

冲壓加工與冲模設計

戴宜傑 編著

沖壓加工與沖模設計

定價：300 元

中華民國 75 年 10 月 1 日 修正版

版權
所有

翻
印
必
究

編著及發行人：戴 宜 傑

地 址：台北市新生南路三段 19 巷 32 號

電 話：(02)7088153

郵 政 劃 撥：0147477 - 4

印 刷 者：三文彩色印刷有限公司

電 話：3034544

行政院新聞局局版台業字第 二二七〇 號

經銷：新陸書局
股份有限公司

台北市南昌街一段 125 巷 4 號

電 話：(02)3512587

(02)3951232

郵政劃撥：號碼：0758380 - 0

前 言

沖壓加工爲我國工業發展之先驅，沖模設計爲機械設計之先鋒。正值我國向着精密工業邁進之際，沖壓加工與沖模設計亟需精益求精，尤需突破性的發展。著者有鑑於此，特憑三十餘年來從事此業之加工，設計與製造經驗以及多年來教學之心得撰寫此書，藉以奉獻給各工廠中從事此業之好友及各學校攻讀此一課程之同學。

關於沖壓加工方面本書推論加工原理，力的分析與計算，成形界限的研究等；關於沖模設計方面則闡述設計步驟、方法，提供充分的數據並列舉諸多實例。全書共分六章，茲將各章內容簡介如下。

第一章沖床 闡述曲軸沖床噸位的制定，滑體（或撞體）、曲軸、飛輪及刹車與結合器等設計與構造要點。

第二章剪斷 討論剪斷原理，沖模壽命，沖模設計及棒材、管材、小孔及非金屬材料之特殊剪斷加工等。

第三章彎形 討論彎形原理，彈回作用，彎形製品精度，中立線的移動，最小角隅半徑，最低彎形高度等問題，以及彎形方法與沖模設計等。

第四章成形 討論成形現象，成形界限，成形方法及沖模設計等

第五章引伸 討論引伸原理，力的分析，設計所需的公式及數據，圓筒、長方筒、錐形筒之工程設計與沖模設計並列舉各形筒之設計實例。

第六章連續沖模 敘述連續沖模種類，制定24項連續沖模的設計程序並逐一闡述之。舉出實例五則對應24項程序逐一討論之。

本書之出版承徐有財老師之協助，以及東喬出版社之出版，在此同表謝忱。本書倉促成稿，雖經再三校對，但疏漏之處在所難免，盼國內外專家學者不吝指正幸！

著者 撰寫於國立台灣工業技術學院機械系
70年2月

目 錄

第一章 曲軸沖床之設計	1
1-1 曲軸沖床.....	1
1-2 曲軸沖床之型態與構造	2
1-3 沖床作用力.....	3
1-4 沖床噸位.....	5
1-5 沖床噸位的概略計算法	5
1-6 C型沖床主要零件的構造設計	5
1-7 沖床加工速度.....	13
第二章 剪 斷	17
2-1 剪斷原理	17
2-2 剪斷加工的種類	39
2-3 型態分類的沖模構造	50
2-4 剪斷沖模主要零件設計	52
2-5 剪斷面上毛邊之探討	100
2-6 特殊的剪斷加工	105
2-7 非金屬材料的剪斷加工	146
第三章 彎 形	171
3-1 定義與名稱	171

3-2	彎形原理	171
3-3	力偶與曲率之關係	172
3-4	一般力矩 (Moment) 之彎形	176
3-5	彈回 (Spring Back) 現象	176
3-6	中立線段移動與料厚變遷	191
3-7	最小曲率半徑 R_{min}	193
3-8	製品彎曲	196
3-9	材料展開長度之計算法	196
3-10	彎形製品的精度	200
3-11	彈回角量的控制方法	201
3-12	彎形壓力的計算	205
3-13	製品彎邊之最低高度 h	211
3-14	最小彎形半徑 R	213
3-15	V 彎形過程	213
3-16	U 彎形過程	213
3-17	彎形沖模之構造	215
3-18	彎形方法	219

第四章 成 形..... 227

4-1	定義與名詞	227
4-2	成形的基本形式	227
4-3	不良的成形現象	228
4-4	成形限界	229
4-5	突緣成形限界	230
4-6	成形沖模	234
4-7	成形方法	236

