

中等专业学校教学参考书

ZHONGDENG ZHUANYE XUEXIAO JIAOXUE CANKAOSHU

龔宗智編著

金屬切削機床設計與計算



机械工业出版社

中等专业学校教学参考书



金屬切削机床設計与計算

龔宗智編著



机械工业出版社

本书分作两篇。第一篇对机床的发展、设计步骤和机床基本特性的确定、传动系统的拟定等问题作了阐述；第二篇叙述机床各部件和零件的设计与计算，以及设计的原则和基本方法。

本书根据中国工业出版社1964年6月北京第一版第六次印刷本修订，在这次修订中，对第一篇做了比较多的修改，同时把第一版的第三篇“机床的改装”删去。

本书可作为中等专业学校四年制机器制造专业的教学参考书，同时亦可供冷加工其他专业参考。

金属切削机床设计与计算

龚宗智编著

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）

机械工业出版社出版（北京苏州胡同141号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{2}$ ·印张 13 $\frac{1}{2}$ ·字数 322千字

1965年8月北京第一版·1965年8月北京第一次印刷

印数 0,001—2,500·定价（科四）1.40元

统一书号：K16033·3882

前 言

本书是参照1959年編訂的中等专业学校机器制造专业“金属切削机床設計与計算”教学大綱編写的。

由于考虑到本书尙可作为机床設計者的参考，因而内容比較广泛。一些在“机器零件”課程中已作过一般闡述的内容(如齿輪、軸、带传动、軸承、离合器等)，为了照顾机床設計的系統性，在本书中也結合机床的特点进行了分析。因此，在采用本书作为教材时，应根据具体情况酌予增刪。

书中例题及有些公式的証明和一些参考性的内容皆用小字排印，在讲授时可以根据具体情况，或者留作讀者課外参考，或者刪去。

本书内容多为机械传动的中小型通用机床，因此在讲授专用、非机械传动、重型和精密机床等設計时，均需增加补充材料。

本书編写过程中，在材料的收集、整理和内容确定等方面，曾得到蕭亦华、王玉山二位同志的协助；在本书付印前，又經樊震、郁海祥二位同志作了全面审校，并根据他們的意見作了一些重要的修正，在此謹致謝意。

