

國立中山大學海洋地質研究所碩士論文

指導教授：陳 鎮 東 博士

台灣地區天然水之物理化學性質：  
密度與導電度

The Physical Chemical Properties of Natural  
Waters in Taiwan: Density and Conductivity

研究生：陳 佩 芬 撰

中華民國七十七年六月一日

## 摘要

(一)本論文的主要目的，是利用 Young's 加成定律，計算台灣地區天然水的密度與導電度，並與實際測量值比較，除了驗證此理論應用在台灣地區天然水的可行性外，同時也可得到台灣地區天然水組成與密度及導電度間之關係，並提供一項求證分析結果是否正確之方法。

本研究分析了台灣地區 320個湖水水樣，及 113個雨水水樣的pH值，鹼度，主要離子含量，利用公式算出密度，導電度的理論值，並與實際測量值比較。結果顯示，密度的測量值與理論值，迴歸斜率為 1.05，相關值達到0.98以上，而導電度的測量值低於計算值，迴歸相關值0.993，斜率為0.934。加入有機酸對密度的影響，迴歸值為 0.989，斜率 0.996，而導電度的迴歸值為0.99，斜率 0.923。結果顯示，Young's定律應用在密度的結果要比導電度的結果好，這可能和兩種儀器不同的精確度有關。

從密度、導電度與含鹽量之間的正比關係，可得到一個密度與導電度之間的換算式。未來可根據此公式，從導電度推知密度，以多得一項水質分析的資料。

(二)本論文第二部份的研究對象，是位於美國奧勒岡州，火口湖國家公園內的火口湖。該地區在過去是屬於麻薩瑪火山 ( Mt. Mazama ) 的位置。在6840年前，該火山噴發後，火山口沉陷，而留下一個死火山口 (caldera)。後來，由於注滿了雨水，而形成此火口湖，為美國最深的湖。由於火山底下連接著地函的岩漿庫，因此經過奧勒岡州立大學海洋研究所的教授戴蒙等人研究數年，認為在湖底可能會有從

地函來的較熱的水，沿著湖底局部有裂隙的地方進入湖中。

由目前野外及實驗室所得的部分分析結果，可知湖底局部地區有熱水沉積物的出現。另外也發現水樣中富含來自地函的氮同位素，及有溫度的異常，而且兩者均有隨溫度而增加的趨勢。有關物化性質的分析，則由卡利負責採樣之後，空運來台，分析密度、導電度、鹼度、主要離子含量。

由密度與導電度的分析，均可看出有隨深度而增加的現象，支持戴蒙等人認為熱泉帶有一些溶解的鹽類進入湖中的假設，而含鹽量則看不出變化。比較實測密度的增加，與溫度效應使水上浮的趨勢得知，實際密度的增加量大於溫度的影響，因此由本研究結果認為，火口湖雖有熱泉存在，但水柱仍然是穩定的。

## Abstract

The main propose of this thesis was to measure density and conductivity of natural waters in Taiwan, and to compare these results with calculated values based on Young's Rule.

We analyzed pH, alkalinity, density, conductivity and major ions of 320 lakewater samples, 113 rainwater samples, and calculated the density and conductivity using Young's rule. These calculated values compare well with measured values, and confirm the validity of the Young's rule. The results indicate that correlation between the measured and calculated densities has a  $r$  value of 0.99, with a slope of 1.05. For conductivities,  $r$  value is 0.993, with a slope of 0.934. If we add the effects of organic acid into consideration, then the  $r$  value is 0.989 for the correlation of densities, with a slope of 0.996. The  $r$  value for the correlation between measured and calculated conductivity is 0.99, with a slope of 0.923. These slopes deviate from a theoretical slope of 1.00, but the differences are within the precision of analyses. Relationships among density, conductivity and total dissolved solid were derived.

(二)

The Crater Lake, located in the Crater Lake National Park of Oregon, the United States, was created 6840 years ago, after the volcanic eruption of Mt. Mazama. Subsequent-

ly the caldera was filled with rainwater to form a lake, the deepest in America. It has been proposed that hydrothermal water in contact with magma may enter the lake along fissures on the bottom of the lake.

Results from the field and laboratory analysis indicate that hydrothermal deposits appear at places. Enriched  $^3\text{He}$  from mantle, and temperature anomaly also appear in the water column, both increasing with depth. Suspected water samples were collected for us and total alkalinity, major ions, density and conductivity were measured. Density and conductivity were found to increase with depth, supporting the suggestion that hot springs carried some dissolved salts into the lake. Stability analysis indicates that the water column is stable despite the increased temperature of the hydrothermal water.

# 目錄

	頁次
誌謝	i
中文摘要	ii
Abstract	iv
目錄	vi
圖目錄	viii
表目錄	x
一、前言	1
1.1 台灣地區的天然淡水(湖水及雨水)	7
1.2 美國奧勒岡州火口湖熱泉水之研究	7
二、取樣及實驗方法	10
2.1 取樣	10
2.1.1 野外工作	10
2.1.2 取樣方法	10
2.2 樣品來源	10
2.3 實驗方法	11
2.3.1 pH 值與總鹼度的測量	11
2.3.2 密度的測量方法	15
2.3.3 導電度的測量方法	20
2.3.4 陰陽離子含量的測定	22
2.3.5 有機酸含量的測定	26
三、結果與討論	27
3.1 有機酸部分當量體積及部分當量電導的測定	27

	頁次
3.2 台灣地區的湖水及雨水 -----	27
3.2.1 湖水密度的測量值與計算值的比較 -----	63
3.2.2 有機酸對湖水密度的影響 -----	67
3.2.3 湖水導電度的測量值與計算值的比較 -----	67
3.2.4 有機酸對湖水導電度的影響 -----	69
3.2.5 雨水密度、導電度測量值與計算值的比較 -----	69
3.2.6 誤差的可能原因 -----	74
3.2.7 密度、導電度與含鹽量的關係 -----	76
3.3 奧勒岡州火口湖熱泉水 -----	85
3.3.1 溫度隨深度的垂直變化 -----	87
3.3.2 密度隨深度的垂直變化 -----	89
3.3.3 導電度、含鹽量隨深度的垂直變化 -----	92
3.3.4 火口湖與台灣地區湖水的比較 -----	92
四、結論 -----	99
4.1 台灣地區的湖水及雨水 -----	99
4.2 奧勒岡州火口湖熱泉水 -----	100
五、參考資料 -----	101

## 圖目錄

	頁次
圖 2.1 台灣地區湖沼,水庫的採樣位置及其鹼度分布圖 -----	12
圖 2.2 雨水收集站的分佈地理位置圖 -----	13
圖 2.3 奧勒岡州火口湖及其採樣位置圖,斜線區域為部分樣 品採集區 -----	14
圖 2.4 振動密度儀的構造圖 -----	17
圖 3.1 雨水陰、陽離子相關圖,圖中直線為所得之迴歸線---	62
圖 3.2 湖水陰、陽離子相關圖,圖中直線為所得之迴歸線---	64
圖 3.3 $\text{HCO}_3^-$ 濃度對丙酸濃度的影響 -----	65
圖 3.4 台灣地區湖水密度的測量值與計算值之比較,圖中直 線為斜率1的線 -----	66
圖 3.5 台灣地區湖水密度的測量值與計算值之比較(加入丙 酸),圖中直線為斜率1的線-----	68
圖 3.6 台灣地區湖水導電度的測量值與計算值之比較,圖中 直線為斜率1的線 -----	70
圖 3.7 台灣地區湖水導電度的測量值與計算值之比較(加入 丙酸),圖中直線為斜率1的線-----	71
圖 3.8 台灣地區雨水密度的測量值與計算值之比較,圖中直 線為斜率1的線 -----	72
圖 3.9 台灣地區雨水導電度的測量值與計算值之比較,圖中直 線為斜率1的線 -----	73
圖 3.10 湖水密度與含鹽量的相關圖,圖中直線為所得之迴歸 線 -----	77
圖 3.11 湖水導電度與含鹽量的相關圖,圖中直線為所得之迴歸 線 -----	78



圖 3.12	雨水密度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸線 -----	80
圖 3.13	雨水導電度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸 線 -----	81
圖 3.14	台灣地區湖水的平均組成百分比扇形圖 -----	82
圖 3.15	台灣地區雨水的平均組成百分比扇形圖 -----	83
圖 3.16	奧勒岡州火口湖湖水水溫隨深度的變化圖 -----	88
圖 3.17	奧勒岡州火口湖湖水密度隨深度的變化圖 -----	91
圖 3.18	奧勒岡州火口湖湖水導電度隨深度的變化圖 -----	93
圖 3.19	奧勒岡州火口湖湖水含鹽量隨深度的變化圖 -----	94
圖 3.20	奧勒岡州火口湖湖水平均組成百分比扇形圖 -----	95
圖 3.21	奧勒岡州火口湖湖水密度與含鹽量的關係圖，直線為 台灣地區湖水密度與含鹽量之迴歸關係式 -----	96
圖 3.22	奧勒岡州火口湖湖水導電度與含鹽量的關係圖，直線 為台灣地區湖水導電度與含鹽量之迴歸關係式 -----	97

## 表目錄

	頁次
表 1.1 各種主要離子在25°C, 純水中的部分當量體積及部分當量電導 -----	6
表 2.1 以氫氧化鈉標定稀硫酸的結果 -----	16
表 2.2 標準海水密度的測量值與計算值之比較 -----	19
表 2.3 密度儀重現性之分析 -----	21
表 2.4 水樣分析的精確度與準確度 -----	25
表 3.1 丙酸部分當量體積的測定 -----	28
表 3.2 丙酸部分當量電導的測定 -----	29
表 3.3 台灣地區湖沼、水庫的天然化學組成 -----	30
表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成 -----	45
表 3.5 台灣地區湖水密度、導電度的分析結果 -----	51
表 3.6 台灣地區雨水密度、導電度的分析結果 -----	59
表 3.7 火口湖湖水的天然化學組成 -----	86
表 3.8 絕熱壓縮下、水溫對密度的影響 -----	90

## 一、前言

本世紀以來，從海洋學者對水溶液的一些物理化學性質或熱力學性質（如體積、壓縮係數、熱焓、熱容、溶解度等）的研究中，不管是針對單一電解質溶液，或是多成分電解質溶液，發現在這種混合的鹽類溶液中，它的物化性質及熱力學性質都受到水與這些鹽類離子之間的作用控制（Lepple and Millero, 1971; Marshall and Chen, 1982a; Millero, 1970, 1974a, b, 1975, 1982; Millero and Chen, 1985; Millero and Chetirkin, 1980; Millero and Lepple, 1972）。科學家們也發展很多不同的模式來解釋這些現象（Millero 1974a, 1975; Millero et al., 1976; Marshall and Chen, 1982b），也有很多文章討論到這方面的問題（Ewing and Marsh, 1977; Høiland et al., 1978; Millero, 1974a, b; Padova and Lewkowitz, 1976; Welles and Lindstrom, 1976; Welles et al., 1975; Wu, 1970）。

就化學觀點看來，一般水溶液可以看成是由水及鹽類組成的混合物，因此水溶液的物化性質及熱力學性質會受到這些鹽類離子的控制：主要是水和離子之間，以及離子與離子之間的相互作用（Millero 1971, 1974b, 1975）。由於受到這些鹽類離子的作用，直接影響到水溶液的表觀莫耳性質（apparent molal property），例如體積、焓、熱容等（Millero, 1975）。不同離子對水溶液產生的影響也不相同，若在一個基本的假設：水溶液的離子之間沒有相互的作用（Millero, 1973, 1974c）之下，則水溶液的物化性質就可以用離子加成的觀念來解釋（Millero et al., 1976）。此項觀念最早是由 Young 在 1951年，及 Young and Smith 在 1954年提出（Millero,

1974b , 1975; Millero, Lawson and Gonzalez , 1976; Young, 1951; Young and Smith, 1954 ) 即

$$\Phi = \sum E_i \Phi_i$$

$\Phi$  是水溶液的表觀莫耳性質 (如體積、壓縮性、熱容) ,  $E_i$  是每種離子或鹽含量的莫耳分率, 即  $E_i = e_i / \sum e_i$  ,  $e_i$  是每種離子或鹽的莫耳數,  $\Phi_i$  是其各別的表觀莫耳性質。過去主要是將此定律應用在海水 ( Millero, 1974a, b ) , 由於海水中所含微量的硼酸, 也可能對水溶液產生影響, 所以經過 Millero 等人的修正 (Emmet and Millero ; 1974 ; Millero, 1973 , 1974a , b ) , 將此定律修改為 :

$$\Phi = \sum E_M E_X \Phi_{MX} + E_B \Phi_B$$

$\Phi_B$  ,  $\Phi_{MX}$  分別為硼酸、電解質的表觀莫耳性質,  $E_B$ 、 $E_M$ 、 $E_X$  分別為硼酸、陽、陰離子的莫耳分率。利用修正後的 Young's 定律, 則可以成功的用來預測水溶液的熱力學性質 ( Emmet and Millero , 1974 ; Masood et al. , 1977 ; Millero , 1974a, b, c, 1975, Platford , 1974 , 1975 ; Robinson et al. , 1972 ) 。

本論文主要研究的主題是天然淡水的密度和導電度。水中加入鹽之後, 由於受到離子作用的緣故, 必定會影響到水溶液的體積, 而改變溶液的密度。同樣的, 因為離子帶有電荷, 在水溶液中移動, 也會影響水溶液的導電度 ( Chen and Millero , 1977a , Lee and Rodgers, 1974 ) , 因此可以用各離子的表觀莫耳 (或當量) 體積及表觀莫耳 (或當量) 電導 ( Apparent molal conductance ) 來計算所加入的鹽對水溶液密度及導電度的影響。所謂表觀莫耳體積的定義

是：加入的鹽類每莫耳對整個溶液體積產生的影響，即

$$\Phi_v = \frac{V - n_1 V_1^\circ}{n_2} \quad (1)$$

$\Phi_v$ 為加入的鹽的表觀莫耳體積， $V$ 為溶液的總體積， $V_1^\circ$ 則為純水的莫耳體積， $n_1$ 、 $n_2$ 分別為水及所加入鹽的莫耳數。在考慮一大量水體中加入一莫耳的鹽時，由於加入的鹽相對於整個水體的量很小，因此濃度上的變化幾乎可以視為不變。而加入的鹽類引起的體積上的變化，則定義成在某個固定的溫度壓力下，此鹽類的部分莫耳體積，也就是相對於某個溫度、壓力及其他組成比例下，溶液總體積對所加入鹽濃度的偏微分 (Duedall and Weyl, 1967; Millero, 1969a, 1972a; Poisson and Chanu, 1976, 1980)，以數學方式表示即為：

$$\frac{1}{V_2} = \left( \frac{\partial V}{\partial n_2} \right)_{T, P, n_j} \quad (j \neq 1)$$

若純水的密度為  $d_0$ ，溶液密度為  $d$ ， $N_t$  為溶液中鹽的總莫耳數， $M_t$  為鹽的總分子重，代入 (1) 式可以得到：

$$\Phi_v = \frac{1000(d_0 - d)}{d_0 N_t} + \frac{M_t}{d_0}$$

再經過整理之後，就可以得到一個利用表觀莫耳體積來求得溶液密度

的公式 (Millero, 1972a, 1975, Wirth, 1940)

$$d - d_0 = 10^{-3} (M - d_0 \Phi_v) N_t \quad (2)$$

其中  $M = \sum E_i M_i$  ( $M_i$  為鹽或離子的莫耳重量),  $\Phi_v = \sum E_i \Phi_i$ ,  $N_t = \sum e_i$ .

我們所討論的天然淡水的鹽度都非常低, 因此要把表觀莫耳體積擴充應用在非常稀薄 (infinite dilute) 的溶液中。根據過去的研究, 表觀莫耳體積是隨溶液濃度 (或離子強度) 的平方根成線性變化 (Millero, 1972a, 1974a, c), 即

$$\Phi_v = \Phi_v^\circ + S_v C^{1/2} \quad (3)$$

$\Phi_v = \sum E_i \Phi_v^\circ(i)$ ,  $S_v = \sum E_i S_v(i)$ ,  $\Phi_v^\circ$  為在非常稀薄溶液中的表觀莫耳體積, 亦即相當於部分莫耳體積  $V_2$ ,  $S_v$  為實驗式的斜率。若考慮 Debye - Hückel limiting 定律 (Millero, 1971), 則 (3) 式又可更正確的修正為

$$\Phi_v = \Phi_v^\circ + S_v C^{1/2} + b_v C \quad (4)$$

$b_v = \sum E_i b_v(i)$  為實驗式的偏差常數。利用 (4) 式求得的表觀莫耳體積固然較 (3) 式為準確, 但由於大部分鹽的  $b_v$  值很小

(Millero 1974a), 而且我們所探討的水樣鹽濃度都很低, 因此 (4) 式的後面二項, 可大致忽略不計, 而直接以各成分的部分莫耳體積代入 (2) 式, 來求溶液的密度。由過去許多文章發表有關不同的鹽或離子在不同的溶液、溫度下, 表觀莫耳體積或部分莫耳體積的結果

(Millero, 1969a, b, 1970, 1972a, b; Millero and Hansen, 1968; Poisson and Chanu, 1976, 1980; Wirth, 1940), 我們得到各種不同離子在不同溫度下的  $V^\circ$  值 (Millero, 1983)。表 1.1 列出的主要是就本文所分析的離子  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , 在  $25^\circ\text{C}$ , 純水中的  $V$  值。利用離子含量來計算  $\Phi$  值時, 注意  $N_t = 1/2 \sum (e_M + e_X)$ ,  $e_M, e_X$  為陽、陰離子的莫耳 (或當量) 濃度。

另外在導電度方面, 我們也可以利用部分莫耳電導, 從溶液成分上的改變, 來計算溶液導電度的變化 (Brewer and Bradshaw, 1975)。部分莫耳電導的定義也和部分莫耳體積相同, 是在加入一莫耳電解質後, 溶液導電度的變化 (Connors, 1967; Connors and Park, 1967; Connors and Weyl, 1968; Park, 1964), 即

$$\Delta i = 1000 \left( \frac{K_s}{C_i} \right)_{T, P, V}$$

$\Delta i$  是離子或電解質的部分電導,  $C_i$  為其濃度,  $K_s$  為溶液的比電導 (specific conductance), 單位為  $\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$  (Park, 1964), 亦常寫為  $\text{Scm}^{-1}$  (Golterman et al., 1978), 因此  $\Delta i$  的單位為  $\Omega^{-1}\text{cm}^2\text{mol}^{-1}$ , 整個溶液導電度的計算, 也是利用加成的關係, 將所有陰、陽離子或電解質貢獻的導電度相加, 即得到整個溶液的導電度  $K$  (Park, 1964)

$$1000K = \sum E_i \Delta i \quad (5)$$

由於溶液導電度是看各種電解質解離程度而定, 而溫度會影響電解質

表 1.1 各種主要離子在 25°C, 純水中的部分當量體積 (1) 及  
部分當量電導

主要離子	部分當量體積 cm <sup>3</sup> /eq.	部分當量電導 ohm <sup>-1</sup> cm <sup>2</sup> /eq.
H <sup>+</sup>	0.0	349.8 (2)
OH <sup>-</sup>	-3.98	198.6 (3)
1/2 Ca <sup>2+</sup>	-8.92	59.5 (2)
Mg <sup>2+</sup>	-10.58	53.0 (4)
K <sup>+</sup>	9.03	73.5 (2)
Na <sup>+</sup>	-1.21	50.1 (2)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	17.87	73.5 (5)
1/2 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.99	80.0 (6)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28.99	71.4 (7)
Cl <sup>-</sup>	17.82	76.4 (8)
F <sup>-</sup>	-1.16	55.4 (9)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24.29	45.0 (10)
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-1.89	69.3 (11)

(1) 取自 Millero, 1983.

(2) 取自 Bard and Faulkner, 1980; Denaro, 1971; Holler and Enke, 1984; Koryta, 1982; Vassos and Ewing, 1983.

(3) 取自 Vassos and Ewing, 1983.

(4) 取自 Golterman et al., 1978;

(5) 取自 Holler and Enke, 1984; Vassos and Ewing, 1983.

(6) 取自 Denaro, 1971; Golterman et al., 1978; Holler and Enke, 1984; Koryta, 1982; Vassos and Ewing, 1983.

(7) 取自 Bard and Faulkner, 1980; Denaro, 1971; Vassos and Ewing, 1983.

(8) 取自 Holler and Enke, 1984; Koryta, 1982; Vassos and Ewing, 1983.

(9) 取自 Holler and Enke, 1984; Koryta, 1982.

(10) 取自 Golterman et al., 1978.

(11) 取自 Holler and Enke, 1984; Vassos and Ewing, 1983.



解離程度，因此  $K$  也會隨溫度而變化 (Weyl, 1964)，由 Bard and Faulkner, 1980；Denaro, 1971；Golterman et al., 1978；Holler and Enke, 1984；Koryta, 1982；Vassos and Ewing, 1983 的研究綜合，得到各種主要離子在 25 °C，水中的當量導電度值，亦分別列在表 1.1 中。

### 1.1 台灣地區的天然淡水 (湖水及雨水)

利用上述密度與導電度二個計算式 (式 2 及式 5)，來推算台灣地區天然淡水的密度與導電度是本論文的主要研究目的之一。從過去學者研究所發表的結果，得知利用 Young 的加成定律來計算溶液的密度，已經成功的應用在海水，而且密度的觀察值與計算值的最大誤差為 25 ppm (Wirth, 1940)，近年來，更應用在湖水、河口 (Millero, 1975) 及利用標準海水與純水配成的人工河水 (Millero et al., 1976) 方面。然而到目前為止，除美國外，其他地區還沒有發表有關這方面的研究報告，因此本論文便利用這二條計算公式，應用在推算天然淡水 (湖水、雨水) 的密度與導電度，而以台灣地區為主要研究對象，以證明這些計算式是否可以應用在台灣之天然水，並進一步驗證分析方法的可信度，找出誤差的原因。另外也想利用分析水樣成分所得的結果與用密度儀與導電計測得的結果做比較，看是否能找出水樣組成、密度與導電度之間的關係 (Millero et al., 1978)。

上述研究著眼點為理論之探討，然而亦有實際用途。即針對一批採自奧勒岡州火口湖國家公園內火口湖的水樣，其實際運用情形將於第二節中詳細說明。

### 1.2 美國奧勒岡州火口湖國家公園熱泉水之研究

與勒岡大學海洋研究所的Jack Dymond 及 Robert Collier 及聖塔巴巴拉，加州大學的海洋學家John Lupton 研究奧勒岡州火口湖國家公園內的火口湖已經有四年了。根據野外初步的調查，曾在這個地區的湖底，量到有局部溫度及稀有氣體氦同位素含量的變化 (Collier et al., 1988; Lupton et al., 1988)。由於氦是富集於地函中的氣體，在局部發現氦同位素異常的地區，一般認為可能是地函熱流活動較劇烈的地區，因此Dymond等人認為在這個火口湖底可能有熱泉活動 (Collier and Dymond, 1987)。

火口湖位於奧勒岡州西南方的火口湖國家公園內，過去是一個叫Mazama火山所在的位置。這個火山在6840年前的一次噴發後，由於後來沒有岩漿的供給，火山口塌陷，造成一個火山口 (Caldera)，而形成一個火口湖。由於火山附近沒有河川，因此湖水的主要來源是雨水 (Volchok et al., 1983; Volchok et al., 1970)，其水質很清，其中所含溶解固體的量不超過100ppm。火口湖的直徑約有8 公里，面積超過50平方公里，平均深度325 公尺，最深的地方有590 公尺，是美國最深的湖泊。(Volchok et al., 1970; Williams and von Herzen, 1983)。早在1896年就有人對火口湖的深水水溫做過調查，之後陸續也有很多人測量 (Williams and von Herzen, 1983)，但真正採集水樣做分析，卻是在1967年夏天才開始 (Volchok et al., 1970, 1983)。那時主要是分析水樣及沈積物中的同位素變化，如  $^{90}\text{Sr}$ ， $^{137}\text{Cs}$ ， $^3\text{H}$ 。由分析結果，發現這些放射性核種在整個水柱中的垂直分佈相當均勻，代表湖水上下混合得很好 (Volchok et al., 1983)。由 Williams and von Herzen 對火口湖熱流的研究，發現湖底局部地區熱流值較高，初步認為可能在這些地區有熱流的對流作用。由於湖底地質是屬於年輕的火山岩，因此熱流有可能從湖底局部有裂隙的地方進入湖中 (Williams and von Herzen, 1983)。

由Dymand and Collier 等人在1987年的野外調查結果，有些證據強烈顯示有熱泉進入湖底的事實。從火口湖所採水樣分析的結果得知其中富含來自地函的氮同位素，而且有隨深度增加而濃度增加的趨勢 (Lupton et al., 1983)。同時隨深度增加，溫度也有增加的現象。另外在許多地區，尤其在Wizard島的東南方，發現有源自熱水的鐵錳水合氧化物的沈積物，由這些沈積物的形成，指出可能在沈積物上方的水體中，有熱或化學性質上的異常 (Dymond et al., 1988)，這些證據都在支持有熱泉進入湖中的說法。

如果真的有熱泉進入湖中，除了會帶來較熱的水，而與上層較冷的水混合，可能造成水柱的不穩定之外，也可能會帶來一些溶解的金屬鹽或鹽類進入湖中，如此一來，必定會改變湖水的物理化學性質，影響到水中的生態系統。因此除了進行多方面化學分析，包括水中主要離子，鹹度，及物理性質（如密度、導電度），以支持過去的研究結果 (Williams and von Herzen, 1983)，證實熱泉存在之外，我們更希望以實際之密度測量，以求了解水柱的穩定性。

## 二、取樣及實驗方法

### 2.1: 取樣方法

#### 2.1.1: 野外工作

在野外進行的工作，主要是獲取湖水基本化學資料。在採樣之前，先當場以校正後的 Suntex sp - 33 手提式 pH 儀測量 pH 值；以 YSI MODEL 58 溶氧測定儀測量水溫、溶氧量。取來的水樣以 Nelgene 塑膠過濾裝置及 MSI Nylon 66, 0.45 微米的濾紙過濾之後，冷藏，帶回實驗室分析（陳鎮東等人，1987）。

#### 2.1.2: 取樣方法

裝取水樣的 PE 瓶及各式器皿，先以 Elixir 溶液 ( $H_2O: HCl: CH_3OH = 8:1:1$ )（黃建忠，1987）的酸性清潔液浸泡；酸洗之後再分別用自來水，蒸餾水及去離子蒸餾水依次沖洗乾淨，陰乾備用。水樣於湖邊或以遙控塑膠艇或出租船隻於湖心部分採集。通常每一湖沼，視範圍大小採二到三點，每一點則依深淺不同，以 HYDRO-BIOS TPN 採水器，分為上、中、下三層取水。若有水深過淺，或不易取得，則機動性分二層、或只取表層水（陳鎮東等人，1987）。雨水部分是利用滑動式或搖擺式二種自動雨水收集器收集（洪佳章和陳鎮東，1987）。

### 2.2 : 樣品來源

湖水部分主要是由國科會計劃“台灣地區湖沼酸化程度的過去，

當前與未來”在過去三年中，在全省重要水庫或湖泊所採的樣品。實驗所分析的水樣採集位置，分別標示在圖2.1中。雨水部分則來自行政院衛生署環保局的計畫”高南地區酸雨現況及天然水域酸化程度”在南部地區所設立的十個雨水收集站，自74年12月到76年6月止所收集水樣的一部份，及76年6月後到77年2月之間，本所繼續在中山大學收集站所收集的雨水。雨水收集站設置的地點可見圖2.2。

與勒岡州火口湖的水樣，則是由Collier在1987年8月於火口湖國家公園內採集之後，以玻璃瓶裝罐，空運來台。圖2.3是火口湖及其部分樣品採集地點。

### 2.3 : 實驗方法

在野外處理後的水樣，帶回實驗室進行pH值、密度、導電度的測量，並分析水樣中主要離子的含量及含量及總鹼度 (total alkalinity)。詳細方法在下面分段加以敘述。

#### 2.3.1 pH值與總鹼度的測量

以Radiometer原廠出產的pH=4.01 及7.00的緩衝溶液校正PHM 85 Precision pH meter後，在測量總鹼度之前，記錄水樣的pH值。配合ABU 85自動滴定儀及Julabo F10-UC 恆溫水槽維持實驗當中水樣的溫度為 $25^{\circ} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ 。計算水樣的總鹼度是利用格蘭滴定法 (Gran titration)，以標定後的稀硫酸來滴定水樣。在滴定的過程中，記錄下水樣pH值從4.5 到3.5 之間約十個滴定值，記錄每次累積用掉的酸量，及水樣的pH值，以公式

$$F = 10^{-\text{pH}} (V_s + V_a)$$

A: 0	~	< 0.05 meq/l
B: 0.05	~	< 0.2 meq/l
C: 0.2	~	< 0.5 meq/l
D: 0.5	~	< 1.0 meq/l
E: 1.0	~	< 2.0 meq/l
F: $\geq 2.0$		meq/l

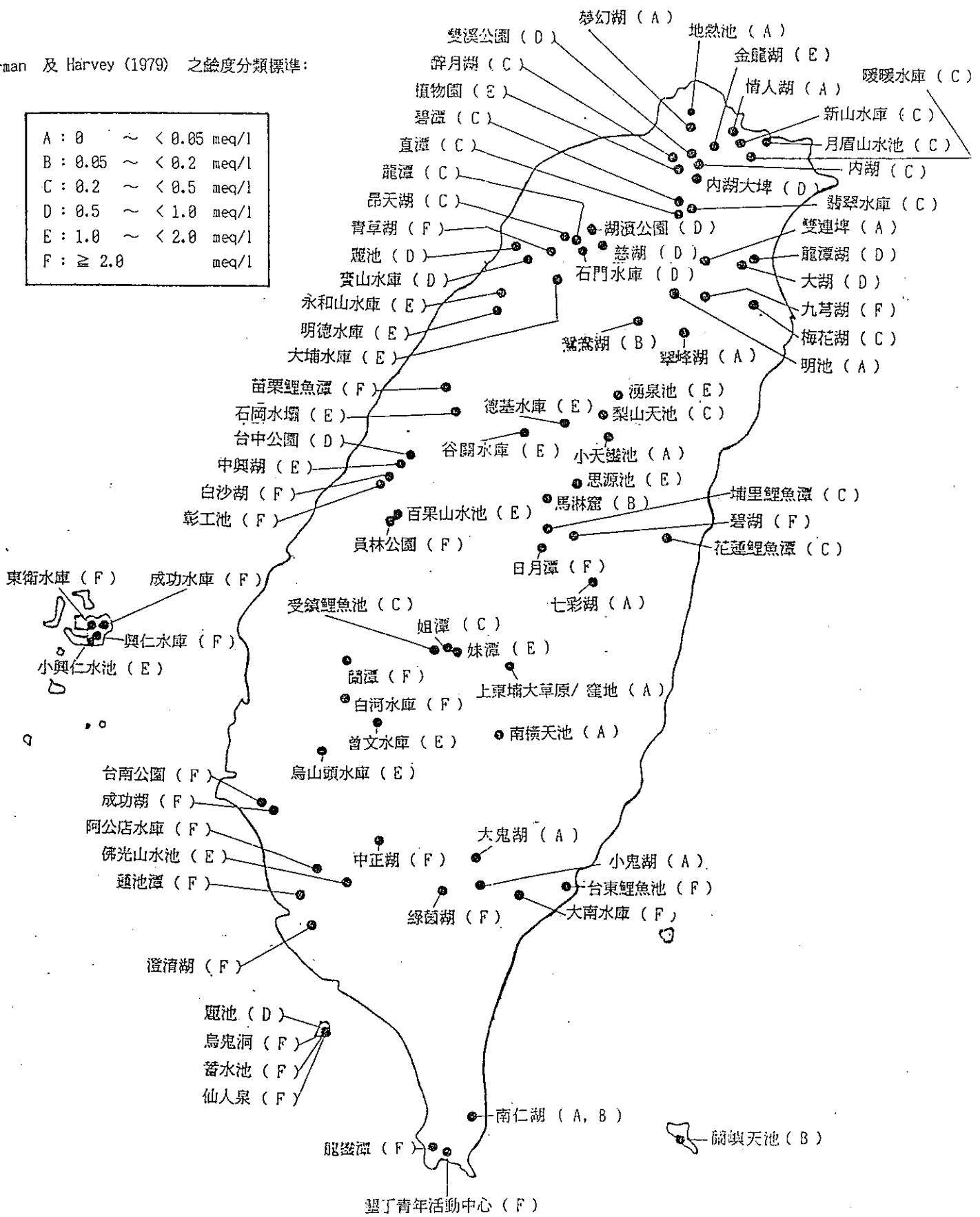


圖 2.1 台灣地區湖沼, 水庫的採樣位置及其鹼度分布圖 (修改自陳鎮東等人, 1988)

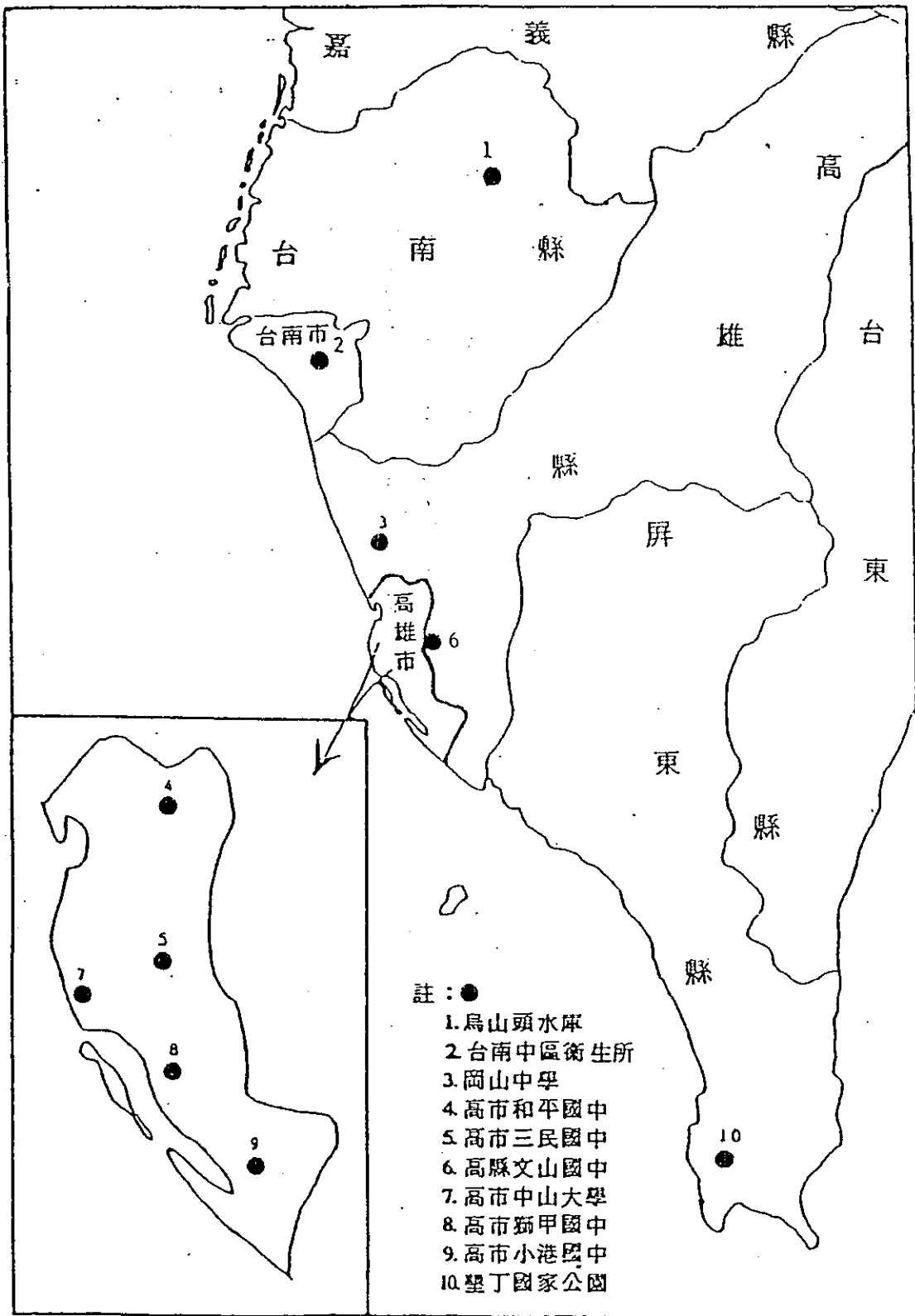


圖 2.2 雨水收集站的分佈地理位置圖 (取自洪佳章和陳鎮東, 1987)

