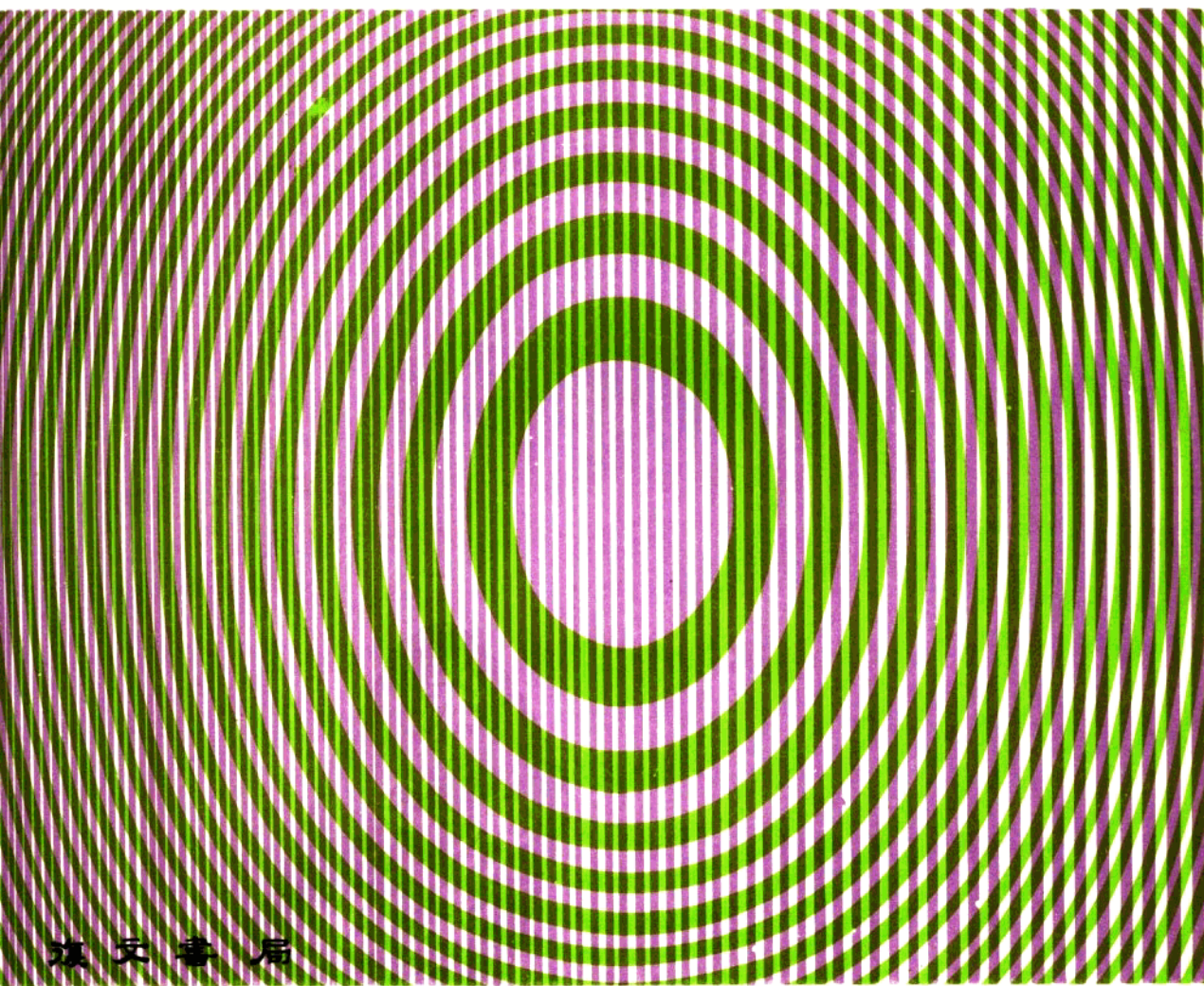


工業用書

單元操作實驗

陳凱原 編著

(本書符合教育部最新公布課程標準)



旗文書局

工業用書

單元操作 實驗

陳凱原 編著

(本書符合教育部最新公布課程標準)

復文書局

單元操作實驗

(1992) 民國八十一年元月再版發行

著作權執照台內著字第 號

版權所有



翻版必究

編著者： 陳 凱 原

發行者： 吳 主 和

發行所： 復 文 書 局

地址：台南市林森路二段 63 號

電話：(06) 2370003 · 2386937

郵政劃撥帳戶 0032104 - 6號

NO. 63 SECTION 2 LIN-SEN ROAD.
TAINAN. TAIWAN. R.O.C.

