

翡翠水庫之優養化探討

STUDY ON EUTROPHICATION OF FEITSUI RESERVOIR TAIPEI, TAIWAN, R.O.C.

張 清 源 *
CHANG, TSING-YUAN

摘 要 ABSTRACT

The FeiTsuai Reservoir Project, a water resource development project of the Taipei Regional Water Supply Fourth Stage Development Project, is aimed at providing the Taipei Water Supply Region to satisfy water demand by the year of 2030. The minute cares are provided to this reservoir from time to time for the reason that it must supply clean raw water to the inhabitants of Taipei Metropolitan Area.

This paper collected and analyzed the water quality informations, reports and papers related to the Project since 1979, the very beginning of implementation of the Dam.

Special emphasizes were made on the statements and reviews of Photo-Synthesis Process (Chapter 3) and Theory of Self-Purification of the River (Chapter 5), attempting to explain the EUTROPHICATION PHENOMINA OF THE RESERVOIR from the stand-points of the fundamental concepts of the theories and knowledges and thus provide the guides to the engineers when treating the EUTROPHICATION PROBLEMS occuring in the reservoirs.

Meanwhile, efforts were made to introduce new development of "LAKELYFTER" which are adopted mainly in U.K. and Japan, and which were developed by applying the Theory of Photo-Synthesis stated above about one decade ago.

In order to stimulate young readers to join the interesting and important develop-ing study - "EUTROPHICATION VS SECCHI DEPTH & CHLOROPHYLL a CHART", fundamental concepts of which were developed by Professor Eugene B. Welch, University of Washington, Seattle, Washington, who visited FeiTsuai Reservoir in summer 1986 and introduced the above mentioned Chart 2 in Chapter 3. Brief statements and discussion are given on the EXPULSION of 4,000 capitals of pigs from PINLIN district (lies in Watershed), based on scientific analysis and numerical approach, introduction of which appeared in famous Japan News Paper, and of the reasons why Taipei Municipal Government made expulsion of these pigs by paying a large amount of money for them. Today, Taipei area inhabitants are able to enjoy the clean water without odor. It is due mainly to this action - cut thor-

* 翡翠水庫管理局 正工程司

oughly the pigs wastes from watershed - taken by the Chinese Government with prompt decision for the Feitsui Reservoir.

Finally, the author attempts to display the results of his own study on "the efficacy of self-purification of river for local Peishih Creek" on which the FeiTsui Dam is located. The result gives the reaction rate of 0.698 which is considered to be reasonable by comparing with those of other rivers. Anyway, the instructions of the experts are welcome to make this paper more valuable.

前 言

翡翠水庫計畫曾於民國68年間委託台灣大學土木工程學研究所辦理「翡翠水庫環境影響初步評估之研究」。在其研報告中建議以翡翠水庫提供為國內人工湖泊生態學之研究地點，跟隨水庫之興而逐漸成長的純學術研究。本局雖未曾策劃成立調查研究專責機構，但本局自行策辦之調查研究工作未曾中斷，不讓專責機構媲美於前。本水庫從民國73年及76年二度請日本自來水水質權威小島貞男博士來華指導；其他尚有美國華盛頓大學的B.W.Mar教授及E.B.Welch教授等前後應邀前來本水庫考察水質、而先後前來水庫作水質調查的國內研究機關有經濟部水資源統一規劃委員會、行政院環境保護署、國立台灣大學、中央研究院、台北自來水事業處、水管會等，不勝枚舉。其中經濟部水資源統一規劃委員會，曾計畫投資鉅額利用人造衛星調查本水庫水質，但不知何故未實行。中央研究院植物研究所對於本水庫之藻類相調查研究有卓越成就。行政院環境保護署亦曾做了相當長期的本水庫水質的調查研究，提出了寶貴的報告。在繁多調查研究本水庫水質機構當中出力最大可能就是台北自來水事業處。

本研究報告，係以初學工程師的立場探討及分析翡翠水庫之優養化為目標。文中特別介紹植物光合作用及河川自淨作用，E.B.Welch教學考案中之圖-4亦相當值得報導供有意者共同開發。

壹、翡翠水庫之環境經營管理

自從50年代末期起，工業先進國家開始注重環境污染問題以來，在觀念上已由初期「污染防治」之消極作法轉變到目前之「環境經營與管理」（或簡稱環境經理）之積極作法。在有限的天然資源之下，經濟成長與環境品質之提高這兩個目標，往往是難以同時滿足的。因此環境經理之最大困難在於如何使環境品質之價值與經濟價值得到適當的平衡。

水資源開發計畫具有大幅度改變環境的特性，以致常被誤認為是環境的破壞者。其實由於水資源開發計畫所導致之環境改變，固然有壞的一面，但是也有好的一面。

在台灣近十多年來生態保護及環境影響問題，漸受各界的重視與關切，水質污染及水庫水質優養化問題為各種刊物及傳播媒體競相討論的題目。台北翡翠水庫計畫，曾在民國68年間委託台灣大學土木工程學研究所辦理「翡翠水庫環境影響初步評估之研究」，並於民國73年初邀請中日技術合作計畫日籍專家小島貞男博士研究「翡翠水庫之水質預測與污染防治對策」，以未雨綢繆環境及污染影響，亦為我國水資源開發計畫首次評估環境及污染影響，亦為我國人工湖泊第一次預測未來蓄水後的水質及研究優養化防治對策。

根據小島博士實地踏查研究預測，影響翡翠水庫未來水質優養化的最大因數為集水區內的養豬，因此前幾年，有關機關會同致力於養豬的補償搬遷。有關此行動，小島博士於民國78年底在日本產經新聞刊載報導如下：

為確保水質安全，四千頭養豬大搬家——台灣

台灣因山多，河川的坡度很陡，因此流量的變動也大，對污濁為虛弱體質。但山地被森林覆蓋，平時為清流，長久以來呈為山紫水明之狀態。如此狀態隨著經濟發展，河川及湖泊明顯變成為污染狀態，其經過恰與日本及韓國相似，為"國貧而水清"之最佳傍樣。在此當中，最近在台灣為保護自來水源被污染，採取果斷的對策，因其可作為借鏡擬介紹於下。

那就是台北市自來水專用水庫——翡翠水庫（蓄水量 4億立方公尺）的事情。本人在翡翠水庫建設中應邀赴現地接受請求代為辦理"將來此水庫蓄水了，其水質如何？"的水質預測。因此順著河川往上游爬再爬，把流域內的污染源一點不漏要統統找出來。流域全面被森林覆蓋，所以覺得必定成為乾淨的蓄水庫。再爬結果，突然瞭闊的視界呈現在面前。有村落及廣大的茶園及稻田等。那裡還有約 4,000頭的養豬，而發現其廢水全部直接排入河川。因此就試算從流域內住戶、養豬及其他稻田、旱田、山林等排出的營養鹽的總量，其結果認為如維持現況蓄水時，將藻類繁生，而達到從開始就會發生臭味的結論。因此提供了下列三種對策。第一案，斷絕污濁量佔60%的養豬廢水，其結果透明度約可達 3公尺的乾淨水庫。第二案，如果第一案不可行時，則將揚水筒插入水庫中，依人工使庫水曝氣循環。第三案，如果第一、第二案都不可行，則在全淨水場施設脫臭設備處理臭氣。

約過三年後，開始蓄水使用了，再度接受邀請去看，則庫水清澄，測試結果有 3公尺以上的透明度。「採取了什麼對策？」本人吃驚地問，回答是「遵照勸告把流域內的養豬統統補償斷絕了！」。對於事前實行對策，防治障害於未然之水庫當局的英明果斷，印象深刻，特表敬意！

（以上小島貞男博士水質漫談；日本產經新聞刊載；張清源譯。）

在上述文中小島博士稱：「斷絕污濁量佔60%的養豬廢水....」係依據翡翠水庫的總磷負荷量構成水庫優養化的最低需要定律中 (Liebig's Law of Minimum) 的限制因子 (Limiting Jactor)，而由翡翠水庫污染源的計算表，表-1，可知它的總磷年入量為48,228公斤，其中約60%來自坪林鄉的養豬廢水，約30%來自山林。又由表-3可知維持原狀時水庫中水質的總磷濃度為已屬於優養範圍之0.036mg/l，為提高到普養標準，則需減少養豬量80%，這就是為什麼台北市政府不顧當地居民的反對，以優厚條件遷出養豬戶的原因。但去年卻因乾旱水淺，加以坪林職訓總隊污水來源（請參閱下文）等問題，有顯著的優養現象，值得我們繼續加強污染源的控制。

（表-1係整理表-4及表-5而得。表-2係整理表-6及表-7而得，而表-4，表-5，表-6及表-7則根據表-8推算而得）。

表-1 翡翠水庫流域P 負荷量養豚取締前後之比較

發 生 源		流 入 負 荷 量 (kg/年)			流入負荷量所佔百分比 (%)		
區 分	內 含	養豚取締前	養豚取締後	前後之比較	養豚取締前	養豚取締後	前後之比較
山 林	天 然 林 人 工 林	14,912	14,912	± 0	30.9	30.9	± 0
耕 作 地	水田、火田 果園、茶園	1,060	1,060	± 0	2.2	2.2	± 0
社 區	坪 林 地 區	108	108	± 0	0.2	0.2	± 0
其 他	原生地、河 流道路裸地	80	80	± 0	0.3	0.3	± 0
定住人口	水 肥 及 家 庭 廢 水	2,576	2,576	± 0	5.3	5.3	± 0
觀光人口	全 流 域	292	292	± 0	0.6	0.6	± 0
豚	坪 林 鄉	29,200	219	- 28,981	60.5	0.5	- 60
合 計		48,228	19,247	- 28,981	100	40.0	- 60

註：前後之比較十為增加，一為減少。

表-2 翡翠水庫流域N 負荷量養豚取締前後之比較

發 生 源		流 入 負 荷 量 (kg/年)			流入負荷量所佔百分比 (%)		
區 分	內 含	養豚取締前	養豚取締後	前後之比較	養豚取締前	養豚取締後	前後之比較
山 林	天 然 林 人 工 林	82,015	82,015	± 0	51.4	51.4	± 0
耕 作 地	水田、火田 果園、茶園	8,833	8,833	± 0	5.5	5.5	± 0
社 區	坪 林 地 區	1,080	1,080	± 0	0.7	0.7	± 0
其 他	原生地、河 流道路裸地	797	797	± 0	0.5	0.5	± 0
定住人口	水 肥 及 家 庭 廢 水	17,170	17,170	± 0	10.8	10.8	± 0
觀光人口	全 流 域	2,803	2,803	± 0	1.8	1.8	± 0
豚	坪 林 鄉	46,720	350	- 46,370	29.3	0.2	-29.1
合 計		159,418	113,048	- 46,370	100	70.9	-29.1

