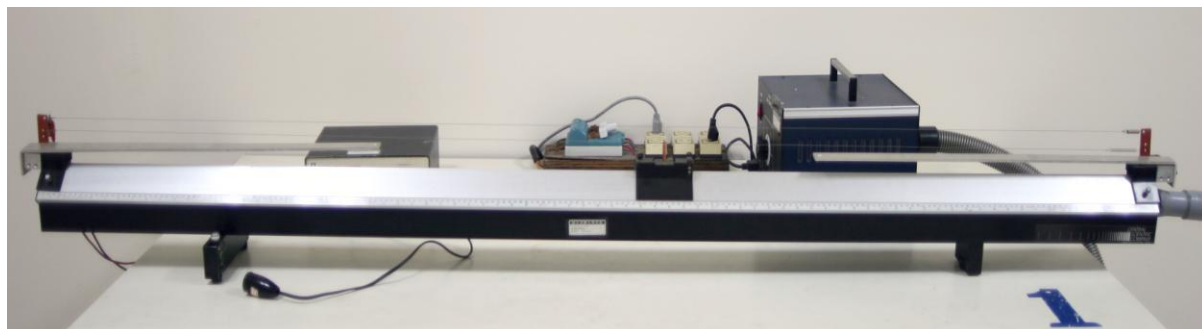


## 實驗 2 牛頓第二運動定律



(a) 空氣軌(Air track)系統裝置



(b) 火花產生器(Spark generator)



(c) MUJ-5C 多功能光電計時器和光電閘(Optoelectric gate)

圖 2-1 牛頓第二運動定律實驗主要的三個儀器：(a)空氣軌系統裝置，(b)火花產生器及(c) MUJ-5C 多功能光電計時器和光電閘

### 一、目的：

1. 觀測空氣軌上的滑車在外力作用下的一維運動情形，以驗證一維空間的牛頓第二運動定律。
2. 學習火花打點記錄器和光電計時器的工作原理，並熟悉兩儀器的使用技巧。
3. 學習利用火花打點記錄器和光電計時測量物體的運動軌跡、速度和加速度。

## 二、原理：

牛頓第二運動定律描述物體運動時的加速度和它所受外力總和的大小成正比，但和物體的質量成反比。此定律可以下列運動方程式表示之：

$$\sum_i \vec{F}_i = M\vec{a} \quad (1)$$

式中  $\sum \vec{F}_i$  為物體所受外力的向量和，又稱為總淨力(net force)，為一向量，具有大小和方向。 $M$  為物體的質量，是一純量，只有大小，沒有方向。 $\vec{a}$  為物體的加速度，亦為一向量，故含有大小和方向。

本實驗利用下列兩種實驗過程驗證一維空間的牛頓第二運動定律：

- (1) 對質量固定的物體  $M$ ，施以不同大小的作用力  $F$ ，觀測物體所產生的加速度  $a$  與作用力間的關係，即觀測  $a(F)$  的函數關係。
- (2) 固定作用力  $F$  的大小，改變受力物體的質量  $M$ ，觀測物體所產生的加速度  $a$  與物體質量  $M$  間的關係，即觀測  $a(M)$  的函數關係。

本實驗測量的基本設計如圖 2-2 所示。質量為  $m$  的物體垂直懸掛於幾乎無摩擦力的理想滑輪上，因受重力作用，使物體對經滑輪上的傳動線(錄音帶條、紙帶或弦線)產生一向下的作用力，並經傳動線將重力轉成施加於空氣軌上之滑車的作用力，並使用  $M$  和  $m$  物體一起產生一加速度運動。實驗中使用的傳動線質量通常很小，相較運動物體的質量  $M + m$  而言，可以忽略不計。不考慮方向問題，則運動方程式和加速度大小的理論值分別為

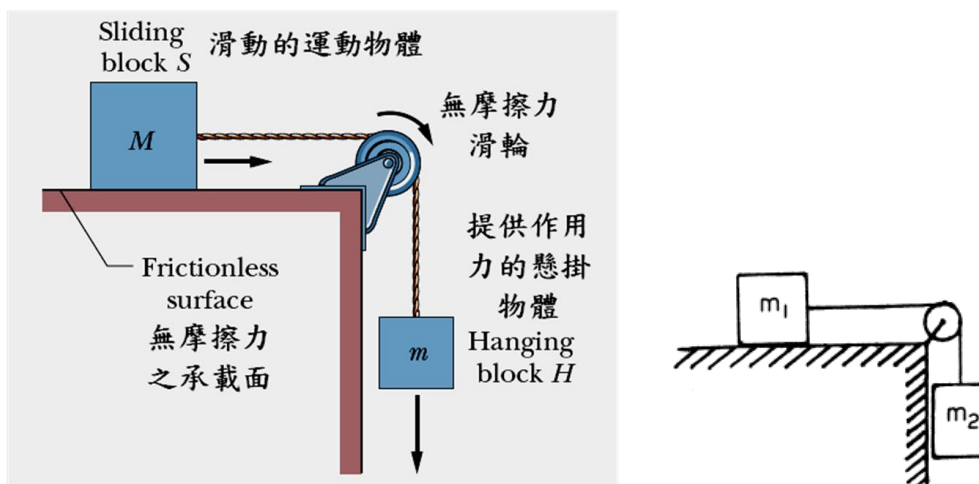


圖 2-2 觀測一維牛頓第二運動定律的實驗結構示意圖。

$$\sum_i \vec{F}_i = mg = (M + m)a_{th} \quad \Longrightarrow \quad a_{th} = \frac{m}{M + m} g \quad (2)$$

物體運動時的情形和加速度大小可以採用下列兩種方法測量：

(1) 利用火花打點記錄運動物體的移動軌跡：

利用固定間隔時間( $\Delta t$ )打點的火花打點記錄器在火花記錄紙上紀錄運動物體的運動軌跡，如圖 2-3 所示。

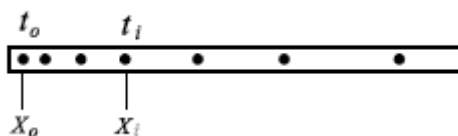


圖 2-3 火花打點記錄紙帶上的火花點。

紀錄測量打點時間為  $t_i$  時，物體的坐標位置  $x_i$ ，則在  $t_i$  與  $t_{i+1}$  之間的平均速度為

$$\bar{v}_{i+1/2} = (x_{i+1} - x_i) / \Delta t。$$

如果  $\Delta t = (t_{i+1} - t_i)$  足夠小的話，則可以將  $\bar{v}_{i+1/2}$  視為  $t_{i+1/2}$  時的瞬時速度。為方便，讓  $\Delta t$  夠小時， $t_i$  時的瞬時速度近似為

$$v_i(t_i) \approx \bar{v}_{i-1/2} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{(x_i - x_{i-1})}{\Delta t}。$$