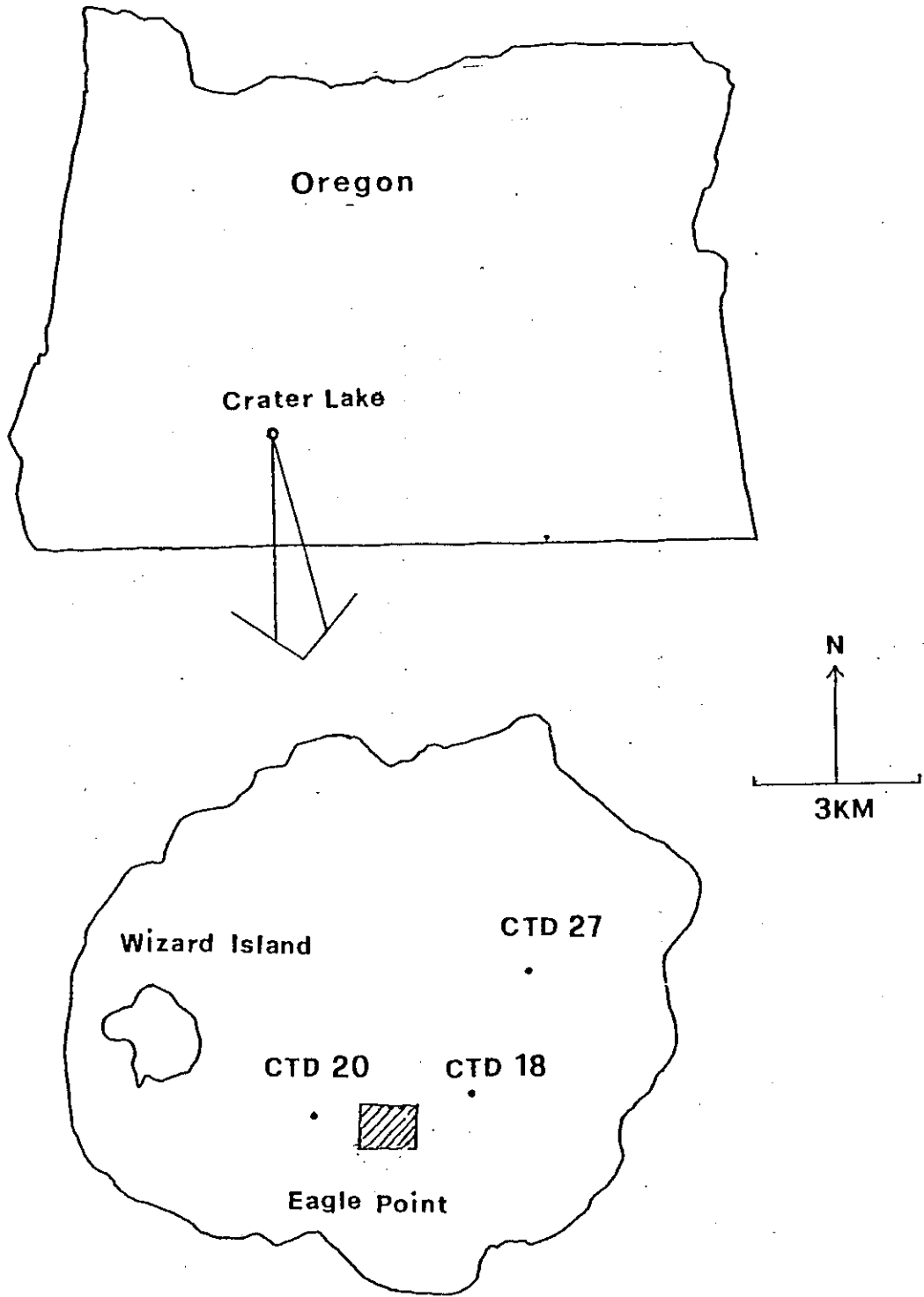


圖 2.3 奧勒岡州火口湖及其採樣位置圖，斜線區域為部分樣品採集區



分別計算F 值，此處 $V_s$ 為樣品的體積（毫升）， $V_a$ 為累積的用酸量（毫升）。再以每次累積用掉的酸量和計算所得的F 值做線性迴歸，來計算滴定終點體積 $V_e$ ：

$$V_e = -a/b$$

a 為迴歸後得到的截距，b 為迴歸所得的斜率，而總鹼度A 則可根據下列公式求得（Zimmerman and Harvey , 1978）：

$$A=V_e \times 10^{-6}N/V_s$$

其中N 為標定的酸當量。酸的標定是利用一配好已知濃度的氫氧化鈉溶液，以相同的滴定法，滴定配好濃度約為0.01當量濃度的稀硫酸，來求出酸的真正濃度。稀硫酸標定的結果可見表2.1 。湖水及雨水各水樣標定所得的總鹼度，則分別列在表3.3 及3.4 中。

### 2.3.2 密度的測量方法

利用高精密度的數字型密度儀（PAAR DMA 602）配合 HETOFRIG 04 PT623 CB7 恆溫水槽，控制測量時整個系統的溫度在 $25^{\circ} \pm 0.01$  °C。密度儀測量密度的方法，是將一個U 型的真空玻璃振盪管以針筒注滿液體（或氣體）樣品，或是使樣品連續通過振盪管，再用振盪器來振盪。密度儀的構造圖可見圖2.4（Chen, 1977）。由於樣品密度不同，U 型管的總重量也不同，因此振盪後會產生不同的週期。利用週期的變化，根據公式：

$$d-d_0=K(\tau^2-\tau_0^2)$$

表 2.1 以氫氧化鈉溶液標定稀硫酸的結果

實驗次數	樣品體積 ml	滴定終點酸體積 ml	酸當量 eq./l
1	20.03	1.0213	0.00981
2	20.01	1.0202	0.00981
3	20.04	1.0052	0.00997
4	20.04	1.0115	0.00991
5	20.04	1.0090	0.00993

註：酸之當量平均約為： $0.00989 \pm 0.000073$  eq./l

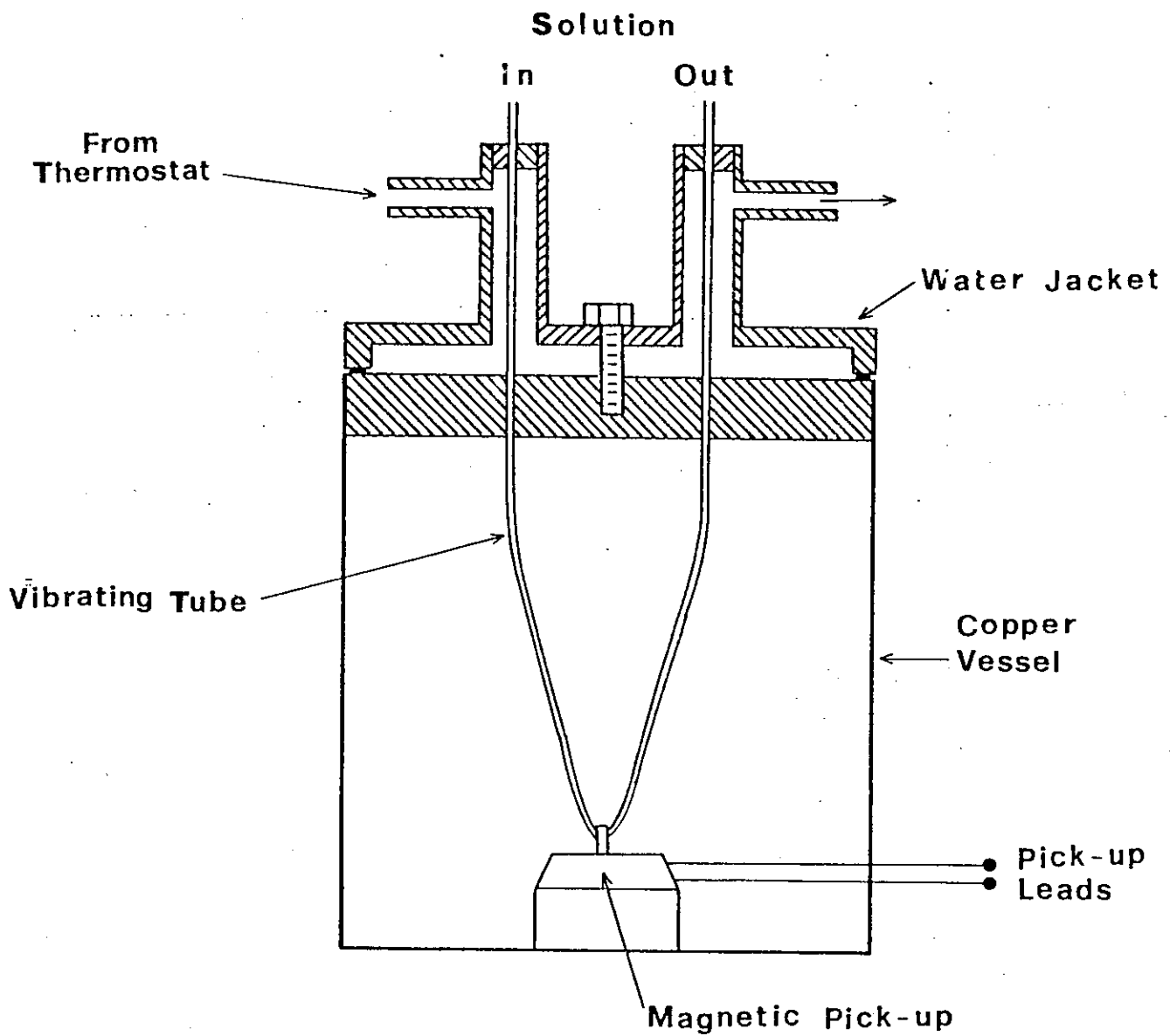


圖 2.4 振動密度儀的構造圖 (取自 Chen, 1977)

來計算密度， $d$ 和 $d_0$ 分別為未知溶液與參考溶液的密度， $\tau$ 和 $\tau_0$ 則分別為振盪管裝滿未知溶液或參考溶液後，所得到的振盪週期， $K$ 為儀器常數（Chen，1977；Picker et al.，1974）。 $K$ 值的求法可以用二種已知密度的溶液，通常是利用乾燥的空氣與去離子蒸餾水來做（Emmet and Millero，1974）。由於每天開機的狀況不同，所以每天得到的 $K$ 值也不相同。以當天的空氣與去離子蒸餾水求出儀器常數 $K$ 之後，代入未知樣品的振盪週期，即可求出樣品的密度。

通入樣品時必須注意保持注入的流速一定，以避免空氣進入，及避免因注入樣品速度太快，而在管中產生微小的氣泡，影響到待測溶液真正的振盪週期。因此在注入樣品前，最好能先儘量趕出針筒中已存在的空氣。另外分析的水樣中若含較多有機物，則會在管壁附有一層有機質。因此在測量後必須通入丙酮等揮發性液體，清洗管壁，以免污染其他水樣，及造成測量上的誤差。

由於 $K$ 值是一個受溫度影響的變數，因此在測量期間，我們必須用恆溫槽來控制整個系統的溫度。DMA 602 數字型密度儀在溫度變化0.01度時，對純水而言，因振盪器引起的偏差就有 $\pm 3$ ppm（DMA 儀器操作手冊），不同的樣品，產生的偏差也就不相同。密度儀精確度的求法，可以利用標準海水來做。將IAPSO 標準海水（Batch No.P106， $K_{15}=0.99989$ ）用密度儀所測得的密度差（海水密度—純水密度）與利用海水的狀態方程式（equation of state）（Chen and Millero，1977b）計算所得的密度差比較，即可得知密度儀的精確度，比較的結果可見表2.2。實驗七次，平均測量與計算值的誤差為2.06 ppm。

另外密度儀重現性的分析是以1988年2月28日在澄清湖所採的水

表 2.2 標準海水密度的測量值與計算值之比較

實驗次數	$1000 \Delta d_1, ^1$ $10^{-6} \text{ g/cm}^3$	鹽度 <sup>2</sup>	$1000 \Delta d_2, ^3$ $10^{-6} \text{ g/cm}^3$	$1000 (\Delta d_1 - \Delta d_2), ^4$ $10^{-6} \text{ g/cm}^3$
1	26.29582	34.9958		0.07
2	26.29607	34.9961		0.32
3	26.29948	35.0006		3.73
4	26.29899	34.9999	26.59575	3.24
5	26.29728	34.9977		1.53
6	26.29583	34.9958		0.08
7	26.30118	35.0003		5.43

註 1 :  $\Delta d_1$  = 測量的相對密度差

2 : 根據  $1000 \times (\Delta d_1 - \Delta d_2) = 26.299 + 0.75672 \times (S - 35) + 2.045 \times 10^{-4} \times (S - 35)^2$   
(Chen and Millero, 1977 b)

3 :  $\Delta d_2$  為由鹽度計算的相對密度差 (Chen and Millero, 1977 b)

4 : 平均 :  $2.06 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$

樣為主。在每次測量當天重複測量，及連續長期測量，看所得的密度值隨時間的變化，就可以知道重現性的好壞，實驗的結果列在表 2.3 中，再現性為 $\pm 1.55$  ppm。過去利用密度儀測量密度所得的結果為：Picker 等人(1974) 利用氯化鈉溶液所做的重現性為 $\pm 3$ ppm，長時間的重現性則偏移有5 到10ppm；1976年 Millero 等人利用純水與標準海水 (P<sub>6a</sub>) 校正的再現性為 $\pm 2$ ppm；精確度為 $\pm 3$ ppm (Millero et al., 1976a)；Millero and Kremling 發表的再現性為 $\pm 3$ ppm，精確度為 $\pm 5$ ppm (Millero and Kremling, 1976)。Millero and Emmet 利用乾燥氮氣及離子交換後的 Miami 海水校正，其精確度亦為 $\pm 3$ ppm (Millero and Emmet, 1976)。同年 Millero 等人利用離子交換純水與標準海水 (P<sub>6b</sub>) 校正，精確度也為 $\pm 3$ ppm (Millero et al., 1976b)。另外 Millero 等人利用氮氣、純水、標準海水校正，精確度為 $\pm 3$ ppm (Millero et al., 1978a)。同年，Millero 等人利用離子交換後純水與標準海水 (P<sub>7a</sub>) 校正，精確度也為 $\pm 3$ ppm (Millero et al., 1978b)。1981年 Poisson 等人利用標準海水 (P<sub>7b</sub>) 測得的精確度為 $\pm 2$ ppm (Poisson et al., 1981)。

### 2.3.3 導電度的測量方法

利用數字型導電度計 (Basic Model DCM-3 / digital conductivity meter)，測量時將電極插入樣品中，並維持在恆溫 25°C 下記錄顯示的數值，即為溶液的導電度。在測量前導電度計事先必須先以二種不同濃度的氯化鉀標準溶液校正。校正標準液的配製乃依 H. L. Golterman 等人的說明 (1978)：秤取乾燥後高純度氯化鉀 (Merck KCl max 0.005% Br) 0.7456 克，加去離子蒸餾水稀釋到 1000 毫升，此時濃度為 0.01M，導電度 $1413 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。再稀釋十倍，其導電度  $147 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。另一種標準液的配製，則是依照 Basic 儀器操作說明，秤

表 2.3 密度儀重現性之分析 (單位:  $10^{-6} \text{ g/cm}^3$ )

實驗次數	第一次測量	第二次測量
1	360.71	361.61
2	361.80	362.55
3	359.55	361.97
4	362.00	360.78
5	358.07	358.14
6	359.41	361.82

註：樣品為 77 年 2 月 28 日所採的澄清湖湖水  
平均值為  $(360.70 \pm 1.55) \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$

取同樣乾燥後的氯化鉀0.7440克，加水配到1000毫升，再稀釋十倍，其導電度為 $146.93 \mu\text{S}/\text{cm}$ 。配好二種濃度的標準液之後，在恆溫 $25^\circ\text{C}$ 下，插入電極，將溫度補償開關調到 $25^\circ\text{C}$ ，調整電極常數補償開關，使顯現出的二個標準液的讀值與 $25^\circ\text{C}$ 的標準值相同後，即校正完畢。

#### 2.3.4 陰陽離子含量的測定

早先分析陰陽離子的方法是根據 Standard Method for the Examination of Water and Waste Water (1981):

##### (a) $\text{SO}_4^{2-}$ : Turbidimetric Method

- (1) Conditioning Reagent: 取 50 ml 甘油, 30 ml 濃鹽酸, 100ml、95.5%的酒精及 75 g 氯化鈉, 加入300 ml的蒸餾水。
- (2)  $\text{BaCl}_2$ : 結晶顆粒。取試水 50ml, 加入 25ml 之 Conditioning Reagent, 混合均勻後再加入 0.2g~0.3g 的  $\text{BaCl}_2$ 結晶, 攪拌一分鐘後, 以 Hach Turbidimeter 測定, 每 30 秒讀值 1 次, 連續 4 分鐘, 再取最高值。標準溶液須以 RDH分析級之  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  配製, 其線性範圍在 10~40 ppm之間, 若試水之  $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度低於 10ppm可採取標準添加法測得。

##### (b) $\text{NO}_3^-$ : Cadmium Reduction Method

- (1)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -EDTA: 溶解13g 的  $\text{NH}_4\text{Cl}$  及1.7 g EDTA至 900 ml, 以  $\text{NH}_4\text{OH}$ 調整試劑至 pH 8.5 後再稀釋至 1L。
- (2) 稀釋的  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -EDTA: 取 300ml (1) 試劑, 稀釋至 500ml。
- (3) Sulfanilamide 試劑: 取 5g之 Sulfanilamide至50ml 濃硫酸及300ml蒸餾水的混合液, 再稀釋到500 ml。



(4) N - (1-Naphthyl) - Ethylenediamine Dihydrochloride  
試劑：溶解 0.5g 的 NED Dihydrochloride 於 500ml 蒸  
餾水中，並貯於棕色瓶。如果試劑變成棕色，則需重新  
配製。取試水 25ml，加入 75ml 稀釋之  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -EDTA  
試劑，混合均勻，倒入裝有 Cd(Cu) 之還原管中，以每  
分鐘 7~10 ml 的流速流經 Cd 還原管。最先的 25ml 溶  
液流掉不用，只接取剩餘的 75ml。再從後者取 50ml 加入  
2ml 的 Sulfanilamide Reagent，2~10 分鐘後再加入  
2ml N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine，使其反應 10  
分鐘後，置於 Spectrophotometer (Hitachi Model-3200)  
中，以波長 540 nm 測定。以 RDH 分析級  $\text{KNO}_3$  配製標準  
溶液，線性範圍在 0.05~1 ppm 間 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )。

(c)  $\text{Cl}^-$  : Mercury Thiocyanate Method (Florence, 1971)。

(1)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  : 溶解 15.1g 的  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  於 45ml 72%  
的  $\text{HClO}_4$  中，並稀釋至 100 ml。

(2)  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$  : 配製飽和的  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$  於酒精之中。取試水  
20ml，加入 2ml MERCK 分析級的硝酸鐵，再加入 2ml  
RDH 分析級之硫氰化汞  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$ ，混合均勻 5 分鐘後，  
置於 Spectrophotometer (Hitachi-Model-3200) 中，以  
波長 460 nm 測定。標準溶液以 Merck 分析級之  $\text{KCl}$  配  
製，線性範圍在 0~5 ppm 之間。

(d)  $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  : 原子吸收光譜儀法

(1) 標準溶液之配製： $\text{Ca}^{+2}$ 、 $\text{Mg}^{+2}$  的標準溶液，以和光廠  
牌的 Stock Solution (1000 ppm) 配製。而  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$  則  
各稱取經 105°C，24 小時烘乾之  $\text{KCl}$ 、 $\text{NaCl}$  (和光，純  
度 99.5%) 約 1.09 g 及 2.54 g，記錄所取的量至小數第  
四位，再以去離子蒸餾水稀釋至 1 公斤重，其濃度為 (所稱克數 /  
 $\text{KCl}$  分子量  $\times$  K 原子量) 或 (所稱克數 /

NaCl分子量 × Na 原子量 )。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>的線性範圍各在 5 ppm、0.5ppm、2 ppm及1ppm 以內。

- (2) 儀器設備：以Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer, Model 2380 測定。Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>，所使用之波長分別為422.7 nm、285.0nm、766.5 nm及589.0nm，所用燃料為 Air-acetylene。使用前以欲測離子之標準溶液校正儀器，使其吸收值達最大值。
- (3) 試水之測定：測定 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 時，標準溶液及試水須加入 3%的 Merck Suprapure HCl及 500 ppm的 La，以去除測定Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>之化學干擾。測定 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>時，標準溶液及試水則須加入 3%的 Merck Suprapure HCl及 500 ppm的 Li(原子吸光用的標準 Stock Solution)，以去除離子化干擾。

亦有部分離子分析是以Dionex series 2000i 離子層析儀 (Ion Chromatography meter) 分析水樣中主要陽離子 ( Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>，K<sup>+</sup>，Na<sup>+</sup>，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 及陰離子 (F<sup>-</sup>，Cl<sup>-</sup>，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 的含量。各分析方法的精確度與準確度的比較，可見表 2.4。水樣中HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>，及CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>的含量，則可由計算得到。由於所採湖水的pH值幾乎都落在6 到8 之間，由二氧化碳系統中的 CO<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>，在海水與純水中隨pH值改變，而相對含量的變化 (Golterman et al., 1978, Horne, 1969; Skirrow, 1975)，可以知道在pH值為6 到8 之間，以HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 為最豐富。根據滴定鹼度的定義，總鹼度是水體中可和酸反應的鹼量，代表水體的緩衝能力，即

$$C_{\text{HCO}_3^-} + 2C_{\text{CO}_3^{2-}} + C_{\text{OH}^-} + C_{\text{B(OH)}_4^-} - C_{\text{H}^+}$$

(Harvey, 1974; Riley and Chester, 1971)，另外再加上

表 2.4 水樣分析的精確度與準確度 (取自陳鎮東等人, 1988)

Samples Parameters	methods	NBS Rainwater				ERA Certified X Dev.(%)			
		2694 I Certified X Dev.(%)		2694 II Certified X Dev.(%)					
pH	a	4.30	4.30	0	3.59	3.58	0.28	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	b, d	2.69	2.64	1.9	10.80	10.66	1.30	52.0	52.4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	b, c	—	—	—	7.06	7.50	6.23	18.2	18.1
Cl <sup>-</sup> (ppm)	b	0.24	0.25	4.2	1.00	0.98	2.00	—	—
Ca <sup>2+</sup> (ppm)	e	0.014	0.016	14.3	0.049	0.049	0	27.0	27.8
Mg <sup>2+</sup> (ppm)	e	0.024	0.024	0	0.051	0.051	0	—	—
K <sup>+</sup> (ppm)	e	0.05	n.d	n.d	0.106	0.096	9.40	11.0	11.6
Na <sup>+</sup> (ppm)	b, e	0.20	0.21	5.0	0.419	0.416	0.72	55.0	53.8

a: Potentiometry

b: Ion chromatography

c: Cadmium reduction

d: Turbidimetric method

e: Atomic absorption spectrophotometry

n.d: not detectable

— : not certified

$C_{\text{organic acid}}$ 。在淡水中， $C_{\text{B(OH)}_4^-}$  的量很小，可忽略不計。所以

由滴定求得的總鹼度，可求出  $C_{\text{HCO}_3^-} + 2C_{\text{CO}_3^{2-}}$  的量。另外，在  $25^\circ\text{C}$ ， $\text{Cl} = 0$  下，由碳酸的解離常數 (Hutchinson, 1975; Riley and Chester, 1971)

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad \text{p}K_2 = 10.33$$

知道溶液的 pH 值，即可求出  $[\text{CO}_3^{2-}]$  與  $[\text{HCO}_3^-]$  的比值，進而求出  $\text{HCO}_3^-$  與  $\text{CO}_3^{2-}$  各別的含量。所有湖水與雨水分析的結果均分別列在表 3.3 及 3.4 中。

### 2.3.5 有機酸含量的測定

由所採湖水水樣的分布位置可以看出，大部分的湖泊、水庫，若非位於森林區，即是分布在人煙稠密或是著名的風景區內，受森林之有機物及人為活動的影響較大，可能會使水中的有機質增加。基於這項考慮，因此在分析水樣時，再增加分析有機酸部分。利用 Series 4000i 來分析有機酸，主要是分析甲酸 ( $\text{HCOOH}$ )，乙酸 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )，丙酸 ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ )，酒石酸 ( $\text{C}_2\text{H}_2(\text{OH})_2(\text{COOH})_2$ ) 等，雨水部分也是如此。袁中新在 1986 年的碩士論文中也曾經提到，在分析台灣地區的雨水時必須要考慮增加分析有機酸的部分。由於有機酸的測定仍不普遍，因此在本論文中所分析有機酸部分，主要還是用來做比照參考之用。

### 三、 結果及討論

#### 3. 1 有機酸部份當量體積及部分當量電導的測定

Millero (1971, 1972a, 1974a, c) 認為，任何一個離子，它的偏莫耳（或當量）體積，和此種離子濃度（或離子強度）的平方根呈線性關係。表1.1 中沒有列出有機酸的部分當量體積，而且文獻中也沒有這方面的資料，所以，我們拿配好各種不同濃度的有機酸（丙酸），以密度儀分別測出其密度，即可根據公式反推算丙酸的表觀當量體積。利用丙酸濃度的平方根，與公式（2）計算所得的 $\Phi_v$ 值，作線性迴歸，相關值為 0.942。將直線外插到濃度為零的地方，即可得到丙酸的部分當量體積 $\Phi_v$ 。實驗結果列在表3.1。

Denaro (1971) 及 Koryta (1982) 指出，離子的部分當量電導，也是和離子濃度的平方根成線性關係。所以我們也可以利用不同濃度的丙酸所測得的導電度與濃度的平方根做直線迴歸，所得的截距，即為丙酸的部分當量電導（表3.2）。

#### 3. 2 台灣地區的雨水及湖水

實驗分析的結果，包括湖水及雨水的 pH 值，鹼度，主要離子等，分別列在表3.3, 3.4, 密度，導電度之測量值與計算值的比較則列在表 3.5, 3.6。由於水體可以視為一個電中性體（即水體不帶電）；因此水體中陰陽離子當量總和應該相同。我們把全省 86個採水點共 320個湖水水樣及10個雨水收集站共 113個雨水水樣的陰離子當量總和對陽離子當量總和，分別作線性迴歸分析，可得到相關值為 0.924，斜率為1.058，表示陰離子比陽離子含量多5.85%（圖3.1）；湖水相關值為0.988，斜率為1.062，表示陰離子比陽離子含量多 6.16%（圖

表 3.1 丙酸部分當量體積的測定

當量濃度 eq/l	相對密度差 $10^{-6} \text{ g/cm}^3$	表觀當量體積 $\text{cm}^3/\text{eq}$
0.00215	$1.8900 \times 10^{-4}$	-13.905
0.003423	$2.9899 \times 10^{-4}$	-13.308
0.005945	$5.106 \times 10^{-4}$	-11.843
0.00934	$7.9801 \times 10^{-4}$	-11.394
0.012827	$1.0954 \times 10^{-3}$	-11.349

註：利用當量濃度的平方根與表觀當量體積迴歸後，得到的截距為 -15.54，此即為丙酸的部分當量體積。

表 3.2 丙酸部分當量電導的測定

當量濃度 eq/l	0.00215	0.00342	0.005945	0.00934	0.01287
導電度 $\mu S/cm$	238	302	396	494	569

註：利用當量濃度的平方根與導電度迴歸後，得到的截距為 10.74，此即為丙酸的部分當量電導。

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

採樣地點	-----											Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm	
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>				丙酸
翠峰湖	5.66	0.001	0.009	0.011	0.005	0.014	0.013	<0.006	0.007	0.001	0.000	n.d.	0.041	0.021	1.747
	5.83	0.005	0.011	0.011	0.006	0.017	0.015	<0.006	0.011	0.005	0.000		0.046	0.031	2.400
	5.60	0.002	0.015	0.012	0.005	0.012	0.016	<0.006	0.006	0.002	0.000		0.046	0.024	2.020
	5.75	0.006	0.009	0.011	0.008	0.013	0.013	<0.006	0.010	0.006	0.000		0.043	0.029	2.290
	4.70	0.003	0.011	0.012	0.005	0.017	<0.005	<0.006	0.013	0.003	0.000		0.045	0.016	1.597
	4.68	0.008	0.009	0.013	0.003	0.012	<0.005	<0.006	0.014	0.008	0.000		0.037	0.022	1.716
	4.86	0.005	0.009	0.011	0.003	0.018	<0.005	<0.006	0.007	0.005	0.000		0.041	0.012	1.399
	5.86	0.013	0.031	0.016	0.003	0.019	0.038	<0.006	0.006	0.013	0.000		0.070	0.057	4.170
	5.84	0.015	0.033	0.017	0.003	0.019	0.041	<0.006	0.008	0.015	0.000	n.d.	0.073	0.064	4.610
	6.63	0.049	0.062	0.138	0.025	0.529	0.159	0.014	0.477	0.049	0.000		0.754	0.699	44.480
情人湖	6.40	0.062	0.065	0.146	0.025	0.522	0.157	0.017	0.480	0.062	0.000		0.759	0.715	45.430
	6.63	0.050	0.063	0.138	0.025	0.529	0.161	0.020	0.484	0.050	0.000		0.755	0.715	45.260
	6.69	0.056	0.068	0.140	0.020	0.508	0.161	0.012	0.474	0.056	0.000		0.736	0.703	44.220
	6.25	0.038	0.034	0.147	0.022	0.513	0.173	0.034	0.583	0.038	0.000	n.d.	0.718	0.827	48.595
	6.12	0.041	0.036	0.216	0.021	0.500	0.175	0.045	0.577	0.041	0.000		0.772	0.838	49.889
	6.22	0.041	0.039	0.154	0.021	0.503	0.180	0.045	0.606	0.041	0.000		0.717	0.872	50.513
	6.22	0.044	0.035	0.150	0.020	0.476	0.175	0.026	0.586	0.044	0.000		0.681	0.831	47.790
	5.92	0.025	0.017	0.031	0.008	0.055	0.020	--	0.051	0.025	0.000	n.d.	0.112	0.096	6.600
	6.05	0.030	0.016	0.031	0.008	0.051	0.019	--	0.046	0.030	0.000		0.107	0.095	6.580
	6.09	0.038	0.022	0.032	0.008	0.047	0.027	--	0.041	0.038	0.000		0.109	0.106	7.260
雙連埤	6.01	0.043	0.021	0.032	0.020	0.051	0.025	--	0.043	0.043	0.000		0.125	0.111	8.130
	6.02	0.074	0.073	0.045	0.009	0.054	<0.005	0.006	0.055	0.074	0.000		0.181	0.135	10.439

-- : 無測值

n.d. : not detectable

\* : 未加入丙酸

續下頁



表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

採樣地點	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	合鹽量 ppm
													meq./l	meq./l	
夢幻湖	4.51	0.000	0.030	0.039	0.020	0.114	0.120	0.011	0.113	0.000	0.000	0.000	0.234	0.244	14.950
	4.52	0.000	0.031	0.039	0.014	0.110	0.121	0.006	0.090	0.000	0.000	n. d.	0.224	0.217	13.550
	4.54	0.000	0.036	0.044	0.044	0.114	0.140	0.006	0.106	0.000	0.000	0.000	0.267	0.252	16.450
鴛鴦湖	4.75	0.022	0.023	0.040	0.057	0.179	0.141	0.026	0.209	0.022	0.000	0.000	0.299	0.397	24.254
	4.70	0.009	0.023	0.041	0.060	0.186	0.143	0.019	0.214	0.009	0.000	0.000	0.310	0.385	23.774
	6.61	0.136	0.052	0.088	0.006	0.013	0.054	--	0.005	0.136	0.000	n. d.	0.159	0.195	13.740
昂天湖	6.58	0.120	0.049	0.082	0.006	0.021	0.051	--	0.015	0.120	0.000	0.000	0.159	0.186	13.010
	5.69	0.016	0.025	0.041	0.004	0.012	0.027	--	0.013	0.016	0.000	0.000	0.083	0.055	4.170
	7.17	0.403	0.301	0.074	0.079	0.148	0.064	--	0.139	0.402	0.001	n. d.	0.602	0.606	45.960
龍潭	7.19	0.399	0.292	0.072	0.081	0.139	0.054	--	0.124	0.398	0.001	0.000	0.585	0.577	44.390
	7.25	0.401	0.289	0.070	0.081	0.139	0.054	--	0.122	0.400	0.001	0.000	0.580	0.576	44.350
	7.24	0.248	0.221	0.138	0.072	0.266	0.227	--	0.223	0.247	0.000	n. d.	0.697	0.697	48.910
醉月湖	7.23	0.262	0.221	0.137	0.067	0.258	0.225	--	0.210	0.261	0.000	0.000	0.683	0.697	48.860
	7.21	0.264	0.215	0.142	0.067	0.265	0.218	--	0.213	0.264	0.000	0.000	0.689	0.695	48.840
	6.97	0.351	0.295	0.183	0.029	0.164	0.222	--	0.137	0.351	0.000	0.000	0.671	0.710	49.960
月眉山	7.35	0.345	0.307	0.179	0.029	0.167	0.227	--	0.136	0.344	0.001	0.043	0.682	0.708	50.020
	7.23	0.328	0.289	0.176	0.029	0.164	0.225	--	0.137	0.327	0.001	0.000	0.657	0.691	48.490
	7.31	0.473	0.246	0.289	0.029	0.491	0.262	--	0.351	0.472	0.001	0.000	1.066	1.086	74.730
新山水庫	7.12	0.315	0.203	0.264	0.029	0.486	0.305	0.060	0.353	0.315	0.000	0.000	0.982	1.033	69.689
	6.90	0.527	0.098	0.267	0.024	0.686	0.275	0.034	0.340	0.527	0.000	0.000	1.075	1.176	81.450
	7.43	0.416	0.136	0.400	0.026	0.825	0.345	0.029	0.341	0.415	0.001	n. d.	1.386	1.131	83.340
	7.46	0.417	0.127	0.267	0.027	0.738	0.345	0.029	0.341	0.416	0.001	0.000	1.160	1.132	79.680

-- : 無測值

n. d. : not detectable

\*: 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼、水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	meq./l											ppm			
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	合鹽量
新山水庫	7.75	0.251	0.191	0.084	0.020	0.428	0.303	--	0.351	0.249	0.001		0.724	0.905	57.700
梅花湖	7.61	0.245	0.185	0.216	0.020	0.425	0.292	--	0.351	0.244	0.001		0.846	0.888	58.230
	7.38	0.386	0.361	0.615	0.032	0.333	1.047	<0.006	0.064	0.385	0.001	n.d.	1.341	1.497	99.630
湖濱公園	7.28	0.379	0.344	0.591	0.032	0.333	0.997	<0.006	0.073	0.378	0.001		1.300	1.449	96.540
	7.27	0.372	0.351	0.633	0.032	0.324	1.031	<0.006	0.077	0.371	0.001		1.340	1.480	98.300
龍潭湖	7.82	0.425	0.486	0.533	0.020	0.212	0.542	<0.006	0.057	0.422	0.003		1.251	1.024	75.734
	7.97	0.432	0.537	0.506	0.020	0.215	0.534	<0.006	0.063	0.427	0.004		1.278	1.029	76.694
大湖	8.16	0.428	0.486	0.513	0.020	0.221	0.511	<0.006	0.057	0.421	0.006		1.240	0.996	74.245
	7.65	0.437	0.383	0.500	0.020	0.219	0.534	<0.006	0.061	0.435	0.002		1.122	1.032	73.954
龍潭湖	7.68	0.545	0.559	0.390	0.084	0.609	0.809	--	0.371	0.542	0.002	0.030	1.701	1.725	119.710
	7.47	0.517	0.553	0.388	0.081	0.600	0.809	--	0.371	0.515	0.001		1.711	1.697	118.280
大湖	7.28	0.585	0.553	0.356	0.072	0.679	0.754	--	0.406	0.584	0.001		1.660	1.745	120.060
	7.05	0.583	0.559	0.356	0.091	0.648	0.754	--	0.395	0.582	0.001		1.653	1.732	119.700
龍潭湖	7.70	0.795	0.316	0.359	0.032	0.359	0.123	--	0.172	0.791	0.004		1.065	1.089	80.520
	7.50	0.787	0.302	0.358	0.032	0.372	0.125	--	0.175	0.784	0.002	0.018	1.063	1.087	80.310
大湖	7.64	0.796	0.302	0.350	0.025	0.372	0.119	--	0.172	0.792	0.003		1.049	1.088	80.110
	7.55	0.800	0.316	0.354	0.025	0.376	0.119	--	0.170	0.797	0.003		1.071	1.089	80.730
龍潭湖	8.87	0.815	0.383	0.373	0.018	0.378	0.079	0.007	0.173	0.755	0.052		1.152	1.074	79.595
	6.16	1.262	0.434	0.419	0.031	0.392	0.029	0.009	0.177	1.262	0.000		1.276	1.477	109.229
大湖	8.72	0.813	0.383	0.426	0.017	0.392	0.044	0.007	0.175	0.770	0.038		1.218	1.039	79.395
	6.06	1.249	0.442	0.413	0.027	0.451	0.044	0.008	0.190	1.249	0.000		1.333	1.491	110.842
大湖	7.57	0.706	0.447	0.252	0.012	0.289	0.265	0.037	0.114	0.703	0.002		1.001	1.063	78.320

