

水文分析系統觀念與暴雨頻率分析概說

林維明/台灣省及台北市水利技師公會理事

前言

本文主要目的在闡述水文分析系統的基本概念及常用之海生法及對數皮爾森第三型的暴雨頻率分析法。由於水文循環的適當掌握與運用，可解決用水與減少洪災，所以水文分析系統觀念與暴雨頻率分析對水利工程師是相當的重要。本文以電腦系統操作之觀念簡化複雜的水文系統。逕流可分為地面逕流和地下水，在實用上不易分隔，而是使用表面流和基流以簡化集水模式。本文所列原理可利用電腦建立分析模式具實用化。

一、水文分析系統觀念概說

2.1 系統之定義及基本觀念

在討論水文分析系統之前，必須先了解系統之定義，根據專家學者對系統之定義可歸納如下：

- (1) 系統實質上是為整體與其單元的相關性。
- (2) 系統是對一物理或絕對物體的一種很有秩序的排列。
- (3) 系統為任一實體，觀念或物理量，包括其相依部份。
- (4) 系統為一裝置，可接受及產生一個以上之輸入與輸出資料。
- (5) 系統為任何一個結構、裝置、計畫、程序、實體或絕對物理量等。在一參考時間內與相關材料、能量、或資訊的輸入，原因，或激勵物，以及其輸出，影響性，和反應等的相互關係。

綜合上述系統定義，可見系統的功能為根

據物理定律將輸入資訊轉換為輸出資訊的相關性。而輸入或輸出的資料可能包括能量、材料或資訊等。在應用科技之應用上，所考慮的是所關心的預測系統的輸出資料，其影響因素如圖1所示，必須有一些假設條件之輸出數據，需知道一些物理定律控制或合理的假設以控制系統之特性和行為，由於其物理定律不易決定，或太複雜而難予應用。另外不均勻性或系統之幾何太複雜，因此很難預測系統的行為。所以在處理上是如何化解其複雜性。

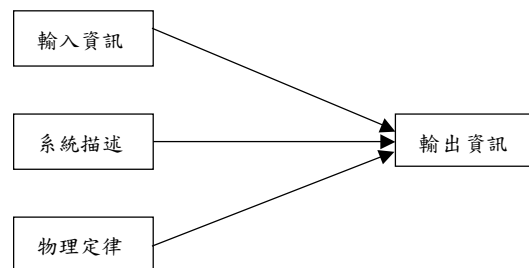


圖1 輸出資訊之影響因素

圖2說明系統處理問題的基本特性。是將圖1的單元重新排列及介紹系統操作之觀念。在系統處理上，由所包含之物理定律及系統結構特性所引起的複雜性都併入系統操作之觀念中。若此兩者有所改變，則系統操作亦隨之而異，其影響性如圖2中縱軸上之關係。然而在處理一些特殊系統上，則如圖2中之橫軸之關係。系統操作為接受輸入單元，然後將其轉換成輸出單元的一個過程。在系統分析上，僅考慮所使用轉換之方法而已。如在利用單位歷線預測暴雨逕流量之處理上，過剩的暴雨量為其輸入資料，而暴雨逕流量為輸出資料，而在其轉換過程中，整個集水區系統的操作可歸納

為一單位歷線型式。

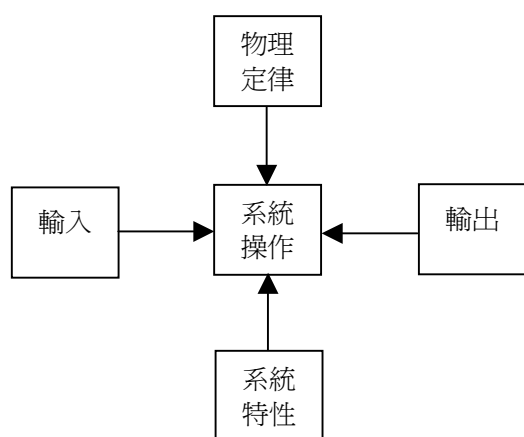


圖2 系統操作之觀念

一複雜之系統可分為子系統，每一子系統可由其個別的輸入與輸出之連鎖而加以確認。子系統亦可再分為分量，每一分量均有其各別之輸入與輸出單元。

其次談到系統狀態之觀念，系統之任一變數之改變，將使得系統之狀態產生變化。若所有變數均完全已知，則系統狀態亦已知。例如一集水區之地表逕流量，地下水量及河川水量均已知，則可充分了解集水區之逕流量狀態。一系統之狀態可以各種方式決定，在某些系統中，可由先前之經歷決定現今之系統狀態，而另一些系統記憶對於系統之狀態相當的重要，則可由一些外在因素或不規則之因素決定的。

記憶為過去時段中可供輸入之資料。對系統狀態的良劣相當的重要。若系統中無記憶資料則其狀態及其輸出資料，僅能依據現有之輸入資料。而若有無限多之記憶，則可依系統之過去所存的資料而定。但若記憶僅為有限的資料，則系統之行為狀態及其輸出，將可依此有限資料而定。

在系統分析技術上，線性及非線性之確定是相當的重要。線性系統具有疊加特性，而非線性者不具此特質。另外時間因變或獨立的系統分野也是很重。時間獨立之系統為其輸入

與輸出之關係，不依所應用的輸入資料之時間而改變。實際上大多數水文系統都是時間的因變數。其變化性隨四季變化而變，而在一天中則隨太陽之活動變化而異。然而一般大都假設系統為時間不變，具獨立性。

另外也需分辨具有連續性、個別性的數量化系統。連續性系統為系統之操作可續性進行。個別性系統為在個別時間內系統的狀態會改變。系統的輸入與輸出為連續性，即其值為持續性已知且可經常取樣，因此可提供實際上的連續記錄，例如長期流量計所測得之數據。

