

高等学校交流讲义

机器制造工艺学

下 册

华中工学院机械制造工艺学教研室编



中国工业出版社

高等学校交流讲义



机器制造工艺学

下册

华中工学院机械制造工艺学教研室编

中国工业出版社



机器制造工艺学下册共十五章，包括第二篇机器零件各种表面的加工工艺中的一部分（齿轮加工、蜗轮蜗杆的加工、键槽、花键轴和花键孔的加工等三章）。第三篇装配工艺及第四篇典型机器零件的综合工艺。

本书（下册）原稿由华中工学院高宇昭同志负责整理，天津大学曾庆福、吉林工业大学朱厚德、清华大学朱耀祥、徐世朴、大连工学院郁珊娟、北京机械学院吴亢等同志校阅一遍，并对第十七、十八、二十、二十二各章作了一些修改和补充。

由于考虑到目前的实际情况，下册所用标准仍采用了旧标准。本书可作为高等工业学校机械制造工艺及其设备专业的交流讲义；也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

DE 41 / 02

机 器 制 造 工 艺 学

下 册

华中工学院机械制造工艺学教研室编

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑

（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 22 · 插页 1 · 字数 476,000

1961年10月北京第一版·1961年12月北京第二次印刷

印数 9,338—16,047 · 定价（10-6）2.65元

*

统一书号：15165·855（一机-188）

目次

第十七章 齒輪加工..... 5	§ 18-4 提高蝸輪加工精度的方法..... 79
§ 17-1 切齒..... 5	第十九章 鍵槽、花鍵軸和花鍵孔
§ 17-2 提高滾齒和插齒精度的問題..... 9	的加 工..... 84
§ 17-3 提高切齒加工生產率的途徑..... 19	§ 19-1 鍵槽的加工..... 84
§ 17-4 齒輪精加工方法..... 23	§ 19-2 花鍵軸和花鍵套的加工..... 85
§ 17-5 圓柱齒輪製造的工藝過程..... 32	§ 19-3 高生產率的花鍵加工方法..... 87
§ 17-6 錐齒輪的加工..... 36	§ 19-4 錐底花鍵的加工..... 88
§ 17-7 非圓齒輪的加工..... 55	第二十章 特種工藝..... 89
§ 17-8 熱軋齒輪..... 60	§ 20-1 前言..... 89
第十八章 蝸輪、蝸杆的加工..... 66	§ 20-2 電加工工藝..... 90
§ 18-1 蝸杆和蝸輪的技術要求..... 66	§ 20-3 超聲波加工工藝..... 112
§ 18-2 蝸杆的種類及其加工..... 67	§ 20-4 無屑加工工藝..... 112
§ 18-3 蝸輪加工..... 76	

第三篇 裝配工藝

第二十一章 裝配工藝..... 134	§ 21-6 部件的試車、調整、試驗和機
§ 21-1 基本概念..... 134	器的生產試驗..... 145
§ 21-2 裝配尺寸鏈..... 138	§ 21-7 裝配工作的機械化..... 177
§ 21-3 裝配方法..... 142	§ 21-8 裝配的組織形式..... 162
§ 21-4 機器中裝配尺寸鏈的分析..... 158	§ 21-9 裝配工藝規程的編制..... 185
§ 21-5 典型部件的裝配..... 163	

第四篇 典型機器零件加工的綜合工藝

第二十二章 工藝過程典型化和成組加工..... 189	§ 24-4 機械加工工藝過程的擬定和基
§ 22-1 概述..... 189	準的選擇..... 215
§ 22-2 工藝過程典型化..... 189	§ 24-5 完成各主要工序的方法..... 218
§ 22-3 成組加工..... 190	§ 24-6 床身的檢查..... 231
第二十三章 機器結構的工藝性與節料性..... 197	第二十五章 主軸加工..... 238
§ 23-1 基本概念..... 197	§ 25-1 主軸的功用和類別..... 238
§ 23-2 毛坯結構的工藝性..... 197	§ 25-2 主軸的技術要求..... 239
§ 23-3 零件結構的機械加工工藝性..... 201	§ 25-3 主軸的加工工藝過程..... 240
§ 23-4 機器結構的裝配工藝性..... 205	§ 25-4 完成主要工序的加工方法..... 241
§ 23-5 零件結構的節料性..... 210	§ 25-5 主軸的檢驗..... 244
§ 23-6 機器結構的工藝性和節料性..... 211	第二十六章 机床箱體的加工..... 245
第二十四章 床身加工..... 212	§ 26-1 箱體的作用、特點及其分類..... 245
§ 24-1 床身的作用及其特點..... 212	§ 26-2 對箱體零件的技術要求..... 245
§ 24-2 床身的主要技術要求..... 212	§ 26-3 毛坯製造..... 247
§ 24-3 毛坯製造及機械加工前的準備	§ 26-4 箱體零件的機械加工工藝過程
工序..... 214	及其擬定的基本原則..... 248
	§ 26-5 完成各主要工序的方法..... 253
	§ 26-6 箱體零件的檢查..... 263

第二十七章 活塞的加工270

§ 27-1 活塞的结构特点及主要技术条件270

§ 27-2 活塞的材料及活塞毛坯的制造方法 272

§ 27-3 铝活塞的机械加工274

§ 27-4 活塞的检查286

第二十八章 活塞环的加工291

§ 28-1 活塞环的结构特点及主要技术条件291

§ 28-2 活塞环的机械加工294

§ 28-3 活塞环的检查302

第二十九章、连杆加工306

§ 29-1 连杆的结构特点及主要技术条件306

§ 29-2 连杆的材料及毛坯制造方法308

§ 29-3 连杆的机械加工309

§ 29-4 连杆的检查319

第三十章 曲轴加工320

§ 30-1 发动机曲轴的结构特点及主要技术条件320

§ 30-2 曲轴的材料和毛坯的制造321

§ 30-3 曲轴的机械加工322

§ 30-4 曲轴的平衡329

§ 30-5 曲轴的检查336

第三十一章 轴承环的加工337

§ 31-1 滚动轴承的构造及其主要技术要求337

§ 31-2 轴承环毛坯的材料及其制造方法340

§ 31-3 轴承环的车削加工342

§ 31-4 轴承环的磨削加工348

§ 31-5 轴承环的技术检查352

高等学校交流讲义

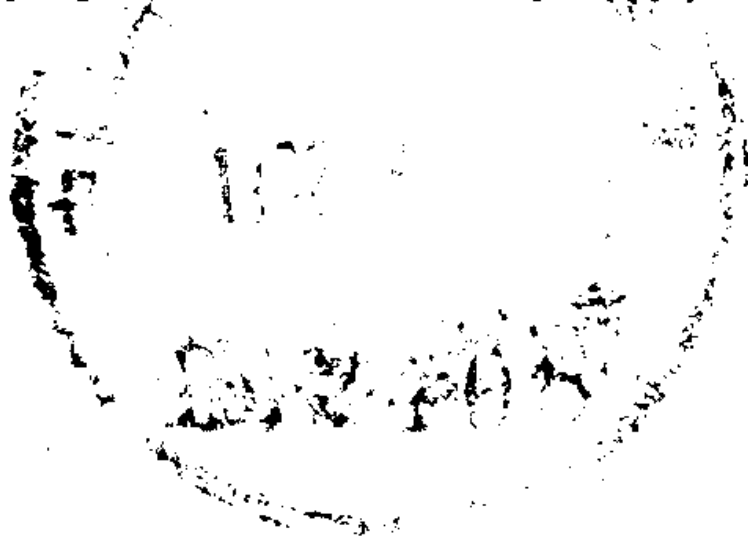


机器制造工艺学

下册

华中工学院机械制造工艺学教研室编

中国工业出版社



机器制造工艺学下册共十五章，包括第二篇机器零件各种表面的加工工艺中的一部分（齿轮加工、蜗轮蜗杆的加工、键槽、花键轴和花键孔的加工等三章）。第三篇装配工艺及第四篇典型机器零件的综合工艺。

本书（下册）原稿由华中工学院高宇昭同志负责整理，天津大学曾庆福、吉林工业大学朱厚德、清华大学朱耀祥、徐世朴、大连工学院郁珊娟、北京机械学院吴亢等同志校阅一遍，并对第十七、十八、二十、二十二各章作了一些修改和补充。

由于考虑到目前的实际情况，下册所用标准仍采用了旧标准。本书可作为高等工业学校机械制造工艺及其设备专业的交流讲义；也可供其他专业和有关工程技术人员参考。

DE 41 / 02

机 器 制 造 工 艺 学

下 册

华中工学院机械制造工艺学教研室编

*

第一机械工业部教材编审委员会编辑

（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787×1092^{1/16}·印张 22·插页 1·字数 476,000

1961年10月北京第一版·1961年12月北京第二次印刷

印数 9,338—16,047·定价（10-6）2.65元

*

统一书号：15165·855（一机-188）

目次

第十七章 齒輪加工..... 5	§ 18-4 提高蝸輪加工精度的方法..... 79
§ 17-1 切齒..... 5	第十九章 鍵槽、花鍵軸和花鍵孔 的加 工..... 84
§ 17-2 提高滾齒和插齒精度的問題..... 9	§ 19-1 鍵槽的加工..... 84
§ 17-3 提高切齒加工生產率的途徑..... 19	§ 19-2 花鍵軸和花鍵套的加工..... 85
§ 17-4 齒輪精加工方法..... 23	§ 19-3 高生產率的花鍵加工方法..... 87
§ 17-5 圓柱齒輪製造的工藝過程..... 32	§ 19-4 錐底花鍵的加工..... 88
§ 17-6 錐齒輪的加工..... 36	第二十章 特種工藝..... 89
§ 17-7 非圓齒輪的加工..... 55	§ 20-1 前言..... 89
§ 17-8 熱軋齒輪..... 60	§ 20-2 電加工工藝..... 90
第十八章 蝸輪、蝸杆的加工..... 66	§ 20-3 超聲波加工工藝..... 112
§ 18-1 蝸杆和蝸輪的技術要求..... 66	§ 20-4 無屑加工工藝..... 114
§ 18-2 蝸杆的種類及其加工..... 67	
§ 18-3 蝸輪加工..... 76	