註：前後之比較十為增加，一為減少。

表3 翡翠水庫總磷濃度計算表

No	條件	L(總磷負荷) kg/年	A(蓄水面積) m ²	①L/A	②11.6+1.2 $\frac{Q}{A}$	$\frac{①}{②}=P$ (mg/l)
1	現狀	48,228	10.24	4.71	129	0.036
2	豬負荷50%減	33,883	10.24	3.31	129	0.025
3	豬負荷80%減	26,588	10.24	2.60	127	0.020
4	人、觀光人口、豬減	16,136	10.24	1.57	129	0.012
5	定住21,000人 觀光人口400萬人/年	56,761	10.24	5.54	129	0.043
6	現狀負荷量 水位148m	48,488	6.86	8.27	187	0.044
7	現狀負荷量 水位136m	48,488	5.29	10.73	239	0.045

備 (1)Q_{dam}=1.29Q_{乾溝}=1.29×24.63=31.77m³/scc=1,002×10³m³/年

考 (2) $P=\frac{L}{A} \div (11.6+1.2\frac{Q}{A})$

表-4 翡翠水庫流域P負荷量計算表 (安定後) (養豬取締後)

發 生 源		數 量	原 單 位	發生負荷量	流 達 率	流入負荷量	%	
區 分	內 含							
山 林	天 然 林		ha	kg/ha/年	1.0	kg/年	77.5	
	人 工 林	24,853		0.6				14,912
耕 作 地	水田、火田		ha		1.0	1,060	5.5	
	果園、茶園	3,533		0.3				1,060
社 區	坪林地區	108	ha	1.0	1.0	108	0.6	
其 他	原生地河		ha		1.0	80	0.4	
	流道路裸地	797		0.1				80
定 住 人 口	水肥	9,000人		1.8g/人/日		kg/年	13.4	
	家庭廢水					5,913		
	雙溪鄉	500		1.8g/人/日	0.3	329		2,576
	坪林鄉	6,100		1.8g/人/日	0.5	4,008		99
	石碇鄉	2,400		1.8g/人/日	0.3	1,557	2,004	
							473	
觀 光 人 口	全 流 域	2,000	人/日	g/人/日	0.8	kg/年	292	1.5
				0.5		365		
豬	坪 林 鄉	30	頭	g/頭/日	0.8	kg/年	219	1.1
				25		274		
合 計							19,247	100

表-5 翡翠水庫流域P負荷量計算表(安定後) (原案)

發 生 源		數 量	原 單 位	發生負荷量	流 達 率	流入負荷量	%	
區 分	內 含							
山 林	天 然 林	ha	kg/ha/年	kg/年	1.0	kg/年	30.9	
	人 工 林	24,853	0.6	14,912				
耕 作 地	水田、火田	ha	0.3	1,060	1.0	1,060	2.2	
	果園、茶園	3,533						
社 區	坪林地區	ha	1.0	108	1.0	108	0.2	
其 他	原生地河 流道路裸地	ha	0.1	80	1.0	80	0.3	
定住人口	水肥	9,000人	1.8g/人/日	kg/年	0.3	2,576	5.3	
	家庭廢水			5,913				
	雙溪鄉	500	1.8g/人/日	329				
	坪林鄉	6,100	1.8g/人/日	4,008				
	石碇鄉	2,400	1.8g/人/日	1,557	0.5	2,004	0.3	473
觀光人口	全 流 域	人/日	g/人/日	kg/年	0.8	292	0.6	
		2,000	0.5	365				
豬	坪 林 鄉	頭	g/頭/日	36,500	0.8	29,200	60.5	
		4,000	25					
合 計						48,228	100	

表-6 翡翠水庫流域N負荷量計算表(安定後) (養豬取締後)

發 生 源		數 量	原 單 位	發生負荷量	流 達 率	流入負荷量	%	
區 分	內 含							
山 林	天 然 林	ha	kg/ha/年	kg/年	1.0	kg/年	72.5	
	人 工 林	24,853	3.3	82,015				
耕 作 地	水田、火田	ha	2.5	8,833	1.0	8,833	7.8	
	果樹、茶園	3,533						
社 區	坪林地區	ha	10	1,080	1.0	1,080	1.0	
其 他	原生地河 流道路裸地	ha	1.0	797	1.0	797	0.7	
定住人口	水肥	9,000人	12g/人/日	kg/年	0.3	17,170	15.2	
	家庭廢水			39,420				
	雙溪鄉	500	12g/人/日	2,190				
	坪林鄉	6,100	12g/人/日	26,718				
	石碇鄉	2,400	12g/人/日	10,512	0.5	13,359	0.3	3,154
觀光人口	全 流 域	人/日	g/人/日	kg/年	0.8	2,803	2.5	
		2,000	4.8	3,504				
豬	坪 林 鄉	頭	g/頭/日	438	0.8	350	0.3	
		30	40					
合 計						113,048	100	

表-7 翡翠水庫流域N負荷量計算表(安定後)(原案)

發 生 源		數 量	原 單 位	發生負荷量	流 達 率	流入負荷量	%		
區 分	內 含								
山 林	天 然 林	24,853	ha	kg/ha/年	1.0	kg/年	82,015	51.4	
	人 工 林								3.3
耕 作 地	水田、火田	3,533	ha	2.5	1.0	8,833	8,833	5.5	
	果園、茶園								
社 區	坪林地區	108	ha	10	1.0	1,080	1,080	0.7	
其 他	原生地河 流道路裸地	797	ha	1.0	1.0	797	797	0.5	
定住人口	水肥	9,000	人	12g/人/日		kg/年	39,420	10.8	
	家庭廢水						17,170		
	雙溪鄉	500		12g/人/日	0.3	2,190	657		
	坪林鄉	6,100		12g/人/日	0.5	26,718	13,359		
	石碇鄉	2,400		12g/人/日	0.3	10,512	3,154		
觀光人口	全 流 域	2,000	人/日	g/人/日	0.8	kg/年	3,504	2,803	1.8
4.8									
豬	坪 林 鄉	4,000	頭	g/頭/日	0.8	58,400	46,720	29.3	
40									
合 計							159,418	100	

表-8 土地利別面積表(翡翠水庫流域)

利 用 區 分	集 水 區 域	淹 沒 區 域	將 來 負 荷 發 生 區 域
森 林 { 天 然 林 人 工 林	25,177.9 ha	325.4 ha	24,852.5
	{ 15,222	{ 147.3	{ 15,074.7
	{ 9,959.9	{ 178.1	{ 9,781.8
耕 作 地 { 水 田 旱 作 地 果 園 茶 園 苗 圃	3,927.6	394.2	3,533.4
	{ 655.6	{ 54.8	{ 600.8
	{ 863.1	{ 24.5	{ 838.6
	{ 1,462.6	{ 271.9	{ 1,190.7
	{ 932.9	{ 33.6	{ 899.3
	{ 13.4	{ 9.4	{ 4.0
社 區	134.5	26.4	108.1
其 他 (草生地, 河流 道路, 裸地他	1,075.4	278.5	796.9
合 計	30,315.4	1,024.5	29,290.9

坪林職訓總隊排放廢水本局檢測資料

I 說明：

為追蹤檢測水庫上游水質受污染情形，本局於78年 6月30日至7月3日連續四天，自清晨至晚上八時，分別在健魚溪（上游、水文站處），職訓總隊放流口及坪林職訓總隊下游等處，每隔約三小時檢測乙次，本次檢測是以影響藻類生產因素的氨氮及磷為主。

II 檢測結果分析：

1. 氨氮方面：

平時，坪林橋下含量約200ppb (0.2ppm)，已大於河川水體分類之甲類標準；介於甲，乙類之間；另職訓總隊上游 魚溪含量100戶PP (0.1ppm)，即未受職隊污染前，水質仍合河川甲類標準；再在職訓總隊放流口檢測，其值始終大於8ppm，應屬嚴重污染，該排水經河水稀釋後，於職訓總隊下游處檢測，氨氮值已降為0.4ppm；各支流匯入水庫後於灣潭處氨氮含量平時為0.1ppm，尚符合甲類水質，惟中午及黃昏時刻，可能職訓總隊大量排放污水，則水質屬乙、丙類。

2. 磷方面：

各採樣站均約20ppm (0.02ppm)，已超出河川甲類水質標準0.01ppm，然職訓總隊放流口含量更高達3ppm，由此可見污染源重點所在。

III 結論：

1. 坪林職訓總隊之放流水嚴重違反「水污染防治法」第十五條，依「公告新店溪青潭水源、水質、水量保護區管制事項第二項應實施管制。
2. 其污水如繼續流入水庫，將使水庫水質加速優養化而增加藻類滋生，嚴重影響自來水質安全。

貳、翡翠水庫水質變化及現況概述

本水庫歷年水質變化狀況如表-9，自從本水庫開始初期蓄水以來，水庫水質變化經過如下階段：淹沒區內草木腐爛溶出污染源；養豬逐漸消滅污染源漸少；坪林職訓總隊排放大量生活廢水污染源等等。因污染負荷量隨河川流量有所變化，故在數據上不太容易看出。

本水庫集水區污染現況如「翡翠水庫集水區污染源概況資料」，中央研究院所吳俊宗博士在其79年 6月提出研究報告中指出：①從水質分析及藻類分佈結果看，最上游灣潭附近水質最差，顯出污染源仍來自上游集水區之進流水，②藻類優勢的情形比去年更嚴重，下半年即屬優養級水質，③水域內藻類數量均明顯比往年平均值高，顯出水質趨於惡化。微囊藻仍為主要優勢種。④從水源中減少有機污染，可減緩囊藻大量繁殖。

