

應用灰色系統理論對李福恩十項全能成績 的因素分析與成績預測之探討

莊 艷 惠

摘 要

本研究以李福恩民國70年至79年，十項全能各年度最佳成績為研究樣本，應用灰色系統理論，以探討其總分的影響因素；並以其過去十年來各項成績的發展動態為依據，預測其未來五年各項成績的發展趨勢，做為各階段訓練之目標，借以提昇其成績表現，研究所得結果總結如後：

一、結論：

(一)就十項總分與各單項成績的灰色關聯分析而言：

通過關聯分析，得知對李福恩十項總分影響的各單項以 (X_1) 100公尺影響最大；其次為 (X_5) 400公尺；其餘順序是 (X_3) 鉛球； (X_6) 110中欄； (X_2) 跳遠； (X_9) 標槍； (X_4) 跳高； (X_7) 鐵餅； (X_{10}) 1500公尺； (X_8) 撐竿跳高。

(二)就未來五年各項成績預測而言：

由各項成績 $G_m(1,1)$ 建模經殘差修正後，未來五年各項成績預測結果如下：

李福思未來五年十項成績及 $G_m(1,1)$ 模型

成績 項目名稱	預測 年份	80年	81年	82年	83年	84年	$G_m(1,1)$ 模 型	模型等級
總分	7726	7760	7954	7827	7702		$\hat{x}(t+1) = 1706008.7617 e + 0.0043t - 1699246.7617$	二級模型
100公尺	880(10秒92)	885(10秒89)	890(10秒87)	895(10秒85)	900(10秒83)		$\hat{x}(t+1) = 1553349e + 0.0054t - 152563.2500$	三級模型
跳遠	883(7公尺29)	876(7公尺26)	918(7公尺43)	861(7公尺19)	803(6公尺95)		$\hat{x}(t+1) = 111277.1224e - 0.0086t + 112141.1224$	三級模型
鉛球	657(12公尺83)	656(12公尺81)	654(12公尺78)	653(12公尺76)	651(12公尺73)		$\hat{x}(t+1) = 278326.4368 e - 0.0024t + 278952.4368$	三級模型
跳高	835(2公尺03)	828(2公尺02)	821(2公尺01)	813(2公尺01)	806(2公尺)		$\hat{x}(t+1) = 102908.4717 e - 0.0088t + 103842.4717$	三級模型
400公尺	795(50秒43)	852(49秒20)	831(49秒65)	810(50秒11)	867(48秒88)		$\hat{x}(t+1) = 130078.5500 e + 0.0060t - 129390.5500$	一級模型
110中欄	863(14秒89)	906(14秒54)	880(14秒75)	854(14秒96)	932(14秒33)		$\hat{x}(t+1) = 80345.8582 e + 0.0098t - 79628.8582$	三級模型
鐵餅	682(40公尺84)	612(37公尺38)	659(39公尺72)	706(42公尺02)	687(41公尺08)		$\hat{x}(t+1) = 46056.1993 e + 0.0124t - 45566.1993$	二級模型
撐竿跳高	966(5公尺18)	985(5公尺24)	992(5公尺26)	1011(5公尺31)	1057(5公尺46)		$\hat{x}(t+1) = 15395.3346 e + 0.0249t - 14664.3346$	二級模型
標槍	601(50公尺82)	597(50公尺54)	593(50公尺28)	589(50公尺)	585(49公尺74)		$\hat{x}(t+1) = 96720.2652 e - 0.0060t + 97283.2652$	三級模型
1500公尺	576(4分57秒27)	595(4分54秒04)	575(4分57秒44)	531(5分05秒13)	511(5分08秒73)		$\hat{x}(t+1) = -40953.0956 e - 0.0165t + 41590.0956$	三級模型

二、建議：

(一)由以上灰色關聯分析與預測的結果，可以清楚的了解各項目成績在李福恩十項全能總分中所佔的地位，及其未來發展的目標，所屬教練可依關聯分析結果，在年度訓練課程安排上，依各項目所佔地位之高低，做有計劃的突破或修正，並給予明確可行的量化目標，必能激起李福恩突破的信心，如此將有助於成績的提昇。

(二)由 $G_m(1, 1)$ 模型發展指數 (e) 發現李福恩在跳遠、鉛球、跳高、標槍、1500 公尺等五個項目，在過去十年的訓練動態發展，有逐漸退步的趨勢，此種異常現象值得李福恩及其指導教練深入探討，並在訓練上予以修正。

三、灰色系統理論具有累加性質，在訓練過程中如能有計劃的按週、月、季等階段收集各項訓練信息，以瞭解掌握各階段訓練變化情形，並加以修正控制，則訓練必能朝向「最佳化」的目標邁進。

應用灰色系統理論對李福恩十項全能成績 的因素分析與成績預測之探討

壹、緒論

莊 艷 惠

一、研究動機

三十多年前，當體育科學無論從理論上還是從實踐上都還遠遠沒有獲得像今天這樣的發展時，誰練得越多，誰就能在比賽中獲勝，而現在僅僅是進行訓練是不夠了。不少運動員，儘管他們也像世界優秀運動員一樣多年地從事艱苦的訓練，經歷了無數次精疲力竭的競賽，但他們却無法取得與世界優秀運動員相同的成績。這就是說，在現代運動訓練中，教練員與運動員不僅僅是使用身體，同時還要使用智慧和科學。（註一）

隨著系統論、控制論和信息論的深入運用，給運動訓練帶來了重大變革。人們開始採用系統工程方法，從總體上來研究和駕馭訓練。即把從選材開始到創造世界紀錄的整個過程看成是一可控制的系統，借助以微電子和電腦為核心的各種現代技術手段，綜合利用體育科學各學科的研究成果，實現「最佳化」、「模式化」、「信息化」和「定量化」的訓練，從而開創了一條既快又省的訓練新路。（註二）

運動訓練的基本任務是充分地挖掘運動員的競技能力，最大限度地提高其競技能力。任何一個訓練過程開始時，作為運動訓練的主體，也是訓練活動對象的運動員的競技能力，總是已經處於某一特定的狀態之中，而通過我們所組織的運動訓練過程，使運動員的競技能力發展到另一個新的水準，即實現競技能力狀態的轉移。為了實現這一目標，就必須正確地分析運動訓練過程的基本結構，必須深刻地認識運動訓練過程的基本特性。

一個完整的運動訓練過程，應該包括運動員起始狀態的診斷、訓練目標的建立、訓練計劃的製訂、訓練活動的實施、訓練過程中的檢查評定以及訓練目標的實現（如圖 1～1），這樣六個基本環節。而當運動訓練過程的控制者對檢查評定的結果不滿意時，還需提出調節期望，發出修正指令，並回饋給相應的環節，使運動訓練過程的進行更加接近理想的狀態，直到通過檢查評定得到令人滿意的結果，最終導致訓練目標的實現。（註三）

從以上運動訓練發展的趨勢與過程中吾人可以清楚的理解，對一個運動員（隊）即將實施嚴格的施訓前，必須對該運動員的現狀有充分的瞭解與掌握，否則

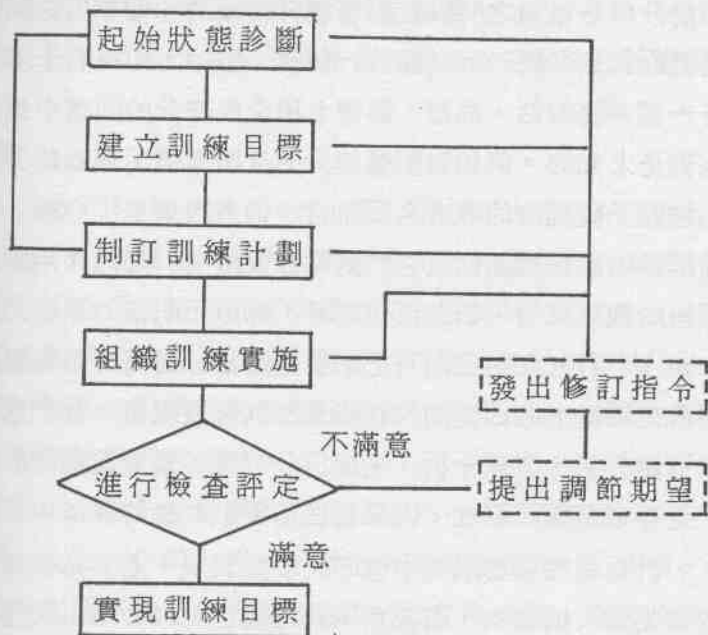


圖 1-1 運動訓練過程的基本結構 (摘自田麥久, 1988)

所下的處方非但無益，甚至有害；除了對運動員充分瞭解與掌握外，必須清楚的給予各階段訓練目標之設定，而目標設定，是否適宜則是實現最佳化控制的前提條件。目標訂得過高，實現目標的可能性就會降低，從而使運動員失去實現這一目標的信心、熱情和動力。另一方面如果目標訂得太低，無須努力就能達到，那麼最終達到的目標就不是系統所要達到的最佳程度。要實現最佳化的目標離不開量化的目標系統和評價系統的建立。運用系統科學方法論處理問題時，總是要儘量採用數學語言和工具，從而使問題得到量化的精確描述。(註四)但是要使用何種數學語言和工具?!來瞭解和掌握運動員，並給予精確的定量目標，實在值得從事科學訓練工作者深思與探討!

