

「實驗設計與分析」電腦輔助學習軟體之開發研究  
A Study of Development of Computer-aided Learning  
Program for the Course of Experimental Design  
and Analysis

王士賓 黃正熙 鐘世明

Shih Bin Wang, Chen Hsi Huang, Shyh Ming Jong

黎明技術學院創意產品設計系

Department of Innovative Product Design, Lee-Ming Institute of Technology

陳學奇

Hsueh-Chi Chen

黎明技術學院機械工程系

Department of Mechanical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

摘 要

「實驗設計與分析」此課程的教學主要目的在於訓練學生使其具備有實驗的正確設計方法與資料分析方法，以避免因實驗設計不當造成結果偏差。利用此實驗方法，可同時提高實驗的效率、節省成本，以最少的實驗次數與最短的時間獲得最正確的結論。

雖此課程在工業上具有高度的實務性，但課程中因子分析、直交表的使用、統計方法如變異數分析等等較難瞭解之部份，常使學生視之怯步。故本研究自行開發此課程之電腦輔助學習視窗軟體，應用於課程時，使本課程能有更充分的時間講解觀念，以增加學生對課程完全的認識與瞭解，並提昇學生實務上的實驗設計與分析能力。

**關鍵詞：**實驗設計與分析、電腦輔助學習、視窗軟體

Abstract

The main teaching purpose of experimental design and analysis is to train students to be capable of applying methods of experiment design and data analysis correctly so as not to cause bias results due to improper experimental design. With the minimum number of experiments and the shortest possible time to get the most correct conclusions, the accurate exertion of experimental design and analysis can improve the efficiency of the experiment and cost down.



Although this course is highly practically availed in the industry, the factor analysis, the use of the orthogonal array, statistical methods such as analysis of variance, are difficult for student to understand so that students regard it prohibitive. Thus, a computer-aided learning Windows software for this course was developed in this study. The application of this program saves more time in statistical calculations so that teachers can have more time available to explain the difficult concepts in order to completely increase the students the curriculum knowledge and understanding, and thus enhance students' practical capability of experimental design and analysis.

**Key Words:** experimental design and analysis, computer-aided learning,  
the Windows software



## 1. 前言

「實驗設計與分析」此門課程放在本校機械系四技部三年級課程，是一門探討如何安排實驗使實驗成本最低，並利用有效方法進行資料分析，來獲得有用的資訊，以找到最具有效果的设计參數。此門課程的發展，早在 1920 年英國統計學家 Ronald A. Fisher 開始創始事前有計劃並考慮周詳的資料蒐集過程[1]，此實驗設計概念傳入美國，剛開始是使用於農業與生物實驗，一直到第二次世界大戰後，開始重視工業製品的品質管制，這時實驗設計成為品質管制中的重要方法。而後陸續有許多種的實驗方法的發展。

在 1950 年代日本田口玄一博士提出了田口方法之實驗方法。他將實驗設計應用於工業產品中，並倡導使用直交表的實驗設計，並領導一群研究人員開發各種直交表、點線圖、應用技巧及解析方法[2]。田口博士所提出的實驗設計法，不以統計學的概念為主軸，而改以簡潔的信號雜訊比來處理實驗數據，以工程的角度，直接切入問題來解決，透過實驗的方法配合資料分析來進行系統參數最佳化設計，此方法具實際的應用性。與其它的實驗方法來比較，田口之實驗方法對學生而言不會因深奧的統計理論而模糊焦點，更能觀念完整吸收，對技職學生更能吸收應用。身為此課程之教師，多年來以此方法為主軸教授實驗設計與分析這門課程。

多年來教授此課程的經驗，發現學生在此課程學習視之怯步的困難處在於因子分析、品質性能定義、直交表使用、變異數分析等等較難瞭解之部份。雖課程中一些資料分析可利用 EXCEL 來達成，但若利用此軟體完成整個資料分析、圖表繪

