

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

張超群 Chau-Chin Chang¹

摘 要

本文應用簡單的方法判斷機車碰撞後的倒地方向。將機車分成前部和後部，機車靜止時轉動把手，會跟把手一起動的零組件稱為前部，主要包括前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡；不會跟把手一起動的零組件稱為後部，主要包括車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等。判斷原則：機車前部碰撞，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)。機車後部碰撞，左側被撞機車右倒(左撞右倒)；右側被撞機車左倒(右撞左倒)。若機車前後部同時碰撞，則以相撞的角度和位置來判斷。我們用幾個實際的行車事故鑑定案例來驗證機車的倒地方向，由機車倒地方向與車損部位，可以推測機車碰撞時的行向與碰撞形式，判斷責任的歸屬。最後我們將機車與機車及機車與汽車碰撞後的倒地方向製成表格，方便參考。

關鍵字：倒地方向、前部、後部

一、前言

台灣機車數量繁多，經常發生機車交通事故，其中以機車與機車碰撞或機車與汽車碰撞所佔的比例最高。歐美日等先進國家機車數量相對於汽車少很多，對車輛碰撞和鑑定的研究主要以汽車與汽車碰撞為主(Macmillan, 1983, Brach and Brach, 2005)。國內外對機車與機車及機車與汽車肇事鑑定多以碰撞速度為研究主要目標 (Obenski and Hill, 2002; 羅智寧, 2008; 郭磊, 2008; 林峻弘, 2009)。國內有應用多體系統商業軟體 ADAMS 模擬機車碰撞汽車後的人體受傷及機車碰撞後的運動和倒地方向，但文中對機車倒地方向著墨不多 (林志儒, 2005; 施人維, 2012)。張超群對機車碰撞後倒地方向作了較詳細的力學分析(張超群, 2015)，並輔以實例說明，驗證分析的正確性。本文即以這篇論文為基礎，進一步簡化，方便不懂力學的人也可以很容易判斷機車碰撞後的倒地方向和其在行車事故鑑定之應用。

在行車事故鑑定中，以路權為主，若路權相同時，如何較正確地推估碰撞行向，是判斷責任歸屬的一個重要依據，此時我們可以利用機車碰撞後的

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)。

倒地方向來判斷肇事雙方的可能行向，進而得出責任歸屬。參考圖 1 至圖 3，為了判斷機車倒地方向，本文將機車視為由兩大部件組成，即由前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等組成的前部，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；車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等組合而成的後部，這是因為車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪在機車運動時，雖然後輪有轉動與跳動，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，故這幾個零組件可視為機車的後部。

本文先以簡單的力學原理說明陀螺力矩，分析機車前部與後部碰撞後的倒地方向，並輔以實例驗證機車的倒地方向，並製成三個表，方便參考使用。



圖 1 檔車的前部與後部

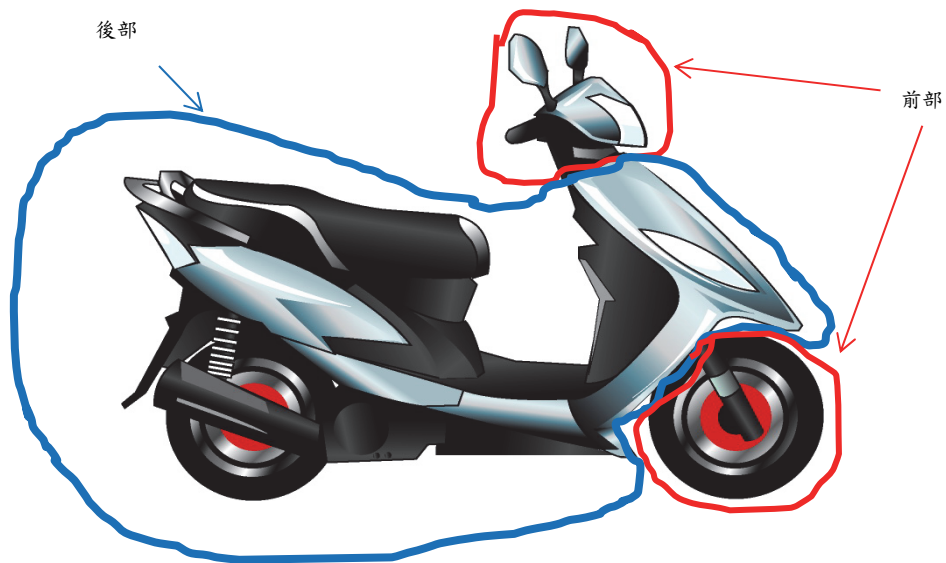


圖 2 速克達的前部與後部

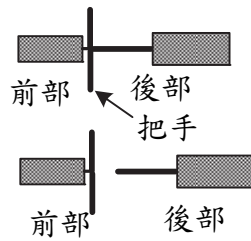


圖 3 機車前部與後部的示意圖

二、機車前部碰撞的倒地方向

2.1 陀螺力矩

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, 車輪轉向時便會有陀螺力矩產生。參考圖 4, 設車輪以角速度 ω 繞 y 軸轉動於路面上滾動, 此時車輪的自轉角動量 $\mathbf{H} = I\omega$, I 為車輪繞自轉軸的質量慣性矩, 設車輪受到外力而改變行駛方向而繞 z 軸轉動(進動), 進動角速度為 Ω , 此時產生之陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 的定義為自轉角動量 $\mathbf{H} = I\omega$ 與進動角速度為 Ω 的叉積(Cross Product), 即

$$\mathbf{M}_{gr} = \mathbf{H} \times \Omega = I\omega \times \Omega \quad (1)$$

陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 的大小 M_{gr} 近似於 $M_{gr} = I\omega\Omega$ 。由方程式(1)可知陀螺力矩 \mathbf{M}_{gr} 與車輪的自轉角動量 \mathbf{H} 、車輪的進動角速度 Ω 是互相垂直的(見圖 4)。從圖 4 可知, 車輪向左轉動時, 產生的陀螺力矩會使車身有向右傾斜的現象, 騎機車轉彎時, 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, 機車容易倒地。

