

產業設備的人機界面對工業安全衛生 的影響評估與改善對策

Evaluation and Improvement of Human-Machine
Interface Design for Industrial Safety

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

八十二年度研究計畫

產業設備的人機界面對工業安全衛生 的影響評估與改善對策

計畫主持人：王明揚 清華大學工業工程研究所副教授
協同主持人：王茂駿 清華大學工業工程研究所教授
研究人員：傅鑫凌 清華大學工業工程研究所碩士
蔡銘仁 清華大學工業工程研究所碩士

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
國立清華大學工業工程研究所 編印

中華民國八十二年六月

產業設備的人機界面對工業安全衛生的影響評估與改善對策

摘要

在職業災害的事故原因分析中，往往將引起職業災害的原因判定為：不安全動作、不安全環境等因素。在這些職業災害的案例中，是否所謂不安全動作、不安全環境就是真正引起職業災害的基本原因？或是這些不安全動作、不安全環境只是我們所觀察到的表面現象，而另有一些原因才是真正致使職業災害發生的深層原因？在本研究中，從人因工程的角度去探討不當的人機界面設計與職業災害的因果關係，也就是研究職業災害的發生是否可能是因為產業設備之人機界面設計不當而造成不安全環境，致使操作人員做出不安全動作，或使操作人員在疲勞、分心的狀況下操作錯誤，或因按鈕間距太小而誤觸開關等。

計畫研究的方向分為兩部分，即產業設備設計製造廠商及曾發生職災的產業設備使用廠商，後者主要是金屬基本工業和金屬製品製造業。藉由這兩部分現況的訪視調查分析，以了解：(1)目前產業設備製造廠商對產品安全及人機界面在設計時所考慮的狀況，與(2)產業設備使用廠商職災案例中，是否可能肇因於人機界面設計不當的狀況？是否嚴重？及一般業者設備上人機界面設計缺失的分析。

研究的結果發現國內較大的八家產業設備製造廠商對人機界面的安全設計頗為陌生，所設計出的內銷產品亦未特別加以考慮；但卻能參考國外產品設計或安全標準設計製造其外銷產品，並符合歐洲單一市場的嚴格安全標準。從產業設備使用廠商職災案例中，發現各案例的人機界面均有安全設計上的缺失，且與事故的發生有密切的關聯，不當的人機界面很明顯會立即引起危險的或錯誤的操作。若以工作生理學或人因工程的角度來看，有些狀況在長期持續操作後，極可能對勞工衛生會有不良影響。訪視的結果還發現大部分業者的安全意識、改善意願及改善能力均有待加強。文末針對所發現的缺失，提出改善之建議。

關鍵字：人機界面、安全設計、事故分析

Evaluation and improvement of human-machine interface design for industrial safety

Abstract

In analyzing the causes of an accident, it is not unusual that unsafe actions and unsafe environment are blamed on. However, are unsafe actions and unsafe environment the real and root causes of accidents? Or, these "causes" are observed superficial phenomena with some other more essential causes hidden deeply behind the screen. In this study, the relationship of inadequate human-machine interface designs and occupational accidents was investigated from the viewpoint of human factors and ergonomics. The purpose is to find out whether industrial accidents are caused by unsafe actions performed by operators in an unsafe environment which is equipped with inadequate human-machine interface designs on its manufacturing facilities.

Two industrial sectors, the facility designers/manufacturers, and the factories which have had higher occupational injuries, were investigated. The latter contained basic metal industry and fabricated metal products industry. By visiting these parties, the following information was collected and analyzed: (1) the facility designers/manufacturers' human-machine interface design and safety considerations; (2) the adequacy of human-machine interface designs involved in the occupational injury cases.

The results show the eight big facility designers/manufacturers are unfamiliar with human-machine interface and safety design. Though their products for the domestic market do not take much safety into consideration, by learning from foreign machine designs and standards, those for European market may meet the

rigid safety requirements and standards enforced by European Community. From injury cases studied, it was found that the human-machine interfaces in questions were inappropriate and were responsible for the injuries. In some cases, it is found that from work physiology and human factors points of view, the adverse chronic effects to the operators may emerge if the inappropriate human-machine interfaces are used for a time long enough. It is also found that the safety and hygiene concepts, senses, willingness and the capability of making improvements in these industries are to be strengthened. Recommendations are provided in this report.