一輸入或輸出資料為個別性者，是指僅在一定時間取樣而獲取之數據。例如自記式雨量計可控制測定定點定時段之雨量記錄。而數量化輸入或輸出資料為其值僅在一定個別時段下產生變化之資料，但取其平均值。例如許多降雨量記錄，係以一時段，例如一小時或三小時等為基準，故其資料為數量化記錄。

輸入和輸出的變數或系統之參數，可能以塊狀或分佈型態出現。例如在水文分析中，以集水區之平均雨量作為時間為獨立變數。而分佈型態的系統，則需考慮時間與空間之變化，係以偏微分方程式求解。

系統亦可分為決定性和概率（隨機）性兩種。前者可以解析方法推算未來結果，若以相同之輸入資料，則可得相同之輸出資料。而概率系統則是含有一個或數個單元，描述輸入和輸出資料間的關係，是使用統計方法而非用解析法，也就是說無法以解析方式求得唯一而確定之數據。

有時系統也可分為自然系統及可控制系統兩類。前者之基本特性為即使可量測系統中之輸入，輸出或狀態變數之數據，然而這些都是不可控制的。但在可控制系統中如在電子系統中，其輸入資訊均為可控制與量測的。

在系統描述上，可分為簡易或複雜兩類。在複雜情況下，經常有回饋系統之建置就是輸出資料可再回饋至作為輸入資料重新演算。系

統處理上最重要的性質為其穩定性。一套穩定性系統，是若其輸入有受限制條件，則其輸出亦同樣的受限。在水文的系統上是相當穩定的。有些系統為求穩定性，會設計有負面之回饋系統建置。而有些則為超穩定性之設計，就是即使在外界環境下有不可預期之改變，亦可保持穩定。除建置回饋系統外，亦可採用由過去所學習之經歷改寫系統而使其性能改善。

一套具有因果關係之系統為輸出不能比輸入提早發生。換言之，結果不能在原因之前。在水文分析系統的所有系統都是以因果關係處理的，模擬系統亦需可以據實表現的。在系統操作上，可用數學式表示如下：

$$y(t) = h(t) \cdot x(t) \quad (1)$$

式中 $y(t)$ 及 $x(t)$ 分別為輸出和輸入函數，而 $h(t)$ 為系統操作的數學函數。此三者之關係如表1所示，說明如下：

表1 系統問題之歸類

問題型態	輸入	系統	輸出
預測	已知	已知	未知
分析 鑑定	已知	未知	已知
鑑定	未知	已知	已知
合成(模擬)	已知	相當未知	已知

- (1) 若已知輸入資料及系統操作之方法，則可預測輸出數據。例如已知單位歷線法系統分析及降雨量，就可求解逕流量。
- (2) 已知輸入和輸出數據，而需求解描述系統操作之函數。例如未知單位歷線法之系統分析處理方式，則需根據過去之降雨量數據所推導的復現期暴雨量統計值以及逕流量之實測資料，去推導單位歷線之操作方法。
- (3) 若已知系統操作方式和輸出資料無誤，而需偵測輸入資料之正確性。例如工程

師太有自信以為偵測儀器式完美無缺，而實際上觀測儀器，由於信號偵測或信號鑑定上出了問題，致使輸入資料不正確。因此實際上鑑定工作之問題比預測輸出資料更難。

- (4) 複雜的水文系統，可應用簡單之數學模式模擬，使得可再一定的可靠度下將一已知的輸入資料轉換為輸出資料。這是一種模擬合成的問題。其工作包含選擇模式和用分析對此模式的操作測試，這種處理方式比起鑑定工作是難上加難。

系統之分析和合成的科技處理方式的成功必須建立在有完整的數學基礎上，在本文中將詳述這方面的一些應用技巧。

2.2 水文分析系統

規劃各種水文子系統之前，必須充分了解水文循環系統如圖3至圖5所示。後兩者為根據前者做出塊狀型式。由圖中可見水文循環系統為一密閉式，就是說在系統循環內之水量永遠保持不變。水之運動可能僅受到太陽之輻射熱源變化，而發生循環變化。圖4將水文循環系統分成大氣、地表面、地層（未飽和相）和地下水（飽和相）及渠道網路和海洋、地殼等子系統。每一子系統均含有各別的組分量，但為整體分析與討論目的，這些組成分將合成為一子系統。在圖4之系統中之輸入和輸出均為材料，在各相中，水自循環中進出或貯存，而圖5為類似電機工程師所表示電路的水文循環網路。

古典水文學或系統水文學均未將水文循環當作一整體考量，而是將大氣部分留給氣象學家、地殼部分給地質學者，而海洋部分給海洋學家負責。因此剩餘的子系統如圖6所示。所以系統不再是密閉式。水輸送線包括降雨（Precipitation, P）、蒸發（Evaporation, E）、蒸散排出（Transpiration, T）、入滲（Filtration, F）及逕流（Runoff, R）等，在本系統中可為輸入和輸出。而實際上是將降雨量當作輸入，

逕流當作輸出。而蒸發和蒸散排出很難決定為輸入或輸出資料。在圖 6 之逕流可分為地面逕流 (Q_o)、地層逕流 (Q_i) 或地下水 (Q_g)，然而在實用上不易分隔，而是使用表面流和基流。如圖 7 之簡化的集水模式，將降雨量 (P) 分為過剩暴雨量 (Excess Precipitation, P_e) 和入滲量 (Infiltration, F) 和其他損失。前者產生直接暴雨逕流量，而以表面流 (Q_s) 相流出，而入滲則貯存在土壤中，除蒸散排出外再流入地下水中，而以基流 (Q_b) 相流出，然而此模式亦不實用，而將基流自總降雨量中分離掉，而以暴雨過剩量計算暴雨逕流量。若以圖 6 或圖 7 處理集水模式均為非線性模式，在處理上相當地困難。歷線逕流量模式技術則為線性行為。

