

推拉門操作時之人因評估研究

吳志富 簡信忠

大同大學工業設計系

摘要

由於部分過重鐵門或加裝油壓輔助的門對一般使用者產生操作不便，特別是對肢體障礙者與高齡者出入極為不便。因目前國內並無針對門之操作力量的專用檢驗設備，本研究即設計專用量測機構來精確檢測門推拉過程中所需之動態力量。為瞭解使用者對門所產生推力與拉力，本研究設計一套力量測量設備與馬達拉力裝置，來測量操作推拉門之拉力及時間歷程。本研究設計之量測系統可精準測量門開啟後等到停止之間的所有拉力，並轉換成完整線形圖記錄，可明確判斷操作所需之最大施力值與施力持續的時間。本研究發現門之操作推拉力量與開啟的速度有正相關，開門速度越快相對的所測得的施力是越大，特別是裝置油壓裝置的推拉門比一般推拉門起啟拉力較大之外，拉力的持續時間也較久，且當開啟速度過慢時，最大拉力是出現在門開始移動之後。此量測設備可以對開門的動態拉力與時間做完整的記錄，有別於靜態量測只注重啟動時的最大拉力，尤其對附加油壓裝置的門會隨開啟距離不同對門產生的力量，此裝置可以獲得更完整的數據，已供進一步研究分析。

關鍵詞：門、拉力、人因、計測、測量機構

1 前言

根據美國 CPSC (Consumer Product Safety Commission) 2004 統計美一千萬人裡有七個人使用門會受傷。CPSC 的資料顯示受傷的人，31%為撕裂傷；受傷的部分則為 38%手指。探究其根本，門的操作行為與力量是不可忽視的因素。

根據國際的標準門的法規中規範開門力量：一般家用的門(無油壓裝置)由內往外開門最大力量限制 22 牛頓，而有油壓裝置的門(安全門)則不得大於 132 牛頓，有額外輔助力量最多不到 66 牛頓。(BOCA Code, 1999; Uniform Building Code, 1997; 2000 International Building Code Handbook, 2000) 而國內限制門把之拉力最多不超過 30N (建築物無障礙設施設計規範解說手冊，2008)。

門與門把為日常生活中每日必定都會使用到的設施，目前市面上門款式眾多，雖然有相關的規範，卻無實際檢驗門操作力量的檢驗方法與量測設備。

通用設計 (UD, Universal Design) 乃以「多數人的設計」為前提之理念，倡導社會應尊重各式各樣的個體存在。高齡者握力或臂力不足、身障者肢體動作受限以致無法操作或不易操作等。為使高齡者及身障者能夠更方便而安全的居住，門更應該具有全人關懷之建築與通用設計。因此如何設計具有通用性的門及門把，讓更多族群能更方便使用，為重要課題。



本研究將分別針對常用的門研究開發一種計測方法，藉由實際測量現有建築物之推拉門，達到蒐集分析門與門把操作力量之目的。希望藉此研究的計測方式，得知使用者在操作門時，力量隨時間變化的歷程，進而提供人因工程與通用設計，作為門設計的依據。

2 相關文獻蒐集與分析

2.1 門的類型

Thompson (1972) 是根據人使用門的施力方向定義歸類，垂直施力的門，如平開門 (Hinged door) 或旋轉門 (revolving door)；水平施力的門，如推拉門 (sliding) 或摺疊拉門 (folding door)。(如圖 1)

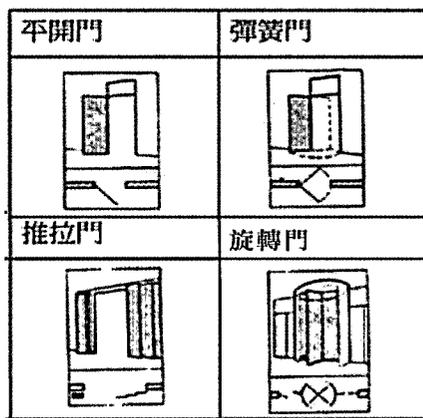


圖 1 門的種類

2.2 量測方法分析

以水平滑動窗戶為例，先將一點定位於拉把之中點或垂直框邊上。之後將 Loading system 固定至滑動門的室內手把上。如果這些定位點皆未定義，則需請專家權威加以定義施力點。接下來利用繩索纜線連結兩個系統，確認力能沿著平行面板方向並能依照預定方向作用在面板上，盡可能將力施於方向及運動面上(如圖 2)。

