

投稿類別：工程技術類

篇名：

瓦斯安全龍頭-旋塞閥(plug valve)緊急截斷與安全密封之設計原理探討

作者：

李沛臻。台中二中。高三 12 班

指導老師：

鄭淑儀老師

壹、前言

一、研究動機

經由高中生活科技的課程體驗中，學習了 LED 檯燈的設計與製作，從中發現在整個工作流程中，能夠發現問題與解決問題的核心，還是在於對產品構造的認識與形狀的認識，因此漸漸養成喜歡探究生活中科技產品的發展歷史與設計原理。

像是前陣子家裡後院突然傳出淡淡的瓦斯味，經由瓦斯人員檢查後說明是熱水器瓦斯安全龍頭漏氣，更換燃氣旋塞閥後就不再有瓦斯洩漏的味道了。這讓喜歡研究事物的我，非常好奇為什麼旋塞閥可以截斷管路介質的流通？為什麼旋塞閥可以讓瓦斯洩漏到空氣中？

燃氣閥門天天使用，如果對它有正確的認識，就多一分的警覺，少一分的風險。本文將以電腦輔助機械設計製圖乙級技術士，術科測試題目旋塞閥作為研究主題，從旋塞閥的發展歷史、設計製圖到工作原理，深入研究它緊急截斷管路介質流通的操作守則與阻止介質從閥門洩漏的安全密封措施。

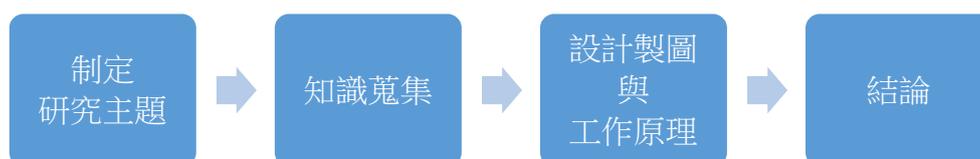
二、研究目的

- (一) 探討旋塞閥(plug valve)之產品特性與發展歷史
- (二) 探討旋塞閥(plug valve)之產品構造與形狀功用
- (三) 探討旋塞閥(plug valve)之緊急截斷管路介質流通的操作守則
- (四) 探討旋塞閥(plug valve)之阻止介質從閥門洩漏的安全密封措施

三、研究方法

- (一) 知識蒐集：閱讀旋塞閥之中英文設計文獻
- (二) 設計製圖：繪製旋塞閥的零件圖、組合圖與分解系統圖
- (三) 工作原理：彙整旋塞閥的科學理論與機械原理

四、研究架構



圖一：研究流程圖
(資料來源：研究者繪製)

貳、正文

一、旋塞閥(plug valve)之產品特性

旋塞閥具有良好的緊急截斷性能和安全密封防漏性能，適用於液化石油氣、天然氣等多種燃氣介質管路上。在一般家庭的瓦斯管路上，旋塞閥主要作為瓦斯之保安功能，當瓦斯軟管脫落或斷裂時，立即將瓦斯截流，用以保障生命安全與財產安全的重要防線。旋塞閥的產品特性，是將帶通孔的塞子作為啟閉件，旋轉塞子四分之一圈，就能緊急截斷瓦斯流動，阻止瓦斯散逸到空氣中，避免瓦斯燃燒或爆炸的危險發生。圖二為品風燃氣緊急切斷閥。



圖二：品風燃氣緊急切斷閥，配合各家庭管道燃氣使用
(資料來源：<https://zh-tw.facebook.com/twpinfeng/>)

二、旋塞閥(plug valve)之發展歷史

現代旋塞閥的設計與古羅馬帝國之龐貝閥非常相似，經由考古學家從龐貝城遺址挖掘出來的城市地下水道中，發現古羅馬人在公元前1世紀就已經有類似於現代的自來水供水系統，其中有用金屬鉛管焊接連成的水路運輸系統，也有用青銅鑄造組合而成的閥門控制系統。

