

# 共面式精密花崗岩全氣浮XY運動載台之設計與製作

陳建昌／大漢技術學院 機械工程系 副教授・蘇武璋／比智聖股份有限公司 總經理

精密XY運動載台係精密機械與精密檢測設備常用的關鍵精密組件。高性能的XY運動載台可提高設備的精度與減低動力消耗。本研究以花崗岩為素材，利用其耐磨耗且尺寸安定性佳之特性，研發製作一組創新式的XY運動載台。此一運動載台構造簡單，構件關鍵面具有極佳的幾何精度，且所有軸承面均為氣浮軸承面，同時在全運動行程中均以單一平面為運動基準面。因此運動時載台具有絕佳的平面度，且磨擦力極微小，有利於XY軸的精密定位。在全球發展綠能的時代趨勢下，此一潔淨、低能源消耗的全氣浮XY運動載台具備極佳的潛能，有機會成為新一世代精密工具機與精密檢測設備之XY運動載台。

關鍵字：精密花崗岩構件、XY運動載台、氣浮軸承

## 1. 前言

設計製造一精密機械與精密檢測設備時，機械設備機台的精度、剛性與穩定性是其中一項重要因素，而精密XY運動載台係精密機械與精密檢測設備整體機台中，常用的關鍵精密組件。選用適當的載台構件素材與導入氣浮軸承技術，係精密XY運動載台不可或缺的元素。

在材質方面，由於精密運動載台對其構件之幾何精度、剛性、防振能力與穩定性等性能要求極高。花崗岩恰具有絕佳之幾何尺寸穩定性不易變形、熱脹係數與吸水率低不易受環境溫濕度影響、耐磨性強不易產生刮痕、吸振能力佳、比重低結構輕、低磁性反應及無塑性變形，耐酸鹼及抗腐蝕等優良特性。這些優越的特性遠非一般傳統鑄鐵或鑄鋼等材料所能比擬，且花崗岩容易取得，極適合做為精密運動載台之素材。

在氣浮軸承技術方面，由於氣浮軸承與傳統滾動軸承相較之下，具有：1. 無靜摩擦，可達到極高的解析度以及重現精度；2. 軸承面無接觸，不會產生磨耗，機械性能可長期保持穩定；3. 空氣軸承之軸承面以氣壓支承，能平均軌道的直線度誤差；4. 運動時安靜平滑，不會產生噪音與振動；5. 軸承介面間有一層受擠壓之空氣薄膜，在運動垂直方向會產生阻尼效應，使得軸承有較高的動態剛性與較佳的可控性。6. 空氣軸承不需油潤，可避免油潤所衍生的相關問題；7. 因空氣軸承處於正壓，可將微粒子吹離，具有自我潔淨的效果；8. 空氣軸承幾乎無磨擦，可在高速與高加

速情況下長期操作；9. 空氣軸承運動時幾乎不會造成溫升，可有效避免熱對機械精度造成之不良影響；10. 空氣軸承潔淨、低能源消耗等特性。

空氣軸承這些特性對現代機械設計者而言，都是威力強大的優勢，極適合將此項技術導入精密XY運動載台設計之中。

過去常見的XY運動載台之設計大部分是採用兩組線性運動載台相互堆疊的方式組成，這種堆疊型態的XY運動載台，於運動載台偏離下側線性載台之軸心線時，會因負載產生的彎曲力矩，造成偏置變形，而降低運動載台的精度。為提高XY運動載台的精度，本研究以花崗岩為素材，設計與製作一組創新式的精密XY運動載台。此一精密載台主要的構件均為花崗岩構件，有極佳的幾何精度。其次，載台所有軸承面均為氣浮軸承面，具有前述氣浮軸承的各項強大優勢。再者，此一精密載台構造簡單，且在全XY運動行程中，均以單一高精度水平面作為運動滑台移動之基準平面，因此可避免載台之偏置變形，而能讓載台在運動中維持極高的運動平面度。

