

雨水利用之環境效益

中國文化大學土地資源學系 / 國際雨水貯蓄利用系統協會(IRCSA)前主席

盧光輝

雨水利用是一種經濟、實用的小型技術，但可以產生巨大的環境和生態效益，特別是對於半乾旱、半濕潤而缺水的地區。雨水貯蓄應用範圍非常廣泛，在生活供水方面，雨水利用尤其適合用於不宜集中供水的城郊以及缺乏淡水的海島地區。在農業用水方面，保水梯田及雨水貯蓄灌溉都是農業利用雨水的傳統方式。在城市地區，雨水貯蓄多用於衛生、消防、備用水源、環境綠化、地下水補注、景觀用水等方面。雨水利用不需消耗能源，並且不會製造污染，應該受到愈來愈多的重視，是21世紀水資源永續利用的重要途徑之一。雨水利用研究和應用潛力很大，但目前還不夠廣泛和深入，其環境效益也沒有充分完全發揮。隨著人們對雨水利用重要性認識的進一步提高，雨水利用的應用範圍將更加廣泛，其環境效益也會更加顯著。

一、前言

世界各國不少地區已經發生了水資源總量不足的矛盾，造成地下水位持續下降，引起一系列生態環境問題，而環境惡化又使本來已很嚴重的水資源不足的問題更加突顯。解決水資源問題有許多途徑，如興建水源工程、建設水庫和跨流域引水工程、推行節水措施、提高水的利用率等，這些都是十分有效的辦法。但這些在過去都只侷限在利用河川逕流和地下水上。近年來，科技發展再加上歷史經驗，已成功對雨水的控制利用，使水資源利用的領域大為拓寬。過去，世界各國在評估某一地區的水資源時，只考慮河川逕流和地下水兩部分，降水是不計入水資源的。事實上，地球上所有型式的水資源都來自降水，降水是水資源的一次型式。而河川逕流和地下水只是經過降水形成的逕流、入滲、回歸等多個轉化環節後形成的水資源的二次或三次等型式。由於河川逕流和地下水

相對比較穩定，比較容易利用，而降水則因歷時短，降落面大，較難加以控制。因此，人類對水資源的利用主要在地表水和地下水兩方面。但是，在一些地表水和地下水比較缺乏或開採利用困難，降水是主要水源的地方，就應當把降水的利用作為水資源利用的主要型式。事實上，人類很早就有了對雨水一次資源利用的歷史，現今再提出雨水利用這一課題，使這一古老技術煥發青春，有著十分重要的意義。雨水利用有以下幾點好處：

1. 雨水利用能為缺乏地表水和地下水的地區提供一種可靠的新水源，有效地緩解了水資源不足的矛盾，解決了長期存在的缺水困難。
2. 雨水利用可以促進農村和社會經濟的發展。乾旱往往是造成貧困的根源之一。
3. 雨水資源是一次性水源，與河川逕流及地下水比較，它受到的污染最少。因此，雨

水是一種純淨清潔，安全可靠的水源。

4.降水總是發生在較大的範圍內，與河川逕流集中在幾條河溝內和埋藏較深的地下水比較，是一種就地水源，可以就地集中、就地存蓄、就地利用。其工程簡單，只要政府少量扶持，廣大群眾就可以自力更生興建。雨水利用是工程小、效用大、節省費用的水利工程新形式。

雨水利用有著悠久的歷史，發展了多種雨水利用的型式，使雨水利用成為許多國家解決飲用水和農業、工業生產用水的主要、甚至是唯一的手段。雨水利用雖然是一項古老的技術，但是近20多年來，由於人口快速增加和城市化的迅速發展，水資源短缺和環境問題愈來愈突出，使雨水利用愈來愈受到各國政府的重視。因為

雨水利用不僅可以補充集中供水工程的不足，而且由於雨水利用本身具有規模小、空間分布分散，因而不會對環境造成重大的影響，還能緩解一些地區已出現的環境問題。因此，雨水利用是21世紀水資源永續利用的重要途徑之一。

