

## 對向直行車與轉彎或迴轉車碰撞時之車速推估

許哲嘉<sup>1</sup>張超群<sup>2</sup>黃國平<sup>3</sup>陳振彰<sup>4</sup>

### 摘要

本文研究在對向直行車與轉彎或迴轉車碰撞事故中，估算直行車在碰撞前車速的方法。將這類的碰撞事故視為二維垂直碰撞模型並以車損法來作分析。首先以四點量測法量測碰撞後車體殘餘變形量，並參考美國高速公路交通安全管理局(NHTSA)對各種車輛分類，提供相對應的勁度係數值來計算車損所吸收之撞擊能，進而求出有效碰撞度，再結合現場跡證如現場煞車距離、滑痕距離及撞擊位置等以估算未撞擊前速度。用車損法針對 18 件實際發生的事故作直行車之車速推估，同時亦以動量法推估並作比較。在這些案件中若是二部車碰撞後再去碰到其他車輛、安全島、地上建築物、水溝或其他突出物，在這種情況下用動量法作分析就會變得很困難，僅用車損法推算直行車車速。結果顯示由車損法推估出的車速傾向會比動量法低。本文以動量法為基準，利用一修正因子對車體所吸收撞擊能部分，作適當修正，讓這兩種方法所得到之結果一致，並彌補動量法在碰撞事故分析上不足。

**關鍵詞：**殘餘壓損、碰撞速度、事故重建

### 一、前言

從交通事故中可以發現車在路口轉彎或在車道迴轉時與對向直行車發生碰撞數量佔了不少的比例，在這類事故糾紛鑑定中，大多會把主要肇事原因給轉彎或迴轉車當事人來承擔，理由是轉彎或迴轉車需禮讓直行車先行。然而，若直行車車速過快，超過速限，造成對方認為兩車之間仍有一段距離而做出轉彎或迴轉動作，在鑑定上亦會考慮加重直行車當事人的肇事責任。從轉彎或迴轉與直行之駕駛行為觀點上來看是很容易判斷責任歸屬，但對於直行車車速是否超速確實有若干困難。目前在鑑定上大多參考雙方的證詞及根據該車煞車距離換算成行駛車速作判斷，至於車損嚴重程度只能以經驗判斷車速快慢但卻無量化之基準，因此本文以車損法研究這類碰撞事故中直行車的車速推估，以便於更能夠釐清這方面問題的責任歸屬。

汽車碰撞是一非常複雜行為，碰撞後要將現場事故完全還原更是一件不容易的事，其中對於碰撞前車速推估更是非常重要的課題，在研究上可用有限元素法(FEM)作數值分析以反推碰撞前車速[1]，但是車體建模耗時及其結構參數不易取得，

<sup>1</sup>南台科技大學機械工程系副教授（聯絡地址：台南縣永康市南台街1號，電話06-2533131 轉3511，E-mail: jjsheu@mail.stut.edu.tw）。

<sup>2</sup>南台科技大學機械工程系副教授（聯絡地址：台南縣永康市南台街1號，電話06-2533131 轉3511，E-mail: ccchang@mail.stut.edu.tw）。

<sup>3</sup>成功大學交通管理科學系副教授（聯絡地址：台南市大學路1號，電話06-2757575 轉53228，E-mail: hwangis@mail.ncku.edu.tw）。

<sup>4</sup>永進機械工業股份有限公司副工程師（聯絡地址：台中縣神岡鄉和睦路888號，電話04-25623211，E-mail: sales@ycmcnc.com）。

在行車事故鑑定應用上不方便。目前有二種較簡易方便的方法來推估碰撞前車速，一種是車損法，此法是依據碰撞後車體殘餘變形量來計算該車所吸收碰撞能量，進而反推碰撞時之有效碰撞速度；另一種是動量法，利用動量守恆定律，從現場碰撞前後位置、方向及碰撞位置來推測碰撞前車速，該方法能夠廣泛地處理含有恢復係數及切線摩擦係數之二維平面碰撞問題，而對車損法而言，二維平面各種角度碰撞分析仍有相當困難，因為車損法係量測車體法線方向之凹損量，若兩車之間碰撞並非正向或垂直碰撞時，在推估車速時會產生可觀之誤差，另外，不容易判斷兩車碰撞時之主要碰撞力方向(PDOF)，因此在有關平面碰撞研究文獻中，很多學者專家傾向使用動量法來作車速推估[2-6]。例如 Ishikawa[2, 3]以平面碰撞力學法對車輛碰撞動態行為有深入研究，用此方法從已知碰撞後速度反推碰撞開始速度，碰撞期間須確認碰撞面方位，且須使用彈性恢復係數及切線衝量率(tangential impulse ratio)；李江等[4]提到以衝量與動量原理探討二維碰撞事故的力學分類及其模型；朱欣順[5]利用動量守恆原理及現場煞車距離推算兩汽車發生二維碰撞時的速度；崔海梁等[6]研究汽車碰撞的速度分析，運用動量守恆定律和能量守恆定律，分別在正面、追尾碰撞和側面碰撞三種情況下，求解汽車碰撞前速度。在側面碰撞研究上完全以動量守恆定律，使用動量向量四邊形圖解法估算碰撞前車速，若碰撞前後兩車行經方向明確，且碰撞後速度大小確定，就可以知道碰撞前車速大小。從上述文獻中可知動量法可以解決文獻中所提出之事故案件，然而真實行車事故往往沒有那麼單純，二部車發生碰撞，碰撞後再碰到其他車輛、安全島、地上建築物、水溝或其它突出物等等之案件亦不少，在這種情況下要用此種方法作分析就會變得很困難，另外有些事故案件裡肇事車輛碰撞後位置可能被移動過，若用此法作分析將會增加車速推估的誤差。車損法主要是根據碰撞後殘餘變形量來推估車速，面對這些困難，車損法可提供另一種解決這類碰撞事故的管道。