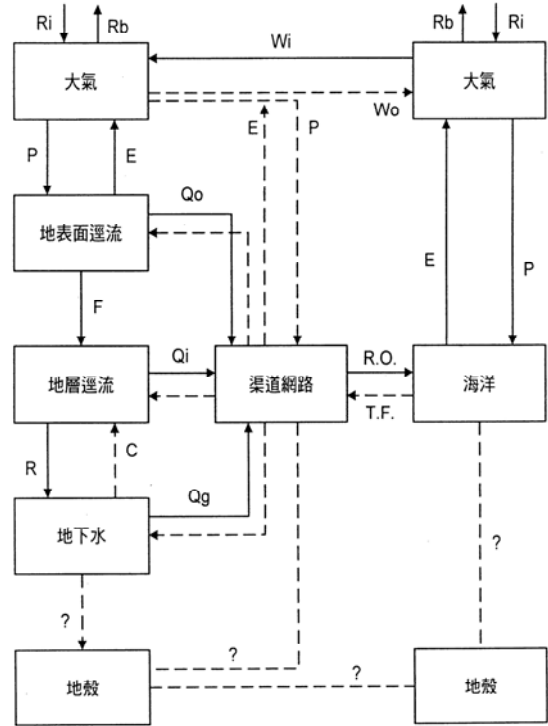


圖 4 水文循環狀圖 (一)

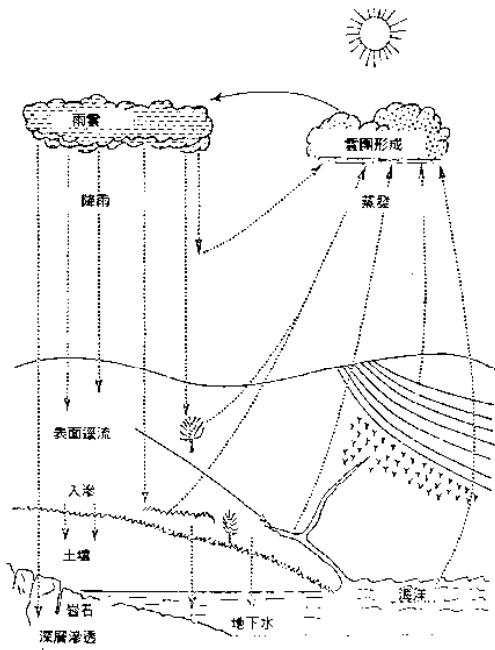


圖 3 水文循環示意圖

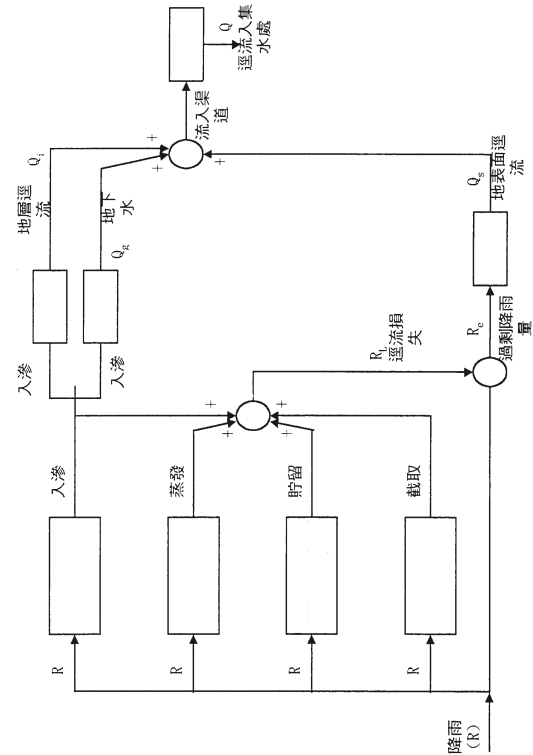


圖 5 水文循環網路圖 (二)

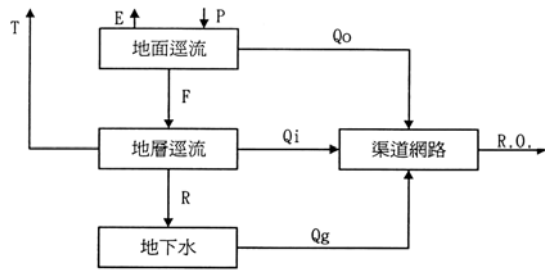


圖 6 集水系統示意圖

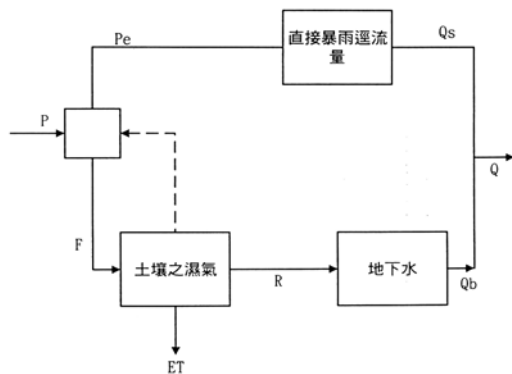


圖 7 簡化之集水模式

二、暴雨頻率分析

3.1 概述

暴雨頻率分析係利用實測記錄，根據樣本之統計學的性質，以各種方式計算不同再發生之水文發生值，推測未來可能發生的數值，以作為計畫或設計之參考數據。降雨量分析一般採用之原則為：

