

基隆河及其支流河川取水最佳調配利用研究
Research on Optimal Allocation and Utilization of Water--
taking in Kee-lung River and Its Tributaries

黃文雄* 邱金火** 羅健成***

摘 要

本文研究之主要目的即在於尋求河川取水最佳調配利用，而以基隆河及其支流（包括西勢溪和東勢溪）為例，並以基隆自來水系統中之暖暖系統與新山系統為研究對象。文中將配合抽水站之抽水而據以建立水庫最佳運轉規線，期使抽水與水庫放水二者間達到最佳調配利用。

本研究係應用系統分析中之線性規劃方法，分別建立暖暖系統與新山系統之線性規劃模式，根據流量資料套入模式中求取最佳解，本文中運算七個水文年和一平均流量之水文年。根據運算結果顯示，以平均流量所求出之水庫運轉規線較能代表一平均之趨勢，此一結果可提供水庫操作人員於操作水庫之參考。除此，水庫蓄水功能也加以檢討。

一、緒論

近年來由於本省人口急遽增加，經濟迅速成長，工業用水與公共給水日劇增加，水資源充分利用實乃刻不容緩之事。本省河川因坡陡流短，因此如何對有限之水資源作經濟應用且有效的管理，誠屬亟待解決之課題。本文中將以基隆河及其支流為例，作一番探討。

基隆河流域為基隆自來水系統之主要水源。基隆河流域雨量雖豐（平均年雨量達 3947 公厘），然因受地質關係與季節變動影響，豐枯流量相差極為懸殊，中上游除暖暖、新山、八堵三淨水場抽取河水利用外，其他用水不多。豐水期流量豐沛，用水不虞

* 中原大學土木及水利研究所研究生

** 中原大學土木及水利研究所主任

*** 台灣省自來水公司北區工程處工程師

匱乏，然枯水期流量不多，需賴水庫蓄水調節以滿足供水需求。然如何尋求最佳調配利用之準則，避免不必要之水資源浪費，為本文研究之目的。

本文將對暖暖與新山兩淨水場所屬之西勢水庫與新山水庫配合基隆河抽水站與八堵抽水站抽取基隆河原水，應用系統分析中之線性規劃模式，從而求取其最佳抽水量和建立水庫運轉規線（Rule curve）。

三 流域概況

2-1 流域簡介〔1〕

基隆河發源於標高約 580 公尺之台北縣平溪鄉菁桐山，上流呈東北流向，逾小粗坑，折向西流，即呈曲流現象。至暖江橋附近納暖暖溪（西勢溪與東勢溪匯流而成），西北流經八堵後轉向西南，八堵以上多峽谷，八堵以下則進入平原，主流全長約 86 公里，流域面積約 501 平方公里。本文中所涉及之流域範圍乃自暖江橋下游至八堵抽水站間之流域。詳如流域概況圖（2-1）所示。

2-2 目前水營運概況〔2, 3, 4〕

目前此區之供水系統主要有暖暖系統與新山系統，暖暖系統包括暖暖淨水場、西勢水庫、基隆河抽水站。新山系統包括新山淨水場、八堵抽水站、新山水庫。茲分別陳述如下：

(一) 暖暖系統

1. 暖暖淨水場：

為基隆自來水系統之主要來源之一，興建於民國 13 年，其後配合用水人口及需水量增加，經增闢水源，多次擴建淨水設備，目前最大出水能力為 65,000 CMD，供水範圍包括暖暖、過港及瑞八公路沿途社區、瑞芳工業區、基隆市區、八堵及補充七堵、六堵、汐止等地區之用水。

其原水主要來自西勢水庫與基隆河抽水站，豐水期水量大多由西勢水庫供給，枯水期水量不足時，則賴基隆河抽水站抽水補充之。

2. 西勢水庫：

完成於民國 15 年 7 月，建於暖暖溪上游西勢溪上，為 RC 曲線重力壩，其溢洪道係非閘門控制之直落式溢洪道，原蓄水量 $576,200 \text{ M}^3$ ，因泥沙淤積，目前最大蓄水量約 $563,660 \text{ M}^3$ ，有效蓄水量 $558,860 \text{ M}^3$ ，水庫集水區地形以縱向

河谷爲主，集水區植生覆被極爲良好，水庫距淨水場約 1 公里，埋設有管徑 500 mm、400 mm 及 450 mm 導水管線各一條。

3. 基隆河抽水站：

位於瑞八公路基隆河旁，最大抽水能力 65,000 CMD，距淨水場約 1340 M，現有 450 mm、500 mm 及 350 mm 管徑輸水管線各一條，最近前段之管線因配合高速公路交流道施工，抽換合併爲一條 800 mm 管線。

(二) 新山系統

1. 新山淨水場：

建於安樂社區北側，麥金公路三號橋以東山坡上，目前最大出水能力爲 50,000 CMD，主要供水地區包括基隆市之中山、中正、仁愛、信義、安樂及暖暖等六個行政區之人口集居社區，水源來自八堵抽水站抽取基隆河原水及配合基隆河水豐、枯變化，由新山水庫調節放水補充之。

2. 八堵抽水站：

建於八堵火車站北側基隆河對岸，大武崙溪會流口及八堵鐵路橋間，距上游暖暖淨水場之基隆河抽水站約 1 公里，最大抽水能力爲 88,000 CMD。

3. 新山水庫：

建於大武崙溪之支流新山溪附近，爲一離槽水庫 (off-channel reservoir)，目前蓄水容量爲 4,000,000 M³，有效蓄水容量爲 3,750,000 M³，將來配合新山淨水場之供水量增加，計劃擴建達 10,000,000 M³ 蓄水容量。

三、線性規劃模式

3-1 前言

將暖暖系統與新山系統分別建立線性規劃模式〔 5, 6, 7, 8 〕，其運轉示意圖，如圖 (3-1) 所示。並以電子計算機履行運算求解〔 9 〕。本文模式不計任何水文量之損失，且設水庫之運轉週期爲一年，即無越年蓄水。運轉時段 $t = 10$ 天 (一旬)，則一年週期 $t = 1, 2, \dots, 36$ 旬。兩個基本理論公式：(1) 連續方程式 (Continuity Equation) 及 (2) 水平衡方程式 (Water Balance Equation)〔 10, 11, 12 〕將應用於本文模式之建立。

因暖暖系統與新山系統串聯運轉之模式過於龐大，爲便於運算，故分別建立兩系統之線性規劃模式，分別求其最佳解。而以暖暖系統之放流量 $D_1(t)$ 作爲新山系統

之入流資料。由於電算機容量限制，而採逐年運算。

3-2 暖暖系統模式之建立〔13, 14, 15, 16〕

在滿足供水需求量之前提下，暖暖系統欲達取水最佳調配，即水庫蓄水儘量供給淨水場，不足之水量則由抽水站抽水補足，同時減少溢流發生，故線性規劃模式如下建立：

(一)目標函數：

$$Z = \text{Min} \sum_{t=1}^{36} [S_1(t) - R_1(t) + O(t) + SH(t)]$$

$SH(t)$ ：暖暖淨水場於 t 旬內之缺水量。

$S_1(t)$ ：西勢水庫於 t 旬初之有效蓄水量。

$R_1(t)$ ：西勢水庫於 t 旬內之放流量。

$O(t)$ ：西勢水庫於 t 旬內之自然溢流量。

(二)各限制式：

1. 水庫容量限制：

考慮水庫有效蓄水容量，即

$$S_1(t) \leq S_1 \text{ max} - S_1 \text{ min} \quad t = 1 \sim 37 \text{ 旬} \dots\dots\dots (3-1)$$