以車損法來分析碰撞事故問題，首先必須知道車身結構剛性，但因車身結構相當複雜，不容易從理論上求出車體剛性，一般車體之剛性是從碰撞試驗中得到的，有不少的文獻研究各種車體剛性大小之分析或應用其結果來做行車事故鑑定之車速分析[7-10]。Campbell [7]由碰撞試驗中計算各種車輛之勁度係數大小，並依勁度係數大小範圍而對各種車輛加以分類，不過用來作碰撞試驗的車輛已過於老舊，不合時宜；美國國家高速公路交通安全管理局(NHTSA)根據相同作法，重新作碰撞試驗，然後依據車型軸距長短將車輛結構勁度分成8類 [8]，分類越細，可提昇分析的準確度；Nusholtz [9]提到車體結構勁度與汽車質量沒有明顯關係，但不同型態的車輛有不同的結構勁度。因此，本研究參考美國國家高速公路交通安全管理局(NHTSA)所得到測試資料作分析。另外有關對於殘餘車損量測方式上，陳如娜[11]以二點線性量測方式計算車損量，再根據有效碰撞速度與殘餘車損量之關係推算碰撞開始之車速，由於車體碰撞曲線大多呈現不規則形狀，採用二點量測方式過於簡易；鄧作樑等[12]對車損變形量採用六點量測法，並配合有限元素法分析勁度係數模擬推估碰撞前車速，求解較準確但卻費時；Singh [13,14]提出N點等間距及N點非等間距多點量測汽車碰撞殘餘壓損量，包括三點、四點及六點量測殘餘車損量方法來計算車體碰撞吸收能量，量測點數越多，理論上準確度越高，但卻費時。本文基於量測方便並且不失準確性，採用四點量測法來分析探討轉彎或迴轉車與直行車碰撞問題。

從在路口作轉彎或在車道上作迴轉時與對向直行車碰撞案件中發現很多兩車之碰撞是在一幾近 90 度相對位置情況下發生碰撞，同時一般而言轉彎或迴轉車之車速不快，因此本研究對於這類的碰撞問題將它視為二維垂直碰撞模型來作分析，直行車車頭碰撞轉彎或迴轉車之側邊，忽略轉彎或迴轉車之車速影響，因此假設主要撞擊力方向沿著直行車行駛方向。在碰撞角度及主要撞擊力方向明確後，使用車損法來作車速推估。我們針對實際所發生行車事故案件中符合上述類似碰撞事故加以作分析，由於這些案件無法得知碰撞前正確的車速，因此無法驗證本文所得到的結果準確性。因此本文再以動量法推估車速用來與車損法作比較，並以動量法所得到的結果為基準以修正這兩種方法之差異，讓這兩種方法所推出來的結果能夠一致。

## 二、車損法理論和有效碰撞速度

### 2.1 車輛勁度係數

在早期研究中Campbell [7]提出一個客觀的技術來評估車輛碰撞的嚴重性，他利用各種不同廠牌車輛碰撞固定剛體障礙物，測試發現車輛速度與殘餘車損量(residual crush distance)幾呈線性關係，兩者之間的關係可寫成

$$v = b_0 + b_1 C \quad (1)$$

其中  $v$  為車輛碰撞速度大小， $b_0$  及  $b_1$  為與車輛結構有關之常數， $C$  是殘餘車損量。另外，Campbell提出單位寬度之碰撞作用力與殘餘車損量也呈線性關係，可表示為

$$f = A + BC \quad (2)$$

其中  $f$  為每單位車損寬度之碰撞力； $A$ 和 $B$ 為車體的勁度係數(stiffness coefficient)，其值與車輛結構剛性強度有關。一般車輛在前端、尾部及側邊之結構剛性不同，因此其所對應的勁度係數 $A$ 和 $B$ 值大小不同。

若忽略碰撞恢復係數即碰撞車速度等於剛體障礙物速度時，利用動量守恆及能量守恆，可得方程(1)及(2)之間係數關係為

$$A = \frac{mb_0b_1}{w_0}, \quad B = \frac{mb_1^2}{w_0} \quad (3)$$

其中  $m$  為車之質量， $w_0$  為車損寬度。

從方程(1)、(2)及(3)可知只要知道該碰撞車勁度係數 $A$ 和 $B$ 之值，量測碰撞後車損即可算出該車碰撞剛體障礙物時之碰撞速度，同時亦可以求出碰撞車撞擊期間所吸收的能量。反過來，亦可經由此種碰撞試驗以得到該車之勁度係數 $A$ 和 $B$ 或 $b_0$ 和 $b_1$ 之值。由於車輛種類繁多，不同廠家和不同車款會因設計理念不同或迎合各種性能需求，在車身結構強度上會有所差異，因此車體勁度係數 $A$ 及 $B$ 之值也都不同，這些參數值係從碰撞試驗中得到，需要相當多的車輛來作碰撞試驗以取得較精確的參數值，花費相當可觀且須使用昂貴設備才能完成，因此本文參考美國國家高速公路交通安全管理局(NHTSA)所得到測試資料[8]，將車輛勁度係數依車型及大小不同分成八類(見表1)，應用這些參數值再結合車體撞擊時之殘餘車損量，我們就

