

金属切削机床电力装备

〔苏联〕A·C·沈德烈 著

华中工学院工业企业电气化及自动化教研室译



中国工业出版社



金属切削机床电力装备

〔苏联〕A·C·沈德烈 著

华中工学院工业企业电气化及自动化教研室译

中国工业出版社

本书是“生产机械电力装备”课中的“金属切削机床电力装备”部分，由华中工学院工业企业电气化及自动化教研室根据苏联 A. C. Сандлер 著 Электрооборудование производственных механизмов (Электрооборудование металлорежущих станков) 一书 (1958 年版) 翻译而成。

书中不仅概括性地叙述了各金属切削机床的电力装备，也论述了典型机床电力拖动及自动控制系统的若干专题。

本书可作为高等学校工业企业电气化专业的教学用书，也可供从事生产机械电力装备设计或维护工作的工程技术人员参考。

A. C. Сандлер

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
МЕХАНИЗМОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА—1958г

* * *

金属切削机床电力装备

华中工学院工业企业电气化及自动化教研室译

*

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)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 110 号

机械工业出版社印刷厂印刷

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 15 7/4 · 字数 374,000

1961 年 8 月北京第一版 · 1964 年 12 月重排本

1964 年 12 月北京第五次印刷

印数 9,747—13,796 · 定价 (科五) 1.70 元

*

统一书号: K15163 · 473 (一机-550)

选定教材說明

教材“生产机械电力装备”課中的“金屬切削机床电力装备”部分，是根据苏联 A. C. Сандлер 著 Электрооборудование производственных механизмов (Электрооборудование металлорежущих станков) 一书 (1958年版) 譯出的。該书經苏联高等教育部批准为高等工业学校的教科书，适用于电机工程系工业企业电气化专业。該书內容大致可分两部分：1) 机床电气设备的共同問題；2) 典型机床的电力拖动与自动控制綫路。第一部分包括前五章，集中介紹了切削加工概况，电动机容量选择，起动、制动、調速及联鎖保护方面的典型綫路等有关各类型机床电气设备的共同問題。后面七章，分別介紹了各典型机床的工作情况和工艺要求，并列举有代表性的电力拖动自动控制綫路，闡述現有机床电气设备如何滿足这些要求。內容相当齐备。我們感到就目前条件来讲这是一本比較能适合我国情况的教科书，因此决定将它譯出，供工企专业教学“生产机械电力装备”課中“金屬切削机床电力装备”部分时参考。因時間仓促，水平有限，翻譯本书时在文字修飾，譯名統一，以及內容推敲方面都还做得很不够，极望讀者指正。有关意見請徑寄武昌华中工学院工业企业电气化及自动化教研室。

华中工学院工业企业电气化及自动化教研室

一九六一年四月三十日武昌

校訂說明

本教材經几次使用后，发现其中排印錯誤，翻譯錯誤，譯文措詞不当，文句不順，甚至原文錯誤等为数尚不少，故决定将本书校訂。

凡系原文錯誤，均在頁尾注明原文內容，便于讀者对照。

全书修訂工作由朱涵梁同志担任。修訂工作中承前中南科技学院韓树强、張占松同志，我院63届毕业生吳錫麟、顾明德以及西安交大工企教研室装备小組提供不少意見，特此志謝。

由于水平有限，時間也較仓促，一定还有遺漏錯誤，所訂正的錯誤也可能有問題，恳請給予指正。

华中工学院工业企业电气化及自动化教研室

一九六四年二月十三日

前 言

設計制造高生产率、高加工精度的金屬切削机床、自动綫、自动車間时，各种电力装备的应用，具有重大意义。

整个金屬切削机床是由机械工程师和电气工程师共同設計成的。因此，工业企业电气化专业的学生們，必須研究电气设备如何更合理地应用于金屬切削机床的問題。“金屬切削机床电力装备”这门課，專門研究通用于各式現代化金屬切削机床各典型部件的电力拖动及自动控制系統的工作特点及其計算，同时也研究这些典型机构的特殊电气元件。

学习“金屬切削机床电力装备”課之前，應該先具备“电力拖动原理”及“电力拖动自动控制”的知識。

本教科书系按“生产机械电力装备”教学大綱中“金屬切削机床电力装备”部分編写的。該大綱經高等教育部批准，适用于高等学校动力系及电工系的工业企业电气化专业。

与大綱相适应，本书內容分为两部分：1) 机床电力装备的共通問題，及 2) 典型机床的电力装备。第一部分中，在研究机床典型机构电力拖动各种工作状态的計算方法，介紹主拖动和进給拖动各种調速方法并給予评价的同时，也注意談到了某些特殊电气元件（电磁离合器，电气卡盘等）。

本书沒有談到机械无級調速裝置及液压調速問題，它們將另在“金屬切削机床”課中專門研究。

近年来，苏联和其他国家机床制造积累了大批有关机床电力装备方面的資料。作者从中选取了一些能說明电气化和电气自动化如何影响着机床制造业技术动向的典型資料，列入本书第二部分。和第一部分一样，第二部分除着重叙述原理綫路动作过程外，还用举例方式研究了某些典型机床电力装备的設計計算，也談到一些特殊电气元件（磁性工作台、电磁工作台、去磁器、測量头、仿形裝置、快速电磁离合器等）。

