



RRPG94070860A (158.P)

# 洪氾區劃設法制化 與整合管理系統建置之研究

## 洪氾區劃設技術參考手冊 (附本)

主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

執行機關：國立交通大學防災工程研究中心

中華民國九十五年三月

# 目錄

目錄 .....	i
表目錄 .....	v
圖目錄 .....	vi
第一章 總則 .....	1
1.1 目的 .....	1
1.2 內容 .....	1
第二章 基本資料蒐集與調查 .....	3
2.1 相關資料之蒐集整理 .....	3
2.2 降雨量 .....	3
2.3 流量 .....	4
2.4 河口潮位 .....	4
2.5 相片基本圖、地形圖與河川排水幹、支線圖 .....	5
2.6 土地使用狀況 .....	5
2.7 歷年淹水範圍、洪水痕跡及淹水原因 .....	5
2.8 其他相關資料 .....	6
2.9 調查項目 .....	6
2.10 集水區概況 .....	7
2.11 水道概況 .....	7
2.12 水工建造物 .....	8
第三章 測量 .....	9
3.1 控制測量 .....	9
3.1.1 平面控制測量 .....	9

3.1.2 高程控制測量 .....	16
3.2 河川橫斷面測量 .....	16
3.3 河川縱斷面測量 .....	17
3.4 水工建造物測量 .....	18
3.5 地形測量 .....	18
第四章 水文分析 .....	20
4.1 水文站選用 .....	20
4.2 水文資料之校正 .....	20
4.3 水文資料之補遺 .....	21
4.4 水文資料之延伸 .....	21
4.5 水文資料之統計分析 .....	22
4.5.1 資料之選用 .....	22
4.5.2 機率分佈函數之選用 .....	22
4.5.3 機率分佈函數參數之推估 .....	22
4.5.4 設計水文量之推估 .....	27
4.6 設計洪水量之推估 .....	27
4.6.1 依流量資料推算洪水量 .....	28
4.6.2 依雨量資料推算洪水量 .....	28
4.6.2.1 流域(集水區)平均降雨量之計算 .....	29
4.6.2.2 降雨組體圖之推求 .....	30
4.6.2.3 降雨—逕流模式之選取及演算 .....	30
4.6.3 無測站集水區洪水量之推算 .....	36
第五章 水理分析 .....	39

5.1 分析資料之選用 .....	39
5.2 水理計算模式之選用 .....	39
5.2.1 計畫洪水位分析(河道無溢淹).....	44
5.2.2 河道溢流之水理分析.....	44
5.2.3 局部水理分析之檢討.....	45
5.3 計算網格設定 .....	46
5.3.1 河道計算網格.....	46
5.3.2 洪氾區計算網格.....	46
5.3.2.1 一維模式.....	47
5.3.2.2 擬似二維核胞模式.....	47
5.3.2.3 二維模式.....	49
5.3.3 計算網格糙度係數之設定.....	49
5.4 邊界條件設定 .....	55
5.4.1 流量邊界.....	55
5.4.2 水位邊界設定.....	55
5.5 起始演算條件設定 .....	55
第六章 洪氾區劃設成果製圖.....	57
6.1 洪氾區範圍圖 .....	57
6.2 製作資料需求 .....	57
6.3 圖籍格式 .....	58
6.4 詮釋資料製作 .....	73
第七章 水文及水理模式之不確定性分析 .....	74
7.1 目的 .....	74

7.2 不確定性之表述 .....	74
7.3 不確定性分析流程 .....	75
7.4 不確定性因子之特性分析 .....	75
7.5 不確定性分析方法之研選 .....	76
7.6 模式輸出之統計分析 .....	78
7.7 模式輸出不確定性之評估 .....	78
第八章 依風險考量(Risk-Based)之分析與設計 .....	80
8.1 目的 .....	80
8.2 基本概念 .....	80
8.3 經濟風險之計算 .....	80
8.4 評估洪氾區之經濟風險所需資訊 .....	82
8.5 洪氾區劃定之方法 .....	83
附錄 A 水文資料之校正 .....	87
附錄 B 水文記錄之補遺 .....	89
附錄 C 水文資料之延伸 .....	93
附錄 D 機率分布函數之合適度檢定 .....	95
附錄 E 設計雨型 .....	98
附錄 F 水文及水理模式簡介 .....	102
附錄 G 不確定性分析方法 .....	135
附錄 H 參考文獻 .....	147

## 表目錄

表 3-1 三角測量之精度規範 .....	10
表 3-2 三邊測量之精度規範 .....	12
表 3-3 精密導線測量之精度規範 .....	13
表 3-4 衛星定位測量之精度規範 .....	14
表 4-1 六種常用機率分佈之機率密度函數、參數與動差關係..	25
表 4-2 各機率分佈函數參數與 L-動差之關係 .....	26
表 4-3 降雨-逕流模式之比較表 .....	33
表 5-1 FEMA 認可之水理演算模式 .....	41
表 5-2 水理演算模式綜合評估表 .....	43
表 5-3 曼寧糙度係數 n 值一覽表 (1) .....	51
表 5-3 曼寧糙度係數 n 值一覽表 (2) .....	53
表 8-1 防洪經濟效益分類表 .....	84

## 圖目錄

圖 4-1 水利署無因次單位歷線 .....	37
圖 6-1 洪氾區圖幅索引.....	62
圖 6-2 洪氾區圖幅索引格式及尺寸 .....	63
圖 6-3 洪氾區圖幅索引主體 (10 公分 × 10 公分) .....	64
圖 6-4 洪氾區圖幅索引標題方塊 (10 公分 × 10 公分) .....	65
圖 6-5 洪氾區圖幅索引方格北、比例尺方塊 (10 公分 × 10 公分) .....	66
圖 6-6 洪氾區範圍圖.....	67
圖 6-7 洪氾圖圖幅格式及尺寸 (59.4 公分 × 84.1 公分, A1 大小) .....	68
圖 6-8 洪氾圖主體格式及尺寸 (51.5 公分 × 55.5 公分) .....	69
圖 6-9 標題方塊格式及尺寸 (6 公分 × 10 公分) .....	70
圖 6-10 圖幅接合表方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分) .....	70
圖 6-11 註解方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分) .....	71
圖 6-12 圖例方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分) .....	71
圖 6-13 方格北、比例尺格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分) .....	72
圖 8-1 工程成本與洪災損失關係圖 .....	85
圖 8-2 洪災損失與發生機率圖 .....	85
圖 8-3 工程成本、淹水面積或受災人數，邊際成本與劃設標準關係 圖 .....	86

# 第一章 總則

## 1.1 目的

本技術參考手冊係依水利法第 65 條之規定為劃設水道洪氾區而訂定，以求分析方法與劃設技術之一致性為目的。

說明：

- 一、台灣地區各類河川分屬不同機關管轄，其治理規劃工作亦由其管轄機關辦理，然治理規劃過程中並未劃設洪氾區供管理之參考。前經濟部水資源局已完成河川治理水文及水理規範(草案)可供參考，唯尚無相關機關訂定洪氾區劃設之技術參考手冊可供依循。
- 二、目前國內在河川治理規劃所採用之水文、水理分析方法甚多，且所採用之地形圖精度亦有異。為減少規劃過程中之研判因素，並求成果之一致性，編訂本手冊作為洪氾區劃設之依循。
- 三、本手冊所稱洪氾區，依水利法第 65 條之規定，係指水道洪水氾濫所及之土地。
- 四、洪氾區之劃設必須經過洪水紀錄或水文及水理分析，配合地形以劃設不同重現期距之洪氾區範圍。

## 1.2 內容

本手冊共八章，包括：總則、基本資料蒐集與調查、測量、水文分析、水理分析、洪氾區劃設成果製圖、水文水理不確定性分析及依風險考量(Risk-Based)之分析與設計等。

說明：

- 一、洪氾區劃設步驟涵蓋資料蒐集、調查、測量、水文及水理分析等多項工作，



本手冊係針對完成洪氾區劃設所需各項目而訂定。

二、本手冊各章以項目列舉條文，為加深了解條文並避免應用時判斷錯誤，條文下附有「說明」，以解說規定之內容、背景或事例等。

## 第二章 基本資料蒐集與調查

### 2.1 相關資料之蒐集整理

洪氾區之劃設應蒐集下列相關資料：

- 一、降雨量
- 二、流量
- 三、河口潮位
- 四、相片基本圖、地形圖與河川排水幹、支線圖
- 五、土地使用狀況
- 六、歷年淹水範圍及洪水痕跡
- 七、其他相關資料

說明：

洪氾區之劃設必須經過水文及水理分析，配合洪氾區之圖資處理，因此必須蒐集整理降雨量、流量、河口潮位、相片基本圖、地形圖與河川排水幹、支線圖、洪氾區土地利用、歷年淹水區及洪水痕與相關規劃報告等資料。

### 2.2 降雨量

降雨量為水文及水理分析之基本依據，應蒐集整理集水區及其附近雨量站之歷年記錄。

說明：

- 一、降雨量係由雨量計收集後量計，有普通雨量計與自記雨量計兩種，後者通常採用單位為 mm(精度 0.1 mm)。
- 二、普通雨量計為觀測日降雨量之設備，而自記雨量計為隨時間變化，記錄降雨量之自動裝置，可讀取日降雨量、時降雨量或任意時刻之降雨強度。

三、降雨量可提供予水文分析，推求某事件或不同重現期距之流量歷線。

## 2.3 流量

流量為決定河川水位及洪氾區之基本依據，應蒐集整理流域內各流量站歷年之洪水紀錄。

說明：

- 一、流量資料一般係記錄水位，並由率定曲線求得相對應之流量。
- 二、過去已發生洪水紀錄包括洪水成因、當時降雨量、水位、流量及氾濫情形等，應加以蒐集、整理並存檔。
- 三、流量資料可提供予水理模式，作為模擬歷史事件案例時，設定入流邊界條件，並可作為模擬結果率定與驗證之依據。
- 四、流量站之資料可提供予水文分析，推求不同重現期距之流量及歷線資訊。

## 2.4 河口潮位

河口潮位為河川水理分析邊界條件設定之基本依據，應蒐集整理其歷年記錄。

說明：

- 一、為河川水理分析之需要，應蒐集河口潮位資料。潮位之基準與水位基準相同，均採用基隆港平均潮位為零點。
- 二、河口無潮位觀測資料時，可蒐集該河口附近相關單位所觀測之潮位資料，並由該項資料推算該河口相應之潮位。
- 三、收集潮位資料時，應檢核潮位基準是否採用基隆港平均潮位為零點。

## 2.5 相片基本圖、地形圖與河川排水幹、支線圖

相片基本圖（或航照圖）、地形圖（或高程點位資料）與河川排水幹、支線圖為劃設洪氾區之重要資料，應蒐集整理可能淹水地區現有最新及最精確之圖籍資料。（比例尺至少大於 1/5000）。

說明：

- 一、農林航空測量所有台灣地區 1/5,000 比例尺像片基本圖出售，其等高線間距為五公尺，購買時須指明最新版本。
- 二、地形圖（或高程點位資料），可向各相關單位洽詢更新及最精確之版本或資料。
- 三、河川排水幹、支線圖，亦可向各相關單位洽詢更新及最精確之版本或資料。

## 2.6 土地使用狀況

土地使用狀況會影響地表之摩擦糙度係數，並會影響水流之流向、流速及淹水深度，應蒐集整理或調查供洪氾區劃設之依據。

說明：

- 一、當河道通水能力不足時，洪水將溢流而氾濫，溢流量將形成漫地流。
- 二、漫地流之流況除受地形之影響外，土地使用狀況會影響淹水範圍及洪災損失之程度，水理分析時必須詳加考慮。

## 2.7 歷年淹水範圍、洪水痕跡及淹水原因

歷年淹水區範圍、洪水痕跡及淹水原因為洪氾區劃設依據之一，可供水文、水理模式之驗證及淹水深度與淹水範圍推估之參考。

說明：

- 一、洪水過後，遭受淹水地區，可由橋墩或橋台殘留之漂浮物，河道中植物懸掛之漂浮物或建物牆壁上浸水之痕跡獲得該次洪水之水位。
- 二、由淹水區邊界地表之殘留漂浮物及詢問當地居民，可獲得該次洪水之淹水範圍及深度。
- 三、歷年淹水範圍與洪水痕跡可提供與水理模式，作為洪氾模擬範圍初步選定之參考依據。

## 2.8 其他相關資料

其他有助於洪氾區劃設之相關資料應蒐集整理，以提供有關洪氾區劃設之參考資料。

說明：

- 一、已完成之河川治理規劃報告均含洪氾區劃設所需之部份資料，應予以蒐集整理，供洪氾區劃設之參考。
- 二、區域計畫，都市計畫及土地開發計畫亦可供洪氾區劃設之參考。

## 2.9 調查項目

洪氾區劃設應辦理下列調查：

- 一、集水區概況
- 二、水道概況
- 三、水工建造物

說明：

集水區情況為影響水文之因素，而水道情況及水工建造物等則為影響水理之因素。因此在洪氾區劃設過程中，除應辦理相關資料之蒐集整理外，尚須辦理上列各項相關調查。

## 2.10 集水區概況

集水區概況為水文及水理分析主要影響因素之一，應調查集水區形狀、地面覆蓋及土地開發使用狀況等資料。

說明：

- 一、此處所謂集水區概況僅指集水區之特性、地面覆蓋及土地開發使用狀況而言，因其影響地表逕流量、流出速度與河川流量，為水文及水理分析之基本資料。
- 二、集水區特性包括面積、地面坡度及流路長度與坡度等；地面覆蓋包括植生種類、面積與分佈；而土地開發使用狀況則包括農業、商業、工業、住宅等建築物種類及其水土保持情況等。
- 三、目前科技極為發達，集水區概況調查可採用衛星影像處理方式進行。

## 2.11 水道概況

水道概況為水理分析主要影響因素之一，應調查河床質、河道底床高程、河床坡度、河槽斷面形狀及植生狀況等資料。

說明：

- 一、此處所謂水道概況僅指河床坡度、河槽斷面形狀、河床質及植生狀況而言，為河川水理分析之基本資料。
- 二、河床坡度依河段而有不同，一般自發源地逐漸向河口有變緩之趨勢，應視其變化情況就各河段加以調查。
- 三、河槽形狀依河段河床質、河床坡度及沖淤情形而有不同，應視其變化情況加以調查。
- 四、河床質與植生狀況會影響河床之糙度，應加以調查供選定粗糙係數之參考。
- 五、河床坡度與河槽形狀等資料，一般由河川縱、橫斷面測量而得，水理分析

時應採用最近期之資料，必要時應重測或補測。

## 2.12 水工建造物

水道內既有水工建造物為水理分析主要影響因素之一，應調查項目包括防洪工程建造物、灌溉排水工程建造物及跨河建造物等。

說明：

- 一、水工建造物調查時除工程種類、數目、形狀、大小、尺寸、位置、高程外，尚需注意設施使用、維護、管理情形等。
- 二、防洪工程建造物包括堤防、護岸、固床工、丁壩、防洪牆、水門、抽水站等。
- 三、灌溉排水工程建造物包括堰壩、取水工、排水口、水門、沉砂池，排砂道等。
- 四、跨河建造物包括攔河堰、橋樑、涵管、輸電管、輸水管、輸油管、渡槽、高壓電線基礎等。

## 第三章 測量

### 3.1 控制測量

控制測量應辦理下列事項：

- 一、平面控制測量
- 二、高程控制測量

說明：

- 一、平面控制測量係用以控制測區之平面位置。
- 二、高程控制測量係用以控制測區之高程。

#### 3.1.1 平面控制測量

平面控制測量應在測區周圍與測區內佈設足夠之控制點，精確測定其水平位置，計算出正確座標，供後續測量之依據。

說明：

- 一、平面控制採用 TWD97 為基準 TWD67 為輔之 T.M.二度分帶座標系統，並以內政部公佈三等以上三角點，經檢測無誤後方可使用。
- 二、平面控制測量可採用三角測量、三邊測量、精密導線測量、全球定位系統 (Global Positioning System，簡稱 GPS) 等方法。
- 三、相關作業準則可參考內政部土地測量局之「地籍測量實施規範」與衛星中心之「一二等衛星測量作業規範」。
- 四、三角測量精度規範如表 3-1 所示。
- 五、三邊測量精度規範如表 3-2 所示。
- 六、精密導線精度規範如表 3-3 所示。
- 七、全球定位系統之精度規範如表 3-4 所示。



表 3-1 三角測量之精度規範

三 角 測 量						
類別	等級	一等		二等		四等
		甲級	乙級	甲級	乙級	
圖 形 強 度	主要測站間之邊長	在 20 公里以上為原則		在 10 至 20 公里為原則		在 3 至 8 公里為原則
	兩基線間最小	20		60	80	125
	理想限制值					
	最大限制值	25		80	120	175
	理想限制值	5		10	15	25
	每一圖形	最小圖形強制值	10		30	75
邊長測量	最大限制值	10		25	25	50
	最小圖形強制值	15		60	100	170
	測回数	4		4	4	2
	標準誤差	1/1,000,000		1/900,000	1/800,000	1/500,000
水 平 觀 測	使用儀器	0".2		0".2	0".2	1"
	測回数	16		16	8	2
	各次觀測值與平均值之差不得超過	4"		4"	5"	5"
三 角 閉 合 差	平均值不得超過	1".0		1".2	2".0	5".0
	單三角閉合差不得超過	3".0		3".0	5".0	10".0
邊方程式之檢核其方向之平均改正數不得超過		0".3		0".4	0".6	2".0
天 文 方 位 觀 測	觀測相隔之圖形數	6-8		6-10	8-10	12-15
	每夜觀測之測回数	16		16	16	4
	觀測夜數	2		2	1	1
	標準誤差	0".45		0".45	0".6	3".0

方位角閉合差(右列式中 N 為圖形數)		每圖形 1".0 或 2".0 $\sqrt{N}$	每圖形 1".5 或 3".0 $\sqrt{N}$	每圖形 2".0 或 6".0 $\sqrt{N}$	每圖形 3".0 或 10".0 $\sqrt{N}$	每圖形 8".0 或 30".0 $\sqrt{N}$
天頂距	測回数	3	3	2	2	2
	觀測值之誤差不得超過	10"	10"	10"	10"	20"
觀測	二已知高程點間之圖形數	4-6	6-8	8-10	10-15	15-20
	滿足角邊條件後邊長閉合差不得超過	1/100,000	1/50,000	1/20,000	1/10,000	1/5,000
適用場合	一. 基本控制網 二. 都會地區測量	一. 聯接一等網系間，並加強基本控制網之區域制。 二. 都會區次要控制。	增補基本控制網作區域性之控制	非都會區之一般性控制測量，可聯繫於基本控制網亦可單獨實施。	依據三等以上三角點所布設，作為圖根測量。	

表 3-2 三邊測量之精度規範

類別		等級	三邊測量		
			一等	二等	
			甲級	乙級	
主要測站間之邊長		在 20 公里以上為原則	在 10 至 20 公里為原則	在 5 至 10 公里為原則	在 3 至 8 公里為原則
幾何圖形之最小角度不得小於		25°	25°	20°	15°
邊長測量標準誤差		1/1,000,000	1/750,000	1/450,000	1/250,000
使用儀器		0".2	0".2 或 1"	0".2 或 1"	1"
天頂距測回数		3	3	2	2
觀測值之誤差不得超過		10"	10"	10"	20"
二已知高程點間之圖形數		4-6	6-8	8-10	10-15
天觀測相隔之圖形數		6-8	6-10	8-10	10-12
方位角每夜觀測之測回数		16	16	16	8
觀測夜數		2	2	1	1
標準誤差		0".45	0".45	0".6	0".8
方位角閉合差(右列式中 N 為圖形數)		每圖形 1".0 或 2".0 $\sqrt{N}$	每圖形 1".5 或 3".0 $\sqrt{N}$	每圖形 2".0 或 6".0 $\sqrt{N}$	每圖形 3".0 或 10".0 $\sqrt{N}$
滿足幾何條件後位置閉合差不得超過		1/100,000	1/50,000	1/20,000	1/10,000
適用場合		與三角測量相同	與三角測量相同	與三角測量相同	與三角測量相同
					與三角測量相同

表 3-3 精密導線測量之精度規

精密導線測量								
類別	等級	一等			二等		三等	四等
		甲級		乙級				
導線		在 10 至 20 公里為原則		在 5 至 10 公里為原則		在 2 至 5 公里為原則		在 1 至 3 公里為原則
水平 觀測	使用儀器	0".2	1"	0".2	1"	0".2	1"	1"
	測回数	16	12	8	8	6	8	4
	各次觀測值與平均值之差不得超過	4"	5"	4"	5"	4"	5"	5"
邊長測量標準誤差		1/600,000		1/300,000		1/120,000		1/60,000
天頂距		3	3	3	3	2	2	2
對向觀測		10"	10"	10"	10"	10"	10"	20"
天文 方位角	二已知高程點間之測站數	4-6	6-8	6-8	8-10	8-10	10-15	15-20
	方位角檢核相距之測站數	5-6	10-12	10-12	15-20	15-20	20-25	30-40
	每夜觀測之測回数	16	16	16	12	12	8	4
	觀測夜數	2	2	2	1	1	1	1
	標準誤差	0".45	0".45	0".45	1".5	1".5	3".0	8".0
方位角閉合差(右列式中 N 為測站數)	方位角閉合差(右列式中 N 為測站數)	每圖形 1".0 或 2".0 $\sqrt{N}$		每圖形 1".5 或 3".0 $\sqrt{N}$		每圖形 2".0 或 6".0 $\sqrt{N}$		每圖形 3".0 或 10".0 $\sqrt{N}$
	方位角平差後位置閉合差或閉合比數不得超過(右列式中 m 為公尺, k 為導線長度之公里數)	0.04mk 或 1/100,000		0.08mk 或 1/50,000		0.2mk 或 1/20,000		0.4mk 或 1/10,000
適用場合	(與三角測量相同)							

表 3-4 衛星定位測量之精度規範

項目	等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點	三、四等衛星控制點
星曆	使用之星曆	精密星曆	精密星曆或廣播星曆	精密星曆或廣播星曆
圖形閉合差	閉合圈中之基線源自不同觀測時間數	$\geq 3$	$\geq 3$	$\geq 3$
	閉合圈中獨立觀測之基線數	$\geq 2$	$\geq 2$	$\geq 2$
	各閉合圈中之基線數	$\leq 6$	$\leq 10$	$\leq 15$
	閉合圈總邊長(公里)	$\leq 500$	$\leq 300$	$\leq 50$
	可剔除之基線數目佔總獨立基線數比例	$\leq 5\%$	$\leq 15\%$	$\leq 40\%$
	各分量之閉合差( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) (公分)	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 80$
	各分量之閉合差( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) 對閉合圈總邊長之比數(ppm)	$\leq 2.5$	$\leq 5$	$\leq 7.5$
	全系各分量之平均閉合差( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) 對閉合圈總邊長之比數(ppm)	$\leq 1.8$	$\leq 3.5$	$\leq 5.5$

基線 重複 性	重複觀測基線水平分 量之差值	$\leq (10\text{mm}+2\text{ppm})$	$\leq (20\text{mm}+4\text{ppm})$	$\leq (30\text{mm}+6\text{ppm})$
	重複觀測基線垂直分 量之差值	$\leq (25\text{mm}+5\text{ppm})$	$\leq (50\text{mm}+10\text{ppm})$ )	$\leq (75\text{mm}+15\text{ppm})$
成 果 精 度	邊長標準誤差	$\leq (5\text{mm}+1\text{ppm})$	$\leq (10\text{mm}+2\text{ppm})$	$\leq (15\text{mm}+3\text{ppm})$
	95%信心區間	$\leq (10\text{mm}+2\text{ppm})$	$\leq (20\text{mm}+4\text{ppm})$	$\leq (30\text{mm}+6\text{ppm})$

- 八、檢測精度為已知控制點間實測距離經投影改正後與已知座標反算邊長之誤差需小於 1/10,000，或已知控制點測角度與座標反算角度之誤差須小於 20”。
- 九、全球定位系統計算成果須經由 WGS84 座標轉換成 TWD67 及 TWD97 二度分帶座標系統之方式計算。
- 十、為便於地形測量時之引測，測區內必須建立圖根點，作業方式依內政部土地測量局之「地籍測量實施規範」規定辦理。

### 3.1.2 高程控制測量

高程控制測量應在測區內佈設足夠之控制點，精確測定其高程，供後續測量之依據。

說明：

- 一、高程控制測量採用內政部公佈之一等水準系統，以公尺為單位，計至公厘止。高程基準係以基隆港之平均潮位為零點。
- 二、引用水準點高程須檢測至少三點以上，其精度達  $7\sqrt{k}$  mm (k 為水準測量單程路線長公里數) 以內者，作為引用水準點。
- 三、由引用水準點以水準儀施測直接水準至測區，作為高程控制之依據，由引用水準點引至測區沿途約每兩公里，於固定安全處設置臨時水準點，每一測段至少應往返觀測一測回，每測段之精度應小於  $7\sqrt{k} \sim 12\sqrt{k}$  mm。
- 四、直接水準施測之每一測站，前後測距約略相同，且不得大於 60 公尺。

### 3.2 河川橫斷面測量

河川橫斷面測量應於河川左右岸埋設斷面樁，並依所設斷面樁為基準，測定橫斷面距離高程後，記錄河川橫斷面資料。

說明：

- 一、斷面樁需為固定之樁位，並須繪製略圖備考。
- 二、每處斷面樁應精密引測高程，其高程控制系統測設方法應與高程控制測量一致。
- 三、每處斷面樁必須依據平面控制測量方法引測其平面位置，並計算其 TWD97 及 TWD67 系統座標。
- 四、橫斷面以面對下游之左樁為起點，往左方距離為負數，往右方距離為正數，施測河床變化點須符合實際起伏變化，不得遺漏或簡化。
- 五、於各深水槽中須配合執行水深測量。
- 六、橫斷面資料須建立數化電腦檔案，記錄內容須包含斷面樁平面座標，由左樁至右樁間(含左右樁)各測點之間距與高程。
- 七、橫斷面平面位置(含斷面樁)須依坐標，標示於以像片基本圖為背景的索引圖上以利查詢。
- 八、橫斷面之間距不得超過 500 公尺。
- 九、橫斷面應選垂直高水位河道之面，若無法直接施測時則說明施測時之水位高程。
- 十、施測橫斷面之高灘地有溝渠、溝渠、圳路、丁壩、護岸及橋墩保護工時，應加註明。

### 3.3 河川縱斷面測量

河川縱斷面測量應沿水流方向，測定其位置與高程，並記錄縱斷面資料。

說明：

- 一、一般河川橫斷面測量時所得之河心(thalweg)高程即為河川縱斷面測量之一部份，其中河心為橫斷面最深點，縱斷面為各斷面最深點之連線。
- 二、河川縱斷面測量除橫斷面之河心高程外，沿河心於河床顯著變化處須測定



其位置與高程。

三、通常河川下游河段坡降較緩，可採用較大間距，但不得超過 500 公尺。

四、縱斷面測量成果須繪製河川縱斷面圖，並建立數化電腦檔。

五、縱斷面平面位置須依坐標，標示於以像片基本圖為背景的索引圖上，以利查詢。

### 3.4 水工建造物測量

河川兩岸之水工建造物及跨河之建造物，須測定其位置與高程，並繪製水工建造物圖。

說明：

一、沿河兩岸之水工建造物包括堤防、護岸、取水工、排水口、抽水設備等。

二、跨河建造物包括攔河堰、橋樑、涵管、輸電管、輸水管、輸油管、渡槽、高壓電線基礎等。

三、水工建造物之測量須包括其位置、佈置、及相關高程等。

四、跨河建造物之測量須包括其位置、佈置、及相關高程等。

五、測量成果須建立數化電腦檔案。

### 3.5 地形測量

水道及洪氾區測量應根據控制測量成果進行細部測量，並製作適當比例尺之地理資訊系統圖層。

說明：

一、地形測量規範 1/1000 地形圖參考內政部營建署市鄉規劃局數值航空地形測量作業規範進行。1/5000 地形圖參考五千分之一像片基本圖製圖規範進行。

- 二、測量成果必需提供地理資訊系統使用圖層需包含向量格式、數值地形模型，如需地表影像可增加正射影像圖層。
- 三、數值地形模型製作規範參照內政部高精度及高解析度數值地形模型測製規範。
- 四、正射影像圖製作規範內政部彩色正射影像鑲嵌圖製作規範進行。

## 第四章 水文分析

### 4.1 水文站選用

水文分析所採用的資料主要為水文站所記錄的雨量與流量。其中水文站應選自分析的流域內，其記錄年數以大於 25 年為原則。

說明：

- 一、雨量及流量資料係用於分析洪水量與頻率之關係，在考慮測站記錄年限與統計分析結果可靠度之情況下，建議採用有 25 年以上記錄之水文站資料。
- 二、流域內無超過 25 年記錄之水文站時，建議可採用鄰近流域之資料，或進行資料之延伸或補遺。

### 4.2 水文資料之校正

水文資料之可靠性應予以檢定，若資料有誤應進行校正。

說明：

- 一、進行水文分析之前，應先檢核資料之可靠性，通常發生資料不一致或不可靠之原因，包括測站遷移、環境變遷、儀器誤差、觀測方法或觀測時間之變更及人為錯誤等。
- 二、水文資料經檢核發現有資料不一致或不可靠時，必須修正資料以加強資料之可靠性。資料之校正應依據流域內測站或鄰近流域測站之可靠性資料相互比對。
- 三、雨量資料校正之方法，一般採用雙累積曲線法。
- 四、流量資料之校正之方法，一般採用水位-流量率定曲線、面積比、迴歸分析及逕流係數法等，並須考慮上游圳道、水庫調整池等人為引水之修正及河道沖淤、河道變遷等環境因素。

五、水文資料之校正應至少採用二種不同方法，依經驗判斷選用最合適之方法。

六、上述各水文資料校正方法之詳細理論及計算步驟請參閱附錄 A。

### 4.3 水文資料之補遺

水文資料之完整性應予以檢定，若資料有缺漏應進行補遺。

說明：

一、水文資料之補遺應依據流域內測站或鄰近流域測站之可靠資料進行。

二、雨量資料補遺方法，一般採用正比法、內插法、控制面積法及迴歸分析等。

三、流量資料補遺之方法，一般常採用面積比法、面積坡降法、降雨-逕流模式及迴歸分析等。

四、水文資料之補遺應至少採用二種不同方法，依經驗判斷選用最合適之方法。

五、上述各水文資料補遺方法之詳細理論及計算步驟請參閱附錄 B。

### 4.4 水文資料之延伸

水文資料之記錄年限應加以檢定，若資料不足應進行延伸。

說明：

一、因廢站、新設站、或設站年數不足等因素，造成水文站所記錄資料不符合分析之要求時，應予以延伸。

二、水文資料之延伸應依據流域內測站或鄰近流域測站之可靠資料進行。

三、雨量資料延伸方法，一般採用正比法、內插法、控制面積法及迴歸分析等。

四、流量資料延伸之方法，一般常採用降雨-逕流模式、序率模式、面積比法、及迴歸分析等。

五、水文資料之延伸應至少採用二種不同方法，依經驗與判斷選用最合適之方法。

六、上述各水文資料延伸方法之詳細理論及計算步驟請參閱附錄 C。

## 4.5 水文資料之統計分析

### 4.5.1 資料之選用

水文統計分析之資料一般採用年最大值序列。

說明：

一、在進行水文統計分析時所選用的水文資料年數應達 25 年以上，若不足應儘量予以補遺或延伸。

二、年最大雨量序列係指於某特定降雨延時下，選取每年最大降雨量所得之序列。年最大流量序列係指選取每年最大瞬時流量所得之序列。

### 4.5.2 機率分佈函數之選用

機率分佈函數之選用可藉由卡方檢定、標準誤差、機率點繪相關係數、均方誤差及模式信賴指標等方法選取合適的機率分佈函數。

說明：

上述各機率分佈之選用方法之詳細理論請參閱附錄 D。

### 4.5.3 機率分佈函數參數之推估

機率分佈函數之參數可採用乘積動差法或線性動差法推估之。

說明：

## 一、乘積動差法(Product-Moment Method)

(1) 根據資料  $X_i$  ,  $i=1,2,\dots,n$  , ( $n$  為資料年數) , 資料樣本之平均值  $\bar{X}$  、標準偏差  $S_x$  及偏態係數 ( $g$ ) , 可依下列動差法公式推求 :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (4-1)$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4-2)$$

$$g_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})^3 / S_x^3] \quad (4-3)$$

