

科學圖書大庫

機械工具設計及構造

譯者 楊國明

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

機械工具設計及構造

譯者 楊國明

徐氏基金會出版

序

在研究機械工具時可看出各種不同的設計係依據時常廣泛變化的各項因素而定。舉例來說，機械工具的主要需要如果不是要生產正確、生產迅速、設計簡單，就是要適合較廣的工作範圍。因為有這些改變及相關的因素，因此一般相同型式的機械也會有各種不同的設計存在。

因此本書並不包含整台機器的圖面而只有結構及機構的元件圖用來介紹機械工具設計的最新發展。此外，本書有很多舉例及圖示在大部分機器所共用的一般工程上將會覺得很有用。此外，在很多成敗均要靠它的重要元件上，設計人員最重要的工作就是要了解這些元件是什麼，對它們必須完成的功能要有徹底的了解。

很多書籍對金屬的加工法均有詳細的實際介紹，但很少探討到機械工具的設計，而且根據著者在工程學院對機械工具這一科目的評估經驗看來，大部分書籍均沒有提到工具的設計及結構問題。這指出在講師中以及學生中缺少了這一方面的知識，希望本書不僅在教育界而且在工業界設計人員方面能提供所必要之知識。

在討論到齒輪設計的項目時，不只是速率改變，而且也考慮到切削速率增大時噪音及振動也隨著增加的問題。同樣地，在設計心軸及軸承時介紹了最新發展的有關水壓潤滑系統，此科目延伸到下一章關於機台及滑槽的漂浮。在一般設計這一章裏考慮了生產的經濟性，磨擦離合器，凸輪操作，機器控制，及仿削系統。

今日的設計人員有多種動力系統可供選擇，除了機械式操作外尚可應用電力及液壓引動，後者在機器控制章裏另有詳細介紹，往復式機器，以及追踪器控制仿削系統。氣壓動力的優點在測定章裏有特別介紹尤其是在機械加工及自動定位時。另外有一章專門介紹利用電氣技術來作

金屬的切除。

本書最大的特色就是所有的計算均以公制單位表示，同時有一章研討機械工具公制化的影響。在實施完全公制化之前的過渡時期裏，工業界將會遭遇到用機械工具來生產公制單位零件的問題。在現有機器上這種測定方法為使用換算機構。為進一步幫助設計人員及學生們熟悉國際標準之公制系統，在機械工具設計及構造的範圍中選擇 42 道標準範例以增進了解。

本書均選自機械工具設計最新的發展中具有代表性之題材，同時希望所供給的資料不僅對機械工具設計人員有所幫助，而且對技術學院的教師及學生們以及其他研習此科目的人有所助益。

本書與“自動機械工具”一書為姊妹之著，該書說明高級的生產機械。作者對於書中所提到的各個行號表示謝意，同時也感謝“技術學報”的主編允許轉載他們刊物的節錄。

H. C. 唐

目 錄

序	I
第一章 齒輪箱的設計及作用	1
第二章 齒輪系的設計及裝置	39
第三章 心軸及軸承的設計	67
第四章 機座及滑槽	81
第五章 自動潤滑及滑槽與軸承之漂浮	98
第六章 磨擦離合器的設計及操作	113
第七章 機器控制，定位及進給跳動裝置	130
第八章 凸輪設計及操作	153
第九章 往復機械及急回運動	167
第十章 機製時的測量及自動量度裝置	194
第十一章 仿製裝置及描圖控制系統	208
第十二章 利用電氣技術的金屬移除法	223
第十三章 機械工具研究及實驗	237
第十四章 公制化及機械工具	250
第十五章 一般設計考慮	259
第十六章 機械設計及構造的實用範例	272

第一章 齒輪箱的設計及作用

1-1 導 言

用皮帶及塔輪傳動的機械有下列缺點(1)速率改變不大容易實行，(2)驅動不確實，(3)速率變更的數目受到限制，及(4)最重要的就是，塔輪傳動的動力輸出無法與全齒輪式傳動的相比。在後者的情形動力傳送在任何時候均為一定，可是在這一點塔輪傳動就剛好相反，就是說在一定的切削速率時，工作物直徑增加，動力即減少。目前某些小型機械工具仍然少量的使用塔輪傳動，這些機器只要少量的速率改變即足夠應用，傳動可以直接連到機架上而由馬達來帶動。