- (1) 分析雨量樣本，以採用每年一次最大值為原則。
- (2) 雨量資料（樣本）應儘可能採用長期記錄。
- (3) 頻率分佈曲線，應採用最適合性者。

暴雨量 X 發生次數除以總發生次數稱為機率 $p(x)$ ，而 $\sum p(x) = 1$ ，累積頻率為 $P(X \geq X_1)$ 等於或大於某雨量變數之發生機率，可寫為：
$$P(X \geq X_1) = \sum p(x)$$

累積頻率亦可以小於或等於某雨量變數之發生概率可寫為：
$$P(X \leq X_1) = \sum_0^{x_1} p(x)$$

$P(x \leq x_1)$ 稱為未超過某一水文事件之機率，而 $P(x \geq x_1) = 1 - P(x \leq x_1)$ 稱為超過某一次水文事件之機率。一般將水文事件之發生頻率分佈稱為頻度分佈曲線或稱機率密度曲線，而累積頻率分佈則為大於或小於某一水文事件的累積機率曲線。

復現期 (T)：復現期為大於或小於某 x 值水量可能發生之平均年數。若 K 年期間有 N 個暴雨量數據 ($N=K$)。故復現期與累積超過頻率有互為倒數之關係。

3.2 暴雨頻率分佈計算法：

水文資料之頻率（發生次數）曲線通常以非常態的分佈者較多。因此如何尋求可適宜代表該水文資料之非對稱分佈之數學公式，以利推定資料不足情況下再發生年數下之變數發生值為水文統計之重要課題。其計算方法很多，其分佈型式大致上可為二大類，一為設法使其常態化（正規化），以利用常態分佈之特性者，另一是直接利用非對稱（或偏差）分佈函數者。前者有對數常態，幾次根常態，經驗分佈函數之直接常態化等方法，後者有利用指數型分佈， r - (gamma) 函數，極端值分佈等，也有兩者混合應用者。

常用的暴雨頻率分佈型式有常態分佈 (Normal Distribution)、對數皮爾森第三型分佈 (Log-Pearson Type III) 法、極端（極大或極小）值分佈 [Extremal (maxima/minima) Distribution]、海生 [Hazen] 法及周文德 [V.T.Chow] 法。本文僅選用海生法和對數-皮爾森第三型法兩種分析法進行討論。

3.3 頻率分佈點繪方法概述

通常以橫軸表示頻率或再發生年，縱軸表示變數，縱座標通常為普通方格，或為對數，平方根或立方根方格等。橫座標方格劃分有 Hazen 機率方格和 Gumbel 機率方格兩種，Hazen 機率格紙之橫座標劃分，係根據 Gauss 常態機率曲線原理演譯而成，以頻率 50% 處為中心，左右方格對稱，可根據表 2 資料自行

繪製如圖 8 之座標圖紙，而 Gumbel 機率紙之橫座標劃分，係依下式來求得：

$$P = \exp[-\exp(y)]$$

P=累積頻率，y=變數，e=自然對數 2.718

除 Gumbel 法必須採用 Gumbel 機率紙，Chow 法可以採用 Chow 機率紙或 Hazen 機率紙外，其餘各法均採用 Hazen 機率紙，樣本為指數分佈，因此需做一些線性化轉換，然後點繪轉換的樣本資料後，各點形成直線狀分佈，或近似直線的有規律曲線，以便可以內插法或向外延伸法求出任意復現期下之數據。

設計雨量強度應以最大之暴雨量為根據。但是暴雨量資料收集不易，因此僅能用短期之暴雨量，利用統計方法預測長期可能發生

之暴雨量之大小，以為設計之根據。其方法主要是延伸一些長期代表性暴雨量或分析每年最大之雨量及研究一些主要的暴雨量等。

$$\text{另可依 } T = \frac{1}{P} \text{ 劃分再現期 (T) 之橫座標}$$

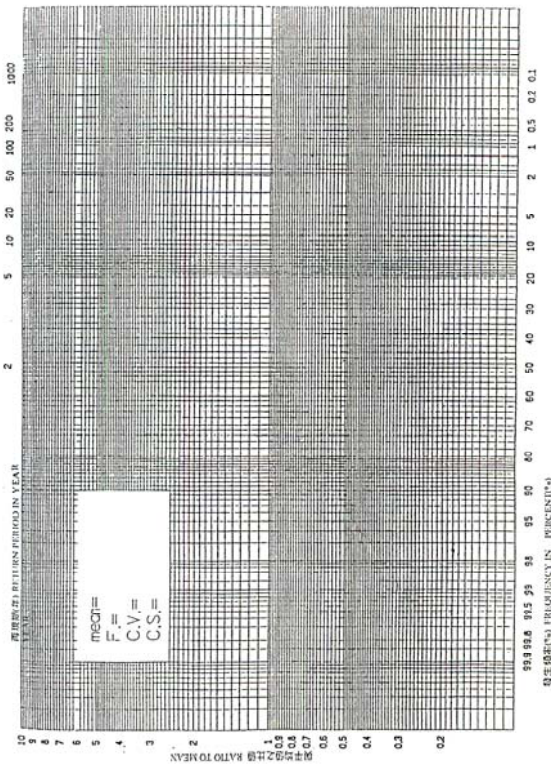
位置。

表 2 海生 (Hazen) 機率紙橫坐標劃分表

註：X 值視所需圖幅之大小，可以放大某倍數來使用。

P%	X	對稱 P (%)	P (%)	X	對稱 P (%)
0.01	3.718	99.99	10	1.282	90
0.02	3.540	99.98	12	1.175	88
0.03	3.413	99.97	14	1.080	86
0.04	3.355	99.96	16	0.995	84
0.05	3.291	99.95	18	0.915	82
0.06	3.239	99.94	20	0.842	80
0.08	3.155	99.92	22	0.772	78
0.1	3.090	99.9	24	0.706	76
0.2	2.878	99.8	26	0.643	74
0.3	2.747	99.7	28	0.583	72
0.4	2.651	99.6	30	0.525	70
0.5	2.575	99.5	32	0.468	68
0.6	2.512	99.4	34	0.412	66
0.8	2.409	99.2	36	0.358	64
1	2.326	99	38	0.305	62
2	2.054	98	40	0.253	60
3	1.880	97	42	0.202	58
4	1.750	96	44	0.151	56
5	1.645	95	46	0.100	54
6	1.556	94	48	0.050	52
8	1.405	92	50	0	50