(2) 由於資料偏態係數  $g_x$  之推估具偏估性 , 可採用下列修正值 (Bobee 及 Robitaille, 1977)

$$g'_x = g_x \frac{[n(n-1)]^{1/2}}{n-2} \left[ 1 + \frac{8.5}{n} \right] \quad (4-4)$$

(3) 資料偏態係數可利用台灣地區之廣義偏態係數 (Generalized Skew)  $g_G$  加權推算較可靠之加權偏態係數 (Weighted Skew)  $g_w$  。

$$g_w = \frac{n-25}{75} g_s + \left[ 1 - \frac{n-25}{75} \right] g_G \quad (4-5)$$

(4) 各機率分佈函數之公式、參數與乘積動差關係請參閱表 4.1。

## 二、線性動差法(L-Moment Method)

L-動差是一種順序統計量之線性組合 , 其由 Hosking(1986)提出。第  $r$  階 L-動差 ( $\lambda_r$ ) 為 :

$$\lambda_r = \frac{1}{r} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} E(X_{r-k:r}) \quad (4-6)$$

其中 ,  $E(X_{r-k:r})$  表示  $r$  個觀測值 , 由小至大排列次序為  $(r-k)$  統計量之期望值。

依線性動差與傳統動差相似性，可定義 L-動差的變異係數、偏態係數以及峰度係數分別為：

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (4-7)$$

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (4-8)$$

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (4-9)$$

其中， $\tau_2$ 、 $\tau_3$ 、 $\tau_4$  分別代表 L-變異係數(L-Coefficient of Variation, L-Cv)、L-偏態係數(L-Skew Mass Coefficient, L-Cs)與 L-峰度係數(L-Kurtosis, L-Ck)。各機率分佈函數之公式、參數與 L-動差關係請參閱表 4-2。

三、在推估機率分佈函數參數時，雖然常用的方法是乘積動差法，但乘積動差法在動差階數高時，樣本計算的誤差會急速增加，尤其當樣本數少時更是明顯。因此 L-動差推估函數參數值比傳統乘積動差具有較高之可靠度 (Hosking, 1992 及 1997; Vogel 及 Neil, 1993; 張斐章等, 1995; 王如意等, 1999)。

表 4-1 六種常用機率分佈之機率密度函數、參數與動差關係

機率分佈	機率分佈函數	參數與動差關係	附註
常態分佈 (Normal distributin)	$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\sigma_x}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2}\right\}$	$\mu_x = \bar{x}$ $\sigma_x = S_x$	$\Phi^{-1}(\bullet)$ :標準常態分佈之逆機率函數
二參數對數常態分佈 (Two-paramters Normal distribution)	$p(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\sigma_y}} \exp\left\{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right\}$	$\mu_y = \bar{y}$ $\sigma_y = S_y$	$y = \ln(x)$ $\Phi^{-1}(\bullet)$ :標準常態分佈之逆機率函數
三參數對數常態分佈 (Three-parameter Normal distribution)	$p(x) = \frac{1}{(x-a)\sqrt{2\sigma_y}} \exp\left\{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right\}$	$s_y = [\ln(Cv^2 + 1)]^{1/2}$ $a = \bar{x} - s_y / Cv$ $\mu_y = \ln\left(\frac{S_x}{Cv}\right) - \frac{1}{2} \ln(Cv)$ 其中 $Cv = (1 - w^{2/3}) / w^{1/3}$ $w = \frac{1}{2} [g_x^2 + 4]^{1/2} - g_x$	$y = \ln(x-a)$ $\Phi^{-1}(\bullet)$ :標準常態分佈之逆機率函數 $g_x$ :x 之偏態係數
極端值 I 型分佈 (Extrme Value Type I distribution)	$p(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\left[\frac{x-\beta}{\alpha}\right] - \exp\left(-\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]$	$\alpha = \frac{\sqrt{6}S_x}{\pi}$ $\beta = \bar{x} - \alpha\gamma$	
皮爾遜 III 型分佈 (Pearson Type III distribution)	$p(x) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)} \left[\frac{x-\theta}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left\{-\left[\frac{x-\theta}{\alpha}\right]\right\}$	$\alpha = \frac{S_x}{\sqrt{\beta}} \times \frac{ g_x }{g_x}$ $\beta = \left[\frac{2}{g_x}\right]^2$ $\theta = \bar{x} - S_x \sqrt{\beta} \times \frac{ g_x }{g_x}$	$Z_T = \Phi^{-1}(\bullet)$ $\Phi^{-1}(\bullet)$ :同上 $g_x$ :x 之偏態係數
對數皮爾遜 III 型分佈 (Log-Pearson Type III distribution)	$p(y) = \frac{1}{ \alpha \Gamma(\beta)} \left[\frac{y-\theta}{\alpha}\right]^{\beta-1} \exp\left\{-\left[\frac{y-\theta}{\alpha}\right]\right\}$	$\alpha = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}} \times \frac{ g_y }{g_y}$ $\beta = \left[\frac{2}{g_y}\right]^2$ $\theta = \bar{y} - S_y \sqrt{\beta} \times \frac{ g_y }{g_y}$	$y = \ln(x)$ $g_y$ :y 之偏態係數



表 4-2 各機率分佈函數參數與 L-動差之關係

Distribution Type	F(x) or x(F)	L-Moments
Uniform	$x(F) = \alpha + (\beta - \alpha)F$	$\lambda_1 = \frac{1}{2}(\alpha + \beta), \lambda_2 = \frac{1}{6}(\beta - \alpha), \tau_3 = 0, \tau_4 = 0$
Exponential	$x(F) = \zeta - \alpha \ln(1 - F)$	$\lambda_1 = \zeta + \alpha, \lambda_2 = \alpha/2, \tau_3 = 1/3, \tau_4 = 1/6$
Gumbel	$x(F) = \zeta - \alpha \ln(-\ln F)$	$\lambda_1 = \zeta + 0.5772\alpha, \lambda_2 = \alpha \ln(2), \tau_3 = 0.1699, \tau_4 = 0.1504$
Logistic	$x(F) = \zeta + \alpha \ln\{F/(1-F)\}$	$\lambda_1 = \zeta, \lambda_2 = \alpha, \tau_3 = 0, \tau_4 = 1/6$
Generalized Logistic	$x = \begin{cases} \zeta + \alpha[1 - \{(1-F)/F\}] / k, & k \neq 0 \\ \zeta - \alpha \ln\{(1-F)/F\}, & k = 0 \end{cases}$	$\lambda_1 = \zeta + \alpha\{1 - \Gamma(1+k)\Gamma(1+k)\} / k, \lambda_2 = \alpha \Gamma(1+k)\Gamma(1-k),$ $\tau_3 = -k, \tau_4 = (1 + 5k^2) / 6$
Generalized Extreme-Value	$x = \begin{cases} \zeta + \alpha\{1 - (-\ln F)\} / k, & k \neq 0 \\ \zeta - \alpha \ln(-\ln F), & k = 0 \end{cases}$	$\lambda_1 = \zeta + \alpha\{1 - \Gamma(1+k)\} / k, \lambda_2 = \alpha(1 - 2^{-k})\Gamma(1+k) / k,$ $\tau_3 = 2(1 - 3^{-k}) / (1 - 2^{-k}) - 3,$ $\tau_4 = (1 - 6 \cdot 2^{-k} + 10 \cdot 3^{-k} - 5 \cdot 4^{-k}) / (1 - 2^{-k})$
Normal	$F = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$	$\lambda_1 = \mu, \lambda_2 = \pi^{-1/2}\sigma, \tau_3 = 0,$ $\tau_4 = 0.1226$
Log-Normal	$F = \Phi\left(\frac{\ln(x - \zeta) - \mu}{\sigma}\right)$	$\lambda_1 = \zeta + e^{\mu + \sigma^2/2}, \lambda_2 = e^{\mu + \sigma^2/2} \operatorname{erf}(\sigma/2),$ $\tau_3 = 6\pi^{-1/2} \int_0^{\sigma/2} \operatorname{erf}(x/\sqrt{3})e^{-x^2} dx / \operatorname{erf}(\sigma/2)$
Gamma	$F = \beta^{-x} \int_0^x t^{x-1} e^{-t/\beta} dt / \Gamma(x)$	$\lambda_1 = \alpha\beta, \lambda_2 = \pi^{-1/2}\beta \Gamma(\alpha + 1/2) / \Gamma(\alpha),$ $\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3$
Person type III	$F(x) = G\left(\alpha, \frac{x - \zeta}{\beta}\right) / \Gamma(\alpha);$ $G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$	$\lambda_1 = \zeta + \alpha\beta, \lambda_2 = \pi^{-1/2}\beta \Gamma(\alpha + 1/2) / \Gamma(\alpha),$ $\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3, I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt$

#### 4.5.4 設計水文量之推估

經統計分析，各重現期距之水文量可依所選用機率分佈函數及其參數推算之。

說明：

依據以上各節所述，水文量之推算步驟可整理如下：

- (1) 選用水文資料(請參閱 4.5.1 節)；
- (2) 選用合適之機率分佈函數(請參閱 4.5.2 節)；
- (3) 推估所選用機率分佈函數之參數(請參閱 4.5.3)；
- (4) 確定重現期距  $T$ ，並計算發生小於或等於某一水文量之機率  $p$

$$P(X \leq x_T) = P = 1 - \frac{1}{T} \quad (4-10)$$

- (5) 計算重現期距之水文量  $x_T$

$$x_T = F^{-1}(P) \quad (4-11)$$

式中， $F(\bullet)$ 為所選用之累積機率函數。

#### 4.6 設計洪水量之推估

不同重現期距之洪水量一般可藉由流量頻率分析或暴雨頻率分析配合降雨-逕流模式推估。

說明：

- 一、 根據雨量或流量資料推估不同重現期距可能發生之洪水量，以提供防洪

工程規劃設計之用。

- 二、設計洪水量建議選取由流量頻率分析與降雨-逕流模式所推得之洪峰流量較大者。

#### 4.6.1 依流量資料推算洪水量

流量站有足夠之流量記錄資料，且其上游集水區之土地使用情況在流量記錄期間無重大改變者，可直接利用流量資料進行頻率分析以推算該流量站不同重現期距之洪水流量。

說明：

- 一、流量記錄經補遺或延伸後，應有 25 年以上之資料。
- 二、頻率分析一般採用年最大流量值之序列，而年最大流量採用年最大瞬時流量值。
- 三、流量頻率分析參閱 4.5。

#### 4.6.2 依雨量資料推算洪水量

蒐集不同降雨延時之年最大降雨量進行頻率分析，並配合設計雨型及降雨-逕流模式，推算不同重現期距之洪水量。

說明：

- 一、不同重現期之洪水量雖可藉由流量頻率分析求得(請參閱 4.6.1 節)，但河川流量在洪水期間量測頗為困難，致使大多數河川難有足夠之實測流量資料可供分析。因此，由較易獲得之長期降雨記錄推估逕流歷線，進而推得不同期距之洪水歷線及其洪峰流量與洪峰到達時間。
- 二、由雨量資料推算各重現期距洪水流量歷線之步驟如下：

- (1) 蒐集流域內所有雨量站降雨資料，推求流域平均降雨量(請參閱 4.6.2)，並從所求得平均降雨量中，找出不同延時之年最大降雨量。
- (2) 進行暴雨頻率分析，推求特定重現期距與延時之降雨量(請參閱 4.5)。
- (3) 以設計雨型分配特定重現期距之降雨量，推得降雨組體圖。
- (4) 由(3)所得各重現期距之降雨組體圖，配合降雨-逕流模式，推求各重現期距之洪水逕流歷線。

三、由於暴雨事件在流域內所造成的洪水量，受集水區之面積、形狀、坡度、排水特性、降雨特性及環境變遷等因素之影響。故在決定降雨延時，可利用不同降雨延時所得之設計流量，配合水理模式進行淹水模擬，最後選取會造成淹水範圍最嚴重之降雨延時為標準。

#### 4.6.2.1 流域(集水區)平均降雨量之計算

集水區平均降雨量計算可採用徐昇氏多邊形法、等雨量線法或其他方法計算。

說明：

##### 一、徐昇氏多邊形法

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A} \quad (4-12)$$

式中，R=集水區平均雨量；A=集水面積； $A_1, A_2, \dots, A_n$ =集水區內每一多邊形面積；n=雨量站總數； $R_1, R_2, \dots, R_n$ =各測站同時間之降雨量。

##### 二、等雨量線法

$$R = \frac{B_1 \left( \frac{r_0 + r_1}{2} \right) + B_2 \left( \frac{r_1 + r_2}{2} \right) + \dots + B_m \left( \frac{r_{m-1} + r_m}{2} \right)}{A} \quad (4-13)$$

式中， $R$ =集水區平均雨量； $A$ =集水面積； $r_0, r_1, \dots, r_m$  = 等雨量線之雨量值；  
 $B_1, B_2, \dots, B_m$  = 兩相鄰等雨量線間之面積； $m$ =總等雨量線分割數。

#### 4.6.2.2 降雨組體圖之推求

降雨組體圖之推求可藉由頻率分析所得之降雨量配合設計雨型推得。

說明：

一、降雨組體圖之延時應與 4.6.2.1 採用之降雨延時相同，且其時間間距一般以 1 小時為原則。

二、推求設計雨型之常用方法包括：

- (1) 交替區塊法；
- (2) 水利署經驗方法；
- (3) 無因次平均法；
- (4) 級序平均法；
- (5) 無因次移動平均法；
- (6) 三角形法；
- (7) 時間序列進行移動平均法。

上述各推求設計雨量組體圖方法之理論及計算步驟請參閱附錄 E。

三、設計雨量組體圖方法之選用，可根據完成檢定之降雨—逕流模式演算所得之流量歷線洪峰值，與流量頻率分析所得之洪峰流量比較後，選用適當之設計雨型。

#### 4.6.2.3 降雨—逕流模式之選取及演算

由降雨-逕流模式演算之洪水量應根據集水區之水文與地文特性選擇適當的模式，並經參數檢定與模式驗證後進行之。

說明：

- 一、應用降雨-逕流模式須根據集水區面積大小及其水文地文特性之變化，將整個集水區劃分為若干小集水區進行演算。
- 二、由降雨-逕流模式推求洪水歷線，應採兩種以上常用之模式比較後選用之，模擬演算時間之間距不得大於一小時。
- 三、目前國內常用之降雨-逕流模式包括單位歷線法、HEC-HMS 模式、水筒模式、貯蓄函數及地文瞬時單位歷線等。各模式之理論請參閱附錄 F。另上述各種方法之比較請參見表 4-3。
- 四、降雨-逕流模式之參數，應藉由優選法或試誤法予以訂定，使推估之流量歷線接近觀測之流量歷線。參數率定應使用至少五場颱風事件為原則，若資料不足時，視實際情況選擇其他場次。
- 五、由降雨-逕流模式進行洪水演算前，其參數率定結果應予以驗證，其驗證方法如下：

- (1) 由降雨-逕流模式所推估之流量歷線應與觀測逕流歷線比較。
- (2) 模式之驗證應採用於參數率定以外之三場颱風事件為原則。若資料不足時，視實際資料情況選擇其他場次。
- (3) 進行模式驗證時，可採用下列之驗證標準，評估模式之適用性。

#### 1. 效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum (Q_{OBS,t} - Q_{EST,t})^2}{\sum (Q_{OBS,t} - \bar{Q}_{OBS})^2} \quad (4-14)$$

式中，CE= 效率係數； $Q_{OBS,t}$  = 時間 t 流量之觀測值； $Q_{EST,t}$  = 時間 t 流量之模式推估值；及  $\bar{Q}_{OBS}$  = 觀測流量之平均值。CE 之值愈接近 1，表示模式之適用性愈佳。

#### 2. 洪峰流量誤差百分比(Error of Peak Discharge, EQ<sub>p</sub>)

$$EQ_p = \frac{|Q_{P,EST} - Q_{P,OBS}|}{Q_{P,OBS}} \times 100\% \quad (4-15)$$

式中， $EQ_p$  = 洪峰流量誤差百分比(%)； $Q_{p,EST}$  = 洪峰流量推估值；及  
 $Q_{p,OBS}$  = 洪峰流量觀測值。 $EQ_p$  值愈小者，表示模式之適用性愈佳。

### 3. 洪峰到達時刻誤差(Error of Time to Peak, $ET_p$ )

$$ET_p = |T_{p,EST} - T_{p,OBS}| \quad (4-16)$$

式中， $ET_p$  = 洪峰到達時刻誤差； $T_{p,EST}$  = 推估之洪峰到達時刻；及  
 $T_{p,OBS}$  = 觀測之洪峰到達時刻。 $ET$  值愈小者，表示模式之適用性愈佳。

### 4. 總逕流體積誤差百分比(Error of Total Runoff Volume, $ETRV$ )

$$ETRV = \frac{|\sum Q_{EST,t} - \sum Q_{OBS,t}|}{\sum Q_{OBS,t}} \times 100\% \quad (4-17)$$

式中， $ETRV$  = 總逕流體積誤差(%)。 $ERV$  值愈小者，表示模式之適用性愈佳。

表 4-3 降雨-逕流模式之比較表

模式	貯蓄函數 (Storage Model)	LST 水筒模式 (Tank Model)	運動波-地貌單位歷線 (GIUH)	單位歷線 (Unit Hydrograph)	HEC-1 模式
理論基礎	演算逕流過程中，加入流域貯蓄因子，作為轉換函數。	將流域之逕流機構置換由數個貯蓄型之模式容器(亦稱水筒,Tank)所組成。用以模擬入滲、滲漏、貯留、地表逕流、中間流及基流等水文現象。	應用等候模式，以描述雨滴落於集水區所形成之逕流情形。其主要概念為利用 V 型漫地流模型，模擬每個級數之次集水區。並應用荷頓比與運動波理論推估逕流運行時間，進而推求集水區之瞬時單位歷線。	流域之時間、空間具有均勻之單位有效降雨於特定期延時下降後，在下游出水口產生之流量歷線。	HEC-1 模式將集水區視為水文均勻。依實際地形分成之不同小區組成流網，各以漫地流、運動波及 Muskingum 等方法演算逕流。
假設	流域之貯蓄量(S)與逕流量(S)呈指數函數關係。 $S = KQ^P$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 地表逕流=水筒孔口上方之容水高度×流出孔乘係數</li> <li>2. 滲透量=水筒內貯蓄水高×滲透孔乘係數</li> <li>3. 貯蓄量=地表逕流-滲透量</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 單位有效降雨於 t=0 瞬時均勻落在集水區上。且雨滴間彼此獨立，不相互影響。</li> <li>2. 假設落於河川上之雨滴可予以忽略。</li> <li>3. 採指數分佈作庶逕流運行之時間分佈。</li> <li>4. 非線性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. 基期一定</li> <li>6. 比例假定</li> <li>7. 重疊假定</li> </ol>	集水區內假設為水文、地文條件均一一亦即將子集水區視為一均質區域。若集水區內之各項水文地文參數無法代表該子集水區之特性則應再細分集水區。
適用範圍	流域面積(A,km <sup>2</sup> )介於 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 10&lt;A&lt;100:最佳精度</li> <li>2. 100&lt;A&lt;1000:良好精度</li> <li>3. A&gt;1000:流域劃分成若干小集水區</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可應用無水文紀錄之地區。</li> <li>2. 適用於集水區面積小於1000km<sup>2</sup>之中小型河川。且避免用於太過於平坦之地區。</li> </ol>	廣闊平坦且降雨變化特性比較單純之流域。	地形變化不大且無人工結構物之小集水區。



模擬水文事件之時程 1. 連續性模擬：長時間之 模擬(如月、季及年)。 2. 事件性模擬：短時間之 模擬(如颶風及暴雨)	事件性水文模擬	事件性水文模擬 連續性水文模擬	事件性水文模擬	事件性水文模擬	事件性水文模擬
率定之參數	1. 稽延時間( $T_1$ ) 2. 平均流入係數( $f$ ) 3. 流域特性因子( $K, P$ ) 3. 一次逕流率( $f_1$ ) 4. 飽和雨量( $R_{sa}$ )	1. 水筒出水孔高度( $z_1, z_2, z_3$ ) 2. 出流孔乘係數( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ ) 3 滲透孔乘係數( $b_1, b_2, b_3$ ) 4. 各水筒之初期貯水高 其中 $a_1, a_2, b_1, z_1$ 為敏感度較大之參數。	1. 河川級序數 2. 各河川級序( $i$ )之 a. 河川數目, $N_i$ b. 平均長度, $L_i$ c. 排水面積, $A_i$ d. 平均坡度, $S_i$ 3. 水流速度之參數, $C_s$ 4. 流域地文之特性參數, $C_r$ 5. 河川級序間之轉移機率 $P_i$ 其中 1. 參數 $C_r$ 與流域之平均坡度成正相關且較高之 $C_r$ 值顯示該流域之傳遞效應較大，且貯蓄效應小，會產生較高之洪峰量。 2. 較高參數 $C_s$ 會有較大之洪峰出現，且縮短洪峰到達時間。	針對以往之洪水紀錄，先作出各種不同雨量強度之單位歷線，應用時依目的選擇適當之單位歷線。	1. CN(CurveNumber) 2. 稽延時間

限制	各參數除推延時間、一次運流率之推估，須經人為判定，其他參數可由實測資料直接求得。	參數之率定可使用各種參數優選方法，使用優選法之長處為客觀且節省模式之試誤時間，而缺點為無法保證結果收斂或有時只能找到局部最佳值(local optimum)而非整體最佳值(global optimum)。	需具備集水區之數化地形圖(DTM)，精度至少須為1:50,000。	單位歷線之上述三假定，實用上可視近似成立，嚴格地說，一個流域之單位歷線的形狀，受降雨之強度、地域分布等之影響。	<p>1. 同一子集水區內假設為水文、地文條件均一，亦即將集水區視為一均質區域，若與事實不符或所求取之各項水文、地文參數無法代表該子集水區之特性，則應再細分子集水區</p> <p>2. HEC-1 只能模擬單峰流量，對於連續降雨事件則模擬不佳。</p>
----	------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

表 4-3 水文模式之比較表(續)

### 4.6.3 無測站集水區洪水量之推算

集水區內無流量站或雨量站時，可採用藉台灣地區水文資料所推導之水利署無因次單位歷線、三角形單位歷線、地貌瞬時單位歷線或鄰近測站之區域流量頻率曲線等方法，推估集水區洪水量。

說明：

#### 一、水利署無因次單位歷線(台灣省水利局，1992)

水利署無因次單位歷線(如圖 4-1)以  $100T/T_s$  為橫座標， $QT_s/DCMS$  為縱座標。其中  $Q$  及  $T$  分別為流量及時間， $DCMS$  為單位歷線逕流總體積，以(立方公尺-日)逕流開始至單位歷線體積之一半之時間，可由下式推估：

$$T_s = \frac{T_r}{2} + T_{lag} \quad (4-18)$$

$$T_{lag} = \alpha(L \times L_c / \sqrt{S})^\beta \quad (4-19)$$

式中， $T_r$  = 有效降雨延時(hr)； $T_{lag}$  = 稽延時間(hr)； $A$  = 集水區面積( $\text{km}^2$ )； $S$  = 集水區平均坡度； $L$  = 從集水區上游最遠端至下游集水口之主流長度(km)； $L_c$  = 從集水區重心至下游出水口之主游長度(km)及  $\alpha, \beta$  = 待訂係數。

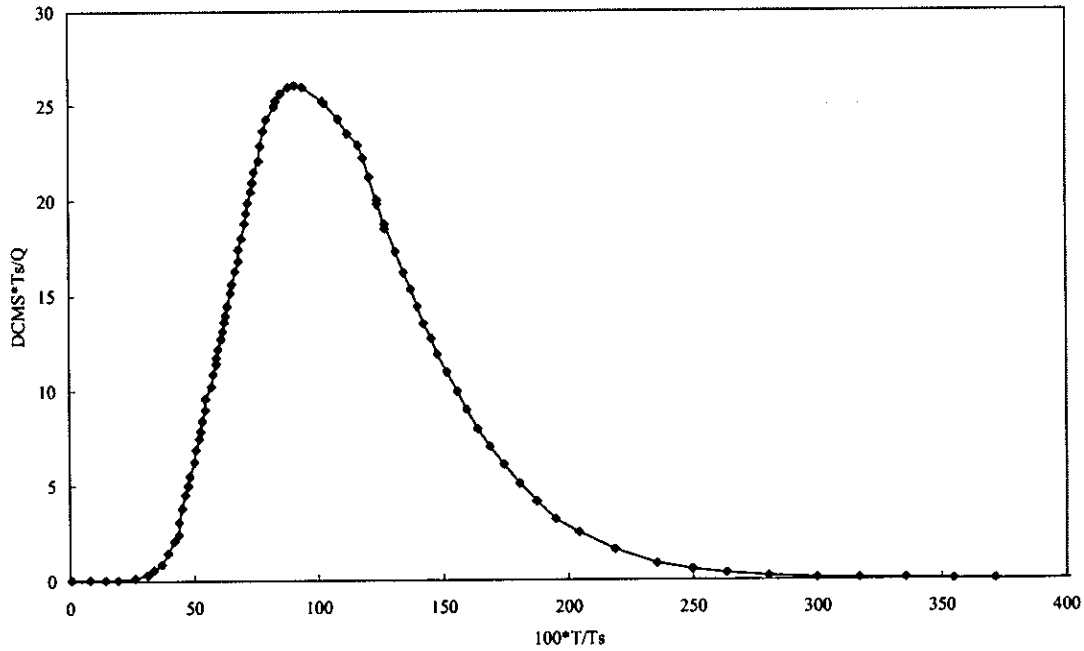


圖 4-1 水利署無因次單位歷線

## 二、三角形單位歷線 (台灣省水利局, 1993)

在台灣三角形單位歷線之基期 $T_b$ 、洪峰流量 $Q_p$ 及到達洪峰時間 $T_p$ 與集水區地文因子之關係式如下：

$$T_b = 2.61A^\alpha / S^\beta \text{ 或 } T_b = \alpha T_p \quad (4-20)$$

$$T_p = T_r / 2 + T_{lag} \quad (4-21)$$

$$T_{lag} = 0.569A^{0.187} / S^{0.201} \quad (4-22)$$

$$Q_p = \alpha A^\beta S^\gamma \quad (4-23)$$

式中， $A$  = 集水區面積( $\text{km}^2$ )； $S$  = 集水區平均坡度； $T_r$  = 有效降雨延時(hr)；

$T_{lag}$  = 洪峰稽延時間(hr)；及 $\alpha, \beta, \gamma$ =待定係數。

### 三、運動波-地貌瞬時單位歷線

李光敦等(2000)發展之運動波-地貌瞬時單位歷線模式，考慮集水區地表覆蓋特性及各級序河川長度、坡度與河川網路匯流情況，再配合運動波理論推求逕流運行時間，係一種以水力學為基礎之逕流模式，可用於無測站地區之洪水量推估。

### 四、區域洪水頻率分析(林國峰等，1993)

蒐集集水區同一水系內各測站之流量資料，進行區域洪水頻率分析，推算無測站集水區之洪水量。其分析步驟如下：

1. 水文站之記錄年限應達於 25 年以上，若資料年限不足，依 4.3 及 4.4 建議予以補遺或延伸至 25 年以上。
2. 流域內各水文站依 4.6.1 及 4.6.2 節所介紹之方法，求得各重現期距之洪水量  $Q_T$ 。
3. 各測站以平均洪水量為指數洪水量(Index Flood)，將其他重現期距洪水量轉換為無因次洪水量，即  $Q_T/\bar{Q}$ 。
4. 計算同一重現期距無因次洪水量之中值，並繪出區域無因次洪水量中值頻率曲線。
5. 繪製區域內各測站之平均洪水量與集水面積  $A$  相關圖，並求出其迴歸關係，即  $\bar{Q} = aA^b$ 。
6. 若已知區域內無測站集水區之面積，則由步驟 5 可推得平均洪水量，再利用步驟(4)所得區域無因次洪水量中值頻率曲線，即可推算各重現期距之洪水量  $Q_T$ 。

## 第五章 水理分析

### 5.1 分析資料之選用

水理分析之目的為推算河川洪水位及洪氾區之淹水深度，分析時應具備下列相關水理資料：

- 一、水理計算模式；
- 二、計算網格資料；
- 三、邊界條件資料；
- 四、起始演算條件。

說明：

進行水理分析時，首先應先選取適當的水理計算模式，再依模式所需輸入相關水理資料。輸入資料一般包括計算網格配置與資料設定、邊界條件與起始演算條件。

### 5.2 水理計算模式之選用

在進行水理分析時，應依水流流況及洪氾地形之特性選擇適當之水理模式進行之。

說明：

- 一、洪氾區之劃定必須根據洪水位高程配合洪氾區之地形，而洪水位高程之推定則須依據水理分析演算。
- 二、應收集研究區域過去淹水的資料，以作為水理模式率定與驗證之參考依據。
- 三、進行洪氾劃設之水理分析時，應先執行兩個步驟，一為模擬參數之率定分

析，一為模擬參數的驗證分析。其步驟如下：

1. 河道演算部分所需率定與驗證的參數為河道的糙度係數。
2. 洪氾模擬部分所需率定與驗證的參數，一為河道溢流量(即堰流係數)，一為洪氾流路間的糙度係數或堰流係數。

四、模式只要具有符合模擬案例所需之模擬功能(河川流況及洪氾地形特性等)，皆可作為該案例之水理演算模式。但在應用所選取的水理演算模式前，相關模擬參數需經過率定與驗證的工作。

五、美國聯邦緊急事故管理總署 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 公布認可之水理演算模式列如表 5-1 所示，包括一維定量流、一維變量流及二維定量流/變量流等不同類別的水理演算模式。

六、除了表 5-1 所述之模式外，目前國內、外常用的擬似二維核胞模式 (如楊氏、2003；蔡氏、2002)、二維漫地流模式 (如許氏、2002)、二維變量流模式 (如 SOBEK 模式) 等，均可作為水理分析之水理演算模式，表 5-2 為各模式之比較。各模式理論及分別參見附錄 F。

表 5-1 FEMA 認可之水力演算模式

類型	程式名稱	研發機構
一維定量流模式	HEC-RAS 2.2 (September 1998)	U.S. Army Corps of Engineers
	HEC-RAS 3.0.1	U.S. Army Corps of Engineers
	HEC-2 4.6.2 (May 1991)	US Army Corps of Engineers
	WSPRO (June 1988 以後之版本)	US Geological Survey, Federal Highway Administration (FHWA)
	FLDWY (May 1989)	US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service
	QUICK-2 1.0 以後之版本 (January 1995)	FEMA
	HY8 4.1 以後之版本 (November 1992)	US Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA)
	WSPGW 12.96 (October 2000)	Los Angeles Flood Control District and Joseph E. Bonadiman & Associates, Inc.
一維變量流模式	FEQ 8.92 and FEQUTL 4.68 (1997, both)	Delbert D. Franz, Linsley, Kraeger Associates; and Charles S. Melching, USGS
	Advanced ICPR 2.20 (October 2000)	Streamline Technologies, Inc.
	SWMM 4.30 (May 1994), and 4.31 (January 1997)	US Environmental Protection Agency and Oregon State University
	UNET 4.0 (April 2001)	US Army Corps of Engineers
	FLDWAV (November 1998)	National Weather Service
	MIKE 11 HD (June 1999)	DHI Water and Environment
	FLO-2D v. 2000.11 (December 2000)	Jimmy S. O'Brien



二維定量流/變量流模式	TABS RMA2 v. 4.3 (October 1996) RMA4 v. 4.5 (July 2000)	US Army Corps of Engineers
	FESWMS 2DH 1.1 以後之版本 (June 1995)	US Geological Survey
	FLO-2D v. 2000.11 (December 2000)	Jimmy S. O'Brien.