製表現、最佳化分析，仍多所限，完成一個案例需耗時頗多，常造成學生學習的困難，學生多所反應希望能有其它方法因應。為了改進這門課的教學，本研究根據田口方法的精神，自行發展了實驗設計與資料分析視窗程式介面，使學生更能掌握整個實驗設計與分析之流程，並減少學生統計資料分析運算的門檻，期許透過發展的教學程式平台，使課程能有更充分的時間來講解觀念，使學生具備實務上的實驗設計與分析能力。

## 2. 實驗設計方法教學步驟分析

本研究以田口方法做為實驗設計方法教學的主軸，利用此方法來研究產品或製程參數設計，決定所使用的參數水準值，並降低外部雜訊或內部雜訊的影響，有效地求得設計上的參數設定值，以得到穩健的品質性能。

田口實驗設計法的構想與特色是以較少的實驗次數(相對於全因子實驗法)，來獲得有用的統計資訊。藉由直交表來配置參數的各個因子水準，執行實驗，最後對實驗結果進行資料分析，而後計算出訊號雜訊比(S/N 比)及各因子反應表，以找出因子最佳的水準組合或參數設計條件。

田口實驗方法的步驟可從問題描述與定義開始，而後經品質特性分析界定品質性能，然後進行因子分析，再進行實驗規劃與配置，進行實驗，再將結果資料整理與最佳化參數分析，最後進行驗證之確認實驗。為使學生有整個實驗設計與分析之概念，簡要整理歸納實驗設計與分析流程如圖 1。並以圖 1 流程設計發展視窗程式介面。整理成六大步驟，說明如下：



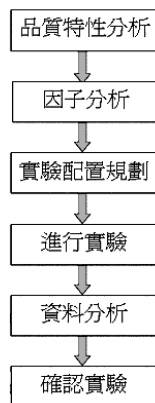


圖 1 實驗設計與分析流程圖

### 第一步驟：品質特性分析

根據問題描述與定義，教導學生界定動態品質特性、靜態品質特性。而靜態品質特性進一步區分說明為望目、望大、望小三種特性。

### 第二步驟：因子分析

說明控制因子、信號因子、調整因子、干擾因子。穩健的品質設計的原理即在於決定控制因子的水準，使品質達到理想水準，不因干擾因子變動而使品質特性有過大的變異，使其對干擾因子的靈敏度降低。因子分析，即在找出影響結果之各種因子，與進一步做為實驗配置的基準。因子分析亦含括參數設計之範圍，做為因子水準訂定之依據。

### 第三步驟：實驗規劃與直交表配置

田口實驗設計法與傳統的實驗設計法最大的不同點在於直交表 (Orthogonal Array) 的使用。為了讓學生易於瞭解，視窗介面將配置說明各種直交表，並使用資料庫可查詢各種直交表。因直交表使用時，常根據實際需要做修改與調整，因此設計直交表資料庫，使程式可將標準直交表修改後之直交表定義名稱並留存資料庫，以供日後設計參考。學生可查典型的直交表：以  $L_a(b^c)$  來命名的， $L$  是直交表的

原始名(Latinsquares)， $a$  代表實驗組數， $b$  代表實驗水準數， $c$  代表因子個數。有些直交表可同時容納兩種水準的因子，此種直交表以  $L_a(b^c \times d^e)$  來表示，代表了共有  $a$  組實驗，最多可以容納  $b$  個水準的因子  $c$  個與  $d$  個水準的因子  $e$  個。程式介面設計將可查直交表規劃，以便學生可查詢利用。將直交表依主要的水準大約可分成四類讓學生瞭解：(1) 二水準的直交表： $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{12}(2^{11})$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_{32}(2^{31})$ 。(2) 三水準的直交表： $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、 $L_{27}(3^{15})$ 、 $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ 、 $L_{36}(2^5 \times 3^{15})$ 、 $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$  (3) 四水準的直交表： $L_{16}(4^5)$ 、 $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ 。(4) 五水準的直交表： $L_{25}(5^6)$ 、 $L_{50}(2^1 \times 5^{11})$