本文就現有的雨水利用的發展，首先介紹多種雨水利用類型，並就不同類型雨水利用的環境效益進行論述。

二、目前雨水利用類型

從廣義上看，一切利用雨水的活動都可以稱為雨水利用。而水資源的主要賦存型式 - 地表水和地下水都是由雨水轉化而來。所以，一切水資源的開發利用活動，都是雨水

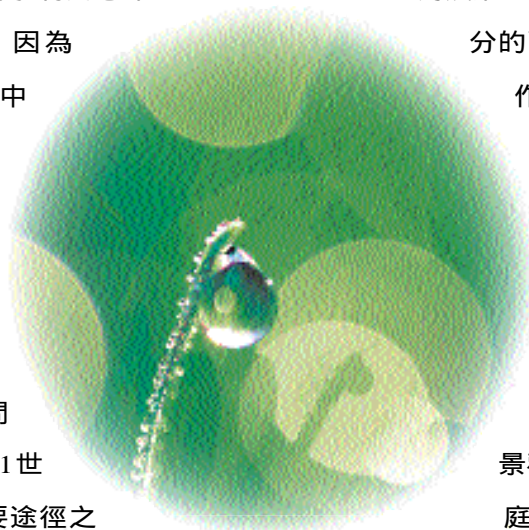
利用活動。例如興建水庫、埤塘和灌渠系統等開發利用地表水的活動，開採利用地下水的活動等。而狹義的雨水利用則是指雨水的直接利用活動，例如利用集水面收集雨水、用於飲用、農業生產和城市清潔等，不包括對雨水的轉化型式的利用活動，即不包括對地表水和地下水的利用活動在內。本文所指的雨水利用是狹義上的雨水利用。根據供水的目的，可將雨水利用分為三類：

1.為解決飲用水和發展小面積的庭院和屋頂雨水收集工程，主要在嚴重缺水的地區、地表透水性極強的山區、海島及濱海地區以及缺乏優質飲用水的地區(如高氟病區)的廣泛應用。

2.為農業生產提供水源和增加土壤水分的雨水利用型式，主要在旱作農業地區的廣泛應用。

3.以緩解城市及其周邊地區的水環境問題為目的的雨洪利用工程，主要在利用城市雨洪棄水回灌地下水或用於城市清潔、綠化和維持城市水體景觀等。

庭院和屋頂雨水利用不僅解決了嚴重缺水地區人民的飲水問題，而且使他們擺脫貧困，提高了生活品質。雨水利用還是改善劣質水地區的飲水水質的經濟、實用的重要途徑，可使當地人民從此擺脫地方病的威脅。耕地上的雨水利用工程不僅保持了水土資源，改善了農業生產條件，而且減少了河川輸砂量，減輕了下游的防洪負擔。旱作區的深耕和覆蓋措施，提高了作物的雨水利用效率，增加了糧食產量，在開採



地下水灌區減輕了農業灌溉需水對地下水的壓力，從而緩解了地下水環境問題的發展和進一步惡化。而城市雨洪利用則有著更直接的環境效益。可見，雨水利用的應用範圍非常廣泛，環境效益也十分顯著。

三、不同類型的雨水利用及其環境效益

1. 屋頂/庭院貯蓄供水

在乾旱內陸地區，年降水量少於500 mm，且集中在夏秋季，土地結構疏鬆，保水性差，遇暴雨時水土流失嚴重，不僅威脅到當地居民的生產和生活，而且帶來下游河道大量泥砂，使水庫產生嚴重淤積，洪澇災害威脅下游地區居民的生命和財產安全。由於自然因素，地表水和地下水都非常缺乏，居民飲用水供應十分困難，生活水準偏低，水源供應是當地急需解決的問題。