因此，可以利用

$$a = \frac{(\bar{v}_n - \bar{v}_1)}{(n-1)\Delta t}$$

求物體的平均加速度，上式中  $n$  表首尾兩點間的時間間隔數。由火花記錄紙上觀測得的實驗數據組  $(x_i, t_i)$ ，求算出一組  $(\bar{v}_i, t_i)$ ，再於線性方格紙上畫出  $v$  對  $t$  的關係圖。然後，以最小方差擬合法(參考[C]實驗數據作圖原則)或差平均法(參考資料 5)，求“通過”圖上各點之最佳擬合直線的斜率，此斜率即是物體受外力作用所獲得的平均加速度。

(2) 以光電計時器和光電閘測量運動物體的速率和加速度的大小

**三、實驗儀器和器材：**

空氣軌系統(詳見附錄 A 空氣軌的結構介紹和使用說明), 火花計時器, 火花打點記錄紙帶數條, 光電計時器, 光電閘 2-3 支, 掛鉤, 砝碼數個, 細線, 剪刀及膠帶。

**注意：**實驗之前務必先詳細閱讀附錄 A：空氣軌的結構介紹和使用說明和附錄 B：光電計時器和光電閘使用說明。

#### 四、實驗步驟：

##### (一)空氣軌水平校正及火花打點間隔時間校正：

1. 仔細閱讀附錄 A：空氣軌系統，熟悉空氣軌的結構、操作和使用時的注意事項。
2. 確定送風管是否適當地密接於吹風機裝置的出風口與空氣軌的送風口之間。
3. 啟動空氣軌的吹風機裝置，將風送進空氣軌內。並適當地調整風力的大小。
4. 使用空氣軌上的水平調整鈕調整空氣軌高度，使水平儀內氣泡位於中心處，使滑車軌道保持水平。
5. 將火花記錄紙帶貼於空氣軌上(參閱附錄 A 之三)，接上火花計時產生器。為了方便及精確，最好將火花打點頻率調為 10 Hz，即每秒產生十次火花，則可於記錄紙帶上打出十個小黑點，意即兩次連續打點間的時間間隔為 0.1 秒。
6. 將滑車輕放在空氣軌上，將火花打點器主機的正極線(紅鱷魚夾)接於空氣軌下方導線，負極(黑鱷魚夾)夾於空氣軌上。滑車上火花線一端輕觸空氣軌的正極(下方)傳導線上，一端尖端靠近空氣軌的紀錄紙帶，以利放電打點，輕輕推動滑車，使其緩慢滑行。按住火花產生器的打點開關，使開始火花打點，測量一段時間(至少十秒鐘)內產生的火花打點數，求出打點之間隔時間  $\Delta t$  是否為 0.1 秒。
7. 藉由檢查火花點間的距離是否均等，作為判斷空氣軌是否確實水平的參考。

##### (二)質量保持固定，加速度和施力的關係：

1. 測量滑車質量，然後利用一條細線帶連接滑車和掛鉤。置滑車於空氣軌上，使細線跨過空氣滑輪，在掛鉤上加砝碼，使其總質量之和約為 10 克，但不可超過 15 克(為什麼?)。

**注意：**做實驗時應注意細線的長度，必須避免滑車撞擊邊緣，另落地後得到的數據需去除。

2. 放開滑車(勿施力)，開啟火花計時器，則滑車向空氣滑輪端滑動，得一次記錄，關閉火花計時器。

3. 將火花打點線側移一、二毫米。從掛鉤上拿出一個砝碼黏貼於滑車上(注意：必須固定牢，以防其在滑車滑動中掉落)，以保持總質量為一定值，然後進行第二次滑動，得第二次記錄。如此重覆做，共得四次記錄。

**注意：**為節省記錄紙帶，通常一條紙帶可以記錄三至四次實驗數據。每次實驗做完就用不同的符號，如：“x”、“o”、“◇”、“△”...。將火花點圈定，再做次一實驗記錄。前後的實驗記錄才不會混淆難辨。

5. 分析記錄紙帶：量紙帶頭端兩點之距離，令火花間隔時間為一個時間單位，則這個值與此時間間隔內之平均速度相同，謂之為速度  $v_1$  (厘米 / 間隔時間)；同樣地量紙帶末端兩點之距離得  $v_n$ 。計算頭尾兩點間的間隔數  $n$ ，則加速度為  $a = (v_n - v_1)/(n - 1)$  (這裡，我們令分母中的  $\Delta t = 1$ )，單位為“厘米 / (間隔時間)<sup>2</sup>”。再將  $a$  換算成以“cm / sec<sup>2</sup>”為單位，此為實驗值。

**注意：**記錄紙帶上最前端及最末端的火花點有些是不合理的，應先去掉再做數據分析(為什麼?)。

6. 將記錄紙帶上之打點記錄，以一點作為原點，記下各點的坐標  $x_1$ 、 $x_2$ 、...、... $x_n$ ，按照原理中所述的方法描繪速度與時間的關係圖，並以最小方差擬合法求出通過各點的直線，其斜率即為滑車的加速度。
7. 比較步驟 5 及 6 所得結果，並將這些結果與理論值作比較。

### (三) 施力保持固定，加速度和質量的關係：

1. 在掛鉤下加砝碼，使其總質量約為 10 克。
2. 分別測量大小滑車與重物(砝碼)之質量。將兩個等質量之重物固定於大滑車上，如步驟(二)的方法使滑車滑動，得一次記錄。
3. 逐次移去一塊重物(砝碼)，重覆步驟 2；改用小滑車或小滑車與大滑車串聯作實驗，總共得四至五次記錄。
4. 如步驟(二)之 5 或 6 算出加速度之值，並與理論值作比較。

