



環境、能源和經濟發展方案

適應不斷變化中的科羅拉多河：

通過穩健的管理策略讓未來的供水更可靠

摘要

David G. Groves, Jordan R. Fischbach, Evan Bloom, Debra Knopman, Ryan Keefe

This report is a Chinese (traditional characters) translation of the summary of *Adapting to a Changing Colorado River: Making Future Water Deliveries More Reliable Through Robust Management Strategies*

For more information on this publication, visit www.rand.org/t/rr242

or the RAND CAPP Chinese website

Chinese (simplified characters): <http://www.rand.org/zh-hans.html>

Chinese (traditional characters): <http://www.rand.org/zh-hant.html>

Published by the RAND Corporation, Santa Monica, Calif.

© Copyright 2015 RAND Corporation

RAND® is a registered trademark.

Limited Print and Electronic Distribution Rights

This document and trademark(s) contained herein are protected by law. This representation of RAND intellectual property is provided for noncommercial use only. Unauthorized posting of this publication online is prohibited. Permission is given to duplicate this document for personal use only, as long as it is unaltered and complete. Permission is required from RAND to reproduce, or reuse in another form, any of its research documents for commercial use. For information on reprint and linking permissions, please visit www.rand.org/pubs/permissions.html.

The RAND Corporation is a research organization that develops solutions to public policy challenges to help make communities throughout the world safer and more secure, healthier and more prosperous. RAND is nonprofit, nonpartisan, and committed to the public interest.

RAND's publications do not necessarily reflect the opinions of its research clients and sponsors.

Support RAND

Make a tax-deductible charitable contribution at
www.rand.org/giving/contribute

www.rand.org

簡介

科羅拉多河是美國西南部最重要的水資源，為將近 4 千萬人口提供水和電力。近幾十年來，聯邦管理人員和科羅拉多河的用水戶開始越來越關注該河流的供水狀況。下游流域（加利福尼亞州、亞利桑那州和內華達州）的用水量已超過 1922 年科羅拉多河協定（簡稱「協定」）所配給的 750 萬英畝-英尺 (MAF) — 該法律文件明確了上游流域（科羅拉多州、猶他州、懷俄明州和新墨西哥州）與下游流域的水資源配置。上游流域各州的用水需求也在持續成長。

最初是依據二十年內的超高河水流量來配置河流水量的，這意味著在簽署協定時很有可能就已明顯過量配置。此外，2000 年到 2007 年的持續乾旱導致科羅拉多河流域的水庫總蓄水量從接近滿量水準下降到了僅 55%；截至撰寫本文之時，該水系的水量已降至略高於一半水準。不斷成長的需求以及低於預期的河流流量已經在不斷侵蝕水系的恢復力。

此外，有越來越多的文獻建議，科羅拉多河流域已經或者即將處於新的水文情勢之下，因此過去的資料和經驗已不足以為未來的河流狀況提供指導。科羅拉多河流域研究（下稱「流域研究」）中運用了多種氣候模擬，其結果都基本一致，即整個流域將追隨全球變暖的趨勢，但對上游流域（其大多數源水來自於雨雪）地區降水變化的氣候模擬卻得出了結果迥異的預測結果。有些模型預測上游流域未來 50 年的降水會減少 15%，而其他模型則預測該期間的降水會增加 11%。儘管存在這樣的不確定性，但流域水量短缺狀況預計會日趨嚴重；這只是個時間和程度問題。

迫於這些挑戰，作為對 2009 年《美國水資源保護法案》（公共法 111 - 11，2009 年）中指令的積極回應，美國墾務局（以下稱「墾務局」）以及代表流域 7 州的水利局於 2010 年 1 月發起了一項流域研究，旨在評估科羅拉多河流域未來 50 年（2012 - 2060）的恢復力，並對確保妥善管理河流資源的不同選項進行對比。

但是，在展開評估的過程中，墾務局和水利局的目的並非要解決未來存在極大不確定但是眾所周知的問題，他們必須對存在極大不確定以及沒法用統計資料描述的未來作出規劃，由於對變化的顯露方式缺乏瞭解，因此不能以靜態眼光來看待未來。這種情況下，針對單一的未來確定性或概率性預測而制訂並妥善執行一種最佳的管理策略，並不會立竿見影；相反，計畫者需要穩健且適應性強的策略 — 穩健是指能夠適用於各種可能的未來狀況，而適應性強是指能夠隨時間根據不斷變化的情況進行調整。