第三篇 裝配工藝

第二十一章 裝配工藝..... 134	§ 21-6 部件的試車、調整、試驗和機 器的生產試驗..... 145
§ 21-1 基本概念..... 134	§ 21-7 裝配工作的機械化..... 177
§ 21-2 裝配尺寸鏈..... 138	§ 21-8 裝配的組織形式..... 162
§ 21-3 裝配方法..... 142	§ 21-9 裝配工藝規程的編制..... 185
§ 21-4 機器中裝配尺寸鏈的分析..... 158	
§ 21-5 典型部件的裝配..... 163	

第四篇 典型機器零件加工的綜合工藝

第二十二章 工藝過程典型化和成 組加工..... 189	§ 24-4 機械加工工藝過程的擬定和基 準的選擇..... 215
§ 22-1 概述..... 189	§ 24-5 完成各主要工序的方法..... 218
§ 22-2 工藝過程典型化..... 189	§ 24-6 床身的檢查..... 231
§ 22-3 成組加工..... 190	第二十五章 主軸加工..... 238
第二十三章 機器結構的工藝性與 節料性..... 197	§ 25-1 主軸的功用和類別..... 238
§ 23-1 基本概念..... 197	§ 25-2 主軸的技術要求..... 239
§ 23-2 毛坯結構的工藝性..... 197	§ 25-3 主軸的加工工藝過程..... 240
§ 23-3 零件結構的機械加工工藝性..... 201	§ 25-4 完成主要工序的加工方法..... 241
§ 23-4 機器結構的裝配工藝性..... 205	§ 25-5 主軸的檢驗..... 244
§ 23-5 零件結構的節料性..... 210	第二十六章 机床箱體的加工..... 245
§ 23-6 機器結構的工藝性和節料性..... 211	§ 26-1 箱體的作用、特點及其分類..... 245
第二十四章 床身加工..... 212	§ 26-2 對箱體零件的技術要求..... 245
§ 24-1 床身的作用及其特點..... 212	§ 26-3 毛坯製造..... 247
§ 24-2 床身的主要技術要求..... 212	§ 26-4 箱體零件的機械加工工藝過程 及其擬定的基本原則..... 248
§ 24-3 毛坯製造及機械加工前的準備 工序..... 214	§ 26-5 完成各主要工序的方法..... 253
	§ 26-6 箱體零件的檢查..... 263

第二十七章 活塞的加工270

§ 27-1 活塞的结构特点及主要技术条件270

§ 27-2 活塞的材料及活塞毛坯的制造方法 272

§ 27-3 铝活塞的机械加工274

§ 27-4 活塞的检查286

第二十八章 活塞环的加工291

§ 28-1 活塞环的结构特点及主要技术条件291

§ 28-2 活塞环的机械加工294

§ 28-3 活塞环的检查302

第二十九章、连杆加工306

§ 29-1 连杆的结构特点及主要技术条件306

§ 29-2 连杆的材料及毛坯制造方法308

§ 29-3 连杆的机械加工309

§ 29-4 连杆的检查319

第三十章 曲轴加工320

§ 30-1 发动机曲轴的结构特点及主要技术条件320

§ 30-2 曲轴的材料和毛坯的制造321

§ 30-3 曲轴的机械加工322

§ 30-4 曲轴的平衡329

§ 30-5 曲轴的检查336

第三十一章 轴承环的加工337

§ 31-1 滚动轴承的构造及其主要技术要求337

§ 31-2 轴承环毛坯的材料及其制造方法340

§ 31-3 轴承环的车削加工342

§ 31-4 轴承环的磨削加工348

§ 31-5 轴承环的技术检查352

第十七章 齒輪加工

齒輪是機器中最常用的零件之一。在成批和大量生產的工廠里，齒輪的產量通常都是很大的。一般機床廠里都有專業的齒輪工段甚至齒輪車間，在先進工業國家里已經有齒輪生產自動線。大躍進以來，我國已建成齒輪生產自動線，對齒輪加工新工藝如熱軋齒輪等方面也進行了大量的試驗研究工作。

按照齒輪的使用要求，可分為四類：

1) 傳動齒輪——用於高速大功率的傳動中（如汽輪機、飛機、高速機床的齒輪等）。其中汽輪機減速箱齒輪線速度有的高達 100 米/秒以上，傳遞功率至幾萬千瓦。這類傳動要求很高的傳動平穩性，否則將引起很大的動載荷，因而發生強烈的振動和噪音。

2) 動力齒輪——用於低速大扭矩的傳動中（如軋鋼機等的齒輪。）要求齒面接觸良好。

3) 量數齒輪——用於測量儀器、隨動系統、分度裝置等傳動中。要求很高的傳動精度。

4) 其他齒輪——如機床走刀箱、油泵、發動機分配機構等的齒輪。

蘇聯公差標準中分齒輪為 1、2、3、4 四個精度等級。後來為適應更高要求的傳動的需要，加上 0 級和 00 級。1957 年公布新的標準共有十級，其中 1、2、3 級是按發展趨向提出的，尚未實際應用；4、5、6、7、8、9 級相當於舊標準的 00、0、1、2、3、4 級。由於舊標準的很多測量儀器還可以繼續使用，因而舊標準還在應用中。目前我國已有齒輪國家標準試行草案，但許多工廠仍沿用蘇聯舊標準。

齒輪製造比較複雜。2 級精度就不容易穩定，齒輪噪音也一直是機床和汽車製造業中的大問題。齒輪加工勞動量也比較大，其中毛坯加工和切齒加工又占整個齒輪加工工時中最大的比重。隨着我國機器製造業的發展，對齒輪的數量和質量的要求都日益提高，齒輪加工成為機器製造中的一個重要部分，需要加以很大的注意。

§ 17-1 切 齒

（一）仿形法。

切削齒輪的方法有仿形法和滾切法二種。仿形法所用刀具工作部分的截形（或這截形在所切齒的法向面上的投影）與所切齒輪齒間截形完全相同。仿形法包括模數銑刀銑齒、拉齒、用插齒刀插齒等方法。

1. 模數銑刀銑齒。

如圖 17-1 示用圓盤模數銑刀和指狀模數銑刀銑齒。工件裝在銑床分度頭上（或分度頭和頂針間），切完一個齒間后用分度頭分度再切第二個齒間。

同模數、同壓力角但齒數不同的齒輪其齒形不相同。如不同齒數的齒輪都要用專門的一把銑刀來加工，這樣對於單件、小批生產齒輪的工廠來說就要有大量的銑刀，在實際上是很不經濟的。因此通常同一模數的各種齒輪只用 8 把或 15

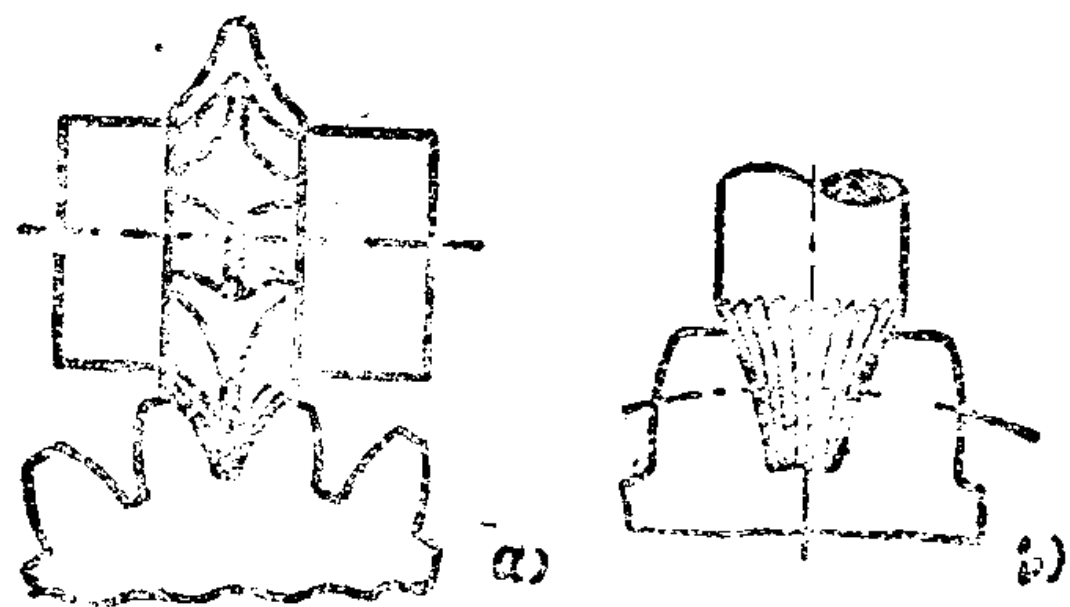


圖 17-1 模數銑刀銑齒。

把銑刀（也有多到 26 把的），每把銑刀銑一定範圍的齒數。表 17-1 示一套 8 把銑刀中各號刀所切齒數的範圍。

表 17-1

刀 號	1	2	3	4	5	6	7	8
所切齒數範圍	12~13	14~16	17~20	21~25	32~34	35~54	55~134	134以上

銑斜齒時，銑刀模數按齒輪法向模數選擇，刀號按假想齒數 Z' 選擇：

$$Z' = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

式中 z ——齒輪齒數；

β ——分圓柱上螺旋角。

機工時間（分）可由下式求出：

$$T_m = \frac{za}{n} \left[\frac{L}{S_{m.p.}} + \frac{L}{S_{m.x.}} + T_\theta \right]$$

