

高等學校交流講義

金屬切削機床 課程設計的幾個問題

清華大學機械製造金屬切削機床及工具教研組編譯

中華人民共和國高等教育部教材編審處

金屬切削機床課程設計的幾個問題

第一章	緒論	1
§ 1.	金屬切削機床課程設計的目的	1
§ 2.	設計的內容	1
§ 3.	方法上的說明	3
§ 4.	課程設計的分量	3
§ 5.	課程設計題題舉例	4
第二章	機床課程設計的一般情況	5
第三章	運動計算	7
第四章	變速箱齒輪齒數的確定	16
第五章	皮帶傳動	19
§ 1.	概述	19
§ 2.	皮帶的材料	19
§ 3.	平皮帶傳動的設計與計算	20
§ 4.	三角皮帶傳動的設計計算	24
第六章	摩擦離合器	29
§ 1.	概述	29
§ 2.	多片式離合器	29
§ 3.	圓錐式離合器	31
§ 4.	開帶式離合器	32
§ 5.	多片式離合器計算舉例	32
第七章	齒輪傳動	35
§ 1.	概述	35
§ 2.	用在機床製造中的齒輪材料	35
§ 3.	機床齒輪傳動的技术條件	38
§ 4.	齒輪模數的計算	40
§ 5.	現有齒輪傳動的校驗計算	44

§ 6.	圓柱斜齒的計算	46
§ 7.	圓錐齒輪的計算	47
§ 8.	蝸桿傳動及其計算	48
	a) 疲勞計算	
	c) 發熱計算	
§ 9.	例題	52
第八章	軸及主軸	59
§ 1.	概述	59
§ 2.	直齒圓柱齒輪作用到軸及軸承上力	60
§ 3.	圓柱斜齒作用到軸及軸承上力	64
§ 4.	直齒及斜齒錐齒輪作用到軸及軸承上的力	66
§ 5.	蝸桿傳動的作用力	70
§ 6.	皮帶傳動的作用力	73
§ 7.	鍊傳動的作用力	74
§ 8.	軸的強度計算	75
§ 9.	軸的剛度計算	79
§ 10.	多鍵軸計算	85
§ 11.	主軸計算	85
	1) 強度計算	88
	2) 剛度計算	92
§ 12.	主軸材料及其熱處理	94
§ 13.	主軸及其技術條件	95
第九章	機床主軸及軸的支承	98
§ 1.	支承的要求	98
§ 2.	滾動軸承的優缺點	99
§ 3.	滑動軸承的優缺點	99
§ 4.	滑動軸承的材料	100
§ 5.	摩擦理論簡介	101

§ 6. 滑動軸承計算及例題	105
§ 7. 滾動軸承計算	110

第一章 緒 論

§ 1 金屬切削機床課程設計之目的

金屬切削機床課程設計的目的是為了發展學生在設計及計算簡單金屬切削機床或其某一部件領域內有獨立解決綜合性問題的能力。

它是完成「金屬切削機床」這門課的工作，因此課程設計要求學生首先要很好和完全地掌握「金屬切削機床」這門課。與此同時，學生要運用自己在專業和普通技術領域內的知識，主要是力學，材料力學，機噐零件及機械製造工學。

在課程設計的進行過程中，應該使學生習慣於全面利用參攷資料，目錄，專門文獻，雜誌及其他等等。

課程設計也含有創造的成份在內，所以應當使學生動員起全部自己的知識和自己的力量來最好地解決設計的題目。

課程設計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機床或其某一部件，也包括運動設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) 按給出的技術條件來設計一個部件——這些條件包括如工件的材料，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，及其他等等。

§ 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，發給每個同學以各人自己的設計題目。在第一次，當向同學指出了課程設計的次序及基本內容後，以給同學們介紹一個典型的計算作為一個例子。則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，可以不給同學以例子，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，都要很乾淨，規矩，沒有污點，線條均勻，符合於蘇聯國家標準 (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。對課程設計最合適的對象是車床，轉塔車床，銑床及鉗床的主體運動的傳動。