**注意：**每個重物的質量不可超過 50 克。以防止大滑車過重而磨損空氣軌表面，但也不宜太小。重物放在滑車上必須用膠帶固定，以防止在滑車撞上緩衝彈簧時摔下而打壞滑軌表面。大滑車加重物不可超過 100 克，小滑車上則不可加重物。

### (四) 以光電計時器重複本實驗：

將兩光電開接線接於光電計時器後方接孔；2 光電開置於滑車前方欲取數據位置。按 Function 功能鍵，選擇 Acceleration 加速度運動，按 Changover 鍵選擇速度單位

(cm/s)。長按 Changover 鍵可選擇檔板寬度，當顯示值至欲設定寬度(5cm)時，將按鍵放開，即設定完成。計時器會顯示擋光片經過光電閘時依序測得之速度及加速度。x 後之數據為經過第 x 個光電閘時之速度，x-y 是第 x 光電閘到第 y 光電閘的加速度。可按 Function 功能鍵做歸零，再重新進行測量數據。

#### (五)作圖：

1. 質量固定時，物體的加速度與施力大小的關係圖：以施力為橫座標，加速度為縱座標。
2. 施力固定時，物體的加速度與質量的關係圖：
  - (1) 以質量(如圖 2-2 中的“ $m_1+m_2$ ”)為橫座標，加速度為縱座標。
  - (2) 以質量為橫座標，加速度之倒數為縱座標。

#### 五、問題：

1. 量紙帶上火花點的位置時，用你的尺所量得的值之誤差有多大？估計由此誤差所引起的加速度實驗值之誤差。
2. 由滑車軌面與滑車間的空氣層黏滯力所產生的摩擦之大小，是否與滑車之速度有關？試述其理由。
3. 試述如何以實驗方法估計空氣軌(不可以關吹風機)的摩擦力？
4. 如果步驟(三)中的質量改變量太小，對實驗的進行有何缺點？
5. 如果步驟(四)中，1 及 2 之(2)所得曲線未經過原點，其原因何在？

#### 六、參考資料：

1. D. Halliday & R. Resnick: Fundamentals of Physics, 6th ed., ext. version (John Wiley & Sons Inc., New York, 2001), § 2-5 ~ § 2-8, p. 17 ~ p. 25 ; § 5-3 ~ § 5-5, p. 74 ~ p. 80.
2. 李怡嚴：大學物理學，第一冊，五版（東華書局，民國六十年），§ 2-1, 150 頁。
3. M. Alonso & E. J. Finn: Fundamental University Physics, 2nd ed., vol. I (Addison-Wesley Pub. Co., 1908), § 5-4, p. 79 ; § 7-6, p. 148.
4. 請參閱實驗 4A .
5. R. T. Weidner & R. L. Sells: Elementary Classical Physics, 2nd. ed. (Allyn and Bacon, Inc., 1973), p. 634.

6. D. Halliday & R. Resnick: Fundamental of Physics, 6th ed., ext. version (John Wiley & Sons Inc., New York, 2001) , § 31-5, p. 718 ~ p. 720。
7. J. B. Marion & W. F. Hornyak: Principles of Physics (CBS College Publishing, New York, 1984), p. 588.
8. H. Benson: University Sity Physics, revised ed. (John Willy & Sons Inc., New York, 1995) , § 3-4 ~ § 3-7, p. 35 ~ p. 45 ; § 4-1, p. 56 ; § 5-1 ~ § 5-2, p. 81 ~ p. 84.

## 附錄 A：空氣軌系統(Air Track System)

空氣軌系統常被用於一維的力學實驗中，本校大學一年級的普通物理實驗中有(1)牛頓第二運動定律、(2)碰撞運動和(3)簡諧運動等三個力學實驗中均需使用到此裝置，故請務必熟悉此裝置的結構、操作細節和使用時應的注意事項。空氣軌系統的結構圖如圖 A-1 所示。

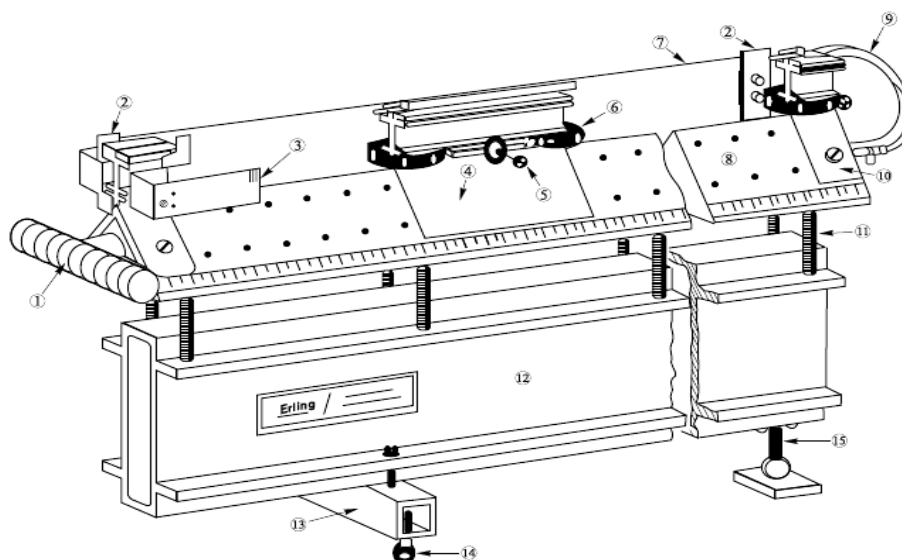
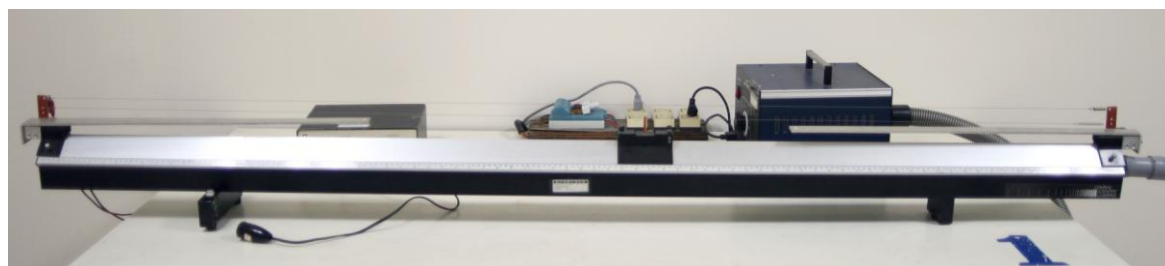


