

利用機車刮地痕與倒地方向判斷可能的碰撞行向

張超群 Chau-Chin Chang¹

摘 要

本文應用動力學衡量與動量原理推导出碰撞前速度、碰撞過程速度變化與碰撞後速度三個向量的關係式，這三個向量構成一個速度三角形。再利用機車碰撞後倒地刮地痕行向及機車倒地方向，可推估機車碰撞前的行駛行向，作為肇事責任鑑定的參考，尤其是對路權相同時更具有價值。本文採用行車事故鑑定委員會實際案例，分析求出機車碰撞前行向的詳細步驟，讓不具力學背景的鑑定相關人員都容易使用，對提升鑑定的精確性有所幫助。

關鍵字：衡量與動量原理、速度三角形、刮地痕行向、機車倒地方向、碰撞行向

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，但路權相同時發生的車禍也很多。例如兩機車行駛於同一車道或並行時發生碰撞，當事人常會堅稱對方突然偏過來或沒保持安全距離，造成各說各話，而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與機車倒地方向，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。

國內外對機車的碰撞研究主要是將機車視為質點，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車速(Obenski and Hill, 2002； McNally and Bartlett, 2002； 羅智寧，2008；林峻弘，2009；張超群等，2015、2016、2017)。張超群提出了機車倒地方向的力學原理與簡易判斷方法(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，應用動力學衡量與動量原理推导出碰撞前速度、碰撞過程速度變化與碰撞後速度三個向量的關係式，這三個向量構成一個速度三角形，再利用機車碰撞後倒地刮地痕行向及機車倒地方向，可推估機車碰撞前的行駛行向，作為肇事責任鑑定的參考，尤其是對路權相同時更具有價值。我們用實際案例來說明分析的詳細步驟，方便讀者了解。

¹ 南臺科技大學機械工程系副教授。

二、基本理論

2.1 碰撞基本假設

本文對車輛碰撞過程分析的基本假設為

- (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，因此可忽略不計。
- (2) 機車與機車碰撞，因機車質量小，質量慣性矩小，轉動能量可以忽略不計，這樣不考慮機車的轉動，可將機車視為質點。

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 $\sum \mathbf{F}$ 作用並產生加速度 \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，它並不隨速度而變化，所以上式可寫成

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

定義動量 \mathbf{L} (Momentum)：

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

則(2)式可表達成

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

(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變化率。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 分別是質點在時刻 t_0 與 t_1 的速度。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) (張超群、劉成群，2013)。

2.3 速度三角形

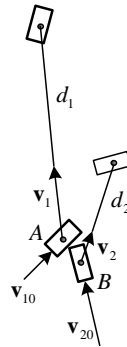


圖 1 機車 A 與機車 B 的碰撞示意圖

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(8)式得速度變化的表達式，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

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

其中 \mathbf{v}_1 為機車 A 碰撞後速度， \mathbf{v}_{10} 為機車 A 碰撞前速度， \mathbf{v}_{10} 的方向為機車碰撞前行駛方向， \mathbf{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 的質量。由方程(9)知機車 A 速度變化 $\Delta\mathbf{v}_1$ 的方向與合衝量 \mathbf{I} 的方向相同，也就是與合碰撞力 \mathbf{F} 的方向相同。同理對機車 B，我們有

$$\mathbf{v}_{20} + \Delta\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_2 \quad (11)$$

其中 \mathbf{v}_2 為機車 B 碰撞後速度， \mathbf{v}_{20} 為機車 B 碰撞前速度， \mathbf{v}_{20} 的方向為機車 B 碰撞前行駛方向， \mathbf{v}_2 的方向為機車 B 碰撞後倒地刮地痕方向，機車 B 速度變化 $\Delta\mathbf{v}_2$ 的方向與 $\Delta\mathbf{v}_1$ 的方向相反。 \mathbf{v}_{10} 、 \mathbf{v}_1 、 $\Delta\mathbf{v}_1$ 構成 A 車的碰撞速度三角形，簡稱速度三角形； \mathbf{v}_{20} 、 \mathbf{v}_2 、 $\Delta\mathbf{v}_2$ 構成 B 車的速度三角形，如圖 2 所示。

