

Chapter 4 真空測量

- * 4.1 真空量測的基本量
- * 4.2 真空中氣體的壓力
- * 4.3 粗略到中度真空範圍用的真空計
- * 4.4 高真空及超高真空範圍用的真空計
- * 4.5 部分壓力分析儀
- * 4.6 真空計的校正
- * 4.7 抽氣速率的測定
- * 4.8 氣流通量的測定
- * 4.9 氣導的測定

1

第一節 真空量測的基本量

- * 本章將敘述真空技術實用時應量測的基本量
 - * 壓力
 - * 抽氣速率
 - * 氣流通量
 - * 氣導

2

第二節 真空中氣體的壓力

- * 基本量最重要的量為：
 - * 真空壓力，即習慣上所謂壓力
 - * 大多數的基本量多與壓力有關
 - * 其量測或計算常要求壓力為已知，或先予測定，故本章將重點放在壓力的量測
- * 壓力的量測
- * 真空計

3

壓力的量測

- * 量測壓力的儀器為：
 - * 真空計 (vacuum gauge)
- * 真空計即係壓力計或氣壓計
- * 不同的壓力範圍量測壓力的原理及技術不同
 - * 故用真空計名詞以與一般的壓力計作區別
- * 真空系統中的壓力僅為量測的量

4

真空計

★ 真空計的定義

- ★ 為一種裝置用以直接或間接測定真空系統中氣體的壓力
- ★ 因真空系統中的氣壓均很低，故真空計的操作原理包含直接利用測定單位面積上所受的力及間接利用氣體壓力與一些量的關係而導出壓力

★ 真空計的分類

- ★ 根據技術原理
- ★ 概括性的分類

5

根據技術原理

技術原理	真空計	估計測壓範圍
流體靜壓力	水銀真空計	1 大氣壓至 0.1 毫巴
機械變形	鮑登壓力計	1 大氣壓至 1 毫巴
機械變形	薄膜真空計	1 大氣壓至 0.1 毫巴
機械變形	電容真空計	1 大氣壓至 10^{-3} 毫巴
氣體黏滯力	黏滯真空計	10^{-3} 至 10^{-7} 毫巴
氣體分子熱傳導	熱電偶真空計	1 至 10^{-3} 毫巴
氣體分子熱傳導	派藍尼真空計	1 至 10^{-3} 毫巴
氣體分子離子化	冷陰極離子真空計	10^{-4} 至 10^{-6} 毫巴
氣體分子離子化	熱陰極離子真空計	10^{-5} 至 10^{-9} 毫巴

6

概括性的分類

★ (A) 絕對真空計

- ★ (absolute vacuum gauge) 為直接測定單位面積上所受的力
- ★ 為直接測定壓力
 - ★ 故用作校正的標準真空計 (standard vacuum gauge)

★ (B) 相對真空計

- ★ (relative vacuum gauge) 為間接利用氣體壓力與一些量的關係，測定該量而導出壓力
- ★ 多用在壓力太低無法直接測定壓力的真空範圍
 - ★ 如熱傳導，氣體分子離子化等技術而間接測定壓力者
- ★ 此種間接測定的量通常與氣體分子的種類有關
- ★ 不同的氣體所測到的壓力並不一定相同
- ★ 須以標準真空計校正

7

第三節 粗略到中度真空範圍用的真空計

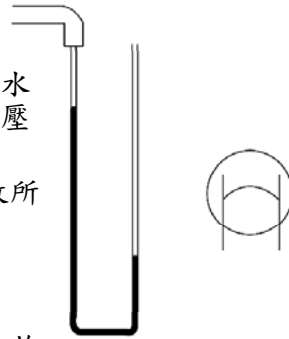
- ★ 靜態液壓氣壓計
- ★ 靜態機械式氣壓計
- ★ 熱傳導真空計

8

靜態液壓氣壓計

* (hydraustatic pressure gauge)

- * 常用水銀真空計
- * 亦稱為U形管氣壓計 (U-tube manometer)
- * 開口式，其一端開口直接受大氣壓力，故水銀柱的高度代表大氣壓力與真空系統中的壓力的差
 - * 因真空系統處的大氣壓力常常變化，故所測的壓力亦有差異
- * 封閉式
 - * 較準確者
 - * 其一端封閉並封入一已知壓力的氣體，故水銀柱的高度代表已知壓力與真空系統中的壓力的差



9

靜態機械式氣壓計

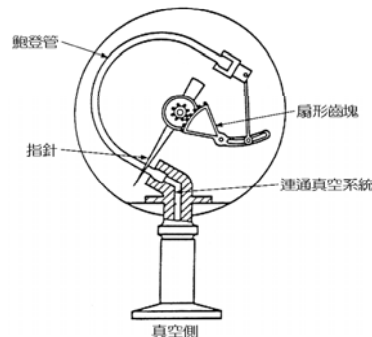
* (mechanical manometer) 利用壓力差產生機械變形

- * 指針式
 - * 係將機械變形經由機械連桿，齒輪，及彈簧等傳送至指針使其轉動指示壓力
- * 電容式
 - * 由機械變形產生兩電極間電容變化而測出此電容變化以顯示壓力值