### 第四步驟：執行實驗

教導學生如何準備與規劃配置實驗，並說明進行重複實驗之重要性，以驗證實驗重現性，實驗結果並進行量測，並將結果記錄整理。

### 第五步驟：資料分析

教導學生使用田口博士引用通訊上信號雜訊化(S/N 比)之觀念，並推導品質損失函數。不同品質特性有不同 S/N 比。資料分析的工作即是教導學生利用此 S/N 比以得出因子反應表和因子反應圖。工程可再利用一半準則進行因子重要性測試。雖一半準則應用於工程分析上已足夠，但學術上仍不夠嚴謹，因此教導學生進一步在學術上利用變異數分析(ANOVA)來進行因子重要性測試。再根據因子反應結果定出最佳化參數設計。

### 第六步驟：確認實驗

如何確認分析結果是可用的，與比較原實驗與最佳化結果其品質性能改善程度，教導學生如何進行確認實驗，以驗證實驗的正確性，並建立田口的預測模式。



### 3. 田口方法視窗資料分析程式

若實驗過多，將花費許多時間和金錢。以田口方法之實驗設計將可用代表性較少之實驗組數來了解品質性能，較麻煩的是需進行資料分析，課堂用 EXCEL 教導試算，單一例子仍需許多時間。發展程式來處理就能節省許多時間。資料分析有固定的步驟來進行判斷取得最佳化設計：從實驗中選定品質特性並進而判定其理想機能，再找出所有影響此品質特性的因子，並判斷定出信號、控制、干擾因子來選定適當的直交表來進行實驗，將實驗所獲得的數據表格化並繪製反應圖從中得到最佳化設計。如上述，整個程式開發流程如圖 2 所示。

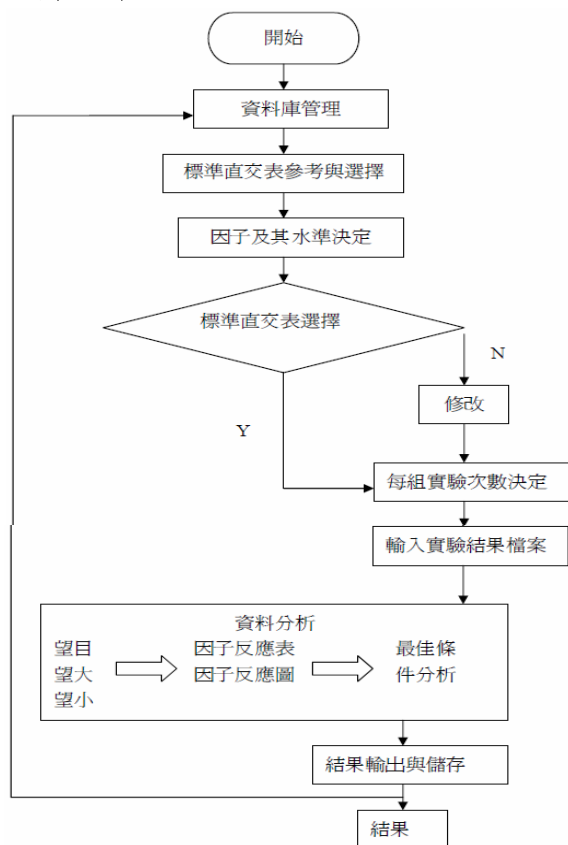


圖 2 實驗設計與分析程式流程圖

為改進教學，使學生易於吸收瞭解，在此舉課本之實例，配合與之對照視窗執

行之程式步驟，整個程式發展的觀念與執行依課本瓷磚製程設計的範例執行，說明如下：

#### 3.1 主畫面-資料維護

問題描述請參考[2] P.21，日本一家瓷磚公司進行一套隧道式燒窯，發現內部瓷磚因受熱較一致，厚度變異不大，但外部瓷磚因受熱較不一致，厚度變異較大，所以不良品過多。由問題描述，知道此設計為靜態望目型之品質特性，由品質性能分析、因子分析，因子水準範圍了解後，學生欲進行此製程設計，執行程式，程式進入主畫面，畫面顯示如圖 3 所示。首先，找出適當可用之直交表，因此在程式主畫面-資料維護處選擇：