去年北京亞運期間，當我國唯一奪金希望的鐵人李福恩，在撐竿跳項目失敗後，含著淚眼出現在電視螢光幕前，向國人說出抱歉的話時，身為體育從業人員的我，並與李福恩有同窗之誼，內心之痛實無以言論！運動競技是最殘酷、無情的，勝者為王，敗者為寇，今日在運動的競技場上，我國確實是失敗了，然而卻不能因此而氣餒，所謂他山之石，可以攻錯！為何大陸可以在訓練上有此之成就，其運動訓練過程中，所採用的科學定量方法為何？遂引起筆者深入探討之動機，並嚐試著以李福恩為研究對象，加以客觀的分析，並提供其精確的訓練定量目標，庶幾對其成績的提昇有所助益是盼！

二、研究目的

男子十項全能運動被人譽為「鐵人」項目，其比賽是以十個單項得分的總和

決定名次。而總分與各單項之間以及影響總分成績的各個單項之間是相互促進，相互制約，它們既對立又統一，共處於一個統一體中，如果將十項全能總分的提高過程看成是一個系統的話，那麼，影響十項全能總分的因素中部份因素是已知的，而部份因素是未知的。例如對影響總分的身體素質，運動能力這些因素是明確的，用灰色控制系統理論的專有名詞而言，這些因素是「白數」，然而，各單項在全能運動訓練中應佔的地位及它們對總分成績所引起的作用尚屬未知，吾人以灰色系統理論的觀點來看，信息部份明確，部份不明確的系統乃灰色系統（Grey system）（註五），因而可把十項全能總分提高的過程看成是一個灰色系統。爲了弄清楚系統中各因素的內在聯繫及其發展規律，我們常用的定量方法是數理統計如迴歸分析、方差分析、主成份分析等，儘管這些方法解決了許多實際問題，但也還存在某種局限性，因爲它往往要求大量的樣本，要求典型的概率分佈（註六），然而這在運動訓練中有時又很難實現，尤其是優秀運動員的研究，往往難以取得足夠大的樣本，而灰色系統理論在1982年由大陸學者鄧聚龍教授在國際經濟學會議上發表提出了一種新的分析方法，即系統關聯度分析，其根據因素間發展態勢的相似或相異程度來衡量因素間的關聯度，這種方法對樣本的多少幾乎沒有要求（ N 不少於3），也不需要典型的分佈規律，計算量少，且不致於出現關聯度的量化結果與定性分析不一致的情況；在系統模型的建立方面亦有獨到之處，它解決了一向認爲不能解決的連續微分方程的建模問題。對於任一隨機量值都看作是在一定範圍，一定時區內變化的灰色量，在處理上，通過原始數據的整理運算來尋找規律，這是一種就數找數的現實規律，即便是沒有明顯規律的數據，也可被生成有規律的數據，從而建立微分方程。（註七）由於這理論的提出恰好克服了上述數理統計方法的不足，本文嚐試應用灰色系統理論的方法其目的有二：

- (一)用關聯度分析法探討各單項與總分之間的相互關係及它們在全能運動訓練中應佔的地位，對於科學安排、控制訓練全過程及儘快提昇其十項全能成績提供量化的參考。
- (二)以李福恩過去十年的成績做爲依據，應用 $G_m(1, 1)$ 建模的方法預測其未來五年各單項與總分之成績，做爲其未來各階段訓練目標之精確定量描述，以供訓練過程中的檢查評定，庶幾有益於訓練目標的實現。

三、研究範圍

本研究收集了李福恩自民國70年至79年十項全能各年度中最好成績，按1985年公佈的男女全能運動競賽計分表計分（註八），且依時間順序，列成動態數列見表一，以灰色系統關聯理論來探討各單項成績與總分之間的相互關係，並應用 $G_m(1, 1)$ 建模的方法來預測其未來五年各單項與總分成績，做爲李福恩未

來各階訓練目標之定量描述，為本研究之範圍。

備註：本研究之資料來源由全國田徑協會，記錄組組長陳和德老師提供，在此致謝。

四、名詞解釋

(一)信息論：信息 (information) 是一個古老的概念。但對什麼叫信息，以及信息的本質，一直沒有一個明確的概念。有人認為所謂信息，最簡單的定義是「消息」或「生活主體同外部客體之間有關情況的消息。(註九)信息論創始人，美國數學家申農在1948年發表的「通訊的數學理論」中把信息定義為是組織程度，能使物質系統的有序性增強，減少破壞、混亂和噪音。但這種解釋是一種比較原始簡單的解釋。

從信息的來源是客觀事物的觀點來說，信息是客觀事物狀態和特徵的反映是自然界，人類社會和人類思維活動中普遍存在的一切物質和事物的屬性。(註十)由於客觀事物是在不斷地運動和動態變化著，因而狀態也是隨之而不斷改變，新的狀態在不斷產生，並取代舊的狀態，於是就不斷產生有關事物狀態新變化的信息。通過以上的分析可以看出，信息必須具有反映客觀事物狀態變化的新情況、新內容、新消息的特徵，而且必須是可以傳遞的。

由此看來，狹義的講，信息是客觀事物狀態屬性的本質內容；消息、情報、指令、數據、信號都是反映信息的形式；而聲音、語言、文字、電磁波、顏色、符號、圖像乃至於教練員的示範動作等，則是傳遞信息的形式。信息具有媒介、放大、預測和調控四個基本的作用。(註十一)本研究以李福恩過去十年的十項成績表現為信息加以分析、預測。

(二)系統論 (System)：系統一詞來自古希臘哲學上一個古老的命題，有「共同」和「給予位置」的含義，是有組織或被組織化了的整體。目前已發展把複雜的研究對象，即由相互作用和相互依賴的若干組成部分，結合成具有一定功能的有機整體，稱為系統，且此系統本身又是它所從屬的一個更大系統的組成部分。其基本特徵有四：(如圖1~2所示)

1. 集合性：即系統須是兩個以上元素組成的整體。
2. 相關性：即系統的各元素不僅都為完成某種任務而存在，而且任一元素變化也會影響其他元素完成任務，具有互相依賴的特定關係。
3. 目的性：即系統都以完成某種功能、作用為目的，有確切的目標。
4. 動態性：即系統不僅只作為狀態而存在，而且具有時間性程序，系統存在于規律地運動、變化和發展中，系統的集合性、相關性、目的性和動態性四個特徵，構成了系統的全過程，而物質流、能量流、信息流是系統內部與外部聯繫的內容和實質，是系統存在和演變的前提條件(註十二)。本研究以李

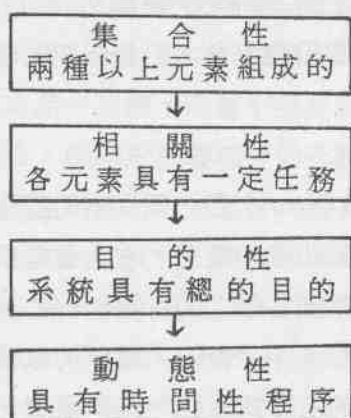


圖 1～2 系統的基本特徵（摘自黃金枝 1990）

福恩十項全能成績當做一個系統加以探討。

(三)控制論 (Cybernetics) 是在 20 世紀 40 年代產生的一門新學科。1948 年維納 (Weiner) 在美國發表了「控制論」一書；標誌了控制論這門新學科的誕生，1951 年在巴黎舉行了第一屆國際會議，確認了控制論是一門新興的學科。

控制是控制主體 (司控系統) 對控制對象 (受控系統) 的有目的影響。其目的是為了保持事物狀態的穩定性或促進事物由一種狀態向另一種狀態轉換。

控制最基本的特徵是目的性，其目的不僅表現同思維直接有關的願望，而且表現在生物個體、機器裝置、人類集體的各種行為中；控制的第二個特徵是目的和手段的統一，控制一方面是司控系統向受控系統發出信息流，另一方面又是司控系統以直接或間接形式向受控系統發出物質流和能量流，信息攜帶著目的、物質、能量提供供控制的基礎。(註十三)運動訓練控制，則是指在科學理論指導下，使訓練和比賽成為最佳狀態的工作實體，使運動員的競技能力產生有利於訓練水準進一步提高的變化，以達到比賽中表現優異成績的目的。

體育運動控制的表現是非常廣泛的。教練員在訓練和比賽中的組織、指導和指揮；體育教師在教學過程中的講解、組織和輔導、練習者在練習中對自己運動行為的決策和調節等，都可以看作是一個控制過程。

(四)灰色系統理論 (Grey System)：

控制論學者艾什比用黑箱 (Black Box) 形容內部信息缺乏的對象和系統，為此，我們用「黑」表示信息缺乏，「白」表示信息完全。信息不充分、不完全稱為「灰」。信息不完全的系統，稱為灰色系統或簡稱灰系統。信息不完全一般指：

1. 系統因素不完全明確。

2. 因素關係不完全清楚。
3. 系統結構不完全知道。
4. 系統的作用原理不完全知道。

因此，因素明確、關係清楚、結構知道、作用原理明瞭的系統是「白色」系統即統計系統。

信息不完全，是灰色系統的特徵，信息不完全意味著數據有限。因此信息不完全的理論，也就是少數據的分析研究理論，少數據中，要求包含現實信息。由包含現實信息的少數據陳列所表現的規律，稱現實規律。所以，在使用上灰色系統理論與數理統計方法的區別在於：前者致力於現實規律的探討，後者致力於統計歷史規律的研究。（註十四）

自從1982年鄧聚龍教授在國際上首先提出這個理論以來，大陸先後召開了多次全國性的學術討論會、出版發行了十來本專著和數以百計的研究論文，並成立了全國性的武漢灰色系統理論研究會，同時獲得國內外著名學者的贊賞與肯定。（註十五）

四 灰色關聯分析

所謂關聯分析，就是系統因素分析。它回答的問題是，某個包含多種因素的系統中，那些因素是主要的，那些是次要的，那些因素影響大，那些影響小，那些因素是明顯的，那些是潛在的，那些需要發展，那些需要抑制。通過灰色系統動態過程（即系統歷年有關統計數據）發展態勢的量化比較分析，把系統有關因素之間的各種關係，展現在人們面前，為系統預測、決策、控制提供有用信息和比較可靠的依據。由於這種方法能使灰色系統各因素之間的「灰」關係「白」化（清晰化），所以把它稱為灰色關聯分析，簡稱關聯分析。（註十六）

因素分析的基本方法過去採用的主要是統計的方法。如回歸分析（包括綫性回歸、多因素回歸、單因素回歸、逐步回歸、非逐步回歸）。回歸分析雖然是一種較通用的方法，但大都只用於少因素的、綫性的，對於多因素的、非綫性的則難以處理。一般認為回歸分析有下述不足之處：

1. 要求大量數據，數據量少難以找到統計規律。
2. 要求分布是綫性的，或者是指數的，或者是對數的。由於綫性回歸較易計算，人們多希望分布是綫性的，對於單因素（少因素）的情況，也允許出現指數或對數的分佈，但總的來說，要求分布是典型的，而不能雜亂無章的。
3. 計算工作量大，單因素，或兩個因素的綫性回歸，計算工作量還不算大，但兩個以上，計算工作量就會大到不便於手算的地步，得求助於計算機。
4. 有可能出現反常現象，因為回歸分析的計算主要是數據幕和四則運算，即平

