运动,即每当一个刀片通过一个齿槽时,刀盘就沿其自身轴线前后往复一次,刀盘每转一转,就切出一个齿槽 | 和固定安装法相同                                         | 和固定安装法相同                                         | 接触区最理想,齿面光洁度好,生产效率高,是目前比较先进的新工艺          | 和半滚切法相同                   |
| 双重双面法                 |         | 大轮和小轮均用双面刀盘同时切出齿槽两侧表面                                                          | 大轮、小轮粗切与精切各1台,共用4台                               | 大轮、小轮粗切与精切各1把,共需4把                               | 生产率比固定安装法高,但接触区不易控制,质量较差                 | 模数小于2.5及传动比为1:1的大批量生产适用   |

### 第五节 Y225 型切齿机床的运动及其联系

Y225 型机床是一种半自动机床,除装卸工件外,加工过程都自动进行。它的最大加工直径为 500 mm,最大模数为 10 mm。由天津第一机床厂和上海第一机床厂制造,用圆形刀盘作刀具,按假想平顶齿轮原理加工。



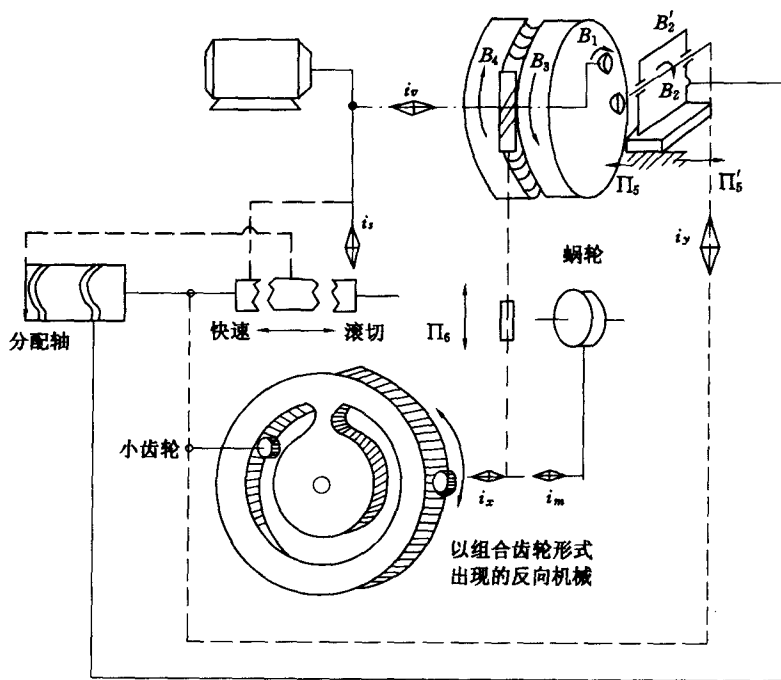


图 1-11 Y225 型锥齿轮铣床的传动结构

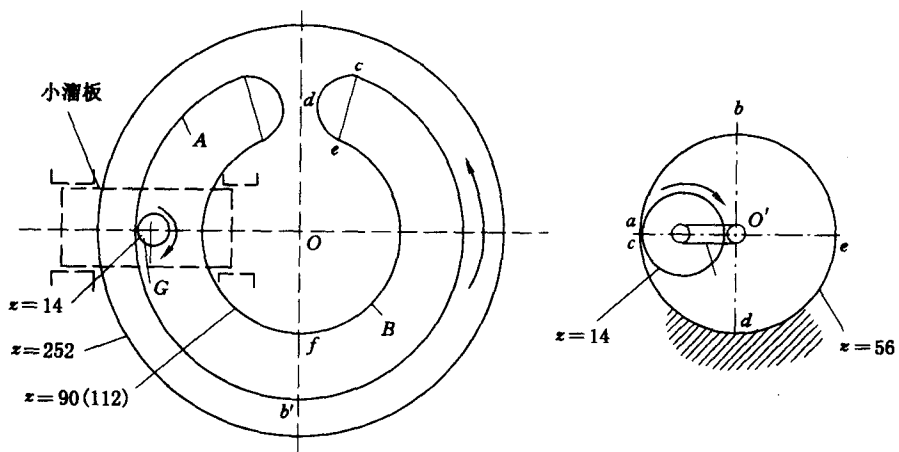


图 1-12 组合齿轮的构造简图

组合齿轮和一个主动小齿轮  $G$  永远保持啮合关系。组合齿轮的外圈还固连一个大齿轮  $n$ ，运动从主动小齿轮传过来，由外圈大齿轮  $n$  传至摇台。小齿轮转动方向永远不改变，当小齿轮  $G$  和组合齿轮的内齿  $A$  啮合时，摇台作正转 ( $B_3$ ) 和工件进行滚切；当小齿轮  $G$  经过渡性的半边内齿  $c$  而移动到和组合齿轮外齿  $B$  啮合时，从内啮合变成外啮合，组合齿轮就改变了转动方向，因而使摇台反转 ( $B_4$  方向)，所以组合齿轮实际上是一个反向机构。

