

高等学校教学用书

金属切削机床运动学

天津大学金属切削机床教研室编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教学用书



金属切削机床运动学

天津大学金属切削机床教研室編

中国工业出版社

本书内容包括机床运动学的基本理论、螺纹加工机床、圆柱齿轮加工机床和圆锥齿轮加工机床的传动分析及其换置，以及机床的传动精度等三部份。第二部份除对各种机床传动设计的一般原则进行概括分析外，并具体介绍了几种常见的机床。第三部份介绍了传动精度的计算方法和计算实例，另外还简要地介绍了几种常用的精度测量方法。

本书内容符合 1959 年高等教育部颁发的机械制造工艺及其装备专业教学计划和金属切削机床教学大纲的规定。可作为机械制造及其装备专业学生的教学用书，也可供工程技术人员参考。

金属切削机床运动学

天津大学金属切削机床教研室编

*

中国工业出版社出版（北京东黄城根西 10 号）

（北京市书刊出版事业许可出字第 110 号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ ·印张 4·插页 1·字数 80,000

1961 年 9 月北京第一版·1961 年 9 月北京第一次印刷

印数 9001—8,537·定价(10—6)0.52 元

统一书号：15165·850（一册—183）

目 次

緒言	5
第一章 金屬切削機床的運動和傳動	5
§ 1.1 在機器製造中所用的表面及其形成方法	5
§ 1.2 機床上的運動和傳動	12
§ 1.3 機床傳動鏈的換置	24
§ 1.4 機床中機械的和非機械的運動聯系	26
第二章 螺紋加工機床的傳動分析及其換置	30
§ 2.1 螺紋加工方法及機床傳動原理圖	30
§ 2.2 螺紋加工機床的換置	33
§ 2.3 鏟齒車床及其換置	35
第三章 圓柱齒輪加工機床的傳動分析及其換置	43
§ 3.1 用仿形法的齒輪加工機床	43
§ 3.2 用滾切法的齒輪加工機床	45
§ 3.3 Y37 型滾齒機的換置	53
§ 3.4 蘇聯 5330 型滾齒機的換置	59
§ 3.5 機床傳動原理圖的組成原則	66
§ 3.6 圓柱齒輪精加工機床	70
第四章 圓錐齒輪加工機床的傳動分析和換置	77
§ 4.1 圓錐齒輪的種類及平面齒輪的概念	77
§ 4.2 利用滾切法加工直齒圓錐齒輪的傳動鏈的分析	81
§ 4.3 Y236 型直齒圓錐齒輪鉋齒機的傳動分析和換置	84
§ 4.4 利用滾切法加工弧齒圓錐齒輪機床的傳動鏈的分析	87
§ 4.5 蘇聯 528 型弧齒圓錐齒輪銑齒機的傳動分析和換置	91
§ 4.6 利用滾切法加工漸開綫齒圓錐齒輪的原理及其傳動鏈的分析	99

§ 4.7 克林格里別尔格型漸开綫齿圓錐齿輪銑齿机的傳动 分析和換置	102
---	-----

第五章 机床的傳动精度	106
--------------------------	-----

§ 5.1 概述	106
§ 5.2 傳动精度的計算	107
§ 5.3 机床傳动精度計算举例	115
§ 5.4 机床傳动精度的測量	121
§ 5.5 提高机床傳动精度的方法	126

緒 言

机床运动学是一门新的科学，其基本理论首先由苏联现代学者高洛温教授(Г.М. ГОЛОВИН)等提出并加以详细论述。

机床运动学用来研究在金属切削机床上的各种运动及其联系。根据在机床上加工可以得到的各种表面，分析得到这些表面的方法，分析得到这些表面所必需的机床运动联系与组合。

机床构造虽然复杂，但从机床运动学角度来看，可将很复杂的机床传动系统简化为传动原理图，从传动原理图可以看出：尽管机床品种繁多，结构迥异，但为数甚多的机床不过是为数甚少的几种基本机构的组合与转化。机床运动学的目的也就在于：利用非常简便的方法来分析、比较各种机床的传动系统，借助于这种对机床传动的分析方法，以掌握机床的运动规律；从而达到合理地使用机床和正确地设计机床的运动系统。

第一章 金属切削机床的运动和传动

§1.1 在机器制造中所用的表面及其形成方法

一、在机器制造中所用的表面

用金属切削机床切削工件，使工件得到所需的表面。因工件形状不同，工件表面的数量也不相同，由一个表面(例

如球面)或几个局部表面所组成。工件表面的性质也分圆柱面、平面、圆锥面,非圆锥面、螺纹面、双曲线面及渐开线面等等。根据机床的加工方法可以归纳为回转体表面、纵向表面及特形表面三大类。

1. 回转体表面

任何表面皆由母线(又名发生线)沿一定运动轨迹(又名准线)移动而成。回转体表面一般系借助于机床上某一回转运动(工件的或刀具的)而形成,加工这种表面的机床一般有车床、镗床、内外圆磨床等。

