

25.28
4434

成工人活叶学习材料 261

机床切削馬力計算

葛守勤編著



机械工业出版社

編著者：葛守勤

NO. 1014

1955 年 12 月第一版 1953 年 6 月第一版第四次印刷

787×1092¹/₃₂ 字数 20 千字 印張⁷/₈ 13,501—23,500 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第 008 号

統一書号 T15033·179
定 价 (9) 0.13 元

25.28
4434

或工人活叶学习材料 261

机床切削馬力計算

葛守勤編著



机械工业出版社

內容提要 本書作者从馬力的意义談到金屬切削的基本知識，最后把車削、銑削和鑽孔的切削馬力計算方法，分別用公式計算和查表的方式來說明；并附有簡單的例題。本書可以作為二、三級机工的參考讀物。

目 次

一 馬力	3
二 几个名詞的解釋	6
三 金屬切削的基本知識	10
四 車削时产生的作用力和所需馬力的計算	12
五 銑削时产生的作用力和銑削馬力的計算	18
六 鑽孔时产生的作用力和所需馬力的計算	22
附表	25

一 馬力

1 馬力的意義 我們在工廠裏，看到大大小小的各種機器，在代替人們來工作，表示這些機器做功效率的單位就是馬力。換句話說，計算機器功率的單位就是馬力。

甚麼是機器的功率呢？要知道甚麼是功率，必須先要知道甚麼是功。因為機器的功率，是表示這機器在單位時間裏做了多少功。

功，這個單位是從人類生產活動裏產生出來的，它和我們日常中所說的工作有些不同。它等於移動物體時所需的力量，和物體沿作用力方向所移動距離的乘積。若用公式表示，可以得到下式：

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距離} \quad (1)$$

式中功的單位是公尺·公斤；力的單位是公斤；距離的單位是公尺。

例如我們把 5 公斤重的鐵錘，向上舉起兩公尺高，我們在向上舉的過程裏用了力，這樣也就做了功。所做功的大小等於 $5 \times 2 = 10$ 公尺·公斤。

從上式中可以看出，功只表示機器做工作的多少，沒有時間的關係。

例如同是兩台起重機，一台起重機能在 1 小時內把 100 公斤重的東西，搬到 20 公尺高的地方；另一台起重機在半小時內就能搬完。從這兩台起重機所做的功來看是相等的，都是等於 $100 \times 20 = 2000$ 公尺·公斤。但這兩台機器在單位時間（分或秒）內所做的功就不同了。因此，它們的功率也就不同了。因功率的計算，它包括兩個因素：一個是功的大小；另一個是做功所需的時間。如用公式表示，也可以得到一個公式：

$$\text{功率} = \text{功} \div \text{時間} \quad (2)$$

式中功率的單位是公尺·公斤/秒；功的單位是公尺·公斤；時間的單位是秒。

我們在計算機器的功率時，如果知道了做功時作用力的大小，和做功時速度的大小，同樣也可以求出機器的功率。

因從上式中我們知道功率 = 功 ÷ 時間。但是功又等於力 × 距離。所以(2)式也可以寫成下面的樣子：

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{距離} \div \text{時間}$$

但距離 ÷ 時間就是速度，用速度代入上式中，上式就可以寫成：

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度} \quad (3)$$

式中功率和力的單位跟(2)式同。速度的單位是公尺/秒。

例如一升降機用 1000 公斤的力量，帶動一物體，以每秒鐘 2 公尺的速度上升，這時升降機的功率是多少？

由上式知道功率 = 力 × 速度。

升降機帶動物體所用的力是 1000 公斤。

上升的速度是 2 公尺/秒。

所以升降機的功率等於 $1000 \times 2 = 2000$ 公尺·公斤/秒。

在實際應用中，不用公尺·公斤/秒作為計算機器功率的單位，常用[馬力]來作為計算機器功率的單位，就是 1 秒鐘做 75 公尺·公斤的功就叫做 1 馬力。用公式來表示是：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公尺} \cdot \text{公斤} / \text{秒}。$$

為什麼要用馬力作為計算機器功率的單位呢？一匹馬是否能以每秒鐘 1 公尺的速度拉起 75 公斤重的東西前進呢？那是很成問題的，不過後來人們都用習慣了，就都以馬力作為計算機器功率的單位了。但這和實際情況是不大符合的，因馬有大小，同時牠的力

