

# 光學校準儀器：精密五軸台的介紹

## Optical Alignment Instruments – Optic Rotation and Linear Stages

何傑

Chieh Ho

精密五軸台又稱光學旋轉與平移台，是一般光學校準時必須用到的重要儀器。在實際校準時，不論是光纖、光學鏡片或是雷射光源在進行精密的姿態調整時，均必須用到精密五軸台。五軸台的結構是由三個互相垂直的平移軸與兩個相互垂直的旋轉軸構成。由於各軸在單獨運動時不能影響到其他軸的穩定性，因此在光學校準時都會要求其精密度，例如各軸平移時，檯面不能產生旋轉，而且檯面必須在行程中的任一位置保持穩定。為了驗證五軸台的精密度，特別撰寫本文並將其校正過程提供讀者參考。

Optic rotation and linear stages are one of the most important instruments in optic alignment jobs. When joining two optic fibers, adjusting path of the laser light or positioning optical lens, optic rotation and linear stages play very good roles. The structure of the optic stages includes three linear stages and one tilt and one rotation stage. It is very important that when moving in one axis the gesture of the other four axes should not be changed, which means the disturbance would be reduced to a minimum value. To demonstrate the precision of the stages, the calibration method is also introduced in this paper. Hopefully readers will have some ideas in optic stages after reading it.

### 一、前言

根據數學上的定義，空間座標以直角座標表示時，有三個互相垂直的直線方向，以右手定則而言， $X$  軸向右， $Y$  軸向前，可組成一個平面，加上  $Z$  軸向上則成為三度立體空間。所謂六自由度，則是加上三個旋轉的方向 (以  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  軸為軸分別旋轉)，因此三條互相垂直的直線與繞著此三軸旋轉構成了三度空間的六個自由度。

精密五軸台 (optic rotation and linear stages) 的設計概念是，提供一組可進行三個線性移動與兩個旋轉的平台，如此一來安裝平台上的光纖、光學鏡片或者是雷射光源等，均可以做三個軸向的位置調整與兩個軸向的旋轉，如此接合的光纖方能將兩個軸線對準，不影響訊號的傳遞，同理雷射光源與光學透鏡的位置調整也需要非常準確的五軸台來調整，方能達到最佳的光學校準效果。

## 二、精密五軸台

精密五軸台的結構其實可分為線性平移台<sup>(1)</sup>與旋轉台<sup>(2)</sup>來分別介紹，在說明其結構之前先思考一些設計理念。一般在數學或物理上介紹的物體都假設其重量與重心均集中在一質點來考量其運動模式，然而此為簡化其數學模式所採用的必要手段。實際上任何平台均具有三度空間之尺寸，其運動空間就有大小限制，以下先針對精密平移軸台 (linear stage) 工作原理加以介紹。

平台為一三度空間物體，其上必須有定位螺孔，以便安裝光纖或固定透鏡之用。因其厚度比長度與寬度為小 (長：寬：高比例約為 1：1：0.1)，故可視為一長寬相當的四方平面簡化成二度空間物體。以單軸線性平移台為例，當底座為固定時，上平面必須沿長度方向與下平面 (即底座上面) 做線性平移運動。同時無論在寬度、高度方向都不能有位移與旋轉的變化，因此上下兩平面之支撐與軸承之安裝必須非常精密，也就是平坦度要求很高，同時支撐軸承在運轉時也不能有位移之變化，否則將影響到光線路徑的準確性。

同樣的道理，如果要設計二 (雙) 軸台，就必須有三個平台，而且由於運動軸向互相垂直呈九十度，因此第二軸之支撐與軸承方向也必須旋轉九十度，方可達到目的。至於三軸台，由於第三軸運動方向為平台之法線方向，因此其支撐與軸承方向必須設計成與平面垂直，方能進行第三軸向的直線運動。

由於在單軸運動時仍必須保持位置穩定，因此其驅動元件使用微分頭 (micro-head)，又稱分釐頭，與量測外徑的分釐卡類似，是一擁有微米刻度的螺旋桿，每旋轉一圈，前進一個螺牙 (0.5 mm)，每一圈又可劃分成 50 個刻劃，如此即可精確地控制運動行程。為了保持固定的位置，因此平台另一端設有固定銷桿，並必須安裝彈簧抵制螺桿前進的力量，如此在螺桿行程範圍，均有彈簧的力量來確保位置的穩定。

至於旋轉台 (rotation stage) 的設計理念與平移台相同，將四方平面的一點以銷子 (Z 軸) 固定，再以分釐頭沿平面驅動即可將該平面繞著該軸線旋轉 (沿

