

大學用書

# 流量計測工程原理與 實用概要

L. K. Spink 著

邱 正 光 譯

國立編譯館主編  
黎明文化事業公司出版

# 流量計測工程原理與實用概要

## 第一部份流量測量的一般介紹（第一章—第八章）

**第一章：**說明流量計測工程的使用範圍及本書的內容只包括壓力頭式流率流量計及其他型式的流率測量儀器，除對壓力頭式流率流量計作了一般性的介紹外並將其測量時影響流體流動的各種因素以及差壓與流量間的關係加以詳細說明。

**第二章：**說明壓力頭流量計的發展過程。

**第三章：**說明流量計測工程的近代發展，文氏管及噴流嘴的理論根據，各種論文及數據資料的演變歷史，各部份的詳細尺寸與影響，安裝方法以及各種型式形狀構造等作了詳細的說明外並將同心流孔板、偏心流孔板、扇形流孔板、四分圓角流孔板、皮托管、靶式流量計以及各種其他型的特殊初級流量測量裝置的演進加以說明。

**第四章：**初級流量測量裝置詳細說明，其內容為：

(1)初級流量測量裝置導壓孔位置選擇，導壓孔連接法如凸緣接法、角接法、縮脈點接法、半徑接法、管接法等之選定。

(2)說明各種初級流量測量裝置的壓力損失與壓力回復的關係以及對流體輸送之影響並將測量裝置計測流量時各種係數資料的係數公差。

(3)對尖銳直角薄片同心流孔板之製作規格、優點、安裝方法及導壓孔連接方法、準確度、測量流體的選定以及排液孔，排氣孔的選擇與製作方法加以詳細介紹外並將特殊形狀同心流孔板、進口流孔板、

## 2 流量計測工程原理與實用概要

出口流孔板以及環形流孔板的安裝方法、準確度加以介紹。

(4)把扇形流孔板、偏心流孔板、噴流嘴、文氏管、低損管、四分圓角流孔板、管彎頭、皮托管的導壓孔位置及連接方法、適宜測量的流體種類、準確度等分別詳細說明及比較。

(5)最後介紹寬範圍流量測量的方法以及浮子式面積流量計、磁性流量計、渦輪流量計之構造及使用流體特性。

### 第五章：收縮式差壓流量計原理

說明差壓流量計的理論根據分五個部份來說明，第一部份研討流體在一裝有收縮孔的封閉導管內流動的物理現象，第二部份說明流體在此有收縮孔的封閉導管內流動時其質能平衡之數學表示法，第三部份與第五部份則分別討論液體及氣體流量理論公式的導演，第四部份研討理論上液體流動公式與實際上液體流動公式間的關係，氣體流動公式的計算式在第24章中說明。

第六章：初級測量裝置的安裝，以圖表來解說初級測量裝置的安裝方法，圖B-2169到圖B-2178表示美國標準與歐洲各國（英國、法國、德國、意大利）的標準比較，圖B-2179到圖B-2183表示美國A. G. A. 標準進入管長度，最後將校直翼片的製作規格及安裝時應考慮的各項因素加以說明。

### 第七章：計量機構

說明將初級測量裝置測量信號轉換使流量能够指示，記錄或積算的次級測量裝置，其內容包括：

(1)解說乾式和濕式差壓測量裝置的構造動作原理及優劣點準確度，濕式差壓測量裝置有液體差壓計（U型管、槽式差壓計、斜式差壓計），浮子式液體差壓計、水銀浮子式差壓計、乾式差壓測量裝置有動平衡式（位移式流量計）及力平衡式兩種型式，動平衡式為伸縮管流量計，力平衡式為力平衡式差壓測量元件（Force balance

differential pressure measuring cells)。

(2)詳細說明特殊型式的次級測量裝置如統合流孔板 (Integral orifice)，靶式流量計 (Target meter) 的特點，其他型式的電機式差壓傳送器如疊片式電機應變計，差動變換器亦加以解說。

