

烏溪上游地區特徵流量之推估

Estimation of Characteristic streamflow in the Wu River up stream area

國立中興大學
土木工程學系 教授
陳榮松
Rong-Song Chen

國立中興大學
土木工程學系 碩士
謝承運
Cheng-Yun Hsieh

國立中興大學
土木工程學系 碩士生
李子承
Tzu-Cheng Lee

摘 要

本研究旨在解決缺乏上游特徵流量觀測資料的問題，提出一種統計迴歸分析的方法，以評估分析特徵流量。這在日本已有多年經驗，但在臺灣尚處於初期階段。研究方法包括資料收集、統計迴歸分析和利用集水區面積比法進行流量推估。研究首先利用烏溪流域內高海拔流量站的日流量和日雨量觀測資料，研究也採用流量與面積迴歸分析，根據各流量站的觀測數據建立了中部地區常、低、枯流量(Q_{50} 、 Q_{75} 、 Q_{95})與集水區面積的迴歸關係式，作為評估防砂壩流量的依據。研究結果表明，流量與面積迴歸方法推估觀測站上游區域的流量數據，適用於初步評估和數據缺乏的情況。利用河川小水力發電開發技術參考手冊及推動案例(經濟部水利署，2023)作為參考。

關鍵詞: 流量推估、流量與面積迴歸

Abstract

This study aims to address the issue of lacking upstream flow observation data by proposing a method of statistical regression analysis to evaluate and analyze characteristic flows. While Japan has many years of experience in this field, it is still in its early stages in Taiwan. The research methods include data collection, statistical regression analysis, and flow estimation using the catchment area ratio method. The study first uses daily flow and daily rainfall observation data from high-altitude flow stations within the Wuxi River Basin. The study also employs flow-area regression analysis to establish regression relationships between characteristic flows (Q_{50} , Q_{75} , Q_{95}) and catchment area based on observation data from various flow stations in the central region. These relationships serve as a basis for evaluating the flow of check dams. The results indicate that the flow-area regression method is suitable for estimating flow data in upstream areas of observation stations, especially in preliminary evaluations and data-scarce situations. The study references the River Small Hydropower Development Technical Reference Manual and promotion cases (Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs, 2023).

Keywords: Flow Duration Curve, Flow Estimation, Tank Model, Multiple Regression

一、緒論

1.1 研究動機及目的

在水利工程規劃設計中，雨量與流量資料至關重要，然而流量資料往往缺乏且精度較低，尤其在無測站的上游山坡地集水區，導致逕流估算的挑戰。本研究利用流量與面積迴歸法，有效推估缺失的流量數據。研究目的是基於高海拔流量站的日流量與雨量紀錄，透過流量與面積迴歸法，建立中臺灣集水區特徵流量的迴歸關係，涵蓋常流量、低流量和枯流量，為上游特徵流量的快速推估提供依據，並與經濟部水利署手冊參數進行比較。

二、文獻回顧

2.1 流量推估相關研究

在日本，為了振興偏遠農村並推動永續發展，除了利用農山村的水圳系統，還積極利用防砂壩等設施進行小水力發電，以開發農村經濟和能源。面對流量數據不足的挑戰，研究者採用了集水區面積比法，結合相似水文特性區域的水文站數據和迴歸統計方法，如表 2-1 來獲取流量與集水區面積之間的關係式： $Q=\alpha\times\text{Area}^\beta$ 。其中 α 和 β 分別代表常流量(Q_{50})、低流量(Q_{75})和枯流量(Q_{95})的係數。(日本國土交通省砂防部保全課，2010)。