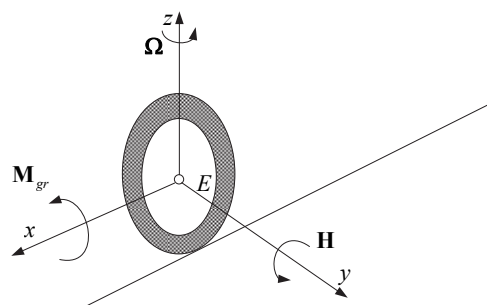


圖 4 機車車輪行駛方向改變(進動)所形成的陀螺力矩

以一個常見的碰撞情形，說明機車前部碰撞的倒地方向。圖 5 所示為機車與汽車並行發生擦撞的事故現場圖。參考圖 6，機車左把手受到並行之汽車的擦撞，碰撞力 F_C 使機車把手以角速度 δ 繞其轉向軸 DE 順時針向右轉動，角速度 δ 在前輪鉛垂軸 (z 軸) 的投影為 $\Omega = \delta \cos \varepsilon$ ， ε 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 $\boldsymbol{\Omega} = -\delta \cos \varepsilon \mathbf{n}_z = -\Omega \mathbf{n}_z$ 就是進動角速度，自轉角動量 $\mathbf{H} = I\boldsymbol{\omega} = I\omega \mathbf{n}_y$ ，根據(1)式，此時產生的陀螺力矩 $\mathbf{M}_{gr} = \mathbf{H} \times \boldsymbol{\Omega} = I\omega \mathbf{n}_y \times (-\Omega) \mathbf{n}_z = -I\omega\Omega \mathbf{n}_x$ 作用於車架上，會使車身繞負 x 軸向左傾，造成機車左倒。

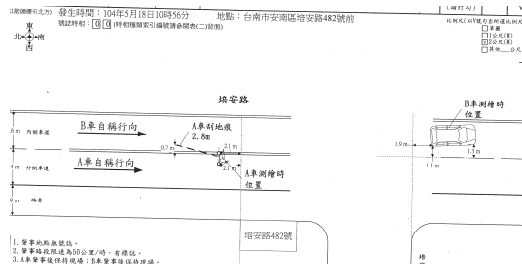


圖 5 機車前部被汽車擦撞之例

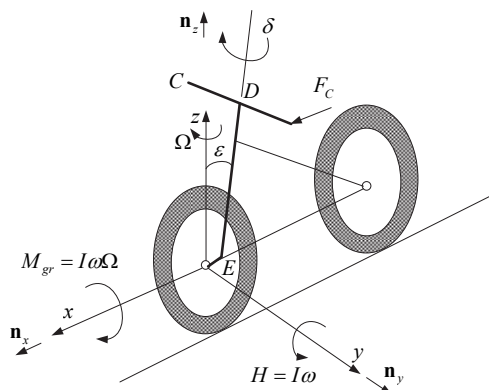


圖 6 機車左把手受到並行之汽車的擦撞產生的陀螺力矩使機車左倒

2.2 前部碰撞小結

機車前部發生碰撞，若碰撞後機車把手向左轉動，則機車右倒（左轉右倒）；若碰撞後機車把手向右轉動，則機車左倒（右轉左倒）。

三、機車後部碰撞的倒地方向

3.1 倒地方向原理分析

假設機車 A 前部垂直碰撞機車 B 後部的碰撞處在 c 點附近，碰撞力 F_c 的方向平行路面由右向左垂直作用於車身， F_{y1} 與 F_{y2} 為路面作用於前後輪胎的

側向反力，如圖 7 所示。此時由機車前方看的受力圖和有效力圖(張超群、劉成群，2013)，如圖 8 所示。圖中的 $I_G\alpha$ 的方向代表由前面看，碰撞後機車 B 假設的旋轉方向。因質心質量慣性矩 I_G 大於零，若計算出來角加速度 $\alpha > 0$ ，代表碰撞後機車 B 的旋轉方向與假設的方向相同；若計算出來 $\alpha < 0$ ，則代表機車 B 的旋轉方向與假設的方向相反。

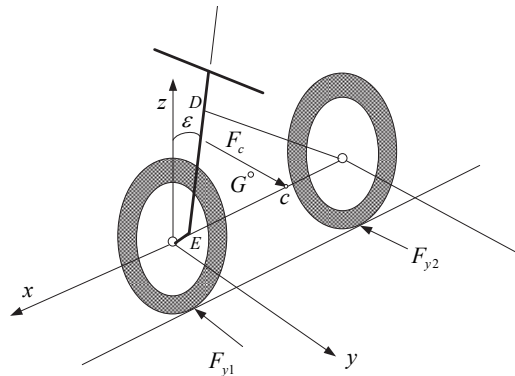


圖 7 機車所受之側向力

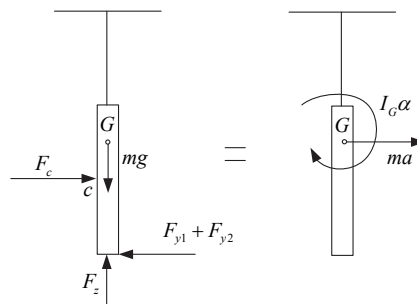


圖 8 機車 B 前視之受力圖和有效力圖 (碰撞點 c 低於重心 G)