一类回转体表面是:母线为直线,母线的运动轨迹为圆(图1—1a,b);或母线为圆,母线的运动轨迹为直线所形成的表面,如圆柱面和圆锥面等。圆柱面的母线和运动轨迹可以互换,称为可逆的表面。圆锥面中二者不可互换,称为不可逆的表面。

另一类回转体表面是:母线为特形线,母线的运动轨迹为圆(或螺旋线)所形成的表面(图1—1c,d)。例如用成形车刀或使用仿形样板所车削的回转体表面,此种表面为不可逆的表面。以螺絲刀具的刃口为母线,借回转运动以螺旋线为运动轨迹而形成的表面为螺纹表面。亦为不可逆的表面。

2. 纵向表面

具有一个或两个纵直方向的表面为纵向表面,加工这种表面的机床有刨削类机床、平面磨床、铣床等。

一类纵向表面是:母线及其运动轨迹皆为直线所形成的表面,即平面,为可逆表面。

另一类纵向表面是:母线为特形线,运动轨迹为直线所形成的表面(图1—1e,f);或母线为直线,运动轨迹为特形线,例如直齿齿形表面等。此种表面为可逆表面。如图1—1f

之表面可用样板铍刀直线铍削，也可在仿形铍床上加工而得。

3. 特形表面

母线及其运动轨迹可为任意形状，例如各种冲模等。在机床上加工特形表面需要有复杂的运动，故多用样板或程序控制系统。

上述表面又可分为封闭的表面与不封闭的表面，前者的母线或运动轨迹为封闭曲线，例如圆；后者为不封闭曲线，例如直线及螺旋线等。

二、母线的形成

