

合理用電成本分析

張然武·陳慶福

壹、前言

本公司以往用電成本均採用預算成本法，故而形成省者愈省，寬者愈寬之現象，實欠公平，對成本無法達到精密控制，因而於七十八年度實施標準成本預算法，在用電方面亦需以合理用電控制抽水機之操作，以達到節省用電成本之目的。

合理用電分析，主要是利用離峰用電時間，儘量將抽水機全部操作抽水貯存於配水池，再於尖峰用電時間減少抽水，並需將抽水機予以組合，取其組合最大 E_0 ($E_0 = E_F \times E_M$) 效率，配合系統水頭曲線、揚程等操作抽水機達到最經濟用電成本。

本文並利用抽水量累積曲線與用水量累積曲線，求配水池可調節蓄之最大容量，並利用最大調節容量來求該抽水等設備是否合適，如契約容量、管綫口徑、抽水機馬力……等等是否適當，進一步求出最佳設備量，並可藉以控制用電量以達到節省用電成本之目的。

七十八年度售水率之推算以75.年7.月~77.年2.月之售水量/配水量為基礎+提升率(如圖七)為本年(七十八)度之售水率是相當合理。

貳、以合理方式控制抽水機操作以節省用電成本

一、七十八年度售水率之推算

$$a \text{ 售水率} = \frac{75.年7.月 \sim 77.年2.月之售水量}{75.年7.月 \sim 77.年2.月之配水量} \text{ 為基礎}$$

$$b \text{ 78.年度售水率} = a + \text{提升率 (參照圖七例如75.年7.月} \sim 77.年2.月 \text{售水率為} 60\% \text{則提升率為} 4.5\%)$$

二、七十八年度計劃配(出)水量，及原水出水量之推算

2-1

a = 訂計劃售水量

b = 78.年度售水率

$$78.年度計劃配(出)水量 = a \div b$$

2-2

$$\text{計劃原水出水量} = \text{計劃配(出)水量} \times 1.005 \text{ (} 0.5\% \text{ 為淨水處理所消耗水量)}$$

三、各場站抽水機合理用電操作模式：

3-1 依照每小時實際用水量繪用水量曲線及累積用水量曲線。

3-2 假設抽水機之操作規線。

3-3 訂定抽水機合理操作規線。

3-4 累積用水量曲線與累積抽水量曲線相交各種情況。

舉例說明上列各項曲線之訂定方法供參考。

※張然武：台灣省自來水公司營運處組長

※陳慶福：台灣省自來水公司營運處工程員

- 例 1、某淨水場現有抽水機有：
- 1 號機 60 馬力 2400 CMD = 100 m³/H
 - 2 號機 60 馬力 2400 CMD = 100 m³/H
 - 3 號機 75 馬力 4200 CMD = 175 m³/H
 - 4 號機 75 馬力 4200 CMD = 175 m³/H
 - 5 號機 75 馬力 4200 CMD = 175 m³/H
- 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 725 m³/H
- 配(蓄)水池 5000 m³—座

3-1 依照每小時實際用水量繪用水量曲線及用水量累積曲線。

時間	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
用水量 m ³	370	340	350	385	425	650	800	920	890	820	795	770	755	570	550	550	675	760	840	830	740	650	550	475
累積 用水量	370	710	1060	1445	1870	2520	3320	4240	5130	5950	6745	7515	8270	8840	9350	9940	10615	11375	12215	13045	13785	14435	14985	15460

由上表將累積用水量欄之數據繪成爲用水量累積曲線於圖二上另將用水量欄之數據繪成用水量曲線於圖一

3-2 假設抽水機操作如下，並算出各時段抽水量及累積抽水量

時間 (時)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
抽水量 m ³	725	725	725	725	725	725	725	725	725	637	550	550	550	550	550	587	625	625	725	725	625	625	625	450
累積 抽水量	725	1450	2175	2900	3625	4350	5075	5800	6525	7162	7712	8262	8812	9362	9912	10499	11124	11749	12474	13199	13824	14449	15074	15524

由上表抽水量欄繪出抽水機之假設操作規線於圖一上由上表累積抽水量欄之數據繪出抽水量累積曲線於圖二上並與用水量累積曲線相交於24時之縱座標上(本假設因抽水量累積曲線與用水量累積曲線相交於24時座標上，故其假設抽水量爲正確，如未相交於24時座標上之情況於3-4節另有說明。

