

哈爾濱工業大學講義

金屬切削機床設計

機床刀具教研室
孫靖民編



1955

編 者: 機 床 刀 具 教 研 室
孫 靖 民
出版者: 哈 爾 濱 工 業 大 學

印刷者: 哈爾濱工業大學印刷廠

1 9 5 5 年 月

前 言

本講義係根據蘇聯專家阿·尼·赫里可夫對我校機床刀具專業組四年級學生的講課內容，並參考我國及蘇聯的有關書刊編寫而成。鑒於目前我國缺乏必需的參考資料，特在講義中編入一些計算用的參考資料及某些機構工作原理的說明，這些部份都用小字排印，在課堂中可不講授。

講義分上下兩冊。上冊的內容是機床的運動設計及主要部件的設計問題，下冊主要是機床的主要零件及操縱系統和冷卻潤滑系統的設計問題。

限於編者的科學技術水平及教學經驗，缺點與錯誤在所難免，望讀者指正，以便修改。

哈爾濱工業大學機床刀具教研室

1955年 月

目 錄

第一章	緒 論	1
§1.	近代機床製造的發展趨勢	1
§2.	機床設計的基本任務	3
§3.	設計機床的步驟	5
第二章	決定設計機床的基本技術特性	7
§1.	決定主要運動為迴轉的機床的主軸轉數（適用於通用機床）	7
§2.	決定主要運動為往復（直線）運動的機床的雙行程數	12
§3.	走刀量數級	13
§4.	選擇轉數（雙行程數）調整範圍 R_n	14
§5.	決定機床的傳動動力	14
第三章	擬訂機床的傳動系統	20
§1.	設計傳動系統的一般要求	20
§2.	決定傳動系統（鏈）中各傳動副的傳動比	21
§3.	決定傳動鏈中齒輪的齒數	36
第四章	床身及導軌	43
§1.	床身	43
§2.	導軌	48
§3.	工作台、溜板等	70
第五章	機床上的皮帶、鏈條、輪齒及蝸輪傳動	72
§1.	機床上的皮帶傳動	72
§2.	機床上的鏈條傳動	78
§3.	機床上的齒輪傳動	83
§4.	機床上的蝸輪傳動	89
第六章	機床的變速箱和走刀箱	98
§1.	機床的變速箱	98
§2.	機床的走刀箱	105
§3.	機床上的快速走刀機構	111'
第七章	機床上的無級調速裝置	113
§1.	機床的無級調速裝置的構造	114
§2.	加大機械無級調速裝置的調速範圍的方法	118
§3.	機械無級調速裝置的計算	122

第一章 緒 論

§1.. 近代機床製造的發展趨勢

要設計符合於近代機械製造要求的新機床，首先必須明確近代機床製造的發展趨勢；機床製造的發展趨勢決定於機械製造的發展方向。

近代機械製造的發展方向是：一方面降低產品成本，另一方面儘可能減輕工人的勞動。降低產品成本的一個主要途徑是在保證質量的條件下，儘可能的提高生產率，亦即在保證必須的和足夠的加工精確度和表面光潔度的條件下，儘可能地提高生產率。

對單件生產率來說，它可理解為單位時間內所完成的製件數量。若 T 為加工每一製件所需的時間，則生產率

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_x} \text{ 件/分} \dots\dots\dots (1)$$

式中

Q ——單件生產率，單位為件/分；

T ——加工每一製件所需的時間，單位為秒；

t_p ——工作行程（切削）時間，即直接用在切削工件上的時間，單位為秒；

t_x ——空刀行程，如用在進刀、退刀、裝卡工件等上所需的時間，單位為秒。

從（1）式可知，提高生產率可從縮短切削時間 t_p 着手，縮短 t_p 可用提高切削速度、加大走刀量及加深吃刀量的辦法。

吃刀量（ t ）受加工裕量的限制。必須指出，為了節省材料，應從毛坯製造方面設法，避免留過大的加工裕量。

目前走刀量（ S ）因應用科列索夫和烏納諾夫車刀的結果，已達 6—10公厘以上，在加工有色金屬時還可更高。例如，在銑床上銑鋁時，工作台速度已達 3800—7600公厘/分以上。

在對提高切削速度（ V ）方面，今天已有顯著的成就。例如，車鋼時已應用到 1880公尺/分的切削速度；銑鋼時可達300—350公尺/分，銑有色金屬時甚至已達6000—7000公尺/分；用硬質合金車刀的高速銑螺絲（旋風切削法）已達 200公尺/分；鉋削也已達90—120公尺/分。

顯然，如果不斷改進刀具幾何形狀（科列索夫和烏納諾夫車刀即其一例）及製造刀具的材料，則切削速度和走刀量還將繼續提高。

提高切削速度通常可理解為提高機床主軸的轉數或工作台的往復行程數。目前，車床的主軸轉數已達6000轉/分；銑床已達 15000 轉/分；鑽床及磨床已達80000—100000轉/分。

由於高速切削和加大走刀量普遍地用於粗加工，所以提高切削速度和加大走刀量的結果大大增加了加工時的切削力（此力有時大到幾十噸），因而，必須要提高機床的傳動動力。

提高生產率應該在保證質量的基礎上進行。因此，要在保證加工精確度及表面光潔度的條件下提高切削速度及走刀量，必須提高對機床剛度及抗振性的要求。

提高機床的剛度及抗振性，不能簡單地加大機件的斷面尺寸和重量，而須從節省材料的原則出發，儘可能應用結構方面的辦法。如合理分佈剛筋，正確設計另件的斷面，使之與作用力的分配和方向相適應（參考圖 1）；

