

Stroop 作業中不同歷程的排程問題：以計畫排程之 要徑法（CPM）為分析工具所推論的結果

陳敏生¹ 陳振宇²

¹國立雲林科技大學工業管理系

²國立中正大學心理系

論文編號：01033；初稿收件：2001年10月5日；完成修正：2003年7月3日；正式接受：2003年7月23日
通訊作者：陳振宇 621 嘉義縣民雄鄉三興村 160 號國立中正大學心理學系（E-mail:psyjyc@ccu.edu.tw）

本研究採用計畫排程法中之要徑法（CPM）來對 Stroop 作業中的認知歷程進行探討。實驗一與實驗二為重複 Schweickert（1983）的實驗（但刺激字以中文呈現）。在實驗一「叫字」作業結果顯示，受試者對於「顏色」和「字」的認知模型為次序性，「顏色」會被先處理。而實驗二「叫色」作業中，所獲致的結果和 Schweickert 叫色作業的分析結果一致。受試者對於「顏色」與「字」的認知模型為惠氏登橋式，「字」會先被處理。上述兩個實驗結果也呈現出受試者會先處理無關的刺激。

實驗三與實驗四以相同的實驗設計方式操弄，但讓受試者自行決定其反應順序，實驗所獲致的結果卻和 Schweickert（1983）的結果有很大差異。首先，在兩個實驗中都顯示，「字」的刺激都是先被處理。本研究針對不同的認知模式—次序性、惠氏登橋式—之可能決定因素，提出解釋與說明；並針對兩作業瓶頸的所在位置，提出推論的證據。

根據分析的結果，受試者似乎會依據作業的難度、刺激與反應的相容性等因素來決定認知模式；此外，分析結果也顯示瓶頸似乎是發生在反應決策階段與反應產生階段。

關鍵詞：要徑法、Stroop 作業、刺激反應相容性、惠氏登橋、瓶頸

緒論

自 Stroop（1935）進行其著名的 Stroop 干擾研究後，半個多世紀來有許多認知心理學研究者對其中的機制與作業所表現出的結果，各自賦予不同的意義與詮釋。MacLeod（1991）曾對近五十年來所有有關 Stroop 作業的研究作了一份整理，他認為 Stroop 作業所產生的干擾效應，共有兩個重要的理論可以說明。其一是相對處理速度理論（theory of relative speed of processing）；其二則是閱讀的自動化理論（theory of automaticity of reading）。不論是相對處理速度理論或是閱讀的自動化理論，都呈現了一個事實，就是當刺激的兩個向度不一致時，干擾就會發生，這個干擾就是所謂的「Stroop 效應」。

Stroop 作業與類 Stroop 作業

傳統的 Stroop 實驗是將不同的「顏色字」分別以不同的顏色書寫（如以黃色的墨水寫出「藍」字），讓受試者進行「叫色」作業（color naming），即對刺激呈現的墨水顏色反應（在上例中說出「黃」），墨水的顏色與字的意義有時一致有時不一致。實驗結果顯示當刺激所呈現的顏色與字義不一致時，受試者的反應時間較長，即「叫色」作業會受到干擾，這種干擾就是一般所謂的 Stroop 干擾效應（Stroop interference effect）。

除了判斷墨水顏色的「叫色」作業外，許多研究也使用類似的實驗以產生 Stroop 干擾效果，如

Flowers, Warner 與 Polansky (1979) 等人提出的「叫數」作業 (count-naming)，也會產生同樣的干擾效果。Golinkoff 與 Rosinski (1976)、La Heij 和 Vermeij (1987) 及 La Heij (1988) 等人提出的「叫圖」作業 (picture-naming)，Logan 與 Zbrodoff (1979, 1982) 及 Logan (1980) 所提出的「判別位置」作業 (position-naming) 等，都曾得到類似的干擾效果。也有如 Dyer (1971)、Dyer 和 Severance (1972) 等人藉著操弄 Stroop 作業中刺激不同向度間的 SOA 來對干擾效果進行探討，他們發現，SOA 越長，則干擾效果越小。除此之外，也有心理學家在 Stroop 作業中讓受試者以不同的反應模式 (reponse modality)——按鍵 (manual) / 口說 (vocal) / 口說一來進行實驗，(Glaser & Glaser, 1989; McClain, 1983; Redding & Gerjets, 1977)，以瞭解反應模式與 Stroop 干擾間的關係。

Stroop 干擾效果對個人認知功能的運作，應有特殊的意涵，因此，各種理論相繼被提出，以對 Stroop 作業或類 Stroop 作業的干擾效果進行解析。

有關於 Stroop 作業干擾效果的各種理論

相對處理速度理論 (Relative speed-of-processing)。Cattell (1886) 在早期提出叫字的速度比叫色快。他認為，相較於叫色作業，人們較常練習叫字作業；Stroop (1935) 也認為 Stroop 效應的產生在於叫字與叫色在訓練及練習強度上的差異；Peterson (1925) 等人則認為字會激發單一的閱讀反應 (reading response)，但色則會激發多重的反應，因此，叫色會比叫字慢。這些想法均被歸類為「相對處理速度」(relative speed-of-processing) 理論。

自動化理論 (Automaticity theory)。Posner 和 Snyder (1975) 認為，在 Stroop 作業的認知歷程中，對字之轉錄 (encoding) 是一種自動化的運作，不會佔用傳遞訊息的管道，可與對顏色的轉錄同時進行。但當受試者需要對墨水顏色做出反應時，則對顏色之轉錄會對字的轉錄產生反應競爭，使得反應的時間延長，而造成 Stroop 干擾。

此外，LeBerge 和 Samuel (1974) 也認為 Stroop 干擾的產生是因為叫字是一種自動化歷程，而叫色則是某種意志下的努力 (voluntary effort)。因自動化歷程不是個人意志所能控制，若受試者須進行某種意志的努力——叫色，因而會對自動化歷程形成干擾。MacLeod 和 Dunbar (1988) 也認為在某些作業中，較為自動化的歷程會比較不自動化的歷程形成更大的干擾，而自動化的程度來自於練習的量。因此，MacLeod 和 Dunbar 推論，自動化歷程所造成的干擾，不僅影響反應的階段，在整個處理的歷程皆是如此。

平行分散處理理論 (PDP)。Cohen, Dunbar, 與 McClelland (1990) 提出平行分散處理 (parallel distributed processing, 簡稱 PDP) 模型，來解釋 Stroop 干擾。他們認為，受試者在進行 Stroop 作業時，應包含兩個處理的路徑，一個是處理和字相關訊息的路徑，另一則是處理和顏色相關訊息的路徑，而這兩個路徑共用一個產生反應的機制。PDP 模型的論點是：雖然有不同的訊息處理路徑，但不同路徑的強度不同，強度又影響其反應的變化。練習的越多，路徑的強度越強，而反應的發生則視是否達到足夠予以激發的強度，若達到激發的強度，就會產生反應。這個模型結合了叫字的速度快於叫色速度之「相對處理速度」與叫字是一種「自動化歷程」兩種理論的核心。

這個模型中，Cohen (1990) 等人認為，Stroop 作業，字的處理路徑強度大於顏色的處理路徑強度，原因是來自於對於叫字的大量訓練，Stroop 干擾效應因而產生。Cohen 等人設計六個不同的情況來對 Stroop 叫色作業進行模擬，結果發現 PDP 的模型對於 Stroop 干擾效應有良好的解釋效果。

綜合以上所述，可知對於 Stroop 干擾效應的解釋，大多基於兩個假設，一是對於字的反應比對顏色的反應要快，不論是有關叫字是自動化處理的模型或是有關反應連結強度的模型都呼應了如此的看法；另一個假設則是認為對字與對顏色的處理是源於兩個不同的處理路徑。

除此之外，所產生的干擾會對後續的作業歷程形成延遲，所以稱之為瓶頸 (bottleneck)。令人感到興趣的是瓶頸是在受試者對呈現的刺激進行內在編碼之時，因知覺衝突而產生？還是在受試者進行反應的當下，因反應競爭而產生？或是在其他的階段？

心理反應時間之實驗派典 (Psychological Refractory Period Paradigm)

PRP (psychological refractory period) 實驗派典常被用來對有重疊心智歷程的雙重作業 (dual-task) 進行研究。典型的 PRP 實驗是操控兩個不同刺激其間的時間間隔 (SOA)，讓受試者分別對不同刺激進行反應，實驗的結果發現，當兩刺激的間隔時間越短時，受試者對於第二個刺激的反應也越慢，這樣的延遲稱為 PRP 效果 (PRP effect)。Telford 是最早開始研究 PRP 效果的人，自 Telford (1931) 以降，數百個對於 PRP 的研究陸續開展，Welford (1952) 則是最先提出作業中，若包含兩個不同向度的刺激 (如視覺與聽覺) 及兩個不同向度的反應 (如手動與口說)，則在作業的歷程會有瓶頸的存在；在 Craik (1947) 與 Welford

(1952, 1980) 的實驗中, 排除了瓶頸位於早期的知覺階段與晚期的反應產生階段; Pashler 和 Johnston (1989) 與 de Jong (1993) 等人也都曾藉由操控不同的變項來了解 PRP 效果的瓶頸存在於何處, 所獲致的結果也與上述類似, 即在雙重作業進行時, 其瓶頸的發生是位於決策 / 反應選擇 (decision-making/response selection) 階段。但也有若干的研究者覺得並非如此, 如 Heuer (1985)、McLeod 和 Meirap (1979) 則認為瓶頸可能發生在反應產生 (response production) 階段。

因此, 在雙重作業的歷程中, 瓶頸的發生, 無論就理論模型或實驗驗證而言, 幾乎已毫無疑義。同理, 在 Stroop 的雙重作業中, 受試者因顏色與字的不一致而導致的 Stroop 干擾效應, 是否也是因為受試者在認知歷程的某一階段有瓶頸的產生, 所造成的延遲效果。但, 瓶頸究竟發生於何處? 如何發生, 是本研究希望更進一步探討的議題。

分析認知歷程反應時間的工具

相減法 (Subtraction) vs. 加成因素法 (Additive Factor Method)。對作業反應時間進行研究的學者中, Donders (1869) 曾提出相減法 (subtraction)。他認為一個作業的完成應是一連串具次序性的認知歷程組合。他假設反應時間是各認知歷程時間的總和, 一個歷程要結束後, 另外一個歷程才會開始, 若藉由操弄實驗完全移去了某一認知歷程, 受試者在反應時間上的減少即為該歷程所耗費的時間。除此之外, Sternberg (1969) 也對作業之認知歷程提出加成因素法 (additive factor method) 來解釋及說明。加成因素法之主要內容為若延長兩個作業的認知歷程, 其所得到的綜合效果應為其延長個別作業認知歷程的和。上述的兩種情形似乎僅適用於作業間的認知歷程是屬於連續且有次序性關係 (sequential), 對於某些認知歷程間並不完全具有次序性關係特質的情形, Donders 與 Sternberg 的方法並沒有對此提出適當的說明與解釋。

要徑法 (Critical Path Method, 簡稱 CPM)。要徑法原先係一利用網路 (network) 圖示計畫中各項作業先後關係的方法, 其目的在於釐定計畫之程序, 並求出瓶頸之要徑, 作為運用資源及管制之用 (Hiller & Lieberman, 1990)。一個計畫在定義上是整體任務的完成。但在完成之前有若干相互關連的作業 (Taha, 1992) 必須依某種次序先後執行, 某些作業要在先完成其它作業後才能開始, 而計畫的執行是以最經濟有效的方式運用資源。要徑法 (CPM) 被用來作為「計畫排程」的工具, 以瞭解在計畫中有關規劃、排程與控制各階段的相關作業。在規劃階段, 各計畫是由不同的作業組合而