$S_1 \text{ max}$ ：西勢水庫之最大容量。

$S_1 \text{ min}$ ：西勢水庫之呆容量。

2. $S_1(1) - S_1(37) = 0$ 無越年蓄水 $\dots\dots\dots (3-2)$

$S_1(37)$ 表示隔年10月上旬初之水庫有效蓄水量。

3. 淨水場出水能力限制：

$$R_1(t) + P_1(t) + SH(t) = 650,000 \text{ M}^3 \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬} \dots\dots\dots (3-3)$$

$P_1(t)$ ：基隆河抽水站於 t 旬內之抽水量。

4. 水平衡方程式：

$$I_1(t) - R_1(t) - O(t) = S_1(t+1) - S_1(t) \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬}$$

$$\text{或 } S_1(t+1) - S_1(t) + R_1(t) + O(t) = I_1(t) \dots\dots\dots (3-4)$$

$I_1(t)$ ：西勢水庫於 t 旬內之進流量。

5. 連續方程式：

$$I_2(t) + I_3(t) + O(t) - P_1(t) = D_1(t) \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬}$$

$$\text{或 } P_1(t) - O(t) + D_1(t) = I_2(t) + I_3(t) \dots\dots\dots (3-5)$$

$I_2(t)$: 西勢水庫於 t 旬內之流量。

$I_3(t)$: 基隆河(暖江橋)於 t 旬內之流量。

$D_1(t)$: 暖暖系統於 t 旬內之放流量。

6. 溢洪道之限制:

西勢水庫之溢洪道係非閘門控制之直落式溢洪道，亦即水位超過溢洪道頂部就會產生自然溢流。故需增加一溢洪道之限制式，使模式能符合實際之物理情況。其限制式為：

$$I_1(t) - R_1(t) + S_1(t) - (S_1 \max - S_1 \min) + BF(t) = O(t)$$

$$t = 1 \sim 36 \text{ 旬}$$

$$\text{或 } -S_1(t) + R_1(t) + O(t) - BF(t) = I_1(t) - (S_1 \max - S_1 \min) \dots\dots\dots (3-6)$$

$BF(t)$: 為滿足溢洪道限制式所需之平衡因子，可據以判斷溢流發生與否。

以上各式中，左邊項皆為未知變數，右邊項為已知之資源限制。計有 182 條限制式和 253 個未知變數，在中原大學 VAX 11/780 電算機上運算，每運算一水文年，CPU 所需時間約一小時。

3-3 新山系統模式之建立 [13, 14, 15, 16]

為滿足新山淨水場供水需求量，新山系統之取水最佳調配原則為：豐水期由八堵抽水站抽水供應淨水場之用水外，餘水能蓄存於水庫，待枯水期基隆河天然流量不足時，能由水庫放水補充。經觀測每年十月上旬初之水庫水位皆在中水位，故假設水文年初期（每年 10 月上旬初）之水庫水位由中水位開始運轉，此時水庫有效蓄水容量約 2,000,000 M^3 。新山系統之線性規劃模式建立如下：

(一) 目標函數：

$$Z = \text{Min} \sum_{t=1}^{36} \{ P_2(t) + P_3(t) - S_2(t) \}$$

$S_2(t)$: 新山水庫於 t 旬初之有效蓄水量。

$P_3(t)$: 新山水庫於 t 旬內之抽水進流量。

$P_2(t)$: 八堵抽水站於 t 旬內抽往新山淨水場之抽水量。

(二)各限制式：

1.水庫容量限制：

$$S_2(t) \leq S_{2\max} - S_{2\min} \quad t = 1 \sim 37 \text{ 旬} \dots\dots\dots (3-7)$$

$S_{2\max}$: 新山水庫之最大容量。

$S_{2\min}$: 新山水庫之呆容量。

2. $S_2(1) - S_2(37) = 0$ 無越年蓄水\dots\dots\dots (3-8)

$S_2(37)$ 表示隔年10月上旬初之水庫有效蓄水量。

3.淨水場出水能力限制：

$$P_2(t) + R_2(t) = 500,000 \text{ M}^3, \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬} \dots\dots\dots (3-9)$$

$R_2(t)$: 新山水庫於 t 旬內之放水量。

4.抽水機抽水能力限制：

$$P_2(t) + P_3(t) \leq 880,000 \text{ M}^3, \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬} \dots\dots\dots (3-10)$$

5.水平衡方式：

$$P_3(t) - R_2(t) = S_2(t+1) - S_2(t) \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬}$$

$$\text{或 } S_2(t+1) - S_2(t) - P_3(t) + R_2(t) = 0 \dots\dots\dots (3-11)$$

因新山水庫係一離槽水庫，故不考慮溢洪道之溢流量。

6.連續方程式：

$$D_1(t) - P_2(t) - P_3(t) = D_2(t) \quad t = 1 \sim 36 \text{ 旬}$$

$$\text{或 } P_2(t) + P_3(t) + D_2(t) = D_1(t) \dots\dots\dots (3-12)$$

7. $S_2(1) = 2,000,000 \text{ M}^3$ \dots\dots\dots水庫由中水位開始運轉

以上各式中，左邊項皆為未知變數，右邊項為已知之資源限制。計有 183 條限制式和 181 個未知變數，在中原大學 VAX 11/780 電算機上運算，每運算一水文年，CPU 所需時間約 27 分鐘，運算過程如同暖暖系統。所應注意的是，入流資料 $D_1(t)$ 係經暖暖系統模式運算所得，有時會有 0 值產生，然據五堵流量站流量資料統計結果，基隆河最枯流量約 0.14 CMS [3]，本文採用此值為基隆河之基流量。故如遇入流資料 $D_1(t)$ 有 0 值時，皆以 0.14 CMS 代入運算。

四結果與分析

4-1 結果

把各水文年之流量資料代入第三節建立之線性規劃模式，利用電子計算機程式運算求其最佳解。本文選擇缺水情形較為嚴重之68水文年加以探討，各水文年之運算結果如圖(4-1)~(4-4)。另以各水文年之平均流量代入模式中求解，藉以釐定一平均趨勢，結果如圖(4-5)~(4-8)。

4-2 分析

(一) 暖暖系統：

1. 由圖(4-1)可看出西勢水庫並無一固定可遵循之運轉規線，且變動很大，究其原因，除各個水文年之流量記錄不同影響外，其主要原因乃為水庫容量太小，有效蓄水量僅約 $558,860 \text{ M}^3$ ，若水庫全量放水，週內即可放空。
2. 由本文所運算之七個水文年結果統計，水庫在最低水位之旬數平均為23旬/年，滿水位平均旬數為3旬/年，每年水庫可全量出水旬數平均為19旬/年。就溢流量而言，西勢水庫年溢量約 $3,000,000 \sim 8,000,000 \text{ M}^3$ 間。年溢流量/年逕流量之比率約15%~30%間，足見溢流損失甚鉅。
3. 根據各年結果顯示，豐水期原水來源大都由西勢水庫放水供給，枯水期原水主要由基隆河抽水站抽取基隆河河水。由圖(4-2)所示基隆河抽水站於豐水期間抽水旬數甚少，可得驗證。
4. 暖暖系統於68年缺水量達 $1,380,000 \text{ M}^3$ ，而年溢流量卻幾達 $3,900,000 \text{ M}^3$ ，其癥結在於水庫容量極小，水量無法被利用。
5. 由圖(4-5)顯示以平均流量求得之西勢水庫運轉規線大都處於低水位狀態，此與水庫屬川流式引水之情況頗為一致，故如採用平均流量所得之水庫運轉規線，當可收兼具代表性與可行性之功。