(3)介紹寬範圍差壓流量測量的兩種方法即使用兩套以上的孔板計量管和依測量範圍安裝兩個差壓傳送器分段測量流量的各級測量差壓計量系統。

(4)介紹一般商業上使用的其他型式流量計包括磁性流量計、渦輪流量計的原理和使用時的注意事項，最後詳細列出選擇流量錶的方法和各項注意事項。

## 第八章：壓力頭流量計規範之選擇

列舉流量測量工程所需要之各項資料，介紹佛克斯博樂流量計算尺的用途，提供初級測量裝置的選擇方法及流孔板導壓孔位置連接法的選擇。

## 第二部份液體流量測量 (第九章—第十六章)

### 第九章：液體流量計的安裝

(1)介紹測量液體流量時導壓管的配置方法及導壓管配置的附件如密封室 (Seal chamber)，密封液之選擇。

(2)介紹液體流量計沖吹管線系統的安裝方法使用時應該注意的各項問題及力平衡式儀器液體導壓管的配置方法。

### 第十章：液體流量測量法及其規範

(1)說明初級測量裝置的選擇方法，A. 採用以直讀流量記錄表定孔徑的初級測量裝置。B. 採用均一大小初級測量裝置。

(2)說明液體流量測定差壓範圍的選擇方法以及現場流量計算公式

的使用方法與限制。

### 第十一章：現場流量計算

(1)說明 Foxboro 流量尺的非黏滯性流體現場流量計算法，其內容包括流孔板，噴流嘴或文氏管之孔徑計算步驟、流率計算步驟、流量係數計算步驟、流量乘數計算步驟、靶式流量計作用範圍計算步驟、統合流孔板差壓範圍計算步驟。

(2)將非黏滯性流體現場流量計算公式列出並且說明各符號的定義及相關頁數。

### 第十二章：精密流量測定之黏度校正係數及數據

本章分為三部份介紹精密流量測定之黏度校正係數及數據，第一部份解釋黏度單位及各單位的換算公式。雷諾係數表之導出方法（圖 B-2261, B-2265, B-2278），黏度校正係數省略及需要特別留意的地方，以圖表查出黏度校正係數（同心圓流孔板、噴流嘴）的步驟，得到流量標準精確度應注意的事項，高雷諾數狀況下黏度的簡易校正法， $F_c$  校正係數簡易曲線（圖 B-2267, B-2276）使用法。第二部份說明高雷諾數狀況下之精密流量計算方法並將液體流量精密測量公式列出並且解釋以圖表決定雷諾數的方法。第三部份說明石油產品熱膨脹因數及數據的求法，石油產品壓縮係數及壓力校正係數的求法，水及其他液體之熱膨脹因數求法。

### 第十三章：開口流槽液體流量之測量

本章內容有：(1)解釋堰的相關名詞及用堰測量流量重要事項。(2)說明堰口型式，選擇方法，設計及安裝時的一般需要預先考慮的事項並將不正確製造，操作及維護工作對測量之影響作了詳細的介紹。(3)介紹帕社耳流槽的發展歷史及測量流槽的名詞解釋，並將帕社耳流槽在測量流量的各項優點，應用情況，以及帕社耳流槽設計、安裝、操作問題作了詳細的說明。(4)介紹其他型式的流槽如巴馬博樂斯流槽，

開尼遜噴流嘴。(5)將堰及帕社耳測量流槽的計算流量公式列出。

#### 第十四章：計算實例

計算公式應用實例有：(1)基本公式計算流量。(2)液體流量計算實例包括以現場流量計算公式計算和以精確流量計算公式計算。(3)管彎頭所產生之差壓計算實例。(4)皮托托管所產生之差壓計算實例。(5)用蒸餾數據計算 $\sqrt{G}$ （流動溫度下液體比重）及 $F$ （液體壓縮校正係數）實例。(6)統合流孔板流率及流孔板孔徑，差壓範圍之計算及選擇實例。

