

國立交通大學

土木工程學系

碩士論文

權重克利金模式之發展與應用

Development and Application of
Weighted Kriging Models

研究生：陳柏宏

指導教授：楊錦釗 博士

吳祥禎 博士

中華民國九十六年六月

權重克利金模式之發展與應用
Development and Application of
Weighted Kriging Models

研究生：陳柏宏

Student：Bo-Hung Chen

指導教授：楊錦釗

Advisor：Jinn-Chuang Yang

吳祥禎

Shiang-Jen Wu



A Thesis Submitted to Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master
in

Civil Engineering

June 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年六月

謝 誌

本論文承蒙恩師 楊錦釗教授與吳祥禎博士在攻讀碩士學位研究期間的悉心指導，使得本論文研究得以順利完成。研究期間，感謝 湯有光教授給予諸多寶貴的意見與方向，並感謝口試委員 虞國興教授與 童慶斌教授的不吝指正與提供寶貴的意見，使的學生受益良多，在此由衷的致上萬分感謝與敬意。

在學期間，感謝東霖學長、德勇學長、夢祺學長、胤隆學長、世偉學長、昇學學長、曉萍學姊、浩榮學長、欣瑜學姐、宣汝學姐、仲達學長、力瑋學長.....等學長姐在生活及學業上的照顧與提攜；在此亦感謝同窗好友們與學弟妹們在這段期間的陪伴與大力的幫忙協助。

另外，還要感謝新竹的大學同學與認識的朋友們，在剛開始來到這個新環境的時候所給予的鼓勵與在新竹這段期間的幫忙，能讓我在新竹這兩年的時間裡過得多采多姿。

最後，最重要的是感謝我所敬愛的父母親的養育與栽培之恩，與兄姊們的關心支持，沒有你們的付出與打氣我無法無後顧之憂的完成至今的一切。最後，將此論文獻給我從小至今，於在學期間過世的最疼愛與支持我的奶奶，與她一起分享這份喜悅。

權重克利金模式之發展與應用

研究生：陳柏宏

指導教授：楊錦釗
吳祥禎

國立交通大學土木工程學系

摘 要

本研究主要為了提高常用理論半變異數模式對於空間變數特性套配之準確性，以各模式之誤差值倒數之加權因子為基礎，建構而得一權重克利金模式(Weighted Kriging model)，藉由該模式解決過去傳統應用克利金法推估空間變數時，需先套配選用出一誤差最小之理論半變異數模式之要求。

在模式驗證方面，主要分別以假設案例與實際集水區降雨事件作為空間模擬與推估對象。其中設計案例主要是以二維平面空間變數為分析對象，並假設該變數分別為球型、指數、高斯、冪次、碎塊(Nugget)空間分佈特性，再以上述理論半變異數模式，分別考慮碎塊與非碎塊效應模式及本研究所發展之權重克利金模式，進行未知點位的模擬推估。由結果可知，權重克利金模式在各種設計案例下，皆可以得到較其他理論半變異數模式為佳的推估結果。

在實際案例之應用方面，本研究主要是以淡水河流域之 20 個雨量站所測得之時雨量資料作為模式的推估與分析對象，同樣也採用常用理論半變異數模式，分別考慮碎塊與非碎塊效應模式及權重克利金模式，進行空間變數的推估，最後再以實際測站所量測之雨量資料和模式所推估結果進行比較，由驗證結果可以得知權重克利金模式應用於實際案例也有不錯之成效。

綜合假設案例與淡水河流域實際案例的驗證結果得知，權重克利金模式不僅可以加權的方式修正常用理論半變異數模式對於試驗半變異數的套

配效果，提高空間變數推估結果之可靠度及準確性，亦可省去傳統克利金法在推估空間變數前需套配一合適之半變異數模式之限制。

關鍵詞：克利金法、半變異數模式、雨量資料、區域化變數理論、淡水河流域



Development and Application of Weighted Kriging Models

Student : Bo-Hung Chen

Advisors : Dr. Jinn-Chuang Yang

Dr. Shiang-Jen Wu

Department of Civil Engineering
National Chiao-Tung University

ABSTRACT

This study proposed a weighted kriging model (WKM) to circumvent the need of traditional kriging models which require a best-fit theoretical semi-variograms model being specified in advance. The basic idea of the proposed WKM is to calculate the weighted average of spatial variables estimated by using theoretical semi-variogram models (Spherical, Exponential, Gaussian and Power models). In this study, estimation of the spatial variables by the proposed WKM can be made in two ways; one is to use weighted semi-variogram (denoted as WKM_I); and the other is to weighted spatial variables obtained by using individual variogram, (WKM_II).

To verify the proposed WKM, spatial data are generated under a specified semi-variogram model which, in turn, are used for the basis of verification. The proposed WKM is validated through the visual and numerical comparisons of the spatial data fields estimated by the conventional and proposed kriging procedures with the generated baseline data. Referring to both the graphical comparison and performance indices, the assigned semi-variogram model used in the generation of the baseline data has the best-fit result. Moreover, the estimated spatial variables match the baseline data closer than those by the conventional semi-variogram models, except for the assigned semi-variogram

model. Also, the similar conclusion can be drawn from the numerical performance indices. For example, the mean square error (MSE) and mean square weighting error (MSWE) for WKM are smaller and the indices (KG and KS) associated with the WKM closer to 1 than those by the conventional single semi-variogram models.

In addition to the numerical experiment based on the generated spatial data, this study also compares the proposed weighted kriging models with the conventional single model approach based on real observed rainfall data. In general, rainfall data are possibly affected by the geographical locations of the rainfall gauges. Therefore, spatial rainfall dist'n hardly satisfies with the second-order stationary, that is, the assumption mean of rainfall data is constant in space and the covariance of rainfall data between different gauges is only related to their distance. Hence, rainfall data are standardized before conducting model validation. According to numerical results, similar conclusion to the numerical experiment can be drawn, that is, the proposed weighted kriging models are also more appropriate than the conventional single variogram model approach for estimating the rainfall field.

Based on the above results, the proposed weighted kriging models not only avoid the possibility of using inappropriate theoretical semi-variogram model as the best-fit model, but also enhance the accuracy of estimating spatial by distributed rainfall, especially when the study area has few gauges.

***Keywords:*Regional variable theory;kriging method; semi-variogram model.**

目 錄

謝誌.....	i
摘要.....	ii
Abstract.....	iv
目錄.....	vi
表目錄.....	viii
圖目錄.....	xi
符號說明.....	xiv
第一章、緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究分析架構與方法.....	3
第二章、應用理論基礎簡介.....	5
2.1 區域化變數理論.....	5
2.2 半變異數分析.....	7
2.3 常用理論半變異數模式.....	10
2.3.1 模式簡介.....	10
2.3.2 模式參數率定.....	11
2.4 克利金空間推估法.....	11
2.4.1 基本特性.....	11
2.4.2 克利金系統方程式.....	12
2.4.3 克利金變異數.....	14
2.5 模式驗證.....	14
第三章、權重半變異數模式之發展.....	20
3.1 基本概念說明.....	20
3.2 權重克利金模式之推導.....	20

第四章、模式應用於設計案例之檢定與比較	25
4.1 設計案例基本資料概述	25
4.2 驗證流程.....	25
4.3 模擬推估結果之比較與驗證分析	28
第五章、模式應用於實際案例之驗證與比較	57
5.1 資料收集與分析.....	57
5.1.1 淡水河流域概況	57
5.1.2 雨量站資料整理	58
5.1.3 雨量資料選取與分析	58
5.2 雨量資料之無因次化	59
5.3 模式的推估及驗證	60
5.3.1 驗證目標之選取	60
5.3.2 推估結果之比較與驗證分析	60
第六章、結論與建議.....	133
6.1 結論.....	133
6.2 建議.....	133
第七章、參考文獻.....	135

表 目 錄

表 4.1 已知點位.....	31
表 4.2 未知點位.....	31
表 4.3 理論半變異數各模式之參數設定與所對應距離之變異元.....	32
表 4.4 試驗半變異數之套配.....	33
表 4.5 各設計案例之空間點位變數值.....	34
表 4.6 各選用理論半變異數模式之權重比例.....	35
表 4.7 球型模式設計案例下各模式推估結果.....	36
表 4.8 指數型模式設計案例下各模式推估結果.....	37
表 4.9 高斯型模式設計案例下各模式推估結果.....	38
表 4.10 冪次型模式設計案例下各模式推估結果.....	39
表 4.11 碎塊模式設計案例下各模式推估結果.....	40
表 4.12 球型模式設計案例各模式驗證指標計算結果.....	41
表 4.13 指數型模式設計案例各模式驗證指標計算結果.....	42
表 4.14 高斯型模式設計案例各模式驗證指標計算結果.....	43
表 4.15 冪次型模式設計案例各模式驗證指標計算結果.....	44
表 4.16 碎塊型模式設計案例各模式驗證指標計算結果.....	45
表 5.1 淡水河流域雨量站資料.....	65
表 5.2 各降雨場雨量資料.....	66
表 5.2 各降雨場雨量資料(續).....	67
表 5.3 降雨場各座標軸回歸參數值.....	68
表 5.4 各降雨事件之理論半變異數模式之權重因子.....	69
表 5.4 各降雨事件之理論半變異數模式之權重因子(續).....	70
表 5.5 第一場降雨事件各未知測站推估值.....	71
表 5.6 第二場降雨事件各未知測站推估值.....	71
表 5.7 第三場降雨事件各未知測站推估值.....	72

表 5.8 第四場降雨事件各未知測站推估值.....	72
表 5.9 第五場降雨事件各未知測站推估值.....	73
表 5.10 第六場降雨事件各未知測站推估值.....	73
表 5.11 第七場降雨事件各未知測站推估值.....	74
表 5.12 第八場降雨事件各未知測站推估值.....	74
表 5.13 第九場降雨事件各未知測站推估值.....	75
表 5.14 第十場降雨事件各未知測站推估值.....	75
表 5.15 第十一場降雨事件各未知測站推估值.....	76
表 5.16 第十二場降雨事件各未知測站推估值.....	76
表 5.17 第十三場降雨事件各未知測站推估值.....	77
表 5.18 第十四場降雨事件各未知測站推估值.....	77
表 5.19 第十五場降雨事件各未知測站推估值.....	78
表 5.20 第十六場降雨事件各未知測站推估值.....	78
表 5.21 第十七場降雨事件各未知測站推估值.....	79
表 5.22 第十八場降雨事件各未知測站推估值.....	79
表 5.23 第十九場降雨事件各未知測站推估值.....	80
表 5.24 第二十場降雨事件各未知測站推估值.....	80
表 5.25 第二十一場降雨事件各未知測站推估值.....	81
表 5.26 第二十二場降雨事件各未知測站推估值.....	81
表 5.27 第二十三場降雨事件各未知測站推估值.....	82
表 5.28 各降雨場目標值與推估值均方誤差.....	83
表 5.29 第一場降雨各模式指標排序.....	84
表 5.30 第二場降雨各模式指標排序.....	85
表 5.31 第三場降雨各模式指標排序.....	86
表 5.32 第四場降雨各模式指標排序.....	87

表 5.33	第五場降雨各模式指標排序.....	88
表 5.34	第六場降雨各模式指標排序.....	89
表 5.35	第七場降雨各模式指標排序.....	90
表 5.36	第八場降雨各模式指標排序.....	91
表 5.37	第九場降雨各模式指標排序.....	92
表 5.38	第十場降雨各模式指標排序.....	93
表 5.39	第十一場降雨各模式指標排序.....	94
表 5.40	第十二場降雨各模式指標排序.....	95
表 5.41	第十三場降雨各模式指標排序.....	96
表 5.42	第十四場降雨各模式指標排序.....	97
表 5.43	第十五場降雨各模式指標排序.....	98
表 5.44	第十六場降雨各模式指標排序.....	99
表 5.45	第十七場降雨各模式指標排序.....	100
表 5.46	第十八場降雨各模式指標排序.....	101
表 5.47	第十九場降雨各模式指標排序.....	102
表 5.48	第二十場降雨各模式指標排序.....	103
表 5.49	第二十一場降雨各模式指標排序.....	104
表 5.50	第二十二場降雨各模式指標排序.....	105
表 5.51	第二十三場降雨各模式指標排序.....	106
表 5.52	權重克利金模式 I 各指標排序出現次數.....	107
表 5.53	權重克利金模式 II 各指標排序出現次數.....	107

圖 目 錄

圖 2.1 半變異數函數、共變異數關係示意圖.....	17
圖 2.2 碎塊效應示意圖.....	17
圖 2.3 半變異數函數特性說明圖.....	18
圖 2.4 試驗半變異數函數示意圖.....	18
圖 2.5 常用之理論半變異數模式套配示意圖.....	19
圖 3.1 (a) 權重模式 I 概念示意圖.....	23
圖 3.1 (b) 權重模式 II 概念示意圖.....	23
圖 3.2 權重克利金模式推估流程圖.....	24
圖 4.1 設計案例中各座標點位分佈圖.....	46
圖 4.2 球型模式試驗半變異數圖.....	47
圖 4.3 指數型模式試驗半變異數圖.....	47
圖 4.4 高斯型模式試驗半變異數圖.....	48
圖 4.5 冪次型模式試驗半變異數圖.....	48
圖 4.6 碎塊型模式試驗半變異數圖.....	49
圖 4.7 球型模式設計案例之降雨分佈圖.....	50
圖 4.8 指數型模式設計案例之降雨分佈圖.....	50
圖 4.9 高斯型模式設計案例之降雨分佈圖.....	51
圖 4.10 冪次型模式設計案例之降雨分佈圖.....	51
圖 4.11 碎塊型模式設計案例之降雨分佈圖.....	52
圖 4.12 球型模式設計案例下各模式推估結果.....	53
圖 4.13 指數型模式設計案例下各模式推估結果.....	53
圖 4.14 高斯型模式設計案例下各模式推估結果.....	54
圖 4.15 冪次型模式設計案例下各模式推估結果.....	54
圖 4.16 碎塊型模式設計案例下各模式推估結果.....	55

圖 4.17 模式驗證流程圖.....	56
圖 5.1 淡水河流域雨量站位置圖.....	108
圖 5.2 第一場降雨雨量分佈圖.....	109
圖 5.3 第二場降雨雨量分佈圖.....	109
圖 5.4 第三場降雨雨量分佈圖.....	110
圖 5.5 第四場降雨雨量分佈圖.....	110
圖 5.6 第五場降雨雨量分佈圖.....	111
圖 5.7 第六場降雨雨量分佈圖.....	111
圖 5.8 第七場降雨雨量分佈圖.....	112
圖 5.9 第八場降雨雨量分佈圖.....	112
圖 5.10 第九場降雨雨量分佈圖.....	113
圖 5.11 第十場降雨雨量分佈圖.....	113
圖 5.12 第十一場降雨雨量分佈圖.....	114
圖 5.13 第十二場降雨雨量分佈圖.....	114
圖 5.14 第十三場降雨雨量分佈圖.....	115
圖 5.15 第十四場降雨雨量分佈圖.....	115
圖 5.16 第十五場降雨雨量分佈圖.....	116
圖 5.17 第十六場降雨雨量分佈圖.....	116
圖 5.18 第十七場降雨雨量分佈圖.....	117
圖 5.19 第十八場降雨雨量分佈圖.....	117
圖 5.20 第十九場降雨雨量分佈圖.....	118
圖 5.21 第二十場降雨雨量分佈圖.....	118
圖 5.22 第二十一場降雨雨量分佈圖.....	119
圖 5.23 第二十二場降雨雨量分佈圖.....	119
圖 5.24 第二十三場降雨雨量分佈圖.....	120

圖 5.25 淡水河流域地形分佈圖.....	120
圖 5.26 第一場降雨事件各目標測站推估值.....	121
圖 5.27 第二場降雨事件各目標測站推估值.....	121
圖 5.28 第三場降雨事件各目標測站推估值.....	122
圖 5.29 第四場降雨事件各目標測站推估值.....	122
圖 5.30 第五場降雨事件各目標測站推估值.....	123
圖 5.31 第六場降雨事件各目標測站推估值.....	123
圖 5.32 第七場降雨事件各目標測站推估值.....	124
圖 5.33 第八場降雨事件各目標測站推估值.....	124
圖 5.34 第九場降雨事件各目標測站推估值.....	125
圖 5.35 第十場降雨事件各目標測站推估值.....	125
圖 5.36 第十一場降雨事件各目標測站推估值.....	126
圖 5.37 第十二場降雨事件各目標測站推估值.....	126
圖 5.38 第十三場降雨事件各目標測站推估值.....	127
圖 5.39 第十四場降雨事件各目標測站推估值.....	127
圖 5.40 第十五場降雨事件各目標測站推估值.....	128
圖 5.41 第十六場降雨事件各目標測站推估值.....	128
圖 5.42 第十七場降雨事件各目標測站推估值.....	129
圖 5.43 第十八場降雨事件各目標測站推估值.....	129
圖 5.44 第十九場降雨事件各目標測站推估值.....	130
圖 5.45 第二十場降雨事件各目標測站推估值.....	130
圖 5.46 第二十一場降雨事件各目標測站推估值.....	131
圖 5.47 第二十二場降雨事件各目標測站推估值.....	131
圖 5.48 第二十三場降雨事件各目標測站推估值.....	132

符號表

a = 影響範圍；

C = 常數值；

Cov = 共變異數；

C_o = 碎塊效應；

CE = 效率係數；

EST = 推估值；

E = 期望值；

h = 相對距離；

KG = 幾何信賴指標；

KS = 統計信賴指標；

MSE = 均方誤差；

$MSWE$ = 均方權重誤差；

OBS = 目標值；

$PPCC$ = 機率點繪相關係數；

Var = 變異函數；

W = 權重因子；

WKM = 權重克利金模式；

Z = 觀測值；

$Z(x)$ = 任一位置 x 之隨機變數；

Z^* = 推估值；

μ = 平均值；

σ^2 = 變異數；

$\gamma(h)$ = 半變異數函數；

λ = 權重因子；



ν = 拉格蘭茲乘常數；

ε = 誤差項；

ω = 臨界變異數。



第一章、緒論

1.1 研究動機與目的

水資源調配、水工結構物及治洪、排水設施的設計等水利相關措施，均需以可靠且準確的氣象資料為背景來做為一切系統設計之依據。然而氣象資料多數為集水區裡固定之水文測站所量測蒐集而得，其所收集獲得之資料，嚴格而言僅能代表該地點或是其附近小範圍區域內之特性，對於範圍外之地區則可能呈現不具代表關係之現象。因此，如果想以單獨各別之水文測站所收集之資料來做為參考依據，則可能會無法適切的應用於大範圍的水資源設計和調配，因此必須藉由鄰近區域之其他測站所結合形成的測站網，分析出測站間氣象資料在其空間分佈之特性，進而推估出具有可靠性且全面性的水文資訊，才能較為準確的掌握該區域水文現象之分佈情況，以應用於各項決策之參考。

然而在進行氣象資料空間分佈的推估，常常因為許多空間上的不確定性與分佈的不均勻性或是資料量測誤差等種種因素的效果，造成空間推估上的偏差，進而對依據其所設計的水工構造物造成了安全上的風險。為減少此類型因空間分佈不均勻所造成的不確定性，最有效的方式則是增加區域內測站的數目，然而在設站經費有限及可設站的地點少的條件下，站網的分佈區域及數量有一定的限制，為解決上述問題一般常應用地理統計方法(Geostatistics Method)。例如克利金空間推估方法配合氣象資料空間分佈特性，推估其他未設測站地之資料，以提高氣象資料之可用性。

在進行克利金空間推估法之前必須先得知欲推估區域內該氣象資料之空間分佈特性，也就是推估各測站氣象資料差異程度與測站間距離之關係，即區域內水文量之試驗半變異數(Experimental Semi-Variogram)，再以不同的理論半變異數模式(Theoretical Semi-Variogram Model)套配之，並選擇出有較佳套配效果即誤差最小者之模式為合適的理論半變異數模式，以

作為後來建置權重克利金模式的依據。然而氣象資料常因人為量測誤差或儀器故障等因素而具有不確定性，連帶使得合適理論半變異數模式及其參數之率定亦產生了不確定性。因此本研究將採用權重概念，整合常用理論半變異數模式，發展出一權重克利金模式。以解決上述因選取不適當的理論半變異數模式所帶來的不確定性並且提高推估值之可靠度，以獲得更準確的推估結果。

1.2 文獻回顧

克利金法最早是起源於南非採礦工程上的應用，由南非礦冶工程師 Krige 於 1951 年為了探查礦脈分佈所發展，相隔 12 年之後經由法國數學及地質學家 Matheron 於 1963 年研究 Krige 等人多年來對南非礦脈的採礦資料及分析結果，以地理統計方式來估計南非礦區的黃金礦脈，於 1971 年提出了區域化變數理論，為紀念 Krige 的貢獻，特稱此方法為克利金(Kriging)推估法，近年來克利金推估法已經被廣泛應用於氣象、土壤物理、地下水、礦冶、環境監測及水文等研究領域，例如 Creutin 與 Obled(1982)使用克利金推估等方法，進行對於降雨場目標點的解析與繪製雨量圖、Vijay Kumar 與 Remadevi(2006)將 Kriging 應用於印度的 Rajasthan 地區地下水位的推估。

就克利金空間推估法應用於水文量之觀測方面而言，最大之目的則是為了得知全面性氣象資料的空間分佈情況，以作為設計決策之參考依據，又因為其為一種空間性的推估，故其在推估的過程當中仍然存在著許多空間與時間上的不確定性與不均勻性，所以就推估的準確性來說則是一項值得探討的議題。就水文量之收集而言，當欲推估點位鄰近測站數越多，其推估值越具可靠性，早期水文站的設置並沒有一定的依據，多以人口密度或是經費的多寡為設置準則，但是雨量站的設置應該是以考量雨量分布特性為基礎。1962 年經濟部水資會研擬出「台灣水文網計劃」於計畫中對聯合國申請協助，之後聯合國並派遣水利專家 S.J.Bocks 來台協助，並於 1965

年主持「台灣水文網先驅計畫」，並於會中建議台灣雨量站網設計站數應與面積及人口數成正相關，在平原地區每 1000km^2 可設置 6~25 站可採用 15 站/ 1000km^2 。世界氣象組織(WMO)於 1965 年建議降雨站網最小密度，Bleasdale(1965)有更詳細的指出於一已知面積條件下，須設置最少雨量站個數的限制，如 2 站/ 10mi^2 、6 站/ 100mi^2 與 15 站/ 1000mi^2 。Shaw(1989)指出於山中地區之站網最小密度為 $100\sim 250\text{km}^2/\text{站}$ ，而較乾燥地區則設定為 $1500\sim 10000\text{km}^2/\text{站}$ 。

就水文測站數量與位置之研究，林金樹、陳峰盛(2004)以鄰點數量與分佈型態對一般克利金模式雨量估計值誤差的影響作了以下之結論，以圓型、球型、高斯及指數等四種模式作研究，考慮異向性結構的試驗模式均顯然地優於等向性結構的試驗模型，就異向性而言以八方向性型態所推估的值最為準確，且鄰近測站點數越多所推估出的誤差均值差異越小。

綜合上述，克利金空間推估法係一種空間的差值法，所以每當已知條件點位數較多或是有較佳點位分佈設計過後之條件下，均會有較佳推估之效果，而假設在滿足上述最佳情況條件下之後，所取得之水文量是否還有改善其精確度的空間，則是另一項重要的研究方向。如 Delfiner 於 1975 年提出的交叉驗證法(Cross-Validation)用於驗證半變異數模式之不偏性與最佳化，以檢定各種理論半變異數模式之適用性，並擇其具最佳套配效果之模式應用。

1.3 研究分析架構與方法

本研究乃以區域化變數理論所發展而得之克利金空間推估法為基礎，整合常用理論半變異數模式如球型(Spherical)、指數(Exponential)、高斯(Gaussian)、冪次(Power)與其分別考慮碎塊效應之理論半變異數模式所模擬出來之結果，發展出一套權重克利金模式。最後以各種驗證指標，比較權重模式與各常用模式模擬的準確性與適用性。研究中除了以假設案例作為

模式的分析之外，並採用淡水河流域之既有時雨量資料進行實際案例模擬評估權重模式的適用性與精確性。本研究架構主要分為：第一章緒論，概述研究動機與目的及前人研究；第二章理論基礎分析，主要介紹區域化變數理論的原理與克利金法分析步驟，並介紹本研究所應用於參數之率定與模式之計算與和驗證方式；第三章主要是介紹分析本研究之核心“權重克利金模式”之整體應用概念及模式特性；第四章採用設計案例應用於各模式進行檢定與比較，主要是以球型、指數、高斯、冪次、碎塊分佈特性下之一水文量假設條件，分別以各常用理論半變異數模式進行套配與模擬推估後，最後再以各種驗證指標分析比較其準確性；第五章為實際案例之驗證與比較，首先簡介所採用之實際研究地點淡水河流域之概況與降雨量之收集與分析情況，之後再以各種常用理論半變異數模式與權重模式作實際空間變數推估，並以各種驗證指標分析比較其個別之準確性；第六章彙整本研究之研究結果並提出建議；第七章為參考文獻。



第二章、應用理論基礎簡介

本章主要介紹克利金空間推估法之理論基礎及概念，依序的從各種模式之特性分別作敘述之後再介紹到整體空間變數之推估。此外，亦介紹本研究應用之模式參數率定方法及驗證方式。

2.1 區域化變數理論

當自然界中的諸多現象，例如降雨、氣溫、地下水位等現象之某種特定之隨機變數。分佈在一特定範圍之內，並且在時間和空間上的變異程度存在著空間結構，則稱為區域化變數。也因為其存在著時間和空間的結構特性，所以區域化變數又可分為定常性 (Stationarity) 與非定常性 (Nonstationarity)。定常性意指在區域內的隨機變數其統計特性相似，且不會因為時間和空間的不同而改變。而非定常性指的則是相反，其統計參數特性隨著時間和空間之不同皆有不同之變化。

現將區域化變數理論之相關基本假設，說明如下：

1. 隨機函數 (Random Function)

在自然界中諸多的變數，多在時間和空間上具有的變異性，如果是針對某一個空間或是時間的觀點來看，這些水文量多呈現一隨機變數之型態而形成一隨機變域，而該隨機變域在不同考量觀點的情形下，皆為空間或時間的函數。

2. 二階定常性 (Second-Order Stationary Hypothesis)

二階定常性假設又稱為廣義定常性假設 (Wide-Sense Stationarity)，一隨機變域且同時符合下列三項特性者，則稱為滿足二階定常性假設。

- (1) 隨機變數在不同位置的期望值 (Expected Value) 不會因為位置的不同而改變，為一常數值。

$$E[Z(x)] = \mu = C, \text{ of all } x \quad (2.1)$$

式中 $Z(x)$ 表任一位置 x 之隨機變數； E 表示取期望值； μ 表平均值；及 C 表任一常數值。

- (2) 隨機變數在不同位置的變異數(Variance)不會因為位置的不同而改變，為一常數值。

$$\text{Var}[Z(x)] = \sigma_z^2 = C, \text{ of all } x \quad (2.2)$$

$Z(x)$ 表任一位置 x 之隨機變數； Var 表示變異函數；及 C 表任一常數值。

- (3) 在一空間中任一兩不同位置之隨機變數 $Z(X_1)$ 、 $Z(X_2)$ 其共變異數(Covariance)只與兩位置之相對距離有關，與其個別所在位置無關。

$$\text{Cov}(Z(x_1), Z(x_2)) = E\{[Z(x_1) - \mu][Z(x_2) - \mu]\} = \text{Cov}(h), \text{ of all } x \quad (2.3)$$

Cov 表共變異數；及 h 表相對距離。其中當兩點之間距離越大時，其共變異數越小。

3. 本質假設 (Intrinsic Hypothesis)

因在實際應用上，許多物理現象時常無法滿足二階定常性假設，所以區域化變數理論又延伸出了本質假設。本質假設是一種較弱的限制假設，當隨機變數符合下列兩項條件時，稱為符合本質假設。

- (1) 區域中任意兩個不同位置的隨機變數，其之間差值的期望值為兩位置點間距離的函數，且與其所在位置無關。如下式所示：

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = C(h), \text{ of all } x \quad (2.4)$$

E 表示取期望值； C 表任一常數值；及 $Z(x)$ 、 $Z(x+h)$ 表任一位置 x 與距離 h 位置之隨機變數。

- (2) 區域中任意兩個不同位置的隨機變數，其之間的變異函數為兩位置點間距離的函數，與其所在位置無關，且等於兩倍的半變異數函數。如下所示：

$$\text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h), \text{ of all } x \quad (2.5)$$

$\gamma(h)$ 半變異數函數 (Semi-Variogram) 其為兩位置點位相對距離 h 之

函數；及 $Z(x)$ 、 $Z(x+h)$ 表任一位置 x 與距離 h 位置之隨機變數。

4. 準定常性假設 (Quasi-Stationary Hypothesis)

假設一隨機變數 $Z(x)$ 為非定常性，但 $Z(x)$ 在某一定距離內卻可滿足定常性假設，即表示在該有限範圍內其隨機變數符合均一性，但如超出此範圍外，則隨機變數不在滿足均一性。符合如此的假設條件，即稱為準定常性假設。

2.2 半變異數分析

1. 半變異數基本定義

由(2.5)式可知，兩不同位置點隨機變數 $Z(x+h)$ 與 $Z(x)$ 之變異數與其相對距離之半變異數之關係，如下所示：

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] \\ &= \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)] - E[Z(x+h) - Z(x)]\}^2 \\ &= \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)] - [E(Z(x+h)) - E(Z(x))]\}^2 \end{aligned}$$

若(2.4)式 $C(h)=0$ 則表示 $E[Z(x+h) - Z(x)] = 0$ 或 $E[Z(x+h)] = E[Z(x)] = C$ (C 為一常數)。則半變異數可表示成為下式：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \quad (2.6)$$

2. 半變異數特性

(1) 條件半正定 (Conditional Semi-Positive Definite)

當任意一係數 $\lambda_i \in \mathbb{R}$ ，且在 $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 的條件下滿足下式，即可稱為

該半變異數函數 $\gamma(h)$ 滿足條件半正定，半變異數函數 $\gamma(h)$ 必須滿足條件半正定之特性。

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0 \quad (2.7)$$

(2) 無限情形時的特性 (Behavior of Infinity)

因為半變異數函數必須滿足條件半正定的特性，所以當空間相對距離 h 越遠趨近於無窮時，半變異數函數 $\gamma(h)$ 之變量應遠小於其相對距離平方的增量。

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \frac{\gamma(h)}{h^2} = 0 \quad (2.8)$$

當半變異數無法滿足此特性時，表示其無法滿足本質假設，即該隨機變域為非定常性，而在此特性下，其空間結構在相對距離很大時仍然存在著某種空間趨勢。

(3) 半變異數與共變異數之相對關係：

由二階定常性假設之條件下，可將(2.2)式改寫成

$$\text{Var}[Z(x)] = \sigma_z^2 = C$$

$$\Rightarrow \text{Var}[Z(x)] = \text{Var}[Z(x+h)] = \sigma_z^2$$

將(2.3)式改寫成為

$$\text{Cov}(Z(x_1), Z(x_2)) = E\{[Z(x_1) - \mu][Z(x_2) - \mu]\} = \text{Cov}(h)$$

$$\Rightarrow \text{Cov}(h) = E[Z(x+h)Z(x) - \mu^2]$$

之後再配合半變異數函數之表示式，最後可解得半變異數函數 $\gamma(h)$ 與共變異數 $\text{Cov}(h)$ 間之關係，其關係式如下所示：

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= \frac{1}{2} E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\} \\ &= \frac{1}{2} E[Z(x+h)^2] - E[Z(x+h)Z(x)] + \frac{1}{2} E[Z(x)^2] \\ &= \frac{1}{2} E[Z(x+h)^2 - \mu^2] + \frac{1}{2} E[Z(x)^2 - \mu^2] - E[Z(x+h)Z(x) - \mu^2] \\ &= \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x+h)] + \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x)] - \text{Cov}(h) \\ &= \sigma_z^2 - \text{Cov}(h) \end{aligned}$$

$$\text{即 } \gamma(h) = \text{Cov}(0) - \text{Cov}(h) \quad (2.9)$$

將上式之關係如圖(2.1)所示。

(4) 連續性 (Continuity)

由(2.6)式可知，當相對距離 $h=0$ 時，其半變異數函數亦為零，即

表示半變異數函數於圖形座標上是由原點，依相對距離的關係而開始作延伸，即稱之為半變異數函數 $\gamma(h)$ 的連續性。

(5) 碎塊效應 (Nugget Effect)

半變異數因為具有連續性的性質，所以理論上當相對距離 $h=0$ 時，其半變異數函數 $\gamma(h)$ 亦當為零。但在實際的應用上，往往由於量測誤差或是在非常短的距離內量測值 $Z(x)$ 即產生相當大的變異，使得半變異數函數 $\gamma(h)$ 在即小的距離之內無法表現出其變化之情形，而發生非滿足連續性之情況，則稱之為碎塊效應，如圖(2.2)所示。

(6) 臨界變異元值 (Sill)

理論上，當兩點間之相對距離 h 越大，則相互影響的關係越小而半變異數值越大，如圖(2.3)所示。此外，在滿足定常性之假設條件下，其半變異數函數 $\gamma(h)$ 之增值會隨著相對距離 h 的增加越漸趨緩，而當相對距離 h 到達某一特定值後其所對應的 $\gamma(h)$ 則漸趨於一臨界值，此一定值即稱之為臨界變異元值。

(7) 影響範圍 (Influence Range)

當半變異數函數 $\gamma(h)$ 達到臨界變異元值時，其所對應之最小相對距離即稱為影響範圍，如圖(2.3)所示。影響範圍顧名思義，表同一空間裏各變量間相互影響的最大距離，在此一距離內各變數存在著某特定之空間相依的特性；而在影響範圍之外，各變量間則相互獨立。

3. 試驗半變異數 (Experimental Semi-Variogram)

由區域化變數理論可知，空間各不同位置之資料 $Z(x_i)$ 相關變異情形可以一連串之半變異函數 $\gamma(h)$ 來表示，如(2.6)式。因此採用實際觀測資料所求出之半變異數函數 $\gamma(h)$ ，則稱之為試驗半變異數，如圖 2.4 所示。

其推求步驟如下所示：

- (1) 首先計算所有測站各別間之距離，並區分為若干個等距的區間。

- (2) 計算點位之間的半變異數。
- (3) 累計每個等級內的所有配對各數(Pairs) ，並求出每個等級內之距離和變異圖的平均數，視為該等級距離與變異數的代表。
- (4) 再將各代表點連接起來，便可得到其試驗半變異數。

2.3 常用理論半變異數模式 (Theoretical Semi-Variogram Models)

2.3.1 模式簡介

因為試驗半變異數是由數個不連續點所連接，在實際應用上並無法直接套用於克利金空間推估法，其仍需要以一連續性的模式套配完成後才能予以應用，而此一連續性之模式便稱之為理論半變異數模式，常用之理論半變異數模式有下列四種。

- (1) 幂次模式(Power Model)

$$\gamma(h) = \omega h^\varepsilon \quad (\varepsilon < 2) \quad (2.10)$$

- (2) 球體模式(Spherical Model)

$$\gamma(h) = \omega \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (2.11)$$

- (3) 指數模式(Exponential Model)

$$\gamma(h) = \omega \left[1 - \exp\left(\frac{-h}{a}\right) \right] \quad , \text{ 影響範圍} = 3a \quad (2.12)$$

- (4) 高斯模式(Gaussian Model)

$$\gamma(h) = \omega \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad , \text{ 影響範圍} = \sqrt{3}a \quad (2.13)$$

上些式中 ω 表臨界變異數；h 表距離；a 表影響範圍。

上列之各種常用理論半變異數模式圖形如圖(2.5)所示。

- (5) 碎塊模式(Nugget Model)

碎塊模式最主要的概念是，於模式中僅只考慮碎塊效應對於模式

的推估之影響，於該模式下臨界變異值(Sill)為零，且影響範圍 (Influence Range) a 也趨近於零。

$$\gamma(h) = C_0 \quad (2.14)$$

臨界變異數 $\omega = 0$ ；影響範圍 $a \approx 0$ ； C_0 = 碎塊效應。

2.3.2 模式參數率定

本研究在決定各模式之碎塊效應 C_0 、影響範圍 a 及臨界變異數 ω (sill) 主要是採用黃金切割法，其步驟為，(1)設定其切割邊界為 0.00001 至 100，(2)依序分別固定各參數視其為控制變因，(3)將各階段之切割邊界值作為個參數之定值分別套用於各模式內計算其理論半變異數之值，並計算其與試驗半變異數之誤差值，(4)切割收斂條件為累積運算切割次數達 20 次或切割邊界內之差值小於 0.0001，最後當達到收斂條件時，期間所計算出之所有誤差值具有最小平均差之參數組，即為最佳理論變異圖之套配參數。

2.4 克利金空間推估法

克利金空間推估法係由區域化變數理論所推演而得，主要是應用自然界中隨機變數的諸多現象之相關特性，如定常性或是非定常性，對於單一點位或是區塊性之資料推估所發展出相對應的推估系統方程式。如一般最常見的有，簡單克利金法(Simple Kriging)、一般克利金法(Ordinary Kriging)及通用克利金法(Universal Kriging)，本研究乃以單一點位之一般克利金推估法作為研究探討的對象，其特性如下所述。

2.4.1 基本特性

一般克利金推估法(Ordinary Kriging)主要應用於二階定常性假設之區域化變數，以統計的觀點而言，其具有最佳線性不偏估(Best Linear Unbiased Estimator，又簡稱 BLUE)之特性，各特性說明如下：

1. 線性 (Linear)：估計值為觀測值之線性組合

$$Z_o^* = \sum_{i=1}^n \lambda_{oi} Z_i, (i=1,2,\dots,n) \quad (2.15)$$

Z_i 為 $Z(x)$ 在 x_i 點位上之觀測值； Z_o^* 為 $Z(x_o)$ 之推估值；及 λ_{oi} 對應於 Z_i 之權重因子。

2. 不偏估性 (Unbiased)：估計值之期望值等於隨機變數之期望值

$$E[Z_o^*] = E[Z_o] \text{ or } E[Z_o^* - Z_o] = 0 \quad (2.16)$$

Z_o 為 $Z(x)$ 在 x_o 點位上之觀測值；及 Z_o^* 為 $Z(x_o)$ 之推估值。

3. 最佳化 (Optimal)：估計值與觀測值差之變異數為最小

$$\min \left\{ \text{Var}[Z_o^* - Z_o] = E[(Z_o^* - Z_o)^2] \right\} \quad (2.17)$$

Z_o 為 $Z(x)$ 在 x_o 點位上之觀測值；及 Z_o^* 為 $Z(x_o)$ 之推估值。

2.4.2 克利金系統方程式

一般克利金推估法 (Ordinary Kriging) 主要應用於二階定常性假設之區域化變數，因此 $Z(x)$ 之期望值皆為一定值，其值不隨位置的不同而改變即 $E[Z(x)] = E[Z(x+h)] = \text{Const.}$ ，且由線性式 (2.15) 和不偏估式 (2.16) 之特性可以推求得下式：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_{oi} = 1 \quad (2.18)$$

將 (2.15) 式帶入 (2.17) 式中可得知

$$E[Z^*(x_o) - Z(x_o)]^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{oi} \lambda_{oj} E[(Z_i - Z_o)(Z_j - Z_o)]$$

$$\gamma(x_i - x_j) = \frac{1}{2} E[(Z_i - Z_j)^2]$$

由上二式可得下式

$$E[Z^*(x_o) - Z(x_o)]^2 = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{oi} \lambda_{oj} \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_{oi} \gamma(x_i - x_o)$$

由於為使得估計值與觀測值之差能達到最佳化之效果，所以將 (2.15) 式帶入 (2.17) 式中，且又同時滿足不偏估之特性，可利用標準拉格蘭茲法 (Standard Lagrangian Technique)，引入 (Lagrange Multiplier) ν ，展開如下所

示。

$$\begin{aligned}
 L &= \text{Var}[Z^*(x_o) - Z(x_o)] - 2\nu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_{oi} - 1 \right) \\
 &= E[Z^*(x_o) - Z(x_o)]^2 - 2\nu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_{oi} - 1 \right) \\
 &= - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{oi} \lambda_{oj} \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_{oi} \gamma(x_i - x_o) - 2\nu \left(\sum_{i=1}^n \lambda_{oi} - 1 \right)
 \end{aligned}$$

將上式分別對 λ_{oi} 及 ν 取偏微分，且令其微分式為 0，則可求得克利金系統方程式及克利金變異數。

克利金系統方程式：

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^n \lambda_{oj} \gamma(x_i - x_j) + \nu &= \gamma(x_o - x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\
 \sum_{i=1}^n \lambda_{oi} &= 1
 \end{aligned} \tag{2.19}$$

若以矩陣形式表示則克利金系統方程式可表示如下，



$$\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \dots & \gamma_{1n} & I \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \dots & \gamma_{2n} & I \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \dots & \gamma_{nn} & I \\ I & I & \dots & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \lambda_n \\ \nu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \cdot \\ \cdot \\ \gamma_{n0} \\ I \end{bmatrix} \tag{2.20}$$

其中 $\gamma_{ij} = \gamma(x_i - x_j) = \frac{1}{2} E\{[Z(x_i) - Z(x_j)]^2\}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$)，在克利金系統方程式當中半變異數 γ_{ij} 表示觀測點位彼此之間的相關特性。半變異數 γ_{io} 表示觀測點位和推估點位間的相關特性， λ_i 則為其各觀測點位所對應的權重因子。