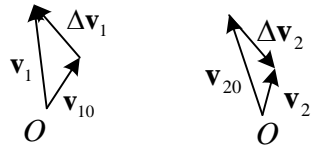


圖 2 機車 A 與機車 B 的速度三角形

2.4 碰撞兩車速度變化關係

若不計車輛的旋轉運動，A 車及 B 車可視為質點。畫 A、B 車的衝量與動量圖(張超群、劉成群，2013)，如圖 3 所示。

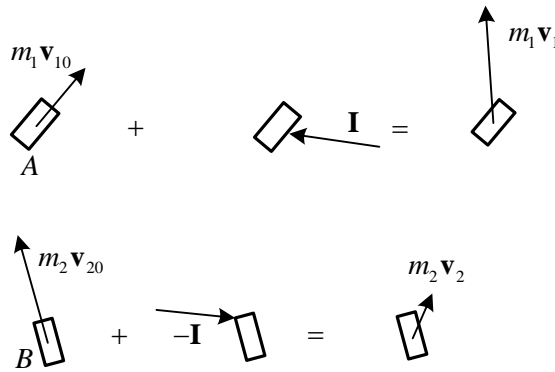


圖 3 A 車和 B 車的衝量與動量圖

對 A 車使用衝量與動量原理，得

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

對 B 車使用衝量與動量原理，得

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

由方程(9)、(12)和(13)，得

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

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

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

方程(15)表明碰撞時質量越小，速度變化越大。若兩車質量差異太大，小的速度誤差代入上式便會產生較大的速度誤差。通常台灣的速克達機車質量差異不大。因此，若碰撞為兩部速克達機車則(15)式可近似地寫成 $\Delta v_2 \approx \Delta v_1$ 。

2.5 機車倒地方向

參考圖 4 至圖 6，將機車視為由前部與後部兩大部組成[張超群，2015、2016]，前部由前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等組成，這是因為轉動把手時，前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等會一起轉動；後部則由機車靜止時，轉動把手時不動的零組件組成，包含車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等。雖然機車行駛時後輪有轉動與跳動，但都可視為與車架在同一平面運動，而車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管又固定在車架上，對於車架沒有相對運動，因此這幾個零組件可視為機車的後部。



圖 4 檔車的前部與後部

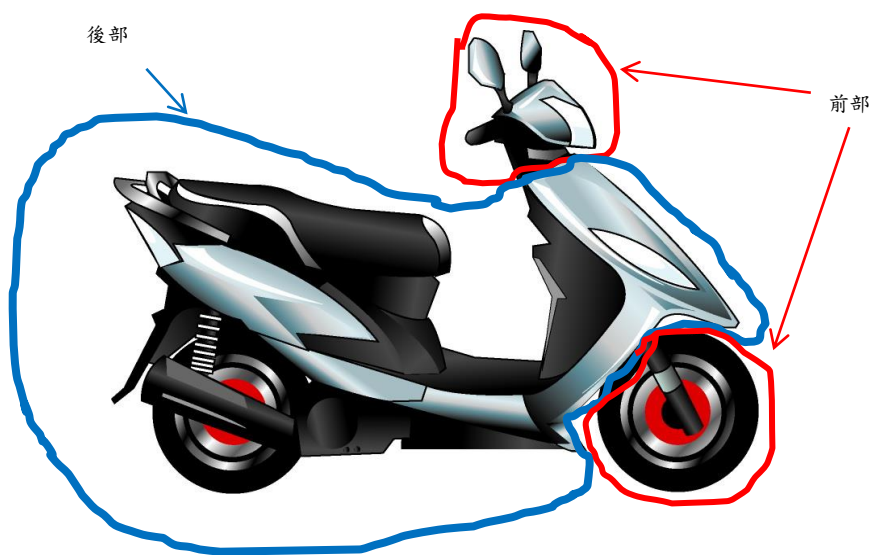


圖 5 速克達機車的前部與後部

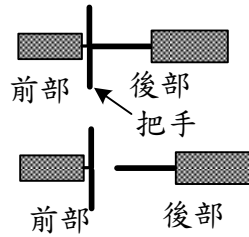


圖 6 機車前部與後部的示意圖

台灣機車以速克達為主，速克達機車碰撞倒地方向的簡易判斷表，如表 1 所示(張超群，2016)。

表 1 速克達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。

對台灣的主要的速克達機車之碰撞，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」。這十六個字很容易記。