表 2-1 日本各地區堰堤場址流量推估式範例

地方		常流量(Q1)	低流量(Q2)	枯流量(Q3)
東北太平洋側	α	0.8805	0.8212	0.8564
	β	0.0639	0.0539	0.0296
東北日本海側	α	0.8293	0.768	0.7065
	β	0.1257	0.1001	0.0772
關東	α	0.7863	0.7537	0.7342
	β	0.0618	0.0494	0.0379
北陸	α	0.7573	0.8267	0.7109
	β	0.189	0.0944	0.0873
中部	α	0.9322	0.9364	0.9348
	β	0.0553	0.036	0.024
四國太平洋側	α	0.9862	0.9922	0.9813
	β	0.0416	0.0238	0.0144
四國瀬戸内側	α	0.4203	0.4136	0.406
	β	0.2077	0.1274	0.0704
九州	α	1.23	1.258	1.3281
	β	0.0148	0.0087	0.0044

3、 研究理論與方法

3.1 常水年

在本研究中，利用了十年期間（2013~2022 年）的測站平均流量，以找到最接近歷年平均流量的常水年，並找出一個年份，其流量表現與歷年平均相似。根據 105 年臺灣水文環境情勢專刊，可以根據年雨量或年流量的表現來區分不同的年份：常水年：年雨量或年流量接近歷年平均雨量或平均流量。豐水年：年雨量或年流量高於歷年平均雨量或平均流量。枯水年：年雨量或年流量低於歷年平均雨量或平均流量。

3.2 流況曲線

由於氣候條件的變化，降雨量在不同季節可能會有所不同。因此，需要了解河流的年流量以及其波動情況。觀察流況曲線，這條曲線將一年中每天的河流流量按照從大到小的順序排列，並繪製出圖如圖 3-1。從圖 3-1 來看該圖表的縱軸表示流量，橫軸表示累計的天數。透過觀察流量曲線，可以獲得有關臺灣中部烏溪流域各測站流量數據轉換為年流量曲線的常流量(Q_{50})、低流量(Q_{75})和枯流量(Q_{95})的信息。

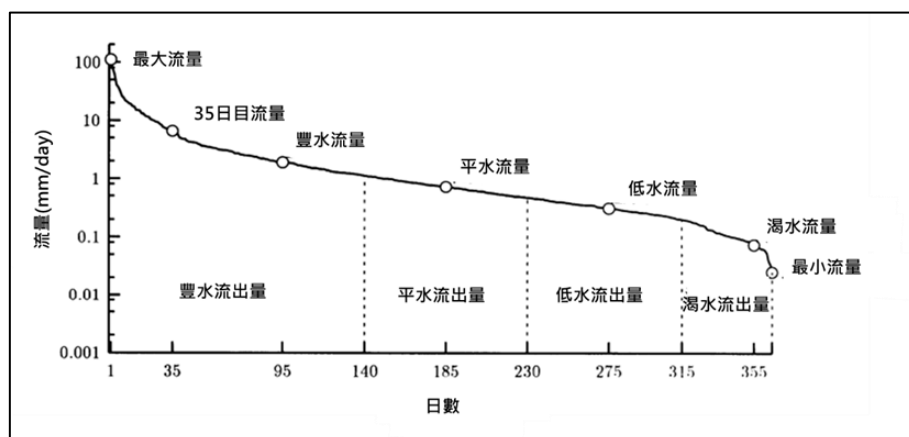


圖 3-1 流況曲線圖示範例

四、試驗流域建模與水文學量收集

4.1 烏溪流域介紹

本研究計畫以烏溪流域及其他具備相似水文特性的山坡地集水區作為研究範圍，將利用該區域內流量站過去 10 年（2013 年至 2022 年）的日流量觀測數據進行進一步分析。本研究探討的烏溪位於臺灣中部，是一條中央管河川。主要支流：筏子溪、大里溪、貓羅溪、北港溪、眉溪，流經區域臺中市（龍井區、大肚區、烏日區）、彰化縣（伸港鄉、和美鎮、彰化市、芬園鄉）、南投縣（草屯鎮、國姓鄉、埔里鎮），河長為 119.13 公里，流域面積為 2,025.60 平方公里。研究中使用了六個流量測站，包括大肚橋、溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋及南崗大橋。