但是一般說來，最普遍的傳動仍然是用齒輪箱或齒輪傳動主軸台 (geared headstock)，因為用簡單的方法即可獲得廣大的速率範圍。用這種方法傳動主要的問題就是由於各種新的切削材料不斷發展，速率範圍要求日廣因此在高速時齒輪速度會引起振動及噪音的問題。解決方法為使用較高級的材料來製造齒輪同時對於軸及心軸部分要堅實固定，但在某些情形此問題的最佳解決法係使用限定範圍的齒輪速率同時利用一只變速馬達或一只無段變速機構傳動來使速率範圍變廣。液體旋轉傳動係另一種可供選擇的方法，而且使用日漸增加。

1-2 一般設計考慮

每一項設計對於成敗有關的重要元件要各方面考慮周詳，設計人員的重要工作就是要了解這些元件同時對於它們必須完成的功能要有徹底的認識。本章將討論到很多在機械設計中牽涉到齒輪機構及其控制的重要原則。因為大部分應用到機械工具的例子均與齒輪箱操作的廣泛變化

相同，所以這些原則均可應用到所有的機械傳動及機器構造上。

設計人員必考慮在一機構中的元件其運動問題及動力學問題，因為一項隨便排列的機械零件就能產生最大的效益是不可能的。有效的齒輪系 (gear train) 設計並非只是選擇齒輪的齒數及比例，同時要考慮到運動學的要求。每一個計算的荷重應該從懷疑的觀點來驗算，在圖面上的情況實際上均很少遭遇到，因此對於任何傳動問題應特別注意，尤其是在工作情況下可能發生的對計算荷重求其特別裕度值時更要注意。

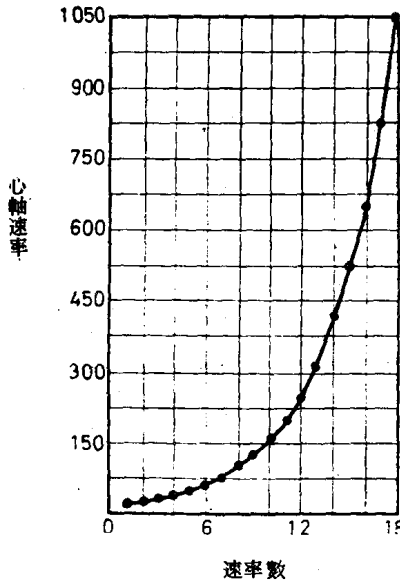


圖 1-1 速率範圍以幾何級數增加。

1-2-1 速率改變機構的型式

有六種一般的型式：(a)滑動齒輪，(b)離合器齒輪，(c)換向齒輪 (tumbler gears)，(d)滑動鍵，(e)兩種或多種型式的組合，及(f)不定式變速裝置。所有這些型式都可以與變速馬達或液壓旋轉傳動來組合使用，以使設計簡化而且不會限制速率範圍，甚至使速率範圍更擴大。

理想的傳動應該包括下列各條件：

1. 應該要有足夠的速率變化把全部變化範圍區分成 10 至 15% 之間的增加。

2. 在整個範圍都可使用而不會使機器停止。

3. 任何需要的速率都可達到不會在目前速率與需要速率之間造成間歇性的改變。

4. 每一個傳動速率應該只有傳動該速率的齒輪接觸到。

5. 在可能範圍內應該使用最少數目的軸、齒輪、及控制器。這是因為目前發展的趨勢係儘可能的分散連桿機構來減少不必要的運動，而且動力源要儘可能的靠近機器的心軸、機台、或其他最終傳動元件。

事實上很少有可能把所有這些列出之條件組合起來，除非是要求的速率很少之齒輪箱才可能達成妥協之條件。在傳動齒輪箱時，為與限制之進給機構相分別，(C)及(D)型式因為不適合重負荷應該刪除掉。