##### (A) 準直交表參考：

為使學生易於參考直交表與修改直交表，程式設計視窗具有各類標準直交表可供設計參考。如圖 3 所示，按下此選項後，捲軸會出現資料庫中所存有之直交表項目供選擇，此題目選擇標準直交表  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  參考，按下確定後即出現  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  直交表之配置表，如圖 4 所示。設計者可參考此直交表之配置，判斷此直交表是否適當。

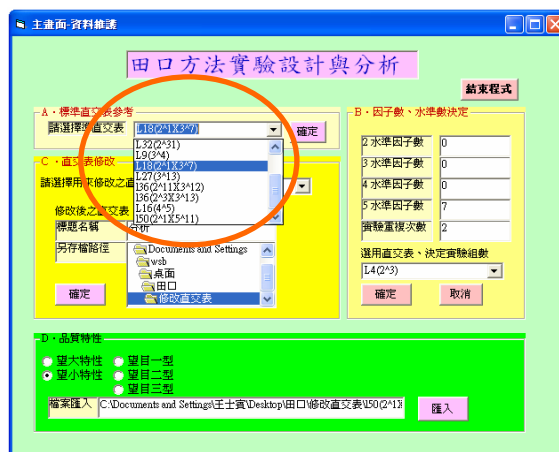


圖 3 程式主畫面





圖 4 標準直交表  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  配置參考畫面

(B) 控制因子數、水準決定：

根據因子分析，因子水準設計範圍，參考標準直交表，在此選項部份，學生設定即將使用的直交表各水準之因子數，並依實際實驗情況設定實驗次數。本瓷磚製程設計 2 水準之因子數為 1 個，3 水準之因子數有 7 個，每組實驗重覆 7 次。利用此項捲軸確定選用直交表、決定實驗組數選定如圖 5 所示。



圖 5 瓷磚製程設計執行範例選項(B) 控制因子數、水準決定程式畫面

(C) 直交表修改

按下選項(B) 確定選用直交表、決定實驗組數後，則本選項直交表修改-「請選擇用來修改之直交表」部份，會配合著此選項設定預設來修改之直交表。

請在「修改後之直交表」選項中輸入「標題名稱」，本範例輸入「分析 I」，可選定欲存檔之資料夾目錄，程式預設為「...\田口\修改直交表」，按確定後即會出現 EXCEL 應用程式，程式會抓取資料庫中本選定直交表  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  之資料，在 EXCEL 會出現配合標題名稱之檔名-「L18(2^1 X 3^7)(分析 I).xls」，EXCEL 與程式主畫面同時開啟，如圖 6 所示。本瓷磚製程設計例子，由於直交表  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  8 個欄位均已使用，不用再進行直交表修改。故在程式主畫面詢問「使用之直交表修改完成否？」處按下「確定」。如圖 7 所示。

由於配合點線圖，亦可利用直交表探討因子之交互作用。因此，直交表的使用預留進階使用者可自行配合點線圖規劃修改直交表。因此，會接著出現提示畫面，於直交表自訂因子符號或安排交互作用如圖 8 所示。使用者可於 EXCEL 開啟之「L18(2^1 X 3^7)(分析 I).xls」應用程式畫面第一列中自行鍵入。操作者於 EXCEL 操作完後按「確定」後，會出現要求從修改後之直交表輸入實驗結果資料提示畫面，如圖 9 所示。因實驗每組重覆次數為 7 次，此時，在 EXCEL 畫面會出現欄位 P1、P2...P7 等七個欄位供輸入實驗結果，如圖 10 所示。輸入完畢後，請在跳出畫面，如圖 11 所示，確認實驗結果數據輸入完成。