1. 仿形法——刀刃的轮廓形状与母线的形状和长短完全相同，例如成形车刀、键槽拉刀等。此时，形成母线不需要运动。

2. 轨迹法——刀刃为切削点，母线为切削点沿母线方向运动的轨迹。利用单刃车刀车削外圆和铍刀铍削平面均属此类，如图 1—2 a。

3. 相切法——由沿母线方向移动的回转刀刃所形成的辅助面与工件间之切线即为由相切法所形成的母线，如图 1—2 b。

4. 滚切法——当刀刃的轮廓形状与母线的形状和长短不相同时，母线借滚切法的运动形成。如图 1—2 c。

三、母线运动轨迹的形成

1. 轨迹法——母线沿一定轨迹移动而形成轨迹面。如图 1—3 b，

2. 相切法——由回转的母线所形成的辅助面，沿一定轨迹移动而形成的切面，即为由相切法形成的轨迹面，如图 1—3 c。

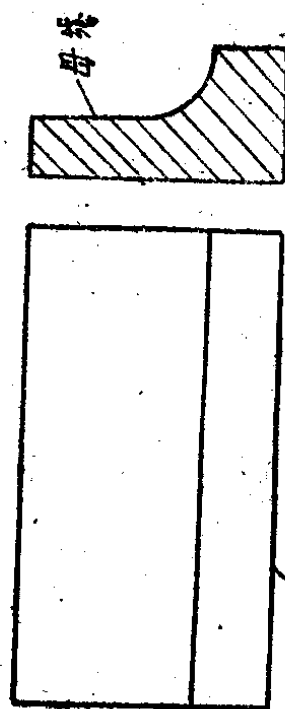
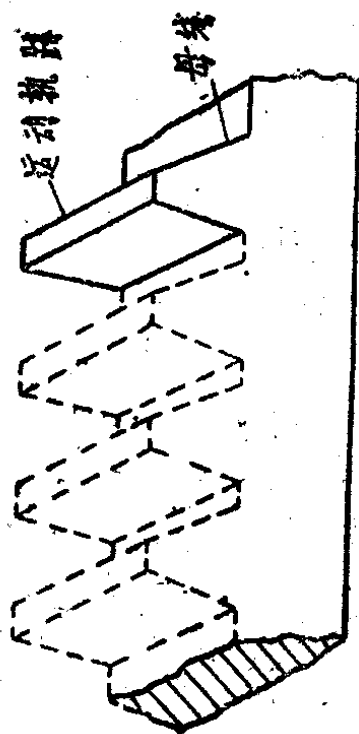
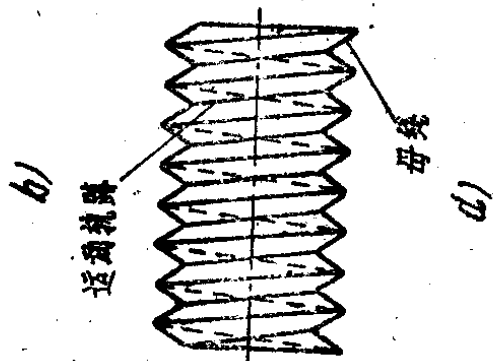
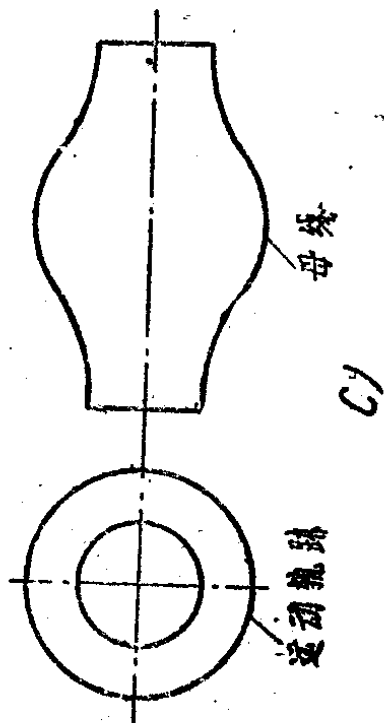
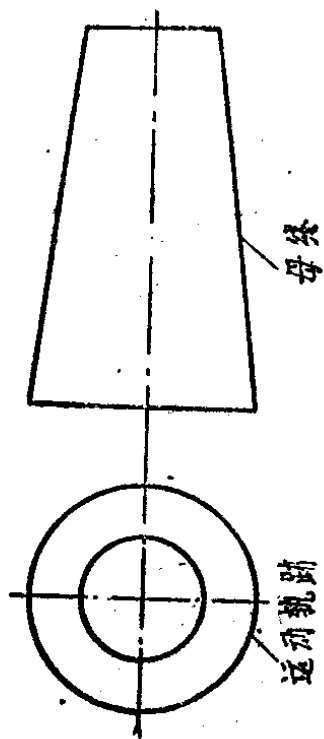
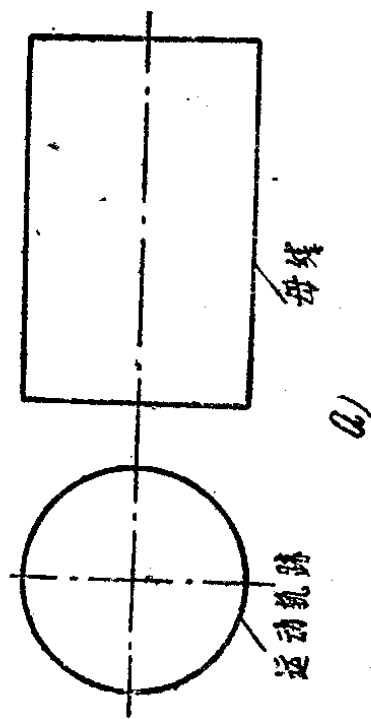