1-2-2 速率範圍

選擇好傳動的型式之後，再來的問題就是安排機器運轉的速率。在機械工具的應用上來說，速率通常是幾何級數且相互之間均有特定關係存在。舉例來說，在轉動的操作上，維持一定的表面速率時其速率必定與直徑反比，在低速時其差別較小，速率增加時其差別亦逐漸增大。因此每一級速率均以相同的倍率增加，譬如說，9，27，81，此時倍率 3 即是所謂的比率 (ratio)。這種關係可以用代數式表示成 $b = ar^{n-1}$ ， b 項是由 a 得出之第 n 次根，為此級數的首項，而 r 為一常數。若已知速率的最大及最小範圍以及速率數目，則比率數可以從 $r = \sqrt[n-1]{(b/a)}$ ，或 $\log r = (10 \log b - \log a) / (n-1)$ 求出。比率的範圍一般都很窄，通常使用時此值為 1.26，這個值是由稍後列出之六個標準範圍所求出。

假設一組傳動需要 18 個速率，範圍從 18 至 1050 rev/min。此比例值求出為 1.27，把此級數連續乘出後為 18, 22.8, 28.8, 36.9, 46.8, 59.4, 75.6, 96, 121.8, 154.6, 196.5, 249.6, 318, 402, 513, 651, 825, 及 1050。此範圍繪成圖 1-1。

為檢查此範圍是否適合已知的條件時，假定此車床的工作尺寸係從

38 至 600 mm 直徑，平均切削速率為 60 m/min。以工作直徑作基礎且速率用 m/min 表示時畫出速率如圖 1-2，此時可看出正常的工作直徑範圍係由速率 4 至 15 所涵蓋，因此範圍即足夠使用。較低及較高的速率係用來操作特殊之材料，或者直徑超過以上所列尺寸之材料。

選定較適當的數目即可決定所使用之幾何數字。因此， $R = \eta_{max} / \eta_{min}$ 此處 $\eta_{max} = \eta_{min} \times \phi^{n-1}$ ； $R = \phi^{n-1} \therefore \phi = R^{1/n-1}$ 。知道 R 及 N 後即可找出較佳數目的級數使用，圖 1-3。

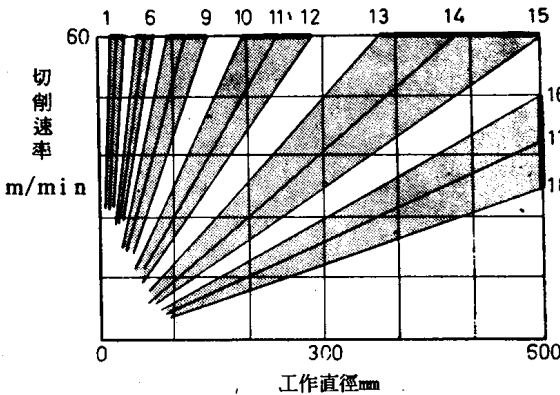


圖 1-2 以工作直徑及速率作基準所畫出之速率範圍

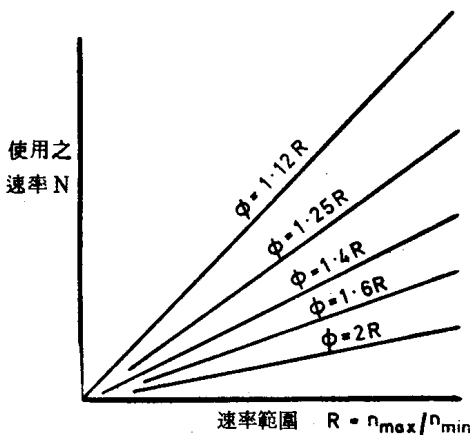


圖 1-3 表示較佳數目級數的曲線圖

1-3 齒輪箱設計

傳動齒輪箱的最常使用排列為滑動齒輪系統利用 9 只齒輪及三支軸心來獲得 9 個速率，如圖 1-4。此圖顯示齒輪改變之方式，利用鏈線方法把速率範圍擴展至 18 個速率。