本研究所設計製作的創新共面式精密花崗岩全氣浮XY運動載台，運動精度極高，將有機會能成為新一世代精密工具機與精密檢測設備之XY運動載台雛形。

## 2. 全氣浮XY運動載台之設計

圖1所示為本研究所設計創新式的花崗岩全氣浮XY運動載台示意圖，此一運動載台外型

尺寸為410×400×270mm，載台全運動行程為130×200 mm，其主要的構造由下而上分為：1.花崗岩基座；2.花崗岩床台；3.氣浮十字導軌；以及4.氣浮運動滑台等四大部分。

**花崗岩基座**—外型尺寸為300×300×60 mm，係用來固定位於其上的花崗岩床台，花崗岩基座之上側平面須有極佳的平面度，以作為組合花崗岩床台之基準面。

**花崗岩床台**—外型尺寸為410×400×90 mm，係由左右兩塊組合而成，左右兩塊間隔80mm，形成一個軌道之導槽。此花崗岩床台上側平面為氣浮十字導軌與氣浮運動載台運動時之基準面，此一基準面須有極佳的平面度。而軌道之導槽為氣浮十字導軌沿Y軸運動之基準線，軌道導槽兩側之鉛垂面須有極佳的平面度、平行度，並與床台基準面維持極佳的垂直度。

**花崗岩氣浮十字導軌**—係由兩塊長條型花崗岩導軌組合而成，其寬度與厚度均為80×30mm，上側的導軌長度為410 mm，下側的導軌長度為280mm。此氣浮十字導軌之下側導軌與花崗岩床台的軌道導槽配合，可讓氣浮十字導軌在床台面上做Y軸方向之運動；上側的導軌與氣浮運動滑台的導槽配合，可讓氣浮運動滑台在床台面上做X軸方向之運動。上下兩塊導軌組合的接觸面(整個平面)皆必須有極佳的平面度，導軌兩側的鉛垂面也須有極佳的平面度、平行度，並與導軌組合接觸面維持極佳的垂直度。

**花崗岩氣浮運動滑台**—係由兩塊相同尺寸的花崗岩滑台腳座及一塊花崗岩平板組合而成。運動滑台之整體尺寸為280×200×120mm。上側的平板為運動滑台之平台，用於固定其下的兩塊

滑台腳座，並使腳座間隔80mm，形成一軌道導槽，而與氣浮十字導軌上側的導軌配合，讓氣浮運動滑台可以在床台平面上做X軸方向之運動。上側平板的上下兩平面必須有極佳的平面度與平行度。前後兩塊滑台腳座必須等高，且滑台腳座之腳底板亦必須有極佳的平面度。此外，滑台腳座與十字導軌接觸之導槽面也必須有極佳的平面度與平行度，並與滑台腳座上下兩面維持極佳的垂直度。

如圖1所示，設計的構想係以花崗岩床台上側的平面做為運動滑台移動之基準面，位於花崗岩床台中間之軌道導槽為Y軸的基準線，而氣浮十字導軌上側的導軌為X軸的基準線。若氣浮十字導軌單純受Y軸驅動元件(如線性馬達) 驅動時，氣浮十字導軌將沿軌道導槽做Y軸方向的運動，同時也驅使花崗岩氣浮運動滑台沿Y軸方向做同步的運動；若氣浮運動滑台單純受X軸驅動元件驅動時，氣浮十字導軌將固定不動，而氣浮運動滑台將沿著X軸方向移動。