第五章 引伸 241

- 5-1 引伸定義 241
- 5-2 引伸加工中材料流動情況 241
- 5-3 引伸加工中材料受力的情況 242
- 5-4 力的分析 243
- 5-5 圓筒引伸加工的討論事情 251
- 5-6 圓筒引伸工程設計及沖模設計 243
- 5-7 長方筒引伸工程設計及沖模設計 225
- 5-8 圓錐筒引伸工程設計及沖模設計 339
- 5-9 引伸加工實例 345

第六章 連續沖模設計 365

- 6-1 連續沖模的定義 365
- 6-2 連續沖模的加工情況 365
- 6-3 連續沖模的優點 366
- 6-4 連續沖模的使用限制 367
- 6-5 設計連續沖模者應具備的事項 367
- 6-6 連續沖模的分類與基本構造 369
- 6-7 連續沖模的工程設計 374
- 6-8 連續沖模實例 406
- 6-9 連續沖模工程設計及沖模構造實例 413

第一章 曲軸沖床之設計

1-1 曲軸沖床

圖 1-1 爲齒輪式 50 噸沖床之照相圖，圖 1-2 爲其構造之線條圖及各零件之名稱。

沖床動力來自馬達，由皮帶傳動背面的驅動軸，軸的左右兩端各設有飛輪及小齒輪，後者與大齒輪嚙合，大齒輪安裝在曲軸的主軸上，當結合器發生作用後，大齒輪帶動曲軸及連桿，使滑動作上下往復運動。沖模的上及下部份各安裝在滑體及承板上，利用大齒輪所產生的動能使沖模進行沖壓加工。

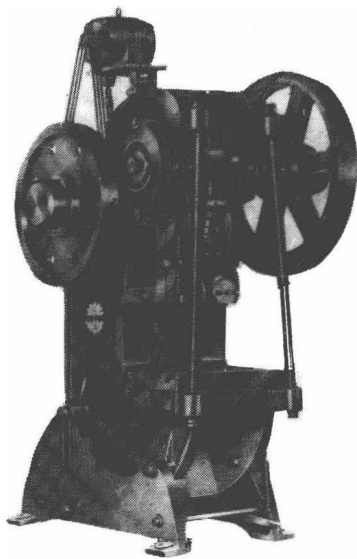


圖 1-1 齒輪式 50 噸曲軸沖床

2 冲壓加工與冲模設計

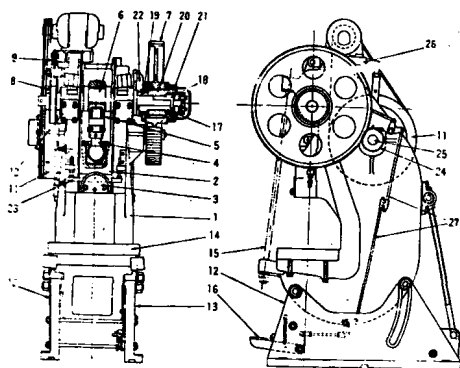


圖 1-2 冲床構造圖

- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. C形體架 (C-type Frame) | 15. 繫桿 (Tie Rod) |
| 2. 滑體 (Ram or Slide) | 16. 腳踏板 (Foot Pedal) |
| 3. 模柄壓蓋 (Shank Clamping Cap) | 17. 迴轉鍵 (Rolling Key) |
| 4. 連桿螺絲 (Connecting Rod or Pitman Screw) | 18. 後鍵 (Back Key) |
| 5. 連桿 (Connecting Rod or Pitman) | 19. 內結合器環 (Inner Clutch Ring) |
| 6. 曲軸 (Crank Shaft) | 20. 中結合器環 (Center Clutch Ring) |
| 7. 大齒輪 (Gear) | 21. 外結合器環 (Outer Clutch Ring) |
| 8. 剎車輪 (Brake Wheel) | 22. 結合器箱 (Clutch Bracket) |
| 9. 剎車簧 (Brake Spring) | 23. 打出樑 (Knock-out Beam) |
| 10. 曲軸軸承罩 (Crank Shaft Bearing Cap) | 24. 小齒輪 (Pinion) |
| 11. 飛輪 (Flywheel) | 25. 驅動軸 (Drive Shaft) |
| 12. 左腳 (Left Leg) | 26. 馬達台 (Motor Base) |
| 13. 右腳 (Right Leg) | 27. 腳踏板連桿 (Treadle Rod) |
| 14. 承板 (Bolster Plate) | |