根據表-1及表-2，本水庫之磷及氮年負荷量各為20公噸及110公噸。

自1989年7月至1990年5月間，本水庫土埧附近及上游灣潭表水各月份之水質詳細數字，請參閱由台北自來水事業處提供之表-10及表-11。

表-9 翡翠水庫歷年水質變化狀況一覽表

民國73年至78年

年	水	文	狀	水	藻	優	其	他
民國73	1.水庫水位經常在E1. 90m以下。 2.滯留時間為2.7天。	1.P-P04.....無資料。 2.N-N03.....平均1~2ppm。 3.七月至八月.....呈溫度成層現象。	1.七月及八月....Volvocales及Chlorococcales為優勢。 2.其他月份...Chlamydomonas為優勢。	1.七月八月暫時為優養。 2.其他月份為貧養。	1.北勢溪底標高約為E1. 50m。			
74	1.水庫水位，經常在E1. 93m以下。 2.滯留時間為3.6天。	1.P-P04.....無資料。 2.N-N03.....平均0.3ppm。 3.十月.....呈溫度成層現象。	1.十月....Chlorococcales為優勢。 2.冬季.....Chlamydomonas為優勢。 3.五月至七月....Cyclotella及Sphaerocystis為優勢。	1.十月暫時為優養。 2.其他月份為貧養。				
75	1.水庫水位為E1. 136.5m。 2.滯留時間為42.4天。	1.五月至十月.....呈溫度成層現象。 2.平均TP為22.8ppm。	1.夏季....Chlorophyta為優勢。 2.秋冬季....Bacillariophyceae為優勢。	1.平均優養狀態為普養。 2.從六月起水質轉佳。	1.優養狀態之分類係採用OECD公布標準。 2.六月.....豚頭數減少50%。			
76	1.水庫平均水位為E1. 151.76 151.76m。 2.滯留時間為97.5天。	1.五月至十月.....呈溫度成層現象。 2.平均TP為20.2ppb。	1.春夏秋季....Chlorophyta為優勢。 2.冬季..Bacillariophyceae, Cryptophyta, Chryso-Phyceae為優勢。	1.平均優勢狀態為普養。 2.一般來說水質比去年為佳。	1.二月....豚頭數減少97%。			
77	1.六月至九月水庫進水量極少。 2.九月末10天水庫進水量激增。	1.六月以前的水質比去年同季為佳。 2.七月至九月，TP負荷增加。	1.七月九月....在水庫上游形成 Microcystis的水華。	1.元月至三月.....負養。 2.四月至六月.....普養。 3.七月至九月.....水庫上游為優，但其他水庫部分仍為普養。	1.九月及十月各洩供乙次。 2.秋季在水庫上游設置欄柵網。			
78	1.水庫平均水位為E1. 156.02 m。 2.滯留時間為125天。	1.夏季呈溫度成層現象。 2.平均TP為12.1ppb。	1.年平均藻類數為2200個/ml。 2.七月份最大平均藻類數為6870個/ml。	1.全年呈現負養至普養。				

表-10 翡翠水庫大壩附近各月份水質狀況 (由台北自來水事業處提供)

檢 驗 項 目	及 單 位	月份	1989					1990					
			7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5
水 溫	℃		31.0	29.0	30.0	26.7	24.3	20.8	19.4	19.7	17.8	21.5	25.4
濁 度	NTU		2.7	2.3	1.6	1.6	2.3	2.9	1.8	2.8	1.1	1.8	2.4
色 度	UNIT		5	5	6	5	7	6	6	5	4	4	5
臭 度	T O N		1.4	1.4	1.4	1.0	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.4
總 鹼 度	mg/l		6	18	20	18	14	14	14	14	16	16	16
pH 值			7.8	7.2	7.4	7.3	7.0	6.9	7.0	7.1	6.7	7.1	7.3
氟 鹽	mg/l		9	8	10	7	6	8	10	11	7	7	5
硫 酸 鹽	mg/l		9	11	8	10	9	9	8	9	7	7	8
游離氨氮	mg/l		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0.01
亞硝酸氮	mg/l		0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.005	0.002	0.004	0.05
硝酸氮	mg/l		0.10	0.12	0.04	0.20	0.28	0.38	0.16	0.18	0.31	0.07	0.21
有機氮	mg/l		0.04	0.08	0.09	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06	0.12	0.07	0.06
溶 氧 量	mg/l		8.2	8.1	7.4	8.0	8.3	7.1	7.3	9.2	7.9	8.7	8.2
生化需氧量	mg/l		0.2	0.5	0.4	0.7	0.9	0.2	0.2	0.5	0.3	0.5	0.5
化學需氧量	mg/l		7.0	0	0.4	0	0	0	0	5.6	6.2	2.8	-
溶解固體量	mg/l		38	33	30	35	32	39	32	30	30	30	35
懸浮固體量	mg/l		2.7	0.5	1.3	0.7	0.2	0.8	0.4	2.4	4.0	14.0	0.4
導 電 度	μm/cm		71	68	69	66	69	68	58	57	46	49	63
總 硬 度	mg/l		20	20	22	20	20	18	20	28	20	20	18
鈣	mg/l		4.0	4.0	4.8	3.2	3.2	4.0	3.2	4.0	4.0	4.0	4.0
鎂	mg/l		2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	2.0	3.0	4.5	2.5	2.5	2.0
鐵	mg/l		0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.04	0.02
錳	mg/l		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
細菌類數	35℃		2000	1200	40200	2200	230	100	150	120	40	200	600
大腸菌類數	M P N		900	0	14	200	30	20	13	1	130	100	10
糞便性大腸菌	M P N												
糞便性鏈球菌	M P N												
總有機碳	mg/l		1.27	1.24	1.44	1.37	0.97	0.90	0.83	1.05	0.82	1.05	-
溶解性反應磷	μg/l												
溶解性總磷	μg/l												
總反應磷	μg/l		6.2	3.7	4.6	4.9	4.2	5.9	3.9	3.9	nd	4.8	4.5
總 磷	μg/l		11.4	11.7	11.1	12.9	12.0	10.7	4.7	6.6	5.4	13.6	12.3
葉綠素a	μg/l		3.6	5.7	1.2	10.3	6.5	2.3	1.7	7.2	2.7	5.4	4.3
透 明 度	cm		200	300	380	290	310	480	530	400	610	270	230

表-11 翡翠水庫上游灣潭表水水質狀況 (由台北自來水事業處提供)

檢 驗 項 目	及 單 位	月 份											
		1989 7	8	9	10	11	12	1990 1	2	3	4	5	
水 溫	°C	30.3	27.0	26.4	26.0	24.8	21.0	19.0	20.2	17.7	17.4	25.5	
濁 度	NTU	3.4	1.1	2.0	2.1	1.5	2.0	1.8	2.1	3.0	1.6	5.6	
色 度	UNIT	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	-	
臭 度	T O N	2.0	2.0	2.0	1.4	2.0	2.0	1.4	1.0	1.0	2.0	2.0	
總 鹼 度	mg/l	20	22	22	18	22	14	14	16	16	10	16	
pH 值		7.4	7.0	7.3	7.1	6.9	6.9	6.9	7.2	6.8	6.8	7.3	
氟 鹽	mg/l	9	14	16	8	7	8	10	9	7	8	5	
硫 酸 鹽	mg/l	12	11	9	10	8	9	8	9	7	7	7	
游 離 氨 氮	mg/l	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00	-	
亞 硝 酸 氮	mg/l	0.014	0.001	0.007	0.005	0.004	0.002	0.002	0.003	0.003	0	0.03	
硝 酸 氮	mg/l	0.21	0.22	0.27	0.15	0.23	0.58	0.17	0.18	0.21	0.44	0.24	
有 機 氮	mg/l	0.03	0.04	0.13	0.06	0.04	0.02	0.10	0.06	0.09	0.11	0.15	
溶 氧 量	mg/l	7.9	6.9	8.1	7.5	8.0	7.6	8.0	9.2	8.4	9.0	8.1	
生 化 需 氧 量	mg/l	0.6	-	0.5	0.4	0.8	0.8	0.2	0.9	0.6	0.3	1.2	
化 學 需 氧 量	mg/l	4.0	0	0.8	7.8	0	0.4	4.8	5.8	4.2	2.2	-	
溶 解 固 體 量	mg/l	4.2	43	42	4.0	33	32	36	35	35	24	42	
懸 浮 固 體 量	mg/l	0.7	0.5	1.0	0.3	0.8	1.2	1.6	0.4	4.0	1.8	3.6	
導 電 度	μm/cm	109	86	87	68	71	57	54	54	47	41	71	
總 硬 度	mg/l	36	24	26	22	24	20	16	20	20	20	18	
鈣	mg/l	8.0	4.8	6.4	3.2	3.2	4.0	3.2	4.0	4.0	4.0	4.0	
鎂	mg/l	4.0	3.0	2.5	3.5	2.5	3.5	4.0	2.5	2.5	2.5	2.0	
鐵	mg/l	0.05	0.03	0.07	0.04	0.07	0.02	0.04	0.03	0.04	0.21	0.21	
錳	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
細 菌 殖 數	35°C	26000	28000	22000	930	880	980	430	710	1440	1300	2800	
大 腸 菌 類 數	M P N	300	1700	2000	1800	0	40	900	180	200	300	100	
糞 便 性 大 腸 菌	M P N												
糞 便 性 鏈 球 菌	M P N												
總 有 機 碳	mg/l	0.75	0.68	0.94	0.99	0.90	0.73	0.97	0.73	1.90	1.12	-	
溶 解 性 反 應 磷	μg/l												
溶 解 性 總 磷	μg/l												
總 反 應 磷	μg/l	5.4	4.6	5.3	4.5	3.9	nd	nd	nd	4.6	5.1	6.9	
總 磷	μg/l	18.3	11.7	12.0	23.1	12.0	7.3	10.1	8.2	14.2	18.3	18.6	
葉 綠 素 a	μg/l	12.5	0.9	0.5	22.8	5.3	2.8	5.8	5.5	7.8	4.0	7.7	
透 明 度	cm	200	200	310	280	260	400	400	220	380	40	120	