式中 z ——齒輪齒數；

a ——走刀齒數；

n ——同時加工齒輪數；

L ——銑刀行程長度；

$S_{m.p.}$ ——工作行程送進量（毫米/分）；

$S_{m.x.}$ ——反向行程送進量（毫米/分）；

T_θ ——每齒分度時間（分）。

由此可見，反向回程及每齒分度時間占很大比重，嚴重地影響生產率。而且因為設計銑刀時总是用最小外徑，刀齒數很少，側刀後角 $\alpha < 2^\circ$ ；前角 $\gamma = 0^\circ$ ，切削用量不能太大，刀具耐用度很低。總的來說，生產率一般是很低的。加工精度 4 級也難達到，這是因為：

（1）按標準刀號選用的刀具是按所切齒數範圍內最小齒數的齒形設計的，如 6 號刀可加工 35~54 齒的齒輪，是按 35 齒設計的。在加工 54 齒時，齒形誤差有 0.11 毫米，超過 5 級精度的齒形公差；

（2）模數銑刀本身的齒形製造公差 0.03 毫米以上；

（3）最準確的銑床分度頭分度角誤差為 $1'$ ，一般為 $3' \sim 4'$ 。而 4 級精度齒輪的相鄰距角度誤差只允許有 $55''$ 。

但是用模數銑刀可以在普通萬能銑床上銑齒，不需專門齒輪機床，這對於小廠是有相當意義的；另外在銑大模數齒輪時用銑刀（ $m > 20$ 時用指狀模數銑刀）粗切，生產率比滾齒法還高。

在大量生產的條件下，可用下列方法解決其精度低、生產率低的問題：

（1）按照被加工齒輪的模數、齒數做專門的銑刀；

（2）用專用的精密分度盤分度；

（3）用大直徑的銑刀，增加刀齒數；

（4）用多軸自動機床同時加工幾個工件，并作如下自動循環（圖 17-2）：

a) 徑向切入 h 深度；

b) 軸向送進 B 長度；

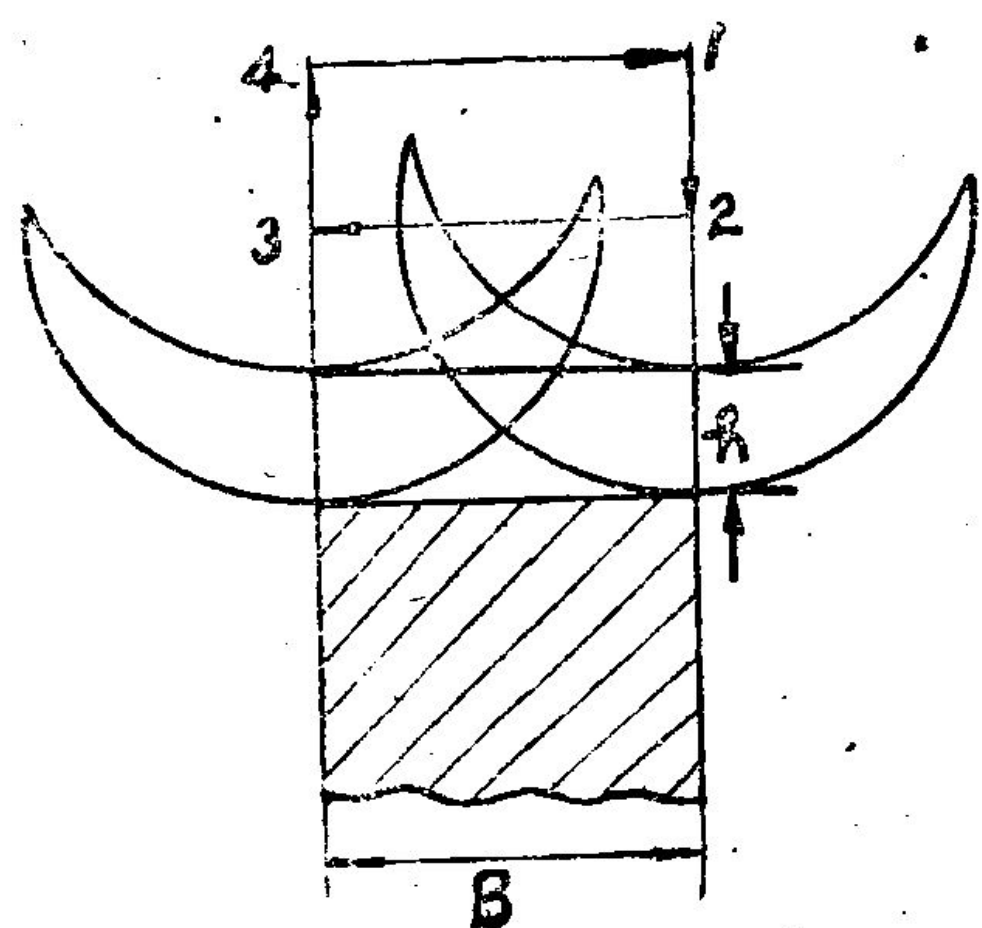


图17-2 用圆盘铣刀加工齿轮的自动循环。拉刀也可拉内齿。图17-4示将拉刀齿做在 90° 的扇形内，拉完 90° 范围内的齿后，将工件转过 90° ，再拉其余的齿。转位4次后可拉完一个齿轮。拉齿法生产率很高，精度可达2级，现在正在研究拉外圆柱齿轮的方法，这种方法可以一次拉出所有的牙齿。