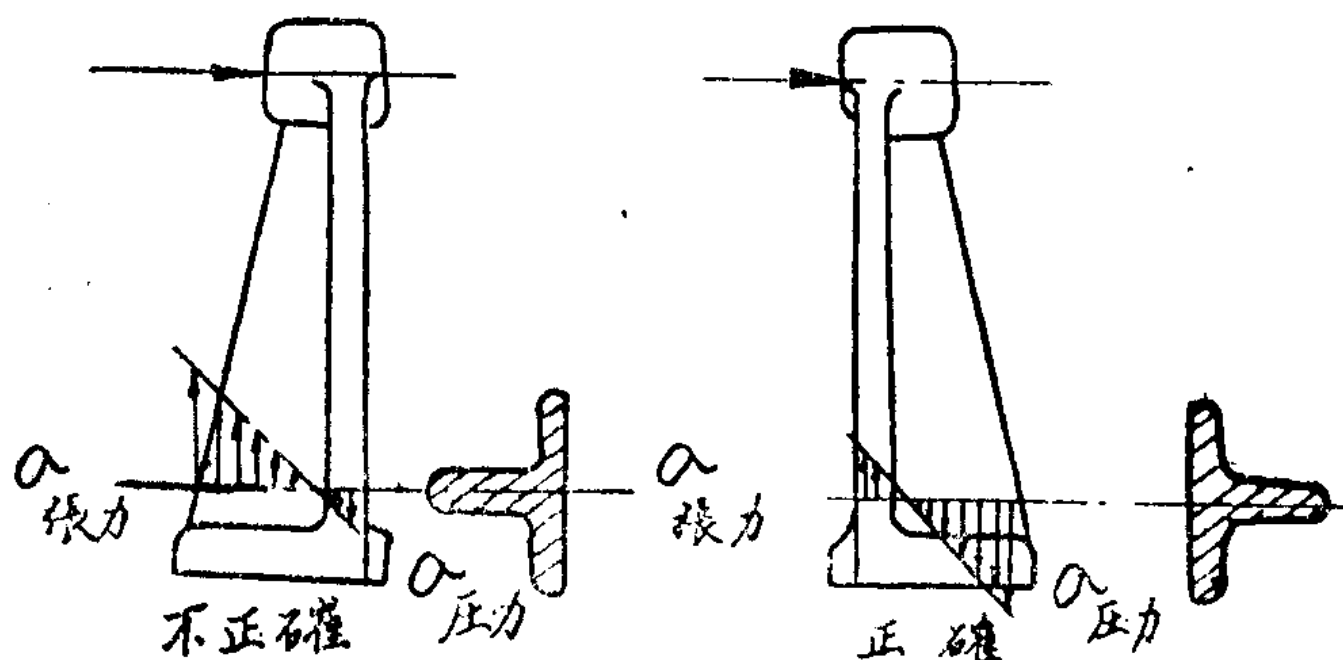


圖 1

利用附加另件來提高基本另件的剛度，儘可能採用整體另件，減少另件的自由長度及另件接觸處的餘隙；高轉速的另件須進行動力平衡試驗等。

假定(1)式中的 $t_x = 0$ ，即工作時全部的時間都用在切削上，當然，這是最理想的情形。此時，所獲得的生產率為理想生

產率，即

$$Q_{\phi} = \frac{1}{t_p} \dots \dots \dots (2)$$

式中

Q_{ϕ} ——理想生產率，單位為件/分

自(2)式得

$$t_p = \frac{1}{Q_{\phi}} \dots \dots \dots (3)$$

將(3)式代入(1)式，則得

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_{\phi}} + t_x} = Q_{\phi} \frac{1}{1 + Q_{\phi} t_x} \dots \dots \dots (4)$$

自(4)式可知，單件生產率 Q 並不與理想生產率 Q_{ϕ} 成直線比例，亦即縮短切削加工時間 t_p ，並不是在所有的情況下都是提高生產率的。若(4)式中的 $Q_{\phi} t_x$ 之值比 1 大得多，以致 1 可以略去，則(4)式可寫為

$$Q \approx \frac{Q_{\phi}}{Q_{\phi} t_x} = \frac{1}{t_x} \dots \dots \dots (5)$$

這就是說，當 t_x 很大時，則生產率與 t_x 成反比。所以，欲提高生產率，則在縮短 t_p 的同時，還必須縮短 t_x 。

在社會主義性質的企業中，縮短 t_x 的辦法是機床工作的自動化。

機床工作自動化以後，則工人花在照管此類半自動或自動機床上的時間減少。因此，有可能實行多機床照管。這種同類的多機床照管的缺點是：第一，各單軸機床皆佔同等的生產面積；第二，工人經常往返在各機床之間，因而易疲勞。

為了避免上述缺點，將同類的單軸機床合併製造成多軸（自動及半自動）機床。

機床工作的自動化可藉機械裝置、電力裝置、液壓裝置、氣壓裝置及上述各種裝置的組合來完成。應用電力裝置和液壓裝置可以將機床的構造簡化，同時，調整也方便。

這可以降低機床本身的成本，也可提高生產率。此外，因為電力裝置及液壓裝置不需製造廠自己製造，則掌握機床的生產快而且容易，因而也縮短機床的設計和製造時間。

縮短機床的設計和製造時間的另一重要辦法是採用組合設計原理，即採用標準的組合部件，這種組合部件由專門工廠生產。

機床工作自動化的進一步發展是機床自動作業線。在自動機床及自動作業線中工作的工人勞動條件比在普通機床上優越得多。

因此，提高切削速度和加大走刀量，提高切削動力，使機床工作自動化是機床製造的基本發展方向。在體現這一基本方向的同時，必須貫徹下述要求：

1. 相對地提高特種機床的比重——我國的工業生產已逐步向專業化過渡，因而有條件和必要採用特種機床，因為特種機床的構造簡單、生產率高、對工人的技術水平要求較低。
2. 設計製造複合機床，應力求另件製造過程中許多工序集中在一部機床上完成。應用這樣的機床，可以節省生產面積、減少工人的數量、降低對車間內搬運的要求等。
3. 提高精密機床的精確度，以提高產品質量。
4. 注意移棄切屑的問題，以適應高速切削的需要。
5. 儘可能縮小機床的外圍尺寸，以節省生產面積。
6. 機床結構的配置應力求能應用於自動作業線中。
7. 構造上應符合安全技術的要求，並能減輕工人的勞動強度。
8. 注意機床外形的美觀。

§2. 機床設計的基本任務

我國機床設計者的任務是非常艱巨的。因為目前，我國設計人員數量極少，設計經驗缺乏，而我們必須要在短期內掌握大量的新式的機床設計，並加以使用。同時，還須根據我國的實際情況，改裝舊有的設備，以充分發揮設備的潛在能力，來適應我國向社會主義工業化過渡的建設需要。因此，在機床設計工作中的基本任務是：

