

應用機車刮地痕輔以倒地方向推估可能的碰撞前行向

Using Motorcycle Scratch and Supplemented by Direction Falls to Ground to Estimate Possible Riding Direction Before Impact

張超群 Chau-Chin Chang¹

摘 要

本文應用動力學衡量與動量原理推導出碰撞前速度、碰撞速度變化與碰撞後速度三個向量的關係式，這三個速度構成碰撞速度三角形簡稱速度三角形，再配合機車碰撞後倒地刮地痕行向輔以機車倒地方向，可推估機車碰撞前的行駛方向，作為肇事責任鑑定的參考。本文分析機車碰撞後從立狀態至倒地狀態，前輪轉向對刮地痕走向的影響，採用行車事故鑑定委員會的實際案例，說明推估機車碰撞前行向的詳細步驟。我們製作機車倒地方向的簡易判斷表及由同向擦撞型碰撞之機車刮地痕反推碰撞前行向的參考表，得出若兩部同向行駛的機車重量差異不大，車體碰撞且非輕微的擦撞，則通常車速較快的直行機車刮地痕較左偏或右偏或轉彎機車刮地痕斜的結論，可快速的判斷機車碰撞前行向，對經常發生的同向擦撞型態的機車碰撞交通事故鑑定具有一定的實用價值。

關鍵字：衡量與動量原理、碰撞速度三角形、刮地痕行向、機車倒地方向、碰撞前行向

Abstract

¹ 南臺科技大學機械工程系副教授(聯絡地址：71005 台南市永康區南台街 1 號，電話：06-2533131 轉 3511，E-mail:ccchang@stust.edu.tw)。

This paper applies principle of impulse and momentum in dynamics to derive the relationship between pre-impact velocity, impact velocity change and post-impact velocity. These three velocities form an impact velocity triangle abbreviated velocity triangle for each motorcycle. Using this velocity triangle together with the scratch direction of the motorcycle due to collision and supplemented by the direction of the motorcycle falls to ground, we can estimate ride direction of the motorcycle before impact. This is very useful for accident liability identification. We analyze the influence of the steering of front wheel of motorcycle from upright attitude to ground attitude. Several cases of Road Accident Identification Committee are used to analyze the procedures in detail to estimate the directions of the motorcycles before collision. We make a simple table to judge the direction of motorcycle falls to ground for reference as well as tables for estimate ride direction of the motorcycle before impact from the scratch direction of motorcycle. From the tables, we conclude, in general, if two motorcycles ride in the same direction without big difference in weights, then the straightforward motorcycle has more inclined scratch after collision than that of the motorcycle deviation or turn to the left or right. This conclusion will help the relevant personnel quickly judge the motorcycles moving directions before crash. It is practically useful to improve the accuracy of accident liability identification, especially for the sideswipe accident of two motorcycles move in the same direction.

Keywords: principle of impulse and momentum, impact velocity triangle, scratch direction, direction of motorcycle falls to ground, riding direction before impact

一、前言

台灣機車數量龐大，許多騎士不遵守交通規則或騎乘不小心，經常發生碰撞。雖然交通事故的責任鑑定以路權為優先，但同向擦撞型碰撞的車禍也很多。例如兩機車同向行駛於同一車道或不同車道，因某部機車左偏或右偏時發生碰撞，當事人常會堅稱對方突然偏過來或後車沒保持安全距離，造成各說各話。若無錄影畫面或畫面不清楚，行車事故鑑定會委員也不易判斷。此時若能從機車倒地刮地痕行向輔以機車倒地方向，來推估機車碰撞前可能的行向(行駛方向)，是很值得研究的議題。

國內外對機車碰撞的研究主要是計算機車的碰撞速度。為簡化分析，一般將機車視為質點，使用動量守恆定律配合機車碰撞倒地的刮地痕長度或汽車的煞車痕長度求出碰撞前車速(Obenski and Hill, 2002；林志儒，2005；羅智寧，2008；林峻弘，2009；施仁維，2012；張超群等，2015、2016、2017)。McNally and Bartlett 研究了機車與汽車碰撞之車速計算(McNally and Bartlett, 2002)，張超群說明了機車倒地方向的力學原理與簡易判斷方法及其在行車事故鑑定之應用(張超群，2015、2016)。本文提出推估機車碰撞前行向的新方法。首先將機車視為質點，應用動力學衝量與動量原理推導出碰撞前速度、碰撞速度變化與碰撞後速度三個向量的關係式，這三個速度構成一個碰撞速度三角形簡稱速度三角形，再利用機車碰

撞後倒地刮地痕走向輔以機車倒地方向，可推估機車碰撞前的行駛行向，作為肇事責任鑑定的參考，尤其是對同向擦撞型的碰撞更具有價值。我們分析機車碰撞後從立狀態到倒地狀態前輪轉向對刮地痕走向的影響，用實際案例來說明分析的詳細步驟，歸納出機車倒地方向簡易判斷方法與同向擦撞型碰撞之機車刮地痕走向反推碰撞前行向的快速判斷方法，方便讀者了解與應用在實務鑑定。

二、碰撞刮地痕分析基本理論

2.1 機車碰撞之基本假設

本文對機車碰撞作刮地痕分析的基本假設為

- 1.由於碰撞的時間極短，其它的力如重力、地面的反作用力等與碰撞力相比是很小的，因此可以忽略不計。
- 2.忽略機車碰撞後車體的轉動，可將機車視為質點。
- 3.因為本文不是要計算碰撞車速，並且碰撞時間極短，可假設同部機車的車體與騎士在碰撞後，兩者速度相同。
- 4.本文所謂的質點是指忽略機車車體的旋轉運動，只考慮機車的平移或稱移動(Translation)，因此用肇事現場圖作刮地痕走向分析時並不需要將機車畫成一個質點。

注意：本文以粗體符號代表向量，非粗體符號代表純量。

2.2 衝量與動量原理

設一質點受合力 $\sum \mathbf{F}$ 作用而產生加速度 \mathbf{a} ，根據牛頓第二定律可得

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1)$$

在牛頓力學中質量 m 為定值，它並不隨速度 \mathbf{v} 而變化，所以(1)式可寫成

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} \quad (2)$$

定義動量 \mathbf{L} (Momentum)：

$$\mathbf{L} = m\mathbf{v} \quad (3)$$

則(2)式可表達成

$$\sum \mathbf{F} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} \quad (4)$$

(4)式稱為動量定理，它說明：作用於一質點的合力等於該質點的動量對時間的微分。定義力 \mathbf{F} 從時刻 t_0 至 t_1 的衝量(Impulse)為

$$\mathbf{I} = \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{F} dt \quad (5)$$

將(2)式從時刻 t_0 至 t_1 對時間積分，得

$$\sum \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{F} dt = \int_{v_{10}}^{v_1} d(m\mathbf{v}) = m\mathbf{v}_1 - m\mathbf{v}_{10} = m\Delta\mathbf{v}_1 \quad (6)$$

其中 \mathbf{v}_{10} 與 \mathbf{v}_1 分別為質點在時刻 t_0 與 t_1 的速度，其大小分別為 v_{10} 和 v_1 。上式說明了質點在 $[t_0, t_1]$ 時間內所受的合衝量等於質點在該段時間動量的變化 $m\Delta\mathbf{v}_1$ 。(6)式可改寫成

$$m\mathbf{v}_{10} + \sum \int_{t_0}^{t_1} \mathbf{F} dt = m\mathbf{v}_1 \quad (7)$$

(7)式稱為線衝量與線動量原理，簡稱衝量與動量原理(Principle of impulse and momentum) (Beer and Johnston, 1999；張超群、劉成群，2013)。

2.3 碰撞速度三角形

參考圖 1，根據動力學中的衝量與動量原理，機車 A 與機車 B 碰撞後的合碰撞力 \mathbf{F} 時所產生的衝量會造成機車的動量變化，即

$$\int \mathbf{F} dt = m\Delta\mathbf{v} \quad (8)$$

由(6)式和(8)式可得碰撞速度變化的表達式，對 A 車可寫成

$$\Delta\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_{10} = \frac{1}{m_1} \int \mathbf{F} dt = \frac{\mathbf{I}}{m_1} \quad (9)$$

即對 A 車，由(9)式得

$$\mathbf{v}_{10} + \Delta\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1 \quad (10)$$

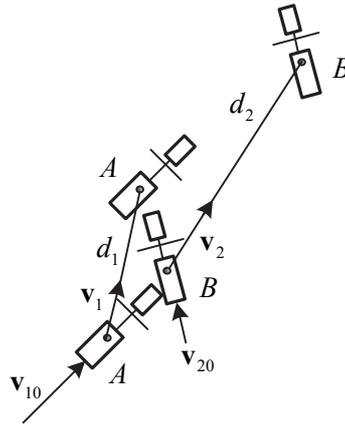


圖 1 機車 A 與機車 B 的碰撞示意圖

其中 v_{10} 為機車 A 碰撞前速度， v_{10} 的方向為機車 A 碰撞前行駛方向， v_1 為機車 A 碰撞後速度， v_1 的方向為機車 A 碰撞後倒地刮地痕方向， m_1 為機車 A 與騎士的總質量。由方程式(9)知機車 A 碰撞速度變化 Δv_1 的方向與合衝量 I 的方向相同，也就是與合碰撞力 F 的方向相同。同理對機車 B，我們有

$$v_{20} + \Delta v_2 = v_2 \quad (11)$$

其中 v_{20} 為機車 B 碰撞前速度， v_{20} 的方向為機車 B 碰撞前行駛方向， v_2 為機車 B 碰撞後速度， v_2 的方向為機車 B 碰撞後倒地刮地痕方向，機車 B 碰撞速度變化 Δv_2 的方向與 Δv_1 的方向相反。 v_{10} 、 v_1 、 Δv_1 構成 A 車的碰撞速度三角形； v_{20} 、 v_2 、 Δv_2 構成 B 車的碰撞速度三角形，如圖 2 所示。本文中，碰撞速度三角形簡稱速度三角形。

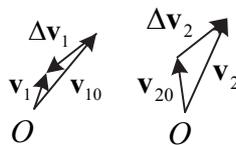


圖 2 機車 A 與機車 B 的碰撞速度三角形

2.4 兩機車碰撞速度變化之關係

若不計機車車體的旋轉運動，則圖 1 之 A 車及 B 車可視為質點。畫 A 、 B 車的衝量與動量圖(Beer and Johnston, 1999；張超群、劉成群，2013)，如圖 3 所示。對 A 車使用衝量與動量原理，得

$$m_1 \mathbf{v}_{10} + (-\mathbf{I}) = m_1 \mathbf{v}_1 \quad (12)$$

對 B 車使用衝量與動量原理，得

$$m_2 \mathbf{v}_{20} + \mathbf{I} = m_2 \mathbf{v}_2 \quad (13)$$

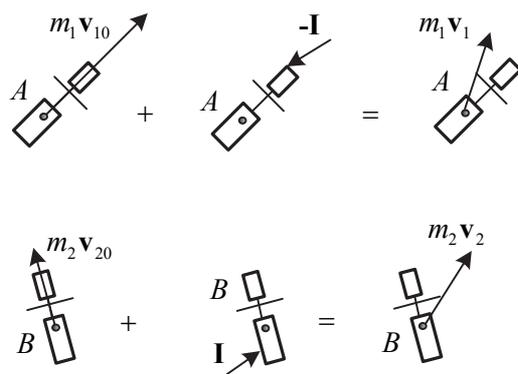


圖 3 機車 A 和機車 B 的衝量與動量圖

其中 m_2 為機車 B 與騎士的總質量。由方程式(12)和(13)，得

$$\Delta \mathbf{v}_1 = -\frac{m_2}{m_1} \Delta \mathbf{v}_2 \quad (14)$$

方程式(14)中的負號代表 A 車碰撞速度變化 $\Delta \mathbf{v}_1$ 的方向與 B 車的碰撞速度變化 $\Delta \mathbf{v}_2$ 的方向相反。 A 車的碰撞速度變化大小 Δv_1 與 B 車的碰撞速度變化大小 Δv_2 之關係為

$$\Delta v_1 = \frac{m_2}{m_1} \Delta v_2 \quad (15)$$

方程式(15)表明碰撞時質量越小，碰撞速度變化越大；質量越大，碰撞速度變化越小。通常台灣的輕型機車質量約 80kg。普通重型機車質量約 85kg 至 130kg，大部分介於 100kg 至 120kg 左右。騎士質量大都介於 50kg 到 80kg。因此，若兩部普通重型機車碰撞，機車質量差異不大，並設兩部機

車騎士體重差不多，則(14)式可近似地寫成 $\Delta v_1 \approx -\Delta v_2$ ，畫碰撞速度三角形時可將 Δv_1 畫成與 Δv_2 大小相等，方向相反。若普通重型機車碰撞輕型機車，輕型機車速度變化 Δv_2 ，則普通重型機車的速度變化 Δv_1 ，可用(14)式近似地寫成 $\Delta v_1 \approx -(4/5)\Delta v_2$ ，畫碰撞速度三角形時可將 Δv_1 畫成與 Δv_2 方向相反，長度約五分之四。

