

圖像式程式語言應用於儀錶校驗之研究

作者：吳銘祥

提要

- 一、武器系統及飛彈裝備需要保養與維修，而保養與維修過程亦包含檢查作業。檢查作業除一般的目視檢查，其他檢查項目往往需要透過相對應的儀器進行檢查驗證。當武器系統或飛彈裝備經過長期使用後，功能可能會偏離其設定參數值，所以要透過儀器檢驗，以確保武器系統運作正常。
- 二、量測儀器的準確度非常重要，要確保量測儀器的準確度，需仰賴儀器的校正追溯作業。完整校正作業包括：校驗程序的準備、標準件的準備、量測環境準備、校正前準備（暖機、歸零）、校正作業、紀錄結果、校正後保養、產出校正報告。
- 三、傳統人工校驗作業流程，考驗校正人員的細心及耐力，校正人員須耗費大量時間執行校正作業及記錄數據。另外，因為傳統校正是透過人工來進行，由人工執行的校正作業，亦可能會造成誤差。
- 四、以圖像式程式語言（LabVIEW）執行自動化校驗，對於沒有程式撰寫基礎的人員，能以更簡易明瞭的程式撰寫方式，有效達成降低人為錯誤，提升工作效率之目的。

關鍵詞：儀錶校驗、圖像式程式語言、LabVIEW、自動化校驗

前言

在國軍各式裝備檢測作業過程，正確使用精準的量測儀器不可或缺。因為武器系統或飛彈裝備經過長期使用後，功能可能會偏離其設定參數值，要透過儀錶校驗作業，以確保武器系統運作正常。傳統儀錶校驗作業需要投資較多人力及設備，且過程繁複、耗時，亦可能因為校驗人員疏忽而造成誤差。而誤差可能造成裝備損壞或人員傷亡。隨著科技進步，儀錶校驗作業已慢慢朝向自動化量測方式發展。透過自動化量測方式，可有效節省作業時間。筆者藉由分析以圖像式程式語言應用於儀錶校驗之研究，期能更有效率執行野戰防空武器檢驗方式，以精進作戰整備。

儀錶校驗的重要性

一、儀錶介紹說明

儀錶（又稱為測量儀器）是透過各種不同類型的測試，以獲得相關的參數紀錄，如壓力、溫度、頻率、電流、電壓及阻抗等。儀錶可由單一裝置或群體裝置所構成，早期儀錶是以類比電路方式製作，稱為類比式儀錶。隨著數位電

子技術進步，許多儀錶改以數位方式製作為數位式儀錶。而類比訊號轉換為數位訊號，就成為一門重要學問。

類比訊號的數位化（digitization）是一門應用很廣的技術。以語音通信系統為例，由發話端送出的類比語音訊號在進入數位電信網路之前，都會先轉換成數位語音訊號，一旦傳送至受話端，這些數位語音訊號又會還原成類比訊號。因為人類能感知的聲音是類比的物理量，而數位電信網路的效率及性能都比傳統的類比電信網路好，所以將類比語音訊號數位化及將數位語音訊號還原成類比訊號，幾乎是目前所有的語音通信系統必備的功能。¹

二、國軍野戰防空武器儀錶校驗概況

孫子曰：「凡用兵之法，馳車千駟，革車千乘，帶甲十萬，千里饋糧。則內外之費，賓客之用，膠漆之材，車甲之奉，日費千金，然後十萬之師舉矣。」對於軍隊出征作戰，後勤整備是不可忽視的一個環節，在作戰之前將所需要的物資準備充足，武器系統、車輛載具完成檢整，才可以出發上戰場。對於野戰防空砲兵作戰而言，能夠有效準確地摧毀來襲敵軍，是最為重要的任務使命。而要達成精準射擊的目標，各種校正後的量測儀器是不可或缺的，舉凡：三用電表、訊號產生器、示波器、頻譜分析儀及頻率計數器等，均是國軍野戰防空武器系統檢測常用之儀器。

武器系統及飛彈裝備需要保養與維修，而保養與維修過程中亦包含檢查作業。檢查作業除了一般的目視檢查外，其他檢查項目往往需要透過相對應的儀器進行檢查驗證。因為武器系統經過長期使用後，功能會偏離其設定參數值，所以要透過儀器檢驗，以確保武器系統運作正常，但是容易忽略所使用的檢測儀器是否也準確無誤。

