

東沙島水資源整體利用規劃

成果報告書

海洋國家公園管理處委託辦理計畫報告

中華民國九十八年十二月

東沙島水資源整體利用規劃

受委託者：國立屏東科技大學

研究主持人：丁澈士

協同主持人：吳銘志

研究人員：杜永昌、蔡欣恬、呂享儒、陳志勇、蔡亦文、
湯珠孝、郭宏哲、楊哲宇、楊佑寧、李品醇、
邱南殼、林榮潤、戴維良、邱慶誠、盧綉真、
謝佩純、鄭琇好

海洋國家公園管理處委託辦理計畫報告

中華民國九十八年十二月

Marine National Park Headquarters
Research Project Report

An Plan on Exploitation of Water Resources
for Dongsha Atoll National Park

Conducted by : National Pingtung University of Science and Technology

Principal Investigator : Cheh-Shyh Ting

Subproject Principal investigato : 公尺ing-Chee Wu

participation in research : Yung-Chang Tu , Hsien-Tien Tsai , Chih-yung Chen

Lu-Shiang Ju , TSAI-I WEN , Gu-shan To公尺 , Jna-wi Eun ,

Hong-gun Kuo , Un-Lin Eun , Pin-Chun Li , Na-Ko CHIU ,

Jung-Jun LIN , Wei-Liang Tai , Ching-cheng Chiu ,

Hsiu-Chen LU , Pei-Chun HSIEH , GSIU-HAO CHENG

December 26, 2009

目 錄

	頁次
目 錄.....	I
表 目 錄.....	II
圖 目 錄.....	IV
摘 要	VII
Abstract	IX
壹、計畫緣起及目標.....	1
貳、計畫執行.....	3
參、現況調查分析.....	7
肆、地下水資源調查與規劃.....	18
伍、天然水資源開發與供水潛能評估.....	65
陸、水資源利用與管理制度之研議.....	105
柒、研究預期對相關施政之助益.....	112
陸、結論與建議.....	119
捌、參考文獻.....	121
附錄一、審查意見回覆.....	123
附錄二、滲漏儀試驗步驟及紀錄分析結果.....	137

表 目 錄

	頁次
表 2.1 課題與初步對策.....	3
表 2.2 進度甘梯圖(Gantt Chart)	6
表 4.1 東沙歷年氣象統計表(1997-2006).....	21
表 4.2 東沙島食用瓶裝水量統計表.....	24
表 4.3 現地土壤採樣基本資料表.....	31
表 4.4 滲透係數參考表.....	33
表 4.5 現地滲漏儀試驗分析結果表.....	36
表 4.6 雨水貯存槽內水質分析.....	40
表 4.7 東沙島污水水質檢測結果.....	40
表 4.8 瀉湖水質檢測結果.....	41
表 4.9 各水質監測項目之採樣與分析方法.....	43
表 4.10 地面水體(陸域)分類及水質標準.....	44
表 4.11 飲用水水源水質標準.....	45
表 4.12 室內水質分析結果.....	58
表 4.13 島上周圍海水水質之調查分析結果.....	58
表 4.14 歷年相關研究報告.....	59
表 5.1 東沙島水資源利用現況表.....	65
表 5.2 不同雨水蒐集開發潛勢分析表.....	68
表 5.3 地下水入滲量分析表.....	71
表 5.6 東沙島可用集水坪面積及雨水收集量.....	74
表 5.7 屋頂雨水收集量.....	74
表 5.8 水平衡分析表(單位：立方公尺/year).....	84
表 5.9 人口數增加污染量推估.....	86
表 5.10 各類保水設計之保水量計算及變數說明.....	88
表 5.11 東沙島常駐人口與開放觀光人口表.....	90
表 5.12 東沙島各開放觀光計劃時程每日生活用水量計算表.....	91

表 5.13 東沙島各開放觀光計劃時程每日飲用水量計算表.....	91
表 5.14 東沙島各開放觀光計畫時程水資源量統計表.....	91
表 5.15 方案研擬表.....	92
表 5.16 方案一執行項目表.....	92
表 5.17 方案二執行項目表.....	93
表 5.18 方案三執行項目表.....	94
表 5.19 生態化乾式公廁設施.....	97
表 5.20 供水量分析表.....	100
表 5.21 逕流係數參考值表.....	103
表 5.22 東沙島水平衡分析.....	104
表 6.1 現有與水資源相關之法條.....	110
表 7.1 飲用水需求統計表.....	114
表 7.2 執行項目規劃表.....	115
表 7.3 東沙島雨水截水溝改善工程項目表.....	116
表 7.4 東沙島雨水儲水槽改善與監測系統項目表.....	116
表 7.5 東沙島污染排放治理工程項目表.....	116
表 7.6 東沙島屋頂集水工程項目表.....	117
表 7.7 東沙島地下水監測與海水淡化處理項目表.....	118
表 7.8 東沙島透水鋪面改善工程項目規劃表.....	118

圖 目 錄

	頁次
圖 2.1 本計畫執行流程圖.....	4
圖 3.1 東沙群島配置圖.....	8
圖 3.2 地下水井現況圖.....	9
圖 3.3 雨水蒐集現況圖.....	10
圖 3.4 島上之海水淡化流程圖.....	12
圖 3.5 海淡廠與污水來源現況圖.....	12
圖 3.6 海淡廠與污水來源現況圖.....	13
圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖.....	14
圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續).....	15
圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續).....	16
圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續).....	17
圖 4.1 東沙群島位置圖.....	18
圖 4.2 東沙環礁圖.....	19
圖 4.3 東沙島空照圖.....	20
圖 4.4 東沙島陸域等高線圖.....	20
圖 4.5 自然環境氣候分析圖.....	22
圖 4.6 地層柱狀圖.....	25
圖 4.6 地層柱狀圖(續).....	26
圖 4.7 篩分析圖.....	27
圖 4.8 電動鎚將取樣管打入土壤中之情形.....	28
圖 4.9 以吊車輪組將取樣管取出之情形.....	29
圖 4.10 計畫所使用之滲透儀裝置.....	30
圖 4.11 現地土壤採樣點之分佈圖.....	31
圖 4.12 各採樣點之土壤 1 公尺樣品.....	32
圖 4.13 土壤採樣點 S10 之磚頭碎塊.....	32
圖 4.14 定、變水頭滲透試驗儀圖.....	34

圖 4.15 現地土壤採樣點及室內滲透係數圖	35
圖 4.16 現地滲透儀試驗之現況	36
圖 4.17 島嶼地區地下水特性之示意圖 (Zektser and Dzha 公尺 alov, 2006)	39
圖 4.18 地下水 (淡水) 與海水關係之示意圖	39
圖 4.19 瀉湖水質採樣點	41
圖 4.20 水質採樣點	42
圖 4.21 各測站水溫變化趨勢圖	53
圖 4.22 各測站酸鹼值變化趨勢圖	53
圖 4.23 各測站溶氧值變化趨勢圖	53
圖 4.24 各測站導電度變化趨勢圖	54
圖 4.25 各測站濁度變化趨勢圖	54
圖 4.26 各測站生化需氧量濃度變化趨勢圖	54
圖 4.27 各測站化學需氧量濃度變化趨勢圖	55
圖 4.28 各測站氨氮濃度變化趨勢圖	55
圖 4.29 各測站總磷酸鹽濃度變化趨勢圖	55
圖 4.30 各測站硝酸鹽氮濃度變化趨勢圖	56
圖 4.31 各測站懸浮固體濃度變化趨勢圖	56
圖 4.32 各測站大腸桿菌群變化趨勢圖	56
圖 5.1 雨水蒐集區與儲水區位置圖	66
圖 5.2 停機坪截水溝位置圖	67
圖 5.3 雨水儲水槽監測系統示意圖	69
圖 5.4 雨水水質監測系統示意圖	69
圖 5.5 地下水入滲區與不透水區域位置圖	70
圖 5.6 地面水流向位置圖	71
圖 5.7 透水鋪面設置位置圖	71
圖 5.8 入滲功能截水溝	72
圖 5.9 雨水儲水位置圖	73
圖 5.10 雨水貯留灌溉利用系統	75

圖 5.11 濕地雨水儲存示意圖	78
圖 5.12 停機坪濕地現況圖	79
圖 5.13 東沙島水井分佈圖	80
圖 5.14 地下水受污染現況圖	80
圖 5.15 東沙島地下水水位高程圖 (2009/8)	81
圖 5.16 東沙島地下水水位高程圖 (2009/11)	81
圖 5.17 東沙島鹽度分佈圖 (2009/08)	82
圖 5.18 東沙島鹽度分佈圖(2009/11)	82
圖 5.19 東沙島概念模型	83
圖 5.20 島內抽水與降雨地下水流向趨勢圖	85
圖 5.21 地下水觀測井設置示意圖	87
圖 5.22 地下水井增設位置分佈圖	87
圖 5.23 塊狀透水性鋪面圖	89
圖 5.24 整體型水性鋪面圖	89
圖 5.25 整體型水性鋪面圖	90
圖 5.26 海水淡化廠設計流程示意圖	94
圖 5.27 預鑄式淨化槽示意圖	96
圖 5.28 乾式廁所示意圖	98
圖 5.31 東沙用水量趨勢分析圖	101
圖 5.32 東沙水平衡分析圖	104
圖 6.1 東沙島水源保護區分布圖	108

摘要

「東沙島水資源整體利用規劃」，係透過人工或是自然方式將東沙島之天然水資源做有效之利用與儲存，提升供水潛能。首先就島上地下水資源與使用現況之調查與檢討，對東沙島目前水資源（雨水、海水淡化）利用與廢污水處理設施進行現況調查，並針對以往相關水資源規劃方案進行通盤檢討，進行水資源潛能評估工作。

一、東沙島現況

東沙群島所居住之人口為軍方之官兵，常駐人員約有200人。東沙島具有獨特的自然生態與人文景觀，應當妥善規劃開發當地作為觀光及保育基地。整體首重用水部分，地下水源尚稱充裕，但水質較鹹，並不適合飲用。目前島上設有海水淡化機，解決了長期以來的盥洗用水問題，至於飲用水則以台灣運補之礦泉水供應之。

針對整體東沙島勘查，針對水資源整體評估方案進行調查，主要著重於地下水、雨水與海水淡化與廢污水。地下水部分：調查島內主要的水井總共8口，為水質調查評估重點。雨水部分：調查目前雨水蒐集之可行性並評估增加雨水蒐集區域。海水淡化及廢污水部分：調查目前用水情況及如何增加地下水水量，規劃將餐廳洗滌用水統一蒐集處理。

二、地下水質現況

整體水質分析得知，除海水淡化廠的滷水放流口（漁服站旁）之外，化學需氧量較高的地區為海淡廠抽水井、衛星站南側、及東光醫院廢棄井，其水體受有機物的污染則較為嚴重；此外，該地區總磷、硝酸鹽與大腸桿菌亦較高。另外，東沙島外圍海水與大瀉湖的水質近似海水；然而，南側岬灣的出水口鹽度與導電度較低，當時屬海水退潮時段，水流由內往外海流出，因此，推測瀉湖內可能有部分淡水流出的情形。

三、用水開發規劃分析

以東沙島設計規劃原則：首先建構完整GIS地形高程資料，並劃分集水區域並分析其土地利用狀況(包含開發不可開發區域)，據以估算雨水最大利用潛勢。而整體雨水貯留利用規劃設計及出水能評估區域性雨水貯留利用應可分為分為建築物、地形與雨水評估優劣。

根據東沙島用水人口趨勢分析，根據開放觀光人口成長為10人/天、50人/天、

100人/天與200人/天，分別從優先規劃工程進行分析，目前供水量為50噸/天，首先新設海水淡化廠增加40噸/天供應、乾式廁所與屋頂集水增加30噸/天、集合廠透水鋪面工程增加175噸/天、地面集水工程增加2,500噸/天。增設海水淡化廠為主要優先考量其供水穩定性佳，不易受到自然因素影響。其次為乾式廁所與屋頂集水，最後為地面集水包含透水鋪面等技術。

四、污水回收效益

島上主要有空軍、一中餐廳，為主要大宗洗滌水排放，將兩處餐廳放流水統一收集後，經由淨化槽將污水統一處理(二級放流標準)，放流入停機坪濕地，立即改善東沙島潟湖的污染BOD、COD、SS、氮、磷排放。停機坪濕地主要有雨水涵養及底泥土壤吸附減緩放流水污染地下水，東沙島潟湖的放流水停止排放後，藉由海水潮汐交互涵養，逐年減緩污染潛勢。廢污水透過淨化槽將污水統一收集處理，達到二級放流標準，去除率為70%減少總磷(TP) 13.8 ton/year，氨氮(NH₃-N) 49.2 ton/year，生化需氧量(BOD) 懸浮固體(SS) 219 ton/year。化糞池改善以乾式公廁或新式處理系統，可立即改善污染物排入地下水，如BOD、COD、SS、氮、磷等水體污染量偏高，達到水源水質標準。

五、效益評估

東沙島經執行調查與分析後提出規劃項目總共8項，而各項工作在執行上係就其重要性與優先性選擇亟需處理之工作項目優先辦理，並藉由分年分期方式推展各項治理工作，以力求治理工作之整理性與持續性。效益評估將依照整體計畫優先處理程度，主要效益可分為有形效益及無形效益，整體計畫區內災害直接與間接損失之減免。

Abstract

「An Plan on Exploitation of Water Resources for Dongsha Atoll National Park」, The proposal of project mainly storage any amount of natural water resources into the aquifer by artificial or natural method, that can improve deficient in water resources on Dongsha Atoll National Park. First, to investigate the using of groundwater resources and current situation include rainfall, sea water desalinization and waster water. Finally, the potential plan of water resources is proposed through review of literature of water resources and new plan method.

1. Environmental area

The populace lives here about 200 people who solder of the Ministry of National Defense. This place owns specific natural eco-environment and scene sight that need have completed plan and scheme for filed trip and conservation in the future. Hence, the groundwater is very impotent resources to offer the populace in here, but it unsuitable for drinking. For solving the demand of wash up, construct the sea water desalinization factory in 2002, as for the drinking instead of bottled water form Taiwan. In part of investigation, Groundwater: In total have 8 wells in the island need investigated, the item including the water quality and water level. Rainfall: to estimate the feasibility of rainfall recycles and find the suitable area for collection rain out. Sea water desalinization and wastewater: to understand the use of water and how to plan gather the wastewater together form restroom and wash up.

2. Groundwater quality

The results of water quality shown, there have higher concentration of COD at pumping well of the sea water desalinization factory, south of satellite, hospital, that indicate the groundwater was polluted by organic matter; besides, the total phosphorus, nitrate, colon bacillus are higher also.

3. Water resources potential analyze

The principle of plan in Dongsha Atoll National Park, to construct completed data depends on Geographic Information System that can assess the potential of rainfall

collection by the way designing the land zone. In term of the building and geographic design the system of rainfall recycle use and water supply. From priority engineering, to construct the sea water desalinization factory can supply water about 40m³/day, collection system of building about 30m³/day, collection system of ground can supply water about 2,675m³/day. As above results the desalinization factory is first plan that can stable supply water, without effect by natural factor.

4. The benefit of wastewater recycles

Some restaurants in this locality still discharge waste water into the outside, those gather wastewater through purification system to purify, finally discharge into the wetland. By means of this method can immediate reduces the pollution about 70%, BOD and SS decrease about 219 ton/year, NH₃-N decrease about 49.2 ton/year, TP decrease about 13.8 ton/year.

5. Estimable Benefit

Finally, in term of the project investigation and assessment suggest in total have 8 engineering need to implement, each item will reconsider in high priority step by step in future.

壹、計畫緣起及目標

一、主題緣起

東沙環礁位於南海北端，距台灣本島約450k公尺，因其為一完整之珊瑚礁系統，海洋生態環境獨具特色，且生物多樣性高，內政部於96年1月17日公告成立東沙環礁國家公園，以利進行東沙環礁之復育與保育工作。東沙島位於環礁的西邊，為環礁唯一長年出露海面之陸礁島嶼，為東沙環礁國家公園的經營管理基地，也是海巡防務的重要據點，在未來還兼具海洋科學研究以及海洋環境教育等功能，安全且適足的水資源是最基本的民生需求。

東沙島面積僅約174ha（包括島內的小瀉湖），是為珊瑚砂與海洋生物殘骸所堆積成的一個小型島嶼。東沙島之水資源極為有限，天然淡水資源全來自於降雨，而珊瑚砂的高通透率，使得雨水不易留存在地表而直接入滲至地下水層中，但珊瑚礁型的地質結構缺乏保水岩層，在地下之淡水體猶如一個“透鏡體（freshwater lens）”般懸浮在海水層之上，若地下水抽取的位置不當或過量抽取，極易引起海水入侵而產生鹽化的現象。目前東沙島上設置的海淡機組，或因長年的直接抽取地下水來製造淡水，亦導致了地下水鹽化的問題。因此，為維護東沙島珍貴的天然淡水資源，如何涵養地下淡水層並有效的管理與利用地下水，是東沙島水資源經營管理的首要課題。再者，在東沙島水資源永續利用的前提下，以水預算的概念評估目前與未來發展之各種用水需求，來規劃並設計水資源利用與質量提升之各種方案，包括雨水收集利用、海水淡化質能提升等，並規劃符合未來發展所需要且適正之污水處理與回收再利用系統。從生態永續島嶼的觀點來規劃東沙島上的供需用水及廢污水回收處理，是為現階段水資源永續經營之重要課題。

二、目標

「東沙島水資源整體利用規劃」委託辦理計畫主要目標，係透過人工或是自然方式將東沙島之天然水資源做有效之利用與儲存，提升供水潛能。首先就島上地下水資源與使用現況之調查與檢討，對東沙島目前水資源（雨水、海水淡化）利用與廢污水處理設施進行現況調查，並針對以往相關水資源規劃方案進行通盤檢討，進行水資源潛能評估工作。

三、項目與內容

一、東沙島地下水資源調查與規劃

- (一) 基本水文資料彙整與調查：包括地理環境、氣象水文等。
- (二) 土壤環境與地質調查：地形地質及含水層的調查，以及地下水總蘊藏量及安全出水粗估等。
- (三) 用水檢測分析：東沙島現行供水系統及水質之調查與分析。
- (四) 地下水資源經營現況分析：調查及評估現行之東沙島地下水資源利用與廢污水排放處理情形，並針對過去已執行、已規劃或刻正規劃擬議中之計畫等相關事項提出檢討。

二、東沙島天然水資源開發與供水潛能評估：

- (一) 地表水與地下水資源綜合開發評估。
- (二) 水處理與回收再利用之技術評估：包括雨水截流、海水淡化以及節能與低環境衝擊之淡化技術、廢污水回收利用等。
- (三) 供水潛能之分析，以因應現在與潛在之長期或短期居留人口之供水需求。

三、水資源利用與管理制度之研議：

- (一) 東沙環礁國家公園之保育政策來探討水資源整體利用策略。
- (二) 東沙島水資源管理制度之研議。

四、綜合分析上述之調查與評估資料提出東沙島水資源整體利用之規劃方案，並評估其效益。

五、其他應配合辦理事項或配套措施。

貳、計畫執行

工作團隊已進行現場勘查，提出整體東沙島之天然水資源如何改善與提升供水潛能為首要目地，以下針對整體執行構想與進度說明：

一、規劃構想

1.目標與成效

- 1.規劃目標：優先以提升既有水資源技術來開發多元水源替代方案、水回收再利用改善規劃為主，降低島內地下水持續鹽化問題。
- 2.成效指標：(一)多元水資源潛能開發執行規劃；(二)水回收再利用技術提昇。
- 3.願景：近程-東沙島水源穩定供水；中長期-配合生態旅遊觀光產業發展足夠供應水源。

2.主要課題

表 2.1 課題與初步對策

主要課題	初步對策
東沙島內雨水收集系統普及化仍有限，現階段雨水蒐集量如無法完全供應生活用水，如何讓雨水在空間、時間上獲得最大效益的儲存與使用。	由長期降雨記錄來進行分析初步瞭解降雨天數的分佈情況，規劃修正目前供水與管理策略，以「地表水與地下水聯合應用機制」之概念納入，獲得更多的水資源來源。
長期集中於島內抽取地下水，地下水鹽化現象日益嚴重，如何藉由雨水補注涵養減緩地下水鹽化的現象，一方面涵養地下水源，增加備援用水源之安全性。	地下水水資源掌控，包含整體地下水蘊藏量與安全出水量，並強化海水淡化技術，由穩定供水作為初期目標，中長期提升周邊水資源措施，達到永續水資源目標。
污水排放問題不僅造成生態環境之破壞，間接對於地下水資源可能造成威脅，如何在將人為污染降至最低，應是目前方向。	由污染來源分區調查顯示，主要是點源污染為屬於家庭廢污水類別，配合定期水質檢測分析來進行減污控管，並分年分期進行水質改善工程，達到水資源回復運用之目標。

3. 整體工作流程

本計畫依據工作進度可分為期中期末分別提出工作成果，按各期應涵蓋工作成果及各工作項目間相互關係，研擬整體工作流程圖，如圖 2.1

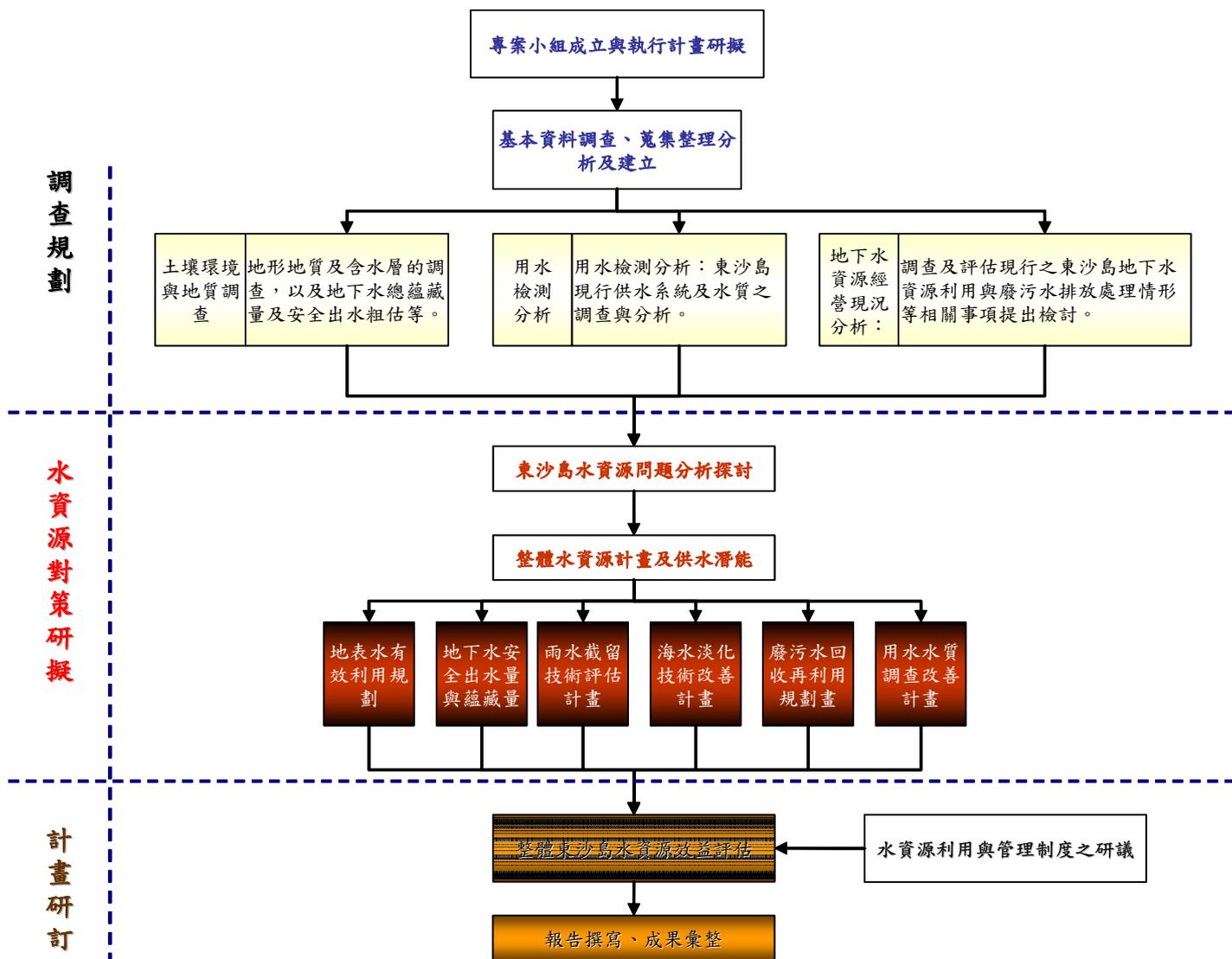


圖 2.1 本計畫執行流程圖

二、執行進度

依據工作內容項目，本計畫工作進度如表2.2所示。本單位獲得本計畫後，依據合約履行工作。並如期提送期初、期中及期末報告之外，亦適時就相關問題與承辦單位進行溝通，使貴單位能充分了解工作執行狀況。工作團隊將於98年5月提出期初報告，98年8月提出期中報告，98年11月提送期末報告，並根據工作進度研擬每月工作進度與內容供主辦單位瞭解。

三、工作成果進度

工作報告需依下列時程提送：

- 一、期初簡報：於合約簽訂成立後 15 天內，廠商應提出工作執行計畫書。
- 二、期中簡報：98 年 8 月 15 日，廠商應提出期中簡報。
- 三、期末報告（含投稿國家公園學報之文稿）於 98 年 11 月 15 日內完成並送達甲方審查。
- 四、成果報告於辦理期末報告審查會議之次日起 20 日內送達。

表 2.2 進度甘梯圖(Gantt Chart)

工作項目	工作細項	時程 權重%	98年									
			5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月		
東沙島地下水資源調查與規劃	基本水文資料彙整與調查	5%	2.5%	2.5%								
	土壤環境與地質調查	5%		2.5%	2.5%							
	用水檢測分析	5%		2.5%					2.5%			
	地下水資源經營現況分析	5%	1%	1%	1%	1%	1%					
東沙島天然水資源開發與供水潛能評估	地表水與地下水資源綜合開發評估	15%		3%	3%	3%	3%	3%	3%			
	水處理與回收再利用之技術評估	15%		3%	3%	3%	3%	3%				
	供水潛能之分析	15%		3%	3%	3%	3%	3%				
水資源利用與管理制度之研議	東沙環礁國家公園之保育政策來探討水資源整體利用策略	5%				1%	1%	1%	1%	1%		
	東沙島水資源管理制度之研議	5%				1%	1%	1%	1%	1%		
東沙島水資源整體利用之規劃方案，並評估其效益	效益評估分析	15%				3%	3%	3%	3%	3%		
其他應配合辦理事項或配套措施		7%		1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%		
簡報與報告編撰	工作計畫書、期中、期末報告	3%	1%					1%			1%	
合計		100%	4.5%	23%	36.5%	52.5%	69.5%	87%	93%	100%		

參、現況調查分析

本章主要說明調查初步成果，擬定整體規劃方向，詳細規劃內容於第四章說明，調查內容說明如下：

一、現況調查分析

東沙群島所居住之人口為軍方之官兵，常駐人員約有200人。東沙島具有獨特的自然生態與人文景觀，應當妥善規劃開發當地作為觀光及保育基地。整體首重用水部分，地下水源尚稱充裕，但水質較鹹，並不適合飲用。目前島上設有海水淡化機，解決了長期以來的盥洗用水問題，至於飲用水則以台灣運補之礦泉水供應之。

針對整體東沙島勘查，針對水資源整體評估方案進行調查，主要著重於地下水、雨水與海水淡化與廢污水，調查時間為98年7月份。地下水部分：調查島內主要的水井總共8口，為水質調查評估重點。雨水部分：調查目前雨水蒐集之可行性並評估增加雨水蒐集區域。海水淡化及廢污水部分：調查目前用水情況及如何增加地下水水量，規劃將餐廳洗滌用水統一蒐集處理，如圖3.1。

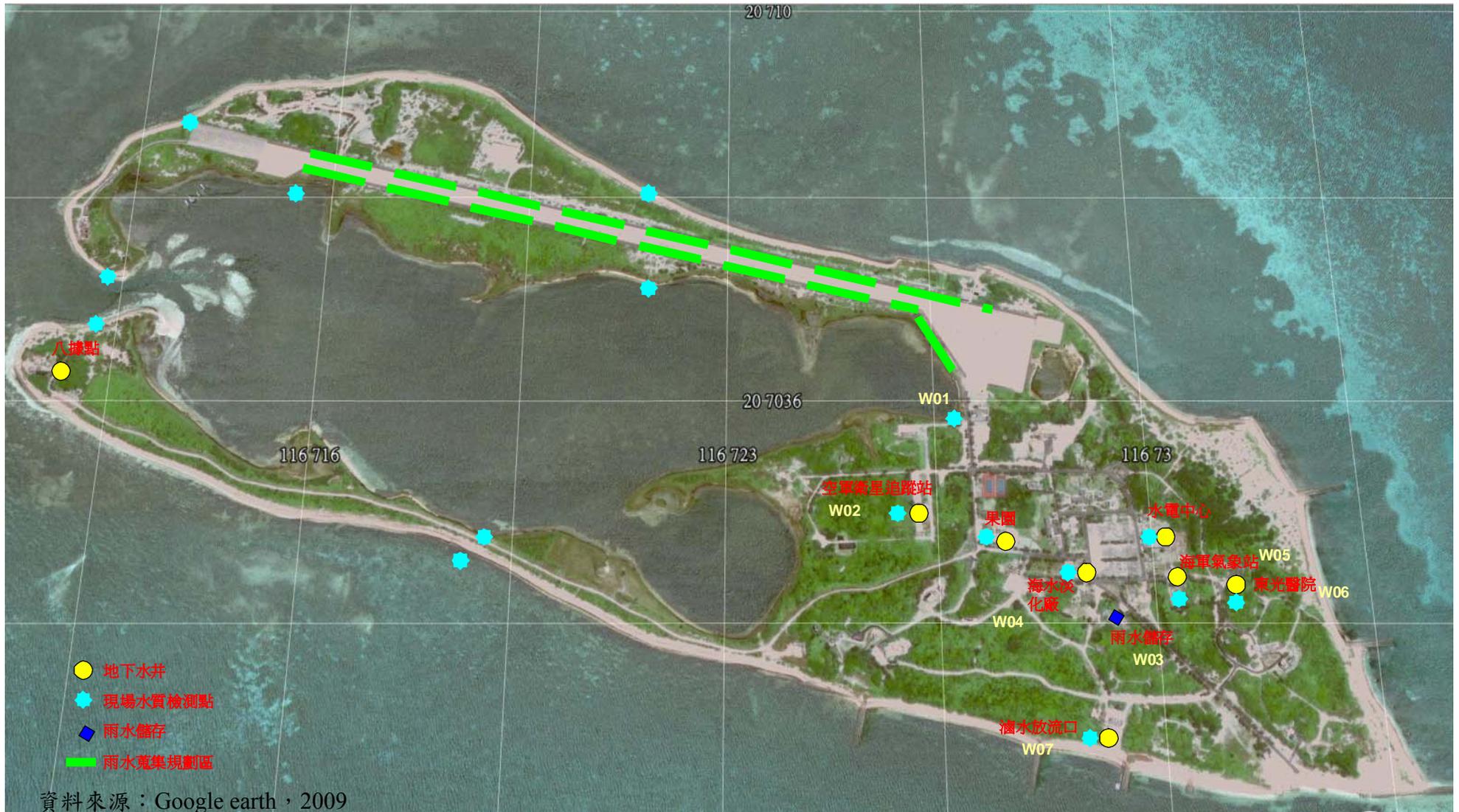


圖 3.1 東沙群島配置圖

二、地下水調查

初步調查地下水水位約在地表下約 2~3 公尺，列出主要抽水井，如圖 3.2。圖 (A)、(B)與(C)位在東沙島高程最高之區域，以(A)海軍氣象站地下水井為淡水，其餘皆為半淡鹹水，將評估由水井中鹽度濃度分佈瞭解島內淡水分佈及評估規劃出地下水保護區域，且島內高程較高及抽水頻繁區域其不透水鋪面相當多，對於涵養地下含水層幫助有限。因此，建議與海水淡化廠一同評估。



(A) 海軍氣象站地下水井



(B)海水淡化廠抽水井



(C)水電中心地下水井



(D)空軍衛星追蹤站

圖 3.2 地下水井現況圖

三、雨水調查

島內目前唯一大型雨水蒐集區位於指揮部左前方廣場如圖 3.3-1(A)，將蒐集水源存放於 10 萬加侖的水槽內如圖 3.3-1(B)，經過初步瞭解目前雨水蒐集水槽有漏水情況現況且集水設備維護不易，容易造成獲得水量與水質不佳情況。另外，目前停機坪處有設置一雨水截水溝如圖 3.3(C)，水源排入小潟湖為主如圖 3.3(D)，並無作其他利用。本計畫預定將機場兩側做為雨水蒐集規劃區，將雨水統一蒐集至定點處，統一作為澆灌及廁所沖水使用，如圖 3.1(綠色標記)。建議將島上道路規劃成為透水鋪面，初步選定區域在島上抽水量較大之區域(指揮部周邊及廣場)，藉由自然入滲涵養地下含水層。



(A)雨水集水廣場



(B)10 萬加侖水槽



(C)停機坪



(D)小潟湖

圖 3.3 雨水蒐集現況圖

四、海水淡化

目前島上的海淡廠處理流程圖如圖 3.4 所示，將抽取地下水經淡化過濾後，儲存於兩座一萬加侖之儲水槽，達滿水後再將淡化之海水導入另一 7 萬加侖的水庫儲存使用。使用時利用小貨車載運至廚房以供烹煮，但仍具鹹味。海淡廠一部機組每日可生產 6,000 加侖用水，兩部機組同時運轉，可滿載出水量達 12,000 加侖。為改善島上生活用水，海巡署已於民國 91 年 4 月決標採購海水淡化機，更新原有的淡化機組，全新汰換老舊管線，使各據點均有淡水可以使用，並增設冰溫 RO 逆滲透飲水機。

海水淡化廠如圖 3.5(A)，滷水最終排放到漁民服務站左後方水槽內圖 3.5(B)。其抽水井水質鹽度達到 7.9ppt (導電度：14.60 公尺 s/c 公尺)與海水鹽度(32)比較之下，已有慢慢鹽化趨勢。根據調查資料顯示，區域唯一水井仍屬於淡化情況為在海軍氣象站後方，鹽度(0.6ppt)、導電度(1481 μ s/c 公尺)，兩口井距離約 250 公尺。初步研判在整個抽水區域相關位置，普遍不透水面積相當多，且對於涵養地下水效益不大。規劃方向為：1.將指揮部前方籃球場及路面改成透水鋪面，增加涵養地下水量。2.增加抽水水源位置，改成輪流抽水。3.海水淡化場遷移。4.目前海水淡化技術提昇。

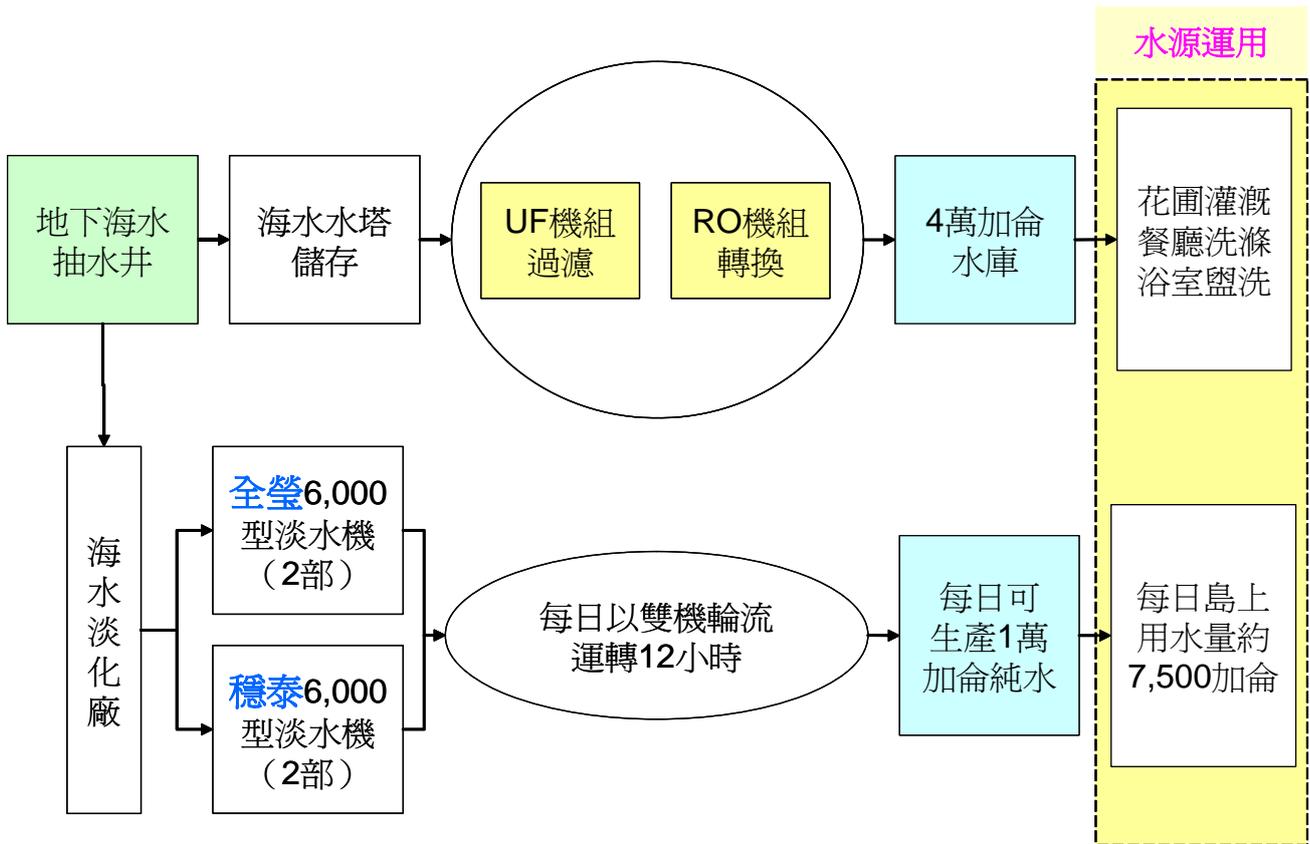


圖 3.4 島上之海水淡化流程圖



(A)海水淡化廠



(B)滷水排放終點

圖 3.5 海淡廠與污水來源現況圖

五、廢污水調查

水質採樣過程中發現地下水水中臭味濃度相當高(相關分析結果於後續章節討論分析)，主要情況為：1.水井位置與化糞池相當接近，2. 將污水抽出至遠方放流，入滲地下含水層如圖3.6(A)，3.化糞池老舊造成破損部分外漏如圖3.6(B)，導致污染程度日趨嚴重，化糞池改善工程應為首要工作重點。另外，空軍餐廳將洗滌污水排入瀉湖內如圖3.6(C)，應以統一排放處理。島內化糞池相關位置如圖3.7所示。

東沙島上廢棄物處理的方式，過去集中於一定點（即瀉湖鉗角之西北方）如圖3.6(D)，先區分可燃及不可燃二大類處理，目前焚化廠已廢棄不用，主要回收廢棄物則以海運運回台灣處置。其餘可燃的廢棄物概以焚燒方式處理，繼而掩埋，也可能局部海拋。所以島上的廢棄物處理問題，為未來宜加注意課題。



(A)化糞池



(B)化糞池損毀



(C)洗滌污水排放



(D)垃圾場

圖 3.6 海淡廠與污水來源現況圖

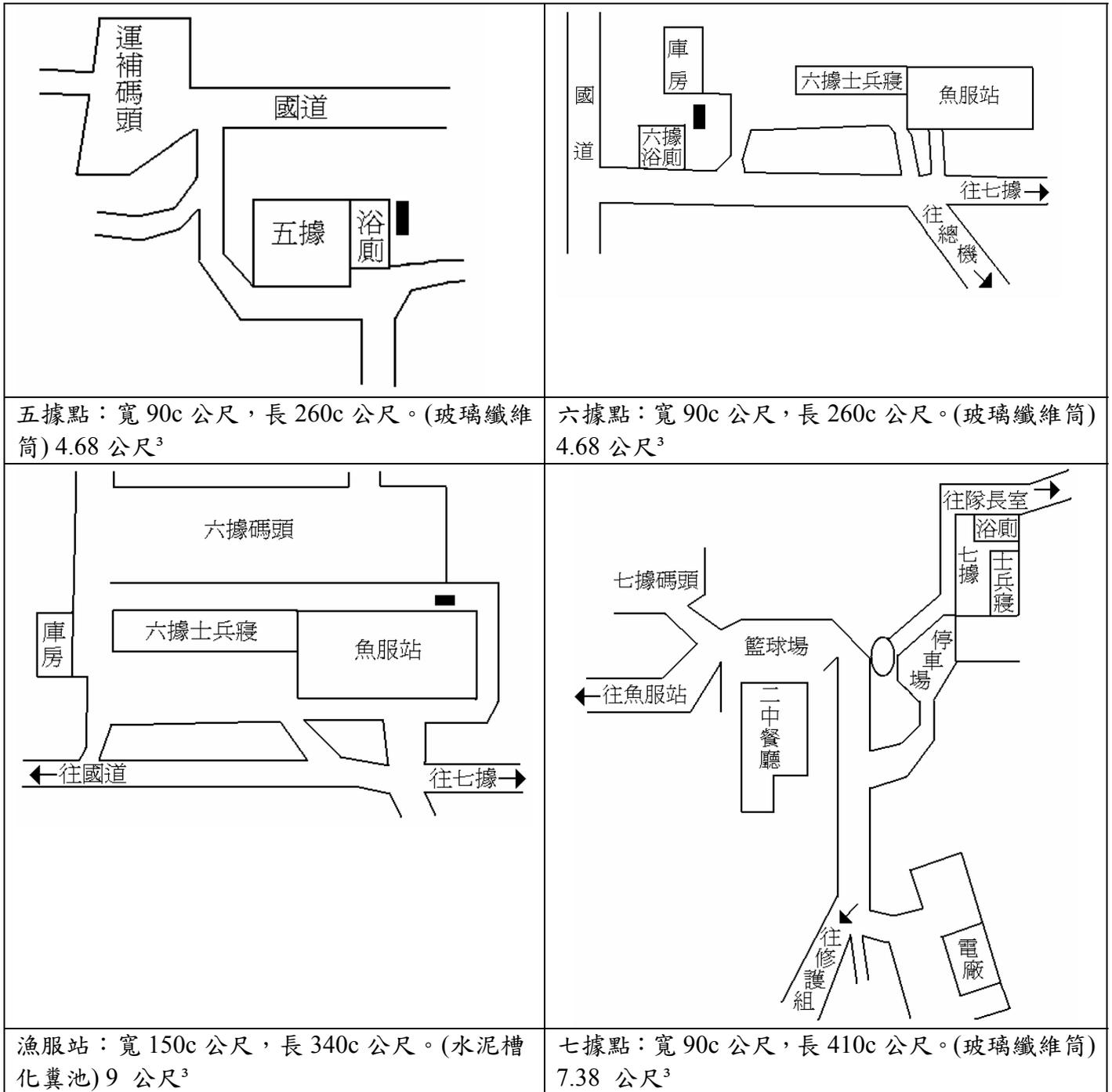


圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖

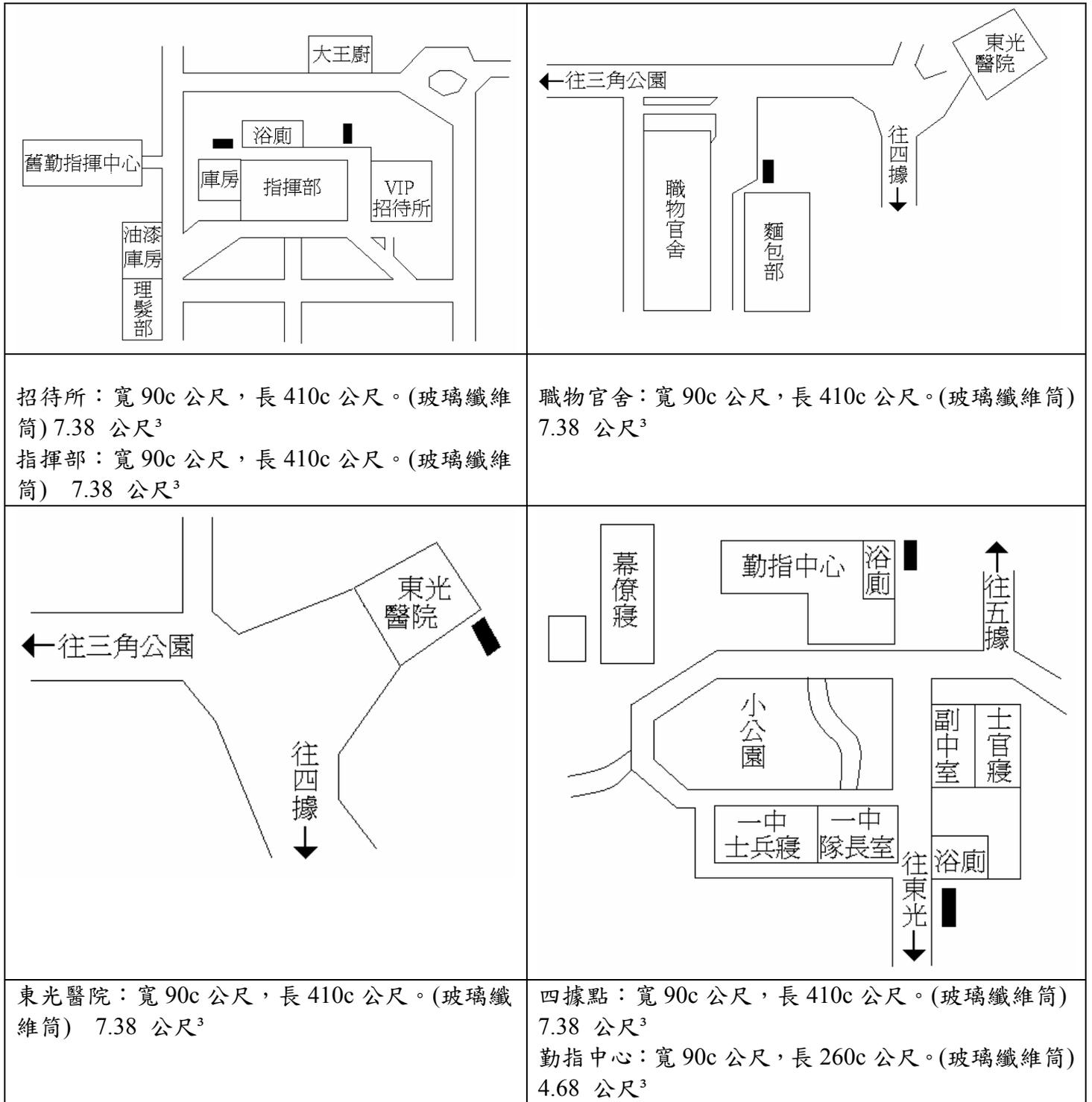


圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續)