資料來源：[http://www.fema.gov/mit/tsd/en\\_modl.htm](http://www.fema.gov/mit/tsd/en_modl.htm)

表 5-2 水理演算模式綜合評估表

模 式	空間			流況		水流		渠道		應用			
	一維	擬似二維	二維	超臨界流	亞臨界流	定流量	變流量	不規則	彎道	障礙物	乾床	河道匯流	網狀系統
HEC-RAS	●			●	●	●	●	●		●		●	●
WSPRO	●			●	●	●		●		●			
SWMM	●			●	●	●	●	●		●	●	●	●
UNET	●				●	●	●	●		●	●	●	●
FLDWAV	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	
MIKE 11	●			●	●	●	●	●		●	●	●	●
FLO-2D	●		●		●	●	●	●		●	●	●	
TABS-2/RMA-2			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
FESWMS 2DH			●		●	●	●	●		●	●	●	●
SOBEK			●	●	●	●	●	●		●	●	●	●
擬似二維核胞模式		●			●	●	●	●		●	●	●	●

### 5.2.1 計畫洪水水位分析(河道無溢淹)

計畫洪水水位之推訂，應依河川水流流況選擇適當之水理計算模式進行之。

說明：

- 一、在進行洪氾劃設時，可先忽略河道溢淹的影響，進行計畫洪水水位分析。水位分析結果可與兩岸實際堤高進行比較，以判斷此流域是否會發生河道溢淹的情況，並據以決定該河道是否需進一步進行河道鄰近區域的淹水模擬。
- 二、計畫洪水水位之推定一般皆以一維定量流模式進行水理演算。
- 三、一維定量流模式演算之成果除各斷面之洪水水位外，尚應包括平均流速、水面寬、通水面積、能量坡降、福祿數等水理因素。
- 四、河川水流流況之判別應包括
  1. 河川流況是否會發生超臨界流。
  2. 河川是否存在水工建造物(如橋樑、堰等)。
  3. 河川是否有支流或排水匯入。
- 五、若為超臨界流，應計算對應之亞臨界共軛水深，以研判發生水躍時，是否有溢流之可能性。

### 5.2.2 河道溢流之水理分析

當河道有溢流現象發生時，應依河川水流流況及洪氾地形之特性選擇適當之水理模式進行之，以分析河道的溢流處、溢流量及其洪氾區淹水範圍與淹水深度。

說明：

- 一、河道之整治依 5.2.1 之計畫流量分析其水位，在河道未治理前或治理完成

後，可能有比河道通水能力更大之洪水發生，因而產生河道溢流。

二、河道溢流水理分析應以變量流模式進行之。

三、河道之溢流可能發生於一岸或兩岸，且溢流量因地形會再於下游河段流入河道，或流至低窪地區而不再流回河道。

四、當某河段發生溢流時，其下游河段之水理演算必須將溢流量由計畫流量中扣除，俟再流入河道時再加入。

五、水流流況及洪氾地形特性之判別除了 5.2.1 節所述之河川水流流況之判別外，尚應包括

1. 洪氾區模擬範圍內之流況是否會發生超臨界流。
2. 洪氾區模擬範圍內是否存在水工建造物(如橋樑、堰、涵洞、閘門等)。
3. 洪氾區模擬範圍之地形是否過於平坦。

註：一維模式較不適用於過於蜿蜒與堤防高保護河道及洪氾區地形過於平坦之洪氾演算。

### 5.2.3 局部水理分析之檢討

經 5.2.1 或 5.2.2 節之水理計算後，於局部區域認為有必要再求更精確之水深及水平流速分佈狀況時，可採用二維模式或變量流模式再做局部的演算。

說明：

一、5.2.1 或 5.2.2 節之演算結果，可作為設定局部模擬區域的邊界條件。

二、橋樑附近、支流匯流處等區段及彎道，其水流狀況複雜，本質上具有二維之特性，如須作進一步瞭解時，可採用二維定量流/變量流模式，演算該河段之水深、流速、流向等之分佈狀況。

三、一維或二維變量流水理模式可模擬整個洪水歷線經過河川系統時各河段之水理因素，並可模擬每個時段於每個斷面間水流狀況之相互影響，其結果與實際之水流狀況較為接近。

## 5.3 計算網格設定

### 5.3.1 河道計算網格

水理分析時，河道區域需設定若干計算網格，以進行河道之水理演算。河道斷面資料則可提供與水理模式，作為模式演算河道計算網格斷面通水面積之依據，進而使演算結果能合理反映河道計算網格之水位高程。

說明：

- 一、河道計算網格的設定，以能具體反映河道幾何與斷面變化情況為原則。
- 二、河道計算網格設定時應包含河道斷面之量測位置，以期河道計算網格能具體反映河道斷面變化之情況。
- 三、若河道計算網格位置無河道斷面量測資料配合時，一般以鄰近此計算網格上、下游的兩個斷面資料，以內插方式進行該計算網格斷面資料的建置。
- 四、斷面資料應利用河道調查與測量之成果，包括河道橫斷面資料，相鄰斷面之間距，橋樑之橋面及樑底高，橋墩之數量、尺寸及形狀，堰高及長度等資料。斷面之選取應包含斷面變化較大處及河床縱坡變化處。

### 5.3.2 洪氾區計算網格

依據所選定水理演算模式之實際需求，劃設洪氾區計算網格，以作為淹水模擬演練單元實體。

說明：

- 一、水理演算模式計算網格依各個模式設定而有不同，可輔助適當數位空間資訊，如電子地圖、數值地形、航遙測數位影像等，利用地理資訊系統的圖資編輯功能，定義出洪氾區計算網格。
- 二、洪氾區計算單元劃設範圍，應透過歷年淹水範圍、洪水痕跡等資料之收

集，配合像片基本圖（或航空像片）、地形圖、排水幹支線等相關圖籍之套疊，選擇包含或大於經常溢淹及溢淹可能到達之區域。

三、本節所述洪氾區計算網格，將應用於水理分析與洪氾區範圍圖劃設，必須以多邊形方式定義，並具備地理位置或坐標描述，以配合後續應用，轉換為必要的空間資訊。

四、根據 5.2 節所述，水理演算模式依維度可分為一維模式、擬似二維核胞模式及二維模式等三類，以下將針對此三類模式各別說明洪氾區計算單元劃設方式。

### 5.3.2.1 一維模式

以河川各斷面區間及其斷面延伸區域為洪氾模擬之計算網格。

說明：

- 一、以河川水位剖面與河川斷面水位及斷面延伸水位高程相對關係，研判水位可能到達之範圍，進而於河川各斷面區間分段劃設洪氾區計算網格。
- 二、若水位尚未觸及斷面邊界，則表示水流侷限在延伸斷面內，可依據延伸斷面之高程，直接研判淹水範圍，即可分段完成洪氾區計算網格之劃設。
- 三、若水位已觸及斷面邊界，則表示水流已超出延伸斷面內，需再依像片基本圖（或航照圖）或地形圖比對，並延伸斷面至高於水位之地面或路堤等阻礙物為止，即可分段完成洪氾區計算網格之劃設。
- 四、當河道過於蜿蜒時，為避免延伸斷面產生交會的情況，不可避免需忽略某些延伸斷面，造成洪氾區之範圍有可能會因忽略的延伸斷面不同而有所差異。

### 5.3.2.2 擬似二維核胞模式

將洪氾區範圍劃分若干不規則多邊形封閉區域之核胞網格，以作為洪氾區計算網格。

說明：

- 一、為結合河川水理模式與洪氾區水理模式進行洪氾區範圍之推估，同時考量現地實際地形與地物之複雜情況，將洪氾區域劃分成若干個不規則多邊形封閉區域之核胞網格，以作為洪氾區計算單元。
- 二、如須提升局部地區淹水模擬精度，於洪氾區核胞網格繪製時，須配合高於 1/5000 像片基本圖精度之圖資及測量資料，作局部加密格網劃設，例如（1）容易溢淹區域：橋樑、彎道、斷面束縮處（2）配合土地利用、都市計畫界線、高程特徵線加密格網。

### 三、核胞網格劃設

#### 1.核胞網格邊界劃設

- （1）歷年洪水範圍及洪水痕跡。
- （2）地形變化（等高線分佈）狀況。
- （3）重要道路、鐵路或地面高程較高（如高速公路）之公路。
- （4）陸地與排水路之交接處、農地之田埂處、堤防。
- （5）建築物、土地使用分區狀況。

#### 2.核胞網格大小劃設

核胞網格大小劃設約取一至二個街廓（約 200 公尺× 200 公尺）倍數為劃設參考，同時考量土地利用之不同，作以下三種核胞網格大小劃設依據：

- （1）都市、人口密集處：約 200 公尺× 200 公尺~ 400 公尺× 400 公尺。
- （2）農、漁業地區：約 400 公尺× 400 公尺~ 800 公尺× 800 公尺。
- （3）山、林地區：約 800 公尺× 800 公尺~ 1600 公尺× 1600 公尺。

### 5.3.2.3 二維模式

將洪氾區範圍劃分若干方形網格，以作為洪氾區計算網格。

說明：

洪氾區計算單元之劃設，除了要滿足所選定水理演算模式需求外，尚需考量洪氾區域地形變化與資料，同時配地形高程點位資料，以作為方形網格劃設參考。國內目前多採用 40 公尺的數值地形模型資料，但針對模擬案例需求，亦可採用更粗略或更精細的數值地形模型資料。

### 5.3.3 計算網格糙度係數之設定

提供與水理模式計算水流之阻抗(一般採曼寧公式)。

說明：

- 一、河川水流之阻抗計算一般採用曼寧公式，公式中之糙度係數  $n$  值，應就水位流量站所蒐集之相關水理資料加以分析檢定後採用，在洪水資料缺少或精度較差時可採用經驗數值。
- 二、河道之曼寧糙度係數  $n$  值隨水理及河道表面狀況而異，其公式為：

$$n = \frac{R^{1/6} U_*}{g^{1/2} V} \quad (5-1)$$

式中， $R$ =水力半徑(m)； $g$ =重力加速度( $\text{m}/\text{sec}^2$ )； $V$ =平均流速( $\text{m}/\text{sec}$ )及

$U_*$ =剪力速度( $\text{m}/\text{sec}$ )。

- 三、為工程應用方便，各斷面之  $n$  值一般採用定值，其決定步驟如下：

1. 若河道植生覆蓋情況不顯著，河道糙度係數之主控因子為河床質粒



徑時，可利用下列經驗公式計算 n 值：

$$(1) \text{ Lane 公式：} n=0.015D_{75}^{1/6} \quad (5-2)$$

$$(2) \text{ Einstein 公式：} n=0.013D_{65}^{1/6} \quad (5-3)$$

$$(3) \text{ Strickler 公式：} n=0.015D_m^{1/6} \quad (5-4)$$

其中， $D_{75}$  及  $D_{65}$  分別為通過 75% 及 65% 重量之代表粒徑， $D_m$  為平均粒徑，粒徑單位採用 mm。

2. 若河道為植生覆蓋情況時，則須由現場踏勘以決定河床植生覆蓋情況(包括植生種類、分布狀況及密度等)，再藉由表 5-3 以決定合適之 n 值。

四、河槽若成複式斷面型態，主槽與兩岸高灘地表面狀況截然不同，因此主槽與高灘地之糙度係數 n 值應依實際情況分別採用適當數值。

五、若研究區域內具有水位流量站資料，則須於水理模式中逐次調整上述經驗公式或判斷所得之 n 值，計算相應水位，比較實測與計算水位之符合度，據以確定糙度係數 n 值之適當數值。

表 5-3 曼寧糙度係數 n 值一覽表 (1)

河道型態與狀況	n 值範圍	常值
1. 小型河川(洪水位水面寬<30m)		
(1) 平原區		
(a) 潔淨平直河道，無雜草	0.025~0.033	0.030
(b) 潔淨平直河道，有雜草、石子	0.030~0.040	0.035
(c) 潔淨平直、雜草多、礫石河床	0.040~0.055	0.048
(d) 潔淨彎曲河道，有小潭、淺灘	0.033~0.045	0.010
(e) 同狀況(d)，但有些雜草、石子	0.035~0.050	0.045
(f) 同狀況(e)，但更多石子	0.045~0.060	0.050
(g) 緩流河段，雜草多，有深潭	0.050~0.080	0.070
(2) 山區：河道無植生，兩岸通常為陡坡，沿岸之樹木及矮林洪水時常遭浸沒。		
(a) 河床為礫石、卵石及些許塊石	0.030~0.050	0.040
(b) 河床為卵石及大塊石	0.040~0.070	0.050
2. 大型河川(洪水位水面寬 $\geq$ 30 m)		
因河川產生較低之有效阻力，其 n 值在河道相類似之情況下較小型河川之 n 值為低。		
(1) 斷面規則，無塊石、矮林	0.025~0.060	
(2) 斷面不規則，崎嶇不平	0.035~0.100	

3. 洪水平原(高灘地)		
(1) 草地，無矮林		
(a) 短草	0.025~0.035	0.030
(b) 長草	0.030~0.050	0.035
(2) 耕地		
(a) 無作物	0.020~0.040	0.030
(b) 成熟之成排作物	0.025~0.045	0.035
(c) 成熟之田間作物	0.030~0.050	0.040
(3) 矮林		
(a) 矮林散佈，無雜草	0.035~0.060	0.050
(b) 少許矮林及樹木、冬季	0.040~0.080	0.060
(c) 少許矮林及樹木、夏季	0.045~0.110	0.070
(d) 中度至濃密矮林、	0.070~0.160	0.100

表 5-3 曼寧糙度係數 n 值一覽表 (2)

河道型態與狀況	n 值範圍	常值
(4) 樹木		
(a) 濃密柳樹、夏季、直立	0.110~0.200	0.150
(b) 整地後尚殘留樹幹，未萌芽	0.030~0.050	0.040
(c) 整地後尚殘留樹幹，大量萌芽	0.050~0.080	0.060
(d) 茂密樹林，一些倒樹，樹下少許灌木，洪水位不及樹枝。	0.080~0.120	0.100
(e) 同狀況(d)，但洪水位高達樹枝	0.100~0.160	0.120
4. 土渠		
(1) 平直、光滑面、無水草	0.016~0.025	0.020
(2) 有水草、石子	0.022~0.030	0.025
(3) 彎曲、緩流渠段、無植生	0.023~0.030	0.025
(4) 彎曲、雜草茂密或深槽有水生植物	0.030~0.040	0.035
(5) 卵石渠底、岸邊光禿	0.030~0.050	0.040
5. 內面工渠道		
(1) 水泥膠砂抹面	0.010~0.013	0.011
(2) 混凝土、泥銖抹面	0.011~0.015	0.013
(3) 混凝土、木模板拆去後未再抹面	0.014~0.020	0.017
(4) 噴鎗水泥面	0.015~0.017	0.015
(5) 磚砌工或平整之污工材料面	0.012~0.018	0.017
(6) 塊石水泥砌面	0.015~0.020	
資料來源：		
(1) Chow, V.T., 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.		

- (2) 台灣省水利局(1984)，台灣省普通河川治理規劃實務。
- (3) 易任(1991)，渠道水力學（上冊），國立編譯館出版。

## 5.4 邊界條件設定

### 5.4.1 流量邊界

水理分析中，流量邊界主要是用來設定水理計算模式之入流邊界條件。

說明：

- 一、邊界條件位置之選定應以不受河道溢淹影響為原則。
- 二、河段內洪水量之變化，應依區內排水系統與分支流注入該河段內之地點及其排入流量作合理分配。

### 5.4.2 水位邊界設定

水理分析中，河道水位資料可用來設定河道下游邊界條件，潮位資料則可用來設定臨海之河道及洪氾計算網格之邊界條件。

說明：

- 一、若模擬區域不與海相鄰，則需要河道模擬區域下游邊界處之水位資料，以設定河道下游邊界條件。
- 二、若模擬區域與海相鄰，則需要潮位資料(含暴潮位)，以設定臨海之河道及洪氾計算網格之邊界條件。

## 5.5 起始演算條件設定

提供與水理模式設定合宜之起始演算條件。

說明：

- 一、在執行變量流演算時，方需進行起始演算條件的設定工作。
- 二、合宜起始演算條件之設定步驟為

1. 任意設定一演算條件，包含計算點之流速、水深等演算條件。
2. 以變量流歷線第一個演算時刻之流量為基礎，進行定量流演算。待此定量流演算達到容許收斂條件後，即可以此時之模擬結果，作為變量流演算之起始演算條件，再進行變量流演算工作。
3. 一般容許收斂條件可設定為，兩疊代步驟之流速、水深變量小於  $1 \times 10^{-3}$ 。

## 第六章 洪氾區劃設成果製圖

### 6.1 洪氾區範圍圖

本章洪氾區範圍圖即指，以 5.4 節洪氾區計算網格為主題圖徵，淹水深度為圖徵屬性，綜合 1/5000 像片基本圖與部分河川圖籍資訊為背景圖資編修所成圖。

說明：

- 一、水理分析完成的洪氾區計算網格與其淹水深度，需要轉換成為圖形格式，以利後續圖籍製作。如圖 6-1 所示。
- 二、洪氾區計算網格應以 5.4 節所示，以多邊形圖徵方式標示於相關圖面。
- 三、淹水深度以水理分析計算結果，於計算網格上以不同顏色標示，並製作圖例說明。。

### 6.2 製作資料需求

洪氾區範圍圖製作應備妥下列相關資料：

- 一、像片基本圖或地形圖。
- 二、鄉（鎮）區行政界線、河川行水區域線、河川區域線、斷面位置線、河（海岸）里程、警戒水位高程等圖籍資料。
- 三、淹水模擬計算成果資料。

說明：

- 一、像片基本圖或地形圖之精度與比例尺應符合手冊第三章 3.5 節之規定，且像片基本圖或地形圖必須涵蓋流域整個洪氾範圍區域。
- 二、鄉（鎮）區行政界線、行水區範圍線、用地範圍線、斷面位置線、河（海岸）里程、警戒水位高程、等圖籍資料之精度與比例尺應與像片基本圖



或地形圖相符。

- 三、 淹水模擬計算成果資料，依所選定水理演算模式淹水模擬計算成果，即不同重現期距之淹水範圍及深度等資料，需經歷年淹水範圍及洪水痕跡比對、驗證後，其誤差在容許值範圍內才能使用。
- 四、 淹水範圍及深度資料內容應標示洪水發生之重現期距，資料型態須足以表達洪氾區淹水範圍（邊界）及深度（不同顏色之標示），且應具台灣二度分帶地理坐標(TWD 67及TWD 97坐標)系統之多邊形線段(Poly Line)或封閉多邊形格網(Polygon)之向量(Vector)或純文字檔案格式資料。

### 6.3 圖籍格式

洪氾區範圍圖應包含內容與格式如下列說明。

說明：

為完整描述該流域之洪氾範圍，其流域之洪氾圖應包括洪氾區圖幅索引（若有多張圖幅）及洪氾區範圍圖等二部份，說明如下：

一、洪氾區圖幅索引(The Index)：應涵蓋整個流域所有重現期距之淹水範圍，並依目前國內五千分之一坐標格網及圖幅編號予以彙編，且內容應包含流域範圍主體、標題方塊、註解方塊、圖例方塊、方格北與比例尺等部份，如圖 6-1、6-2，說明如下；

1. 流域涵蓋範圍主體(The Body of a Flood Map)：如圖 6-3。

- (1) 五千分之一坐標格網、圖幅編號。
- (2) 行政界線。
- (3) 涵蓋行政區。
- (4) 河川或水系。

2. 標題方塊(The Title Block)：如圖 6-4。

- (1) 圖名。

- (2) 縣(市)別。
- (3) 河川(流域)名稱。
- (4) 涵蓋行政區。
- (5) 圖幅索引字樣。
- (6) 圖幅總數。
- (7) 圖號。
- (8) 版次。
- (9) 製圖時間。
- (10) 製圖單位。
- (11) 製圖單位圖誌。

3. 方格北、比例尺方塊：如圖 6-5。

二、洪氾區範圍圖：應包含洪氾區範圍圖主體、標題方塊、圖幅接合表、註解方塊、圖例方塊、方格北與比例尺等部份，如圖 6-6~6-7，有關各部份之規格尺寸及內容說明如下；

1. 洪氾區範圍圖主體 (The Body of a Flood Map)：應包含洪氾區域相片基本圖或地形圖、坐標格網 (TWD 97 坐標) 及經線與緯線坐標值等主要部份，而洪氾區範圍圖主體內容應標示如下：如圖 6-8。

- (1) 鄉、鎮、市、區界線。
- (2) 河川行水區域線。
- (3) 河川區域線。
- (4) 斷面位置線。
- (5) 河(海岸線)里程。
- (6) 警戒水位高程。
- (7) 淹水範圍及深度。

2. 標題方塊 (The Title Block)：如圖 6-9。

- (1) 圖名。
- (2) 縣(市)別。
- (3) 河川(流域)名稱。
- (4) 涵蓋行政區。
- (5) 圖幅分幅說明。
- (6) 縣(市)位置圖。
- (7) 圖號。
- (8) 版次。
- (9) 製圖時間。
- (10) 製圖單位。
- (11) 製圖單位圖誌。

3. 圖幅接合表：應包含行政界線、相鄰洪氾區範圍圖圖號之標示，如圖 6-10。

4. 註解方塊 (Note)：應說明洪氾區範圍圖繪製之水文分析方法、水理分析方法、圖籍精度及比例尺、資料來源、洪水重現期距，以及洪氾區範圍圖適用範圍與條件，如圖 6-11。

5. 圖例方塊 (Legend)：如圖 6-12。

- (1) 鄉、鎮、市、區界線圖例。
- (2) 河川行水區域線圖例。
- (3) 河川區域線圖例。
- (4) 斷面位置線圖例。
- (5) 河(海岸線)里程圖例。
- (6) 警戒水位高程圖例。
- (7) 淹水範圍及深度圖例。

6. 方格北、比例尺方塊：同洪氾區圖幅索引方格北、比例尺方塊內容，如圖 6-13。

### 三、洪氾區圖幅索引圖圖幅大小及格式

1. 圖幅尺寸：寬 59.4 公分 × 長 84.1 公分。(參考美國 FEMA 洪水保險費率圖、林務局農林航空測量所產製五千分之一相片基本圖圖幅尺寸及目前一般紙張規格 A1 大小)
2. 流域涵蓋範圍主體圖幅圖尺寸：寬 51.5 公分 × 長 55.5 公分。
3. 標題方塊尺寸：寬 6 公分 × 長 10 公分。
4. 方格北、比例尺方塊尺寸：寬 10 公分 × 長 10 公分。

### 四、洪氾區範圍圖圖幅大小及格式

1. 圖幅尺寸：同洪氾區圖幅索引圖尺寸。
2. 洪氾區範圍圖主體尺寸：同洪氾區流域涵蓋範圍主體圖尺寸。
3. 標題方塊尺寸：同洪氾區圖幅索引圖標題方塊尺寸。
4. 圖幅接合表方塊尺寸：寬 10 公分 × 長 10 公分。
5. 註解方塊尺寸：寬 10 公分 × 長 10 公分。
6. 圖例方塊尺寸：寬 10 公分 × 長 10 公分。

方格北、比例尺方塊尺寸：同洪氾區圖幅索引圖方格北、比例尺方塊尺寸。



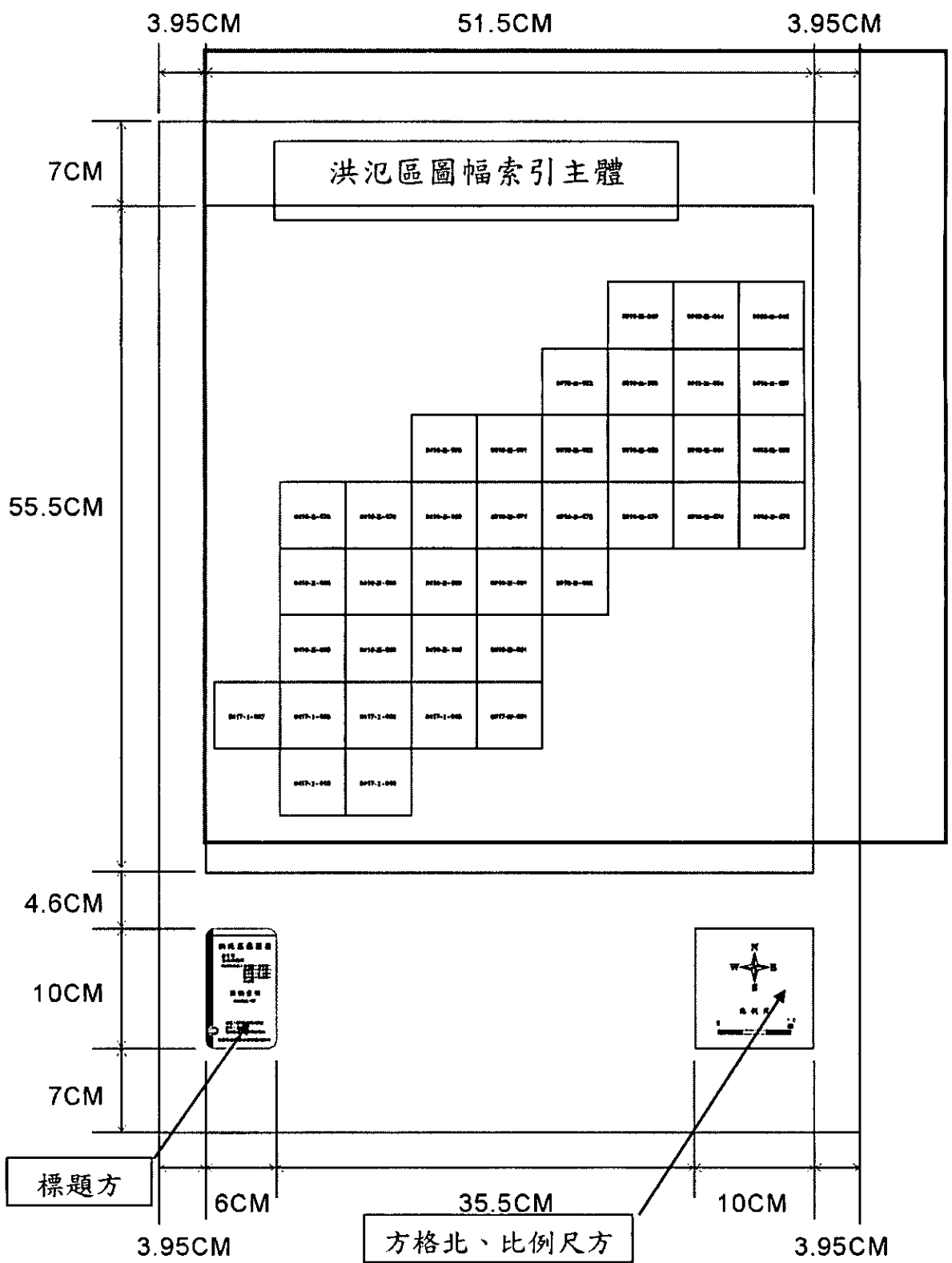


圖 6-2 洪氾區圖幅索引格式及尺寸 (59.4 公分 × 84.1 公分, A1 大小)

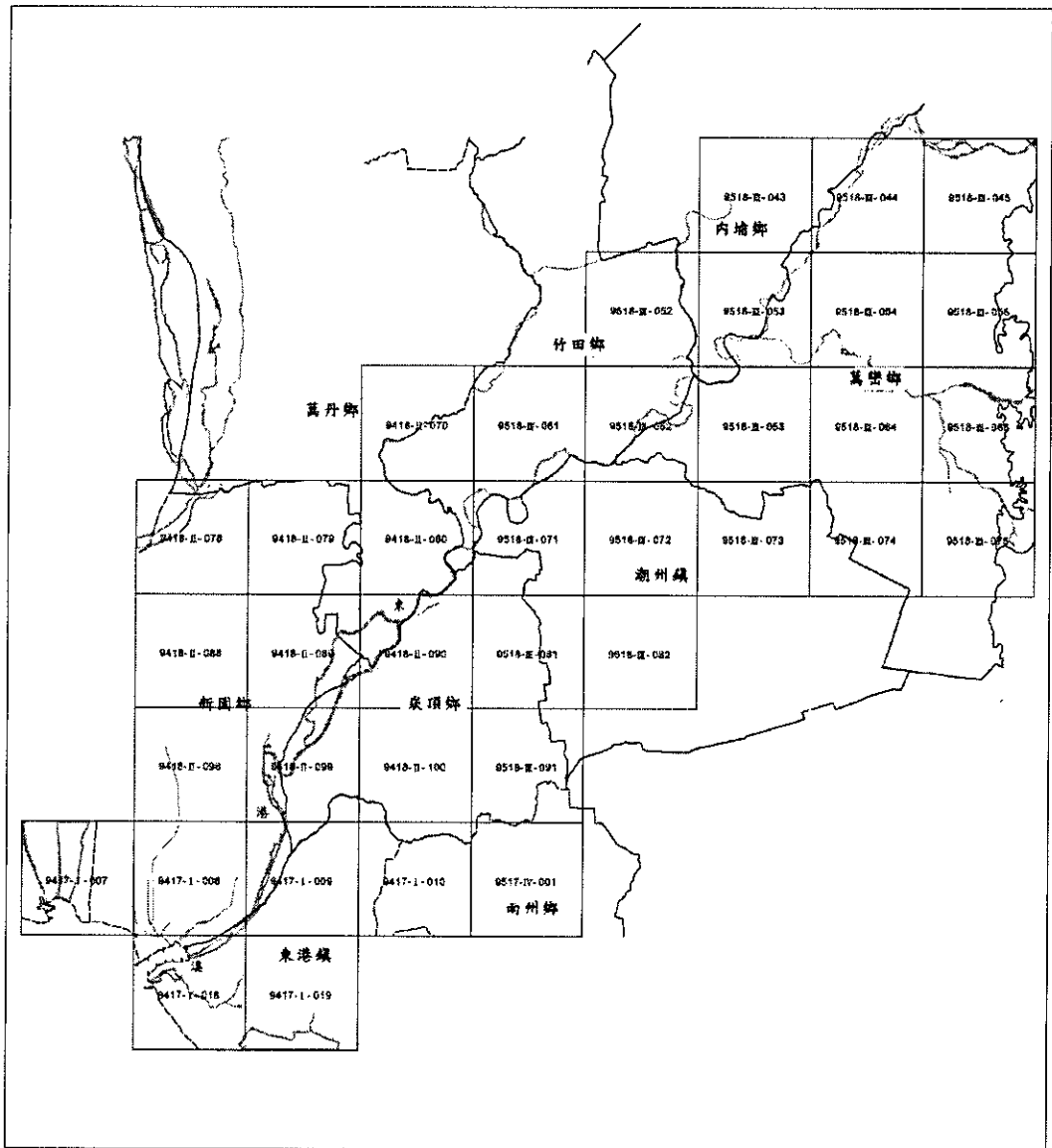


圖 6-3 洪氾區圖幅索引主體 (10 公分 × 10 公分)

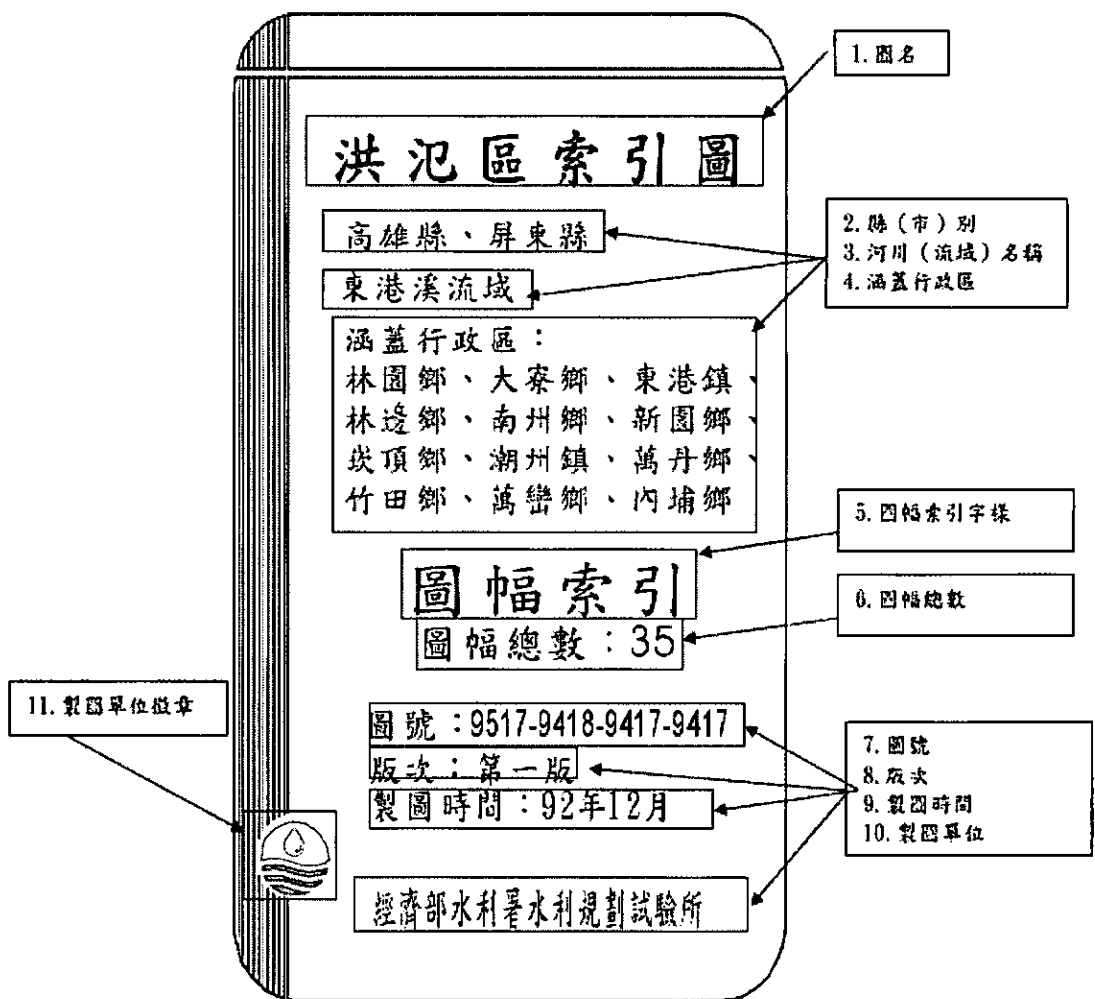


圖 6-4 洪氾區圖幅索引標題方塊 (10 公分 × 10 公分)