方和、全和等，運算過程由於計算誤差容易導致計算結果出現極性差錯，從而使正相關變為負相關，以致正確現象受到歪曲和顛倒。

灰色系統理論考慮到上述種種弊端和不足，採用關聯分析的方法來作系統分析，是分析系統中各因素關聯程度的方法，或者說是對系統動態過程發展態勢的量化比較分析的方法。其基本思路是根據系統動態過程發展態勢，即系統歷年有關於統計數據的幾何關係及其相似程度，來判斷其關聯程度，這種方法不同於其他因素分析，其主要特點是：

1. 對數據要求不那麼嚴，不像統計分析那樣，要求大量數據；也不要求數據有典型分佈規律。
 2. 計算方法簡便，即使是多因素比較分析，計算工作量也不像統計分析那樣複雜，有計算機當然好，沒有條件手算也可以完成。
 3. 這種因素分析的比較，實質上是幾種曲綫間幾何形狀的分析比較，即認為幾何形狀越接近，則發展變化態勢越接近，關聯程度越大，因此按這種觀點作因素分析，至少不會出現異常的；將正相關當作負相關的情況。（註十七）
- 本研究以李福恩過去十年來十項總分做為參考函數，單項成績做為比較函數，將參考函數與比較函數在直角坐標上做動態曲綫圖，並加以比較，以瞭解比較函數與參考函數之間的關聯。

(六) 灰色預測

所謂預測，就是根據客觀事物的過去和現在的發展規律，借助於科學的方法和先進的技術手段，對其未來的發展趨勢和狀況進行描述和分析，並形成科學的假設和判斷。對於一個未出現的，沒有誕生的未來系統，必然是既有已知信息，又有未知或未確知的信息，且處於連續變化的動態之中。所以說「預測未來」本質上是個灰色問題。

灰色預測，是指採用 $G_m(1, 1)$ 模型對系統行為特徵值的發展變化進行的預測；對行為特徵值中的異常值發生的時刻進行估計；對在特定時區發生的事件，作未來時間分佈的計算；對雜亂波形的未來態勢與波形所作的整體研究；對系統多個因子的動態關聯，進行 $G_m(1, 1)$ 與 $G_m(1, N)$ 的配合研究。基於系統建立的 G_m 模型的預測，稱為灰色預測。灰色系統建立的 $G_m(n, h)$ 模型，是微分方程的時間連續函數模型，括號中的 n 表示微分方程的階數， h 表示變量的個數。它可以揭示和描述事物發展的連續動態過程和本質特徵。而動態是世界上萬事萬物的基本特徵，也是社會經濟系統的基本特徵，因此灰色預測適用範圍很廣。

在短短的幾年裏，灰色預測方法已在很多領域中得到應用如經濟、農業、醫療、生態、氣象、歷史、法政、文化、教育、出版、運動訓練、交通、運輸

、管理、工業控制等幾十個領域，並取得了較好的效果，引起科學界越來越多的關注和探索。概括起來，灰色預測有以下特點：

1. 灰色預測需要數據量少。一般情況下，不需要大量的歷史數據，而是根據實際情況選擇適量的數據，進行累加生成，將雜亂無章的數據理出一定的規律來，甚至只用四個數據就可建模，進行預測，且能得到較滿意的結果。
2. 灰色預測方法計算簡單。雖然 Gm 模型建立在較深的高等數學基礎上，但它的計算步驟不繁瑣，多數可用手工完成，特別是借助於計算機，應用已有的程序，更為迅速。
3. 一般情況下，灰色預測不需要太多的關聯因素，因而資料比較容易取得，且工作量大大減少。
4. 灰色預測既可用於近期、短期，也可用於中長期預測。
5. 灰色預測精度高，比其他方法的模型計算誤差較小。（註十八）

灰色預測有五種，即

- (1) 數列預測：對系統行爲特徵值大小的發展變化進行預測，稱爲系統行爲數據列的變化預測簡稱數列預測。
- (2) 災變預測：對系統行爲特徵量超出某個閾值（界限值）的異常值將在何時再出現的預測稱爲災變預測。
- (3) 季節災變預測：若行爲特徵量與異常值的出現，或者某種事件的發生是在一年中某特定時區，則這種預測稱爲季節災變預測。
- (4) 拓撲預測：將現有數據作成曲綫，在曲綫上按某個定值找許多發生的時刻數據，然後用時刻數據分別建立 $Gm(1, 1)$ 模型，以預測這些定值未來出現的時刻，將各個未來發生的定值聯成曲綫，以了解整個數據曲綫未來的發展變化，稱爲拓撲預測。
- (5) 系統預測：採用 $Gm(1, 1)$ 和 $Gm(1, N)$ 相結合的方式，對系統中多個變量同時進行預測，以了解變量間發展變化的相互協調關係，稱爲系統預測。（註十九）

本研究以李福恩十年的全能成績，應用數列預測的方法，對其各項成績未來發展變化進行預測，做爲其訓練的目標。

貳、研究方法與步驟

一、研究對象

以我國田徑十項全能運動員李福恩爲本研究對象。

二、資料來源

本文所示從民國70年起至79年，李福恩十項全能各年度最佳成績原始資料，係由中華民國田徑協會記錄組組長陳和德老師所提供。（附錄一）

三、資料處理

將民國70年～79年的年度最佳成績按1985年國際田徑總會所公佈的男女全能運動競賽計分表計分，且依據時間順序列成動態數列，見表一。將所得資料整理後，利用Cannon BX-10 型程式計算機進行統計分析工作，處理步驟有三：

- (一)、以灰色關聯分析（註美）探討李福恩各年度十項總分與十個單項成績之間的動態發展關聯，以了解各單項在李福恩全能運動訓練中應佔的地位及它們對總分成績所起的作用。
- (二)、各項成績（含總分）未來五年的預測，以 $G_m(1, 1)$ 數列預測的方法來求各項成績預測模型值。（註美）
- (三)、各項成績預測模型值經後驗差檢驗如精確度不高時，須進行殘差模型修正，（註美），以至模型值能符合及格標準後，才作爲李福恩各階訓練目標值。

參、結果與討論

一、十項總分與十個單項成績的灰色關聯分析結果與討論

關聯分析是對灰色系統因素之間的發展動態進行定量的比較分析。本徵性灰色系統的行爲特徵，是用時間數列表示的，時間數列稱爲離散函數。關聯分析的幾何意義是將參考函數稱爲母序列，比較函數稱爲子序列，將母序列與子序列在直角坐標平面上作動態曲綫圖，凡是子序列幾何形狀與母序列幾何形狀越接近者其關聯度就越大，關聯度亦指函數相似程度，也是離散函數接近的測度。（註弄）

本研究以總分爲參考函數 $X_0(K)$ ，十個單項爲比較函數：設 100 公尺 $X_1(K)$ ；跳遠 $X_2(K)$ ；鉛球 $X_3(K)$ ；跳高 $X_4(K)$ ；400 公尺 $X_5(K)$ ；110 中欄 $X_6(K)$ ；鐵餅 $X_7(K)$ ；撐竿跳 $X_8(K)$ ；標槍 $X_9(K)$ ；1500 公尺 $X_{10}(K)$ ，依關聯分析之方法先求關聯係數，再根據係數值求關聯度，其步驟如下（電腦程式如附錄二）：

(一)、各年成績依據時間順序列成動態數列。

本研究之原始資料依 1985 年國際田協所公佈之男女全能運動競賽計分表換算成得分，並依時間順序列成動態數列見表一。

表一 李福恩 70 ~ 79 年十項全能最佳成績數列及平均成績表

	1(70年)	2(71年)	3(72年)	4(73年)	5(74年)	6(75年)	7(76年)	8(77年)	9(78年)	10(79年)	平均數
$X_0(k)$	6762.000	7289.000	7608.000	7697.000	7553.000	7151.000	7642.000	7739.000	7703.000	7667.000	7481.100
$X_1(k)$	786.000	808.000	825.000	890.000	883.000	808.000	863.000	872.000	861.000	865.000	846.100
$X_2(k)$	864.000	893.000	972.000	1025.000	950.000	888.000	878.000	900.000	864.000	935.000	916.900
$X_3(k)$	626.000	670.000	697.000	689.000	662.000	603.000	662.000	653.000	680.000	677.000	661.900
$X_4(k)$	934.000	906.000	896.000	944.000	859.000	813.000	850.000	878.000	878.000	840.000	879.900
$X_5(k)$	688.000	736.000	813.000	796.000	805.000	785.000	817.000	813.000	833.000	782.000	786.800
$X_6(k)$	717.000	809.000	839.000	780.000	778.000	785.000	831.000	873.000	846.000	863.000	812.100
$X_7(k)$	490.000	604.000	514.000	621.000	626.000	544.000	638.000	664.000	626.000	609.000	593.600
$X_8(k)$	457.000	535.000	731.000	731.000	731.000	731.000	819.000	849.000	910.000	910.000	740.400
$X_9(k)$	563.000	641.000	641.000	611.000	641.000	607.000	592.000	664.000	605.000	592.000	615.700
$X_{10}(k)$	637.000	687.000	680.000	610.000	618.000	587.000	692.000	573.000	600.000	594.000	627.800