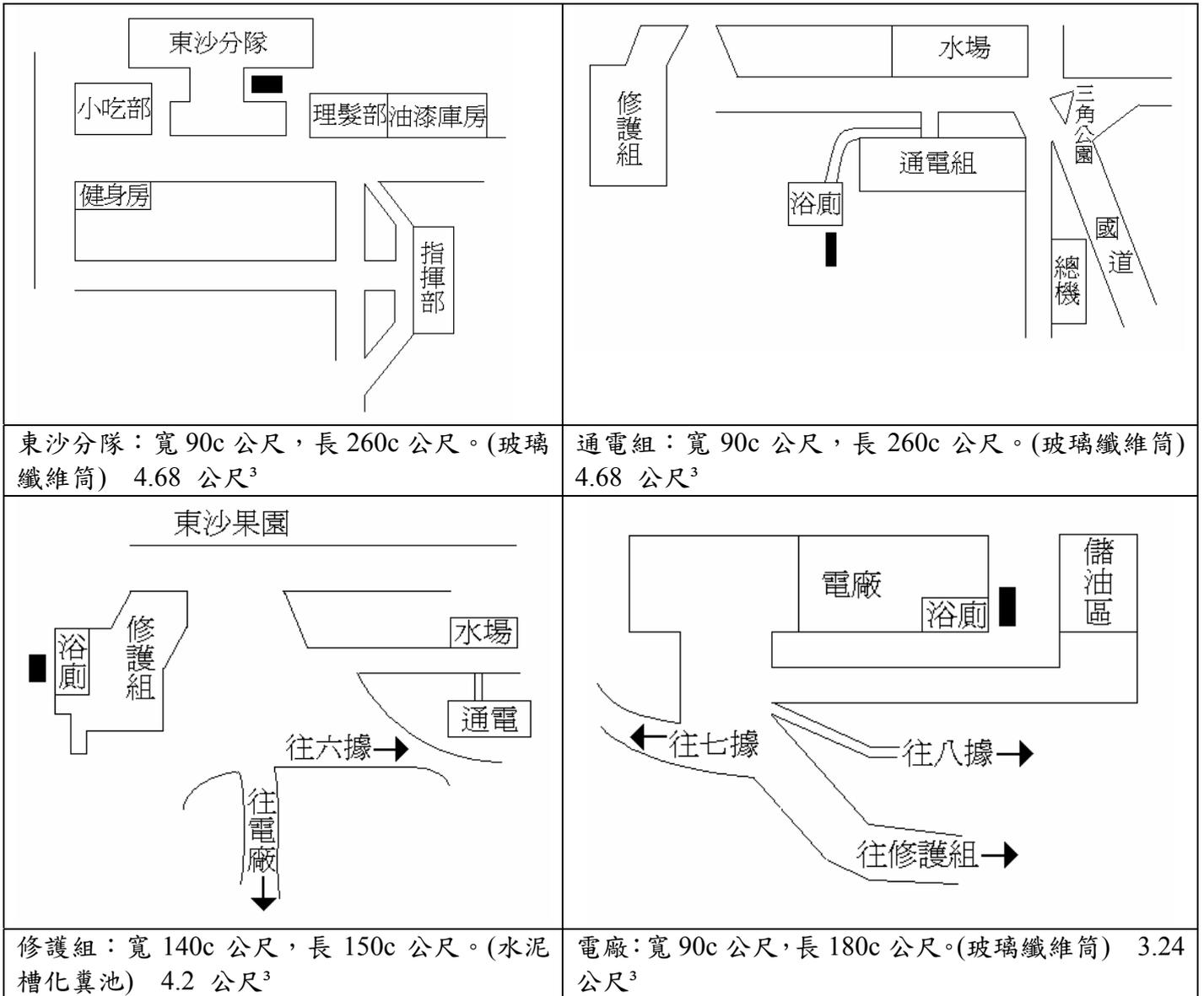


圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續)

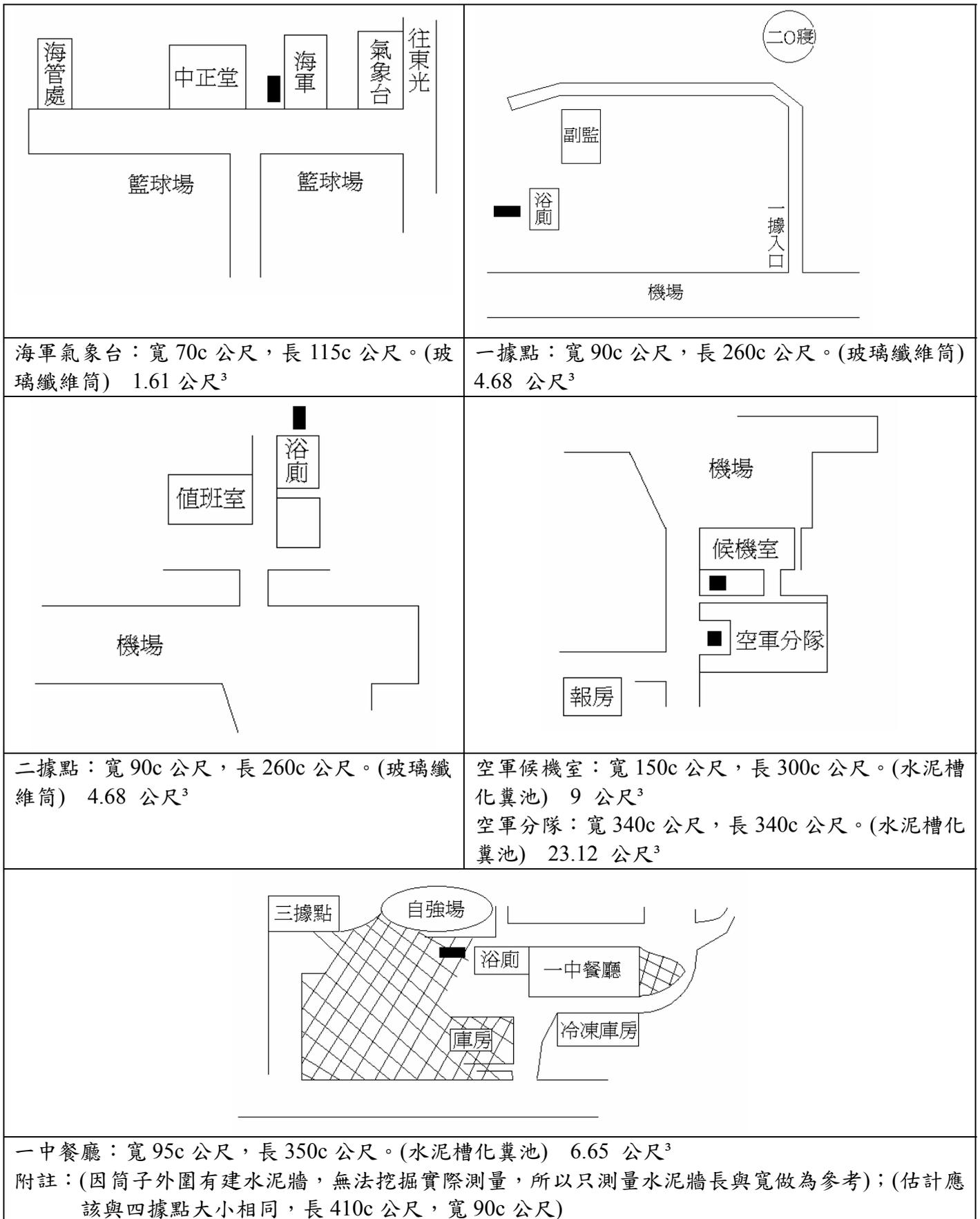


圖 3.7 東沙島各據點化糞池位置分佈圖(續)

肆、地下水資源調查與規劃

一、基本水文資料彙整與調查

1. 地理位置

東沙群島位於北緯 20 度 35 分至 47 分之間，東經 116 度 42 分至 44 分之間，在南海北部東沙台階上，由一連串礁盤組成，長約 150 公里，寬約 30 公里。東沙群島包括三個珊瑚環礁，由北而南依次為北衛灘環礁、南衛灘環礁、東沙環礁。東沙島位於東沙環礁之西側，為東沙群島中唯一出露海面之陸礁島嶼。

東沙島在東沙環礁的西邊，島嶼地理中心位置為北緯 20 度 42 分，東經 116 度 43 分，東北距高雄港 240 海浬、澎湖馬公 230 海浬，西北距香港 170 海浬，北距汕頭 140 海浬，南距南沙太平島 640 海浬、馬尼拉 420 海浬。東沙群島為台灣海峽南方咽喉，其形狀，就像是一把鉗子，西有潟湖，頗為特殊。



圖 4.1 東沙群島位置圖

2.地質與地形

環礁 (Atoll reef) 係指分布成環狀的珊瑚礁，其中央陸塊下沉，中央水域也是瀉湖 (lagoon)。東沙環礁為一近乎完美的圓形環礁，如圖 4.2 所示，其直徑約 25 公里，面積約 500 平方公里的圓形環礁，中央的瀉湖水深在 7.3 至 18 公尺間，主要露出水面成陸的礁體為西側的東沙島，係由造礁珊瑚在南海北部大陸斜坡的東沙台階上建造而形成，環礁中間為一水深 16 公尺以內的瀉湖，瀉湖中有許多珊瑚丘與淺灘分佈，環礁周圍的礁台在低潮時大部分露出或接近水面，礁台長約 46 公里，寬約 2 公里環礁上分別有東角、東北角、東南灣、西北尖角及西南尖角等明顯之地形。

東沙環礁的地形十分完備，洲、島、礁及門等地形皆具，洲有小沙洲，島有東沙島，礁有東角、東北角及西南尖角，門有北水道及南水道等兩處，為一標準的環礁地形。東沙島位於環礁西側，地勢東北稍高，西南稍低，最高處的海拔約 6 公尺，其外型如馬蹄，東西長約 2800 公尺，南北寬約 865 公尺，周圍海岸線長約 8 公里，全島陸地總面積約 1.74 平方公里，其西部有兩條沙脊延伸如鉗，環抱一小瀉湖如內海，其面積為 0.64 平方公里，如圖 4.3。

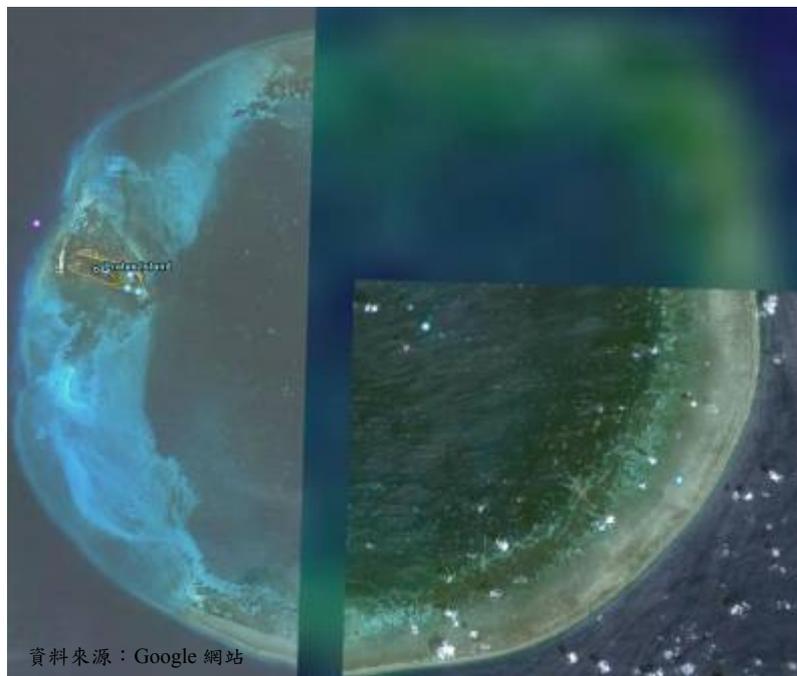


圖 4.2 東沙環礁圖



圖 4.3 東沙島空照圖

根據中山大學（2008）東沙島地形平緩，最高約為 6 公尺，高潮時(水位 CD.+1.15 公尺)，僅餘島東中心地帶露出水面，面積約 0.5k 平方公尺，如圖 4.4 所示，因此，每逢朔望大潮時，機場跑道即發生淹水現象；而低潮時(水位 CD.+0.0 公尺)，出水面積約 2.85k 平方公尺。

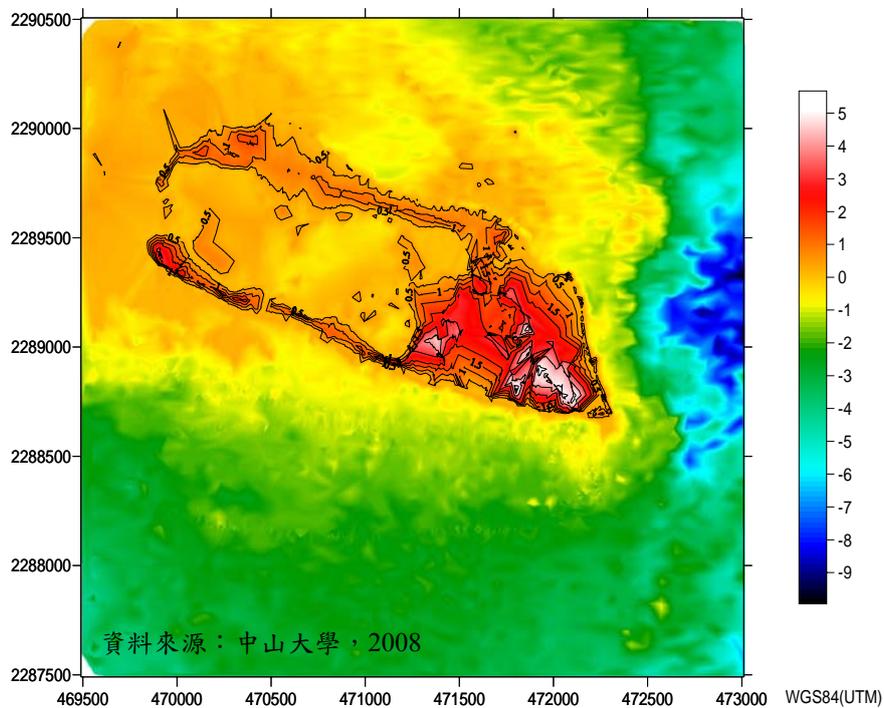


圖 4.4 東沙島陸域等高線圖

3. 氣象水文

東沙全島覆蓋由珊瑚及貝殼碎屑風化形成之白砂，景觀雖較單調，卻頗為自然。島上遍佈低矮之熱帶灌木，氣候屬亞熱帶海洋氣候，終年氣溫高。但冬季時仍受到東北季風的影響。島上氣溫夏季平均為攝氏 28.5 度，冬季為攝氏 20 度，每年以夏季雨量最多，冬季少雨，不過地下水尚稱充裕，惟水質偏鹼，能引用之水井甚少。根據東沙島海軍氣象站資料歷年統計數據如表 4.1，並說明如下：

表 4.1 東沙歷年氣象統計表(1997-2006)

項目													平均	總和
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
月均溫℃	21.7	22.0	23.9	26.2	27.9	29.1	29.6	29.3	28.4	26.9	24.9	22.3	26.0	-
平均降雨量 (公釐)	23.9	25.0	17.5	56.1	141.2	166.9	193.7	211.4	244.2	146.1	44.0	76.3	-	1346.0
平均降雨日數 (日)	6	7	5	6	10	12	12	14	15	8	7	8	-	109
平均風速(公尺/sec)	6.5	5.9	4.7	4.2	3.6	3.4	3.5	3.6	3.9	6.1	7.1	7.9	5.0	-
相對濕度(%)	81	84	84	84	84	85	83	84	83	80	83	82	83	-
海面氣壓(公尺 b)	762.8	762.4	760.5	758.9	756.4	755.3	754.5	754.3	755.8	759.1	761	763.2	758.7	-

(1) 氣候

東沙島屬亞熱帶海洋氣候，終年溫高，但冬季時仍受東北季風的影響，自九月後東北風(寒潮)即漸開始出現，至十二月及一月為全盛期。島上氣溫夏季平均為攝氏 28.5 度，冬季為攝氏 20 度，每年以夏季雨量最多，冬季少雨，每年七至八月為颱風侵襲期。

(2) 氣溫

東沙島位處亞熱帶，年均溫約 26.0℃，最冷月平均氣溫在 21.7℃(約在一月)，最熱月平均氣溫在 29.6℃左右(約在七月)，全年之溫差變化不大，平均氣溫介於 21.7~29.6℃。因其緯度較低，故月均溫亦較高。

(3) 平均降水量、降水日數

東沙島每年平均總降水日數為 109 日；平均降水量為 1346 公釐。本區雨量多集中在五~十月，平均以九月雨量最多(244.2 公釐)；三月雨量最少(17.5 公釐)，冬乾夏濕之表現明顯。各月平均降水量、降水日數(詳表 4.1)。

(4) 風速與風向

本區全年的風向以東北風的頻率最高，多集中在春、冬季，受季風的影響十分明顯；其次分別為西南風(夏季)、北北東風，主要受東北季風之影響。風速方面，東沙島年平均風速約 5 公尺/sec，最大風速介於 12~28.5 公尺/sec 間，以十月之最大風速最高，三月最低，如圖 4.5。

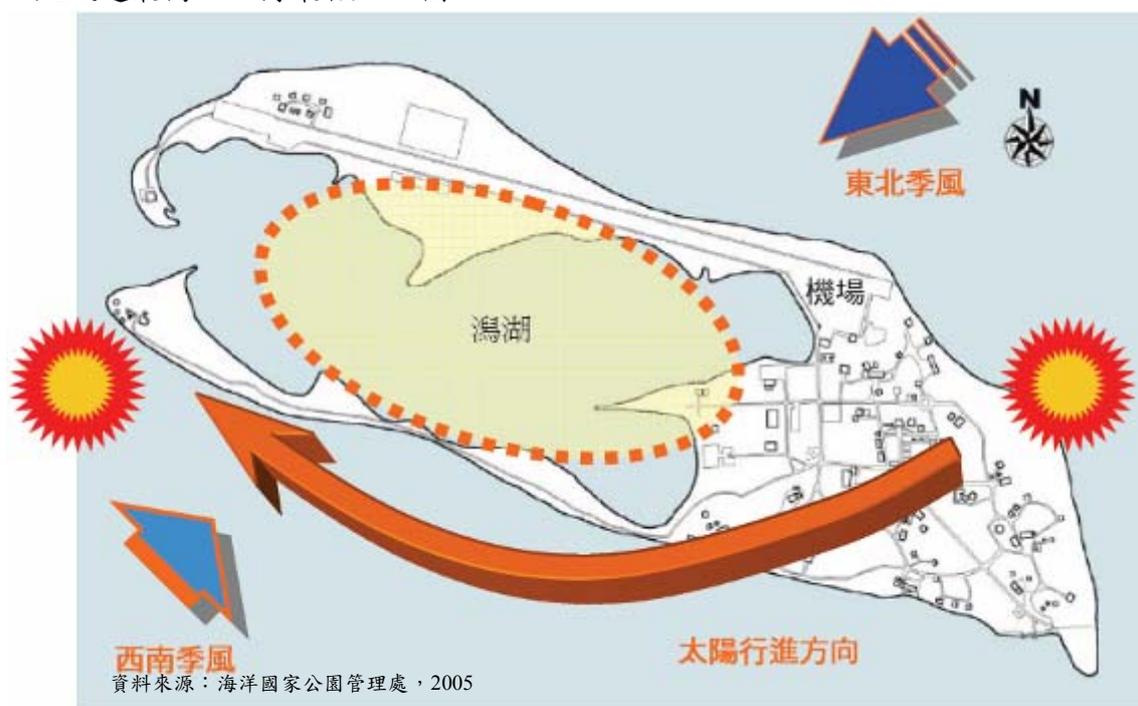


圖 4.5 自然環境氣候分析圖

(5) 相對濕度

東沙島歷年之平均相對濕度為 85%，各月之平均相對濕度變化不大，均介於 83~86% 間，全年幾乎均為相對濕度超過 80% 的標準海島型氣候，各月變化量不大。

(6) 雲量、霧日

東沙島之雲量介於 5.2~7.3 間，平均雲量為 6.1，以十二月雲量較高，四~七月雲量較少，各月差距不大。而根據海軍氣象局之調查結果，東沙島歷年均沒有觀測到濃霧發生，年平均霧日數為 0 日。

(7) 平均氣壓

依近五年統計數據而言，各月平均氣壓相差不大，介於 754.5~763.2 公尺 b。

4.人口現況

東沙島的土地使用，係以國防保安為主，目前由高雄市管理，並由海岸巡防署負責巡護。因此，目前仍屬管制區域未開放民眾自由赴島觀光，直至現今，除巡防駐警外，僅有往來之漁民及研究人員。目前東沙島上海巡署滿編約 220 人，外加海、空軍約 30 人；為配合官兵輪休，若依每次航班可乘載 50 人計算，平均約有 1/6 官兵返台休假，每日最大約有 200 名官兵留島執勤。

5.用水需求

(1).生活用水

東沙島常駐人員生活用水量的部分，若依照經濟部水利署用水計畫書審查技術規範，生活用水按住宿及非住宿2類進行估算，有住宿部分，每人以 250公升/日以下，無住宿的部分以30公升/日進行估算。但是，由於東沙島屬於外島，其用水型態與台灣本島不同，加上其屬於東沙環境國家公園，宜在生態保育與節約資源的原則，有效使用水資源。

(2).飲食用水

飲食用水供給的方式主要是採用由台灣定期所運補的瓶裝礦泉水。目前飲用水每人每日配給3瓶1.5公升的瓶裝礦泉水，合計4.5公升的飲用水。東沙島共有一中餐廳、二中餐廳及空軍餐廳三處餐廳。一中餐廳早餐供應約50人，午、晚餐則為60人，日耗瓶裝水約300瓶；二中餐廳早餐供應約40人，午、晚餐則為50人日耗瓶裝水約250瓶；空軍餐廳早餐供應約20人，午、晚餐則為25人日耗瓶裝水約108瓶。由表4.2東沙島餐飲用瓶裝水量統計表可知，餐廳食用水部分每日每人平均消耗瓶裝水約7.31公升/日/人(以午餐供應人數計算)，每日消耗瓶裝水為685瓶，合計約987公升。

表 4.2 東沙島食用瓶裝水量統計表

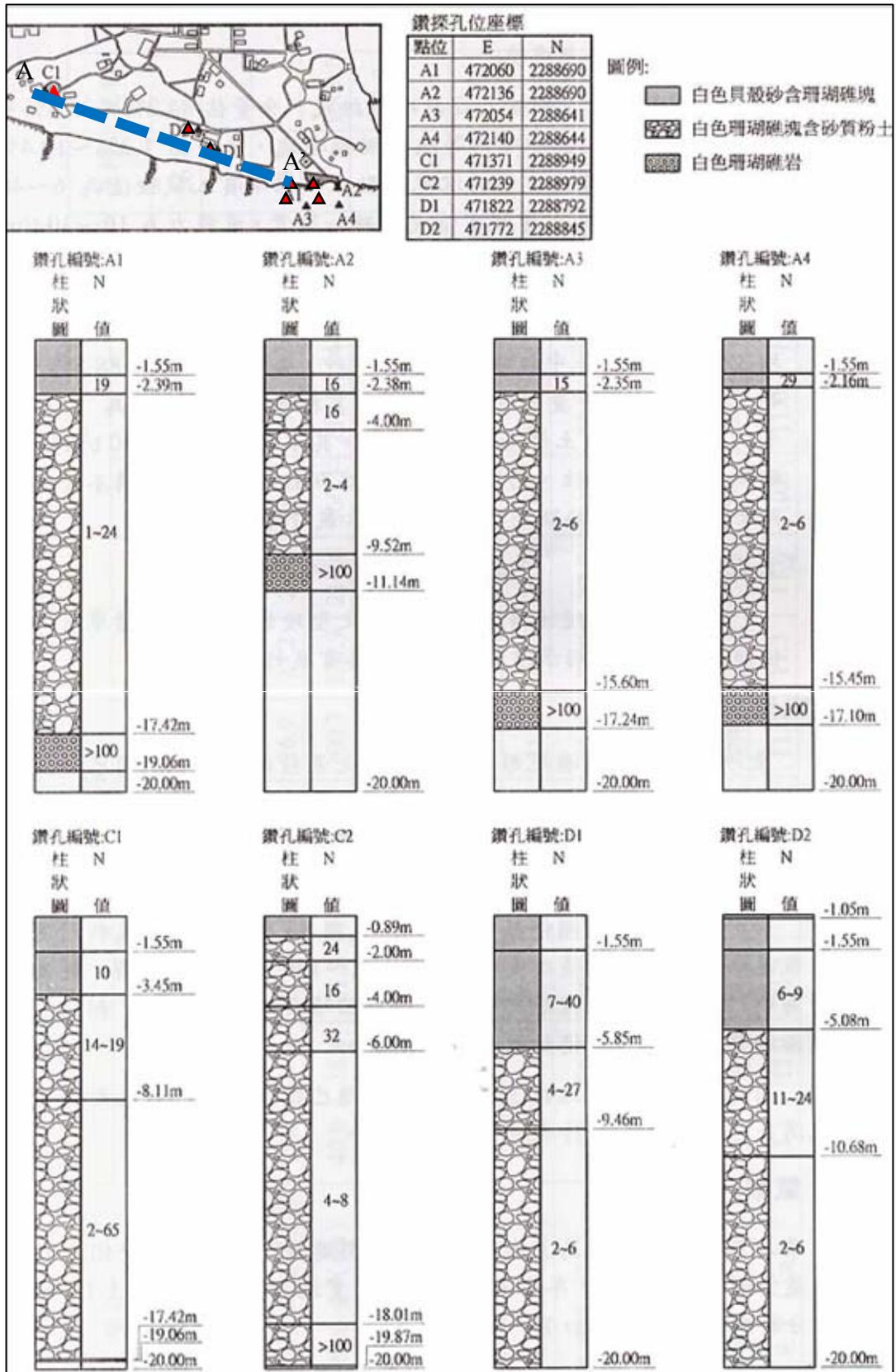
餐廳位置	一中餐廳	二中餐廳	三中餐廳
早餐供應人數(人)	50	40	20
午餐供應人數(人)	60	50	25
晚餐供應人數(人)	60	50	25
各餐廳每日消耗瓶裝水(瓶/日)	300	250	108
各餐廳每日消耗瓶裝水(公升/日)	450	375	162
各餐廳每日每人消耗瓶裝水(公升/人/日) (以午餐供應人數計算)	7.50	7.50	6.48
餐廳每日每人消耗瓶裝水(公升/人/日) (以午餐供應人數計算)	7.31		
每日消耗瓶裝水(瓶/日)	658		
每日消耗瓶裝水(公升/日)	987		

資料來源：東沙環礁國家公園計畫、東沙能源替代及水資源多元化可行性評估，2005

二、土壤環境與地質調查

東沙島為南海海域之群島中的環礁，環礁表層是由珊瑚礁所膠結而成，經過海浪侵蝕與風化作用，使得珊瑚礁破碎行程珊瑚細碎的沙灘；因此，東沙本島為其中較大的珊瑚礁岩島嶼，而周圍海岸由白色貝殼砂所組成。

根據內政部營建署(2006)的報告顯示，東沙島之地質主要由珊瑚礁所組成，全島為珊瑚及貝殼碎屑風化形成之白砂所覆蓋，幾乎無土壤成分，而本島內的地下地層主要可分為三層，包括：白色貝殼砂含珊瑚礁塊、白色珊瑚礁塊含貝殼砂或砂質粉土及白色珊瑚礁岩。由圖 4.6 可知，本島東南方地下鑽探資料顯示，珊瑚礁岩的基盤厚度不一，大致深度介於 1 至 18 公尺間，部分地區基盤深度可能大於 20 公尺以上。



資料來源：海洋國家公園管理處，2006

圖 4.6 地層柱狀圖

1. 土壤基本資料

東沙島的土層大致相同，主要分為三層，如圖 4.6 所示：

(1). 白色貝砂含珊瑚礁塊

南岸白砂主要由中粗砂等級之貝殼砂所組成，含量佔84.2%~95.4%，平均91.44%；其次為卵礫石等級之珊瑚礁塊，含量佔1.3%~10.4%，平均6.0%；其餘為少量的沉泥及黏土。標準貫入試驗值為6~40，平均15.5，表示該土層堅實情況屬硬至堅實，承载力為10~30t/平方公尺。

(2). 白色珊瑚礁塊含貝殼砂或砂質粉土

主要由卵礫石等級之珊瑚礁塊所組成，含量佔2%~91.2%，平均32.8%；其次為中粗砂等級之貝殼砂，含量佔6.7%~88.5%，平均48.6%；其餘為少量的沉泥及黏土。其標準貫入試驗值為1.5~65，平均9.8，表示該土層堅實情況屬硬，其承载力為10~20t/平方公尺。由於珊瑚礁塊屬多孔性、易脆材質，雖然顆粒粗大，但結構不堅硬，因此土層中高含量的珊瑚礁塊，其承载力降低。

(3). 白色珊瑚礁岩

為珊瑚礁塊經地層活動所形成之堅硬的礁岩，其標準貫入試驗值達100以上，顯示該地層硬實，具有良好的承载力。

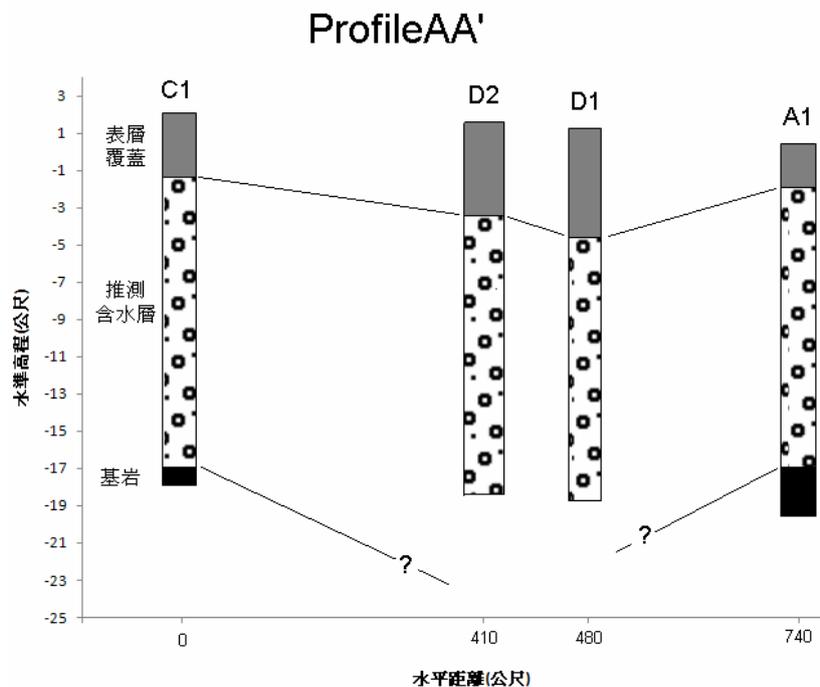


圖 4.6 地層柱狀圖 (續)

2 土壤篩分析

先將取回之土壤以大型篩網進行粗骨材篩分析，將挖掘之土壤置於篩組中，由上而下依序為 4、10、20、40、60、100、200 號篩，搖篩約 3 分鐘後，粒徑分佈曲線如圖 4.7。由土壤粒徑分佈曲線研判，土壤主要屬於均勻級配之特性，且通過 200 號篩 <5% 且無細粒土成分，屬於透水性良好骨材。

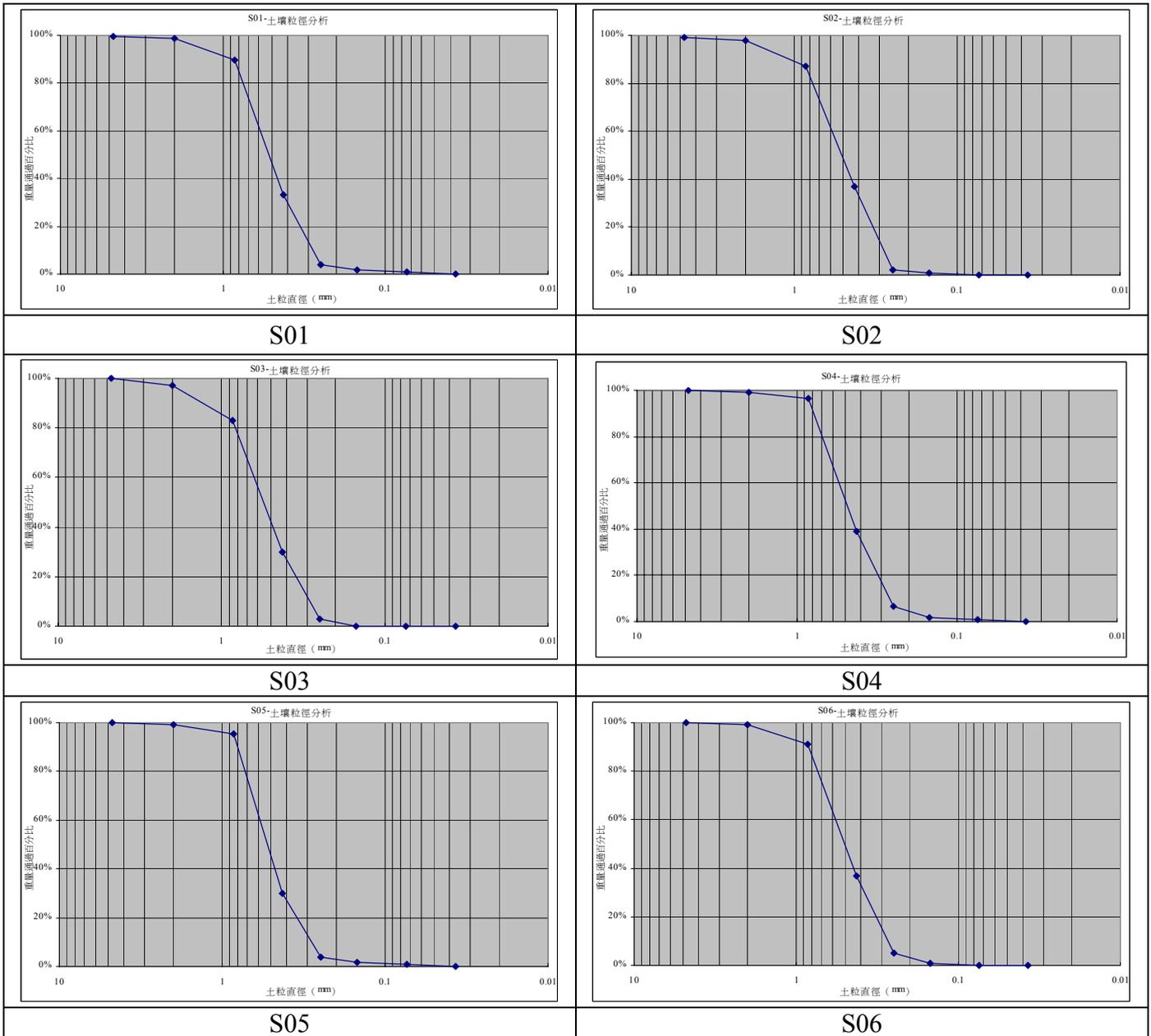


圖 4.7 篩分析圖

3. 現地土壤採樣

現地土壤採樣乃採用美國 J 公尺 C 公司之土壤取樣器 (Enviro-entalist's Sub-Soil Probe)，其取樣外管材質屬鋼管材質，分兩種長度：一為長管 (長約為 108 c 公尺)，另一個為短管 (長約為 89 c 公尺)；取樣器內套一取樣內管 (屬 PVC 塑膠管)，長管長約為 91 c 公尺，短管長約為 80 c 公尺，而取樣內管直徑約為 3.2 c 公尺。取樣方法乃先將取樣內管以色筆劃分數個刻度後，套入取樣外管內，將此取樣管以重鎚或電動鎚 (Bosch Electric Hammer) 打入土中 (圖 4.8)，再以單人取樣器或手拉鍊條吊車輪具 (Triple Spur Geared Chain Hoist)，將取樣管拉出 (圖 4.9)，視現地土壤差異情況分段採樣。



圖 4.8 電動鎚將取樣管打入土壤中之情形



圖 4.9 以吊車輪組將取樣管取出之情形

4. 現地水文參數分析規劃

本計畫所使用之滲透儀屬 SOIL 公尺 OISTURE EQUIP 公尺 ENT 公司之 2800KI Guelph Per 公尺 ea 公尺 eter (圖 4.10)，其主要依據為定水頭入滲試驗原理，可以簡單快速地求得現地水文參數之裝置。現地水文參數包括現地飽和水力傳導度(field saturated hydraulic conductivity)、基質流通勢能(公尺 atric flux potential)及吸收附度(soil sorptivity)。其所求得之現地飽和水力傳導度 (K_{fs}) 係由所使用之貯水管 (Reservoirs) 而定，分內貯水管 (Inner Reservoir Tube) 和外貯水管 (Outer Reservoir Tube) 兩種，一種為以兩貯水管 (both reservoirs) 計算方式，另一種為以內貯水管 (Inner Reservoir) 計算方式，如下所示：

1. 若使用兩貯水管時，其計算方式為

$$K_{fs} = 0.0041X \overline{R_2} - 0.0054X \overline{R_1} \quad (4-1)$$

2. 若使用內貯水管時，其計算方式為：

$$K_{fs} = 0.0041Y \overline{R_2} - 0.0054Y \overline{R_1} \quad (4-2)$$

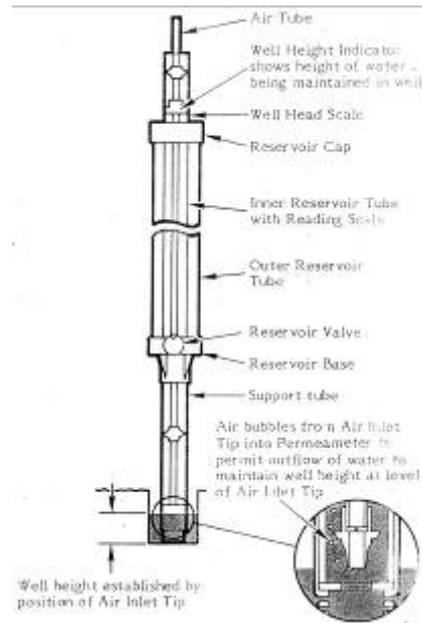


圖 4.10 計畫所使用之滲透儀裝置

5. 現地土壤採樣成果

工作團隊於本島地區以網格方式，在主要陸地上以均勻分散地選擇土壤採樣點位，總計淺層土壤（1 公尺）有 7 個點位，深層土壤（2.67 公尺）有 3 個點位（圖 4.11），其現場各採樣點位資料如表 4.1 所示，其所採取的土樣送回實驗室進行土壤物理及水文參數試驗分析。土壤採樣分析結果顯示，所採取得之淺層土壤皆為表層 1 公尺深度土樣，以腐植土及白色貝殼細砂為主，腐植土平均約為 60 公分厚，下層則為白色貝殼細砂（圖 4.12）；深層土壤則主要分為三層，第一層為腐植土，第二層為由白色貝殼細砂及中砂所組成，下層則為由白色貝殼中砂及粗砂所組成，且夾珊瑚礁礫石；而在 S10（機場東側小水池旁）表層不到 1 公尺有鑽到紅色磚頭，可能當時興建機場跑道時所回填之棄土堆（圖 4.13）。

現地深層土壤採樣則在兩處鑽得地下水，一為 S08（水電中心前方草地），在 2.67 公尺到達地下水位深度，另一處則在 S10（機場東側小水池旁），在 71 公分即達到地下水位深度，而 S09（近忠誠路口旁）則可能因為地勢較高，地下水位較深，在 3 米內未達地下水位深度如表 4.3 所示。



圖 4.11 現地土壤採樣點之分佈圖

表 4.3 現地土壤採樣基本資料表

編號	位置	WGS84經緯度		採樣時間		高度(m)	深度(cm)	取土長度 (cm)	地下水位 (m)
		E經度(度)_X	N緯度(度)_Y	日期	時間				
S01	漁服站前	116.72102	20.70048	980705	17:10	11±4	81	53	-
S02	機場東側小水池旁	116.72044	20.70655	980706	8:40	2±3	81	61	-
S03	衛星站北方道路旁	116.71706	20.70394	980706	9:10	7±3	81	62	-
S04	近醫院後方小路	116.72265	20.70331	980706	9:50	9±3	81	65	-
S05	果園	116.71982	20.70258	980706	10:10	9±3	81	62	-
S06	國碑（忠義碼頭）	116.72356	20.69971	980706	11:30	8±3	81	61	-
S07	二中餐廳球場	116.71737	20.70088	980706	10:40	8±3	81	63	-
S08	水電中心前方草地	-	-	981106	09:00	2	2.67	211	2.67
S09	國碑（忠誠路口旁）	-	-	981107	09:30	6	2.67	229	-
S10	機場東側小水池旁	-	-	981108	09:00	0.5	2.67	231	0.71



