

自由水面蒸發公式建立 及水庫蒸發水量估計

Establishing Free Water Surface Evaporation Formula and Estimating Reservoir Evaporation

國立成功大學水利及海洋工程學系

碩士

陳姵蓁

Pei-Chen Chen

教授

陳憲宗*

Shien-Tsung Chen

*通訊作者，國立成功大學水利及海洋工程學系教授，701 台南市大學路 1 號，chen@gs.ncku.edu.tw

摘 要

本研究以 PenPan V2 Model 與 PenPan V3 Model 中的空氣動力學與能量平衡理論，探討臺灣十個測站的 A 型及 20 公分蒸發皿的蒸發量成因與比例。由分析結果得知，於 A 型蒸發皿，空氣動力及輻射對蒸發的影響分別為 21% 與 79%；於 20 公分蒸發皿，空氣動力及輻射對蒸發的影響分別為 25% 與 75%。估計邊壁效應對皿蒸發量的影響，並推求自由水面蒸發占皿蒸發量的比例，得到 A 型蒸發皿的邊壁效應占 27%，自由水面蒸發量為皿蒸發量的 73%；20 公分蒸發皿的邊壁效應占 58%，自由水面蒸發量為皿蒸發量的 42%。本研究利用兩蒸發皿的月蒸發量及邊壁效應影響比例資料，推估所得自由水面蒸發量，分別與 A 型及 20 公分皿的蒸發量資料建立截距為零的線性回歸關係式，得到利用皿蒸發量推估自由水面蒸發量的簡便公式，將 A 型皿觀測值乘以 0.74 可得自由水面蒸發量；將 20 公分皿觀測值乘以 0.54 可得自由水面蒸發量。本研究進一步利用兩推估的自由水面蒸發量，並加入全天空日射量及氣溫，建立自由水面蒸發公式，再考慮應用到全臺灣通用性，發展出三組分區公式。本研究將自由水面蒸發公式應用於臺灣重要水庫的蒸發水量估算，對於水庫水資源及水平衡的掌握，提供簡便且精確的水庫蒸發水量估計值

關鍵詞：自由水面蒸發公式，水庫蒸發量，邊壁效應，蒸發皿

Abstract

This study used the aerodynamics and energy balance theories to investigate the pan evaporation and to develop the free water surface evaporation formula. PenPan V2 Model and PenPan V3 Model were applied to estimate the evaporation from the Class A evaporation pan and the 20-cm evaporation pan, respectively, at 10 stations in Taiwan. Analysis results revealed that for the Class A evaporation pan, the aerodynamics and

radiation contribute 21% and 79% of the evaporation rate, respectively; for the 20-cm evaporation pan, the aerodynamics and radiation contribute 25% and 75%, respectively. The study estimated the influence of side wall effect on the evaporation and inferred that the free water surface evaporation accounts for 73% of total evaporation in the Class A evaporation pan and 42% in the 20-cm evaporation pan, with side wall effect contributing 27% and 58%, respectively. This study used monthly evaporation data and side wall effect ratios from both evaporation pans to estimate the free water surface evaporation. A simple method to estimate the free water surface evaporation is to multiply the observations of the Class A evaporation pan by 0.74, and to multiply the observations of the 20-cm evaporation pan by 0.54. This study further developed three regional free water surface evaporation formulae by utilizing the solar radiation and air temperature. These regional formulae were applied to estimate the free water surface evaporation from major reservoirs in Taiwan.

Keywords: free water surface evaporation formula, reservoir evaporation, side wall effect, evaporation pan

一、前言

地球上水文循環為水於大氣、海洋及陸地三大系統間，以不同的形式移動以維持水平衡，其動力來源為太陽輸出的輻射能量，此能量將水從地表或水體以蒸發作用形式，將液體轉變成水蒸氣進入到大氣中。蒸發量資料通常由蒸發皿蒸發量觀測而得，但由於蒸發皿邊壁為金屬材質，金屬邊壁吸收輻射能量後會造成蒸發量增加的影響，此現象依據潘詠瑄（2022）稱之為「邊壁效應」，因此蒸發皿的蒸發量不能代表自由水面蒸發量，本研究以 PenPan V2 模式及 PenPan V3 模式推估蒸發皿邊壁效應占蒸發量的比例，進而得到蒸發皿的自由水面蒸發量。

中央氣象署利用蒸發皿來監測當地的蒸發量，臺灣早期以 20 公分蒸發皿觀測蒸發量，於 1973 年起各氣象站改用世界氣象組織統一規格的 A 型蒸發皿進行量測，逐漸淘汰 20 公分蒸發皿。本研究利用兩型皿的月蒸發量及推估的邊壁效應影響比例資料，分析得到的自由水面蒸發量，並加入臺灣氣候變遷推估資訊與知識調適平台（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP）的全天空日射量及氣溫資料，進行回歸分析建立自由水面蒸發公式，並進一步將其運用於估計水庫蒸發水量。

二、研究方法

本研究收集源自大氣水文資料庫的氣象資料，經篩選後共挑選出 10 個測站，分別為臺北、宜蘭、梧棲、臺中、花蓮、嘉義、臺南、臺東、高雄及恆春，選取年限為由 1980 年到 1994 年的 20 公分皿與 A 型皿日蒸發量觀測資料。本研究分別應用 PenPan V2 Model 估計 A 型皿蒸發量、PenPan V3 Model 估計 20 公分皿