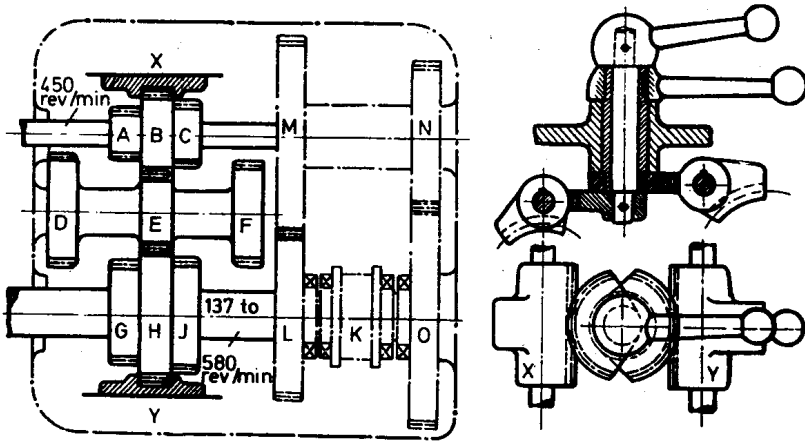


圖 1-4 滑動齒輪箱設計及齒輪改變的方法

只有考慮 9 速率範圍時，這種排列法有好多項缺點。在首二根軸心的任何一對齒輪其全部齒數必須與在那些軸心上的任何其他對齒輪的全部齒數相等。在其次二根軸心也是相同情形。由此可知，任何一個齒輪的齒數改變時將會影響到其他好幾個齒輪，所以對組合的所有比例值幾乎改變很少，因此並不能獲得正確的幾何級數。在很多情形因為這種設計費用低廉所以雖然不能獲得理想的速率，但是折衷的速率仍然可以被大家採用。此問題的系統化處理並不為一般人所了解，所以通常的步驟就是試裝很多尺寸的齒輪，經過很多次的計算及齒輪與中心輕微改變之後，最後得出一些排列方法，沒有一位設計人員會認為沒有更好的方法存在。作者提供一個免除這種不確定的方法就是先假設出固定的齒輪大小然後即可得出最佳的可能排列。

根據圖上可知，最有利的情況即為齒輪 A 及 H 的相對限制尺寸能夠

設定，在這些限制值之間的每一個 H 值即可以求出 B ， E ， D ，及 G 的正確值。最小的齒輪 A 通常位於傳動軸，以此作單位，那麼 $S =$ 傳動軸的 rev/min，且 M 及 $N =$ 從動軸的最大及最小 rev/min。

$$1. H \text{ 必須小於 } \frac{S}{N} \text{ 且必須大於 } H \left(H^2 + H - \frac{S}{N} \right) \text{ 以超過 } \frac{S^3}{MN^2}$$

$$2. H \text{ 為任何值時， } B = \frac{H(H+1)}{\frac{S^2}{MN} + H}$$

$$3. E = \frac{H(B-1)}{\frac{S}{N} - H}$$

這些值 $\frac{S}{N}$ ， $\frac{S^2}{MN}$ ，及 $\frac{S^3}{MN^2}$ 在設計開始時即可計算出且可視需而更換。

C 的良好試驗值為 A 與 B 之間的幾何平均值。

從已知的例子， $S = 450$ ， $M = 580$ ， $N = 137$ 。

$$\frac{S}{N} = 3.28, \quad \frac{S^2}{MN} = 2.55, \quad \frac{S^3}{MN^2} = 8.38.$$

從(1)滿足此式的最小 H 值為 2.21。因此這些值為 2.21，3.28，或位於這些限制值之間。為使齒輪尺寸不要太大，所以選擇最小值，從(2)，

$$B = \frac{(2.21 + 1) \cdot 2.21}{2.55 + 2.21} = 1.49, \quad \text{然後從(3),}$$

$$E = \frac{2.21 \times 0.49}{3.28 - 2.21} = 1.01.$$

觀察時可以發現齒輪 D 及 G 分別為 1.5 及 1.72。假設車輪 A 有 20 齒，則 H ， B ， E ， D 及 G 的最靠近的整數值為 45，30，20，30 及 35 齒。

取 C 的試驗值為 24，則 F 及 K 分別為 26 及 39。這些速率為 133，184，200，257，277，300，358，450，及 580 rev/min。

作者在設計上所推介及使用之系統，圖 1-5 有一些有用之數據可用

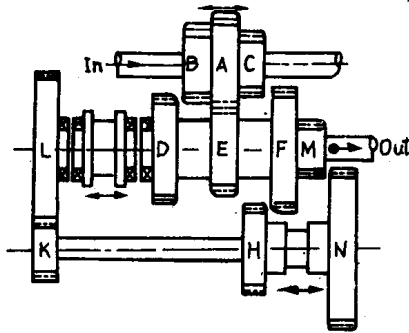


圖 1-5 比率為 1.259 之 9 速齒輪箱

在正確的速率範圍。所建議之比率為 $r = 1.259$ ，這個比率的好處就是除了切削時間容易計算之外，而且所需之速率範圍只要簡單的計算即可，其原因為 1.259 剛好是 10 的十次方根，就是 $10^{1/10} = 1.259$ 。表 1-1 為此比率的數列在第 3 及第 4 欄為 10 的乘方項，而這些項目的真正值列在第 5 欄。