(二) 新山系統：

1. 由圖(4-3)所示，新山水庫各水文年之運轉規線頗為一致，其中於七十三年五月中旬有一小變動，乃因此旬基隆河流量突然銳減，可視為偶然變動，並不影響一致性之效果。因吾人選擇水庫由中水期開始操作，前期水庫運轉以蓄滿水庫為目標，且同時基隆河原水足以供應淨水場出水需求，故此階段抽水機以全量抽水運作。
2. 因吾人選擇水庫初始容量為 $2,000,000 \text{ M}^3$ ，且無越年蓄水，因而導致水庫運轉末期須作調節性供水（即使此時基隆河流量不虞匱乏），而此項調節運轉效果有

二：

(1)可減少水庫因長時間未運轉時產生優養化之機會。

(2)對於基隆河河水須以電力抽取而言，可減輕成本。

故新山水庫採由中水位開始運轉之假設條件，頗為合理可行。

3.由圖(4-3)所示，水庫於68、71兩年6月~8月間，調節放水次數頻繁，顯見68、71兩水文年在6月~8月間基隆河流量不足以滿足淨水場供水需求，水庫濟枯功能於此充分顯現。

4.相對地，如圖(4-4)所示，八堵抽水站前四旬皆以全量抽水，其後則大致維持恒定抽水量，偶有變動乃因枯水期基隆河流量不足之故。

5.由平均流量所得之新山水庫運轉規線，如圖(4-7)所示，其結果與前述1.一致，各水文年之綜合比較如圖(4-3)，故由此視之，可知為確保枯水期之供水需求，且預防枯水期萬一延長時仍可確保用水無虞，新山水庫之最佳運轉規線可採行如是操作。

五、結論

(一)由結果分析顯示，暖暖系統於枯水期之可能缺水量達 $1,380,000 \text{ M}^3$ ，而同一年度西勢水庫之年溢流量卻達 $3,900,000 \text{ M}^3$ 。惟西勢水庫蓄水能力極小，無法有效儲蓄豐水期之水量，故於豐水期大量洪流由溢洪道溢出水庫。然據推算水庫如加高10公尺，則蓄水容量可達 $1,900,000 \text{ M}^3$ ，屆時水庫將可充分發揮調豐濟枯之功能，而缺水問題亦不復存在。

(二)暖暖系統模式中，西勢水庫溢洪道係屬直落式自然溢洪道，故利用一般水庫操作之水平衡方程式無法正確地建立模式，而本文針對此自然溢洪道所建立之模式限制式(3-6)，將可提供日後研究者遭遇此一問題時之解決方法。

(三)據結果分析，新山水庫目前之蓄水容量已足以供給枯水期時新山淨水場之供水需求，而無缺水之虞。若爾後新山淨水場擴建，供水量增加，則須進一步研究缺水之情形。

(四)本研究僅就水量最佳調配作一探討，有關抽水機抽水成本問題未予考慮。

(五)本文所建立之水庫運轉規線，僅是初步研究成果，日後流量記錄年數更為充足時，可據以本文所建立之模式，套入流量資料，再行建立更為準確之運轉規線。

(六)本文中所採用之運轉模式屬定率線性規劃模式，係針對已知之水文量作最佳調配，

而未來幾年中之水文狀況諒不致有太大之變動，故由文中所取最近七個水文年之運算結果，已可預見未來之結果。當然，如能正確預測未來水文狀況，將未來流量詳加掌握，則必能求得河川之最佳取水量與建立最佳之水庫運轉規線，故正確地預測未來水文狀況乃為一重要課題，惜迄今對於預測流量長時距之關係，尚無良好之方法，有待繼續努力。

參 考 文 獻

1. 淡水河流域水污染防治規劃報告，附錄一，水文分析，水資會編印，民國68年。
2. 暖暖淨水場擴建設計報告，“集美工程顧問公司”編，民國75年。
3. “基隆自來水擴建工程—新山淨水場工程計劃報告”，台灣省自來水公司編印，民國68年。
4. “暖暖（西勢）水庫安全評估檢討報告”，中華顧問工程公司編，民國72年。
5. DANIEL P. Loucks, JERY R. STEDINGER, DOUGLAS A. HAITH "Water Resource Systems Planning And Analysis"
6. Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman "Introduction To Operations Research", Second Edition, 1973.
7. WILLIAM W-G. YEH, "Reservoir Management And Operations Models A State-of-the-art Review," Water Resource Research, Vol.21. No.12 1985.
8. David C. Major, Roberto L. Lenton "Applied Water Resource Systems Planning", 虹橋 , 1979.
9. Billy E. Gillett, "Introduction To Operation Research, A Computer-oriented Algorithmic Approach".
10. 易任，王如意“應用水文學”上册，國立編譯館出版，茂昌圖書公司，1982。
11. 陳家昫“濁水溪上游水文檢定及枯水季放水策略之研究”，台大農工所碩士論文，民國74年6月。
12. 台大土研所和水資會合辦“水資源系統分析講習會講義”，共三冊，民國72年。
13. 廖宗盛、胡文章“水資源系統分析概要”，台灣省水利局水資源系統分析講習班講義，1976。
14. 胡文章“線性規劃在水庫規劃及操作之應用—介紹兩個模式”，台灣水利季刊，第25卷第1期。
15. 胡文章“應用數理規劃建立水庫運用基準線之研究”，台灣水利季刊，第34卷第1期。
16. 郭明哲“線型規劃—原理及應用”，中興顧問公司出版，民國68年。

