

自動化人工降雨機之研製、率定及分析

Design, Fabrication, Calibration and Analysis of an Automatic Rainfall Simulator

國立臺灣大學農業工程學研究所教授

國立臺灣大學農業工程學研究所碩士

范正成

Jen-Chen Fan

王聖岑

Sheng-Tsen Wang

摘 要

爲了模擬雨型降雨，本研究成功地改良了范正成及毛振泰（1997）所設計製造的人工降雨機，使其具備了自動化、可程式化的功能，使用者只需輸入所模擬雨型的降雨強度及降雨延時，便可自動地模擬出雨型降雨。

在改良的過程中，本研究還針對三種大小不同的 Fulljet 噴頭在不同水壓及空壓下的降雨強度及均勻性加以率定，並建立其間之關係方程式。

關鍵詞：人工降雨機，可程式化，率定，土石流。

ABSTRACT

In this study, to simulate hyetograph, an automatic rainfall simulator was successfully designed, constructed, calibrated and operated by modifying the simulator developed by J.C.Fan and C.T.Mao(1997). The hyetograph was simulated as long as the rainfall intensity and rainfall duration were inputted.

While calibrating, three different types of Fulljet nozzles were used, different air and water pressures were applied. The calibrated items were rainfall intensity and its uniformity. In addition, the equations of calibration were established.

Keywords: Rainfall simulator, Programmable, Calibration, Debris flow.

一、前 言

土石流常在極短的時間內發生，但其所造成之危害，卻非常嚴重，尤其台灣地區地狹人稠，

山坡地面積佔三分之二以上，並且地形陡峭，河川短而急，雨量多且集中，這些因素使得土石流災害頻頻發生，造成許多生命財產的損失，對交通、環保、通訊、農業生產、工商業發展、動植

物生態等，也造成直接或間接且甚大的負面影響。所以對土石流災害的研究與防治，實在是一件刻不容緩的事。土石流的發生條件，通常為雨量充沛、土質鬆軟、植生覆蓋較差以及溪谷坡度陡峻且堆積有大量土石之處，因此土石流與降雨及逕流之間關係的研究亟待深入探討。然而利用自然降雨來研究土石流，相當耗時費力且不能控制降雨的情況，而國內過去相關研究所使用的人工降雨機又都無法模擬設計雨型之降雨情形，因此本研究的目的乃在研製可模擬定量模型試驗所需雨型降雨之可程式人工降雨機，並加以率定及分析，以期能提供未來有關土石流集水區模型實驗模擬降雨之用。

二、文獻回顧

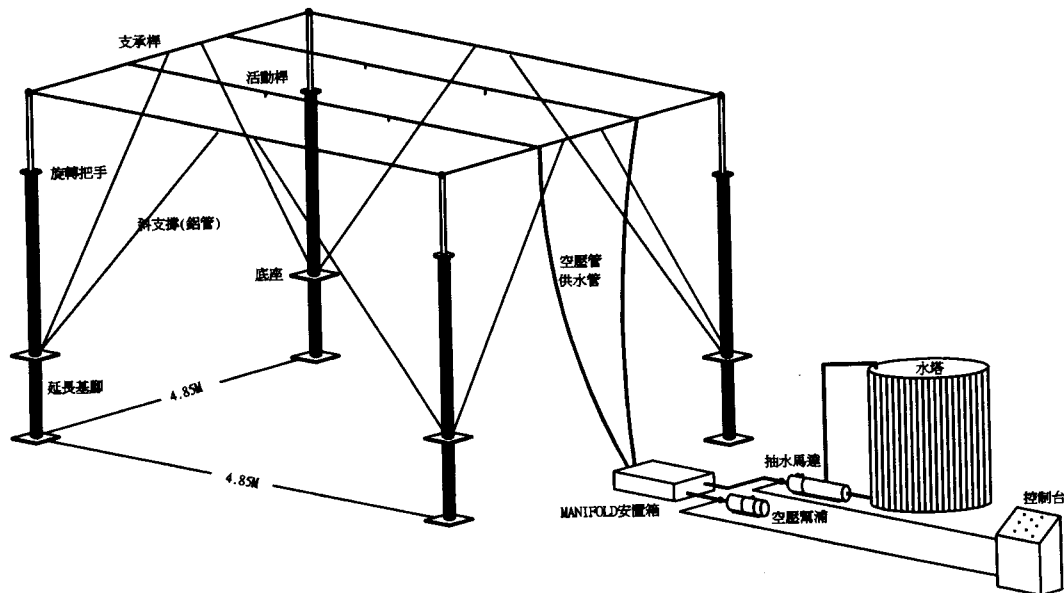
Shelton et al.(1985)將空氣壓力注入人工降雨機之水路中，成功地在不增加降雨強度的情況下，提升人工降雨強度的均勻性，該型人工降雨機所設計的降雨場區為 6m x 6m，噴嘴高度調整在 2.4m~2.89m 之間，雨滴形成器採 Fulljet HH30WSQ 及 HH50WSQ 兩種，降雨強