基於上述原因，RAND 公司於 2012 年 1 月應邀加入了流域研究團隊，旨在幫助制訂一種分析方法，以便確定未來數十年裏科羅拉多河流域管理中存在的主要脆弱性，同時對可能有助於降低這些脆弱性的選項進行評估。在早期的流域研究成果基礎上，RAND 公司採用了名為穩健決策制訂 (RDM) 的方法 — 這是一種系統、客觀的方法，用於制訂對於未來不確定性更加穩健的管理策略。特別之處在於，RAND 公司研究人員：

- 指出了未來可能會出現導致流域無法滿足其供水目標的不平衡的脆弱狀況
- 開發了一種電腦工具，用於定義管理選項的「組合」，而這些選項體現了減少流域不平衡的不同策略
- 幫助在各種模擬的未來情境中對這些組合進行評估，以確定它們對改善流域狀況的效果
- 對水系模擬得出的結果加以分析，從而確定在各種組合間的主要對比取舍。

本報告彙整了 RAND 公司在流域研究 (2012 年 12 月發佈的*科羅拉多河流域供水和需水研究*) 中所做出的貢獻。壑務局的報告涵蓋了整個流域研究，同時包含七個主要文件、幾十個附錄以及數千頁的結果，相比之下，本文件旨在簡明扼要地摘要 RAND 公司對科羅拉多河流域在各種未來不確定性下的長期供水可靠性的評估，以及提出的幾種新選項。而本報告更側重於脆弱性分析，以及如何將這些資訊貫穿於科羅拉多河流域的穩健管理策略中。我們與流域研究團隊及州合作夥伴密切合作以完成此分析。在此，我們僅利用一小部分研究結果來介紹所暴露出的供水脆弱性，以及可能有助於降低脆弱性的選項。例如，儘管流域研究制訂了範圍廣泛的性能指標，但我們只考慮了範圍廣泛的高級性能指標 — 每個指標都代表了上游和下游流域的供水可靠性。

為科羅拉多河流域制訂穩健的管理策略

RDM 運用名為 XLRM 的架構來彙整各種情境，而制訂這些情境是為了反映未來的不確定性 (X)、經過評估將構成穩健管理策略的選項 (L)、用於模擬未來狀況狀況的模型 (R)，以及用於評估水系穩健性的性能指標 (M)。表 S.1 顯示了這項工作的 XLRM 架構；整個流域研究使用了一組更龐大的性能指標，但為了簡化對 RDM 貢獻的討論，在此我們只關注兩個主要指標。

表 S. 1
 研究中解決的不確定性、政策槓桿、關係和指標的概要 (XLRM 矩陣)

不確定性或情境因素 (X)	管理選項和策略 (L)
科羅拉多河的用水需求 未來河流流量或供水的氣候驅動因素 2026 年後的水庫調度	水流管理 由單個選項組成四種組合 <ul style="list-style-type: none"> • 需求降低 • 供水增加
關係或水系模型 (R)	性能指標 (M)
科羅拉多河模擬水系 (CRSS)	上游流域可靠性 — 李渡口缺水 下游流域可靠性 — 米德湖水位 選項實施的成本

情境和不確定性 (X)

在第一年的研究（在 RAND 公司加入之前）過程中，流域研究團隊制訂了一系列的供水、需求和水庫調度情境，旨在發現計畫者所面對的不確定性。每種情境都描述了一種貌似合理的方式，而這三個因素都會在研究的 49 年時間範圍（2012 - 2060）內發展變化。

流域研究團隊根據未來河流流量估計值的不同來源制訂了*四種供水情境*。每種情境都由很多不同的 2012 - 2060 年河流流量的時間序列組成 — 被稱為*未來跡象或跡象*。第一種情境「歷史」是依據*最近的歷史記錄*。「歷史」情境內的每種跡象都是不同起始年份的歷史記錄的重複（從 1906 年到 2007 年）。第二和第三種情境基於根據*古氣候演變指標*（例如樹木年輪資料）得出的河流流量估計值。每種跡象都與古氣候演變記錄中的年份組保持一致。第四種情境由源自於對未來氣候狀況的預測，而該預測又源自於 16 種全球氣候模型和三種全球碳排放預測。每種跡象源自於單個大氣環流模型 (GCM) 預測和排放情境的縮小規模結果。