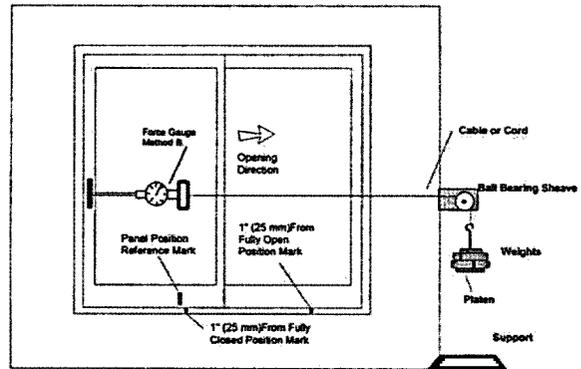


圖 2 美國 ASTM 量測標準

Vertically Sliding Window Typical Arrangement

美國 ASTM 量測方法是採用慢慢增加砝碼的方法，去測出開窗或門瞬間的拉力。這種方式只能測得開門瞬間的力量。本研究設計的裝置是設定馬達用不同固定轉速拉動鋼繩產生施力，利用馬達對負載增減會自動增減扭力輸出的特性，來量測開門完整過程的力量。

2.3 研究方向

本研究設計的量測機構初期針對公共場所常用的推拉門作為測試對象。分別對一般推拉門與有安裝油壓設備的推拉門的開啟力量作計測與分析，並對特定推拉門作相關拉力驗證。(如圖 3)

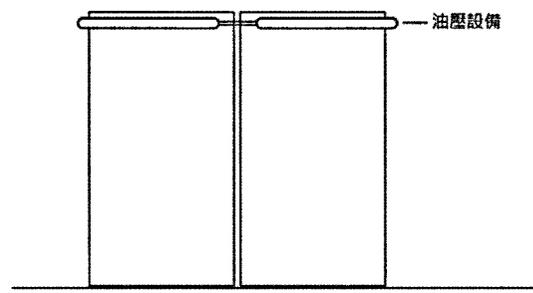


圖 3 裝有油壓設備的推拉門

依力學定律，推力與拉力相等，僅施力方向不同。因此本實驗排除因方向所造成的不確定因素，將門推開的動作排除，以必須操作門把的情境下，設定門的拉力作為力量測試方式。



2.4 推拉門開啟的動作分析

本研究所量測的推拉門為學校裡餐廳的大門，此推拉門設有油壓機構比一般推拉門開啟的力量更大。而推拉門的操作方向進門與出門都相同。

觀察使用者推拉此門操作模式可分為五種，右手開右扇門、左手開右扇門、右手開左扇門、左手開左扇門與雙手開門等五種，且不分進與出門的操作方向，多數人都使用右手來開啟右扇門或左扇門，部分女性、多數老人、輪椅使用者和小孩因為單手施力不易，都使用雙手來開啟門。

使用雙手者靠近門之後約不到 30 公分距離使用雙手開啟推拉門，首先用雙手指扳開門縫，再來利用胸肌大力帶動雙手把門往兩旁移開，部分使用者改用手掌撐開雙門，同時腳跨過門中央，上半門通過門時用手頂住雙門，待身體通過門之後同時放開雙手。(如圖 4)

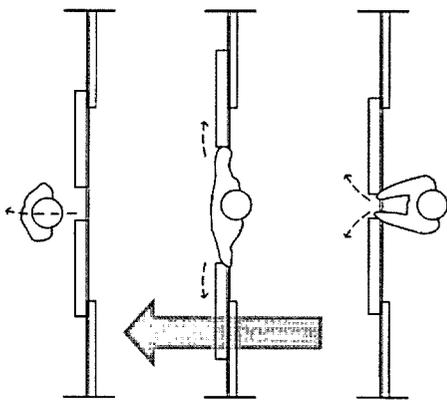


圖 4 雙手推拉門動作分析

同時也觀察到女性族群右手拿物品，用力量較小的左手開啟推拉門的過程，首先用左手指勾住右門邊，身體稍為向右傾帶動左手拉開門，再轉腰向右，左手移動到右胸前用手掌撐開門，伸出左腳到門中間稍微往右轉側身移動上半身通過門，再來放手通過門。(如圖 5)