若依傳統求解(2.20)式矩陣之作法來推求各 λ_i ，如果測點過多容易使得克利金矩陣過於複雜而難以求解。因此本研究將採用可以率定多參數模式之蒙地卡羅為基礎之最佳化方法(Simulation based optimization meathod)來決定各測點之權重因子。其率定過程如下所示。

本研究在計算克利金系統方程式解係數 λ 值之方式主要是以下列步驟計算之，(1)以蒙地卡羅法產生滿足 $\sum_{i=1}^n \lambda_{oi} = 1.0$ 之權重因子；(2)將各推估點之權重因子模擬值代入 $\gamma_{io} = \sum_{i,j=1}^n \lambda_j \gamma_{i,j} + \mu$ ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)之式子計算出 γ_{io} 之值；(3)代入理論半變異數模式計算求得各推估點之 $\hat{\gamma}_{io}$ ；(4)計算 γ_{io} 與 $\hat{\gamma}_{io}$ 之均方根誤差，即 $\bar{\Sigma} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \left(\gamma_{io} - \hat{\gamma}_{io} \right)^2 \right)^{0.5}$ ，其中 n 為推估點數；(5)最後，取均方根誤差差異最小者，則該組模擬值即為該模擬之推估權重因子 λ 最佳值。

2.4.3 克利金變異數

由克利金系統方程式所求得之點位的最佳估計係數 λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$)帶回(2.15)式即可求得最佳不偏估計值，而其所對應之克利金係數變異數，則如下所示：

$$\sigma_k^2 = \text{Var}[Z_o^* - Z_o] = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_i - x_o) \quad (2.21)$$

當所推估之克利金變異數越接近於零時，則表示所選用的模式越佳。

2.5 模式驗證

從各點位推估結果當中可以大概看出各種理論半變異數模式與目標推估值之差異，但其僅為該點位中所呈現之結果。就整體而言，並無法明顯表示出各種理論半變異數模式推估之優劣程度。因此必須藉由下列所介紹之各種驗證指標對於模式所作出之結果，進行驗證與分析，並且由各指標值的大小對於其整體結果作出明確的歸納，本研究所使用之指標有下列六種。

1. 效率係數 (Coefficient Of Efficiency, CE)

當 CE 值越趨近於 1 時，表示模擬結果與實際觀測之資料越吻合，模擬

之精確度越高。其關係表示式如下所示：

$$CE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \{[OBS(i) - EST(i)]^2\}}{\sum_{i=1}^n \{[OBS(i) - \overline{OBS}]^2\}} \quad (2.22)$$

$OBS(i)$ 為點位觀測值； \overline{OBS} 為各觀測值之平均值；及 $EST(i)$ 為模式推估值。

2. 機率點繪相關係數(Probability plot correlation coefficient, PPCC)

當 PPCC 指數越接近於 1，則表示模式有較佳之推估成效，其推估值 $EST(i)$ 越趨近於觀測值 $OBS(i)$

$$PPCC = \frac{\sum_{i=1}^n \{[OBS(i) - \overline{OBS}] \times [EST(i) - \overline{EST}]\}}{\left\{ \sum_{i=1}^n \{[OBS(i) - \overline{OBS}]^2\} \times \sum_{i=1}^n \{[EST(i) - \overline{EST}]^2\} \right\}^{0.5}} \quad (2.23)$$

$OBS(i)$ 為點位觀測值； \overline{OBS} 為各觀測值之平均值； $EST(i)$ 為模式推估值；及 \overline{EST} 為模式推估值之平均值。

3. 均方誤差(Mean-Square error, MSE)

樣本之各點位推估值與觀測點位值之平均誤差，當 MSE 越趨近於 0 表示模式推估值越符合觀測值，其定義如下所示：

$$MSE = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n \{[EST(i) - OBS(i)]^2\} \right\}^{0.5}}{N} \quad (2.24)$$

$OBS(i)$ 為點位觀測值；及 $EST(i)$ 為模式推估值。

4. 均方權重誤差(Mean Square Weighted Error, MSWE)

MSWE 指標如同 MSE 指標皆為計算模式推估值與觀測值，但 MSWE 更著重於高推估值之推估準確度。其關係式如下所示：

$$MSWE = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \{W(i) \times [OBS(i) - EST(i)]^2\}}{N} \right\}^{0.5} \quad (2.25)$$

$$W(i) = \frac{[OBS(i) + \overline{OBS}]}{(2 \times \overline{OBS})}$$

$OBS(i)$ ：為點位觀測值； \overline{OBS} ：為各觀測值之平均

$EST(i)$ ：為模式推估值。

當 $MSWE \rightarrow 0$ 則表示推估值接近於觀測值；此外，除了驗證整體模擬趨勢與實測值誤差為最小之外，並著重於高於平均值之觀測值準確性。

5. 模式信賴指標(Model Reliability Indices)

由 Leggett 與 Williams(1981)提出兩種信賴指標，其分別為幾何信賴指標(Statistical reliability index, KG)與統計信賴指標(Statistical reliability index, KS)兩種指標如下所示：

(1). 幾何信賴指標(Geometric reliability index, KG)

$$KG = \frac{1 + \left(\frac{SUM}{N}\right)^{0.5}}{1 - \left(\frac{SUM}{N}\right)^{0.5}} \quad (2.26)$$

$$SUM = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\left(1 - \frac{EST(i)}{OBS(i)}\right)^2 \right] + \left[\left(1 + \frac{EST(i)}{OBS(i)}\right)^2 \right] \right\}$$

(2). 統計信賴指標(Statistical reliability index, KS)

$$KS = EXP \left[\left(\frac{SUM}{N} \right)^{0.5} \right] \quad (2.27)$$

$$SUM = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\log \left(\frac{EST(i)}{OBS(i)} \right) \right]^2 \right\}$$

當估計值 $EST(i)$ 與觀測值 $OBS(i)$ 完全吻合時，KG 與 KS 將趨近於下限值 1.0；反之當估計值與觀測值差異大時，則 KG 與 KS 值亦會越大。

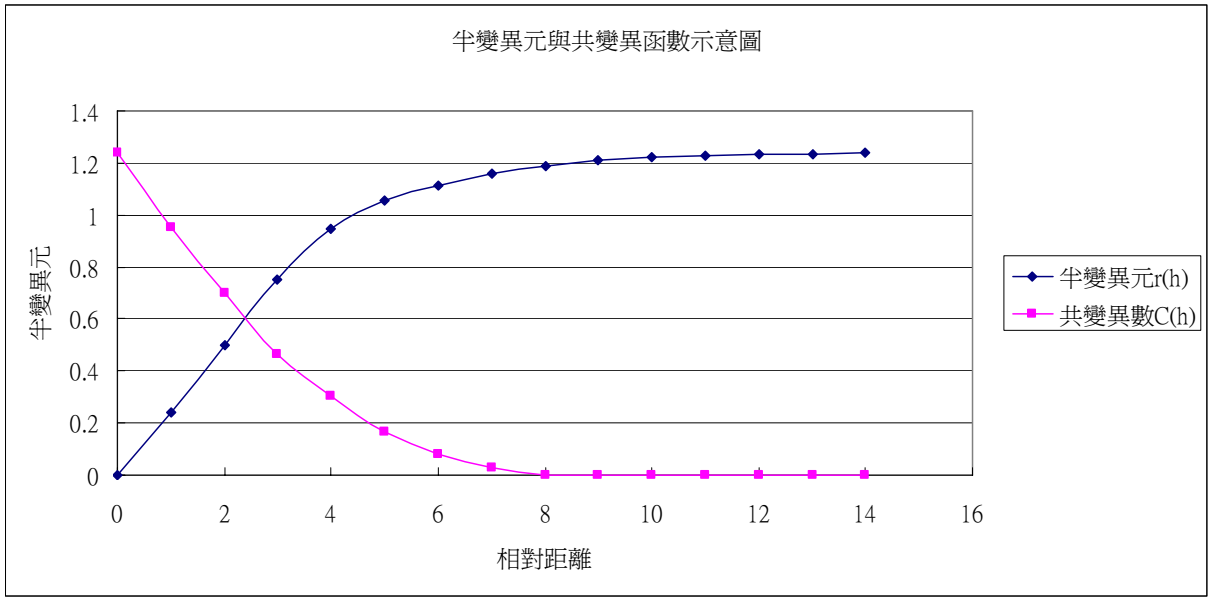


圖 2.1 半變異數函數、共變異數關係示意圖

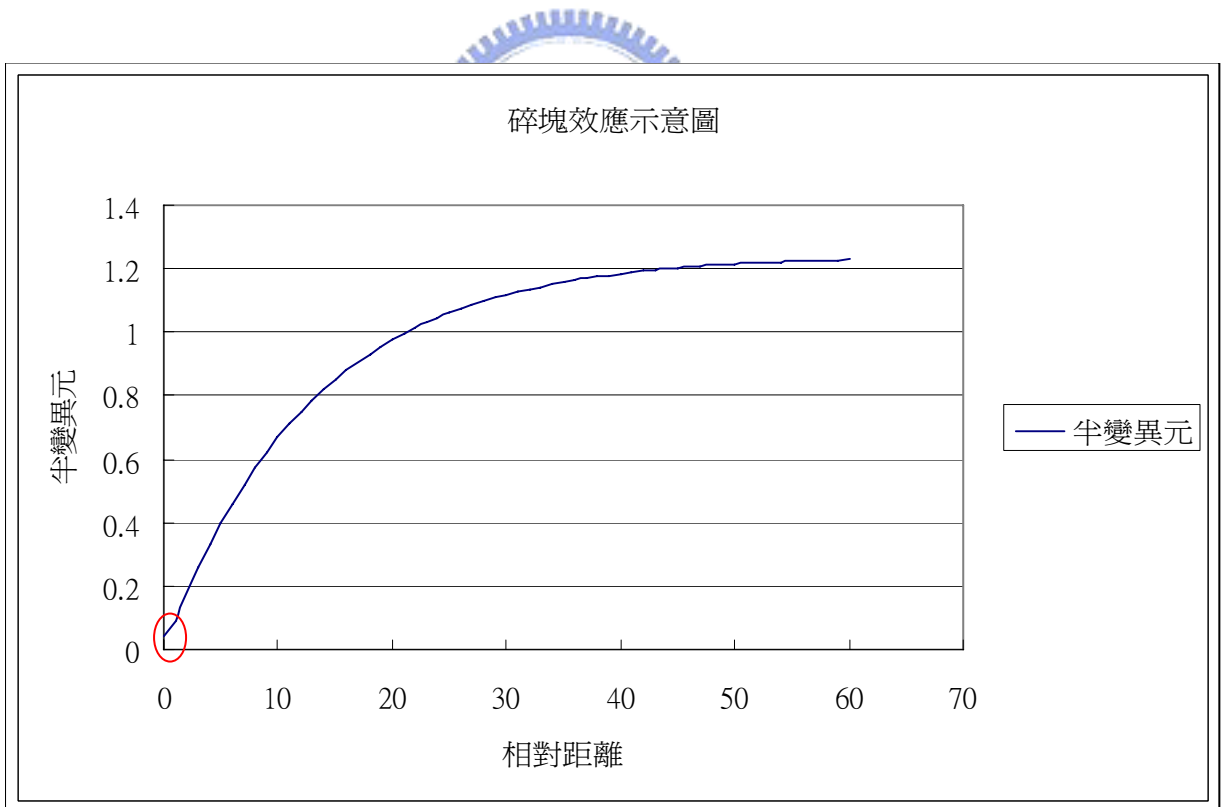


圖 2.2 碎塊效應示意圖

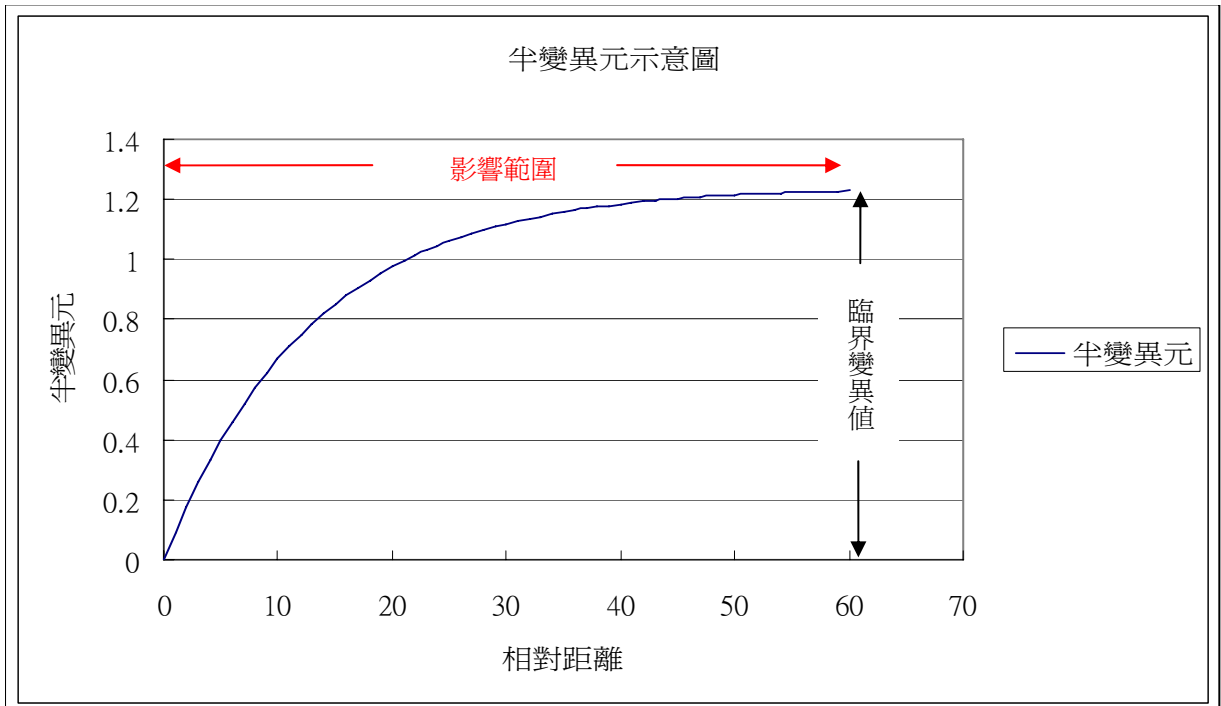


圖 2.3 半變異數函數特性說明圖

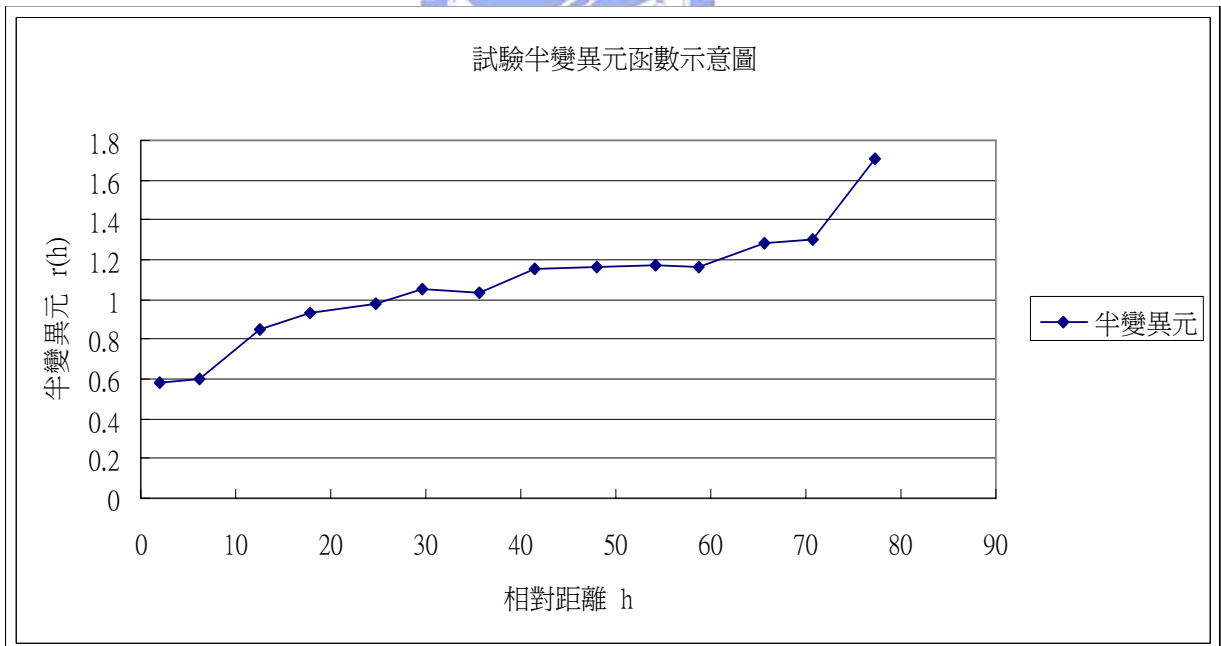


圖 2.4 試驗半變異數函數示意圖

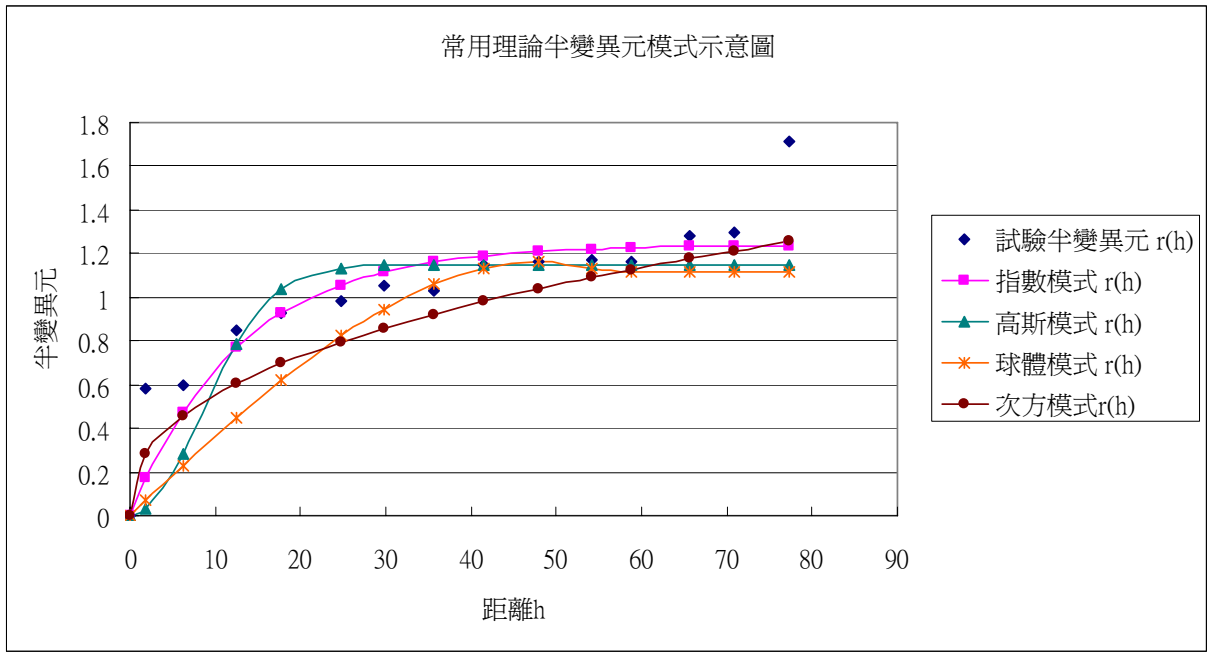


圖 2.5 常用之理論半變異數模式套配示意圖



第三章、 權重半變異數模式之發展

在應用克利金系統方程式推估未知點之值時，須經過一呈現連續性的理論半變異數模式的套配，進而找出較為合適之模式。然而因水文資料本身之不確定性常導致在決定合適的理論半變異數模式亦產生了不確定，進而影響推估值之準確性，因此本研究將發展出一套使用權重概念之模式，藉由各理論模式套配之準確度所產生的加權修正值而建構成的權重半變異數模式，用以提升推估結果之準確性，以解決上述之問題。茲將權重半變異數模式之發展過程說明如下。

3.1 基本概念說明

權重半變異數模式，主要的概念乃是經過傳統常用之理論變異數模式套配之後，依照每一理論模式對於試驗變異圖的整體適合度之好壞，而產生一相對性的加權值。當適合度越好，其所產生之加權值越大；當適合度越差，其所產生之加權值越小。之後再依照每種理論模式所產生之加權值及其半變異數或推估值，分別建構成權重克利金模式(Weighted Kriging model)。

權重半變異數模式依據加權對象可細分為兩種產生權重模式。兩種方式主要加權概念方式皆相同，最大的差異處在於加權因子產生之後對於加權的對象有所不同，下一小節會對於兩種權重模式之特性作更進一步之介紹。

3.2 權重克利金模式之推導

權重模式顧名思義，其為一種由各理論半變異數模式所得推估值與試驗半變異數之誤差所產生之權重 W_i 所建構而成。又依其加權對象之不同又可分為兩種分析方式：(1) 權重克利金模式 I(Weighted Kriging

model_1(WKM1))：加權對象為半變異數；(2) 權重克利金模式 II (Weighted Kriging model_2(WKM2))：其加權對象為推估值。在進行權重模式介紹前，先來了解如何計算各理論半變異數模式之權重比例。

於實際進行理論半變異數模式套配過程當中，不可能會有任何一試驗半變異數與任一理論半變異數模式推估結果呈現吻合之狀態，因此試驗半變異數與理論半變異數模式推估結果皆會產生誤差，在累積所有誤差值平方開根號後取其平均值，即可獲得該理論模式之誤差 ε_m ，如(3.1)式所示。

$$\varepsilon_m = \left[\frac{1}{hp} \sum_{i=1}^{hp} \left(\gamma_m(h_i) - \gamma_o(h_i) \right)^2 \right]^{0.5} \quad (3.1)$$

$$W_m = \frac{1/\varepsilon_m}{\sum_{m=1}^n \frac{1}{\varepsilon_m}} \quad (3.2)$$

ε_m 第 m 個理論半變異數模式之誤差； W_m 第 m 個理論半變異數模式加權因子； $\gamma_m(h_i)$ 由第 m 個理論半變異數模式於 h_i 所推得之半變異數； $\gamma_o(h_i)$ 於 h_i 所推得之試驗半變異數； hp 點位距離組數； n 理論半變異數模式之總數。

由(3.1)可知，當一理論半變異數模式所得之 $\gamma_{m,i}(h) - \gamma_{o,i}(h)$ 之值越大，其誤差 ε_m 亦呈現正比增加。因此所有理論半變異數模式皆可計算其誤差 ε_m ，最後累加所有理論半變異數模式之誤差之倒數 $\sum_{m=1}^n \frac{1}{\varepsilon_m}$ 後，帶入(3.2)式即可計算出該理論半變異數模式之加權因子 W_m 。

因為在計算加權因子 W_m 的時候是以誤差函數 ε_m 之倒數概念，所以每當誤差值 ε_m 越大則 $\frac{1}{\varepsilon_m}$ 之值則越小，因此所計算出之加權因子 W_m 也越小，其中各理論半變異數模式所產生之加權因子其總和則為 1。

權重理論半變異數模式依其加權應用的對象不同又可分為下列兩種模式：

1. 權重克利金模式 I (Weighted Kriging model_1(WKM1)):

$$\gamma_{WKM1,i}(h) = \sum_{m=1}^n \gamma_{m,i} W_m \quad (3.3)$$

W_m 第 m 個理論半變異數模式加權因子； $\gamma_{m,i}$ 第 m 個理論半變異數模式半變異數；及 n 採用理論半變異數模式之總數。

此一權重克利金模式，主要之概念是用各模式之權重因子 W_m ，以該相對應理論半變異數模式之半變異數 $\gamma_{m,i}$ 為對象，做相乘的動作並累加各種模式相對應之乘績和後，進而計算出權重克利金模式 I 之各半變異數值 $\gamma_{WKM1,i}(h)$ ，其表示式如(3.3)所示。之後，再以該計算結果之半變異數值 $\gamma_{WKM1,i}(h)$ 帶入克利金方程式求解其係數值 $\lambda_{oi}, (i=1,2,\dots,n)$ ，最後進而推求出空間未知點位之推估值，其概念如圖(3.1a)所示。

2. 權重克利金模式 II(Weighted Kriging model_2(WKM2)):

$$Z_{WKM2,i}(h) = \sum_{m=1}^n Z_{m,i} W_m \quad (3.4)$$

W_m 第 m 個理論半變異數模式加權因子； $Z_{m,i}$ 第 m 個理論半變異數模式所得第 i 點位之推估值；及 n 採用理論半變異數模式之總數。

第二種權重克利金模式，主要之概念是以各模式之加權因子 W_m 與各理論半變異數模式所推估空間推估值 $Z_{m,i}$ 之乘績，且在累加之後而得之一權重推估值 $Z_{WKM2,i}(h)$ ，其表示式如(3.4)所示。其所得之值 $Z_{WKM2,i}(h)$ 即為 WKM2 模式之推估結果。

權重克利金模式 I 與 II，其概念如圖(3.1b)所示。上述兩種權重模式其推估流程整理如圖(3.2)所示。

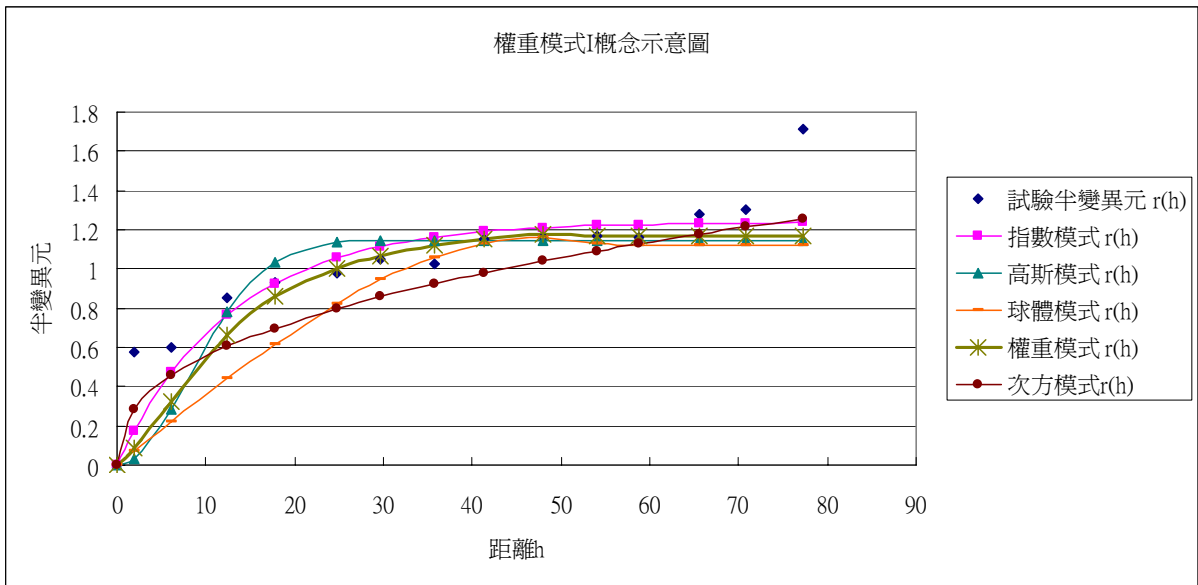


圖 3.1(a) 權重模式 I 概念示意圖

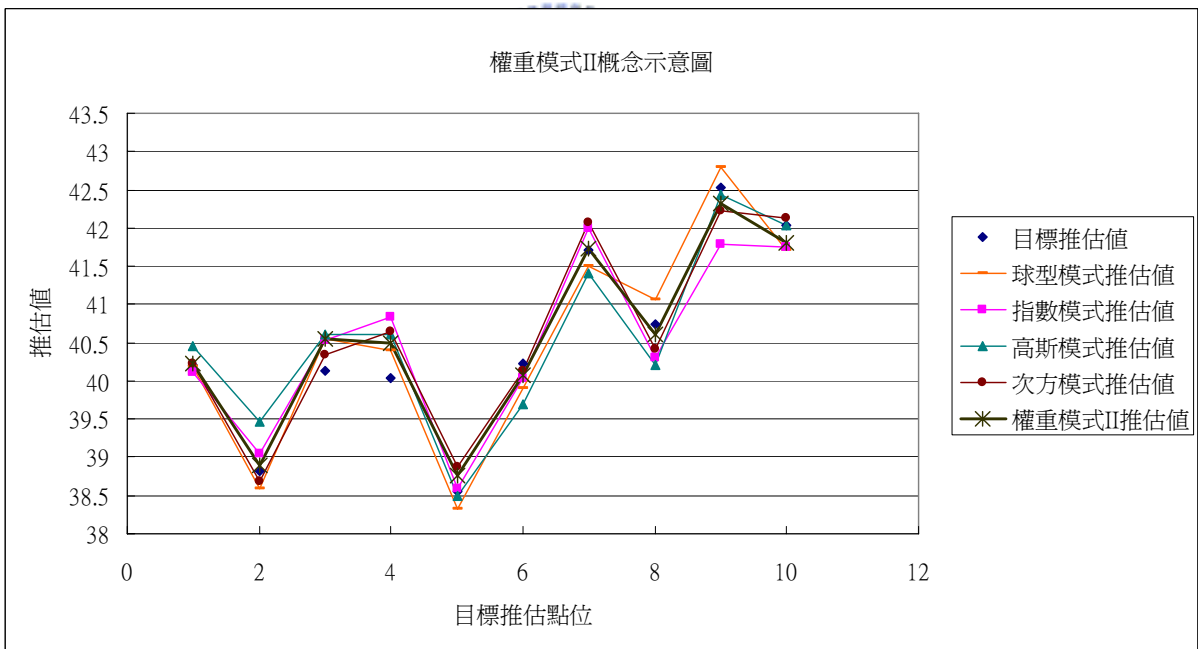


圖 3.1(b) 權重模式 II 概念示意圖

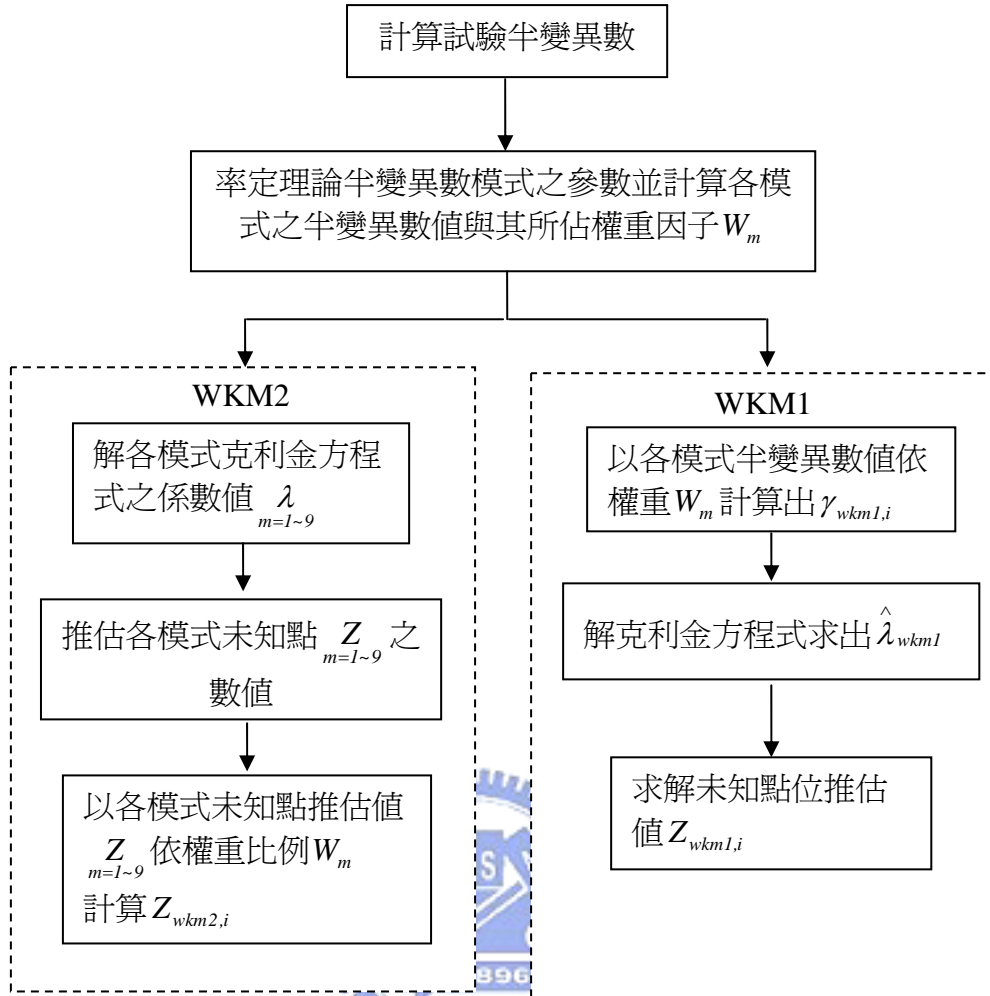


圖 3.2 權重克利金模式推估流程圖

第四章、模式應用於設計案例之驗證與比較

本章主要重點在於測試權重半變異數模式(Weighted Kriging model)，與傳統理論半變異數模式球型、指數、高斯、冪次、碎塊模式所設計之已知空間分布條件下，進行未知點位的推估。並配合第二章所提過之 CE、PPCC、MSE、KG、KS、MSWE，六種驗證指標計算結果進行分析與評估本研究所發展的權重半變異數模式與傳統理論半變異數模式之差異性。

4.1 設計案例基本資料概述

本設計案例範圍為一 $60(\text{km})\times 60(\text{km})$ 的正方形面積，於該面積上假設一共有 25 個站，其 25 個站呈現均勻分部之狀態，各站之座標點位如表 4.1 所示。本設計案例共分別假設五場具有不同型態空間分佈之降雨，並控制其空間分佈型態分別呈現為球型、指數、高斯、冪次、碎塊五種不同之模式；即表示由所設計之雨量資料所計算出之試驗半變異數圖，分別呈現球型、指數、高斯、冪次、碎塊模式之分佈情況。

今以該五種設計雨型分佈作為已知設計雨量模擬之參考資料，分別以各種常用理論半變異數模式與本研究之權重克利金模式，對於該十個未知點位如表 4.2 所示，進行空間變異特性之推估與分析。各空間座標點位之分布如圖 4.1 所示。

4.2 驗證流程

本案例之設計主要是為了驗證權重克利金模式，用於各種空間分佈情形下對於未知點位推估之效果，並與其他常用理論半變異數模式推估效果作比較，其驗證分析流程如下：

1. 衍生空間變數

本設計案例為驗證權重克利金模式是否適用於各種變數空間分佈之情況，且其推估之結果也能優於其他常用理論半變異數模式，故須事先設計半變異數空間分佈變數場，之後再以各常用理論半變異數模式和權重克利金模式進行套配與推估，以便於判斷權重克利金模式之推估效果是否優於其他理論半變異數模式。

首先在設計符合傳統理論半變異數模式之空間分佈變數場時，將已知座標點位間距離分成 10 個等級，之後再以每個等級間之平均距離視為代表距離，並以假設每一種模式之影響範圍、臨界變異數等參數，最後再衍生出其每等級間之代表半變異數。其各模式之設計參數值及各模式等級間之代表距離與所對應模式之半變異數值如表 4.3 所示。之後依序繪出各模式之半變異數圖，並以該半變異數圖作為空間分佈特性之準則，製造出各種實驗空間分佈變數場分佈，使其試驗半變異數圖能符合於該分佈特性(如表 4.4 與圖 4.2~4.6 所示)，其空間變數分佈之情況如圖 4.7~4.11 與表 4.5 所示。

2. 理論變異圖模式之套配及其權重因子之計算

衍生完上述五種實驗空間分佈變數場之後，與傳統克利金空間推估法相同之步驟進行各種理論半變異數模式之套配，並進行各理論模式之權重因子計算，如表 4.6 所示。

3. 計算未知點位之目標推估值

當空間變數分佈呈現某一個預設理論模式之分佈情況下，其未知點位之目標推估值則以該場空間分佈之相對應模式所推估出之估計值做為該未知點位推估目標依據。

4. 各變異元模式參數之推估

以常用理論半變異數模式與權重克利金模式進行空間未知點位之推估。因為本研究在計算克利金方程式求解係數之步驟，主要是以蒙地卡羅方式求解，其求解過程可能產生些許差異，為解決其差異情況，故重複進行 10 次的重複性模擬，以避免產生極端推估之影響產生，作為該空間未知點位之推估值，其空間點位推估結果如表 4.7~4.11。最後推估值繪製如圖 4.12~4.16 所示。

5. 驗證指標之計算

由設計之各種模式之實驗空間分佈場情形下，每種理論半變異數模式與權重克利金模式，皆會計算出一組推估值，然而每次重複模擬出之推估值與目標推估值之差異大小主要是以 CE(Coefficient of efficiency)、PPCC(Probability plot correlation coefficient)、MSE(Mean-Square error)、KG(Geometric reliability index)、KS(Statistical reliability index)、MSWE(Mean square weighted error)，以上六種驗證指標作為實際判斷之依據。在每次進行重複模擬之過程當中，每次的模擬皆會計算求得驗證指標，之後再將所有所得驗證指標計算其平均值，最後以該平均值作為當次設計之空間分佈場之驗證成果進行各理論半變異數及權重克利金模式準確度之排序。

上述驗證過程中，每一個設計案例之進行，為了消減蒙地卡羅法對於克利金方程式之係數計算所產生些許之誤差，所以於每一次的設計案例模擬流程當中，皆會重複上述步驟 3~5 共 10 次，以計算出整個設計案例之平均推估值作為代表值，指標之檢定也是同樣的以各驗證指標平均值為其代表值，上述驗證流程請參閱圖 4.17。

4.3 模擬推估結果之比較與驗證分析

1 推估值結果比較

於各個設計案例當中，在設計完其降雨空間分佈特性之後，藉由各種傳統的克利金模式進行套配，依照第三章所介紹的權重克利金模式之概念產生一權重比例，以構成為權重模式之最主要因子，如表 4.6 所示。由其權重比例之大小分佈可以明顯得看出，當以某一特定理論半變異數模式設計空間變數分佈情形，其該對應之模式所佔之權重比例值越大，即代表其試驗變異圖之套配越佳，例如：在高斯型模式設計案例情況下，高斯模式與高斯碎塊型模式分別佔有最大之權重 0.144。此外，也可觀察出於其他設計案例下也有相同類似的套配結果，即於設計案例條件下其相對應模式皆有明顯較佳的套配效果。以整體而言，其權重比例所呈現之結果與本案例設計前欲達到之概念相同，也就是當選用與設計案例相同條件模式之下進行模式之套配，其所佔的權重比例值越大，即表示該模式之套配效果越佳，也表示其空間推估值也應呈現最佳之推估結果。

以推估結果表 4.7~4.11 對照圖 4.12~4.16 也可以看出，於某一設計案例下，當使用理論半變異數圖模式進行未知點之推估時，除了原先所設定之理論半變異數模式有不錯之推估結果以外，第二種權重克利金模式 (Weighted Kriging model₂(WKM₂)) 亦可以產生接近目標推估值之推估效果，例如：於高斯模式設計案例條件下，於未知點位 1，高斯模式與目標推估值差為 0.2524，WKM₂ 相差 0.0319；於未知點位 2，高斯模式與目標推估值差為 0.6417，WKM₂ 相差 0.066；於未知點位 3，高斯模式與目標推估值差為 0.4774，WKM₂ 相差 0.4151；於未知點位 4，高斯模式與目標推估值差為 0.5733，WKM₂ 相差 0.466；於未知點位 5，高斯模式與目標推估值差為 0.062，WKM₂ 相差 0.2067；於未知點位 6，高斯模式與目標推估值差為 0.5382，WKM₂ 相差 0.1632；於未知點位 7，高斯模式與目標推估值差

為 0.3018，WKM2 相差 0.0185；於未知點位 8，高斯模式與目標推估值差為 0.5389，WKM2 相差 0.1372；於未知點位 9，高斯模式與目標推估值差為 0.0949，WKM2 相差 0.2102；於未知點位 10，高斯模式與目標推估值差為 0.0076，WKM2 相差 0.2378，由此可以明顯看出 WKM2 推估值與目標推估值之差值幾乎皆小於高斯模式之推估結果，也就是 WKM2 明顯的有較佳之推估效果。

2 驗證指標分析

若單純的以推估結果之分佈情況，僅可以看出各模式之推估趨勢及單點間之誤差，但若欲分析精確度則需要應用各種驗證指標加以分析，本設計案例主要使用第二章所述之下列六種驗證指標 CE、PPCC、MSE、KG、KS、MSWE，以作為實際判斷之依據，當 CE、PPCC、KG、KS 越趨近於 1 即表示其模式推估結果越趨近於目標推估值，而當 MSE、MSWE 越趨近於 0 也同樣表示其推估結果越符合目標推估值。

各設計案例之驗證指標計算結果及依次排序各模式準確度之結果，如表 4.12~4.16 所示。就以上一小節之高斯型設計案例為例，當空間變數分佈設定為高斯型模式分佈下，如表 4.6 權重因子一欄表中可知，球型、球型碎塊、高斯、高斯碎塊模式皆有不錯套配結果。例如表 4.14 結果所示，其目標推估值所採用的是高斯型模式對於未知點位所推估出之值，所以其結果如同本案例設計之概念，於各種檢定模式之下，基本上高斯型模式做推估可以得到最佳之套配與推估結果，但是在經由權重修正過後之 WKM2 所推估出之結果，不論是 $CE=(0.6091)$ 、 $PPCC=(0.8341)$ 、 $MSE=(0.2354)$ 、 $KG=(1.0186)$ 、 $KS=(1.0186)$ 、 $MSWE=(0.747)$ 任一種驗證指標觀察可以發現 WKM2 皆呈現出比高斯模式 $CE=(0.4523)$ 、 $PPCC=(0.8042)$ 、 $MSE=(0.2804)$ 、 $KG=(0.022)$ 、 $KS=(1.022)$ 、 $MSWE=(0.8886)$ 顯示出有更好的推估效果。