流域研究團隊還制訂了*六種需求情境*，這些情境涵蓋了一系列似乎合理的未來需求，但沒有考慮水源保護的其他計畫和激勵選項：(1) 當前預測的成長；(2) 強調經濟效率的緩慢成長；(3) 由於經濟復甦而引發的快速成長；(4) 在當前對人類價值和環境價值偏好基礎上的快速成長；(5) 由於環保意識的普及而帶來的環境改善；以及 (6) 由於管理與經濟成長帶來的環境改善。隨著脆弱性分析的展開，RAND 公司計算出了每種跡象 (2041 - 2060) 的最後二十年裏的平均需求。2040 年後的需求將處於 13.8 maf（緩慢成長）到 15.6 maf（快速成長）的範圍。

最後，建立了*兩個水庫調度情境*，它們反映了在臨時指導方針按計劃於 2007 年到期之後，關於水系在 2026 年後如何調度的不同假設。一方面，下游流域配置短缺和水庫管理的指導方針已延期；另一方面，它們反而恢復為 2007 年臨時指導方針環境影響評價 (EIS) 中規定的「無動作」備選方案。臨時指導方針的延續意味著一致同意的強制性下游流域短缺狀況的延續，這樣，當米德湖的湖面海拔低於平均海平面 (msl) 以上 1,075 英尺（約 327.7 公尺）的高度時，就能有助於米德湖保持蓄水量。

評估科羅拉多河流域水系的性能時，合併了四種供水情境、六種需求情境以及兩種水庫調度情境，共有 23,508 種單獨的跡象。

提高性能的選項和策略 (L)

流域研究通過模擬當前的調度規則和程式 — 即稱為水流管理基線（如表 S.1 中所示），評估了科羅拉多河流域的基線可靠性。它還評估了大量不同的供水增加和需求降低選項，這些選項能夠改善水系性能並降低脆弱性。這類選項被分為八個類別：(1) 農業保育，(2) 海水淡化；(3) 能源用水和效率；(4) 流域引水；(5) 本地供應；(6) 市政和工業 (M&I) 保護；(7) 重複利用；以及 (8) 流域管理。從 150 個不同的選項開始，流域研究團隊最後評估了少部分選項 — 大約 80 項 — 根據成本、收益、有效性以及 16 項其他標準，包括技術可行性、許可風險、法律風險、政策風險和能源強度。

Rand 公司的團隊開發出一個「組合開發工具」，供流域研究團隊和利益相關者用於根據優先供水增加和需求降低選項（從 80 個經過評估的選項）的組合來制訂四種策略：*A 組合（所有選項）*、*B 組合（可靠性重點）*、*C 組合（環境效能重點）* 以及 *D 組合（一般選項）*（表 S.2）。

為了評估每種選項組合對各種未來情境的作用，流域研究團隊定義了一些動態組合，其中包括本研究中用於僅在狀況需要時實施選項的模擬模型中的規則。RAND 公司和研究團隊為六種不同的供水指標制訂了一組「指示牌」，其中包括本報告中所討論的兩個 — 「李渡口缺水」和「米德湖水位」。指示牌制訂了一系列可觀測的水系狀況和臨界值，表明脆弱性正越來越嚴重。在模擬期間，模型對指示牌狀況進行了監控；如果超過任何臨界值，則會從組合選項清單的頂部開始實施選項。這樣，動態組合力圖更真實地模擬如何在一段時間內根據水系的需求實施選項。

表 S.2
四個組合的描述

組合名稱	組合描述
<i>A 組合（所有選項）</i>	包括其他組合所包含的所有選項
<i>B 組合（可靠性重點）</i>	強調具有高技術可行性和高長期可靠性的選項，排除具有高許可、法律或政策風險的選項
<i>C 組合（環境效能重點）</i>	能源強度相對較高的排除選項；包括導致河道內流量增加的選項；排除可行性低或許可風險高的選項
<i>D 組合（共用選項）</i>	僅包括為 B 組合（可靠性重點）和 C 組合（環境效能重點）所共用的那些選項。

註：括弧內的組合名稱僅為本報告而制訂。科羅拉多河流域供水和需求研究僅使用字母名稱（墾務局，2012f, 2012h）。

模擬科羅拉多河水系和效能指標 (R 和 M)

流域研究使用了科羅拉多河模擬系統 (CRSS)，這是墾務局用於模擬科羅拉多河流域的長期規劃模型。CRSS 估計了水系的未來性能，涉及到了大量不同類型性能指標 — 供水 (9 個指標)、電力資源 (3 個位置中的 2 個指標)、水質 (20 個位置中的 1 個指標)、洪水控制 (10 個位置中的 3 個指標)、娛樂資源 (13 個位置中的 2 個指標) 以及生態資源 (34 個位置中的 5 個指標)。