1. 改裝現有通用機床，使之能在成批或大量生產中擔當特殊機床的任務。
2. 改進現有機床的設計，以滿足提高生產率改進使用質量的要求。如提高轉速（雙行程數）、動力、剛度、抗振性等；根據實際需要擴大或縮小機床的技術性能；使工作自動化，創造多機床照管的條件；減少機床製造的困難程度；節省材料等。
3. 以已經投入成批生產的機床為基礎，設計製造新型號的機床，即用改進基本型號機床的設計的方法，設計製造新型號機床。
4. 設計製造新型號機床，即設計製造前所未有的新機床，以適應新產品生產的需要。

在進行上述改裝、改進設計、設計製造時，須時刻參考下列的設計原則：

1. 儘可能採用電力、液壓及空氣傳動設備，以提高自動化的可能性及減少機床構造的複雜性。
2. 在條件許可下，儘量節省材料，尤其是貴重的金屬材料（參考圖 2）。
3. 機床另件的構造必須製造簡單、裝配方便、修理容易（參考圖 3）。

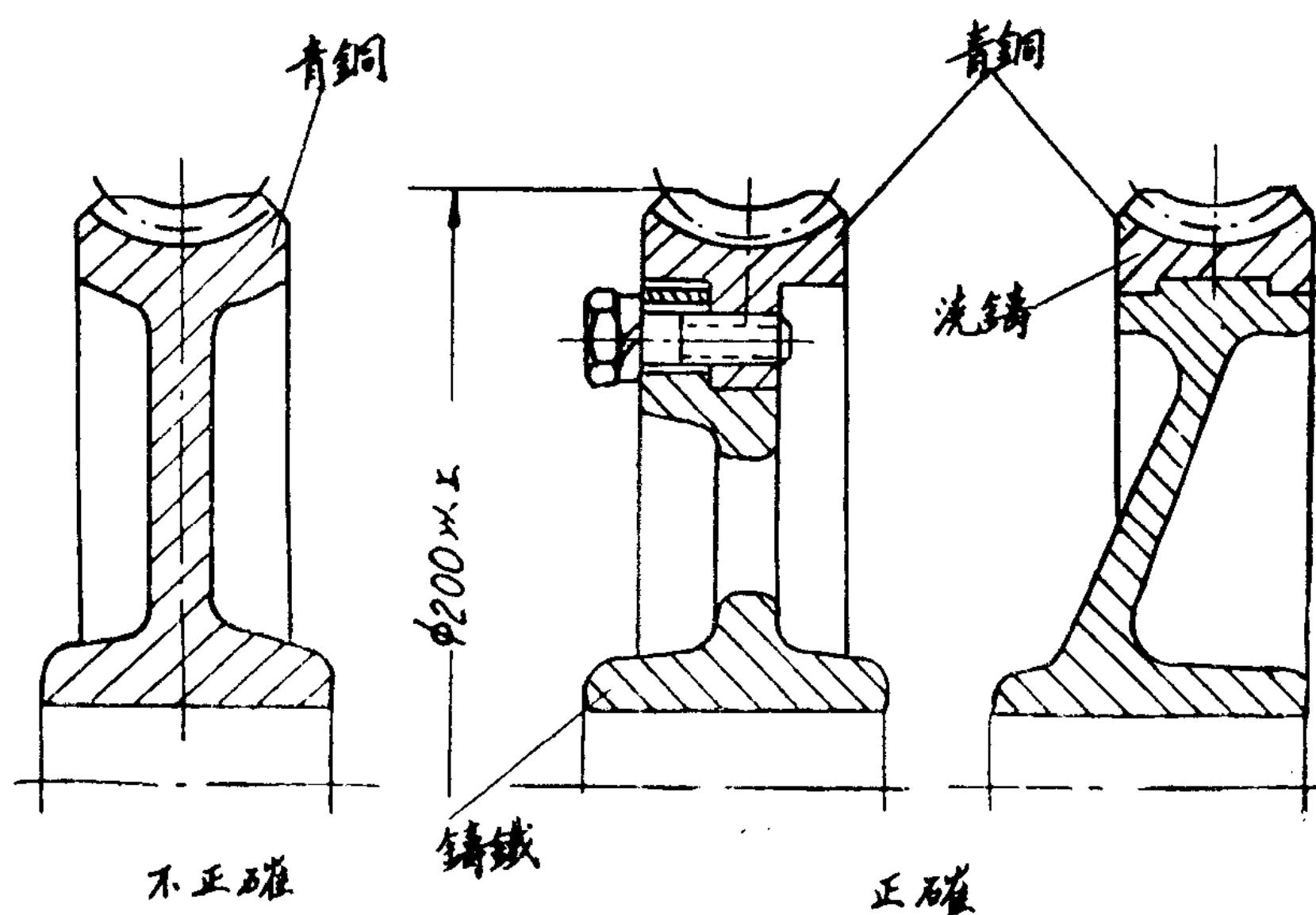


圖 2

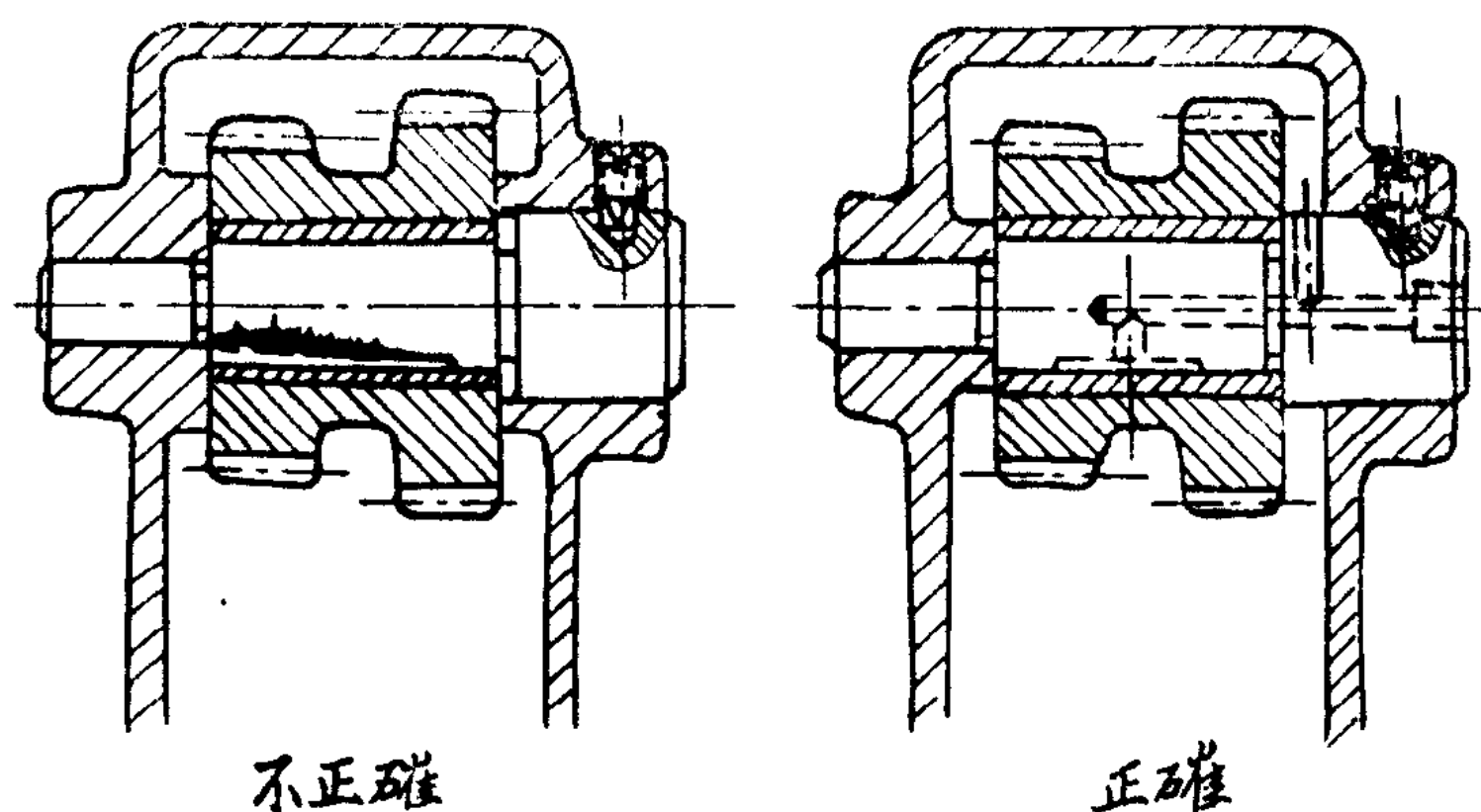


圖 3

4. 儘量採用標準另件、部件、以縮短設計和製造的時間，並降低機床的成本。

由於機床的用途、類型及組合方式（如臥式、立式等）不同，機床的另件、部件實際上不可能祇有一個典型的構造。不過，仍然可以歸納出一套典型來。因此，在設計時，須儘量避免採用新奇的構造；即使需要進行新的設計，也應以典型構造為基礎進行必要的修改。

5. 機床的操縱及照管方便，周密考慮安全技術問題，以避免工人和調整員的人身事故並減少其疲勞。