然而由表 4.12~4.16 可以看出，於其他設計案例上的應用，WKM2 也都

可以得到比各設計案例相對應之模式有更好之推估效果，因此可以得到一結論為：WKM2 的推估結果不但更勝於原本設計案例所對應之模式有最佳的推估效果之外，甚至可以適用於各種設計案例當中，且其結果都優於其他常用理論模式。以上結果證明權重克利金模式，不僅可以藉由加權的方式優化空間推估的準確度，而且也可以適用於各種不同之空間分佈特性之變數，以改善使用克利金空間推估法可能因選取不適合的理論半變異數模式所造成之誤差。



表 4.1、已知點位

編號	X 座標	Y 座標	編號	X 座標	Y 座標
1	5	55	14	5	10
2	0	5	15	35	15
3	15	35	16	45	30
4	20	55	17	50	45
5	25	15	18	55	40
6	35	50	19	15	30
7	35	10	20	20	45
8	45	40	21	20	20
9	50	5	22	25	30
10	60	15	23	40	30
11	55	15	24	45	10
12	30	55	25	60	35
13	10	50			

表 4.2、未知點位

編號	X 座標	Y 座標
1	5	10
2	10	50
3	15	35
4	20	20
5	30	55
6	35	10
7	40	30
8	50	45
9	55	15
10	60	35

表 4.3 理論半變異數各模式之參數設定與所對應距離之變異元

距離(h)	球型模式		指數模式		高斯模式		冪次模式		碎塊模式
	影響範圍(a)	臨界變異數(w)	影響範圍(a)	臨界變異數(w)	影響範圍(a)	臨界變異數(w)	冪次項(λ)	臨界變異數(w)	
	32	1.12	9	1.1	14.49	1.14	0.25	0.45	
0	0		0		0		0		1.008
8.985	0.459		0.695		0.364		0.78		1.008
15.321	0.743		0.9		0.767		0.89		1.008
20.447	0.927		0.987		0.984		0.957		1.008
27.042	1.082		1.045		1.105		1.026		1.008
33.619	1.12		1.074		1.135		1.084		1.008
39.975	1.12		1.087		1.139		1.132		1.008
45.537	1.12		1.093		1.14		1.169		1.008
51.519	1.12		1.096		1.14		1.206		1.008
58.443	1.12		1.098		1.14		1.244		1.008
65.935	1.12		1.099		1.14		1.282		1.008

表 4.4 試驗半變異數之套配

代表距離(h)	球型模式		指數模式		高斯模式		冪次模式		碎塊模式	
	固定參數值	實際套配值	固定參數值	實際套配值	固定參數值	實際套配值	固定參數值	實際套配值	固定參數值	實際套配值
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8.985	0.459	0.416	0.695	0.665	0.364	0.4	0.779	0.75	1.008	0.931
15.321	0.743	0.767	0.9	0.941	0.767	0.808	0.89	0.905	1.008	0.981
20.447	0.927	0.94	0.987	1.015	0.984	0.984	0.957	0.968	1.008	0.856
27.042	1.082	1.105	1.045	1.06	1.105	1.133	1.026	1.127	1.008	1.115
33.619	1.12	1.102	1.074	1.068	1.135	1.123	1.0836	1.047	1.008	1.042
39.975	1.12	1.196	1.087	0.999	1.139	1.114	1.132	1.132	1.008	1.066
45.537	1.12	1.377	1.093	1.201	1.14	1.321	1.169	1.15	1.008	0.937
51.519	1.12	1.463	1.096	1.374	1.14	1.42	1.206	1.198	1.008	1.076
58.443	1.12	1.111	1.098	1.543	1.14	1.148	1.244	1.162	1.008	1.725
65.935	1.12	0.617	1.099	0.128	1.14	0.634	1.282	0.799	1.008	0.97

表 4.5 各設計案例之空間點位變數值

已知點位	座標軸		設計案例變數值分佈				
	X 座標	Y 座標	球型模式	指數型模式	高斯型模式	冪次型模式	碎塊型模式
1	5	55	35.823	42.823	35.823	35.823	38.823
2	0	5	41.412	41.412	41.412	41.412	37.412
3	15	35	37.251	40.251	37.251	41.251	45.251
4	20	55	27	27	27	27	27
5	25	15	38.249	38.249	38.249	38.249	42.249
6	35	50	33.658	33.658	33.658	33.658	33.658
7	35	10	40.761	38.761	40.761	38.761	38.761
8	45	40	45.249	44.249	47.249	47.249	47.249
9	50	5	42	44	43	47	47
10	60	15	41.462	43.462	41.462	41.462	41.462
11	55	15	45.439	42.439	45.439	45.439	45.439
12	30	55	38.514	42.514	38.514	38.514	38.514
13	10	50	35.47	35.47	35.47	35.47	35.47
14	5	10	41.379	29.379	41.379	41.379	37.379
15	35	15	41.965	45.965	38.965	45.965	45.965
16	45	30	53.169	53.169	53.169	53.169	43.169
17	50	45	44.008	44.008	44.008	44.008	44.008
18	55	40	44.806	47.806	44.806	47.806	47.806
19	15	30	40.673	44.673	40.673	40.673	45.673
20	20	45	33	29	33	33	42
21	20	20	40.686	40.686	40.686	40.686	40.686
22	25	30	38	40	38	43	43
23	40	30	41.53	42.53	41.53	37.53	37.53
24	45	10	43	36	43	34	34
25	60	35	41.472	43.472	41.472	41.472	41.472

表 4.6 各選用理論半變異數模式之權重比例

選用模式 \ 案例	球型模式設計案例	指數型模式設計案例	高斯型模式設計案例	冪次型模式設計案例	碎塊模式設計案例
球型模式	0.139	0.122	0.141	0.118	0.094
球型碎塊模式	0.139	0.122	0.141	0.12	0.122
指數模式	0.123	0.122	0.121	0.121	0.102
指數碎塊模式	0.122	0.122	0.121	0.098	0.121
高斯模式	0.138	0.122	0.144	0.117	0.095
高斯碎塊模式	0.14	0.122	0.144	0.141	0.123
冪次模式	0.09	0.113	0.086	0.137	0.119
冪次碎塊模式	0.09	0.113	0.086	0.137	0.121
碎塊模式	0.02	0.041	0.018	0.011	0.103

表 4.7 球型模式設計案例下各模式推估結果

未知點位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
目標推估值	41.5	37.67	40.13	40.03	38.16	39.729	42.107	42.24	42.922	42.035
球型模式推估值	40.364	38.773	40.737	40.618	39.06	40.579	41.707	40.762	42.26	41.701
球型碎塊模式推估值	42.413	38.316	38.8	40.050	36.939	39.971	42.134	41.301	42.643	42.801
指數型模式推估值	41.197	39.224	38.990	40.266	37.21	40.17	41.933	40.844	42.164	42.16
指數碎塊型模式推估值	41.451	38.163	38.202	40.248	36.623	39.738	42.749	39.793	42.165	42.871
高斯型模式推估值	42.379	39.262	38.48	39.761	36.740	40.123	42.33	40.567	41.941	42.629
高斯碎塊型模式推估值	43.574	38.215	39.224	39.101	36.744	40.173	42.177	39.485	41.553	42.271
冪次型模式推估值	42.209	38.550	37.587	39.597	37.955	39.859	42.252	40.25	42.601	41.997
冪次碎塊型模式推估值	42.868	37.405	38.847	39.816	36.418	40.425	43.387	39.423	42.242	43.007
碎塊模式推估值	39.681	39.29	39.521	39.474	39.261	40.88	39.814	39.579	39.331	39.685
WKM1 推估值	42.528	39.32	38.899	39.188	37.187	39.986	41.877	41.213	42.203	42.143
WKM2 推估值	42.318	38.435	38.757	39.795	36.994	40.09	42.328	40.323	42.114	42.425

表 4.8 指數型模式設計案例下各模式推估結果

未知點位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
目標推估值	40.2	40.37	40.13	40.03	38.86	40.229	41.707	40.737	42.922	42.035
球型模式推估值	39.8526	40.4095	39.6314	40.4135	38.9525	41.2013	41.3603	39.9384	43.0995	41.8495
球型碎塊模式推估值	42.4131	38.3159	38.8	40.0503	36.939	39.9706	42.1336	41.3008	42.6428	42.8013
指數型模式推估值	40.1327	40.1687	39.5687	40.4445	39.3771	40.4407	42.2979	40.4132	42.4293	41.8934
指數碎塊型模式推估值	39.5053	40.1004	39.7359	39.9538	39.2509	40.8899	41.5531	40.6464	42.9441	41.9955
高斯型模式推估值	40.1701	40.3483	39.2547	40.6252	39.5959	40.9543	41.7304	39.8287	42.4022	41.6128
高斯碎塊型模式推估值	39.9492	40.1937	38.9155	40.2783	39.4315	40.4741	41.5836	40.6445	42.3612	42.0408
冪次型模式推估值	39.4172	39.7767	40.0697	40.4202	39.827	40.9365	41.9364	41.2338	42.9165	41.7656
冪次碎塊型模式推估值	39.9239	39.5822	39.7241	40.5436	39.4245	40.406	41.5246	41.2316	42.274	42.1535
碎塊模式推估值	41.0039	40.423	40.6423	40.8377	40.6412	41.0899	40.7293	40.9915	40.6372	40.3358
WKM1 推估值	40.0443	39.6908	39.2417	39.9554	39.0524	41.0667	41.4904	40.1278	42.1081	41.4653
WKM2 推估值	39.9128	40.1065	39.5337	40.4362	39.4777	40.7389	41.6282	40.4778	42.5323	41.8567

表 4.9 高斯型模式設計案例下各模式推估結果

未知點位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
目標推估值	40.2	38.82	40.13	40.03	38.56	40.229	41.707	40.737	42.522	42.035
球型模式推估值	40.1852	38.5835	40.5489	40.4059	38.3326	39.9012	41.4942	41.0665	42.7988	41.7049
球型碎塊模式推估值	40.0142	38.5951	40.433	40.2295	38.6958	40.4243	41.1443	40.7273	42.1893	42.011
指數型模式推估值	40.1184	39.0383	40.535	40.8444	38.5966	40.0365	41.9964	40.312	41.7879	41.7526
指數碎塊型模式推估值	39.9431	38.5714	40.5617	40.574	38.9846	39.9683	42.1153	40.8678	42.5935	41.521
高斯型模式推估值	40.4524	39.4617	40.6074	40.6033	38.498	39.6908	41.4052	40.1981	42.4271	42.0426
高斯碎塊型模式推估值	40.6253	39.1609	40.6705	40.1883	39.3316	40.0952	41.9548	40.825	42.0837	41.7731
冪次型模式推估值	40.2196	38.6835	40.3417	40.6503	38.8769	40.1229	42.0755	40.4135	42.233	42.1314
冪次碎塊型模式推估值	40.2474	38.588	40.6454	40.6154	38.5862	40.355	42.2374	40.2273	42.6579	41.663
碎塊模式推估值	40.0799	40.2108	40.3456	40.7345	40.3784	40.5246	40.2645	40.1541	40.7055	40.2674
WKM1 推估值	39.8062	38.917	40.6315	40.3945	38.7182	40.0466	41.4796	40.6972	42.2593	42.1414
WKM2 推估值	40.2319	38.886	40.5451	40.496	38.7667	40.0658	41.7255	40.5998	42.3118	41.7972

表 4.10 冪次型模式設計案例下各模式推估結果

未知點位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
目標推估值	40.8	40.532	41.33	40.03	40.16	40.729	41.307	40.737	42.522	42.035
球型模式推估值	41.074	40.1472	40.6618	40.3228	39.3277	41.2654	41.2378	40.5029	42.6061	41.5182
球型碎塊模式推估值	40.4978	40.3713	40.8549	40.5558	39.7682	40.9282	41.0641	40.79	42.8862	42.716
指數型模式推估值	41.2095	39.5691	41.2106	40.4181	39.8581	41.0263	41.643	41.3477	41.8841	42.3163
指數碎塊型模式推估值	40.6571	39.7339	40.8139	40.5333	39.8266	40.6554	42.1726	40.6158	41.9626	41.9015
高斯型模式推估值	40.3685	39.8478	41.0207	40.3287	40.0441	40.9527	41.6543	40.4896	41.667	41.6997
高斯碎塊型模式推估值	40.6378	39.9263	40.9561	40.7526	39.4984	40.9438	41.7764	41.0927	42.3451	42.4247
冪次型模式推估值	40.8915	39.7844	41.1144	40.8972	39.822	40.8575	41.6166	40.7851	42.4636	41.664
冪次碎塊型模式推估值	40.3956	39.2968	41.1543	40.7055	39.8024	41.21	41.8903	40.712	42.2399	41.9639
碎塊模式推估值	40.4458	40.7915	40.5714	40.7989	40.7893	40.5087	40.6486	40.6978	40.407	41.1261
WKM1 推估值	40.6392	39.8575	41.0693	40.6936	39.3441	41.0226	41.7702	40.7598	42.968	41.7832
WKM2 推估值	40.7181	39.8649	40.9605	40.5583	39.75	40.9652	41.6164	40.8077	42.2392	42.0547

表 4.11 碎塊模式設計案例下各模式推估結果

未知點位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
目標推估值	40.8	40.732	41.33	41.63	40.86	41.329	41.107	40.737	41.522	41.635
球型模式推估值	40.9431	40.9281	40.9181	41.2558	41.1638	41.5355	40.8566	40.1467	41.3257	41.3499
球型碎塊模式推估值	40.3857	40.1882	41.1144	40.7117	40.0785	41.5488	41.3976	40.9146	42.198	41.6234
指數型模式推估值	41.5112	40.6226	40.7239	41.053	40.4483	41.4931	40.6396	40.9708	41.9825	41.9746
指數碎塊型模式推估值	40.529	40.1683	40.7747	41.2693	40.6963	41.1356	41.1256	41.333	42.1715	42.0835
高斯型模式推估值	40.9737	41.1621	40.5693	41.0559	40.4547	41.4146	40.3666	40.7697	41.6177	41.3002
高斯碎塊型模式推估值	40.3805	40.1406	40.8412	41.4215	40.3225	41.2859	41.7798	40.5833	41.8961	42.0862
冪次型模式推估值	40.771	40.7694	40.5705	41.1299	40.3824	41.536	41.5229	40.7476	42.0282	41.7845
冪次碎塊型模式推估值	40.5572	40.2472	40.765	41.0247	40.516	41.2192	41.6916	40.9313	42.0167	42.133
碎塊模式推估值	41.2439	40.8921	40.9	41.1898	40.8198	41.1172	41.1238	41.1447	41.0696	40.8228
WKM1 推估值	40.6923	40.4261	40.805	40.9696	40.4336	41.3221	41.3005	40.3411	42.032	42.6576
WKM2 推估值	40.7415	40.5058	40.7914	41.1163	40.4998	41.383	41.2119	40.8224	41.9067	41.7912

表 4.12 球型模式設計案例各模式驗證指標計算結果

Model \ Index		CE	PPCC	MSE	KG	KS	MSWE
球型模式	排序	2	2	2	2	2	2
	平均指標值	0.4895	0.818	0.2499	1.0197	1.0197	0.7903
球型碎塊模式	排序	9	10	10	10	10	10
	平均指標值	0.1873	0.7395	0.3289	1.0258	1.0258	1.0417
指數模式	排序	10	9	9	9	9	9
	平均指標值	0.1755	0.742	0.3257	1.0256	1.0256	1.0314
指數碎塊模式	排序	7	7	8	8	8	8
	平均指標值	0.3514	0.7623	0.3029	1.0239	1.0239	0.9597
高斯模式	排序	6	8	6	6	6	6
	平均指標值	0.3696	0.7457	0.2944	1.0233	1.0233	0.9317
高斯碎塊模式	排序	5	4	4	4	4	4
	平均指標值	0.42	0.7977	0.2783	1.0218	1.0218	0.8797
冪次模式	排序	8	6	7	7	7	7
	平均指標值	0.3053	0.7688	0.3008	1.0235	1.0235	0.9545
冪次碎塊模式	排序	3	5	5	5	5	5
	平均指標值	0.4567	0.7784	0.2823	1.0223	1.0223	0.8927
碎塊模式	排序	11	11	11	11	11	11
	平均指標值	-0.2212	0.1695	0.4187	1.033	1.033	1.3253
WKM1	排序	4	3	3	3	3	3
	平均指標值	0.4412	0.8111	0.2651	1.0209	1.0209	0.8389
WKM2	排序	1	1	1	1	1	1
	平均指標值	0.6847	0.8739	0.2086	1.0163	1.0163	0.6612

表 4.13 指數型模式設計案例各模式驗證指標計算結果

Model \ Index		CE	PPCC	MSE	KG	KS	MSWE
球型模式	排序	7	8	8	8	8	8
	平均指標值	-0.364	0.5162	0.4162	1.0328	1.0328	1.3181
球型碎塊模式	排序	9	10	10	10	10	10
	平均指標值	-0.5764	0.4842	0.4521	1.0355	1.0355	1.4326
指數模式	排序	4	2	2	2	2	2
	平均指標值	0.1121	0.7213	0.3125	1.0244	1.0244	0.9896
指數碎塊模式	排序	11	9	9	9	9	9
	平均指標值	-0.7381	0.4973	0.4395	1.0347	1.0347	1.3929
高斯模式	排序	6	6	6	6	6	6
	平均指標值	-0.3611	0.5789	0.3789	1.0299	1.0299	1.1986
高斯碎塊模式	排序	3	4	4	4	4	4
	平均指標值	0.1991	0.7048	0.3428	1.0273	1.0273	1.086
冪次模式	排序	5	5	5	5	5	5
	平均指標值	-0.1316	0.6224	0.3761	1.0295	1.0295	1.1901
冪次碎塊模式	排序	2	3	3	3	3	3
	平均指標值	0.2492	0.7098	0.3275	1.0257	1.0257	1.038
碎塊模式	排序	10	11	11	11	11	11
	平均指標值	-0.5808	-0.1506	0.4978	1.0392	1.0392	1.5801
WKM1	排序	8	7	7	7	7	7
	平均指標值	-0.3745	0.5727	0.4008	1.0314	1.0314	1.271
WKM2	排序	1	1	1	1	1	1
	平均指標值	0.3602	0.7442	0.2851	1.0222	1.0222	0.9039

表 4.14 高斯型模式設計案例各模式驗證指標計算結果

Model \ Index		CE	PPCC	MSE	KG	KS	MSWE
球型模式	排序	10	7	10	10	10	10
	平均指標值	0.0542	0.7167	0.3468	1.0275	1.0275	1.0981
球型碎塊模式	排序	9	10	9	9	9	9
	平均指標值	0.0969	0.6719	0.3427	1.0268	1.0268	1.0857
指數模式	排序	3	6	4	4	4	4
	平均指標值	0.3396	0.7179	0.3011	1.0237	1.0237	0.9554
指數碎塊模式	排序	8	9	8	8	8	8
	平均指標值	0.1126	0.6824	0.3394	1.0267	1.0267	1.0744
高斯模式	排序	2	2	2	2	2	2
	平均指標值	0.4523	0.8042	0.2804	1.022	1.022	0.8886
高斯碎塊模式	排序	4	8	5	5	5	6
	平均指標值	0.283	0.7102	0.3208	1.025	1.025	1.0181
冪次模式	排序	6	4	6	6	6	5
	平均指標值	0.2128	0.7483	0.3212	1.0252	1.0252	1.0175
冪次碎塊模式	排序	5	3	3	3	3	3
	平均指標值	0.2236	0.7912	0.2996	1.0236	1.0236	0.9473
碎塊模式	排序	11	11	11	11	11	11
	平均指標值	-0.216	0.0974	0.4184	1.0331	1.0331	1.3262
WKM1	排序	7	5	7	7	7	7
	平均指標值	0.1253	0.7324	0.337	1.0266	1.0266	1.0675
WKM2	排序	1	1	1	1	1	1
	平均指標值	0.6091	0.8341	0.2354	1.0186	1.0186	0.747

表 4.15 冪次型模式設計案例各模式驗證指標計算結果

Model \ Index		CE	PPCC	MSE	KG	KS	MSWE
球型模式	排序	10	8	9	9	9	9
	平均指標值	-0.776	0.4872	0.3727	1.0294	1.0294	1.179
球型碎塊模式	排序	11	9	11	11	11	11
	平均指標值	-0.899	0.4462	0.3978	1.0313	1.0313	1.259
指數模式	排序	7	6	6	6	6	5
	平均指標值	-0.5148	0.5337	0.3489	1.0271	1.0271	1.1043
指數碎塊模式	排序	5	7	5	5	5	6
	平均指標值	-0.4281	0.5292	0.3485	1.0271	1.0271	1.1047
高斯模式	排序	6	10	7	7	7	7
	平均指標值	-0.4637	0.4269	0.3538	1.0278	1.0278	1.1204
高斯碎塊模式	排序	3	2	3	2	2	3
	平均指標值	-0.1712	0.6166	0.3122	1.0242	1.0242	0.9876
冪次模式	排序	2	5	2	3	3	2
	平均指標值	-0.1095	0.5365	0.3097	1.0243	1.0243	0.9792
冪次碎塊模式	排序	4	4	4	4	4	4
	平均指標值	-0.2544	0.5371	0.3241	1.0253	1.0253	1.0266
碎塊模式	排序	9	11	10	10	10	10
	平均指標值	-0.7384	-0.0942	0.3971	1.0312	1.0312	1.2585
WKM1	排序	8	3	8	8	8	8
	平均指標值	-0.5523	0.5696	0.3672	1.0286	1.0286	1.1623
WKM2	排序	1	1	1	1	1	1
	平均指標值	0.2959	0.6829	0.2472	1.019	1.019	0.7826

表 4.16 碎塊型模式設計案例各模式驗證指標計算結果

Model \ Index		CE	PPCC	MSE	KG	KS	MSWE
球型模式	排序	3	6	3	3	3	3
	平均指標值	-2.1701	-0.0084	0.2857	1.0223	1.0223	0.9028
球型碎塊模式	排序	9	4	8	8	8	8
	平均指標值	-3.8117	-0.0048	0.3482	1.027	1.0271	1.1016
指數模式	排序	5	1	5	5	5	5
	平均指標值	-3.064	0.1492	0.3153	1.0248	1.0248	0.9969
指數碎塊模式	排序	7	10	7	7	7	7
	平均指標值	-3.4499	-0.1285	0.3376	1.0264	1.0264	1.0673
高斯模式	排序	4	7	4	4	4	4
	平均指標值	-2.1706	-0.0107	0.295	1.023	1.023	0.9343
高斯碎塊模式	排序	10	9	10	10	10	10
	平均指標值	-4.3628	-0.0841	0.3631	1.0283	1.0283	1.1477
冪次模式	排序	6	2	6	6	6	6
	平均指標值	-3.3085	0.1346	0.3255	1.0253	1.0253	1.0291
冪次碎塊模式	排序	8	8	9	9	9	9
	平均指標值	-3.7004	-0.046	0.3537	1.0275	1.0275	1.1179
碎塊模式	排序	2	3	2	2	2	2
	平均指標值	-1.714	0.0294	0.2566	1.0201	1.0201	0.8117
WKM1	排序	11	11	11	11	11	11
	平均指標值	-4.3926	-0.219	0.3784	1.0295	1.0295	1.196
WKM2	排序	1	5	1	1	1	1
	平均指標值	-1.1572	-0.0072	0.2425	1.0188	1.0188	0.767