在學生做完課程設計以後，教員應該仔細地審閱設計工作的質量及是否符合在題目中所指出的工作分量。在審閱設計時，教員進行訊問學生關於他的設計，以調查學生掌握了多少與設計有關的基本理論的材料，他能否說明所設計部件的草圖及工作原理，裝置的次序及結構特點。

做課程設計照例應該在專門的資料室內進行，這資料室裝備有足夠數量的參考資料及教學材料，技術圖，掛圖，機床的部件及零件，及其他直觀的材料。

§ 4 課程設計的分量

課程設計由兩部份組成：

a) 畫圖部份；

b) 帶計算的說明書。

畫圖部份包括大致三張，根據 ГОСТ A 1 號 (814×576公厘) 完成

的圖紙內容分配推荐如下：

第一張：

- a) 全部機床的整個運動圖。
- d) 輻線圖（用普通或對數座標）。
- b) 轉速結構圖。

如果輻線圖及傳動結構圖在第一張圖上放不下，可以把它們畫在另外的較小號的圖紙上。

第二張：

所設計部件的展開圖，比例尺希望是1:1，著上尺寸大小，支承之間的距離，軸之間的距離，部件的側視圖上表明軸及齒輪的位置分佈。作出所設計部件的零件一覽表，附有主要的特點說明（名稱是什麼，材料，ГОСТ 或尺寸）。在必要的情况下，可以在另外一張紙上補充畫上部件的別的投影，也可畫上必要的截面。

第三張：

所設計部件中一個零件的工作圖，附有加工的說明，所有必須的尺寸，公差及配合；材料，熱處理等。零件是預先指定的。

說明書應當用鋼筆寫成，其分量大致為20頁稿紙，包括：

- 1) 設計題目的原文。
- 2) 所設計的機床的描述，他的用途，應用範圍及結構特點。
- 3) 機床參數的逐個選擇，例如：變速級數，驅動功率，頂尖高度，工作台尺寸，刀具的尺寸等等。
- 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) 摩擦離合器計算。
- 10) 機床的潤滑及刀具的冷卻。

11) 機床保養規則及保安技術。

12) 設計時利用的書籍文獻。

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 $L=200$ 公厘。

單獨的皮帶驅動。

電動機功率 $N_u = 7$ 瓩，其轉速 $n = 1440$ 轉/分。

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

3) 設計立式鉗床的送進箱，最大鉗頭直徑為 20 公厘。

被加工材料：可鍛鑄鐵，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 AMT—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，把錐式摩擦離合器改為片式（盤式）離合器，並改變驅動皮帶輪的安裝，使皮帶的張力由變速箱體來承受。

及其他等等。

第二章 機床課程設計的一般情況

當設計任何機床時，應該大體上預見到在機床上今後的一些變化。這些變化是使用者按照工藝技術今後進一步的發展可能會提出的。當設計特殊的和專門化的機床時，特別重要的是要知道使用者的生產品及相應的工藝過程，要注意在這個領域內技術的發展。機床設計師對使用者的生產知道得愈好，則他可以愈完全地考慮所有他們的要求及今後進一步生產發展的遠景。在設計為大量生產用的特種及專門化機床時，應該理解到在粗加工時裕量的減少。這是因為用鍛壓件代替了鑄壓件，和用加壓精確鑄件代替了普通鑄件等所致。加工時裕量的減少引起了所用切削速度的提高，因而也引起了機床高速性的增加。與此同時，高切削刀具用的硬質合金的進一步運用和改進，以及切削刀具結構的改進，同樣也引起了提高機床高速性的必要性。這還引起機床功率大大的增加。

着手設計機床時，設計師應該很仔細地考慮及很清楚地想像在機床上工作的全部過程：知道屑末將從那兒排出，冷卻液將怎麼流，在機床工作時工人將在什麼地方。

在設計操縱機構時（手柄，按鈕等），設計師應該選擇它們最為方便的地位。工作台及刀架的引近工作位置及退出應設計為機動的，以使工人解除體力的担負。如果在機床上要加工重的零件，那麼高要安放及從機床上取下零件，應規定有吊車。