圖三是龐貝城遺址出土的古羅馬龐貝閥，龐貝閥的構造設計以閥體、塞子為主。閥體為直通式流道，塞子在閥體內旋轉，塞子上的橢圓孔，可允許水流通過或截斷水流。除此之外，龐貝閥還具備安全的防脫設計，將固定銷穿過閥體的防脫孔，插入塞子底部的挾槽中，防止塞子因流體的液壓能向上衝出閥體。圖四為直通式流道，圖五為閥體與塞子，圖六為防脫孔。



圖三：古羅馬龐貝閥



圖四：直通式流道



圖五：閥體與塞子

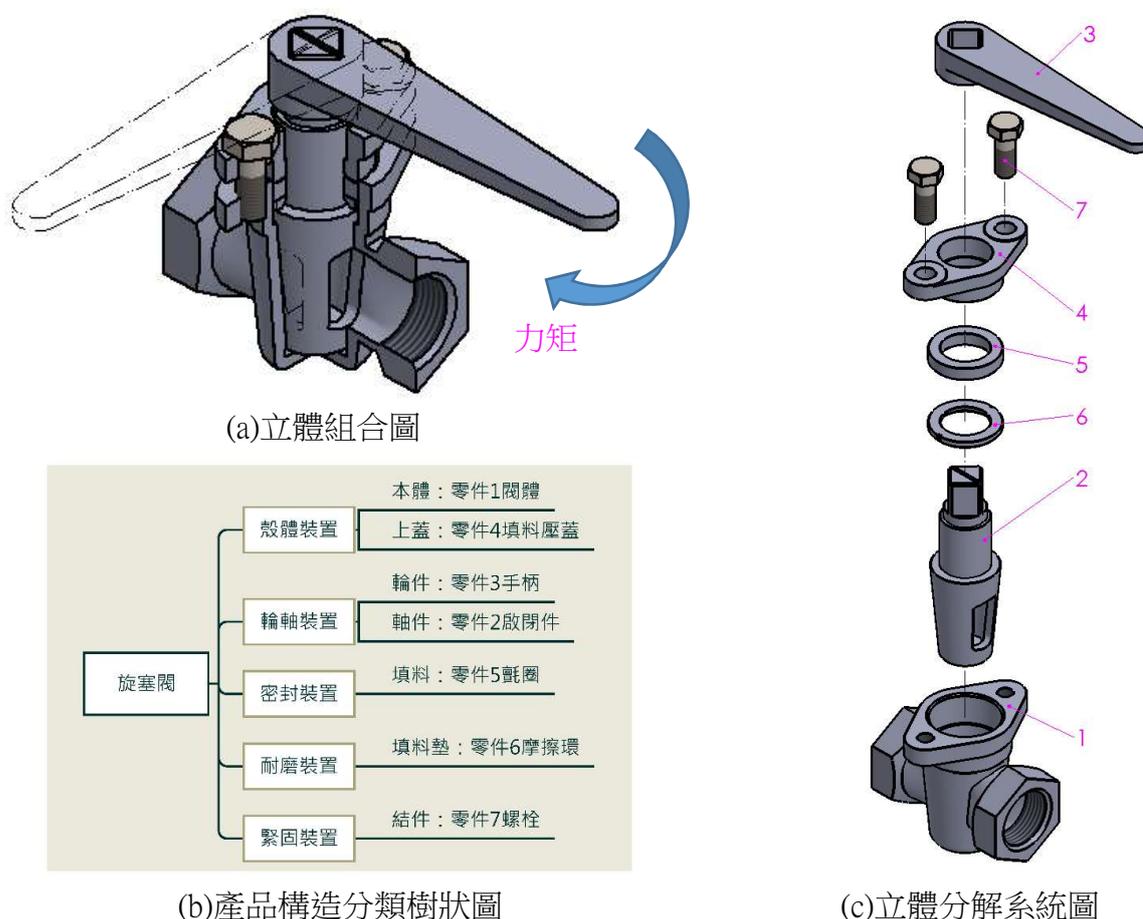


圖六：防脫孔

(資料來源：<https://reurl.cc/2gKZXn>)