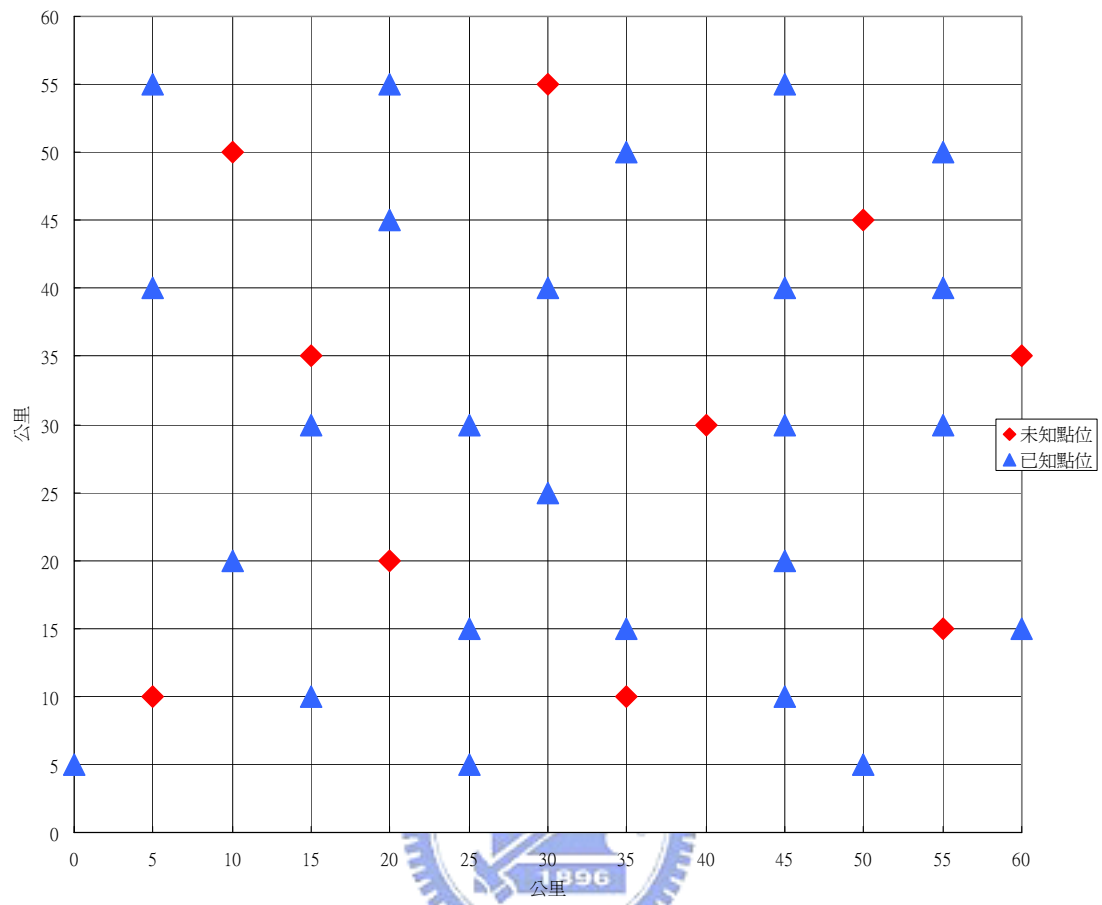


圖 4.1 設計案例中各座標點位分佈圖

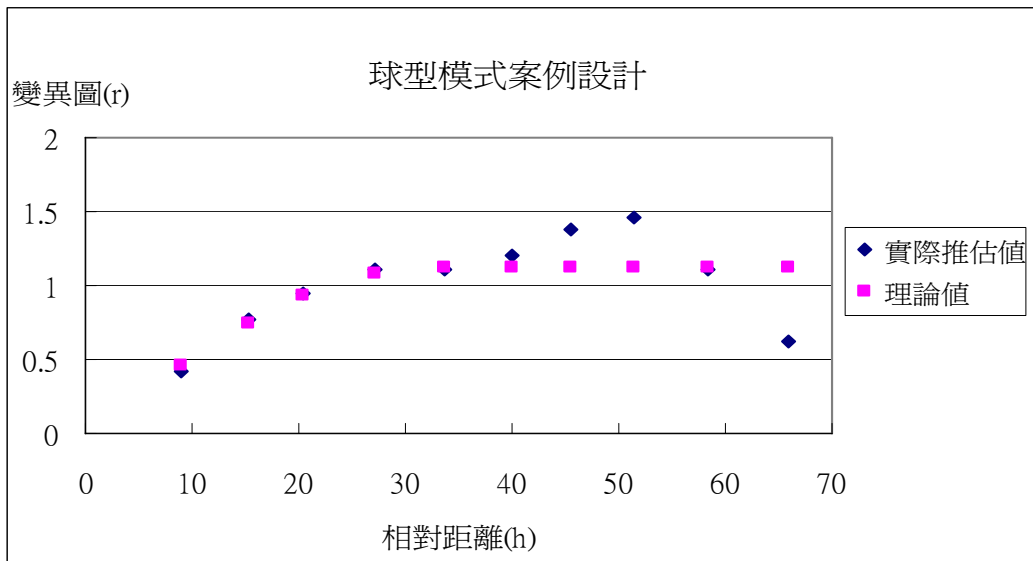


圖 4.2 球形模式試驗半變異數圖

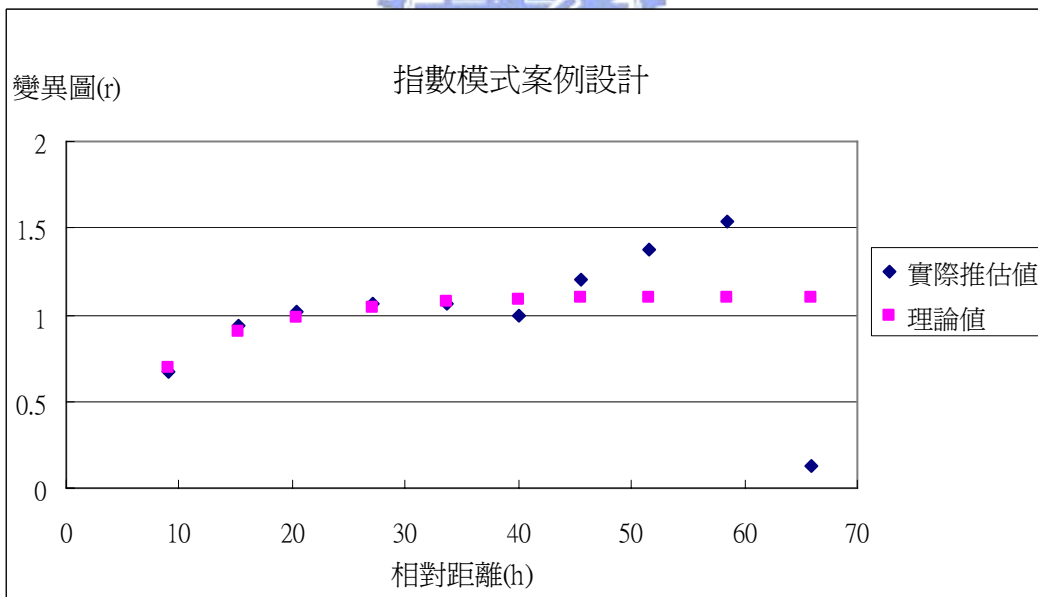


圖 4.3 指數型模式試驗半變異數圖

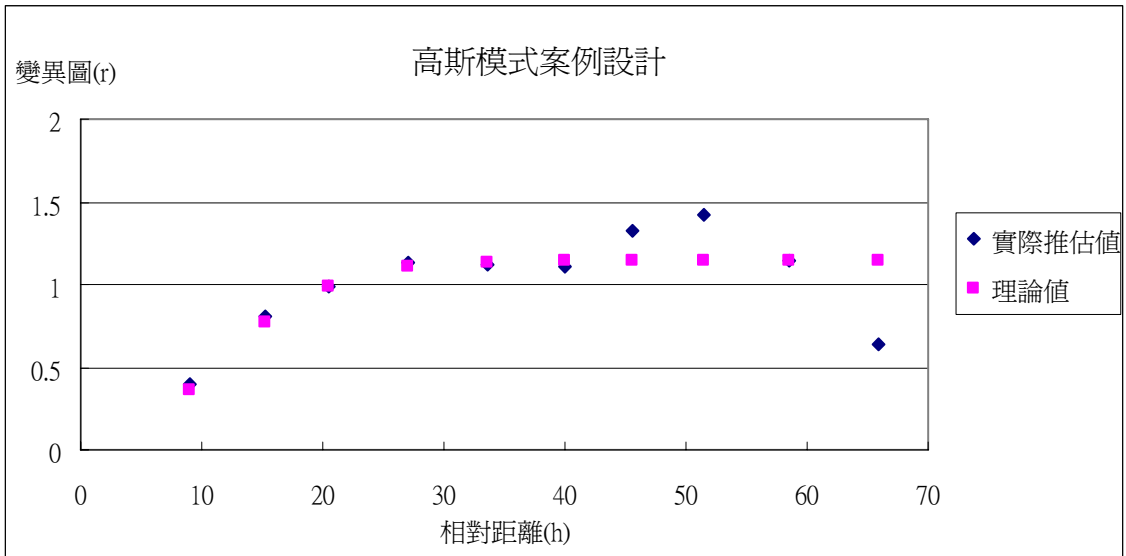


圖 4.4 高斯型模式試驗半變異數圖

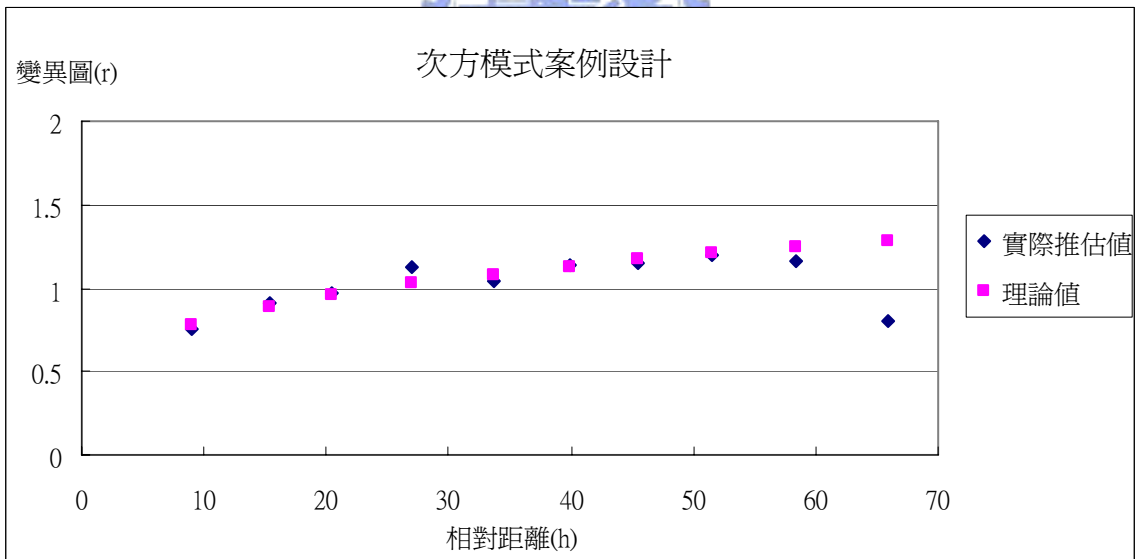


圖 4.5 幕次型模式試驗半變異數圖

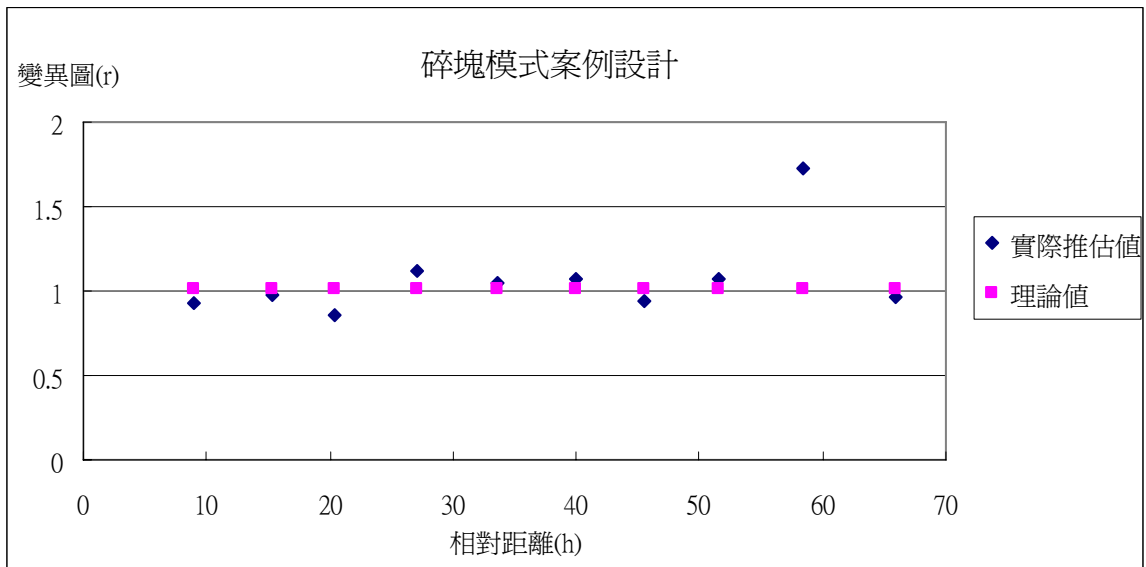


圖 4.6 碎塊型模式試驗半變異數圖



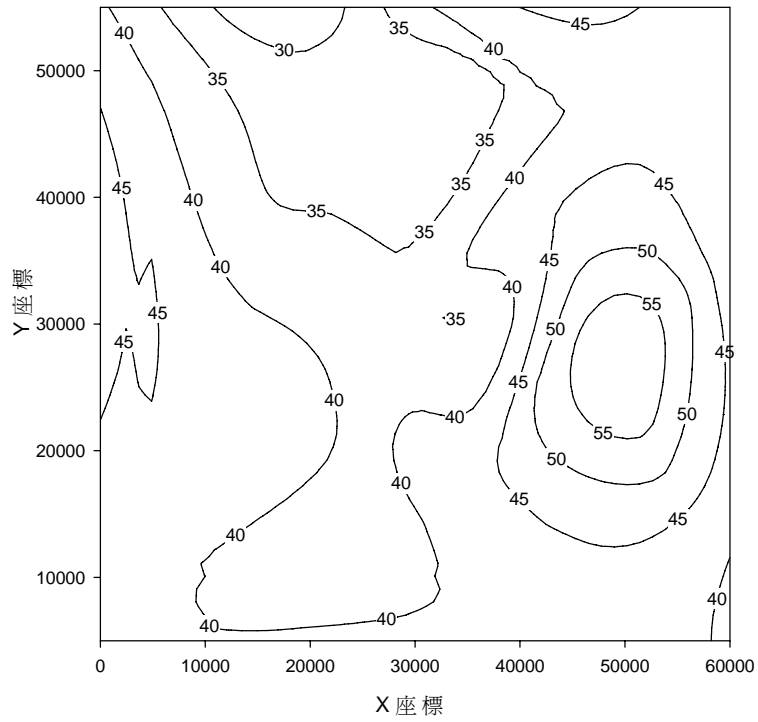


圖 4.7 球型模式設計案例之降雨分佈圖

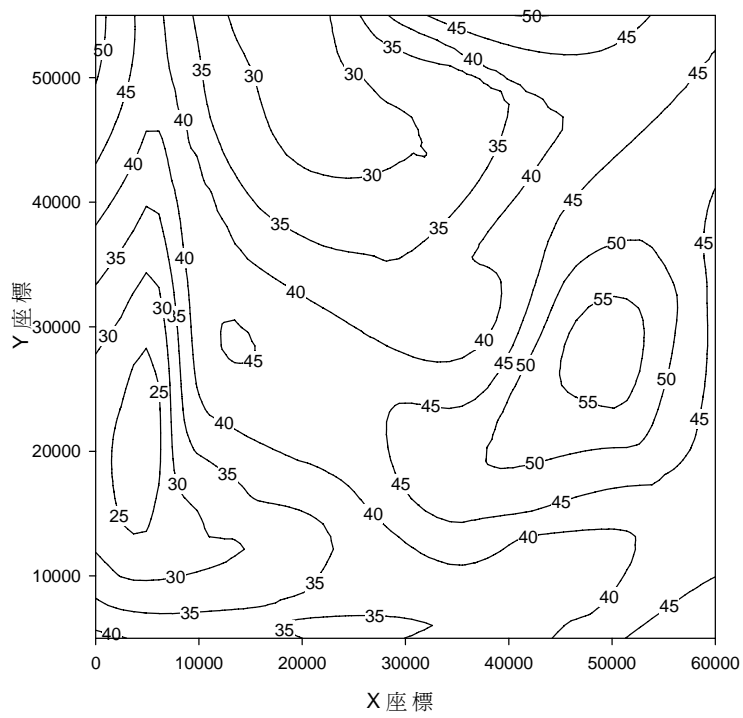


圖 4.8 指數型模式設計案例之降雨分佈圖

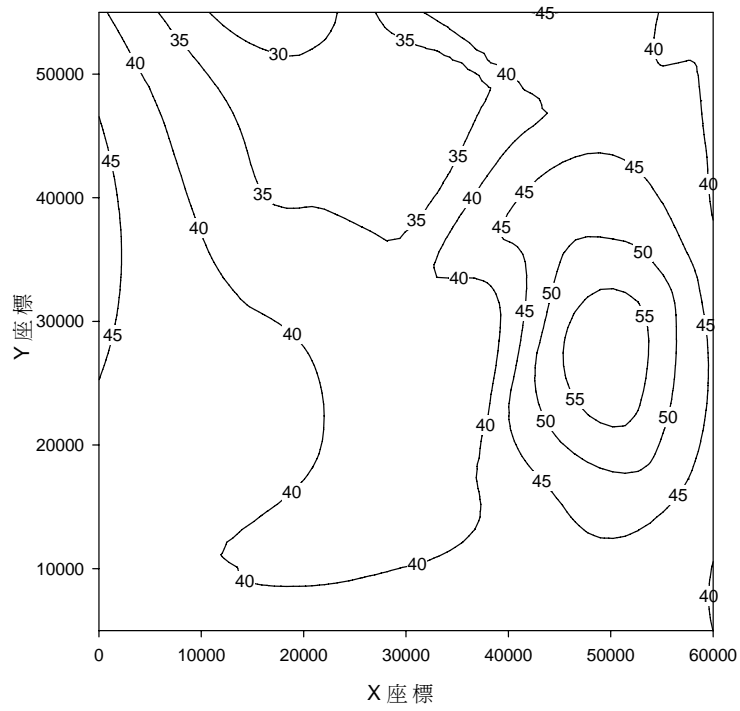


圖 4.9 高斯型模式設計案例之降雨分佈圖

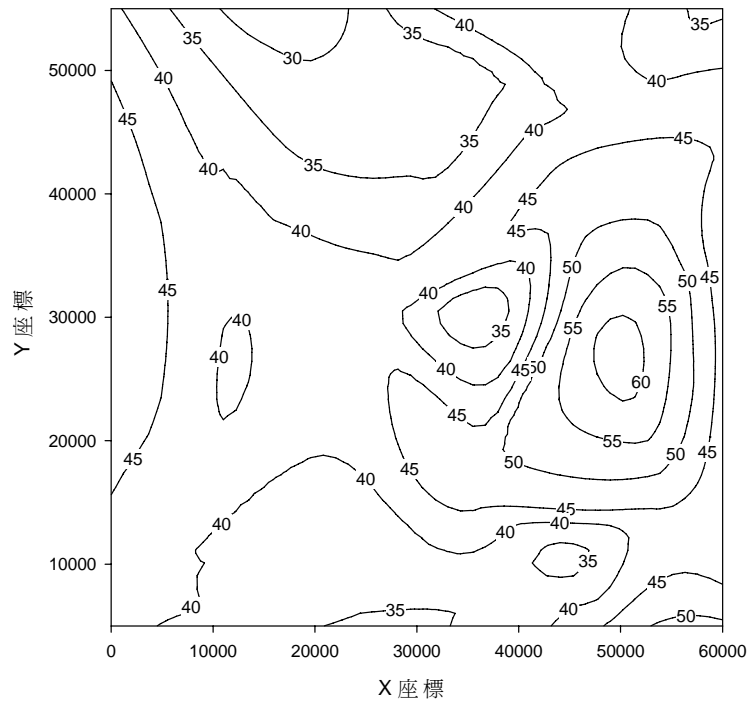


圖 4.10 冪次型模式設計案例之降雨分佈圖

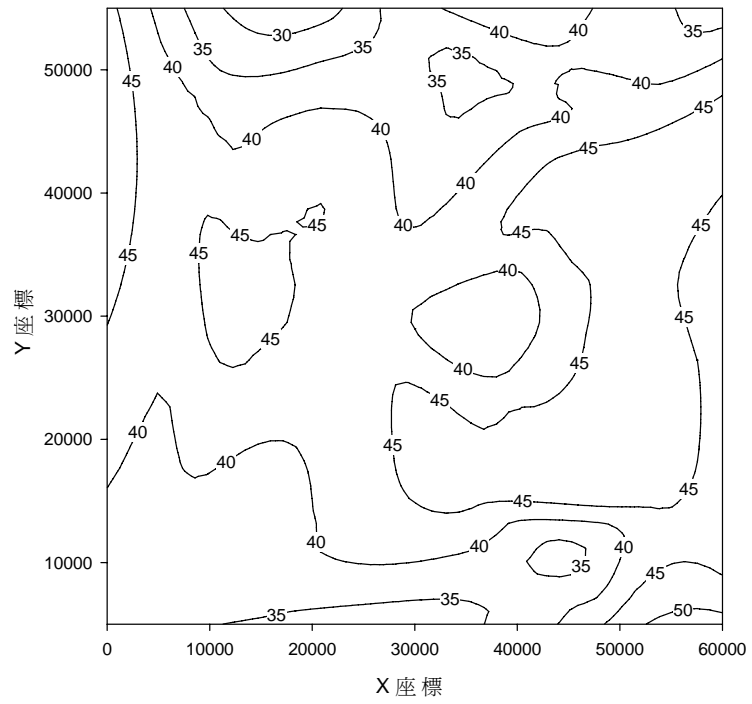


圖 4.11 碎塊型模式設計案例之降雨分佈圖



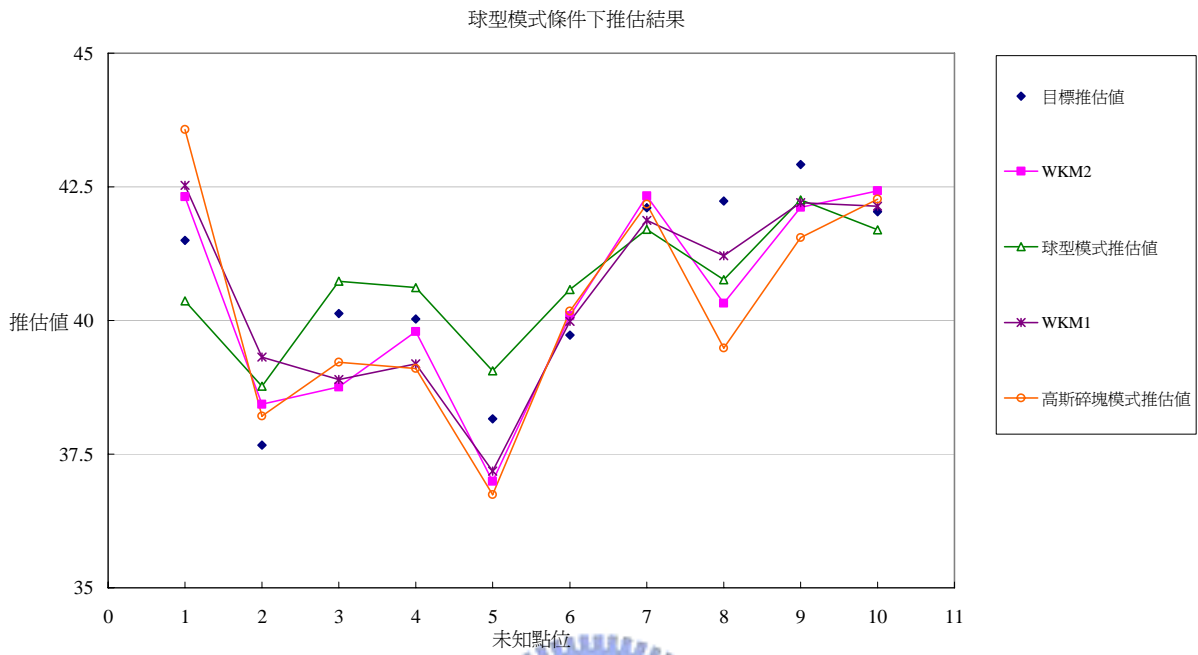


圖 4.12 球型模式設計案例下各模式推估結果

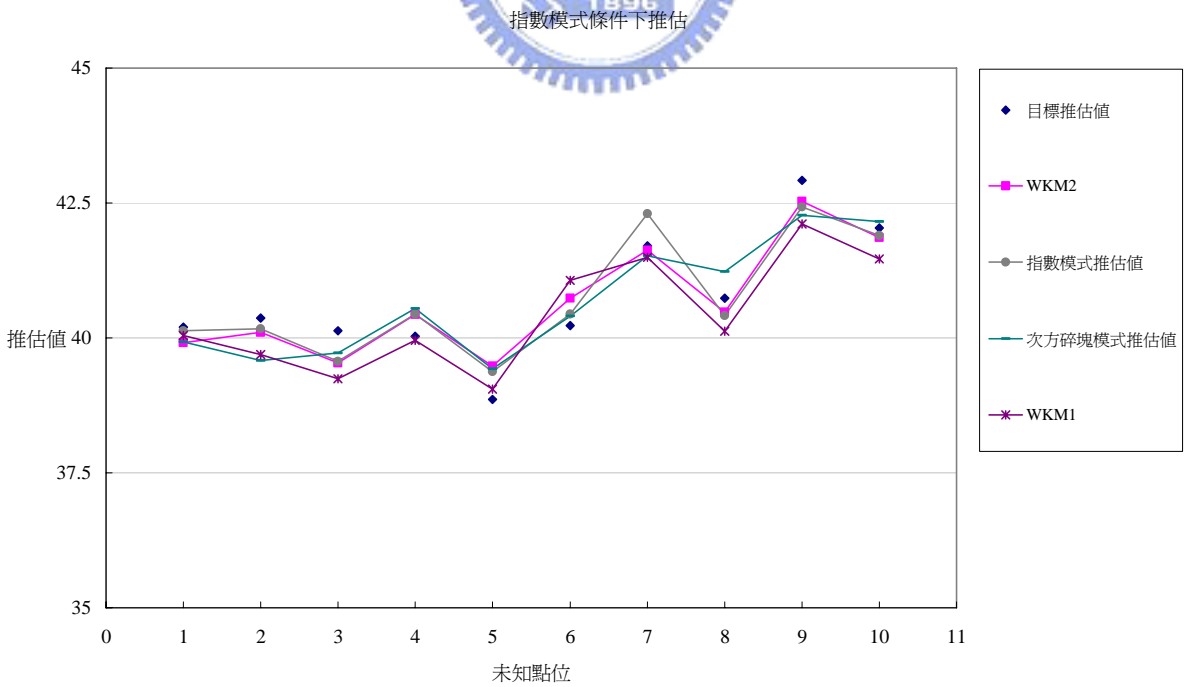


圖 4.13 指數型模式設計案例下各模式推估結果

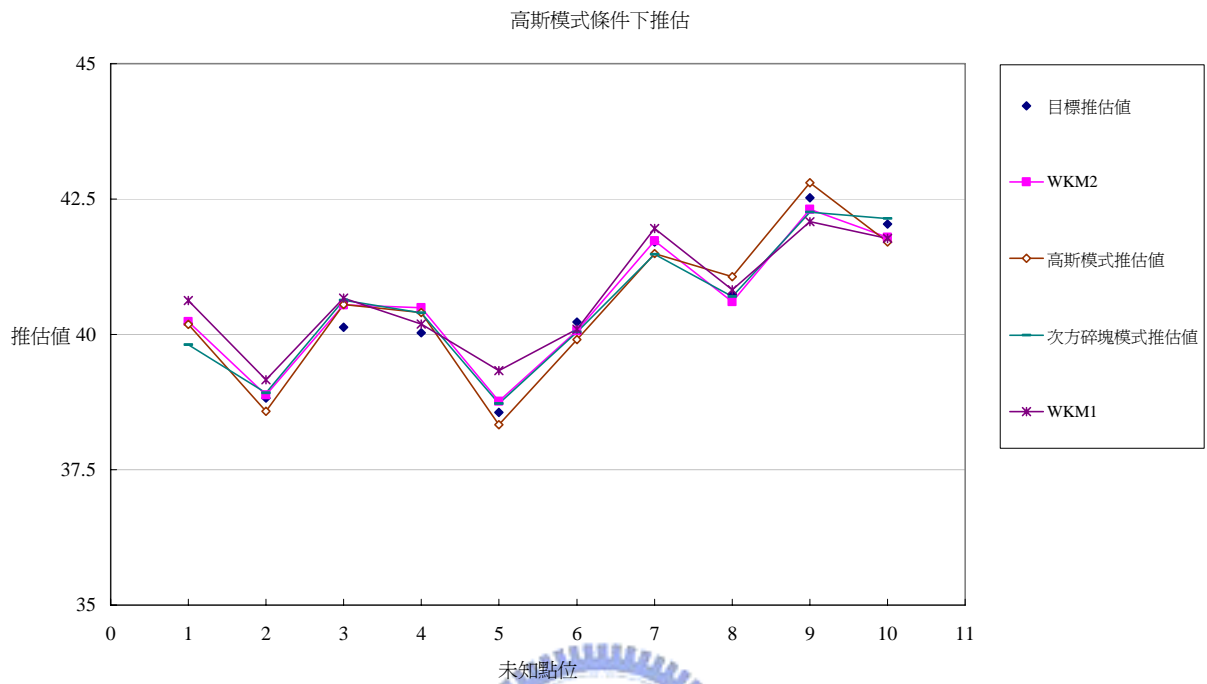


圖 4.14 高斯型模式設計案例下各模式推估結果

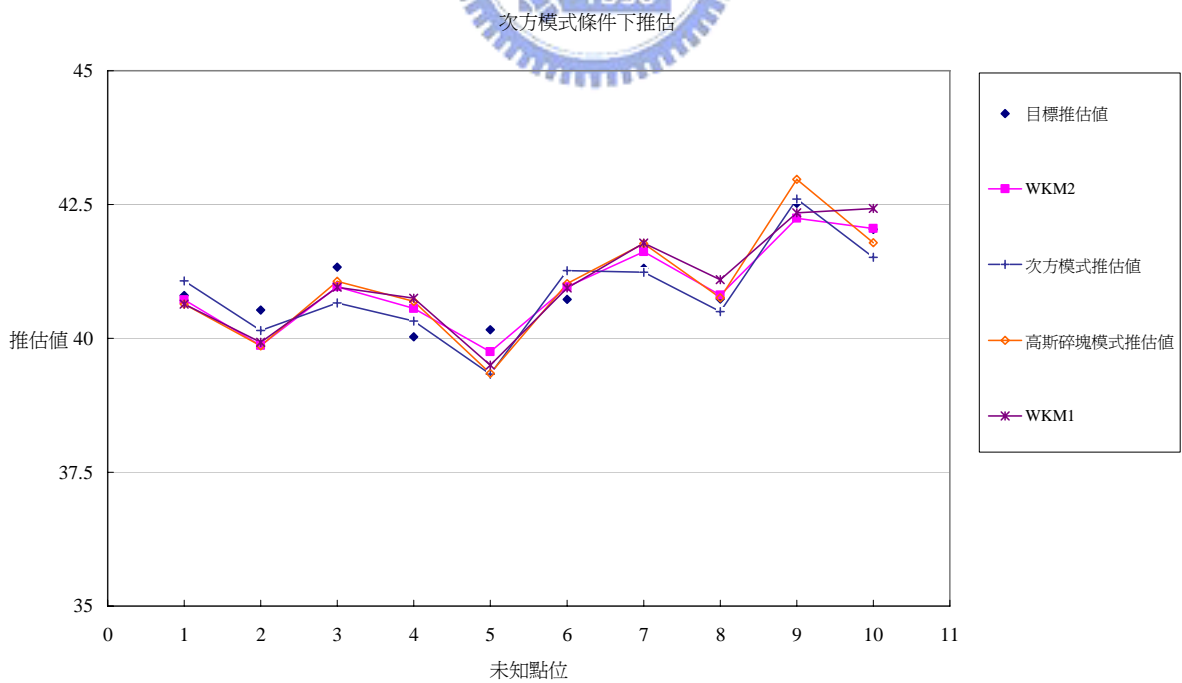


圖 4.15 冪次型模式設計案例下各模式推估結果

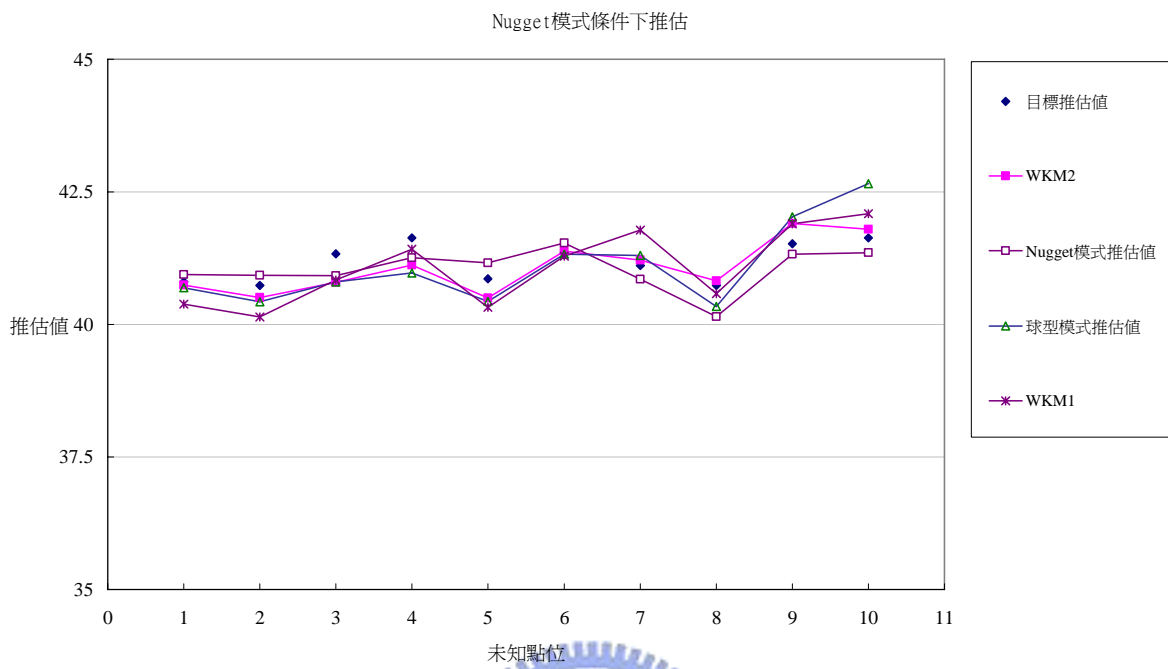


圖 4.16 碎塊型模式設計案例下各模式推估結果



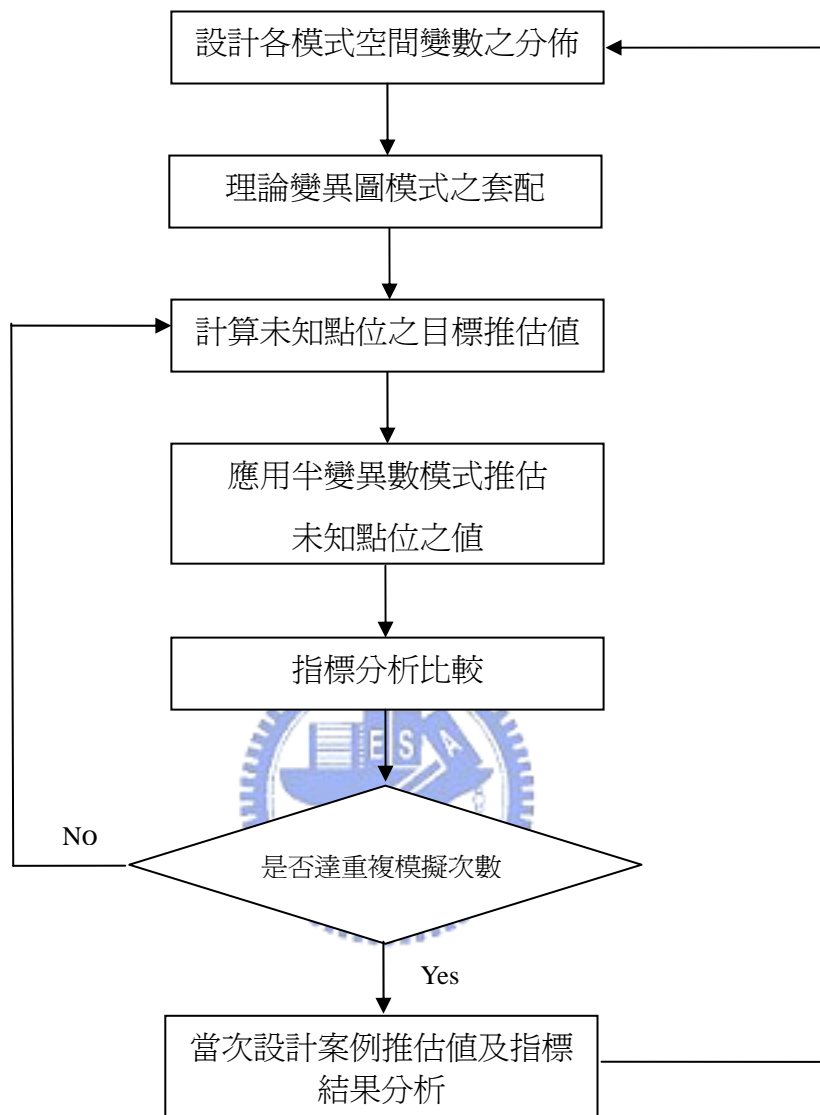


圖 4.17 模式驗證流程圖

第五章、模式應用於實際案例之驗證與比較

在經過第四章設計案例之模擬與驗證後，可以明顯發現權重克利金模式於各種設計案例之情況下，皆可獲得最佳的推估效果，但有鑒於實際空間隨機變數之分佈與假設情況有極大之差異與不確定性，故本研究除了以設計案例進行模式驗證分析之外，仍必須以實際之降雨事件空間分佈場做模擬分析，以權重克利金模式可適用於實際的案例。

5.1 資料收集與分析

本研究對於權重克利金模式實際案例之應用與分析方面，主要是以淡水河流域降雨資料為模擬對象，以該流域內 20 個雨量站之雨量資料應用於模式的推估與驗證。上述 20 個雨量站資料來源是以經濟部水利署所提供降雨量紀錄為主。

5.1.1 淡水河流域概況

淡水河主流長度 158.7 公里，為全台灣第三長之河流，流域面積為 2726 平方公里亦為第三大，其為北台灣最大之河川，主流發源於大霸尖山，主要支流有基隆河、大漢溪、新店溪，其流域面積涵蓋台北市、台北縣、桃園縣、新竹縣。

二大支流新店溪及基隆河流經台北地區平地，分別於江子翠及關渡二地匯合成本流後向西北流，於淡水鎮油車口注入臺灣海峽。流域上游大漢溪發源於品田山，流域面積 1163 平方公里，河長 135 公里，平均坡降 1：37，河床坡降較陡，水力蘊藏豐富。支流新店溪發源於棲蘭山，流域面積 916 平方公里，河長 82 公里，平均坡降 1：54。另一支流基隆河為臺灣最北部河流，發源於平溪鄉石底西端之菁桐山，流域面積 50 平方公里，河長 86 公里，平均坡降 1：118，為淡水河中河床最平緩者。淡水河流域其為北

台灣地區的主要供水河流之一，其主要支流接設有水庫蓄水，大漢溪上游有石門水庫，新店溪的支流北勢溪有翡翠水庫，基隆河流域有新山水庫。

淡水河流域大致呈現從東南至西北走向，南部之大漢溪流域屬於山區，地勢較高，其次是東南部新店溪上游部分，較北部地區屬於台北盆地，地勢最低，全流域之平均年雨量為 2966.1mm，約佔北部區域年總雨量之 38.6%。降雨中心集中於七星山及大屯山鞍部附近、瑞芳及火燒寮附近，而以淡水河下游 1800mm 為最低。豐水期（五至十月）雨量 1883.5mm，佔全年總雨量之 63.5%，枯水期（十一至四月）雨量 1082.6mm，僅佔全年總雨量之 36.5%，但各月雨量分配相當均勻，為臺灣其他地區少有之現象。

5.1.2 雨量站資料整理

本研究所採用的雨量站包括有中央氣象局、水利處、石門水庫管理局等單位管轄之 20 個水文測站，其中有屬於大漢溪流域之測站位置有石門水庫管理局之 12 個水文測站及水利處管轄之石門測站；屬於淡水河流域下游者有水利處管轄之中正橋站及中央氣象局的竹子湖站；屬於基隆河流域者有水利處的五堵站；屬於新店溪流域者有水利處管轄之大豹、大桶山、石碇、坪林站，各雨量站地理座標與位置分佈圖如表 5.1 及圖 5.1 所示。

5.1.3 雨量資料選取與分析

由於使用克利金空間推估法時，空間參考資料個數不能太少的情況下，本研究從經濟部水利署所收集之 1971~2002 年之時雨量資料當中，選取在所有 20 個雨量站皆有雨量紀錄之 23 場降雨事件，應用於模式之驗證與比較，該 23 場降雨各個雨量站所收集到的雨量資料如表 5.2 所示，其等雨量線分佈如圖 5.2~5.24 所示。

由等雨量線分佈圖及表 5.3 的 R^2 值配合淡水河流域地形圖(圖 5.25)可以發現，本研究地區淡水河流域多數的降雨場在空間上多呈現著某一種分佈趨勢，其分佈趨勢所造成之原因可能是因為降雨型態、降雨強度或空間地

域上的趨勢位置與高程上之分佈結構所形成之局部性地形降雨有關。由淡水河流域之雨量分佈(如圖 5.2~圖 5.24)與地形分佈(如圖 5.25 所示)。比較之後可發現，其雨量分佈趨勢有一部分形成之原因可能來自於局部性的地形降雨。

5.2 雨量資料之無因次化

本研究為解決上述空間降雨的不均勻性，及降雨量呈現某一空間方向上之趨勢。亦考量降雨強度之因素所造成其降雨量越大標準偏差越大之比例效應(Proportional Effect)關係所產生推估上的誤差，故於進行該地區雨量空間推估之前，必須先將雨量資料予以標準化之處理，如下所示。

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (5.1)$$

Z 為無因次化後之變數；X 為降雨量； μ 表三維空間座標上的迴歸平均值；及 σ 表 $(X - \mu)$ 之標準偏差。

三維空間座標上的迴歸平均值 μ 之計算，主要是為了消除雨量站空間分佈對於雨量分佈之影響，其計算之方法如下式所示。

$$\begin{aligned} \mu &= f(X, Y, Z) \\ \Rightarrow \mu &= \alpha X + \beta Y + \gamma Z + \delta \end{aligned} \quad (5.2)$$

以個各測站所觀測之雨量空間分佈值，依照其相對應之 X、Y 座標與高程 Z 之值可以對於每一降雨事件，迴歸出一組 α 、 β 、 γ 、 δ 值，之後再以該四個參數值，依照各點位之座標 X、Y 及高程 Z 值，計算出每個點位應消滅之平均值 μ 。本研究所採用 23 場之降雨事件經迴歸分析所得結果 α 、 β 、 γ 、 δ 及 R^2 值如表 5.3 所示。

5.3 模式的推估及驗證

5.3.1 驗證目標之選取

實際案例之推估與分析方式，主要是取 20 個已知實際降雨資料的雨量站，主要區分為兩大部分：一者，是以實際量測之雨量資料作為前項點位空間推估的參考依據，即視為已知條件點位；另一，則是將其視為未知的空間點位，並以各種模式進行推估，再以該測站實測資料做為該點位之目標推估值，進而比較各種模式推估之結果與實測資料的差異程度。

本研究則將 20 個測站區分為 15 個已知測站，5 個未知目標測站。其中所選取 5 個目標推估測點，分別均勻分佈於集水區內，包括有水利署的石門站及石碇站，石門水庫管理中心的秀巒站、嘎拉賀站、復興站。

5.3.2 推估結果之比較與驗證分析

模式採用實際降雨事件之驗證方式和第四章設計案例相同，主要是以推估值之結果比較與指標之排序作為模式間的驗證與分析對象。分析結果如下所述：

1. 推估值結果比較

當應用實際空間上的降雨分布時，常因為實際降雨之事件，存在著諸多的不確定性以致於容易產生推估上的偏估和誤差，以至於造成各點位之推估結果與實際觀測結果數值上頗有出入。但是，如圖 5.26~5.48 與表 5.5~5.27 所示之 23 場實際降雨案例中，由圖示結果可以發現，雖然各目標推估點位間之推估值並無任何相關性，但若將各點位之推估值連接成線，即可發現各實際降雨案例應用各種理論半變異數模式，對於目標點位之推估結果與實際觀測目標推估值之連接曲線，大致上皆呈現著相同之趨勢。例如：圖 5.28 第三場降雨各點位推估值結果之連線，於未知點位 1 至 2，模式之推估結果與實際觀測值皆呈現上升之趨勢，於未知點位 2 至 4，模式之推估結果與實際觀測值則呈現下降之趨勢，最後於未知點位 4 至 5 皆呈

現極大的上升趨勢。

由上述例子也可以發現，各種模式推估之結果當中以第五個目標石碇測站，在大多數降雨事件應用案例中，各模式所推估之結果與實際觀測值相比較後，再與其他目標推估點位結果比較之後可以發現，第五個目標點位皆有著較大之誤差。分析其原因可能在於石碇測站附近之已知參考測站數量較少，使得其空間點位之推估準確度降低。

由表 5.28 所示，各降雨場目標值與模式推估值之均方誤差平均值結果可知，權重克利金模式 I 在所有降雨場之均方誤差平均值為 16.72、權重克利金模式 II 值為 16.6，除了球型碎塊模式 16.56 之結果優於權重克利金模式 II 之外，與其他模式結果相較之後可以發現，權重克利金模式 II 可以得到極佳之推估效果。

2. 驗證指標計算結果分析

在進行模式驗證與分析優缺時，本研究必須藉由各種統計指標的分析才能做出明確的判斷。以下主要是以各場次之推估結果所計算出之驗證指標進行分析。各降雨事件指標結果依序如表 5.28~5.50 所示。

在進行模式的推估前需先做套配的動作，之後依模式的套配程度產生各模式之代表權重，如表 5.4 所示，權重越大者表示其有著越佳的套配效果。在經由表 5.28~5.50 之各降雨事件之驗證指標排序結果驗證可以發現，多數有最佳套配效果之模式，可以證實其推估值的效果越接近實際觀測值。因為理論半變異數模式之套配，常會出現有相似之套配效果之模式，以至於其所計算出之權重因子有近似之結果。因此，下列僅以權重因子有較大差異之降雨場作為說明案例，例如：第二降雨場之冪次碎塊型模式、第四降雨場之高斯與高斯碎塊型模式、第七降雨場之高斯與高斯碎塊型模式於個別該降雨場中分別皆明顯有最佳之套配效果，且由表 5.28 之目標值與推估值差可以得知，於第二降雨場之冪次碎塊型模式為 48.65mm，第四

降雨場之高斯與高斯碎塊型模式分別為 31.57mm 與 27.45mm，第七降雨場之高斯與高斯碎塊型模式 29.07mm 與 29.18mm 皆分別為該個別降雨場當中與目標推估值差異最小者。另外，就以其 MSE 指標排序而言，上述之模式分別於該降雨場中同樣的可以得到最佳之推估效果如表 5.30,5.32,及 5.35 所示。

但由本實際案例可以發現也是有例外之案例，其有著最佳的套配卻無最佳之推估。例如：第十八場降雨事件之高斯碎塊模式有著最高 0.133 權重最佳的套配，但在空間推估上卻呈現最差之推估；第十九場降雨事件之高斯、高斯碎塊、球型、球型碎塊模式分別有著最好的套配效果，但是其指標之結果卻是指標碎塊型模式有著最好的推估結果；第二十場降雨事件之高斯及高斯碎塊模式有著最高 0.127 之權重因子其為最佳套配之模式，但是其指標推估結果卻不如預期，而球型與球型碎塊模式有著次之 0.124 權重，但由其指標推估結果看來也不如預期所示反而是最差 0.103 權重因子的冪次及冪次碎塊模式得到不錯之推估結果。因此，如以上所述結果而言，若依傳統做法以套配出最佳之理論半變異數模式來作為克利金空間推估法使用之模式，在實際的空間變數之應用上，可能會產生不一定可以得到最佳推估之結果。

不僅如此，由表 5.27 也可以發現，於同一場降雨事件下，可能會同時出現多種理論半變異數模式具有不錯套配半變異數之結果，但推估結果卻存在著差異，例如：第一場降雨事件每一種套配模式權重因子皆為 0.118，或是如同第十七場降雨事件每一套配模式權重因子皆為 0.12，第二十三場降雨事件每一套配模式權重因子皆為 0.117。若是以傳統的作法而言，肯定同樣的也是會產生模式選用上不小的困擾。

然而，若以權重模式之指標推估結果與其他擁有最佳套配效果之常用理論半變異數模式所推估結果之比較而言，權重克利金模式 II 也有不錯之

結果。例如：第六場降雨事件，高斯、冪次、冪次碎塊型模式皆有 0.122 權重比例之最佳套配效果，就以指標排序結果而言，以上三種模式之結果反而劣於權重克利金模式 II；第十場降雨事件，球型、球型碎塊、高斯、高斯碎塊型模式皆有 0.117 權重比例之最佳套配效果，但以指標排序結果而言，以上四種模式之結果也皆劣於權重克利金模式 II；第十二場降雨事件，高斯、高斯碎塊型模式皆有 0.121 權重比例之最佳套配效果，由指標排序結果來看權重克利金模式 I、II 皆優於上述二模式之推估結果；第十五場降雨事件，球型、球型碎塊、高斯、高斯碎塊型模式皆有 0.121 權重比例之最佳套配效果，而由指標排序結果來看權重克利金模式 I、II 也都皆優於上述之模式推估結果。由上述驗證結果可知，權重克利金模式對於實際的空間變數推估上之應用，優於過去傳統之半變異模式。

就權重克利金模式 II 所推估之結果而言，統計所有降雨場權重克利金模式 II 之指標排序於各等級間出現的次數，如表 5.53 所示。可以發現在實際案例的應用情況下，權重克利金模式 II 於各種指標當中，皆呈現不錯的推估成效，在指標 CE 方面有 11 場降雨排列第一位，8 場降雨排列第二位；在指標 PPCC 方面有 3 場降雨排列第一位，6 場降雨排列第二位；在指標 MSE 有 9 場降雨排列第一位，7 場降雨排列第二位；在指標 KG 有 6 場降雨排列第一位，4 場降雨排列第二位；在指標 KS 有 3 場降雨排列第一位，7 場降雨排列第二位；在指標 MSWE 有 6 場降雨排列第一位，8 場降雨排列第二位。就其統計而得之結果可以發現，權重克利金模式 II 應用於實際案例可以再次的證明，其模式可以具有相當不錯的推估效果。

另針對所有降雨場權重克利金模式之驗證指標結果可知，權重克利金模式 I 各指標總計數較為平均分散於各等級之間，最多主要分布於 Rank 5 與 Rank 7 的總計 20；其次是 Rank 1 與 Rank 3 的總計 15。而權重克利金模式 II 總計數最多出現之等級為 Rank 2 之總計 40；其次是 Rank 1 的總計 38。

由此統計結果亦可以明顯看出權重克利金模式 II 模式應用於實際案例之模擬結果較佳於權重克利金模式 I。

綜合以上結論可知，本研究所發展之權重克利金模式，不僅可以綜合所有常用理論半變異數模式之套配成效而推衍較可靠準確之結果，更可以避免因採用不適當的理論半變異數模式於套配時所產生之誤差與不確定性。



表 5.1 淡水河流域雨量站資料

編號	水文站名稱	TM2 Easting(m)	TM2 Northing(m)	標高(m)
1	三光	287110.861	2728916.778	630
2	大豹	292053.241	2758498.201	600
3	大桶山	307232.114	2751507.139	916
4	中正橋	301443.073	2768252.997	5
5	五堵	319464.188	2774917.406	16
6	巴陵	288792.578	2730767.369	1220
7	玉峰	280363.386	2728900.395	740
8	白石	271949.429	2715962.884	1630
9	石門	273867.949	2745778.517	142
10	石門	273587.622	2745501.134	255
11	石碇	315980.524	2765146.189	140
12	池端	297238.409	2727101.504	1150
13	竹子湖	303762.51	2784354.11	603
14	西丘斯山	285466.223	2712298.748	2000
15	秀巒	278703.131	2715975.128	840
16	坪林	321510.761	2758650.831	200
17	嘎拉賀	290495.36	2725234.239	1160
18	長興	280331.034	2743668.293	350
19	高義	285409.857	2734450.324	620
20	復興	285381.513	2745526.333	470

表 5.2 各降雨場雨量資料

雨量站編號	第一場(mm)	第二場(mm)	第三場(mm)	第四場(mm)	第五場(mm)	第六場(mm)	第七場(mm)	第八場(mm)	第九場(mm)	第十場(mm)
1	25.5	14	30	37	5	8.5	4	1.5	5.5	34.5
2	72	84	104	60	28	7	29	69	9	50
3	142	144	173	106	17	6	23	123	15	51
4	41	27	39	29	10	5	2	4	5	39
5	137	151	178	63	11	5	2	66	10	36
6	27	18	33	35	5	9	5	5	6	27
7	22	12	35	39	4	7	6	6	7	31
8	34	30	59	70	9	22	5	11	5	35
9	48	23	26	47	17.5	4	12	10.5	2.5	45
10	44	17	25	39	13	5	15	8	3	45
11	91	91	98	56	10	5	33	26	8	48
12	111	111	111	60	3	7	3	166	5	23
13	148	172	241	58	18	7	5	65	11	32
14	24	15	36	35	7	15	7	57	2	25
15	24	16.5	39.5	42.5	5.5	9.5	3	2.5	1.5	26.5
16	88	98	99	49	5	8	21	66	10	43
17	31	32	41	34	4.5	9	3	23	5	30
18	51	20	25.5	52.5	13.5	4	11.5	22	6	65.5
19	29	12	25	26	5	7	5	7	3	41
20	53.5	34	26	51.5	14	3	14.5	32	6.5	47

表 5.2 各降雨場雨量資料(續)

雨量站編號	第十一場 (mm)	第十二場 (mm)	第十三場 (mm)	第十四場 (mm)	第十五場 (mm)	第十六場 (mm)	第十七場 (mm)	第十八場 (mm)	第十九場 (mm)	第二十場 (mm)	第二十一場 (mm)	第二十二場 (mm)	第二十三場 (mm)
1	62	5	269	10.5	35	8.5	8	128.5	466	41.5	35.5	9	34
2	105	37	135	34	100	3	4	103	338	81	74	49	57
3	151	52	231	67	41	14	8	187	332	208	57	50	47
4	95	17	100	29	27	1	2	103	107	68	46	22	25
5	92	23	59	120	31	3	3	168	108	185	27	24	17
6	71	6	253	5	34	10	8	98	434	46	35	12	34
7	68	6	358	31	72	15	7	104	679	40	33	13	35
8	92	19	313	3	19	60	12	98	691	54	59	17	46
9	61.5	34	76	22.5	110	13	7.5	104	342.5	92	31	36.5	36
10	34	23	54	32	93	11	4	82	192	130	40	29	26
11	146	27	97	89	93	12	18	181	184	152	36	29	65
12	94	7	377	5	56	21	18	86	363	68	31	6	33
13	112	17	355	75	37	2	5	294	281	104	53	13	29
14	46	2	172	7	22	21	9	56	362	47	43	11	44
15	67	8	291	34	26.5	26.5	8	97	519.5	46.5	46	13	30
16	8	25	168	82	53	21	4	273	308	123	34	29	45
17	75	12	255	11	48	28	18	104	350	85	38	7	41
18	122.5	31	116	50.5	96.5	8.5	6	104	303	124.5	39.5	78.5	73.5
19	65	8	313	23	31	6	8	153	536	52	30	14	39
20	116.6	21	160	20.5	44.5	7.5	8	96	335.5	104.5	46	55.5	31

表 5.3 降雨場各座標軸迴歸參數值

迴歸參數 降雨場次	α	β	γ	δ	R^2
第一場降雨	0.00134	0.0016	0.0388	-4754	68.7%
第二場降雨	0.0597	0.00215	0.00185	-6428	76.6%
第三場降雨	0.00135	0.00333	0.0912	-9528	78.8%
第四場降雨	0.000319	0.000462	0.0207	-1326	24.2%
第五場降雨	-0.000279	0.000445	0.00682	-1134	58.2%
第六場降雨	-0.000021	0.000005	0.00613	-3	60.5%
第七場降雨	0.000011	0.000086	0.00054	-229	4.2%
第八場降雨	0.00225	0.000151	0.0433	-1059	45.2%
第九場降雨	0.000099	0.000095	0.00203	-285	54.9%
第十場降雨	-0.000268	0.000093	-0.0102	-129	32.2%
第十一場降雨	-0.000736	0.00154	0.0358	-3960	23.5%
第十二場降雨	-0.00004	0.00037	0.00187	-987	23.6%
第十三場降雨	0.00041	-0.0003	0.0903	861	23.8%
第十四場降雨	0.000913	0.000669	-0.0082	-2060	71.9%
第十五場降雨	-0.000962	0.000113	-0.0252	41	32.9%
第十六場降雨	0.000046	-0.000235	0.00965	638	42.8%
第十七場降雨	0.000068	-0.000111	0.00253	291	58.6%
第十八場降雨	0.00184	0.00168	0.0212	-5022	55.6%
第十九場降雨	-0.00194	-0.00398	0.0414	11837	51.9%
第二十場降雨	0.00103	0.00086	-0.005	-2574	39.5%
第二十一場降雨	-0.000512	0.000756	0.0202	-1896	46.2%
第二十二場降雨	-0.000364	0.000261	-0.0087	-578	15.9%
第二十三場降雨	-0.00019	-0.000036	0.0021	192	9.1%

表 5.4 各降雨事件之理論半變異數模式之權重因子

套配模式 降雨場	球型模式	球型碎塊型模式	指數型模式	指數碎塊型模式	高斯型模式	高斯碎塊型模式	冪次型模式	冪次碎塊型模式	碎塊模式
第一場案例	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.117	0.117	0.055
第二場案例	0.116	0.116	0.115	0.115	0.115	0.126	0.125	0.127	0.045
第三場案例	0.114	0.114	0.114	0.114	0.115	0.119	0.12	0.12	0.069
第四場案例	0.129	0.129	0.119	0.119	0.132	0.132	0.099	0.099	0.041
第五場案例	0.117	0.117	0.113	0.113	0.117	0.117	0.107	0.107	0.089
第六場案例	0.119	0.117	0.12	0.12	0.122	0.114	0.122	0.122	0.044
第七場案例	0.129	0.129	0.114	0.114	0.13	0.13	0.097	0.097	0.061
第八場案例	0.122	0.122	0.12	0.12	0.122	0.122	0.116	0.116	0.039
第九場案例	0.119	0.119	0.118	0.118	0.119	0.119	0.115	0.115	0.055
第十場案例	0.117	0.117	0.116	0.116	0.117	0.117	0.114	0.114	0.073
第十一場案例	0.119	0.119	0.118	0.118	0.119	0.119	0.113	0.113	0.062

