

# 正撞衝擊測驗數值模型之建立與分析

楊書銘、鄧作樑

E-mail: 9419548@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

為有效減少車禍事故中乘員之傷亡，各大車廠不斷地研發各式各樣的安全防護配備。在評估車輛各項防護裝置能否符合預期的安全功能中，必須經過各種實驗測試，來觀察乘員之動態行為，並量測計算實驗人偶所受到的損傷反應，以提供做為研發之參考。評估測試方法包括整車碰撞測試與台車衝擊試驗；其中台車衝擊實驗具有可重複性及測試成本較低之優點，故普遍被使用於評估車輛安全輔助系統之效能。由於電腦輔助工程與分析方法不斷突飛猛進，目前利用數值方法進行台車衝擊實驗模擬已成為車輛業者的有效分析工具。然而採用數值方法進行模擬時，若欲模擬實驗測試結果，建立正確的數值分析模型為首要工作。因此，本研究之主要目的在於建構與驗證一正確台車衝擊測試有限元素模型，以有效模擬車輛乘員碰撞之損傷情形。在台車衝擊測試模擬中，首先依據Hybrid 50% 實驗人偶來建構正面碰撞人偶有限元素模型；另在台車數值模型設定中所須要的相關參數將利用實驗進行特性參數量測，如座椅之椅墊與椅背材質、座椅轉角器、安全帶織帶拉伸率和捲收器抗拉強度等；最後並將有限元素人偶與台車有限元素模型結合，形成一真實有效的台車衝擊測試模型，以利進行台車衝擊測試模擬；為確認本研究建構之台車衝擊測試模型的正確性，模擬結果並與台車衝擊實驗進行比對。本研究所建立之模型將可進行車輛結構與安全防護裝置之安全性評估，以提供車廠與相關車輛研究單位進行研發設計之參考。

