

第 6 章 聯合營運案例展示

本章設計不同案例來探討高屏大湖地表地下聯合營運在不同操作原則下的效能，結果顯示相較於以地表水獨立營運(封底)的營運方式，在無操作規線下，湖泊供應量提高了 1.48 倍且還能補注地下水；在結合操作規線後，更進一步降低尖峰缺水量，而使 SI 降低 21.77%；若再增加規線彈性，則 SI 最多可再降低 44.6%。

6.1 模擬案例介紹

各案例介紹由表 6.1 所示，模擬案例就營運方式方面，可分為「地表水獨立營運」、與「地表地下聯合營運」兩種；就有無結合操作規線方面，可區分「無規線操作」與「有規線操作」兩類，兩方面分別說明如下：(1) 在無規線操作的案例上，系統之差異即湖水與地下水是否可交換，對供水能力與缺水情形的影響；(2) 在有規線操作的案例上，不同操作規線對系統供水能力與缺水情形的影響。

營運方式方面

A. 地表水獨立營運(封底)

地表水獨立營運係視高屏大湖為一封底、不與地下水發生水量交換的系統，如水庫一般。可儲存豐水期之河川水量，並在枯水期時使用這些水量，因此缺水與否與降雨量多寡有極大之關係，案例 1-1 屬此營運方式。

B. 地表地下聯合營運(不封底)

假設高屏大湖為一不封底且與地下水發生水量交換的系統，此亦為本研究發展之高屏大湖最佳聯合操作規劃模式之假設，案例 1-2、案例 2-1(a)、案例 2-1(b)、案例 2-1(c)、案例 2-2 屬此營運方式。

◆有無結合操作規線方面

A.無操作規線

案例 1-1、案例 1-2 屬無操作規線案例，此兩案例同在無規線操作下，討論湖水與地下水是否交換對供水能力與缺水情形的影響。

B.有操作規線

案例 2-1(a)、案例 2-1(b)、案例 2-1(c)、案例 2-2 屬有操作規線案例，但各案例設計的操作規線有所不同，如表 6.2 所示，此為討論各種不同操作規線，對系統之供水能力與缺水情形的影響。

綜合上述，本章分兩部份共建立 6 個模擬案例，各案例均為旬操作，需求量均訂為 8.5cms，總模擬期距為 10 年，各案例詳細說明如下：

1. 案例 1-1

案例 1-1 為地表水獨立營運模式，為無規線操作，盡量滿足需求，若水位低於呆水位則人工湖停止供水。

2. 案例 1-2

案例 1-2 為地表地下聯合營運模式，為無規線操作，盡量滿足需求，若水位低於呆水位則人工湖停止供水。

3. 案例 2-1(a)

案例 2-1 為地表地下聯合營運模式，5 個湖均設計有 1 條規線，規線優選參數共 7 個，其中 4 個為規線發生轉折的時間、2 個為規線分層位置高度、1 個為打折率，5 個湖規線均相同。

4. 案例 2-1(b)

案例 2-1(b)為地表地下聯合營運模式，5 個湖均設計有 1 條規線，規線發生轉折的時間與規線距湖底位置高度沿用案例 2-1(a)優選出來的時間與高度，此五個湖均相同，惟各湖的打折率不同，且打折率以優選決定，故優選參數共 5 個。此案例與案例 2-1(a)之差別在於各湖

可有各自的打折率。

5. 案例 2-1(c)

案例 2-1(c)亦為地表地下聯合營運模式，5 個湖均設計有 1 條規線，規線發生轉折的時間與打折率則沿用案例 2-1(a)優選出來的時間與打折率，此五個湖均相同，惟各湖的規線分層位置高度不同，且以優選決定，故優選參數共 10 個。此案例與案例 2-1(a)之差別在於各湖規線位置可有各自的高度。

6. 案例 2-2

案例 2-2 為地表地下聯合營運模式，5 個湖均設計有 1 條規線，惟各湖規線分層位置高度與打折率均不同，且均以優選決定，故規線優選參數共 19 個，分別為 4 個規線發生轉折的時間、10 個規線分層位置高度、5 個打折率。

6.2 模擬案例成果展示

需求量均為 8.5cms，以旬 SI 為目標函數，總模擬期距為 10 年。

1. 案例 1-1

案例 1-1 模擬結果如表 6.3 所示，旬 SI 為 21.10，年 SI 為 6.64，總缺水旬數 208 旬，總缺水量 63028.68 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 73254.58 萬噸，總溢流量 105835.87 萬噸，系統整體質量平衡誤差 0.23%，缺水情形如圖 6.1。