10

鮑登壓力計

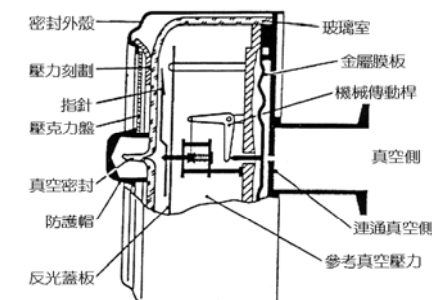
- * (Bourdon gauge) 主要產生機械變形部分為橢圓形斷面的鮑登管 (Bourdon tube)，管的封閉端連接機械傳動裝置，開口端接待測壓力的真空系統
- * 較準確者亦有密封入一已知壓力的氣體
- * 用於一大氣壓力至約1毫巴壓力範圍，其誤差約為毫巴
- * 故在壓力為數毫巴範圍時僅可估計其壓力值



11

薄膜真空計 diaphragm gauge

- * 其主要產生機械變形部分為一金屬薄膜
- * 一側為密封表殼，其中封入一已知壓力的氣體
- * 另一側連接至待測壓力的真空系統
- * 由壓力差使薄膜產生機械變形，推動連接機械傳動裝置帶動指針旋轉指示壓力
- * 用於一大氣壓力至約0.1毫巴壓力範圍
 - * 常用較準確範圍約在10至1毫巴
 - * 因機械傳動的限制再低的壓力即無法使指針旋轉指示壓力



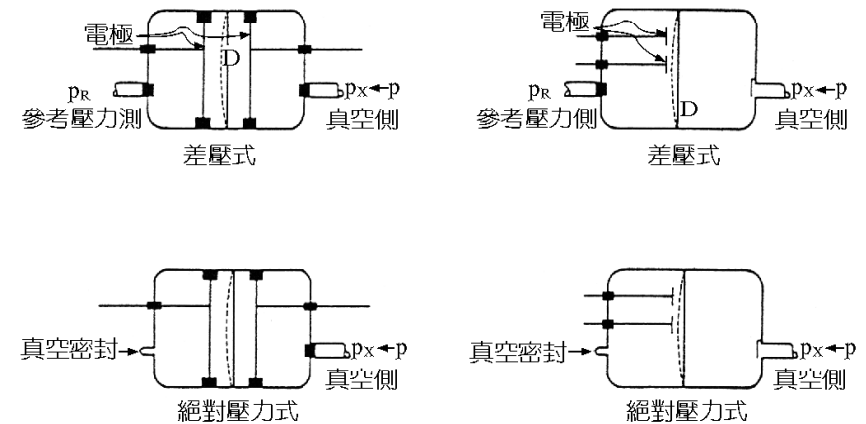
12

電容真空計

- * (capacitance gauge)
- * 薄膜真空計，很小的薄膜機械變形的量可由薄膜與兩電極間形成的電容變化而測出
 - * 電容變化即代表壓力值
- * 可分為：
 - * 絕對壓力式 (absolute pressure type)
 - * 薄膜的一側為密封表殼，其中封入一已知壓力的氣體，另一側連接至待測壓力的真空系統
 - * 差壓式 (differential pressure type)
 - * 薄膜的兩側各連接至真空系統的兩待測壓力點，故可直接讀出壓力差或壓力比
- * 電容真空計的兩電極可設於
 - * 薄膜的兩側
 - * 均設於薄膜的一側
 - * 優點為真空系統中的氣體不會接觸到電極，故可免除電極可能遭受氣體的污染
 - * e.g. MKS (Baratron)

13

電容真空計



14

熱傳導真空計

- * (thermal conductivity gauge) 利用氣體分子碰撞發熱體而傳熱的熱傳導真空計
 - * 恰好填補此空缺 (未能達到起動的低壓力)
- * 相對真空計，其與氣體分子有關，不同氣體測到的壓力亦可能不同
- * 小分子氣體傳熱的效果較大分子氣體為佳
- * 發熱體在真空中熱的散失
- * 熱電偶真空計
- * 派藍尼真空計

15

發熱體在真空中熱的散失

- * 包含：
 - * 不經介質的直接輻射
 - * 經由介質的間接熱傳導
- * 發熱體經由氣體的間接熱傳導與在大氣中不同
- * 熱的散失途徑：
 - * (1) 氣體的熱傳導
 - * (2) 固體熱傳導 (conduction)
 - * (3) 輻射 (radiation)

16

(1) 氣體的熱傳導

* (A) 對流 (convection)