-- : 無測值

n.d. : not detectable

\* : 未加入丙酸

續下頁

表 3.3 台灣地區湖沼, 水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	meq./l											Sum (+) Sum (-)*		含鹽量 ppm	
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸			
大湖	7.60	0.699	0.476	0.250	0.019	0.294	0.206	0.038	0.114	0.696	0.003	0.052	1.038	1.057	78.880
	8.46	0.849	0.537	0.319	0.013	0.358	0.187	0.035	0.126	0.824	0.022		1.227	1.197	89.904
	8.42	0.863	0.486	0.312	0.013	0.390	0.188	0.057	0.141	0.840	0.021		1.201	1.249	92.414
金龍湖	6.83	2.967	1.427	1.630	0.065	0.659	1.585	--	0.353	2.965	0.002	n. d.	3.781	4.905	335.680
	6.78	2.976	1.427	1.651	0.069	0.633	1.576	--	0.362	2.974	0.002		3.781	4.914	335.950
	8.06	1.449	0.902	1.007	0.053	0.401	0.841	--	0.275	1.432	0.015	0.096	2.363	2.565	179.540
九芎湖	8.16	1.453	0.935	1.040	0.053	0.401	0.858	--	0.278	1.432	0.019		2.429	2.589	181.660
	8.13	1.439	0.887	1.007	0.053	0.411	0.831	--	0.270	1.420	0.018		2.358	2.540	178.170
	8.17	1.471	0.914	1.036	0.053	0.414	0.859	--	0.274	1.449	0.020		2.417	2.604	182.490
暖暖水庫	8.21	2.686	1.881	1.939	0.040	0.503	2.056	0.042	0.021	2.645	0.040	0.092	4.363	4.805	339.010
	8.13	2.674	1.750	1.929	0.044	0.530	2.056	0.028	0.020	2.640	0.033		4.253	4.778	335.620
	7.67	2.555	1.720	1.536	0.037	0.583	1.377	0.026	0.022	2.543	0.011		3.876	3.980	291.962
澄清湖	7.53	2.562	1.720	1.523	0.037	0.607	1.385	0.028	0.020	2.554	0.008		3.887	3.995	293.323
	6.38	0.338	0.170	0.138	0.027	0.315	0.175	0.026	0.242	0.338	0.000		0.650	0.781	52.615
	6.41	0.346	0.157	0.129	0.016	0.324	0.170	0.026	0.230	0.346	0.000	n. d.	0.626	0.772	51.846
澄清湖	7.67	0.264	0.140	0.144	0.019	0.334	0.160	0.010	0.219	0.262	0.001		0.637	0.653	45.090
	7.44	0.275	0.151	0.148	0.020	0.338	0.153	0.010	0.223	0.274	0.001		0.657	0.661	45.990
	7.64	0.265	0.148	0.144	0.015	0.327	0.162	0.010	0.220	0.264	0.001		0.634	0.657	45.130
澄清湖	7.49	0.261	0.142	0.144	0.015	0.338	0.161	0.014	0.216	0.260	0.001		0.639	0.652	45.090
	8.57	2.466	2.852	1.258	0.081	0.811	1.902	0.022	0.250	2.421	0.043		5.002	4.640	344.690
	8.46	2.865	3.344	1.246	0.081	0.837	1.920	0.022	0.269	2.817	0.046	0.328	5.508	5.076	380.810
8.17	2.843	3.127	1.124	0.102	0.870	1.911	0.043	0.273	2.791	0.050		5.223	5.070	376.070	

續下頁

-- : 無測值  
n. d. : not detectable  
\* : 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼, 水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	meq./l											丙酸 Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>			
澄清湖	8.62	2.623	2.942	1.330	0.076	0.600	0.807	0.230	0.260	2.521	0.098	4.948	3.920	310.744
	7.77	2.248	1.833	1.245	0.083	0.876	1.550	0.010	0.178	2.235	0.012	4.037	3.986	293.299
	7.46	2.237	1.885	1.251	0.081	0.913	1.584	0.009	0.175	2.231	0.006	4.130	4.005	296.152
	8.68	2.291	1.875	1.245	0.082	0.817	1.618	<0.006	0.163	2.188	0.098	4.019	4.072	294.551
蘭嶼天池 佛光山 中正湖	7.82	2.309	1.875	1.231	0.083	0.817	1.573	0.014	0.163	2.294	0.014	4.006	4.059	297.039
	7.56	2.332	1.906	1.238	0.084	0.891	1.663	0.016	0.141	2.324	0.008	4.119	4.152	304.806
	6.61	0.126	0.189	0.126	0.051	0.290	0.100	0.004	0.426	0.126	0.000	n.d.	0.656	41.830
	7.08	1.741	0.837	0.501	0.048	0.472	0.010	0.010	0.115	1.739	0.002	0.148	1.858	146.900
綠茵湖	7.34	2.940	2.300	1.003	0.110	0.144	0.886	0.030	0.253	2.934	0.006	3.557	4.109	298.350
	7.80	2.824	2.263	0.981	0.110	0.091	0.868	0.053	0.270	2.807	0.017	3.445	4.015	289.860
	7.16	2.880	2.269	0.988	0.107	0.131	0.857	0.012	0.232	2.876	0.004	3.495	3.981	290.290
	7.24	2.618	2.111	0.890	0.016	0.349	1.491	--	0.029	2.614	0.004	3.366	4.138	293.890
台東鯉魚池 大南水庫	7.56	2.502	2.068	0.903	0.015	0.353	1.491	--	0.029	2.493	0.008	3.339	4.022	286.020
	7.43	2.554	2.259	0.993	0.017	0.378	1.605	--	0.029	2.547	0.006	3.647	4.188	300.300
	7.51	2.543	2.150	0.919	0.017	0.353	1.600	--	0.026	2.535	0.008	3.439	4.169	295.580
	7.40	2.120	2.696	1.297	0.032	0.228	2.513	<0.006	0.096	2.115	0.005	4.253	4.732	329.610
南仁湖	8.50	2.133	2.450	1.073	0.031	0.208	2.076	0.006	0.033	2.069	0.061	3.762	4.248	297.300
	8.39	2.132	2.587	1.124	0.031	0.210	2.086	<0.006	0.034	2.082	0.048	3.952	4.252	301.250
	8.20	2.129	2.368	1.022	0.037	0.210	2.091	0.013	0.041	2.096	0.031	3.637	4.274	297.540
	8.01	2.085	2.085	0.864	0.018	0.187	1.361	0.009	0.034	2.064	0.020	3.154	3.489	250.849
8.04	2.074	2.085	0.858	0.018	0.207	1.369	0.013	0.032	2.052	0.021	3.168	3.488	251.054	
6.26	0.115	0.070	0.100	0.015	0.400	0.033	0.030	0.419	0.115	0.000	0.585	0.597	37.719	

續下頁

-- : 無測值  
n.d. : not detectable  
\* : 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼、水庫的天然化學組成

採樣地點	pH	Alk <sub>a</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
							meq./l								
南仁湖	5.88	0.066	0.058	0.126	0.019	0.668	0.066	0.006	0.692	0.067	0.000	--	0.872	0.830	50.980
	5.90	0.039	0.058	0.082	0.025	0.578	0.965	0.005	0.587	0.040	0.000		0.744	0.696	43.130
	5.91	0.066	0.060	0.102	0.025	0.631	0.066	n.d.	0.596	0.067	0.000		0.819	0.728	46.330
	5.86	0.067	0.060	0.107	0.025	0.698	0.075	n.d.	0.664	0.068	0.000		0.891	0.806	50.850
	6.06	0.041	0.047	0.074	0.028	0.698	0.074	0.004	0.666	0.042	0.000		0.848	0.785	48.960
	6.55	1.264	0.881	0.208	0.094	0.588	0.224	<0.006	0.446	1.264	0.000	0.074	1.770	1.934	141.290
	6.97	0.459	0.177	0.204	0.038	0.294	0.254	0.018	0.188	0.459	0.000		0.713	0.919	62.260
植物園	7.15	0.572	0.270	0.187	0.062	0.346	0.272	0.017	0.273	0.571	0.001	n.d.	0.865	1.134	76.750
內湖公園	6.98	0.715	0.296	0.253	0.043	0.361	0.248	0.025	0.257	0.714	0.001	0.012	0.953	1.245	85.150
內湖大埤	7.10	0.940	0.843	0.865	0.072	0.968	0.949	0.048	0.419	0.939	0.001	0.025	2.748	2.356	173.200
雙溪公園	7.76	1.690	0.513	1.952	0.072	0.431	1.287	0.070	0.400	1.680	0.009	0.088	2.968	3.447	229.890
台中公園	7.95	3.934	1.864	0.920	0.240	3.178	1.083	0.015	3.368	3.901	0.032	0.062	6.202	8.400	542.380
台南中山公園	7.97	2.115	1.305	1.754	0.060	0.751	0.844	<0.006	0.312	2.096	0.018	0.191	3.870	3.271	247.140
成功湖	8.21	3.074	1.347	2.290	0.173	6.209	0.816	<0.006	7.119	3.026	0.046	0.307	10.018	11.009	682.420
東衛水庫	8.22	3.093	1.326	2.240	0.176	5.930	0.730	<0.006	7.198	3.044	0.047		9.672	11.021	674.900
成功水庫	8.12	3.367	1.305	2.017	0.178	6.661	0.904	--	7.091	3.325	0.041		10.161	11.362	710.040
	8.11	3.385	1.326	1.992	0.167	6.600	0.874	<0.006	7.365	3.343	0.040	0.179	10.085	11.624	717.850
	8.20	3.369	1.326	2.141	0.175	6.809	0.859	<0.006	7.577	3.318	0.049		10.451	11.805	730.310
興仁水庫	8.09	2.853	1.481	1.967	0.167	5.809	0.923	0.016	6.866	2.819	0.032	0.257	9.424	10.658	655.720
	8.16	2.878	1.502	2.017	0.162	5.826	0.879	0.012	6.990	2.838	0.038		9.506	10.759	660.360
小興仁水池	8.81	1.879	1.212	2.066	0.110	8.530	1.498	<0.006	9.939	1.766	0.107		11.918	13.316	785.660
彰工池	7.76	4.472	1.988	1.576	0.087	2.561	1.817	0.013	0.968	4.448	0.024	n.d.	6.212	7.270	515.670

--: 無測值

n.d.: not detectable

\*: 未加入丙酸

續下頁

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	meq./l													ppm	
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)	* 含鹽量
白沙湖 中興湖 員林公園 員林百果山 七彩湖	10.33	2.054	0.384	0.305	0.255	1.975	0.678	0.029	0.522	0.613	1.227	0.351	2.918	3.283	193.860
	9.38	1.481	1.052	0.995	0.049	0.594	1.372	--	0.271	1.190	0.267	0.123	2.690	3.124	204.840
	7.93	6.747	3.583	2.085	0.072	1.995	1.196	0.039	1.407	6.693	0.053	n.d.	7.734	9.389	665.410
	7.16	1.328	0.127	0.525	0.096	1.144	0.092	0.304	0.500	1.326	0.002	0.644	1.892	2.224	160.980
	5.83	0.010	0.000	0.003	0.003	0.004	0.005	<0.006	0.005	0.010	0.000		0.010	0.020	1.284
馬淋窟	5.86	0.009	0.000	0.002	0.002	0.003	0.004	<0.006	0.004	0.009	0.000	n.d.	0.032	0.035	1.076
	5.74	0.006	0.000	0.003	0.024	0.005	0.005	<0.006	0.024	0.006	0.000	n.d.	0.174	0.281	2.522
	7.12	0.086	0.017	0.024	0.046	0.087	0.038	0.018	0.139	0.086	0.000	n.d.	0.146	0.285	17.527
	7.34	0.082	0.017	0.029	0.043	0.057	0.036	0.036	0.132	0.082	0.000		0.433	0.570	17.290
	9.19	0.378	0.169	0.138	0.017	0.108	0.144	--	0.048	0.317	0.046	n.d.	0.458	0.557	37.540
埔里鯉魚潭	8.74	0.382	0.179	0.148	0.019	0.112	0.143	--	0.033	0.358	0.018		0.417	0.286	39.110
	8.91	0.205	0.210	0.140	0.007	0.060	0.074	0.007	--	0.183	0.014		0.451	0.281	23.128
	8.88	0.199	0.210	0.140	0.011	0.090	0.074	0.008	--	0.179	0.013		0.599	0.499	23.749
	6.33	0.327	0.227	0.153	0.014	0.205	0.094	0.044	0.034	0.327	0.000		0.581	0.497	40.086
	6.31	0.323	0.202	0.161	0.013	0.205	0.102	0.041	0.031	0.323	0.000		0.632	0.498	39.493
碧湖	6.50	0.351	0.233	0.190	0.015	0.194	0.089	0.026	0.032	0.351	0.000		0.676	0.477	40.468
	6.02	0.319	0.271	0.194	0.013	0.198	0.074	0.052	0.032	0.320	0.000		3.729	4.073	40.275
	7.71	3.156	2.090	1.160	0.019	0.460	0.876	0.029	0.012	3.140	0.015		3.272	3.657	303.563
	7.76	2.677	1.760	0.990	0.012	0.510	0.941	0.020	0.019	2.662	0.014		2.562	2.735	269.368
	8.28	1.920	1.155	1.005	0.016	0.386	0.776	0.021	0.018	1.885	0.034		3.516	4.038	200.028
8.42	2.919	1.517	1.045	0.033	0.921	1.059	0.040	0.019	2.846	0.070		0.232	4.058	295.310	
8.44	2.931	1.548	1.035	0.033	1.072	1.069	0.037	0.021	2.855	0.074		3.687	4.058	300.220	

續下頁

-- : 無測值  
n.d. : not detectable  
\* : 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	pH	meq./l										丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm		
		Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>						
小天營池	5.81	0.010	0.007	0.010	0.007	0.004	0.009	<0.006	0.006	0.009	0.010	0.009	0.010	0.000	0.029	0.027	2.248
梨山天池	6.02	0.016	0.013	0.012	0.027	0.008	0.010	<0.006	0.006	0.026	0.016	0.026	0.016	0.000	0.059	0.052	4.263
湧泉池	7.48	0.283	0.206	0.011	0.011	0.031	0.015	<0.006	0.006	0.035	0.282	0.035	0.282	0.001	0.260	0.332	24.760
德基水庫	7.48	0.287	0.204	0.011	0.010	0.031	0.015	<0.006	0.006	0.034	0.286	0.034	0.286	0.001	0.256	0.336	24.880
	7.48	1.658	1.339	0.762	0.018	0.145	0.868	0.131	0.030	1.653	0.005	0.030	1.653	0.005	2.263	2.688	191.950
	7.15	1.705	1.385	0.776	0.017	0.143	0.905	0.098	0.026	1.703	0.002	0.026	1.703	0.002	2.321	2.735	195.530
	8.37	1.524	1.107	0.647	0.018	0.142	0.650	0.032	0.021	1.489	0.033	0.021	1.489	0.033	1.915	2.227	159.760
	8.30	1.512	1.090	0.619	0.021	0.149	0.644	0.032	0.026	1.482	0.028	0.026	1.482	0.028	1.879	2.213	158.670
	8.28	1.508	1.064	0.604	0.021	0.129	0.639	0.032	0.026	1.480	0.026	0.026	1.480	0.026	1.818	2.205	157.070
	8.56	1.525	1.069	0.597	0.019	0.129	0.650	0.032	0.024	1.471	0.050	0.024	1.471	0.050	1.814	2.232	157.700
	8.06	1.395	1.190	0.660	0.007	0.050	0.599	0.049	0.048	1.379	0.015	0.048	1.379	0.015	1.907	2.091	151.339
	8.04	1.346	1.170	0.650	0.013	0.060	0.547	0.046	0.015	1.331	0.014	0.015	1.331	0.014	1.893	1.954	144.485
	8.65	1.301	0.955	0.639	0.013	0.236	0.506	0.032	0.036	1.245	0.052	0.036	1.245	0.052	1.843	1.875	137.857
	8.70	1.309	0.930	0.646	0.012	0.232	0.498	0.030	0.029	1.246	0.058	0.029	1.246	0.058	1.820	1.866	136.800
	8.48	1.283	0.930	0.605	0.012	0.198	0.484	0.030	0.028	1.245	0.035	0.028	1.245	0.035	1.745	1.825	134.073
	8.57	1.269	0.905	0.612	0.012	0.240	0.486	0.015	0.027	1.223	0.042	0.027	1.223	0.042	1.769	1.797	132.621
	8.61	1.263	0.905	0.629	0.012	0.213	0.477	0.029	0.029	1.213	0.046	0.029	1.213	0.046	1.759	1.798	132.220
	8.44	1.281	0.905	0.629	0.013	0.217	0.496	0.030	0.029	1.246	0.032	0.029	1.246	0.032	1.764	1.836	134.944
谷關水庫	7.55	1.010	1.110	0.530	0.006	0.050	0.513	0.042	0.019	1.006	0.003	0.019	1.006	0.003	1.696	1.584	119.428
	7.70	1.166	1.070	0.490	0.010	0.070	0.487	0.044	0.021	1.160	0.005	0.021	1.160	0.005	1.640	1.718	127.142
	7.73	1.345	1.005	0.591	0.013	0.202	0.475	0.037	0.026	1.338	0.007	0.026	1.338	0.007	1.811	1.883	140.294
	7.60	1.338	1.155	0.591	0.015	0.236	0.498	0.038	0.034	1.333	0.005	0.034	1.333	0.005	1.997	1.908	145.233

-- : 無測值

n.d. : not detectable

\* : 未加入丙酸

續下頁

表 3.3 台灣地區湖沼, 水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	合鹽量 ppm
谷關水庫	8.10	1.402	1.018	0.511	0.018	0.136	0.041	0.029	0.031	1.384	0.016		1.683	2.103	149.040
思源池	8.17	1.394	1.071	0.569	0.024	0.149	0.639	0.026	0.020	1.374	0.019	0.090	1.812	2.078	150.030
地熱池	8.45	1.081	0.606	0.353	0.011	0.077	0.253	0.016	0.007	1.050	0.028		1.047	1.357	96.910
大鬼湖	8.44	1.093	0.611	0.368	0.012	0.070	0.248	0.013	0.008	1.063	0.029	n.d.	1.061	1.362	97.430
	2.94	0.000	0.189	0.093	0.035	0.081	2.723	0.000	0.050	0.000	0.000		1.546	2.773	140.597
	6.41	0.017	0.004	0.006	0.005	0.017	0.009	<0.006	0.008	0.017	0.000		0.033	0.034	2.533
	6.04	0.010	0.004	0.005	0.004	0.016	0.009	0.041	0.007	0.000	0.000		0.029	0.067	3.886
	7.09	0.240	0.071	0.022	0.005	0.123	0.021	<0.006	0.007	0.240	0.000	n.d.	0.220	0.268	28.590
	7.82	0.717	0.295	0.041	0.007	0.124	0.128	<0.006	0.097	0.712	0.004		0.467	0.852	59.480
麗池	6.57	0.086	0.016	0.017	0.003	0.138	0.005	<0.006	0.010	0.087	0.000		0.174	0.101	10.040
	7.59	0.826	1.014	0.239	0.184	0.775	0.789	0.012	0.575	0.823	0.003		2.212	2.202	157.516
	7.93	0.834	1.145	0.294	0.199	0.808	0.802	0.036	0.568	0.827	0.007	0.099	2.446	2.240	164.384
青草湖	7.69	3.767	2.324	1.474	0.194	1.204	0.704	0.033	0.701	3.750	0.017		5.196	5.265	389.673
	7.55	3.770	2.560	1.528	0.176	1.183	0.692	0.021	0.666	3.758	0.012		5.447	5.149	391.634
	7.56	3.967	2.350	1.474	0.176	1.183	0.692	0.021	0.666	3.954	0.013	0.140	5.183	5.346	398.759
慈湖	8.69	0.825	0.528	0.195	0.030	0.304	0.271	0.043	0.121	0.789	0.036		1.057	1.260	90.268
	7.75	0.815	0.587	0.228	0.035	0.330	0.271	0.014	0.140	0.811	0.004		1.186	1.240	92.033
	7.31	0.795	0.811	0.272	0.040	0.326	0.265	0.067	0.148	0.793	0.002	0.069	1.449	1.275	99.183
小琉球--仙人泉	7.92	2.820	3.244	0.303	0.040	0.928	0.719	0.443	0.903	2.798	0.022	n.d.	4.515	4.885	356.814
--麗池	7.44	4.771	4.863	0.321	0.054	0.875	0.699	0.457	0.820	4.759	0.012	0.031	6.113	6.747	505.012
	7.44	4.795	4.863	0.321	0.054	0.875	0.693	0.457	0.820	4.783	0.012		6.113	6.765	506.183
--烏鬼洞	7.72	4.437	6.321	0.765	0.072	4.092	1.892	1.143	3.905	4.415	0.022	0.022	11.250	11.377	802.781

續下頁

--: 無測值

n.d.: not detectable

\*: 未加入丙酸



表 3.3 台灣地區湖沼, 水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
小琉球--蓄水池	7.58	4.542	5.835	0.623	0.089	2.360	0.822	0.436	1.655	4.526	0.016		8.907	7.455	583.783
妹潭	7.62	4.539	5.835	0.640	0.089	2.360	0.829	0.443	1.635	4.521	0.018	0.323	8.924	7.446	583.837
姊潭	7.82	1.204	1.160	0.464	0.031	0.045	0.122	0.009	0.035	1.197	0.007	0.157	1.700	1.370	111.979
上東埔大草原	7.47	0.329	0.368	0.128	0.015	0.094	0.129	0.145	0.083	0.328	0.001	0.051	0.605	0.686	49.851
	7.47	0.300	0.397	0.143	0.014	0.089	0.124	0.151	0.046	0.299	0.001	0.051	0.643	0.621	47.517
	5.64	0.000	0.040	0.017	0.009	0.015	0.016	<0.006	0.027	0.000	0.000	n.d.	0.080	0.043	3.429
小鬼湖	6.24	0.000	0.078	0.021	0.012	0.005	0.001	0.013	0.010	0.000	0.000	n.d.	0.115	0.024	3.589
	7.07	0.000	0.107	0.028	0.006	0.104	0.048	0.004	0.043	0.000	0.000		0.245	0.095	9.184
	6.75	0.000	0.102	0.024	0.007	0.110	0.050	0.003	0.048	0.000	0.000		0.243	0.101	9.412
受鎮鯉魚池	7.28	0.000	0.136	0.021	0.006	0.116	0.028	0.000	0.022	0.000	0.000		0.278	0.050	7.988
南橫天池	7.55	0.380	0.503	0.212	0.015	0.121	0.196	0.172	0.057	0.379	0.001	0.073	0.851	0.805	61.238
蘭潭	5.90	0.014	0.006	0.003	0.004	0.014	0.014	<0.006	0.000	0.014	0.000		0.027	0.028	2.161
白河水庫	8.50	2.746	1.640	1.100	0.057	0.860	0.524	0.060	0.163	2.664	0.079		3.657	3.493	267.755
曾文水庫	8.51	2.981	1.840	1.060	0.056	1.300	0.486	0.050	0.479	2.890	0.087	0.244	4.256	3.996	304.147
連池潭	8.07	1.931	1.510	0.750	0.043	0.310	0.290	0.150	0.043	1.909	0.021	0.171	2.613	2.414	189.976
阿公店水庫	8.92	3.336	3.380	1.350	0.136	0.930	1.005	0.430	0.614	3.087	0.240	0.368	5.796	5.385	402.978
翡翠水庫	8.71	2.802	1.920	1.080	0.174	0.790	0.339	0.130	0.480	2.669	0.128	0.230	3.964	3.751	284.536
	7.07	0.354	0.310	0.240	0.004	0.170	0.080	0.063	0.132	0.354	0.000		0.724	0.629	47.194
	7.29	0.367	0.230	0.220	0.016	0.130	0.080	0.046	0.221	0.366	0.001		0.596	0.714	47.794
	7.01	0.295	0.190	0.190	0.010	0.060	0.067	0.067	0.125	0.295	0.000		0.450	0.554	37.672
	7.16	0.362	0.210	0.220	0.014	0.110	0.084	0.040	0.126	0.361	0.000		0.554	0.612	42.995
	7.27	0.387	0.200	0.210	0.006	0.100	0.076	0.026	0.161	0.386	0.001		0.516	0.650	43.652

--: 無測值

n.d.: not detectable

\*: 未加入丙酸

續下頁

表 3.3 台灣地區湖沼, 水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	----- meq./l -----											----- ppm -----			
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量
翡翠水庫	7.20	0.316	0.210	0.200	0.008	0.100	0.067	0.034	0.139	0.315	0.000		0.518	0.556	38.753
	7.42	0.285	0.229	0.192	0.024	0.121	0.173	0.009	0.102	0.284	0.001	n. d.	0.566	0.569	40.480
	6.10	0.345	0.280	0.225	0.023	0.121	0.166	0.024	0.099	0.345	0.000		0.649	0.634	46.038
	5.97	0.325	0.229	0.205	0.020	0.119	0.154	0.026	0.107	0.325	0.000		0.573	0.612	43.223
直潭	7.93	0.300	0.229	0.185	0.026	0.131	0.169	0.008	0.096	0.297	0.002		0.571	0.573	41.042
	7.50	0.311	0.229	0.185	0.025	0.121	0.183	0.013	0.093	0.310	0.001		0.560	0.600	42.412
	5.90	0.320	0.229	0.205	0.024	0.119	0.164	0.015	0.100	0.320	0.000		0.577	0.599	42.624
	6.89	0.435	0.376	0.198	0.014	0.187	0.201	0.048	0.078	0.435	0.000		0.775	0.762	56.697
碧潭	7.10	0.438	0.396	0.198	0.014	0.187	0.192	0.051	0.076	0.437	0.001		0.795	0.757	56.970
	6.87	0.444	0.383	0.208	0.016	0.255	0.202	0.045	0.078	0.444	0.000		0.862	0.769	59.013
	7.54	0.370	0.270	0.190	0.007	0.130	0.072	0.103	0.118	0.368	0.001	n. d.	0.597	0.663	47.502
	7.71	0.391	0.330	0.200	0.004	0.160	0.118	0.054	0.135	0.389	0.002		0.694	0.698	50.441
寶山水庫	7.64	0.392	0.330	0.200	0.004	0.150	0.113	0.046	0.079	0.390	0.002		0.684	0.630	47.573
	7.70	0.390	0.330	0.200	0.005	0.150	0.111	0.049	0.072	0.388	0.002		0.685	0.622	47.314
	7.67	0.389	0.320	0.200	0.005	0.170	0.109	0.032	0.099	0.387	0.002		0.695	0.629	47.330
	6.74	0.393	0.340	0.200	0.005	0.070	0.111	0.031	0.093	0.393	0.000		0.615	0.628	45.564
	6.82	0.393	0.331	0.205	0.016	0.174	0.176	0.047	0.091	0.393	0.000	n. d.	0.726	0.707	52.304
	6.99	0.396	0.280	0.205	0.016	0.181	0.173	0.045	0.084	0.396	0.000		0.682	0.698	51.101
	6.97	0.401	0.346	0.292	0.016	0.178	0.183	0.046	0.085	0.401	0.000		0.832	0.715	54.297
	8.18	0.670	0.487	0.435	0.058	0.142	0.249	<0.006	0.114	0.659	0.009		1.122	1.033	77.053
6.56	0.337	0.364	0.276	0.060	0.154	0.252	<0.006	0.113	0.357	0.000		0.854	0.702	53.203	
6.77	1.851	1.052	0.674	0.074	0.380	0.328	<0.006	0.109	1.850	0.001		2.180	2.288	173.375	

---: 無測值

n. d. : not detectable

\*: 未加入丙酸

續下頁

表 3.3 台灣地區湖沼、水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	meq./l													Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸				
寶山水庫	8.30	0.677	0.479	0.250	0.058	0.281	0.287	<0.006	0.115	0.663	0.012		1.068	1.079	79.995	
	7.28	1.077	0.920	0.490	0.071	0.120	0.357	0.036	0.125	1.075	0.002		1.601	1.595	119.345	
	7.70	1.049	0.900	0.500	0.068	0.110	0.330	0.021	0.118	1.044	0.005		1.578	1.518	114.425	
	7.37	1.092	0.900	0.510	0.072	0.130	0.345	0.210	0.118	1.089	0.002		1.612	1.765	130.305	
	6.95	1.273	1.110	0.580	0.079	0.170	0.397	0.010	0.118	1.272	0.001		1.939	1.798	137.740	
大埔水庫	6.72	1.382	1.200	0.610	0.079	0.140	0.407	0.014	0.118	1.381	0.001	0.070	2.029	1.921	146.637	
	7.52	0.517	0.570	0.320	0.031	0.140	0.204	0.117	0.086	0.515	0.002	n.d.	1.061	0.924	71.312	
	7.57	0.504	0.580	0.330	0.029	0.090	0.263	0.111	0.130	0.502	0.002		1.029	1.008	73.621	
	7.26	0.478	0.580	0.330	0.034	0.120	0.193	0.128	0.143	0.477	0.001		1.064	0.942	71.115	
	9.16	1.399	0.958	0.577	0.042	0.430	0.361	0.128	0.133	1.220	0.165		2.007	2.021	147.058	
永和山水庫	9.00	1.380	1.052	0.577	0.042	0.342	0.390	0.010	0.123	1.253	0.117		2.013	1.903	141.219	
	8.17	1.376	0.958	0.566	0.041	0.640	0.354	0.015	0.115	1.356	0.019		2.205	1.860	147.659	
	7.62	1.798	1.052	0.657	0.049	0.614	0.425	0.016	0.142	1.791	0.007		2.372	2.381	180.957	
	8.26	1.330	0.864	0.526	0.048	0.495	0.451	<0.006	0.068	1.306	0.022		1.933	1.849	141.341	
	8.28	1.505	0.911	0.543	0.048	0.577	0.445	<0.006	0.069	1.477	0.026		2.079	2.019	154.662	
明德水庫	8.05	1.321	0.911	0.526	0.049	0.473	0.451	<0.006	0.069	1.306	0.014		1.959	1.841	141.623	
	8.52	1.174	1.230	0.550	0.052	0.260	0.611	0.015	0.109	1.136	0.035	0.222	2.092	1.909	143.762	
	8.60	1.184	1.210	0.540	0.048	0.250	0.613	0.016	0.125	1.138	0.042		2.048	1.938	143.919	
	8.10	1.057	0.730	0.320	0.023	0.090	0.158	0.075	0.059	1.043	0.012		1.163	1.349	99.810	
	7.85	1.047	0.770	0.340	0.021	0.170	0.163	0.066	0.063	1.039	0.007		1.301	1.339	102.043	
7.79	1.696	1.210	0.520	0.025	0.230	0.232	0.037	0.090	1.686	0.010		1.985	2.055	156.558		
8.40	1.352	1.030	0.470	0.028	0.180	0.203	0.054	0.094	1.319	0.031		1.708	1.703	129.352		

續下頁

-- : 無測值  
n.d. : not detectable  
\* : 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	meq./l				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
							SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					
明德水庫	8.03	1.269	0.920	0.410	0.025	0.160	0.193	0.056	0.082	1.255	0.013	1.515	1.600	120.669	
	7.77	1.762	1.270	0.560	0.026	0.260	0.230	0.032	0.105	1.752	0.010	2.116	2.129	163.133	
	8.62	1.390	0.817	0.492	0.030	0.421	0.284	0.013	0.071	1.334	0.052	1.768	1.758	133.076	
	7.06	1.397	0.911	0.492	0.030	0.388	0.285	0.024	0.067	1.395	0.001	1.821	1.773	137.009	
	7.05	1.064	0.675	0.389	0.029	0.311	0.234	0.036	0.078	1.063	0.001	1.404	1.412	107.613	
	8.52	1.423	0.864	0.497	0.030	0.396	0.278	0.012	0.096	1.377	0.043	1.787	1.809	136.405	
	7.25	1.362	0.854	0.423	0.030	0.380	0.269	0.026	0.086	1.360	0.002	1.687	1.743	132.723	
	6.96	1.039	0.654	0.317	0.029	0.327	0.230	0.039	0.068	1.038	0.001	1.327	1.376	104.827	
	8.23	1.288	0.955	0.553	0.020	0.236	0.452	0.055	0.049	1.266	0.020	1.764	1.844	136.737	
	8.17	1.249	1.090	0.540	0.021	0.080	0.287	0.078	0.000	1.231	0.017	1.731	1.614	125.232	
石岡水壩 日月潭	8.52	2.514	1.910	1.190	0.020	0.270	1.298	0.030	0.014	2.435	0.075	3.390	3.856	275.171	
	8.42	2.511	1.910	1.180	0.018	0.280	1.310	0.028	0.015	2.448	0.060	3.388	3.864	276.024	
	8.39	2.456	1.920	1.190	0.020	0.270	1.345	0.031	0.015	2.398	0.055	3.400	3.847	274.881	
	8.60	2.429	1.900	1.190	0.017	0.270	1.379	0.026	0.002	2.338	0.087	3.377	3.836	272.493	
	8.52	2.453	1.900	1.190	0.019	0.271	1.396	0.020	0.019	2.376	0.074	3.530	3.888	275.577	
	8.41	2.481	1.980	1.230	0.020	0.280	1.362	0.022	0.019	2.420	0.058	3.510	3.884	278.616	
	8.66	2.472	2.030	1.210	0.020	0.290	1.353	0.022	0.037	2.366	0.101	3.550	3.884	277.805	
	8.55	2.477	2.090	1.200	0.019	0.300	1.334	0.026	0.024	2.394	0.079	3.609	3.861	278.981	
	8.47	2.470	2.100	1.200	0.020	0.300	1.345	0.027	0.003	2.401	0.066	3.620	3.845	279.089	
	8.20	2.072	1.897	1.128	0.032	0.340	1.077	0.024	0.015	2.040	0.030	3.397	3.188	239.839	
7.87	2.077	1.871	1.093	0.032	0.324	1.125	0.023	0.013	2.062	0.014	3.320	3.238	241.545		
7.83	2.090	1.871	1.110	0.031	0.313	1.147	0.022	0.012	2.076	0.013	3.325	3.271	243.257		

續下頁

-- : 無測值  
n.d. : not detectable  
\* : 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	pH	meq./l										CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
		Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>							
日月潭	8.08	2.077	1.884	1.102	0.031	0.363	1.039	0.024	0.013	2.053	0.023	3.380	3.153	238.412				
	7.94	2.085	1.897	1.093	0.032	0.332	1.062	0.025	0.012	2.067	0.017	3.354	3.184	239.728				
烏山頭水庫	7.86	2.089	1.884	1.110	0.032	0.324	1.073	0.031	0.011	2.074	0.014	3.350	3.204	240.689				
	8.56	2.043	1.400	0.760	0.033	0.380	0.290	0.110	0.067	1.972	0.067	2.573	2.510	192.743				
	8.44	2.219	1.334	0.776	0.037	0.588	0.554	0.016	0.052	2.161	0.056	2.735	2.841	214.039				
	8.19	2.163	1.314	0.790	0.037	0.588	0.550	0.017	0.070	2.131	0.031	2.729	2.800	211.726				
	8.63	2.063	1.199	0.803	0.038	0.596	0.545	<0.006	0.056	1.980	0.079	2.636	2.664	200.249				
	8.42	2.150	1.293	0.797	0.037	0.574	0.531	0.012	0.056	2.096	0.052	2.701	2.749	207.841				
	7.41	2.352	1.418	0.797	0.037	0.544	0.486	0.015	0.060	2.346	0.006	2.796	2.913	221.740				
	8.61	2.000	1.220	0.817	0.038	0.588	0.531	<0.006	0.062	1.923	0.073	2.663	2.593	196.535				
	8.21	2.090	1.314	0.851	0.039	0.633	0.577	<0.006	0.061	2.057	0.031	2.837	2.728	209.022				
	8.10	2.140	1.397	0.878	0.042	0.685	0.644	<0.006	0.100	2.114	0.025	3.002	2.884	220.201				
龍鑾潭	8.62	1.985	1.241	0.817	0.037	0.574	0.569	<0.006	0.056	1.906	0.074	2.669	2.610	197.249				
	8.06	2.110	1.314	0.851	0.040	0.670	0.645	0.007	0.084	2.086	0.022	2.875	2.846	215.929				
	7.40	1.758	1.469	0.830	0.038	0.537	0.479	<0.006	0.062	1.754	0.004	2.874	2.299	185.626				
	8.64	1.900	1.189	0.803	0.043	0.574	0.577	0.010	0.095	1.321	0.074	2.609	2.582	193.486				
	7.73	2.216	1.480	1.102	0.063	0.884	1.048	0.072	0.183	2.204	0.011	3.529	3.519	261.894				
	7.63	2.139	1.366	0.926	0.052	0.751	0.899	0.080	0.143	2.130	0.209	3.095	3.261	241.329				
	8.58	1.916	1.210	0.844	0.044	0.512	0.650	0.018	0.087	1.847	0.066	2.610	2.671	198.018				
	7.68	2.056	1.397	0.790	0.047	0.707	0.801	0.034	0.115	2.046	0.009	2.941	3.006	225.433				
	7.44	2.314	1.371	0.797	0.045	0.603	0.592	0.008	0.076	2.308	0.006	2.816	2.990	225.341				
	7.87	2.015	1.656	0.552	0.089	0.810	0.499	0.033	0.278	2.000	0.014	3.107	2.825	220.243				
7.88	2.745	1.719	0.566	0.088	0.847	0.493	0.012	0.284	2.725	0.019	3.220	3.534	265.479					

