

Vacuum 真空 (共6小時)

課本：真空技術精華(Vacuum Technology)，蘇青森(五南 2009)

參考資料：

- 實用真空技術，呂登復(黎明書局 1996)
- Wikipedia & Google

上課時間：Nov. 28 & Dec. 05 星期三 (14:00-17:00 pm)

地點：欣興電子(湖口)

1

授課教師：張存續 教授

助 教：趙賢文 & 黃士睿

辦公室：清大物理館417室 (分機：5742978)

實驗室：清大物理館119室 (分機：5742560)

專長：

- 兆赫波源研發與應用
- 微波電漿產生與應用
- 微波材料處理與特性



2

知識、經驗、能力

很多真空**知識**是很實用的，不需太多理論推導，但需要較多了解與實作。

每一位老師研究領域不同，各自有不同真空使用**經驗**。這些經驗有很強的個人色彩與主觀性。

希望透過這門課，使學員們的能主動尋找知識，建立自己的經驗，進而有**能力**達成真空要求與解決問題。

3

Chapter 1 真空的基本觀念

- ★ 1.1 從歷史發展認識真空
- ★ 1.2 絕對真空與真空的定義
- ★ 1.3 真空壓力與真空度
- ★ 1.4 自然界的真空
- ★ 1.5 真空技術的基本量
- ★ 1.6 真空系統的特徵
- ★ 1.7 真空應用

4

第一節 從歷史發展認識真空 托里切利首先發現真空

- ★ 義大利人托里切利 (Torriceli) 利用玻璃試管盛滿水銀倒置於水銀槽中，管中的水銀自然下降至76厘米高度，而在管的頂端留下一空間。

- ★ 此試管的空間他認為係空無一物的真空。

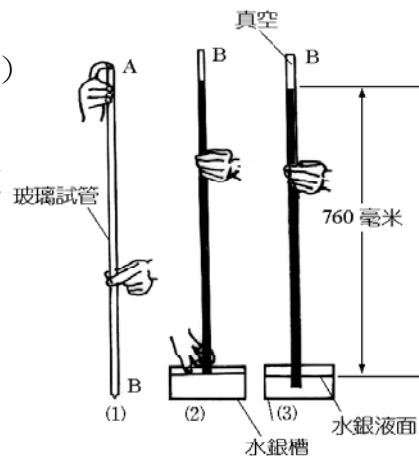


圖 1.1 真空的發現

5

馬德堡半球實驗

- ★ 德國馬德堡市長證明真空的力量，將兩個半球密合其中抽真空，兩邊各用四匹馬並未能將其拉開

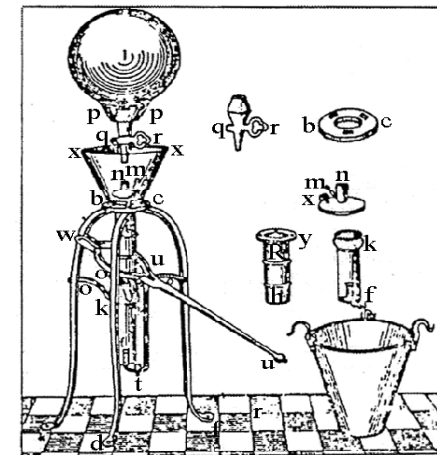


圖 1.2 早年人力抽真空的裝置

6

第二節 絕對真空與真空的定義 何謂真空？

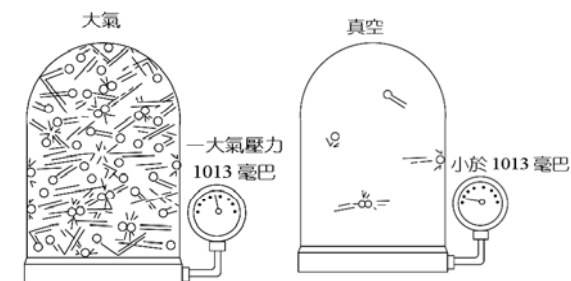
- ★ 絕對真空 (absolute vacuum)
 - ✳ 氣體壓力等於零的空間就是絕對真空
 - ✳ 不存在任何包括氣體在內的物質，故絕對真空為一個氣體壓力等於零的空間
- ★ 空間內的氣體壓力
 - ✳ 空間 (empty space) 內既然沒有可看見的物質存在，剩下的當然即為氣態 (gaseous) 物質
 - ✳ 討論真空即為討論空間內的氣體壓力