- * 經由氣體的傳導主要的機制為對流
- * 在真空中則僅從大氣壓力開始的粗略真空至1毫巴附近的壓力範圍為對流方式的熱傳導

* (B) 氣體分子碰撞

- * 真空中壓力下降至低於1毫巴，此時氣體分子密度降低其熱傳導已非氣流方式的對流
- * 係各個氣體分子碰撞發熱體將熱帶走的機制

17

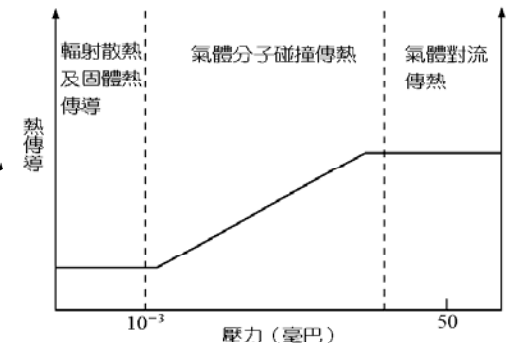
熱傳導對壓力變化曲線

* 粗略真空至1毫巴附近的壓力範圍

- * 為一水平直線，此代表對流的熱傳導實質上與壓力無關

* 在約1毫巴至接近10毫巴的壓力範圍

- * 為傾斜的直線
- * 此代表熱傳導與單位時間氣體分子碰撞發熱體的數量成比例
- * 故在此壓力範圍利用測定熱傳導即可間接測定壓力



18

(2) 固體熱傳導

- * 真空中發熱體的固定物及通電導線等均為發熱體的熱被固體傳導的介質，此部分的熱傳導甚小故可以忽略
- * 壓力下降至低於10毫巴，此時因氣體分子稀少，其所傳導的熱亦變為很少
 - * 固體熱傳導即變為主要部分
- * 固體的熱傳導加下述的直接輻射散熱均為一定量，與壓力無關

19

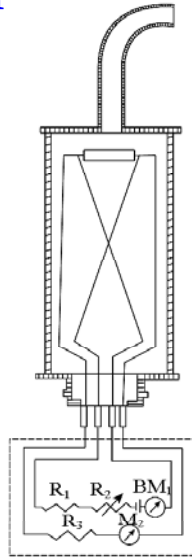
(3) 輻射

- * 輻射為直接不經由介質傳熱的機制
 - * 與壓力無關
 - * 輻射僅與發熱體的溫度有關
 - * 溫度固定，則其熱傳導為一定量

20

熱電偶真空計 thermocouple

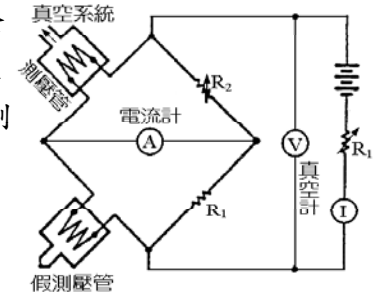
- * 熱電偶 (thermocouple) 為用兩種不同的金屬相偶接以測定溫度的裝置，直接用來測壓力
- * 測定溫度必須與發熱體相接觸，通常係將加熱燈絲與熱電偶點焊 (spot-welding) 相接
- * 從大氣壓力開始，燈絲採用鉑銱合金 (platinum iridium alloy)
- * 溫度約在 100°C 至 200°C ，所用的熱電偶可採用T型的銅／康銅 (constantan) 熱電偶或相當者



21

派藍尼真空計 (Pirani gauge)

- * 較精確可靠的方法
 - * 測定具有正電阻溫度係數 (temperature coefficient of resistance) 燈絲的電阻變化
 - * 此種燈絲可用鎢，鎳或鉑等金屬製成
- * 為補償測壓管 (gauge tube) 處可能的環境溫度變化所造成的誤差，利用一封閉的測壓管稱為假測壓管 (dummy tube) 置於相同位置
 - * 此假測壓管中的燈絲僅測到環境溫度變化所產生的背景信號，測壓管即用此信號以消除背景信號
- * 惠斯登電橋 (Wheatstone bridge)，電橋的兩支分別接測壓管與假測壓管，另兩支測分別接標準電阻
- * 利用此測定電阻的方法而測定發熱體的熱傳導以間接測定壓力的真空計



22

第四節 高真空及超高真空範圍用的真空計

- * 當真空系統中的壓力達到高真空範圍，氣體分子密度已很低，此時利用氣體分子碰撞熱傳導的方法已經失效，故測定壓力採用測定單位體積中的氣體分子數而利用理想氣體定理的理論間接求出壓力。事實上測定單位體積中的氣體分子數的方法為將氣體分子離子化變為離子，然後測定離子電流即可推算出氣體分子數。

23

高真空及超高真空範圍用的真空計種類

- * 冷陰極離子真空計
- * 熱陰極離子真空計
- * 倒位三極管真空計
- * 外集式離子真空計
- * 抽取式離子真空計

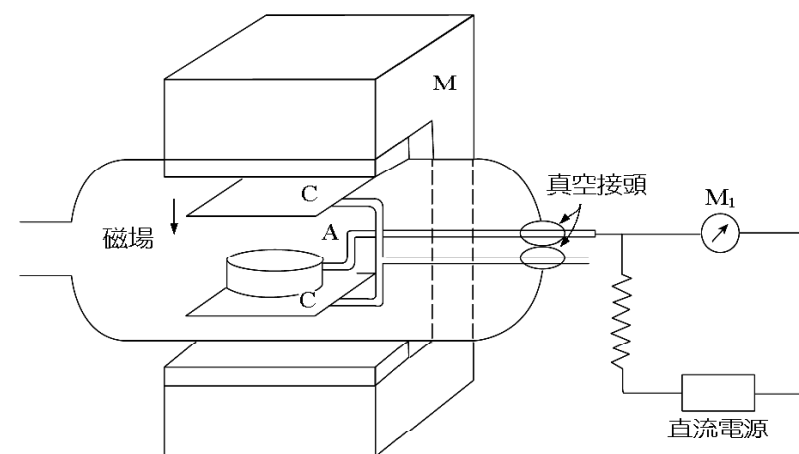
24

冷陰極離子真空計 (cold cathode ionization gauge)