三、實際案例分析

本文機車碰撞車速推估的步驟大致如下：

(1)由現場圖分析可能的碰撞行向；(2)對各種可能的碰撞行向畫速度三角形及分析機車倒地方向，判斷此種碰撞行向是否合理。

例 1：兩部機車碰撞後的事現場圖如圖 7 所示，推估兩部機車碰撞前的行向。

(1) 由現場圖分析可能的碰撞行向：

依現場圖之說明，兩機車位於同一車道，碰撞處在機車 A 前輪與機車 B 後車尾。設機車 A 位於機車 B 左側，機車 A 前輪與機車 B 後車尾碰撞可能有三種情況：(a)機車 A 右偏行駛與機車 B 直行發生碰撞；(b)機車 A 直行與機車 B 左偏行駛發生碰撞；(c)機車 A 右偏行駛與機車 B 左偏行駛發生碰撞。

設機車 A 位於機車 B 右側，機車 A 前輪與機車 B 後車尾碰撞可能有三種情況：(d)機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞；(e)機車 A 直行與機車 B 右偏行駛發生碰撞；(f)機車 A 左偏行駛與機車 B 右偏行駛發生碰撞。

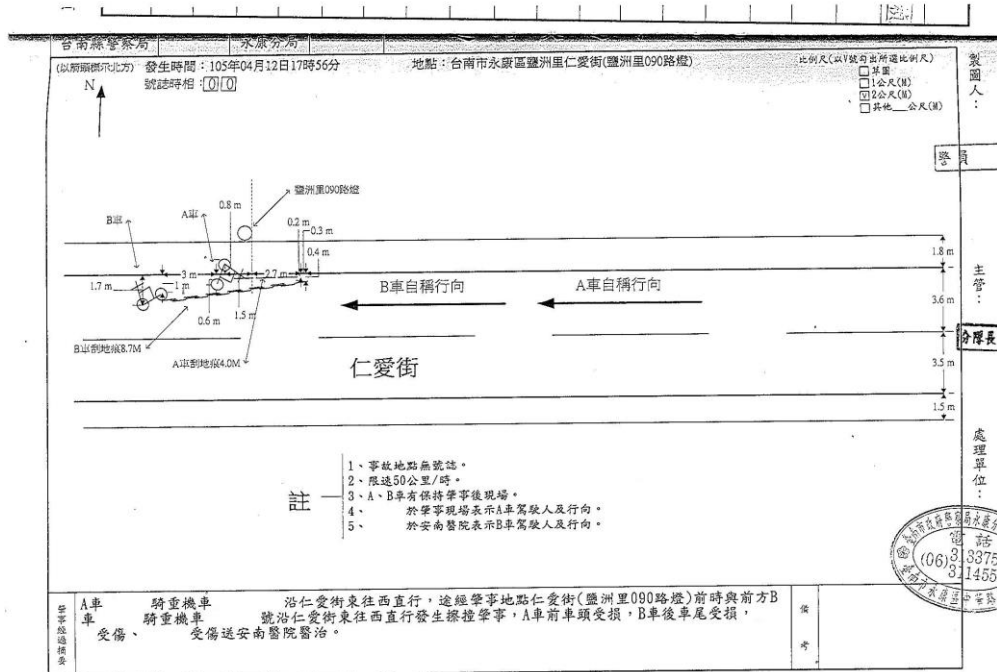


圖 7 兩部機車碰撞的現場圖

(2) 分析各種情況之合理性：

情況(a)：機車 A 右偏行駛與機車 B 直行發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 8 所示。

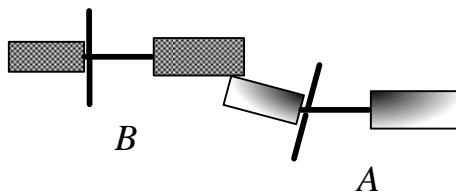


圖 8 機車 A 右偏行駛與機車 B 直行發生碰撞

在紙面上取一點 O 作參考點， B 車原來直行所以從 O 點畫速度 v_{20} 水平往左，代表機車 B 原來向左直行。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方，碰撞力方向就是速度變化方向，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝左上方，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 9 所示。但從圖 9 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(a)是錯誤的。

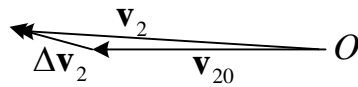


圖 9 機車 B 的速度三角形

情況(b)：機車 A 直行與機車 B 左偏行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 10 所示。

