

勞工頭型模式之研究

楊宜學¹ 葉蕙芳¹ 陳志勇² 游志雲¹

¹ 國立清華大學工業工程系

² 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

摘要

勞工標準頭型模式研究的主要目的在建立三度空間勞工標準頭型系列，提供精確且完備的尺寸資料庫和立體頭顱顏面輪廓型態的描述使產品設計(如頭盔、安全帽、呼吸防護具等)有所依循。

本研究共分為四個步驟，依序為抽樣、量測、資料處理與建立標準頭型。抽樣方法是以兩段式抽樣法抽取 1100 名樣本人，並依八大行業別之人口比例配置樣本數。量測方法採用 2.5D 光電式量測系統，量測每位樣本人頭部的三維座標約 25 萬點。此系統可在 20 秒內完成取像，精密度高達 0.2 mm。資料處理是以電腦軟體描繪出頭部等高輪廓線，每一樣本人的資料處理約歷時數秒。標準頭型的建立，是根據臉長、臉寬兩參數，把頭形相似的樣本人分為同一組，再作各類內差異性比較，主要是以九個目標剖面作為頭部的關鍵輪廓線，將兩樣本人相對應的剖面疊合後，以加權差異法將差異量化，由局部差異推出個人差異，最後獲得整體差異，選擇組內整體差異最小的樣本人來代表該組的標準人，研製立體模型。

相信此勞工標準頭型之建立能提供勞委會制定安全帽、呼吸防護具等產品規格的參考依據與測試之標準。

關鍵詞：標準頭型、人體計測、立體量測、頭形分類、呼吸防護具

前言

勞工頭型研究的主要目的在建立三度空間勞工標準頭型系列，提供精確且完備的立體頭顱顏面輪廓型態資料庫使產品設計，如安全帽、頭盔、呼吸防護具、氧氣罩、防毒面具、蛙鏡等頭部相關產品之設計有所依循。

囿於技術上的困難[1,2]，目前已建立標準頭型的國家，屈指可數。法國 Coblenz 等人[3]已建立一套呼吸防護具專屬的標準頭型。而美國現有的 ANSI 頭型資料僅粗略說明頭部數個切面大小，無法顯現頭部立體輪廓，故 NIOSH [4]現正致力發展標準頭型當

中。現今許多未建立標準頭型的國家，則在產品問世後，再以方法尋找各類不同頭型的樣本人前來作產品測試，標示出該產品適用的頭型範圍[4,5]。

我國現有的頭部計測資料[6]，僅就某些特徵值的尺寸大小加以分析，提供平均數、變異數與百分位數等平面的二維數值，少有立體的三維資料。這些平面的資料，若是用於複雜的裝備設計上，如安全帽、頭盔、呼吸防護具等，就有以管窺天之虞了。三度空間資料的不足，不但令設計者感到無所適從，不當的產品設計，更造成產品使用者的不便，甚至導致安全上的顧慮。

有鑑於我國關於立體頭型研究資料的匱乏，行政院勞委會安衛所遂委託我們展開立體標準頭型之研究，期研究成果能對勞工工作品質有所改善。

研究方法

本研究方法分為四個部分，分別是抽樣方法、量測方法、資料處理與建立標準頭型。

1. 抽樣方法

我們以行政院主計處編列的工商業母體資料檔[7]作為進行抽樣的母體檔，以1100人為樣本總數。先將此母體資料檔依職業特性分礦業及土石採取業、製造業、水電燃氣業、營造業、商業、運輸倉儲及通信業、金融保險不動產及工商服務業與社會服務及個人服務業八大行業別，循此八大行業別，將母體分為8個分層，依各層勞工人口總數，

比例配置(Proportional Allocation)各分層的樣本人數。根據隨機性與易於實施的原則[8,9]，我們採用二段式抽樣法(圖1)，第一階段在各分層中抽出公司行號，其被抽出的機率為該公司行號人數佔該分層總人數的比例。第二段抽樣是以被抽出的公司行號為母體，以簡單隨機抽樣法抽出量測樣本人。依此步驟可控制總母體中每一個體被抽出的機會大約均等，滿足隨機的要求。而且所抽到的個人集中於其所屬的公司行號，在連絡、量測時大為方便。