設計工作者必須認識：沒有在任何場合下皆能套用的機床設計規則供參考。例如，在各式機床上加工的另件，除了材料不同、形式不同、尺寸不同以外，其精確度和光潔度的要求不同，生產的規模也不同。這就要求有特殊的、最適合於各該另件加工需要的機床。為適應如此廣濶的需求，則機床不但在類型上要多，在重量和傳動動力上也相差極大。如精密儀器製造用的機床的重量常為3—4公斤，其動力在0.1—0.15仟瓦，很少

到 1 仟瓦的；重型立式車床的重量有到 1800 噸，其總動力往往在幾百仟瓦左右。在設計尺寸和動力如此懸殊的機床時，當然應有不同的辦法。此外，在設計重型與中型機床間精加工與粗加工機床間的方法也有不同。因此必須分別對待。這就要求在進行設計時，首先應分析設計任務，然後搜集能滿足機床要求（包括所完成的運動特性及精度等）的另件加以組合，再分析各種組合的方式。最後，選擇一個最適合的組合方式，即最現代化的構造。必須指出：即使是現有的最好的最新的構製，也要逐漸變舊、變為不太適合的。因此，也要為新的、更合理的構造所代替。所以，設計時必須批判地採用現有的構造方式、現行規格、標準及計算方法。祇有這樣才能設計出現代化的構造和在經濟上及工藝上合理的機床。

在選擇機床的構造時，還必須考慮需要者的要求及製造該機床的工廠的生產情況。

選擇機床的構造是用比較的辦法，比較其技術經濟指標。

機床的技術經濟指標最主要的是：

1. **生產率**——機床的類型不同，則比較生產率的標準不同。因此有用於比較粗加工機床的切削生產率，即用單位時間內機床所切下的切屑的重量為比較標準；比較精加工機床時用表面形成生產率，即用機床在單位時間內所加工的表面面積為比較標準；比較自動及半自動機床用單件生產率，即用單位時間內在機床上所完成的製件數目為比較標準。此外，尚有絕對生產率，即用機床所消耗的平均有效動力為比較標準。不是在所有情況下用上述的辦法比較不同類型機床的生產率都能正確地反映機床的基本性能，因此，現在設計新機床或改裝機床時多用機床生產能力特性圖解（參考金屬切削原理）。