A 車原來直行所以從 O 點畫速度 v_{10} 水平往左，機車 B 左後側與 A 車碰撞，A 車的受到 B 車的碰撞力方向朝右下方，因此從 v_{10} 箭頭尖端畫 Δv_1 朝右偏下方，從 O 點畫線到 Δv_1 箭頭，這條線就是 v_1 ，代表機車 A 碰撞後倒地的速度，如圖 11 所示。

B 車左偏行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝左下方，因兩部機車重量差不多，B 車碰撞產生的速度變化 Δv_2 方向與 Δv_1 方向相反，大小差不多，因此從 v_{20} 箭頭尖端畫 Δv_2 朝左偏上方，連接 O 點與 Δv_2 箭頭尖端就是 v_2 ，代表機車 B 碰撞後倒地的速度，如圖 11 所示。

分析 A 車與 B 車的速度三角形中，A 車滿足 $v_{10} + \Delta v_1 = v_1$ 且 v_1 行向與機車 A 刮地痕走向相符。B 車滿足 $v_{20} + \Delta v_2 = v_2$ 且 v_2 行向朝左下方和 B 車刮地痕走向相符，如圖 11 所示。並且 A 車前部碰撞把手向左轉動，機車右倒(左轉右倒)，B 車後部左側被撞，機車右倒(左撞右倒)。因此這碰撞情況是正確的。

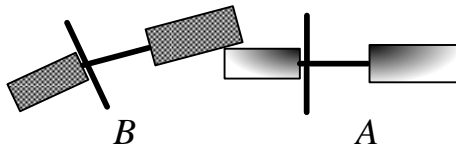


圖 10 直行機車 A 與機車 B 左偏行駛發生碰撞

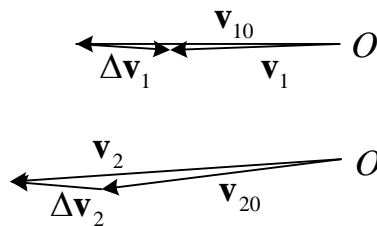


圖 11 情況(b)之機車 A 和 B 的速度三角形

情況(c)：機車 A 右偏行駛與機車 B 左偏行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 12 所示。

如圖 13 所示，A 車向右偏所以畫速度 v_{10} 水平偏左上方，機車 B 左後側與 A 車碰撞，A 車的受到 B 車的碰撞力方向朝右下方，因此從 v_{10} 箭頭尖端畫 Δv_1 朝右下方，從 O 點畫線到 Δv_1 箭頭，這條線就是 v_1 ，代表機車

A 碰撞後倒地的速度。

B 車左偏行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝左下方，B 車碰撞產生的速度變化 Δv_2 方向與 Δv_1 方向相反，大小差不多，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 ，代表機車 B 碰撞後倒地的速度，如圖 13 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 車前部碰撞把手向左轉動，機車右倒(左轉右倒)，B 車後部左側被撞，機車右倒(左撞右倒)。因此，情況(c)是正確的。

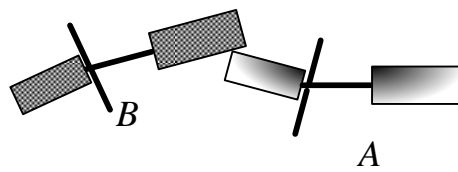


圖 12 機車 A 右偏與機車 B 左偏發生碰撞

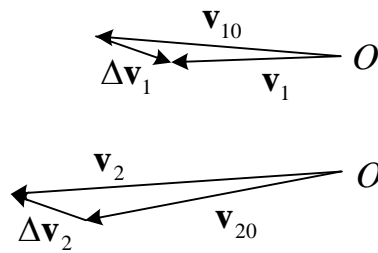


圖 13 情況(c)之兩車碰撞的速度三角形

對於機車 A 位於機車 B 右側的情況(d)、(e)、(f)，以情況(d) 機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞為例，其碰撞示意圖，如圖 14 所示。B 車後部右側被撞，機車 B 左倒(右撞左倒)，機車 A 前部碰撞後把手向右轉動，機車 A 左倒(右轉左倒)。機車 A 和機車 B 倒地方向與現場圖不同，因此情況(d)是錯誤的。同理情況(e)、(f)機車倒地方向也是錯誤的。