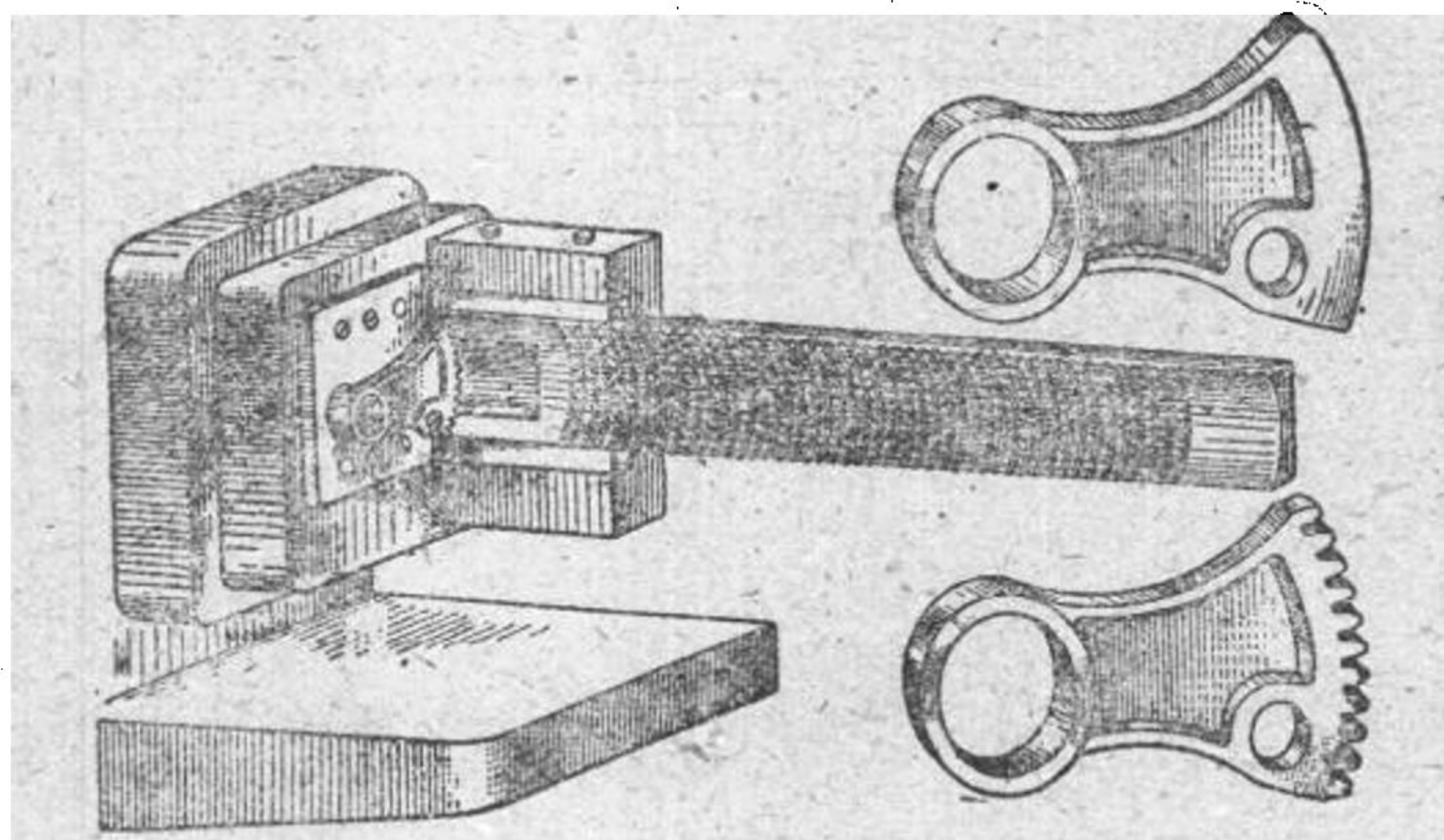


图17-3 在卧式拉床上拉齿扇。

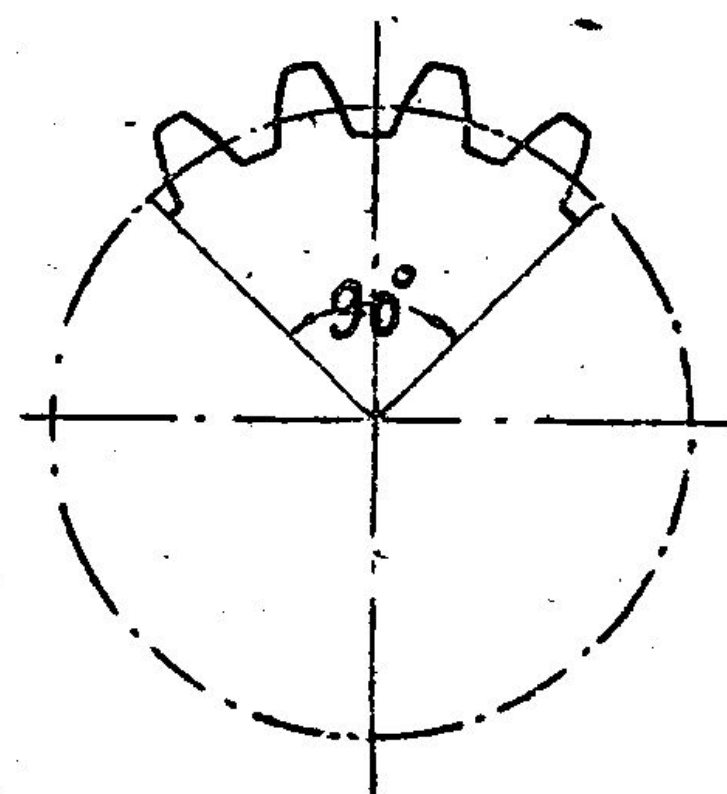


图17-4 内齿轮拉刀的截形。

3. 用插齿刀插齿。

见图17-5毛坯1装在主轴2上，主轴作上下运动。当主轴向上运动时，毛坯进入固定的插齿头3里进行切削。插齿头的精确径向槽上装着一组刀头4。刀头的数目等于被加工的齿数。齿形按被切齿轮齿间形状设计。切完齿轮全宽后，所有刀头都沿径向槽后退，以免退出工件时与之摩擦。当第二个毛坯进入插齿头前，各刀头再沿径向槽进到工作位置。

此法生产率比滚齿高3倍左右，又易于自动化；齿面光洁度达 $\nabla\nabla_6 \sim \nabla\nabla_7$ ，齿根部分圆滑。根据苏联马元申博士的资料，用此种机床插齿不但可以加工产量极大的齿轮；而且当成批加工几种齿轮时，重新调整也很方便。可加工的齿轮模数、齿数范围很广。精度达3级~4级，可作剃齿前加工，亦可作精加工。

(二) 滚切法。

滚切法的特点是：刀具工作部分的截形与所切齿间的最后截形有区别，而且在切齿的任何时间都不能与之相符。齿间最后成形时，刀具一个齿的齿形在理论上是与齿间截形的某一点相切。所切齿间截形是由刀具齿形一系列顺序切削位置所形成的包络线。加工过程中刀具与工件按假想的一对齿轮传动时所需的严格规定的角速度作强制运动。滚切法包括

c) 铣刀上退 h 高度（退出后同时进行分度）；

d) 轴向退回到开始径向走刀位置。

采取上述措施可以切出3级或3级以上精度的齿轮，生产率可以达到甚至超过滚齿法。表面光洁度也较滚切法高，没有根切现象，齿根处有光滑圆角。因此用模数铣刀铣齿还是应该加以注意的一种加工方法。