2. **機床的加工精度**——對於高速（精密）機床特別重要。機床的精度因機構的傳動精度、另件的製造和裝配精度等因素而定。

3. **自動化程度**——對自動及半自動機床特別重要。用機床的自動工作時間與整個加工循環總時間的比表示。此比值約在 0.5—0.995 之間。

輔助的技術經濟指標有：

1. **機床構造的工藝性**——由需要加工的表面數目及其複雜性決定。

2. **機床構造在材料消耗上的有效性**——用單位切削動力相當的機床重量代表。通用機床的值約為 250—300 公斤/仟瓦。

3. **機床的外形及其結構形狀。**

§3. 設計機床的步驟

在設計機床之前，設計者接到『設計任務書』設計任務書中載明在所設計的機床上加工的另件及其精度要求和生產率。

根據設計任務書，訂『技術任務書』。技術任務書中應包括：

1. 機床用途及其應用範圍；

2. 設計、製造新型號機床的根據；

3. 分析與所設計的機床同類型的現有較好的機床的特點。根據這種分析說明採用何種機床為所設計的新機床的設計基礎。

技術任務書做好並經過批准後，即進行草圖設計及技術設計。

草圖設計及技術設計主要包括兩部份，即：

1. 傳動設計——決定機床的傳動系統；
2. 動力設計——決定機床主要傳動件的尺寸。

此外，在技術設計中還要有一份簡短的設計說明書及標準件明細表等。

最後，進行『工作圖設計』，其中包括另件工作圖及部件裝配圖的設計。

第二章 決定機床的基本技術特性

技術設計主要是運動設計和動力設計。這兩項設計必須根據機床的執行件（工件或刀具）的工作速度及機床的傳動動力進行。

§1. 決定主要運動為迴轉的機床的主軸轉數（適用於通用機床）

當機床的主要運動為迴轉時，如車床、銑床、鑽床、鏜床等，用下式求其主軸的極限轉數 $n_{\max}$ 和 $n_{\min}$ ：

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot d_{\min}} \dots\dots\dots (6)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi d_{\max}} \dots\dots\dots (7)$$

式中最大和最小的切削速度 $V_{\max}$ 和 $V_{\min}$ 是根據所用的刀具自切削用量手冊中選擇出來的。

$d_{\max}$ 根據車床的中心高、銑刀的最大直徑及加工孔的最大直徑等決定。可取 $\frac{d_{\max}}{d_{\min}} = 5$ （ЭНИМС取 $\frac{d_{\max}}{d_{\min}} = 4$ ）求出 $d_{\min}$ 之值。

所求出的極限轉數值之比稱為主軸轉數調整範圍或簡稱轉數調整範圍，用 $R_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$ 表示。

為了保證在任意直徑時能選用最合理的切削速度進行加工，必須應用無級調速的傳動，使機床主軸能獲得自 $n_{\min}$ 至 $n_{\max}$ 間的任意轉數。但目前尚有很多原因限制無級傳動的廣泛應用。因此，在近代機床上主要仍採用有級傳動機構來實現 $n_1 = n_{\min}$ ， $n_2, n_3, n_4, \dots, n_K, \dots, n_z = n_{\max}$ 主軸轉數級。顯然，此時不能在任意的 V 和 d 值下選用最理想的主軸轉數進行加工。因此，應選用生產率的損失為常數的轉數級數的排列。能滿足這種要求的轉數級數列在1876年已為俄國學者科學院士格達林（Гадолин）證明應為幾何級數的排列。

$V = \frac{\pi d n}{1000}$ 式當 $n = \text{Const}$ 時，在直角座標 (d, V) 系中是一個通過原點的直線方程式，它與橫座標成交角 $\alpha = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\pi n}{1000} \right)$ ，如圖4。

今有直徑為 d 的工件或刀具，根據計算的結果，需用最合理的切削速度 V ，其相當的轉數為 n 。機床上祇有 n_K 及 n_{K-1} 。顯然，當刀具耐用度受限制時，祇能取 n_{K-1} ，因而產生切削速度的損失 ΔV 。當 n 超近於 n_{K-1} 但仍大於 n_{K-1} 時，損失為最小； n 超近於 n_K 但仍小於 n_K 時，損失為最大。所以切削速度的最大損失

$$\Delta V_{\max} \frac{AC - BC}{AC} = \frac{V_K - V_{K-1}}{V_K} = 1 - \frac{V_{K-1}}{V_K} \dots\dots\dots (8)$$

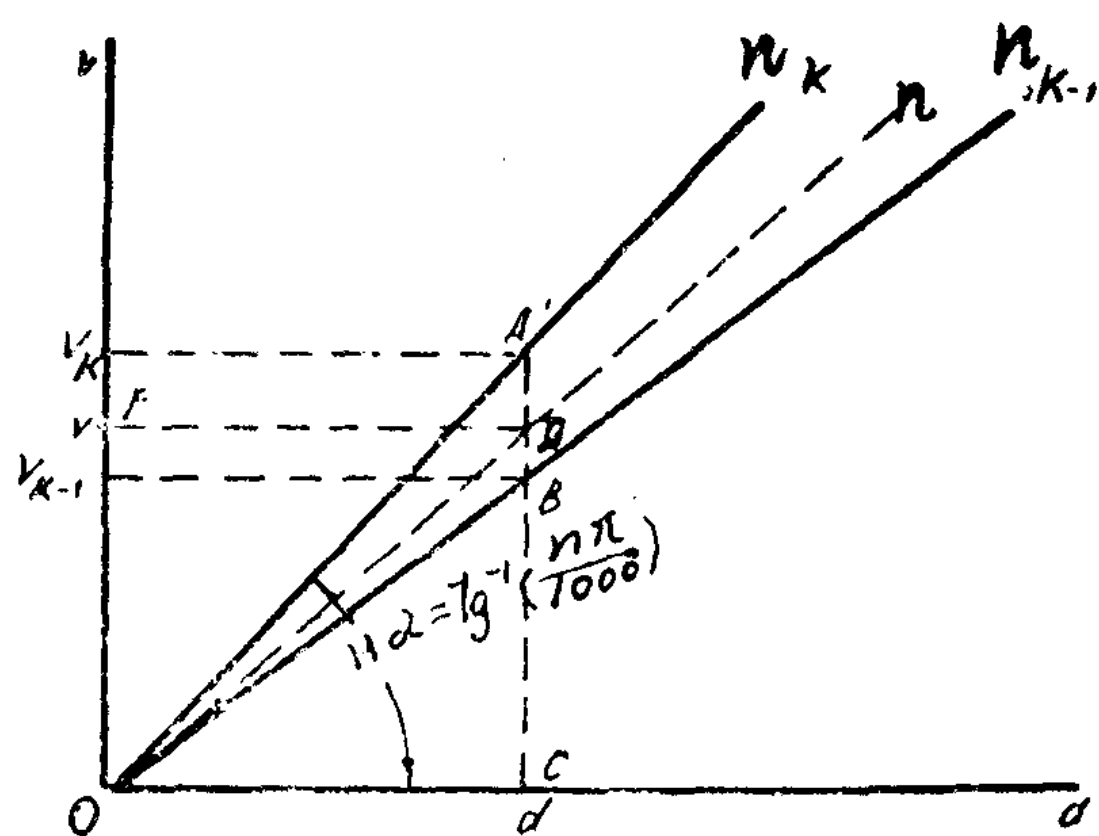


圖 4

因爲

$$\left. \begin{aligned} V_K &= \frac{\pi d n_K}{1000} \\ V_{K-1} &= \frac{\pi d n_{K-1}}{1000} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