在地表水滲漏性強的石灰岩和泥岩山區，雖然年降雨量豐沛，但可利用的地表、地下水非常有限，居民飲水十分困難，生活水準普遍低落。海島地區，雖然雨量豐富，但由於面積狹小，河流短小，雨後逕流很快入海，較難攔蓄地表水。又由於缺少深厚的土層，地下水也很缺乏，淡水資源嚴重不足，居民生產和生活用水都十分匱乏。濱海地區地下水天然水質較差，多為鹹水，又處於河流末端，地表水量少而不穩定、水質污染嚴重，不適合作為飲用水源。

以上地區受制於匱乏資源、經濟條件，很難依靠大型水利工程解決供水問題。而屋頂/庭院雨水貯蓄系統（見圖1），既經濟又可充分利用當地的降水資源，可以為這些地區的居民提供穩定可靠而又潔淨的飲用水。同時，雨水貯蓄系統因規模小、分佈分散，不易造成環境破壞，有利於生態環境保護。屋頂/庭院雨水貯蓄利用不僅解決了嚴重缺水地區的飲水問題，而且提高了當地居民的生活水準。雨水利用還可改善劣質水地區的飲水水質，可減少當地居民患病的威脅。山坡地上的雨水利用工程不僅保持了水土資源，改善了農業生產條件，而且減少了泥砂產生，減輕了下游的防洪負擔。

2. 旱作農業灌溉用水

旱作農業是以集水技術為基礎。所謂集水技術是指一切對降雨逕流的收集、貯存及供給技術。在乾旱半乾旱地區通過集水措施，盡可能把有限的降水資源集中起來使用，減少地表蒸發，從而使這些嚴重缺水的地區有了發展農業的物質基礎。同時，集水措施通過對降水的有效收集、貯存和供給，在時間上對降雨作了再分配，解決了乾旱區降雨季節與植物生長發育協調性差的矛盾，達到了與大型水利工程相近的作用，而它應用的靈活性和經濟性則要優越得多。所以，集水技術成為支撐乾旱地區居民生活和農業生產的一項基本技術。

圖1 世界各國屋頂/庭院雨水貯蓄系統

泰國



巴西



梯田



蓄水壩

圖2 農業以逕流為基礎的洪水利用方式

傳統以逕流為基礎的農業對洪水利用有下列幾種方式（見圖2）：

- 1.在邊坡上沿等高線修築台階以攔截分散逕流，一方面用以灌溉農田，另一方面通過泥砂淤積逐漸形成窄條梯田。
- 2.在山坡排水溝中修築攔水設施如淤地壩，通過泥砂淤積變成農用土地。
- 3.修築引水渠，將洪水引進臨近的耕作區灌溉。
- 4.修築小的蓄水壩，將季節性洪水貯存起來，通過渠道系統澆灌農田或供人畜飲用。
- 5.抽取、收集沖積扇地下水用於生活和灌溉用途上。

目前在技術方面，除了傳統的利用洪水灌溉技術外，還成功研發多種新的集水技術、集水面防滲材料與集水效果。利用較大面積集水區，發展節水灌溉的技術，使人工控制調配逕流能進一步增強。如今旱作農業技術在全球乾旱地區已相當普遍使用。

以往全球乾旱半乾旱地區，僅依靠開發主要河流、發展大型水利工程已不能滿足農業和改善生態環境需求，也很難進一步提高水資源的利用率。因此，在一般水利工程不能灌溉到的地方，旱作農業可以提供重要的補充作

用，特別是這種技術措施是就地就近攔蓄使用地表逕流，可以保持原有的水土平衡條件，不會造成土壤鹽化或大面積水資源缺乏而產生沙漠化等環境問題，而且通過提高降雨的產流率來增加土壤的入滲量，局部對降雨進行再分配，減小了無效蒸發，避免了長距離輸水造成水分浪費，從而提高了水資源的利用效率。