2.5 碰撞速度變化之大小和方向

機車碰撞時在碰撞處會產生與碰撞面垂直的正向碰撞力 F_c 及沿碰撞面的切向碰撞力 F_t ，這兩個力互相垂直。 F_c 與 F_t 的合碰撞力 F 的方向就是合衝量 I 的方向。碰撞速度變化是因碰撞衝量而產生的，故合碰撞力 F 的方向就是碰撞速度變化的方向。對圖 1 畫出機車 A 和機車 B 車的碰撞受力圖，如圖 4 所示。圖 4(a)中 A 車右上角碰撞到 B 車的左側面，因此正向碰撞力 F_c 垂直 B 車側面，A 車碰撞處相對於 B 車沿 B 車側面往左上方滑動，因此切向碰撞力 F_t 沿著 B 車側面往左上方，畫出 B 車碰撞受力圖(簡稱受力圖)，如圖 4(b)所示。應用牛頓第三定律(作用力與反作用力定律)，即有大小相等，方向相反的正向碰撞力 F_c 及切向碰撞力 F_t 作用在 A 車上，它們的合力 F ，就是碰撞力方向，也就是碰撞速度變化方向，如圖 4(a)至 4(f)所示。

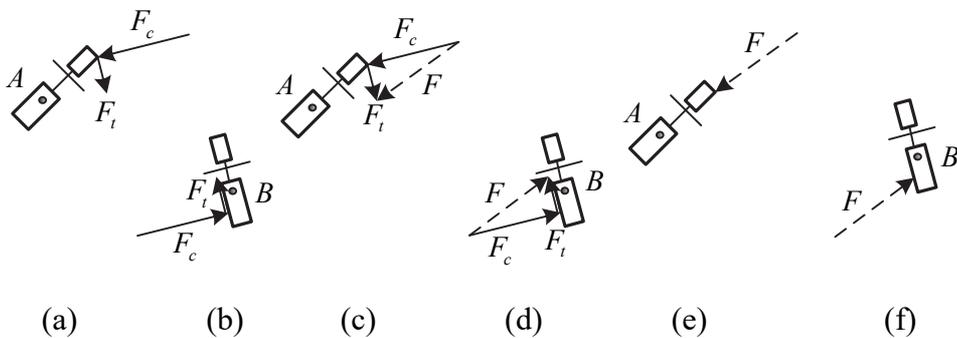


圖 4 碰撞受力圖

在實際案例中，如何判斷碰撞速度變化方向。基本上從上述分析可知，若直行後車的速度較快，碰撞左偏或右偏的機車，則對左偏或右偏的機車其碰撞速度變化方向為垂直機車側面再往前的斜方向。這是因為後車速度較快，撞擊左偏或右偏的機車時，正向碰撞力 F_c 垂直機車側面，切向碰撞力 F_t 沿著機車側面往前，兩者的合碰撞力 F 沿斜方向往前。若左偏或右偏的機車速度較快，碰撞直行機車，則對左偏或右偏的機車其碰撞速度變化方向為垂直機車側面再往後的斜方向。這是因為正向碰撞力 F_c 垂直機車側面，而切向碰撞力 F_t 沿著機車側面往後，兩者的合力 F 沿斜方向往後。例

如，常見的兩機車同向行駛，直行機車 A 的前車輪與左偏機車 B 碰撞的示意圖，如圖 5 所示。若機車 A 的速度較快，撞擊 B 車左側，其正向碰撞力與切向碰撞力作用於 A 、 B 車之受力圖，如圖 6(a) 所示。兩車的合碰撞力如圖 6(b) 與 6(c) 所示，即 B 車所受的碰撞力的方向，也就是碰撞速度變化方向，會朝 B 車車身的右前方，如圖 6(c) 所示。 B 車速度三角形中，碰撞速度變化 Δv_2 會朝 B 車右斜前方，如圖 7 所示。若左偏機車 B 的速度較快，車身撞擊 A 車前輪右側，如圖 5 所示。其正向碰撞力與切向碰撞力作用於 A 、 B 車之受力圖，如圖 8(a) 所示。兩車的合碰撞力如圖 8(b) 與 8(c) 所示，即 B 車所受的碰撞力的方向，也就是碰撞速度變化 Δv_2 的方向，會朝 B 車車身的右後方，如圖 8(c) 所示。在 B 車速度三角形中，碰撞速度變化 Δv_2 會朝 B 車右後方，如圖 9 所示。圖 7 和圖 9 中，若碰撞為兩部速克達機車，重量差不多，則畫 A 車速度三角形時可將 Δv_1 畫成與 Δv_2 大小相等，方向相反。



圖 5 碰撞示意圖

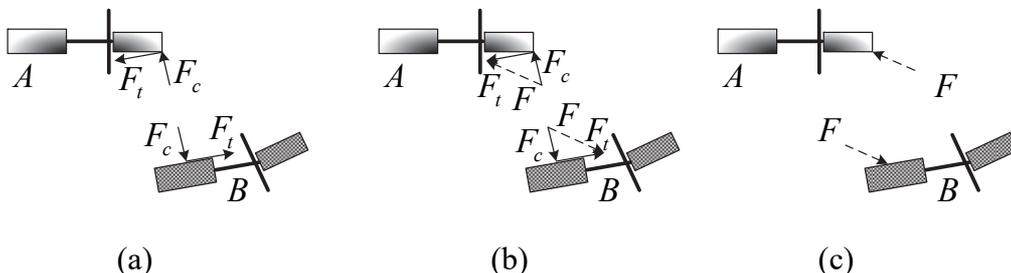


圖 6 直行機車速度較左偏機車速度快之受力分析

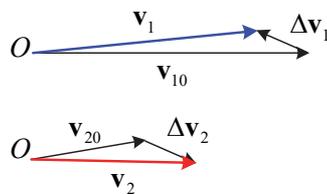


圖 7 直行機車較左偏機車速度快之速度三角形

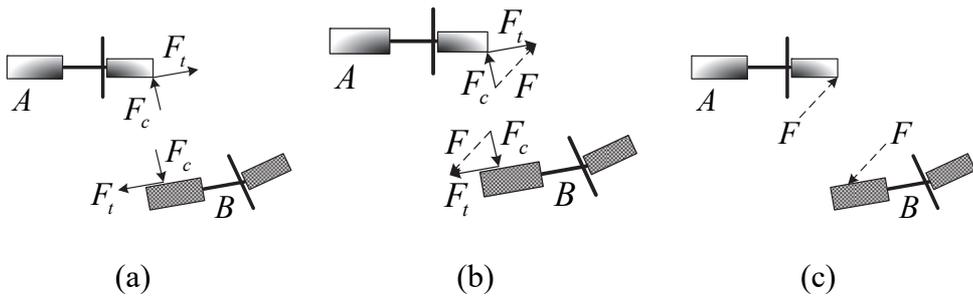


圖 8 左偏機車速度較直行機車速度快之受力分析

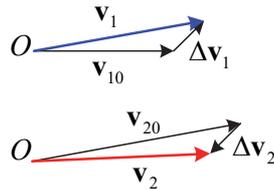


圖 9 左偏機車速度較直行機車速度快之速度三角形

從前述分析，對機車的碰撞速度變化方向，我們可以得到簡單的結論：
 A 車車頭與 B 車側面碰撞，若 A 車速度較快撞擊 B 車，則 B 車的碰撞速度變化方向(碰撞力)方向會沿 B 車碰撞處的斜前方，如圖 6 和圖 7 所示；若 B 車速度較快撞擊 A 車，則 B 車的碰撞速度變化方向(碰撞力)方向會沿 B 車碰撞處的斜後方，如圖 8 和圖 9 所示。另外，由圖 7 與圖 9 中觀察到直行機車刮地痕較斜，圖中我們用了 Δv_1 與 Δv_2 大小相等，方向相反的假設。因此，從圖 7 與圖 9 可得知，若兩機車重量差異不大，兩機車同向行駛時，車體有碰撞且不是輕微的擦撞，則直行機車碰撞後刮地痕的走向，較左偏或右偏機車刮地痕斜，這現象對機車碰撞前行向的快速判斷有很大的幫助。

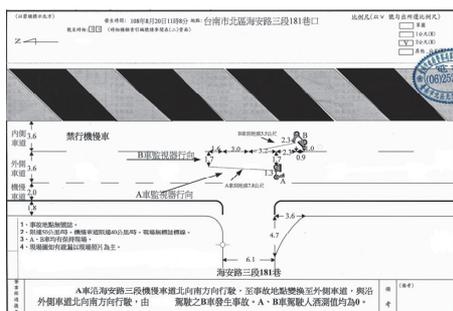
2.6 畫速度三角形之步驟

以圖 10(a)之直行機車 B 碰撞左偏機車 A 的現場圖為例，畫速度三角形之步驟通常如下：

1. 先畫碰撞示意圖，如圖 10(b)所示。
2. 在紙面上取兩點 O 作參考點，畫速度三角形時，先按比例從 O 點畫出 A 、 B 車的刮地痕長度與方向，代表 A 、 B 車碰撞後速度 v_1 和 v_2 ，如圖 11(a)所示。通常先畫直行車，再畫左偏或右偏車的速度三角形。
3. 對 B 車， B 車向右直行，從 O 點畫 v_{20} 朝右方， B 車速度較快撞擊 A 車，則 B 車的碰撞速度變化方向(碰撞力)方向會沿 B 車碰撞處的斜後方。因

此， B 車的受到 A 車的碰撞力方向朝左上方，所以 B 車的碰撞速度變化 Δv_2 方向朝左上，調整 v_{20} 之大小與 Δv_2 之大小和方向，得機車 B 的速度三角形，如圖 11(a) 所示。

4. 對 A 車，應用(14)式可較精確得到 A 車碰撞速度變化 Δv_1 。若兩部機車都是速克達，且重量相差不大， A 車的碰撞速度變化 Δv_1 方向與 B 車的碰撞速度變化 Δv_2 方向相反，大小差不多，因此可以從 v_1 箭頭對箭頭畫 Δv_1 朝右下方，大小與 Δv_2 相同，方向相反。連接 O 點與 Δv_1 向量的起點就是 v_{10} ，代表機車 A 碰撞前的速度，這樣就完成了機車 A 的速度三角形，如圖 11(a) 所示。

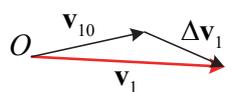
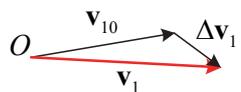
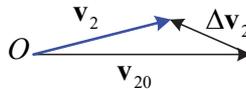
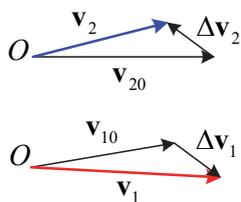


(a)

(b)

圖 10 直行機車碰撞左偏機車之現場圖與碰撞示意圖

討論：我們不需要精確的求出 A 、 B 車碰撞前速度及左偏的角度。因此，在畫速度三角形時， v_{10} 、 Δv_1 、 v_{20} 、 Δv_2 可調整大小或方向，所以可得到不同的速度三角形。例如圖 11(b) 所示之 A 、 B 車速度三角形也符合圖 10 之碰撞情況。此外，若畫出的 A 、 B 車速度三角形，其中一個的碰撞前速度 v_{10} 、 v_{20} 走向與假設的不同，這表示假設的碰撞前行向是錯誤的。



(a)

(b)

圖 11 圖 10 之速度三角形

2.7 機車碰撞後到機車倒地前輪轉向對刮地痕走向的影響

機車碰撞前是直立或有點傾斜的立狀態，碰撞後車體觸地而呈倒地狀態。機車碰撞時把手或車輪或照後鏡或騎士手臂可能被撞，或騎士本身的操控，造成前輪轉向。機車從立狀態到倒地狀態，前輪轉向是否會影響刮地痕走向，這與碰撞力的大小有關，分析如下：

2.7.1 碰撞力大

根據輪胎的摩擦橢圓(Friction Ellipse)(Jazar, 2008；張超群、劉成群，2012)，若輪胎完全滑動，則輪胎失去抓地力，前輪沒有轉向能力，把手即使有轉動，但前輪也沒有轉向效果。因此，碰撞力大時，機車輪胎完全滑動，前輪轉動不影響刮地痕走向。

2.7.2 碰撞力小

若機車車體碰撞力小，如輕微擦撞，或機車只有照後鏡、把手碰撞而車體未碰撞，輪胎沒有完全滑動，則輪胎還有抓地力，前輪有轉向能力，這時騎士轉動把手或碰撞後的把手轉動，會對機車刮地痕走向產生影響。