4.2 試驗地數據建置(流量自然校正)

根據水文資訊網整合服務系統-水利署網站，在進行天然流量的還原時，篩選出品質良好的流量紀錄。然後依據上游取水情形及紀錄，利用經濟部水利署之烏溪流域水權量統計進行流量站紀錄的校正為較接近天然流量的紀錄，作為後續未設站位置流量推估的基礎。

1. 數據收集：

首先，需要收集水文資訊網整合服務系統-水利署網站的資料，包括雨量站和流量站的紀錄。選擇需要研究中使用六個流量測站 10 年紀錄的站點，以確保數據的穩定性和可靠性。資料將涵蓋降雨量、河川流量等關鍵水文參數，流量站紀錄的還原或校正需要考慮上游的取水情形。這包括水庫、農業灌溉、工業用水等人為活動對流量的影響。詳細記錄這些取水活動的時間和規模，作為流量還原的基礎。

2. 數據篩選與校正：

在篩選過程中，需要檢查每個站點，會根據上游取水情形及紀錄，利用烏溪流域之水權量進行流量站紀錄的還原或校正，使其更接近天然流量（未受人為取水影響）。這將作為後續未設站位置流量推估的基礎。

4.3 試驗地模式建置(流量與面積迴歸)

在本研究計畫中，進行了大肚橋、溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋及南崗大橋測站的日流量觀測資料收集，使用流量與面積迴歸法分析觀測資料，以建立常流量、低流量及枯流量的特徵流量與面積迴歸式。在研究範圍內選擇了多個測站，這些測站均位於集水區內，並且具備完整的日流量觀測資料。通過收集測站的歷史日流量數據，每個測站在不同季節和氣候條件下的流量變化情況。收集到的觀測數據，建立了年流況曲線，這些曲線展示了流量隨時間的變化趨勢。年流況曲線可以幫助理解在一年中的不同時間段內，集水區內的流量如何變化。利用流況曲線，可以直接確定目標集水區內的常流量、低流量和枯流量。再通過流量與面積迴歸法來分析各測站的流量變化。這種方法不用考慮多個影響因素（如降雨強度、坡度及洪峰流量等），而更快速地建模流量與面積之間的關係。具體步驟包括：

1. 公式： $Q=\alpha\times Area^{\beta}$

2. 參數分析：通過迴歸分析 α 和 β 的值。這些參數將反映流量與集水區面積之間的非線性關係。

五、烏溪流量分析

5.1 流況曲線分析

將研究區域內各流域 2013 年、2014 年、2015 年、2016 年、2017 年、2018 年、2019 年、2020 年、2021 年及 2022 年，通過觀察流況曲線，分析中部之烏溪流域之大肚橋、

溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋、南崗大橋測站流量數據所轉換每日河流流量按照由大到小的排序年流況曲線的常流量、低流量、枯流量。

5.2 流量迴歸分析

本研究流量迴歸分析推求流量與面積的關係式如(5-1)式：

$$Q = \alpha \times \text{Area}^\beta \quad (5-1)$$

其中

Q：流量(cms)；Area：面積(km²)； α 與 β ：參數

常流量、低流量和枯流量的定義及其超越機率轉換：

常流量（Q₅₀）：對應於流量機率為 50%，即流量超越機率為 50%。

低流量（Q₇₅）：對應於流量機率為 75%，即流量超越機率為 25%。

枯流量（Q₉₅）：對應於流量機率為 95%，即流量超越機率為 5%。

流況曲線與超越機率，日本常用的流況曲線是將每年的日流量按大小排序，形成單年流況曲線。使用流況流量指標來數值化這些曲線，通常使用韋伯法（Weibull plot）來計算各排序 m 的流量超越機率 Q_n。

