

澎湖地區送配水管管種最適化探討

中華民國自來水協會

中華民國一〇四年五月

中華民國自來水協會103年度專題研究計畫

澎湖地區送配水管管種最適化探討

計畫執行單位：中華民國自來水協會 技術研究委員會

計畫主持人：李嘉榮

協同計畫主持人：胡南澤、籃炳樟

研究人員：李春銓、張煥獎、謝榮哲、曾合意

執行期間：民國103年7月1日至民國104年4月30日

摘要

澎湖地區水源缺乏，加以近年來地方觀光商業快速發展，致用水需求愈顯不足。另外，地下水井水質嚴重鹽化，必須實施分階段減輪抽地下水，故興建海水淡化廠以增加供水量。惟海水淡化廠出水水質之藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, LSI)偏低而具腐蝕性，雖經加藥處理後可符合飲用水水質標準，並控制 LSI 在 ± 1 之間及 pH 值在 8.0 左右，惟再流經輸配水管網，其中延性鑄鐵管 DIP 之水泥砂漿襯裡會析出 Ca^{2+} 等礦物質，造成供水 pH 值升高，易使水泥砂漿剝落，進而造成管體銹蝕而產生供水出現紅水現象。

本研究即探討在澎湖地區特殊水質環境下，如何選擇最適當管材，並配合台水公司 102 至 111 年降低漏水率計畫進行舊漏管線汰換，以達到保育水資源並提升供水品質之目的。因此，本研究採用 5 種管材及 3 種水源進行水質浸泡試驗，以分析各種不同水源及不同管材，其浸泡時間與水質變化之關係，俾找出最適合澎湖地區使用之管種。

經試驗結果發現，使用水泥襯裡之 DIP，不論採用第 1 型卜特蘭水泥或第 2 型卜特蘭水泥作為襯裡，在無密封塗層保護時，皆容易發生水質異常情形；而採用「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」，則可控制 pH 在水質標準 8.5 以內，惟使用海淡水時仍有機會發生 pH 超過 8.5 之異常情形。考量未來澎湖地區海淡水使用比例愈來愈高，爰不建議澎湖地區使用「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」。

經綜合分析，「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」抗壓強度大、抗震能力佳、使用年限長達 40 年以上，且可抵抗海淡水之腐蝕性，確實為目前澎湖地區最適合之管種。

目錄

目 錄.....	I
圖目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機及計畫緣起.....	1
1.2 計畫目標及預期成果.....	3
1.3 預定進度.....	3
第二章 文獻回顧.....	4
2.1 自來水管線防止腐蝕.....	4
2.1.1 腐蝕原理.....	4
2.1.2 管內防蝕目的.....	6
2.1.3 管內防蝕技術.....	6
2.1.4 腐蝕指標.....	12
2.2 延性鑄鐵管.....	16
2.2.1 發展前期.....	16
2.2.2 柏油密封塗層.....	16
2.2.3 環氧樹脂漆密封塗層.....	17
2.2.4 環氧樹脂粉體塗裝.....	18
2.2.5 延性鑄鐵管水泥內襯防止腐蝕.....	20
2.2.6 密封塗層相關規範.....	20
2.3 海水淡化廠出水對自來水管線之影響.....	21
2.3.1 海水淡化廠出水水質具腐蝕性.....	21
2.3.2 海水淡化廠出水水質穩定控制技術.....	21
2.3.3 海水淡化廠出水與鑄鐵管襯裡材質之關係.....	23

第三章	研究分析方法及試驗.....	26
3.1	澎湖地區現地調查及相關供水政策.....	26
3.1.1	澎湖地區供水現況.....	26
3.1.2	澎湖地區管線漏水情形.....	28
3.1.3	澎湖地區水質監測.....	31
3.1.4	澎湖地區DIP漏水分析.....	35
3.1.5	台水公司102至111年降低漏水率計畫.....	37
3.1.6	自來水管線防蝕之規定.....	40
3.1.7	澎湖地區地下水減輪抽.....	41
3.2	澎湖地區最適化管種試驗.....	42
3.2.1	實驗流程規劃.....	42
3.2.2	管材取得.....	43
3.2.3	水源取得.....	44
3.2.4	試驗場所.....	44
3.2.5	試驗規劃.....	48
3.2.6	水質檢驗.....	48
第四章	試驗結果分析與討論.....	55
4.1	管材浸泡試驗進行.....	55
4.1.1	管材安裝與現場佈置.....	55
4.1.2	試驗浸泡進行安排.....	58
4.2	試驗結果.....	58
4.2.1	鹽井淡化水試驗組.....	58
4.2.2	湖庫水試驗組.....	61
4.2.3	純海淡水試驗組.....	64
4.2.4	水質試驗交叉比對分析.....	68
4.2.5	澎湖地區供水管網自來水平均停留時間.....	70
4.3	密封塗層DIP鑽孔試驗.....	71
4.4	澎湖地區送配水管管種最適化探討座談會議.....	74

第五章	結論與建議.....	75
5.1	結論.....	75
5.2	建議.....	77
	誌謝.....	78
	參考文獻.....	79
附錄一	「延性鑄鐵管內襯腐蝕研討會」會議紀錄.....	81
附錄二	CNS-2313-A3055規範「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」.....	87
附錄三	CNS-13273-G3254規範「延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」.....	95
附錄四	BS 7892:2000規範「Specification for seal coats on cement mortar lined ductile iron pipes and fittings」.....	113
附錄五	水質浸泡試驗之成果數據.....	131
附錄六	「澎湖地區送配水管管種最適化探討」座談會議紀錄....	149
附錄七	期中、期末報告審查委員意見及回覆.....	159

圖目錄

圖2-1	鑄鐵管之腐蝕模式.....	5
圖2-2	密封塗層示意圖.....	17
圖2-3	環氧樹脂漆密封塗層DIP.....	18
圖2-4	環氧樹脂粉體塗裝DIP.....	19
圖2-5	環氧樹脂粉體塗裝管具優質衛生性.....	19
圖2-6	LBWD不同水源之各項腐蝕性指標.....	24
圖2-7	海淡水混合比例對於LSI之影響.....	24
圖2-8	DIP有無密封塗層於不同水源之LSI變化情形.....	23
圖3-1	澎湖地區供水現況圖.....	26
圖3-2	馬公地區水質監測位置圖.....	31
圖3-3	湖西地區水質監測位置圖.....	33
圖3-4	白沙地區水質監測位置圖.....	35
圖3-5	澎湖地區DIP修漏現況照片.....	36
圖3-6	澎湖地區DIP銹蝕情形.....	36
圖3-7	國際間採用之漏水管控方案.....	37
圖3-8	漏水原因分析.....	38
圖3-9	不同管材之漏水比例分析.....	38
圖3-10	管線汰換之最佳時機.....	39
圖3-11	鹽井淡化水試驗組（成功淨水場）平面圖.....	45
圖3-12	鹽井淡化水試驗組（成功淨水場）現況照片.....	45

圖3-13 湖庫水試驗組（成功淨水場）平面圖.....	46
圖3-14 湖庫水試驗組（成功淨水場）現況照片.....	46
圖3-15 純海淡水試驗組（馬公5,000噸海淡廠）平面圖.....	47
圖3-16 純海淡水試驗組（馬公5,000噸海淡廠）現況照片.....	47
圖3-17 試驗規劃佈置圖.....	48
圖3-18 澎湖成功淨水場.....	49
圖3-19 澎湖成功淨水場水質檢驗室.....	49
圖3-20 桌上型pH儀.....	50
圖3-21 鹼度之試驗溶液.....	51
圖3-22 滴定管.....	51
圖3-23 量筒及錐型瓶.....	52
圖3-24 電氣烘箱.....	53
圖3-25 乾燥器.....	53
圖3-26 分析天平.....	53
圖3-27 鈣離子Ca ²⁺ 之試驗溶液.....	54
圖4-1 鹽井淡化水試驗組現場佈置圖（成功淨水場）.....	55
圖4-2 湖庫水試驗組現場佈置圖（成功淨水場）.....	56
圖4-3 純海淡水試驗組現場佈置圖（馬公5,000噸海淡廠）.....	57
圖4-4 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖（DIP+第1型卜特蘭水泥 襯裡）.....	59
圖4-5 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖（DIP+第2型卜特蘭水泥	

襯裡)	59
圖4-6 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖 (DIP+第1型卜特蘭水泥 襯裡+環氧樹脂漆密封塗層)	60
圖4-7 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖 (DIP+環氧樹脂粉體塗 裝)	60
圖4-8 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖 (HIWP)	61
圖4-9 湖庫水試驗組水質變化時序圖 (DIP+第1型卜特蘭水泥襯 裡)	62
圖4-10 湖庫水試驗組水質變化時序圖 (DIP+第2型卜特蘭水泥襯 裡)	62
圖4-11 湖庫水試驗組水質變化時序圖 (DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+ 環氧樹脂漆密封塗層)	63
圖4-12 湖庫水試驗組水質變化時序圖 (鑄鐵管+環氧樹脂粉體塗 裝)	63
圖4-13 湖庫水試驗組水質變化時序圖 (HIWP)	64
圖4-14 純海淡水試驗組變化時序圖 (DIP+第1型卜特蘭水泥襯 裡)	65
圖4-15 純海淡水試驗組變化時序圖 (DIP+第2型卜特蘭水泥襯 裡)	66
圖4-16 純海淡水試驗組變化時序圖 (DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環 氧樹脂漆密封塗層)	66
圖4-17 純海淡水試驗組變化時序圖 (DIP+環氧樹脂粉體塗裝)	67
圖4-18 純海淡水試驗組變化時序圖 (HIWP)	67

圖4-19 水質變化時序圖（DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡）	68
圖4-20 水質變化時序圖（DIP+第2型卜特蘭水泥襯裡）	69
圖4-21 水質變化時序圖（DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環氧樹脂漆密封塗層）	69
圖4-22 水質變化時序圖（DIP+環氧樹脂粉體塗裝）	69
圖4-23 水質變化時序圖（HIWP）	70
圖4-24 「十字鑽孔機」安裝分水鞍.....	72
圖4-25 「十字鑽孔機」鑽破水泥襯裡及密封塗層	73
圖4-26 密封塗層經鑽孔後掉落部分.....	73

表目錄

表1-1	澎湖地區近3年漏水率一覽表.....	2
表1-2	計畫執行進度表.....	3
表2-1	影響自來水腐蝕之水質項目.....	8
表2-2	pH/鹼度調整藥劑使用量.....	9
表2-3	LSI指標計算參數.....	15
表3-1	澎湖地區103年度管線長度統計表.....	29
表3-2	澎湖地區近10年（94-103年）修漏資料分析表.....	29
表3-3	HIWP及DIP管線工程成本比較表.....	30
表3-4	澎湖馬公地區水質監測資料.....	32
表3-5	澎湖林投供水站水質監測資料.....	33
表3-6	澎湖白沙地區水質監測資料.....	34
表3-7	試驗管種及使用水源.....	43
表4-1	澎湖馬公海淡水原始出水水質.....	64
表4-2	澎湖馬公地區管網長度及體積統計表.....	71

第一章 前言

1.1 研究動機及計畫緣起

澎湖地區因受氣候影響，雨量稀少，島上水源缺乏，尤以近年來觀光事業蓬勃發展，水源更為不敷用水需求。然而澎湖地區地下水位逐年下降，已產生海水入侵現象，造成部份地區地下水井水質嚴重鹽化；加上近年來居民生活品質提高，民生用水量增加且對用水品質要求提高，地下水井水質已不堪一般民生使用。在氣候變遷、地下水質逐漸惡化，及台灣自來水公司(以下簡稱台水公司)分階段配合政府政策實施地下水減輪抽機制下，供水愈趨不足，尤其旅遊旺季更甚，政府為澎湖地區穩定供水並解決離島居民用水之苦，爰興建海水淡化廠以紓緩澎湖地區的供水缺口。

惟海水淡化廠出水水質藍氏飽和指標(Langelier Saturation Index, 以下簡稱 LSI)偏低而具腐蝕性，需添加藥劑處理以避免侵蝕配水管線及對用戶水質產生負面的影響。經台水公司加藥處理後之水質雖可符合飲用水水質標準，並控制LSI在 ± 1 之間及pH值在8.0左右，惟澎湖地區目前輸配管網使用之自來水管線，其中延性鑄鐵管(ductile iron pipe, 以下簡稱DIP)長度57公里，佔輸配水管線總長約9.5%，海淡廠出水後流經該配水管網後，其中DIP之水泥砂漿襯裡會析出 Ca^{2+} 等礦物質造成管內自來水pH值逐漸升高，致影響供水水質。

依據台水公司103年度統計資料顯示，澎湖地區自來水輸配水管線總長度603公里，包括DIP、聚氯乙稀塑膠管(Polyvinyl chloride pipes,

以下簡稱 PVC)及耐衝擊硬質聚氯乙稀塑膠管(Unplasticized high impact polyvinyl chloride pipes，以下簡稱 HIWP)等，據調查逾使用年限之管線長度為188公里，佔輸配水管線總長31.17%，管線逾使用年限情形逐年增加且日趨嚴重。另外，各管種中以PVC漏水密度最高且逾使用年限情形最為嚴重，急需加速汰換以降低供水管網漏水量。統計資料亦顯示，目前澎湖地區漏水率約為23.66%，高於台水公司整體平均漏水率18.04%，加上澎湖地區平均銷售成本*¹每立方公尺約60.99元，較台水公司整體平均銷售成本每立方公尺約9.45元，高出6倍左右，惟每立方公尺平均售價僅10.96元。由此可知，澎湖地區供水營運現況相當艱困。

表 1-1 澎湖地區近 3 年漏水率一覽表

年度	101 年	102 年	103 年
澎湖營運所	24.27%	23.76%	23.66%
台水公司	19.55%	18.53%	18.04%

綜上，澎湖地區使用4種不同水源，包含純海淡水、湖庫水、鹽井淡化水及混合水等，影響各種自來水管材之使用。加以澎湖地區漏水率偏高且管線逾使用年限情形愈趨嚴重，管網體質不良急需將舊漏管線汰換為耐蝕耐壓之優良管種；台水公司目前使用之主要管種DIP及HIWP，其中DIP之水泥砂漿襯裡會受海淡水影響，造成水質pH值異常，易使水泥砂漿剝落，進而造成管體銹蝕而產生供水出現紅水現象。且澎湖地區地下水含鹽分高，易造成DIP管外壁銹蝕，內外環境均有影響DIP管體之不良因素存在；而HIWP抗壓強度較差且使用年限僅20年，重置成本高，實非最佳管材。為降低管線輸送過程之漏水量並

註*¹：銷售成本=生產自來水成本÷銷售水量

提升供水品質，台水公司配合降低漏水率專案計畫於未來10年內加速辦理澎湖地區管線汰換，如何選用最佳管種，實有必要深入研究探討。

1.2 計畫目標及預期成果

澎湖地區水資源相當寶貴，如何降低輸配水管線之漏水，以增進供水效率，本研究將探討最適合澎湖地區送配水管使用之管種，也將現行使用之DIP增加環氧樹脂漆密封塗層或改採環氧樹脂粉體塗裝等納入可行性探討，以提供台水公司未來參採使用。

1.3 預定進度

本計畫由民國103年6月4日中華民國自來水協會第17屆技術研究委員會第7次委員會議審查通過，執行期程為103年6月1日至104年4月30日，以期中報告為界，分為上下兩期執行，整理如表1-2。

第一期 103年7月至103年11月就研究重點進行文獻探討，及針對澎湖地區送配水管管種使用情形辦理實地調查。

第二期 103年12月至104年4月延性鑄鐵管內面水泥襯裡及環氧樹脂漆密封塗層或環氧樹脂粉體塗裝等進行不同水體之水質試驗，俾找出最適合澎湖地區之自來水管種。

表 1-2 計畫執行進度表

時程 工作項目	103年度						104年度				
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
文獻探討	■										
澎湖實地調查		■									
環氧樹脂塗裝試驗						■					
資料整理分析							■				
期中、末報告						■				■	
總進度(%)	5	10	20	30	40	50	60	75	85	100	

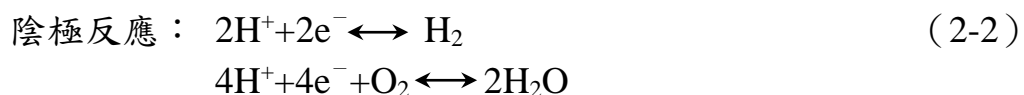
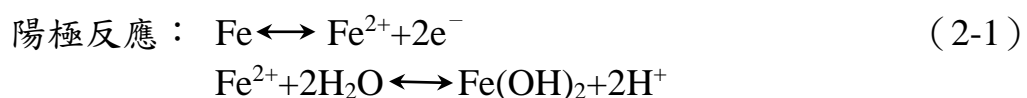
第二章 文獻回顧

2.1 自來水管線防止腐蝕

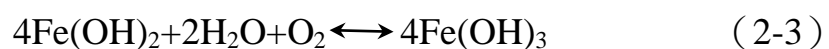
2.1.1 腐蝕原理

腐蝕(corrosion)係指金屬物質與周圍環境發生化學性變化或電化學反應而產生的損壞現象，而由物理原因所造成之損壞如沖蝕(erosion)、擦傷(galling)或磨損(wear)及化學性腐蝕拌隨著物理性的損壞，如腐蝕-沖蝕(corrosion-erosion)，腐蝕-擦傷(corrosion galling)或磨蝕(fretting-wear)等現象不屬於腐蝕(Uhlig, 1991；Mcneill and Edwards, 2001)。

影響輸配水管材腐蝕之水質項目(包含化學性與物理性)，與管材接觸發生溶解或沈澱即為腐蝕，發生於管內者為內面腐蝕，這些溶解或沈澱之化學物質稱為腐蝕副產物。台水公司使用之自來水輸配水管線，係以DIP為主，發生腐蝕時如圖2-1所示，其電化學反應如(2-1)式與(2-2)式(AWWA, 1986)。



鑄鐵管因腐蝕而溶出亞鐵，一般輸配水管中之原水或清水若含有溶氧，則依(2-3)式行氧化反應生成 $\text{Fe}(\text{OH})_{3(\text{s})}$ 沉澱物。



$4\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉澱物為橙色或橘褐色，即所謂之鐵銹。

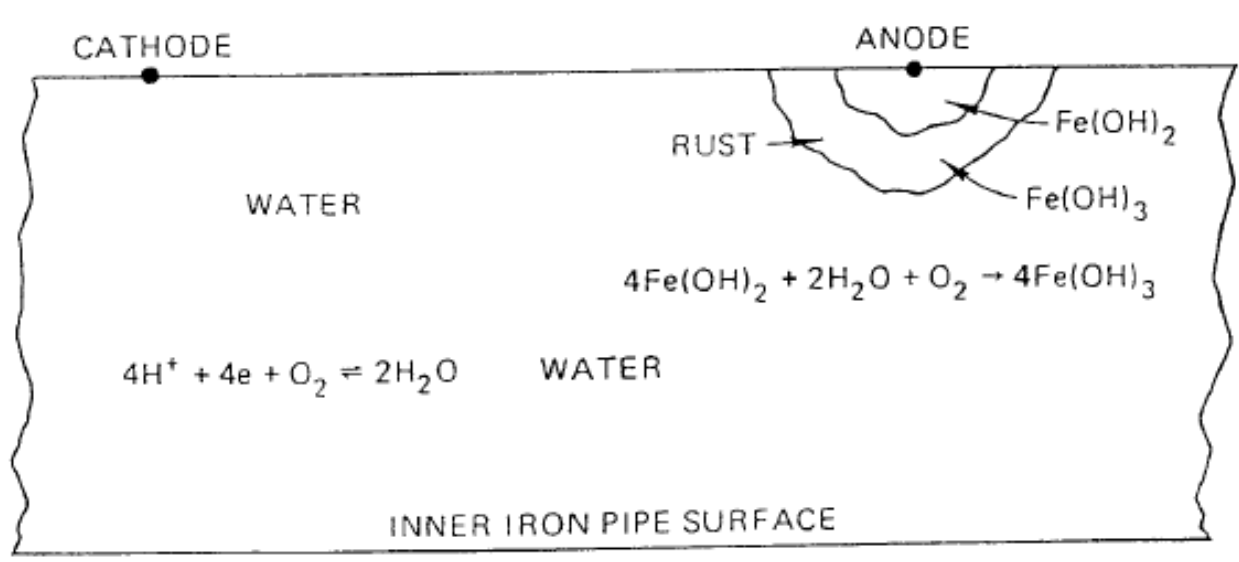
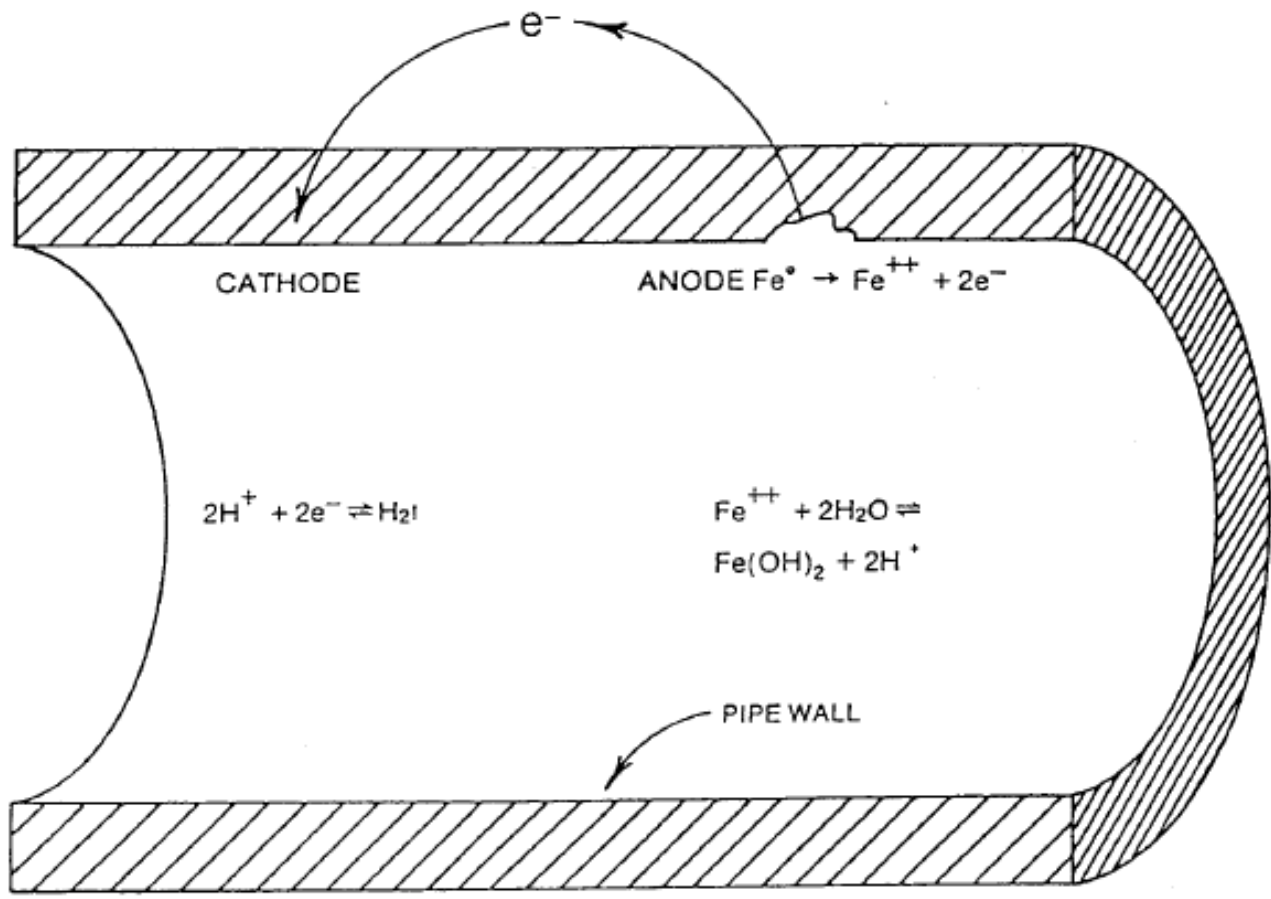


圖 2-1 鑄鐵管之腐蝕模式(AWWA, 1986)

2.1.2 管內防蝕目的

自來水管內發生腐蝕現象，乃管材內表面與管內自來水接觸而發生的化學、物理或生物反應造成，一般以化學反應為主，管內腐蝕與否主要決定於管材種類與管內自來水水質特性，管內發生腐蝕時將衍生衛生、健康與經濟等三方面問題(AWWA, 1989)，其中影響輸配水水質之物化性質及生物穩定性，更直接與供水的安全性有關(Kirmeyer, et al., 1999)，因此必須檢討管內防蝕，以使損害能減至最低程度。

2.1.3 管內防蝕技術

由於水質腐蝕性大小會影響水管內面腐蝕，為避免配水系統中水管內面腐蝕而衍生之腐蝕副產物(corrosion by-products)降低水質安全性，影響用戶健康，因此，淨水場操作條件、水質管理與管材選擇等為水管防蝕技術之關鍵(張伯鴻, 2004)。有鑑於此，美國與日本重視水管防蝕技術，並已著手檢討腐蝕指標、腐蝕評估方法及大都市水管防蝕調查，對自來水水質標準建議腐蝕指標，且對使用管材規範相關防蝕規定(AWWA, 1986；AWWA, 1987；AWWA, 1989；Millette, 1980；Single, 1981)。

管內腐蝕之反應速率及腐蝕程度決定於管材內面材質與水質特性，對某一配水系統成功的防蝕技術，對另一配水系統卻可能失敗。選用防蝕技術須先考慮(1)調整水質使之對管材較不具腐蝕性；(2)水管內面施以保護層或襯裡；(3)選用適當之管材及良好的工程設計使自來水對管材腐蝕性降至最低等(AWWA, 1986；Schock, 1991)。一般最普遍採用的防蝕技術有下列5種方法(AWWA, 1986；AWWA,

1989)：

1. 選擇適當管材及工程設計

選擇適當的管材可減少產生腐蝕，良好的工程設計，宜考慮下列事項：

- (1) 避免管線急彎、窄縫、死端的產生，若有死端須設排水設施。
- (2) 管線加工時應避免應力集中。
- (3) 控制管內適當流速與水壓。
- (4) 避免異質金屬接觸。
- (5) 設計管線選擇易維修、抽換的埋設位置，減少不當施工造成破壞之機率。

2. 調整水質

管內腐蝕受自來水水質特性影響甚鉅，如表2-1所示諸多水質項目可直接或間接影響腐蝕發生的速率。配水管線埋設後，其管材特性與工程設計、施工等影響因素已形成，實務上不易經常開挖進行防蝕維護。故對自來水事業單位而言，淨水場操作以調整水質，乃為最經濟且實務可行之防蝕技術。同時，低鹼度、低pH、軟水或緩衝能力低之自來水，其LSI低且較易發生腐蝕，故淨水場調整水質以調整pH、鹼度或硬度之操作為主 (AWWA, 1991)。

再者，輸、配水管網內繁殖的微生物對管壁的腐蝕性具有加速催化作用，鑄鐵管內之鐵細菌(如Gallionella)可將二價鐵離子(Fe^{2+})氧化成三價(Fe^{3+})，長期下可影響鑄鐵管內壁之結構，同

時阻礙水中消毒劑殺滅管壁微生物的作用(AWWRF, 1996, Volk et al., 2000)。

表 2-1 影響自來水腐蝕之水質項目

因素	腐蝕性影響之說明
pH值	低pH時會加速腐蝕作用
溶氧(DO)	對於鐵具有誘發強烈腐蝕作用
氯離子	會促進鐵及銅的腐蝕
緩衝性	強緩衝性不易腐蝕且會形成保護膜
(鹵化物+硫酸鹽)/鹼度 之比值	強酸的比值如大於0.5，易產生點蝕
二氧化碳	對銅質管材腐蝕性
總溶解固體	高TDS使導電度升高而增加腐蝕性
鈣	與溶解態碳酸鹽形成保護膜，減少腐蝕產生
矽	能在金屬表面形成保護膜
流速	流速太快促使氧及二氧化碳易與表面接觸，使保護膜脫落，增加腐蝕
金屬離子	某些金屬離子具有催化作用，促使腐蝕進行
溫度	高溫將增加腐蝕速率

(1) pH/鹼度調整

pH在腐蝕控制中扮演關鍵之角色，因此調整pH乃是最普遍用來減低管內腐蝕之方法，其原因分述如下(AWWA, 1986；AWWA, 1989)：

A. 氫離子(H⁺)為電子接受者(electro acceptor)，易參與電化學腐蝕反應。酸性水因高濃度H⁺而具腐蝕性，腐蝕發生於pH在6.5以下通常屬於均勻腐蝕，而pH介於6.5與8.0之間，則多屬於點蝕。

B. pH是決定管材溶解度的主要因素，大部份在配水系統

所使用之金屬管材或內襯混凝土管，在較低pH時易產生溶出現象。當有碳酸根鹼度存在時，增加pH到某臨界值，將增加碳酸根離子濃度，使鉛、銅、鐵等金屬離子可以產生非溶解性之碳酸鹽沉澱。石綿水泥管或水泥襯裡管線在較低pH時亦較容易溶解，因此提高pH乃控制這些類型水管腐蝕主要方法。

- C. 碳酸鈣之溶解度主要由pH、鹼度、硬度、二氧化碳及總溶解固體物等水質參數決定。而碳酸鈣乃提供水管內面保護層，為了形成這種沉澱物之保護層，必須有足夠之鹼度及鈣濃度使pH略高於pH_s，實際之pH值應調整至LSI大於零。

實際應用pH/鹼度調整之腐蝕控制技術，一般常用之化學藥劑，如消石灰(Ca(OH)₂)、苛性鈉(NaOH)、蘇打灰(Na₂CO₃)及碳酸氫鈉(NaHCO₃)等，除調整pH外，亦同時提供鹼度如OH⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻；如使用Ca(OH)₂調整pH，則可同時提供鹼度及鈣硬度，以促進碳酸鈣保護膜之生成。pH/鹼度調整常使用劑量如表2-2示 (AWWA, 1986)。

表 2-2 pH/鹼度調整藥劑使用量

藥劑	典型用量 (mg/L)	增加鹼度 (mg/L as CaCO ₃)
Ca(OH) ₂	1~20	1.35
NaOH(50%)	1~29	1.25
Na ₂ CO ₃	1~40	0.94
NaHCO ₃	5~30	0.95