1. 車體碰撞力小的情況

參考圖 12(a)，設機車 A 碰撞後速度 v_1 ，前輪轉動角速度 ω_r ，輪胎沒有完全滑動，則前輪轉向對前輪與地面接觸中心點 C 產生速度 Δv_1^C ，其方向垂直前輪滾動方向，其大小為 $\Delta v_1^C = \overline{DC} \cdot \omega_r$ ，其中 \overline{DC} 為轉向軸 D 至輪胎與地面接觸中心點 C 的垂直距離。因為前輪轉向的關係，機車質心 G 也會產生 Δv_1^* 的速度變化， Δv_1^* 會略小於 Δv_1^C 。因此，機車從立狀態到倒地狀態，機車倒地後的刮地痕的方向就是 v_1 與 Δv_1^* 之合向量 v_1^* 的方向， v_1^* 的大小就代表機車 A 刮地痕長度，如圖 12(b) 所示。此時機車 A 轉向倒地分析的向量方程式可寫成

$$v_1 + \Delta v_1^* = v_1^* \quad (16)$$

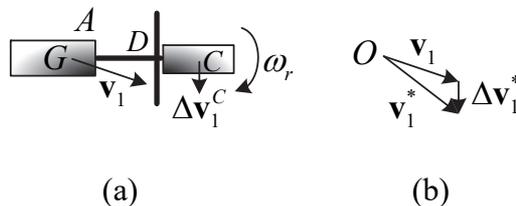


圖 12 機車碰撞後輪胎沒有完全滑動，前輪轉向的倒地速度分析

對這種型態之 A 車刮地痕分析，先用方程式(10)求出 v_1 ，再用方程式(16)求出 v_1^* 。

2. 只有照後鏡、把手或騎士手肘碰撞而車體未碰撞

有時兩部機車同向平行行駛但太靠近，或並行時右側機車輕微的左偏，而左邊的機車速度較快，兩部機車只是照後鏡或把手或騎士手肘接觸到，如圖 13(a)和 13(c)所示。這時的碰撞力 F ，如圖 13(b)和 13(d)所示。因為沒有車體碰撞，前輪沒有完全滑動，這時研究機車刮地痕走向需要考慮把手碰撞後的前輪轉向效應。碰撞力 F 使兩部機車把手都向右轉動，因為兩部機車沒有車體碰撞只有接觸碰撞，產生的碰撞力很小，所以可以假設兩部機車接觸後瞬間的速度仍為機車碰撞前車速，即 $v_1 \approx v_{10}$ 與 $v_2 \approx v_{20}$ 。機車 A 與 B 的轉向倒地速度分析如圖 14(a)和 14(b)所示，圖中 Δv_1^* 垂直 v_{10} ， Δv_2^* 垂直 v_{20} ， Δv_1^* 為 A 車前輪轉向而產生的速度變化， v_1^* 為機車 A 倒地時的速度， v_2^* 為機車 B 倒地時的速度， Δv_2^* 為 B 車前輪轉向而產生的速度變化。 v_1^* 與 v_2^* 的方向為機車 A 與 B 倒地刮地痕方向， v_1^* 與 v_2^* 的大小與機車 A 與 B 倒地刮地痕長度成比例。因此對圖 13 之碰撞，機車 A 與 B 的刮地痕走向為朝右偏下。這種情況的轉向倒地速度分析之向量方程式，對 A 車可寫成

$$v_{10} + \Delta v_1^* = v_1^* \quad (17)$$

對 B 車可寫成

$$v_{20} + \Delta v_2^* = v_2^* \quad (18)$$

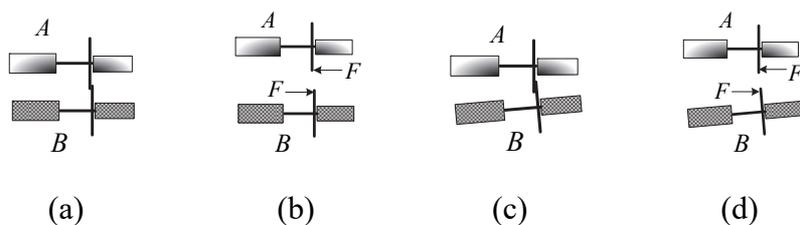


圖 13 A 車較快兩部機車只有照後鏡或把手接觸到之碰撞示意圖與受力

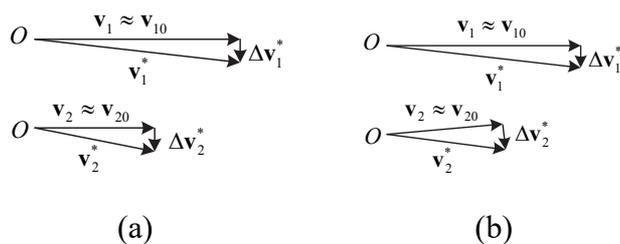


圖 14 圖 13 之轉向倒地速度分析

根據監視器影像，圖 15 為直行的機車 A 右側照後鏡與左偏機車 B 的左側照後鏡碰撞，造成 A、B 車把手向右轉動，兩部機車皆左倒並且在前輪轉向效應下，刮地痕朝右偏下。同理，若右側的機車 B 較快，與直行或輕微右偏的機車 A，兩部機車只是照後鏡或把手接觸到，如圖 16(a)和 16(c)所示。其對應的機車 A 與機車 B 的刮地痕走向皆朝右偏上，如圖 16(b)和 16(d)所示。

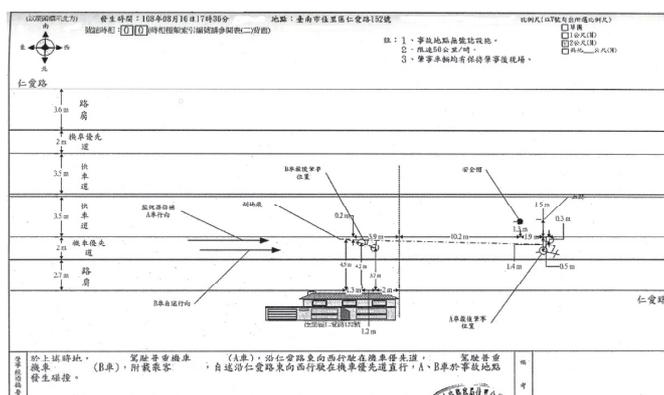


圖 15 直行 A 車右側照後鏡與左偏 B 車左側照後鏡碰撞之機車刮地痕

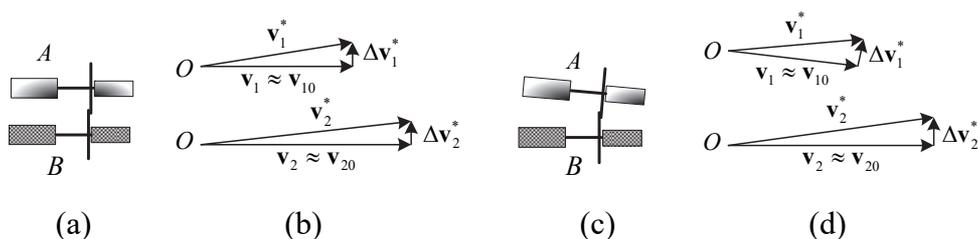


圖 16 B 車較快兩部機車照後鏡或把手接觸碰撞示意圖與轉向倒地速度分析

依據監視器影像，圖 17(a)為機車 B 右偏，機車 A 直行，照後鏡碰撞後機車 B 倒地之刮地痕走向圖。A 車為後車，因騎士把手握得較穩所以沒倒地。B 車碰撞後的轉向倒地速度分析，如圖 18(a)所示。圖 17(b)為機車 A 直行，機車後座載貨太寬擦撞到直行機車 B 騎士的左手肘後，

B車倒地之刮地痕走向圖。B車碰撞後的轉向倒地速度分析，如圖 18(b) 所示。圖 18(a)和圖 18(b)中 v_2^* 的走向與分別圖 17(a)和圖 17(b)中的刮地痕走向相同。

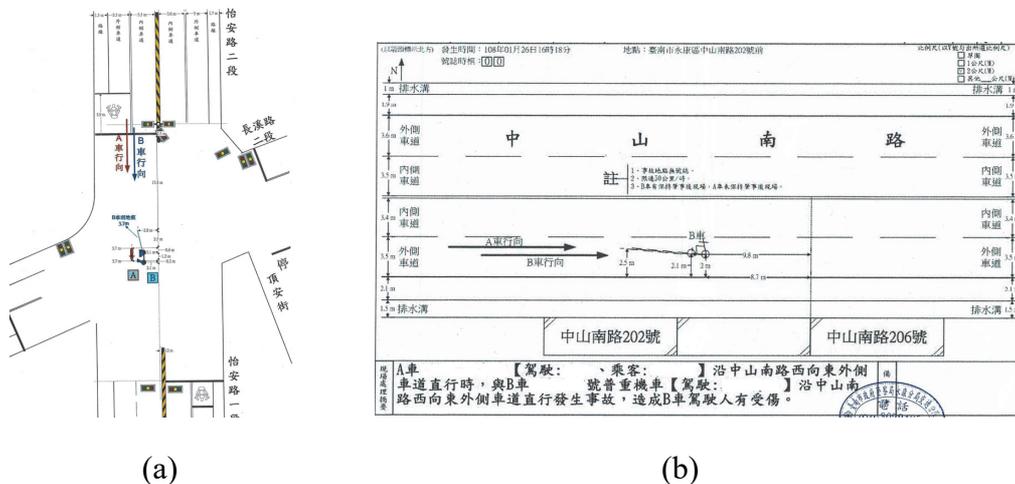


圖 17 機車照後鏡或騎士手肘碰撞後，機車 A 未倒機車 B 倒地及其刮地痕

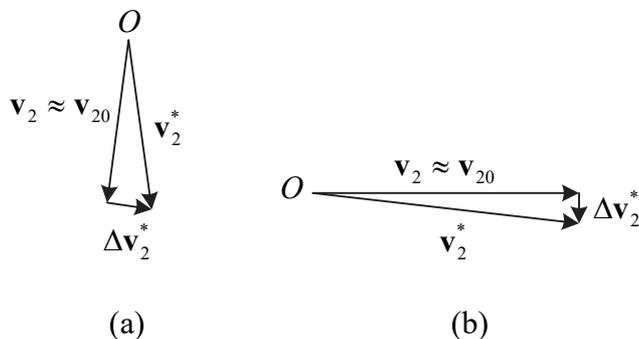


圖 18 圖 17 之機車 B 的轉向倒地速度分析

三、機車碰撞倒地方向

3.1 機車前部與後部

研究機車碰撞倒地方向時，將機車視為由前部與後部兩大部組成。參考圖 19 至圖 21，機車靜止時轉動把手時會跟著動的零組件組成前部，包含前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等；機車靜止時，轉動把手時不動的零組件組成後部，包含車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣

管與後輪等(張超群, 2015、2016)。參考圖 20 和圖 21, 可知後部範圍較前部大很多。

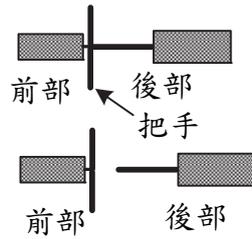


圖 19 機車前部與後部的示意圖



圖 20 檔車的前部與後部

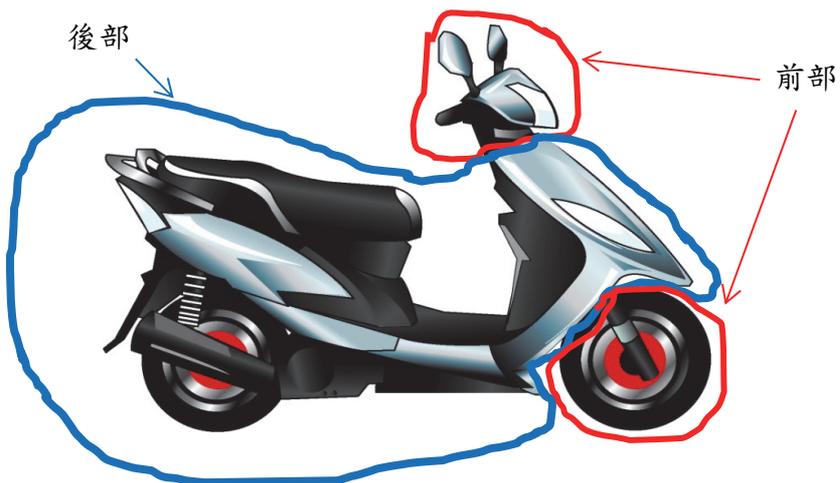


圖 21 速克達機車的前部與後部

3.2 機車前部碰撞的倒地方向

限於篇幅與主題，這裡只對機車前部碰撞倒地方向作簡單的力學分析介紹。機車前部碰撞倒地方向由陀螺力矩(Gyroscopic moment) (張超群、劉成群，2012；張超群，2015) 決定。所謂陀螺 (Gyroscope)，是指繞物體自己的對稱軸高速旋轉的剛體，行駛中機車的車輪可視為陀螺。當陀螺(車輪)的旋轉軸改變方向(即發生進動)時，就會產生陀螺力矩。陀螺力矩和迫使陀螺發生進動(Precision)的力矩，大小相等方向相反，作用在迫使陀螺發生進動的施力物或相鄰物體上。當機車行駛，前輪轉向時便會有陀螺力矩產生。參考圖 22(a)，設前車輪以角速度 ω 繞自轉軸(對稱軸) y 於路面上滾動，此時前車輪的自轉角動量 $\mathbf{H} = I\omega$ ， I 為車輪繞自轉軸的質量慣性矩也稱轉動慣量(Mass moment of inertia)。當騎士施加力 F 於左把手，使機車以角速度 Ω_r 繞其轉向軸 DE 向右轉動，角速度 Ω_r 在前輪鉛垂軸(z 軸)的投影為 $\Omega = \Omega_r \cos \varepsilon$ ， ε 稱為前叉後傾角(Rake angle)， \mathbf{n}_x 、 \mathbf{n}_y 和 \mathbf{n}_z 分別為沿 x 、 y 、 z 軸的單位向量。對前車輪而言 Ω 就是進動角速度，此時產生之陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 的定義為自轉角動量 $\mathbf{H} = I\omega$ 與進動角速度 Ω 的叉積(Cross product)，即

$$\mathbf{M}_{gr} = \mathbf{H} \times \Omega = I\omega \times \Omega \quad (19)$$

