

本週主題

何謂預知保養？ -- 力樺公司工程師彙編

近幾年來「預知保養(Condition-based Maintenance)」在工務保養界被廣為探討與應用，要講「預知保養」前，不妨從「傳統」說起，傳統的機械保養方式有二種，亦即「損壞保養(Run-to-Breakdown Maintenance)」及「預防保養(Time-based Preventive Maintenance)」。

過去工廠的機器設備價格低廉，會嚴重影響生產的機器通常都會有備台，機器的突然損壞也不會造成太大問題，因此很少去實施定期保養或檢測工作，機器設備用到損壞了再去維修的方式就稱之為「損壞保養」。

當機器設備價格十分昂貴沒有備台，或損壞會導致全廠生產工作停擺時，機器設備的定期保養維護就十分重要了，這種實施定時維修的方式就稱之為「預防保養」。通常為了希望將機器的突發損壞機率降至 2% 以下，採用這種保養方式時，往往會在零組件還不需要更換前就更換了，無形中造成保養的極大浪費，但往往效果卻不一定能達到，異常停機率仍居高不下。

「預知保養」是依個別機器的「狀況」去決定該機器是否應該要保養，例如應用振動檢測儀器去分析機器的損壞原因、預測零組件壽命，於是我們知道何時修護？修護哪裡？不需要為機器的臨時異常狀況疲於奔命。

其實早在 1970 年代，石油化學工廠就開始使用振動分析技術，來確保工廠轉動機械的運轉狀況，同時大幅降低了機械保養成本。一個實施預知保養的化學工廠一年的轉動機械損壞案件可以從 247 件降至 14 件。一個石油煉解廠的馬達(電機)保養費用可以降低 75%。一個造紙廠在第一年實施「預知保養」就可節省 25 萬美元的保養費用，為儀器投資金額的 10 倍以上。一個核能發電廠一年的保養費用可以省下 300 萬美元，產能可以增加 1900 萬美元。

預知保養的技術除了振動分析之外，尚包括：潤滑油分析、紅外線熱影像分析、超音波測漏及測厚等技術，其實機器設備就好像人一樣，從量心跳、把脈、驗血、量體溫、照 X 光、照超音波等就可以預先知道體內有沒有潛在(尚未惡化前)的毛病，而能適時予以治療，也可以知道在日常生活習慣及飲食中，我們到底疏忽了哪些東西？如何避免過去的毛病再發生？

重要信息

在週報中我們會提供客戶問題答覆專欄，如果您有任何關於保養技術與檢測的問題，我們都將竭盡所能幫您尋求解答。我們也歡迎您來稿提供技術資訊，一經刊登，我們會酌發稿費。

下週主題

<<振動基本常識 - 何謂振動？>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL : (07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

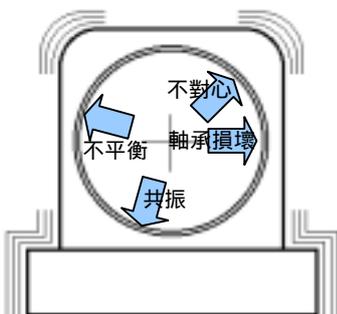
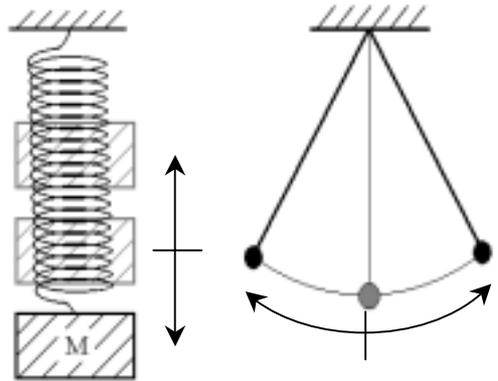
TEL : (0512)57307015

本週主題

振動的基本常識 - 何謂振動? -- 力樺公司工程師彙編

如前一期週報中所述，工廠在推展預知保養時所能應用的技術極為廣泛，其中包含了振動分析、潤滑油分析、紅外線熱影像分析、超音波測漏及測厚等技術，以上技術都屬於非破壞性分析技術，使用機器在不需要停機的狀況下，就能以檢測及監控的方式發現異常問題，即時改善以避免發生重大損失；而其中最被廣泛使用的技術則為振動分析技術，振動分析技術也儼然成為預知保養的代名詞。

然而，何謂振動？最簡單的定義：振動是一物體相對於某一個參考點作往復式的移動。振動現象可用彈簧懸吊一重物為例，當重物被拉下再釋放後，倘若忽略所有摩擦、空氣阻力，則重物會以其原來的平衡點為基準，上下來回不停的移動。再以單擺為例，當重物被拉高到一個定點釋放後，同樣忽略所有摩擦及阻抗，重物會以其原來的平衡點為基準，左右來回不停的擺動。



振動是物體一種動態運動現象，具有方向、強度及週期的基本性質，振動方向與強度隨時間而變化，振動體從某一參考點來回運動一次回到原參考點的時間為一個週期，週期大小隨整個振動系統的特性及所施加的外力而定。振動從另一個角度來說，可說是系統內在力量的傳遞，也是能量的發散；對於機器來說，當內部產生缺陷時，就會產生力量並向外傳遞，於是造成機器的振動，振動的強度與機器內部缺陷(振動源)的大小及機器本身的抗震程度有關。

重要信息

- (1) 歡迎來電詢問各種保養技術與檢測的問題，我們會在新開闢的問題答覆專欄為您解答。
- (2) 力樺計畫將於五月份舉辦客戶回娘家活動，主要幫客戶免費更新儀器軟硬體版本及儀器操作教育訓練，請有此需求的客戶與本公司金小姐或專業工程師聯繫。

下週主題

<<振動基本常識 - 自由振動與強制振動>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

本週主題

振動的基本常識 – 自由振動與強制振動 -- 力樺公司工程師彙編

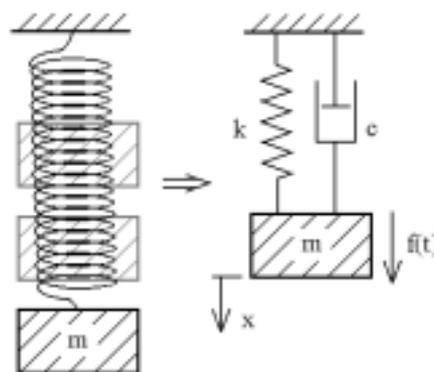
上一期我們講到了振動的定義與振動的基本現象，如果我們把機械設備當作一個振動系統來看待，這個系統可以區分成三種部分 – 系統質量(mass)、系統剛性(spring)及系統阻尼(damping)。如果套用我們上一期所講的彈簧懸吊一個重物的系統，我們可以說「重物本身」是系統質量 - m ，「彈簧的彈性系數」是系統剛性 - k ，而「空氣阻力」則是系統阻尼 - c ，而三者都可以看成機械系統對於振動的阻抗， m 、 k 及 c 的大小會直接影響到振動的強度及週期，從物理學的角度看，我們可以用一個數學式來表示這個彈簧懸吊一個重物的系統，亦即 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$

自由振動

當重物被拉下到某一個距離(x)後釋放，若外界不再施予任何力量到這個系統中，上面的數學式就可以變為 $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$ ，此時系統即呈現自由振動的狀態，如果阻尼(c)不等於零的話，振動的強度就會漸漸衰減，直到重物達到靜止狀態。