1-2 曲軸冲床之型態與構造

冲床之型態以其體架 (Frame) 為主而分類之。

1. C型冲床

冲床的體架像C字形狀，此為最基本而廣泛使用之冲床。因為C形的體架不能具備充分的剛性，故C型冲床的噸位宜在100噸之內。

2. 直立型沖床

此型沖床的構造與作用皆與C型者相同，惟體架呈拱門形式，體架具備充分的剛性，故沖床噸位可大於100噸。

3. 特型沖床

為適應沖壓製品的複雜形狀而特別設計出來的各種沖床，稱為特型沖床。

4. 曲軸沖床的構造

沖床的構造設計乃根據所指定沖床能承受的最大加工壓力。沖床的主要零件，如體架（Frame），滑體（Slide），連桿（Pitman），曲軸（Crank Shaft），飛輪（Flywheel），接合器（Clutch），剎車（Brake）及承板（Bolster）等。

1-3 沖床作用力

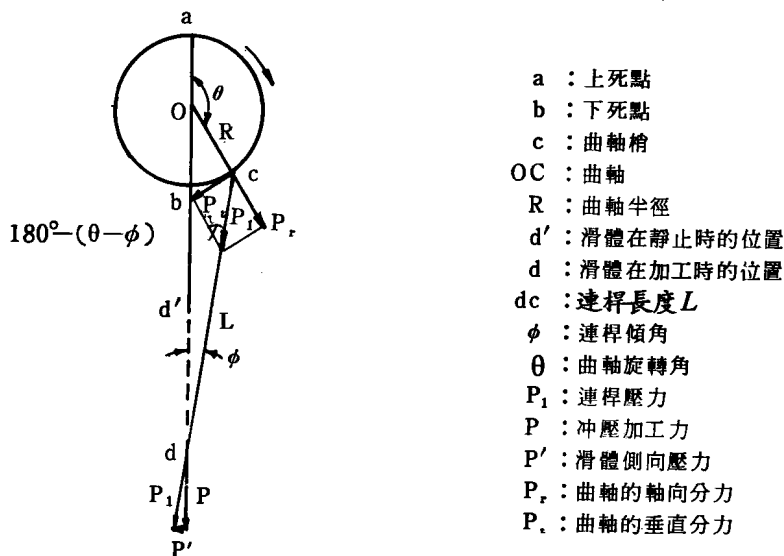


圖 1-3 沖床作用力

圖 1-3 表示冲床在加工瞬時付出壓力的分析圖。各代表文字的說明位於圖的右方。

圖中力的關係式附在圖的右旁。

$$P = P_1 \cos \varphi \quad \text{或} \quad P_1 = \frac{P}{\cos \varphi}$$

$$P_1 = \frac{P_t}{\sin(\theta - \varphi)}$$

$$\theta \text{ 與 } \varphi \text{ 之間的關係爲：} R \sin \theta = L \sin \varphi \text{ 或 } \sin \varphi = \frac{R}{L} \sin \theta$$

$$\text{令 } \beta = \frac{R}{L} \text{ 則}$$

$$P_1 = P_t \frac{1}{\sin \theta \cos \varphi - \cos \theta \cdot \lambda \cdot \sin \theta}$$

$$\text{因 } P = P_1 \cos \varphi$$

$$P = P_t \frac{1}{\sin \theta \left(1 - \frac{\lambda \cos \theta}{\cos \varphi} \right)}$$

$$\text{採用近似值，} \cos \varphi = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta} = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta$$

$$P = P_t \frac{1}{\sin \theta \left(1 - \frac{\lambda \cos \theta}{1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta} \right)} \quad (1-1)$$

同理又得

$$P = P_t \frac{-1}{\cos \theta + \frac{\lambda \sin^2 \theta}{1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta}} \quad (1-2)$$

1-4 沖床噸位

當 $\theta = 180^\circ$ ，即沖床滑體下降至下死點時，由 (1-2) 式可得 $P = P_r$ ，再由 (1-1) 式可得 $P = \infty$ 。因此沖床噸位必須制定在距下死點某一距離的位置，此位置當應隨沖壓加工所需最大壓力的位置而異，有 4，6，8，13，15 乃至 30 公厘等多種距離。沖床噸位在 20 噸以下者皆利用皮帶直接帶動飛輪，稱為直接式曲軸沖床，其噸位用號數表示之，如表 1-1。20 噸以上的沖床多採用齒輪傳動式，其噸位直接以數字稱呼之。