圖 8 海生法暴雨頻率分析圖



3.4 計畫降雨之時間分佈

降雨強度之時間分佈相當複雜，每次降雨不但強弱不一，而且其隨時間之變化性又大。為計畫之需要，推估將來可能發生之降雨情況，除研究可能發生（不同頻率別）的降雨量外，並需求出其代表性降雨型（計畫降雨的時間分佈）以供各種計畫方案之研究。

一般決定計畫降雨時間分佈型的方法概示如下：

1. 假定降雨量與時間分佈為獨立事件。
 - (1) 選取數種代表雨型，以各別時間降雨量重疊，求其加權平均而作成。
 - (2) 以某一次代表降雨量之時間分佈，直接應用。
2. 假定降雨量與時間分佈為因變事件。
 - (1) 以各頻率別降雨量之對應分佈型，分組如前法，計算其分佈型。
 - (2) 以各頻率別之代表降雨量型態為計畫分佈降雨量直接應用。

3.5 暴雨頻率計算及暴雨頻率曲線製作

計算工程專案之暴雨頻率分析時，通常以實測年雨量、月雨量或一定期間（如 6~10 月）之雨量、最大一日、二日、三日暴雨量等等水文資料。分析時，係以統計法計算某一頻率之數值，作為工程規劃與設計之依據。

用於頻率計算之數值來源為：年雨量統計採用每年年總雨量，月雨量統計採用指定月份之總雨量，最大一日、二日、三日暴雨量及最大洪水統計採用每年最大值…等，視其統計期間而異。

計算頻率時，需注意下列各項：

- (1) 記錄宜長久而中間未中斷者，如遇缺測時，應參考鄰近站之實測值予以補遺，否則祇能採用未中斷年份來統計。
- (2) 以一站之記錄值（點雨量）統計時，可直接應用該站之數值，如採用數站之記錄時（如欲求流域平均雨量），應採用同日或同期間發生而能使其合計或平均值變成最大或最小者。
- (3) 頻率之延長，通常不能超過觀測年數之二倍，過分延長時，其精確度較低，如觀測期間為 20 年，最大只能計算 40 年一次之頻率數值。40 年以上一次之頻率數值，將有欠精確。
- (4) 通常以海生法對數皮爾森第三型法等作為分析工具。

以下列舉海生法與對數-皮爾森第三型法的計算與曲線製作方法。

1. 海生（Hazen）暴雨頻率分析法

海生氏法根據實測值，以變異係數(C.V.)及 Foster 之修正係數 ($F=1+8.5/n$)，計算偏差係數 (C.S.) 後查表 3 之偏差因子就可計算。

本法對記錄年份之長短係以 F 加以修正，為其特色點。列舉範例說明其應用方法如下：

表 3 海生法的偏差因子推算值 ($F = 1 + \frac{8.5}{n}$ 型)

偏差 係數 (C.S.)	發生頻率 (%)									
	99	95	80	50	20	10	5	1	0.1	0.01
	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	復現期 (年)									
	1.01	1.05	1.25	2	5	10	20	100	1000	10000
0	2.32	1.64	0.85	0	0.84	1.26	1.64	2.32	3.09	3.72
0.1	2.25	1.62	0.85	0.02	0.84	1.26	1.67	2.40	3.24	3.96
0.2	2.18	1.59	0.85	0.03	0.83	1.27	1.71	2.48	3.39	4.20
0.3	2.12	1.56	0.85	0.05	0.83	1.28	1.74	2.56	3.55	4.45
0.4	2.05	1.53	0.85	0.08	0.82	1.29	1.76	2.64	3.72	4.72
0.5	1.99	1.50	0.85	0.08	0.82	1.29	1.79	2.72	3.90	5.00
0.6	1.92	1.47	0.85	0.09	0.81	1.29	1.81	2.80	4.08	5.30
0.7	1.86	1.44	0.85	0.11	0.80	1.30	1.84	2.89	4.28	5.64
0.8	1.80	1.41	0.85	0.12	0.79	1.30	1.86	2.97	4.48	6.00
0.9	1.73	1.38	0.85	0.14	0.77	1.30	1.88	3.06	4.69	6.37
1.0	1.68	1.34	0.84	0.15	0.76	1.30	1.90	3.15	4.92	6.77
1.1	1.62	1.31	0.84	0.17	0.75	1.29	1.92	3.24	5.16	7.23
1.2	1.56	1.28	0.83	0.18	0.74	1.28	1.94	3.33	5.40	7.66
1.3	1.51	1.25	0.83	0.19	0.72	1.27	1.96	3.41	5.64	8.16
1.4	1.46	1.22	0.82	0.2	0.71	1.27	1.98	3.50	5.91	8.66
1.5	1.41	1.19	0.81	0.22	0.69	1.26	1.99	3.59	6.18	9.16
1.6	1.60	1.16	0.81	0.23	0.67	1.26	2.01	3.69	6.48	9.79
1.7	1.32	1.13	0.80	0.24	0.66	1.25	2.02	3.78	6.77	10.40
1.8	1.27	1.10	0.79	0.25	0.64	1.25	2.03	3.88	7.09	11.1
1.9	1.23	1.07	0.78	0.26	0.62	1.24	2.04	3.98	7.42	11.8
2.0	1.19	1.05	0.77	0.27	0.61	1.24	2.05	4.07	7.78	12.60
2.1	1.15	1.02	0.76	0.28	0.59	1.24	2.06	4.17	8.13	13.4
2.2	1.11	0.99	0.75	0.29	0.57	1.24	2.07	4.27	8.54	14.30
2.3	1.07	0.96	0.74	0.3	0.55	1.23	2.70	4.37	9.35	15.3
2.4	1.03	0.94	0.73	0.31	0.53	1.23	2.08	4.48	9.75	
2.5	1.00	0.91	0.72	0.31	0.51	1.22	2.08	4.58	10.2	
2.6	0.97	0.89	0.71	0.32	0.49	1.22	2.09	4.68	10.7	
2.7	0.94	0.86	0.69	0.33	0.47	1.22	2.09	4.78	11.20	
2.8	0.91	0.84	0.68	0.33	0.45	1.21	2.09	4.89	11.8	
2.9	0.87	0.82	0.67	0.34	0.43	1.21	2.09	5.01	12.30	
3.0	0.84	0.79	0.66	0.34	0.41	1.20	2.08	5.11	13.50	
3.2	0.78	0.74	0.64	0.35	0.37	1.18	2.06	5.35		
3.4	0.73	0.69	0.61	0.36	0.32	1.15	2.04	5.58		
3.6	0.67	0.65	0.58	0.36	0.28	1.12	2.02	5.80		
3.8	0.62	0.61	0.55	0.36	0.23	1.10	1.98	6.10		
4.0	0.58	0.56	0.52	0.36	0.19	1.05	1.95	6.50		
4.5	0.43	0.47	0.45	0.35	0.10	1.03	1.79	7.30		
5.0	0.40	0.40	0.39	0.34	0	1.00	1.60	8.20		