3-3 訂定抽水機合理操作規線

抽水量累積曲線與用水量累積曲線相交於24時座標(由上表得知，累積抽水量15524 m³ = 累積用水量15460 m³)，可求其相差最大值△Q(本假設△Q位於清晨6時橫縱座標其值爲1830 m³，如圖二所示)，該△Q值即我們欲求出之蓄水池最大可計劃調蓄量(容量—安全存量)。

由上得知，蓄水池最大可蓄貯量爲1,030 m³，我們應儘量安排抽水機全部於離峰用電時間(即晚上10:30~次日7:30)滿載抽水，供應系統用水後，其剩餘量，可貯於蓄水池，我們將1830 m³於離峰用電時間抽水故將1830 m³ ÷ 9 = 203 m³(離峰時間每小時應貯水量)，故該時段每小時抽水量，應爲同時段每小時用水量平均值加203 m³，而其餘時段(尖峰用電時段餘13小時)每小時平均可補充140 噸(1830 ÷ 13)，故其抽水機每小時抽水量爲該時段用水量減120 噸(補充水量)故抽水機合理操作如下：

時間	22.30.	23.30.	24.30.	1.30.	2.30.	3.30.	4.30.	5.30.	6.30.	7.30.	8.30.	9.30.	10.30.	11.30.	12.30.	13.30.	14.30.	15.30.	16.30.	17.30.	18.30.	19.30.	20.30.
抽水量 m^3	725	725	725	725	725	725	725	725	725	725	625	625	625	625	625	625	625	625	525	525	525	525	525
累積 抽水量	725	1450	2175	2900	3625	4350	5075	5800	6525	7250	7975	8600	9225	9800	10475	11100	11725	12350	12875	13400	13925	14450	14975

由上表可知於離峰用電時段抽水機五台全部啓動仍無法將蓄水池蓄滿故延長抽至8:30分時段才可將水池蓄滿而在9:30以後抽水機用75 HP×3+60HP×1=625 m^3 /H，抽至15:30至16:30以後再降低抽水量改為175 HP×3=525 m^3 /H至21:30分，以後再循環，其抽水機合理操作規線如圖三，由上例子，可歸納本淨水場有幾點應予檢討。

(1)計劃調蓄量1830 m^3 太小，無法充分利用蓄水池功能以充份補充尖峰用電時段減抽水量之用水。

(2)抽水機設備小，因於離峰時段，抽水機五台全部啓動亦無法將蓄水池蓄滿，故應分析其經效益考慮增加抽水設備。

(3)抽水機於尖峰時段其組合變化少，故無法選擇E₀之最大效率抽水機組合。

由以上各點之缺失，故再舉另一例子說明：

例2、某淨水場現有抽水機有：

1號機 150 HP × 9000 CMD × 70M = 375 m^3 /H

2號機 125 HP × 8200 CMD × 67M = 341 m^3 /H

3號機 50 HP × 4000 CMD × 60M = 166 m^3 /H

4號機 34 HP × 3000 CMD × 50M = 125 m^3 /H

假設經測試其E₀最大其組合為A組 = 1 + 2 + 3 + 4 B組：2 + 3 + 4 = 682 m^3 /H

C組：2 + 3 = 507 m^3 /H 及 D組：3 + 4 = 291 m^3 /H

蓄水設備有5000 m^3 蓄水池一座

已知用水量如下：

時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
用水量 m^3	370	340	350	385	425	650	800	920	890	820	795	770	755	570	550	550	675	760	840	830	740	650	550	475
累積 用水量	370	710	1060	1445	1870	2520	3320	4240	5130	5950	6745	7515	8270	8840	9350	9940	10615	11375	12215	13045	13875	14435	14985	15460

由表將累積用水量欄之數據繪成爲用水量累積曲線於圖五另將用水量欄之數據繪成用水量曲線於圖四上。

假設抽水機操作規線

假設抽水機操作如下，並算出各時段抽水量及累積抽水量。

時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
抽水量 m^3	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	736	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	466	682	466	507
累積 抽水量	1007	2014	3021	4028	5035	6042	7049	7785	8251	8717	9183	9649	10115	10581	11047	11513	11979	12445	12911	13377	13843	14525	14991	15498

由上表抽水量欄繪出操水機之假設操作規線於圖四上由上表累積水量欄繪出抽水量累積曲線於圖五上，並與用水量累積曲線相交於24小時之縱座標上故其假設屬為可行。

訂定抽水機合理操作規線。

抽水量累積曲線與用水量累積曲線相交於24小時座標可求出其相差最大值 ΔQ 於(清晨7時)為3729 m^3 該 ΔQ 值即我們欲求出之蓄水池最大計劃調蓄量。

由上知最大 ΔQ 值為3729 m^3 應儘量安排抽水機全部於離峰用電時間將蓄水池蓄滿，並可能清晨5:30分前將蓄水池蓄滿，而以後之抽水機啟動組合如下表：可滿足用水量。