可以計算車輛所吸收的撞擊能。表中 $G$ 代表碰撞時單位寬度車體結構所吸收的彈性能，其值與勁度係數 $A$ 和 $B$ 之關係為

$$G = \frac{A^2}{2B}$$

或

$$G = \frac{mb_0^2}{2w_0}$$

表 1 常見車輛分類的前撞及側撞之勁度係數

勁度種類		1	2	3	4	5	6	7	8
		Mini Car	Sub compact	compact	Inter mediate	Full Size	Luxury	Vans	Pick up
前撞	A	52900	45360	55520	62350	56920	56920	67080	84070
	B	324000	296500	386100	234400	255100	255100	868900	344800
	G	4300	3461	4008	8337	6357	6357	2580	10300
側撞	A	13480	24520	30300	25040	31000	31000		
	B	255100	462000	393000	344800	324100	324100		
	G	360	658	1170	903	1472	1472		

單位：A：N/m      B：N/m<sup>2</sup>      G：N

## 2.2 車損能量

若能知道肇事車輛之勁度係數，量測碰撞後該車之殘餘車損，則該車所吸收之撞擊能量 $E$ 可表示為

$$E = \int_0^{w_0} [(\int_0^{C(w)} f dC) + G] dw \quad (4)$$

其中 $C$ 和 $w$ 分別表示車損深度及寬度變數。

一般在實際車輛碰撞事故裡，車損常呈不規則形狀，要用上式來計算車損能量，在行車事故鑑定應用上不實際，一般採用多點量測法來量測變形量並以線性撞擊力來計算撞擊能量，文獻[11]採用兩點量測法，但誤差會較大，也有採用六點量測方式[8, 15, 16]，量測點數越多，理論上所算出來的值越準確，本文為了使用上的簡便又能保持一定之精確度，採用四點量測法來量測碰撞位置各點之殘餘變形量，如圖1所示。我們把肇事車輛車損範圍區分為四大區間，依寬度來區分，取區間的中間值當作我們所測得的數據，量測值分別表示為 $C_1$ ， $C_2$ ， $C_3$ 和 $C_4$ 。

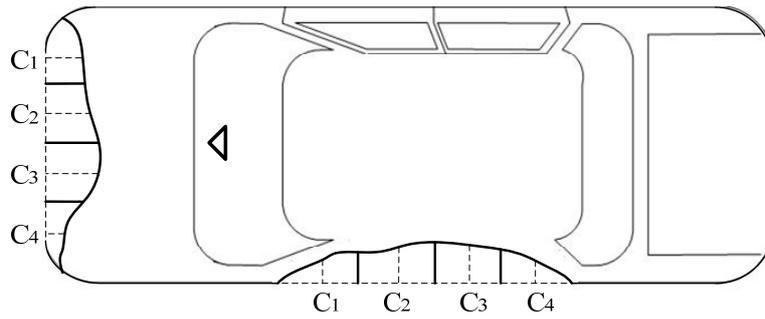


圖 1 四點量測法

將方程式(4)展開可得撞擊時車輛所吸收能量表示為[15]

$$E = \frac{w_0}{3} \left[ \frac{A}{2} (C_1 + 2C_2 + 2C_3 + C_4) + \frac{B}{6} (C_1^2 + 2C_2^2 + 2C_3^2 + C_4^2 + C_1C_2 + C_2C_3 + C_3C_4) + 3G \right] \quad (5)$$

本文將以方程(5)來計算車體所吸收的撞擊能量。

### 2.3 有效碰撞速度

當兩部車發生撞擊時(見圖2)，沿著主要衝擊力方向(PDOF)來分析，以共同速度  $v_c$  為基準，兩車未達到共同速度之前，兩車處於壓縮變形之碰撞階段，經由變形吸收車體部份動能，直到兩車速度相等，車體不再繼續壓損；接下來由於車體結構彈性因素，受壓損產生的彈性恢復力開始作用，兩車處於恢復變形之碰撞階段直到彈性恢復力消失而兩車碰撞結束。碰撞前的車速相對於兩車速度相同之共同速度  $v_c$  時的速度變化量稱為有效碰撞速度  $\Delta v_1$  及  $\Delta v_2$  [11,12]，如圖3所示。利用動量守恆定律可得到下列方程：

$$v_c = \frac{m_1 v_{10} + m_2 v_{20}}{m_1 + m_2} \quad (6)$$

$$\Delta v_1 = v_{10} - v_c = \frac{m_2 (v_{10} - v_{20})}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

$$\Delta v_2 = v_c - v_{20} = \frac{m_1 (v_{10} - v_{20})}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