考慮一些較有趣的情形，以第 14 項來看，表上為 $10^{1.4}$ ，這等於 $10 \times 10^{0.4} = 10 \times$ 第 4 項。同樣地第 13 項 = $10 \times$ 第 3 項，等等。在表上下方的第二數列係把首十項分別乘以 10 而得來，同樣的方法從 21 到 30 的第三數列係把首十項的小數點向右移兩位而得來，用這個簡單的方法能夠連續得到所需要之數列。

另一項特色就是 1.259 大約等於 2 的立方根，因此數列能夠列成 2 的各次方表，每一級的比率數為 $2^{1/3}$ ，如第 6 欄所示，其概略值列於第 7 欄。這些項目為 3 的連續值，因此如果記住首三項的值，只要乘以 2 的話，這些數列即可視需要伸展下去。

考慮所給之例題用於搪床的範圍，此為九速排列且此率 $r = 1.259$ 。所獲得的速率變化如下：

$$\begin{aligned} \text{第 1} \quad \frac{A}{E} &= \frac{1}{1} & \text{第 2} \quad \frac{B}{D} &= \frac{1}{r} & \text{第 3} \quad \frac{C}{F} &= \frac{1}{r^2} \\ \text{第 4} \quad \frac{A}{E} \times \frac{F}{H} \times \frac{K}{L} &= \frac{1}{r^3} & \text{第 5} \quad \frac{B}{D} \times \frac{F}{H} \times \frac{K}{L} &= \frac{1}{r^4} \end{aligned}$$

表 1

項目	比率 r 的連續 次方	數列的項目值				
		10 的次方		延伸值	2 的次方	概略值
1	1	1	1	1.000	$2^0 = 1$	1
2	r^1	$10^{\frac{1}{10}}$	$10^{\cdot 1}$	1.259	$2^{\frac{1}{3}}$	1.25
3	r^2	$10^{\frac{2}{10}}$	$10^{\cdot 2}$	1.585	$2^{\frac{2}{3}}$	1.6
4	r^3	$10^{\frac{3}{10}}$	$10^{\cdot 3}$	1.995	$2^{\frac{3}{3}} = 2$	2
5	r^4	$10^{\frac{4}{10}}$	$10^{\cdot 4}$	2.512	$2^{\frac{4}{3}}$	2.5
6	r^5	$10^{\frac{5}{10}}$	$10^{\cdot 5}$	3.162	$2^{\frac{5}{3}}$	3.2
7	r^6	$10^{\frac{6}{10}}$	$10^{\cdot 6}$	3.981	$2^{\frac{6}{3}} = 4$	4
8	r^7	$10^{\frac{7}{10}}$	$10^{\cdot 7}$	5.012	$2^{\frac{7}{3}}$	5
9	r^8	$10^{\frac{8}{10}}$	$10^{\cdot 8}$	6.310	$2^{\frac{8}{3}}$	6.4
10	r^9	$10^{\frac{9}{10}}$	$10^{\cdot 9}$	7.943	$2^{\frac{9}{3}} = 8$	8
11	r^{10}	$10^{\frac{10}{10}}$	10^1	10.00	$2^{\frac{10}{3}}$	10
12	r^{11}	$10^{\frac{11}{10}}$	$10^{1.1}$	12.59	$2^{\frac{11}{3}}$	12.8
13	r^{12}	$10^{\frac{12}{10}}$	$10^{1.2}$	15.85	$2^{\frac{12}{3}} = 16$	16
14	r^{13}	$10^{\frac{13}{10}}$	$10^{1.3}$	19.95	$2^{\frac{13}{3}}$	20
15	r^{14}	$10^{\frac{14}{10}}$	$10^{1.4}$	25.12	$2^{\frac{14}{3}}$	25.6

第 6 $\frac{C}{F} \times \frac{F}{H} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^5}$ 第 7 $\frac{A}{E} \times \frac{M}{N} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^9}$

第 8 $\frac{B}{D} \times \frac{M}{N} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^7}$ 第 9 $\frac{C}{F} \times \frac{M}{N} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^8}$