旱作農業的投資和維修費用都比較低，施工技術簡單，易於推廣普及，適合無河流、缺乏地下水、乾旱半乾旱落後的山區、丘陵地區使用。而且根據當地的自然條件，可因地制宜選擇不同的類型，使水盡其用，不僅可以發展乾旱半乾旱地區的農業生產，而且能建立新的農業生態系統，積極改善生態環境。

旱作農業的集水技術實際上也是一種有效的水土保持措施。小流域集水，攔蓄地表逕流引洪淤灌和緩洪灌溉，

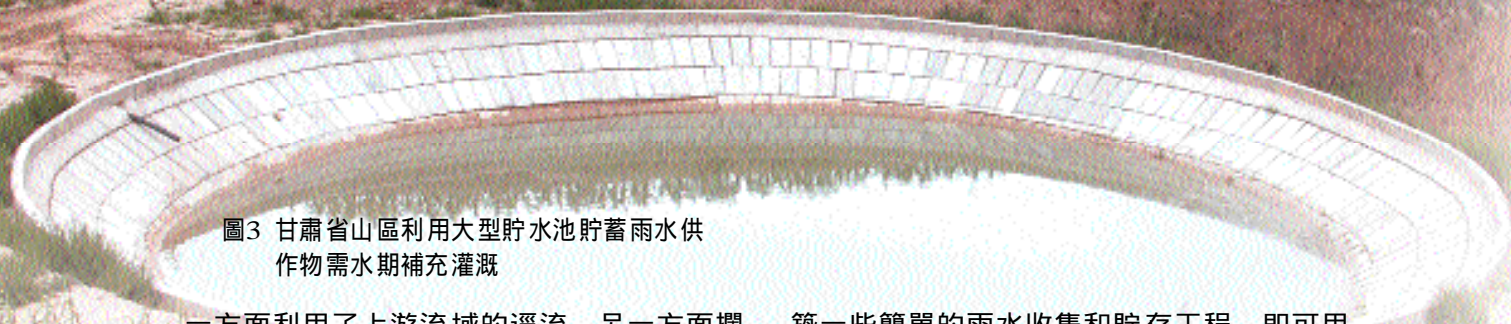


圖3 甘肅省山區利用大型貯水池貯蓄雨水供作物需水期補充灌溉

一方面利用了上游流域的逕流，另一方面攔截了洪水所攜帶的泥砂。在較大的坡地上，可以利用修築較大貯水池進行作物需水期補充灌溉（圖3），在溝道築壩攔截洪水泥砂，利用荒山、林草地匯集逕流灌溉，不僅有效的利用水資源，而且還可有效保護水土資源。

3.城市雨洪利用

近年來，由於人口激增、連續乾旱、城市化與工業化發展迅速，城市水源缺乏和水質惡化已影響到城市的發展。為了解決缺水問題，很多缺水城市大量開採地下水，造成了嚴重的地下水枯竭、地面沉降等地下水環境問題，在沿海地區還引起了海水入侵問題。由於大量地表污水的入滲，地下水污染已日益惡化。城市化大幅度增加不透水面積，一方面造成地下水入滲補給大量減少，加劇了地下水枯竭的速度和範圍。另一方面，還造成城市洪水大增，加劇了對城市居民人身和財產的威脅。

城市地區可充分利用雨洪逕流增加地面水源，城市不透水地面如道路、停車場、運動場（圖4）和建築物屋頂等，是良好的雨水收集面，雨後自然產生的城市逕流，只要修

築一些簡單的雨水收集和貯存工程，即可用於城市需水，如城市清潔、消防（圖5）、綠地灌溉和維持城市水體景觀。城市雨水利用一方面可以緩解吃緊的城市用水，減輕城市需水對地下水開採的壓力，另一方面，還可減輕城市洪水的威脅。此外，將收集的雨水淨化處理後，可在自然條件適宜的地方，用於地下水人工補注，增加地下水源及緩解超抽地下水所引起的環境問題。地下水補注具有防止洪災和調節水源的功能，可以增加地下水補給量，並且具有建設和運作費用低，容易操作等優點。經過適當的土壤過濾，補注的雨水可滿足水質要求，不會造成地下水污染。在城郊平原地區，選擇表土為砂土和砂壤土的地段，攔蓄雨水，也可加強城市地下水補給。