成, 各作業所需的時間會被估計出, 連結作業與作業之間的弧線 (arc) 表示各作業間的交互關係, 計畫的排程是以建構網路圖形來呈現其各作業程序間之關係, 而計畫排程的最終目的是建立計畫中每一作業開始與結束的時間表以及計畫中各作業間的相依關係, 期能找出關鍵作業, 將資源進行更有效地利用。

McClelland (1979) 和 Schweickert (1983) 首先將這個概念應用在心理反應時程研究的相關領域中, 他們認為人們在處理作業時, 可看成整個計畫的執行過程; 在處理作業時, 有不同的認知歷程, 這不同的認知歷程則類似於計畫中各作業, 有起始點、有結束點、也有作業時間, 這樣的認知歷程關係近似於計畫排程所處理的問題, 因此, Christie 等人 (Christie & Luce, 1956) 認為可用要徑法來處理人們認知歷程的相關議題。

將認知歷程以網路的方式進行分析, 乃是假設一個作業所需要的認知歷程是以網路的方式被安排, 每一個歷程是以一個起始點 (starting point) 開始執行, 以一個終結點 (terminating point) 表示歷程的結束, 而歷程之間以箭頭的頭 (head) 與尾 (tail) 連結以表示其網路間的關係。一個路徑 (path) 應是一連串頭尾相接的歷程, 只有在第一個歷程完成後, 其後相關的作業歷程才有可能被繼續執行下去, 這些歷程應遵循某種相同的方向。而包含了起始與結束之間的最長歷程我們稱之為「要徑」(critical path), 所有在要徑上的歷程都必須被執行完畢才算完成作業, 而整個要徑所必須耗費的時間就相當於是受試者對於作業的反應時間。傳統的要徑法是各作業歷程順序與作業時間已知, 但完成整個相關計畫的時間未知, 透過要徑法可算出整體計畫完成之時間。但心理學家提出另外一面的思考, 對於在不同的作業條件下所完成的作業時間已可測知, 是否可藉由要徑法來建立該作業未知的認知歷程網路? Schweickert (1978, 1980, 1983), Schweickert 和 Townsend (1989) 使用計畫排程之工具—要徑法 (critical path method) 對若干雙重作業中所產生的干擾效應進行分析, 試圖探討干擾產生的階段及其相關機制運作的情形。

Schweickert 認為加成因素法是假設各歷程是以次序性的方式進行處理, 若作業中操弄兩個因素使其延長不同的歷程, 則反應時間所受到的影響應為個別操弄兩個因素對反應時間所造成影響的和。但因作業歷程並非完全為次序性的, 因此加成因素法必須做若干修正, 這個修正即是基於要徑法而進行的。傳統的要徑法是網路 (network) 已知, 完成作業的時間可以透過計算而得; 但 Schweickert 提出, 若是各個條件下的作業完成時間已知, 可利用加成因素法的概念去推論未知的作業歷程網路, 若能建

立作業歷程的網路，則對於受試者的內在處理歷程能有更進一步的了解與預測。

Schweickert 認為，若受試者對於不同訊息之處理歷程並非次序性，則加成因素法在分析其反應時間時，無法提供更適當的說明與解釋。而使用「計畫排程」則可以用來對於加成因素法進行更一步的擴充。反應時間既是代表心智的認知歷程，在處理的階段，有時為次序性（sequential）有時則為平行性（concurrent），則應用加成因素法與排程理論的概念，有助於分析以上所述兩種混合式的作業歷程。

要徑法中所使用的符號、相關名詞（Taha, 1992）說明如下：

（1）作業時間（activity duration）：X 歷程完成的作業時間以 $d(X)$ 表示，如圖一， $d(A) = 2$ 。

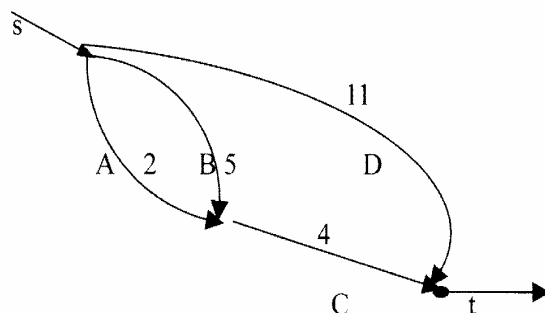
（2）最早開始時間（Earliest Start Time, ES）：為一項歷程（eg: X）可以最早開始的作業時間，以 ES_X 表示。如圖一，s 表示整個網路的起始點， $d(sA)$ 為自起始點 s 至 A 歷程完成的作業時間，此值亦為 C 歷程的最早開始時間，表示為 $d(sA) = ES_C = 2$ 。

（3）最早結束時間（Earliest Termination Time, ET）：為一項歷程（eg: X）依照開始的最早時間至完成該歷程之作業時間，以 ET_X 表示。如圖一， $ET_C = ES_C + d(C) = 2 + 4 = 6$ 。

（4）最晚結束時間（Latest Termination Time, LT）：為為一項歷程依照最晚開始時間至完成該歷程之作業時間。若 X 歷程在 Y 歷程之前， LT_{XY} 意指在不影響 Y 歷程開始而 X 歷程的最晚結束時間，如圖一 $LT_{AC} = 5$ ，意指不影響 C 歷程之開始，而 A 歷程的最晚結束時間。

（5）最晚開始時間（Latest Start Time, LS）：在不影響整個計畫時間的前提下，某一個歷程可以允許開始的最晚時間，若 X 歷程在 Y 歷程之前， LS_{XY} 意指在不影響 Y 歷程開始之 X 歷程最晚開始時間，其中 $LS_{XY} = LT_{XY} - d(X)$ ，如圖一， $LS_{AC} = LT_{AC} - d(A) = 5 - 2 = 3$ ，意指不影響 C 歷程開始的 A 歷程最晚開始時間。

（6）容許延遲時間、滯候時間（slack, S）：指在不影響整個計畫完成時間的前提下，某一歷程可以容許的延遲時間， S_{XY} 意指在 Y 歷程開始前，X 歷程因另一同時進行中的歷程尚未完成而必須耗費（或等待）的時間。文獻中多以「寬裕時間」為主，但在本文中以「滯候時間」為統稱，以符合現象之意義。其計算方式為某一歷程的最晚開始時間與最早開始時間的差額（即 $S_{XY} = LS_{XY} - ES_{XY}$ ）；或是該歷程的最晚完成時間與最早完成時間的差額（即 $S_{XY} = LT_{XY} - ET_{XY}$ ）。如圖一，C 歷程的最早開始時間為 2（ $ES_{AC} = 2$ ），最晚開始時間為 5，因此 A 作業在 C 作業開始前的滯候時間為 3；或是 C 作



圖一：作業網路圖示。C 作業需要 A 和 B 中較長時間的作業完成之後才能開始，在此例中，C 作業需等 B 作業完成後才能開始，若 A 作業先做完，則可以有 3 個單位的滯候時間，C 作業再開始進行。因此，自 A 到 C 的滯候時間為 3，即 $S_{AC} = 3$ 。

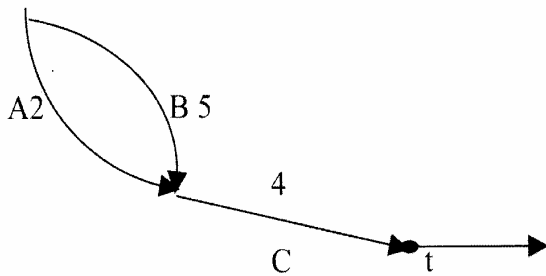
業的最早完成時間為 6，最晚完成時間為 9，因此其結果與上述相同，A 作業在 C 作業開始前的滯候時間亦為 3，即 $S_{AC} = 3$ 。

（7）串聯滯候時間（coupled slack）：在 Schweickert 的研究中，他使用了串聯滯候（coupled slack，）來對各認知歷程的關係進行分析。「串聯滯候時間」之名稱乃沿用上述的「滯候時間」而來。沿用圖一之例，以 $K(AC)$ 表示 A 與 C 在要徑中被同時延長的不同歷程，其意義為同時延長兩歷程對其作業時間所產生的共同影響。如圖一，原先的要徑作業時間為 11，如果延長 A 歷程的作業時間自 2 到 8，則要徑的作業時間為 12，比原來的要徑作業時間多 1（ $\Delta RT(\Delta A, 0) = 1$ ）；如果延長 C 歷程的作業時間自 4 到 12，則要徑的作業時間為 17，比原來的要徑作業時間多 6（ $\Delta RT(0, \Delta C) = 6$ ）；如果同時延長 A 歷程的時間自 2 到 8，C 歷程的作業時間到自 4 到 12，則新的要徑作業時間為 20，比原先的要徑作業時間多出 9（ $\Delta RT(\Delta A, \Delta C) = 9$ ）。由於 $\Delta RT(\Delta A, \Delta C) \neq \Delta RT(\Delta A, 0) + \Delta RT(0, \Delta C)$ ，這其中的差值即為「串聯滯候時間」，在此例中，「串聯滯候時間」為 2（ $9 - 7 = 2$ ），其表示方式為 $K(AC) = 2$ ，其中 $K(AC)$ 代表影響 A 的因子與影響 C 的因子之間的交互作用，是由下列式子所得。

以定義而言， $K(AC) = S_{At} - S_{AC}$ ，在圖一中， S_{At} 為 5（ $S_{At} = LT_{At} - ET_{At} = 11 - 6$ ）； S_{AC} 為 3（ $S_{AC} = LT_{AC} - ET_{AC} = 9 - 6 = 3$ ），因此 $K(AC) = 2$ ，或依據下式可得到：

$$\Delta RT(\Delta A, \Delta C) = \Delta RT(\Delta A, 0) + \Delta RT(0, \Delta C) + K(AC)$$

Schweickert 結合了加成因素法與計畫排程之要



圖二：範例說明。若 A 與 C 兩歷程為次序性，A 與 C 兩歷程之時間分別自 2、4 增加至 6、8，則其對原先要徑時間的影響為 5，若個別地操弄 A 歷程與 C 歷程，其對網路要徑時間的影響分別為 1 與 4，A 與 C 歷程的串聯滯候時間為 0。若 A 與 B 兩歷程為平行，個別操弄 A 與 B，使其分別增加至 8 與 10，新要徑對原先要徑時間的影響為 5。

經法，進行了數學證明而得到若干推論，推論（一）至（三）是受試者之認知歷程模型。對於兩個訊息處理的認知模型，可能為次序性（sequential）、平行式（concurrent）或惠氏登橋式（Wheatstone bridge）。推論（四）至（六）則是指各歷程間的前後順序關係。

（一）認知歷程模型為次序性（sequential）：若操弄實驗中的刺激變項，X 及 Y 使其成為 X + ΔX 與 Y + ΔY，則因操弄這兩個變項而使受試者反應時間增加的量為 ΔRT(ΔX, ΔY)，如果該增加值近似於操弄各刺激變項所增加的反應時間和（注意：所操弄單一變項的反應時間差至少要大於零）或再加上一串聯滯候時間（coupled slack）。即串聯滯候時間值如果為正值或零，受試者對 X 與 Y 訊息之認知歷程模型為次序性。

$$\begin{aligned} \Delta RT(\Delta X, \Delta Y) \\ = \Delta RT(\Delta X, 0) + \Delta RT(0, \Delta Y) + K(XY) \\ K(XY) \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

如果受試者對 X 訊息之處理發生在對 Y 訊息的處理之前，則若變化刺激 X 的難度，便會影響對 X 訊息處理的反應時間，連帶也會影響對 Y 訊息處理的反應時間。但如果變化 Y 的難度，則僅會影響 Y 訊息處理的反應時間，不會影響對 X 訊息處理之反應時間。但若同時變化 X 與 Y 的難度，則所造成的影響至少為個別操弄兩刺激難度影響的和。在圖一中，如果同時增加 A 歷程的時間自 2 到 9，C 歷程的時間自 4 到 11，則共同的影響為 9，而個別操弄 A 歷程與 C 歷程的時間，其所造成的影響分別為 2 與 5，而 A 歷程與 C 歷程間的串聯滯候時間為 2。