關鍵詞：台車衝擊測試，正面碰撞，LS-DYNA

## 目錄

目錄封面內頁 簽名頁 授權書 iii 中文摘要 v 英文摘要 vii 誌謝 ix 目錄 xi 圖目錄 xv 表目錄 xx 符號說明 xxi 第一章前言 1 1.1 研究動機 1 1.2 文獻回顧 4 1.3 研究目的 7 1.4 論文架構 9 第二章基本理論 13 2.1 偏微分程式之空間離散法 14 2.1.1 Lagrangian描述法 14 2.1.2 Eulerian描述法 15 2.2 等向性彈性材料組構關係 16 2.3 分析程式之應用 17 2.3.1 前、後處理器 17 2.3.2 網格劃分 17 2.3.3 沙漏問題之處理 18 2.3.4 接觸面問題之計算 18 2.4 人體損傷指標 21 2.4.1 頭部傷害指標 21 2.4.2 頸部傷害指標 22 2.4.3 胸部傷害指標 23 2.4.4 下四肢傷害指標 24 第三章有限元素人偶模型之建構 30 3.1 有限元素人偶模型 31 3.1.1 頭部 32 3.1.2 頸部 32 3.1.3 上軀幹 33 3.1.4 下軀幹 33 3.1.5 上四肢 34 3.1.6 下四肢 34 3.1.7 人偶關節 35 3.2 實驗人偶校正法規 37 3.2.1 頭部落下測試 38 3.2.2 頸部擺臂撞擊測試 38 3.2.3 胸部擺錘撞擊測試 39 3.2.4 膝部擺錘撞擊測試 40 3.3 有限元素人偶模型之驗證 41 3.3.1 頭部落下測試模擬 41 3.3.2 頸部擺臂撞擊測試模擬驗證 43 3.3.3 胸部擺錘撞擊測試模擬 45 3.3.4 膝部擺錘撞擊測試模擬 47 第四章衝擊台車有限元素模型之建構 99 4.1 台車有限元素模型 99 4.2 座椅有限元素模型 100 4.2.1 座椅材質 100 4.2.2 轉向器結構勁度 101 4.3 安全帶有限元素模型 102 4.3.1 安全帶有限元素模型之建構 103 4.4 台車有限元素模型之應用 104 第五章台車衝擊試驗數值模擬 116 5.1 數值模擬方法驗證 116 5.1.1 台車衝擊數值模型 116 5.1.2 台車衝擊試驗模擬分析 117 5.2 有限元素人偶模型適用性分析 118 5.3 衝擊台車數值模型適用性分析 119 5.4 衝擊台車數值模型之建構 120 5.5 台車衝擊試驗與模擬 122 5.6 安全帶特性分析 123 5.6.1 織帶拉伸率特性分析 124 5.6.2 捲收器抗拉強度特性分析 124 第六章結論與未來展望 146 參考文獻 149 圖目錄 圖1.1 92年度道路交通事故車類別百分比 10 圖1.2 整車實車碰撞測試 10 圖1.3 台車衝擊試驗 11 圖2.1 數值分析流程圖 25 圖2.2 沙漏模式 26 圖2.3 主區域與次區域示意圖 26 圖2.4 處理接觸與碰撞之步驟 27 圖2.5 點對點的概括搜尋示意 27 圖2.6 搜尋半徑示意圖 28 圖2.7 四個主區域 28 圖2.8 主區域在S之投影 29 圖2.9 防禦點作用力之分布 29 圖3.1 三種有限元素可變形人偶模型 49 圖3.2 Hybrid 50%可變形有限元素人偶模型 50 圖3.3 Hybrid 50%可變形人偶外部有限元素模型組成 51 圖3.4 Hybrid 50%可變形人偶內部有限元素模型組成 51 圖3.5 頭部外部有限元素模型 52 圖3.6 頭骨有限元素模型 52 圖3.7 頸骨外部有限元素模型 52 圖3.8 頸骨有限元素模型模型 52 圖3.9 胸部外部有限元素模型 53 圖3.10 胸骨有限元素模型 53 圖3.11 腰部有限元素模型 53 圖3.12 骨盤骨有限元素模型 53 圖3.13 腰椎外部有限元素模型 54 圖3.14 腰椎骨盤有限元素模型 54 圖3.15 手部有限元素模型 54 圖3.16 腿部有限元素模型 55 圖3.17 LS-DYNA的六種JOINT形式 55 圖3.18 關節座標定義 56 圖3.19 肩胛骨關節 -方向負載曲線 56 圖3.20 左肩關節 -方向負載曲線 57 圖3.21 肘關節 -方向負載曲線 57 圖3.22 肘關節- 方向負載曲線 58 圖3.23 肘關節- 方向負載曲線 58 圖3.24 腕關節- 方向負載曲線 59 圖3.25 腕關節- 方向負載曲線 59 圖3.26 腕關節- 方向負載曲線 60 圖3.27 左腕關節- 方向負載曲線 60 圖3.28 右腕關節- 方向負載曲線 61 圖3.29 人偶頭部落下實驗設備 62 圖3.30 頭部落下測試有限元素模型 62 圖3.31 有限元素人偶模型頭部落下動態反應圖 63 圖3.32 頭部落下測試頭部加速度歷時圖 64 圖3.33 人偶頸部撓曲實驗設備 64 圖3.34 人偶頸部撓曲擺臂 65 圖3.35 人偶頸部撓曲實驗示意圖 65 圖3.36 頸部擺臂撞擊測試有限元素模型 66 圖3.37 人偶頸部拉伸加速度曲線圖 66 圖3.38 人偶頸部壓縮加速度曲線圖 67 圖3.39 D平面旋轉定義 67 圖3.40 頸部擺臂撞擊拉伸動態反應圖 68 圖3.41 頸部拉伸模擬之頭部D平面之旋轉角歷時圖 69 圖3.42 頸部擺臂撞擊壓縮動態反應圖 70 圖3.43 頸
--