強制振動

所謂強制振動即外力 $f(t)$ 不等於零的狀況，所有機械的振動都可視為強制振動，這些外力的形成的原因包括：**轉軸平衡不良**、**軸承損壞**、**軸不對心**、**軸彎曲**、**齒輪偏心**等機械問題，甚至馬達電氣問題都形成「力量」持續作用於系統上，這些力都屬於系統外力，每一種機械或電氣問題都有一個 $f(t)$ 。以轉軸平衡不良的問題來說， $m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) = F \sin(\omega t + \theta)$ ，其中 F 為不平衡所產生的離心力， ω 為轉軸轉速， θ 為離心力的角度(或方向)。當機械系統發生強制振動時，阻尼(c)的存在與否只會影響振動的強度，並不會使振動消失。



重要信息

本技術週報自發行以來深受各界好評與支持，為饗台灣地區客戶，自本期起同步在台灣發行，讀者若欲索取前二期週報，可逕向力樺台灣總公司助理人員聯繫。

下週主題

<<振動基本常識 – 振幅大小與單位>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

3

本週主題

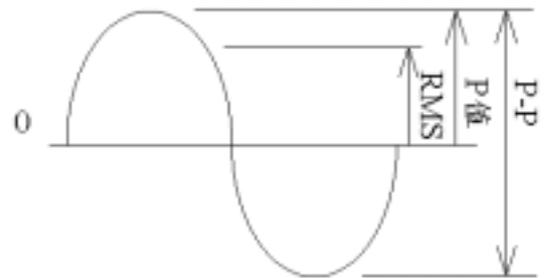
振動的基本常識 – 振幅大小與單位 -- 力樺公司工程師彙編

振動幅度(amplitude)簡稱振幅，代表振動的大小或強度。其另一個涵義則代表著機器設備的健康狀況，當機器的振動強度小時，代表機器的狀況良好，反之，振動愈大則代表機器的問題愈嚴重，目前 ISO 即以振幅大小來規範轉動機器設備的等級。

振幅強度可用三種物理量來表示，有位移、速度及加速度三種，此外，振幅大小則因為描述的方式不同，而有幾種較常用的表示方式，如 Peak to Peak 值(簡稱 P-P 值)、Peak 值(簡稱 P 值)、RMS 值等，若以正弦波來表示的話，其換算的關係式如下：

$$P-P \text{ 值} = 2 \times P \text{ 值}$$

$$P \text{ 值} = 1.414 \times \text{RMS 值}$$



振幅單位普遍的使用習慣可以下表來說明：

振幅物理量	公制單位	英制單位	常用振幅表示方式	應用範圍
位移值	μm	mil	P-P 值或 P 值	用於低轉速設備及低頻振動量測
速度值	mm/sec	inch/sec	RMS 值或 P 值	ISO 標準，目前最常用的單位
加速度值	g	g	RMS 值	用於軸承狀況及高頻振動量測

其中 $\mu\text{m} = \text{mm}/1000$ ， $\text{mil} = \text{inch}/1000$ ， $g = 981\text{m/s}$

另外有人使用 dB 值(分貝值)做為振幅單位，而其換算公式則為 $\text{dB} = 20 \log_{10}(V / V_{\text{ref}})$ ，其中 V_{ref} 有 ISO 及美制二種換算值， V_{ref} 的 ISO 值為 $1 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ ， V_{ref} 的美制值為 $1 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ 。

重要信息

本公司為因應近來的非典型肺炎(SARS)流行，已經暫時停止工程師前往疫情較為嚴重的區域出差，改為電話或電子郵件回覆客戶的問題，同時為保障疫情較不嚴重區域的客戶，自公司明令全體公司一但有發燒咳嗽等症狀者，一律停職在家修養，外出至客戶廠區服務一律配戴口罩，如有不雅之處，尚祈見諒，並恭祝大家身體健康。

下週主題

<<振動基本常識 – 頻率的表示及單位>>

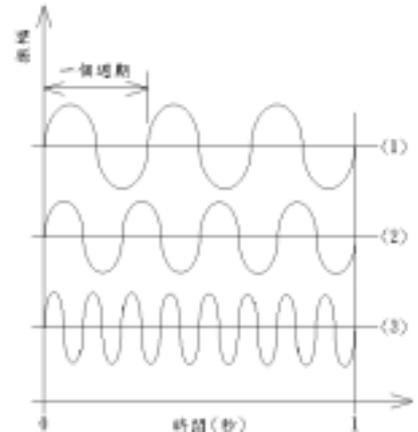


免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

本週主題 振動的基本常識 – 頻率的表示及單位 -- 力樺公司工程師彙編

我們之前探討過振動是週而復始、相對於一個參考點往復來回的運動模式，往復來回一次的時間稱之為一個週期，而在某一個特定的時間單位內所發生的振動週期數，我們就稱之為頻率，是故，頻率的最基本單位有 CPM 及 Hz 二種，CPM 是指每分鐘所發生的振動次數或週期數，Hz 是指每秒鐘所發生的振動次數或週期數，因此， $1 \text{ Hz} = 60 \text{ CPM}$ 。

以右圖為例，第(1)個振動訊號在一秒鐘的時間內發生了三個振動週期，因此其頻率為 3 Hz (或 $3 \times 60 = 180 \text{ CPM}$)，第(2)個振動訊號在一秒鐘的時間內發生了四個振動週期，因此其頻率為 4 Hz (或 $4 \times 60 = 240 \text{ CPM}$)，第(3)個振動訊號在一秒鐘的時間內發生了八個振動週期，因此其頻率為 8 Hz (或 $8 \times 60 = 480 \text{ CPM}$)。



從振幅大小可知機器設備異常的嚴重程度，而頻率則可用於研判機器異常的原因，例如，當轉動機器發生平衡不良的問題時，轉軸會因為不平衡而產生一個離心力，此離心力的角度隨著轉動的角度改變而改變，因而離心力所造成的振動週期與轉軸的轉動週期一致，倘若此機器的轉速為 3000RPM，則因平衡不良所產生的振動訊號其頻率為 3000CPM 或 $3000 \div 60 = 50 \text{ Hz}$ 。頻率有另一個衍生的單位「Order」，Order 是相對於轉速的頻率單位，例如機器每轉動一圈產生振動一次時，其頻率為 1 Order；機器每轉動一圈產生振動二次時，其頻率為 2 Order；依此類推。

不同的機器設備和不同零組件(如各式軸承)在發生異常問題時，均會產生不同的振動頻率，因此從振動訊號中就可以就頻率的分析而發現潛在的機器問題，這種專門針對振動頻率的分析技術又稱為頻譜分析，是振動分析最基本的技術。