表 1.1 沖床號數與噸位表

號	數	噸	位
5	號	4	~ 5
4	號	8	~ 10
3	號	12	~ 15

1-5 沖床噸位的概略計算法

對於某一曲軸沖床，測量其主軸端直徑的英寸數，以下列公式計算其噸位 T 。

$$T = 2.5 d^2 \quad (1-3) \quad d = \text{英寸數}$$

1-6 C 型沖床主要零件的構造設計

1. 體架

圖 1-4 為體架之側視圖。當沖床加工時，沖模加於工作物的壓力等於工作物材料所產生的阻力，（忽略沖床運動部份的摩擦力）。此阻力 P 對於體架斷面的面心 G (Centroid) 產生拉力 P 及力矩 PL ，於

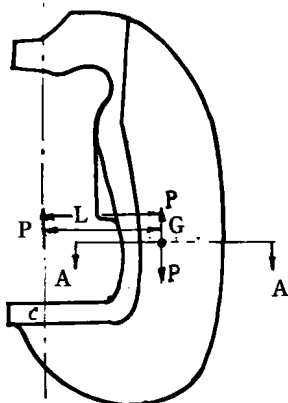


圖 1-4 C型體架

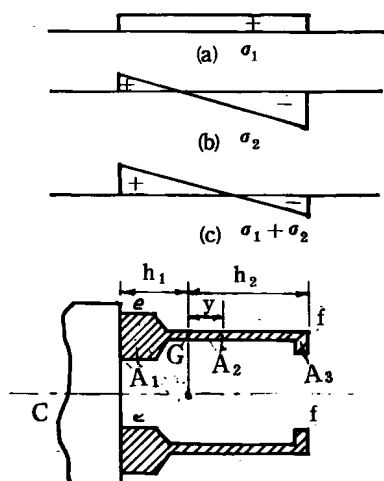


圖 1-5 A-A剖面

是斷面上就受到單純的引張應力 σ_1 及力矩所產生的彎曲應力。

以體架之一邊計之，引張應力 $\sigma_1 = \frac{P/2}{A}$ ，A 為一邊體架的三個約為長方形面積之和， $A = A_1 + A_2 + A_3$ 。一邊斷面上的力矩為 $M = \frac{1}{2} PL$ ，其所產生的彎曲應力之計算公式為

$$\sigma_2 = \frac{\Sigma M (h/2)}{\Sigma (I + A' d'^2)} \quad (1-4)$$

式中 h = 各長方形的高度

I = 各長方形面積對其中心的二次慣性力矩， $\frac{1}{12} bh^3$ ， b 為

各長方形的寬度

$I + A' d'^2$ = 各長方形面對 G 點之二次慣性力矩

A' = 各長方形之面積

d = 各長方形中心與 G 點之距離

A' = 各長方形之面積

d = 各長方形中心與 G 點之距離

圖 1-5 爲 $A-A$ 剖視圖，其中(a)爲一邊斷面上引張應力 σ_1 的分佈，(b)爲彎曲應力 σ_2 的分佈及(c)爲(a)與(b)兩組應力的合應力分佈。

體架的材料通常採用鑄鐵 FC25，其容許引張應力爲 $20 \sim 30 \text{ kg/mm}^2$ ，容許壓縮應力爲 $25 \sim 40 \text{ kg/mm}^2$ 。圖 1-5 中所示之體架斷面形狀既爲沖床工業界所適用者，那麼形狀之尺寸制訂就要根據沖床最大壓力 P 計算出 σ_1 及 σ_2 ，再看 $\sigma_1 + \sigma_2$ 之最大引張應力是否不會超過 $200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 。

2. 滑體 (Slide 或 Ram)

滑體的標準尺寸已由各國製造廠分別制定而成。滑體的上面與連桿相接，下面則承裝着沖模。滑體應具有相當的重量，重量的計算須以在沖壓加工的瞬間其質量連同沖模上部份質量與此瞬間加速度的乘積要能達到沖床的噸位爲準。

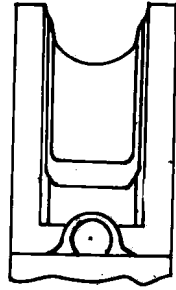


圖 1-6 滑體

3. 連桿 螺桿

連桿的軸向壓力是 P_1 (圖 1-3)，
$$P_1 = \frac{P}{\cos \varphi} \div \frac{P}{1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta}$$