三、旋塞閥(plug valve)之產品構造與形狀功用

依據旋塞閥的選用原則，在液化石油氣、天然氣等燃氣介質管路上，宜選用填料式圓錐形旋塞閥，它特有的圓錐密封設計與填料密封設計，能適用於嚴格要求介質不洩漏的場合。圖七為填料式圓錐形旋塞閥之立體組合圖、產品構造分類樹狀圖與立體分解系統圖。



圖七：填料式圓錐形旋塞閥，(a)立體組合圖 (b)產品構造分類樹狀圖 (c)立體分解系統圖
(資料來源：研究者繪製)

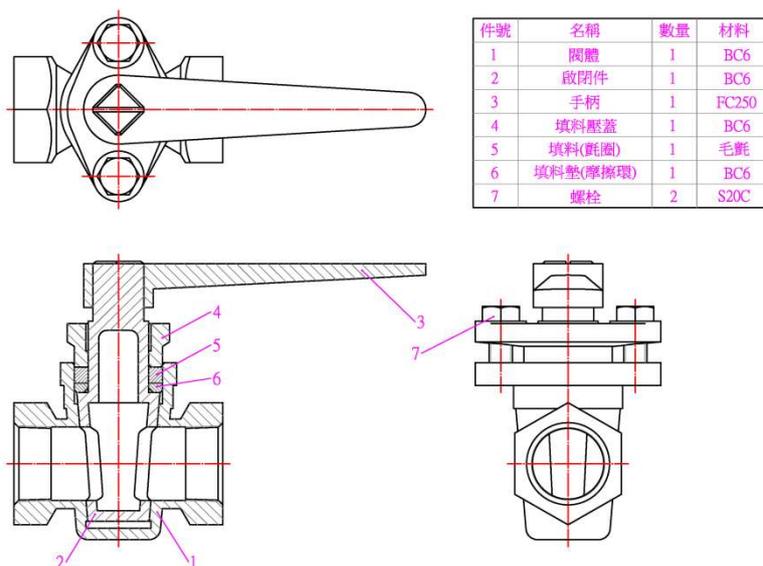
(一) 機械產品之繼承原則

機械產品的基本構造，一般會以現有經驗和技術為優先選擇。根據填料式圓錐形旋塞閥的繼承設計原則，主要將產品構造分類為：殼體裝置、輪軸裝置、密封裝置、耐磨裝置與緊固裝置。

(二) 機械零件之組合原則

圖八為填料式圓錐形旋塞閥之組合圖，組合圖又稱為裝配圖，常用來表達零件間之動作原理、配合關係與零件間之相對位置。填料式圓錐形旋塞閥的零件組合關係為：1.閥體、啟閉件與手柄是用於傳遞動力與運動；2.填料(氈圈)是用於防止介質洩漏；3.填料墊(摩擦環)

是避免轉動時直接摩擦填料，可增加填料壽命；4.填料壓蓋是用於壓緊機件；5.螺栓是用來連結兩個以上的機件作暫時或永久結合。



圖八：填料式圓錐形旋塞閥之組合圖
(資料來源：研究者繪製)