重要信息

下週主題

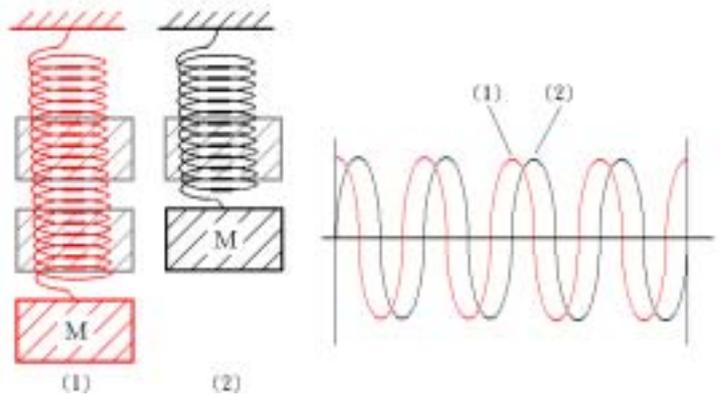
<<振動基本常識 – 相位的意義及單位>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

本週主題 振動的基本常識 – 相位的意義及單位 -- 力樺公司工程師彙編

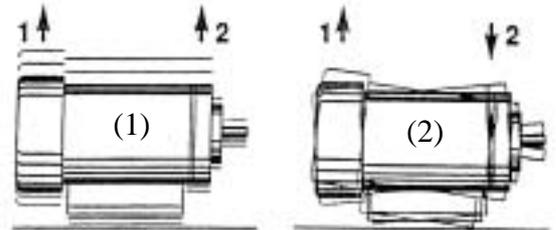
前二期我們已經探討了振動三大要素中的其中二個，即振幅與頻率，本期我們繼續探討另一個要素 – 相位，相位(Phase)是指振動發生時某二個點的相對關係，用比較簡單的說法則是某二個點發生振動的時間差，參考右下圖說明，二個彈簧垂吊重物的系統完全一樣，振幅及頻率均相同，但是當第一個彈簧的重物向下振動至下死點時，第二個彈簧的重物正好向下振動至原點位置，如果系統的振動週期是一秒鐘，則第二個系統的振動相位落後第一個系統 1/4 週期，亦即 1/4 秒。



換一個方式來說，我們若把一個振動週期劃分成 360 度，則第二個系統的振動相位即落後第一個系統 $360 / 4 = 90$

度。在探討相位關係時，我們雖然都在探討振動發生的時間差，但是通常以「角度」或「度」當作單位，因此「相位」有時亦被稱為「相角」。

從相位的量測分析，我們可以清楚瞭解一個振動體或一台機械設備的振動模式，如右圖所示，第一個機台的第一及第二個量測點的振動相位相同，第二個機台的第一及第二個量測點的振動相位相差 180 度。因此，如果有一個大型機台或一個樓板地基，甚至一棟建築物，只要佈置好量測點，就可以輕易從振動相位分析中找到異常振動原因及改善對策，振動分析技術中的「模態分析」就是其中一種最為常用的分析改善方法。日後我們將會深入探討相位的量測方法及應用。



重要信息

無。

下週主題

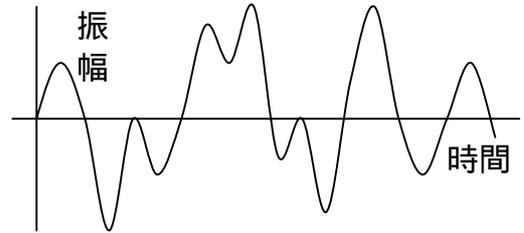
<<振動基本常識 – 頻譜的由來>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

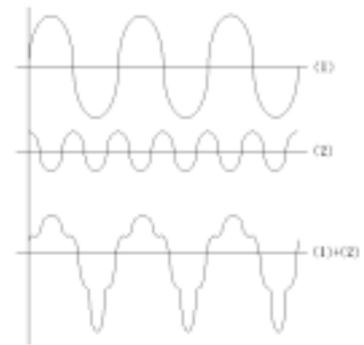
本週主題 振動的基本常識 – 頻譜的由來 -- 力樺公司工程師彙編

前三期我們探討振動的三大要素時，所提到的正弦波都屬於振動訊號的時間波形中的一種，時間波形由時間與振幅為座標，可以說是最原始的振動訊號，然而，在現實生活中，振動所產生的時間波形(如右圖所示)都是十分複雜且難以直接作判讀或分析。



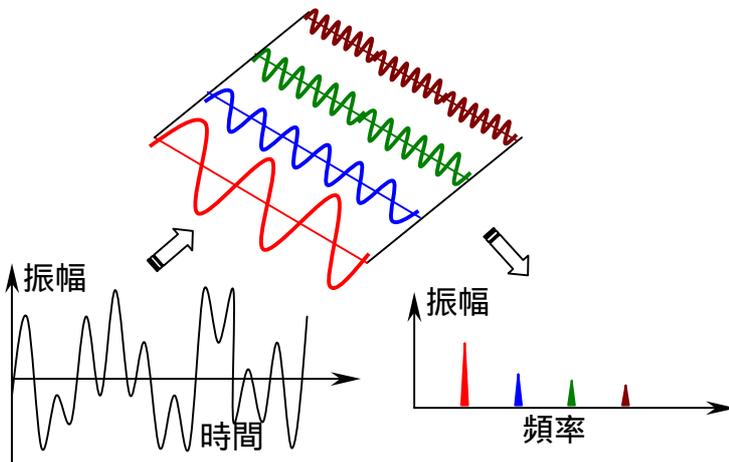
我們曾經介紹過頻率可以用來判斷機器的異常原因，而振幅的大小可以用來判斷異常問題的嚴重程度，因此，如果我們能從時間波形訊號中，分析出頻率與各個頻率的振幅大小，我們就可以掌握機器大部分的異常問題。

大約在二百年前，科學家傅利葉提出一個想法，他認為一個系統複雜的時間波形振動模式，可以由許多不同頻率與振幅的正弦波組成的訊號所取代，因此，當系統所產生出來的時間波形即使不是單純的正弦波也可以經過轉換後產生無數個正弦波，當正弦波訊號被分解開來之後，我們很容易就能計算出每個正弦波的頻率。右圖是二個正弦波結合而成一個時間波形訊號，反之，我們也可以將該時間波形訊號分解成二個正弦波，此種訊號轉換的過程，我們稱之為「傅利葉轉換」。



當一個時間波形訊號經過「傅利葉轉換」之後，我們就可以得到一個由所有正弦波所組成的一個新的訊號圖，我們稱此訊號圖為頻譜(Spectrum)，右圖為一個時間波形轉換成頻譜的過程。

以上簡單地介紹頻譜的由來，現今的振動分析儀器均先將上述的類比訊號轉換成數值訊號，再將此數值訊號經過「快速傅利葉轉換 (FFT)」後形成頻譜，日後我們將會更深入探討振動訊號的擷取與處理方式。



下週主題

<<如何從頻譜診斷平衡不良問題>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

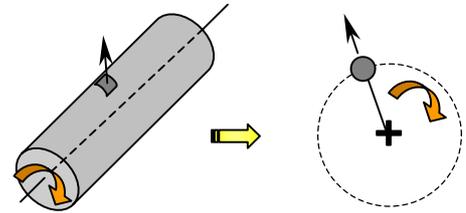
TEL : (07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