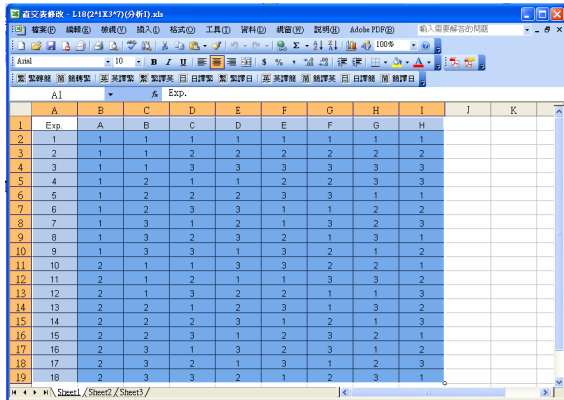


圖 6 瓷磚製程設計執行範例 L18(2<sup>7</sup>IX3<sup>2</sup>) (分析 I).xls 畫面

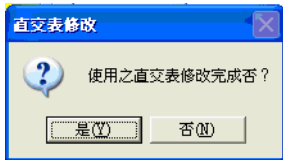


圖 7 詢問「使用之直交表修改完成否？」畫面

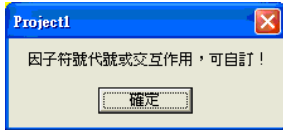


圖 8 因子符號或交互作用自訂操作提示畫面

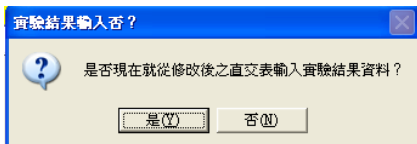


圖 9 實驗結果資料輸入提示畫面

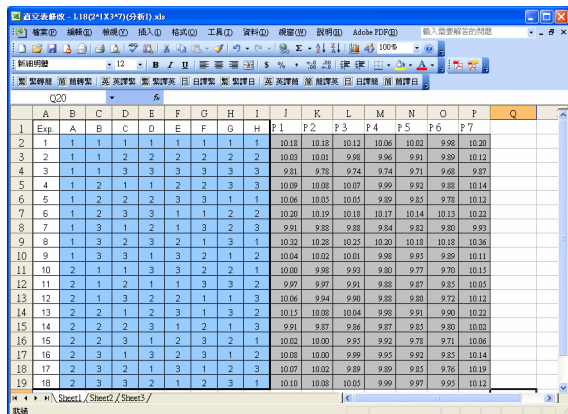


圖 10 瓷磚製程設計執行範例 EXCEL 輸入實驗結果畫面

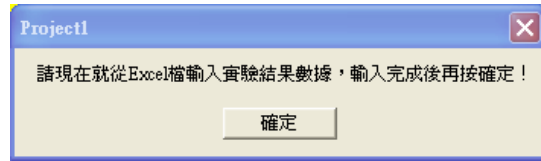


圖 11 確認實驗結果數據輸入完成畫面

程式設計亦可進行修改直交表，叫出資料庫之直交表修改，並將修改過後的直交表之資料表可再存入資料庫中，以備將來類似例子時，可做為實驗配置之參考。

**(D)品質特性決定：**

上述實驗數據輸入完成確認後，在主畫面-資料維護-「(D)品質特性」選項，選擇要執行的類型，如望大、望小、望目一、二、三型等品質性能型態。本例子配合課本例子選擇望目特性 III 型，在檔案匯入部份會根據(C)選項自訂輸入檔案名稱，此範例為「C:\Documents and Settings\wsb\桌面\田口\修改直交表\L18(2<sup>7</sup>IX3<sup>2</sup>)(分析 I).xls」，如圖 12 所示。按下「匯入」後即會出現要求輸入望目 I 型品質特性之目標值，如圖 13 所示，此處配合課本輸入目標值為 10。