其中  $m_1$  與  $m_2$  為1與2號車質量， $v_{10}$  與  $v_{20}$  為1與2號車碰撞開始速度，以1號車為基準，其行駛方向之速度大小設為正值，若2號車行駛方向與1號車相反則其速度大小為負值。從方程(6)及(7)可知有效碰撞速度與碰撞前兩車接近速度  $v_{10} - v_{20}$  (closing speed)之關係，即可經由有效碰撞速度  $\Delta v_1$  或  $\Delta v_2$  求出兩車接近速度大小。另外，根據文獻[15]可知，兩車碰撞時，有效碰撞速度  $\Delta v_1$  或  $\Delta v_2$  與兩車所吸收的撞擊能  $E_1$  或  $E_2$  有下列關係：

$$\Delta v_1 = \sqrt{\frac{2\gamma_1(E_1 + E_2)}{m_1\left(\frac{1+\gamma_1 m_1}{\gamma_2 m_2}\right)}} \quad (9)$$

$$\Delta v_2 = \sqrt{\frac{2\gamma_2(E_1 + E_2)}{m_2\left(\frac{1+\gamma_2 m_2}{\gamma_1 m_1}\right)}} \quad (10)$$

其中

$$\gamma_i = \frac{k_i^2}{k_i^2 + h_i^2} \quad i=1,2$$

$\gamma_i$  為偏心碰撞時的修正量， $k_i$  為車之迴轉半徑 (radius of gyration)，NHTSA 依軸距將其分類如表 2 所示； $h_i$  為車輛重心與經過碰撞點的主要碰撞力線之間的最短距離(見圖 2)。

從圖 3 可知，若  $v_{20} = 0$  時，則  $v_{10} = \Delta v_1 + \Delta v_2$ 。在這種情況下，只要計算兩車所吸收之撞擊能量便能得到 1 號車碰撞前的車速，不必再透過現場碰撞後移動軌跡或碰撞後的速度  $v_1$  或  $v_2$  來反推碰撞前的速度，此為車損法在行車事故鑑定應用上之一優點。

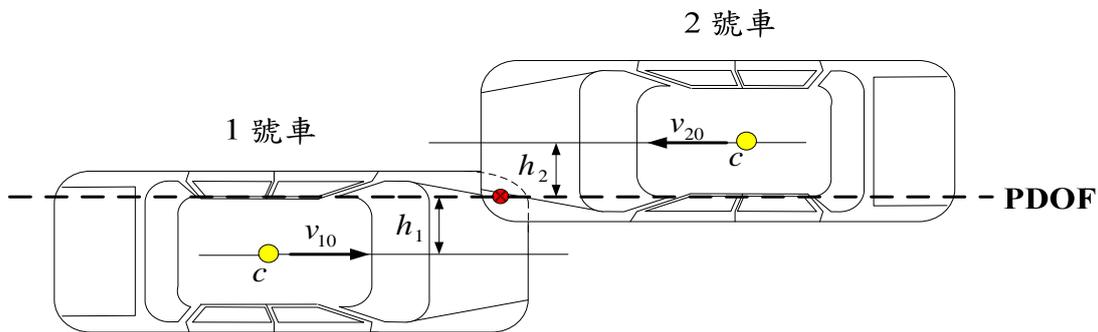


圖 2 簡易示意圖

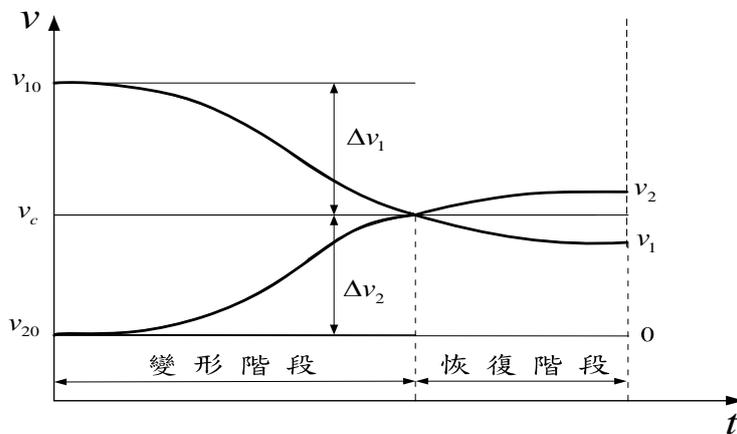


圖 3 兩車碰撞速度變化歷程圖

表 2 依軸距分類所測試出之迴轉半徑

	1	2	3	4	5	6	7
尺寸種類	Mini-car	Sub-compact	Compact	Inter-mediate	Full-size	Luxury	Vans
軸距 (mm)	2054~ 2407	2407~ 2580	2580~ 2804	2804~ 2984	2984~ 3129	3129~ 3810	2768~ 3302
迴轉半徑 (m)	1.138	1.38	1.464	1.554	1.614	1.652	1.548

### 三、車損法與動量法之車速估算

#### 3.1 碰撞模型

一般在路口作轉彎或在車道上作迴轉之車速並不快，因此在這類碰撞事故之車速鑑定上主要是判斷對向直行車之車速是否超過限速行駛，此外有很多轉彎或迴轉車與對向直行車之碰撞案件上常發現兩車幾乎呈現以一幾近90度相對位置情況下發生碰撞。為了以車損法分析這類碰撞事故，本文作了一些假設：

- (1) 忽略轉彎或迴轉車之車速對碰撞行為之影響，即忽略碰撞時切線摩擦係數之影響。
- (2) 轉彎或迴轉車與對向直行車之碰撞視為二維垂直碰撞。
- (3) 撞擊時除了撞擊力外忽略其他外力效應。
- (4) 忽略彈性係數對碰撞之影響。