在設計高生產率的，管理方便的及安全的機床時，設計師不應該忽略另一個同樣重要的問題——機床製造的經濟。必須力求使在機床中的材料是以最合理的辦法利用的，使機床在具體必要的強度及剛度的同時有最輕的重量。為要達到這個目的，要求設計師有本領進行正確地零件計算，考慮要完全利用材料的全部可能性及其適應於零件在機床中工作具體條件的熱處理的全部可能性。在設計機床零件時，不應允許過大的沒有必要的強度安全儲備。在擬定機床的運動圖時應該

力求得到儘可能短的運動鍊。這樣做一方面可使零件數目最少，因而節省了金屬，減小了尺寸及降低機床的勞動量；另一方面也保證了大的剛度及更高的機床效率。這是因為每一副多餘的工作零件，每一個附加的支承，都會引起能量的損失。當選擇驅動用的電動機時，不應採取大的功率安全儲備。

在設計複雜的主體運動，送進，操縱及其他驅動機構時，應該多多考慮及用草圖擬出幾種方案——機械的，電氣的，液壓的及其他的；選擇其中最合理的，然後把它完成。

在設計部件或單獨的零件時，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。這將使機床容易製造並可降低其成本。為要創造工藝性的機床結構，就必須很好的知道機床零件加工及裝配的工藝學，同時要考慮到製造工廠的設備。

新設計的機床應該包含儘可能多的標準化了的及統一化了的零件。在機床中獨創的零件愈少，製造這種機床將愈容易。

這些情況的更詳細的理由，我們將在講機床課程的第二部份——金屬切削機床的計算及設計——中討論它。

現在我們來看看機床計算的具體例子。我們就舉上面提出的第二個例題作為例子，就是：

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 $N_u = 7$ 瓩， $n = 1440$ 轉/分，分級數 $K = 8$ 。

級數公比 $\phi = 1.26$ ，最低轉速 $n_1 = 125$ 轉/分。

第三章 運動計算

首先必須預先作出機床的運動圖來，就是作出這種機構的系統，使之能產生所有要求於毛坯及刀具的運動，還有輔助運動（快進空程移動，安裝的運動等等）。

運動圖的答案並不是祇有一個。在每一個別情形下，可能有好幾個不同的解決方案。這裡必須記住，就是運動鍊應當儘可能地短，其原因上面已經說過。

運動圖應該要最大可能地簡單，他應保證機床自動化的可能性及機構工作的準確性。

最近在高速加工的主軸轉速很高的機床上，採用了以下的主體運動傳動系統運動圖的作圖原則：

主軸的高轉速經過最少數目的變速箱傳動而得到。

主軸的中轉速用增加一套跨輪的方法得來。

主軸的低轉速經過兩套跨輪得來。

由於這樣的運動圖在把轉動傳給主軸的過程中，和在高轉速時使參與傳動的零件及有支承的軸的數目為最少，故在主軸變速範圍的高速部分中保證了够好的效率。

大家都知道，運動鍊的總傳動比 i 可以分解成部份傳動比

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

此處每一個因子 u_j 對應於一個單獨的機構，而指數 j 則係代表該機構在運動鍊中的地位（他的次序號碼），按照從起始的主動件到最後的被動件的方向計數。這個因子分解可以用不同的方法來進行。所有可能的分解方法中，對設計方面最有利的，一般說來，是下述方法。用這一方法時，因子 u_j 將排列成大小減漸的次序，即