時間	22.30.	23.30.	24.30.	1.30.	2.30.	3.30.	4.30.	5.30.	6.30.	7.30.	8.30.	9.30.	10.30.	11.30.	12.30.	13.30.	14.30.	15.30.	16.30.	17.30.	18.30.	19.30.	20.30.	21.30.
抽水量 m^3	1007	1007	1007	1007	1007	1007	1007	682	291	682	682	507	507	507	507	507	291	291	507	507	507	507	507	507
累積抽水量	1007	2014	3021	4028	5035	6042	7049	7731	8022	8704	9386	9893	10400	10907	11414	11921	12212	12503	13010	13517	14024	14531	15038	15545

由上表抽水量可繪出合理抽水機操作規線如圖六，上表抽水機操作22:30~5:30前之組合如全部啟動有超過契約容量時應可再調配其操作組合。

茲將該時段(22:30~次日21:30)調水量以證實上表抽水機之操作規線屬為正確(因各時之累積抽水量，累積用水量)

時間	22.30.	23.30.	24.30.	1.30.	2.30.	3.30.	4.30.	5.30.	6.30.	7.30.	8.30.	9.30.	10.30.	11.30.	12.30.	13.30.	14.30.	15.30.	16.30.	17.30.	18.30.	19.30.	20.30.	21.30.
用水量 m^3	600	520	425	360	350	375	405	530	735	865	905	850	805	765	740	635	565	550	630	725	805	840	785	645
累積用水量	600	1120	1545	1905	2255	2630	3035	3565	4300	5165	6070	6920	7725	8490	9230	9893	10458	11013	11643	12368	13173	14013	14798	15443

由上表用水量欄之數據繪於圖六以參考。

由例2得知：

- (1)於離峰時段即於5:30分前即可將蓄水池蓄滿符合於離峰時間蓄滿水池之要求。
- (2)計劃調蓄量為3729 m^3 ，符合蓄水池調節功能。
- (3)操作規線之抽水機組合較有變化可充份利用 E_0 最大之組合。

3-4 累積用水量曲線與累積抽水量各種相交情況：

3-4-1 設該二曲線相交於18時之縱座標上：

a 表示18時以後抽水量 $<$ 用水量，則水量不夠用。

b 應修正抽水機假設之操作規線，加大抽水量，使累積用水量曲線與曲積抽水量曲線之相差量 ΔQ 加大，使該二曲線可相交於24時縱座標上。

3-4-2 設該二曲線相交於24時縱座標外。

a 表示抽水量 $>$ 用水量，則蓄水池有溢流情況發生。

b 修正抽水機假設之操作規線，減少抽水量，使累積用水量曲線與累積抽水量曲線之相差量 ΔQ 減小，使該二曲線可相交於24時之座標上。

3-4-3 抽水機全部啟動仍無法於離峰用電時段將蓄水池蓄滿則表示蓄水池無法充份利用其功能，亦即表示抽水機設備不足，應檢討是否需增加抽水機，惟應考慮其契約用費，與節省電費等之比較，分析其經濟效益，以決定是否增加抽水設備。

3-4-4 尖、離峰時段其抽水機操作馬力數相差甚小之情況：

則表示蓄水池之計劃調蓄量較小或送水能力不足，無法充份利用離峰用電時間儘量蓄水以補充最大用水時段之用水（因最大用水時段為尖峰用電時間，應予減少抽水量，以節省用電），則應考慮增加抽水設備及檢討送水能力並分析其經濟效益。

3-4-5 本文所舉二個例子僅供參考，因各場站之設備及用水量等有所不同，應個別以最經濟用電之原則訂定操作模式。

四 用電成本之計算：

配水部份：以例題二做為計算用電之範例（如表四）

其用水量為二個月內之平均日用水量

假設抽水機各組合後之揚程，總效率（ E_o ）如下：

A 組 $H = 55M$ $E_o = 50\%$

B 組 $H = 60M$ $E_o = 55\%$

C 組 $H = 62M$ $E_o = 56\%$

D 組 $H = 60M$ $E_o = 60\%$

則各時段用電量計算如下：

$$22:30 \sim 5:30 \quad e = \frac{0.000113 \times 1,007 m^3 \times 24 \text{小時} \times 55 M}{0.5} = 300.4 \text{ KWH}$$