部壓縮模擬之頭部D平面之旋轉角歷時圖 71 圖3.44 人偶胸部擺錘撞擊實驗設備 71 圖3.45 胸部擺錘撞擊測試有限元素模型  
72 圖3.46 胸部擺錘撞擊動態反應圖 73 圖3.47 胸部擺錘撞擊測試胸部變形圖 74 圖3.48 人偶膝部擺錘撞擊實驗設備 75  
圖3.49 膝部擺錘撞擊測試有限元素模型 75 圖3.50 膝部擺錘撞擊動態反應圖 76 圖3.51 膝部擺錘撞擊測試膝部受力圖 77  
圖4.1 台車衝擊試驗 106 圖4.2 台車衝擊動態反應圖 107 圖4.3 車輛座椅 108 圖4.4 座椅有限元素模型變形動態圖 109 圖4.5  
座椅轉向器 110 圖4.6 轉向器之設定 110 圖4.7 轉向器特性量測 111 圖4.8 轉向器特性量測模擬動態反應圖 111 圖4.9 兩點式  
安全帶 112 圖4.10 三點式安全帶 112 圖4.11 安全帶有限元素模型 113 圖4.12 安全帶拉伸率實驗設備 113 圖4.13 捲收器抗拉  
強度實驗設備 114 圖4.14 衝擊台車有限元素模型 115 圖5.1 衝擊台車有限元素模型 126 圖5.2 台車衝擊加速度曲線 126 圖5.3  
台車撞擊試驗數值模擬動態反應 127 圖5.4 台車衝擊試驗頭部加速度歷時圖 128 圖5.5 台車衝擊試驗胸部加速度歷時圖 128  
圖5.6 台車衝擊試驗胸部位移量歷時圖 129 圖5.7 台車衝擊試驗骨盆加速度歷時圖 129 圖5.8 三種人偶頭部加速度比較圖 130  
圖5.9 三種人偶胸部加速度比較圖 130 圖5.10 三種人偶骨盆加速度比較圖 131 圖5.11 48km/hr速度之台車衝擊試驗模擬反應  
圖 132 圖5.12 33.4km/hr速度之台車衝擊試驗模擬反應圖 133 圖5.13 衝擊台車數值模型建構流程圖 134 圖5.14 轉角器拉力  
負載曲線圖 135 圖5.15 轉角器模擬結果曲線圖 135 圖5.16 安全帶織帶拉伸實驗 136 圖5.17 安全帶拉伸率曲線 136 圖5.18 安  
全帶捲收器抗拉強度實驗 137 圖5.19 捲收器抗拉強度曲線 137 圖5.20 台車衝擊試驗(實驗前) 138 圖5.21 台車衝擊試驗(實驗  
後) 138 圖5.22 台車撞擊實驗曲線 139 圖5.23 頭部總方向加速度 139 圖5.24 頸部總受力 140 圖5.25 胸部總加速度 140 圖5.26  
骨盆總加速度 141 圖5.27 3種不同織帶拉伸率曲線 141 圖5.28 不同織帶拉伸率之頭部總加速度曲線圖 142 圖5.29 不同織帶  
拉伸率之胸部總加速度曲線圖 142 圖5.30 不同織帶拉伸率之骨盆總加速度曲線圖 143 圖5.31 3種不同捲收器抗拉強度曲線  
圖 143 圖5.32 不同捲收器抗拉強度之頭部總加速度曲線圖 144 圖5.33 不同捲收器抗拉強度之胸部頭部總加速度曲圖 144  
圖5.34 不同捲收器抗拉強度之骨盆總加速度曲線圖 145 表目錄 表1.1 歷年臺閩地區機動車輛及道路交通事故統計表 12  
表2.1 六面體元素節點位置 36 表2.2 顯性、隱性積分法比較表 36 表3.1 有限元素人偶之組件、材料性質、元素與節點數量  
78 表3.2 有限元素人偶關節接頭 79 表3.3 人偶各部位重量 80 表3.4 有限元素人偶組件、材料與屬性 81 表3.5 人偶內部構造  
之量測裝置 82 表3.6 人偶各部位材料性質、元素、節點之描述 83 表3.7 人偶各組件剛性、黏彈性、彈性材料性質 88 表3.8  
人偶各組件低密度泡棉材料性質 93 表3.9 人偶各組件彈簧性材料性質 93 表3.10 人偶各部位重量與慣性矩 94 表3.11 有限元  
素人偶模型之關節接頭 95 表3.12 關節旋轉停止角度 97 表3.13 關節彈性強度 98 表3.14 關節摩擦係數 98 表4.1 安全帶各部  
位組件、材料性質、元素之描述 115 表5.1 三種人偶台車衝擊模擬分析時間 145