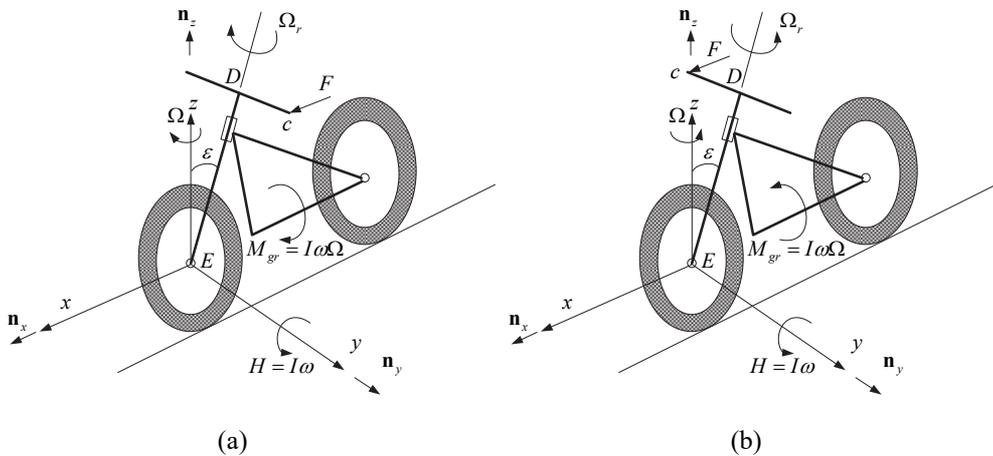


圖 22 把手碰撞前輪轉向產生的陀螺力矩

陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 的大小 $M_{gr} = I\omega\Omega$ 。由方程式(19)可知陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 與車輪的自轉角動量 \mathbf{H} 及車輪的進動角速度 Ω 三者互相垂直，如圖 22(a)所示。從圖 22(a)可知，車輪向右轉動時，產生的陀螺力矩會使車身有向左傾斜的現象，騎士騎乘機車轉彎時，因為把手是慢慢轉向，轉向角速度(進動角速度) Ω 小，陀螺力矩較小，所以機車是穩定的。但若機車把手受到擦撞，則

因把手轉向較快，轉向角速度 Ω 較大，以致陀螺力矩較大，機車容易向左倒地。在事故現場圖常看到機車左側與汽車或機車擦撞而左倒就是這個原因，如圖 22(a)所示。同理若機車右側被汽車或機車擦撞，把手向左轉動，機車就會右倒，如圖 22(b)所示。

3.3 機車碰撞倒地方向的簡易判斷方法

判斷機車碰撞後左倒或右倒的基本原則為：(1)機車前部發生碰撞，若碰撞後機車把手向左轉動，則根據陀螺力矩，機車右倒（左轉右倒）；若碰撞後機車把手向右轉動，則根據陀螺力矩，機車左倒（右轉左倒）。(2)機車後部碰撞由撞擊力對機車重心之傾倒力矩決定，而此力矩之大小及方向又與機車重心高度及撞擊點的高低有密切關係。台灣機車以速克達為主，速克達機車重心低，此外，近來汽車的保險桿不像以前保險桿那樣凸出，整個汽車車頭較平整，就算碰撞到重心較高的檔車，也是碰撞點較高，所以機車後部左側被撞，機車右倒（左撞右倒），後部右側被撞，機車左倒（右撞左倒）。(3)若機車前後部發生較斜碰撞，因此類碰撞大都會碰到機車把手或騎士的手臂，產生的陀螺力矩的倒地效應較傾倒力矩大，所以用前部判斷倒地方向。若機車前後部發生較正碰撞，前部接觸面較後部大時，以前部判斷倒地方向；後部接觸面較前部大時，以後部判斷倒地方向（張超群，2015、2016）。當然有時機車前部被擦撞後形成的陀螺力矩不夠大，機車騎士可能用其操控能力反向旋轉把手；或者機車被撞後又與撞擊車發生二次碰撞等，造成倒地方向與原來相反，但這些情況是比較少的例外。

表 1 機車碰撞倒地方向簡易判斷表

前部碰撞		把手向左轉動，機車右倒（左轉右倒）
		把手向右轉動，機車左倒（右轉左倒）
後部碰撞		左側被撞，機車右倒（左撞右倒）
		右側被撞，機車左倒（右撞左倒）
前後部碰撞	較斜碰撞	把手向右轉動，機車左倒；把手向左轉動，機車右倒。
	較正碰撞	前部接觸面較後部大時，把手左轉右倒；右轉左倒。後部接觸面較前部大時，左撞右倒；右撞左倒。

機車碰撞倒地方向的簡易判斷表，如表 1 所示（張超群，2016）。對機車碰撞後，其倒地方向可歸結成，前部碰撞：「左轉右倒、右轉左倒」；後部碰撞：「左撞右倒、右撞左倒」。

四、實際案例分析

本文對機車碰撞前行向推估的步驟大致如下：

1. 確認兩車的對應碰撞部位

透過警方提供之車損照片及資訊，確認兩車之對應碰撞部位。但有時會因照片不清楚或資訊不完整，不易判斷對應碰撞部位。

2. 分析可能的碰撞行向

由現場圖及對應碰撞部位，分析可能的碰撞行向。若對應碰撞部位確定，可減少分析可能的碰撞行向；若對應碰撞部位不確定，則要增加分析可能的碰撞行向。

3. 判斷各種碰撞行向是否合理

對各種可能的碰撞行向畫速度三角形輔以機車倒地方向分析，判斷此種碰撞行向是否合理。因機車表面非完全平整，有時倒地方向會與表 1 的倒地方向不同。因此，分析時以碰撞速度三角形為主，機車倒地方向為輔。只要速度三角形的行向與假設的碰撞行向相同即可，若倒地方向也與理論的相同，那就可更確認假設的碰撞行向是正確的。合理的碰撞行向可能不止一種，這時需從刮擦痕走向、碰撞部位的凹陷與變形情況，機車行駛路況與環境作進一步分析。

例 1：兩部機車碰撞後的事現場圖如圖 23 所示，推估兩部機車碰撞前的行向。

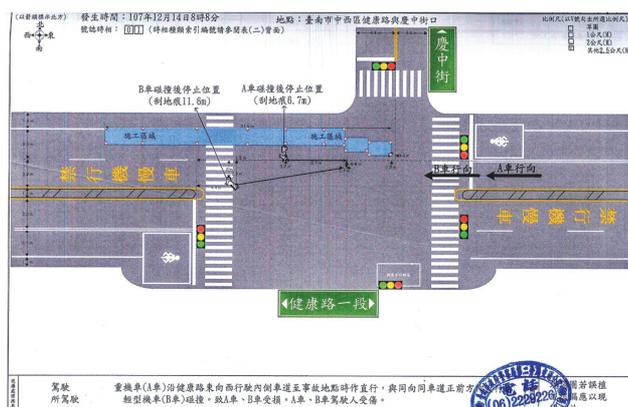


圖 23 兩部機車碰撞的現場圖

1. 確認兩車的對應碰撞部位

依車損照片、資料摘要報告表及現場圖，兩機車同向行駛，碰撞處在機車 A 左前車頭與機車 B 右後車尾。

2. 分析可能的碰撞行向

雖然依據現場圖及車損，有明顯前後車的跡象，但我們仍可用來分析看那部機車有左偏或右偏，並驗證前述分析方法之可行性與正確性。機車 A 位於機車 B 右側，機車 A 左前車頭與機車 B 右後車尾碰撞，可能有三種情況：(a) 機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞；(b) 機車 A 直行與機車 B 右偏行駛發生碰撞；(c) 機車 A 左偏行駛與機車 B 右偏行駛發生碰撞。

3. 判斷各種碰撞行向是否合理

情況(a)：機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 24 所示。

畫速度三角形時先在紙面上取兩點 O 作參考點，按比例從 O 點畫出 A 、 B 車的刮地痕長度與方向，代表 A 、 B 車碰撞後速度 \mathbf{v}_1 和 \mathbf{v}_2 。 B 車原來直行，所以從 O 點畫速度 \mathbf{v}_{20} 水平往左，其長度可調整，機車 B 右後側與 A 車碰撞， B 車的受到 A 車的碰撞力方向朝左下方，因此從 \mathbf{v}_{20} 箭頭尖端畫 $\Delta\mathbf{v}_2$ 朝左偏下方，連至 \mathbf{v}_2 的尖端，這樣就完成了機車 B 的速度三角形，如圖 25(a) 所示。

因 A 車為普通重型機車， B 車為輕型機車，根據 2.4 節之討論， A 車的碰撞速度變化 $\Delta\mathbf{v}_1 \approx -(4/5)\Delta\mathbf{v}_2$ ，其方向與 $\Delta\mathbf{v}_2$ 方向相反，大小約為 B 車速度變化的五分之四，因此從 \mathbf{v}_1 箭頭尖端畫 $\Delta\mathbf{v}_1$ 箭頭對箭頭，連接 O 點與 $\Delta\mathbf{v}_1$ 向量的起點就是 \mathbf{v}_{10} ，代表機車 A 碰撞前速度，這樣就完成了機車 A 的速度三角形，如圖 25(a) 所示。

分析 A 車與 B 車的速度三角形中， A 車滿足 $\mathbf{v}_{10} + \Delta\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1$ 且 \mathbf{v}_1 大小和行向與機車 A 刮地痕走向相符， \mathbf{v}_{10} 方向朝左下，與 A 車左偏行駛相符。 B 車滿足 $\mathbf{v}_{20} + \Delta\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_2$ 且 \mathbf{v}_2 方向朝左下方與 B 車刮地痕走向相符， \mathbf{v}_{20} 方向朝左與 B 車向左直行相符。 \mathbf{v}_{10} 長度大於 \mathbf{v}_{20} 長度，代表 A 車速度大於 B 車速度，這與假設相符。此外根據車損照片 A 車左前車頭的車殼(後部)左側撞到 B 車右後方尾燈，因此機車 A 右倒(左撞右倒)， B 車後部右側被撞，機車左倒(右撞左倒)。因此情況(a)是正確的。

因為我們不需要精確的求出 A 車和 B 車碰撞前速度及左偏的角度。因此在畫速度三角形時， \mathbf{v}_{10} 、 $\Delta\mathbf{v}_1$ 、 \mathbf{v}_{20} 、 $\Delta\mathbf{v}_2$ 可調整大小或方向，而得到不同的速度三角形。例如圖 25(b) 所示之 A 、 B 車速度三角形也符合情況(a)。

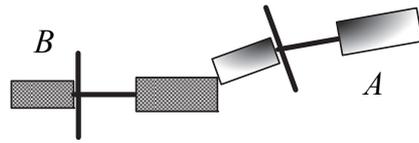


圖 24 機車 A 左偏行駛與機車 B 直行之碰撞示意圖

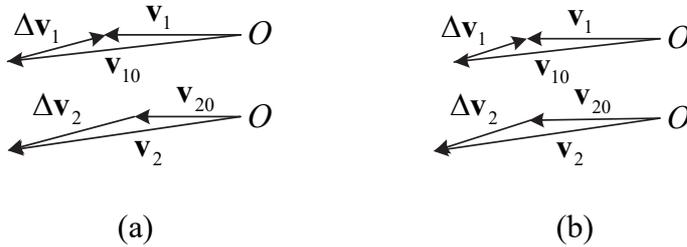


圖 25 情況(a)的速度三角形

情況(b)：機車 A 直行與機車 B 右偏行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 26(a)所示。

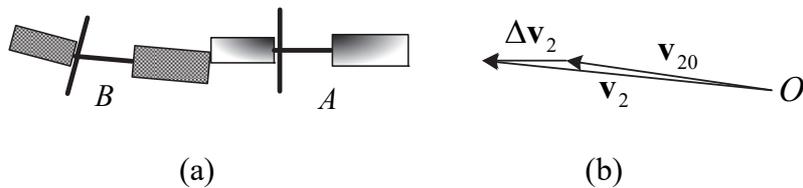


圖 26 直行機車 A 與機車 B 右偏行駛之碰撞示意圖和機車 B 的速度三角形

B 車右偏行駛，所以從 O 點畫速度 v_{20} 往左上方，代表機車 B 原來向左偏右行駛。機車 B 右後側與直行 A 車碰撞，B 車的受到 A 車的碰撞力方向朝左方，碰撞力方向就是碰撞速度變化方向，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝左方，再從 O 點畫線到 Δv_2 箭頭尖端，這條線就是碰撞後速度 v_2 ，如圖 26(b)所示。從圖 26(b)可知 v_2 方向朝左上，與實際 B 車的刮地痕的走向朝左下不同。因此，情況(b)是錯誤的。

