

金屬切削机床 課程設計的几个問題

П. Г. 彼得魯哈講

高等教育出版社



金屬切削机床 課程設計的几个問題

И. П. 彼得魯哈講
馮 鉄 蓀 譯

高等教育出版社

本書为苏联專家彼得魯哈(И. Г. Петруха)1954年在清华大学講課的講稿,專为准备給学生进行机床課程設計而講的,內容仅为机床設計与計算的一部份:变速箱运动計算,以及变速箱內主要零件的設計計算,如皮带、离合器、齒輪、軸、主軸、軸承等。

本書可供高等工业学校学生作机床課程設計时的参考,也可給中等技术学校及工厂設計人員参考。

金屬切削机床 課程設計的几个問題

И. Г. 彼得魯哈講

馮鉄燕譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺7号
(北京市書刊出版業營業許可證出字第054号)

上海洪興印刷厂印刷 新华书店发行

第一书号 15010·204 开本 850×1168 1/32 印張 3 15/16
字數 93,000 印數 7,001—8,500 定价(4) 半 0.80
1958年10月第1版 1959年2月上海第2次印刷

目 錄

第一章	緒論.....	5
§ 1.	金屬切削机床課程設計的目的.....	5
§ 2.	設計的內容.....	5
§ 3.	方法上的說明.....	6
§ 4.	課程設計的分量.....	7
§ 5.	課程設計題目舉例.....	8
第二章	机床課程設計的一般情況.....	9
第三章	運動計算.....	11
第四章	變速箱齒輪齒數的確定.....	21
第五章	皮帶傳動.....	25
§ 1.	概述.....	25
§ 2.	皮帶的材料.....	25
§ 3.	平皮帶傳動的設計與計算.....	27
§ 4.	三角皮帶傳動的設計與計算.....	31
第六章	摩擦离合器.....	36
§ 1.	概述.....	36
§ 2.	多片式离合器.....	36
§ 3.	圓錐式离合器.....	38
§ 4.	閉帶式离合器.....	39
§ 5.	多片式离合器計算舉例.....	39
第七章	齒輪傳動.....	41
§ 1.	概述.....	41
§ 2.	用在机床製造中的齒輪材料.....	41
§ 3.	机床齒輪傳動的技术条件.....	44
§ 4.	齒輪模數的計算.....	47
§ 5.	現有齒輪傳動的核對計算.....	51
§ 6.	圓柱斜齒輪的計算.....	53
§ 7.	圓錐齒輪的計算.....	54
§ 8.	蝸杆傳動及其計算.....	56

(a) 疲勞計算.....	57
(6) 發熱計算.....	59
§ 9. 例題.....	60
第八章 軸和主軸.....	66
§ 1. 概述.....	66
§ 2. 直齒圓柱齒輪傳動作用到軸及軸承上的力.....	68
§ 3. 斜齒圓柱齒輪傳動作用到軸及軸承上的力.....	72
§ 4. 直齒及斜齒錐齒輪傳動作用到軸及軸承上的力.....	75
§ 5. 蝸杆傳動作用在軸承上的力.....	79
§ 6. 皮帶傳動作用在軸上的力.....	82
§ 7. 鏈傳動作用在軸上的力.....	83
§ 8. 軸的強度計算.....	84
§ 9. 軸的剛度計算.....	88
§ 10. 花鍵軸的計算.....	94
§ 11. 主軸計算.....	95
(1) 強度計算.....	98
(2) 剛度計算.....	102
§ 12. 主軸材料及其熱處理.....	104
§ 13. 主軸的技術條件.....	105
第九章 機床主軸及軸的軸承.....	108
§ 1. 軸承的要求.....	108
§ 2. 滾動軸承的优缺点.....	109
§ 3. 滑動軸承的优缺点.....	110
§ 4. 滑動軸承的材料.....	111
§ 5. 摩擦理論簡單介紹.....	112
§ 6. 滑動軸承的計算及例題.....	117
§ 7. 滾動軸承的計算.....	123