表4為某站自民國84年至民國93年之最大一日連續降雨量頻率統計表，其中各欄之意義及來源或算法為：

第(1)欄：為位序。由1、2、3…依次至n（總觀測年數），由此可知記錄年數共有多少年。依大小順序排列之某位序（通常代表符號m）之記錄值有多少。

第(2)欄：記錄年份，為民國XX年或西曆YY年。

第(3)欄：第(2)欄年份內所發生之最大日雨量值，可自實測資料中選出。

第(4)欄：第(3)欄數值按大小順序排列者，需計算其合計值及平均值。

第(5)欄：發生百分率，如以P為發生百分率，n為記錄年數，m代表位序，則可以下式計算。

$$P = \frac{2m-1}{2n} \times 100$$

如第一位序時 $P = \frac{2 \times 1 - 1}{2 \times 10} \times 100 = 5\%$

第二位序時 $P = \frac{2 \times 2 - 1}{2 \times 10} \times 100 = 15\%$

第(6)欄：復現期，即每若干年發生一次，可依下式計算，（或第(5)欄之倒數求得）

$$T = \frac{2n}{2m-1} \text{ 或 } T = \frac{1}{P}$$

如第一位序時 $T = \frac{2 \times 10}{2 \times 1 - 1} = 20$ ，

即20年發生一次

第二位序時 $T = \frac{2 \times 10}{2 \times 2 - 1} = 6.7$ ，

即6.7年發生一次

第(7)欄：與平均值之比值，為第(4)欄諸值除以平均值198.6公厘所得之數據。

第(8)欄：第(7)欄諸值減1，若為負值則以負號表示。

第(9)欄：第(8)欄諸值之平方（二次方）值，均為正值，需求其合計值。

第(10)欄：第(8)欄諸值之立方（三次方）值，有正負值，需求其合計值。

第(11)欄：發生頻率，為便於繪製計算所得頻率曲線點，將其與復現期（發生一次之頻率）之關係列如表5所示。

表4 暴雨頻率計算表（Hazen Method）

(1) 位序	(2) 民國 (年)	(3) 最大日降 雨量(mm)	(4) 大小順序 (mm)	(5) 發生頻 率(%)	(6) 復現期 (年)	(7) 與平均 值比值	(8) (7)-1	(9) (8) ²	(10) (8) ³	(11) 發生頻 率(%)	(12) 偏差因 子	(13) (12)× CV	(14) (13)× +1	(15) (14)× 平均值
1	84	182.2	328	5	20	1.651	1.651	0.424	0.276	99	-1.97	-0.691	0.309	61.42
2	85	172.2	275	15	6.7	1.385	0.385	0.148	0.057	95	-1.5	-0.522	0.478	94.85
3	86	275	232.5	25	4	1.171	0.171	0.029	0.005	80	-0.85	-0.297	0.703	139.54
4	87	212.8	212.8	35	2.9	1.071	-0.071	0.005	0	50	-0.08	-0.029	0.971	192.92
5	88	232.5	197.5	45	2.2	0.994	-0.006	0	0	20	0.818	0.286	1.286	255.47
6	89	197.5	182.2	55	1.8	0.917	-0.083	0.007	-0.001	10	1.29	0.451	1.451	288.28
7	90	328	178	65	1.5	0.896	-0.104	0.011	-0.001	5	1.795	0.628	1.628	323.37
8	91	93	172.2	75	1.3	0.867	-0.133	0.018	-0.002	1	2.739	0.958	1.958	388.98
9	92	178	115	85	1.2	0.579	-0.421	0.177	-0.075					
10	93	115	93	95	1.1	0.468	-0.532	0.283	-0.151					
	n=10		合計值=1986.2 mm					1.102	0.109					
			平均值=198.6 mm											
										$F = 1 + \frac{8.5}{n} = 1.85$ $CV = \sqrt{\frac{\sum(9)欄}{n-1}} = 0.35$ $CS = \frac{\sum(10)欄 \times F}{(n-1) \times (CV)^3} = 0.523$				