該時段用電量 = $300.4 \text{ KWH} \times 7 = 2,100 \text{ KWH}$

二段式時間用電離峰用電電價設為 1.06 元/KWH 。

故該時段流動電費為 $1.06 \text{ 元} \times 2100 = 2,226 \text{ 元}$ 。

其餘各時段計算列推。

$$\therefore \text{配水操作單位電費} = \frac{\text{每日流動電費} \times 30 + \text{契約電費}}{\text{當月總配水量}} \text{元}/m^3$$

期間配水量電費 = 配水操作單位電費 \times 當月總配水量 \times 2 個月

原水部份：

(一) 原水直接抽送至淨水場方式：因配合配水量之需求其各時段之原水抽水量應與其同時段用水量相同以維持供需平衡故其用電成本為：

$$\text{期間原水電費} = \text{期間配水量電費} \times 1.005$$

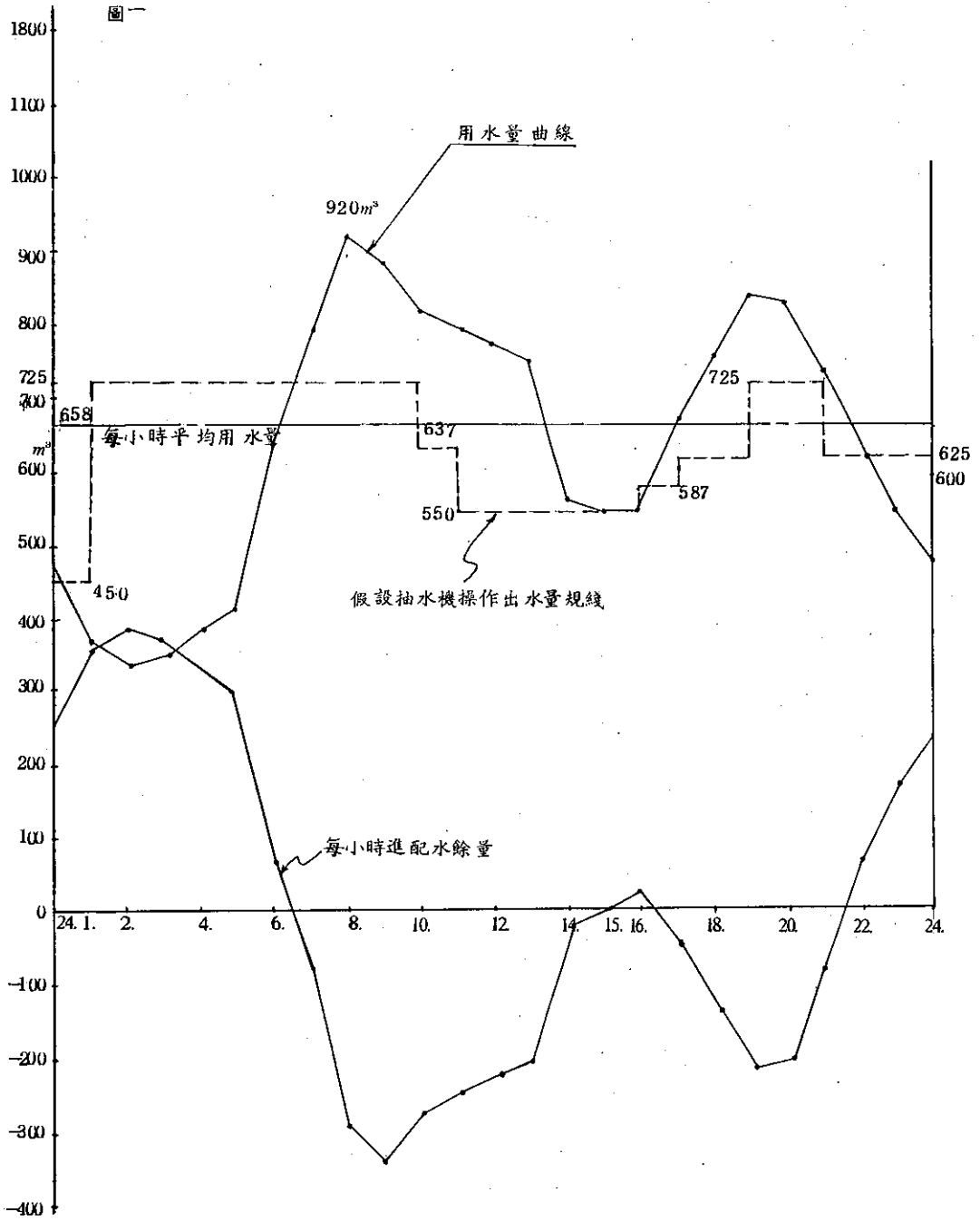
(二) 原水先抽至水庫後再抽送至淨水場方式：

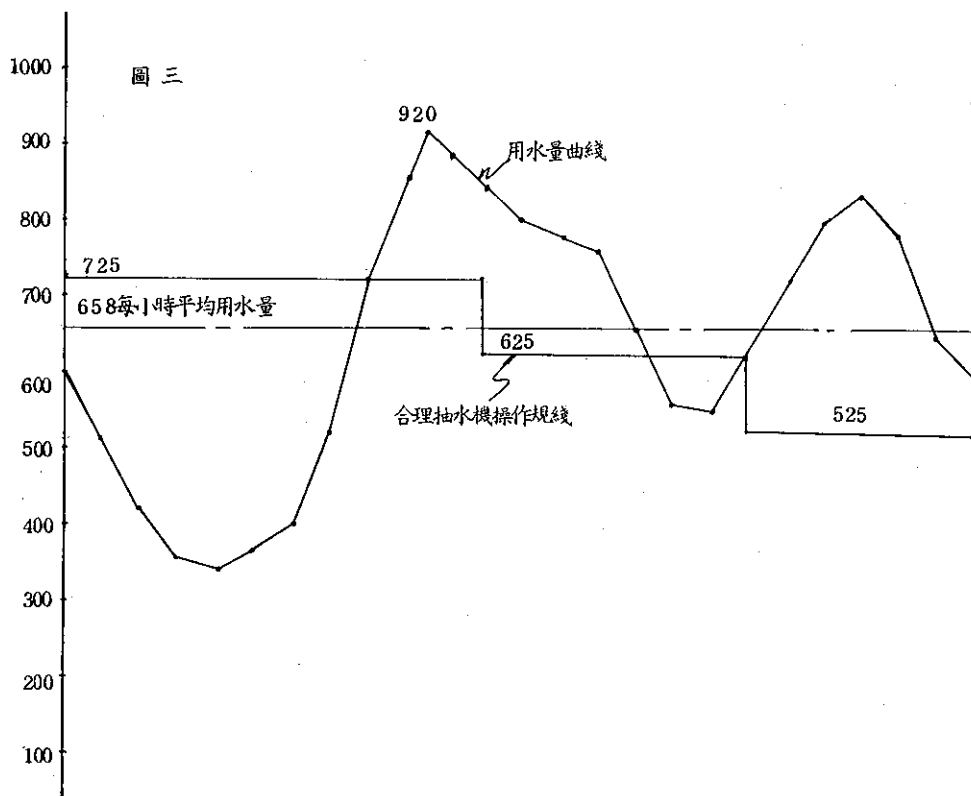
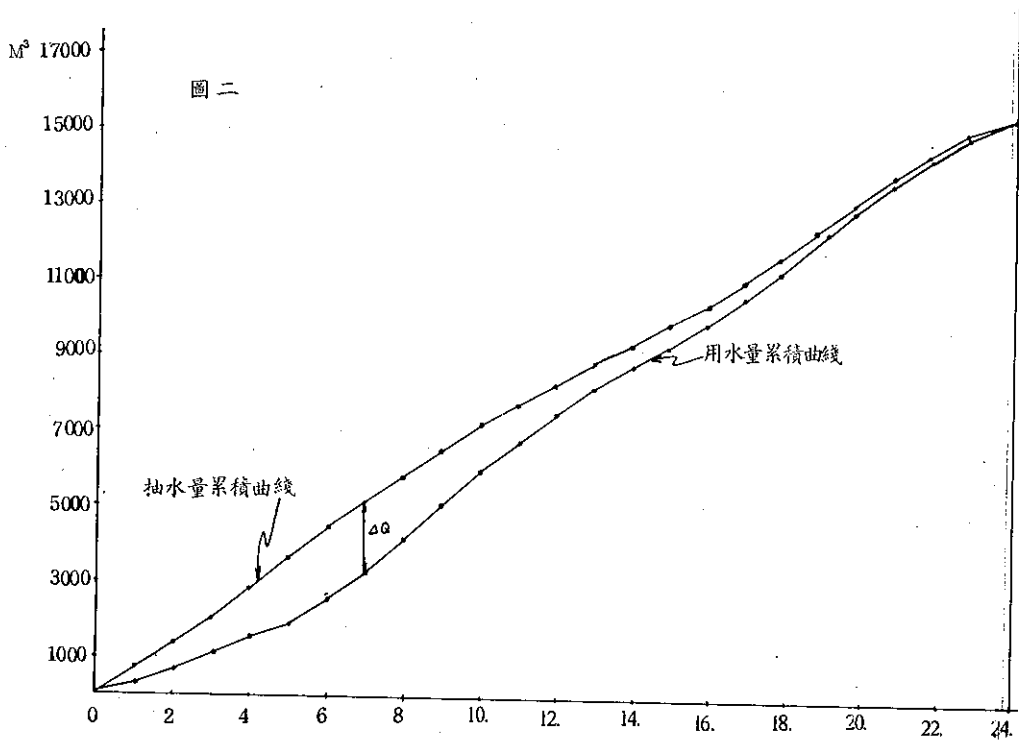
$$\text{期間原水電費} = \text{由水源抽送至水庫之實際電費} + \text{期間配水量電費} \times 1.005$$