觀察中發現此門把是內凹型，門把高度為標準的 103cm，但一般使用者大多是把手伸高到腰

部或胸部以上，而不是伸受拉動下方的門把上，因為使用者大多有開過此門經驗，所以改用容易出力的姿勢拉開此門。

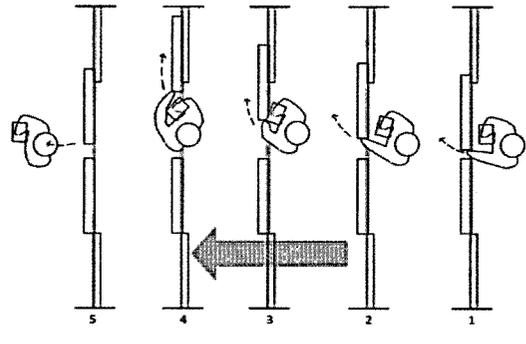


圖 5 單手推拉門動作分析

3 量測實驗

為了量測拉開此門的力量，將測試步驟分為六個部分：(1) 先對拉力感測元件，進行校正，獲得校正方程式。(2) 架設馬達拉力裝置與力量感應元件完成量測系統。(3) 請使用者拉動推拉門或啟動達拉力裝置拉動門，並將力量感測元件所得之電壓訊號經過信號放大器與 A/D 信號擷取器，輸出記錄於電腦中。(4) 將所得之電壓-時間曲線圖轉依校正方程式換為力量-時間曲線圖。(5) 針對不同操作者或對不同的門，以不同開啟速度進行量測分析。

3.1 量測裝置設計

本實驗設計一個量測機構，可以直接量測使用者在開啟門時手放在門上的施力，並設計一個使用馬達的自動拉力裝置，可固定不同轉速轉動，帶動捲盤捲動鋼索，驅動鋼索以不同速度拉動固定在門上的 Load Cell (拉力感知器)與受測門，裝置方塊圖與設備示意如下圖 5 與 6:



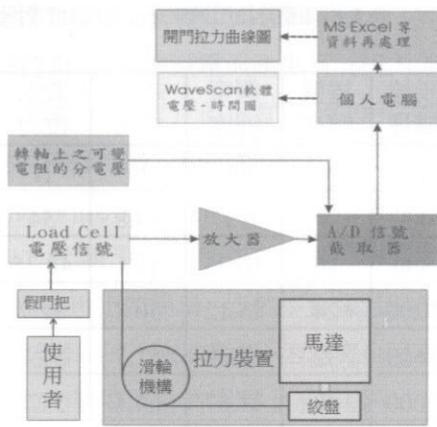


圖 6 力量傳遞方塊圖

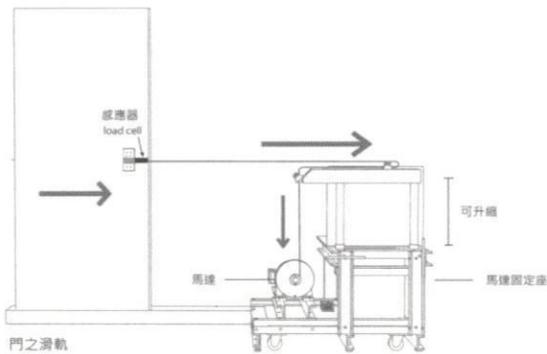


圖 7 量測裝置圖

3.2 拉力校正

以秤重砝碼對荷重元件進行拉力校正實驗，配合信號放大器及數位電表量取讀數，紀錄多組拉力與電壓值關係，如圖 8 所示。再藉由上表與統計迴歸找出關係式以完成校正，分析電壓與拉力之關聯性，並完成電壓與拉力關係，如表 1 所示。

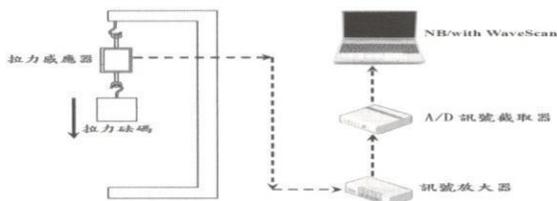
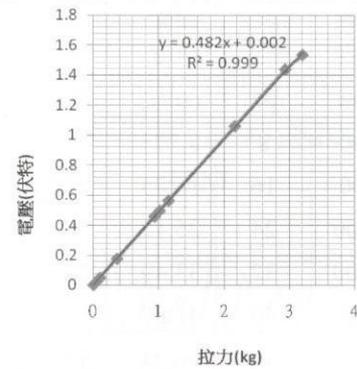