若以圖二為例，A 與 C 歷程的處理時間分別自 2 增加至 6 及 4 增加至 8，則其對反應時間的共同影

響為 5，個別操弄下的影響則分別為 1 與 4，其串聯滯候時間為 0。由以上所述可知，當串聯滯候時間大於零或等於零時，兩歷程之間（如 A 和 C）的關係為次序性。

（二）認知歷程模型為平行式（concurrent）：若同時操弄兩刺激變項，受試者所增加的反應時間（ΔRT(ΔX, ΔY)）為在個別操弄兩刺激變項下所增加的反應時間中的最大值，即

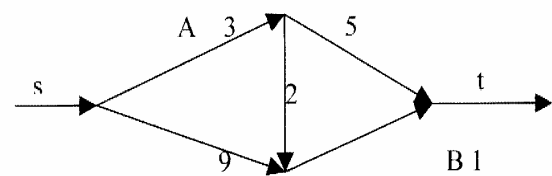
$$\Delta RT(\Delta X, \Delta Y) = \max[\Delta RT(\Delta X, 0), \Delta RT(0, \Delta Y)] \quad (2)$$

則受試者對 X 訊息的處理與對 Y 訊息的處理歷程模型，是呈現平行處理的狀態。以圖二為例，若 A 歷程的時間自 2 增加至 8，對於原來的要徑時間增加 3；若 B 歷程的時間自 5 增加至 10，其對原先之要徑作業時間增加 5。若同時增加 A 歷程與 B 歷程的作業時間 6 個單位與 5 個單位，則對新的要徑作業時間影響為 5，因此，由上數可知，若 A 與 B 為平行處理，同時增加 A 與 B 之歷程的作業時間，所受到的影響為個別操弄 A 或 B 中最大者。

（三）認知歷程模型為惠氏登橋式（Wheatstone Bridge）：若操弄兩刺激變項受試者所增加的反應時間（ΔRT(ΔX, ΔY)）為個別操弄兩刺激變項所增加的反應時間和再加上某一負的串聯滯候時間，即

$$\begin{aligned} \Delta RT(X, Y) &= \Delta RT(X, 0) + \Delta RT(0, Y) + K(XY) \\ K(XY) &< 0 \end{aligned} \quad (3)$$

則受試者對 X 訊息的處理與對 Y 訊息的處理間的認知歷程模式為惠氏登橋式。也就是說，同時操弄刺激 X 與 Y 的難度，對受試者反應時間造成的共同影響會小於其個別操弄刺激 X 與 Y 所造成之影響的和。以圖三為例，受試者原先的要徑作業時間為 10（s 到 t）。但若操弄刺激 A 的難度，使受試者原先處理 A 歷程的時間自 3 增加至 10，則其新的要徑作業時間為 15，比原先的 10 多了 5（ΔRT(ΔA,



圖三：範例說明。原始的網路要徑時間為 9，若使 A 歷程自 3 增加至 10，新的網路要徑時間為 15，比原先增加了 5（原先為 10）；若使 B 自 1 增加至 6，新的網路要徑時間為 15，也比原先增加了 5。若同時讓 A 與 B 歷程的時間分別增加至 10 與 6，新的網路要徑時間則為 18，比原先增加了 8，A 與 B 歷程的串聯滯候時間為 -2，A 歷程與 B 歷程之間的關係為惠氏登橋連接。

0))。若操弄 B 刺激的難度，使受試者對 B 刺激的處理歷程自 1 增加至 6，則新的要徑作業時間為 15，比原先的 10 亦多了 5 ($\Delta RT(0, \Delta B)$)。但若同時操弄刺激 A 與 B 的難度，使其各增加 7 與 5，則新的要徑作業時間為 18，比原本的 10 多了 8 ($\Delta RT(\Delta A, \Delta B)$)，如果依照以上所言，則同時操弄兩刺激的難度所得到的影響比個別操弄兩刺激難度所得到的影響和要小，其間的串聯滯候時間 (coupled slack) 為負值 ($\Delta RT(\Delta A, \Delta B) = (\Delta RT(\Delta A, 0)) + (\Delta RT(0, \Delta B)) + K(AB)$, $K(AB) = -2$)，故其認知歷程模型為惠氏登橋式。

當 A、B 兩歷程其間的串聯滯候時間值是負值。由上述說明可知，A 與 B 並非次序性處理，兩者間應有部分平行處理，才会有如此的結果。因此，兩歷程若是惠氏登橋的關係，它們之間並非完全平行式，但也非純粹次序式，而是兩歷程在訊息處理上會有部分重疊，但仍然有其先後的關係，兩者並非同時開始，也不一定同時結束，若受試者先處理 A 訊息，則對 B 訊息的處理並不一定要等處理完 A 訊息才能處理。這也是為什麼 $K(AB)$ 會是負值的原因。

(四) 以上各關係並無法說明各歷程間的次序。假設對 X 刺激之處理在對 Y 刺激處理之前，u 與 v 分別為對刺激 X 與 Y 的反應，則

$$\begin{aligned}
 K_u(XY) &= S_{xu} - S_{xy} \\
 K_v(XY) &= S_{xv} - S_{yv} \\
 \Delta RT_u(\Delta X, 0) &= RT_u(\Delta X, 0) - RT_u = \Delta X - S_{xu} \\
 \Delta RT_u(0, \Delta Y) &= RT_u(0, \Delta Y) - RT_u = \Delta Y - S_{yu} \\
 \Delta RT_v(\Delta X, 0) &= RT_v(\Delta X, 0) - RT_v = \Delta X - S_{xv} \\
 \Delta RT_v(0, \Delta Y) &= RT_v(0, \Delta Y) - RT_v = \Delta Y - S_{yv} \\
 \Delta RT_u(\Delta X, \Delta Y) &= \Delta RT_u(\Delta X, 0) + \Delta RT_u(0, \Delta Y) + K_u(XY) \\
 &= \Delta X - S_{xu} + \Delta Y - S_{yu} + S_{xu} - S_{xy} \\
 &= \Delta X - S_{xy} + \Delta Y - S_{yu} \\
 &= \Delta X - S_{xy} + \Delta RT_u(0, \Delta Y) \\
 \Delta RT_v(\Delta X, \Delta Y) &= \Delta RT_v(\Delta X, 0) + \Delta RT_v(0, \Delta Y) + K_v(XY) \\
 &= \Delta X - S_{xv} + \Delta Y - S_{yv} + S_{xv} - S_{xy} \\
 &= \Delta X - S_{xy} + \Delta Y - S_{yv} \\
 &= \Delta X - S_{xy} + \Delta RT_v(0, \Delta Y) \\
 \therefore \Delta X - S_{xy} &= \Delta RT_u(\Delta X, \Delta Y) - \Delta RT_u(0, \Delta Y) \\
 &= \Delta RT_v(\Delta X, \Delta Y) - \Delta RT_v(0, \Delta Y) \quad (4)
 \end{aligned}$$

(五) 若對 Y 刺激之處理在對 X 刺激處理之前，則由上列各式可類推以下的結果。

$$\begin{aligned}
 \Delta RT_u(\Delta X, \Delta Y) - \Delta RT_u(\Delta X, 0) \\
 = \Delta RT_v(\Delta X, \Delta Y) - \Delta RT_v(\Delta X, 0) \quad (5)
 \end{aligned}$$

(六) 以上的各推論皆是探討兩歷程之間的關係，若三個歷程 X、Y 與 Z 在同一網路路徑上，假設這三個歷程分別被延長 ΔX 、 ΔY 及 ΔZ ，如果三者之間的順序關係為 $X \rightarrow Y \rightarrow Z$ ，則下式成立。

$$\begin{aligned}
 \Delta RT(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \\
 = \Delta RT(\Delta X, 0, 0) + \Delta RT(0, \Delta Y, 0) \\
 + \Delta RT(0, 0, \Delta Z) + K(XY) + K(YZ) \quad (6)
 \end{aligned}$$

CPM 的實證研究

Schweickert 之實驗。基於以上的思考，Schweickert (1983) 設計了兩個實驗「叫字」作業 (word-naming) 與「叫色」作業 (color-naming)。實驗者讓受試者同時接受兩個刺激，即一個顏色字 (a color word) 及一個方形的色塊 (a colored square)，字在色塊的上方，他使用了四種顏色和其對應的字。在「叫字」(word naming) 作業中，受試者被要求先對色塊做按鍵反應 (按鍵上貼有顏色的標籤)，然後說出呈現的那個顏色字。在「叫色」(color naming) 作業中，受試者則被要求先對色字做按鍵反應 (按鍵上貼有字的標籤)，然後說出色塊的顏色，Schweickert 對此的解釋是認為「手動」反應是一種「較為自然」的反應，會產生於「口說」反應之前。實驗共操控三個變項：字的數目 (一個 / 兩個 / 四個)、顏色的數目 (一個 / 兩個 / 四個)、及顏色和字是否意思一致 (一致 / 不一致)。

實驗的結果經由要徑法分析後，有以下發現：(一) 在「叫字」作業中，受試者對於「字」和「顏色」的處理模型為一惠氏登橋式，是先處理「顏色」，再處理「字」。(二) 在「叫色」作業中，受試者對於「字」和「顏色」的處理模型為一惠氏登橋式，是先處理「字」，再處理「顏色」。

Posner & Snyder (1975) 曾操弄 Stroop 作業的實驗，實驗的結果推論受試者對於「字」的處理比較有自動化的傾向；MacLeod & Dunbar (1988) 等人所操弄的實驗中，有兩個不同向度的刺激，一為「字」，另一為圖片，受試者須對不相關的刺激項目進行反應，實驗結果顯示，受試者依然有 Stroop 干擾存在；Morton & Chambers (1973) 則認為在 Stroop 作業中，雖然認知歷程中對「字」與對「顏色」的解析機制同時被啟動，但是因為反應的競爭，受試者在連結「字」的反應上強度較強，因此，字的刺激會被先處理。以上所述均認為字的處理速度比顏色的處理速度快，因此不論是在叫字作業或在叫色作業中，字的處理都會先於顏色的處理。但 Schweickert 的研究卻顯示：受試者在「叫字」作業中先處理「顏色」，在「叫色」作業中則

先處理「字」。Schweickert 根據其研究發現對以往的看法提出質疑。

有關 Schweickert 研究的疑點與本研究之目的。傳統的 Stroop 作業是單一反應的作業，受試者只對顏色或只對字做反應，無關的另一刺激，即使有所處理也是在不自主的情形下，自發式地發生。反觀 Schweickert 的研究，其中的 Stroop 作業是一種雙重作業的形式，受試者需要對兩種刺激都做出反應，因此，不論是對字或是顏色的處理，都是屬於意圖式的，兩個意圖式的處理和一個意圖式的處理，其認知歷程之模式很可能不同，和傳統的 Stroop 作業有很大差異，並不適合拿來直接比較。

在雙重作業的形式下，受試者對兩個刺激的處理順序也可能因實驗者的要求而有不同。Schweickert 要求受試者先做按鍵反應，再做口語反應，這在「叫字」作業及「叫色」作業裡剛好都等於是先對「無關」刺激做反應，再對「相關」刺激做反應。這種作業上的限制與要求，可能得到的是受試者的外在反應歷程而非真實的認知歷程，那麼，受試者真實的內在認知歷程是什麼？而 Schweickert 實驗中的指導語似乎並不能回答在 Stroop 作業中，究竟是何種刺激先被處理？