第一章 緒論

§ 1. 金屬切削机床課程設計的目的

金屬切削机床課程設計的目的是為了使學生在設計和計算簡單金屬切削机床或其某一部件時具有獨立解決綜合性問題的能力。

金屬切削机床的課程設計是完成這門課程的一項工作。因此，課程設計要求學生首先要很好並全面地掌握“金屬切削机床”這門課程。與此同時，學生要運用自己在專業和普通技術方面的知識：主要是力學、材料力學、機器零件及機械製造工學等課程的知識。

進行課程設計時，應該使學生習慣於全面地利用參考資料、目錄、專門書籍、雜誌及其他等。

課程設計包含有創造性成分在內，所以應當使學生能運用自己所掌握的全部知識和力量來最好地解決設計題目。

課程設計是為了培養學生準備去做畢業設計。

§ 2. 設計的內容

課程設計是要由學生來完成各人自己的題目，獨立設計一簡單的金屬切削机床或其某一部件，也包括運動計算和所設計部件及零件的強度及磨損計算。

課程設計的題目可如下面所列：

- 1) 按已知的技術條件來設計一個部件——這些條件包括：工

件的材料、刀具、工件的各種形狀等。

2) 改造已有機床的型式, 改變速度級數調整的範圍或改變幾何級數的公比“ φ ”。

3) 各種現有型式機床的改進以及其他等。

§ 3. 方法上的說明

在課程設計開始之前, 教員要向同學們解釋做課程設計的目的、任務及形式, 發給每個同學各個不同的設計題目。當第一次向同學指出課程設計的次序及基本內容後, 還要向同學們介紹一個典型的設計例子。但在解釋時, 所有的詳細內容及數學計算都可省略或以做好的方式給出來。在累積了足夠的設計經驗後, 同樣在取得足夠數量的直觀材料後, 可以不必要向同學介紹設計例子, 而介紹同學去找這些材料。

必須要求同學完成所有的圖表工作。所有的技術圖和草圖要求很干淨、規矩、沒有污點、線條均勻並符合於全蘇國家標準(ГОСТ)。

課程設計的題目應該是各人不同的, 並且要符合在該專業中實際的生產情況。題目的複雜程度, 對所有的設計者來說應該是大致相同的。課程設計的最合適對象是車床、轉塔車床、銑床及鑽床的主體運動的傳動。

在學生完成課程設計後, 教員應該仔細地審閱設計工作的質量以及是否符合在題目中所指出的工作分量。在審閱設計時, 教員進行詢問學生關於他自己所作的設計, 以調查學生掌握了多少與設計有關的基本理論材料, 他能否說明所設計部件的草圖及工作原理、裝置次序及結構特點。

做課程設計照例應該在專門的資料室內進行, 資料室應有足夠數量的參考資料和教學材料、技術圖、掛圖、機床的部件和零件。

以及其他直觀材料。

§ 4. 課程設計的分量

課程設計由兩部分組成：

- a) 畫圖部分；
- b) 附有計算的說明書。

畫圖部分大致包括三張圖紙，根据 ГОСТ A1 号 (814×576 公厘) 圖紙內容的配置推荐如下：

第一張：

- a) 全部机床的整个运动圖；
- b) 幅綫圖(用普通或对数坐标)；
- c) 轉速結構圖。

如果幅綫圖及傳動結構圖在第一張圖上放不下，可以把它們画在另外一張較小号的圖紙上。

第二張：

所設計部件的展开圖，比例尺希望是 1:1，註上部件的尺寸、軸承間的距離、軸間的距離。在部件側視圖上表明軸和齒輪的位置分布。作出所設計部件的零件一覽表，附有主要的特点說明(零件名称，材料，ГОСТ 或尺寸)。在必要的情況下，可以在另外一張紙上補充画上部件的其他投影圖，也可画上必要的截面。