表 5.4 各降雨事件之理論半變異數模式之權重因子(續)

套配模式 降雨場	球型模式	球型碎塊型模式	指數型模式	指數碎塊型模式	高斯型模式	高斯碎塊型模式	冪次型模式	冪次碎塊型模式	碎塊模式
第十二場案例	0.12	0.12	0.114	0.114	0.121	0.121	0.105	0.105	0.079
第十三場案例	0.121	0.121	0.117	0.117	0.121	0.121	0.112	0.112	0.058
第十四場案例	0.121	0.121	0.118	0.118	0.12	0.12	0.112	0.112	0.059
第十五場案例	0.121	0.121	0.118	0.118	0.121	0.121	0.112	0.112	0.058
第十六場案例	0.106	0.117	0.111	0.119	0.104	0.131	0.12	0.14	0.051
第十七場案例	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.038
第十八場案例	0.129	0.129	0.119	0.119	0.133	0.133	0.103	0.103	0.031
第十九場案例	0.121	0.121	0.118	0.118	0.121	0.121	0.115	0.115	0.049
第二十場案例	0.124	0.124	0.115	0.115	0.127	0.127	0.103	0.103	0.062
第二十一場案例	0.121	0.121	0.115	0.115	0.12	0.12	0.106	0.106	0.077
第二十二場案例	0.117	0.117	0.116	0.116	0.117	0.117	0.114	0.114	0.071
第二十三場案例	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117	0.064

表 5.5 第一場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	48	27.05	28.82	27.93	27.14	27.86	28.02
2	24	7.27	6.45	7.19	7.62	8.26	8.32
3	31	51.18	51.71	52.23	53.32	52.83	52.84
4	53.5	55.08	54.57	53.35	52.91	54.28	55.19
5	91	110.87	111.78	110.91	110.20	110.70	109.99

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	48	22.41	22.04	22.55	27.30	26.21
2	24	8.20	7.38	7.56	6.80	7.68
3	31	50.70	50.91	50.31	52.37	51.87
4	53.5	50.35	50.34	50.31	52.95	53.10
5	91	108.50	109.63	108.82	109.85	110.24

表 5.6 第二場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	23	35.27	32.26	31.55	37.19	28.37	31.02
2	16.5	41.02	41.74	39.32	41.17	41.72	46.27
3	32	29.42	30.52	34.46	34.17	29.12	36.71
4	34	35.07	34.00	33.08	34.14	26.83	34.17
5	91	103.76	107.94	106.79	106.66	109.19	105.52

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	23	29.58	29.80	64.45	31.75	33.28
2	16.5	42.72	45.37	63.23	45.16	43.42
3	32	32.57	32.18	66.02	30.30	33.93
4	34	26.89	34.69	65.24	30.14	33.82
5	91	102.75	103.09	67.07	106.91	103.93

表 5.7 第三場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	26	51.56	48.13	47.59	47.94	46.57	44.768
2	39.5	64.47	62.72	61.98	58.33	59.73	63.95
3	41	46.61	44.14	46.97	45.62	47.23	52.28
4	26	45.11	47.10	46.54	48.33	40.30	45.58
5	98	121.53	127.53	131.59	132.64	140.21	139.51

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	26	44.68	47.73	86.35	45.45	50.04
2	39.5	62.03	62.23	88.42	67.27	63.77
3	41	46.68	48.84	87.81	43.30	50.13
4	26	42.96	44.93	89.77	47.70	48.18
5	98	133.90	136.74	89.31	133.12	129.99

表 5.8 第四場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	47	35.76	35.64	34.53	34.94	35.06	35.21
2	42.5	36.23	36.46	37.06	36.93	37.16	40.84
3	34	47.52	47.09	46.84	47.49	46.44	45.18
4	51.5	49.93	50.07	50.11	49.67	49.81	48.71
5	56	56.24	56.82	58.24	56.76	55.82	56.03

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	47	35.11	35.64	34.14	36.32	35.19
2	42.5	35.42	36.08	35.97	34.27	37.06
3	34	48.58	48.88	50.83	47.58	47.31
4	51.5	44.97	44.83	43.60	47.48	48.50
5	56	55.67	56.75	56.40	56.29	56.53

表 5.9 第五場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	17.5	12.53	12.65	12.47	12.41	12.83	12.66
2	5.5	2.05	2.20	2.28	2.45	2.40	2.33
3	4.5	4.49	4.26	4.53	4.67	4.28	4.32
4	14	12.71	12.45	12.55	12.63	12.01	12.11
5	10	9.47	9.30	9.21	9.34	9.35	9.48

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	17.5	12.57	12.60	12.51	12.50	12.58
2	5.5	2.68	2.77	2.86	2.25	2.43
3	4.5	5.61	5.73	5.65	4.45	4.80
4	14	11.37	11.40	11.50	12.51	12.11
5	10	9.37	9.43	9.38	9.69	9.37

表 5.10 第六場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	4	4.62	4.63	4.60	4.66	4.73	5.07
2	9.5	10.49	10.23	10.32	10.51	10.54	9.98
3	9	9.87	10.25	10.13	10.09	9.66	11.08
4	3	5.96	5.99	5.90	5.90	6.13	6.31
5	5	5.30	4.98	5.33	5.37	5.44	5.15

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	4	4.84	4.65	5.12	4.71	4.74
2	9.5	10.13	11.02	9.18	10.38	10.36
3	9	10.54	10.44	10.82	10.30	10.28
4	3	5.88	5.92	6.99	5.91	6.04
5	5	5.19	5.19	4.30	5.22	5.21

表 5.11 第七場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	12	10.87	10.81	11.23	11.34	11.20	11.04
2	3	6.42	6.18	6.42	6.28	5.91	6.15
3	3	5.19	5.34	5.60	5.89	5.09	5.04
4	14.5	10.91	10.77	10.76	11.27	10.69	11.09
5	33	13.04	12.05	12.12	12.66	13.55	13.38

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	12	11.29	11.60	9.62	11.30	11.06
2	3	6.98	7.04	7.80	6.13	6.47
3	3	6.71	6.69	8.47	5.45	5.79
4	14.5	11.08	11.54	9.98	11.59	10.93
5	33	11.85	11.87	11.87	13.17	12.57

表 5.12 第八場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	10.5	34.38	35.76	34.34	34.36	37.13	34.87
2	2.5	45.74	46.09	47.20	46.21	46.25	45.65
3	23	50.84	49.20	51.07	50.13	49.58	51.46
4	32	40.87	42.37	45.70	44.91	39.95	41.73
5	26	57.18	56.15	54.27	54.17	55.79	56.96

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	10.5	44.95	46.73	48.13	34.76	38.14
2	2.5	50.08	50.04	50.64	49.92	47.26
3	23	46.24	49.15	49.43	47.76	49.72
4	32	48.15	46.61	46.99	43.20	43.86
5	26	48.53	51.49	50.77	56.20	54.23

表 5.13 第九場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	2.5	3.80	3.73	3.58	3.68	3.62	3.59
2	1.5	2.55	2.92	2.87	2.94	2.77	2.92
3	5	5.61	5.71	5.45	5.57	5.78	5.77
4	6.5	6.26	6.17	6.01	5.96	6.18	6.01
5	8	9.98	9.96	9.92	10.17	9.96	9.95

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	2.5	4.11	4.11	4.21	3.74	3.80
2	1.5	3.07	3.07	3.05	2.73	2.90
3	5	6.02	5.98	5.88	5.75	5.74
4	6.5	5.88	5.85	5.83	6.33	6.03
5	8	10.13	10.06	9.91	10.13	10.01

表 5.14 第十場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	45	48.99	49.03	48.69	49.07	49.03	49.35
2	26.5	39.70	40.15	40.08	39.96	40.00	40.59
3	30	29.75	30.16	31.14	30.92	30.16	30.37
4	47	50.29	50.90	49.20	49.61	50.19	51.00
5	48	41.48	42.36	41.10	41.54	42.20	42.37

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	45	50.09	50.18	50.28	49.62	49.37
2	26.5	39.13	38.81	38.86	39.89	39.74
3	30	33.21	33.50	33.46	30.69	31.31
4	47	43.71	43.50	43.61	49.22	48.22
5	48	40.92	40.84	40.66	41.61	41.54

表 5.15 第十一場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	61.5	59.78	61.38	61.53	62.57	64.95	64.45
2	67	50.93	50.44	49.22	49.64	51.12	52.05
3	75	72.56	73.01	71.79	72.41	72.18	70.91
4	116.6	95.53	97.13	95.42	95.43	98.03	97.99
5	146	68.14	67.16	71.68	70.37	68.48	68.42

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	61.5	70.80	70.69	78.94	64.82	65.34
2	67	52.66	51.71	53.59	50.08	51.12
3	75	70.75	70.77	71.49	72.02	71.79
4	116.6	83.31	83.61	82.00	96.70	92.73
5	146	75.19	74.74	77.23	70.51	70.88

表 5.16 第十二場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	34	21.96	20.98	20.44	20.30	21.36	22.00
2	8	10.12	9.70	10.10	10.37	9.40	9.52
3	12	7.58	7.67	8.36	8.51	7.53	7.01
4	21	23.05	23.72	24.08	23.97	23.40	23.28
5	27	27.20	25.99	26.76	26.51	27.01	26.52

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	34	19.56	19.64	19.71	22.04	20.74
2	8	9.14	9.09	9.96	9.75	9.71
3	12	12.59	12.49	13.17	7.83	9.19
4	21	19.86	20.24	20.16	22.69	22.57
5	27	25.34	25.12	24.60	25.93	26.20

表 5.17 第十三場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	76	122.83	123.13	125.45	120.61	122.05	118.68
2	291	211.64	212.80	213.17	209.60	209.61	208.19
3	255	282.47	285.67	292.64	290.40	284.77	286.76
4	160	162.57	165.16	172.96	175.84	167.33	167.53
5	97	159.06	155.01	154.31	152.44	154.38	156.80

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	76	126.59	123.88	168.25	112.01	125.47
2	291	229.41	228.78	240.66	215.53	216.64
3	255	282.33	284.24	265.58	282.14	284.98
4	160	188.39	180.93	198.18	164.84	173.83
5	97	167.55	171.46	175.30	159.90	159.67

表 5.18 第十四場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	22.5	30.37	31.79	30.01	29.71	31.32	28.85
2	34	10.07	8.88	9.87	9.76	10.37	10.34
3	11	12.11	12.58	13.80	14.28	10.39	11.20
4	20.5	41.50	41.37	41.67	40.96	43.01	42.12
5	89	84.78	83.05	82.45	82.32	82.26	82.28

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	110	84.98	85.40	84.65	87.87	87.00
2	26.5	59.41	59.73	58.75	54.94	56.67
3	48	40.74	40.73	39.89	37.58	37.94
4	44.5	65.73	64.77	64.35	73.10	72.05
5	93	46.28	46.22	46.36	47.80	47.71

表 5.19 第十五場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	110	86.91	86.89	88.14	87.85	87.89	88.89
2	26.5	55.13	55.82	56.09	55.10	56.16	55.30
3	48	36.66	36.35	36.58	37.91	37.20	36.74
4	44.5	74.41	74.62	73.95	73.92	75.52	76.33
5	93	48.58	49.46	48.07	47.14	47.94	48.41

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	110	84.98	85.40	84.65	87.87	87.00
2	26.5	59.41	59.73	58.75	54.94	56.67
3	48	40.74	40.73	39.89	37.58	37.94
4	44.5	65.73	64.77	64.35	73.10	72.05
5	93	46.28	46.22	46.36	47.80	47.71

表 5.20 第十六場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	13	6.40	6.63	6.21	7.49	7.54	7.12
2	26.5	23.95	23.70	25.17	25.36	25.65	24.02
3	28	18.71	19.94	19.79	20.57	16.95	21.14
4	7.5	7.92	8.31	7.53	8.30	10.27	8.68
5	12	7.49	8.37	5.98	6.40	9.68	5.95

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	13	6.03	8.96	7.49	7.38	7.12
2	26.5	23.01	24.53	21.83	22.50	24.27
3	28	19.42	23.27	22.54	18.86	20.25
4	7.5	9.38	10.18	11.50	8.42	8.98
5	12	6.05	5.69	5.85	7.72	6.81

表 5.21 第十七場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	7.5	4.06	4.04	4.07	4.03	3.93	4.07
2	8	9.57	9.75	9.73	9.56	9.76	9.57
3	18	10.56	10.45	10.51	10.68	10.46	10.52
4	8	6.12	6.13	5.94	5.88	6.04	5.99
5	7	5.12	5.00	5.02	4.97	4.92	4.91

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	7.5	4.48	4.45	4.41	4.04	4.15
2	8	9.68	9.64	9.86	9.78	9.67
3	18	10.39	10.30	10.24	10.36	10.47
4	8	6.15	6.03	6.09	5.84	6.04
5	7	4.97	5.07	4.95	5.08	5.00

表 5.22 第十八場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	104	89.33	86.77	87.84	85.59	87.62	88.78
2	97	67.14	68.27	67.60	68.97	71.91	67.98
3	104	109.43	108.51	106.93	103.17	101.74	104.09
4	96	120.07	118.46	119.87	120.05	119.94	119.30
5	181	208.60	208.72	209.24	208.49	212.73	211.87

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	104	88.14	89.43	93.44	87.35	88.09
2	97	67.88	66.56	66.92	69.90	68.32
3	104	106.47	107.29	112.03	105.72	106.08
4	96	116.92	116.01	122.02	119.68	119.03
5	181	206.99	208.98	204.28	211.69	209.41

表 5.23 第十九場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	342.5	299.93	306.04	309.51	316.26	310.95	319.33
2	519.5	517.32	524.75	521.36	528.57	524.64	513.29
3	350	463.46	456.59	463.87	463.67	475.38	464.88
4	335.5	348.06	345.76	360.35	357.16	352.55	347.66
5	184	222.41	225.44	221.27	221.57	218.97	223.30

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	342.5	366.93	385.16	378.20	315.90	328.84
2	519.5	525.36	522.00	524.29	506.88	522.24
3	350	462.84	462.45	467.59	464.12	464.33
4	335.5	373.31	373.28	368.53	351.90	357.64
5	184	223.92	224.54	231.05	223.81	223.08

表 5.24 第二十場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	92	97.18	96.44	95.62	95.79	97.47	98.50
2	46.5	56.73	55.90	55.69	56.37	54.78	53.98
3	85	57.37	58.41	59.19	58.83	56.95	57.80
4	104.5	106.09	107.57	103.50	103.33	104.38	104.69
5	152	139.79	143.00	140.81	140.69	139.58	139.96

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	92	79.82	78.63	77.17	99.36	92.00
2	46.5	51.47	52.14	52.09	55.08	54.57
3	85	72.00	73.17	71.70	55.95	61.91
4	104.5	88.31	89.24	89.63	105.05	100.67
5	152	139.41	135.66	136.23	141.84	139.72

表 5.25 第二十一場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	31	40.57	40.67	40.40	40.44	40.61	40.60
2	46	32.06	31.70	31.36	31.92	32.33	32.52
3	38	35.16	34.94	37.13	36.12	35.28	35.62
4	46	42.19	42.36	42.26	41.75	40.66	41.13
5	36	36.04	36.32	37.01	37.05	36.89	36.90

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	31	40.21	41.12	42.03	40.73	40.69
2	46	31.26	31.00	31.15	31.96	31.74
3	38	37.26	37.28	38.48	36.08	36.24
4	46	42.495	42.23	42.61	41.91	41.92
5	36	35.20	35.29	34.58	35.91	36.23

表 5.26 第二十二場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	36.5	38.84	38.30	34.72	36.01	36.73	36.41
2	13	22.99	22.77	24.20	23.67	22.75	23.13
3	7	12.47	12.50	14.47	14.44	12.25	12.60
4	37.5	46.38	45.93	40.30	40.46	45.79	46.57
5	29	30.56	29.80	29.38	30.73	30.31	30.69

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	36.5	38.36	38.99	37.58	36.58	37.31
2	13	22.49	22.61	23.09	23.05	23.08
3	7	18.77	17.90	18.94	14.93	14.73
4	37.5	30.20	31.38	31.02	43.05	40.23
5	29	28.66	28.69	28.55	29.43	29.77

表 5.27 第二十三場降雨事件各未知測站推估值

未知點位	目標推估值 (mm)	球型模式 (mm)	球型碎塊模式 (mm)	指數模式 (mm)	指數碎塊模式 (mm)	高斯模式 (mm)	高斯碎塊模式 (mm)
1	36	36.53	36.84	36.23	36.89	36.64	36.10
2	30	43.71	43.85	44.03	44.03	44.78	44.96
3	41	40.94	41.28	41.52	41.07	41.30	41.34
4	31	44.79	43.90	42.67	43.26	44.28	44.59
5	65	34.42	33.50	33.60	33.27	33.83	34.03

未知點位	目標推估值 (mm)	冪次模式 (mm)	冪次碎塊模式 (mm)	碎塊模式 (mm)	WKM1(mm)	WKM2(mm)
1	36	42.32	42.50	42.34	36.93	38.28
2	30	44.14	43.99	44.09	44.64	44.18
3	41	41.54	41.87	42.18	41.60	41.41
4	31	41.02	41.11	41.15	43.56	43.07
5	65	33.63	33.63	33.48	33.87	33.72

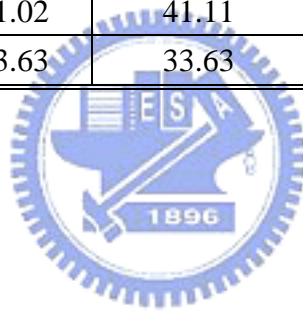


表 5.28 各降雨場目標值與推估值均方誤差

降雨事件	球型模式	球型碎塊模式	指數模式	指數碎塊模式	高斯模式	高斯碎塊模式	冪次模式	冪次碎塊模式	碎塊模式	WKM1	WKM2
第一場	17.45	17.54	17.51	17.72	17.43	17.24	17.94	18.46	17.99	17.53	17.59
第二場	13.58	14.23	13.04	14.56	14.53	15.39	13.57	14.33	36.36	15.29	14.15
第三場	21.11	21.71	22.62	22.61	23.90	25.24	22.21	24.13	49.74	23.92	23.53
第四場	8.38	8.24	8.45	8.51	8.11	7.41	9.45	9.35	10.52	8.74	8.43
第五場	2.77	2.73	2.77	2.74	2.68	2.73	2.85	2.83	2.82	2.75	2.74
第六場	1.48	1.52	1.47	1.50	1.55	1.83	1.54	1.64	2.06	1.52	1.56
第七場	9.26	9.69	9.68	9.42	9.01	9.07	9.89	9.85	10.25	9.14	9.49
第八場	29.22	29.13	29.47	28.90	29.26	29.39	30.86	32.00	32.47	29.96	29.73
第九場	1.20	1.27	1.20	1.33	1.22	1.25	1.49	1.47	1.43	1.28	1.30
第十場	6.98	7.07	7.10	7.03	6.96	7.28	7.17	7.13	7.18	7.03	6.92
第十一場	36.80	37.07	35.49	35.99	36.40	36.37	35.86	36.06	35.84	35.78	36.02
第十二場	5.88	6.32	6.49	6.55	6.12	5.94	6.54	6.50	6.57	5.79	6.16
第十三場	51.19	50.34	51.72	51.37	50.95	51.62	50.76	50.99	61.23	48.40	50.98
第十四場	14.80	15.43	15.08	14.92	15.42	14.92	15.16	15.53	15.37	14.88	14.92
第十五場	29.49	29.44	29.56	29.59	29.93	29.67	29.65	29.53	29.39	29.21	29.50
第十六場	5.60	5.04	5.50	4.87	5.75	5.01	5.88	4.23	5.21	5.48	5.07
第十七場	3.91	3.99	3.97	3.91	4.02	3.96	3.93	3.97	4.02	4.04	3.95
第十八場	22.25	21.98	22.37	22.18	22.29	22.67	21.06	21.60	21.45	22.44	21.99
第十九場	57.14	53.93	56.69	55.81	60.43	55.62	57.25	59.24	60.71	56.11	55.29
第二十場	14.46	13.46	13.34	13.61	14.42	14.02	12.34	13.04	13.40	14.66	12.36
第二十一場	7.85	8.01	7.98	7.87	7.95	7.80	7.94	8.28	8.44	7.90	7.96
第二十二場	6.59	6.34	6.21	6.02	6.22	6.62	7.56	7.14	7.59	6.25	5.83
第二十三場	16.21	16.44	16.24	16.46	16.53	16.54	16.28	16.28	16.35	16.38	16.31
所有事件平均	16.68	16.56	16.69	16.67	17.00	16.85	16.83	17.11	19.84	16.72	16.60

表 5.29 第一場降雨各模式指標排序

	Index	第一場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	7	0.415083	8	0.405217	4	0.422565	6	0.418783	3	0.426348	2	0.427087
	PPCC	2	0.891217	1	0.89487	3	0.889	8	0.88287	4	0.888087	6	0.885261
	MSE	4	7.918565	8	8.005957	5	7.922609	6	7.94513	2	7.883957	1	7.875913
	KG	5	1.858	8	1.884304	7	1.870217	2	1.837783	3	1.838652	4	1.853565
	KS	5	1.945478	9	2.010609	7	1.995913	3	1.935261	2	1.933435	8	1.996565
	MSWE	7	17.75839	9	18.01022	6	17.7513	5	17.71452	3	17.65448	1	17.56543

	Index	第一場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	9	0.404391	11	0.36513	10	0.397696	5	0.419435	1	0.429957
	PPCC	9	0.875913	11	0.874478	10	0.878261	7	0.885	5	0.887
	MSE	9	8.058261	11	8.324261	10	8.103087	7	7.94913	3	7.885
	KG	6	1.867957	10	1.927783	9	1.899652	11	1.944522	1	1.827652
	KS	4	1.94	10	2.012478	6	1.977696	11	2.174217	1	1.885913
	MSWE	8	17.92235	11	18.56717	10	18.03474	4	17.66539	2	17.6293

表 5.30 第二場降雨各模式指標排序

	Index	第二場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	3	0.6386	6	0.6323	4	0.6371	7	0.6316	9	0.6031	8	0.6077
	PPCC	7	0.9141	4	0.9224	3	0.9233	2	0.9328	8	0.9047	5	0.9198
	MSE	6	7.121	5	7.1158	4	7.088	7	7.19	9	7.4434	8	7.326
	KG	5	1.6019	4	1.5835	2	1.5747	8	1.6077	9	1.6291	7	1.607
	KS	5	1.6281	3	1.6137	1	1.5976	6	1.6339	9	1.6609	8	1.6504
	MSWE	5	15.7034	7	15.8989	8	16.1757	6	15.8161	10	16.8491	4	15.6683

	Index	第二場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.649	5	0.6347	11	-0.9503	10	0.5771	1	0.7015
	PPCC	9	0.9016	6	0.9178	11	0.0192	10	0.8983	1	0.9333
	MSE	2	6.9048	3	7.0047	11	16.4992	10	7.6033	1	6.4799
	KG	6	1.6068	3	1.5793	11	2.3529	10	1.6387	1	1.5654
	KS	7	1.6399	4	1.6215	11	2.4279	10	1.6762	2	1.6001
	MSWE	2	14.8211	3	14.9391	11	34.7613	9	16.6106	1	13.693

表 5.31 第三場降雨各模式指標排序

	Index	第三場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.1419	3	0.1122	7	0.0676	4	0.1081	9	-0.0028	10	-0.1031
	PPCC	8	0.949	10	0.9473	6	0.9582	7	0.9547	1	0.9763	3	0.9701
	MSE	1	10.7134	3	10.9175	6	11.2391	5	11.1642	8	11.7028	10	12.083
	KG	9	1.6076	6	1.5892	5	1.5868	4	1.5799	1	1.5361	8	1.5979
	KS	9	1.6187	7	1.5988	5	1.5953	4	1.5895	1	1.5412	8	1.6047
	MSWE	1	24.8074	3	25.8962	6	27.1008	5	27.0612	8	29.6255	9	29.637

	Index	第三場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	5	0.0812	8	0.0006	11	-2.5808	6	0.0692	1	0.1691
	PPCC	5	0.9645	4	0.9665	11	0.1694	9	0.9482	2	0.9758
	MSE	4	10.9312	9	11.7554	11	22.4977	7	11.3111	2	10.8529
	KG	2	1.5499	3	1.5757	11	2.4335	7	1.5909	10	1.6186
	KS	2	1.5555	3	1.5835	11	2.5075	6	1.5979	10	1.626
	MSWE	4	26.6486	10	28.8575	11	46.3313	7	27.189	2	25.6047

表 5.32 第四場降雨各模式指標排序

	Index	第四場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	-0.4457	6	-0.3969	5	-0.388	4	-0.3828	3	-0.3567	1	-0.1461
	PPCC	7	0.3982	3	0.4312	1	0.4575	5	0.4095	4	0.4219	2	0.4503
	MSE	7	4.025	6	3.9631	4	3.9549	5	3.9564	3	3.917	1	3.6102
	KG	7	1.2497	6	1.2433	5	1.2422	4	1.2417	3	1.2406	1	1.218
	KS	7	1.2511	6	1.2445	5	1.2433	4	1.2431	3	1.2417	1	1.2193
	MSWE	7	8.7244	5	8.6096	6	8.6133	4	8.5739	3	8.5122	1	7.8779

	Index	第四場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	10	-0.6379	9	-0.6018	11	-1.0033	7	-0.4383	2	-0.291
	PPCC	10	0.292	9	0.2991	11	0.1773	8	0.3924	6	0.4089
	MSE	10	4.324	9	4.279	11	4.7941	8	4.0526	2	3.8443
	KG	10	1.2642	9	1.2596	11	1.2928	8	1.2506	2	1.2343
	KS	10	1.2655	9	1.2608	11	1.2945	8	1.2518	2	1.2354
	MSWE	10	9.3984	9	9.2855	11	10.396	8	8.7781	2	8.3284

表 5.33 第五場降雨各模式指標排序

	Index	第五場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	0.66835	4	0.67585	6	0.6709	3	0.6766	2	0.68485	5	0.67475
	PPCC	11	0.91955	4	0.93255	5	0.92855	7	0.9229	1	0.94095	3	0.93355
	MSE	8	1.26925	4	1.25225	6	1.2621	3	1.251	2	1.2362	5	1.2554
	KG	11	1.5861	10	1.5523	7	1.52725	5	1.4876	6	1.5139	8	1.5318
	KS	11	1.63395	9	1.59035	7	1.5584	5	1.51	6	1.5435	8	1.5677
	MSWE	6	3.04625	3	3.0077	8	3.05165	5	3.04165	1	2.9708	4	3.02325

	Index	第五場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	11	0.6568	9	0.6643	10	0.6642	7	0.66855	1	0.68795
	PPCC	9	0.92225	8	0.9227	6	0.923	10	0.92045	2	0.93475
	MSE	11	1.29165	10	1.27565	9	1.27455	7	1.2631	1	1.2332
	KG	3	1.46895	2	1.4511	1	1.43185	9	1.5484	4	1.4803
	KS	3	1.4854	2	1.46405	1	1.44185	10	1.59485	4	1.5014
	MSWE	11	3.1339	9	3.0993	10	3.1107	7	3.04755	2	2.9949

表 5.34 第六場降雨各模式指標排序

	Index	第六場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	3	0.6225	2	0.6257	4	0.62035	6	0.6117	7	0.6107	10	0.46395
	PPCC	5	0.91905	9	0.9069	6	0.9157	2	0.926	7	0.91555	10	0.87965
	MSE	2	0.72235	4	0.72335	3	0.72285	5	0.7281	6	0.7318	10	0.86165
	KG	3	1.38065	5	1.3815	1	1.37475	2	1.37825	9	1.3923	10	1.43495
	KS	3	1.3921	5	1.39345	1	1.3856	2	1.38895	9	1.40555	10	1.4491
	MSWE	3	1.51215	4	1.5149	5	1.53175	6	1.54105	2	1.50985	10	1.8364

	Index	第六場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	0.59255	9	0.53845	11	0.3777	5	0.61195	1	0.6421
	PPCC	8	0.91285	4	0.92005	11	0.7808	3	0.92235	1	0.9281
	MSE	8	0.75085	9	0.79475	11	0.93295	7	0.73245	1	0.7077
	KG	7	1.3853	8	1.38835	11	1.48995	6	1.3815	4	1.3815
	KS	7	1.39555	8	1.39905	11	1.51185	4	1.39215	6	1.3939
	MSWE	8	1.60405	9	1.7315	11	1.91195	7	1.54835	1	1.46245

表 5.35 第七場降雨各模式指標排序

	Index	第七場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	4	0.26555	8	0.20365	7	0.21335	5	0.2526	1	0.31015	2	0.30035
	PPCC	6	0.79775	9	0.7538	8	0.7829	7	0.7916	3	0.84845	4	0.82815
	MSE	4	4.16125	8	4.353	7	4.34445	5	4.23395	1	4.0583	2	4.0819
	KG	4	1.8363	6	1.86755	8	1.88275	5	1.8629	1	1.7735	2	1.7846
	KS	4	1.8704	7	1.90915	8	1.9191	5	1.8976	1	1.80065	2	1.81655
	MSWE	4	12.0765	8	12.65785	7	12.6183	5	12.2858	1	11.7829	2	11.8598

	Index	第七場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	10	0.1779	9	0.1824	11	0.12235	3	0.2885	6	0.2498
	PPCC	10	0.74435	11	0.7268	1	0.8769	5	0.80535	2	0.8541
	MSE	10	4.4403	9	4.42625	11	4.60055	3	4.1206	6	4.2498
	KG	10	2.00055	9	1.9973	11	2.19065	3	1.80995	7	1.8712
	KS	10	2.04345	9	2.0404	11	2.24045	3	1.8421	6	1.90025
	MSWE	10	12.8175	9	12.78645	11	13.02055	3	11.9707	6	12.3381

表 5.36 第八場降雨各模式指標排序

	Index	第八場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	5	-6.43444	3	-6.405	7	-6.596	1	-6.24506	4	-6.43344	6	-6.53681
	PPCC	4	0.240875	5	0.232938	2	0.264063	1	0.321875	7	0.141	6	0.229875
	MSE	4	12.556	2	12.52006	7	12.69631	1	12.37681	5	12.57238	6	12.67663
	KG	2	3.007688	3	3.014938	5	3.016938	1	2.9995	6	3.0295	7	3.030125
	KS	1	4.1765	4	4.197063	6	4.221875	2	4.177063	5	4.219	3	4.192
	MSWE	6	26.00088	3	25.78188	8	26.17725	1	25.49263	4	25.78631	9	26.36506

	Index	第八場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	9	-7.03981	10	-7.59631	11	-7.83088	8	-6.62494	2	-6.33575
	PPCC	9	-0.02606	11	-0.11419	10	-0.07888	8	0.133063	3	0.25
	MSE	9	13.06838	10	13.52925	11	13.7465	8	12.76506	3	12.52713
	KG	9	3.1255	10	3.198813	11	3.21475	4	3.016125	8	3.065438
	KS	10	4.455438	9	4.526125	11	4.566125	8	4.302313	7	4.281563
	MSWE	7	26.09381	10	27.24225	11	27.59006	5	25.91325	2	25.52475

表 5.37 第九場降雨各模式指標排序

	Index	第九場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	1	0.738714	6	0.707857	2	0.730429	8	0.676143	3	0.716286	5	0.709
	PPCC	1	0.954	3	0.946429	7	0.932857	8	0.927143	4	0.949143	6	0.936286
	MSE	1	0.546857	6	0.583	2	0.556571	8	0.615429	3	0.572286	4	0.578429
	KG	1	1.378286	8	1.444571	2	1.414143	7	1.442429	4	1.416714	5	1.420429
	KS	1	1.384	8	1.456	3	1.424286	7	1.453571	4	1.425571	5	1.43
	MSWE	1	1.271857	3	1.316571	2	1.277714	9	1.423571	4	1.321714	6	1.334857

	Index	第九場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	11	0.622286	10	0.637429	9	0.656143	7	0.685	4	0.710571
	PPCC	11	0.917286	10	0.921	9	0.921429	2	0.950286	5	0.941286
	MSE	11	0.663714	10	0.648857	9	0.632857	7	0.601429	5	0.581714
	KG	11	1.504	10	1.501	9	1.488	3	1.416429	6	1.439857
	KS	11	1.515	10	1.512143	9	1.498	2	1.423857	6	1.448
	MSWE	11	1.497714	10	1.456429	8	1.411286	7	1.403429	5	1.332143

表 5.38 第十場降雨各模式指標排序

	Index	第十場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.401231	7	0.377923	8	0.375769	5	0.384154	3	0.397462	11	0.332923
	PPCC	4	0.710538	1	0.719692	8	0.686692	7	0.704	2	0.719231	6	0.704077
	MSE	2	3.152231	6	3.208231	8	3.217923	5	3.195923	3	3.168077	11	3.328692
	KG	2	1.219	7	1.222769	10	1.224615	6	1.222769	3	1.221	11	1.23
	KS	2	1.221077	7	1.224923	10	1.226769	6	1.224769	3	1.223154	11	1.232462
	MSWE	2	6.739	6	6.832154	7	6.864846	5	6.817769	3	6.745077	11	7.092769

	Index	第十場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	9	0.375538	6	0.381154	10	0.370231	4	0.389385	1	0.422923
	PPCC	10	0.661923	9	0.666923	11	0.656923	5	0.709385	3	0.716615
	MSE	9	3.226769	7	3.211385	10	3.238692	4	3.186538	1	3.102846
	KG	8	1.223846	5	1.222385	9	1.223923	4	1.221462	1	1.217462
	KS	8	1.225385	5	1.224	9	1.225538	4	1.223615	1	1.219462
	MSWE	9	6.952385	8	6.936154	10	7.002	4	6.800385	1	6.605077

表 5.39 第十一場降雨各模式指標排序

	Index	第十一場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	10	-0.3034	11	-0.3296	7	-0.23707	2	-0.22127	9	-0.2678	1	-0.2182
	PPCC	7	0.480933	10	0.447467	3	0.5316	5	0.5228	11	0.436867	8	0.4762
	MSE	10	16.68847	11	16.85713	4	16.2388	1	16.12447	9	16.45733	2	16.13227
	KG	10	1.452133	11	1.466733	7	1.443467	5	1.434333	9	1.444667	2	1.430133
	KS	10	1.4684	11	1.483733	7	1.456733	6	1.448267	9	1.460133	4	1.4438
	MSWE	10	41.7522	11	42.11967	7	40.4848	2	40.2902	9	41.15227	4	40.34087

	Index	第十一場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	4	-0.23227	6	-0.23687	8	-0.24233	5	-0.23527	3	-0.2248
	PPCC	1	0.5756	2	0.574133	9	0.455533	6	0.4944	4	0.5276
	MSE	5	16.24113	7	16.27093	8	16.30893	6	16.24267	3	16.1976
	KG	3	1.430733	4	1.4342	6	1.439867	8	1.444267	1	1.428
	KS	1	1.439733	3	1.443267	5	1.446867	8	1.458133	2	1.4404
	MSWE	3	40.33367	5	40.38393	1	40.24273	8	40.54267	6	40.4778

表 5.40 第十二場降雨各模式指標排序

	Index	第十二場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	4	0.558467	6	0.516667	9	0.505267	11	0.495867	5	0.537333	3	0.5586
	PPCC	7	0.802933	9	0.785467	10	0.7634	11	0.7552	8	0.799333	5	0.814
	MSE	3	2.789133	6	2.9274	9	2.976867	10	3.0008	5	2.877	4	2.8182
	KG	8	1.404067	10	1.414467	6	1.3764	7	1.381133	9	1.413867	11	1.437333
	KS	8	1.409733	10	1.42	6	1.3806	7	1.385667	9	1.419533	11	1.4448
	MSWE	2	6.887333	6	7.275667	7	7.460933	8	7.519333	5	7.128733	3	6.916267

	Index	第十二場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	0.5074	7	0.51	10	0.497467	1	0.592867	2	0.572933
	PPCC	4	0.814533	6	0.812267	2	0.818933	1	0.828533	3	0.814933
	MSE	8	2.9744	7	2.966867	11	3.002133	1	2.7004	2	2.777133
	KG	1	1.305867	2	1.310133	4	1.332333	5	1.3612	3	1.313267
	KS	1	1.311867	2	1.3158	4	1.3378	5	1.365	3	1.316667
	MSWE	10	7.6192	9	7.588867	11	7.635467	1	6.712467	4	7.052533

表 5.41 第十三場降雨各模式指標排序

	Index	第十三場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	6	0.6125	4	0.616417	9	0.596083	8	0.599917	7	0.603583	10	0.594667
	PPCC	8	0.80925	6	0.818167	7	0.8115	11	0.805667	9	0.80825	10	0.8075
	MSE	5	23.42425	4	23.385	9	23.89683	8	23.70758	7	23.65633	10	23.97467
	KG	6	1.410083	4	1.406	8	1.414083	2	1.401667	5	1.407	3	1.405417
	KS	6	1.414417	4	1.41025	8	1.418833	2	1.405583	5	1.41125	3	1.409333
	MSWE	5	53.77342	6	53.9065	8	54.9855	9	55.13375	7	54.75258	10	55.70158

	Index	第十三場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	3	0.617083	5	0.61575	11	0.459667	1	0.6425	2	0.632333
	PPCC	2	0.866667	3	0.86075	1	0.912583	5	0.833	4	0.841417
	MSE	3	23.3415	6	23.45542	11	27.761	1	22.50767	2	22.94117
	KG	10	1.435	9	1.43325	11	1.572333	1	1.379083	7	1.413667
	KS	10	1.441	9	1.439417	11	1.589167	1	1.38325	7	1.418
	MSWE	1	51.25975	2	51.56667	11	57.07042	3	51.79942	4	52.117

表 5.42 第十四場降雨各模式指標排序

	Index	第十四場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.706	11	0.6757	7	0.697	3	0.7032	8	0.6896	6	0.701
	PPCC	1	0.853	11	0.8334	7	0.8423	5	0.8456	8	0.8399	3	0.8466
	MSE	2	6.6982	11	7.0436	7	6.8201	3	6.7494	8	6.8963	6	6.7721
	KG	6	1.9079	8	1.9941	4	1.8778	5	1.88	3	1.8543	1	1.8414
	KS	7	2.0726	8	2.1974	4	1.9615	5	1.9669	2	1.9265	1	1.9206
	MSWE	1	14.2862	9	15.1837	6	14.6501	5	14.57	7	14.7809	3	14.5504

	Index	第十四場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	4	0.7021	10	0.6835	9	0.6893	5	0.702	1	0.71
	PPCC	6	0.8436	9	0.837	10	0.8367	4	0.8457	2	0.8477
	MSE	4	6.7683	10	6.9829	9	6.9074	5	6.772	1	6.6864
	KG	9	2.0911	11	2.2321	10	2.1495	2	1.8543	7	1.9214
	KS	9	2.3127	11	2.7383	10	2.4496	3	1.9273	6	2.0351
	MSWE	8	15.0981	11	15.5151	10	15.2959	4	14.5632	2	14.5209

表 5.43 第十五場降雨各模式指標排序

	Index	第十五場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	5	0.120917	6	0.120667	9	0.10825	10	0.1065	11	0.094417	8	0.1085
	PPCC	2	0.411417	3	0.40975	8	0.3995	9	0.396917	11	0.3855	6	0.40275
	MSE	6	13.24392	5	13.24192	7	13.33367	10	13.346	11	13.43708	8	13.334
	KG	2	1.675333	6	1.679	10	1.690167	9	1.685083	11	1.690667	8	1.683167
	KS	2	1.684833	4	1.688917	10	1.700917	8	1.696083	11	1.701833	6	1.69375
	MSWE	4	30.40733	2	30.30433	6	30.53033	8	30.6655	10	30.72825	5	30.449

	Index	第十五場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	7	0.109333	3	0.124583	4	0.12225	1	0.137333	2	0.125833
	PPCC	10	0.38925	7	0.402667	5	0.405833	1	0.423833	4	0.406833
	MSE	9	13.33592	3	13.22342	4	13.24075	1	13.1195	2	13.21725
	KG	7	1.680583	5	1.677	4	1.676833	1	1.670333	3	1.676833
	KS	9	1.697167	7	1.694333	5	1.693167	1	1.681	3	1.688417
	MSWE	11	30.89225	7	30.55875	9	30.69808	1	30.15483	3	30.38458

表 5.44 第十六場降雨各模式指標排序

	Index	第十六場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	10	0.3801	5	0.4822	9	0.3972	6	0.4633	8	0.4119	4	0.4972
	PPCC	9	0.8668	6	0.8737	4	0.8865	7	0.8736	10	0.8033	3	0.8975
	MSE	10	2.8631	5	2.6249	8	2.8131	6	2.6401	9	2.8182	4	2.6021
	KG	8	1.63	4	1.5442	10	1.7055	6	1.6115	1	1.5116	9	1.6633
	KS	8	1.6525	4	1.5578	10	1.7367	6	1.6323	1	1.52	9	1.6992
	MSWE	9	6.8226	6	6.248	8	6.5724	5	6.197	10	6.8464	4	6.0211

	Index	第十六場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	11	0.3364	3	0.5467	1	0.5898	7	0.4518	2	0.5866
	PPCC	11	0.8534	8	0.8686	5	0.8837	1	0.9114	2	0.9102
	MSE	11	2.9885	3	2.4597	1	2.3584	7	2.7281	2	2.3653
	KG	11	1.7519	7	1.6133	5	1.6074	3	1.5301	2	1.5176
	KS	11	1.7863	7	1.6388	5	1.6235	3	1.541	2	1.5269
	MSWE	11	6.9929	3	5.6221	1	5.2826	7	6.5532	2	5.5224

