

# 產業用防護頭盔衝擊吸收性試驗 之量測不確定度分析

林士正／標準局臺南分局技士

## 摘要

在執行產業用防護頭盔的衝擊吸收性試驗過程中，其檢測的流程係以一個重 5 公斤的衝擊頭由距離防護頭盔上方 1 公尺的位置，以自由落體方式落下撞擊防護頭盔，再由人頭模型下方的載重計感應器量測出衝擊力量。在衝擊吸收性量測中，衝擊頭與防護頭盔間的衝擊距離可能會因操作人員安裝方式及樣品結構不同等因素，造成衝擊器落下高度產生些微差異性，本研究利用實驗方式，求得衝擊器落下高度對於衝擊吸收性的敏感係數(即輸入量和被量測量單位間的轉換因子)為 14.128 N/mm。再者，依據 CNS 1336 Z3001(101.12.27)執行產業用防護頭盔衝擊吸收性之量測不確定度評估，經分析結果，本局產業用防護頭盔專業實驗室對於衝擊吸收性量測之組合標準不確定度為 25.48 N，在 95 %信賴水準內，其量測不確定度為 0.982 %。藉由本次專題研究建立產業用防護頭盔衝擊吸收性量測不確定度評估報告，可提供同仁更加了解量測過程的影響因素，並作為修正量測操作說明的重要參考依據，使檢測作業更趨一致性，可有效提升防護頭盔之檢驗技術。

## 壹、前言

鑑於本局同仁在檢驗產業用防護頭盔之衝擊吸收性試驗時，雖然皆依照國家標準之規定執行檢測，然而一些操作手法及相關細節，偶有造成檢驗數據些微差異之情形，有時甚至因而導致檢驗結果的不同，影響廠商權益甚大，藉由分析該試驗項目的量測不確定度，將所有可能影響檢驗數據的因素加以考量，以提供同仁在檢驗實務上檢驗結果的一個較客觀的科學判定準則。

## 貳、量測不確定度評估數學模式

在產業用防護頭盔衝擊吸收性量測活動上，影響試驗值(AV)量測之變異包含了下列各項：

- (1)  $E_s$  PCB 224C FORCE SENSOR 載重計感應器標稱值之可能變異
- (2)  $E_m$  試驗機量測衝擊吸收性時之可能變異
- (3)  $E_{mr}$  試驗機讀數最小解析度所造成之可能變異
- (4) 其它影響試驗值之環境及待測物等變異性。

本研究為簡化量測結果因環境及待測物等因素造成之量測變異性，使用查核墊作為待測物進行量測，在現有專業實驗室環境溫濕度管控下，即可合理假設前述因素所造成誤差很小，可以忽略不計，故其量測不確定度評估數學模式可表示為：

$$AV = f(E_s, E_m, E_{mr}) \quad \text{【1】}$$

此外，根據量測不確定度的傳播定律可得：

衝擊吸收性量測之組合不確定度：

$$u_{AV} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial E_s}\right)^2 u_{E_s}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E_m}\right)^2 u_{E_m}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E_{mr}}\right)^2 u_{E_{mr}}^2} \quad \text{【2】}$$

其中  $\left(\frac{\partial f}{\partial E_s}\right)$  為載重計感應器標稱值之靈敏係數。

$\left(\frac{\partial f}{\partial E_m}\right)$  為試驗機量測衝擊吸收值之靈敏係數。

$\left(\frac{\partial f}{\partial E_{mr}}\right)$  為試驗機讀數最小解析度之靈敏係數。

$u_{E_s}$  為載重計感應器標稱值之標準不確定度。

$u_{E_m}$  為試驗機量測衝擊吸收值之標準不確定度。

$u_{E_{mr}}$  為試驗機讀數最小解析度之標準不確定度。

## 參、敏感係數分析

在理論上，利用實驗方式來決定出敏感係數是簡單且方便的。就衝擊吸收性

的量測而言，對於一個感興趣的變數  $x$ ，我們開始選擇在一特定值的小範圍內。這個範圍的選擇有利於我們對每一個試件進行實驗，將實驗結果繪在一圖表上，以變數  $x$  為水平軸，量測結果為縱軸。利用最小平方方法來描述所有通過的數據點，則這條線的斜率即為敏感係數。這個方法對於輸入變數  $x$  與量測結果為線性變化關係是有用的，若兩者的關係為非線性關係時，則這個方法是不適用的。

此外，對於已知函數模式時，其敏感係數可以由數學方式來評估。偏微分係表示固定其它輸入量，微小改變輸入量對被量測量的變化量。因此，我們可以利用最小平方方法來評估衝擊器落下高度與衝擊吸收性試驗量測結果，如表 1 所示。