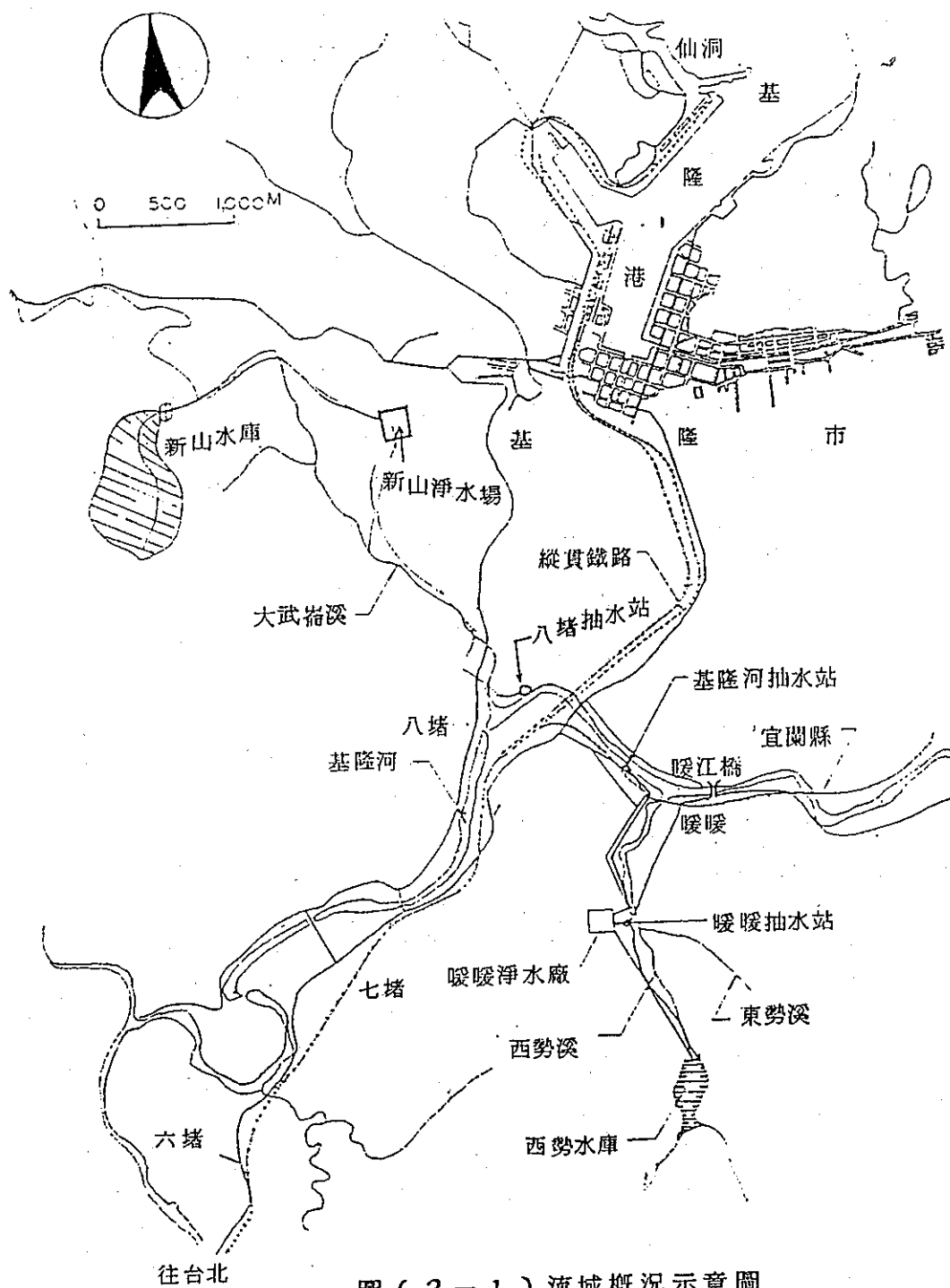


圖 (2 - 1) 流域概況示意圖

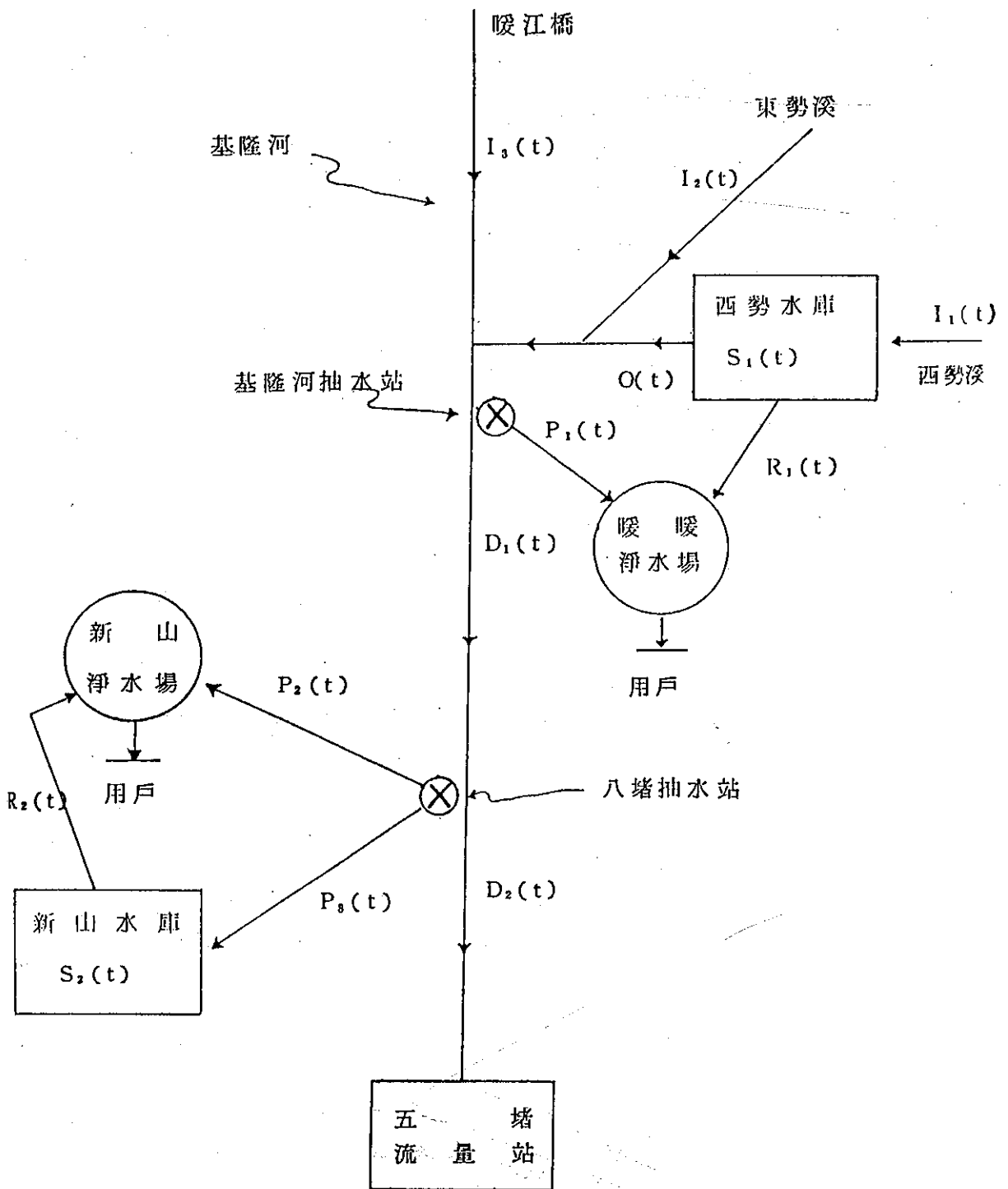
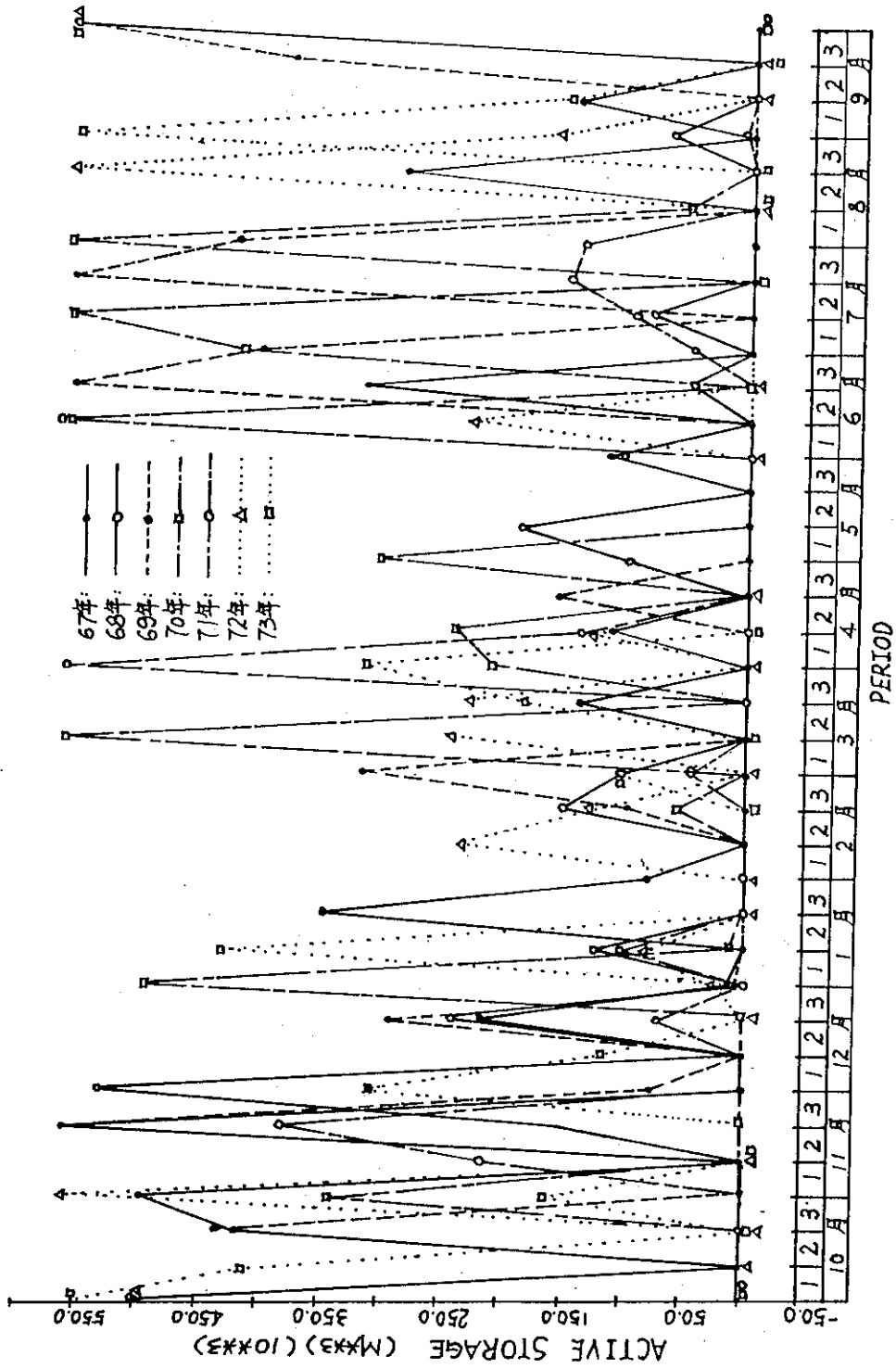