從這些可看出所求得之各比率都包含 r 的次方如下：

$$\frac{B}{D} = \frac{1}{r}, \quad \frac{C}{F} = \frac{1}{r^2}, \quad \frac{F}{H} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^3}, \quad \frac{M}{N} \times \frac{K}{L} = \frac{1}{r^4}$$

這些均可從表上立即應用

1-3-1 軸中心的限制

在設計時空間的限制有時會影響到所用的齒輪之型式。舉例來說在搪孔機及銑床，機台高度從平面算起大約是 3 呎高且傳動齒輪箱必須安裝在機體上要在此高度之下。就是說，在長度方面可多加利用，所以像圖 1-6 所示之齒輪箱最為合適。這種在兩根軸上提供 12 速率，雖然下部軸係分成兩半。在右手部分滑動齒輪時可以得到四個速率，每一個滑動齒輪速率可以有三種變化。四個快速速率係把小齒輪用離合器傳到用鍵固定在斜齒輪軸上的 37 齒齒輪而得到。第一次減速係把 37 齒齒輪位於所示之位置而得到，此時速率減少的比率為 $20/37$ ，最慢的速率係把 37 齒齒輪移到 54 齒齒輪上而獲得，此時減少率為 $20/52 \times 18/54$ ，減少的程度大約是 8 比 1。輸入的斜齒輪運轉數為 375 rpm 同時輸出係由 20 齒的小斜齒輪與 120 齒的機台蓋環相嚙合而來，則可獲得的最快及最慢機台速率為：

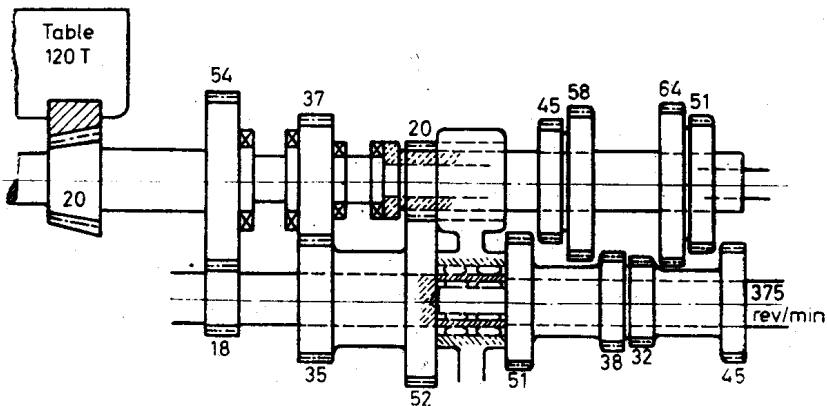


圖 1-6 在二根軸上有 12 速率變化的齒輪箱

$$\frac{375}{1} \times \frac{51}{45} \times \frac{20}{120} = 70 \text{ rpm}$$

及
$$\frac{375}{1} \times \frac{32}{64} \times \frac{20}{52} \times \frac{18}{54} \times \frac{20}{120} = 4 \text{ rpm}$$

只需要兩聯鎖桿即可獲得 12 速率。

在設計上引起爭論的唯一點就是 20 齒的小斜齒輪要固定在大約 1.3 m 長的軸心上。作者遇到兩個這種齒輪箱的設計及構造時經驗到在國內要找到能夠或願意切這種小斜齒輪的工廠相當困難，最後只好把軸心及小斜齒輪分開來做，然後用鍵使之結合傳動。

1-3-2 16 速齒輪箱

這種傳動，如圖 1-7 所示，包含一些特殊的裝置使得在變速時不會使機器停止，而且不會引起可能發生之齒輪衝突。事實上在任何變速時均不會發生加速情形，而且有七對以上的齒輪尺寸相同且齒數相同，因此大量生產較為便利。