7

真空定義

真空定義的概念圖

- ★ 即一個空間，其中的氣體壓力小於一大氣壓力者為真空
- ✳ 表示為：壓力 < 大氣壓力
- ★ 真空中的分子密度
 - ✳ < 一大氣壓力的分子密度
 - ✳ $n < 2.5 \times 10^{19}$ 分子 / 厘米³



8

第三節 真空壓力與真空度 真空壓力

- * 真空中氣體的壓力簡稱為真空壓力，或直接稱為壓力
- * 亦有用氣壓表示真空壓力者
- * 真空壓力為氣體對真空系統的內壁每單位面積上所施的力，其單位為：力／單位面積

9

壓力的單位

- * 國際壓力單位
 - * 1帕=1牛頓／平方米
 - * 1Pa=1N/m²
- * 舊真空壓力單位
 - * 1托爾=1/760大氣壓力
 - * 1托爾=1毫米水銀柱
- * 實用真空壓力單位
 - * 1巴=10⁵帕
 - * 1毫巴=10⁻³巴 (bar)
 - * 1毫巴=3/4托爾=100帕
 - * 1大氣壓力=1013毫巴

真空壓力換算表

	毫巴	帕	托爾	大氣壓	公斤／平方厘米
毫巴	1	100	0.75	9.87×10^{-4}	1.02×10^{-3}
帕	1×10^{-2}	1	7.5×10^{-3}	9.87×10^{-6}	1.02×10^{-5}
托爾	1.33	133	1	1.32×10^{-3}	1.35×10^{-3}
大氣壓	1013	101325	760	1	1.034

10

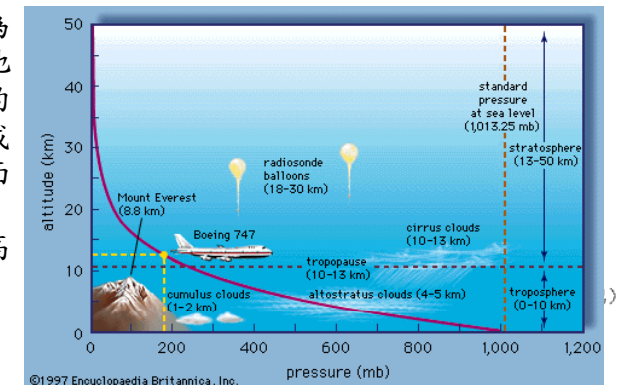
真空度

- * 代表真空系統中壓力的程度
- * 此名詞係我國工業界自創
- * 相當於英文vacuum
 - * 低真空卻代表真空系統中氣體的壓力高者
 - * 高真空則代表真空系統中氣體的壓力低者
 - * 低真空以粗略真空 (rough vacuum或coarse vacuum) 取代
- * 用真空度的名詞要特別注意以下的提示：
 - * 低真空 (low vacuum)：高壓力
 - * 高真空 (high vacuum)：低壓力

11

第四節 自然界的真空 地球表面到外太空

- * 地球表面海平面為一大氣壓力，由地球表面向上氣體的壓力逐漸減低形成真空，離地球表面愈遠，壓力愈低，至外太空則為超高真空



12

標準大氣與標準大氣壓力

- ★ 標準大氣壓力 (standard atmospheric pressure)
 - ✱ 溫度在20°C
 - ✱ 海平面高度，乾燥空氣所施的壓力，其值為1013毫巴

13

標準大氣成分

- ★ 主要成分：
 - ✱ N₂——792毫巴
 - ✱ O₂——212毫巴
- ★ 次要成分及稀少氣體：
 - ✱ Ar 9.47毫巴
 - ✱ CO₂ 0.31毫巴
 - ✱ Ne 1.9×10^{-2} 毫巴
 - ✱ He 5.3×10^{-3} 毫巴
 - ✱ CH₄ 2×10^{-3} 毫巴
 - ✱ Kr 1.1×10^{-4} 毫巴
 - ✱ N₂O 5×10^{-4} 毫巴
 - ✱ H₂ 5×10^{-4} 毫巴
- ★ 各成分的總和為1013毫巴，即一標準大氣壓
- ★ 若考慮水蒸氣的存在，則可加入已知相對濕度 (relative humidity) 的水蒸氣壓

14

第五節 真空技術的基本量 真空技術的基本量

- ★ 壓力 (pressure)
- ★ 抽氣速率 (pumping speed)
- ★ 氣流通量 (throughput)
- ★ 氣導 (conductance)
- ★ 阻抗 (resistance)
- ★ 抽真空時間 (pump-down time)
- ★ 放氣率 (outgassing rate)
- ★ 漏氣率 (leak rate)
- ★ 及單層附著時間 (monolayer time)