图 1-1 机器制造中所用的表面。

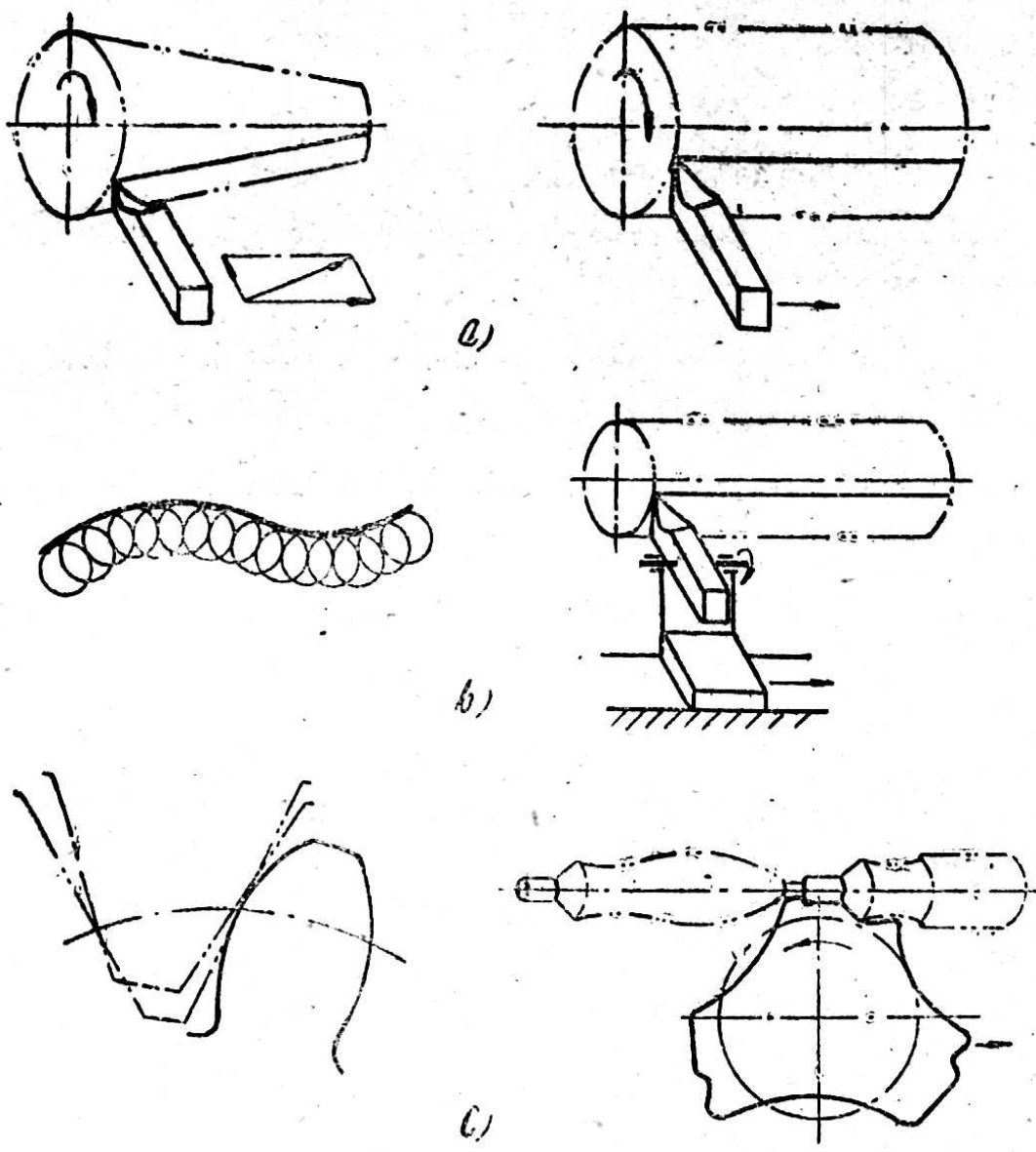


图 1—2 母线的形成。

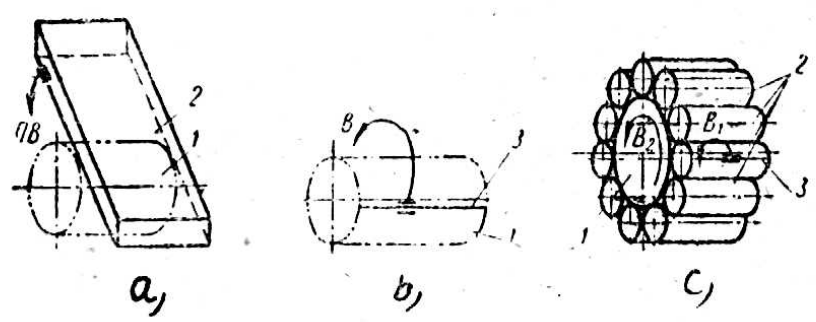


图 1—3 母线运动轨迹的形成。

3. 滚切法——由滚动（无相对滑动）的母线（或面）在滚切过程中一系列几何位置展成的轨迹线（或面），如图1—3a。

四、表面的形成

母线（或面）或回转母线之辅助面，按一定轨迹移动所形成的轨迹面即工件的表面。

因形成表面的母线及其运动轨迹可有不同方案，故同一表面可有不同的形成方法。例如图1—3，所形成的表面虽然均为圆柱形面，但有滚切法、相切法和轨迹法三种不同的形成方法（圆柱形表面尚有其他形成方法）。由于形成方法（亦即切削方法）之不同，便决定了机床结构的不同。

同一母线及母线运动轨迹，因母线位置之不同，亦可形成不同表面。如图1—4，母线皆为直线，运动轨迹皆为圆，虽同属轨迹法，但因母线位置不同可得到圆柱形面、圆锥形面或双曲线面。