從 Stroop 相關理論的背景來思考，比較值得探討的是：在雙重作業的形式下，受試者的反應是依據對刺激的熟練度（如對字比對顏色熟悉）；還是依據其對反應模式的熟稔程度。兩個作業的自然排程究竟為何？也就是說，如果實驗者不要求受試者對兩種刺激的反應為某一固定順序的話，那麼受試者會如何安排這兩種刺激訊息的處理及其反應？

本研究共操弄了四個實驗，期能釐清上述的疑問。實驗一與實驗二，除了刺激字的呈現為中文外，其他的實驗計劃與程序完全依照 Schweickert 的實驗；實驗三與實驗四之實驗設計則照實驗二之實驗設計，並操弄不同的指導語，藉由實驗一與實驗二所得到的結果作為對實驗三與實驗四的參考基準。

實驗一

重複 Schweickert 的叫字雙重作業

方法

受試者。單一男性受試者，其身分為國立雲林科技大學學生，其視力經矯正後具有正常視力，無色弱或色盲。

實驗器材。本研究所使用之相關設備為一 IBM 相容之 586 個人電腦配備 14 吋彩色液晶螢幕，外接一個麥克風，用以蒐集受試者在進行實驗時的口說反應時間。實驗程式以 Delphi 語言寫成。實驗中受

試者所使用的按鍵有四個按鍵（Z, X, M, .），上面各貼有顏色的標籤。

實驗材料。本實驗中，共有四個字（分別為『綠』、『黃』、『紅』、『藍』），與四個與其相對應的顏色方塊作為刺激。每一個字的長、寬各為 5 公分（視角約 4°）；而顏色方塊之長、寬各為 5 公分（視角約 7°）。在實驗中，字位於顏色塊的上方，兩者之間的距離為 3 公分。

實驗設計與程序。受試者應坐在電腦螢幕前 75 公分進行該實驗。本實驗為單一受試者內設計，操控四個因子數，一為字數（W），有三個水準：分別為一個字、兩個字、四個字；一為顏色數（H），有三個水準，分別為一個顏色、兩個顏色、四個顏色；另一為顏色與字之間是否一致（C）；另一則為受試者反應模式，因此為一 3*3*2*2 設計。每一個題目呈現的方式為一字上有一表示顏色的方塊。

九種實驗區集(1,1)(1,2), (1,4), (2,1), (2,2), (2,4), (4,1), (4,2), (4,4)，每一種區集使用兩次，受試者每天共接受 18 種區集（block）的測試。

18 個區集是以下列的次序出現讓受試者練習：(1,1)(1,2)(1,4)(2,1), (2,2), (2,4), (4,1), (4,2), (4,4)。這樣的次序會再重複一次，受試者共進行六天的練習。練習後，共有八段時間(天)的測試。受試者被要求先對顏色做手動反應，再對字進行口說反應。每一個實驗的時間在不同天進行，每次約進行兩個小時。

實驗結果與討論

將實驗之數據蒐集，以各不同實驗情況下的平均數加減三個標準差為上下管制界限，超過此界限即為異常值，實驗結果之分析是以剔除異常值後之數據資料為來源。因此實驗為一操弄四因子的實驗，其四因子分別為字數、顏色數、字與顏色是否一致、反應模式。在該實驗中，而實驗時間被視為隨機因子，因此，實驗時間的自由度應為 7。而上述四因子為固定因子，因此其主效應的殘差自由度為其本身的自由度乘上隨機效應因子的自由度，所以在實驗一中，字數的主效應之殘差自由度為 14，反應模式主效應之殘差自由度為 7，以此類推。

但因在該實驗中，其主效應與交互作用如下述。（如下頁）

因該實驗資料分析之誤差項應為 287 (3*3*2*2*8-1)，而三因子之交互作用的殘差項為全體資料項的自由度減去上述各效果之自由度，經計算後為 116，因此「字數 x 顏色數 x 字與顏色是否一致」三因子交互作用的殘差項自由度為 116。

對此叫字作業中的資料進行變異數分析，在主要因子部分：字數的主效果顯著， $F(2, 14) =$

主效應	自由度	二次交互作用	自由度	三次交互作用	自由度
word	2	word*color	4	word*color*conflict	4
color	2	word*conflict	2	word*color*modality	4
conflict	1	word*modality	2	word*color*session	28
modality	1	color*conflict	2	color*conflict*modality	2
session	7	color*modality	2	color*conflict*session	14
		conflict*modality	1	conflict*modality*session	7
		word*session	14	color*modality*session	14
		color*session	14	word*modality*session	14
		modality*session	7	word*conflict*session	14
		conflict*session	7	word*conflict*modality	2

13.053, $MSE = 6510.66$, $p < 0.001$; 顏色數的主效果亦顯著, $F(2, 14) = 238.98$, $MSE = 12184.86$, $p < 0.001$; 除此之外, 受試者的反應模式之主效果亦呈顯著, $F(1, 7) = 1861.859$, $MSE = 6084.88$, $p < 0.001$; 受試者對於顏色和字是否一致的主效果亦呈顯著, $F(1, 7) = 31.49$, $MSE = 2887.33$, $p < 0.001$ 。

在二次交互作用方面, 顏色數和受試者的反應模式之間的交互作用顯著, $F(2, 14) = 6.881$, $MSE = 864.62$, $p < 0.01$ 。在三次交互作用方面, 字數、顏色數及顏色和字是否一致三者之間的交互作用顯著, $F(4, 116) = 5.407$, $MSE = 910.57$, $p < 0.001$ 。

將所獲致之數據列於表一與表二, 並以要徑法來建立該受試者在「叫字」作業之認知歷程模型。因受試者在實驗情況一個顏色時, 其手動反應時間與口說反應時間的差異並不顯著, 因此, 將實驗情況為一個顏色的反應時間刪去, 再進行分析。

應用要徑法解析受試者之認知路徑, 是以受試者的反應時間作為參數檢定的基準, 而該參數即為受試者在不同實驗條件下的串聯滯候時間, 因此, 為讓讀者能清楚了解其參數檢定之過程, 茲舉例如下:

因 $\Delta RT(\Delta W_1, \Delta H) = \Delta RT(\Delta W_1, 0) + \Delta RT(\Delta H) + K(W_1H)$, 而在此實驗中的基準線為 936(749 與 1123 的平均值), 因此, $205 = 36 + 156 + K(W_1H)$ 等於檢定 $(1120 - 915) = (951 - 915) + (1071 - 915)$ 等式兩邊是否相等, 如圖四。

如果 H1 與 H2 兩條直線平行, 則 W 與 H 之間的交互作用應為零。因此, 對於 $(1120 - 915) = (951 - 915) + (1071 - 915)$ 之檢定, 實則檢定 W 與 H 之間的交互作用是否顯著地不為零。而 F 值殘差的自由度, 為變異數分析中殘差之自由度 116。但因實驗二至實驗四之實驗設計與本實驗略有不同, 因此, 其 F 值殘差之自由度會不相同, 此部份將於實驗二說明。

表一

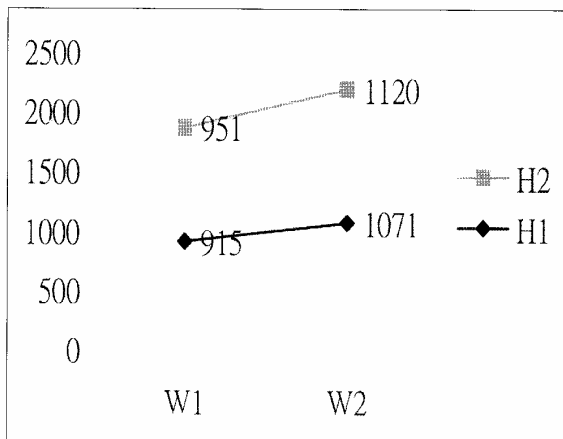
重複 Schweickert 叫字作業實驗之各情況反應時間平均值 (M) 與標準差 (SD)

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
手動反應						
1						
M	529	708	873	574	726	893
SD	119	105	199	116	104	189
2						
M	579	749	927	598	790	985
SD	102	120	159	111	155	213
4						
M	589	731	910	602	778	973
SD	86	126	168	97	134	199
口說反應						
1						
M	909	1123	1269	971	1136	1290
SD	135	109	165	142	110	190
2						
M	989	1153	1313	1012	1191	1370
SD	117	126	170	107	159	195
4						
M	1006	1138	1296	1013	1174	1352
SD	82	121	166	128	127	192

表二

實驗一各情況下平均反應時間的改變

字	顏色			
	字與顏色一致		字與顏色不一致	
	2	4	2	4
手動反應				
1	0	165	18	185
2	41	219	82	277
4	23	202	70	265
口說反應				
1	0	146	13	167
2	30	190	68	247
4	15	173	51	229
平均值				
1	0	156	16	176
2	36	205	75	262
4	19	188	61	247



圖四：檢定串連滯候時間 ($K(HW)$) 之圖示。W1 為兩個字，W2 為四個字。H1 為兩個顏色，H2 為四個顏色。

「顏色」(H) 與「字」(W)

※兩個字 ($\Delta_1 W$)

$205 = 36 + 156 + K(W_1H)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(2, 116) = 0.8406$ ， $MSE = 910.567$ ， $p < 0.8406$ ，表示 $K(W_1H)$ 沒有顯著地不為零，因此可推論當刺激組合為兩個字時，受試者對字與顏色間處理的認知模型為次序式。

※四個字 ($\Delta_2 W$)

$188 = 19 + 156 + K(W_2H)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(2, 116) = 0.7366$ ， $MSE = 910.567$ ， $p < 0.392$ ，表示 $K(W_2H)$ 沒有顯著地不為零，因此可推論當刺激組合為四個字時，受試者對顏色與字間處理的認知模型亦為次序式，這個結果和上述並無差異。

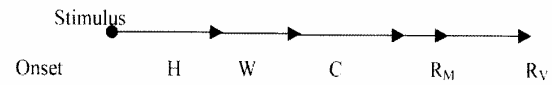
「顏色」(H) 與「字和顏色是否一致」(C)

$176 = 16 + 156 + K(HC)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 116) = 0.0374$ ， $MSE = 910.567$ ， $p < 0.846$ ，表示 $K(HC)$ 並沒有顯著地異於零，因此，可推論受試者對於顏色與字和顏色是否一致間處理的認知模型為次序性。

「字」(W) 與「字和顏色是否一致」(C)

※兩個字 ($\Delta_1 W$)

$75 = 16 + 36 + K(W_1C)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 116) = 7.989$ ， $MSE = 910.567$ ， $p < 0.005$ ，表示 $K(W_1C)$ 顯著地大於零，因此可推論當刺激組合為兩個字時，受試者對字 (W_1) 與字和顏色是否一致 (C) 間的認知模型為次序性。



圖五：重複 Schweickert 「叫字」作業之認知模式。

※四個字 ($\Delta_2 W$)

$61 = 16 + 19 + K(W_2C)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 116) = 9.173$ ， $MSE = 910.567$ ， $p < 0.003$ ，表示 $K(W_2C)$ 亦顯著地大於零，因此可推論當刺激組合為四個字時，受試者對字 (W_2) 與字和顏色是否一致 (C) 間的認知模型亦為次序性。

因上述三歷程在同一路徑上，因此可依下式推論其在認知模型中的次序。

若三者之間的次序關係為 $H \rightarrow W \rightarrow C$ ，則

$$\begin{aligned} \Delta RT(\Delta H, \Delta W, \Delta C) \\ = \Delta RT(\Delta H, 0, 0) + \Delta RT(0, \Delta W, 0) \\ + \Delta RT(0, 0, \Delta C) + K(HW) \\ + K(WC) \end{aligned}$$