2. 案例 1-2

案例 1-2 模擬結果如表 6.4 所示，旬 SI 為 5.44，年 SI 為 1.35，總缺水旬數 93 旬，總缺水量 27463.46 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 108819.8 萬噸，總溢流量 52367.39 萬噸，地下水總出滲量(即地下水出滲，補注湖水的量)27200.3 萬噸，湖水總入

滲量(即湖水入滲，補注地下水的量)44067.36 萬噸，因此地下水之總淨出滲量-16867.06 萬噸，表示最後湖水還能補注地下水 16867.06 萬噸，系統整體質量平衡誤差 0.14%，缺水情形如圖 6.2。

此外，為進一步檢驗類神經模式模擬精度，本研究將前述案例 1-2 所得之各湖各時刻的出入流量，輸進第四章所述之高屏大湖地表地下數值模式(MODFLOW 與 LAK2 模組)來模擬其水位變化，並與類神經網路預測值相比較，有不錯的預測成果，其模擬的湖水位及地下水位誤差如表 6.5 所示，湖水位預測變化之比較如圖 6.3 至圖 6.17 所示，其它如地下水位、交換量與溢流量預測變化之比較放置附錄 A 之圖附 A.1 至圖附 A.10。

3. 案例 2-1(a)

案例 2-1(a)模擬結果如表 6.6 所示，旬 SI 為 4.26，年 SI 為 1.7，總缺水旬數 178 旬，總缺水量 32549.93 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 103733.32 萬噸，總溢流量 55097.8 萬噸，地下水總出滲量(即地下水出滲，補注湖水的量) 24109 萬噸，湖水總入滲量(即湖水入滲，補注地下水的量) 43016.67 萬噸，因此地下水之總淨出滲量-18907.67 萬噸，表示最後湖水還能補注地下水 18907.67 萬噸，系統整體質量平衡誤差 0.12%，其缺水情形如圖 6.18。優選結果方面，至 20 代達到收斂，花費時間為 3339.59 秒，優選出的規線如表 6.7 所示。

此外，將本案例所得之各湖各時刻的出入流量，輸進第四章所述之高屏大湖地表地下數值模式(MODFLOW 與 LAK2 模組)來模擬其水位、水量變化，與類神經網路預測值相比較，有不錯的預測成果，其模擬的湖水位及地下水位誤差如表 6.8 所示，湖水位預測變化之比較如圖 6.19 至圖 6.33 所示，其它如地下水位、交換量與溢流量預測

變化之比較放置附錄 A 之圖附 A.11 至圖附 A.20。

4. 案例 2-1(b)

案例 2-1(b)模擬結果如表 6.9 所示，旬 SI 為 2.42，年 SI 為 1.02，總缺水旬數 175 旬，總缺水量 25290.37 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 110992.89 萬噸，總溢流量 68348.54 萬噸，地下水總出滲量(即地下水出滲，補注湖水的量) 35833.02 萬噸，湖水總入滲量(即湖水入滲，補注地下水的量) 34231.29 萬噸，因此地下水之總淨出滲量 1601.72 萬噸，表示地下水供應湖水 1601.72 萬噸且占湖泊供給量 1.44%，系統整體質量平衡誤差 0.12%，其缺水情形如圖 6.34。優選結果方面，至 23 代達到收斂，花費時間為 2542.2 秒，優選出的各湖打折率如表 6.10 所示。

此外，將本案例所得之各湖各時刻的出入流量，輸進第四章所述之高屏大湖地表地下數值模式(MODFLOW 與 LAK2 模組)來模擬其水位、水量變化，與類神經網路預測值相比較，有不錯的預測成果，其模擬的湖水位及地下水位誤差如表 6.11 所示，湖水位預測變化之比較如圖 6.35 至圖 6.49 所示，其它如地下水位、交換量與溢流量預測變化之比較放置附錄 A 之圖附 A.21 至圖附 A.30。

5. 案例 2-1(c)

案例 2-1(c)模擬結果如表 6.12 所示，旬 SI 為 3，年 SI 為 1.11，總缺水旬數 201 旬，總缺水量 26139.52 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 110143.73 萬噸，總溢流量 61005.39 萬噸，地下水總出滲量(即地下水出滲，補注湖水的量)31583.53 萬噸，湖水總入滲量(即湖水入滲，補注地下水的量) 38313.96 萬噸，因此地下水之總淨出滲量-6730.43 萬噸，表示最後湖水還能補注地下水 6730.43 萬噸，系統整體質量平衡誤差 0.13%，其缺水情形如圖 6.50。優選結果