2. 拉齿。

将拉刀最后几个齿做成渐开线齿形，可在拉床上拉齿。如图17-3示在卧式拉床上拉齿扇的情况。用扇形

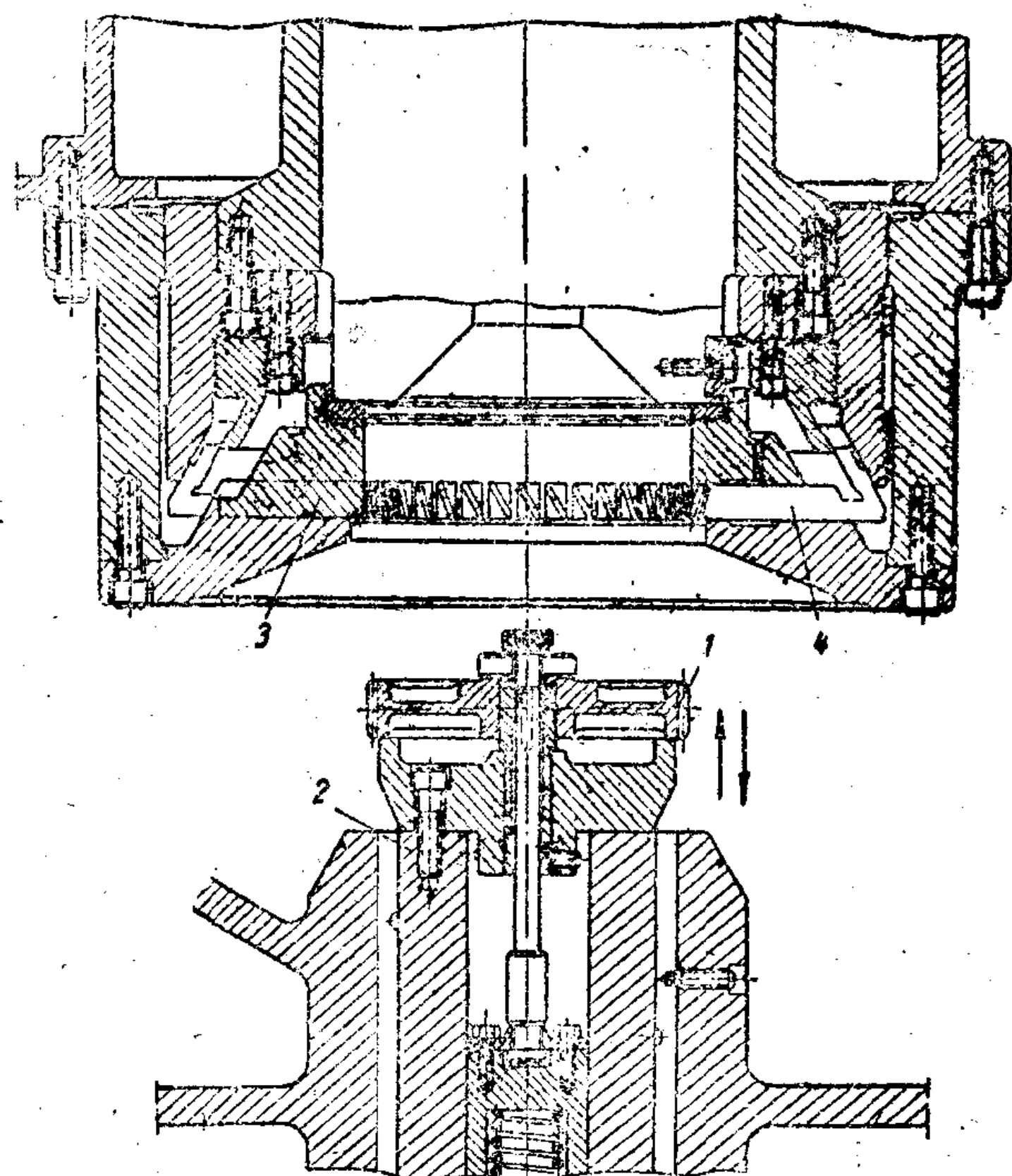


图17-5 插齿头同时切削所有的圆柱齿轮。

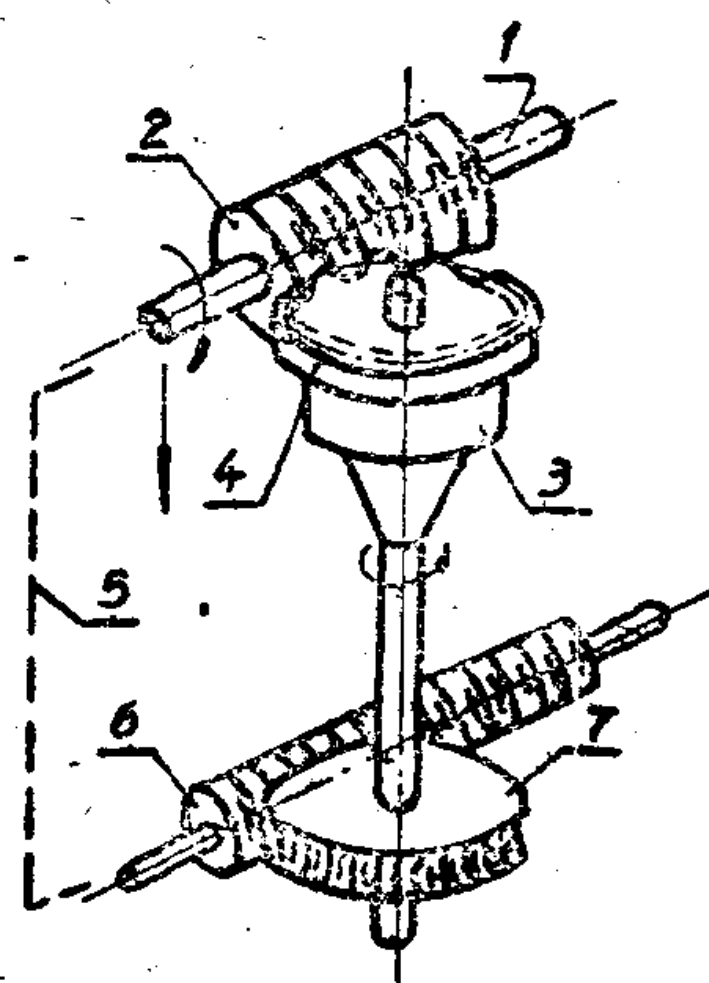


图17-6 滚齿传动原理。

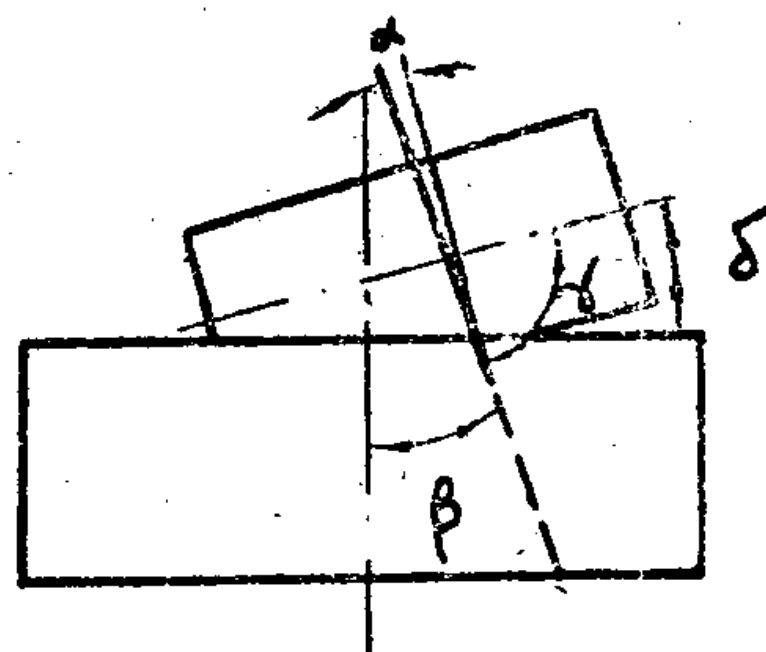


图17-7 滚刀斜置角度的决定。

滚齿、插齿、剃齿、用齿条砂轮磨齿等方法。

1. 滚齿。

见图 17-6。滚刀 2 与工件 4 在切齿时的运动相当于蜗杆带动蜗轮。传动链的传动比应保证

$$n_u/n_k = Z_k/Z_u$$

式中 n_u 、 n_k 为滚刀和工件的转速， Z_k 为工件齿数， Z_u 为滚刀头数。滚刀除与工件共同旋转外，还有沿工件轴向的送进运动以切出整个齿宽。

由于滚刀和工件都有一定的螺旋角，安装滚刀时必须使其螺旋线与被切齿的方向重合。为此滚刀需斜置一定角度。例如图 17-7 内滚刀和工件都是右旋，各有螺旋角 α 、 β 。

由 $\gamma = 90^\circ - \alpha$ 及 $\gamma = 90^\circ - \beta + \delta$ ，可算出 $\delta = 90^\circ + \beta + \gamma = \beta - \alpha$ 。滚刀和工件的螺旋方向相反时，得出 $\delta = \beta + \alpha$ 。

图 17-8 说明滚刀螺旋方向与被切齿轮旋转方向的关系，其中滚刀只作旋转不作轴向运动。当滚刀如箭头方向（一般滚刀都按这个方向）旋转 180° 之后，原来在 AB 处的刀齿到了 C_1D_1 处。齿轮的某个齿原来是与 CD 处刀齿啮合的，现在要与 C_1D_1 处的刀齿啮合，因此要作反时针方向的转动。由此可见齿轮的旋转方向决定于滚刀的螺旋方向和旋转方向，与齿轮的螺旋方向无关（滚刀如图 17-8 所示方向旋转时，对于左旋滚刀，工

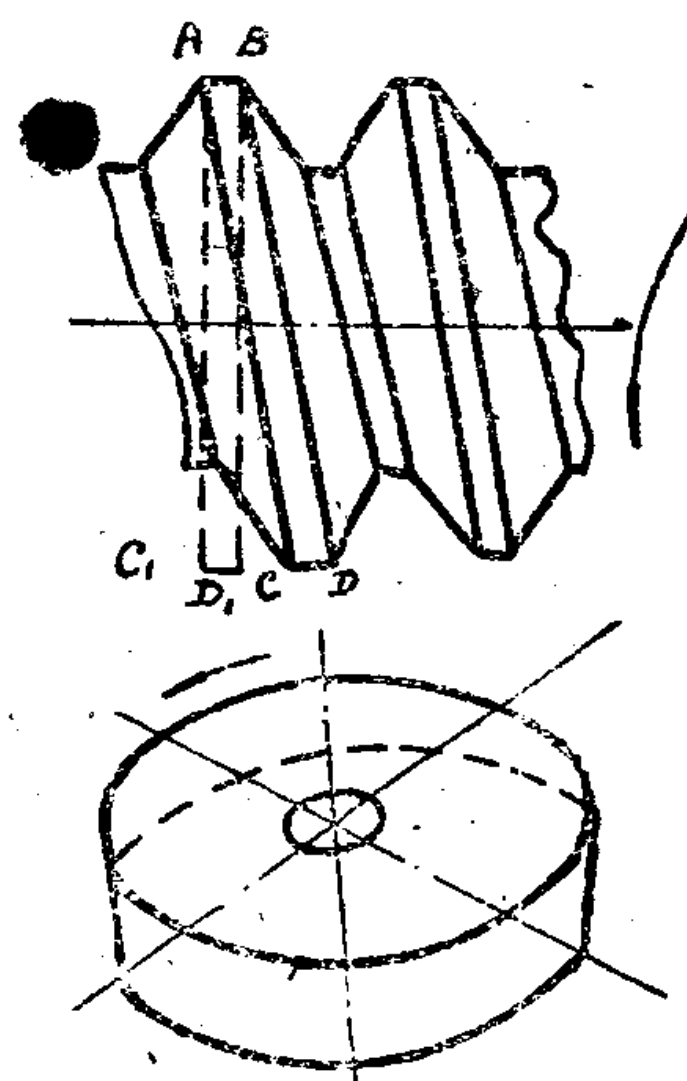


图17-8 决定滚齿时工件旋转方向。

件应顺时针方向旋转)。

当齿坯、滚刀安装正确，工具设备精度良好时，使用单头精滚刀，有可能加工出2级精度的齿轮。但目前各工厂中一般滚切的齿轮都不高于3级精度。滚齿法可以用同一模数和压力角的滚刀加工出同模数和压力角的各种不同齿数的圆柱直齿轮、圆柱螺旋齿轮；也可加工移距修正齿轮。生产率高，使用范围非常广泛。但滚齿法不能加工内齿轮及某些相距太近的阶梯齿轮。至于加工齿数小于17齿的齿轮时，有根切现象，可用移距修正法来消除。

2. 插齿。

见图17-9a。切齿时插刀和工件的相对旋转运动相当于一对啮合的齿轮。主切削运动是插刀的往复运动，另外有由凸轮推动的插刀的切入运动以及每一双行程中，插刀反向时为防止与工件摩擦的让刀运动。

齿轮坯刚进入切削时，如一下子就切到齿的全深，会因负荷太重而折断刀齿。因此在插刀碰到工件外圆以后，要以径向送进 S_p 慢慢切入毛坯。在切入过程中插刀和工件仍然依啮合运动转动，因此切入到齿深 h 时，齿轮将从 b 点转到 a 点，如图17-9b所示。到了 a 点以后，径向送进停止。

只用一次走刀时，为了切去齿间所有金属，毛坯转过 ab 弧以后，还要再转一整转。整个加工时间中工件需转 $(1 + \frac{ab}{\pi D})$ 转。切到深度 h 时，插刀往复 h/S_p 次。如

以插刀往复一次在其分圆柱上转过的弧长为圆周送进量，并以 S_k 表之，则 $\widehat{ab} = S_k h / S_p$ 。因此用一次走刀切一个齿轮的总时间为：

$$T_m = \frac{\pi D}{S_k n} \left(1 + \frac{\widehat{ab}}{\pi D} \right) = \frac{1}{S_k n} \left(\pi m z + \frac{S_k h}{S_p} \right) (\text{分})。$$

式中 n 为插刀每分钟的往复冲程数。

插齿精度和滚齿相似，一般为二级到三级。生产率较滚齿稍低，但切小模数齿轮及薄片齿轮有时较滚齿生产率高，需要具体分析。插齿的最大优点是可以插内齿轮及相距很小的多联轮。切螺旋齿轮时效果比滚齿差。

