

TG71
1

000200

科學圖書大庫

金屬切削刀具設計

譯者 徐萬椿

徐氏基金會出版

譯者序

本書切削工具之設計，原名爲Design of Cutting Tools，是美國賓州大學漢姆副教授，和印度加爾各答、耶達伏爾大學白泰卡耶教授所著，並經美國工具及製造工程師學會之確認，是一部精粹之切削工具設計學。

全書篇幅不長，但對切削刀具作用之理論，切削刀具之幾何形狀、單尖刀具之設計、高生產切削刀具之設計，爲一定應用設計刀具，工具設置之經濟學，以及切削刀具技術未來之趨勢等予以詳細分析研究。圖片清晰分明，計算詳盡，以各種代數表式指出計算理論。此外尚有曲線圖以表示複雜之數據。本書主要者以車刀、銑刀、鑽頭、和拉刀爲例，作詳細闡述。此外對於刀具材料和新的切削技術作深入介紹。表面品質控制，亦有敘述。是一部佳作，對刀具設計和設置有趣趣之工程師，機器工廠從業工程人員，是一部有價值之書籍。

本書所用譯名，是以國立編譯館出版之機械工程名詞爲準。惟以書成倉促，如有錯誤，尚祈先進指正，是爲序。

馮 萬 榕 謹序

編者序

本書為切削工具工程師提供金屬切削理論和試驗結果，此等試驗結果對設計切削工具具有若干重要意義，並例示應用金屬切削理論和試驗結果於設計切削工具獨一無二之方法。此處所提供應用金屬切削理論之方法，不獨可應用於工具工程師切削工具作某種特別應用之例行變化。亦可用以設計完全新型之切削工具。

第一章討論金屬切削理論，此與後面諸章之切削工具設計具有連帶關係。第二章作者提供各種工具系統所需之幾何形狀描述，以及此等系統之相互關係。第三章至第五章討論各種切削工具之設計，但並不對所有切削工具作討論。第六章則強調最佳切削與工具設置狀況對材料經濟除去操作之重要性，作者並簡要描述，電腦如何協助工具工程師設計最佳工具設置。第七章作者以深入觀察切削工具技術之未來作結論。

美國工具及製造工程師學會確認，本書所提供之理論與應用方法未必與所有工具工程師所接受之實務相符合，但望本書能鼓勵對金屬切削理論之應用以設計切削工具作進一步研究。

本學會謹向紐約斯佩納克特台通用電氣公司加工部經理吉勃特博士 (Dr. Willam W. Gilbert)，華卡惜切削工具公司研究發展部經理威爾遜先生 (Mr. George F. Wilson) 對本書原稿作審慎評鑑表示感謝。

荷爾頓 施溫哈特
(Haldon J. Swinehart)

作者序

自從石器時代以來，切削工具是人類連續探求進步和文明最重要之工具。切削工具及其所製造之材料，由應用、經驗、和試驗、與其他技術隨着發展。若干理論已經發展，以解釋和演繹切削進行中之複雜現象。此等理論對改良工具形狀之發展和設計以提高生產力和作較佳之性能，具有甚大之貢獻。

本書例示金屬切削科學之理論發展如何影響切削工具設計，以科學與邏輯分析切削工具之設計，以改良切削性能。本書並非為金屬切削之設計手冊或工廠手冊，本書亦不含個案研究，各種工具之廣泛數據及其應用，或計算舉例。本書亦不制訂或描述任何標準或規則。本書亦無意提供在金屬切削研究領域中所有發展之理論，但將討論屬於金屬切削理論之事實，和對切削工具設計具有重要意義之試驗結果。

在全書中，將強調一宗事實，所有金屬切削操作能予一般化，並可在某種限度之內。所有金屬切削工具可作統一處理。本書可在金屬切削科學中所作之理論發展與切削工具設計應用之間作一橋樑。

作者對賓州大學工業工程系教授西密特博士 (Dr. Alfred O. Schmidt) 在金屬切削研究和卓越能力之領導和鼓勵表示感謝。

作者對賓州大學工業系主任聶裴爾教授 (Professor B. W. Niebel) ，及印度加爾各答耶達伏爾大學 (Jadavpur University , Calcutta, India) 機械工程系主任沈教授 (Professor G. C. Sen) 提供設備，使作者在執教大學和研究所時能作創造性之研究，而使此項論文更具挑戰性，表示感謝。