(二)、標準化(無量綱化)：

由於系統中各元素的計量單位不同，所以數據量綱也不一致，如百公尺以秒計，跳遠以米測度，不同量綱、之間不便於比較，或者在比較時難以得到正確的結論，因此，在進行灰色關聯分析時，一般都要進行標準化的數據處理，本研究以下列公式來處理原始數據使其標準化，

$$X_i = \frac{\bar{X}_i}{X_i(K)} \quad (\text{徑賽})$$

$$X_i = \frac{X_i(K)}{\bar{X}_i} \quad (\text{田賽})$$

$$i = 0, 1, \dots, n$$

$$K = 1, 2, \dots, m$$

將表一數據標準化見表二。

表二 標準化數列表

序數K 數列名稱	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X0(K)	0.904	0.974	1.017	1.029	1.010	0.956	1.022	1.034	1.030	1.025
X1(K)	0.929	0.955	0.975	1.052	1.044	0.955	1.020	1.031	1.018	1.022
X2(K)	0.942	0.974	1.060	1.118	1.036	0.968	0.958	0.982	0.942	1.020
X3(K)	0.946	1.012	1.053	1.041	1.000	0.911	1.000	0.987	1.027	1.023
X4(K)	1.062	1.030	1.018	1.073	0.976	0.924	0.966	0.998	0.998	0.955
X5(K)	0.874	0.935	1.033	1.012	1.023	0.998	1.038	1.033	1.059	0.994
X6(K)	0.883	0.996	1.033	0.960	0.958	0.967	1.023	1.075	1.042	1.063
X7(K)	0.825	1.018	0.866	1.046	1.055	0.916	1.075	1.119	1.055	1.026
X8(K)	0.617	0.723	0.987	0.987	0.987	0.987	1.106	1.147	1.229	1.229
X9(K)	0.914	1.041	1.041	0.992	1.041	0.986	0.962	1.078	0.983	0.962
X10(K)	1.015	1.094	1.083	0.972	0.984	0.935	1.102	0.913	0.956	0.946

三、列出對應差數列表見表三

表三 對應差數列表

差式 \ 序數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	min _k	max _k
$ x_0(k) - x_1(k) $	0.025	0.019	0.042	0.023	0.034	0.001	0.002	0.004	0.012	0.003	0.00	0.04
$ x_0(k) - x_2(k) $	0.038	0.000	0.043	0.089	0.026	0.013	0.064	0.053	0.087	0.005	0.00	0.09
$ x_0(k) - x_3(k) $	0.042	0.038	0.036	0.012	0.009	0.045	0.021	0.048	0.002	0.002	0.00	0.05
$ x_0(k) - x_4(k) $	0.158	0.055	0.001	0.044	0.033	0.032	0.055	0.037	0.032	0.070	0.00	0.16
$ x_0(k) - x_5(k) $	0.029	0.039	0.016	0.017	0.014	0.042	0.017	0.001	0.029	0.031	0.00	0.04
$ x_0(k) - x_6(k) $	0.021	0.022	0.016	0.068	0.052	0.011	0.002	0.041	0.012	0.038	0.00	0.07
$ x_0(k) - x_7(k) $	0.078	0.043	0.151	0.017	0.045	0.039	0.053	0.084	0.025	0.001	0.00	0.15
$ x_0(k) - x_8(k) $	0.287	0.252	0.030	0.042	0.022	0.031	0.085	0.112	0.199	0.204	0.02	0.29
$ x_0(k) - x_9(k) $	0.011	0.067	0.024	0.036	0.031	0.030	0.060	0.044	0.047	0.063	0.01	0.07
$ x_0(k) - x_{10}(k) $	0.111	0.120	0.066	0.057	0.025	0.021	0.081	0.122	0.074	0.079	0.02	0.12

由表末尾兩列得到：

$$\min_i \min_k |X_0(K) - X_i(K)| = 0.00$$

$$\max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)| = 0.29$$

四、求關聯係數

關聯程度，實質上是曲綫間幾何形狀的差別。因此區綫間差值大小，可以作為關聯程度的衡量尺度。對於一個參考序列 X_0 ，有若干個比較序列 X_1, X_2, \dots, X_n 。各比較序列（即比較曲綫）與參考序列（即參考曲綫）在各個時刻（即曲綫的各點）的差，可用下列公式表示：

$$\xi_{0i}(K) = \frac{\min_i \min_k |X_0(K) - X_i(K)| + P \cdot \max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)|}{|X_0(K) - X_i(K)| + P \cdot \max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)|}$$

$\xi_{0i}(K)$ ：是第 K 個時刻比較序列 X_i 與參考序列 X_0 的相對差值，就稱為 X_i 對 X_0 在 K 時刻的關聯係數

$\min_i \min_k |X_0(K) - X_i(K)|$: 稱為兩個層次 (即兩級) 的最小差 :

第一層次的最小差為 : $\min_k |X_0(K) - X_i(K)| = \Delta 0i^{(\min)}$

即在參考序列 X_0 與第 i 個比較序列的絕對差值中, 選出一個最小的差值。

簡記為 $\Delta 0i^{(\min)}$

第二層次的最小差為 : $\min_i (\min_k |X_0(K) - X_i(K)|) = \Delta 0i^{(\min)}$

即在參考序列 X_0 與所有比較序列 X_i 的最小絕對差值中, 再選出一個最小差值, 簡記為 $\Delta \min$ 。

$\max_i \max_k |X_0(K) - X_i(K)|$: 為兩個層次 (兩級) 的最大差。

第一個層次的最大差為 : $\max_k |X_0(K) - X_i(K)| = \Delta 0i^{(\max)}$

即在參考序列 X_0 與第 i 個比較序列的絕對差值中, 選出一個最大差值, 簡記

為 $\Delta 0i^{(\max)}$

第二個層次 (即第二級) 的最大差為 : $\max_i (\max_k |X_0(K) - X_i(K)|)$

$= \Delta 0i^{(\max)}$ 簡記為 $\Delta \max$ 。

$|X_0(K) - X_i(K)| = \Delta 0i(K)$ 為參考序列 X_0 與各比較序列 X_i , 在第 K 個時刻的絕對差值, 簡記為 $\Delta 0i(K)$ 。

故關聯係數可簡化為 :

$$\xi 0i(K) = \frac{\Delta \min + P \cdot \Delta \max}{\Delta 0i(K) + P \cdot \Delta \max}$$

P 為分辨係數實際上是人為給定的 (定性分析的人為係數)。 $P \in [0, 1]$, 分辨係數非唯一, 可在 $0 \sim 1$ 之間取值, 一般為 0.5 或 1 。

本研究之 P 定為 0.5 故關聯係數之公式為 :

$$\xi 0i(K) = \frac{\Delta \min + 0.5 \Delta \max}{\Delta 0i(K) + 0.5 \Delta \max}$$

將表三中相應的數字和末尾兩列得出的數字依上式可求得關聯係數 :

表四 關聯係數表

序數 關聯係數 列名稱	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ξ_1	0.853	0.883	0.776	0.864	0.810	0.996	0.992	0.976	0.925	0.985
ξ_2	0.791	1.000	0.771	0.618	0.846	0.922	0.693	0.732	0.623	0.968
ξ_3	0.776	0.793	0.801	0.925	0.941	0.764	0.873	0.751	0.987	0.989
ξ_4	0.477	0.723	0.993	0.767	0.814	0.821	0.723	0.799	0.821	0.673
ξ_5	0.832	0.789	0.900	0.895	0.916	0.776	0.897	0.995	0.834	0.825
ξ_6	0.875	0.870	0.901	0.679	0.737	0.933	0.991	0.782	0.925	0.793
ξ_7	0.648	0.770	0.488	0.895	0.763	0.786	0.731	0.632	0.854	0.995
ξ_8	0.334	0.364	0.831	0.777	0.868	0.822	0.630	0.562	0.419	0.414
ξ_9	0.934	0.684	0.858	0.799	0.822	0.829	0.707	0.767	0.755	0.695
ξ_{10}	0.566	0.546	0.686	0.717	0.853	0.875	0.641	0.542	0.661	0.647

四、求關聯度

因為關聯係數是比較曲線與參考曲線在第K個時刻的相對差值，所以它的數不止一個，信息過於分散不便於從整體上進行比較。因此，就有必要將各個時刻的關聯係數集中為一個值，也就是求其平均值，作為關聯數量的表示。關聯度記為 r_{01} ，其公式為：

$$r_{01} = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^n \xi_0(K)$$

r_{01} 是比較曲線 X_1 對參考曲線 X_0 的關聯程度。

N 為比較序列的數據數。

將表四關聯係數代入上式即可求得比較數列 $X_1(K)$ 對參考數列 $X_0(K)$ 的關聯度。即得：

$$r_1 = 0.906225$$

$$r_2 = 0.796483$$

$$r_3 = 0.859858$$

$$r_4 = 0.761102$$

$$r_5 = 0.865843$$

$$r_6 = 0.848486$$

$$r_7 = 0.756314$$

$$r_8 = 0.602177$$

$$r_9 = 0.785127$$

$$r_{10} = 0.673414$$

(六)、排關聯序

當比較序列有 m 個時，相對的關聯度也有 m 個，按其值大小排列起來，即為關聯序。關聯度直接反映各個比較序列對於參考序列的優劣關係。由上述所得之關聯度按大小排列為：

- r_{10} 0.906225
- r_5 0.865843
- r_7 0.859858
- r_4 0.848486
- r_9 0.796483
- r_2 0.785127
- r_6 0.761102
- r_3 0.756314
- r_1 0.673414
- r_8 0.602177

即 $r_1 > r_5 > r_3 > r_6 > r_2 > r_9 > r_4 > r_7 > r_{10} > r_8$

通過關聯分析，得知對李福恩十項總分影響的項目中（ X_1 ）100 公尺是第一位，其次為（ X_5 ）400 公尺，其餘順序是（ X_3 ）鉛球；（ X_6 ）110 中欄；（ X_2 ）跳遠；（ X_9 ）標槍；（ X_4 ）跳高；（ X_7 ）鐵餅；（ X_{10} ）1500 公尺；（ X_8 ）撐竿跳高。

二、各項成績（含總分）未來五年的 $Gm(1, 1)$ 模型預測結果與討論

本研究以李福恩各項成績十年來的發展動態為基準，應用灰色數列預測之方法，建立各項成績的 $Gm(1, 1)$ 模型，以求得其未來五年各項成績預測值，並應用後驗差檢驗法，檢驗模型的精確度，如模型預測精度等級為不合格時，為提高預測值的精確度，並進行 $Gm(1, 1)$ 模型的殘差修正（模型建立的理論基礎如附錄三電腦程式如附錄四），（註 5）其結果如後：