圖 A-1 空氣軌系統的結構圖(configuration diagram of air track system)

- |                          |                                       |
|--------------------------|---------------------------------------|
| ① T 型空氣入口(air tee)       | ⑨ 空氣滑輪(air pulley)                    |
| ② 絕緣片(insulator strip)   | ⑩ 停止終端(end stop)                      |
| ③ 滑車啟動板(glider launcher) | ⑪ 支撐螺絲(supporting screw)              |
| ④ 滑車(glider)             | ⑫ 支撐樑架(supporting beam)               |
| ⑤ 螺釘和螺釘帽(screw & nut)    | ⑬ 橫向水平臂(transversal arm)              |
| ⑥ 緩衝彈簧(bumper spring)    | ⑭ 橫向水平螺絲(transversal level screw)     |
| ⑦ 傳導線(transfer wire)     | ⑮ 縱向水平螺絲(longitudinal leveling screw) |
| ⑧ 空氣軌道(track)            |                                       |



### 一、空氣的輸入：

將電動吹風機所產生的空氣風經一塑膠排風管輸入空氣軌內。空氣軌上方的兩個斜面各有兩排針孔，空氣經由這些孔噴出，而在滑車下形成一層薄薄的空氣墊，其厚度約為百分之幾厘米，因此滑車和車軌間幾乎沒有摩擦。如果滑車太重或空氣輸入不足，會造成滑車和車軌表面之間空氣層不均勻。如此會磨壞車軌之光滑表面，而且摩擦力增加會影響實驗結果。要避免這種情形，應隨時注意下列四點：(1)仔細檢查各通風口是否暢通，(2)滑車上之載重不可太大<sup>†1</sup>，(3)未開吹風機電源之前，不要將滑車放在車軌上，(4)要關吹風機電源之前，切記先將滑車取下。

†1 注意：大滑車可附加重量 100 克，但也不可超過 100 克；小滑車則不能附加重物。加重物時，應注意使重物質心盡量與滑車質心在同一鉛垂線上。

### 二、車軌水平的調整：

調整車軌下面的樑<sup>12</sup>右端下方之縱向水平螺絲<sup>15</sup>使車軌成水平，或調整樑左端下方兩個橫向水平螺絲<sup>14</sup>，使垂直於車軌之橫向水平臂<sup>13</sup>成水平。

車軌很不容易調到絕對水平。“不水平”對實驗結果的影響，可以大約估計如下：假設一個 1m 長的車軌，一端比另一端低 1mm，而滑車最初為靜止，則由於傾斜，滑車滑行之加速度大小為：

$$\Delta a = g \sin \theta \approx 980 \times \frac{0.1}{100} = 0.98 \text{ cm/sec}^2$$

假設在牛頓第二定律實驗中，滑車的質量為 300g，系統所受外力為 10g 砝碼之重力，則其加速度之理論值為：

$$a = 10 \times 980 \div 310 = 31.61 \text{ cm/sec}^2$$

此時，因車軌不水平所造成的加速度誤差約為

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{0.98}{31.61} = 3.1\% \quad (1)$$

假如滑車有一初速為 20 cm/sec，滑軌成水平和在上述傾斜情況之下，末速分別為  $v_f$  與  $v'_f$ ，則

$$\begin{aligned} v_f &= \sqrt{20^2 + 2 \times 31.61 \times 100} = 81.99 \text{ cm/sec} \\ v'_f &= \sqrt{20^2 + 2 \times 32.59 \times 100} = 83.18 \text{ cm/sec} \\ \frac{\Delta v_f}{v_f} &= \frac{83.18 - 81.99}{81.99} = 0.015 = 1.5\% \end{aligned} \quad (2)$$

在碰撞實驗 ( 實驗 5 ) 中，必須測量碰撞前後之速度，但通常測量範圍小於滑軌長度的  $1/4$ ，以滑車初速  $20\text{cm/sec}$  為例，按能量守恆：

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh$$

由上式得末速為：

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2gh} = \sqrt{20^2 + 2 \times 980 \times 0.025} = 21.19\text{cm/sec}$$

即滑軌因不水平所造成的誤差為：

$$\frac{21.19 - 20}{20} = 6\% \quad (3)$$

由此例結果 ( 1 )，( 2 ) 及 ( 3 )，可知  $1\text{m}$  長的車軌若水平沒調好而使兩端高度相差  $1\text{mm}$  時，會產生的誤差最大約為  $6\%$ 。這樣的誤差對我們的實驗條件來說並不算大，但是  $1\text{mm}$  以上之傾斜仍應儘量避免。

若要做較精確的水平調整，可以利用火花打點來進行。假設讓滑車以  $20\text{cm/sec}$  之速率在空氣軌上滑行 ( 吹氣機要先打開 )，由於  $1\text{mm}$  的傾斜，在滑車經過  $1\text{m}$  之距離後，其末速度為：

$$v_f = \sqrt{20^2 + 2 \times 980 \times 0.1} = 24.4\text{cm/sec}$$

若火花打點的頻率為  $10\text{Hz}$ ，即  $\Delta t = 0.1\text{sec}$ ，則紙帶上的記錄在頭端二點の間隔為  $2.0\text{cm}$ ，而末端的為  $2.4\text{cm}$ ，這是很容易察覺的。正因為這個原因，滑車的水平應該可以調整至兩端高度差在  $0.2\text{mm}$  以下。為避免浪費紙帶，調整水平時應儘量先使用肉眼觀察。通常可用手輕推滑車，使它在空氣軌兩端來回滑行。若來回四、五次以上，滑車速率沒有明顯減慢，此時空氣軌應已相當水平了。然後，在做火花打點時間校準時，可以由火花點距離檢查水平 [ 參考本實驗的步驟 ( 一 ) 之 4 ]。

## 二、火花計時器收集資料：

將火花計時器之頻率調在  $10\text{Hz}$  之位置上，將火花計時器之高電壓端接到空氣軌 ( 圖 A-1 ) 的傳導線  $\phi$  上。“傳導線”是一條金屬線，連接固定於車軌兩端之塑膠絕緣片 ( 圖 A-1,  $\phi$  )；“火花線”固定於滑車之塑膠釘 ( 圖 A-1,  $\phi$  ) 上，當做傳導線和車軌間的橋樑。電路連接法如下：