量也很難達到機器上所稱的「馬力」，不過在工程上計算馬力時，要有統一的數值，不能隨便變更，所以後來就規定每秒鐘做 75 公尺公斤的功就叫做 1 馬力。常用 HP 來代表。

2 馬力與仟瓦的關係 自從 1780 年，人類發明了蒸汽機，從此很多工作使用機器來代替人類來操作了。到 1830 年又發明了馬達（即電動機），它比蒸汽機使用起來又簡單又方便。直到今天在工廠裏都還用馬達來帶動機器進行工作。表示這些馬達的功率單位除了馬力以外，有時也用仟瓦來表示。現在讓我們來研究仟瓦的意義：

馬達所以能够做功，是因為有電的供應。較大的馬達帶動的機器較多，它所需的電量也多；較小的馬達帶動的機器較少，它所需的電量也較少。由此看來馬達的馬力和所供應的電有密切關係，我們若想明瞭它們間的關係，必須對電能有一簡單的認識。

電從發電機發出後，就有一種能量，叫做電能。這種電能在單位時間內所做的功叫做電功率，它的大小等於電流和電壓的乘積。它的計算方法如下式：

$$\text{電功率} = \text{電流} \times \text{電壓} \quad (4)$$

式中電功率的單位是伏安，常用符號 VA 表示。電流的單位是安培，常用符號 A 表示。電壓的單位是伏特，常用符號 V 表示。

但是我們常用的電功率的單位是瓦，用符號 W 表示。在實際應用中，瓦的數值太小，所以取 1000 瓦作為電功率的單位。它的符號是 KW 。

馬力和瓦特（或仟瓦）的關係是：

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公尺} \cdot \text{公斤} / \text{秒} = 736 \text{ 瓦特}$$

$$= 0.736 \text{ 仟瓦。}$$

$$1 \text{ 仟瓦} = \frac{1 \text{ 馬力}}{0.736} = 1.36 \text{ 馬力。}$$

例如將一個 5 馬力的馬達，充分利用時，所需的電功率是多少
仟瓦？

解

因 1 馬力 = 0.736 仟瓦

5 馬力 = $0.736 \times 5 = 3.68$ 仟瓦。

常用馬力和仟瓦的換算數值我們可以在書末表 1 中可以查到。

二 幾個名詞的解釋

1 功和能 能是科學上的一個名詞，一種物體若具備了它，就表示這物體能做功。能的大小叫做能量，它的單位是公尺·公斤。如果我們把 5 公斤的鐵錘，舉起 2 公尺高，這時鐵錘隨時都可以落下來打擊別的東西，在鐵錘未落下來之前，鐵錘就具備了一種能量，待落下來時，能量就完全消失掉變成了功，它的大小是相等的，所以能也等於功。

2 機床效率 機床馬達發出的功率，要經皮帶、齒輪、軸承等傳到機床的主軸上。實際上機床主軸所得到的功率，要小於馬達發出的功率。這是因為機床的皮帶、齒輪、軸承等傳動部分的摩擦，需要一部功率去克服這些摩擦力，才能使機床馬達所發出的功率，傳到機床主軸上去。這些摩擦力的大小，和機床的型式及製造的精密程度有密切關係。摩擦面多的，消耗的功率越多；接觸面越光滑的，消耗的功率就越少。計算機床的效率時，常用下面的公式：

$$\begin{aligned}\text{機床效率} &= \frac{(\text{馬達發出的功率} - \text{消耗在摩擦中的功率})}{\text{馬達發出的功率}} \\ &= \frac{\text{機床主軸實際得到的功率}}{\text{馬達發出的功率}}\end{aligned}\quad (5)$$

代表機床效率的符號是 η 。它的數值永遠小於 1。

一般常用機床的效率如下：

車床 $\eta = 0.8 \sim 0.95$

鑽床 $\eta = 0.8$

銑床 $\eta = 0.70 \sim 0.85$

3 彎矩和扭矩 力和所作用力臂的乘積叫做力矩，力矩分兩種，一種叫彎矩，另一種叫扭矩。物體受力時有可能變為彎曲的力矩叫做彎矩。物體在旋轉時表現的力矩叫做扭矩。

我們可以舉一個例子來說明彎矩與扭矩的關係。我們在工作中，要想把機器上的一個螺帽擰得很緊的時候，而我們的力量又不够時，常常用一根長柄搬手來搬，這樣來搬緊螺帽，只要用一個很小的力，就能把螺帽擰得很緊（如圖 1）。用這個方法旋緊螺帽，是加長了施力點到螺帽旋轉軸心的距離。因此，螺帽在旋轉時，所產生的扭矩也就加大了。彎矩例如將鐵撬撬起重物，加長力臂，可以節省氣力（如圖 2）。