Z 軸)。傾斜台 (tilting stage) 的設計即是將四方平面的寬度方向 (Y 軸固定)，以分釐頭沿著 Z 軸驅動，可造成對 Y 軸的旋轉運動，也就是平面的傾斜 (沿 Y 軸旋轉)。精密五軸台的照片詳如圖 1 所示，相信參考圖 1 後讀者將更能理解其構造與運作原理。

## 三、精密五軸台的校正

瞭解精密五軸台的操作原理後，將更容易掌握校正的工作。在線性平移部分，由於使用分釐頭驅動，因此其行程與精度的校正可以使用精密量表為標準，利用夾具將驅動分釐頭固定並驅動標準量表，詳如圖 2 分釐頭行程校正所示。一般規格行程有 6、8 與 13 毫米 (mm)，解析度則為 1 微米 ( $\mu\text{m}$ )，如此即能驗證分釐頭驅動的精度與行程是否合乎規格。

在進行線性平移運動時，整個檯面的旋轉不能超過 100 微徑 ( $\mu\text{rad}$ )，換算成角度為 20.6 秒。由於五軸台長寬高均小於十公分，因此平面上任何一點的位移變化不能超過十微米，這種尺寸只有頭髮直徑的八分之一，是很難檢驗出來的。筆者於本刊第 128 期中即有為文介紹精密角度量測儀器<sup>(3)</sup>：準直儀的解析度可達到 0.05 秒，用來校正五軸台的角度變化，可說是遊刃有餘。