由于編者的教学經驗及业务水平不足，书中存在的不妥之处可能很多，希望使用本书的同志們提出批評和指正。

冀宗智

1961年4月于北京机械学院

目次

前言

第一篇 机床设计的基本问题

第一章 绪言..... 1

§ 1.1 近代机床制造业的发展趋势..... 1

§ 1.2 机床设计的基本任务..... 4

第二章 机床基本技术特性的确定..... 6

§ 1.3 极限切削速度与进给量的选择..... 6

§ 1.4 机床主轴的转速级数..... 6

§ 1.5 往复运动机床的双行程级数..... 71

§ 1.6 进给量级数..... 72

§ 1.7 主轴转速、双行程数与进给量的选择..... 72

§ 1.8 机床电动机功率的确定..... 75

§ 1.9 用图表分析确定机床主要规格的方法..... 77

第三章 机床传动系统的拟定..... 79

§ 1.10 对机床传动系统的要求..... 79

§ 1.11 机床传动系统的设计..... 79

§ 1.12 机床变速系统的设计..... 25

§ 1.13 变速箱中齿轮齿数的确定..... 38

§ 1.14 车削螺纹进给箱的设计..... 47

第二篇 机床部件零件的设计与计算

第一章 机床的变速箱和进给箱..... 51

§ 2.1 机床的变速箱..... 51

§ 2.2 机床的进给箱..... 67

§ 2.3 机床上的快速移动机构..... 65

第二章 机床零件计算的准则..... 67

§ 2.4 机床零件的工作能力衡量标准..... 67

§ 2.5 机床零件承受负载的分析..... 68

§ 2.6 机床零件拟定寿命的计算..... 69

第三章 机床中的带、链条、齿轮和蜗轮蜗杆传动..... 73

§ 2.7 机床中的带传动..... 73

§ 2.8 机床中的链条传动..... 83

§ 2.9 机床中的齿轮传动..... 87

§ 2.10 机床中的蜗轮蜗杆传动..... 102

第四章 机床上的无级变速装置..... 111

§ 2.11 无级变速的优缺点及实现的方法..... 111

§ 2.12 机床中采用的机械无级变速装置..... 117

§ 2.13 无级变速装置变速范围的扩大..... 116

§ 2.14 无级变速装置的计算..... 118

第五章 离合器和制动器..... 121

§ 2.15 离合器在机床上的应用..... 121

§ 2.16 爪式和齿式离合器..... 127

§ 2.17 摩擦离合器..... 124

§ 2.18 超越离合器..... 127

§ 2.19 电磁离合器..... 129

§ 2.20 机床上的制动装置..... 135

第六章 机床上的轴、主轴和轴承..... 138

§ 2.21 作用在轴和轴承上的力的计算..... 138

§ 2.22 轴和主轴在机床中的用途及一般要求..... 145

§ 2.23 轴和主轴的材料及技术条件..... 146

§ 2.24 轴和主轴的计算..... 148

§ 2.25 轴和主轴的构造..... 160

§ 2.26 机床中对轴承的要求及其选择..... 163

§ 2.27 机床中的滑动轴承..... 164

§ 2.28 机床中的滚动轴承..... 169

第七章 进给机构零件的设计与计算..... 178

§ 2.29 进给机构的特点及参数的确定..... 178

§ 2.30 齿轮和齿条传动机构..... 178

§ 2.31 丝杠螺母机构..... 179

§ 2.32 进给杆(光杠)的计算..... 186

§ 2.33 凸轮传动机构..... 187

第八章 床身、导轨、立柱、工作台、横梁、刀架..... 190

§ 2.34 床身..... 190

§ 2.35 导轨..... 196

§ 2.36 机床立柱、工作台、横梁及刀架的设计..... 208

第九章 机床的润滑和冷却装置..... 212

§ 2.37 机床的润滑装置..... 212

§ 2.38 机床的冷却装置..... 214

参考文献..... 216

第一章 緒 言

§ 1.1 近代机床制造业的发展趋势

解放前半殖民地半封建的旧中国沒有一家能够正式制造机床的工厂，只是在某些主要作修配的机械厂中零星地仿造过一些简单的机床，我国的机床制造业实际上是从解放后才真正建立起来的。在党的正确领导下經過三年的恢复整頓，第一个五年计划和第二个五年计划的建設，我国机床制造业已从无到有、从小到大、从单品种到多品种及系列化，产品从简单粗糙到高大精尖，从仿制到自行設計，以飞跃的速度向前发展着。現在，在一年之内出产的机床，就足以装备起一百多个現代化的机械工厂，为加速我国的社会主义建設，提供了重要的物质条件。

我們在短短的十年內，便走完了資本主义国家需要走几十年的漫长路程，取得了巨大的成就。特别是在 1958 年党中央提出的鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义总路綫的光輝照耀下，机床制造业的发展更是突飞猛进。不仅在数量、质量上有很大进步，即在机床的品种方面，也有了很大的发展，特别是轰轰烈烈地开展了技术革新、技术革命的群众运动，解放思想、破除迷信、发揚敢想敢干而又实事求是的科学态度，所掌握的新品种的数量有了更大的增长。

在技术革新技术革命运动中，采用設計者、制造者和使用者“三結合”的方法，对一些产品作了比較全面和比較系統的改进，为創造适合我国特点的机床开辟了广闊的道路。

为了設計出符合近代机器制造业要求的机床，設計人員必須明确近代机床制造业的发展趋势。

在对待机床技术的发展上，資本主义国家和社会主义国家有着根本不同的态度。在我国，制造机床的目的是为社会主义工业化建立物质技术基础，而机床是为工人使用的，因此設計的机床要采用各种新的技术成就，尽量提高机床的生产能力，并使工人能在最安全和劳动强度最輕的条件下工作，同时还要能不断滿足新的生产方法提出的要求，进一步提高生产率。而在資本主义国家，机床設計和制造的目的是为了資本家的利潤，因此对机床設計沒有全面观点，把工人看作是机床的奴隶，对工人工作时是否安全等問題，則視為次要的或根本不值得注意的問題。

在机床設計和制造的部門中，和社会主义建設其他部門一样，必須体现社会主义建設总路綫的要求，也即是应符合多、快、好、省的精神。近代机床发展的要求是在保証必須的和足够的精确度和表面光洁度的条件下，尽量提高生产率，減輕工人的体力劳动和保証工作的安全性。

机床对于使用部門來說是一种生产机械，对于操作者則是一种使用的工具，而对于制造部門則是一种生产产品，因此它必須滿足以上各方面的要求，即是“适用”、“好用”而又

“好做”。前两者可合称为使用要求，也即社会生产对金属切削加工设备所提出的需要；后者则为制造要求，即是如何利用现有科学技术提供的可能性多快好省地制出满足生产需要的机床，这两方面的要求往往有些是互相矛盾的，机床可以看做是上述两方矛盾的統一体，設計时必须同时考虑以上要求，从全局出发，綜合解决各要求中相互矛盾的因素，权衡輕重，选择最合理的方案。

提高生产率即意味着减少每个工件所需的加工时间，而加工时间是由机动时间和輔助时间組成。

机动时间的縮短可用加大吃刀深度、进給量和提高切削速度等办法来达到。由于刀具几何形状的改变，新型切削刀具材料的出現都引起切削用量的提高，其結果反应在机床設計上有一系列情况：1)所有各种类型机床中高速机床的数量增多了；2)在机床的驱动中采用高速电动机（有些电动机的轉速已达120000轉/分）以及油或气蜗輪作为原动机。

縮短机动时间还可以采用多刀切削的方法来达到，近代出現的多刀加工机床（如多刀車床、多軸钻、多刀拉床等）的数量已逐漸增多。

由于采用高速切削与大进給量和多刀切削，使加工时的切削力大大地增加，因此就产生了增大机床驱动功率的趋势。

切削速度与驱动功率的提高，应在保证质量的基础上进行，亦即应保证加工必要的精确度与表面光洁度，因此，提高机床的刚度与抗振性也是現代机床制造业中显著的趋势。

为了得到最有利的切削和进給速度，充分利用刀具的切削性能以提高劳动生产率，在主运动和进給运动中采用无級变速裝置的机床已日益增多。

加工时间的縮短还应该从縮短輔助时间方面着手。

研究机床的生产率可以看出，縮短机动时间开始时会使生产率大大提高，但在进一步縮短机动时间时，由于輔助时间所占的比例逐渐加大，使生产率的提高速度漸漸变緩。实际上，对于加工面不太长的工件，高速切削虽使机动时间大大縮短，但不会使生产率提高很多。