翡翠水庫集水區污染源概況資料

I 集水區污染源分布情形：

1. 磷 (P) 及氮 (N) 污染源分佈情形：

(1) P分佈情況：

a. 每年負荷量：約20公噸／年。

b. 負荷量來源：主要集水區內山林滲出水（約25公頃）及定住人口（約8,580人）。

(2) N分佈情況：

a. 每年負荷量：約110公噸／年。

b. 負荷量來源：主要集水區內山林滲出水（約25公頃）及定住人口（約8,580人）。

(3) 由上述(1)及(2)，可知P及N主要來源為山林及定住人口，集水區內定住人口分佈情況如下：

坪林鄉	6,300人	} 8,580人
石碇鄉	1,950人	
雙溪鄉	330人	

(4) 觀光客在星期天約1~2萬人，估計平均每天約2,000人，職訓總隊（在坪林）平均約1,000人。

II 污染源流入情形：

1. 山林（天然林及人工林）排出P為0.6kg/ha/年，發生P負荷量為14,912kg/年，流達率為1.0。

2. 山林（天然林及人工林）排出N為3.3kg/ha/年，發生N負荷量為82,015kg/年，流達率為1.0。

3. 坪林鄉坪林村戶口 348戶，人口約2,400人及坪林職訓總隊平均約1,000人，其家庭（包括營區）廢水直接排入水庫上游北勢溪，流達率可認為1.0。

4. 石碇鄉及雙溪鄉集水區內人口約為2,280人，發生負荷量平均流達率為0.3，而坪林鄉（包括坪林村及職訓總隊）人口約為6,300人，其發生負荷量平均流達率為0.5。

III 翡翠水庫優養化改善上之困難：

在水庫上游污染，源繼續不斷大量流入水庫內，且短期內無法杜絕集水區內污染源之情況下，必須改善水庫水質，倍感困難。

本水庫尚在設計階段時，設計單位曾委託一家工程顧問公司辦理本水庫熱量化現象之探討及藻類生長預測。該公司基於翡翠水庫與未曾發生過熱層化現象的石門水庫相近似而推斷本水庫亦不會發生熱層化現象。

本水庫工程建設單位亦根據此「本水庫不會發生熱層化現象」的結論，編述如下文。從本水庫工程施工開始至蓄水止成為本水庫工程參與單位，視如為擋箭盾，因此民國77年夏季水庫域發生大量藻華（Microcystis）時管理局無心理準備，束手無策。

經建會對翡翠水庫計畫執行審議意見第五點：「有關清理淹沒區面積內樹木、雜草、雜物等，以免經久泡於水中腐爛，影響水質」。

有關水庫清理原則，除曾奉市長於首長會報中裁示外，茲就其對翡翠水庫水質影響之研究及措施，說明如下：

一、根據本水庫計畫在設計階段對水庫內「熱層化」及「藻類生長預測」專案研究結果，本水

庫淹沒區內植物，即使不予清除，而令其沈於庫底腐爛，亦不致使水庫上層藻類生長區內之磷酸鹽含量增加，而導致藻類大量繁殖。本項專案研究報告，並經台電聘請之諮詢顧問會議查同意。其主要理由如下：

(一)水庫淹沒區植物若不予清除而任其沈於庫底，將逐漸腐爛而形成穩定之無機鹽。而此沈於庫底無機鹽中之磷酸鹽是否會分解入水中，增加庫水磷酸鹽之含量，而導致藻類大量生長，影響水質，為是否需清除淹沒區植物之主要考慮因素。

(二)本水庫相當深，在夏季時，上層溫度較高，庫水對流情況甚差，即使磷酸鹽分解入水中亦局限於庫底部份，不會增加水庫上層藻類繁殖區之磷酸鹽濃度。

(三)在秋冬季節，庫水上下對流情況雖然較佳，但在此時期藻類生長緩慢，故庫底部份不會變成厭氧狀態，磷酸鹽不致分解入水中。

四本水庫集水區為台灣最大之暴雨中心，洪水量大，庫水之更換率高，因此即使庫底磷酸鹽之含量高，亦很容易藉洪水排出。

(五)北勢溪之含砂量雖然相當低，但估計每年亦有一百萬立方公尺左右，當水庫開始蓄水後，部份存在於庫底之植物，將被沈渣所覆蓋而阻礙磷酸鹽分解入水中。

二、本水庫計畫為確保將來供應自來水原水之水質，在取水口設計上，採用三個不同標高之取水口（分別在標高108, 128, 148），將配合水質監視器之測定，可選擇引取最佳標高之原水。

叁、翡翠水庫優養化探討研究

3-1 光合作用

植物（藻類）之光合作用（Photosynthesis）。藻類在地表水中普遍在，陽光照射到的任何原水中都有。在土壤中及地表上生存的藻類也有，但其種類不多，大部份的藻類為真正的水棲生物，而發育在池塘、湖泊、蓄水池、河川或海水中。給水處理技術者都知道藻類會產生異臭與異味，並且會阻塞過濾池。

藻類與其他顯微鏡式生物羣的不同點為藻類在其細胞內持有綠色色素，所謂葉綠素。此葉綠素有時被覆蓋不現形，但只要有日光存在，它有使水與二氧化碳結合，形成澱粉或澱粉狀物，並且放出氧氣於水中之功能。此過程稱謂光合作用。由藻類產生的氧氣代表廢物或光合作用的副產品。葉綠素為促進光合作用的有機接觸反應劑。藻類與花木類，松柏類相同，持有綠色色素。藻類在白天不斷地放出氧氣，使水中重要反應及代謝活動成為可能。

另外，所有植物及所有動物均作呼吸作用，而其作用的瓦斯氣體交換剛與光合作用相反，即氧氣被吸收而散出二氧化碳。一般來說，在藻類及其他帶綠色植物的光合作用比率比呼吸作用高，因此放出比所消耗氧氣更多的氧氣，吸收比所放出二氧化碳更多的二氧化碳。

綜合以上，在日光之照耀下，藻類可營運光合作用而大量繁殖，反之，在無陽光時，藻類就無法營運光合作用而不能生存。人類可依此光合作用之原理來防治或控制有害的藻類在湖泊中之存在。

3-2 翡翠水庫之藻類概況：

湖泊或水庫中，由於營養物質，如磷及氮等之累積而使水體中藻類等植物性浮游生物繁殖，進而草原化之現象稱之為優養現象或富營養化現象。

因水體優養而發生臭味的藻類以藍藻類的Microcystis，魚腥藻（Anabena）phormidium，顫藻（Oscillatoria）、矽藻類的針狀矽藻Synedra acus和放射菌Streptomyces居多。這一類生物發出的原因物質已察出是Geosmin及Z-methly isoborneol，但至今尚無處理的方法

某些藻類則會發生魚腥味，這種藻類以甲藻 (Peridinium) 及錐囊藻 (Dinobryon) 最為著名。

其他發臭的藻類有腐臭味的水網 (Hydrodictyon)，剛毛藻 (Cladophora)，輪藻 (Chara) 等。發青草味的有小球藻 (Chlorella)，盤星藻 (Pediastrum) 等。要除去這些異味，成本等很高，有些甚至很難去除。

更甚者有些藻類也會產生毒素，間接或直接危害人體健康。藻細胞產生的毒素，或溶於水中，或留於藻體上，家畜動物攝取時，可能直接危害生命的安全；水中的魚貝類捕食它們，就會中毒或成為毒素的攜帶者，而人們攝食此類貝類時，就會因此中毒。有些藻華有時也散發毒素於空中，使湖邊的人類發生刺眼、咳嗽等敏感症。這種藻類有黃金藻 (Chrysophyta)、藍綠藻 (Cyanophyta) 及渦鞭毛藻 (Pyrrhophyta) 等三大類。這三大類中以藍藻中的 Microcystis、Anabaena 和 Anhanizomenon 最容易形成藻類現象，並形成自來水處理上的問題。過去曾經有造成家畜生病和死亡的記錄，它的毒素被證實為神經毒 (Neurotoxin) 和肝毒 (Hepatotoxin)，對人體造成皮膚癢、頭暈、嘔吐和瀉肚等病症。渦鞭毛藻所引起的毒素一般有劇毒和神經毒，毒性相當強，大部份都經貝類或魚類濃縮後間接危害人體；例如近年發生的西施舌貝毒即是，這類藻類有 Gony-aulox, Gymnodium 和 Gambierdiscus 等。黃金藻中會發生毒素的有 Prymnesium Parvum，分泌之毒素會使魚類死亡。

經中央研究院植物研究所歷年來調查結果，翡翠水庫水域雖有 Microcystis 等較固定的藻類外，大部份的優勢種均經常在變化。民國 77 年 7 月至 9 月在水庫上游形成藻華者即為 Microcystis, kg 民國 79 年 2 月間水庫水域取樣獲得藻類，分析結果係屬 Microcystis aeruginosa & Microcystis ichthyoblab 兩種微囊藻。

水庫自 75 年正式蓄水以來，初期曾有輕微之優養現象，此現象在一年後逐漸減輕。但自 77 年夏天因乾旱造成普遍缺水，水庫水域上游發生由上述兩種微囊藻引起之藻華現象。從污染源之探討中發現，優養現象主要是上游集水區人類活動所造成之水質污染。

今年度內水庫水域出現的藻類大部份和往年相仿，唯藻種優勢的情形較以前嚴重，而優勢之藻種也略有變異。去年在水庫內形成優勢，並曾形成藻華，今年仍以優勢出現。

3-3 水庫優養之評估指標：

我國水庫水質優養之評估指標尚未建立，目前仍參考國外文獻之指標來評估水質之優養化狀態。此評估指標大致可分為理化指標與生物指標兩大類。理化指標之主要水質參數為總磷、總氮、葉綠素 a，透明度等；生物指標之參數主要考慮浮游生物之種類與數量。

(一) 水庫優養理化指標有：

1. 聯合國經濟發展組織 (OECD) 營養程度分類；
2. 美國環保署 1974 年制定之單一變數法評估營養程度；
3. Vollenwieder 湖泊生產力與表層氮，磷平均濃度之關係 (1968)；
4. Jones and Lee 水庫/湖泊湖沼學之營養程度分類 (1982)；
5. Shannon 及 Brezonik 多變數指數法營養程度；
6. Carlson 多變數指數法營養程度；
7. 北卡羅林那州多變數指數法營養程度等。