蒸發量。

PenPan V2 Model 與 PenPan V3 Model 皆以輻射能量交換與空氣動力學理論估計皿蒸發量。輻射能量交換分為短波輻射及長波輻射的計算，其中短波輻射能量源自於太陽，長波輻射主要源自於環境物質，包括地表、大氣及蒸發皿邊壁等，而輻射能量的損失部分則須考慮到地面、水面及邊壁的反射率。PenPan V2 Model 將蒸發皿分為水體與邊壁兩項，而 PenPan V3 Model 與 PenPan V2 Model 不同之處，為 PenPan V3 Model 針對蒸發皿的不同區塊將輻射量分量分為五項，分別為水體、內邊壁、皿底、水位以上的外邊壁以及水位以下的外邊壁，其中兩種外邊壁的計算方式僅有接收輻射的面積不同，本研究參考潘詠瑄(2022)的計算方法，將兩者面積合併以計算外邊壁輻射分量。

本研究欲推估蒸發皿蒸發量中邊壁效應的影響比例以探討自由水面蒸發量，其中邊壁效應是指內外邊壁及皿底輻射分量對皿蒸發量的影響程度；自由水面蒸發量為水體輻射蒸發量及空氣動力學蒸發量兩者的總和，將皿蒸發量估計值扣除估計的自由水面蒸發量，即可估計蒸發皿的實際水體蒸發量，其定義近似於自由水面蒸發量。

本研究整理十個測站中兩型皿各月的蒸發量資料，資料年分為 1980 年至 1994 年，將兩型皿各月蒸發量與邊壁效應影響比例進行線性推估，得到邊壁效應為零的自由水面蒸發量，並將推估得到的自由水面蒸發量，分別與 A 型及 20 公分皿的蒸發量資料建立截距為零的線性回歸關係式，可得到利用皿蒸發量推估自由水面蒸發量的簡便公式。

本研究將推估的自由水面蒸發量，加入全天空日射量及氣溫資料，建立自由水面蒸發公式，再考慮應用到全臺灣通用性，發展出三組分區公式如表 1 所示，式中 E_{fw} 代表自由水面蒸發量，其單位為 mm/mth； T 代表氣溫，其單位為 $^{\circ}C$ ； R 代表全天空日射量，其單位為 MJ/m^2 ，可在無蒸發皿觀測資料時，利用氣溫及日射量，即可推估自由水面蒸發量。本研究將自由水面蒸發分區公式呈現於臺灣行政區域上如圖 1 所示，可發現此分區以地理條件來看，為以北回歸線做為熱帶及副熱帶的區分。本研究利用自由水面蒸發推估公式，估算臺灣多座水庫的自由水面蒸發量（蒸發深度），配合各水庫庫容曲線，有效推估逐月水庫蒸發水量（體積）。

表 1 本研究自由水面蒸發分區公式

分區公式	自由水面蒸發分區公式
北部	$E_{fw} = 2.6T + 2.1R - 39.0$
南部	$E_{fw} = 3.7T + 2.2R - 55.9$
恆春	$E_{fw} = 1.5T + 2.3R + 36.7$



圖 1 本研究自由水面蒸發分區公式

三、總結

本研究以 PenPan V2 Model 與 PenPan V3 Model 估計臺灣十個測站的 A 型及 20 公分蒸發皿的月自由水面蒸發量。由分析結果得知，於 A 型蒸發皿，空氣動力及輻射對蒸發的影響分別為 21% 與 79%；於 20 公分蒸發皿，空氣動力及輻射對蒸發的影響分別為 25% 與 75%。估計邊壁效應對皿蒸發量的影響，並推求自由水面蒸發占皿蒸發量的比例，得到 A 型蒸發皿的邊壁效應占 27%，自由水面蒸發量為皿蒸發量的 73%；20 公分蒸發皿的邊壁效應占 58%，自由水面蒸發量為皿蒸發量的 42%。

本研究將推估得到的自由水面蒸發量，分別與 A 型及 20 公分皿的蒸發量資料建立截距為零的線性回歸關係式，得到利用皿蒸發量推估自由水面蒸發量的簡便公式，將 A 型皿觀測值乘以 0.74 可得自由水面蒸發量；將 20 公分皿觀測值乘以 0.54 可得自由水面蒸發量。

本研究將推估的自由水面蒸發量，加入全天空日射量及氣溫資料，建立實用的自由水面蒸發推估公式，可在無蒸發皿觀測資料時，利用全天空日射量及氣溫資料，即可推估自由水面蒸發，考慮到全臺灣通用性共發展出三組分區公式：

$$\text{北區：} E_{fw} = 2.6T + 2.1R - 39.0$$

$$\text{南區：} E_{fw} = 3.7T + 2.2R - 55.9$$

$$\text{恆春：} E_{fw} = 1.5T + 2.3R + 36.7$$

式中 E_{fw} 代表自由水面蒸發量，其單位為 mm/mth；T 代表氣溫，其單位為 $^{\circ}\text{C}$ ；R 代表全天空日射量，其單位為 MJ/m^2 。將分區公式應用於估算臺灣多座水庫的

自由水面蒸發量（蒸發深度），並配合各水庫的庫容曲線，有效推估逐月水庫蒸發水量（體積）。