(三) 機械零件之構形原則

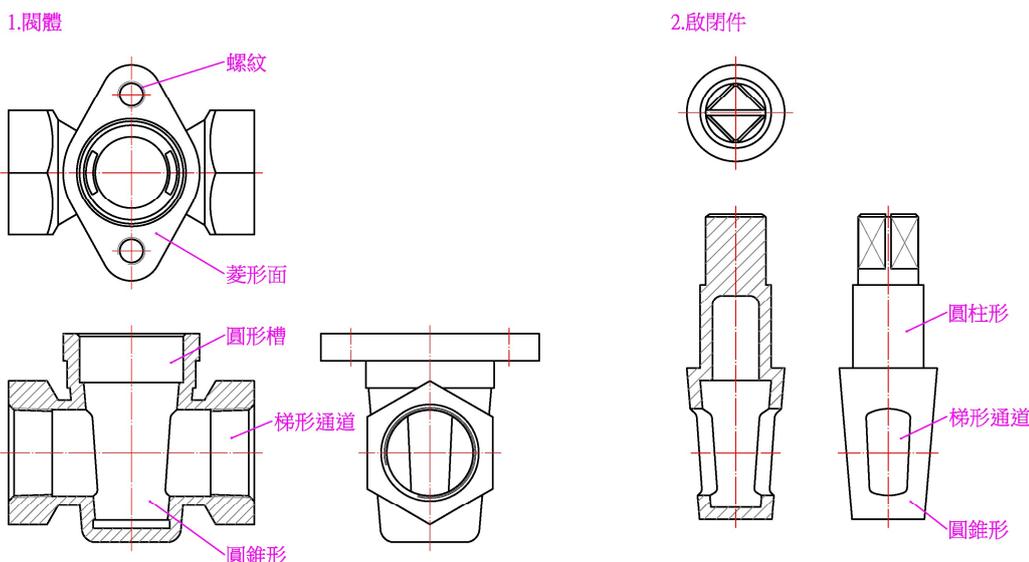
機械零件的形狀構思，主要是根據歐氏幾何與解析幾何的數理原則進行邏輯推理，先將複雜的零件結構假想成若干個基本形狀，再將基本形狀作有秩序、有規則的排列組合，最後完成一個具有工作任務的機械零件。

1、閥體零件之形狀功用

閥體零件的形狀功用，(1)在防止介質內漏的工作部分上，以圓錐形 1:6 或 1:7 的錐度與啟閉件形成黏附接觸，利用金屬材料的分子附著力作為阻擋介質洩漏的機械密封設計。(2)在防止介質外漏的工作部分上，以圓形槽與填料(氈圈)形成嚙合接觸，利用毛氈的緻密性作為介質不易洩漏的填料密封設計。(3)在間隙密封的工作部分上，以菱形面與填料壓蓋做端面貼合，利用螺栓的鎖緊力將填料壓蓋更用力地壓緊填料，同時也把啟閉件更緊密地壓入閥體，填料壓蓋的壓緊力可以適度的調整密封間隙。(4)在截斷介質的工作部分上，以直通式梯形作為通道形式，用一直線的進、出口管路設計，使之與啟閉件上的通道口相通或不相通，達到介質流通或不流通的作用。圖九為閥體零件圖，表達閥體的形狀結構。

2、啟閉件零件之形狀功用

啟閉件零件的形狀功用，在結構底部呈現圓錐形 1:6 或 1:7 的錐度，在結構上半部呈現階梯式圓柱形。啟閉件內有介質通道，通道截面呈梯形，通道與軸線相互垂直。圖十為啟閉件零件圖，表達啟閉件的形狀結構。



圖九：閥體零件圖
(資料來源：研究者繪製)

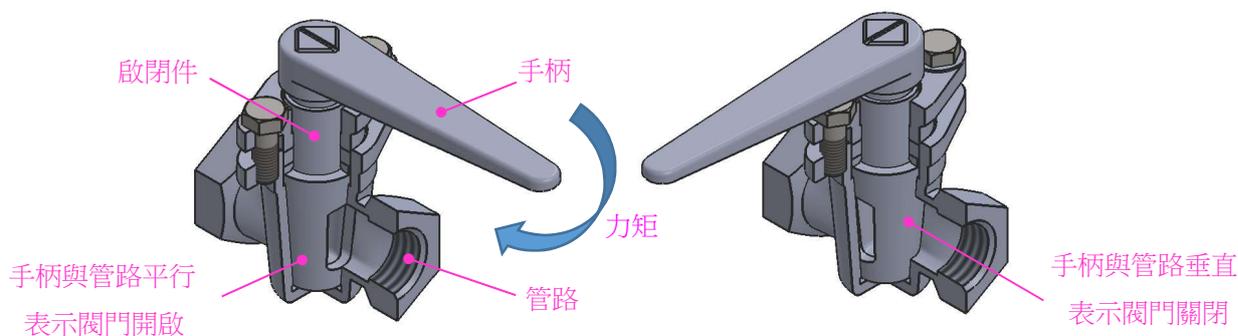
圖十：啟閉件零件圖
(資料來源：研究者繪製)