編写本书时，有关机床电力装备方面的設計机构所提供的資料，給了作者很大的帮助，莫斯科动力学院工业企业电气化教研室对本书手稿提出了宝贵意見，M. Г. 奇里金教授担任本书編輯工作，E. H. 芥明副博士帮助作者解答例題，在此均表示深切感謝。

本书的两位評閱者副博士副教授 B. Г. 儲士孟和副博士副教授 Л. B. 卡紐辛对本书手稿提了許多改进意見，作者亦十分感謝。

A. C. 沈德烈

目 录

选定教材說明

校訂說明

前 言

緒 言 1

第一章 金屬切削加工的几种主要形式 4

1-1 概况 4

1-2 車削加工 5

1-3 刨削加工 7

1-4 钻削加工 8

1-5 銑削加工 9

1-6 磨削加工 10

第二章 机床典型机构电力拖动的容量选择 14

2-1 一般原則 14

2-2 車床負載图的繪制及其电力拖动容量的确定 15

2-3 龙门刨床主拖动負載图繪制及其电动机容量选择 18

2-4 按利用系数确定主拖动容量 24

2-5 进給机构拖动容量的确定 25

2-6 机床上典型輔助机构拖动容量的确定 26

2-7 机床上各电动机結構和型式的选择 28

2-8 刨台电动机容量选择例题 29

第三章 机床电力拖动系統的启动、制动、負荷限制和准确停車 38

3-1 异步电动机拖动系統的启动与制动 38

3-2 直流电动机拖动系統的启动与制动 42

3-3 自动控制的閉环系統中直流电动机启动及制动过程的限流环节 49

3-4 机床和电动机的負荷限制 51

3-5 机床电力拖动的准确停車 55

A. 概述 55

B. 降低速度的方法 57

第四章 机床电力拖动的速度調整 63

4-1 概述 63

4-2 主拖动速度的电气机械的有級調节 64

4-3 主拖动速度的电气无級調节 74

4-4 进給拖动速度的有級調节 76

4-5 进給拖动速度的无級調节 77

4-6 零件加工直徑改变时速度的自动調整 88

第五章 机床自动控制綫路中的典型联鎖 93

5-1 概述 93

5-2 机床調整状态和工作状态的相互联系 93

5-3 机床部件的行程限制 95

5-4 机床上各个电力拖动系統的協調工作 97

第六章 车床的电力拖动及自动控制线路	100
6-1 概述	100
6-2 六角车床的电力拖动和控制线路	100
6-3 重型车床的电力拖动与控制线路	105
6-4 重型立车的电力拖动和控制线路	109
第七章 龙门刨床的电力拖动和自动控制线路	116
7-1 概述	116
7-2 由反向电磁离合器和异步电动机组成的龙门刨床电力拖动	117
7-3 采用简单发电机-电动机系统的中型龙门刨床的主拖动	126
7-4 采用自激电机放大机发电机-电动机系统的中型和重型龙门刨床的主拖动	131
7-5 采用交磁放大机发电机-电动机系统组成的龙门刨床的主拖动	143
7-6 龙门刨床的进给拖动	150
第八章 钻、镗床的电力拖动与自动控制线路	154
8-1 钻床电力拖动的特点	154
8-2 旋臂钻床的电力拖动和控制线路	154
8-3 万能镗床的电力拖动和控制线路	156
8-4 重型镗床电力拖动和控制线路的特点	160
第九章 铣床的电力拖动及自动控制线路	165
9-1 立式铣床的电力拖动及控制线路	165
9-2 龙门铣床的电力拖动和控制线路	168
第十章 磨床的电气设备	174
10-1 概述	174
10-2 外圆磨床的电力拖动与控制线路	175
10-3 平面磨床电气设备的特点	180
10-4 半自动球面磨床的电力拖动和控制线路	184
第十一章 组合机床和机床自动线的电气设备	188
11-1 组合机床的特点	188
11-2 深孔钻削组合机床的电气控制原理线路	191
11-3 镗削加工组合机床的电力拖动和控制线路	192
11-4 机床自动线	195
11-5 机床自动线的电气控制线路	198
第十二章 仿形机床的电气设备	204
12-1 一般介绍	204
12-2 断续控制的电气仿形机床	206
12-3 连续控制的电气仿形机床	212
12-4 6441 A 仿形铣床随动系统的工作分析	218
12-5 6441 A 仿形铣床控制线路	221
12-6 液压自动仿形	225
12-7 光电自动仿形	227
12-8 机床的程序控制	229
附录	234
参考文献	237

緒 言

对現代化金屬切削机床提出的基本要求如下: a) 在保證加工精度和表面光洁度的前提下, 尽可能提高生产率; б) 操作看管簡便; в) 初期投資較小, 運轉費用也不大; г) 重量尽可能輕, 尺寸尽可能小; д) 机床各部件的制造和装备都很簡單。綜合利用机械, 电气, 液压, 甚至气动等近代技术, 完全有可能滿足上述各項要求。

可以毫不夸口地确信, 設計近代化机床中所采用的一切先进方法, 都取决于自动电力拖动的发展水平, 只是程度可能有所不同而已。机床电气化是簡化机床結構, 減輕机床重量的途徑之一, 电气化能使机床操作进一步自动化, 因而能縮短加工所需時間。电力拖动自动控制通过机床自动綫, 自动車間甚至自动工厂等方式十分有效地解决了綜合自动化問題。