TEL : (0512)57307015

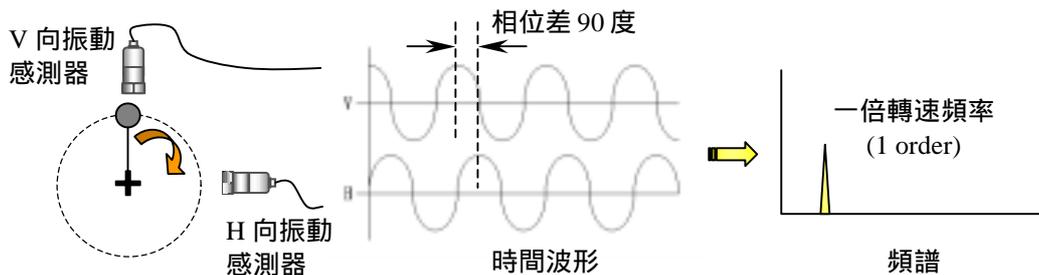
本週主題 如何從頻譜診斷平衡不良問題 -- 力樺公司工程師彙編

平衡不良是工廠轉動機械的主要問題之一，據統計資料顯示，平衡不良的問題大約就佔了機械損壞問題的 40% 以上。造成轉動機械平衡不良的原因有：●轉動件本身形狀不對稱、加工製造上的瑕疵、組裝安裝不當、轉動件運轉變形、轉動件破損及磨耗、轉動件附著異物等。



如右上圖所示，當轉動件上附著一異物時，會因為轉動而產生一個離心力，此離心力的大小視異物的重量、附著位置(半徑)及轉動速度成正比關係，此離心力作用在轉動機械上，形成強制振動。平衡不良會造成各種機械組件的提早損壞，例如：軸承、機械軸封、聯軸器、皮帶、皮帶輪，嚴重的平衡不良更會導致基礎鬆動變形、結構損壞、管路破裂等問題。

由於平衡不良的離心力方向會隨著轉動方向的改變而改變，當轉動件旋轉 90 度時，離心力方向跟著改變 90 度；當轉動件旋轉 180 度時，離心力方向也跟著改變 180 度；因此，當轉動件旋轉一圈時，離心力也跟著繞了一圈。我們可用下圖來說明平衡不良所產生的振動訊號。



假設轉動機械本身只有平衡不良的問題時，我們可以發現平衡不良的時間波形為正弦波，且振動週期剛好為轉動件轉動一週的時間；如果我們比較 V 向及 H 向的振動相位，可以發現相位差為 90 度；時間波形轉換成頻譜後，會發現在一倍轉速頻率上有非常明顯的振幅。除上述平衡不良訊號的特性之外，若我們欲從頻譜判斷平衡不良問題時，也必須注意以下二點：

- 一、通常徑向(水平向及垂直向)的一倍頻振幅會比軸向的一倍頻振幅大一倍以上。但有時懸臂支撐式的轉動件發生平衡不良問題時，在軸向也會一倍頻產生極大的振幅。
- 二、通常除非平衡問題相當嚴重(例如：一倍頻達到 10mm/s, rms 以上時)，否則不應該出現 2、3、4、5、6、7、8 倍頻...等訊號。

下週主題

<< ISO 平衡等級的探討 >>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail：sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

力樺科技有限公司 高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號 TEL：(07)396-6681
江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室 TEL：(0512)57307015

本週主題

ISO 平衡等級的探討 -- 力樺公司工程師彙編

平衡不良既然是造成機械異常損壞的主要問題之一，那麼平衡到底要做到什麼狀況才算好呢？在此，我們先從平衡不良的定義來探討，當轉動件磨損或附著異物時，均會造成轉動件的質量中心偏離了旋轉中心，而形成平衡不良，質量中心偏離旋轉中心愈多，則平衡不良狀況愈差，因此我們將「質量中心與旋轉中心不重合時」定義為平衡不良，並且將質量中心與旋轉中心之間的距離定義為「偏心距 - e 」，當 e 值愈大，平衡不良的狀況就愈差。

ISO 1940 為 ISO 的平衡標準，其中平衡等級「G」定義為 $G = e \cdot \omega$ ，其中 ω 為轉動件旋轉的角速度 ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$)，而 f 為轉速。一般工業機械 (例如：馬達、泵浦、風車、鼓風機、齒輪等) 所要求的平衡等級為 G6.3，而如透平機(渦輪機)、工具機主軸等所要求的平衡等級需為 G2.5。舉例來說，如果有一台風車的工作轉速為 1500 rpm ($1500 \text{ rpm} / 60 = 25 \text{ Hz}$)，其平衡等級需為 G6.3，所以容許最小偏心距(e)為

$$e = G / \omega = G / (2 \cdot \pi \cdot f) = 6.3 / (2 \times 3.14 \times 25) = 0.04 \text{ mm} = 40 \mu\text{m}$$

前一期我們探討平衡不良所引發的離心力，離心力的大小與不平衡重量、附著位置及轉速有關，因此如右圖所示的例子中，轉動件本身因為平衡不良所造成的離心力為 F_1 ， $F_1 = M \cdot e \cdot \omega^2$ ，而欲使作用在轉動件上的離心力達成平衡，我們必須在轉動件上加一個平衡配重，此平衡配重所形成的離心力為 F_2 ， $F_2 = m \cdot r \cdot \omega^2$ ，要達成平衡的條件為 $F_1 = F_2$ ，因而 $M \cdot e \cdot \omega^2 = m \cdot r \cdot \omega^2$ ，亦即 $M \cdot e = m \cdot r$ 。

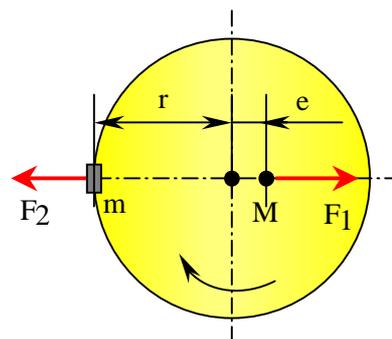
承接上例，如果風車的轉體重量為 200kg(=200,000g)，則此風車所容許的最小不平衡量為

$$M \cdot e = 200,000 \text{ (g)} \times 0.04 \text{ (mm)} = 8,000 \text{ (g-mm)}$$