圖 4.12 各採樣點之土壤 1 公尺樣品



圖 4.13 土壤採樣點 S10 之磚頭碎塊

6 室內透水試驗分析

本計畫利用各採樣點之土壤探討其透水特性，滲透係數 K 慣用單位，其滲透係數通常表示為 ft/公尺 in 或 ft/day，流量為 ft³。公制單位中，滲透係數表示為 c 公尺/s，流量為 c 公尺 s，土壤之滲透係數與許多因素有關，如流體黏滯性 (Fluid Viscosity)、空隙大小、顆粒大小、顆粒粗糙度 (Roughness)。對於不同的土壤，K 值的變化範圍很大。表 4.4 為各種滲透係數參考值。

表 4.4 滲透係數參考表

土壤種類	滲透係數 K(公分/秒)	滲透性	滲透係數測定法		
礫石	10	高	工 地 抽 水 試 驗	變 水 頭 試 驗	定 水 頭 試 驗
粗砂	1				
中砂	1×10^{-1}	中			
細砂礫石	1×10^{-2}				
細砂	1×10^{-3}				
泥質砂土	1×10^{-4}	低			
沉泥	1×10^{-5}				
泥質粘土	1×10^{-6}				
均質粘土	1×10^{-7}	甚低			應用壓密 試驗之計 算公式
	1×10^{-8}				
	1×10^{-9}				

測滲透係數時，其須採用兩種方式分別為 (1) 定水頭試驗 (Constant Head Test) 和 (2) 變水頭試驗 (Falling Head Test)，決定土壤滲透性係數。由取樣土壤判別屬於高透水性，定水頭試驗適於滲透性高之細粒土壤，定水頭試驗適合有高滲透性之粗粒土壤，適用於 $K=10^{-2} \sim 10^{-4}$ c 公尺/s 之間。

1. 定水頭試驗

典型的定水頭試驗裝置如圖 4.14。進水口的水供應裝置使得試驗期間進水口和出水口間之水頭差保持一定。在一定的流速之下，水在一定的時間內被收集在量筒中。被收集水之總體積 Q 可表為：

$$Q = Avt = A(Ki)t \dots \dots \dots (4.1)$$

其中 A =土樣之斷面積， t =試驗時間由 $i=\Delta h/L$

其中 L =試樣長度。將 $i=\Delta h/L$ 代入式 3.1 中，可化為：

$$K = \frac{LQ}{HA t} \dots\dots\dots(4.2)$$



(a) 定水頭



(b) 變水頭

圖 4.14 定、變水頭滲透試驗儀圖

採用定水頭試驗裝置如圖 4.10。水由直立之管中流經土壤，試驗記錄時間 $t=0$ 之初始水頭差 h_1 後，讓水流經土樣在時間 t 之最終水量為 Q 。定水頭試驗結果 7 組滲透係數為 $1.25 \times 10^{-1} \sim 3.16 \times 10^{-2}$ 公分/秒 之間(分佈位置請參閱圖 4.15)，其滲透特性介於中砂與細砂礫石之間屬於中高透水性土壤。

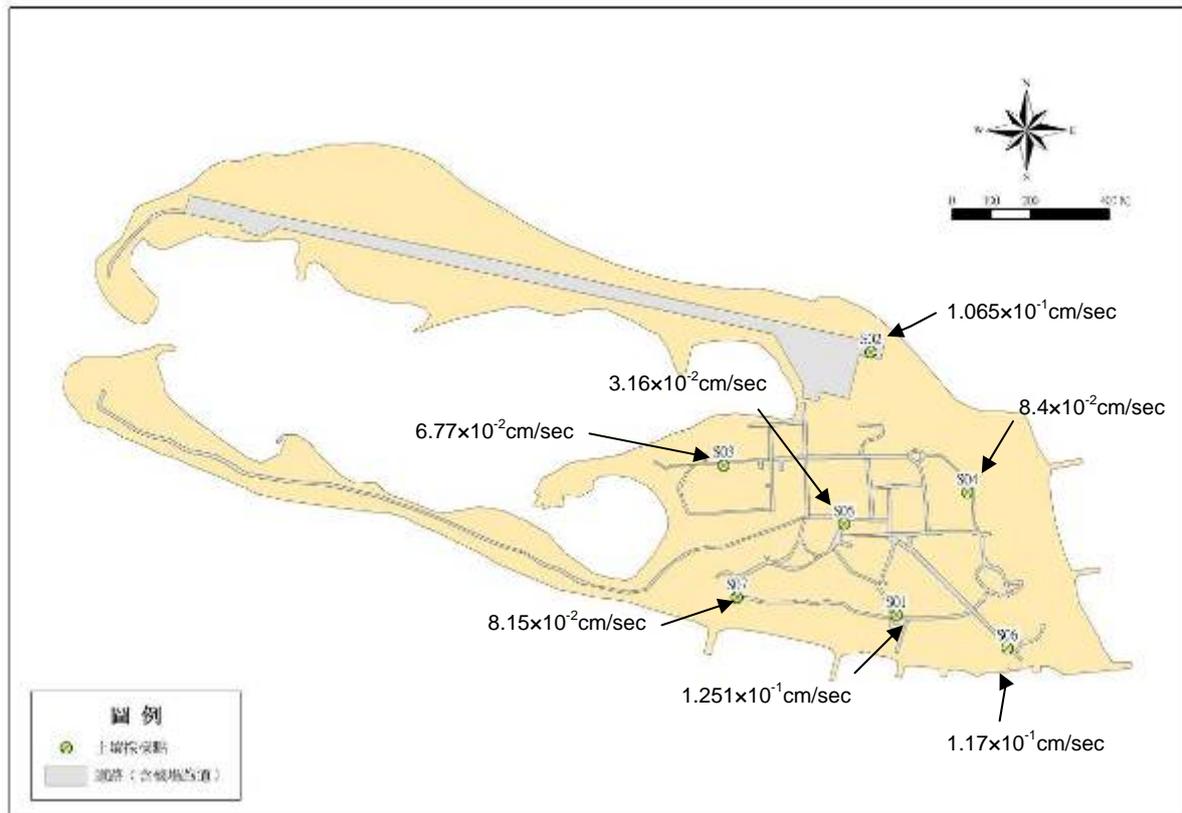


圖 4.15 現地土壤採樣點及室內滲透係數圖

7 現地透水試驗分析

由現地滲漏儀試驗所求得之現地飽和水力傳導度 (K_{fs}) 及基質流通勢能 ($\theta_{公尺}$) 試驗分析結果如表 4.5 所示，以國碑 (忠義碼頭) 附近之水力傳導度為最大，約為 $5.26 \times 10^{-2} \text{ c 公尺/s}$ ，水電中心前方空地之水力傳導度為最小，約為 $2.9 \times 10^{-3} \text{ c 公尺/s}$ ，由於該處現地試驗所求得之水力傳導度值為負值，顯示該處現地土壤為異質性土壤，土壤可能受到動植物擾動所造成，各試驗地點之現場滲漏儀記錄狀況請見圖 4.16 及附錄二所示。

表 4.5 現地滲漏儀試驗分析結果表

試驗地點	高程 (公尺)	地下水位 (公尺)	試驗結果	
			水力傳導度 (K_{fs} , c 公尺/s)	基質流通勢能 (θ 公尺, c 平方公尺/s)
水電中心	2	2.67	-2.9×10^{-3}	1.43×10^{-1}
國碑(忠義碼頭)	6	未知	5.26×10^{-2}	2.53×10^{-2}
機場跑道東側 小水池旁	0.5	0.71	7×10^{-3}	1.62×10^{-1}



圖 4.16 現地滲透儀試驗之現況

三、含水層特性

東沙島為一小島且為海水所環繞，其島嶼的地下水資源特性如圖 4.17 所示，地下水在島下呈現一透鏡體狀，此透鏡體大小隨著島上地下水儲存量多寡而改變，受到島上抽水井的抽取量影響更劇，只要地下水（淡水）儲存量減少，海水同時會向島內移動，形成海水入侵現象，使得島上抽水井抽取的水為鹽化的海水；在島上地下水與海水之間則存在有一密度不同之交界面，稱為「蓋本-赫茲伯格鏡面」（Ghyben-Herzberg len），如圖 4.18 所示。

最早期，荷蘭 Ghyben（1888）提出海淡水不相混溶的明顯交界面模型，假定含水層的淡水和海水不相混溶，則淡水和海水間存在一個明顯交界面；德國 Herzberg（1901）也同意 Ghyben 的看法。按照 Ghyben-Herzberg（蓋本-赫茲伯格）理論，在靜態水力平衡條件下，淡、海水界面深度之關係如下（Herzberg，1901；王如意及易任，1999）：

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (4-3)$$

假設 ρ_s 為海水面平均密度 1.025 克/立方公分， ρ_f 為淡水平均密度 1 克/立方公分，則

$$Z = 40h_f \quad (4-4)$$

其中， Z 為海水面至淡、海水交界面深度； h_f 為地下水水位至海水面之高度，及淡水水頭海拔高度； ρ_f 為淡水密度； ρ_s 為海水密度。

如圖 4.17 為近海沿岸之非拘限含水層之剖面，其發生之位置則視該處地下水水位高出海水面之程度而定，而海水與淡水之間存在有一密度不同之交界面，後來對於近海沿岸含水層海水與淡水之接觸交界面為「蓋本-赫茲伯格鏡面」（Ghyben-Herzberg len）。假定海水密度（ ρ_s ）為 1.025 克/立方公分，淡水密度（ ρ_f ）為 1 克/立方公分，則海水與淡水之接觸，乃位於海面下相當於 40 倍處地下水水位高出海水面之差距，如方程式（4-4）所示，即如果地下水位面高出海水面 1 公尺，海水與淡水之交界面則存在海水面下 40 公尺處，且當近海沿岸地區含水層之地下

水抽取量超過安全出水量時，則地下水水位面每下降 1 公尺，鹽水將上升 40 公尺；不過，因為此概念乃假定海水入侵部分為一楔形，且海水與淡水之交界面為一直線，所以，此假定與實際情形有很大的出入。

由蓋本-赫茲伯格概念可知，要避免海水入侵，含水層之水力條件必須具備：(1) 地下水水面需在海水面以上；(2) 地下水水面之坡度須向海傾斜（王如意及易任，1999）。而此概念之主要缺點為：(1) 淡水沒有入海的過水斷面；(2) 假定地下水水面為靜止的，此與實際情形不符（經濟部水資源局，1998）。

Hubbert (1940) 則引入流量勢能的觀念，結合蓋本-赫茲伯格的靜力平衡方程式，推導出交界面高程與兩種流體勢能之關係，使得蓋本-赫茲伯格方程式更為符合實際。其方程式如下：

$$Z = \frac{I_s}{I_s - I_f} h_s - \frac{I_f}{I_s - I_f} h_f \quad (4-5)$$

其中， K_f 及 K_s 分別為淡水及海水在該含水層中之滲透係數； $v_{f,s}$ 及 $v_{s,s}$ 分別為淡水及海水在接觸面上之比流量。

- (1) 當 $v_{f,s}=0$ 及 $v_{s,s}=0$ ，則 $\sin\alpha=0$ ，即淡水與海水成一水平交界線。
- (2) 當 $v_{s,s}=0$ ， $v_{f,s}\neq 0$ ，則 $\sin\alpha>0$ ， α 隨著 $v_{f,s}$ 而增加，此時雖然海水入侵停頓，含水層中之淡水仍繼續流入海中。

一般常見的海水入侵模式主要以 SUTRA 及 FEWATER 等模式進行模擬研究。美國地質地質調查所 (USGS) 於 1984 年發展出一套 SUTRA 模式 (Voss, 1984)，它是一種二維剖面的擴散數值模式，並考慮流體密度、水頭及不同流體濃度間之相互關係等參數，且可以計算飽和及未飽和層間的水流與溶質傳輸或熱量之傳輸過程。而 FEWATER 模式係由美國賓州大學 (Pennsylvania State University) 葉高次教授所發展之數值模式，以有限元素法模擬地下水問題，經常被應於模擬飽和或不飽和土層中之地下水流傳輸、不定邊界條件、污染物傳輸及海水入侵等問題 (Yeh and Cheng, 1993)。

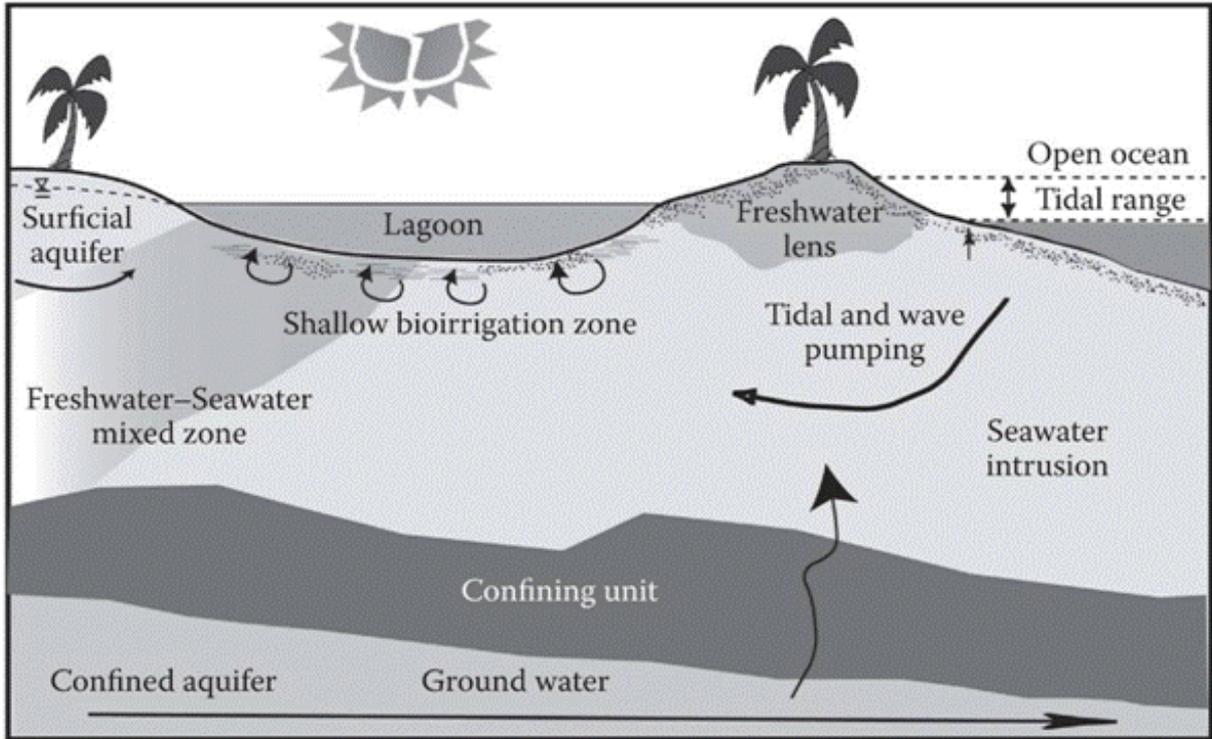


圖 4.17 島嶼地區地下水特性之示意圖 (Zektser and Dzha 公尺 alov, 2006)

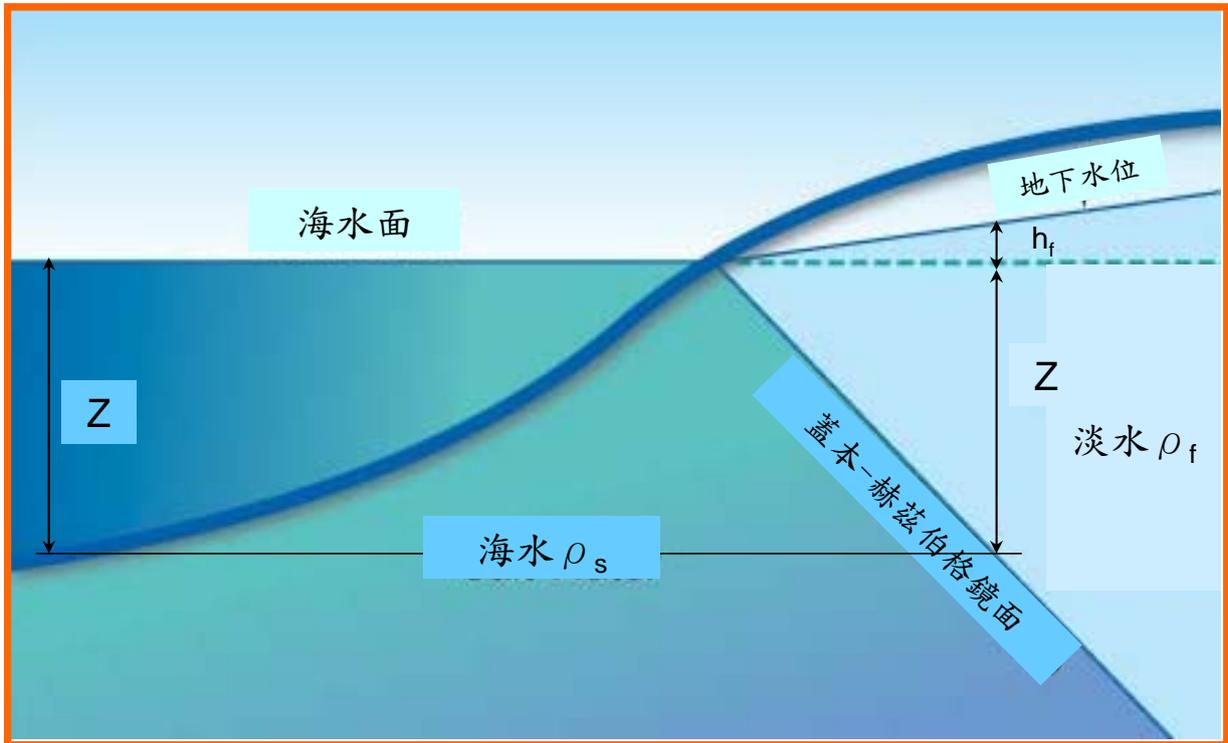


圖 4.18 地下水 (淡水) 與海水關係之示意圖

四、用水檢測分析

1. 歷次採樣結果

(1). 雨水

雨水收集方面，島上除中央集水區外，在2據點處另有地面集水坪，2005年針對其中一座1萬加侖儲水槽內之雨水進行採樣分析，其水質分析數據如表4.6所示。

表 4.6 雨水貯存槽內水質分析

水質項目	分析數值
化學需氧量 (公尺g/L)	4.97
懸浮固體物 (公尺g/L)	6
pH	8.22
溶氧量 (公尺g/L)	6.7
電導度 (u公尺bo/c公尺/25°C)	8
鹽度 (ppt)	0.2

(2). 放流水

2006年針對幾個重要的污水產生及處理設施進行實地採樣，所得之數據，可作為本計畫比較分析，如表4.7。島內瀉湖採樣點及水質分析結果圖4.19及表4.8，可發現每一個瀉湖採樣地點的DO 皆達到飽和濃度，而pH值約在8左右，鹽度 (SAL) 也在35ppt 左右，幾乎可說是標準的海水性質，尚無大量藻類繁殖的現象。

表 4.7 東沙島污水水質檢測結果

水質項目	水樣類別	
	化糞池處理後出流水	餐廳原污水
化學需氧量 (公尺g/L)	894.3	2158.5
懸浮固體物 (公尺g/L)	98	342
pH	7.24	5.01
電導度 (公尺s)	6.58公尺s	2.11公尺s
鹽度 (ppt)	3.7	1.2
總磷 (公尺g/L)	17.19	15.94
總氮 (公尺g/L)	228.15	48.40

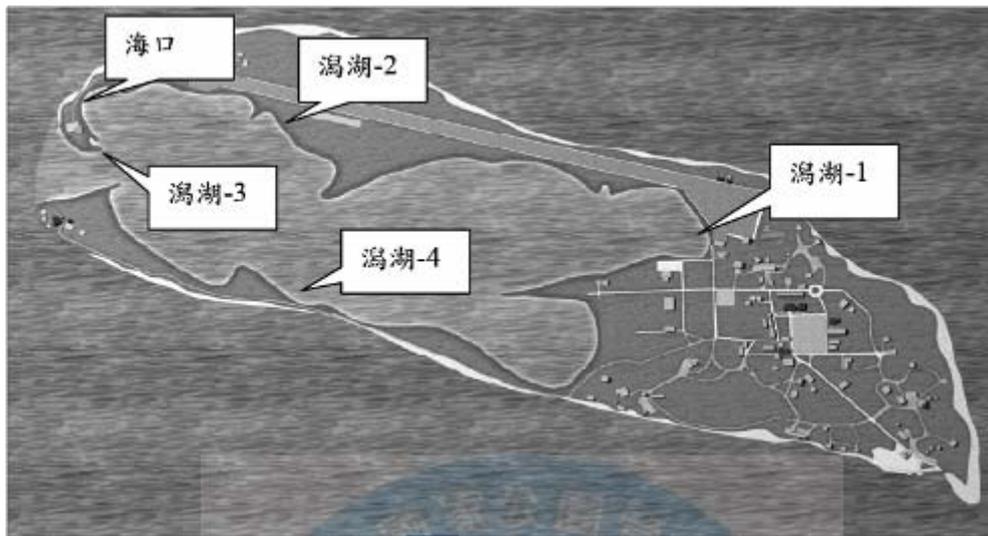


圖 4.19 瀉湖水質採樣點

表 4.8 瀉湖水質檢測結果

採樣地點 監測項目	瀉湖-1	瀉湖-2	瀉湖-3	瀉湖-4	海口
溶氧(公尺g/L)	12.9	13.3	13.9	14.05	13.2
酸鹼度	8.52	8.29	8.35	8.78	8.4
鹽度(ppt)	39.3	38	35.7	38.9	34.9

2.採樣點位

用水來源大致區為為四大區域作為水質分析來源，以雨季與乾季各採樣一次，目前已完成一次採樣，總共16個位置(現場分析8組，試驗室分析7組)，內容說明如下：

(1). 雨水儲存槽

如圖4.16 (深藍色點位)，選定10萬加侖水庫為採樣點。

(2). 地下水

島內抽水較密集處，詳細位置如圖4.2-10所示，選取5處為地下水水質檢測點位 (黃色點位)，其中包含一口海水淡化廠抽水井。

(3). 海水與瀉湖

海水與瀉湖主要瞭解內外基本水質變化，另外W01為空軍餐廳洗滌污水放流處，及海水淡化廠滲水排放口共10處，如圖4.2-20所示為相關地理位置。

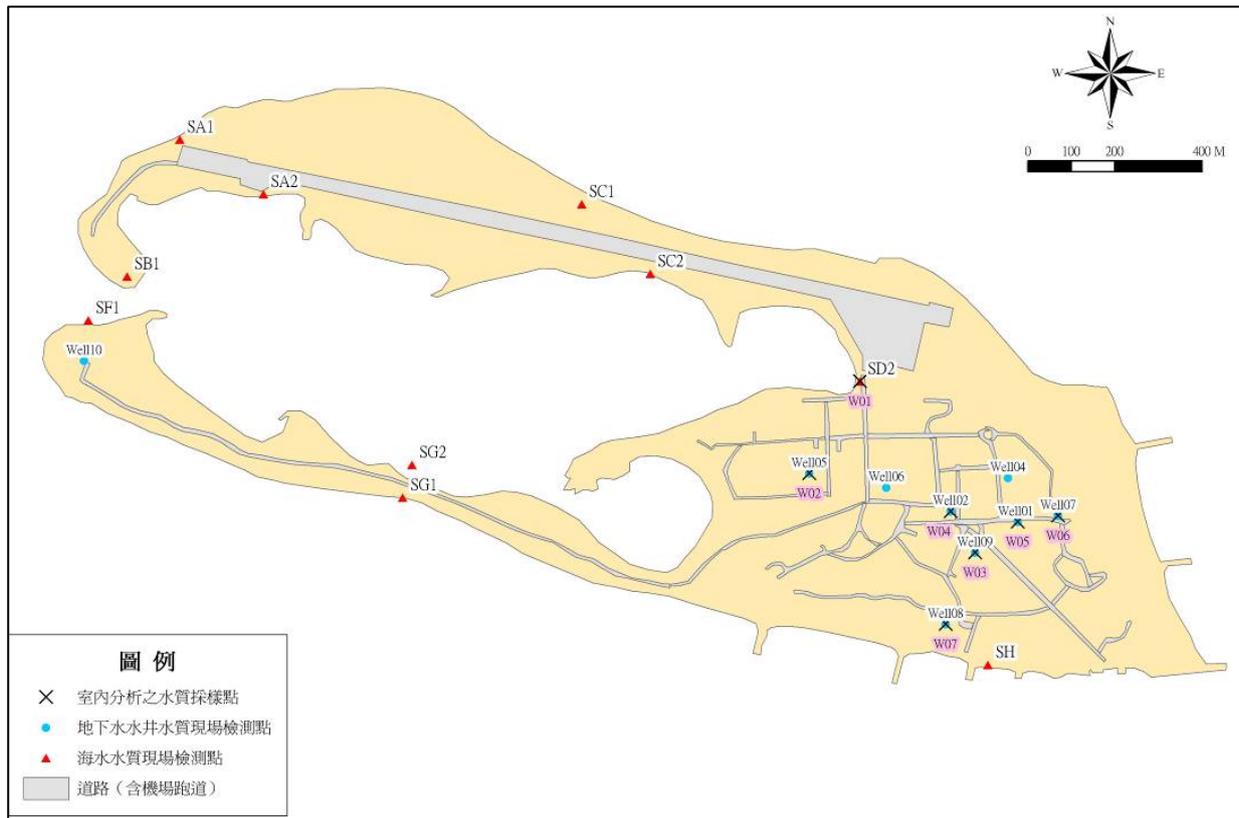


圖 4.20 水質採樣點

3.水質監測

水質檢驗項目包括：水溫(T)、濁度(TB)、導電度(EC)、氫離子濃度指標(pH)、溶氧量(DO)、懸浮固體(SS)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)、硝酸鹽(NO₃⁻)、大腸桿菌、總磷(T-P)、葉綠素。

各水質項目檢驗方法係依照環保署公告之方法進行分析(環保署環檢所網站,「水質檢測方法彙編」,民國 96 年 06 月),各水質監測項目之採樣與分析方法如下：

(1)地表水體水質標準

故以地表水體分類及水質標準之甲類水體作為評估標準。目前公告之地面水體分類及水質標準如表 4.9 所示。

(2)飲用水源水質標準

島內水體未來亦可能作為飲用水之水源,故水體水質以飲用水水源水質標準作為評估標準。目前公告之飲用水水源水質標準如表 4.10 所示。

(3)地下水體水質標準

採取水井水樣，故其水體水質採用第一類地下水污染監測基準（飲用水水源水質保護區）作為評估標準表 4.11。

表 4.9 各水質監測項目之採樣與分析方法

檢驗項目	單位	分析方法 (公告日期)	樣品量	容器	保存方法	保存時間
pH 值	----	NIEA W424.51A (93.04.07)	300 公尺 L	PE/G	無特殊規定	立即分析
溫度	°C	NIEA W217.51A (88.07.06)	1000 公尺 L	PE/G	無特殊規定	立即分析
導電度	μ 公尺 ho/ cm	NIEA W203.51B (89.11.23)	500 公尺 L	PE	RD	48H
濁度	NTU	NIEA W219.52C (94.05.06)	100 公尺 L	PE/G	RD	48H
懸浮固體	公尺 g/L	NIEA W210.57A (95.06.02)	500 公尺 L	PE/G	RD	7D
生化需氧量	公尺 g/L	NIEA W510.54B (89.11.15)	1000 公尺 L	PE/G	RD	48H
溶氧	公尺 g/L	NIEA W421.56C (88.04.28)	300 公尺 L	BOD 瓶	SE	8H
氨氮	公尺 g/L	NIEA W448.51B (94.05.12)	500 公尺 L	PE/G	SA-RD	7D
總磷	公尺 g/L	NIEA W427.52B (92.08.25)	100 公尺 L	G	SA-RD	7D
化學需氧量 (一般)	公尺 g/L	NIEA W515.54A (87.02.27)	100 公尺 L	PE/G	SA-RD	7D
硝酸鹽	公尺 g/L	NIEA W415.52B (94.05.10)	100 公尺 L	PE/G	RD	48H
大腸桿菌						
葉綠素						

註：代號說明

容器：PE（塑膠瓶）；G（玻璃瓶）；GW（廣口玻璃瓶）；STRZ：（滅菌袋或瓶）

保存方法：R：4°C 冷藏。F：過濾。D：暗處保存。SA：加濃硫酸使水樣之 pH<2。NA：加硝酸使 pH<2。SE：加 0.7 公尺 l 濃硫酸及 1 公尺 l 疊氮化鈉，保存 10°C~20°C。

表 4.10 地面水體(陸域)分類及水質標準

(87.6.24 環署水字第 0039159 號令修正發布)

項目 限值	水體分類 水質	甲類	乙類	丙類	丁類	戊類
保相 護關 生環 活境 環基 境準	pH 值	6.5~8.5	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0	6.0~9.0
	溶氧值	≥6.5	≥5.5	≥4.5	≥3.0	≥2.0
	大腸桿菌群	≤50	≤5000	≤10000	--	--
	生化需氧量	1.0	2.0	4.0	--	--
	懸浮固體物	25	25	≤40	≤100	≤100
	總磷	0.02	0.05	--	--	--
保 護 人 體 健 康 之 相 關 環 境 基 準	鎘	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	鉛	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	六價鉻	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	砷	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	汞	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	硒	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	銅	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	鋅	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	錳	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	銀	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	有機磷劑及氨基甲 酸鹽之總量	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	安特靈	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	靈丹	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	毒殺芬	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	安殺番	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	飛佈達及其衍生物	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
	滴滴涕及其衍生物	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
阿特靈、地特靈	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
五氯酚及其鹽類	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
除草劑	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

備註：(1) 各水質項目之單位：pH 值無單位，大腸桿菌群 CFU/100 公尺 l，其餘均為公尺 g/L。

(2) 有機磷劑係指巴拉松、大利松、達馬松、亞素靈、一品松、陶斯松；氨基甲酸鹽係指滅必蟲、加保扶、納乃得。

(3) 除草劑係指；丁基拉草、巴拉刈、2、4-地。

表 4.11 飲用水水源水質標準

項 目	最大限值	單 位
1.大腸桿菌群密度	二〇、〇〇〇 (具備消毒單元者) 五〇 (未具備消毒單元者)	MPN/一〇〇毫升或 CFU/一〇〇毫升
2.氨氮 (以 NH ₃ -N 表示)	一	毫克/公升
3.化學需氧量 (以 COD 表示)	二五	毫克/公升
4.總有機碳 (以 TOC 表示)	四	毫克/公升
5.砷 (以 As 表示)	〇・〇五	毫克/公升
6.鉛 (以 Pb 表示)	〇・〇五	毫克/公升
7.鎘 (以 Cd 表示)	〇・〇一	毫克/公升
8.鉻 (以 Cr 表示)	〇・〇五	毫克/公升
9.汞 (以 Hg 表示)	〇・〇〇二	毫克/公升
10.硒 (以 Se 表示)	〇・〇五	毫克/公升

註：地面水體或地下水體作為自來水及簡易自來水之飲用水水源者，其水質應符合上列規定

項 目	最大限值	單 位
1.大腸桿菌群密度	六 (作為盛裝水水源及公私場所供公眾飲用之連續供水固定設備水源者) 五〇 (作為社區自設公共給水、包裝水之水源者)	MPN/一〇〇毫升或 CFU/一〇〇毫升
2.濁度	四	NTU單位
3.色度	十五	鉑鈷單位
4.臭度	三	初嗅數
5.鉛 (以 Pb 表示)	〇・〇五	毫克/公升
6.鉻 (以 Cr 表示)	〇・〇五	毫克/公升
7.鎘 (以 Cd 表示)	〇・〇〇五	毫克/公升
8.鋇 (以 Ba 表示)	二・〇	毫克/公升
9.銻 (以 Sb 表示)	〇・〇一	毫克/公升
10.鎳 (以 Ni 表示)	〇・一	毫克/公升
11.銀 (以 Ag 表示)	〇・〇五	毫克/公升
12.鐵 (以 Fe 表示)	〇・三	毫克/公升
13.錳 (以公尺 n 表示)	〇・〇五	毫克/公升
14.銅 (以 Cu 表示)	一・〇	毫克/公升

15. 鋅 (以 Zn 表示)	五·〇	毫克/公升
16. 硒 (以 Se 表示)	〇·〇一	毫克/公升
17. 砷 (以 As 表示)	〇·〇五	毫克/公升
18. 汞 (以 Hg 表示)	〇·〇〇二	毫克/公升
19. 氰鹽 (以 CN ⁻ 表示)	〇·〇五	毫克/公升
20. 氟鹽 (以 F ⁻ 表示)	〇·八	毫克/公升
21. 硝酸鹽氮 (以 NO ₃ ⁻ -N 表示)	一〇·〇	毫克/公升
22. 亞硝酸鹽氮 (以 NO ₂ ⁻ -N 表示)	〇·一	毫克/公升
23. 氨氮 (以 NH ₃ -N 表示)	〇·一	毫克/公升
24. 氯鹽 (以 Cl ⁻ 表示)	二五〇	毫克/公升
25. 硫酸鹽 (以 SO ₄ ²⁻ 表示)	二五〇	毫克/公升
26. 酚類 (以酚表示)	〇·〇〇一	毫克/公升
27. 總溶解固體量	五〇〇	毫克/公升
28. 陰離子界面活性劑(以公尺 BAS 表示)	〇·五	毫克/公升
29. 總三鹵甲烷	〇·一	毫克/公升
30. 三氯乙烯	〇·〇〇五	毫克/公升
31. 四氯化碳	〇·〇〇五	毫克/公升
32. 1,1,1-三氯乙烷	〇·二	毫克/公升
33. 1,2-二氯乙烷	〇·〇〇五	毫克/公升
34. 氯乙烯	〇·〇〇二	毫克/公升
35. 苯	〇·〇〇五	毫克/公升
36. 對-二氯苯	〇·〇七五	毫克/公升
37. 1,1-二氯乙烯	〇·〇〇七	毫克/公升
38. 安殺番	〇·〇〇三	毫克/公升
39. 靈丹	〇·〇〇四	毫克/公升
40. 丁基拉草	〇·〇二	毫克/公升
41. 2,4-地	〇·一	毫克/公升
42. 巴拉刈	〇·〇一	毫克/公升
43. 納乃得	〇·〇一	毫克/公升
44. 加保扶	〇·〇二	毫克/公升
45. 滅必蝨	〇·〇二	毫克/公升
46. 達馬松	〇·〇二	毫克/公升
47. 大利松	〇·〇二	毫克/公升
48. 巴拉松	〇·〇二	毫克/公升
49. 一品松	〇·〇〇五	毫克/公升
50. 亞素靈	〇·〇一	毫克/公升

註：地面水體或地下水體作為社區自設公共給水、包裝水、盛裝水及公私場所供公眾飲用之連續供水固定設備之飲用水水源者，其單一水樣水質應符合上列規定。

4.水質指標意義

(1).水溫 (Temperature, T)

雖然從現場測得的水溫無法得知河水的污染狀況，然而水溫與水的密度、黏滯力、蒸汽壓力、表面張力及水中固體或氣體的活動速度，如腐蝕、溶解度、生化需氧量及微生物繁殖、死亡等情形，均有密切的關係。事實上，水溫因受到許多物理、化學、生物性質的影響，故無法直接做為污染狀況的判定標準。

(2).pH 值

天然水體為一複雜溶液，pH 值(氫離子濃度指標)的變化並非取決於水分子的解離，而主要受碳酸鹽系統間(CO_2 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-})之平衡關係所影響，通常此關係僅受制於狀態函數(State function)，如溫度、壓力...等及二氧化碳在大氣中之分壓，水體中的 pH 值除了受水質污染等外來因素影響外，尚與水中生物活動情形有關，當生物體進行呼吸作用時，釋出二氧化碳，造成水體 pH 值下降，當進行光合作用時，吸入二氧化碳，造成水體 pH 值上升，因此，採樣時間及天候變化對 pH 值都有影響。

(3).溶氧(Dissolved oxygen, DO)

河水中生物系統的活動除對 pH 值有影響外，亦使水中溶氧呈現高低起伏的變化，此乃源於日間藻類進行光合作用，釋放出大量的氧氣而提高水中之溶氧，有時甚至使溶氧達到超飽和狀態；反之，若在夜間絕大部分的生物體進行呼吸作用，此時，會消耗水中的溶氧並使之降低。當水體中存有污染物時，承受水體因本身的自淨作用可將污染物予以分解淨化，通常此一過程將消耗水中之溶氧，因此，經由監測水中溶氧之變化亦可瞭解河川遭受污染之程度。

(4).濁度(Turbidity, TB)

濁度表示水對光的反射及吸收性質，當光線無法穿過水體時，水質可能是骯髒不潔的，這種水稱為濁度水。濁度來源有黏土、砂土、淤泥、無機及有機微粒、浮游生物、細菌等，濁度影響外觀、光的透過，進而影響水生植物的

光合作用，魚類的生長與繁殖也將受到影響，並且會干擾消毒效率。

濁度的測定，目前大都採用光電濁度計，應用散射原理予以測定，測出來的濁度單位為 NTU，稱為散射濁度單位(nephelometric turbidity units)。

1 公尺 g SiO₂/L = 1 濁度單位。

(5).導電度(Electrical Conductivity, EC)

表示水的導電性質，通常水中導電度大者表示電解質含量較多。因為大部分鹽類都可電離，所以導電度可表示總溶解固體的多少，一般水的總溶解固體與導電度之比約為 0.6 ~ 0.7。導電度太高，對灌溉水質會有不良影響，為重要水質指標之一。導電度的表示法以微姆歐/公分(μ 公尺 ho/c 公尺)或毫姆歐/公分(公釐 ho/c 公尺)表示。

(6).懸浮固體物(Suspended Solids, SS)

指懸浮於水中的物質，由大小、比重、形狀及沈澱程度不同可分為浮上質、沈澱質、膠質和浮膜四類，其不僅有礙觀瞻、阻礙水體曝氣作用之進行，亦易沈澱阻塞管道影響輸水能力，且增加水體之濁度，損傷魚鰓使魚類致死，阻礙日照影響水生綠色植物之光合作用，沈積的有機性污泥亦因厭氧反應而腐敗分解，消耗水中溶氧，甚至產生甲烷、硫化氫等惡臭氣體，影響水生物之生存。在污水處理應用上，懸浮固體物直接與淤泥的產量有關。

(7).五日生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)

生化需氧量是指水中有機物在好氧性微生物作用下，進行好氧分解過程中所消耗水中溶氧的量，也可說是水中好氧性微生物的增長繁殖或呼吸作用所消耗的溶氧量。生化需氧量為一量化指標可用來表示水體受到污染的程度。一般 BOD 係以 20°C，5 日為管制基準，並以 BOD₅ 表示五日生化需氧量。未遭受污染之自然水體的 BOD₅ 大都介於 1~2 公尺 g/L，若超過 3 公尺 g/L 則顯示此水體可能已遭受污染。BOD 的單位表示為公尺 g/L。

(8).化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)

水樣中加入已知量的化學氧化劑(重鉻酸鉀 K₂Cr₂O₇ 或高錳酸鉀 K₂MnO₄)，國內使用 K₂Cr₂O₇ 較多，在某一特定溫度下(140~145°C 加熱迴流數小時)進行氧化作用，而後滴定剩餘的氧化劑，以測出水樣中有機物的相當含

量。COD 檢測僅需二至三小時即可測出結果，且對含有酸、鹼、毒性工業廢水於研究或管制廢水處理時，可提供快速及準確之資料，亦可作為有機性工業廢水污染之重要指標。COD 的單位表示為公尺 g/L。

(9) 總氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、亞硝酸鹽氮(NO₂-N)、硝酸鹽氮(NO₃-N)

水中之總氮主要包括硝酸鹽氮、亞硝酸鹽氮、凱氏氮(凱氏氮為氨氮與有機氮之和)。硝酸鹽為各種型態中最穩定的含氮化合物，也是含氮有機物經氨化及硝化作用後之最終氧化產物(氨氮→亞硝酸鹽氮→硝酸鹽氮)。廢水中含有過量之氨氮，將增加承受水體之 BOD 負荷。硝酸鹽氮在缺氧狀態下，亦會還原成亞硝酸鹽氮，最後形成 N₂ 氣體。水域中硝酸鹽的來源主要為生物代謝的分解、氧化以及陸源逕流之補給，其濃度隨著浮游植物量、光合作用強弱、生物群落的活動狀況、污染物的多寡及污染時間的長短而有所變化。當環境不佳時，尤其是水中溶氧量降低時，硝酸鹽會再度還原成有毒性的氨及亞硝酸鹽，如此惡性循環，不但直接對水中生物形成危害，也使得藻類大量繁生。通常未被污染水中的亞硝酸鹽氮自然濃度很低，約 0.01 公尺 g/L 左右，是為水中植物的營養鹽之一。當亞硝酸鹽氮濃度過高、異常或變化過劇時，常為水域生態環境惡化之表徵。

(10) 總磷(TP)

磷酸鹽為構成土壤肥分及動植物原生質之要素，所以是動物及植物生長的重要養分。磷酸鹽可分為正磷酸鹽、聚磷酸鹽及有機磷，三者合稱為總磷；一般水中磷酸鹽的含量很低，如水中濃度高，表示可能遭受工業廢水、家庭污水、清潔劑、肥料及灌溉排水污染，將會引起湖泊水庫中水生物的大量生長，導致優養現象的發生。

5. 水質分析

本計畫之水體水質監測樣站共包括瀉湖(W01)、衛星站(W02)、雨水(W03)、海淡廠(W04)、海軍站(W05)、醫院(W06)及滷水(W07)七個測站。調查項目為水溫、酸鹼值、溶氧、導電度、濁度、生化需氧量、化學需氧量、氨氮、總磷酸鹽、硝酸鹽氮、大腸桿菌群、葉綠素及懸浮固體等共 13 項目，其中葉綠素分析僅於 3 個點次進行。分析方法均按照環保署公告方法進行，並依不同水體以陸域地面水體水質標準及地下水污染管制標準來評估污染等級。各測站水質監測結果如表 4.12 與 4.13 所示，茲將各測站監測結果描述如下。

1. 瀉湖測站(W01)

綜合兩次調查結果瀉湖測站(W01)水體之水溫介於 32.2~33.1°C、pH 值介於 8.20~8.54、溶氧介於 3.44~3.47 公尺 g/L、導電度介於 60000~60300 μ s/c 公尺、濁度介於 1.1~14.0 NTU、生化需氧量介於<公尺 DL~3.66 公尺 g/L、化學需氧量介於 132.0~576.0 公尺 g/L、氨氮濃度介於 0.16~0.18 公尺 g/L、總磷酸鹽介於 0.01~0.05 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 0.37~0.53 公尺 g/L、懸浮固體介於 18.9~40.9 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $1.2 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站分析結果發現水體導電度過高，主要應為鹽分，其他各項水質分析結果以溶氧及大腸桿菌群不符合甲類水體標準。

2. 衛星站測站(W02)