四、旋塞閥(plug valve)之緊急截斷管路介質流通的操作守則

機械是由多個能夠承受和抵抗外力作用的機件，依照其產品特性組裝而成的組合體。在組合體中的各機件具有確定的相對運動關係，能夠實現能量與運動的傳遞或變換，並且依據工作任務輸出有用的功。例如：旋塞閥靠著人力轉動手柄，就能對管路中流動的介質進行截斷的用途。

(一) 簡單機械-輪軸

旋塞閥的手動驅動閥門設計是以輪軸裝置作為動力傳遞方式，輪件為手柄、軸件為啟閉件，手柄與啟閉件組裝在同一個圓心上，兩者藉由摩擦力會繞著共同的中心軸做同步旋轉。閥門操作者以手力施加於輪件的手柄上，手柄轉動後就會帶動軸件的啟閉件轉動，啟閉件轉動四分之一圈，就能使啟閉件上的通道口與閥體上的通道孔相通或分開，快速完成閥門開啟或關閉的功能。圖十一為旋塞閥閥門之開啟與關閉。



圖十一：旋塞閥閥門之開啟與關閉
(資料來源：研究者繪製)

(二) 牛頓運動定律-力矩

作用力促使物體繞著轉動軸轉動的物理量，稱為力矩(torque)。機械工程裡，使機械元件轉動的力矩又稱為轉動力矩，簡稱轉矩(momen)。在轉矩的作用下，機械元件都會產生一定程度的扭轉變形，因此轉矩有時又稱扭矩。啟閉力與啟閉力矩是指閥門開啟或關閉時，必須施加的作用力與力矩。根據牛頓運動定律，力矩的大小決定於三個要素：施加的作用力 F 、從轉軸到施力點的力臂向量 r 以及力與施力位置向量 F 的夾角 θ ，力矩 τ 以向量方程式表示為

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau = rF \sin \theta$$

其中 τ 為力矩的量值， F 為作用力的量值， r 為力臂長度， θ 為作用力與力臂間的夾角。力矩的SI制單位為牛頓·米(N·m)或公斤重·公尺(Kgw·m)。

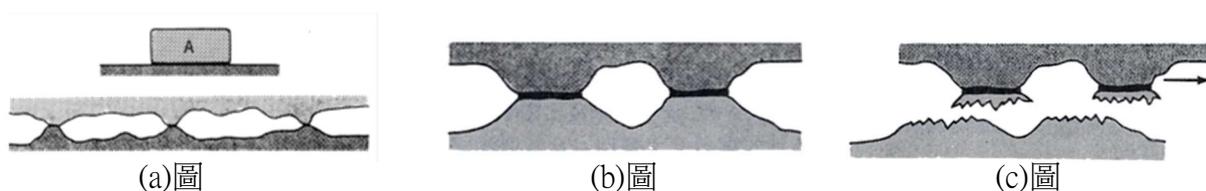
(三) 牛頓運動定律-摩擦本質

兩個相互接觸的光滑物體表面，實際的微觀接觸面積比可視的接觸面積小得多，在高倍率顯微鏡下以微觀方式觀察接觸表面，接觸表面是有很多凹凸起伏的，微凸頂部會因為分子作用力相互黏合在一起，稱為附著(adhesion)。

當外加一個正壓力在物體的接觸表面上時，微凸頂部承受了與接觸面垂直的正壓力，若正壓力超過微凸頂部的彈性限度時，微凸頂部就會發生塑性流動，相互接觸的附著點被壓成平頂，在兩個緊壓著的接觸面上產生了更多分子間的附著現象，使得兩個光滑表面的物體被更穩固地黏附在一起，形成整體附著的現象稱為冷焊(cold welding)。

若要使得兩個整體附著的物體表面發生相對滑動時，就必須對其中一個物體施加一個外力，當外加的力大到使一個表面在另一個表面被拉動時，焊點處就會被撕裂(在分開的瞬間)，這時物體表面就產生了摩擦，而這些焊點就產生了阻礙相對運動的摩擦力。