2. 量測方法

本研究採用我國工研院光電所開發的2.5D光電式量測系統來作為三度空間頭部的立體量測。2.5D光電式量測系統(圖2)由兩個子系統組成，一為取像子系統，二是3D資料建構子系統。取像子系統包括三部液晶投光器和兩台CCD照相機。液晶投光器可由內部液晶面板的變化，產生條紋投射在受測者頭部(圖3)。投射在受測者頭部的條紋由CCD照相機攝入，透過影像卡，送入電腦處理。量測軟體的功能是用以建立座標系，以及設定量測參數，控制投光器內液晶面板的圖案，並調整投出條紋的明暗對比。然後，將自影像卡傳來的資料應用三角測距原理換算為三度空間座標。

此2.5D光電式量測系統所使用的測距原理是三角測距法(圖4)，主要是利用相似三角形對應邊成比例之原理與投光角度的關係，分別求出待測點的三維座標值。本系統是一次要求得一個面的三度空間座標，故以葛雷(Gray)編碼的方式來辨識投光條紋，了解那一個條紋是那一個角度所投出。如圖5中只投了8條線，分別編號為0到7，只要3個數位($2^3 \leq 7$)的編碼(如圖案A、圖案B、圖案C三種)就可區分不同的條紋，如此每一位置的條紋就有3個位元的編碼。

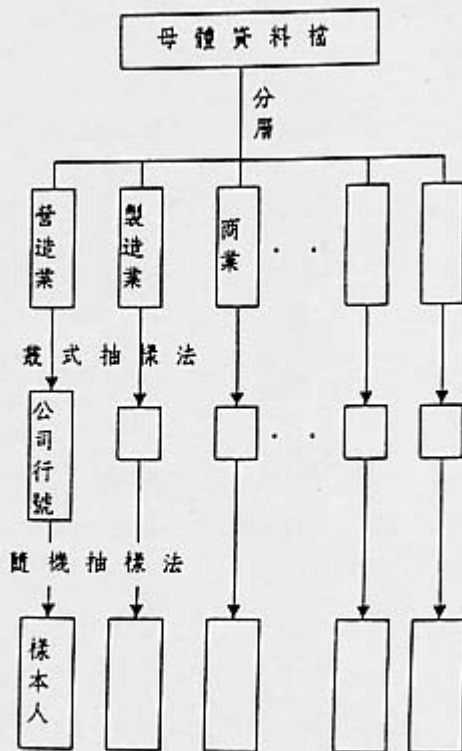
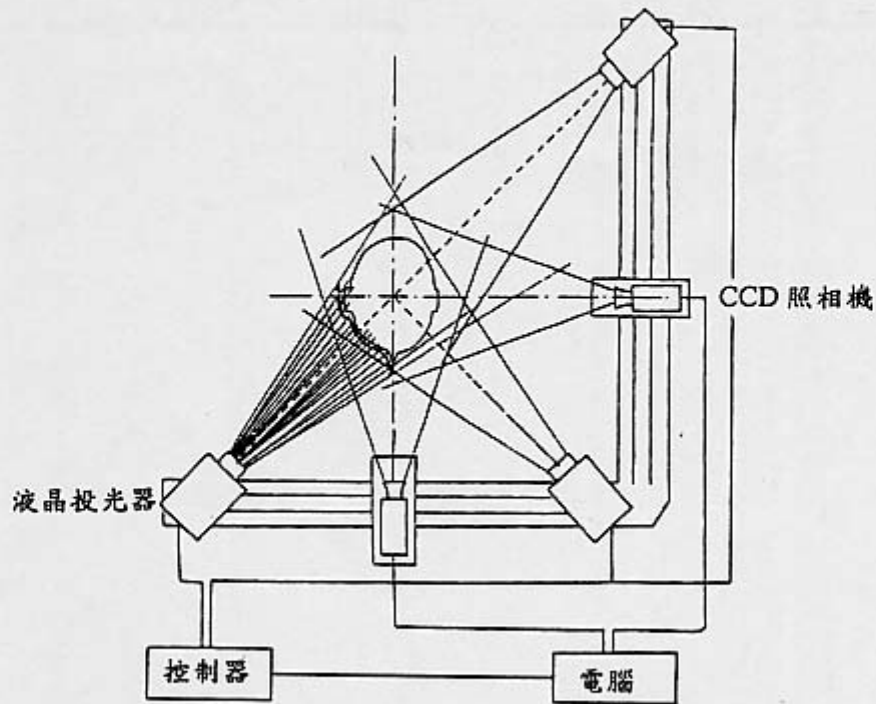