參考圖 8， F_z 為路面作用於前後輪胎的正向反力之和， mg 為整個人-車系統重力，質量 m 與加速度 a 的乘積 ma 稱為有效力(張超群、劉成群，2013)。若碰撞點 c 低於重心 G ，重心高度 h ，對 G 點取矩，得

$$\sum M_G = I_G\alpha: (F_{y1} + F_{y2})h - F_c d = I_G\alpha \quad (2)$$

其中 d 為碰撞集中力 F_c 到重心 G 的垂直距離， $(F_{y1} + F_{y2})$ 為路面作用於前後輪胎的側向反力之和。由方程式(2)知:若 $(F_{y1} + F_{y2})h - F_c d > 0$ ，則角加速度 $\alpha > 0$ ，機車 B 左倒；若 $(F_{y1} + F_{y2})h - F_c d < 0$ ，則角加速度 $\alpha < 0$ ，機車 B 右倒。這代表若碰撞點低於重心 G ，碰撞高度越低， d 越大，機車越可能朝碰撞力方向的相反方向倒，對圖 8 是右倒。

參考圖 9，若碰撞點 c 高於重心 G ，對 G 點取矩，得

$$\sum M_G = I_G\alpha: (F_{y1} + F_{y2})h + F_c d = I_G\alpha \quad (3)$$

由方程式(3)知，角加速度 α 恆大於零，機車左倒。這代表若碰撞點高於重心 G ，機車一定沿被撞的方向倒，即左側被撞，機車右倒，稱為左撞右倒；右側被撞，機車左倒，稱為右撞左倒。

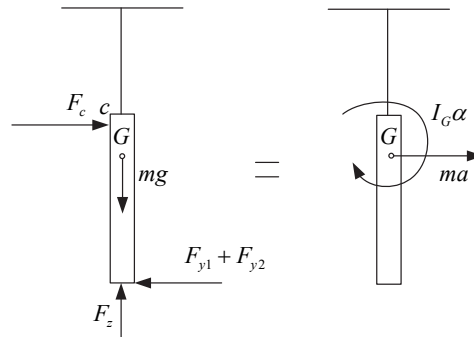


圖 9 機車前視之受力圖和有效力圖（碰撞點 c 高於重心 G ）

3.2 後部碰撞小結

由上述分析可得機車後部被撞後的倒地方向主要由撞擊力對重心之傾倒力矩決定，而此力矩之大小又與撞擊點的高度有密切關係：台灣機車以速克達為主，速克達機車重心低，因此後部左側被撞，機車右倒（左撞右倒）。若後部右側被撞，機車左倒（右撞左倒）。此外，近來汽車的保險桿不像以前保險桿那樣凸出，所以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，檔車後部左側被撞，機車右倒（左撞右倒），後部右側被撞，機車左倒（右撞左倒）。

圖 10 為機車後部被汽車碰撞之例，圖 10(a)為機車 B 後部左側被撞，機車右倒（左撞右倒）。圖 10(b)為機車 A 後部右側被撞，機車左倒（右撞左倒）。

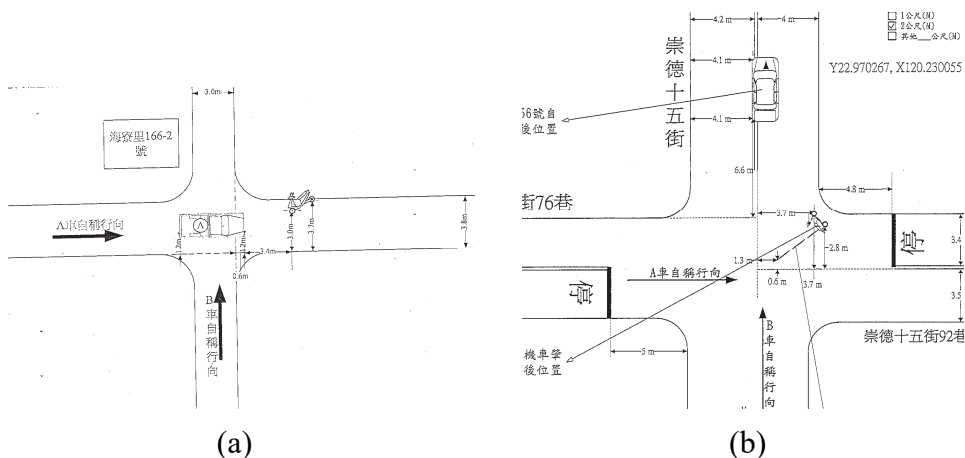


圖 10 機車後部被汽車碰撞之例

四、機車前後部接碰撞的倒地方向

4.1 較斜碰撞

參考圖 11(a)，汽車 *A* 以較斜角度碰撞機車 *B* 的前後部，機車前部被撞，把手向左轉動，形成的陀螺力矩試圖使機車右倒；機車後部右側被撞，傾倒力矩試圖使機車左倒。因汽車較斜角度碰撞機車，前部起較大作用，陀螺力矩大於傾倒力矩，所以機車右倒。