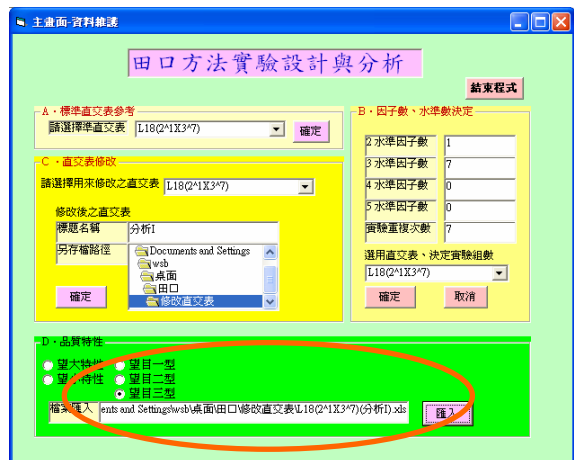


圖 12 瓷磚製程設計執行範例品質特性選擇畫面



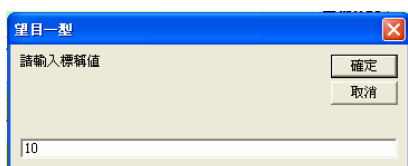


圖 13 瓷磚製程設計執行範例-望目特性目標值輸入畫面

### 3.2 資料分析

#### (1) 因子反應表與因子反應圖

上述圖 13，目標值輸入完按下「確定」後，「主畫面-資料維護」部份即完成，即會執行下一階段資料分析動作。望目 III 型二階段最佳化分析即可執行，結果會跳出另一結果畫面，如圖 14 所示。

如圖 14，資料分析表會將 18 組實驗之水準配置、數據結果、分析平均值 (Ave.)、標準偏差 (S)、S/N 比顯示在此畫面上部「資料分析表」，程式可利用滑鼠捲動捲軸顯示 18 組之資料分析結果。此資料分析結果，同時，亦會存入 L18(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>)(分析 I).xls 之 EXCEL 檔中。

根據「資料分析表」，進一步分別對 S/N 與 Ave. 求出其因子反應表與反應圖。程式設計反應表中針對各因子反應做排比 (Rank)，工程上根據此排比可利用一半準則，來決定重要因子。學術上，則利用變異數分析來進行因子重要性測試。各因子最佳 (Optimal) 水準也於反應表中標示。此結果可按「反應圖存檔」將結果存入 L18(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>)(分析 I)\_SN.bmp 檔與 L18(2<sup>1</sup>×3<sup>7</sup>)(分析 I)\_Ave.bmp 檔。以方便報告撰寫轉貼入。