- ✳ 構造原理與撞濺離子幫浦 (sputter-ion pump) 同
- ✳ 但選用不同的陰極材料及所加電場的電壓使無撞濺及結拖 (getter) 的幫浦作用
- ✳ 又稱為彭甯真空計 (Penning gauge)
 - ✳ 因陰極電子的產生不用加熱燈絲
 - ✳ 故稱為冷陰極

25

冷陰極離子真空計



26

1. 冷陰極離子真空計適用的壓力範圍

- ✳ 可測壓力從約 10^{-3} 毫巴至 10^{-7} 毫巴
 - ✳ 壓力較高時真空計內的氣體分子密度太高，故電場中會產生輝光放電 (glow discharge)
 - ✳ 此時電極間形成電漿造成大電流而發熱，同時電源供應器亦因大電流使電路發熱甚至會燒毀
 - ✳ 壓力太低時，則因真空計內電子的數量太少而使氣體分子離子化的機率降低
 - ✳ 常不易起動，操作時測到的離子電流會不穩定
- ✳ 實際應用時操作範圍較理論者為小

27

2. 冷陰極離子真空計操作注意事項

- ✳ 比較堅固不易損壞的真空計
 - ✳ 起動仍以較低壓力為宜
 - ✳ 一般多選擇進入10毫巴範圍起動
- ✳ 此真空計若真空系統意外壓力升至粗略真空範圍，或不小心中放入大氣，短暫時間應不致損害幫浦及其電源供應器

28

熱陰極離子真空計 (hot cathode ionization gauge)

- * 產生使氣體分子離子化的電子為由燈絲通電發熱的熱發射 (thermal emission) 電子
- * 因為燈絲電流可精確控制，故發射的電子電流可維持為一常數，而不似上述的冷陰極離子真空計中的電子電流係隨壓力變化而非一常數
- * 陰極即為通電發熱的燈絲
 - * 故稱為熱陰極離子真空計
- * 簡稱為離子真空計 (ion gauge)

29

熱陰極離子真空計適用的壓力範圍

- * 因在壓力較高時真空計內的氣體分子密度太高會使燈絲氧化燒毀
- * 傳統的三極管式熱陰極離子真空計測定壓力的高壓力約在 10^{-5} 毫巴範圍
- * 其測定低壓力則受背景壓力信號 (background signal) 的限制約在 10^{-7} 毫巴範圍
 - * 此測不到再低的壓力

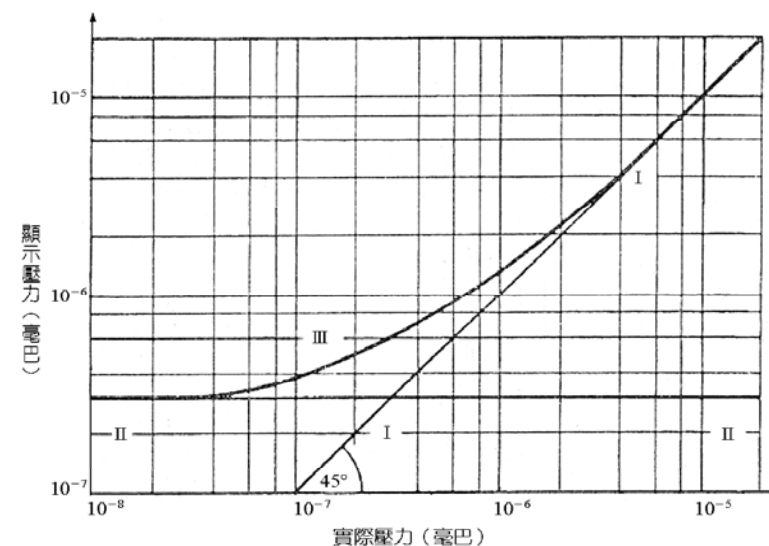
30

熱陰極離子真空計中的背景壓力讀數

- * 背景讀數 (background reading)
 - * 源自真空計中的電子撞擊陽極後其能量轉變成一種電磁波 (electromagnetic wave)，其波長的範圍屬於低能量的柔和X光 (soft X-ray)
 - * 柔和X光向四面八方射出，當其射至離子收集極時會發生光電效應 (photo-electric effect) 而釋放光電子 (photo electron)
 - * 離子收集極放出一負電子即相當於獲得一正電荷的離子信號，此信號造成一固定的背景壓力讀數

31

實際壓力對顯示壓力曲線



32

第五節 部分壓力分析儀

- * (partial pressure analyzer簡稱PPA)
- * 又稱為殘餘氣體分析儀 (residual gas analyzer簡稱RGA)
- * 可測知氣體的種類以及混合氣體中各氣體成分的部分壓力的儀器
- * 小型的氣體質譜儀 (mass spectrometer)
- * 目前最常用者為四極式質譜儀 (quadrupole mass spectrometer)