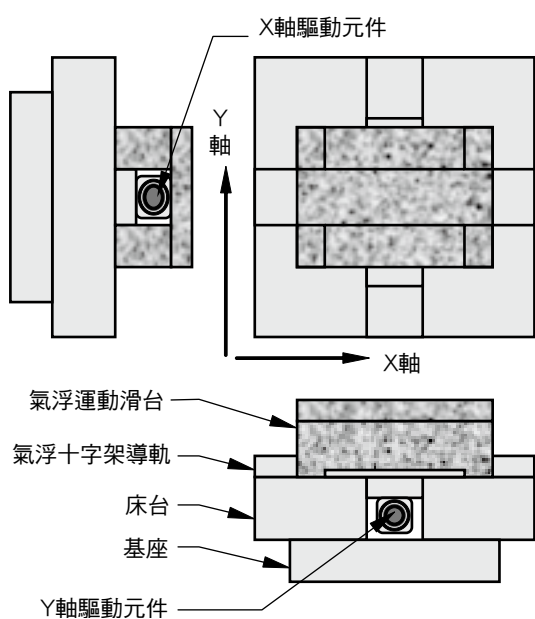
由於十字導軌與花崗岩床台之間的軸承面，以及運動滑台與花崗岩床台以及十字導軌之間的軸承面均為氣浮面，運動時幾乎沒有磨擦，因此運動滑台在X軸Y軸方向之運動極為輕盈。此外，運動滑台在全運動行程中均以花崗岩床台平面為運動滑台移動之基準面，因此滑台上任意一點具有極佳的移動平面度。

### 3. 全氣浮XY運動載台之製作與組裝

由於花崗岩耐磨耗、尺寸安定性佳，可製作成幾何公差與尺寸公差要求極為嚴苛的精密機械構件。本研究所設計製作的全氣浮XY運動載台中所有構件均為花崗岩構件，這些構件製作程序如下：

**1. 機械粗銑削**—在製作此XY運動載台時，構件尺寸精度並非首要，幾何精度才是最關鍵之因素。幾何精度包含平面度、平行度以及垂直度等。機械粗銑除了以銑床銑削花崗岩構件，使其外型尺寸達到設計之要求外，最重要的係將要求幾何精度的關鍵平面銑削至較佳的幾何精度，以節省後續人工精密研磨所需要的時間與人力。銑削花崗岩平面所用的磨頭一般為電鑄之鑽石磨頭。機械粗銑削如圖2所示。