若此風車在實施平衡校正時，配重位置在 $r = 500 \text{ mm}$ 處，則欲達到 ISO1940 的 G6.3 等級，必須使最小平衡配重降至

$$m = M \cdot e / r = 8,000 / 500 = 16 \text{ (g)}$$

以內。換句話說，在平衡校正報告中，最終所殘留的不平衡量必須小於 8,000 g-mm 或 16g。



F_1 為不平衡產生之離心力

F_2 為平衡配重產生之離心力

M 為轉動件質量

e 為偏心距

為轉動件的角速度

m 為外加平衡配重量

r 為配重位置至轉軸中心的距離

下週主題

<< ISO 平衡等級的探討(續) >>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

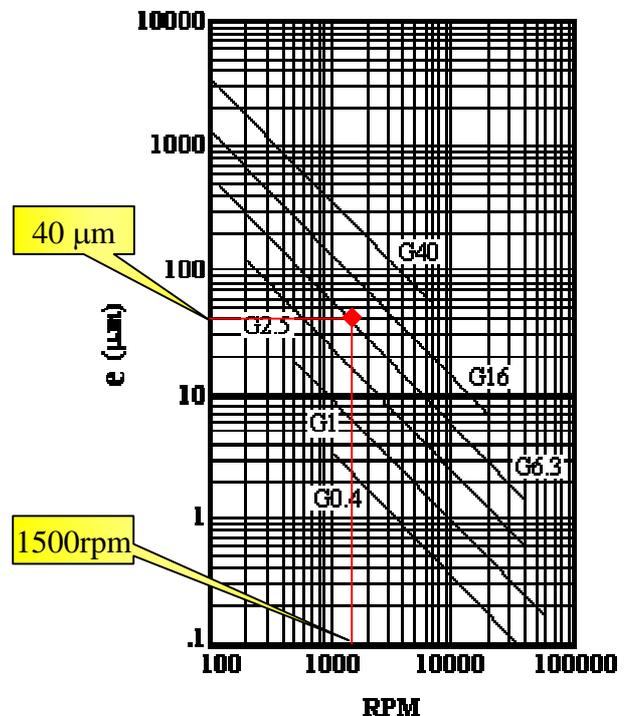
本週主題

ISO 平衡等級的探討 (續) -- 力樺公司工程師彙編

由前一期所探討的 ISO 1940 平衡標準的定義可知，平衡等級 G 的單位為 mm/sec，雖然乍看之下 G 值像是一個速度值，因此，工業界有很多人將之認為振動速度值，並且將 e 值當作振動位移值，所以經常將振動等級與平衡等級混淆一起，其實是沒有把平衡等級的定義弄清楚罷了，當然也希望看過本週報的先進朋友們，不會再犯這種錯誤。我們將會在最近探討另一個主題 - 「振動等級」。

根據 ISO 1940，用以評估平衡好壞的容許殘留偏心距 (e) 除了可以從定義 ($G = e \cdot \omega$) 中計算出 e 值之外，亦可以從以下圖表求得。

平衡等級 G	e • (mm/sec)	轉動件種類
G16	16	特殊需求之驅動軸 (螺旋槳軸、萬向傳動軸) 粉碎機之零件
G6.3	6.3	船舶之渦輪推進機齒輪 鼓風機、風車、飛輪 泵浦、工具機之零組件 一般馬達轉子
G2.5	2.5	氣體渦輪機及蒸汽渦輪機 剛性渦輪式發電機轉子 渦輪式空壓機 工具機主軸 特殊中、大型馬達轉子 小型馬達轉子 渦輪驅動泵浦
G1.0	1.0	磨床之轉軸零組件 特殊小型馬達轉子
G0.4	0.4	精密磨床之轉軸零組件 陀螺儀



如同前一期的例子，有一台風車的工作轉速為1500 rpm，其平衡等級從左上表查到需為 G6.3，所以從右上圖 x-座標找到 1500rpm，畫一垂直線交叉到 G6.3 的線上，再從交叉點上畫一水平線到 y-座標上，得到容許最小偏心距 $e = 40 \mu\text{m}$ ，此值與前一期我們從 $G = e \cdot \omega$ 換算所得的結果相同。

下週主題

<<平衡校正的原理>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員

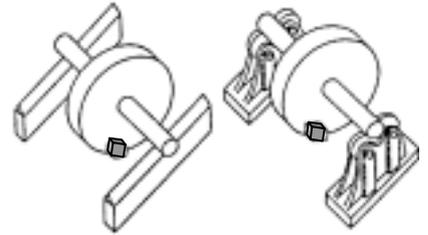


力樺科技有限公司 高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號 TEL : (07)396-6681
江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室 TEL : (0512)57307015

本週主題

平衡校正的原理 – 靜平衡 -- 力樺公司工程師彙編

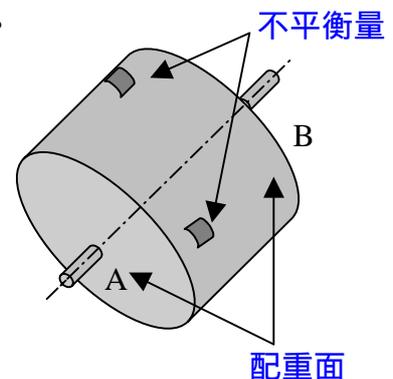
平衡校正的方法大致可以區分為二種，一種是靜態平衡法(簡稱「靜平衡」)，另一種是動態平衡法(簡稱「動平衡」)。早期的平衡校正都使用靜平衡法，其原理係利用大自然的地心引力來做「力的平衡校正」，例如右圖所示，將欲平衡的轉動件裝設在摩擦係數相當低的支架上，轉動件若有平衡不良的問題，藉著地心的影響，轉動件會從靜止開始轉動，直到轉動件靜止後，偏重的位置會停留在最底部，通常我們會在最底部位置做一個記號，再重新讓轉動件轉動二、三次以上，如果每次停留在最底部的都是在同一個位置的話，那就表示那一個位置是整個轉動件最重的位置，於是我們可以在相對 180° 的位置加重量。如果每次停留在最底部的都不是在同一個位置的話，那麼此轉動件就沒有「靜」平衡不良的問題。



由於我們不知道不平衡量有多少，所以必須用「試誤法(trial and error)」去測試，每加一次平衡配重，就轉動一次，看看加的重量夠不夠，配重不足的時候，停留在最底部的仍舊會是我們做記號的位置，配重過多的時候，則停留在最底部的會是我們加配重的位置。如果我們所加的重量相當接近於不平衡量時，則停留在最底部的就不會固定於某一個位置了，換句話說我們的轉動件已經達到「靜平衡」了。

靜平衡有二個重要缺點如下：

- 1.當支架與轉動件的接觸點的摩擦係數太大時，會因為摩擦力大於不平衡量，而無法發現不平衡量的位置，導致轉動件運轉時無法達到良好的「靜平衡」。
- 2.靜平衡法僅適用於軸向寬度非常窄的轉動件，如果我們有一個寬度寬一點的轉動件時，通常就必須使用至少二個配重面(校正面)去實施平衡校正。例如：當有一個轉動件有平衡不良的問題，如右圖所示，我們就很難決定配重的位置及配重量，因為我們至少必須考慮二個以上的不平衡量(力)，使用靜平衡法只是考慮單一不平衡量(力)，當我們只在配重面(校正面) A 或 B 面上配置重量時，可能導致另一端的不平衡，而形成所謂「偶不平衡」或「動不平衡」。



因此靜平衡僅適合於薄的圓盤型轉動件，且平衡精確度要求不是很高的機械上。

下週主題

<<平衡校正的原理 – 動平衡>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL : (07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

TEL : (0512)57307015

本週主題

平衡校正的原理 – 動平衡 -- 力樺公司工程師彙編

「動平衡」校正從字面上可想而知，是在動態狀況下所實施的平衡校正；我們在之前討論過，平衡不良所產生離心力會作用在軸承及機械本身而形成振動，振動的大小一般都與離心力的大小成正比，藉由這個相對關係，我們可以從振動的大小換算出不平衡量的大小。

除了不平衡量的大小之外，我們還必須知道不平衡的位置在哪裡，因此必須要有另一個可以偵測不平衡位置的裝置，在此我們都以「相位計」作為量測工具。

一套完整的動平衡校正系統必須包含二項主要檢測功能，一是振動量測設備，一是相位量測設備。振動量測設備必須有分辨出在所有振動訊號中，哪一個是屬於平衡不良的訊號，與平衡無關的訊號都必須先予以過濾掉，因而，此振動量測設備必須包含精確的濾波功能。