作者對哈根斯夫人、范秋蕾多夫人、漢姆先生、查德齊先生，協助本書之撰寫，特致謝意。

伊洋 漢姆 (Inyong Ham)

安彌泰巴 白泰卡耶 (Amitabha Bhattacharyya)

切削工具之設計所用符號表

- A_{max} = 最大未有切削切屑面積
- a_1 = 未切削層厚度，真實進給 = $s \cdot \sin \phi_p$
- a_2 = 切屑厚度
- a_m = 最大切屑厚度
- b = 切削寬度
- b_1 = 真實切削深度 = $t / \sin \phi_p$
- C = 刀具壽命公式之常數
- c = 切削 / 刀具接觸長度
- c_c = 每枚刀具更換成本
- c_e = 每一切削刃口之平均工具設置成本
- c_g = 工具室之人工與管理費率
- c_t = 一枚碳化物刀尖之成本
- c_{it} = 一枚碳化物鑲塊之成本
- c_m = 每一枚切削成本
- c_n = 每一枚非生產成本
- c_o = 機器工廠之人工與管理費率
- c_p = 塑性接觸之長度 (切屑 / 刀具)
- c_s = 每枚之工具設置成本
- c_{th} = 一刀夾之成本
- c_u = 每枚之總成本
- D = 工作物之直徑、或一銑刀之直徑
- D_t = 在任何瞬時切削之工作物直徑
- d = 一鑽頭之公稱外直徑

- d_t = 鑽頭之任何中間直徑
 d_o = 在鑽頭上整邊刃口直徑
 E = 每單位時間之總能量
 E_s = 每單位時間之比能量
 e = 焊疤磨蝕之深度
 F = 在刀具面上之摩擦力
 f = 刃口與焊疤之間鋒刃背部之寬度
 H_{av} = 表面粗糙度之算術平均值
 H_c = 在切屑與刀具接觸處工作物材料之硬度
 H_t = 在切屑與刀具接觸處刀具材料之硬度
 H_{rms} = 表面粗糙度之均方根值
 $H\phi$ = 在剪切平面工作物材料之硬度
 Hpc = 切削所需之馬力
 Hpt = 理想馬力
 Hpn = 淨馬力
 Hpt = 總馬力
 h = 斷屑口之高度
 h_c = 焊疤磨蝕之準則
 h_f = 齒腹磨蝕高度
 h_{max} = 最大粗糙度高度
 j = 熱之機械當量
 K = 接合之齒數 (銑刀)
 K_f = 鑽唇單位作用長度之比齒腹摩擦力
 K_n = 鑽唇單位作用長度之比齒腹垂直力量
 l = 切削長度；懸伸長度
 M = 扭矩
 M = 彎曲力矩
 M = 扭轉力矩
 M = 試驗力矩
 N = 每分鐘轉數

- N = 在刀具面之垂直力量
 N_1 = 每一刀具可能重行磨銳之次數
 N_2 = 與刀把可能銅焊之次數
 N_3 = 在嵌塊上有用切削刃口之數目
 N_4 = 刀把壽命中可用嵌塊之數目
 N_p = 每批之件數
 n = 刀具壽命公式之指數
 n_c = 切削之數目
 P = 力量
 P_x = 鑽頭整口之總擠壓力量
 P_s = 剪切平面上之剪切力量
 $P_{s'n}$ = 在剪切平面上之垂直力量
 P_z = 進給力量 (進給方向)
 P_y = 推力 (垂直於切削速度)
 P_s = 主切削力量 (切削速度之方向)
 PR = 生產率 (每時之件數)
 Q = 材料除去率 (in³/min)
 q_c = 自二次塑性變形之熱量
 q_f = 刀具無工作物介面摩擦所生之熱量
 q_s = 自最初塑性變化之熱量
 q_t = 金屬切削產生之總熱量
 R = 合力
 R_n = 刀尖半徑
 r = 半徑
 r_c = 切削比例或切屑厚度比例
 S = 節距 (例如一鑽頭之螺旋節距、或一拉刀上齒之節距)
 s = 進給
 s_m = 進給率
 T = 刀具壽命
 T_c = 每件之切削時間