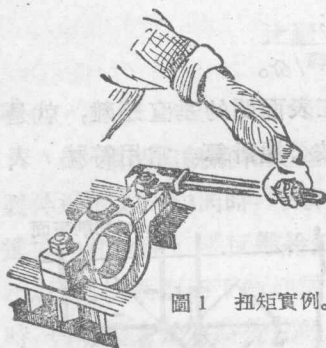


圖 1 扭矩實例。

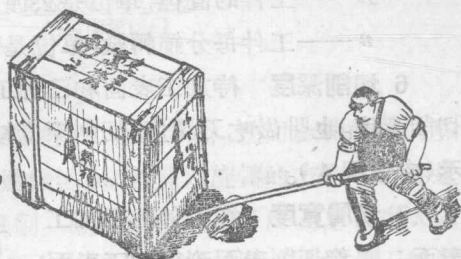


圖 2 彎矩實例。

從這個例子中我們可以看出，力矩的大小包括兩個因素：一個是作用力的大小；另一個是作用力離旋轉軸心距離（即力臂）的大小。無論加大作用力也好，或是加大力臂，都會使力矩加大。這時，物體本身旋轉的扭矩也就加大了。

4 切削表面 工件未開始切削前的表面，叫做待加工面。工件

已加工後的表面，叫做已加工面。待加工面和已加工面間的表面，也就是在切削時和車刀相接觸的表面，叫做切削表面（參看圖3）。

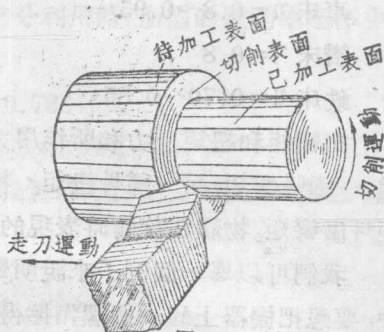


圖3 切削表面。

5 切削速度 在加工製件時，待加工面上的一點，在一分鐘內所走的路程，叫做切削速度。切削速度以每分鐘若干公尺計算。它可用下面的公式求出：

$$V = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (6)$$

式中 V ——切削速度，單位是公尺/分；

π ——常數約等於3.14；

D ——工件的直徑，單位是公厘；

n ——工件每分鐘轉數，單位是轉/分。

6 切削深度 待加工表面和已加工表面間的垂直距離，就是切削深度。也叫做吃刀深度。切削深度按公厘計算。常用符號 t 表示（參看圖4）。

7 切屑寬度 從工件的已加工表面，順着切削表面到待加工表面的距離，叫做切屑寬度。它的單位是公厘。常用符號 b 表示（參看圖4）。

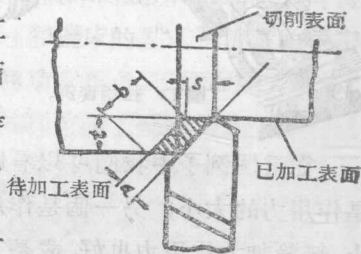


圖4 切削因素。

8 切屑厚度 工件旋轉一轉，切削表面前後兩位置在切削寬度方向的距離，叫做切屑厚度。它的單位是公厘。常用符號 a 表示（參看圖4）。

9 進給量 工件每轉一轉，車刀所走的距離，就叫進給量（也叫走刀量）。它的單位是公厘/轉。常用符號 s 表示（參看圖 4）。

10 切屑橫斷面積 切削深度 t 和進給量 s 的乘積，或切屑寬度 b 和切屑厚度 a 的乘積，就是切屑橫斷面積。它的單位是平方公厘。常用符號 f 表示。公式如下：