高電壓端 → 傳送線 → 火花線 → 紙帶 → 車軌 → 地線端<sup>†1</sup>

†1 注意：將“地線端”與“高壓端”互換也可以做實驗。但為了安全 ( 避免高壓電擊 ) 最好將車軌與地線端相接。

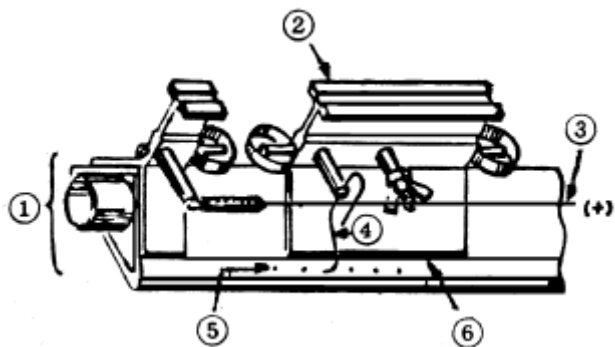


圖 A-2 紙帶上的火花點：①接地端②滑車③傳導線④火花線⑤火花留下的黑點⑥記錄紙帶。

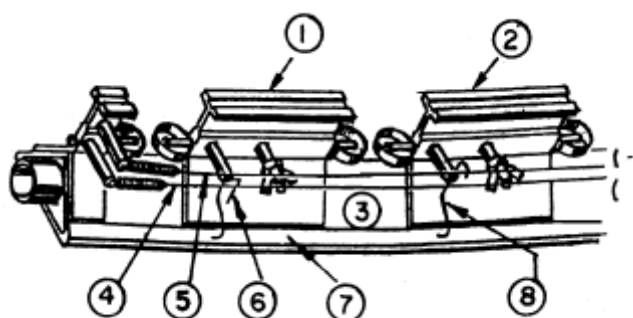


圖 A-3 以兩滑車在空氣軌上做實驗時，兩條傳送線的接法：①滑車 # 1 ②滑車 # 2 ③車軌  
④傳導線半 # 1 ⑤傳導線 # 2 ⑥火花線 # 1 ⑦紙帶 ⑧火花線 # 2。

當火花打在紙帶上，會有黑點產生（參考圖 A-2）。連接好火花線之後應利用馬表檢查計時器頻率之準確度，設法調整至 10Hz。

若有兩滑車的運動要同時記錄，則需要兩條傳導線<sup>†1</sup>，其電路連接法如下（參考圖 A-3）：

高電壓端→傳導線 # 1→火花線 # 1→紙帶 # 1<sup>†2</sup>→車軌→紙帶 # 2<sup>†2</sup>→火花線 # 2 →傳導線 # 2→地線端

†1 注意：

- (1) 火花線不可以和傳導線接觸過緊。
- (2) 當計時器之高壓接上時，整個系統均不可以觸摸。

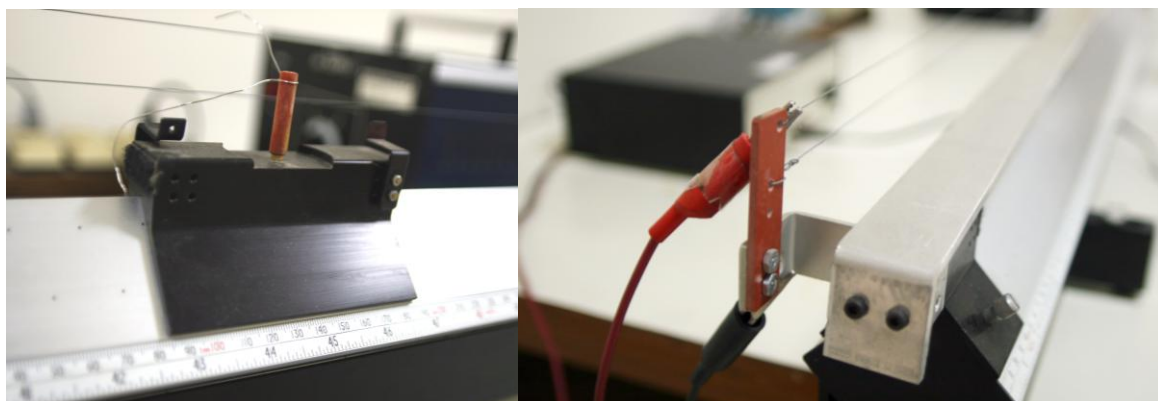
†2 注意：在本實驗的裝置中，紙帶 # 1 及 # 2 應在同一條紙帶上的兩段不同位置。

四、交互作用的引入：

滑車與車軌之間或兩滑車之間的交互作用可以利用磁鐵，彈簧或重力來進行。使用磁鐵時，只需將磁鐵黏於滑車浮貼車軌斜面部份的上面（阻尼振盪實驗中常使用這種方式），或分別黏於兩滑車之間面對面互相對應的部位上（彈性碰撞實驗常使用這種方式）。由於磁鐵易碎，須注意將磁鐵黏牢，且控制滑車的速度使兩滑車間相對速度在 30 cm/sec 以下，以免磁鐵因猛烈撞擊而破碎。若磁鐵黏於滑車較低之部位（即浮貼於車軌斜面部份的上面），則移動中的磁場會在車軌面產生渦電流（eddy current，參閱參考資料 6~8）。而渦電流所生的磁場會與移動中的磁鐵作用，使滑車受到一個與速度成正比的阻力。

使用重力則以一紙帶來拉滑車較方便。將紙帶跨過空氣軌一端的空氣滑輪，以使紙帶能幾無摩擦地滑動。若無適當紙帶，可以使用槳式錄音機用的錄音磁帶代替之。

簡諧振盪實驗則使用彈簧，此時須注意勿使彈簧過份地伸張或擠壓。



## 附錄 B：多功能光電計時器操作說明簡表與使用說明書



圖 A-1 MUJ-5C 多功能光電計時器

### 一、儀器工作原理及特點

使用精密的紅外線光電感應器所製作的光電閘，搭配高速微處理運算器測量運動體的運動時間、速率和加速度，具特定實驗模組化的測量功能。本機採用國際流行的薄膜式按鍵開關面設計，並含微處理機單元及智能化的測量技術讀取、處理暨儲存數據。以微秒級為時基的時間測量裝置，可提供精確位數高達五位元的時間測量，並具有存儲功能。操作簡單，只需使用四個操作鍵即可完成各種不同的測量功能。可作為計時器、計數器、信號源和 6V 直流穩壓電源使用。本機除了具有一般計時器的功能外，並可用以測量運動物體的加速度、重力加速度、周期等物理量，可直接顯示物體的移動速率和加速度值。經常運用在大學院校普物實驗課程中有關運動的實驗中，如與氣墊導軌、斜槽軌道、自由落體和碰撞等各種運動實驗系統的儀器配合使用。