Keywords: Human-machine interface, Safety design, Accident analysis

目 錄

一、前 言	1
二、文獻回顧	4
三、研究方法與架構	9
四、行業選擇與研究目標	10
五、訪視準備及程序	17
(一) 產業機械製造廠商之訪視	17
(二) 曾發生職災的廠商及其案例的訪視	20
六、訪視資料分析	25
(一) 產業機械製造廠商之訪視資料	25
(二) 曾發生職災的廠商及其案例的訪視資料	32
七、結果討論	52
(一) 產業機器設備製造廠商的訪視結果討論	52
(二) 曾發生職災廠商及其案例的訪視結果討論	55
八、建議對策	58
(一) 立即或短期可執行的建議對策	58
(二) 須再加規劃或協調後才可執行的建議對策	60
九、結 論	62
十、誌 謝	64
十一、參考文獻	66

一、前言

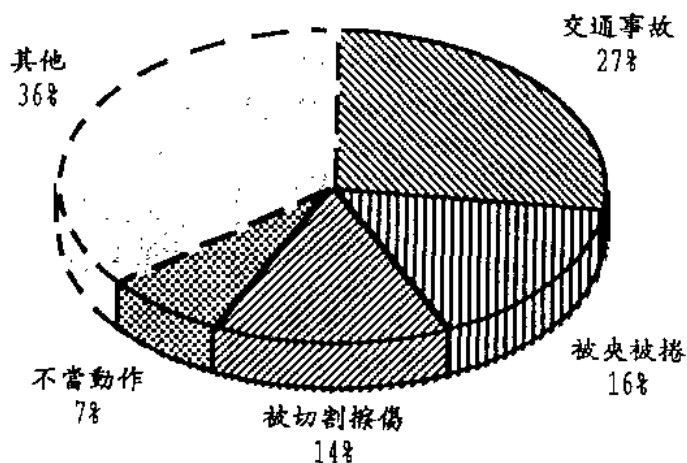
產業的生產活動，必然要藉著使用各種生產設備或系統來完成，此一生產系統不僅應能保證高品質產品的有效生產，還須確保操作人員的操作安全無虞。在任何一個生產操作系統（人機系統）中，一定包含操作人員與機器設備二者，分別擔負不同的任務。大致來說，可依其動力及控制力所佔人力的程度劃分為人力系統（動力及控制力全部來自人力）、半自動系統（動力來自機器設備而控制力來自人力）、與自動系統（動力及控制力全部來自機器設備，人則僅做監視及支援）。無論任何一種人機系統，在人機之間必然存在訊息的交流。在人力系統中，人與手工具直接接觸，藉把手控制施力的方式，直接使工件的特性改變顯示出來。在半自動系統中，人藉著各種控制器（如：按鈕、開關、旋鈕等）傳達指令給機器，機器則藉著各種顯示器（如：儀表、指示燈、監視器等）將機器執行指令的狀況回饋給人，使人能了解機器運轉狀況，以做因應與調整。在自動系統中，機器自行偵測控制運轉的狀況，這些狀況並以顯示器回饋給人，如有不正常狀況，操作人員可藉控制器隨時介入操控。這種傳達與回饋的過程都是通過由控制器與顯示器所構成的人機界面所達成的，自動化的程度愈高或人機界面設計的安全考慮愈週詳，人與工件直接接觸的機會愈少，意外狀況時人體直接受到傷害的可能性愈低。雖然近年來國內產業自動化的程度逐年提高，但是絕大部份的產業仍是以半自動系統的方式生產，職業災害發生機率仍高，因此，有必要對人機界面設計與勞工安全衛生的關係做深入的探討。

依據行政院勞工委員會統計資料顯示，我國歷年來重大職業災害原因分佈中與不安全動作有關者（包括不安全動作、不安全設備、及二者同時出現者），在百分之七十五左右，而不安全動作及不安全設備同時出現之情況則歷年來有增加的趨勢。再以七十九年製造業重大職業災害類型分析來看（圖一），全年 6535 件次災害中交通事故所佔比率雖然最高，達 27.45%，其中很可能有些事故發生，是與交通工具的人機界面設計有關的，但因其發生地點大多並非在事故單位的生產現場，不屬本計畫的探討範圍。而發生在工作場所的事故類型中，比例較高的三類分別為被夾被捲（15.53%），被切割擦傷（14.06%），不當動作