33

四極式質譜儀的原理1

- * 主要有四根互相平行的電極，電極為雙曲線 (hyperbolic cross section) 斷面
- * 相對的電極加相同的直流及交流電壓 ($UV \cos t$)，而與此電極成90度的兩電極則加與其異號相同的直流及交流電壓 ($UV \cos t$)
- * 氣體分子在質譜儀的離子源 (ion source) 中離子化成為離子，離子被電場引出由四極的中心軸方向進入四極所形成的變動電場

34

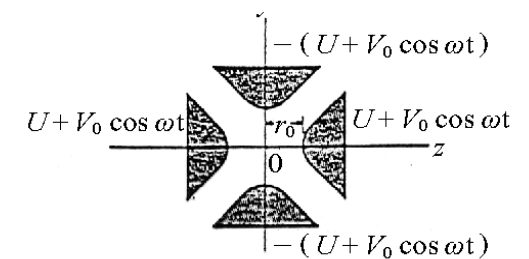
四極式質譜儀的原理2

- * 離子在此電場中所進行的軌跡係由馬修運動方程式 (Mathieu equation of motion) 來表示
- * 即質量為m的離子在X, Y, 及Z方向的運動方程式為：
 - * $md^2x/dt^2 + 2e(U + V \cos \omega t) \cdot x/r_0^2 = 0$
 - * $md^2y/dt^2 - 2e(U + V \cos \omega t) \cdot y/r_0^2 = 0$
 - * $md^2z/dt^2 = 0$
- * 變動電場其電場位能 (potential) 為：
 - * $\Phi = (U + V \cos \omega t) \cdot x/r_0^2$

35

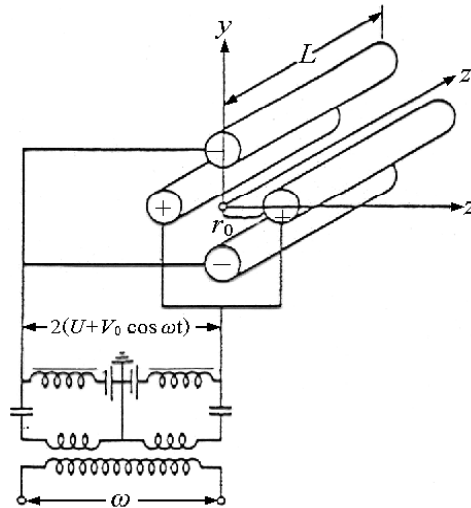
四極式質譜儀的構造

- * 理論的雙曲線斷面電極製作困難
- * 故一般四極式質譜儀的電極棒多以圓棒代替
- * 僅新式小型者係用陶瓷材料拉製成型為一具有四塊雙曲線斷面內壁的管，而在此四塊內壁分別鍍互相不接觸的金膜
- * 如此可得理想的四極



36

四極式質譜儀的構造圖



37

部分壓力及總壓力的測定

* 質量掃描方法

- * 固定的參數為 U/V 及 ω ，而掃描可用變動 U 或 V ， U/V 的值為決定質量解析度 (mass resolution) 的重要選擇
- * 此種方法作質量掃描所得的質譜在所有的質量範圍對質量均呈比例變化，因為質量 m 與 U 或 V 直接成正比
- * 固定 U 及 V 而變動 ω ，但所得的質譜對質量變化並無線性比例的關係，故僅特殊情況才應用
- * 將四極式質譜儀的直流電壓關閉，即 $U=0$ ，則所有成分氣體分子的離子均通過電場而被偵測，此時測到的離子電流即代表總壓力

38

第六節 真空計的校正

* (calibration) 分為：

* 絕對校正 (absolute calibration)

- * 以標準真空計 (standard vacuum gauge) 來校正

* 比較校正 (comparison calibration)

- * 以傳遞真空計 (transfer gauge) 作比較校正

39

真空標準

* (vacuum standard) 與其他類的標準相似分為一級，二級標準等

* 一級標準所用的標準真空計 (standard vacuum gauge)

* 絕對真空計

- * (1) 旋轉轉子黏滯性真空計 (spinning rotor viscosity gauge)
- * (2) 麥克勞真空計 (McLeod gauge)

* 二級標準真空計

- * 傳遞真空計 (transfer gauge)