(一)、未來五年總分的預測結果與討論

***** GM(1, 1) *****

M= 10

----- X0 (i , j) -----

6762.0000 7289.0000 7608.0000 7697.0000 7553.0000 7642.0000

7739.0000 7703.0000 7667.0000

----- $\hat{a}(i)$ -----

$\hat{a} = - 0.00435$

$\hat{b} = 7384.69860$

 $\hat{x}(t+1) = 1706008.7617e + 0.0043t - 1699246.7617$

表五 Gm (1 . 1) 總分成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預測值	x_0 原始值	e 誤差	q 百分誤差
$\hat{x}_0(1) = 7430.21902$	7289.00000	$e = -141.21902$	$q = -1.93743\%$
$\hat{x}_0(2) = 7462.58002$	7608.00000	$e = 145.41998$	$q = 1.91141\%$
$\hat{x}_0(3) = 7495.08197$	7697.00000	$e = 201.91803$	$q = 2.62333\%$
$\hat{x}_0(4) = 7527.72547$	7553.00000	$e = 25.27453$	$q = 0.33463\%$
$\hat{x}_0(5) = 7560.51115$	7151.00000	$e = -409.51115$	$q = -5.72663\%$
$\hat{x}_0(6) = 7593.43961$	7642.00000	$e = 48.56039$	$q = 0.63544\%$
$\hat{x}_0(7) = 7626.51149$	7739.00000	$e = 112.48851$	$q = 1.45353\%$
$\hat{x}_0(8) = 7659.72741$	7703.00000	$e = 43.27259$	$q = 0.56176\%$
$\hat{x}_0(9) = 7693.08800$	7667.00000	$e = -26.08800$	$q = -0.34026\%$

$C = 0.676142$

$P = 0.777778$

上述所得資料 $X_0 (i , j)$ 為十年來總分原始資料； \hat{a} , \hat{b} 為所得待定參數；
 $\hat{X} (t + 1) = 1706008.7617e^{0.0043t} - 1699246.7617$ 為總分預測模型； $\hat{x}_0(1) \dots$
 $\hat{x}_0(9)$ 為第二年 (民國71年) 起之總分預測值；(預測值以第一年為基準故不列表)
 ; x_0 為原始值； e 為預測值之誤差； q 為預測值的百分誤差； C 為後驗差比值； P
 為小誤差概率；由後驗差所得 C 值與 P 值對照附錄三之模型等級分類得知此模型之後
 驗差比值 (C 值) 不及格，故須進行殘差模型修正，其結果見表六。

表六 總分 Gm (1 , 1) 殘差修正後的預測值與誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	7289.000000	7430.219020	7270.219020	18.780980
3	7608.000000	7462.580023	7462.580023	145.419977
4	7697.000000	7495.081969	7655.081969	41.918031
5	7553.000000	7527.725471	7527.725471	25.274529
6	7151.000000	7560.511146	7400.511146	- 249.511146
7	7642.000000	7593.439613	7593.439613	48.560387
8	7739.000000	7626.511495	7786.511495	- 47.511495
9	7703.000000	7659.727415	7659.727415	43.272585
10	7667.000000	7693.088001	7533.088001	133.911999
11			7726.593883	
12			7760.245694	
13			7954.044070	
14			7827.989649	
15			7702.083071	

$C = 0.401548$

$P = 0.888889$

由表六中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值為 $C = 0.401548$ ； $P = 0.888889$ ，均達第二級模型合格標準，故其未來五年的總分預測值，由表六中得知未來第一年（80年）的目標應訂在7726分左右；第二年（81年）應在7760分；第三年（82）為7954分；第四年（83）為7827分；第五年（84年）為7702分。

由上述未來五年的成績預測值中，現年28歲的李福恩未來兩、三年是其成績發展的高峯，應努力突破8000分的瓶頸，並向亞洲8009分的紀錄邁進；否則邁入而立之年，成績將很難再有所突破！

(二)、未來五年 100 公尺成績的預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

M = 10

----- X0 (i , j) -----

786.0000 808.0000 825.0000 890.0000 883.0000 808.0000 863.0000
872.0000 861.0000 865.0000

----- $\hat{a}(i)$ -----

$\hat{a} = -0.00543$

$\hat{b} = 827.85798$

 $\hat{x}(t+1) = 153349.2500e + 0.0054t - 152563.2500$

表七 Gm(1, 1) 100 公尺成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差 值	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 834.38484$	808.00000	$e = -26.38484$	$q = -3.26545\%$
$\hat{x}_0(2) = 838.92480$	825.00000	$e = -13.92480$	$q = -1.68785\%$
$\hat{x}_0(3) = 843.48945$	890.00000	$e = 46.51055$	$q = 5.22590\%$
$\hat{x}_0(4) = 848.07894$	883.00000	$e = 34.92106$	$q = 3.95482\%$
$\hat{x}_0(5) = 852.69340$	808.00000	$e = -44.69340$	$q = -5.53136\%$
$\hat{x}_0(6) = 857.33297$	863.00000	$e = 5.66703$	$q = 0.65667\%$
$\hat{x}_0(7) = 861.99778$	872.00000	$e = 10.00222$	$q = 1.14704\%$
$\hat{x}_0(8) = 866.68798$	861.00000	$e = -5.68798$	$q = -0.66062\%$
$\hat{x}_0(9) = 871.40369$	865.00000	$e = -6.40369$	$q = -0.74031\%$

$C = 0.941416$

$P = 0.444444$

由表七中得知 C 值為 0.941 大於附錄三之第三級模型之 C 值 0.5 且 P 值 0.444444 小於 0.7 故得知所建立之 100 公尺 Gm(1, 1) 模型為不及格須進行殘差修正，其結果見表八。

表八 100 公尺 $G_m(1, 1)$ 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	808.000000	834.384844	804.384844	3.615156
3	825.000000	838.924795	838.924795	- 13.924795
4	890.000000	843.489449	873.489449	16.510551
5	883.000000	848.078938	848.078938	34.921062
6	808.000000	852.693400	822.693400	- 14.693400
7	863.000000	857.332969	857.332969	5.667031
8	872.000000	861.997782	891.997782	- 19.997782
9	861.000000	866.687977	866.687977	- 5.687977
10	865.000000	871.403692	841.403692	- 6.403692
11		876.145065	876.145065	
12			880.912237	
13			885.705347	
14			890.524536	
15			895.369947	
			900.241723	

$$C = 0.434869$$

$$P = 0.766667$$

由表八中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值為 $C = 0.434869$ ； $P = 0.766667$ ，符合第三級模型即模型值達勉強及格標準；由表八中殘差修正預測值得知未來第一年（80年）的100公尺成績應以拿880分即10秒92為階段目標；第二年為885分即10秒89；第三年為890分即10秒87；第四年為895分即10秒85；第五年為900分即10秒83為未來五年100公尺訓練之目標。

(三) 未來五年跳遠成績的預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

$$M = 10$$

----- $X_0(i, j)$ -----

864.0000 893.0000 972.0000 1025.0000 950.0000 888.0000 878.0000

900.0000 864.0000 935.0000

----- $\hat{a}(i)$ -----

$$\hat{a} = 0.00862$$

$$\hat{b} = 966.46937$$

$$\hat{x}(t+1) = -111277.1224e^{-0.00862t} + 112141.1224$$

表九 $G_m(1, 1)$ 跳遠成績預測值及誤差

預測值	原始值	誤差	百分誤差
$\hat{x}_0(1) = 954.90239$	893.00000	$e = -61.90239$	$q = -6.93196\%$
$\hat{x}_0(2) = 946.70808$	972.00000	$e = 25.29192$	$q = 2.60205\%$
$\hat{x}_0(3) = 938.58410$	1025.00000	$e = 86.41590$	$q = 8.43082\%$
$\hat{x}_0(4) = 930.52982$	950.00000	$e = 19.47018$	$q = 2.04949\%$
$\hat{x}_0(5) = 922.54467$	888.00000	$e = -34.54467$	$q = -3.89017\%$
$\hat{x}_0(6) = 914.62803$	878.00000	$e = -36.62803$	$q = -4.17176\%$
$\hat{x}_0(7) = 906.77934$	900.00000	$e = -6.77934$	$q = -0.75326\%$
$\hat{x}_0(8) = 898.99799$	864.00000	$e = -34.99799$	$q = -4.05069\%$
$\hat{x}_0(9) = 891.28342$	935.00000	$e = 43.71658$	$q = 4.67557\%$

$$C = 1.117978$$

$$P = 0.222222$$

由表九中得知C值為1.117978大於附錄三之第三級模型之C值0.5，且P值0.222222小於0.7故得知，所建立之跳遠 $G_m(1, 1)$ 模型為不及格須進行殘差修正，其結果見表十，

表十 跳遠 $G_m(1, 1)$ 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	893.000000	954.90239	904.902385	-11.902385
3	972.000000	946.70808	946.708081	25.291919
4	1025.000000	938.58410	988.584095	36.415905
5	950.000000	930.52982	930.529823	19.470177
6	888.000000	922.54467	879.243397	8.756603
7	878.000000	914.62803	887.929305	-9.929305
8	900.000000	906.77934	906.779337	-6.779337
9	864.000000	898.99799	848.997992	15.002008
10	935.000000	891.28342	891.283420	43.716580
			883.635050	
			876.052312	
			918.534644	
			861.081488	
			803.692289	

$$C = 0.444128$$

$$P = 0.777778$$

由表十中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值 $C = 0.444128$ ； $P = 0.777778$ ，符合第三級模型即模型值達勉強及格標準，由表十，殘差修正預測值中得知未來第一年（80年）的跳遠成績為 883 分即 7 公尺 29；第二年為 876 分即 7 公尺 26；第三年為 918 分即 7 公尺 43；第四年為 861 分即 7 公尺 19；第五年為 803 分即 6 公尺 95 為未來五年跳遠訓練的目標。然由 $G_m(1, 1)$ 模型發展指數 $e^{-0.0036t}$ 得知跳遠，過去 10 年的成績有負成長的趨勢，故未來五年的跳遠成績預測值亦呈衰減的走勢，此現象在訓練上值得探討。

四、未來五年鉛球成績的預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

M = 10

----- X0(i, j) -----
 626.0000 670.0000 697.0000 689.0000 662.0000 603.0000 662.0000
 653.0000 680.0000 677.0000