若是以一個未校正之測量儀器去檢查武器系統時，將無法得到正確的量測結果，而這樣的錯誤往往會成重大危害。以筆者曾經負責的榲樹飛彈系統為例，開啟主電源後，發電機輸出電壓應為 28 ± 0.5 伏特。保修人員會於演習前使用三用電表執行輸出電壓檢查，以確保飛彈系統可正常運作。但若是此三用電表未經過校正，故儀器本身有 1 伏特誤差，將會造成以誤差狀況（如表一）。

由表一可知，雖然電表顯示為 28 伏特，但是實際輸出電壓值只有 27 伏特，榲樹飛彈系統將無法正常運作。若未立即停止操作，甚至可能會造成裝備損壞及人員危安情事。因此，量測儀器的準確度非常重要，而要確保量測儀器的準確度，就需要仰賴儀器的校正追溯作業。

¹孫航永，《常用電子量測儀器原理》（臺北：秀威資訊科技，西元 2005 年），頁 9。

表一 儀錶校正對裝備影響分析表（以槲樹飛彈系統為例）

使用儀錶	未校正之三用電表	已校正之三用電表
三用電表誤差值	-1 伏特	0 伏特
三用電表顯示值	28 伏特	28 伏特
實際輸出電壓值	27 伏特（顯示值+誤差值=實際輸出電壓值）（說明：28 伏特+（-1 伏特）= 27 伏特）	28 伏特（顯示值+誤差值=實際輸出電壓值）（說明：28 伏特+（0 伏特）= 28 伏特）
結果	實際輸出電壓值為 27 伏特，未符合 27.5 至 28.5 伏特之要求，造成槲樹飛彈系統無法正常運作。	實際輸出電壓值為 28 伏特，符合 27.5 至 28.5 伏特之要求，槲樹飛彈系統可正常運作。

資料來源：作者自行整理

三、校正追溯

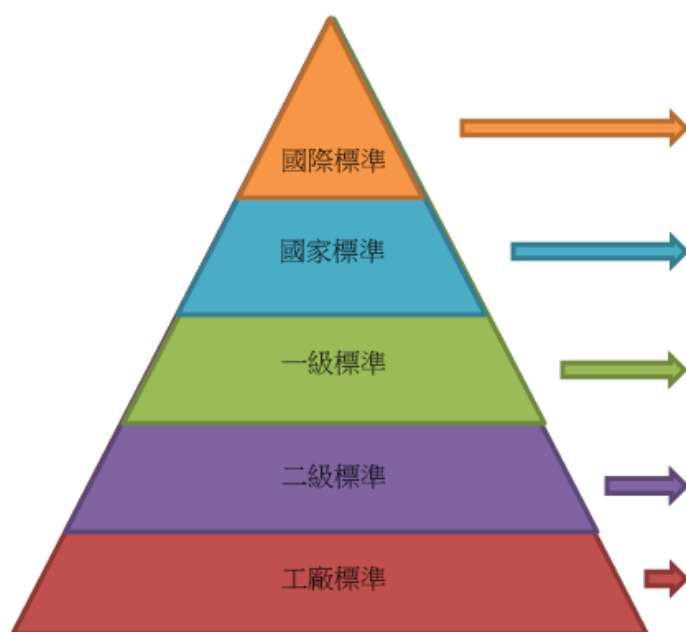
「追溯」的定義為：經由一不間斷之標準件相互比較管道，以使較低層次標準件，其個別量測結果能與國家標準或國際標準量測系統相關連。²「追溯」的概念其實就是追本溯源，由下而上回推至最高標準。當我們將平常所使用的量測儀器送至認證實驗室執行校驗，當該實驗室完成校驗工作並歸還給我們使用，表示我們的儀器是被校正過的。然而，以追溯的角度來看，我們手上的儀器不僅僅是只能追溯到該認證實驗室，而是可以追溯到國家標準，甚至國際標準。因為該實驗室的校驗儀器也是定期要送至上一級校驗認證實驗室執行校正作業，藉由一級一級往上回推，可認定我們手上的儀錶的標準值，可以符合國家標準，甚至達國際標準，這就是追溯的意義。標準校正追溯體系，如圖一及表二。