基於上述之假設，直行車與轉彎或迴轉車之碰撞模型以圖4來表示。以XY軸座標描述兩部車碰撞前及碰撞時之座標位置及行駛方向，其中1與2號車分別沿著X與Y方向行駛。圖中 $S_1$ 、 $S_2$ 和 $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 分別為兩部車輛碰撞前所留下的煞車距離及輪胎與地面間摩擦係數。根據上述之假設，主要撞擊力方向係沿者1號車行駛方向，此外2號車行駛方向假設與1號車垂直，因此2號車在X方向之速度分量為0，我們根據表1之前撞及側撞對應的勁度係數值，利用方程(5)計算兩部車輛的碰撞能量 $E_1$ 及 $E_2$ ，接著利用方程(9)及(10)求出1與2號車的有效碰撞速度 $\Delta v_1$ 與 $\Delta v_2$ ，其中 $\Delta v_2$ 係指2號車在X方向有效碰撞速度分量，則1號車碰撞開始速度 $v_{10}$ 可寫為

$$v_{10} = \Delta v_1 + \Delta v_2 \quad (11)$$

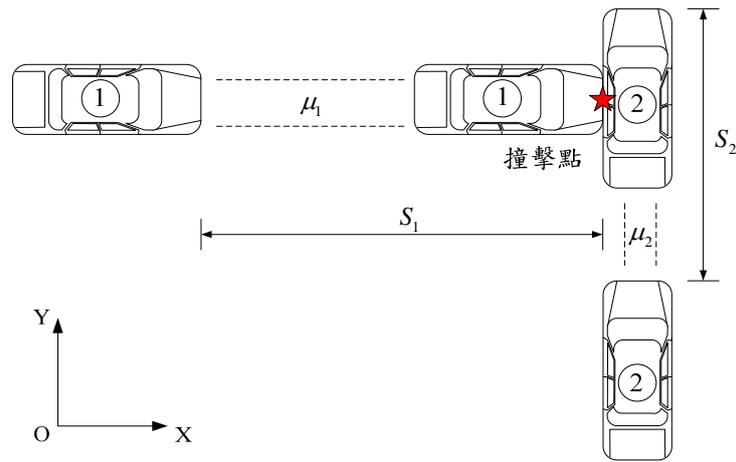


圖 4 直行車與轉彎或迴轉車肇事簡易現場圖

再根據肇事現場所量測出來1號車在未碰撞前的煞車距離 $S_1$ ，我們可得到1號車未踩煞車前之車速為

$$v_{1s} = \sqrt{2\mu_1 g S_1 + v_{10}^2} \quad (12)$$

### 3.2 動量法估算車速

為了要評估車損法所推估車速大小之合理性，本文亦使用動量法來推估車速並與車損法作比較。二維碰撞示意圖如圖5所示，其中 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 分別為1號車和2號車碰撞前的角度； $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 分別為1號車和2號車碰撞後的角度。

汽車碰撞結束後的速度大小可從碰撞後的移動距離或是煞車距離，利用功能原理可得到碰撞後車速 $v_1$ 和 $v_2$ 。根據動量守恆定律可知，碰撞前的動量會等於碰撞後的動量，因此

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2' \quad (13)$$

其中， $\vec{P}_1' = m_1 \vec{v}_1'$ 、 $\vec{P}_2' = m_2 \vec{v}_2'$ 分別為兩車碰撞後動量， $\vec{P}_1 = m_1 \vec{v}_{10}$ 、 $\vec{P}_2 = m_2 \vec{v}_{20}$ 分別為兩車碰撞前動量。若碰撞前行駛方向確定，則我們可從該方程式(13)得到碰撞開始速度 $v_{10}$ 和 $v_{20}$ ，然後再根據1號車碰撞前煞車距離就可以推算1號車未踩煞車前之車速。由於碰撞後速度係依據碰撞後滑動距離及輪胎與地面間摩擦係數來估算，摩擦係數取值大小會影響到碰撞後速度大小，因而影響到碰撞開始速度大小 $v_{10}$ 和 $v_{20}$ ，為了要提升以動量法所求出車速之合理性，將求得之碰撞開始速度 $v_{10}$ 和 $v_{20}$ 來反推兩車碰撞時之彈性恢復係數。從相關研究[11,16]可知，幾乎大多數車輛碰撞之彈性恢復係數介於0-0.3之間，因此若所算出之彈性恢復係數若超過0.3，重新設定摩擦係數大小讓所算出來的結果符合彈性恢復係數合理範圍。同時，並以切線摩擦係數(衡量比)與臨界衡量比[16]之比較來判斷推估車速大小是否合理，若不合理再重新設定摩擦係數取值以增加推估車速之合理性。