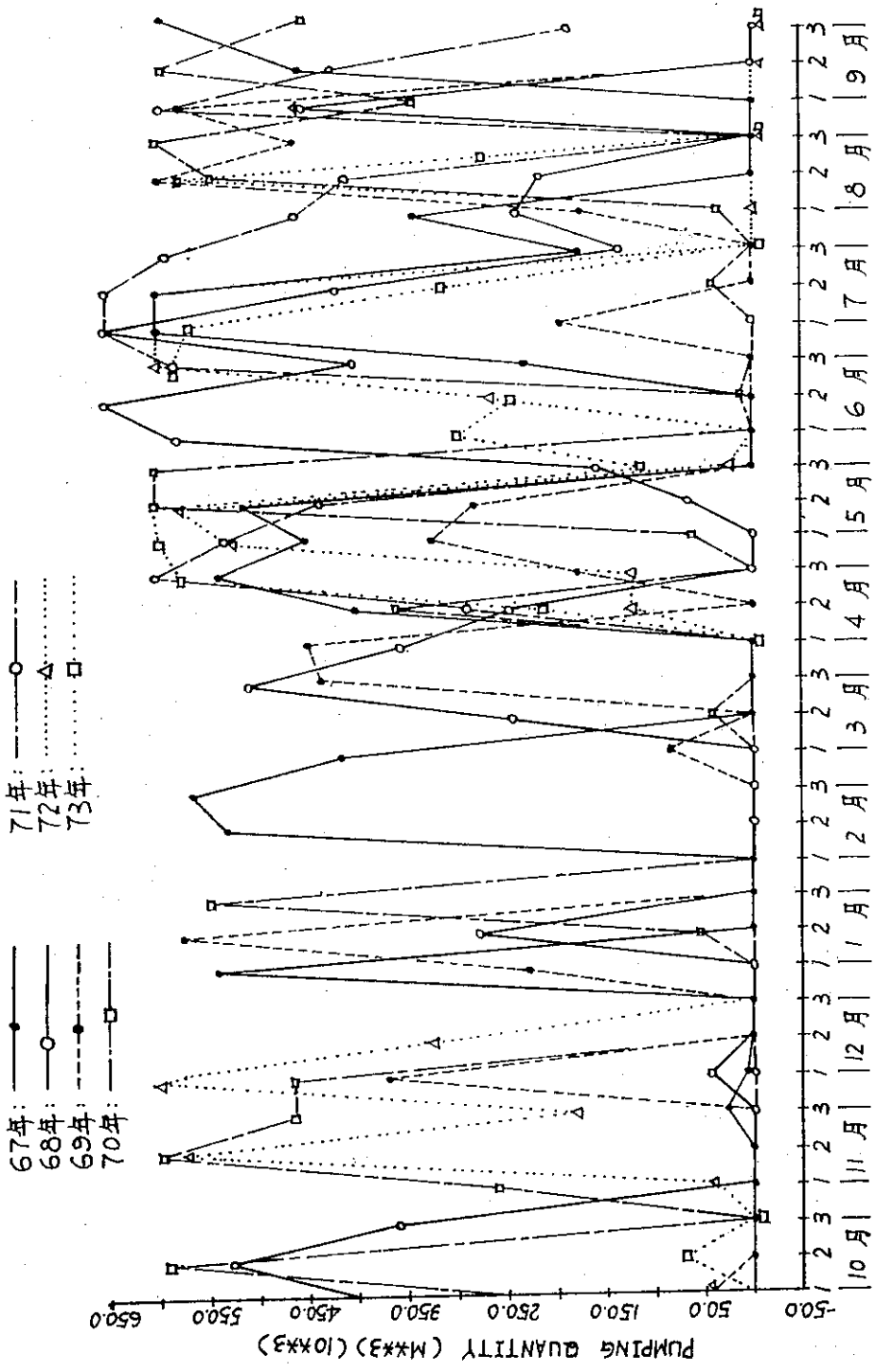
圖 (3 - 1) 暖暖系統與新山系統運轉示意圖

最大有效蓄水量：558,860 M³



圖(4-1) 西勢水庫67-73年運轉規線

最大抽水量：650,000 M³/旬