T_{mc} = 在每件最小成本之切削速度下之刀具壽命

T_{mp} = 在最大生產率下之切削速度之刀具壽命

t = 切削之深度

t_b = 鋼焊時間

t_c = 刀具更換時間

t_o = 每一刃口之磨銳時間

t_i = 在任何瞬時之切削深度

t_n = 非生產時間

t_p = 銑刀齒之節距

t_t = 刀具承手時間

U_{hp} = 比馬力或單位馬力, $h_p/\text{in}^3/\text{min}$

V = 切削速度 (sfpm)

V_f = 切屑速度

V_s = 剪切速度

V_{mc} = 為每件最低成本之切削速度

V_{mp} = 為最大生產率之切削速度

W = 斷屑口之寬度

w = 工作物之寬度

X_{ro} = 在正交刀具參考系統中 π_R 平面與 π_o 平面之交叉線

X_{TN} = 在正交刀具參考系統中 π_R 平面與 π_o 平面之交叉線

Y_{TN} = 在垂直平面系統中 π_R 平面與 π_o 平面之交叉線

Z = 在銑刀或拉刀上之齒數

Z_{ro} = 在正交刀具參考系統之 π_o 平面與 π_o 平面之交叉線

Z_{TN} = 對 Z_{ro} 傾斜一 λ 之角度之軸

α = 間隙角

α_N = 在垂直平面之間隙角

α_o = 在正交平面之間隙角

α_x = 側間隙角

α_y = 端間隙角

β = 剪切角

β_w = 楔角

γ = 斜度角

γ_A = 軸向斜度角

γ_m = 最大斜度角

γ_n = 垂直斜度角

γ_o = 正交斜度角

γ_R = 徑向斜度角

γ_x = 側斜角

γ_y = 後斜角

δ_t = 一刀柄之撓曲

ϵ = 剪應變

ϵ_p = 平面角

ζ = 切屑減少係數

η_m = 機械效率，百分數

η_o = 摩擦角

η_q = 工具機效率，百分數

θ = 螺旋角 (鑽頭)

$\Delta\theta_f$ = 由於刀具面上之摩擦所致之平均溫度升高

θ_s = 介面溫度

θ_w = 工作物周圍溫度

$\Delta\theta_s$ = 由於在剪切平面之塑性變形所致之平均溫度升高

θ_t = 平均切屑與刀具介面溫度

λ = 傾斜角

μ = 摩擦係數

μ_o = 純正交切削之摩擦係數

ξ = 在銑刀齒之角度節距

ξ_1 = V型槽之包括角

ξ_p = 螺距角 (銑刀)

π_c = 切削平面

π_{ref} = 機器參考平面

- κ_H = 傾斜平面或垂直平面
 κ_o = 正交平面
 κ_R = 刀具參考平面
 ρ = 1/2鑽頭之鑽尖角
 ρ_c = 切屑捲曲半徑
 ρ_s = 切屑流動角
 σ = 彎曲應力
 σ_H = 抗拉強度
 σ_p = 容許應力
 σ_u = 極限強度
 σ_r = 降伏點強度
 τ_{max} = 最大剪應力
 τ_s = 剪應力
 ϕ_o = 補助刃口角
 ϕ_p = 主刃口角
 ϕ_s = 側刃口角
 ψ = 接合角 (銑切)
 ψ_s = 在任何瞬時之接合角
 ψ_m = 總接合角

目 錄

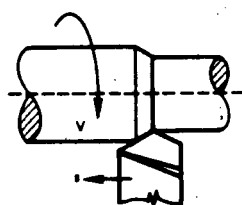
譯者序	I
編者序	II
作者序	III
切削工具之設計所用符號表	IV
第一章 切削刀具作用之理論	1
1-1 切削過程之要素	2
1-2 切屑形成之力學	7
1-3 在切削時之熱量與溫度	18
1-4 切削刀具之損壞與刀具壽命	23
1-5 表面品質	27
1-6 刀具材料	29
第二章 切削刀具之幾何形狀	39
2-1 刀具術語系統	39
2-2 刀具刃口及表面之定位基準	42
2-3 分析單尖刀具之形狀	59
2-4 以模擬法作鑽頭幾何形狀分析	74
2-5 普通銼刀之幾何形狀	77