5.2.1 常流量流量推估式

本研究利用大肚橋、溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋、南崗大橋測站流量之 2013~2022 年的流況曲線的常流量與測站面積，利用流量與面積迴歸分析常流量（Q₅₀），分析常流量的面積與流量關係式，烏溪流域(常流量)流量的迴歸分析面積與流量擬合曲線如圖 5-1，推求的關係式為 $Q = 0.0442 \times \text{Area}^{0.9882}$ ， α 與 β 參數為 0.0442 及 0.9882。

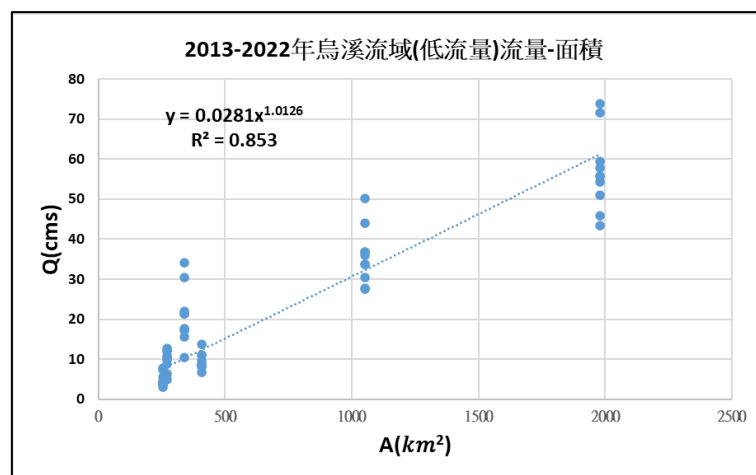


圖 5-1 2013 年~2022 年烏溪流域常流量(Q₅₀)-流量與面積關係圖

5.2.2 低流量流量推估式

本研究利用大肚橋、溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋、南崗大橋測站流量之 2013~2022 年的流況曲線的低流量與測站面積，利用流量與面積迴歸分析低流量（Q₇₅），分析常流量的面積與流量關係式，烏溪流域(低流量)流量的迴歸分析面積

與流量擬合曲線如圖 5-2，推求的關係式為 $Q=0.0281 \times \text{Area}^{1.0126}$ ， α 與 β 參數為 0.0281 及 1.0126。

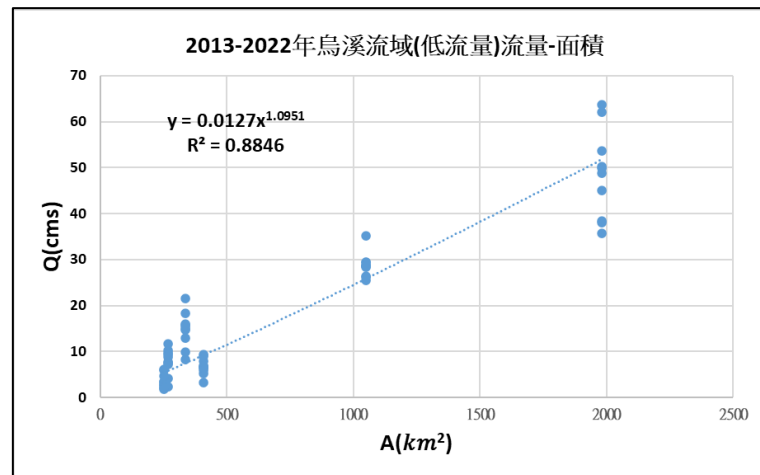


圖 5-2 2013 年~2022 年烏溪流域低流量(Q75)-流量與面積關係圖

5.2.3 枯流量流量推估式

本研究利用大肚橋、溪南橋、烏溪橋、南北通橋、觀音橋、南崗大橋測站流量之 2013~2022 年的流況曲線的枯流量與測站面積，利用流量與面積迴歸分析枯流量 (Q95)，分析枯流量的面積與流量關係式，烏溪流域(枯流量)流量的迴歸分析面積與流量擬合曲線如圖 5-15，推求的關係式為 $Q=0.0127 \times \text{Area}^{1.0951}$ ， α 與 β 參數為 0.0127 及 1.0951。