(7.15)等，合計 36.74 % (行政院勞委員會，民國八十年八月，中華民國七十九年勞工檢查年報， pp.33 - 36， pp.174 - 189)。民國八十年的統計也顯示了類似的狀況 (圖二)。事實上，這些意外固然有些的確是因操作者的疏忽或不當動作而引起，但在我們對某些案例做仔細的分析後，卻不得不令人注意到引起事故的更深層原因可能與不當的人機界面設計有關。其它事故類型雖然佔比例相對較低，但可能亦有與不當的人機界面設計有關者，如被撞 (6.49 %)、與高低溫之接觸 (3.83 %)、與有害物等之接觸 (1.76 %)、感電 (0.67 %)等。如果在機器的操控界面設計時有適當的安全考慮，操作人員就不會有接近危險點的必要與機會，自然就不會被夾被捲、被切割擦傷、被撞、與高低溫及有害物等接觸，從設備的設計製造及傷害的產生這兩方面來看，這都是值得深入探討的。

民國七十九年勞委會統計重大職災類型分析 (製造業)

重大職災共計6535件次

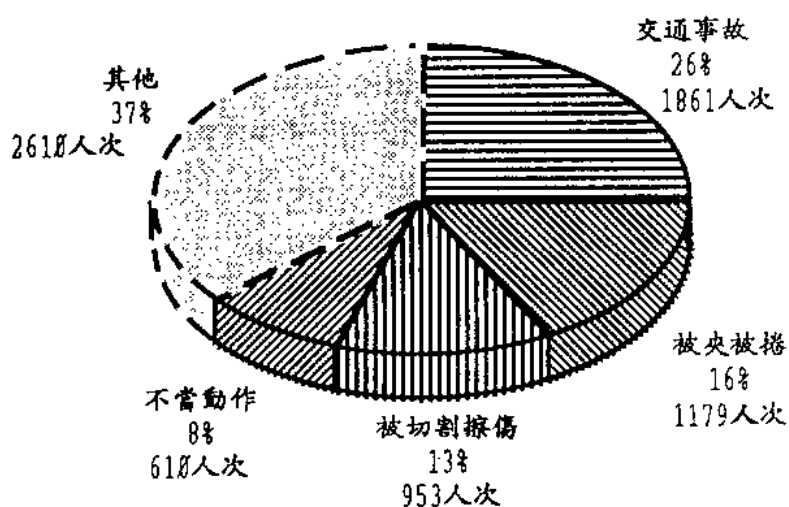


圖一 七十九年職業災害統計製造業災害類型分析

一項產業設備在設計製造之初，工程人員的首要目標往往在追求其功能上的領先或成本的降低，而對於安全的考量往往未受到重視。如此設計出來的設備，或許功能出眾，或許成本較低廉，但實際在操作應用時，由於設計的形式限制了操作的方式，不當的設計不僅可能使操作人員不便，容易疲勞，甚至會使操作方式潛藏危險因素，產生受傷或致命的錯誤而引起重大意外。由這些不當設計導致不當動作所引起的職業災害損失，如果能在設計初始即予重視，並加以避免，則這類損失應有效減至最低。