從由上而下來看，整個國家（包含產業界、科技業及軍事科技）所需使用的儀器數量繁多，如果沒有建立各級實驗室及追溯的體系，僅依賴國家標準實驗室執行校正作業，將無法完成校正任務。因為無論簡易或複雜的儀錶，都需定期校驗，如果每一件儀器都送往國家標準實驗室，國家標準實驗室將無法處理如此龐大的工作量。所以，透過國家標準實驗室往下建立次級實驗室，再由次級實驗室建立下一層級實驗室，才可以處理如此繁多的需校驗儀器數量。

其概念就就如同我們生病一樣，感覺身體微恙時，先找家庭醫生了解狀況。如果狀況不佳，再至診所。若更嚴重，才至大醫院就診。就如同醫療體系分級一樣，可以有效減少浪費醫療資源，校驗實驗室分級也是雷同。簡單的量測儀器，只要送至工廠標準認證實驗室校驗即可。隨著量測儀器的複雜性及所需精確度的提高，才送至更高層級的實驗室，以有效完成整個國家的儀器量測作業。

² 〈什麼是追溯?經由那些方法可以達成追溯?〉《國家度量衡標準實驗室》，<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xItem=2254&ctNode=4062&mp=2>，2018 年 4 月 3 日。

圖一 標準校正追溯體系圖



表二 標準校正追溯對應單位表

標準校正追溯對應單位
國際度量衡局(BIPM)
國家標準實驗室 (工研院量測中心)
中科院
本軍各二級校驗室 (例如：飛勤廠校修所)
各地區校驗站

資料來源：作者自行整理

傳統人工儀錶校驗

「校正程序」乃為記載執行校正作業詳細步驟及方法之技術資料，是量測標準操作程序之依據。其目的在於累積量測人員、各相關校正機構（如儀器製造商、其他校正研究機構）校正技術及經驗，彙整成一適當之校正操作程序，以提供更精準之校正作業用。不管校正程序的格式為何，下列各項為一基本校正程序應包含之項目。

- 一、所有被校之測試、量測儀器及標準件之規格、目的之詳細敘述。
- 二、校正時之環境要求規格。
- 三、校正使用之儀器標準件及其最小要求規格。

四、校正前準備步驟及各項安全考慮之討論。如暖機時間、歸零調整、清潔程序及各項應注意事項均應加以討論。

五、校正步驟之內容討論，包括量測系統結構、裝置原理、校正操作指令、資料處理方法、校正結果之評估原則。

- 六、校正後應有之步驟，如儀器、標準件應注意之保養程序。³

完整校驗作業包含：校驗程序的準備、標準件的準備、量測環境準備、校正前準備（暖機、歸零）、校正作業、紀錄結果、校正後保養、產出校正報告。

首先，當校驗人員接獲一件待測件（Unit Under Test, 簡稱 UUT）時，需依據待測件廠牌及型號，找出其相對應的校驗技術文件。校驗技術文件來源有 2 種，

³ 〈什麼是校正程序?基本校正程序應包含哪些項目?〉《國家度量衡標準實驗室》，<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xItem=2240&ctNode=4062&mp=2>，2018 年 4 月 3 日。

其一為軍方慣用的技術命令（Technical Order,簡稱 TO），另一為原廠提供之技術文件。校驗技術文件中包含許多重要訊息，例如校正環境之要求規格、所需用標準件、校正前準備及校正步驟與標準。

校驗人員依據待測件找出相對應的校驗技術文件後，接下來即可依校驗技術文件所列出的所需標準件清單（圖二），將待測件及標準件放置於校正時要求規格環境中。待測件及標準件放置於校驗實驗室中（圖三），仍須依技令要求之時間，俟裝備與環境達平衡狀態時，才可執行開機暖機動作。

依技令完成機器暖機後，始可開始執行校驗作業。以常用的多功能電表為例，校驗內容包含直流電壓、交流電壓、直流電流、交流電流、電阻及電容等。校驗人員需依技令步驟，完成每一項校驗作業，並記錄校驗結果。（圖四）

當校驗人員依技令完成所有校驗步驟，最終須將所紀錄結果做成校正報告，才算大功告成。校正報告中會記載本次校驗的校正人員、校正日期及校正環境等訊息，亦會詳細列出所有校正作業步驟的結果，以提供送校單位參據運用。（圖五）