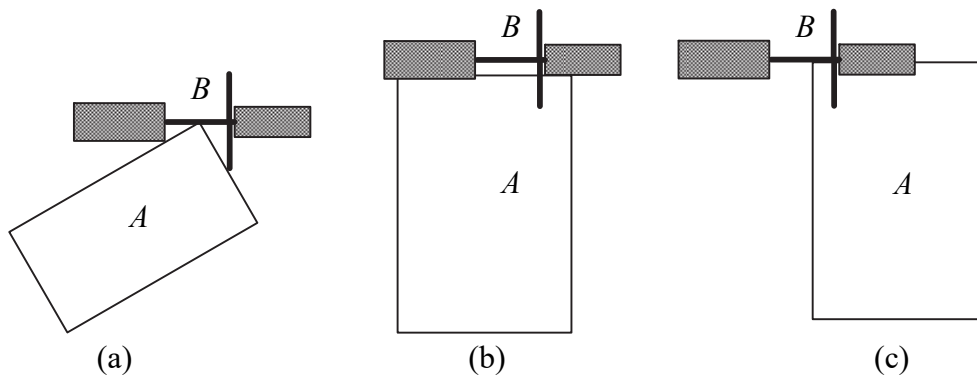
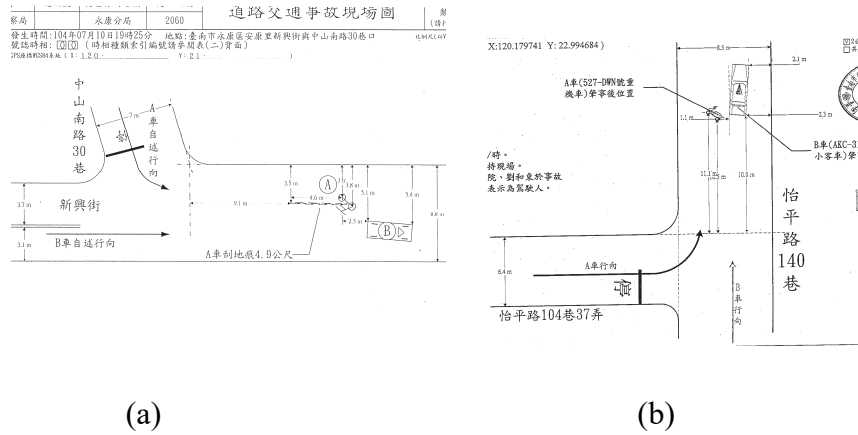


圖 11 機車前後部被汽車碰撞之例

4.2 較正碰撞

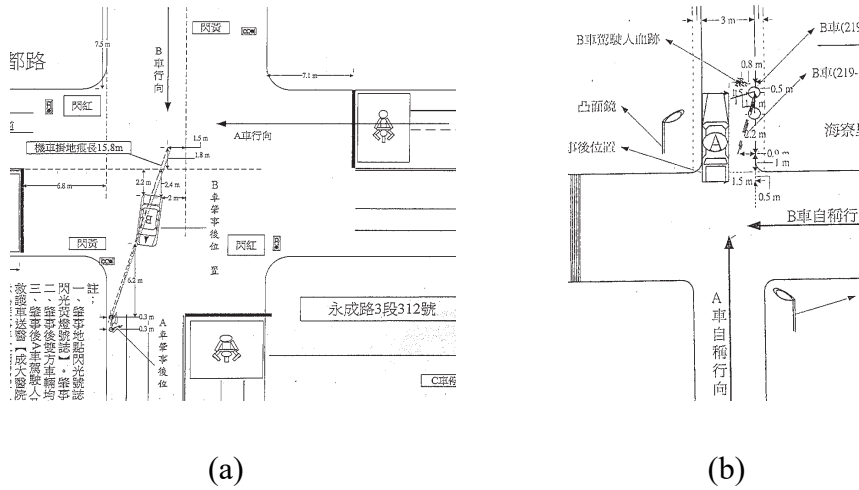
參考圖 11(b) 汽車 *A* 以較正角度碰撞機車 *B* 的前後部，後部接觸面較前部大時，後部起較大作用，機車倒地方向依後部被撞判斷，即機車左撞右倒，右撞左倒。但若碰撞時，前部接觸面較後部大時(見圖 11(c))，這時前部起較大的作用，機車倒地方向依前部被判斷，即把手向左轉動，機車右倒；把手向右轉動，機車左倒。

圖 12(a)和圖 12(b)為汽車 *B* 以較斜角度碰撞機車 *A* 的前後部之例，前部起較大的作用，機車把手向左轉動，機車右倒。圖 13(a)為汽車 *B* 以較正角度碰撞機車 *A* 的前後部之例，後部起較大作用，使機車右撞左倒；圖 13(b)為汽車 *A* 右前方以較正角度碰撞機車 *B* 的前後部之例，前部接觸面較後部大，前部起較大作用，碰撞後機車把手向右轉動，機車左倒。



(a) (b)

圖 12 機車前後部較斜碰撞的倒地方向之例



(a) (b)

圖 13 機車前後部較正碰撞的倒地方向之例

五、實際案例分析

判斷機車倒地方向的步驟大致如下：

- (1) 畫出碰撞示意圖；(2) 畫出碰撞受力圖；(3) 分析倒地方向。

例 1：機車 A 前部於十字路口垂直碰撞機車 B 前部，A、B 兩機車倒地方向之現場圖如圖 14 所示，分析其原因。

- (1) 畫出機車 A 前部垂直碰撞機車 B 前部的示意圖，如圖 15(a)所示。
- (2) 畫出 A 車與 B 車的碰撞受力圖：

如圖 15(b)所示。畫受力圖的步驟敘述如下：

碰撞時若非並行情況，在碰撞處會產生與碰撞面垂直的正向碰撞力 F_c 及與沿碰撞面的切向碰撞力 F_t 。A 車前部正向碰撞 B 車前部，因此正向碰撞力 F_c

方向朝右作用於 B 車前部。利用牛頓第三定律，會有大小相等，方向相反的正向碰撞力 F_c 方向朝左作用在 A 車前部。 B 車的前部往上運動，因此切向碰撞力 F_t 方向朝上作用於 A 車接觸面上，利用牛頓第三定律，會有大小相等，方向相反的切向碰撞力 F_t 方向朝下作用在 B 車前部，這樣就畫出 A 車與 B 車的碰撞受力圖。