值得一提者，於 1986 年來華考察翡翠等水庫優養化現象的美國華盛頓大學環境科學教授 Dr. Welch 所提供的圖-2 (示意圖)「優養狀態指數之關係及優養狀態限度之準則」一圖中可看出：依總磷分類與普養以及普養與優養狀態中存有重疊部份，較符合實際現象，不過初學者較難應用。並且，葉綠素 a 及透明度兩曲線的座標因資料不夠，尚未能定案，所以只能稱為示意圖或構想。

(二) 水庫優養生物指標有：

1. 依浮游植物數量區分法； 2. 依浮游植物種類區分法； 3. Nygaard複合商數法等。

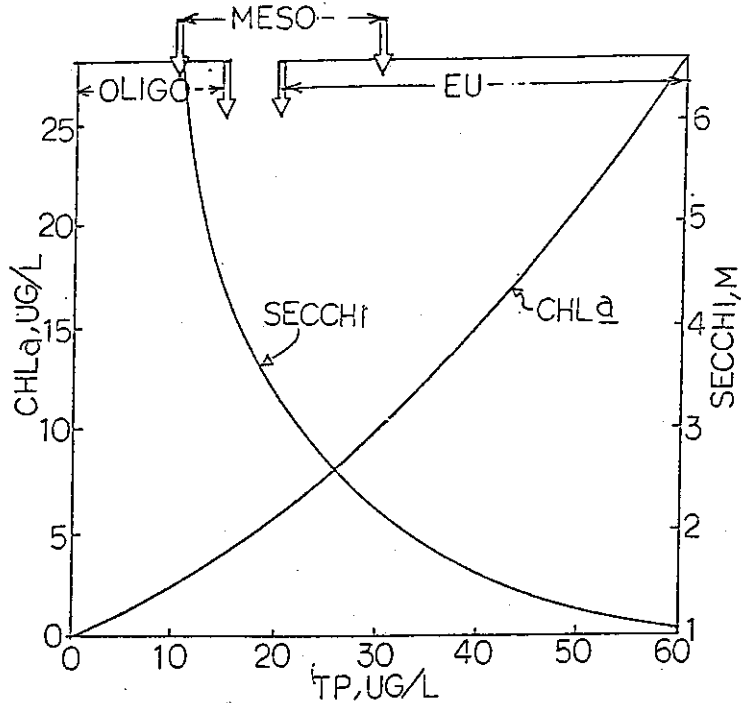


圖-2 優養狀態指標（平均值）之關係及優養狀態限度之準則

（美國華盛頓大學環境科學教授DR. WELCH於1986年8、9月間來華考察翡翠水庫優養化現象時所提供）

肆、國內外有關水庫優養化之處理方法介紹

4-1 優養化對策及空氣揚水筒之介紹

第一種優養對策為化學藥物抑制法，最常用的藥物有硫酸銅和氯化銅。這兩種藥品對於人類和魚類未構成毒害程度，殺藻效果也不錯，但在多目標水庫中對於水產或灌溉卻不適用。同時由於銅元素在生物體內可能造成累積作用，故不宜長期應用。化學沈澱法也是相當有效的辦法，在小規模的池塘如果以百萬分之三十濃度的明礬加入水中，大部份的藻類都可以膠凝而沈澱湖底。如果池塘的體積為一百萬立方公尺，每天就需要用30噸的明礬，這也不是一般水廠所能供應的。除草劑也是很有效的辦法，但有毒性的後遺症。因此，翡翠水庫不能採用化學藥物抑制法。

第二種控制方法為生物抑制法，應用最多的有養魚方式，其他尚無特殊的天敵被發現。問題在水庫的生物圈內，其生態係間生產者與消費者間存有一定金字塔狀的關係，魚類與藻類的生存量間一直需保存約1:10的關係，如果這種關係沒有辦法維持時，魚類則死亡。問題在藻類本身有旺盛期與衰退期，在衰退期飼料不足時，魚類則死亡，腐敗後水質惡化；否則需用人造飼料，結果反而以人為方式製造營養源造成水庫優養化。翡翠水庫為保持水庫水域生態之平衡，一直不鼓勵放生行為。植物抑制法中常用的，在淺塘往往用菱角，深

水用布袋蓮，這些植物的需肥性很高，在較淺水庫還可生長，在深水水庫則又因肥料不足，對自來水的淨化效果也不大。網取藻類是最直接的消除法，一般可用細網或離心力分離法等。問題是藻類的繁殖力很強，約2天到5天就成倍繁殖，因此只有在 小規模池塘才有效。

- 第三種是人工控制法，一般有底層放流污染浚深層曝氣法，分段曝氣法和間歇曝氣法等。底層放流可排除底層的高濃度錳、鐵污水，但對於藻類無直接減少的效果，污泥浚深的效果由於水庫營養源只有3%來自污泥，成效亦自有限。

近年來受注目的有曝氣循環如圖-4，表-14 及其說明。其中尤以間歇曝氣法的成效最大。所謂間歇曝氣法是利用重錘將直徑50公分至1公尺的FRP揚氣筒（Lakelifter，圓筒）如圖-3固定於水中，下段空氣室，室內成U字型的構造，將空氣自岸上空氣壓縮機不斷送入U字管，到U字空氣室的空氣聚積到一定量時，因倒虹吸管作用，空氣將一窩蜂地溢出丹筒，並噴出水面，溢出的氣泡成砲彈狀由沈筒內上升，此時空氣泡上升，隨而由筒下部吸水口吸進底層水，往上表層抽送。當砲彈狀氣泡團離開空氣揚水筒時，瞬時破裂成環狀，猶如一油炸甜圈餅，邊上升邊吸捲周圍之水。如此經由空氣揚水筒抽上的底層水（hypolimnion），因與含有多量氧氣的表面水（epilimnion）相混後，非但溶氧量增加，水溫上升重量也變輕，不再返回底層而向四周水平方向擴散。氣泡每隔 5~10秒，噴出一次，如此底層水上升，而表層水下降，原來浮游在表層的藻類，隨水流被搬移至不見陽光的深層水域中，滯留數天至十數天後，由於賴以維生的陽光缺乏，不能營運光合作用而紛紛凋萎死亡。

前述「空氣揚水筒」（Lakelifter）係由英國人發展，經日本改良成為日本的專利品。這一項利用空氣揚水筒作強制間歇式曝氣法在日本作實地實驗，已證實其為有效反優養化的利器，但需有相當的投額。根據實驗50公分徑的揚水筒本身每天可帶動約20,000立方公尺的水；帶動水庫中的水量約為其10倍，用電量約為5KW。1公尺徑的揚水筒本身每天可帶動約80,000立方公尺的水，也可以帶動水庫中的水量約10倍，用電量為20KW。假如將 5公尺內的湖水在 5天內作一循環時，大致可達到消除藻類的效果。這種措施在小規模的水庫應用時效果特別佳。

表-12 為日本水道顧問社中央研究所長小島貞男博士為翡翠水庫水質改善所研擬「揚水筒設置計劃」。在此表中可看出，最長揚水筒之長度為50公尺要在水中架立，工程相當艱難。依據民國78年間初步估計，經費約需新台幣5億元，（FOB）。本水庫大壩已完工，現在屬於維護期間，新台幣 5億元無座落，依小島博士之建議暫訂「八十年度翡翠水庫試辦優養處理及水質改善計畫（草案）如文。在八十年度預算中暫列入新台幣一千萬元，先購買日製專利品揚水筒乙基及空氣壓縮機乙台及其他附屬品若干等。本計畫亦因故未能實現。在本（肆）章所述，國內外有關水庫優養化之處理方法介紹中提出：各水庫因各種條件及各種藻類種的不同而有效的優養化處理方法亦不同。僅空氣揚水筒不管任何藻類都有效，只要將藻類控制在光合作用之原理之，（請參閱，參，3-1）。空氣揚水筒之唯一缺點為因發展不久，使人們對它尚不具信心。

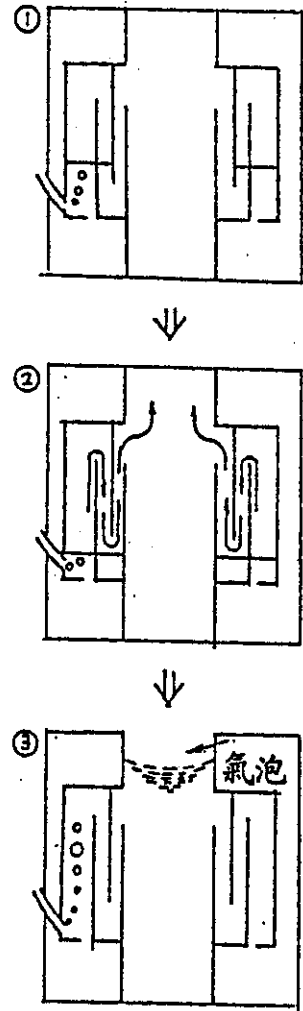
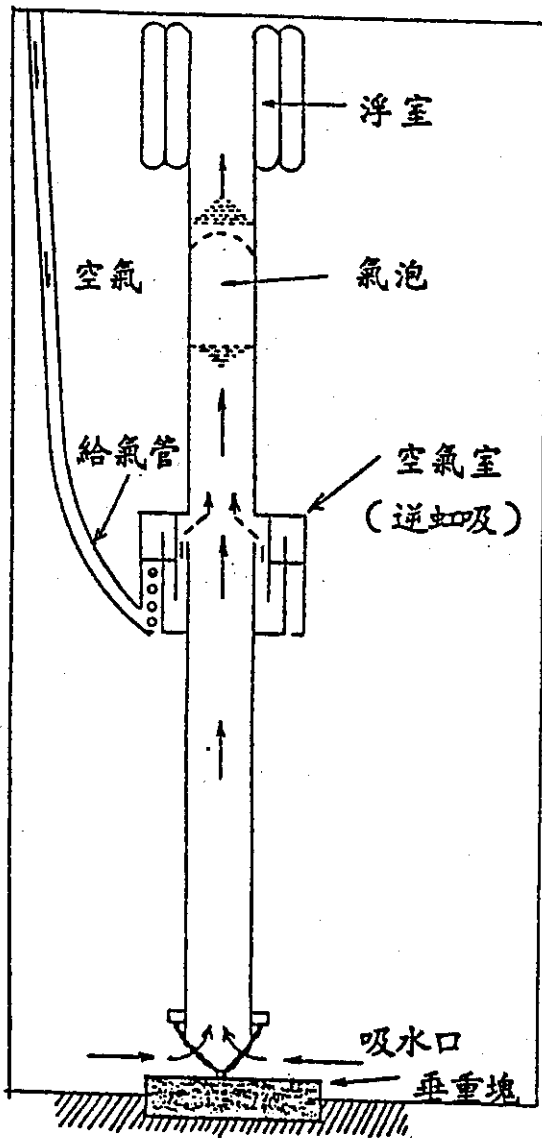