圖1 抽樣方法示意圖



(a) 系統架構圖



(b) 實際量測圖

圖 2 2.5D 光電式量測系統 (a) 系統架構圖 (b) 實際量測圖

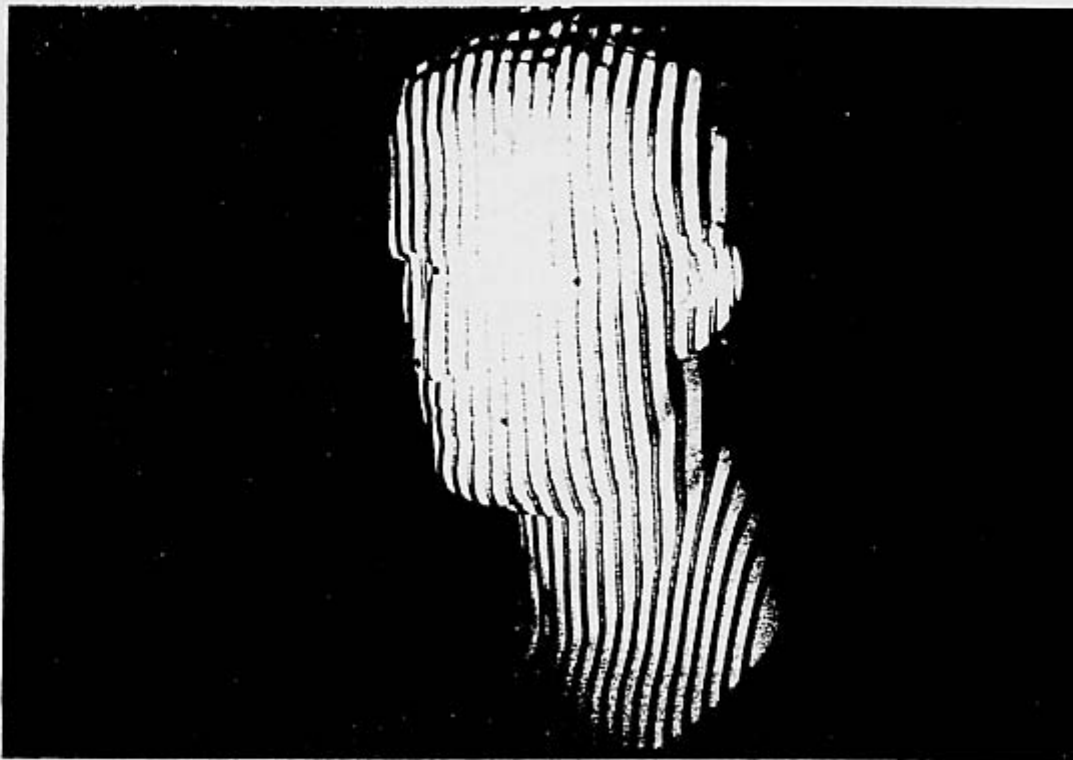
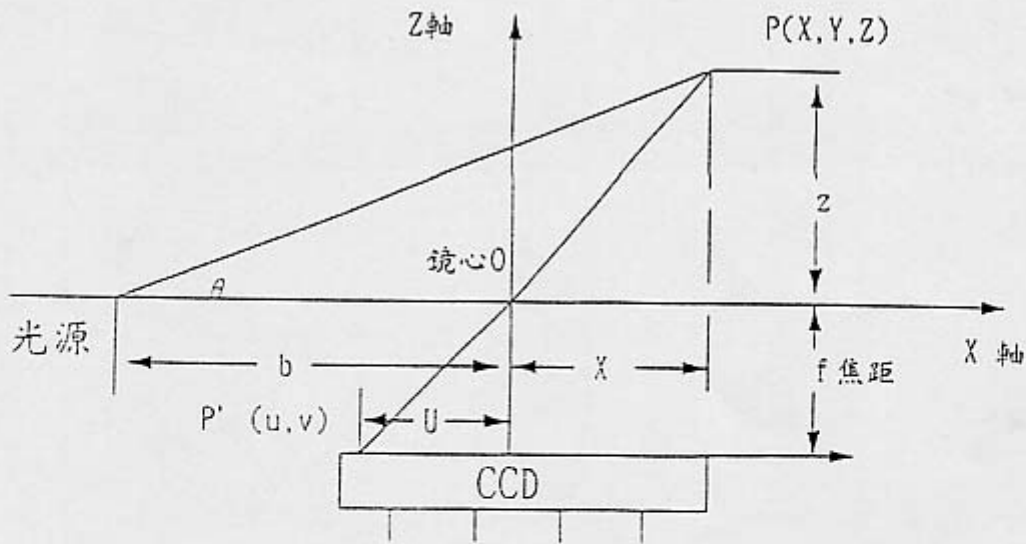