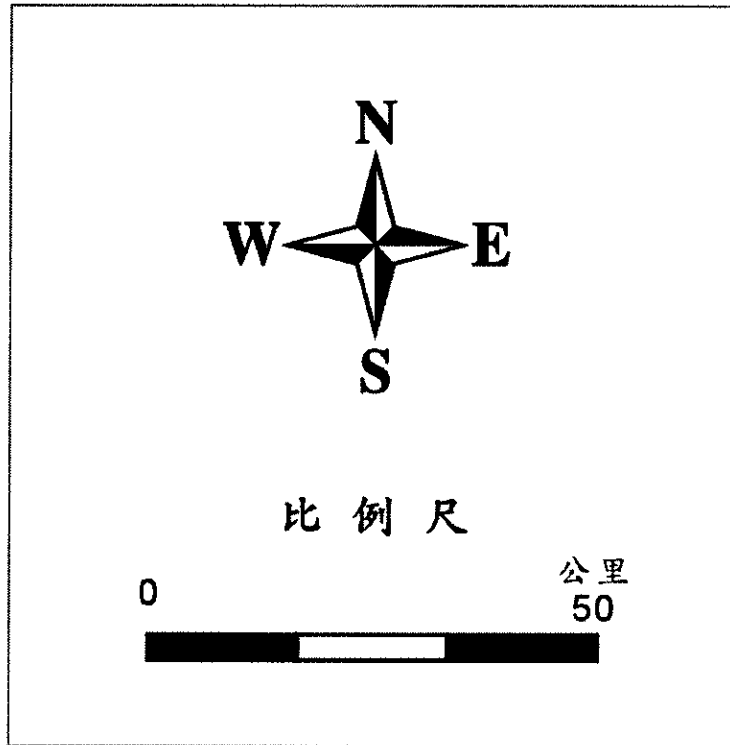


圖 6-5 洪氾區圖幅索引方格北、比例尺方塊 (10 公分 × 10 公分)

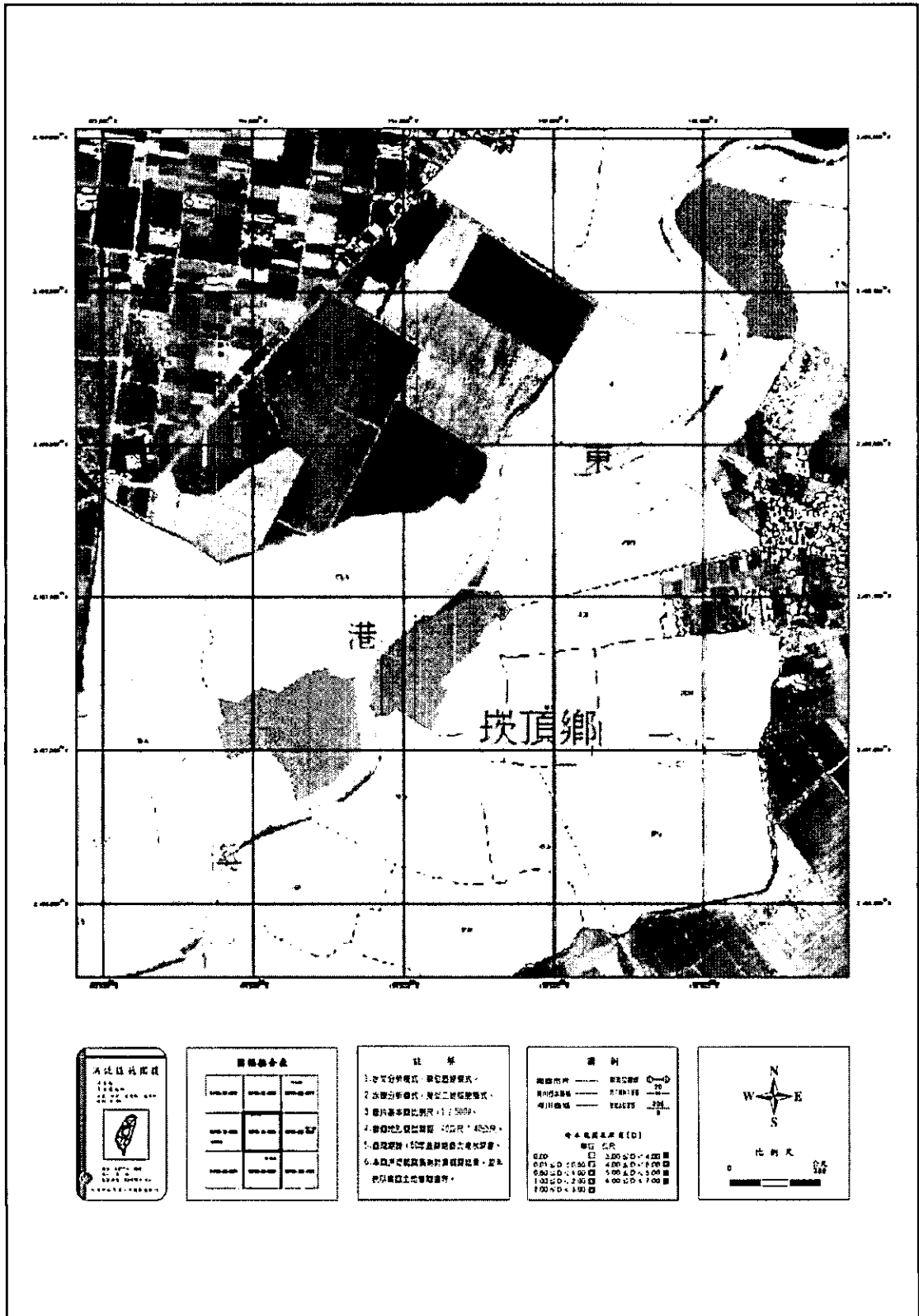


圖 6-6 洪氾區範圍圖

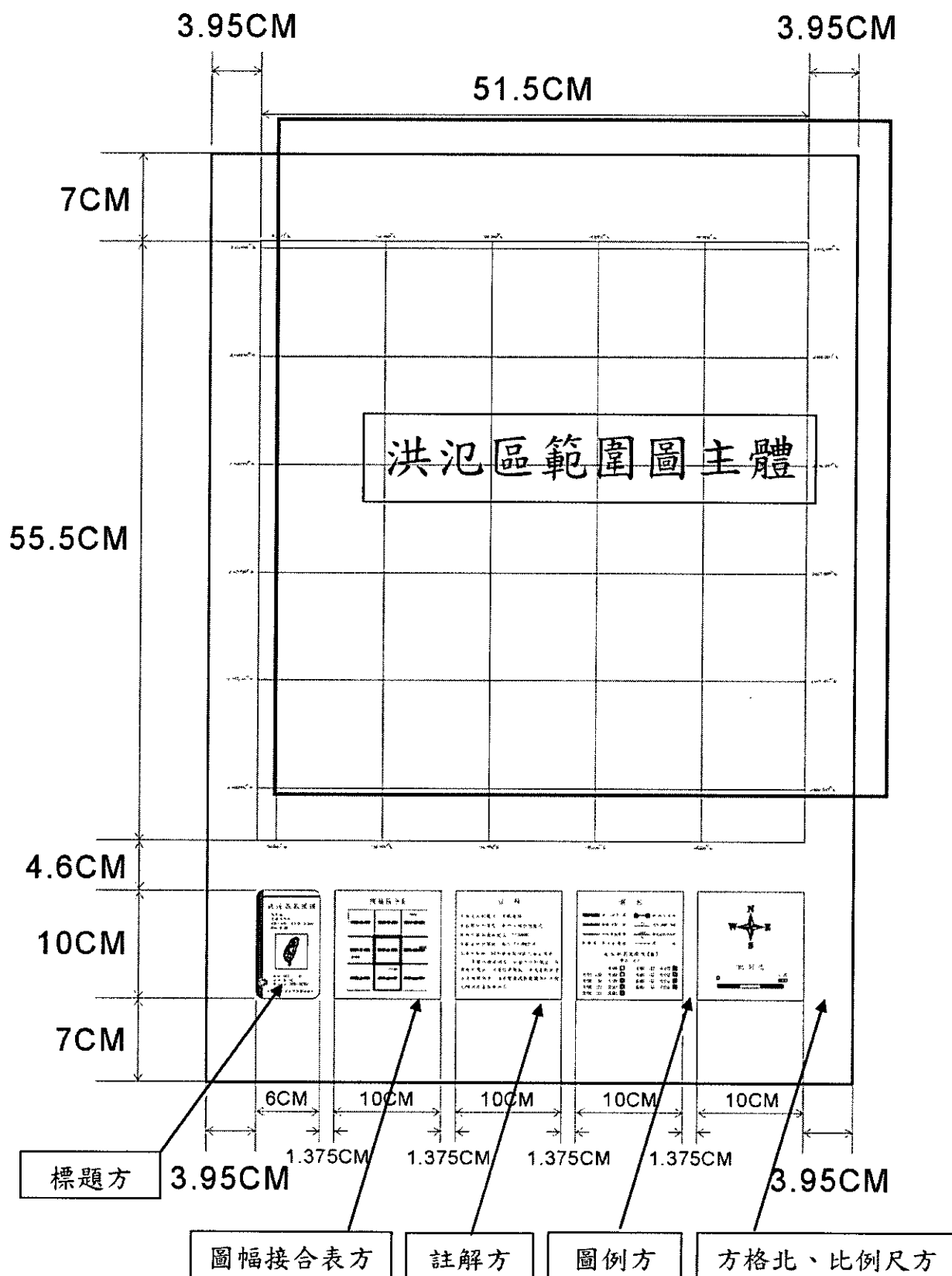


圖 6-7 洪氾圖圖幅格式及尺寸 (59.4 公分 × 84.1 公分, A1 大小)

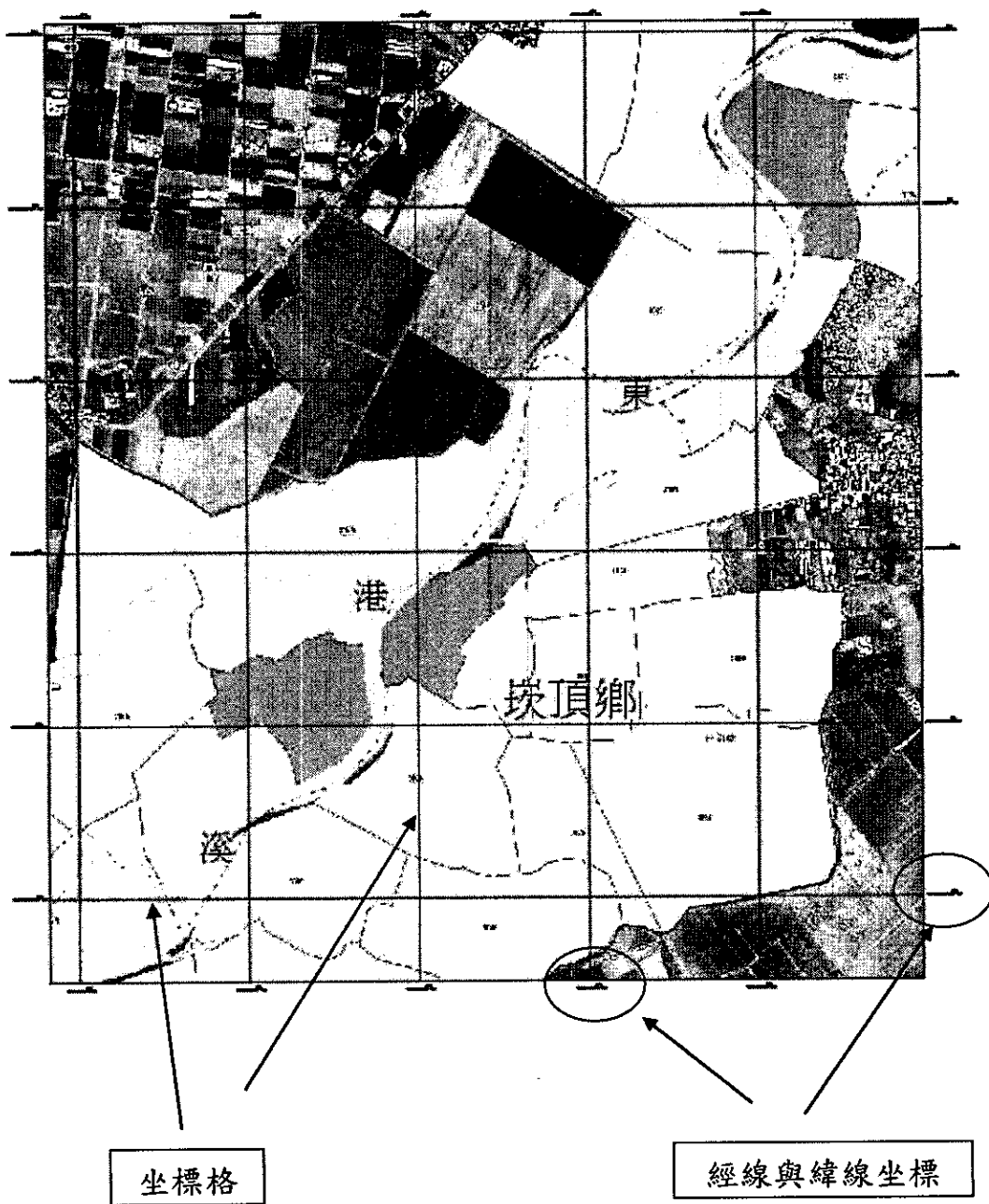


圖 6-8 洪氾圖主體格式及尺寸 (51.5 公分 × 55.5 公分)

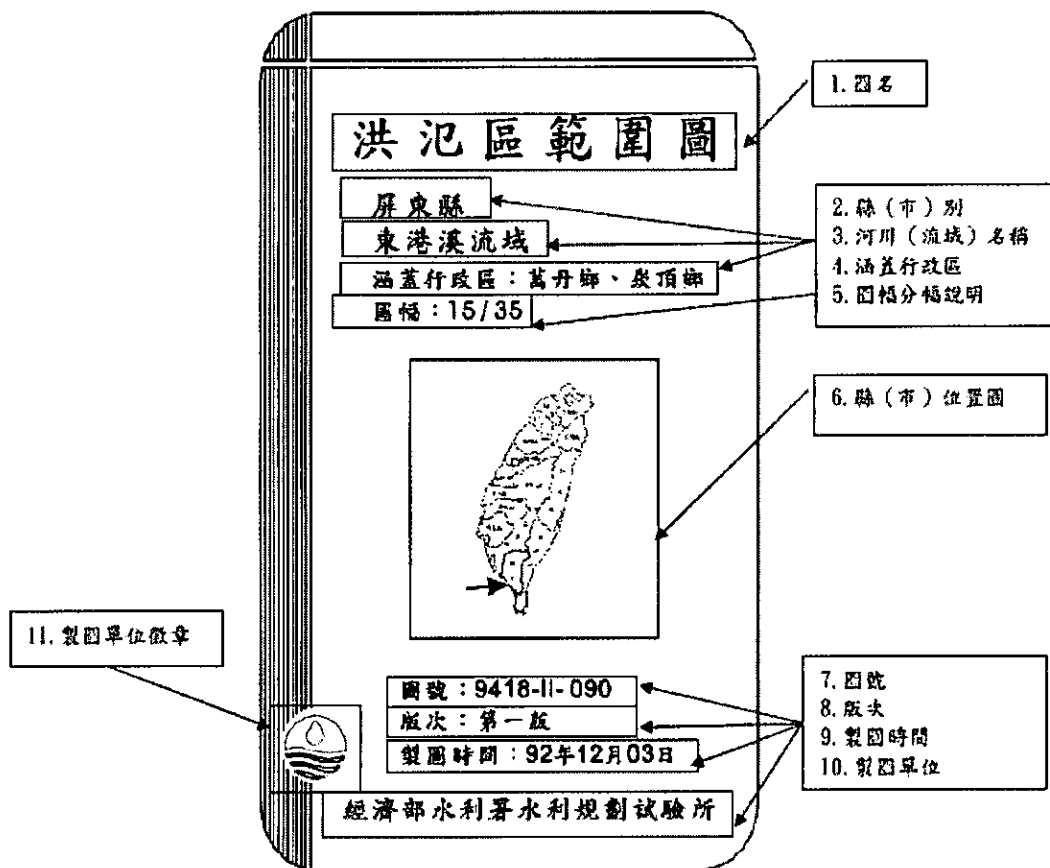


圖 6-9 標題方塊格式及尺寸 (6 公分 × 10 公分)

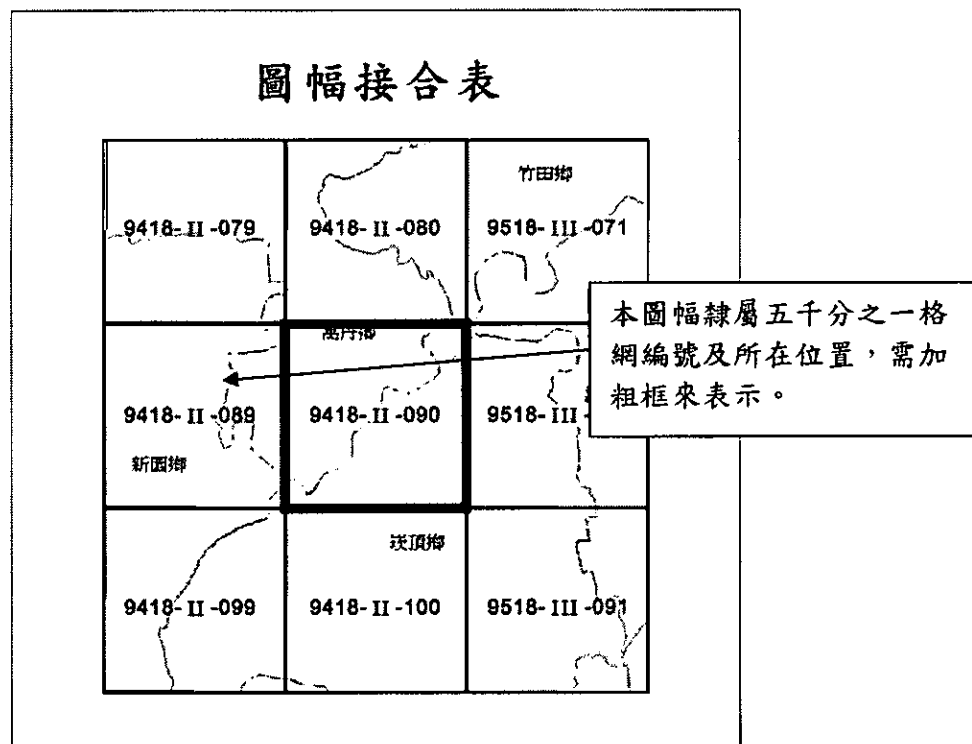


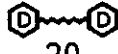
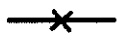
圖 6-10 圖幅接合表方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分)

## 註 解

1. 水文分析模式：單位歷線模式。
2. 水理分析模式：擬似二維核胞模式。
3. 像片基本圖比例尺：1 / 5000。
4. 數值地形模型間距：40公尺 \* 40公尺。
5. 重現期距：50年重線期最大淹水深度。
6. 本圖洪泛範圍係為計算模擬結果，並非表示實際土地管制邊界。

應依實際選用之水文、水理模式、比例尺、數值地形間距、重現期距等資訊，作修改或更新。

圖 6-11 註解方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分)

圖 例		
鄉鎮市界	— · · —	
河川行水區域	———	斷面位置線 
河川區域	———	河(海岸)里程 
		警戒水位高程 $\frac{205}{6}$

<b>淹水範圍及深度(D)</b>		
單位：公尺		
0.00	□	3.00 ≤ D < 4.00
0.01 ≤ D < 0.50	□	4.00 ≤ D < 5.00
0.50 ≤ D < 1.00	□	5.00 ≤ D < 6.00
1.00 ≤ D < 2.00	□	6.00 ≤ D < 7.00
2.00 ≤ D < 3.00	□	

圖 6-12 圖例方塊格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分)

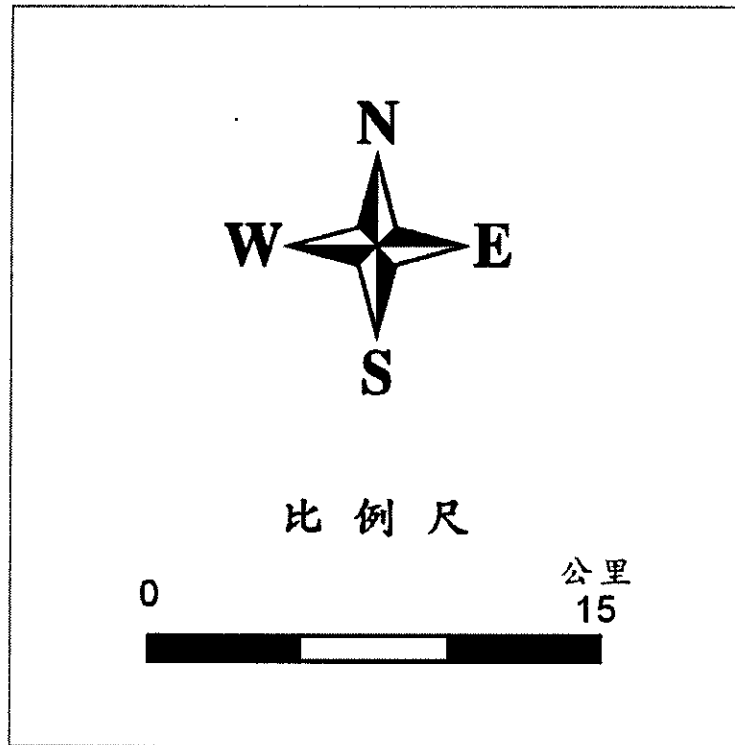


圖 6-13 方格北、比例尺格式及尺寸 (10 公分 × 10 公分)

## 6.4 詮釋資料製作

製作洪氾圖籍所需求與產生之圖資內容，均須製作詮釋資料。

說明：

- 一、本節所指詮釋資料製作，適用於 6.2 所述之三大類檔案形式。
- 二、前述圖資與內容之詮釋資料可，參考內政部「地理資訊目錄檢索及流通交換系統」建置。內容如下：
  1. 識別資訊(Identification Information)
  2. 資料品質資訊(Data Quality Information)
  3. 空間資料組織資訊(Spatial Data Organization Information)
  4. 空間參考資訊(Spatial Reference Information)
  5. 實體與屬性資訊(Entity and Attribute Information)
  6. 供應資訊(Distribution Information)
  7. 詮釋資料參考資訊(Metadata Reference Information)
  8. 引用資訊(Citation Information)
  9. 時段資訊(Time Period Information)
  10. 聯絡資訊(Contact Information)
  11. 其他資訊



## 第七章 水文及水理之不確定性分析

### 7.1 目的

評估水文/水理分析結果受到具不確定性因子之影響。

說明：

- 一 不確定性(Uncertainty)之存在乃因於對事件或現象發生的機制及過程由於資訊缺乏完整性而無法窺其全貌。因而可能以偏概全，對事件的真相瞭解不清。
- 二 工程設計、規劃及操作，在本質上乃是一種在各種不確定性存在之環境下作決策的過程。因此，無法對設計及規劃之成果能有完全的掌握，而存在某種程度上的風險及不可靠性。
- 三 水文/水理分析中不確定性可來自：
  1. 模式：模式行為與現實系統之差異。
  2. 參數：無法正確掌握模式之參數與輸入值
  3. 資訊：(1) 量測誤差；(2) 資訊之不一致；(3) 傳輸與處理；(4) 不具代表性。
- 四 不確定性分析(Uncertainty analysis)不僅可提供一個正式及有系統的平台來評估模式輸出所具有之不確定性。同時亦可進行敏感度分析(Sensitivity Analysis)。

### 7.2 不確定性之表述

分析具不確定性之因子(輸入、輸出)可由其統計特性加以表述。

說明：

水文水理分析中之輸入、輸出及其他具不確定性因子可由下列統計特性來表述

一、機率密度函數(Probability Density Function, PDF):屬最完整之統計資訊的表達。

二、統計動差 (Statistical Moments): 變異數, 標準偏差, 變異係數等。

三、信賴區間 (Confidence Interval): 為一具有某特定的機率包含未知之真值的數值區間。

### 7.3 不確定性分析流程

水文及水理不確定性分析步驟為

1. 模式之特性分析及認定具有不確定性之因子及訂定其統計特性。
2. 決定不確定性分析方法。
3. 由所選用之不確定性方法, 求得模式輸出之統計特性。
4. 評估模式輸入不確定性對輸出之影響程度。

說明:

此為模式不確定性分析的大概步驟, 仍需依實際研究課題而有所改變。

### 7.4 不確定性因子之特性分析

不確定性因子之特性分析包括模式本身性質之探討與輸入參數之統計分析。

說明:

一、 模式性質之探討項目包括:

1. 模式理論及操作之複雜性。
2. 模式輸入參數與輸出結果之代表意義及其相關性。
3. 模式參數率定之難易程度。

二、不確定性因子之統計分析：收集具有不確定性因子的資料並計算統計動差(包括平均值、變異性、偏態係數、峰度係數、相關係數)及其合適之機率分佈函數。各統計量計算公式及分佈函數之檢定方法可參見 4.5 節。

## 7.5 不確定性分析方法之研選

分析方法之選擇取決於所蒐集的資料，模式之複雜性及分析結果之要求。

說明：

一、不確定分析方法之選定取決於

1. 模式之特性分析結果。
2. 資訊(資料)是否可得。
3. 結果之精確度。

二、不確定性分析方法之分類

1. 解析法：

(1) 類型：

A. 機率分佈推演法(Derived Distribution)法

可由相關變數之機率分佈，透過函數關係推導出其他變數之機率分佈。

B. 積分轉換(Integral Transform)法

利用積分轉換與機率分佈函數之唯一對應關係與摺疊積分(Convolution Integral)在某些獨特狀況下來推導模式輸出之統計特性。其中積分轉換法有：

(i) Mellin 轉換：對相乘性之模式為佳。

(ii) Fourier, Laplace 及 Exponential 轉換：對線性(相加性)模式特別有效。

## (2) 優缺點

A.優點：能推導完整統計資訊。

B.缺點：在實際問題上之用處有限。

## 2.近似法

### (1) 近似法之類型

#### A. 一階變異數 (First-Order Variance Estimation, FOVE) 法

(a)若已知  $n$  個模式輸入( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )及輸出( $W$ )之相關式,對其作一階泰勒展開來估計輸出之期望值及變異數。

#### (b) FOVE 方法的綜評

(i) FOVE 法不需知道隨機變數之機率分佈。此可謂其優點亦是缺點。

(ii) FOVE 法的觀念簡單,其最大的計算量在於敏感係數的評估。

(iii) 對一個解析(Analytical)函數,敏感係數的計算很直接了當。但面對一個複雜或隱形的模式(如電腦程式),或圖/表,其計算就比較費時。

#### B. 機率點估計(Probabilistic Point Estimate, PPE)法

(a) 在隨機變數(連續或非連續)之樣本空間(Sample Space)中選用有限的點來代表整個樣本空間之機率及統計特性。

(b) 方法：(i) Rosenblueth 法及其他之變化。

(ii) Harr 法與其他之變化。

(c) 在使用上不受模式形式的限制。一般僅需提供具有不確定因數  $\sigma$  的統計動差。

#### C 蒙地卡羅法

- (a) 蒙地卡羅模擬法是一個隨機的取樣法；換言之，任何一次取樣將有可能取到參數定義域中的任何位置，一般而言，樣本數愈大則所得的解愈正確。
- (b) 最基本、最簡單的不確定性分析方法。
- (c) 計算量過大，所需模擬數組的數目又無法準確估計，以致無法確知所得之輸出函數是否具有足夠的代表性及準確性。

## (2) 近似法之優缺點

- A.能適用於複雜的模式。
- B.僅能估計模式輸出之統計動差。

三、上述不確定性方法理論及比較請參閱附錄 G。

## 7.6 模式輸出之統計分析

由選定之不確定性方法求得模式輸出之統計特性。

說明：

- 一、若分析所用之模式為簡單模式，則機率分佈推演法、積分轉換及 FOVE 法可用來求得模式輸出之統計特性。
- 二、若為複雜的模式，則可採用以下步驟來進行不確定性分析：
  - 1.計算輸入參數之統計特性。
  - 2.應用蒙地卡羅法或點估法模擬輸入參數值。
  - 3.將參數模擬值輸入模式演算，求得模式輸出值。
  - 4.計算模式輸出之統計特性。
- 三、上述不確定性方法分析步驟詳細內容請參閱附錄 G。

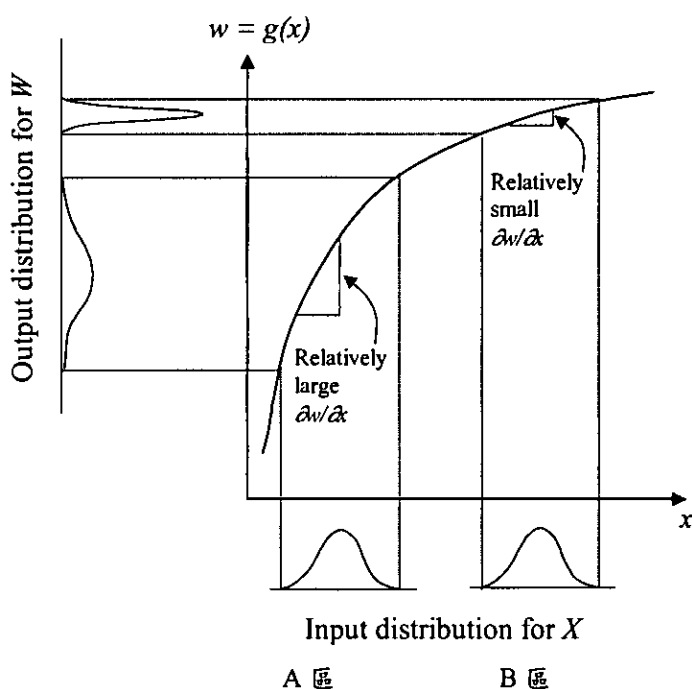
## 7.7 模式輸出不確定性之評估

模式輸出之不確定性大小視輸出(W)對輸入參數之敏感度 $\left(\frac{\partial W}{\partial X}\right)$ 及參數本身之不確定性 $s_x^2$ (即變異數)而定。

說明：

一、 即由模式輸出之平均值、變異數與信賴區間來評估模式輸入不確定性對模式之影響程度。

二、 分析範例：



1. 假設 A 區與 B 區之值具有相同的變異程度。
2. 經上圖所示 A 區模式輸出對輸入之敏感度 $\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)$ 大於 B 區，顯示 A 區之參數之不確定性對模式輸出不確定性的影響程度大於 B 區。
3. 參數之平均值對模式輸出之不確定性不具影響力。

## 第八章 依風險考量(Risk-Based)之分析與設計

### 8.1 目的

洪氾區之訂定應考量所面對之不確定性，洪災損失及防洪工程成本來進行合理且較全盤的決策分析。

說明：

- 一、由於洪水產生之隨機性及水文、水理分析中存在之不確定性，任何防洪措施(包括洪氾區之劃分)均可視為在不確定環境下之決策過程，故決策結果並非萬無一失。
- 二、洪氾區的訂定應盡量考慮其中成本、效益、風險之間的關聯性，以期達到公共資源利用與分配之公平性與合理性。

### 8.2 基本概念

依風險考量之決策流程同時考慮失敗機率與經濟因素，包括工程成本及洪災損失。

說明：

- 一、防洪減災工程之成本，洪災損失及失敗機率(由重現期距代表)之間的關係可如圖 8-1 所示。
- 二、依風險考量之決策則針對工程成本、洪災損失及失敗機率三者求一平衡來訂定防洪標準。