度範圍為 76~168mm/hr。范正成及謝宏元(1991)歸納 Meyer and McCune(1958)、Bertrand and parr(1961)及 Meyer(1979)等前人之研究，他們蒐集國內外共一百三十四種有關人工降雨機之資料進行分析評估，評估項目包括雨滴形成器、試驗場面積、雨滴落高、降雨強度、噴嘴壓力、操作人數、適用坡度、雨滴粒徑、均勻係數、構成成本、操作性等，得知 Shelton et al.(1985)型人工降雨機符合理想的人工降雨機應有的功能。范正成及毛振泰（1997）將 Shelton et al.（1985）型人工降雨機加以改良設計後，應用於花蓮縣秀林鄉銅門村土石流發生處定量模型試驗，研究當地之單位逕流歷線。

三、研究方法

(一) 自動化人工降雨機之設計及率定

本人工降雨機乃將范正成及毛振泰（1997）之人工降雨機，經過改良設計，增加了其可程式化的功能，使得能經由電腦的控制，更精確地模擬所需雨型的降雨情形。（全貌見圖 1）



圖一 本研究製作之人工降雨機全貌圖

1. 自動化人工降雨機主體部份之設計

本人工降雨機所設計之降雨場區為 4.85M x 4.85M，如果要增加降雨場區面積，僅需增加人工降雨機之個數，並加以串聯即可。噴嘴之高度經由支架升降可由最低 165cm 到最高 400cm，以使雨滴達到終端速度。外型的改良，目的在提升其搬運性及應用發展性。雨滴形成器則採用 Fulljet 1/2HH50WSQ，1/2HH30WSQ，1/2HH14WSQ 三種噴頭，其中尤以 1/2HH14WSQ 噴頭所噴出之降雨雨滴粒徑較小，較適合於土石流相關之模型研究。

2. 自動控制系統

范正成和毛振泰 (1997) 所設計製造之人工降雨機在控制空壓水壓輸出部份是採用手動控制，無法很精確的控制其所輸出的壓力大小，同時也無法產生連續降雨，無法達到模擬自然降雨之需求。因此，本研究便在動力系統輸出的部份加裝了自動控制系統，使其能利用電腦程式更精密的控制輸出壓力的大小，並可輸入現地的雨量資料，透過程式的轉換來模擬自然降雨。其主要設備及功能敘述如下：

- (1) 電子式比例閥：透過電流控制來調整輸出壓力大小。(圖 2)
- (2) 控制台：空壓機、水壓機之開關，及各項功能之切換。(圖 3)
- (3) ADDA 卡：裝設於電腦中，主要是用於數位類比訊號之互相轉換。
- (4) 電腦：用來控制降雨機之運作，內存有降雨機控制程式，並可輸入欲模擬的降雨資料。

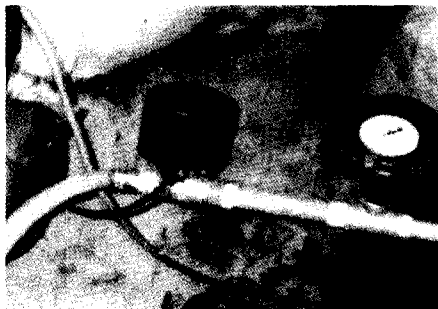


圖 2 電子式比例閥



圖 3 控制台

裝置之原理為在空壓機及水壓機出口處加裝電子式比例閥，以電流線連接至控制台上，再以排線連接至電腦中的 ADDA 卡上，如此，便可在電腦中輸出不同大小的電流至比例閥上，藉以控制比例閥開關的大小，進而改變輸出壓力的大小，變換不同的雨量強度。

3. 自動化人工降雨機之率定及分析

由於電子比例閥是藉由電流的改變來使比例閥改變開放的大小，使輸出的空壓(air pressure)、水壓(water pressure)改變，進而產生不同的降雨強度，因此我們需事先加以率定，推求雨量強度與空壓水壓(電流大小)間的關係式，再將其寫入降雨機控制程式中，才能達到模擬自然降雨的需求。