#### 第十五章：記錄錶計算

說明總流量的計算方法包括定期法及差壓標度或平方根記錄紙積分機計算法，將各種方法的使用步驟及讀出方式詳細分析介紹。

#### 第十六章：校正係數

說明操作情況變化時比重及溫度校正係數與校正曲線。

### 第三部份 蒸汽流量計的安裝

#### （第十七章—第二十二章）

#### 第十七章：蒸汽流量計的安裝

本章內容包括：(1)說明蒸汽流量計導壓管配管工作應注意事項及配管相關附件（迂迴管、凝液罐）的原理。(2)流量測量工作差壓範圍，初級裝置的型式，導壓孔位置及連接方法等的選擇方法。

#### 第十八章：蒸汽、汽（Vapor）或氣體的流量計算

本章說明蒸汽、汽（Vapor）或氣體的流量計算方法其內容包括：(1)流孔板、噴流嘴、文氏管孔徑之通用計算步驟。(2)流率通用計算步驟。(3)靶式流量計力量範圍的計算步驟。(4)雷諾數校正係數及雷諾數表的導出方法。黏度數據的來源並介紹使用圖表來決定雷諾數的方

## 6 流量計測工程原理與實用概要

法。(5)說明校正壓縮性流體密度的膨脹因數。(6)說明氣體及蒸氣比重的測定方法及影響因素。

### 第十九章：使用於臨界壓力降之節流孔板

本章介紹蒸汽流量測定之節流孔板的計算公式及曲線。

### 第二十章：特殊計算方法

說明以特殊方法計算蒸汽流量的步驟，其內容包括：(1)流孔板之孔徑計算。(2)特殊尺寸流孔板的流率計算。(3)並將特殊計算方法的計算公式列出。

### 第二十一章：蒸汽流量計算實例

### 第二十二章：蒸汽流量錶的計算

本章內容有：(1)兩記錄值記錄紙的定期計算。(2)以觀測法計算蒸汽流量。(3)平方根積算儀之流量積算法。(4)校正係數的導出方式。

## 第四部份 氣體流量之測量

### (第二十三章～第二十八章)

### 第二十三章：氣體流量計的安裝

本章內容包括：(1)說明氣體流量計導壓管配管工作應注意之要點。(2)測量氣體流量初級裝置及導壓孔連接法的選擇。(3)靜壓測量法。(4)氣體流量測量誤差減低法。(5)測量氣體流量時脈動流動狀況的防止方法。

### 第二十四章：氣體流量計算的基礎

本章的內容為：(1)研討氣體流量計算公式的各種校正係數（雷諾數係數、膨脹因數、超壓縮係數、差壓計係數、濕度校正係數）的導出方式。(2)研討氣體流量測量之完整公式（重量單位與體積單位）及  $F_v$  表以外孔徑尺寸的  $F_v$  值計算公式。(3)直讀式流孔板，0～10平

方根記錄紙的計算方法。

## 第二十五章：天然氣流量測定

本章內容有：(1)研討天然氣流量測定的特殊要求條件及天然氣流量計算的標準。(2)天然氣流量公式、流量係數、超壓縮係數的導出方式及靜壓測量方法。

## 第二十六章：應用美國天然氣協會第三號報告的實際計算方法

爲了避免天然氣買賣雙方的誤差起見，美國 A. G. A. 有很多種天然氣計算方法，本章列舉說明一般常用的方法即：(1)凸緣接法流孔板流量常數測定的簡易法。(2)美國北部天然氣公司應用 A. G. A. 第三號報告之計算實例（以凸緣接法或全流量接法及下游靜壓接法之孔板流量計來測量大量氣體及高壓氣體）。(3)使用定雷諾數校正值的 A. G. A. 第三號報告應用例。

## 第二十七章：天然氣流孔板流量測量契約

本章內容有：(1)說明氣體買賣時流量測量契約的功用以及有關測量的因素如基礎情況、流量壓力及溫度、雷諾數及脹膨因數、比重、超壓縮校正、壓力計係數、溫度校正係數。(2)討論氣體流量測量合約的一般難題，誤差校正係數及測量誤差的調整問題。