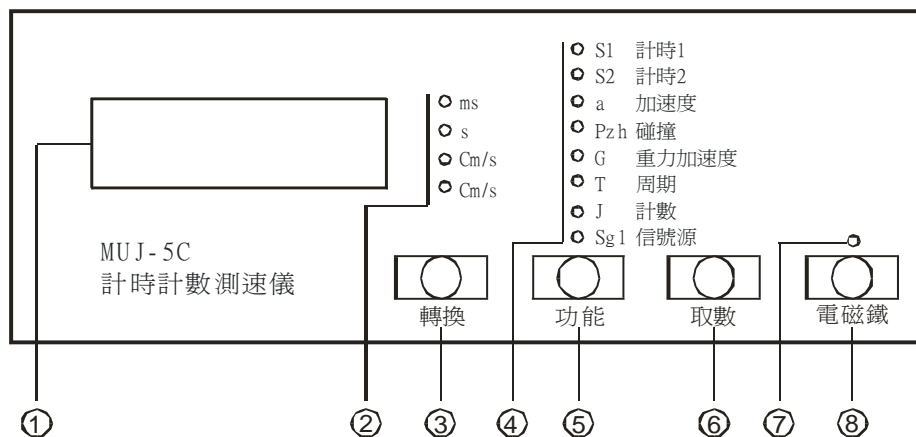
### 二、儀器規格

- (1) 以美國 INTEL 公司的 MCS-51 數位微處理單元(CPU)為自動測量及數據處理的主控系統。
- (2) 採用 12MHz 的石英晶體振盪器最為時基單元，時基精度為  $2 \text{ MHz} \pm 20 \text{ Hz}$  (10 ppm)。
- (3) 使用 0.56" 高亮度的 LED 數碼顯示裝置，具有五位元的顯示單元，分別為四個 LED 單位顯示和八個 LED 功能指示。
- (4) 溢出指示“0.0.0.0.”。
- (5) 含小數點和單位顯示，具有量程自動定位、自動換檔及自動進行四捨五入的智能化數據處理功能。
- (6) 各項物理量的測量範圍

- (a) 速度範圍為：0.00~1000.0 cm/s
- (b) 加速度範圍為：±0.00~1200.0 cm/s<sup>2</sup>
- (c) 計數範圍為：0~99999
- (d) 計時範圍為：0.00 ms~999.99 s
- (e) 0.01 ms 數量級以上確保五位有效數字顯示。
- (7) 可存儲 20 個時間數據，在周期測量中存儲 21 個時間數據(前 20 個振動周期和一個  $n$  次(最多 9999 周期)振動的累加時間總和。
- (8) 脈沖信號源有 1 Hz、10 Hz、100 Hz、1000 Hz、10000 Hz 等五檔，輸出幅度近 5V。
- (9) 提供 6V 直流電壓及 0.5A 的直流穩壓電源輸出
- (10) 提供兩個紅外光電傳感器
- (11) 配有可供氣墊導軌和自由落體儀器使用的四個光電閘信號輸入插座。
- (12) 配有供斜槽軌道和自由落體儀實驗系統之電磁鐵控制插座。
- (13) 工作條件：
  - 電源：AC 110V ± 10%，50 Hz~60 Hz。
  - 環境溫度：-10°C~ 40°C
  - 相對濕度：在 40°C 時，低於 85%。
  - 工作時間：連續工作
- (14) 外形尺寸：約 230 mm × 210 mm × 100 mm
- (15) 重量：約 1.5 Kg

### 三、面板說明

(1)前面板說明：見圖 A-2，③、⑤、⑥和⑧等所有按鍵均為循環式的切換開關。

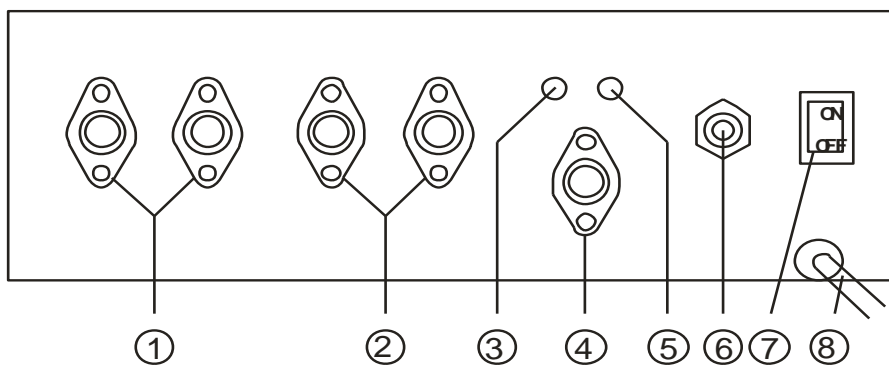


- ①五位元 LED 顯示列
- ②測量單位指示燈
- ③數值轉換鍵
- ④功能轉換指示燈
- ⑤功能選擇/復位鍵
- ⑥取數鍵
- ⑦電磁鐵開關指示燈
- ⑧電磁鐵開關鍵