民國八十年勞委會統計重大職災類型分析（製造業）

全年受害7284人次



圖二 八十年職業災害統計製造業災害類型分析

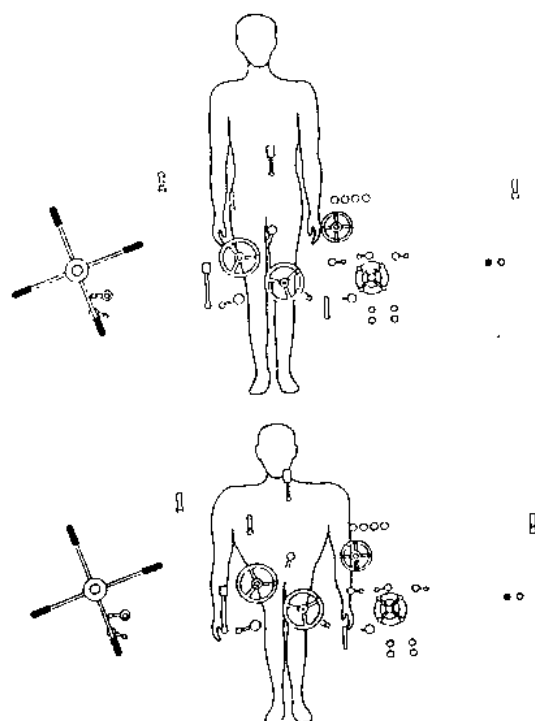
二、文獻回顧

人因工程在國內逐漸爲人所知係近十幾年的事，初期多以人體工學之名出現，其應用範圍亦多限於工業設計方面，在工業安全衛生和職業災害的預防與應用推廣起步較遲，因此國內相關的中文論述甚少，且多爲探討有關沖壓類作業，起重機作業，或機器防護設施方面的文獻，有關探討人機界面設計與工業安全衛生的文獻，則未有所悉。

在工業較先進的歐美國家，人因工程及工業安全衛生的研究較國內爲多，在機具設計中應用人因工程方法對人機界面做妥適的考慮以增加效率與安全方面，已累積了相當多的經驗與豐碩的成果(Sanders and McCormick, 1987; Hammer, 1985)。更進一步，也有學者認爲應對製程、勞工的特性及工作場所的設計、環境、與組織等因素做整體的考慮，才更能對職業安全及衛生有所幫助(Leamon, 1988)。

如前言所述，無論任何一種人機系統，在人機之間必然存在訊息的交流，這種訊息的交流過程都是通過由控制器與顯示器所構成的人機界面所達成的，自動化的程度愈高或人機界面設計的安全考慮愈週詳，人與工件直接接觸的機會愈少，意外狀況時人體直接受到傷害的可能性愈低。Kantowitz and Sorkin (1983)認爲在人機系統中最重要的就是人員子系統(human subsystem)與機器子系統(machine subsystem)之間的人機界面，由於改變機器的特性較改變人的特性容易，因此控制器與顯示器的設計必須配合人的能力。他們認爲在半自動系統與自動系統中，機器設備還提供了資訊，操作人員依據這些資訊來操控或監視機器設備的運轉，以決定其因應的動作。

Bailey(1989)指出在一個成功的人機系統中，與人員績效最有關的三個部份是控制器，控制器與顯示器之間的關係，以及控制器、顯示器、與人員之間的相互關係，也就是人機界面的設計。Kantowitz and Sorkin(1983)引述了一個車床設計不當的例子，如圖三所示。如果在設計車床時未考慮控制器的位置與操作人員體型的配合，所設計出來的車床必不適合正常人的使用，不僅會影響使用者的效率，也會影響操作的安全。



圖三 現有某型車床控制器與正常體型者的相對位置如上圖所示。

要有效操作此種車床，操作人員的理想體型（如下圖所示）應是身高 137 公分，肩寬 64 公分，手臂平伸 235 公分。

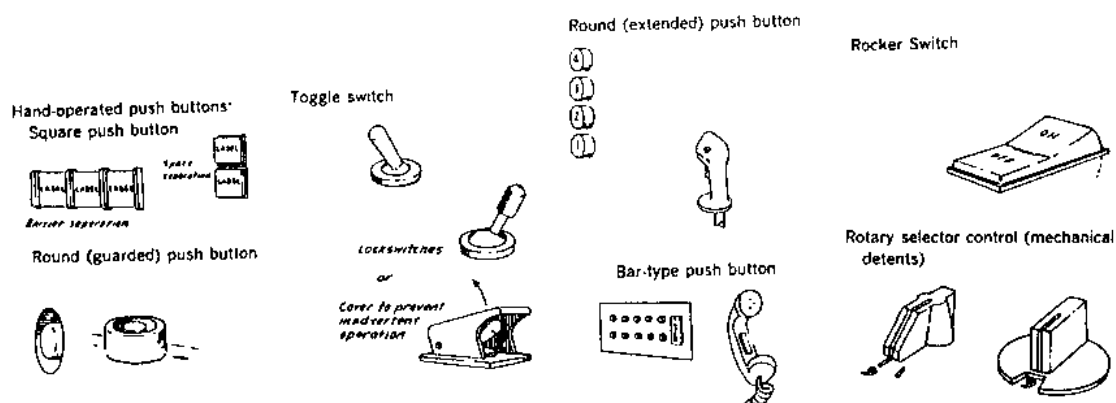
Laycock(1988)引述英國政府的統計資料顯示「人為錯誤」是意外背後的潛在原因。例如：在 1978 ~ 1980 年間一次有關工業意外的研究中，因交通事故死亡的案例有 11 % 是由於人為錯誤 (Health and Safety Executive, 1982)。如果把交通工具及設備設計相關的原因一併考慮，則其比例提高 18 %。Laycock 指出人為錯誤與設備設計的因素是不可分的，因為人為錯誤經常是由於設備的設計不良所致或設備的設計方式未能有效的使人為錯誤減至最低之故。他更進一步指出傳統上事故調查方式（也就是在事故發生之後，確認其媒介物為機械或電力的危害，再用適當的防護設施將人體與危險區域加以隔離）必須改變，如果能夠了解為什麼事故的當事人時會那樣做的理由，對提升勞工安全衛生的防護能力必然大有助益。這也是本計畫要加以強調的。