續下頁

--: 無測值  
n.d.: not detectable  
\*: 未加入丙酸

表 3.3 台灣地區湖沼,水庫的天然化學組成

承上頁

採樣地點	----- meq./l -----											丙酸	Sum(+)	Sum(-)*	含鹽量 ppm
	pH	Alka.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>				
花蓮鯉魚潭	6.76	0.282	0.148	0.118	0.011	0.193	0.044	<0.006	0.113	0.282	0.000	0.000	0.470	0.439	32.589
	6.99	0.290	0.148	0.118	0.011	0.179	0.036	<0.006	0.112	0.290	0.000	0.000	0.456	0.438	32.323
	6.07	0.695	0.176	0.118	0.016	0.211	0.028	<0.006	0.130	0.695	0.000	0.000	n.d.	0.853	58.787
	6.82	0.282	0.140	0.145	0.013	0.187	0.044	<0.006	0.072	0.282	0.000	0.000	0.485	0.398	31.242
	6.90	0.280	0.140	0.138	0.012	0.180	0.049	<0.006	0.065	0.280	0.000	0.000	0.470	0.394	30.822
石門水庫	5.95	0.292	0.165	0.138	0.012	0.176	0.039	<0.006	0.094	0.292	0.000	0.000	0.491	0.425	32.517
	8.91	0.900	0.817	0.520	0.020	0.074	0.392	0.022	0.034	0.829	0.063	0.063	1.431	1.348	99.003
	8.07	1.024	0.864	0.571	0.020	0.076	0.525	0.055	0.023	1.012	0.011	0.011	1.531	1.627	118.246
	8.82	0.898	0.817	0.509	0.019	0.074	0.406	0.023	0.032	0.840	0.052	0.052	1.419	1.359	99.813
	8.32	0.960	0.817	0.520	0.021	0.075	0.468	0.039	0.031	0.940	0.018	0.018	1.433	1.498	109.064
墾丁活動中心	7.66	1.050	1.005	0.594	0.020	0.076	0.563	0.058	0.027	1.045	0.004	0.004	1.695	1.698	125.325
	7.11	2.391	1.216	1.101	0.550	1.727	0.468	0.042	1.801	2.388	0.003	0.003	4.594	4.702	333.650

-- : 無測值

n.d. : not detectable

\* : 未加入丙酸

表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> μeq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	SUM(+)	SUM(-)	含量 ppm
77/6/7/7	5.519	2.430	81.00	10.24	n.d.	21.70	n.d.	60.77	n.d.	37.45	2.430	0.000	112.943	100.650	6.63
77/6/7/8	5.350	0.041	69.40	7.77	n.d.	23.83	n.d.	42.89	n.d.	27.78	0.041	0.000	101.004	70.711	5.08
77/6/7/9	4.593	0.000	11.39	1.99	n.d.	8.58	57.95	89.87	15.08	11.47	0.000	0.000	79.936	116.420	7.15
77/6/7/6	4.602	0.000	14.55	2.96	n.d.	12.48	16.06	47.67	12.79	13.39	0.000	0.000	46.075	73.850	4.46
77/6/7/4	4.955	0.000	39.87	3.37	n.d.	7.16	23.04	55.36	17.09	11.16	0.000	0.000	73.451	83.610	5.53
77/6/7/5	5.019	0.000	43.03	3.50	n.d.	7.16	21.05	59.31	17.66	11.05	0.000	0.000	74.750	88.020	5.78
77/6/7/3	4.336	0.000	17.72	1.17	n.d.	3.26	15.06	86.33	13.65	2.64	0.000	0.000	37.256	102.620	5.80
77/6/7/5	5.099	0.000	12.44	1.03	n.d.	4.00	23.43	35.41	12.51	2.64	0.000	0.000	40.908	50.560	3.34
77/6/7/3	5.330	0.000	27.21	1.58	n.d.	8.16	21.45	36.24	14.51	4.82	0.000	0.000	58.405	55.570	3.95
77/6/7/1	5.213	0.000	38.81	2.27	n.d.	11.98	13.50	51.00	16.51	6.64	0.000	0.000	66.566	74.150	5.03
77/6/7/1	5.094	0.000	53.58	2.96	n.d.	10.83	0.00	53.08	15.94	9.60	0.000	0.000	67.378	78.620	5.23
77/6/7/1	4.899	0.000	19.83	2.96	n.d.	8.16	36.34	47.26	36.26	8.71	0.000	0.000	67.303	92.230	6.10
77/6/7/1	4.887	0.000	35.65	3.64	n.d.	23.04	14.50	42.06	29.39	14.17	0.000	0.000	76.843	85.620	5.89
77/6/7/1	4.945	0.000	29.32	3.78	n.d.	31.05	16.48	44.56	34.25	13.34	0.000	0.000	80.641	92.150	6.38
77/6/7/1	5.145	0.000	25.10	2.41	n.d.	9.31	11.52	32.98	11.88	6.01	0.000	0.000	48.347	50.870	3.49
77/6/7/1	4.928	0.000	27.21	2.68	n.d.	10.45	0.00	33.00	0.00	8.22	0.000	0.000	40.352	41.220	2.69
77/6/7/1	5.078	0.000	41.98	2.68	n.d.	7.02	60.17	91.66	16.27	6.41	0.000	0.000	111.858	114.340	7.75
77/6/7/1	4.690	0.000	15.61	1.44	n.d.	6.64	59.18	79.72	15.97	6.15	0.000	0.000	82.890	101.840	6.58
77/6/7/1	4.357	0.000	11.39	1.58	n.d.	7.40	27.41	71.08	16.85	8.48	0.000	0.000	47.824	96.410	5.67
77/6/7/1	4.549	0.000	27.21	2.54	n.d.	11.98	26.41	72.73	16.85	10.45	0.000	0.000	68.168	100.030	6.23
77/6/7/1	4.471	0.000	22.99	2.27	n.d.	10.07	24.43	70.26	16.85	8.43	0.000	0.000	59.794	95.540	5.87

編號：年/月/日/站  
n.d.：not detectable

續下頁

表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

承上頁

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μeq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SUM(+)	SUM(-)	含鹽量 ppm
													SUM(+)	SUM(-)	
77/6/8/6	4.679	0.000	26.16	3.37	1.71	6.24	24.89	52.97	14.32	4.80	0.000	0.000	62.391	72.090	4.82
77/6/8/4	4.579	0.000	19.83	2.13	n.d.	6.02	20.68	54.82	13.36	3.25	0.000	0.000	48.686	71.430	4.51
77/6/8/5	4.425	0.000	10.34	0.76	n.d.	4.46	24.09	68.40	11.91	1.90	0.000	0.000	39.688	82.210	4.84
77/6/8/3	4.890	0.000	35.65	2.41	n.d.	7.19	12.72	48.23	14.81	3.82	0.000	0.000	57.983	66.860	4.50
	4.819	0.000	29.32	2.68	n.d.	10.71	20.68	56.26	17.14	6.97	0.000	0.000	63.405	80.370	5.25
	4.627	0.000	25.10	1.44	n.d.	6.02	9.32	54.41	12.78	6.97	0.000	0.000	41.904	74.160	4.48
	4.650	0.000	25.10	1.44	n.d.	4.46	16.13	54.61	14.23	6.82	0.000	0.000	47.152	75.660	4.66
76/5/22/7	5.497	11.668	153.22	27.86	6.15	83.23	10.43	104.90	36.60	100.95	11.668	0.000	280.893	254.118	17.34
76/5/22/8	6.143	28.474	114.65	17.63	5.59	88.16	8.35	76.18	39.06	81.98	28.470	0.004	234.381	225.694	15.62
76/5/22/9	4.757	0.000	54.65	9.14	3.89	38.16	134.59	185.48	46.22	40.56	0.000	0.000	240.447	272.260	17.86
	4.542	0.000	83.58	12.51	3.89	18.45	47.99	125.34	40.05	30.74	0.000	0.000	166.449	196.130	12.85
	4.558	0.000	106.08	12.11	3.33	34.64	30.26	146.54	40.05	35.95	0.000	0.000	186.448	222.540	14.53
	4.423	0.000	84.65	11.57	3.89	31.12	29.21	132.08	39.06	34.80	0.000	0.000	160.478	205.940	13.22
76/5/22/6	4.636	0.000	114.65	10.76	4.46	20.56	51.12	152.71	44.74	28.27	0.000	0.000	201.573	225.720	15.10
	4.687	0.000	120.01	12.24	8.41	26.90	84.51	177.38	48.69	34.47	0.000	0.000	252.091	260.540	17.77
76/5/22/4	4.605	0.000	42.86	6.85	4.46	13.17	56.34	157.14	50.91	18.89	0.000	0.000	123.705	226.940	13.80
76/5/22/5	4.573	0.000	109.29	15.61	6.15	34.64	112.68	216.90	54.85	42.26	0.000	0.000	278.397	314.010	20.75
	4.650	0.000	76.07	9.95	5.02	20.56	50.08	121.48	44.24	26.24	0.000	0.000	161.702	191.960	12.72
76/5/22/3	4.118	0.000	106.08	14.80	4.82	61.45	38.96	219.02	54.61	44.13	0.000	0.000	226.186	317.760	20.07
	4.076	0.000	117.86	15.20	9.15	42.12	40.89	224.23	55.35	51.53	0.000	0.000	225.304	331.110	20.62
76/5/23/7	4.666	0.000	185.37	29.75	5.36	75.26	3.37	177.58	41.78	93.49	0.000	0.000	299.132	312.850	20.49
	5.795	14.686	172.51	25.17	4.28	74.22	5.29	165.63	0.00	74.13	14.685	0.001	281.472	254.446	17.20

編號：年/月/日/站  
n.d.：not detectable

續下頁



表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

承上頁

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SUM(+)	SUM(-)	含量 ppm
								μeq/l							
76/5/23/8	4.432	0.000	60.00	8.87	1.57	24.17	82.25	162.73	41.04	26.79	0.000	0.000	176.897	230.560	14.71
76/5/23/9	5.775	11.127	159.65	21.13	21.07	96.32	59.16	227.50	43.01	94.15	11.126	0.001	357.332	375.787	25.15
76/5/23/6	4.702	0.000	152.15	22.88	5.36	47.29	4.33	167.39	25.38	50.43	0.000	0.000	232.030	243.200	16.09
76/5/23/4	4.519	0.000	67.50	10.49	1.57	16.92	n.d.	82.59	0.00	27.31	0.000	0.000	96.510	109.900	6.86
76/5/23/1	4.432	0.000	64.29	7.93	0.00	16.57	n.d.	94.44	17.37	17.24	0.000	0.000	88.827	129.050	7.98
76/5/17/7	4.337	0.000	54.65	4.43	1.03	11.05	23.57	78.23	23.10	8.51	0.000	0.000	94.776	109.840	7.35
76/5/17/8	4.275	0.000	81.43	19.51	5.36	32.80	115.92	191.51	82.04	47.84	0.000	0.000	255.073	321.390	20.89
76/5/17/9	4.787	0.000	50.36	8.06	5.36	71.81	21.65	93.20	48.27	30.74	0.000	0.000	157.256	172.210	11.91
76/5/17/8	5.955	3.426	90.21	9.48	1.04	37.59	11.89	68.81	21.54	40.20	3.426	0.000	150.211	133.976	9.31
76/5/17/9	6.089	14.151	262.24	18.53	n.d.	26.51	n.d.	58.21	0.00	34.14	14.149	0.002	307.281	106.501	10.94
76/5/17/6	6.343	30.339	180.42	12.90	n.d.	43.35	n.d.	64.17	24.26	43.23	30.333	0.006	236.670	161.999	12.73
76/5/17/5	4.574	0.000	44.06	8.99	n.d.	13.50	53.34	98.21	26.98	19.62	0.000	0.000	119.917	144.810	9.34
76/5/17/4	4.569	0.000	83.92	6.30	n.d.	10.12	14.65	65.06	23.35	11.28	0.000	0.000	115.017	99.690	7.22
76/5/17/3	5.856	11.434	114.34	9.12	4.25	24.30	5.18	108.70	13.00	24.00	11.433	0.001	157.191	157.134	10.79
76/5/17/2	5.725	7.770	111.19	9.24	n.d.	22.65	17.41	97.76	25.77	20.08	7.770	0.000	160.492	151.380	10.65
76/5/17/1	5.188	0.000	51.40	5.20	n.d.	4.82	0.00	41.60	5.20	13.50	0.000	0.003	61.426	60.300	4.00
76/5/17/0	5.286	0.979	145.80	13.64	0.97	23.73	17.60	40.09	14.58	6.67	0.979	0.000	201.745	62.319	7.10
76/5/16/5	6.817	49.165	112.34	0.00	7.64	16.30	7.37	87.50	20.80	19.80	49.135	0.030	143.645	177.265	12.24
76/5/16/4	6.347	27.687	116.43	6.67	0.00	10.28	3.52	83.90	14.10	23.20	27.681	0.006	136.900	148.887	10.12
76/5/16/3	6.105	23.162	97.55	6.55	0.43	23.39	3.52	76.11	25.17	20.61	23.159	0.003	131.441	145.052	10.00
76/5/16/2	4.616	0.000	67.13	6.18	1.51	13.38	49.77	115.44	30.91	15.19	0.000	0.000	137.994	161.540	10.68

編號：年/月/日/站  
n.d. : not detectable

續下頁

表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

承上頁

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μ eq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SUM(+)	SUM(-)	含鹽量 ppm
76/5/17/3	6.767	75.007	103.85	10.46	2.58	12.35	51.78	65.50	21.90	24.30	74.966	0.041	181.020	186.707	13.46
	6.530	42.413	79.72	4.47	0.97	14.42	28.66	46.94	26.38	11.16	42.400	0.013	128.240	126.893	9.40
	6.537	59.372	137.41	10.70	2.58	28.56	13.57	76.50	26.30	34.30	59.353	0.019	192.820	196.472	14.02
76/5/17/1	5.096	0.000	34.62	3.74	0.00	14.76	10.56	22.19	22.44	7.14	0.000	0.000	63.688	51.770	3.98
76/5/18/7	5.178	0.000	27.26	3.13	0.00	11.66	0.00	25.83	0.00	9.08	0.000	0.000	42.057	34.910	2.41
	4.902	0.000	46.15	4.96	2.04	10.28	3.52	46.05	14.28	9.06	0.000	0.000	66.963	69.390	4.78
76/5/18/8	4.649	0.000	15.73	0.93	n.d.	3.04	25.64	39.20	12.46	8.89	0.000	0.000	45.362	60.550	3.83
76/5/18/9	4.661	0.000	41.96	2.52	n.d.	2.69	9.55	31.69	12.76	2.01	0.000	0.000	56.742	46.460	3.49
	4.883	0.000	35.66	1.42	n.d.	3.38	n.d.	43.18	7.32	2.71	0.000	0.000	40.473	53.210	3.43
	4.898	0.000	39.86	2.64	n.d.	7.89	n.d.	243.49	0.00	3.78	0.000	0.000	50.403	247.270	12.83
76/5/18/6	4.899	0.000	15.73	1.90	n.d.	3.31	n.d.	25.72	12.46	1.89	0.000	0.000	20.953	40.070	2.49
	5.122	0.000	34.62	2.15	n.d.	3.66	n.d.	35.69	0.00	2.58	0.000	0.000	40.438	38.270	2.61
76/5/18/4	4.545	0.000	6.29	0.56	n.d.	2.96	13.56	51.14	12.16	1.48	0.000	0.000	23.399	64.780	3.71
76/5/18/5	5.073	0.000	14.69	2.15	n.d.	6.48	11.48	28.37	11.86	5.85	0.000	0.000	34.808	46.080	2.98
	5.376	0.000	49.30	2.52	n.d.	5.07	5.22	31.94	15.08	5.18	0.000	0.000	62.114	52.200	3.88
76/5/18/3	5.306	0.000	32.52	1.90	n.d.	3.66	n.d.	16.96	0.00	1.29	0.000	0.000	38.085	18.250	1.62
	5.498	0.197	27.27	1.66	n.d.	3.66	n.d.	19.13	0.00	1.18	0.197	0.000	32.593	20.507	1.62
76/5/3/2	4.179	0.000	32.32	15.13	4.25	47.47	70.99	140.15	32.04	60.77	0.000	0.000	170.226	232.960	14.23
76/5/3/1	4.107	0.000	50.51	22.30	4.25	113.96	43.72	169.72	57.69	78.58	0.000	0.000	234.818	305.990	19.36
	4.182	0.000	45.95	13.23	4.25	53.83	43.72	160.28	53.10	33.45	0.000	0.000	161.046	246.830	15.44
	4.063	0.000	30.50	11.73	3.37	41.11	71.87	162.17	53.10	43.03	0.000	0.000	158.666	258.300	15.72

編號：年/月/日/站  
n.d. : not detectable

續下頁

表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

承上頁

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> μeq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SUM(+)	SUM(-)	合鹽量 ppm
													SUM(+)	SUM(-)	
76/5/3/3	6.333	26.704	70.71	11.81	5.13	12.20	82.43	100.73	26.37	11.75	26.699	0.005	182.230	165.554	12.04
76/5/3/5	5.221	5.087	191.02	24.77	6.44	102.39	41.96	225.07	51.48	99.69	5.087	0.000	366.586	381.327	25.32
76/5/3/4	6.671	72.305	304.95	21.67	8.63	48.33	173.04	347.74	77.13	62.67	72.273	0.032	556.620	559.845	39.03
76/5/3/9	4.313	0.000	155.32	30.54	4.25	57.30	88.59	299.51	65.25	71.65	0.000	0.000	336.049	436.410	27.51
76/5/3/8	6.107	52.949	268.69	21.20	5.13	41.69	13.81	195.51	42.57	50.06	52.943	0.006	350.521	341.089	24.06
	4.625	0.000	98.36	16.78	4.25	36.48	86.83	197.39	49.05	43.84	0.000	0.000	242.724	290.280	18.81
76/5/4/1	6.792	86.528	270.71	26.72	8.63	59.03	25.25	219.41	32.58	50.23	86.478	0.050	390.340	388.748	27.49
	6.451	72.131	271.72	26.72	7.76	74.64	10.29	159.65	46.08	83.18	72.112	0.019	391.130	361.041	25.83
76/4/15/1	4.541	0.000	26.16	6.53	1.87	23.13	59.37	73.96	52.01	13.71	0.000	0.000	117.089	139.680	9.54
	4.629	0.373	30.37	5.15	1.87	18.28	49.92	64.29	48.53	11.18	0.373	0.000	105.613	124.373	8.58
	4.354	0.000	16.66	4.88	1.87	7.73	60.96	80.96	37.48	10.14	0.000	0.000	92.144	128.580	8.31
76/5/18/1	4.945	0.000	9.44	2.39	n.d.	5.11	21.62	22.30	16.30	11.70	0.000	0.000	38.571	50.300	3.22
	5.085	0.000	20.98	2.52	n.d.	14.42	11.56	24.10	17.40	13.30	0.000	0.000	49.488	54.800	3.70

續下頁

編號：年/月/日/站  
n.d.：not detectable

表 3.4 台灣地區雨水的天然化學組成

編號	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	SUM(+)	SUM(-)	含鹽量 ppm
													SUM(+)	SUM(-)	
76/7/23/7	5.220	0.000	0.143	0.058	0.010	0.143	0.016	0.088	0.017	0.121	0.000	0.000	0.376	0.226	17.09
76/7/27/7	6.780	0.101	0.180	0.063	0.008	0.157	0.009	0.050	0.014	0.121	0.101	0.000	0.417	0.286	22.16
76/7/28/7	6.480	0.062	0.148	0.057	0.016	0.075	0.000	0.043	0.009	0.056	0.062	0.000	0.296	0.170	14.38
76/7/29/7	5.720	0.029	0.163	0.055	0.005	0.048	0.009	0.069	0.024	0.047	0.029	0.000	0.282	0.169	13.62
76/7/30/7	6.480	0.047	0.165	0.058	0.005	0.077	0.009	0.077	0.019	0.063	0.047	0.000	0.314	0.206	16.10
76/8/31/7	6.609	0.315	0.172	0.023	0.009	0.118	0.000	0.057	0.039	0.191	0.315	0.000	0.322	0.602	37.92
76/9/10/7	6.000	0.348	0.000	0.000	0.035	1.174	0.000	0.164	0.000	1.205	0.348	0.000	1.210	1.717	100.19
76/10/24/7	7.091	0.776	0.791	0.053	0.681	0.728	0.000	1.141	0.000	0.283	0.775	0.001	2.253	2.200	171.94
76/10/25/7	7.868	0.202	0.321	0.287	1.147	1.174	0.000	1.318	0.018	0.459	0.201	0.001	2.929	1.872	168.64
76/12/10/7	6.002	0.034	0.053	0.000	0.005	0.018	0.007	0.040	0.006	0.000	0.034	0.000	0.084	0.080	6.16
77/1/3/7	4.571	0.010	0.073	0.016	0.015	0.066	0.102	0.092	0.027	0.043	0.010	0.000	0.299	0.172	13.82
77/1/18/7	4.825	0.000	0.084	0.019	0.131	0.196	0.084	0.130	0.042	0.215	0.000	0.000	0.529	0.387	29.52
77/2/19/7	4.598	0.000	0.021	0.014	0.015	0.104	0.033	0.087	0.039	0.053	0.000	0.000	0.212	0.179	12.63
77/2/19/7	4.278	0.000	0.065	0.019	0.000	0.104	0.056	0.106	0.046	0.064	0.000	0.000	0.297	0.216	15.14
77/2/20/7	7.333	0.000	0.693	0.019	0.058	0.110	0.056	0.404	0.033	0.076	0.000	0.000	0.936	0.513	44.03

編號：年/月/日/站  
n.d.：not detectable

表 3.5 台灣地區湖沼, 水庫密度, 導電度計算值與測量值之比較

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
翠峰湖	1.68	6.03	-4.35	4.54	6.12	1.58
	2.16	6.75	4.59	5.34	6.38	1.04
	1.98	8.01	6.03	5.20	6.60	1.40
	2.01	6.03	4.02	5.08	6.47	1.39
	2.34	2.59	0.25	12.12	6.80	-5.32
	2.34	2.59	0.25	12.04	7.20	-4.84
	2.19	1.53	-0.66	10.68	6.40	-4.28
明池	3.94	10.24	6.30	8.39	9.59	1.20
	4.28	11.09	6.81	9.16	9.51	0.35
情人湖	35.71	36.07	0.36	91.61	91.9	0.29
	36.34	36.68	0.34	92.73	92.4	-0.33
	36.17	34.78	-1.39	92.81	90.8	-2.01
	35.48	36.38	0.90	90.71	91.2	0.49
	37.36	44.65	7.29	99.65	100.9	1.25
	39.07	43.22	4.15	103.34	101.7	-1.64
	38.53	46.39	7.86	102.92	106.2	3.28
雙連埤	36.58	44.51	7.93	97.92	101.9	3.98
	5.43	12.13	6.70	13.05	18.00	4.95
	5.35	12.22	6.87	12.47	16.60	4.13
	5.95	12.21	6.26	13.17	16.20	3.03
	6.55	12.36	5.81	14.57	17.80	3.23
夢幻湖	9.47	21.55	12.08	40.03	20.5	-19.53
	12.41	15.91	3.50	40.77	39.4	-1.37
	11.63	14.89	3.26	37.98	39.1	1.12
	13.95	15.31	1.36	43.19	38.2	-4.99
	18.66	24.14	5.48	52.70	59.9	7.20
鴛鴦湖	18.51	24.86	6.35	53.75	62.2	8.45
	11.32	21.76	10.44	19.83	24.3	4.47
	10.75	20.67	9.92	19.52	23.7	4.18
昂天湖	4.00	14.35	10.35	9.16	11.86	2.70
	36.25	46.29	10.04	69.06	68.4	-0.66
	34.98	45.66	10.68	66.06	65.1	-0.96
龍潭	34.89	43.33	8.44	65.71	67.0	1.29
	40.49	48.05	7.56	85.47	83.6	-1.87
	40.36	47.34	6.98	84.21	83.1	-1.11
醉月湖	40.29	47.29	7.00	84.20	84.3	0.10
	41.98	50.07	8.09	81.80	81.3	-0.50
	42.26	50.44	8.19	82.47	81.6	-0.87
月眉山	40.93	49.01	8.09	80.26	79.2	-1.06
	60.82	63.59	2.77	125.82	121.7	-4.12
	56.85	63.53	6.68	122.39	119.7	-2.69

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼,水庫密度,導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
月眉山 新山水庫	64.04	64.09	0.05	130.17	114.0	-16.17
	70.17	70.63	0.46	146.82	115.5	-31.32
梅花湖	64.90	65.72	0.82	135.11	118.4	-16.71
	46.26	50.80	4.54	101.14	103.0	1.86
	48.33	51.09	2.76	106.42	101.9	-4.52
	91.72	94.75	3.03	179.28	171.1	-8.18
	88.55	93.30	4.75	173.41	166.7	-6.71
	90.68	93.60	2.92	178.25	171.1	-7.15
	70.78	71.68	0.90	136.39	126.6	-9.79
	71.73	69.55	-2.18	138.31	126.6	-11.71
湖濱公園	69.33	66.04	-3.29	133.47	127.5	-5.97
	67.41	75.22	7.81	129.01	128.0	-1.01
	103.52	106.99	3.47	211.40	194.0	-17.40
	102.71	105.99	3.28	210.47	192.0	-18.47
龍潭湖	102.33	103.13	0.80	208.89	191.0	-17.89
	102.04	102.40	0.36	208.12	192.0	-16.12
	64.22	71.60	7.38	117.08	116.1	-0.98
	63.98	72.54	8.56	116.84	116.2	-0.64
	63.64	73.27	9.63	115.74	117.1	1.36
	64.36	72.95	8.59	116.98	117.7	0.72
	65.22	87.88	22.66	120.54	115.0	-5.54
	83.57	96.48	12.91	143.38	140.2	-3.18
大湖	65.41	78.18	12.77	120.99	115.0	-5.99
	85.29	83.93	-1.36	147.73	137.0	-10.73
	63.66	71.10	7.44	115.19	114.8	-0.39
	64.54	70.24	5.70	117.31	114.6	-2.71
	73.92	87.09	13.17	133.62	129.2	-4.42
金龍湖	74.65	88.35	13.70	135.17	134.6	-0.57
	276.69	251.84	-24.85	497.03	391	-106.03
	276.80	253.51	-23.29	497.55	396	-101.55
	152.82	165.22	12.40	285.32	258	-27.32
	155.42	165.35	9.93	291.01	260	-31.01
	151.79	163.63	11.84	283.49	257	-26.49
九芎湖	155.69	167.95	12.26	290.84	262	-28.84
	287.15	310.23	23.08	534.95	447	-87.95
	283.13	309.67	26.54	526.36	446	-80.36
	251.55	265.83	14.28	445.40	370	-75.40
暖暖水庫	252.47	274.79	22.32	446.79	370	-76.79
	41.26	47.09	5.83	84.88	79.0	-5.88
	40.45	47.28	6.83	82.29	77.1	-5.19
	46.98	39.35	-7.63	76.28	75.6	-0.68

相對密度差單位： $10^{-6}g/cm^3$

導電度單位： $\mu S/cm$

差：測量值-計算值

編號：年/月/日/站

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼, 水庫密度, 導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
暖暖水庫	47.67	40.09	-7.58	77.63	78.8	1.17
	47.06	39.33	-7.73	76.39	75.8	-0.59
	47.03	37.31	-9.72	76.28	75.7	-0.58
澄清湖	304.96	347.45	42.49	569.35	499	-70.35
	335.46	354.61	19.15	620.46	510	-110.46
	328.75	360.71	31.96	604.37	521	-83.37
	274.89	341.41	66.52	506.26	501	-5.26
	254.73	273.14	18.41	465.60	410	-55.60
	258.15	270.32	12.17	472.48	422	-50.48
	257.86	267.64	9.78	472.84	421	-51.84
	257.21	273.43	16.22	468.14	428	-40.14
	264.39	275.45	11.06	480.75	430	-50.75
蘭潭天池	44.03	37.14	-6.89	82.73	70.1	-12.63
佛光山	121.85	157.36	35.51	192.62	198.3	5.68
中正湖	247.08	284.91	37.83	431.23	412	-19.23
	240.46	271.25	30.79	421.77	398	-23.77
綠茵湖	241.25	268.73	27.48	419.76	398	-21.76
	250.49	224.28	-26.21	431.91	318	-113.91
	245.16	232.51	-12.65	425.04	331	-94.04
	259.00	282.24	23.24	454.07	400	-54.07
台東鯉魚池	253.72	263.58	9.86	441.27	375	-66.27
	294.58	332.02	37.44	548.39	464	-84.39
	265.50	289.41	23.91	483.52	416	-67.52
	270.39	294.39	24.00	494.51	415	-79.51
	263.82	295.71	31.89	477.60	418	-59.60
大南水庫	218.35	250.33	31.98	387.92	363	-24.92
	218.69	229.62	10.93	388.89	347	-41.89
	28.43	33.70	5.27	72.42	100.0	27.58
	49.63	56.60	6.97	106.75	102.8	-3.95
	44.20	46.49	2.29	91.00	87.5	-3.50
	46.80	55.44	8.64	96.44	92.2	-4.24
南仁湖	50.09	55.05	4.96	106.05	100.4	-5.65
	48.57	50.21	1.64	102.73	98.0	-4.73
	110.99	129.74	18.75	209.32	214	4.68
	49.25	60.92	11.67	95.56	107.4	11.84
內湖公園	59.90	74.55	14.65	117.54	131.6	14.06
內湖大埤	66.19	93.07	26.88	125.79	139.6	13.81
雙溪公園	152.16	166.01	13.85	303.70	273	-30.70
台中公園	196.11	216.28	20.17	375.81	347	-28.81
台南中山公園	407.97	433.64	25.67	858.85	771	-87.85
成功湖	215.45	213.09	-2.36	400.28	341	-59.28

相對密度差單位： $10^{-6}g/cm^3$

導電度單位： $\mu S/cm$

差：測量值-計算值

編號：年/月/日/站

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼,水庫密度,導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
東衛水庫	518.52	550.70	32.18	1271.52	1182	-89.52
	508.70	543.43	34.73	1253.95	1188	-65.95
成功水庫	536.10	572.80	36.70	1295.37	1191	-104.37
	538.68	574.60	35.92	1310.79	1202	-108.79
興仁水庫	549.84	572.18	22.34	1344.17	1200	-144.17
	497.57	530.02	32.45	1222.05	1155	-67.05
小興仁水池	500.72	527.21	26.49	1233.37	1156	-77.37
	597.18	658.82	61.64	1580.26	1538	-42.26
彰工池	414.44	404.69	-9.75	758.09	643	-115.09
白沙湖	174.02	197.00	22.98	405.25	337	-68.25
中興湖	182.40	186.12	3.72	356.26	307	-49.26
員林公園	524.67	391.56	-133.11	938.15	623	-315.15
員林百果山	117.68	154.01	36.33	226.53	226	-0.53
	0.92	0.87	-0.05	2.34	3.95	1.61
七彩湖	0.76	4.50	3.74	1.95	3.70	1.75
	1.75	3.10	1.35	5.28	6.75	1.47
馬淋窟	12.29	10.85	-1.44	28.83	25.0	-3.83
埔里鯉魚潭	11.81	11.77	-0.04	27.76	29.8	2.04
	31.12	39.47	8.35	59.81	60.5	0.69
	32.05	40.92	8.87	57.97	61.5	3.53
	21.36	21.62	0.26	39.15	51.9	12.75
	22.05	24.67	2.62	40.74	51.6	10.86
	33.38	48.42	15.04	60.98	59.0	-1.98
	32.84	50.36	17.52	59.85	59.0	-0.85
	34.20	51.81	17.61	62.07	64.2	2.13
碧湖	34.53	50.79	16.26	63.85	64.0	0.15
	251.70	223.51	-28.19	426.70	334	-92.70
	224.16	267.85	43.69	383.39	402	18.61
	169.32	182.54	13.22	295.11	271	-24.11
	243.06	256.26	13.20	417.40	368	-49.40
	248.10	249.75	1.65	427.57	377	-50.57
小天鑿池	1.78	8.30	6.52	4.36	6.60	2.24
	3.23	7.70	4.47	7.88	10.10	2.22
梨山天池	19.03	22.40	3.37	32.19	37.6	5.41
	19.06	23.92	4.86	32.10	37.3	5.20
	161.58	177.21	15.63	285.10	269	-16.10
湧泉池	165.27	179.17	13.90	290.85	271	-19.85
	134.69	135.35	0.66	234.77	218	-16.77
德基水庫	133.22	135.05	1.83	231.96	220	-11.96
	131.31	133.84	2.53	228.00	218	-10.00
	132.13	136.12	3.99	230.18	220	-10.18

相對密度差單位： $10^{-6}g/cm^3$

導電度單位： $\mu S/cm$

差：測量值-計算值

續下頁



表 3.5 台灣地區湖沼,水庫密度,導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
德基水庫	129.12	137.65	8.53	227.52	206	-21.52
	124.13	129.11	4.98	217.63	194.0	-23.63
	118.16	133.45	15.29	209.01	200.0	-9.01
	117.19	127.30	10.11	200.78	198.6	-8.18
	114.08	127.10	13.02	200.07	191.9	-8.17
	113.52	126.38	12.86	199.58	194.2	-5.38
	113.13	127.20	14.07	199.36	194.3	-5.06
	114.84	127.88	13.04	201.76	193.5	-8.26
	105.47	101.76	-3.71	188.62	177.3	-11.32
	108.77	97.41	-11.36	190.67	170.6	-20.07
谷關水庫	118.38	128.97	10.59	205.95	195.6	-10.35
	124.49	131.61	7.12	218.97	202	-16.97
	124.20	125.95	1.75	215.69	206	-9.69
	126.80	128.13	1.33	221.46	209	-12.46
	78.34	88.83	10.49	131.38	135.2	3.82
	78.84	89.15	10.31	132.18	135.8	3.62
思源池	123.25	162.57	39.32	646.33	624	-22.33
	1.98	6.25	4.27	4.07	6.36	2.29
地熱池	2.59	4.79	2.20	6.09	13.20	7.11
	15.49	26.87	11.38	24.98	30.7	5.72
大鬼湖	44.39	71.66	27.27	69.84	93.4	23.56
	8.03	16.22	8.19	14.53	15.30	0.77
麗池	132.41	157.81	25.40	270.88	258	-12.88
	140.17	184.15	43.98	287.14	315	27.86
青草湖	316.63	321.04	4.41	574.09	510	-64.09
	322.24	326.20	3.96	584.22	525	-59.22
慈湖	322.18	331.94	9.76	577.65	535	-42.65
	72.85	84.84	11.99	132.35	134.0	1.65
小琉球--仙人泉	75.37	80.38	5.01	136.87	136.0	-0.87
	83.70	80.99	-2.71	155.41	133.0	-22.41
--麗池	288.23	278.79	-9.44	545.26	504	-41.26
	404.64	381.62	-23.02	722.28	656	-66.28
--烏鬼洞	405.28	387.67	-17.61	722.88	681	-41.88
	649.22	613.92	-35.30	1359.33	1193	-166.33
--蓄水池	487.30	514.69	27.39	935.06	990	54.94
	487.73	513.09	25.36	935.41	981	45.59
妹潭	96.33	118.73	22.40	166.31	183.0	16.69
	39.95	52.83	12.88	76.51	85.0	8.49
姊潭	39.26	51.15	11.89	74.64	84.0	9.36
	3.47	5.52	2.05	9.18	9.00	-0.18
上東埔大草原	3.84	5.76	1.92	8.86	6.00	-2.86

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

編號：年/月/日/站

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼,水庫密度,導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
小鬼湖	9.30	20.94	11.64	21.00	29.0	8.00
	9.36	22.93	13.57	21.33	28.0	6.67
受鎮鯉魚池	8.92	24.82	15.90	19.44	34.0	14.56
	51.48	63.24	11.76	98.02	105.0	6.98
南橫天池	1.79	-4.24	-6.03	3.27	15.00	11.73
蘭潭	221.88	249.04	27.16	387.81	374	-13.81
白河水庫	249.68	276.89	27.21	450.66	433	-17.66
曾文水庫	158.06	177.30	19.24	273.50	259	-14.50
蓮池潭	342.67	384.72	42.05	644.02	582	-62.02
阿公店水庫	233.43	265.39	31.96	426.58	416	-10.58
翡翠水庫	39.38	46.80	7.42	76.96	85.5	8.54
	37.49	46.92	9.43	76.13	88.8	12.67
	29.60	41.55	11.95	58.11	78.2	20.09
	34.47	46.02	11.55	66.23	86.5	20.27
	34.22	45.95	11.73	66.16	84.0	17.84
	31.23	42.07	10.84	61.36	77.6	16.24
	34.31	52.37	18.06	66.81	66.5	-0.31
	38.91	45.83	6.92	74.55	73.0	-1.55
	35.83	40.24	4.41	69.01	70.3	1.29
	34.67	40.78	6.11	66.92	68.7	1.78
	35.52	35.09	-0.43	68.08	71.1	3.02
	35.70	41.39	5.69	68.57	71.1	2.53
直潭	47.54	53.58	6.04	88.44	81.5	-6.94
	47.92	50.16	2.24	89.12	82.0	-7.12
	49.95	60.52	10.57	93.21	86.6	-6.61
	37.53	45.95	8.42	71.99	82.3	10.31
碧潭	41.46	48.64	7.18	79.85	84.7	4.85
	39.80	51.48	11.68	74.17	85.7	11.53
	39.65	47.99	8.34	73.67	85.3	11.63
	39.64	58.43	18.79	74.71	85.2	10.49
	37.92	57.79	19.87	70.71	87.2	16.49
	43.77	49.51	5.74	82.64	78.8	-3.84
	42.26	46.17	3.91	79.15	78.7	-0.45
	46.75	46.05	-0.70	88.74	81.5	-7.24
寶山水庫	65.96	77.18	11.22	122.63	121.7	-0.93
	47.11	89.34	42.23	92.61	132.0	39.39
	140.68	176.18	35.50	241.24	230	-11.24
	66.76	78.40	11.64	122.78	121.8	-0.98
	100.46	120.00	19.54	181.54	194.7	13.16
	96.99	117.63	20.64	175.19	191.5	16.31
	106.30	111.43	5.13	193.52	196.0	2.48