綜合兩次調查結果衛星站測站(W02)水體之水溫介於 27.6~28.1°C、pH 值介於 7.30~8.33、溶氧介於 2.10~2.91 公尺 g/L、導電度介於 5800~8300 μ s/c 公尺、濁度介於 0.7~1.4 NTU、生化需氧量介於<公尺 DL~5.66 公尺 g/L、化學需氧量介於 22.0~51.0 公尺 g/L、氨氮濃度<公尺 DL、總磷酸鹽介於 0.44~0.57 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 0.53~3.23 公尺 g/L、懸浮固體介於<公尺 DL~6.3 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $7.9 \times 10^4 \sim 1.1 \times 10^5$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為地下水，若以地下水污染管制標準來評估，硝酸鹽氮均符合第一類標準。

3. 雨水測站(W03)

綜合兩次調查結果雨水測站(W03)水體之水溫介於 27.8~31.4°C、pH 值介於 8.00~8.45、溶氧介於 4.00~4.68 公尺 g/L、導電度介於 831~1056 μ s/c 公尺、濁度皆為 0.3 NTU、生化需氧量介於 2.77~4.07 公尺 g/L、化學需氧量介於 13.0~25.0 公尺 g/L、氨氮濃度<公尺 DL、總磷酸鹽介於 0.08~0.13 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 0.77~0.79 公尺 g/L、懸浮固體分析結果均小於偵測極限，大腸桿菌群介於 $3.7\times 10^3\sim 1.5\times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為收集之雨水，各項水質分析結果除 pH、氨氮及懸浮固體符合甲類水體標準，其餘均不符合。

4. 海淡廠測站(W04)

綜合兩次調查結果海淡廠測站(W04)水體之水溫介於 28.8~29.3°C、pH 值介於 7.21~8.07、溶氧介於 1.40~5.60 公尺 g/L、導電度介於 10400~14600 μ s/c 公尺、濁度介於 1.94~2.10 NTU、生化需氧量介於 3.71~4.45 公尺 g/L、化學需氧量介於 74.5~94.0 公尺 g/L、氨氮濃度介於 0.46~0.58 公尺 g/L、總磷酸鹽介於 0.20~0.24 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 1.06~1.37 公尺 g/L、懸浮固體介於<公尺 DL~8.0 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $1.1\times 10^4\sim 1.9\times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為地下水，若以地下水污染管制標準來評估，硝酸鹽氮均符合第一類標準。

5. 海軍站測站(W05)

海軍站測站(W05)水體綜合兩次調查結果，水溫介於 28.1~28.4°C、pH 值介於 7.43~8.35、溶氧介於 1.65~1.97 公尺 g/L、導電度介於 1481~1577 μ s/c 公尺、濁度介於 1.9~2.1 NTU、生化需氧量介於 3.71~4.45 公尺 g/L、化學需氧量介於 74.5~94.0 公尺 g/L、氨氮濃度介於 0.46~0.58 公尺 g/L、總磷酸鹽介於 0.20~0.24 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 1.06~1.37 公尺 g/L、懸浮固體介於<公尺 DL~8.0 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $1.1\times 10^4\sim 1.9\times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為地下水，若以地下水污染管制標準來評估，硝酸鹽氮均符合第一類標準。

6. 醫院測站(W06)

醫院測站(W06)水體綜合兩次調查結果，水溫介於 26.7~28.3°C、pH 值介於 7.39~8.23、溶氧介於 1.20~3.27 公尺 g/L、導電度介於 2910~5970 μ s/c 公尺、

濁度介於 6.1~11.6 NTU、生化需氧量介於 2.10~5.58 公尺 g/L、化學需氧量介於 33.0~68.0 公尺 g/L、氨氮濃度介於<公尺 DL~0.28 公尺 g/L、總磷酸鹽介於 0.19~0.48 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 0.14~0.23 公尺 g/L、懸浮固體介於 3.2~8.2 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $8.5 \times 10^4 \sim 8.7 \times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為地下水，若以地下水污染管制標準來評估，硝酸鹽氮均符合第一類標準。

7. 滷水測站(W07)

綜合兩次調查滷水測站(W07)水體水質之水溫介於 30.3~31.0°C、pH 值介於 7.47~8.20、溶氧值介於 1.90~4.13 公尺 g/L、導電度介於 15880~23100 μ s/c 公尺、濁度介於<公尺 DL~0.4 NTU、生化需氧量介於<公尺 DL~4.51 公尺 g/L、化學需氧量介於 74.0~41.0 公尺 g/L、氨氮濃度介於<公尺 DL~0.62 公尺 g/L、總磷酸鹽介於 0.22~0.36 公尺 g/L、硝酸鹽氮介於 1.84~1.98 公尺 g/L、懸浮固體介於 3.5~8.1 公尺 g/L，大腸桿菌群介於 $6.8 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$ CFU/100 公尺 L。本測站水體為海淡廠所排放之放流水，各項水質分析結果除 pH 及懸浮固體符合甲類水體標準，其餘均不符合。

根據 98 年 7 及 11 月兩次調查以陸域地面水體水質標準顯示，除瀉湖測站(W01)11 月調查時水體的 pH 值不符合甲類水體水質標準外，其餘測站皆符合甲類水體水質標準；水體中的溶氧除 7 月雨水測站(W03)符合丙類水體水質標準，其餘監測值皆介於丁及戊類水體水質標準。生化需氧量濃度僅 11 月瀉湖測站(W01)及滷水測站(W07)符合甲類水體水質標準。懸浮固體濃度值除了瀉湖測站(W01)測站於 7 月調查未符合甲類水體水質標準外，其餘監測值皆符合。大腸桿菌群除了雨水測站(W03)符合乙類水體水質標準及滷水測站(W07)符合丙類水體水質標準，其餘監測值皆不符合丙類水體水質標準。氨氮濃度除了 7 月滷水測站(W07)不符合丙類水體水質標準，其餘監測值皆介於甲類與乙類水體水質標準。水體中總磷濃度各測站 11 月調查結果均符合甲類水體水質標準，其餘監測值皆不符合乙類水體水質標準。以地下水污染管制標準，各測站之硝酸鹽氮濃度均符合第一類標準。

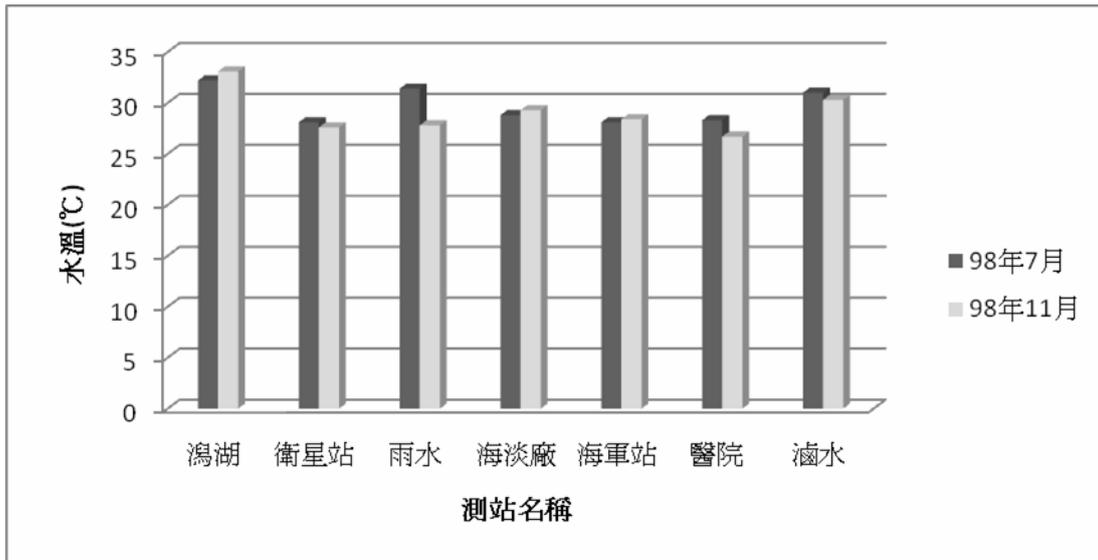


圖 4.21 各測站水溫變化趨勢圖

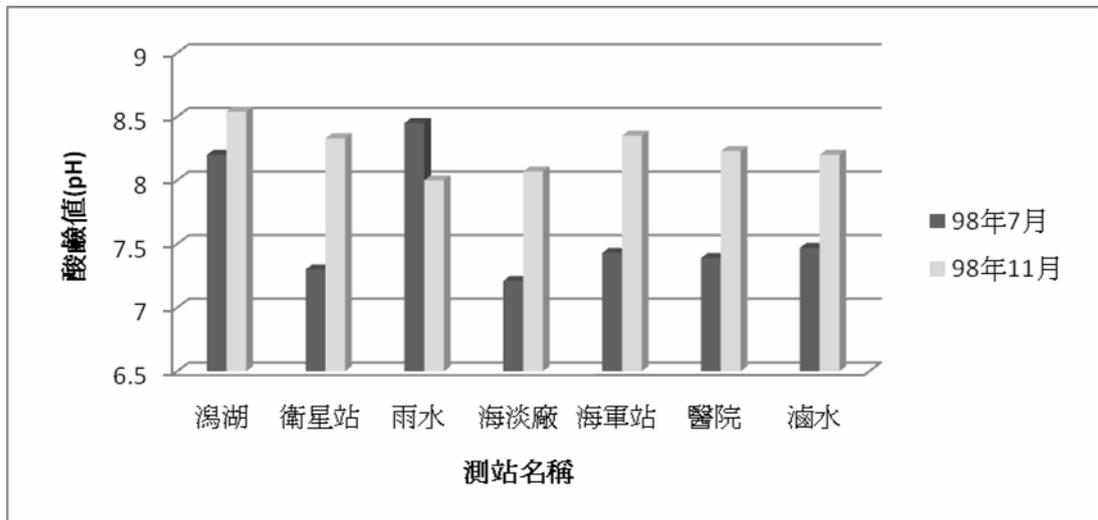


圖 4.22 各測站酸鹼值變化趨勢圖

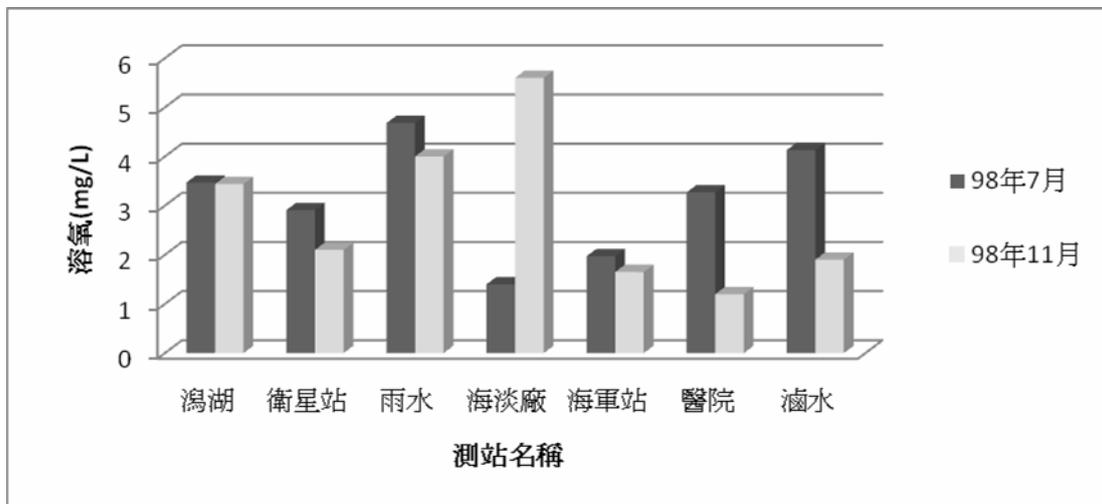


圖 4.23 各測站溶氧值變化趨勢圖

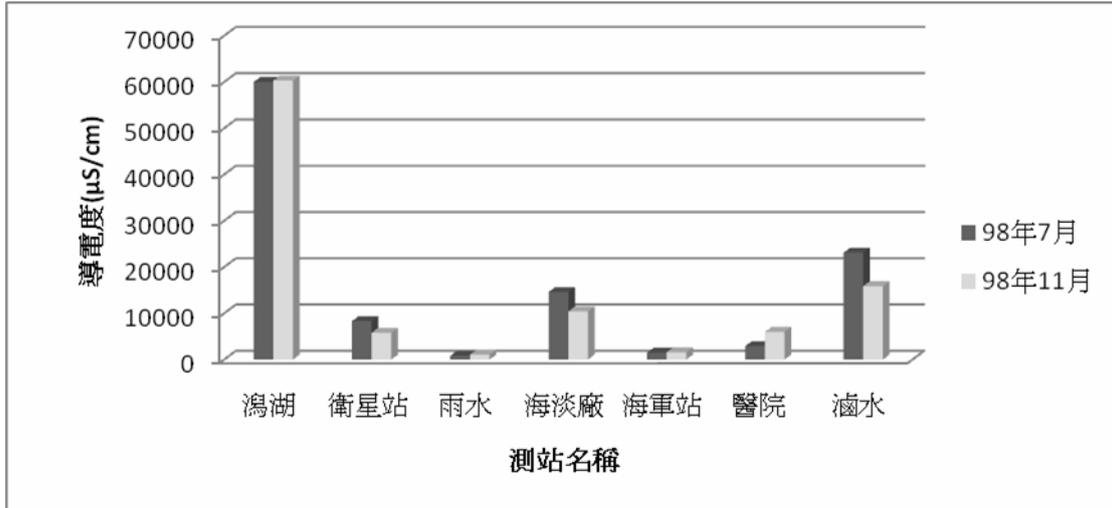


圖 4.24 各測站導電度變化趨勢圖

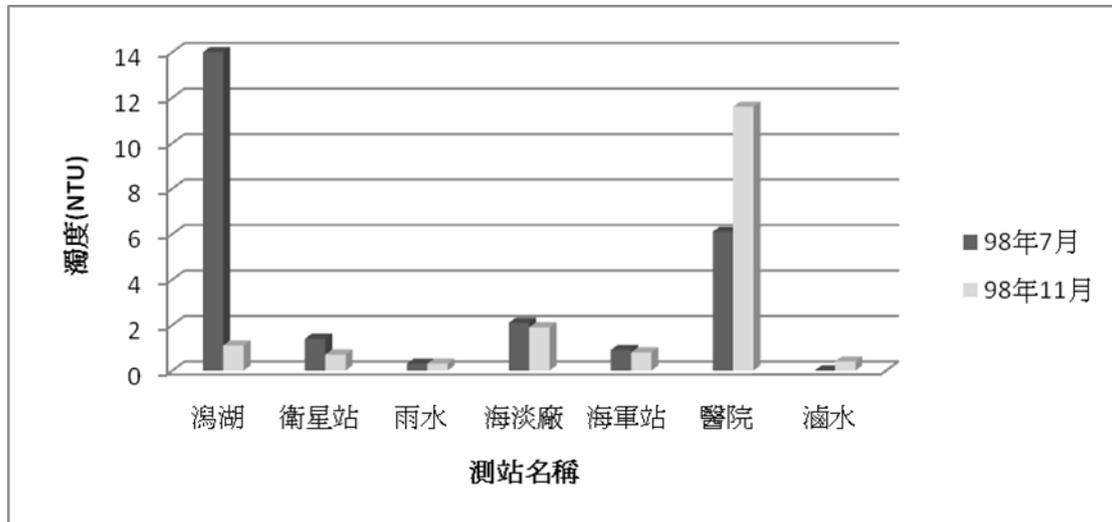


圖 4.25 各測站濁度變化趨勢圖

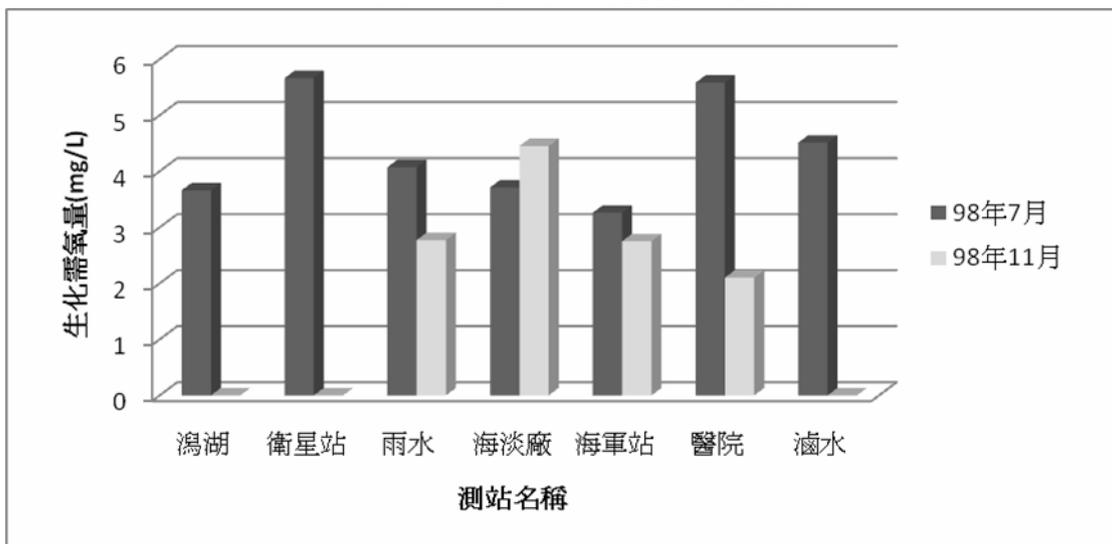


圖 4.26 各測站生化需氧量濃度變化趨勢圖

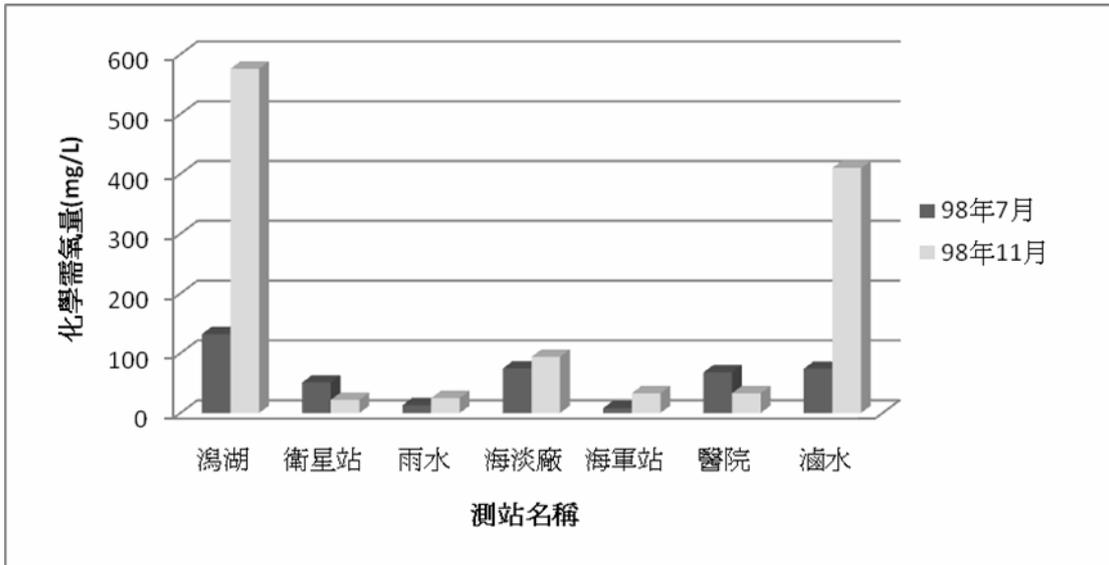


圖 4.27 各測站化學需氧量濃度變化趨勢圖

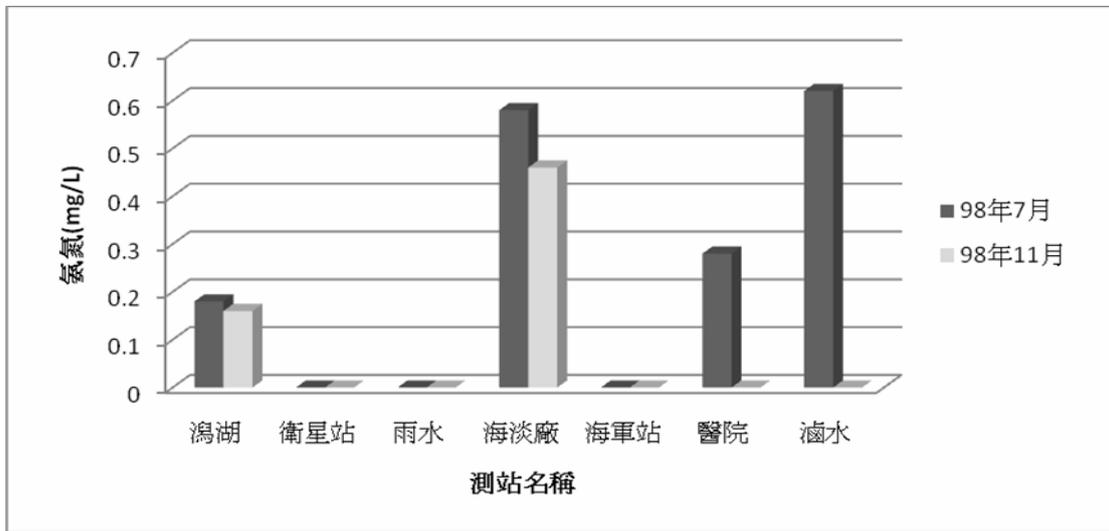


圖 4.28 各測站氨氮濃度變化趨勢圖

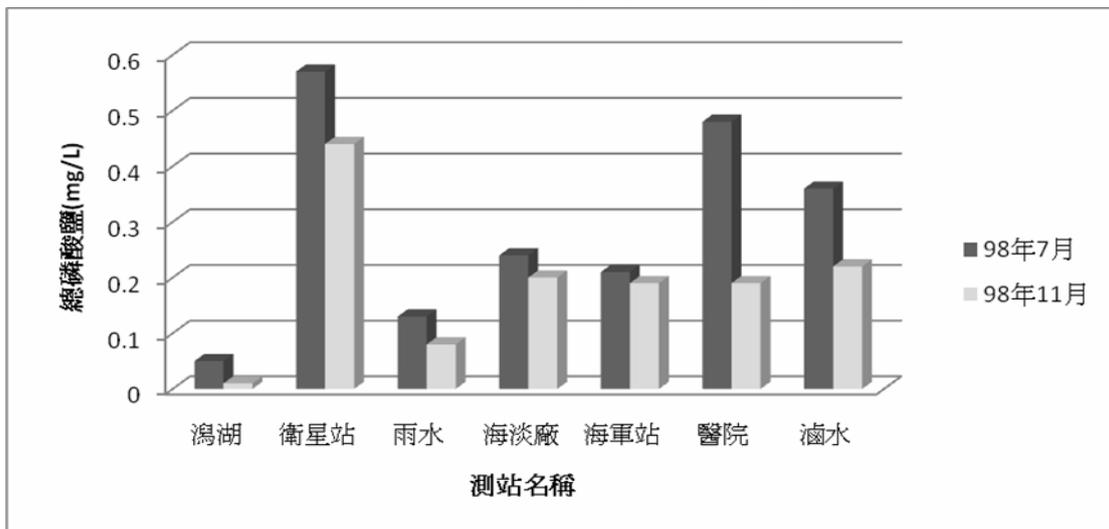


圖 4.29 各測站總磷酸鹽濃度變化趨勢圖

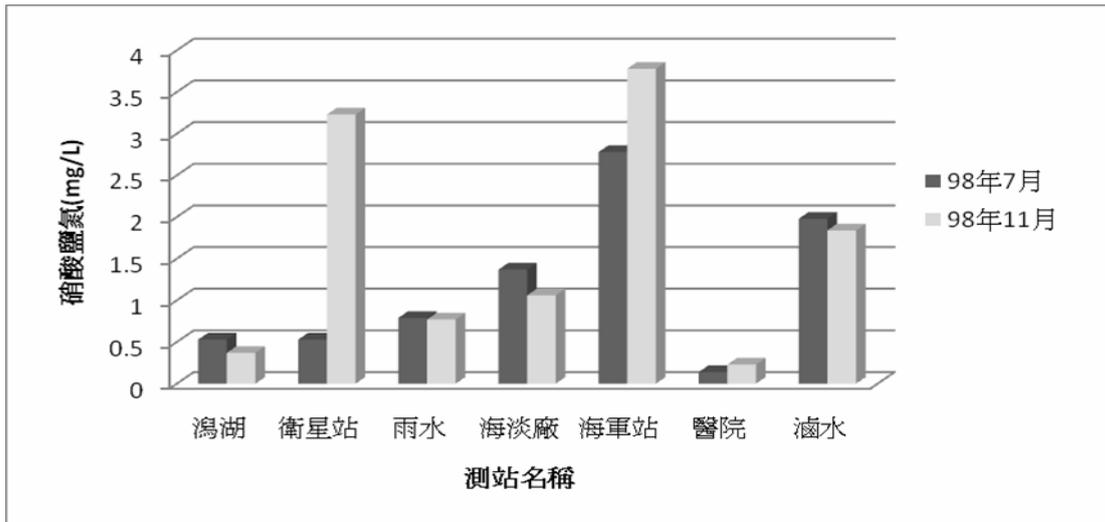


圖 4.30 各測站硝酸鹽氮濃度變化趨勢圖

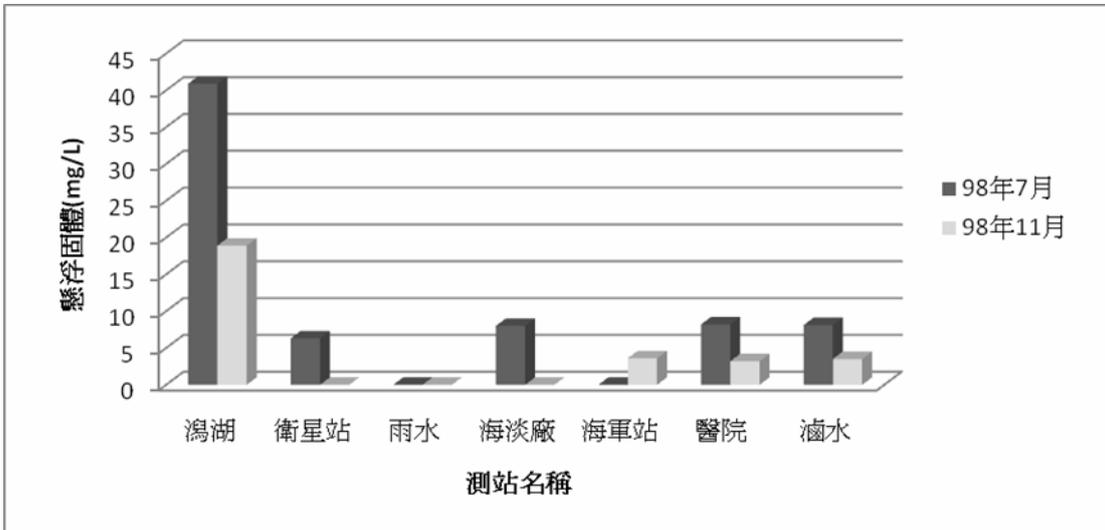


圖 4.31 各測站懸浮固體濃度變化趨勢圖

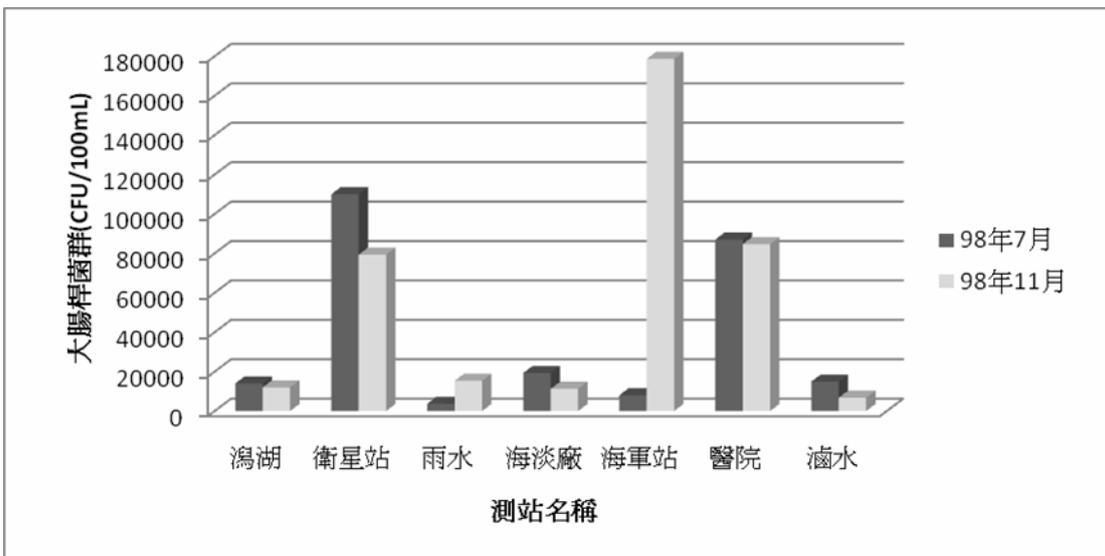


圖 4.32 各測站大腸桿菌群變化趨勢圖

表 4.12 東沙群島各調查測站水質監測結果

項目		Temp.	pH	DO	Cond.	Turb.	BOD ₅	COD	NH ₃ -N	TP	NO ₃ -N	SS	<i>E.coli</i>	葉綠素 a	備註	
		(°C)	-	(mg/L)	(µS/cm)	(NTU)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(CFU/100mL)	(mg/L)		
偵測極限						0.05	1		0.07	0.006	0.017	3				
陸域地面 水體水質 標準	甲類水體標準	-	6.5~8.5	>6.5	-		<1	-	<0.1	<0.02		<25	<50			
	乙類水體標準	-	6.0~9.0	>5.5	-	-	<2		<0.3	<0.05		<25	<5000			
	丙類水體標準	-	6.0~9.0	>4.5	-	-	<4		<0.3			<40	<10000			
	丁類水體標準	-	6.0~9.0	>3	-	-						<100				
	戊類水體標準		6.0~9.0	>2												
地下水污 染管制標 準	第一類										10					
	第二類										100					
測站	W01	9807	32.2	8.20	3.47	60000	14.0	3.66	132.0	0.18	0.05	0.53	40.9	1.4×10 ⁴	2.41	地表 水
		9811	33.1	8.54	3.44	60300	1.1	<MDL	576.0	0.16	0.01	0.37	18.9	1.2×10 ⁴		
	W02	9807	28.1	7.30	2.91	8300	1.4	5.66	51.0	<MDL	0.57	0.53	6.3	1.1×10 ⁵		地下 水
		9811	27.6	8.33	2.10	5800	0.7	<MDL	22.0	<MDL	0.44	3.23	<MDL	7.9×10 ⁴		
	W03	9807	31.4	8.45	4.68	831	0.3	4.07	13.0	<MDL	0.13	0.79	<MDL	3.7×10 ³	1.86	雨水
		9811	27.8	8.00	4.00	1056	0.3	2.77	25.0	<MDL	0.08	0.77	<MDL	1.5×10 ⁴	2.18	
	W04	9807	28.8	7.21	1.40	14600	2.1	3.71	74.5	0.58	0.24	1.37	8.0	1.9×10 ⁴		地下 水
		9811	29.3	8.07	5.60	10400	1.9	4.45	94.0	0.46	0.20	1.06	<MDL	1.1×10 ⁴		
	W05	9807	28.1	7.43	1.97	1481	0.9	3.26	8.0	<MDL	0.21	2.78	<MDL	8.0×10 ³		地下 水
		9811	28.4	8.35	1.65	1577	0.8	2.75	33.0	<MDL	0.19	3.78	3.6	1.8×10 ⁵		
	W06	9807	28.3	7.39	3.27	2910	6.1	5.58	68.0	0.28	0.48	0.14	8.2	8.7×10 ⁴		地下 水
		9811	26.7	8.23	1.20	5970	11.6	2.10	33.0	<MDL	0.19	0.23	3.2	8.5×10 ⁴		
	W07	9807	31.0	7.47	4.13	23100	<MDL	4.51	74.0	0.62	0.36	1.98	8.1	1.5×10 ⁴		放流 水
		9811	30.3	8.2	1.90	15880	0.4	<MDL	410	<MDL	0.22	1.84	3.5	6.8×10 ³		

MDL：偵測極限

表 4.13 島上周圍海水水質之調查分析結果

編號	位置	WGS84經緯度		採樣時間		高程	DO	T	pH	salt	EC	Turbidity
		E經度(度)_X	N緯度(度)_Y	日期	時間		mg/l	C			ms/cm	NTU
SA1	機場尾	116.70476	20.7103	980704	9:00	1	2.86	28.8	7.8	32.6	53.4	0.4
SA2	機場尾	116.70649	20.70916	980704	9:20	1	2.39	28.5	7.65	32.4	53.1	3.5
SB1	北側出海口	116.70367	20.70745	980704	9:41	1	2.88	27	7.7	32.3	53.3	1.1
SC1	近3號機牌旁	116.71307	20.70895	980704	10:25	1009atm	3.5	31.2	7.86	32.4	55.8	0.45
SC2	3號機牌旁	116.71449	20.7075	980704	10:45	5	3.08	31.8	8.3	33.8	58.2	6.4
SD2	候機室旁	116.71883	20.70526	980704	11:08	7±10	3.47	32.2	8.2	34.6	60	14
SF1	南側出海口	116.70287	20.70653	980704	16:03	3±3	1.19	29.2	7.15	7.7	14.28	6.9
SG1	南側岬灣	116.70937	20.70284	980704	16:30	3±3	5.19	31.2	8.57	32.8	56.5	0.2
SG2	南側岬灣	116.70956	20.70352	980704	16:30	-2	3.96	30.1	8.55	33.2	55.7	0.85
SH	漁服站碼頭	116.72147	20.69935	980704	18:20	12±9	2.39	30.3	8.13	32.5	54.8	2.1

五、地下水資源經營現況分析

本計畫現階段蒐集調查及評估現行之東沙島地下水資源利用與廢污水排放處理情形，並針對過去已執行、已規劃或刻正規劃擬議中之計畫等相關事項提出檢討，針對相關研究報告蒐集如表4.14，針對各計畫提出5點事項檢討：

- 增列陸域生態水文調查。
- 原生植被復育用水需求分配應完善，提高成效。
- 建立地理資訊服務系統，強化陸域之GIS 資料庫。
- 評估苗圃用水來源應用為屋頂、道路集雨系統為主。
- 土地分區-西部劃為陸域特別景觀區，建議垃圾處理應評估。

表 4.14 歷年相關研究報告

編號	計畫名稱	年份	執行單位
1	東沙環礁國家公園海洋資源保育法制之研究	2009	國立臺灣海洋大學
2	東沙內環礁海域海流、水深與棲地調查	2008	國立中山大學
3	東沙島環境整理及原生植栽復育規劃	2007	中華民國永續生態旅遊協會
4	東沙遙測影像空間基礎資料處理(一)	2007	國土資源保育學會
5	東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計	2007	簡安祥建築師事務所
6	東沙島苗圃建置之規劃設計	2007	社團法人中華民國永續生態旅遊協會
7	東沙建築物及公共設施先期規劃	2005	程鈞柏建築師事務所
8	東沙能源替代及水資源多元化可行性評估	2005	台灣水環境再生協會
9	東沙國家公園土地使用及海域使用分區調查	2005	國立台灣大學

1.東沙環礁國家公園海洋資源保育法制之研究

東沙群島為我國領土之一部分，除為我及中美等國出入南海戰略要衝之外，並在漁業資源培育和生態系統具有重要價值，非生物資源亦蘊藏豐富，尤更重要者，其擁有珍貴稀有的環狀珊瑚礁（atolls），而環礁生態堪稱為世界重

要自然遺產之一，亟待吾人保護。1982年《聯合國海洋法公約》對於海洋生物資源保育與管理、海洋環境保護與保全均有規範，加上1992年生物多樣性保護熱點推展到海洋生物保育，因此海洋資源保育及海洋資源永續發展逐漸成為全球人類共同的概念，其中，「海洋保護區」制度被認為是其重要方法。

東沙群島自2000年2月起由行政院海岸巡防署接管防務後，逐步朝向非軍事化規劃建設，先期改善島上生活設施與強化海域巡護，取締海域非法漁業行為，保護東沙群島海洋優質生態環境，宣示維護南海主權之能力與決心。2007年1月17日，內政部依據《東沙環礁國家公園計畫》正式公告設立我國第一座海洋型國家公園之「東沙環礁國家公園」，並期向聯合國教科文組織申請為世界遺產。2007年10月4日，東沙島納入高雄市政府管轄。未來廣大的海域及其自然文化資產如何管理維護，設立海洋國家公園之相關法律基礎與實踐為何，為本研究討論之重點。

2. 東沙內環礁海域海流、水深與棲地調查

報告包含歷史資料搜集、現場觀測、資料分析等。以往研究著重於東沙島周圍進行測線量測，本計畫為東沙內環礁海域大範圍水深地形的量測。東沙海象變化迅速，為安全考量，於5月4日配合海研三號1,291航次，從海空兩條路線分別前往東沙，一方面利用海研三號將研究小艇運送至東沙，另一方面聘請多位船長一同駕駛研究小艇，以熟悉海域之海況。

自5月6日起至8月26日，報告完成環礁內1公里一條測線的範圍，東沙島周圍3k公尺範圍內100公尺間距的測線，以及南、北航道100公尺間距測線量測作業、施放7處定點式溫度計、296個棲地測站點之拍攝與水文資料搜集、3,712筆海流資料、10,537筆動態水質資料以及573筆靜態水質資料。執行水質量測計畫，在動態水質方面，5月份東沙環礁內表層水溫平均約26.3℃，6月份東沙環礁內表層水溫平均約29.3℃，7月份東沙環礁內表層水溫平均約29.4℃，8月份東沙環礁內表層水溫平均約28.7℃，環礁內海水溫度變化相差不大。5月份東沙環礁內表層海水鹽度平均約34.33psu，6月份東沙環礁內表層海水鹽度平均約34.61psu，7月份東沙環礁內表層海水鹽度平均約

34.21 psu，8 月份東沙環礁內表層海水鹽度平均約 34.47psu。5 月份東沙環礁內表層海水 pH 值平均約 8.23，6 月份東沙環礁內表層海水 pH 值平均約 8.04，7 月份東沙環礁內表層海水 pH 值平均約 7.89，8 月份東沙環礁內表層海水 pH 值平均約 7.9。

執行海流量測計畫，表層海流平均流速為 14.11 c 公尺/s，標準偏差為 11.04 c 公尺/s。選取退潮時段的海流資料，其平均流速為 10.38 c 公尺/s，標準偏差為 9.95 c 公尺/s。選取漲潮時段的海流資料，其平均流速為 8.99 c 公尺/s，標準偏差為 6.50 c 公尺/s。表示海流的速度差異並不大，這也是因為東沙內環礁水深較淺，而導致沒有分層現象。海流搭配東沙影像圖，可發現以龍擺尾為分界，海流分成兩個迴圈，龍擺尾以北的海流主要是往西北方向流出，也就是順著北航道流出環礁，而龍擺尾以南的海流，則是往南航道的方向流出環礁，而較大部分海流是由北航道流出。

由定點的海流觀測資料顯示，觀測期間最大流速為 50.27 c 公尺/s，平均流速 5.78c 公尺/s，標準偏差 3.30 c 公尺/s，受到潮汐漲退的影響，流有反覆的情形，且受到地形影響主要呈現南北走向，各水深之潮流無明顯分層現象，潮流橢圓以平方公尺、K1、O1 為主。由東沙內環礁水深資料統整可得，東沙島周圍 1 k 公尺內水深約-2 公尺左右，東沙島北側較多礁石，南側較多沙地分布；距離東沙島 3 k 公尺處深度可達-5 公尺，東沙環礁北航道約-5~-6 公尺，南航道水深較深多在-7~-8 公尺，所以南航道較北航道容易進出環礁。從龍擺尾往東約 1 k 公尺範圍後，水深達-8 公尺。東沙內環礁以環礁中間的水深較深，最深處可達-22.6 公尺。

3.東沙島環境整理及原生植栽復育規劃

東沙島上的原生植群因島上開發而有棲地破碎化的趨勢，可能間接影響其他物種的生存及繁衍。潛在植群的調查能夠根據該地的氣候、地質條件及現有植被等因素推估原始植被狀態，並做為將來生態綠化的參考依據。首先根據過去東沙島植物調查的資料，分析東沙島重要植種全球的地理分布及傳播機制，發現東沙島的植物大部分是經由海漂進駐東沙島，因此將東沙島的生態地位定

義為亞洲熱帶海岸林。

根據探勘結果，以及生態綠化的內涵，規劃了東沙島景觀復原及原生植被復育的計畫。島上閒置（廢棄）建物有其歷史意義及軍事特色，但部分建物有崩塌毀壞的情形，但可視其未來國家公園遊憩、環境教育內涵或海巡署實際運用需要加以整建運用，其餘閒置（廢棄）建物可以拆除並補植原生植種，恢復植生景觀。中央地區過去應有海岸林分生長，集合場因使用頻率低，可做為海岸林景觀復育基地。銀合歡及大花咸豐草在東沙島是具有侵略性的拓殖者，且有天然更新的現象，因此這兩種外來種的移除是有其急迫性，建議全面去除。島上景觀元素紊亂，建議先自閒置（廢棄）建物之整併及移除著手，補植符合當地生態的原生植被，逐步營造東沙島原生植被之景觀。

若自台灣引進種源進行東沙島原生植被復育工作，恐有引進外來種之虞，故建議於島上設置苗圃自行育苗，並以廚餘機、碎木機製造之有機堆肥進行土壤改良。東沙島原生植被復育之成敗關鍵在於水，因此原生植被復育工作需要水資源的整體評估規劃，以提高復育之成效。

4.東沙遙測影像空間基礎資料處理(一)

總計建置 476 種相關圖層，類型上，包括航遙測影像（QuickBird、航空照片、福衛二號、SPOT、Landsat 7 和 AVHRR 等）、景觀規劃、網格系統、海洋表層水溫、自然資源分布、島嶼、大海洋生態系、海底地形、水道、氣象資料、各類型生物分布、其他 海洋資源調查（土地使用分區圖、沉船研究位置）等。

利用海洋表層水溫資料，呈現 1985 年 1 月到 2005 年 12 月的月變化趨勢，以東沙環礁為範圍，分析歷年的變遷趨勢，顯示近幾年來有略微增高的趨勢。並以高解析度遙測影像，分析 2006 年 5 月珍珠颱風所造成的影響與恢復情形。

建立網路地理資訊服務系統，以內部服務為主，提供線上查詢地理資料圖層。並規劃東沙環礁國家公園之 GIS 基礎架構，就軟硬體、遙測、資料取得、GIS 圖層更新頻度、應用模組之開發等，提出建議。

5.東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計

- (1).本研究設定現況計畫之常駐人口數為 200 人；中程開放觀光計畫之常駐人口為 200 人、不住宿觀光 100 人與住宿觀光 20 人；遠程開放觀光計

- 畫常駐人口為 200 人、不住宿觀光 200 人次、住宿觀光 40 人。
- (2).本研究由島上 3 間晚餐供應 135 人份數據推估駐島人員 200 人中常態約有 1/3 人員返台休假
 - (3).本研究在柏油路面收集雨水之逕流係數，保守設定為 0.7
 - (4).本研究估計東沙島全年抽取之地下水總容積為 28,322 立方公尺。
 - (5).東沙島現況每年由台灣運補 10,000 箱瓶裝礦泉水，總計 180 立方公尺/year。
 - (6).本研究推估東沙島目前之年設計生活用水量為 11,315 立方公尺/年，年設計飲用水量為 147 立方公尺/年，年設計食用水量為 360 立方公尺/年。
 - (7).設置之 7 處道路雨水收集系統合計總集水面積為 11,624 平方公尺，若假設地表逕流係數為 0.7，年平均雨量採用 1,346 公釐來計算，預估總集水容積可 10,952 平方公尺，約達現況計畫生活用水 11,315 立方公尺之 97% 左右。