Meister(1986)指出在一個系統中，人員受到某種程序的限制或導引而達成系

統的目標。換言之，人是按照機器所設計的操作方式去操作機器的，須注意的是這裡所說的操作方式可能是外顯式的（明顯可知的，較不易出錯），也可能是內隱式的（依形狀、大小、顏色、位置、距離等分別隱含不同意義，不了解其意義就可能出錯）。由於人是藉人機界面去操作機器的，如果人機界面設計時未週詳考慮其操作方式或資訊的顯示，尤其是其內隱式的設計語意，很可能引起操作人員的誤會，而操作錯誤，造成事故。

事實上，人機界面並不僅指於操作機器所需的控制器和顯示器面已，其意義實指任何界於人與機器之間，協助人、機訊息傳達，以產生人、機互動效果的東西。因此，操作中所必須用到的物品，無論是否屬於該機器的一部分，也無論是否設置於該機器上，包括非連結於機器上的附件，通用或特殊目的的手工具等，都是本計畫希望探討的對象。我們認為適當的防護設施固然可以達成預防事故發生的效果，但仍屬消極、被動的措施；只有更積極、主動地從人機界面的設計加以規範，才能較有效的提供勞工安全的保障。

由於國內在人機界面設計與工業安全衛生相關性的研究尚在起步，此一促進安全的根本因素尚未引起應有的重視。現行法規中規範人機界面的條文其實不少，例如：勞工安全衛生設施規則之部分條文（如第 49 條、第 52-53 條、第 56-60 條、第 63 條、第 65 條、第 80 條及該條之附項、第 92 條等），機械器具防護標準之大部分條文，然而仍有許多尚待增訂者（如：圖四所示之按鈕形式之選擇，應考慮適用狀況；圖五之按鈕大小、間距要配合手指和手掌大小，並考慮加裝適當的分隔板，使之既方便操作，又足以避免誤觸；圖六的標示應清楚、一致；顯示器、指示燈應選用適當形式者，並設置在適切位置；記號、符號要能明確表示其意義，讓操作人員不致誤解或混淆，以增加學習效果，並能正確使用等），也有疑意尚有待澄清者（如：勞工安全衛生設施規則第 59 條）。綜觀規範危險性較高設施之法令，許多是屬於設施性能上的規定，至於能否正確、安全、及時、方便地啟動這些合乎法令規範的設施性能，則要靠人機界面設計的規範（如歐洲單一市場機械安全指令，Council Directive on the Approximation of the Laws of the Member States Relating to Machinery；歐洲標準 EN292-1，Safety of machinery-Basic concepts, general principles for design；國際標準組織的 Ergonomic principles in the design of work system 等），以及類似歐美國家製造廠商須負產品安全責任的法律來規範。在這些方面目前有所不足之處，可考慮於未來逐步增訂，才能從根本上對勞工安全衛生有更加週全的保障。