情況(c)：機車 A 左偏行駛與機車 B 右偏行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 27(a)所示。

先依 A、B 車的刮地痕長度與方向按比例畫出代表 A、B 車碰撞後速度 v_1 和 v_2 ，如圖 27(b)所示。B 車右偏行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝左上方，B 車受到 A 車的碰撞力方向朝左下方，所以 B 車的碰撞速度變化 Δv_2 方向朝左下，調整 v_{20} 與 Δv_2 之大小和方向，得機車 B 的速度三角形，如圖 27(b)所示。A 車的碰撞速度變化 $\Delta v_1 \approx -(4/5)\Delta v_2$ ，因此從 v_1 箭頭尖

端畫 Δv_1 箭頭對箭頭，連接 O 點與 Δv_1 向量的起點就是 v_{10} ，由此得機車 A 的速度三角形，如圖 27(b) 所示。分析 A 車與 B 車的速度三角形中， A 車 v_{10} 行向與機車 A 左偏的行向相同。 B 車 v_{20} 行向和機車 B 右偏的行向相符。因此，情況(c)是正確的。

結果分析：情況(a)和情況(c)都正確，這時可由車損或車體刮擦痕走向或路況進一步判斷。根據現場圖道路的右側有施工圍欄，左側的 B 車往右偏的可能性很小，反而是右側的 A 車可能為了閃避施工圍欄，左偏行駛撞擊直行 B 車。此外應用 2.5 節中，兩機車同向行駛，若兩機車重量差異不大，車體有碰撞且不是輕微的擦撞，直行機車碰撞後刮地痕的走向通常較左偏或右偏機車刮地痕斜之推論，我們認為情況(a)的可能性較高。

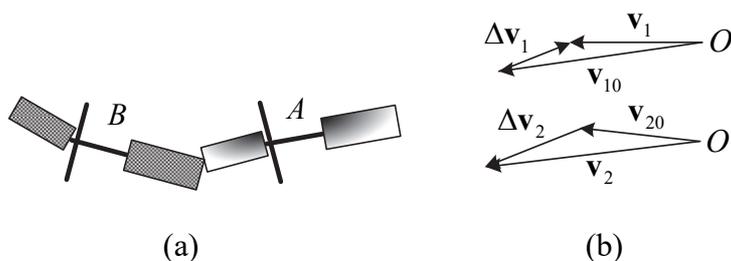


圖 27 機車 A 左偏與機車 B 右偏之碰撞示意圖和速度三角形

討論：例題中的 A 、 B 車碰撞前速度 v_{10} 、 v_{20} 其大小和方向是不知道的，碰撞速度變化 Δv_1 與 Δv_2 的大小和方向也是未知的，只有碰撞後速度 v_1 、 v_2 的大小和方向可從刮地痕長度與走向求出。因此，我們無法完全正確地畫出碰撞前速度及碰撞速度變化的大小(圖中向量之長度)和方向。但因為本文只推估可能的碰撞行向，因此畫 v_{10} 、 v_{20} 、 Δv_1 與 Δv_2 時，只要根據假設的碰撞情況與刮地痕長度與方向，調整其長短與方向，然後得出 A 、 B 車的速度三角形。只要速度三角形的碰撞後速度 v_1 和 v_2 的走向與現場圖刮地痕走向相同，碰撞前速度 v_{10} 和 v_{20} 的方向也與假設的行向相符，即可認為假設的碰撞行向是合理的。若倒地方向也與理論的相同，那就可更確認假設的碰撞行向是正確的。正確的假設碰撞情況可能不只一種，這時可用車損的狀況(例如車身刮擦痕走向、碰撞變形程度與角度)、路況、天候環境等作進一步判斷。

例 2：機車 A 和機車 B 由右向左行駛，在對向車道發生碰撞，其事故現場圖如圖 28 所示，推估兩部機車的碰撞前行向。

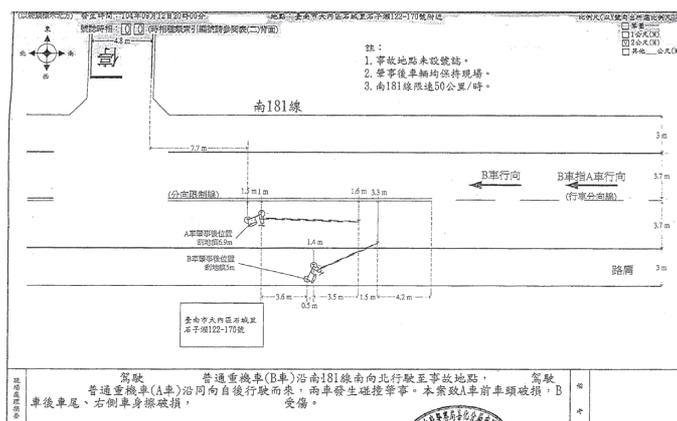


圖 28 機車碰撞機車的現場圖

1. 確認兩車的對應碰撞部位

由警方提供之車損照片、資料摘要報告表及現場圖，碰撞處在機車 A 前車頭與機車 B 後車尾。

2. 分析可能的碰撞行向

根據現場圖，碰撞處在機車 A 前車頭與機車 B 後車尾，刮地痕都在對向車道並且 B 車刮地痕很斜。由於兩機車同向行駛。但機車 A 前車頭與機車 B 後車尾碰撞的情形可能有三種情況：(a)機車 A 大角度左轉彎行駛，機車 B 直行發生碰撞；(b)機車 A 右偏行駛，機車 B 直行發生碰撞；(c)機車 A 從左側超車切回右邊時，機車 B 左轉彎行駛發生碰撞。

3. 判斷各種碰撞行向是否合理

情況(a)：機車 A 大角度左轉彎行駛碰撞直行機車 B 後部右側，其碰撞示意圖，如圖 29(a)所示。

B 車直行，從 O 點畫水平線向左代表 v_{20} ，A 車撞 B 車的方向朝左下方，因此可畫出滿足 B 車刮地痕的 B 車速度三角形，此時對應的 A 車速度三角形如圖 29(b)所示。 v_2 的方向與現場圖 B 車刮地痕走向相符，但 v_1 的方向與現場圖 A 車刮地痕走向不相符。此外，機車 B 後部右側被撞，根據表 1 機車 B 應該左倒(右撞左倒)，而現場圖顯示機車 B 右倒。因此，情況(a)是錯誤的。

情況(b)：機車 A 右偏行駛，機車 B 直行發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 30(a)所示。

B 車直行，從 O 點畫水平線往左代表 v_{20} ，A 車撞 B 車的方向朝左上方，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝左上方，連接 O 點與 Δv_2 箭頭尖端

就是 v_2 。從機車 B 的速度三角形顯示碰撞後速度 v_2 的方向朝左上方，與現場圖機車 B 刮地痕方向朝左下方不相同，如圖 30(b) 所示。因此，情況(b)不正確。

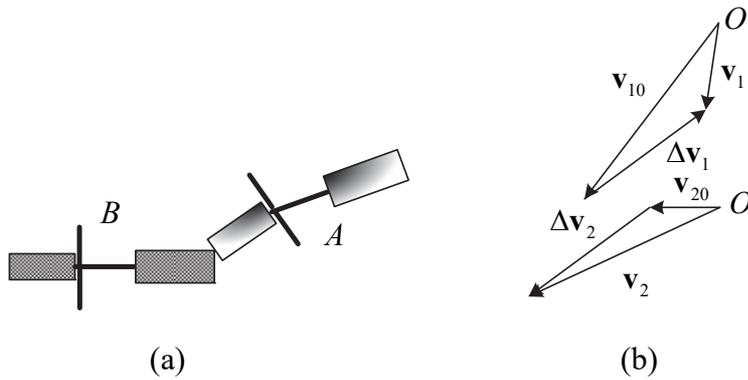


圖 29 機車 A 左轉彎行駛碰撞直行機車 B 後部右側之示意圖和速度三角形

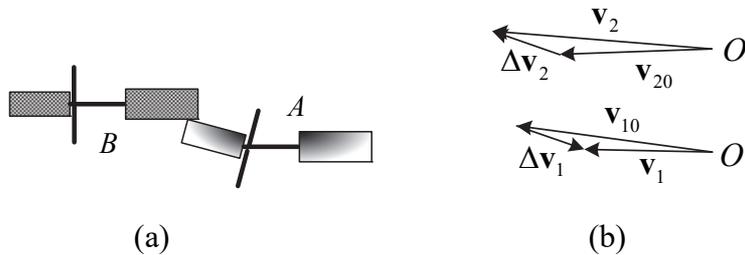


圖 30 機車 A 右偏行駛碰撞直行機車 B 後部左側之示意圖和速度三角形

情況(c)：機車 A 從左側超車切回右邊時，機車 B 左轉彎行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 31(a) 所示。

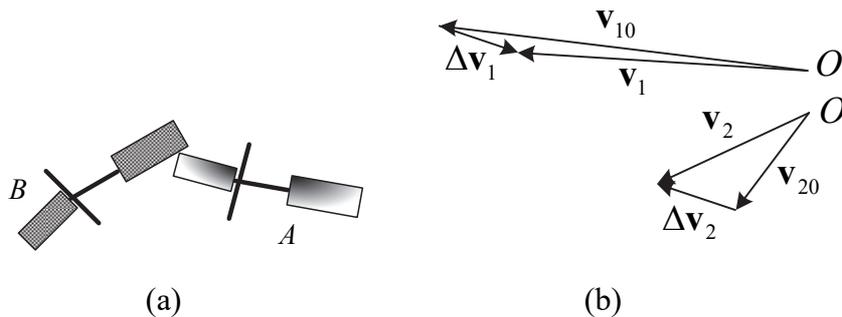


圖 31 A 車左側超車切回右邊與 B 車左轉彎行駛之碰撞示意圖和速度三角形

先依 A 、 B 車的刮地痕長度與方向，按比例畫出代表 A 、 B 車碰撞後速度 v_1 和 v_2 如圖 31(b) 所示。 B 車左轉彎行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝左下方，機車 B 左後側與 A 車碰撞， B 車的受到 A 車的碰撞力方向朝左上，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝左上至 v_2 箭頭，由此得 B 車速度三角形。

因兩部機車重量差不多， A 車的碰撞速度變化 Δv_1 方向與 Δv_2 方向相反，大小差不多，因此從 v_1 箭頭尖端畫 Δv_1 箭頭對箭頭，連接 O 點與 Δv_1 起點就是 v_{10} ，得 A 車速度三角形，如圖 31(b) 所示。

從 A 、 B 車速度三角形中顯示 v_{10} 方向往左偏上，代表 A 車超車切回右邊行駛， v_{20} 方向朝左大角度偏下，代表 B 車左轉彎行駛， A 車和 B 車碰撞前行向都與假設相符。此外， A 車前部碰撞後把手向左轉動，機車 A 右倒(左轉右倒)， B 車後部左側被撞，機車 B 右倒(左撞右倒)。現場圖兩部車都右倒，倒地方向與現場圖相符。因此，情況(c)是正確的。

結果分析：情況(c)是正確的，這可能是因為道路不寬，機車 A 跨中線行駛要切回右邊時，與左轉彎至對向的機車 B 發生碰撞。

例 3：圖 32 為機車 A 和機車 B 同向行駛， A 車位於 B 車左側，兩部機車把手發生擦撞倒地之現場圖，分析機車碰撞前行向。

1. 確認兩車的對應碰撞部位

由警方提供之車損照片、資料摘要報告表及現場圖，碰撞處在機車 A 右把手與機車 B 左把手。

2. 分析可能的碰撞行向

兩機車同向行駛，左側速度較快的機車 A 右把手與機車 B 左把手碰撞的情形有三種情況：(a)機車 A 直行碰撞左偏機車 B ；(b)兩機車平行行駛發生碰撞；(c)機車 A 右偏行駛，機車 B 直行發生碰撞。

3. 判斷各種碰撞行向是否合理

情況(a)：機車 A 直行碰撞左偏機車 B ，其碰撞示意圖，如圖 33(a) 所示。

兩機車未有車體碰撞，左側機車速度較快，把手接觸碰撞後，向右轉動。類似圖 14， A 車直行，從 O 點按 A 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後轉向倒地速度 v_1^* ，沿行駛方向畫 v_{10} ， Δv_1^* 垂直 v_{10} ，調整 v_{10} 與 Δv_1^* 的大小得 A 車轉向倒地分析圖，如圖 33(b) 所示。同理，從 O 點按 B 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後轉向倒地速度 v_2^* ，沿 B 車左偏行駛方向畫 v_{20} ， Δv_2^* 垂直 v_{20} ，調整 v_{20} 與 Δv_2^* 的大小得 B 車速度三角形，如圖 33(b) 所示。比較刮地痕走向與速度三角形中 v_1^* 和 v_2^* 走向相符。此外，兩部機車碰撞後，把手都向右轉動，機車左倒(右轉左倒)，倒地方向也和現場圖相同。因此，情況(a)是正確的。