考慮土石流相關研究之需求，本研究針對人工降雨機之降雨強度及降雨均勻性兩項進行率定。由於所採用的三種噴嘴經過初步率定發現，在降雨強度上都具有四象限平面對稱的現象(如圖 4)，因此本研究率定時取其中一象限，將 36 個內徑 95mm，高度 217mm 之墨罐，以間距 425mm 之正方形等距網格排列於噴嘴下所率

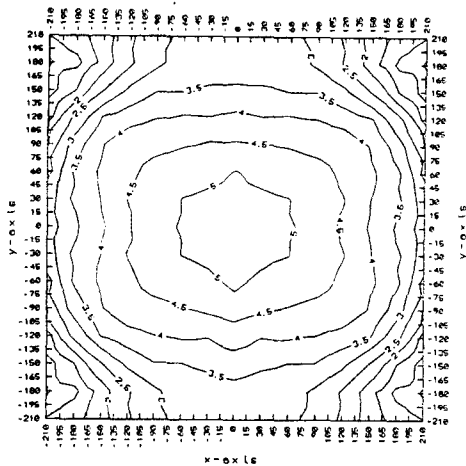


圖 4 單一 Fulljet HH14WSQ 噴頭降雨強度平面分佈圖

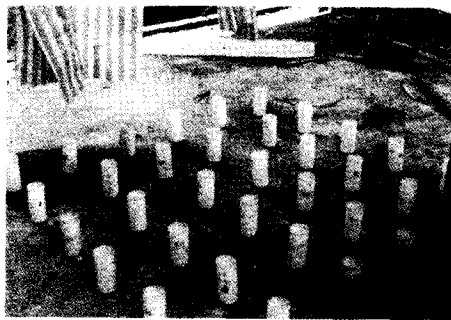


圖 5 率定佈置圖

定之象限內(圖 5)。率定所用之高度及率定時間採 Shelton et al.(1985)所用之 2.74m 及 30min。藉著變換空壓、水壓及噴頭型式,求得各種不同噴頭之率定曲線,並採用疊加的方法來計算不同噴頭數所產生的降雨強度及均勻係數。

降雨強度之計算乃取率定容器中之平均值,率定之均勻係數採 Christiansen(1942)所提之方法如下:

$$C_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{\sum_{i=1}^n X_i} \dots\dots\dots (1)$$

- 其中 C_u : 均勻係數
- X_i : 第 i 個模擬觀測值
- n : 模擬觀測值之總數
- X_m : 幾個模擬觀測值算數平均值。

(二) 降雨機控制程式

本研究設計一個可以控制降雨機的程式(圖 6),並將率定曲線方程式寫入程式中,使程式除了控制降雨機的開關外,並可輸入不同的降雨強度及降雨時間,因此,如果使用者想要模擬自然降雨,可事先輸入降雨強度及降雨延時,便可透過程式來模擬。

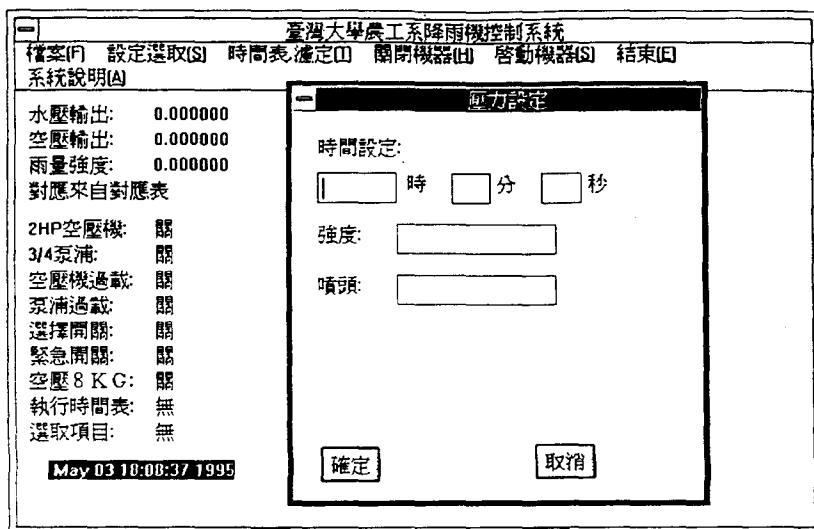


圖 6 降雨機控制程式

四、結果與討論

(一) 降雨強度之測定及其均勻係數之分析

疊加各噴頭之率定曲線，可計算出不同噴頭數所產生的降雨強度及均勻係數（如表 1~表 3 所示）。可看出本降雨機所能模擬的降雨強度值約在 31~176mm/hr 之間，均勻係數則在 0.59~0.91 之間。

