

水庫開發與水資源之永續利用的衝突 問題

報告人：張石角

- 民國二十四年生
- 英國倫敦大學帝國理工學院哲學碩士
- 現任國立台灣大學地理學系教授

評論人：黃金山

- 民國二十六年生
- 美國伊利諾大學研究
- 現任台灣省水利局副局長

評論人：駱尙廉

- 民國四十二年生
- 國立台灣大學土木工程學博士
- 現任國立台灣大學環境工程學研究所教授

水庫開發與水資源之永續利用的衝突問題

◎張石角

一、自然系統與社會發展

在火、氣、水、土和生物所構成的自然系統 (Natural system) 中，與人類社會活動和發展 (Social development) 之互動關係最密切的是水。它與空氣同為生命所需的流動性資源，其在自然系統中的流轉同樣是受到太陽能量的支配。水在人類所活躍的自然環境舞台上，有其特殊的地位。我們說：「仁者樂山，智者樂水」，在人類的經驗世界裡，維生體系四要素中，土和水似乎要比空氣和太陽來得更加具體。這是因為：水不僅為人直接所用，同時也是廣大的經濟發展的驅動力；水是人類審美經驗的要素；水更是人類活動舞台上物理和生物環境的重要形成因子。

土構成了大地，使人類有了立足之點。土也是植物的溫床，而水也只有落到土地上時，才能真正為人所利用。是以與言水資源，是脫離不了土；水無土則無處涵養，水入土太多則害土，土入水則害水，以土阻水可防水害也可興水利，兩者同時有相生相剋的關係，是以「水土」並稱，也

成了水資源環境管理的課題——水資源維護與土地開發的協調問題，也是自然系統與社會發展之平衡問題，同時也是人類欲望衝突的管理問題 (Conflict control)。

六年國建牽涉到土地開發計畫與水資源需求問題，一方面是謀求蓬勃的社會發展，另一方面則在維持自然系統的平衡，基本問題則在水與土的互動關係，正是水、土與人的三角問題。本文旨在分析其互動關係、探討其矛盾之癥結，以及衝突管理的策略，以就教於大家。

二、台灣水資源利用與水庫角色

台灣跨越熱帶與亞熱帶，高溫多雨，年平均降雨量達二、五一〇公厘，為全世界年平均降雨量七三〇公厘之三倍（李三畏，民國八十年）但由於降雨型態、時間分布、地區性分布以及地形條件等因素之影響，使台灣河川逕流量之時間分布過度集中於少數月份（夏季），致使以年逕流量為基數的水資源年利用率只有二二·五%（林克明等，民國八十年）（圖一）；再從人口數而言，每人每年分配到之水量約四、五〇〇噸，為世界平均值三二、〇〇〇噸之一四%（李三畏，民國八十年）。因此，儘管台灣雨水看似豐沛，卻有七七%之逕流入海，而不能為我所用。致使每人分配到的水量遠在世界平均值之下。

台灣地表逕流量使用率的偏低（二二·五%）表示台灣仍有提高用水量潛力，以因應由於人口增加、生活水準提高和工業發展所增加的需水量。而此增加逕流量用水率的手段，就是廣建水庫以攔蓄夏季豐水期奔流入海之每年四九七億噸之逕流。

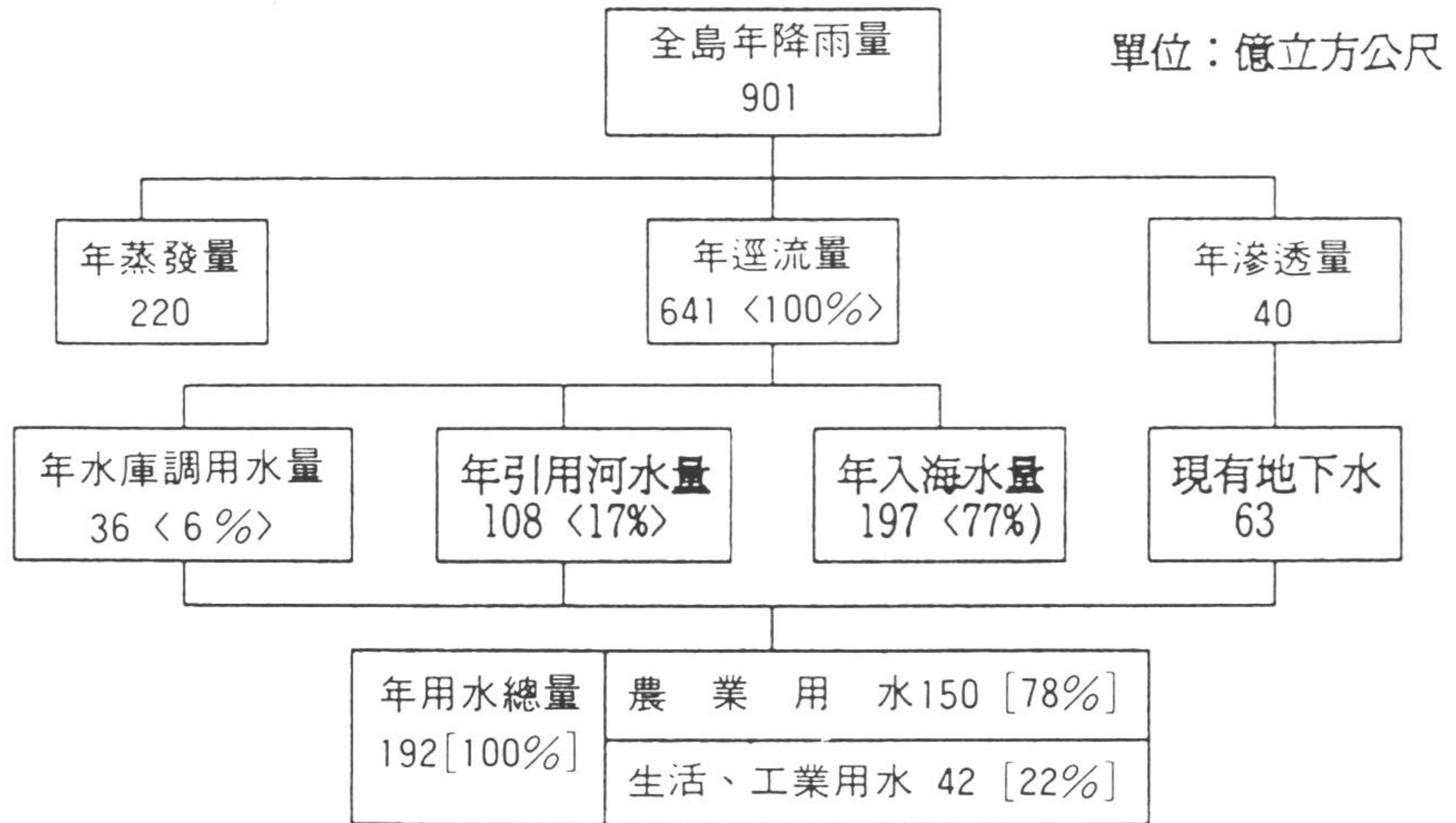
台灣於民國八十年的用水量已達二〇七億立方公尺（參看圖一）；若以全世界用水量一九四〇—一九八〇的四十年增加一倍來計算（李克明等，民國八十年），則如能全部攔阻入海的逕流，還可應付台灣未來六十年的需水量。但在技術上顯然是不可企及的夢想，因此即使繼續營建水庫，台灣水資源將在未來數年至十數年間拉起警報，該是吾人須嚴肅面對的課題。

台灣目前擁有大小三十六座水庫（表一），年水庫調用水量在三六億噸至四〇億噸之間（圖一；須洪熙，民國七十九年），占總供水量之一七·四%—一九·三%或引用逕流量之二五%—二八%。

其中翡翠、石門、明德、德基、霧社、日月潭、曾文、烏山頭、白河及阿公店等十座主要水庫總容量為二二·四億立方公尺，有效容量為一七·二四億立方公尺，分別為所有水庫之九三·六%及九三·七%。民國七十七年此十座水庫之供水量計三八·二一億立方公尺，水庫容量運用率為二二·二%（供水量／水庫有效容量）。

從表一可知這十座水庫主要功能多在發電、給水和工業用水，可見其經濟發展關係之密切，亦為未來水資源開發之主要標的。

由於地下水之抽取量每年已達六三億噸，遠超過自然補注量的四十億噸，使各地發生嚴重之地層下陷現象，社會已然為之付出莫大之代價，所以今後已經不可能以超抽地下水方式滿足對水資源的新需求。因此未來要增加供水量只有靠增進水庫、攔河堰一途，可見其將擔負的水資源的供應能力的比重將與時俱進，預計在民國九十年以前須興辦之水源開發工程如表二（謝瑞麟，民國八十年），屆時，由水庫調用水量將增加約一一·四億噸，而使總調用量為五一·四億噸。



$$\frac{\text{水庫調節} + \text{河川引用}}{\text{逕流量}} = \frac{144}{641} \times 100 = 22.5\%$$