相對密度差單位： $10^{-6}g/cm^3$

導電度單位： $\mu S/cm$

差：測量值-計算值

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼, 水庫密度, 導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
寶山水庫	117.34	132.74	15.40	210.44	224	13.56
	124.46	137.48	13.02	221.91	237	15.09
大埔水庫	60.85	70.94	10.09	114.91	139.0	24.09
	62.62	70.60	7.98	120.44	141.0	20.56
永和山水庫	60.47	81.98	21.51	117.73	157.0	39.27
	124.05	136.71	12.66	227.01	201	-26.01
	121.42	139.31	17.89	219.63	198.5	-21.13
	124.82	137.37	12.55	222.94	199.8	-23.14
	148.27	168.23	19.96	259.26	247	-12.26
	118.87	130.35	11.48	209.64	199.0	-10.64
	128.77	129.57	0.80	225.01	196.1	-28.91
	119.49	131.52	12.03	210.93	198.0	-12.93
	126.35	142.57	16.22	231.55	227	-4.55
	125.89	146.25	20.36	231.07	232	0.93
明德水庫	80.06	112.52	32.46	137.21	157.0	19.79
	83.21	117.46	34.25	144.04	159.9	15.86
	127.82	148.89	21.07	218.06	228	9.94
	106.96	129.22	22.26	186.47	202	15.53
	98.38	115.40	17.02	169.79	181.2	11.41
	133.67	151.89	18.22	228.95	235	6.05
	109.96	127.59	17.63	191.02	183.0	-8.02
	112.88	122.87	9.99	194.85	174.0	-20.85
	88.08	102.61	14.53	153.92	145.0	-8.92
	112.29	129.67	17.38	195.50	192.2	-3.30
石岡水壩	107.92	122.36	14.44	186.12	184.1	-2.02
	85.06	99.26	14.20	147.65	145.8	-1.85
	114.97	130.86	15.89	202.05	194.5	-7.55
日月潭	106.56	133.10	26.54	184.62	191.4	6.78
	235.97	254.85	18.88	414.48	364	-50.48
	236.36	253.68	17.32	414.72	362	-52.72
	236.24	254.17	17.93	415.92	367	-48.92
	235.37	246.88	11.51	415.36	342	-73.36
	237.22	254.41	17.19	418.57	366	-52.57
	240.50	254.34	13.84	424.36	367	-57.36
	241.07	254.00	12.93	427.99	366	-61.99
	242.24	257.00	14.76	429.01	366	-63.01
	242.50	257.14	14.64	428.43	367	-61.43
210.97	219.01	8.04	375.87	319	-56.87	
211.23	218.93	7.70	375.15	320	-55.15	
212.66	221.38	8.72	377.60	322	-55.60	
209.17	219.59	10.42	371.67	305	-66.67	

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

續下頁

表 3.5 台灣地區湖沼,水庫密度,導電度計算值與測量值之比較

承上頁

採樣地點	相對密度差		差	導電度		差
	計算	測量		計算	測量	
日月潭	209.92	221.45	11.53	372.56	310	-62.56
	210.53	222.25	11.72	373.63	300	-73.63
烏山頭水庫	159.40	172.75	13.35	275.20	268	-7.20
	177.01	189.02	12.01	303.80	260	-43.80
	175.05	188.36	13.31	301.39	260	-41.39
	167.33	175.03	7.70	289.79	267	-22.79
	172.42	184.19	11.77	296.70	260	-36.70
	181.41	188.39	6.98	307.75	270	-37.75
	165.25	185.76	20.51	287.64	270	-17.64
	175.30	155.31	-19.99	304.09	292	-12.09
	185.02	209.09	24.07	323.79	300	-23.79
	166.35	177.01	10.66	289.99	267	-22.99
	180.40	191.56	11.16	314.31	291	-23.31
	160.91	199.01	38.10	284.07	287	2.93
	162.89	176.04	13.15	286.99	268	-18.99
	221.21	233.34	12.13	398.89	364	-34.89
	201.01	208.34	7.33	357.37	329	-28.37
	166.72	174.34	7.62	293.71	274	-19.71
188.50	192.91	4.41	332.50	309	-23.50	
184.70	193.25	8.55	315.95	296	-19.95	
龍鑾潭	183.23	199.99	16.76	330.05	320	-10.05
	212.25	208.81	-3.44	367.84	340	-27.84
花蓮鯉魚潭	26.17	32.19	6.02	50.46	60.3	9.84
	25.88	32.31	6.43	49.63	60.0	10.37
	42.47	54.07	11.60	72.13	91.0	18.87
	24.46	30.57	6.11	42.67	52.0	9.33
	24.29	28.19	3.90	42.30	54.0	11.70
石門水庫	24.96	29.29	4.33	43.31	54.0	10.69
	87.76	92.17	4.41	158.91	148.7	-10.21
	101.78	109.94	8.16	181.33	172.8	-8.53
	88.09	91.93	3.84	159.01	148.6	-10.41
墾丁活動中心	94.09	110.64	16.55	168.00	163.1	-4.90
	109.11	110.60	1.49	195.61	178.6	-17.01
	258.90	406.40	147.50	543.32	637	93.68

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

表 3.6 台灣地區雨水密度、導電度的測量值與計算值之比較

編號	相對密度差			導電度		
	計算	測量	差	計算	測量	差
77/6/7/7	6.35	9.01	2.66	14.31	16.34	2.03
	5.02	8.33	3.31	11.31	13.09	1.78
77/6/7/8	4.99	5.25	0.26	14.62	21.4	6.78
77/6/7/9	3.41	3.44	0.03	8.58	15.78	7.20
77/6/7/6	4.44	3.99	-0.45	11.12	14.20	3.08
	4.72	5.91	1.19	11.51	13.88	2.37
77/6/7/4	4.66	3.15	-1.51	10.49	25.7	15.21
77/6/7/5	2.40	2.83	0.43	6.65	9.87	3.22
	3.08	2.44	-0.64	8.00	8.96	0.96
77/6/7/3	4.22	5.15	0.93	9.80	10.66	0.86
	4.76	7.43	2.67	10.02	12.05	2.03
77/6/7/1	4.14	3.75	-0.39	11.45	14.37	2.92
	4.62	2.15	-2.47	11.08	14.10	3.02
	4.89	5.03	0.14	11.74	14.04	2.30
76/6/8/7	2.86	3.17	0.31	6.89	8.60	1.71
	2.60	1.55	-1.05	5.57	8.89	3.32
77/6/8/8	5.87	3.94	-1.93	16.41	15.00	-1.41
	4.57	2.25	-2.32	13.68	17.10	3.42
77/6/8/9	4.18	2.06	-2.12	10.69	23.2	12.51
	4.87	2.18	-2.69	12.13	19.32	7.19
	4.56	2.30	-2.26	11.27	20.2	8.93
77/6/8/6	3.77	2.11	-1.66	9.64	13.41	3.77
	3.52	2.06	-1.46	8.71	15.03	6.32
77/6/8/4	3.67	0.60	-3.07	9.13	21.2	12.07
77/6/8/5	3.80	1.38	-2.42	8.77	12.50	3.73
	4.17	3.87	-0.30	10.21	14.77	4.56
77/6/8/3	3.69	4.21	0.52	8.37	16.55	8.18
	3.70	4.94	1.24	8.90	15.50	6.60
76/5/22/7	15.00	26.75	11.75	35.24	33.5	-1.74
	12.94	23.49	10.55	29.63	26.8	-2.83
76/5/22/8	12.72	19.47	6.75	37.06	41.8	4.74
76/5/22/9	10.29	16.73	6.44	25.63	32.6	6.97
	12.27	19.88	7.61	28.52	35.8	7.28
	10.92	17.10	6.18	25.68	37.2	11.52
76/5/22/6	12.45	20.63	8.18	30.11	35.0	4.89
	14.17	21.58	7.41	36.30	39.9	3.60
76/5/22/4	10.33	17.82	7.49	25.69	39.2	13.51
76/5/22/5	16.03	21.75	5.72	42.32	45.6	3.28
	10.00	17.07	7.07	25.03	30.1	5.07
76/5/22/3	16.63	25.76	9.13	38.22	58.3	20.08
	17.01	25.64	8.63	39.48	63.2	23.72
76/5/23/7	18.35	21.96	3.61	41.39	45.3	3.91
	16.14	20.05	3.91	35.65	35.6	-0.05

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

續下頁

表 3.6 台灣地區雨水密度、導電度的測量值與計算值之比較

承上頁

編號	相對密度差			導電度		
	計算	測量	差	計算	測量	差
76/5/23/8	11.10	10.89	-0.21	29.42	39.1	9.68
76/5/23/9	20.91	21.14	0.23	50.33	47.5	-2.83
76/5/23/6	14.83	18.69	3.86	32.45	38.8	6.35
	6.52	12.49	5.97	14.26	24.1	9.84
76/5/23/4	7.20	7.87	0.67	15.22	28.2	12.98
	6.11	6.93	0.82	14.44	29.4	14.96
76/5/23/1	15.20	21.62	6.42	41.28	59.1	17.82
76/5/17/7	9.51	16.41	6.90	22.25	28.5	6.25
	8.14	12.23	4.09	18.99	19.50	0.51
76/5/17/8	12.16	12.23	0.07	25.93	17.80	-8.13
	11.88	15.01	3.13	25.18	22.1	-3.08
76/5/17/9	7.09	12.25	5.16	18.99	25.5	6.51
76/5/17/6	6.46	9.22	2.76	14.68	23.6	8.92
	9.97	15.91	5.94	21.21	25.1	3.89
76/5/17/5	9.49	13.77	4.28	21.10	23.3	2.20
	3.84	3.34	-0.50	8.33	12.00	3.67
76/5/17/4	7.42	18.13	10.71	16.82	32.9	16.08
	10.32	18.57	8.25	20.86	24.0	3.14
76/5/17/3	9.11	10.77	1.66	18.83	19.80	0.97
	8.73	12.95	4.22	18.15	20.1	1.95
76/5/17/1	8.49	11.40	2.91	21.39	28.1	6.71
	10.23	9.88	-0.35	23.42	22.0	-1.42
76/5/18/7	7.35	10.63	3.28	16.30	16.40	0.10
	11.79	14.84	3.05	24.69	25.9	1.21
76/5/18/8	3.23	4.79	1.56	7.70	10.40	2.70
	2.36	4.41	2.05	5.14	7.51	2.37
76/5/18/9	4.28	8.55	4.27	9.35	13.50	4.15
	2.73	4.16	1.43	7.73	14.31	6.58
76/5/18/6	3.10	3.82	0.72	7.09	12.71	5.62
	3.21	4.36	1.15	6.57	12.80	6.23
76/5/18/4	11.47	6.59	-4.88	22.70	12.99	-9.71
	2.08	4.21	2.13	4.30	8.68	4.38
76/5/18/5	2.65	5.76	3.11	5.43	10.79	5.36
	2.80	4.94	2.14	6.63	16.68	10.05
76/5/18/3	2.29	4.26	1.97	5.72	8.22	2.50
	3.51	4.55	1.04	7.75	9.15	1.40
76/5/3/2	1.79	3.68	1.89	3.69	5.61	1.92
	1.73	5.01	3.28	3.54	6.88	3.34
76/5/3/1	10.46	14.82	4.36	28.78	49.5	20.72
	15.13	21.69	6.56	37.11	56.9	19.79
	12.00	17.36	5.36	28.84	58.0	29.16
	11.44	15.66	4.22	30.08	61.9	31.82

相對密度差單位： $10^{-6} \text{g/cm}^3$

導電度單位： $\mu\text{S/cm}$

差：測量值-計算值

續下頁

表 3.6 台灣地區雨水密度、導電度的測量值與計算值之比較

承上頁

編號	相對密度差			導電度		
	計算	測量	差	計算	測量	差
76/5/3/3	8.98	13.39	4.41	23.94	23.1	-0.84
76/5/3/5	21.66	28.91	7.25	50.92	48.0	-2.92
76/5/3/4	31.38	36.41	5.03	76.53	72.3	-4.23
76/5/3/9	22.44	29.15	6.71	54.58	72.8	18.12
76/5/3/8	21.69	28.49	6.80	45.58	45.7	0.12
	14.76	20.89	6.13	37.93	45.2	7.27
76/5/4/1	24.29	28.74	4.45	50.68	48.7	-1.98
	22.72	29.92	7.20	48.39	47.8	-0.59
76/4/15/1	6.53	10.39	3.86	18.24	29.3	11.06
	5.96	7.36	1.40	16.28	25.6	9.32
	5.59	5.91	0.32	16.19	34.0	17.81
76/5/18/1	2.12	7.33	5.21	6.37	9.81	3.44
	2.82	5.88	3.06	7.14	10.20	3.06
76/7/23/7	15.54	20.78	5.24	40.27	25.3	-14.97
76/7/27/7	19.05	27.62	8.57	42.05	39.4	-2.65
76/7/28/7	13.21	18.06	4.85	28.68	23.8	-4.28
76/7/29/7	12.80	17.41	4.61	28.90	21.0	-7.90
76/7/30/7	14.74	22.97	8.23	32.39	25.7	-6.69
76/8/31/7	27.23	28.78	1.55	54.22	18.10	-36.12
76/9/10/7	70.32	95.36	25.04	182.00	215	33.00
76/10/24/7	142.62	161.24	18.62	284.85	272	-12.85
76/10/25/7	143.87	213.63	69.76	318.93	363	44.07
76/12/10/7	5.21	12.64	7.43	10.47	21.1	10.63
77/1/3/7	10.34	17.86	7.52	39.53	25.9	-13.63
77/1/18/7	22.09	30.84	8.75	66.67	57.1	-9.57
77/2/19/7	9.70	18.11	8.41	33.33	24.6	-8.73
77/2/19/7	11.85	18.23	6.38	49.29	27.1	-22.19
77/2/20/7	43.93	62.22	18.29	96.99	68.3	-28.69

相對密度差單位： $10^{-6}g/cm^3$

導電度單位： $\mu S/cm$

差：測量值-計算值

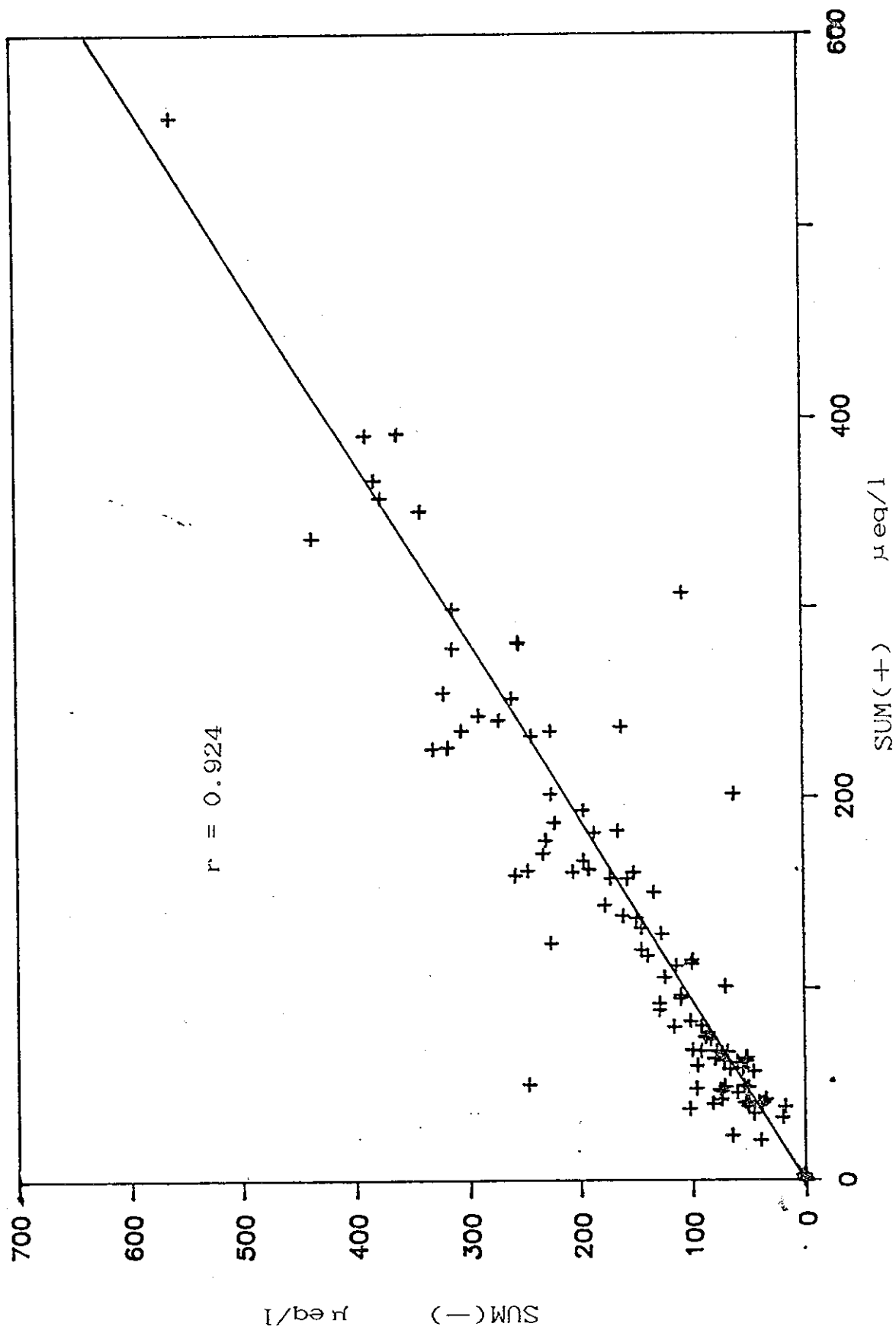


圖 3.1 雨水陰、陽離子相關圖，圖中直線為所得之迴歸線



3.2) 。在有機酸的分析中,全省選出之86個採樣點,只有52個採樣點測得到有丙酸,雨水部分只有10月24、25日測得到有丙酸。由於有機酸在水體中所佔比例仍屬少量,分析時必須考慮其它主要的無機離子,是否會對有機酸的測量產生影響。我們試著在固定有機酸(丙酸)濃度的試液中,加入不同量、不同種的無機鹽,由實驗結果發現,  $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  對有機酸的分析沒有太大影響。但水體中佔絕大比例的  $HCO_3^-$  對有機酸峰高的影響,似乎隨  $HCO_3^-$  含量的增加而增加。至於只有  $HCO_3^-$  的含量會反應在有機酸的偵測範圍內,推測因為離子層析儀主要是利用導電度,來偵測離子,所以可能  $HCO_3^-$  的導電度所反應出來的滯留時間,正好和丙酸的時間重合,而使丙酸的峰高增加。利用加入不同濃度的  $HCO_3^-$  與加入不同濃度丙酸所反應出來丙酸的峰高(扣除丙酸原有之峰高),將此峰高換算成相對丙酸的濃度,發現與加入的  $HCO_3^-$  的含量呈線性關係(圖 3.3),斜率變化從 0.18~0.31。我們可從圖中看出,斜率變化的誤差很大,所以真正的變化情形尚有待更進一步研究。取平均斜率 0.23,由實測的丙酸濃度,扣去水樣中所分析到的  $HCO_3^-$  含量與平均斜率變化的乘積,修正得到真正的丙酸濃度(表 3.3)。而雨水中唯二可以分析到丙酸的水樣,修正後的濃度分別是 0.019、0.497 meq/l。從分析結果顯示,我們認為水樣中主要離子應大致都已分析到,但一般而言,陰離子有偏高現象,這可能和各離子分析方法的準確度有關。

### 3.2.1 湖水密度的測量值與計算值的比較

利用 Young's 加成定律來計算湖水的密度,並與實際密度儀測得的值比較(表 3.5)可以得知 Young's 定律應用在台灣地區湖水的可行性。由密度的測量值與計算值(僅考慮無機鹽部份)迴歸分析後,得到相關值為 0.99,斜率為 1.05(圖 3.4)。如果 Young's 定律的理論,

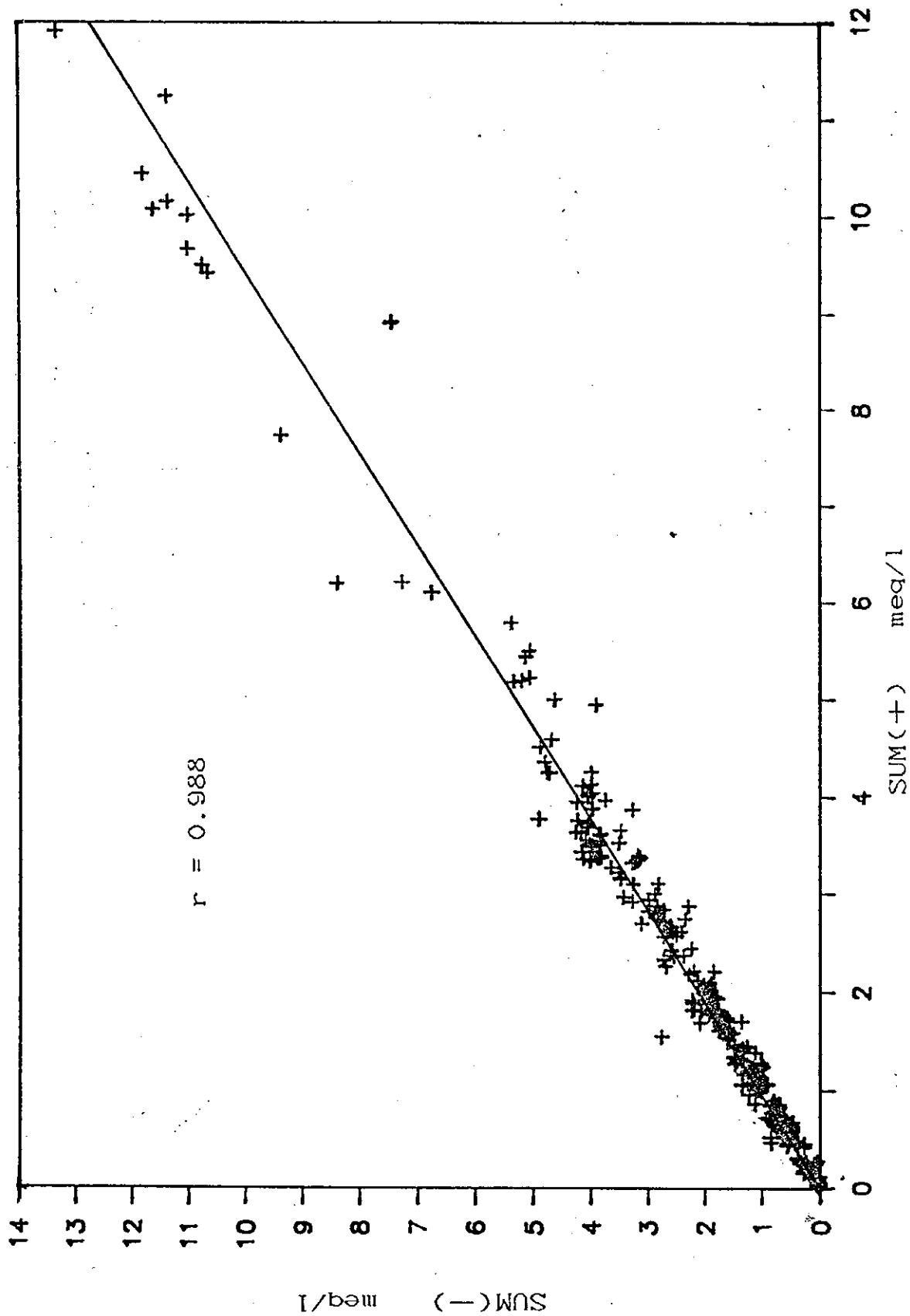


圖 3.2 湖水陰、陽離子相關圖，圖中直線為所得之迴歸線

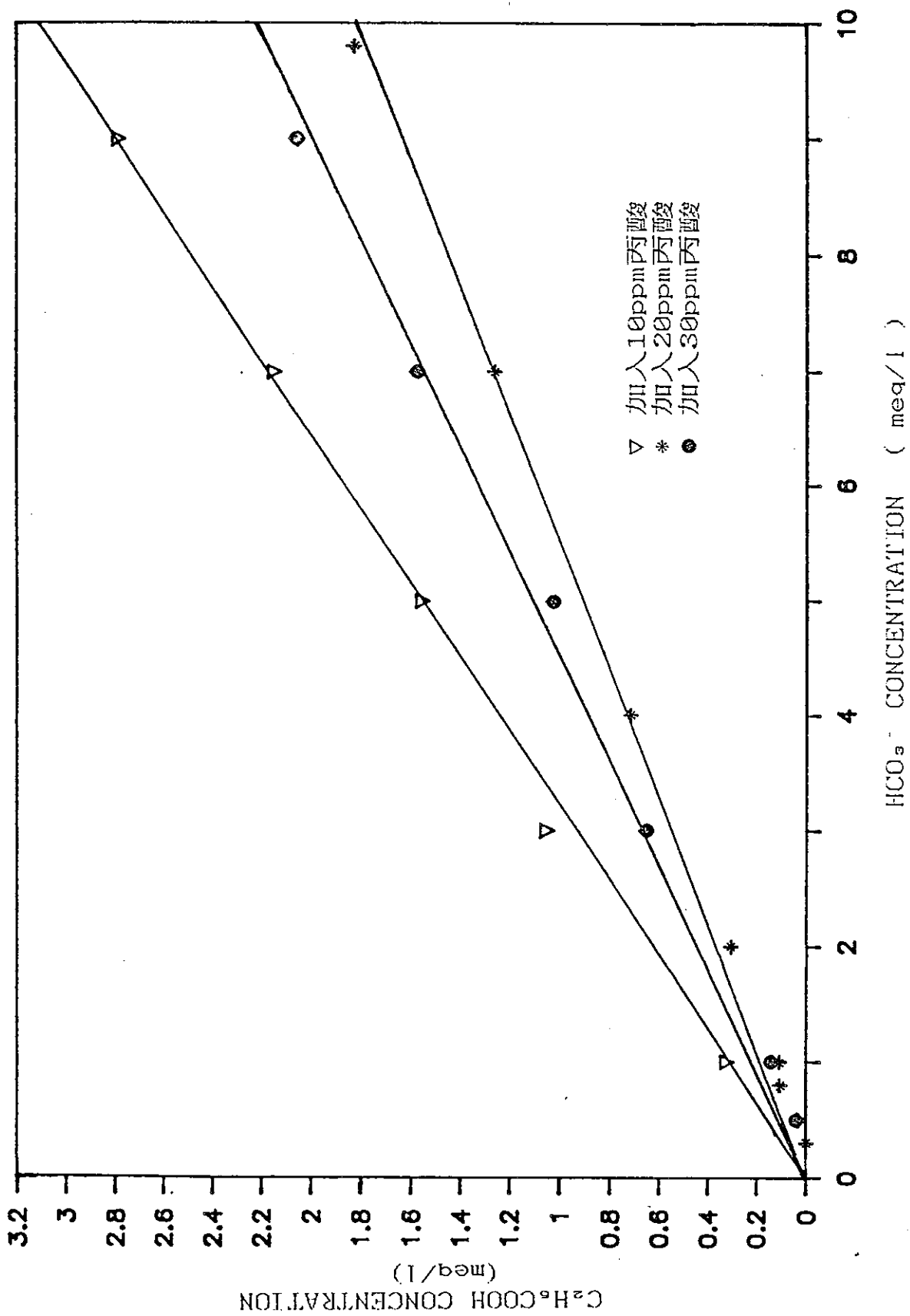


圖 3.3  $HCO_3^-$  濃度對丙酸濃度的影響

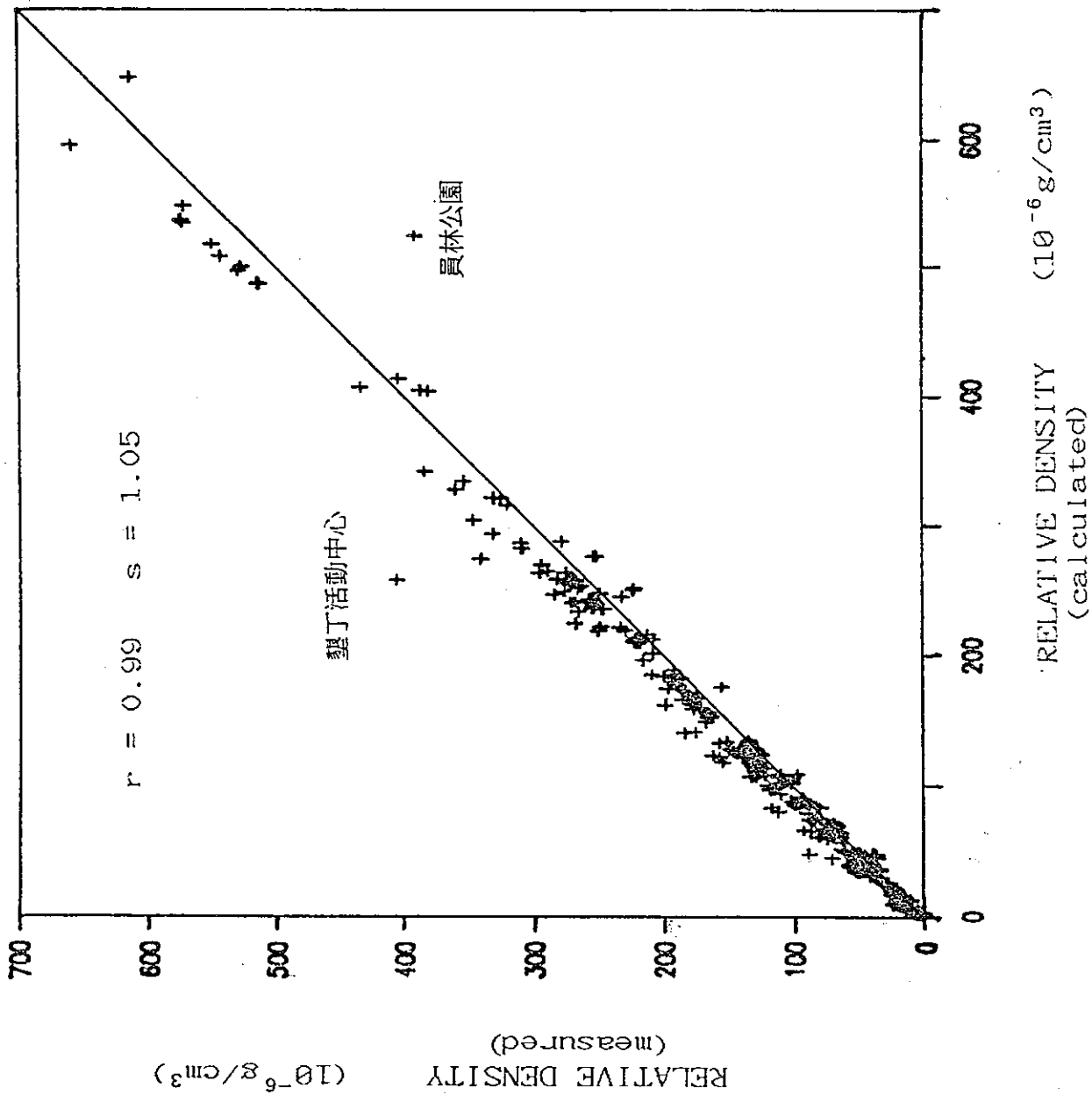


圖 3.4 台灣地區湖水密度的測量值與計算值之比較，圖中直線為斜率1的線

可以應用來計算台灣地區的湖水密度（或導電度），數據分布的位置應在斜率為 1 的直線附近。從實驗結果看來，一般數據分布均在直線附近，但是有稍微偏於線上方的趨勢，表示一般測量值較計算值為大。其中以彰化的員林公園、墾丁活動中心偏離較多，而且偏離方向正好相反。根據採樣時的觀察，有一半以上的湖沼、水庫是位於人為活動較為頻繁的地區或是所謂的森林區內，在自然環境下就可能有有機物存在。所以在測量值大於計算值的情況下，就必需考慮有機酸對密度的影響。

### 3.2.2 有機酸對湖水密度的影響

分析的結果顯示，除了高山湖沼及十幾個因有機酸含量太少，無法分離出來的湖沼之外，我們分析到只有 52 個湖沼（每個湖沼取一點）含有有機酸，而且只有丙酸。丙酸的部分當量體積為負值（表 3.1），根據公式 (2)，丙酸對密度的影響是使計算的密度值增加。利用有機酸修正之後，密度測量值與理論值比較的斜率為 0.996，相關值為 0.989（圖 3.5）。由於未對所有水樣做有機酸含量的分析，無法逐點修正，不過大致可以看出一個趨勢：濃度低的水樣，因為加入了少量的丙酸，使密度計算值增加，而比較接近斜率 1 的線。而濃度高的水樣，相對丙酸修正的量也多，圖 3.4 中比較偏離的二點：墾丁活動中心修正的結果會比較接近斜率為 1.00 的直線，而員林公園則沒有太大影響。就整個趨勢來看，所得的斜率非常接近斜率 1.00，表示利用 Young's 定律來計算溶液的密度應該是可行的。

### 3.2.3 湖水導電度的測量值與計算值的比較

測量與理論計算所得導電度的比較，可得迴歸相關值為 0.993，

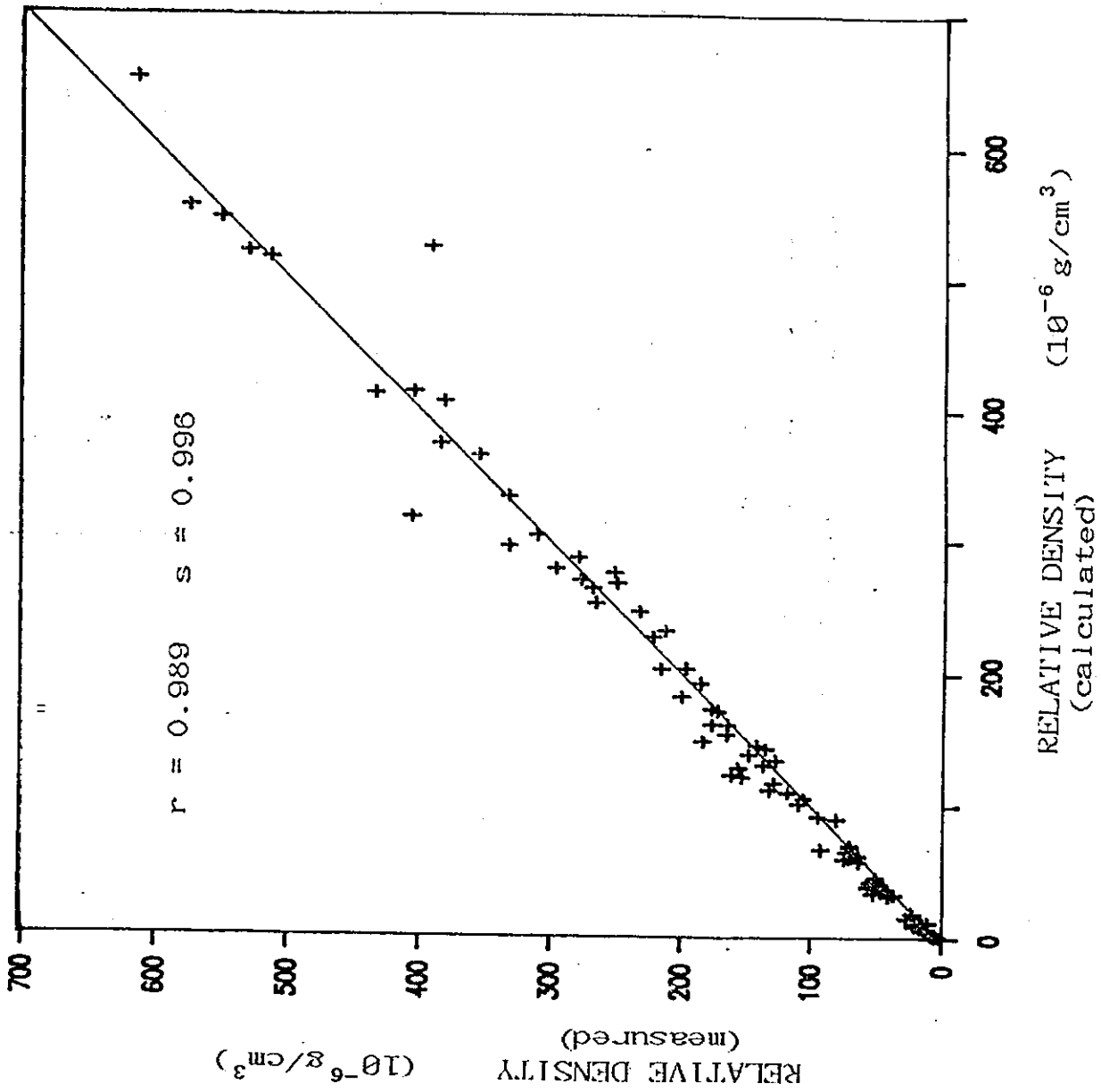


圖 3.5 台灣地區湖水密度的測量值與計算值之比較 (加入丙酸), 圖中直線為斜率1的線

斜率為 0.934 (圖3.6)。圖中大部分的點，是落在斜率 1 的直線下方，而且多半是導電度較大的值，如澎湖的成功水庫，興仁水庫，東衛水庫，小興仁水池等。迴歸所得斜率和1相差較多的原因，推測和導電度計可達到的精確度與測量的準確度有關。