6.東沙島苗圃建置之規劃設計

本計畫目的在於原生植被復育苗圃之規劃與設計，參考國內各種溫室型式、覆蓋材料、育苗設施、作業方法等，分析其優劣。從經濟效益、座落位置等，評估東沙島苗圃之建置預定區域，可以重建東光醫院旁的蔬菜溫室，及中央區域的菜園為初期苗圃運作之育苗溫室及馴化苗圃。

溫室之架構沿用過去之蔬菜苗圃架構，更換部分零組件。溫室之灌溉水來源為屋頂、道路集雨系統為主，並於溫室設置頂棚集雨設備及地面灌溉溢流水收集系統，增加水資源的利用。初期苗木生產以扦插苗為主，故苗床設計採用扦插育苗盤，其上置隧道棚及噴霧設施，促進插穗之發根。發根後便換盆移至馴化苗圃進行馴化後出栽至復育基地。使用之介質建議為東沙島之土砂，摻入堆肥、椰纖等有機質，其比例須經試驗及視培育階段不同而改變。

苗圃之經營計畫為苗圃經營之成敗關鍵，建議以下兩種方案為苗圃之經營參考：(1) 由主管單位自行派員為苗圃管理及技術人員（可為管理處專職人員或具專長替代役），負責苗木生產工作、苗圃資材管理、種源收集時程規劃、苗木品質管理、澆灌控管、馴化及出栽時程規劃。出栽時再調派臨時工支援。

(2) 規劃每年東沙島生態復育基地及時程，整案委外發包於島上生產所需復育植物。主管單位負責規劃及統籌工作；擬定所需生產苗木的種類、數量，待合約期滿進行驗收工作。本計畫成果可做為東沙環礁國家公園未來執行原生植栽復育規劃的參考依據，逐步完成東沙島景觀復育之目標。

7.東沙國家公園土地使用及海域使用分區調查

調查東沙島陸域土地使用及環礁海域資源分布現況，綜合土地使用、海域及陸域資源現況，擬定東沙國家公園分區規劃方案，並研擬規劃未來經營管理的方向。依據地籍資料，東沙島的陸域面積為 1.69 k 平方公尺，含內瀉湖 0.68 k 平方公尺；若依據現場實測及衛星影像的地理資訊分析，東沙島的陸域面積為 1.78 k 平方公尺，含內瀉湖 0.64 k 平方公尺。東沙土地利用型調查和建物清查結果顯示島上建物大多集中於東部，目前部分建物已老舊破壞。東沙國家公園的範圍係以環礁外圍 12 浬為邊界，總面積為 3,556k 平方公尺，其核心區係以環礁外緣 100 尋等深線為界的方形區域，面積共 816 k 平方公尺。綜合考量島上人為活動和陸域生態調查結果，提出陸域分區二方案：[方案一]將全島陸域劃為一般管制區；[方案二]將島西部劃為陸域特別景觀區，以保護鳥類及海龜活動區域，島東部則劃為陸域一般管制區。建議不新增建築物，而以修繕或改建為原則。

伍、天然水資源開發與供水潛能評估

東沙目前最重要的部分為水資源開發及供水能力，配合海洋管理處推崇自然之理念，以既有設備為前提下，從既有取水來源與水源供需量進行調查，初步推估合適開發之區域與可開發量，經由量化目標推估潛能能力。因此，水資源整體評估分為三大類，說明如下：

一、地表水與地下水資源綜合開發評估

1. 可開發用水分析

東沙島水資源利用現況主要分為雨水、地下水、海水淡化水及由台灣本島運補之瓶裝礦泉水。其中雨水、地下水與海水淡化水主要是用於澆灌、廁所用之水、生活洗滌用水等生活用水，而飲用水主要仍需仰賴由台灣本島運補之瓶裝礦泉水。

表 5.1 東沙島水資源利用現況表

水資源	說明	用途	開發潛能
雨水	東沙島全年平均降雨量為1,346 公釐，年平均降雨日數為109日。在雨水收集方面，島上除中央集水區外，在二據點處另有地面集水坪。	澆灌、廁所用之水、生活洗滌用水	是
地下水	地下水位離地深約1.75至2.56 公尺，水質略鹹，不宜飲用，目前各據點皆設有水井及抽水馬達。	廁所用之水、生活洗滌用水	是
海水淡化水	將自地下抽取之海水經由海水淡化機處理成淡水之後，再儲存至2 座1 萬加侖儲水槽，若達滿水位，再存至7 萬加侖儲水槽。	廁所用之水、生活洗滌用水	是
瓶裝礦泉水	島上官兵飲用水主要仍以由台灣本島運補之瓶裝礦泉水為限，每人每日飲用水配給2 瓶1.5 公升瓶裝礦泉水；食用水部分每人每日約消耗7.31 公升礦泉水。	飲食用水	否

根據表5.1中瞭解具備有開發潛能為地表水(雨水)與地下水(包含海水淡化)兩部分，早期也針對兩項進行評估分析，本計畫首先將依據已規劃之方向來進行調查分析，再進行評估其合理性與可開發性，提出多項開發方案做為未來主辦單位進行實施計畫之參考。

2.地表水資源綜合開發評估

(1).地表水截流設備現況

地表水開發方式即利用廣大的地面作為雨水收集面積。雨水收集既有設備部分，島上中央集水區主要有一長97公尺，寬21公尺之籃球場地面集水坪，其佔地總面積2,037平方公尺，在雨水貯存槽收集雨水後各自導入10萬加侖水庫儲存，或再引入兩座1萬加侖之儲水槽方便取用，如圖5.1。

另外於島嶼北岸停機坪約有一截水溝兩端皆設有陰井，但僅西側陰井設有排水溝排向瀉湖，但現況排水口嚴重堵塞，造成截水溝在大雨過後即成為存水溝，如圖5.2。雨水經收集過程容易受到落葉或其他雜物進入後腐敗，導致水質變差。

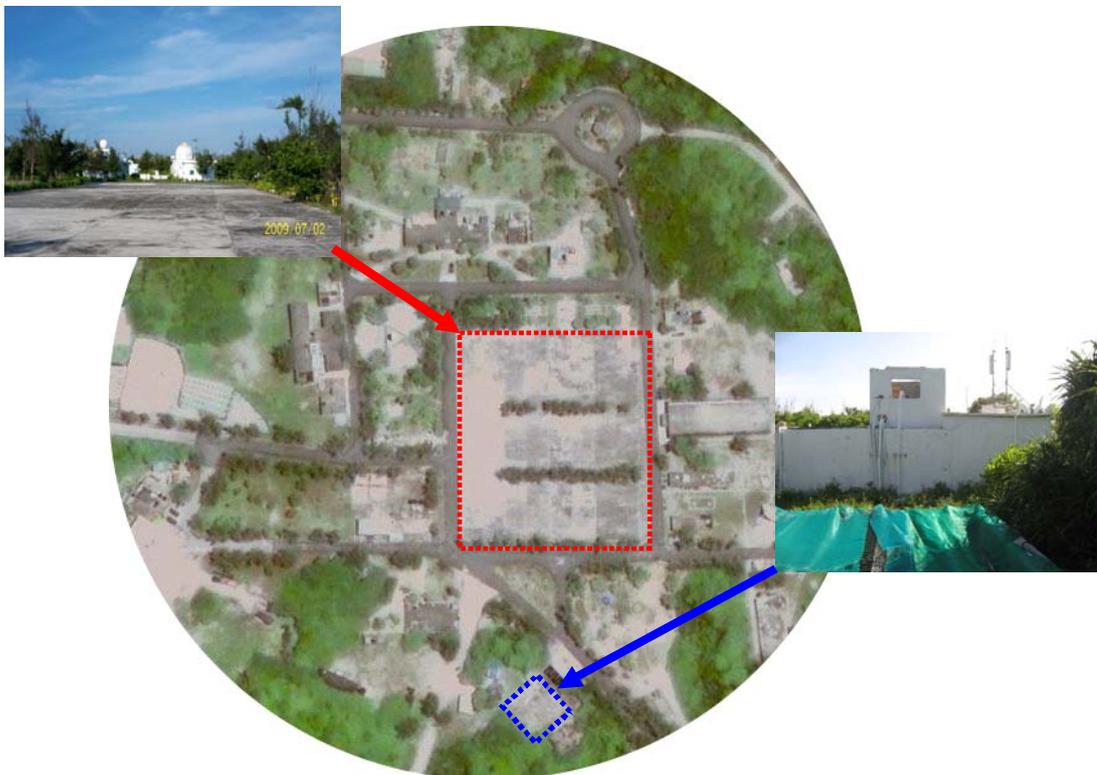


圖 5.1 雨水蒐集區與儲水區位置圖

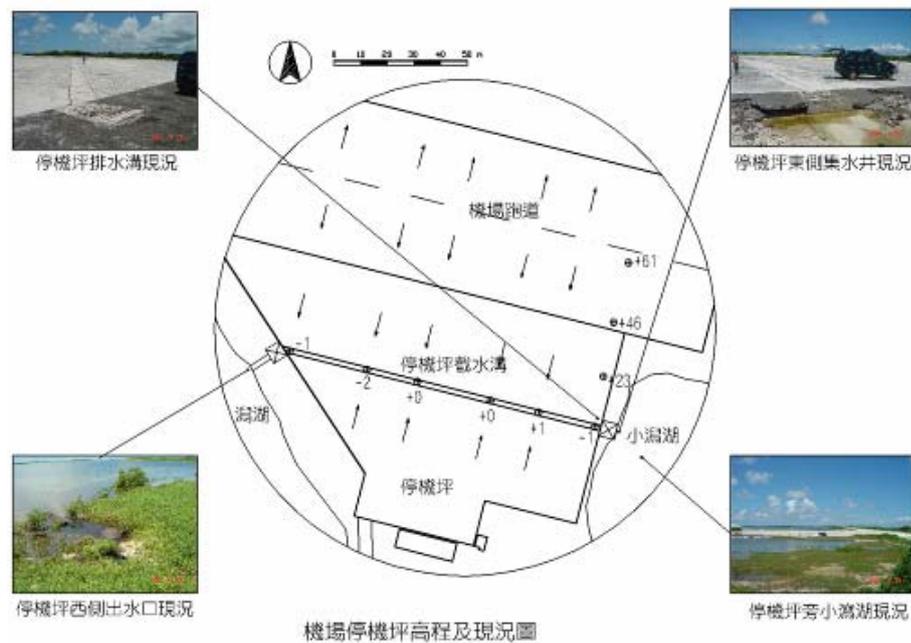


圖 5.2 停機坪截水溝位置圖

(2).地表水利用評估方法

經濟部水利署(2007)並分析探討其應用在離島雨水利用評估之優劣，發現以屋頂貯集系統、雨水收集結合入滲系統、雨水收集結合污水系統、公路逕流收集系統、地表水收集、區域雨水利用等技術為較適宜之雨水利用方式，收集方法為彙整地表PE槽、地表FRP組合槽、地表混凝土槽及地下混凝土槽之過濾槽和貯水槽。貯留系統之設置以地上式比地下式貯水槽成本低，其中又以地表PE槽成本為最低，FRP組合槽較具施工便利之特性。

以東沙島設計規劃原則：首先建構完整GIS地形高程資料，並劃分集水區域並分析其土地利用狀況(包含開發不可開發區域)，據以估算雨水最大利用潛勢。而整體雨水貯留利用規劃設計及出水能評估區域性雨水貯留利用應可分為分為建築物、地形與雨水評估優劣如表5.2。

表 5.2 不同雨水蒐集開發潛勢分析表

技術	優點	缺點	建議	建議設置點
屋頂雨水貯留系統	<ul style="list-style-type: none"> 提供額外水源 自行操作管理 水質較地下水好 	<ul style="list-style-type: none"> 供水量與降水關係大 集水面易污染 乾旱管理制度需建立 	高	一般建築物皆可設置
雨水收集結合入滲系統	<ul style="list-style-type: none"> 提高額外水源 減少地表逕流 保育水土資源 減少地下水位降低 	<ul style="list-style-type: none"> 需更詳盡之地下水與地質資訊 入滲設施必須維護 	高	低地下水位 無污染地下水之虞
雨水收集結合污水系統	<ul style="list-style-type: none"> 有效利用水資源並予循環使用 穩定供水 	<ul style="list-style-type: none"> 需較大面積 需較高建設技術及成本 公共健康風險較大 需訓練操作維護人員 	中	已設置中水回收系統
公路逕流收集系統	<ul style="list-style-type: none"> 成本低 減少逕流量與非點源污染 較高之操作維護成本 	<ul style="list-style-type: none"> 水質較差 	高	環島公路系統，需與民生污水分開
地表水收集	<ul style="list-style-type: none"> 提供中度或高度之水資源量 較高之操作維護成本與技術 	<ul style="list-style-type: none"> 建造成本高 有失敗風險 有環境與公共健康問題 水質變化極大 	中	集水區集水，需遠離高污染源
區域雨水應用	<ul style="list-style-type: none"> 有效利用地表水資源 能提供較穩定供水 	<ul style="list-style-type: none"> 需較精確之規劃 輸水管線較長並且管理較複雜 成本可能較高 	高	高需水量用水點，並具地形集水之潛勢
開闢地雨水收集	<ul style="list-style-type: none"> 水質佳 雨水收集具機動性 集水面積可依需水量而改變 	<ul style="list-style-type: none"> 操作較複雜 對降雨需能掌握與精確預測 海面上設施成本較高 	低	待技術純熟後再予以考量
田間雨水貯留工程	<ul style="list-style-type: none"> 簡易、成本低 與供水近可減少運輸成本 	<ul style="list-style-type: none"> 集水量少 需較大集水面積 	低	一般輪耕制農田皆可適用
入滲廊道	<ul style="list-style-type: none"> 提高水質但不減少出水量 可廢止地下水井 少量之維護 	<ul style="list-style-type: none"> 初期建造成本高 需較大之建造面積 	中	地下水庫，需確認無地下水污染之虞
霧氣收集系統	<ul style="list-style-type: none"> 水質優良 成本較低 	<ul style="list-style-type: none"> 供水量較不均勻 供水量較少 	低	地區地勢平坦不適用

資料來源：經濟部水利署，2007

(3).地表水開發規劃分析

目前島上建物並未設置任何雨水現地貯留設施，加上建物多已老舊破損，亦難有集水面積及可能貯留容量之設定。估算降雨量每年平均約1,346公釐，已降雨天數估算78%的降雨集中在雨季(每年5月到12月)，雨水應用標的為提供花木澆灌、衛廁沖水、洗滌水使用的條件下，整體設計、規劃與評估現有雨水貯槽型式與容量。全年雨日平均為109天，因此雨水開發評估因納入降雨日數為影響因子且列為輔助水源，初步評估從設備與集水容量提升及水質品質保存為主：

A.10 萬加侖水庫雨水儲水系統再利用

目前島內大型雨水貯存槽為10萬加侖水庫，使用效率低且目前已有漏水情況，容易造成水質優養化，產生藻類與微生物水質逐漸惡化。建議從新規劃雨水儲水槽，於枯水期進行雨水槽內修繕維護針對滲漏問

題，或考量工程費用可維持目前現況，但須設置監測系統，主要監測雨水儲水槽水位及水質，訂立出滿水位標準及低水位標準、水質變化監測，如圖5.3。

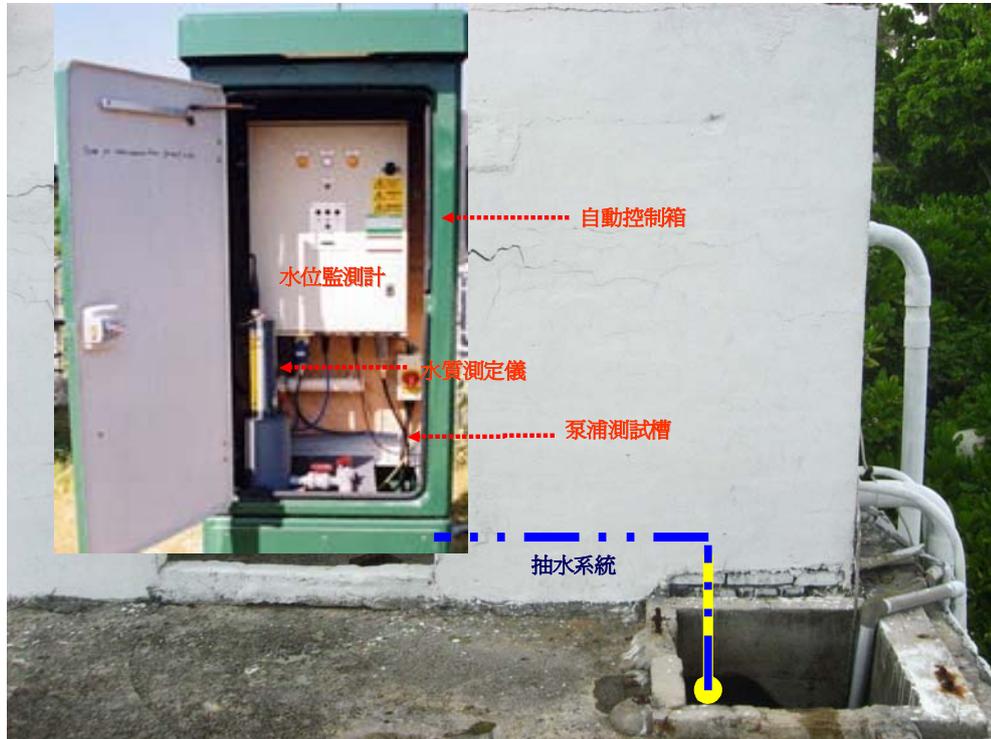


圖 5.3 雨水儲水槽監測系統示意圖

多參數水質環境監測儀，建議使用一套，能夠同時測量多項水質物理參數，水質資料儲存與顯示系統，使用SQL資料庫管理水文、水質數據，使用Web介面如圖5.4。

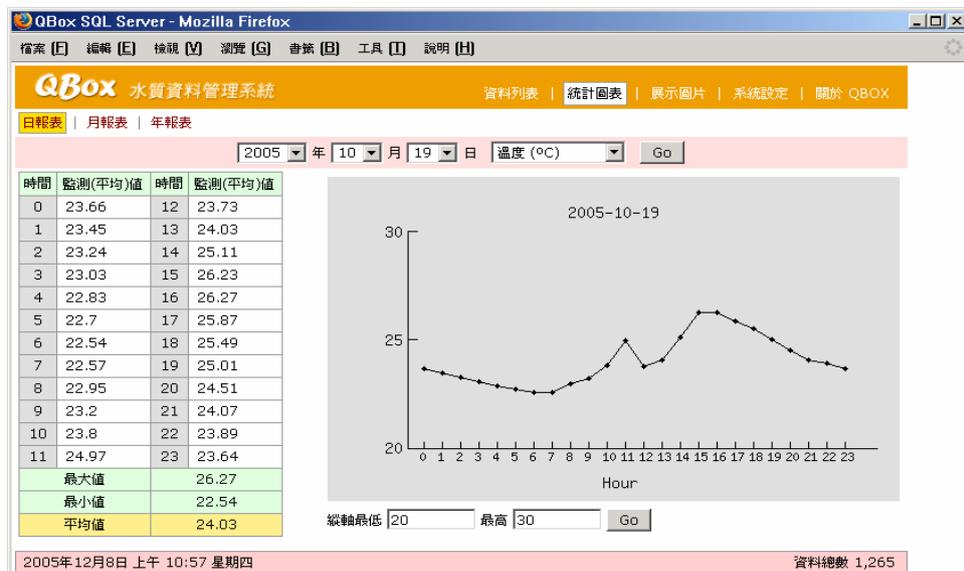


圖 5.4 雨水水質監測系統示意圖

B. 集合場地面集水量分析

島內最平緩處為集合場附近包含海水淡化廠與海軍氣象站等區域，高程約2公尺左右，此區域可視為地下水入滲區，面積約34,000平方公尺（小盆地地形，黃色虛線內），黃色虛線可視為分水嶺，將地面水導入入滲區內進行補注，如圖5.5。

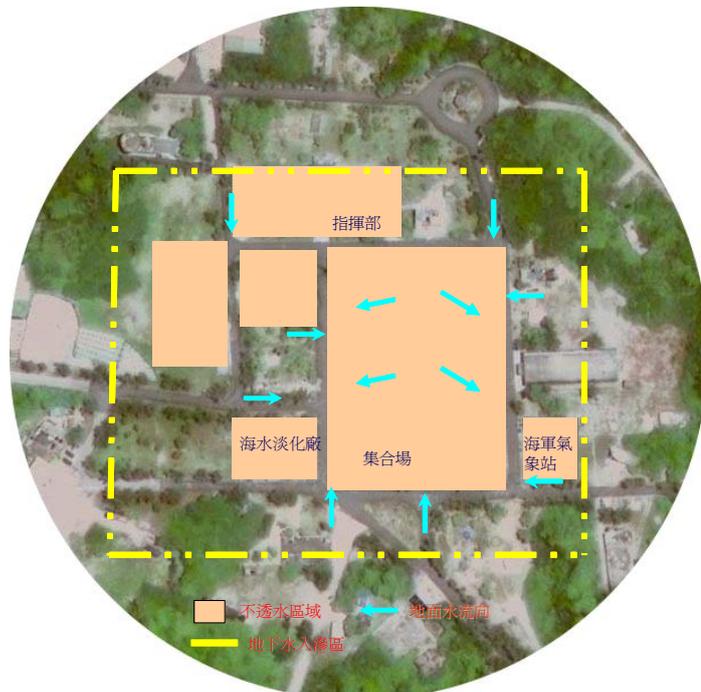


圖 5.5 地下水入滲區與不透水區域位置圖

島內高程推估地下水入滲區主要地面水逕流趨勢分佈如圖5.6，結果顯示早期島內未開發時期，地下水來源經由降雨地表逕流入滲於含水層中。因目前此區域建築物及不透水鋪面比例相當高，約佔入滲區50%~60%，對於地下水補注條件受到限制。建議在集合場最南端設置透水鋪面或原自然狀態，面積679平方公尺，佔集合場總面積2,037平方公尺的三分之一，如圖5.7。以歷年平均月累積最高與最低降雨量分析，考量地表逕流與局部入滲折減係數0.5，九月份平均降雨為244.2公釐，可取得41,517立方公尺的地面水蒐集量，三月為17.5公釐，可取得297立方公尺的地面水蒐集量。以此區域之垂直入滲速率可達 10^{-2} 公分/秒(8.64公尺/天)，透水面積697平方公尺，每場降雨最大入滲量為200立方公尺/天。將每月平均雨量規劃分析，彙整如表4-2.3，每年最多入滲2,742立方公尺/年。



圖 5.6 地面水流向位置圖

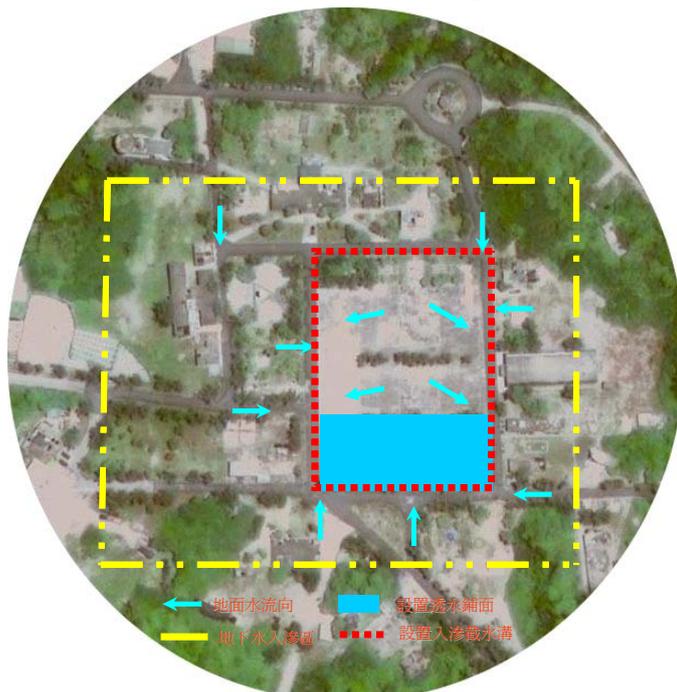
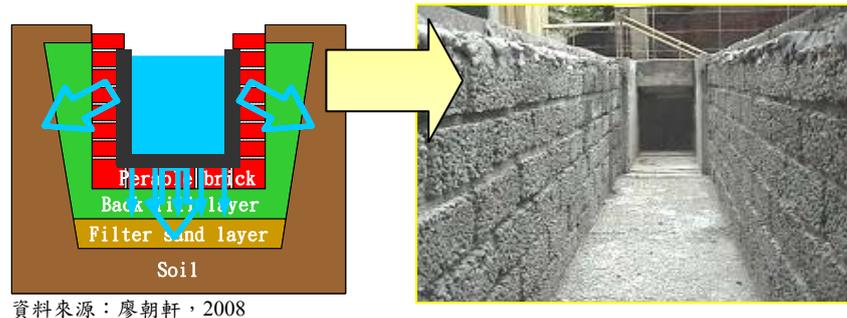


圖 5.7 透水鋪面設置位置圖

表 5.3 地下水入滲量分析表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	總計
累積降雨量(公釐)	24	25	18	56	141	167	194	211	244	146	44	76	1,346
平均降雨日數(日)	6	7	5	6	10	12	12	14	15	8	7	8	110
平均日降雨量(公釐)	4	4	4	9	14	14	16	15	16	18	6	10	130
平均每場降雨地面集水量(立方公尺)	8	7	7	19	29	28	33	31	33	37	13	19	265
平均每月地面集水量(立方公尺)	49	51	37	114	287	340	395	430	497	297	90	155	2,742

集水溝以明渠方式，將截取之雨水以重力方式引入既有規劃之集水池，截水溝儘可能延路旁修築，並充分利用現有溝渠。配合入滲溝渠，一部份水源可藉由渠道入滲至地下含水層，另外一部份進入雨水蒐集系統如圖5.8，若雨水儲存滿載後，以集合場規劃入滲截水溝，總長度為236公尺，深度為45c公尺長度，寬度30c公尺，截水量為31立方公尺，入滲速率為 10^{-3} 公分/秒 (0.8公尺/天)，滿水位入滲量為25立方公尺/天。



資料來源：廖朝軒，2008

圖 5.8 入滲功能截水溝

C. 公路逕流收集系統

另外，島嶼北岸之航機跑道約長1720、寬30公尺，占地51,600平方公尺用地，亦可比照往球場設置集水道，將雨水收集至集水池或再引入水庫。因此，東沙島可增加之集水坪面積如表5.5所示，若含籃球場、網球場及跑道，以日降雨量約20公釐計及逕流係數0.9估計，預計可於每次降雨時收集945立方公尺之雨水，也就是945,000公升，平常可利用為澆灌用水，緊急時約可供給島上200名常駐人員27天使用。

以年降雨量降雨日數推估，可得日平均降雨強度為26.6公釐，倘若不考量收集效率、管線漏水、蒸發散等，日降雨量約以20公釐及逕流係數0.9估計，則降雨日平均每次可有36,666公升之雨水收集量。相較於駐軍200人120公升/人，合計24,000之用水需求，可知在降雨日之降雨集水量約可提供島上全部生活用水，但降雨日數終究僅佔全年不到1/3。

本島目前雨水集水坪收集主要仰賴中央籃球場長97公尺、寬21公尺，總面積2,037平方公尺之地面集水坪，所收集的雨水經集水道導入10萬加侖之戰備水庫。此外，具有雨水收集潛力的地區，包括有：機場跑道、網球場、七據到八據道路如圖5.9，以及各建物的屋頂等；其中，

七據到八據間的步道面積以機場跑道的五分之一來計算。因此，根據雨水估算結果如表5.6可知，各月份的雨水收集量約11,925立方公尺(三月)至149,149 立方公尺(九月)，平均為78,284 立方公尺，總量為934,477 立方公尺之多。

然而，由於籃球場鄰近海水淡化廠，其主要抽其地下半淡鹽水來作淡化水的來源，因此，在考量海水淡化廠不遷移的情形下，該地區應列為東沙島的水源保護區，使得該地區能經降雨補注其地下含水層之水源。所以，雨水收集的總量應扣除籃球場所收集的雨水量3,060 立方公尺(總量的0.33%)，故東沙島經由雨水收集的總量應為931,417立方公尺。

在雨水應用的情形中，因機場跑道與七據到八據的步道的面積最多，為主要的雨水收集處，佔總量的比例分別為83%與17%，故在大範圍且狹長面積的收集情形，其水量可分段匯集或全部經由管路至空軍和七據點作儲存，以便其統籌分配與管理；而網球場與各建物的屋頂，因收集的水量較少，且分布零散，故適合分散儲存與就地使用。然而，由於降雨天數與降雨量的不確定性，各據點使用儲存的雨水需考量各月份的降雨情形來作調配與管理。

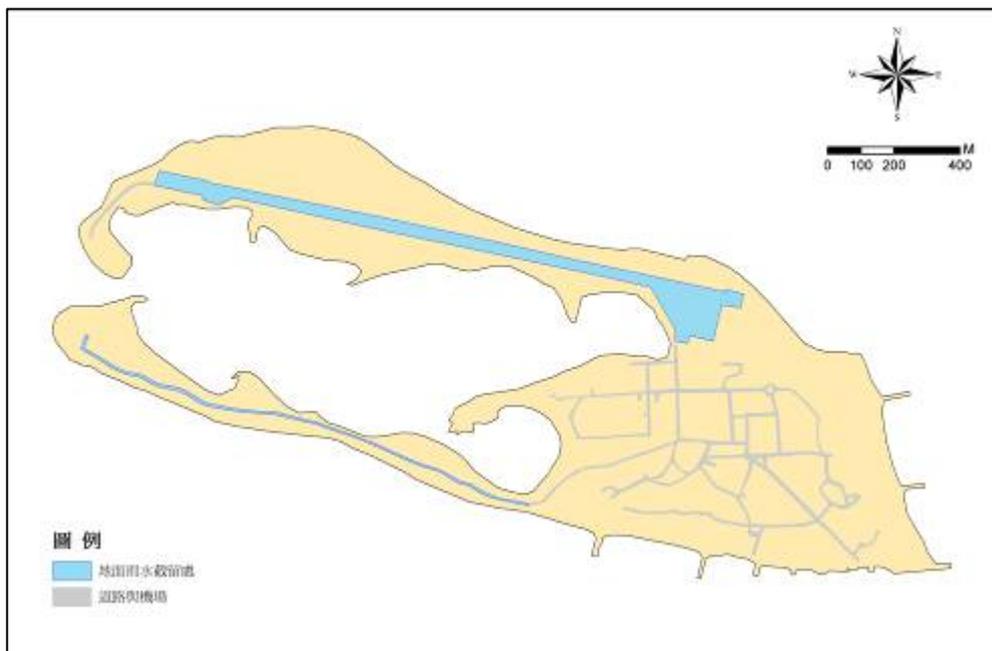


圖 5.9 雨水儲水位置圖

表 5.6 東沙島可用集水坪面積及雨水收集量

項 目	月 份												總和	每月平均	比例(%)
	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二			
平均降水量 (mm)	40.0	38.4	21.3	104.6	201.8	200.7	220.9	210.6	266.4	238.2	44.9	81.3	1,669.1	139.1	
逕流係數	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9			
集水坪面積 (m ²)															
籃球場	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037	2,037			
機場跑道	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000	516,000			
網球場	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840	840			
七據與八據道路	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200	103,200			
雨水收集量 (立方公尺)															
籃球場	73.3	70.4	39.0	191.8	370.0	367.9	405.0	386.1	488.4	436.7	82.3	149.0	3,060.0	255.0	0.33
機場跑道	18,576.0	17,833.0	9,891.7	48,576.2	93,715.9	93,205.1	102,586.0	97,802.6	123,716.2	110,620.1	20,851.6	37,755.7	775,130.0	64,594.2	82.95
網球場	30.2	29.0	16.1	79.1	152.6	151.7	167.0	159.2	201.4	180.1	33.9	61.5	1,261.8	105.2	0.14
七據與八據道路	3,715.2	3,566.6	1,978.3	9,715.2	18,743.2	18,641.0	20,517.2	19,560.5	24,743.2	22,124.0	4,170.3	7,551.1	155,026.0	12,918.8	16.59
總和 (立方公尺)	22,394.8	21,499.0	11,925.2	58,562.3	112,981.6	112,365.8	123,675.1	117,908.5	149,149.2	133,360.9	25,138.1	45,517.4	934,477.8	77,873.2	100

D. 屋頂雨水貯留系統

屋頂集水，也就是將島上各建物屋頂做為降雨的收集面，目前東沙建築物總收集的面積約有3,283平方公尺(海洋管理處,2007)，若暫不考慮收集面材質、日照及降雨時間等因素，以日降雨量約以20公釐及逕流係數0.9估計，降雨時約可收集到59,094公升之水量，若依每人每天洗1公斤衣物，採用省水洗衣機每公斤衣物需要25公升水估算，每次降雨之收集雨水共可提供2,364人次衣物之洗滌用，以目前常駐人口200人估計，約可提供11.8天之洗衣用水。另由東沙島一年中降雨量最少的月份是三月，其平均降雨天數及平均降雨量各為5.6天及21.3公釐，九月之降雨量最多，其平均降雨天數及平均降雨量各為15.0天及266.4公釐，由此數據可看出利用屋頂建物進行雨水收集時，每個月至少都可以收集到大於20公釐之雨水，至少可提供11.8天之洗衣用水，如表5.7。

表 5.7 屋頂雨水收集量

屋頂集水面積 3,283 平方公尺	月 份												總和	備註
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
平均降雨量(公釐)	23.9	25.0	17.5	56.1	141.2	166.9	193.7	211.4	244.2	146.1	44.0	76.3	1346	
平均降雨日數(日)	6	7	5	6	10	12	12	14	15	8	7	8	109	
平均集水量(立方公尺)	78	82	57	184	464	548	636	694	802	480	144	250	4420	
供洗衣用水日數(日)	16	16	11	37	93	110	127	139	160	96	29	50	16	200人/日， 用水量5立方公尺/天

也就是將島上各建物屋頂做為降雨的收集面，總收集的面積約有3,283平方公尺。若暫不考慮收集面材質、日照及降雨時間等因素，以日降雨量約以20公釐及逕流係數0.9估計，降雨時約可收集到59,094公升之水量，以目前常駐人口200人估計，約可提供7.9天之洗衣用水。每個月至少需超過4次降雨且都可以收集到大於20公釐之雨水，至少可提供約30天之洗衣用水，但降雨天數為其中最大變數。

東沙島雨水利用系統係利用建築物（收集面積3283平方公尺），設計採用的雨水收集方式為屋頂集水及集水坪，總收集面積約達3,283平方公尺。依據當地雨量記錄顯示，年降雨量約在1,346公釐左右，以75%的收集效率（25%蒸發或溢散）而言，每年預估收集的水量約在4,420立方公尺/年左右，一般以下述程序來處理所收集的雨水：集水→篩濾→沈澱→砂濾→貯留槽→消毒（視需求而定）→處理水槽（供水槽）。



圖 5.10 雨水貯留灌溉利用系統

對於貯留體容量部分，由於雨天時無需水量之流出使用，建議難以水庫演算之入流量系統，並依「建築物雨水貯留利用設計技術規範」內之合理化公式法之估計水量為佳。表示如下：

本概估以雨水貯留利用率 R_c 以及雨水儲水槽設計容積 V_s 為評估指標。建築物雨水貯留利用設施之雨水貯留利用率 R_c ，應大於建築技術規則建築設計施工編第三百十六條所訂之雨水貯留利用率基準值 R_{cc} ，同時其雨水儲水槽設計容積 V_s 必須大於最小雨水儲水槽容積 V_s 公尺，即必須同時滿足依(4-1)、(4-2)式之規定。

$$R_c > R_{cc} \dots \dots \dots (4-1)$$

$$V_s \geq V_s \text{ 公尺} \dots \dots \dots (4-2)$$

雨水貯留利用率 R_c 與最小雨水儲水槽容積 V_s 公尺之計算依下列計算式為之：

$$R_c = W_s \div W_t \dots \dots \dots (4-3)$$

$$V_s \text{ 公尺} = N_s \times W_s \dots \dots \dots (4-4)$$

其中，自來水替代水量 W_s 以下列日集雨量 W_r 及雨水利用設計量 W_d 之較小者為標準即可，亦即：

$$W_r = R \times A_r \times P \dots \dots \dots (4-5)$$

$$W_d = \sum R_i \dots \dots \dots (4-6)$$

當 $W_r \leq W_d$ 時， $W_s = W_r$

當 $W_r > W_d$ 時， $W_s = W_d$

上述(4-1)~(4-6)式之參數意義與規定如下：

R_c ：雨水貯留利用率，無單位 (-)。

R_{cc} ：雨水貯留利用率基準值 4%，根據建築技術規則建築設計施工編第三百十六條規定。

V_s ：雨水儲水槽設計容積(立方公尺)。

V_s 公尺：最小雨水儲水槽容積 V_s 公尺(立方公尺)。

W_s ：推估自來水替代水量 (公升/日)。

N_s ：儲水倍數，無單位。

Wt：建築物總用水量（公升/日），依表 2 之標準計算，不在表列之建築物類型，根據建築實際設計的用水量需求計算之。

Wr：基地內雨水利用系統設計平均單日集雨量（公升/日）。

R：基地所在地區日平均降雨量(公釐/日)，可以查表 3 台灣各地年平均降雨量統計表，或就近取得中央氣象局在當地雨量測站之近十年之年平均降雨量資料。

P：日降雨概率，無單位。

Ar：集雨面積(平方公尺)，一般設計以屋頂面積計算，也可以將基地地面集雨面積納入，但是必須有集雨管路系統及過濾處理設備設計。

Wd：雨水利用設計量（公升/日）。

Ri：可用雨水來替代之再生水用途項目用水量，由設計單位依據該建築物利用於廁所、清潔、洗車、園藝澆灌之再生水用途項目計算水量來認定。

(a).雨水貯留利用設施系統規劃概要說明：

假如上述之開發案，設計雨水貯留利用設施以彌補環境水資源利用衝擊時，其情況如下：針對規模限制部分，規劃本案的屋頂集水面積共計 3,283 平方公尺，使用在清掃及澆灌等其他用水。根據此案設計雨水替代每人每天用水清潔及澆灌用途合計 20 公升用水，使用人數共 480 人。

評估計算式如下：

$$\begin{aligned} W_r &= (\text{基地所在地區日降雨量 } R \times \text{設計集雨面積 } A_r \times \text{日降雨概率 } P) \\ &= (3.69 \times 3283 \times 0.235) = 2,847 \text{ L/day} \end{aligned}$$

$$W_d = \text{設計預定利用雨水取代自來水之設備使用水量} = 20 \times 480 = 9600 \text{ L/day}$$

$$\text{當 } W_r \geq W_d \text{ 時 } W_s = W_d = 9600 \text{ 公升} = 9.6 \text{ 立方公尺}$$

$$\text{雨水儲水槽容積規劃} = \text{儲水倍數 } N_s \times W_s = 12.78 \times 9.6 \approx 123 \text{ 立方公尺}$$

其雨水貯留利用率：

$$\begin{aligned} R_c &= (\text{自來水替代水量 } W_s) \div (\text{總用水量 } W_t) \\ &= 9600 \div (20 \times 9600) = 0.04 \geq 4\% \text{ (合格基準)} \end{aligned}$$

故本案評定及格

說明：東沙島降雨量少且開發密度較低，在集雨規劃上設施效益評估計算相

對比較有利，也十分適合雨水利用系統之導入設計。

E.生態溼地截流系統

此為具備自然條件溼地且對於淨化水質也有一定功效，而水生植物在此方面扮演了很重要的角色。生態截流池此系統不僅可連結路面截流雨水，導入改善部份水質的功能。此系統能夠排除鄰近區域及其以外所分布的水份，但一般的標準街道排水系統並沒有該街以外水份的滯洪功能，主要以截流迫使水量回流，目標為提供停機坪濕地生態基流量與部份水質處理的功能。以圖5.11為典型濕地雨水系統結合，與東沙島停機坪濕地相當類似，如圖5.12。由停機坪截流地面水導入濕地，供給保存原使自然生態環境，目前此生態池水源屬於鹽水狀態，主要針對50c公尺深埋有廢棄土及管線，並針對停機坪周邊100公尺長，3公尺寬之不透水鋪面年久失修以破損嚴重，可考慮清除後鋪設貝殼沙更能凸顯其原始生態風貌。

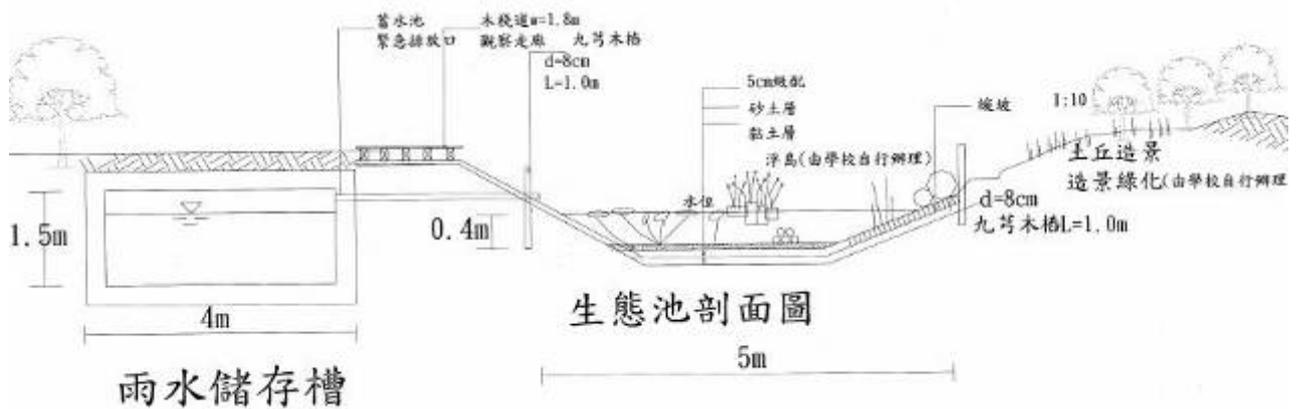


圖 5.11 濕地雨水儲存示意圖

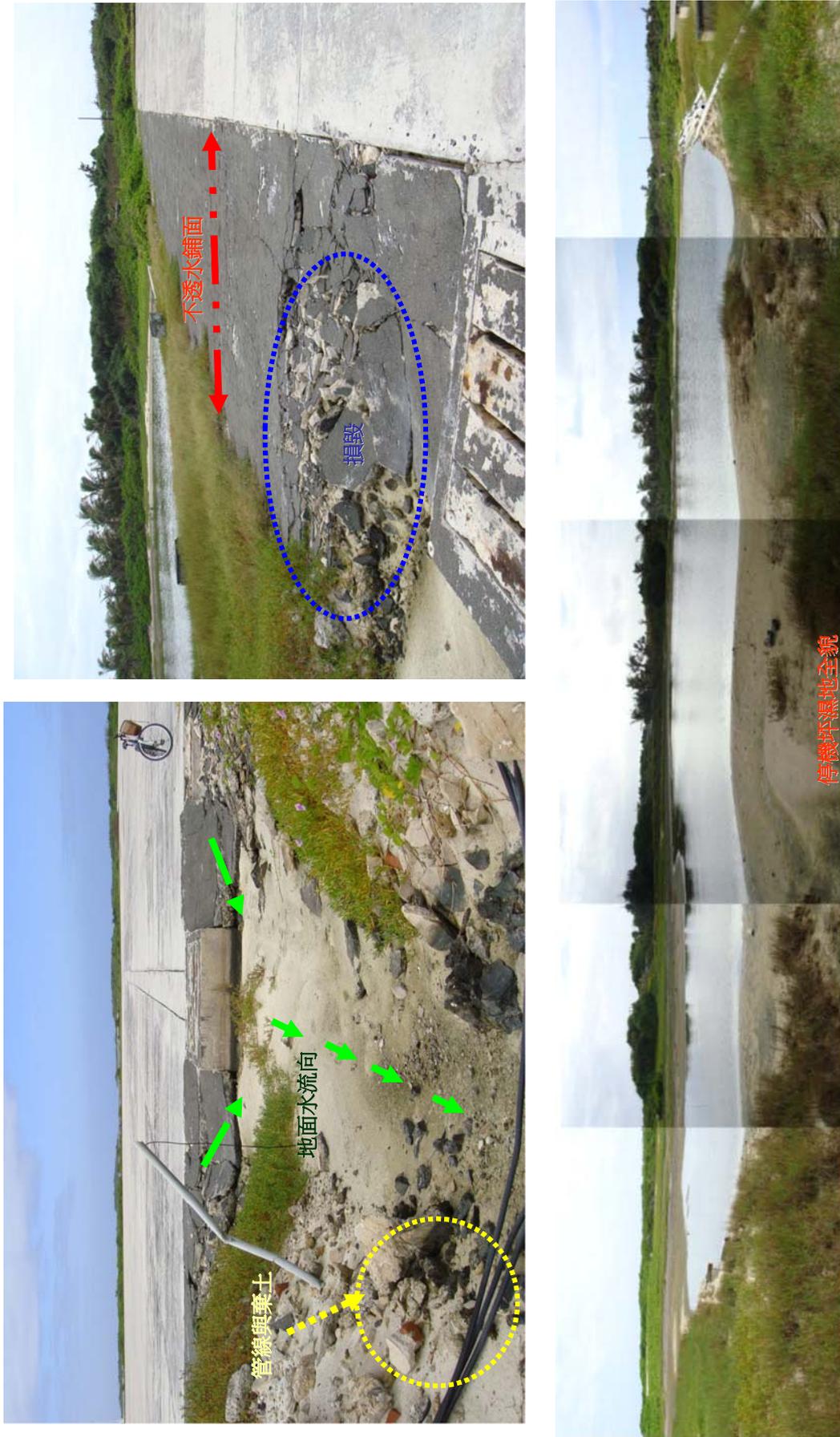


圖 5.12 停機坪濕地現況圖

3.地下水綜合開發評估

東沙島地下水甚為充裕，地下水位高島上海拔高度極低(約海拔0至5公尺左右)，地下水位離地表約1.75至2.56公尺，惟水質略鹹，不宜引用。目前島上各據點和重要建築物據點多設有水井與抽水馬達抽取地下水使用。水井分佈位置為衛星追蹤站、果園、東光醫院、水電中心、海軍氣象站、八據點及海淡廠等7口，詳細位置如圖5.13。部份據點化糞池底座已損壞，排泄廢水滲入地下，地下水質顏色偏黃，不堪飲用，僅可供洗滌之用，如圖5.14。