類似圖 14，畫出碰撞示意圖如圖 34(a)所示，轉向倒地速度分析如圖 34(b)所示。比較刮地痕走向與速度三角形中 v_1^* 和 v_2^* 走向相符，倒地方向也和現場圖相同。因此，情況(b)是正確的。

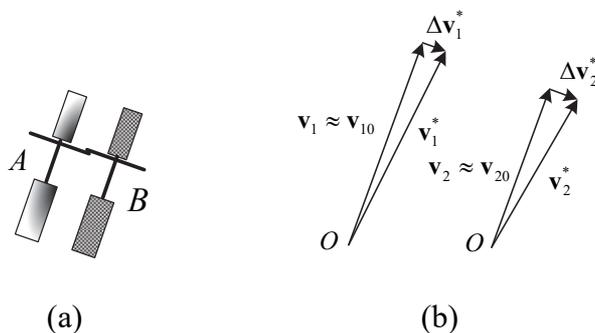


圖 34 兩機車平行行駛把手碰撞之示意圖與轉向倒地速度分析

情況：(c)機車 A 右偏行駛，機車 B 直行發生碰撞

類似情況(a)的畫法，畫出碰撞示意圖和轉向倒地速度分析，如圖 35(a)和圖 35(b)所示。比較刮地痕走向與速度三角形中 v_1^* 和 v_2^* 走向相符，倒地方向也和現場圖相同。因此，情況(c)是正確的。

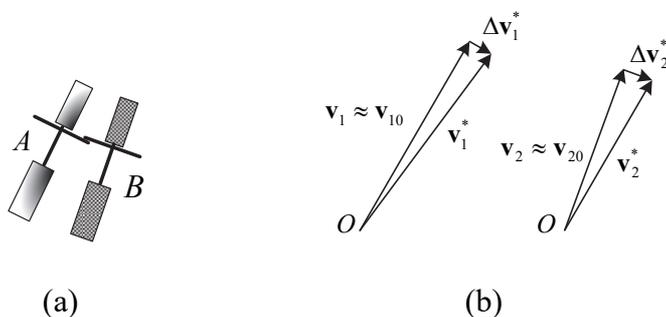


圖 35 右偏機車 A 與直行機車 B 把手碰撞之示意圖與轉向倒地速度分析

討論：從前面分析得知三種情況都可能正確。一般兩機車完全平行行駛會發生碰撞，最可能是騎士手臂張太開或載貨太寬，超越時碰到鄰車騎士的手臂，再來是兩機車照後鏡碰撞，最後才是把手碰撞。因此實務上，情況(b)發生的機率很低。情況(c)會發生，但若機車 A 右偏，機車 B 直行發生把手碰撞，此時機車 B 車身會往左傾而左倒，若兩車速度差異不大，這時 A 車又是右偏，兩機車車體會碰撞，刮地痕走向就會與現場圖的刮地痕走向不同；若機車 A 速度很快，機車 B 速度較慢，則 B 車向左傾倒時，A 車速度快，有可能機車車體未碰撞，但此時機車 A 因速度快，倒地位置會離機車 B 較遠且刮地痕較長，但現場圖兩車距離不是很遠且刮地痕長度差異不大，因此情況(c)是錯誤的。情況(a)機

車 B 會往左傾而左倒，但與情況(c)不同的是，機車 B 左傾時，機車 A 是直行且速度較快，因此不會發生車體碰撞。

經以上討論分析，情況(a)才是最可能的行向。

例 4：圖 36 為兩機車同向行駛， A 車位於 B 車右側，兩部機車發生擦撞型碰撞倒地之現場圖，分析機車碰撞前行向。

1. 確認兩車的對應碰撞部位

由警方提供之車損照片及資訊，兩機車的對應碰撞部位為機車 A 左側車身與照後鏡及機車 B 右側車身。

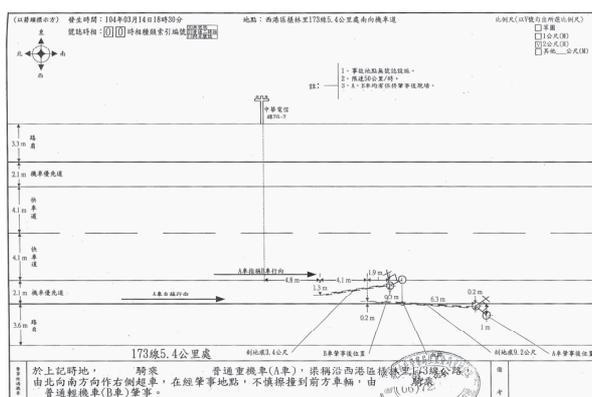


圖 36 兩機車同向行駛碰撞倒地之現場圖

2. 分析可能的碰撞行向

由 2.5 節之分析知，若兩機車重量差異不是特別大，兩機車同向行駛時，車體有碰撞且不是輕微的擦撞，則直行機車碰撞後刮地痕的走向，通常較左偏或右偏機車刮地痕斜。本例題符合這些條件，因為 B 車刮地痕較斜，我們可快速判斷最可能的碰撞行向是 A 車左偏碰撞直行的 B 車。驗證如下：

機車 A 位於機車 B 右側，機車 A 與機車 B 碰撞可能有三種情況：
 (a) 機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞；
 (b) 機車 A 直行與機車 B 右偏行駛發生碰撞；
 (c) 機車 A 左偏行駛與機車 B 右偏行駛發生碰撞。

3. 判斷各種碰撞行向是否合理

情況(a)：機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 37(a)所示。

對 B 車從 O 點按 B 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_2 ， B 車直線行駛，從 O 點水平向右畫 v_{20} ，機車 B 右側與 A 車碰撞， B 車

受到 A 車碰撞的速度變化 Δv_2 朝右上方，調整 v_{20} 的大小與 Δv_2 的大小與方向得 B 車速度三角形，如圖 37(b) 所示。對 A 車從 O 點按 A 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_1 ，因 A 車為普通重型機車， B 車為輕型機車， A 車的碰撞速度變化 $\Delta v_1 \approx -(4/5)\Delta v_2$ ，因此從 v_1 箭頭對箭頭畫 Δv_1 ，從 O 點畫線到 Δv_1 起點，代表 A 車碰撞前速度 v_{10} ，由此得 A 車速度三角形，如圖 37(b) 所示。

分析 A 車與 B 車的速度三角形中， A 車 v_1 行向與機車 A 刮地痕的走向相同。 B 車 v_2 行向和機車 B 刮地痕的走向相符，並且 A 車碰撞前速度 v_{10} 方向朝水平偏右上代表左偏， B 車碰撞前速度 v_{20} 水平向右代表直行，兩車碰撞前行向與假設行向相符。此外，機車 A 較斜碰撞機車 B 前後部，根據表 1 以前部判斷機車 B 把手向左轉動，機車 B 右倒(左轉右倒)。機車 A 速度較快斜向撞 B 車時通常左把手會碰到 B 車騎士身體，把手左轉，機車右倒，或機車 A 後部左側與 B 車後部右側接觸而右倒。兩機車倒地方向與現場圖相符。因此，情況(a)是正確的。

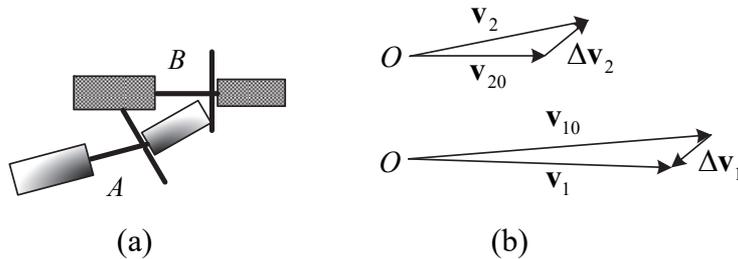


圖 37 機車 A 左偏與直行機車 B 前後部碰撞之示意圖和速度三角形

情況(b)：機車 A 直行與機車 B 右偏行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 38(a) 所示。

對 B 車，從 O 點按 B 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_2 ， B 車右偏行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝右偏下方，機車 B 右側與 A 車碰撞， B 車受到 A 車碰撞的速度變化 Δv_2 朝右上方，調整 v_{20} 的大小與 Δv_2 的大小與方向，得 B 車速度三角形，如圖 38(b) 所示。對 A 車，從 O 點按 A 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_1 ， A 車的碰撞速度變化 $\Delta v_1 \approx -(4/5)\Delta v_2$ ，因此從 v_1 箭頭對箭頭畫 Δv_1 ，從 O 點畫線到 Δv_1 起點，代表 A 車碰撞前速度 v_{10} ，由此得 A 車速度三角形，如圖 38(b) 所示。

分析 A 車與 B 車的速度三角形中， A 車 v_{10} 行向朝右偏上代表 A 車左偏，這與假設的直行方向不同。因此，情況(b)是錯誤的。

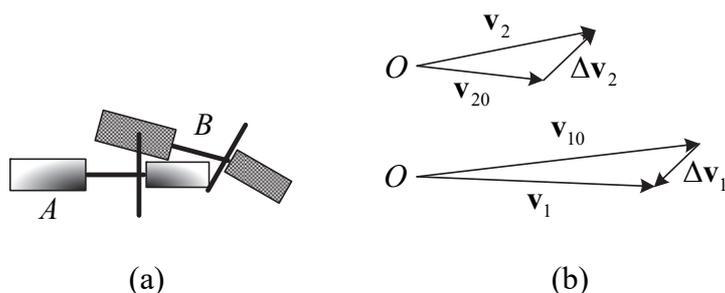


圖 38 機車 A 直行與機車 B 右偏之碰撞示意圖和速度三角形

情況(c)：機車 A 左偏與機車 B 右偏行駛發生碰撞，機車 A 速度快，其碰撞示意圖，如圖 39(a)所示。

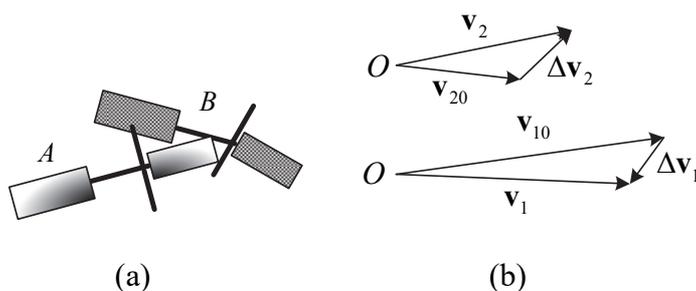


圖 39 機車 A 左偏與機車 B 右偏之碰撞示意圖和速度三角形

對 B 車，從 O 點按 B 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_2 ，B 車右偏行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝右偏下方，機車 B 右側與 A 車碰撞，B 車受到 A 車的碰撞的速度變化 Δv_2 朝右上方，調整 v_{20} 的大小與 Δv_2 的大小與方向得 B 車速度三角形，如圖 39(b)所示。對 A 車，從 O 點按 A 車刮地痕長度與方向，比例畫出碰撞後速度 v_1 ，A 車的碰撞速度變化 $\Delta v_1 \approx -(4/5)\Delta v_2$ ，因此從 v_1 箭頭對箭頭畫 Δv_1 ，從 O 點畫線到 Δv_1 起點，代表 A 車碰撞前速度 v_{10} ，由此得 A 車速度三角形，如圖 39(b)所示。

分析 A 車與 B 車的速度三角形中，A 車 v_{10} 朝右偏上代表左偏行駛，B 車 v_{20} 行向朝右偏下代表右偏行駛。因此，情況(c)也是正確的。

結果分析：情況(a)和情況(c)都正確，這時可由車損或倒地方向或車體刮擦痕走向或路況進一步判斷。情況(a)的倒地方向，前面已敘述是相符的。情況(c)，因 A 車左偏，B 車右偏，兩部機車較正碰撞，根據表 1 機車 B 較有可能左倒(右撞左倒)。此外，情況(c)是較正的碰撞而非現場圖及車損照片所顯示的擦撞型碰撞。因此，我們認為情況(a)才是正確的。

例 5：圖 40 為兩部機車發生碰撞倒地之現場圖，分析圖示之機車碰撞前行向是否正確。

這例題的主要目的是用速度三角形來驗證現場圖之機車碰撞前行向是否正確。由現場圖說明得知左轉彎的機車 A 前車頭碰撞直行機車 B 的左前車頭，其碰撞示意圖，如圖 50(a)所示。按比例從 O 點畫出 A、B 車的刮地痕長度與方向代表 A、B 車碰撞後速度 v_1 和 v_2 。B 車原來直行所以從 O 點畫速度 v_{20} 水平往左，其長度可調整，A 車撞 B 車的方向朝右上方，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝右上方，調整 v_{20} 的大小與 Δv_2 之大小或方向(仍需朝右上方)，連至 v_2 的尖端，這樣就完成了機車 B 的速度三角形，如圖 50(b)所示。因兩部機車都是普通重型機車，重量相差不大，A 車的碰撞速度變化 Δv_1 方向與 Δv_2 方向相反，大小差不多，因此從 v_1 箭頭尖端畫 Δv_1 箭頭對箭頭，連接 O 點與 Δv_1 向量的起點就是 v_{10} ，代表機車 A 碰撞前的速度，這樣就完成了機車 A 的速度三角形，如圖 50(b)所示。A 車速度三角形中 v_{10} 的走向朝右上代表 A 車左轉彎行駛，B 車速度三角形中 v_{20} 走向水平朝左表示 B 車向左直行，這驗證圖示之現場圖中碰撞前行向是正確的。