式中 P 的最大值即沖床的噸位， θ 爲沖壓加工時曲軸所旋轉的角度，

$\lambda = \frac{R}{L}$ ，其值愈大，則 P_1 之最大值愈高。計算連桿螺桿直徑的公式如下：

$$\frac{\pi d^2}{4} \sigma = P_1 \quad \sigma = \text{許容壓縮應力} (1100 \sim 1300 \text{ kg/cm}^2)$$

$$d = \sqrt{\frac{P_1}{.785 \sigma}} \quad d = \text{螺紋平均直徑} \quad (1-5)$$

4. 曲軸

如圖 1-7 所示，曲軸的設計不僅是強度方面的計算，對於大噸位的冲床也要考慮其剛性，對於高速度冲床更要考慮其震動問題。曲軸的材料為鎳鉻合金鋼或中碳鋼（SNC 或 S 45C），曲軸的設計分三個部份，曲軸梢（Crank Pin），曲軸蹼（Web）及主軸（Main Shaft）。

(1) 曲軸梢

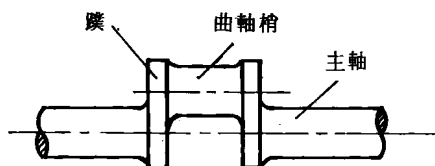


圖 1-7 曲軸

曲軸梢中應力的分佈可按照材料力學中兩端固定的樑其上受到連桿之加工壓力 P_1 ，若曲軸梢長度為 ℓ ， P_1 可視為均勻分佈之力，單位長度上的壓力則為 $\frac{P_1}{\ell}$ 。由材料力學可得曲軸梢上力矩的分佈如圖

1-8 所示。

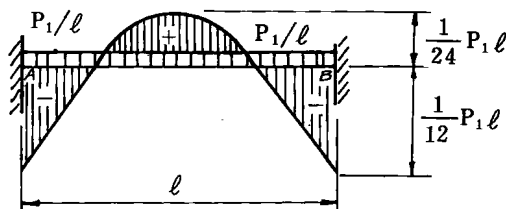


圖 1-8 力矩分佈圖

圖 1-8 中 A B 代表兩端固定的曲軸梢，其長度為 ℓ ，沿着 A B 承受着 $\frac{P_1}{\ell}$ 的均勻壓力。此均勻壓力使曲軸梢中產生兩種力矩，一為均

勻分佈的力偶其值爲 $\frac{1}{12} P_1 \ell$ ，另則爲在兩端 A，B 爲零，中間爲最大值 $\frac{1}{8} P_1 \ell$ 的力矩分佈。兩者方向相反，其合成力矩分佈則如圖 1-8 所示。力矩的最大值 M 發生在曲軸梢的兩端 A 及 B，曲軸梢的斷面應爲圓形，其直徑 d 可根據 M 之值求得之。

$$\sigma = \frac{M \left(\frac{d}{2} \right)}{I}, \quad d = \frac{2 \sigma I}{M}$$

$$M = \frac{1}{12} P_1 \ell, \quad I = \text{二次慣性力矩}$$

$$\sigma = \text{容許引張拉力 (17 \sim 20 \text{ kg/mm}^2)}$$

(2) 曲軸蹺

蹺的斷面上所受的應力分佈乃由 P_t 及 P_r 所產生者 P_r 及 P_t 的計算公式：可參照公式 (1-2) 及 (1-1)。茲抄錄如下。

$$P = P_t \frac{1}{\sin \theta \left(1 - \frac{\lambda \cos \theta}{1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta} \right)}$$

$$P = P_r \frac{-1}{\cos \theta + \frac{\lambda \sin^2 \theta}{1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \theta}}$$