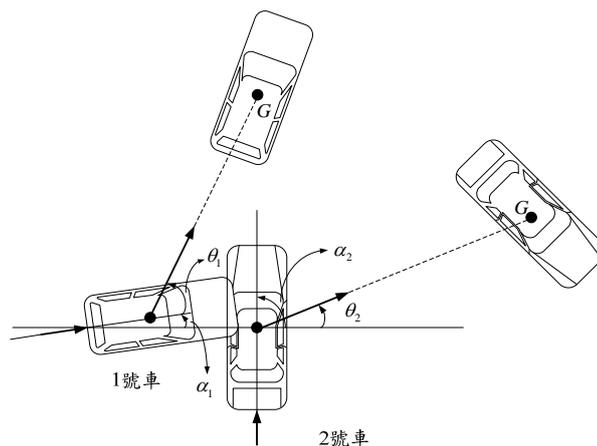


圖 5 二維碰撞簡易示意圖

## 四、結果與討論

### 4.1 推估車速比較

首先，我們用真實案例分別以車損法及動量法來反推這類事故中直行車之車速大小。從台南區車輛行車事故鑑定委員會裡蒐集了符合轉彎或迴轉車與對向直行車碰撞事故計18件。這些案件之車身資料及肇事現場碰撞前後位置方向等相關數據列於表3及表4。表3及表4分別為用於以車損法和動量法推估車速所需資料，其中在表4內，有六件事務所對應方格內看到“-”符號，表示本文沒有用動量法作推估車速模擬，因為動量法必須明確清楚知道肇事現場兩車碰撞時之相對位置，然後去量測兩車移動方位及距離，若現場肇事圖中，沒有遺留煞車痕跡或是散落物，則不易明確判別其撞擊點的位置，在此情況下使用動量法推估車速，其結果將會受到很大之爭議。此外肇事車輛若有二次撞擊情況，例如撞擊到分隔島、交通號誌、路邊車輛等問題，這必然牽扯到二次撞擊時的能量交換問題，要用動量法推估有相當困難度。

本研究是以1號車之車頭撞擊2號車側邊，1號車為直行車，其車速大小為本文所研究對象，2號車為轉彎或迴轉車，其車速不考慮。這些事故案件不易經由碰撞實驗或理論分析獲得正確解答，所以除了使用動量法來做比較外，亦把當事者的自稱車速大小列進來做比較，不過其值僅供參考，因為有些肇事者可能為了逃避責任歸屬，對於肇事車速可能會有所隱瞞，因此在鑑定分析上仍須使用客觀的方法如車損法或動量法來提供有力的驗證。用這兩種方法對這18筆資料所推估出來的車速列於表5，所得的結果說明於下：

為了確保平面動量法所推估車速的合理性，研究中藉由恢復係數 $e$ 值來判斷所推估車速合不合理。恢復係數 $e$ 之定義為

$$e = \frac{v_{2n} - v_{1n}}{v_{10n} - v_{20n}} \quad (14)$$

其中 $v_{1n}$ 和 $v_{2n}$ 分別為1與2號車碰撞後主要撞擊力方向的速度分量， $v_{10n}$ 、 $v_{20n}$ 為1與2號車碰撞前主要撞擊力方向的速度分量。在文獻中車輛碰撞之 $e$ 值範圍大多落在

0~0.3之間，若反推出來的車速超過此範圍，輪胎與地面間摩擦係數重新取值直到 $e$ 值合乎範圍。從表5中可看出恢復係數 $e$ 值大多非常小，皆已落在合理範圍，而且幾可視為完全塑性碰撞。

從表5中看出車損法所推估車速 $v_{sc}$ 與動量法推估車速 $v_{sm}$ 之大小，其中有6筆案件因不易用動量法推估而未做分析，由車損法所推估的車速大小傾向低於動量法所推估的車速，其較低的原因可能是在以車損法推估此類問題時，假設兩車撞擊角度為90度，忽略主力撞擊力方向(PDOF)而引起的誤差；另一原因可能是車損變形估測所帶來的誤差，再者根據國內外學者所統計的結果，也發現其由車損法推估的車速會低於動量法所推估的車速。兩種方法所推估車速之差異，我們以動量法為基準，其差異以 $\delta_1$ 來表示，從表中可看出每一件事務差異值，將現有12件事務之差異值予以平均，其平均值為 $\delta_{1av}=7.87\%$ ，表示車損法推估車速較保守，該平均值 $\delta_{1av}$ 可作為日後作類似事故案件鑑定分析時兩種方法推估車速之參考。

此外，我們將車損法所推估車速與當事人自稱車速 $v_p$ 作比較，同時將肇事路段限速 $v_L$ 列入作參考，從表5中可發現當事人自稱車速傾向低於限速，當事人或許確實是低於速限行駛，亦有可能是高於速限行駛，但為了逃避責任而以當地速限作為個人當時行駛車速，即 $v_p=v_L$ ，從案件1、13及15裡，當事人自稱車速與當地速限相同，然而所推估車速 $v_{sc}$ 高於當事人自稱車速。值得注意的是在案件5、10、12及17裡，當事人自稱車速超過當地速限，以車損法或動量法所推估車速亦超過速限，表示當事人向警方確實或折衷交代當時行駛速度。從18件行車事故中車損法所推估車速傾向高於當事人自稱車速，兩者之間差異值以 $\delta_2$ 來表示(見表5)，將這18件事務之差異值予以平均，其平均值為 $\delta_{2av}=12.45\%$ ，此差異值可以知道大多數當事人自稱車速會較保守，不過在車速推估上僅能參考而已，不能依此來判斷研究推估方法的可行性。