第三張：

所設計部件中一个零件的工作圖，附有加工的說明，所有必須的尺寸、公差及配合、材料、热处理等。零件是預先指定的。

說明書应当用鋼筆寫成，其分量大致为 20 頁稿紙，包括：

- 1) 設計题目的原文；
- 2) 所設計的机床的敘述，它的用途，应用范围及結構特点；
- 3) 机床参数的逐个选择，例如：变速級数、驅動功率、頂尖高

度、工作台尺寸及刀具尺寸等；

- 4) 運動圖的選擇及其理由；
- 5) 所設計部件的運動計算，附運動圖及草圖；
- 6) 皮帶驅動的計算；
- 7) 齒輪及軸的強度計算；
- 8) 軸承計算；
- 9) 摩擦离合器計算；
- 10) 機床的潤滑及刀具的冷卻；
- 11) 機床保養規則及安全技術；
- 12) 設計時所用的參考書籍。

上面所列說明書內容的項目是大概的，可以視設計性質的不同而改變。

§ 5. 課程設計題目舉例

1) 改進 TH-20 螺絲車床，以齒輪變速箱代替塔輪皮帶驅動。

2) 設計螺絲車床的變速箱，其頂尖高度 $h=200$ 公厘。

單獨的皮帶驅動。

電動機功率 $N_e=7$ 瓩，其轉速 $n=1440$ 轉/分。

$n_1=125$ 轉/分， $\varphi=1.26$ 。轉速級數 $K=8$ 。

3) 設計立式鑽床的送進箱，最大鑽頭直徑為 20 公厘。

被加工材料：可鉅鑄鐵、鉻鋼及鉻鎳鋼。

4) 設計臥式銑床之送進機構，獨立驅動。主體運動之驅動功率為 10 瓩。

5) 設計轉塔車床的送進機構。主體運動驅動功率為 7 瓩。

6) 改進 ДИП-200 螺絲車床的變速箱。把主軸上的滑動軸承改為滾動軸承。

7) 改進 1A36 轉塔車床的變速箱。把錐式摩擦离合器改為

片式(盤式)离合器,並改变驅動皮帶輪的安裝,使皮帶的張力由变速箱体來承受。

8) 其他等。

第二章 机床課程設計的一般情况

当設計任何机床时,應該大体上預見到所設計机床在今后可能遇到的一些变化。这些变化是使用者按照工藝技術的進一步發展而可能会提出的。当設計特殊的和專門化的机床时,特別重要的是要知道使用者的生產品及相应的工藝过程並要注意这方面技術的發展。机床設計師對使用者的生產情况知道得愈清楚愈好,这样他可以比較全面地考慮到使用者的所有要求及生產進一步發展的远景。在設計为大量生產用的特种及專門化机床时,應該理解到在粗加工時裕量的減少。这是因为用鍛压件代替了軋压件,加压精確鑄件代替了普通鑄件等緣故。加工裕量的減少就提高了所用的切削速度,因而也增加了机床的高速性。与此同时,由於進一步运用和改進切削刀具用的硬質合金,以及改進切削刀具的結構,因而也有必要提高机床的高速性,並大大地增加机床的功率。

着手設計机床时,設計師應該很仔細地考慮及很清楚地想像在机床上工作的全部过程:知道屑末將从那儿排出,冷却液將怎么流,在机床工作时工人將在什么地方。

在設計操縱機構时(手柄、按鈕等),設計師應該將它們安置在最方便的地方。工作台及刀架的引近工作位置及退出应設計为机动的,这可以使工人解除体力負擔。如果在机床上要加工重的零件,那么为了便於安放及取下零件,应規定有吊車。

在設計高生產率的、管理方便的及安全的机床时,設計師不应

該忽略另一个同样重要的問題——机床制造的經濟性。必須力求使制造机床的材料是利用得最合理的，應該使机床既具有必要的強度及剛度而又有最輕的重量。為要達到这个目的，要求設計師有本領進行正确地零件計算，考慮要完全利用材料的全部可能性及其適應於零件在机床中工作具体条件的热处理的全部可能性。在設計机床零件时，不允許有过大而没有必要的強度安全儲备。在拟定机床的运动圖时，應該力求得到尽可能短的运动鏈。这样做一方面可使零件数目最少，因而節省了金屬，減小了尺寸及降低机床的劳动量；另一方面也保證了大的剛度及更高的机床效率。这是因为每一副多余的工作零件，每一个附加的軸承，都会引起能量的损失。当选择驱动用的电动机时，不应採取大的功率安全儲备。