(二) 率定關係式之建立

由 Fulljet HH50WSQ、HH30WSQ 及 HH14WSQ 三種噴頭之率定結果(表 1~表 3)，可知當各噴頭率定空壓值超越某一臨界值時，其獲得之均勻性皆有明顯降低至均勻係數 0.7 以下的現象，有鑑於此，本研究為使降雨機實用時亦能盡量模擬自然降雨之空間均勻特性，因此將率定空壓值超越該臨界值之各組數據，於統計分析時予以捨棄，並將該臨界值設定為降雨機操作公式實際應用時之上限值。經由統計迴歸可以求得降雨強度與空壓、水壓（電流大小）間的關係式及限制條件，如下：

表 2 Fulljet HH30WSQ 噴嘴率定結果

空壓輸出 (mA)	水壓輸出 (mA)	降雨強度(mm/hr)		均勻係數 Cu
		2 噴頭	4 噴頭	
4.00	9.00	61.14	122.28	0.71
4.00	9.60	65.08	130.16	0.72
4.00	10.00	66.70	133.40	0.70
4.00	11.00	65.06	130.12	0.70
4.00	20.00	65.80	131.60	0.70
4.80	10.00	70.87	141.75	0.70
4.80	20.00	76.10	152.19	0.70
4.80	9.80	67.00	134.00	0.71
4.80	9.60	63.98	127.97	0.75
4.80	9.00	60.20	120.39	0.77
5.50	9.00	58.48	116.95	0.72
5.50	20.00	73.25	146.50	0.71
5.50	11.00	72.96	145.92	0.70
5.50	10.00	68.81	137.62	0.72
5.10	8.70	59.09	118.18	0.76
5.10	9.60	65.50	131.00	0.71
6.00	9.60	50.62	101.24	0.55
6.00	12.00	75.33	150.66	0.59
6.00	13.50	70.52	141.04	0.60

註：mA 為輸出之電流單位

表 1 Fulljet HH14WSQ 噴嘴率定結果

空壓輸出 (mA)	水壓輸出 (mA)	降雨強度(mm/hr)		均勻係數 Cu
		2 噴頭	4 噴頭	
4.00	9.50	31.88	63.77	0.82
4.00	9.80	45.57	91.14	0.88
4.00	11.00	47.60	95.20	0.82
4.00	13.00	51.17	102.35	0.83
4.00	17.00	46.94	93.88	0.91
4.50	9.40	38.66	77.32	0.83
5.50	9.40	35.59	71.18	0.84
6.50	9.40	42.35	84.69	0.86
4.50	9.60	68.04	76.07	0.85
5.50	9.60	36.64	73.27	0.84
6.50	9.60	37.94	75.87	0.79
4.50	9.90	39.96	79.92	0.80
5.50	9.90	40.08	80.16	0.79
6.50	9.90	43.51	87.01	0.76
4.50	10.80	41.34	82.68	0.79
5.50	10.80	42.58	85.16	0.78
6.50	10.80	55.67	111.35	0.83
4.50	17.00	51.39	102.77	0.82
5.50	17.00	53.50	106.99	0.86
6.50	17.00	52.72	105.44	0.84
7.00	17.00	82.50	165.00	0.59

註：mA 為輸出之電流單位

表 3 Fulljet HH50WSQ 噴嘴率定結果

空壓輸出 (mA)	水壓輸出 (mA)	降雨強度(mm/hr)		均勻係數 Cu
		2 噴頭	4 噴頭	
4.00	9.00	75.84	151.67	0.74
4.00	9.40	76.19	152.38	0.72
4.00	10.00	77.95	155.89	0.73
4.00	11.50	82.65	165.30	0.70
4.00	20.00	85.55	171.10	0.70
4.80	9.00	65.51	131.02	0.79
4.80	9.40	80.58	161.16	0.82
4.80	10.00	79.99	159.97	0.76
4.80	11.50	83.18	166.35	0.72
4.80	20.00	86.41	172.82	0.70
5.10	9.50	76.29	152.59	0.71
5.10	10.00	80.48	160.96	0.71
5.10	11.30	84.78	169.57	0.79
5.50	20.00	86.58	173.16	0.71
5.50	11.50	81.62	163.23	0.74
5.50	20.00	88.18	176.37	0.76
6.00	9.40	63.22	126.44	0.65
6.00	12.50	71.44	142.88	0.59