圖-3 經過多次試運轉後改良之最新式空氣揚水筒。它可靠浮室的浮力及垂重塊的重力在水中直立。從陸上的供氣管送空氣至空氣室時，(1)空氣會慢慢地充進空氣室，(2)空氣到達逆虹吸下端後虹吸開始作用，將空氣壓入筒內，(3)最後變成氣泡在筒內上昇。在一定時間連續循環(1)到(3)步驟。

表-12 翡翠水庫水質改善對策
揚水筒設置計畫

日本水道顧問社中央研究所長 小島 貞男 研擬

1.揚水筒需要數量：

(1)水庫滿水時（水深100m，平均水深40m）：

水位170m時之蓄水量= $406 \times 10^6 \text{ m}^3$

水位160m時之蓄水量= $310 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴170m~160m間之水量= $96 \times 10^6 \text{ m}^3$

平均水深在40m以上時，為要確保透明度5m必需將表層10m之水在10日以內輪流循環。

∴1日之必要揚水量= $96/10=9.6 \times 10^6 \text{ m}^3$

φ 1m揚水筒之揚水量= $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴需要筒數= $9.6/0.8=12$ 基。

(2)水位120m時（水深50m，平均水深22.4m）：

水位120m時之蓄水量= $76 \times 10^6 \text{ m}^3$

水位110m時之蓄水量= $47 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴120m~110m間之水量= $29 \times 10^6 \text{ m}^3$

平均水深在20m左右之湖泊，為要確保透明度5m必需將表層10m之水在7日以內輪流循環。

∴1日之必要揚水量= $29/7=4.1 \times 10^6 \text{ m}^3$

φ 1m揚水筒之揚水量= $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴需要筒數= $4.1/0.8=5.1$ 基→6基

(3)水位100m時（水深30m，平均水深17.5m）：

水位100m時之蓄之量= $28 \times 10^6 \text{ m}^3$

水位90m時之蓄之量= $14 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴100m~90m間之水量= $14 \times 10^6 \text{ m}^3$

將上記水量要在7日內輪流循環之必要揚水量= $14/7=2 \times 10^6 \text{ m}^3$

φ 1m揚水筒之揚水量= $0.8 \times 10^6 \text{ m}^3$

∴需要筒數= $2.0/0.8=2.5$ →3基。

2.設置位置：

揚水筒12基中之2基設置在水域上游流入處。其他集中設置在埧址附近水域。

3.筒長：

(1)枯水期（水位100m）用揚水筒：

需要筒數3基之筒長為20m。

(2)減水期（水位120m）用揚水筒：

需要筒數6基中，扣除枯水期用3枯基外之3基之筒長為30m，∴筒長組合為120m×3基及130m×3基。

(3)滿水期（水位170m）用揚水筒：

需要筒數12基之筒長組合為：

120m×3基，130m×3基，150m×4基，15M×2基（15m為流入處混合用，附有藥品注入設備）

八十年度翡翠水庫試辦優養處理及水質改善計畫（草案）

一、緣由

翡翠水庫上游北勢溪為台灣最好最乾淨之水源，提供了台北地區居民最佳之飲用原水。但因坪林地區，包括坪林村居民2,400人及職訓總隊平均約1,000人之排放廢水直接流入北勢溪，使得北勢溪水源污染有日趨嚴重情形，其水質由甲類河川降為乙、丙類河川。再加上水庫集水區定住人口約為6,180人及觀光客平均每天約2,000人，以及茶農、果農使用農藥污染溪水行為，使水庫上游污染源繼續不斷大量流入水庫內，在短期內又無法杜絕污染情況下，使水庫水質之優養化日趨嚴重，尤其在77年7、8月間因天旱不雨，水庫水位降至134m低水位時，永安一帶水域發生藻華情形。當時雖尚不影響水質之處理，然為防患未然對理應加以重視，故必須改善水庫水質及處理優養化，其代價必頗昂貴。目前國內對於水庫水質改善處理尚缺乏經驗，故經美、日等國之專家之協助下提出本水庫水質改善計畫，望能儘快實施，以防水庫藻類、藻華之滋生，而提供台北地區居民乾淨安全的飲用原水，促進國人健康，維護國家形象，以能早日邁進已開發國家之列。

二、計畫內容：

本計畫擬自日本引進揚水筒（專利品），裝設於水庫底，以空氣壓縮機逐壓縮空氣至揚水筒內，使水庫水發生循環作用以達到殺死藻類與藻華及改善水庫水質之目的。所需揚水筒據初步估計約需7支至10支，造價昂貴，故經專家建議先試裝乙支觀察，視其效果再檢討是否有必要增設避免浪費。此試筒之大小及長度以及裝設地點尚待進一步研究。揚水筒經裝置於水庫底後就固定放在該處，等到了夏季或藻類生長時，起開岸上空氣壓縮機來運轉揚水筒，使水庫水循環。若經研討揚水筒要裝置於水域上游時，有可能併用小量藥劑以加強揚水筒之效果。

本計畫初步計畫構想如下：

(一)購買日製專利品揚水筒乙支及空氣壓縮機乙台，以及耐壓水管若干公尺等配屬品（所有物品規格等尚不能確定）。將揚水筒置於水庫底。

(二)建造空氣壓縮機房並接電試運轉。

三、經費：在80年度預算中暫列新台幣10,000,000元。

四、進度：

(一)79年7月－79年8月（2個月）：發包及訂妥合約。

(二)79年9月－80年1月（5個月）：製造、運輸、交貨。

(三)80年2月－80年3月（2個月）：裝機並建造空氣壓縮機房及接電等。

(四)80年4月－80年6月（3個月）：試運轉、驗收、結案。

備註：本計畫採用揚水筒，如因經費及其他原因不能執行時，擬改採用第二方案：即“長毛回轉機清理船”，作者說明：此計畫之內容為將“長毛回轉機”（Rotary Spitz）裝於船上，船在湖中移動而由長毛回轉機收集水面上藻類，問題在Rotary Spitz本身僅能對紅藻（Peridinium）有效，故停止本計畫。

水庫內淨化對策

上述發生源對策及流入負荷削減對策如效果不好時或要進一步改善水庫水質時，須在水庫w內辦理淨化對策，其方法如下：

一、底層水之放流

在春至秋成層期：從藻類吸收的氮及磷在底層再溶出，故底層水中的氮及磷比表層水中甚多。因此如在成層期中，放出底層水，則可減少氮和磷，而能抑制循環初期中的藻類大繁殖。為要達到此目的，須在底層水的水質要惡化以前（4~5月）開始放水，此時如能使用最下面的門，則效果最大。

二、湖水之強制循環

利用曝氣或抽水機將底層水抽出湖面與表層水繼續混合，則可使湖水全體循環而現出下面效果。

給底層水補給氧的結果可抑制鐵（Fe），錳（Mn），磷（P）等的溶出以及可抑制氨（ NH_3 ）及硫化氫（ H_2S ）的產生。

表層的藻類被運進光線照不到的深層而生產量顯殊地減少，特別是發臭原因的藍藻類會被消滅。

水溫被均一化的結果表層水溫降下，蒸發量也減少。另一面，底層放流也不會引起稻作冷害。

魚族的生活空間增加，直到底層水溫上昇結果，溫水魚會增產。翡翠水庫因蓄水量鉅大，可否適用強制循環，有就下列原則十分檢討的必要。

(一)比較要使水庫的水循環的能源（經費）與因水庫障害的被害額後經濟上有利的場合才實行。

(二)一般而言，濾過池的閉塞障害及由錳發生的紅水障害等，在淨水場處理比較經濟。

(三)發生臭氣而一年之內需一個月以上做活性炭處理的場合，選擇湖水循環比較經濟。例如台北市自來水如果採用活性炭（10ppm）約需60萬元/天，一年內處理一個月則1,800萬元/年，如果處每年理3個月，需要5,400萬元/年。

（抄自小島貞男著：翡翠水庫之水質預測與污染防治對策）

4-2 各種再曝氣方法之選擇：

水庫及湖水之再曝氣方法很多，例如採用壓氣，機械或使用浮力或氧分子等方法。但在所有不同的方法中，所要考慮的因素則相同：就是在任何所採用的方法為與曝氣處理持有特性及目標之該現場成為函數。處理方法可能影響水庫中之水溫及水密度之分佈情形或亦可能不影響。因此應需考慮到各種方法對溫度及氧氣分佈情形。最先應瞭解要處理的水庫之特性，特別需要考慮下列幾點：

一、水庫容量及要處理氧氣涸渴的水庫容量

此容量對問題的發展範圍及需要處理系統的規模會發生影響，例如較大的水庫需要較大的曝氣系統。在選擇上，如果放水口的水質特別重要而水庫中的水質較不重要時，則僅需處理放水口周圍的水庫水。此選擇，當然比需要處理全部庫水的要求來得輕，而亦減少處理系統的規模及經費。當然，局部處理亦會限制以放水量、水質處理目標及處理層的大小成為函數之可能效果，例如風力曝氣機、水槍及機械噴水等效果有限，而適合於小型湖泊或大型湖白的局部處理之用。

二、需氧量以及深水層氧氣衰退率

與最小容許氧位及DO原位有關連之氧衰退率為顯著影響再曝氣問題之範圍以及所需處理系統之規模之另一因數。依標準來說，所需單位再曝氣率乘所要氧氣涸渴的水體容量可得假再曝氣或氧化率，而再曝氣系統必須被定量來滿足此率需求。如前述，某些方法最適合於小規模應用，而僅需滿足較小氧氣需求。結果所有應供給需求可能成為選擇方法之因數。並且再曝氣效率及其方法之效果為水中最初預處理溶解氣體位之函數。