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

C 325 定價 140 元

編輯大意

- 一、本書係依照最新頒部之單元操作實驗教材，專供大專院校學生用之教材。
- 二、本書為全一冊，足供一學年教學之用。
- 三、本書內容敘述務求詳盡，文字力求簡明，著重普通應用基礎之培養，並力求保持教材一貫性。
- 四、本書包括孔口流量計、堰、浮子流量計、標準噴嘴皮托管流速計、管中流體流動的摩擦損失，非牛頓流體之流動、填料床及流體化床，泵之構造與性能曲線，液體攪拌槽之攪拌動力之測定，篩選及篩析，旋風分離器、恒壓過濾、套管熱交換器、配管實習、精餾塔—泡鐘塔蒸餾……等十五個實驗。
- 五、本書附圖數十幀，期使學者易於領會。
- 六、本書於每章之後，均附有習題，學者如能一加以演習，當可增進學習效果。
- 七、本書之編著，參考外國之專門書刊甚多，本書之編著，多於課畢之隙，雖經悉心校訂，舛誤之處，仍將難免，如荷指正，無任感激。

陳凱原 謹識

目 錄

實驗一 孔口流量計	1
一、目的	1
二、設備	1
三、說明	2
四、孔口流量計之優點	10
五、步驟	10
六、實驗記錄及結果	12
七、問題	12
八、研討	13
實驗二 堰	15
一、目的	15
二、設備	15
三、說明	16
四、步驟	19
五、實驗記錄及結果	19
六、問題	20
實驗三 浮子流量計	21
一、目的	21
二、設備	21

三、說明	21
四、步驟	27
五、實驗記錄	28
六、結果整理	29
七、問題	30
八、研討	30

實驗四 標準噴嘴皮托管流速計 31

一、目的	31
二、設備	31
三、說明	31
四、步驟	36
五、實驗記錄及結果	36
六、研討	37

實驗五 管中流體流動的摩擦損失 39

一、目的	39
二、說明	39
三、設備	48
四、步驟	50
五、實驗記錄及結果	51
六、問題與討論	52
七、研討	52
八、參考資料	53

實驗六 非牛頓流體之流動 55

一、目的	55
------	----

二、設備	55
三、說明	55
四、步驟	62
五、實驗記錄及結果	63
六、問題	64

實驗七 填料床及流體化床 65

一、目的	65
二、設備	65
三、說明	66
四、步驟	71
五、數據與結果	71
六、問題與討論	73
七、研討	73

實驗八 泵之構造與性能曲線 75

一、目的	75
二、設備	75
三、說明	76
四、步驟	86
五、實驗記錄及結果	86
六、問題與討論	87

實驗九 液體攪拌槽之攪拌動力之測定 89

一、目的	89
二、攪拌裝置	89
三、儀器介紹	90

四、原理	93
五、步驟	95
六、實驗結果	96
七、討論	96

實驗十 篩選及篩析 99

一、目的	99
二、設備	99
三、說明	99
四、步驟	102
五、實驗記錄及結果	102
六、問題	103
七、研討說明	103

實驗十一 旋風分離器 105

一、目的	105
二、說明	105
三、設備	109
四、步驟	110
五、實驗數據與記錄	110
六、實驗結果整理	112
七、問題與討論	113
八、研討	113

實驗十二 恒壓過濾 115

一、目的	115
二、設備	115
三、說明	116

四、步驟·····	119
五、實驗記錄及結果·····	120
六、問題·····	120
七、研討·····	120

實驗十三 套管熱交換器 ·····123

一、目的·····	123
二、設備·····	123
三、說明·····	124
四、步驟·····	129
五、數據與記錄·····	130
六、討論·····	130