由水源（河、川）抽送至水庫貯放時如豐水期應24小時抽水，如遇枯水期應計算每日所需水量，儘量於離峰用電時間抽水送貯水庫。

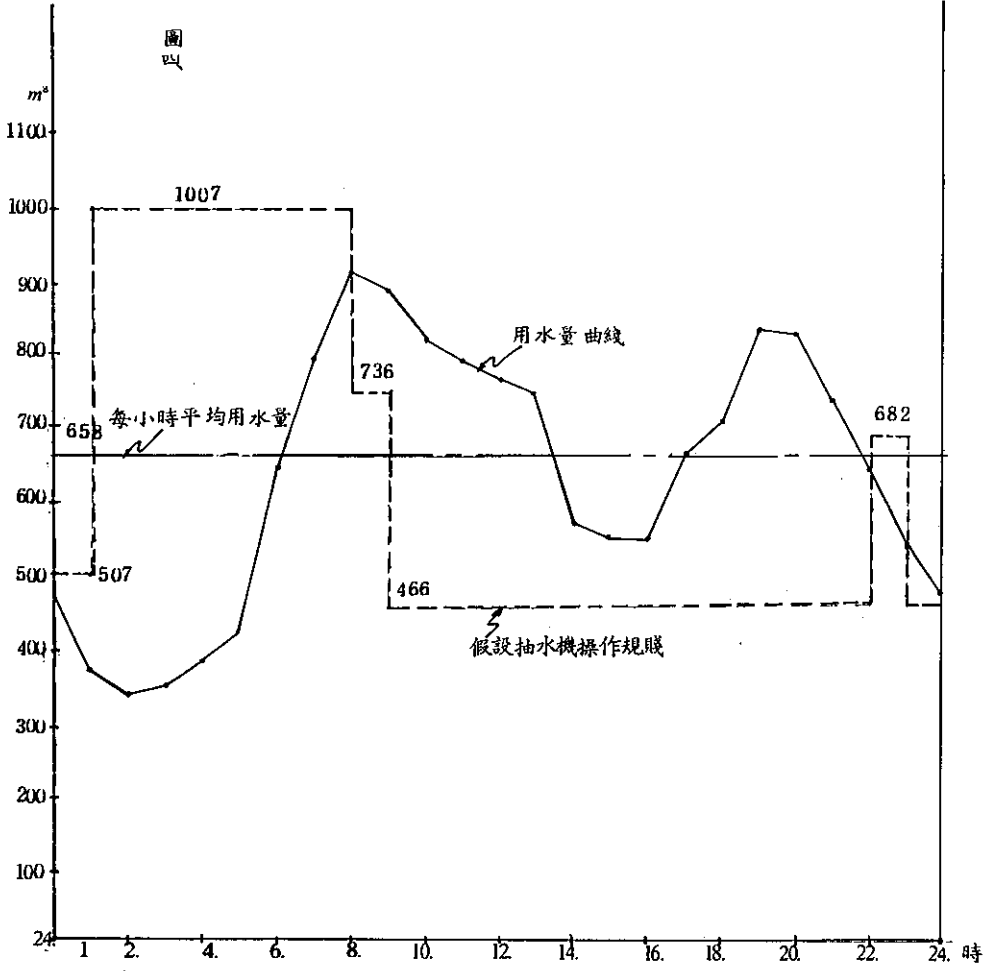
期間用電成本 = 期間配水用電成本 + 期間原水用電成本 + 非動力用電（電燈等用電）。