2 EQUIPMENT REQUIREMENTS:			
	Minimum Use Specifications	Calibration Equipment	Sub-Item
2.1 METER CALIBRATOR/AMPLIFIER	Range: 0 to 1100 VDC; 0 to 1100 VAC; 0 to 11 ADC; 0 to 11 AAC; 0 to 100 MHz	Fluke 5720A w/3725A	
VDC	Accuracy: $\pm 1\%$ 220 mV DC mg. 119 ppm of output $\pm 0.5 \mu V$ DC; 2.2 VDC mg. 116 ppm of output $\pm 0.8 \mu V$ DC; 11 VDC mg. 114 ppm of output $\pm 3 \mu V$ DC; 22 VDC mg. 114 ppm of output $\pm 5 \mu V$ DC; 220 VDC mg. 116 ppm of output $\pm 50 \mu V$ DC; 1100 VDC mg. 118 ppm of output $\pm 500 \mu V$ DC		

圖二 量測所需標準件示意圖

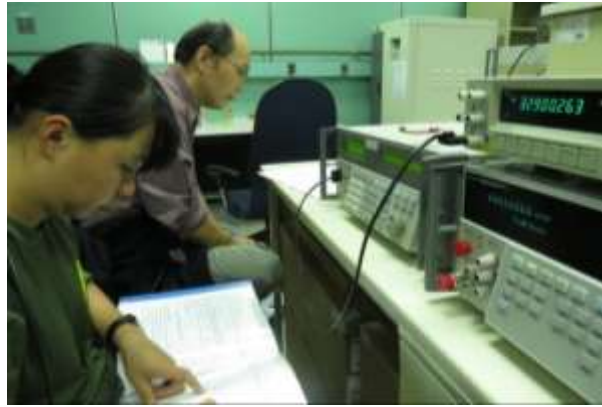
資料來源：美軍校驗技術文件，如註解⁴



圖三 量測常用標準件（FLUKE 5500A）⁵

⁴ 《T.O. 33K8-4-14-1 CALIBRATION PROCEDURE FOR DIGITAL MULTIMETERS (FLUKE)》（U.S. Air Force，西元 2015 年 5 月 30 日），頁 2。

⁵ 標準件 5500A 為 8 位數多功能校正器，可執行 7 位數以下電表之電壓、電流、電阻等功能校正。



圖四 人工校驗作業實況示意圖

送校單位: G020	儀器型號: 87	環境溫度: 21 °C
儀器品名: TRUE RMS MULTIMETER	儀器序號: 49900649	環境濕度: 50 %
校正日期: 1070122	校正人員: 229	報告識別: 1070123-229-03

1. Calibration Reference: T.O. 3388-4-14-1
2. Calibration Equipment: 5522A(S/N: 2209902) Calibrator(CAL: 1060213-228-01) (DUE: 1070208)
3. Calibration Records:

3.1 DC Voltage

Calibrator Output (V)	TI Indications			Results (V)
	Range	Min (V)	Max (V)	
0.390	400 mV	389.5 m	390.5 m	389.9 m
3.9	4 V	3.895	3.905	3.900
5	40 V	4.98	5.02	5.00
-5		-5.02	-4.98	-4.99
10		9.98	10.02	10.00
-10		-10.02	-9.98	-9.99
15		14.97	15.03	15.00
-15		-15.03	-14.97	-15.00
20		19.97	20.03	20.00
-20		-20.03	-19.97	-19.99
30		29.96	30.04	29.99
-30		-30.04	-29.96	-29.99
390	400 V	389.5	390.5	389.9
900	1000 V	898	902	900

圖五 校正報告內容示意圖

資料來源：圖三至圖五為飛勤廠校修所潘怡誠士官長提供使用

自動化儀錶校驗

前面已介紹傳統人工校驗作業之流程，若仔細探討每一個步驟，可以發現執行校正作業及記錄數據，是整個校驗作業的主體，也是最耗費人力時間的一項工作。在這個步驟中，校正人員須依照技令內容，量測不同測量點內容，有時同一測量點須重複測量多次，以求取平均數值。重複量測及記錄數值，考驗校正人員的細心及耐力，有時需於校驗實驗室中連續待多個小時，才能完成校正工作。