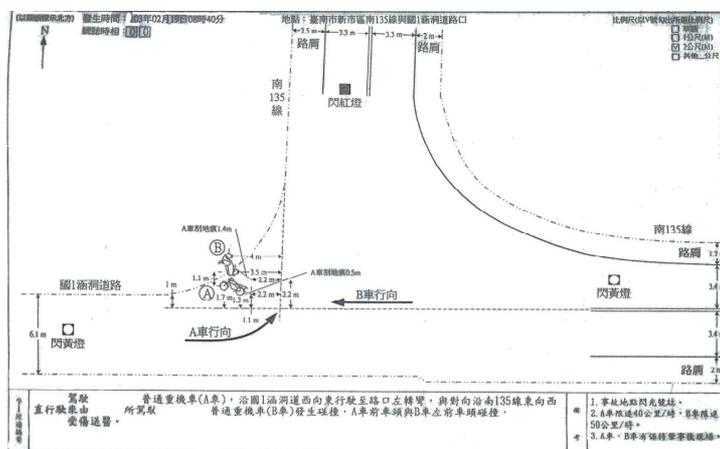


圖 40 例 5 之現場圖

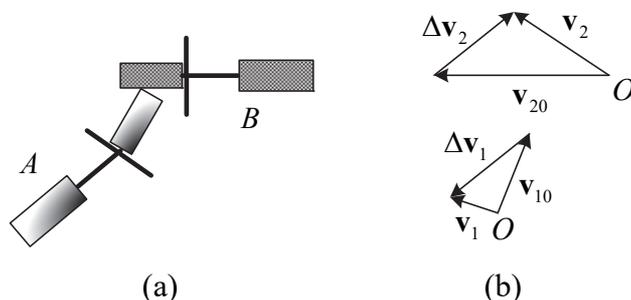


圖 41 左轉彎 A 車撞直行 B 車之碰撞示意圖和速度三角形

此外， A 車前部碰撞後把手向左轉動，機車 A 右倒(左轉右倒)， B 車前部左側被撞，把手向右轉動，機車左倒(右轉左倒)， A 車和 B 車的倒地方向與現場圖兩部機車倒地方向相符，這可更加確認現場圖之碰撞前行向與碰撞部位是正確的。

五、同向擦撞型碰撞之刮地痕分析

對於常見的同向車道或相鄰車道同向行駛的兩部機車，因機車左偏或右偏發生同向擦撞型碰撞，我們利用 2.5 節的分析方法，製作成利用刮地痕走向輔以機車倒地方向反推碰撞前行向的表 2 和表 3。限於表格容量，我們只畫出較常見的碰撞行向。表中的假設為兩機車重量差不多，兩機車碰撞後速度變化大小相等，方向相反，即 $\Delta v_1 = -\Delta v_2$ ，除了表 2 中兩機車把手或照後鏡碰撞之情況外，其餘有車體碰撞且非輕微擦撞，碰撞後車輪完全滑動，沒有前輪轉向效應。表中機車倒地方向是按表 1 推導出來的，有時機車表面並非完全平整或因騎士手肘碰到相撞車騎士等因素，造成倒地方向相反，但這些情況是比較少的例外。表 2 為由兩部機車從左向右同向行駛，機車 A 位於機車 B 左側；表 3 為兩部機車從右向左同向行駛，機車 A 位於機車 B 左側。表 2 和表 3 中畫出多種碰撞情況的碰撞示意圖、速度三角形，寫出碰撞後機車倒地方向，並說明刮地痕走向。使用時先看刮地痕走向，再看對應碰撞部位，再輔以機車倒地方向，若三者皆相符，則由表中對應的碰撞前行向，可得兩部機車碰撞前的行駛方向。有時從車損照片不易確定對應碰撞部位，這時可以用刮地痕走向輔以機車倒地方向來判斷。

觀察表 2 和表 3 的刮地痕走向，可知直行機車碰撞後刮地痕的走向，較左偏或右偏機車的刮地痕斜，若後車左閃或右閃，其刮地痕更斜。例外的是表 2 與表 3 中的 A 前輪與 B 後部碰撞，此時若 B 車的速度較快且左偏角度大或撞擊力小，則左偏的 B 車的刮地痕會較直行 A 車的刮地痕斜，但這種駕駛行為較少發生。因此，從表 2 及表 3 和 2.5 節之分析我們得到重要結論如下：

若兩機車重量差異不大，兩機車同向行駛發生車體碰撞且非輕微的擦撞，則通常直行機車刮地痕較左偏或右偏機車的刮地痕斜。同理，直行機車碰撞低速轉彎機車也可得到相同的結論，即直行機車刮地痕較低速轉彎機車刮地痕斜。這結論對快速判斷機車碰撞前行向有很大的幫助。例如圖 42(a)和 42(b)所示之現場圖，直行機車 B 的刮地痕較左偏機車 A 的刮地痕斜。圖 43(a)和圖 43(b)為直行機車刮地痕較左轉彎機車刮地痕斜之案例。圖 44 中的 A 車為後車，現場圖顯示兩機車都向右直行，但從機車 A 車刮地痕較斜，機車 B 刮地痕較水平，我們可快速判斷機車 A 車超越時，機車 B 有

左偏。當然，我們可以用前面案例分析的步驟做速度三角形輔以機車倒地方向，來確認快速判斷碰撞前行向是否正確。

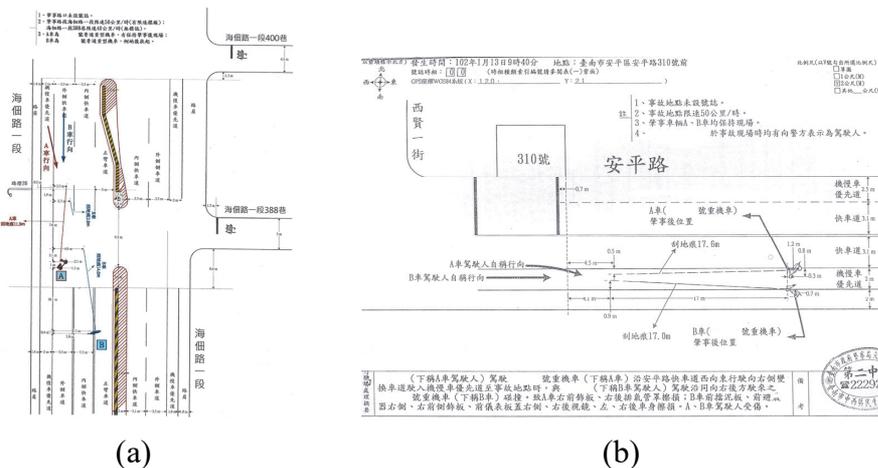


圖 42 直行機車刮地痕較左偏機車刮地痕斜之現場圖

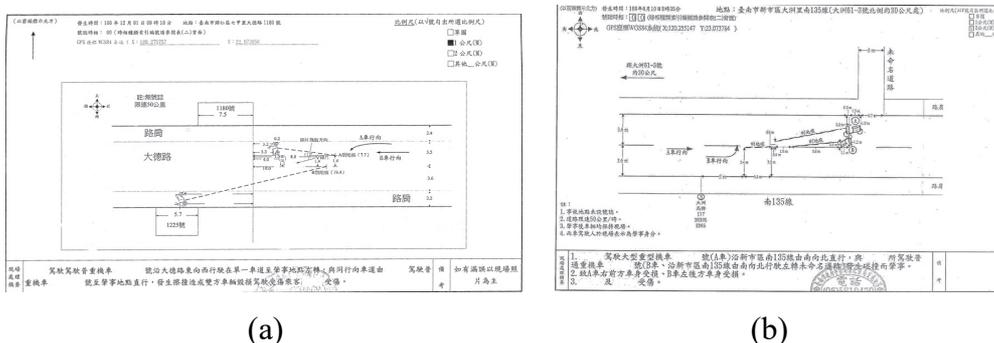
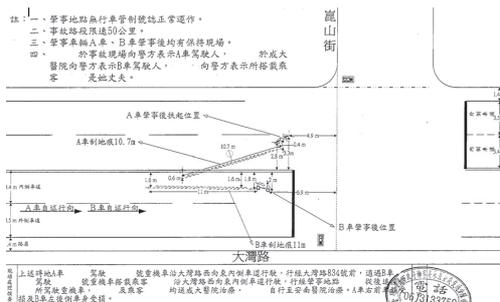


圖 43 直行機車刮地痕較左轉彎機車刮地痕斜之現場圖



值得注意的是若兩部車重量相差很大，例如機車碰撞自行車、大型重型機車碰撞速克達，則上述之同向擦撞型碰撞後直行機車刮地痕較左偏或右偏車之刮地痕斜之結論就不適用。

表 2 由右向機車同向擦撞型碰撞的刮地痕走向輔以機車倒地方向反推機車碰撞前行向

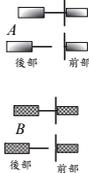
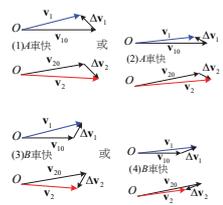
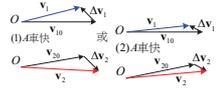
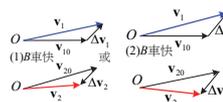
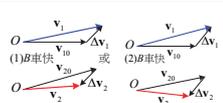
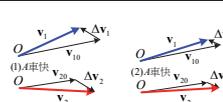
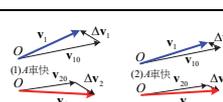
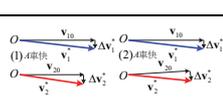
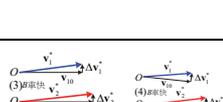
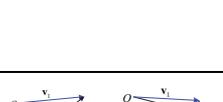
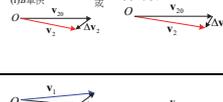
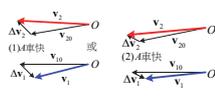
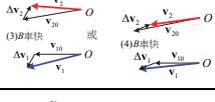
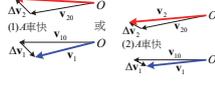
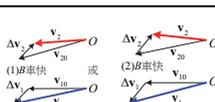
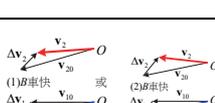
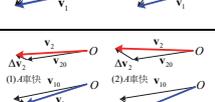
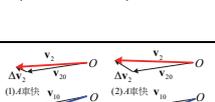
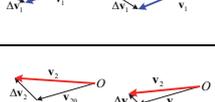
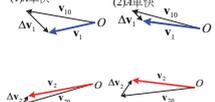
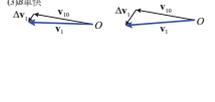
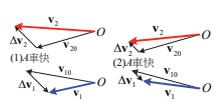
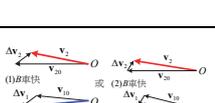
兩車相對位置	碰撞前行向	對應碰撞部位示意圖	倒地方向	速度三角形	機車刮地痕走向說明
<p>機車 A 位於機車 B 左側由左向右行駛</p>  <p>A 後部 前部</p> <p>B 後部 前部</p> <p>A 車快指 A 車速度較 B 車快</p> <p>B 車快指 B 車速度較 A 車快</p> <p>A 車簡稱 A</p> <p>B 車簡稱 B</p> <p>V_{10} : 機車 A 碰撞前速度</p> <p>V_{20} : 機車 B 碰撞前速度</p> <p>V_1 : 機車 A 碰撞後速度</p> <p>V_2 : 機車 B 碰撞後速度</p> <p>Δv_1 : 機車 A 碰撞速度變化</p> <p>Δv_2 : 機車 B 碰撞速度變化</p> <p>Δv_1^* : 機車 A 前輪轉向速度變化</p> <p>Δv_2^* : 機車 B 前輪轉向速度變化</p> <p>碰撞速度三角形(簡稱速度三角形)之向量方程:</p> <p>$V_{10} + \Delta v_1 = v_1$</p> <p>$V_{20} + \Delta v_2 = v_2$</p>	A 車直行 B 車左偏	A 前部與 B 後部碰撞	A 車右側 B 車右側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (3)B車快 或 (4)B車快</p>	A 車快, A 車刮地痕朝右偏上(即指向執行方向左前方), B 車刮地痕: (1)朝右偏下(B 車左偏角度小或撞擊力大); (2)朝右偏上(B 車左偏角度大或撞擊力小)。B 車快, A 車刮地痕朝右偏上, B 車刮地痕: (3)朝右偏下(B 車左偏角度小或撞擊力大); (4)朝右偏上(B 車左偏角度大或撞擊力小)。
		A 撞 B 前後部或前部	A 車左側 B 車左側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)B車快 或 (2)B車快</p>	A 車快, A 車刮地痕朝右偏上, B 車刮地痕: 通常(1)朝右偏下(B 車左偏角度小或撞擊力大); 少數(2)朝右偏上(B 車左偏角度大或撞擊力小)。通常 A 車刮地痕較斜。
		B 前部撞 A 後部	A 車左側 B 車右側	 <p>(1)A車快 或 (2)B車快 (1)B車快 或 (2)A車快</p>	B 車快, A 車刮地痕朝右偏上。B 車刮地痕: (1)朝右偏上(左偏角度大或撞擊力小)或(2)朝右偏下(左偏角度小或撞擊力大)。通常 A 車刮地痕較斜。
		B 撞 A 前後部或前部	A 車右側 B 車右側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)B車快 或 (2)B車快</p>	B 車快, A 車刮地痕朝右偏上。B 車刮地痕: (1)朝右偏上(左偏角度大或撞擊力小)或(2)朝右偏下(左偏角度小或撞擊力大)。通常 A 車刮地痕較斜。
	B 車左偏 A 車左閃	A 後部撞 B 後部	A 車左側 B 車右側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)A車快 或 (2)A車快</p>	A 車快, A 車刮地痕朝右偏上, B 車刮地痕: (1)朝右偏下(B 車左偏角度小或撞擊力大); (2)朝右偏上(B 車左偏角度大且撞擊力小)。通常 A 車刮地痕較斜。
		A 撞 B 前後部或前部	A 車左側 B 車左側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)A車快 或 (2)A車快</p>	A 車快, A 車刮地痕朝右偏上, B 車刮地痕: (1)朝右偏下(B 車左偏角度小或撞擊力大); (2)朝右偏上(B 車左偏角度大且撞擊力小)。通常 A 車刮地痕較斜。
		(1)A 直行 B 直行	A 車左側 B 車左側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)A車快 或 (2)A車快</p>	A 車刮地痕: (1)朝右偏下; (2)朝右偏下。B 車刮地痕: (1)朝右偏下; (2)朝右偏下。有時 A 車把手握較穩或後載人或物品碰到 B 車把手或照後鏡, A 車未倒, 而 B 車左側。
		(2)A 直行 B 左偏	A 車右側 B 車右側	 <p>(3)B車快 或 (4)B車快 (3)B車快 或 (4)B車快</p>	A 車刮地痕: (3)朝右偏上; (4)朝右偏上。B 車刮地痕: (3)朝右偏上; (4)朝右偏上。有時 B 車把手握較穩或後載人或物品碰到 A 車把手或照後鏡, B 車未倒, 而 A 車右側。
	A 車右偏 B 車直行	B 前部撞 A 後部	A 車左側 B 車左側	 <p>(1)A車快 或 (2)A車快 (1)A車快 或 (2)A車快</p>	A 車刮地痕: (1)朝右偏上(右偏角度小或撞擊力大); (2)朝右偏下(右偏角度大或撞擊力小)。B 車刮地痕朝右偏下。通常 B 車刮地痕較斜。
		B 撞 A 前後部或前部	A 車右側 B 車右側	 <p>(1)B車快 或 (2)B車快 (1)B車快 或 (2)B車快</p>	A 車刮地痕: 通常(1)朝右偏上(右偏角度小或撞擊力大); 少數(2)朝右偏下(右偏角度大且撞擊力小)。B 車刮地痕朝右偏下。通常 B 車刮地痕較斜。