### 8.3 經濟風險之計算

對某特定洪氾區其所面對之經濟風險值乃取決於失敗機率與所對應之洪災損失之大小。

說明：

- 一、在具有不確定性之環境下所做的任何決策均有某種程度上的失敗風險及其

所對應之不良後果(可能包括政治、經濟、財務等)。

二、洪氾區之訂定為一決策過程，其結果並非在任何時空均無瑕疵。就某一特定之保護標準下(如百年洪水)所訂定之洪氾區本身也未必能在所有洪水事件中盡如人意。此乃因為水文事件發生的隨機性及水文/水理分析與計算結果之不確定性所致。

三、由於水文過程之隨機性及其他具不確定性因子之存在，再某一特定保護標準下所劃設的洪氾區所對應之經濟風險可由下式計算之。

$$ED(Q_T, Q) = P_f(Q) * D(Q_T, Q) \quad (8-1)$$

式中  $ED(Q_T, Q)$  為在某特定洪水流量  $Q$  與洪氾區劃設標準水量  $Q_T$  下之經濟風險量； $P_f(Q)$  為洪水流量  $Q$  發生之機率； $D(Q_T, Q)$  為所對應之洪災損失值。

四、由於洪水量發生具有隨機性，因此經濟風險應考慮在各種可能發生之洪水量之機率。為此，在僅考慮洪水量之隨機性情況下之經濟風險值可由下式算之。

$$ED(Q_T) = \int D(Q_T, q) f_Q(q) dq \quad (8-2a)$$

$$= \int D(Q_T, q) dF_Q(q) \quad (8-2b)$$

式中  $ED(Q_T)$  為在一特定時段及劃設標準水量  $Q_T$  下之經濟風險值； $f_Q(q)$  為洪水量之機率分佈函數； $F_Q(q)$  為洪水量之累積機率函數。在實際計算中，(8-2b 式)多由下列之數值方式來估算；

$$ED(Q_T) \approx \sum_i \bar{D}(Q_T, q_i) \Delta F_Q(q_i) \quad (8-3)$$

式中  $\bar{D}(Q_T, q_i)$  及  $\Delta F_Q(q_i)$  分別為第  $i$  個流量間隔之平均洪災損失量及發生機率。(8-2)-(8-3) 式可由圖 8-2 示意。

五、請注意的是在用 (8-2) 或 (8-3) 式估計經濟風險值  $ED(Q_T)$  時，一般所用洪水量之為年最大洪峰流量，因此，經濟風險值  $ED(Q_T)$  代表年平均洪災損失。

六、在此，依風險考量之決策僅考慮可用金錢度量之有形經濟因素(Tangible Economic factors)。在洪氾區訂定與設置問題中，有形之經濟因素大致可分



為直接與間接兩類。直接因素包括工程成本、維修成本及各類洪災損失(例如家居財務與農作物等)。而間接因素可能包含生產力(量)降低，延誤工期等。有關有形與無形，直接與間接之洪災損失可參見附錄。

七、應該注意的是 (8-2)或(8-3)式僅考慮洪峰流量自然發生之隨機性，並未考慮洪氾區劃設標準流量 $Q_T$ 本身因水文/水理分析中之不確定性所具有之不確定性。 $Q_T$  或由其本身所延伸之數據(如水位)，所具之不確定性可由第七章所述之合適方法予以量化。當同時考慮洪峰流量之隨機性與劃設標準流量 $Q_T$ 之不確定性時，年平均洪災損失在洪氾區劃設為 T 年之情況下可由下試算之。

$$ED(T) = \int \bar{D}(Q_T|q) dF_Q(q) \quad (8-4)$$

式中

$$\bar{D}(Q_T|q) = \int D(q_T, q) dH_Q(q_T) \quad (8-5)$$

其中  $dH_Q(q_T)$  為劃設洪氾區之標準流量(或水位)之機率分佈； $\bar{D}(Q_T|q)$  為再某一特定洪水量 $q$ 時，考慮洪氾區劃設流量 $Q_T$ 及其相關水位不確定性下之平均洪災損失值。

## 8.4 評估洪氾區之經濟風險所需資訊

影響洪氾區之經濟風險因素包括受洪氾區劃設影響之地區內人口、經濟、水文、地文，及水理狀況。

說明：

- 一、人口在洪氾區內之分佈將影響受洪水威脅及可能傷亡之人數。
- 二、經濟因素應考慮洪氾區內之經濟結構包括就業、生產等。詳細情形可參閱表 8-1。
- 三、水文地文因素包括降雨或洪水地表植被及地形，降雨強度-延時-頻率關係或洪水-頻率關係。
- 四、水理因素包括河川及洪氾區之斷面、坡度及粗糙度等。

## 8.5 洪氾區劃定之方法

洪氾區依經濟風險方法的劃設，基本上是根據圖 8-1 來決定最佳劃設標準(重現期距、流量或水位)以期所對應的總經濟成本為最低。

說明：

一、總成本包括洪氾區劃設之工程成本及經濟風險，即

$$\text{Minimize } TC(T) = FC(T) + ED(T) \quad (8-6)$$

式中  $TC(T)$  為總年平均成本(Total Annual Expected Cost)； $FC(T)$  為年工程成本(Annual first cost)；及  $ED(T)$  為年平均洪災損失(Annual Expected Flood Damage)； $T$  為劃設標準(如重現期距， $T$ )。洪災損失一般以年為單位，故  $FC(T)$  應根據適合之利率及期限調整為以年為基準之成本。

二、如果有適當之經濟及洪災損失資料，則可以利用(8-5)式及上述計算經濟風險的方法來決定最佳之劃設標準。

三、(8-5)式中之年平均洪災損失， $ED(T)$ ，之計算須建立於流量-頻率-災損關係上(如圖 8-2 所示)。針對某特定劃設標準下之流量  $q_T$ ，年平均洪災損失則對應圖 8-2 之第 IV 象限中之頻率-損災曲線下之面積。

四、如果無合適的洪災損失可資利用則無法利用 (8-6)式求得最佳劃設標準。在此情況下，可利用水理分析就某特定劃設標準，計算在不同頻率下的洪水於洪氾區內所造成之受災人數或面積及所對應之年平均受災人數或淹水面積。簡單的說，即 (8-2)式或(8-4)式中之洪災損失項， $D(Q_T, q)$  或  $D(q_T, q)$ ，改為受災人數或淹水面積。

五、根據在不同劃設標準之工程成本及其所對應之年平均受災人數或淹水面積來逐次評估從低到高劃設標準之邊際減災成本，即

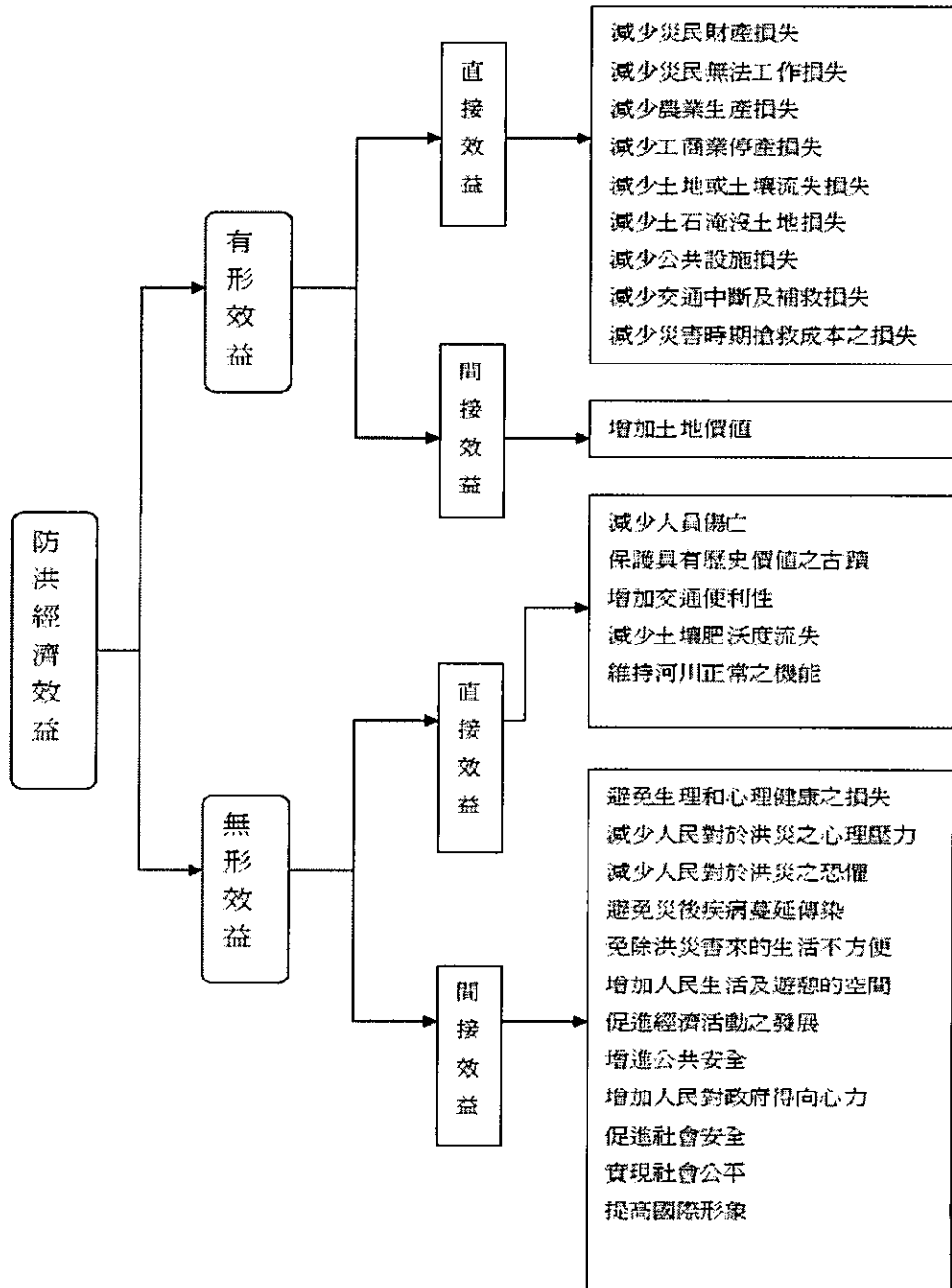
$$MC_{T_1 \rightarrow T_2} = -\frac{\Delta C}{\Delta Y} = \frac{FC(T_2) - FC(T_1)}{Y(T_1) - Y(T_2)} \quad (8-7)$$

式中  $MC$  為邊際成本(Marginal Cost)； $T_1$  與  $T_2$  為洪氾區不同的劃設標準，且  $T_2 > T_1$ ； $FC(T)$  為在劃設標準  $T$  下之工程成本； $Y(T)$  為在劃設標準  $T$  下之受災人數或淹水面積。當  $T_1 < T_2$  時，一般是  $FC(T_1) < FC(T_2)$ ，而

$$Y(T_1) > Y(T_2)。$$

六、通常工程成本、淹水面積或受災人數與劃設標準的關係如圖 8-3 所示。從邊際成本與劃設標準的變化及趨勢，決策者可以訂定出一個合理的劃設準則。

表 8-1 防洪經濟效益分類表



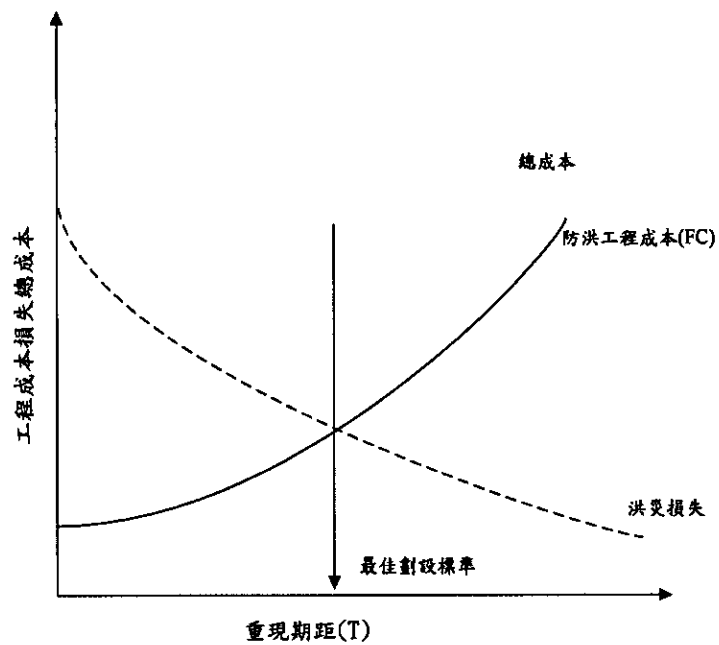


圖 8-1 防洪工程成本與洪災損失關係圖

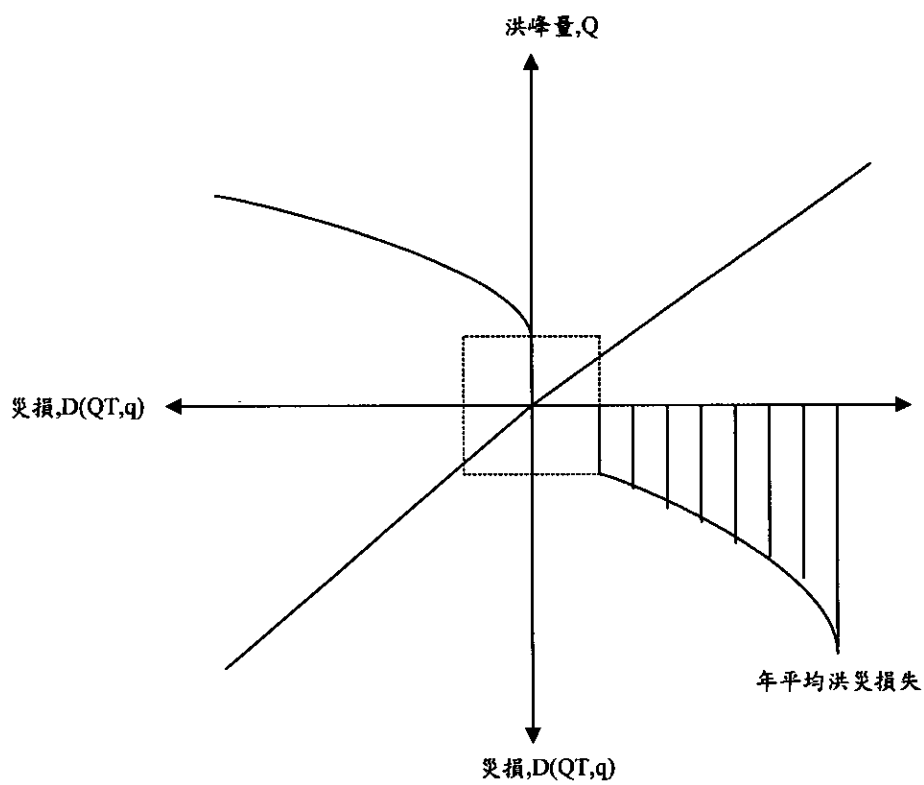


圖 8-2 洪災損失與發生機率圖

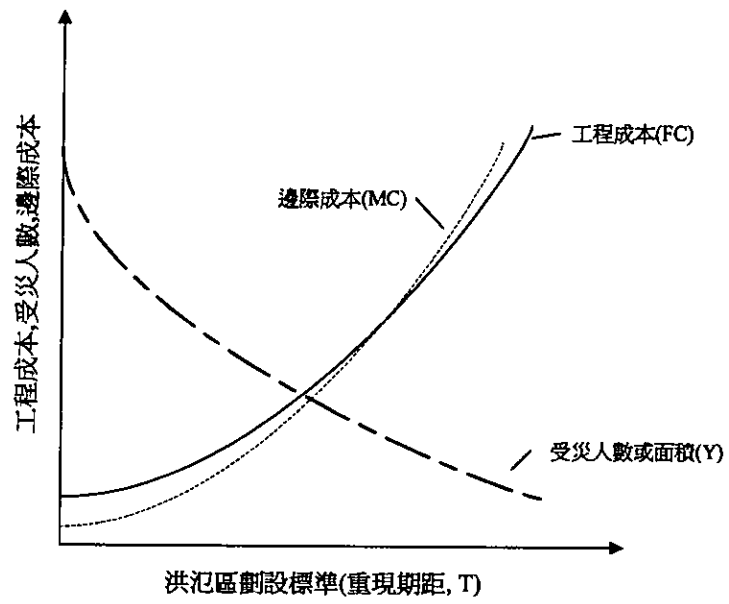


圖 8-3 工程成本、淹水面積或受災人數，邊際成本與劃設標準關係圖

## 附錄 A 水文資料之校正

### A.1 雨量記錄之校正

由於雨量站之改變位置，或儀器本身之誤差，常使雨量記錄站發生連續之偏差，必須將此類雨量資料加以校正，令其恢復原來正確之記錄。常採用雙累積曲線(Double Mass Curve)作雨量資料之校正，稱為「雙累積曲線法」。所根據之原則為相鄰之數處雨量站具相同之水文環境，即有水文均一性(Hydrologic Homogeneity)，也就是，被校正水文站之累積雨量應與四周各水文站之平均累積雨量呈線性或比例關係。該水文站之雨量記錄若無誤差，則由各點所繪成之直線，其斜率應為一定；否則，該直線之斜率會發生變化，成為兩段不同斜率之相連直線或錯開之兩平行線。

一般繪製累積雨量曲線之方法為取縱座標為欲修正記錄雨量站 X 之累積雨量，橫座標為周圍鄰近雨量站多站之平均累積雨量。雙累積曲線大多認為目前之記錄為正確，以修正以前之雨量記錄。其方法為：

$$P_{adj} = P_{obs} \left( \frac{S_{adj}}{S_{obs}} \right) \quad (A-1)$$

式中， $P_{adj}$  為校正之雨量； $P_{obs}$  為觀測雨量； $S_{adj}$  為校正累積雨量線之斜率； $S_{obs}$  為觀測累積雨量線之斜率， $S_{adj}$  及  $S_{obs}$  係年雨量資料分析所得。應用雙累積曲線法校正雨量有兩注意事項宜說明者：

1. 雙累積曲線分析只適宜長時間，如年雨量或季雨量，不適用於日雨量及短時間暴雨記錄。
2. 實際累積雨量線繪圖會顯示若干上下點記錄之波動，除非連續五年以上之記錄發生偏斜，否則不必加以校正。

### A.2 流量記錄之校正

在水文測定項目中，以流量觀測較為困難。然而，因本省河流流短坡陡，含砂量大，雨量強度亦大，以及河床不安定等原因，影響流量測定之精度至大，

因此在利用各流域測站之既有流量記錄作為水資源開發之依據前，應就其可靠性加以審訂修正。茲就流量資料校核之方法及其應注意事項分述如下：

1. 須針對水位一日觀測次數、量測方法及其平均之求法，查明有無缺點以概括瞭解其可靠程度。一般在枯水期流量觀測較準，豐水期則因設備、人力、技術困難等關係，精度較差，尤須注意校核。
2. 查明水位與流量之換算關係(即率定曲線)是否適當。因本省河流斷面常常變更，水位流量關係時有變更，如前後兩次流量測定時間過長，及整理流量記錄人員經驗不足，容易將率定曲線劃分錯誤，且因高水位時未測，曲線之延伸亦多未符實際，均須詳加研討校核。
3. 因高水位流量精度一般欠佳，可利用測站上游全年之降雨量記錄求出雨量與流量之逕流係數。如逕流係數不合理時，可設法修正若干高流量至認為合理為止。
4. 查明測站上游有否圳道引水或水庫調整池等，以確定其流量是否為天然流量或經上游人為引水調整後之觀測流量。

## 附錄 B 水文記錄之補遺

### B.1 雨量記錄之補遺

雨量記錄為重要水文資料之一，其完整性及正確性不可忽略。雨量記錄之補遺乃由於此類記錄之缺漏，其原因有二：(1)人為因素遺失記錄或因事故未能讀取當時雨量記錄；(2)雨量計機件故障。當降雨資料應用在降雨頻率分析、降雨-逕流分析或其他用途時，應力求完整無缺、連續不斷之記錄。如有缺漏之雨量記錄，應填補該站遺失記錄。

#### B.1.1 內插法及正比法

雨量記錄補遺之最常使用方法為內插法(Interpolation Method)及正比法(Normal Ratio Method)。其方法為若集水區內有雨量站 A、B、C 及 X 四站，其中站 A、B、C 為雨量記錄完整者。假設各站之平均年降雨量  $N_A$ 、 $N_B$ 、 $N_C$ 、 $N_X$  為已知，某次暴雨  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  為已知，而  $P$  為未知值。若  $N_A$ 、 $N_B$ 、 $N_C$  與  $N_X$  之差不超過  $N_X$  之 10%，則可用內插法以估算 X 之站某次雨量，其計算公式為，

$$P_X = \frac{1}{3}(P_A + P_B + P_C) \quad (\text{B-1})$$

若鄰站平均年雨量  $N_A$ 、 $N_B$ 、 $N_C$  中任何一值與  $N_X$  之差超過  $N_X$  之 10%，則採用正比法為佳，此法係將正常雨量列入加權(Weighting)，其計算公式為，

$$P_X = \frac{1}{3} \left( \frac{P_A}{N_A} \times N_X + \frac{P_B}{N_B} \times N_X + \frac{P_C}{N_C} \times N_X \right) \quad (\text{B-2})$$

如附近有  $m$  站，(B-2)式可表為

$$\frac{P_X}{N_X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{P_i}{N_i} \quad (\text{B-3})$$

因雨量分佈與地形關係密切，正比法適合於地形變化較大地區之雨量記錄補遺。此外，當選用正比法或內插法時，須選取資料完整之雨量站，且其距離須接近雨量遺失站，儘可能環繞該測站。



### B.1.2 迴歸分析法

除正比法及內插法之外，亦可採用迴歸分析方式，如下式

$$P_x = \sum_{i=1}^m a_i P_i + b \quad (\text{B-4})$$

式中， $P_x$  為推算雨量； $P_i$  為鄰近站雨量； $m$  為鄰近測站數； $a_i$  及  $b$  為待定係數可用最小二乘法求之。

### B.1.3 控制面積法

控制面積法乃運用徐昇氏多邊形原理，其計算方法為若某集水區內有 A、B、C 及 X 雨量站，其中 A、B、C 站為雨量記錄完整者，則先於圖上繪徐昇氏多邊形圖，求得 X 站之控制面積  $A_x$ ，再僅就 A、B、C 三站於圖上新繪成之分界線可將 X 站之原控制面積  $A_x$  劃分為新屬 A、B、C 三站之控制面積  $A_{xA}$ 、 $A_{xB}$ 、 $A_{xC}$ ；若某次暴雨  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  已知， $P_x$  遺失，則其補遺值為：

$$P_x = \frac{(P_A \times A_{xA} + P_B \times A_{xB} + P_C \times A_{xC})}{A_x} \quad (\text{B-5})$$

控制面積法具有無須使用年雨量之優點，然其受限於徐昇氏多邊形法之適用條件。

### B.1.4 四點法

美國國家氣象署利用四站之加權平均推估某一點之降雨，其法為過該點劃二相互垂直線，在每一象限選取有一站，其與欲推估點距離最近，則各站之加權值為該站與該推估點距離平方之倒數，再將各站降雨量乘以其加權值並予以相加，再除以各加權值之總和，即得該點之推估值。

## **B.2 流量記錄之補遺**

流量記錄需補遺之原因為人為因素遺失記錄、因事故未能讀取當時流量記錄、或因機件故障。流量記錄補遺之方法較雨量記錄之補遺方法為多，概述如

下：

### B.2.1 由該站雨量推算

利用同時期觀測雨量與流量之關係，以下列公式推算

$$Q = aR' + bR + c \quad (\text{B-6})$$

式中， $Q$  為推算流量； $R'$  為前期雨量； $R$  為期間雨量； $a$ 、 $b$ 、 $c$  待定係數。本法需以最小二乘法求出係數  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，再以無流量記錄時期之雨量推估河川流量者。

### B.2.2 由鄰近站流量推算

運用相同時期鄰近兩站流量關係，以下列二式進行推估：

$$Q_A = aQ_B + b \quad (\text{B-7})$$

或

$$Q_A = aQ_B^c \quad (\text{B-8})$$

式中， $Q_A$  為推算流量； $Q_B$  為鄰近流量； $a$ 、 $b$ 、 $c$  為待定係數。

應用鄰近兩站(以同河系上-下游兩站者為最佳)的相同時期觀測記錄，以最小二乘方法求出公式中之係數  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。一般而言，由具有長記錄之觀測站來補短記錄流量者，精度較高，但其條件為降雨狀態及逕流情形必須相似。此外，枯水期紀錄的精度比豐水期之精度為佳，主要原因為後者常由局部降雨之發生所致。

### B.2.3 面積比法

若測站之上、下游測站具有較長流量資料，可利用測站之控制面積比例進行補遺。以上、下游測站記錄之完整性可分為以下二方法：

(1) 某站上游或下游鄰近測站有完整流量記錄時

$$Q_A = \left( \frac{A_A}{A_B} \right)^b Q_B \quad (\text{B-9})$$

式中， $Q_A$  為推算流量； $A_A$  為某站流域面積； $Q_B$  為鄰近測站之已知流量；

$A_B$  為鄰近測站之流域面積； $b$  為待定常數。

(2) 某站上、下游鄰近測站均有完整流量記錄時

$$Q_B = Q_A + \left( \frac{A_A^b - A_B^b}{A_C^b - A_A^b} \right) (Q_C - Q_A) \quad (\text{B-10})$$

式中， $Q_B$  為推算流量； $A_A$ ； $A_B$  為某站流域面積； $Q_A$  為某站上游測站之已知流量； $A_C$  為某站上游測站之流域面積； $Q_C$  為某站上游測站之已知流量； $A_C$  為某站上游測站之流域面積； $b$  為待定常數。

若在流域中氣候、地形、地質及植物覆蓋頗為一致，則可假定此流域中各測站之降雨量與流量關係大致相同，則  $b$  值可假設為 1。

#### B.2.4 由雨量及逕流係數推算

根據現有觀測流量期間內之降雨量與逕流量之關係，決定各種降雨情形下(單獨降雨、連續降雨，前期降雨之多寡等)之相對逕流係數，於無流量期間內，由日雨量乘以逕流係數，即可獲得每日流量。

#### B.2.5 降雨-逕流模式法

根據有觀測流量期間內之降雨量與逕流量進行降雨-逕流分析，在求得模式參數後，將流量資料遺失之同時期雨量資料代入降雨-逕流模式中，則可求得流量資料之補值。

#### B.2.6 流量延時曲線

根據長、短兩流量站記錄，利用各種延時流量之比值，就依某特定延時將短記錄變成具有長記錄特性之流量如下：

$$\frac{\text{短年站 } X \text{ 年流量}}{\text{長年站 } X \text{ 流量}} = \frac{\text{短年站推算 } Y \text{ 年流量}}{\text{長年站 } Y \text{ 年流量}} \quad (\text{B-11})$$

短年之流量記錄，可利用附近站記錄年限較長者以比例推算。可以分別繪製兩站同年數之延時曲線，計算各延時之流量比值，將之乘於由附近站具有較長記錄年限延時曲線各相當延時之流量即可。

## 附錄 C 水文資料之延伸

為增加水文分析之可靠度，常要求分析之資料需達一定長度，然常因廢站、新設站、或設站年數不足等因素導致資料長度不足，需向記錄前後時間推估資料值，使資料記錄長度延伸至水文分析之要求。

### C.1 雨量記錄之延伸

若鄰近記錄測站具有較長之雨量資料，則使用雨量補遺法，將資料長度延伸至與鄰近測站雨量記錄相當。若無鄰近雨量測站可供運用，或鄰近雨量站資料長度不足時，可使用序率方法延伸資料長度。以下略述較常使用、簡易之模式。

#### C.1.1 時間序列法

對於年降雨量可藉下列模式進行：

$$Q_i = \bar{Q} + \rho(Q_{i-1} - \bar{Q}) + \varepsilon_i \sigma \sqrt{1 - \rho^2} \quad (\text{C-1})$$

式中， $Q_i$  為第  $i$  年降雨量； $\bar{Q}$  為  $Q$  之平均值； $\rho$  為一階稽延連續相關係數(Lag-1 Serial Correlation Coefficient)； $\sigma$  為  $Q$  之標準偏差； $\varepsilon_i$  為特定分佈之隨機變數，其平均值為 0，變異數為 1。由現有資料求得模式參數  $\bar{Q}$ 、 $\sigma$  及  $\rho$  後，藉程式模擬產生  $\varepsilon_i$  並代入上式，即可求得不同年降雨量  $Q_i$ 。

對於季節性降雨量可藉下列模式進行：

$$Q_{i,j} = \bar{Q}_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_{j-1}} (Q_{i-1,j-1} - \bar{Q}_j) + \varepsilon_{i,j} \sigma_j \sqrt{1 - \rho_j^2} \quad (\text{C-2})$$

其中下標  $j$  表示季節或月份(若為月雨量分析， $j=1\sim 12$ )；下標  $i$  表示 1 至  $n$  年； $\bar{Q}_j$ 、 $\sigma_j$  為各月之平均值、標準偏差； $\rho_j$  為  $Q_j$  及  $Q_{j-1}$  間之連續相關係數； $\varepsilon_{i,j}$  為特定分佈之隨機變數，其平均值為 0，變異數為 1。由現有資料來求得模式參數  $\bar{Q}_j$ 、 $\sigma_j$  及  $\rho_j$  後，藉程式模擬產生  $\varepsilon_{i,j}$  並代入上式，即可求得不同季節性降雨量  $Q_{i,j}$ 。

### C.1.2 馬可夫鏈法

日或時雨量之處理與年或季降雨量頗為不同，其時間稽延之效應可以一階馬可夫模式進行。

機率		時間 i 狀態			
		1	2	...	k
時間 i-1 狀態	1	$P_{11}$	$P_{12}$	...	$P_{1k}$
	2	$P_{21}$	$P_{22}$	...	$P_{2k}$
	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...
	k	$P_{k1}$	$P_{k2}$	...	$P_{kk}$

上列馬可夫轉移矩陣表示已知時間 i-1 之狀態時，時間 i 發生各狀態之機率。其中狀態可為降雨、不降雨或各種降雨強度。欲較適宜地模擬降雨情況，可進一步考慮降雨之季節性狀況及降雨雨型等，應用配合馬可夫轉移矩陣進行模擬。

### C.2 流量記錄之延伸

一般而言，流量記錄年數較短之測站，其鄰近區域亦可能存在較長記錄年限之測站，因此可運用流量補遺諸方法，由鄰近具有較長記錄之流量站，將鄰近測站較短之記錄流量延伸至記錄年數相當。若無鄰近測站資料可供運用，或鄰近測站記錄長度不足時，可使用序率方法延伸資料長度以符合要求。對於年或月流量可藉前述年及月雨量延伸方式，應用(C-1)式及(C-2)式進行。至於日或時流量資料，由於接續之短延時流量資料並不完全隨機且不能以一簡單函數表示，故不可採用年及月流量之延伸方式。因此欲延伸此類流量資料，可先延伸相應之雨量資料，再以適當降雨-逕流模式等轉換為流量資料，或以序率方法來建立雨量與流量之轉換關係。

## 附錄 D 機率分佈函數之合適度檢定

### D.1 卡方檢定 (Chi-Square Test, $\chi^2$ )

計算檢定統計量  $\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - nP_i)^2}{nP_i}$ ，當  $\chi^2 < \chi^2_{\alpha, k-r-1}$  時，資料滿足該假設機率分佈。式中  $n$  為資料個數； $k$  為分組之個數； $P_i$  為各分組內該假設機率分佈之理論機率； $n_i$  為落於各分組之資料個數； $r$  為機率分佈之參數數目；及  $\alpha$  為顯著水準，一般選定  $\alpha = 0.05$ 。組數  $k$  可依  $k = 3.77(n-1)^{2/5}$  推求。若資料同時滿足數個機率分佈，選取具最小  $\chi^2$  值之機率分佈為最適用之機率分佈。

### D.2 標準誤差 (Standard Error, SE)

$$SE = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{(i)} - \hat{X}_{(i)})^2 \right]^{1/2} \quad (D-1)$$

式中， $SE$  = 標準誤差； $n$  = 資料年數； $X_{(i)}$  = 實測資料由大至小排列之第  $i$  大值，即  $X_{(1)} \geq X_{(2)} \geq \dots \geq X_{(n)}$ ；及  $\hat{X}_{(i)}$  = 具有超越機率  $\frac{i}{n+1}$  之推估值。分別計算其標準誤差，選取具最小標準誤差之機率分佈為最適用之機率分佈。