因 $K(W_1H) = 13$ ， $K(W_2H) = 14$ ； $K(W_1C) = 23$ ， $K(W_2C) = 26$ ； $K(HC) = 4$

$$\Delta RT(\Delta H) = 156, \Delta RT(\Delta W) = 36,$$

$$\Delta RT(\Delta W_2) = 19, \Delta RT(\Delta C) = 16.$$

在兩個字 (W_1) 的情形下， $262 = 156 + 36 + 16 + 13 + 23$ ， $\therefore 262 = 244$ ，兩邊之誤差為 18。

在四個字 (W_2) 的情形下， $247 = 156 + 19 + 16 + 14 + 26$ ， $\therefore 247 = 231$ ，兩邊之誤差為 16。

若三者之間的關係為 $W \rightarrow H \rightarrow C$ ，則

在兩個字 (W_1) 的情形下， $262 = 36 + 156 + 16 + 13 + 4$ ， $\therefore 262 = 225$ ，兩邊之誤差為 37。

在四個字 (W_2) 的情形下， $247 = 19 + 156 + 16 + 14 + 4$ ， $\therefore 247 = 209$ ，兩邊之誤差為 38。

依據以上的資料，誤差較小的為可能認知路徑，因此，路徑應為 $H \rightarrow W \rightarrow C$ 。在本實驗中可推論受試者先對「顏色」進行處理，再處理「字」，再對「字和顏色是否一致」進行處理，三者的認知模型如圖五所示。

因實驗一的實驗設計中，其區集間並沒有交互平衡，因此，可能會造成區集間的功効越界 (carry-over effect)。也就是說，受試者可能會因區集之配置不當而有練習效果 (Schweickert, 2002, personal communication)，因此，在實驗二中，實驗設計稍作改變。

實驗二 重複 Schweickert 的叫色雙重作業

方法

受試者。單一女性受試者，其身分為國立雲林科技大學學生，其視力經矯正後具有正常視力，無色弱或色盲。

實驗器材。同實驗一。實驗中受試者所使用的按鍵有四個按鍵（Z, X, M, ），上面各貼有字的標籤。

實驗材料。同實驗一。

實驗設計與程序。其實驗程序同實驗一。唯一不同的是受試者被要求先對顏色作手動反應，再對字進行口說反應。但本實驗之實驗設計和實驗一不同。

本實驗為單一受試者內設計，操控三個因子數，一為字數（W），有兩個水準：分別為兩個字、四個字；一為顏色數（H），有三個水準，分別為一個顏色、兩個顏色、四個顏色；另一為顏色與字之間是否一致（C），因此為一 $2 \times 3 \times 2$ 之三因子設計。每一個題目呈現的方式為一字上有一表示顏色的方塊。

若以 a 表示字數出現的情況，b 表示顏色數出現的情況，（a, b）表示字數與顏色數的組合，共有 6 種組合，重複兩次。12 個區集（此為刺激組合之位置，position）是以以下的次序出現讓受試者練習：（2, 1），（2, 2），（2, 4），（4, 1），（4, 2），（4, 4），（2, 1），（2, 2），（2, 4），（4, 1），（4, 2），（4, 4）。如刺激是（2, 1），指的是有 2 個字與 1 個顏色方塊可供隨機挑選的組合，如「綠」、「紅」兩個字與紅色方塊，但因每次測試時出現的刺激仍為一個字與一個顏色方塊，因此會有顏色與字一致與不一致的情形，如「綠」字和紅色方塊即為不一致的情形；「紅」字與紅色方塊即為一致的情形。其餘的其他組合（2, 2），（2, 4），（4, 1），（4, 2），（4, 4）等可依此類推。

受試者共接受 6 天的練習與 12 天（此為實驗時間因子，session）的正式測試，在每一天正式的測試開始前，受試者都會先有 7 個各種組合的練習，讓受試者先熟悉刺激呈現與反應之方式。待進入每一個區集（block）後，又有 8 個該實驗區集下的練習題，之後再進入正式的 32 個測試題。

每一個刺激組合中的 32 個測試都是以隨機方式出現，但因不同的組合會使「顏色」與「字」之間一致與不一致出現的次數不同。舉例而言，若刺激組合為（2, 1），為刺激的是自兩個顏色字與一個顏色塊中隨機出現一個字與色塊，字與色塊可能「一致」或「不一致」，在此情形下，一致與不一致的

比例為 1:1，也就是說，32 個正式測試中，會有 16 個測試為「顏色與字一致」，另 16 個測試為「顏色與字不一致」。若刺激的組合為（4, 4），四個「字」與四個「顏色」，則字與顏色一致與不一致的比例為 1:3，即 32 個測試中，有 8 個測試為「顏色與字一致」，有 24 個測試為「顏色與字不一致」。

因此，當實驗的操控情形為（2, 1）、（2, 2）時，字與顏色呈現一致與不一致的比例為 1:1；而當實驗操控的情形為（2, 4）、（4, 1）、（4, 2）、（4, 4）時，字與顏色呈現一致與不一致的比例為 1:3。每一個字與顏色方塊在測驗中出現為隨機的。

當正式實驗開始時，每一天的實驗都是以（1, 4）區集為開始和結束。其目的在於使受試者每一天的實驗不受干擾。每次實驗約進行一個半小時，每次實驗均被安排於不同天。下表為本實驗之實驗刺激組合之配置，實驗三與實驗四將其中的刺激組合而隨機重新安排。

(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,2)	(4,2)	(2,1)	(4,4)	(2,4)	(4,1)
(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(4,2)	(2,1)	(4,4)	(2,4)	(4,1)	(2,2)
(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,1)	(4,4)	(2,4)	(4,1)	(2,2)	(4,2)
(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,4)	(2,4)	(4,1)	(2,2)	(4,2)	(2,1)
(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(2,4)	(4,1)	(2,2)	(4,2)	(2,1)	(4,4)
(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,1)	(2,2)	(4,2)	(2,1)	(4,4)	(2,4)
(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,4)	(2,2)	(4,1)	(2,4)	(2,1)	(4,2)
(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,2)	(2,2)	(4,1)	(2,4)	(2,1)	(4,2)	(4,4)
(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,4)	(4,4)	(4,1)	(2,4)	(2,1)	(4,2)	(4,4)	(2,2)
(2,2)	(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,4)	(2,1)	(4,2)	(4,4)	(2,2)	(4,1)
(2,4)	(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,1)	(4,2)	(4,4)	(2,2)	(4,1)	(2,4)
(4,1)	(4,2)	(4,4)	(2,1)	(2,2)	(2,4)	(4,2)	(4,4)	(2,2)	(4,1)	(2,4)	(2,1)

實驗結果與討論

將實驗之數據蒐集，以各種不同實驗條件下的平均數加減三個標準差為上下管制界線，超過此界線即為異常值，實驗之結果分析乃是以剔除異常值之後的數據資料為來源。

本實驗之設計並非完全多因子設計，亦非典型拉丁方格設計。但為使不完全交叉（cross）設計關係內之某些因子間不致產生效果間的混淆，因而在該等因子不同層次間的組合上，採用了貌似拉丁方格外觀的安排，以進行層次或順序間的不完全平衡，透過等格的限制使牽涉的因子間形成具備統計上的直交（orthogonal）或平衡（balanced）之特性。雖然全部的資料都是同一受試者的相依資料，並非符合一般拉丁方格的資料型態，這樣模型的殘差項 MS 之期望值也未進行仔細的數學推演，但為了方便，本文在資料分析上仍權宜地仿造一般拉丁方格設的分析原則進行相應部分的計算處理。其

中，實驗時間 (session) 與刺激組合位置 (position) 為固定因子，為能簡化資料分析的結果，假設字數 (number of words) 和位置、字數和實驗時間之間的交互作用皆為零；顏色數 (number of colors) 和位置、顏色數和實驗時間之間的交互作用亦假設為零；除此之外，實驗時間與位置間的交互作用亦假設為零。

將資料進行分析，發現位置因子主效果顯著， $F(11, 464) = 2.38$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.007$ ；實驗時間因子主效果顯著， $F(11, 12) = 2.90$ ， $MSE = 44067.31$ ， $p < 0.042$ 。

將受試者在叫色作業中的反應時間進行變異數分析，結果顯示：在主要因子部分，字數會造成反應時間的顯著差異， $F(1, 464) = 322.48$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.001$ ，受試者會因實驗刺激的字數不同而有不同的反應時間，字數越多，反應時間越長；顏色數也會造成受試者在反應時間上的顯著差異， $F(2, 464) = 128.3$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.001$ ；字與顏色是否一致亦對受試者的反應時間造成顯著差異， $F(1, 11) = 28.57$ ， $MSE = 2109.54$ ， $p < 0.001$ ；此外，受試者反應模式之主效果亦呈顯著， $F(1, 11) = 430.86$ ， $MSE = 42638.07$ ， $p < 0.001$ 。

在二次交互作用方面，字數與顏色數之交互作用顯著， $F(2, 464) = 3.79$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.001$ ；顏色數與受試者反應模式之間的交互作用顯著， $F(2, 464) = 3.04$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.0049$ ；顏色與字是否一致與實驗進行的時間兩者間的交互作用顯著， $F(11, 11) = 3.10$ ， $MSE = 680.3$ ， $p < 0.037$ ，實驗進行的時間與受試者的反應模式間的交互作用顯著， $F(11, 11) = 62.68$ ， $MSE = 680.3$ ， $p < 0.001$ 。而在三次交互作用方面，各因子之間都呈現不顯著的情形。

將所獲致的數據列於表三與表四，以要徑法來建立該受試者在「叫色作業」時之認知歷程模型。

由公式 (1) 至 (3) 可知，若兩歷程的串聯滯候時間 ($K(XY)$) 為正值，則兩歷程間的認知模型為次序性；若兩歷程間的串聯滯候時間為負值，則兩歷程間的認知模型為一惠氏登橋式。

對於「顏色」、「字」與「字與顏色是否一致」的訊息間的認知歷程處理，如下述：

「顏色」(H) 與「字」(W)

兩個顏色 (Δ_1H)

$93 = 52 + 69 + K(H_1W)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 464) = 7.27$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.001$ ，表示 $K(H_1W)$ 顯著地小於零，因此可推論當刺激組合為兩個顏色時，受試者對顏色和字的處理歷程為惠氏登橋式，也就是說，受試者對顏色與字間的處理可能有部分重疊。

四個顏色 (Δ_2H)

表三

重複 Schweickert 叫色作業實驗之各情況反應時間平均值 (M) 與標準差 (SD)

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
手動反應						
2						
M	438	482	486	448	502	504
SD	52	62	61	60	71	79
4						
M	501	524	539	508	546	555
SD	66	70	70	74	73	77
字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
口說反應						
2						
M	774	833	851	803	868	864
SD	111	107	107	115	123	128
4						
M	849	874	904	860	915	925
SD	110	130	127	121	117	121

表四

實驗二各情況下平均反應時間的改變

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
手動反應						
2	0	44	48	10	64	66
4	63	86	101	70	108	117
口說反應						
2	0	59	77	29	94	90
4	75	100	130	86	141	151
平均值						
2	0	52	63	19	79	78
4	69	93	116	78	125	134

$116 = 69 + 63 + K(H_2W)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 464) = 3.58$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.059$ ， $K(H_2W)$ 稍微顯著地不為零。可推論當刺激組合為四個顏色時，受試者對顏色與字間的處理為惠氏登橋式，這個結果和上述刺激組合為兩個顏色時的認知模型並無差異。

「顏色」(H) 與「字和顏色是否一致」(C)

兩個顏色 (Δ_1H)

$79 = 52 + 19 + K(H_1C)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 464) = 0.453$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.50$ ，表示

$K(H_1C)$ 並沒有顯著地不為零，因此可推論受試者對於顏色 (H_1) 與字和顏色是否一致 (C) 兩刺激間處理的認知模型為次序性。

四個顏色 (Δ_2H)