**2. 人工精密研磨**—利用濕式游離研磨法，以鑽石游離磨料或碳化矽游離磨料配合少量的水及乳化劑等，進行幾何精度面之人工精密研磨。研磨時依據被研磨平面的幾何公差與表面粗糙度變化，游離磨料由粗逐次換成較細進行研磨。人工精密研磨如圖3所示。



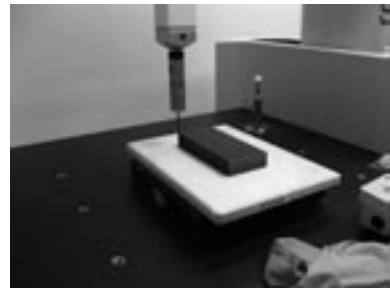
(圖1) 花崗岩全氣浮XY運動載台示意圖



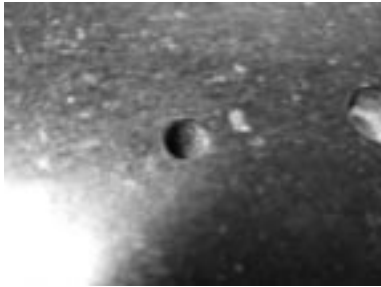
(圖2) 花崗岩構件機械粗銑削



(圖3) 花崗岩構件人工精密研磨



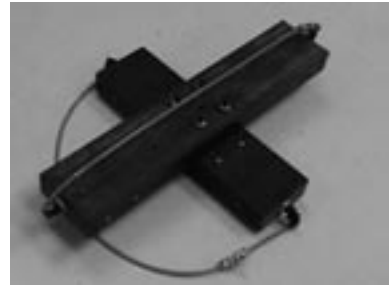
(圖4) 花崗岩構件之精密三次元量測儀檢測



(圖5) 花崗岩構件完成鑽孔與攻牙之狀況



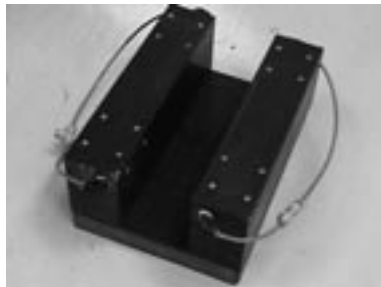
(圖6) 花崗岩基座與床台之組合



(圖7) 十字型花崗岩氣浮導軌



(圖8) 花崗岩床台與十字型氣浮導軌組合圖



(圖9) 花崗岩氣浮運動滑台



(圖10) 整體花崗岩氣浮XY運動載台組合外觀

**3. 幾何與尺寸精度檢測**—本研究中花崗岩構件平面度、平行度與垂直度的檢測，均是以精密三次元量測儀以及精密電子水平儀予以檢測，如圖4所示。所有構件的關鍵面之幾何精度均要求達到DIN 00級公差範圍內，凡未達公差要求之構件必須重新回到程序2進行人工精密研磨。

**4. 鑽孔與攻牙**—此XY運動載台各構件係以螺栓予以組合，因此相關花崗岩構件必須鑽孔與攻牙，鑽孔與攻牙完成後的狀況如圖5所示。此外，本計畫所使用的多孔性材質節流元件也是經由鑽孔埋設。由於花崗岩材質極硬，因此必須以鑽石鑽頭進行鑽孔與攻牙。

**5. 節流與氣壓元件安裝**—在花崗岩構件製作完成後，必須埋設相關的氣壓進氣快速接頭與節流元件。氣壓進氣快速接頭與節流元件之埋設方式，均是以AB膠固定於花崗岩構件上。

**6. XY運動載台的組裝**—整體氣浮XY運動載台的性能與運動載台的組裝精度有密切的關係。運動載台組裝的過程如圖6至圖10所示。圖6為花崗岩基座與花崗岩床台組合之完成圖；圖7為十字型氣浮導軌組合之完成圖；圖8為花崗岩床台與十字型氣浮導軌組合之完成圖；圖9為運動滑台組合之完成圖；而圖10為整體氣浮XY運動載台組合之完成圖。

**7. 氣浮XY運動載台的測試**—在氣浮XY運動載台初步組裝完成之後，必須對其進行測試，以了解此氣浮運動載台的組合精度與動態特性，以作為後續各項微調與改善之依據。

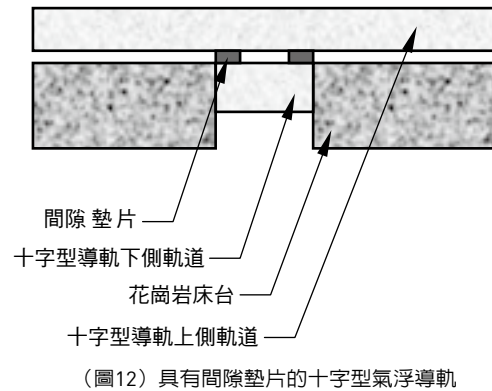
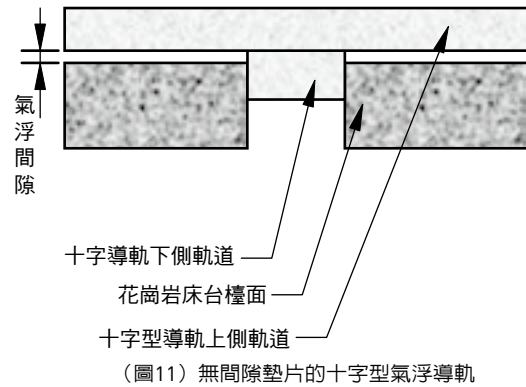
#### 4. 初步結果與討論