圖 3 2.5D 光電式量測系統產生條紋投射在受測者頭部



$$(X, Z) \text{ 平面上, } \frac{f}{u} = \frac{z}{x}, \frac{b+x}{z} = \cot \theta \rightarrow x = \frac{bu}{f \cot \theta - u}$$

$$(Y, Z) \text{ 平面上, } \frac{f}{v} = \frac{z}{y}, \frac{x}{y} = \frac{u}{v} \rightarrow y = \frac{bv}{f \cot \theta - u}, z = \frac{bf}{f \cot \theta - u}$$

其中 b, f 為系統參數值, u, v, θ 為量測值

圖 4 2.5D 光電式量測系統之三角測距法

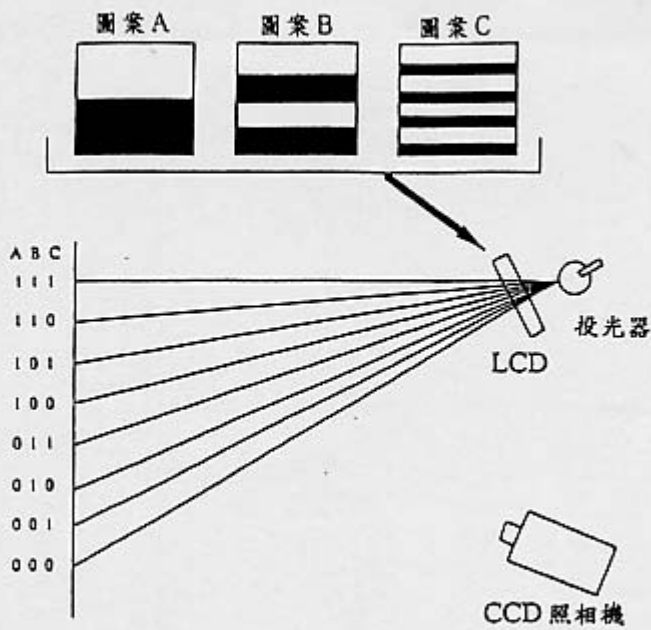


圖 5 2.5D 光電式量測系統的葛雷編碼示意圖

本系統具有快速量測的功能，在短短 20 秒內，即可迅速完成整個立體表面 25 萬

點的量測，不啻為一高效率的量測系統。

3. 資料處理

資料處理旨在將量測獲得的原始資料以等高線描繪樣本人的立體頭部外形。首先，定義新的座標系，將每位樣本人的原始資料(包括參考點)一一作座標轉換。在新的座標系下，漸次描繪出頭部的等高輪廓線(以下稱等高線)。等高線共分為兩群，一群是由水平橫剖面構成的等高線，利用電腦軟體沿著頭頂至下頷點，每 1mm 作一切割，共切割出百餘個等高線；另一群等高線是由矢狀縱剖面所構成的等高線(圖 6)，利用電腦軟體沿著左耳珠至右耳珠，每 1mm 作一切割，亦切割出百餘個等高線，每一等高線約包含 300~1000 個三度空間座標點。