图 1.1-1 生产率与提高切削速度的关系图。

图 1.1-1 表示某一車削工序切削速度提高与生产率关系的綫图。由图可見，当切削速度提高 200~300% 时，生产率有显著的提高，而切削速度繼續提高时，生产率提高的速度逐漸变緩。

根据調查，加工中机动时间所占的比重，在大量生产中不超过 50%，在小批生产中則仅占 20~30%。

因此，提高生产率从縮短輔助时间方面着手的趋势已日趋显著。

在社会主义性质的企业中，减少輔助时间的办法是机床工作自动化。

目前，自动化已成为机床发展的最主要特点之一。机床自动化是建立自动机床、自动生产綫和自动化工厂的先决条件。

自动化可以大大縮短零件制造周期，减少工作人員与废品率，改善产品质量，降低成本，急剧地提高劳动生产率。

在社会主义社会，自动化不仅有經濟上的意义，而且还有深远的政治意义，自动化可

以大大減輕劳动的强度。并为消灭脑力劳动和体力劳动之間的差別創造一定条件。

机床自动化大大减少了工人看管单台机床的时间，从而給多机床看管創造了条件。但对单軸机床來說，却存在着以下一些缺点：1) 每台单軸机床都占据着相等的生产面积；2) 工人往返于多台机床之間，容易疲劳。

因此，在近代机床制造业中可以看到愈来愈广泛的采用多軸自动机与半自动机的趋向，及制造具有周期迴轉式的多位工作台及連續迴轉式的工作台或鼓輪式半自动机的趋向。

机床工作的自动化可用电气、液压及气动装置来简单地实现，而同样的目的如用机械的方法来完成会使机床的结构复杂得多。

应用电器设备可使机床的结构大为简化，例如，可以把机床的传动系統分为几条互不相关的运动鏈，而每条运动鏈都用一单独电动机来带动。

在新型的机床中广泛采用无級变速的电气系統，为使机床的操纵自动化，采用各种电子仪器，电子放大器等。

由于近代电子学及电子工业的发展，机床制造中的最新科学成就——程序控制机床已逐漸由試驗阶段轉入到生产中应用，使得在小批甚至单件生产中也能实现自动化，并且还可以加工其它机床不能或难以加工的复杂零件。

液压驅動可以在很广泛的范围内达到无級变速并能使复杂的工作循环自动化。液动机构的尺寸很小，因此在小型机床中采用液压驅動也很方便。

气压装置多用在机床的夹紧装置中。

电气、液压及气动装置的另一优点是构造已經标准化，因此往往不需机床制造厂自己制造，这样也可以大大縮短設計和制造新机床的时间，使制造的成本降低。

近代机器制造业的另一趋向是采用标准化和規格化的零件和部件来縮短設計和制造的时间，这种趋向使机床的設計向以專門部件組合而成的机床的方向过渡。

应用标准化的零件和部件以后，更可进一步以一台基本机床为基础而制造出各种各样的專門化机床和专用机床，以及利用通用部件組成組合机床。

我国工人創造的“积木式”机床不仅可以根据不同的加工对象，随时拼湊成结构不同、加工方法不同和使用性能不同的机床以适应大型机器零件加工的需要；它还体现了机床构成的基本規律，使得有可能扩大不同类型机床之間的部件通用性。它的出現进一步显露了机床內在的本质联系，促使人們重新来考虑机床的分类，为多快好省地設計和制造机床开辟了新的途径^①。

总结以上，提高切削速度，加大进給量，提高切削动力、刚性、抗振性和使机床工作自动化是机床制造业的基本发展方向。

我們认为在体现上述发展方向的同时，还应貫徹以下要求：

1) 相对提高专用机床的比重，这是由于我国机器制造业中各主要部門已逐漸向专业化过渡，因此也有条件和必要采用各种专用机床；

2) 提高某些精加工机床如座标鏜床、齒輪磨床、螺紋磨床的加工精确度；

① 詳見“紅旗”1960年24期及61年9、10期。

- 3) 发展某些重型和超重型的机床;
- 4) 創造既可单机自动又可适用于自动生产綫上工作的机床;
- 5) 发展高、大、精、尖产品的同时,在产品革命的基础上,設計适合我国情况的輕、小、簡、廉的机床。

§ 1.2 机床設計的基本任务

近代工业、农业、交通运输业的发展向机床制造业提出了一系列的要求,即是要为国民經济各部門創造出生产率更高的更完善的技术設備。

机床設計的基本任务有下列

几方面,

1) 改装現有的普通机床:
可以把一般用途的普通机床改变成專門化机床,使之在成批生产的条件下,能适应生产率較高的工作。

2) 改进現有型式的机床:
目的是为了提高生产率与改善机床的使用指标。如增加机床的高速性、功率、刚度、抗振性、扩

大或縮小某些使用性能、使机床工作自动化、减少机床制造的困难程度、节省材料等。

3) 設計新型机床:設計前所未有的机床,以适应生产的需要。有三种情况:①应用科学技术上新成就的品种設計;②适应新工艺要求而創造的品种設計;③集中同类型机床的优点,使之适合于我国情况的設計。