至於相位量測設備，通常都是用相位計擷取脈衝訊號，例如右下圖所示，

從脈衝訊號與振動訊號的比較，就可以知道振幅最大的發生

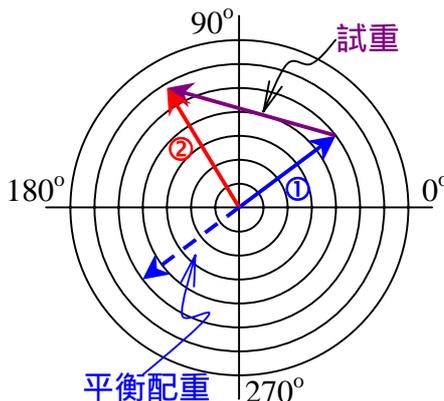
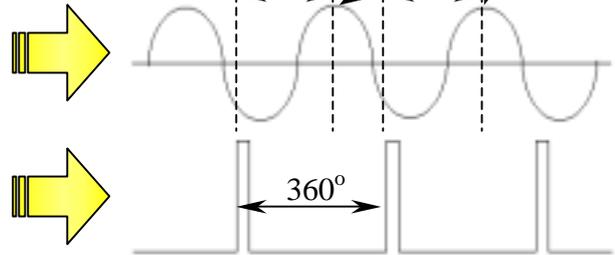
點到相位計量測參考點之間的相位差(角度)，有了振動的振幅與相位，我們就可以用向量法來計算不平衡量及位置了。

到目前為止，我們所欠缺的只剩下一個平衡校正

的另一個重要參數了，亦即振動值與平衡配重量的數學關係式，例如，我們如果在轉動件上加 1g 的配重，可以增加或減少多少振幅(mm/s)，這個數學關係式與轉動件的支撐結構有關，

振動感測器所量測的振動訊號經過濾波裝置之後

相位計所量測的脈衝訊號



因此，每一台機械都會有不同的關係式，這個關係式可以使用一個平衡試重得知，例如，我們最初所量測到的振幅與相位分別為 5mm/s@40°，之後我們加一個 100g 試重到轉動件的某一位置，產生新的振幅與相位分別為 6mm/s@125°，於是從向量關係上，就能計算出試重所產生的振幅與相位約為 7.5mm/s@167°，所以在此機械結構下，100g 的配重可以產生約 7.5mm/s 的振幅，若想要抵銷原來的不平衡量就必須在距離試重 53° (或在距離相位量測參考點 220°) 的位置加一個平衡配重，其重量約為 $100 \div 7.5 \times 5 = 67$ (g)。

下週主題

<<平衡校正的原理 – 動平衡 (續)>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL : (07)396-6681

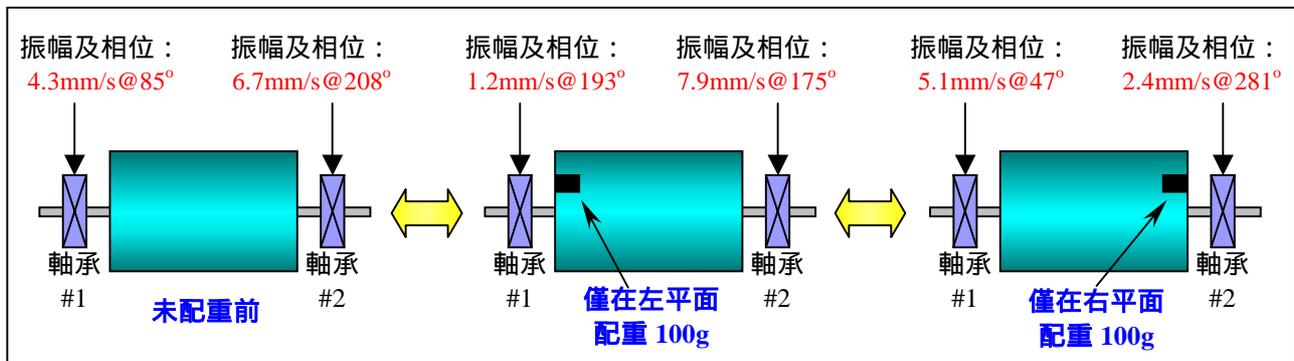
江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

TEL : (0512)57307015

本週主題

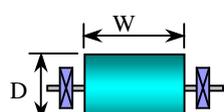
平衡校正的原理 – 動平衡 (續) -- 力樺公司工程師彙編

上週我們所探討的是「單平面」的動平衡校正，也就是在支撐轉動件的兩側軸承上，只需選擇其中一個軸承的一個量測方向作為振動量測點，就可以實施動平衡校正，選擇振動量測點的原則是以一倍轉速振幅最大的點作為量測點，雖然此量測點大部分會是在水平向或垂直向，但也有可能在軸向，必須視哪一個方向對平衡不良的敏感度較高而定。實施單平面動平衡校正時，必須確認轉動件是否能視為一個薄的圓盤，這樣才不致於產生平衡配重的「交互作用(Cross Effect)」，如下圖所示，在轉動件的左側校正面配重 100g 後，使#1 軸承振幅變小及相位落後，而卻使#2 軸承振幅變大及相位超前；反之，在轉動件的右側校正面配重 100g 後，#1 及#2 軸承所起的振幅及相位變化也不同，這種現象即是平衡配重所產生的「交互作用」，如果有交互作用時，我們就要實施雙平面校正了，也就是說，在上一期所描述的極座標



圖的向量中，除了原始不平衡力及試重的二個向量之外，多出了一個交互作用力所產生的向量，這個交互作用力的向量必須在另一個校正面上加另一個試重才能獲得，因此，雙平面平衡校正必須有二個振動量測點、二個平衡校正面，需作二次試重運轉(每一個校正面作一次)，以獲取交互作用力的向量，才能計算出在二個校正面上分別應加的平衡配重量及角度。

那麼我們在什麼時候可以作單平面平衡校正，而在什麼時候必須要作雙平面或甚至三平面以上的校正呢？下表可以作為校正平面數的選擇參考。

轉動件寬度及直徑 	W / D	單平面校正	雙平面校正	多平面校正
	<0.5	0~1000 RPM	1000 RPM 以上	不需要
0.5~2	0~150 RPM	150~2000 RPM 或 0.7 倍的第一臨界轉速以上	2000 RPM 以上或 0.7 倍的第一臨界轉速以上	
>2	0~100 RPM	100 RPM~0.7 倍的第一臨界轉速	0.7 倍的第一臨界轉速以上	

下週主題

<<如何從頻譜診斷對心不良問題>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL : (07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

TEL : (0512)57307015

本週主題

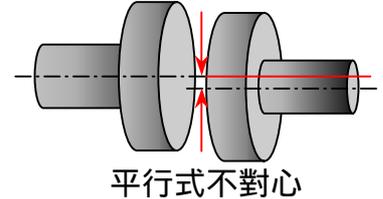
如何從頻譜診斷對心不良問題 -- 力樺公司工程師彙編

「對心」通常指的是軸對心(Shaft Alignment)，對心的定義是將相聯結在一起的二軸調整校正，使其軸心連成一直線。對心不良亦是工廠轉動機械的主要問題之一，最容易造成軸承、機械軸封、聯軸器等提早損壞以及引發振動問題，對心不良與平衡不良的問題一樣，也幾乎佔了工廠轉動機械損壞問題的 40% 左右，但卻往往被人忽略掉它的重要性。