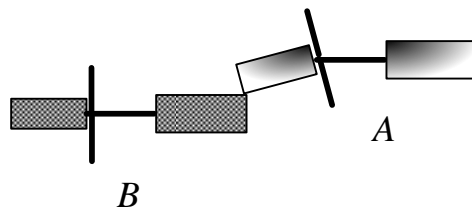


圖 14 機車 A 左偏行駛與機車 B 直行發生碰撞

結果分析：情況(b)和情況(c)都正確，這時可由車損或車體刮擦痕走向進一步判斷。情況(b)是 B 車偏過來，B 車刮擦痕可能較平。情況(c)A 車與 B 車碰撞接觸面較正。接觸的地方較易有凹陷。通常以情況(b)的可能

性較高。

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。碰撞前速度及碰撞速度變化都不能完全正確地畫出其大小(圖中之箭頭長度)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大略畫出其長短與方向，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 、 v_2 的走向與現場圖刮地痕走向相同，再配合機車倒地方向正確，即可認定這種假設的碰撞情況是對的。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等)作進一步判斷。

例 2：機車 A 和 B 由東向西行駛，在對向車道發生碰撞，其事故現場圖如圖 15 所示，推估兩部機車的碰撞行向。

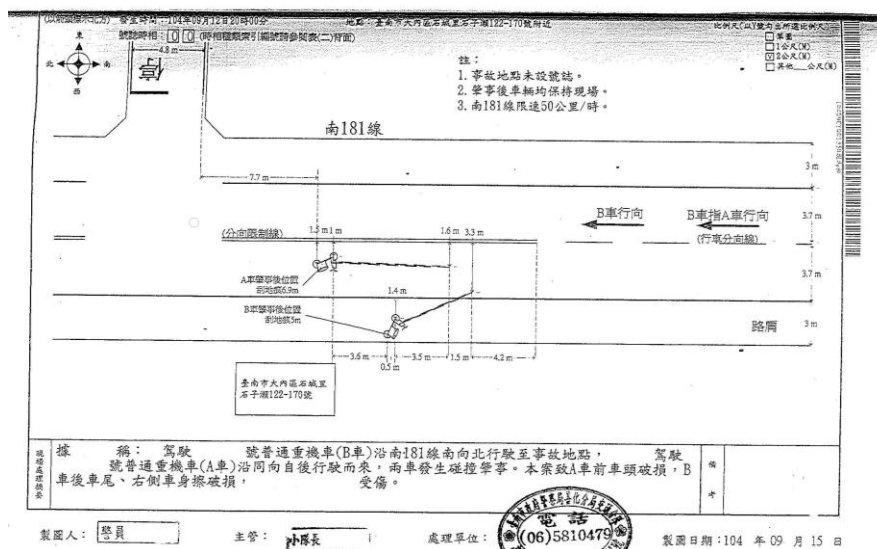


圖 15 機車碰撞機車的現場圖

(1)由現場圖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，且刮地痕都在對向車道。由於兩機車同向行駛，路權相同。但機車 A 前車頭與機車 B 後車尾碰撞的情形有三種情況：(a) 機車 A 左偏行駛，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 從左側超車要切向右邊時，機車 B 左彎行駛發生碰撞。

(2)分析各種情況之合理性：

情況(a)：機車 A 左偏行駛碰撞直行機車 B 後部右側，其碰撞示意圖，如圖 16 所示。

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，這種碰撞情況不對。

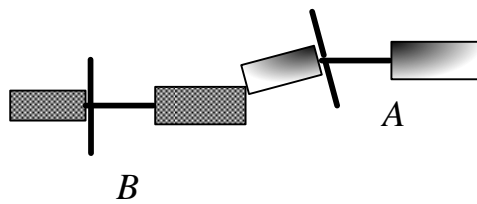


圖 16 機車 A 左偏行駛碰撞直行機車 B 後部右側

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 17 所示。

A 車前部碰撞後把手左轉，機車 A 右倒(左轉右倒)， B 車後部左側被撞，機車右倒(左撞右倒)。現場圖兩部車都右倒，倒地方向相符。 B 車直行，從 O 點畫水平線代表 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 ，但從機車 B 的速度三角形顯示倒地後速度方向 v_2 是朝左上方，與現場圖機車 B 刮地痕方向朝左下方不符合，如圖 18 所示。因此，情況(b)不正確。