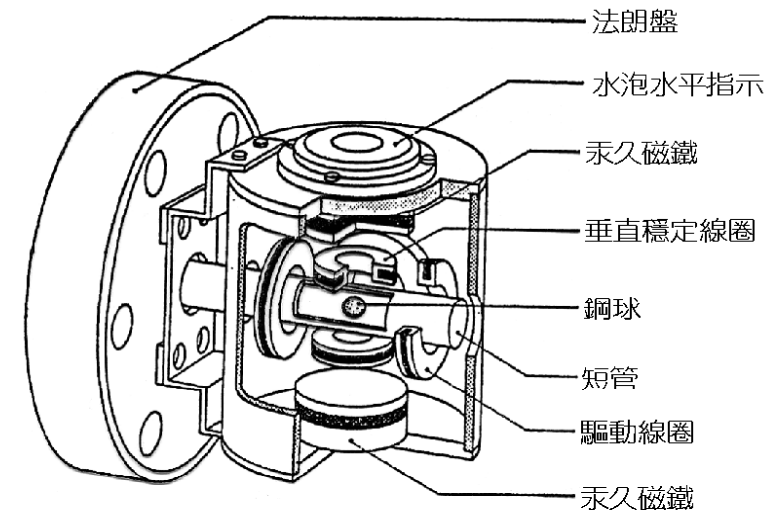
40

旋轉轉子黏滯性真空計

- * 簡稱旋轉轉子真空計 (SRG)
- * 旋轉轉子為一直徑為4.5毫米的小銅球，轉子置於一短管中而被兩塊碟狀永久磁鐵以磁力使其懸浮在空間
- * 轉子被四驅動線圈所產生的水平旋轉磁場所驅動而高速旋轉
- * 兩轉速拾取線圈偵測轉子轉速將轉速信號送至接收器。使用時將轉子驅轉至一定的高轉速
 - * 依時間順序紀錄轉子減慢的輸出信號
- * 由於氣體的黏滯力使轉子轉速的減慢，而黏滯力比例於壓力，故測定此轉子轉速變慢至某一選擇的速度所經過的時間即可獲得壓力

41

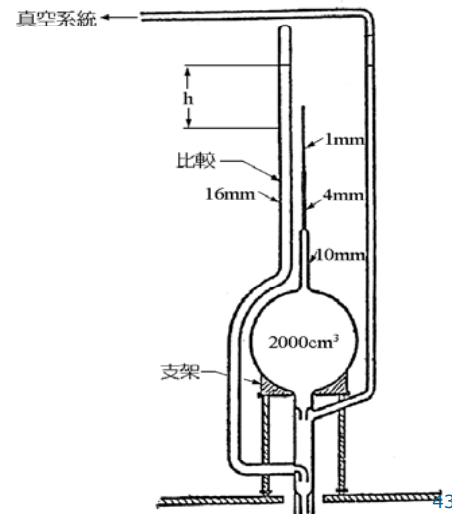
旋轉轉子黏滯性真空計



42

麥克勞真空計

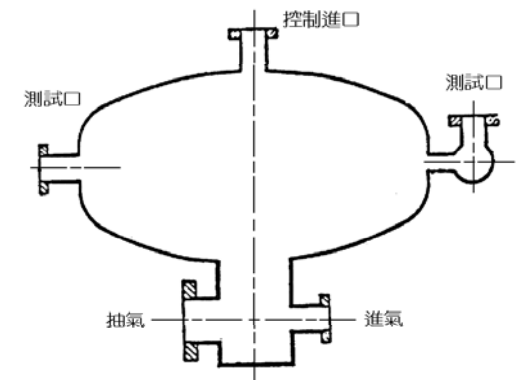
- * 即為一種水銀真空計
- * 係利用水銀在毛細管中上升的高度來側定壓力



43

傳遞真空計

- * 一種高精確度及可靠性的真空計
- * 高壓力範圍選電容真空計
- * 高真空則選離子真空計



44

真空計校正系統

- * 1.靜態膨脹法校正系統
 - * (1)靜態氣體膨脹法 (static gas expansion method) 操作原理
 - * (2)一級膨脹法 (single-stage expansion method)
- * 2.動態真空計校正系統
 - * (1)孔道流通校正系統
 - * (2)二級真空標準校正

45

1.靜態膨脹法校正系統

- * 欲校正絕對真空計的操作壓力範圍，則可直接在真空計校正設備中作比對
- * 若欲校正的真空計的操作壓力範圍超出絕對真空計的操作壓力範圍
 - * 則需用靜態氣體膨脹法校正系統 (static gas expansion system)
 - * 例如高真空用的真空計

46

靜態氣體膨脹法操作原理

- * 波義耳定理
 - * 此種真空計校正為絕對校正
- * 氣體從小體積的真空室膨脹至大體積的真空室故壓力變小
- * 小體積真空室的壓力
 - * 由最初進氣時以標準真空計測定
- * 氣體膨脹後根據波義耳定理
 - * 計算出置於大體積真空室的待校真空計的壓力

