

極端降水下的水庫有效降水利用率變化

張怡蕙^{1*} 簡銘哲² 曾鴻陽² 劉清煌²

¹中國文化大學地學研究所

²中國文化大學大氣科學系

摘 要

水庫在台灣每年約 $1.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 的總需水量中，總供給約 $4.0 \times 10^9 \text{ m}^3$ 之水資源，雖非最主要的供應者，卻最具有調節功能的角色，因此，能否有效發揮水庫功能，亦關係著水資源之供需。本文以經濟部水利署2003年-2013年臺灣西部3個水庫之資料，初步估計這段相對極端降水頻率較高時期之主要水庫的最佳年有效降水當量做為評估豪雨發生頻率與季節分佈對水庫達成最佳化目標的貢獻，並質化地提出達成水庫最佳化的降水模式。分析結果顯示1.水庫有效降水利用率與高頻率豪雨呈反向關係，且高頻率豪雨發生時，水庫之功能效力較自然降水偏少的有效降水利用率差或相差無幾。一般而言，北部水庫的有效降水利用率較南部為佳，此亦反映北部的豪雨發生頻率之變率較南部地區為低。2.梅雨期的豪雨事件對水庫蓄水最佳化目標具正面貢獻。3.颱風季豪雨頻率對水庫蓄水最佳化的貢獻受水庫容量影響而有所差異，整體而言，年豪雨頻率小於4次具有正貢獻；4次以上則呈負貢獻。4.水庫最佳化蓄水的降水模式為梅雨季豪雨頻率1-2次(每次降水量需小於300 mm)，另外，曾文水庫於每次降水量小於250 mm時，可達4次；颱風季豪雨發生頻率為1-2次(翡翠水庫，每次降水量須小於300 mm；曾文水庫須小於250 mm)。

關鍵字：豪雨；有效降水利用率；水庫最佳有效降水當量飽和比

一、前言

臺灣年平均降水量約 2500 mm(相當於 10^{11} m^3)，雖為世界平均年降水量的 2.6 倍，但降水主要集中於 5-10 月(豐水期)，使得豐、枯水期差異顯著，再加上環境特性，不僅地形陡峭、河川短小等因素影響，導致河川無法有效儲存降水，供水主要以水庫為主。但就臺灣水庫總有效容量(約 $1.9 \times 10^9 \text{ m}^3$)來說，僅為年用水量需求(約 $1.8 \times 10^{10} \text{ m}^3$)的 11%，因此，每座水庫年運用次數平均至少須達 2-3 次才足以供應全臺用水需求。再加上臺灣人口密度高，因此，每人可運用的水資源可說是少之又少，這亦顯示著臺灣的水資源運用一直處於危機之中。

再者，根據 IPCC 第四次評估報告結果指出，隨著氣候變遷之影響下，全球強降水之強度及頻率有逐漸增加之趨勢，且有乾濕季愈發顯著的現象發生。就

臺灣而言，百年來之小雨日數大幅減少(Hsu and Chen 2002；陳 2008；Hung and Kao 2010；許等 2011)，大豪雨日數於近 30 年則有明顯增加之趨勢，此外，臺灣過去 40 年來之年降水量雖無明顯變化，但颱風降水佔年總降水量之比例卻從 1970 年代的 15%提高至 2000 年代的 30%，足足增加了 15%，並有超過 3/4 模式推估，臺灣(北臺灣除外)未來夏季的平均降水將增加(許等 2011)，這意味著，未來在「豐水期愈豐、枯水期愈枯」且於無足夠水庫用來儲水的狀態下，降水集中將勢必對集水區帶來更顯著之衝擊。當氣候異常形成常態時，可預見的是，臺灣即將面臨更加嚴峻的用水問題。

因此，本研究希望藉由臺灣西部 3 個水庫之資料統計及分析，以期瞭解水庫有效降水利用率與極端降水之關係、各個水庫所能承受的豪雨可能發生頻率，以及豪雨發生頻率對於達成水庫最佳有效蓄水量之