圖(4-2) 基隆河抽水站67-73年抽水量

最大有效蓄水量：3,750,000 M³

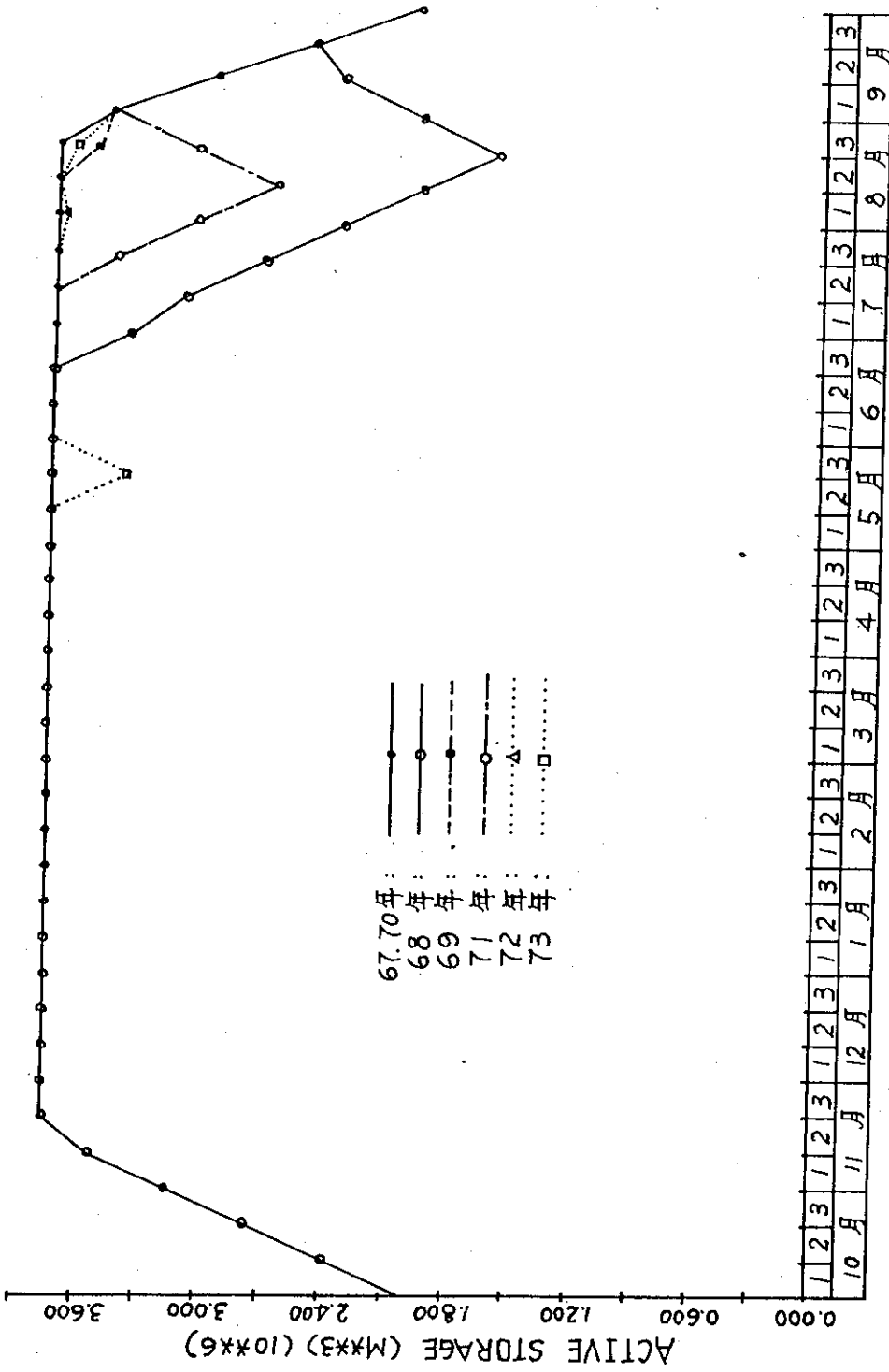
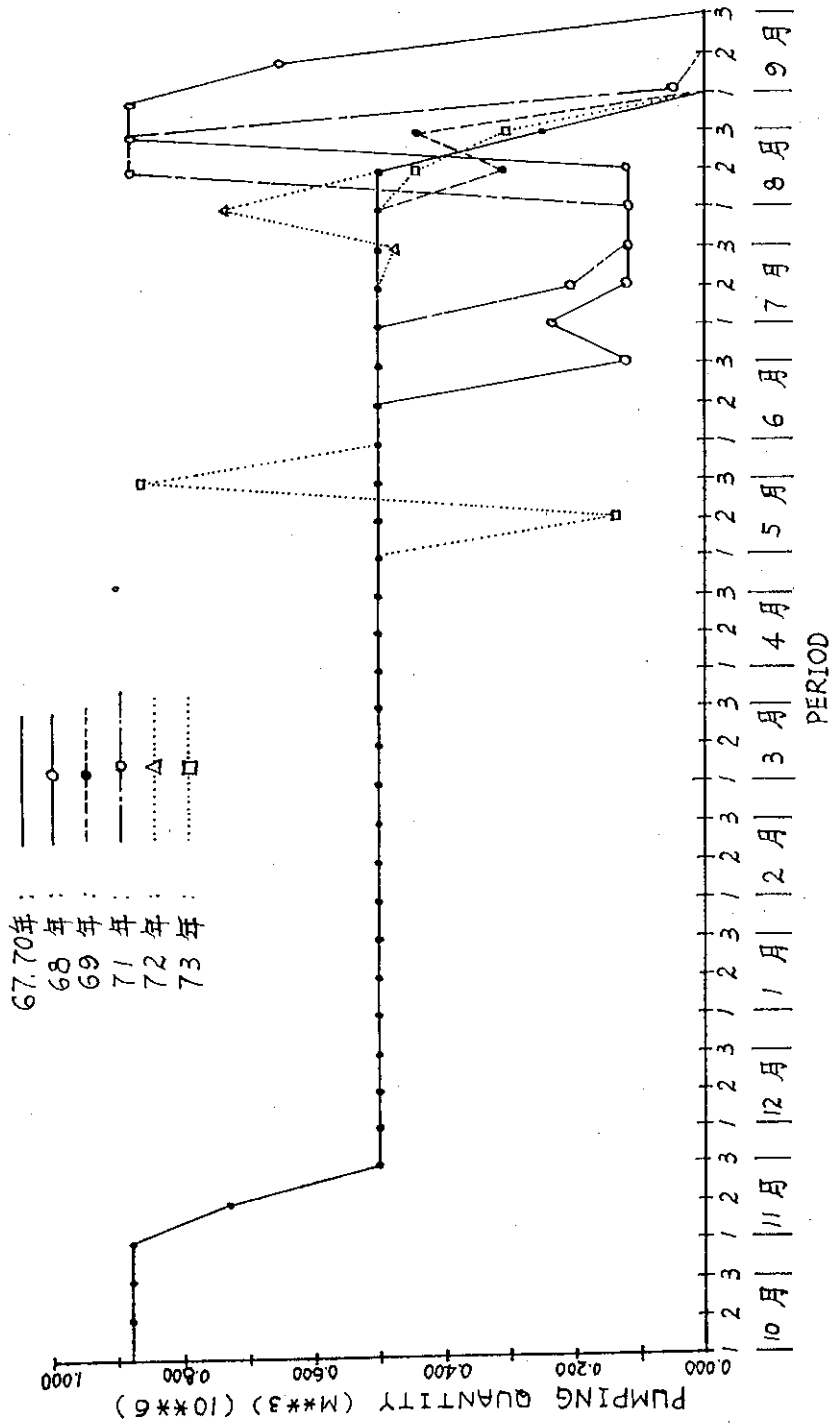