15

抽氣速率

- ★ 表示在系統中某一斷面或真空幫浦單位時間抽氣的量
 - ✱ 抽氣速率的定義
 - ✱ 抽氣速率的單位及換算
 - ✱ 真空幫浦的抽氣速率

16

抽氣速率的定義

- * 1. 幫浦的抽氣速率
 - * 為在真空幫浦的進氣口每單位時間抽入幫浦中氣體的體積
- * 2. 真空系統的抽氣速率
 - * 為在真空系統中某一斷面每單位時間通過氣體的體積
- * 抽氣速率實際上並非真正的量
 - * 因為單位時間通過氣體的體積中究竟有多少氣體分子並不得而知
 - * 相同的體積若氣體壓力不同其所包含的氣體分子可能相差甚多

17

抽氣速率的單位及換算

- * 單位為：體積／時間
- * 單位換算：
 - * 1公升／秒 = 1000立方厘米／秒 = 3.6立方米／小時
 - * 1立方米／小時 = 16.67公升／分 = 0.278公升／秒
 - * 1立方英呎／分 = 28.32公升／分 = 0.47公升／秒

18

真空幫浦的抽氣速率

- * 真空幫浦的抽氣速率一般多為變數，故實際上應為：
 - * $S = dV/dt$
- * 一般真空幫浦標定規格的抽氣速常為平均抽氣速率即：
 - * $S = V/t$

19

氣流通量的定義

- * 單位時間內流過真空系統中某一斷面的氣體分子數稱為氣流通量
 - * 氣流通量的公式為：
 - * $Q = p (dV/dt) = pS$
- * 在一穩定 (steady) 的真空系統中，假定並無漏氣或器壁釋放氣體，則氣流通量為一常數
 - * 真空系統中A點的氣流通量 Q_A 與B點的氣流通量 Q_B 相等
 - * 此種性質又稱為氣流通量的連續性 (continuity)
 - * 由此可得真空系統中各點的壓力與抽氣速率的關係如下：
 - * $Q_A = Q_B$
 - * $p_A S_A = p_B S_B$

20

氣導與阻抗

- * 真空管路的氣導
 - * 在真空系統的管路中，通過該管路某一段1與2之間的氣流通量與該管路兩端壓力之比為該管路段的氣導
 - * $C = Q / (p_1 - p_2)$
- * 真空管路的氣流阻
 - * 在真空系統的管路中，氣流通過該管路某一段1與2之間的阻礙的程度以阻抗來表示
 - * $R = 1/C$

21

抽真空時間

- * 真空系統的抽真空時間（pump down time）為決定操作真空系統的主要參數
- * 通常為評估一真空系統從起動至實際運作所需要的時間

22

抽真空時間的定義

- * 真空系統氣流通量的平衡方程式
 - * $PS = Q_0 - V(dP/dt)$
- * 抽真空時間公式
$$t_f = (V/S) \ln [(P_0 - Q_0/S) / (P_f - Q_0/S)]$$
- * 習用 $t_f = (V/S) \ln (p_0/p_f)$
 - * $P_0 = 1013$ 毫巴， $P_f = 1$ 毫巴
 - $t_f = 6.92 (V/S)$

23

抽真空時間實例

- * 問題1：假定有一高真空系統其體積為500公升。用一迴轉幫浦抽粗略到中度真空，選擇抽氣速率為 S_r 250公升／分。假定從大氣壓力 $P_0 = 1013$ 毫巴開始，抽至中度真空 $P_f = 5 \times 10^{-3}$ 毫巴
答：抽真空時間為： $t_1 = (500/250) \ln [1013/(5 \times 10^{-3})] = 24.44$ 分
- * 問題2：再用一抽氣速率為150公升／秒的高真空幫浦抽中度到高真空。假定從 $P_0 = 510$ 毫巴開始至高真空， $P_f = 1$ 毫巴
答：抽真空時間為： $t_2 = (500/150) \ln [(5 \times 10^{-3}) / (1 \times 10^{-5})] = 31$ 秒
- * 此實例說明抽粗略到中度真空所需的時間較長

24

漏氣率 (leak rate)

- * 漏氣率為單位時間內由真空系統外部漏入系統中氣體的量，其單位與氣流通量者相同
 - * 毫巴·公升／秒，托爾·公升／秒，及帕·米／秒
- * 真空系統外部的氣壓多為一大氣壓，故漏氣率又常用大氣壓力·立方厘米／秒 (atm·cc/s) 為單位
 - * $1\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}=9.87\text{ (atm}\cdot\text{cc/s)}$

放氣率(outgassing rate)