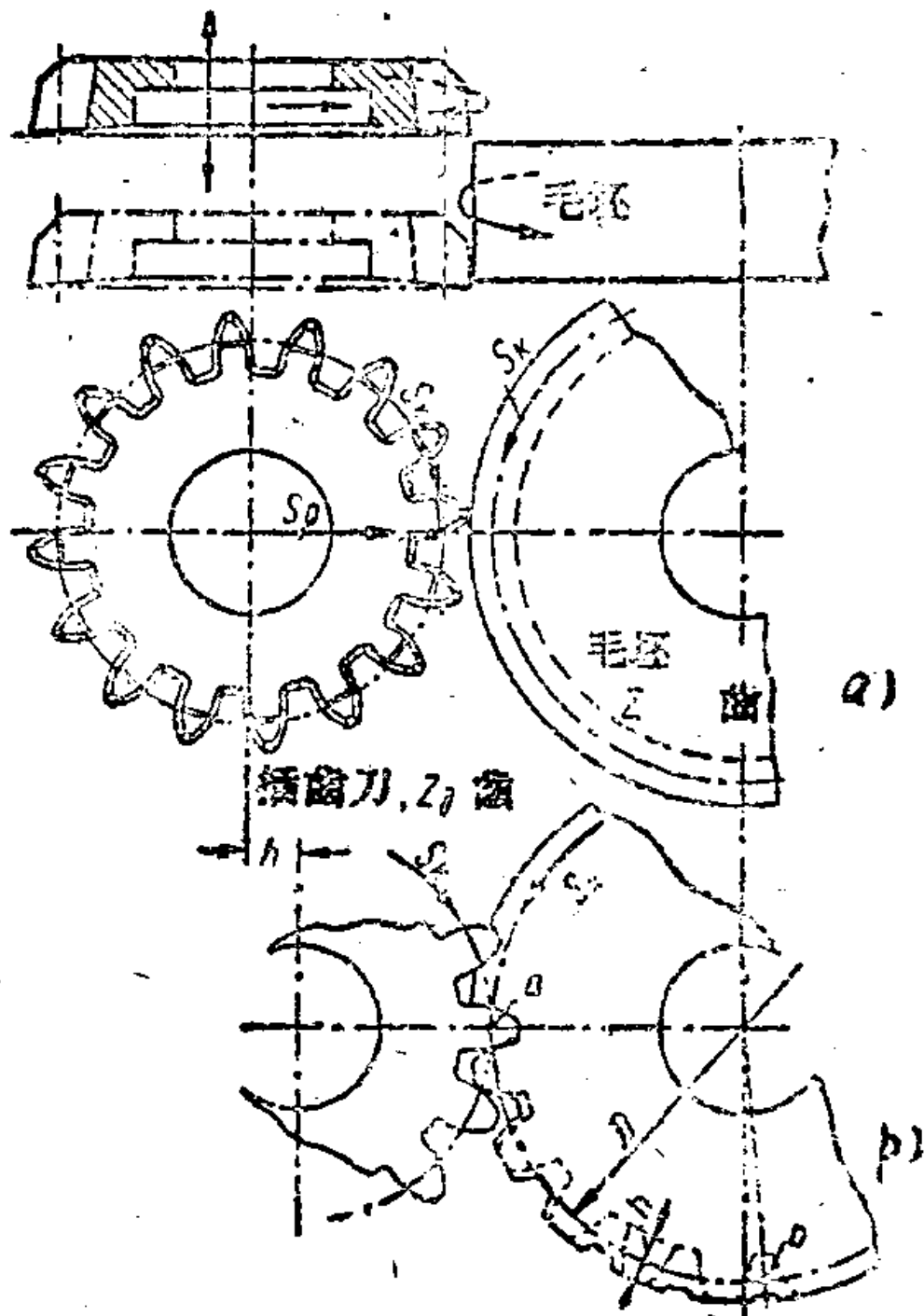


图17-9 插齿原理。

§ 17-2 提高滚齿和插齿精度的问题

滚齿和插齿是最常用的齿形加工方法。由于所用的机床、刀具及工件的安装都比较复杂，较难稳定地掌握其加工质量。虽然各方面都正常时，可以加工出2级精度的齿轮。但在一般情况下只能达到3级精度，甚至某些精度指标还达不到3级精度。下面对于齿轮滚插加工过程中的各种工艺误差进行分析。通过误差分析可以对某一种加工方法的精度问题有深刻的认识，作为选择加工方法的依据，并注意到如何将工艺误差限制到允许范围内，或采取各种工艺措施来提高加工精度。在作误差分析之前应先了解滚插加工时齿形的形成过程。

(一) 滚齿和插齿形成齿形的过程。

图 17-10 示齿轮坯从 A 点开始接触滚刀，到 B 点切完一个齿间。根据渐开线原理，互相啮合的齿轮，其轮齿只有在啮合线上才能互相接触。所以刀齿只有在啮合线上才能切到齿轮的齿廓上。例如形成右边齿廓是从 C 点开始，在 C 点以前刀齿只是切去齿间里的金属，为后面能切到齿廓上的刀齿减轻了负荷。右边齿廓是沿啮合线上 C、D、E……B 点从齿

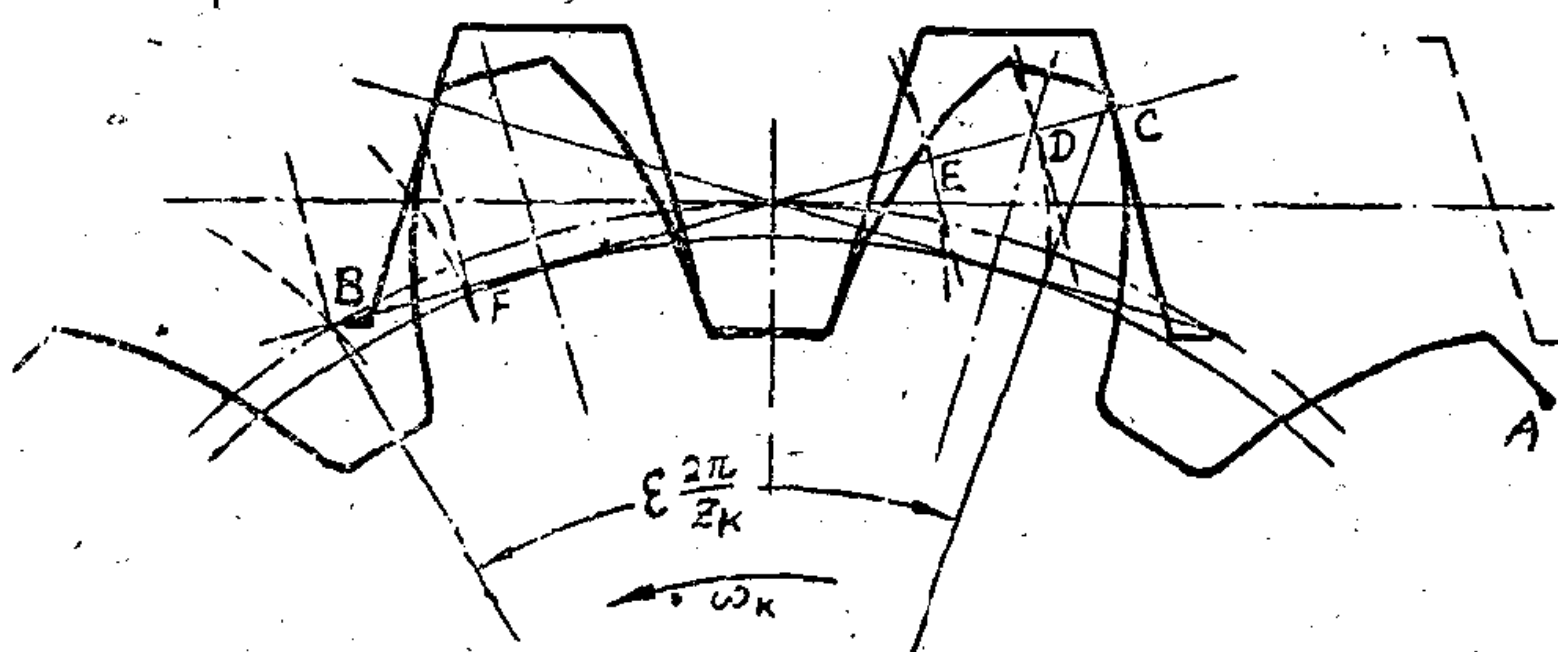


图 17-10 滚齿时齿形形成过程。

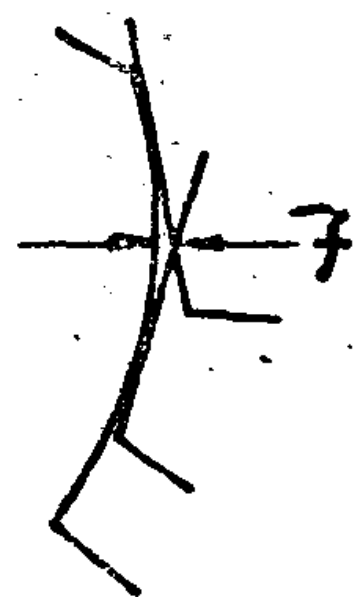


图 17-11 滚齿时渐开线面上的棱度。

顶到齿根逐渐切出来的。(如超越系数为 ε ，则从 C 切到 B 齿轮共转过 $\varepsilon \frac{2\pi}{z_k}$ 角度。) 图中虚线表示在滚刀、工件旋转过程中切出齿形不同各点的各个位置。由图上 C、D、E……各点的位置可知刀齿上某一点固定地切齿轮上某一相应的点。齿轮上每个齿都这样重复。因此可以得出这样的结论：用单线滚刀滚齿时，对于以齿轮切齿时的旋转中心为圆心所画的各个同心圆来说，各个齿廓在此圆上的点都是由刀齿的同一点切出的，因此刀具齿形误差对相邻周节误差没有影响（如为双线滚刀则齿轮上相隔一个齿的齿廓同一部位是由刀齿上同一点切出的）。

由上述还可以知道，一个齿廓是由很多段折线组成的，如图 17-11 所示。滚齿时工件转过一齿（相当于 $\frac{2\pi}{z_k}$ 角度），滚刀转 $\frac{1}{z_u}$ 转。切成整个齿廓时工件需转 $\varepsilon \frac{2\pi}{z_k}$ 角度，滚刀需转 $\varepsilon \frac{1}{z_u}$ 转。如滚刀上开有 K 个刀刃齿槽，则整个齿廓是由 $\varepsilon \frac{K}{z_u}$ 个刀齿切出的，即齿廓是由 $\varepsilon \frac{K}{z_u}$ 段折线组成的。根据计算在 $m = 1$ 时（图 17-11）：