机床电力拖动在十九世紀末叶才問世。在 M. O. 陶立复-陶卜洛伏立斯基发明三相感应电动机以及交流輸电后, 电力拖动便逐步排挤了当时曾占統治地位的热力或水力拖动。但开始时, 只是簡單地用电动机代替了热机或水輪机, 而当时的天軸傳动方式仍一成不变。

直到 1910~1916 年間, 机床仍由巨型天軸成批傳动, 此后才将整个天軸分成若干組, 每組由一台独立的电动机驅动, 形成了成組电力驅动。往后, 又逐步过渡为单独驅动, 每台机床由一台电动机拖动。在此机床电力拖动发展过程期間, 机床的結構和它的操纵系統仍变动不大。

为了充分利用电气控制的优越性, 为了大大地簡化机床部件的傳动系統, 出現了多电动机自动电力拖动, 同一台机床的每一項运动均由独立的电动机拖动。

多电动机拖动使电动机的特性和結構与机床运动部件的工作条件和結構更加协调。采用多电动机拖动后, 1) 便能平滑而准确地調变机床运动部件的速度, 从而得到最合理的加工用量, 縮短机动時間; 特别是在加工过程中自动調速时, 机动時間的節約就更为显著 (例如, 自动調节进給速度, 保持切削功率不变, 或是随加工直徑不断改变而自动保持切削速度不变等); 2) 能提高生产率, 因为輔助运动 (夹紧装置, 刀架和橫梁的移动, 工作台的迴轉等) 采用单独拖动后, 运动速度可以提高, 輔助运动的时间便縮短了; 3) 因减少了傳动級数, 故簡化了机床結構并提高了机床的工作准确度; 4) 由于采用自动的控制方法和借助簡單的电气联系实现机床各部件运动的相互协调, 就加速和簡化了整个机床的操作过程; 5) 能自动檢查机床各部件的工作情况。

近代机床常常以高速度和大功率为其特色, 因此电动机应尽量装得靠近机床的各該运动部分。比如, 近代化磨床的主軸轉速达 100000 轉/分 甚至更高, 其拖动电动机系特殊制造的, 且与砂輪直接相連。

减少机械傳动級数, 簡化速度箱, 对于要求主軸有寬調速范围的重型机床來說, 显得更加重要。这些机床常見用发电机-电动机制, 但这种拖动方式較复杂, 价格貴, 效率又低 (例如, 龙门刨和重型鏜床的主拖动效率只有 0.35~0.40)。如能以离子变换装置取而代之, 效率可以提高, 重量可以減輕, 尺寸可以变小, 动作又能加快, 因此, 这无疑是合理的。进給拖动, 以及效率不大的主拖动 (10~15 仟瓦以內) 广泛采用帶有半导体整流设备的磁放大器作为直流电动机的調节元件。

在設計和应用新电力拖动的同时，机床电力拖动的自动控制系统近年来也大有发展。从用机械方法操纵机床过渡到用电气方法甚至用电动液压方法操纵机床，除能大大簡化和加快操纵过程外，还能省却一大串机械傳动装置。近代的中小型車床和磨床每小时接入次数达 1000 次甚至更多，而龙门刨床每小时接入次数，有时还超过 1500~1800 次，对于这些动作頻繁的电力拖动来说，电气操纵方法就显得方便，更显得有效了。

自动控制系统能保証机床工作不必連續不断地直接有工人参加。在此首先要提及的是仿型装置。第一台机械操纵的仿形車床是远在 1718~1729 年間俄国机械师 A. K. 拿多浮发明的。

1901年，法国人阿美里列制成一台半自动車床，有电气机械随动系统，供雕刻用。1923年起，盖列尔工厂开始生产一种仿形銑床，有电气接触仿形装置，其进給拖动中有电磁离合器。最初的带有随动系统的仿形机床是 1936 年斯維尔特洛夫工厂制成的。那时，金屬切削机床实验科学研究所（ЭНИМС）在車床的仿形装置方面也做了不少工作。1947年后，斯維尔特洛夫工厂在 6441A 型机床的基础上成批生产連續控制的各式仿形机床。这些机床，無論在精度和生产率方面都远远胜过国外近年来生产的电气仿形机床。

如能在机床工作中及时測量（Активный контроль）加工尺寸，則可大大縮短輔助時間。所謂及时測量指的是測量裝置——发訊器——在整个加工过程中自始至終地檢測着工件尺寸，并当需要时，即給控制系统发出信号，改变拖动的工作状态，或是将拖动工作停下。

电气自动化对专用組合机床和自动流水綫亦具有首要意义。应用組合机床和自动綫后，大大縮減了生产面积、机床数量和操作工人数目。大批生产中用好几把刀同时加工（通常是从几个方向同时加工）取代了一把刀具順次加工，因此劳动生产率也大大提高。例如：加工机壳的自动綫，共計 22 台机床，38 台电动机，主軸总数是 351，但只需四名工人看管，它的生产率是每小时 20 个。假如把这些任务交給万能机床，那就要配备 24 名熟练工人。在苏联，金屬切削机床实验科学研究所、第一专业設計局，奥尔忠尼启則工厂等单位在設計制造近代化的組合机床和自动綫方面，做了很多工作。