實驗十四 配管實習·····131

一、目的·····	131
二、說明·····	131
三、設備·····	132
四、步驟·····	132
五、參考資料·····	136
六、附圖·····	137

實驗十五 精餾塔—泡鐘塔蒸餾 ·····139

一、目的·····	139
二、設備·····	139
三、原理·····	141
四、實驗步驟·····	143
五、實驗數據·····	143
六、問題·····	144

實驗一

孔口流量計

一、目的

1. 孔口流量計的認識、用途及其使用方法。
2. 流出係數的認識，其對孔口直徑與管子直徑的比(β)及其與雷諾數 (Reynolds Number) (在孔口處) 的影響。

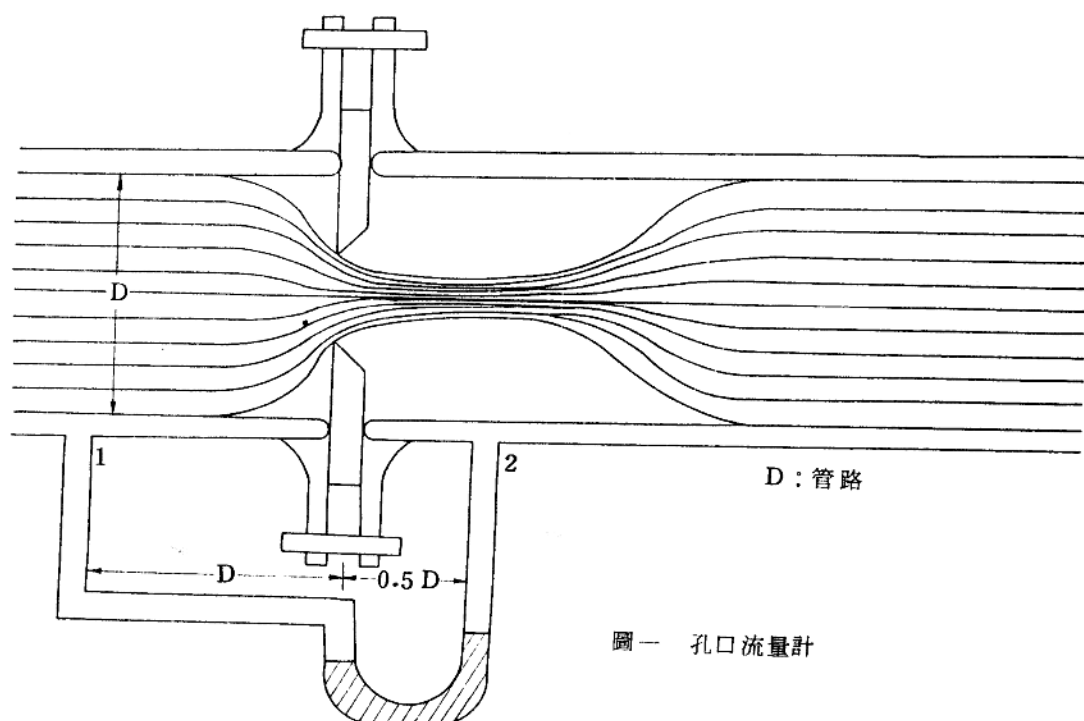
二、設備

孔口流量計的主要設備如下圖，可分下列幾部份〔如圖一〕。

1. 孔口盤 (Orifice Plate)：可將直管完全垂直緊合，只留中間一已知半徑小孔。
2. 壓力接頭 (Taps)：銳孔盤前後可連接接差計的接頭。
3. 差壓計 (Manometer)：如U型管等，可直接視得在管壁所造成的靜壓差。

【註】D：流管的直徑

1, 2 為接頭 Taps 與差壓計相接處（無固定）。



圖一 孔口流量計

三、說明

1. 何謂孔口流量計：簡單說，即利用測量部份截面積產生變化，使流體之流速改變，其壓力亦隨之改變，自其壓力改變數值之大小來求流量用裝置。

2. 種類：

依壓力接頭（Taps）的不同有以下做參考用：

(1) 角落型壓力接頭（Corner Taps）：

壓力測定位置（即如圖一中之 1，2 點起）緊接在孔口盤前後，如此不但壓力量取位置容易規定，同時壓力接頭和孔口盤連在一起裝在管路中，在使用上也較為方便，因可不必要另在管口開口。