$$f = \frac{\pi^2 z_u^2 \sin^2 \alpha_0}{4 K^2 z_k},$$

滚齿时整个齿长是由滚刀沿工件轴向走刀切出来的。在齿侧面上有波度如图 17-12。

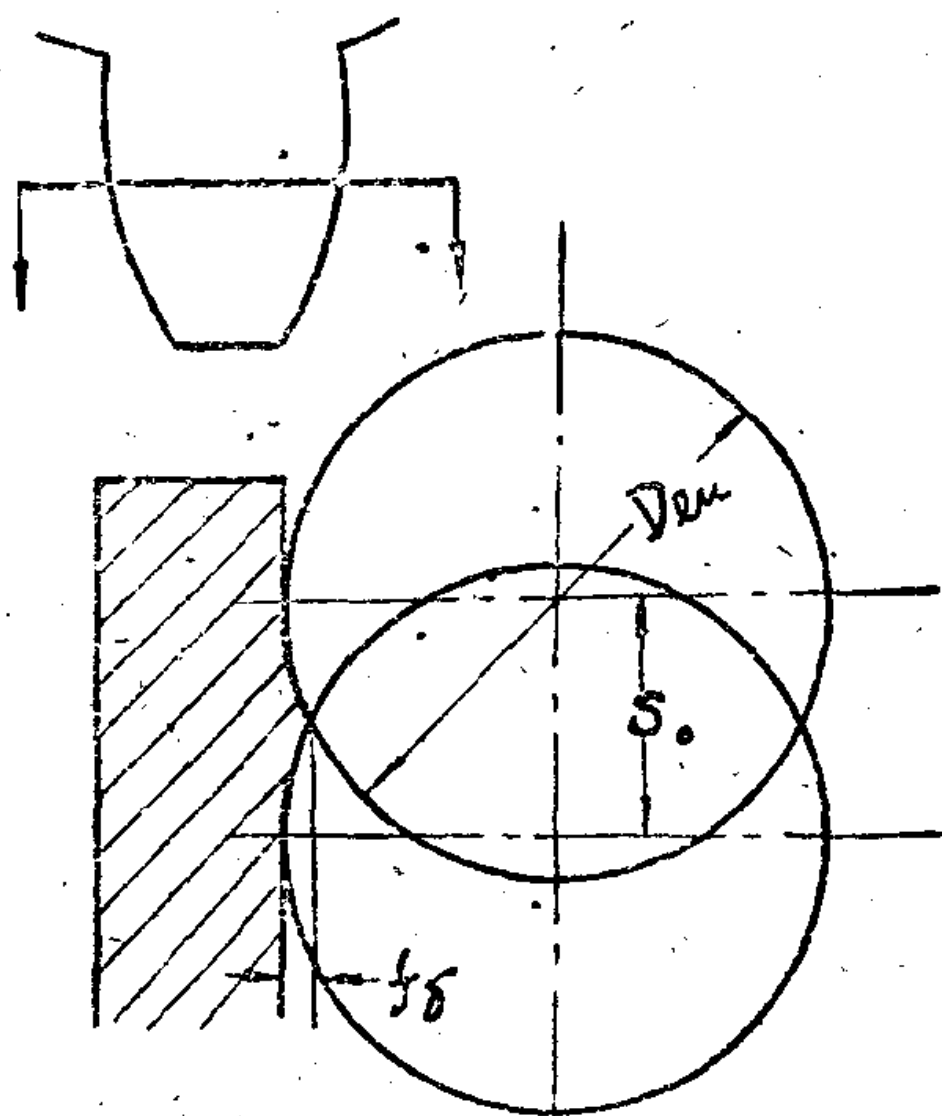


图 17-12 滚齿时的波度。

$$\delta = \frac{S_0^2 \sin^2 \alpha_0}{A D_{eu} \cos^2 \beta},$$

式中 S_0 ——轴向走刀量；
 β ——滚刀刀齿槽斜角；
 D_{eu} ——滚刀外径。

和滚齿一样插齿时也只有齿轮的 $\varepsilon \frac{2\pi}{z_k}$ 转角内，刀齿才能切到齿廓上。在这转角内插刀的往复冲程数就是组成齿廓的折线段数。齿轮转过 $\varepsilon \frac{2\pi}{z_k}$ 角度时，插刀即转过 $\frac{2\pi}{z_k} \cdot \frac{z_k}{z_u}$ 角度。此角度所对插刀分度圆上的弧长为 $\varepsilon \frac{2\pi}{z_u}$

$$\frac{m z_u}{2} = \pi m \varepsilon. \text{ 插刀的圆周送进量是每一双行程在插刀分圆弧上转过的弧长 } S_k = \frac{\pi m z_u}{n},$$

(n 是插刀轉一轉時的往復雙行程數)故插刀轉過 $\varepsilon\pi m$ 的弧長時插刀雙行程數為 $\frac{\varepsilon\pi m}{\varepsilon\pi} = \frac{\varepsilon m}{\varepsilon}$, 即整個齒廓是由 $\frac{\varepsilon m}{\varepsilon}$ 段折綫組成的。根據計算如圖 17-13:

$$f' = \frac{\rho_k(\rho_k + \rho_u)}{2\rho_u} \left(\frac{Q_k}{z} \right)^2。$$

式中 Q_k 是插刀每一次雙行程間齒輪的轉角,

$$Q_k = \frac{S_k}{mz_k}$$

ρ_k, ρ_u 是工件和插刀在相接觸處的齒形曲率半徑。

插齒時整個齒長是在插刀一個沖程內切出的, 因而沒有波度。

滾齒時參加形成齒廓的只有在滾刀的 ε (一般超越系數 $\varepsilon \approx 2$) 個螺距範圍的刀齒, 所以滾刀齒距累積誤差不影響齒輪精度。插齒時工件第一個齒間是由插刀第一個刀齒切出的, 順序地每個刀齒固定切一個齒間, 因此插齒刀的齒距累積誤差會反映到齒輪上去。

(二) 滾齒和插齒誤差分析。

齒輪精度有三個基本指標: 傳動精度及平穩性、齒側表面接觸良好, 齒側有一定間隙。這些指標在舊標準和新標準中都有一定的檢查項目分別加以保證, 各項誤差不得超過一定的容許範圍。誤差分析就是要討論這些加工誤差和機床-刀具-工件工藝系統的誤差之間的關係。

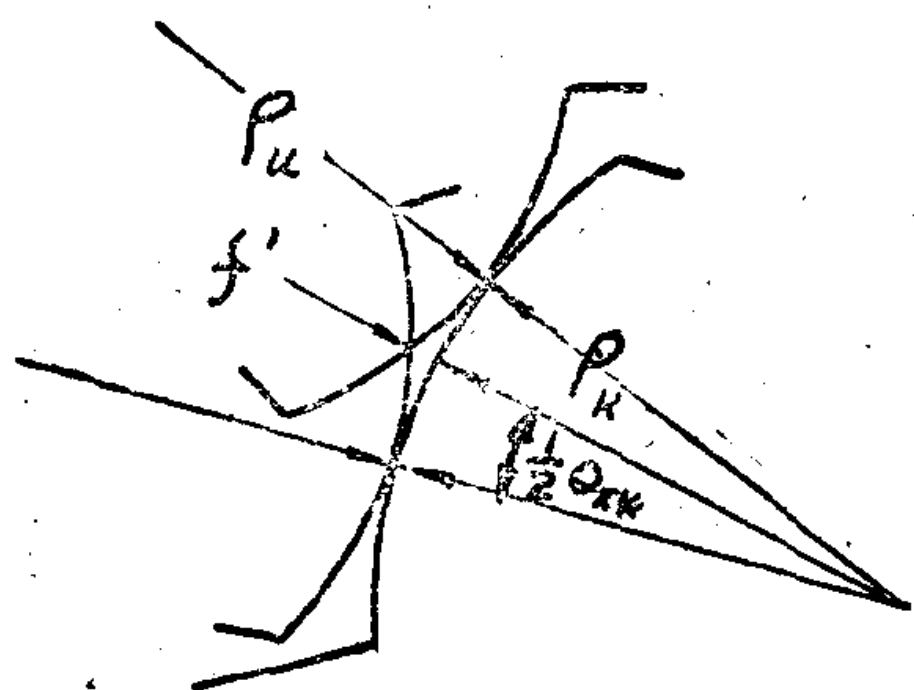


圖 17-13 插齒時漸開綫面上的稜度。

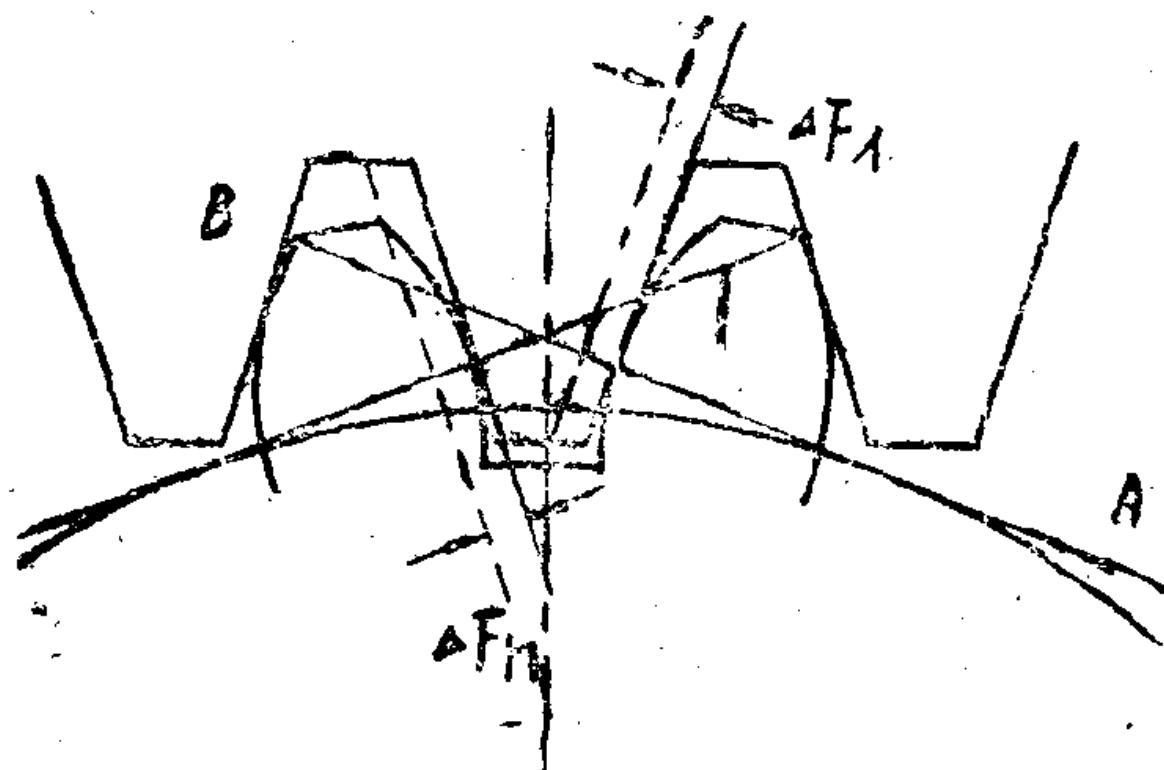


圖 17-14 傳動誤差計算系統。

以前研究齒輪加工誤差都是按齒形、基節……等項進行的。蘇聯達依茨博士創造了將所有周期誤差統一到一個計算系統里的方法, 這是訂出比舊標準更為科學的齒輪新標準的理論基礎。計算系統說明如下: 以有誤差的被研究齒輪與標準齒條相嚙合, 則當齒輪均勻旋轉時, 齒條運動不均勻, 如圖 17-14 所示。齒條齒廓理論上應在實綫位置, 但實際上可能到了虛綫位置, 我們就以這位置誤差來表征傳動誤差, 因為齒輪是沿嚙合綫傳動的, 故誤差量也在嚙合綫上測量。齒輪反時針方向旋轉時以其左邊齒廓與齒條嚙合, 故 AB 稱為左邊嚙合綫。量得的誤差以 ΔF_A 表之, 稱為左邊嚙合綫增量。因為虛綫位置是超前的, 因此是正誤差。齒輪順時針方向旋轉時, 以其右邊齒廓與齒條嚙合, 沿右邊嚙合綫傳動, 傳動誤差以 ΔF_n 表示。以後可以証明 $\Delta F_A, \Delta F_n$ 都是齒輪轉角 φ 的函數。齒輪轉角是從齒條對稱中心通過齒輪旋轉中心時的位置算起。滾切法加工齒形是切削工具對工件滾動的过程, 這運動過程的誤差和刀具誤差及機床幾何誤差一起引起被加工齒輪的形狀和尺寸誤差。齒形的行程過程都是周期性的, 過程中有大量的基本周期性誤差來源, 形成总的周期性誤差。