改装旧机床也有重要意义。现有机床各工步，各工序以及各工作循环的自动化对提高生产率和簡化机床操作均起重大作用。

改装旧机床所采用的自动化措施，必須尽可能既簡單又有效。常見的自动化措施，如工件的自动夹紧（借助电气机械装置），快速进刀，自动轉为工作进給以及加工完毕时自动退刀等。改装旧机床时，往往用一些电气机械装置和电磁装置与擋块配合工作，例如，使車削外圓阶梯表面或內孔阶梯表面等加工自动化时，就可用这种方法。借电气机械測位器（Электромеханический лимб）之助，很易使机床工作部件自动停歇。这种測位器可以装在机床內部。近年来，苏联和其他国家常在各式机床上装用附加仿型装置，使加工自动化。这些仿型装置有的是电气的，也有的是液动的。此外，改装时又常应用及时測量裝置（Устройство с активным контролем）使加工过程自动化。該装置的主要部分是随动系统，其发送器可以有触点的，也可以是无触点的。

在进一步发展复合自动化，改装旧机床自动綫，設計制造新型的自动化工段和自动化工厂的同时，应大力提高万能机床的自动化程度，使它晋升为半自动化，而原来的半自动机应設法晋升为自动机。要完成这一任务，可采用各种仿形装置，或者設計一些新的控制

系統。

为了大大地縮減机床的調整時間，且能既有高生产率又保證足够的加工精度，程序控制机床便应运而生。它的工作程序用一定的代碼記錄在卡片、帶或者磁鼓上，特制的設備能根据程序，讀出信号，然后又把它變換成电脉冲，輸入到机床运动部件电力拖动的控制系統中去。加工过程中，反饋裝置不断檢查运动部件的动作，看它是否已足够准确地完成了程序內容。更高一級的程序控制系統还能使机床自动寻找自动納入最佳工作状态。

苏联有很多科学院，設計局和工厂正在从事程序控制系統的研究工作。試驗性的程序控制机床已由金屬切削机床实验科学研究所，敖德薩机床厂和其他工厂制成。

第一章 金屬切削加工的几种主要形式

1-1 概 况

金屬切削机床是一种使用极广、种类繁多的工作母机。它可用一把或数把刀具加工金屬零件。毛坯經切削加工后，便与要求形状相近（指粗加工或預先加工）或者达到規定的尺寸精度（精加工）及表面光洁度（抛光及精磨）。

按生产組織的特点（如单件、成批，及大量生产）机床可分成：1. 万能机床：用来完成多种工件的各种工序；2. 寬用途机床：完成多种工件的某些工序；3. 专门化机床：加工外形相似但尺寸不同的工件；4. 专用机床：加工某一种典型尺寸的工件。由标准动力头和机械部件組成的組合机床被列为专用机床中独立的一类。

按工艺过程的特征（如：工具和毛坯的形状及其运动，加工完了后的表面形状等），机床又分成下列各类：車床、刨床、钻床、镗床、銑床、磨床及其它。按重量和尺寸又可分成：标准重量（10吨以下）、大型（从10吨到30吨）、重型（从30吨到100吨）及超重型（大于100吨）机床。

表 1-1

机 床 类 别	类 号	机 床 组 别								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
車 床	1	自动及半自动机		轉塔車床	钻孔車床	立式車床	普通車床	多刀車床	专 門 化 車 床	其 他
		单 軸	多 軸							
钻 床 及 镗 床	2	立式钻床	单軸半自动 钻 床	多軸半自动 钻 床	座标镗床	搖臂钻床	镗 床	金 剛 石 镗 床	臥式钻床	其 他
磨 床	3	外圓磨床	內圓磨床	粗磨机床	专 能 化 磨 床	—	工具磨床	平面磨床	精 研 及 抛光机床	其 他
联 合 机 床	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
齿 輪 及 螺 紋 加 工 机 床	5	圓柱齿輪 刨 齿 机	圓錐齿輪 切 齿 机	圓柱齿輪 銑 齿 机	蝸 輪 銑 磨 机	齿輪端面 加工机床	螺紋銑床	剃齿机及 研 齿 机	齿 輪 及 螺紋磨床	其 他
銑 床	6	升降台式 立 銑	連續工作 銑 床	—	仿形銑床	无升降台 式立銑床	龙门銑床	万能銑床	升降台式 臥 銑	其 他
刨 床 及 插 床	7	龙 門 刨 床		牛头刨床	插 床	臥式拉床	—	立式拉床	—	—
		单 柱	双 柱							
切 断 机 床	3	切 断 机 床			校直切断 机 床	鋸 床			—	—
		使 用 車刀的	使用砂輪的	使 用 磨擦盘的		带 鋸	圓盘鋸	弓 鋸		
其 他	9	联軸器及 管子加工 机 床	銼刀制造 机 床	校直及无心 粗加工机床	—	工 具 試驗机	—	—	—	—