建立城市利用小型貯蓄雨水系統作為綠地或居民衛生用水已日趨普及，隨著節水意識的抬頭和雨水利用技術的發展，居民在社區的公共用地上建地下蓄水池，通過簡易的雨水貯蓄系統將屋頂、路面的雨水集流於蓄水池中，進行簡易淨化過濾後，便可提供綠地或噴灑道路用水，甚至可將存儲的水加壓後，用做居民衛生用水。

圖4 日本利用網球場地蓄洪以減輕城市洪水的威脅



四、目前雨水利用的不足和發展前景

雨水利用潛力很大，發展前景廣闊，但目前還存在一定的不足：

1. 雨水利用還缺乏一定的標準和規範。各國的雨水利用多處於摸索階段，缺乏充分的科學分析和導引。雨水利用系統的組成、集水面的面積、儲水池的防滲材料選用、水質的淨化等，都尚未建立公認的標準和規範。
2. 實施庭院和屋頂雨水收集工程的範圍還不夠廣泛。目前，庭院和屋頂雨水利用工程已在高山地區廣泛開展，但是平原地區尚未廣泛實施這一工程，也未把庭院和屋頂雨水利用工程作為改善水質的重要措施之一。在很多缺乏淡水的海島地區，也未大規模實施雨水利用工程。
3. 利用城市雨洪回灌地下水的工作處於試驗階段，尚未大範圍展開，因而未在緩解和控制地下水超採地區的環境惡化問題方面發揮其應有的作用。
4. 雨水利用的重要性認識不足。提到解決缺水問題，人們還只是習慣於考慮修建水庫、地表水和地下水開發等措施，或者從外流域調水，而對雨水利用這樣的就地開源措施重視不夠，未把它作為解決缺水問題的一個重要途徑，對雨水利用的環境效益的認識則更加淡薄。

隨著水資源短缺和環境惡化程度的進一步加劇，以及人們對水資源永續利用重要性的認識程度的進一步加深，雨水利用的優越性會愈來愈突出。所以，雨水利用的發展前景非常廣闊，它將在促進資源、環境、經濟的協調發展中發揮愈來愈大的作用。

五、結語

雨水貯蓄利用不但可以解決缺水地區的水源問題或減輕需水壓力，而且可以產生鉅大的環境效益，是21世紀水資源永續利用的有效途徑之一。屋頂/庭院雨水利用不僅解決了嚴重缺水地區人們的飲水問題，而且改善了居民的生活品質。雨水利用還能改善劣質水地區的飲水水質，可使當地居民擺脫地方病患的威脅。在山坡地上的雨水利用工程不僅保持水土資源，改善農業生產條件，而且減少了河川輸砂量，減輕防洪負擔。旱作農業措施，更提高了作物的雨水利用率，增加糧食產量，減輕了農業灌溉需水對地下水開採的壓力，從而緩解了地下水環境問題。城市雨洪利用能直接獲取環境的效益，一方面可以削減城市洪峰流量，減輕城市防洪負擔，另一方面，雨水還可以供城市清潔、綠化、補充水體景觀所用。同時，利用雨水進行地下水補注，可以直接增加地下水量，也可緩解超採地下水所產生的地下水環境問題。雨水貯蓄利用研究和應用潛力很大，但目前還不夠廣泛和深入，其環境效益也沒有充分完全發揮。隨著人們對雨水利用重要性認識的進一步提高，雨水利用的應用範圍將更加廣泛，其環境效益也會更加顯著。



圖5 德國利用城市雨洪逕流供應消防用水