圖 8 拉力校正示意圖

表 1 荷重元件電壓與拉力關係圖

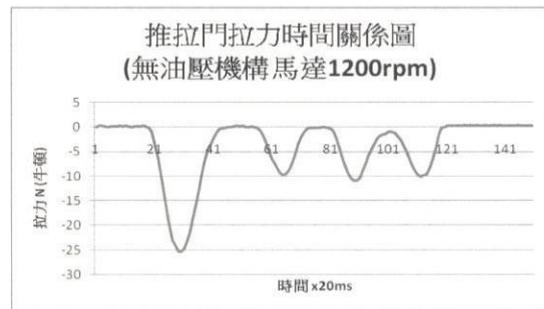


4 量測結果

4.1 一般推拉門拉力結果

採用此量測機構拉動一般推拉門(沒有加裝油壓機構)，門受到鋼索拉力之後移動一段距離受到摩擦阻力之後停止，等到鋼索再拉動門之後才又施力，門再度移動，所以拉力圖形呈現上下震盪的波形。如表 2 是馬達轉速設為 1200rpm，經減速比 1/50，轉動直徑 200mm 的捲盤，帶動 0.2mm 直徑的鋼絲，鋼絲移動速度是 25.12cm/s。仔細觀察拉力波形與門移動的速度關係，門受到瞬間拉力快速移動之後，拉力瞬間掉下，表示此時門受較大拉力快速移動，等到門速度變慢，鋼絲拉力又增加，門再度被鋼絲拉動。

表 2 馬達 1200 rpm 無油壓推拉門拉力與時間圖表



調整馬達轉速改變鋼索速度，發現拉力隨著速度加快也迅速增加，在鋼索拉動速度超過 41.87cm/s 時，拉力由原本 25.4N 變成 54N，但是速度降慢時，拉力降低的幅度不大，如表 3 所示。

表 3 無油壓推拉門鋼索速度與拉力的對照表

馬達轉速	捲盤轉速	鋼索速度	拉力	時間
rpm	rpm	cm/s	N	s
400	8	8.37	20.7	6.86
800	16	16.75	32.1	2.86
1200	24	25.12	25.4	2.4
1600	32	33.49	28	3.6
2000	40	41.87	54	1.12
2400	48	50.24	52	2.4

表 5 有油壓推拉門鋼索速度與拉力的對照表

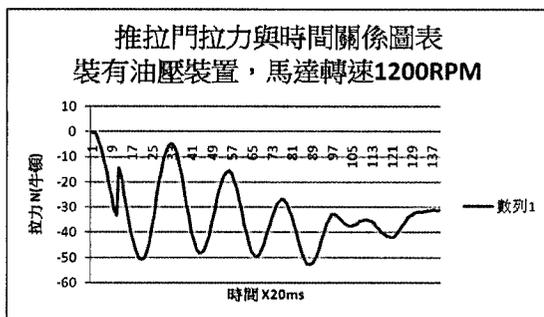
馬達轉速	捲盤轉速	鋼索速度	起始拉力	最大拉力	時間
rpm	rpm	cm/s	N	N	s
400	8	8.37	34.8	54	6.32
800	16	16.75	48.1	48.35	2.76
1200	24	25.12	50.8	52.7	2.4
1600	32	33.49	51.7	51.7	2.58
2000	40	41.87	64.1	51.7	2.14
2400	48	50.24	70.3	70.3	2.28

4.2 具有油壓裝置的推拉門 推力結果

裝有油壓裝置的推拉門，啟動瞬間拉門力明顯大於無裝油壓裝置的門，但是以下表 4 為例，馬達轉速 1200rpm，鋼索速度 25.12 cm/s 最大拉力是出現在開門的後半段時間，而且最大推力間歇持續 $70 \times 20 \text{ms} = 1.4 \text{s}$ 。拉門速度比 25.12 cm/s 慢，最大拉力便會出現在開門之後。當鋼索速度加快到 50.24 cm/s，這時測得的最大拉力急增到 70.3N，是出現在開門的瞬間。開啟拉力與開啟速度變化有明顯的正相關，但是最大拉力變化除了最快的速度之外，數值變化不大。

表 4 馬達轉速 1200 rpm 有油壓推拉門

拉力與時間圖表



5 結論與建議

相對於旋轉開啟的平開門使用者移動方向是與門移動方向相同或相反，推拉門的移動則是與出入動線成橫向垂直，開門時必須先停在推拉門前停止不動，並利用手臂左右橫移來拉動推拉門，此時門的重量大小和滑軌機構設計的好壞，就會影響推拉門的開啟是否順暢。以此次受測的推拉門為例，此門鋁門上半部是玻璃，重量超過 20 公斤，滑軌裝製作在門上端，下端無滑軌，僅用鋼板限制晃動。雖然在一般馬達轉速 400 至 1600 rpm，但拉力並等比增加，而是變動很大，表示此門滑軌不良摩擦力很大。從表 2 的數據來看拉力有四個峰值看，表示此門滑動是很不順暢，拉力停止之後便很快停止，使用者必須用手把門移動到身體可以過的空間，才能把手鬆開推拉門。