(2) 溶氧控制

溶氧於腐蝕反應有三大重要性：a. 溶氧為腐蝕反應中的電子接受者，促使腐蝕反應持續進行；b. 溶氧使陰極極化 (depolarization)，溶氧與於陰極產生的 H_2 反應消耗 H_2 ，增加腐蝕反應進行速率；c. 溶氧與 Fe^{2+} 反應形成腐蝕副產物或於銅管形成點蝕。以方程式表示如下：



因此去除水中溶氧可有效減少腐蝕發生，惟在自來水輸水系統中欲去除水中的溶氧是相當不經濟的，縱使能去除自來水中的溶氧，水中殘留餘氯也將取代溶氧。若水源種類為地下水，則可考慮以控制溶氧為防蝕方法之一，因地下水水質特性為溶氧低、水質佳、細菌少、所需添加的消毒劑氯也較少，但採曝氣方式去除 H_2S 、 CO_2 、亞鐵離子時，雖去除效果良好，但會增加水中溶氧。因此須注意輸水馬達避免水壓過高造成溶氧增加，使用較小的曝氣機，在去除 H_2S 、 CO_2 、亞鐵離子之同時，避免溶氧的增加，宜將溶氧控制在 $0.5 \sim 2.0 \text{mg/L}$ ，以降低腐蝕速率(張伯鴻，2004)。

3. 腐蝕抑制劑

腐蝕抑制劑(inhibitor)係添加於一金屬腐蝕環境中能有效降低腐蝕速率的物質。目前使用無機性腐蝕抑制劑主要有無機磷

酸鹽(inorganic phosphate)化合物及矽酸鈉(sodium silicate)二種。腐蝕抑制劑添加初期需以高劑量促使保護層迅速形成，保護層形成後則需持續添加適當劑量以維持保護層之平衡，濃度不足或中斷加藥會使保護層再溶解而形成點蝕(AWWA, 1986)。

4. 使用抗腐蝕之襯裡及塗裝

此種抑制腐蝕的方法乃在管材內壁形成一層保護的覆蓋，以達抑制腐蝕的目的。通常用機械加工方式製造，有異於抑制劑的添加，所需成本較高。自來水管材常用為內襯物質有焦煤漆(coal-tar enamels)、環氧漆(epoxy paint)、水泥砂漿(cement mortar)、聚乙烯(polyethylene)。近年來亦有研究顯示利用無毒性的氧化鉬－鈉(sodium molybdate, Na_2MoO_4)、有機性矽化物(organosilane, $\text{R-Si}(\text{OCH}_3)_3$)內襯在鋼、鐵管內壁，對腐蝕的控制有正面助益(Shame EI Din et al., 1996; Montemor et al., 2000)，此外，在鋼襯混凝土管內襯氟磷酸鈉(Sodium monofluorophosphate, $\text{Na}_2\text{PO}_3\text{F}$)或亞硝酸鈣(calcium nitrite)，可減緩水管內鋼材的腐蝕(Ngala et al., 2002; Ngala et al., 2003)。內襯物質雖可隔絕管材與水直接接觸而減少腐蝕，但亦有溶出現象，水泥砂漿為目前鑄鐵管最普遍採用之內襯物質，在自來水輸水系統亦可能因溶出而增加濁度或pH，故對水質之影響應加以重視(AWWA, 1991)。

5. 採用陰極保護

所謂陰極防蝕乃藉外加電流使陰極極化，超過腐蝕電位到達

陽極的開路電位，兩電極保持相同的電位，則陽極不再發生腐蝕，為陰極防蝕的基本原理。外加電流促使陰極的電位盡量接近陽極電位，但不要超過其開路電位，否則若陰陽兩極皆為金屬，則會傷害金屬塗層，對防蝕的成效不增反減，此種防蝕通常適用在兩種金屬，且須兩者的開路電位相差頗大(張伯鴻，2004)。

2.1.4 腐蝕指標

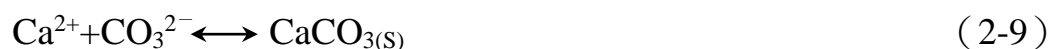
腐蝕指標乃綜合數項水質參數，並經指標函數計算所得之指標值，Single指出因不同研究者採用腐蝕指標時，所考量之計算水質項目、管材種類與管材內襯等因素不同，故水質指標多達約10種(Single, 1981)。而間接式腐蝕評估方法中，腐蝕指標法為應用性最廣泛者，文獻指出較常用之腐蝕指標包括Aggressive Index(AI)、Casil Index(CI)、Drive Force Index(DFI)、Langelier Saturation Index(LSI)、Momentary Excess(ME)、Riddick Corrosion Index(RCI)、Ryznar Stability Index(RSI)及Feigenbaum Index(YI)等8種，研究者主要考慮之水質參數不同而推導出不同之腐蝕指標，各類指標各有其發展背景及不同適用性，以適用性為例說明，RCI指標適用於低硬度水質，而YI指標則適用於高硬度與高鹽類水質。除了一般常見的腐蝕指標外，Calcium Carbonate Precipitation Potential(CCPP)也常用作估算水中過飽和碳酸鈣沉澱量，及未飽和時的碳酸鈣溶解度，藉以推測水質可能腐蝕或積垢的潛能(張伯鴻，2004)。

上述多種腐蝕指標中，藍氏飽和指標(LSI)於1936年最早被提出，亦是目前最廣泛應用於檢討水質腐蝕性指標，該項指標係以估算水中

CaCO₃飽和度作為判斷是否會產生結垢或是腐蝕的依據。由於自來水輸水管經常使用之DIP，為防止水質與管材表面因接觸而產生腐蝕，通常於管線內部施以內襯保護，而主要內襯材料即為含氧化鈣之水泥砂漿(中華民國自來水協會，2003)。因而當年LSI指標提出後，立即被廣泛應用作為腐蝕指標，甚至立法加以規範明訂，顯見國際間對於LSI腐蝕指標已具有頗高的認同度。

水質參數是估算腐蝕指標的重要因素，而水質項目是否為自來水事業單位平常檢測的項目，則實質影響腐蝕指標被採用的機率。依據「飲用水水質標準」經常性檢測的水質項目包括水溫、pH值、總鹼度、總硬度(含鈣、鎂)、TDS、氯鹽、硝酸鹽、溶氧等。經評估比較前述8種腐蝕指標，其中LSI所需之水質參數與前述經常性檢測項目相同，適合作為腐蝕指標。再者，有時腐蝕指標數值表示會發生腐蝕，但實際上也不一定發生腐蝕，其中可能原因之一為腐蝕係發生於表面之現象，然腐蝕指標計算時所用之參數值常為溶液者，其中有些差異。因此判定腐蝕發生與否，宜實際觀測管材，以確認腐蝕速率與腐蝕指標或水質相關性。由於腐蝕速率緩慢，且無法經常開挖水管直接觀測，自來水事業單位宜配合其業務上經常監測之水質資料，檢討腐蝕指標與淨水操作程序，以控制水質腐蝕性(張伯鴻，2004)。

LSI指標之依據如(2-7)至(2-9)式反應所示考慮碳酸鈣之沉澱或溶解，即pH與鹼度對碳酸鈣溶解度之影響。



若碳酸鈣溶解則表示內襯水泥保護膜變薄，增加金屬受腐蝕機會。相對地，碳酸鈣沉澱則表示水中硬度 Ca^{2+} 離子與鹼度成分 CO_3^{2-} 或 HCO_3^- 形成 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 沉澱物，增加保護膜。然而過量沉澱物亦會減少水管有效輸水斷面積，送水量減少或需增加送水動力，皆非淨水操作之良好條件(Langelier, 1936)。

參考美國水及廢水標準檢驗第20版(Standard Methods, 20thed., 1998)所列之2330 B.飽和指標計算法(Saturation Index by Calculation)，LSI指標值之計算函數如(2-10)式所示：

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (2-10)$$

式中pH及 pH_s 分別為水管中水質實測之pH值，及在所測得之 Ca^{2+} 離子濃度及鹼度值下， CaCO_3 達飽和時系統應有之pH值。

pH_s 值計算如(2-11)式所示：

$$\text{pH}_s = \text{pK}_2 - \text{pK}_s + \text{p}[\text{Ca}^{2+}] + \text{p}[\text{HCO}_3^-] + 5\text{p}f_m \quad (2-11)$$

式中：

K_2 ：碳酸在某特定水溫下的第二解離常數

K_s ：碳酸鈣在某特定水溫下的溶解度積常數

$[\text{Ca}^{2+}]$ ：鈣離子濃度(g-moles/L)

$[\text{HCO}_3^-]$ ：碳酸氫根離子濃度(g-moles/L)

f_m ：單價離子在某特定水溫下之活性係數

pK_2 、 pK_s 、與 $\text{p}f_m$ 計算所需參數可由表2-3求得

LSI指數呈現之意義為：(1) 當LSI指數 >0 ，表示 CaCO_3 呈現過飽和狀態，會有 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 沉澱，形成水管內壁保護膜以避免腐蝕發生，但過量沉澱物會減少水管輸水管線之通水斷面積，送水量減少或需增

加送水動力；(2)當LSI指數 <0 ，表示 CaCO_3 呈現未飽和狀態，會有 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 溶出，形成腐蝕現象，輸水管線DIP之水泥內襯將會變薄或剝落，增加DIP金屬部分腐蝕機會；(3)當LSI指數 $=0$ ，表示 CaCO_3 呈現飽和狀態，管內不會腐蝕也不會有 $\text{CaCO}_{3(s)}$ 沉澱結垢。(AWWA, 1986)

表 2-3 LSI 指標計算參數

方程式	溫度範圍
所有成分分析充足時： $I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^i [X_i] Z_i^2$	—
僅有導電度時： $I = 1.6 \times 10^{-5} C$	—
僅有總溶總固體時： $I = \text{TDS} / 40000$	—
$\text{p}f_m = A \left[\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0.3I \right]$ (僅適用 $I < 0.5$)	—
$A = 1.82 \times 10^6 (\text{ET})^{-1.5}$	—
$E = \frac{60954}{T + 116} - 68.937$	—
$\text{p}K_S = 107.8871 + 0.03252849T - 5151.79/T - 38.92561 \log_{10} T + 563713.9/T^2$	273~373
$\text{p}K_w = 4471/T + 0.01706T - 6.0875$	280~338

I =離子強度

$[X_i]$ =物種 i 的濃度，g-moles/L

Z_i =物種 i 的電荷數

C =導電度， μ mhos/cm

TDS =總溶解固體，mg/L

$\text{p}Y = -\log_{10}$ of the value of any factor Y

f_m =單價離子的活性係數

E =dielectric constant

T =絕對溫度， $\text{K} (^{\circ}\text{C} + 273.2)$

K_2 =碳酸的第二解離常數

K_w =水解離常數

2.2 延性鑄鐵管

2.2.1 發展前期

鑄鐵管(cast iron pipe, CIP)最早使用時並無任何塗裝或襯裡，在1860年前後，鑄鐵管經瀝青塗裝及襯裡(bituminous lining and coating)後，即開始使用於自來水供水系統。當時的供水系統水質相對偏硬並具輕度鹼性，因此，瀝青襯裡尚能符合要求。惟當水質偏軟或酸性時，即發生紅水或銹蝕情形，進而減緩流速並穿透瀝青襯裡產生結瘤。為解決此一問題，經不斷進行實驗及研究後，發現水泥襯裡(cement mortar lining)更適合作為襯裡材料。

1922年水泥襯裡之鑄鐵管首次使用於美國南卡羅來納州查理斯頓市之自來水供水系統，該管線在1999年傳導測試結果顯示，Hazen Williams 摩擦係數(Hazen-Williams coefficient, “C值”)仍維持130。因為水泥襯裡可在管壁生成高pH，產生物理性的阻隔以避免管線結瘤發生。另，水泥襯裡表面相對光滑，可提供高流動性摩擦係數，因此，目前於自來水供水系統經常使用之DIP，即大部分均採用水泥襯裡。

惟當水泥襯裡接觸到強軟水，即會析出 Ca(OH)_2 ，並隨管內水體停留時間愈長及管徑愈小而增加。之後水泥襯裡即會逐漸受到侵蝕而剝落，失去保護鑄鐵管體之功能。因此，需施加封層以阻絕軟水對水泥襯裡的破壞。(DIPRA, 2005)

2.2.2 柏油密封塗層

1940至1952年研究顯示，於剛完成之水泥襯裡外隨即加上柏油密封塗層(asphaltic seal coating)，有助於水泥水化作用時減少水份流失，

提供另一種水泥濕治養護方式。之後使用經驗亦顯示，密封塗層可防止水泥襯裡被軟水或具侵蝕性水質溶蝕析出。

惟柏油密封塗層因含有揮發性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)，恐造成空氣污染，因此，限縮柏油密封塗層之使用。但是在實際現況大部分的地區都是使用僅有水泥襯裡之DIP，只有在少數具侵蝕性水質之某些地區，需使用柏油密封塗層之DIP，而如果該地區未使用封層保護時，管內自來水pH會提高，尤其是在小口徑低流速之水管。(DIPRA, 2005)

2.2.3 環氧樹脂漆密封塗層

直管內面先以水泥砂漿襯裡，再以環氧樹脂漆密封塗層(epoxy seal coating)，可保護水泥砂漿，避免水泥砂漿中鹼性物質的析出及pH值上升，防止水垢生成及雜質附著，並減少水頭損失。(DIPRA, 2005)

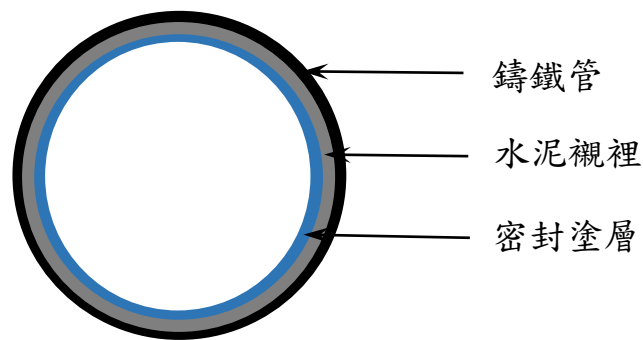


圖 2-2 密封塗層示意圖



圖 2-3 環氧樹脂漆密封塗層 DIP (興南鑄鐵廠提供)

2.2.4 環氧樹脂粉體塗裝

環氧樹脂粉體塗裝(fusion bonded epoxy)是由環氧樹脂、硬化劑、顏料等所組成之粉狀油漆，在加熱管體後，以其熱量融化粉狀油漆，經過硬化反應形成塗膜。環氧樹脂粉體塗裝管具有良好的水質衛生性、耐久性等，尤其是管線末端部分的小口徑管線，因自來水留滯時間較長，最好使用環氧樹脂粉體塗裝管，以免對水質造成溶氧消耗及pH值上升等影響。對於自來水留滯時間偏短且接水面積比率較小的大口徑管線，則可選擇環氧樹脂粉體塗裝管、水泥襯裡管、環氧樹脂漆密封塗層管等。(DIPRA, 2005)



圖 2-4 環氧樹脂粉體塗裝 DIP (東京水道局提供)

依據日本豐中市水道局、熊本市水道局、名古屋市上下水道局等自來水事業單位調查結果，環氧樹脂粉體塗裝管具有優質的水質衛生性，水中餘氯及pH值均較一般水泥襯裡管表現更為優良。

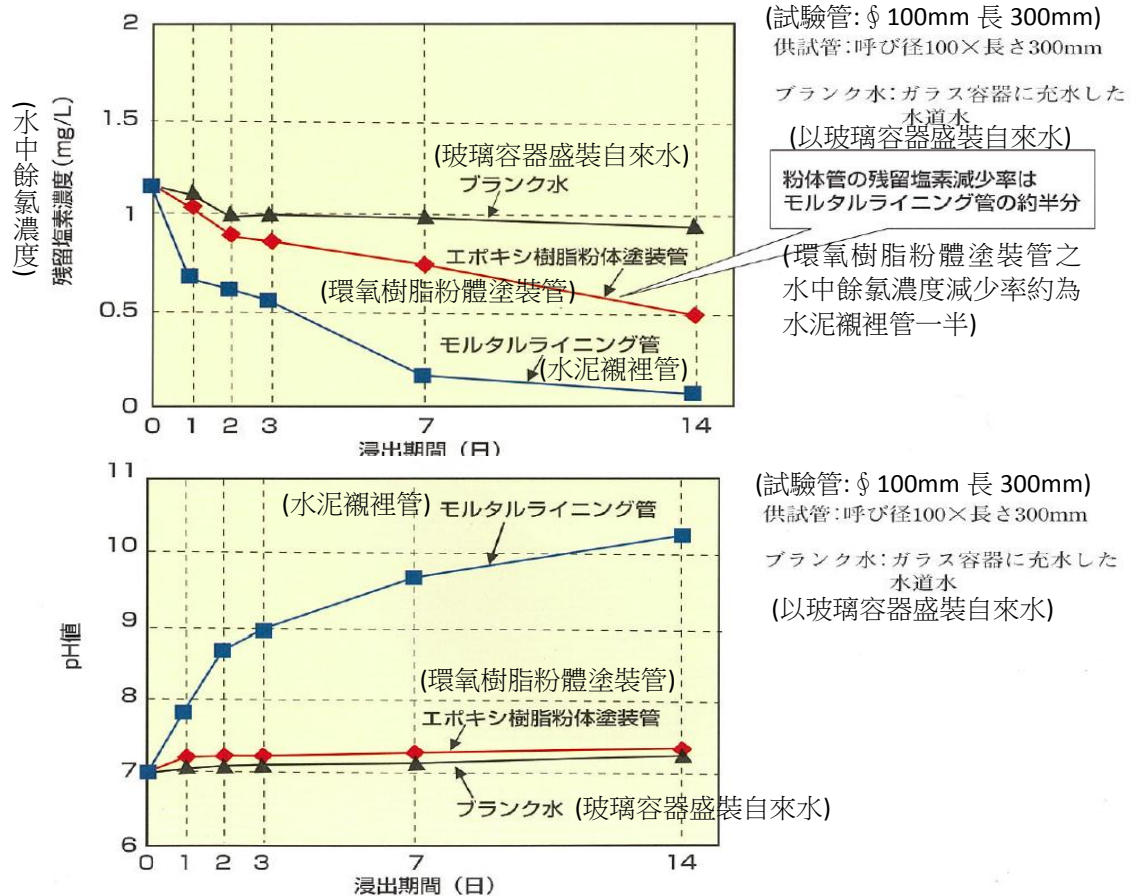


圖 2-5 環氧樹脂粉體塗裝管具優質水質衛生性 (東京水道局提供)

2.2.5 延性鑄鐵管水泥內襯防止腐蝕

因台水公司轄區部分水質LSI值偏低，為研究水質具腐蝕性對DIP水泥內襯及各方面的影響，爰於97年10月30日召開「延性鑄鐵管水泥內襯腐蝕研討會」，會議中各單位討論重點臚列如下：

- (1)為改善原水水質LSI值偏低之問題，通常會添加NaOH、 Ca(OH)_2 、 CaCO_3 ，惟如此一來不僅會提高供水成本，也會提高供水pH值。WHO建議可加磷酸鹽以平衡pH超過8.5之情形。
- (2)因第2型卜特蘭水泥含鋁酸三鈣具抗硫酸鹽特性，適用於水質LSI負值之供水環境，因此，採用第2型卜特蘭水泥作襯裡，另加一層無溶劑環氧樹脂塗裝為最好方式，惟增加成本亦應考慮。
- (3)LSI<-1水質不見得會腐蝕、LSI>+1也不見得會沉澱，宜依實際情況處理。
- (4)擇定台水公司第一、八區管理處，轄區擴建及管線汰換工程DIP管試辦改以第2型卜特蘭水泥襯裡，並分析辦理成效。
- (5)會議紀錄，詳附錄一。

2.2.6 密封塗層相關規範

目前國內生產DIP，直管部分係依據CNS-2313-A3055「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」鋪塗水泥砂漿襯裡，管件部分則依據CNS-13273-G3254「延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」鋪塗環氧樹脂粉體塗裝，惟欠缺水泥砂漿襯裡密封塗層相關規範。

密封塗層為鋪塗於水泥砂漿內襯表面上之塗層，英美採用之密封塗層原料為液狀環氧樹脂，由於所使用之環氧樹脂抗拉強度甚高，故

其鋪塗厚度通常為0.15mm~0.25mm，鋪塗密封塗層之緣由為避免水泥砂漿直接與飲用水接觸，故限制使用經認證能與飲用水接觸之塗層原料，在美國原料需通過全國衛生基金會NSF認證(National Sanitation Foundation, NSF)，在英國則需通過水資源研究中心WRC認證(Water Research Center, WRC)，以美國NSF為例，原料商須每年送驗以取得認證，且檢驗規範年年更新，NSF除針對原料提供認證外，製造廠商採購經NSF認證之原料亦須接受NSF之不定期抽查。英美規範對於水泥砂漿加密封塗層之檢驗項目包含水質及內襯力學檢測，與水泥砂漿內襯之檢驗項目迥異。

反觀國內CNS-2313-A3055規範，僅以文字敘述密封塗層須為丙烯酸酯聚合物，卻未量化成可採行之標準及缺乏相關配套檢驗規範，且國內塗料供料及檢驗能力也尚未齊備，因此若依CNS推行密封塗層將造成執行上技術性之困難。(江冠汝，2014)

2.3 海水淡化廠出水對自來水管線之影響

2.3.1 海水淡化廠出水水質具腐蝕性

由於澎湖地區地面水及地下水之天然水源，不足以供應當地民生及工商業用水之需求，因此目前已興建多座薄膜處理之海水淡化廠，但是由於海水淡化廠處理後之出水水質，其 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度、鹼度及pH值等偏低，為腐蝕性水質(aggressive Water)，易使自來水輸配水管線之延性鑄鐵管內水泥砂漿內襯剝落，進而造成管體銹蝕並產生供水出現紅水現象。(張伯鴻，2004)

2.3.2 海水淡化廠出水水質穩定控制技術

依據張伯鴻等研究調查顯示，比較不同海水淡化方法對出水腐蝕性之影響，結果發現，儘管海水淡化方式不同，卻仍會面臨腐蝕問題，可見得在除去海水TDS的過程中，破壞了水質的穩定性，進而造成出水對於配水管線的侵蝕，並對用戶水質產生負面的影響。

為降低水質具腐蝕性的影響，經常採用以下3種方式：(張伯鴻，2004)

(1)礦物塔(鹼性濾床)

將RO出水通過開放式石灰石(碳酸鈣)濾床，利用水中溶解性二氧化碳，將碳酸鈣反應為碳酸氫鈣。

(2)石灰-二氧化碳法

於RO出水添加氫氧化鈣溶液，利用水中溶解性二氧化碳，將氫氧化鈣反應為碳酸氫鈣。

(3)氫氧化鈉

將RO出水通過氣提塔(decarbonator)，降低水中二氧化碳濃度。殘餘的二氧化碳則添加氫氧化鈉予以中和，並形成碳酸氫根。

另，依據中興工程顧問社研究顯示，國內澎湖等離島海淡廠出水水質之蘭氏飽和指標LSI，大都低至-3.8~-5.6，顯見其出流水具高腐蝕性。以石灰、碳酸鈣、碳酸氫鈉等三種防蝕加藥技術進行試驗評估，防蝕效果以添加石灰方式最佳，碳酸鈣(礦物塔)方式次之，碳酸氫鈉方式防蝕效果略差，且三者皆隨腐蝕指標LSI而增加，其腐蝕速率亦漸降至穩定狀態。

就經濟成本比較，石灰系統、碳酸氫鈉系統、碳酸鈣系統三者成本比例約為1.2:2.5:1。綜合考量處理技術與經濟因素，石灰系統與

碳酸鈣系統兩類防蝕方法，較適用於海淡廠出水水質防蝕工程。此外，採用電化學試驗結果顯示，隨LSI值增加腐蝕電流密度值呈現下降趨勢，故電化學偵測腐蝕程度方法，可作為海淡廠出水水質腐蝕程度評估之快速量測工具。(林哲昌等，2007)

2.3.3 海水淡化廠出水與鑄鐵管襯裡材質之關係

美國加州長灘市自來水部門(Long Beach Water Department, LBWD)於2005年進行一項海水淡化廠出水水質之各種腐蝕性指標之研究(以LSI腐蝕性指標為例)，圖2-6指出對於腐蝕無影響之最低門檻為 $LSI > -0.5$ ；及圖2-7說明當LSI介於 ± 0.5 之間時，對 $CaCO_3$ 具有穩定性，且海淡水混合比例愈高，則LSI負值愈多，顯示海淡水較具腐蝕性。另外，由圖2-8亦顯示，去離子水(Deionized water, DI)即純海淡水於無密封塗層DIP連續浸泡3天後，其LSI變化幅度均超過9；而有密封塗層DIP之LSI變化幅度約6左右，相對較小。混合50%之海淡水時，無密封塗層DIP之LSI變化幅度約2左右；而有密封塗層DIP之LSI變化幅度則小於1。如不含海淡水時，LSI變化幅度皆小於0.5。由此可知，海淡水對於無密封塗層之DIP影響最大，因該腐蝕性水質接觸水泥襯裡時，會析出高濃度的礦物質，並造成LSI急遽升高，進而影響自來水供水水質；反之，有密封塗層DIP之影響較小。為減少海淡水對DIP之影響，除混合其他水源使用外，於水泥襯裡外增加密封塗層保護時，亦具有減少海淡水影響之功效 (Robert et al., 2009)。

Parameter	Threshold for No Effect	Surface	Groundwater	Blended (surface/GW)	Desalinated (NF2)*
LSI	> -0.5	-0.36	-0.33	-0.01	-1.4
CCPP	> -5	-5.1	-4.2	-1.8	-6.3
RSI	≤ 6	8.7	8.6	8.4	12.3
AI	> 12	11.4	11.5	11.7	10.7
WSI	> -4	-3.7	-3.5	-3.1	-2.5
CSMR	< 0.5	0.66	1.0	0.98	> 188
Pb and Cu monitoring results (2007, 90th percentile)					
Pb	μg/L	< 5	AL = 15 μg/L		
Cu	mg/L	0.14	AL = 1.3 mg/L		
*Proposed supply, pH adjusted to 10 for boron removal					

圖 2-6 LBWD 不同水源之各項腐蝕性指標

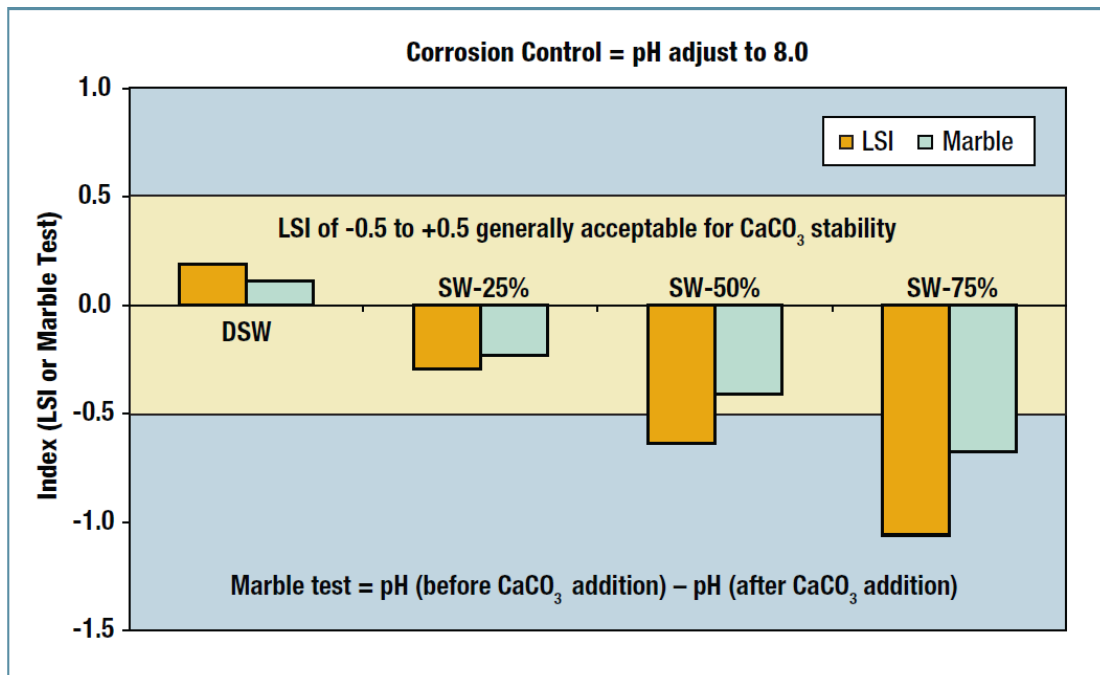


圖 2-7 海淡水混合比例對於 LSI 之影響

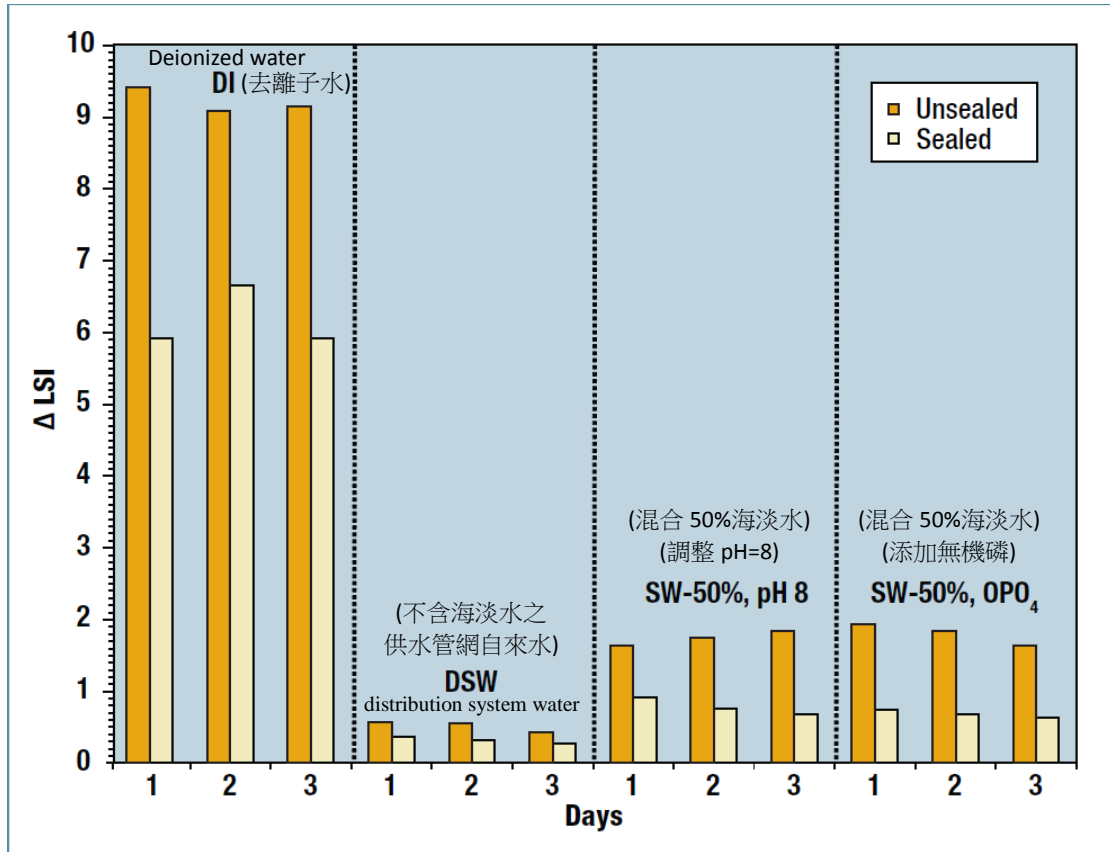


圖 2-8 DIP 有無密封塗層於不同水源之 LSI 變化情形

第三章 研究分析方法

3.1 澎湖地區現地調查及相關供水政策

3.1.1 澎湖地區供水現況

台水公司第七區管理處澎湖營運所供水範圍包括澎湖縣馬公市、湖西鄉、白沙鄉、西嶼鄉、望安鄉、七美鄉等地區。目前澎湖地區現共有馬公(馬公市與湖西鄉)、白沙(白沙鄉全鄉，除白沙鄉吉貝村)、吉貝(白沙鄉吉貝村)、西嶼、望安及七美等6個供水系統，用戶數約27,400戶，每日平均供水量約3萬噸，其馬公系統用戶數約20,480戶。除建置6座淨水場、5座鹽井水淡化廠及38口地下水直供井外，另設有3座海水淡化廠，其每日出水量共約為1.4萬噸，約佔每日需水量的47%，係澎湖地區重要而穩定的水源。