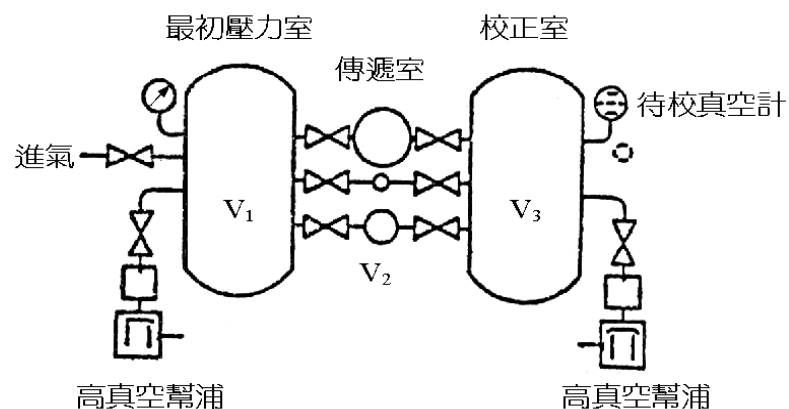
47

一級膨脹法

- * 最初進氣的真空室V1其壓力係由標準真空計測定為 p_1
- * 在此進氣真空室與一大體積膨脹室之間設有不同大小的傳遞室 (transfer chamber)
- * 此傳遞室與進氣真空室經真空閥相連通，打開此閥後使此傳遞室的壓力上升
 - * 因為此傳遞室體積較進氣真空室小很多
 - * 故此時體積變化為 V_1+V_2 可不必考慮而可假定壓力為 p_1 ，然後關閉其間的真空閥
- * 打開傳遞室與膨脹室之間的真空閥使傳遞室中的氣體膨脹至大體積膨脹室，膨脹室的壓力即為待校真空計的壓力 p

48

一級膨脹法



49

2.動態真空計校正系統

- * 在進行膨脹時常有氣體吸附在各室的內壁上，故影響校正的精確度
 - * 尤其校正壓力在高真空範圍此影響頗大
 - * 解決方法為將校正系統經常整體加熱烘烤使氣體吸附在內壁的量減至可以忽略
- * 動態真空計校正法係以真空幫浦將校正系統連續抽氣

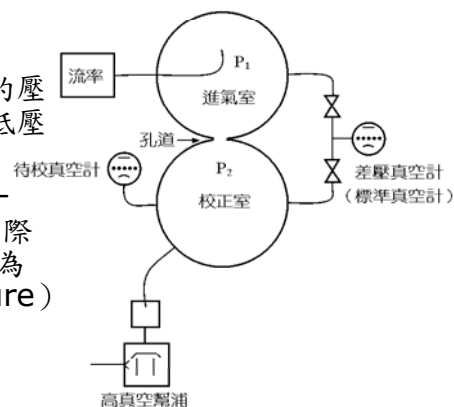
50

孔道流通校正系統

* aperture-flow method

- * 用孔道的阻抗造成孔道兩側的壓力差而以標準真空計校正較低壓力的真空計的方法

* 稱為小孔流通法 (orifice-flow method)，但因實際上並不一定為小孔，亦可為不限大小的孔道 (aperture)



51

二級真空標準校正

- * 比較校正
 - * 利用傳遞真空計與一般使用的真空計作比較的校正方法，此傳遞真空計應先經一級真空標準校正
- * 孔道流通校正系統亦常用作二級真空標準校正系統，通常用一差壓式電容真空計直接測定上下真空室的壓力比 (p_1/p_2) 即可獲得校正壓力如下：

$$p_2 = Q/[C(p_1/p_2 - 1)]$$

52

第七節 抽氣速率的測定

- * 定壓法 (constant pressure method)
- * 定容法 (constant volume method)
- * 氣導法 (known conductance method)
 - * 通常採用此等方法均要求有專門用來作抽氣速率測定的設備，故對一般的真空幫浦使用者頗不方便

53

定壓法

- * 測試系統中的壓力維持一定值 p ，故進氣的氣流通量即等於幫浦抽氣的氣流通量 Q
- * 一般進氣即為大氣壓力 p ，若進氣的體積流率可測定為 R 則抽氣速率 S 為：

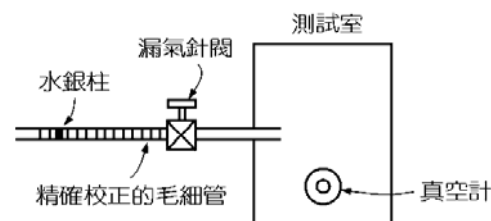
$$S = Q/p = p_a \cdot R_f/p$$

- * 1. 移動水銀柱法
- * 2. 倒置量筒法

54

移動水銀柱法

- * 測定進氣的體積流率 R 可用移動水銀柱法
- * moving mercury pelle method
- * 控制水銀柱移動的速率



$$\text{故 } S = p_a \cdot \pi r^2 \cdot z / (t \cdot p)$$

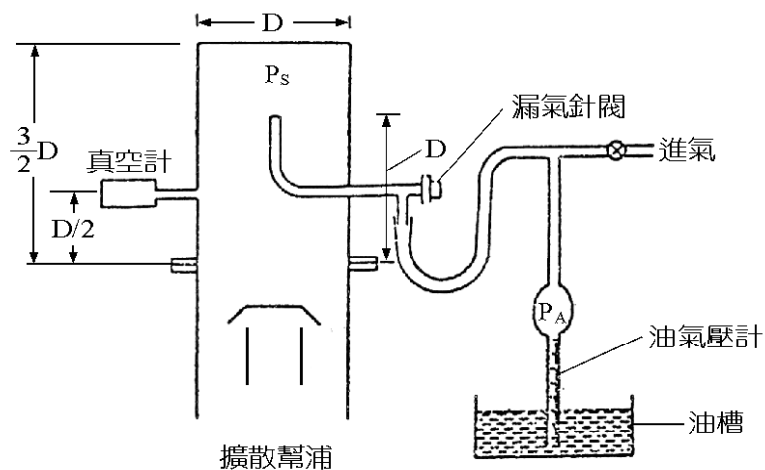
55

倒置量筒法

- * inverted burrete method
- * 為測定進氣的體積流率 R 的方法，一量筒倒置於油槽中
- * 將一大氣壓力的氣體放入倒置量筒的上端，而與油槽中的壓力平衡顯示油柱高
- * 將放氣針閥開啟油壓即將氣體推入真空室內，測定油柱上升的速率，及量筒的尺寸即可求得進氣的體積流率