附註：〈 〉以年河川逕流為基數100。

[]以年利用總水量為基數100。

資料來源：依據經濟部水資會資料分析。
(林克明，1991)

圖一 台灣水資源運用現況

表一 臺灣地區水庫與水壩工程（水利局，1991）
中華民國八十年六月

水庫或水壩名稱	引水溪流名稱	位 置	有效容量 (百萬立方公尺)	總 容 量 (百萬立方公尺)	功 用	
一、光復前完成水庫8座						
西蘭	勢潭	基隆河	基隆市 暖暖局	0.56	0.56	給水
鹿寮	八掌溪	嘉義市	嘉義市	9.35	9.80	給水
尖山	八掌溪	嘉義縣	水上鄉	1.28	3.78	工業用水
	龜重溪	臺南縣	柳營鄉	3.07	8.10	工業用水
* 日月潭	濁水溪	南投縣	魚池鄉	138.68	171.62	發電、觀光遊覽
* 烏山頭	大埔溪	臺南縣	官田鄉	82.45	154.16	灌溉
虎頭埤	鹽水溪	臺南縣	新化鎮	0.81	0.91	灌溉
澄清湖	高屏溪	高雄縣	烏松鄉	3.00	5.00	工業用水、觀光遊覽
二、光復後完成水庫28座						
* 阿公店	阿公店溪	高雄縣	燕巢鄉	5.95	45.00	防洪、灌溉、給水
鹽水埤	茄苳溪	臺南縣	新化鎮	0.37	0.76	灌溉
德元埤	溫厝廊溪	臺南縣	柳營鄉	2.37	2.37	灌溉
* 霧社	霧社溪	南投縣	仁愛鄉	110.00	148.60	發電
大谷	峨嵋溪	新竹縣	峨嵋鄉	4.70	4.75	灌溉
青草	大甲溪	臺中縣	和平鄉	6.46	7.31	發電
劍潭	大客雅溪	新竹市		0.85	1.10	灌溉
龍鑾潭	中港溪	苗栗縣	造橋鄉	0.56	0.56	灌溉
	漙地	屏東縣	恆春鎮	3.63	3.79	灌溉
* 石門	大漢溪	桃園縣	龍潭鄉	235.67	309.12	灌溉、發電、防洪、給水
* 白河	急水溪	臺南縣	白河鎮	16.38	25.09	灌溉、工業用水、給水、防洪
* 明德	老田寮溪	苗栗縣	頭尾鄉	16.50	17.70	灌溉、給水
* 曾文	曾文溪	嘉義縣	大埔鄉	598.00	708.00	灌溉、發電、防洪、給水
成 功	港底溪	澎湖縣	湖西鄉	1.04	1.08	給水
* 德基(達見)	大甲溪	臺中縣	和平鄉	183.00	232.00	發電
新 山	大武崙溪支流	基隆市		3.70	4.00	給水
頭興鏡	新山溪上游	南投縣	魚池鄉	0.26	0.34	灌溉
	漙地	澎湖縣	馬公市	0.64	0.68	給水
	曾文溪支流鏡	臺南縣	南化鄉	0.87	1.15	給水、灌溉
東石	面溪	澎湖縣	馬公市	0.19	0.19	給水
岡 衛	漙地	臺中縣	石岡鄉	2.04	2.70	給水、發電、灌溉、工業用水
榮華	大漢溪	桃園縣	復興鄉	12.40	12.40	攔砂、發電
永鳳	中港溪	苗栗縣	三灣鄉	28.42	29.58	工業用水
寶 山	東港溪	高雄縣	林園鄉	7.87	9.20	工業用水
	頭前溪支流	新竹縣	寶山鄉	5.35	5.47	給水
赤崁地下水庫	—	澎湖縣	白沙鄉	0.72	1.28	給水、發電
* 翡翠	新店溪支流北勢	臺北縣	石碇鄉	359.00	406.00	給水、發電
仁 義 潭	八掌溪	嘉義縣	番路鄉	27.31	29.11	給水、灌溉

*主要水庫

表二 台灣地區待辦水資源開發工程預定表

區域	水庫名稱	地點	有效容量 (106m ³)	年供水量 (106m ³)	開發時程 (年)
北 部	寶山第二水庫	新竹縣	25.9	77.9	八三~八六
	坪林水庫	台北縣	118.0	340.0	八五~九〇
中 部	集集共同引水堰	南投縣	10.0	73.0	八一~八六
	大度攔河堰	彰化縣	—	50.0	八三~八五
	建民水庫	台中縣	72.0	240.0	八五~九〇
南 部	高屏攔河堰	高雄縣	—	108.0	八三~八六
	美濃水庫	高雄縣	324.0	406.0	八三~九〇

資料來源：台灣省水利局

註：澎湖離島小型水庫未列

(合計水庫：1136.9立方公尺，河川引用：230.0立方公尺)

三、台灣水庫之壽命、水量 與水質

由前文臺灣水資源利用之討論中，可知水庫扮演極其重要之角色，而且隨著社會發展，這個角色將越來越吃力。因此，水庫是臺灣生存和發展極其珍貴之資源。

然而，如此重要的水資源設施，其營運的現況如何呢？茲以臺灣十個重要水庫為例，分別就其水庫壽命、調用水量和水質的現況加以分析，以明其究竟。

(一) 台灣十大水庫之淤積與壽命

臺灣由於地形陡峻、地質脆弱以及颱風、豪雨、地震等觸動崩坍和沖蝕的動態作用頻仍，再加上坡地開發活動劇烈，因此水庫淤砂情況超乎預期之嚴重，影響水庫壽命，乃眾所周知的事。

根據民國七十九年的資料（李三畏，民國七十九年；表三），臺灣水庫集水區單位土壤沖蝕深度最高者為二二·九七公厘（烏山頭），最低者為一·四公厘（德元埤），平均九·八公厘，比日本部分的統計數〇·三〇公厘高出三十倍，世界平均值的一二〇（二四〇）倍。由此可以想見臺灣水庫淤積之嚴重性。

依上述數據推算台灣山區二、六五三、九〇五公頃之每年土壤流失量約為 $265 \times 10^6 \text{m}^3$ 。雖然此一龐大數量中，一部分應係來自崩坍地，但其中仍有大量珍貴的肥沃土壤應無可疑。此從每次降雨後，山中溪水動輒成泥水一般即可得知，對臺灣地力之損傷實難以估計。

此大量土壤被逕流沖離地表，而使地力為之貧脊，淤高河床而增加洪患，淤積水庫而減損其壽命，對自然系統和社會發展同時產生了多重傷害，國家和社會為之所付出之代價不可謂不高。

惟據水資會「臺灣地區七十八年十個主要水庫淤砂分析」資料（表三），除了白河、烏山頭和阿公店水庫之年平均淤砂量有顯著之增加外，其餘有可對比之資料的水庫，都有下降情形，表示在六十九年至七十八年的十年間，集水區的經營情況獲得相當之改善。這自然是拜集水區的土地使用管理以及水土保持之大量投資之賜。

根據資料，民國六十八、七十八年中，政府共投資了一四〇億七千三百萬元在翡翠、石門、德基和曾文等四大水庫集水區的治理上，平均每人要分攤六四〇元。這種集水區的長期投資也是其所產生的水資源的成本，卻不計算在用水成本中而反映到水價上。這一方面造成水費負擔的不盡公平；另一方面由於水價偏低而造成用水之浪費，以致增加對水資源需求之壓力。

儘管近年來水庫淤砂量有下降之趨勢，但其年平均淤砂量仍高出計畫淤砂量甚多，而大幅縮

減了水庫的計畫壽命，致不能達原規劃目標。例如石門水庫原計畫年淤砂量為 $0.8 \times 10^6 \text{m}^3$ ，而落成二十五年來之年平均淤砂量卻為 $1.83 \times 10^6 \text{m}^3$ ，為原計畫之二·二倍；又明德水庫計畫年淤砂量為 $0.123 \times 10^6 \text{m}^3$ ，但落成後十九年之年平均淤砂量為 $0.18 \times 10^6 \text{m}^3$ ，為原計畫之一·四倍；至七十八年止已使用其壽命較預估者少了十七年（蘇重光，民國七十九年）。其它水庫情況大致類此。其原因固有多端，例如於可行性研究階段，有意無意地高估水庫壽命以增加其經濟效益等，但水庫壽命不長，卻是臺灣水資源利用的警訊。