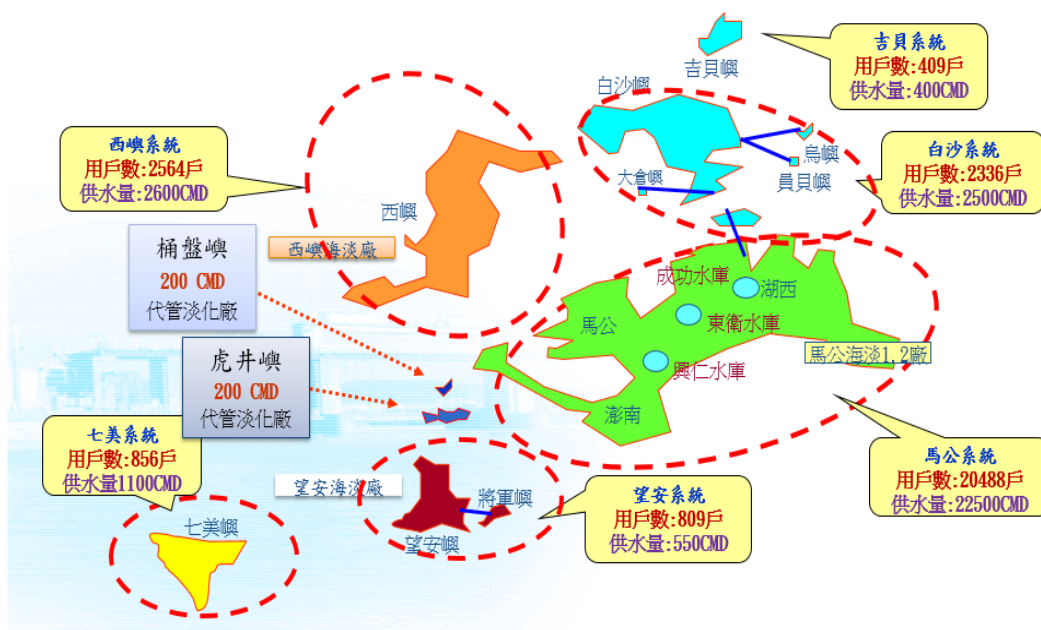


圖3-1 澎湖地區供水現況圖

澎湖地區包括澎湖營運所管轄之馬公、白沙、吉貝、西嶼、望安、七美等地區之6個供水系統：

1. 馬公系統

(1) 主要水源：包括成功淨水場(成功、興仁及東衛三座水庫)、成功鹽井水淡化廠(地下水井27口)、海水淡化廠(馬公一廠)及地下水直供井(馬公深井群27口、澎南深井群8口、湖西深井群1口)。

(2) 供水範圍：澎湖本島，包括馬公市28里(興仁、烏崁、山水、桶盤、虎井等5里使用簡易自來水除外)及湖西鄉全鄉22村。

2. 白沙系統

(1) 主要水源：包括白沙淨水場(赤崁地下水庫、地下水井23口)、白沙鹽井水淡化廠(赤崁地下水庫18口、集水井1口)及地下水直供井(白沙深井群2口)。

(2) 供水範圍：白沙鄉全鄉14村(吉貝村除外)。

3. 吉貝系統

(1) 主要水源：包括吉貝淨水場(地下水井7口)。

(2) 供水範圍：白沙鄉吉貝村(吉貝嶼)。

4. 西嶼系統

(1) 主要水源：包括西嶼淨水場(小池水庫、地下水井)、西嶼鹽井水淡化廠(地下水井16口)及西嶼海水淡化廠。

(2) 供水範圍：西嶼鄉全鄉11村。

5. 望安系統

(1) 主要水源：包括望安淨水場(西安水庫)、將軍鹽井水淡化廠(烏

溝水塘)及望安海水淡化廠。

(2)供水範圍：望安鄉望安島(東安、西安、中社、水垵村)及將軍澳嶼(將軍村)等5村。

6. 七美系統

(1)主要水源：包括七美淨水場(七美水庫)及七美鹽井水淡化廠(地下水井6口)。

(2)供水範圍：七美鄉全鄉6村。

3.1.2 澎湖地區管線漏水情形

截至103年底，澎湖地區自來水輸配水管線長度603公里，其中以PVCP最多，長度約383公里，佔管線總長63.52%；其次為DIP，長度57公里，佔管線總長9.5%。另，逾使用年限之管線長度188公里，佔管線總長31.17%，詳下表3-1。管線種類繁多，不易維護管理，加以管線逾使用年限情形日趨嚴重，加遽管線漏水日益惡化。

依據台水公司近10年(94-103年)於澎湖地區之修漏案件統計分析發現(詳下表3-2)，在配水管線(65mm以上)方面，PVCP漏水898件，佔總漏水件數917件之比例為97.93%；在用戶外線(50mm以下)方面，漏水1,682件則全數皆為PVCP，佔總漏水件數比例為100%；在平均漏水密度方面，PVCP亦為最高，每年漏水0.67次/公里。由此可知，PVCP漏水件數最多且平均漏水密度亦最高，管線材質確為影響漏水之主要原因之一。

表 3-1 澎湖地區 103 年度管線長度統計表

管種		使用 年限	管線長度	逾使用年限 管線長度
鑄鐵管	CIP	40年	138	0
延性鑄鐵管	DIP	40年	57,343	0
鋼管	SP	20年	514	0
預力混凝土管	PSCP	20年	1,293	0
聚氯乙稀塑膠管	PVCP	20年	383,033	179,386
耐衝擊硬質聚氯乙稀 塑膠管	HIWP	20年	65,604	0
高密度聚乙烯塑膠管	HDPEP	15年	20,183	8,913
內襯聚乙烯之聚氯乙 稀塑膠管	PVCP/ PE	20年	22,990	0
丙烯腈-丁二烯-苯 乙稀塑膠管	ABSP	20年	52,193	0
合計			603,291	188,299

表 3-2 澎湖地區近 10 年 (94-103 年) 修漏資料分析表

管材	50mm 以下		65mm 以上		103 年度 管線總長度 (公里)	平均漏水密度 次/年-公里
	總件數	比例(%)	總件數	比例(%)		
ABSP	0	0	1	0.11	52.19	0.0019
CIP	0	0	1	0.11	0.14	0.714
DIP	0	0	5	0.55	57.34	0.0087
HDPEP	0	0	0	0.00	20.18	0
HIWP	0	0	0	0.00	65.61	0
PSCP	0	0	0	0.00	1.29	0
PVCP	1,682	100.00	898	98.14	383.03	0.6736
PVCP/PE	0	0	10	1.09	22.99	0.043
SP	0	0	0	0.00	0.52	0
合計	1,682		915		603.29	0.4305

然而，HDPEP及HIWP雖然亦屬塑膠類管種，惟因該類管材係近10年左右所埋設之管線，非屬老舊管材，且其抗壓強度亦較PVCP更佳，故尚無漏水紀錄。依據管材耐用年限顯示，所有塑膠類管材使用年限僅20年，逾使用年限後抗壓強度降低，需擇劣汰換更新以維持供水管網正常運作，故其重置費用較DIP更高，實非最適合之管種。

依據澎湖地區近年來施作同口徑 ϕ 100 mm之管線工程為例(如下表)，HIWP每公里450萬元，而DIP每公里535萬元，如依其使用年限計算，在DIP使用40年期間，HIWP需增加汰換更新1次，即40年內DIP之工程成本每公里535萬元，而HIWP每公里則需要900萬元，重置費用較DIP高出每公里365萬元，亦即DIP工程成本僅需HIWP約60%。

表 3-3 HIWP 及 DIP 管線工程成本比較表

工程名稱	主要工程內容	工程預算 (萬元)	工程成本 (萬元/km)	管線 使用年限
澎湖馬公安宅小區汰換管線工程	ϕ 100 mm HIWP 長度3.2km	1,433	450	20年
白沙鄉講美、鎮海、城前村等汰換管線工程	ϕ 100 mm DIP 長度9.1km	4,860	535	40年

另外，由前揭分析亦可發現，主要漏水發生於用戶外線設備，管徑 ϕ 50mm 以下之用戶外線漏水比例高達64.79%。因此，據此研判，漏水案件中屬未報修之用戶外線漏水所佔比例必然遠大於已報修之漏水案件。因此，依據 行政院102年11月4日核定「降低漏水率計畫(102至111年)」，其中「管線及資產管理」主要為辦理舊漏管線汰換，並選用優良管材，以改善供水管網體質。在配水管線部分，選用提高耐震能力且使用年限長達40~50年之優良管種(以DIP為主)。

3.1.3 澎湖地區水質監測

由於澎湖地區地下水含鹽分高，且使用4種不同水源，包含純海淡水、鹽井淡化水、地面水庫水及混合水等，內外環境均有影響管體之不良因素存在。另，海水淡化廠出水水質LSI偏低且具腐蝕性，經添加藥劑處理後pH值約在8.0左右，惟再流經輸配水管網後，其中DIP之水泥砂漿襯裡會析出Ca²⁺等礦物質，造成供水pH值逐漸升高而造成供水水質不良。為明瞭澎湖地區各種水源之水質變化，爰選擇於馬公、湖西及白沙地區進行水質監測。

澎湖馬公地區為純海淡水，台水公司於馬公5,000噸海水淡化廠清水池及配水管網重要節點，監測海淡水經過輸配水管線後之水質變化情形。由表3-3顯示，海淡水出水水質經施以防蝕改善後，其LSI值為-0.5左右，出水水質pH值約在8.0~8.4之間，然而經過配水管網輸送後，受管網內之DIP水泥襯裡影響，pH值逐漸升高至8.2~9.0之間。



圖 3-2 馬公地區水質監測位置圖

表 3-4 澎湖馬公地區水質監測資料

地點	採樣日期	水溫 (°C)	pH 值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI
馬公海淡 5000T 清水池	103.04.10	25.2	8.39	24	304	22	-0.63
馬公市鐵線里 38-3 號		25.6	8.69	35	324	27	-0.08
馬公市石泉里 21 號		25.1	8.50	30	309	40	-0.17
馬公海淡 5000T 清水池	103.05.12	27.1	8.11	33	316	27	-0.66
馬公 1000T 水塔		27.5	9.35	38	348	30	0.68
馬公海淡 5000T 清水池	103.05.26	28.4	8.28	25	332	25	-0.63
1 號碼頭船舶加水點		27.5	8.88	38	352	28	-0.02
馬公海淡 5000T 清水池	103.05.27	28.1	8.25	27	352	25	-0.64
1 號碼頭船舶加水點		27.5	8.86	37	397	29	0.15
馬公海淡 5000T 清水池	103.06.19	28.4	8.61	25	375	28	-0.27
馬公市鐵線里 38-3 號		29.2	8.74	26	353	50	0.15
馬公市石泉里 21 號		29.2	8.68	22	376	46	-0.02
馬公海淡 5000T 清水池	103.07.02	30.7	8.34	24	325	26	-0.54
馬公市東文里 162-11 號		29.5	8.38	28	364	29	-0.41
馬公海淡 5000T 清水池	103.08.06	30.2	8.09	24	313	27	-0.78
馬公市鐵線里 38-3 號		31.0	8.44	28	322	30	-0.31
馬公市石泉里 21 號		31.1	8.26	33	323	29	-0.43
馬公海淡 5000T 清水池	103.08.25	30.5	7.99	24	300	28	-0.85
馬公市鐵線里 38-3 號		30.5	8.34	53	338	30	-0.14
馬公市石泉里 21 號		29.9	8.22	25	309	36	-0.51
馬公 1000T 水塔		30.0	8.60	29	317	30	-0.14

註：總溶解固體量 (Total dissolved solids, TDS)

澎湖湖西地區為混合水(海淡水佔90%以上)，台水公司於林投供水站及配水管網重要節點，監測鹽淡水混合水經過輸配水管網後之水質變化情形。由表3-4顯示，林投供水站出水水質pH值約在8.1~8.3之間，然而經過配水管網輸送後，受管網內之DIP水泥襯裡影響，pH值逐漸升高至8.5~8.7之間。

表 3-5 澎湖林投供水站水質監測資料

地點	採樣日期	水量混合比 (CMD)	水溫 (°C)	pH 值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI
林投供水站清水	103.06.23	馬公海淡:2810	29.0	8.22	42	371	38	-0.29
湖西鄉菓葉村 111 號		傳統深井:230	29.9	8.64	52	358	40	0.26
林投供水站清水	103.06.24	馬公海淡:2590	29.0	8.14	42	360	40	-0.34
湖西鄉菓葉村 111 號		傳統深井:240	29.6	8.53	50	367	42	0.15
林投供水站清水	103.07.28	馬公海淡:2980	28.2	8.28	36	332	36	-0.32
湖西鄉菓葉村 111 號		傳統深井:180	28.9	8.60	46	324	38	0.14
林投供水站清水	103.07.30	馬公海淡:2720	28.6	8.21	38	342	34	-0.39
湖西鄉菓葉村 111 號		傳統深井:200	29.3	8.71	40	339	36	0.17



圖 3-3 湖西地區水質監測位置圖

澎湖白沙地區亦為鹽淡混合水(鹽淡水佔25%以下)，台水公司於白沙淨水場及配水管網重要節點，監測鹽淡混合水經過輸配水管網後之水質變化情形。由表3-5顯示，鹽淡混合水pH值約在7.5~8.0之間，經過配水管網輸送後，因管網內無DIP，故pH值未受影響而無太大變化。

表 3-6 澎湖白沙地區水質監測資料

地點	採樣日期	水量混合比 (CMD)	水溫 (°C)	pH 值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ mg/L)	LSI
白沙淨水場清水	103.06.23	白沙鹽井淡化:500 傳統處理水:1640	28.5	7.49	324	702	78	0.11
白沙鄉巷子村 54 號			31.1	7.60	322	721	82	0.27
白沙鄉鎮海村 21 號			31.0	7.62	312	742	88	0.30
白沙淨水場清水	103.06.24	白沙鹽井淡化:510 傳統處理水:1600	28.9	7.55	326	734	80	0.18
白沙鄉巷子村 54 號			29.1	7.53	322	738	82	0.17
白沙鄉鎮海村 21 號			28.6	7.71	332	777	78	0.33
白沙淨水場清水	103.07.28	白沙鹽井淡化:500 傳統處理水:1680	28.1	7.93	284	642	38	0.18
白沙鄉巷子村 54 號			29.2	7.94	296	612	42	0.27
白沙鄉鎮海村 21 號			29.4	7.95	292	714	38	0.22
白沙淨水場清水	103.07.30	白沙鹽井淡化:540 傳統處理水:1640	28.3	7.66	300	630	74	0.23
白沙鄉巷子村 54 號			29.3	7.51	298	648	82	0.13
白沙鄉鎮海村 21 號			29.3	7.60	298	772	92	0.25



圖 3-4 白沙地區水質監測位置圖

3.1.4 澎湖地區DIP漏水分析

依據前揭修漏案件統計分析，於近10年(94-103年)內DIP總計漏水5次，其中2次為管體腐蝕造成漏水。由103年11月21日之修漏管線現況照片可知(詳圖3-6及3-7)，管外銹蝕情形相當嚴重，屬於由外往內之碟狀腐蝕。經查該DIP係於91年11月25日竣工使用，當時係採用砂及碎石級配回填管溝，近年來地下水鹽化情形日益嚴重，故地下水含氯比例亦愈來愈高。由於影響金屬管線腐蝕之原因相當多，例如氧濃差造成氧化腐蝕、未知電流造成電解腐蝕、甚至微生物亦會引起硫酸還原菌造成的細菌腐蝕。因此，地下水含氯成分提高是否為影響DIP管外壁之發生銹蝕情形，仍需進一步探討研究。另外，台水公司已於97年起改用「控制性低強度混凝土回填材料」作為管溝回填，可隔離地下水直接接觸DIP管外壁，提供進一步的保護。



圖 3-5 澎湖地區 DIP 修漏現況照片



圖 3-6 澎湖地區 DIP 銹蝕情形

3.1.5 台水公司102至111年降低漏水率計畫

總統黃金十年之政府重大政策揭示「逐年降低自來水漏水率由現況20%、五年內降到17%、十年內降到15%以下」。台水公司爰於102年11月4日報奉 行政院核定辦理「降低漏水率計畫(102至111年)」，參考國際間採用之「水壓管理」、「主動漏水防治」、「修漏之速度及品質」、「管線及資產管理」等4項具體策略，十年內將投入795.96億元，預計可降低漏水率5.3%。

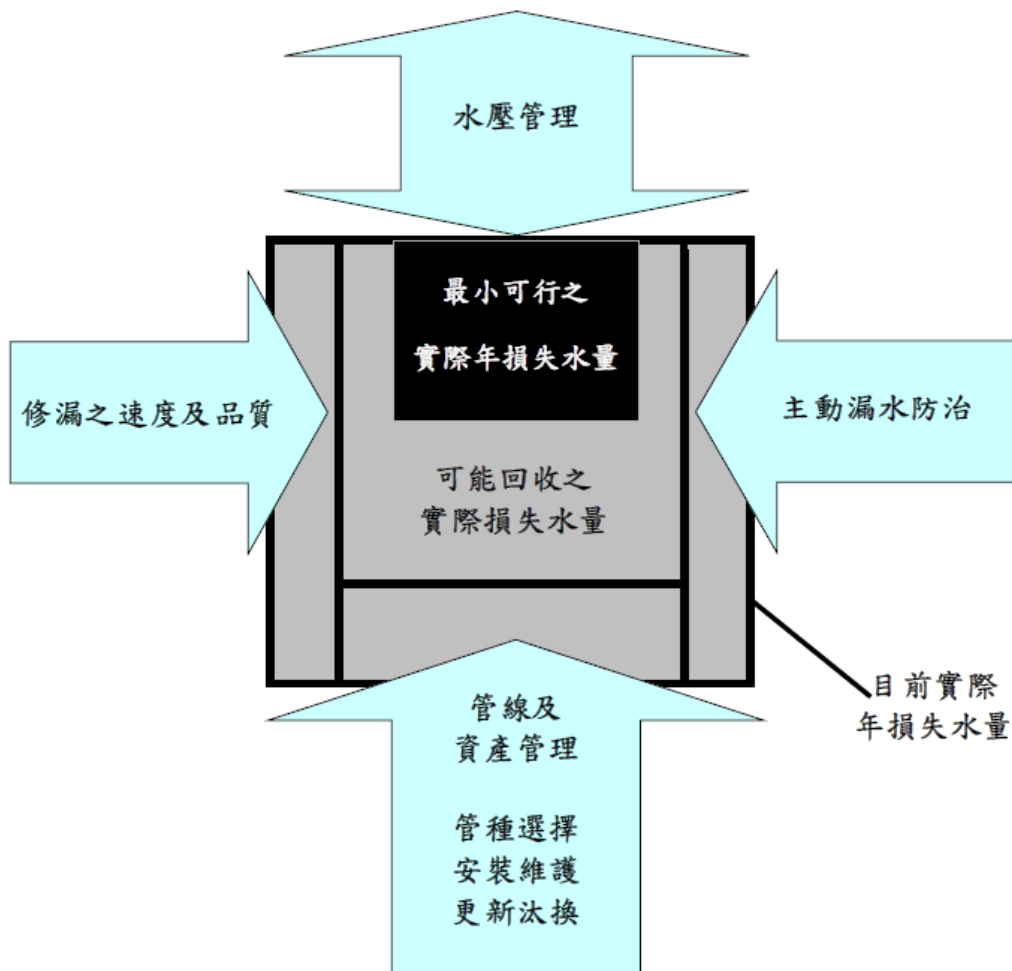


圖 3-7 國際間採用之漏水管控方案

1. 管線漏水原因分析

依據台水公司97-101年修漏案件統計分析發現，老化腐蝕、荷重振動及材質不良，佔漏水件數之83.97%(詳圖3-8)，及塑膠管類佔漏水管種比例高達92.87%(詳圖3-9)。由此可知，管線老舊及塑膠管材比例高，係管線漏水之主要原因。

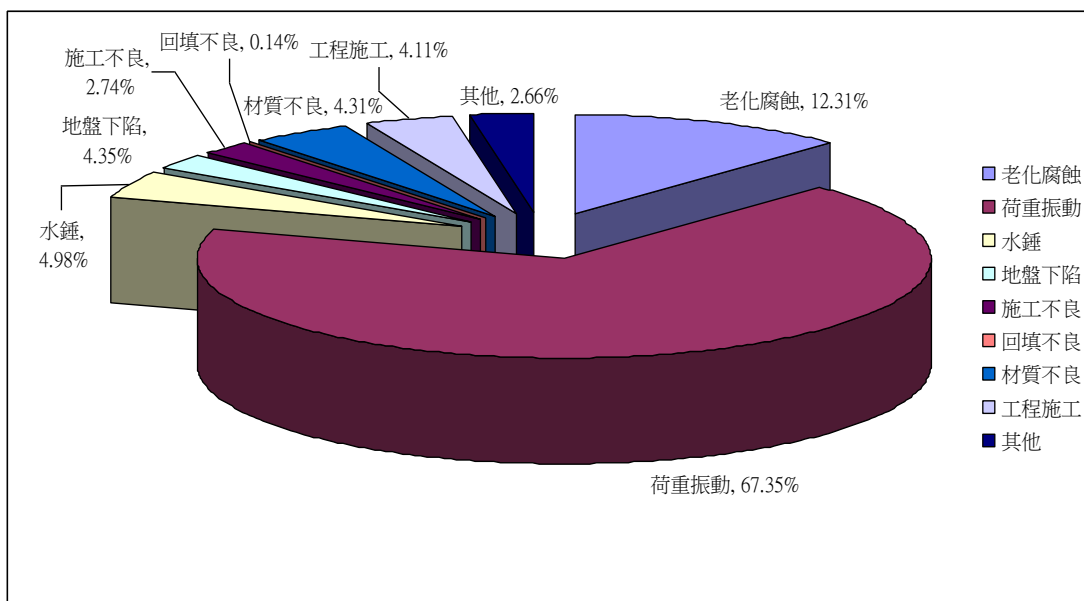


圖 3-8 漏水原因分析

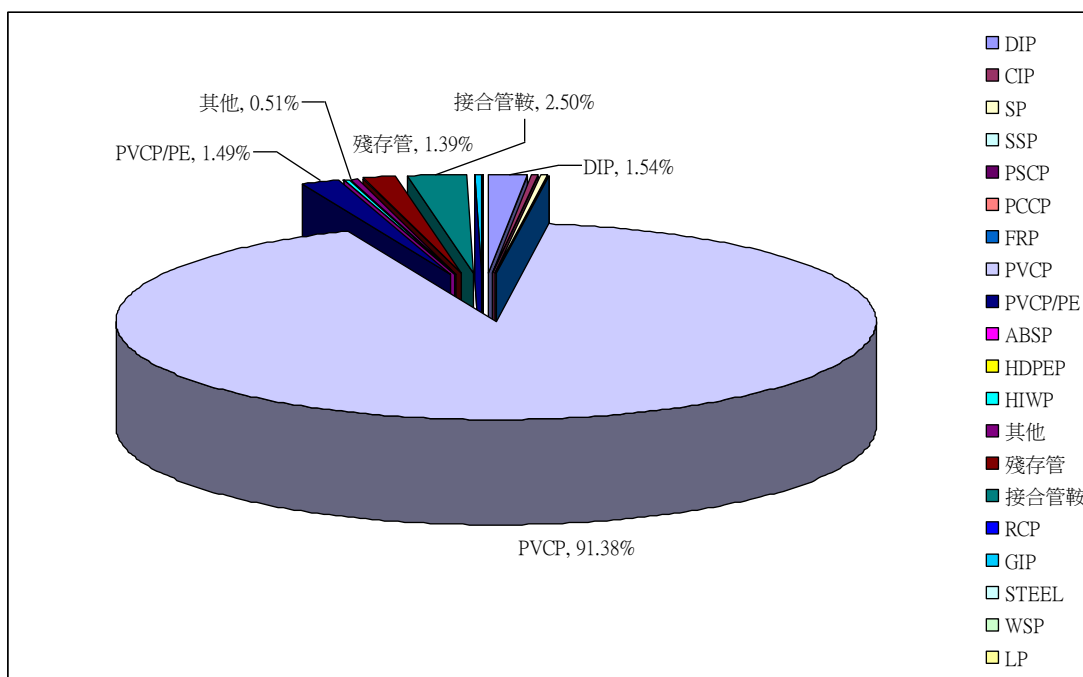


圖 3-9 不同管材之漏水比例分析

2. 管線資產維護

管線自完工埋設道路地下後，即受現地環境自然及人為影響等因素，隨使用時間而逐漸老化，其中台水公司使用最多的塑膠管(PVCP)，更因材質老舊逐漸脆化，致道路受重車輾壓而產生破管漏水情形。因此，當管線資產隨時間遞減而致維護費用超過管線殘餘價值時，即為管線汰換之時機。

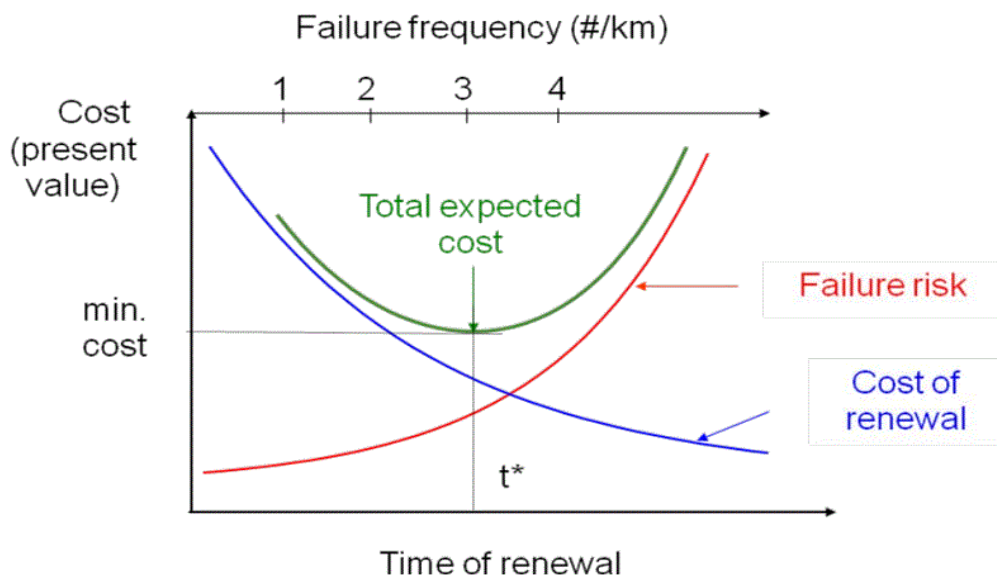


圖 3-10 管線汰換之最佳時機

3. 管線汰換及管種選擇

管線汰換係屬營運設備例行性之更新維護工作，可改善供水管網體質，並可作為預防漏水之措施。台水公司依據汰換管線實施要點規定，以供水量大且漏水率較高地區優先辦理汰換，並從漏水情形等各方面作綜合性考量，按輕重緩急決定實施之優先次序，並配合選用優良管材及併同汰換用戶外線，作有計畫地推動。

另，在選用優良管材方面，配水管線係選用提高耐震能力且耐用年限長達40～50年之優良管種(以DIP為主)。

3.1.6 自來水管線防蝕之規定

依據「自來水工程設施標準」第3節第28條「2.管線埋設於腐蝕性強、有酸質或鹽分浸蝕土壤中時，應詳查狀況，審慎選擇使用耐腐蝕性管種並妥作防蝕措施。」

管線如埋設在有受化學藥品腐蝕之可能處，埋設前應先調查土質(包括pH值、硫化物、導電電阻等)及地下水水質等，據以審慎選擇適當管種，並研究在水管外面加以適當之防蝕處理。

另，地下水中含大量鹽分之濱海地區，土壤之腐蝕性較強，該地區之配管如係易受侵蝕之管種，其外面須用混凝土、瀝青類塗料、環氧樹脂塗料保護，或以塑膠或其他防蝕保護帶包紮。此時水管接頭之螺栓等也應用能防蝕之不銹鋼材料或以環氧樹脂塗刷，或在裝妥後再以柏油環氧樹脂或其他適當之材料塗刷，或者以橡皮包紮。

台水公司於101年3月20日台水工字第1010007550號函修正第02514章「自來水用延性鑄鐵管」規範，其塗裝之規定如下：

1. 管內壁塗裝前須先加以清理，除去所有污穢之物後，再按最新版CNS-2313-A3055「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」襯裡或最新版CNS-13273-G3254「延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」之規定辦理。(詳附錄二及三)
2. 管外壁塗裝前須除去所有污穢不潔之物及銹後，依最新版CNS-4939環氧樹脂柏油漆，或依CNS規定塗裝柏油。