按加工精度分，又有 a) 标准精度机床及 6) 高精度机床。

在苏联，用数字表示机床的型号，见表 1-1。机床的型号都用三位或四位数字表示，其中第一个数字表示机床的类别，第二个数字表示组别（二者均列在表 1-1 中），第三第四个数字表示使用中最重要尺寸之一。此外，制造厂还可在数字间或在最后加注字母，表示基本型号的变型或已有型号的改进等。例如，1336 A 就表示转塔车床，最大棒料直径为 36 毫米，是 1336 型机床的改进。对于专门化机床和专用机床，代号由一个或两个字母组成，以表示制造厂的特定名称，字母后再加数字，表示机床的序号。例如，E3-10 表示叶戈里叶夫斯基工厂制造的切削圆柱蜗杆的专用机床。

要使毛坯具有需要的尺寸和表面形状，刀具的切削刃应相对于毛坯作一定方式的位移。这一相对位移系由刀具运动与毛坯运动相互配合而成。刀具和毛坯的这些运动称为基本运动或工作运动，其中包括主运动（或称切削运动）及进给运动，刀具借主运动切屑金属，而进给运动使刀具或毛坯移动，以便切下新的金属层。

因加工形式不同，金属切削机床的基本运动可有下列各种配合：毛坯旋转运动和刀具往复运动的配合（车削加工）；毛坯不动，刀具既旋转又作往复运动（钻削）；刀具旋转运动与毛坯往复运动的配合（铣削）；刀具同时作旋转运动和往复运动，毛坯又作旋转运动（磨圆柱表面）等等。

除基本运动外，机床还有辅助运动以完成调整工序、刀具向毛坯自动送进和退出、加工过程中自动检查尺寸等工作。

合理设计的机床及其电力拖动应能对本机床上可能遇到的所有工序均保证最大限度地充分利用刀具的切削性能。因此，设计机床的电力拖动和自动控制线路时，必须先知道加工特点、基本运动和辅助运动，并应能定出与各切削用量有关的指标。如：机床各运动部件的速度范围，主电动机的功率，最大进给力，机动时间等等。为此，下面特援引几个典型加工形式的基本概念及确定切削用量各项指标的方法。

1-2 车削加工

车削时（图 1-1）主运动是工件的转动，进给运动是车刀的直线移动。辅助运动有刀架的快速趋近和退出，工件的夹紧和松开，尾架移动等。工件和车刀的接触点相对于工件的速度称为切削速度。切削速度决定于被加工金属的性质、车刀材料及其几何形状，还决定于车刀和工件的冷却方法和冷却条件。

切削速度可按经验公式确定：

$$v = \frac{C_v}{T^{m_t} t^{x_t} S^{y_t}} \text{ [米/分]}, \quad (1-1)$$

式中 S ——走刀量，系指工件每转的车刀位移，毫米/转；

t ——切削深度，系待加工表面与已加工表面间的距离，毫米；

T ——车刀的耐用度（两次相邻刃磨间的工作时间），分；

C_v ——与加工材料，车刀材料以及加工形式（外圆车削、切断等）有关的系数；

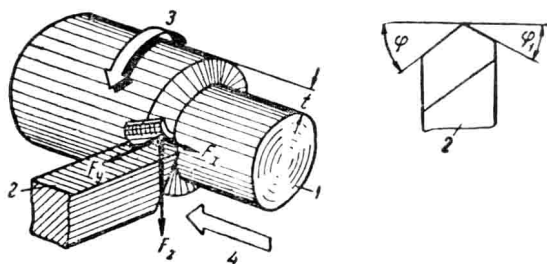


图1-1 车削原理图

1—工件；2—车刀；3—主运动；4—进给运动。

m, x_v, y_v ——与加工材料、車刀材料及加工形式有关的指数。

这个公式适用于主平面角 $\varphi = 45^\circ$ ，輔助平面角 $\varphi_1 = 10^\circ$ 的車刀，对有其它平面角的车刀要引入相应的修正系数。此外，由公式 (1-1) 得出切削速度后，因考虑到車刀和工件的材料、刀具的几何特点、它的磨损、毛坯的热处理及其表面情况、冷却条件等，还要乘上另外一系列修正系数。所有的系数和指数值均按切削用量手册确定。

精加工时，走刀量和切削深度取： $S = 0.1 \sim 0.4$ 毫米/轉， $t = 0.1 \sim 2$ 毫米。粗加工时取： $S = 0.4 \sim 3$ 毫米/轉， $t = 3 \sim 30$ 毫米。加工鋼和鑄鉄时，系数 C_p 的范围为：39.5~262 (硬质合金車刀) 与 18.2~53.7 (高速鋼車刀)。指数值为： $x_v = 0.15 \sim 0.2$ ； $y_v = 0.35 \sim 0.8$ ； $m = 0.1 \sim 0.2$ 。

車削过程中，形成一个以某一角度加于刀具切削刃的力 (图1-1)。这个力可分成三个分力：

- 1) F_z ——由机床主軸承受的切向力 (切削力)；
- 2) F_y ——对刀架产生压力的徑向力；
- 3) F_x ——由进給机构承受的軸向力 (进給力)。