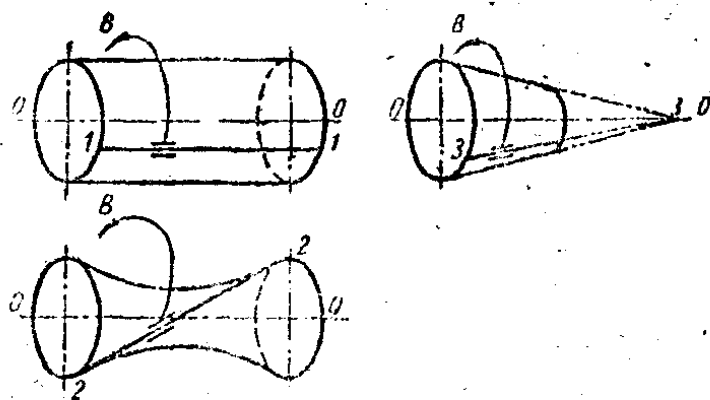


图1—4 母线位置不同形成不同表面。

图1—5为母线及运动轨迹的几种表面形成方法的组合实例。图中B表示回转， Π 表示移动。

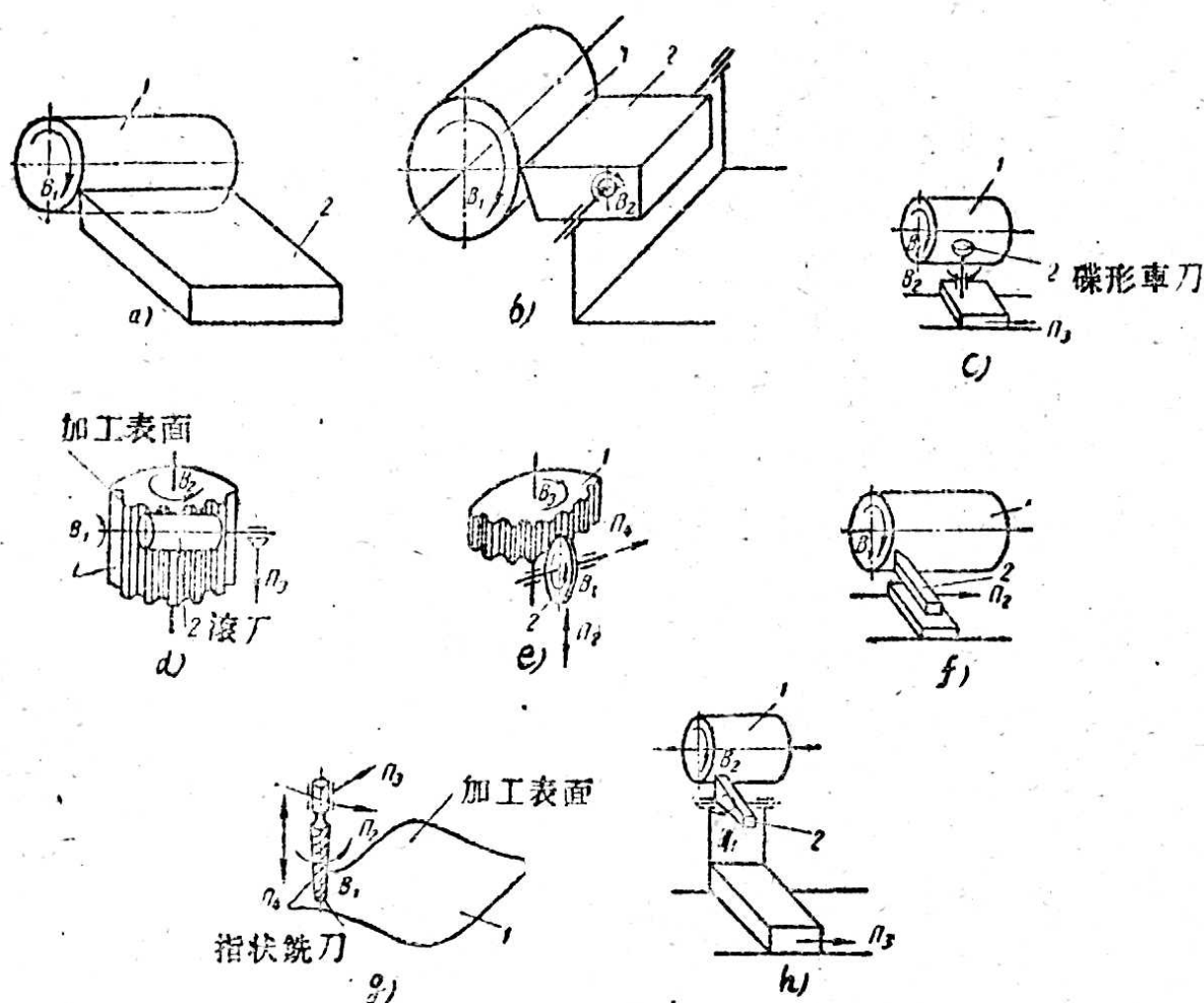


图 1—5 母线及运动轨迹的几种组合。

- 图 1—5 a——母线为仿形法，运动轨迹为轨迹法。具有一个运动 B_1 。
 图 1—5 b——母线为仿形法，运动轨迹为相切法。具有两个运动 B_1 及 B_2 。
 图 1—5 c——轨迹法与滚切法之组合，具有 $B_1 B_2 \Pi_3$ 。
 图 1—5 d——滚切法与相切法之组合，具有 $B_1 B_2 \Pi_3$ 。
 图 1—5 e——相切法与滚切法之组合，具有 $B_1 B_2 \Pi_3$ 。
 图 1—5 f——轨迹法与轨迹法之组合，具有 $B_1 \Pi_2$ 。
 图 1—5 g——相切法与相切法之组合，具有 $B \Pi_2 \Pi_3 \Pi_4$ 。
 图 1—5 h——相切法与轨迹法之组合，具有 $B_1 B_2 \Pi_3$ 。

金属切削机床的功用就是借刀具与工件间的切削作用形成所需要的工件表面。由于工件上被加工表面的形状、尺寸及表面质量的不同，应选择最合理的母线和运动轨迹的形成方法，从而作为机床设计的基础。

§ 1.2 机床上的运动和传动

一、机床上的运动

在金属切削机床上切削工件时，工件与刀具间的相对运动，就其运动性质而言，有回转的—— B ，和移动的—— Π ；但就机床上运动的功用来看，机床可有下列六种不同的运动。