上式中 P 以沖床噸位計之

$$\lambda = \frac{R}{L}$$

θ = 加工時曲軸所旋轉的角度

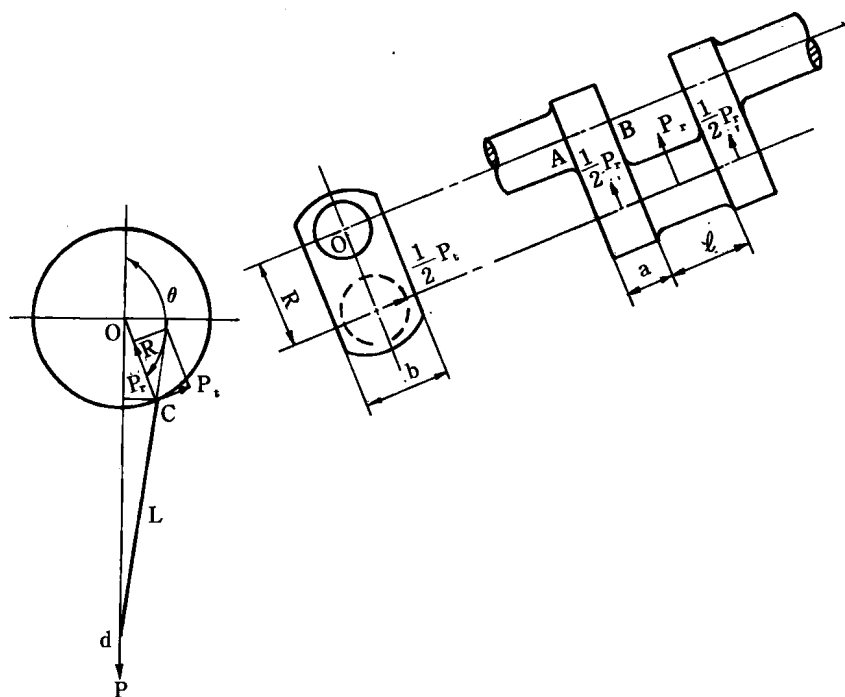


圖 1-9 加工時曲軸蹠受力的分析

曲軸蹠的寬度為 a ，高度為 b ，蹠的斷面上有 $\frac{P_r}{2}$ 所產生的壓縮

應力及力矩 $\frac{1}{2} P_r R$ 與 $\frac{1}{4} P_r l$ ($\frac{1}{2} P_r \cdot \frac{l}{2}$) 分別所產生的彎曲應力。此

兩種力皆可使用材料力學的公式求得之。求法如下：

$$\begin{aligned} \text{壓縮應力 } \sigma_c &= \frac{P_r}{2ab} \\ \frac{1}{2} P_r R \text{ 所產生的彎曲應力爲 } \sigma_t &= \frac{\left(\frac{1}{2} P_r R\right) \frac{b}{2}}{I} = \frac{\frac{1}{4} b P_r R}{\frac{1}{12} ab^3} = \frac{3 P_r R}{ab^2} \end{aligned} \quad (1-6)$$

$$\frac{1}{4} P_r \ell \text{ 所產生的彎曲應力爲 } \sigma_r = \frac{\left(\frac{1}{4} P_r \ell \quad \frac{a}{2} \right) \frac{1}{8} a P_r \ell}{I' \frac{1}{12} b a^3} = \frac{3 P_r \ell}{2 a^2 b} \quad (1-7)$$

令 σ_e , σ_t , σ_r 三者之和的最大值為容許引張應力，則可求出曲軸蹼的尺寸。

加工時曲軸所旋轉的角度 θ 與沖床能力位置的關係如下。例如沖床能力位置在下死點以上 6 mm，由圖 1-9。

$$R - R \cos (180^\circ - \theta) = 6, \quad \theta = \cos^{-1} \left(\frac{6}{R} - 1 \right)$$

(3) 主軸

在加工中主軸受到 $\frac{1}{2} P_t R$ 的力距及 $\frac{1}{2} P_r$ 的壓力，根據材料力學上的公式

$$M = \frac{G \phi J}{L}, \quad \tau_a = G \gamma_a$$

式中 $M = \text{力矩 } \frac{1}{2} P_t R$

$G = \text{剪力模數 (Modulus of shear)}$

$\phi = \text{扭轉角}$ ，其值須根據公式 $\tau_a = G \gamma_a$ 以經驗制定之

$$J = \frac{\pi d^4}{32}, \quad d = \text{主軸直徑}$$

$L = \text{主軸有效長度}$ ，等於飛輪中心至蹼間的距離

$\tau_a = \text{容許扭轉剪斷應力}$ ，對於中碳鋼採用

$$\tau_a = 11 \sim 15 \text{ kg/mm}^2$$

$\gamma_a = \text{容許扭轉剪斷應變}$

主軸上有鍵槽時，上式中的 d 值應以槽底計之。飛輪重量對主軸