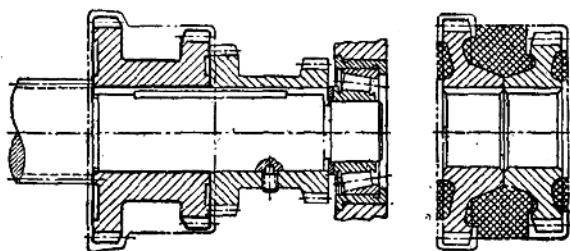


图 1.1-2 齒輪块:
a—改变前; b—改变后。

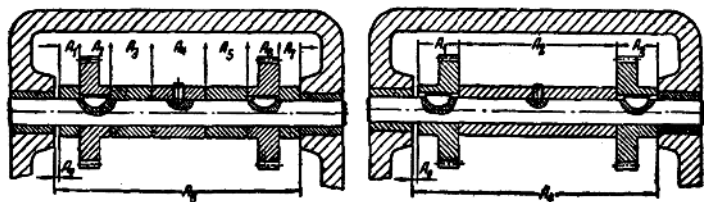


图 1.1-3 传动箱尺寸簡圖。

在进行上述設計任务时,应注意以下一些問題,

1. 尽量采用电气、液压及气动裝置以提高机床的自动化,并减少机床机构的复杂程度。

2. 設計新型机床时,注意尽量地节约金属。即充分合理地运用材料的性能,以普通的材料代替貴重金属等。图 1.1-2 所示为双联齒輪的两种設計,图 1.1-2a 的設計中金属利用率仅达 33%,改为图 1.1-2b 的設計后每一个零件可以节省 4 公斤金属。又如蝸輪的設計应尽量使其仅在需要耐磨的部分用青銅制造,而其中心部分则应用其它金属代替。

3. 注意结构的工艺性,使机床容易制造,装配方便,修理容易。

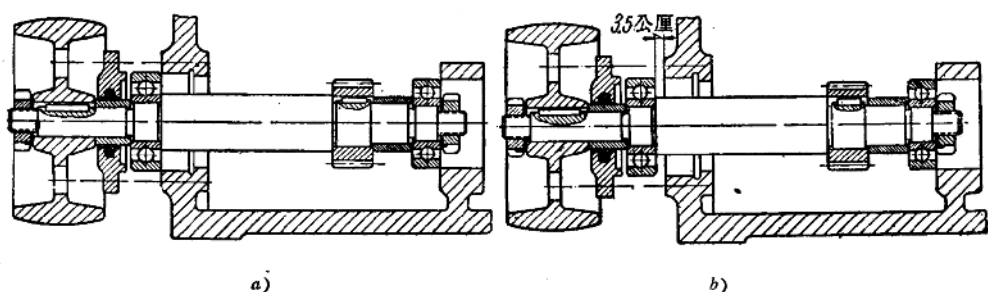


图 1.1-4 轴的装配图。

如图 1.1-3 a 的齿轮箱中间隙 A_0 受 8 个尺寸误差的影响，因而对每一尺寸的要求都很高，这样便增加了制造的困难。改为图 1.1-3 b 的设计后，间隙 A_0 仅受 4 个尺寸误差的影响，因此可以降低对各个尺寸精度的要求，而使制造简易。图 1.1-4 所示为提高装配工艺性的例子。图 1.1-4 a 所示的两个轴承在安装时与本体接触，不易安装正确；图 1.1-4 b 中在轴承距离间加入 3~5 毫米的间隙，这样便大大减少了装配的困难。

4. 尽量采用标准化的部件和零件，以缩短设计和制造的时间，并降低制造的成本。

5. 在设计机床时，对于机床的操纵、工作安全等问题应给予足够的注意，设计时应力求减轻工人体力上及精神上的疲劳；高速切削机床应注意切屑的排除，操纵机构应尽量自动化，机床应该用联锁系统及信号设备来保证事故不致发生等。

6. 注意机床外形的美观。

第二章 机床基本技术特性的确定

§ 1.3 极限切削速度与进给量的选择

机械加工中每一工序的最有利的切削速度应适合机床与刀具最经济的使用条件,亦即与切削规范中的其它参数(如进给量与吃刀深度等)共同使机床有最高的生产率,并能达到一定技术条件下的工作质量(精确度和表面光洁度)。最经济切削速度的决定与许多因素有关,如工件(材料、表面情况、毛坯刚度)、刀具(切削能力、几何形状、刀刃情况、寿命)与工艺过程(进给量、吃刀深度、需要的表面精度、冷却情况)等。