----- a(i) -----

$\hat{a} = 0.00242$

$\hat{b} = 674.67582$

 $\hat{x}(t+1) = -278326.4368e^{-0.0024t} + 278952.4368$

表十一 Gm(1, 1) 鉛球成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差 值	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 672.34837$	670.00000	$e = -2.34837$	$q = -0.35050\%$
$\hat{x}_0(2) = 670.72419$	697.00000	$e = 26.27581$	$q = 3.76984\%$
$\hat{x}_0(3) = 669.10393$	689.00000	$e = 19.89607$	$q = 2.88767\%$
$\hat{x}_0(4) = 667.48759$	662.00000	$e = -5.48759$	$q = -0.82894\%$
$\hat{x}_0(5) = 665.87515$	603.00000	$e = -62.87515$	$q = -10.42706\%$
$\hat{x}_0(6) = 664.26661$	662.00000	$e = -2.26661$	$q = -0.34239\%$
$\hat{x}_0(7) = 662.66195$	653.00000	$e = -9.66195$	$q = -1.47962\%$
$\hat{x}_0(8) = 661.06117$	680.00000	$e = 18.93883$	$q = 2.78512\%$
$\hat{x}_0(9) = 659.46425$	677.00000	$e = 17.53575$	$q = 2.59021\%$

$C = 1.081474$

$P = 0.444444$

由表十一中得知C值為1.081474大於附錄三之第三級模型之C值0.5，且P值0.444444小於0.7，故得知所建立的鉛球 $G_m(1, 1)$ 模型為不及格；須進行殘差修正，其結果見表十二。

表十二 鉛球 $G_m(1, 1)$ 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	670.000000	672.34837	672.348369	- 2.348369
3	697.000000	670.72419	704.011166	- 7.011166
4	689.000000	669.10393	689.676415	- 0.676415
5	662.000000	667.48759	646.915105	15.084895
6	603.000000	665.87515	632.588172	- 29.588172
7	662.000000	664.26661	664.266607	- 2.266607
8	653.000000	662.66195	632.351061	20.648939
9	680.000000	661.06117	691.372058	- 11.372058
10	677.000000	659.46425	659.464255	17.535745
11			657.871199	
12			656.281990	
13			654.696621	
14			653.115082	
15			651.537363	

$$C = 0.447016$$

$$P = 0.777778$$

由表十二中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值 $C = 0.447016$ 小於0.5； P 值0.777778大於0.7，符合第三級的模型即模型值達勉強及格；由表十二殘差修正預測值中得知未來第一年（80年）的鉛球成績為657分即12公尺83；第二年為656分即12公尺81；第三年654分即12公尺78；第四年653分即12公尺76；第五年651分即12公尺73為未來五年鉛球訓練目標。然由其 $G_m(1, 1)$ 模型的發展指數 $e^{-0.0024t}$ 得知鉛球過去十來年的成績有負成長的趨勢，故未來五年的成績預測值亦呈衰減的走勢，此種現象值得李福恩及其教練深思！

(五)、未來五年400公尺成績的預測結果與討論

*****GM(1,)*****

$$M = 10$$

----- X0(i, j) -----

688.0000 736.0000 813.0000 796.0000 805.0000 785.0000 817.0000
813.0000 833.0000 782.0000

----- a(i) -----

$$\hat{a} = -0.00597$$

$$\hat{b} = 772.43147$$

$$\hat{x}(t+1) = 130078.5500e + 0.0060t - 129390.5500$$

表十三 Gm(1, 1) 400 公尺成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預測值	x_0 原始值	e 誤差	q 百分誤差
$\hat{x}_0(1) = 778.86117$	736.00000	$e = -42.86117$	$q = -5.82353\%$
$\hat{x}_0(2) = 783.52470$	813.00000	$e = 29.47530$	$q = 3.62550\%$
$\hat{x}_0(3) = 788.21615$	796.00000	$e = 7.78385$	$q = 0.97787\%$
$\hat{x}_0(4) = 792.93569$	805.00000	$e = 12.06431$	$q = 1.49867\%$
$\hat{x}_0(5) = 797.68348$	785.00000	$e = -12.68348$	$q = -1.61573\%$
$\hat{x}_0(6) = 802.45971$	817.00000	$e = 14.54029$	$q = 1.77972\%$
$\hat{x}_0(7) = 807.26454$	813.00000	$e = 5.73546$	$q = 0.70547\%$
$\hat{x}_0(8) = 812.09813$	833.00000	$e = 20.90187$	$q = 2.50923\%$
$\hat{x}_0(9) = 816.96067$	782.00000	$e = -34.96067$	$q = -4.47067\%$

$$C = 0.697901$$

$$P = 0.777778$$

由表十三中得知 C 值為 0.697901 大於附錄三之第三級模型 C 值 0.5，雖然 P 值 0.777778 大於 0.7，為提高模型的精確度，故再進行殘差修正，其結果見表十四。

表十四 400 公尺 Gm(1, 1) 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後誤差值
2	736.000000	778.86117	752.880407	-16.880407
3	813.000000	783.52470	809.505458	3.494542
4	796.000000	788.21615	788.216145	7.783855
5	805.000000	792.93569	818.916447	-13.916447
6	785.000000	797.68348	771.702722	13.297278
7	817.000000	802.45971	802.459711	14.540289
8	813.000000	807.26454	807.264537	5.735463
9	833.000000	812.09813	812.098131	20.901869
10	782.000000	816.96067	786.960668	-4.960668
11			795.871557	
12			852.754023	
13			831.723666	
14			810.722951	
15			867.694340	

$$C = 0.323786$$

$$P = 1.000000$$

由表十四中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值 $C = 0.323786$ 小於第一級模型 C 值 0.35 ； P 值為 1 大於 0.95 ；模型等級符合第一級模型即模型值是「好」的；由表十四殘差修正預測值中得知未來第一年（80年）的400公尺成績為795分即50秒43；第二年為852分即49秒20；第三年831分即49秒65；第四年為810分即50秒11；第五年為867分即48秒88；為未來五年四百公尺訓練的目標。

(六)、未來五年110中欄成績的預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

$$M = 10$$

----- X0(i, j) -----

717.0000 809.0000 839.0000 780.0000 778.0000 785.0000 831.0000
873.0000 846.0000 863.0000

-----a(i)-----

$$\hat{a} = - 0.00979$$

$$\hat{b} = 779.90394$$

$$\hat{x}(t+1) = 80345.8582e + 0.0098t - 79628.8582$$

表十五 Gm(1, 1) 110中欄成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差 值	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 790.79269$	809.00000	$e = 18.20731$	$q = 2.25059\%$
$\hat{x}_0(2) = 798.57596$	839.00000	$e = 40.42404$	$q = 4.81812\%$
$\hat{x}_0(3) = 806.43583$	780.00000	$e = -26.43583$	$q = -3.38921\%$
$\hat{x}_0(4) = 814.37306$	778.00000	$e = -36.37306$	$q = -4.67520\%$
$\hat{x}_0(5) = 822.38841$	785.00000	$e = -37.38841$	$q = -4.76285\%$
$\hat{x}_0(6) = 830.48265$	831.00000	$e = 0.51735$	$q = 0.06226\%$
$\hat{x}_0(7) = 838.65655$	873.00000	$e = 34.34345$	$q = 3.93396\%$
$\hat{x}_0(8) = 846.91091$	846.00000	$e = -0.91091$	$q = -0.10767\%$
$\hat{x}_0(9) = 855.24651$	863.00000	$e = 7.75349$	$q = 0.89843\%$

$$C = 0.731526$$

$$P = 0.666667$$

由表十五中得知 C 值為 0.731526 大於附錄三的第三級模型 C 值 0.5 ; P 值 0.666667 亦小於 0.7 , 故得知建立的 110 中欄 Gm(1 , 1) 模型為不及格 , 須進行殘差修正 , 其結果見表十六。

表十六 110 中欄 Gm(1 , 1) 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	809.000000	790.79269	825.433707	- 16.433707
3	839.000000	798.57596	833.216971	5.783029
4	780.000000	806.43583	806.435825	- 26.435825
5	778.000000	814.37306	779.732039	- 1.732039
6	785.000000	822.38841	787.747390	- 2.747390
7	831.000000	830.48265	830.482647	0.297571
8	873.000000	838.65655	873.297571	- 35.551929
9	846.000000	846.91091	881.551929	7.753487
10	863.000000	855.24651	855.246513	
			863.664155	
			906.805663	
			880.748804	
			854.776432	
			932.812430	

$$C = 0.478254$$

$$P = 0.777778$$

由表十六中得知修正後的誤差值明顯降低 , 其修正後的模型檢驗值 C = 0.478254 小於第三級模型的 C 值 0.5 , P 值為 0.777778 大於 0.7 , 模型等級符合第三級勉強合格的模型 ; 由表十六殘差修正預測值中得知未來第一年 (80 年) 的 110 中欄成績為 863 分即 14 秒 89 ; 第二年為 906 分即 14 秒 96 ; 第三年為 880 分即 14 秒 75 ; 第四年為 845 分即 14 秒 96 ; 第五年為 932 分即 14 秒 33 , 為未來五年 110 中欄的訓練目標。

(七) 未來五年跳高成績的預測結果與討論

***** GM(1 , 1) *****

$$M = 10$$

 934.0000 906.0000 896.0000 944.0000 859.0000 813.0000
 850.0000 878.0000 878.0000 840.0000

$$\hat{a} = 0.00883$$

$$\hat{b} = 917.20810$$

$$\hat{x}(t+1) = -102908.4717e - 0.0088t + 103842.4717$$

表十七 Gm(1, 1) 跳高成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 904.95589$	906.00000	e = 1.04411	q = 0.11524 %
$\hat{x}_0(2) = 896.99790$	896.00000	e = - 0.99790	q = - 0.11137 %
$\hat{x}_0(3) = 889.10988$	944.00000	e = 54.89012	q = 5.81463 %
$\hat{x}_0(4) = 881.29123$	859.00000	e = - 22.29123	q = - 2.59502 %
$\hat{x}_0(5) = 873.54134$	813.00000	e = - 60.54134	q = - 7.44666 %
$\hat{x}_0(6) = 865.85960$	850.00000	e = - 15.85960	q = - 1.86583 %
$\hat{x}_0(7) = 858.24541$	878.00000	e = 19.75459	q = 2.24995 %
$\hat{x}_0(8) = 850.69817$	878.00000	e = 27.30183	q = 3.10955 %
$\hat{x}_0(9) = 843.21731$	840.00000	e = - 3.21731	q = - 0.38301 %

$$C = 0.921446$$

$$P = 0.555556$$

由表十七中得知 C 值為 0.921446 大於附錄三的第三級模型 C 值 0.5 ; P 值 0.555556 亦小於 0.7 , 故得知建立的跳高 Gm(1, 1) 模型為不及格, 須進行殘差修正, 其結果見表十八。