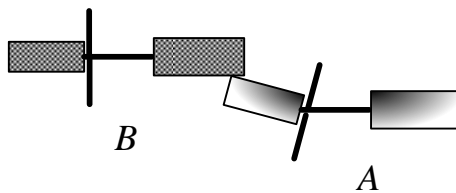


圖 17 機車 A 右偏行駛碰撞直行機車 B 後部左側

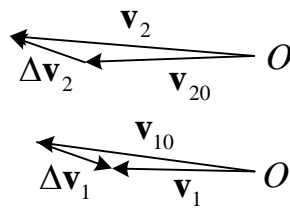


圖 18 情況(b)之兩車碰撞的速度三角形

情況(c)：機車 A 從左邊超車要切向右邊時，機車 B 左彎行駛發生碰撞，其碰撞示意圖，如圖 19 所示。

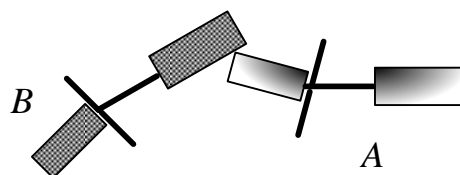


圖 19 機車 A 從左邊超車要切向右邊與機車 B 左彎行駛發生碰撞

如圖 20 所示，A 車超車向右偏行所以從 O 點畫速度 v_{10} 水平往左偏上，機車 B 左後側與 A 車碰撞， A 車的受到 B 車的碰撞力方向朝右下方，因此從 v_{10} 箭頭尖端畫 Δv_1 朝右下方，從 O 點畫線到 Δv_1 箭頭尖端，這條線就是 v_1 ，代表 A 車碰撞後倒地的速度， v_1 與 A 車刮地痕的方向相同。

B 車左彎行駛，從 O 點畫 v_{20} 朝左下方，因兩部機車重量差不多， B 車碰撞產生的速度變化 Δv_2 方向與 Δv_1 方向相反，大小差不多，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 ，代表機車 B 碰撞後倒地的速度。從機車 B 的速度三角形顯示倒地後速度方向 v_2 是朝左下方，方向和 B 車刮地痕方向相符，如圖 20 所示。情況(c) A 車前部碰撞後把手左轉，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，倒地方向相符。

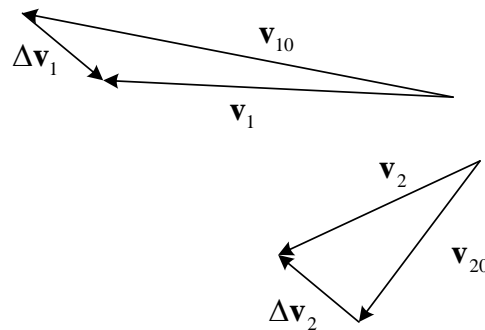


圖 20 情況(c)之速度三角形

結果分析：情況(c)是正確的，這表示因為道路不寬機車 A 跨中線行駛要切回右邊時，與左轉至對向的機車 B 發生碰撞。

四、結論

本文在忽略轉動能量的假設下，將機車為質點。應用動力學中的衝量與動量原理，得到機車碰撞前速度、碰撞速度變化、碰撞後速度這三個向量構成碰撞速度三角形(簡稱速度三角形)，其中碰撞前速度方向就是碰撞前行駛方向，碰撞速度變化的方向就是碰撞力方向，刮地痕方向就是碰撞後速度的方向。先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分析倒地方向和畫速度三角形，判斷此種碰撞行向是否合理。完全正確地畫出碰撞前車速及速度變化這兩個向量的大小和方向是不可能的。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，大略畫出其長短與方向，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 、 v_2 的走向與現場圖刮地痕走向相同，再配合機車倒地方向正確，即可認定這種假設的碰撞行向是正確的。合理的碰撞行向可能不止一種，這時可由車損或車體刮擦痕走向作進一步判斷。我們應用行車事故鑑定委員會實際案例，詳細說明使用和求解步

驟，讓不具力學背景的鑑定相關人員都容易使用，對路權相同時的交通事故鑑定具有很大的實用價值。

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。
- 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、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。
- 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、翁榮宏、黃郁仁(2015)，「由煞車痕與刮地痕推估車速之研究」，104 年道路交通安全與執法研討會。
- 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(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。
- 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。
- 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.