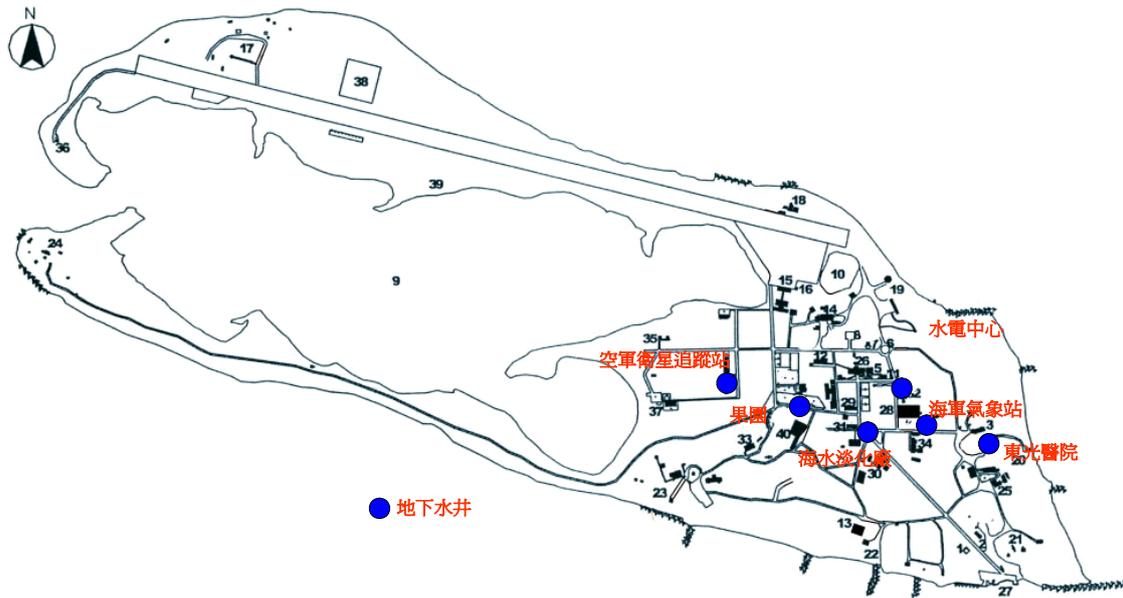


圖 5.13 東沙島水井分佈圖



(A)化糞池破損外漏



(B)地下水井水樣現況

圖 5.14 地下水受污染現況圖

(1). 地下水水文分析

目前島上每天仍固定抽水供應海水淡化廠，為了瞭解東沙島水位變化情況，選取島上較為良好水井作為觀測用。7月份調查顯示地下水水位埋高程最高為在海軍氣象站觀測井為0.14公尺，最低水位在東光醫院觀測井為-0.9公尺。8月份最高為在海軍氣象站觀測井為0.3，最低水位在東光醫院觀測井為-0.88公尺。11月份最高為在海軍氣象站觀測井為-0.28，最低水位在東光醫院觀測井為-1.25公尺地下水水位分佈如圖5.15及5.16。豐枯季節水位變化約在40c公尺~50c公尺。

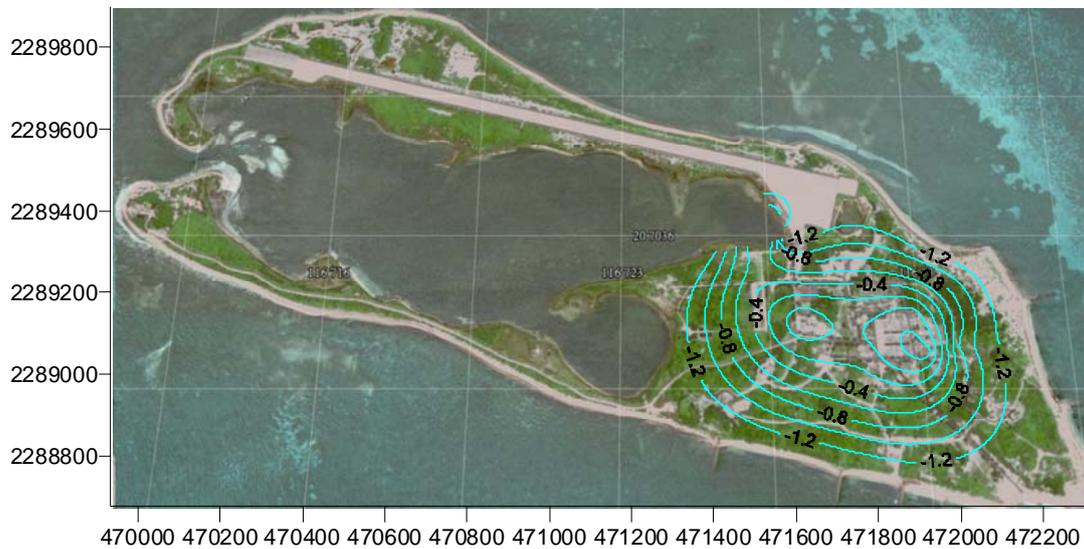


圖 5.15 東沙島地下水水位高程圖 (2009/8)

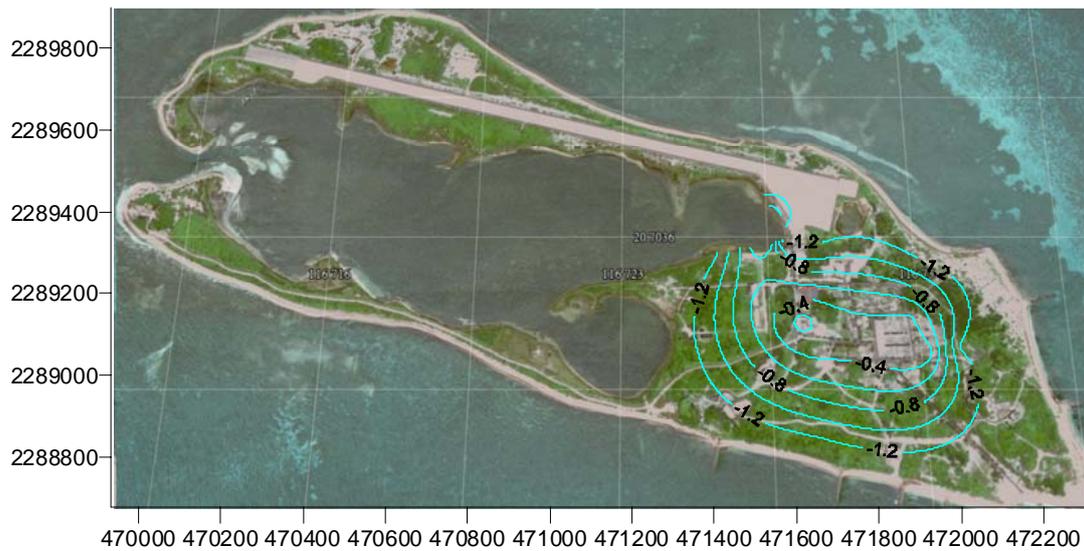


圖 5.16 東沙島地下水水位高程圖 (2009/11)

(2). 鹽度分佈

調查淡水分佈情況主要有4口之鹽度濃度甚低，主要為海軍氣象站觀測井為最佳的淡水鹽度濃度8月份為0.4ppt、11月份為0.6ppt，其次為東光醫院水質鹽度為8月份為0.9ppt、11月份為3.2ppt，水電中心水質鹽度為8月份為1.6ppt、11月份為2.1ppt及空軍衛星站為8月份為3.1ppt、11月份為3.2ppt皆為島內淡水濃度較高區域，如圖5.17及5.18。唯一空軍衛星站的淡水濃度皆無變化，主要該觀測井已無抽水使用，枯水期受影響程度不大，其餘仍有抽水使用。



圖 5.17 東沙島鹽度分佈圖 (2009/08)



圖 5.18 東沙島鹽度分佈圖(2009/11)

(6).地下水抽取量

海水淡化運作方式係由地下水井抽取略為鹽化之地下淡水至UF 機過濾，再經由RO 機轉換成純水。以目前海水淡化-每日雙機輪流運作12小時生產純水共6500~7000加侖(24.605~26.546 立方公尺)，平均每日可生產50 立方公尺/天的淡化水，全年淡化廠最大可生產出8,981立方公尺/year的淡化水提供使用。東沙島海水淡化廠應用的是逆滲透薄膜系統，造水率（水回收率）約為30~40%之間。

採造水率為35%為基準進行計算，若全年生產8,981立方公尺/年的淡化水，則需抽取25,660立方公尺/年的地下水，平均每70.3立方公尺/天。

(7).地下水潛能評估-模式分析

東沙島整體地下水補注量，可利用此地高透水條件以自然方式將雨水藉由入滲進入含水層，為瞭解本研究區域內地下水之流動狀態及其與降雨之間的相互關係，採用地下水流數值模式來進行模擬，因此採用了P公尺（Processing 公尺ODFLOW，Chiang & Kinzelbach，2000）之軟體進行數值模式之模擬。

本計畫選定於東沙島根據地質剖面進行分層概念模型，將含水層主要概略分為一層25公尺深，如圖5.19，針對不同水文地質參數分佈，進行概念模型區分。分別為X：90格，Y:45格，4,050格每格網格劃分為25公尺×25公尺，邊界皆視為定水頭邊界（Constant head boundary）。

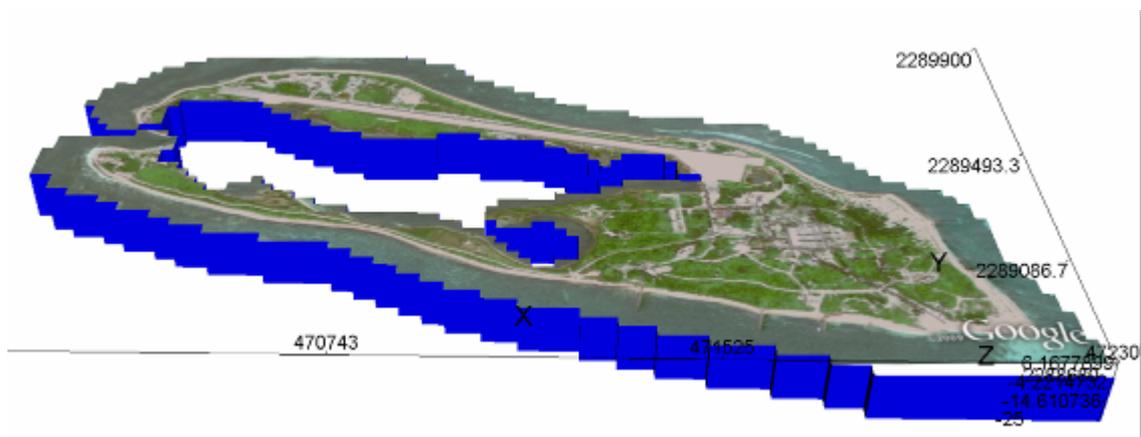


圖 5.19 東沙島概念模型

參數來源為現場調查垂直水利傳導係數 K_v ，水平水力傳導係數為垂直的 15 倍最為初始設定。降雨入滲量資料採用海軍氣象站提供，取以 $R=\alpha\times P$ 估算區域降雨入滲補注量。其中 R 為入滲補注量， α 為入滲補注係數(infiltration recharge coefficient)。

A.地下水蘊藏量評估

所謂地下水開發潛能，本計畫將其定義為區域性之合理出水量，而該出水量不得超過地下水環境之容許界限，而影響地下水資源之永續利用。整體區域之水平衡分析詳表 5.8，自然降雨補注 36 萬噸/年，含水層流出 2.6 萬噸/年，抽水量 2.5 萬噸/年，定水頭流出 31 萬噸/年。

表 5.8 水平衡分析表（單位：立方公尺/year）

項目	流進系統	流出系統
儲存量增加/減少	63,423	90,098
外圍區域流入及流出	977,806	1,290,518
抽水量	0	25,620
降雨補注	365,006	0
合計	1,406,236	1,406,236

B.討論分析

根據島上鑽探資料顯示，島的東南邊(港口附近)岩盤深度較淺(距地表面)越向西邊的岩盤深度越深，而地下水主要蘊藏於含水層（考量含水層深度為 25 公尺）。整體東沙島地下水蘊藏量為初步估計為 140 萬噸，而主要為降雨補注地下水為 36 萬噸/年，絕大部分集中在豐水期間。將東沙島概略分為三區（A、B 與 C），若考量海水淡化廠抽水量 2.5 萬噸/年，以供需角度研判對於地下水之影響不大，海淡廠抽水量遠未超過地下水天然補注量，模擬結果顯示區域地下水將往島內內陸移動如圖 5.20（B 區），抽取周邊的淡水，因此定點抽取地下水可能為主要關鍵因素之一，在 A 與 C 區的部分降雨後淡水隨著地下水流出海洋。因此，外圍海水逐漸入侵，東沙島淡水出水量已經超越安全值，淡水使用量應有管制或停抽減緩鹽化。

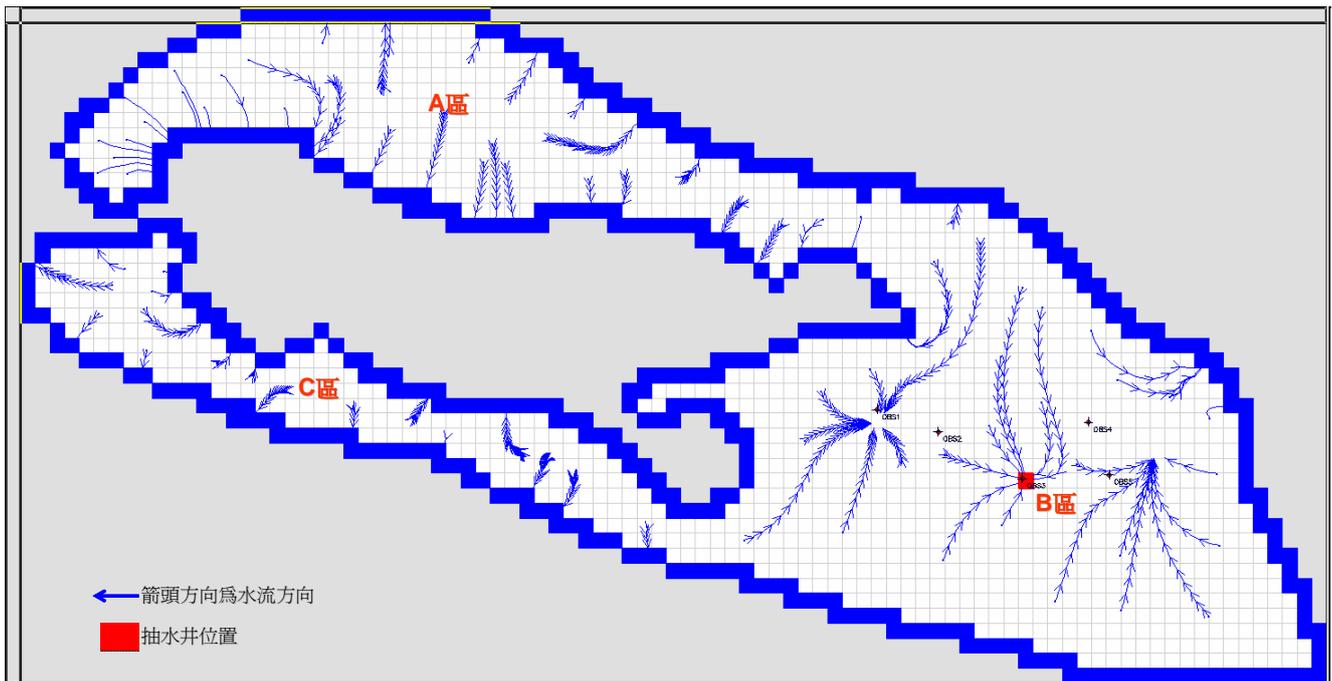


圖 5.20 島內抽水與降雨地下水流向趨勢圖

(8).水質污染防制與監測

東沙島內並未對污染源進行任何處理，以致於生活污水及點源污染等污染物可能流入地下含水層。本計畫針對島內之點源，提出水質改善工程建議，目前水質淨化處理以生態工程較為普遍，並且能成功地處理來自家庭、工業、礦業、畜牧養殖業、農地等之廢排水及受污染水體，有效去除水中的固體物質、有機性物質、氮磷營養鹽、病原菌等污染物，為一省能源、低成本、容易操作維護之廢水處理技術。主要利用水生植物和微生物自然生態淨化方式，並配合人為控制強化其污染物去除能力，亦可達到廢污水處理目標。

A. 規劃原因

東沙島之水質現況為化學需氧量較高的地區為海淡廠抽水井、衛星站南側、及東光醫院廢棄井，其水體受有機物的污染則較為嚴重；此外，該地區生化需氧量(BOD)、總磷、大腸桿菌與氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)之污染較為嚴重。

B. 污水量與污染量推估

東沙島主要源污染主要為廚房污水、洗衣污水、淋浴污水、廁所污水和其他污水等等為主，污水的組成性質為一般家庭污水，所以對於污水處理來說較為單純。依據行政院環境保護署（2006）國內外文獻關於人類排

泄物氮、磷、鉀等相關資料，並考量飲食與洗衣等生活雜用水排放，建議每人每日污染量總磷為 2.5 克，總氮為 15 克，氨氮為 9 克（公尺 et cetera Eddy,1999），BOD 與 SS 為 40 克。目前東沙島以 200 人估算，以家庭污水量之推估是參考每人每天之用水量，基於每人每日污水量產生量與用水量成正比關係，可推估出每人每日之污水產生量，本計畫之計算方式是以每人每日之用水量為基準乘一適當係數而得，一般係數約在 0.69~0.9 之間，而本計畫是採用營建署常用平均值 0.8 作為推估係數。各地區之每人每日用水量均有地域性的不同，因此用水量以營建署泛用之每人每日 250 公升之用水量為基準，計畫區域內之污染產生量為每人每日污水量與污染濃度及人口數相乘即可獲得結果。

推估東沙島污染量總磷為 23ton/year，氨氮為 82ton/year，BOD 與 SS 為 3,65tonyear。若考量長期人口數增加，其污染量增加趨勢如表 5.9。

表 5.9 人口數增加污染量推估

別 人 數	污染 總磷 (TP) ton/yr	氨氮 (NH ₃ -N) ton/yr	生化需氧量 (BOD) ton/yr	懸浮固體 (SS) ton/yr
100	23	82	365	365
200	46	164	730	730
400	91	328	1,460	1,460
800	182	657	2,920	2,920

(5). 地下水監測規劃

具本次調查島內中心位置平緩地區地面下3公尺均可達到地下水水位，島內目前觀測井屬於早期大口徑水井，不利於長期觀測。規劃增設地下水觀測井如圖5.21，為原則上在豐水期間之高地下水水位情況下，需有1公尺井篩置於地下水水位面之上；在枯水期間之低地下水水位情況，至少需1公尺之井篩置於地下水水位面之下。建議島內增設地下水觀測井位如圖5.22，總共22處點位。規劃原則島內中心點位置分佈密度較高，中心位置為淡水蓄存量最佳之處，應可更準確瞭解淡水分佈狀態。靠海邊部分作為掌控潮位與地下水水位變化及影響，採用自動記錄計長期觀測，水位與鹽度變化。對於區域水質短期建以每季進行採樣一次，監控地下水復育情況，若有逐漸改善，調整採樣次數。

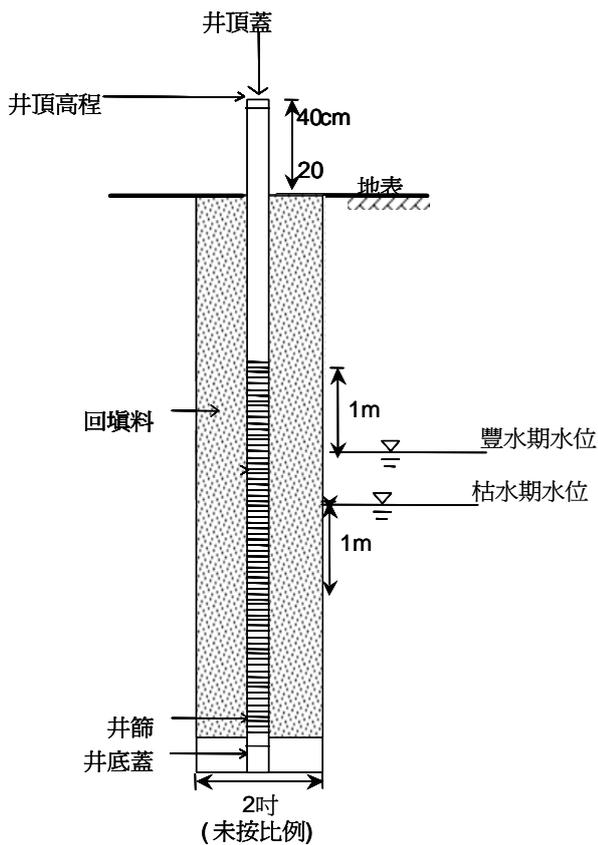


圖 5.21 地下水觀測井設置示意圖



圖 5.22 地下水井增設位置分佈圖

二、水處理與回收再利用之技術評估

本計畫主要針對雨水截流、海水淡化及節能與低環境衝擊之淡化技術，以及廢污水回收處理再利用等三方面進行工作方法評估；針對既有之相關規劃報告及現有資料及設備，彙整分析評估適合島上之水處理及回收再利用之技術。目前相關設備及現況概述如下：

1. 雨水截留

依據東沙島海軍大氣海洋局所提供之東沙島 1996 年至 2005 年間的氣象資料可知，東沙島在近 10 年間之年平均降雨量達 1,346 公釐，而年平均降雨天數達 109 天。

(3). 透水鋪面：

為促進東沙島內部分建築基地涵養、貯留、滲透雨水功能之設計，本計畫納入建築基地保水指標如表 5.10，使得具備原裸露基地涵養或貯留滲透雨水之能力，並盡量將車道、步道、廣場等人工鋪面設計成透水鋪面主要功能：增加土壤地面—可增加雨水的直接入滲效果，通常土壤地面用來作為種植植栽的綠地，屬於最自然、最環保的保水設計。

增加透水鋪面—一般良好透水鋪面的透水性能相當於裸露土地，可以增加透水鋪面積。

貯留滲透設計—就是讓雨水暫時貯存於水池、低地，再慢慢以自然滲透方式滲入大地土壤之內的方法，是一種兼具防洪功能的生態透水設計。

表 5.10 各類保水設計之保水量計算及變數說明

項目	各類保水設計之保水量 Q_i (立方公尺)	保水量 Q_i 計算公式	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 Q_1	$Q_1 = A_1 \cdot k \cdot t$	A_1 ：綠地、被覆地、草溝面積 (m^2)，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。
	透水鋪面設計保水量 Q_2	$Q_2 = A_2 \cdot k \cdot t + 0.1 \cdot h \cdot A_2$	A_2 ：透水鋪面面積 (m^2) h ：透水鋪面基層厚度 (公尺)

(a).塊狀透水鋪面：

為塊狀硬質材料所構成，如連鎖磚、石塊、水泥塊、磁磚塊、木塊等硬質材料以乾砌方式拼成。其透水性能主要由表面材的乾砌間隙達成，如圖 5.23。每一塊實體塊材表層鋪面面積必須在 0.25 平方公尺以下(有孔洞的植草磚不在此限)。若為高壓混凝土連鎖磚，則品質要求需符合 CNS13295(A2255)之規定，以確保其抗壓強度及吸水率符合規定。

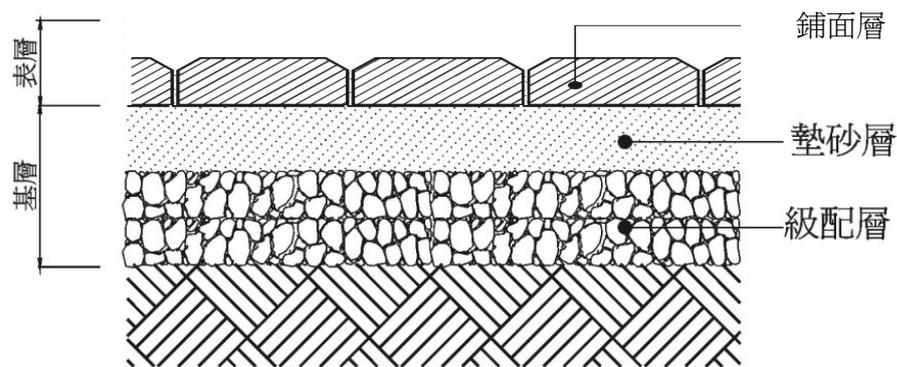


圖 5.23 塊狀透水性鋪面圖

(b).整體型透水鋪面：

為整體成型之透水面狀材料所構成，如透水性瀝青、透水性混凝土、多孔性混凝土版構造或透水性樹脂混合天然石砂粒等。其透水性能主要由表層材料本身孔隙來達成，如圖 5.23。

整體鋪面之滲透係數(K)需大於 10^{-5} 公尺/s，申請文件須檢附材料之試驗結果，或依地工織物正向透水率試驗 CNS13298(A3337)內之定水頭試驗量測以證明。

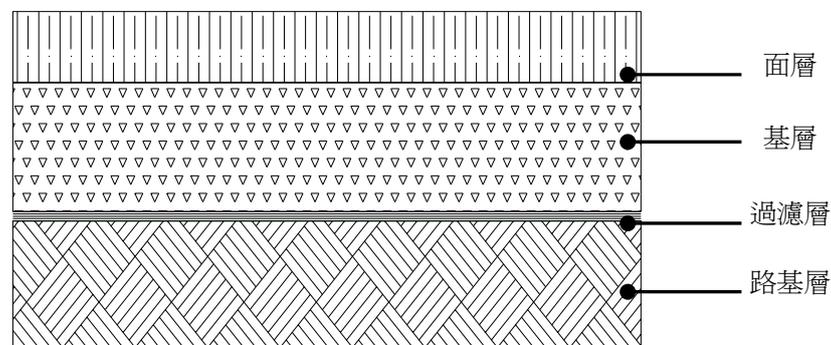


圖 5.24 整體型透水性鋪面圖

以東沙島為例可於部分道路設置整體透水鋪面，建議於目前新設管理站前道路，作為示範道路推廣，如圖5.25。



圖 5.25 整體型水性鋪面圖

2. 海水淡化以及節能與低環境衝擊之淡化技術

(1). 用水分析

內政部營建署執行之「東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計」，於報告內提出東沙島目前之常駐人口數、中程與長程之開放觀光人口數。由表 5.11、5.12 可知東沙島常駐人員約為 200 人，在不增建新建築物且水資源、能源能滿足觀光需求的前提下，中程可開放 100 人次不住宿觀光，20 人次住宿觀光；遠程可開放 200 人次不住宿觀光，40 人次住宿觀光。而其使用水及飲用水分析如表 5.13 及表 5.14 所示。

表 5.11 東沙島常駐人口與開放觀光人口表

開放觀光計劃時程	常駐人口(人)	每日不住宿觀光人次(人)	每日住宿觀光人次(人)
現況	200	0	0
中程開放觀光人口	200	100	20
長程開放觀光人口	200	200	40
說明	1. 本表資料為在不增建新建築物且水資源、能源能滿足觀光需求的前提下所提出的數據 2. 目前島上不開放觀光人次；中程開放觀光計劃時程預定為5年；長程開放觀光計劃預定為10年。		

資料來源：東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計

表 5.12 東沙島各開放觀光計畫時程每日生活用水量計算表

開放觀光計畫時程	島上人員類別	各類人員之人數(人)	每人每日平均生活用水量(公升/人/日)	各類人員每日設計生活用水量(公升/日)	每日設計生活用水量(公升/日)
目前實況	常駐人員	135	155	20,925	20,925
中程開放觀光人口	常駐人員	135	155	20,925	27,025
	觀光人口(住宿)	20	155	3,100	
	觀光人口(不住宿)	100	30	3,000	
長程開放觀光人口	常駐人員	135	155	20,925	33,125
	觀光人口(住宿)	40	155	6,200	
	觀光人口(不住宿)	200	30	6,000	

資料來源：東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計

表 5.13 東沙島各開放觀光計畫時程每日飲用水量計算表

開放觀光計畫時程	島上人員類別	各類人員之人數(人)	每人每日平均飲用水量(公升/人/日)	每日設計飲用水量(公升/日)	每人每日平均食用水量(公升/人/日)	每日設計飲用水量(公升/日)	每日設計飲食用水量(公升/日)	
目前實況	常駐人員	135	3.0	405	7.31	987	1,392	
中程開放觀光人口	常駐人員	135		765		1,125	2,741	3,866
	觀光人口(住宿)	20						
	觀光人口(不住宿)	100						
長程開放觀光人口	常駐人員	135		1,125	2,741	3,866		
	觀光人口(住宿)	40						
	觀光人口(不住宿)	200						

資料來源：東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計

表 5.14 東沙島各開放觀光計畫時程水資源量統計表

開放觀光計畫時程	島上人員類別	每日設計生活用水量(公升/日)	每日設計飲食用水量(公升/日)	總和(公升/日)
目前實況	常駐人員	20,925	1,392	22,317
中程開放觀光人口	常駐人員	27,025	2,629	29,654
	觀光人口(住宿)			
	觀光人口(不住宿)			
長程開放觀光人口	常駐人員	33,125	3,866	36,991
	觀光人口(住宿)			
	觀光人口(不住宿)			

(2).海水淡化規劃分析

而以目前島上海水淡化廠現有規模（24公噸），已無法供給中程及長程開放觀光人口之需求（5.8），故本計畫研擬3個方案，以供未來水資源需求，

其方案說明如表5.15所示。

表 5.15 方案研擬表

方案	淡化設備	取水來源	考量因子	經費成本	對地下水之衝擊
一	原系統升級	島上周圍地下水井	<ul style="list-style-type: none"> ●原淡化廠升級成本 ●地下水井鑽鑿成本 ●管線系統維護成本 	中	高
二	半鹹水	島上周圍地下水井	<ul style="list-style-type: none"> ●海水淡化廠建造成本 ●地下水井鑽鑿成本 ●管線系統維護成本 	高	高
三	海水	外海	<ul style="list-style-type: none"> ●海水淡化廠建造成本 ●管線系統維護成本 	高	無

(a).方案一

方案一之內容為將現有淡化系統升級，提高產能至每日 40 噸，且將水質提升至飲用標準，至於取水地點，改變原有於島中央區域之單一地下水井，於島上周圍區域配置數口抽水井，輪流抽取以減少對島上未受海水污染之地下水之衝擊，所需考量的因子有現有淡化系統升級成本、海水淡化廠營運維護成本、地下水井鑽鑿成本、管線系統維護成本，如表 5.16。

表 5.16 方案一執行項目表

一、工程類	
項目	工程內容
1.現有淡化系統升級	每日產量 40 噸
2.鑿井工程	深約 10 公尺，分布於島上周圍地帶
3.管線配置	由水井通連至淡化廠及使用地點之管線
二、非工程類	
項目	維護
1.地下水水位觀測	定期觀測地下水水位
2.地下水水質檢測	定期監測地下水水質
3.連接管線維護	定期維護管線
4.海淡廠維護	定期維護海淡廠

(b). 方案二

方案二之內容為興建半鹹水淡化廠，並且將抽水井設置於島上周圍區域，以減少對島上未受海水污染之地下水之衝擊，所需考量的因子有海水淡化廠建造成本、海水淡化廠營運維護成本、地下水井鑽鑿成本、管線系統維護成本。預估若興建新的日產能 40 噸半鹹水淡化廠，建置經費約新台幣 2,900 萬，廠房使用面積約 500 平方公尺，實際金額與使用面積會依現場狀況而有所變動，如表 5.17。

表 5.17 方案二執行項目表

一、工程類		
項目	工程地點	工程內容
1. 半鹹水淡化廠	-	每日產量 40 噸，預估金額約 2,900 萬，廠房面積約 500 平方公尺。
2. 鑿井工程	-	深約 10 公尺，分布於島上周圍地帶
3. 管線配置	-	由水井通連至淡化廠及使用地點之管線
二、非工程類		
項目	工程地點	維護
1. 地下水水位觀測	-	定期觀測地下水水位
2. 地下水水質檢測	-	定期監測地下水水質
3. 連接管線維護	-	定期維護管線
4. 海淡廠維護		定期維護海淡廠

(c). 方案三

方案三之內容為興建海水淡化廠，將管線拉至海中，抽取海水，所需考量的因子有海水淡化廠建造成本、海水淡化廠營運維護成本、管線系統維護成本。預估若興建新的日產能 40 噸海水淡化廠，建置經費約新台幣 3,300 萬，廠房使用面積約 630 平方公尺，實際金額與使用面積會依現場狀況而有所變動，如表 5.18。

表 5.18 方案三執行項目表

一、工程類		
項目	工程地點	工程內容
1.海水淡化廠	-	每日產量 40 噸，預估金額約 3,300 萬，廠房面積約 630 平方公尺。
2.管線配置	-	海水抽汲管線及使用地點之管線
二、非工程類		
項目	工程地點	維護
2.海水水質檢測	-	定期監測海水質
3.連接管線維護	-	定期維護管線
4.海淡廠維護		定期維護海淡廠

經由規劃三個案例，提出整體海水淡化設計流程，如圖5.26，以供未來初步海水淡化規劃。

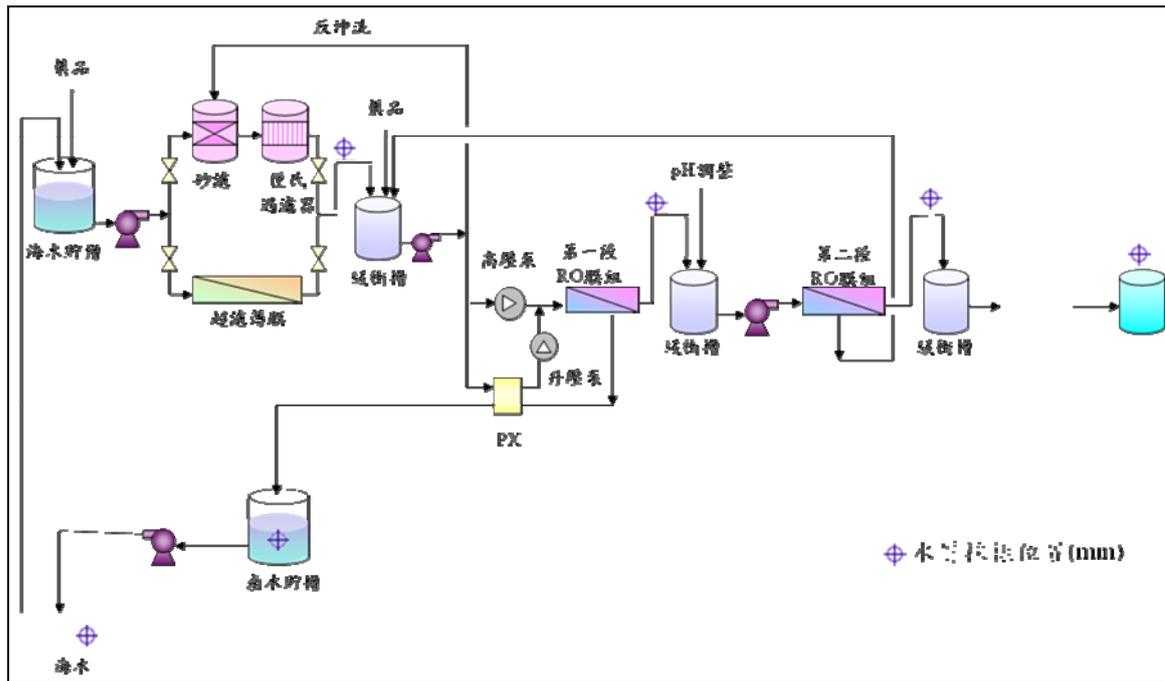


圖 5.26 海水淡化廠設計流程示意圖

3.廢污水回收利用

由於東沙島地勢最高的地方位於指揮部附近，大致在本島的中心點位置，而地勢順著四周圍降低，其地下水水流亦由此水力梯度順勢流向海邊，故化糞池與廢水的排放，應盡量避免設置於東沙島地勢較高的地區。因此，建議廢污水收集與回收的位置可選在雷達站、漁服站與東光醫院附近的空地較為合適，於收集污水時則不需泵浦抽取，可由重力流的方式匯集；此外，這些點位位在潟湖與海岸邊緣，其廢污水處理過的水可透過補注井或匯集於蓄水池，再入滲或補注於地下的含水層，不僅可增加東沙島的地下含水層的水量，並且可防止海水入侵，以保護本島僅存的地下水資源。

(1).現況說明：

東沙島日前廢水回收規劃方案應該由前置處理後再由後端自然方式來處理，提出相關技術評估方案說明如下：

A.廢污水：東沙島主要的廢污水來源為餐廳的洗滌水，以及淋浴及盥洗等用水。目前島上主要有空軍、一中與二中等餐廳，各餐廳的洗滌水皆無處理而直接排放，尤其是空軍餐廳的排水口在大潟湖東側，可結合淨化槽將污水統一收集處理，建議達到二級放流標準，放流入停機坪濕地，建造費用低廉，但污泥處理等後續處理較困難。主要處理流程如下所圖5.27所示：

- (a).初沉槽：具緩衝功能，以減少後續處理單元負荷，初步分解水中的有機物，容納、貯存廢棄的污泥。
- (b).接觸曝氣槽：藉接觸材料於曝氣槽中與廢水充分均勻接觸，經一段時間，接觸濾材開始附著微生物生長而形成生物膜，利用該生物膜於好氧狀態下，吸附氧化廢水中大量有機物。
- (c).沉澱槽：將混合液靜置後產生之上澄液放流，藉由傾斜設施將污泥加以沉澱濃縮，以減少污泥迴流之動力費用。
- (d).消毒放流槽：利用氯錠消毒劑為強氧化劑之功能以減少病原體之數量及活性。

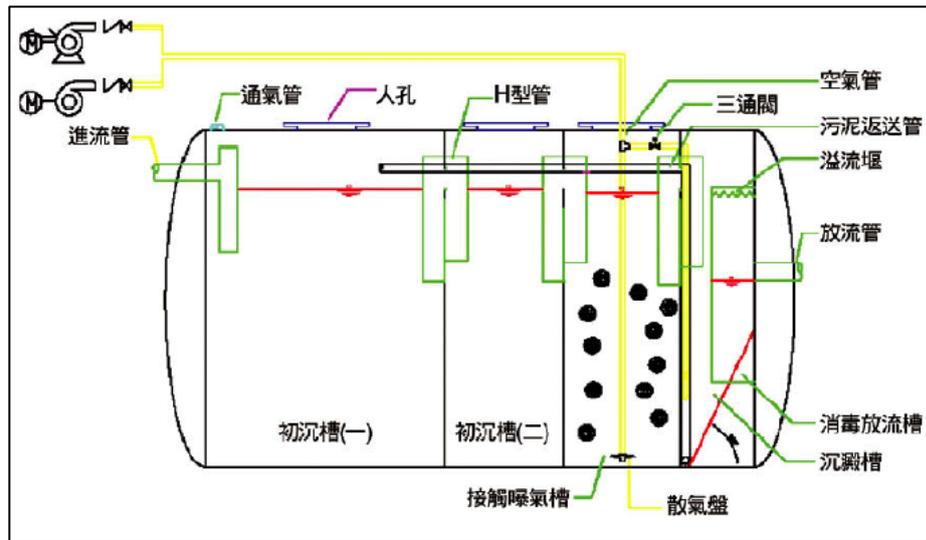


圖 5.27 預鑄式淨化槽示意圖

(B).化糞池：資料顯示島上已有17座大大小小的化糞池正在使用，且分佈在島上各個產出污水之建築物及據點附近，故以現階段來說是可以對污水做初步的處理。由於目前沖廁用水係利用海水，氯濃度太高，因此導致化糞池處理效果不佳，上澄液水質不佳，地下水位較高，所以取其上澄液來施肥可能會影響到地下水水質。也會間接影響海淡後RO水質，且經檢測地下水水質亦證實此現象。規劃可採用乾式公廁（60公尺posting toilet）之處理方式，乃是將人體排洩之糞、尿等，與木屑、菌種等混合，調整含水率與微生物充份混合後再提供適當氧氣，利用微生物將人體排洩物減量及安定化之功能。乾式公廁應用微生物將有機污染物質分解，達到減量及安定化目的，因此須提供微生物最佳生長環境，快速繁殖、增長及新陳代謝，將有機物減量及安定化。因此微生物最佳生存環境之含水率為60%，水份過高氧氣傳遞不易將形成厭氧反應，含水率過低將抑至微生物成長。但人體排洩物中水份含量90%以上，同時氮、磷等營養源含量也很高，因此將以添加木屑及稻殼等以調整含水率及碳氮比等，以創造微生物最佳生長環境。乾式公廁設施及功能如下表5.19所示：