### B.3 機率點繪相關係數 (Probability Plot Correlation Coefficient, PPCC)

對某一順序統計量  $X_{(i)}$  可由點繪法公式估計機率表示為  $F[X_{(i)}] = u_i$ ，其中， $u_i$  為相對於  $X_{(i)}$  之非超越機率。根據某一特定機率分佈模式(稱之為  $H$ )，可得  $u_i$  相對應分位數  $Y_i = H^{-1}(u_i)$ 。在  $n$  個觀測樣本中，機率點繪相關係數可定義為：

$$PPCC = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{(j)} - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\left[ \sum_{i=1}^n (X_{(j)} - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right]^{0.5}} \quad (D-2)$$

其中， $Y_j$  為在假設之機率分佈為  $H(\cdot)$  時， $u_i$  所對應之分位數。如果樣本係由所假設之分佈模式所產生，則所對應之  $X_{(i)}$  對  $Y_{(i)}$  之關係將趨於線性。

#### D.4 均方誤差(Mean-Squared Errors, MSE)

樣本與假設之機率分佈所推估分位數之均方誤差(MSE)，其定義為：

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{(i)} - Y_i)^2 \quad (D-3)$$

式中，MSE 為均方誤差；n 為資料年數； $X_{(i)}$  為實測資料由大至小排列之第 j 大值；及  $Y_i$  為假設機率分佈之對應值。對各種機率分佈分別計算其均方誤差，選取最小均方誤差之機率分佈為最適用之機率分佈。

#### D5 模式信賴指標(Model Reliability Indices)

Liggett 與 Williams(1981)有兩種信賴指標，來評估機率分布模式之可用性，其即為幾何信賴指標(Geometric Reliability Index,  $K_g$ )：

$$K_g = \frac{1 + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1 - (Y_{(i)} / X_{(i)})}{1 + (Y_{(i)} / X_{(i)})} \right]^2}}{1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1 - (Y_i / X_{(i)})}{1 + (Y_{(i)} / X_{(i)})} \right]^2}} \quad (D-4)$$

統計信賴指標(Statistical Reliability Index,  $K_s$ )：

$$K_s = \exp \left\{ \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \log \left( \frac{Y_i}{X_i} \right) \right]^2} \right\} \quad (\text{D-5})$$

當估計值  $Y_i$  趨近於觀測值  $X_{(i)}$  時， $K_g$  與  $K_s$  將趨近於下限值趨近於 1。

## D.5 適用台灣地區之機率分佈函數

- (1) 適用於水文資料分析之機率計有二參數對數常態分佈、三參數對數常態分佈、極端值I型分佈、皮爾遜III型分佈及對數皮爾遜III型分佈。
- (2) 文獻資料顯示適用於台灣地區水文資料之機率分布函數分別為：.在暴雨頻率分析以皮爾遜III型分佈最適用，三參數對數常態分佈次之；流量頻率分析以對數皮爾遜III分佈最適用，皮爾遜III型分佈次之。



## 附錄 E 設計雨型

雨量在時間上之分佈或雨量歷線稱為雨量組體圖。在水資源及防洪工程規劃與設計時，設計雨量組體圖扮演著極為重要的角色，例如在降雨-逕流模式演算中，設計雨量組體圖為水文模式系統之輸入，其型態影響模式輸出之流量歷線。在文獻中決定設計雨量組體圖的方法眾多，常見者有交替區塊法、水利局經驗方法、無因次平均法、級序平均法、無因次移動平均法、三角形法、機率分佈法及二次多項式分佈等。以下概略說明各方法之理論。

### E.1 交替區塊法(Alternative Block Method)

交替區塊法首先由 Chow(1959)所發展，其利用降雨強度-延時-頻率曲線來訂定設計雨量組體圖，以下舉一例說明其主要設計步驟：

1. 由所選定的雨量站，根據歷年來所收集之降雨量，建立 10、20、30、40、60、90 分鐘，以及 2、3、4、6、12、18、24、48、和 72 小時等 15 種降雨延時之年最大值序列
2. 選取年最大降雨量之機率分佈函數，並應用機率分佈函數配合頻率分析，計算出各雨量站各種降雨延時及重現期距之降雨量。
3. 將步驟 2 中所得不同延時之各重現期距降雨量繪成降雨強度-延時-頻率曲線。
4. 由時雨量記錄中，找出每年最大降雨量之暴雨場次，即該最大降雨場次之降雨延時  $T_d$ 、尖峰降雨前時間  $t_a$ ，並計算出該年該場次之暴雨前進係數  $r = t_a/T_d$ ，最後將每年所得之各前進係數取其平均值，即可得到該站之前進係數  $\bar{r}$ 。
5. 由步驟 3 所得之降雨強度-延時-頻率曲線中，依所需之降雨延時求得累積降雨量，再推求各時刻增量所對應之降雨增量，即為該時刻之降雨強度。
6. 將各時刻之降雨強度從大而小重新排序。由所需之降雨延時乘以平均前進係數之  $r$  值，可計算出第一平均順位  $Z1$  所落之區間位置，另將第二順位  $Z2$  排在第一順位之左邊，第三順位  $Z3$  排在第一順位之右邊，依次類推，當一邊已排滿時，將各剩餘之順位由大而小排在未滿之另一邊，即可求出該站之設

計雨量組體圖。

## E.2 水利局經驗方法(Empirical Method)

此方法為台灣省水利局(1995)發展之設計雨量組體圖方法，其設計步驟如下：

1. 由歷年時雨量記錄資料中，找出每年最大降雨量之暴雨場次，得出每一年該最大降雨場次之降雨延時  $T_d$ 、尖峰降雨前時間  $t_a$ ，並計算出該年該場次之暴雨前進係數  $r = t_a/T_d$ ，最後將每年所得之各前進係數取其平均值，即可得到該站之前進係數  $\bar{r}$ 。
2. 欲求雨量站降雨延時為  $n$  小時之設計雨量組體圖，首先需挑出每年延時為  $n$  小時之最大降雨事件之時雨量資料，將  $n$  個時雨量資料  $P_i$  除以總降雨量  $P$ ，可得  $n$  個比值  $Z_i = P_i/P$ ，將  $Z_i$  由大而小重新排序而得新的序列  $Z_i (Z_{(1)} > Z_{(2)} > \dots)$ ，將每年相同順位之資料  $Z_i$  予以平均而得  $\bar{Z}_i$ 。
3. 將  $\bar{Z}_i$  值由大而小重新排序。由降雨延時  $n$  小時乘以平均  $\bar{r}$  值，可計算第一平均順位  $Z_1$  所落區間位置，另將第二順位  $Z_2$  排在第一順位  $Z_1$  左邊，第三順位  $Z_3$  排在第一順位  $Z_1$  之右邊，依此類推，當一邊已排滿時，將剩餘之順位由大而小排在未滿之另一邊，即可求出該站之設計雨量組體圖。

## E.4 無因次平均法(Huff Method)

該方法(Huff,1962)主要求取中值平均法設計百分比雨量組體圖兩型，其主要設計步驟如下：

1. 由逐時降雨量資料，求出該集水區各場降雨之總降雨量。
2. 依暴雨之嚴重程度，篩選出總降雨量為該集水區前百分之五十之各場次降雨。
3. 求出各場降雨每小時降雨量佔總降雨量之百分比，而後逐一累加，即可得出各場降雨之累積百分比雨量組體圖。
4. 將各場降雨之累積百分比雨量組體圖予以平均，最後再予累減，即得平均設

計百分比雨量組體圖。

#### E.4 級序平均法(Pilgrim and Cordery Method)

該方法(Pilgrim and Cordery, 1975)主要步驟如下：

1. 將每場降雨區分為  $m$  個時段。Pilgrim 與 Cordery(1975)建議，為延時為 6 小時或 12 小時， $m$  採用 6；延時大於 24 小時，則  $m$  採 8。
2. 求出各場降雨每時段之降雨量百分比，並求得各時段平均降雨量百分比。
3. 將每一時刻之降雨量百分比給予級序，降雨量百分比最小者為 1，次小者為級序為 2，依次類推，則最大者級序為  $m$ 。
4. 將各場降雨相同時段之級序相加，按總級序大小分配上述之平均降雨百分比。總級序最小者給予最小之平均降雨量百分比，總級序最大者給予最大之平均降雨量百分，此即為級序平均法設計雨量組體圖。

#### E.5 無因次移動平均法(Dimensionless Moving Average Method)(林國峰等，1994)

該方法主要步驟如下：

1. 由逐時降雨記錄求算尖峰降雨時間  $t_a$  與尖峰降雨前後共三小時之平均降雨量。
2. 以移動平均法求算每三小時平均雨量。
3. 以無因次雨量(將每三小時之平均雨量除以最大之三小時平均雨量)為縱座標，無因次時間(即時間除以尖峰降雨時間)為橫座標，即為無因次移動平均雨量組體圖。將各場降雨之無因次移動平均設計雨量組體圖累加，再予以平均。
4. 以試誤法，測試在不同最大無因次之時間下，求取無因次重心時間上限，使無因次重心時間平均值符合實際降雨資料之重心時間。
5. 以符合實際降雨資料之重心時間之無因次時間作為橫座標之上限，重新分配各延時之降雨量比例，即得該站之設計雨量組體圖。

## E.6 三角形法(Triangular Hyetograph Method)

三角形法(Chow, et al., 1988)為求出尖峰降雨量後，以線性方式進行遞減求出各時段之降雨量並配合交替區塊法而得設計雨量組體圖分佈，其主要設計步驟如下，

1. 求出設計尖峰降雨量，如下所述：

$$h_p = \frac{2p_t}{T_d} \quad (\text{E-1})$$

式中， $h_p$  為設計最大降雨強度； $p_t$  為設計降雨總雨量；及  $T_d$  為設計降雨延時。

2. 由雨量站歷年時雨量記錄資料，得出每一年該最大降雨量場次之降雨延時、尖峰降雨前時間，計算出該年暴雨前進係數  $r = t_a/T_d$ ，最後將各年之前進係數取其平均值，即可得到該站之平均前進係數  $\bar{r}$ 。
3. 由延時  $n$  小時乘以平均前進係數，可計算出第一平均順位  $Z$  所落之區間位置，其餘各小時雨量，則分向兩側比例呈設計雨量組體圖。

## 附錄 F 水文及水理模式簡介

### F.1 水文模式

#### F.1.1 單位歷線模式

在單位歷線模式中，地表逕流系統被視為一個線性系統，直接逕流可視為系統的輸出，而有效降雨稱為系統的輸入，兩者之關係可表為下式的褶合積分 (Convolution Integral)：

$$Q(t) = \int I(\tau)U(0,t-\tau)d\tau \quad (\text{F-1})$$

其中， $Q(t)$  為直接逕流， $I(t)$  為有效降雨， $U(t)$  為核心函數(Kernel Function)。此核心函數即為瞬時單位歷線。在非連續分佈時，上式可表為：

$$Q[n\Delta t] = \sum_{k=1}^n p[k\Delta t]U[(n-k)\Delta t] \quad (\text{F-2})$$

或

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} p_m U_{n-m+1}, n=1,2,\dots,N \quad (\text{F-3})$$

其中， $\Delta t$  為單位歷線之延時， $P_m$  = 第  $m$  個有效降雨， $M$  = 有效降雨總數， $Q_n$  = 第  $n$  個直接逕流， $N$  = 直接逕流總數。單位歷線之橫座標數目  $J$ ，可由直接逕流總數  $N$  及有效降雨總數  $M$  求得， $J = N - M + 1$ 。用矩陣之方式來表示，(F-2) 式可寫成：

$$Q = PU \quad (\text{F-4})$$

#### F.1.2 HEC-HMS 模式

HEC (Hydrologic Engineering Center) 模式乃美國陸軍工程師團水文工程中心(The Hydrologic Engineering Center-US Army Corps of Engineers)所發展之一系列的水文、水理計算模式。其中HEC-HMS可模擬洪水降雨-逕流歷線，利用各種簡單之數學關係式來描述地形、水文以及水理現象。

其演算程序，係將輸入雨量分為超滲(有效)降雨及入滲並將超滲降雨轉換成逕流歷線，然後加上基流量及河川演算。其中，入滲損失可選用初值與定值法、HEC指數法、SCS法及Horton法。

地表逕流模擬係將超滲降雨套入單位歷線或運動波轉換以推算逕流歷線。單位歷線若為已知可直接輸入，或由Clark法、Snyder法或SCS法推演，時間雨量-面積曲線法可配合Clark法或Snyder法使用。在該模式中，Snyder法僅用以推出尖峰流量，故需以Clark法配合才能求得整個單位歷線。運動波轉換法主要是為模擬市區逕流而設計，此法之逕流與降雨量關係為非線性。

### F.1.3 貯蓄函數(Storage Function)模式

貯蓄函數模式係由木村博士(1962)所提出，認為實際降雨與逕流之關係並非如單位歷線所假設之線性關係，而應為一非線性機制之水文現象。因此，木村博士於演算逕流過程中，加入流域貯蓄因子(Storage Factor)，藉以推得流域集流點之流量歷線。

1. 模式理論—貯蓄函數模式在演算過程中，加入流域貯蓄因子作為轉換函數，也就是將貯蓄量( $S$ )及逕流量( $Q$ )關係以指數型函數表示：

$$S = KQ^p \quad (F-5)$$

藉以模擬逕流及貯蓄量之轉換過程，並配合水文連續方程式。水文連續方程式為：

$$I(t) - Q(t) = \frac{dS}{dt} \quad (F-6a)$$

式中， $I(t)$ 為入流量； $Q(t)$ 為出流量。其中入流量 $I(t)$ 可表示為：

$$I(t) = f \times R(t) \quad (F-6b)$$

式中 $f$ 為平均流入係數； $R(t)$ 為降雨強度。

徐義人(1995)提出貯蓄函數模式在流域面積 $10\sim 100\text{ km}^2$ 具有良好精度，尤其流域面積在 $100\text{ km}^2$ 之內，其模擬效果更佳。但若面積過大，則可

將流域劃分為若干小集水區，以提高模擬成效。

2. 參數之率定—貯蓄函數模式所需率定參數包括了平均流入係數其推估方法簡述如下：

(a) 平均流入係數(Averaged Coefficient of Inflow)

平均流入係數為降雨落於地面時，會形成逕流之比例，其值為一常數。其定義如下：

$$f = \frac{\sum Q(t)}{\sum R(t)} \quad (F-7)$$

式中 $\sum Q(t)$ 及 $\sum R(t)$ 分別為在時間 $t$ 時之總逕流量及總降雨量。

(b) 流域特性係數(K、P)

K、P 為(F-5)式貯蓄函數模式之二係數，其推估方法可根據實測之降雨及逕流量所計算之計算貯蓄量與逕流量代入(F-5)式並應用最小二乘法推求其值。

(c) 延遲時間(Delay Time)

延遲時間係指由開始降雨至逕流有明顯變化之時間間隔。若僅推估最大洪水量，延遲時間並不十分重要。但如考慮洪水調節或是水庫操作，則延遲時間需精確得知。延遲時間無法由實測資料直接求得，須由試誤法加以推估。其率定方法如下：

- (1) 先假定一延遲時間(通常假設為0)，而以實測資料推求逕流量與貯蓄量之關係，即推求(F-5)式中貯蓄函數模式之流域特性係數(K、P)。
- (2) 由(1)所得之貯蓄函數模式計算逕流量之相對貯蓄量，繪於方格紙上。觀察所繪之曲線是否為環狀。如環狀過大，則重新假設稽延時間 $T_l$ 計算之。
- (3) 如延遲時間( $T_l$ )無論增加或減小，其環狀曲線均無明顯變化，則可視為所求之稽延時間( $T_l$ )。如圖 F-1 及圖 F-2 之修正圖。

延遲時間雖可由以上之程序推求得之，但其過程需人為判別環狀曲線是否有變化，並無一定判別標準。但因延遲時間會影響貯蓄量與逕流量關係式之好壞，故可用  $R^2$  值表示所得之推估值與觀測值之間的差異性與迴歸式之模擬成效，當  $R^2$  趨近於 1 時，表示推估值與觀測相當接近。因此，可採用使得  $R^2$  值最大之延遲時間。

3. 模式演算過程- 貯蓄函數模式之演算過程如圖 F-3 所示。

#### F.1.4 水筒模式

水筒模式係由日本菅原正巳博士於 1972 年所提議之一種極具物理概念的水文模式。其主要概念係將集水區的逕流形成機制，以數個貯蓄型之模型容器加以組成(如圖 F-4)，來模擬集水區內存在之複雜水文因子，例如入滲、滲漏、貯留、蒸發、地表逕流及基流等水文現象，進而推得集水區降雨-逕流之關係。在模式中地表逕流量等於其各水筒流出孔上方之容水高度即貯水高減去孔口高度與其孔口流出係數，滲透量為水筒內貯蓄水高與滲透孔口流出係數之乘積。因此，當水筒之孔口流出係數為已知時，出流量可容易求得。但菅原正巳氏水筒模式在模擬因暴雨而產生非線性增加的漫地流效應，是以應用多個孔口產生類似效果，雖增加孔口可以提高模擬結果之精確性，但相對地每增加一個孔口，便增加孔乘係數及孔口高度二個參數，使率定工作更形複雜。因此，日本京都大學教授角屋睦氏博士於 1988 年發展出長短程通用水筒模式(Long-and Short-Terms Tank Model, LST Tank Model)，其保留菅原正巳氏水筒模式若干特性，並加以修正所得之一種水文模式。

LST 水筒模式在模擬地表逕流之孔口流出量時，將用於渠道水流之曼寧公式，轉化為一與水深有關於之非線性指數函數，僅需一孔即可精確地模擬地表逕流量。其所蘊含之物理意義優於須借助多個側孔才能形成逕流與水深非線性關係的菅原正巳氏水筒模式。王如意等(1994)將 LST 水筒模式應用於八掌溪，得到相當不錯之模擬結果。



1. 理論基礎—LST 水筒模式之模擬逕流機制係以直列式三只串聯貯留型水筒所組成(如圖 F-5 所示)。最上層容器中由一假設之薄膜分隔，控制向下流動之水分。當降雨量直接落於第一筒上層，各筒間水量傳遞依連續性方程式可寫成如下式：

(a) 第一筒上層

$$\frac{dS_{1-1}}{dt} = F - Q_1 - Q_2 \quad (\text{F-8})$$

$$Q_1 = a_1(S_1 - Z_1)^{3/2} \quad (\text{F-9})$$

$$Q_2 = a_2 S_1 \quad (\text{F-10})$$

(b) 第一筒下層

$$\frac{dS_{1-2}}{dt} = I - F - Q_3 - G_1 \quad (\text{F-11})$$

$$Q_3 = a_3(S_2 - Z_3) \quad (\text{F-12})$$

$$G_1 = b_2 S_2 \quad (\text{F-13})$$

$$F = b_1(Z_2 + Z_3 - S_2) \quad (\text{F-14})$$

(c) 第二筒

$$\frac{dS_2}{dt} = G_1 - Q_4 - G_2 \quad (\text{F-15})$$

$$Q_4 = a_3 S_2 \quad (\text{F-16})$$

$$G_2 = b_2 S_2 \quad (\text{F-17})$$

(d) 第三筒

$$\frac{dS_3}{dt} = G_2 - Q_5 \quad (\text{F-18})$$

$$Q_5 = a_3 S_3 \quad (\text{F-19})$$

(e) 總逕流量

$$Q_T = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \times A / 3.6(\text{cms}) \quad (\text{F-20})$$

式中 I 為降雨強度(mm/hr)；F 為入滲量(mm/hr)；G 為地下水流通量(mm/hr)；a、b 為孔口流出係數；Z 為孔口高度；A 為流域面積(km<sup>2</sup>)；Q<sub>1</sub> 為地表逕流，

$Q_2$ 、 $Q_3$  為快速及遲緩流出之地表下逕流， $Q_4$ 、 $Q_5$  為不同層次之地下水流。

## 2. 參數之率定

LST 水筒模式共有 11 個參數，整理如下：

(a) 流出孔乘係數： $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 。

(b) 滲透孔乘係數： $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ 。

(c) 流出孔高度： $Z_1$ 、 $Z_2$ 、 $Z_3$ 。

上述參數皆無法直接以觀測資料直接率定，須以試誤法加以推求。在率定過程中，因參數  $a_i$  與流出量有關，若模式之計算流量與觀測流量相差太大，則可調整  $a_i$  值。而流出孔高度與延遲時間也就是與流量歷線之上升段有關，若計算流量歷線上升段與觀測流量歷線上升段之相差太大，則可調整  $Z_i$  值。

## 3. 模式演算過程—LST 水筒模式之演算過程如圖 F-6 所示。

### F.1.5 地文瞬數單位歷線

地文瞬時單位歷線係由 Rodriguez-Iturbe 與 Valdes(1979)及 Gupta et al. (1980) 所提出。Gupta et al.(1980)分別假設指數分佈與均勻分佈來描述雨滴於不同階段之逕流時間分佈，Cheng(1982)將此二機率分佈合併，以代表水流於集水區運行之傳遞效應與貯蓄效應。Jin(1992)則認為伽瑪函數能得到較佳之結果。Lee 與 Yen(1997)依集水區河川網路特性，將每一級序之次集水區以一 V 型漫地流模型模擬之，並將此水流於此漫地流模型之運行，劃分為漫地流與渠流過程，而應用運動波理論以解析方式，直接求解逕流時間機率密度函數之平均值，稱之為運動波-地文參數型單位歷線。此外，他們亦藉由荷頓比值推求運動波-地文參數型單位歷線之逕流運行時間，使得此一模式非但能適應於已有地文資料之集水區，更能藉由引用鄰近流域集水區之地文資料，而適切地推估缺乏詳細地文資料集水區之降雨-逕流關係。

## F.2 水理模式

洪氾區之劃定必須根據洪水位高程配合洪氾區之地形，而洪水位高程之推定則須依據水理分析演算，故進行洪氾區劃設工作時，水理演算模式則扮演十分重要的角色。根據聯邦緊急事故管理總署（Federal Emergency Management Agency, FEMA）公布認可之水理演算模式如表 3.10，本手冊蒐集並整理其中較常用之水理演算模式，包括 HEC-RAS、WSPRO、SWMM、UNET、FLDWAV、MIKE 11、FLO-2D、TABS-2/RMA-2 及 FESWMS-2DH，另納入目前在國內推廣之 SOBEK 模式及擬似二維核胞模式，共 11 個水理演算模式。

### F.2.1 HEC-RAS 模式

HEC-RAS（Hydrologic Engineering Center's River Analysis System）模式係美國陸軍工兵團水文工程中心所發展之一維水理演算模式，目前最新版本 (Version 3.0 Jan 2001) 之 HEC-RAS 模式除了納入原 HEC-2 模式之定量流模擬演算外，更加入其他演算功能。

HEC-RAS 為一整合型軟體系統，此系統包括圖形使用者介面 (Graphical User Interface, GUI)、水理分析子程式 (定量流及變量流子程式)、數據儲存與管理、圖表製作與資料彙整等功能。HEC-RAS 為一維水面線演算模式，適用於河床坡度小於 10% 之定量緩變流，可處理亞臨界流、超臨界流及混合流之水面剖線演算，亦具有模擬變量流的功能。本模式可模擬橋樑、涵洞、堰、排洪道等水工結構物對水流之影響，其中模式對水流流經橋樑之模擬依其型態，可分為低水流況、壓力流及堰流。在幾何資料處理上，HEC-RAS 模式可與地理資訊系統 (Geographic Information Systems, GIS) 及電腦輔助繪圖工具 (Computer-Aided Design and Drafting, CADD) 結合，可簡化資料處理的繁雜度。本模式對於模擬結果有圖形輸出的功能，包括：渠道斷面、水面線、率定曲線及渠道三維透視圖等。表 F-11 為 HEC-RAS 評估表。

## F.2.2 WSPRO 模式

WSPRO (Water Surface Profile) 模式係美國地質調查所(U.S. Geological Survey, USGS)為提供聯邦公路署(Federal Highway Administration, FHWA)模擬表面水流之一維水理演算模式。本模式特別適用於水流流經橋墩以及堤防溢流之流況，WSPRO 整理說明如下：

本模式可應用於一維定量流之表面水流模擬，適用於亞臨界流、超臨界流及混合流之水面剖線演算，亦可模擬水流流經橋墩、涵等結構物以及堤防溢流，且可以模擬橋墩之壓力流流況。WSPRO 模式之輸入及輸出程式具有圖形使用者介面，且對於模擬結果亦有圖形化之輸出功能，以方便使用者處理輸入或輸出的資料。WSPRO 模式發展至今已經廣泛應用於公路設計、洪水平原劃定、洪災保險研究、洪水預測等。表 F-12 為 WSPRO 評估表。

## F.2.3 SWMM 模式

SWMM (Storm Water Management Model) 模式係美國環境保護署(U.S. Environmental Protection Agency, U.S. EPA)為解決日益嚴重的都市排水問題所發展之都市暴雨水流管理模式。此模式的功能主要為模擬分析都市降雨與排水之水量、水質問題，並常應用於水資源系統規劃或都市下水道管網模式之建立。本模式包含了四個主要演算模組：逕流 (Runoff)、傳輸 (Transport)、輸水 (Extran)、儲存處理 (Storage/Treatment)。為 SWMM 模式之水理演算模組，其所需之入流量資料可由逕流 (Runoff) 模組提供或由使用者給定，亦可提供其他模組所需之水理演算資料。該模組乃模擬一維緩變量流流況，可以應用於明渠或封閉之管線系統，可模擬水流流經孔口、閘門、堰及抽水站等人工結構物，並且可應用於完整之網狀水道系統。表 F-13 為 SWMM 評估表。

## F.2.4 UNET 模式

UNET (One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels) 主要為應用於網狀系統渠道之一維變量流水理演算模式，本模式主要發展者為 Barkau，並且由美國陸軍工兵團水文工程中心支援並推廣本模式。目前美國聯邦緊急事故管理總署所認可之 UNET4.0 模式為版本

UNET 模式可以應用於一維變量流之水流模擬，但不支援超臨界流流況的模擬。該模式可以模擬水流流經閘門、溢洪道、橋樑、壩、堰、涵等結構物之流況，其中對於橋樑的處理，可以模擬水流溢流過橋面之類似堰流流況以及水流流經橋墩之壓力流流況。另該模式不僅可以模擬單一渠道，而且最大的特色就是可以模擬多分支渠道，更可以模擬完整之網狀系統渠道，也可以處理網狀系統渠道水流流經上述之人工結構物等流況，以及溢流或河川分流流至溢流區域之洪氾問題。綜合上述功能，UNET 模式可以應用於渠道設計、排洪道設計、灌溉系統設計、洪水平原分析等。表 F-14 為 UNET 評估表。

### F.2.5 FLDWAV 模式

FLDWAV (Flood Wave Routing Model) 模式為美國國家氣象局(U.S. National Weather Service, NWS)所發展之一維渠道洪水演算模式，以下針對 FLDWAV 目前最新版本 (Version 2-0-0 June 1, 2000)。FLDWAV 模式發展最主要的目的即結合 DWOPER 模式與 NWS DAMBRK 模式的特性，其中 DWOPER 模式可處理多分支渠道模擬，NWS DAMBRK 模式可處理潰壩水流、堤防溢流以及超臨界流模擬。FLDWAV 模式即結合了上述兩個模式的優點，所以可處理一維變量流、超臨界流流況、多分支渠道系統以及堤防溢流所形成的洪氾問題，並且能夠提供潰壩水流、堤防溢流、即時洪水變化以及水流流經橋、閘門、溢洪道等流況之模擬。FLDWAV 模式可以處理彎道的影響以及乾床的問題，對於彎道的模擬是利用原始河川彎道長度與模式模擬河川直線長度的比來修正質量守恆及動量守恆方程式，對於乾床的處理則是當計算水面線低於底床高程時，程式將會自動採用最後一次所計算的值，防止程式在數值計算上的問題發

生。本模式所模擬結果具有彩色圖示輸出的功能，包括尖峰流量分佈、率定曲線、流量歷線、以及渠道各斷面剖視圖。綜合上述功能，FLDWAV 模式可應用於潰壩分析、渠道設計、排洪道設計、洪水預報、灌溉系統設計及洪水平原劃定等。表 F-15 為 FLDWAV 評估表。

#### F.2.6 MIKE 11 模式

MIKE 11 為丹麥水工試驗所(Danish Hydraulic Institute)所發展之商業模式，本模式為一完全視窗化之一維演算模式，主要包含了五個基本模組：(1) 流體動力 (HD, Hydrodynamics) (2) 降雨-逕流 (RR, Rainfall-Runoff) (3) 流移-延散 (AD, Advection-Dispersion) (4) 水質 (WQ, Water Quality) (5) 泥沙運移 (ST, Sediment Transport)，可用於河口、河川及灌溉系統之水流、水質以及輸砂等之模擬。流體動力 (HD, Hydrodynamics) 模組為 MIKE 11 模式之水理演算模組，可提供其他模組所需的水理演算資料。該模組可以模擬一維變量流流況，並且可以處理超臨界流流況以及水流流經堰、涵以及不規則之結構物，並可處理多分支或是網路系統之渠道與河川，且對於乾床有做特別的處理，即當計算水面線低於底床高程時，程式將會自動給予一微量水量，不至於使程式發生數值計算上的問題。MIKE 11 模式具有視窗化輸入及輸出的介面，其模擬結果可以表格化以及彩色圖形輸出的功能。本模式雖為一維演算模式，但可藉著模組的擴充，增加該模式的功能，除了上述五個基本的模組之外，另外還提供了其他附加的模組，如：洪水預報 (FF, Flood Forecasting)、潰壩分析 (DB, Dam Break Analysis)、結構物分析 (SO, Structure Operation) 等，並且可與地理資訊系統結合。綜合上述功能，本模式可以應用於渠道設計、灌溉系統設計、下水道設計、洪水預測及水庫操作等。表 F-16 為 MIKE 11 評估表。

### F.2.7 FLO-2D 模式

FLO-2D模式為美國科羅拉多大學（Colorado State University）於1998年針對該州進行洪災保險研究而發展之模式。FLO-2D 模式係同步計算一維變量流及二維漫地流之流況，並且於堤防溢流時，計算堤內及堤外水流互動的流況，可以適用於矩型、梯型或是天然河道斷面，並可模擬水流流經橋墩及涵洞等水工結構物。另外，FLO-2D模式具有視窗化輸入介面，以方便使用者對資料之輸入與整理，且對於所模擬結果可以動態展示介面輸出，所輸出結果包括河道各段面之水理情形、地表之水深與流速以及河道與地表之互動水流流量。綜合以上所述，本模式可以應用於洪水平原之劃設以及洪水發生週期之預測。表F-17為FLO-2D評估表。

### F.2.8 TABS-2/RMA-2 模式

TABS-2 為美國陸軍工兵團水道實驗站(U.S. Army Corps of Engineers, Waterway Experiment Station, USACE-WES)所發展之水平二維模式，該模式共包含三個主要模組，分別為（1）RMA-2：水理模式；（2）RMA-4：污染物傳輸模式；（3）STUDH：輸砂模式，各模式可單獨使用或彼此組合運用，其中RMA-2 為 TABS-2 中的水理模式。

RMA-2 模式係計算二維亞臨界流之水面高程及水平流速，可適用於定量流及變量流之流況；可模擬水流流經堰、壩、橋墩及閘門等水工結構物；可處理多分支系統之渠道與河川，並且可模擬蜿蜒渠道的問題，該部分的處理是利用求解渦度傳輸方程式來修正彎道效應在水理上所造成的影響，而對於乾床的處理，則是當計算水面線低於所設定的水深時，程式會自動判斷並標示該區域直到其水深高於所設定的水深。另外，TABS-2 模式具有視窗化輸入及輸出的介面，對於所模擬結果可以表格化以及彩色圖形輸出。TABS-2/RMA-2 模式發展至今，已經廣泛應用於島嶼周圍水流分佈、橋樑附近之流況、發電廠進出水道之流況、河道匯流處之流況、抽水站進出水道之流況、洪水平原之流況，以

及河川、水庫、河口等之水流分佈等。表 F-18 為 TABS-2/RMA-2 評估表。

### F.2.9 FESWMS-2DH 模式

FESWMS-2DH ( Finite Element Surface Water Modeling System—Two-dimensional Flows in a Horizontal Plane) 模式係美國地質調查所為提供聯邦公路署模擬水平二維表面水流之二維水理演算模式。