$$u_1 \geq u_2 \geq u_3 \geq \cdots \geq u_k$$

這時依次被傳動相連的軸的轉速比起在任何別的 u_j 的分解下，在減速鍊中將減少得較慢；而在增速鍊中將增加得較快。這個規則是根據

這樣的理由，即在轉動某一功率 N 的運動鍊機構中的許多零件的尺寸係隨轉速 n 的減少而增加，例如軸的直徑中，齒輪的尺寸即直徑 D 及寬度 b ，及其他零件的尺寸等，所以為了減小機床機構的尺寸及節省其製造所用材料起見，使速度的降低（減速）在所選擇的運動鍊結構中放慢，即在其中把傳動佈置成這樣的次序，使軸轉速減少得儘可能的慢。根據同樣的原因在轉速漸增的運動鍊中，有最大傳動比的傳動適於放在運動鍊中儘可能地靠近其最初的主動件。當分解序列 U_j 的各值之間的差別不大時，如果沒有被任何特別的理由所預先規定的話，他們所對應的在運動鍊中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，那麼只好放棄上述的一般規則。

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”（переводочное число）。

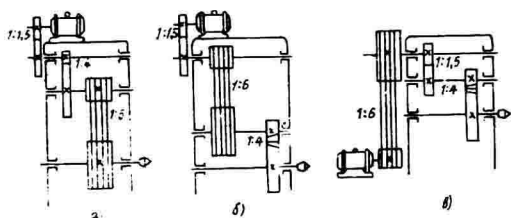


圖 1

例如在圖 1 上所示三個主軸傳動圖中最後的位置(б)是值得重視的，在這個位置可以容易地用懸樑式方法安裝驅動皮帶輪。當皮帶輪在別的位置時（а 及 в 位置），更換三角皮帶要困難得多。

通常，運動鍊應該保證在主動件不變的轉速 n 之下使最末被動件得到不同的轉速—— $n_1, n_2, n_3, \dots, n_z$ 。這可以用各種方法來做到。譬如可在運動鍊中包含一副中心之間距離不變的齒輪或皮

帶輪的配換傳動。齒輪或皮帶輪保證了得到必須的轉速。為此，在偶數的 Z 級变速時需要不少於 Z 個配換齒輪；在奇數的变速級數時需要不少於 $(Z+1)$ 個。在運動鍊中有幾套永久傳動的機構中，所需傳動數目就很少可以縮減，特別是在級數很多時。這些傳動給出 Z 個不同的比值

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

所要求的運動鍊傳動比中的每一個傳動比是在一定的這些機構的傳動比的組合下得到的。如果第一套機構的 P_1 個傳動比是用 P_1 對齒輪得到的，第二套機構的 P_2 個傳動比是用 P_2 對齒輪得到的，依此類推；那末在這些機構中齒輪的總數應等於

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

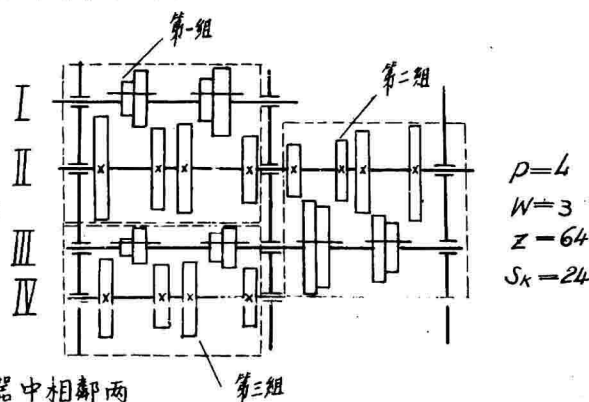
當總和 S_K 為最小值時，則齒輪數目方面將是最經濟的，在這種情形下極限值的確定引致如下的結果：

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

這樣，在應該給出 Z 個不同傳動比 i_j 的運動鍊中，這個 i_j 是用 W 個有永久傳動（非配換的）及獨立變化的傳動比 u_j 的機構的預先選好的數目來造成的。假如傳動的數目在所有 W 套機構中都相等並等於 $\sqrt[w]{Z}$ ，那末傳動的數目將是最少的。

例：

$Z=64$ 級的变速箱，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，那麼箱中在齒輪總數方面是最經濟的。



*在变速箱或減速器中相鄰兩軸之間傳動的總合稱為一組。

圖 2.