工艺上允许的进给量亦由一系列因素决定,如工件的材料和刚度,刀具的强度、夹持方法及寿命,加工表面精度等。

对于车、钻、搪孔、扩孔、铰孔、铣、各种螺纹切削、拉削、以及一些其他切削机床的加工,其最适当的切削速度与进给量可以利用切削原理中的方法求得。

其它加工过程、特别是光整加工与精研一类的工作在目前研究得不多,其最有利的切削规范可根据不同情况用试验来决定,当试验不可能时则可根据与其近似的工序来确定。

设刀具的材料与几何形状不变,而工件的材料与机械性能亦完全一致,则仅为一种尺寸与材料的工件加工而设计的专用机床其切削速度 v 与进给量 S 亦应为一常数。但在实际上工件的材料性能不可能完全一样(如制造厂家不同,熔炼方式不同等),制造刀具的材料牌号也有改变,因此即使是为了单一目的所设计的专用机床,亦应考虑能在同一工序中遇到不同的切削速度与进给量,但在这种情况下速度的变化常常限制在比较狭小的范围内。

通用机床切削用量范围的选择较为复杂,可应用切削原理中的公式来求得: $v_{\max}$ 、 $v_{\min}$ 、 $S_{\max}$ 与 $S_{\min}$ 。

如所设计机床的切削规范甚少研究,则其用量范围 $v_{\max}$ 、 $v_{\min}$ 、 $S_{\max}$ 与 $S_{\min}$ 如不能用试验方法来确定,则可与现有最新的经过考验的类似机床比较而决定,但有些情况下应估计到高速切削方法的发展与刀具改进的前途。

§ 1.4 机床主轴的转速级数

对于以旋转为主体运动的机床如车、铣、钻、镗床等,其主轴的极限转速 $n_{\max}$ 与 $n_{\min}$ 可根据机床的切削速度极限 $v_{\max}$ 和 $v_{\min}$,与最大和最小切削直径 $d_{\max}$ 与 $d_{\min}$ 来求得。

$$\begin{aligned} n_{\max} &= \frac{1000 v_{\max}}{\pi d_{\min}}; \\ n_{\min} &= \frac{1000 v_{\min}}{\pi d_{\max}}. \end{aligned} \quad (1.4-1)$$

上式中的直径 $d_{\min}$ 并非已知机床可能利用直径的最小值,而是根据在机床的实际使用中可能采取的最大切削速度 $v_{\max}$ 与 $v_{\min}$ 所能容许的极限值。

直径 $d_{\max}$ 之值,可以根据车床的中心高,铣刀的最大直径及加工孔的最大直径等确定;一般 $d_{\max}$ 与 $d_{\min}$ 之比可根据下列关系确定:

$$\frac{d_{\max}}{d_{\min}} = 4 \sim 5$$

机床主轴的最大和最小转速的比值称为主轴转速调整范围或简称转速调整范围。
用:

$$R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \text{ 表示。}$$

为了保证机床能得到最有利的切削速度，机床主轴须在全部转速范围 $n_{\max}$ 与 $n_{\min}$ 间有对于各种切削速度 v 和直径 d 所必须的任何转速，这种情况只有利用无级变速才能达到，但现在无级变速尚受许多条件限制而未能广泛应用，近代机床的主要旋转运动还主要是采用有级变速方式。

由于转速系有级变化，因此根据最有利的切削速度计算的转速往往在机床上没有，而只能采取接近的较低转速，如此将引起切削速度的损失。

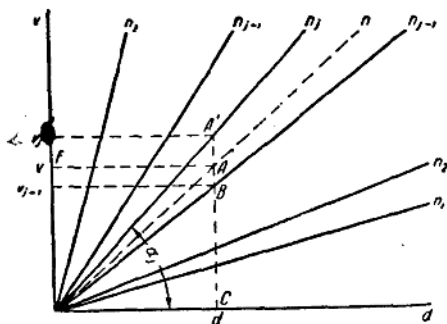


图 1.2-1

图 1.2-1 为代表 $v = \pi d n$ 关系的射线图 (式中 d 以米计)。设机床的转速为 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_z$ ，需要加工的切削直径为 d 米 (图中的 C 点)，希望的切削速度为 v 米/分 (F 点)，为了得到这一切削速度主轴转速必须是 $n = \frac{v}{\pi d}$ (图 1.2-1 中的虚线)。但主轴转速系分级变化，在机床上没有所需要的转速，只能采用与 n 值相近的转速，即较大的转速 n_j 或较小的转速 n_{j-1} ，在第一种情形下切削速度 $v_j > v$ ，在第二种情形下 $v_{j-1} < v$ ，如果所选择的切削速度 v 是在加工情况与刀具寿命限制下的最大值，则只能采用较低的主轴转速 n_{j-1} ，相当的切削速度为 v_{j-1} ，切削速度的损失为 $v - v_{j-1}$ (如图 1.2-1 中线段 AB 所示)，切削速度的相对损失为：

$$\Delta v = \frac{v - v_{j-1}}{v} = \frac{AB}{AC} = \frac{n - n_{j-1}}{n} = 1 - \frac{n_{j-1}}{n}$$

以百分率表示：

$$\Delta v = \left(1 - \frac{n_{j-1}}{n}\right) 100\% \quad (1.4-2)$$

如图 1.2-1 中 A 点趋近 A' ，即 n 接近 n_j (v 接近 v_j)，则在转速 n_j 与 n_{j-1} 间可能发生的最大的切削速度相对损失为：

$$\Delta v_{\max} = 1 - \frac{n_{j-1}}{n_j} \text{ 或 } \Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{n_{j-1}}{n_j}\right) 100\% \quad (1.4-3)$$