圖 A-2 MJJ-5C 多功能光電計時器面板說明

- ①**五位元 LED 顯示列**：顯示測量的結果
- ②**測量單位指示燈**：依所選定的測量功能，顯示所測得之數據的單位，如 ms, s, cm/s, cm/s 等四個時間和速率的單位。
- ③**轉換鍵(Changeover)**：當選擇計時、加速度和碰撞等測量功能時，在 1 秒內迅速按轉換鍵，可交替地選擇測量各種不同物理量。  
光電閘的檔光片寬度有 1.0 cm、3.0cm、5.0cm、10.0cm 等四個不同的寬度選擇，可經由轉換鍵的切換選擇所需的寬度。使轉換鍵的切換時間超過 1 sec，即可選擇檔光片的寬度設定。
- ④**功能鍵(Function)**：如按下功能鍵前，光電閘若遮過光，則可先按一次功能鍵進行歸零。若光電閘沒遮過光，請按功能鍵選擇擬測量的功能。
- ⑤**取數鍵(Data Fetch)**：在計時 1 ( $S_1$ )、計時 2 ( $S_2$ )、周期(T)功能時，儀器可自動存入前 20 個測量值，按下取數鍵，可顯示存入的紀錄值。當顯示「En」表示將顯示存入的第  $n$  值。
- ⑥**電磁鐵開/關指示燈**：顯示電磁鐵處於吸合或鬆離的狀態，當紅色 LED 亮時，表示電磁鐵為開啟的吸合狀態；LED 不亮時，則表示電磁鐵為關閉狀態。
- ⑦**電磁鐵開關鍵(Electromagnet)**：控制電磁鐵的吸合和鬆離(鍵上 LED 顯示暗)的切換鍵，當按鍵上的 LED 指示燈亮時，表示有電磁鐵為開啟的吸合狀態；LED 不亮時，則表示電磁鐵為關閉，處於無電磁力的狀態。

## (2)後面板



- ①P1 光電閘信號插座
- ②P2 光電閘信號插座
- ③信號源輸出插座
- ④電磁鐵信號插座
- ⑤6V 直流輸出插座
- ⑥電源保險絲座
- ⑦電源開關
- ⑧電源線

圖 A-2 MUJ-5C 多功能光電計時器背面板說明

#### 四、多功能光電計時器使用說明簡表

多功能光電計時器使用簡表(永原科學儀器公司製造,型號 A04-153)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 測量前先按下 <b>Changeover</b> (&gt; 1 sec), 選擇檔光片寬度</li> <li>• 測量後可迅速(&lt; 1 sec) 按下 <b>Changeover</b>, 可使顯示器的顯示值切換為時間或速度</li> <li>• 數據顯示後, 可按 <b>Function</b> 鍵歸零重新實驗。歸零後再按一次 <b>Function</b> 鍵, 可跳入下一功能選擇</li> </ul>				
功能	應用例	擋光板	光電閘	時間數據顯示(秒/毫秒)
<b>Timing I</b>	拋體初速 轉動週期	■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 同一光電門擋光時程/速度</li> <li>• 按 Data Fetch 顯示 20 組記錄</li> </ul>
<b>Timing II</b>	重物下落 已知高度 時間	■ ■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 以■擋光片得同一光電門兩次擋光的時距</li> <li>• 以■擋光片得同一光電門一次擋光的時程--- <b>Changeover</b> 選擇時間 速度--- <b>Changeover</b> 選擇速度</li> <li>• 可按 Data Fetch 顯示 20 組記錄</li> </ul>
<b>Acceleration</b>	直線等加 速度運動	■	由 P1 至 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 選擇時間 P1 的擋光時程 P2 的擋光時程 P1 至 P2 的擋光時程</li> <li>• <b>Changeover</b> 選擇速度 P1 的擋光速度 P2 的擋光速度 P1 至 P2 的加速度</li> </ul>
<b>Collision</b>	碰撞運動	■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 選擇速度 顯示各光電門各來回 1 至 3 次擋光片之速度</li> <li>• <b>Changeover</b> 選擇時間 顯示各光電門各來回 1 至 3 次擋光片之時間</li> </ul>
<b>Gravity Acceleration</b>	自由落體	●	由電磁鐵至 P1~P4	準備好後, 按下 Electromagnet 顯示電磁鐵下端至 P1/P2/P3/P4 的時程
<b>Cycle</b>	單擺 複擺 簡諧運動	● ■	P1 或 P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Changeover</b> 預設週期數 100 以內。 實驗完顯示總時間, 再按 Data Fetch 顯示最後 20 週期時間。</li> <li>• 不預設週期數而直接測量直到結束 可顯示測量週期序直到結束。按 <b>Changeover</b> 顯示總時間, 再按 Data Fetch 顯示最後 20 週期時間實</li> </ul>



<b>Count</b>	轉動次數	■	P1 或 P2	• 顯示遮光次數
<b>Signal Source</b>	信號源		輸出插座	• 按 <b>Changeover</b> 可輸出頻率為：1、10、100、1000、10000 的方波信號，單位為 Hz
<b>DC Power</b>	DC6V		輸出插座	• 任何時間可輸出

## 五、測量功能

1. **Timing I**：一般遮光時程測量
2. **Timing II**：二次遮光時距
3. **Acceleration**：直線運動體單點瞬時速度測量及雙點間加速度值的計算
4. **Collision**：碰撞實驗中，兩運動體碰撞前後的瞬時速度測量
5. **Gravity Acceleration**：自由落體下落至不同高度的時間測量
6. **Cycle**：單擺計次、累計時間、單次擺動週期記錄及顯示
7. **Count**：計數遮光次數
8. **Signal Source**：信號產生器，可供其它實驗使用。

## 六、操作方法

### (1)測量單位：

- (a) ms：1/1000 秒，計時單位
- (b) s：秒，計時單位
- (c) m/s：公分/秒，速度單位
- (d) cm/s<sup>2</sup>：公分/秒平方，加速度單位

### (2)各種物理量的測量

#### 1. **Timing I (計時 1, S<sub>1</sub>)：遮光時程測量**

測量光電閘的擋光時間，可連續測量，並自動存入前 20 個所測得的數據。按下取數鍵可查看儲存於計數器內的數據。

#### 2. **Time II (計時 2, S<sub>2</sub>)：二次遮光時間間距測量**

測量光電閘兩次擋光的間隔時間，可連續測量。並自動存入前 20 個數據，按下取數鍵可查看所量得的數據。

#### 3. **Acceleration (加速度, a)測量**

測量帶有凹形擋光片的滑行者通過相鄰兩個光電閘的速度，以及通過此兩光電閘間之段路程所需的時間，可連接 2 至 4 個光電閘。在此測量模態時，本計時器的顯示面板上會循環顯示下列數據：

1 第一個光電管

xxxxx	第一個光電管測量值(T1/V1)
2	第二個光電管
xxxxx	第二個光電管測量值(T2/V2)
1~2	第一至第二光電管
xxxxx	第一至第二光電管測量(T1~2/a)