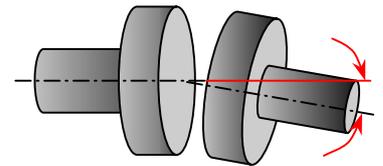
對心不良的種類如右圖所示，可歸納為：平行式不對心、角度式不對心及混合式不對心(平行式+角度式)三種，三種對心不良的狀況各有其不同的振動訊號及特性。

當撓性聯軸器有對心不良的問題時，會產生一個大的聯軸器不平衡力，這個不平衡力會造成一倍及二倍轉速頻率的振動，也可能會有三倍轉速頻率的振動。除了在徑向(水平向及垂直向)及軸向均會有一倍頻、二倍頻及三倍頻的振動特徵之外，在聯軸器兩側軸承的軸向所測得的相位差約為 180° 。

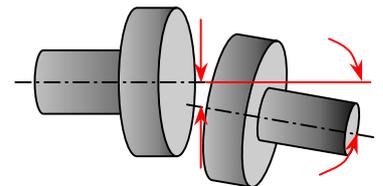
此外，依照聯軸器型式之不同，聯軸器在不對心或發生初期異常磨損狀況時，亦會顯現一些異常低振動能量的倍頻訊號，此倍頻振動訊號為轉速頻率乘以爪數(爪式聯軸器)、齒數(齒式聯軸器)或彈簧格數(彈簧格式聯軸器)等。



平行式不對心



角度式不對心



混合式不對心



問題答覆

問：前幾期的報導裡曾提到平衡不良種類有靜不平衡、偶不平衡、動不平衡等，是否能進一步提供更具體一點的解釋或定義。

答：關於此問題，我們將於「對心」的單元結束後，更深入探討各種不平衡的定義與解釋。

下週主題

<<對心的方法與標準>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail：sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL：(07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

TEL：(0512)57307015

本週主題

對心的方法與標準(一) -- 力樺公司工程師彙編

工廠裡普遍存在著一種錯誤觀念，經常認為對心的標準與聯軸器的品質有關，好的聯軸器可以承受較大的對心偏差，因此可以不必要求精確的對心，其實這種錯誤觀念多半是被聯軸器製造商所誤導，因為再好的聯軸器都不能因而改善對心不良的問題，嚴重的對心不良問題雖然不會讓「好的」聯軸器損壞，卻仍舊影響軸承、機械軸封、轉軸等零組件的壽命，而且耗損電能，在 1989 年一位名叫 Robert McCoy 的專家發表一篇研究報告指出，一般工廠裡的離心式泵浦在實施精密對心後，大約可以節省 11% 的運轉電費；相反地，如果對心工作不被重視的話，光是電能的浪費對工廠而言就已經是一筆極大的損失。

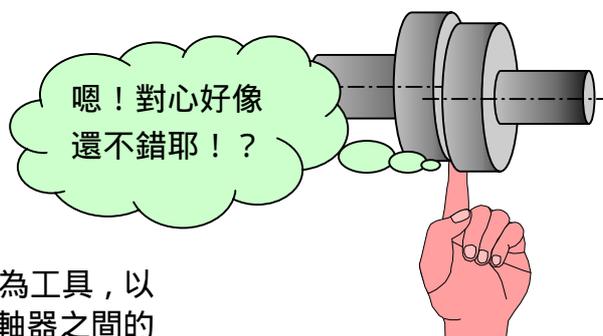
對心的標準應該與設備轉速有關，轉速越高，要求的對心精確度越高，下表可以作為對心的參考標準：

轉速	良好		尚可	
	平行偏差	角度偏差	平行偏差	角度偏差
1000 以下	0.07	0.06	0.13	0.10
1000~2000	0.05	0.05	0.10	0.08
2000~3000	0.03	0.04	0.07	0.07

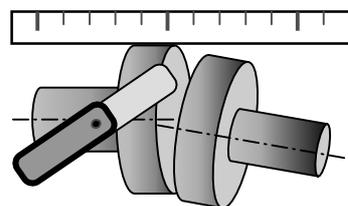
轉速	良好		尚可	
	平行偏差	角度偏差	平行偏差	角度偏差
3000~4000	0.02	0.03	0.04	0.06
4000~5000	0.01	0.02	0.03	0.05
5000~6000	<0.01	0.01	<0.03	0.04

對心的方法的演進，從早期使用手指觸摸檢查的方式，到漸漸使用量具、光學儀器，大約可以將對心方法分類為四種：

(一)手指量測法：靠手指的感度，撫摸聯軸器的上下左右邊緣，感覺聯軸器兩側的平度，如果摸不出有一端凸出的話，則表示對心沒有問題。這種檢測法其實是相當粗糙的方法，特別容易造成嚴重的角度式不對心問題。



(二)直尺量測法：利用直尺（或鋸條）及厚薄規做為工具，以直尺壓在聯軸器的上下左右邊緣，從直尺與聯軸器之間的縫隙中「看出」聯軸器的平行式不對心偏差值。而以厚薄規插入聯軸器中比較上下間隙差可以得知垂直向角度式不對心偏差值；比較左右間隙差可以得知水平向角度式不對心偏差值。這種檢測法雖然比「手指量測法」進步許多，但仍存在著極大的對心誤差，無法快速而又有效地達到精確對心的目的。



接下來的幾期我們將繼續介紹量表對心法、雷射對心法以及對心工作應注意事項。

下週主題

<<對心的方法與標準(二)>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號

TEL : (07)396-6681

江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室

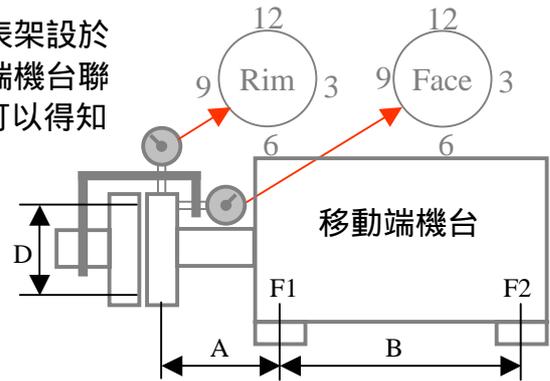
TEL : (0512)57307015

本週主題

對心的方法與標準(二) -- 力樺公司工程師彙編

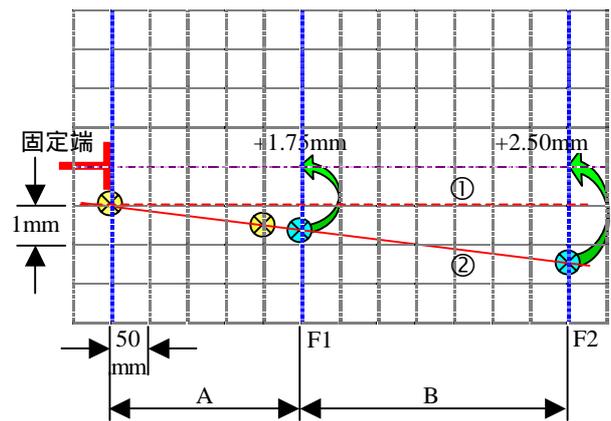
較為精確的對心方法有量表對心法及雷射對心法，而量表對心法最常被使用的方法有二種，亦即「Rim and Face (緣與面法)」及「Reverse Indicator (逆表法)」，現在就讓我們繼續來探討這二種方法。