1. 表面形成运动

表面的形成必须有母线及母线运动轨迹的运动，此种工件与刀具的运动称为表面形成运动，是机床上最基本的运动。

表面形成运动可能是简单的运动、复合的运动或其二者的组合。以车削回转体表面为例，纵车外圆（见图 1—5f）时工件回转 B_1 及刀具移动 Π_2 各以自己的速度运动，其速度大小彼此无限制，即为两个简单的表面形成运动。当车削圆锥形表面时，刀具移动的两个运动 Π_2 及 Π_3 必须保持一定相对速度关系。此种运动称为复合的表面形成运动。又如车削螺纹时，为了保证一定导程 t ， B_1 和 Π_2 也必须是复合的表面形成运动。车削圆锥螺纹则是由 B_1 Π_2 Π_3 三个简单运动所组成的复合表面形成运动，见图 1—6 a。镗制圆柱形及圆锥形齿背分别为：由三个及四个简单运动所组成的表面形成运动，见图 1—6 b、c。

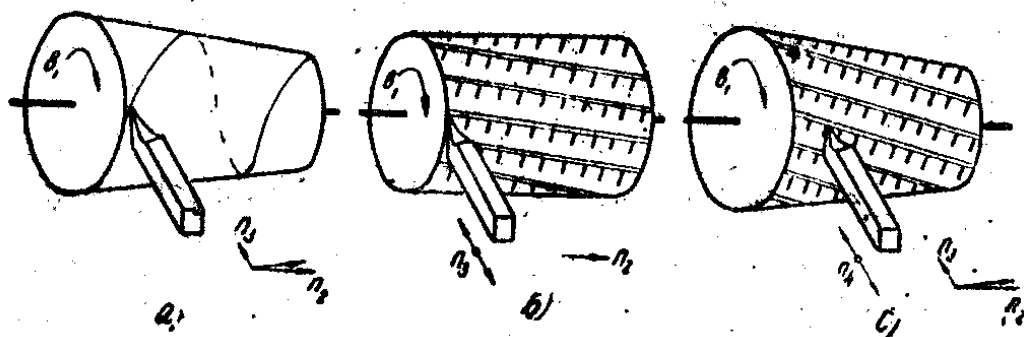


图 1—6 表面形成运动。

同一表面可有若干不同的形成方法,同一种形成方法中,由于工件和刀具是相对的运动(这些运动可以分别置于工件或刀具),又可得到更多的运动方案。图1—7为利用仿形——轨迹法和轨迹——轨迹法两种组合方法中,工件与刀具相对运动的几种方案。

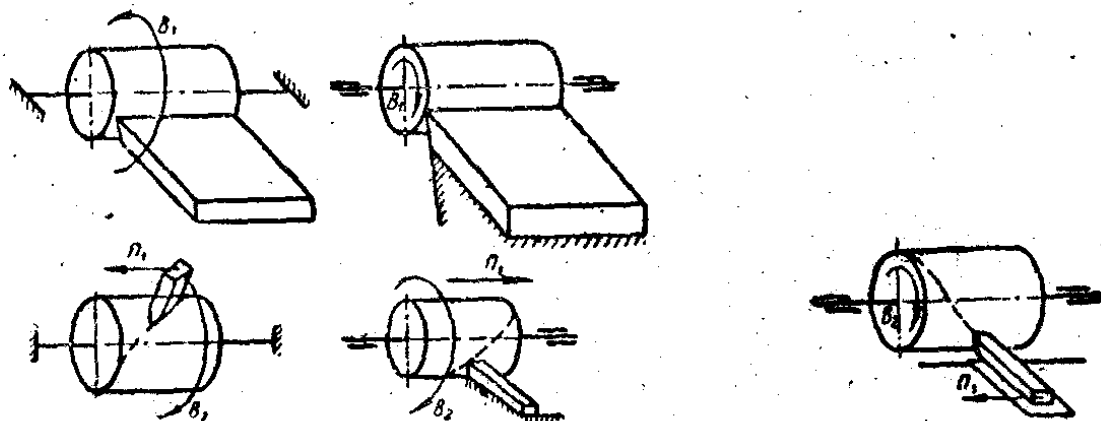


图 1—7 表面形成运动的可能方案。

复合的表面形成运动由简单的表面形成运动组合而成,因简单的运动数目不同,可按“排列组合法”得到所有可能发生的情况。

一个简单运动: B; Π 。

二个简单运动: BB; B Π ; $\Pi\Pi$ 。

三个简单运动: BBB; BB Π ; B $\Pi\Pi$; $\Pi\Pi\Pi$, 余类推。

当表面形成运动由一个运动组成时,只有切削速度的运动而无进给运动;当由两个以上的运动组成时,其中一个为切削速度的运动,其余为进给运动。

2. 辅助运动

在一般情况下,借表面形成运动只能使被加工面获得一个轮廓的形状,必须重复表面形成运动若干次才能获得所需的精确尺寸。如图1—8中,刀具退出运动B和刀具返回运动 Γ 。为重复进行表面形成运动创造了条件,称为机床切削