* 聯絡作者地址：張怡蕙，(111)臺北市華岡路 55 號中國文化大學大義館 6 樓大氣科學系

聯絡電話：(02)28610511 轉 25805

傳真電話：(02)28615274

E-mail：meteorology01234@gmail.com

影響。

二、資料來源及研究定義

(一)資料來源：使用經濟部水利署2003-2013年翡翠水庫、石門水庫及曾文水庫之觀測及統計資料(逐日之降水量、進水量、出水量、水位及有效蓄水量百分比)。

(二)研究定義：

- 1.無效降水開始日之選取標準：翡翠(石門，曾文)水庫為必須同時滿足(1)該日或前一日或前兩日之日雨量 ≥ 130 mm，(2)該日進水量 $\geq 10^7(10^7, 8 \times 10^6)$ m³，(3)該日出水量/該日進水量 ≥ 80 %，或者該日有效蓄水量百分比 ≥ 90 %。
- 2.無效降水結束日之選取標準：當翡翠(石門，曾文)水庫，該日進水量 $< 10^7(10^7, 8 \times 10^6)$ m³，則視為結束日。
- 3.無效進水量：無效降水日之進水量均視為無效進水量。
- 4.有效降水利用率(%)=有效進水量/總進水量，亦視為水庫有效蓄水率。
- 5.水庫最佳年有效降水當量(A，單位為mm)：選取該水庫於2003-2013年之最大有效降水當量，即稱之，亦視為水庫之最佳有效蓄水量。
- 6.水庫最佳有效降水當量飽和比(%)=該年水庫有效降水當量/水庫最佳年有效降水當量，即 $B=C/A$ ，亦視為水庫之最佳有效蓄水飽和比。

三、有效降水利用率與極端降水關係

就年平均有效降水利用率而言，以翡翠水庫(91.45%)最佳，其次為石門水庫(71.05%)、曾文水庫(59.72%)。當年豪雨發生頻率高(翡翠水庫為130 mm ≥ 4 次且300 mm ≥ 1 次；石門水庫為130 mm ≥ 4 次且300 mm ≥ 2 次；曾文水庫為130 mm ≥ 5 且300 mm ≥ 2 次)時，各水庫之平均有效降水利用率(平均值為52.10%)均較年豪雨發生頻率處於常態時為低(平均值為81.81%)(表1)，亦即代表當年豪雨發生頻率高時，不利於水庫有效蓄水之提升。

進一步分析年豪雨發生頻率高之事件的季節分佈顯示，石門水庫均發生於颱風季。翡翠水庫於2004年共發生4次豪雨，其中，梅雨季與颱風季的豪雨發生頻率各為1次與3次(表2)，有效降水利用率(82.51%)卻高於同為豪雨頻率4次且均發生於颱風季的2008年(68.69%)(圖1)。此外，曾文水庫於2004年之豪雨發生頻率(表2)於2004年共發生10次豪雨，其中梅雨季為4次、颱風季為6次，有效降水利用率略高於豪雨頻率5次，且均發生於颱風季的2008年(圖2)。上述結果顯示，當豪雨發生頻率高且分布於梅雨

季及颱風季時，梅雨季之豪雨反倒有利於水庫有效蓄水之提升。相對地，集中於颱風季之高頻率豪雨，則對水庫有效蓄水為負貢獻。造成此一結果，與臺灣降水季節分佈有關，一般於梅雨季前，臺灣處於降水空窗期，因此，梅雨季之降水易為水庫所儲存；但是，當水庫受梅雨季降水之貢獻，而梅雨季隨後的颱風季降水若過於集中或頻率過高，則極易形成無效降水。此外，針對這三個水庫之統計分析結果顯示，各水庫的有效蓄水量之負貢獻絕大多數來自於颱風季之豪雨。