雖然如此，表三所列十個主要水庫的壽命卻令人有「大多長壽」的感覺。這問題是出在水庫「壽命」的計算方式上，而其結果則有頗大之差距。一般而言，水庫壽命都是以其剩餘「容量」用布倫式算出其因砂率而推估。然其「容量」定義卻未予統一，致生計算結果之差異，容易給一般人錯覺。

例如表三之水庫壽命係以水庫「滿水位」以下之剩餘容量為計算標準。溢洪道設有閘門之水庫，其滿水位高於溢洪道頂，溢洪道頂至滿水位間可以儲水卻不能儲砂，故將該部分空間併入淤砂容量計算，可提高水庫壽命終結之年限，卻未盡合理。

水庫淤砂的最高點應是溢洪道頂，因此以淤到溢洪道頂所需之年限為水庫壽命（蘇重光，民國七十九年），應較合理。以此方式推估明德水庫壽命，則從民國七十八年算起尚餘四十一年，但尚有可永續利用的 $720 \times 10^4 \text{m}^3$ 之剩餘容量（溢洪道頂至滿水位間之容量），而依表三之計算則尚有八十一年，兩者相差達四十年之久。其它水庫之殘存年限亦可作如是觀。表四為七十八年臺灣北、中、南區既有水庫容量遞減情況分析表（水資會資料），可見水庫之供水能力係以一定

表三 臺灣地區六十九年和七十八年十個主要水庫淤沙分析

單位：百萬立方公尺

水庫名稱	翡翠	石門	明德	德基	霧社	日月潭	白河	曾文	烏山頭	阿公店	
集水區面積(平方公里)	303.00	763.40	61.08	592.00	219.00	520.00	26.55	481.00	60.00	31.87	
總容量(完工當年)	406.00	309.12	17.70	255.41	148.60	171.62	25.09	707.53	154.16	45.00	
水庫淤砂	總量	6.99	48.45	3.45	16.07	40.12	17.16	8.71	68.50	87.44	16.43
	年數	5.50	26.50	19.00	13.91	29.75	54.41	23.08	16.66	55.75	33.33
	年平均69/78	-/1.27	2.89/1.83	0.44/0.18	1.16	1.44/1.35	0.32	0.53/0.38	6.50/4.11	1.38/1.56	0.43/0.49
	淤砂率%	1.70	15.70	19.50	6.30	27.00	10.00	34.70	9.70	56.70	36.50
年沖蝕深度(公分)69/78	0.42	0.38/0.24	0.73/0.30	0.20	0.70/0.62	-	1.99/1.42	0.85	-	1.43/1.55	
水庫剩餘壽命(年)	314.00	143	81	205	80	418	47	114	67	12	
完工年	1987	1964	1970	1973	1958	1934	1965	1973	1930	1953	

註：各水庫壽命係以各水庫剩餘容量用布倫式算出其因砂率而推估。(李三畏，1980；水資會資料，1989)

表四 臺灣地區七十八年水庫容量遞減情況分析

單位：百萬立方公尺

區域別	總容 量						有 效 容 量					
	完工當年	%	最 近	%	年平均遞減量	%	完工當年	%	最 近	%	年平均遞減量	%
北 部	738.84	30.9	678.11	32.9	3.34	23.6	632.52	31.0	608.00	33.2	1.57	20.1
中 部	643.33	26.9	565.29	27.4	3.62	25.6	540.50	26.5	475.51	25.9	2.72	34.7
南 部	1,011.22	42.3	820.15	39.7	7.20	50.8	866.61	42.5	749.09	40.9	3.54	45.2
合 計	2,393.39	100.0	2,063.55	100.0	14.16	100.0	2,039.63	100.0	1,832.60	100.0	7.83	100.0

速率衰退中，而南部地區情況尤為嚴重。在這種情況下為著應付日增的人口和每人需水量，繼續開發水資源，尤其是與建大型水庫已成為解決問題的唯一辦法。

水庫淤砂的嚴重性還不止在壽命的縮減而已，泥砂淤塞水庫出口致妨礙其機能之正常運作問題，亦不容忽視。例如，石門水庫雖然尚有一四〇年壽命，卻因淤積線已經到達出水口，現在已經需要每年花費近億臺幣於抽除 $30 \times 10^4 \sim 35 \times 10^4 m^3$ 之淤砂以維持水庫機能（主管機關訪談資料）。淤砂把出水口埋了或嚴重地妨礙到正常的供水能力，水庫有用的生命就終結了。

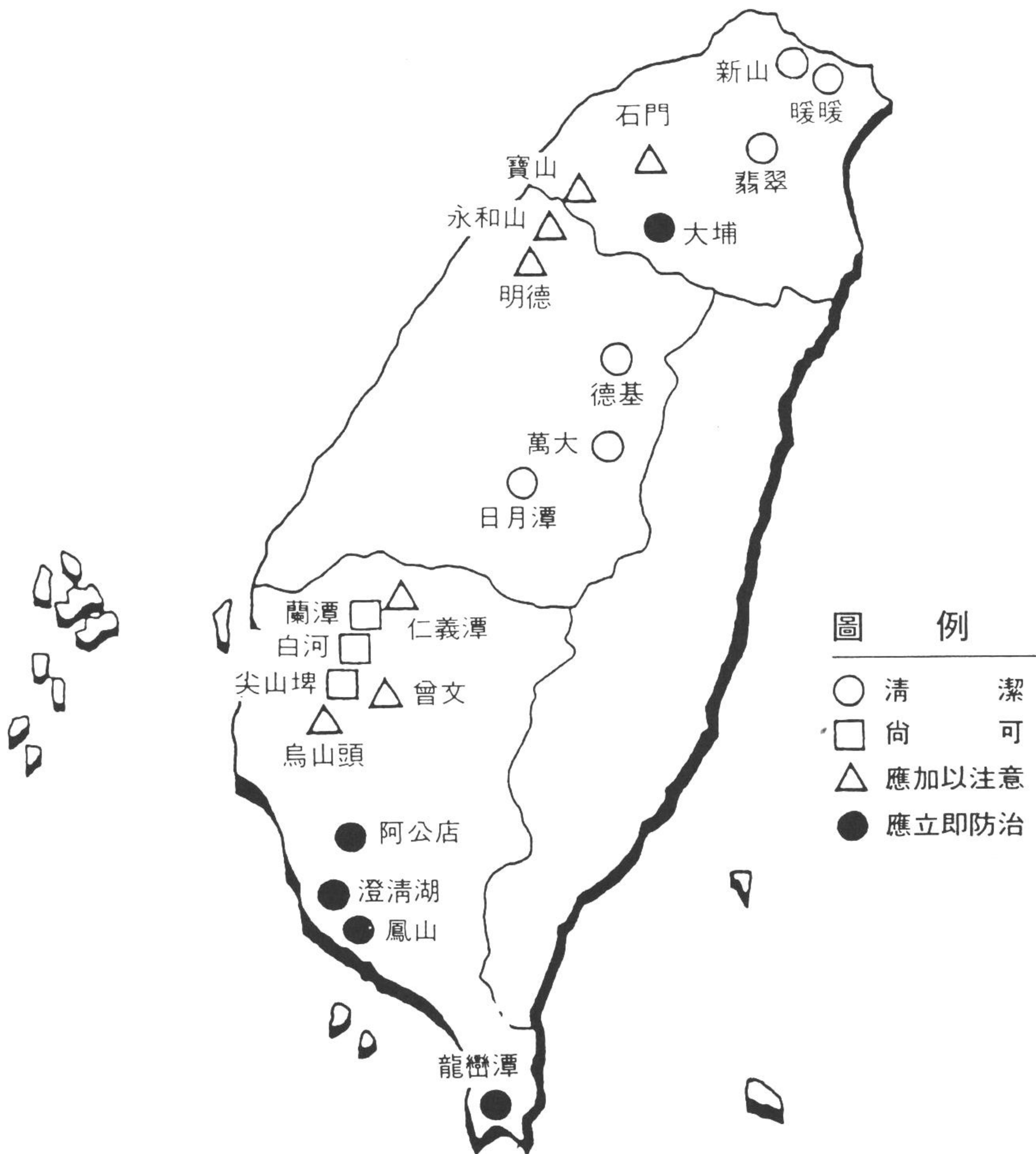
由於臺灣水庫淤積的嚴重，省府為了維持水庫壽命而有水庫浚渫方案，但因經濟效益的考慮，其可行性則尚待評估。

（二）臺灣水庫水質污染情形

水質污染也是水資源的另一項問題。根據環保署的資料（民國八十年），建於河川上游的水庫大多尚能保持良好的水質，而河川中、下游的水庫，水質都很差。環保署以藻類指數、透明度、葉綠素及浮游生物優勢種等作指標，對全省二十一座水庫優養化情形作整體評估，其結果如圖二所示。