3.1.7 澎湖地區地下水減輪抽

澎湖地區先天水文氣象條件不佳，降雨量少於蒸發量，又受地形限制，致湖庫水源已不敷使用；且地下水已有鹽化現象，顯見傳統水源已難以滿足離島地區用水需求。經濟部水利署為穩定供應澎湖地區之生活用水及未來觀光發展需求，並保育地下水源，已重新檢討並調整「離島地區供水改善計畫」內容，其策略為減抽地下水與增加湖庫供水能力，另新建海水淡化廠並改善現有海水淡化廠供水能力，以確保澎湖地區未來至民國110年用水需求。

當地居民因長期大量抽取地下水做為補充水源，導致地下水位大幅下降；據水利署觀測井資料顯示，澎湖地區民國80年時平均地下水位約為90公尺，至民國101年時已下降至140公尺，平均每年下降約2.5公尺。因地下水位下降而產生之海水入侵現象，已造成部份地下水井水質嚴重鹽化；加上近年來居民生活品質提高，民生用水量增加且對用水品質要求提高，地下水井水質已不堪一般民生使用。

澎湖地區深層含水層依地理位置分布，約可分為馬公系統、澎南系統、湖西系統、白沙系統及西嶼系統等。由大部份現有深井之深度判斷，澎湖本島(馬公市、澎南及湖西鄉)之深井含水層約位於地表下60~110公尺及130~150公尺之間；白沙島之深井含水層則有2層，分別位於地表下70~100公尺及120~150公尺之間；西嶼系統則亦有2層含水層，第一層約在地表下60~80公尺間，第二層則約在地表下90~130公尺處。由於深井所抽之地下含水層低於海平面，過量使用容易引起海水入滲和井水鹽化現象產生，由最近台水公司鑿井水質資料顯示，馬公、澎南及湖西系統地下水鹽化比例約為13%，白沙及西嶼系統約

為29%，鹽化現象頗為嚴重。

依據「離島地區供水改善計畫」自馬公第一海水淡化廠4,500 CMD及5,500 CMD廠完工後，同時開始第一階段地下水減輪抽計畫，預估減輪抽地下水量為2,700CMD；另外，馬公第二海水淡化廠4,000CMD機組興建完成營運後，同時開始第二階段地下水減輪抽2,000CMD，總計減輪抽地下水量為4,700 CMD，以達到地下水減輪抽50%之目標。

為達穩定未來目標年用水及達保育地下水之目標，澎湖地區使用海淡水比例將愈來愈高，屆時海淡水對於自來水供水管網之影響，亦將愈來愈大。

3.2 澎湖地區最適化管種試驗

3.2.1 實驗流程規劃

本研究目的在探討澎湖地區特殊水質環境下，如何選擇最適當管材，並配合十年降低漏水率計畫進行舊漏管線汰換作業，以達到保育水資源並提升供水品質之效益。因此，本研究計畫考量不同管種及DIP襯裡材質等因素，選擇以下5種管材及澎湖地區不同水源進行水質浸泡試驗，以確認在不同水源下，各項管材之浸泡時間與水質(pH及LSI)變化之關係，俾找出最適合澎湖地區使用之管種。

表 3-7 試驗管種及使用水源

一、試驗管種(口徑 ϕ 100mm)

- 1.DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)
- 2.DIP+水泥襯裡(第2型卜特蘭水泥)
- 3.DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)+環氧樹脂漆密封塗層
- 4.DIP+環氧樹脂粉體塗裝
- 5.HIWP

二、試驗水源

- 1.純海淡水
 - 2.鹽井淡化水
 - 3.湖庫水
-

3.2.2 管材取得

1.本研究所需之各種鑄鐵管，係委由興南鑄鐵廠股份有限公司協助製作。

(1) 試驗管體：長度為3m，口徑為100mm。

(2) 試驗管種：

- DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)
- DIP+水泥襯裡(第2型卜特蘭水泥)
- DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)+環氧樹脂漆密封塗層
- DIP +環氧樹脂粉體塗裝

(3) 試體接合：

- 水泥襯裡DIP：依據CNS-2313-A3055規範「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」製作長3公尺鋪塗水泥砂漿襯裡之DIP，試體兩端皆為插口，先接K型短管甲(1號)，再接法蘭盲板，並於兩端開1/2吋牙孔以利注出水，進行水質採樣檢驗。
- 環氧樹脂漆密封塗層DIP：管體大小及組裝方式同上。另外，密封塗層則依據「BS 7892:2000規範」(詳附錄四)標準製作，環氧樹脂漆塗層厚度0.3mm以上。
- 環氧樹脂粉體塗裝DIP：依據CNS-13273- G3254規範「延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」製作長1公尺之雙法蘭短管，管線內面採用環氧樹脂粉體塗裝厚度0.3mm以上。組裝方式先銜接3支長1公尺之雙法蘭短管，兩端再接法蘭盲板並開1/2吋牙孔以利注出水，進行水質採樣檢驗。

2. 本研究所需HIWP，長度為3m，口徑為100mm，由台水公司第七區管理處澎湖營運所提供，接合方式與前揭DIP管略同。(詳圖3-17)

3.2.3 水源取得

本研究所需水源，其中純海淡水部分由馬公5,000噸海淡廠提供；另，鹽井淡化水及湖庫水則由澎湖成功淨水場提供。

3.2.4 試驗場所

本研究以5種管材為1組，並依不同水源分3組進行。其中成功淨水場因同時具有鹽井淡化水及湖庫水之水源，因此，於成功淨水場進行該2組之試驗；另，純海淡水部分則於馬公5,000噸海淡廠進行。

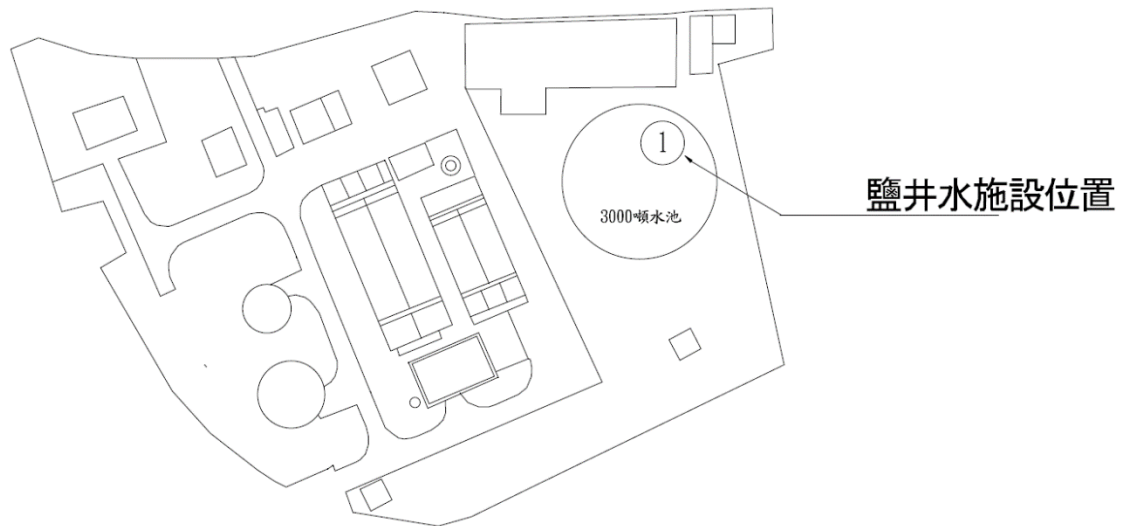


圖 3-11 鹽井淡化水試驗組（成功淨水場）平面圖



圖 3-12 鹽井淡化水試驗組（成功淨水場），現況照片

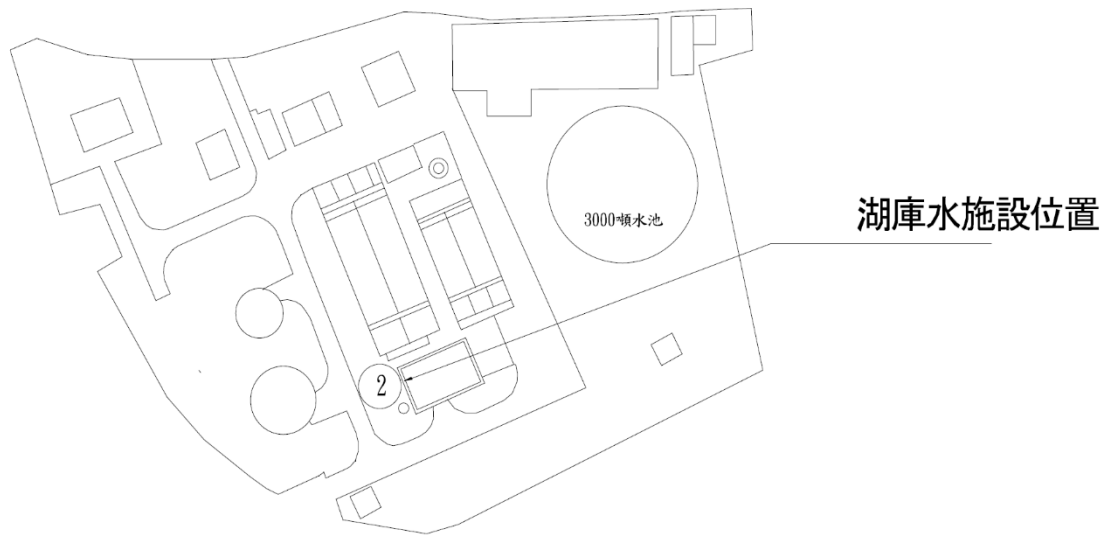


圖 3-13 湖庫水試驗組（成功淨水場）平面圖



圖 3-14 湖庫水試驗組（成功淨水場），現況照片

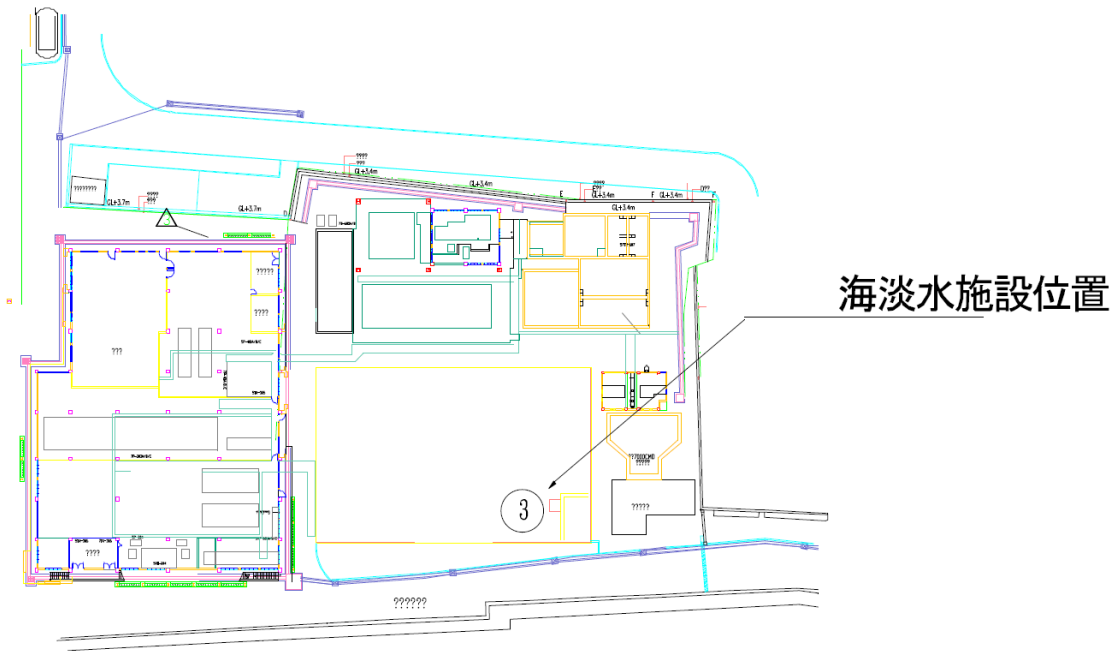


圖 3-15 純海淡水試驗組（馬公 5,000 噸海淡水廠）平面圖



圖 3-16 純海淡水試驗組（馬公 5,000 噸海淡水廠），現況照片

3.2.5 試驗規劃

每組試驗各取一管種並聯及設置採水口，緩緩注滿試驗水體，並依據設定浸泡時間，10分鐘、30分鐘、1小時、2小時、4小時、8小時、1天、2天、3天、4天、5天、6天、2周、3周、4周等，檢驗其水質變化，包含水溫、pH值、鹼度、TDS、Ca²⁺及LSI值。

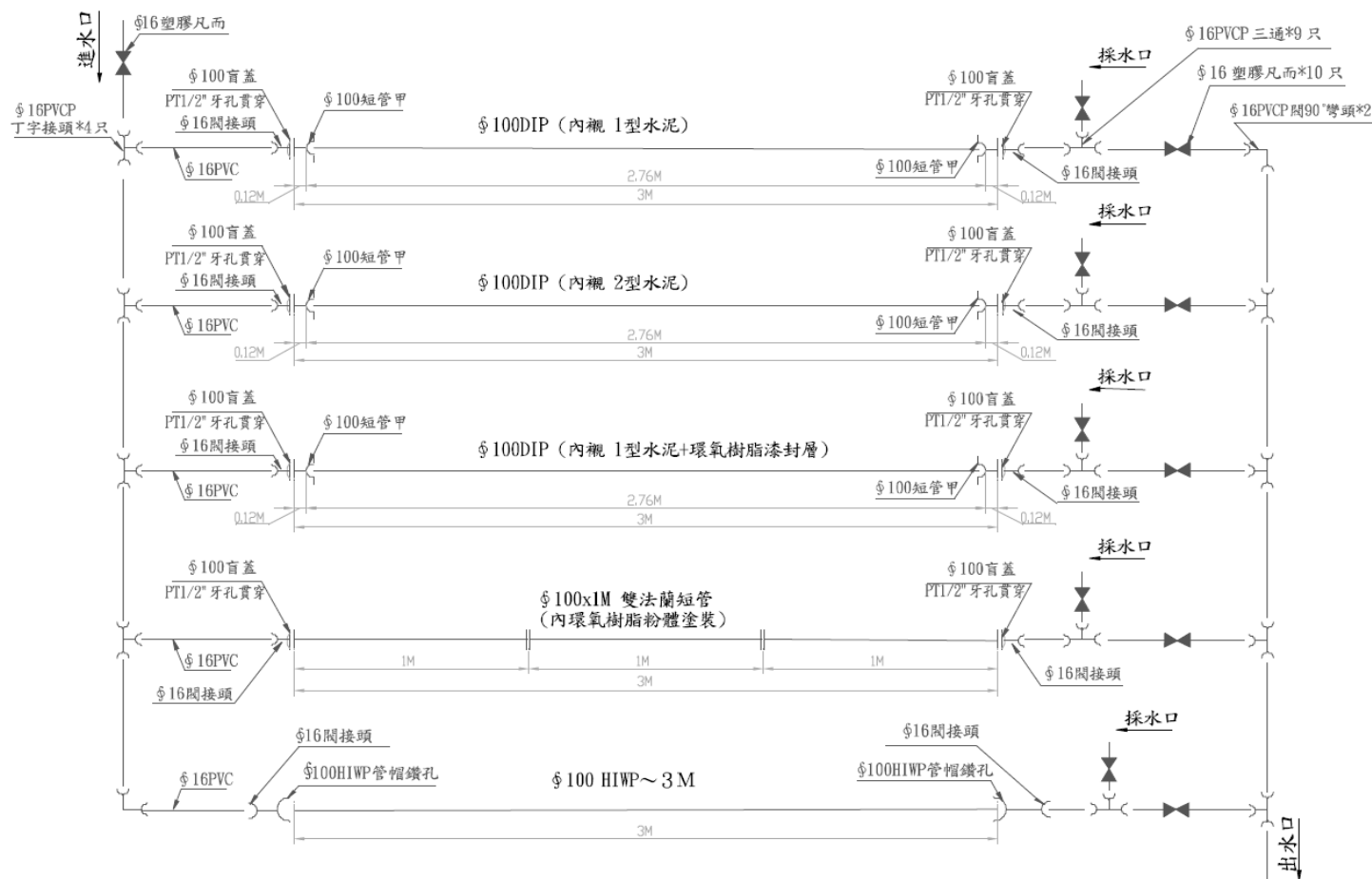


圖 3-17 試驗規劃佈置圖

3.2.6 水質檢驗

1. 檢驗地點

本研究依據所設定之浸泡時間，進行水質試驗，檢驗地點則就近選擇於「澎湖成功淨水場」內之水質檢驗室辦理。



圖 3-18 澎湖成功淨水場



圖 3-19 澎湖成功淨水場水質檢驗室

2. 試驗項目

(1) 水溫及pH值：利用桌上型pH儀，即可測得。

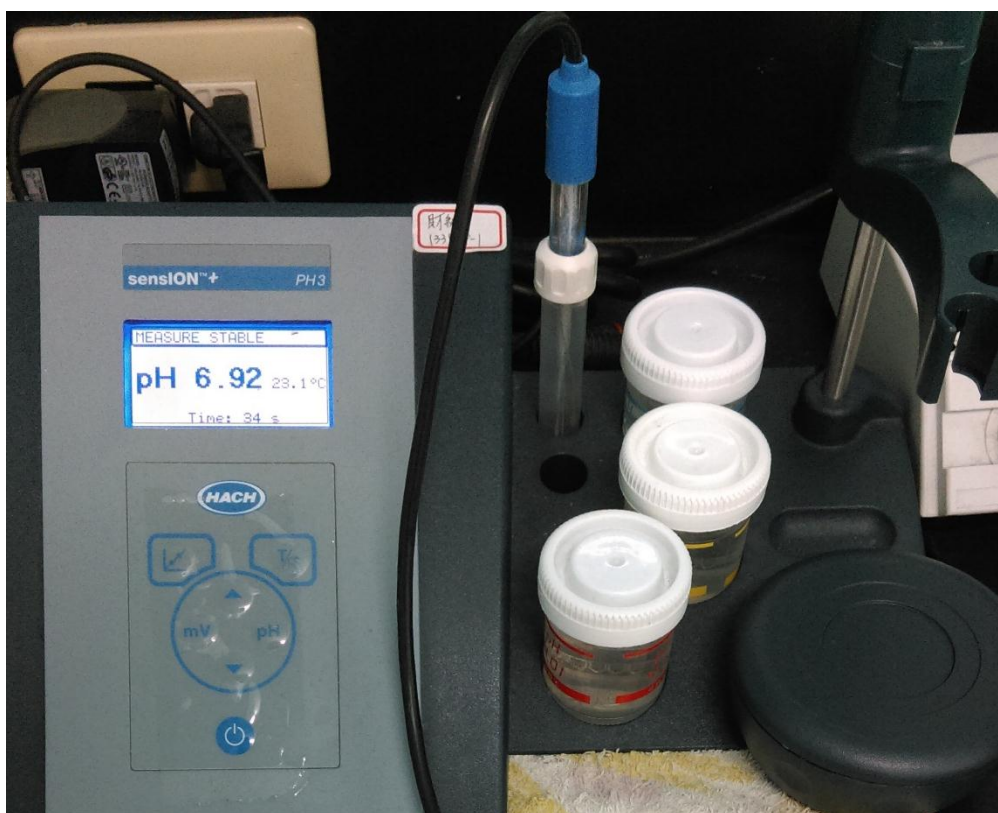


圖 3-20 桌上型 pH 儀

(2) 鹼度：水之鹼度是其對酸緩衝能力(Buffer capacity)的一種度量。將水樣以校正過之適當 pH 計或自動操作之滴定裝置，並使用特定之pH 顏色指示劑，在室溫下以標準酸滴定樣品到某特定的 pH 終點時，所需要標準酸之當量數即為鹼度。檢測方法如下：

- 將50ml水樣置於錐形瓶中(水中若有餘氯應加0.05ml硫代硫酸鈉)。
- 加入0.15ml混合指示劑。
- 以0.02N 鹽酸溶液滴定至呈淡紅色。



圖 3-21 驗度之試驗溶液

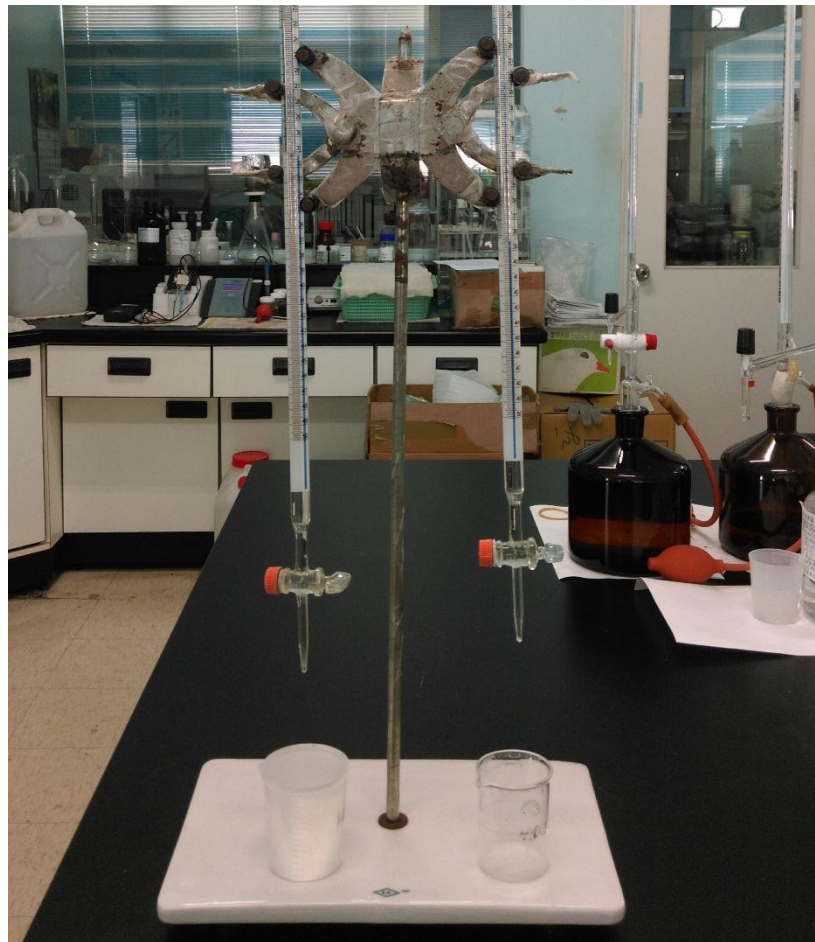


圖 3-22 滴定管

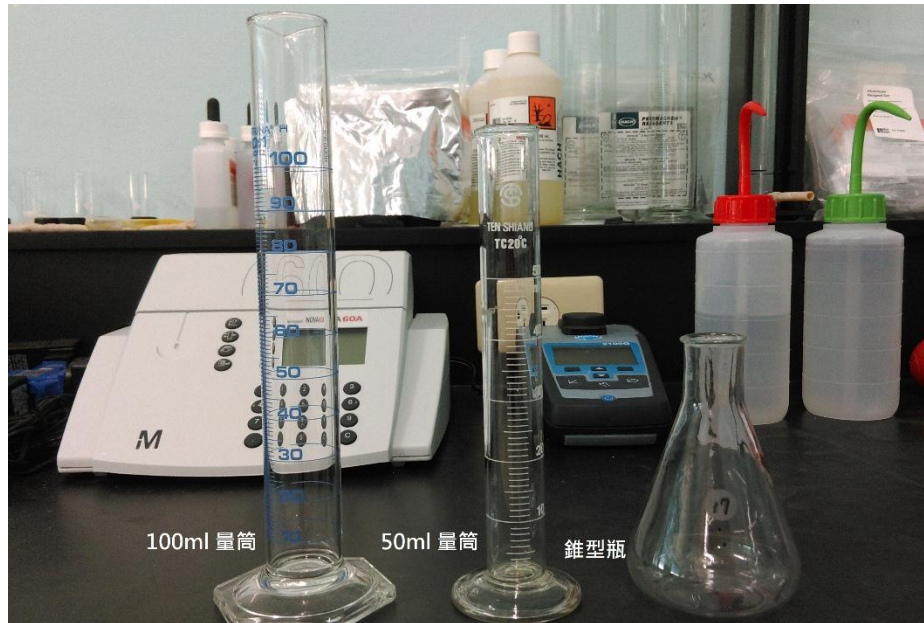


圖 3-23 量筒及錐型瓶

(3) TDS(總溶解固體)：將攪拌均勻之水樣置於已知重量之蒸發皿中，移入 $103\sim 105^{\circ}\text{C}$ 之烘箱蒸乾至恆重，所增加之重量即為總固體重。另將攪拌均勻之水樣以一已知重量之玻璃纖維濾片過濾，濾片移入 $103\sim 105^{\circ}\text{C}$ 烘箱中乾燥至恆重，其所增加之重量即為懸浮固體重。將總固體重減去懸浮固體重或將水樣先經玻璃纖維濾片過濾後，其濾液再依總固體檢測步驟進行，即得總溶解固體重。檢測方法如下：

- 將烘箱內烘乾1小時以上坩堝取出移置乾燥器冷卻。
- 待其恆重後秤重並重複上述步驟直至前後兩次誤差在0.5mg內。
- 以量筒取100ml水樣倒入坩堝並移回烘箱。
- 蒸乾後秤重並重複上述烘乾、冷卻乾燥，秤重直至恆重後前後兩次誤差在0.5mg內。



圖 3-24 電氣烘箱



圖 3-25 乾燥器

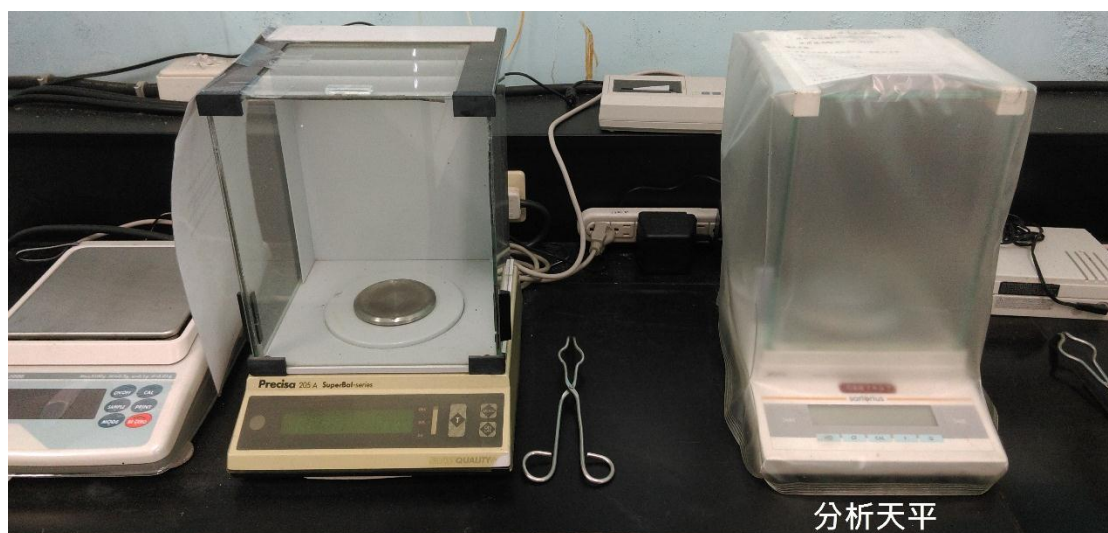


圖 3-26 分析天平

(4) 鈣離子 Ca^{2+} ：檢測方法如下

- 將50.0ml水樣置於錐形瓶中。
- 加入1~2ml NaOH。
- 加入適量紫酸銨指示劑。
- 以E.D.T.A 二鈉鹽溶液，滴定至呈淡藍色。



圖 3-27 鈣離子 Ca^{2+} 之試驗溶液

(5) LSI值：依前述水溫、pH值、鹼度、TDS及鈣離子 Ca^{2+} 檢測結果，經計算即可得LSI值。

第四章 試驗結果分析與討論

4.1 管材浸泡試驗進行

4.1.1 管材安裝與現場佈置

試驗現場選定於澎湖成功淨水場進行「鹽井淡化水試驗組」及「湖庫水試驗組」之試驗；澎湖馬公5,000噸海淡廠進行「純海淡水試驗組」之試驗。試驗現場管材安裝情形詳如圖4-1至圖4-3。



圖 4-1 鹽井淡化水試驗組現場佈置圖（成功淨水場）



圖 4-2 湖庫水試驗組現場佈置圖（成功淨水場）



圖4-3 純海淡水試驗組現場佈置圖（馬公5,000噸海淡廠）

4.1.2 試驗浸泡進行安排

依據所規劃之浸泡時間，10分鐘、30分鐘、1小時、2小時、4小時、8小時、1天、2天、3天、4天、5天、6天、2周、3周、4周等，依序採取各管之水體並檢驗其水質變化，包含水溫、pH值、鹼度、TDS、Ca²⁺及LSI值。

4.2 試驗結果

經過1個月的水質浸泡試驗，按預定規劃時間之水質檢驗數據，詳附錄五。依據各水源及各種管材交叉分析結果，分述如下：

4.2.1 鹽井淡化水試驗組

由試驗結果發現，使用水泥襯裡之DIP，在無環氧樹脂漆密封塗層保護下，不論採用第1型卜特蘭水泥或第2型卜特蘭水泥作為襯裡，pH值約在浸泡第8個小時左右皆會超過水質標準8.5，之後仍持續飆高至11.5~12.0之間；而LSI值亦隨之變化並逐漸提高。反之，在有環氧樹脂漆密封塗層保護下，pH值則緩慢提升，即使浸泡1個月之後，pH值最高亦不超過水質標準8.5，顯見對於「鹽井淡化水」而言，環氧樹脂漆密封塗層可有效改善DIP之水泥襯裡造成水質惡化之效益。

另外，採用環氧樹脂粉體塗裝DIP或HIWP，因為無水泥襯裡，因此，水質呈現穩定且無太大的變化，雖然LSI維持在-2.0~-0.5之間，仍屬偏低且具腐蝕性，惟pH值則維持在6.8~7.8之間，其他鹼度、TDS及Ca²⁺等均無明顯變化，顯見該管材具有抗腐蝕性。