表十八 跳高 Gm(1,1) 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原 始 值	預 測 值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	906.000000	904.95589	904.955892	1.044108
3	896.000000	896.99790	896.997897	- 0.997897
4	944.000000	889.10988	939.109882	4.890118
5	859.000000	881.29123	881.291233	- 22.291233
6	813.000000	873.54134	823.541340	- 10.541340
7	850.000000	865.85960	865.859597	- 15.859597
8	878.000000	858.24541	897.336980	-19.336980
9	878.000000	850.69817	899.444569	- 21.444569
10	840.000000	843.21731	864.911495	- 24.911495
			835.802229	
			828.452357	
			821.167117	
			813.945943	
			806.788270	

$$C = 0.495783$$

$$P = 0.705555$$

由表十八中得知修正後的誤差值明顯降低, 其修正後的模型檢驗值 C = 0.495783 小於第三級模型的 C 值 0.5 ; P 值 0.705555 大於 0.7 , 模型等級符合第三級勉強及格的模型 ;

由表十八殘差修正值中得知未來第一年（80年）的跳高成績為835分即2公尺03；第二年為828分即2公尺02；第三年為821分即2公尺01；第四年為813分即2公尺01；第五年為806分即2公尺為未來五年跳高的訓練目標。然由其 $G_m(1, 1)$ 模型的發展指數 $e^{-0.0088t}$ 得知跳高在過去十年來的成績有負成長的趨勢，故未來五年的成績預測值亦呈衰減的走勢，此種反常的現象值得探討！

四、未來五年鐵餅成績的預測結果與討論

***** GM(1, 1) *****

M = 10

----- X0(i, j) -----
 490.0000 604.0000 514.0000 621.0000 626.0000 544.0000
 638.0000 664.0000 626.0000 609.0000
 ----- $\hat{a}(i)$ -----
 $\hat{a} = -0.01242$
 $\hat{b} = 565.83866$

 $\hat{x}(t+1) = 46056.1993e + 0.0124t - 45566.1993$

表十九 Gm(1, 1) 鐵餅成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 575.48926$	604.00000	e = 28.51074	q = 4.72032 %
$\hat{x}_0(2) = 582.68021$	514.00000	e = -68.68021	q = -13.36191 %
$\hat{x}_0(3) = 589.96102$	621.00000	e = 31.03898	q = 4.99823 %
$\hat{x}_0(4) = 597.33280$	626.00000	e = 28.66720	q = 4.57943 %
$\hat{x}_0(5) = 604.79669$	544.00000	e = -60.79669	q = -11.17586 %
$\hat{x}_0(6) = 612.35385$	638.00000	e = 25.64615	q = 4.01977 %
$\hat{x}_0(7) = 620.00544$	664.00000	e = 43.99456	q = 6.62569 %
$\hat{x}_0(8) = 627.75264$	626.00000	e = -1.75264	q = -0.27997 %
$\hat{x}_0(9) = 635.59664$	609.00000	e = -26.59664	q = -4.36726 %

C = 0.918033

P = 0.777778

由表十九中得知C值為0.918033大於附錄三的第三級模型C值0.5；P值0.777778大於0.7，由此得知P值雖然符合三級模型的標準，然C值則不盡理想，為提高預測模型的精確度，故進行殘差修正，其結果見表二十。

表二十 鐵餅 Gm(1, 1) 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	604.000000	575.48926	614.460403	- 10.460403
3	514.000000	582.68021	543.709068	- 29.709068
4	621.000000	589.96102	589.961016	31.038984
5	626.000000	597.33280	636.303940	- 10.303940
6	544.000000	604.79669	565.825548	- 21.825548
7	638.000000	612.35385	612.353850	25.646150
8	664.000000	620.00544	665.005438	- 1.005438
9	626.000000	627.75264	627.752635	- 1.752635
10	609.000000	635.59664	590.596637	18.403363
			682.509795	
			612.608763	
			659.721638	
			706.936247	
			687.340432	

$$C = 0.446286$$

$$P = 0.888889$$

由表二十中得知修正後的誤差明顯降低，其修正後的模型檢驗值 $C = 0.446286$ 小於第二級模型 C 值 0.45 ； P 值 0.888889 大於 0.8 ；符合第二級模型合格的標準。

由表二十殘差修正值中得知未來第一年（80年）的鐵餅成績為 682 分即 40 公尺 84；第二年為 612 分即 37 公尺 38；第三年為 659 分即 39 公尺 72；第四年為 706 分即 42 公尺 02；第五年為 687 分即 41 公尺 08；為未來五年鐵餅的訓練目標。

(九)、未來五年標槍成績預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

$$M = 10$$

----- X0(i, j)-----

563.0000 641.0000 641.0000 611.0000 641.0000 607.0000

592.0000 664.0000 605.0000 592.0000

----- $\hat{a}(i)$ -----

$$\hat{a} = 0.00662$$

$$\hat{b} = 643.97918$$

$$\hat{x}(t+1) = -96720.2652e^{-0.0066t} + 97283.2652$$

表二十一 Gm(1, 1) 標槍成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	x_0 原 始 值	e 誤 差	q 百 分 等 級
$\hat{x}_0(1) = 638.13788$	641.00000	e = 2.86212	q = 0.44651 %
$\hat{x}_0(2) = 633.92760$	641.00000	e = 7.07240	q = 1.10334 %
$\hat{x}_0(3) = 629.74509$	611.00000	e = -18.74509	q = -3.06794 %
$\hat{x}_0(4) = 625.59018$	641.00000	e = 15.40982	q = 2.40403 %
$\hat{x}_0(5) = 621.46268$	607.00000	e = -14.46268	q = -2.38265 %
$\hat{x}_0(6) = 617.36241$	592.00000	e = -25.36241	q = -4.28419 %
$\hat{x}_0(7) = 613.28920$	664.00000	e = 50.71080	q = 7.63717 %
$\hat{x}_0(8) = 609.24286$	605.00000	e = -4.24286	q = -0.70130 %
$\hat{x}_0(9) = 605.22322$	592.00000	e = -13.22322	q = -2.23365 %

$$C = 0.894707$$

$$P = 0.444444$$

由表二十一中得知C值為0.894707大於附錄三的第三級模型C值0.5；P值0.444444小於0.7，故得知建立的標槍Gm(1, 1)模型為不及格，須進行殘差修正，其結果見表二十二。

表二十二 標槍Gm(1, 1) 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原 始 值	預 測 值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	641.000000	638.13788	663.137883	- 22.137883
3	641.000000	633.92760	633.927597	7.072403
4	611.000000	629.74509	608.094455	2.905545
5	641.000000	625.59018	647.240813	- 6.240813
6	607.000000	621.46268	621.462679	- 14.462679
7	592.000000	617.36241	595.711777	- 3.711777
8	664.000000	613.28920	634.939833	29.060167
9	605.000000	609.24286	609.242858	- 4.242858
10	592.000000	605.22322	580.223215	11.776785
11			601.230093	
12			597.263316	
13			593.322711	
14			589.408106	
15			585.519327	

$$C = 0.486555$$

$$P = 0.777778$$

由表二十二中得知C值為0.486555小於第三級模型C值0.5；P值0.777778大於0.7，由此得知殘差修正後的標槍 $G_m(1, 1)$ 模型精確度提高，且符合第三級模型標準。

由表二十二殘差修正預測值中得知未來第一年（80年）的標槍成績為601分即50公尺82；第二年為597分即50公尺54；第三年為593分即50公尺28；第四年589分即50公尺；第五年為585分即49公尺74，為未來五年標槍訓練的目標。然由其 $G_m(1, 1)$ 模型的發展指數 $e^{-0.0068t}$ 得知在過去十年的成績有負成長的趨勢，故未來五年的成績預測值，亦呈衰減的走勢，此種異常現象值得深入探討！

(+)、未來五年撐竿跳高成績預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

M=10

 457.0000 535.0000 731.0000 731.0000 731.0000 819.0000
 849.0000 910.0000 910.0000

$\hat{a} = -0.04486$

$\hat{b} = 657.84511$

 $\hat{x}(t+1) = 15395.3346e + 0.0249t - 14664.3346$

表二十三 $G_m(1, 1)$ 撐竿跳成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預 測 值	\hat{x}_0 原 始 值	e 誤 差	q 百 分 誤 差
$\hat{x}_0(1) = 626.15801$	535.00000	$e = -91.15801$	$q = -17.03888\%$
$\hat{x}_0(2) = 658.41965$	731.00000	$e = 72.58035$	$q = 9.92891\%$
$\hat{x}_0(3) = 692.34351$	731.00000	$e = 38.65649$	$q = 5.28816\%$
$\hat{x}_0(4) = 728.01524$	731.00000	$e = 2.98476$	$q = 0.40831\%$
$\hat{x}_0(5) = 765.52489$	731.00000	$e = -34.52489$	$q = -4.72297\%$
$\hat{x}_0(6) = 804.96715$	819.00000	$e = 14.03285$	$q = 1.71341\%$
$\hat{x}_0(7) = 846.44160$	849.00000	$e = 2.55840$	$q = 0.30134\%$
$\hat{x}_0(8) = 890.05295$	910.00000	$e = 19.94705$	$q = 2.19198\%$
$\hat{x}_0(9) = 935.91129$	910.00000	$e = -25.91129$	$q = -2.84739\%$
$\hat{x}_0(10) = 966.95417$			
$\hat{x}_0(11) = 985.33885$			
$\hat{x}_0(12) = 992.93493$			
$\hat{x}_0(13) = 1011.31962$			
$\hat{x}_0(14) = 1057.72063$			

$$C = 0.371675$$

$$F = 0.888889$$

由表二十三中得知 C 值為 0.371675 小於附錄三之第二級模型 C 值 0.45；P 值 0.888889 亦大於 0.8，由此得知以撐竿跳成績所建立的 $G_m(1, 1)$ 模型符合第二級模型的標準，故不須進行殘差修正；由表二十三預測值中得知未來第一年（80年）的撐竿跳成績為 966 分即 5 公尺 18；第二年為 985 分即 5 公尺 24；第三年為 992 分即 5 公尺 26；第四年為 1011 分即 5 公尺 31；第五年為 1057 分即 5 公尺 46 為未來五年撐竿跳高訓練的目標。