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

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

如果爭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:

$$\text{即 } W = \lg Z$$

$$\text{及 } P = e$$

(參攷 Ачеркан Н. С. — „Станки и инструмент” 第二版 1950 年)

$$\text{故 } S_K = 2 \cdot P \cdot W = 2 \cdot e \cdot \lg Z$$

此處 e 為自然對數之底 $P = e \approx 2.7$

在機床製造的實際中, 最廣泛用的數值為

$$P = 2 \quad \text{及} \quad P = 3.$$

這不僅可用結構的理由證明是正確的, 而且這兩個數字也最接近於理論上最有利的數值 $P = e \approx 2.7$ 。

必須注意到, 上述規則不適用於那些具有一組由配換傳動組成的運動圖中。

在擬定運動圖時, 由於一系列的原因不得不常常放棄上述傳動的分佈規則; 例如:

1) 在重型機床裡運動鏈中, 分佈得愈靠近主軸的傳動就愈有較大的模數及其他尺寸。所以常常寧願使靠近驅動軸的傳動數多一些, 而靠近主軸的少一些。同樣, 如果在高速加工機床中採用由電動機到主軸增速的傳動, 經濟的理由也常使與以上相反的傳動分配反而是很合適的分配。

2) $P = \frac{Z}{W}$ 之數值祇有在很少的情形下是整數, 所以必須使有些 P

的數值向大的方面成為整數，而有些向小的方面成為整數，以便使乘積 $P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_W$ 等於所要求的速度分級數 Z 。

3) 在用於成批或大量生產的專門化機床中，有時也在普通用途的機床中，為要得到必需的主軸或送進速度分級數，與包括永久傳動的變速箱的同時常常還利用配換齒輪或在很少的情形下用配換皮帶輪。在類似的情形下，以應用少量的傳動來組成變速箱為合適（推薦用 2, 3 或 6 個）。在這樣的解決辦法之下，結構是簡單化了——軸數較少，因而在箱體中的花費也較少。同時由於用配換齒輪可能更準確地調整到所希望的切削用量；因而機床的運用質量也改進了，這對用在大批和大量生產中的機床特別重要。

皮帶傳動不應放在運動鍊的低速部份中，因為在皮帶的低速度下 (v_p)，皮帶傳動工作得不好——皮帶將“拉不動”。此外皮帶的速度 (v_p) 愈低，則在傳動同樣功率 N 時，皮帶輪圓周拉力 P 應該愈大，皮帶的寬度也應該愈大。因 $P = \frac{102N}{v_p}$ ，

有時運動鍊最後件（被動件）的運動係等於兩個運動之和；在此種情形下，在運動鍊中適當地位，應該規定有差動裝置或其他按照相似的原理工作的裝置。

如果機床中某一部份應該在一個循環的不同時間通過不同的運動鍊以獲得運動，而且被隔開的運動又不應停止，那就必須把咬合離合器加到每個運動鍊中去，或在它們之間加進超越離合器。超越離合器和其他型式的咬合離合器比較；它的優點是它的作用的自動化。

在我們例題中速度分級數為： $Z = 8$

這係對應於下列結構公式： $8 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2 \cdot 4$

我們採用前一個結構公式，即用三組齒輪，每組兩個齒輪。而且齒輪在運動上是自由的（或不是公用輪）。這就是說機構中的每一齒輪在任意轉換之下，或僅為主動輪，或僅為被動輪，因而這時最少的齒輪數等於