在以旋转运动为主要运动的机床中，其生产率与切削速度成正比 (当其它条件维持不变时)，因此切削速度损失亦将引起生产率的损失。

采用有级变速法不能避免切削速度的损失，但如何使切削速度的损失分配得更合理则是一个应进行研究的问题。

现在世界各国广泛采用几何级数分级法, 即令机床主轴各级转数按照几何级数排列, 每两级相邻转数相差公比 ϕ 倍, 即

$$n_2 = n_1 \cdot \phi, \quad n_3 = n_2 \cdot \phi = n_1 \cdot \phi^2, \quad n_4 = n_3 \cdot \phi = n_1 \cdot \phi^3 \dots$$

$$\dots n_j = n_{j-1} \cdot \phi = n_1 \phi^{j-1} \dots \quad (1.4-4)$$

若 z 为主轴的转数级数, 则 $n_z = n_{\max}$ 为机床主轴的最后一级转数。

$$n_z = n_{z-1} \cdot \phi = n_1 \cdot \phi^{z-1}, \quad (1.4-5)$$

利用几何级数排列主轴转数可使在全部变速范围内各级转数之间的相对最大速度损失 $\Delta v_{\max}$ 为一常数:

由式 (1.4-4)

$$n_j = n_{j-1} \cdot \phi$$

代入式 (1.4-3)

$$\Delta v_{\max(j-1, j)} = 1 - \frac{n_{j-1}}{n_j} = 1 - \frac{1}{\phi} = \text{常数}.$$

图 1.2-2 为主轴转数按照几何级数排列的 $v-d-n$ 图, 由图中可见所有转数间隔 (n_1, n_2)、(n_2, n_3)、 $\dots$ (n_{z-1}, n_z) 内切削速度的最大相对损失为一常数。

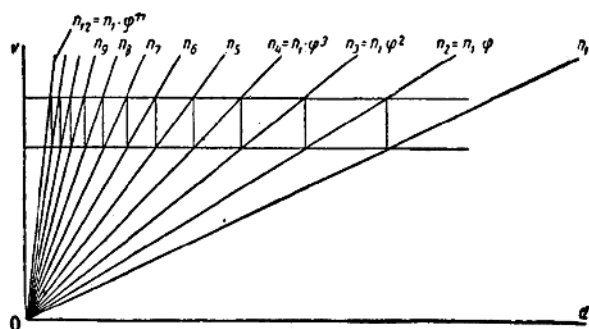


图 1.2-2

各数值的相互关系式: $z, \phi, n_{\min} = n_1$ 和 $n_{\max} = n_z$ 。

由式 (1.4-5) 可得出下式:

$$\phi = \sqrt[z-1]{\frac{n_{\max}}{n_{\min}}} = \sqrt[z-1]{R_n}, \quad (1.4-6)$$

公比 ϕ 的数值已有标准值, 标准公比 ϕ 的数值系根据以下原则规定:

1. 转数与 10 有关, 每一转数值皆为 10 的倍数, 或为 10 的开方值;

即
$$\phi = \sqrt[z-1]{10};$$

2. 转数级数应符合多速电动机的使用, 希望在电机变速后, 转数仍按几何级数排列。

设转数系列 $n_1 \dots n_K \dots n_G \dots n_z \dots$ 。采用如图 1.2-3 所示的传动。电动机为双速电机, 其速度 $\frac{n_{g2}}{n_{g1}} = 2 \left(\frac{3000}{1500}, \frac{1500}{750} \right)$ 。(当为三速电机时, 其速比为 1:2:4, 仍成 2 的倍数。)

设 n_K 为当电机转数为 n_{g1} 、变速箱内传动比为 j 时所得的主轴转数, 而 n_z 则为当电机转数

必须指出, 在机床主轴变速范围内各级转数的使用机会并非相等 (例如中间转数较两端转数使用的次数要多些), 更合理的排列应该是常用的转数排得比不常用的转数更密一些, 而几何级数排列法还难以满足这一要求。

兹列出几何级数中下列

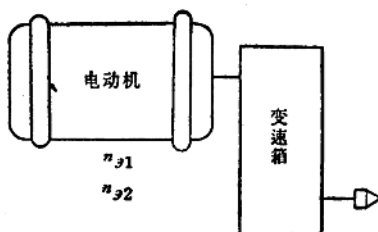


图 1.2-3

为 n_{z2} 、变速箱内传动比仍为 j 时所得的主轴轉数, 因此,

$$n_{\kappa} = n_1 \phi^{\kappa-1} = n_{z1} \cdot j;$$

$$n_z = n_1 \phi^{z-1} = n_{z2} \cdot j.$$

所以

$$\frac{n_{\kappa}}{n_z} = \frac{\phi^{\kappa-1}}{\phi^{z-1}} = \frac{n_{z1}}{n_{z2}} = \frac{1}{2}.$$

即

$$\frac{n_{\kappa}}{n_z} = \phi^{\kappa-z} = \frac{1}{2} \text{ 或 } \frac{n_z}{n_{\kappa}} = \phi^{z-\kappa} = 2.$$

若 z, κ 为正整数, 令 $z - \kappa = E_2$.