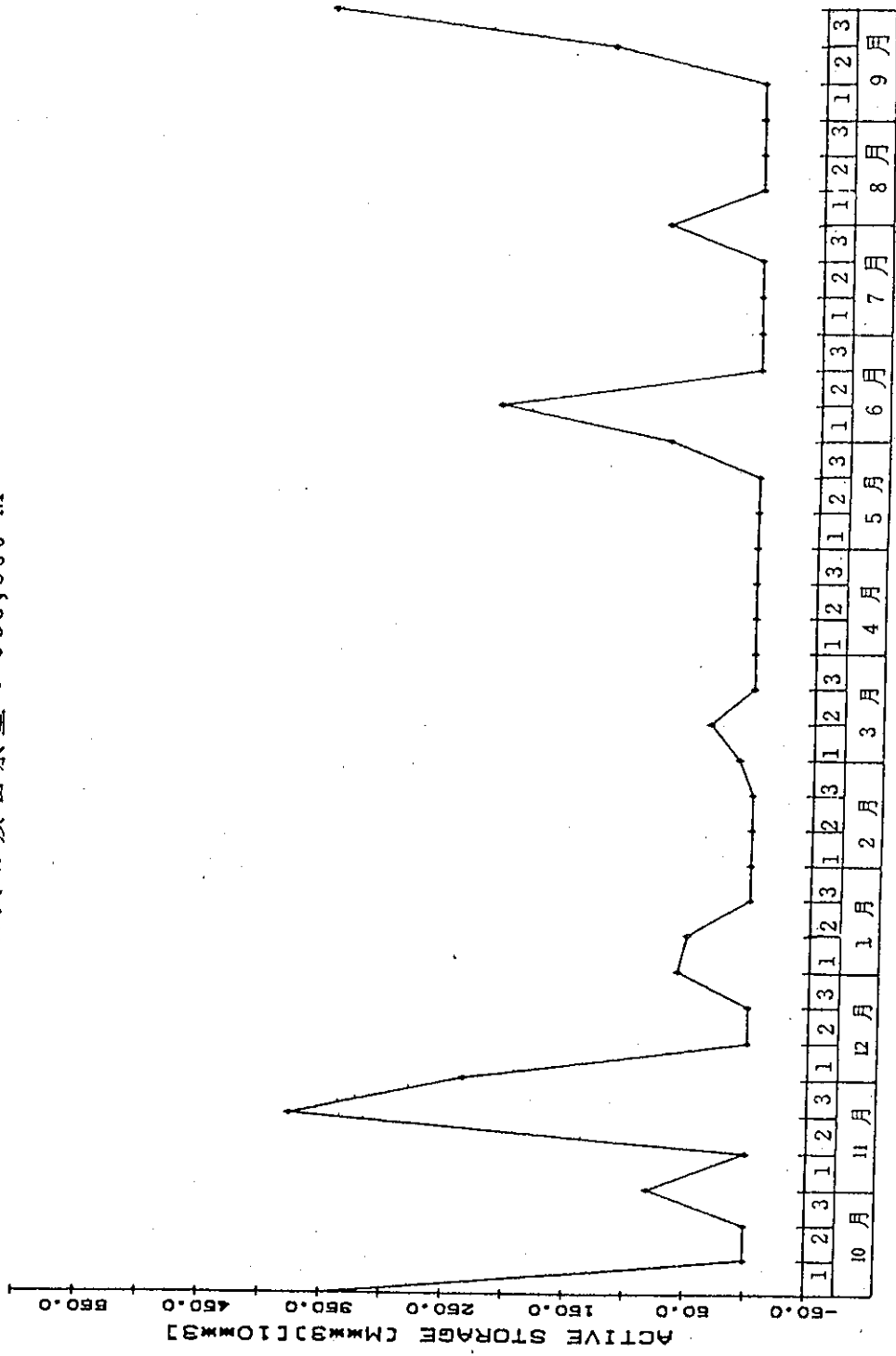
圖 (4-3) 新山水庫各年運轉規線

最大抽水量: 880,000 M³/旬



圖(4-4) 八堵抽水站67-73年抽水量

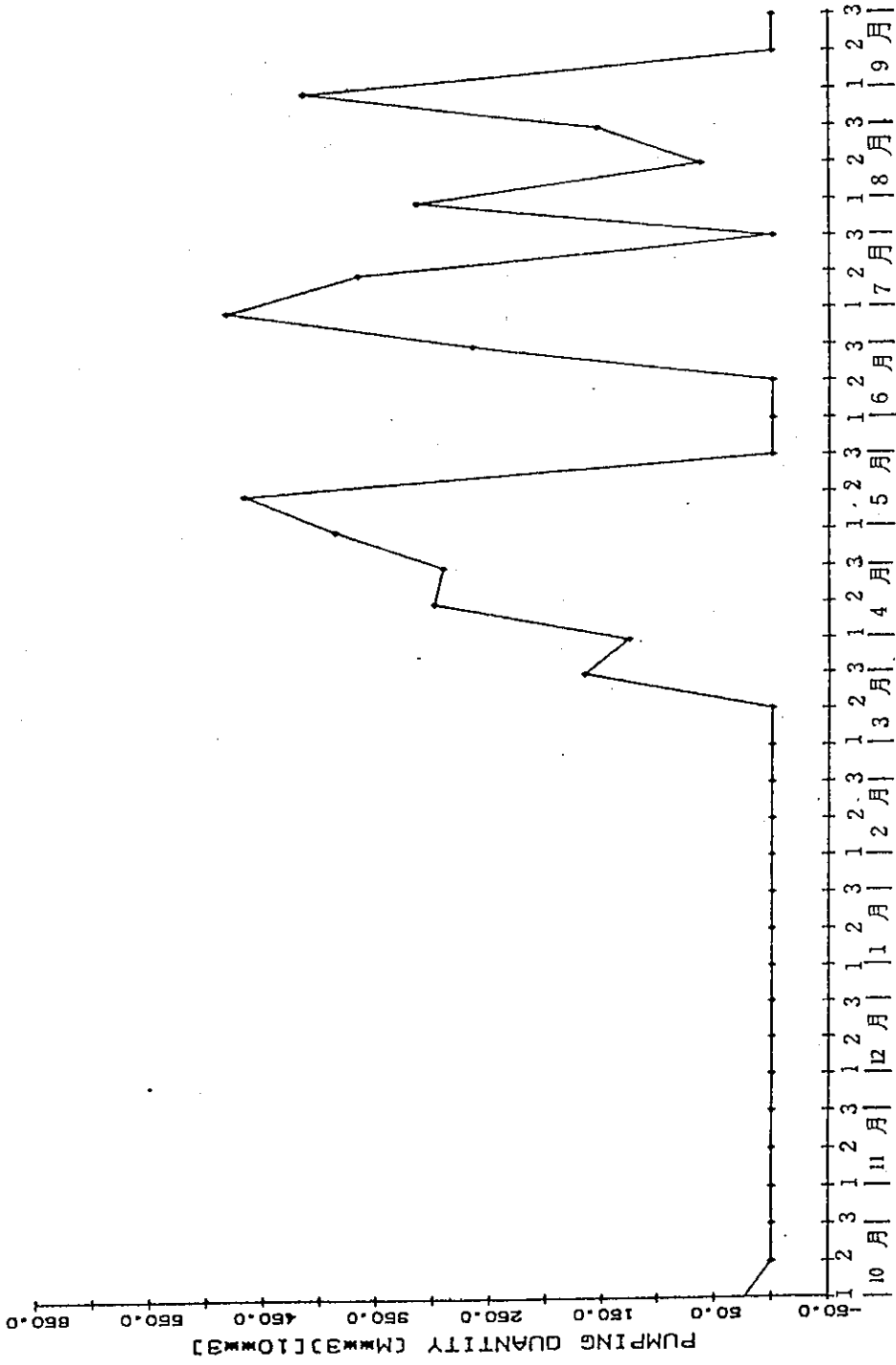
最大有效蓄水量：558,860 M³



PERIOD

圖(4-5) 平均流量之西勢水庫運轉規線

最大抽水量：650,000 M³/旬