## 第二十八：氣體流量計記錄紙的計算

本章內容有：(1)指導準確計算流量的方法及計算數據手冊的使用。(2)說明記錄紙積算器計算流量的方法（觀測法、開平方面積測量法）。(3)說明積算儀積算記錄紙的操作步驟。

## 第五部份：公制單位流量計算公式及附錄



## 第八版序文

Brown 與 Hall 於西元 1921 年首先公佈一般商業上使用的孔流係數數據，「流量計測工程原理與實用」一書於西元 1930 年繼續提供了許多實用數據並於以後的各版繼續將使用的新數據增列，由於流量測量工程技術的迅速發展目前這本書已成為一本流量測量工程方面的必備參考手冊，本版除將內容重新編排使能供作一般教科書使用外並將符號及公式摘要重加編排以便應用時能迅速查表參閱解答每天發生的流量問題。

本版將一些符號略作更改以符合 A. G. A. 及 A. S. M. E. 之專門術語，但計算公式（阿拉伯數字所示）中各個符號只表示一個意義，計算公式中各符號所表示的定義及單位可以從 546 頁～559 頁及使用處查出。

各公式之使用步驟和以前各版相同，公式中史托克或泊與吋、磅、加侖等相混淆，有不一致的感覺對有些讀者無疑的此將，但通常一般商業單位通常並不一致，因此相信此不按常例程序可以免除單位轉換上的誤差。

將以前各版編排缺點改進後本版的內容及編排方式更加充實，本書的使用者也提供了許多寶貴的增補資料。特殊數據的來源，儘可能具已指明，本書內容更臻完整。最後謹向許多寶貴資料來源的提供者以及幫助共同審查核對資料工作的 Lewis P. Emerson 先生致十二萬分的謝意。

## 第九版序文

爲適合壓力頭流量計應用數據的實用性「流量計測工程原理與實用」第九版包括第八版自西元1958年出版後增加的各種應用新資料。

Mr. Spink 校訂完第八版後不幸於西元1957年12月逝世。這本書的廣被採用，已足證明 Mr. Spink 的傑出成就。

第九版是最新版除包括第八版的全部內容外增加了靶式流量計數據，四分圓角流孔板資料及「統合流量計」性能資料，並將差壓式流量計原理這一章的內容加以編排使能够與新式的測量方法一致。另外，還更換部份編輯順序及編入一些增補資料。

# 目 錄

|            |   |
|------------|---|
| 第八版序文..... | 1 |
| 第九版序文..... | 2 |

## 第一部份 流量測量的一般介紹

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 流量計測工程原理與實用..... | 3  |
| 第二章 流量計測的歷史背景.....   | 9  |
| 第三章 流量計測工程目前的發展..... | 13 |
| 第四章 初級測量裝置詳情及特性..... | 26 |
| 尖銳直角薄片同心流孔板.....     | 34 |
| 環形流孔板.....           | 39 |
| 扇形流孔板.....           | 42 |
| 偏心流孔板.....           | 43 |
| 噴流嘴.....             | 44 |
| 文氏管.....             | 45 |
| 特殊的初級測量裝置.....       | 46 |
| 四分圓角流孔板.....         | 47 |
| 以管彎頭作為初級測量裝置.....    | 48 |
| 皮托管.....             | 51 |
| 寬範圍流量測定.....         | 58 |
| 線性流量計.....           | 59 |