圖一

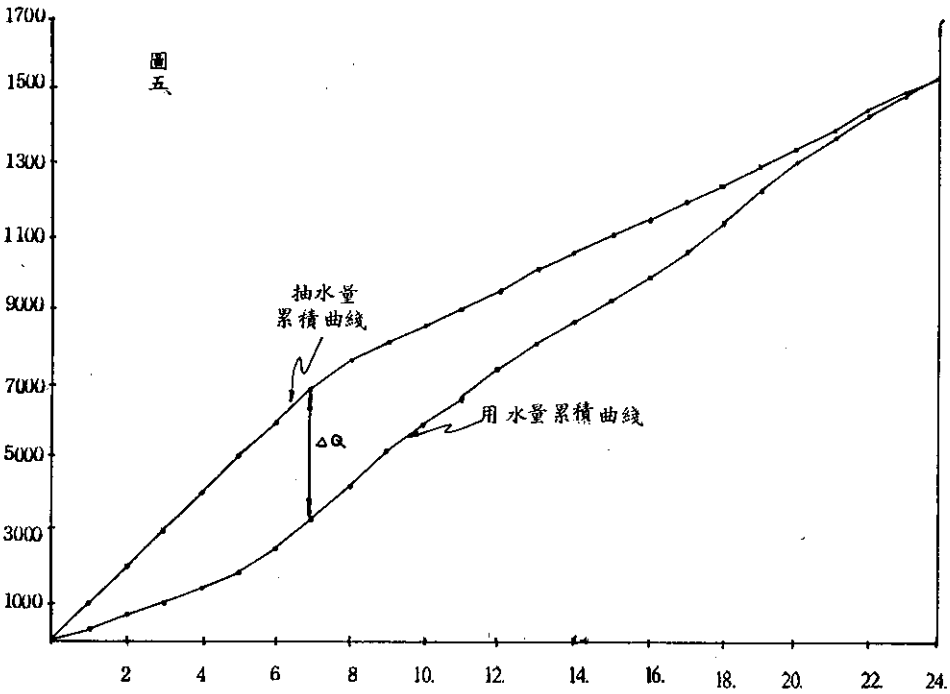


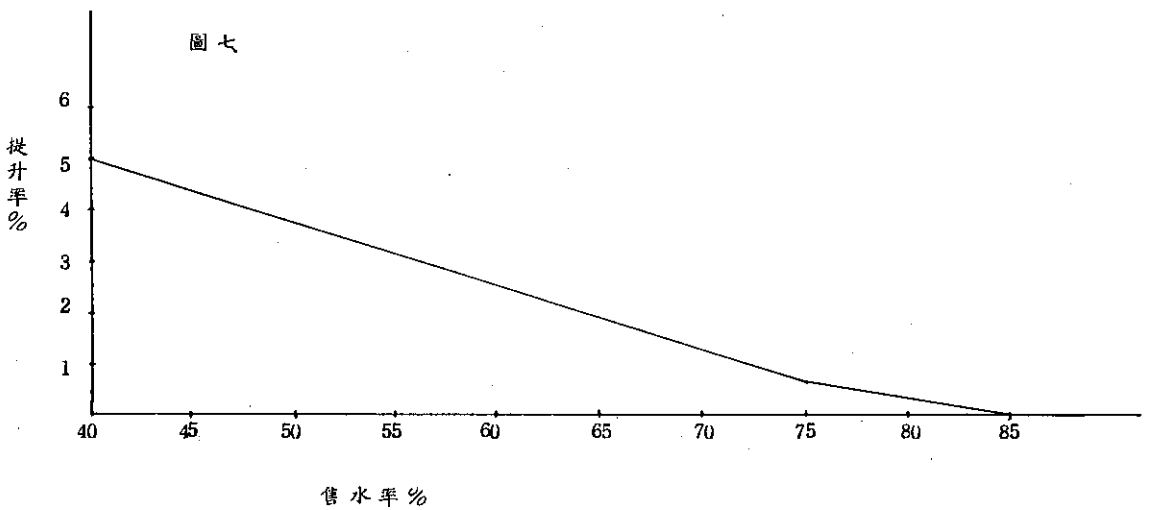
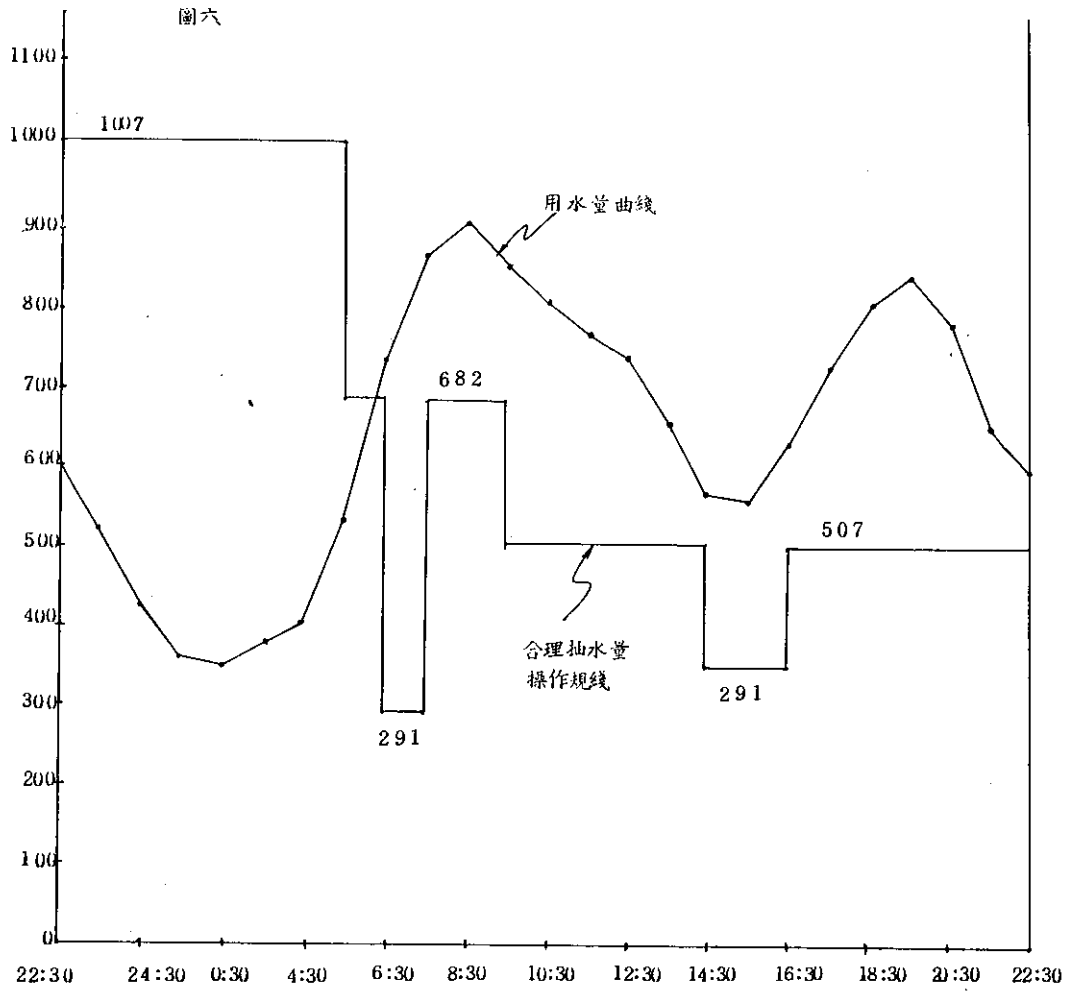


圖四



圖五





系統代號 _____

第 _____ 區管理處

場站電動抽水機操作用電量經費預算表

地點代號 _____

供水代號 _____

77年7月1日至77年8月31日

科目別：配水

a	b	c	d	e	f	g	h	i	
計劃出水量	操作機組別	揚程	效率	每小時用電量	抽水時數	期間用電量	每度單價	流動電費	
抽水時間	(No.1 + No.2 + No.3 + No.4 + No.5 + No.6 + No.7 + No.8 + No.9 + No.10)	M	(E ₀) %	(KWH) $e = \frac{0.00013 \cdot d \cdot c}{d}$		(KWH) $g = e \times f$	(元/KWH)	$i = g \times h$	
22:30 5:30	A組	55	50	300.4	7	2100	1.06	2226	
5:30 6:30	B組	60	55	201	1	201	1.06	213	
6:30 7:30	D組	60	60	78	1	78	1.06	82	
7:30 9:30	B組	60	55	201	2	402	2.01	808	
9:30 14:30	C組	62	56	152	5	760	2.01	1527	
14:30 16:30	D組	60	55	78	2	156	2.01	313	
16:30 20:30	C組	62	56	152	4	608	2.01	1222	
20:30 22:30	B組	60	55	201	2	402	2.01	808	
小計						4707		7199	
合計 = (每日流動電費 × 30日 + 當月契約電費) × 2個月									

說明：1.本表依每日大小用水量計劃各時段用水而操作不同抽水機之組合。

2.各場站如為時間用電者應配合尖峰用電時間抽水。

3.本表 a b c d 項應附有場站計劃出水量表抽水機之效率，組合效率 H-Q 及系統水頭等曲線。

表四