另據駱尚廉等資料（民國八十一年；表五），則德基、曾文、烏山頭水庫皆已呈優養現象，尤以德基水庫最為嚴重。

水質優養對生態和人體健康皆有不良之影響。水質至優養程度通常非傳統淨水設備能作經濟有效之處理，故已不適為自來水之原水（友野里平，民國七十年）。臺灣十個主要水庫係多目標



資料來源：國建六年計劃

圖二 臺灣水庫優養化分級圖

表五 國內四大水庫水質概況

水庫水 指標庫	曾文水庫 (78.9~79.7)	烏山頭 78.9~79.7)	翡翠水庫 (78)	德基水庫 (77)
總磷	優養	優養	普養至優養間	優養
葉綠素 a	普養(5-10月) (12-4月)0 優養(9、10月)	普養	普養至貧養間	優養
透明度	優養、普養 (各半)	普養(大多)	普養至貧養間	(資料不足)
溶氧	—	—	(下層水)優養	—
藻類	無法判斷	無法判斷	無法判斷	優養性藻類
藻華	有藻華現象 (除12~4月外)	有藻華現象 (除12~4月外)	全年有藻華現象 (但與葉綠素a值不符)	無資料
Total項目	優養為多	普養為多	—	(資料不足)
綜合判斷	優養 (普養12~4月)	略偏優養	普遍近貧養	優養

依據駱尚廉、蔡淑芬(1992)資料整理。

水庫，多負公共給水之功能（表一），故其優養化不僅如鳳山水庫之色、味惡劣而已，實已危害到國民之健康。

普通湖泊自貧養至優養，須歷時數千年，近年則因工廠、家庭廢水之排入，以及集水區果園和高冷蔬菜園之大量開墾和使用肥料，已經大幅縮短年限。例如曾文水庫、德基水庫完工都不超過二十年（參看表三），即已呈顯優養化現象，而翡翠水庫更只有短短的五年，其上層水已優養化到不堪做為原水使用的地步，否則濾程（原水過濾之設施壽命）將由四十八小時縮短為三十六小時，而滷甲烷濃度也提高（郭瑞華等，民國七十四年），可見其速率之快。因此對現有及計畫中水庫水質之維護實在不能再等閒視之。否則空有水庫也發揮不了正常供水功能。

水質優養化和水庫淤積量也有一定之關係。由於土粒表面通常附著磷質等養分，所以大部分的養分是隨土壤的沖蝕進入水庫。據研究由地表逕流帶入水庫之磷占水庫總磷來源之一半以上（郭瑞華等，民國七十四年；吳先琪等，民國八十年），而且水中懸浮固體（SS）亦與入流水中總磷之濃度成正比（吳先琪等，民國八十一年），可見此水庫兩大問題之密切關連性。臺灣水庫之淤積既然嚴重，則水污染問題自必隨之而惡化。水庫越淤積越淺，優養化也跟著提高（友野里平，民國七十年）。所以水庫淤積不僅壽命縮短，跟著而來的水質優養化也可能使庫水難以符合標的用水的標準，而使水庫真正的死亡。暖暖、寶山、明德、谷關（石岡）、仁義潭、白河、曾文、鳳山等水庫已經接近「輕度污染」之河段（鳳山水庫已在「中度污染」區），德基水庫也已優養化，所以水質的全盤情況實在堪慮。

(三) 台灣水庫問題之根源

台灣水庫淤積嚴重，壽命短，以及水質逐漸惡化致影響國民健康和生活品質，其根本原因何在，必須加以釐清，才能做為改善的依據。

就水庫之淤積方面而言，其土沙不外來自自然營力的沖蝕和崩坍作用，以及人類從事自然資源和土地開發行為引起的地表「加速沖蝕」(Accelerated erosion)和工程棄土。

台灣山高水急，地質脆弱，地震和颱風頻仍構成崩坍和沖蝕的有利環境。而河川坡度大，侵蝕激烈，乃台灣大規模河岸崩坍之主因。這種河岸崩坍產生的泥沙之大，以宜蘭濁水溪（蘭陽溪）、和平濁水溪（和平溪）和中部濁水溪河水終年混濁可以想見。亦可見台灣河床坡降之大不僅影響水庫調用水量規模，亦易為泥沙所埋沒，故乃興建水庫的先天不利條件，也是水庫淤積人力難以掌控的部分。由於自然生產的泥沙對水庫壽命之影響鉅大，因此常成為反對管制集水區開發者的藉口。孰不知，正由於其為人力所不逮，所以以言水源保護區之管理，對可以掌控的因素更應用心。

自然界的沖蝕和淤積都是水庫規劃就已經考慮在內的因素，因此今天所謂水庫問題，都是由資源開發和土地開發所引起的，也就是集水區開發與治理的問題。由於集水區的農產、林產、礦產、遊憩和土地資源開發與自然資源保育和環境保護存在著眼前私利和長遠公益間的基本矛盾。然而，關鍵是中央政府對水資源管理根本沒有一貫而明確的政策，使部門本位主義和權宜性的政治運作有極大的迴旋空間，致使原本是以國家整體利益為出發點的單純的科學和技術問題，轉化成小我的利益團體為主導的錯綜複雜的政治問題，而使水源集水區的管理幾乎完全陷入無政府狀

態，迄今各方均想不出如何自拔的泥淖中。而其所呈現的現象是一方縱容開發「青蛇」在集水區內放毒，同時再花大筆經費讓資源保育的「白蛇」在下游收毒，兩者構成台灣特殊的政治生態景觀。然而，有限資源之浪費莫此為甚。

綜合起來，目前在集水區的「青蛇」活動有以下各項：

1. 農林用地方面

有歷史背景的違法濫墾，由於取締無效，政府又投鼠忌器，而使面積繼續擴大。同時因利之所在，造林地紛紛改種檳榔、高冷蔬菜、茶園等，更增表土之沖蝕。據初步清查，此種濫墾地面積恐已達林班地之五%。

就水土保持而言，高冷蔬菜園土壤全部裸露而且使用大量雞糞，對水庫影響最大，但目前在德基水庫和霧社水庫集水區卻有大面積蔓延的現象。

政府為照顧榮民所設的退輔會農場，依目前之政策已放領給榮民成為私有地，於取得所有權之後轉賣給商人改種蔬菜，而且超限利用地已達數千公頃（主管機關訪談資料）。

依山胞保留地開發管理辦法第八條第二項規定，山胞租用保留地五年後即可申辦所有權移轉登記，且保留地之增編也已解除部分林班地，若其區位選擇不當，所造成的水土流失情形至為嚴重。

然而偏偏在石門、德基、霧社、曾文等重要水庫集水區，正是山胞保留地和退輔會農場集中之地。在石門水庫集水區中，山地保留地占地達總集水面積之二二%（佚名氏，民國七十三年），水庫所受威脅之鉅可以想見矣。

保安林是高度開發地區之國土保安的守護神，其重要性不言可喻。因此先進國家如日本者，將保安林擴編列為國土開發計畫之重要項目，而在台灣，保安林卻受到無知百姓的破壞和利益團體的覬覦，頻有透過民代施壓，甚至要求重新檢討其存廢的情形，使保安林亦面臨威脅。這種情況實與日增的國土保安需求背道而馳，部分原因是主政者的專業素養不足，誤認國土保安為抽象事物而忽視其重要性所致，實屬遺憾。

以上三種破壞水土保持之農林活動普遍存於各集水區，而加速水庫之埋沒。這種錯誤的觀念和自私的做法所導致的集水區破壞行為若任其蔓延而提不出辦法，則不僅既有水庫受害，規劃中或興建中的水庫也將面臨更大之困境。

由於政治環境的變化，社會價值觀丕變，談民主而輕法治，於是取締違法開發成為時有所聞之社會事件。取締人員之生命因而受到威脅，或造成更大面積之焚燒山林行為，而使集水區經營失控。因此要使水資源得以永續利用，執法與教育成為短、長期的成敗關鍵。

2. 道路建設方面

台灣的道路四通八達，行旅稱便，對促進經濟發展貢獻至偉。然而山區道路開闢的棄土和邊坡崩坍對水庫乃一大威脅，例如北部橫貫公路、中部橫貫公路、北宜公路及快速道路，以及台三線都通過重要水庫集水區，所產生的大量土石都被施工單位直接傾入溪谷，其量較之農地土壤沖蝕恐有過之而無不及。單是明德水庫集水區台三線通過拓寬以及縣一二六號線新建工程所產生的土石方據估計即達一四四萬立方公尺，已進入水庫者約八〇萬立方公尺（蘇重光，民國七十九年），乃明德水庫預估年淤積量之六·三倍，其對水庫壽命折損量之鉅由此可以推知。