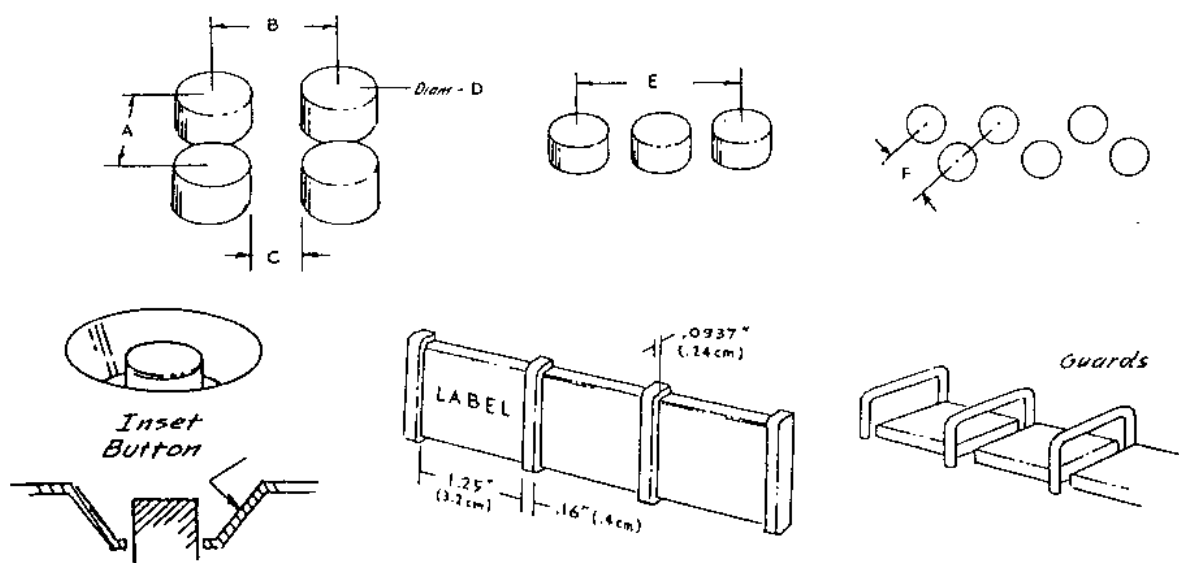
圖四 按鈕形式之選擇，應考慮適用狀況（摘自 Woodson, 1981）

爲補充文獻資料所述的不足，本計畫研究人員針對工業操作安全的需求，提出「人機界面的延伸」的觀念。所謂「人機界面的延伸」是指在没有適當的人機界面的狀況下，操作人員爲要達成工作的目標，只得直接在機械加工點上進行操作，也就是越過原來應該操作的人機界面（實際上並存在），直接以人身（如手、腳）對機械加工點進行操作。這樣的方式等於是將原來要操作的人機界面往前延伸到機械加工點上。如果這項操作所具有的危險性被忽略了，操作人員也就是將人機界面延伸到危險點上，而暴露在危險的狀況下，大幅增加發生傷害的機會了。在人機界面延伸的狀況下操作人員必須在精神上及動作上付出額外的注意力與控制力，使人力的動作與機械的運動能完全配合，才能抵消傷害的可能，否則就會產生意外事故。在現有的職業災害案例中，切割擦傷、被夾被捲、與高低溫接頭、不當動作等傷害，實大多肇因於人機界面的延伸，因此，人機界面的延伸若是關係到操作安全就必須設法消除而以適當的人機界面代替之，使操作人員能與危險點有適當的安全距離與隔絕，如此一來，即有異常的狀況發生，也可藉人機界面做必要的操控，大幅降低操作人員的人身威脅了。