$$S_K = 2(P_1 + P_2 + P_3) = 2(2 + 2 + 2) = 12$$

這時我們所用箱中的軸數等於4。採用下面形式的運動圖（圖3）

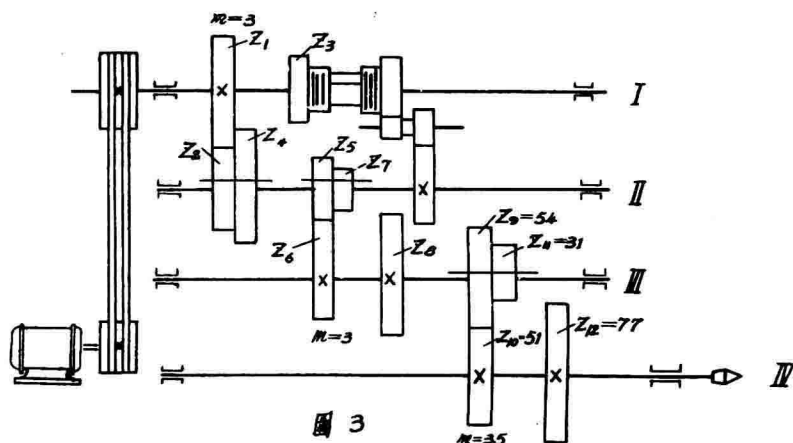


圖 3

在運動圖上應該註明皮帶輪的直徑及齒輪齒數，為此必須要定出傳動比來。這可以用兩種方法來做到：

- 1) 計算方法；
- 2) 圖解方法。

第二種方法之優點為：

- a) 可以很快找到解決的可能方案；
- б) 有較大的直觀性，易於比較不同方案；
- в) 運用此法時，錯誤的可能性較少。

因此，在工廠設計機床的實際工作中，主要是採用圖解法。這種方法的實質如下：

為要確定機構中所有傳動的傳動比，應當順序應用兩種圖：首先是結構網（СТРУКТУРНАЯ СЕТКА），其次是轉速圖（ГРАФИК ЧИСЛА ОБОРОТОВ）。第一種圖用以表示在給出的級數公比 ϕ 值之下可能的傳動轉換方式（次序），以及用以選擇他們的傳動比的相對數值。（結構網的各種方案參看 АЧеркан 86 頁，Егерман 17 頁，

ЕНИМС 機床零件的“表計算法”〕。用第二種圖可定出這些傳動比的絕對值。

轉速圖由一系列等距離的平行直線組成。他們中每一條線都對應機構的一根軸。因此直線的數目就等於機構中軸的數目。在每條線上都標上那些對應於軸在所有可能的傳動轉換下各種轉速的點。為便於利用此圖，從左起標上對數尺度，然後把對數符號丟掉而祇寫上數字。所有圖上直線的 n 數值的比例尺應該是一樣的。並且起算 n 數值的原點應該在一條垂直於圖上直線的線上。對轉速的幾何級數來說

$$\lg n_{j+1} - \lg n_j = \text{常數}$$

所以如果用對數的比例尺在圖中直線上放上 n 的話，那末表示這條線所對應的軸的不同轉速 n_j 的相鄰兩點之間的距離將是相等的；換句話說，如果 n_j 之值形成幾何級數的話，在圖中每條直線上所有對應於此直線的軸的轉速 n_j 轉/分 可用點間距離的總和來表示。對主軸或一般地對機構最後的被動軸說，相鄰點間之距離“圖間隔”等於 $\lg \phi$ 。在圖中直線上為簡便起見就簡單的用 n_j 來代替 $\lg n_j$ 以表示轉速的各點。圖中一條直線上某一點 n_a 與另一直線的一點 n_b 相連接的線條象徵地表示了在機構中這兩軸之間一定的傳動——如齒輪傳動，蝸桿傳動，皮帶傳動等；被線條相連的這兩條直線就對應這兩根軸；還同時表示了這個傳動的傳動比的大小。

轉速圖可以定出一系列說明機構運動圖特性的基本數值。他可以確定其全部傳動的傳動比及所有的軸在機構的全部可能轉換下的每分鐘轉數。此圖也表明所有主軸速度得到的方法及轉換的次序。

在設計變速箱時，主軸的各轉速 n_j 轉/分 及第一根主動軸的轉速 n_0 轉/分 是已知的。

現在來求我們例題的主軸轉速：

$$n_1 = 125 \text{ 轉/分}$$

$$n_2 = n_1 \cdot \phi = 125 \times 1.26 = 160 \text{ 轉/分}$$

$$n_3 = n_2 \cdot \phi = 160 \times 1.26 = 200 \text{ 轉/分}$$