後來將此門把油壓裝置裝回，雖然此門可自動回彈，防止蚊蠅進入餐廳，但是額外的油壓力量卻是對使用者相當的不便。裝有油壓裝置的推拉門，測得拉力都超過 30N，雖然不到國際規範的最大值 130N，但是推拉門無法靠身體前後的重心移動來產生較大的施力，必須需是左右移動重心，或是用轉腰帶動手臂產生額外推拉力，對使用者來說，停留在此門時間會比平開門更久。一般身高較低的女性開啟此門更是不易開啟，比一般開門所停留時間還久。



此拉力機構設計是以馬達固定轉速，靠馬達受到不同拉力，自動增減電流產生不同扭力帶動捲盤來拉動鋼索再拉動門。但是實際上使用者推門把時，先用手接近門把，手緊貼著門把或固定位置施力，讓門從靜止狀態加速開啟，再緊接著放鬆施力或用反向力量讓門停住，所以並非是簡單的等速運動，施力曲線也比較平滑，比較不會像量測儀器接近鋼體的結構所拉出來的數據，因為完全沒有阻尼與緩衝，拉力數據便會有明顯上下震盪。

比較馬達拉力裝置量測到的最大拉力與使用者所施的力是相近的，如下表 6 使用者計測與表 7 馬達 2000 轉開門時間約相等，但門開啟的力量增加速度是不同，但是最大峰值都接近 60N。

因為不同使用者開門的力量與速度都不盡相同，運用的姿勢與肌肉都也不完全相同，若要設第一種固定馬達拉力的模式，必須更多人體計測統計資料來分析參考，以便能用調整此設備的馬達扭力與轉速輸出，以便測得更接近使用者開門速度的實際施力變化。

研究中發現不同速度下施力是不同的，較慢的速度拉門所需的力量越小，越快的速度拉門所需力量越大，使用者對於操作門的施力大小雖然有很明顯的感受大小，但是若是施力推門時間過久，使用者也覺得此門不好操作。因此對門操作的感受好壞，也需要做深入的統計與分析，才能訂出一個比較客觀的速度與可接受的力量。

表 6.1 使用者實測數據圖表，約 2.18s

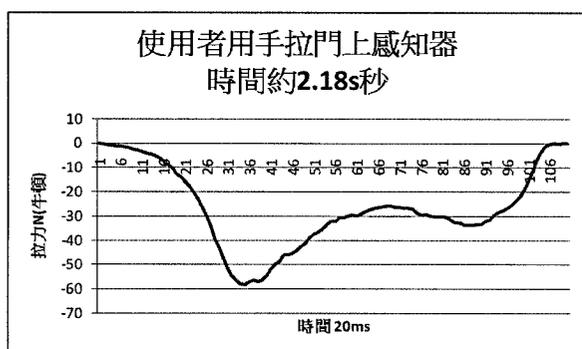
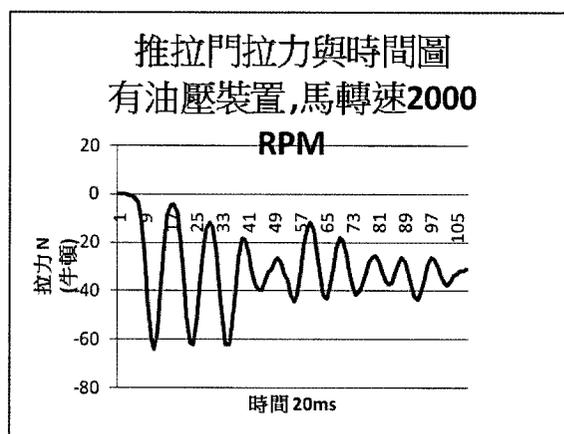


表 6.2 量測設備對有油壓設備用馬達轉速 2000rpm，接近 2.14 秒的拉力測試曲線圖表



參考文獻

- 1 ASTM, Vertically Sliding Window Typical Arrangement.
- 2 BOCA Code, 1999; Uniform Building Code, 1997; 2000 International Building Code Handbook, 2000.
- 3 CPSC (Consumer Product Safety Commission), 2004.
- 4 內政部營建署 (2008), 建築物無障礙設施設計規範解說手冊。
- 5 黃萬福 (2006), 專業地毯舖設工具膝踢器『Knee Kicker』之緩衝墊設計研究, 大同大學工業設計研究所碩士論文。
- 6 黎正中·陳源樹 (譯) (2003) 實驗設計與分析。第十章：配適回歸模型，高立出版社。