全部的資料處理，以電腦軟體進行之，約歷時數秒即可完成。

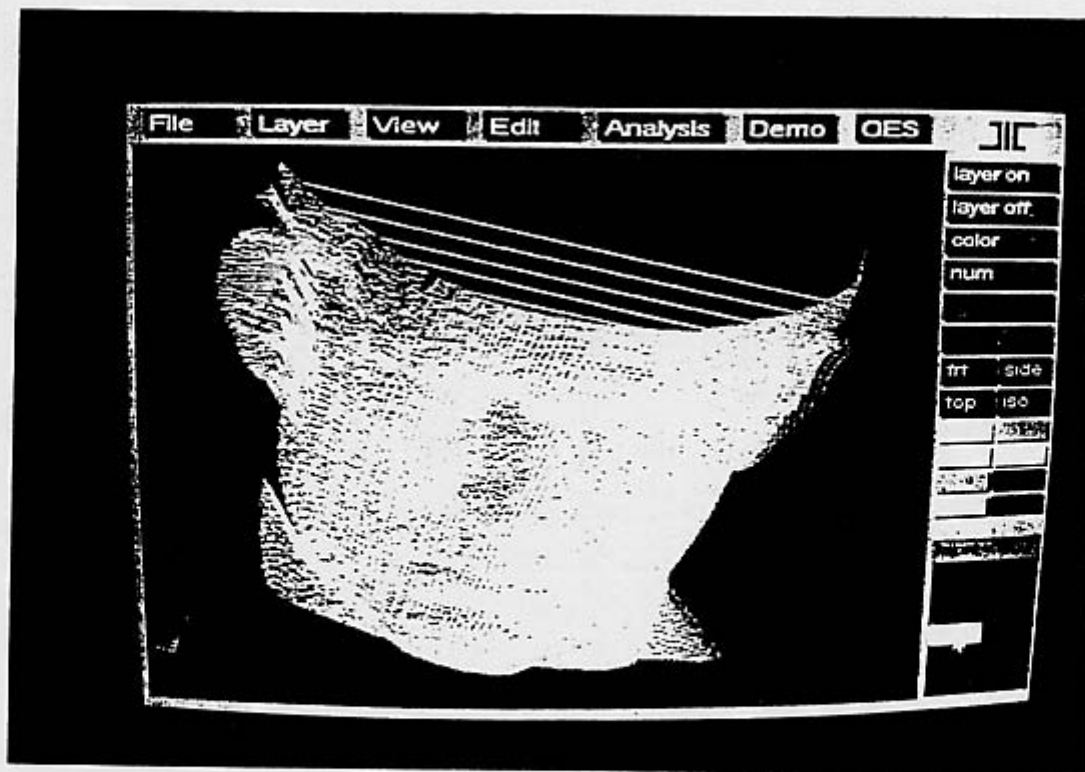


圖 6 電腦軟體處理後繪出等高線

4. 建立標準頭型

本研究建立標準頭型的步驟有三，先作頭型分類，再作各類內差異性比較，最後決選樣本人研製立體模型。

(1) 頭型分類

我們採用臉長和臉寬作為頭型分類的參數，將全體樣本不分男女性別以臉寬為橫軸，臉長為縱軸，畫出其散佈圖，由美國 NIOSH [4] 的研究資料，我們可以模擬其分布大致應成右上左下的橢圓狀，然後，將這千餘個樣本人，依據臉長、臉寬分組，目的是分別自每一組內找出具組代表性的標準人，再將所有標準人集成為具有母體涵蓋性的標準系列，以為日後相關產品製作規格之參考。

(2) 差異性比較

差異性比較是選擇各組內標準人的評比過程。本研究以九個目標剖面作為頭部的關鍵輪廓線(圖 7)，首先於每一組內，進行兩兩差異性的比較(pairwise comparison)，由於事先已將每個樣本

人的頭部三維座標資料，經過資料處理切割出等高線，我們可以找出九個目標剖面所涵蓋的座標點。這九個目標剖面由三個矢狀縱剖面(sagittal contours)與六個水平橫剖面(transversal contours)組成。其中，三個矢狀縱剖面分別是正矢面與經過左、右眼中心點(即內外眼角中點)的矢狀面，六個水平橫剖面則分別是為經過眉心(glabella)、鼻根(sellion)、顴骨突(zygomatics)、鼻尖(nose tip)、下頷角之尖(gonions)與下頷穴(gnathion)的水平剖面。

差異性的比較方法，是將兩樣本人的自身座標系疊合，先求取“局部差異”(Local Difference, 簡稱 LD)，再獲得“個人差異”(Individual Difference, 簡稱 ID)，逐步得到“整體差異”(Global Difference, 簡稱 GD)。“局部差異”是將兩位樣本人的任一對相對應剖面的不同部位依據呼吸防護具氣密性的相關程度與否(或依安全帽等其它產品，端視產品而定)，給與適當的權重，再以加權差異法，由電腦計算所得的差異值。於是，兩樣本人之九對相對應的目標剖面經比較後，可以獲得九個局部差異值。關於權重的大小，我們將循以下的原則來決定：整體來看，沿著前額、顴骨、兩頰至下巴的輪廓線，是關係呼吸防護具氣密性的重要部位，相較於其它部位應給予此部位較大之權數。細部來看，這個關係著氣密性的重要部位，其內部權數又因組織彈性的不同而有所差異，如兩頰為肌肉組織，彈性較大，可因應壓力大小產生不同程度的形變，配戴呼吸防護具時，略具自行調整的能力；相對的，前額為非肌肉組織，皮下即為骨骼，缺乏彈性，幾乎沒有自行調整的能