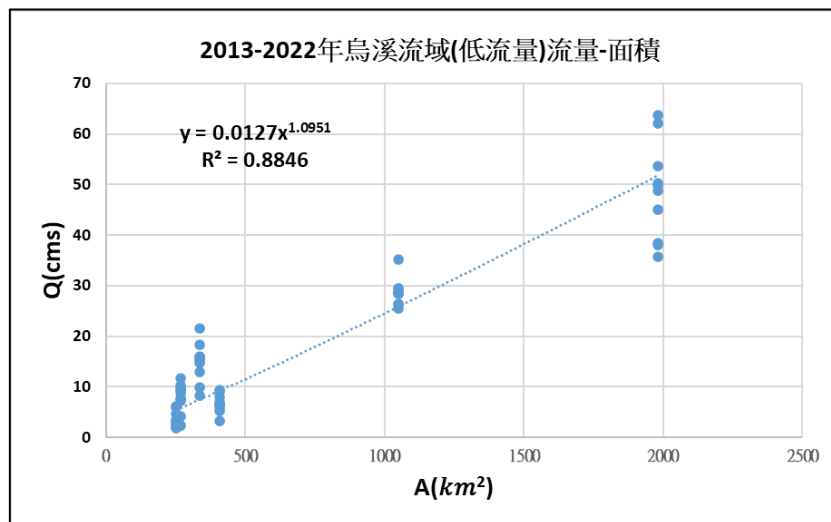


圖 5-1 2013 年~2022 年烏溪流域枯流量(Q95)-流量與面積關係圖

5.4 流量迴歸式之比較

本研究將河川小水力發電開發技術參考手冊及推動案例(經濟部水利署，2023)的流量延時曲線如圖 5-1，根據手冊之瑞岩壩壩址之流量以南北通橋水文站為基本流量站，依據該基本站之日流量紀錄以流域面積比關係式推算壩址之日流量，其關係式為：

$$Q_D = Q_B (A_D / A_B)^n$$

Q_D =壩址日流量，cms、 Q_B =基本站日流量，cms

A_D =瑞岩壩壩址控制流域面積，188.1km²

A_B =南北通橋水文站站控制流域面積，408km²

n =為大安溪至濁水溪區之流量迴歸係數，0.925

河川小水力發電開發技術參考手冊及推動案例(經濟部水利署，2023)的流量，利用 $Q_D=Q_B(A_D/A_B)^n$ 公式推求瑞岩壩址之流量紀錄資料並估算其流量延時百分比如表 5-1 所示。

利用烏溪流域之流量與面積迴歸方程式常流量、低流量及枯流量的面積轉換成烏溪瑞岩壩的常流量、低流量及枯流量推估值數據式，其轉換方式為：

1. 烏溪之瑞岩壩(常流量)

$$Q_{50} = 0.0442 \times Area^{0.9882} = 7.82 \text{ CMS}$$

2. 烏溪之瑞岩壩(低流量)

$$Q_{75} = 0.0281 \times Area^{1.0126} = 5.65 \text{ CMS}$$

3. 烏溪之瑞岩壩(枯流量)

$$Q_{95} = 0.0127 \times Area^{1.0951} = 2.55 \text{ CMS}$$

$Area$ =瑞岩壩壩址控制流域面積，188.1km²

利用烏溪流域之瑞岩壩及河川小水力發電開發技術參考手冊及推動案例(經濟部水利署，2023)的流量之瑞岩壩屬於烏溪流域作為流量進行比較如圖 5-2 及表 5-2 所示，利用皮爾遜相關係數 (Pearson Correlation Coefficient)是一種衡量兩組數據之間線性相關程度的方法如表 5-2 所示，其取值範圍在-1 到 1 之間：1 表示完全正相關、-1 表示完全負相關、0 表示無相關。