## 4.2 車損法修正

轉彎或迴轉車與對向直行車之碰撞，本文忽略轉彎或迴轉車速所引起切線衝量比效應，主要撞擊力方向假設沿著直行車行駛方向，此外此類碰撞事故假設為完全90度撞擊，事實上一般行車事故案件很少符合這樣的情況，因此本文以動量法所推估的車速為基準，對於撞擊車所吸收的能量作適度修正，經修正後其有效碰撞速度公式為

$$\Delta v_1 = \sqrt{\frac{2\gamma_1\beta(E_1 + E_2)}{m_1\left(\frac{1+\gamma_1 m_1}{\gamma_2 m_2}\right)}} \quad (15)$$

$$\Delta v_2 = \sqrt{\frac{2\gamma_2\beta(E_1 + E_2)}{m_2\left(\frac{1+\gamma_2 m_2}{\gamma_1 m_1}\right)}} \quad (16)$$

其中 $\beta$ 為與碰撞時車體所吸收能量有關之修正因子。透過上式(15)及(16)代入12件行車事故案件分析，我們得到其所對應的 $\beta$ 值，反過來，將車損能量乘以 $\beta$ 值作適

度修正，則用車損法所推估之車速將會與動量法一致。由於車損法所推估之車速低於動量法，因此 $\beta$ 值除了第16件外，原因為其車損法所推估出車速大於動量法所推估的車速，所以 $\beta$ 值會小於1，其餘值都大於1，從這12件行車事故案件中將修正因子 $\beta$ 加以平均，所得的平均值為 $\beta_{av}=1.143\pm 0.134$ ，此值可以作為日後在行車事故鑑定分析中車速推估之參考。

## 五、結論

本文研究轉彎或迴轉車與對向直行車碰撞事故中直行車之車速推估方法，將這類事故視為二維垂直碰撞模型並以車損法及動量法來推估車速。然後為了檢驗車速推估之準確性並比較車損法與動量法之差異，我們以18件實際發生車輛肇事案件來作分析，所推估之車速與動量法作比較。

結果顯示車損法所推估的車速傾向低於動量法，因此以動量法推估的車速為基準，若在車損能量上做適度修正，將會使這兩種方法得到一致性結果，從其中12件事務分析中得到修正因子平均值為 $\beta_{av}=1.143\pm 0.134$ ，此值可作為日後行車事故鑑定分析參考。此外雖然動量法在行車事故應用分析上是一非常有用之工具，但是如果兩車碰撞後再碰到其他車輛、安全島、地上建築物、水溝或其他突出物之事故，使用動量法作分析將會遭遇困難，而車損法係根據碰撞後殘餘車損量推算當時的車速，故可減輕或避免碰撞後對各種可能發生狀況不確定性因素之依賴，從這18件事務分析中發現車損法能夠解決這類事故，因此它是一個不可或缺，並且可以與動量法相輔相成之工具。

## 參考文獻

1. 徐敦舸、高衛民、李濤 (2001)，「轎車正面碰撞有限元仿真模擬建模」，城市車輛，頁 25-27。
2. Ishikawa, H. (1993), "Impact Model for Accident Reconstruction - Normal and Tangential Restitution Coefficients", SAE Paper 930654.
3. Ishikawa, H. (1985), "Computer Simulation of Automobile Collision-Reconstruction of Accidents", SAE Paper 851729.
4. 李江、倪行達、金同明 (1999)，「二維碰撞事故的力學分類及其模型」，公路交通科技，第十六卷第二期，頁 74-77。
5. 朱欣順 (2006)，「繞碰撞點轉動的汽車二維碰撞速度分析」，交通科技與經濟，第三卷，頁 71-72。
6. 崔海梁、王忠義、吳社強、許力 (2003)，「汽車碰撞事故的速度分析」，長安大學學報，第二十三卷第一期，頁 84-86。
7. Campbell, K. L. (1974), "Energy Basis for Collision Severity", SAE Paper 740565.
8. Huang, M. (2002), Vehicle Crash Mechanics, CRC Press, London.

9. Nusholtz, G. (2004), "Vehicle Mass and Stiffness: Search for a Relationship" , SAE 2004 Congress, March, Detroit, USA.
10. Neptune, J. A. and Flynn, J. E. (1998), "A Method for Determining Crush Stiffness Coefficients from Offset Frontal and Side Crash Tests" , SAE Paper 980024.
11. 陳如娜 (2003), 「車輛碰撞過程分析」, 長春理工大學學報, 第二十六卷第一期, 頁 78-80。
12. 鄧作樑、李國榮 (2005), 「車損法勁度係數推估之研究」, 車輛工程 2, 頁 65-80。
13. Singh, J., Perry, J. and Welcher, J. (2003), "The Complete Derivation of the Three Point Linearly Interpolated Vehicle Crush Profile" , The Accreditation Commission for Traffic Accident Reconstruction [ACTR].
14. Singh, J., Perry, J. and Welcher, J. (2003), "N-point Linear Interpolation of Motor Vehicle Crush Profiles Applied to Various Force-shortening Models" , International Journal of Crashworthiness, Vol. 8 (4), pp. 321-328.
15. Brach, Raymond M. and Brach, R. Matthew (2005), Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods, SAE International.
16. McHenry, R. R. (1975), "A Comparison of Results Obtained with Different Analytical Techniques for Reconstruction of Highway Accidents" , SAE Paper 750893.