幾何範圍與所敘述之 1.25 最後一值靠的很近，十六個速率分成四個系列，第一系列所獲得的第一組四速率在輸入速率為 430 rpm 時為：

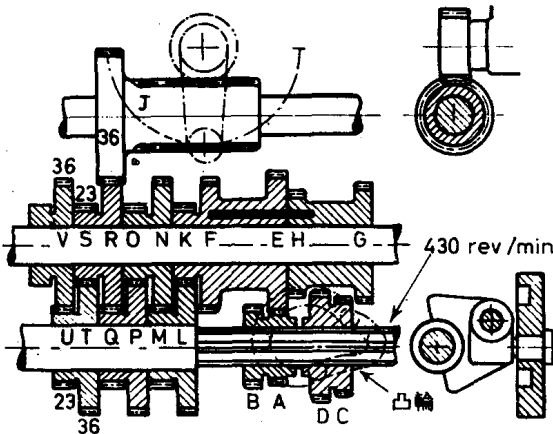


圖 1-7 速齒輪箱

$$\frac{D}{H} \times \frac{F}{J} = 444, \quad \frac{C}{G} \times \frac{F}{J} = 360, \quad B \text{ 及 } J = 274, \quad \frac{A}{E} \times \frac{F}{J} = 220.$$

第二系列的四速率照 1 比 2.45 的比率減少，此即為從第一至第五速率的比率。變速仍然是由齒輪 A, B, C, D ，來作，但此時齒輪 J 與 N 嚙合。因此：

$$\frac{D}{H} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \quad \text{及} \quad J = 181.5 \quad \text{比} \quad 1$$

$$\frac{C}{G} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \quad \text{及} \quad J = 146.7 \quad \text{比} \quad 1$$

$$\frac{B}{F} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \quad \text{及} \quad J = 111.9 \quad \text{比} \quad 1$$

$$\frac{A}{E} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \quad \text{及} \quad J = 90 \quad \text{比} \quad 1$$

第三系列比率變成 1 比 2.45²，此為第一到第九速率的比率。齒輪 J 與 R 嚙合。因此

$$\frac{D}{H} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \quad \text{及} \quad J = 73.8$$

$$\frac{C}{G} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \quad \text{及} \quad J = 59.7$$

$$\frac{B}{F} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \quad \text{及} \quad J = 45.6$$

$$\frac{A}{E} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \quad \text{及} \quad J = 36.6$$

第四系列比率，從第一到第十三速率，為 1 比 2.45³，由齒輪 J 與 V 嚙合而獲得。因此

$$\frac{D}{H} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \times \frac{S}{T} \times \frac{U}{V} \quad \text{及} \quad J = 29.6$$

$$\frac{C}{G} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \times \frac{S}{T} \times \frac{U}{V} \quad \text{及} \quad J = 24.5$$

$$\frac{B}{F} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \times \frac{S}{T} \times \frac{U}{V} \quad \text{及} \quad J = 18.8$$

$$\frac{A}{E} \times \frac{K}{L} \times \frac{M}{N} \times \frac{O}{P} \times \frac{Q}{R} \times \frac{S}{T} \times \frac{U}{V} \quad \text{及} \quad J = 15.0$$

1-3-3 皮帶及齒輪傳動組合

在高精密作業像鑽石車製及搪孔，通常至心軸的最終傳動均利用皮帶以獲得最高的速率，但是在主軸台仍然包括一只齒輪減速器以為一般目的的使用。這就是圖 1-8 的排列，從一只 2 速馬達開始，然後由皮帶傳到 6 速滑動齒輪變速，其操作是由右手側的起動及停止磨擦離合器來執行，反轉齒輪在左側。連接齒輪到皮帶輪後傳動即由無端絲帶連接到圍繞心軸的承套的皮帶輪上。承套與心軸並無固定但可以連結以直接傳動，或是經由所示之雙級齒輪操作來傳動。因此沒有皮帶拉力傳到心軸上。

在十二傳送皮帶速率中，低速並不能夠把所有的馬力傳到心軸上，只有系列中的高速才有可能全部傳去，低速在輕磨光作業中可能使用較多，因此皮帶的動力輸出即足夠使用。

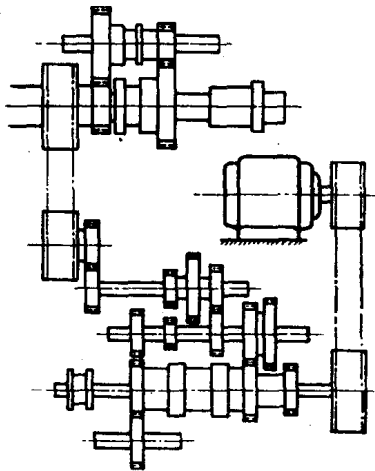


圖 1-8 利用 2 速馬達的皮帶及齒輪傳動組合