本模式可應用於二維變量流之表面水流模擬，主要為模擬河川中設置橋墩等跨河構造物，對所跨越之河道水理所產生之影響，尤其是河川水位因受橋墩設置而壅高之影響程度及橋墩附近局部流場之變化情形。本模式包括三個獨立但相互關連之程式：(1) DIN2DH 程式主要功能為輸入資料之編整及初步之數值計算。(2) FLO2DH 程式為 FESWMS-2DH 模式水理演算的核心，其主要功能為模擬水平二維定量流或變量流之表面水流。(3) ANO2DH 程式主要功能為整理模擬結果並可以圖形輸出。結合了以上三個程式的功能，本模式可模擬水平二維變量流，並可處理規則或不規則的水體邊界，如公路填堤及島嶼等，亦可模擬壩、堰、公路填堤之溢流、及水流流經橋、涵、閘門開口、溢洪道等結構物之流況，且可模擬流經橋墩之壓力流流況。另外本模式具有圖形輸出的功能，其繪圖功能包括速度及單位流量之流場、地表及水面線、以及速度、單位流量、水位之時間歷線等。表 F-19 為 FESWMS-2DH 評估表。

### F.2.10 SOBEK 模式

SOBEK 模式為荷蘭 WL | Delft Hydraulics 公司與其他荷蘭顧問公司所共同發展之一整合性軟體系統，該模式整合河川、人工渠道與下水道系統之模擬，除了以水流 (Water Flow) 模組進行水理演算之外，另外還有水質 (Water Quality)、輸砂 (Sediment Transport)、底床變化 (Morphology) 及鹽分入侵 (Salt Intrusion) 等模組可以應用於相關之模擬分析。



SOBEK模式中水流（Water Flow）模組係模擬一維變量流，可適用於規則斷面或是天然河道斷面，並可模擬水流流經橋墩、孔口、堰涵、洞及抽水站等水工結構物，亦可應用於網狀系統渠道。另外，SOBEK模式具有視窗化輸入介面，所模擬之相關資料可於模式中進行輸入，或可透過地理資訊系統之整合，以方便使用者對資料之輸入與管理。表F-20為SOBEK評估表。

#### F.2.11 擬似二維核胞模式

擬似二維核胞模式為交通大學防災工程研究中心楊錦釗教授等(2003)所發展之擬似二維變量流模式，曾應用於「岡山鎮嘉興里水患減輕方案之研究」（國立交通大學土木工程學系，民國86年）及「阿公店溪及土庫排水系統改善後淹水範圍之分析」（國立交通大學土木工程學系，民國88年），本模式發展之主要目的在於模擬分析洪氾區範圍及影響程度，以提供與洪氾災害相關研究之參考。本模式可處理網狀渠道與洪氾區共同組成之複雜河系之水理演算問題，可進行定量流、變量流、洪水溢流、潰堤淹水、閘門啟閉、抽水站操作及降雨逕流等模擬功能。表F-21為擬似二維核胞模式評估表。

表 F-1 HEC-RAS 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 能量方程式
	$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad h_e = L\bar{S}_f + C \left  \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right $
	2. 動量方程式
	$\frac{Q_2 \beta_2}{gA_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{gA_1} + A_1 \bar{Y}_1$
	<p><math>Y</math>: 水深</p> <p><math>Z</math>: 水面高程</p> <p><math>\alpha</math>: 能量修正係數</p> <p><math>V</math>: 平均速度</p> <p><math>g</math>: 重力加速度</p> <p><math>C</math>: 收縮或擴張係數</p> <p><math>Q</math>: 流量</p> <p><math>A</math>: 通水斷面積</p> <p><math>S_0</math>: 渠底之縱向坡降</p> <p><math>\bar{S}_f</math>: 摩擦坡降</p>

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-2 WSPRO 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	<p>能量方程式</p> $h_1 + h_{v1} = h_0 + h_{v0} + h_f + h_e$ <p><math>h_{1,0}</math> : 水面高程</p> <p><math>h_{v1,v0}</math> : 速度頭</p> <p><math>h_f</math> : 摩擦損失</p> <p><math>h_e</math> : 收縮或擴張損失</p>
-----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	
河道匯流		網狀系統	

表 F-3 SWMM 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 連續方程式
	$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$
	2. 動量方程式
	$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = S_0 - S_f$
	$A$ ：通水斷面積
	$Q$ ：流量
	$t$ ：時間座標
	$x$ ：空間座標
	$g$ ：重力加速度
	$V$ ：斷面之平均速度
	$h$ ：水深
	$S_0$ ：渠底之縱向坡度
	$S_f$ ：摩擦坡降

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-4 UNET 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	<p>1. 質量守恆方程式</p> $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_i = 0$ <p>2. 動量守恆方程式</p> $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$ <p><math>t</math>: 時間座標</p> <p><math>x</math>: 空間座標</p> <p><math>Q</math>: 流量</p> <p><math>A</math>: 通水斷面積</p> <p><math>S</math>: 儲水容積</p> <p><math>q_i</math>: 側入流量</p> <p><math>g</math>: 重力加速度</p> <p><math>S_f</math>: 摩擦坡降</p> <p><math>V</math>: 水流速度</p>
-----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流		亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-5 FLDWAV 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 質量守恆方程式
	$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial s_{co}(A + A_0)}{\partial t} - q = 0$
	2. 動量守恆方程式
	$\frac{\partial (S_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L + W_f B = 0$
	$Q$ : 流量
	$t$ : 時間座標
	$x$ : 空間座標
	$A$ : 通水斷面積
	$q$ : 側向流量
	$g$ : 重力加速度
	$V$ : 斷面之平均速度
	$h$ : 水深
	$S_{co} S_m$ : 彎道因子
	$S_f$ : 摩擦坡降 $S_e$ : 擴張或收縮坡降 $S_i$ : 額外摩擦坡降
	$W_f$ : 風阻力效應 $B$ : 水面寬度

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	●
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	

表 F-6 MIKE 11 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	3. 質量守恆方程式
	$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$
	4. 動量守恆方程式
	$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ Q }{C^2 AR} = 0$
	$t$ : 時間座標
	$x$ : 空間座標
	$Q$ : 流量
	$A$ : 通水斷面積
	$q$ : 側向流量
	$h$ : 水面高程
$g$ : 重力加速度	
$C$ : 切西係數	
$R$ : 水力半徑	
$\alpha$ : 動量分佈係數	

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-7 FLO-2D 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 一維連續方程式
	$h \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$
	2. 一維動量方程式
	$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + S_f = 0$
3. 二維連續方程式	
$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV_x}{\partial x} + \frac{\partial hV_y}{\partial y} = i$	
4. 二維動量方程式	
$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$	
$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$	
<p><math>t</math> : 時間座標; <math>x, y</math> : 空間座標; <math>h</math> : 水深; <math>u</math> : 流速; <math>Q</math> : 流量; <math>A</math> : 通水斷面積;  <math>g</math> : 重力加速度; <math>S_f</math> : 摩擦坡降; <math>S_0</math> : 底床坡降; <math>V_x, V_y</math> : 水深平均在 <math>X, Y</math> 方向          之分量; <math>i</math> : 降雨強度; <math>S_{fx}, S_{fy}</math> : <math>X, Y</math> 方向之摩擦波降; <math>S_{ox}, S_{oy}</math> : <math>X, Y</math> 方向之底          床坡降</p>	

應用範圍

一維	●	二維	●
超臨界流		亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	



表 F-8 TABS-2/RMA2 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	<p>1. 連續方程式</p> $\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$ <p>2. x 方向動量方程式</p> $h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( \varepsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varepsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gn^2}{\left(1.486h^{1/6}\right)^2} (u^2 + v^2)^{3/2} - \xi V_a^2 \cos \psi + 2hv\omega \sin \phi = 0$ <p>3. y 方向動量方程式</p> $h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left( \varepsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \varepsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left( \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gn^2}{\left(1.486h^{1/6}\right)^2} (u^2 + v^2)^{3/2} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu\omega \sin \phi = 0$ <p>4. 渦度傳輸方程式</p> $\frac{\partial \Omega}{\partial t} + \frac{\partial \Omega}{\partial x} + \frac{\partial \Omega}{\partial y} = \frac{A_s \sqrt{C_f}  u ^2}{R h \left(1 + 9h^2/R^2\right)} - D_s \sqrt{C_f} \Omega \frac{ u }{h} + \frac{1}{h} \nabla(vh \nabla \Omega)$ <p><math>t</math>: 時間座標; <math>x, y</math>: 空間座標; <math>h</math>: 水深; <math>u, v</math>: 流速; <math>g</math>: 重力加速度; <math>\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yx}</math>: 渦度黏滯係數; <math>n</math>: 曼寧係數; <math>g</math>: 重力加速度; <math>Z_b</math>: 底床高程; <math>\xi</math>: 經驗風剪力係數; <math>V_a</math>: 風速; <math>\psi</math>: 風向; <math>\omega</math>: 地球角轉動速率; <math>\phi</math>: 當地緯度</p>
-----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

應用範圍

一維		二維	●
超臨界流		亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	●

障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	□●

表 F-9 FESWMS 2DH 評估表

理論部分

水	1. 連續方程式
理	$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$
方	1. x 方向之垂直積分動量方程式
程	$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\beta_{uu}huu) + \frac{\partial}{\partial y}(\beta_{uv}huv) + gh\frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{1}{2}g\frac{\partial h^2}{\partial x} - \Omega hv + \frac{1}{\rho}\left[\tau_x^b - \tau_x^s - \frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y}\right] = 0$
式	y 方向之垂直積分動量方程式
	$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\beta_{vu}hvu) + \frac{\partial}{\partial y}(\beta_{vv}hvv) + gh\frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{1}{2}g\frac{\partial h^2}{\partial y} + \Omega hu + \frac{1}{\rho}\left[\tau_y^b - \tau_y^s - \frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} - \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y}\right] = 0$
	$t$ : 時間座標; $x, y$ : 空間座標; $h$ : 水深; $u, v$ : 平均流速; $g$ : 重力加速度; $\beta_{uu}, \beta_{uv}, \beta_{vu}, \beta_{vv}$ : 動量修正係數; $Z_b$ : 底床高程; $\Omega$ : 科氏參數; $\rho$ : 流體密度; $\tau_x^b, \tau_y^b$ : 底床剪應力; $\tau_x^s, \tau_y^s$ : 水面剪應力; $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ : 亂流剪應力

應用範圍

一維		二維	●
超臨界流		亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-10 SOBEK 評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 質量守恆方程式
	$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat}$
	2. 動量方程式
	$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q  Q }{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0$
	$t$ : 時間座標 $x$ : 空間座標
	$h$ : 水位
	$u$ : 流速
	$Q$ : 流量
	$A_f$ : 濕周面積
	$q_{lat}$ : 側入流量
	$g$ : 重力加速度
	$i$ : 降雨強度 $C$ : Chezy 係數
	$W_f$ : 河流寬度
	$\tau_{wi}$ : 風剪力 $\rho_w$ : 流體密度

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流	●	亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

表 F-11 擬似二維核胞模式評估表

理論部分

水 理 方 程 式	1. 連續守恆方程式
	$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lar}$
	2. 運動方程式
	$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f + \frac{Q}{A}q = 0$
	$t$ : 時間座標
	$x$ : 空間座標
	$A$ : 河道斷面積
	$Q$ : 流量
	$q$ : 側入流量
	$\alpha$ : 動量修正係數
	$g$ : 重力加速度
	$y$ : 水位
	$S_f$ : 摩擦坡降

應用範圍

一維	●	二維	
超臨界流		亞臨界流	●
定量流	●	變量流	●
不規則渠道	●	彎道	
障礙物	●	乾床	●
河道匯流	●	網狀系統	●

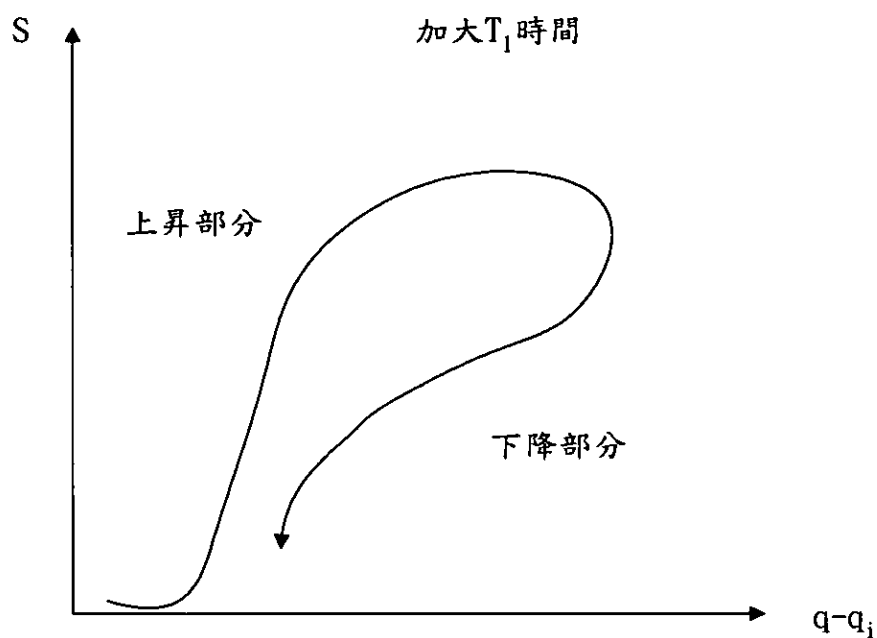


圖 F-1 加大假設延遲時間  $T_1$  (徐義人(1995),「應用水文學」)

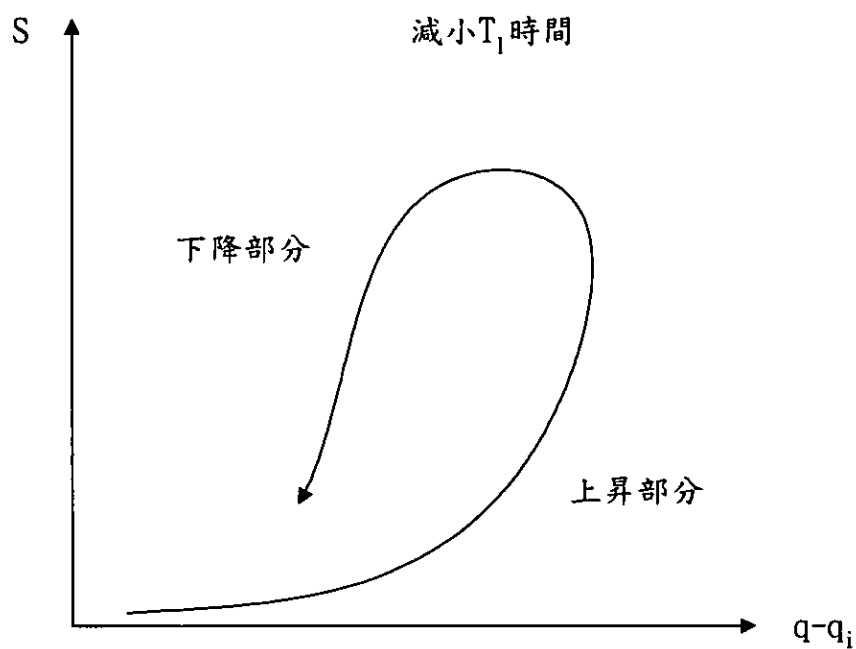


圖 F-2 減小假設延遲時間  $T_1$  (徐義人(1995),「應用水文學」)

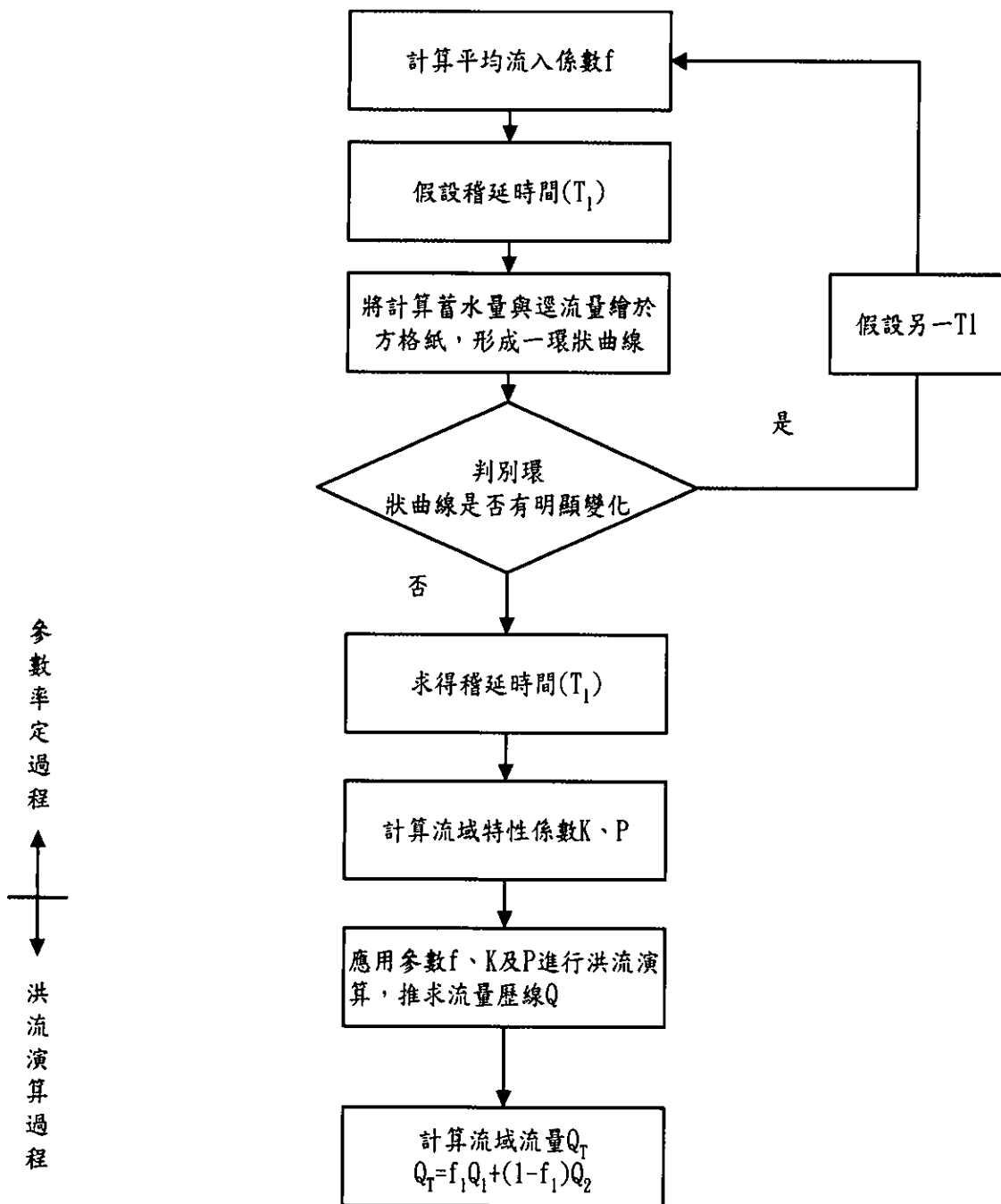


圖 F-3 貯蓄函數模式參數率定與演算流程圖

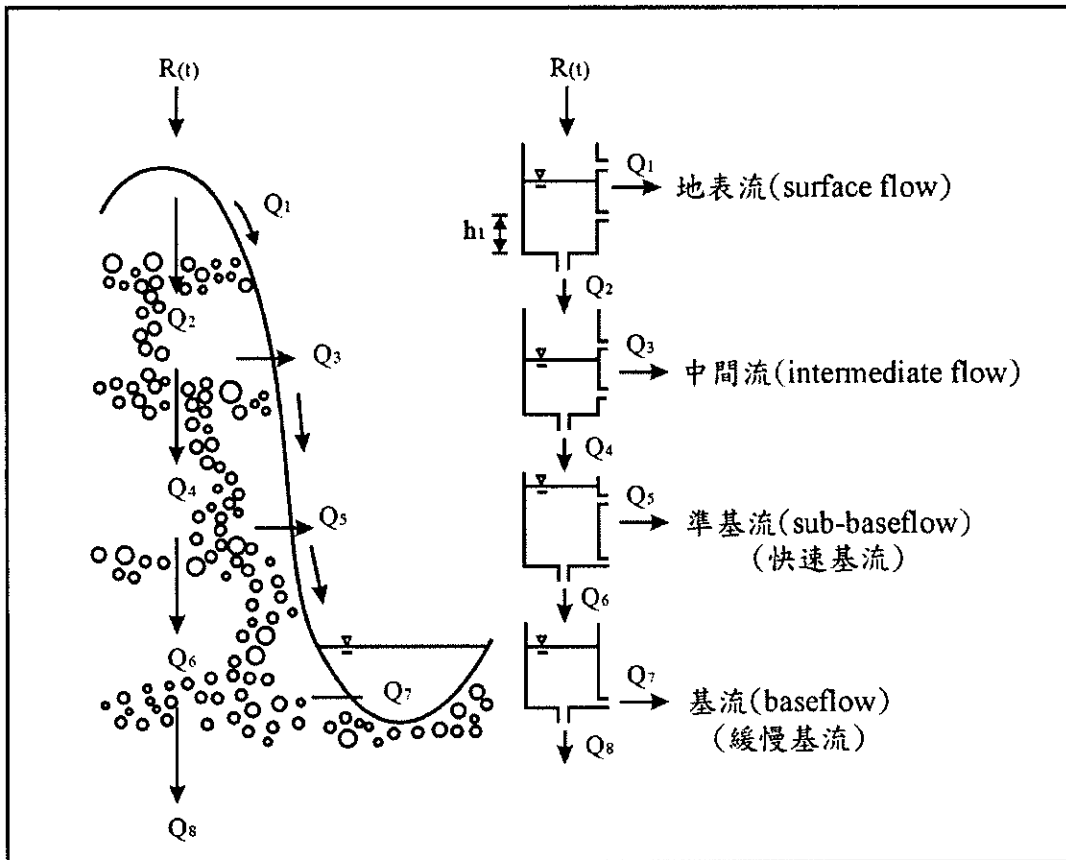


圖 F-4 水筒模式原理示意圖 (王如意、易任, 1997)



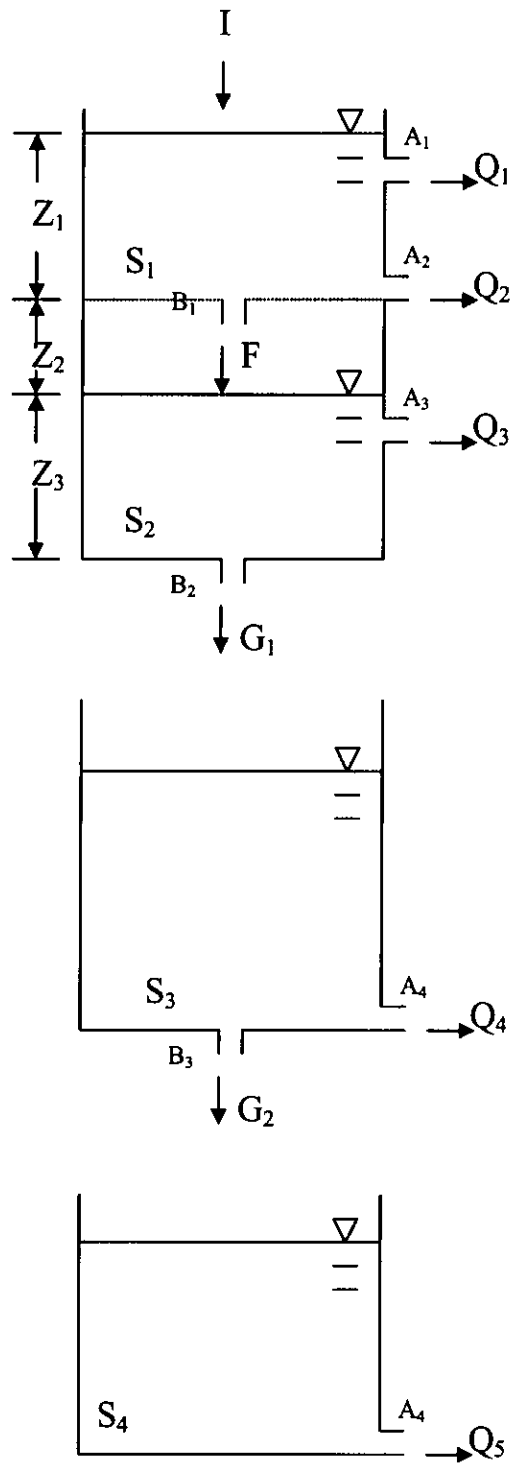
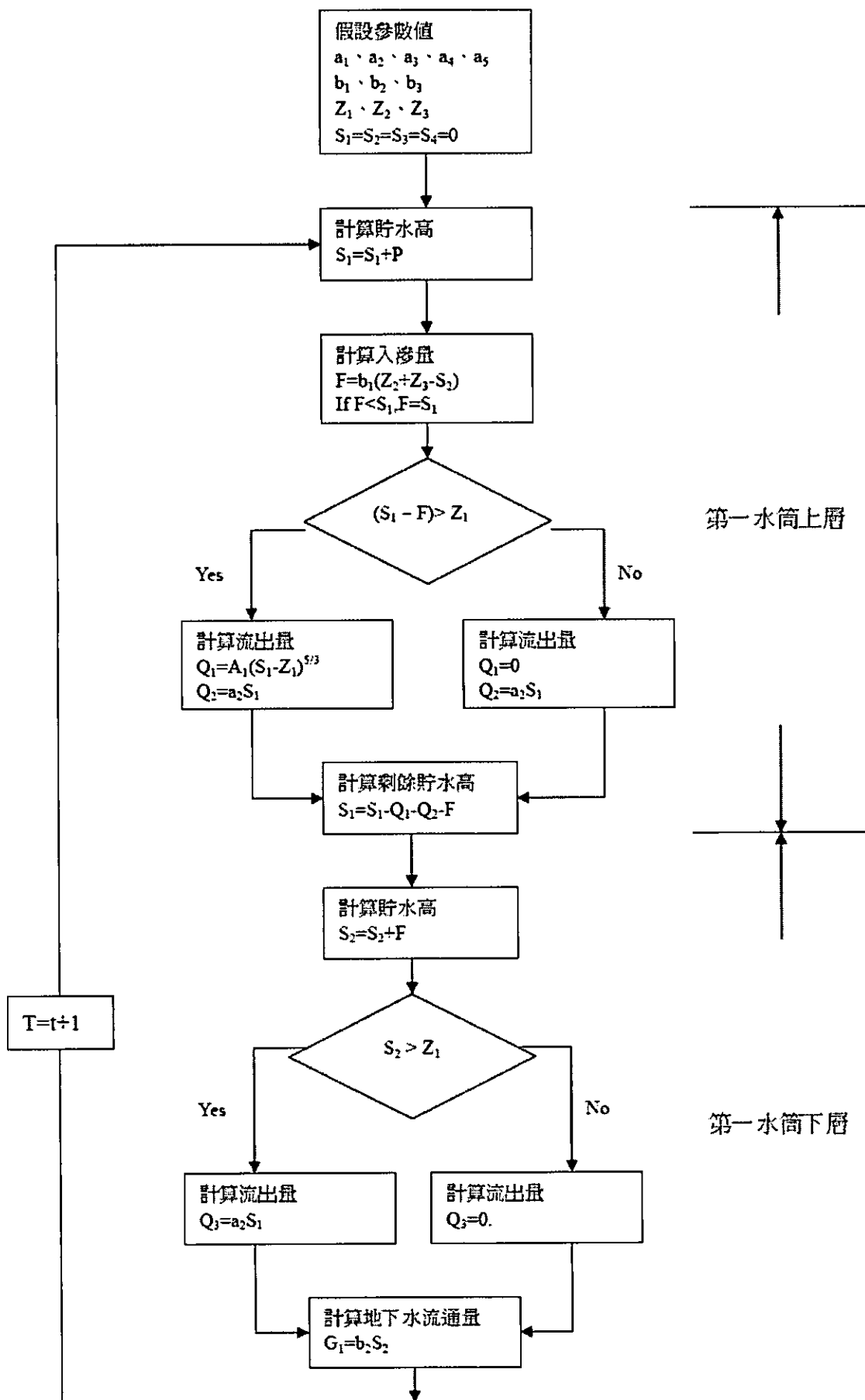


圖 F-5 LST 水筒模式架構圖  
(王如意等，1994)



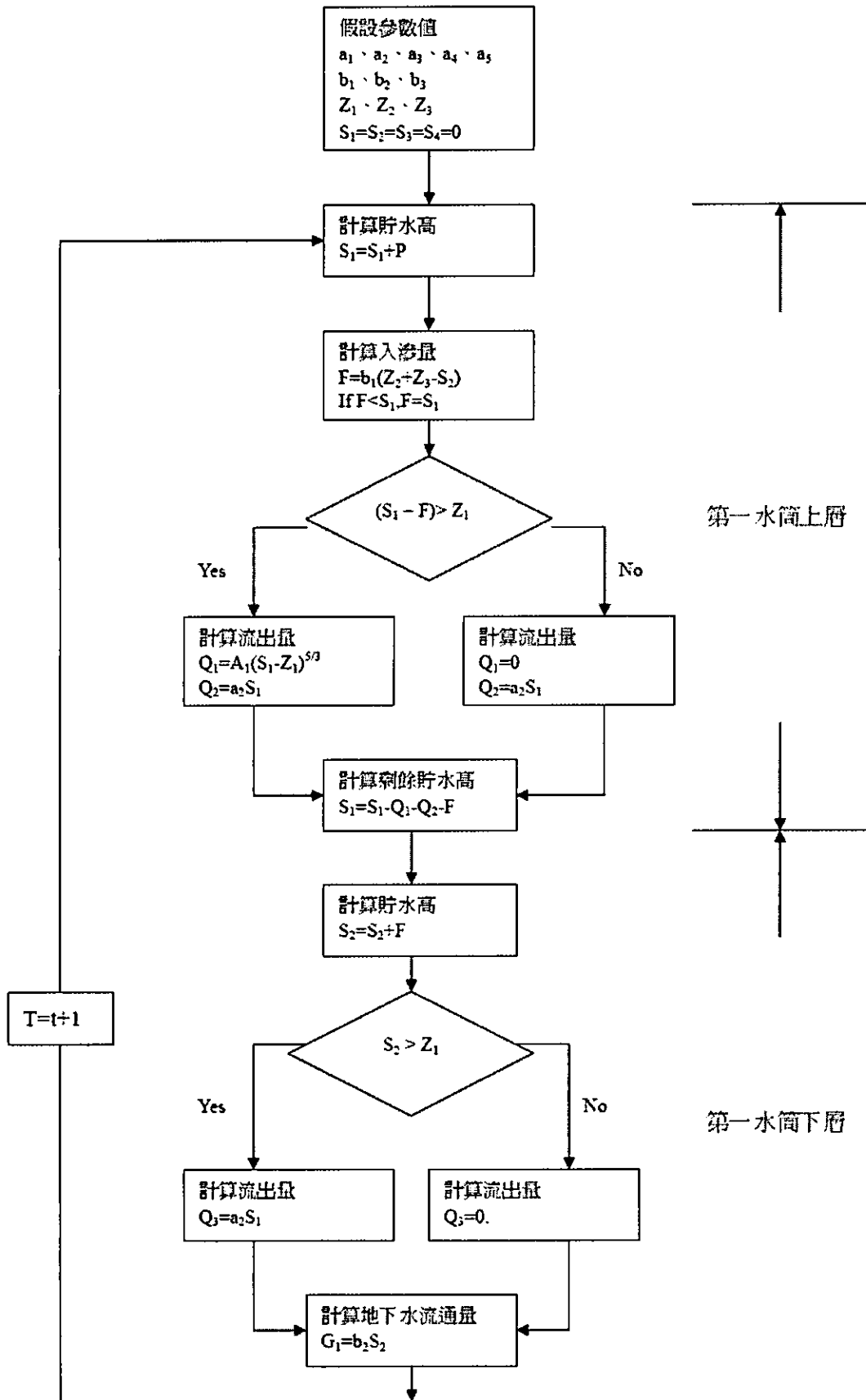


圖 F-6 LST 水筒模式演算流程圖

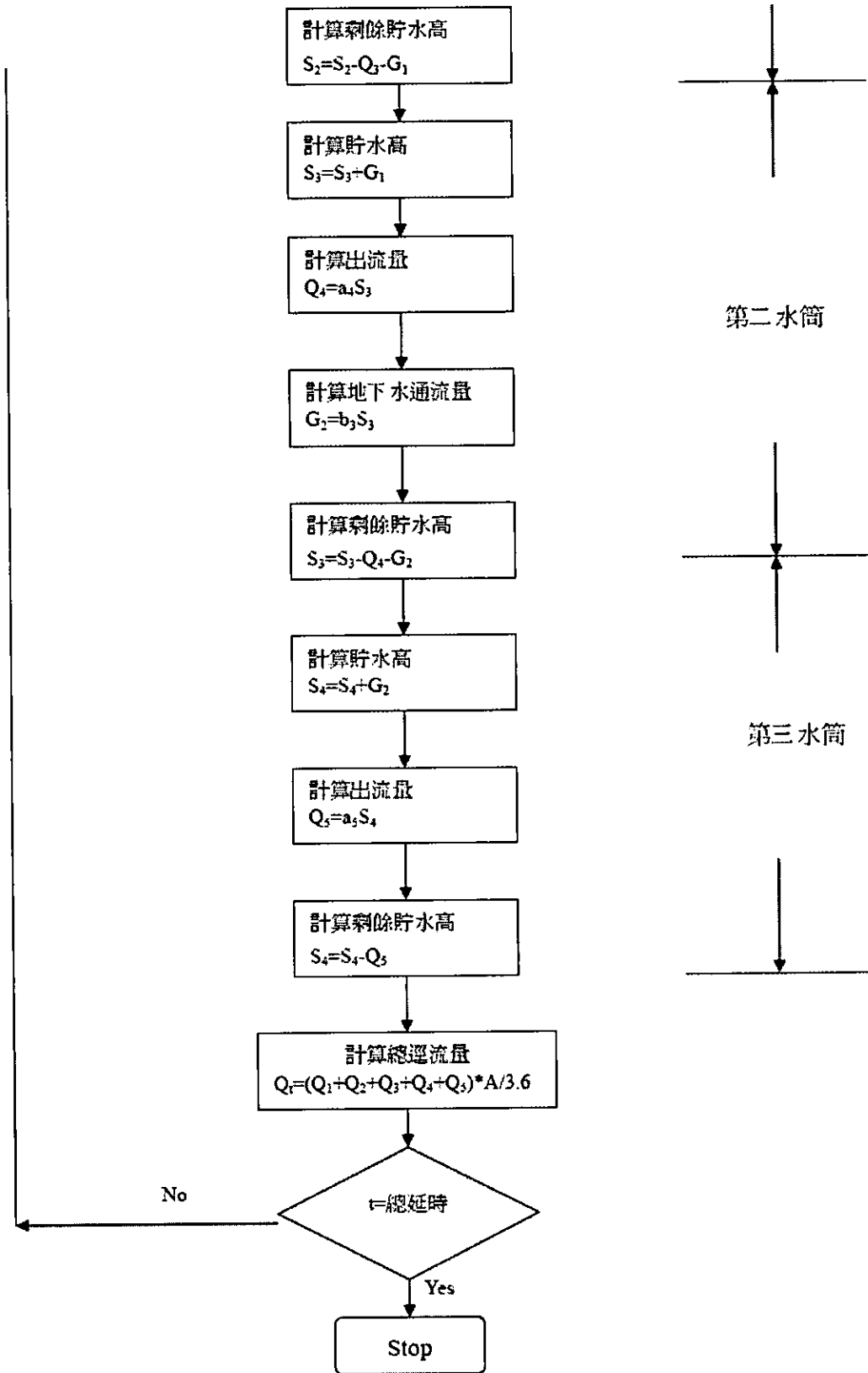


圖 F-6 LST 水筒模式演算流程圖(續)