所以

$$\Delta V_{\max} = 1 - \frac{V_{K-1}}{V_K} = 1 - \frac{n_{K-1}}{n_K} \dots\dots\dots (8a)$$

生產率的損失與切削速度的損失成正比例，所以 (8a) 式也反映着生

產率的最大損失。若此切削速度的最大損失在任何兩速度間皆相同，則仍可改善機床的使用特性。因此，必須

$$\Delta V_{\max} = 1 - \frac{n_{K-1}}{n_K} = \text{Const} \dots\dots\dots (8b)$$

或

$$\frac{n_{K-1}}{n_K} = \text{Const} = \frac{1}{\varphi} \dots\dots\dots (10)$$

即

$$n_K = n_{K-1} \varphi \dots\dots\dots (10a)$$

φ 稱爲轉數級數的公比。將此值代入 (8a) 式則得

$$\Delta V_{\max} = 1 - \frac{1}{\varphi} = \frac{\varphi - 1}{\varphi} \dots\dots\dots (8b)$$

從 (8b) 和 (10a) 兩式可以看出幾何級數排列的優點。

1. 生產率的損失祇與 φ 有關，與主軸轉數範圍的始末無關。
2. 很容易決定中間轉數，

$$\left. \begin{aligned} n_1 &= n_{\min} \\ n_2 &= n_1 \varphi; \\ n_3 &= n_2 \varphi = n_1 \varphi^2; \\ n_4 &= n_3 \varphi = n_1 \varphi^3; \\ &\dots\dots\dots \\ n_Z &= n_{\max} = n_1 \varphi^{Z-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

式中 Z 爲轉數數目。

$$\text{因爲 } R_n = \frac{n_Z}{n_1} = \frac{n_1 \varphi^{Z-1}}{n_1} = \varphi^{Z-1}$$

所以

$$\varphi = \sqrt[Z-1]{\frac{n_Z}{n_1}} = \sqrt[Z-1]{R_n} \dots\dots\dots (12)$$

同樣可得

$$Z = 1 + \frac{l_g \frac{n_z}{n_1}}{l_g \varphi} = \frac{l_g (\frac{n_z}{n_1} \cdot \varphi)}{l_g \varphi} \dots\dots\dots (13)$$

或

$$Z = 1 + \frac{l_g R_n}{l_g \varphi} = \frac{l_g (R_n \cdot \varphi)}{l_g \varphi} \dots\dots\dots (13a)$$

轉數數目計算出來後，須取與其值相近的整數。

3. 應用幾何級數，則在設計時選齒輪的傳動比較簡單。

φ 的 標 準 值

若將切削速度的損失用百分比表示，則

$$\Delta V_{\max} = \frac{\varphi - 1}{\varphi} \cdot 100\% \dots\dots\dots (8\Gamma)$$

假定切削速度的最大允許損失限制為50%，則 $\frac{\varphi - 1}{\varphi} \cdot 100 = 50$ ，即 $\varphi = 2$ 。此外， $\varphi > 1$ ，因為 $n_1, n_2, n_3 \dots\dots\dots$ 為上昇的數列。因此

$$1 < \varphi \leq 2 \dots\dots\dots (14)$$

在此範圍內，並根據下列原則，取標準的φ值。

1. 轉數級為十進位，每一轉數值皆為10的倍數或10的開方根值，即

$$n_j = n_{j-1} \varphi = n_j \varphi^{j-1} = 10^a n_j \dots\dots\dots (15)$$

由此可得

$$\varphi = \frac{j-1}{a} \sqrt{10} = E_j \sqrt{10} \dots\dots\dots (16)$$

蘇聯國家標準OCT3530中有

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \sqrt[40]{10} = 1.06 \\ \varphi &= \sqrt[20]{10} = 1.12 \\ \varphi &= \sqrt[10]{10} = 1.26 \\ \varphi &= \sqrt[5]{10} = 1.58 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (16a)$$

2. 機床傳動中常用多速級電動機，而電動機換速後轉數仍為幾何級數的排列。

假定須要獲得轉數列 $n_1 \dots\dots\dots n_K \dots\dots\dots$

$$n_g \dots\dots\dots n_z \dots\dots\dots (17)$$

採用如圖5的傳動。

$$\text{通常 } \frac{n_{\varphi 2}}{n_{\varphi 1}} = 2 \left(\frac{3000}{1500}; \frac{1500}{750} \right) \text{ 當為三速級電}$$