(四)、未來五年 1500 公尺成績預測結果與討論

*****GM(1, 1)*****

$$M = 10$$

-----X₀(i, j)-----

637.0000 687.0000 680.0000 610.0000 618.0000 587.0000
692.0000 573.0000 600.0000 594.0000

----- $\hat{a}(i)$ -----

$$\hat{a} = 0.01647$$

$$\hat{b} = 684.82923$$

$$\hat{x}(t+1) = -40953.0956e^{-0.0165t} + 41590.0956$$

表二十四 $G_m(1, 1)$ 1500 公尺成績預測值及誤差

\hat{x}_0 預測值	\hat{x}_0 原始值	e 誤差	q 百分誤差
$\hat{x}_0(1) = 668.81873$	687.00000	e = 18.18127	q = 2.64647%
$\hat{x}_0(2) = 657.89603$	680.00000	e = 22.10397	q = 3.25058%
$\hat{x}_0(3) = 647.15171$	610.00000	e = -37.15171	q = -6.09044%
$\hat{x}_0(4) = 636.58286$	618.00000	e = -18.58286	q = -3.00694%
$\hat{x}_0(5) = 626.18661$	587.00000	e = -39.18661	q = -6.67574%
$\hat{x}_0(6) = 615.96015$	692.00000	e = 76.03985	q = 10.98842%
$\hat{x}_0(7) = 605.90070$	573.00000	e = -32.90070	q = -5.74183%
$\hat{x}_0(8) = 596.00553$	600.00000	e = 3.99447	q = 0.66575%
$\hat{x}_0(9) = 586.27196$	594.00000	e = 7.72804	q = 1.30102%

$$C = 1.017974$$

$$P = 0.444444$$

由表二十四中得知C值為1.017974大於附錄三的第三級模型C值0.5；P值0.444444亦小於0.7，故得知建立的1500公尺 $G_m(1, 1)$ 模型為不及格，須進行殘差修正，其結果見表二十五。

表二十五 1500公尺 $G_m(1, 1)$ 殘差修正後的預測值及誤差

年份	原始值	預測值	殘差修正後預測值	修正後的誤差值
2	687.000000	668.81873	697.350430	- 10.350430
3	680.000000	657.89603	675.529590	4.470410
4	610.000000	647.15171	629.518154	- 19.518154
5	618.000000	636.58286	608.051164	9.948836
6	587.000000	626.18661	626.186612	- 39.186612
7	692.000000	615.96015	645.960148	46.039852
8	573.000000	605.90070	605.900696	- 32.900696
9	600.000000	596.00553	566.005529	33.994471
10	594.000000	586.27196	586.271963	7.728037
11			576.697359	
12			595.810816	
13			575.648253	
14			531.268013	
15			511.405579	

$$C = 0.492580$$

$$P = 0.715556$$

由表二十五中得知修正後的誤差值明顯降低，其修正後的模型檢驗值 $C = 0.492580$ 小於第三級模型的C值0.5；P值0.715556大於0.7，符合第三級模型標準。

由表二十五中殘差修正預測值中得知未來第一年（80年）的1500公尺成績為576分即4分57秒27；第二年為595分即4分54秒04；第三年為575分即4分57秒44；第四年531分即5分13秒；第五年為511分即5分08秒73；為未來五年1500公尺的訓練目標，然從其過去十年1500公尺成績所建立的 $G_m(1, 1)$ 模型值發展指數 $e^{-0.0165t}$ 得知，此項成績有負成長的趨勢，故未來五年的成績預測值亦呈衰減的走勢，此種現象應從訓練上加以解決，值得深入探討！

由以上的關聯分析與各項成績預測結果得知速度（100公尺及110中欄）及速度耐力（400公尺）訓練是左右李福恩十項成績的關鍵因素；其次是三鐵中的鉛球、標槍項目及跳部的跳高、跳遠項目，此與李傳廉等以世界上7600分以上，100位全能運動員的各單項成績進行統計分析的結果，認為鉛球、400公尺、跳高、110中欄為訓練重點（註5）及許樹淵以第一

屆世界田徑錦標賽18位全能運動員選出之代表項目為400公尺和鉛球（註五），其發展的趨勢基本上是一致的。

然由其成績預測的發展指數中發現李福恩在跳遠、鉛球、跳高、標槍、1500公尺等五個項目中有逐漸退步的趨勢，此與許樹淵在1988奧運男子十項全能成績分析中發現李福恩在三鐵及110中欄未能突破，落後甚遠應加強，且400公尺跑之速度耐力差之看法相雷同（註五），且更具體，此種現象值得李福恩及所屬教練深入探討，否則將難有所突破！

由以上灰色關聯分析與預測的結果討論中，吾人可以清楚的瞭解各項目在總分中所佔的地位，及其未來發展的趨勢，教練或運動員可據此分析結果在年度訓練課程安排上，依照本身的優缺點，做有計劃的突破，或修正，則將有助於成績的提昇。

肆、結論與建議

一、結論

本研究以李福恩民國 70 年至 79 年，十項全能各年度最佳成績為研究樣本，應用灰色系統理論，以探討其總分的影響因素；並以其過去十年來各項成績的發展動態為依據，預測其未來五年各項成績的發展趨勢，做為各階段訓練之目標，借以提昇其成績表現，研究所得總結如下：

(一)、就十項總分與各單項成績的灰色關聯分析而言：

通過關聯分析，得知對李福恩十項總分影響的各單項以 (X_1) 100 公尺影響最大；其次為 (X_5) 400 公尺；其餘順序是 (X_3) 鉛球； (X_6) 110 中欄； (X_2) 跳遠； (X_9) 標槍； (X_4) 跳高； (X_7) 鐵餅； (X_{10}) 1500 公尺； (X_8) 撐竿跳高。

(二)、就未來五年各項成績預測而言：

由各項成績 $G_m(1, 1)$ 建模經殘差修正後，未來五年各項成績預測結果如下：

表二十六 李福恩未來五年十項成績及 $G_m(1, 1)$ 模型

成績 項目名稱	80年	81年	82年	83年	84年	$G_m(1, 1)$ 模型	模型等級
總分	7726	7760	7954	7827	7702	$\hat{x}(t+1) = 176008.7617 e^{0.0044t}$ $- 169246.7617$	二級模型
100公尺	880 (10秒92)	885 (10秒89)	890 (10秒87)	895 (10秒85)	900 (10秒83)	$\hat{x}(t+1) = 155349 e^{0.0054t}$ $- 152563.2500$	三級模型
跳遠	883 (7公尺29)	876 (7公尺26)	918 (7公尺43)	861 (7公尺19)	803 (6公尺95)	$\hat{x}(t+1) = 11127.1224 e^{0.0086t}$ $+ 112141.1224$	三級模型
鉛球	657 (12公尺83)	656 (12公尺81)	654 (12公尺78)	653 (12公尺76)	651 (12公尺73)	$\hat{x}(t+1) = 27826.4388 e^{0.0024t}$ $- 278952.4368$	三級模型
跳高	835 (2公尺03)	828 (2公尺02)	821 (2公尺01)	813 (2公尺01)	806 (2公尺)	$\hat{x}(t+1) = 102306.4717 e^{0.0086t}$ $+ 103842.4717$	三級模型
400公尺	795 (50秒43)	852 (49秒20)	831 (49秒65)	810 (50秒11)	867 (48秒88)	$\hat{x}(t+1) = 13078.5930 e^{0.0056t}$ $- 129390.5500$	一級模型
110中欄	863 (14秒89)	906 (14秒54)	880 (14秒75)	854 (14秒96)	932 (14秒33)	$\hat{x}(t+1) = 80345.8882 e^{0.0098t}$ $- 79628.8582$	三級模型
鐵餅	682 (40公尺84)	612 (37公尺38)	659 (39公尺72)	706 (42公尺02)	687 (41公尺08)	$\hat{x}(t+1) = 46056.1988 e^{0.0124t}$ $- 45566.1993$	二級模型
撐竿跳高	966 (5公尺18)	985 (5公尺24)	992 (5公尺26)	1011 (5公尺31)	1057 (5公尺46)	$\hat{x}(t+1) = 15385.3346 e^{0.0216t}$ $- 14664.3346$	二級模型
標槍	601 (50公尺82)	597 (50公尺54)	593 (50公尺28)	589 (50公尺)	585 (49公尺74)	$\hat{x}(t+1) = -9672.2632 e^{-0.0086t}$ $+ 97283.2652$	三級模型
1500公尺	576 (4分57秒27)	595 (4分54秒04)	575 (4分57秒44)	531 (5分05秒13)	511 (5分08秒73)	$\hat{x}(t+1) = -40853.0566 e^{-0.0164t}$ $+ 41590.0956$	三級模型

二、建議

- (一)、由以上灰色關聯分析與預測的結果，可以清楚的瞭解各項目成績在李福恩十項全能總分中所佔的地位，及其未來發展的目標，所屬教練可依關聯分析結果，在年度訓練課程安排上，依各項目所佔地位之高低，做有計劃的突破或修正，並給予明確可行的量化目標，必能激起李福恩突破的信心，則將有助於成績的提昇。
- (二)、由 $G_m(1, 1)$ 模型發展指數 (e) 發現李福恩在跳遠、鉛球、跳高、標槍、1500 公尺等五個項目，在過去十年的訓練動態發展，有逐漸退步的趨勢，此種異常現象值得李福恩及其所屬教練深入探討。並在訓練上予以修正。
- (三)、灰色系統理論具有累加性質，在訓練過程中如能有計劃的按週、月、季等階段收集各項訓練信息，以瞭解掌握各階段訓練變化情形，並加以修正控制，則訓練必能朝向「最佳化」的目標邁進。