註：mA 為輸出之電流單位

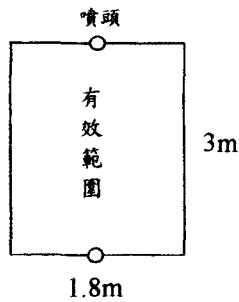


圖 7 噴頭配置圖及有效範圍(2 噴頭)

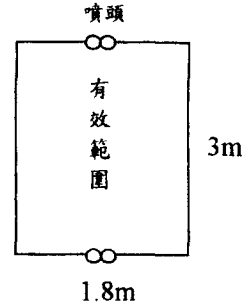


圖 8 噴頭配置圖及有效範圍(4 噴頭)

- (1)噴頭：14wsq，數目：2 個。
 $R=16.01W-27.02A-0.53W^2+2.67A^2$ (6)
 $9.4 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 6.5, R^2=0.9942$
- (2)噴頭：30wsq，數目：2 個。
 $R=11.96W-8.48A-0.38W^2+1.10A^2$ (7)
 $8.7 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 5.5, R^2=0.9979$
- (3)噴頭：50wsq，數目：2 個。
 $R=10.86W+1.20A-0.33W^2-0.11A^2$ (8)
 $9.0 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 5.5, R^2=0.9986$
- (4)噴頭：14wsq，數目：4 個。
 $R=32.02W-54.03A-1.06W^2+5.35A^2$ (9)
 $9.4 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 6.5, R^2=0.9942$
- (5)噴頭：30wsq，數目：4 個。
 $R=23.93W-16.95A-0.76W^2+2.21A^2$ (10)
 $8.7 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 5.5, R^2=0.9979$
- (6)噴頭：50wsq，數目：4 個。
 $R=21.71W+2.40A-0.67W^2-0.21A^2$ (11)
 $9.0 \leq W \leq 20, 4.0 \leq A \leq 5.5, R^2=0.9986$

其中 R：降雨強度 (mm/hr)

W：控制水壓輸出的電流大小 (mA)

A：控制空壓輸出的電流大小 (mA)

所有率定試驗的噴頭間距均為 3 公尺，有效範圍為 1.8 公尺×3 公尺(圖 7 及圖 8)。

五、結論

- (1)本研究完成自動化人工降雨機之設計與製作，及三種噴頭在不同水壓及空壓下兩噴頭組合及四噴頭組合之率定，率定項目為降雨強度及其均勻性。

- (2)本研究經由建立降雨機降雨強度與空壓及水壓率定公式，配合自動化功能，使本人工降雨機能夠模擬雨型連續降雨，並自動地運作及變換強度。

六、謝誌

本研究是由行政院國家科學委員會支持，計畫編號 NSC84-2621-P-002-028B，謹在此表示十二萬分之謝意。另外，本文承蒙國立台灣大學農業工程學研究所吳明峰先生協助整理及編排，在此一併致謝。

七、參考文獻

- (1) 范正成、謝宏元 (1993)，"田間人工降雨機之回顧、研究及比較"，中華水土保持學報，第 22 卷第一期，pp.9-20。
- (2) 范正成、毛振泰(1997)，"利用定量模型與人工降雨機之回顧、研究及比較"，中華水土保持學報，第二十八卷第一期，pp.75-86。
- (3) Bertrand,A.R. and J.F.Parr.(1961) Design and Operation of the Purdue Sprinkling Infiltrometer. Purdue University Agri. Exp.Stn. Res. 723:1-16.
- (4) Christiansen, J.E(1942), "Irrigation by Sprinkling,"Univ. Calif. Agric. Expt. Sta. Bull., 670pp.
- (5) Meyer,L.D. (1979) Methods for Attaining Desired Rainfall Characteristics in Rainfall Simulators. Agricultural Reviews and Manuals,

ARM-W, United States Administration, Western Region, Office of The Regional Administrator for Federal Research, July 1979. 10:35-44, Washington, D.C., The Administration, Rainfall Simulator Workshop Tucson 1979.

(6) Meyer, L.D. and D.L. McCune. (1958) Rainfall Simulator for Runoff Plots. Agri. Engr. 39(10):644-648.

(7) Shelton, C. H, R. D. von Bernuth, S. P.

Rajbhandari (1985) "A Continuous Application Rainfall Simulator" TRANSACTIONS OF THE ASA Vol.28(4)1115-1119.

收稿日期：民國 87 年 5 月 5 日

修正日期：民國 87 年 11 月 17 日

接受日期：民國 87 年 11 月 23 日