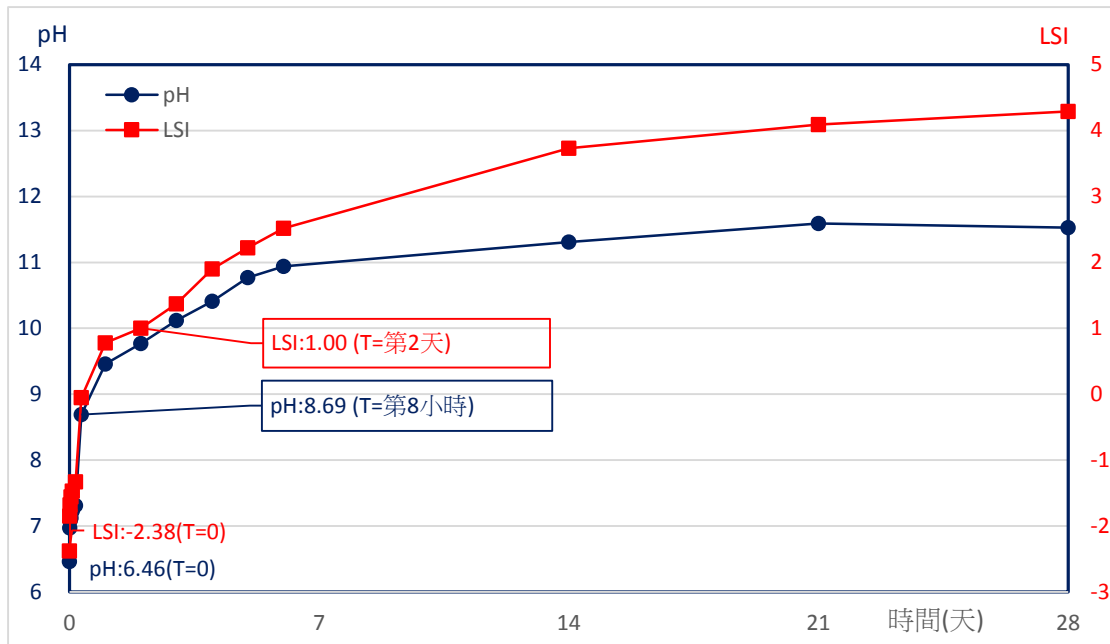


圖4-4 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖
(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡)

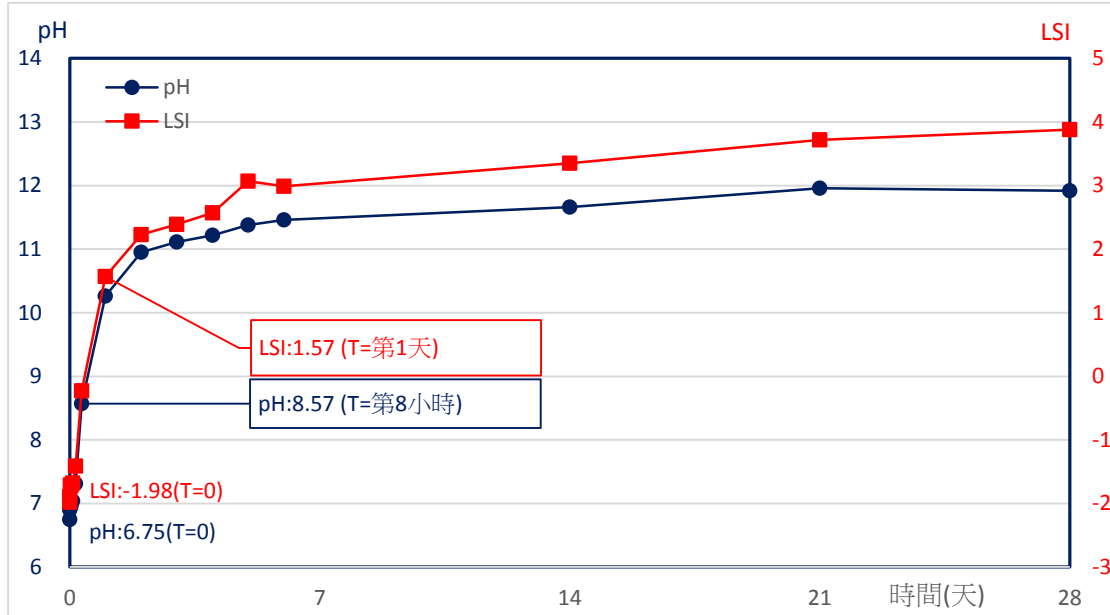


圖4-5 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖
(DIP+第2型卜特蘭水泥襯裡)

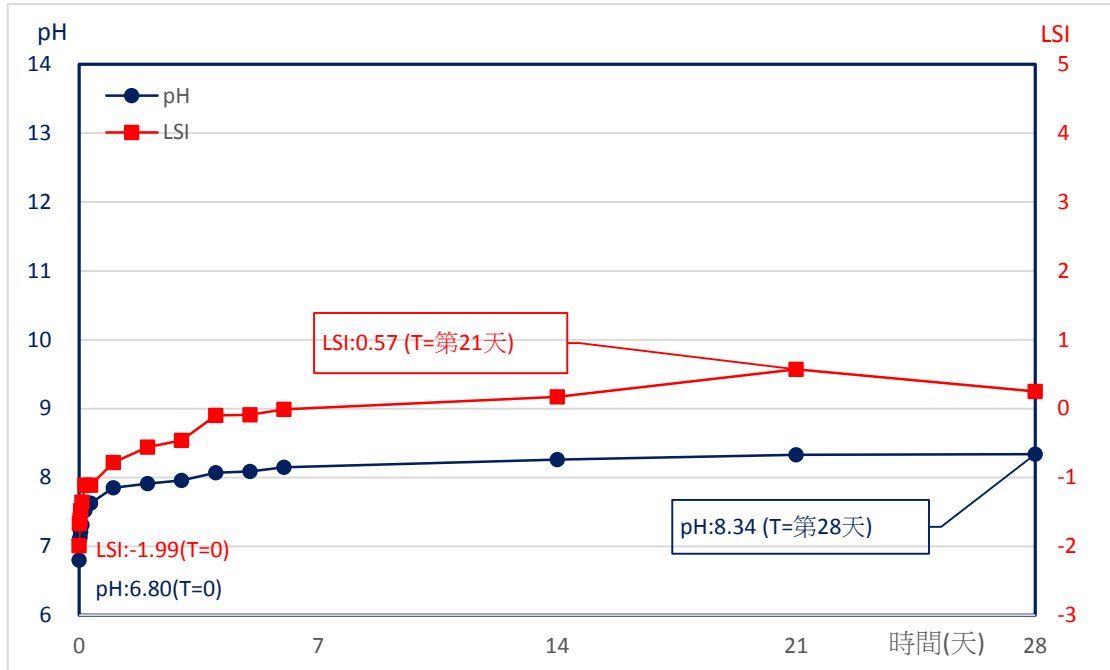


圖4-6 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖
 (DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環氧樹脂漆密封塗層)

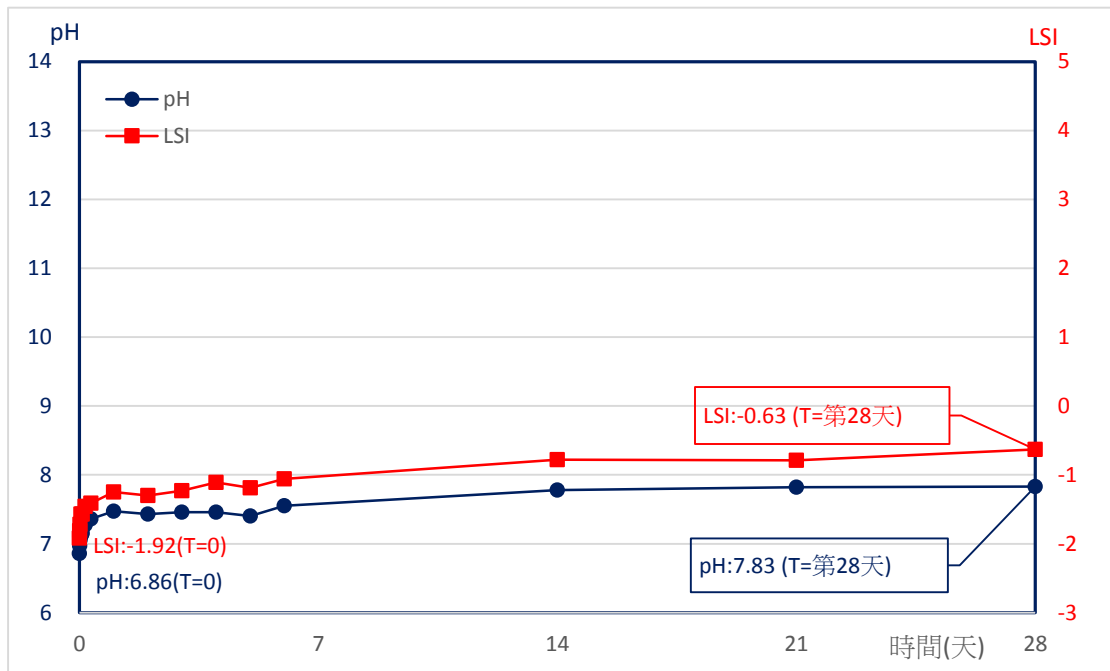


圖4-7 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖
 (DIP+環氧樹脂粉體塗裝)

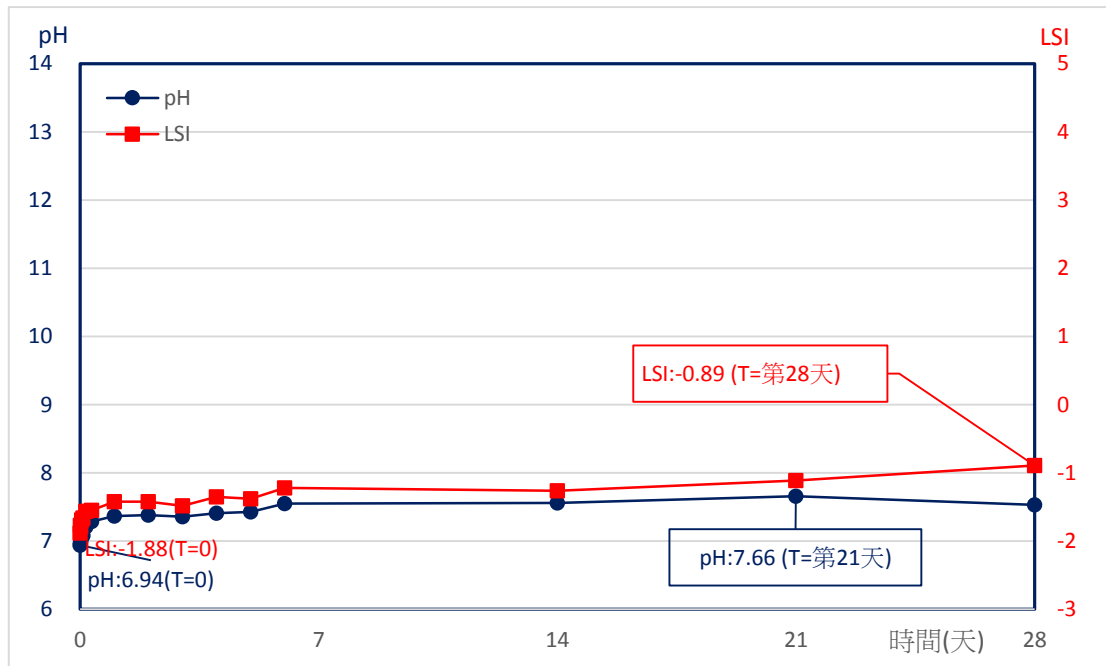


圖4-8 鹽井淡化水試驗組水質變化時序圖 (HIWP)

4.2.2 湖庫水試驗組

由試驗結果發現，使用水泥襯裡之DIP，在無環氧樹脂漆密封塗層保護下，不論採用第1型卜特蘭水泥或第2型卜特蘭水泥作為襯裡，pH值約在浸泡第1天後皆會超過水質標準8.5，之後仍持續飆高至11.5~12.0之間；而LSI值亦隨之變化並逐漸提高。反之，在有環氧樹脂漆密封塗層保護下，pH值亦會緩慢提升，即使浸泡1個月之後，pH值最高亦不超過水質標準8.5，顯見對於「湖庫水」而言，環氧樹脂漆密封塗層可有效改善DIP之水泥襯裡造成水質惡化之效益。

另外，採用環氧樹脂粉體塗裝DIP或HIWP，因為無水泥襯裡，因此，水質呈現穩定且無太大的變化，雖然LSI維持在-2.0~-0.5之間，仍屬偏低且具腐蝕性，惟pH值則維持在6.8~7.8之間，其他鹼度、TDS及Ca²⁺等均無明顯變化，顯見該管材具有抗腐蝕性。

整體而言，湖庫水試驗組與鹽井淡化水試驗組試驗結果大致相同，對於無密封塗層之DIP而言，水質易受水泥襯裡影響而惡化，且鹽井淡化水較湖庫水具腐蝕性，pH值提升反應亦較為敏感迅速。

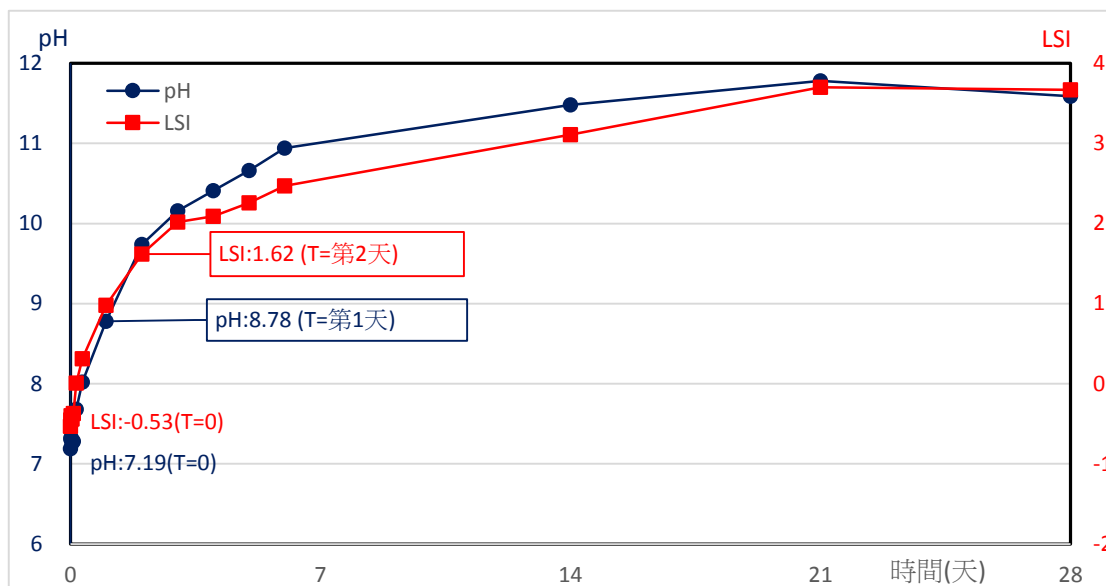


圖4-9 湖庫水試驗組水質變化時序圖
(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡)

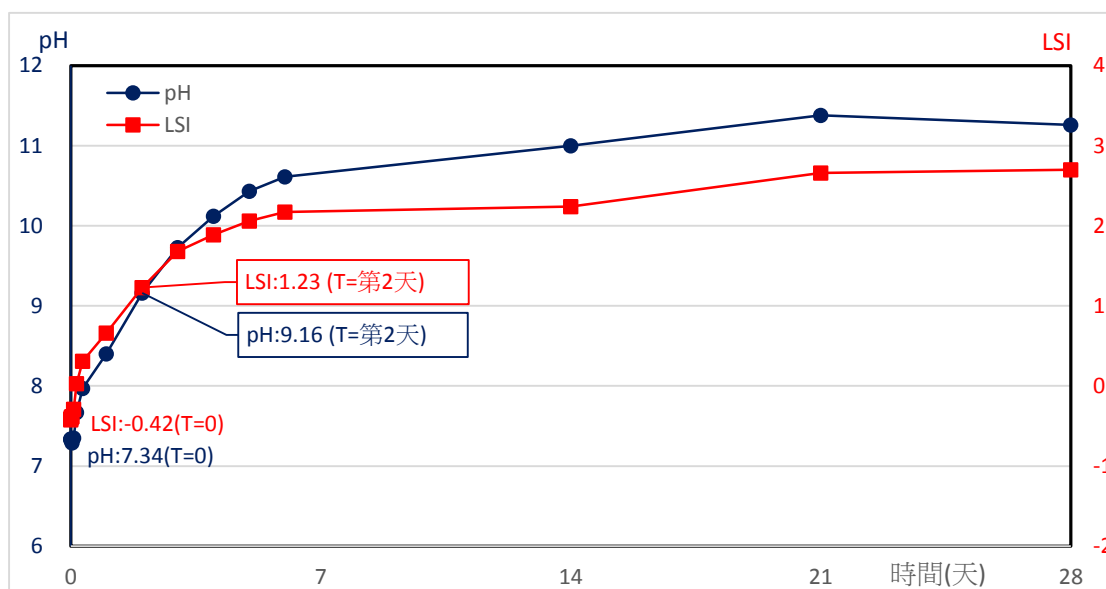


圖4-10 湖庫水試驗組變化時序圖
(DIP+第2型卜特蘭水泥襯裡)

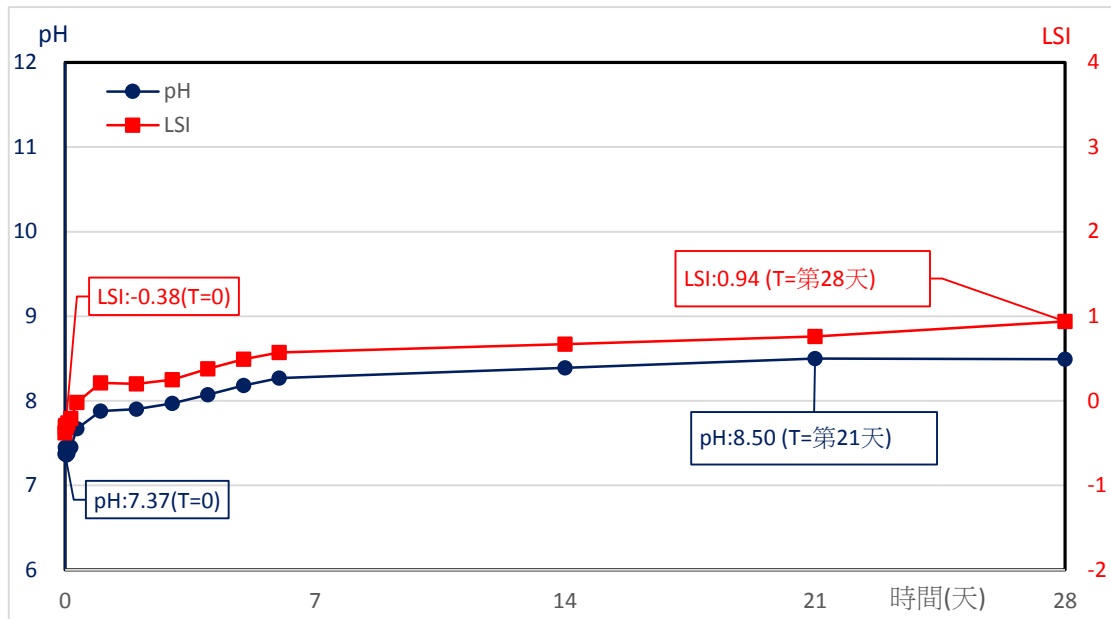


圖4-11 湖庫水試驗組變化時序圖

(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環氧樹脂漆密封塗層)

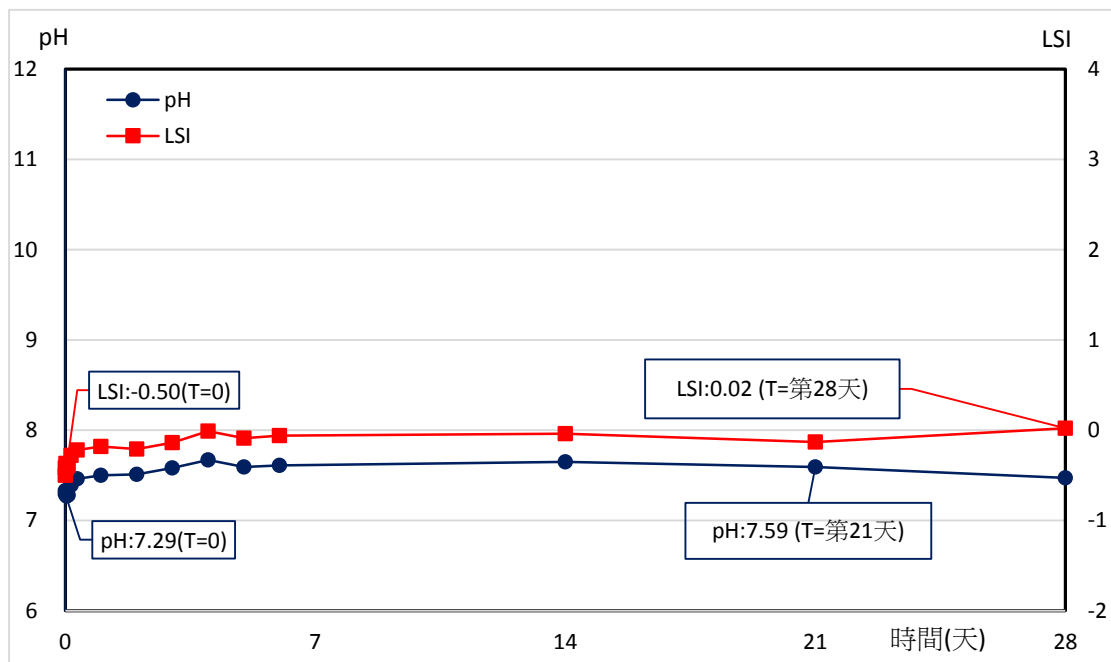


圖4-12 湖庫水試驗組變化時序圖

(DIP+環氧樹脂粉體塗裝)

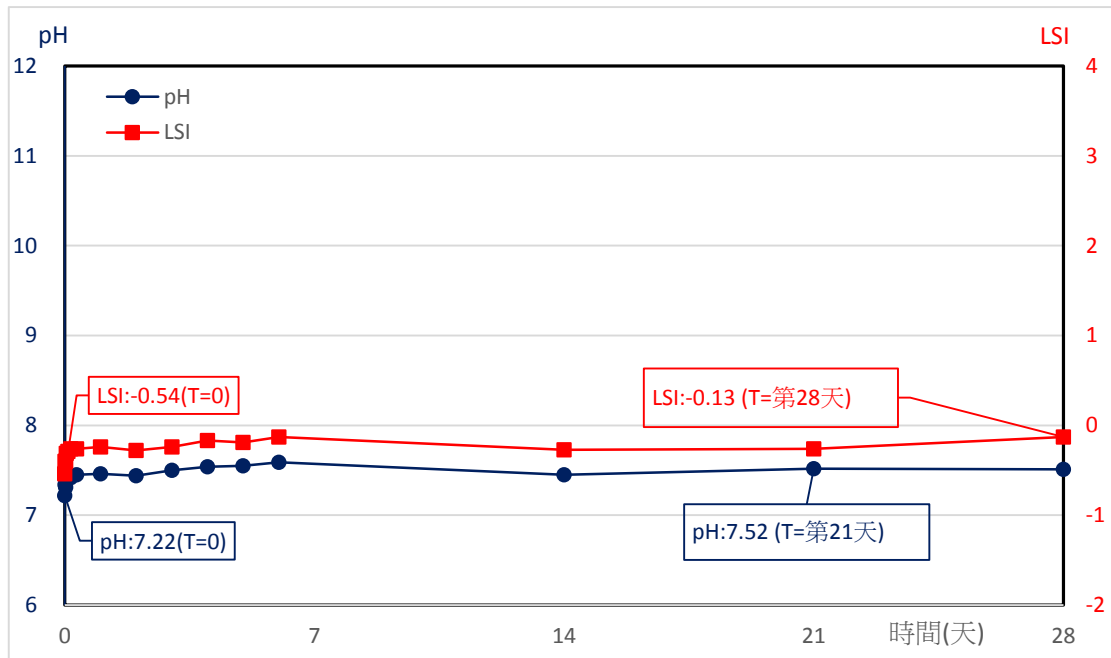


圖4-13 湖庫水試驗組變化時序圖 (HIWP)

4.2.3 純海淡水試驗組

海淡水原始出水水質其pH值約在6.6上下，而LSI則在-4.8左右，詳如表4-1，經加藥處理後，可控制pH值在8.0左右及LSI在±1之間。

表4-1 澎湖馬公海淡水原始出水水質

取水端	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫	pH 值	鹼度	TDS	Ca ²⁺	LSI 值
		(°C)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	
千附	104. 1. 16 AM 10:30	20.9	6.75	2	229	1	-4.73
國統	104. 1. 16 AM 10:40	20.1	6.57	2	82	1	-4.86

由試驗結果發現，使用水泥襯裡之DIP，在無密封塗層保護下，不論採用第1型卜特蘭水泥或第2型卜特蘭水泥作為襯裡，pH值約在浸泡第1小時即超過水質標準8.5，之後仍持續飆高至12.0~13.0之間；

而LSI值亦隨之變化並逐漸提高。另外，即使在有環氧樹脂漆密封塗層保護下，pH值亦在浸泡第1小時即超過水質標準8.5，並逐漸提升至9.0左右，顯見對於「純海淡水」而言，環氧樹脂漆密封塗層並無法有效改善DIP之水泥襯裡造成水質惡化之功效。

然而，採用環氧樹脂粉體塗裝DIP或HIWP，因為無水泥襯裡，因此，pH值皆可維持在水質標準8.50以下，雖然LSI維持在-2.0~-0.5之間，仍屬偏低且具腐蝕性，惟pH值則維持在6.8~7.8之間，其他鹼度、TDS及Ca²⁺等均無明顯變化，顯見該管材具有抗腐蝕性。其中，HIWP表現較環氧樹脂粉體塗裝DIP更為優異。

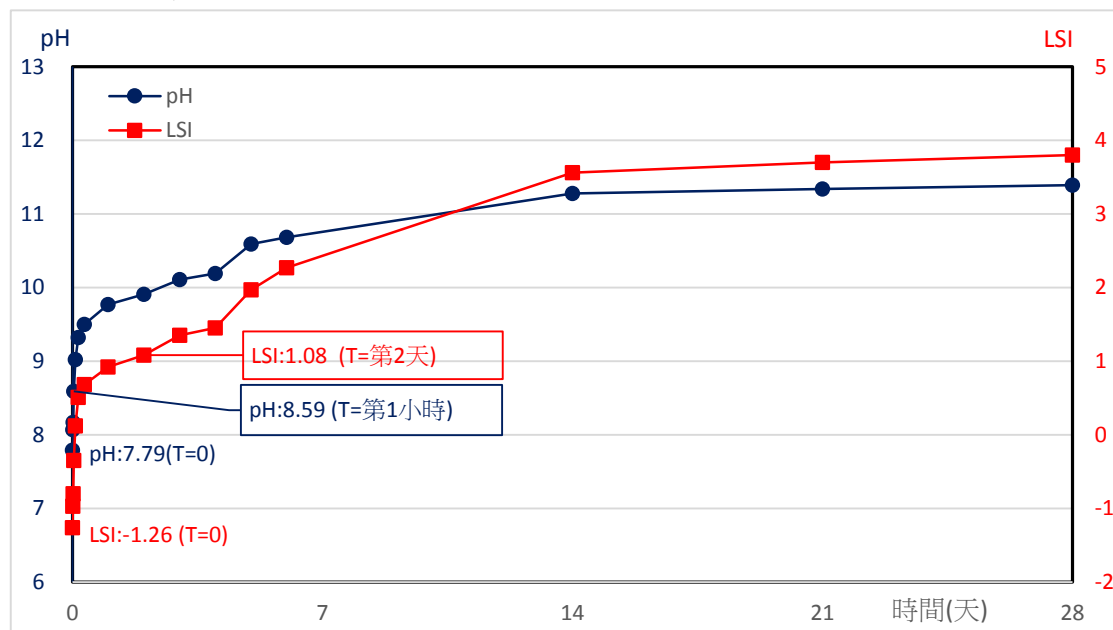


圖4-14 純海淡水試驗組變化時序圖
(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡)

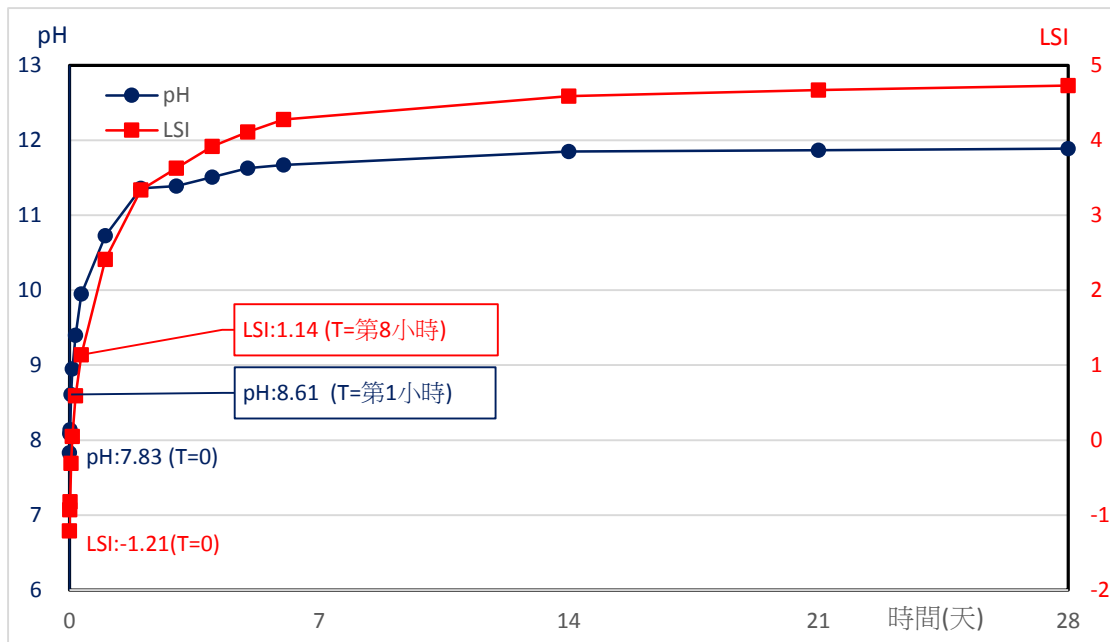


圖4-15 純海淡水試驗組變化時序圖
(DIP+第2型卜特蘭水泥襯裡)