表 5.45 第十七場降雨各模式指標排序

	Index	第十七場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.1245	8	0.068375	6	0.094875	1	0.129375	7	0.07075	3	0.113
	PPCC	2	0.728375	10	0.687125	5	0.709375	1	0.742625	7	0.6985	3	0.7255
	MSE	2	1.74275	8	1.797125	6	1.77125	1	1.735875	7	1.79375	3	1.752875
	KG	2	1.505875	8	1.5295	7	1.524125	9	1.531625	10	1.550625	6	1.5195
	KS	2	1.511625	8	1.535375	7	1.52925	9	1.537875	10	1.558125	6	1.525
	MSWE	2	4.407125	8	4.535875	5	4.46275	1	4.35475	7	4.50975	3	4.419625

	Index	第十七場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	4	0.10525	9	0.067625	10	0.066625	11	0.026125	5	0.101
	PPCC	6	0.707625	8	0.696625	11	0.6785	9	0.69025	4	0.714
	MSE	4	1.760875	9	1.79875	10	1.799125	11	1.837875	5	1.765875
	KG	1	1.4945	3	1.51	4	1.510125	11	1.55375	5	1.51375
	KS	1	1.4985	3	1.514125	4	1.51425	11	1.56025	5	1.51825
	MSWE	6	4.467625	10	4.561875	9	4.558375	11	4.637125	4	4.460125

表 5.46 第十八場降雨各模式指標排序

	Index	第十八場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	0.4615	6	0.47545	9	0.4574	5	0.48295	7	0.46455	11	0.43015
	PPCC	10	0.9161	8	0.92155	9	0.9206	7	0.92415	1	0.9311	4	0.9266
	MSE	9	10.57635	6	10.39935	8	10.55415	5	10.3442	7	10.50395	11	10.73735
	KG	11	1.25805	8	1.25315	9	1.25345	7	1.2476	1	1.23415	10	1.25345
	KS	11	1.26	9	1.2551	8	1.2549	6	1.2489	1	1.23515	10	1.2554
	MSWE	7	23.9421	6	23.61	8	23.9961	5	23.5008	9	24.165	11	24.5854

	Index	第十八場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	3	0.5152	4	0.4966	1	0.5328	10	0.4436	2	0.52495
	PPCC	5	0.9256	3	0.93005	11	0.91015	6	0.925	2	0.93015
	MSE	2	9.95795	4	10.13785	1	9.90075	10	10.70445	3	9.969
	KG	3	1.2392	5	1.2463	4	1.2443	6	1.24735	2	1.23525
	KS	3	1.24065	5	1.24805	4	1.2457	7	1.2491	2	1.23625
	MSWE	2	22.65345	4	23.1195	1	22.1747	10	24.5702	3	22.71915

表 5.47 第十九場降雨各模式指標排序

	Index	第十九場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	8	0.6739	3	0.7063	7	0.6939	2	0.7079	11	0.6515	4	0.7007
	PPCC	11	0.8725	6	0.8927	7	0.8916	5	0.9031	10	0.8801	8	0.8901
	MSE	8	26.9556	3	25.5564	7	26.1777	2	25.5512	10	27.7893	4	25.7513
	KG	9	1.1859	5	1.18	7	1.1805	2	1.1753	8	1.1854	3	1.1775
	KS	9	1.1866	5	1.1806	7	1.1811	2	1.1758	8	1.186	3	1.1783
	MSWE	8	60.0713	3	56.8467	7	58.0523	2	56.6122	11	61.7846	4	56.9925

	Index	第十九場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	6	0.6954	9	0.6686	10	0.6541	5	0.7003	1	0.7208
	PPCC	1	0.9353	2	0.9351	3	0.9291	9	0.8812	4	0.9099
	MSE	6	26.1206	9	27.291	11	27.8582	5	25.872	1	25.0585
	KG	6	1.1801	10	1.1882	11	1.1958	4	1.1795	1	1.1713
	KS	6	1.1807	10	1.1886	11	1.1964	4	1.1801	1	1.1718
	MSWE	6	57.8264	9	60.4928	10	61.5832	5	57.352	1	55.5324

表 5.48 第二十場降雨各模式指標排序

	Index	第二十場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	9	0.7987	6	0.8151	5	0.8234	7	0.8114	10	0.7975	8	0.8031
	PPCC	10	0.9099	8	0.9162	5	0.9235	6	0.9197	9	0.9144	7	0.9163
	MSE	9	6.7722	6	6.4587	5	6.3486	7	6.4802	10	6.8201	8	6.7164
	KG	10	1.2297	8	1.2239	5	1.2124	6	1.2163	9	1.2286	7	1.2197
	KS	10	1.2318	8	1.226	5	1.2139	6	1.2179	9	1.2307	7	1.2216
	MSWE	9	15.008	5	14.1134	4	14.0611	7	14.3851	10	15.1803	8	15.0034

	Index	第二十場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	0.8532	3	0.8382	4	0.8303	11	0.7862	1	0.8642
	PPCC	3	0.9775	1	0.9822	2	0.9791	11	0.9042	4	0.9501
	MSE	2	5.7289	3	6.053	4	6.2115	11	6.94	1	5.6014
	KG	1	1.1567	2	1.162	3	1.1704	11	1.2384	4	1.18
	KS	1	1.1569	2	1.1622	3	1.1704	11	1.241	4	1.1812
	MSWE	2	13.1078	3	14.0063	6	14.2803	11	15.2926	1	12.5031

表 5.49 第二十一場降雨各模式指標排序

	Index	第二十一場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	6	-0.91507	9	-0.97807	8	-0.9484	4	-0.8992	7	-0.9322	3	-0.8882
	PPCC	3	-0.2148	2	-0.20827	5	-0.25713	6	-0.2656	11	-0.33507	10	-0.29493
	MSE	6	3.608867	9	3.664133	8	3.635133	3	3.583267	7	3.623867	2	3.5796
	KG	6	1.237933	9	1.243133	8	1.240333	3	1.2364	7	1.238333	2	1.234867
	KS	6	1.2394	9	1.244733	8	1.241933	3	1.237933	7	1.239533	1	1.236
	MSWE	6	8.161667	9	8.2888	8	8.2444	3	8.116467	7	8.199667	1	8.0916

	Index	第二十一場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	2	-0.88247	10	-1.0422	11	-1.10853	5	-0.90473	1	-0.87287
	PPCC	1	-0.193	8	-0.27887	9	-0.2868	4	-0.2428	7	-0.27047
	MSE	4	3.583333	10	3.730133	11	3.790933	5	3.604067	1	3.577533
	KG	4	1.236467	10	1.2476	11	1.2518	5	1.237467	1	1.234867
	KS	4	1.238	10	1.2494	11	1.2536	5	1.238867	2	1.236333
	MSWE	4	8.1376	10	8.447733	11	8.551	5	8.150667	2	8.102667

表 5.50 第二十二場降雨各模式指標排序

	Index	第二十二場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	9	0.6228	8	0.635	5	0.6882	2	0.7305	4	0.715	6	0.6708
	PPCC	5	0.9424	8	0.9321	7	0.9341	2	0.9612	3	0.9482	6	0.9367
	MSE	9	3.3504	7	3.2821	5	3.0353	2	2.8363	4	2.9269	6	3.1549
	KG	3	1.4648	4	1.4653	8	1.5454	5	1.5101	1	1.4324	2	1.4634
	KS	3	1.4745	4	1.477	8	1.564	5	1.525	1	1.4417	2	1.473
	MSWE	11	7.461	10	7.2418	4	6.0217	2	5.6339	5	6.4021	7	6.9207

	Index	第二十二場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	10	0.5936	7	0.6366	11	0.5693	3	0.7207	1	0.7649
	PPCC	11	0.869	9	0.8954	10	0.8928	4	0.946	1	0.9745
	MSE	10	3.513	8	3.3226	11	3.6234	3	2.8932	1	2.6811
	KG	10	1.6378	9	1.6117	11	1.6736	7	1.5161	6	1.5136
	KS	10	1.6748	9	1.6421	11	1.7175	7	1.5339	6	1.5295
	MSWE	8	7.1395	6	6.6995	9	7.1903	3	5.8458	1	5.2455

表 5.51 第二十三場降雨各模式指標排序

	Index	第二十三場											
		球型		球型碎塊		指數型		指數碎塊型		高斯型		高斯碎塊型	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	5	-0.63672	9	-0.67717	1	-0.61344	8	-0.65611	10	-0.68294	11	-0.68489
	PPCC	2	-0.76111	6	-0.80383	3	-0.77178	7	-0.82333	4	-0.79417	1	-0.75839
	MSE	5	7.327889	9	7.414222	1	7.276222	8	7.372611	10	7.43	11	7.432333
	KG	5	1.4465	9	1.453444	1	1.441278	8	1.449167	10	1.455056	11	1.455667
	KS	5	1.453889	9	1.462056	1	1.449611	8	1.457889	10	1.463	11	1.4635
	MSWE	2	17.7725	11	18.05378	1	17.75906	8	17.98872	10	18.01372	9	17.9895

	Index	第二十三場									
		冪次型		冪次碎塊型		碎塊模式		WKM1		WKM2	
		排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值	排序	平均指標值
AVE	CE	3	-0.63217	4	-0.63556	7	-0.64761	6	-0.64017	2	-0.62739
	PPCC	8	-0.88517	9	-0.89122	11	-0.89656	5	-0.79539	10	-0.89589
	MSE	3	7.318111	4	7.326056	7	7.353667	6	7.3365	2	7.310389
	KG	3	1.444778	4	1.445222	7	1.447556	6	1.447056	2	1.444333
	KS	3	1.452833	4	1.453278	7	1.455722	6	1.454444	2	1.452333
	MSWE	5	17.86056	6	17.87556	7	17.93611	3	17.80333	4	17.81667

表 5.52 權重克利金模式 I 各指標排序出現次數

指標 \ 排序等級	權重模式 I 排序名次										
	Rank 1	Rank 2	Rank 3	Rank 4	Rank 5	Rank 6	Rank 7	Rank 8	Rank 9	Rank 10	Rank 11
CE	3		2	1	6	2	4	1		2	2
PPCC	3	1	1	3	4	2	1	2	3	2	1
MSE	3		2	1	3	2	6	2		2	2
KG	2	1	3	3	2	3	2	2	1	1	3
KS	2	1	3	3	2	2	2	3		2	3
MSWE	2		4	3	3		5	2	1	1	2
總計	15	3	15	14	20	13	20	12	5	10	13

表 5.53 權重克利金模式 II 各指標排序出現次數

指標 \ 排序等級	權重模式 II 排序名次									
	Rank 1	Rank 2	Rank 3	Rank 4	Rank 5	Rank 6	Rank 7	Rank 8	Rank 9	Rank 10
CE	11	8	1	1	1	1				
PPCC	3	6	3	6	2	1	1			1
MSE	9	7	4		2	1				
KG	6	4	2	3	1	2	3	1		1
KS	3	7	2	2	1	5	2			1
MSWE	6	8	2	4	1	2				
總計	38	40	14	16	8	12	6	1		3