傳統校正是透過人工來進行，由人工執行的校正作業，亦可能會造成誤差。表二所列为測量誤差原因，其中第 2 項測量者的個人誤差，就是在傳統人工校驗過程中，會造成誤差的主因。因為在校驗過程中，若準備相同的標準件（表示排除量具的固有誤差），在相同的環境（表示排除外部條件的固有誤差）中，由不同的校驗人員執行校正工作，所量測的結果卻不同時，研判這可能是測量者的個人誤差所造成，例如測量者操作方法的習慣、熟練度等因素。所以，如

果我們可以透過自動化控制執行校驗作業，將可以有效減少人員誤差。

要建立自動化量測系統，需具備的第一要件就是要能以程式語言執行儀器控制。而大多數程式語言均為冷冰冰的程式碼，對於沒有程式撰寫基礎的人，將不易踏入程式撰寫的這道門檻。此時若有更簡易明瞭的程式撰寫方式，將會使有心從事自動化校證作業的人員，可以更有效達成目的。

美商國家儀器公司（National Instruments）於 1986 年 10 月史上首度研發圖形化虛擬儀器第一代產品的 LabVIEW 圖形化程式語言。這項軟體之誕生，提供了自動化的資料儲存與分析，以降低人工執行的謬誤。1990 年，該公司彙整使用者建言，改版為第二代，其功能可與 C 程式語言編譯器並駕齊驅。1992 年，NI 公司將 LabVIEW 技術運用至其他的作業系統，例如像個人電腦與工作站等等。⁶因著 LabVIEW 的產生，傳統程式語言變成圖像式程式語言，可透過圖形化的方式撰寫程式，使撰寫程式各流程步驟更明易直白。

表二 常見測量誤差原因分析表

誤差的種類	原因	範例
1.量具的固有誤差	起因於量具構造上或安裝上的問題所造成。	刻度不同，摩擦、測量壓力的變化，螺旋節距的不同。
2.測量者的個人誤差	由於測量者的習慣、熟練度所造成。	看刻度的習慣，操作方法的習慣。
3.外部條件的誤差	由於特定室溫；採光的影響。	溫度變化、照明的影響。
4.偶然誤差	由於種種條件的重合所造成的誤差，無法判定的時候居多。	外來狀況的稍為變動，測量者的心理影響。

資料來源：如註解⁷

一、LabVIEW 功能及優點

使用 LabVIEW 最大優點是其率先引入虛擬儀器（Virtual Instrument）概念，使用者可透過人機介面直接控制自行開發之儀器。此外，LabVIEW 提供包含訊號擷取、訊號分析、機器視覺、數值運算、邏輯運算與資料儲存等功能。另外，其支援跨平臺程式開發，在各個知名常用作業系統上，例如 Windows、UNIX、Linux 與 MacOS 等皆可使用。隨著科技的進步，LabVIEW 已普遍地應用在不同的工作領域，例如自動化量測與控制系統。使用圖形化語言及程式方塊圖，能夠自然地呈現資料流，且將資料對應到人機控制介面。⁸