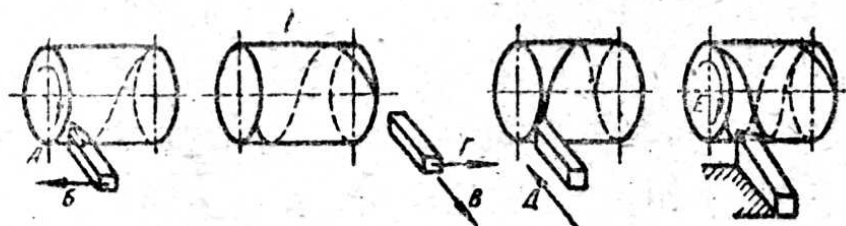


图 1—8 切削过程中的运动。

过程中的辅助运动。

3. 切入运动

如图 1—8 中，运动 Π 为切入运动，用以保证切入深度而得到工件表面所需尺寸。切入运动一般为简单的运动。

4. 分度运动

由局部表面所组成的工件表面的加工，有时需要分度运动。

分度运动可以是回转的分度，例如车多头螺纹，车完一个螺纹表面后，工件回转 $\frac{1}{k}$ 周；分度运动也可能是直线的，例如车多头螺纹，不转工件而转动刀架一个螺距，也可进行分度。

分度运动可以是间歇的分度，例如自动车床的回转刀架；也可以是连续的，例如插齿机、滚齿机等，此时分度运动包含在表面形成运动之中。

分度运动可以是手动，也可以是机动，见图 1—9。分度运动使用分度盘或其他机构。

5. 控制运动

如接通或断开某个传动链，操纵变速机构和换向机构的运动。控制运动一般是简单的回转或往复运动。普通机床上多为手动，在自动机床及半自动机床和某些齿轮机床上则为自动。

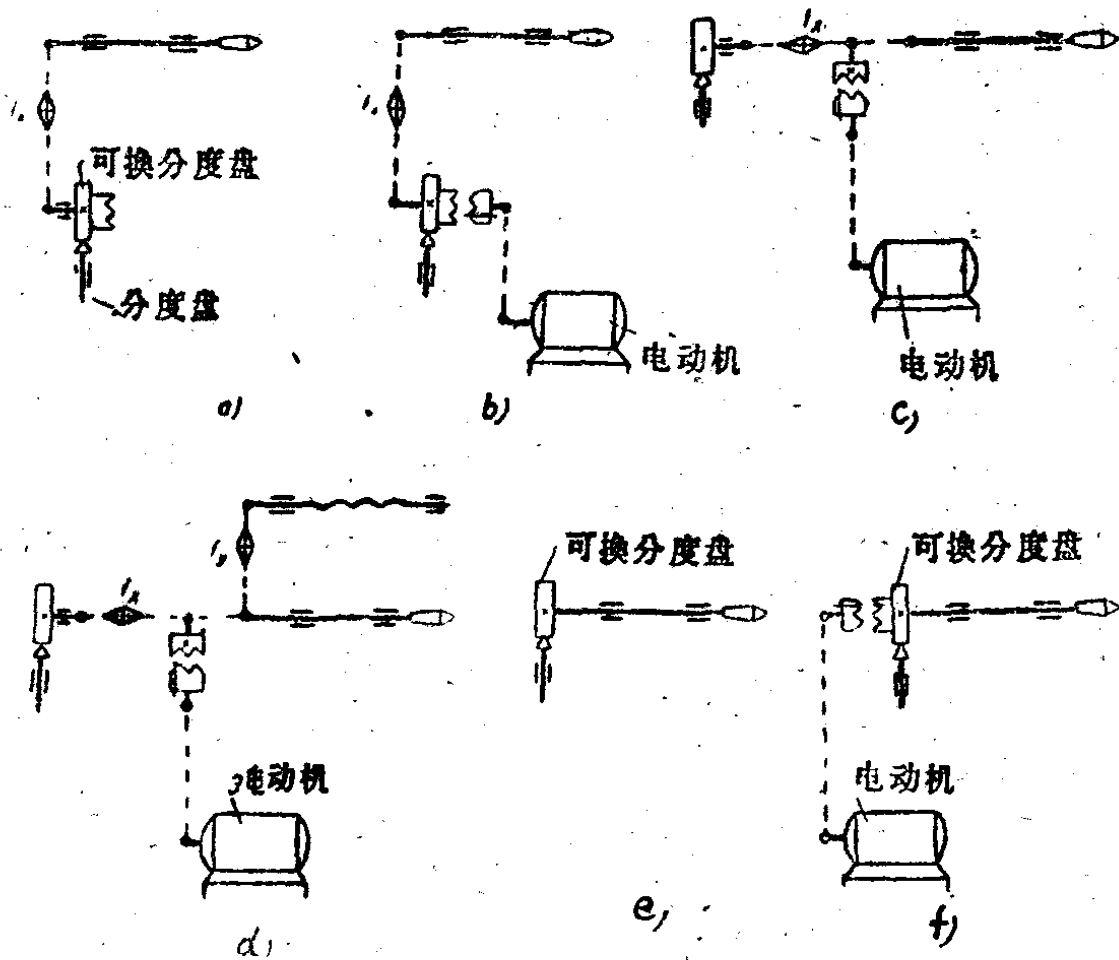


图 1-9 分度传动组的传动原理图。

6. 校正运动

例如在精密螺絲车床或螺絲磨床上, 为了消除传动误差, 需要有校正运动。

综上所述, 在机床上进行切削加工时, 可能有上述六种运动, 其中表面形成运动为最主要和最基本的运动, 其余运动因机床加工性质和刀具结构的不同, 运动数量可能减少。