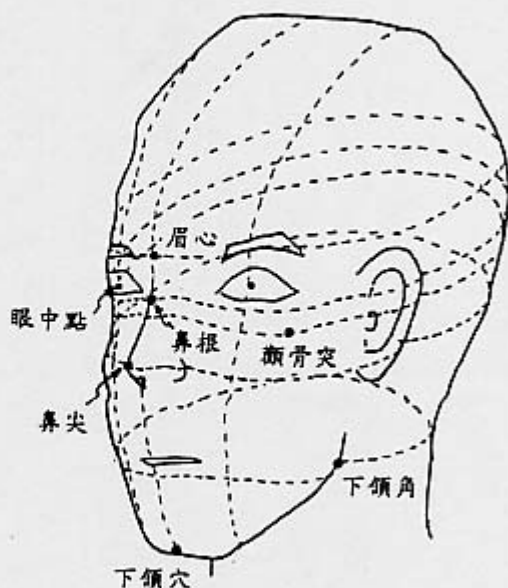


圖 7 九個關鍵性目標剖面示意圖

力，故前額處的權數又當大於兩頰處的權數。

“個人差異”就是九個“局部差異”的總合(圖8)。每一樣本都必須和該組群內其他所有樣本逐一比較，一一獲得該樣本與其他樣本人的“個人差異”值。把所有“個人差異”加總稱之為“整體差異”(圖9)。“整體差異”是評量該樣本與組群的整體差異程度指標。“整體差異”愈大者，表示與組內其他個體的差異程度大，相似性低；“整體差異”愈小者，表示與組內其他個體的差異程度小，相似性高。“局部差異”、“個人差

異”與“整體差異”之間的關係可以數學式分別表示如下，其中 m 表示該組總人數：

$$ID = \sum LD_i, \quad i = 1, \dots, 9 \quad (1)$$

$$GD = \sum ID_j, \quad j = 1, \dots, m \quad (2)$$

(3) 決選樣本人

差異性比較的結果，選擇組內“整體差異”最小的樣本人，用他來代表該組的標準人(圖10)，以此類推，可以在每一組中找到一位標準人，將所有標準人集合，即成為標準頭型系列。