圖十二為微觀摩擦的產生(a)圖為兩個物體表面相互接觸的「附著」示意圖，(b)圖為兩個物體表面緊密接觸的「冷焊」示意圖，(c)圖為兩個物體表面相互撕裂的「摩擦」示意圖。



圖十二：微觀摩擦的產生 (a)圖為附著示意圖 (b)圖為冷焊示意圖 (c)圖為摩擦示意圖

(資料來源：<https://reurl.cc/j591XM>)

(四) 牛頓運動定律-摩擦力

摩擦力的影響因素：摩擦力的大小只與壓力和接觸面的粗糙程度有關，與其他因素無關。圖十三為摩擦力示意圖， W 為物體重量、 P 為平行接觸面的施力、 F 為摩擦力、 N 為接觸面法線方向的正向力。

綜合摩擦力的特性，畫出摩擦力與水平推力的關係圖(如圖十四)， P 為水平推力、 F 為摩擦力、 f_s 為靜摩擦力、 $f_{s\max}$ 為最大靜摩擦力、 f_k 為動摩擦力、直線斜率為1。根據牛頓運動定律，摩擦力的物理概念為

1、接觸面間只有相對運動趨勢，但尚未發生相對運動前所受的摩擦力，稱為靜摩擦力 f_s 。

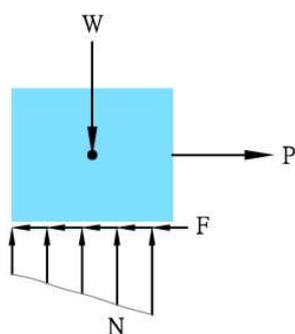
靜摩擦力的量值與平行接觸面的外力相等： $f_s = F$

2、接觸面間恰要發生相對運動時所受的摩擦力，稱為最大靜摩擦力 $f_{s\max}$ 。

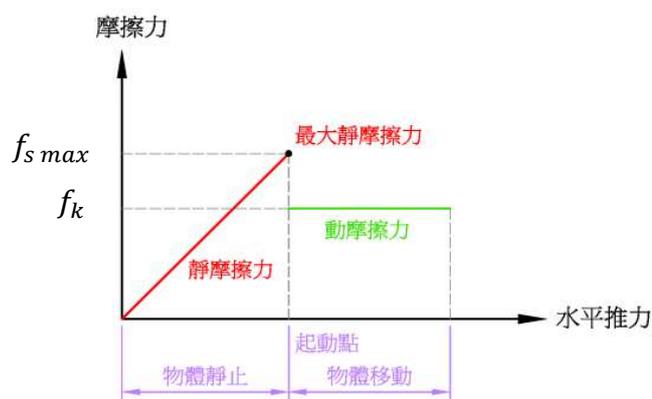
最大靜摩擦力的量值與正向力成正比： $f_{s\max} = \mu_s N$ (μ_s ：靜摩擦係數， N 為正向力)

3、接觸面間發生相對運動後所受的摩擦力，稱為動摩擦力 f_k 。

動摩擦力的量值與正向力成正比： $f_k = \mu_k N$ (μ_k ：動摩擦係數， N 為正向力)



圖十三：摩擦力示意圖
(資料來源：研究者繪製)



圖十四：摩擦力與水平推力的關係圖
(資料來源：研究者繪製)