方面，至 28 代達到收斂，花費時間為 2333.5 秒，優選出的各湖規線距湖底高度如表 6.13 所示。

此外，將本案例所得之各湖各時刻的出入流量，輸進第四章所述之高屏大湖地表地下數值模式(MODFLOW 與 LAK2 模組)來模擬其水位、水量變化，與類神經網路預測值相比較，有不錯的預測成果，其模擬的湖水位及地下水位誤差如表 6.14 所示，湖水位預測變化之比較如圖 6.51 至圖 6.65 所示，其它如地下水位、交換量與溢流量預測變化之比較放置附錄 A 之圖附 A.31 至圖附 A.40。

6. 案例 2-2

案例 2-2 模擬結果如表 6.15 所示，旬 SI 為 2.37，年 SI 為 0.99，總缺水旬數 181 旬，總缺水量 24740.40 萬噸，河川總供應量 128100.74 萬噸，湖泊總供應量 111542.9 萬噸，總溢流量 69399.94 萬噸，地下水總出滲量(即地下水出滲，補注湖水的量) 36627.7 萬噸，湖水總入滲量(即湖水入滲，補注地下水的量) 33453.74 萬噸，因此地下水之總淨出滲量 3173.97 萬噸，表示地下水供應湖水 3173.97 萬噸且占湖泊供給量 2.85%，系統整體質量平衡誤差 0.12%，其缺水情形如圖 6.66。優選結果方面，至 34 代達到收斂，花費時間為 3059.47 秒，優選出的規線如表 6.16 所示。

此外，將本案例所得之各湖各時刻的出入流量，輸進第四章所述之高屏大湖地表地下數值模式(MODFLOW 與 LAK2 模組)來模擬其水位、水量變化，與類神經網路預測值相比較，有不錯的預測成果，其模擬的湖水位及地下水位誤差如表 6.17 所示，湖水位預測變化之比較如圖 6.67 至圖 6.81 所示，其它如地下水位、交換量與溢流量預測變化之比較放置附錄 A 之圖附 A.41 至圖附 A.50。

6.3 模擬案例成果分析

比較 6.2 小節所述各案例結果並作以下歸納：

1. 地表地下聯合營運方式可妥善利用水，增進湖本身的供水效益

在同樣是無規線操作下，比較案例 1-1 與案例 1-2 之模擬結果，如表 6.18 所示，旬 SI 降低約 74.22%，缺水旬數減少 55.29%，缺水量降低 56.43%，湖泊供應量增加 48.55%，系統最終為湖水補注地下水，溢流量減少了 50.52%，且由圖 6.82 兩案例缺水分佈比較示意圖所示，案例 1-2 有明顯消減案例 1-1 缺水量之情形。由上述知地表地下聯合營運方式，能減少原先因溢流而損失的水量，轉而為部份湖水供應量來源及促使湖水還能補注至地下水，降低水資源發生浪費的可能性，達到妥善利用水之目的。

2. 結合操作規線作水量調配，能降低尖峰缺水量

在營運方式同樣是地表地下聯合營運下，比較有無規線操作之案例 1-2 與有結合規線操作之案例 2-1(a) 的模擬結果，如表 6.19 所示，旬 SI 降低約 21.77%，但缺水旬數增加 91.4%、缺水量增加 18.52%、湖泊供應量減少 4.67%、對地下水補注量增加 12.10%、溢流量增加 5.21%。案例 2-1(a) 其旬 SI 還能較案例 1-2 低，其原因由圖 6.83 比較此兩案例缺水分佈可知，以操作規線作為水量調配原則後，在原本案例 1-2 會發生大量且集中的缺水量前，會開始或零星地發生部份缺水，藉著增加發生缺水的旬數，降低原本會發生的尖峰缺水量，使整體缺水指標降低。

3. 增加操作規線彈性，可提高供水效益

在營運方式同樣是地表地下聯合營運，且有結合操作規線作供水

調配原則下，在操作規線上作以下變化，討論對供水上的影響：

(a).變化各湖打折率

比較案例 2-1(a)與案例 2-1(b)之水量模擬結果，如表 6.20 所示，旬 SI 由 4.26 降至 2.42，旬 SI 降低約 43.06%，缺水旬數減少 1.69%，缺水量降低 22.3%，湖泊供應量增加 7%，系統最終為地下水出滲量大於湖水補注量，溢流量增加 24.05%。案例 2-1(b)其旬 SI 較案例 2-1(a)低，其原因可能是有部份湖泊供應量由地下水供應，且由圖 6.84 兩案例之缺水分佈示意比較圖可知，案例 2-1(b)發生缺水的旬數與案例 2-1(a)差不多，但因發生的缺水量較少，而降低缺水指標。