PERIOD

圖(4-6) 平均流量之基隆河抽水站抽水量

最大有效蓄水量 : 3,750,000 M³

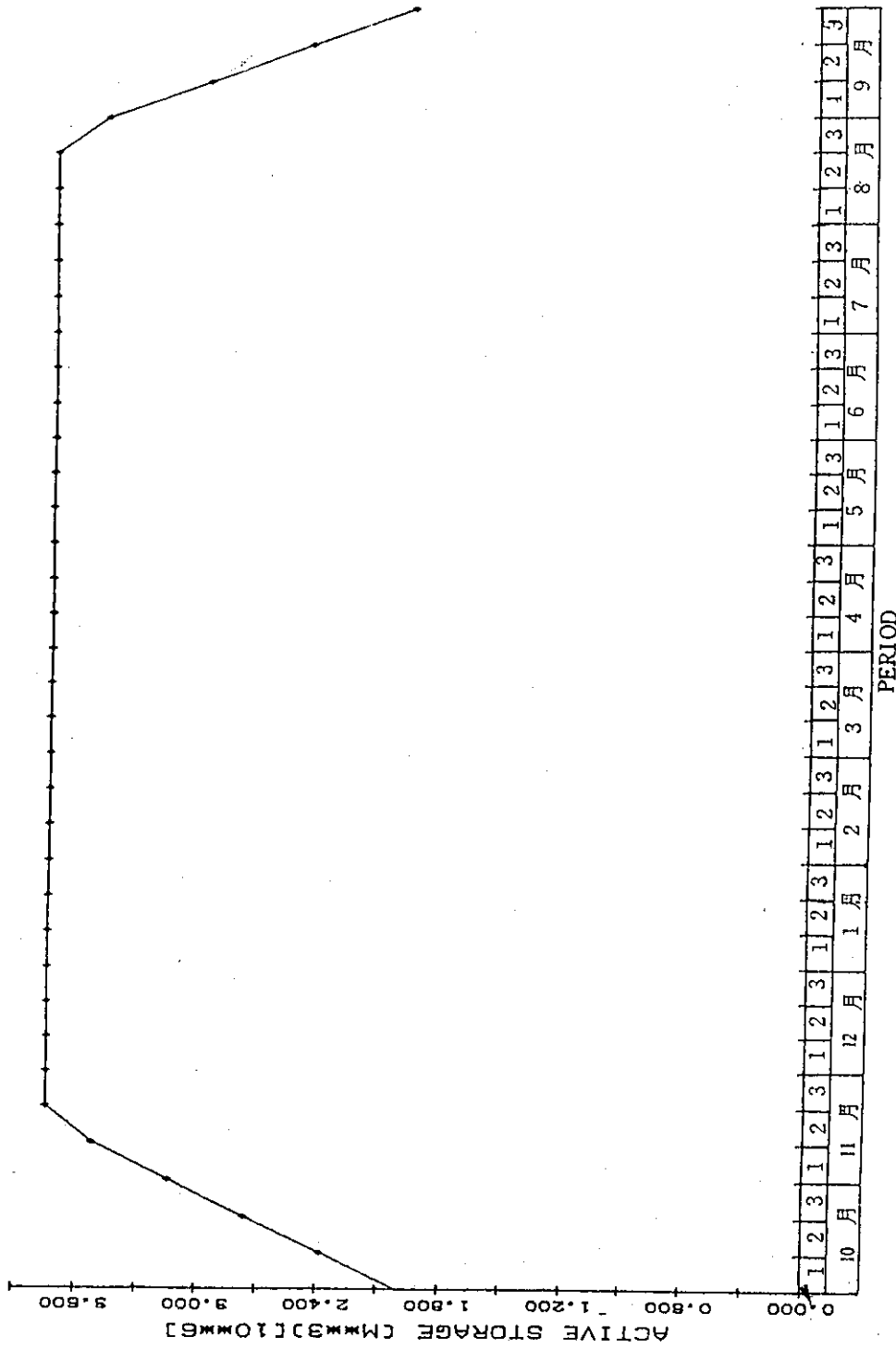
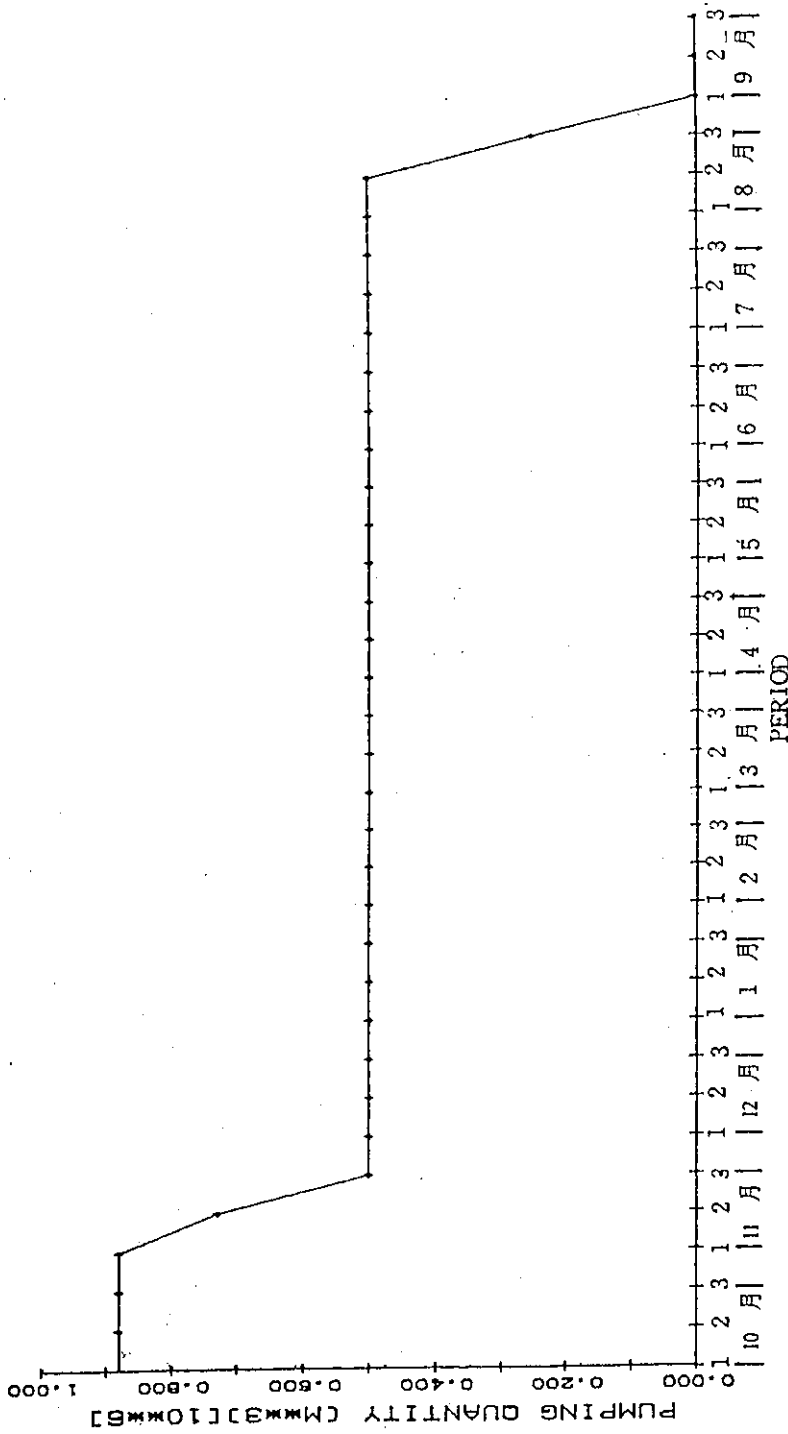


圖 (4 - 7) 平均流量之新山水庫運轉規線

最大抽水量：880,000 M³/旬



圖(4-8) 平均流量之八塔抽水站抽水量