在設計复雜的主体运动、送進、操縱及其他驱动機構时，應該多多考慮並用草圖拟出几种方案——机械的、电气的、液压的及其他的；选择其中最合理的，然后把它完成。

在設計部件或單独的零件时，設計師應該保證結構的工藝性，即零件加工及裝配的方便性。這將使机床容易制造並可降低其成本。為要創造具有工藝性的机床結構，就必須很好的知道机床零件加工及裝配的工藝学，同时要考慮到制造工厂的設備。

設計新机床时，應該尽可能利用标准化的及已統一的零件。如果獨創的机床零件愈少，則制造这种机床愈容易。

至於其詳細理由，我們將在机床課程的第二部分——金屬切削机床的計算及設計——中討論。

現在我們來看看机床設計的具体例子。我們就舉上面提出的第二个例題作为例子，就是：

設計螺絲車床的变速箱，其頂尖高度 $h=200$ 公厘。

單独的皮帶驅動。

电动机功率 $N_e = 7$ 瓩, $n = 1440$ 轉/分, 分級数 $K = 8$ 。

級数公比 $\varphi = 1.26$, 最低轉速 $n_1 = 125$ 轉/分。

第三章 运动計算

首先必須預先作出机床的运动圖來, 就是作出这种機構的傳动系統, 使之能產生所有要求於毛坯及刀具的运动, 还有輔助运动 (快速空程移动, 安裝的运动等等)。

运动圖的答案並不是只有一个。在每一个別情形下, 可能有好几个不同的解决方案。这里必須記住, 就是运动鏈应当尽可能地短, 其原因上面已經說过。

运动圖應該要力求簡單, 它应保證机床自动化的可能性及機構工作的准确性。

最近在主軸轉速很高的高速加工机床上, 採用了以下的主体运动傳动系統运动圖的作圖原則:

主軸的高轉速經過最少數目的變速箱傳动而得到。

主軸的中轉速用附加一套跨輪的方法得到。

主軸的低轉速經過兩套跨輪得到。

这种运动圖中由於在把轉动傳給主軸的过程中和在高轉速时, 使参与傳动的零件及有軸承的軸的數目为最少, 故在主軸变速範圍的高速部分中保證了夠好的效率。

大家知道, 运动鏈的总傳动比 i 可以分解成部分傳动比

$$i = u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdots u_r$$

此处每一个因子 u_i 对应於一个單独的機構, 而指数 i 系代表該機構在运动鏈中的地位 (他的次序號碼), 按照从起始的主动件到最后的被动件的方向計数。这个因子分解可以用不同的方法来

進行。一般說來，在所有可能的分解方法中，對設計方面最有利的
是下述方法。這一方法是把因子 u_i 按大小漸減的次序而排列的，
即

$$u_1 > u_2 > u_3 > \dots > u_k。$$

這時依次被傳動相連的軸的轉速和用其他分解所得的轉速比較起
來具有如下情況：在減速鏈中轉速減少得較慢；而在增速鏈中增加
得較快。這個規則是根據這樣的理由：即在傳動某功率 N 的運動
鏈機構中，其很多零件的尺寸系隨轉速 n 轉/分的減少而增加。例
如軸的直徑 ϕ ，齒輪的尺寸即直徑 D 和寬度 b 以及其他零件的尺
寸等。所以為了減小機床機構的尺寸並節省其製造所用材料起
見，使速度的降低（減速）在所選擇的運動鏈結構中放慢；即在其中
把傳動布置成這樣的次序，使軸轉速減少得尽可能的慢。根據同
樣的原因，在轉速漸增的運動鏈中，有最大傳動比的傳動在運動鏈
中尽可能地靠近其最初的主動件。當分解序列 u_i 的各值之間的
差別不大時，如果預先沒有特別規定的話，它們在運動鏈中所對應
的各傳動實際上也是沒有區別的。假如最有利的傳動分解大大地
使機器的使用或管理變得複雜的話，那麼只好不採用上述的一般
規則。