表 1 衝擊器落下高度與衝擊吸收性試驗量測結果

衝擊器落下高度(cm)	衝擊吸收值(N)
28	4907.1
29	5033.6
30	5204.6
31	5367.8
32	5446.4

由此可知，其衝擊吸收性試驗的敏感係數為  $141.28 \text{ N / cm} (\approx 14.13 \text{ N / mm})$ 。這個結果顯示輸入變數與量測結果為線性變化關係。因此，我們可以利用實驗方式來求得衝擊器落下高度對於衝擊吸收值的敏感係數，另外，這個實驗方式亦可運用於其他線性系統中，求各個輸入變數與量測結果的敏感係數。

#### 肆、衝擊吸收性試驗之量測不確定度評估

量測結果的不確定度根據估計方法的不同，可區分為 A 類與 B 類標準不確定度等兩個分量所構成，其中 A 類標準不確定度係用統計方法評估的分量，而 B 類標準不確定度係用其他方法評估的分量。本研究考量之可能變異的標準不確定度評估如下：

##### 一、載重計感應器標稱值之標準不確定度 $u_{Es}$

根據試驗時所使用之載重計感應器(序號 1020)的校正報告(PCB



PIEZONTRONICS INC.，日期 6/12/2014，編號 525429)，其輸入力量位準 5000 N 校正結果之相對擴充不確定度為 1 %，在相對應約 95 % 之信賴水準、涵蓋因子為 2，其標準不確定度為：

相對擴充不確定度 / 涵蓋因子 = 1 % / 2 = 0.5 %，

換算為標準不確定度值為  $u_{Es} = 5000 \text{ N} \times 0.5 \% = 25 \text{ N}$ 。

此變異之涵蓋因子  $k=2$ ，相對應約 95 % 信賴水準，查表可得其自由度  $\nu_{Es}=60$ 。

## 二、試驗機量測衝擊吸收值時之可能變異的標準不確定度 $u_{Em}$

因產業用防護頭盔衝擊吸收性試驗為破壞性試驗，無法使用同一頂產業用防護頭盔進行重覆量測，遂使用參考物質—查核墊來進行 A 類評估。使用經『加拿大 CADEX 公司』驗證之參考物質—查核墊，試驗條件為使用 CNS 1336(101.12.27)之鎂合金標準頭型、落下重量 5.0 kg、衝擊點：頂頭部、前處理溫度：常溫 4 小時以上，落下高度 300 mm，以確保衝擊力量在 5 kN 左右。於 104.1.2 ~ 104.11.6 期間，在相同試驗條件下計查驗 20 次，每次衝擊 3 回，其衝擊吸收性試驗量測結果，如表 2 所示。

表 2 衝擊吸收性試驗量測結果(單位：牛頓)

測試序號	第一回	第二回	第三回
1	5188.5	5215.3	5158.1
2	5169.5	5194.5	5169
3	5203.2	5174.3	5159.9
4	5250.2	5170.9	5186.3
5	5217.8	5120.4	5145
6	5208.4	5228.9	5154
7	5222.1	5183.1	5139.9
8	5235.6	5311.7	5160.5
9	5205.8	5258.5	5158.1
10	5248.3	5180.4	5152.7
11	5274.3	5190.4	5135
12	5212.3	5175.9	5154.7
13	5180.7	5171.4	5184.5

14	5239.9	5177.2	5163.6
15	5238.1	5151.6	5174.7
16	5195	5120.1	5169.6
17	5226.1	5146.8	5188.2
18	5241.3	5198.7	5146
19	5217.3	5175.7	5175.8
20	5200.7	5208.1	5170.1
平均值 $\bar{x}$	5189.578	$\sigma$ 的估計值 $s(x_j)$	38.15281
標準差 $\sigma$	37.83353	$\bar{x}$ 標準差 $s(\bar{x})$	4.925507

根據 20 次計 60 回的試驗結果，求出的標準差，僅為一組特定抽樣值的標準差  $\sigma$ ，並非抽樣的唯一值，如果再重覆一次，就會得到另一組值，進而產生不同的  $\bar{x}$  及  $\sigma$ ，因此必須求得  $\sigma$  值可能的估計值，其值可以下式求得：

$$S(x_j) = \sqrt{\left(\frac{1}{59} \sum_{j=1}^{60} (x_j - \bar{x})^2\right)} = 38.15$$