資料來源：
國建六年計畫、水資會(1990)及
主管機關訪談資料彙整。



圖三 臺灣地區河川污染現況與現有、
施工中及規劃中水庫關係位置

此外，道路尚可增加偏遠山區之可及性而提高通過土地開發價值，致使在自然條件下原為自然系統保全能力高（張石角，民國八十一年）的水資源涵養區一變而為破壞區，增加濫墾濫伐和大規模土地開發之機會。

3. 遊憩區之開發

水庫具有湖光山色之美，乃絕佳之遊憩資源，因此台灣大小水庫個個成為民眾假日的好去處。森林遊樂區也是國民所得提高以後的時髦活動，帶給了國民健康和歡樂，卻也增加了水質污染。但最受爭議的是在水源保護區內的高爾夫球場。由於球場是海岸沙丘區地形，從起伏度動輒五十至一〇〇公尺之丘陵地要削成沙丘地形，所採取的是全面整地，使近百至百多公頃林地夷成不僅毫無保水功能還需大量耗水的球道和果嶺，外加生活廢水和農藥之污染。近年來國內高爾夫球場闢建如雨後春筍，在水源保護區內者已有十二座，成為威脅水庫壽命和水質的新問題區（張石角，民國八十一年）。

四、六年國建計畫與水資源之互動關係

（一）六年國建之需水量

六年國建計畫中，為「厚植產業潛力」、「促進區域均衡發展」和「提升國民生活品質」，需要開發工業區、新市鎮和大型遊憩區等硬體設施，如表六所示。

此等硬體設施之闢建均需大量土地支應，除一部分需轉用農地五、四〇〇公頃外，尚將開發海埔地二萬多公頃以供基礎工業區和大型遊憩區之需要（表六），連同地方政府的關連開發案，其範圍自桃園觀音至台南七股，幾有一百多公里的自然海岸線會因而消失（圖四）。

依計畫書估計：此等硬體設施陸續進入運作階段時，至民國八十五年台灣地區各標的總需水量約二〇二億噸，較七十九年增加十三億噸，其中以工業用水需增加八億噸為最多，服務業需增加四億噸次之，家庭用水需增加三億噸，而農業用水則減少二億噸（圖五）（經建會，民國七十九年，第二冊）。

（二）水資源開發

為著因應六年國建新增加的需水量以及人口增加和生活水準提高的需水量，水源的開發是必須配合的措施。但在地下水業已大量超抽並且已經呈顯嚴重的地層沉陷、海水倒灌等負面環境和資源效應的情況下，增加供水量的唯一方法是興建水庫和攔河堰以增加河川調用水量。而興建水庫的急迫性從乾早年的南部嚴重缺水已可感受到。李登輝總統甚至有一年一水庫的指示。

表七是興建中和規劃中的水庫及其有效容量和年供水量。

從此表可知至民國八十五年，所有開發中水庫即使可以如期完工，也才能增加年供水量七·二億噸，距預估八十五年需水量十三億噸尚差五·八億噸，何況如牡丹水庫工程已有嚴重落後現象。因此，除非六年國建推動也大幅加速進行（實際上似乎如此），否則供需不能平衡勢所難免。

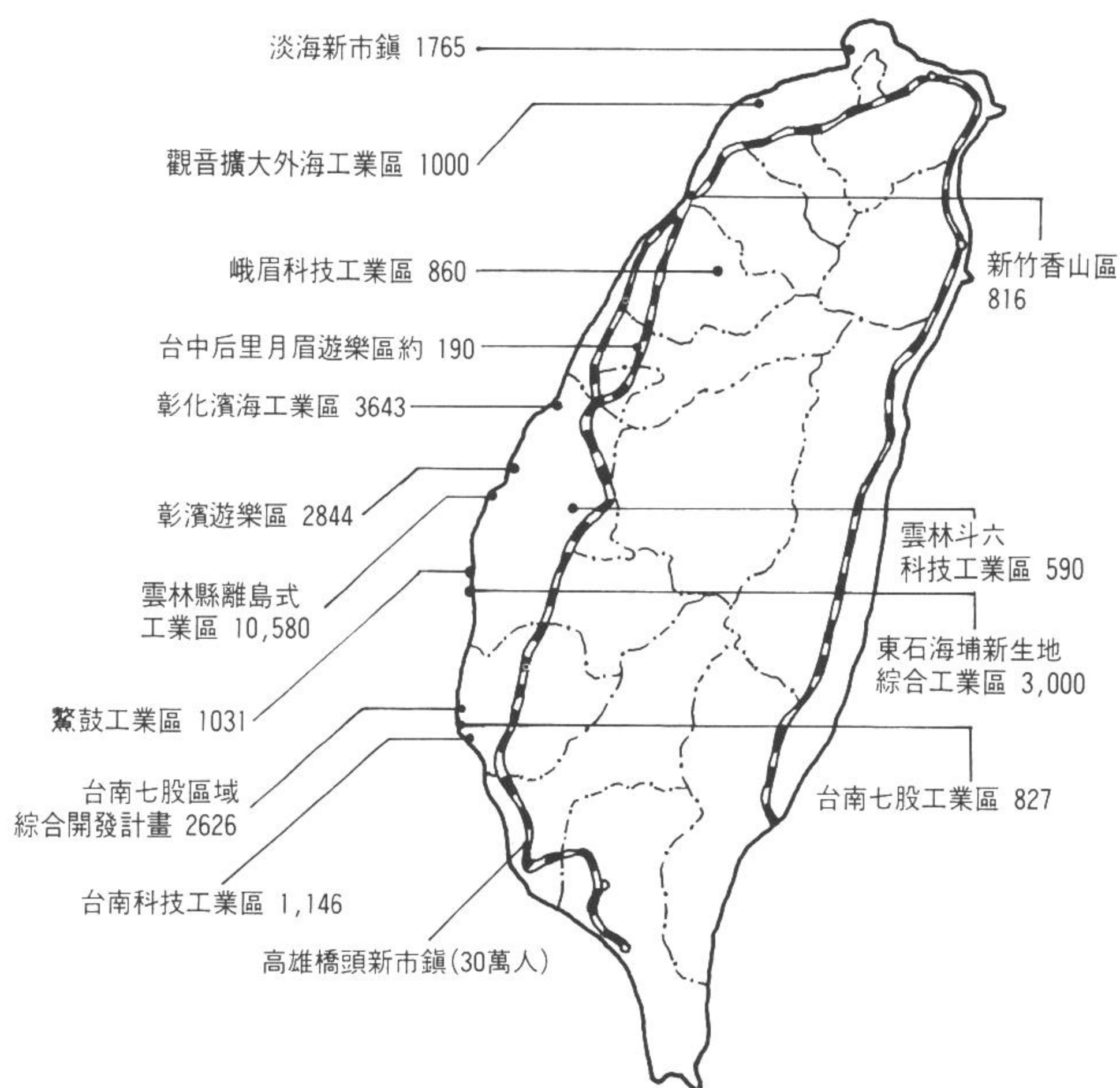
表六 國建六年計畫用水統計表

計畫名稱	核准階段	興建單位	規畫面積 (ha)	需水量 (CMD)
桃園縣觀音擴大 (外海)工業區	審核中	工業局	1,000	25,690平均 30,840最大
彰濱工業區	已核准 施工中	工業局	3,643	20,000(82) 37,330(83)
雲林離島工業區	已核定	工業局	10,580	126,000 200,000最大
鰲鼓工業區	報編中	工業局	1,031	75,075最大
東石海埔新生地綜 合工業區	規畫中	工業局	3,000	(無規畫書)
台南科技工業區	報編中	工業局	1,146	61,000平均 73,000最大
雲林科技工業區	報編中	工業局	590	43,090最大
新竹峨眉科技工業 區	報編中	工業局	860	18,307平均 22,400最大
新竹科學科技工業 園區第三期	報編中	工業局	525	EIA報告無用 水資料
新竹香山工業區	—	省政府	816	(無規畫書)
台南七股工業區	審核中	台南縣 政府	900	規畫書無用水 資料
台南海尾工業區	審核中	台南縣 政府	200	34,800平均 45,200最大
*台中大里工業區	—	—	—	(無規畫書)
*嘉義新港工業區	—	—	—	(無規畫書)
*高雄臨海中小企 業工業區	—	—	—	(無規畫書)
*光華工業區	—	—	—	(無規畫書)
台南七股綜合開發 計畫	審核中	台南縣 政府	約4000	164,383平均
台中后里月眉遊樂 區	—	台糖公司	約190	(無規畫書)
彰濱遊樂區	審核中	省政府	2844	57,000平均
東石海域休閒中心	規畫中	台糖公司	約1,000	(無規畫書)
台北淡海新市鎮	審核中	營建署	1,765 (30萬人)	133,015平均 185,000最大
高雄橋頭新市鎮	規畫中	營建署	2,460 (30萬人)	未知，比照淡 海新市鎮用水
總計	計(已知用水量) (以最大日需水量統計，無該資料者以卅均日需水量計之)			1,118,318CMD