(2) 半徑型壓力接頭（Radius Taps）：

上游壓力接頭在距離孔口盤口 (D 為管子之直徑) 距離之上游處，而下游壓力接頭在距孔口盤 $\frac{1}{2}D$ 距離之下游處。

(3) 縮流型壓力接頭 (Vena Contracta Taps) :

上游壓力接頭在距孔口盤 D 距離之上游處，下游壓力接頭在距孔口盤最小 (Minimum Pressure) 壓力處。此壓力最低之位置乃孔口口徑與管子直徑之比的函數。

(4) 突緣型壓力接頭 (Flange Taps) :

壓力接頭位於距離孔口盤處各 1 吋之上、下游處。

(5) 管子型壓力接頭 (Pipe Taps) :

上游壓力接頭位於距孔口處 $2\frac{1}{2}D$ 之上游處，下游壓力接頭位於距孔口處 $8D$ 之下游處，若欲得孔口流量器廣泛又詳細的設計標準，亦可參考一些有關方面的資料。

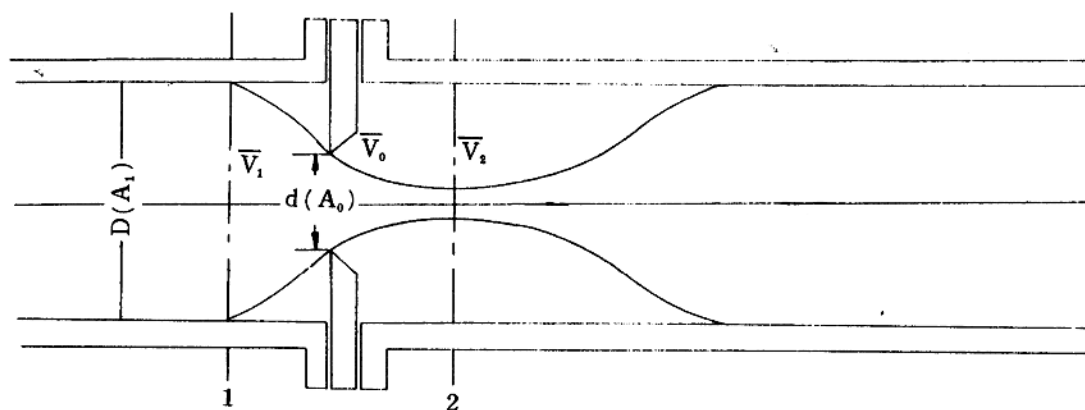
[例如] Fluid Meters : Their Theory and Application 5th ed, American Society of Mechanical Engineers New 1959 (a) P. 50 (b) P. 72。

以上 D 均為流管直徑。

3. 依通過流體種類，分別說明如下：

(1) 流體為不可壓縮性流體

- ① 當流體流經裝有孔口流量計且管徑為 D 之水平直管時，其流動情形與壓力變化情形如圖二，當流體由孔口口徑為 d_0 之孔口盤上游流向下游時，在孔口盤前後約 $0.75D \sim 2D$ 之上游處，由於受孔口盤之影響，流線束 (Stream Tube) 之截面開始收縮，管中心之靜壓開始減弱 (即圖 2 中之點 1 處，而流速增加。當流過孔口盤後，因慣性作用，流線束之截面繼續收縮，直至在孔口盤後約 $0.4D \sim 0.7D$ 之下游處，流線束之截面積變為最小，此位置稱為束縮截面 (Vena Contracta) 即圖 2 中之點，亦為靜壓最低之處。流過束縮截面後，流線束再逐漸擴大，同時靜壓也慢慢增高，至離孔口盤約 $3D \sim 6$