(3)分析倒地方向：

圖 15(b)中的，正向碰撞力 F_c 使 B 車碰撞後把手繞 E 點順時針向右轉動，陀螺力矩使 B 車左倒； A 車前部受到 B 車車輪的切向碰撞力 F_t ，方向朝上使 A 車把手繞 D 點逆時針向左轉動，陀螺力矩使 A 車右倒。

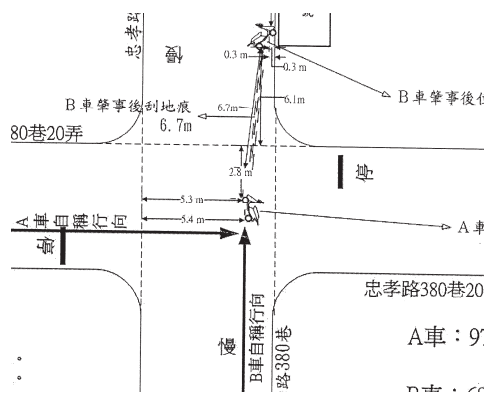


圖 14 機車 A 前部於垂直碰撞機車 B 前部之例

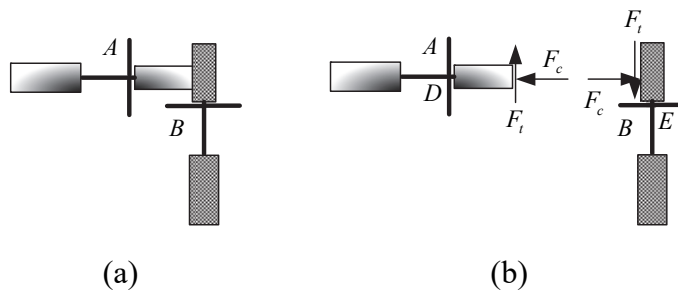


圖 15 機車 A 前部於垂直碰撞機車 B 前部之示意圖與受力圖

例 2：圖 16 為 A 、 B 兩機車同向行駛，發生擦撞倒地之現場圖，分析機車倒地方向。

(1)畫出 A 車與 B 車擦撞的示意圖，如圖 17(a)所示。

(2)畫出 A 車與 B 車的碰撞受力圖：

如圖 17(b)所示， A 車從右邊超車時左把手擦撞到 B 車右把手，因此碰撞力 F 作用在 B 車右把手，方向朝右。根據牛頓第三定律，會有大小相等，方向相反的力 F 作用在 A 車左把手，方向朝左。

(3)分析倒地方向：

碰撞部位屬於前部， B 車右把手受到 A 車左把手的作用力 F ，把手向左轉動，陀螺力矩使 B 車右倒。 A 車左把手碰撞後受到 B 車右把手的反作用力 F ，把手向左轉動，陀螺力矩使 A 車右倒。

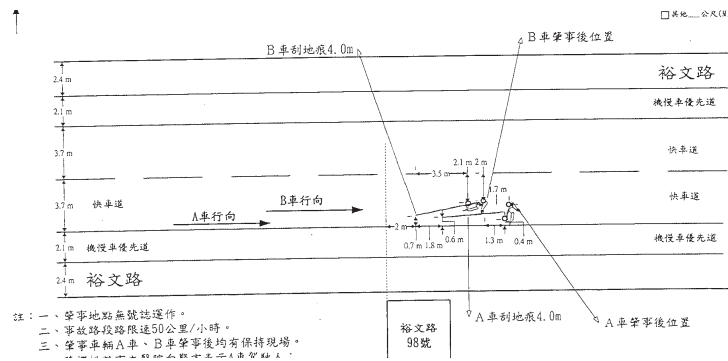


圖 16 A 車與 B 車並行擦撞之現場圖

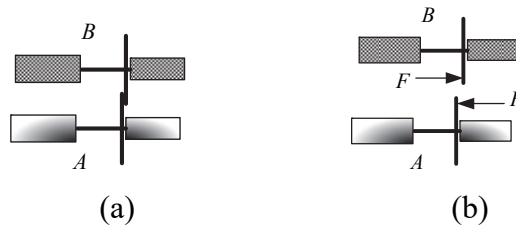


圖 17 A 車與 B 車同向行駛發生擦撞之示意圖與受力圖

討論：從本例題及圖 6 之分析可知，兩機車並行，前部發生擦撞，若兩機車皆左倒，則左方之機車車速較快；若兩機車皆右倒，則右方機車車速較快。當機車汽車並行前部發生擦撞，若機車左倒，則左方之汽車車速較快；若機車右倒，則右方汽車車速較快，這對肇事責任之歸屬有一定之釐清。