註：1. 依各規畫報告或環境影響評估報告書統計

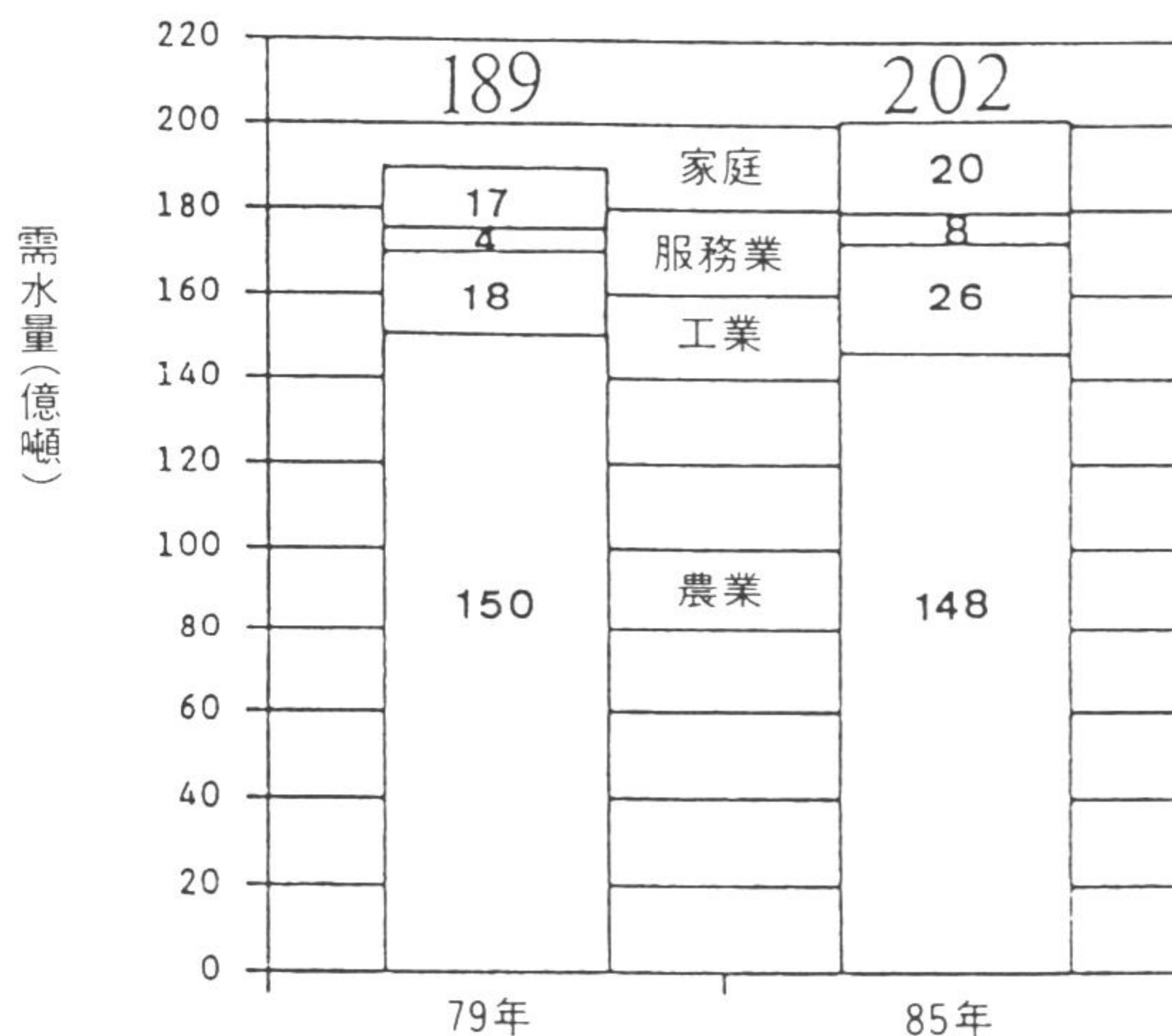
2. *合計共389公頃

六年國建關連開發案 單位：公頃



資料來源：國建六年計畫、水利局(1989)、工業局(1991)及各規畫報告、環境影響評估報告書彙整。

六年國建工業區開發計畫23,882餘公頃
 大型遊樂區：2678餘公頃
 新市鎮開發：3000多公頃(60餘萬人)
 六年國建總用水量(工業用水量) 8 億立方公尺
 民國76年台灣地區工業廠地面積23,087公頃
 其中工業區面積12,018公頃
 工業年總用水量16.7億立方公尺
 自來水供應量2.1億立方公尺
 地下水供應量13.7億立方公尺
 其他水源供應0.1億立方公尺



圖五 需水量估計

表七 六年國建水庫建設 單位：億噸

現有水庫共40座 (含攔河堰)		有效容量	年供水量
		18.20	36.00
85年前完成	鯉魚潭一期	1.20	0.80
	鯉魚潭二期		2.50
	南化	1.50	2.90
	牡丹	0.30	0.30
	集集	0.10	0.70
	小計	3.10	7.20
規劃中	美濃	3.20	4.06
	坪林	2.80	3.40
	新山	0.05	0.36
	建民	0.70	3.18
	寶山第二	0.30	0.15
	小計	7.05	11.15
合計		28.35	54.35

(三) 超抽地下水的夢魘

六年國建的推動旨在提升國家發展潛力和全體國民之福祉，其目標何等崇高，政府自須全力以赴，剋日達成以符眾望。然而水資源乃民生與經濟之驅動力，兩者若不相配合，則建設計畫也將形同畫餅。

今水庫建設已然難符所求，而建設步調若一往如前，則抽取地下水以應急，勢難避免（實際上某些開發案亦有此規劃）。而六年國建需水區幾乎麇集在海岸地區，而此等地區過去養殖業超抽地下水後果昭然，已屬極其脆弱之敏感地區。且海岸地區地層一旦下陷，不僅海水倒灌，鹽水入侵，而且含水層孔隙體積減縮，整區地下水資源將因而宣告壽終正寢。所以如果未能正視水資源問題，一味抱持樂觀態度，如一名待嫁女兒（開發水源）答應多門親事（開發案）的不合理現象，屆時配水無力，「殺雞取卵」式的地下水抽用，必是進一步戕害台灣珍貴之地下水庫，使自然資源永續利用的理念落空。

(四) 水庫集水區內的六年國建開發計畫

六年國建的土地開發計畫有道路、工業區、新市鎮和遊憩區等四項，如表六。此四項土地開發和營運行為與水庫集水區之保護未盡相容，其原因是：

- (1) 開發整地階段所產生的大量鬆土石方，於豪雨時可能被逕流帶入水庫內淤積而減少壽命。
- (2) 營運階段產生之污染物污染水庫水質，危害國民健康。

如前所述，臺灣水資源已經嚴重不符所需，在這種不利情況下，除非有確實可行之對策、否則水資源區實不容再受新開發計畫的破壞。基本上不相容之土地利用宜分區發展，蓋兩者「離則雙美，合則兩傷」，不管開發計畫有什麼「減輕對策」，終究難以彌補水源保護區所受之傷害。

快速路網的建立是國家重要的公共建設，有不得不通過水源保護區的情形。臺灣主要水庫之淤積與道路開闢有莫大之關係，向來為關心水土保持者所垢病。尤其在脆弱山坡地保育區內四通八達的「產業道路」所造成的棄土和崩坍難以估計，主要原因是道路等級不高，施工品質低，尚未把環保觀念溶入規劃與施工中所致，而非技術上無法克服者。例如事先做好路線工程地質調查，鎖定問題路段，預做防災措施，並將棄土運至適當地點處理而不直接推入溪谷等，其工程費用雖然較高，但從整體經濟而言，仍屬可取。為著避免開山破壞自然環境，高架道路已成為先進國家所採用，可迴避大部分上述破壞集水區之工程行為，應受決策單位之適當重視和採行。六年國建計畫中位於水庫集水區之道路工程如表八所示。這一〇六公里的道路（未包括未定案之台二四線在興建中之牡丹水庫集水區部分）究竟將減少多少水庫容量不得而知，但以明德水庫集水區內只拓寬部分台三線就有一四四萬立方公尺之土砂進入溪床中，全部路長所產生之土砂量以明德者之十倍計，即達一、四四〇萬立方公尺之譜。若欲維持水庫調用水量而抽砂，則以布倫囚砂率為〇·九二，而抽砂費用以四五〇元／立方公尺計（蘇重光，民國七十九年），則抽砂費用約為六十億元（ $C = 14,400,000\text{m}^3 \times 0.92 \times 450\text{元}/\text{m}^3 = 5,961 \times 10^6\text{元}$ ）。此為水庫集水區內開闢道路所需付出之水庫壽命之直接成本，尚不包括所挖出之一千多萬立方公尺泥砂對下游可能造成之環境衝擊代價。然水庫抽砂之不經濟（蘇重光，民國七十九年）和不值得進行，將任水庫淤積、殘廢