圖二 孔口流量計

A_0 : 孔口截面積

A_1 : 流線開始變化處之截面積，即管徑 D 的截面積

$\bar{V}_0$: 孔口處的平均流速

$\bar{V}_1$: 開始流線變化處的平均流速。

$\bar{V}_2$: 束縮截面的平均流速

D 之下游處，流線束之截面擴大至等於管子之截面，此時即恢復原狀，流體的流動情況已幾乎不受孔口盤的影響（ D 為管子之直徑）。

今假定點 1（流體在孔口盤上游，其流動截面正要開始受孔口盤影響而收縮之處）與點 2（束縮截面）間之摩擦損失可忽略，則兩點間之能量平衡，依柏諾利（Bernoulli's equation）

$$\frac{P_1'}{\rho} + \frac{gz_1}{g_c} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g_c} + \eta w_p = \frac{P_2'}{\rho} + \frac{gz_2}{g_c} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g_c} + h_{\rho_s}$$

但因此處不考慮位能 z_1, z_2 差，及 Pump 效率功 ηw_p 及摩擦損失 h_{ρ_s} ，故上式僅成

$$\frac{P_1' - P_2'}{\rho} = \frac{\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2}{2g_c} \dots\dots\dots ①$$

p_1', p_2' 為點 1, 2 處之壓力 kg_f/m^2

ρ : 流體密度 kg/m^3

$\bar{V}_1, \bar{V}_2$ 點 1、2 處平均流速 m/sec

g_0 : 單位換算常數 ($9.8 \text{ kg m}/\text{sec}^2$)

因質量流量一定, 依連續 (Continuity equation)

$$\rho \bar{V}_0 A_0 = \rho \bar{V}_1 A_1 = \rho \bar{V}_2 A_2 \dots\dots\dots ②$$

A_0, A_1, A_2 分別為圖 2 中之孔口處, 及點 1, 2 處之截面積

$\bar{V}_0, \bar{V}_1, \bar{V}_2$ 為孔口, 點 1, 2 處之平均流速 m/sec

$$\beta = A_0 / A_1 \dots\dots\dots ③$$

β : 開口比, A_0, A_1 為孔口及點 1 處之截面積

$$C_c = A_2 / A_0 \dots\dots\dots ④$$

C_c : 收縮係數 (Coefficient of Contraction)

由點①, ②, ③, ④可得

$$\bar{V}_2 = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^2}} \sqrt{\frac{2g_0 (p_1' - p_2')}{\rho}} \dots\dots\dots ⑤$$

又因為了校正摩擦損失等以校正因子 (Correction Factor) ϕ

($\phi < 1$) 來修正故⑤式改為

$$\bar{V}_2 = \frac{\phi C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^2}} \sqrt{\frac{2g_0 (p_1' - p_2')}{\rho}} \dots\dots\dots ⑥$$

此處之摩擦損失主要來源是因流體突遇小孔而不得不縮小使致。

- ② 由於孔口流量計與差壓計相連接, $p_1 - p_2$ 與差壓計之讀數有如下之關係

$$p_1 - p_2 = \frac{g}{g_0} (\rho_m - \rho) \Delta h \cdots \cdots \cdots (7)$$

其中 ρ_m : 差壓計封液之密度 (kg/m^3)

Δh : 差壓計之讀數 (m)