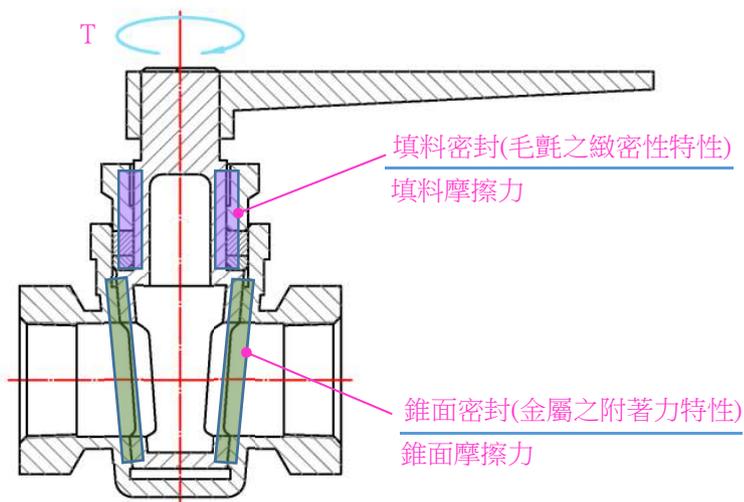
(五) 摩擦力與啟閉力矩

摩擦力是一種接觸力，兩物體相互接觸且相互擠壓，在它們的接觸面之間出現阻礙發生相對滑動的力，稱為摩擦力。旋塞閥的轉動摩擦力有兩處，(1)啟閉件與閥座接觸表面形成的錐面摩擦力；(2)啟閉件與填料接觸表面形成的填料摩擦力。旋塞閥的啟閉力矩最大值是在關閉閥門的最終瞬間或開啟閥門的最初瞬間，因為大部分的力矩都作用在克服啟閉件旋轉時所產生的摩擦力上。

啟閉力矩可以採用力矩扳手實測獲得。手動閥門的操作力矩不超過 $360\text{ N}\cdot\text{m}$ ，超過此力矩就要考慮選用電動、氣動或液動的驅動裝置。

五、旋塞閥(plug valve)之阻止介質從閥門洩漏的安全密封措施

密封是指防止內部流體從相鄰接觸面間洩漏出去，或防止外界雜質如灰塵、水氣等從外面侵入到機器內部。旋塞閥的密封形式有兩種，(1)啟閉件與閥座接觸表面的錐面密封；(2)啟閉件與的填料(氈圈)接觸表面的填料密封。圖十五為啟閉力矩與密封形式之關係圖。



圖十五：啟閉力矩與密封形式之關係圖
(資料來源：研究者繪製)

(一) 介質的洩漏通道

物體表面不管經過多麼精密的加工，從微觀來看物體表面都是凹凸起伏的狀況。閥體內部流動的介質就會在密封面的凹凸縫隙裡流動，這些縫隙就成為密封面的洩漏通道。若要填補密封面的洩漏通道，就要有足夠的壓緊力，壓緊力會在密封面上形成一定的正壓力，正壓力會讓凸點產生一定程度的塑性變形，讓密封面的黏合面積由凸點面積增大到平頂面積，增大黏合面積可將縫隙通徑密合，進而達到防漏的效果。

(二) 閥門的密封機理

閥門密封按其特點可分為硬密封與軟密封。硬密封如錐面密封，兩個相互接觸的物體都是較硬的金屬材料，主要靠精密機械加工控制表面粗糙度來保證密封，兩金屬接觸表面越光滑，黏附密封效果就越好。軟密封如填料密封，兩個相互接觸的物體有一個為較軟的填料材料(如毛氈)，密封效果主靠填料與金屬的接觸表面嚙合卡緊來保證密封。

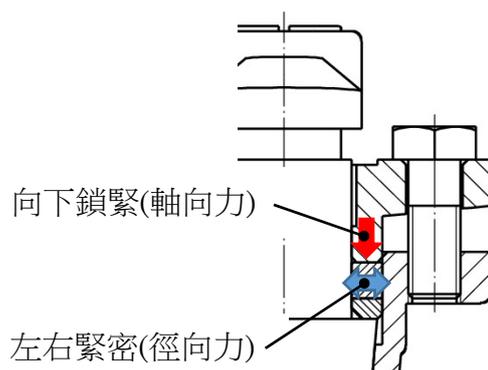
1、錐面密封機理

錐面密封是把密封面做成圓錐形，使接觸面變窄。再透過扭緊填料壓蓋上的螺栓，將啟閉件更深入的壓入閥體，來調整錐面密封間隙。錐面密封在一定的壓緊力下，其接觸表面的正向力大大增加，摩擦力越大密封間隙越小，越容易實現密封。