註：機床主體運動——這是決定或說明切削速度的運動。

傳動比——這是被動軸的轉速對主動軸轉速之比。其
倒數稱為“傳動數”（Передающее число）。

例如，圖 1 系表示三個主軸傳動圖，其中最後一個傳動裝置
(e) 是值得重視的。因為，這時可以容易地用懸梁式方法安裝驅動
皮帶輪。當皮帶輪在別的位置時 (a 及 b 位置)，更換三角皮帶要
困難得多。

通常，運動鏈應該保證使主動件的轉速 n 轉/分 不變而使最末
一個被動件得到不同的轉速—— $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$ 轉/分。這可以用

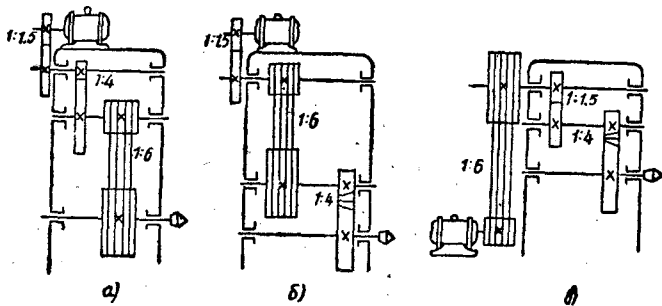


圖 1.

各种方法來做到。譬如可在运动鏈中包括一副軸心距不变的齒輪或皮帶輪的配換傳動。齒輪或皮帶輪保證得到所需的轉速。为此,在偶数的 Z 級变速时,配換齒輪应不少於 Z 个;在奇数的变速級数时,应不少於 $(Z+1)$ 个。如运动鏈中有几套永久傳動的機構,則所需傳動数目就很少可以縮減,特別是在級数很多时。这些傳動給出 Z 个不同的比值:

$$P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_w = Z。$$

所要求的运动鏈傳動比中的每一个傳動比是在一定的这些機構的傳動比的組合下得到的。如果第一套機構的 P_1 个傳動比是用 P_1 对齒輪得到的,第二套機構的 P_2 个傳動比是用 P_2 对齒輪得到的,依此類推;那末在这些機構中齒輪的总数应等於

$$S_k = 2(P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_w)。$$

当总和 S_k 为最小值时,則齒輪的数目將是最經濟的。在这种情形下極限值的确定將導出如下的結果:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \cdots = P_w = P = \sqrt[Z]{Z}。$$

这样,在應該給出 Z 个不同傳動比 i_i 的运动鏈中,这个 i_i 是用預先选好的 W 个永久傳動(非配換的)的機構和几个具有独立变化傳動比 w_i 的機構來造成的。假如傳動的数目在所有 W 套機構中都相等 $\sqrt[Z]{Z}$, 那末傳動的数目將是最少的。

例:

$Z=64$ 級的變速箱, 在有 $W=3$ 個獨立的傳動組的情況下, 如果每組包含 $P=\sqrt[3]{64}=4$ 個傳動, 那麼箱中的齒輪總數將是最經濟的。

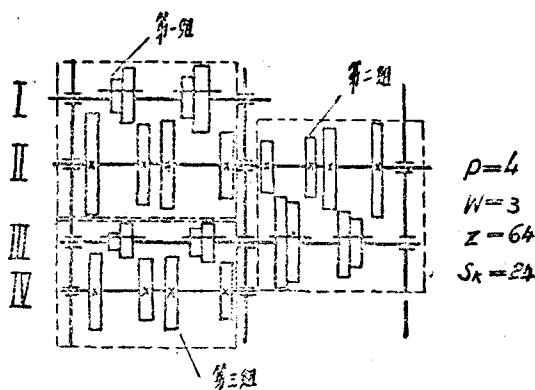


圖 2.