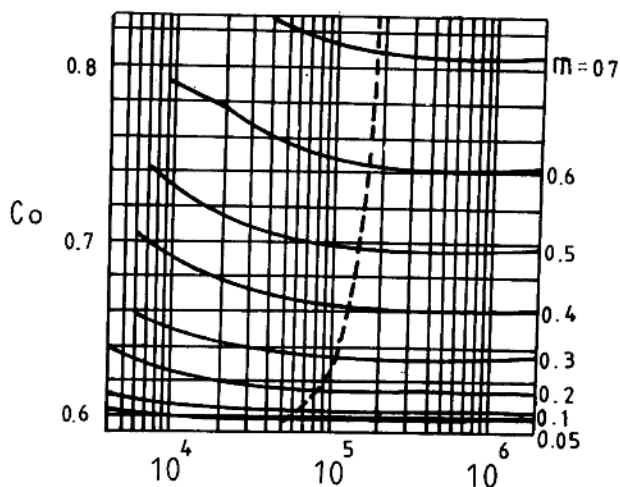
則流體之質量流量為

$$w = \bar{V}_2 A_2 \rho = \bar{V}_2 A_0 C_c \rho \quad (\text{由④來})$$

由⑦代入

$$\begin{aligned} &= A_0 \sqrt{2g\rho(\rho_m - \rho)\Delta h} \left[C_c \varphi \frac{1}{\sqrt{1 - C_c^2 \beta^2}} \right] \\ &= C_0 A_0 \sqrt{2g\rho(\rho_m - \rho)\Delta h} \end{aligned}$$

$C_0 = C_c \varphi / \sqrt{1 - C_c^2 \beta^2}$ 稱為孔口流量計之流出係數 (Orifice Discharge Coefficient)。



- ③ 對孔口盤而言，流出係數 C_o 對以管徑為基準之雷諾數 (Reynolds Number) 作圖。

$$R_o = D\bar{V}\rho / \mu$$

D 為孔口處之直徑， $\bar{V}$ 平均孔口處流速， ρ 流體密度， μ 流體之黏度 ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{sec}$)

當雷諾數相當大時，在虛線之右與 C_o 值為一常數，而虛線部份所代表之值即為界限 Re 故一般設計或使用孔口流量計測量時儘量使雷諾數大於界限雷諾數，即可使流出係數成為常數。

- (2) 流體為可壓縮性流體

當可壓縮性流體通過銳孔流量計時，會產生壓力降落，同時發生體積膨脹之變化。若發生變化之時間極短，可視為絕熱變化。

若假設流體為理想氣體，在點 1 與點 2 間無摩擦損失，由熱力學關係可得：

$$P_1' V_1^r = P_2' V_2^r \dots\dots\dots ①$$

P_1', P_2' 為點 1, 2 之壓力 ($\text{kg } \rho/\text{m}^2$)

V_1, V_2 為點 1, 2 之單位質量體積 (m^3/kg)

r 為定壓化熱與定容化熱之比 (C_p/C_v)

由點 1 與點 2 間之能量平衡，依柏諾利 (Bernoulli's equation)

$$\frac{\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2}{2g_c} + \int_1^2 V dP' = 0$$

$$\text{則 } \frac{\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2}{2g_c} = - \int_1^2 V dP' = P_1' V_1 \left(\frac{r}{r-1} \right) \left[1 - \left(\frac{P_2'}{P_1'} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right] \dots\dots\dots ②$$

因質量流量為一定，故：

$$\frac{\bar{V}_1 A_1}{V_1} = \frac{\bar{V}_2 A_2}{V_2} \dots\dots\dots (3)$$

將①，③代入②得

$$\bar{V}_2 = \sqrt{\frac{2g_c P_1' V_1 \left(\frac{r}{r-1}\right) \left[1 - \left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)^{\frac{r-1}{r}}\right]}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)^{\frac{2}{r}}}} \dots\dots\dots (4)$$

$$= \sqrt{\frac{2g_c P_1' V_1 \left(\frac{r}{r-1}\right) \left[1 - \left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)^{\frac{r-1}{r}}\right]}{1 - C_c^2 \beta^2 \left(\frac{P_2'}{P_1'}\right)^{\frac{2}{r}}}} \dots\dots\dots (5)$$

同理考慮摩擦損失後嶽校正因子 ξ ($\xi < 1$) 來校正 P_1, P_2 之誤差及摩擦損失，即

$$\bar{V}_2 = \xi \sqrt{\frac{2g_c P_1 V_1 \left(\frac{r}{r-1}\right) \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{r-1}{r}}\right]}{1 - C_c^2 \beta^2 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{r}}}}$$

C_c 收縮係數 (P_1, P_2 為點 1, 2 之壓力) V_1 為點 1 之速度， r 是比熱之比 C_p/C_v 。

即質量流量為

$$\bar{W} = \frac{\bar{V}_2 A_2}{V_2} = \frac{\bar{V}_2 A_0 C_c}{V_2} =$$