$78 = 63 + 19 + K(H_2C)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 464) = 0.248$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.618$ ，表示 $K(H_2C)$ 並沒有顯著地異於零，因此可推論受試者對於顏色 (H_1) 與字和顏色是否一致 (C) 之間刺激處理的認知模型亦為次序性。

字 (W) 與顏色和字是否一致 (C)

$78 = 69 + 19 + K(WC)$ ，將上式進行檢定，得到 $F(1, 464) = 1.18$ ， $MSE = 1314.19$ ， $p < 0.277$ ， $K(WC)$ 沒有顯著地異於零，所以受試者對字和顏色與字是否一致之認知模式可能為次序性。

以上三個認知歷程在同一路徑上，依據 Schweickert 的看法 (公式 (6))，可以推論三者之間的關係如下：

若三者之間的關係為 $H \rightarrow W \rightarrow C$

則

$$\begin{aligned} \Delta RT(\Delta H, \Delta W, \Delta C) &= \Delta RT(\Delta H, 0, 0) \\ &+ \Delta RT(0, \Delta W, 0) + \Delta RT(0, 0, \Delta C) \\ &+ K(HW) + K(WC)。 \end{aligned}$$

其中 $K(H_1W) = -28$ ， $K(H_2W) = -16$ ； $K(H_1C) = 8$ ， $K(H_2C) = -4$ ； $K(WC) = -10$

$\Delta RT(\Delta W) = 69$ ， $\Delta RT(\Delta H_1) = 52$ ， $\Delta RT(\Delta H_2) = 63$ ， $\Delta RT(\Delta C) = 19$

在兩個顏色 (H_1) 的情形下， $125 = 52 + 69 + 19 + (-28) + (-10)$ ， $\therefore 125 = 102$ ，兩邊之誤差為 23。

在四個顏色 (H_2) 的情形下， $134 = 63 + 69 + 19 + (-16) + (-10)$ ， $\therefore 134 = 125$ ，兩邊之誤差為 9。

若三者之間的關係為 $W \rightarrow H \rightarrow C$

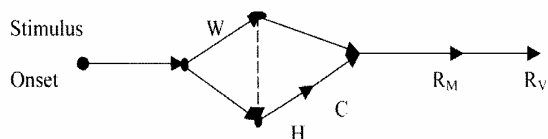
在兩個顏色 (H_1) 的情形下， $125 = 69 + 52 + 19 + (-28) + (8)$ ， $\therefore 125 = 120$ ，兩邊之誤差為 5。

在四個顏色 (H_2) 的情形下， $135 = 69 + 63 + 19 + (-16) + (-4)$ ， $\therefore 135 = 131$ ，兩邊之誤差為 4。

誤差較小為可能的認知路徑次序，依照上述，受試者對刺激的認知次序應為 $W \rightarrow H \rightarrow C$ 。

但由前述所得 $K(WC)$ 雖然沒有顯著地不為零，但因三者之間的順序應為

$W \rightarrow H \rightarrow C$ ，在此網路模型中， W 和 H 間為惠氏登橋形式； H 和 C 之間為次序性； W 和 C 為次序性，綜合以上之推論，所得到的網路模型如圖六。實驗一與實驗二因操弄不同的實驗設計，因此，可能會有若干推論上的混淆。實驗三與實驗四以相同的實驗設計進行實驗，並操弄不同的指導語，希望能夠藉此釐清在分析中，可能產生的質疑。



圖六：重複 Schweickert 「叫色」作業之認知模式

實驗三 叫字雙重作業

方法

受試者。單一女性受試者，其身分為國立雲林科技大學學生，其視力經矯正後具有正常視力，無色弱或色盲。

實驗設計與程序。實驗器材、材料、實驗設計與程序與實驗二同。受試者的作業與實驗一同，唯一的差別為受試者自行決定先對字或是先對顏色方塊做反應。

實驗結果與討論

將實驗之數據蒐集，以各不同情況下的平均數加減三個標準差為上下管制界限，超過此界限即為異常值，實驗結果之分析是以剔除異常值後之數據資料為來源。因此本實驗與實驗二之實驗設計相同，因此，在資料分析部分的計算處理亦遵循實驗二之處理原則。有關位置 (position)、實驗時間 (session) 和字數之間的交互作用假設為零；前兩者和顏色數之間的交互作用亦假設為零。

將所蒐集到的資料進行統計分析，發現位置因子主效果顯著， $F(11, 464) = 3.61$ ， $MSE = 1450.99$ ， $p < 0.001$ ；實驗進行時間主效果亦呈現顯著， $F(11, 12) = 5.04$ ， $MSE = 15037.72$ ， $p < 0.006$ 。

將受試者在叫字作業中的資料進行變異數分析，在主要因子部分：字數的主效果顯著， $F(1, 464) = 11.38$ ， $MSE = 1454.99$ ， $p < 0.001$ ；顏色數的主效果亦呈顯著， $F(2, 464) = 884.72$ ， $MSE = 1454.99$ ， $p < 0.001$ ；字與顏色是否一致之主效果亦呈顯著， $F(1, 11) = 123.11$ ， $MSE = 14816.17$ ， $p < 0.001$ ；此外，受試者的反應模式的主要效果亦呈顯著， $F(1, 11) = 82.78$ ， $MSE = 1137.87$ ， $p < 0.001$ 。

在二次交互作用方面，顏色數和字數間的交互作用顯著， $F(2, 464) = 4.79$ ， $MSE = 1454.99$ ， $p < 0.009$ ；顏色數與字和顏色是否一致的交互作用顯著， $F(2, 464) = 178.15$ ， $MSE = 1454.99$ ， $p < 0.001$ ；顏色數和受試者的反應模式之交互作用亦呈顯著， $F(2, 464) = 8.72$ ， $MSE = 1454.99$ ， $p < 0.001$ ；字與顏色是否一致和受試者的反應模式間的交互作用亦顯

表五

叫字作業實驗之各情況反應時間平均值 (M) 與標準差 (SD)

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
口說反應						
2						
M	496	561	585	523	701	705
SD	63	82	85	77	108	111
4						
M	515	574	596	540	694	724
SD	78	74	80	82	100	101
字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
手動反應						
2						
M	500	570	600	530	757	761
SD	61	84	103	78	152	151
4						
M	522	582	606	550	746	793
SD	72	81	90	81	139	150

表六

實驗三各情況下平均反應時間的改變

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
口說反應						
2	0	65	89	27	205	209
4	19	78	100	44	198	228
手動反應						
2	0	70	100	30	257	261
4	22	82	106	50	246	293
平均值						
2	0	68	95	29	231	235
4	21	80	103	47	222	261

著, $F(1, 11) = 44.24$, $MSE = 916.31$, $p < 0.001$; 字與顏色是否一致與受測的時間的交互作用顯著, $F(11, 11) = 16.17$, $MSE = 916.31$, $p < 0.001$ 。

在三次交互作用方面, 有字數、顏色數及字與顏色是否一致間的交互作用顯著, $F(2, 464) = 5.45$, $MSE = 1454.99$, $p < 0.005$; 顏色數、字與顏色是否一致及受試者反應模式間的交互作用顯著, $F(2, 464) = 5.78$, $MSE = 1454.99$, $p < 0.003$ 。除以上所述之外, 其它的交互作用皆不顯著。

因本實驗之研究重點在於以要徑法來建立受試

表七

實驗三各刺激組合下「手動」與「口說」平均反應時間之 t 檢定

Number of words	Number of colors	Conflict	RT _M	RT _V	RT _M - RT _V	t	P
2	1	1	500	496	4	5.11	<0.0001
2	1	2	530	523	7	7.19	<0.0001
2	2	1	570	561	9	5.53	<0.0001
2	2	2	757	701	56	12.54	<0.0001
2	4	1	600	585	15	5.60	<0.001
2	4	2	761	705	56	14.71	<0.0001
4	1	1	522	515	7	4.10	<0.001
4	1	2	550	540	10	6.95	<0.0001
4	2	1	582	574	8	5.24	<0.0001
4	2	2	746	694	52	15.61	<0.0001
4	4	1	606	596	10	4.74	<0.0001
4	4	2	793	724	69	17.53	<0.0001

Number of words: 2, 4 表示實驗情況中刺激之水準兩個字或四個字。

Number of colors: 1, 2, 4 表示實驗情況中, 刺激之水準為一個顏色、兩個顏色或四個顏色。

Conflict: 1, 2 表示實驗情況中, 刺激的呈現「字與顏色一致」或「字與顏色不一致」。

者真正的認知歷程模型, 因此變異數分析之目的在於讓讀者瞭解此一「叫字作業」的干擾影響因子, 以下則就受試者之「口說」反應時間與「手動」反應時間進行更進一步分析。

以要徑法 (CPM) 來建立本「叫字」雙重作業之認知歷程模型。相關數據列於表五、表六。

由表七可知, 受試者在「叫字作業」中的不同情況下, 「口說」反應時間都顯著地小於「手動」的反應時間, 本結果也駁斥了 Schweickert (1983) 「手動反應會先發生」的說法。

「顏色」(H) 與「字」(W)

兩個顏色 ($\Delta 1H$)

$80 = 68 + 21 + K(H_1W)$, 將上式進行檢定, $F(1, 464) = 0.756$, $MSE = 1454.998$, $p < 0.385$, $K(H_1W)$ 並沒有顯著地不為零, 因此可推論當刺激組合為兩個顏色時, 受試者對顏色與字之間的認知模型為次序性。

四個顏色 ($\Delta 2H$)

$103 = 95 + 21 + K(H_2W)$, 將上式進行檢定, $F(1, 464) = 2.57$, $MSE = 1454.998$, $p < 0.11$, $K(H_2W)$ 並沒有顯著地不為零, 因此可推論當刺激組合為四個顏色時, 受試者對顏色與字之間的認知模型為次序性。

「顏色」(H) 與「顏色與字是否一致」(C)

兩個顏色 ($\Delta 1H$)

$231 = 29 + 68 + K(H_1C)$, 將上式進行檢定, $F(1, 464) = 172.08$, $MSE = 1454.998$, $p < 0.0001$, K

表八

叫色作業實驗之各情況反應時間平均值 (M) 與標準差 (SD)

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
口說反應						
2						
M	515	582	637	542	811	868
SD	97	118	130	94	167	156
4						
M	576	648	660	594	837	881
SD	95	133	109	110	166	151
字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
手動反應						
2						
M	526	597	650	553	878	946
SD	91	107	138	92	219	213
4						
M	592	673	677	607	917	984
SD	144	152	140	111	235	220

表九

實驗四各情況下平均反應時間的改變

字	顏色					
	字與顏色一致			字與顏色不一致		
	1	2	4	1	2	4
口說反應						
2	0	67	122	27	295	353
4	61	133	145	44	198	228
手動反應						
2	0	70	100	30	257	261
4	22	82	106	50	246	293
平均值						
2	0	68	95	29	231	235
4	21	80	103	47	222	261

形。

以要徑法 (CPM) 來建立本實驗中叫色雙重作業認知歷程模型，相關數據列於表八與表九。

以下則就受試者之「口說」反應時間與「手動」反應時間進行更進一步分析。將受試者的對字的手動反應時間 (RTM) 與對顏色的口說反應時間 (RTV) 進行成對 t 檢定 (表十)，發現在字數與顏色數之不同組合時，受試者之手動反應時間與口說反應時間有顯著差異，其手動反應時間 (RTM) 顯著地比口說反應時間 (RTV) 要長。因本研究乃