而其平均值  $\bar{x}$  亦非真正由無限多個樣本所得的平均值，因此可由群體估計標準差獲得所謂平均值的實驗標準差：

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_j)}{\sqrt{60}} = 4.93$$

此即為所求之 A 類標準不確定度， $u_{Em} = 4.93 \text{ N}$ 。

由 60 回測試過程可知自由度為  $\nu_{Em} = 59$ 。

### 三、試驗機讀數最小解析度之可能變異的標準不確定度 $u_{Emr}$

假設最小解析度 0.1N 為矩形分配，相對不確定性為 10%，自由度為：

$$\nu_{Emr} = 1/2 * (100/10)^2 = 50$$

估算其標準不確定度為：

$$u_{Emr} = (0.1 * 1/2) / \sqrt{3} = 0.0289 \text{ N}$$

### 四、組合標準不確定度評估

依照【2】式，將各標準不確定度與敏感係數帶入計算組合標準不確定度，

如表 3 所示。

表 3 組合標準不確定度計算表

不確定度來源	不確定度值	類型	機率分配	涵蓋因子 k	標準不確定度值 $u_i$	靈敏係數 $c_i$	$u_i * c_i$	$(u_i * c_i)^2$
$u(E_s)$	50 N	B	t 分配	2	25 N	1	25 N	625 N <sup>2</sup>
$u(E_m)$	4.93 N	A	常態	1	4.93 N	1	4.93 N	24.3 N <sup>2</sup>
$u(E_{mr})$	0.1 N/2	B	矩形	$\sqrt{3}$	0.03 N	1	0.03 N	0.0009 N <sup>2</sup>
$\sum (u_i * c_i)^2 = 649.3 \text{ N}^2$ $u_{AV} = 25.48 \text{ N}$								

所以本報告之組合標準不確定度計算結果為 25.48 N。

在本研究衝擊吸收性試驗中，組合不確定度為  $u_{AV} = 25.48 \text{ N}$ ，載重計感應器標稱值  $E_s$ 、重覆量測值  $E_m$ 、試驗機讀值解析度  $E_{mr}$  的標準不確定度分別為 25 N、4.93 N、0.03 N。相對應的自由度分別為 60、59、50。最後，敏感係數皆設為 1，利用 Welch-Satterthwaite 公式來計算組合標準差的有效自由度：

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{c_s^4 u_s^4}{v_s} + \frac{c_m^4 u_m^4}{v_m} + \frac{c_{mr}^4 u_{mr}^4}{v_{mr}}}$$

$$= \frac{(25.48)^4}{\frac{(1)^4 (25)^4}{60} + \frac{(1)^4 (4.93)^4}{59} + \frac{(1)^4 (0.03)^4}{50}}$$

$$\approx 64.64$$

由 t 分佈-表中，對應其自由度(64.64)與信賴水準 95 % 得到  $t = 2.00$ ，所以衝擊吸收性試驗結果的擴充不確定度為：

$$U = k u_c = (2.00)(25.48 \text{ N}) = 50.96 \text{ N}$$

本報告 20 次查驗結果數據呈常態分配，在 95 % 之信賴水準可以採用涵蓋因子  $k=2$ ，擴充不確定度  $U = k \times u_{AV} = 50.96 \text{ N}$ ，轉換成百分比表示如下：

$$U / y = (50.96 / 5189.578) \times 100 \% = 0.982 \%$$



量測結果表示為  $y \pm U$ ，衝擊吸收性查驗結果可以表示為  $5189.578 \text{ N} \pm 50.96 \text{ N}$ ，相對擴充不確定度為  $0.982 \%$ 。

### 伍、結論與建議

本研究所做之相關試驗數據及分析是利用衝擊吸收墊去測試，排除實際測試樣品—「產業用防護頭盔」無法針對同一樣品進行重覆試驗的情形，可以幫助我們進一步了解整個試驗設備的穩定性，以及在同一基準的條件下，造成測試數據不同的主要影響因素分析。經由研究結果，我們可以發現載重計感應器的標準不確定度占總不確定的極大部分，另外，使用電腦設定衝擊高度亦會造成相當程度的不確定度影響，而本局產業用防護頭盔衝擊吸收性量測的組合標準不確定度計算結果為  $25.48 \text{ N}$ ，在  $95 \%$  信賴水準內，其量測不確定度為  $0.982 \%$ 。

對於整個試驗分析的結果，可提供檢驗人員參考，除了載重計感應器等的不確定度之外，針對使用電腦設定衝擊高度的部分，亦可能影響量測結果，本研究顯示衝擊距離與量測之衝擊吸收性間的轉換因子「敏感係數」為  $14.128 \text{ N} / \text{mm}$  作為操作工作說明修訂的重要參考。實務上，建議在衝擊頭懸掛上吊鉤之後，以游標卡尺量測衝擊頭下緣與樣品上方衝擊點之距離，據以修正設定上升高度，以確保衝擊高度之準確性，在衝擊高度修正後，再考慮衝擊高度造成之不確定度影響，當檢驗數據接近(不)合格邊緣值時，考量不確定度因素進行判定，藉以提升檢驗技術精度。

### 陸、參考文獻

1. 方冠權、郭晃銘、蔡森南，2005，材料抗拉強度量測不確定度與誤差分析問題的探討，經濟部標準檢驗局。
2. 1996，量測資訊計量技術專刊③量測不確定篇，財團法人工業技術研究院量測技術發展中心。
3. 2013，量測不確定度研討會(基礎班)訓練教材第 8.3 版，財團法人工業技術研究院量測技術發展中心。
4. 2006，量測不確定度評估理論與實務，財團法人工業技術研究院量測技術發展中心。