2-6	平面銑刀之幾何形狀	78
第三章 單尖切削刀具之設計		80
3-1	為強度與剛度之刀柄設計	80
3-2	限制楔形角以防止脆性損壞	84
3-3	碳化物刀尖之設計	89
3-4	最佳刀具形狀	91
3-5	斷屑口之設計	102
3-6	特別單尖切削刀具之設計性質	106
第四章 高生產切削刀具之設計		112
4-1	高生產切削刀具之特性	112
4-2	典型高生產切削刀具	118
第五章 為一定應用設計刀具		132
5-1	定型刀具之設計	132
5-2	普通鑽頭及其特性	140
5-3	銑刀	157
5-4	拉刀之設計	169
第六章 工具設置之經濟學		174
6-1	刀具設置成本之基本因素	175
6-2	最佳切削狀況之分析	180
6-3	銅焊刀具成本與拋棄式刀具成本之比較	184
6-4	應用電腦分析工具設置之經濟	186
第七章 切削刀具技術未來之趨勢		193
7-1	為太空材料所用之新刀具材料	193
7-2	為高速切削所用之剛性工具機	195
7-3	數字控制與適應控制對刀具設計之影響	196

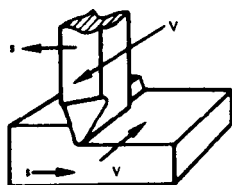
附 錄	矩陣代數之摘要	198
A-1	定義	198
A-2	一矩陣之移項	199
A-3	矩陣乘法	199
A-4	矩陣方程式之解法	200
A-5	一矩陣之反逆	201

第一章 切削刀具作用之理论

普通材料之除去過程係以單尖刀具或多尖刀具在金屬切削工具機上所進行。材料除去之基本方法為車削、牛頭刨床刨製和龍門刨床刨製、鑽孔、及銑切（見圖 1-1）。進行切削操作需要兩種基本運動，主要者為切削運動和進給運動，所有切削過程係以下列諸種因素予以區別：

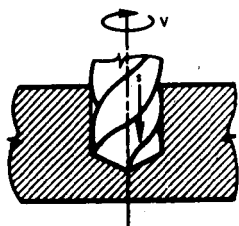


車削

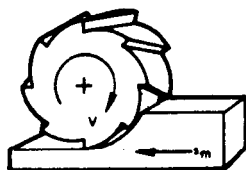


牛頭刨床刨製與龍門刨床刨製

單夾刀具操作



鑽孔



銑切

多尖刀具操作

圖 1-1 基本切削法。

(1) 切削速度, V , 以每分鐘之吋數 (in/min, 即 ipm) 或每分鐘之呎數 (ft/min 或 fpm) 表示。

(2) 進給, s , 以每轉之吋數 (in/rev 或 ipr) 表示。

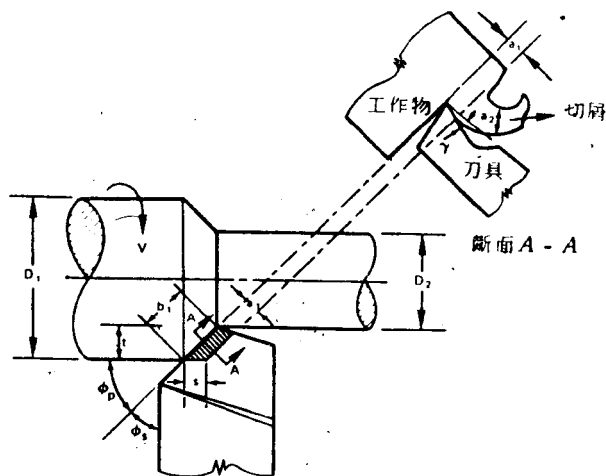
(3) 切削深度, t , 以吋 (in) 表示。

(4) 每件切削時間, T_c , 以每件之分鐘 (min/pc) 表示。

(5) 材料除去率, Q , 以每分鐘之立方吋 (in³/min) 表示。

1-1 切削過程之要素 (Elements of the Cutting Process)

基本材料除去過程中所含之切削過程要素, 大致相似, 只有些許



$$\text{切削速度, } V = \frac{\pi DN}{12}$$

$$\text{進給率, } s_m = sN$$

$$\text{進給} = s$$

$$\text{切削時間, } T_c = \frac{L}{sN}$$

$$\text{材料除去率, } Q = 12stV$$

$$\text{切削長度} = L$$

$$\text{切削深度, } t = \frac{D_1 - D_2}{2}$$

$$\text{主刃口角, } \phi_p = 90 - \phi$$

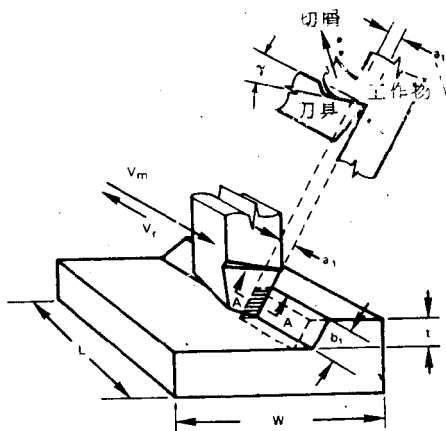
$$\text{實際進給, } a_1 = s \sin \phi_p = s \cos \phi$$