表八 六年國建道路工程與水庫集水區關係

道 路 名 稱	通過之水庫 集 水 區	水 庫 開發階段	集水區內之 路 長(km)
北宜高速公路	翡翠水庫	營 運	14
台 3 線拓寬工程	大埔水庫	營 運	14
台 3 線拓寬工程	明德水庫	營 運	14
台 3 線拓寬工程	鯉魚潭水庫	興建中	6
台 3 線拓寬工程	仁義潭水庫	營 運	5
台 3 線拓寬工程	曾文水庫	營 運	36
奧萬大森林遊樂區聯外道路	萬大水庫	營 運	10
日月潭環湖道路	日月潭	營 運	7.6
台24號(未定案)	牡丹水庫	興建中	—

和夭折。這是開發建設對水資源保護的另一個致命傷。

水庫集水區六年國建之工業區開發計畫有新竹縣大埔水庫集水區內之「峨嵋工業區」一處。工業區為嚴重污染與水源保護區絕不相容乃至明之理，是以峨嵋工業區位實乃倡導水資源保育聲中的異數。

大埔水庫於民國四十九年興建完成，設計總容量九百萬立方公尺，有效容量七七八萬立方公尺，集水面積約一〇〇平方公里（一〇、〇〇〇公頃）。由於大埔水庫集水區林地只占五〇・〇六%，餘為農地與建地，自然系統保全能力至差（張石角，民國八十一年），因此至民國七十六年有效容量僅為原有容量之五八%（水利局資料），水質亦已屬丙、丁級，可見其淤砂和污染嚴重之一斑。

為此，苗栗農田水利會提出本集水區之治理經費五一九百萬元，每立方公尺水體投資額達一

一五元之鉅（佚名氏，民國七十九年）。本集水區之所以需要鉅額投資整治，除了集水區之水源涵養能力特低之外，還有煤礦、火黏土礦和石英砂礦以及高爾夫球場、養豬戶等衆多污染源所致。如今峨嵋工業區又占地八六〇公頃，不啻是「雪上加霜」，使開發者雖無置大埔水庫於死命之用心（工業局答覆，民國八十一年），卻有使之進一步癱瘓之效果。至於所謂「工業區之開發反而能增益水庫原有功能，更促進土地利用，一舉兩得之舉。」（資料來源同上），更屬未之與聞之論調。

政府一方面需花數億元於整治面臨癱瘓之集水區，另一方面卻繼續容忍新污染源之開發，形成青蛇放毒、白蛇收毒的政治生態系統，最後被犧牲的是珍貴的水資源。然而，問題是，新竹苗栗地區並非水資源豐沛的地區。在還沒有六年國建的情況下，推估民國八十五年的需水量尚需分別補充 $66 \times 10^6 \text{m}^3$ 和 $38 \times 10^6 \text{m}^3$ ，須興建寶山第二水庫、鯉魚潭水庫（興建中）及永和山水庫（目前已完工），甚至要開發苗栗平原之地下水（佚名氏，民國六十八年），所以實際上，對既有的水資源愛惜之唯恐不及，加速毀之實屬不智。

本案例顯示之水資源區土地爭奪之奇特現象，直令人懷疑中央政府是否有如六年國建計畫（第二冊）所揭示的維護水資源政策做為各部會施政的共同基礎，還是只是拋出建設理想，由各部會各顯神通搶奪有限的資源，一任理想間的嚴重衝突相互抵消建設成果？

五、水庫開發與水資源之永續利用及其對策

水庫乃其竣工之一刻開始就步上其死亡之路的水利設施。集水區的土地開發行為加速其死亡耳，但仍有快慢之別，端視保育是否有方而定。

水庫死了一個，台灣就少了一處珍貴的水資源，而且將永不能再生。倘若不知珍惜有限的水資源，一方面加速開發它，另一方面又加速地毀了它，如此下去，有朝一日台灣將再無水庫可以調節，不啻是剝奪了台灣後代子民滿足其需水欲望的基本權利。

據調查（佚名氏，民國六十八年～七十一年）臺灣區域可能蓄水壩址（不包含已完工者），北部有三十二處、中部四十五處、南部四十三處、東部十處、共計一三〇處，為現有三十八座水庫之三·四倍，應已一網打盡臺灣可能壩址，總容量達 $9,967 \times 10^6 m^3$ ，為現有水庫之完工當年總容量之四倍。然視其區位，部分在深山中，部分則在高度開發區，前者施工困難、管線長、造價昂貴；後者之集水區多已高度開發，其水質必然已受相當程度之污染而不堪為飲用水甚或灌溉用水。故若經可行性研究之後，將來實際有開發價值者，恐不到三分之一。若為因應未來發展之需水量，以每年一個水庫的速率進行開發（李總統巡視鯉魚潭水庫時指示），並以水庫之經濟壽命五十年計算，則於一～二百年之後，臺灣島上將無可用之水庫。是以水庫越開發，將越加快臺灣水資源的枯竭。

此外，由於用地取得越來越困難，使大壩之造價日益昂貴，也使得原水成本隨之水漲船高。

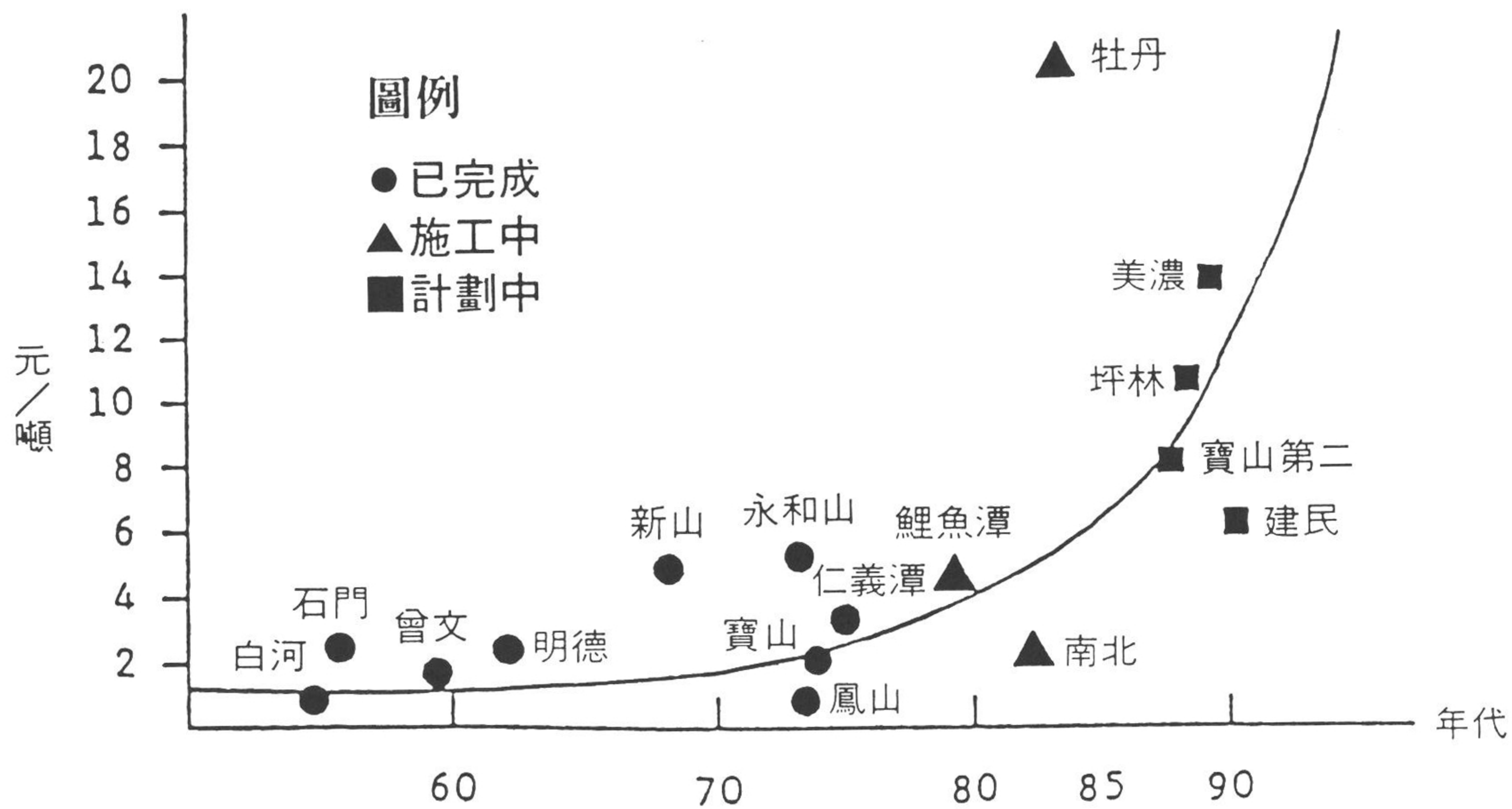
圖六為既有及興建規劃中水庫之原水成本，其單價有直線上升之趨勢。實際上，以美濃水庫而言，其原水成本雖為十四元左右，但其總出水成本卻高達二十四元（水資會，民國七十八年）。如此昂貴的出水成本已使水庫成為極昂貴的公共設施，力求其永續利用，方是正確的想法和做法。