## 2 流量計測工程原理與實用概要

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| 面積變化流量計                | 60        |
| 磁性流量計                  | 60        |
| 渦輪流量計                  | 61        |
| 其他的線性流量計               | 63        |
| <b>第五章 收縮式差壓流量計的原理</b> | <b>64</b> |
| 理論及運算公式的發展與限制          | 64        |
| 第一部份 物理現象              | 64        |
| 第二部份 質能平衡              | 66        |
| 第三部份 液體流量（非壓縮性）的理論公式   | 70        |
| 第四部份 液體流量之計算公式         | 71        |
| 第五部份 氣體（壓縮性）流量的理論公式    | 79        |
| <b>第六章 初級測量裝置的安裝</b>   | <b>83</b> |
| 壓力頭流量計初級裝置的進入情況        | 83        |
| 校直翼片                   | 97        |
| <b>第七章 計量機構</b>        | <b>99</b> |
| 概說                     | 99        |
| 壓力頭流量計次級裝置             | 100       |
| 差壓裝置的型式                | 100       |
| 液體差壓計                  | 101       |
| 浮子式液體差壓計               | 102       |
| 水銀浮子式差壓計               | 103       |
| 液體封閉式倒轉鐘差壓計            | 104       |
| 壓力環平衡流量計               | 105       |
| 不用水銀的乾式流量計             | 105       |
| 伸縮管流量計（動位式乾流量計）        | 106       |
| 力平衡式差壓測量元件             | 108       |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 統合流孔板            | 110 |
| 靶式流量計            | 110 |
| 其他型式的差壓傳送器       | 112 |
| 寬範圍壓力頭式流量測量      | 113 |
| 水道及量水堰的壓力頭(液位)測量 | 114 |
| 特殊計量機構           | 115 |
| 磁性流量計            | 116 |
| 渦輪流量計            | 116 |
| 面積計量機構           | 117 |
| 流量指示器記錄器控制器及積算器  | 117 |
| 計算器              | 118 |
| 流量錶型式之選擇         | 119 |
| 第八章 壓力頭流量計規範之選擇  | 122 |
| 流量測量工程所需要的資料     | 122 |
| 初級裝置的選擇          | 123 |
| 流孔板導壓孔的位置選擇      | 126 |

## 第二部份 液體流量測量

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 第九章 液體流量計的安裝    | 135 |
| 液體流量計之配管        | 136 |
| 第十章 液體流量測量法及其規範 | 142 |
| 初級測量裝置尺寸選擇法     | 142 |
| 液體流量測定差壓範圍之選擇   | 144 |
| 現場計算公式          | 145 |
| 公式、係數表及曲線的基礎    | 148 |

#### 4 流量計測工程原理與實用概要

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第十一章 現場流量計算.....           | 150 |
| 非黏滯性流體現場流量計算法之說明.....      | 150 |
| 非黏滯性流體流量之現場計算公式.....       | 153 |
| 第十二章 精密流量測定之黏度校正係數及數據..... | 195 |
| 黏度單位.....                  | 195 |
| 雷諾數公式.....                 | 197 |
| 黏度數據之來源.....               | 198 |
| 黏度校正係數通常被省略的地方.....        | 198 |
| 減少黏度效應之預防方法.....           | 199 |
| 應加黏度校正係數的地方.....           | 199 |
| 黏滯流動的圖表製作說明.....           | 199 |
| 估算雷諾數的圖表.....              | 200 |
| 黏度之微小校正.....               | 201 |
| 高雷諾狀況下黏度之簡易校正.....         | 209 |
| 高雷諾狀況下精密流量計算法說明.....       | 218 |
| 符號欄.....                   | 220 |
| 雷諾數校對圖.....                | 224 |
| 雷諾數曲線.....                 | 225 |
| 石油產品的熱膨脹因數.....            | 270 |
| 石油產品的壓縮性.....              | 279 |
| 水的熱膨脹因數.....               | 282 |
| 其他液體的熱膨脹因數.....            | 283 |
| 第十三章 開口流槽液體流量之測量.....      | 287 |
| 堰.....                     | 287 |
| 帕社耳流槽.....                 | 296 |
| 巴馬—博樂斯流槽.....              | 305 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 開尼遜噴流嘴                         | 306 |
| 自由流動公式                         | 306 |
| 符號欄                            | 307 |
| 第十四章 計算實例                      | 309 |
| 基本公式之計算                        | 309 |
| 液體流量計算實例                       | 310 |
| 現場計算方法                         | 311 |
| 精確流量計算                         | 311 |
| 管彎頭所產生之差壓計算                    | 314 |
| 皮托管所產生之差壓計算                    | 315 |
| 統合流孔板計算流率                      | 316 |
| 以蒸餾數據計算 $\sqrt{G_f}$ 及 $F_p$ 值 | 318 |
| 第十五章 記錄表計算                     | 321 |
| 定期法                            | 321 |
| 差壓標度或平方根記錄紙之積算機計算法             | 322 |
| 第十六章 校正係數及校正曲線                 | 327 |
| 比重                             | 327 |
| 溫度                             | 328 |