動機時，則電動機轉數之比為1:2:4（仍為2進位）。

由於電動機的上述比例關係，則轉數列中自 n_1 至 n_K 用 φ_1 獲得，而自 n_g 至 n_z 用 φ_2 獲得。

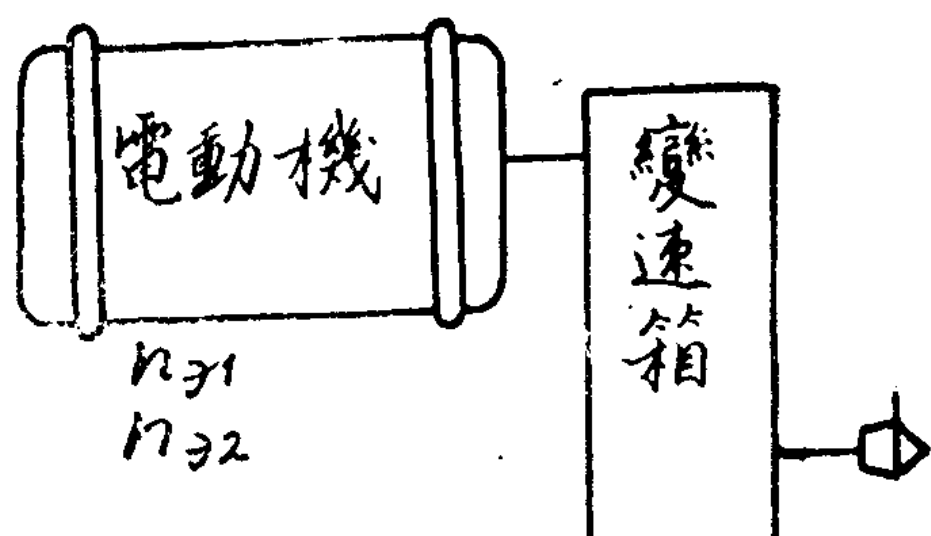


圖 5

若取變速箱的傳動比為 j ，則

$$n_K = n_1 \varphi^{K-1} = n_{\vartheta_1} j \dots \dots \dots (18)$$

$$n_q = n_1 \varphi^{q-1} = n_{\vartheta_2} j \dots \dots \dots (18a)$$

$$\frac{n_K}{n_g} = \frac{\varphi^{K-1}}{\varphi^{q-1}} = \frac{n_{\vartheta_1}}{n_{\vartheta_2}} = \frac{1}{2} \dots \dots \dots (19)$$

或

$$\frac{n_K}{n_g} = \varphi^{K-q} = \frac{1}{2} \dots \dots \dots (19a)$$

$$\frac{n_g}{n_K} = \varphi^{q-K} = 2 \dots \dots \dots (19b)$$

式中 q 和 K 為任意整數，若令

$$q-K = E_2 \dots \dots \dots (20)$$

則

$$\varphi = E_2 \sqrt[2]{\dots} \dots \dots (21)$$

根據此關係式選擇的 φ 值，即可使轉數列在應用多速級電動機時仍為幾何級數排列。

$$\text{因為 } \varphi \text{ 之值必須是 } E_1 \sqrt[10]{\dots} \text{ 和 } E_2 \sqrt[2]{\dots} \text{ 的根值，則 } E_1 \sqrt[10]{\dots} = E_2 \sqrt[2]{\dots} \dots \dots (22)$$

取對數得

$$\frac{1}{E_1} \lg 10 = \frac{1}{E_2} \lg 2 \dots \dots \dots (22a)$$

因此

$$E_2 = 0.3010 E_1 \dots \dots \dots (23)$$

或

$$E_2 = \frac{3}{10} E_1 \dots \dots \dots (23a)$$

如此則得

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

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 100 = 5\%$$

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

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 100 = 10\%$$

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

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 200 = 20\%$$

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

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = \left(1 - \frac{1}{\varphi}\right) \cdot 100 = 40\%$$

..... (166)

從 (166) 式中可知 $\varphi = 1.26$ 和 $\varphi = 1.58$ 的損失為 20% 和 40%，其間的間離太大。因

而在實用中加入

$$\varphi = \sqrt[3]{10} = \sqrt{2} = 1.41,$$

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = (1 - \frac{1}{\varphi}) \cdot 100 = 30\%$$

此外尚有

$$\varphi = \sqrt[4]{10} = \sqrt[2]{2} = 1.78,$$

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = (1 - \frac{1}{\varphi}) \cdot 100 = 45\%$$

$$\varphi = \sqrt{2} = 2,$$

$$\text{其 } \Delta V_{\max} = (1 - \frac{1}{\varphi}) \cdot 100 = 50\%$$

..... (16Γ)

所以在H11—1的標準中，標準的 φ 值為

$$\varphi = 1.06, 1.12, 1.26, 1.41, 1.58, 1.78, 2.$$

此外，在H11—1標準中還有標準轉數。實際轉數與標準轉數間的誤差不能超過

$$\Delta n = \frac{n - n_1}{n} = \pm 10 (\varphi - 1) \% \quad \text{..... (24)}$$

式中

n ——標準轉數；

n_1 ——實際轉數。

選擇 φ 和 Z 的值

在 $R_n = \varphi^{z-1}$ 式中，雖 R_n 為已知，但 φ 和 Z 為未知數。因此必須加以選擇。 φ 愈小， Z 愈大（如圖 6 的曲線所示），則變速箱愈複雜，但切削速度的損失 $1 - \frac{1}{\varphi}$ 愈小。

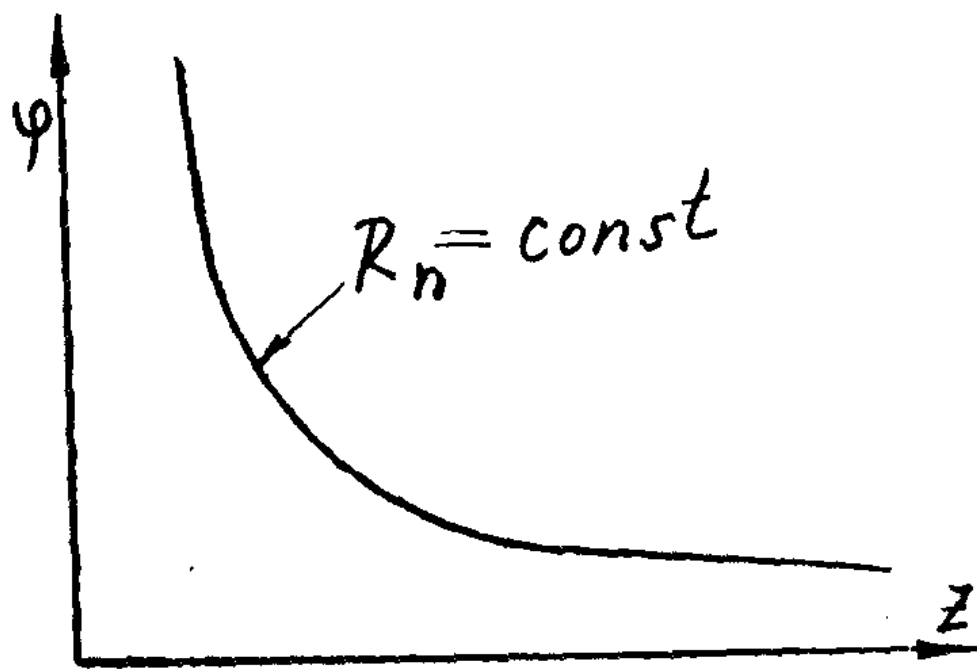


圖 6

通常當用轉速比為 2:1 的兩速級電動機時，若採用 $\varphi = 1.58$ 或 $\varphi = 1.78$ ，則所得的轉數列不能為完整的幾何級數排列。