例 3：圖 18 為機車 A 與汽車 B 發生垂直碰撞之事故現場圖，分析機車倒地方向。

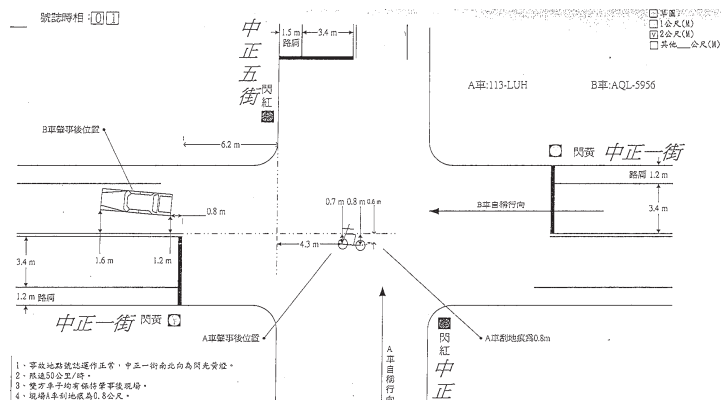


圖 18 機車垂直碰撞汽車撞倒地之現場圖

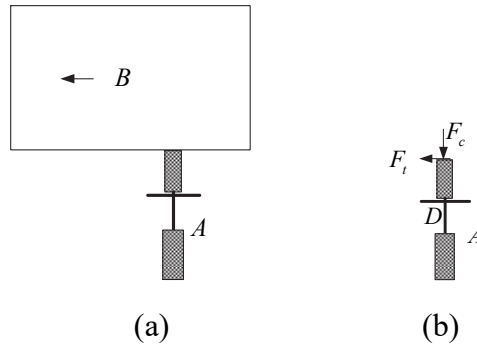


圖 19 機車垂直碰撞汽車之示意圖與機車受力圖

(1) 畫出碰撞示意圖，如圖 19(a)所示。

(2) 畫出機車 A 的碰撞受力圖：

機車 A 車垂直碰撞汽車 B，A 車前部受到 B 車左側的正向碰撞力 F_c ，方向朝下，汽車向左行駛碰撞時產生切向碰撞力 F_t ，方向朝左作用在機車前部上，如圖 19(b)所示。

(3) 分析倒地方向：

機車碰撞部位屬於前部，切向碰撞力 F_t 使機車把手繞 D 點逆時針向左轉動，陀螺力矩使 A 車右倒。

例 4：機車 B 前部於 T 字路口垂直碰撞機車 A 後部，A、B 兩機車倒地方向之現場圖如圖 20 所示，分析其原因。

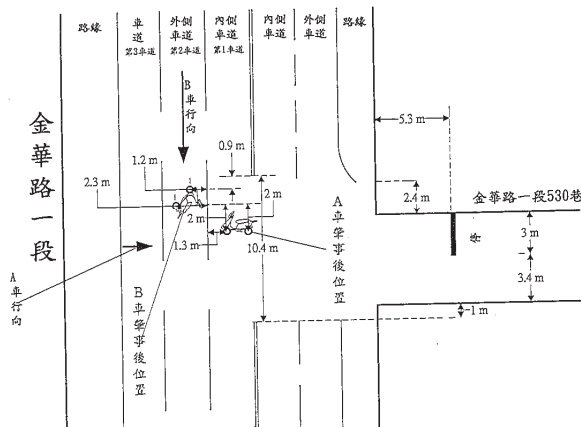


圖 20 機車 B 前部垂直碰撞機車 A 後部之現場圖

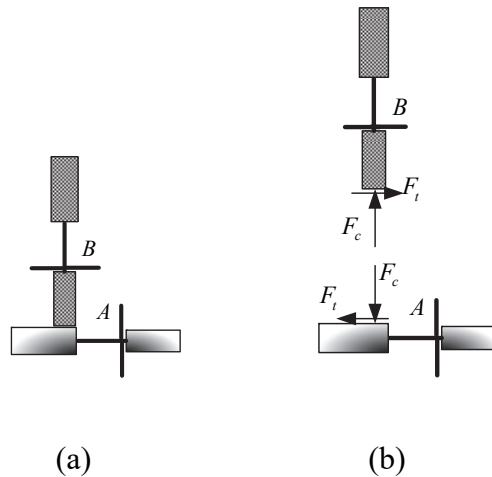


圖 21 機車 B 前部垂直碰撞機車 A 後部之示意圖與受力圖

- (1) 畫出機車 B 前部垂直碰撞機車 A 後部的示意圖，如圖 21(a)所示。
- (2) 畫出 A 車與 B 車的碰撞受力圖：

如圖 21(a)所示，B 車前部正向撞 A 車的後部，因此正向碰撞力 F_c 方向朝下作用於 A 車的後部左側；A 車向右運動，因此切向碰撞力 F_t 方向朝右作用於 B 車接觸面上。利用牛頓第三定律，會有大小相等，方向相反的正向碰撞力 F_c 方向朝上作用在 B 車前部，切向碰撞力 F_t 方向朝左作用於 A 車接觸面上。

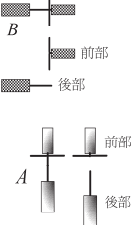



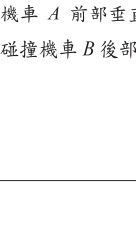



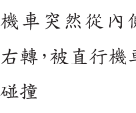
- (3) 分析倒地方向：

圖 21(b)中的 A 車後部左側被撞，正向碰撞力 F_c 使 A 車右倒(左撞右倒)。B 車前部碰撞，車輪的切向碰撞力 F_t 使把手向左轉動，陀螺力矩使 B 車右倒(左轉右倒)。