### 第三部份 蒸汽流量測定

|               |     |
|---------------|-----|
| 第十七章 蒸汽流量計的安裝 | 333 |
| 蒸汽流量計導壓管配管工作  | 333 |
| 差壓範圍之選擇       | 336 |
| 初級裝置之選擇       | 337 |
| 導壓孔位置之選擇      | 337 |

## 6 流量計測工程原理與實用概要

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第十八章 蒸汽、汽 (Vapor) 或氣體的流量計算 | 339 |
| 概說                         | 339 |
| 通用計算法說明                    | 339 |
| 符號欄                        | 341 |
| 蒸汽、汽或氣體的通用計算公式             | 341 |
| 雷諾數校正                      | 358 |
| 膨脹因數                       | 362 |
| 氣體及汽的比重                    | 384 |
| 測定 $Z$ 值的圖表                | 385 |
| 第十九章 用於臨界壓力降之節流孔板          | 395 |
| 符號欄                        | 395 |
| 節流孔板的計算公式                  | 396 |
| 第二十章 特殊方法計算流量              | 399 |
| 以特殊方法計算說明                  | 399 |
| 符號欄                        | 400 |
| 以特殊方法計算之公式                 | 402 |
| 第二十一章 蒸汽流量計算例              | 416 |
| 凸緣接法的通用計算法                 | 416 |
| 縮脈點接法通用計算法                 | 417 |
| 噴流嘴的通用計算法                  | 418 |
| 文氏管的通用計算法                  | 419 |
| 凸緣接法的特殊計算法                 | 419 |
| 靶式流量計的計算方法                 | 420 |
| 第二十二章 蒸汽的流量錶計算             | 422 |
| 兩記錄值記錄紙的定期計算法              | 422 |
| 觀測法                        | 425 |



|                  |     |
|------------------|-----|
| 平方根積算儀流量積算法····· | 425 |
| 校正因數·····        | 426 |

## 第四部份 氣體流量測量

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第二十三章 氣體流量計的安裝·····               | 429 |
| 氣體流量計導壓管配管·····                   | 429 |
| 氣體初級裝置之選擇·····                    | 431 |
| 導壓孔的選擇·····                       | 431 |
| 靜壓·····                           | 432 |
| 氣體流量測量之誤差減低法·····                 | 433 |
| 脈動·····                           | 434 |
| 第二十四章 氣體流量計算的基礎·····              | 436 |
| 原理·····                           | 436 |
| 校正因數·····                         | 437 |
| $F_0$ 值導出時假定情況的校正因數 ·····         | 438 |
| 氣體流量測量之完整公式·····                  | 442 |
| 第二十五章 天然氣流量測定·····                | 447 |
| 天然氣流量測定的特殊要求·····                 | 447 |
| 符號欄·····                          | 448 |
| 天然氣之流量公式·····                     | 449 |
| 第二十六章 應用美國天然氣協會第三號報告的實際計算方法·····  | 491 |
| 凸緣接法流孔板流量常數測定之簡易法·····            | 491 |
| 北部天然氣公司應用 A. G. A. 第三號報告之實例·····  | 498 |
| 使用定雷諾數校正值的 A. G. A. 第三號報告應用例····· | 500 |
| 第二十七章 天然氣流孔板流量測量契約·····           | 501 |