儘管墾務局的完整報告採用了所有的性能指標，而本報告只重點關注了兩個主要供水指標 — 即李渡口缺水和米德湖水位。這些指標在流域研究中用於對選項和策略的效果進行比較，因為它們概括總結了上游和下游流域各自的可靠性。如果李渡口出現缺水，則上游流域的供水就會減少，從而增加下游流域的流量。下游流域水系的健康狀況以及下游流域各州的供水同樣與米德湖水位息息相關。

科羅拉多流域未來的供水脆弱性

藉由運用以上介紹的 RDM 方法和意見，RAND 公司和研究團隊首先評估了科羅拉多河流域的脆弱性。我們解決了兩個主要問題：(1) 流域未來在哪些情況下無法滿足供水目標，以及 (2) 未來哪些外部狀況會導致脆弱性？此外，我們還關注了兩個主要的供水性能指標。

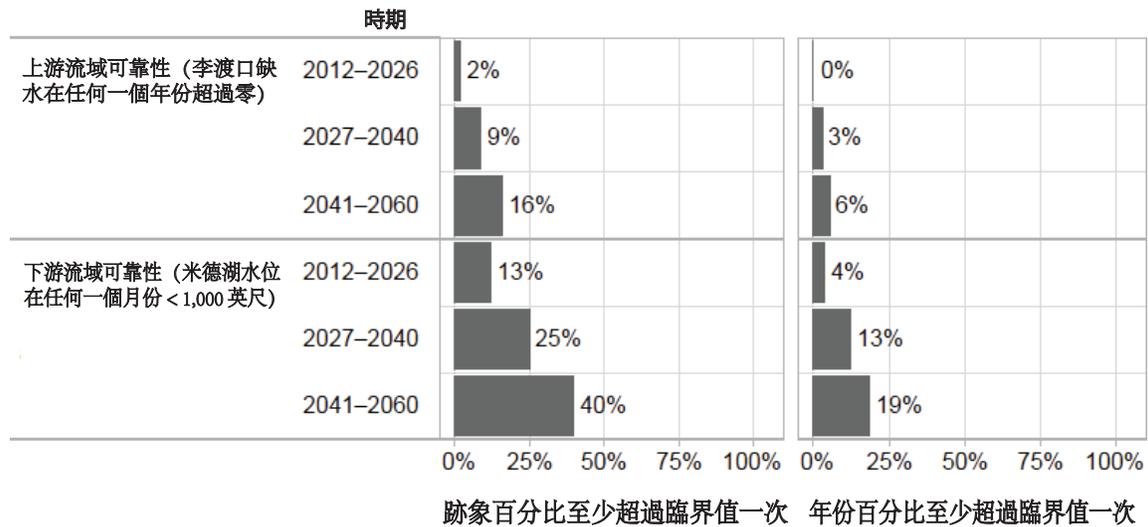
流域未來在哪些情況下無法滿足供水目標？

圖 S.1 概述了在代表未來不確定性的所有 23,508 種跡象中，兩種方式的上游流域可靠性 (李渡口缺水) 和下游流域可靠性 (米德湖水位)：(1) 在時間週期內至少有一次未達到管理目標的跡象百分比 (左側)，以及 (2) 模擬中結果未達到目標的所有年份的百分比 (右側)。對於上游流域可靠性，至少出現了一次李渡口缺水的跡象百分比從 2% (2012 年至 2026 年) 上升到了 16% (2041 年至 2060 年)，後期有 6% 的年份 (3 年) 發生了李渡口缺水的狀況 (圖中上半部分)。同樣的，對於下游流域可靠性，在跡象以及後期年份中米德湖水位下降到 1,000 英尺水位臨界值的情況更加頻繁。

未來哪些外部狀況會導致脆弱性？

儘管上述分析告訴我們目前的水流管理方法會隨著時間的流逝變得多脆弱，但它並沒有告訴我們哪些外部狀況會導致這些預期的脆弱性藉由運用 RDM 脆弱性分析技術和李渡口河流流量的統計摘要，我們尋找了一系列能夠最好地擷取脆弱跡象的未來狀況。我們發現如果達到兩種未來狀況，則上游流域容易受到李渡口缺水的影響：長期平均河流流量下降超過觀測到的最近歷史記錄 (低於每年 13.8 maf)，以及連續 8 年平均降雨量低於每年 11.2 maf 的乾旱。