六、機車倒地方向表

限於篇幅我們將常見的機車與機車的碰撞形式，依 B 車從 A 車左方和右方來發生碰撞，製成表 1。我們用邏輯推理將機車與汽車的碰撞形式和倒地方向製成表 2，機車碰撞倒地方向的簡易判斷表製成表 3。這三個表格放在交通事故力學網站(<http://faculty.stust.edu.tw/~ccchang/traffic>)，方便下載參考使用。



















表 1 機車與機車碰撞的倒地方向

機車 A 前部垂直 碰撞機車 B 前部 	B 車從 A 車左 方來	A 車直行 	A 車左倒, B 車右倒。
		A 車左閃 	1. A 車速度慢, B 車速度快, A 車把手左閃角度小。A 車左倒, B 車右倒。 2. A 車速度快, B 車速度慢, A 車把手左閃角度大。A 車右倒, B 車右倒。
		A 車右閃 	A 車左倒, B 車右倒。
	B 車從 A 車右 方來	A 車直行 	A 車右倒, B 車左倒。
		A 車左閃 	A 車右倒, B 車左倒。
		A 車右閃 	1. A 車速度慢, B 車速度快, A 車把手右閃角度小。A 車右倒, B 車左倒。 2. A 車速度快, B 車速度慢, A 車把手右閃角度大。A 車左倒, B 車左倒。
機車 A 前部垂直 碰撞機車 B 後部 	B 車從 A 車左 方來	A 車直行 	A 車左倒, B 車左倒
		A 車左閃 	B 車左倒, A 車倒地方向與上面 A 車前部垂直碰撞 B 車前部, B 車從 A 車左方來, A 車左閃之情況相同。
		A 車右閃 	A 車左倒, B 車左倒。
	B 車從 A 車右 方來	A 車直行 	A 車右倒, B 車右倒。
		A 車左閃 	A 車右倒, B 車右倒。
		A 車右閃 	B 車右倒, A 車倒地方向與上面 A 車前部垂直碰撞 B 車前部, B 車從 A 車右方來, A 車右閃之情況相同。
機車 A 前部斜撞 機車 B 前部 	B 車從 A 車左 方來	 	1. A 車左倒, B 車右倒。 2. A 快 B 慢, 碰撞角 θ 小, A 車右倒, B 車右倒; A 慢 B 快, 碰撞角 θ 大, A 車左倒, B 車右倒。
	B 車從 A 車右 方來	 	1. A 快 B 慢, 碰撞角 θ 小, A 車左倒, B 車左倒; A 慢 B 快, 碰撞角 θ 大, A 車右倒, B 車左倒。 2. A 車右倒, B 車左倒。
機車 A 前部斜撞 機車 B 後部 	B 車從 A 車左 方來	 	1. A 車左倒, B 車左倒。 2. A 快 B 慢, 碰撞角 θ 小, A 車右倒, B 車左倒; A 慢 B 快, 碰撞角 θ 大, A 車左倒, B 車左倒。
	B 車從 A 車右 方來	 	1. A 快 B 慢, 碰撞角 θ 小, A 車左倒, B 車右倒; A 慢 B 快, 碰撞角 θ 大, A 車右倒, B 車右倒。 2. A 車右倒, B 車右倒。
兩機車並行前 部發生擦撞 	左側機車速度 較快	 	兩機車皆左倒
	右側機車速度 較快	 	兩機車皆右倒
兩機車並行, 一車 左偏或右偏, 後部 發生碰撞 			左側機車左倒, 右側機車右倒。
機車突然從內側 右轉, 被直行機車 碰撞 	機車 A 碰撞機 車 B 前部		A 車左倒, B 車右倒。
	機車 A 碰撞機 車 B 後部		A 車左倒, B 車左倒。

機車前部(前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等);機車後部(車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等)。
判斷原則: 前部碰撞, 把手向右轉動, 機車左倒; 把手向左轉動, 機車右倒。後部碰撞, 左撞右倒; 右撞左倒。