则

$$\phi = \sqrt[E_2]{2}.$$

公比 ϕ 按上述关系选择时, 則在应用多速电动机时其轉数仍能按几何級数排列。

根据以上二原則, 公比 ϕ 之值必須是 $\sqrt[E_1]{10}$ 及 $\sqrt[E_2]{2}$ 的根值, 即: $\sqrt[E_1]{10} = \sqrt[E_2]{2}$;

取对数

$$\frac{1}{E_1} \log 10 = \frac{1}{E_2} \log 2.$$

$$E_2 \approx 0.3 E_1 \quad (1.4-7)$$

一般規定 $E_1 = 40; 20; 10; 5$ 。相应的 $E_2 = 12; 6; 3; 1.5$ 。此时公比 ϕ 的数值为:

$$\phi_{40} = \sqrt[40]{10} = \sqrt[12]{2} = 1.06$$

其

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 5\%$$

$$\phi_{20} = \sqrt[20]{10} = \sqrt[6]{2} = 1.12$$

其

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 10\%$$

$$\phi_{10} = \sqrt[10]{10} = \sqrt[3]{2} = 1.26$$

其

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 20\%$$

$$\phi_5 = \sqrt[5]{10} = \sqrt[1.5]{2} = 1.58$$

其

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 40\%$$

由上式中可見, $\phi_{10} = 1.26$ 和 $\phi_5 = 1.58$ 中的速度損失各为 20% 与 40%, 其間間隔过大, 因此在实际应用中又加入:

$$\phi = \sqrt[20]{10} = \sqrt[2]{2} = 1.41$$

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 30\%$$

此外还有:

$$\phi = \sqrt[10]{10} = \sqrt[1.5]{2} = 1.78$$

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 \approx 45\%$$

$$\phi = \sqrt[5]{10} = 2$$

$$\Delta v_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\phi}\right) \cdot 100 = 50\%$$

上述計算的結果可以列成表 1.2-1 如下：

表 1.2-1 机床标准几何級數公比 ϕ 的数值

数值 ϕ	ϕ 的計算公式		最大速度 損失率 $\Delta v (\%)$	数值 ϕ	ϕ 的計算公式		最大速度 損失率 $\Delta v (\%)$
	$\sqrt[5]{10}$	$\sqrt[5]{2}$			$\sqrt[5]{10}$	$\sqrt[5]{2}$	
1.06	$\sqrt[5]{10}$	$\sqrt[5]{2}$	5	1.58	$\sqrt[5]{10}$	$\sqrt[5]{2}$	40
1.12	$\sqrt[4]{10}$	$\sqrt[4]{2}$	10	1.78	$\sqrt[4]{10}$	$\sqrt[4]{2}$	45
1.26	$\sqrt[3]{10}$	$\sqrt[3]{2}$	20	2	$\sqrt[3]{10}$	$\sqrt[3]{2}$	50
1.41	$\sqrt[2]{10}$	$\sqrt{2}$	30				

在标准中規定实际轉数与标准轉数間的誤差不能超过：

$$\Delta n = \frac{n - n_1}{n} = \pm 10(\phi - 1)\% \quad (1.4-8)$$

式中 n ——标准轉数；

n_1 ——实际轉数。

表 1.2-1 中的标准数据不仅可以用作轉数公比 ϕ ，并且也可用作机床制造中的一般数据和其它各种变数、数列的公比。

根据表 1.2-1 的数据可以制成表 1.2-2，表 1.2-2 系用在机床制造方面的标准数列，这个标准不仅用作轉速数列，并且也可以用作机床的进給、动力、主要尺寸及其它变数的标准值。

表 1.2-2 机床制造用的标准数列

公比 ϕ 的数值							公比 ϕ 的数值						
1.06	1.12	1.26	(1.41)	1.58	(1.78)	(2)	1.06	1.12	1.26	(1.41)	1.58	(1.78)	(2)
1	1	1	1	1	1	1	1.7	1.8				1.8	
1.06							1.8						
1.12	1.12						1.9						
1.18							2	2	2	2			2
1.25	1.25	1.25					2.12						
1.32							2.24	2.24					
1.4	1.4		1.4				2.36						
1.5							2.5	2.5	2.5		2.5		
1.6	1.6	1.6		1.6			2.65						
2.8	2.8		2.8				56	56				56	
8							60						
3.15	3.15	3.15			3.15		63	63	63	63	63		63
3.35							67						
3.55	3.55						71	71					
3.75							75						
4	4	4	4	4		4	80	80	80				
4.25							85						
4.5	4.5						90	90		90			
4.75							95						
5	5	5					100	100	100		100	100	
5.3							106						
5.6	5.6		5.6		5.6		112	112					
6							118						
6.3	6.3	6.3					125	125	125	125			125
6.7							132						
7.1	7.1						140	140					
7.5							150						
8	8	8	8			8	160	160	160		160		
8.5							170						
9	9						180	180		180		180	
9.5							190						

(續)