表 5 發生頻率與復現期之關係

發生頻率	50	20	5	1
復現期 (年/次)	2	5	20	100

C.V.、F 及 C.S.之計算法說明如下：

$$\text{變異係數 } C.V. = \sqrt{\frac{\text{第(9)欄合計值}}{n-1}}$$

$$\text{海生法修正係數 } F = 1 + \frac{8.5}{n}$$

$$\text{校正用偏差因子 } C.S. = \frac{\text{第(10)欄合計值} \times F}{(n-1)(C.V.)^3}$$

如第(10)欄合計值為負值時，C.S.值必為負值，則 C.S.值可採用 0。

第(12)欄：偏差因子，為某一偏差係數 C.S.之偏差因子，可查表 3。查表時，計算之所得 C.S.值，對照表 3 中 C.S.欄中相當的數值。發生百分率大於 50%，諸欄為負數。而其他諸欄為正數，需加正號。

如計算所得 C.S.值介在兩數值之間(如本例，C.S.=0.523，介在表中 C.S.欄 0.5 與 0.6 之間)時，需根據上下兩欄數值(如本例為 99% 情況下為-1.99 及-1.92)，依內插法估計本例為 (-1.974)，如計算結果 C.S.為負值時，可使用 C.S.=0 欄諸值。

第(13)欄：第(12)欄諸值乘以變異係數 C.V.值。

第(14)欄：第(13)欄諸值加 1，相當於與平均值之比。

第(15)欄：第(14)欄乘以平均數，相當於諸值頻率下之降雨量。

一旦完成上述計算後，頻率將計算所得的發生頻率及與平均值之比值(第(11)欄及(14)欄)繪出頻率曲線，如圖 9 所示。

實測各點必須分佈在頻率曲線之兩側，如頻率曲線未通過諸記錄點之中央時，可能計算有誤，需加重核。如計算無誤時，表示記錄值之分佈不符合海生氏曲線型，然後可依圖上諸點，繪出適當曲線，讀出相當於(11)欄之各發

生百分率之「與平均值之比」，記入第(14)欄中，再算第(15)欄即可。

第(11)欄各發生百分率之數值除可直接由第(15)欄獲得外，水利工程上常用之 500、50、10 年一次頻率之降雨量公厘數，可由頻率曲線延伸求得各相當於「與平均值之比」後，再乘以平均值即可得到各復現其下之暴雨量值。

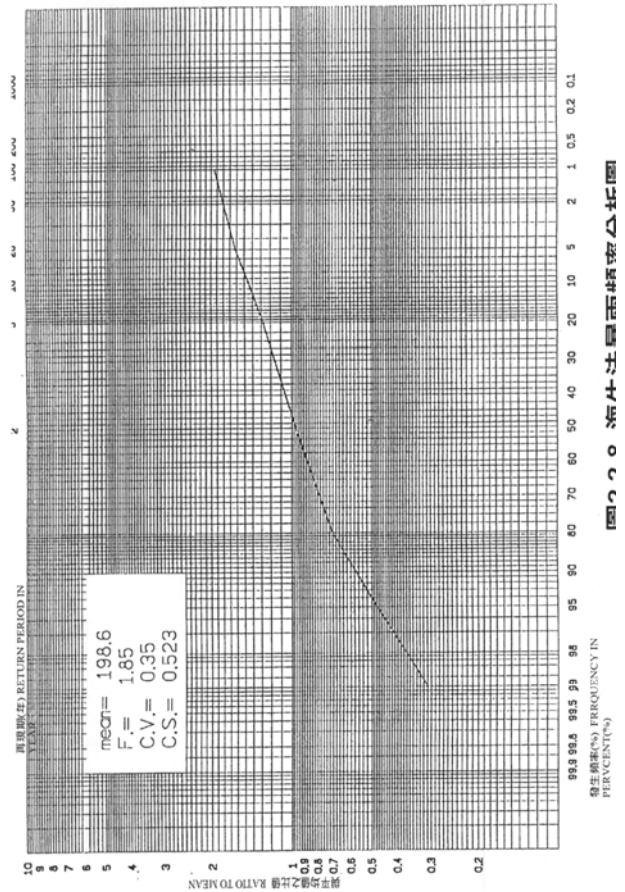


圖 9 海生法暴雨頻率分析圖

2. 對數-皮爾森第三型暴雨頻率分析法

對數-皮爾森第三型分佈法 (Log-Pearson Type III distribution) 為 1967 年美國水資源委員會修正皮爾森第三型法，將變數先取對數，再用皮爾森第三型分析水文頻率，此法考慮平均數，標準偏差及偏度等三個統計參數，為最具有彈性與可靠度高之方法，適用於暴雨量頻率之推估，因其簡便正確，所以一般廣受採用。

對數-皮爾森第三型水文頻率分析公式可表示為：

$\log Y=M+KS$ 式中

M：平均值

Y：年雨量，月雨量，三日暴雨量，年最大雨量等

K：頻率因子，為復現期 T 及機率分佈之函數

S：水文資料之標準偏差

表 5 為暴雨頻率計算範例（利用 Log-Pearson Type III 分佈法）其計算程序說明如下：

- (1) 自連續 N 年記錄中選出欲計算對象數值 Y_i (例如年雨量、月雨量、三日暴雨量...等)，如表中第 (2) 欄。

- (2) Y_i 值按大小順序重排，如表中第 (4) 欄所示點繪位置有「以 $P=50\%$ 軸為準，左右對稱」之特性。

- (3) 點繪位置係採用 Beard 分析法 $P_1 = 1 - 1.5N$ ， $N = 18$ (18 年暴雨記錄) 求得最大值為 $P_1 = 3.78\%$ 。而以 $P_N = 1 - P_1$ ，求出最小值為 $P_{18} = 96.2\%$ 。其餘各值可參照 N 值，等間隔分配