#### 3.2.4 有機酸對湖水導電度的影響

對86個分析了有機酸的水樣，加入有機酸的導電度值之後，測量值與計算值的相關值為0.993，斜率從0.934變為0.923 (圖 3.7)。從有機酸對密度、導電度的二項比較，可以看出，加入有機酸之後，密度的測量值與計算值比較的斜率更接近1，而導電度測量值與計算值比較的斜率則減小，表示導電度的計算值偏高 (或測量值偏低)。從實驗方法的誤差比較 (表 2.2, 2.3, 2.4)，顯示由離子分析造成的誤差最大，而且導電度的準確度也比不上密度儀的準確度，所得結果誤差較大，但這並不表示Young's定律就無法用來計算溶液的導電度。

#### 3.2.5 雨水密度、導電度測量值與計算值的比較

雨水部分也可以做相同的比較，實驗結果顯示，在密度方面 (圖 3.8) 迴歸的相關值為 0.985，斜率為1.32，測量值也是偏在斜率為 1 的直線上方，以76年9月10日、10月25日及77年2月20日三天偏離較大。導電度方面，相關值為 0.97，斜率為1.07，以76年8月31日、9月10日、10月25日及77年2月20日偏離較多 (圖 3.9)。偏離的原因多半是離子分析有點誤差，因為雨水本身所含離子量就不多，在分析時若稍有不小心的，就有引起人為污染的可能。另外根據袁中新 (1986) 台灣地區雨水水質特性的報告中指出，台灣地區的雨水中，有機酸含量佔了陰離子比例的3.57~66.4%，Likens等人 (1987) 分析澳洲

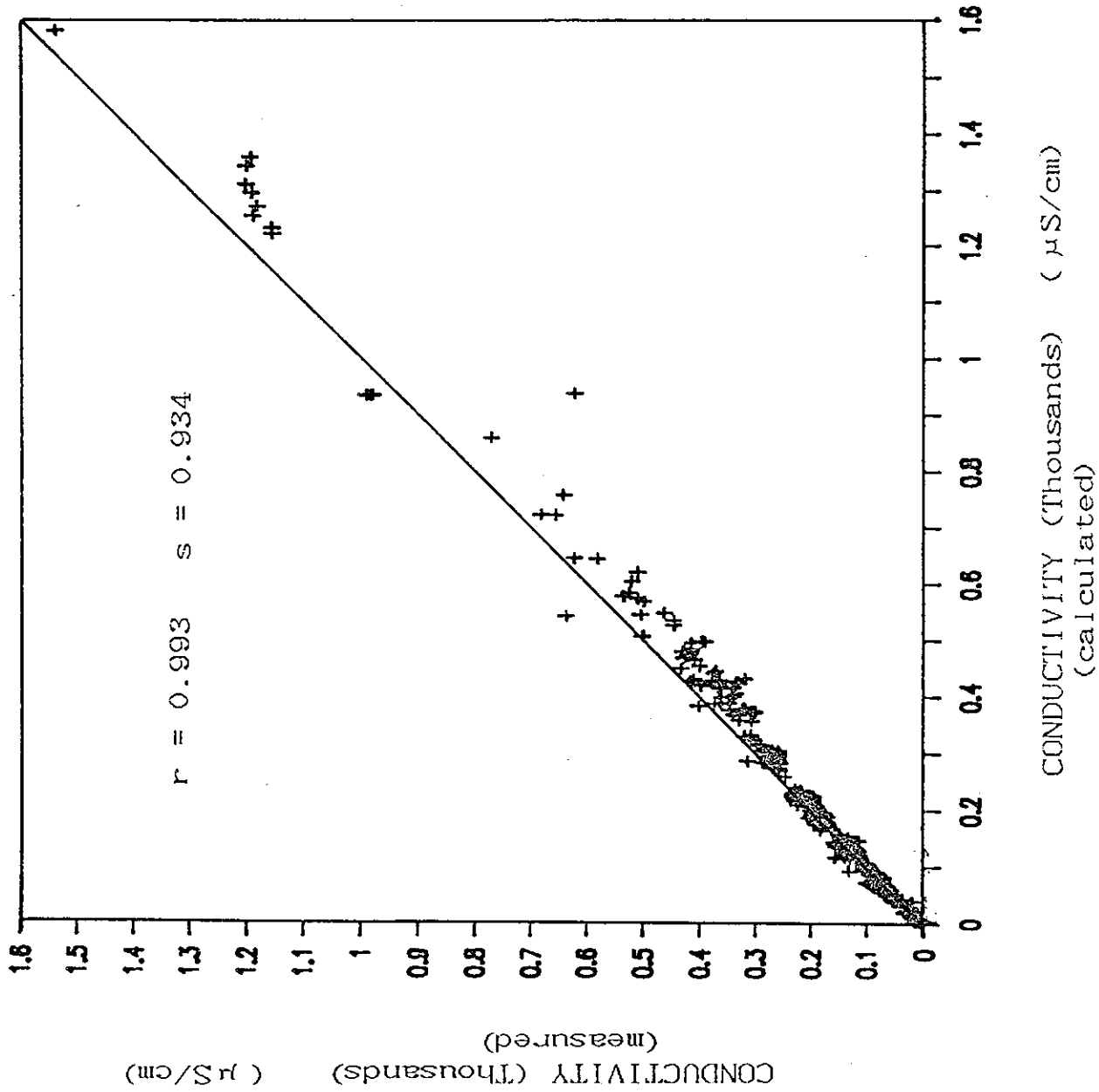


圖 3.6 台灣地區湖水導電度的測量值與計算值之比較，圖中直線為斜率1的線



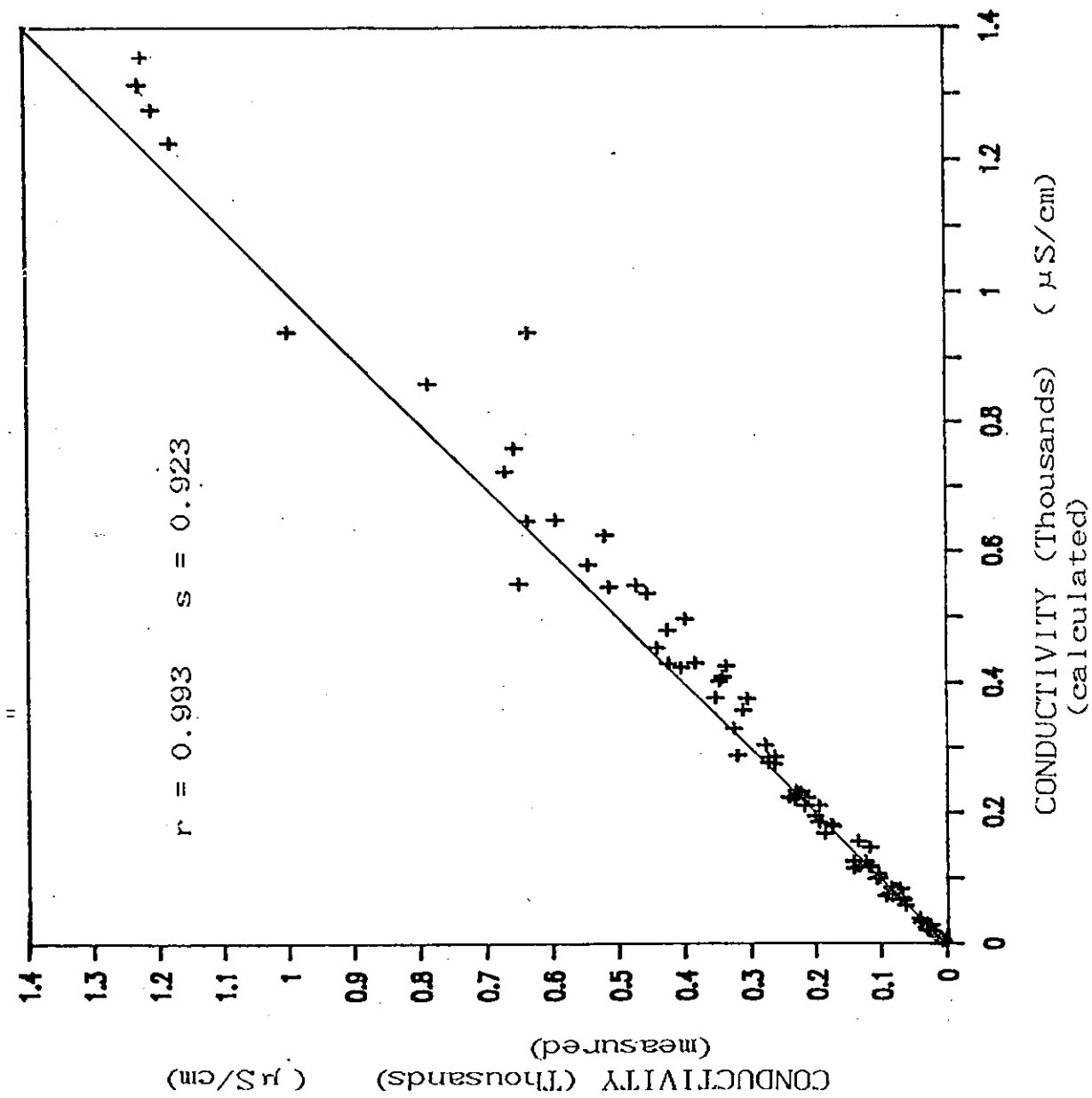


圖 3.7 台灣地區湖水導電度的測量值與計算值之比較 (加入丙酸), 圖中直線為斜率1的線

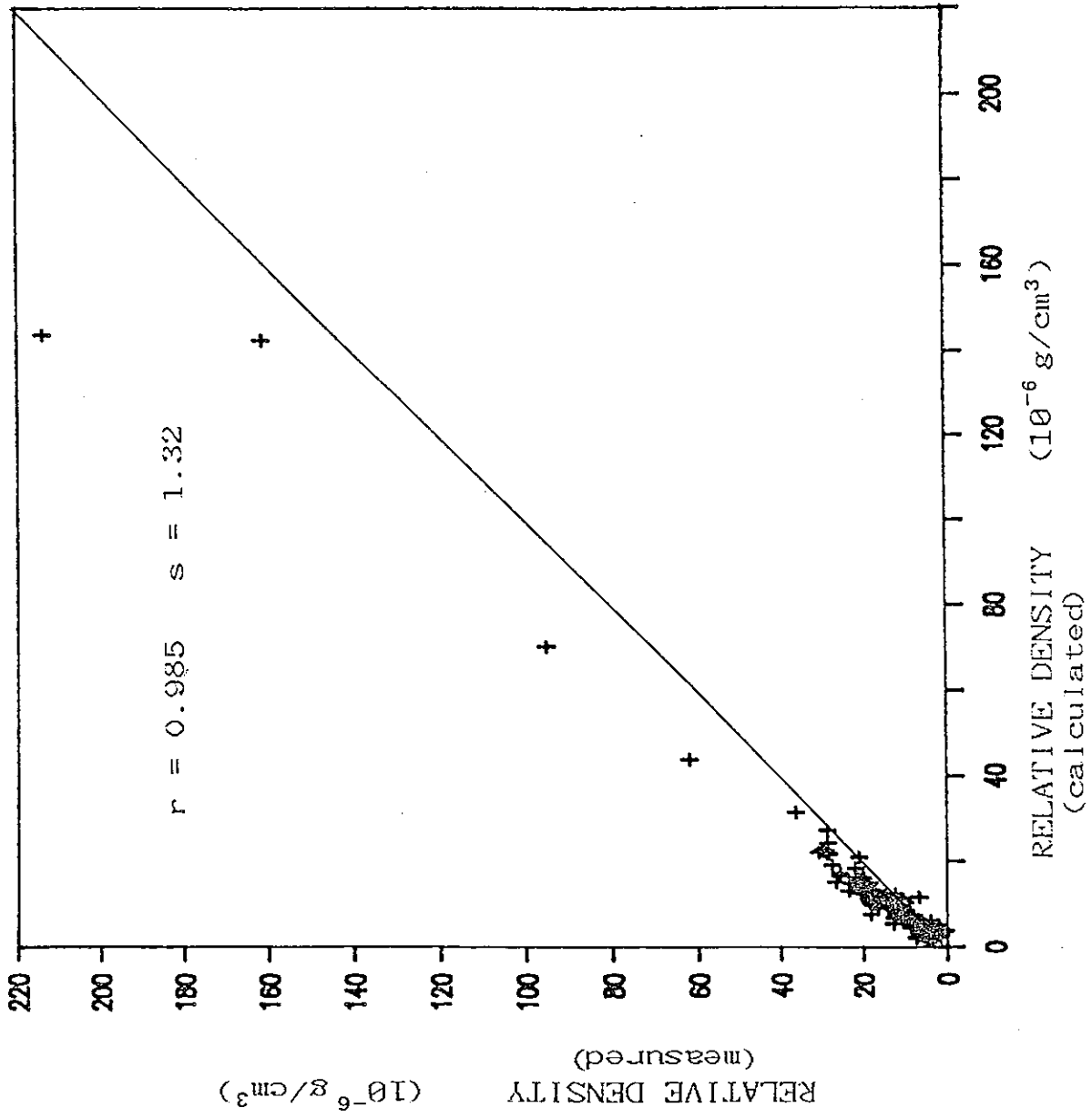


圖 3.8 台灣地區雨水密度的測量值與計算值之比較，圖中直線為斜率1的線

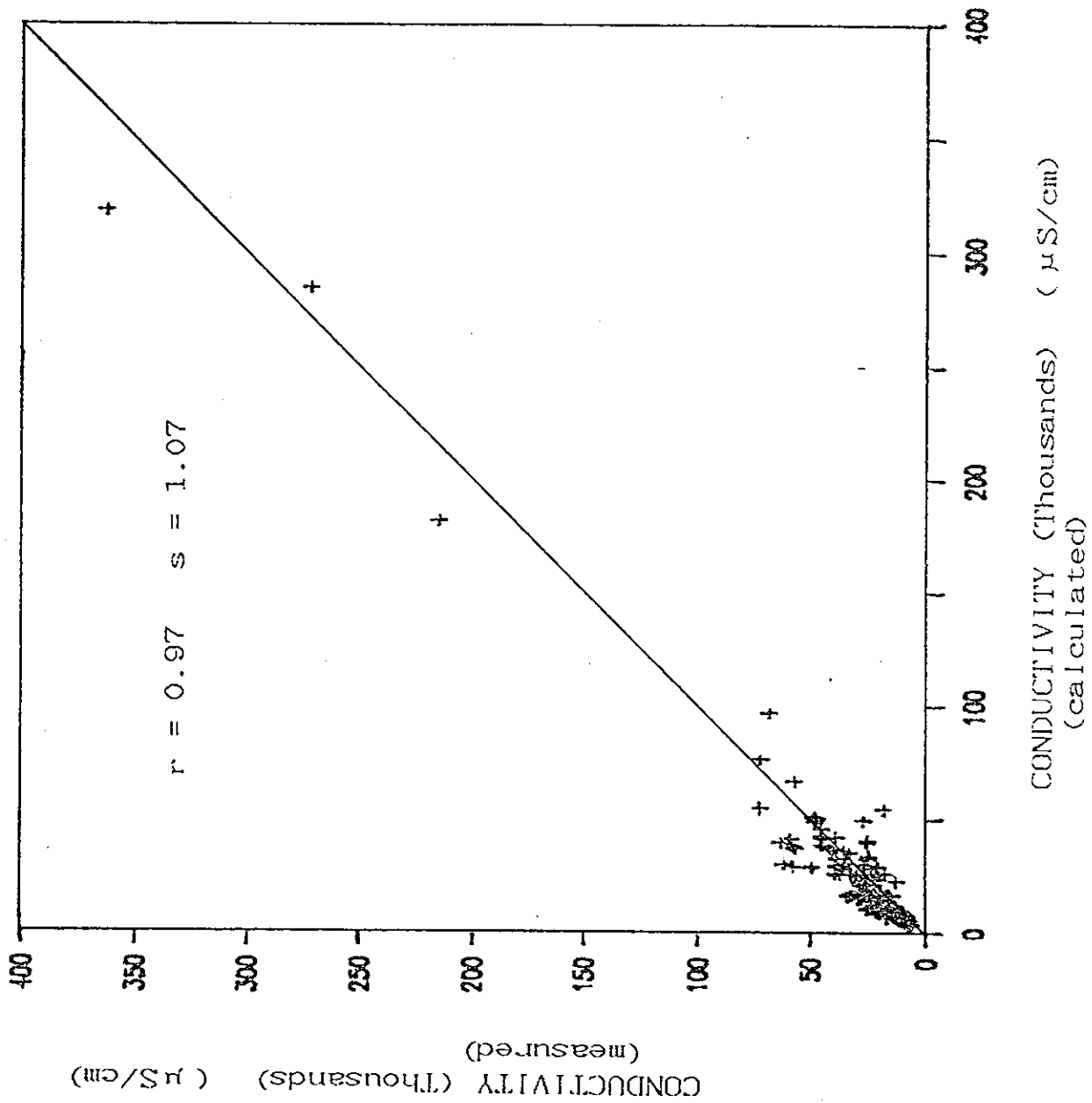


圖 3.9 台灣地區雨水導電度的測量值與計算值之比較，圖中直線為斜率 1 的線

雨水水樣中，也提出有機酸佔了樣品酸度的64%，其中以甲酸、乙酸為主。但是從我們分析雨水中有機酸的結果，只有76年10月24日、25日測得到有機酸(只有丙酸)，對密度的影響為分別增加9.56及49.07 ppm，而導電度則增加1.17及5.34  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。加入之後，數據分布的位置，均較接近斜率1的線。至於含量少於10ppm，甚至1ppm以下的有機酸，目前就我們的分析技術上，還沒辦法明顯的分離出來。

另外，考慮  $\delta^{18}\text{O}$  及  $\delta\text{D}$  在雨水中的含量是否會對密度產生影響。Millero and Emmet指出(Millero and Emmet, 1976)，空氣的表觀莫耳體積，在0~30°C的溫度範圍內幾乎維持一定(平均約33 $\text{cm}^3/\text{mol}$ )。研究指出，對密度的減少量可以公式

$$\Delta d = 2.3 \times 10^{-7} \Delta \delta^{18}\text{O} + 1.8 \times 10^{-9} \Delta \delta\text{D}$$

表示。將Liu(1984)從大屯山區夏雨及冬雨平均所得  $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$  的斜率9.3代入，則可得

$$\Delta d (10^{-6}\text{g}/\text{cm}^3) = 0.4 \Delta \delta^{18}\text{O} \quad (6)$$

。我們從Liu(1984)得知，平均  $\delta^{18}\text{O}$  濃度約為-6.14‰。利用公式6，我們可計算出對密度的影響為減少2.46ppm。由此可知，雨水中同位素  $\delta^{18}\text{O}$  及  $\delta\text{D}$  對密度的影響很小，幾乎可以忽略不計。

### 3.2.6 誤差的可能原因

離子分析的方法，是利用離子層析儀中的分離管，依照各種離子對分離管內交換樹脂的附著能力不同，依次分離出來，再與實驗室

配製的標準液比較，以分離出的位置及峰高，來決定離子的種類及含量。如果分離管的狀況良好，分離出來的離子含量多，種類也多；相反的，如果狀況較差，樹脂再生得不完全，則分離就不完全，而且對分離尖峰位置相近的不同離子，含量少的容易受含量高的離子干擾，而分不出來，就可能造成誤差。

另外一項可能產生的誤差是在分析較濃的水樣之後，還有少許殘留在樣品管 (Sample Loop) 中，以致對下次分析的樣品產生些許影響。要克服這些誤差，除了樣品重複測量之外，在樣品與樣品之間，注入去離子蒸餾水，先測試一次，順便清洗管壁，應有助於減少樣品彼此干擾的可能性。另外間接使結果產生誤差的可能，是 pH 的測量。考慮水樣與緩衝溶液不同的離子強度，也會對 pH 儀的電極產生很大影響。這種情況在測量離子濃度少的水樣時，引起的誤差比較嚴重 (陳鎮東等人，1988)。還有在分析濃度較高的水樣時，若超過儀器可以記錄的情況下，有時會採用稀釋的方法以降低濃度，便於重測。我們知道，稀釋時常會引進許多我們還不太清楚的基質效應 (Matrix effect)，而此時分析出來的量，即使按倍數換算回來，也並不能代表原來水樣的濃度就是如此，所以會造成測量值與計算值的不符。而對較濃的水樣，可配製濃度較高的標準液，或選擇適當的記錄倍率，縮小樣品的峰高，再和相同倍率下的標準液比較。至於離子強度的問題，則可在測量離子濃度較低的水樣的 pH 時，加入中性鹽 KCl，以增加水樣的離子強度，來克服在離子強度突然的變大或變小時，所引起電極電阻的改變 (陳鎮東等人，1988)。

另外高山湖泊，如翠峰湖、大小鬼湖、上東埔草原、七彩湖等，由於鹼度幾乎為零，而且水樣本身離子濃度就低，經常在偵測低限附近，稍有分析時的錯誤，就會造成很大的偏差。另一方面這些湖沼離

子強度與校正pH的緩衝溶液相差頗多，因此所測量的pH值，也常不能得到很高的精確性及準確性(陳鎮東等人，1988)。

此外，根據實驗經驗，溶液中的有機酸並不穩定，貯存時間太久，一些較簡單的酸可能會揮發掉。就目前我們的研究樣品中，都測不到這一類較簡單的酸(甲酸、乙酸)，可能就是這個原因。因為大部份的水樣在採集時，並沒有可以分析有機酸的儀器，等到配備有實驗儀器時，絕大部份水樣都至少已貯存有一年以上，不能保證在此之間水樣不會產生變化。因此未來要分析這類有機酸時，最好能在樣品取來、過濾之後，儘快測量，以免水樣產生改變。

### 3.2.7 密度、導電度與含鹽量的關係

純水中含了鹽類之後，會改變水溶液的物化性質或熱力學性質(Chen and Millero, 1977a, c)。根據台灣地區湖水的分析資料，可以找出水溶液中所含的鹽量與密度、導電度之間的關係。水中如果沒有鹽，它的密度、導電度應和純水相同，因此迴歸分析時，我們將截距取為零。從分析結果中顯示，湖水的密度與含鹽量迴歸的相關值為0.986，斜率為0.859，也是以員林公園及墾丁活動中心偏離較大(圖3.10)。導電度與含鹽量的迴歸相關值為0.973，斜率為1.517，其中以地熱池，蓄水池，員林公園、墾丁活動中心，東衛水庫、成功水庫、興仁水庫等距迴歸關係式較遠(圖3.11)。地熱池是位在台北陽明山往夢幻湖路上，一處地熱噴氣孔旁的水池。該處有硫磺氣冒出，使得水中富含 $\text{SO}_4^{2-}$ ，其他離子則含量並不多(表3.3)。就主要離子而言， $\text{SO}_4^{2-}$ 貢獻的當量電導要比其他離子為大(表1.1)，造成地熱池導電度較相同含鹽量的其他離子為大。此屬於特殊地質背景造成，所以不和其他的湖水有相同的線性關係。蓄水池位於小琉球遊

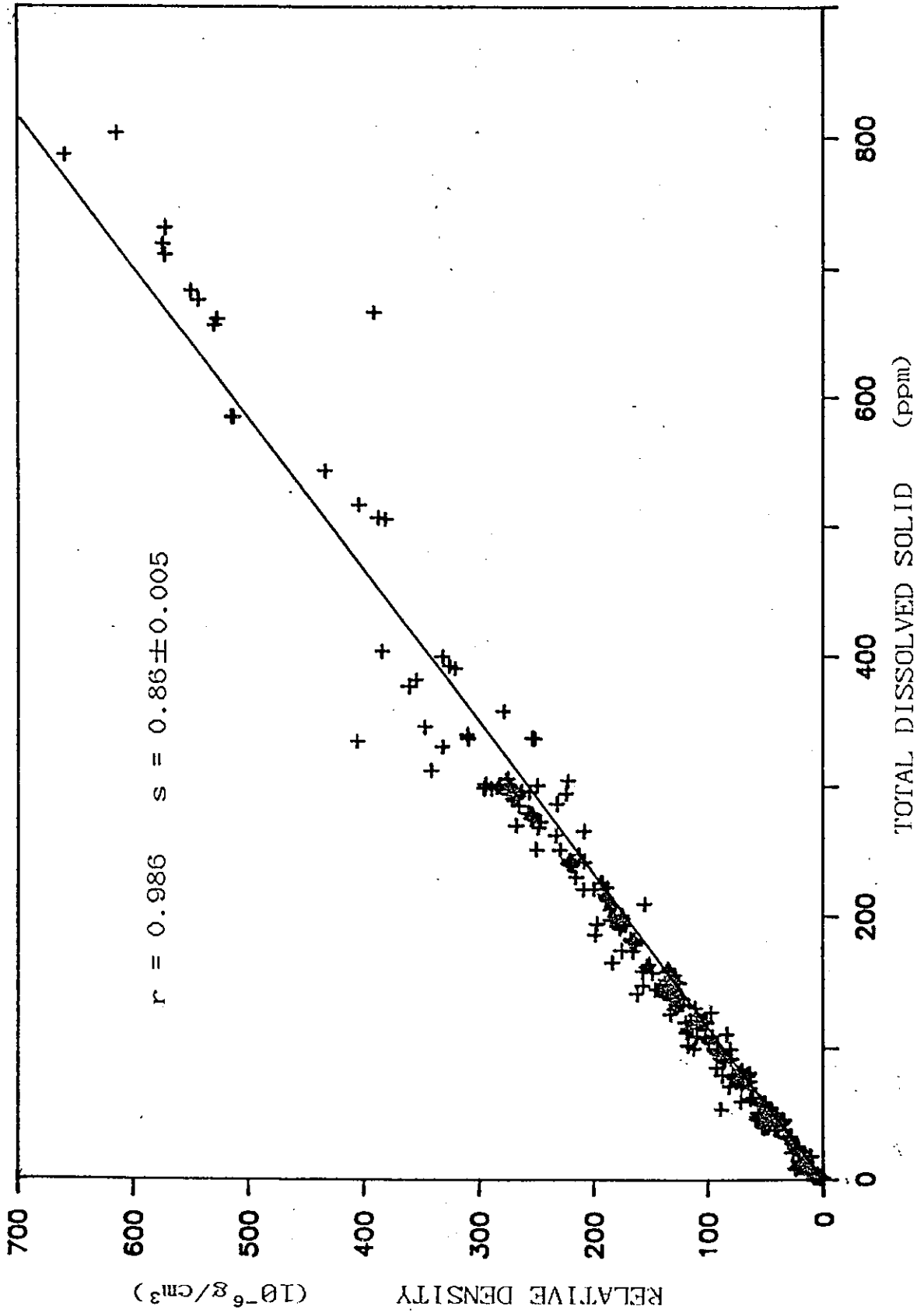


圖 3.10 湖水密度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸線

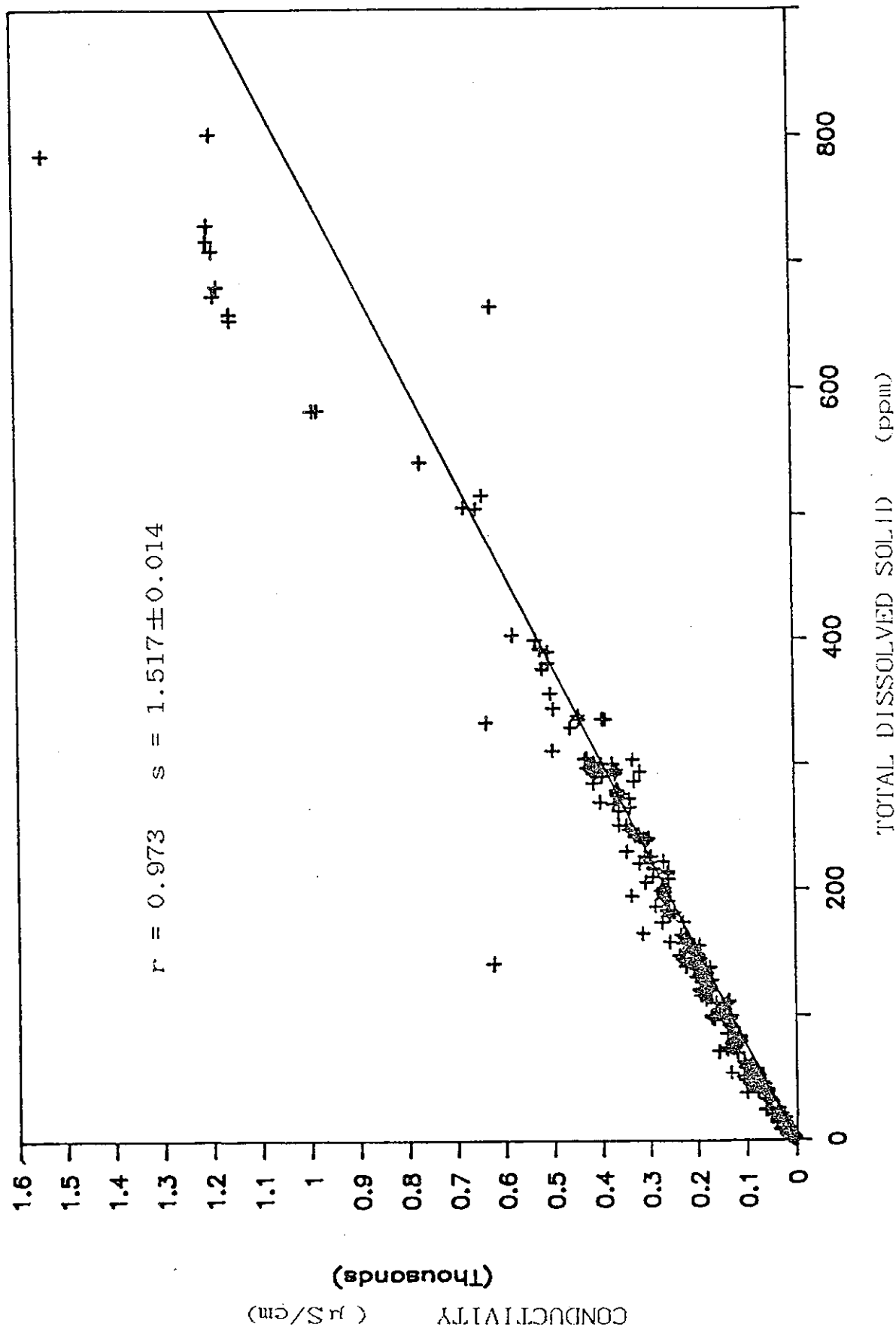


圖 3.11 湖水導電度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸線



樂區內，水池底部佈滿腐葉，屬相當還原之水體，而且在採樣時，發現有氣泡自湖底冒上來，推測是有機質無氧分解之產物（陳鎮東等人，1988）。就有機酸的分析結果，蓄水池只有分析到丙酸。迴歸分析若考慮有機酸的影響，則含鹽量增加，數據有偏右的趨勢，迴歸斜率將分別變為0.833、1.505。

在雨水方面，密度和含鹽量迴歸的相關值為0.979，斜率為1.088（圖3.12），而導電度與含鹽量相關值為0.961，斜率為1.946（圖3.13）。從湖水與雨水的比較，可以發現雨水的斜率要比湖水為大，表示在相同含鹽量時，雨水的密度、導電度均較湖水為大。要解釋這種現象，可從湖水與雨水的組成來研判。

由台灣地區湖水的天然組成百分比中顯示（圖3.14），陽離子以 $\text{Ca}^{2+}$ 為主，佔44.6%，其次為 $\text{Mg}^{2+}$ ， $\text{Na}^+$ 各佔26.9、26.3%。陰離子則以 $\text{HCO}_3^-$ 為主，佔56.0%，其次為 $\text{SO}_4^{2-}$  23.9%， $\text{Cl}^-$  17.4%。台灣地區雨水的天然組成百分比中（圖3.15），陽離子是以 $\text{Ca}^{2+}$ 為主，佔51.3%，其次為 $\text{NH}_4^+$  23%， $\text{Na}^+$  17.2%， $\text{Mg}^{2+}$  6%。陰離子以 $\text{SO}_4^{2-}$ 為主，有58.1%， $\text{NO}_3^-$  15.7%， $\text{Cl}^-$  有15%，而 $\text{HCO}_3^-$ 只佔11.1%。由組成的分析可以知道，在陽離子方面，湖水中的 $\text{Mg}^{2+}$ 主要被雨水中的 $\text{NH}_4^+$ 取代，根據公式（2）來計算密度差， $\text{NH}_4^+$ 對密度幾乎沒有影響，而 $\text{Mg}^{2+}$ 的部分當量體積為負值（見表1.1），故對密度的影響是正向的。在陰離子方面，主要是湖水中的 $\text{HCO}_3^-$ 被雨水的 $\text{SO}_4^{2-}$ 及 $\text{NO}_3^-$ 取代。由於這些陰離子的當量體積為正值（表1.1），而在相同重量下， $\text{SO}_4^{2-}$ 的當量數較 $\text{HCO}_3^-$ 為大，故雨水對密度的正面影響較湖水為大，也就是在相同含鹽量下，雨水的密度較湖水為大。在導電度方面，雨水中 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 所貢獻的導電度都較湖水中其他離子（ $\text{H}^+$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 除外）為高，所以在相同含鹽量下，雨水的導電度亦較