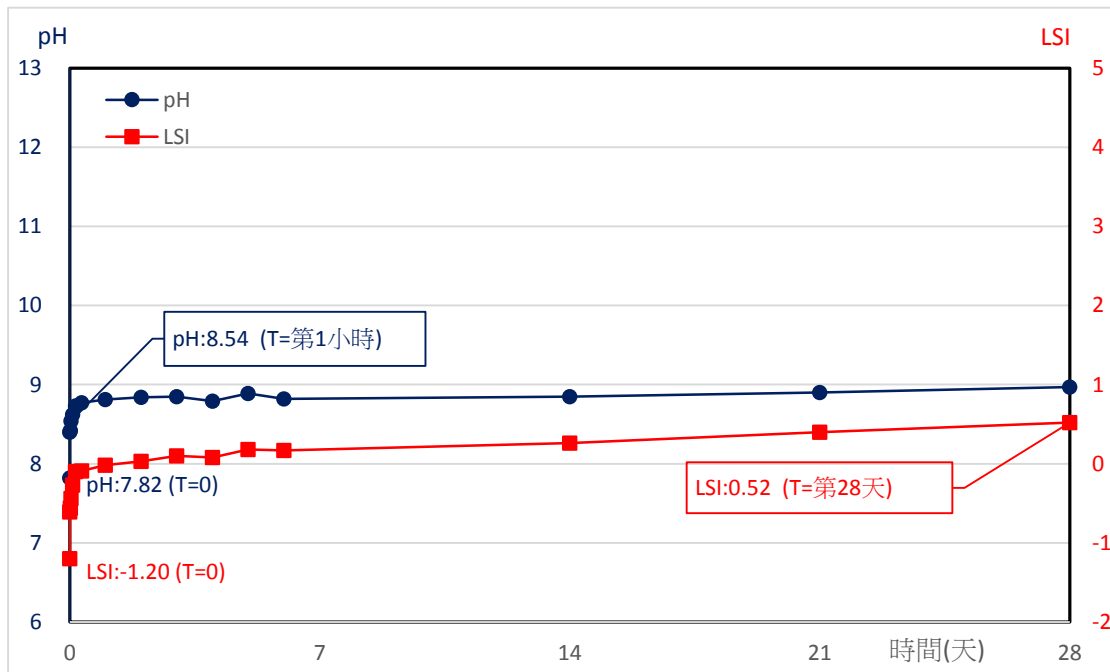


圖4-16 純海淡水試驗組變化時序圖
(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環氧樹脂漆密封塗層)

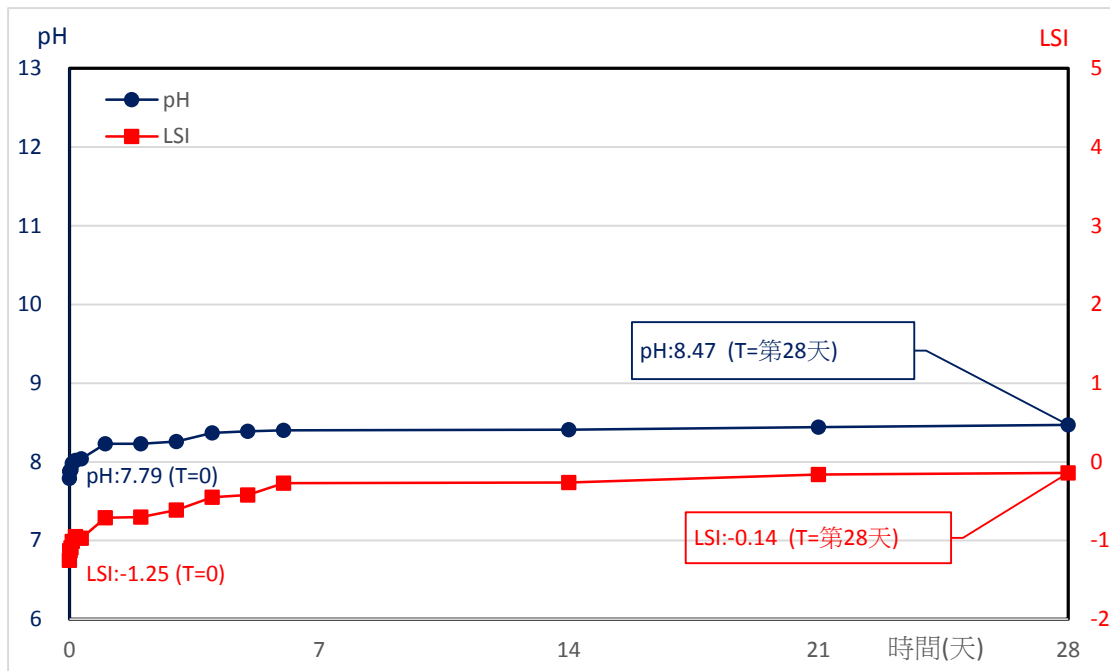


圖4-17 純海淡水試驗組變化時序圖
(DIP+環氧樹脂粉體塗裝)

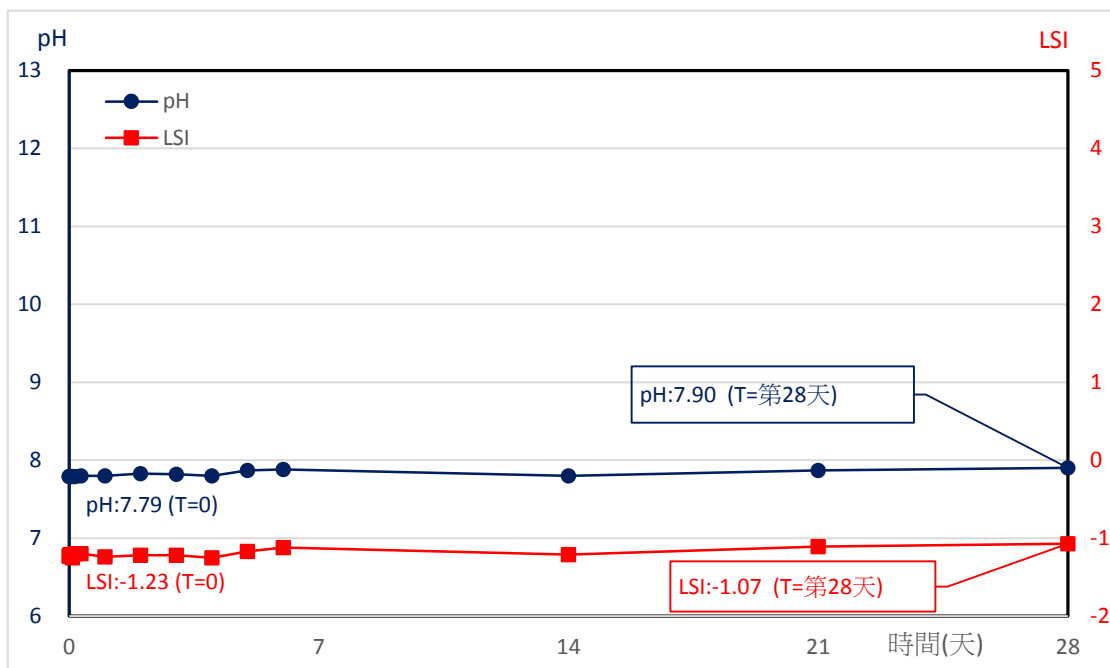


圖4-18 純海淡水試驗組變化時序圖 (HIWP)

4.2.4 水質試驗交叉比對分析

依據試驗結果發現，是否發生水質異常在浸泡時間1天之內即有明顯變化，爰依不同管種比較其在不同水源下之水質變化情形。依據圖4-19至圖4-23顯示，海淡水之水質變化確實較為明顯，且DIP不論是否有無密封塗層，其水泥襯裡皆為受海淡水而影響水質變化，而且浸泡1小時後pH值即會超過水質標準8.5，且無環氧樹脂漆密封塗層之DIP，其變化更為明顯迅速，且pH值會持續飆高至10.0左右，而有環氧樹脂漆密封塗層之DIP，pH值可維持在8.8附近，不致於太嚴重，倘能改善海淡水初始出水水質，或經過一段長時間之使用後，pH值或許可維持在水質標準8.5以內。

反觀環氧樹脂粉體塗裝DIP或HIWP，因無水泥襯裡問題，在不同水源下，即使使用具腐蝕性之海淡水，水質皆不受影響，呈現穩定狀態。

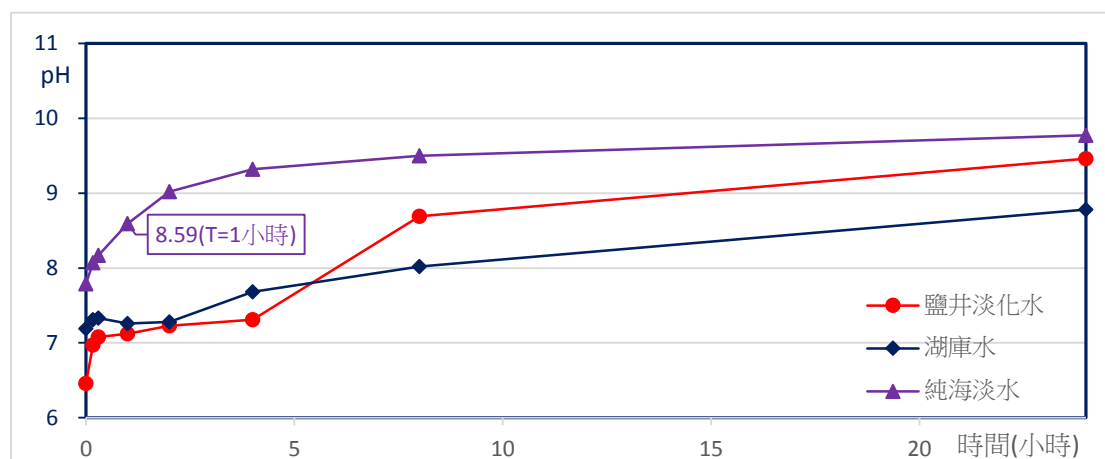


圖 4-19 水質變化時序圖 (DIP+第 1 型卜特蘭水泥襯裡)

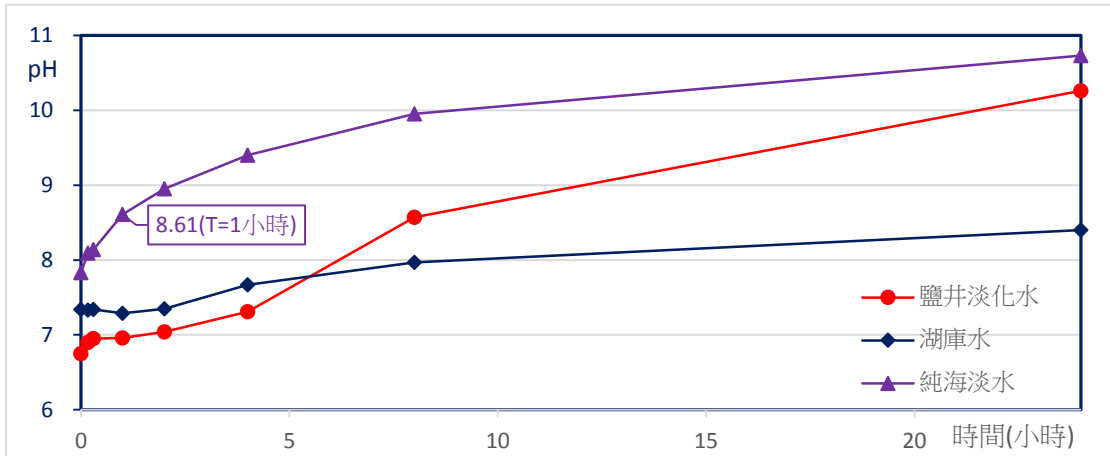


圖4-20 水質變化時序圖 (DIP+第2型卜特蘭水泥襯裡)

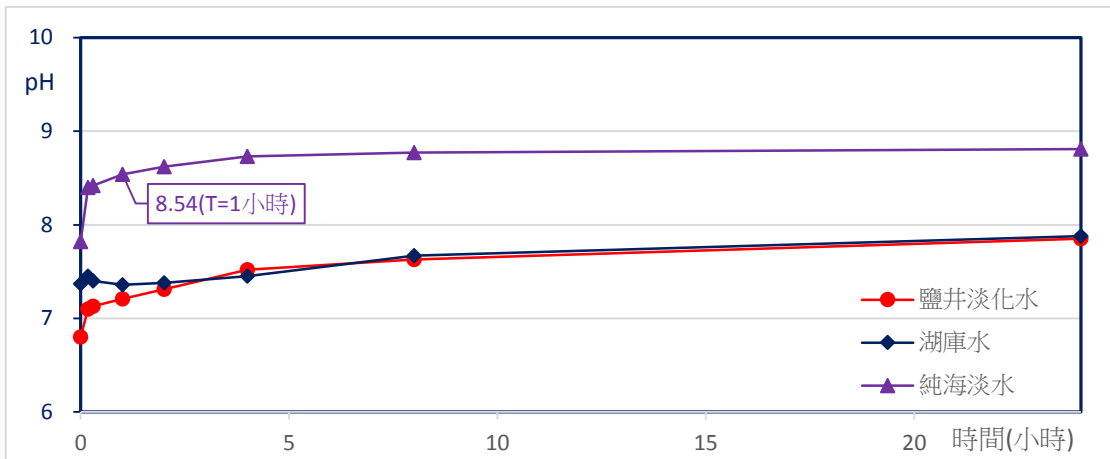


圖4-21 水質變化時序圖
(DIP+第1型卜特蘭水泥襯裡+環氧樹脂漆密封塗層)

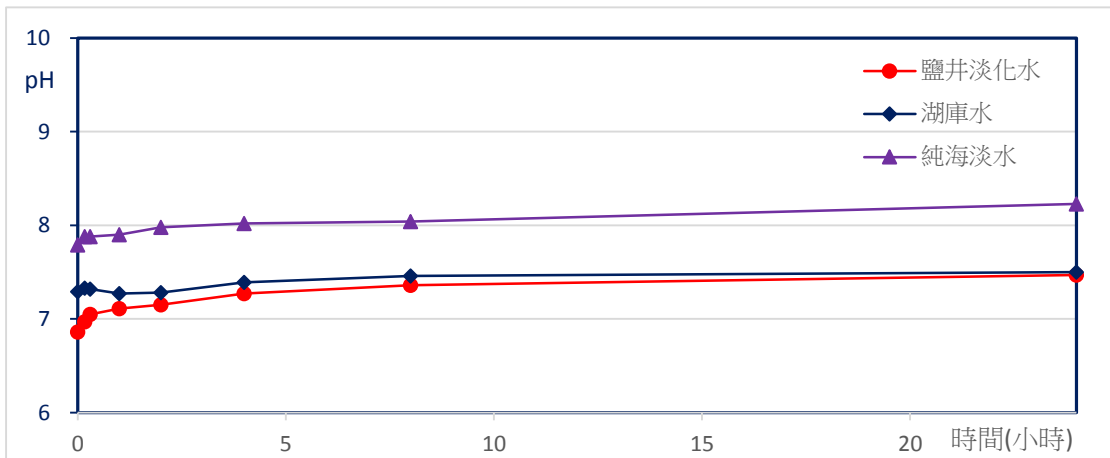


圖4-22 水質變化時序圖 (DIP+環氧樹脂粉體塗裝)

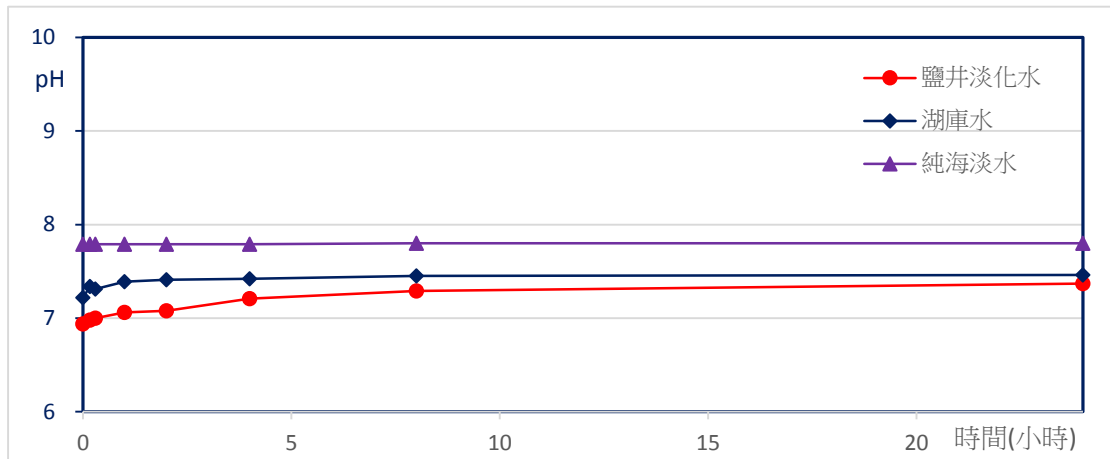


圖4-23 水質變化時序圖 (HIWP)

4.2.5 澎湖地區供水管網自來水平均停留時間

由於供配水管網內之自來水為流動狀態，並非如本試驗為停滯不流動，惟管網之管線末端或用戶數稀少地區每日用水量變化相當大，甚至離峰時段可能皆無用水，致管網內之自來水呈現類似停滯狀態；或者，供水管網長度較長而用戶數較少，其所蓄積潛在可供水量較實際用水量多，以致管網內自來水平均停留時間較長，其停留時間亦為影響管網內水質是否發生異常之關鍵。

依據管網內管線總體積及每日供水量，即可推估管網內自來水平均停留時間，並據以分析停留時間與水質異常之關聯性。依據台水公司第七區管理處澎湖營運所提供資料顯示(詳表4-2)，以馬公地區為例，該地區使用之水源為純海淡水，管線總長275,872公尺，口徑為20~1,000 mm，管線總體積為6,481 M³，平均供水量為19,366 M³/Day，因此，計算後管網內自來水平均停留時間為8.03小時，如管網內DIP愈多，水質受其影響程度將愈高。

表4-2 澎湖馬公地區管網長度及體積統計表

口徑 (m/m)	長度 (M)	體積 (M ³)
20	454	0.14
25	6,160	3.02
40	2,033	2.55
50	39,088	76.75
65	518	1.72
75	118	0.52
80	47,247	237.49
100	74,299	583.54
110	11,342	107.79
125	20	0.25
150	32,184	568.74
160	6,479	130.27
200	22,827	717.13
250	703	34.51
300	10,759	760.51
350	5,203	500.59
400	7,949	998.90
500	8,337	1,636.97
1,000	152	119.38
小計	275,872	6,481

4.3 密封塗層 DIP 鑽孔試驗

國內使用DIP作為300mm以下之配水管時，需安裝分水鞍以銜接用戶給水外線，因此，需使用十字鑽孔機於DIP上鑽孔，以安裝鞍帶分水栓。(詳如圖4-24)



圖4-24 「十字鑽孔機」安裝分水鞍

臺北自來水事業處曾就環氧樹脂密封塗層DIP進行鑽孔試驗，試驗結果發現，十字鑽孔機鑽孔後會將密封塗層一併鑽落，呈現大小不一且不規則形狀(詳如圖4-25及4-26)，顯示鑽孔周圍並非平整，一旦通水使用後，極有可能發生密封塗層剝落，失去保護水泥襯裡之功能，剝落之密封塗層亦會影響管中水流，甚至阻塞用戶進水設備，造成用戶無水使用。因此，環氧樹脂密封塗層DIP依目前製造技術，尚無法使用於需銜接用戶給水外線之配水管。



圖4-25 「十字鑽孔機」鑽破水泥襯裡及密封塗層



圖4-26 密封塗層經鑽孔後掉落部分

4.4 「澎湖地區送配水管管種最適化探討」座談會議

本研究報告於管材浸泡試驗完成後，為利後續管材選用，爰於104年4月9日邀請臺北自來水事業處、台水公司各相關單位及興南鑄鐵廠股份有限公司召開座談會議，期藉由自來水事業先進專業探討，俾益提升管材製造技術及自來水工程之水準，會議中各單位討論重點臚列如下：

- (1) 有關環氧樹脂塗料是否符合飲用水安全，包含塑化劑及雙酚A等，未來在材料規範訂定時，應特別重視。
- (2) 環氧樹脂漆密封塗層DIP於安裝分水鞍時會發生密封塗層剝落造成水表阻塞問題，未來必須克服才能使用於 ϕ 300mm以下之管線。
- (3) 蒐集有關沿海地區DIP腐蝕漏水情形，做為未來工程設計或規範修訂之參考，亦可就DIP管外壁防腐蝕進一步研究探討。
- (4) 環氧樹脂塗裝Epoxy對於針孔試驗較有問題，亦即Epoxy只塗薄薄一層，其均勻度若非以技術優良施作及嚴格品質控管，將會有大落差。
- (5) 興南鑄鐵廠股份有限公司外銷之DIP因需符合ISO規範要求，先於DIP管外施作熱熔鋅或覆鋅漆，之後再塗上環氧樹脂柏油漆，具雙層保護之效果。
- (6) 會議紀錄，詳附錄六。

第五章 結論與建議

5.1 結論

1. 97年10月30日召開之「延性鑄鐵管水泥內襯腐蝕研討會」曾就DIP試辦改以第2型卜特蘭水泥襯裡，以分析辦理成效。經本研究試驗發現，使用水泥襯裡之DIP，不論採用第1型卜特蘭水泥或第2型卜特蘭水泥作為襯裡，在無密封塗層保護時，皆容易發生水質異常情形。因此，如自來水於供水管網內停留時間過久，尤其是管線末端地區，將造成pH值飆高，進而影響供水水質及管線使用之耐久性。
2. 「環氧樹脂漆密封塗層DIP」於湖庫水及鹽井淡化水等一般水源時，可有效阻隔管內自來水與水泥襯裡直接接觸，以維持水質正常穩定。惟自來水於配水管網平均停留時間超過1天以上時，仍應注意是否有可能造成水質異常變化之情形。
3. 澎湖地區海水淡化廠出水量已佔整個澎湖地區供水量一半左右，因其出水水質LSI偏低具腐蝕性，由本研究之浸泡試驗可知，海淡水對於DIP之水泥襯裡，具有相當程度的影響。因為海淡水經處理後pH值接近8.0，即使使用「環氧樹脂漆密封塗層DIP」，仍有機會發生pH值超過水質標準8.5之異常情形。考量未來澎湖地區海淡水使用比例愈來愈高，爰不建議澎湖地區使用「環氧樹脂漆密封塗層DIP」。
4. 由試驗結果發現，「環氧樹脂粉體塗裝DIP」因無水泥襯裡故水質

不受影響，即使使用海淡水於浸泡時間長達1個月，水質仍然相當穩定。加以鑄鐵管抗壓強度大、抗震能力佳、使用年限長達40年以上，確實為目前澎湖地區最適合之管種，惟國內製作技術及管材檢驗方法需再進一步研討，目前尚無法實施採用。

5. HIWP因無水泥襯裡，因此水質亦不受影響，甚至較環氧樹脂粉體塗裝之鑄鐵管更為穩定，惟因該管種抗壓強度較差且使用年限僅20年，逾使用年限後抗壓強度降低，需擇劣汰換更新以維持供水管網正常運作，故其重置費用較DIP更高，實非最適合之管種。
6. 澎湖地區地下水鹽化情形日趨嚴重，因其氯離子含量較高，將有可能增加DIP管外壁產生銹蝕之機率。惟台水公司已於97年起改以「控制性低強度回填材料」取代砂及碎石級配作為管溝回填，包覆DIP可隔離地下水直接接觸DIP管外壁，提供進一步的保護。為避免DIP管外壁產生銹蝕情形，可考慮採用ISO規範，先於DIP管外施作熱熔鋅或覆鋅漆，之後再塗上環氧樹脂柏油漆，以加強保護。
7. 澎湖地區目前海淡水約佔整體供水量一半，俟馬公4,000噸海淡廠及第二期6,000噸海淡廠完工出水後，海淡水使用比例將高達70%以上，成為以海淡水為主之供水管網。而本研究進行試驗係採用較實際管網流動狀態更為嚴格之靜置浸泡，如經過最嚴苛的「純海淡水」試驗後，仍可維持合格的水質，代表該管材最適合澎湖特殊供水環境。因此，澎湖地區管材選用建議比照「純海淡水」之試驗結果，以「環氧樹脂粉體塗裝DIP」為最優先，其次為「HIWP」。

5.2 建議

1. 國內CNS-2313-A3055「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」規範，對於密封塗層之相關規定尚未建全，且國內塗料供料及檢驗能力也尚未齊備，應儘快研議訂定完成，以作為未來使用之準則。
2. 因國內目前尚未使用「環氧樹脂粉體塗裝DIP」，管線廠商製作技術需進一步發展且直管檢驗方法亦需研議完備，方能實施採用。
3. 為確保供水水質正常，建議澎湖地區不使用僅以水泥襯裡之DIP。
4. 在「環氧樹脂粉體塗裝DIP」製作技術發展成熟前，建議澎湖地區目前仍以選用HIWP較為適宜。
5. 其餘地區如有供水管網平均停留時間較長而發生pH值飆升之情形者，尤其是管線末端或用戶數較少之地區，亦可考慮採用「環氧樹脂漆密封塗層DIP」，惟最好仍需經過浸泡試驗並確定可行後，再予採用。
6. 「環氧樹脂漆密封塗層DIP」於安裝分水鞍以銜接用戶給水外線時會發生密封塗層剝落而影響管中水流，甚至造成阻塞用戶進水設備之情形。因此，建議該管線不使用於 ϕ 300mm以下且需銜接用戶給水外線之配水管。
7. 有關DIP管外壁防止銹蝕之改善措施，建議可再接續辦理進階之研究。

誌謝

本研究計畫得以順利完成，首先感謝興南鑄造廠股份有限公司協助無償提供管材浸泡試驗所需之各種 DIP，並於業務繁忙時仍依據本公司要求特別製作 DIP 環氧樹脂粉體塗裝 1 公尺短管，俾利本研究試驗得以順利進行。於研究期間亦熱心提供 DIP 環氧樹脂漆密封塗層及粉體塗裝等相關規範及資訊。雙方多次針對試驗成果進行研討，藉由相互交流學習，提升管材製造技術。

感謝臺北自來水事業處於百忙之中仍撥冗協助提供 DIP 環氧樹脂漆密封塗層之管材浸泡試驗相關資訊，並且提醒水質變化可能在短時間內就會產生，因此，本試驗方可訂定合理的浸泡時間，俾能確實掌握水質變化，最後順利圓滿成功。另外，臺北自來水事業處於 DIP 環氧樹脂漆密封塗層之規範已有明顯進展，且由試驗過程發現於施作分水鞍鑽孔時會造成密封塗層剝落，對於未來推動該管材皆有相當實用資訊可參考。

感謝台水公司第七區管理處澎湖營運所於研究期間協助提供澎湖地區現有水質資料及管線維護紀錄，並協助安排試驗場地及管材安裝事宜，於管材浸泡試驗進行期間亦派員按預定規劃時間辦理水質檢驗及紀錄，本試驗方可順利進行並圓滿完成。

最後感謝各位委員提供專業意見及細心指正，讓本研究計畫內容更臻完善，謹此敬致萬分謝意。

參考文獻

1. AWWA (1986), “Corrosion Control for Operators”, *AWWA Research Foundation, Denver, CO*.
2. AWWA (1987), “External Corrosion – Introduction to Chemistry and Control”, *AWWA Manual 27, Denver, CO*.
3. AWWA (1989), “Economics of Internal Corrosion Control”, *AWWA Research Foundation, Denver, CO*.
4. AWWA (1991), “Control of Water Quality Deterioration Caused by Corrosion for Cement-Mortar Pipe Linings”, *AWWA Research Foundation, Denver, CO*.
5. AWWARF (1996), “Internal Corrosion of Water Distribution Systems”, *AWWARF-DVGW-TZW cooperative research report, Denver, CO, p.588*.
6. DIPRA (2005), “Cement-mortar linings for ductile iron pipe”, *Ductile Iron Pipe Research Association, pp.1~7*.
7. Kirmeyer, G.J. (1999), “Maintaining and Operating Finished Water Storage Facilities to Prevent Water Quality Deterioration”, *AWWA Res. Fdn., Denver*.
8. Langelier, W.F. (1936), “The Analytical Control of Anti-corrosion Water Treatment,” *Jour. AWWA, 28:1500*.
9. Mcneill, L.S., Edwards, M. (2001), “Iron Pipe Corrosion in Distribution Systems”, *Jour. AWWA, Vol. 93, No. 7, pp.50~61*.
10. Millette, J. R., Hammonds, A.F., Pansing, M. F., Hansen, E. C. and Clark, P. J. (1980), “Aggressive Water Assessing the Extent of the Problem”, *Jour. AWWA, Vol. 72, No. 5, pp.262~266*.