$$P_2 = 3.75 + \frac{96.2 - 3.78}{18 - 1} \times 1 = 9.2$$

$$P_3 = 3.78 + \frac{96.2 - 3.78}{18 - 1} \times 2 = 14.7$$

$$\dots P_{16} = 85.3 \quad P_{17} = 90.8$$

表 5 對數-皮爾森第三型暴雨量頻率計算範例

(1) 年份	(2) 暴雨量 Y (一日暴 雨) (mm)	(3) 次序	(4) 暴雨量 Y 大小重排 (mm)	(5) 點繪 位置 (%)	(6) Logy=m	(7) m-M=X	(8) X^2	(9) X^3	(10) 復現期 (年)	(11) 發生頻率 P%	(12) K	(13) $\log Y=M+KS$	(14) Y mm
35	24.4	1	42.1	3.78	1.62428	0.23649	0.05593	0.01323					
36	35.3	2	37.4	9.2	1.57287	0.18508	0.03426	0.00634	100	1.0	2.26715	1.70263	50.4
37	18.9	3	35.3	14.7	1.54777	0.15998	0.02559	0.00410	50	2.0	2.01040	1.66697	46.4
38	15.0	4	32.4	20.1	1.51054	0.12275	0.01507	0.00185					
39	15.2	5	32.1	25.5	1.50651	0.11872	0.01409	0.00167	25	4	1.744	1.62999	42.7
40	20.2	6	29.5	31.0	1.46982	0.08203	0.00673	0.00055	10	10	1.27258	1.56451	36.7
41	27.5	7	28.2	36.4	1.45025	0.06246	0.00390	0.00024	5	20	0.84524	1.50517	32.0
42	37.4	8	27.5	41.8	1.43933	0.05154	0.00266	0.00014					
43	18.4	9	25.1	47.3	1.39967	0.01188	0.00014	0	2	50	0.01334	1.38964	24.5
44	29.5	10	24.4	52.7	1.38739	-0.00040	0	0	1.25	80	-0.83742	1.27150	18.7
45	15.1	11	22.9	58.2	1.35984	-0.02795	0.00078	-0.00002	1.01	99	-2.38514	1.05657	11.4
46	42.1	12	21.3	63.6	1.32838	-0.05941	0.00353	-0.00021					
47	28.2	13	20.2	69.0	1.30535	-0.08244	0.00680	-0.00056					
48	32.2	14	13.9	74.5	1.27646	-0.11133	0.01239	-0.00138					
49	22.9	15	18.4	79.9	1.26482	-0.12297	0.01512	-0.00186					
50	32.4	16	15.2	85.3	1.18184	-0.20595	0.04242	-0.00874					
51	21.3	17	15.1	90.8	1.17898	-0.20881	0.4360	-0.00911					
52	25.1	18	15.0	96.2	1.17609	-0.21170	0.04482	-0.00949					
				$\Sigma =$	24.98019		$\Sigma X^2 =$	$\Sigma X^3 =$					
				M =	1.38779		0.32783	-0.00352					

算所得數據列於第(5)欄中。

- (4) 取 Y_i 值之對數值，並求其平均值 M ，如表中第(6)欄所示。
- (5) 求各 $\log Y_i$ 值與其平均值 M 之偏差數 X_i ，如表中之第(7)欄所示。
- (6) 求 X^2 如表中之第(8)欄。
- (7) 求 X^3 如表中之第(9)欄。
- (8) 計算標準偏差 (Standard deviation) S

$$S = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N-1}} \quad \text{以本範例而言}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.32783}{17}} = 0.13887$$

- (9) 計算偏差係數 (Skew Coefficient) G

$$G = \frac{N \sum X^3}{(N-1)(N-2)S^3}$$

以本範例而言

$$G = \frac{18 \times (-0.00325)}{17 \times 16 \times (0.13887)^3} = -0.08025$$

- (10) 求復現期 T 如表中第(10)欄所示。
- (11) 求發生頻率 P (%)， $P=1/T$ 如表中第(11)欄所示。
- (12) 根據計算所得 G 值，由表 6 (K 值表) 中之 T 欄，求出各復現期之 K 值，如 G 值不在表中之數據，例如 0.23 時，則採用內插法求得。計算所得不同 K 值，如表中第(12)欄所示。
- (13) 計算不同發生頻率之對數值變數值
- (14) $\log Y = M + KS$ 如表中第(13)欄所示。
- (15) 計算其反對數得 Y 值如表中第(14)欄所示。
- (16) 將表中之第(10)欄或第(11)欄與相對之 Y 值第(14)欄畫成一直線，則可求出任意復現期下之暴雨量數據。

三、結論與建議

1. 複雜的水文系統可應用簡單的數學模式模擬，使其可在一定可靠度下，將一已知之輸入資料轉換成輸出資料。
2. 在水文分析系統中，降雨量為輸入資料，逕流為輸出資料。而蒸發和蒸散排出很難決定為輸入或輸出資料。逕流可分為地面逕流和地下水，在實用上不易分開，而使用地面流和基流以簡化集水模式，以歷線逕流量模式處理及水模式為線性行為。
3. 海生法和對數皮爾森第三型頻率分析法是處理暴雨頻率分析的最佳選擇。

表 6 對數-皮爾森第三型分不法的頻率因子 K 值

偏態係數 G	迴歸週期 T (年)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	發生機率 (%)										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-1.168	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.3339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0	0.842	1.282	2.054	2.054	2.326	2.576

表6 對數-皮爾森第三型分不法的頻率因子 K 值 (續)

偏態係數 G	迴歸週期 T (年)										
	1.0101	1.0526	1.1111	1.2500	2	5	10	25	50	100	200
	發生機率 (%)										
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5
0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581
-1.2	-3.149	-1.910	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.160	1.197	1.216
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.5	-3.845	-2.012	-1.250	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667