圖 S. 1
未達目標的長期供水結果摘要



RAND RR242-S.1

符合這兩種狀況的跡象— 被稱為「供水下降」脆弱狀況，會導致李渡口在 87% 的時間裏都缺水。

藉由相同的方法，我們發現米德湖水位在有一些情況下供水容易低於長期歷史平均值，特別是在李氏渡口的長期平均河流流量降至 15 maf 以下時，以及在發生連續 8 年平均降雨量低於每年 13 maf 的乾旱時。¹ 我們將這些狀況稱為「低歷史供水」脆弱狀況，並且它們說明了所有跡象中有 86% 會導致不可接受的結果。我們還透過利用氣候資料來描述歷史以及未來氣候供水情境中的供水，從而定義了上游流域和下游流域供水可靠性的脆弱狀況。

運用新管理選項降低脆弱性

RAND 公司和流域研究團隊評估了上述所有情境下供水增加和需求降低選項的四種組合 — A 組合（所有選項）、B 組合（可靠性重點）、C 組合（環境效能重點）以及 D 組合（一般選項）。我們接下來評估了每種組合在脆弱狀況下的效果 — 「供水下降」和「低歷史供水」。結果發現，組合的實施減少了水系在很多情境而不是全部情境下無法達到流域目標的年份。

¹ 雖然位置略處下游，但李渡口接近於美國地質調查局在亞利桑那州李氏渡口安置的流量計結果。帕里亞河在這些位置之間與科羅拉多河交會，導致這兩個點之間的水流有些微差異。在本報告中，在表示從上游和下游流域的協定供水要求時，我們使用「李渡口」；而在表示科羅拉多河的自然河流流量測量時，則使用「李渡口」。

選項組合如何很好地降低脆弱性？

對於上游流域可靠性指標——「李渡口缺水」，實施組合降低了發生缺水情況的年份百分比和跡象。*C* 組合（環境效能重點）在降低脆弱性方面比 *B* 組合（可靠性重點）更為有效。對於下游流域可靠性指標——「米德湖水位」—實施組合顯著降低未達到流域目標的年份數量。即使是在最嚴峻的「供水下降」脆弱狀況下，年份百分比也從 50% 下降到了 25% 左右。但是，這些每年脆弱性的下降並沒有讓米德湖水位至少有一年下降到 1,000 英尺以下的跡象變得更少。結果還顯示，*B* 組合（可靠性重點）在降低下游流域脆弱性方面比 *C* 組合（環境效能重點）更為有效。

組合的實施可提高水系的穩健性，同時減少水系達不到其目標的狀況。流域在下游流動順序和乾水期方面變得沒那麼脆弱。在未來氣候狀況方面，透過實施組合，流域在較溫暖和較乾燥的未來氣候狀況下表現良好。第五章提供更多具體詳情。

組合間有哪些主要對比取捨？

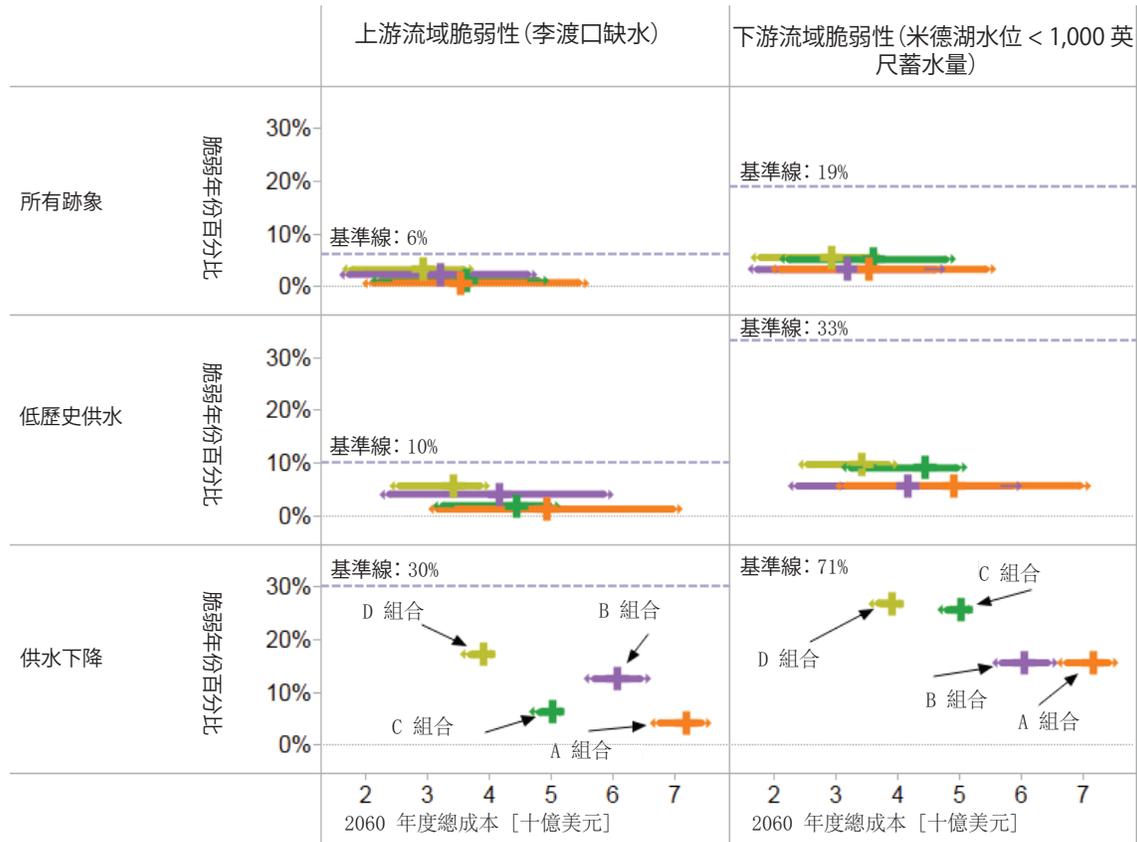
組合在降低脆弱性上的效果不是唯一的評估標準。另一個評估標準是實施成本，由於要採用選項來回應指示牌，因此它會隨時間而增加。在各種跡象中，成本的範圍較大。例如，對於 *A* 組合（所有選項），成本會從略低於每年 20 億美元達到 2060 年的超過 70 億美元。這種範圍廣泛的成本表明，為研究設計的動態組合有助於未來在狀況不需要時抑制不必要的投資。