實際上只有工件安裝誤差以及機床分度蝸杆蝸輪付、刀具及送進絲杆的徑向、軸向跳

动等几个才有显著影响。传动链蜗杆蜗轮付及各齿轮的制造误差，刀具制造误差比起上述跳动量来影响都较少。其他如加工过程中切削力变化和某些偶然误差等在正确拟订工艺规程的影响可以忽略不计。但这种观点只能用于一般考虑加工方法所达到的精度，实际工作中是各种问题都会出现的，如刀具制造误差在进厂检查中常发现其大大超过允许值。

下面分滚齿、插齿就上述主要工艺误差对三个基本精度指标的影响进行讨论。

1. 滚齿

(1) 影响传动精度及平稳性的因素

周期性误差：

A. 几何偏心

切齿时的旋转中心与齿轮工作时旋转中心不同心就是几何偏心。几何偏心是由下列一些原因造成的：

a. 安装工件的心轴与工作台的旋转中心不同心；

b. 安装误差造成的工件孔与心轴的不同心：

(a) 工件孔比心轴大，安装时偏在一边；

(b) 工件端面与孔不垂直，而孔又比心轴大（图17-15 a）；

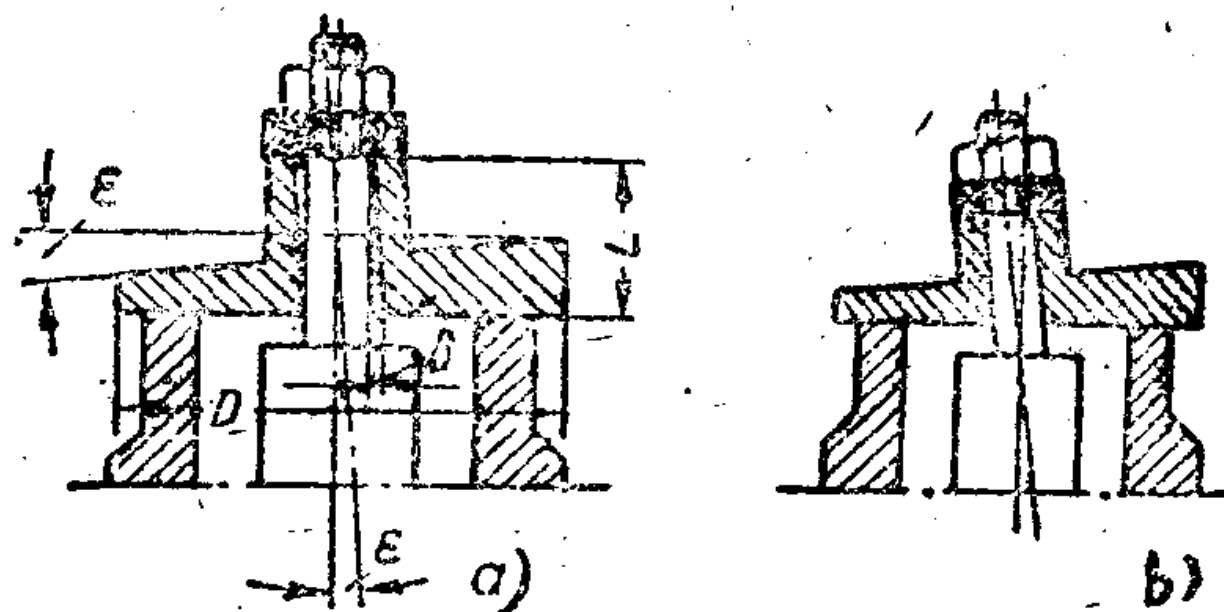


图17-15 引起几何偏心的原因。

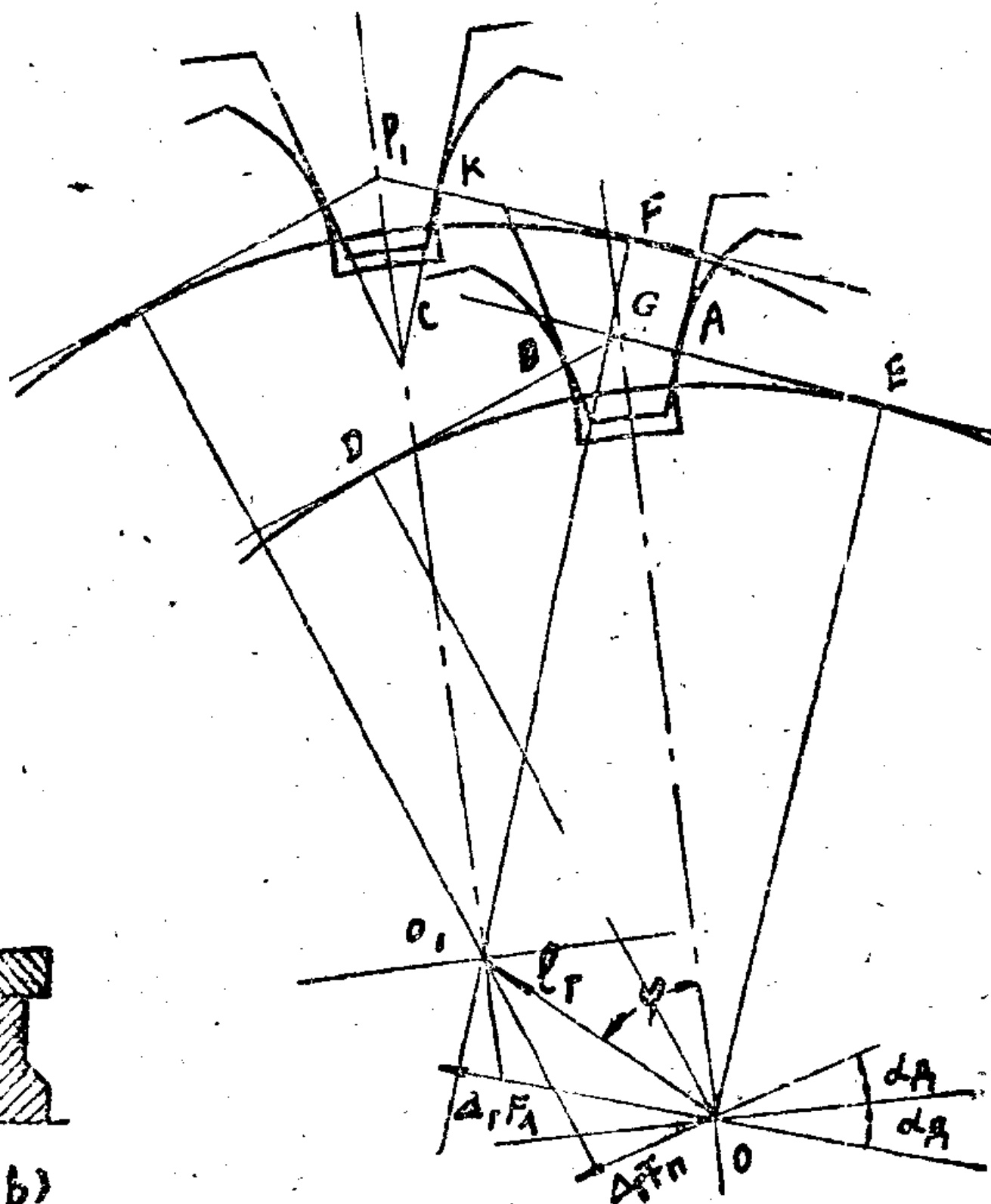


图17-16 几何偏心引起的传动误差。

(c) 工件端面与孔不垂直，而孔与工件配合间隙小或无间隙，压紧后心轴弯曲（图17-15 b）。

c. 齿轮在装配到机器上工作位置时产生的偏心；

图17-16示如切齿时旋转中心为 O_1 ，工作时旋转中心为 O ，现在就来分析由于几何偏心而引起的传动误差 ΔF 和齿轮转角 φ 之间的函数关系：转角 φ 是以偏心的连线 OO_1 处于垂直位置时算起。由图当齿轮绕 O 点转过一个角度 φ 时，因齿轮实际基圆中心是 O_1 ，故齿轮与齿条实际在 K 点位置接触，而当设齿轮没有偏心时则转过 φ 角齿轮与齿条应在 A 点位置接触（理论位置）而 K 及 A 相应二齿位间的距离 AC 即为此时传动误差。 ΔF 与 φ 角的关系即可由图求出。

如图 $EG = EA + AG$ 所以 $EA = FK = GC$ ，

$$EG = AG + GC = AC。$$