用下列經驗公式来计算切削力：

$$F_z = C_{F_z} t^{x_{F_z}} S^{y_{F_z}} v^n \text{ [公斤]}, \quad (1-2)$$

式中 C_{F_z} ——与加工材料、車刀材料及加工形式有关的系数。

系数和指数值可按手册查取。例如，用高速鋼刀具外圓車削或鏜削炭素鋼工件时， $C_p = 208$ ， $n = 0$ ，用硬质合金刀具时， $C_{F_z} = 300$ ， $n = -0.15$ 。若对灰鑄鉄工件作上述加工，則当用高速鋼刀具时， $C_{F_z} = 118$ ， $n = 0$ ；用硬质合金刀具时， $C_{F_z} = 92$ ， $n = 0$ 。指数值为： $x_{F_z} = 1$ ， $y_{F_z} = 0.75$ 。也像在确定切削速度时一样，要在計算公式 (1-2) 中引入一系列取自切削用量手册的相应的修正系数。

因为大切削速度对应于小走刀量和小切削深度，因此，很显然大切削速度就对应于小切削力，反之，小切削速度就对应于大切削力。

徑向力 F_y 和进給力 F_x 用类似 (1-2) 的公式确定。这两力，特别是軸向力，数值上通常总是小于切削力的。

当計算进給机构上的作用力时，应注意到，进給机构除克服进給力 F_x 外，还要克服刀架导轨上因 F_z 及 F_y 引起的摩擦力。刀架在进給方向移动所須的总力 F_n 可按下列公式計算：

$$F_n = F_x + (F_z + F_y) \mu, \quad (1-3)$$

式中 μ ——刀架导轨的摩擦系数。

已知切削速度和切削力后，即可确定切削功率为：

$$P_z = \frac{F_z v}{60 \times 102} \text{ [千瓦]}. \quad (1-4)$$

进給功率为：

$$P_n = \frac{F_n v_n}{60 \times 102} \text{ [千瓦]}$$

或

$$P_n = \frac{F_n S n}{60 \times 102 \times 1000} \text{ [千瓦]}, \quad (1-5)$$

式中 n —— 工件轉速, 轉/分。

因为进給速度比切削速度小很多, 故进給功率与切削功率相比, 就显得非常小了。
 $[P_n \approx (0.001 \sim 0.01 P_z)]$ 。

工艺時間 (或称机动時間) 是标志机床工作的重要因素。

机动時間按下式确定:

$$t_m = \frac{L}{nS} [\text{分}], \quad (1-6)$$

式中 L —— 行程长度, 毫米;

n —— 工件每分钟轉数;

S —— 走刀量 (进給量), 毫米/轉。

工件轉数正比于切削速度 (因 $n = \frac{v}{\pi d}$), 增加切削速度就减少机动時間, 从而提高生产率, 因此, 近年来高速切削, 尤其是高速車削, 正大大推广。

高速車削有相当高的切削速度 (达300~400米/分或更高) 及适当的走刀量。采用的刀

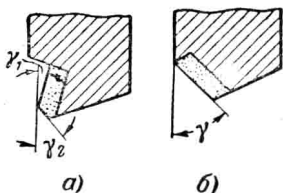


图1-2 高速切削車刀的几何形状

具鑲有硬质合金刀片或矿物陶瓷刀片。

高速切削与采用高速鋼刀具的加工相比, 大大提高生产率并降低加工成本, 但由于硬质合金和矿物陶瓷相当脆, 容易崩裂, 所以在高速切削时, 要增大車刀的刀尖角, 也即减小主前角, 甚至使主前角为負值。(图1-2) 为高速切削所采用的車刀的截面。图1-2 a 中刀具切削部分的前角 γ_1 为正值, 倒棱角 γ_2 为負值。图1-2 b 中, 前角 γ 为負值。这种刀具能使作用力的方向改变, 从而减小切削刃附近的危險应力。机床操纵的高度自动化对采用高速切削有促进作用。

用硬质合金車刀車削时的功率比用高速鋼車刀加工时有所增加。例如: 用高速鋼車刀加工炭鋼时, 当 $S = 0.25$ 毫米/轉, $t = 1$ 毫米及切削速度 $v = 61$ 米/分时, 切削力 $F_z = 71$ 公斤, 切削功率 $P_z = 0.7$ 仟瓦, 而若用硬质合金車刀加工同样的材料及用同样的走刀量和切削深度时, 容許的切削速度为 $v = 223$ 米/分, 于是, $F_z = 67$ 公斤, 切削功率 $P_z = 2.4$ 千瓦。比較这些数据后可知, 切削速度增大 2.7 倍, 切削功率增大 2.4 倍。

分析公式 (1-6) 可知, 不仅提高切削速度能縮短机动時間, 增大进給量也有此作用。近年来已获推广的强力金屬切削加工的主要特点就是加工时取用大走刀量。

1-3 刨削加工

刨削时 (图1-3), 在工作行程期間切下切屑, 返回行程时, 刀具不工作。主运动是工作台在工作行程时的纵向移动, 进給运动是每一双行程間刀具垂直于主运动的位移。

刨床的輔助运动諸如横梁和刀架的快速移动, 返回行程时的抬刀运动以及調整工序时的工作台緩慢移动等。工作行程时刨刀相对于工件的移动速度称为刨削速度, 刨削深度是每一次行程刨刀对工件的切入量, 它决定了切屑的厚度。