RDM 方法的優點之一是能夠讓我們將成本與脆弱性結果相結合，從而找出四種組合間的特質和對比取捨。圖 S.2 顯示了四種組合在 2060 年的總實施成本（橫軸）以及所有跡象和兩種脆弱狀況在 2041 到 2060 年之間的脆弱年份百分比（縱軸）。我們尋找的是成本最低的組合（所有圖形最左側）以及能最大程度降低脆弱性的組合（所有圖形最下方）。這些組合以顏色進行區分，並在圖的底部列中顯示了標籤。

如圖所示，我們在綜觀評估的所有跡象時，發現組合間並沒有太大差異。也就是說，所有這些組合在脆弱性降低和成本的範圍上都存在明顯的重疊（圖中的頂部列）。這並不令人意外，因為很多被評估的跡象都只需要適度的改善。所有四種組合都可以透過採用具有類似成本的選項來滿足這些需求。

但是，當我們將重點放在與兩種脆弱狀況相應的跡象上時，則發現這些組合之間存在某些區別。首先，在低歷史供水狀況下（圖中的中間列），我們發現選項最多的組合（*A* 組合）讓未達到上游流域和下游流域目標的年份數量減少得最多。跡象中的成本範圍（水準伸展）增加明顯，但組合間再次出現了明顯的重疊。

圖 S. 2
上游和下游流域的各種組合間的組合成本與脆弱性 (2041 - 2060) 的對比取捨



RAND RR242-S. 2

當我們僅納入供水下降脆弱狀況中的跡象時（圖中的底部列），對比取捨就變得清晰了。對於上游流域（圖中的左面板），C 組合（環境效能重點）不僅比 B 組合（可靠性重點）和 D 組合（一般選項）更有效，而且其成本顯著低於 B 組合（可靠性重點）。只有 A 組合（所有選項）能夠更好地降低脆弱性，但它的成本明顯更高。C 組合（環境效能重點）由於包括了上游流域水銀行而具有優勢；水銀行在李渡口被用於維持下游流域的流量，同時排除其他成本更為高昂的新供水選項（在第六章詳細討論）。

但是，在供水下降脆弱狀況下相對於下游流域目標的效果（圖中的底部列，右面板）表明，B 組合（可靠性重點）在所有三種狀況下對可靠性的提升甚至比其他組合更好。B 組合（可靠性重點）包含更多直接讓下游流域受益的選項，其中包括太平洋海水淡化項目。考慮到這項更為集中的投資，B 組合（可靠性重點）優於效果相當但成本更低，因此要比 A 組合（所有選項）好。

對科羅拉多河流域實施穩健的適應策略

CRSS 組合模擬揭示了要採用選項的跡象。一旦條件成熟，便儘快對很多跡象採用的選項能夠為一開始的穩健策略奠定基礎。我們將分析的重點放在本研究確定的兩種脆弱狀況上（即「供水下降」和「低歷史供水」），因為這些狀況代表了通常需要採用選項來緩和和平衡時的狀況。