六年國建之目的在於提升國民之生活品質，而以安全、健康、舒適程度為其指標，其手段是發展經濟和保護環境。因此水資源開發和土地資源開發皆為國人所需。惟如兩者能夠「兩全其美」、「兼籌並顧」，天下也就不至於如此紛紜無緒。

讓兩種資源開發互相抵消其效益終於玉石俱碎，絕非明智，因此識者提倡「永續發展」(Sustainable development)的原則，以為經濟和環保的共識，其手段是「生態發展」(Eco-development)，也就是「生態環境健全的經濟發展」。

從上章所論可知六年國建之土地開發計畫與水資源開發與保育，存在著政策理想的內部衝突性，違反永續發展的原則，對於水資源將造成莫大的損傷。因此，如何使臺灣的水資源能夠永續利用，使這一代和後代子孫都能滿足其需求，應是政府責無旁貸之事。為達此目的可採行的有效策略，消極方面有：

- (1) 保護區內嚴禁有礙水源保護之新開發行為；
 - (2) 對區內既有活動訂定防污規範並予嚴格執行；
 - (3) 建立水庫及河岸保護帶，遍植生態林以隔離土砂和過濾萬一產生之污染物進入水庫。
- 在增加有限水資源之運用效率方面，水利專家建議：



資料來源：國建六年計畫

圖六 歷年水庫原水成本比較圖

(1) 開發水庫之排沙科技以延長水庫壽命；
(2) 建立水庫、河川水和地下水之聯合運作系統，以提升水資源之使用效率。
最後，過去一直以為自然資源是無限的，因開發計畫皆從需求面著眼，以致衍生諸多資源分配問題；今後應從水資源供應面規劃各種開發計畫，以確保水資源之不虞匱乏，並避免掠奪式之水資源開發。

六、結論

1. 臺灣為著因應未來自然成長以及國建六年計畫所需之新增水量，只有興建水庫一途可以解決。
2. 目前既有水庫之壽命和水質已受到集水區內之開發活動的嚴重影響，情況遠超出預期之數。
3. 六年國建所增加之需水量超出開發中水資源的一半有餘，超抽地下水是唯一可以解決燃眉之急的方法。而地層下陷以及相關之社會成本可能足以抵消經濟成長之果實。
4. 六年國建亦有多少可能危害水源保護區之開發行為，有促進水庫淤積和水質劣化之虞，造成對水資源之破壞。
5. 水庫以及可建壩址已成為台灣稀有珍貴和昂貴之資源。多興建一個水庫就使後代少一個可以調節水源的資源。所以多興建水庫就等於多破壞水資源，而非增加水資源的保育功能。

6. 依本研究資料估計，台灣如果持續積極興建水庫，則以水庫五十年的經濟壽命計，台灣將於一、二百年內再也沒有可用的水庫。所以這一代對水庫資源的浪費等於剝奪了後代子孫的神聖權益。

7. 因此，如何保護和延續既有水庫之壽命和品質，不輕易損毀其機能應屬當務之急。要達成目的，以目前之科技知識並非不可能。然此自然資源保育的科技問題早受到政治因素的滲透和干擾，因此本文雖然提出消極地防範水庫品質劣化，積極地提升水資源運用效率等辦法，但在中央政府缺乏明確之水資源保護政策，政治利益多於自然資源永續利用的考量，以及國民普遍只謀近利而缺乏鄉土認同的大環境下，所謂關係國家長治久安的國土資源規劃、環境規劃與管理以及水資源之系統性經營與管理等崇高理念，恐怕很難尋得發展的基礎。最重要的是，自然環境保全和自然資源保育究竟要保護到什麼程度係屬執政者的價值判斷，彼等若缺乏宏偉的識見和歷史使命感，則經濟第一的發展模式於可見的未來仍將是政府的最愛。

8. 高品質生活是我們努力的目標，經濟發展自然是不可或缺，但若因此而把水資源弄乾了，就離目標更遠了。

9. 日本的「第四次全國總開發計畫」（民國七十六年）所揭示的三大計畫基本課題之一，就是建立安全而高品質的國土環境，而實現該計畫的主要策略之一就是「安全而滋潤的國土的形成」，以森林、水資源、海岸和海洋的保育和環境安全等為著力點。我們的國土建設也應朝此基本方向規劃。

參考資料

1. 友野里平，《公害用語事典》第二版，共三八五頁，一九八一年。
2. 李三畏，〈臺灣水資源開發計畫對環境影響之回顧與前瞻〉，中華民國工程環境特刊第三號，頁十九～三十，民國八十年。
3. 佚名氏，北部區域水資源規劃報告，經濟部水資源統一規劃委員會，民國六十八年。
4. ———，中部區域水資源規劃報告，經濟部水資源統一規劃委員會，民國六十八年。
5. ———，〈北、中、南、東部區域水資源調查分析報告〉，臺灣省水利局叢刊一三二、一三七、一四二、一四三，民國六十八年～七十一年。
6. ———，一九八四，臺灣北部區域重要水庫集水區管理制度之研究，內政部營建署，民國七十三年。
7. ———，〈日本第四次全國總合開發計畫〉，國土廳編，一九八七。
8. ———，臺灣地區南部區域美濃水庫可行性規劃，專題報告九經濟與財務分析，經濟部水資源統一規劃委員會，民國七十八年。
9. ———，臺灣地區水資源規劃與利用，經濟部水資源統一規劃委員會，民國七十八年。
11. ———，大埔水庫集水區調查治理規劃報告，苗栗農田水利會，民國七十九年。
12. ———，國建六年計畫第一～六冊，行政院經濟建設委員會，民國七十九年。
13. ———，重要業務報告，經濟部水資源統一規劃委員會，民國七十九年。
14. ———，臺灣地區重要工業區開發簡介，經濟部工業局，民國八十年。

15. ———，台灣省建設統計第二輯水利工程，台灣省水利局，民國八十年。
16. ———，八十年版中華民國臺灣地區環境資訊，行政院環境保護署，共四三九頁，民國八十年。
17. ———，臺灣地區蓄水設施七八年水量營運統計分析，經濟部水資源統一規劃委員會，民國八十年。
18. 林克明、陳茂生，〈水庫管理與工程環境〉，中華民國工程環境特刊第三號，頁三一—五〇，民國八十年。
19. 吳先琪，〈水源保護區之開發與水庫水質問題〉，中華民國工程學會第一屆水源水質水量保護區管理研討會論文集，頁一三五—一四六，民國八十一年。
20. 吳先琪、朱惟君、陳世裕，水庫中磷的質量平衡及控制策略研究，國立臺灣大學環境工程研究所，環境工程研究報告，第二六七號，民國八十年。
21. 郭瑞華、陳曼莉、楊炳坤、廖干恆，〈翡翠水庫集水區磷污染源之調查研究〉，中華民國自來水協會第二屆給水技術研討會論文集，頁八七—一〇九，民國七十四年。
22. 須洪熙，臺灣地區水資源開發與利用，海岸地區水資源開發與利用科技，中國工程師學會，中國土木工程師學會，頁一—一—二，民國八十年。
23. 張石角，環保地圖製作——水源保護區高爾夫球場開發之環境影響，行政院環境保護署，共四十六頁，民國八十一年。
24. 駱尚廉、蔡淑芬，〈水庫優養化評估法與專家系統之應用〉，行政院環保署水庫水質保護與集水區管理研討會論文集，頁十八—三十三，民國八十一年。
25. 謝瑞麟，〈二十一世紀水資源開發之工程環境〉，中華民國工程環境特刊第三號，頁七十五—八十

四，民國六十八年。

26. 蘇重光，明德水庫集水區調查治理規劃報告，臺灣省水利局，頁二三七，民國七十九年。

27. Chorley, R. F. and Kates, R. W. 1969. Introduction in Water, Earth, and Man. edit by Chorley, Methuen & Co., p588.