表十

實驗四各刺激組合下「手動」與「口說」平均反應時間之 t 檢定

Number of words	Number of colors	Conflict	RT _M	RT _V	RT _M -RT _V	t	P
2	1	1	526	515	11	4.07	<0.0001
2	1	2	553	542	11	4.45	<0.0001
2	2	1	597	582	15	4.38	<0.0001
2	2	2	878	811	67	5.51	<0.0001
2	4	1	650	637	13	2.71	<0.013
2	4	2	946	868	78	7.92	<0.0001
4	1	1	592	576	16	4.21	<0.016
4	1	2	607	594	13	4.72	<0.0001
4	2	1	673	648	25	4.14	<0.0001
4	2	2	917	837	80	10.88	<0.0001
4	4	1	677	660	17	3.83	<0.0001
4	4	2	984	881	103	8.44	<0.0001

Number of words: 2, 4 表示實驗情況中刺激之水準兩個字或四個字。

Number of colors: 1, 2, 4 表示實驗情況中，刺激之水準為一個顏色、兩個顏色或四個顏色。

Conflict: 1, 2 表示實驗情況中，刺激的呈現「字與顏色一致」或「字與顏色不一致」。

是要求受試者在無特定反應順序的要求下，所進行的自然順序反應型態，由上述統計分析之結果，可知該受試者之自然順序反應型態為「口說」為先。實驗結果似乎反駁了 Schweickert (1983) 研究中所謂「手動的反應會先發生，是一種自然的狀態」的說法。

「顏色」(H) 與「字」(W)

兩個顏色 (Δ_1H)

$140 = 69 + 64 + K(H_1W)$ 將上式進行檢定， $F(1, 464) = 0.3398$ ， $MSE = 2625.05$ ， $p < 0.56$ ， $K(H_1W)$ 沒有顯著地不為零，因此可推論當刺激組合為兩個顏色時，受試者對顏色與字間的認知模型為次序性。

四個顏色 (Δ_2H)

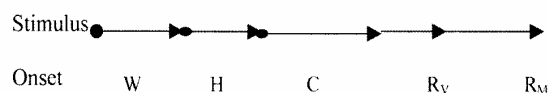
$148 = 123 + 64 + K(H_2W)$ ，將上式進行檢定， $F(1, 464) = 6.304$ ， $MSE = 2625.05$ ， $p < 0.012$ ， $K(H_2W)$ 顯著地小於零，因此可推論當刺激組合為四個顏色時，受試者對顏色與字間的認知模型為惠氏登橋式。

「顏色」(H) 與「顏色與字是否一致」(C)

兩個顏色 (Δ_1H)

$324 = 69 + 27 + K(H_1C)$ ，將上式進行檢定， $F(1, 464) = 239.4$ ， $MSE = 2625.05$ ， $p < 0.0001$ ， $K(H_1C)$ 顯著地大於零，所以當刺激組合為兩個顏色時，受試者對顏色和字與顏色是否一致間的認知模型為次序性。

四個顏色 (Δ_2H)



圖八：實驗四「叫色」作業的認知模式（兩個顏色）

$387 = 123 + 27 + K(H_2C)$ ，將上式進行檢定， $F(1,464) = 254.48$ ， $MSE = 2625.05$ ， $p < 0.0001$ ， $K(H_2C)$ 顯著地大於零，所以當刺激組合為四個顏色時，受試者對於顏色和字與顏色是否一致間的認知模型為次序性。

「字」（W）與「顏色和字是否一致」（C）

$80 = 64 + 27 + K(WC)$ ，將上式進行檢定， $F(1,464) = 0.2807$ ， $MSE = 2625.05$ ， $p < 0.5965$ ， $K(WC)$ 沒有顯著地不為零，因此可以推論受試者對字和顏色與字是否一致間的認知模型為次序性。

因上述三者在同一路徑上，因此可以下式推論其在認知歷程模型之次序。

若三者間的順序為 $H \rightarrow W \rightarrow C$ 則

$$\begin{aligned} \Delta RT(\Delta H, \Delta W, \Delta C) &= \Delta RT(\Delta H, 0, 0) \\ &+ \Delta RT(0, \Delta W, 0) + \Delta RT(0, 0, \Delta C) \\ &+ K(HW) + K(WC) \end{aligned}$$

$$K(H_1W) = 7, K(H_2W) = -39; K(H_1C) = 228, K(H_2C) = 237; K(WC) = -11$$

$$\Delta RT(\Delta W) = 64, \Delta RT(\Delta H_1) = 69,$$

$$\Delta RT(\Delta H_2) = 123, \Delta RT(\Delta C) = 27$$

在兩個顏色(H_1)的情形下， $357 = 64 + 69 + 27 + 7 + (-11)$ ，兩邊之誤差為 201。

在四個顏色(H_2)的情形下， $412 = 64 + 123 + 27 + (-39) + (-11)$ ，兩邊之誤差為 248。

若三者間的順序為 $W \rightarrow H \rightarrow C$

則

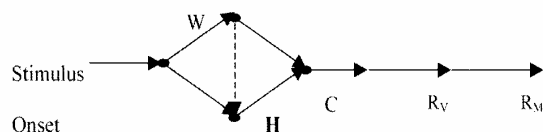
$$\begin{aligned} \Delta RT(\Delta H, \Delta W, \Delta C) &= \Delta RT(\Delta H, 0, 0) \\ &+ \Delta RT(0, \Delta W, 0) + \Delta RT(0, 0, \Delta C) + K(HW) \\ &+ K(HC) \end{aligned}$$

在兩個顏色(H_1)的情形下， $357 = 64 + 69 + 27 + 7 + 228$ ，兩邊之誤差為 38。

在四個顏色(H_2)的情形下， $412 = 64 + 123 + 27 + (-39) + 237$ ，兩邊之誤差為 0。

綜合以上之分析可知， $W \rightarrow H \rightarrow C$ 為誤差較小的認知歷程順序。因此，可推論在「叫色」作業中，當刺激組合為兩個顏色時，受試者之認知模式如圖八，是以次序性先處理「字」、「顏色」，再處理「顏色與字是否一致」等訊息。

當刺激組合為四個顏色時，受試者之認知路徑如圖九。其對於「字」和「顏色」的處理為一惠氏登橋形式，但亦是先處理「字」再處理「顏色」。



圖九：實驗四「叫色」作業的認知模式（四個顏色）

綜合討論

本研究共操弄了四個實驗。重複 Schweickert「叫字」雙重作業（實驗一）所得之結果和 Schweickert 研究結果類似，兩者都是「顏色」先被處理。而重複 Schweickert「叫色」雙重作業（實驗二）所獲致之結果和 Schweickert 的研究結果相同，受試者的認知歷程模型為惠氏登橋式，且「字」先被處理。

以上所述，呈現了在「叫色」與「叫字」之雙重作業中，受試者都是先處理「無關」的刺激，這和作業的要求順序恰好一致，因此，我們不禁懷疑這個認知歷程是否為受試者真實的認知歷程？為要了解受試者在沒有其他限制與要求下真實的認知歷程，進行實驗三與實驗四，其差別在於操弄不同的指導語。結果顯示，在「叫字」作業中，受試者的認知模型為次序性，「字」是被先處理。在「叫色」作業中，當刺激組合的顏色數不同時，受試者會採用不同的認知模型（次序性/惠氏登橋式），「字」也會被先處理。

以下就本研究之實驗結果，提出相關看法。

字的自動化處理

由實驗一至實驗四的結果，我們有理由相信受試者在作業的強制要求與限制下，所進行的，並非自發性的真實認知歷程。在實驗一與實驗二的結果中，不論受試者對作業的認知模型為何，都是先處理「無關」的訊息。對照實驗三與實驗四的結果，我們發現，若受試者沒有被要求與限制，在自然的情況下，「字」仍是被優先處理，因此，印證了 LeBerge & Samuels (1974)、Morton (1969)、Posner & Snyder (1975) 及 Logan (1980) 等人所認為的「字的處理較顏色的處理有其速度上的優勢」，字的處理事實上是一種自動化的反應。

影響認知歷程模型的因素

實驗一「叫字」與實驗二「叫色」作業的結果顯示，受試者的認知模型分別是次序性與惠氏登橋式。而實驗三「叫字」作業結果也呈現出，受試者的認知模型為次序性。而實驗四「叫色」作業結果

顯示，當刺激組合為兩個顏色時，受試者的認知歷程模型為次序性；但當刺激組合增加至四個顏色時，受試者的認知模型為惠氏登橋式。因此，這些認知模式的差異是否來自於作業的不同特質所致？

Simon (1979) 等人曾將刺激與反應相容性分成三類，符號相容性 (symbolic compatibility)、時間相容性 (temporal compatibility) 與空間相容性 (spatial compatibility)。在 Simon 和 Sudalaimuthu (1979) 的實驗中，得到當刺激為紅色光以紅色反應鍵，刺激為綠色光以綠色反應鍵時，兩者間的符號相容性很高；而在 Simon, Sly & Vilapakkam (1981) 的實驗中也有類似的結果。他們共同的推論是受試者因刺激與反應的編碼相同，所以可簡化轉錄之過程，因此其反應時間較刺激與反應相容性低時為少。

「叫色」作業中，對「顏色」進行「口說」反應，在字與顏色不一致時，是屬於低相容性作業 (low compatibility) (Umlut & Nicoletti, 1990)；對「字」進行「手動」反應亦是屬於低相容性的作業 (Alluisi, Muller & Fitt, 1957; Alluisi, Strain & Thursmond, 1964)。因此，若是在雙重作業中，兩個作業都是低相容性，相較於兩個都是高相容性的作業，顯然前者的作業難度較高。而由 Alluisi, Strain & Thursmond (1964) 等人的實驗中，又發現當刺激與反應為低相容性時，刺激的個數不同會影響到反應時間的長短，兩者具有統計上的顯著差異。

Proctor (Proctor, Lu, Wang, & Dutta, 1995) 認為，如果刺激與反應具有相同的轉錄編碼，則受試者在刺激與反應之連結上有較高的相容性；反之若刺激與反應的轉錄編碼不一致，則受試者在刺激與反應之連結上會有不相容的情形發生。而在「叫字」作業中，對「字」進行「口說」反應是近乎自動化的處理，受試者對於「字」在認知系統的轉錄上，是以語文 (verbal) 轉錄；而在反應模式上，「口說」反應亦是以語文轉錄，這種在刺激與反應上的高相容性 (S-R compatibility) 使得該作業變得簡單容易；而受試者對「顏色」在認知系統是以特性 (feature) 轉錄，按鍵因貼有顏色的標籤，因此受試者在「手動」之反應模式上，亦是以特性 (feature) 轉錄。在 Alluisi, Muller 與 Fitt (1957) 和 Alluisi, Strain 與 Thursmond (1964) 的實驗中曾得到，當刺激為阿拉伯數字呈現時，受試者口說的反應比手動的反應要好的多；但若是刺激為和空間有關時 (如光束) 則受試者手動的反應要比口說的反應好，這樣的結果是來自於刺激與反應高相容性的結果。此外，Alluisi, Strain 與 Thursmond 等人 (1964) 也曾經將以上的實驗作了若干修改，以不同的刺激個數為集區 (block)，對受試者進行實驗，所得到的結果是當刺激與反應為高相容性時，

刺激的不確定性 (在此實驗中為刺激的個數) 並不會影響到受試者的反應結果。

實驗三的「叫字」作業中，受試者被要求從事的兩個作業，其刺激與反應在轉錄中都是高相容性，因此，使得作業變得較為簡單容易。在雙重作業中，如果兩個作業對受試者而言都是簡單容易的作業，在認知模式中，受試者可能會選擇先處理完某一個作業後再接續快速地處理另一個作業，因而是呈次序性的認知模式。實驗四中，當刺激與反應間的轉錄為高相容性時，刺激的不確定性，似乎不會影響受試者的認知歷程，該結果呼應了 Alluisi (1964) 等人的結論。