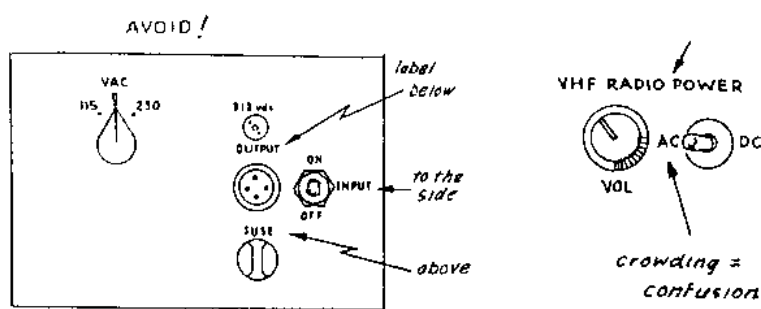
Minimum Button Separation

Arrangement	A	B	C	D	E	F
Vertical plane.						
No gloves	0.75 in(1.9 cm)	0.625 in(1.6cm)	0.1875 in(0.476cm)	0.25 in(0.64cm)	1.25 in(3.17cm)	0.75 in(1.9cm)
with gloves	1.75 in(4.45cm)	1.625 in(4.12cm)	0.375 in(0.95cm)	1.25 in(3.17cm)	2.25 in(5.72cm)	1.75 in(4.45cm)
Horizontal plane.						
No gloves	1.0 in(2.54cm)	0.875 in(2.22cm)	0.4375 in(1.11cm)	0.50 in(1.27cm)	1.50 in(3.81cm)	1.0 in(2.54cm)
with gloves	2.0 in(5.1cm)	1.875 in(4.76cm)	0.375 in(0.95cm)	1.25 in(3.17cm)	2.25 in(5.72cm)	2.0 in(5.1cm)
Under severe vibration or oscillation	3.0 in(7.6cm)			3.0 in(7.6cm)		3.0 in(7.6cm)
for blind selection	6.0 in(15cm) apart in front of operator; (31cm) apart when buttons are located in the peripheral areas.					