$$f = t \times s = b \times a。$$

11 切削壓力和比壓 把切屑切下來所需要的力量，叫切削壓力。切削壓力在垂直方向的分力（如圖 6 P_z ）叫切削垂直分力。在每平方公厘的切屑橫斷面積上所擔負的切削垂直分力，就叫比壓。它隨各種材料的不同而變化。比壓的大小可看出這種材料是否容易切削。比壓大的材料，切削時消耗的功率也大。比壓小的材料，切削時消耗的功率也小。比壓的單位是公斤/公厘²。常用符號 p 表示。公式是：

$$\text{比壓} = \frac{\text{切削時的垂直分力}}{\text{切屑橫斷面積}}，$$

或

$$P = \frac{P_z}{f}。$$

12 順進給銑削和反進給銑削 在銑削時，銑刀旋轉的方向和製件送進方向相同時，叫順進給銑削。若銑刀旋轉的方向和製件送進方向相反時，叫反進給銑削。順進給銑削切下的切屑是由大而小。反進給銑削切下的切屑是由小而大。因此用圓柱形的銑刀銑削時，切削壓力是時時變化的。圖 5 是兩種銑削時的情形。

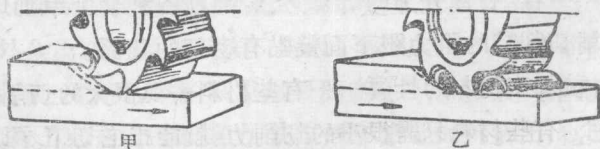


圖 5 甲—反進給銑削；乙—順進給銑削。

三 金屬切削的基本知識

大家都知道在加工金屬比加工木材要困難得多。即會從金屬上切下很薄的一層切屑，也要化費不小的力量。這是因為金屬跟木材比較，它有很大的強度，所以切削時所發生的阻力也比木材要大。

金屬切削的阻力，直接影響着機床馬力的消耗。所以在計算機床切削馬力的時候，必須先對切削金屬所產生的作用力，和切削金屬時所消耗的功率有一概括的瞭解。這樣，才能知道切削時功率消耗在甚麼地方，和如何減少功率的消耗等等。

1 切削時產生的作用力 在切削金屬的時候，一方面抵抗着刀具的切削部分進入金屬；另一方面它在刀具前面部分產生一種壓力。這個壓力能把刀具彎曲以至折斷；這就是所謂切削阻力。

在產生這種切削阻力的同時，因鐵屑跟刀具前面部分發生摩擦，帶有摩擦力的鐵屑，不斷地從工件上向外退出，使刀具產生向後退的力量；若刀具在刀架上夾得不緊的話，就會使刀具漸漸向後移動。

由此可見，對於任何刀具來說，在切削時都要產生上面所說的兩個作用力，或兩個以上的作用力。這些作用力的合力，都作用在刀具的切削部分，由刀具的切削部分來負擔。這合力就叫切削壓力。它隨各種不同的切削方式，而分為幾個分力。各分力對功率的消耗也不一樣。各種分力的計算方法，將在各種切削中加以說明。

金屬切削時的阻力跟下面幾點有密切的關係：

一、被加工材料的性質——有些材料需要很大的切削力，才能把它切下。有些材料只需很小的切削力，就能把它切下。切削時切削力小的，加工就比較容易；加工時所消耗的馬力也小。

一般說來，切削鑄鐵比切削鋼料所需的切削力要小。切削軟鋼比切削硬鋼所需的切削力要小。切削有色金屬比切削鋼料所需的切削力要小。

二、切屑橫斷面積的大小和形狀——粗加工時比精加工時所需的切削力要大。這是因為粗加工的切屑橫斷面積比精加工的切屑橫斷面積大的原故。若切屑橫斷面積一定時，增加切屑厚度比增加切屑寬度，所需的切削力要小。所以在切屑橫斷面積一定的情況下，增大走刀量比增大切削深度容易切削。這時所耗費的功率也要小。

此外，刀具的幾何形狀、切削速度、刀具的冷却及潤滑等都對切削力發生直接的關係。不過這些因素和前兩者相比較，影響切削力的數值很小，在計算機床切削馬力的近似值時，常常略去不再考慮這些因素。

2 切削時消耗的功 在切削時，被加工金屬產生一種阻力，要想克服這個阻力使切削正常進行，必須要有一定的能量耗費在克服這種阻力上。並且這種能量要大於被加工金屬的切削阻力。