如接有第 3、4 個光電管，則除顯示上測量數據外，並繼續顯示第 3 個光電管、第 4 個光電管及 2~3、3~4 段的測量值，如下所列。

3	第三個光電管
xxxxx	第三個光電管測量值(T3/V3)
2~3	第二至第三光電管
xxxxx	第二至第三光電管測量(T2~3/a)
4	第四個光電管
xxxxx	第四個光電管測量值(T4/V4)
3~4	第三至第四光電管
xxxxx	第三至第四光電管測量(T3~4/a)

按功能鍵清"0"，可進行另一系列新的測量。

#### 4. Collision (碰撞, Pzh)：等質量與不等質量間的碰撞實驗測量

在計時器后面板的 P1、P2 接頭各接一只光電管，兩只滑行器上裝好相同寬度的凹形擋光片和碰撞彈簧，讓滑行器從氣軌兩端向中間運動，各自通過一個光電管後相撞。

做完實驗，會循環顯示下列數據：

P1.1	第一次通過 P1 光電管
xxxxx	第一次通過 P1 光電管的遮光時間測量值
P1.2	第二次通過 P1 光電管
xxxxx	第二次通過 P1 光電管的遮光時間測量值
P2.1	第一次通過 P2 光電管
xxxxx	第一次通過 P2 光電管的遮光時間測量值
P2.2	第二次通過 P2 光電管
xxxxx	第二次通過 P2 光電管的遮光時間測量值

(1) 如滑塊通過 P1 光電管三次，但僅通過 P2 光電管一次，則計時器將不顯示 P2.2 而顯示 P1.3，表示物體第三次通過 P1 光電管的第三次遮光時間

(2) 如滑塊通過 P2 光電管三次，通過 P1 光電管一次，本機將不顯示 P1.2 而顯示 P2.3，表示第三次通過 P2 光電管的第三次遮光時間。

按功能鍵歸零後，可進行另一系列新的測量。

#### 5. Gravity Acceleration (重力加速, g)：

將電磁鐵插入電磁鐵插口，2~4 個光電管插入光電管插口，電磁鐵開關鍵上方發光管亮時，吸上小鋼球(待測物體)；按電磁鐵開關鍵，小鋼球下落(同步計

時)，到小鋼球前沿遮住光電閘(計錄時間)，計時器陸續顯示物體從開始下落至通過第  $n$  個光電閘所經歷的時間：

時間)	1	第一個光電管
	×××××	$t_1$ 值(物體開始下落至通過第一個光電閘所經歷的
		時間)
時間)	2	第二個光電管
	×××××	$t_2$ 值(物體開始下落至通過第二個光電閘所經歷的
		時間)
時間)	3	第三個光電管
	×××××	$t_3$ 值(物體開始下落至通過第三個光電閘所經歷的
		時間)
時間)	4	第四個光電管
	×××××	$t_4$ 值(物體開始下落至通過第四個光電閘所經歷的

因  $h_1 = \frac{1}{2}gt_1^2$ ， $h_2 = \frac{1}{2}gt_2^2$ ，故有  $g_1 = \frac{2(h_2 - h_1)}{t_2^2 - t_1^2}$ ， $(h_2 - h_1)$  為第一個和 second 個光電閘之間的距離。

$$g_3 = \frac{2(h_4 - h_1)}{t_4^2 - t_1^2}, \quad g_2 = \frac{2(h_3 - h_1)}{t_3^2 - t_1^2}$$

兩光電閘間的設定距離愈大，則測量誤差越小。按功能鍵或按電磁鐵開關鍵，儀器可自動歸零，使電磁鐵重新吸合。重力加速度的測量方法，也可用計時 2 (S2) 的功能測量。

### 6. Cycle (周期, T) :

測量單擺振子或彈簧振子 1~9999 周期的時間。一只光電閘插入光電閘插口，可選用以下二種方法。

- (1) 不設定周期數：在週期數顯示為 0 時，每完成一個周期，顯示周期數會加 1。按下轉換鍵即停止測量。在顯示最後一個周期數約 1 秒後，將接著顯示累計時間值。
- (2) 設定周期數：按下轉換鍵不放，確認到您所需周期數時放開此鍵即可。(只能設定 100 以內的周期數。) 每完成一個周期，顯示周期數會自動減 1，當最後一次遮光完成，顯示累計時間值。

按取數鍵可顯示本次實驗(最多前 20 個周期)每個周期的測量值，如顯示 E2(表示第二個周期)，××××× (第二個周期的時間)...

### 7. Count (計數, J) : 測量光電閘的遮光次數

8. Source Signal (信號源, Sg1) : 將信號源輸出插頭，插入信號源輸出插口，可輸出頻率為：1 Hz、10 Hz、100 Hz、1000 Hz、10000 Hz 的信號，按轉換鍵可切換信號的頻率選擇。

## 七、光電閘結構

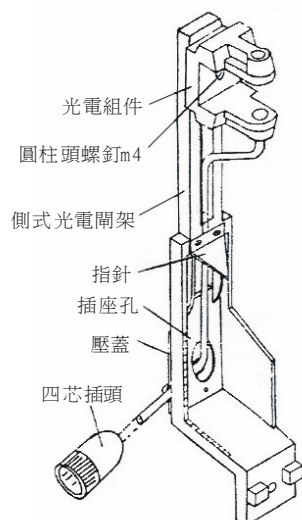


圖 A-4 側式光電閘結構圖

## 八、自動檢測、調整和維護

1. 本機具有自動檢測功能，按住取數鍵不放，再開啟電源開關，數碼管顯示“22222”、“55555”，發光二極管全亮，顯示 20.47 ms，說明儀器程序，光電閘輸入工作正常。若出現無計時功能，請檢查光電閘是否正常。
2. 存放時間滿 6 個月，應拿出通電 1 小時。

## 九、注意事項

1. 測量時間小於 1 ms 或大於 99.999 s，按轉換鍵將之轉換為速度時。顯示 0.0.0.0. 表示超出範圍測量。
2. 做完實驗後，請關閉儀器電源開關。
3. 避免使儀器接近陽光和高溫熱源，以免影響儀器的性能。
4. 儀器出現故障，請找專業技術人員修理。