確定作為穩健策略基礎的短期選項

對於每個組合，我們確定了那些不管對未來狀況的假設有何不同，但幾乎總是需要採用的選項。由於 *D* 組合（一般選項）只包括了同時為兩個利益相關者衍生的組合（*B* 和 *C* 組合）選擇的選項，因此一旦條件成熟便在此組合中始終或經常採用的選項可以被視作短期和高優先順序選項。

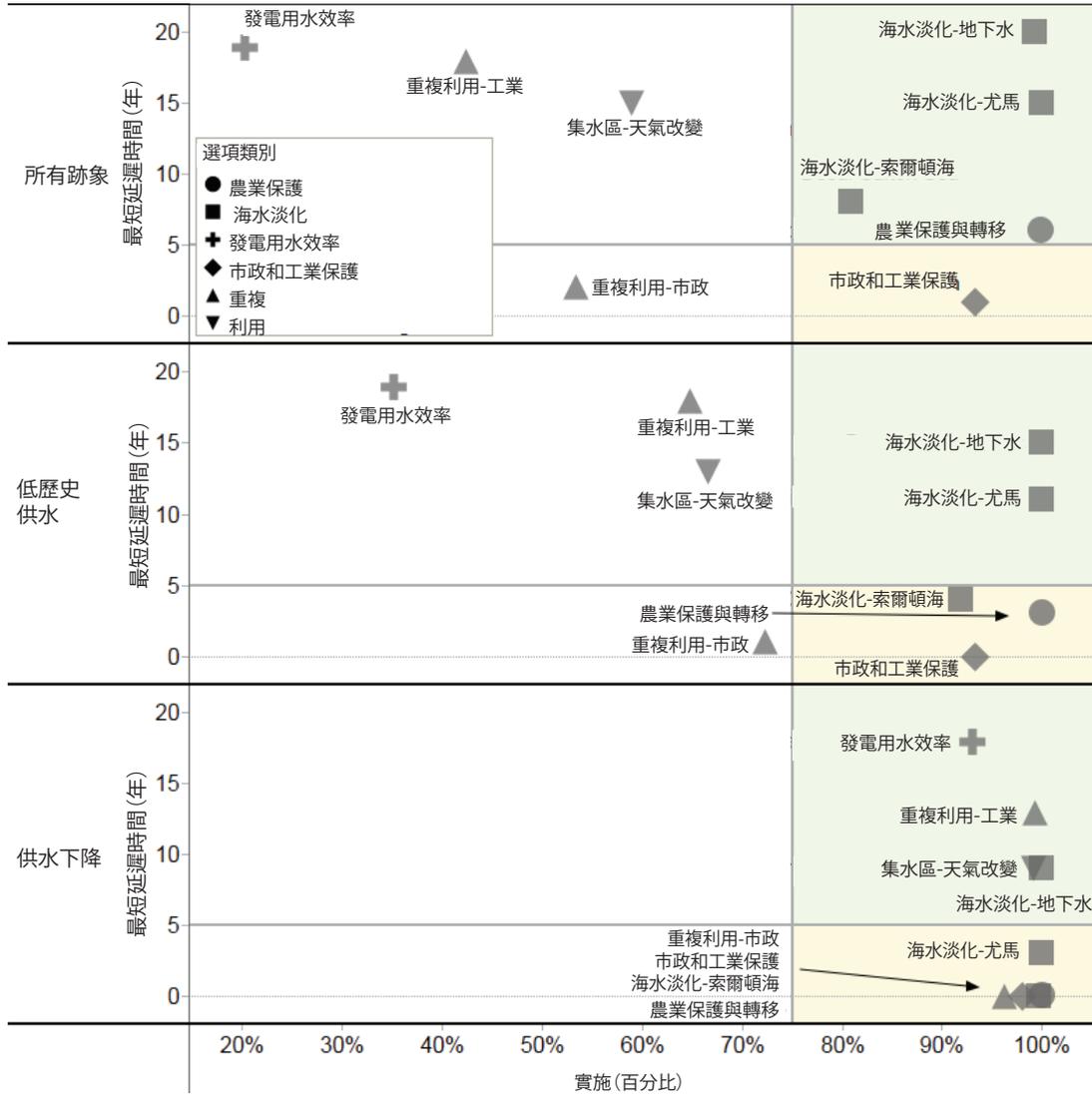
圖 S.3 總結了 *D* 組合（一般選項）中的選項到 2060 年的實施頻率（橫軸）以及它們實施中的延期（縱軸），以所有跡象相對於它們醞釀成熟的時間的平均延期時間來表示。其中包括了三組跡象的結果 — 所有跡象（頂部面板），低歷史供水脆弱狀況中的跡象（中間面板）以及供水下降脆弱狀況中的跡象（底部面板）。