如圖 3 反射鏡組安裝所示，將精密五軸台各軸歸零後，安放在大理石平台上，以黏土固定之。再

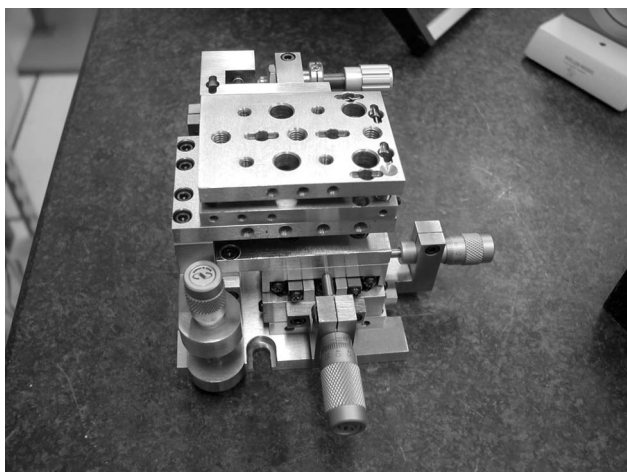


圖 1. 精密五軸台。

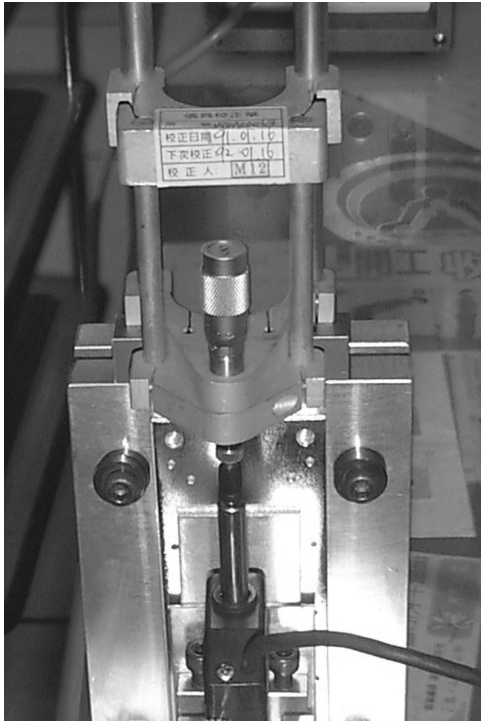


圖 2. 分釐頭行程校正。

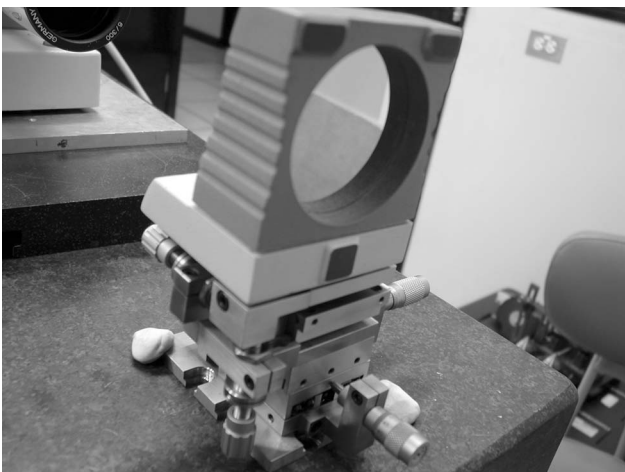


圖 3. 反射鏡組安裝。

將精密反射鏡面安放在精密五軸台上。圖 4 雷射光校準所示為將雷射光源套裝在準直儀前方，對準反射鏡面，觀察雷射光線的反射點，以手調整 X 與 Y 軸旋鈕，直到反射點與發射點重合為止。將雷射光源取下後如圖 5 歸零調整所示，觀察準直儀顯示器之數字，同樣調整 X 與 Y 軸旋鈕，進行微調，直到完全歸零為止。

圖 6 所示為 X 軸校正的情形，其方法為以手指旋轉驅動 X 軸分釐頭，並觀察顯示器所顯示之 X 軸與 Y 軸的角度變化，由於鏡面與移動軸向呈垂直，因此無論鏡面在左右方向或是俯仰方向的變化均會被準直儀觀測出來，即使小到 0.1 秒，均難逃準直儀的法眼。同理圖 7 所示為 Y 軸校正情形，圖 8 則為 Z 軸校正情形。

至於旋轉與傾斜的校正，道理亦相同，驅動旋轉鈕將造成平台繞著 Z 軸旋轉，驅動傾斜旋鈕，將造成平台繞著 Y 軸傾斜，只要將準直儀的顯示值紀錄下來，即能了解其變化。此部分因驅動分釐頭並無刻劃，因此只需校正在全行程中其角度變化是否合乎規格即可。