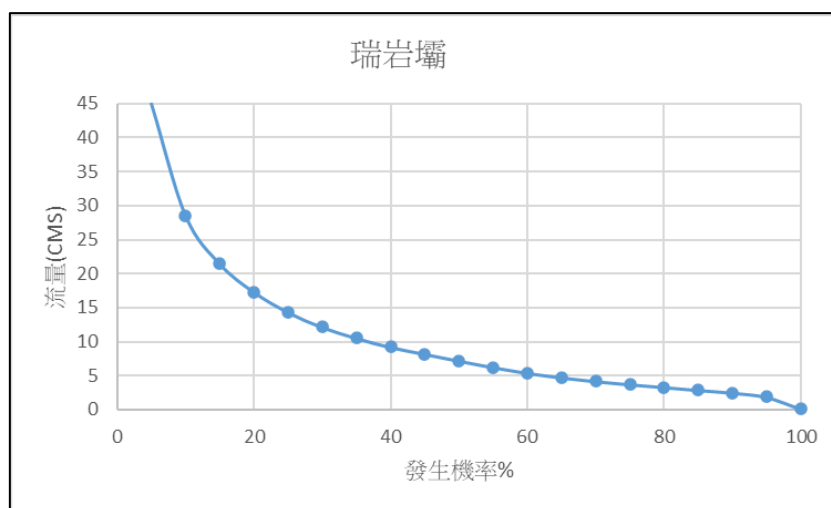


圖 5-1 瑞岩壩流量延時曲線

資料來源：經濟部水利署手冊(2023.12)

表 5-1 瑞岩壩流量延時百分比

發生機率(%)	流量(CMS)	發生機率(%)	流量(CMS)
5	45.01	55	6.24
10	28.55	60	5.40
15	21.46	65	4.74
20	17.30	70	4.19
25	14.32	75	3.73
30	12.13	80	3.32
35	10.53	85	2.90
40	9.20	90	2.50
45	8.19	95	1.88
50	7.19	100	0.15

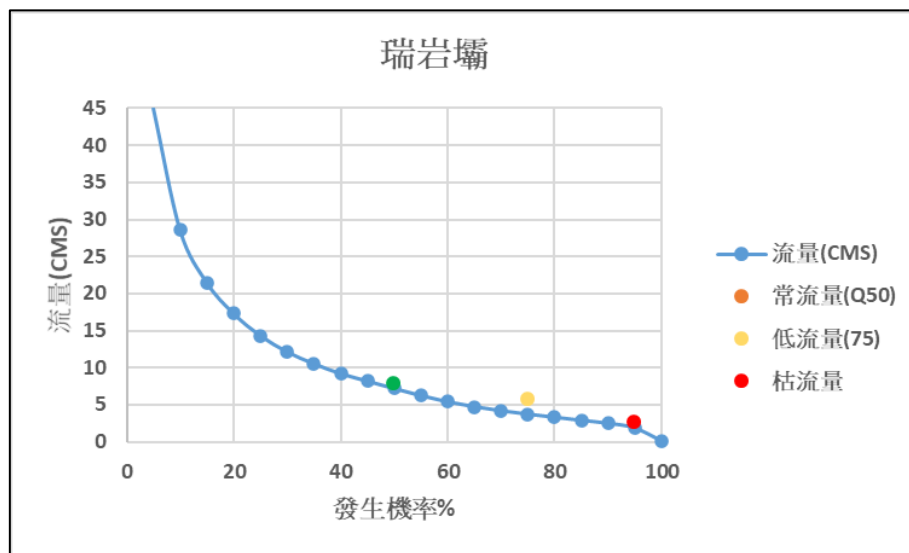


圖 5-2 烏溪流域方程式及手冊之瑞岩壩流量比較圖

表 5-21 烏溪流域(瑞延壩址)之常流量、低流量、枯流量

地方		常流量 (cms)	低流量 (cms)	枯流量 (cms)	效率係數 (CE)
烏溪流域 (瑞岩壩址)	參考手冊	7.19	3.73	1.88	0.3684
	迴歸推估式	7.82	5.65	2.55	

