

受內壓鑄鐵筒厚度之求法

How To Determine the Barral Thickness of Cast Iron Pressure Vessels

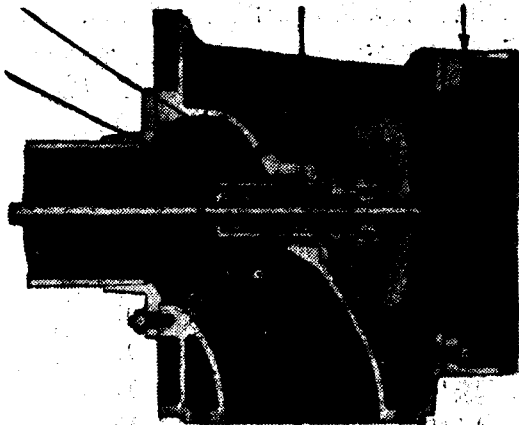
方 根 壽

一、引 言

設計一鍋爐或其他鋼製壓力筒，在美國有鍋爐法規(Boiler Code)可循，只要依據法規設計，即使出了毛病，設計師之責任亦不大，又如設計輸水或輸氣之鑄鐵管，美國水工協會(American Water Works Association)亦有詳盡之規格可資採用，設計者不用自己搜索，惟其中有一類鑄鐵製成之壓力筒，應用甚普遍，但無法規可用，這類壓力筒舉例如下：

- 1 垂直式抽水機之各種出水座 (Discharge Head) 如圖一所示者。
- 2 牽引機或其機器上所用之水壓筒 (Hydraulic Cylinder)
- 3 各種抽水機之外殼 (Case)，此等外殼非簡單之圓筒形，但計算其材料強度時，先須假定其為圓筒，方可着手進行。

約二年前(民國47年)作者負責設計抽水機之特種出水座凡25個，比較前人類似之設計，並無合理之規則可得，深感對厚度之求法，宜有一番探討，旋經文獻之搜索與有關方面之通信討論，製成公式一個，以為設計25個出水座之準繩，本篇所述，即係當時一番搜索的結果。



(第一圖)

二、決定厚度之各種因子

以T(圖二)表示受內壓鑄鐵壓力筒之壁厚，則T實為四個因子之總和，以算式表之：

$$T = t_s + t_r + t_c + t_n$$

此處 t_s 為應力 (Stress) 所需要之厚度，由基本公式求之

$$s = \frac{PD}{2S} \text{ 或 } \frac{PR}{S} \text{ 詳細待後節說明。}$$

t_r 為翻沙 (Foundry) 之容差，視各該廠翻砂之技術優劣而異，茲舉 A. W. W. A. (美國水工協會) (1)* 之容差作為參考，翻沙時泥心與模型不能安放絕對的同心 (Concentric) 致有一邊薄一邊厚之弊，此容差之由來也。

表一、A. W. W. A. 建議之水管翻砂容差

水管大小	最大容差 (Tolerance)
3—8 英寸	0.07 英寸
10—12 英寸	0.08 英寸
14—24 英寸	0.08 英寸
30—48 英寸	0.10 英寸
54—60 英寸	0.10 英寸

t_c 為腐蝕 (Corrosion) 所需之厚度
鑄鐵管每年腐蝕深度，受外面環境與內面液體性質而異，對大口徑之壓力管，這 t_c 之影響不大，而對小口徑者而言，則異常重要，A. W. W. A. 之建議為增加 0.08 英寸，大小口徑均同，其他之試驗報告不多，International Nickle Co. 曾在法國二處海邊做過試驗，將灰口鐵管橫埋沙下一公尺，三年後取出量出腐蝕深度如下：(4)

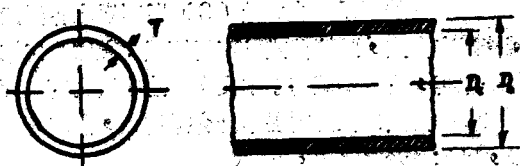
在 Le Touquet 海邊者——蝕深 0.069"

* 括弧內之數字指文後之參考文獻

在 Mont. St. Michel 海邊者蝕深 0.043'' 由該試驗論之，0.08 英寸之增加，似尚適當，在未有更充分之試驗前，不妨採用之。

t_H 為處理 (Handling) 所需之厚度。

小口徑之壓力筒，往往加備 t_s 、 t_r 與 t_c 後其數值仍甚微小，翻沙時，加工時與搬運時不安全，容易受碰擊而破裂，此時要另加厚度，方保無虞。一般人認為厚度不小于 $\frac{1}{4}$ 英寸，作者在戰時之重慶曾設計過幾件鑄鐵農具，因經驗不足，忽略此 t_H 因子，結果太薄，半數要回爐重鑄。



(第二圖)