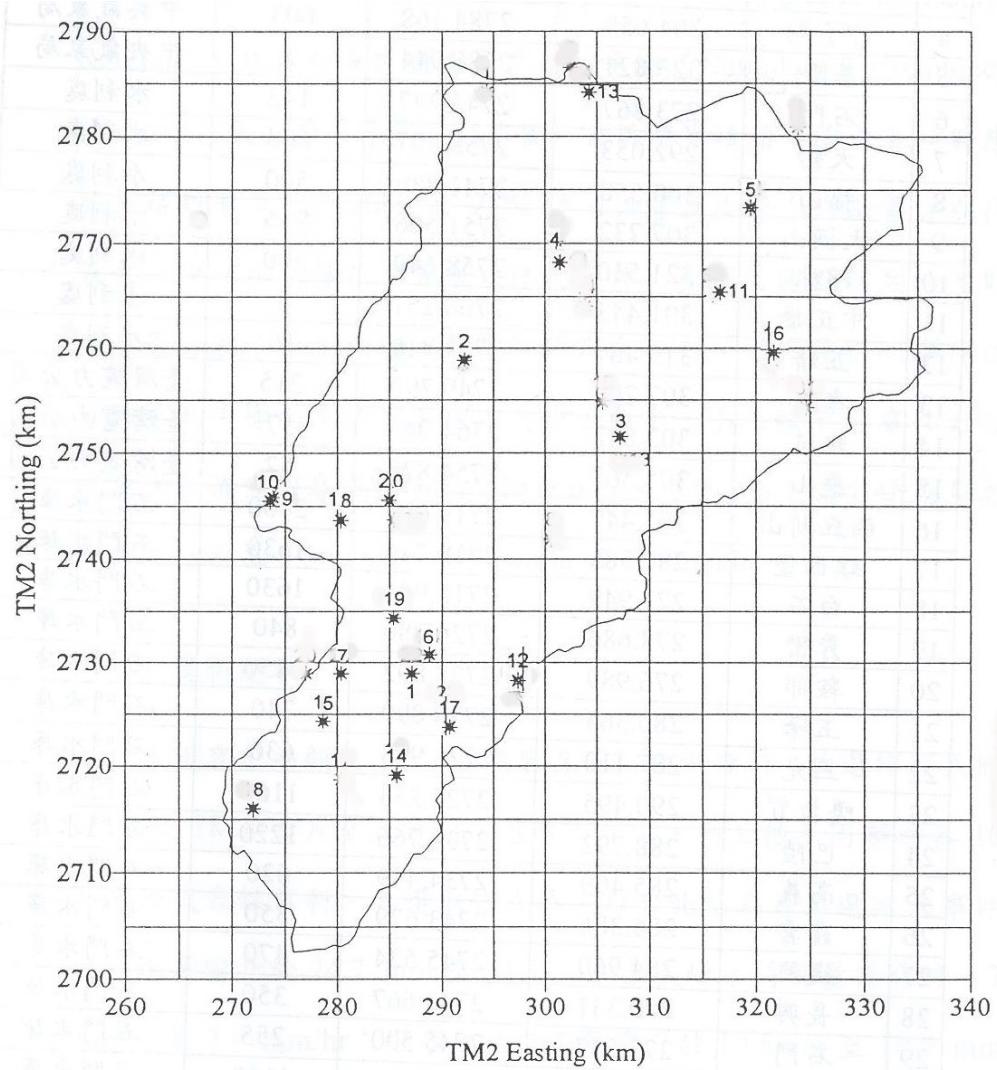


圖 5.1 淡水河流域雨量站位置圖

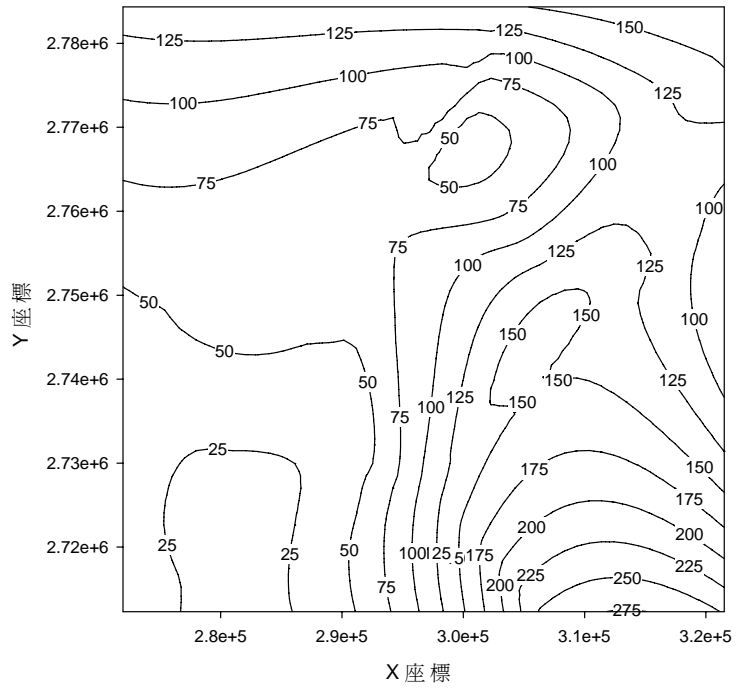


圖 5.2 第一場降雨雨量分佈圖

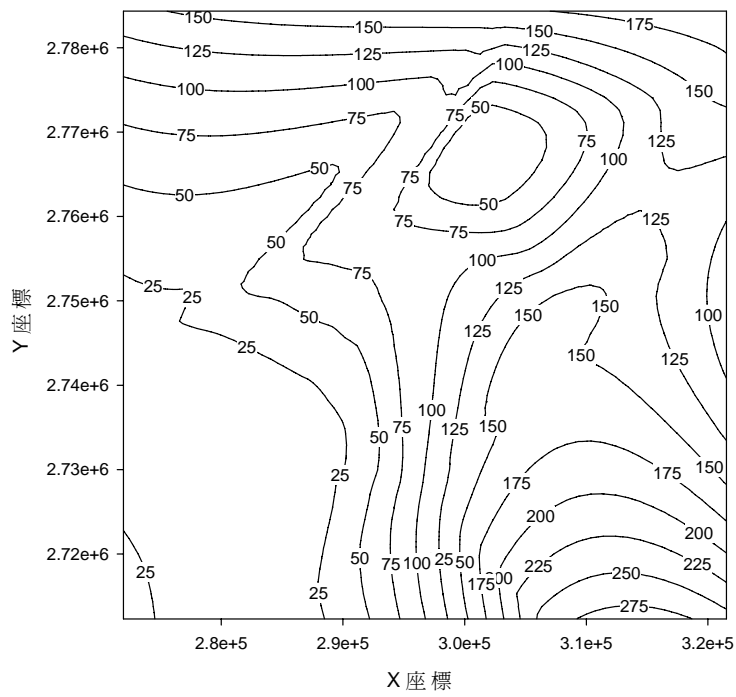


圖 5.3 第二場降雨雨量分佈圖

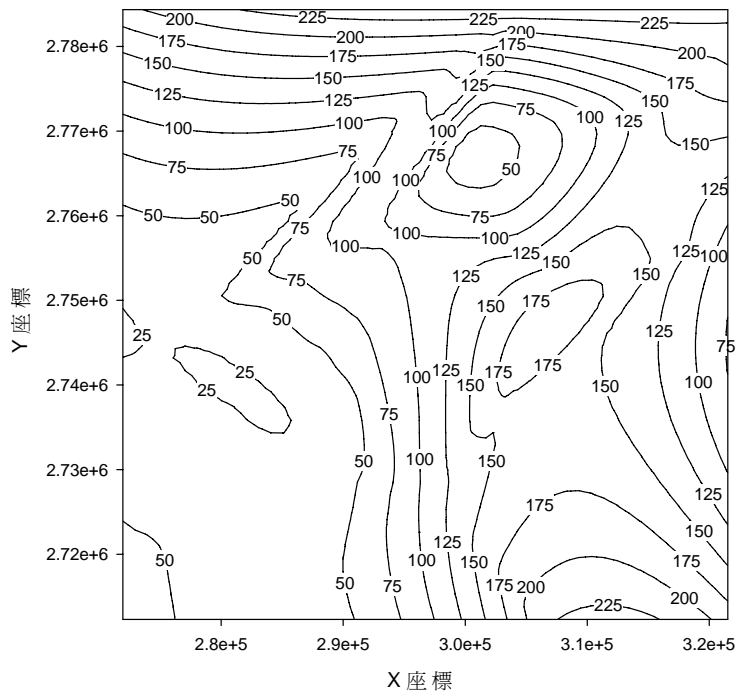


圖 5.4 第三場降雨雨量分佈圖

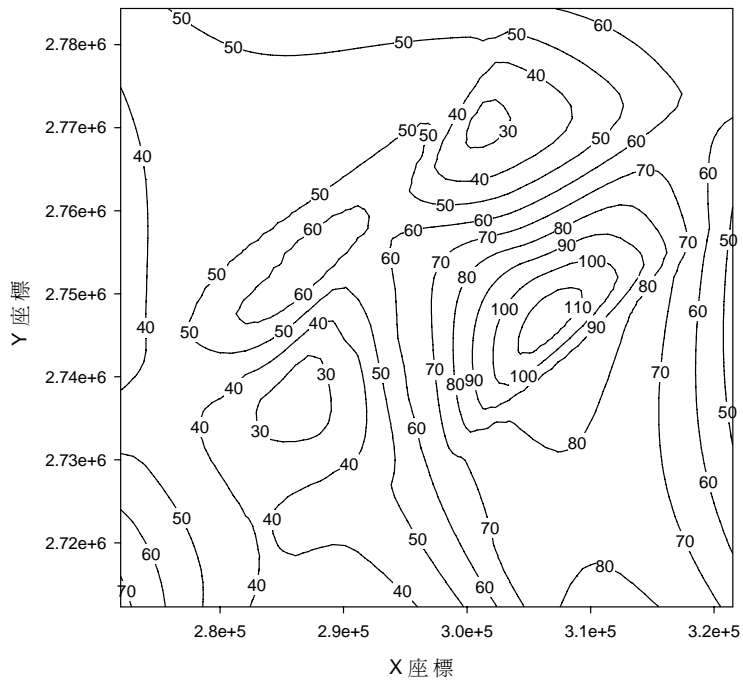


圖 5.5 第四場降雨雨量分佈圖

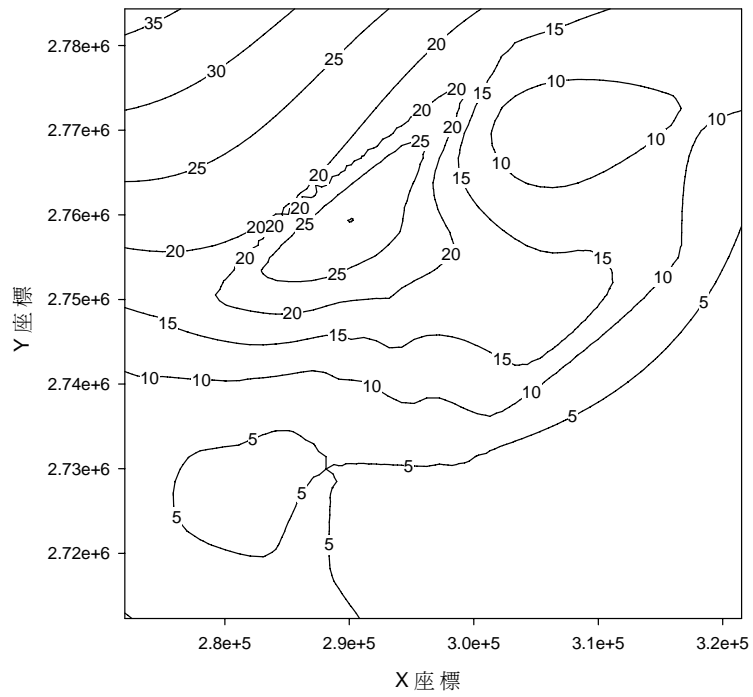


圖 5.6 第五場降雨雨量分佈圖

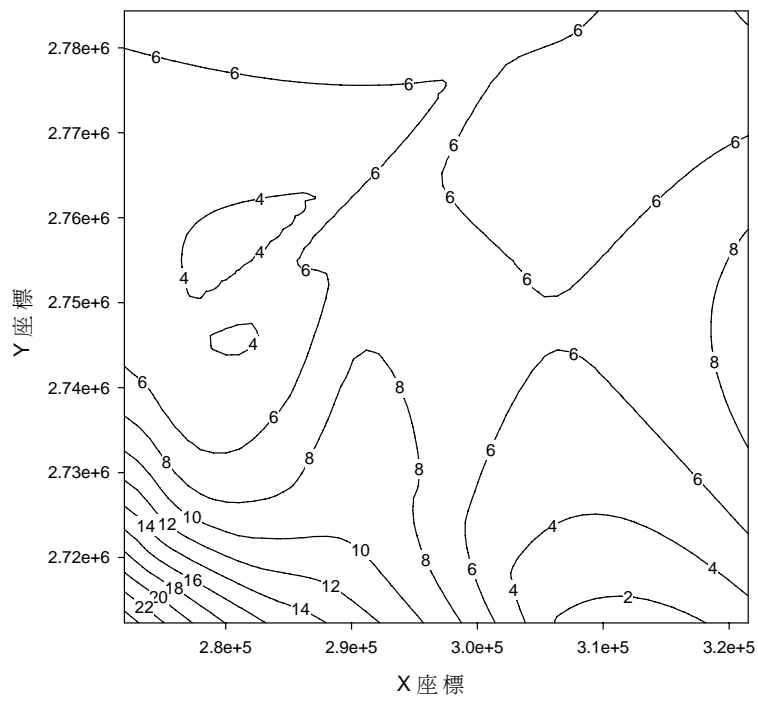


圖 5.7 第六場降雨雨量分佈圖

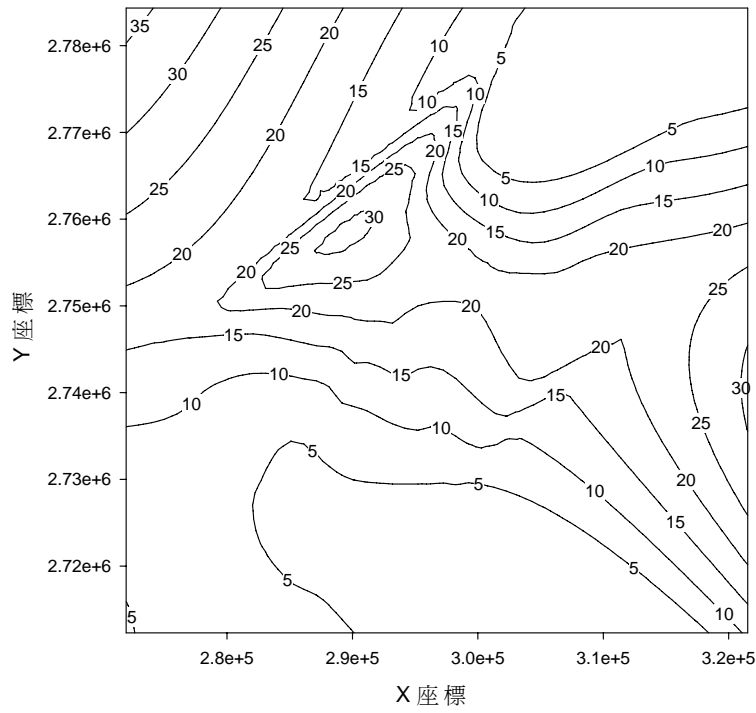


圖 5.8 第七場降雨雨量分佈圖

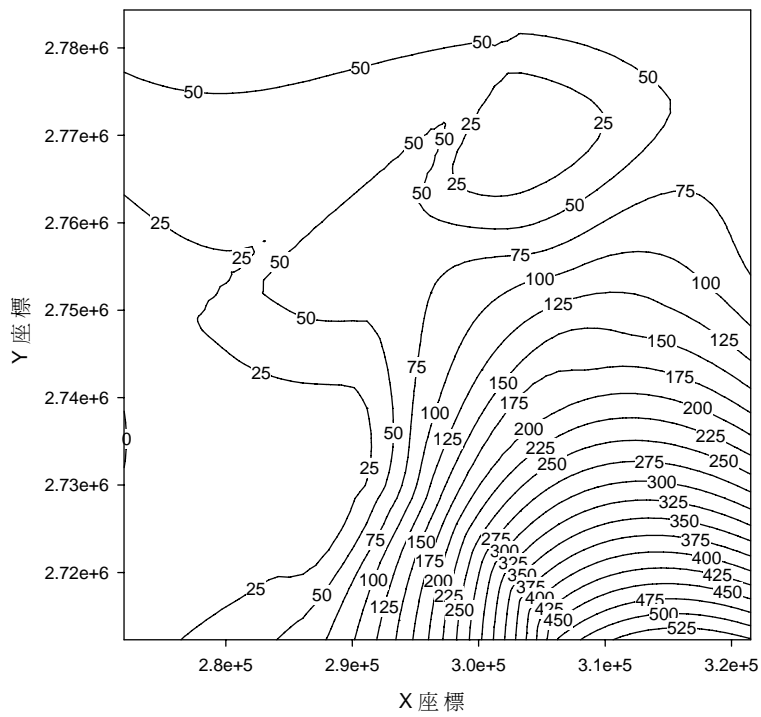


圖 5.9 第八場降雨雨量分佈圖

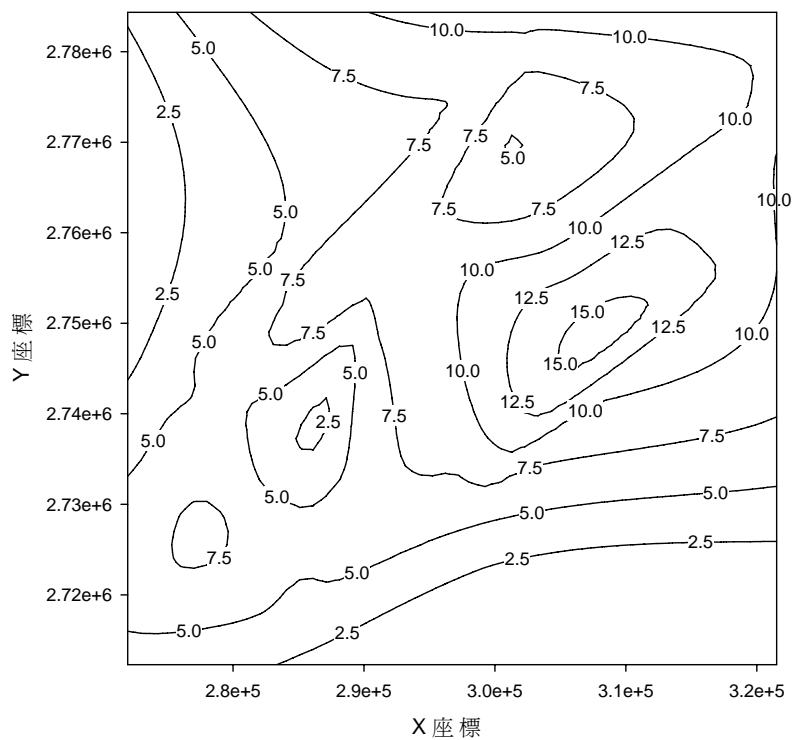


圖 5.10 第九場降雨雨量分佈圖

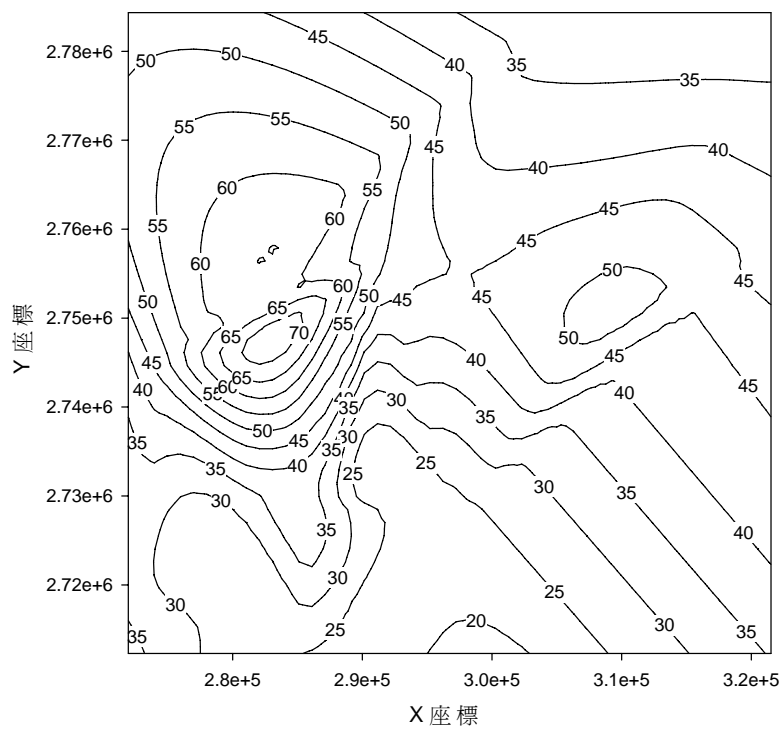


圖 5.11 第十場降雨雨量分佈圖

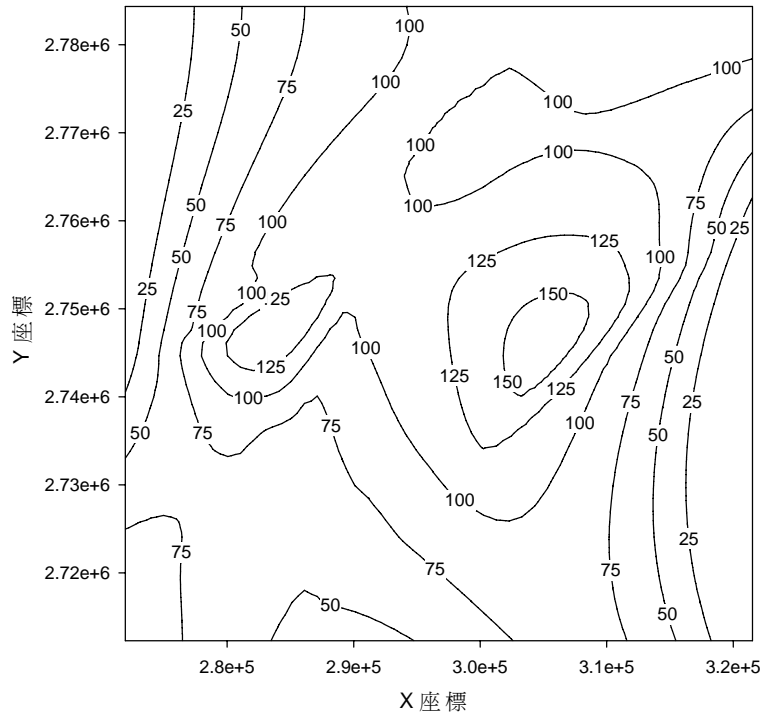


圖 5.12 第十一場降雨雨量分佈圖

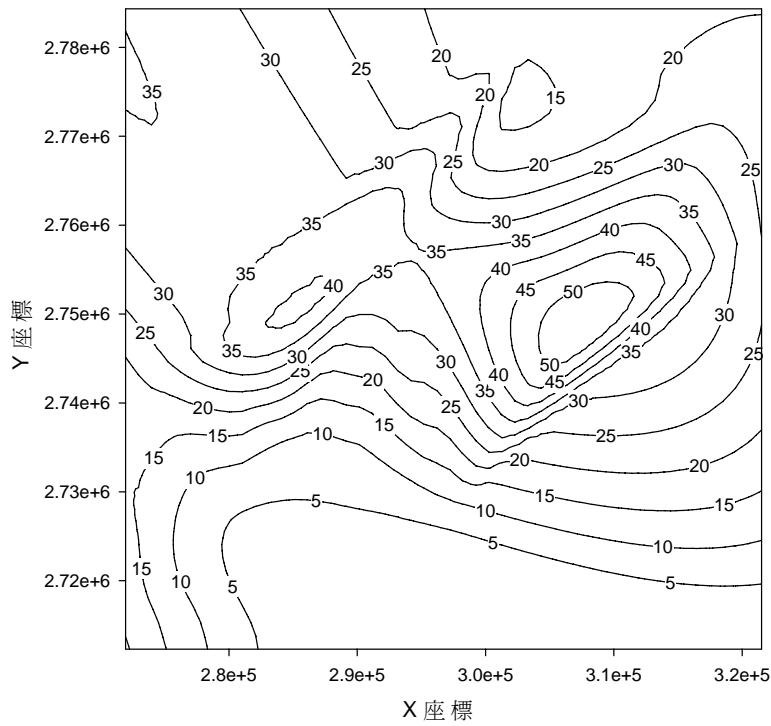


圖 5.13 第十二場降雨雨量分佈圖

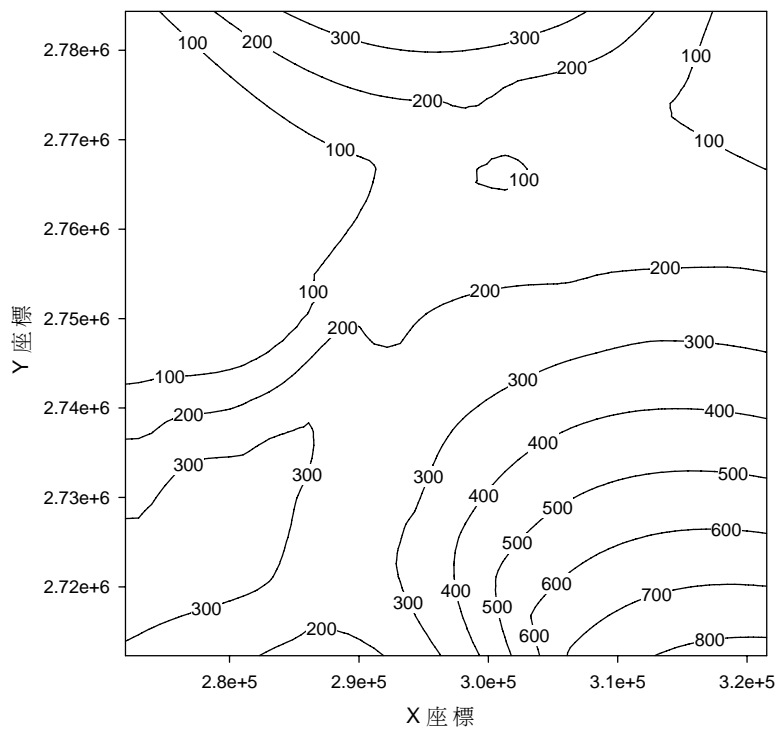


圖 5.14 第十三場降雨雨量分佈圖

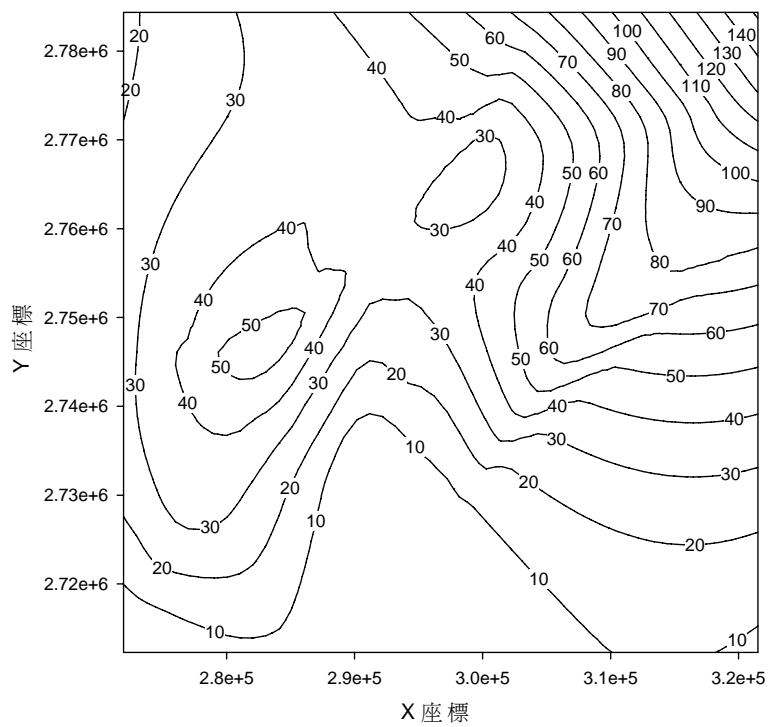


圖 5.15 第十四場降雨雨量分佈圖

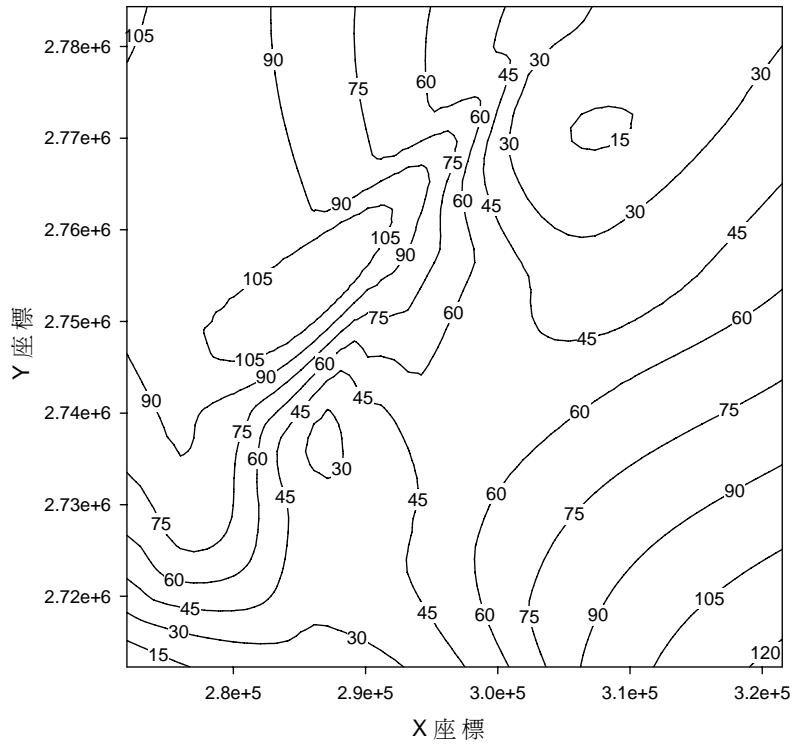


圖 5.16 第十五場降雨雨量分佈圖

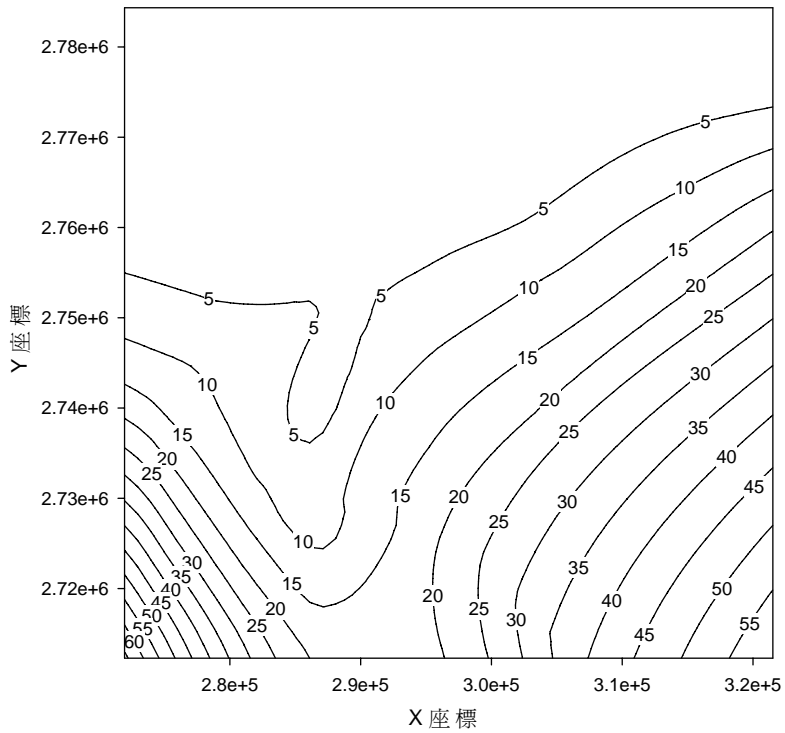


圖 5.17 第十六場降雨雨量分佈圖

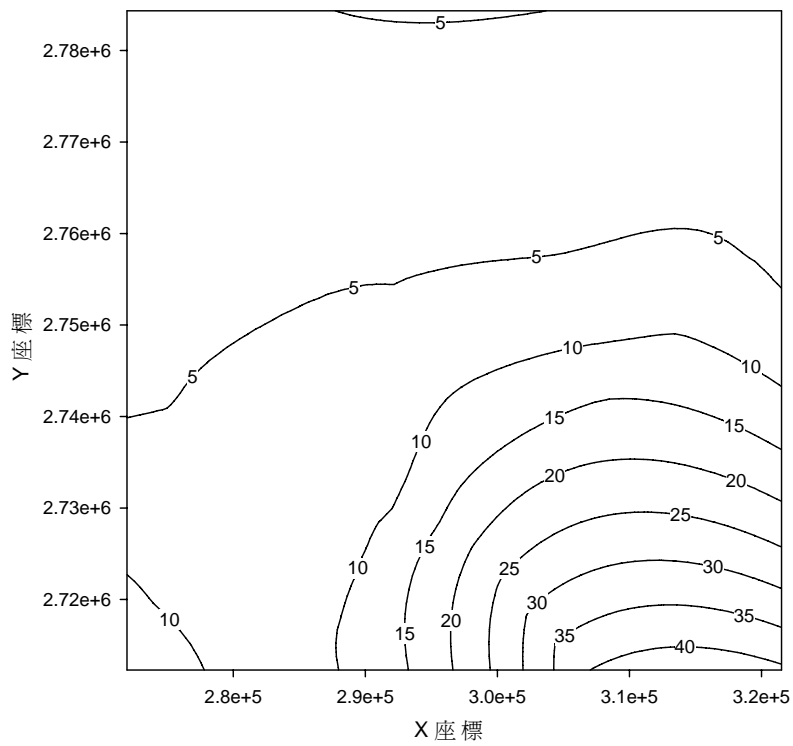


圖 5.18 第十七場降雨雨量分佈圖

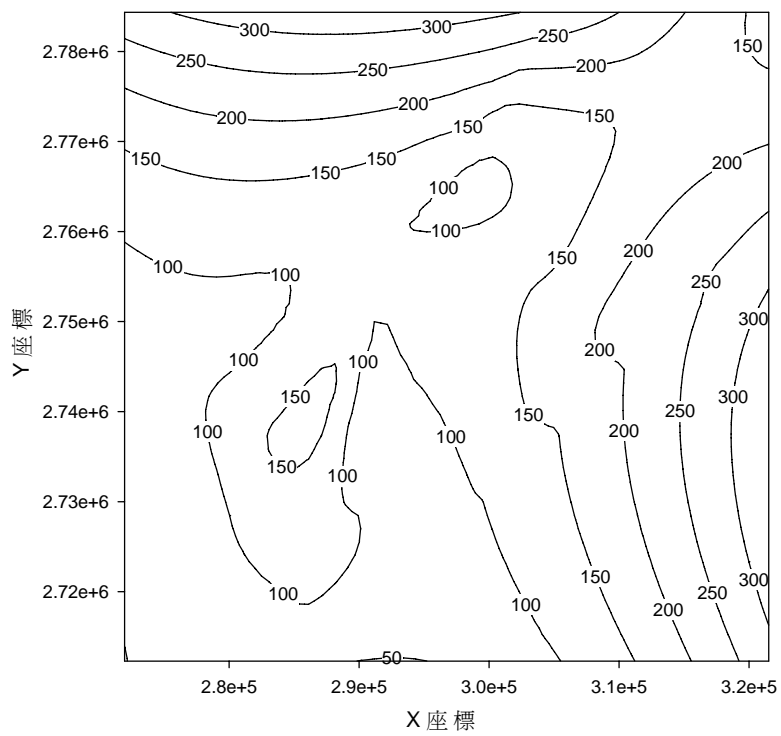


圖 5.19 第十八場降雨雨量分佈圖

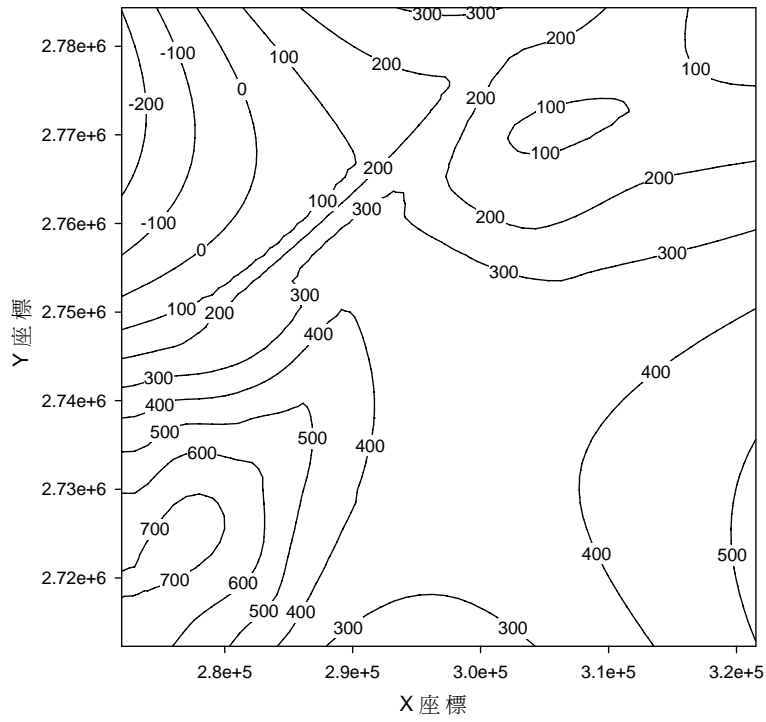


圖 5.20 第十九場降雨雨量分佈圖

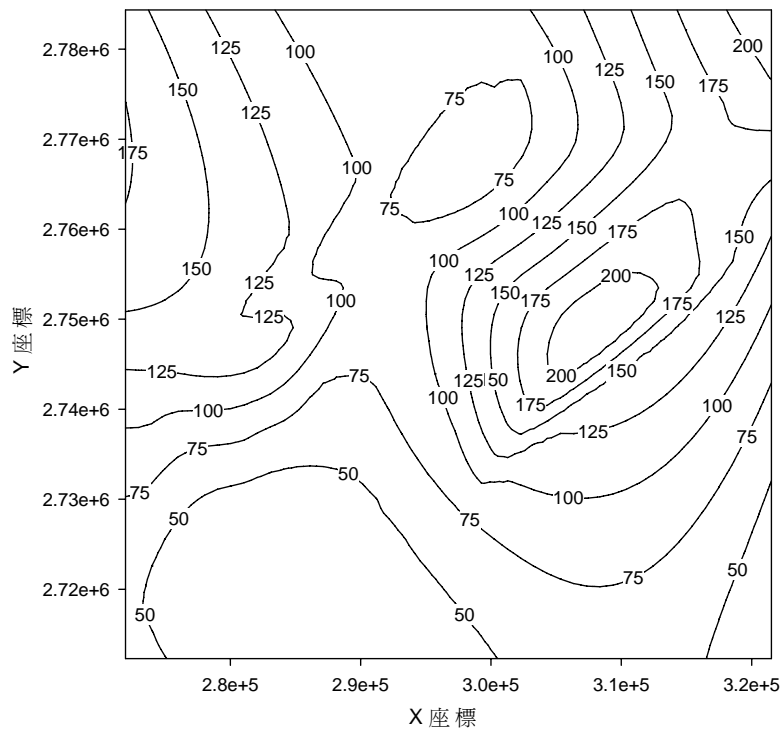


圖 5.21 第二十場降雨雨量分佈圖

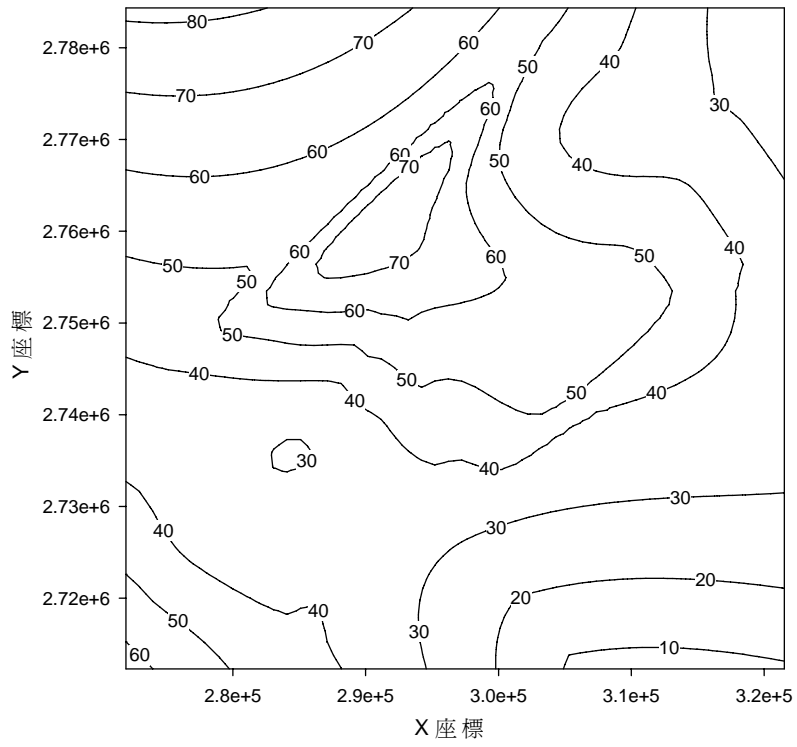


圖 5.22 第二十一場降雨雨量分佈圖

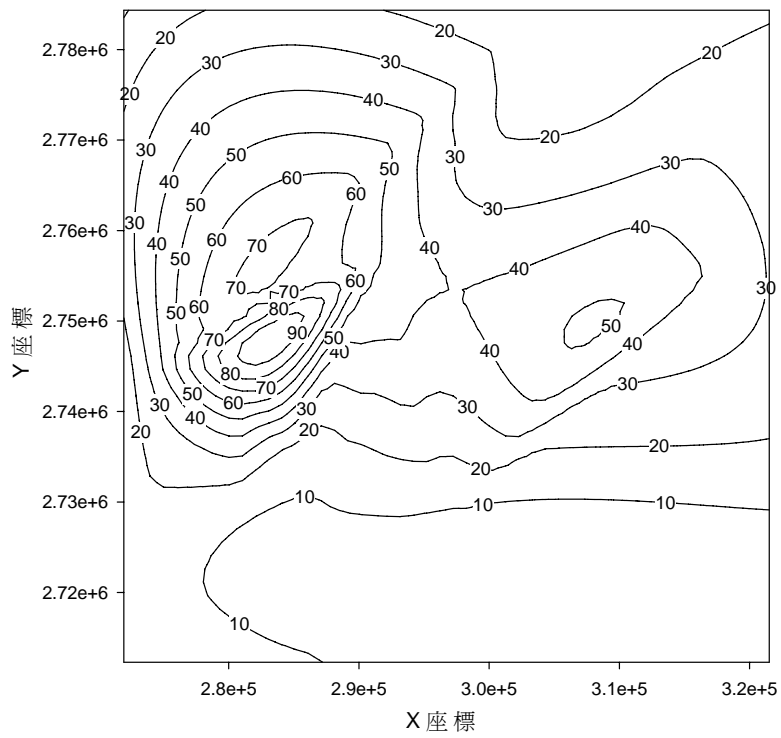


圖 5.23 第二十二場降雨雨量分佈圖

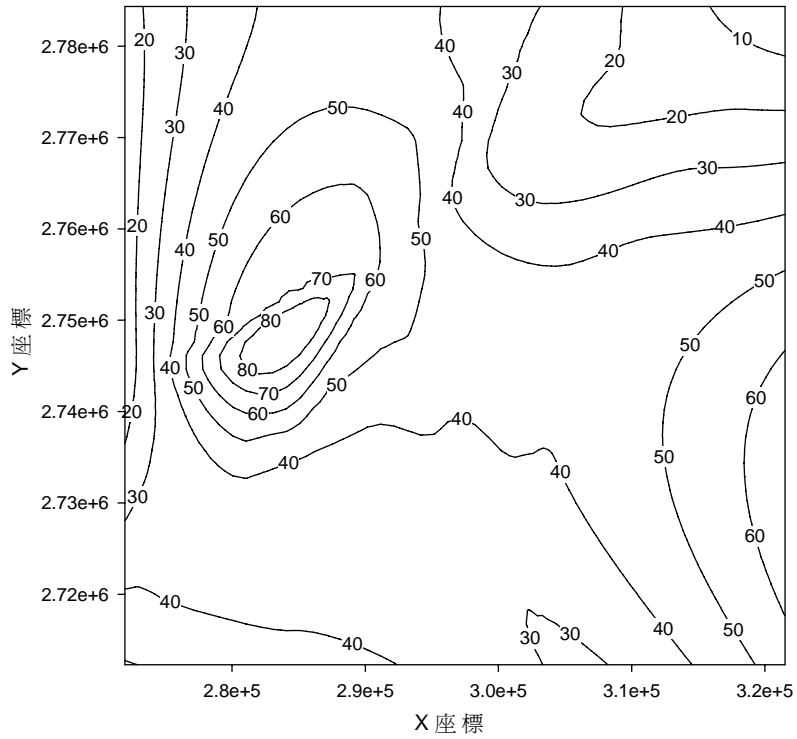


圖 5.24 第二十三場降雨雨量分佈圖

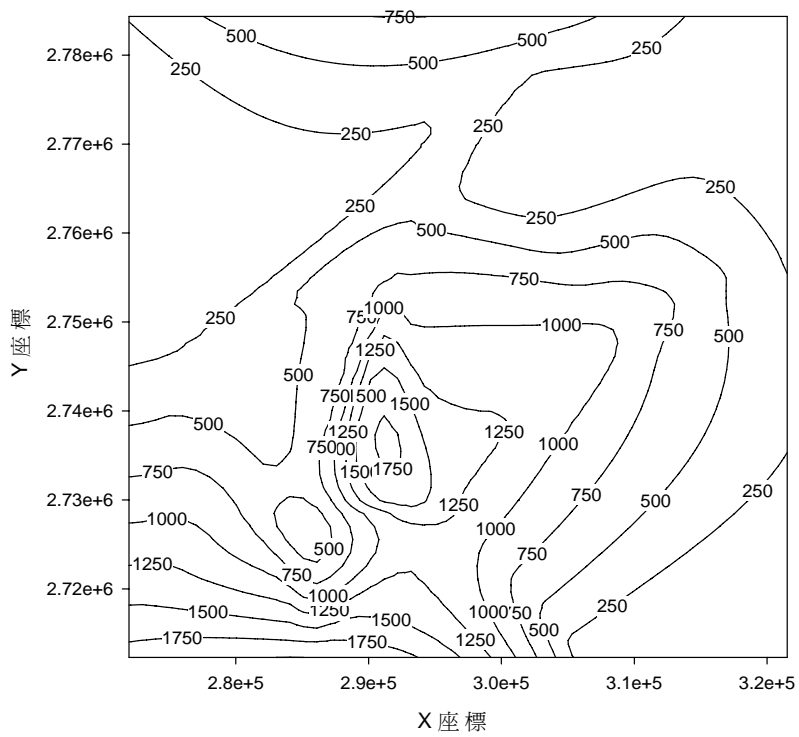


圖 5.25 淡水河流域地形分佈圖

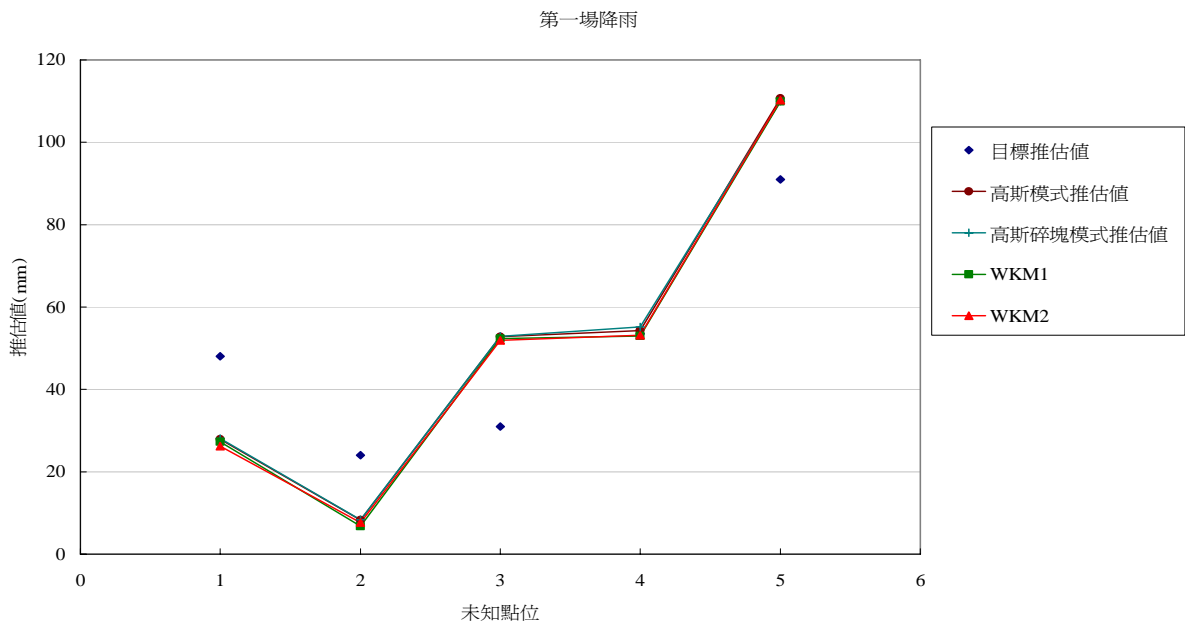


圖 5.26 第一場降雨事件各目標測站推估值

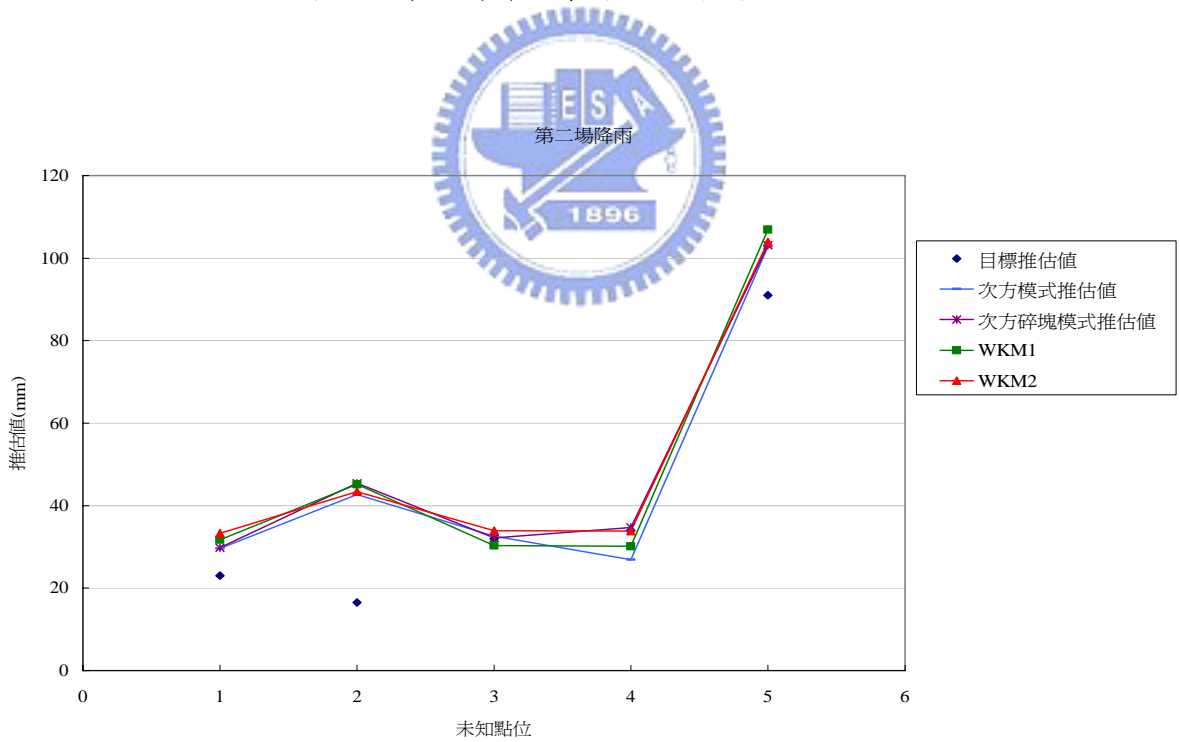


圖 5.27 第二場降雨事件各目標測站推估值

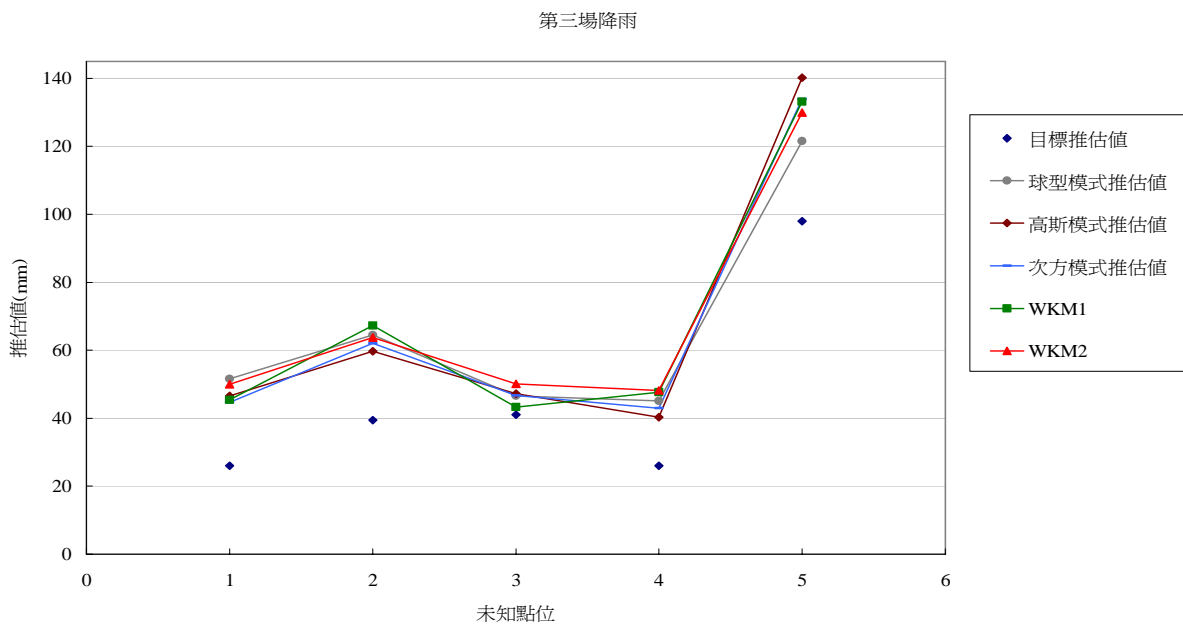


圖 5.28 第三場降雨事件各目標測站推估值

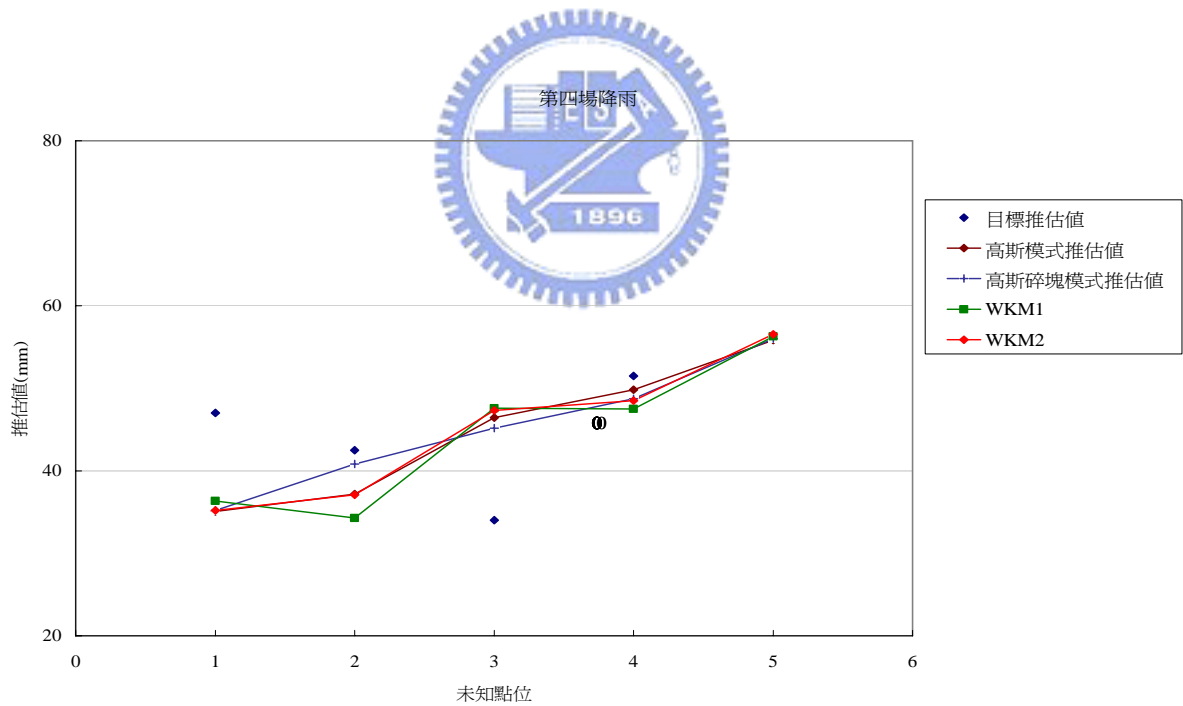


圖 5.29 第四場降雨事件各目標測站推估值

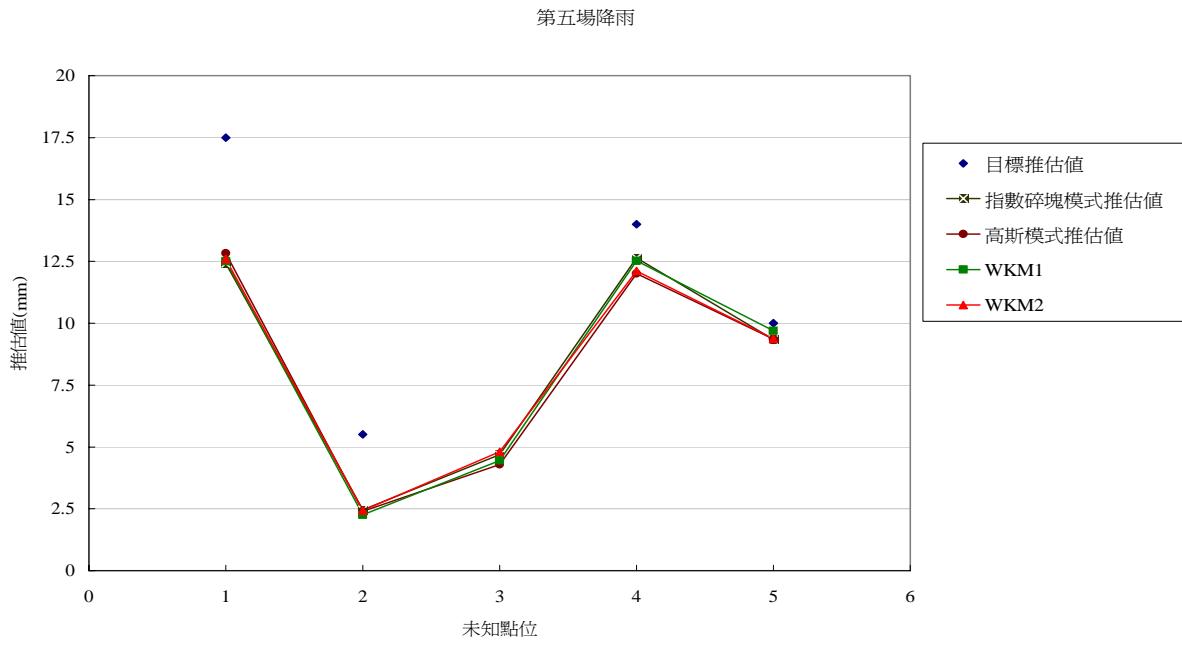


圖 5.30 第五場降雨事件各目標測站推估值

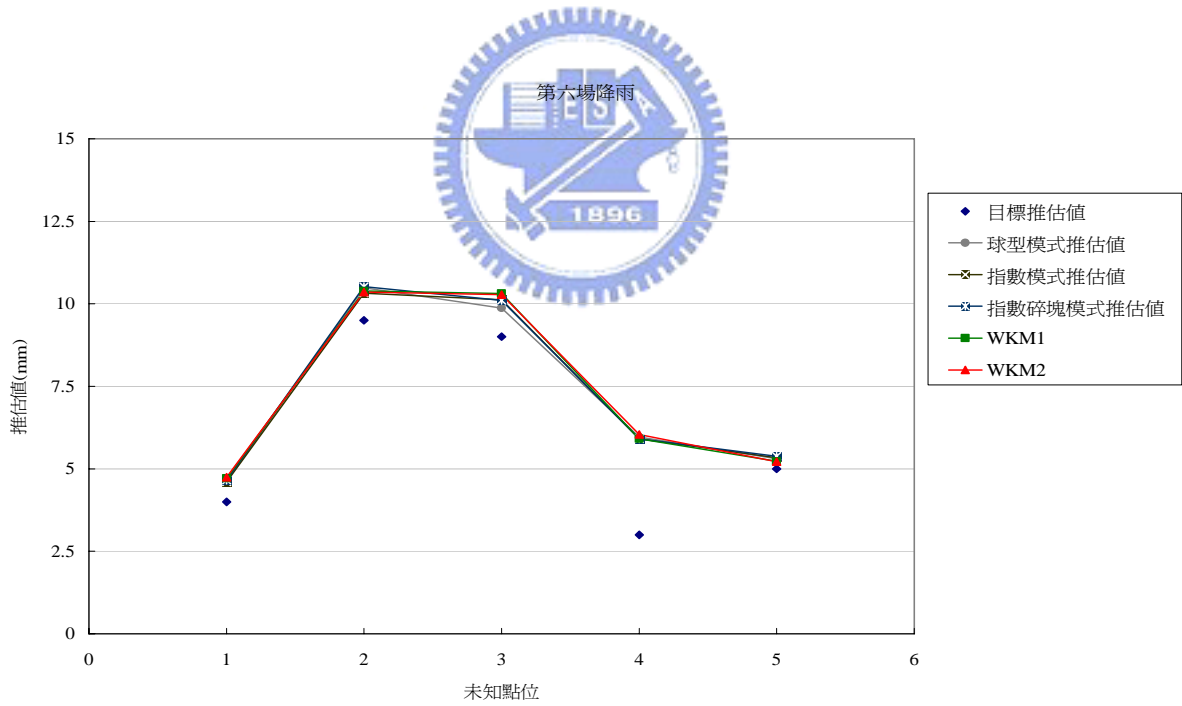


圖 5.31 第六場降雨事件各目標測站推估值

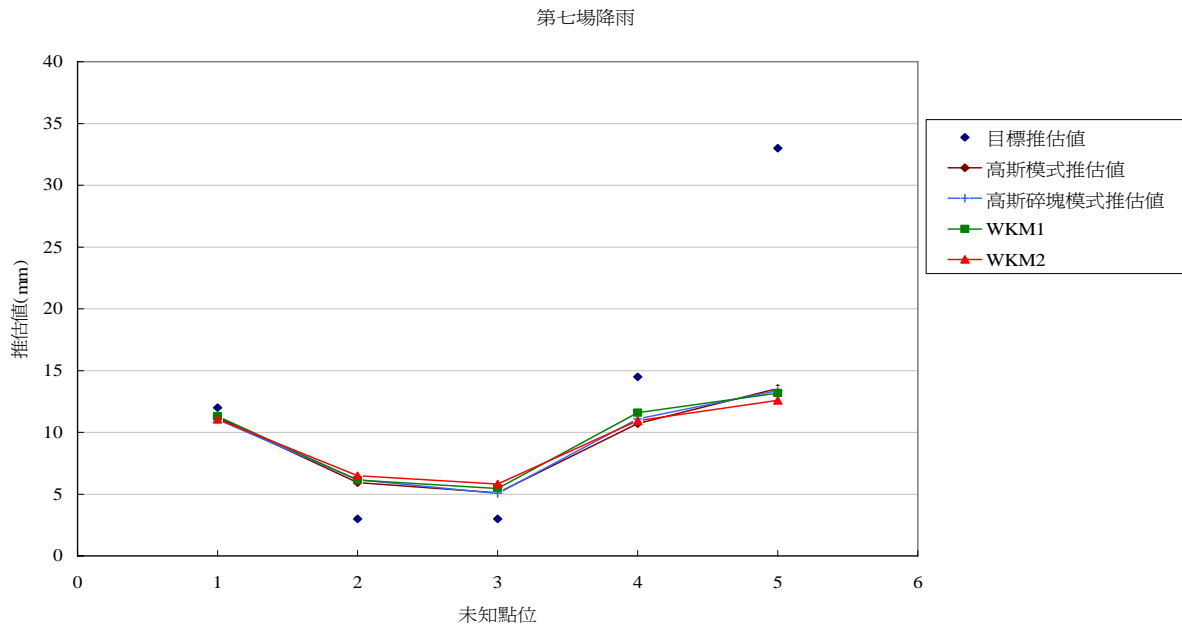


圖 5.32 第七場降雨事件各目標測站推估值

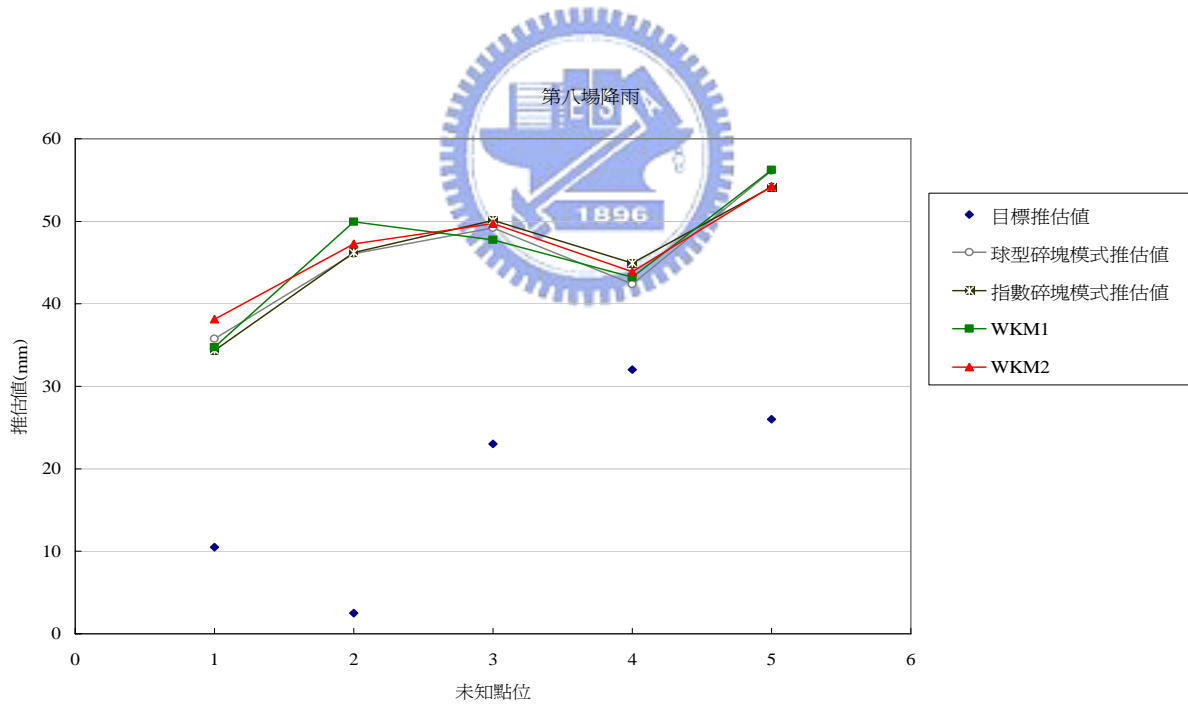


圖 5.33 第八場降雨事件各目標測站推估值

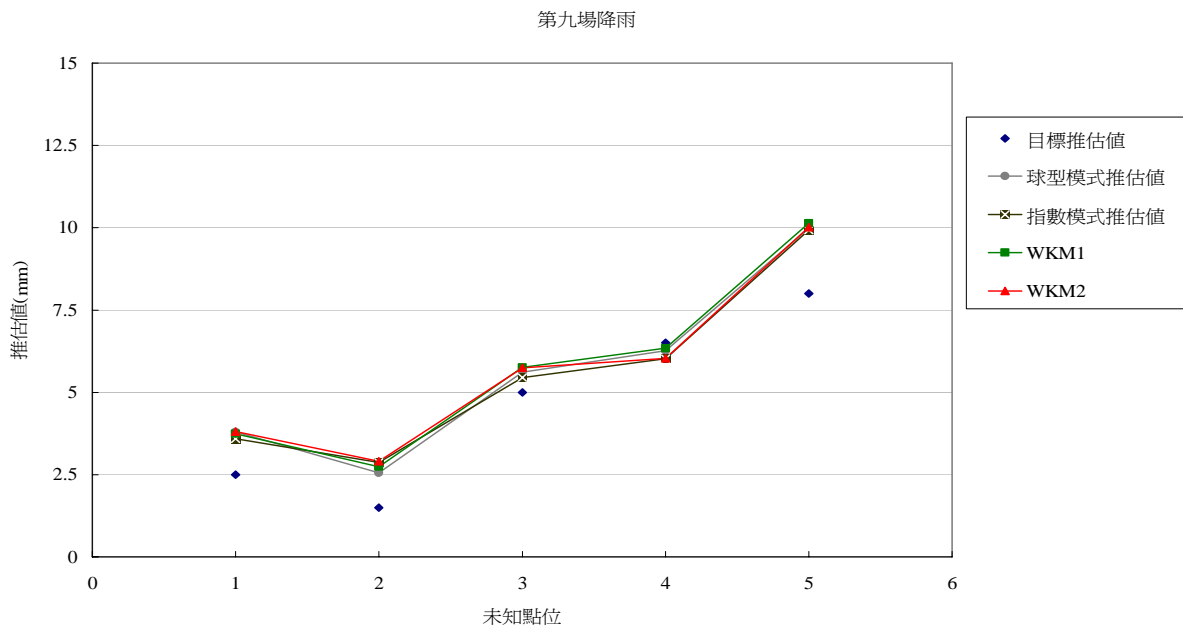


圖 5.34 第九場降雨事件各目標測站推估值

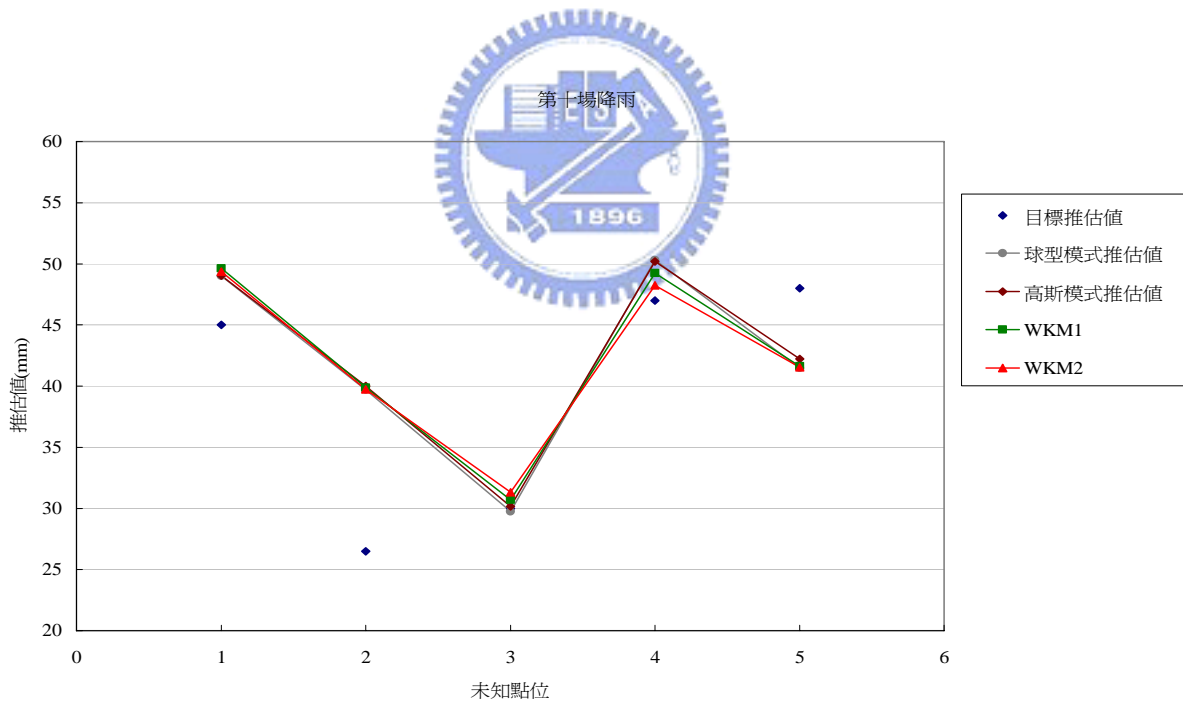


圖 5.35 第十場降雨事件各目標測站推估值

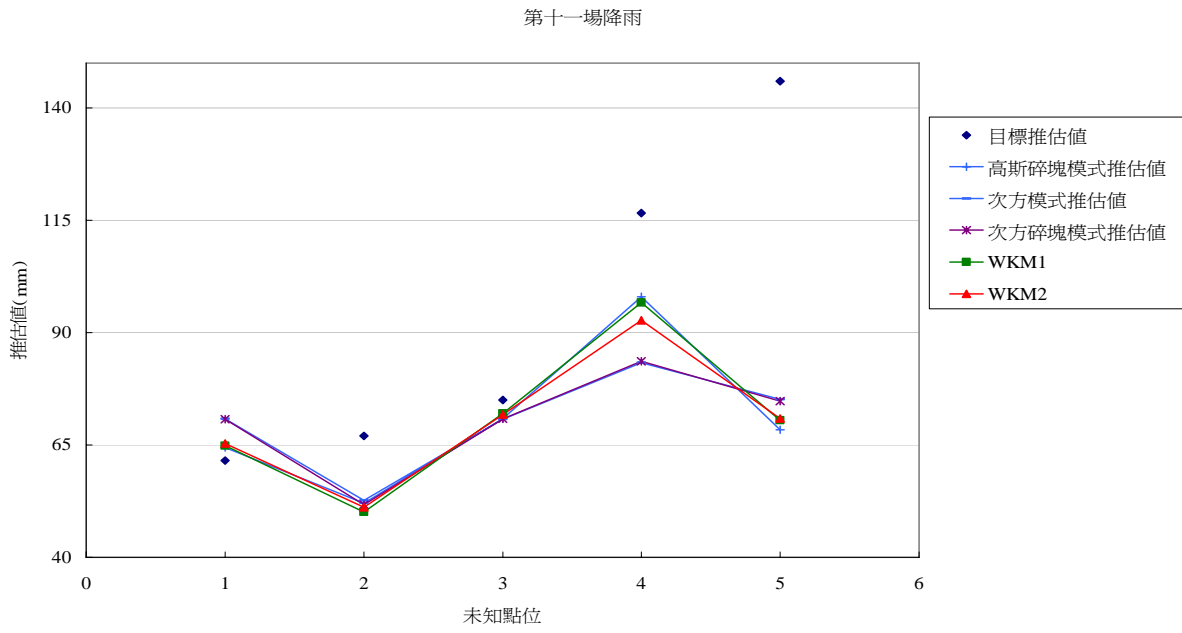


圖 5.36 第十一場降雨事件各目標測站推估值

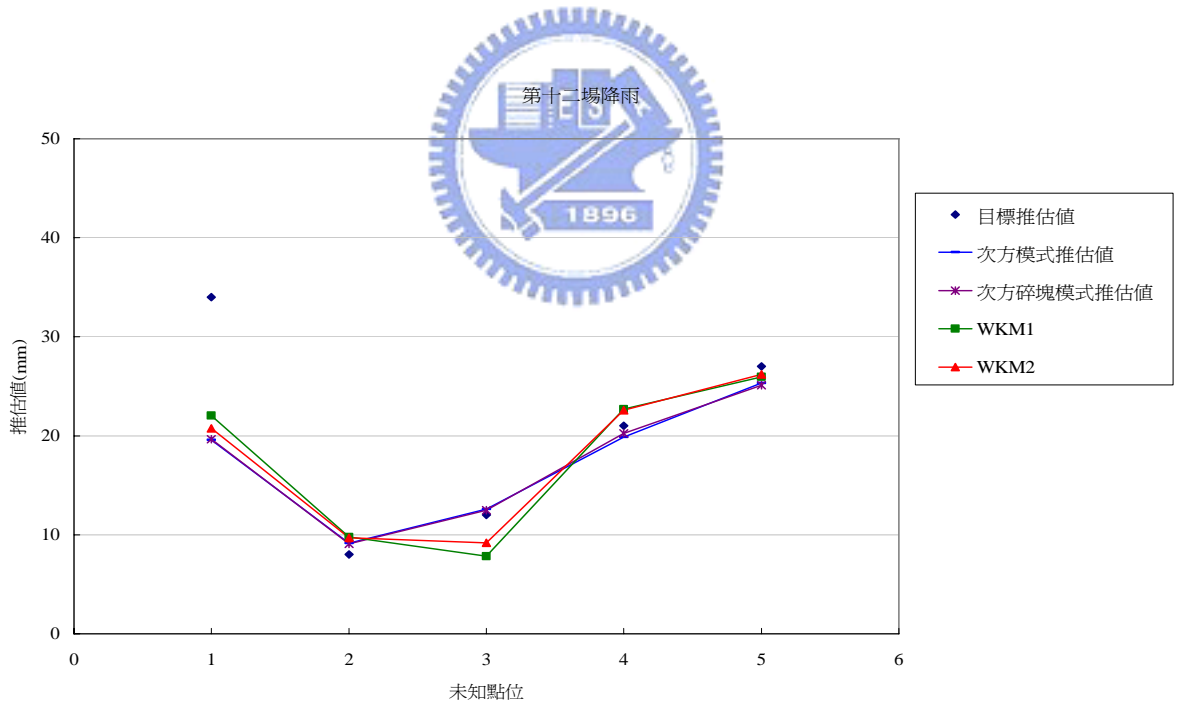


圖 5.37 第十二場降雨事件各目標測站推估值

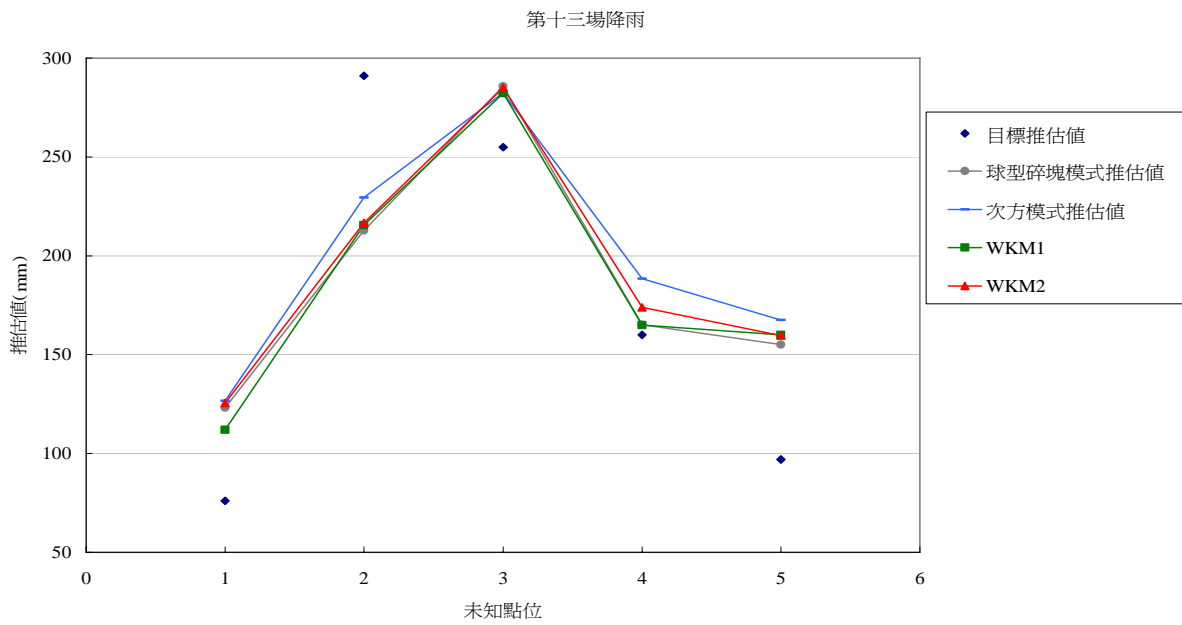


圖 5.38 第十三場降雨事件各目標測站推估值

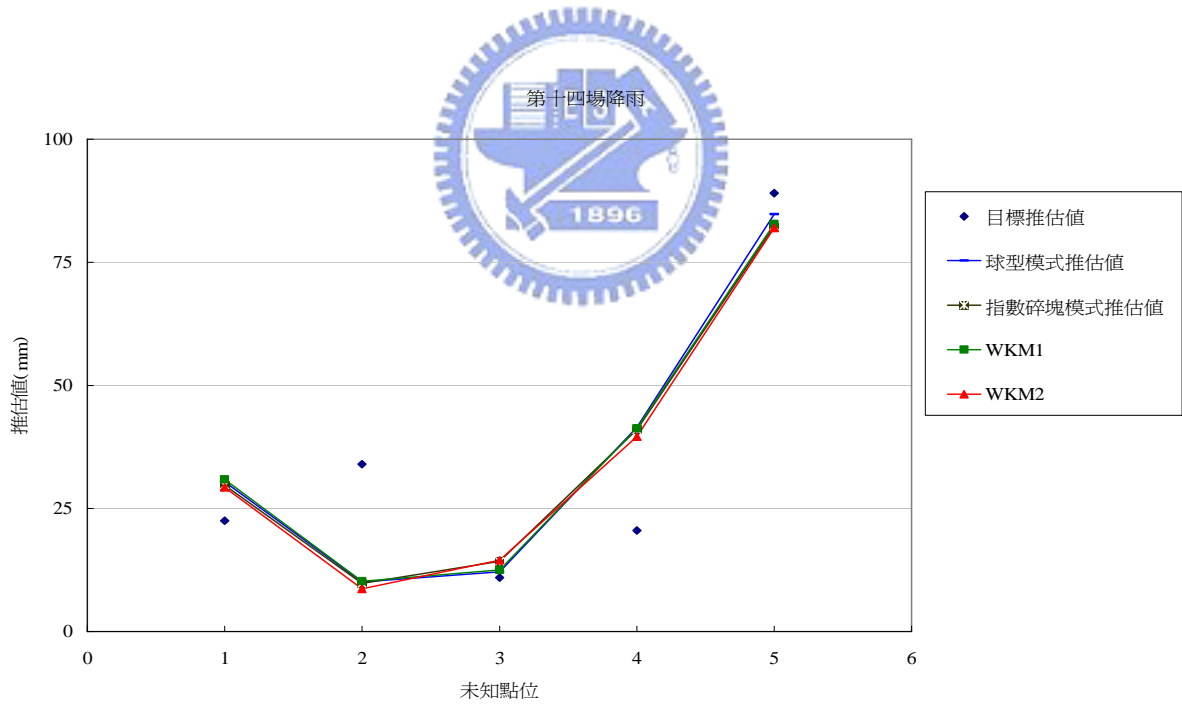


圖 5.39 第十四場降雨事件各目標測站推估值

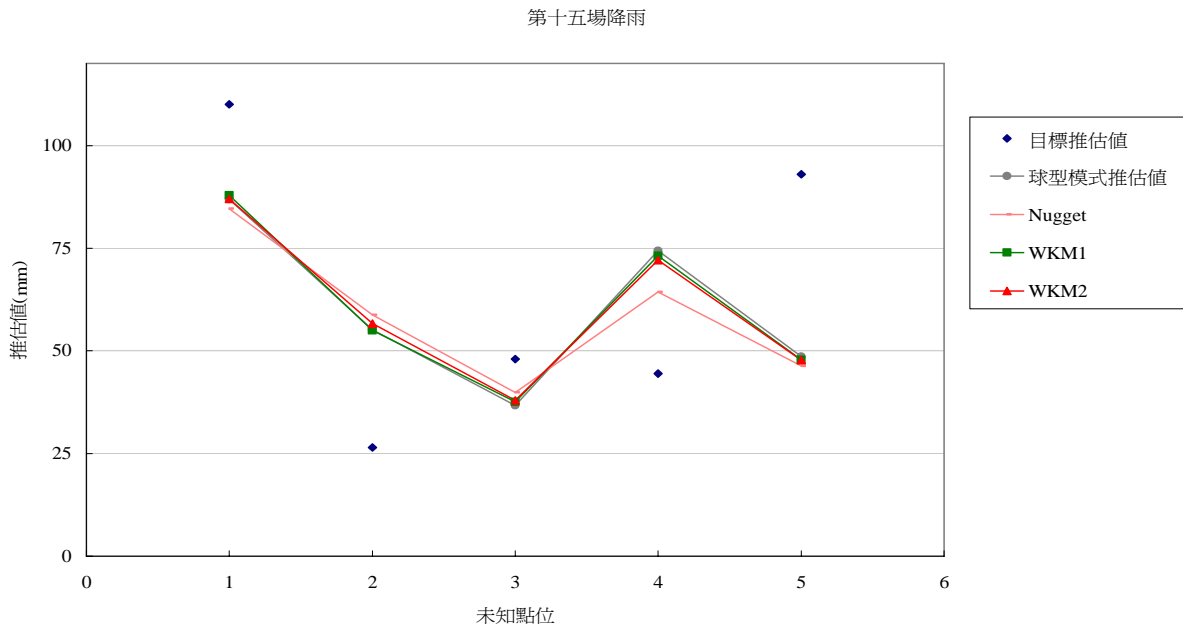


圖 5.40 第十五場降雨事件各目標測站推估值

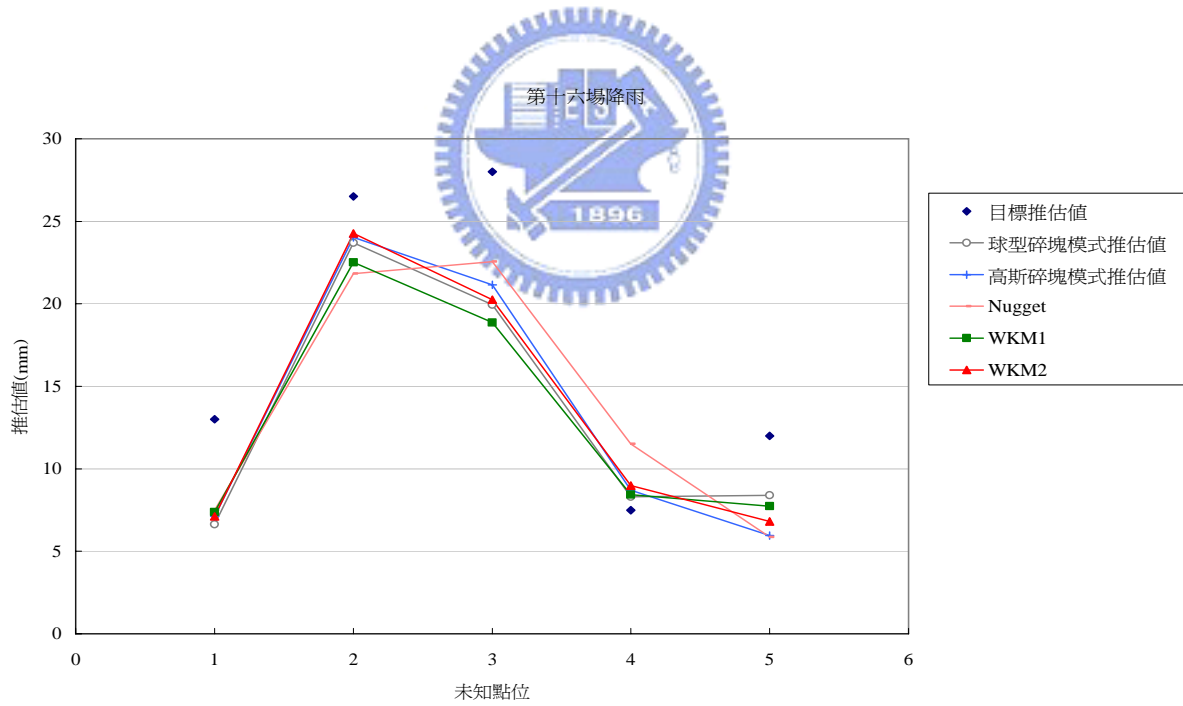


圖 5.41 第十六場降雨事件各目標測站推估值

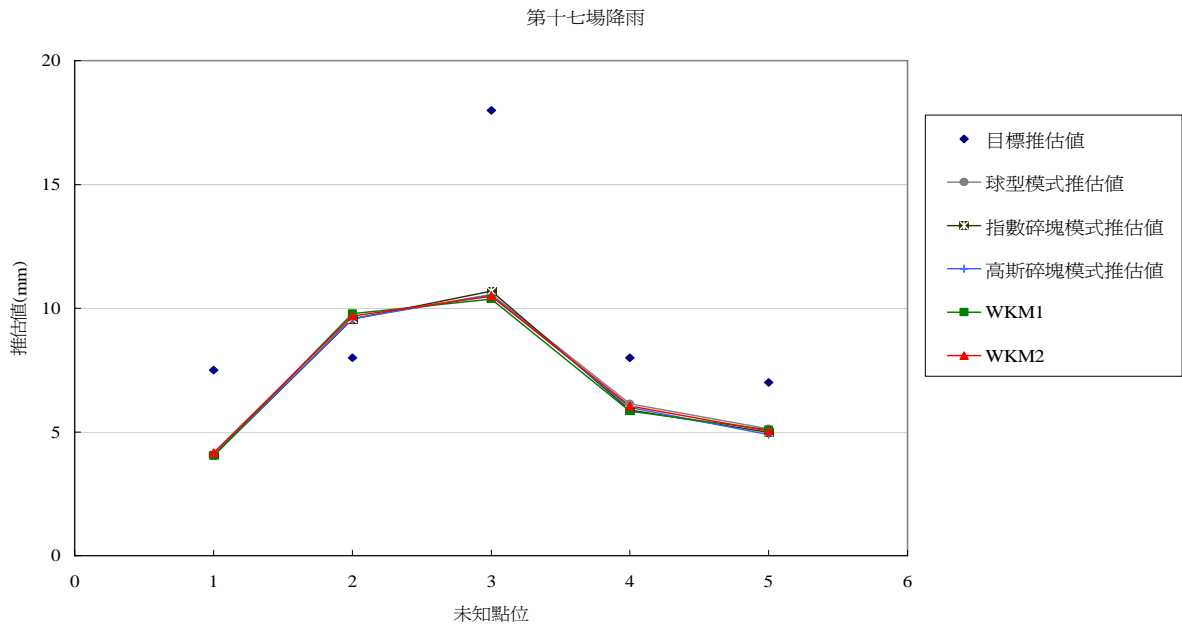


圖 5.42 第十七場降雨事件各目標測站推估值

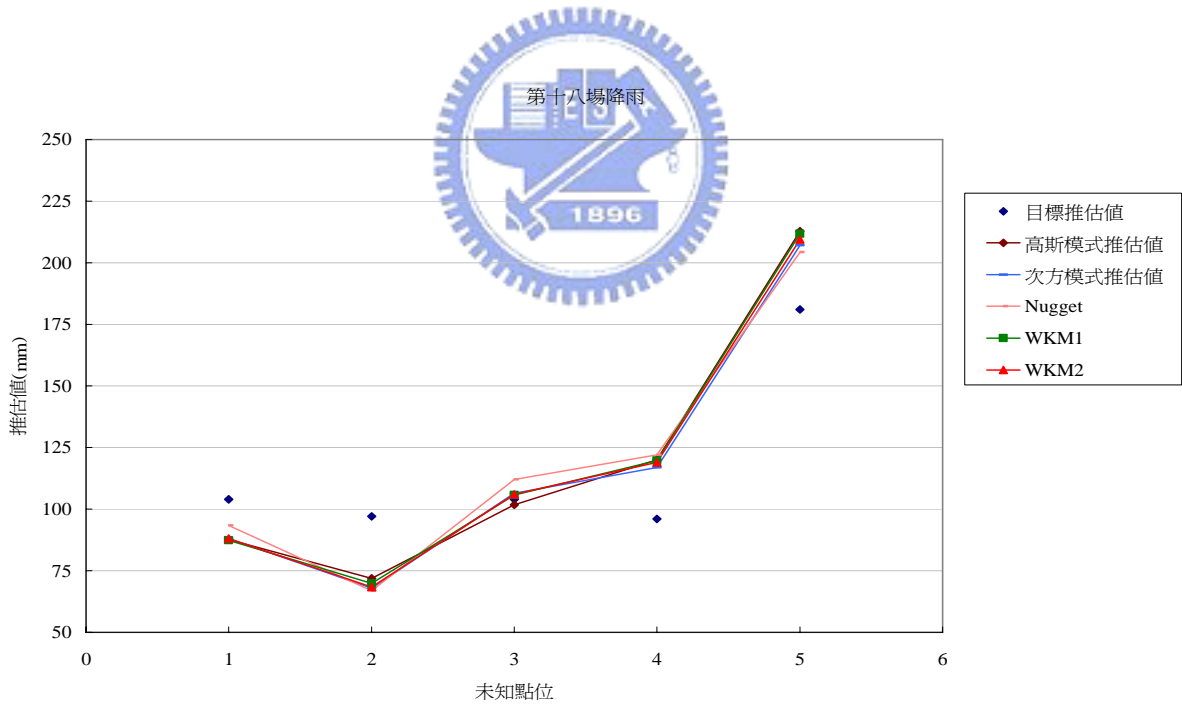


圖 5.43 第十八場降雨事件各目標測站推估值

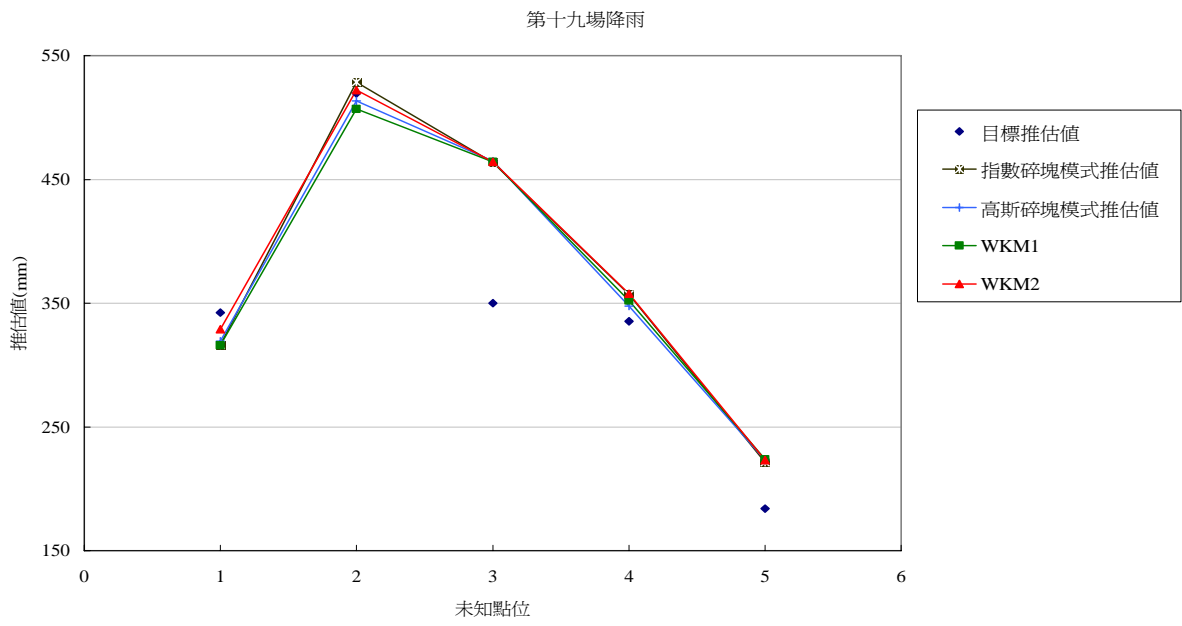


圖 5.44 第十九場降雨事件各目標測站推估值

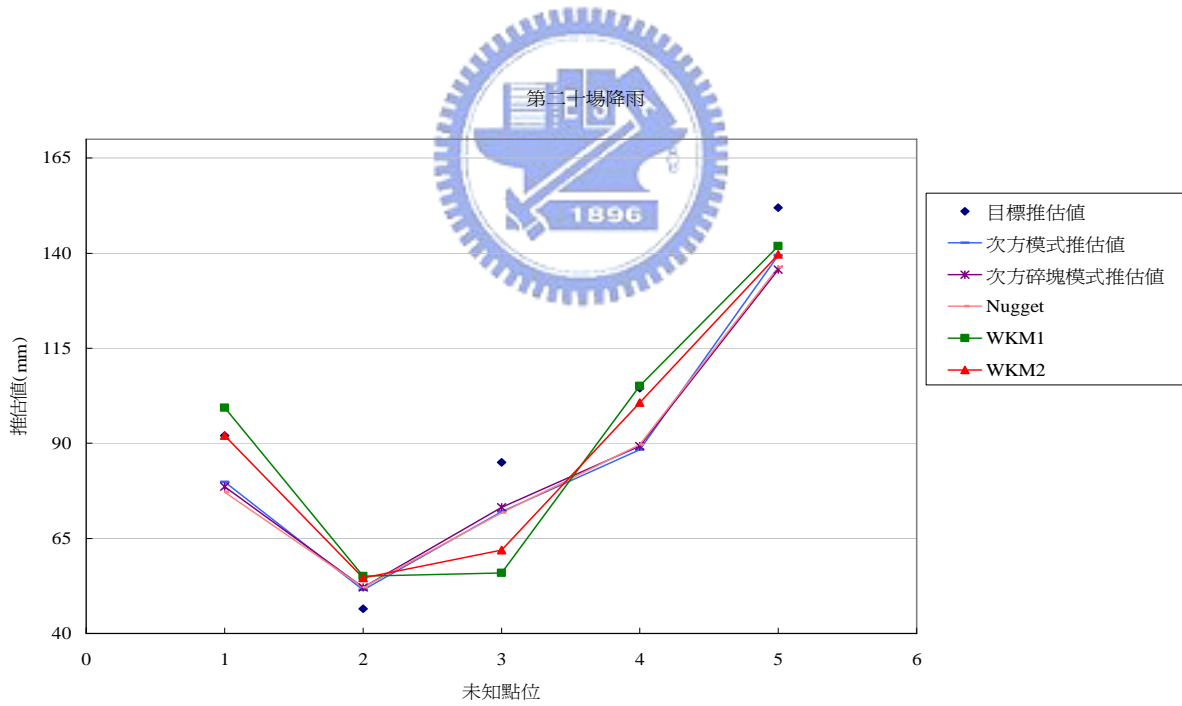


圖 5.45 第二十場降雨事件各目標測站推估值

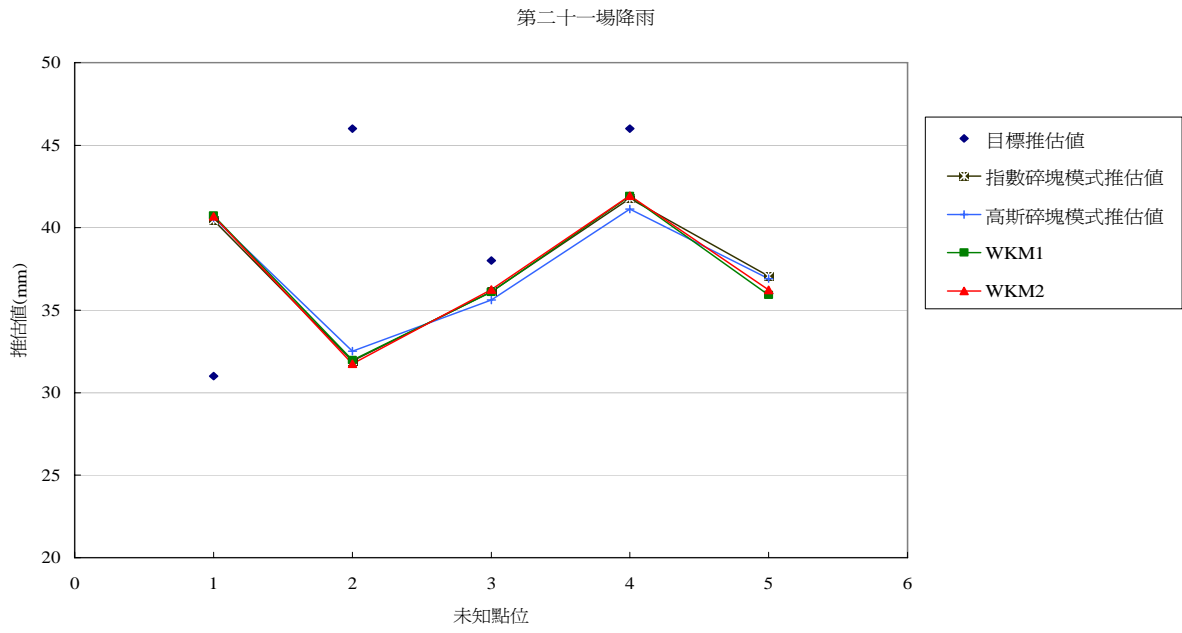


圖 5.46 第二十一場降雨事件各目標測站推估值

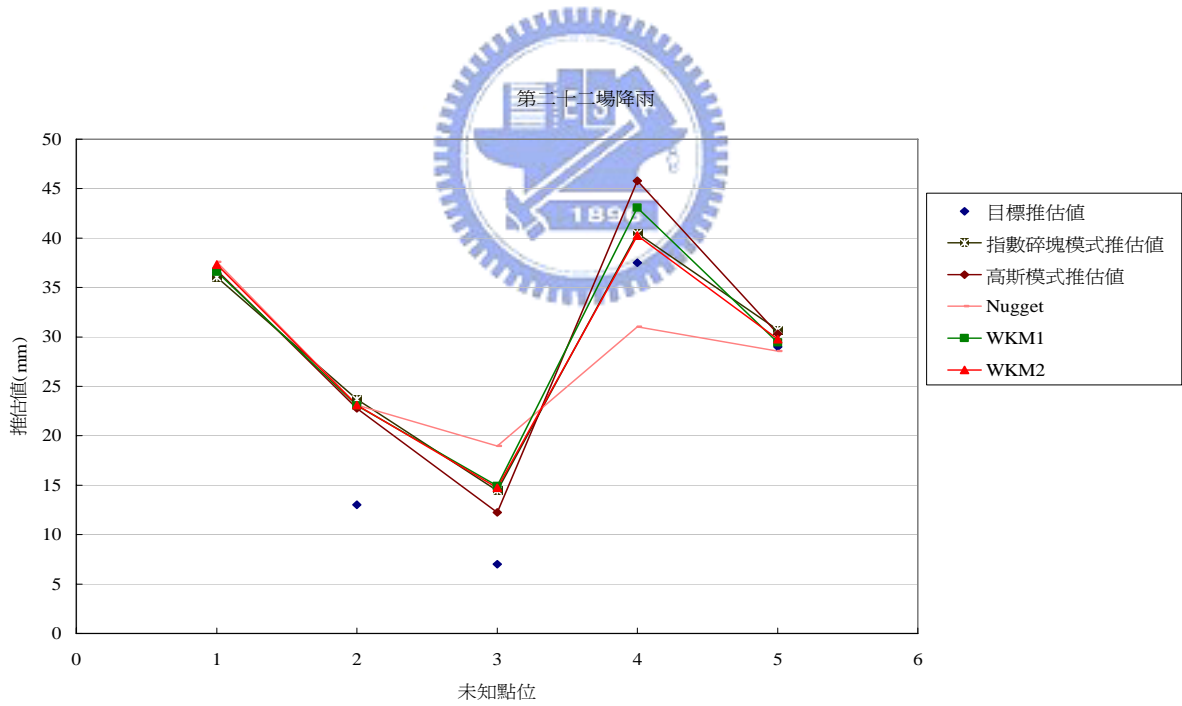


圖 5.47 第二十二場降雨事件各目標測站推估值

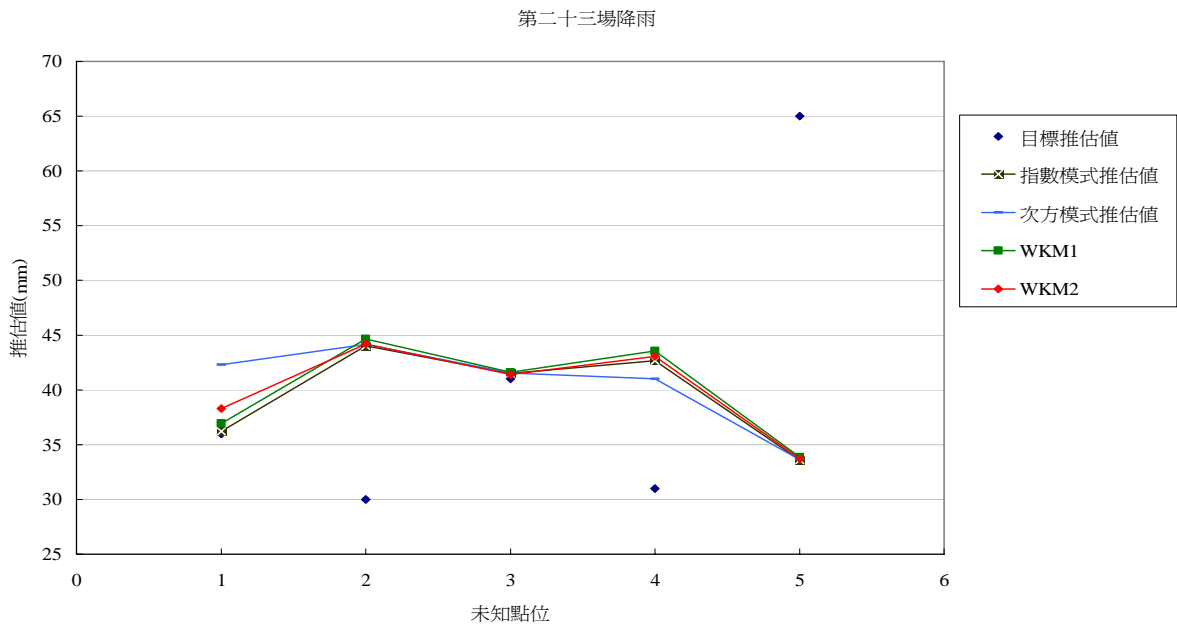


圖 5.48 第二十三場降雨事件各目標測站推估值



第六章、結論與建議

6.1 結論

1. 由設計案例之分析結果可知，當一空間變數分布特性與所套配之理論半變異數模式相同時，則該相對應之理論半變異數模式依照權重克利金模式計算權重比例之方式，可以求得最大之加權因子值。
2. 由設計案例之驗證結果可以發現，在各種假設空間分佈之情況下，相較於其他常用理論半變異數模式，權重克利金模式對於未知點位的推估可以獲得更準確的推估結果。