粗刨时, 走刀量和刨削深度可取: $S = 1 \sim 7$ 毫米/双行程, $t = 6 \sim 30$ 毫米以內; 用寬刨刀精刨时 $S = 10 \sim 20$ 毫米/双行程或更大, $t = 0.05 \sim 0.3$ 毫米。

刨削速度, 切削力及切削功率可按前述屬於車削加工的一系列公式計算。

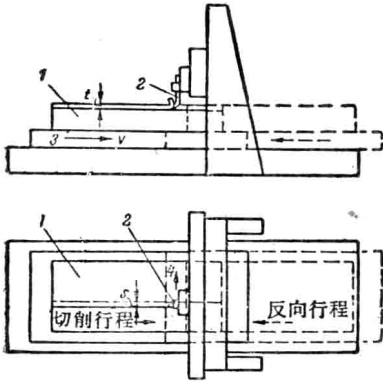


图1-3 刨削原理图

- 1—工件；2—刨刀；3—主运动；
4—进给运动。

工作台每一双行程的机动时间按下式确定：

$$t_m = \frac{B+B_0}{iS} [\text{分}], \quad (1-7)$$

式中 B ——刨削宽度，毫米；
 B_0 ——刨刀进入工件和从工件退出的走刀超程，毫米；
 i ——每分钟双行程数；
 S ——每双行程的进给量，毫米。

当走刀量给定时，可增加单位时间内工作台的双行程数来提高生产率。提高工作台双行程数的方法，以后将作详细介绍。

刨削时刀具经受冲击负荷，所以高速车削时所用的切削速度这里是不容许的，刨削的最大切削速度不得超过75~120米/分。

1-4 钻削加工

钻削时（图1-4）刀具同时作两种运动：主运动（钻头的旋转）和进给运动（钻头的纵向移动）。以摇臂钻床为例，辅助运动是横臂的快速移动，立柱的夹紧，主轴箱的移动等。组合钻床的主轴箱（动力头）快速移动亦可归为辅助运动。切削速度是钻头的圆周速度，走刀量是钻头每转内沿本身轴线的移动量。

钻削时的切削速度可用经验公式选定：

$$v = \frac{C_v d^y}{T^m S^x} [\text{米/分}], \quad (1-8)$$

式中 C_v ——与加工材料和钻头材料有关的系数；
 d ——钻头直径，毫米；
 T ——钻头耐用度，分；
 S ——走刀量，毫米/转；

m, x, y ——与加工材料和钻头直径有关的指数。

钻头耐用度的幅度很大，大直径钻头（约60毫米）可达270分钟，小直径钻头的耐用度小些。

钻削进给力按经验公式确定：

$$F_z = C_F d^{z_F} S^{y_F} [\text{公斤}], \quad (1-9)$$

根据实验数据得出转矩公式：

$$M = C_M d^{1.9} S^{y_M} [\text{公斤-米}]. \quad (1-10)$$

已知转矩和钻头每分钟转数，就可确定切削功率：

$$P_z = \frac{Mn}{975000} [\text{千瓦}]. \quad (1-11)$$

公式(1-8)~(1-10)中的系数和指数均取自切削用量手册，其值因不同材料而异，亦与钻头直径有关。例如，对于碳钢： $C_v=7$ ， $C_M=33.8$ ；对于青铜： $C_v=27.2$ ； $C_M=12.2$ ，

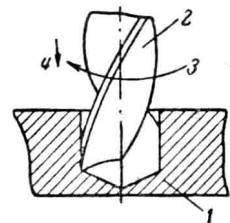


图1-4 钻削原理图

- 1—工件；2—钻头；3—主运动；
4—进给运动。

对于不同牌号的鋼 $x_v = 0.4 \sim 0.6$, $y_v = 0.5 \sim 0.8$, $m = 0.125 \sim 0.2$ (其中大值对应于小直径钻头), $y_F = 0.7$, $y_M = 0.8$, $x_F = 0.4$ 。

钻削时机动时间的计算与车削类似。

1-5 銑削加工

銑削时的主运动是刀具(銑刀)旋轉, 进給运动是工件的移动(图1-5), 有时进給运动是主軸箱的移动。銑床的輔助运动有工件向刀具趋近时的工作台快速移动, 加工完毕后工作台的返回移动, 主軸箱的快速移动及其他。

銑削的特点是: 繞靜止軸綫旋轉的刀具——銑刀——有好几个刀齿, 每个刀齿在銑刀每轉的不大弧度內切下切屑, 然后空轉, 每一刀齿的切削截面不断地从0变到最大。銑削可加工各种平面, 各种成形表面, 凸輪, 齒輪, 螺紋, 直槽和螺旋槽等。根据不同的加工表面, 选用各种不同形状的刀具。

銑削时, 切削速度由經驗公式确定:

$$v = \frac{C_v d^q}{T^m S^y v_i^x v_B^k z^n} \text{ [米/分]}, \quad (1-12)$$

式中 C_v ——与加工材料, 銑刀冷却情况及加工种类(粗加工或精加工)有关的系数;

d ——銑刀直径, 毫米;

T ——銑刀耐用度, 用圓柱銑刀、端銑刀、盘銑刀及成形銑刀加工鋼、可鍛鑄鉄、青銅时, 通常取 180 分钟(加工灰鑄鉄时取 $T = 240$ 分), 立銑刀加工时取 60 到 90 分钟;