在變速箱或減速器中相鄰兩軸之間傳動的總合稱為一組①。

這裡

$$Z=64=4 \times 4 \times 4$$

及箱內齒輪數

$$S_k=2 \cdot W \cdot P=2 \cdot 3 \cdot 4=24,$$

當在 I 及 II、II 及 III、III 及 IV 軸之間有任何其他永久傳動數目時, 齒輪總數都要較多些。例如當 $Z=64=2 \cdot 4 \cdot 8$ 時, 齒輪數

$$S_k=2(2+4+8)=28.$$

如果事先沒有指定傳動組的數目 W , 因而也沒有指定箱軸之數目 ($W+1$) 那末為了求出兩個參數 P 及 W 之大小, 可以證明在下面條件之下, 箱中齒輪數 S_k 將是最少:

即

$$W=\ln Z$$

及

$$P=e.$$

故

$$S_k=2 \cdot P \cdot W=2 \cdot e \cdot \ln Z.$$

① 參考 Ачеркан Н. С. “Станки и инструмент”, 第二版, 1950 年。

此处 e 为自然对数之底 $P=e \approx 2.7$,

在机床制造实践中,最广泛用的数值为

$$P=2 \text{ 及 } P=3,$$

这不仅从结构方面来考虑是正确的,而且这两个数字也最接近于理论上最有利的数值 $P=e \approx 2.7$ 。

必须注意到,上述规则不适用于那些具有一组由配换传动组成的运动图中。

在拟定运动图时,由于一系列的原因不得不常常放棄上述传动的分布规则、例如:

1) 在重型机床的运动链中,传动分布得愈靠近主轴则它的模数及其他尺寸就愈大。所以常常寧願使靠近驱动轴的传动数多一些,而靠近主轴的少一些。同样,如果在高速加工机床中,由电动机到主轴增速的传动分布情况也常常与上述相反,这种分布从经济上来考虑反而是很合适的。

2) $P=\sqrt[n]{Z}$ 之数值只有在很少的情形下是整数,所以必须使有些 P 的数值向大的方面成为整数,而有些向小的方面成为整数,以便使乘积 $P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_n$ 等於所要求的速度分级数 Z 。

3) 在用于成批或大量生产的专门化机床中,有时也在普通用途的机床中,为要得到必需的主轴或送进速度分级数,除採用永久传动的变速箱外还常常利用配换齒輪或在很少的情形下用配换皮帶輪。在類似情形下,用少量传动数目来組成变速箱较为合适(推荐用 2.3 或 6 个)。这样一来,结构就簡單了——軸数較少,因而在箱体中的花費也較少。同时由于用配换齒輪可更准确地調整到所希望的切削用量;因而机床的运用質量也改進了。这对用在大批和大量生产中的机床特別重要。

皮帶传动不应放在运动链的低速部分中,因为在低速度下(v_p),皮帶传动就工作得不好——皮帶將“拉不动”。此外在传动

同样大小的功率 N 时皮帶的速度 (v_p) 愈低, 則皮帶輪圓周拉力 P 就愈大, 皮帶的寬度也愈大。因 $P = \frac{102 N}{v_p}$ 。

有时运动鏈最后件 (被动件) 的运动系等於兩個运动之和; 在此种情形下, 在运动鏈中適当地位, 應該規定有差动裝置或其他按照相似的原理工作的裝置。

如果机床中某一部分應該在一个循环的不同時間通过不同的运动鏈以獲得运动, 而且被隔开的运动又不應停止, 那就必須在每個运动鏈中安裝嚙合离合器, 或在它們之間裝上超越离合器。超越离合器和其他型式的嚙合离合器比較; 其优点为它的动作是自动化的。

在我們例題中速度分級数为:

$$Z=8.$$

这系对应於下列結構公式:

$$8=2 \cdot 2 \cdot 2=2 \cdot 4,$$

我們採用前一个結構公式, 即用三組齒輪, 每組兩個齒輪。而且齒輪在运动上是自由的 (或不是公用輪)。这就是說機構中的每一齒輪在任意轉換之下, 或僅为主动輪, 或僅为被动輪, 因而这时最少的齒輪数等於

$$S_k=2(P_1+P_2+P_3)=2(2+2+2)=12,$$

这时箱中的軸数等於 4。採用下面形式的运动圖 (圖 3)。

在运动圖上, 應該註明皮帶輪的直徑及齒輪的齒数, 为此必須定出傳動比來。这可以用兩種方法來做到:

- 1) 計算方法;
- 2) 圖解方法。

第二种方法之优点为:

- a) 可以很快找到解決的可能方案;