表 5.19 生態化乾式公廁設施

主要機構及材料	設施名稱	功能
填充材	木屑、腐熟堆肥、腐爛落葉	水份調整 微生物添加
攪拌裝置	轉盤、減速機、攪拌軸	混合、通氣
溫控裝置	保溫材	固定溫度利於微生物成長
通風設施	排風扇	改善室內空氣 提供微生物氧氣
安全裝置	照明 自動計數裝置	提供照明 人數統計
醱酵槽	攪拌葉片、轉軸	堆肥完全腐熟
雨水截留系統	儲水槽、過濾器	儲存清潔用水
再生能源產生裝置	風力機、太陽電池系統	通風及照明用電

生態化乾式公廁應用固態醱酵原理，將人體排洩物經由填充材及堆肥等經由適當攪拌及通風設計，應用微生物將人體排洩物有機成份分解為水份及二氧化碳排放，達到減量及安定化功能，此種處理程序不須用水沖洗及不排放污水，因此可應用於水源保護區及缺水地區全年皆可應用主要設計功能：

1. 應用生態化乾式公廁，應有室內空氣循環裝置，以排風管將空氣從室內向下經由醱酵槽再由通風管排出，維持室內空氣新鮮及提供微生物生存所須氧氣。
2. 生態化乾式公廁應有攪拌裝置，提供糞便、副資材、及堆肥充份混合，以調整其水份及促進醱酵。
3. 生態化公廁應有適當能源供應，應用於照明、通風、攪拌或保溫應用，能源供應以現場狀況決定使用台電電力、風力或太陽能。
4. 生態化乾式公廁醱酵槽最少應有 10 公分厚之保溫材料，防止熱量散失，保溫材可選用矽酸鈣、玻璃棉等絕熱良好材質。
5. 乾式公廁所應規畫定期取出內部堆肥，應以實際狀況決定清運頻率，但清除頻率不低於 6 個月 1 次，。取出之堆肥應加以二次醱酵之作用，經 60°C 以上高溫至少 3 天以上，以確認作為堆肥使用

安全，產生堆肥應以景觀綠化應用為限。

乾式廁所的功能效益與使用壽命，完全取決於使用者的維護頻率，若將排遺以外的垃圾丟入醱酵槽內，將使得自然分解能力大打折扣，另一方面醱酵槽內的木屑也必須配合廁所使用量，於適當時間內做更換替補的維護工作，二者環環相扣且將是影響本設施的主要成敗因素。



圖 5.28 乾式廁所示意圖

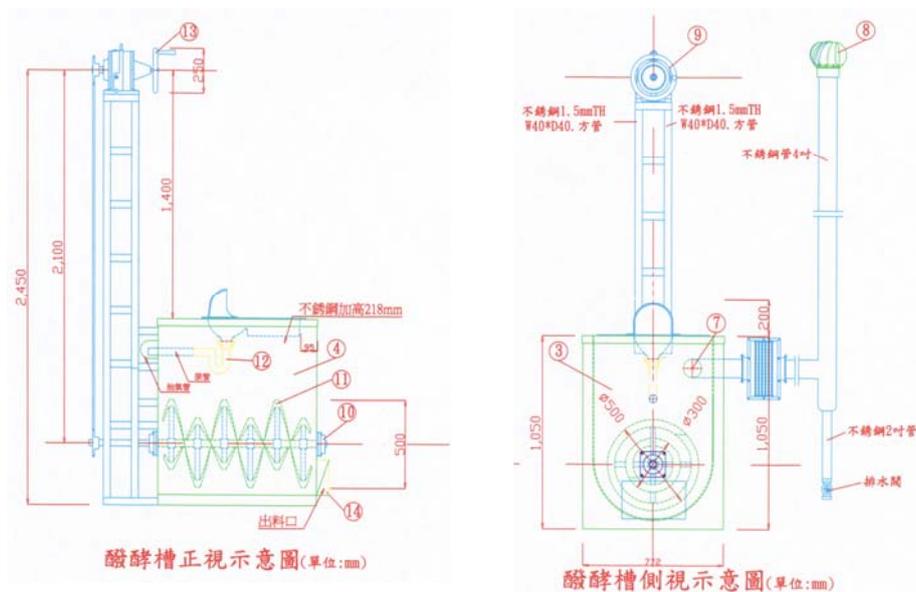


圖 5.29 手動式乾式廁所剖面圖

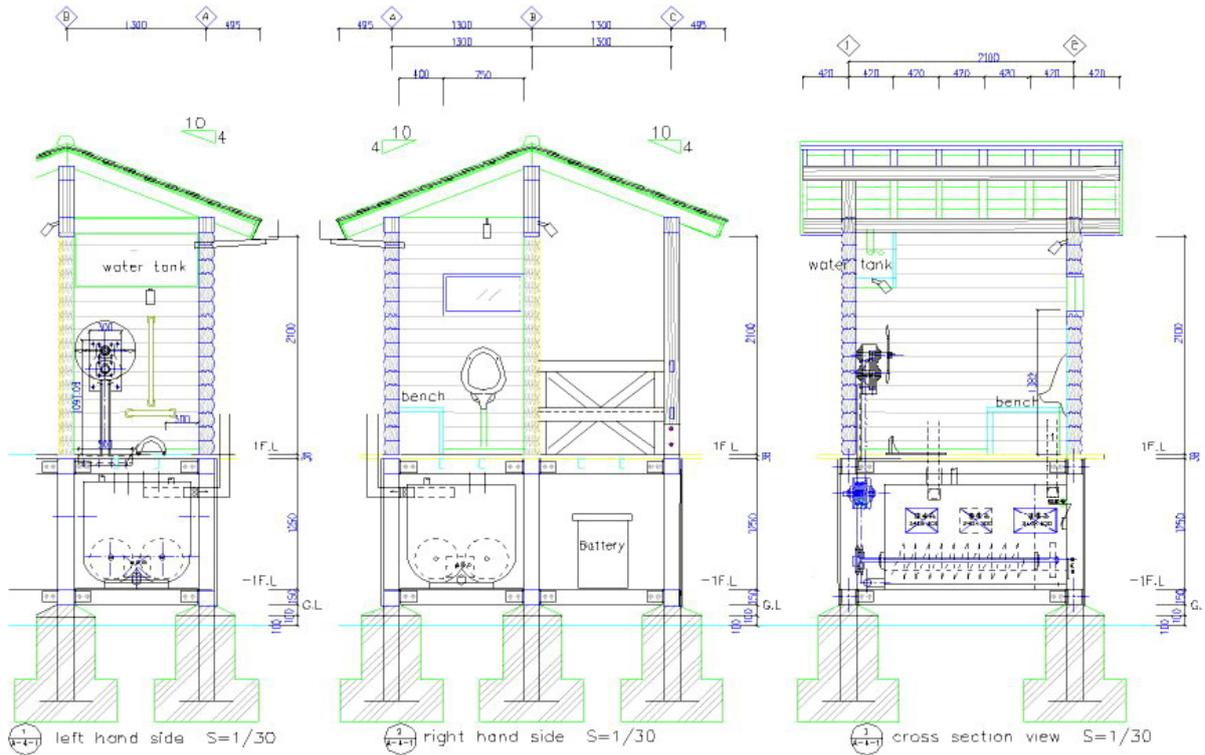


圖 5.30 乾式廁所設計圖

一般人每天大號約一次到兩次，但小便則多達 6~8 次，也就是說每人每天利用馬桶的次數為 10 次，因此平均每個人一天可能經由馬桶用掉近 80 公升的水量，以東沙島為例，由於目前島上使用人員以 200 人計算，每天可節省 16 立方公尺的水，一年可省下 58,400 立方公尺。

(2).技術評估分析：

由上述兩種廢水回收方案分析，得知目前東沙島上僅有初級處理化糞池，但又因其地下水位較高因素，使得處理效能低，造成間接影響生態環境。淋浴及盥洗用水消耗量甚大，雖屬污水，但其水質尚可回收再利用。

以目前短中程的每日計畫污水量 40 立方公尺/天來估算，所需淨化槽體積為 40 立方公尺，算是處理規模較小的污水廠，若考慮反應槽所需之曝氣管徑及沉澱池等設備，整個處理的設備僅需約 40 平方公尺的面積，其反應槽高度約為 1 公尺即可。規劃在淨化槽之後設置透過自然濕地加以處理，應可達到最低的放流標準。

三、供水潛能之分析

區域水資源整體規劃與未來的發展趨勢推估未來各期程的用水需求，並依據區域內水資源設施供需情勢適時檢討及修訂水資源計畫，以因應未來的用水需求。

1. 供水分析

表5.20與圖5.30為目前東沙島用水人口趨勢分析，根據開放觀光人口成長為10人/年、50人/年、100人/年與200人/年，分別從優先規劃工程進行分析，目前供水量為50噸/天，首先新設海水淡化廠增加40噸/天供應、乾式廁所與屋頂集水增加30噸/天、集合廠透水鋪面工程增加175噸/天、地面集水工程增加2,500噸/天。增設海水淡化廠為主要優先考量其供水穩定性佳，不易受到自然因素影響。其次為乾式廁所與屋頂集水，最後為地面集水包含透水鋪面等技術。

表 5.20 供水量分析表

年份	供水量分析 (噸/年)			
2009	50	50	50	50
2010	52.5	62.5	75	100
2011	55	75	100	150
2012	57.5	87.5	125	200
2013	60	100	150	250
2014	62.5	112.5	175	300
2015	65	125	200	350
2016	67.5	137.5	225	400
2017	70	150	250	450
2018	72.5	162.5	275	500
2019	75	175	300	550
2020	77.5	187.5	325	600
2021	80	200	350	650
2022	82.5	212.5	375	700
2023	85	225	400	750
2024	87.5	237.5	425	800
2025	90	250	450	850
2026	92.5	262.5	475	900
2027	95	275	500	950
2028	97.5	287.5	525	1000
2029	100	300	550	1050
說明	現行人數為 200 人 每年增加 10 人 用水量增加 2.5 噸/年 第 20 總用水量 100 噸/年	現行人數為 200 人 每年增加 50 人 用水量增加 12.5 噸/年 第 20 年用水量 300 噸/年	現行人數為 200 人 每年增加 100 人 用水量增加 25 噸/年 第 20 年用水量 550 噸/年	現行人數為 200 人 每年增加 200 人 用水量增加 50 噸/年 第 20 年用水量 1,050 噸/年
	新設海水淡化廠，	乾式廁所與屋頂集水，	集合場鋪面，	地面集水

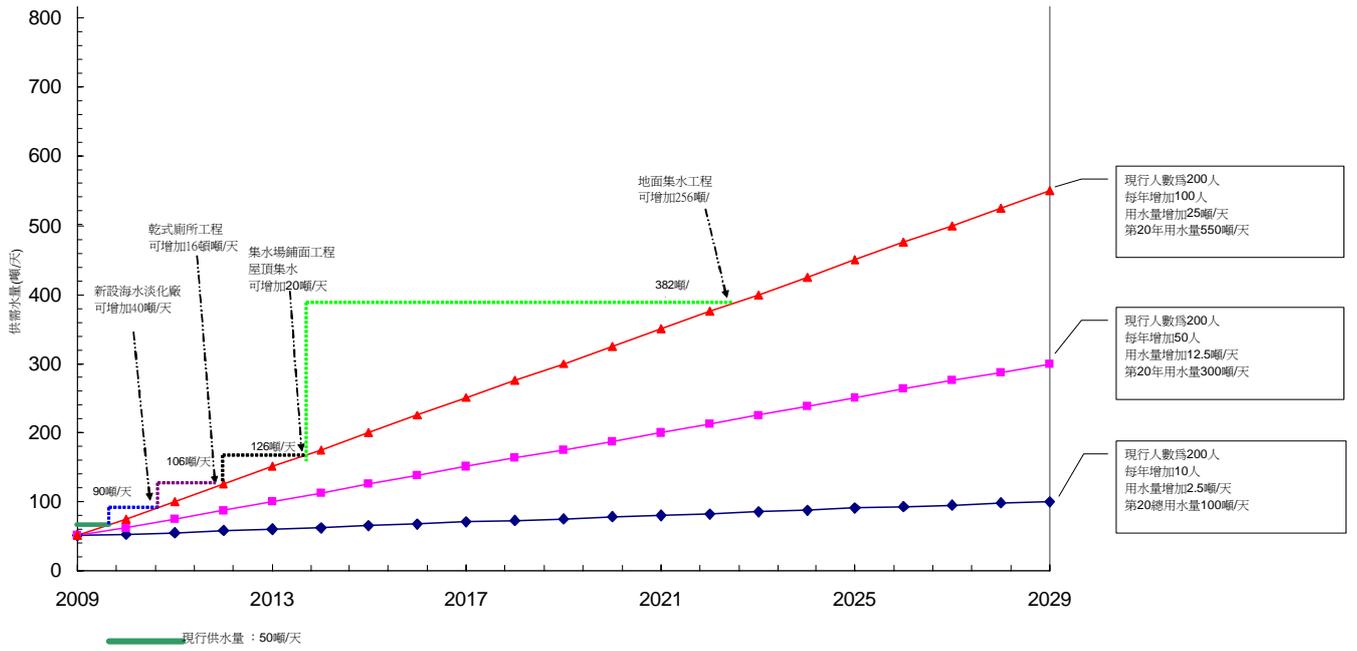


圖 5.31 東沙用水量趨勢分析圖

2. 東沙島水資源評估

在此以現有資料進行水平衡分析，以瞭解目前島上水資源利用情形，以目前島上環境來觀之，天然水資源的收入僅有降雨，而支出則包含蒸發、人工截留（不透水鋪面）、地下水抽水等因子，如圖 5.31 所示，以下就各項目因子進行說明。

1. 降雨量：在此以東沙島海軍氣象站 1997~2006 年之平均降雨量資 1,346 公釐為主，以降雨量乘以全島面積 1.74 平方公尺，則可之年降雨量為 2,342,040 立方公尺。
2. 人工截留：由於島上目前設有屋頂雨水貯留系統，建築物面積為 3,283 平方公尺，佔全島面積之 0.2%，故人工截留量為 4,684 立方公尺。
3. 地下水抽取量：島上主要之地下水抽取量，為目前海水淡化系統之抽取量為主，全年抽取 25,660 立方公尺之地下水。
4. 逕流入海量：逕流入海量，在此以降雨量乘以逕流係數進行求得，逕流係數表參考值如表 5.15 所示，考量島上土地形態，逕流係數以無開發整地之丘陵地或森林地逕流係數平均值 0.65 進行估算，其計算因子如下式所見，全年之逕流入海量為 1,518,228 立方公尺。

$$\text{逕流入海量} = \text{降雨量} \times \text{逕流係數} \times (\text{全島面積} - \text{建築物面積})$$

5. 蒸發量：由於島上並無蒸發量紀錄值，在此以同樣為地形相似之澎湖地區蒸發量 1,800 公釐/年 r 進行估算，但由於此數據為由蒸發皿觀測之值，屬於势能蒸發量（Potential evaporation），意即地表上一直有水存在所貢獻之蒸發量，由東沙氣象站資料可知，每年平均降雨日數為 109 天進行估算，蒸發量估算式如下所示，全年之蒸發量為 1,122,372 立方公尺。

$$\text{蒸發量} = (1,800/365) \times \text{降雨日數} \times 1.2 (\text{加權係數}) \times \text{全島面積}$$

在此將所有估算資料整理成表 5.18，由表中可觀察得知，目前東沙島上水收之為-328,904 立方公尺，以地表水資源角度觀之，降於島上之水資源大部分都因逕流入海而損失，佔支出比例之 56.84%，其次損失為蒸發損失之 42.02%。

因此，增加降雨截留及蒸發損失為目前增加島上水資源量首要目標。

以地下水資源角度觀之，若地表水資源無法保留於地表上，遑論補注至地下水，以目前水收之結果顯示，地下水獲得之降雨補注趨近於零。而地下水抽取量佔水收入之比例約為 1.09%，此資料表示若全年有 1.09%之降雨補注至地下水，即可滿足目前淡化廠抽取使用，若以長程觀光人口用水需求（抽水量約 41,715 立方公尺/year），若是全年降雨量之 1.8%入滲補注至地下水，即可滿足此一抽水需求。

表 5.21 逕流係數參考值表

集水區狀況	陡峭山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發整地地區之逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地地區整地後之逕流係數	0.95	0.90	0.90	0.85	0.95~1.00

資料來源：水土保持技術規範，2003

表 5.22 東沙島水平衡分析

分析項目 分析因子	收入	支出			
	降雨量	蒸發量	人工截留	逕流入海	地下水抽取量
分析總量 (立方公尺/year)	2,342,040	1,122,372	4,684	1,518,228	25,660
估支出項目總量百分比 (%)	87.69	42.02	0.18	56.84	0.96
估收入項目總量百分比 (%)	100	47.92	0.2	64.83	1.09
		114			
小計 (立方公尺/year)	2,342,040	2,670,944			
總計 (立方公尺/year)	-328,904				

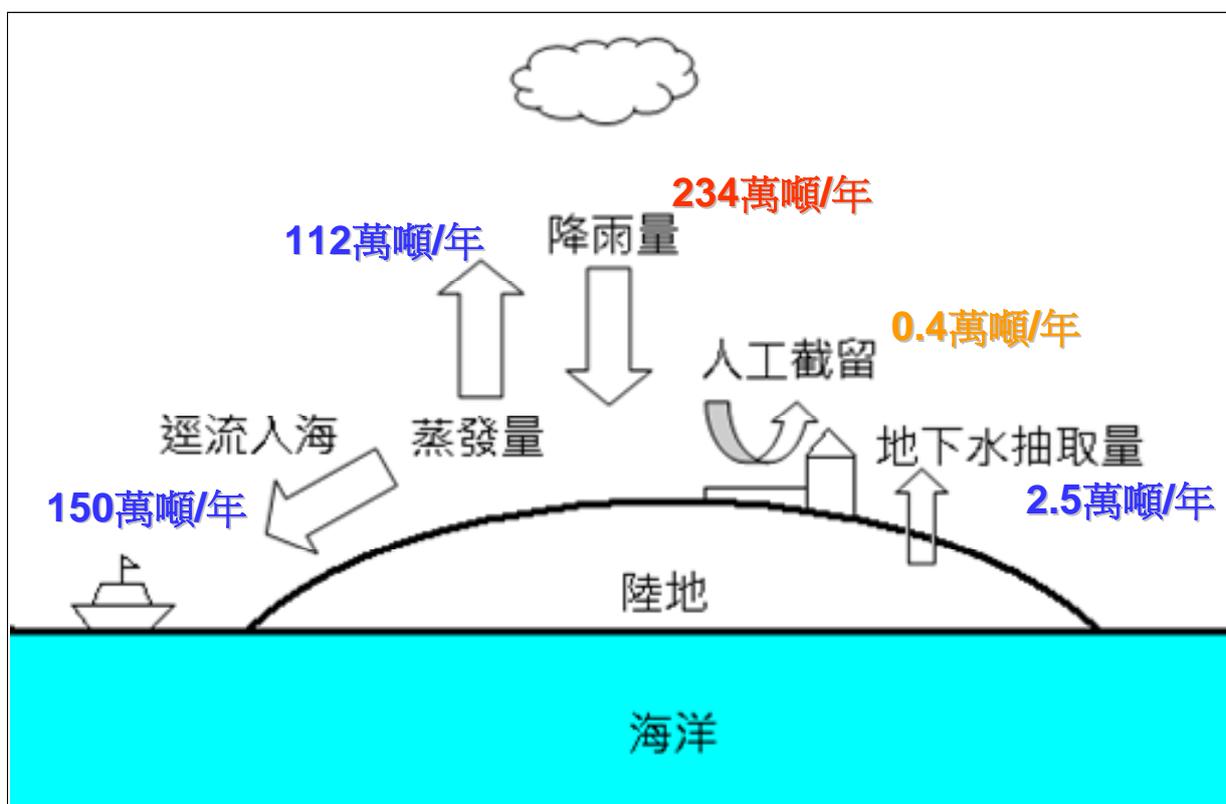


圖 5.32 東沙水平衡分析圖

陸、水資源利用與管理制度之研議

2002年，在「國際自然保育聯盟世界保護區委員會東亞地區第四屆會議」中，與會各國人士促請我國政府將東沙海域，建立為我國第一個海洋保護區；2003年10月在南非「第五屆世界公園大會」達成之德班協定，籲請各國政府在未來十年內，將海洋保護區面積增加到領海面積約12%，依據國際自然保育聯盟（IUCN）的資料，並於2012年建立全球海洋保護區的資料庫。

因此，九十二年行政院經建會函示：『東沙環礁復育及保育，至為重要，除加強海巡署執法能力外，基於實務、專業及績效考量，是否有劃設為海洋型國家公園，並指定專責機關管理之需要，建請內政部會商相關機關，審慎規劃研究，妥擬可行方案，陳報行政院核定。』

在國外部分，日本政府考慮經由官民合作，以離島為據點，針對氣象觀測、漁業，以及該國專屬經濟水域可能蘊藏豐富的天然氣、能源和礦物等海底資源，作調查和開發利用。未來將制訂管理和保護離島的基本方針，以維護專屬經濟水域。而美國國家公園的管理政策亦指出，美國國家公園內一旦出現資源保護與資源的衝突時，應以保育為優先考量，以公園的管理避免損及自然及文化資源為目的，並應以優於目前的狀況傳給至後世。爰此，自然資源及保護區的管理政策與保育政策，需要各部會著手進行審慎地評估與規範。

一、東沙環礁國家公園保育政策來探討水資源整體利用策略

針對東沙島之政經與自然環境分析，以及對於各項管理策略之利用與評估，及永續性的水資源整體利用開發計畫，在經濟效益方面則較新興水資源開發計畫更具可行性，宜予以優先考量推動；依此原則進行供需分析後，若供給仍落後於需求，則採取適度的多元化開發水源以為因應。目前針對水資源開發策略，主要由地下水資源總量管制、地表水與地下水聯合運用及未來用水需求推估等三方面探討，工作團隊亦將藉由這三方面進行東沙環礁國家公園的水資源整體利用策略評估。其三項策略如下所述：

一、地下水資源總量管制策略

雖然目前本計畫透過東沙本島的氣象、地下水位與地質鑽探等資料，來初步估算地下含水層的總水量及降雨入滲補注量，進而評估其安全出水量與可使用的地

下水水資源量；此外，加上降雨截流所收集的水量，可初步得到東沙島的地下水水資源總量，以及各月份的供水潛能。然而，由於現有的地質鑽探資料有限，未能完全瞭解本島的地下含水層深度與範圍，以及其水文地質特性，故未來需全面規劃與設置東沙島的地質鑽探與地下水觀測井，以隨時監測地下水的情形，以及進行水力參數試驗，如：水質、地下水位、水量與水力特性等，方可完善地提供東沙島的地下水相關資訊，以進行更為準確的地下水資源總量之管制策略。

二、加強水資源運用

由於現有海水淡化廠的機具海水淡化效率不高，且主要抽其鄰近的地下半淡鹽水來作淡化水的來源，因此，將現有海水淡化廠的機具改善與技術提昇，以及廠址的遷移是需要的；然而，其所需的經費亦較高，故在考量海水淡化廠不遷移與維持現有的機具設備的情形下，本工作團隊提供六項策略：

(1).劃設東沙島之地下水水源保護區：

目前現行水源保護區相關法規主要有為自來水法和飲用水管理條例，惟其主要是針對地表水來進行劃分，雖然亦適用於地下水水源保護區之劃定，然而因地下水有其獨特性，完全引用確不妥當，江崇榮等（2003）有鑒於此，以屏東平原地下水區為例，評估出劃分地下水水源保護區的方法及訂定出地下水水源保護區之管制事宜。其中，地下水水源保護區之劃分原則以主要地下水補注區及地下水水質進行規劃，並參照各種水質保護區管制內容，擬定地下水水源保護區之管制事項如下所列：

- A. 以營利為目的之飼養家畜家禽。
- B. 有機或無機肥料、農藥或除草劑之過量使用。
- C. 排放超過規定標準之工、礦廢水或家庭污水。
- D. 掩埋或棄置垃圾、灰渣、污泥、糞尿、廢油、廢化學品、動物屍體或其它足以污染土壤、地表水或地下水之物品。
- E. 非法砍伐林木、開墾土地或採取土石。
- F. 河道變更或河川工程足以影響河床滲透或河水自淨能力且未經主管機關同意者。
- G. 新社區開發或新墳場之設立。
- H. 工業區開發，污染性工廠設立或污染物品輸送管線之設置。

I. 道路、鐵路、捷運系統、機場、軍事設施等之開發，未經
主管機關同意或未經環境影響評估通過者。

J. 核子反應器之設置或運作，放射性廢料之儲存或處置。

由上述文獻並考量本計劃區域的特性，工作團隊以地下水水位及水質來劃分地下水水源保護區，分別詳述如下：

A. 地下水水位：考量本計畫區域為一海島，建議以年平均地下水水位零水位線，進行劃設。

B. 水質：由於計劃區域地下水水質最大的威脅為鹽化，在此以中央地質調查所（2002）於繪製屏東平原海水入侵範圍時，使用之總溶解固體（TDS）濃度 1000（公尺 g/L），來劃設地下水水源保護區，如圖 6.1。

C. 綜合以上兩種劃設方法，若兩種方法所劃設之地下水水源保護區大小不同，則以範圍較大的為主。

至於島上劃設為地下水水源保護區之區域，在此建議進行以下管制及處置。

A. 停止抽取地下水。

B. 適度使用有機或無機肥料、農藥或除草劑。

C. 嚴禁廢污水之地表排放。

D. 檢查廢污水管洩漏，並且進行補修。

E. 禁止廢棄物堆置。

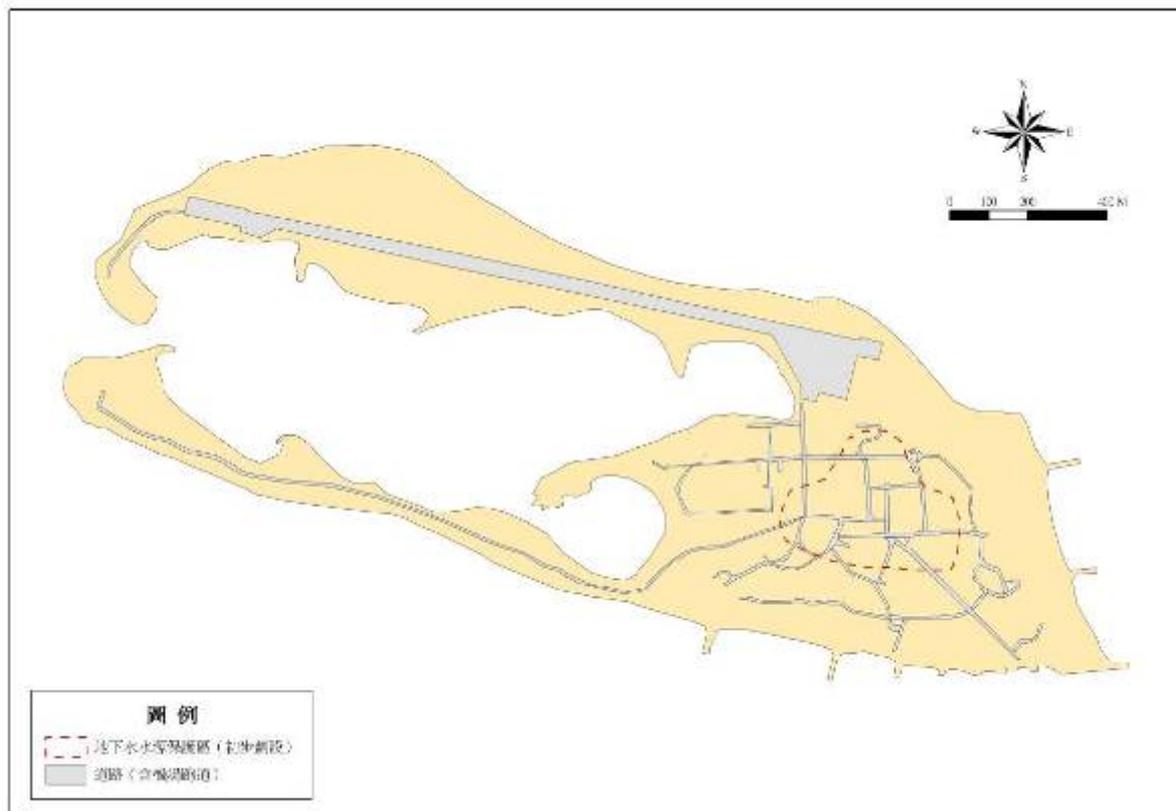


圖 6.1 東沙島水源保護區分布圖

(2).控制地下水抽取量

估算東沙島的地下水水資源量，進而求得其安全出水量；此外，海淡廠所使用的固定抽水井可於鄰近的水井來作輪替抽用，或使用為防止海水移向內陸，於沿海設立的抽水井所抽出的半淡鹹水，如此以減少該地區的地下水超抽的情形；而多餘儲存的雨水，以及廢水進行水質分類與回收處理再利用，亦可於此區作入滲補注，以減少地下含水層的鹹化情形，進而提升海水淡化機具的使用效率。

(3).利用蓄水池入滲補注

東沙島地下水位較低的地方，可以池塘及水田等蓄水池儲蓄大量的淡水，使淡水入滲補注地下含水層，增加地下水量，亦使其鹽化的地下水能更佳淡化。因此，利用池塘或人工湖進行蓄水來補注地下水，將可增加地下水水位，若能配合設置地下水水源保護區或管制區，減少鹹化地區地下水抽取量，則會達到最大效益。

(4).利用補注井建立補注水丘（或稱淡水峰法）

在東沙島的海岸與內陸地段之間設置淡水注入井，將東沙島多餘儲存的雨水，以及廢水回收處理的水，補注於地下淡水含水層，使地下水位形成高於海平面的「補注水丘」、「淡水壓力水牆」或「淡水峰」(fresh water ridge)，使含水層之地下水水位在靠近海岸處形成一水位高峰，可以阻止海水向內陸移動。因此，該補注井可同時選擇上述廢污水處理建議的據點，如：雷達站、漁服站與東光醫院附近的空地。

(5).利用抽水井建立水力坡降梯度

此方法與補注井法相反，在海岸和內陸開採地下水之地段間設置一排平行於海岸的抽水井群進行抽水，在抽水時將形成該含水層地下水位面或管壓水面之凹谷，形成抽水凹谷（pu 公尺 ping trough），此凹谷處之地下水水位面必低於該含水層任何地點之地下水水位，因此海水無法侵入凹谷之上游，可阻止海水繼續向內陸移動；然而，該抽水井所抽出的淡、海混合水亦可提供海淡廠作使用，所以海淡廠的抽水井可盡量優先選擇沿海的水井，而鄰近海淡廠的水井次之，以減少鄰近海淡廠的抽水量。

(6).建立人工地下擋水牆：

由於東沙島的含水層的厚度相對較小，故在海水和抽水井之間的地層中建立一道垂直的不透水牆，產生一永久性地下阻水屏障(per 公尺 anent subsurface barrier, seawater intrusion barrier, 或 saline water barriers)，使海水不能入侵內陸，而地下水亦無法匯流入海洋，故兼有保持地下水量及增加地下水位之功效。根據國外經驗，擋水牆高度設置不超過 15 公尺，但此方法的成本相較於其他方案較高。

三、討論分析

以下將與水資源相關之文獻加以彙整分析如表 6.1 所示，可觀察出相關法規大多是針對水質保護，對於水資源整體利用策略較為缺乏，本工作團隊就目前保育政策與本計畫調查結果作一水資源整體利用策略說明。

表 6.1 現有與水資源相關之法條

法令	法條	內容
國家公園法	第十一條第三點	禁止污染水質或空氣
	第十七點第三點	特別景觀區或生態保護區內，為應特殊需要，經國家公園管理處之許可，得使用農藥。
墾丁國家公園保護利用管制原則	第三條第五點	海域生態保護區內之海域以保護海洋生物及其生育環境、維護生物多樣性為目的，禁止沿岸污水之排放及使用化學藥劑，尤其廢棄物及廢油更應嚴加管制。
	第四條第七點	特別景觀區內之土地以保護特殊天然景緻為目的，其建築物及土地之使用，應禁止放牧牲畜。
金門國家公園保護利用管制原則	第四條第六點	區內原有合法自用住宅或農舍，經改善污水處理設施及擬具污水滲漏防制計畫、環境保護計畫經管理處審查許可者得依民宿管理辦法等相關規定申請經營民宿。

1. 完全停止抽汲地下水或於沿岸地方抽汲地下水

目前抽汲地下水作為淡化系統之水源，對於保育方面，若地下水完全鹽化之後，鹽分經由毛細現象將傳遞至土壤表面，將使土壤鹽化並導致島內動植物枯萎及死亡，因此建議對於抽汲地下水作一改善之行為。

2. 停止補運瓶裝水

瓶裝水為相當不環保之水資源，建議改善海水淡化機組或是建造新淡化設備，使水質口感可為使用者接受，停止瓶裝水之運補。

二、東沙島水資源管理制度之研議

工作團隊將針對水資源永續發展政策之管理目標、方向及原則，考量目前及未來水資源環境之概況，研擬未來執行水資源永續發展管理制度之重要措施，分述如下：

1. 地下水之觀監測

利用現有水井並於水井缺乏之處鑽鑿水井，建構島上地下水監測井網，建議每月以簡易式水位計紀錄地下水位，1年進行兩次（豐、枯水季）的地下水鹽化指標（總溶解固體、鹽度等項目）監測。

2. 管路系統之維護

由於研究區域為海島地形，環境受體極小，因此若有污染源發生，非常容易影響整體環境，因此應定期檢查維護輸水管線（包含供水及污水管線），避免水資源浪費及污染之產生。

3. 節水設備及節水觀念之推廣實行

島上水資源非常可貴，因此島上人員節水觀念之建立為必要，並搭配節水設施之建置，減少水資源的浪費。

柒、研究預期對相關施政之助益

水資源永續經營之概念於本島地區已成為相當重要之課題，而東沙島水資源的概念，對於目前與未來發展之各種用水需有所規劃來規劃，從本計畫地面水及地下水綜合開發至整理雨水收集利用技術提昇與改善、海水淡化質能提升等，從生態永續島嶼的觀點來規劃東沙島應可分為近、中長程之目標與計畫：

(一)、近程發展計畫

- 1、東沙島島嶼水資源管理與供應總檢討
- 2、島內用水品質與海水淡化技術之提升
- 3、水資源有效利用的推廣
- 4、雨水儲存設備效能提升
- 5、東沙島污水處理與回收利用規劃

(二)、中長程發展計畫

- 1、水資源效能提升提倡生態遊憩發展
- 2、減低人為污染造成區域海域生態破壞
- 3、達到穩定供水效益與減少瓶裝飲用水使用
- 4、提升東沙島整體觀光與生態教育之效益
- 5、達到東沙島水資源永續利用與開發之目的

一、綜合效益評估

東沙島水資源整體利用規劃之目標為綜合水資源利用評估(地表水與地下水利用)、雨水截留與地表水蓄存、海水淡化技術提昇與飲用水改善措施及廢污水回收再利用等計畫之個別成效，以及計畫實施與檢討之參考。

1 有形效益

各年度水資源利用效益分析、各年水回收再利用效益分析，本計畫地表水與地下水儲蓄量及改善淡化系統後之年增加運用水量、水質改善情況為評估基準。

一、水資源利用效益

(一) 雨水集水改善工程

1. 集合場規劃入滲截水溝，總長度為236公尺，深度為45公分長度，截水量為31 立方公尺，入滲速率為 10^{-3} 公分/秒(0.8公尺/天)，每年可增加滲量為9,052立方公尺/

天。

2. 集合場鋪設整體透水鋪面，透水面積697平方公尺，每天最大入滲量為200立方公尺/天，每年最多入滲2,742立方公尺/年。
3. 地面集水以規劃機場跑道與七據到八據點步道，雨水收集的總量應為931,417立方公尺/年。
4. 利用建築物（收集面積3283平方公尺），以75%的收集效率（25%蒸發或溢散）預估收集水量約在4,420立方公尺/年。

（二）地下水減抽效益

目前海淡廠採造水率為35%，則需抽取25,660立方公尺/年的地下水，平均70.3立方公尺/天。已規劃水淡化廠抽取海水，預估日產能40立方公尺/天，預估可減抽島內地下水30.3立方公尺/天。

（三）水回收利用效益

使用乾式廁所均每人0.08立方公尺/天水量，以東沙島為例，由於目前島上使用人員以200人計算，每天可節省16立方公尺的水，一年可省下58,400立方公尺。

（四）污染排放減緩分析

1. 廢污水透過淨化槽將污水統一收集處理，達到二級放流標準，去除率為70%減少總磷（TP）13.8 ton/year，氨氮（NH₃-N）49.2 ton/year，生化需氧量（BOD）懸浮固體（SS）219 ton/year。
2. 化糞池改善以乾式公廁或新式處理系統，可立即改善污染物排入地下水，如BOD、COD、SS、氮、磷等水體污染量偏高，達到水源水質標準。

（五）地下水儲存量分析

東沙島地下水蘊藏量為初步估計為140萬噸(推估含水層深度25公尺)，降雨補注地下水為36萬噸/年，海水淡化廠抽水量2.5萬噸/年，未超過地下水天然補注量。於機場跑道及通往八據點道路，降雨後淡水隨著地下水流出海洋。以島內目前使用情況淡水出水量已經超越安全值，淡水使用量應有管制或停抽減緩鹽化。

二、水回收再利用效益分析

（一）水回收技術效益

根據東沙島用水人口趨勢分析，根據開放觀光人口成長為10人/天、50人/天、

100人/天與200人/天，分別從優先規劃工程進行分析，目前供水量為50噸/天，首先新設海水淡化廠增加40噸/天供應、乾式廁所與屋頂集水增加30噸/天、集合廠透水鋪面工程增加175噸/天、地面集水工程增加2,500噸/天。增設海水淡化廠為主要優先考量其供水穩定性佳，不易受到自然因素影響。其次為乾式廁所與屋頂集水，最後為地面集水包含透水鋪面等技術。

(二) 海水淡化技術效益

海水淡化若為島上將來主要用水來源，則可停止使用瓶裝水，以第四章中說明之瓶裝水需求量，目前島上每日消耗658瓶瓶裝水，換算共計987公升，以目前島上人口來計算，平均每人每日所需瓶裝水數量為4.87瓶，若以中長程開發觀光時之人口換算消耗量，其統計結果如表7.1所示，以長程開發觀光人數計算，若完全部使用瓶裝水，每天可節省1,632瓶瓶裝水用量，一共是2,448公升。

根據統計資料顯示生產1公升的瓶裝水罐，製程中至少需要17.5公升的水，照此計算，則整個島上若以長程開發觀光人數計算，一年瓶裝水製程實際消耗約為16,000立方公尺。

表 7.1 飲用水需求統計表

開放觀光計畫時程	島上人員類別	人數 (人)	權 重	實際估算人 數 (人)		預估每日 瓶裝水用量	
						(瓶)	(公升)
中程開放觀光人口	常駐人員	135	1	135	235	1,145	1,718
	觀光人口(住宿)	20	1	20			
	觀光人口(不住宿)	100	0.8	80			
長程開放觀光人口	常駐人員	135	1	135	335	1,632	2,448
	觀光人口(住宿)	40	1	40			
	觀光人口(不住宿)	200	0.8	160			

(三) 污水回收效益

島上主要有空軍、一中餐廳，為主要大宗洗滌水排放，將兩處餐廳放流水統一收集後，經由淨化槽將污水統一處理(二級放流標準)，放流入停機坪濕地，立即改善東沙島潟湖的污染BOD、COD、SS、氮、磷排放。停機坪濕地主要有雨水涵養及底泥土壤吸附減緩放流水污染地下水，東沙島潟湖的放流水停止排放後，藉由海水潮汐交互涵養，逐年減緩污染潛勢。

2 無形效益

一、生態環境效益

1. 建立監測系統，減少不當使用污染地下水及可抽取地下水流出之水源，減緩島內抽水頻率涵養水源與改善水質。
2. 污水改善工程可減輕水質污染及優養化問題，建立東沙島之自淨能力，提供潔淨水源，增加飲用水安全。
3. 自然型態之治理工法應用，能逐漸復育被破壞的生態環境，重新串起大自然之生命鏈，孕育無數寶貴的生物資源。
4. 增加水土資源涵養功能，提高土壤抓地力與減少侵蝕。

二、社會效益

1. 改善東沙島之水土資源。
2. 強化保育島內官兵之防災意識與公共參與，提高整體營造之共識。
3. 加強土地管理利用，避免不必要開發，進而促成保育土地之意願。

3 執行策略

本工作團隊將根據各項規劃評估，研擬各項執行策略方案如表7.2，並針對治理規劃順序提出建議，排序為1列為優先處理至分年期處理。

表 7.2 執行項目規劃表

一、工程類		
項目	內容	優先順序
1.雨水截水溝改善	排水入滲系統	列入分年分期
2.屋頂集水工程	集水管與集水槽	列入分年分期
3.雨水儲水槽改善與監測	水質監測系統 1 座	1
4.海水淡化技術提升評估	淡化設備 1 座	列入分年分期
5.污染排放治理	人工濕地與化糞池工程	1
6.海水淡化抽水站遷移評估	淡化廠設備增設及管路配置	1
7.地下水水質與水位監測	設置監測井 22 口	1
8.透水鋪面工程評估	透水鋪面	列入分年分期
二、非工程類		
項目	維護	
1.地下水管制抽取	定期觀測地下水水位	
2.水質檢測	定期監測用水水質	
3.加強宣導物亂排放廢污水	加強宣導教育	

二、其他應配合辦理事項或配套措施

將各工作項目逐項列出配套措施與經費考量，並以分年度進行。預估總經費為50,279,000元，各工程項目如表7.3至7.8。

表 7.3 東沙島雨水截水溝改善工程項目表

工程項目-東沙島雨水截水溝改善工程					
工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
集合場	截水溝工程(236 公尺)	公尺	3,000	708	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
機場跑道	截水溝工程(1720 公尺)	公尺	3,000	5160	
網球場集水坪	截水溝工程(61 公尺)	公尺	3,000	183	
籃球場集水坪	截水溝工程(118 公尺)	公尺	3,000	354	
總計(千元)				6,405	

表 7.4 東沙島雨水儲水槽改善與監測系統項目表

工程項目-東沙島雨水儲水槽改善					
工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
海淡場 1 萬加侖儲水槽	改善及清潔費用	式	30,000	30	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
7 萬加侖水庫	改善及清潔費用	式	30,000	30	
10 萬加侖水庫	改善及清潔費用	式	30,000	30	
導航台後方儲水槽	改善及清潔費用	式	30,000	30	
指揮部後方儲水槽	改善及清潔費用	式	30,000	30	
一中餐廳側方儲水槽	改善及清潔費用	式	30,000	30	
前六座各一組	固定式水質監測系統	組	100,000	600	
總計(千元)				780	

表 7.5 東沙島污染排放治理工程項目表

工程項目-污染排放治理工程					
工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
人工濕地	建造工程	式	200,000	200	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
全島化糞池改善工程	改善及清潔費用(17 處)	式	1,700,000	1,700	
1,900					工程類小計

表 7.6 東沙島屋頂集水工程項目表

工程類-屋頂集水工程					
工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
南巡局東沙分隊	屋頂集水工程(30公尺)	公尺	500	45	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
福利社	屋頂集水工程(28公尺)	公尺	500	44	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
理髮部	屋頂集水工程(14公尺)	公尺	500	37	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
中正堂	屋頂集水工程(61公尺)	公尺	500	60.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
水電中心	屋頂集水工程(19公尺)	公尺	500	39.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
東光醫院	屋頂集水工程(30公尺)	公尺	500	45	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
職務官舍	屋頂集水工程(40公尺)	公尺	500	50	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
麵包房	屋頂集水工程(15公尺)	公尺	500	37.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
修護組室內集用場	屋頂集水工程(15公尺)	公尺	500	37.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
條護組寢室	屋頂集水工程(14公尺)	公尺	500	37	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
指揮部	屋頂集水工程(34公尺)	公尺	500	47	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
勤指中心	屋頂集水工程(19公尺)	公尺	500	39.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
軍郵局	屋頂集水工程(17公尺)	公尺	500	38.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
偵巡組	屋頂集水工程(13公尺)	公尺	500	36.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
通電組	屋頂集水工程(23公尺)	公尺	500	36.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
圖書室	屋頂集水工程(17公尺)	公尺	500	38.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
沙畫教室	屋頂集水工程(16公尺)	公尺	500	38	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
海水淡化場	屋頂集水工程(15公尺)	公尺	500	37.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
聰良場	屋頂集水工程(25公尺)	公尺	500	42.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
克強場	屋頂集水工程(15公尺)	公尺	500	37.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
焚化爐	屋頂集水工程(13公尺)	公尺	500	36.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		
工材庫	屋頂集水工程(17公尺)	公尺	500	38.5	
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000		