公比 ϕ 的数值							公比 ϕ 的数值						
1.06	1.12	1.26	(1.41)	1.58	(1.78)	(2)	1.06	1.12	1.26	(1.41)	1.58	(1.78)	(2)
10	10	10		10	10		200	200	200				
10.6							212						
11.2	11.2		11.2				224	224					
11.8							236						
12.5	12.5	12.5					250	250	250	250			250
13.2							265						
14	14						280	280					
15							300						
16	16	16	16	16		16	315	315	315			315	
17							335						
18	18				18		355	355		355			
19							375						
20	20	20					400	400	400		400		
21.2							425						
22.4	22.4		22.4				450	450					
23.6							475						
25	25	25		25			500	500	500	500			500
26.5							530						
28	28						560	560				560	
30							600						
31.5	31.5	31.5	31.5		31.5	31.5	630	630	630		630		
33.5							670						
35.5	35.5						710	710		710			
37.5							750						
40	40	40		40			800	800	800				
42.5							850						
45	45		45				900	900					
47.5							950						
50	50	50					1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
53													

注: 1. 这种标准可以应用在转速, 进给, 动力, 尺寸和其他的变数;

2. 大于 1000 和小于 1 的数值, 可将表中数值乘或除以 1000;

3. 转速误差不能超过表中数值的 $\pm 10 (\phi - 1) \%$, 但由异步电动机传动时, 可较同步转速的数值降低 5 %。

§ 1.5 往复运动机床的双行程级数

大部分以往复运动为主要运动的机床, 都以切削刀具或工件来完成往复运动, 并且它的工作行程与返回行程 (多半是空行程) 的速度常常是不相等的, 属于这一类的机床如牛头刨床及龙门刨床、插床、刨齿机、插齿机等。

对于这一类的机床, 因为要考虑反向的惯性力的影响, 其最大切削速度 (工作行程速度) 的调整范围及双行程级数 Z 都要比主要运动为迴转的机床小。

設: L ——行程长度 (米);

n ——每分钟的往复行程数;

$T = \frac{1}{n}$ ——一个往复行程的时间 (分钟);

t ——工作行程的时间 (分钟);

t_0 ——返回行程的时间 (分钟);

v ——切削速度 (米/分);

v_0 ——返回行程速度 (米/分)。

如略去变向所需的时间, 則

$$T = t + t_0 = \frac{L}{v} + \frac{L}{v_0} = \frac{L(v + v_0)}{vv_0}$$

因为

$$T = \frac{1}{n}$$

所以

$$n = \frac{1}{L} \frac{v v_0}{v + v_0} = \frac{v}{L} \frac{1}{v/v_0 + 1} \quad (1.5-1)$$

以 (1.5-1) 式与以旋轉为主体运动的主軸轉数公式 $n = \frac{v}{\pi d} = \frac{v}{d} \cdot \text{常数}$ 相比較可見欲使式 (1.5-1) 中之 $\Delta v_{\max} = \text{常数}$, 只有当以下条件时始有可能:

$$\frac{v}{v_0} + 1 = \text{常数} \quad \text{或} \quad v = v_0 \cdot \text{常数}.$$

亦即返回行程的速度也必須能調節。但在以往复运动为主体运动的机床中所采用的机构往往不能滿足此一条件, 但一般 $0 < \frac{v}{v_0} < 1$ (此值通常在 1~0.5 之間) 故可以认为 $\frac{1}{\frac{v}{v_0} + 1} \approx \text{常数}$, 因此可以认为双行程級数按几何級数排列为合理。

双行程級数的公比 ϕ 也可按前面所述的标准数值选取。

§ 1.6 进給量級数

連續进給量以毫米/秒或毫米/分表示的机床, 其进給量級数一般也应按几何級数排列。

設机床的主軸轉数为 n 轉/分, 进給量为 s 毫米/轉, 則加工长度为 l 毫米的工件所消耗的时间为:

$$t = \frac{l}{n \cdot s} \quad (1.6-1)$$

而机床的生产率:

$$Q = \frac{l}{t} = n \cdot s \text{ 毫米/分} \quad (1.6-2)$$

如主体运动与进給运动都是分級变速, 則机床最大生产率的损失:

$$\Delta Q_{\max(j-1, j)} = \frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_j} = 1 - \frac{(n \cdot s)_{j-1}}{(n \cdot s)_j}$$

由上式可見, 如欲使机床在全部工作范围内最大生产率损失 $\Delta Q_{\max} = \text{常数}$, 則必須使 $\frac{(n \cdot s)_{j-1}}{(n \cdot s)_j} = \text{常数}$, 因此数列 $(n \cdot s)$ 必須按几何級数排列。

根据前面所述, 主軸轉数 n 应按几何級数排列, 故进給量 s 也应按几何級数排列。

即
$$s_j = s_1 \cdot \phi_s^{j-1} \quad (1.6-3)$$

在下列情形时, 进給量級数不按几何級数排列,

1. 切削螺紋或加工齒輪时, 螺距或齒輪模数不按几何級数排列而按等差級数排列。
2. 利用棘輪机构完成周期进給运动的机床 (如刨床、插床), 其进給量由調整棘輪的齿数而定, 是等差級数。
3. 大量生产中所用的自动与半自动机床, 其进給量由交換齒輪調整, 进給量沒有一定規律。

进給量公比 ϕ_s 的标准值与主运动級数公比 ϕ 相同, 一般选择比 ϕ 小一級。

§ 1.7 主軸轉数、双行程数与进給量的选择

在設計机床时, 当主軸轉数或工作台、滑体等的双行程数的极限值 n_1 和 n_2 求得后,