## 附錄 G 不確定性分析方法

目前不確定性分析應用於水理與水文上常見之方法有六種 (Tung & Yen, 2005) :

- (1) 均值一階二矩法 (Mean-value First-order Second-Moment, MFOSM, Method) 。
- (2) 改良一階二矩法 (Advanced First-Order Second-Moment, AFOSM, Method) ；
- (3) 羅森布魯斯點估計法 (Rosenblueth's Point Estimation, PE, Method)
- (4) 哈爾點估計法 (Harr's Point Estimation, PE, Method) 。
- (5) 蒙地卡羅法 (Monte Carlo Simulation, MCS, Method)
- (6) 拉丁高次取樣法 (Latin Hypercube Sampling, LHS. Method) 。

茲將上述不確定性分析之理論與步驟概述如下：

### G.1 均值一階二矩近似法

在土木工程實際應用時，各個影響因子的機率分佈 (Probability Distributions) 通常不易取得，為了避免此項限制，一階二矩近似法假設各個影響因子之機率分佈可以實際數據或假設的統計平均值 (Mean Value) 及變異係數 (Coefficient of Variation, COV) 來代表。此法之理論根據為泰勒級數 (Taylor series) 展開並忽略高次項，其細節可參考 Ang and Tang (1975，一階二矩均值 (MFOSM) 法的計算流程如下：

- (1) 將包含具有不確定性影響因子之系統作業函數 (Performance Function)  $W$  如

下事表示：

$$W = g(X_1, X_2, \dots, X_n) = g(\mathbf{X}) \quad (\text{G-1})$$

(2) 以泰勒展開式將作業函數W對平均值點展開

$$W = g(\bar{X}_i) + \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i) \left. \frac{\partial g}{\partial X_i} \right|_{\bar{\mathbf{x}}} + H.O.T \quad (\text{G-2})$$

其中  $\frac{\partial g}{\partial X_i}$  為對各項影響因子的一階導數(或可稱之為敏感係數)，*H.O.T*代表高次項之展開(忽略不計)。

(3) 對(G-2)式求作業函數W的平均值及變異數：

$$\text{Mean: } E(W) \approx \bar{W} = g(\bar{\mathbf{X}}) \quad (\text{G-3})$$

$$\text{Variance: } \text{Var}(W) \approx \sum_{i=1}^n C_i^2 \text{Var}(X_i) \quad (\text{G-4})$$

$$C_i = \left( \frac{\partial W}{\partial X_i} \right) \quad (\text{G-5})$$

其中須注意的是(G-4)式的基本假設為各影響因子為統計上互相獨立(Statistically Independent)之變數。

(4) 系統作業函數W的標準偏差  $\sigma_w$  亦可由各影響因子之標準偏差  $\sigma_i$  依下式求得：

$$\sigma_w = \left[ \sum_{i=1}^n (C_i \sigma_i)^2 \right]^{1/2} \quad (G-6)$$

(5) 假設系統作業函數W呈常態分佈，則系統之可靠度指標(Reliability Index)與失敗風險可由下式算出：

$$\text{可靠度指標: } \beta = \bar{W} / \sigma_w \quad (G-7a)$$

$$\text{失敗風險: } P_f = 1 - \Phi\left(\frac{\bar{W}}{\sigma_w}\right) = 1 - \Phi(\beta) \quad (G-7b)$$

其中 $\Phi(\beta)$ 代表可靠度指標值 $(\beta)$ 之累積標準常態分佈值。均值一階二矩近似法(MFOSM)為工程風險分析一種簡便的近似法，當各項影響子因素呈常態分佈及系統作業函數W之行為可相近於各項影響子因素的線性組合時，均值一階二矩均值近似法可得相當準確的結果。

## G.2 改良一階二矩法

當系統的表現呈非線性分佈或失敗(Failure)發生時，影響因素之值將落在破壞面(Failure Surface)上，如以均值一階二矩法估計失敗風險，將產生可觀的誤差。改良一階二矩近似法(AFOSM)可改進風險分析的準確度(Yen et al., 1986)，其計算流程如下：

(1) 將系統作業函數  $W = g(X_1, X_2, \dots, X_n)$  對破壞點(Failure PPoint)  $x_p$  作泰勒展開：

$$W = g(x_p) + \sum_{i=1}^n (X_i - x_{ip}) \left. \frac{\partial W}{\partial X_i} \right|_{x_p} + H.O.T \quad (G-8)$$

其中  $\left. \frac{\partial w}{\partial X_i} \right|_{x_p}$  為各項影響子因素  $X_i$  在破壞點  $x_p$  之一階導數，*H.O.T*代

表高次展開項。然而破壞點  $x_p$  的落點無法事先預知，必須以試誤(Trial-and-Error)法疊代求出。其疊代過程如下：



1. 對各項影響因子  $X_i$  假設相應之初始試誤點(Trial Value)
2. 計算每一變數之平均值及標準偏差。
3. 對每一變數，計算相對應於初始試誤點上之一階導數  $C_i$

$$C_i = \left. \frac{\partial W}{\partial X_i} \right|_{x_p} \quad (G-9)$$

計算每一變數之相對應之敏感度(Sensitivity Factors)  $\alpha_i$

$$\alpha_i = \frac{C_i \sigma_i}{\left[ \sum_{j=1}^n (C_j \sigma_j)^2 \right]^{1/2}} \quad (G-10)$$

4. 由下式計算可靠度指標

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n C_i (\bar{x}_i - x_{ip})}{\left[ \sum_{i=1}^n (\alpha_i C_i \sigma_i)^2 \right]^{1/2}} \quad (G-11)$$

5. 如果此試誤點  $x_p$  落在破壞面(Failure Surface)上，則

$$g(x_p) = 0 \quad (G-12)$$

如(G-12)未能滿足，則修正失敗點的位置

$$x_p = \bar{x}_i - \alpha_i \beta \sigma_i \quad (G-13)$$

6. 重複步驟(3)~(5)直到疊代出正確的失敗點位置。。

- (2) 求取作業函數  $W$  之平均值、變異數及標準差平均值。

在假設各項影響子因素為統計上互相獨立(Statistically Independent)之變數。

$$\text{Mean: } E(W) \approx \bar{W} = g(x_p) \quad (G-14)$$

$$\text{Variance : } \text{Var}(W) \approx \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial W}{\partial X_i} \right)^2 \Big|_{x_p} \text{Var}(X_i) \quad (\text{G-15})$$

$$\text{Standard deviation : } \sigma_W = \left[ \sum_{i=1}^n (C_i \sigma_{X_i})^2 \right]^{1/2} \quad (\text{G-16})$$

$$C_i = \left( \frac{\partial W}{\partial X_i} \right)_{x_p} \quad (\text{G-17})$$

(3) 假設系統作業函數W呈常態分佈，則系統的失敗風險為：

$$P_f = 1 - \Phi(\beta) \quad (\text{G-18})$$

### G.3 羅森布魯斯點估算法(Rosenblueth's PEM)

羅森布魯斯於1975年首先提出點估計法(Point Estimation Method)，但其僅考慮對稱的隨機參數；而後於1981年，羅森布魯斯又將其點估計法改進成可處理非對稱的隨機參數。此法由各項隨機參數  $X_i$  之第一及第二動差來估計系統輸出)W對其原點(Origin)的第k階動差（如圖G-1~圖G-3）；此法假設每一隨機參數以集中於距平均值正負一個標準偏差（Standard Deviation）的二個點來代表對每一隨機參數  $X_i$  總體機率質量（Total Probability Mass）。此外，每一隨機參數可視為統計相關或不相關之變數。一般而言，羅森布魯斯點估計法當模式具有n個隨機參數時，則有 $2^n$ 組之參數組合；因此，當模式之參數個數過多時，則使用羅森布魯斯點估計法所需之計算量將相當可觀。

就點估計法而言，當模式具有n個隨機變數時，作業函數W對原點之k次動差(k-th Moment)之泰勒展開式如下式

$$E[(W)^k] \approx \sum p_{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n} \times w_{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n}^k \quad (\text{G-19})$$

$$P_{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n} = \prod_{i=1}^n p_{i, \delta_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \left[ \sum_{j=i+1}^n \delta_i \delta_j a_{ij} \right] \quad (\text{G-20})$$

$$a_{ij} = \frac{\rho_{ij}/2^n}{\sqrt{\prod_{i=1}^n \left[ 1 + \left( \frac{\gamma_i}{2} \right)^2 \right]}} \quad (\text{G-21})$$

其中  $p_{\delta, \delta, \dots, \delta_n}$  為代表  $n$  個隨機變數之在點機率組合(如圖 G-3 所例);  $\delta$  代表為正負符號;  $\rho$  為相關係數; 及  $\gamma$  為偏態係數。則函數  $W$  之期望值為  $E[W] = \bar{W}$ , 而變異數可由下式求得:

$$\text{Var}(W) = E[W^2] - (E[W])^2 \quad (\text{G-21})$$

#### G.4 哈爾點估算法 (Harr's PEM Method)

哈爾(Harr, 1989)改進羅森布魯斯點估計法因隨機變數個數增多而使計算量大增之缺點, 提出另一種方法將羅森布魯斯點估計法計算次數由  $2^n$  次減少至  $2n$  次。哈爾點估計法利用正交轉換 (Orthogonal Transform) 將  $n$  個相關之隨機參數轉成  $n$  個不相關之隨機參數。根據模式中隨機參數之相關矩陣 (Correlation Matrix), 找出  $n$  個對應之特徵向量與特徵值。然後找出特徵向量與以參數平均值為圓心, 以  $n^{1/2}$  為半徑之圓的  $2n$  個交點(如圖 G-4), 一旦求得  $2n$  個交點相對應之模式輸出之  $k$  階動差便可求出。哈爾點估計法步驟如下所示:

- (1) 計算隨機變數之平均值  $\mu_x = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)'$  及變異數  $D_x = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ 。
- (2) 分解隨機變數之相關係數矩陣  $R$  為特徵向量矩陣  $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  和特徵值( $\lambda$ )矩陣  $A = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  所組成之關係式,

$$R = VAV^T \quad (\text{G-22})$$

- (2) 以下式求出特徵向量和以參數平均值為圓心, 以  $\sqrt{n}$  為半徑之圓的交點  $2n$  個,

$$X_{it} = \mu_x \pm \sqrt{n} D_x^{1/2} V_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{G-23})$$

$v_i$ : 為第  $i$  個特徵向量的行向。

(3) 計算和  $W_{i+} = g(X_{i+})$ ;  $W_{i-} = g^2(X_{i-})$  之值，其中  $i=1,2,3,\dots,n$ 。

(4) 計算每一特徵向量之模式輸出值平均，如下所示：

$$\bar{W}_i = (W_{i+} + W_{i-})/2; \quad \bar{W}^2 = (W_{i+}^2 + W_{i-}^2)/2 \quad (G-24)$$

(5) 計算模式輸出之平均值及變異數

$$\begin{aligned} E[W] &= \left[ \sum_{i=1}^n \bar{W} \lambda_i \right] / n \\ E[W^2] &= \left[ \sum_{i=1}^n \bar{W}^2 \lambda_i \right] / n \\ \text{Var}\{W\} &= E[W^2] - \{E[W]\}^2 \end{aligned} \quad (G-25)$$

## G.5 蒙地卡羅模擬法

蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation, MCS)法為一傳統的技術，從參數定義域之機率分佈中隨機取樣。今日的蒙地卡羅模擬法應用於模擬牽涉隨機過程的複雜問題。蒙地卡羅模擬法是一個隨機取樣法；換言之，任何一次取樣將有可能取到參數定義域中的任何位置，通常此法的效率不高，一般來言，樣本愈大則所得的解愈正確。

## G.6 拉丁超立方取樣法

拉丁超立方取樣(Latin Hypercube Sampling, LHS)法和MCS法皆是一種統計上的取樣方式，並在參數定義域中取出適當組數之模式輸入參數，但LHS和MCS不同之處，在於LHS法在參數定義域內均勻地取出參數樣本。經由LHS取出之樣本組，分別經過模式計算，得到相對應於各組數之模式輸出值，進而統計出模式輸出之平均值及標準偏差。LHS取樣方法說明，取樣作業程序如下：

- (1) 將每一參數之求解區間劃分為K組，並使得每一組被取得的機率均為  $1/K$ 。

(2) 對每一個參數，分別指定其隨機型態或上下限，並決定其機率密度函數。

(3) 於每個細分區間中，以任意亂數之方式取樣。

(4) 重覆步驟(1)至(3)直到各參數皆完成取樣。

(5) 將各參數隨機混合，得到K組輸入參數群，均勻分布於求解空間全域。

由以上步驟所得到之K組輸入參數，再將其個別代入模式計算，作為不確定性分析之用。

### G.7 不確定性分析法之比較

不確定性分析方法在實際應用時各有其優缺點，（如表G-1）。原則上不確定分析方法可應用於各種問題，但實際應用上應根據蒐集之資料不同、問題性質及分析者程度等而使用不同之不確定性分析方法。

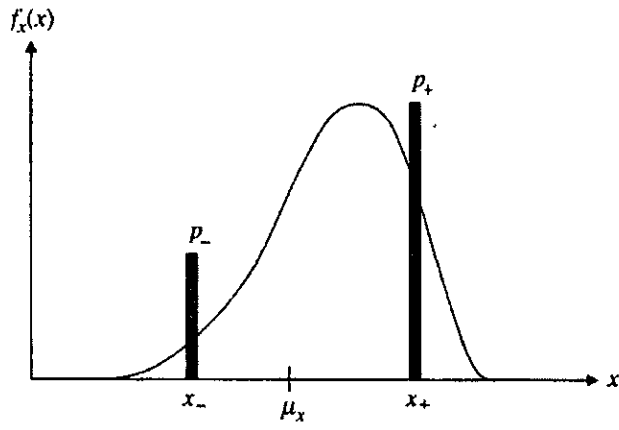
表 G-1 不確定性分析方法之優缺點

(摘至國立台灣大學水工所(2002),「水壩安全檢查最佳次序及週期之建立」)

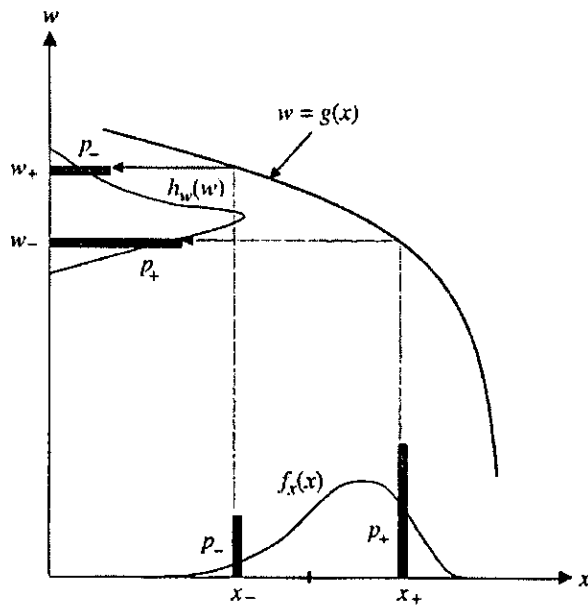
	基本假設	優點	缺點
均值一階二矩法	1.假設各項影響因子或實際取得因素呈現常態分佈或系統風險函數呈現線性分佈。	1.較簡便分析，當各項影響因素呈現常態分佈可得相當準確結果。	1.當影響因子呈現極值分佈時，利用一階二矩法所估計的風險可能產生可觀的誤差。 2.不考慮各影響因子的相關性。
改良一階二矩法	1.假設各項影響因子或實際取得因素呈現極端值分佈或系統風險函數呈現非線性。	1.工程危險時，一些影響因子常呈極端值分佈，利用改良一階二矩法較均值一階二矩法，可得較準確結果。	1.計算較均值一階二矩法複雜。 2.較適合極端事件之計算。
羅森布魯斯點估計法	1.假設每一變數之機率質量可以集中於距平均集中於距平均值正負一個標準偏差的二個點。	1.影響因子可為統計上相關或不相關的獨立變數。	1.當不確定性參數增多時，計算量會大增。

續表 G-1 不確定性分析方法之優缺點

	基本假設	優點	缺點
哈爾點估計法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設每一變數之機率質量可以集中於距平均集中於距平均值正負一個標準偏差的二個點。</li> <li>2. 影響因子可為統計上相關或不相關的獨立變數。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 利用主軸轉換的方法，大大減少了羅森布魯斯點估計法所需計算量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 程式撰寫較羅森布魯斯點估計法複雜。</li> </ol>
蒙地卡羅取樣法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 假設相關或不相關隨機變數的統計性質，計算過程中，系統的序率輸入參數根據其分佈特性產生，當足夠的模擬數組產生後，便可計算相對應的系統輸出函數的統計特性。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 最基本、最簡單的不確定性分析方法。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取樣效率較差。</li> <li>2. 計算量過大，所需模擬數組的數目又無法準確估計，以致無法確知所得之輸出函數是否具有足夠的代表性及準確性。</li> </ol>
拉丁高次取樣法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 依隨機變數的統計性質作均勻分層取樣，改進蒙地卡羅法取樣不均勻之情況。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取樣效率佳，採樣均勻，因此可將模擬組數減少，節省時間。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與蒙地卡羅法同屬於取樣法，因此模擬次數關係輸出函數的代表性，因此也需要大量計算。</li> </ol>

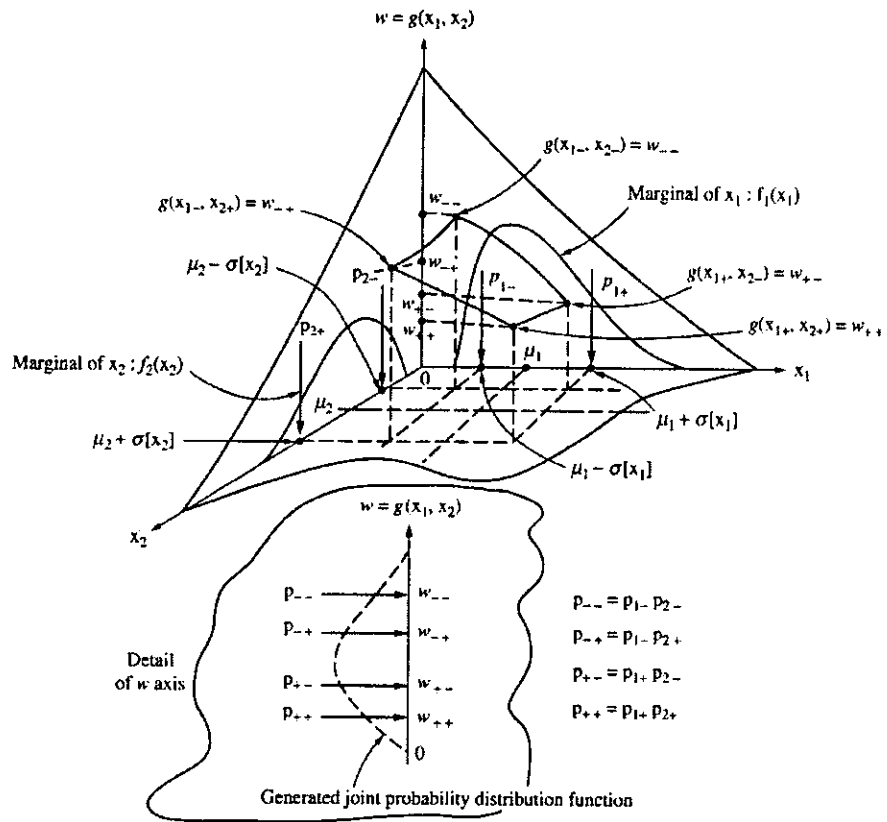


圖G-1 羅森布魯斯點估算法示意圖(Tung and Yen, 2005)

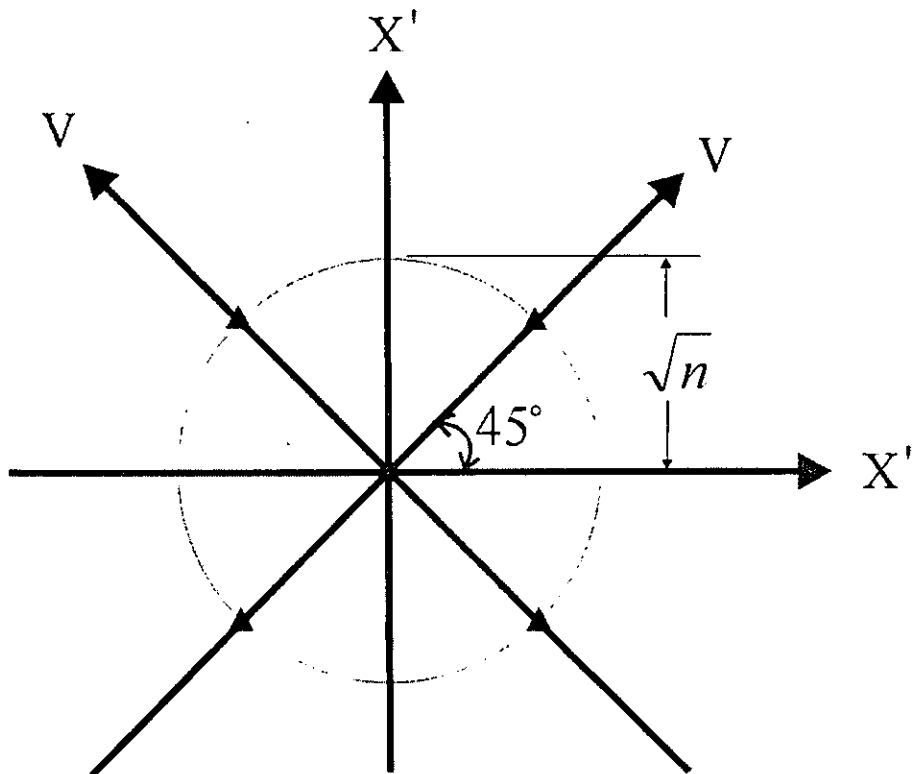


圖G-2 羅森布魯斯點估算法示意(摘自Tung and Yen, 2005)





圖G-3 羅森布魯斯點估算法示意圖(摘自Tung and Yen, 2005)



圖G-4 雙變數在標準空間之哈爾點估算法(張哲豪, 1993)

## 附錄 H 參考文獻

### 國內文獻

菅原正己(1972)，「流出解析」。

易任(1981)，「渠道水力學」，國立編譯館。

台灣省水利局(1984)，「台灣省普通河川治理規劃實務(稿)」。

王如意、易任(1990)，「應用水文學」，國立編譯館出版，茂昌圖書有限公司發行。

王如意、譚智宏(1991)，「修正型水筒模式之研究及其應用於流域逕流量之預測」，台灣水利季刊，第三十九卷，第三期，第 1-23 頁。

台灣省水利局(1992)，「台灣水文資料電腦檔應用之研究(12)全省各流域之無因次單位歷線參數推求」，農委會 81 科技-12·2-林-05(1)研究計畫。

王如意、謝龍生、李如晃(1993)，「八掌溪流域適用逕流模式之研究」，行政院國科會防災科技報告-82-07 號。

張哲豪(1993)，「考量非常態分佈資訊於水利系統不確定性分析之研究」國立交通大學土木系博士論文。

台灣省水利局(1993)，「台灣水文資料電腦檔應用之研究(12)三角形單位歷線參數之研究」，農委會 82 科技-2·8-林-04(1)研究計畫。

林國峰、李方中(1993)，「台灣地區洪水流量頻率分析準則之建立(II)」，台大水工試驗所研究報告。

林國峰、張守陽(1994)，「台灣地區雨型之研究(一)-(四)」，台大水工試驗所研究報告。

王如意、李如晃、謝龍生、朱子偉(1994)，「八掌溪流域降雨預報模式之研究」，

國科會專題計畫報告。

徐義人(1995),「應用水文學」,國立編譯館出版,大中國圖書公司印行。

李光敦、楊銘賢、鄭璟生、張進鑫(2000),「流域整體規劃河川集水區數值地形資訊系統建立(一)」,經濟部水利處水利規劃試驗所委託計畫。

經濟部水利處水利規劃試驗所(2000),「洪氾區劃設準則及模式研究(第一年)」。

張斐章、易任、林獻博、王文清(1995),「運用線性動差於水文頻率分析之研究」,台灣水利,第43卷,第2期,第24-36頁。

王如意、李孟穎(1999),「水文頻率分析之離群值、可信區間與最小需求記錄年數」,台灣水利,第43卷,第2期,第1-21頁。

經濟部水資源局(2002),「水壩安全檢查最佳次序及週期之建立」。

蔡長泰(2002),「地層下陷區土地利用對淹水潛勢影響之研究(2/3)」,經濟部水利署委託計畫。

許銘熙(2002),「區域排水淹水模式之研究」,經濟部水利處水利規劃試驗所委託計畫。

楊錦釗,張哲豪,謝德勇(2003),「洪氾區劃設準則及模式研究」經濟部水利處水利規劃試驗所委託計畫。

### 國外文獻

Ang, A.H.S., and Tang, W.h., (1975). *Probability concepts in engineering planning and design* Vol.I, John Wiley and Sons, New York.

Bobee, B., and Robitaille, R., 1975. "Correction of bias in the estimation of the coefficient of skewness." *Water Resour. Res.*, 11(6):851-854.

Chow, V.T., 1959. *Open channel hydraulic*. McGraw-Hill, New York.

Cheng, B.L.M., 1982. *A study of geomorphologic instantaneous unit hydrograph*. PH.D thesis, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Illinois, USA.

Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mys, L.W., 1988. *Applied hydrology*. McGraw Hill

Book Company Inc., New York.

**Federal Emergency Management Agency**, 1991. *Federal Insurance Study Guidelines and Specifications for Study*. Contractor's FEMA 37. Washington, D. C.

**Gupta, V.K.**, Waymire, E,m and Wang, C.T., 1980. "A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology." *Water Resour. Res.*, 16(5):855-862.

**Harr, M.E.**, 1987. "Probability estimation for multivariate analysis." *Applied Mathematical Modeling*, 13, 313-318.

**Huff, F.A.**, 1967. "Time distribution of rainfall in heavy rainfalls." *Water Resour. Res.*, 3(4): 1007- 1019.

**Hosking, J.R.M.**, 1986. "The theory of probability weighted moments." *IBM Research Report.*, No. 12210, October.

**Hosking, J.R.M.**, 1990. "L-moments: analysis and estimation of distribution using linear combination of order statistics." *J.R. Stat. Soc., Ser. B.*, 52: 105-124.

**Hosking, J.R.M.**, 1992. "Moments or L. moments?" *The American Statistician*, 46(3): 186-189.

**Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R.**, 1997. *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Camberidge university press, New York.

**Jin, C.C.**, 1992. "A deterministic gamma-type geomorphologic instantaneous unit hydrograph based on path types." *Water Resour. Res.*, 28(2): 479-486.

**Lee, K.T. and Yen, B.C.**, 1997. "Geomorphology and kinematic-wave based hydrograph derivation." *J. Hydrl. Engrg.*, ASCE, 112(10): 928-934.

**Pilgrim, D.H. and Cordery, I.**, (1975) "Rainfall temporal patterns for design floods." *J. Hydraul. Div.*, ASCE, 101(HY1): 81-95.

**Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B.**, 1979. "The geomorphologic structure of hydrologic response." *Water Resour. Res.*, 15(6):1409-1420.

**Rosenblueth, E.**, 1975. "Point estimates for probability moments." *Proceedings of Nation Academy of Science*, 72(10): 3812-3814.

- Rosenbluth, E.**, 1981. "Two-point estimates in probabilities." *Applied Mathematic Modeling*, 5:329-335.
- Tung, Y.K. and Yen, B.C.**, 2005. *Hydrosystemns engineering uncertiany analysis*. McGraw Hill, New York.
- U.S. Water Resources Council, Hydrology Committee**, 1981. *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*. Bulletin 17B, Washington, D.C.
- U.S. Army Corps of Engineers**, 1982. *HEC-2 Water Surface Profiles Users Manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- U.S. Army Corps of Engineers**, 1985. *Open Channel Flow and Sedimentation TABS-2 User's Manual*. Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- U.S. Federal Hyghway Administration**, 1989. *Finite Element Surface-Water Modeling System: Two-dimensional Flow in a Horizontal Plane (FESWMS-2DH), User's Manual*. Office of Research, Development and Technology ,McLean, Virginia.
- U.S. Army Corps of Engineers**, 1998. *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*. Hydrologic Engineering Center, Davis, California.
- Vogel, R.M. and Neil, M.F.**, 1993. "L-moment diagrams should replace product moment diagrams." *Water Res. Res.*, 29(6): 1745-1752.
- Yen, B.C., and Cheng, S.T.**, 1986. *Statistic and Risk Analysis in Hydraulic Engineering*. Water Resources Pulbications, Colorado.

洪氾區劃設法制化與整合管理系統建置之研究  
洪氾區劃設技術參考手冊(附本)  
=Legislative Research on the  
Floodplain Management-Technically and Legally  
Defining the Floodplain Area and  
Planning the Land Management Mechanism/  
[經濟部水利署水利規劃試驗所編].--第一版.--  
臺中縣霧峰鄉：水利署水規所, 2006[民 95]

面：公分  
參考書目：面  
ISBN 986-00-4747-2(平裝)

1. 防洪－管理－自動化

443.62029

95005535

洪氾區劃設法制化與整合管理系統建置之研究

洪氾區劃設技術參考手冊(附本)

---

發行人：陳弘由

發行所：經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：台中縣霧峰鄉吉峰村中正路 1340 號

電話：(04)23304788 傳真：(04)23300282

出版年月：2006 年 03 月

版次：第一版

GPN：1009500701

ISBN：986-00-4747-2

---

版權所有，翻印必究