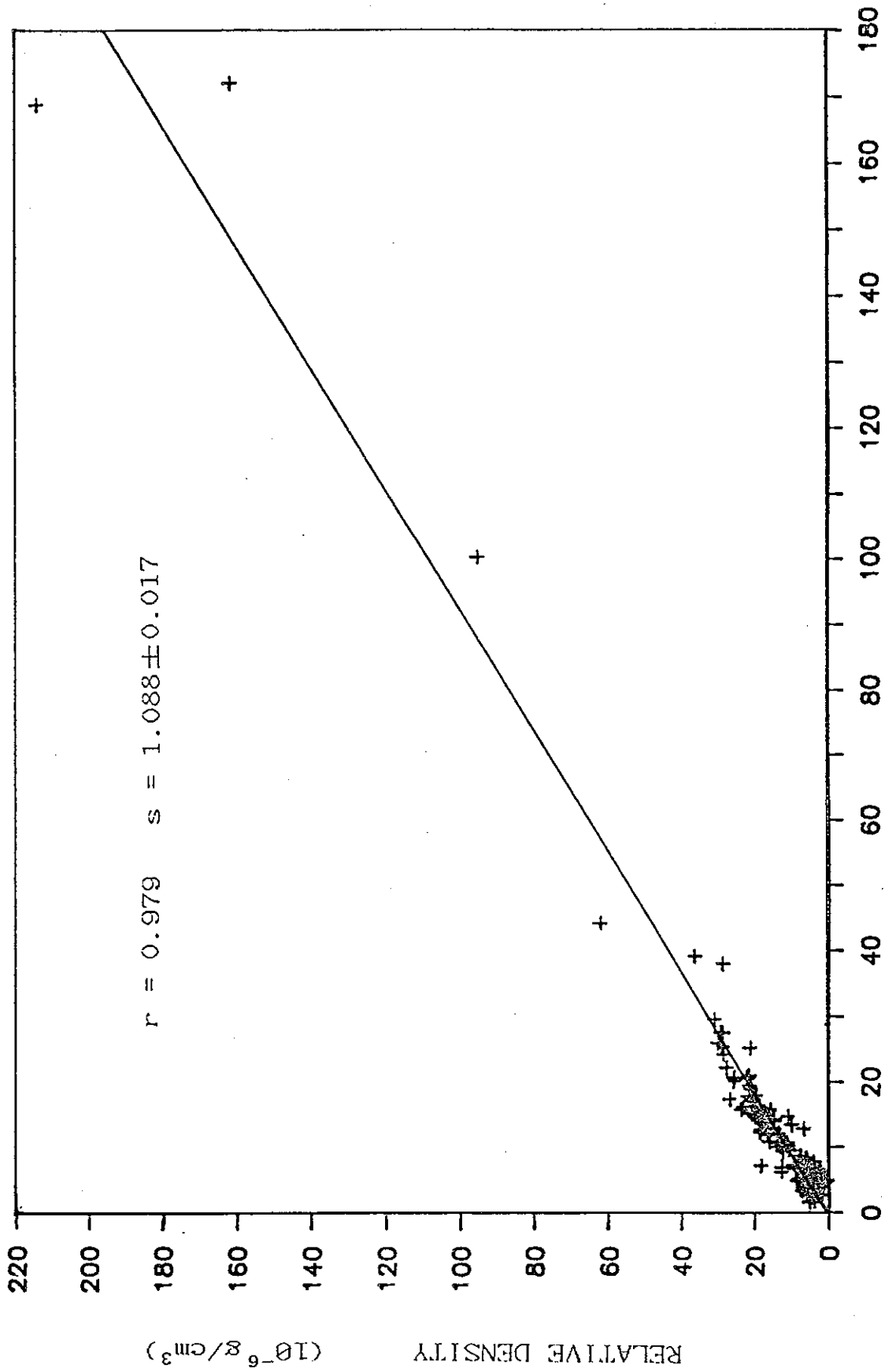


圖 3.12 雨水密度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸線

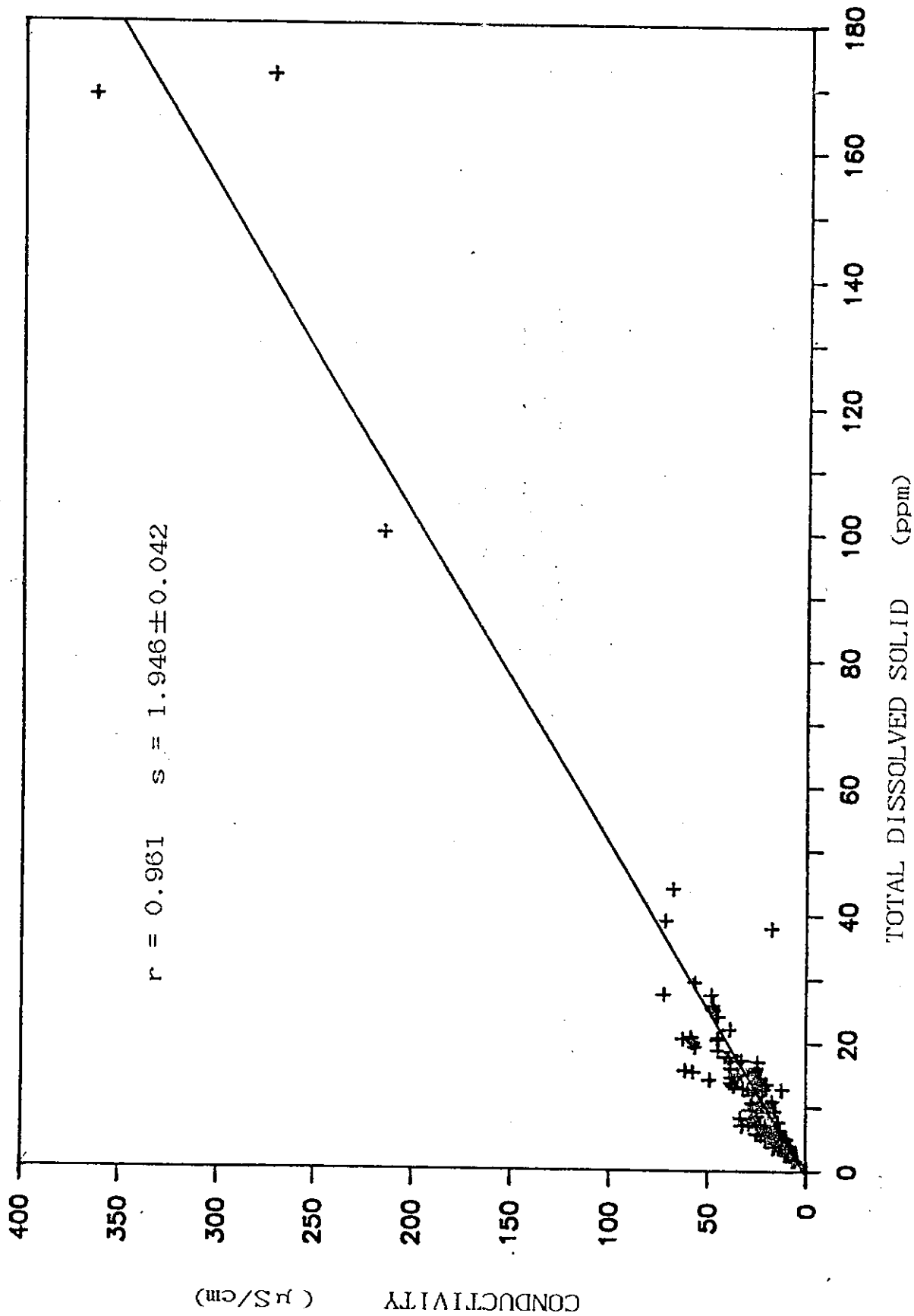


圖 3.13 雨水導電度與含鹽量的相關圖，圖中直線為所得之迴歸線

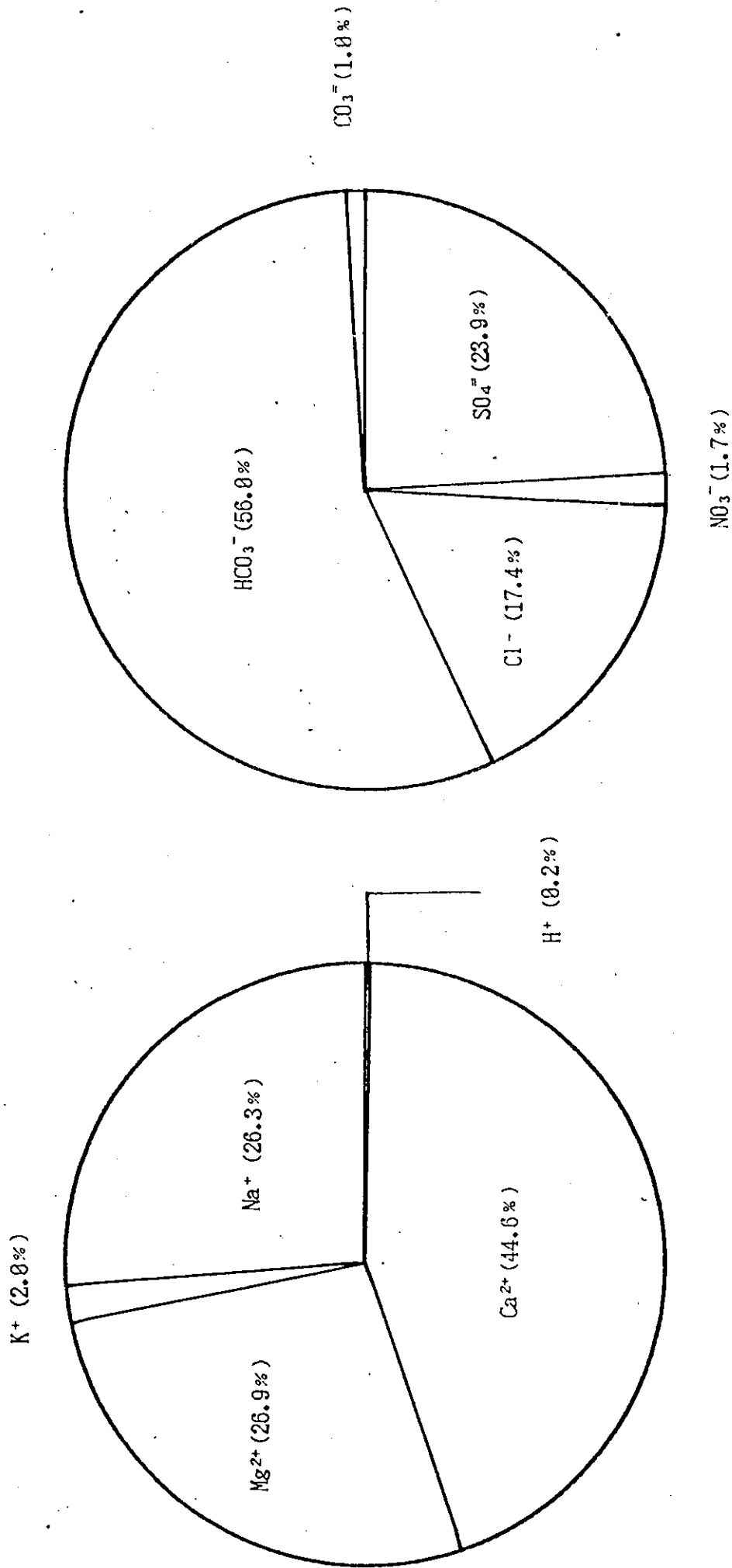


圖 3.14 台灣地區湖水的平均組成百分比扇形圖

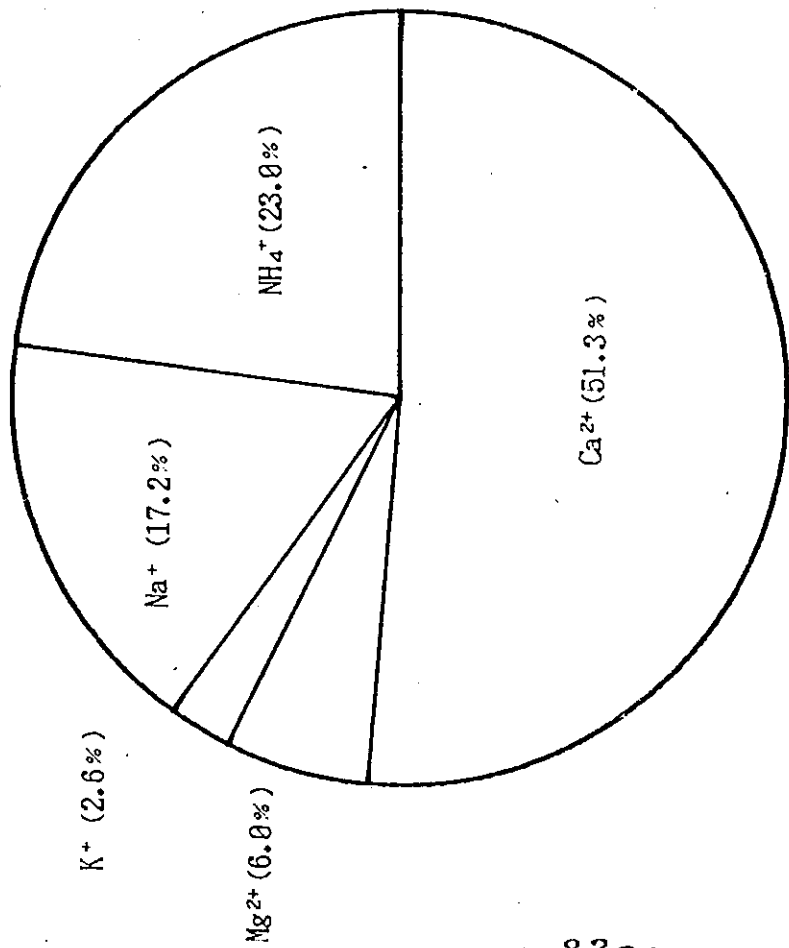
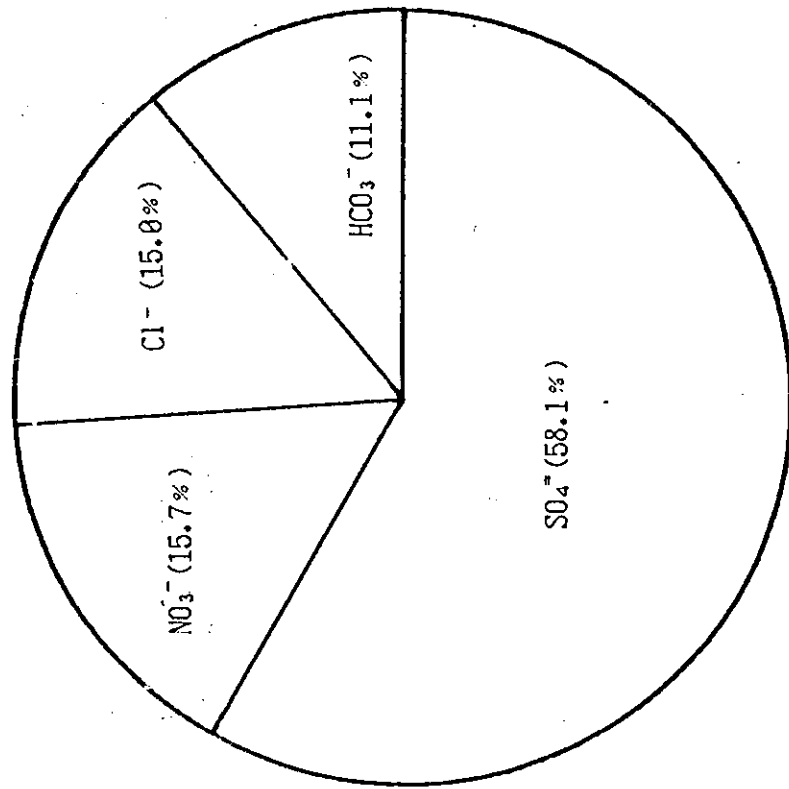


圖 3.15 台灣地區雨水的平均組成百分比扇形圖

湖水高。

過去對於Young's定律在天然淡水上的應用，資料並不多。從本研究中計算值與測量值的比較結果可知，大致上利用Young's定律來計算湖水的密度與導電度是可行的，這可以提供Young's定律應用在天然淡水的另一項證據。推測有些點的計算與測量值相差較大的原因，部分是因為分析上的誤差，此外可能是由於樣品本身的問題。從我們水樣採集地點的分佈位置看來，除一些高山湖沼之外，絕大部分的樣品是來自台灣西部平原，而且多是位在人文活動較多或遊樂區內，在自然環境下，就會有有機物存在，這可以從我們對各個湖沼水樣中有機酸的分析結果中得到證明，幾乎台灣所有的湖泊中都含有相當比例的有機酸，而且多為丙酸，沒有甲、乙酸，高山湖泊則測不到有機酸。由於野外當場的環境，和實驗室的環境截然不同，不可避免的，帶回實驗室之後的水樣，如果保存上的處理不當，可能就會有成分上的改變。基本上，Young's 定律成立的根本假設，是在溶解的離子之間，必須彼此沒有作用，才可以用加成的觀念，來探討離子對整個水體的影響。目前由密度儀的實驗結果，證明在天然淡水中，離子之間的作用力很小，在目前的實驗精確度範圍內，幾乎可以忽略；同時實驗結果也支持Young's定律在天然淡水應用的可行性。

如果分析沒有太大的錯誤，則利用 Young's 加成定律來計算水溶液的密度、導電度，應該是一項驗證分析結果是否正確的方法。分析方法的準確度曾以美國 NBS (National Bureau of Standards) 雨水及 ERA (Environmental Resource Associate) portable water 標準品的標定值比較(表2.4)，離子分析的誤差總和為2.45%。從這個結果，我們認為造成有些數據偏離的原因，主要都是離子分析時的誤差。

密度、導電度與含鹽量有正向的關係，我們可以根據這二者分別與含鹽量之間的關係式，找到台灣地區天然水密度與導電度的關係。我們把湖水、雨水合併分析，得到密度和含鹽量的關係式斜率為0.861，相關值0.988。導電度與含鹽量的關係式斜率為1.52，相關值為0.977。由此二式我們即可推算密度與導電度之關係式為：

$$Y=0.553\pm 0.005 X$$

X為水樣（湖水或雨水）的導電度，Y為水樣的密度。由於密度儀是屬於高精確度的儀器，它的精確性、準確性都很高，但是在台灣各分析實驗室內並不普遍，因此由我們做的這項分析，提供一個簡單的關係式。以後即可根據這個式子，在得到水樣的導電度（很容易取得的資料）之後，即可算出水樣的密度，提供水質分析的另一項資料。

### 3.3 奧勒岡州火口湖熱泉水

奧勒岡州火口湖湖水原本非常清澈，但近年來發現有逐漸混濁的現象，有可能是因為熱水帶來了一些懸浮物，由於溫度較高，與上層的冷水混合，而使水變混濁。本研究的目的是想利用精密密度儀的測量，找出熱泉水是否有實際上密度增加的證據，以支持湖底的確有額外的鹽加入的推論，並且由溫度的升高對密度的影響，及含鹽量的多少對密度的影響，二者比較後，來探討水柱的穩定性。

由火口湖湖水化學組成的分析資料(表3.7)顯示，火口湖湖水中所含的離子，以  $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Na}^+$  為主，各佔陰陽離子的 50% 左右； $\text{SO}_4^{2-}$  及  $\text{Cl}^-$  的含量，與 Williams and von Herzen (1983) 所做的分析結果相似，二者均含約 10 ppm。其他有關這方面的研究還有

表 3.7 火口湖湖水的化學組成

編號	深度 m	溫度 °C	位密度 g/cm <sup>3</sup>	pH	鹼度	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> meq/l	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	相對密度差 10 <sup>-6</sup> g/cm <sup>3</sup>	導電度 μS/cm	含鹽量 ppm
6-1	446.1	3.610	0.999970868	7.889	0.645	0.298	0.159	0.069	0.656	0.208	0.035	0.303	0.640	0.005	79.8	127.6	86.235
6-2	437.7	3.598	0.999970795	8.169	0.653	0.298	0.149	0.054	0.584	0.200	0.024	0.309	0.643	0.009	78.55	126.4	83.779
6-3	427.0	3.592	0.999970761	7.738	0.637	0.292	0.159	0.054	0.613	0.196	0.030	0.295	0.633	0.003	78.55	126.2	83.136
6-4	416.7	3.537	0.999970389	7.883	0.648	0.337	0.163	0.050	0.560	0.196	0.030	0.269	0.643	0.005	77.8	126.0	82.399
6-5	407.5	3.530	0.999970336	7.895	0.643	0.324	0.163	0.050	0.541	0.198	0.023	0.252	0.638	0.005	77.65	124.8	80.745
6-6	397.2	3.514	0.999970216	8.118	0.654	0.330	0.163	0.054	0.569	0.196	0.014	0.269	0.645	0.008	78.55	126.4	82.546
18-2	433.5	3.517	0.999970243	7.861	0.633	0.343	0.196	0.050	0.572	0.192	0.015	0.258	0.628	0.004	77.35	123.6	81.422
18-3	449.2	3.520	0.999970261	7.782	0.629	0.362	0.196	0.050	0.545	0.200	0.018	0.264	0.625	0.004	76.85	122.9	81.637
18-5	464.1	3.521	0.999970273	7.934	0.648	0.401	0.214	0.054	0.574	0.200	0.017	0.259	0.642	0.005	77.75	125.4	84.339
18-6	404.1	3.514	0.999970220	7.853	0.628	0.343	0.196	0.054	0.579	0.192	0.014	0.252	0.623	0.004	77.25	123.3	81.202
20-1	486.7	3.612	0.999970880	7.606	0.669	0.388	0.224	0.058	0.579	0.204	0.014	0.271	0.666	0.003	83.9	128.0	86.439
20-2	471.0	3.575	0.999970647	7.778	0.652	0.388	0.210	0.054	0.545	0.192	0.000	0.244	0.648	0.004	81.75	125.4	82.427
20-4	441.2	3.530	0.999970339	7.924	0.638	0.362	0.200	0.054	0.584	0.196	0.017	0.267	0.632	0.005	79.35	123.7	83.110
20-6	411.3	3.520	0.999970263	8.203	0.661	0.381	0.205	0.054	0.605	0.196	0.017	0.265	0.650	0.010	79.1	125.6	85.196
21-1	426.2	3.522	0.999970274	8.024	0.681	0.394	0.261	0.054	0.579	0.200	0.018	0.258	0.673	0.007	79.55	125.9	86.832
21-2	411.0	3.513	0.999970213	8.180	0.654	0.401	0.214	0.050	0.541	0.192	0.011	0.256	0.643	0.009	78.35	126.2	83.002
21-3	396.8	3.512	0.999970201	8.360	0.734	0.401	0.238	0.046	0.545	0.188	0.000	0.242	0.716	0.015	78.5	127.3	86.981
21-5	440.8	3.571	0.999970620	7.914	0.642	0.464	0.224	0.069	0.735	0.194	0.014	0.258	0.636	0.005	77.1	125.2	89.276
21-6	456.5	3.591	0.999970755	7.880	0.648	0.388	0.224	0.058	0.593	0.204	0.012	0.257	0.643	0.005	79.7	125.7	84.848
27-1	582.2	3.553	0.999970502	7.910	0.659	0.445	0.224	0.054	0.579	0.192	0.009	0.239	0.653	0.005	80.4	126.2	84.886
27-3	483.6	3.526	0.999970309	8.095	0.659	0.452	0.214	0.054	0.574	0.188	0.009	0.249	0.650	0.008	80.4	127.0	84.836
27-4	434.3	3.520	0.999970261	8.072	0.645	0.433	0.214	0.054	0.562	0.196	0.010	0.311	0.637	0.007	77.95	125.4	85.951
27-5	383.1	3.508	0.999970171	8.055	0.646	0.413	0.214	0.054	0.560	0.192	0.016	0.260	0.638	0.007	78.5	125.3	83.721
28-1	447.7	3.577	0.999970664	7.665	0.625	0.369	0.233	0.054	0.850	0.200	0.043	0.273	0.622	0.003	78.05	123.3	89.950
28-2	433.5	3.538	0.999970398	7.930	0.641	0.420	0.238	0.058	0.608	0.198	0.014	0.255	0.635	0.005	78.85	123.9	85.209
28-3	417.5	3.526	0.999970306	7.832	0.630	0.381	0.224	0.054	0.593	0.196	0.028	0.265	0.625	0.004	78.6	123.1	83.702
28-4	403.3	3.517	0.999970242	8.442	0.681	0.433	0.233	0.054	0.637	0.204	0.016	0.257	0.661	0.017	81.3	128.3	88.285
28-5	388.0	3.509	0.999970180	8.100	0.685	0.548	0.228	0.054	0.584	0.185	0.009	0.247	0.676	0.008	84.75	129.4	88.534



Sigurðsson (1977) 對聖文森島火口湖湖水化學組成的分析。他認為來自火山的氣體注入後， $\text{SO}_4^{2-}$ 和  $\text{Cl}^-$  會有增加的現象，而 pH 和  $\text{HCO}_3^-$  則會減少，但是由我們的分析結果，並看不出有這種趨勢。

### 3.3.1 溫度隨深度的垂直變化

由溫度與深度的垂直變化，可以看出溫度增加的幅度是不是由於熱泉的影響，圖3.16 顯示，CTD 6,18,20,21,27,28 在深度超過 400 米的地方，溫度都有明顯增加的現象，增加幅度從0.01度到0.1度不等。依照熱力學原理，在絕熱狀態下，把表水移到深處，由於壓力的升高，固定體積下，表現出來的現象是水體的溫度會升高，如果超過水溫的穩定梯度，水體就會上升，以使梯度變小，但是這種因絕熱壓縮影響，而使水溫升高的量很小 (Chen, 1977)。我們由圖3.16中可以很明顯看出，深度僅僅相差一、二百米，溫度即可差到0.1度。因此可以推測湖底底部溫度的增加，多半是由於熱泉的注入而導致的結果。

水體的溫度如果升高，水溫梯度增加，就會有密度減輕而上升的趨勢。我們由各站溫度的變化幅度，可以算出溫度對密度的影響。根據 Chen and Millero (1986)

$$S(\text{solid, g/Kg}) = 1.00488S(\text{oceanographic salinity})$$

我們從含鹽量可以算出水體在不同深度時的鹽度值，再由鹽度、溫度、壓力的資料，可計算各深度的熱膨脹係數(thermal expansibility coefficient  $\alpha$  ,  $\alpha = -1/\rho (\Delta\rho / \Delta T)$ )。我們由 CTD 各站最淺和最深之間的平均膨脹係數，乘上二者之間的溫度差，即可得到各站由於溫

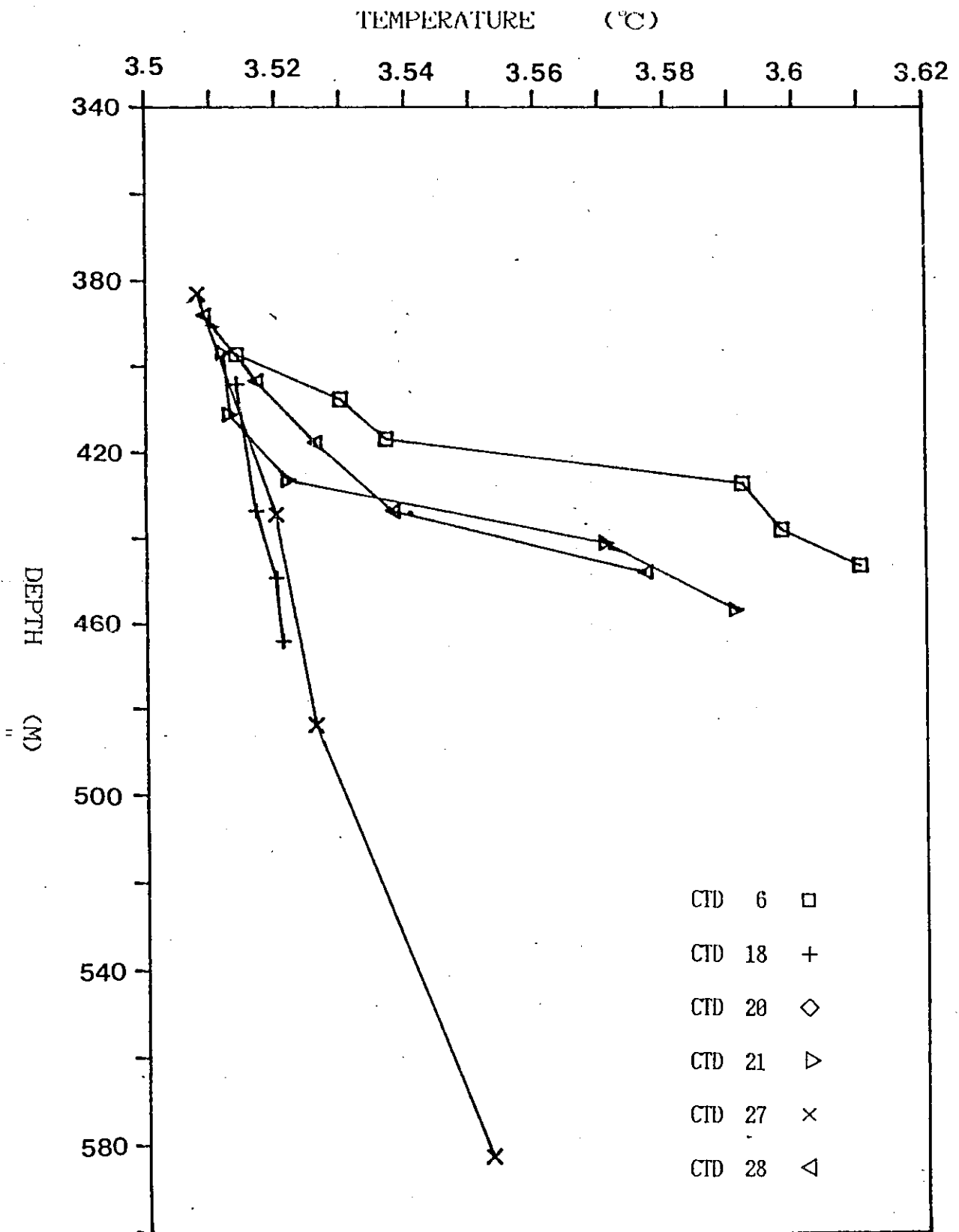


圖 3.16 奧勒岡州火口湖湖水水溫隨深度的變化圖

度的差別，而對密度造成的影響。計算的結果列在表3.8中。由表中數據顯示，火口湖因熱泉所導致的溫度差，對密度的影響並不是很大。

### 3.3.2 密度隨深度的垂直變化

熱泉的注入，除了會使水溫升高之外，也可能會帶來一些溶解的鹽或金屬進入湖中。火口湖之CTD資料顯示，由溫、鹽求出之位密度隨深度略增，但CTD乃針對測量高鹽度之海水設計，於湖水中是否可靠，並未能確定。所以由密度儀的分析，除了可以找出是否確實水體密度有隨深度增加的現象，同時也可以將密度增加而使水體下沉的效應，和溫度升高使水上升的效應，作個比較，以協助研判水柱是否穩定。由密度和深度的垂直變化圖(圖3.17)中顯示，CTD 6 在深度四百米以下，密度變化約為 2 ppm。CTD 18 的變化幅度較小，約為1ppm。CTD 20 的密度則增加有 5ppm，CTD 21 及 27 的密度有上下跳動現象，因為變化在誤差範圍之內，不能確定是否密度有增加的現象。比較特殊的是 CTD 28，正好呈現相反趨勢，即深度愈深，密度愈小。假設把水提到相同深度，以當時的溫度、壓力，求出水的位密度 (potential density)。扣除了水壓對密度影響，則輕者恆輕，重者恆重。根據已有資料 (表3.7)，CTD 28站由溫、鹽資料計算所得之位密度的變化隨深度增加而增加，也就是說 CTD 28 站的水柱是穩定的，但是由實際密度的測量，變化卻是隨深度有減少現象，所以推測可能是水樣樣品被污染了。

綜合密度和溫度二者的比較，得知密度測量值隨水深的增加量，要大於因溫度升高而使密度降低的影響。因此即使深水的水溫較高，但深水密度的增加量超過溫度對密度的負向效應，使得大部分水體仍

表 3.8 絕熱壓縮下，水溫對密度的影響

測站	深 ( m )	膨脹係數 $1/^\circ\text{C}$	溫度差 $^\circ\text{C}$	密度差 $10^{-6}\text{g/cm}^3$
CTD 6	397 — 446	$6.57 \times 10^{-6}$	0.1	0.66
CTD 18	404 — 464	$6.26 \times 10^{-6}$	0.01	0.06
CTD 20	411 — 487	$7.49 \times 10^{-6}$	0.09	0.67
CTD 21	397 — 456	$6.57 \times 10^{-6}$	0.08	0.53
CTD 27	383 — 582	$7.97 \times 10^{-6}$	0.04	0.32
CTD 28	388 — 448	$6.17 \times 10^{-6}$	0.07	0.43

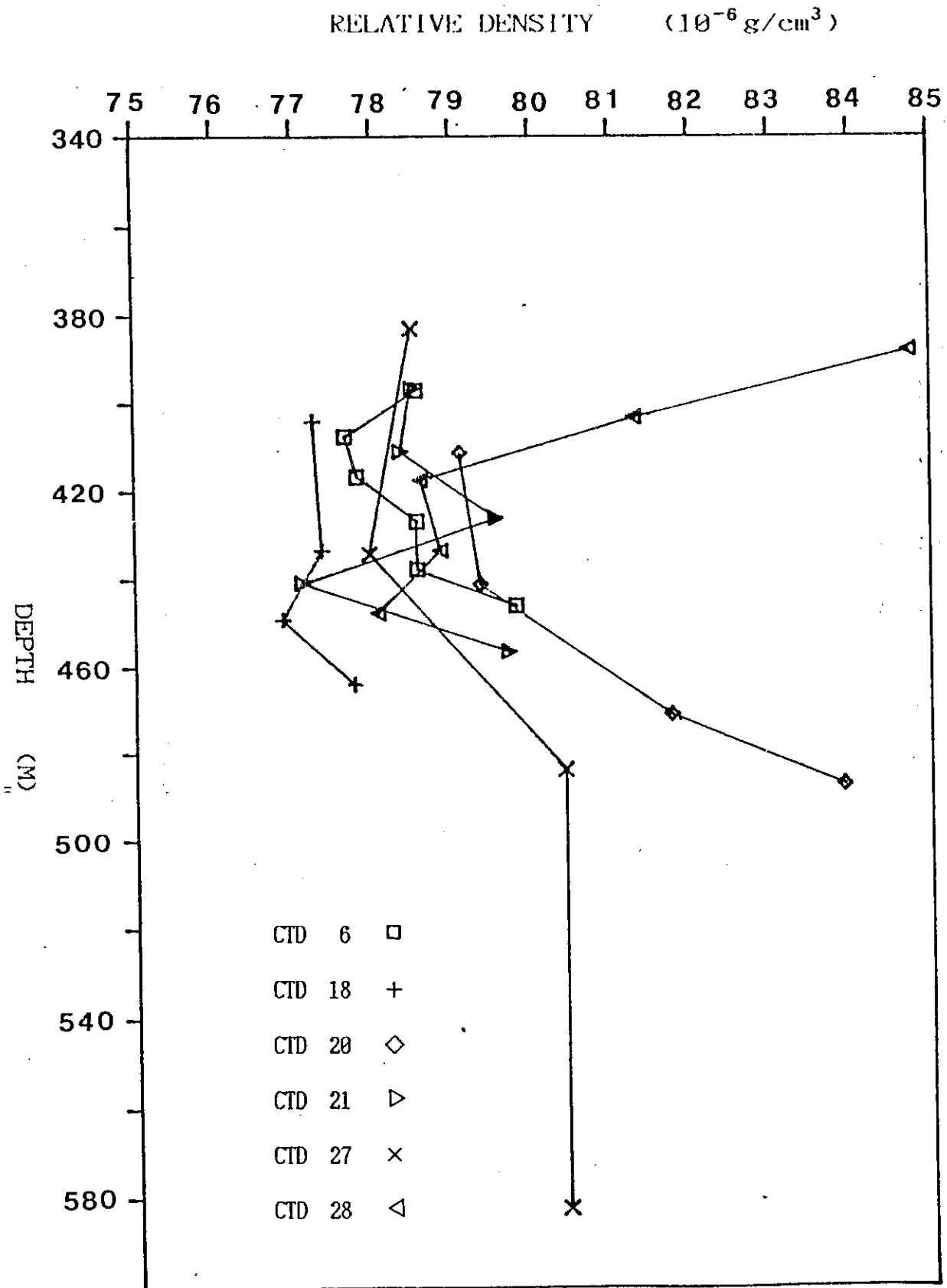


圖 3.17 奧勒岡州火口湖湖水密度隨深度的變化圖

然保持穩定現象。

### 3.3.3 導電度、含鹽量隨深度的垂直變化

從導電度與深度的垂直變化圖 (圖3.18) 顯示, 大致的趨勢和密度的變化相同, 都是隨深度的增加而有增加現象, 而且仍是以 CTD20 站變化最明顯。另外, 由水體中所含溶解的鹽量與深度的垂直變化圖 (圖3.19) 中指出, 含鹽量隨深度增加的趨勢並不明顯, 一般推測可能是離子分析上的問題。

### 3.3.4 火口湖與台灣地區湖水的比較

從二地區湖水的組成百分比來看, 台灣地區平均湖水的主要陽離子為  $\text{Ca}^{2+}$  (44.6%), 其次是  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  (各佔 26.9, 26.3%)。陰離子以  $\text{HCO}_3^-$  為主 (56.0%), 其次是  $\text{SO}_4^{2-}$  (23.9%),  $\text{Cl}^-$  (17.4%), (圖 3.14)。火口湖的主要陽離子為  $\text{Na}^+$  (47.9%),  $\text{Ca}^{2+}$  次之 (31.1%), 再其次為  $\text{Mg}^{2+}$  (16.6%)。陰離子則也是以  $\text{HCO}_3^-$  為主 (57.1%),  $\text{Cl}^-$  次之 (23.4%), 再次之則為  $\text{SO}_4^{2-}$  (17.4%) (圖3.20)。由組成成分的百分比比較, 顯示二個地區湖水的主要組成大致相似, 只是含量略有不同。

依熱力學的觀點, 如果二個湖水具有相似的離子組成, 則在相同含鹽量下, 二者的物理化學性質應該相似。由平均組成分別計算台灣地區湖水與火口湖之密度與導電度, 並作比較, (圖 3.21, 3.22), 圖中的直線代表由台灣地區平均湖水密度、導電度與含鹽量之間的迴歸關係式。從圖中可以看出, 火口湖湖水的密度大多落在線的上方, 不過差距不大, 而導電度則落在直線上。就實驗誤差而言, 密度的準