(b)變化各湖規線分層位置距湖底高度

比較案例 2-1(a)與案例 2-1(c)之水量模擬結果，如表 6.21 所示，旬 SI 由 4.26 降至 3。案例 2-1(c)較案例 2-1(a)旬 SI 降低約 29.49%，缺水旬數增加 12.92%，整體總缺水量減少 19.69%，湖泊供應量增加 6.18%，對地下水補注減少 64.4%。溢流量增加 10.72%，且由圖 6.85 兩案例之缺水分佈示意比較圖可知，案例 2-1(c)除了減少對地下水的補注以增加湖泊供應量外，也藉著增加缺水旬數降低原會發生在案例 2-1(a)的尖峰缺水量，使缺水指標降低。

進一步以比較案例 2-1(a)與案例 2-1(b)之 A 湖為例，展示其在 37~72 旬兩案例之湖水位圖、供水量圖、地下水出滲量圖及湖水入滲量圖，如圖 6.86、圖 6.87、圖 6.88、圖 6.89 所示，在 36~42 旬因湖水位均在打折層，但因案例 2-1(b)打折較多，該時刻案例 2-1(b)供水較少，湖水位較高，而案例 2-1(a)因湖水位較低，故該時刻地下水出滲量較多；在 43~45 旬時案例 2-1(b)湖水位已在全額供應層，故該時刻

供水量較案例 2-1(a)高，地下水出滲量也增加；在第 46 旬因該時刻需求量已有部份由河川供應，所以湖泊只需滿足剩餘需求量，且當地下水發生出滲量就無湖水入滲量，因此由圖 6.86~圖 6.89 表示各項變化符合系統設計。

4. 需求量先由湖區的中下游供應

(a). 各湖規線距湖底位置高度固定時:

比較案例 2-1(a)與案例 2-1(b)之優選結果，如表 6.20 所示，A、B 湖有明顯打折率；C、D、E 湖打折率近乎 1。表示在各湖規線距湖底位置高度固定下，上游湖區在供水上有較明顯的打折效應。

(b). 在打折率固定時:

比較案例 2-1(a)與案例 2-1(c)之優選結果，如表 6.21 所示，並展示各湖湖水位變化與兩案例設計規線位置變化，如圖 6.90、圖 6.91、圖 6.92、圖 6.93、圖 6.94 所示。可看出 A、B 湖優選出的規線位置近乎滿水位，即一旦用到 A、B 湖的湖水，就必須打折供應；D 湖則在枯水期需打折供應，在豐水期可全額供應；C、E 湖的湖水位大部份高於優選出的規線位置，即 C、E 湖幾乎可以全額供應需求。表示在固定打折率下，中下游湖區 c,d,e 具有較大的全額供水層。

此外，案例 2-2 為優選規線發生轉折的時間及各湖可有各自的規線位置分層高度及打折率，由表 6.16 優選結果，並展示此案例各湖湖水位變化與其設計規線位置變化，如圖 6.95、圖 6.96、圖 6.97、圖 6.98、圖 6.99 所示，上游湖區也有較大的打折率且中下游湖區有較大的全額供水層，其旬 SI 為 2.36 為所有案例最小值，與案例 2-1(a)相比，SI 降低了 44.6%，表示增加操作規線各項變數的彈性，的確可提

高供水效益。

6.4 計算效益之評估

本研究以 Intel Pentium 1.73 GHz, 512MB 的 RAM 之電腦進行計算。第四章之案例中，在模擬 20 年 720 旬下，MODFLOW 模式所運用的有限差分法需要 369 秒來完成模擬，也就是平均每個時刻花費約 0.5125 秒求解，而類神經網路僅需要 14 秒便能完成總模擬期距之連續預測，也就是平均每個時刻約花費 0.0194 秒，因此在此案例中平均每一個時刻 MODFLOW 所花費的計算時間約為類神經網路的 26 倍，因此透過類神經網路可大幅降低計算量。

若考量與最佳化模式結合時之計算量，由於遺傳演算法是以大量族群進行繁衍，如以前一小節之地表地下聯合營運案例為例，收斂條件設定為連續 10 代後找不到更好的解則視為收斂，也就是每一時刻至少模擬 10 代以上，而每一代以 50 條染色體去搜尋最佳解，因此地下水模擬模式每一個時刻至少要模擬 500 次以上，由於前述 MODFLOW 與類神經網路單一時刻之計算差值為 0.4931 秒，所以單一時刻會多出 246.55 秒之計算時間，而在本章設計的模擬案例，其模擬年數為 10 年，共 360 旬，因此整體計算時間差距為 88758 秒，即 24.655 小時。因此與最佳化模式進行結合時，運用類神經網路相較於傳統之地下水數值模式將可大幅降低計算量與節省計算時間。