三、水庫深度及需增加DO處的水深

某些方法，例如機械表面曝氣器持有限度垂直影響範圍。同樣地，某些方法則可能被使用超限度垂直影響範圍來推DO較高的表層水下降至深水層（成層下）。譬如說，依這些方法，當出水口在淺水層（譬如說在表層50英尺或更淺處）庫水可能被噴至出口下，因而表層水或表層水與深層水之混合水被放出。在較深出口則採用其他方法比較合適。

水庫深度或浸水深也可能影響操作效率，例如，壓氣擴散器係靠汽泡及水柱將深層水帶上來表面，與表層水混合達到曝氣的目的。此法如果以較長氣泡通器經過深層（深層水）則效果更好。

在深水層深度比表水層深度小時（淺成層水庫），經過深水層出來的氣泡路徑較短，因而要帶深層水上升的效果比較小。因此在較深水庫，採用壓氣擴散器效率比較大，經濟觀點上較具備競爭性。

四、水庫流況或進水放水的規模，水溫及溶氧的流程

有時候，有些水庫實質上發生較低的溶氧水體，因而必需想辦法對流水或水庫做曝氣方法處理。因此，比水庫的容量及溶氧需求所標示更大的設備。在其他水庫實際上，高容氧流況可能引起新鮮效果而會降低深層水曝氣的需要量。

如前述，最後要考慮的是水庫的水溫結構是否可修改。許多處理方法可以混合低溶氧深層水與高容氧表層水。如此，有傾向產生高效率的曝氣，在大水庫水面成爲主要的氧氣轉移層，但這樣將使深層水提高溫度使表層水降低溫度。

表-13 具備不完全但代表性的水庫再曝氣處理方法可供選擇之用。其中包含文獻中報告對各方法的效率的資料，及詳細的說明各種方法的優點及缺點。
圖-3包含在表-13中所提起的各法的說明。

表-13 各種再曝氣方法特性之比較

方 法	效 率	優 點	缺 點
在水庫中以混合或成層來曝氣之方法			
使用壓氣擴散器	混合0~8% 曝氣0.6~3.9Kg /kwh	可證明適合於深水庫， 費用較低	可能產生氮超飽和，可能 發生阻塞問題而需要辦理 空氣過濾。
使用水力擴散器	尚無現場資料， 不過可能大於壓 氣擴散器	可採用於深水庫，可能 產生高效率	此法尚未獲證實可用（尚 未實際使用），可能產生 氮超飽和。
使用自由噴射流 抽水	曝氣0.6Kg/ kwh	設備簡單，可將表面水 壓下至進水口	噴射流僅在淺水深（20公 尺以下）有效，並限在小 容量可應用。
使用水力槍	曝氣1Kg/kwh	可有效與表面水混合， 可使用較小壓縮機	移動較小水量，從氣泡移 出較小量的氣體，最好用 於小規模曝氣。
在水庫中不以混合庫水來達到曝氣之方法			
使用細氣泡氧分 子擴散器	曝氣0.2~0.6Kg /kwh	容許溫度成層不改變	效率較低而費用較高，灌 氣設備可能產生氮超飽和
使用空氣吸筒曝 氣器。	曝氣14~55% 氣轉移0.3~0.7 Kg/kwh	容許溫度成層不變，無 氮超飽和，高轉移效率 。	費用昂貴。

伍、自淨作用

北勢溪糞便大腸菌自淨作用之分析

河水在流程中因與日光中之紫外線，空氣中之氧及河底卵石表面之微生膜接觸而生自淨作用 (NATURAL OR SELF PURIFICATION)，河水中之細菌因而遞減。本分析之目的在於：若檢測獲得北勢溪上游 (如坪林採樣站) 之糞便大腸菌之平均負荷量，則期能依事先分析求得之自淨作用反應率可推算下游 (如大埧採樣站) 之平均糞便大腸菌之負荷量。本分析獲得相當合理結果。

北勢溪糞便大腸菌 (FICAL COLIFORMS) 自淨作用之分析

一、概論：

為評估某特定工程計畫之重點環境影響，有時可能需要預估河川對細菌之自淨作用 (SELF PURIFICATION)，細菌之自淨作用之定義為：「以所有形態之細菌，尤其糞便性來源細菌之負荷量之遞減作為河川流程或流時之函數」河水因與日光中之紫外線，空氣中之氧及河底卵石表面微生膜等接觸而發生反應河水中之細菌因而可能餓死，被捕食盡或被淨化。細菌自淨作用之基本數學公式 (ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT, by CANTER) 為：

$$B_t = B_0 10^{-kt} \dots \dots \text{(STREETER \& PHELPS FORMULA)} \dots \dots (1)$$

其中， B_t ：流程歷時 (天) 後下游細菌負荷量剩存數。

B_0 ：上游河川最初細菌負荷量。

K ：細菌 (大腸菌) 死亡率 (天⁻¹) 或反應率。

河川水溫增高時 K 值增大，因而降低若干距離下游之 B_t 值。若干美國河川代表性 K 值如表-14。

又 K 值在大河 0.5 ± 0.15 / 天；在中河為 0.8 ± 0.2 / 天。

二、分析：

依 STREETER & PHELPS 公式，先由北勢溪實測已知之：

B_0 ：在此係指上游坪林採樣站糞便大腸菌實測平均值，即 $2887.5 \text{ MPN} / 100 \text{ cc}$ 。

B_t ：在此係指下游大埧採樣站糞便大腸菌實測平均值，即 $50 \text{ MPN} / 100 \text{ cc}$ 。

t ：在此係指從坪林至大埧流程歷時加自淨天數，即 2 天。

以上代入公式(1)而求得未知數 K 值為 0.88 / 天。

k ：糞便大腸菌死亡率 (天⁻¹) 或反應率。

計算過程如表-15。

因此當已知某一時期坪林之平均 B_0 時，即可由此值推算相當時期之大埧未知數 B_t ，即

$$B_t = B_0 10^{-kt} = B_0 10^{-0.88 \times 2} = 0.0174 B_0 \dots \dots (2)$$

三、討論：

(一) 本分析所採用 STREETER & PHELPS FORMULA 在實用上極有價值，因如已知上游坪林之平均糞便大腸菌負荷值即可依此公式求出下游大埧之相當負荷值。

(二) 本分析所得糞便菌死亡率 (反應率) K 值為 0.88 ，與表-14 比較，WARM WEATHER (北勢溪大半時期屬於此氣候) 之 K 值平均值 0.698 ， K 值範圍 $0.46 \sim 0.96$ 以及與中型河 K 值約為 0.8 ± 0.2 之標準比較則本分析所得 K 值尚屬合理。

(三) 本分析忽略北勢溪支流之流入負荷量及流量。

(四) 本分析為求自淨流程 t 而應用 MANNING FORMULA 以求北勢溪平均流速。

(五) 據小島貞男博士在其著作中述及「河水自淨作用三因素中，日光與空氣之作用極小，而

自淨作用主要靠河底中卵石表面微生物膜之作用」，亦即北勢溪上游段水淺而與河底卵石表面接觸多，因而自淨作用亦大。但河水流至水庫區，雖有幾天自淨作用天數，不過因水體大而與水庫底卵石表面接觸之比率小。因此水庫區之自淨作用依上游自淨作用標準來衡量，可概估為坪林至大埧區自淨作用歷時之約20倍，即約 1.4天，因此可概估自淨作用天數， t 共為2天。

(六)本局曾在民國78年6~7月間辦理「坪林職訓總隊排放廢水檢測」行動。如將上述河水自淨作用應用於該行動檢測資料之分析，則有可能獲得更進一步結果。

表-14 Coliform Death Rates K Observed in Rivers

River	Reaction rate K, day ⁻¹		Authority for survey data	Remarks
	Warm Weather	Cool Weather		
Ohio	0.50	0.45	Frost, Streeter, et al.	Generalized results of analysis of extensive data
Upper Illinois	0.90	0.32	Hoskins et al.	1-day decline
	0.67	0.29		2-day decline
Scioto	0.96	0.46	Kehr et al.	
Hudson	0.80		Hall, Riddick, Phelps	Freshwater reach below Albany
Upper Miami	0.80		Veiz, Gannon, Kinnery	Mean through reach above Dayton
Tennessee	0.46		Kittrell	1-and 2-day declines, below Knoxville
Tennessee	0.60		Kittrell	1-day decline
	0.57			2-day decline (below Knoxville)
Sacramento	0.77		Kittrell	1-day decline
	0.65			2-day decline (below Sacramento)
Missouri		0.30	Kittrell	1-day decline
		0.26		2-day decline (below Kansas City)