从摇台到工件之间的传动链是滚动链,用以形成轮齿的渐开线齿形。它是一个内联系传动链,必须有准确的传动比,根据滚切挂轮  $i_r$  调整(见图 1-11)。

由于摇台要正反转,而工件不反转以便进行分齿,所以从传动顺序上讲,分齿传动链不应联接在组合齿轮后面,而应在它的前面。在运动联系图上,分齿链和滚切链就必须在  $f$  点联接,每次分齿数可由分齿挂轮  $i_f$  来调整。

该机床的自动循环由一根分配轴控制,分配轴上的凸轮还操纵工件头架的进退,分配轴转一转,完成一个自动循环,加工出一个齿槽。所以分配轴转一转的时间就反映了机床的生产率。从电动机到分配轴有两条传动路线:当离合器  $M$  右搭时,实现工作进给,其分配轴转速由进给挂轮  $i_f$  来调整;滚切完毕,分配轴控制离合器  $M$  左搭,实现快退,此时摇台快速反转到原始位置,工件按原方向快速转动,完成分配运动,并在  $e$  点和主电机相连。

刀盘的旋转运动是主运动,从电机至刀盘的传动链是主传动链(又称速度链),刀盘的速度可由速度挂轮  $i_v$  来调整。

此外,还有一个滚切修改机构(又称滚动变性机构)使摇台蜗杆在旋转的同时,做轴向附加移动,实现滚切修改运动,它是在以半滚切地加工小齿轮用的,其运动可由挂轮  $i_m$  调整,这条链在我国实际应用尚少。

## 第六节 Y225 型切齿机传动系统的分析与计算

### 一、组合齿轮的运动分析

它由四个不完整的齿轮所组成: $\widehat{abc}$ 段是齿数为 224 的内齿的  $7/8$ (共 196 个齿), $\widehat{efg}$ 段是齿数为 112 个齿的外齿的  $7/8$ (98 个齿), $\widehat{cde}$ 、 $\widehat{gha}$ 段都是齿数为 56 的小内齿的  $1/2$ (28 个齿)。组合齿轮外圈是一个  $z=252$  的外齿轮,所有这些都联成一个整体,并绕轴  $O$  转动。

$z=14$  的主动小齿轮和组合齿轮相啮合,小齿轮的转动方向始终不变,它可以和支撑它的小溜板一起沿水平道轨移动。在组合齿轮内,还有一圈和组合齿轮节线相对应的端面导向槽(未画出),而小齿轮与轴端的滚子插入该导向槽中,就像凸轮机构的作用一样,保证了小齿轮始终和组合齿轮相啮合。

小齿轮与  $\widehat{abc}$  段啮合,是一种内啮合,这时,组合齿轮的转动方向和小齿轮相同,都是顺时针方向。当它与组合齿轮啮合到  $c$  点后,在与  $\widehat{cde}$  半边内齿轮的啮合过程中,由于  $\widehat{cde}$  各点与组合齿轮中心  $O$  的距离不相等,为了保持啮合,小齿轮必须一边转动,一边和小溜板一起向组合齿轮中心做径向移动。在  $cd$  段组合齿轮仍然向顺时针方向转动,不过转动的速度逐渐减小。到  $d$  点速度减为零。 $d$  点以后,组合齿轮反向,作逆时针转动,转速由零逐渐增大,到  $\widehat{efg}$  段达到正常的外啮合转速。 $\widehat{gha}$  的啮合情况与  $\widehat{cde}$  类似,到  $h$  点,组合齿轮的转动方向又反向。由此可见,小齿轮和组合齿轮每啮合完一整周时,组合齿轮进行一次正向和反向摆动。组合齿轮的正反转通过外圈  $z=252$  的大齿轮和传动链,使摇台往返摆动一次,这就是机床的一次自动循环。

当分配轴转一转时, $z=14$  的小齿轮转过的转数为

$$n_{\text{小齿轮}} = 1 \times \frac{72}{2} \times \frac{64}{60} \times \frac{60}{68} \times \frac{16}{32} = 24 (\text{转})$$