## 參考文獻

- [1]行政院內政部警政署 [2]Status report Vol.37, No.6, June 8, 2002 [3]E. S. Charles and B. J. Michael, "Evaluation of Seat Back Strength and Seat Belt Effectiveness in Rear End Impacts," SAE 872214, 1987.
- [4]Y. S. Mats, Per L., H. Yngve and L. Stefan, "The Influence of Seat-Back and Head-Restraint Properties on the Head-Neck Motion During Rear-Impact," *Accid. Anal.*, Vol.28, NO.2, pp.221-227, 1996.
- [5]M. Roy, P.A. Murray, Pitcher M. and Galasko CSB, "Lower Back and Neck Strain Injuries: The Relative Roles of Seat Adjustment and Vehicle Seat Design," Paper Number 98-S6-W-29, 1998.
- [6]S. Makoto, "Seat Designs for Whiplash Injury Lessening," SAE Paper Number 98-S7-O-06, 1998.
- [7]V. M. Bhavin, P. Prasad and W. II Pobert, "Importance of Seat and Head Restraint Positions in Reducing Head-Neck Injuries," SAE paper NO.2001-01-2659, 2000.
- [8]M. Lawrence, P. Siegmund, "Seat back and head restraint response during low-speed rear-end automobile collisions," *Accident Analysis and Prevention* 32., pp.219-232, 2000.
- [9]H. Zellmer, S. Michael and A. Seidenschwang, "Enhancement of seat performance in low-speed rear impact," NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [10]K. U. Schmitt, M. Muser, M. Heggendorf, P. Niederer, and F. Walz, "Seat Component to Prevent Whiplash Injury," SAE Paper No. 224, 2002.
- [11]D.Otte, "Comparison and Realism of crash Simulation Tests and Real Accident Situation for the Biomechanical Movements in Car Collisions," SAE Paper No.902329, 1990.
- [12]Y.C. Deng, "Simulation of belt-restrained occupant response in 30 mph barrier impact," *International Journal of Vehicle Design*, Vol.12, No.2, pp.160-174., 1991.
- [13]W. Brian, M. Nicholas, G. John and R. Neil, "The Crash Analysis of a passenger Vehicle Under Differing Frontal Crash Conditions," SAE Paper No.932910, 1993.
- [14]T.C. Lin, C. Wawa and T.B. Khalil, "Evaluation of the Hybrid Dummy Interactions with Air Bag in Frontal Crash by Finite Element Simulation," SAE Paper No.952705, 1995.
- [15]G. Nilson, "An Analytical Method to Assess the Risk of the Lap-Belt Slipping off the Pelvis in Frontal Impact" SAE Paper No.952708, 1995.
- [16]D. Marzougui, C.D Kan. and N.E. Bedwi, "Development and Validation of an NCAP Simulation Using LS-DYNA3D," NCAC paper, 1996.
- [17]S. Moss and Y. Huang, "Development of an Advanced Finite Element Model Database of the Hybrid Crash Test Dummy Family," SAE Paper No.971042, 1997.

- [18]H. Staffan,"Validation of Coupled PC-CRASH-MADYMO Occupant Simulation Model,"SAE Paper No.2000-01-0471, 2000.
- [19]P. Vezin, K. Bruyere and F. Bermond,"Comparison of Head and Thorax Cadaver and Hybrid responses to a Frontal Sled Deceleration for the Validation of a Car Occupant Mathematical Model,"NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [20]M. Rashidy, B. Deshpande, T.J. Gunasekar. and R. Morris,"Analytical Evaluation of an Advanced Integrated Safety Seat Design in Frontal, Rear, Side, and Rollover crashes"NHTSA 17th June 4-7, 2001.
- [21]A.Malott and C.Parenteau,"Sled Test Results Using the Hybrid 6 year old an Evaluation of Various Restraints and Crash Configurations,"SAE Paper No.010316, 2004.
- [22]黃世嘯，汽車碰撞中人體動力反應模擬模型的探討，第十五屆全國力學會議，工業技術研究院機械工業研究所，新竹，pp1205-1211，1991。
- [23]謝裕忠，應用非線性有限性元素法於汽車安全設計之分析與模擬，碩士論文，中正大學機械研究所，嘉義，1993。
- [24]朱健源，汽車後撞中人體動態反應模擬，碩士論文，成功大學醫學工程所，台南，1994。
- [25]蔡文魁，Hybrid 衝擊人偶有限元素模型的建立與應用，碩士論文，中正大學機械研究所，嘉義，1994。
- [26]周正賓，人體動態有限元素分析，碩士論文，成功大學醫學工程研究所，台南，1995。
- [27]賴大鵬，應用有限元素法電腦模擬台車衝擊實驗，碩士論文，中正大學機械研究所，嘉義，1995。
- [28]張凱敦，人體模型之動力系統分析，碩士論文，逢甲大學機械研究所，台中，1997。
- [29]楊秉文，車禍事故中人體頭頸部之損傷分析，碩士論文，國防大學中正理工學院兵器系統工程研究所，桃園，2002。
- [30]吳建昌，車禍肇事中人體受正面撞擊組織損傷分析，碩士論文，大葉大學機械工程研究所，2003。
- [31]藍宏文，車輛正面撞擊之數值模擬分析，碩士論文，大葉大學機械工程研究所，2004。
- [32]LS-DYNA 970 User Manual.
- [33]Appendix a part 572E dummy performance calibration test procedure.
- [34] <http://www.u-car.com.tw/ucar-hot/subject-seat-belt.asp> [35]美安(Autoliv)工業股份有限公司安全帶簡介。