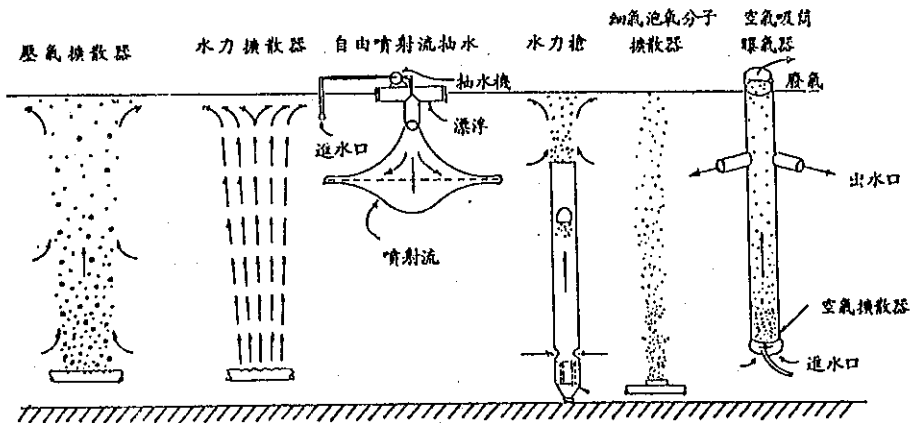
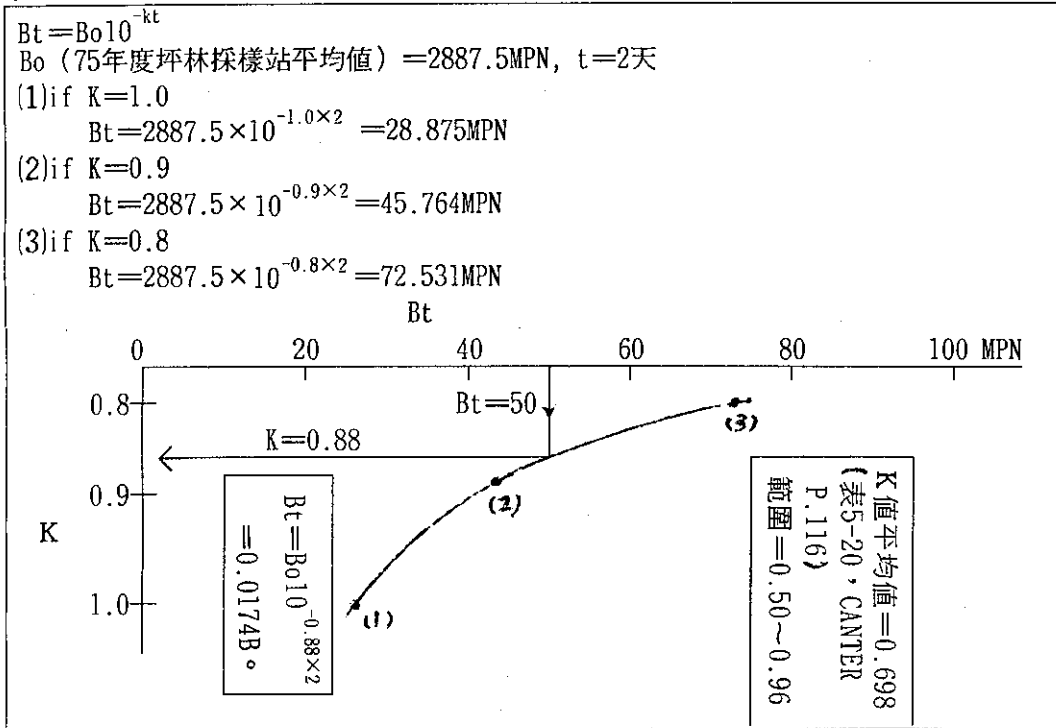


圖-4 曝氣方法

表-15



摘錄歷年來翡翠水庫藻類調查研究報告 (吳俊宗)

- 一、從藻類數量及指標顯示翡翠水庫除藻華發生地區外，由於藻類平均分佈於水庫內，顯示普養現象為水庫普遍性，為新生水庫現象，非由某一特定支流污染造成。又從藻華之分佈情形顯示主要污染源為流自上游之含高磷和氮的廢水。微囊藻之藻體已遍佈至水庫各處，為防範以後發生更嚴重之藻華，應迅速處理上游之污染源，並加強環保措施。建議儘速興建下水道污水處理廠。在處理廠未興建完成前，先對上游之重點污染源作污水處理。
- 二、在民國76年適用於翡翠水庫之水質指標方法包括藻類商，簡商及種歧度等三種，其結果與水質分析所得相吻合。到民國77年水庫藻類相仍不穩定。76年出現之藻類有的77年以後不再出現，有的月份因鼓藻和羽紋矽藻等重要指標藻類從缺而無法求得藻類商，簡商和矽藻商等指標值。適用於水庫之指標法為腐水度指數及種歧異度。繼續長期調查藻類相乃為必要之工作。
- 三、藻類在水庫之垂直分佈隨季節而不同，而與水體溫度分佈有關。夏天水體有溫層，藻類分佈於表水10公尺至15公尺。冬天水體有翻混現象，藻類因而可分佈至40公尺以下。春天及秋天則為二者之過渡型。從第一和第六採樣站所得之結果，年來相似，故只須以一採樣站作為代表。
- 四、從各項結果均指出集水區是污染源的主要來源。今後應加強集水區水質之追蹤控制，如茶葉園及家庭廢水予以管制，或先作處理，再排放入水庫，才是預防水庫水質變為優養之治本之道。

陸、翡翠水庫水質與操作供水問題

本水庫計畫為確保將來供應自來水原水之水質，在取水口設計上，採用三個不同標高之取水口，分別在標高108，128及148公尺（埧底標高為50公尺，滿水位標高為171公尺），配合水質監視器之測定，選擇引取最佳標高之原水，平常自最低取水口（標高108）取水。

從水質分析及藻類指標顯示，直潭、青潭和南勢溪下游之水質較穩定，不受翡翠水庫藻華及水質變化之影響，此顯示翡翠水庫放流水之控制得當，未使微囊藻流至下游，造成威脅。按：假定藻類繁盛的夏天，水庫水位連續幾天保持 El. 155m，透明度3m，則太陽光未能照射到的深度為 $3m \times 2 = 6m$ ，保守一點假設為10m（El. 145m）。此時如果從最上面取水口（El. 148m）放水，則將水庫的藻類統統放流至青潭堰，包括微囊藻在內。如果在相同的條件下，由最下面的取水口（El. 108m）放水，則該處無藻類生長（依光合作用）。同時離庫底（El. 50m）尚有56m之高差，庫底的鐵，錳等不會上昇至此放水口放流。故通常由水庫最水面取水口放水，大致不會發生問題。

柒、檢討及結論

一、水庫集水區不要開放，取締與宣導並進

在水庫上游污染源繼續不斷大量流入水庫內，且在短期內無法杜絕集水區內污染源之情況下必須改善水庫水質非常困難。所以慎重呼籲：水庫集水區內不要開放觀光旅遊，休閒活動以保護水庫之水源、水質及水量。所謂：水庫復原從集水區開始，"Lake Restoration Begins in the Watershed"。同時水庫管理單位及集水區管理單位應大力宣導，儘可能催使污染水質行為降至最低。

二、規劃中北宜高速公路離水庫僅 1 公里，對於本水庫之環境衝擊極大，如非興建不可，亦應將隧道棄土場設在集水區外，以免大雨將棄土沖入水庫內，影響本水庫原供水目標。同時北宜高速公路之興建目的在於疏導東部地區交通，不必在坪林設交流道，如非設交流道不可，亦應設在水庫集水區外。至於有無在翡翠水庫上游興建坪林水庫之必要，如非建不可，亦可找北溪以外之水系來興建，且水資源之開發應從上游而下比較合理。在翡翠水庫完工之後在其上游興建坪林水庫，施工中之大量泥砂往那裏堆？在水庫之可行性計劃及定案報告，均估計本水庫年淤積量約為100 萬 m^3 ，而去年實測為91萬 m^3 ，如再增加北宜高速公路工程及坪林水庫工程的棄土，翡翠水庫的原供水目標不能達到，極為明顯。

三、絕對禁止在水庫集水區內養豬

本水庫集水區坪林地區內 4,000頭養豬之消滅，消滅每年流入水庫內磷負荷量60%（30公噸）及氮負荷量30%（40公噸）如表-1及表-2。成果獲得不易，因而贏得水質專家小島博士之稱讚，在日本產經新聞刊載，公開褒揚。現階段我們需要注意者為：嚴防死灰復燃，以持續保持良好水質。

四、加強充實國內環保之硬、軟體

加強培育環保人材，充實檢驗及研究設備；迎頭趕上先進國家之環保標準，邁進已開發國家之列。此外，美國在台協會貿易中心經常假台北世貿中心舉辦美國產品展覽會，包括環境保護工程之設備等的展覽。我國環保人員應積極前往參觀以充實及提高我們的環保水準。現在辦理中之水質包括藻類調查工作不可中斷繼續追蹤。

五、在台灣區水資源之開發越來越困難，讓我們一齊珍惜它，共同愛護它！有乾淨之飲用水為

邁入已開發國家之列的必要條件之一。

捌、參考文獻

- 莊進源、森若美代子、郭崇義、林慧芳，1985，翡翠水庫初期蓄水有關浮游生物消長與水質變化研究報告，行政院衛生署環境保護局。BEP 74-06-002。
- 莊進源、蔡惠澤、森若美代子、齊家，1987 a，翡翠水庫指標生物與水質調查報告（74年），行政院衛生署環境保護局，BEP-76-06-004。
- 莊進源、蔡惠澤、森若美代子、齊家，1987 b，翡翠水庫指標生物與水質調查報告（75年），行政院衛生署環境保護局，BEP-76-06-007。
- 史午康、薛志宏、楊炳坤、黃蒨蒨，1987，翡翠水庫之初期優養調查研究，第二屆給水工程技術研討會論文集，翡翠水庫優養調查計畫研究報告，1988，台北自來水事業處。
- 吳俊宗，1987，翡翠水庫藻類相調查及水質指標之建立，研究報告，中央研究院植物研究所。
- 吳俊宗、王怡文，1988，1989，翡翠水庫藻類相調查及水質優養檢測系統之建立，研究報告，中央研究院植物研究所。
- 吳俊宗，1990，翡翠水庫藻類與水質關係研究（I），研究報告，中央研究院植物研究所。
- 譚天賜，1988，翡翠水庫水域生態環境調查與研究，研究報告，財團法人中華民國自然生態保育協會。
- 曠育呈，1990，赴美實習「水庫優養化之調查與評估」報告，台北翡翠水庫管理局。
- 顏清連等，1988，翡翠水庫環境影響初步評估之研究，國立台灣大學工學院土木工程學研究所。
- 農業環境污染與管理論文集，1988，中國農業工程學會。
- 小島貞男，翡翠水庫之水質預測與污染防治對策，台北翡翠水庫管理局。
- 吳建民，1988，用水和環境安全，中華民國環境工程學會。
- Welch, E.B. 1986. 湖泊水庫優養控制技術研討會資料，經濟部水資源統一規劃委員會，國立台灣大學環境工程研究所，中華民國自來水協會合辦。須藤隆等，1983，富營養化對策總合資料集。
- 翡翠水庫集水區磷污染源之調查研究報告，1985，台北自來水事業處。
- Palmer, C.M. 1974. Algae in Water Supplies.
- Johnson, P.L. 1989. Thoughts on Selection and Design of Reservoir Aeration Devices. USBR
- Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual. 1988. U.S. Environmental Protection Agency
- Canter, L.W. 1977. Environmental Impact Assessment Jones, E.B. and T.J. Ward. 1985. Watershed Management in the Eighties. ASCE
- Kojima S. 1988. Artificial Circulation of Lake Water as a Counter-measure to Eutrofication-It's Principle and Results. Nihon Suido Consultants Co. Ltd.