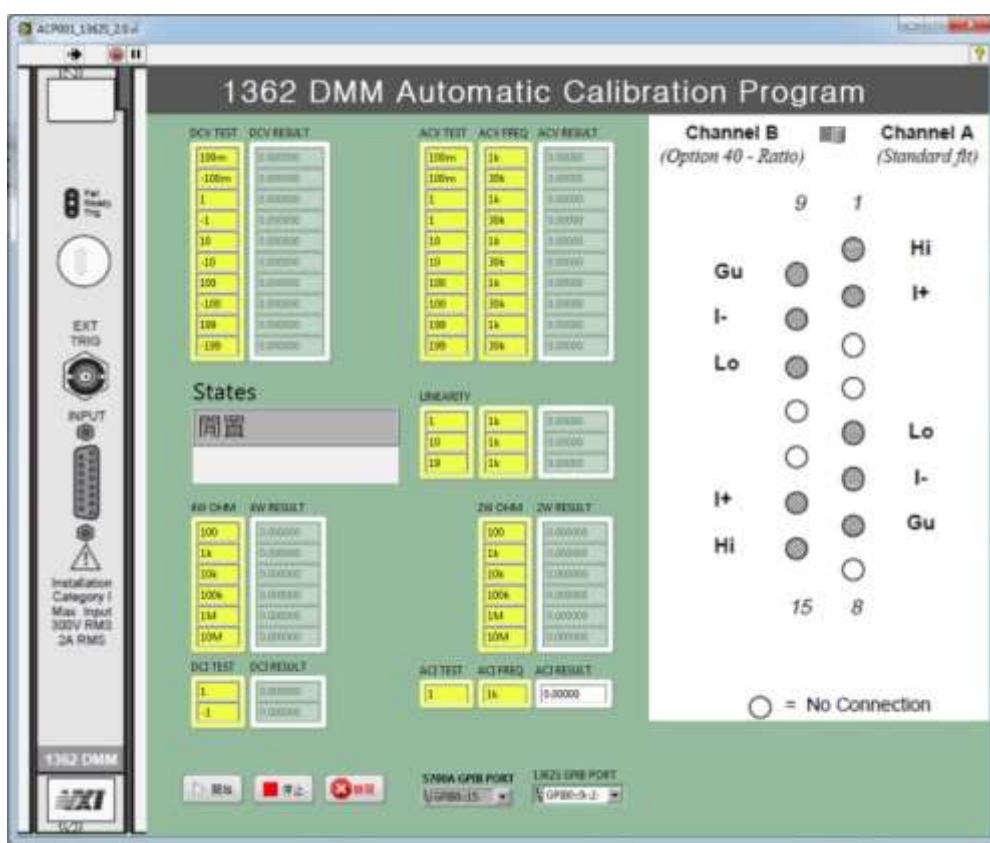
⁶姚凱超、賴長興、方俊修等編著，《自動量測技術》（新北市：全華圖書，西元 2013 年 2 月），頁 1-3。

⁷唐文聰，《精密量具選用要領》（臺北市：全華圖書，西元 1987 年），頁 5。

⁸曾吉弘、吳維翰、盧玟攸、謝宗翰、薛浩云、翁子麟、CAVE 教育團隊等著，《LabVIEW for Arduino-控制與應用的完美結合》（臺北市：泰電電業股份有限公司，西元 2013 年 11 月），頁 8。

LabVIEW 的人機介面設計功能，使用者可自行設計並配置適用的人機介面，此舉將可大幅提升程式設計的彈性並節省成本。⁹LabVIEW 原本設計並非僅針對自動化控制，但是由於其功能強大、適用性多樣化，因此可應用於許多工業設計、環境模擬及儀器控制等範疇。而將 LabVIEW 應用於儀錶校驗，也是可以採用的一種方式。

1362 可程式化數位電表配賦於刺針飛彈系統測檯，主要用於 PSTAR 預警雷達裝備檢修使用。依據技術書刊所述，共需執行電壓、電流、電阻等 38 個校正點，以人工方式執行校正作業耗時為 2 小時。若透過 LabView 程式語言，將標準件與待測件連接好後，將儀錶各項設定過程自動化，量校時間為 30 分鐘，大幅降低量校作業工時。



三、自動化儀錶校驗運用效益

⁹同注5。

驗人員需調整標準件輸出電壓，並拿探針量測數位電表不同量測點之電壓、電流及電阻數值，接著判讀數值，最後記錄結果。電壓量測點 10 個，電壓檔位 7 個，故需完成電壓 70 個量測點的校正、判讀及記錄。如果再加上電流及電阻（測量點 10 個、檔位 7 個）的校正，一共需完成 210 個量測點校驗作業。如此繁複過程，需要耗費不少時間。如果透過 LabVIEW 控制，自動調整測量調整標準件輸出電壓（或電流、電阻），並且自動記錄結果，將可以省去大量時間。

（二）減少裝備投資：校驗作業所需標準件，往往價格不斐，對於有心建立量測實驗室的人員，花費在裝備上的預算，無疑是最大的開銷。另外，傳統儀器標準件的功能單一、固定不變，所以為了增加校驗實驗室能量，則需購置不同標準件，而所需儲放空間也勢必越來越大，都是造成實驗室經費不斷攀高的原因。若透過虛擬儀器取代傳統儀器，使用者可自行定義修改功能，在執行校驗作業時，將更有彈性，也能降低經費投資。