56

倒置量筒法



57

定容法

- * 抽真空時間法係考慮抽氣速率隨壓力變化的情形，但此方法對幫浦的種類有限制不能普遍適用，而另一壓力上升率測定法則較合實用
- * 抽真空時間法
- * 壓力上升率測定法

58

抽真空時間法

- * 此處所用的抽真空時間（pump down time）係假定抽氣速率 S 為隨壓力變化的函數
- * 函數為：
$$S = S_0 (1 - p_u/p)$$
- * 式中 S 為在 t_0 時的抽氣速率，而 p_u 則為最終壓力（ultimate pressure）
- * 若最初壓力為 p_0 ，則由此假定所得的抽真空時間 t 為：

$$t = V[\ln(p_0 - p_u) - \ln(p - p_u)]/S_0$$

59

壓力上升率測定法

- * pressure rate-of-rise measurement method
- * 可利用使用者的真空系統來測定其幫浦的抽氣速率
- * 此方法利用測定的最終壓力 p_u 及真空系統的壓力上升率來考慮真空系統可能的放氣及漏氣，測得的抽氣速率為真空系統操作壓力範圍的平均數值
- * 操作時先將真空系統以幫浦抽氣維持在壓力 p_1 ，此即一般的操作壓力
- * 再將真空幫浦的隔斷閥關閉，從此時開始計時至一段時間 t
- * 此時測定的壓力為 p_1 ，即真空系統在無真空幫浦抽氣的情形下壓力上升，而壓力上升率 $R_p = (p_1 - p_0)/t$ 。真空系統體積 V 為定值，最終壓力 p_u 為已知或可先予測定，則抽氣速率 S 可用下式求出：

$$S = V \cdot R_p / (p_0 - p_u)$$

60

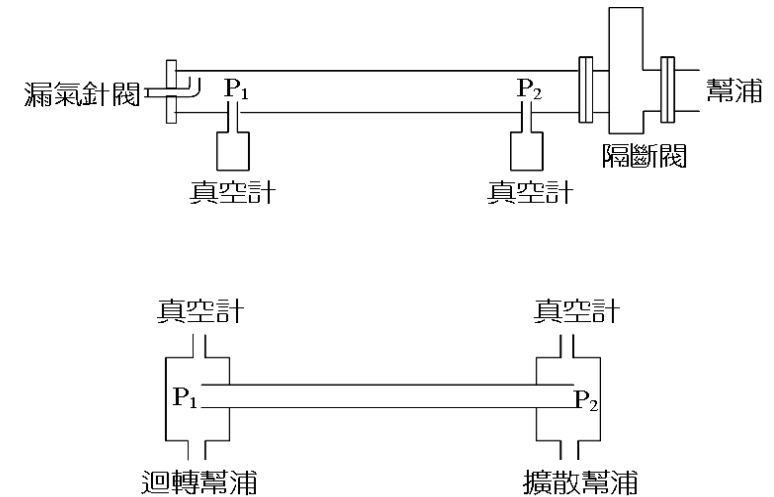
已知氣導法

- * 用一氣導為已知或可先予測定的孔道或管路測定兩端或兩側的壓力，即可求出抽氣速率
- * 假定管路兩端的壓力為 p_1 與 p_2 ，其氣導為 C ，通過此管路的氣流通量為 Q ，則

$$Q = C(p_1 - p_2)$$

61

已知氣導法測定抽氣速率



62

第八節 氣流通量的測定

- * 一般多係利用 $Q = p \cdot S$ 及氣流通量的連續性來測定
- * 若抽氣速率為已知可由測定壓力直接求得氣流通量
- * 又真空室內的壓力可用控制進氣來調整，若進氣的壓力及體積流率可測定，則進氣的氣流通量為已知
- * 假定真空系統中的放氣及漏氣的量均甚小可以忽略，則真空系統中的氣流通量即直接等於進氣的氣流通量

63

第九節 氣導的測定

- * 係用一專門測定氣導的設備來測定待測氣導的真空分件如真空閥，管路，及接頭等
- * 測定的方法為設備的進氣裝置可測定進氣的氣流通量，然後測定待測氣導的真空分件兩邊的壓力，由 $C = Q/(p_1 - p_2)$ 即可求出氣導的值

64

測定氣導的設備

★ 為一測定氣導的設備，待測氣導的真空分件裝設在校正位置，其兩側的壓力用兩個真空計來測定，或用一差壓真空計來測定，氣流通量 Q 係由上方的進氣裝置控制