表 3 行車事故案件中肇事車輛有關數據

案件	$L_1$ (m)	$L_2$ (m)	$w_1$ (m)	$w_2$ (m)	$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	$WB_1$ (m)	$WB_2$ (m)	$S_1$ (m)
1	4.82	4.29	1.82	1.69	1460	1000	2.74	2.50	0.0
2	3.58	3.84	1.60	1.65	935	1093	2.36	2.49	5.7
3	4.82	4.50	1.82	1.69	1460	1260	2.74	2.60	15.6
4	4.40	4.84	1.69	1.73	1050	1590	2.53	2.70	5.0
5	4.82	4.49	1.82	1.75	1460	1425	2.74	2.56	4.8
6	4.86	3.96	1.77	1.67	1430	1000	2.70	2.39	5.0
7	4.89	4.41	1.84	1.71	1190	1180	2.75	2.60	10.0
8	4.68	4.47	1.74	1.71	1420	1430	2.64	2.36	7.8
9	4.47	4.50	1.71	1.69	1430	1260	2.36	2.60	4.0
10	3.96	4.28	1.67	1.75	1000	2760	2.39	2.49	9.7
11	4.45	4.54	1.69	1.75	1090	1240	2.62	2.70	10.7
12	4.47	4.03	1.71	1.74	1280	1285	2.36	2.60	14.2
13	4.67	4.47	1.77	1.71	1217	1280	2.61	2.36	9.8
14	4.40	4.50	1.69	1.69	1167	1260	2.53	2.60	0.0
15	4.40	4.12	1.69	1.66	1167	1005	2.53	2.38	9.0
16	4.53	3.58	1.71	1.60	1165	935	2.60	2.36	0.8
17	4.45	4.42	1.69	1.69	1240	1200	2.62	2.61	17.0
18	4.67	4.55	1.77	1.74	1217	2300	2.61	2.35	4.2

( $L_1$ 、 $L_2$  為 1 和 2 號車之車長； $w_1$ 、 $w_2$  為 1 和 2 號車之車寬； $m_1$ 、 $m_2$  為 1 和 2 號車之質量； $WB_1$ 、 $WB_2$  為 1 和 2 號車之軸距； $S_1$  為 1 號車之煞車距離)

表 4 運用動量法相關參數

案件	$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\theta_1$	$\theta_2$	$S_1$ (m)	$S_1$ (m)	$\mu_1$	$\mu_2$
1	1460	1000	--	--	--	--	--	--	--	--
2	935	1093	--	--	--	--	--	--	--	--
3	1460	1260	--	--	--	--	--	--	--	--
4	1167	1590	0°	90°	5°	43°	9.6	4.2	0.3	0.3
5	1460	1425	8°	90°	40°	25°	2.6	7.2	0.4	0.3
6	1430	1000	--	--	--	--	--	--	--	--
7	1190	1180	13°	90°	35°	15°	2.0	7.2	0.5	0.3
8	1420	1430	--	--	--	--	--	--	--	--
9	1430	1260	--	--	--	--	--	--	--	--
10	1000	2760	6°	90°	38°	30°	1.8	1.4	0.3	0.3
11	1090	1240	9°	90°	38°	15°	9.7	7.3	0.3	0.3
12	1280	1285	7°	90°	55°	5°	11.3	5.1	0.3	0.3
13	1217	1280	5°	90°	15°	20°	4.0	5.5	0.3	0.3
14	1167	1260	5°	90°	11°	32°	5.6	12.8	0.3	0.3
15	1167	1005	5°	90°	15°	27°	8.0	11.1	0.3	0.3
16	1165	935	3°	90°	13°	5°	2.0	4.3	0.3	0.3
17	1240	1200	0°	90°	3°	40°	2.0	5.5	0.3	0.3
18	1217	2300	3°	90°	13°	5°	14.1	8.5	0.3	0.3

表 5 推估車速比較及差異表

案件	$v_{sc}$	$v_{sm}$	$v_P$	$v_L$	$\delta_1$	$\delta_2$	$e$	$\beta$
1	49.0	--	50	70	--	2%	--	--
2	46.0	--	50	50	--	8%	--	--
3	69.0	--	60	60	--	15%	--	--
4	44.6	54.9	40	50	18.8%	11.5%	0.2335	1.411
5	55.0	55.3	60	50	0.1%	8.3%	0.1685	1.002
6	53.0	--	50~60	70	--	3.6%	--	--
7	48.0	56.1	40	50	14.1%	24.3%	0.1745	1.301
8	52.9	--	60	60	--	20%	--	--
9	49.6	--	50	50	--	0.1%	--	--
10	57.4	61.8	60	40	6.9%	4.3%	0.0050	1.145
11	61.6	65.9	60	70	6.6%	2.7%	0.0830	1.136
12	63.0	65.9	60~70	50	4.4%	3.1%	0.0440	1.089
13	57.0	58.1	50	50	1.9%	14%	0.0447	1.038
14	42.1	49.0	50~60	50	14.1%	23.5%	0.1310	1.301
15	61.5	63.1	50	50	2.5%	23%	0.0317	1.051
16	39.0	36.4	30~40	50	7.1%	11.4%	0.0895	0.863
17	64.4	64.9	50	40	0.1%	28.8%	0.0145	1.002
18	48.2	58.4	40	50	17.8%	20.5%	0.1447	1.379

$(\delta_1 = \left| \frac{v_{sc} - v_{sm}}{v_{sm}} \right| \times 100\% ; \delta_2 = \left| \frac{v_{sc} - v_P}{v_P} \right| \times 100\%)$ ，其中  $v_{sc}$  和  $v_{sm}$  分別為車損法和動量法所推估的

車速， $v_P$  為當事人自稱車速， $v_L$  為肇事路段限速，車速單位：km/h)