所有跡象面板右下角的結果（限制在五年或更短時間內以及實施比例為 75% 或更高）為短期的高優先順序選項。在此情況下，結果表明在延期時間僅為一年的研究中，檢驗過的所有跡象中有 90% 都需要市政和工業保護。幾乎 100% 的跡象都實施了農業保護與轉移，但延遲時間為六年。三項海水淡化選項 — 海水淡化-索爾頓海、海水淡化-尤馬和海水淡化-地下水 — 均具有高優先順序，但要在延遲時間達到八年或更長時才需要。

對於與兩種主要脆弱狀況 — 低歷史供水和供水下降一致的未來狀況，則需要更多的選項以及更短的延遲時間。圖 S.3 的中間面板顯示了對於低歷史供水脆弱狀況，實施農業保護和轉移以及「海水淡化-索爾頓海」的緊迫性提高，從而讓兩者都成為了短期的高優先順序選項。超過 70% 的跡象同樣還需要「重複利用-市政」選項。底部面板顯示了對於供水下降脆弱狀況，幾乎所有跡象在 2060 年前都需要採用 *D* 組合（一般選項）中的所有選項。

圖 S.3 顯示只有某些未來跡象需要採用 *D* 組合（一般選項）中的大多數選項，並且在很多情況下都只用在延遲後再採用。但是，不久之前已經遇到過與低歷史供水脆弱狀況對應的狀況，並且很多全球氣候模型模擬都預測了那些與供水下降對應的狀況。正如流域研究所強調，流域不需要現在就致力於所有可能選項，但如果狀況建議說新選項是合理的，就可以利用現有的提前期來準備投資新選項。某些提前期較長的選項需要儘快開始實施，這樣就能在未來出現特定的跡象時直接實施。如果需要根據不斷變化的狀況採用選項，在此期間為選定選項的設計和批准制訂計畫，將向決策者提供防止在實施中出現可能延遲的選項。

圖 S. 3
採用選項的跡象百分比以及 D 組合（共用選項）的相關實施延期



註：Ag = 農業; Desal = 海水淡化; WUE = 用水效率。

RAND RR242-S.3

監控狀況以把握採用其他選項的時機

墾務局和其他機構已經在收集關鍵資訊（如河流流量、未來氣候狀況、水庫狀態），這些資訊可用於對未來要採用哪些選項進行評估。將這些資訊納入體系和循環系統評估中，會讓流域的管理人員和水用戶更好地理解狀況會如何演變，並根據情況為其他管理選項制訂計畫。

脆弱性分析具體表明了上游流域在未來氣候狀況下的脆弱性，這與各種全球氣候模型所浮現的很多模擬狀況一致。未來幾年內，新的氣候模型或更高解析度的區域氣候預測可能會讓我們更輕鬆地洞察未來氣候是否會繼續偏離歷史記錄。如果改進模型的結果與更多悲觀的最新預測一致，那麼流域面臨李渡口缺水 and 米德湖水位

的脆弱狀況的可能性就會越來越大。需要考慮開始實施被視為有必要在這些情況下採用的很多選項。

未來條件允許採用的選項

分析已表明，隨著流域脆弱狀況的發展，將需要採用越來越昂貴的適應選項。分析重點介紹了需要採用哪些選項以及何時採用。但是，很多這些選項都需要在實施之前提前做好準備工作。對於穩健適應策略的中長期執行期，壑務局和流域各州可以確定需要採用哪些提前期較長的主要選項，並開始制訂短期規劃和設計步驟，以確保它們的可用性。

這可能還有利於考慮通過其他基於管理和治理的方法來解決未來的不平衡問題。很多這些選項（例如某些類型的調水）可能符合當前的河流立法規定，但 CRSS 卻無法在有限的研究時間內為其輕鬆建模。正如流域研究的建議，在未來數月內評估這些附加選項能夠進一步提高組合解決供水和需求不平衡的能力。重新查看組合中包含的選項與流域研究中採用的 RDM 分析架構完全一致。將其他方法的性能及其他屬性與流域研究的適應選項評估進行比較和對照，將為成功實施穩健的適應策略提供幫助。