個人差異 = \sum 局部差異

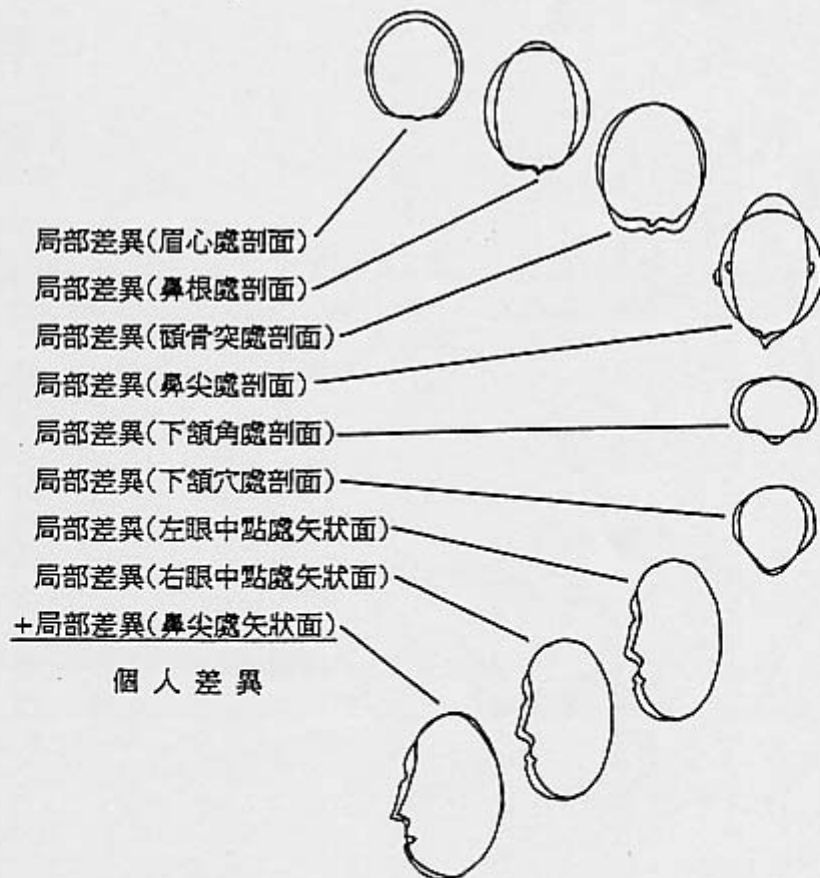


圖 8 差異性比較之個人差異示意圖

整體差異 = \sum 個人差異

討 論

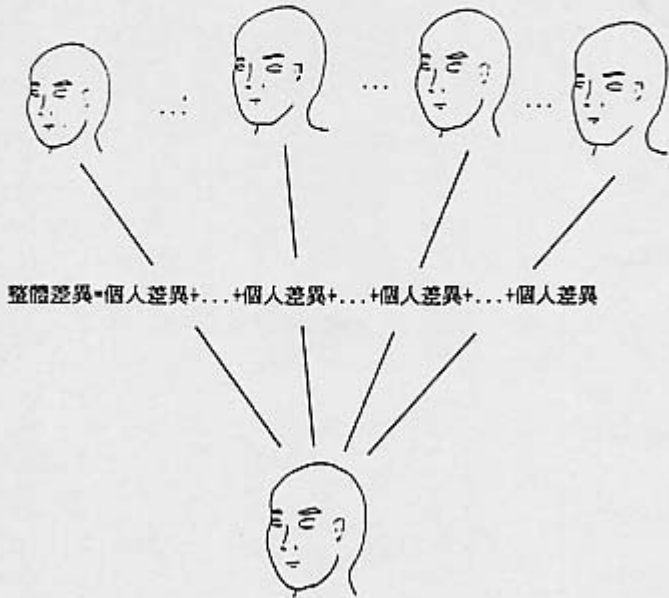


圖 9 差異性比較之整體差異示意圖

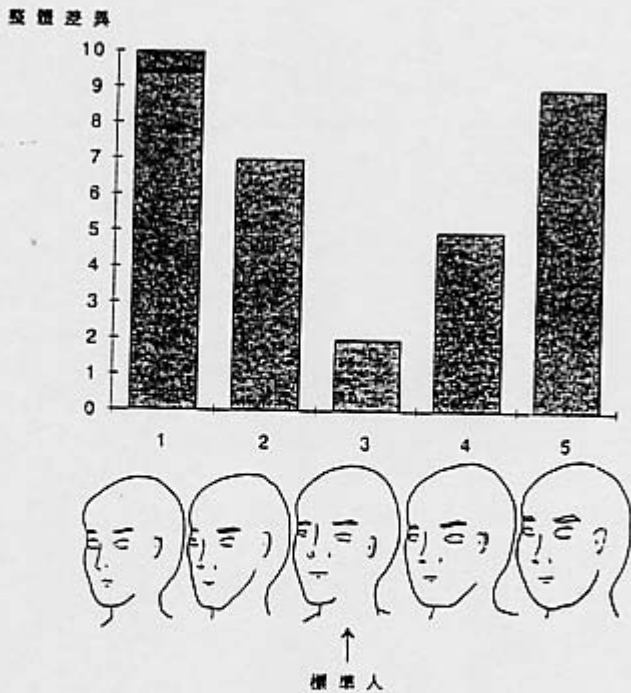


圖 10 決選樣本人示意圖

抽樣方法、量測方法與頭型建立方式，影響了標準頭型的代表性與實用價值。我們的抽樣方法是經過精心設計的二段式抽樣法，樣本的抽取幾近完全隨機，非僅樣本的代表性無庸置疑，並有助於提高量測結果統計推論的可信度。量測方法是採用高解析度的 2.5D 光電式量測系統，本研究採用的 2.5D 光電式量測系統是毋須接觸的量測系統，可於極短的時間內迅速取像，並換算獲得三度空間座標值。此系統的解析度與精密度皆可達 0.2mm 之微，用於量測凹凸有致的頭部，能有效偵測臉部曲率變化，精密的描述頭部外形，發揮其高解析度與高精密度的特性，同時，它具有快速量測的功能，只要 20 秒即可量測完畢，並且它對人體不具危害性，適宜為頭部計測之用。標準頭型的建立方法是以加權差距法，可以充分反應頭部不同部位的重要性，符合實際需求。另外，我們選用九個目標剖面作為差異性比較時的關鍵性剖面，此舉雖非首創(因 Coblentz [3] 於 1992 年曾採用五個剖面來比較差異)，但是，本研究多了三個矢狀縱剖面，考慮到頭部垂直縱向的變異性，使差異性比較更為周全，並且由局部差異推得整體差異，循序求出標準人，不失為一客觀的科學方法。