Note: The above guidelines apply to shape of button



圖五 按鈕大小、間距及分隔板的設計要適當，使之既方便操作，又足以避免誤觸（摘自 Woodson, 1981）



圖六 操控面板標示應清楚、一致（摘自 Woodson, 1981）

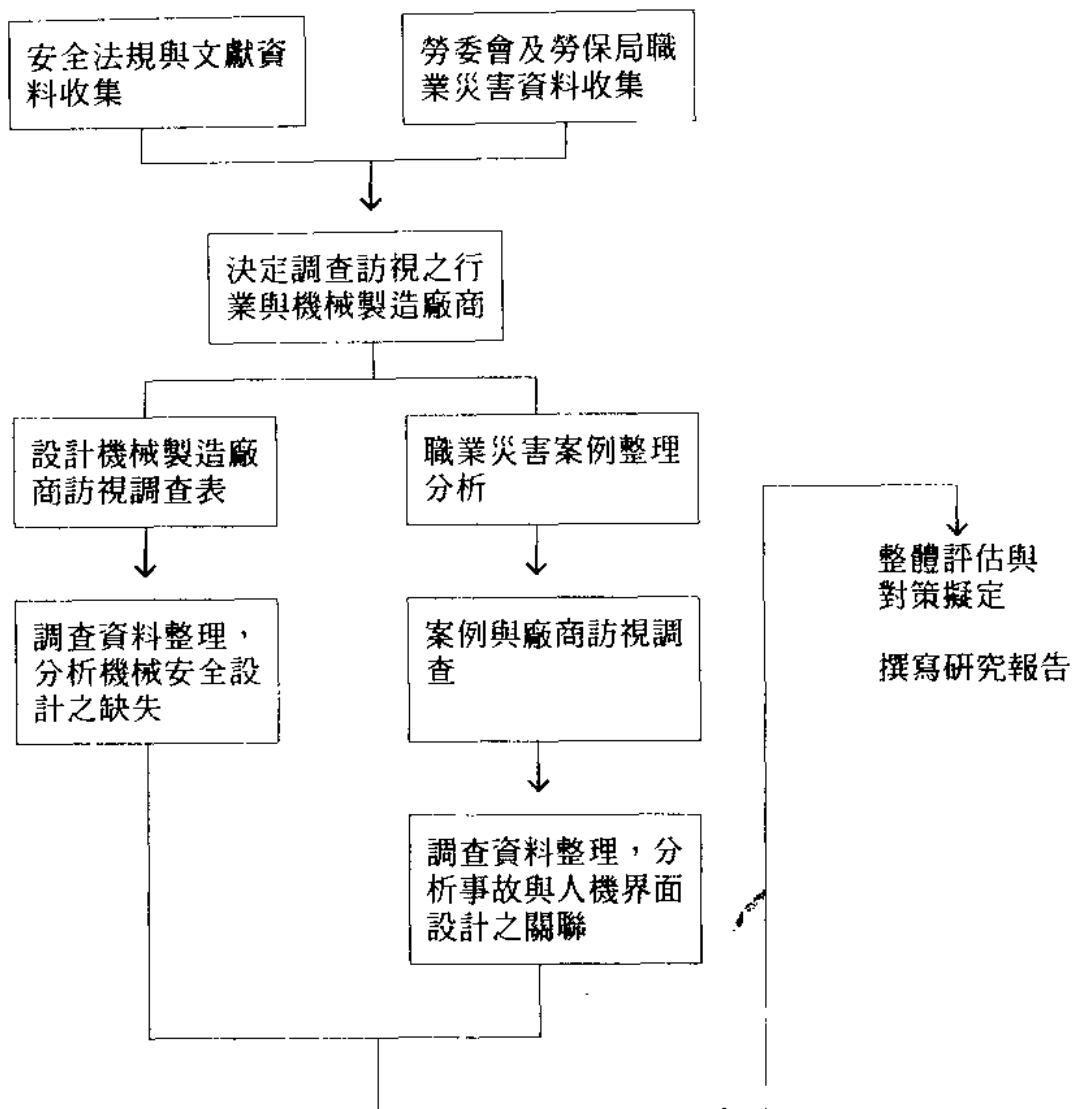
三、研究方法與架構

本計畫由勞委會編印之製造業災害案例的檢討著手，並參考勞保局的統計和工研院的相關研究結果做初步的了解後，再以工廠訪視分別深入了解產業界已發生過的案例與人機界面與職業災害之間的關聯，以及產業機械製造廠商對其產品的安全設計考慮過程，分析出其中的缺失，並提出改善對策、其研究方法如下：

- (一)收集國內外相關法規、文獻與統計資料。
 - (二)根據文獻與統計資料選定擬調查之行業及擬訪視的產業機械製造廠商。
 - (三)分析已發生過的職業災害案例，從中挑選出可能與人機界面有關之案例，做深入的訪視調查與分析。
 - (四)設計調查訪視問卷，實地調查職業災害發生的過程，並評估其人機界面之安全設計與事故的關聯性。
 - (五)針對人機界面安全設計的缺失及不安全的人機界面狀況，研擬改善之對策。
- 本計畫之研究架構可以圖七表示。

四、行業選擇與研究目標

本計畫之所以選擇製造業為研究目標是考慮歷年來製造業的職業災害發生人次佔全產業的職業災害的大部，雖然近年安全有明顯的進步，但依照勞保局民國八十年的統計，仍有將近 61 % 的傷病、殘廢與死亡的案例是發生在製造業中（圖八）。如果再予細分，由圖九與圖十所示民國八十年和民國八十一年資料中可發現製造業的傷害類型以被夾、被捲最多，這兩年來分別佔製造業全部職災的 42 % 與 46 %；鐵公路交通事故次之，同為 19 %；被刺（切）割擦傷亦分別佔 19 % 及 15 %，其他十八種傷害類型（如墜落、跌倒、感電、不當動作等）合計佔 20 %（表一）。換句話說，除鐵公路交通事故之外，製造業勞工所以職災較多，大部份是在工作當中被夾、被捲與被刺（切）割擦傷所致，該兩年中均佔了 61 % 之多。這些傷害所包含的殘廢案例中，大部分的殘廢部位都是上肢，佔了 92 %（圖十一）。從這些資料推測其關聯時，或可說明上肢（手部）是製造業勞工工作所使用的最主要的身體部位，用手操作機械時，自然容易因其較直接接近（或暴露於）機械的危險區域而受到傷害，而上肢殘廢的這 92 % 的案例中，應以上肢被夾、被捲而導致較嚴重的傷害佔大部分。這也表示製造業的產業機械缺乏安全的人機界面設計，如果人機界面是安全的，操作人員就沒有必要手去接近容易被夾、被捲、被刺（切）割擦傷、感電、被燙傷、凍傷、或被有害物傷害的危險區域，也不至於受到不同程度的職業傷害了。若能從人機界面的安全著手改善，將這些危險的因素去除或阻隔，這些傷害的發生機會應可大幅度的降低，也是較容易收到立杆見影之效的方法之一。



圖七 本計畫之研究架構

本研究針對國內製造業機器設備使用的安全現況加以初步了解後，由兩方面分別進行研究。一方面從民國八十一年國內一千大企業中選出機械設備製造業的八家廠商進行調查訪視，以從上游了解國內產業機器設備的本質安全性，這八家廠商為國內規模較大的八大機械設備製造商，在設計上應有較多的安全考量。另一方面，參考以往工研院工業安全衛生專案（今工業安全衛生技術發展中心）對製造業中的金屬基本工業及金屬製品製造業曾經做過的職災調查統計分析案例中疑與人機界面有關者，進行再訪視，進一步從人機界面與操作關係的角度去分析並提出改善對策。