2、填料密封機理

圖十六為填料密封機理，填料(氈圈)放置於填料墊與填料壓蓋之間，適當的力量鎖緊螺栓時，填料壓蓋向下對填料作軸向壓縮，當啟閉件與填料有相對運動時，徑向力會使填料發生自緊作用，填料與啟閉件就能產生緊密接觸。

常用的填料材料有毛氈、橡膠等，在實際的壓緊接觸時是不平均的，有些部位接觸的緊一些，有些部位接觸的鬆一些，這樣的緻密性形態就出現了一個不規則的迷宮，因此「迷宮效應」就能起到阻止介質外洩的作用。



圖十六：填料密封機理
(資料來源：研究者繪製)

參、結論

閥門洩漏在生活中十分普遍，輕則造成浪費，重則給生活帶來危險。本文將此研究結果用來建立燃氣旋塞閥的安全知識，希望大家養成定期檢查燃氣洩漏的狀況，隨時保護自身的生命安全。

一、在操作使用守則上：操作者只要旋轉手柄四分之一圈，就能使啟閉件上的通道口與閥體上的通道口接通或斷開，實現緊急截斷管路介質流通的功能。

二、在安全密封措施上：旋塞閥的密封機理分為硬密封與軟密封。硬密封如錐面密封，兩個相互接觸的物體都是較硬的金屬材料，當金屬接觸表面越光滑，其相互黏附的密封效果就越好。軟密封如填料密封，兩個相互接觸的物體有一個為較軟的材料，一般為毛氈或橡膠材料，密封效果主要靠填料材料的自緊作用產生緻密性的迷宮效應來保證密封。

三、在定期檢查措施上：每當施加一外力於閥門的開啟或關閉時，就會在兩光滑的物體表面上產生焊點的摩擦撕裂，容易造成機件表面磨損發生介質洩漏。因此需要養成隨時檢查瓦斯管路與瓦斯安全龍頭的洩漏情形，或是配合瓦斯公司每年定期的到府檢查，相信只要多一分認識，就能少一分危險。

四、在未來學習上：旋塞閥的強度特性，是指閥門承受介質壓力的能力。旋塞閥在閥體管路的通道設計分為矩形或梯形，帶孔塞子的通道設計分為矩形、梯形或圓形。閥體與塞子是承受內壓的機械零件，必須具有足夠的強度和剛度，以保證長期使用而不發生破裂或產生變形。希望未來加強學習固體力學，希望藉由仿真模擬預測閥體與帶孔塞子的應力與應變，讓開發流程更順暢也讓開發成本更降低。

五、在未來學習上：旋塞閥的液壓損失，是指流體為克服閥門的阻力就要耗掉一定的能量，造成一定的液壓能損失(壓降)，往往影響流體的流動速度。希望未來加強學習流體力學，希望藉由仿真模擬預測流體的液壓損失，節省增壓泵浦的能源浪費。

肆、引註資料

高涌泉(主編)(2011)。**基礎物理**。新北市：龍騰文化事業股份有限公司。

葉倫祝(2009)。**機件原理**。新北市：全華圖書股份有限公司。

王輔春(2015)。**工程圖學**。新北市：全華圖書股份有限公司。

Plug valve。2020年3月10日，取自

<https://reurl.cc/zzqZmQ>

Introduction to Plug Valve。2020年3月10日，取自

<https://reurl.cc/v1Qd9j>

Pinfeng 品風燃防設備。2020年4月15日，取自

<https://zh-tw.facebook.com/twpinfeng/>

閥門的歷史-古羅馬時期的閥門。2020年4月20日，取自

<https://reurl.cc/2gKZXn>

維基百科簡單機械。2020年5月25日，取自

<https://reurl.cc/WL0r5e>

維基百科力矩。2020年5月25日，取自

<https://reurl.cc/4mL19j>

高中基礎物理摩擦力。2020年5月30日，取自

<https://reurl.cc/2gK58a>

生活中的力。2020年5月30日，取自

<https://reurl.cc/j591XM>