11. Rober C. Cheng, Cynthia Andrews-Tate, Tai J. Tseng, and Kevin L. Wattier (2009), "Distribution of Desalinated Seawaters: Are Corrosion Indicators Sufficient? ", *AWWA Membrane Technology Conference*, March 15~18, Memphis, Tenn.
12. Single, J. E. (1981), "The Search for a Corrosion Index", *Jour. AWWA*, Vol. 73, No. 11, pp.579~582.
13. Shock, M. R., Logsdon, G. S., & Clark, P. J. (1981), "Evaluation and Control of Asbestos – Cement Pipe Corrosion", *EPA 600/D-81-067*, Cincinnati, Ohio.
14. Shock, M. R. & Buelow, R. W. (1981), "The Behavior of Asbestos – Cement Pipe Under Various Water Quality Conditions: Parts, Theoretical Considerations", *Jour. AWWA*, 73:12:636.
15. Uhlig, H. H. and Revie, R. W. (1991), "Corrosion and Corrosion Control – An Introduction to Corrosion Science and Engineering", *John Wiley & Sons*, New York.
16. Volk, C., Dundore, E., Schiermann, J. and Lechevallier, M. (2000), "Practical Evaluation of Iron Corrosion Control in a Drinking Water Distribution System", *Water Research*, Vol. 34, No.6, pp.1967~1974.
17. 中華民國自來水協會 (2003), 「自來水管線腐蝕之檢討與防蝕策略」研究報告, 台北。
18. 台灣自來水公司 (2013), 「降低漏水率計畫 (102 至 111 年)」, 台中。
19. 江冠汝 (2014), 「DIP 管材密封塗層歐美規範探討」, 臺北自來水事業處技術科, 台北。
20. 林哲昌、焦士榮、黃智 (2007), 「薄膜海水淡化廠出水水質穩定化控制技術研究」, 中興工程顧問社, 台北。
21. 張伯鴻 (2004), 「海水淡化廠出水最佳防蝕方式研究」, 國立成功大學環境工程學系碩士論文, 台南。

附錄一

「延性鑄鐵管水泥內襯腐蝕研討會」

會議紀錄

有關延性鑄鐵管水泥內襯腐蝕研討會

會議紀錄

一、時間：97年10月30日下午2時00分

二、地點：本公司2樓第一會議室

三、主持人：林副總經理岳

記錄：黃建源

四、出席人員：如附出席人員簽名冊

五、主席致詞：

今天非常感謝自來水協會許秘書長、北水處各位先進、劉顧問及各位業者先進能一同研究水質具腐蝕性對各方面的影響。因國家水質標準尚未訂定，而本公司轄區部份水質LSI值偏低，究竟應由原水之治本，其他配套措施只能治標，或另有配套方案能達成預期目標，將於此次會議詳加討論。

六、專題報告：

材料處林處長「水質腐蝕性調查與影響研究」專題報告。

七、綜合討論：

(一)北水處技術科鄭正工程師：北水處於民國85年特針對水管防蝕問題作研究，今年委託中興工程顧問公司針對轄區內5個水源做水質環境相關研究，發現北水原水LSI值平均為-2.1~-1.4而清水平均值為-2.5~-1.3，證明北水需正視水管防蝕問題。

(二)中興工程顧問公司吳先生：先前已對水公司成功烏崁海淡場、今年對北水處5個水源做出水腐蝕性探討，發現原水出水皆具LSI值偏低情形，為改善此情形有下列方法：

1. 加NaOH。
2. 加碳酸氫鈣。
3. 加碳酸鈣之礦物塔。

如此一來不僅會提高供水成本也會提高供水pH值。因國內法規規定供水pH值為6.5~8.5，我們也希望參考國外作法將法規Ph值上修至9.5甚至10，以趨平衡。

(三)北水處水質科江股長：本來以為北水處水源水質較水公司的水質LSI值為低，去年北水處以鑄鐵試片用不同的襯裏作浸泡試驗以觀察溶出物的不同。如以酸性水泥作襯裏則釋出三氧化二鋁，以卜特蘭鹼性水泥作襯裏則釋出碳酸鈣，藉此以觀察溶出物對水質LSI值的影響。以北水轄區陽明山地區的水質而言，它比其他地區的水質LSI值偏正，卻更具腐蝕現象。希望貴公司能提供LSI值數據及其他影響水質腐蝕的原因、數據，如水泥出廠前作浸泡試驗之溶出物等各項數據以綜合評估。

- (四)自來水協會許秘書長：綜觀台灣地區應以中部以北水質腐蝕較為嚴重，目前國內鑄鐵管水泥襯裏以符合 CNS 61 國家標準之卜特蘭水泥，並未規定用第幾型。先進國家除了用第 2 型卜特蘭水泥作襯裏外，另加一層無溶劑環氧樹脂為雙重保護。第 2 型卜特蘭水泥因物性及化性較第 1 型受更多限制，其優點有：
1. 含鋁酸三鈣具抗硫酸鹽特性，適用於水質 LSI 負值之供水環境。
 2. 水合熱低、水合時間緩慢。
 3. 鹼含量低。可避免因鹼與鑄鐵管材反應所引起襯裏膨脹龜裂。
 4. 收縮率低。
- 若以第 2 型卜特蘭水泥取代目前之第 1 型則水質具腐蝕性的問題應可先解決一半。
- (五)興南鑄造廠股份有限公司：由於一些先進國家研究發現鑄鐵管可使用至 100 年，水泥襯裏卻連一半的時間都撐不了。目前興南外銷中東〈巴林、卡達共和國等〉及東南亞〈新加坡、香港等〉均以第 2 型卜特蘭水泥作襯裏加無溶劑環氧樹脂塗裝。其成品均需通過嚴格的附著力拉拔實驗及流水動態沖刷等測試，才能順利交貨。而這些國家也正面臨嚴重的水質腐蝕問題，經不斷的研究測試，目前以上述襯裏及塗裝為最佳方案。
- (六)錦源鑄造工業股份有限公司：如改以第 2 型卜特蘭水泥作襯裏，相信同業包括錦源可以馬上實施，且增加金額不多。但若再加上無溶劑環氧樹脂塗裝，則有技術、增加設備及時間上的問題，需再研議。
- (七)劉顧問：剛才北水處提及轄區的清水比原水 LSI 值還低，應與清水加混凝劑與氯氣有關。水質腐蝕問題由來已久，不僅需正視，還需積極謀求改善之道。基本應從水源頭解決，水公司屏東縣泰山加氫氧化鈉、澎湖海淡場加石灰石即為其例。水公司與北水處更應依當地水質狀況先行試驗後再針對主要問題而改善。至於 LSI 值與水的溶解度、硬度、總鹼度、溶出物、離子含量等皆有關，日本規定 LSI 值需達-1 以上，若 LSI 值>1 則會於管材上形成一層保護膜。方才亦提到環氧樹脂塗裝〈Epoxy〉，日本污水下水道針對 Epoxy 作各項專業測試發現它通過 pH2~4 之強酸水試驗、耐磨耗、長期暴露於高或低溫氣候下、密合度、真空等試驗，唯獨對於針孔試驗較有問題，亦即 Epoxy 只塗薄薄一層，其均勻度若非以技術優良施作及嚴格品質控管將會有大落差。而以第 2 型卜特蘭水泥作襯裏加無溶

劑環氧樹脂塗裝當然是保護管材最好方式，唯增加成本亦應考慮。

- (八)水公司劉副總工程師：以水質觀點來看，2004年世界衛生組織飲用水水質標準為pH6~8.5，而日本理想飲用水水質標準為pH7.5，而LSI值為-1~0，達不到pH5.8~8.6將會罰款。WHO對改善腐蝕性水質的建議為：

1. 修正pH值。
2. 鹼度加至40ppm以上。

然加鹼度的結果導致pH超過8.5時，WHO建議加磷酸鹽以平衡。水質腐蝕需積極處理，但鑄鐵管只是其中一部分，其他如閥類、另件、家庭用銅管、水龍頭、熱水器等皆會釋出鐵、鋅、銅、鎳、鉛等金屬。歐洲各國就採用PE管而不用DIP管，因PE管成本比DIP管高出許多。成本應為目前最主要考慮因素，改DIP內襯並無法根本解決水質問題。應如方才劉顧問所說：「那裏水質有問題，就去解決。」不能使得全體用戶人心惶惶，都覺得自己喝有腐蝕性的水。另LSI值<-1水質不見得會腐蝕、LSI值>+1也不見得會沉澱，宜依實際情況處理。

- (九)水公司材料處林處長：非常贊同劉副總工程師的說法，本人多年來觀察不同供水系統發現有些地區LSI值-1卻比LSI值-2地區水質之水泥內襯腐蝕更較嚴重。在此謹提供20年前於蘇澳地區一些加藥實務經驗以供參考：

1. 加硝石灰。硝石灰因成本低，以每日出水量7,000CMD計，每次需加200公斤，但硝石灰只能取上層液，需用攪拌筒不斷攪拌，每日加氫氧化鈣量為200公斤，即約28.6ppm，水質LSI值由-1.47提升至+0.08，20年前其成本每月為18,600元。但後續大量石灰渣廢棄物月達數萬公斤處理又耗費相當成本及時間。
2. 加氫氧化鈉33ppm。水質LSI值由-1.75提升至+0.4，以45%NaOH藥品費每月達114,990元。且氫氧化鈉的成本太高又不容易控制。
3. 氣曝塔加大理石碎塊，以增加接觸面。後又發現白雲石的效果比大理石好。但用氣曝塔需提高抽水機揚程，增加動力費每月25,200元，LSI值由-1.75提升至-0.13。

上述幾種方式需於成本方面考慮其經濟效益。

- (十)北水處水質科江股長：若以原水加碳酸〈氫〉鈉與氫氧化鈉來說，碳酸鈉能與水泥襯裏釋出及流動水裏的鈣離子結合成碳酸鈣，因而對管壁形成保護膜，當然比加氫氧化鈉來的合適。北

水處考慮採取翡翠水庫附近含碳酸鈣較多的水源來與原水中和，因台灣地區地下水源充足，愈深層所含礦物質愈多，至於原水加磷酸鹽，北水處亦做過相關試驗，結果基於成本太高及細菌培養再生問題而認定不適合。而於原水加石灰雖可提高清水 pH 值，但過飽和產生濁度過高及管末端碳酸鈣沉澱則未能克服。另北水處給水廠皆因太大，不能如水公司選幾個廠做實廠試驗，只能做後設計試驗。

八、主席裁示：

- (一) 2 型水泥如水協會許秘書長所說的諸多優點，將於近期拜訪興南公司，作進一步實際瞭解。
- (二) 水質改善處理方面，請供水處及水質環保處研議先選擇幾個適當之場所做改善計畫。
- (三) 擇定第一、八區管理處，轄區擴建及管線汰換工程 DIP 管改以第 2 型卜特蘭水泥襯裏，請供水處簽辦，並分析統計改以第 2 型水泥襯裏後之成效。
- (四) 管材改用第 2 型卜特蘭水泥襯裏之實驗及資料蒐集，請工務處辦理。
- (五) 以上報請上級核定後實施。

九、散會：下午 4 時 15 分

附錄二

CNS-2313-A3055 規範

「鑄鐵管水泥砂漿襯裡方法」

中華民國國家標準	CNS	延性鑄鐵管水泥砂漿襯裏法	總號	2 3 1 3
			類號	A 3 0 5 5

Method of cement mortar lining for ductile iron pipes

目錄

節次	頁次
前言	2
1. 適用範圍	3
2. 引用標準	3
3. 鑄鐵管	3
4. 材料	3
5. 襯裏法	4
5.1 鑄鐵管之準備	4
5.2 施工	4
5.3 施工場所	4
5.4 養護	5
5.5 襯裏厚度	5
6. 鑄鐵管外塗裝	5
7. 試驗法	5
7.1 外觀、形狀及尺度檢驗	5
7.2 厚度檢驗	5
7.3 附著試驗	5
7.4 裂痕	6
7.5 溶出試驗	6
8. 修補	6

(共 6 頁)

公 布 日 期 60 年 12 月 18 日	經 濟 部 標 準 檢 驗 局 印 行	修 訂 公 布 日 期 102 年 8 月 12 日
---------------------------	---------------------	-------------------------------

印行年月 102 年 8 月

本標準非經本局同意不得翻印

前言

本標準係依標準法之規定，經國家標準審查委員會審定，由主管機關公布之中華民國國家標準。CNS 2313:1993 已經修訂並由本標準取代。

依標準法第四條之規定，國家標準採自願性方式實施。但經各該目的事業主管機關引用全部或部分內容為法規者，從其規定。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，主管機關及標準專責機關不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

預覽標準，僅供參考

1. 適用範圍

本標準規定延性鑄鐵管(以下簡稱鑄鐵管)內面之水泥砂漿襯裏方法。

2. 引用標準

CNS 61	卜特蘭水泥
CNS 486	粗細粒料篩析
CNS 1240	混凝土粒料
CNS 4175	游標卡尺
CNS 4755	測隙規
CNS 10808	延性鑄鐵管
CNS 12283	混凝土用化學摻料
CNS 13273	延性鑄鐵管及管件內面環氧樹脂粉體塗裝
CNS 13961	混凝土拌和用水
CNS 15286	水硬性混合水泥

3. 鑄鐵管

襯裏施工之鑄鐵管應符合 CNS 10808 之規定。

4. 材料

襯裏所用之材料除有特殊要求外，應符合下列規定。

- (a) 水泥：水泥應符合 CNS 61 或 CNS 15286 之規定。
- (b) 細粒料：細粒料應符合 CNS 1240 第 2 節之規定，其級配應良好，依 CNS 486 篩分析後應符合表 1 及表 2 之規定。

表 1 細粒料之級配

標稱管徑 (mm)	過篩百分率(%)		
	個別標稱管徑使用之篩網 ⁽²⁾	300 μm 篩網	150 μm 篩網
75~250	95 以上	50 以下	5 以下
300~900		40 以下	
1,000~2,600		30 以下	

註⁽²⁾ 各標稱管徑使用之篩網標準稱號如表 2 所示。

表 2 各標稱管徑使用之最大篩網標準稱號

單位：mm

標稱管徑	最大篩網標準稱號
75~250	2
300~600	2.8
700~900	4
1,000~1,200	4.75
1,350~1,500	5.6
1,600~2,600	6.7

(c) 水：應符合 CNS 13961 之規定。

(d) 其他內襯材料：其他內襯材料，依下列規定。

(1) 若買方要求水泥砂漿乾硬後表面須封層塗裝時，其封層塗料須為丙烯酸酯聚合物，塗布量 100 g/m^2 以上。封層塗料乾燥後與乾硬水泥砂漿附着力須良好且不得含影響水質之有害成分。若使用於飲用水時須做溶出試驗，不得含影響水質之有害成分。

(2) 使用其他摻料時，須符合 CNS 12283 之規定，以確保內襯品質不受有害物影響。

(e) 水泥砂漿：水泥砂漿之水泥與細粒料應依 1:1.5~1:3.5(質量比)，並以適量之水或添加摻料，用拌和設備拌和而成，應具有均勻之品質及低吸水性。水泥砂漿經拌和後不得置放過久，已達初凝之水泥砂漿不得使用。

5. 襯裏法

襯裏之方法，依下列規定。

5.1 鑄鐵管之準備

供加工之鑄鐵管內不得塗煤焦油或其他油類，應清除所有表面鏽砂、鏽銹、泥土、油脂及其他雜物並用清水清洗，如有影響襯泥厚度之突出物應磨平。鑄鐵管應先作完水壓試驗後方能施作水泥砂漿襯裏。

5.2 施工

水泥砂漿襯裏施工時，應以離心法或用其他與離心法可得同等效果之方法為之。將足量之水泥砂漿塗敷於鑄鐵管內壁並施予離心力，使形成一層極為密緻堅實厚度均勻之襯裏。離心力之旋轉速率與時間應以適當方法預作試驗決定之，務使襯裏與鑄鐵管內壁緊密連結，不得發生水泥與細粒料分離情形，完成後之襯裏表面須平滑，不得有氣泡裂紋、凹凸浪紋或收縮鬆脫等不良現象。其橫斷面輪廓應呈圓形，承口水泥砂漿須全部去除乾淨。

5.3 施工場所

襯裏應於室內施工，並避免陽光之直曬或惡劣天候(例：霜雨、冰凍影響)，襯裏在未完全凝固前不得置於戶外。

5.4 養護

養護之步驟，應符合下列規定。

- (a) 襯裏成形結束後，鑄鐵管之養護須在 0℃ 以上溫度下進行，且應防止水泥砂漿中水分之蒸發妨礙水泥砂漿硬化。
- (b) 經襯裏施工後之鑄鐵管於襯裏尚未完成固化前不得交貨，並應避免低溫、乾燥、負載、衝擊等有害影響。

5.5 襯裏厚度

襯裏厚度及最小厚度依表 3 之規定。

表 3 襯裏厚度

單位：mm

標稱管徑	襯裏厚度	最小平均厚度	任一點最小厚度
75~250	4	3.5	3.0
300~600	6	5.5	5.0
700~900	8	7.0	6.0
1,000~1,200	10	8.5	7.0
1,350~1,500	12	10.0	8.0
1,600~2,600	15	13.0	11.0

備考：管之兩端得有適當之斜度，惟斜度部分長度不得超過 50 mm。

6. 鑄鐵管外塗裝

除另有指定塗料外，完成襯裏加工之鑄鐵管外表及承口內應塗敷精製煤焦油(coat tar)。

7. 試驗法

試驗應包含下列事項。

7.1 外觀、形狀及尺度試驗

外觀試驗結果須符合 5.2 及第 6 節之規定；形狀及尺度之試驗採用量規或其他器具量測，須符合 5.5 之規定。

7.2 厚度試驗

依 CNS 10808 之 12.1 及表 10 之批次試驗所規定批次量抽樣試驗，若試驗均合格時，該批視為合格。若有不合格時，得依抽樣數加倍抽樣重驗，若重驗結果全數合格時，該批視為合格；若重驗結果再有不合格情形時，該批視為不合格，應予拒收。試驗時應於水泥砂漿乾硬後，使用 CNS 4175 測定精度為 0.05 mm 之游標卡尺，在兩管端之圓周上各取等距離之 4 點量測。

7.3 附着試驗

應於養護後試驗，試驗時用橢圓形小鐵錘輕敲襯裏及來回磨擦，以能夠發出與鑄鐵管同樣清脆聲音者為良好，其鬆塊於最長方向之長度不得超過 300 mm。

7.4 裂痕

以目視或使用 CNS 4755 之測隙規對全部鑄鐵管檢驗是否存在有害之裂痕，其裂痕寬度不得超過 0.25 mm。

7.4 溶出試驗

依 CNS 13273 之 5.4.8 規定試驗，其塗料之溶出性須符合表 4 之規定。

表 4 塗料之溶出性規定

標稱管徑	最大篩網標準稱號
塗料溶出性 ^(a)	濁度：0.5 度以下 色度：1 度以下 過錳酸鉀消耗量：2 mg/L 以下 餘氯減量：0.7 ppm 以下 酚類：0.005 mg/L 胺：無檢出 氰：無檢出 臭味及味道：無異常
註 ^(a) 塗料之溶出性僅適用於自來水管。	

8. 修補

修補為從缺陷部分將襯裏清除，利用水泥砂漿或合成樹脂、乳膠等填充材，以手塗方式進行修補。修補材料須為適用且具流動性之材料，應與原襯裏及鑄鐵管之接合良好，必要時得使用接著劑。

修訂日期

第一次修訂：75 年 09 月 05 日

第二次修訂：82 年 04 月 21 日

附錄三

CNS-13273-G3254 規範

「延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」

中華民國國家標準	延性鑄鐵管及管件內面用環氧 樹脂粉體塗裝	總號	1 3 2 7 3
CNS		類號	G 3 2 5 4

Epoxy-powder coating for interior of ductile iron pipes and fittings

1. 適用範圍：本標準適用於延性鑄鐵管⁽¹⁾（以下簡稱管）內面所形成之環氧樹脂粉體塗膜（以下簡稱塗膜）及其塗裝方法。

註⁽¹⁾ 延性鑄鐵係指延性鑄鐵管及延性鑄鐵管件。

2. 塗料：須符合第 2.1 節之成分及第 2.2 節之規定。不含使用上有害之成分，硬化後不溶於水，且不得使水質有不良影響。

2.1 成分：使用環氧樹脂、硬化劑及顏料為主原料之熱固性粉體塗料。

2.2 品質：如表 1 所示。

表 1 塗料品質

項 目	品 質	試 驗 方 法
塗膜比重	1.8 以下。	第 5.4.1 節
塗膜附著性	評估點數 8 以上。	第 5.4.2 節
塗膜耐衝擊性	衝擊變形後無龜裂及剝離。	第 5.4.3 節
塗膜可撓性	無龜裂發生。	第 5.4.4 節
塗膜刮痕抵抗力	無異常。	第 5.4.5 節
塗膜防蝕性	無銹污、起泡、膨脹、龜裂等現象。	第 5.4.6 節
塗膜耐溫度反覆性	無發生皺紋、龜裂、膨脹、剝離及無顯著變色。	第 5.4.7 節
塗膜溶出性 ⁽²⁾	濁度：0.5 度以下 色度：1 度以下 過錳酸鉀消耗量：2mg/L 以下 餘氯減量：0.7ppm 以下 酚類：0.005mg/L 以下 胺：無檢出 氰：無檢出 臭味及味道：無異常	第 5.4.8 節

註⁽²⁾ 塗膜之溶出性僅適用於自來水管。

確認日期：101 年 10 月

(共 16 頁)

公 布 日 期
82 年 10 月 26 日

經濟部標準檢驗局印行

修訂公布日期
92 年 11 月 18 日

印行年月 94 年 10 月

本標準非經本局同意不得翻印

3. 產品之塗膜品質：依表 2 之規定。

表 2 產品之塗膜品質

項 目	品 質	試驗方法
塗膜外觀	無異物摻入，塗布不均，漏塗現象，須表面平滑呈均勻塗膜。 以偵檢器測試，不會有發生火花的針孔等缺陷。	第 6.2 節
塗膜附著性	無剝離。	第 6.3 節
塗膜之硬化程度	無發生破碎，剝離現象。	第 6.4 節
塗膜厚度	如附圖所示，B 部位須 0.3mm 以上。 惟 CNS 10808 [延性鑄鐵管] 及 CNS 13272 [延性鑄鐵管件] 之塗裝後 D ₂ 之尺度，須在容許範圍內。	第 6.5 節
塗膜刮痕抵抗力	須符合表 1 之規定。	第 6.6 節

4. 塗裝方法

4.1 塗裝面前處理

- (1) 將鏽疤、銹皮及其他有礙塗裝之附著物等，使用研磨機、打磨機等除去，儘可能磨成平滑。
- (2) 經前處理之鑄鐵面，在施塗之前應妥善保護不得再生銹或沾附灰塵、油污等。

4.2 塗料調配

塗料應依塗料製造廠商所指定之有效期間內使用之。回收之塗料須使用 150~220 μ m 網篩除去異物後，以新塗料容積之 50% 以內比例混合均勻即可使用。

4.3 塗裝

- (1) 以適當之粉體塗裝裝置，將塗料噴塗於預熱之管而形成塗膜。預熱溫度依塗料製造廠商之指定。經塗裝之管，塗膜須充分硬化。
- (2) 塗裝時應避免異物摻入、塗布不均、針孔及漏塗等缺陷，必須使塗膜表面平滑均勻。

4.4 塗裝範圍：依附圖所示。

4.5 塗裝修補：依第 6 節試驗結果，若有不符合第 3 節所規定之輕微缺陷，經買方同意得使用常溫硬化型環氧樹脂塗料由塗裝業者施予修補。直管時，使用研磨機、打磨機等研磨塗裝面後，依第 4.3 節規定重複塗裝修補之。

5. 塗料之試驗

- 5.1 試驗之一般條件：係依 CNS 9007 [塗料一般檢驗法 - 取樣及試驗一般條件] 第 3 節之規定。試驗須由塗料製造業者經試驗後提出試驗報告給塗裝業者。若買方認為有必要時，可由買方會同試驗，並要求提出該試驗報告。
- 5.2 塗料之取樣法：每批依 CNS 9007 第 2 節之規定採取試樣。

5.3 塗裝試片之製作。

5.3.1 各試驗項目之試片材料、尺度及數量：依表 3 之規定。

表 3 各試驗項目之試片材料、尺度及數量

試驗項目	試片材料	試片尺度 mm	數量	批之大小
方格試驗	鋼板	150×70×2.0	3	製造批
衝擊變形試驗			3	
鉛筆刮痕試驗			1	
鹽水噴霧試驗			3	相同塗料於 6 個月內製造批
低溫高溫反覆試驗			2	
艾氏凹壓試驗		90×90×1.2	1	製造批
溶出試驗	管	標稱管徑 75×500	1	相同塗料於 6 個月內製造批

5.3.2 試片之製作

- (1) 鋼板：使用表 3 所規定之鋼板，並依第 4.3 節之規定，塗裝約 0.2mm 膜厚後放冷至常溫。
- (2) 管：使用表 3 所規定之管，並依第 4.3 節將內面塗裝約 0.3mm 膜厚後放冷至常溫。

5.4 試驗方法

- 5.4.1 塗膜比重試驗：依 CNS 10352 [顏料檢驗法] 第 17 節之規定試驗之。
- 5.4.2 方格試驗：依 CNS 10757 [塗料一般檢驗法(有關塗膜之物理、化學特性之試驗法)] 第 6 節之規定試驗之。
- 5.4.3 衝擊變形試驗：依 CNS 10757 第 4 節 B 法之規定試驗之。但落下高度為 50cm。
- 5.4.4 艾氏凹壓試驗：CNS 3464 [艾氏凹壓試驗法] 中 A 法之規定試驗之。但衝頭壓下距離為 3mm。
- 5.4.5 鉛筆刮痕試驗：依 CNS 10757 第 5 節之規定試驗，但使用鉛筆之硬度為 H 者。
- 5.4.6 鹽水噴霧試驗：依 CNS 11607 [塗料一般檢驗法(有關塗膜之長期耐久性之試驗法)] 第 3 節之規定試驗，於 500 小時後以目視確認塗膜無發生銹污、膨脹、龜裂等缺陷。但塗膜不作刮痕。
- 5.4.7 低溫高溫反覆試驗：經下列操作後，以目視檢查二個試片之塗膜狀況。首先將試片置於保持溫度 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之恆溫箱經 2 小時後，移入保持溫度 $-30\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之恆溫箱經 2 小時後，再移入保持溫度 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之恆溫箱經 1 小時後，接著置於保持溫度 $70\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之恆溫箱經 2 小時後，再度移入保持溫度 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之恆溫箱經 17 小時。以上為 1 循環共反覆操作 4 循環。

5.4.8 溶出試驗：以聚偏二氯乙烯(polyvinylidene chloride)薄膜⁽³⁾包裹的良質橡皮塞封住試片之一底端，以自來水流洗淨 1 小時後倒空並以供試水清洗，再注滿供試水，上面以聚偏二氯乙烯薄膜覆蓋，靜置於常溫陰暗處經 24 小時後，以此水作為試樣水。

同時將供試水盛滿於 2L 之燒杯，以聚偏二氯乙烯薄膜覆蓋，並靜置於試樣水同一地點經 24 小時後當作空白試驗水。供試水之調製方法及試驗方法依附錄之規定。其試驗溫度為常溫，而表 1 所示數值等係由與空白試驗之差數求得。

註⁽³⁾ 所使用的聚偏二氯乙烯(PVDC)薄膜須預先以 5%硝酸洗過後再充分水洗。

6. 產品之塗膜試驗

6.1 試驗一般條件

(1) 塗膜試驗範圍，如附圖所示。

(2) 試驗係由塗裝業者及買方實施。除了硬化試驗外，試驗數量為全數。

6.2 外觀試驗

(1) 以目視檢查是否摻雜異物、塗布不勻、漏塗等現象。

(2) 針孔係用針孔偵測器(Holiday Detector)施加 1000 V 電壓測試。

6.3 附著性試驗：使用試驗錘輕敲塗裝面測試。

6.4 硬化試驗：承口內面或標稱管徑 150mm 以下之管，於外面特定部位塗裝的塗膜上，使用 CNS 10756-1 [塗料一般檢驗法(有關塗膜之視覺特性之試驗法)] 第 3 節所規定之美工刀，刻劃長度 25mm 而交叉 30 度的兩條達底材的“X”刻痕，並以目視檢查塗膜有無碎落、剝離現象。

此時之試驗數量，係將一日之塗裝管中同一標稱管徑時每 10 個及其餘數為一組，由各組任取一個。又試驗後“X”刻痕部位，應使用與外塗裝相同之塗料修補。

6.5 塗膜厚度測定

(1) 使用電磁微厚計或其他適當的測定器具測定之。測定部位為對長方向任選二處，而在該處圓周上之任選四點。

(2) 承口內徑尺度係使用最小界限規等測定之。

6.6 鉛筆刮痕試驗：依第 5.4.5 節之方法試驗。

7. 再試驗：若有經過第 4.5 節之塗裝修補時，須依第 6 節之規定再作試驗。

8. 檢驗

8.1 塗料之檢驗：依第 5 節之規定檢驗，塗膜比重、塗膜附著性、塗膜耐衝擊性，塗膜可撓性、塗膜刮痕抵抗性、塗膜防蝕性、塗膜耐溫度反覆性及塗膜之溶出性等均應符合第 2 節之規定。

8.2 產品之塗膜檢驗：依第 6 及第 7 節之規定檢驗，產品之塗膜外觀、塗膜附著性、塗膜之硬化程度、塗膜厚度及刮痕抵抗性等均應符合第 3 節之規定。

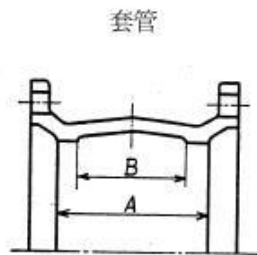
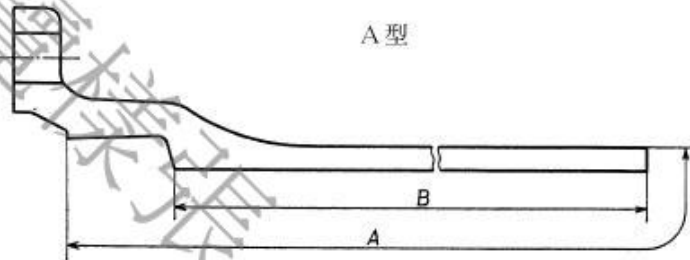
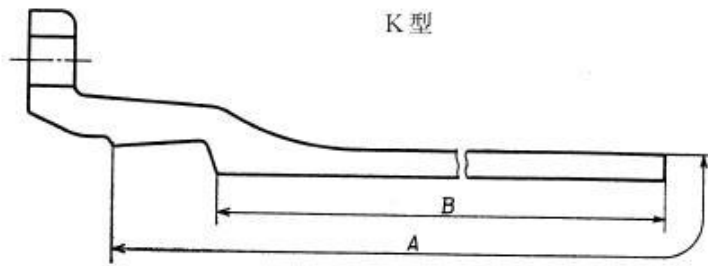
9. 標示：於產品之承口內面易見部位，以不易消失之方法標示下列事項。