在通用機床的主要運動傳動中宜用 $\varphi = 1.41$ 或 $\varphi = 1.58$ ；在走刀運動傳動中

則用 $\varphi = 1.26$ 或 $\varphi = 1.41$ 。

當機床的傳動中用換輪組時， φ 之值宜減小一級，即在主要運動的傳動中用 $\varphi = 1.26$ 或 $\varphi = 1.41$ ，在走刀運動的傳動中用 $\varphi = 1.12$ 或 $\varphi = 1.26$ 。

當需要微小的速度調整（重型機床中）而採用小的 φ 值時，宜用多速電動機或改用無級調速的傳動。

選出 φ 後，應用 $R_n = \varphi^{z-1}$ 即可求出 Z 。 Z 值必須是整數，同時不能隨便取，它必須符合下列的要求：

$$Z = 2^n \cdot 3^m \dots\dots\dots (25)$$

取2和3是因爲在變速箱中祇應用兩層和三層塔齒輪；同時，總的齒輪個數也少。根據(25)式可得

$Z=3, 4, 6, 8, 9, 12, 16, 18, 24, 27, 32, 36$ 等。

不取 $Z=2$ 是因爲此時可用兩速級的電動機。

常用的 Z 是

$Z=6, 8, 12, 18, 24$ 。

§2. 決定主要運動爲往復(直線)運動的機床的雙行程數

絕大部份的主要運動爲往復的機床在工作時由加工工件或切削刀具完成往復運動，而其工作行程速度與空刀行程速度通常是不等的。

主要運動爲往復的機床，因爲要考慮反向時的慣性力影響，所以其最大切削速度(工作行程速度)、速度調整範圍及雙行程數級 Z 要比主要運動爲迴轉的機床小。雙行程數也應該成幾何級數排列。

假設 T ——機床工作台每一往復行程所需的時間，單位爲分，則

$$T = t_p + t_x = \frac{L}{V_p} + \frac{L}{V_x} = \frac{L(V_p + V_x)}{V_p V_x} \dots\dots\dots (26)$$

式中

t_p 和 t_x 爲工作行程及空刀行程所需的時間，單位爲分；

V_p 和 V_x 爲切削速度及空刀速度，單位爲公尺/分；

L 爲行程之長，單位爲公尺。

若 $n_{g \cdot x}$ 爲每分鐘的雙行程數，則

$$n_{g \cdot x} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (27)$$

將(26)式之值代入則得

$$n_{g \cdot x} = \frac{1}{T} = \frac{1}{L} \frac{V_p \cdot V_x}{(V_p + V_x)} \dots\dots\dots (27a)$$

與主軸轉數級一樣，最合理的雙行程數級的排列，應該以生產率的相對損失爲常數爲基礎。當走刀量 S 爲常數時，生產率

$$Q = \frac{n_{g \cdot x} \cdot S}{B} = \text{const} \times n_{g \cdot x} \dots\dots\dots (28)$$

式中

B ——加工表面之寬；

S ——走刀量。

當機床上沒有所需的 $n_{g \cdot x}$ 時，則產生生產率的相對損失。

$$\Delta Q = \frac{Q_K - Q_{K-1}}{Q_K} = 1 - \frac{n_{g \cdot x(K-1)}}{n_{g \cdot x(K)}} \dots\dots\dots (29)$$

欲 $\Delta Q = \text{const}$ 則必須

$$1 - \frac{n_{g \cdot x(K-1)}}{n_{g \cdot x(K)}} = \text{const} \dots\dots\dots (8\text{д})$$

即

$$\frac{n_{g \cdot x(K-1)}}{n_{g \cdot x(K)}} = \text{const} = \frac{1}{\varphi} \dots\dots\dots (10\text{б})$$

或

$$n_{g \cdot x(K)} = n_{g \cdot x(K-1)} \cdot \varphi \dots\dots\dots (10\text{в})$$

即雙行程數爲幾何級數排列，其公比爲 φ ， φ 之值按前節的標準值選取。

§3. 走 刀 量 數 級

機床上用公厘/轉·公厘/分 或當爲圓周走刀時用 轉/分 表示的有級走刀量數級，也應該成幾何級數排列。分析的出發點仍是 $\Delta Q = \text{const}$ 。

$$Q = \text{const} \cdot n \cdot S \dots\dots\dots (30)$$

式中 $n \cdot S$ ——每分鐘的走刀量

生產率的相對損失

$$\Delta Q = \frac{Q_K - Q_{K-1}}{Q_K} = 1 - \frac{n_{K-1} \cdot S_{K-1}}{n_K \cdot S_K} = \text{const} \dots\dots\dots (29\text{а})$$

或

$$\frac{n_{K-1} \cdot S_{K-1}}{n_K \cdot S_K} = \text{const} \dots\dots\dots (20\text{г})$$

因爲 $\frac{n_K}{n_{K-1}} = \varphi$ ，，則

$$\frac{S_{K-1}}{S_K} \cdot \frac{n_{K-1}}{n_K} = \frac{S_{K-1}}{S_K} \cdot \frac{1}{\varphi} = \text{const} \dots\dots\dots (10\text{д})$$

或

$$\frac{S_{K-1}}{S_K} = \text{const} = \frac{1}{\varphi_s} \dots\dots\dots (10\text{е})$$

即

$$S_K = S_{K-1} \cdot \varphi_s \dots\dots\dots (10\text{ж})$$

所以，走刀量級應爲幾何級數排列。但在下列情形下例外。

1. 切螺絲或齒輪加工時，螺絲牙距和齒輪模數不成幾何級數排列；
2. 鉋床、插床和磨床等用棘輪機構完成週期走刀運動，則走刀量爲數學級數排列；
3. 自動、半自動機床及其他大量生產用的特殊機床中使用換輪組，走刀量就沒有一定的規律。

φ_s 的標準值與 φ 相同，應選擇比 φ 小一級的值。