四、豪雨發生頻率對有效蓄水之影響

透過各水庫之最佳年有效降水當量(A)、年總降水當量(D)及最佳有效降水當量飽和比(B)之比對結果顯示(表3)，當 $D > A$ 時(表示該年總降水量有機會達成水庫最佳年有效蓄水量)，年豪雨發生頻率高之各水庫的B值(平均值為67.4%，最低為曾文水庫53.29%，最高為石門水庫74.85%)均較年豪雨發生頻率處於常態時為低(平均值為86.27%，最低為曾文水庫71.69%，最高為翡翠水庫95.50%)。當 $D < A$ 時(表示該年總降水量無法達成水庫最佳年有效蓄水量)，3個水庫之平均B值為75.12%，亦較 $D > A$ 之高頻率豪雨之平均B值為高。就曾文水庫(表3)而言，當 $D > A$ 時，豪雨發生頻率高者之B值(53.29%)較年豪雨發生頻率處於常態(71.69%)時低了18.40%，且較 $D < A$ 之75.13%為低，相差了21.84%，而翡翠水庫亦呈現類似之趨勢，但就 $D > A$ 時之高豪雨發生頻率與 $D < A$ 時之B值，僅相差2.7%。至於石門水庫於 $D > A$ 時，豪雨發生頻率高者之B值(74.85%)較年豪雨發生頻率處於常態(91.62%)時低了16.77%，此外，雖較 $D < A$ 之73.48%為高，但僅相差1.37%，也就是說，即便該年總降水量相對偏多，但當豪雨發生頻率高時，水庫之有效蓄水能力相較總降水量相對偏少年之結果為差或者相差非常有限，突顯在年豪雨發生頻率高時，對於達成最佳年有效降水當量為負向貢獻，且南部水庫較北部水庫顯著。

五、結論與討論

本研究透過對臺灣西部3個水庫之觀測及統計資料的分析結果顯示：

- 1.有效降水利用率與高頻率豪雨呈反向關係，亦即代表著水庫有效降水會因高密度與強度之降水，無法被水庫所容納而造成無效降水，使空有極高之自然降水量，卻無極佳利用率，能真正使水庫發揮功能之效力與自然降水偏少的有效降水利用率相差有限。一般而言，北部水庫的有效降水利用率較南部為佳，此亦反映北部的豪雨發生頻率之變率較南部

地區為低。

2. 梅雨季期間所發生的豪雨是有助於水庫最佳有效蓄水飽和比之提升。
3. 颱風季期間之豪雨，對於水庫最佳有效蓄水飽和比之貢獻則視豪雨發生頻率而定，當年豪雨發生頻率小於 4 次為正貢獻，4 次以上為負貢獻。
4. 台灣之水庫最佳有效降水當量飽和比(水庫最佳化蓄水)的降水模式為梅雨季豪雨發生頻率 1-2 次，且每次之降水量需小於 300 mm，另外，曾文水庫最多可達 4 次，但每次之降水量須小於 250 mm；颱風季豪雨發生頻率為 1-2 次，其中，就翡翠水庫而言，每次之降水量須小於 300 mm，曾文水庫則須小於 250 mm。

從水庫能否有效發揮調節水資源功能的角度來看，若水庫的有效蓄水量均能維持在一定的水位之上，功能就大，然影響其有效蓄水量的重要因素之一，就是自然降水，在自然降水的時序分佈上若能與水庫的供水需求達成和諧，即能達成水庫設立的原意。近年來臺灣亦受到極端降水事件影響，年降水總量雖無明顯上升趨勢，但降水強度增強、豪雨頻率增加、連續無雨日數亦呈現增加之趨勢，在反映出極端降水事件勢必衝擊水庫的利用功能。上述研究也反映了此一趨勢，即臺灣西部水庫明顯受豪雨發生頻率及季節分佈等因素影響，而干擾水庫能否達到水庫之最佳運作狀態。相對地，當極端天氣的缺水年來臨時，水庫在水資源調配及運用功能上將會扮演更重要的角色，因此，水庫能否達成最佳蓄水狀態也是另一個值得探究的問題。

參考文獻

- 周佳與劉紹臣，2012：全球氣候變遷觀測。大氣科學，40(3)，185-225。
- 許晃雄、陳正達、盧孟明、陳永明、周佳、吳宜昭等，2011：臺灣氣候變遷科學報告 2011。行政院國家科學委員會，362 頁。
- 陳雲蘭，2008：由極端氣候指標看臺灣氣候變化。2008 臺灣氣候變遷研討會。
- 盧孟明，麥如俊，2003：台灣與全球雨量長期變化研究(一)1920-1995 變化趨勢。大氣科學，31(3)，199-220。
- 盧孟明、陳佳正、林昀靜，2007：1951-2005 年臺灣極端降雨事件發生頻率之變化。大氣科學，35，2，87-103。
- Hsu, H.-H. and C.-T. Chen, 2002：Observed and Projected Climate Change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **79**, 87-104.
- Hung, C.-W. and P.-K. Kao, 2010: Weakening of the Winter Monsoon and Abrupt Increase of Winter

Rainfalls over Northern Taiwan and Southern China in the Early 1980s. *J. Climate.*, **23**, 2357-2367.