六、結論

1. 透過流量與面積迴歸分析計算並直接套用上游防砂壩廠址所衍生的流量曲線及流況曲線，可以有效且快速地評估該防砂壩的發電潛能。本研究將利用衍生所得的常流量、低流量、枯流量數據，分別推估該防砂壩的上游流量。此外，本研究將最後進行差異性比較分析，評析流量與面積迴歸分析與河川小水力發

電開發技術參考手冊及推動案例(經濟部水利署，2023)的迴歸分析後評估之依據。研究中建立的流量與面積迴歸模型涵蓋了常流量(Q_{50})、低流量(Q_{75})和枯流量(Q_{95})等不同流量狀態。基於 2013 年至 2022 年的流量數據，得出烏溪流域不同流量狀態的迴歸方程式，這些方程式能夠有效初估評估上游的特徵流量。

參考文獻

1. Chunwei Liu, Ge Sun, Steven G. McNulty, Asko Noormets, Yuan Fang, Environmental controls on seasonal ecosystem evapotranspiration potential evapotranspiration ratio as determined by the global eddy flux measurements, Hydrol Earth Syst Sci21(1), p311-322, 2017。
2. 利用既設砂防堰堤之小水力發電指導方針(草案)，日本國土交通省砂防部保全課，2010 年 2 月。(日文)
3. 魏夢麗、呂秀英，決定係數(R^2)在迴歸分析中的解釋及正確使用，科學農業，第 47 卷，341 頁-345 頁，1999。
4. 經濟部水利署，河川小水力發電開發技術參考手冊及推動案例，2023. 年 12 月。
5. 經濟部水利署，105 年臺灣水文環境情勢專刊，第 8 頁，106 年 6 月出版。
6. 經濟部水資源局推動節約用水措施 1997 年度委辦計畫(計畫編號:86EC2A040022)。
7. 陳榮松、廖培明、畢嵐杰，水筒模式自動率定參數法建置之研究，九十一年度水資源調查規劃委辦計畫成果彙整及成果發表會論文集，161 頁-175 頁，2003 年 12 月。
8. 河村隆雄，中小河川等之發電潛能推估方法-水文學水筒模式於武儀川之適用案例，岐阜縣情報技術研究所研究報告第 16 號，59 頁-62 頁，2014 年。(日文)
9. 菅原正巳，「水文水筒模式分析技術研習會講義」，臺灣大學土木工程學研究所講習會講義，1985 年(日文)。
10. 王如意、易任，「應用水文學」，茂昌圖書，1979 年。
11. 陳榮松、謝正晟、畢嵐杰，水筒模式參數全域最佳化率定之研究，臺灣水利，Vol. 51, No. 2, p. 34-45, 2003 年 6 月。
12. 藤原洋一、田中丸治哉、畑 武志、多田明夫，「關於流出模型常數最優識別中誤差評估函數的選擇的研究」，農業土木学会論文集，No. 225, p137~149, 2003 年 6 月。(日文)
13. 甘俊二、陳清田，陳焜耀，「臺灣地區作物需水量推估模式之合適性研究」，農業工程學報第 42 卷，第 2 期，p. 8-19, 1996 年。
14. 王如意，「修正型水筒模式之研究及其應用於流域逕流量的預測」，臺灣水利，第 39 卷第 3 期，pp. 1-23, 1991 年。
15. 王如意、劉佳明、虞國興，「水筒模式與最佳農業用水之研究」，行政院農委會研究報告，pp. 1~212, 1980 年 7 月。

16. 菅原正巳，「水文水筒模式分析技術研習會講義」，臺灣大學土木工程學研究所講習會講義，1985 年（日文）。