#### (2) 變異數分析

如圖 14 在左下角「變異數分析選項」可針對品質性能勾選品質性能、Ave. 或 S/N 來進行變異數分析，按「確定」後程式即會進行變異數分析運算，一般而言，

會針對題目需要進行單項變異數分析，程式設計可同時執行三項結果，本範例示範勾選品質性能、Ave. 或 S/N 三項進行變異數分析，初步執行結果如圖 15 所示。

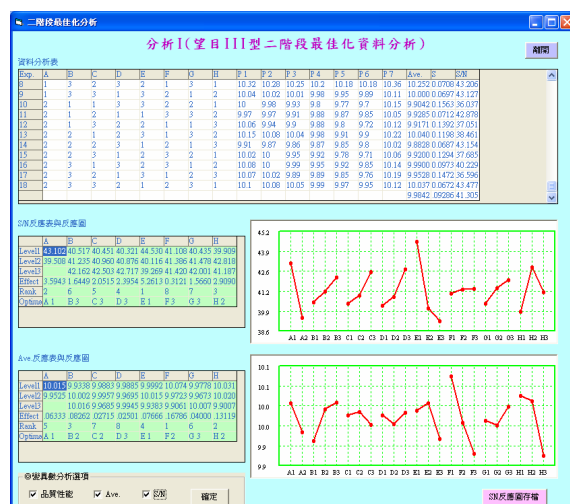


圖 14 瓷磚製程設計執行範例-望目 III 型二階段最佳化分析結果畫面

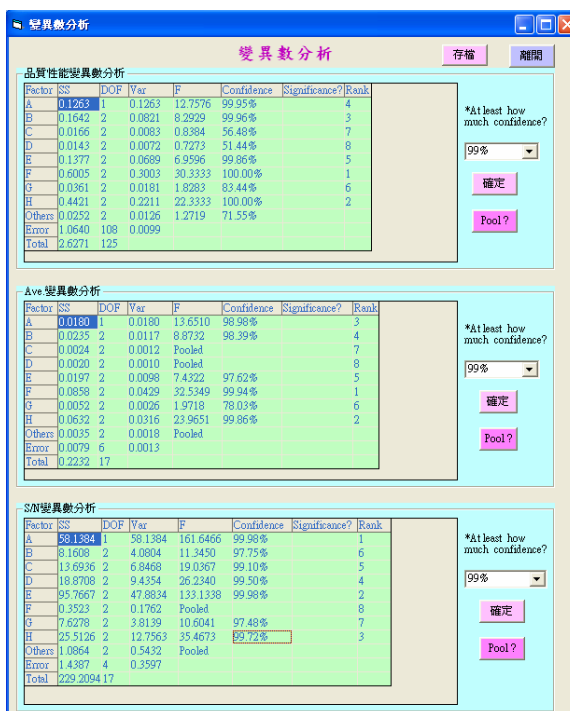


圖 15 瓷磚製程設計執行範例-變異數分析進入畫面





變異數分析表中因子(Factor)、誤差平方和(sum of square, SS)、自由度(degree of freedom, DOF)、偏差(Variance)、F 值(F Distribution)、信任度(Confidence)、顯著性(Significance)、排序(Rank)，欲判斷因子之重要性，先由使用者設定信任度多少以上視為重要，第一次變異分析表，本範例設定 99%，如圖 15 所示，按「確定」後，程式即會根據 Confidence 判斷因子是否重要，其結果如圖 16 所示。第二次變異數分析，程式可視需要調整信任度為 90%視為重要，統合(Pool)不重要因子，結果如圖 17 所示。

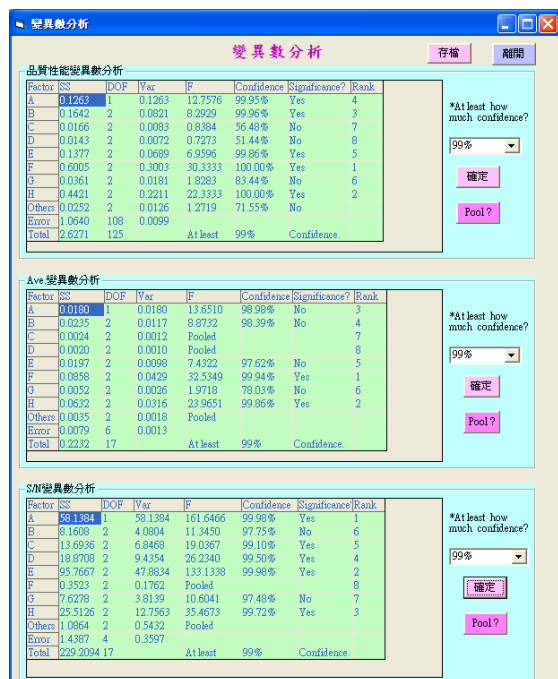


圖 16 瓷磚製程設計執行範例-第一次變異分析表

於圖 17 中，結果可按「存檔」將結果存入 L18(2<sup>1</sup>X3<sup>7</sup>)(分析 I).xls 之 EXCEL 檔中。於 L18(2<sup>1</sup>X3<sup>7</sup>)(分析 I).xls 中會出現兩個表單(sheet)，一個為「因子反應分析」表單；另一個為「ANOVA 分析」表單，結果顯示如圖 18 所示。整個實驗設計與分析完成。