三、 t_s 之求法及其注意之點

上述四因子，以 t_s 最基本而重要，本節將細論之，因鑄鐵筒之厚度不由單一因子決定，故求 t_s 時，不值得引用繁複之公式，通常所見之二個簡單公式如下：

$$\text{薄筒公式 } t_s = \frac{PD_1}{2S_t}$$

厚筒公式 (或稱 Barlow 方程式)

$$t_s = \frac{PD_0}{2S_t}$$

前者用內徑 D_1 ，後者外徑 D_0 (圖二)，用外徑者，理論較嚴格，當 $\frac{t}{D_1} > 0.07$ 時，一般主張用厚筒公式，但對於鑄鐵而言，這點亦並不太重要，反正有一番調整與增減。設計者可就當時之方便，任選一者用之，設計壓力筒時，有時須維持內徑不變，有時則須維持外徑不變，因之二個公式給準確度不論，各有其方便之場合。

二個公式中之 P 為內面存在之壓力，必須要注意的是原有壓力以外，要加上可能由水錘 (Water Hammer) 所產生之壓力，後者之數值不易估計，為一大難處，水錘為開閉閘門 (Valve) 時，水速驟減而使局部壓力增高之現象，其增高之數值與加速增有關，而與筒徑大小無涉，可是 A. W. W. A. 一向援用多年前 Bracket 氏之建議，小管多加，大管少加如表二所示者。

表二、因水錘而增加之壓力 (1)

管 徑	壓力之增加
4-10 英寸	120 P.S.I.
12-14 "	110 "
16-18 "	100 "
20 "	90 "
24 "	85 "
30 "	80 "
36 "	75 "
42-60 "	70 "

Bracket 氏建議此表當時，閘門之開閉用手，故小門開得快，大門開得慢，致有此結果，今日動力應用普遍，上表實不適用，只因缺乏試驗，未有人起而更正，作者設計時係大小管徑一律用 100 P. S. I.，是否允當，無法知悉，一併在此提出，供人參考與指正。

上二公式中之 S_t 為拉力強度 (Tensile Strength)，鑄鐵之最大拉強 (Ultimate Strength) 極易由實驗得之，一個略具規模的翻沙廠經常有此試驗，以期品質不變，設計者于選定一個適當安全係數 (Factor of Safety) 後，則 S_t 可求：

$$S_t = \frac{\text{最大拉強}}{\text{安全係數}}$$

可是鑄鐵與鋼鐵有一點不同，鑄鐵之最大拉強與破裂試驗 (Busting test) 所得之數值不等，後者遠較前者為小，破裂試驗係加壓力于關閉之筒，使筒壁破裂為止，這種試驗甚化工本，非人人所能為，但破裂強度實為鑄鐵重要性質之一，對設計鑄鐵壓力筒而言，不知破裂強度，則莫由知悉強度之實情，不知究竟有多少安全係數在內。

鑄鐵管之破裂試驗不多，現舉數例以供參考：表三、表四與表五俱見參考文獻 (2)

表三、Talbot 與 Richard 兩氏對 6'' 口徑之試驗結果

試驗號	破裂強度	最大拉強	百分比*
1	13,900 PSI	23,500 PSI	59.2
4	16,100	25,400	63.4
99	14,700	20,100	73.3
30	13,700	19,800	69.4
40	13,400	25,400	51.0

*該項圖作者所編者

表四、Enger 與 Lansford 兩氏之試驗

管徑(吋)	試驗組	破裂強度	最大拉強	百分比*
12	12	16,800 PSI	23,400 PSI	71.8
	13	12,500	19,200	65.1
	14	15,000	23,200	64.7
20	1	15,000	21,500	69.8
	2	13,500	19,000	71.0
	3	13,000	18,300	71.4
24		16,600	21,200	78.4
	48	10,150	15,000	67.8

表五、University of Illinois 之試驗

管 徑	試驗重複數	平均破裂強度
6	36	14,200 PSI
12	11	14,570
20	10	13,950
24	2	16,550
36	4	14,132
48	8	12,380

伊利諾大學試驗未提及最大拉強，參考(2)予以估計約在22,000 PSI 左右。

Marks 機工手冊載有美國 Crane 公司早年對鑄鐵管另件之試驗結果，破裂強度與最大拉強有一定比率，管徑 12" 以下其比為 65%，以上則為 60%，但作者與該公司通信討論時，彼等否認有此一定之關係。

由上述幾個試驗觀之，鑄鐵之破裂強度較最大拉強為小，已甚顯明，其比率雖無一定，但平均可在 60% 以上，如用安全係數 5 者，其實得只 3 多一點。

現舉一計算厚度之實例如下：

設計 4 英寸內徑之鑄鐵筒一個，內部壓力為 150 PSI 鑄鐵筒一個，鑄鐵之最大拉強為 20,000 PSI，試求筒壁之厚度，

$$\text{用薄筒公式 } t_s = \frac{PD_1}{2S}$$

假定水錘之增壓為 100 PSI，則 $P=250$ PSI
 $D_1=4$

用 5 為安全係數 (此 5 非隨意假定數，很多人實用之) 則 $t_s = \frac{250 \times 4}{2 \times 4,000} = 0.125''$