結論與建議

標準頭型的研究，無論是抽樣方法、量測方法與標準頭型建立方法皆投入了大量人力物力，與多方專家諮詢研討，並延請國際知名人因工程專家－法國 Coblentz 為本研究之顧問，力求研究方法之嚴謹。標準頭型研究，在國內雖屬首創，然與歐美其它先進國家的頭型研究並駕齊驅，頗有後來居上之勢，相信此研究之發表，將有助我勞工福利與國際形象之提昇。

標準頭型之研究，結合了學術與實務，不僅有助我國學術地位之提昇，待將標準頭型之研究成果輸入 CNC 機器雕刻出標準頭型實體，可提供業界產品設計與測試檢驗的參考依據，對我自製頭部相關產品的設計有所助益，進而改善我勞工之工作品質。

誌 謝

感謝行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所施所長鴻志、楊副所長瑞鍾與葉組長文裕對本研究計畫的支持與關心，不勝感激。同時感謝工研院光電所林明惠先生與竹普機器公司周錦隆先生在儀器設計製作上的大力配合，謹此致謝。

參考文獻

- [1] Lestrel P.E.; "Some Problem in the Assessment of Morphological Size and Shape Differences," *Yearbook of Physicall Anthropology*, 1974, Vol. 18.
- [2] Ratnaparkhi M. V., Ratnaparkhi M. M. and Robi-nette K. M.; "Size and Shape Analysis Techniques for Design," *Applied Ergonmics*, 1992, 23(3), June:181-185.
- [3] Coblentz A., Mollard R. and Ignazi G.; "Three-dimensional Face Shape Analysis of French Adults, and Its Application to the Design of Protective Equipment," *Ergonomics*, 1991, 34(4):497-517.
- [4] Hack A., Hyatt E. C., Held B. J., Moore T. O., Richards C. P. and McConville J. T.; "Selection of Respirator Test Panels Representative of U.S. Adult Facial Sizes," *NIOSH*, Cincinnati, Ohio, 1974.
- [5] Atemschutzerate, Halbmasken, Viertelmasken, Anforderungen, Prufung and Kennzeichnung; "Respiratory Protective Devices; Half-masks and Quarter-masks; Requirements, Testing, Marking," *European Committee for Standardization*, 1989.
- [6] 黎正中、黃雪玲、王明揚；“國人靜態人體量測資料庫之建立”，國科會專案研究計畫，行政院國家科學委員會，1986。
- [7] “工商及服務業普查報告”，行政院主計處，1993。
- [8] 儲全茲，抽樣方法，三民書局，1993。
- [9] *Survey Sampling Principles*, New York, Marcel Dekker, Inc.

A Study for Workers' Typical Craniofacial Manikins

Yi-Xue Yang¹, Huei-Fang Yeh¹, Chih-Yong Chen², Chi-Yuang Yu¹

¹ Department of Industrial Engineering, National Tsing Hua University

² Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs, Executive Yuan

Abstract

The purpose of this research is to build a series of typical manikins of indigenous workers' cranioface for the design, assessment and inspection of various personal protective devices, such as helmet, goggle and respiratory apparatus. The research plans to sample 1100 workers randomly using a 2.5D photoelectric scanning system to take 3D surface plot. The surface plots of all the subjects will be classified into several groups (e.g. 2 ~ 6 groups) according to their facial lengths and widths. For each group a typical representative subject will be selected. The selection process is based on local difference, individual difference and global difference. These differences are the comparison of 6 horizontal and 3 vertical contours extracted from the surface plots. Local difference is the comparison of the correspondent contours of a pair of subject. For each pair of subjects, the differences of 9 contours must be computed and the sum is call individual difference, which is a measure of the degree of difference between the subject pair. Within a group, each subject must be compared with the rest of subjects, the sum of all the individual differences is called global difference, which is a measure of the difference of a subject relative to the whole group. Within the group, the subject with the smallest difference will be selected as typical representative for the group. Upon the completion of the selection process, the 3D surface plots of the representatives will be fed into C.N.C. machine, and a series of craniofacial manikins will be tooled. The manikins can be used for the design, inspection and assessment of various protective devices.

Key Words: Typical Craniofacial Manikins, Anthropometry, Stereometry, Head Type Classification, Respiratory Protective Devices