表 3 由左向機車同向擦撞型碰撞的刮地痕走向輔以機車倒地方向反推機車碰撞前行向

兩車相對位置	碰撞前行向	對應碰撞部位示意圖	倒地方向	速度三角形	機車刮地痕走向說明	
<p>機車 A 位於機車 B 左側由右向左行駛</p>  <p>前部 後部</p>  <p>前部 後部</p> <p>A 車快指 A 車速度較 B 車快 B 車快指 B 車速度較 A 車快</p> <p>A 車簡稱 A B 車簡稱 B</p> <p>V_{10} : 機車 A 碰撞前速度 V_{20} : 機車 B 碰撞前速度 V_1 : 機車 A 碰撞後速度 V_2 : 機車 B 碰撞後速度</p> <p>ΔV_1 : 機車 A 碰撞速度變化 ΔV_2 : 機車 B 碰撞速度變化</p> <p>碰撞速度三角形(簡稱速度三角形)之向量方程式: $V_{10} + \Delta V_1 = V_1$ $V_{20} + \Delta V_2 = V_2$</p>	A 車直行 B 車左偏	A 前輪與 B 後部碰撞	A 車右倒 B 車右倒	 	A 車快, A 車刮地痕朝左偏下, B 車刮地痕: (1)朝左偏上(B 車左偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏下(B 車左偏角度大或撞擊力小)。 B 車快, A 車刮地痕朝左偏下, B 車刮地痕: (3)朝左偏上(B 車左偏角度小或撞擊力大); (4)朝左偏下(B 車左偏角度大或撞擊力小)。	
		A 撞 B 前後部或前部	A 車左倒 B 車左倒		A 車快, A 車刮地痕朝左偏下, B 車刮地痕: (1)朝左偏上(B 車左偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏下(B 車左偏角度大且撞擊力小)。通常 A 車刮地痕較斜。	
		B 前車頭撞 A 後部	A 車左倒 B 車右倒		B 車快, A 車刮地痕朝左偏下。B 車刮地痕: (1)朝左偏下(B 車左偏角度大或撞擊力小); (2)朝左偏上(B 車左偏角度小或撞擊力大)。通常 A 車刮地痕較斜。	
		B 撞 A 前後部或前部	A 車右倒 B 車右倒		B 車快, A 車刮地痕朝左偏下。B 車刮地痕: (1)朝左偏下(B 車左偏角度大或撞擊力小); (2)朝左偏上(B 車左偏角度小或撞擊力大)。通常 A 車刮地痕較斜。	
	B 車左偏 A 車左閃	A 後部撞 B 後部	A 車左倒 B 車右倒		A 車快, A 車刮地痕朝左偏下, B 車刮地痕(1)朝左偏下(撞擊力小); (2)朝左偏上(撞擊力大)。通常 A 車刮地痕偏的角度較大(較斜)。	
		A 撞 B 前後部或前部	A 車左倒 B 車左倒		A 車快, A 車刮地痕朝左偏下, B 車刮地痕(1)朝左偏下(撞擊力小); (2)朝左偏上(撞擊力大)。通常 A 車刮地痕偏的角度較大(較斜)。	
	A 車右偏 B 車左偏	A 車右偏 B 車左偏	A 前輪撞 B 後部	A 車右倒 B 車右倒	 	A 車快, A 車刮地痕: (1)朝左偏下(右偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏上(右偏角度大或撞擊力小)。B 車刮地痕: (1)朝左偏上(左偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏下(左偏角度大或撞擊力小)。 B 車快, A 車刮地痕: (3)朝左偏上(右偏角度大或撞擊力小); (4)朝左偏下(右偏角度小或撞擊力大)。B 車刮地痕: (3)朝左偏下(左偏角度大或撞擊力小); (4)朝左偏上(左偏角度小或撞擊力大)。
			A 撞 B 前後部或前部	A 車左倒 B 車右倒		A 車快, A 車刮地痕: (1)朝左偏下(右偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏上(右偏角度大或撞擊力小)。B 車刮地痕: (1)朝左偏上(左偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏下(左偏角度大或撞擊力小)。
		A 車右偏 B 車直行	B 前部撞 A 後部	A 車左倒 B 車左倒		A 車刮地痕: (1)朝左偏下(右偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏上(右偏角度大或撞擊力小)。B 車刮地痕朝左偏上。通常 B 車刮地痕較斜。
			B 撞 A 前後部或前部	A 車右倒 B 車右倒		A 車刮地痕: (1)朝左偏下(右偏角度小或撞擊力大); (2)朝左偏上(右偏角度大或撞擊力小)。B 車刮地痕朝左偏上。通常 B 車刮地痕較斜。

六、結論

本文在忽略機車車身旋轉運動，只考慮機車平移運動的假設下，將機車視為質點。應用動力學的衝量與動量原理，得到機車碰撞前速度、碰撞速度變化、碰撞後速度三個向量，它們構成碰撞速度三角形(簡稱速度三角形)，其中碰撞前速度的方向就是機車碰撞前行駛方向，碰撞速度變化的方向就是機車碰撞時所受的合碰撞力方向，而碰撞後速度的方向就是機車倒地刮地痕方向。我們介紹了速度三角形的畫法，探討有車體碰撞、無車體碰撞只有把手或照後鏡接觸碰撞，這些類型碰撞機車從立狀態至倒地狀態之前輪轉向對刮地痕走向的影響與轉向倒地速度分析的畫法。本文將機車分成前部與後部，對機車碰撞倒地方向做了簡易分析，並製作機車碰撞倒地方向的簡易判斷表。對機車碰撞後之倒地方向可歸結成，前部碰撞：「左轉右倒、右轉左倒」；後部碰撞：「左撞右倒、右撞左倒」。

分析機車碰撞行向以速度三角形為主，機車倒地方向為輔。只要速度三角形的行向與假設的碰撞行向相同即可。若倒地方向也與理論的相同，那就可更確認假設的碰撞行向是正確的。分析碰撞行向時，先透過警方提供的車損照片與資訊，確定兩車對應的碰撞部位，再由現場圖假設可能的碰撞行向，然後對這些可能的碰撞行向畫速度三角形，判斷此種碰撞行向是否合理地與現場圖對應。畫速度三角形時，先按刮地痕長度與方向，依比例畫碰撞後速度，擬完全正確地畫出碰撞前速度及碰撞速度變化，這兩類向量的大小和方向是困難的。但本文只推估可能的碰撞前行向，因此畫機車碰撞前速度、碰撞速度變化時，只要根據假設的碰撞情況，調整其長短與方向，然後即可得出兩部機車的速度三角形。只要速度三角形中的碰撞前速度的走向與假設的行向相同，再輔以機車倒地方向正確，通常即可認定這種假設的碰撞前行向是正確的。合理的碰撞前行向可能不止一種，這時可由車損或車體刮擦痕走向或行駛路況與環境作進一步判斷。我們應用行車事故鑑定委員會實際案例，詳細說明使用和分析步驟。

本文也製作利用兩部同向行駛的機車發生擦撞型碰撞的刮地痕走向輔以機車倒地方向，用來反推機車碰撞前行向的參考表。從分析中得到重要的結論：若兩部重量差異不大之機車同方向行駛時，因某部機車左偏行駛或右偏行駛，或低速轉彎而非大角度快速轉彎行駛，而發生車禍時，若兩車車體碰撞且非輕微的擦撞，則通常直行機車的刮地痕比左偏或右偏或轉彎機車的刮地痕斜。這結論可讓鑑定相關人員快速判斷那部機車直行，那部機車左偏或右偏或轉彎，對經常發生的同向擦撞型碰撞的機車交通事故鑑定具有一定的實用價值。

致謝

感謝臺南市車輛行車事故鑑定委員會提供會議案件作為本文之案例。

參考文獻

- 林志儒(2005)，機車事故之電腦模擬，臺灣科技大學機械工程系碩士論文。
- 林峻弘(2009)，機車事故鑑定之行車速度推估研究，龍華科技大學工程技術研究所碩士論文。
- 施人維(2012)，汽機車同向碰撞行車事故之模擬，臺灣科技大學機械工程系碩士論文。
- 張超群(2015)，「機車倒地方向的力學分析及其在行車事故鑑定之應用」，*交通學報*，第十五卷第二期，頁 191-224。
- 張超群(2016)，「機車碰撞倒地方向的簡易判斷方法和其在行車事故鑑定之應用」，*105 年道路交通安全與執法研討會*。
- 張超群(2017)，「由機車刮地痕長度與行向推估碰撞車速」，*106 年道路交通安全與執法研討會*。
- 張超群(2018)，「利用機車刮地痕與倒地方向判斷可能的碰撞行向」，*107 年道路交通安全與執法研討會*。
- 張超群、劉成群(2012)，*摩托車動力學*，臺北：五南圖書出版公司。
- 張超群、劉成群(2013)，*動力學*，臺北：新文京開發出版股份有限公司。
- 張超群、蘇天保、謝昇毅、翁榮宏、蔡崇景、黃郁仁(2016)，「機車碰撞車速推估之研究」，*105 年道路交通安全與執法研討會*。
- 張超群、許哲嘉、黃國平、吳宗霖(2017)，*交通事故力學*，臺北：新文京開發出版股份有限公司。
- 羅智寧(2008)，汽車與摩托車碰撞事故車速估計建模，吉林大學碩士論文。
- 臺南市車輛行車事故鑑定委員會會議案件。

Beer, F. P. and Johnston, E. R. (1999), *Vector Mechanics for Engineering: Dynamics*, 3rd SI Metric ed., McGraw-Hill.

Jazar, R. N. (2008), *Vehicle Dynamics: Theory and Application*, Springer.

McNally, B. F. and Bartlett, W. (2002), "Motorcycle Speed Estimates Using Conservation of Linear and Rotational Momentum," *20th Annual Special Problems in Traffic Crash Reconstruction at the Institute of Police Technology and Management*.

Obenski, K. S. and Hill, P. F. (2002), *Motorcycle Accident Reconstruction and Litigation*, 3rd ed., Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company.

(收稿 109/05/23，第一次修改 109/06/30，接受 109/09/21，定稿 109/11/10)