油漆庫	屋頂集水工程(17公尺)	公尺	500	38.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
衛星追蹤站	屋頂集水工程(16公尺)	公尺	500	38
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
衛星追蹤站發電機房	屋頂集水工程(17公尺)	公尺	500	38.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
糧秣庫	屋頂集水工程(48公尺)	公尺	500	54
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
一據點	屋頂集水工程(16公尺)	公尺	500	38
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
二據點	屋頂集水工程(19公尺)	公尺	500	39.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
三據點	屋頂集水工程(29公尺)	公尺	500	44.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
四據點	屋頂集水工程(31公尺)	公尺	500	45.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
五據點	屋頂集水工程(31公尺)	公尺	500	45.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
六據點	屋頂集水工程(31公尺)	公尺	500	45.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
七據點	屋頂集水工程(21公尺)	公尺	500	40.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
八據點	屋頂集水工程(23公尺)	公尺	500	41.5
	5噸不銹鋼儲水塔	組	30,000	
總計(千元)				1,409.5

表 7.7 東沙島地下水監測與海水淡化處理項目表

工程項目-地下水質監測系統地下水水位監測系統

工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
全島 22 口監測井	地下水水質監測系統	式	100,000	2,200	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
全島 22 口監測井	地下水水位監測系統	式	50,000	1,100	
	新設海水淡化廠	式	33,000,000	33,000	
總計(千元)				36,300	工程類小計

表 7.8 東沙島透水鋪面改善工程項目規劃表

工程類-透水鋪面改善工程

工程地點	整治工程	單位	單價(元)	總價(千元)	可能經費來源
管理站前道路	透水鋪面(2788 平方公尺)	平方公尺	1,000	2,788	內政營建署 經濟部水利署 高雄市政府
集合場	透水鋪面(697 平方公尺)	平方公尺	1,000	697	
總計(千元)				3,485	工程類小計

陸、結論與建議

一、結論

- 1.東沙島經執行調查與分析後提出規劃項目總共8項，而各項工作在執行上係就其重要性與優先性選擇亟需處理之工作項目優先辦理。
- 2.東沙島整體雨水蒐集量估計1,350,000 立方公尺/ year。規劃水淡化廠抽取海水，預估可減抽島內地下水30.3立方公尺/天。使用乾式廁所一年減少58,400立方公尺/ year用量。
- 3.東沙島點源污染顯示，建議淨化槽將污水統一處理(二級放流標準)，放流入停機坪濕地，立即改善東沙島潟湖的污染BOD、COD、SS、氮、磷排放。以去除率為70%至少減少總磷 (TP) 13.8 ton/year，氨氮 (NH₃-N) 49.2 ton/year，生化需氧量 (BOD) 懸浮固體 (SS) 219 ton/year。
- 4.用水人口趨勢分析，根據開放觀光人口成長為10人/天、50人/天、100人/天與200人/天，分別從優先規劃工程進行分析，目前供水量為50噸/天，首先新設海水淡化廠增加40噸/天供應、乾式廁所與屋頂集水增加30噸/天、集合廠透水鋪面工程增加175噸/天、地面集水工程增加2,500噸/天。增設海水淡化廠為主要優先考量其供水穩定性佳，不易受到自然因素影響。
- 5.海水淡化若為島上將來主要飲用水來源，不使用瓶裝水，每天可節省2,448公升，則整個島上若以長程開發觀光人數計算，一年瓶裝水製程實際消耗約為16,000立方公尺。
- 6.東沙島地下水蘊藏量為初步估計為140萬噸(推估含水層深度25公尺)，降雨補注地下水為36萬噸/年，海水淡化廠抽水量2.5萬噸/年，未超過地下水天然補注量。於機場跑道及通往八據點道路，降雨後淡水隨著地下水流出海洋。以島內目前使用情況淡水出水量已經超越安全值，淡水使用量應有管制或停抽減緩鹽化。

二、建議

- 1 目前整體用水來源(不包含飲用水)，主要取用地下水水源，因長期化糞池破損造成地下水嚴重受到污染，建議以化糞池改善工程列為優先考量。

- 2.建議 22 處可設觀測井位置，優先以島中心及周邊為優先設置，長期地下水位與水質監測，瞭解降雨對於地下水補注之影響及淡水流出之位置。
- 3.10 萬加侖水庫應可優先設置即時監測系統或以人工方式監測，有效利用目前水源，中央集水系統統一輸送水源。
- 4.增列陸域生態水文調查與氣候資料蒐集，觀測風速、風向、溫度、濕度、氣壓、蒸發量、日射及雨量等八大項（軍方並無監測蒸發量且資料取得不易），建議與學術單位長期合作。
- 5.定期辦理生態水文教育宣導，培訓種子教師長期作為未來開發生態觀光解說人員，協助地下水監測之工作。
- 6.建立地理資訊服務系統，強化陸域之 GIS 資料庫。並建議將島內土地分區利用應強化說明-例如：西部劃為陸域特別景觀區，應首重垃圾處理應評估並定期檢測土壤重金屬與戴奧辛污染。

捌、參考文獻

1. 山本莊毅，1983，地下水調查法，古今書院，共58頁。
2. 方力行，1990，東沙環礁調查及規劃報告。
3. 潘國樑，1990，地水之探測、觀測與監測，地工技術雜誌，第31期，第42-63頁。
4. 陳享宗，1997，雲林沿海地區地下水鹽化問題之研究，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
5. 詹子輝，1998，應用補注井群改善海水入侵之可行性研究，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
6. 李振誥、陳時祖、葉義章、周業泗，1998，嘉義白水湖人工湖之淡水入滲補注與海水入侵之關係研究，經濟部水資源局。
7. 簡錦樹，1989，海水養殖對地下水及土壤鹽化之研究，行政院環境保護署。
8. 李士畦、林敏朝、周文宏，2000，「慈濟系統雨水利用工程之規劃、設計與希望工程雨水利用經濟效益評估」，東亞 2000 雨水貯蓄利用研討會，經濟部水資源局、海洋大學河海工程系、中國文化大學土地資源系，台北，PP145□PP158。
9. 經濟部水資源局，2000，台灣地區示範海水淡化廠規劃計畫服務建議書。
10. 吳銘志，2001，臺灣地區地下水文圖繪製工作成果報告，經濟部水資源局。
11. 王鑫，2002，環境資源計劃的整合之道。大地地理雜誌 174 期，九月號。
12. 江崇榮和汪中和，2002，以氫氧同位素組成探討屏東平原之地下水補注源，經濟部中央地質調查所彙刊，第15號，第49-67頁。
13. 林裕洋，2002，劃設東沙群島海洋保護區之策略研擬及可行性分析—法規及規劃層面，中山大學海洋環境及工程學系碩士論文。
14. 經濟部水利署，2002，現階段海水淡化推動計畫（1/2）。
15. 經濟部水資源局，2002，海水淡化新技術之開發—利用真空結冰水蒸氣提升法（1/2）。
16. 經濟部中央地質調查所，2002，臺灣地區地下水觀測網第一期計畫-屏東平原水文地質調查研究總報告。
17. 經濟部水資源局，2003，海水淡化新技術之開發--利用真空結冰水蒸氣提升法(2/2)。
18. 杜凱立，2003，田間地下水補注量對防止沿海地區鹽化問題之研究國立台灣大學土木工程學研究所碩士。
19. 江崇榮、陳瑞娥（2003），地下水水源保護區劃定之芻議，水文地質調查與應用研討會論文集，頁53-71。
20. 洪豐偉，2004，系統動力學為基礎之決策支援系統應用於墾丁南灣海岸地區整合管理之研究，國立中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。
21. 邱南毅，2004，降雨條件影響地表入滲之研究，國立成功大學地球科學系碩士論文。
22. 經濟部水利署，2004，現階段海水淡化推動計畫（2/2）。
23. 內政部營建署海洋國家管理處，2005，東沙能源替代及水資源多元化可行性評

- 估。
24. 內政部營建署，2005，太魯閣國家公園的生態經濟效益分析。
 25. 內政部營建署，2005，金門國家公園環境長期監測。
 26. 徐運生，2005，我國東沙群島法律地位及海洋資源開發之研究，臺灣海洋大學海洋法律研究所碩士論文。
 27. 丁澈士，周柏儀，2006，地下水補注的多元生態觀點考量，第十五屆水利工程研討會，桃園縣，pp.E-65-E69。
 28. 中國國家林業局，2006，濕地恢復手冊-原則、技術與案例分析，中國建築工業出版社。
 29. 內政部營建署，2006，國家公園經營管理對周邊經濟效益之評估計畫。
 30. 內政部營建署海洋國家管理處，2006，東沙島建築物及公共設施先期規劃。
 31. 沈文宗，生態工法淨化水體水質之研究—以鏡面水庫為例，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，2006。
 32. 高業心、王貴玲、劉花台等，2006，石羊流域的水化學特徵及其地表水與地下水的相互轉換，乾旱區資源與環境，第20卷，第6期，第84-88頁。
 33. 許世孟、翁孟嘉、曾慶恩、顧承宇、譚志豪，2006，應用雙封塞水力試驗探討裂隙岩體之水力特性，岩盤工程研討會論文集，台南，第199-208頁。
 34. 李易蒼，丁澈士，2006，半感潮性濕地水文系統與滯洪功能可能性研究-以大鵬灣彭村溼地為例，第十五屆水利工程研討會，桃園縣，pp.H-185-H189。
 35. 盧道杰、王牧寧，2006，自然保護區經營管理效能評估初探—以宜蘭縣無尾港野生動物保護區為例，國家公園學報。
 36. 沈全榮，2006，墾丁國家公園觀光資源永續發展之研究，中山大學社會科學院高階公共政策研究所碩士論文。
 37. 經濟部水利署，2007，離島雨水貯留利用系列—澎湖地區雨水利用之評估規劃。
 38. 廖朝軒，2008，Estimation of Water Retention Capability of Infiltration Gutters at Construction Site，第三十六屆國際水文地質協會。
 39. 內政部營建署海洋國家管理處，2007，東沙島水資源及道路雨水集水系統之規劃研究與設計。
 40. 臺灣海水淡化網 <http://www.taiwandesal.co 公尺.tw/>，提供理論與發展，及各地設廠的資訊。
 41. 離島資訊網 <http://www.isles.org.tw/Default.aspx>，提供離島管理政策，以及臺灣各小島的資訊及各部會調查報告。

附錄一、審查意見回覆

「東沙島水資源整體利用規劃」服務建議書審查意見及回覆 審查會議日期：98/5/1

審查委員	審查意見	辦理情形
張委員良正：	該服務建議書較多原則性及方法論之說明。	感謝委員指導。 本計畫將於工作計畫書提出整體執行架構與方向，初步能於實際勘查後配合已完成調查資料達成計畫目標。
	對於具體之作法著墨較少。	感謝委員指導。 工作計畫書已提出初步執行方法，由基本資料作為基礎調查資料輔佐，完成整體規劃與實施效益。
葉委員昭憲：	服務建議書 p.31，本規劃基於「以需定供」的原則進行水資源的規劃，是否能反映委託單位的管理立場。	感謝委員指導。 東沙島未來將開發生態旅遊觀光，以水資源開發角度應提高更多水源來源因應需求，本工作團隊將以委託單位之管理立場提出更合適之水資源規劃方案。
	服務建議書 p.16 之試驗分析，如何達成「地下水量及安全出水量粗估」之工作項目？	感謝委員指導。 初步規劃以調查方式來蒐集地下水水文資料，然而目前東沙島之地下水水位可能達到安全水位之範圍。整體安全出水量與安全水位可由 Hill 公尺 method 來推估。
	服務建議書 p.29 以“人工濕地”在珊瑚礁地質、環境中做為污水處理之方式，是否合適？	感謝委員指導。 人工濕地在珊瑚礁地質、環境中做為污水處理之方式，其合適性將是本團隊評估重點之一，也是列入考量要素，未來在調查與評估將此寶貴建議納入。
徐委員年盛：	本規劃提出以海水淡化為主、雨水收集及地下水取用為輔，並提出減少瓶裝水的使用，這兩個目標如何達成？又整體的地面水與地下水搭配運用方式，亦請說明。	感謝委員指導。 1. 目前海水淡化仍供給生活用水部分，並未提升到飲用水，未來將在這部分提供更合適之方案技術評估，已達到減少瓶裝水的使用。 2. 地面水與地下水搭配運用方式，東沙島地面水來源主要為雨水蒐集而地下水部分為使用海水淡化及其他生活用水，希望將雨水蒐集系統進行改善或增加集水區域與面積，增設人口較多之區域，初步減緩地下水使用。若雨水量不足情況，初步規劃抽取地下水使用。

審查委員	審查意見	辦理情形
徐委員年盛：	規劃進行暫態地下水水流模擬分析，但是否足以反應東沙島地下水體受海水入侵的情形？	感謝委員指導。 數值模式分析為初步擬定在地下水安全出水量與安全水位評估方法選項之一，未來依據實際獲得資料來進行。
	該團隊所列工作人員甚多，但經費編列中相關之人事費及工作人月編列極少，請說明原因。	感謝委員指導。 目前本工作團隊主要研究人員為既有人力，因此編列人事費用主要另外聘請兼任助理來執行本計畫。
吳委員全安：	本規劃是以海水淡化為主要水資源利用方案，從自然保育的觀點來看，如何減低環境與生態的影響，如：節能減碳以及滷水排放等方面。	感謝委員指導。 針對海淡之機組位置調整至適當位置，可適時提升海淡水產量，對於滷水之排放位置則需考量當地水文特性及生態現況，才能減低對環境與生態之影響。
	東沙島地下水體為“freshwater lens”之型態，請說明該如何評估地下淡水量？	感謝委員指導。 地下水水體評估規劃以地下水水位調查為優先，確定出東沙島區域水位情況，初步可以海平面作為評估基準推估淡水量。
徐委員韶良：	服務建議書 p.31 所列“東沙水資源概念分析圖”是為原則性之描述，惟未提及具體之分析與探討，以支持貴團隊所提以“海水淡化系統”為主之目標。	感謝委員指導。 針對水資源概念分析圖未來在確認整體開發利用評估分析後，將提出修正。
	服務建議書 p.29 以“人工濕地”在珊瑚礁地質、環境中做為污水處理之方式，是否合適？	感謝委員指導。 人工濕地在珊瑚礁地質、環境中做為污水處理之方式，其合適性將是本團隊評估重點之一，也是列入考量要素，未來在調查與評估將此寶貴建議納入。

審查委員	審查意見	辦理情形
陳委員國永：	本案是個實作的計畫，考量現地保育的必要性及未來生態旅遊的需要，依據貴團隊的規劃，在多久時程可以達到地下水鹽化改善的目的、改善現況使用情形及因應未來的需求。	感謝委員指導。 工作執行計畫提出未來評估各效益分析後，具體提出整體改善方案與執行策略，並提出分年分期執行構想與主辦單位討論合適性。
	依據貴公司的服務建議書中甘梯圖內有一項其他應配合辦理事項或配套措施中有高屏大湖專屬網站資料更新部分，請補充說明。另本案依招標文件簽訂合約後只需繳交工作計畫書，待審核通過後，即可依契約履行計畫。	感謝委員指導。 1.此為筆誤部分已刪除。 2.依照契約進行執行本計畫。

「東沙島水資源整體利用規劃」期中報告審查意見及回覆 審查會議日期：98/5/1

審查委員	審查意見	辦理情形
葉昭憲教授	1. 相關現場調查結果（土樣、水文地質參數、水質、地下水位等），建請將資料列表至於附錄，以利對照。	感謝委員指導。 已將本計畫進行相關調查結果納入附錄二，P127。
	2. 土壤環境及地質調查所進行之各項採樣及分析，應說明對東沙島水資源利用規劃之意義及功能，如滲透性、篩分析等結果之涵義。	感謝委員指導。 針對土壤採樣主要瞭解整體透水性及土壤基本特性，對於未來不管利用或開發能有基本參數供分析。
	3. 跟東沙島未來及現在地用水量、污水量以及各種水源開發量、潛能，建議利用水收支圖（water budget）整體說明水資源利用規劃方向。	感謝委員指導。 將相關用水標的分析成果於 p107。
	4. 報告書內容細部資料確認及疑問： (1) p.8 表 2.2-4 中「地下水資源調查」3. 完成『枯水系』...是否筆誤？（表 22-5 亦同） (2) p.32 表 4.3 最後兩欄單位(公尺)有誤，取土長度為何僅有 50~60 公分？ (3) p.37 「含水層特性」為一般性說明，請針對東沙島調查成果解說。 (4) p.43 水質監測項目列入「葉綠素」之目的為何？ (5) p.75 推估井水抽取量過程所需生活用水量如何獲得？ (6) p.76 以 Hill 公尺 ethod 推估東沙島地下水蘊藏量之適用性如何？ (7) 配合辦理事項(p.95)部份之實際阿作結果為何？	感謝委員指導。 1. 筆誤已修正。 2. 表中正確單位為公分，已進行修正，另因機具限制及現場狀況，部分地區土層過於堅硬，故取土長度會受到限制。 3. 含水層特性主要說明東沙島典型案例，其調查資料顯示此島屬於高透水性之區域，對於地下水保存能力相當不易。 4. 評估水質優化指標。 5. 地下水使用量根據海水淡化廠供水潛能分析得知。生活用水參考營建署每人每日用水量作為推估參考。 6. 本計畫改用數值模式進行分析，以推估含水層 25 公尺深的地下水蘊藏量。 7. 主要在現場勘查邀集海管處東沙管理提供相關建議與看法。

審查委員	審查意見	辦理情形
吳育生副研究員	<p>5 地下水資源之調查、評估工作建議：</p> <p>(1)蒐集更完整之地質鑽探資料，繪製東沙島的含水層剖面，甚至是 3-D 的立體圖，以利瞭解地下水體之模型。</p> <p>(2)蒐集更完整的現有水井資訊（井深、井徑、開篩位置、抽水量、抽水日數...）以力地下水資源之評估。</p> <p>(3)協助海管處針對現有不足之處，規劃未來適合的地下水監測系統，包括地下水質採樣監測系統、地下水位連續式監測系統（含高程基準點控制系統）以維護地下水資源之長期、有效地利用。</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>1.已與主辦單位進行資料索取，無奈過去鑽探資料皆無保留，故無法進行完整的地層剖面繪製。</p> <p>2.已利用既有井位進行水位觀測，另井深、井徑、開篩位置、抽水量、抽水日數等資料付之闕如。</p> <p>3.已於期末報告中補充 P76，請參考。</p>
	<p>6.依據現有水質採樣結果顯示，水質污染源以生活廢水為主，可據以協助海管處規劃、研擬可行之廢污水回收再利用系統，以減低用水壓力。</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>已於補充報告於 p95。</p>
	<p>7.海水淡化場因抽取地下水，可能已因升錐現象，以供分層抽水或分散抽水點規劃之依據，降低鹽化污染之可行性。</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>已於水資源管理中說明此點，相關細部設計尚待主辦單位後續進行。</p>
	<p>8.若干報告書中之疑點：</p> <p>(1)p.29fig.4.1 圖中 C2 點似有疏漏。</p> <p>(2)p.30 有關 Guelph 滲透一之原想及計算方式請補述。</p> <p>(3)p.73fig4.2-6~4.2-9 等值線圖，應考量海岸邊界問題。</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>1.已於圖中修正。</p> <p>2.已於附錄二中補述。</p> <p>3.已於繪製等值線圖時，考量海岸邊界問題。</p>

審查委員	審查意見	辦理情形
陳國永課長	1. 本案在潟湖的調查樣點是如何選取？請說明。	感謝委員指導。 考量參考以往觀測點位置，作為未來參考及建立資料庫之用。
	2. 期中報告第 55 頁有誤請更正。第 24 頁歷年氣象統計表，請更新到 2008 年。	感謝委員指導。 目前海軍氣象站無法提供歷年長期資料，無法更新至 2008 年。
	3. 本案還是強調是實作的計畫，考量現地的保育需要性，期待調查單位在期末能提出具體可行的短中長期的永續地用方案。	感謝委員指導。 海水淡化廠規劃方案，因經費及建置時程問題，故需以長程發展目標進行規劃。
	4. 簡報中所提後續協助事項，本案業已依據貴校來函回覆在案，並此說明。	感謝委員指導。
許書國課長	1. 有關廢污水回收利用，應考慮各種層面評估其可行性，如設置位置適宜性、水生外來種引入對當地生態影響、地質特性、廢水量及當地駐防人員之心理觀感等。	感謝委員指導。 廢污水處理過的水可透過補注井或匯集於蓄水池，再入滲或補注於地下的含水層。本計畫建議針對化糞池部分提出優先處理評估。
	2. 報告中第 90 頁提及「雨水收集之單位水量耗能遠低於海水淡化水，因此應優先加強雨水利用的設備與機制」，但第 68 頁則表示「不建議雨水經收集處理後當成盥洗等生活用水」，顯有矛盾，請加以說明。	感謝委員指導。 1. 雨水收集之單位水量耗能遠低於海水淡化水，因此應優先加強雨水利用的設備與機制，主要前提為海水淡化已經能穩定供水，後續配合雨水蒐集使用。 2. 此處將以雨水作為島內全部生活用水為考量，受到自然降雨因素限制，無法長期供應，因此提出：不建議雨水經收集處理後當成盥洗等生活用水。
張仲佐主任	1. 地下水之電導值及氮氣鹽類含量都很高顯示有遭受污染，且東沙島現有建物均將生活廢污水直接排出，於地表漫流滲入地下，是否因此造成地下水污染，未來應如何改善，請提出建議對策。	感謝委員指導。 島內不管生活污水或化糞池廢棄物，皆為污染來源的主因。本次期末報告提出相關改善方案與建議供主辦單位參酌。

審查委員	審查意見	辦理情形
莊正賢技正	1.規畫報告書中7月及8月2次之地下水位、鹽度及導電度等值線差異、是潮位變化、雨水補注或是其他因素所造成？	感謝委員指導。 自然降雨、潮位變化或海水入侵等因素皆可能造成。主要觀測時間不長，對於即時資料掌握度不佳，對於分析受限制性高。本次也針對監測部分提出建議。
	2.依據規劃報告書理論、地質鑽探資料及地下水位等水位圖，海水淡化廠水井位於淡水水體最豐處，惟高導電度水質所呈現之海水入侵訊息，是否代表地下水體已呈現離散分布現象。	感謝委員指導。 由島內高程初步推估早期未開發時期，最平緩處為集合場附近包含海水淡化廠與海軍氣象站等區域，高程約2公尺左右，此區域可視為地下水入滲區，地下水來源經由降雨地表逕流入滲於含水層中。可能長期受到抽水影響，對於淡水分佈型態較不集中，多半受到海水混合影響。

「東沙島水資源整體利用規劃」期末報告審查意見及回覆 審查會議日期：98/12/9

審查委員	審查意見	辦理情形
吳育生副研究員	1.工作團隊如期完成東沙島水資源整體利用規劃,區分雨水、地下水、海水淡化等方向,提出頗為完整而全面性的規劃剖析與未來改善規劃方案,並估算成本效益,可供委辦單位據以作為實際施作之參考,值得肯定。	感謝委員指導。
	2.雨水收集或截流設施效益高,應優先參考利用。	感謝委員指導。將此意見列入規劃參考。
	3.目前依據數值模擬之結果,地下水之補助量與抽水量達到平衡,並無超抽。惟此一結論受限於基本資料之完整與準確性,故十分贊同建置地下水監測井,進行更詳細水文資料蒐集或水質檢測之建議,而未來如有更詳細的水位連續觀測資料,也可以印證數值模擬之結果。	感謝委員指導。
	4.水質檢測方面,除了標準項目外,因島內生活用水可能依賴環境水體,建議應增加微生物類之檢測,如微囊藻等。	感謝委員指導。 將列入未來水質監測項目之中。
	5.地下水水文資料在描述及分析上,建議應利用統一的高程系統。	感謝委員指導。
	6.目前海淡廠取水為辦鹹水之地下水,應是利用全開式井篩抽水之故。如欲改善,可重設取水井,改變取水深度或分層取水。	感謝委員指導,目前海水淡化廠方案規劃,抽取之半鹹水皆建議於島上周圍區域重新設井取水。已於規劃方案中說明未來抽水井細部設計及抽取比例方法需注意之事項。

審查委員	審查意見	辦理情形
吳育生副研究員	<p>7.海淡廠方案一與二，對地下水之影響應有程度上的差異，請區分之。</p> <p>8.本計畫對於滲透係數之調查，進行入滲儀之量測及定、變水頭之試驗，如何能得到入滲係數？</p> <p>9.地下水潛能評估以P公尺進行模擬是否適合？Sutra或Fewater是否適用？</p>	<p>感謝委員指導。方案一與方案二之抽水井配置與抽水量皆相同，因此對地下水影響程度應一致。</p> <p>感謝委員指導。已以本計畫進行入滲儀試驗數據推求出入滲係數。</p> <p>感謝委員指導。地下水潛能評估於中使用P公尺相當合適之，其Sutra或Fewater也適用模擬地下水。可依據不同條件或環境選擇軟體需求。</p>
張良正教授	<p>1.關於雨水利用：</p> <p>(1) p.61之表4.2-1指出「平均降雨量1346公釐，平均降雨日為109日，雨水豐富」，但p.66最後一段，日平均降雨強度為26.6公釐，降雨日數不到1/6，如何估算？</p> <p>(2) p.66忽略蒸發散是否合理？</p> <p>(3) p.66指出不建議雨水經收集處理後當成盥洗等生活用水，則雨水收集後合宜之用途為何？</p> <p>(4) p.83表4.2-6指出東沙島經由雨水收集總量應為931,417噸/年，但此總量為可收集之潛能，但為能達到此收集總量，需有相對應之儲槽容量。因此，對於p.100圖4.2-28，關於經由集水廠鋪面供水（285噸/日）與地面集水供水（550噸/日），應在可接受缺水風險條件下，評估所需之儲槽容量與其工程可行性。且應對集水場鋪面與地面集水之用水標的說明清楚，若其作為盥洗等生活用水，亦應評估其水質處理系統之可行性。</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>(1).以歷年平均降雨量1,346公釐紀錄降雨日為109天，總降雨日應約為全年1/3，筆誤1/6已修正，請參考成果報告p.72。</p> <p>(2).目前東沙島無任何蒸發量資料，並無考量蒸發影響。</p> <p>(3).雨水蒐集後主要希望能夠提供在沖洗馬桶、植物澆灌、簡易的洗滌方面。</p> <p>(4).謝謝委員建議，將納入參考。</p>

審查委員	審查意見	辦理情形
張良正教授	<p>3.關於地下水評估：</p> <p>(1).p.79，第一段指出「...含水層流出 2.6 萬噸/年」所指為何，請說明之。</p> <p>(2).p.79，最後一段指出「若考量海淡廠抽水量 2.5 萬噸/年，以供需角度研判對地下水之影響不大，海淡廠抽水量遠未超過地下水天然補注量」，此說法值得商榷，因與現況(地下水鹽化)及模擬結果顯示地下水將往島內內陸移動，並不一致。</p> <p>(3). p.72，圖 4.2-10~11，島內水位低於海平面。但於 p.79，為何建構之模式會由定水頭邊界(即海岸)流出 31 萬噸/年？</p>	<p>感謝委員指導。</p> <p>(1).本文中乃指出模式模擬由含水層流出海洋的地下水量。</p> <p>(2).根據現有資料評估出，海淡廠抽水量 2.5 萬噸/年遠未超過地下水天然補注量，而其他的淡水皆流出海洋，初步評估出整體供需狀況接近平衡狀態(整體流出水源為 36 萬噸/年仍少於出流進水源 36.1 萬噸/年)，若長期抽取淡水，鹽化的潛勢仍然存在。</p> <p>(3).島內水位實際觀測略低於海平面，在模式建構海邊設定的邊界為定水頭，以低潮位線為主，模式內水位以修正以此為零水位線，因此，模式仍有地下水流出之現象。</p>
	<p>4.關於海淡規劃分析：</p> <p>(1).對於方案 1、2 之抽取地下水方式，改為由數口井輪流抽用，是否即可減少地下水鹽化？說明其理由。</p> <p>(2).由於東沙島地理位置離台灣較遠，對於規劃海淡廠所需之電能來源，是否需特別考量。</p>	<p>感謝委員指導，方案 1、2 之地下水改設於島上沿海地帶，並分不同時間及含水層不同位置(上、中、下)來進行抽取，就理論上來說，對於島嶼中央地下水衝擊較小，且可於沿海地區造成一洩降錐，防止海水入侵造成鹽化現象的發生。</p>
	<p>5.p.100，關於東沙島之用水供需分析圖，建議依不同用水標的之需求，進行水資源之供需分析。</p>	<p>感謝委員指導，已進行海淡廠方案耗能評估，依目前島上發電機組載能尚可負擔海淡廠所需。</p>

審查委員	審查意見	辦理情形
葉昭憲教授	1. 摘要應包含操作過程及成果之呈現，請增加現況調查時間、水質分析較嚴重或較高之輔助數據、最優先辦理是項、有形效益之數值等資訊。	遵照辦理。
	2. p.6 最後一月應為「12月」之筆誤。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.6。
	3. p.7 最後一段增加調查時間。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.7。
	4. p.9 請增加鹽度數據。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.147。
	5. p.21 請說明氣象資料僅統計至 2006 年之原因。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.21。
	6. p.30 請以繪圖或照片輔助說明深層土壤之各層厚度分佈概況。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.26。
	7. p.31 請補充表 4.1-3 中 S08-S10 之經緯度。	遵照辦理。
	8. p.42 請說明僅進行一次採樣之原因。	感謝委員指導，第二次水質已補充入請參考成果報告 p.42。
	9. p.51 各項分析結果之對應符合標準，是否能標注於表 4.1-12。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.57。
	10. p.77 圖名建議增加「觀測井」，以避免誤解。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.87。
	11. p.103 請增加「水平衡分析」之文字說明，及未達平衡之涵義。	感謝委員指導，水平衡分析項目已增加說明，並重新計算已達平衡狀態，請參考成果報告 p.103。

審查委員	審查意見	辦理情形
陳國永課長	1. p.14-17 圖說部分，「魚」應改為「漁」、無須加長管路為何意？另外在調查時，有無發現玻璃纖維筒有滲漏現象？	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.14-p.17。無須加長管路為筆誤已刪除，調查時針對已經裸露出的較為嚴重部分為漁服站，其餘無法判定。
	2. p.21，表 4.1-1 的統計表，其年均溫及平均降雨量可能有誤，請再確認。	感謝委員指導，已修正請參考成果報告 p.14-p.17。
	3. 報告書中各圖表的資料來源是本研究整理或引用，請補充。	遵照辦理。
	4. p.72，地下水位高程是如何量測？其基準為何？請說明。	感謝委員指導，地下水水位高程為量測水位轉換成高程水位，基準依據海軍提供高程資料。
	5. p.78，本調查結果認為地下水層 25 公尺，計算地下水蘊藏量初估 140 萬噸，與一般的認知有落差，請問調查單位是如何計算？請補充。另分析模式的計算基礎及推演過程、是否有驗證？請說明。	感謝委員指導，地下水蘊藏量的推估與評估含水層厚度有其關連性，含水層越深推估出的地下水蘊藏量也越大。若以直接推估法，將東沙島面積 1k 平方公尺×含水層厚度 25 公尺×孔隙率 0.2=含水層蘊藏量為 500 萬噸，與本計畫推估 140 萬噸差距 3 倍之多，將在修正探討。分析模式計算與基礎等資料已補充於成果報告 p.84。
	6. 表 4.2-18 逕流係數參考表，是否適用東沙，請估算符合東沙現況的數值，供未來參考。	感謝委員指導，已依照入滲試驗之結果推算出逕流係數，補充於成果報告 p.104。
	7. p.107，提到水資源保護區部分，調查單位評估現階段是否可行？若劃設後，影響程度如何？請說明。	感謝委員指導，地下水水資源保護區之劃分乃建議方法，且所列之規定事項為以保護地下水資源原則所訂定，至於影響程度，於島中央地區過度抽汲地下水對將來島嶼生態極為不利，且將來搭配雨水貯留利用、海淡廠抽水井位置改善等措施，已完全不須於島嶼中央地區抽汲地下水，此建議應為可行且必須。

審查委員	審查意見	辦理情形
列席人員意見	1. 有關東沙島地下水蘊藏量之估算，建議再參酌期末報告書 p.26 鑽探資料之井位位置、高程及可儲水層之厚度，適度估算。	感謝委員指導，根據東沙島文獻提供資料顯示，島上鑽探深度達 20 公尺，因無更深層資料可提供作為模式估算，模式已既有資料進行評估，且東沙島屬於非拘限含水層，地下水流出海洋機率相當大，因此，以本模式評估 25 公尺深之含水層厚度初步評估合適度尚可。
	2. 期末報告書於 p.79、p.101-103 及 p.113 之水資源補注部份之數據及論述，似乎前後不一致，例如，p.113 地下水儲存量分析一節提出海淡廠抽水未超過地下水天然補注量，卻又有島內目前使用淡水出水量已經超越安全值之論點，是否再重新檢視。	感謝委員指導，遵照辦理。
	3. 有關水質分析之補充資料，7 月與 11 月之檢測質差異極大，如 7 月與 11 月各水體之水溫差異不大，但於海淡廠之 DO 值卻呈現極大之差異，且與排放滷水，及其他井位水體之趨勢不同，另為何 11 月份於瀉湖、衛星站及排放滷水之 BOD ₅ 檢測值，低於偵測下限，……等，是否重新檢視並加以說明。	感謝委員指導，本計畫於 7 月份及 11 月份水質採樣過程，遵照環保署水質採樣方法進行。DO 數值為現場測定，可持續進行檢測，確保資料準確度。另為何 11 月份於瀉湖、衛星站及排放滷水之 BOD ₅ 檢測值，低於偵測下限，並無不可能。9-10 月若降雨量增加，雨水入滲亦造成污染物濃度稀釋。
	4. 圖 2.1-1 水資源對策研擬提到地下水安全出水量，但在第四章看不到有關東沙島地下水安全出水量的評估。	感謝委員指導，已補充於成果報告 p.84。

審查委員	審查意見	辦理情形
列席人員意見	5. 4.1.3 節為引用教科書之島嶼含水層示意圖說明，本計畫既已進行現地土壤調查與試驗，應配合東沙島現有之鑽探資料提出東沙島的含水層剖面、3D 立體圖，以及含水層概念模式。	感謝指教，以繪出概念圖，但由於此概念圖為以目前土壤調查與試驗資料進行繪製，其試驗深度甚淺，若需建置較完整的含水層剖面、3D 立體圖，以及含水層概念模式，建議日後進行地質鑽探及相關試驗。
	6. 4.1.5 節地下水資源經營現況分析，內容僅為管理處過去計畫的摘錄，對於東沙島地下水資源的經營現況、相關的問題與分析以及未來的方向等未有論述。	感謝委員指導，已補充於成果報告 p.64。

附錄二、滲漏儀試驗步驟及紀錄分析結果

本試驗之滲透儀為 SOIL 公尺 OISTURE EQUIP 公尺 ENT 公司之 2800KI Guelph Per 公尺 ea 公尺 eter，其主要乃依據定水頭原理簡單快速的求得現地相關水文參數之裝置，其試驗步驟如下：

1. 選定進行滲透儀試驗之地點，以土壤螺旋鑽（Soil Auger）垂直向下鑽取土壤，鑽至深度約 25 至 30 公分。
2. 將土壤螺旋鑽（Soil Auger）換成平底螺旋鑽（Sizing Auger），繼續鑽取原來孔洞，目的在於清除孔洞底部之土壤碎塊。
3. 以井刷（well Prep Brush）來回清除孔洞，但以不超過兩次為限。
4. 架起三角架，將滲透儀之內外貯水組件及空氣管等零件組裝完成，以三角架固定，並將滲透儀之出水頂端（Water Outlet Tip）套入孔洞中。
5. 將滲透儀頂部之貯水塞子（Fill Plug）移開，以裝水容器將水倒滿貯水管，再將貯水塞子移回。
6. 緩慢將空氣進口頂端（Air Inlet Tip）拉起約 5 公分，建立 5 公分井水頭高（ H_1 , Well Head Height）。
7. 打開貯水閥（Reservoir Valve），選擇使用雙貯水管（both Reservoirs）進行試驗，將貯水閥門轉向上。
8. 開始進行試驗，並量測滲透儀之貯水管試驗前之井水位高。
9. 觀測貯水管之水位變化，試驗進行至水位變化速率穩定，則停止試驗。
10. 完成上述試驗之後，不可移動滲透儀，直接進行下一個試驗。
11. 緩慢將空氣進口頂端（Air Inlet Tip）拉起約 10 公分，建立 10 公分井水頭高（ H_1 , Well Head Height）。
12. 再重複步驟 7 至步驟 9。

附錄表 1-1 水電中心之滲漏儀試驗結果紀錄表

試驗場	水電中心	時間	98年11月6日下午3:30		天氣	陰偶晴		水電中心前方涼亭旁	
使用內貯水管 (Y=2.14)		使用雙貯水管 (X=35.39)			√	鑽孔深度(cm)	28		
水頭差5 cm					水頭差10 cm				
次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)	次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)
1	0	50	0	-	1	0	26	0	-
2	30	57	7	0.233	2	30	36.5	10.5	0.350
3	30	64.5	7.5	0.250	3	30	44	7.5	0.250
4	30	71.5	7	0.233	4	30	53.5	9.5	0.317
5	30	77.5	6	0.200	5	30	62.5	9	0.300
6	30	23	0	-	6	30	70	7.5	0.250
7	30	28.5	5.5	0.183	7	30	25	0	-
8	30	33.5	5	0.167	8	30	32	7	0.233
9	30	37	3.5	0.117	9	30	40.5	8.5	0.283
10	30	42.5	5.5	0.183	10	30	47	6.5	0.217
11	30	46	3.5	0.117	11	30	54	7	0.233
12	30	51	5	0.167	12	30	61	7	0.233
13	30	56	5	0.167	13	30	69.5	8.5	0.283
14	30	61	5	0.167	14	30	23	0	-
15	30	66	5	0.167	15	30	29	6	0.2
					16	30	35	6	0.2
					17	30	41	6	0.2
					18	30	47	6	0.2

計算方式：

1. 貯水管內水頭差 5 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_1 = \underline{0.167}$ 公分/秒
2. 貯水管內水頭差 10 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_2 = \underline{0.200}$ 公分/秒
3. 現地飽和水力傳導度

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} K_{fs} &= (0.0041 \times 35.39 \times 0.2) - (0.0054 \times 35.39 \times 0.167) \\ &= \underline{2.9 \times 10^{-3}} \text{ 公分/秒 (取正值)} \end{aligned}$$

4. 基質流通勢能

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} \sigma_{\text{公尺}} &= (0.0527 \times 35.39 \times 0.167) - (0.0237 \times 35.39 \times 0.2) \\ &= \underline{1.4 \times 10^{-1}} \text{ 公分/秒} \end{aligned}$$

附錄表 1-2 國碑之滲漏儀試驗結果紀錄表

試驗場	國碑	時間	98年11月7日下午3:00		天氣	晴		近忠誠路口	
使用內貯水管 (Y=2.14)		使用雙貯水管 (X=35.39)			√	鑽孔深度(cm)	28		
水頭差5 cm					水頭差10 cm				
次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)	次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)
1	0	23	0	-	1	0	20	0	-
2	30	38	15	0.500	2	15	35	15	1.000
3	30	53	15	0.500	3	15	48	13	0.867
4	30	67	14	0.467	4	15	61	13	0.867
5	30	23	0	-	5	15	72	11	0.733
6	30	39	16	0.533	6	15	19	0	-
7	30	53	14	0.467	7	15	35	0	0.000
8	30	67	14	0.467	8	15	47	12	0.800
9	30	26	0	-	9	15	60	13	0.867
10	30	40	14	0.467	10	15	73	13	0.867
11	30	54.5	14.5	0.483	11	15	18.5	0	-
12	30	67	12.5	0.417	12	15	39	20.5	1.367
13	30	24	0	-	13	15	52	13	0.867
14	30	38	14	0.467	14	15	67	0	0.000
15	30	51	13	0.433	15	15	19	0	-
16	30	64	13	0.433	16	15	34	15	1
17	30	77	13	0.433	17	15	48	14	0.933
					18	15	62	14	0.933
					19	15	76	14	0.933

計算方式：

- 貯水管內水頭差 5 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_1 = \underline{0.433}$ 公分/秒
- 貯水管內水頭差 10 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_2 = \underline{0.933}$ c 公尺/sez
- 現地飽和水力傳導度

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} K_{fs} &= (0.0041 \times 35.39 \times 0.933) - (0.0054 \times 35.39 \times 0.433) \\ &= \underline{5.26 \times 10^{-2}} \text{ 公分/秒} \end{aligned}$$

- 基質流通勢能

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} \phi_{\text{公尺}} &= (0.0527 \times 35.39 \times 0.433) - (0.0237 \times 35.39 \times 0.933) \\ &= \underline{2.53 \times 10^{-2}} \text{ 公分/秒} \end{aligned}$$

附錄表 1-3 機場跑道東側之滲漏儀試驗結果紀錄表

試驗場	跑道東側小水池	時間	98年11月8日上午10:00		天氣	陰			
使用內貯水管 (Y=2.14)		使用雙貯水管 (X=35.39)			√	鑽孔深度(cm)	30		
水頭差5 cm					水頭差10 cm				
次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)	次數	時間差(min)	水位高	水位差(cm)	水位下降速率(cm/sec)
1	0	17	0	-	1	0	19	0	-
2	30	28	11	0.367	2	15	30	11	0.733
3	30	37	9	0.300	3	15	36	6	0.400
4	30	46	9	0.300	4	15	43	7	0.467
5	30	54	8	0.267	5	15	48.5	5.5	0.367
6	30	62	8	0.267	6	15	55	6.5	0.433
7	30	70	8	0.267	7	15	61	6	0.400
8	30	18	0	-	8	15	66.5	5.5	0.367
9	30	26	8	0.267	9	15	72	5.5	0.367
10	30	34	8	0.267	10	15	23	0	-
					11	15	30.5	7.5	0.500
					12	15	37.5	7	0.467
					13	15	44	6.5	0.433
					14	15	50	6	0.4
					15	15	56	6	0.4
					16	15	62	6	0.4
					17	15	68	6	0.4
					18	15	74	6	0.4

計算方式：

1. 貯水管內水頭差 5 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_1 = \underline{0.267}$ 公分/秒

2. 貯水管內水頭差 10 c 公尺之水位下降速率 $\bar{R}_2 = \underline{0.400}$ 公分/秒

3. 現地飽和水力傳導度

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} K_{fs} &= (0.0041 \times 35.39 \times 0.4) - (0.0054 \times 35.39 \times 0.267) \\ &= \underline{7 \times 10^{-3}} \text{ 公分/秒} \end{aligned}$$

4. 基質流通勢能

$$\begin{aligned} \text{使用雙貯水管：} \sigma_{\text{公尺}} &= (0.0527 \times 35.39 \times 0.267) - (0.0237 \times 35.39 \times 0.4) \\ &= \underline{1.62 \times 10^{-1}} \text{ 公分/秒} \end{aligned}$$