本計畫所製作的共面式精密花崗岩全氣浮XY運動載台，是運用經濟部工業局「99年度產業人力扎根計畫」之經費補助，在大漢技術學院所提的專業展業人才培育計畫的實習實作之學程中，由機械工程系陳建昌老師及比智聖股份有限公司



蘇武璋總經理共同指導大四學生，所完成的作品。在氣浮XY運動載台製作組裝與測試過程中，我們發現：

1. 所有單一花崗岩構件的關鍵平面之幾何精度，如平面度、平行度與垂直度等必須嚴格檢測與確認，當構件的關鍵平面的幾何精度足夠時，氣浮XY運動載台之組裝較為容易，軸承面之相對運動亦較為滑順。
2. 圖6所示的花崗岩基座與花崗岩床台組裝過程中，必須確保花崗岩床台台面在組合後達到要求的平面度。床台台面中間軌道導槽的兩個鉛垂面必須達到設計要求的平行度，同時這兩個鉛垂面的間隔距離必須約略比十字型氣浮導軌之下側導軌寬度大0.01mm左右，以能容納導軌，並讓空氣薄膜不至於太厚，而能維持十字型氣浮導軌運動的直線度與側向剛性，如圖8所示。
3. 圖7所示的十字型氣浮導軌在組裝過程中，必須確保上下兩導軌之間十字組合的垂直度，此一垂直度可用三次元量測儀予以檢測。此外，若上下軌道之間不加間隙墊片直間組合，則當十字氣浮導軌漂浮於花崗岩床台時，下側導軌將凸出花崗岩床台台面，如圖11所示，其凸出高度即為十字氣浮導軌之氣浮間隙(即氣膜厚度)。為了讓十字氣浮導軌漂浮於花崗岩床台時，下側導軌與花崗岩床台台面等高，在組合十字型氣浮導軌時，上下軌道之間必須適當以間隙墊片間隔之。如圖12所示，若間隙墊片的厚度恰等於氣浮間隙，則當十字氣浮導軌漂浮於花崗岩床台時，下側導軌與花崗岩床台台面恰好等高。這也使得十字導軌能巧妙的補足花崗岩床台軌道導槽間隙，當運動滑台沿X軸滑而行而跨越花崗岩平台中央時，可避免陷落於導槽。實務上，間隙墊片厚度約在0.01~0.04mm左右。
4. 圖9所示的花崗岩運動滑台，在組裝過程中，必須確保兩塊滑台腳座之腳底組裝後等高，亦即兩腳底構成的平面，必須達到要求的平面度。滑台腳座中間軌道導槽的兩個鉛垂面必須達到設計要求的平行度，同時這兩個鉛垂面的間隔距離必須約略比十字型氣浮導軌之上側導軌寬度大0.01mm左右，以能容納導軌，並維持氣浮滑台運動的直線度與側向剛性。
5. 花崗岩XY氣浮運動載台組裝完成後，經初步測試，在全工作行程中移動順暢，磨擦力極小。



## 5. 結論

本研究成功地設計與製作出一個創新的共面式精密花崗岩氣浮XY運動載台。此一運動載台具有下列的優良特性：1.載台關鍵面具有極佳的幾何精度；2.所有軸承面均為精密氣浮面，磨擦力極微小，有利於XY軸的精密定位；3.運動載台在全行程中均以單一精密面為基準，運動時有極佳的平面精度；以及4.一運動載台構造簡單，製造相對容易。由於精密XY運動載台係精密機械與精密檢測設備常用的關鍵精密組件，本研究所設計製作的創新共面式精密花崗岩氣浮XY運動載台，運動精度極高，將有機會能成為新一世代精密工具機與精密檢測設備之XY運動載台雛形。

再者，有關節流器的配置、進氣壓力、氣膜間隙等對氣浮XY運動載台靜態精度與動態行為之影響，未來將進一步深入探討。