3. 在採用實際案例降雨資料進行模式驗證時，降雨資料再經標準化處理後，各目標點位之空間推估值與觀測資料之連線呈現相似的趨勢，表示可以藉由標準化的動作，有效的降低降雨分佈受空間因子之影響。且將降雨資料標準化應用於目標點位之推估，其驗證結果顯示，權重克利金模式優於其他傳統模式。
4. 由設計案例與實際案例推估結果可以發現，目標推估點位附近之已知參考點位的數量與密度，對於空間推估的準確性呈現正相關。
5. 統計所有之降雨事件之驗證指標，權重克利金模式 I 及 II 型，分別有 13% 及 55% 排序為第一或第二位之結果，顯示權重克利金模式其應用在實際案例，具有相當不錯的推估結果。
6. 綜合設計案例及實用案例驗證結果可知，權重克利金模式 II 型推估成效不僅優於 I 型，且其在推估過程較 I 型模式簡單。

6.2 建議

1. 空間變數往往存在著許多的不確定性，其影響著空間推估結果之準確與否，因為權重克利金模式主要是以傳統理論半變異數模式為基礎，所以

在使用權重克利金法修正空間推估值前，其最重要的根本改善空間推估成效之方法，為增加測站之數目，以提高站網在空間之密度。

2. 雖增加測站數目，可提高空間推估之成效，但會導致計算時間上的增加。因此未來可將高速計算技巧(例如平行演算法)應用於空間變數之推估，以提高推估速度及準確性。



第七章、 參考文獻

- 許敏楓，(1993)，「雨量空間變異及站網設計之研究」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文。
- 黃文政、王慶藏，(1996)，「克利金法於雨量站設置之應用」，農工學報，第42卷，第1期，pp.44-55。
- 鄭克聲、許敏楓、葉惠中，(1996)，「雨量站網設計與評估—區域化變數理論之應用」，台灣水力，第44卷，第1期，pp.16-25
- 黃文政、楊富堤、游山峰(1998)「區域化變數理論在水資源領域應用之探討」，第九屆水利工程研討會。
- 台灣電力公司，(1999)，「水文因素之不確定性對水庫溢洪道安全影響之研究」，國立交通大學防災中心研究報告。
- 鄭克聲、葉惠中，(2000)，「區域化變數理論與隨機變域模擬在雨量站網設計之研究」，國立台灣大學農業工程研究所博士論文。
- 潘以文、黃明萬，(2001)，「克利金方法於地質圖製作之應用」，國立交通大學土木工程學系研究所碩士論文。
- 徐美玲、黃誌川，(2002)，「集水區降雨逕流時空分佈之模擬-結合地文參數之不確定性分析」，國立台灣大學地理環境資源研究所博士論文。
- 林金樹、陳峰盛(2004)，「鄰點數量與分佈型態對一般克利金模式雨量估值誤差的影響之研究」，中華林學季刊，第37卷，第1期，pp.61-75。
- 經濟部水利署，(2006)，「降雨逕流模式與氣候預報系統整合應用」，國立交通大學防災中心研究報告。
- 孫志鴻、張智昌、(2006)，「整合氣象雷達與即時降雨資料於颱風降雨推估之研究」國立台灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
- 謝惠紅、鄭士仁、劉璟燁、周世昌、蕭博仁(2006)「夏季日降雨量空間分佈

- 特性之研究」，農工學報，第 52 卷，第 1 期，pp.47-55。
- Bellin, A. and Y. Rubin, (1996) “HYDRO_GEN : A Spatially distributed random field generator for correlated properties” , Stochastic Hydrology and Hydraulics, Vol.10, No.4, pp.253-278.
- Bastin, G. B. C. Duque and M. Gevers, (1984) “Optimal Estimation Of The Average Areal Rainfall and Optimal Selection Of Rain Gauge Locations” ,Water Resources Research, Vol.20, No.4, pp463-470
- Carrera-Hernandez, J. J. and S. J. Gaskin, (2007) “Spatio Temporal analysis Of Daily Precipitation and Temperature In The Basin Of Mexico” ,Journal of Hydrology, Vol.336, pp.231-249.
- Creutin , J. D. and C. Obled,(1982) “Objective Analyses and Mapping Techniques for Rainfall Fields : An Objective Comparison” ,Water Resources Research, Vol.18, No.2, pp413-431.
- Goovaerts, P. (2000) “Geostatistical Approaches For Incorporating Elevation Into The Spatial Interpolation Of Rainfall” ,Journal OfHydrology, Vol.228, pp.113-129.
- Hughes, J. P. and D. P. Lettenmaier, (1981) “Data Requirements For Kriging : Estimation and Network Design” ,Water Resources Research, Vol.17, No.6, pp1641-1650.
- Kassim, A. H. M. and N. T. Kottegoda, (1991) “Rainfall Network Design Through Comparative Kriging Method ” ,Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, Vol.36, No.3, pp.223-240.
- Lebel, T. G. Bastin, C. Obled and J. D. Creutin, (1987) “On The Accuracy Of Areal Rainfall Estimation : A Case Study” ,Water Resources Research, Vol.23, No.11, pp2123-2134.
- Rodrigues-Iturbe, I. and J. M. Mejia, (1974) “The Design Of Rainfall Networks

- In Time and Space” ,Water Resources Research, Vol.10, No.4, pp713-728.
- Rodrigues-Iturbe, I. and P. S. Eagleson, (1987) “Mathematical Models of Rainstorm Events in Space and Time” ,Water Resources Research, Vol.23, No.1, pp181-190.
- Todini, E. and M. Ferraresi, (1996) “Influence of parameter estimation uncertainty in Kriging” ,Journal Of Hydrology, Vol.175, pp.555-566.
- Vijay Kumar and Remadevi, (2006) “Kriging Of Groundwater Levels – A Case Study” ,Journal of Spatial Hydrology, Vol.6, No.1, pp.81-94.