- * 放氣率為單位時間內由真空系統內部的表面上釋放出氣體的量
- * 單位與氣流通量者相同，即毫巴·公升／秒，托爾·公升／秒等

25

單分子層附著時間

- * 在潔淨固體表面上附著一分子厚度的氣體分子所需的時間，稱為單分子層附著時間
- * mono-molecular layer time

$$\text{單層附著時間 } t_{mono} = \Phi_m / (\Phi \cdot f)$$

- * 假定氣體為空氣及 $f=1$ ，則代入空氣的平均氣體分子半徑可得

$$\Phi_m = 1 / (2r)^2$$

$$t_{mono} = 3.2 \times 10^{-6} / p \quad \text{秒}$$

26

第六節 真空系統的特徵 真空系統特徵

- * 真空包含的壓力範圍很廣
- * 高度潔淨
- * 節省能源
- * 經常承受一大氣壓力
- * 材料在真空中的性質與在大氣中不同

27

第七節 真空應用 應用真空的基本原理

- * 利用壓力差
- * 減少活性氣體
- * 減少氣體碰撞
- * 增長單層氣體附著時間

28

真空技術的應用實例1

科技研究

表 1.1 真空技術的應用(一)

應用項目	真空壓力範圍 (毫巴)
質譜儀	$10^{-4} \sim 10^{-8}$
分子束	$10^{-4} \sim 10^{-8}$
離子源	$10 \sim 10^{-6}$
粒子加速器	$10^{-6} \sim 10^{-9}$
電子顯微鏡	$10^{-4} \sim 10^{-7}$
電子繞射儀	$10^{-4} \sim 10^{-11}$
真空光譜儀	$10^{-4} \sim 10^{-6}$
低溫實驗	$10^{-1} \sim 10^{-12}$
薄膜製程	$10^{-3} \sim 10^{-9}$
表面物理	$10^{-6} \sim 10^{-12}$
電漿研究	$10^{-2} \sim 10^{-4}$
核融合	$10^{-3} \sim 10^{-10}$
太空模擬	$10^{-4} \sim 10^{-12}$
材料研究	$10 \sim 10^{-12}$
樣品製備	$100 \sim 10^{-7}$

真空技術的應用實例2

工業應用

表 1.2 真空技術的應用(二)

應用項目	真空壓力範圍 (毫巴)
金屬退火	$10^{-3} \sim 10^{-4}$
金屬熔融	$10^{-2} \sim 10^{-5}$
熔融金屬除氣	$1 \sim 10^{-3}$
鋼鐵除氣	$10 \sim 10^{-1}$
電子束熔化	$5 \times 10^{-1} \sim 10^{-10}$
電子束焊接	$1000 \sim 10^{-5}$
真空蒸鍍	$10^{-4} \sim 10^{-9}$
金屬濺鍍	$10^{-6} \sim 10^{-9}$
長晶體	$10^{-3} \sim 10^{-6}$
物質昇華	$1 \sim 10^{-4}$
塑料乾燥	$10 \sim 10^{-2}$
分子蒸餾	$10^{-3} \sim 10^{-6}$
樹脂成型	$500 \sim 10^{-2}$
冷凍乾燥	$5 \times 10^{-1} \sim 10^{-3}$
灌注	$1 \sim 10^{-3}$
白熾燈生產	$10 \sim 10^{-4}$
電子管生產	$10^{-4} \sim 10^{-7}$
放電管生產	$100 \sim 10^{-6}$

不同真空度的應用

表 1.3 不同真空度適用的項目

粗略真空 (1013 毫巴-1 毫巴)
輸送、真空吸著、材料除氣、真空乾燥、真空包裝、減壓蒸餾、脫水、濃縮、蓋封、塑料注射成型等應用。
中度真空 (1 毫巴-10 ⁻³ 毫巴)
分子蒸餾、冷凍乾燥、絕緣材料灌注、材料熔鑄、燒結、化學藥品、電弧爐、電燈泡及日光燈等製程或設備。
高真空 (10 ⁻³ 毫巴-10 ⁻⁷ 毫巴)
蒸餾、拉晶體、鍍膜、真空冶金及半導體元件等製程設備。電子束、離子束及分子束等設備。電子管、X 光管、測漏儀、電子顯微鏡、質譜儀、粒子加速器等儀器。
超高真空 (壓力小於 10 ⁻⁷ 毫巴)
表面科學、電子繞射、磨擦、及附著等研究。表面分析儀器、加速器貯存環、磊晶、鍍膜、太空模擬、及核融合等儀器或設備。

真空技術與工業的關係