IPCC 2007 Summary for Policymakers, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, Cambridge.

表 1 臺灣 2003-2013 年翡翠水庫、石門水庫及曾文水庫之年平均有效降水利用率、豪雨發生頻率(高)及豪雨發生頻率(一般)之平均有效降水利用率一覽表。

有效降水利用率	翡翠水庫	石門水庫	曾文水庫
年平均	91.45%	71.05%	59.72%
豪雨發生頻率(高)	75.60%	47.98%	32.71%
豪雨發生頻率(一般)	94.97%	79.45%	71.00%

表 2 臺灣 2003-2013 年翡翠水庫、石門水庫、曾文水庫於梅雨、颱風季之豪雨發生頻率(次)統計一覽表。

年份	翡翠水庫			石門水庫			曾文水庫		
	梅雨季	颱風季	總計	梅雨季	颱風季	總計	梅雨季	颱風季	總計
2003	0	1	1	0	0	0	1	0	1
2004	1	3	4	0	4	4	0	4	4
2005	1	7	8	0	6	6	4	6	10
2006	0	1	1	1	1	2	2	3	5
2007	0	3	3	0	2	2	0	5	5
2008	0	4	4	0	5	5	0	5	5
2009	0	3	3	0	1	1	0	4	4
2010	0	2	2	0	2	2	1	1	2
2011	1	2	3	0	0	0	0	2	2
2012	1	2	3	1	2	3	6	1	7
2013	0	2	2	0	4	4	1	6	7

表 3 臺灣 2003-2013 年翡翠水庫、石門水庫及曾文水庫之平均水庫最佳有效降水當量飽和比一覽表，其中，A 為水庫最佳年有效降水當量(mm)、B 為水庫最佳有效降水當量飽和比(%)、D 為年總降水當量(mm)。

	翡翠水庫	石門水庫	曾文水庫
A	4250.7mm	2263.8mm	2763.3mm
當D>A時之B值	豪雨發生頻率(高)	74.05%	74.85%
	豪雨發生頻率(一般)	95.50%	91.62%
當D<A時之B值	76.75%	73.48%	75.13%



圖 1 2003-2013 年翡翠水庫(a)有效降水利用率(單位為 %)之變化一覽圖, (b)年總降水當量(單位為 mm)及年有效降水當量(單位為 mm)之變化一覽圖。

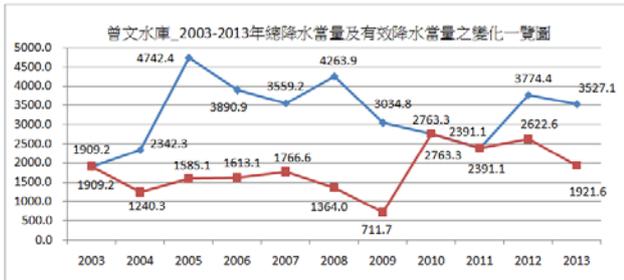
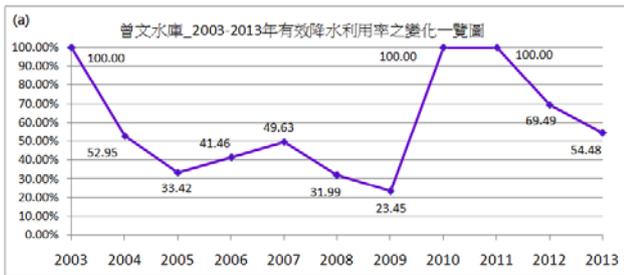


圖 2 2003-2013 年曾文水庫(a)有效降水利用率(單位為 %)之變化一覽圖, (b)總降水當量(單位為 mm)及有效降水當量(單位為 mm)之變化一覽圖。