南臺科技大學機械工程系 張超群 製表 2015/12

表 2 機車與汽車(客貨車)碰撞的倒地地方向

機車與並行汽車擦撞	汽車速度較快		機車倒向汽車(汽車在左側, 機車左倒; 汽車在右側, 機車右倒)。
	機車速度較快		機車倒向外側(汽車在左側, 機車右倒; 汽車在右側, 機車左倒)。
汽車(客貨車)垂直碰撞機車側面	垂直碰撞機車前部側面		1. 機車前部左側被撞, 機車左倒(左撞左倒)。 2. 機車前部右側被撞, 機車右倒(右撞右倒)。
	垂直碰撞機車前後部側面		1. 若汽車保險桿較低, 且機車重心較高(例如越野車), 則機車倒向汽車, 左撞左倒, 右撞右倒, 並可能發生二次碰撞, 使倒地方向與前述方向相反。 2. 若機車重心較低(例如速克達機車), 則左撞右倒, 右撞左倒。 3. 客貨車撞擊機車側面, 機車倒向非受撞方向, 即左撞右倒, 右撞左倒。
	垂直碰撞機車後部側面		1. 若汽車保險桿較低, 且機車重心較高(例如越野車), 則機車倒向汽車, 左撞左倒, 右撞右倒, 並可能發生二次碰撞, 使倒地方向與前述方向相反。 2. 若機車重心較低(例如速克達機車), 則左撞右倒, 右撞左倒。 3. 客貨車撞擊機車側面, 機車倒向非受撞方向, 即左撞右倒, 右撞左倒。
機車垂直碰撞汽車側面	機車直行		1. 汽車左方來, 機車左倒; 2. 汽車右方來, 機車右倒。
	機車左閃		1. 汽車左方來車速快, 機車速度慢, 把手左閃角度小, 機車左倒; 機車速度快, 把手左閃角度大, 機車右倒。 2. 汽車右方來, 機車右倒。
	機車右閃		1. 汽車左方來, 機車左倒。 2. 汽車右方來車速快, 機車速度慢, 把手右閃角度小, 機車右倒; 機車車速快, 把手右閃角度大, 機車左倒。
直行機車碰撞對向左轉之汽車	機車直行		1. 汽機車斜碰撞角度 θ 較大(較正碰撞)時, 機車左倒。(機率高) 2. 汽車速度慢, 機車速度快且汽機車斜碰撞角度 θ 較小時, 機車右倒。
	機車左閃		1. 較正碰撞, 汽車速度快, 機車速度慢, 把手左閃轉動的角度小, 機車左倒。 2. 較斜碰撞, 汽車速度慢, 機車速度快, 把手左閃轉動的角度大, 機車右倒。
	機車右閃		汽機車較正或較斜碰撞, 機車皆左倒。
	汽車撞機車		1. 撞機車前部左側, 機車左倒; 2. 撞機車前後部左側, 機車右倒; 3. 撞機車後部左側, 機車右倒。
外側直行機車碰撞內側右轉之汽車	機車直行		汽機車較正或較斜碰撞, 機車皆左倒。
	機車左閃		1. 汽機車較正碰撞, 機車把手左閃轉動的角度小, 機車左倒。(機率高) 2. 汽機車較正碰撞, 機車速度快且把手左閃轉動的角度大, 機車右倒。 3. 汽機車較斜碰撞, 機車把手左閃轉動的角度小, 機車左倒; 4. 汽機車較斜碰撞, 把手左閃轉動的角度小, 若汽車速度快, 機車速度慢, 機車左倒; 若汽車速度慢, 機車速度快, 機車右倒。
	機車右閃		汽機車較正或較斜碰撞, 機車皆左倒。
	汽車撞機車		1. 撞機車前部左側, 機車左倒; 2. 撞機車前後部左側, 機車右倒; 3. 撞機車後部左側, 機車右倒。
直行汽車碰撞轉彎機車	撞對向左彎機車		1. 撞機車前部右側, 機車右倒; 2. 撞機車前後部右側, 機車左倒; 3. 撞機車後部右側, 機車左倒。
	撞同向左彎機車		1. 撞機車前部左側, 機車左倒; 2. 撞機車前後部左側, 機車右倒; 3. 撞機車後部左側, 機車右倒。

機車前部(前輪、前輪蓋、前叉、把手、照後鏡等); 機車後部(車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等)。

判斷原則: 機車前部碰撞, 把手向右轉動, 機車左倒; 把手向左轉動, 機車右倒。機車後部碰撞, 左撞右倒; 右撞左倒。

南臺科技大學機械工程系 張超群 製表 2015/12

表 3 機車碰撞倒地地方向簡易判斷表

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。

七、結論

本文提出機車碰撞或擦撞後倒地地方向的簡易判斷方法。首先將機車分為前部（前輪、前輪蓋、前叉、前把手、照後鏡等）與後部（車架、車殼、引擎、傳動系統、後懸吊系統、排氣管與後輪等）。若碰撞涉及機車前部，機車倒地地方向由陀螺力矩決定；若碰撞涉及機車後部，此時機車倒地地方向主要由碰撞高度與機車重心高度決定。碰撞時通常會產生與碰撞面垂直的正向碰撞力及沿碰撞面的切向碰撞力。判斷機車左倒或右倒的原則為：(1)機車前部發生碰撞，若碰撞後機車把手向左轉動，則機車右倒（左轉右倒）；若碰撞後機車把手向右轉動，則機車左倒（右轉左倒）。(2)機車後部發生碰撞，左側被撞機車右倒（左撞右倒）；右側被撞機車左倒（右撞左倒）。(3)機車前後部同時發生碰撞，若兩車碰撞角度較小(例如同向行駛，一部機車左偏或右偏)，此時前部產生之陀螺力矩影響較大，倒地地方向主要由機車前部決定，即碰撞後機車把手向左轉動，機車右倒；機車把手向右轉動，機車左倒。兩車碰撞角度較大(例如垂直碰撞)時，若後部接觸面較前部大，後部起較大作用，機車倒地地方向依後部碰撞判斷，即機車左撞右倒，右撞左倒；若碰撞時，前部接觸面較後部大時，這時前部起較大的作用，機車倒地地方向依前部碰撞判斷，即把手向左轉動，機車右倒；把手向右轉動，機車左倒。

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；或者機車碰撞前車身已經很傾斜；或者機車被撞後又與撞擊車發生二次碰撞等，造成倒地地方向與原來相反，但這些情況是比較少的例外。因此，本文的機車碰撞或擦撞後倒地地方向的判斷方法及製成的表格，簡單易懂，可供交通警察或車輛行車事故鑑定委員會委員作為判斷肇事責任歸屬的參考，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。
- 郭磊(2008)，汽車與兩輪車碰撞事故的仿真研究及應用，上海交通大學機械與動力工程學院博士論文。
- 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(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。
- 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。
- Brach, R. M. and Brach, R. M. (2005), *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods*, Warrendale, PA: SAE International.
- Macmillan, R. H. (1983), *Dynamics of Vehicle Collisions*, Warrendale, PA: Interscience Enterprises.
- Obenski, K. S. and Hill, P. F. (2002), *Motorcycle Accident Reconstruction and Litigation*, 3rd ed., Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company.