$$\text{實際切削深度, } b_1 = \frac{t}{\sin \phi_p} = \frac{t}{\cos \phi}$$

$$\text{切屑厚度} = a_1$$

圖 1-2 在車削操作中切削過程之要素。

差異，需視特別切削刀具之設計性質而定。車削中所包含之基本要素（見圖 1-2）幾乎與牛頭刨床刨製或龍門刨床刨製完全相同。（見圖 1-3），惟車削之主要切削運動為旋轉運動，而牛頭刨床或龍門刨床刨製則為直線橫移運動。普通鑽頭係應用兩個主要刃口，而與單尖刀具不同，鑽頭係旋轉而作軸向進給，如圖 1-4 所示。



$$\text{切削速度, } \bar{V} = \frac{N_s L (1 + R_s)}{12 \times 2}$$

$$\text{快速回程比, } R_s = \frac{V_m}{V_r}$$

$$s_m = s N_s$$

$$\phi_s = 90^\circ - \phi_p$$

$$T_c = \frac{w}{s N_s}$$

$$a_1 = s \cos \phi_p$$

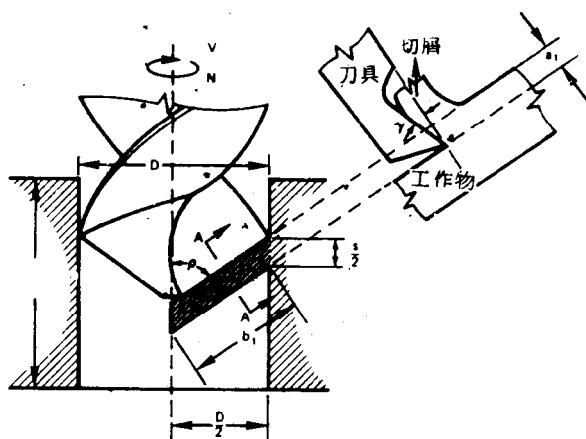
$$Q = 12 s t V$$

$$b_1 = \frac{t}{\cos \phi_s}$$

圖 1-3 牛頭刨床和龍門刨床刨製操作中切削過程之要素。

銑切含有多刃口銑刀之同時旋轉運動，通常，工作物具有直線進給運動。工作物之直線進給運動可與銑刀旋轉相對向（逆銑法或向上銑法），或可與銑刀之旋轉相同方向（順銑法或向下銑法）。

在原理上，銑刀上每一齒之切削作用與單尖刀具之作用相類似，在銑切中所含之基本要素可以與車削和其他材料除去操作相類似之情形表



$$\text{切削速度, } V = \frac{\pi DN}{12}$$

$$\text{進給率, } s_m = sN$$

$$\text{切削時間, } T_c = \frac{L}{sN}$$

$$\text{材料除去率, } Q = \left[\frac{\pi D^3}{4} \right] sN$$

$$N = \frac{12V}{\pi D} \text{ rpm}$$

$$\text{每唇之切削深度, } t = \frac{D}{2}$$

$$\text{每唇之實際進給, } a_r = \left(\frac{s}{2} \right) \sin \rho$$

$$\text{實際切削寬度, } b_1 = \frac{D}{2 \sin \rho}$$

圖 1-4 鑽孔操作中切削過程之要素。

示之（見圖 1-5）。

以銑刀所切成之切屑厚度均各不同，因為每一刃口除去一層材料。在逆銑法，其切屑厚度自銑刀齒開始切削之瞬時之零，而至銑切終了時之最大值 a （見圖 1-5）；在順時銑法，切屑厚度則自最大值 a 而至銑切終了之零。

在無螺旋之普通銑刀，其最大切屑厚度， a_m ，如圖 1-6 所示，可以下式表示：

$$a_m = s_0 \sin \phi_m \quad (1-1)$$