外加 $t_r=0.07$ ， $t_c=0.08$ 又 $t_H=0$ ，
 (因前三項之和已超過 0.25"，一般認為不需另加厚度)

故總厚度為 0.275"

此處 $\frac{T}{D_1} = \frac{0.275}{4} = 0.069$ ，超過 0.01，照理應

用厚筒公式，較為準確，但加用後者，要嘗試幾次方成，因外徑 D_0 要等厚度求得之後方知道也，因之一般情形下，不甚值得如此麻煩。

四、鑄鐵管之公式錄

本節轉載 Wiggin 氏 (2) 所列舉之各種鑄鐵管厚度公式，此等公式已不為權威之美國水工協會所採用，自更不適用於本文所討論之壓力筒，可是工程手冊與工程計劃書中仍有採用者，因之有附錄，以作參考之必要。

1 Bracket 氏公式 (或稱 New England 水工協會公式)

$$t = \frac{(P+P')R}{3300} + 0.25$$

P 為內壓， P' 為水錘之增壓，表二之數值即 Bracket 氏所創議者。

R 為水管之內半徑。

而分母中之 3300 來源係： $\frac{\text{最大拉強}}{\text{安全係數}} = \frac{16,500}{5}$

第二項之 0.25 係校正量，與我們公式中之 t_r 、 t_c 與 t_H 有相似之意義。

該公式見于銷路極廣之機械手冊 (Machinery's Handbook) 中並未說明 3300 之由來，故隨手採來應用，十分危險。

2 Fanning 公式

$$t = \frac{(P+100)p}{0.4S} + 0.333(1 - \frac{d}{100})$$

d 為內徑 S 為最大拉強

100 為水錘之增壓，大小管一律加 100 PSI

又分母中之 0.4 實為 $\frac{2}{5}$ 所變，換言之其所用之安全係數為 5。

3 美國水工協會公式

$$t = K(H+230)d + 0.333 - 0.0033d$$

H 為內壓，以呎為單位

$K = \frac{0.5 \times 0.433 \times \text{安全係數}}{\text{最大拉強}}$

最大拉強 $S=18,000$ PSI

此公式與 Fanning 公式，稍加變化，二者完全相同。

4 Fairchild 公式

$$\text{原來之公式 } t = \frac{fd(P+P')}{2S} + \frac{0.03}{d^3}$$

f 為安全係數，用 4

S 為最大拉強用 20,000 PSI

$$\text{修改之公式 } t = \frac{fd(P+P')}{2S} + \frac{0.28}{d^{1.5}}$$

f 用 5，用 S 而 25,000 PSI

P' 亦為水錘之增壓，小管之數值與 Brackett 氏用者相同，16"至24"口徑用 5 至 10 PSI。

此 Fairchild 公式曾見於美國軍工團 (Corps of Engineers) 某項工程計劃書中規定抽機之外殼必須符合該公式，但陸軍檢驗不知有此公式，致無法檢驗，詢諸其他製造廠，無人能知，請示上峯又有不便，適作者有此項資料在手，問題得以解決，

當時頗有一番搜索，不虛此舉之感。

參考文獻

1. ASA A21.1-1957 American Standard Practice Manual for the Computation of Strength and Thickness of Cast Iron Pipe
2. T.H. Wiggin et al, A Proposed New Method for Determining Barrel Thickness of Cast Iron Pipe. Journal A. W. W. A., Vol. 31, pp. 841-909, May 1939
3. Marks Mechanical Engineers' Handbook, 5th Edition
4. Maurice Grandpierre & C. C. Reynolds Ductile Iron—A New Material for Petroleum Pipe. The Oil and Gas Journal Nov. 21, 1955

動量原理及其在水利工程上之應用 單向度分析法

Theory of Momentum and Its Application to Hydraulic Engineering—One Dimensional Method of Analysis

周 裕 民

目 錄

壹、前 言

貳、動量原理

一、流型 (Flow Pattern)

1. 旋轉流與非旋轉流

2. 分離現象

二、流線網分析法 (Flow net)

三、流速分佈之影響及其改正值

四、壓力分佈之影響及其改正值

五、單向度分析法

六、動量之原理及一般在明渠中之應用式

七、動量原理與能量公式之關係

參、在水利工程上之應用

一、閘門水流與堰上水流

二、垂直跌水 (Free overfall)

三、渠底摩擦力與推移力

四、捲屏式溢洪道 (Ski-jump)

五、虛變流 (Spatially varied flow) 側渠式

溢洪道

六、水躍

七、驟變断面之理論分析

肆、展望——高等流體力學中之應用

伍、尾 語