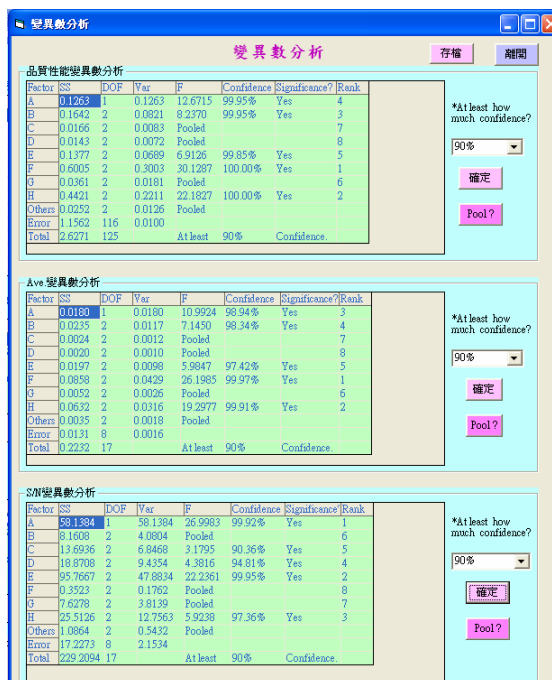


圖 17 瓷磚製程設計執行範例-最後變異數分析表畫面

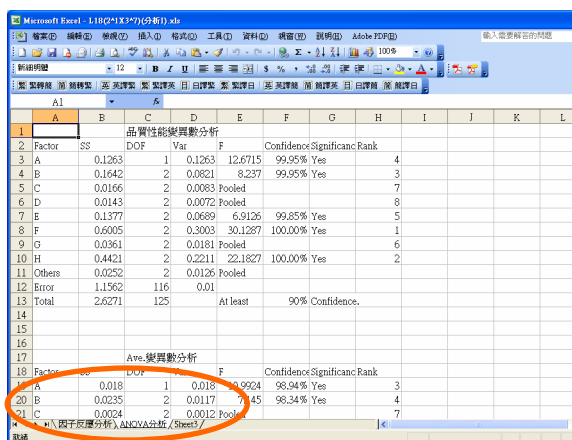


圖 18 瓷磚製程設計執行範例 L18(2<sup>1</sup>X3<sup>7</sup>)(分析 I).xls 之 EXCEL 檔畫面

#### 4. 結論

本自行開發之實驗設計與分析視窗程式可封包安裝於其它台電腦。使學生由主視窗畫面需輸入資料，確認後執行，即可完成整個資料分析，但為利於講解計算過程，於上課時可於特別將資料分析分段落，使程式一步步執行並觀查數值計算過程，如此學生即可瞭解如何進行繁雜的計算過程，而不只是跑完程式，不知結果如



何出來的。

另外，配合因子反應表、因子反應圖、變異數分析表的設計視窗說明，可使學生瞭解最佳化設計參數其因子水準如何決定。學生操作程式可完整瞭解實驗設計與分析的所有步驟與觀念，並可瞭解其計算過程，可克服利用 EXCEL 授課時學生將焦點集中在 EXCEL 的操作上。

上課時將偏向於實驗規劃，並利用期刊論文或工業上一些文獻紀錄的實驗結果資料，如論文[4]等，利用自行發展出來的程式使學生操作並完成整個圖表報告，並與已發表資料結果相比對，提高學生對此門課程實務上應用的自信。

## 誌謝

本研究特別感謝黎明技術學院提供九十七年度提昇教師素質【改進教學類】計畫支持研究，計畫編號：976C01。

## 參考文獻

1. A.W.F. Edwards (2005) "R. A. Fisher, Statistical Methods for Research Workers, 1925," in I. Grattan-Guinness (ed) *Landmark Writings in Western Mathematics: Case Studies, 1640-1940*, Amsterdam: Elsevier.
2. 李輝煌，“田口方法品質設計的原理與實務”，高立圖書有限公司，97年1月10日(三版修訂)。
3. 黎正中，陳源樹譯 Montgomery 原著，實驗設計與分析 *Design and Analysis of Experiments 6/e*，高立圖書，January 20，2006
4. 王士賓、陳學奇、許榮宗、蔡忠良、許儒仲，運用改良式類神經網路於槍鑽深孔加工之力量分析，黎明學報，第二十卷，第二期，中華民國九十七年十二月三十一日