例如拉削花键孔, 既无切入运动, 也取消了分度运动, 使机床运动数量减少, 机床结构简化。

二、机床上运动的联系

在机床上, 为实现上述各种运动, 有自运动源(电动机等)

经过一系列传动件（传动付）到机床运动件（工作件）的传动链。此种传动链叫做外联系传动链，如图1—10 b 及 e。

在机床上，为保证各有关运动件之间运动规律的传动链叫做内联系传动链。例如车削螺纹时，工件回转 B 和刀架移动 Π 之间的传动链。见图 1—11。

为了便于研究机床的传动，使用简单的传动原理图来代替复杂的机床传动系统图。此时，机床的运动件如主轴、刀架、丝杠、电动机、刀具等用简图表示，各运动间的运动联系用虚线联接。如图 1—10 b 及 f 为表示外联系传动链的传动原理图。图 1—11 为表示内联系传动链的传动原理图。图 1—12 为包括外联系和内联系传动链的传动原理图。

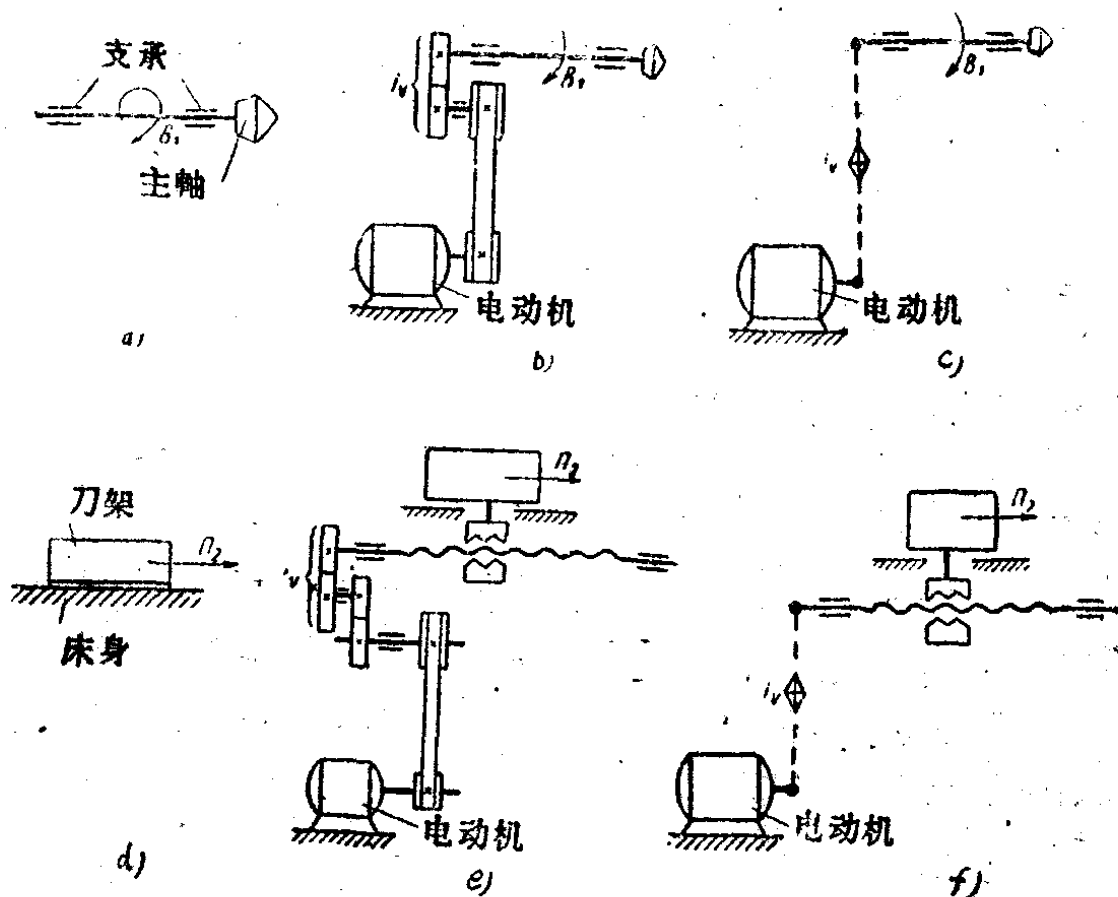


图 1—10 简单运动传动组的传动原理图。