S ——銑刀每齿的走刀量, 毫米;

t ——切削深度(每一行程切下金屬层的深度), 毫米;

B ——銑削宽度, 毫米;

z ——銑刀齿数。

系数 C_v 及各指数值是随銑刀类型(圓柱銑刀, 端銑刀, 盘銑刀, 切断銑刀等), 加工材料, 走刀量, 銑刀质量以及有无冷却液等而改变的。例如, 用高速鋼圓柱銑刀加工灰鑄鉄, 取走刀量 $S > 0.15$ 毫米, 无冷却液时, 采用下列系数: $C_v = 27$, $q = 0.7$, $m = 0.25$, $x_v = 0.6$, $y_v = 0.5$, $k = 0.3$, $n = 0.3$ 。如加工同样材料, 但銑刀类型变了, 則(1-12)式內的各项系数均将改变。

切削力, 也即銑削时的圓周力为:

$$F_x = C_F t^x F S^y F B z d^i \text{ [公斤]}. \quad (1-13)$$

切削功率

$$P_x = C_P F_x n d \text{ [千瓦]}. \quad (1-14)$$

指数和系数值与銑刀形式, 加工材料有关, 其范围为: $y_F = 0.83 \sim 0.95$, $x_F = 0.65 \sim 0.8$, $i = 0.83 \sim 1.14$, $C_F = 22.5 \sim 82.4$, $C_P = 1.15 \sim 4.22$ 。

在大型机床上用圓柱銑刀粗銑时, 每齿走刀量 S 达 $0.2 \sim 0.6$ 毫米, 銑削深度 t 达 15 毫米, 对剛性已降低的机床, 走刀量降为每齿約 $0.02 \sim 0.08$ 毫米。必須指出, 当銑削深度相同时, 大走刀量对应于低切削速度及大切削功率。

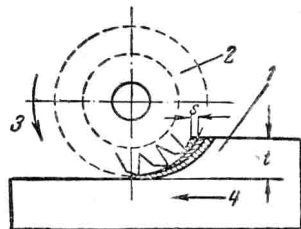


图1-5 銑削原理图

1—工件; 2—銑刀; 3—主运动; 4—进給运动。

能大大提高生产率的高速铣削已广泛应用。高速铣刀的插嵌刀齿上多镶有硬质合金刀片, 就靠这些刀片切下切屑。用硬质合金铣刀与用高速钢铣刀加工同样材料相比, 功率显著增加。切削速度达300~400米/分或更高。

圆柱铣削时, 铣刀每一行程的机动时间可按下式计算:

$$t_M = \frac{l + l_0 + y}{S_M} [\text{分}], \quad (1-15)$$

式中 l —— 铣削长度, 毫米;

l_0 —— 切入长度, 毫米;

y —— 铣刀的超程, 毫米;

S_M —— 每分钟走刀量, 毫米/分。

根据铣刀直径和切削深度就很容易确定切入长度:

$$l_0 = \sqrt{t(d - t)}。$$

1-6 磨削加工

磨削时, 砂轮作主运动, 它的往复运动就是进给运动, 进给运动也可以是工件相对于砂轮所作的往复运动。磨床上的辅助运动有砂轮架的快速移动, 工作台的移动等。

按不同的加工形式, 磨削加工可分为: a) 圆周磨削(外圆磨削或内圆磨削); b) 平面磨削。

图 1-6 中列出了两种圆周磨削及其主运动与进给运动。

不论外圆磨削(图1-6 a)或内圆磨削(图1-6 b), 若工件长度大于砂轮宽度, 则除砂轮作相应切深外, 工件或砂轮还要纵向进给。此外, 为了改善加工条件和提高加工质量, 工件应适当旋转, 其方向与砂轮转向相反。

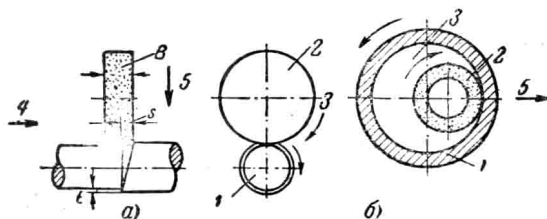


图1-6 圆周磨削原理图

1—工件; 2—砂轮; 3—主运动; 4—纵向进给;
5—横向进给。

圆周磨削(外圆磨削或内圆磨削)时工件的圆周速度按下式确定^①:

$$v_u = \frac{C_v d_u''}{T^{0.5} t^{0.5} S^{0.6}} [\text{米/分}]. \quad (1-16)$$

举外圆磨削为例, 当粗磨淬火钢且每当工作台一次双行程砂轮仅作一次横走刀时, 工件的圆周速度按下式决定:

$$v_u = \frac{0.7 d_u^{0.5}}{T^{0.5} t^{0.5} S^{0.6}} [\text{米/分}].$$

加工条件均相同的内圆磨削圆周速度为:

$$v_u = \frac{0.054 d_u^{0.5}}{T^{0.6} t^{0.3} S^{0.9}} [\text{米/分}],$$

式中 d_u —— 工件直径, 毫米;

T —— 砂轮耐用度, 分;

t —— 每一双行程的磨削深度(横向进给), 毫米;

^① 这儿引出的磨削速度公式及功率公式是仅供参考的。