實際上消耗在切削中的能量，是在切削時，刀具的切削部分進入被切削的金屬裏面，而把一層薄的金屬切削下來，使被加工金屬發生變形，變為鐵屑。這時被加工金屬便產生一種抵抗壓縮變形的力量。這個力量阻止刀具對工件的相對運動。因此，在切削時，必須有勝過這種切削阻力的能量，才能够不斷的進行加工。也就是說需要消耗一部分功在被加工金屬的切削變形上。

另外金屬被刀具切下後，鐵屑不斷的沿着刀具的前面用很高的速度運動。這時刀具前面跟鐵屑間產生一種摩擦，它阻礙着鐵屑的運動。爲了克服這種摩擦力，使鐵屑不斷地向外排出，也要消耗一部分的能量。不過這部分能量的消耗，比消耗在被加工金屬變形上

的能量要小得多。此外，刀具的前面也和製件的已加工表面產生着摩擦。

由此我們知道，金屬切削時，主要消耗兩部分的能量：一部分消耗在被加工金屬的切削變形上；另一部分消耗在鐵屑和刀具及工件和刀具間的摩擦上。前者所消耗的能量，佔所消耗總能量的絕大部分。它隨着各種不同的切削方式而變更。如車、鉋、銑等加工時，消耗在被加工金屬變形上的能量，佔全部能量的 90%，而只有 10% 的能量消耗在克服摩擦上。如在鑽孔工作時，就有 20% 的能量，消耗在鑽頭跟鐵屑的摩擦上。若採用絲錐攻絲的時候，消耗在摩擦上的能量，那就更大了，幾乎是全部能量的一半。

四 車削時產生的作用力和 所需馬力的計算

1 車削時產生的作用力 在車床上加工製件時，常常通過花盤或卡盤等裝置，將製件固定在車床的主軸上。然後由馬達帶動機床的主軸旋轉，進行切削。當車刀的切削部分伸入被加工金屬裏面時，在車刀的切削部分就受到一個壓力，即切削壓力。如圖 6 中 P 所示。

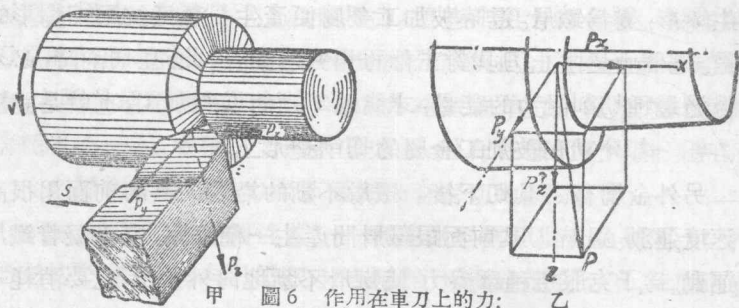


圖 6 作用在車刀上的力：

甲—實體圖；乙—示意圖。

壓力 P 可分為三個分力：一個是垂直抗力，也叫做切削主分力，如圖6中 P_z 所示。它是消耗切削馬力的主要因素。

跟順走刀方向平行的分力，也叫做走刀抗力或軸向分力，如圖6中 P_x 所示。它是自動走刀時所消耗馬力的主要因素。它的大小與刀具主偏角的大小有密切的關係，所謂主偏角是主刀刃在底平面上的投影線和走刀向之間的夾角，普通用 φ 表示（如圖7）。主偏角大時軸向走刀抗力也大；主偏角小時，走刀抗力也小。

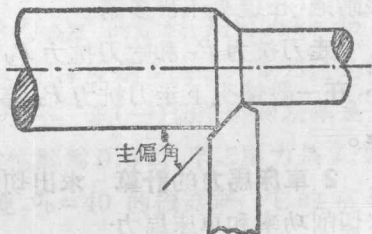


圖7 車刀的主偏角。

跟順走刀方向相垂直的分力，就是工件把車刀壓向後退的力量，叫做吃刀抗力，也叫做徑向分力，如圖6中 P_y 所示。它是使工件在切削時產生彎曲的主要因素。它的大小也隨刀具主偏角的幾何形狀而變化。主偏角大時，吃刀抗力小；主偏角小時，吃刀抗力大。所以在加工細長的製件時，多採用主偏角大的車刀，為的是減少製件的彎曲。