由實驗四「叫色」作業的結果可知，當刺激組合為兩個 / 四個顏色時，受試者的認知歷程模式並不相同，分別是以次序性 / 惠氏登橋式處理刺激。而經過統計檢定後發現，刺激組合為四個顏色時的作業確實比兩個顏色時要難 (反應時間較長)，在口說反應方面， $F(1,188) = 20.58$, $MSE = 3948.96$, $p < 0.001$ ；手動反應方面， $F(1,188) = 20.05$, $MSE = 5563.29$, $p < 0.001$ 。因此，不同難度的作業，受試者可能選擇以不同的認知模型進行處理，對於較難的作業，為了增加處理上的時效，會以惠氏登橋式來處理刺激。

由以上的分析可發現，在雙重作業中，當兩作業皆為簡單容易時，受試者傾向以次序性的認知模式處理刺激；當兩作業都是困難複雜時，為了有效處理刺激，傾向以惠氏登橋式之認知模式來處理刺激。基於資源有效分配原則與處理歷程最佳化，受試者似乎會自動調整與控制其認知的策略與模式來進行反應。而刺激組合的個數，在刺激與反應低相容性下，也是影響作業難易的因素之一。

弔詭的是，以往的認知，咸認為人們在處理簡單容易的事情時，可以平行處理；而在處理複雜困難的事情時，則需要次序性處理。本研究似乎顛覆了這個想法，是否我們以往所認為的平行處理，僅是以極快的速度順序式或是不斷轉換地在處理相關訊息？而我們所認知的次序處理，在某種程度上，是否相關訊息已經在平行地進行編碼或轉錄？

中央瓶頸的位置

知覺階段 (Perceptual stage)。本研究在實驗中所操弄的因子，為「字」數、「顏色」數與「顏色和字是否一致」，而在每個測試所呈現的刺激為一個字與一個顏色方塊。因此，假設瓶頸發生於知覺階段，相較於「顏色與字一致」，受試者在「顏色與字不一致」時會增加其知覺階段對顏色的處理時間，因而使其「口說」與「手動」之反應時間增加，「口說」反應時間在各刺激組合之「顏色與字不一致」與「顏色與字一致」時的反應時間差應該

沒有顯著差異；「手動」反應時間亦然。

經假設檢定後發現，在「叫色」作業中，「口說」反應時間在上述兩情況下之差異有統計上的顯著， $F(5,138) = 100.09$ ， $MSE = 2512.77$ ， $p < 0.0001$ ；「手動」反應也有類似情形出現， $F(5,138) = 46.36$ ， $MSE = 3216.75$ ， $p < 0.0001$ 。

依據上述，我們可以推論，瓶頸應該不是發生在知覺階段。

反應產生階段 (Response production stage)。如果瓶頸是發生在反應產生階段，則影響反應時間的因素應為反應競爭的狀態。在本研究中，反應競爭型態為「口說」與「手動」兩種反應，假設受試者的反應有其一致性，若瓶頸在此一階段發生，較長的反應時間（在此為「手動」反應）與較短的反應時間（在此為「口說」反應）其間的差值應沒有顯著差異。

「叫色」作業，為一刺激—反應低相容性的作業，在 (2,1) 與 (4,1) 之刺激組合裡，因受試者只需對一個顏色進行「口說」反應，受試者可以分配較多的注意力去關注「手動」反應，因此，受試者在「手動」反應時間與「口說」反應時間差很小。而「叫字」作業為一刺激—反應高相容性的作業，在 (2,1) 與 (4,1) 之刺激組合中，受試者對叫字幾乎為自動化的反應，其只需針對一個顏色進行「手動」反應，因此，受試者在「手動」反應的時間與「口說」反應的時間差也很小，相較於其他「顏色與字不一致」的刺激組合，此兩例可視為特例，應予排除，再進行檢定。

統計檢定結果顯示：在「叫色」作業中，當刺激為「顏色與字一致」時，受試者在「口說」與「手動」兩反應之反應時間差沒有顯著差異，其中 $F(5,138) = 1.842$ ， $MSE = 486.48$ ， $p < 0.109$ ；當「顏色與字不一致」時，受試者在「口說」與「手動」兩反應之反應時間差亦沒有顯著差異， $F(3,92) = 2.572$ ， $MSE = 2698.59$ ， $p < 0.059$ ；而在「叫字」作業中，當刺激為「顏色與字一致」時，受試者「口說」與「手動」兩反應的反應時間差沒有統計上的顯著差異，其中 $F(5,138) = 2.21$ ， $MSE = 94.58$ ， $p < 0.056$ ；當刺激為「顏色與字不一致」時，兩反應之時間差亦無顯著差異， $F(3,92) = 0.966$ ， $MSE = 1368.89$ ， $p < 0.412$ 。

綜合上述，我們可以推論，不論是「叫色」作業或是「叫字」作業，瓶頸皆可能發生在反應產生階段。

反應決策階段 (Response selection/decision making stage)。如果瓶頸發生在反應決策階段，影響受試者反應時間的因素應為刺激組合數 (set size)。若刺激組合數增加，則受試者在「口說」反應與「手動」反應之時間皆會增加，而所增加的量在各刺激組合下，兩者之間應沒有顯著差異。

表十一

實驗三與實驗四，當顏色數固定，字數增加，受試者在「口說」反應時間之增加量與在「手動」反應時間之增加量之 F 檢定

叫色作業						
顏色數	字的變化	顏色與字	ΔRT_V	ΔRT_M	F	p
致/不致						
1	2→4	一致	61	66	0.000	0.984
		不一致	52	54	0.040	0.843
2	2→4	一致	76	66	0.398	0.531
		不一致	26	39	0.194	0.661
4	2→4	一致	23	27	0.066	0.798
		不一致	13	38	2.146	0.15
叫字作業						
1	2→4	一致	19	22	0.024	0.879
		不一致	17	20	0.038	0.845
2	2→4	一致	13	12	0.025	0.874
		不一致	-7	11	0.158	0.693
4	2→4	一致	11	6	0.099	0.754
		不一致	19	32	0.690	0.411

透過統計檢定 (表十一) 可知，不論是「叫色」作業或「叫字」作業，當刺激組合數增加（在此為顏色數固定，字數增加）時，受試者在「手動」反應時間差與「口說」反應時間差其間都沒有顯著差異。因此，可推論瓶頸可能發生在反應決策階段。

綜合以上的結果，似乎顯示了一個可能，受試者在進行「叫色」作業與「叫字」作業時，瓶頸可能不只發生在一處，除了反應產生階段外，反應決策階段也可能是瓶頸發生的所在。

本研究的重點在於解析 Stroop 雙重作業中，受試者真實的認知歷程模型。由上述之推論可知，瓶頸所在的位置，並不如 McCann & Johnston (1992)、Pashler (1999)、Pashler (1994)、Pashler & Johnston (1989) 等人以 PRP 實驗典範所發現的，「瓶頸的位置是在反應決策階段」；也不是如 Keele (1973)、Norman 和 Shallice (1985) 等人所預測的，「瓶頸是存在於反應產生階段」。而是如 de Jong (1993) 所言，「在重疊性作業中，有多重瓶頸存在」，而多重瓶頸可能位於反應決策階段與反應產生階段。

Pashler 等人 (Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989; Pashler, 1993; Pashler, 1994) 是以 PRP 實驗典範操弄雙重作業間之干擾，來驗證中央瓶頸的位置是位於反應決策階段；而 Kinsbourne (1978) 等人則是認為兩反應越相似，則瓶頸越可

- textual interference and facilitation. *Perception and Psychophysics*, 41, 355-366.
- La Heij, W. (1988). Components of Stroop-like interference in picture naming. *Memory and Cognition*, 16, 400-410.
- LeBerge, D., & Samuels, S. J. (1974). Toward a theory of automatic information processing. *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.
- Logan, G. D. (1980). Attention and automaticity in Stroop and priming tasks: Theory and data. *Cognitive Psychology*, 12, 523-553.
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1979). When it helps to be misled: Facilitative effects of increasing the frequency of conflicting stimuli in a Stroop-like task. *Memory and Cognition*, 7, 166-174.
- Logan, G. D., & Zbrodoff, N. J. (1982). Constraints on strategy construction in a speeded discrimination task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 502-520.
- MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- MacLeod, C. M., & Dunbar, K. (1988). Training and Stroop-like interference: Evidence for a continuum of automaticity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 126-135.
- McCann, R. S., & Johnston, J. C. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 471-484.
- McClain, L. (1983). Effects of response type and set size on Stroop color-word performance. *Perceptual and Motor Skills*, 56, 735-743.
- McClelland, J. L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of processes in cascade. *Psychological Review*, 86, 287-330.
- McLeod, P., & Mierop, J. (1979). How to reduce manual response interference in the multiple task environment. *Ergonomics*, 22, 469-475.
- Morton, J. (1969). Categories of interference: Verbal mediation and conflict in card sorting. *British Journal of Psychology*, 60, 329-346.
- Morton, J., & Chambers, S. M. (1973). Selective attention to words and colors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 25, 387-397.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1985). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation*, Vol. 4. New York: Plenum Press.
- Pashler, H. (1984). Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 358-377.
- Pashler, H., & Johnston, J. C. (1989). Interference between temporally overlapping tasks: Chronometric evidence for central postponement with or without response grouping. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41A, 19-45.
- Pashler, H. (1993). Dual-task interference and elementary mental mechanisms. In D. E. Meyer & Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (pp. 245-264). Cambridge, MA: MIT Press.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.
- Pashler, H. (1999). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Peterson, J., Lanier, L. H., & Walker, H. M. (1925). Comparisons of white and Negro children in certain ingenuity and speed tests. *Journal of Comparative Psychology*, 22, 271-283.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Proctor, R. W., Lu, C. H., Wang, H. F., & Dutta, A. (1995). Activation of response codes by relevant and irrelevant stimulus information. *Acta Psychologica*, 90(1-3), 275-286.
- Redding, G. M., & Gerjets, D. A. (1977). Stroop effect: Interference and facilitation with verbal and manual responses. *Perceptual and Motor Skills*, 45, 11-17.
- Ruthruff, E., Pashler, H. E., & Klaassen, A. (2001). Processing bottlenecks in dual-task performance: Structural limitation or strategic postponement. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(1), 73-80.
- Schweickert, R. (1978). A critical path generaliza-

- tion of the additive factor method: Analysis of a Stroop task. *Journal of Mathematical Psychology*, 18, 105-139.
- Schweickert, R. (1980). Critical-path scheduling of mental processes in dual tasks. *Science*, 209, 704-706.
- Schweickert, R. (1983). Latent network theory: Scheduling of processes in sentence verification and the Stroop effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 353-383.
- Schweickert, R., & Townsend, J. T. (1989). A Trichotomy: Interactions of factors prolonging sequential and concurrent mental processes in stochastic discrete mental (PERT) networks. *Journal of Mathematical Psychology*, 33, 328-347.
- Simon, J. R., & Sudalaimuthu, P. (1979). Effects of S-R mapping and response modality on performance on a Stroop task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 176-187.
- Simon, J. R., Sly, P. E., & Vilapakkam, S. (1981). Effect of compatibility of S-R mapping on reactions toward the stimulus source. *Acta Psychologica*, 47(1), 63-81.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' Method. In W. G. Koster (Ed.), *Attention and Performance II*, (pp. 276-315). Amsterdam: Elsevier-North Holland.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Taha, H. A. (1992). *Operation research: An introduction*, New York: Macmillan.
- Telford, C. W. (1931) The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 1475-1467.
- Welford, A. T. (1952). The "psychological refractory period" and the timing of high speed performance-A review and a theory. *British Journal of Psychology*, 43, 2-19.
- Welford, A. T. (1980). The single-channel operation in the brain. *Acta Psychologica*, 27, 5-22.
- Umiltà, C., & Nicoletti, R. (1990). Spatial Stimulus-Response Compatibility. In R. W. Proctor, & T. G. Reeve, (Eds.), *Stimulus-response compatibility*. (pp. 89-116). Elsevier Science Publishing Company, INC.