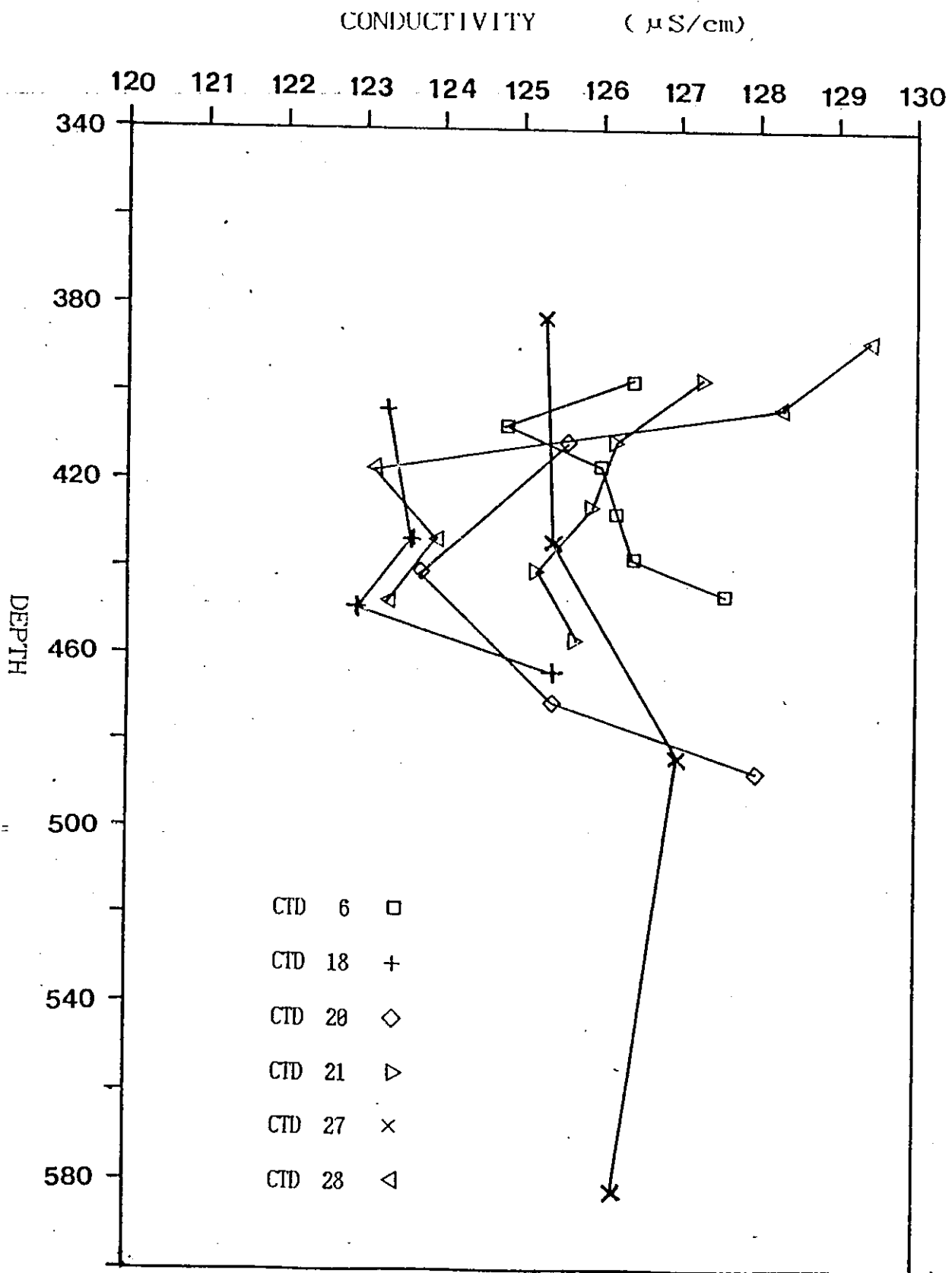


圖 3.18 奧勒岡州火口湖湖水導電度隨深度的變化圖

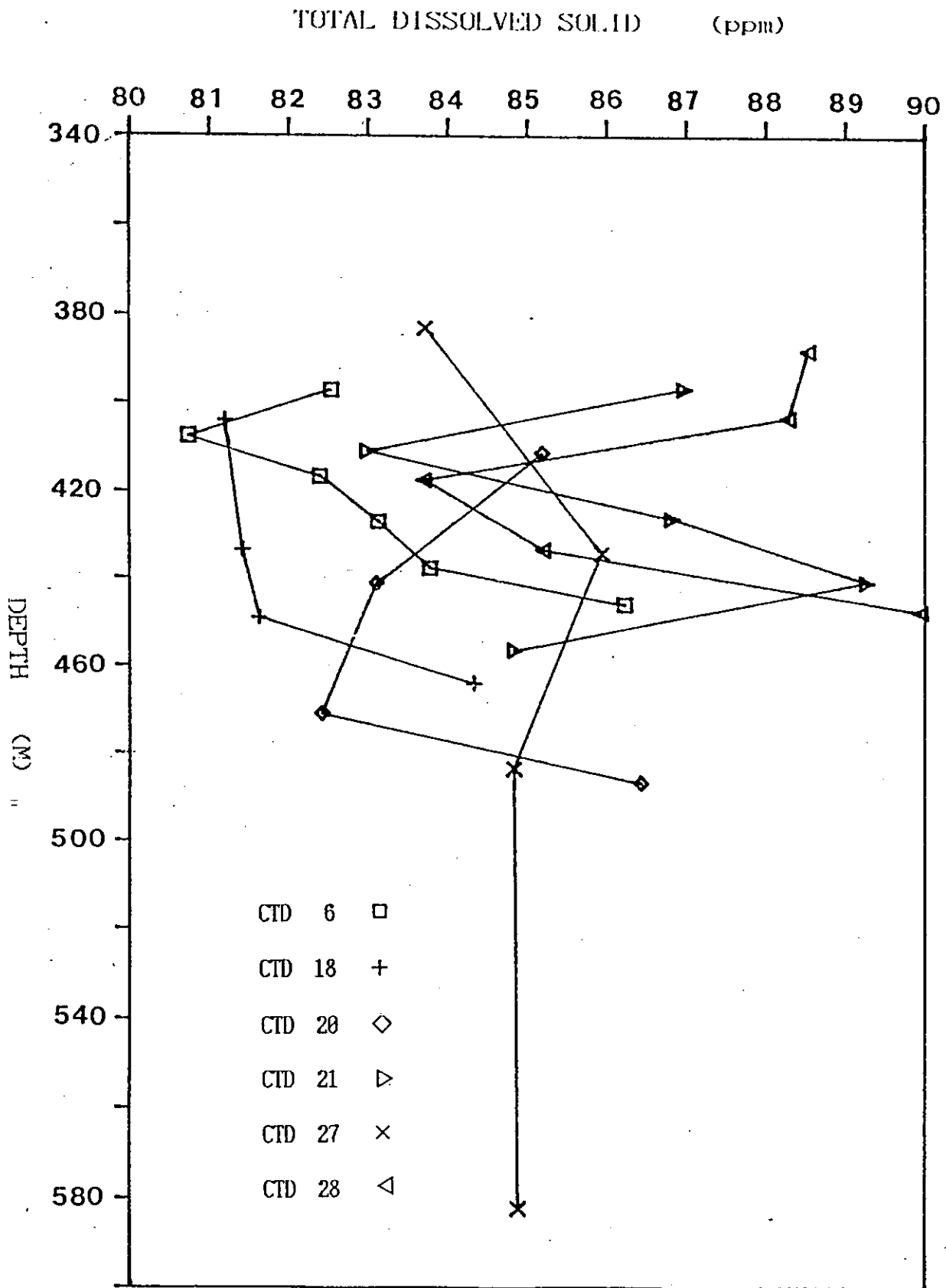
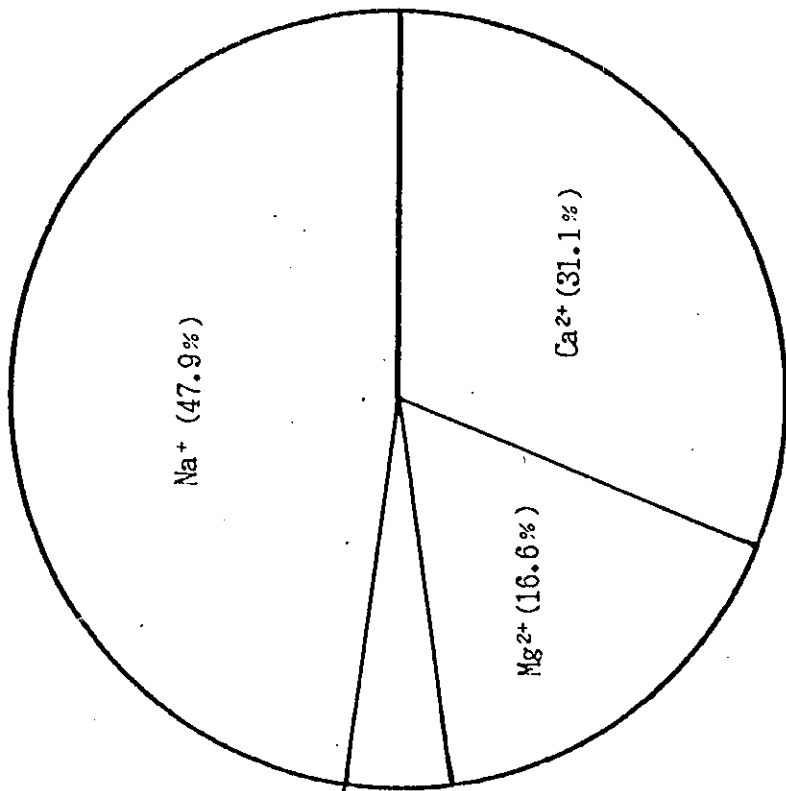
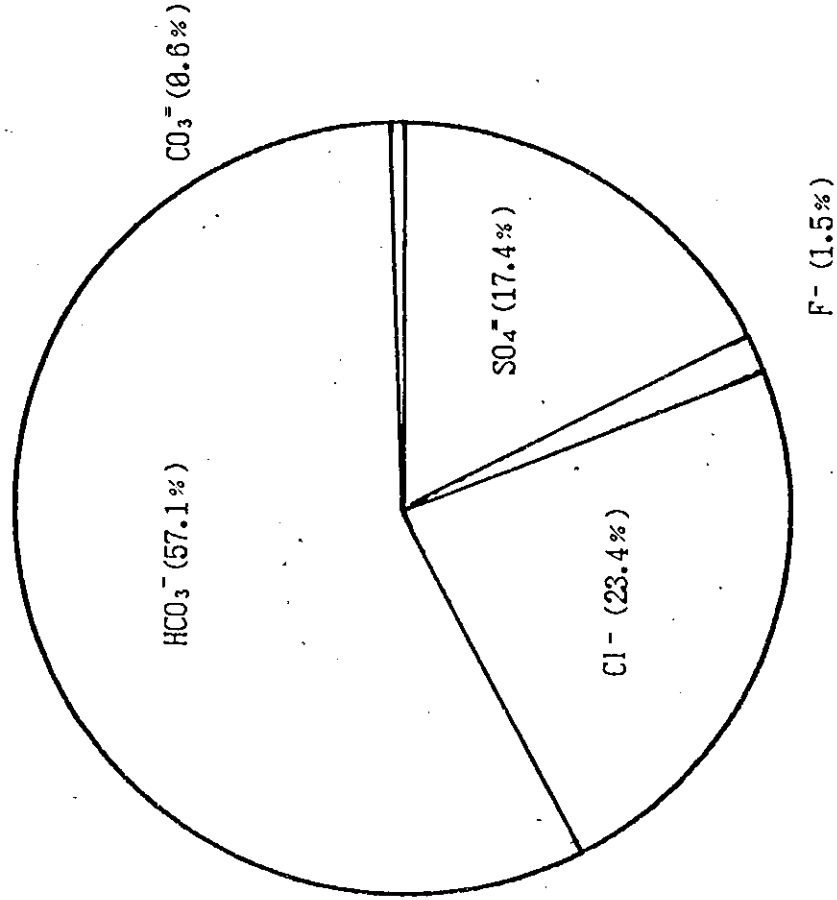


圖 3.19 奧勒岡州火口湖湖水含鹽量隨深度的變化圖





$\text{K}^+$  (4.4%)

圖 3.20 奧勒岡州火口湖湖水平均組成百分比扇形圖

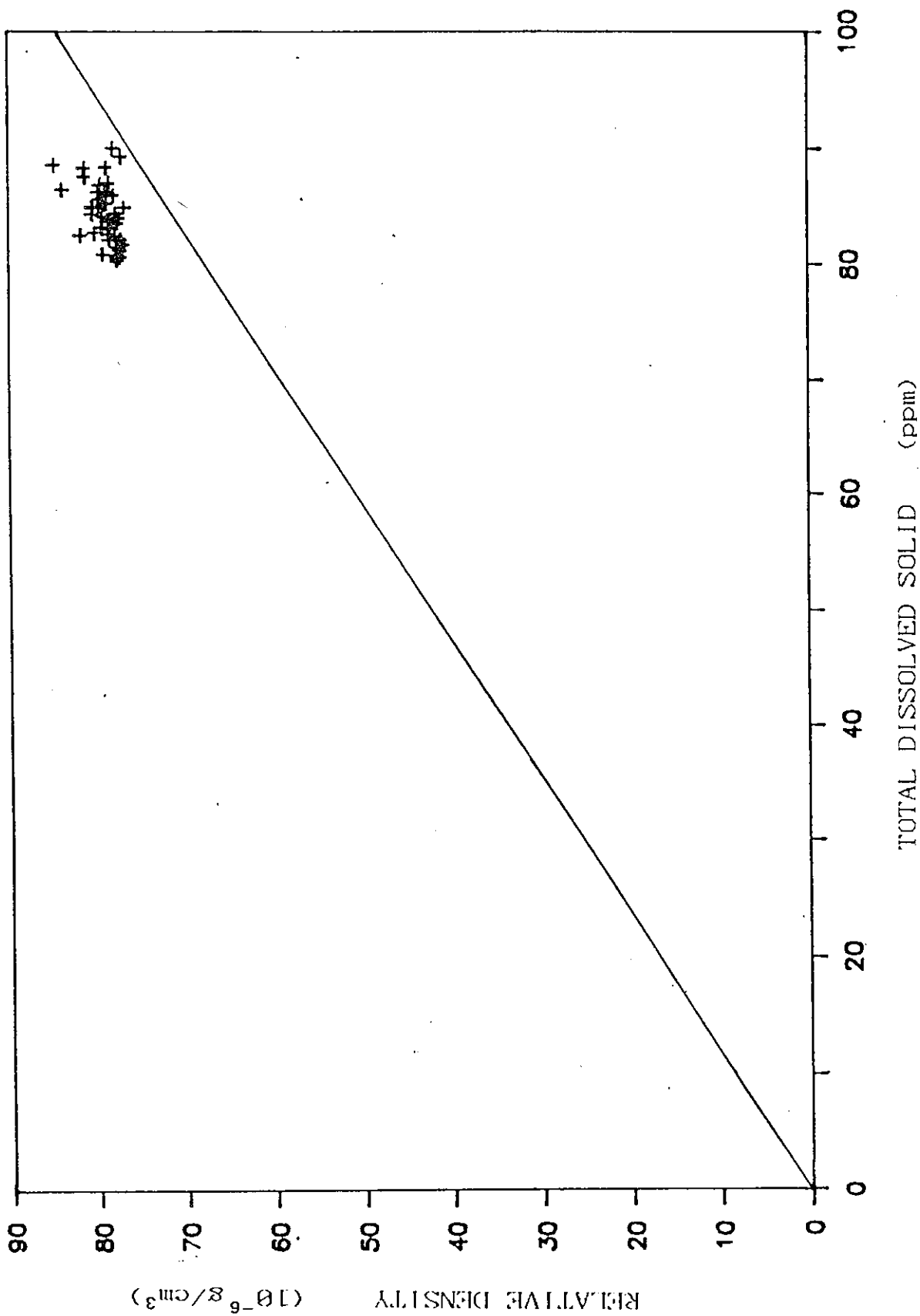


圖 3.21 奧勒岡州火口湖湖水密度與含鹽量的關係圖，直線為台灣地區湖水密度與含鹽量之迴歸關係式

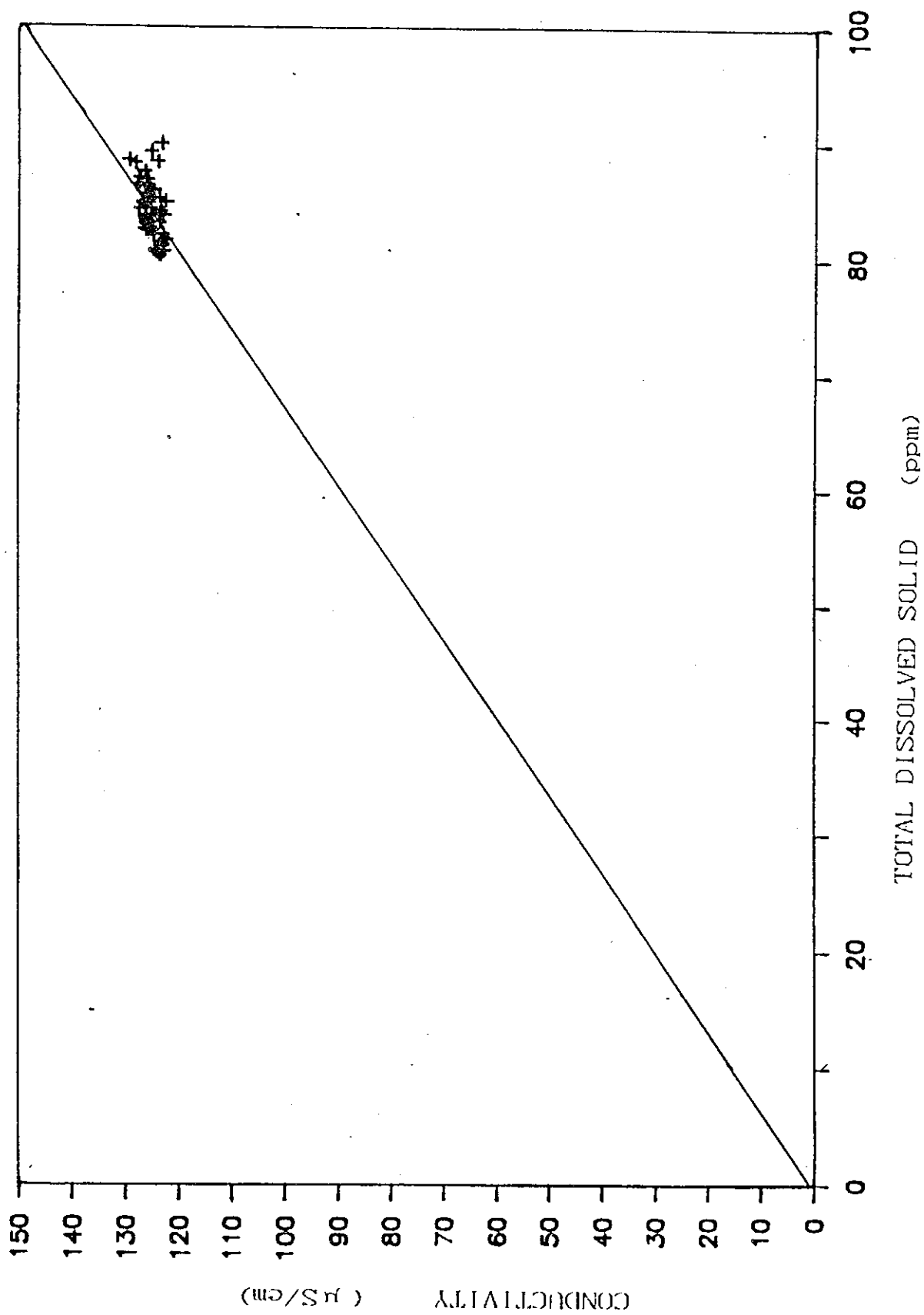


圖 3.22 奧勒岡州火口湖湖水導電度與含鹽量的關係圖，直線為台灣地區湖水導電度與含鹽量之迴歸關係式

確度為  $\pm 2.06\text{ppm}$  (表2.2) , 精確度為  $\pm 1.55\text{ppm}$  (表2.3) , 因此全部誤差約有  $\pm 3.6\text{ppm}$  , 而且以二地區的平均湖水組成, 根據公式(2)計算所得的密度, 也的確略有差距, 而且確實以台灣地區較高, 至於導電度則差別不大。在含鹽量方面, 所有離子分析的誤差和約為2.45% (表2.4) , 而導電度的誤差在0.5~1.6%。由此顯示出, 圖中的差距在誤差範圍內, 因此我們認為, 在相同含鹽量的狀況下, 火口湖與台灣地區湖水的密度與導電度類似。

一般而言, 密度隨深度均有增加的現象, 而以 CTD 20 的增加最明顯, 不過有些站的變化則不大。這和過去 Williams and von Herzen (1982) 及 Collier and Dymond (1987) 的結果一致。他們認為熱泉活動以 Wizard 島東南方最明顯, 但是大部分地區熱泉所帶來的溶解鹽量並不很多, 因為由透明度儀分析南邊盆地底部的暖水, 發現光線穿透力的減少幅度不大, 表示熱泉所引起的沉澱量並不多, 亦即熱泉帶來的鹽量不多, 或者是因為熱水與周圍冷水迅速混合, 而沖淡了鹽的濃度。

另外從實際密度的測量, 與因溫度升高使密度減輕的結果比較, 實際密度測量增加的效應要大於溫度的影響, 亦即火口湖的水柱是穩定的, 從位密度隨深度的變化也可以得到相同的結果。由此我們推測火口湖湖水之所以有漸漸混濁的現象不是熱泉所造成的, 而應該另有其他的原因。這有待未來更進一步的研究。

## 四、 結論

### 4.1 台灣地區的湖水及雨水

1. 我們將 Young's 加成定律應用在計算台灣地區天然淡水（湖水、雨水）的密度與導電度，從實驗結果顯示，湖水與雨水密度的測量值與理論計算值比較，相關值都可達0.98以上，斜率分別為1.05及1.32。加入有機酸後，湖水部份斜率變為0.996。應用在計算導電度方面，相關值也可達0.97以上，斜率分別為0.934及1.07。加入有機酸後，湖水部份斜率變為0.923。可見 Young's 加成定律應用在計算台灣地區的湖水、雨水的密度與導電度基本上是可行的，至於密度所得之結果較好，推測可能與儀器之精確度、準確度有關。

2. 比較湖水和雨水的密度，導電度與溶解鹽含量之間的關係，得知雨水所得的斜率較湖水為大，表示在相同含鹽量時，雨水的密度，導電度都較湖水大。從二者的組成來研判，雨水以  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  取代湖水中的  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ 。  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  的部分當量電導較大，所以雨水的導電度比湖水大。密度方面，陽離子對密度的影響相差不多，而陰離子  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  的部分當量體積為正，而且在相同含鹽量下，  $\text{SO}_4^{2-}$  的當量數要比  $\text{HCO}_3^-$  大，所以在相同含鹽量時，雨水的密度也比湖水大。

3. 由Young's定律的應用，得知離子分析仍有不盡完美之處，而造成我們計算時的偏差。

4. 從雨水與湖水的合併分析中，利用密度，導電度分別與含鹽量

的關係，可以得到一個密度與導電度之間的關係式：

$$Y = 0.533 \pm 0.005 X$$

X為水樣的導電度、Y為水樣的密度。根據這個初步的關係式，我們即可從水樣的導電度，來換算水樣的密度。

#### 4.2 火口湖熱泉水

1. 從物化性質(密度、導電度)及其他化學分析(主要離子含量)的結果，都支持 Dymond and Collier (1987) 對火口湖的研究，認為湖底有熱泉活動，而且以 Wizard 島東南方的盆地，活動較為明顯。熱泉帶來的物質，除了有地函中豐富的氮氣之外，也會帶來少許的鹽。由實際密度儀的測量，顯示有隨深度而增加的現象，支持熱泉進入湖中的說法。

2. 基本上，實際密度測量值隨水深的增加量，要大於因溫度升高使密度減少的量，與位密度隨深度增加之結果一致，因此推論火口湖湖水的水柱是穩定的。

3. 由火口湖湖水組成的分析結果，與台灣地區湖水的組成比較，二者主要成份均相同，只是比例稍有不同。所以在相同含鹽量下，對密度、導電度的總和影響與台灣地區相差並不多，都落在由台灣地區平均湖水所得到的關係式附近。至於偏離的原因，可能是離子分析的精確度與準確度的問題。

參考資料：

I. 中文部分：

洪佳章和陳鎮東，1987，高南地區酸雨現況及天然水域酸化程度，行政院衛生署環境保護局報告，77 PP.

袁中新，1986，台灣地區雨水水質特性研究，國立台灣大學環境工程研究所碩士論文，159 PP.

黃建忠，1987，高屏溪重金屬分布及遷移之研究，國立中山大學海洋地質研究所碩士論文，89 PP.

陳鎮東、洪佳章和王冰潔，1987，台灣地區湖沼酸化現況，環境分析化學研討會論文集（付印中）。

陳鎮東、洪佳章和王冰潔，1988，台灣地區湖沼酸化程度之過去、當前與未來，行政院國家科學委員會報告，131 PP.

## REFERENCES

- APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1134pp, 1981.
- Bard, A. J., and L. R. Faulkner, Potentials and thermodynamics of cells, in Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, pp. 44-85, 1980.
- Brewer, P. G., and A. Bradshaw, The effect of the non-ideal composition of sea water on salinity and density, *J. Mar. Res.*, 33, No. 2, 157-175, 1975.
- Chen, C. T., High pressure sound speeds and properties of pure water, seawater and major sea salts, Ph. D. dissertation, Univ. Miami, 159pp., 1977.
- Chen, C. T., and F. J. Millero, The use and misuse of pure water PVT properties for lake waters, *Nature*, 266, 707-708, 1977.
- Chen, C. T., and F. J. Millero, Precise equation of state of seawater for oceanic ranges of salinity, temperature and pressure, *Deep-Sea Res.*, 24, 365-369, 1977b.
- Chen, C. T., and F. J. Millero, The speed of sound in mixtures of the major sea salts, a test of Young's rule for adiabatic PVT properties, *J. Solu. Chem.*, 140, 301-310, 1985.
- Chen, C. T., and F. J. Millero, Precise thermodynamics properties for nature waters covering only the limnological range, *Limnol. Oceanogr.*, 31, 657-662, 1986.
- Collier, R., and J. Dymond, Studies of hydrothermal processes in Crater Lake: a preliminary report of field studies conducted in 1987 for Crater Lake National Park, Subagreement No.22 to cooperative Agreement No. CA-9000-3-0003, 1987.
- Collier, R., J. Dymond, J. Lupton, C. T. A. Chen, M. Lilley, and M. Thompson, Effects of hydrothermal inputs on the chemistry and physics of Crater Lake, OR., AGU/ASLO Ocean Sciences Meeting abstract, New Orleans, Louisiana, 1988.
- Connors, D. N., The partial equivalent conductances of salts in seawater, Ph. Thesis, Univ. Oregon, 48pp., 1967.
- Connors, D. N., and K. Park, The partial equivalent conductance of electrolytes in seawater: a revision, *Deep-Sea Res.*, 14, 481-484, 1967.



- Connors, D. N., and P. K. Weyl, The partial equivalent conductances of salts in seawater and the density/conductance relationship, *Limnol. Oceanogr.*, 13, 39-50, 1968.
- Denaro, A. R., Electrolytic conduction, in Elementary Electrochemistry, pp. 12-47, Butterworth & Co Ltd., London, 1971.
- Duedall, I. W., and P. K. Weyl, The partial equivalent volumes of salts in seawater, *Limnol. Oceanogr.*, 12, 52-59, 1967.
- Dymond, J., R. Conard, C. Perhats, and R. Collier, Hydrothermal activity in Crater Lake: evidence from sediments, AGU/ASLO Ocean Sciences Meeting abstract, New Orleans, Louisiana, 1988.
- Emmet, R. T., and F. J. Millero, Direct measurement of the specific volume of seawater from -2 to 40°C and from 0 to 1000 bars, preliminary results, *J. Geophys. Res.*, 79, No. 24, 3463-3472, 1974.
- Ewing, M. B., and K. N. Marsh, Isothermal compressibilities of cyclopentane + cyclo-octane and + octamethylcyclotetrasiloxane at 298.15°K, *J. Chem. Thermodynamics*, 9, 371-374, 1977.
- Florence, T. M., Spectrophotometric determination of chloride at the parts-per-billion level by the mercury (II) thiocyanate method, *Anal. Chim. Acta.*, 54, 373-377, 1971.
- Golterman, H. L., R. S. Clymo, and M. A. M. Ohnstad, Conductivity, pH, oxidation-reduction, potential alkalinity, total CO<sub>2</sub>, acidity, in Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters, pp. 49-66, Blackwell Scientific Publications, London, 1978.
- Harvey, H. W., The carbon dioxide system, in The Chemistry and Fertility of Sea Waters, pp. 153-182, Cambridge University Press, 1974.
- Holler, F. J., and C. G. Enke, Conductivity and conductometry, in Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry, edited by P. T. Kissinger, and W. R. Heineman, pp. 237-280, Marcel Dekker, Inc., 1984.
- Horne, R. A., Dissolved gases and the carbonate system, in Marine Chemistry, pp. 190-223, John Wiley & Sons, Inc., 1969.

- Hutchinson, G. E., Carbon dioxide and the hydrogen-ion concentration of lake waters, in A Treatise on Limnology, part 2: Chemistry of lakes, pp. 653-690, John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- Høiland, H., J. A. Ringseth, and E. Vikingstad, Volume and compressibility changes of complex formation between 18-crown-6 and NaCl, KCl and CsCl in water, *J. Solu. Chem.*, 7, No. 7, 515-523, 1978.
- Koryta, J., Ions, in Ions, Electrodes and Membranes, pp. 1-61, John Wiley & Sons, Inc., 1982.
- Lee, A. H., and G. K. Rodgers, Comment on " Static stability in freshwater lakes ", *Limnol. Oceanogr.*, 19, 546-547, 1974.
- Lepple, F. K., and F. J. Millero, The isothermal compressibility of sea water near one atmosphere, *Deep-Sea Res.*, 18, 1233-1254, 1971.
- Likens, G. E., Keene, W. C., Miller, J. M., and Galloway, J. N., Chemistry of precipitation from a remote, terrestrial site in Australia, *J. Geophys. Res.*, 92, 13299-13314, 1987.
- Liu, K. K., Hydrogen and oxygen isotopic compositions of meteoric waters from the Tatun Shan area, northern Taiwan, *Bull. Inst. Earth Sci., Academia Sinica*, 4, 159-175, 1984.
- Lupton, J. E., R. Collier, and J. Dymond, Excess  $^3\text{He}$  in Crater Lake, Oregon: evidence for geothermal input, AGU/ASLO Ocean Sciences Meeting abstract, New Orleans, Louisiana, 1988.
- Marshall, W. L., and C. T. Chen, Amorphous silica solubilities IV: behavior in pure water and sodium chloride, sodium sulfate, magnesium chloride, and magnesium sulfate aqueous solutions up to 350°C, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 279-287, 1982a.
- Marshall, W. L., and C. T. Chen, Amorphous silica solubilities V: predications of solubility behavior in aqueous mixed electrolyte solution up to 300°C, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 289-291, 1982b.
- Masood, A. K. M., A. M. North, R. A. Pethrick, M. Towland, and F. L. Swinton, Compressibility studies of benzene + hexafluorobenzene mixtures, *J. Chem. Thermodynamics*, 9, 133-137, 1977.

- Millero, F. J., The partial molal volume of ions in seawater, *Limnol. Oceanogr.*, 14, 376-385, 1969a.
- Millero, F. J., The partial molar volume of ions in various solvents, *J. Phys. Chem.*, 73, 2417-2420, 1969b.
- Millero, F. J., The apparent and partial molal volume of aqueous sodium chloride solutions at various temperatures, *J. Phys. Chem.*, 74, 356-362, 1970.
- Millero, F. J., The partial molal volumes of electrolytes in aqueous solutions, in Water and Aqueous Solution, edited by R. A. Horne, pp. 519-564, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1972a.
- Millero, F. J., Compilation of the partial molal volumes of electrolytes at infinite dilution  $V$ , and the apparent molal volume concentration dependence constants  $S_v$  and  $b_v$  at various temperatures, in Water and Aqueous Solution, edited by R. A. Horne, pp. 565-595, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1972b.
- Millero, F. J., Theoretical estimates of the isothermal compressibility of sea water, *Deep-Sea Res.*, 20, 101-105, 1973.
- Millero, F. J., Seawater as a multicomponent electrolyte solution, in The Sea, edited by E. D. Goldberg, 5, pp. 1-80, John Wiley & Sons, Inc., 1974a.
- Millero, F. J., The physical chemistry of seawater, *Ann. Rev. Earth and Planet. Sci.*, 2, 101-150, 1974b.
- Millero, F. J., The equation of state of seawater, *Naval Res.*, 27, 40-57, 1974c.
- Millero, F. J., The physical chemistry of estuaries, in Marine Chemistry of the Coastal Environment, edited by T. M. Church, pp. 25-55, Am. Chem. Soc., Washington, D. C., 1975.
- Millero, F. J., The thermodynamics of seawater, part 1: the PVT properties, *Ocean Sci. and Eng.*, 7, 403-460, 1982.
- Millero, F. J., Influence of pressure on chemical processes in the sea, in Chemical Oceanography, edited by J. P. Riley, and R. Chester, 8, pp. 2-88, Academic Press Inc., London, 1983.
- Millero, F. J., The conductivity-density-salinity-chlorinity relationships for estuarine waters, *Limnol. Oceanogr.*, 29, 1317-1321, 1984.

- Millero, F. J., and W. D. Hansen, Apparent molal volumes of aqueous monovalent salt solutions at various temperatures, *J. Chem. and Eng. Data*, 13, 330-333, 1968.
- Millero, F. J., and R. T. Emmet, The effect of dissolved air and natural isotopic distributions on the density of water, *J. Mar. Res.*, 34, 15-24, 1976.
- Millero, F. J., and K. Kremling, The densities of Baltic sea waters, *Deep-Sea Res.*, 23, 1129-1138, 1976.
- Millero, F. J., and F. K. Lepple, The density and expansibility of artificial seawater solutions from 0 to 40°C and 0 to 21 chlorinity, *Mar. Chem.*, 1, 89-104, 1972.
- Millero, F. J., and P. V. Chetirkin, The density of Caspian sea waters, *Deep-Sea Res.*, 27, 265-271, 1980.
- Millero, F. J., P. Chetirkin, and F. Culkin, The relative conductivity and density of standard seawaters, *Deep-Sea Res.*, 24, 315-321, 1977.
- Millero, F. J., D. Lawson, and A. Gonzalez, The density of artificial river and estuarine waters, *J. Geophys. Res.*, 81, 1177-1179, 1976a.
- Millero, F. J., D. Means, and C. Miller, The density of Mediterranean sea waters, *Deep-Sea Res.*, 25, 563-569, 1978a.
- Millero, F. J., A. Gonzalez, P. G. Brewer, and A. Bradshaw, The density of North Atlantic and North Pacific deep waters, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 32, 468-472, 1976b.
- Millero, F. J., D. Forsht, D. Means, J. Gieskes, and K. E. Kenyon, The density of North Pacific Ocean waters, *J. Geophys. Res.*, 83, 2359-2364, 1978b.
- Padova, J., and I. Lewkowicz, Apparent and partial molal volumes in mixed salt solutions, 1. the ternary systems: LiCl-LiNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, NaCl-NaNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O and KCl-KNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, *J. Chem. Phys.*, 65, No. 9, 3611-3615, 1976.
- Park, K., Partial equivalent conductance of electrolytes in sea water, *Deep-Sea Res.*, 11, 729-736, 1964.
- Picker, P., E. Tremblay, and C. Jolicoeur, A high precision digital readout flow densimeter for liquid, *J. Solu. Chem.*, 3, 377-384, 1974.

- Platford, R. F., Thermodynamics of the system  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{MgSO}_4$  to the saturation limit of NaCl at  $25^\circ\text{C}$ , *J. Solu. Chem.*, 3, No. 10, 771-780, 1974.
- Platford, R. F., Excess Gibbs energies of mixing in the system  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{MgSO}_4$  at  $298.15^\circ\text{K}$ , *J. Solu. Chem.*, 4, No. 1, 37-43, 1975.
- Poisson, A., and J. Chanu, Partial molal volumes of some major ions in seawater, *Limnol. Oceanogr.*, 21, 853-861, 1976.
- Poisson, A., and J. Chanu, Semi-empirical equations for the partial molal volumes of some ions in water and in seawater, *Mar. Chem.*, 8, 289-298, 1980.
- Poisson, A., J. Lebel, and C. Brunet, The density of western Indian Ocean, Red Sea and eastern Mediterranean surface waters, *Deep-Sea Res.*, 28, 1161-1172, 1981.
- Riley, J. P., and R. Chester, The dissolved gases in sea water, part 2: carbon dioxide, in Introduction to Marine Chemistry, pp. 121-151, Academic Press Inc., 1971.
- Robinson, R. A., R. F. Platford, and C. W. Childs, Thermodynamics of aqueous mixtures of sodium chloride, potassium chloride, sodium sulfate and potassium sulfate at  $25^\circ\text{C}$ , *J. Solu. Chem.*, 1, No. 2, 167-172, 1972.
- Sigurdsson, H., Chemistry of the crater lake during the 1971-72 Soufrière eruption, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2, 165-186, 1977.
- Skirrow, G., The dissolved gases-carbon dioxide, in Chemical Oceanography, edited by J. P. Riley, and G. Skirrow, 2, pp. 1-192, Academic Press Inc., 1975.
- Vassos, B. H., and Ewing, G. W., Conductometry, in Electro-analytical chemistry, pp. 184-194, John Wiley & Sons, Inc., 1983.
- Volchok, H. L., V. T. Bowen, W. R. Clark, and L. R. Ball, Crater lake revisited: concentration changes in water column radio-nuclides, 1967 to 1981, *J. Geophys. Res.*, 88, No. c7, 4531-4533, 1983.
- Volchok, H. L., M. Feiner, H. J. Simpson, W. S. Broecker, V. E. Noshkin, V. T. Bowen, and E. Willis, Ocean fallout-the Crater Lake experiment, *J. Geophys. Res.*, 75, No. 6, 1084-1091, 1970.

- Welles, H. L., and R. E. Lindstrom, The apparent molal volumes of 1:1 electrolytes in urea solution, II. variation of apparent molal volume with salt concentration, *J. Solu. Chem.*, 5, No. 3, 155-162, 1976.
- Welles, H. L., M. J. Kustek, and R. E. Lindstrom, The apparent molal volumes of mixtures of 1:1 electrolytes in aqueous urea solutions: a test of Young's rule, *J. Solu. Chem.*, 4, No. 5, 391-398, 1975.
- Wirth, H. E., The problem of the density of sea water, *J. Mar. Res.*, 3, 230-247, 1940.
- Weyl, P. K., On the change in electrical conductance of seawater with temperature, *Limnol. Oceanogr.*, 9, 75-78, 1964.
- Williams, D. L., and R. P. von Herzen, On the terrestrial heat-flow and physical limnology of Crater Lake, Oregon, *J. Geophys. Res.*, 88, 1094-1104, 1983.
- Wu, Y. C., Young's mixture rule and its significance, *J. Phys. Chem.*, 74, No. 21, 3781-3786, 1970.
- Young, T. F., Recent developments in the study of interaction between molecules and ions, and of equilibrium in solutions, *Rec. Chem. Progr.*, 12, 81-95, 1951.
- Young, T. F., and M. B. Smith, Thermodynamic properties of mixtures of electrolytes in aqueous solutions, *J. Phys. Chem.*, 58, 716-724, 1954.
- Zimmerman, A. P., and H. H. Harvey, Final report on sensitivity to acidification of waters of Ontario and neighboring states, Univ. of Ontario, 136pp., 1978.