（三）專注核心技術：傳統人力校驗是一種技術，合格校驗人員須經過專業課程及實務經驗，才能有效地執行校驗作業。然而，校驗人員不應該只侷限於傳統人力校驗，才能使校驗工作更臻完善。隨著電腦科技進步，許多產業逐漸以自動化取代傳統人力作業，僅保留少數人力維護管制機台運作，以減少人力成本。以校驗工作來說，邁向自動化控制勢必是未來趨勢。因為傳統人力校驗作業倚重校驗人員的技術與經驗，而校驗過程也相當消耗校驗人員的作業時間。在整個校驗作業過程中，校驗人員必須不斷重複相同步驟，才能完成整個校驗作業。若以自動化控制執行校驗作業，將能以程式取代重複性工作，將會更有效率地完成校驗作業。

綜上所述，自動化儀錶校驗有兩個效益。第一，校驗人員可減少花費於重複性工作的時間，可運用更多時間專注於核心技術精進與傳承。傳統校驗技術不容易傳承，因為校驗作業仰賴作業人員專業程度及實務經驗。專業程度可透過相關課程學習獲得，但是實務經驗卻需要長時間累積。而當校驗單位面臨校驗人員離職或退休，如果在之前沒有長遠規劃及人才培養，往往會造成單位人力青黃不接、人力吃緊的窘境。若以自動化控制執行校驗作業，校驗人員不再需要花大量時間於重複性工作，所以可專注於自動化程式撰擬及除錯。當有作業人員離退時，新進人員只要熟悉儀器介接和程式使用，即可開始執行校驗作業，可有效降低新進人員作業銜接期。第二、校驗作業無非兩大主軸，校驗理論與校驗實務，若透過自動化控制取代校驗實務，校驗人員將更有時間深入專研校驗理論，使校驗技術更加精進。

結語

筆者透過探討以圖像式程式語言，執行儀錶校驗自動化作業，說明可有效

節省校驗時間。面對近年兵力轉型、組織調整及人力精簡政策，以自動化校驗方式取代傳統人力校驗作業，將是國軍可持續發展研究的方向。因為透過自動化校驗作業的建立，使校驗人員有更多時間精進核心技術，轉型為高科技兵力。

其次，透過自動化取代重複性高的校驗工作，也可以減少錯誤，並提高工作效率。而面對組織調整時，亦不用擔心作業人員青黃不接之窘境。另外，當面臨人力精簡政策時，仍可因自動化校驗作業，有效達成國軍各式裝備校驗任務，故筆者認為持續推動儀錶校驗自動化作業，將有效因應未來可能之人力及預算限制，有效提升我軍校驗整體效率與效益。

參考文獻

- 一、孫航永，《常用電子量測儀器原理》（臺北：秀威資訊科技，西元 2005 年）。
- 二、〈什麼是追溯?經由那些方法可以達成追溯?〉《國家度量衡標準實驗室》，[http：//www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xltem=2254&ctNode=4062&mp=2](http://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xltem=2254&ctNode=4062&mp=2)，2018 年 4 月 3 日
- 三、〈什麼是校正程序?基本校正程序應包含哪些項目?〉《國家度量衡標準實驗室》，[http：//www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xltem=2240&ctNode=4062&mp=2](http://www.bsmi.gov.tw/wSite/ct?xltem=2240&ctNode=4062&mp=2)，2018 年 4 月 3 日。
- 四、《T.O. 33K8-4-14-1 CALIBRATION PROCEDURE FOR DIGITAL MULTIMETERS (FLUKE)》（U.S. Air Force，西元 2015 年 5 月 30 日）。
- 五、唐文聰，《精密量具選用要領》（臺北：全華圖書，西元 1987 年）。
- 六、姚凱超、賴長興、方俊修等編著，《自動量測技術》（新北市：全華圖書，西元 2013 年 2 月）。
- 七、曾吉弘、吳維翰、盧玟攸、謝宗翰、薛浩云、翁子麟、CAVE 教育團隊等著，《LabVIEW for Arduino-控制與應用的完美結合》（臺北：泰電電業股份有限公司，西元 2013 年 11 月）。

作者簡介

吳銘祥少校，中正理工 92 年班、軍備局技術訓練中心正規班 100 年班，歷任飛彈技術官、組長，現任職陸軍砲兵訓練指揮部防空教官組。