「緣與面法」的量測方法如右圖所示，將二組量表架設於固定端機台的轉軸上，並將量表指針分別量測在移動端機台聯軸器的外緣(Rim)與端面(Face)上，量測聯軸器的外緣可以得知水平向及垂直向的平行偏差，而量測聯軸器的端面可以得知水平向及垂直向的角度偏差。首先在 12 點鐘位置將二量表歸零，再同步旋轉固定端與移動端機台，讀取、記錄量表在 3 點鐘、6 點鐘、9 點鐘的量測值。右圖 D 為 F 量表的量測位置到軸心的二倍距離，A 為 R 量表的量測位置到機台前腳(F1)的距離，B 為機台前腳(F1)到機台後腳(F2)的距離，而 3、6、9 及 12 點鐘的方位以站在移動端機台後方，向固定端看為基準。假設下表為所測得的數值：



機台相關尺寸(mm)		R 量表讀值(mm)		F 量表讀值(mm)	
A	250	12 點鐘	0.00	12 點鐘	0.00
B	350	3 點鐘	-0.50	3 點鐘	0.15
D	200	6 點鐘	2.00	6 點鐘	0.50
		9 點鐘	2.50	9 點鐘	0.35
垂直向的平行偏差 = (12'讀值 - 6'讀值) / 2 = -1.00mm		垂直向的角度偏差 = (12'讀值 - 6'讀值) = -0.50mm/200mm			
水平向的平行偏差 = (3'讀值 - 9'讀值) / 2 = 1.50mm		水平向的角度偏差 = (3'讀值 - 9'讀值) = -0.20mm/200mm			

從上表所量測到的結果，我們可以描繪出「移動端轉軸中心線」相對於「固定端轉軸中心線」於方格紙上，再計算出移動端機台腳座(F1 及 F2)的移動量。以本例而言，垂直向的移動量可以繪圖(如右圖所示)，首先以垂直向的平行偏差值繪出紅色虛線①，再以垂直向的角度偏差值繪出紅色實線②，於是就可以得到 F1 及 F2 的移動量。以相同的方式，我們亦可以在水平向作同樣的繪圖，在此，我們省略了水平向的繪圖，如有需要請與本公司技術部工程師洽詢。



所以，移動端機台前腳需上升 1.75mm，後腳需上升 2.50mm

下週主題

<<對心的方法與標準(三)>>



免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員



力樺科技有限公司

高雄市三民區覺民路 196 巷 36 號 TEL : (07)396-6681
江蘇昆山市樾城花園 51 幢 101 室 TEL : (0512)57307015

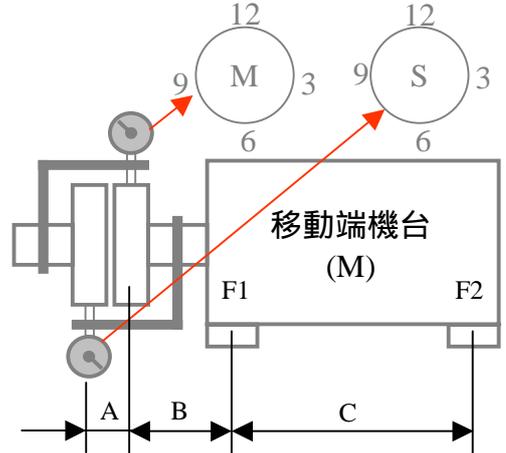
本週主題

對心的方法與標準(三) -- 力樺公司工程師彙編

當移動端機台的轉軸在軸向有浮動空間（例如：使用平面軸承）時，「緣與面法」就不太適用，因為量測聯軸器端面的 F 表的讀值需要作軸向位移補償，而若使用「Reverse Indicator（逆表法）」，就沒有這種問題了。

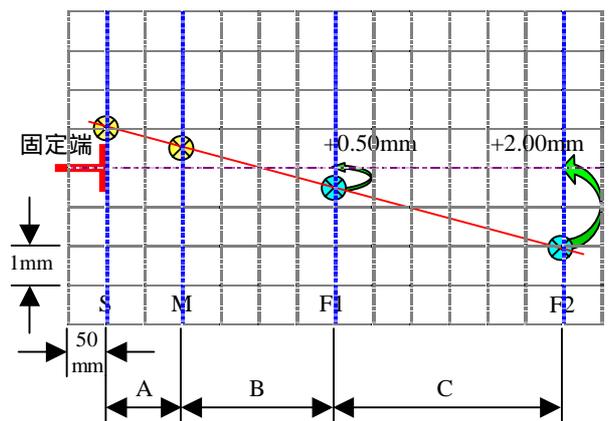
「逆表法」的量測方法如右圖所示，將二組量表分別架設於固定端及移動端機台的轉軸上，並將量表指針都量測在聯軸器的外緣(Rim)上，先在將個二量表歸零，再同步旋轉固定端與移動端機台，讀取、記錄量表在 3 點鐘、6 點鐘、9 點鐘及 12 點鐘位置的量測值。而 3、6、9 及 12 點鐘的方位同樣以站在移動端機台後方，向固定端看為基準。雖然表面上我們好像僅僅量測到平行偏差值，但是如果我們在 S 表及 M 表得到不同的平行偏差值時，表示二個軸心之間隱藏了角度偏差。

右圖中，A 為 S 量表及 M 量表的量測位置之間的距離，B 為 M 量表的量測位置到機台前腳(F1)的距離，C 為機台前腳(F1)到機台後腳(F2)的距離，假設下表為所測得的數值：



機台相關尺寸(mm)		S 量表讀值(mm)		M 量表讀值(mm)	
A	100	12 點鐘	-2.00	12 點鐘	0.00
B	200	3 點鐘	1.50	3 點鐘	-0.25
D	300	6 點鐘	0.00	6 點鐘	-1.00
		9 點鐘	-3.50	9 點鐘	-0.75
從 S 表可計算出以移動端相對於固定端的平行偏差值：			從 M 表可計算出以移動端相對於固定端的平行偏差值：		
垂直向的平行偏差 = - (12'讀值 - 6'讀值) / 2 = 1.00mm			垂直向的平行偏差 = (12'讀值 - 6'讀值) / 2 = 0.50mm		
水平向的平行偏差 = - (3'讀值 - 9'讀值) / 2 = -2.50mm			水平向的平行偏差 = (3'讀值 - 9'讀值) / 2 = 0.25mm		

從上表所量測到的結果，我們可以描繪出「移動端轉軸中心線」相對於「固定端轉軸中心線」於方格紙上，再計算出移動端機台腳座(F1 及 F2)的移動量。以本例而言，垂直向的移動可以繪圖如右，首先標示出在 S 與 M 的平行偏差位置，連接此二點並延伸至 F1 及 F2，於是就可以得到 F1 及 F2 的移動量。以相同的方式，我們亦可在水平向作同樣的繪圖，在此，我們省略了水平向的繪圖，如有需要請與本公司技術部工程師洽詢。



所以，移動端機台前腳需上升 0.50mm，後腳需上升 2.00mm

下週主題

<<對心的方法與標準(四)>>

免費索取技術週報或投稿請 E-Mail : sales@leadfar.com.tw 或電洽助理人員