切削主分力的大小常用下式計算：

$$P_z = C_p \times t \times s^{0.75} \quad (7)$$

式中 P_z ——切削主分力，單位公斤；

C_p ——被加工金屬性質對切削力影響的常數。可從書後表2中查出；

t ——切削深度，單位公厘；

s ——走刀量，單位公厘/轉。

從上式中我們很清楚的看出，切削主分力和切削深度及走刀量有密切的關係，它隨切削深度及走刀量的增加而增加。但從上式中又可看出，當切削深度增加一倍時，切削主分力也要增加一倍。

但走刀量增加一倍時，切削主分力增加不到一倍。這是因為走刀量 s 的 0.75 次乘方小於 1 的緣故。為了計算方便起見， s 的 0.75 次乘方數值可從附表 10 中查出。

用上式求出的數值，還不是精確的數值，因切削力不僅跟加工材料、切削深度和走刀量有關係，而跟其他因素也有關係，前面已經講過，在這裏不再多講。

走刀抗力 P_x 和吃刀抗力 P_y 常用切削主分力來表示它的大小，在一般情況下走刀抗力 P_x 等於 $0.3P_z$ 。吃刀抗力 P_y 等於 $0.5P_z$ 。

2 車床馬力的計算 求出切削主分力後，便可以照下面方法求切削功率和車床馬力：

上面說過，車刀把鐵屑切下時，必須做着功，才能克服主要的阻力（垂直抗力），這個功叫做切削功率，它等於：

$$P_z \times V \text{ 公尺} \cdot \text{公斤} / \text{分}$$

或等於：

$$\frac{P_z \times V}{60} \text{ 公尺} \cdot \text{公斤} / \text{秒}$$

化為馬力數時，得：

$$\text{切削功率 } N_1 = \frac{P_z \times V}{60 \times 75} = \frac{P_z \times V}{4500} \text{ 馬力} \quad (8a)$$

$$= \frac{P_z \times V \times 0.736}{4500} = \frac{P_z \times V}{6114} \text{ 仟瓦} \quad (8b)$$

式中 N_1 ——切削功率，單位是馬力或仟瓦；

P_z ——切削主分力，單位公斤；

V ——切削速度，單位公尺/分。

但是我們要注意，切削功率只是表示車刀在切削時所需要的動力，它並不包括車床的軸承、齒輪以及滑動面之間的阻力所消耗的動力計算在內，所以實際上車床所需要的馬力，比切削功率所需

要的馬力大，換句話說，我們須將機床效率去除切削功率，才算是車削的實際馬力，它的公式是：

$$N_2 = \frac{N_1}{\eta}, \text{ 即車床馬力} = \frac{\text{切削功率}}{\text{機床效率}} \quad (8c)$$

式中車床效率 η 可查車床說明書或在本書第7頁第三章第二節所列的數字中選擇。

例1 在車床上切削 $\sigma_b = 40$ 公斤/公厘² 的鋼料，用偏角 $\varphi = 45^\circ$ ，耐磨時間 60 分鐘的高速車刀鋼，切削深度是 5 公厘，走刀量是每轉 0.5 公厘，切削速度約為 70 公尺/分，求(一)切削時的功率是多少？(二)若機床的效率依說明書或估計為 0.8 時，車床馬力是多少？

解 從表 2 中找出抗拉強度 $\sigma_b = 40$ 的機器鋼，它的常數 $Cp = 138$ 。

從表 10 中找出 0.5 的 0.75 次乘方為 0.595。

用公式(7)求出切削主分力 $P_z = 138 \times 5 \times 0.595 = 410$ 公斤。

切削速度 = 70 公尺/分。

(一)切削功率 $N_1 = \frac{410 \times 70}{450} = 6.37$ 馬力；

或 $N_1 = \frac{410 \times 70}{6114} = 4.69$ 仟瓦。

(二)車床馬力 $N_2 = \frac{N_1}{\eta}$

$N_2 = 6.37 \div 0.8 = 8$ 馬力(約數)；

或 $N_2 = 4.69 \div 0.8 = 5.85$ 仟瓦。

取 $N_2 = 6$ 仟瓦。

例2 接着上面的例子，廠裏有一部舊的車床，裝配的馬達是 6 仟瓦，現在採用高速切削法，所需要的工作條件完全和上例一樣，但是切削速度改大為 200 公尺/分，問這老式舊車床吃得嗎？用什麼辦法來解決困難？