圖 4. 雷射光校準。

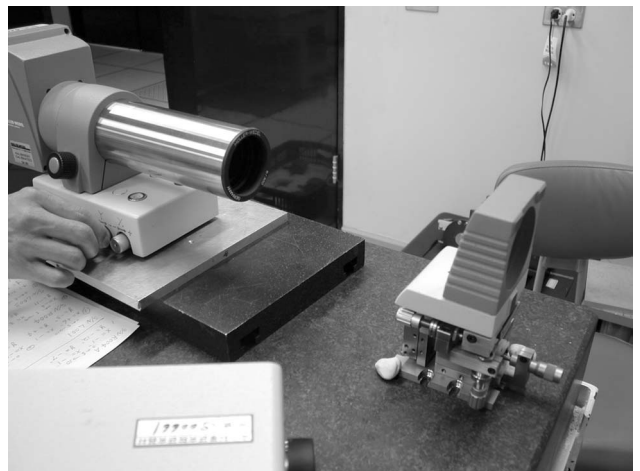


圖 5. 歸零調整。

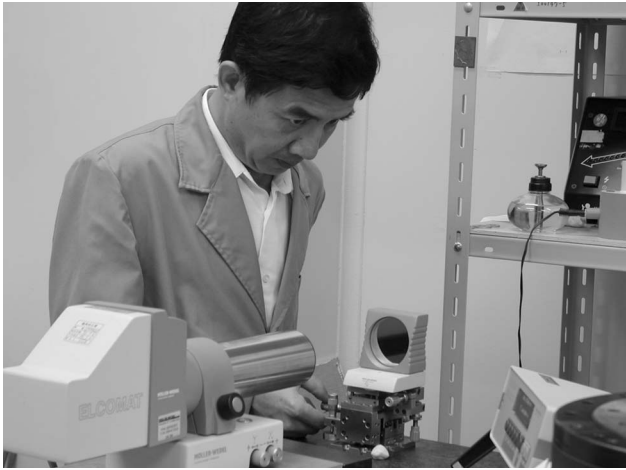


圖 6. X 軸校正。

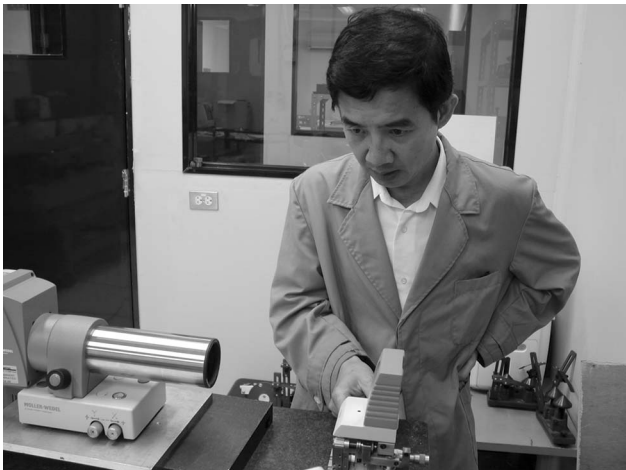


圖 7. Y 軸校正。



圖 8. Z 軸校正

## 四、校正結果

校正結果在分釐頭的行程與精度方面，檢驗三支分釐頭總行程誤差均在  $5 \mu\text{m}$  以內，由於呈線性分布，因此最大誤差也在  $5 \mu\text{m}$  以內。以上校正結果僅能顯示線性位置的誤差變化，至於檯面旋轉或傾斜的變化，則因各待校件不同而有變化。表 1 列出精密五軸台在進行各軸直線行程之最大角度偏差(單位為秒)。

表 1. 三軸向線性平移時之角度變化。

| 編號         | 角度偏差(秒) | X 軸行程 | Y 軸行程 | Z 軸行程 |
|------------|---------|-------|-------|-------|
| V0010286   | X 軸     | 2     | -2    | 15    |
|            | Y 軸     | -14   | 2     | 12    |
| V0010286-1 | X 軸     | -2    | -13   | -18   |
|            | Y 軸     | -34   | 6     | 10    |
| V0010286-2 | X 軸     | 13    | -30   | 3     |
|            | Y 軸     | 42    | -3    | 8     |
| R001       | X 軸     | -8    | -3    | -11   |
|            | Y 軸     | -5    | -15   | -11   |
| R002       | X 軸     | -5    | -5    | -15   |
|            | Y 軸     | 5     | -10   | -12   |
| R003       | X 軸     | -9    | -3    | -10   |
|            | Y 軸     | 3     | -11   | -9    |
| R004       | X 軸     | -6    | -8    | -15   |
|            | Y 軸     | -11   | -8    | 11    |
| R004A      | X 軸     | -1    | 2     | -2    |
|            | Y 軸     | -12   | -13   | -7    |
| L001       | X 軸     | 6     | 4     | 13    |
|            | Y 軸     | 4     | 6     | 12    |
| L003       | X 軸     | -3    | 10    | -10   |
|            | Y 軸     | -4    | -15   | -17   |
| L004       | X 軸     | 4     | -3    | -3    |
|            | Y 軸     | -2    | 12    | -13   |
| L005       | X 軸     | 7     | 5     | 3     |
|            | Y 軸     | 5     | 7     | 18    |
| L006       | X 軸     | 5     | 10    | 5     |
|            | Y 軸     | 5     | 7     | 13    |

## 五、結論

本文主旨在介紹執行光學校準儀器：精密五軸台的工作原理與其校正方法。經過上述之說明後，相信讀者對精密五軸台已有一相當清楚之了解，因此可得下列數點結論：

1. 精密五軸台為了保持精密度，因此運動的範圍受到限制，一般直線行程不超過 15 mm，旋轉或傾斜角度的控制，全行程不超過  $\pm 10^\circ$ 。
2. 使用環境條件的控制必須注意，由於尺寸會受到溫度變化的影響，因此溫度與濕度均應有一範圍限制，最好控制在  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $50 \pm 10\% \text{ R.H.}$ 。
3. 人員的操作技術，必須加以訓練，無論校正或使用均必須十分注意，以免校正差異過大，此次校正由本組長度實驗室 (CNLA 編號 174) 的鄧智烈先生執行特此感謝。
4. 負荷條件也必須加以控制，重量的變化將引起校正數據之改變，校正時假設反射鏡組之重量與實際使用條件相似。

5. 由於操作時有右手與左手之分別，旋轉方向相反，因此編號有左 (L) 與右 (R) 之區分。
6. 由表 1 可知 V0010286-1、V0010286-2 兩組之角度變化大於規格 20.6 秒。

## 參考文獻

1. *ULTRAlign™ Precision Fiber Optic Linear Stages*, MOTION CONTROL, NEWPORT Web: [www.newport.com](http://www.newport.com).
2. *ULTRAlign™ Precision Fiber Optic Tilt and rotation Stages*, MOTION CONTROL, NEWPORT Web: [www.newport.com](http://www.newport.com).
3. 何傑, 科儀新知, 23 (6), 68 (2002).

- 
- 何傑先生為美國壬色列理工學院機械博士，現任中山科學院技正。
  - Chieh Ho received his Ph.D. in mechanical engineering at Rensselaer Polytechnic Institute, USA. He is currently an associate scientist in the Chung Shan Institute of Science & Technology.