(1) 塗裝年月或代號。

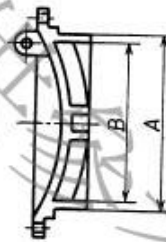
(2) 塗裝業者名稱或其商標。

10. 塗裝面之保護：經檢驗合格之產品，須在承口或插口部位加蓋適當護蓋以保護塗裝面。

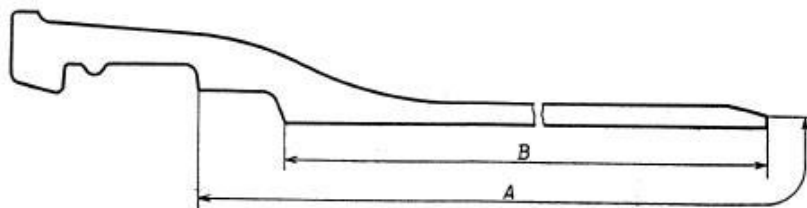
附圖 塗裝及塗膜之試驗範圍



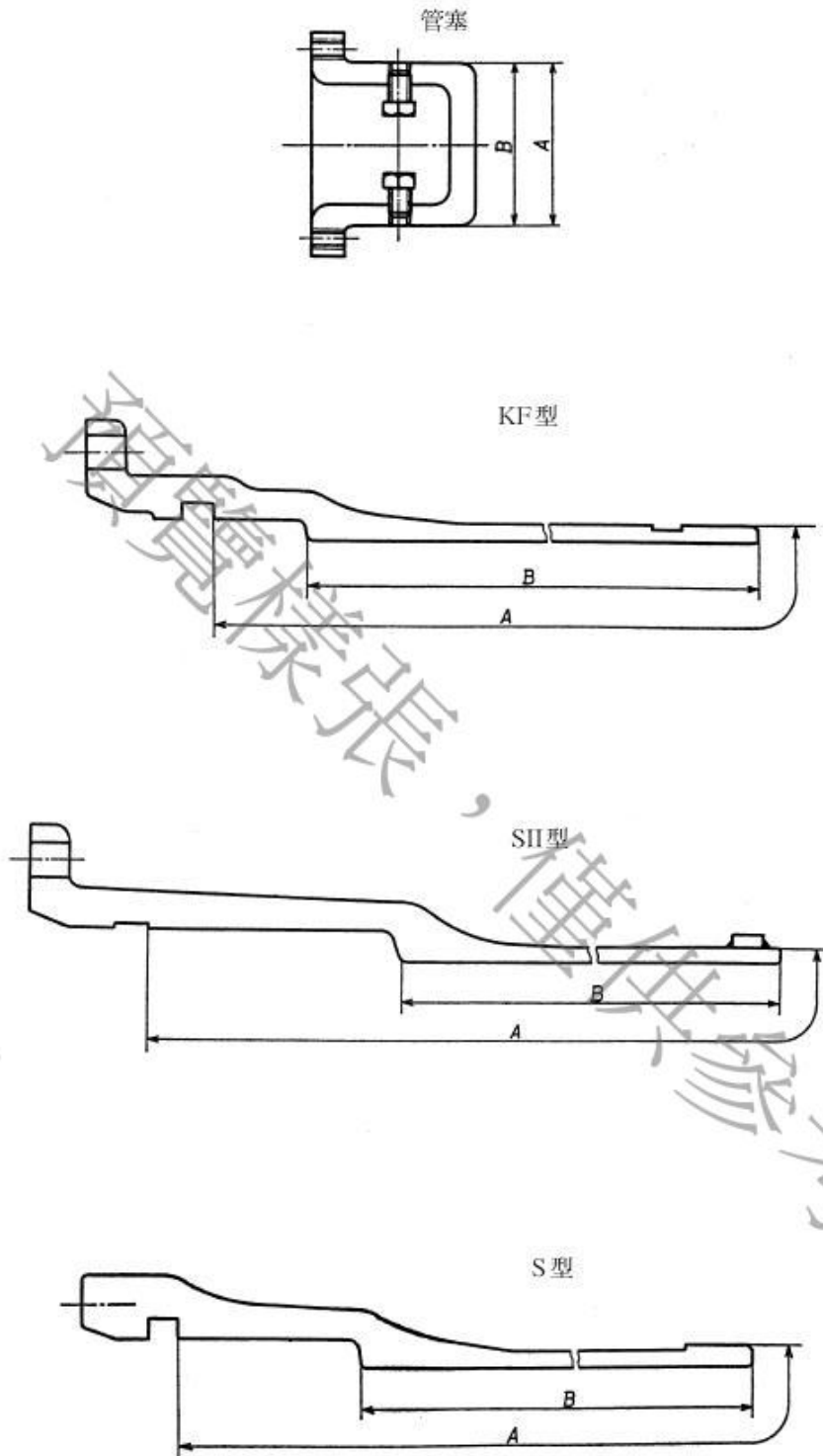
管塞



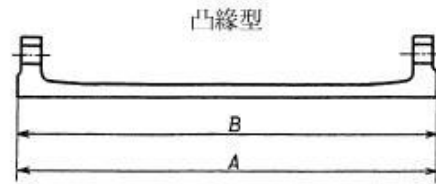
T型



附圖 塗裝及塗膜之試驗範圍(續)



附圖 塗裝及塗膜之試驗範圍(續)



- 備考 1. 塗裝範圍：A 部位。
2. 塗膜試驗範圍：B 部位。
3. A 範圍中 B 範圍以外部位，原則上再施予與外面塗裝相同之塗裝。

附錄 延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗料之溶出試驗方法

1. 供試水之調製方法

1.1 試藥

1.1.1 石灰水：取約 100 分精製水於適當的容器內，加入 2 分消石灰後密栓充分振搖，然後靜置 24 小時，使用濾紙(JJ F)過濾上澄水，放入預先盛約 100 分精製水的容器內，密封貯存，作為石灰水。若產生上層膜或沈澱時須過濾。

此石灰水中之鈣定量，係取約 100mL 精製水於 300mL 錐形燒瓶，添加 1mL 約 0.1%氯化鎂(MgCl₂)溶液，並加入 2mL 氨緩衝液及 5~6 滴 FBT 指示劑後，滴加 0.1M EDTA 溶液至溶液呈藍色（注意不過量滴加）。

接著準確添加 1mL 石灰水於此溶液中，而呈酒紅色的溶液 0.01M EDTA 溶液滴定，求出所需 EDTA 溶液量（a，單位 mL），依下式算出石灰水之鈣濃度(ppm)。

$$\text{石灰水中之鈣(Ca ppm)} = a \times \frac{40}{100} \times 100$$

1.1.2 精製水：蒸餾水或通過離子交換樹脂層之脫鹽水，導電率為 3μS/cm 以下者。

1.1.3 氨緩衝液：取 67.5g 氯化銨(NH₄Cl)於燒杯，溶解於約 300mL 精製水後，加入 570mL 氨水(28%)再用精製水配成 1L。

1.1.4 FBT 指示劑：取 0.5g 毛染鉻黑 T (Eriochrome Black T)及 4.5g 氫氯化脘(Hydroxylamine Hydrochloride)溶於 100mL，95%乙醇，保存於色瓶中（約一個月內有效）。

1.1.5 0.01M EDTA 溶液：取 4g 仲乙二胺四乙酸二鈉鹽(Ethylenediamine tetraacetic acid, C₁₀H₁₄N₂O₈Na₂·2H₂O)溶於精製水配成 1L。

本溶液濃度因屬滴定法，係準確量取 25mL 之 0.01M 氯化鋅溶液於 300mL 錐形燒瓶，添加約 75mL 精製水、2mL 氨緩衝液及 5~6 滴 FBT 指示劑後，使用待測 EDTA 溶液滴定至葡萄酒紅色變為藍色，而求出所需 EDTA 溶液量（a，單位 mL），以下式算出濃度因素。

$$\text{EDTA 溶液濃度因素(F)} = \frac{25}{a}$$

接著取上述 EDTA 溶液 $\frac{1000}{F}$ mL 於 1L 量瓶，加精製水配成 1L。

1.1.6 0.01M 氯化鋅溶液：標準試藥鋅(Zn)預先依序用氫氯酸(1+3)、精製水、丙酮洗淨，隨即放置於氯化鈣或硫酸乾器燥中，經乾燥 24 小時後秤取 0.654g 於燒杯，加入約 20mL 精製水及 3mL 之 35%氫氯酸，置於水浴上加溫溶解之。

冷卻後移入 1L 量瓶，並用精製水充分洗淨燒杯，洗液一併加入量瓶後，添加精製水配成 1L。

- 1.2 供試水調製法：精製水中添加石灰水使用鈣含量 12ppm（硬度 30ppm），將二氧化碳氣體通入此液中調整 pH 為 7.5~8.0，此中加入氯後靜置經 12~24 小時，使含游離餘氯為 1.0~1.2 ppm。

接著取此溶液之一部分（1/5~1/10）於別的容器，通入二氧化碳氣體作成低 pH 值溶液，將此液徐緩少量添加於原溶液中調整 pH 為 7.0±0.2，而將此溶液作為供試水。

2. 試驗方法

- 2.1 濁度：濁度係表示水之混濁程度，1L 水中含 1mg 高嶺土(Kaolin)時之混濁度為 1 度。

2.2 試藥及器具

(1) 濁度用高嶺土：取約 10g 市售高嶺土於 500mL 燒杯，加入 300mL 精製水、0.2g(a)焦磷酸鈉($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，使用攪拌器等激烈攪拌 3 分鐘。然後移入 1L 共栓量瓶，並用精製水充分洗淨燒杯，洗液一併加入量瓶後，添加精製水配成 1L，振搖 1 分鐘混合分散之。

於常溫靜置 1 小時後，利用虹吸管捨棄表面起 250mL 之溶液，取下層 500mL(b)於質量已知之蒸發皿。採取的溶液置於水浴上蒸發乾涸，再於 105~110℃ 乾燥約 3 小時，移入乾燥器中放冷後秤量求出濁度用高嶺土之質量(c)。然後用瑪瑙研鉢研磨微粉碎後貯存於廣口瓶中。

由此調配所得之純高嶺土質量(d)為

$$d = c - \left(a \times \frac{b}{1000} \times \frac{141.959 \times 2}{446.057} \right)$$

因而若要秤取 1g 純高嶺土，即可取濁度用高嶺土 $\frac{c}{d}$ g。

(2) 濁度標準原液：取濁度用高嶺土 $\frac{c}{d}$ g 於 1L 量瓶，加入 10mL 甲醛液(福馬林)用精製水配成 1L，作為保存液。

將此保存液邊充分搖混，邊準確量取 100mL 於別的 1L 量瓶，用精製水配至量為 1L。此液 1mL 含 0.1mg 高嶺土。

(3) 試管：全長度約 37cm 底面經研磨的共栓平底無色試管，距管底 30cm 高度處刻劃 100mL 之標線者。

- 2.3 試驗步驟：分別各取 100mL 試樣水及空白試驗水於個別試管。另一邊充分搖混濁度標準原液，邊取適當量(0.5~10mL)於數支同型試管中，分別加入精製水成為 100mL，加栓並輕輕搖混作為標準液。

接著將這些試管置於黑紙上，由上方透視比較試樣水及空白試驗水與標準液之濁度，而求出符合濁度標準原液之量(mL)，依下式算出試樣水之濁度。

$$\text{濁度(度)} = \left(a \times \frac{1000}{S} \times 0.1 \right) - \left(b \times \frac{1000}{B} \times 0.1 \right)$$

式中，a：符合試樣水濁度之濁度標準原液(mL)

b：符合空白試驗水濁度之濁度標準原液(mL)

S：試樣水(mL)

B：空白試驗水(mL)

3. 色度：色度係表示水之顏色程度者，色度標準原液 1mL 用水配成 1mL 時呈現的顏色為 1 度。

3.1 試藥及器具。

3.1.1 色度標準原液：取 2.49g 氯鉑化鉀(K_2PtCl_6) (含鉑 1g)，2.02g 結晶氯化亞鈷($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) (含鈷 0.5g) 及 35% 氫氯酸 200mL 於 1L 量瓶，溶解於精製水配成 1L。此溶液 1mL 含 1mg 鉑(Pt)。

3.2 試驗步驟：分別各取 100mL 試樣水及空白試驗水於個別試管。另取適量(0.1~1.5mL)色度標準原液於數支同型試管中，分別加入精製水成爲 100mL，加栓並輕輕搖混作爲標準液。

接著將這些試管置於白紙上，由上方透視比較試樣水及空白試驗水與標準液之色相，而求出符合色度標準液之 mL，依下式算出試樣水之色度。

$$\text{色度(度)} = \left(a \times \frac{1000}{S}\right) - \left(b \times \frac{1000}{B}\right)$$

式中，a：符合試樣水色相之色度標準原液(mL)

b：符合空白試驗水色相之色度標準原液(mL)

S：試樣水(mL)

B：空白試驗水(mL)

4. 過錳酸鉀消耗量

4.1 試藥及器具

(1) 稀硫酸：於精製水 2 容積內徐緩攪拌中加入 1 容積 95% 硫酸後，於水浴上邊溫熱邊滴加 0.5% 過錳酸鉀溶液至微紅色不消失而殘留爲止。

(2) 0.01N 草酸鈉溶液：將標準草酸鈉($Na_2C_2O_4$)於 150~200℃ 乾燥 1~1.5 小時，並於硫酸乾燥器中放冷，秤取 0.670g 於 1L 量瓶，以精製水溶解配成 1L，貯存於褐色瓶中(經過約 1 個月以上者不得使用)。

本溶液 1 mL 相當於 0.316g 過錳酸鉀。

(3) 0.01N 過錳酸鉀溶液：取 0.32~0.34g 過錳酸鉀($KMnO_4$)於 2 L 燒杯，加入 1050 mL 精製水徐緩煮沸 1~2 小時後，於陰暗處放冷 1 夜，接著用玻璃過濾器(3G4)濾過上澄液(過濾前後不得水洗)，將此濾液放入於預先經蒸氣洗淨 30 分鐘之褐色瓶並保存於陰暗處。此水溶液於每次使用時求濃度因素。此水溶液濃度因屬滴定法，係取 100mL 精製水於 300mL 錐形燒瓶，加入 5mL 稀硫酸，數顆玻璃珠及上述過錳酸鉀溶液準確添加 5mL。接著煮 5 分鐘後熄火，隨即準確添加 10mL 之 0.01N 草酸鈉溶液而脫色後，並繼續滴加過錳酸鉀溶液至液相呈微紅色而殘留不消失爲止。然後於此液中加入 5mL 稀硫酸及 5mL 過錳酸鉀溶液經煮沸 5 分鐘後，依前回同樣準確添加 10mL 之 0.01N 草酸鈉溶液，隨即用過錳酸鉀溶液滴定至稍微殘留微紅色不消失爲止。於第 2 回滴定最初添加之過錳酸鉀溶液 5mL 與滴定所耗過錳酸鉀溶液之合計量(a，單位 mL) 求出後，依下式算出濃度因素。

$$0.01N \text{ 過錳酸鉀溶液濃度因素}(F) = \frac{10}{a}$$

(4)玻璃珠：直徑約 2mm 之良質玻璃製小珠，首先於 4N 硫酸中煮沸約 30 分鐘後用熱精製水充分洗淨至洗液呈石蕊試紙中性為止。然後放入 110℃ 烘箱中乾燥後貯存於玻璃瓶中。

(5)潔淨錐形燒瓶(300mL)：預先充分洗滌後，放入 100mL 精製水、5mL 稀硫酸、10mL 之 0.01N 過錳酸鉀溶液及數顆玻璃珠，煮沸約 5 分鐘。隨即加入 10mL 之 0.01N 草酸鈉溶液脫色後，滴加 0.01N 過錳酸鉀溶液至稍微殘留微紅色不消失為止。然後小心倒掉溶液只留玻璃珠於燒瓶中，隨即供試驗用。

4.2 試驗步驟：取 100mL 試樣水於潔淨錐形燒瓶，加入 5mL 稀硫酸，接著利用褐色滴定管添加 10mL 之 0.01N 過錳酸鉀溶液，置於石棉鐵絲網上(或電熱盤上)煮沸 5 分鐘(煮至沸騰約需 5~7 分鐘)。然後熄火隨即添加 10mL 之 0.01N 草酸鈉溶液脫色，此液中立即滴加 0.01N 過錳酸鉀溶液，滴定至稍微殘留紅色不消失為止。求出前後所耗用之 0.01N 過錳酸鉀溶液之合計量(a，單位 mL)。另對 100mL 空白試驗水依試樣水同一條件步驟操作後，求出空白試驗水所耗用 0.01N 過錳酸鉀之合計量(b，單位 mL)，依下式算出過錳酸鉀消耗量(ppm)。

$$\text{過錳酸鉀消耗量(ppm)} = (a-b)F \times \frac{1000}{L} \times 0.316$$

式中，a：試樣水 100mL 所耗用 0.01N 過錳酸鉀溶液(mL)

b：空白試驗水 100mL 所耗用 0.01N 過錳酸鉀溶液(mL)

F：0.01N 過錳酸鉀溶液之濃度因素。

L：試樣水及空白試驗水(mL)

5. 餘氯減量

5.1 試藥及器具

(1)O-Tolidine 溶液：取 1.35g 鄰二甲基·對二氨基聯苯二氫氯酸鹽[(CH₃·C₆H₃·NH₂)₂·2HCl] 溶於 800mL 精製水後，添加 35% 氫氯酸 150mL，再加精製水配成 1L、貯存於褐色瓶中。

(2)無二氧化碳精製水：如第 6.1(14)節。

(3)緩衝液：預先經 105~110℃ 烘乾後置於乾燥器內放冷的磷酸氫鈉(Na₂HPO₄) 秤取 22.86g，及磷酸二氫鉀(KH₂PO₄)秤取 46.14g，溶於無二氧化碳精製水配成 1L，經靜置數日後過濾析出沉澱物，以母液作為原液。接著於 400mL 原液中加入無二氧化碳精製水配成 2L，此液作為緩衝液。此緩衝液之 pH 為 6.45。

(4)鉻酸鉀·重鉻酸鉀溶液：取 4.65g 鉻酸鉀(K₂CrO₄)及 1.55g 重鉻酸鉀(K₂Cr₂O₇) 於 1L 量瓶，溶解於緩衝液配成 1L。此溶液須密栓保存於陰暗處，若產生沉澱物時，使用玻璃過濾器(G3)或濾紙(JFE)過濾。此溶液經過 6 個月以上者不得使用。

(5)餘氯標準比色液：係將鉻酸鉀·重鉻酸鉀溶液依附錄表所規定之比率混合後個別取於 100mL 比色管，並記載表示符合餘氯之濃度(ppm)。

附錄表 餘氯標準比色液 (液層 20cm)

餘氯 ppm	鉻酸鉀·重鉻酸鉀溶液 mL	緩衝液
0.1	1.0	99.0
0.2	2.0	98.0
0.3	3.0	97.0
0.4	4.0	96.0
0.5	5.0	95.0
0.6	6.0	94.0
0.7	7.0	93.0
0.8	8.0	92.0
0.9	9.0	91.0
1.0	10.0	90.0
1.2	12.0	88.0
1.3	13.0	87.0
1.5	15.0	85.0
2.0	19.7	80.3

(6)比色管(100mL)：係全長約 25cm 之共栓附平底無色試管，由管底 20±0.3cm 之高度處，刻劃 100mL 之標線者。

5.2 試驗步驟：取 5ml 鄰二甲基·對二氨基聯苯溶液〔第 5.1(1)節〕於 100mL 比色管，加試樣水至標線 (pH 1.3 以下) 靜置 5 分鐘。接著將試樣水之呈色與調製於同型比色管的餘氯標準比色液進行比較，而且由符合標準比色液求出試樣之餘氯(ppm)然後同樣操作求出空白試驗水之餘氯(ppm)，而將此餘氯與試樣水之餘氯(ppm)之差數當作餘氯之減量。

6. 酚類：因試樣中之酚類極易分解，因此須於 4 小時以內⁽¹⁾作試驗。

註⁽¹⁾ 若無法於採樣 4 小時以內進行試驗時，須在取樣後隨即加磷酸溶液調整 pH 為 4 以下，並以 0.1% 比率加入硫酸銅溶液，在 24 小時以內進行試驗。

6.1 試藥及器具

(1) 活性炭粉末

(2) 精製水：係不含酚類及餘氯者。係於精製水中以 10~20ppm 之比例添加活性炭並充分搖混，靜置 1 夜後過濾之。本試驗全部使用經此調製之精製水。

(3) 硫酸銅溶液：將 10g 硫酸銅 (CuSO₄·5H₂O) 溶於精製水配成 100mL。

(4) 4-氨基安替比林溶液：將 4-氨基安替比林 [4-Aminoantipyrine, [CH₃·C : CH(NH₂)OC·N(C₆H₅):N(CH₃)]] 0.25g 溶於精製水配成 100mL，保存於陰暗處。本溶液之使用期限約為一星期。

(5) 鐵(III)氰化鉀溶液：將 0.5g 鐵(III)氰化鉀 [K₃Fe(CN)₆] 溶於精製水配成

100mL。本溶液於每回使用時重新調製。

(6) 甲基橙指示劑：將 0.5g 甲基橙 ($C_{14}H_{14}N_2O_3Na$) 溶於精製水配成 1L，保存於褐色瓶中。

(7) 磷酸溶液：將磷酸以精製水稀釋為 10 倍。

(8) 磷酸緩衝液：取 104.5g 磷酸氫二鉀 (K_2HPO_4) 及 72.3g 磷酸二氫鉀 (KH_2PO_4) 一起溶解於精製水配成 1L。

(9) 酚標準原液：將 1g 酚 (C_6H_5OH) 溶於精製水配成 1L，移入褐色瓶保存陰暗處，當作酚保存溶液。於試驗時每回由此保存溶液調製酚標準原液。

酚標準原液調製係取 50mL 精製水於 300mL 共栓錐形燒瓶，並準確加入 25mL 酚保存溶液混合後準確加入 25mL 之 0.1N 溴酸溴化鉀溶液蓋栓充分搖動混合。接著添加 3mL 之 35% 氫氯酸，再蓋栓充分搖動混合後靜置。經 15 分鐘後加入 2g 碘化鉀 (KI) 蓋栓搖動 1 分鐘使充分混合。

在此離析的碘以澱粉溶液為指示劑，用 0.1N 硫代硫酸鈉溶液滴定，求出在此所耗用之硫代硫酸鈉溶液之量 (a，單位 mL)。另取 75mL 精製水於錐形燒瓶，與前述同樣準確加入 25mL 之 0.1N 溴酸溴化鉀溶液，3mL 之 35% 氫氯酸及 2g 碘化鉀，析出之碘用 0.1N 硫代硫酸鈉溶液滴定，並求出在此所耗用之硫代硫酸鈉溶液之量 (b，單位 mL)，依下式算出酚保存溶液 1mL 中酚之量 (mg)。

$$X = \frac{(b-a)F \times 1.569}{25}$$

式中，X：酚 (ppm)

a：25mL 酚保存溶液所耗用之 0.1N 硫代硫酸鈉溶液 (mL)

b：25mL 之 0.1N 溴酸溴化鉀溶液所耗用之 0.1N 硫代硫酸鈉溶液 (mL)

F：0.1N 硫代硫酸鈉溶液之濃度因數

準確取 $\frac{10}{X}$ mL 酚保存溶液於 1L 褐色量瓶，加入精製水配成 1L，充分混合後，取此液 100mL 於另一個 1L 量瓶，加精製水配成 1L，將此液作為酚標準原液。

(10) 澱粉溶液：取 1g 馬鈴薯澱粉與 100mL 精製水充分混合，將此混合物徐徐添加於一邊攪拌的 200mL 熱精製水中，經煮沸至使溶液成半透明狀後靜置放冷，取用其上澄液。

(11) 0.1N 溴酸溴化鉀溶液：秤取預先經 100°C 乾燥放冷於硫酸乾燥器之溴酸鉀 ($KBrO_3$) 2.783g 及溴化鉀 (KBr) 20g 共置於 1L 量瓶內，溶解於精製水配成 1L。

(12) 0.1N 硫代硫酸鈉溶液：取 26g 硫代硫酸鈉 ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) 及 0.2g 碳酸鈉 (Na_2CO_3) 一起溶解於約 1L 無二氧化碳精製水後，添加 10mL 異戊醇 [$(CH_3)_2CHCH_2CH_2OH$] 使成全量 1L。經充分搖動混合後蓋栓靜置 2 日後，標定濃度因數。

標定濃度因數係準確量取 25mL 之 0.1N 碘酸鉀溶液於 30mL 共栓錐形燒

瓶，加入 2g 碘化鉀(KI)及 5mL 之 6N 硫酸，隨即蓋栓輕輕搖動混合、靜置陰暗處 5 分鐘後，加入 100mL 精製水，將游離之碘以上述硫代硫酸鈉溶液滴定，至溶液顏色由褐色變為淡黃色即添加澱粉溶液，並滴定至所呈之藍色消失為止。求出在此所耗用之硫代硫酸鈉溶液之量 (a, 單位 mL)，依下式算出濃度因數。

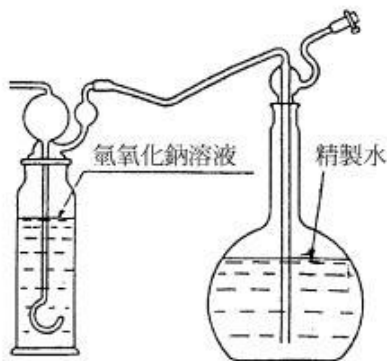
$$0.1N \text{ 硫代硫酸鈉溶液濃度因數}(F) = \frac{25}{a}$$

備考：另依同一條件作空白試驗以修正硫代硫酸鈉溶液之消耗量。

- (13) 0.1N 碘酸鉀溶液：預先經 120~140℃ 乾燥 1.5~2 小時後，放冷於硫酸乾燥器之標準試藥碘酸鉀(KIO₃)，秤取 3.567g 放於 1L 量瓶，溶解於精製水配成 1L。
- (14) 無二氧化碳精製水：係將再蒸餾精製水經煮沸除去二氧化碳及其他揮發物後，以不使從空氣中吸收二氧化碳狀態放冷至室溫，以如附錄圖 1 所示方法保存之。
- (15) 蒸餾裝置：如附錄圖 2 所示者，玻璃製共栓部位為磨砂共栓，蒸餾瓶內容量為 300~500mL。
- (16) 玻璃珠：如第 4.1(4)節。

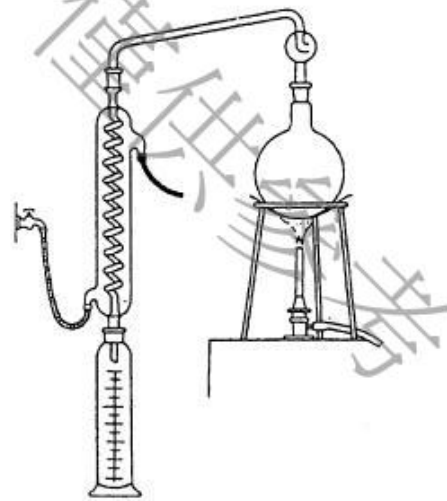
附錄圖 1

無二氧化碳精製水貯存裝置



附錄圖 2

蒸餾裝置



6.2 試驗步驟：取 200mL 供試水（酚含量 0.2~20 μg）於蒸餾瓶，添加硫酸銅溶液⁽¹⁾、數滴甲基橙指示劑及數顆玻璃珠，然後將磷酸溶液加至溶液呈現紅色後，蒸餾之。至餾液到約 180mL 即停止蒸餾，待至蒸餾瓶中之溶液無沸騰後追加 20mL 精製水，再繼續蒸餾出 20mL，使全餾液為 200mL。

此餾液中添加 10mL 磷酸緩衝液混合後，滴加 10N 氨水調節 pH 為 9.5(±0.2)⁽²⁾。

移入 300mL 分液漏斗後添加 1mL 4-氨基替比林充分混合，然後添加 2.5mL 鐵(III)氯化鉀充分混合，靜置 10 分鐘。接著加入 25mL 氯仿(三氯甲烷)激烈搖動 30 秒鐘混合後，靜置 5 分鐘分取氯仿層，用乾濾紙(FC)過濾⁽⁴⁾，將此濾液當作檢液。

取空白試驗水 200mL 放入燒杯內，另取數個燒杯各裝入適量(0.1~20mL)的酚標準原液並各加精製水配成 200mL，均以和檢液同樣的方法處理後，將其作為空白試驗液及標準液。

另將檢液，空白試驗液及標準液取於吸收槽(40mm 以上)，依吸光光度分析法以 460 μ m 波長測定吸光度，由此獲得的檢液及空白試驗液之吸光度，依檢量線求出試樣中之酚類濃度，得酚(ppm)含量。

註⁽³⁾ 預先加入硫酸銅溶液之保存試樣可省略此操作。

⁽³⁾ 使用 pH 計較方便。

⁽⁴⁾ 在分取所分離之氯仿層前，宜用濾紙捲成細棒拭去分液漏斗腳部之水分。

7. 胺

7.1 試藥

(1) 對二甲氨基苯甲醛粉末 [P-Dimethylamino benzaldehyde, $(\text{CH}_3)_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{CHO}$]

(2) 甲苯($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_5$)

7.2 試驗步驟：取 1mL 供試水於試管，加入 10~20mg 對二甲氨基苯甲醛，然後添加 0.5mL 甲苯混合後添加 0.1mL 之 95% 硫酸，靜置 1 分鐘，添加 1mL 乙醇作為檢液。對空白試驗水施予與供試水同樣操作，而將此作為空白試驗液。將檢液與空白試驗液作比色。此時若含胺時會呈現比空白試驗液顏色較深之黃色、紫色或桃紅色。

8. 氰

8.1 試藥

(1) 緩衝液：取 3.40g 磷酸二氫鉀及 3.55g 無水磷酸氫二鈉(Na_2HPO_4)一起溶解於精製水配成 1L。

(2) 氯胺 T 溶液：取 1.25g 氯胺 T [Chloramine T, $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{NC}(\text{Na}) \cdot 3\text{H}_2\text{O})$] 溶於精製水配成 100mL，本溶液於每次使用時重新調配。

(3) 吡啶吡啶混液：取 0.5g 之 1-苯-3-甲-5-吡啶 [1-Phenyl-3-methyl-5-Pyrazolone ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{ON}_2$)] 溶解於約 70 $^\circ\text{C}$ 之 200mL 精製水後放冷至室溫(此時若未完全溶解亦無妨)。另取 0.04g 雙-[1-苯-3-甲-5-吡啶($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2\text{N}_4$)] 溶於 40mL 吡啶 [Pyridine, $\text{CH}(\text{CHCN})_2\text{N}$]，並將兩液混合。本溶液於每次使用時重新調配。

8.2 試驗步驟：取 20mL 檢水(CN 含量 0.0002~0.01mg)於 50mL 比色管，檢水中添加 10mL 緩衝液及 0.25mL 氯胺 T 溶液，隨即密栓並輕輕搖動混合放置 2-3 分鐘後，加入 15mL 吡啶吡啶混液充分混合後於 20~30 $^\circ\text{C}$ 靜置 30 分鐘。若含氰時即呈現由淡紅色經紫色而變為穩定之藍色。

本法之靈敏度為約 0.01ppm。

備考 1. 由本法可測定之氟係來自氟離子、氟化氫、氟化氫等。

2. 本法亦可由硫氰酸離子(SCN⁻)發色。

9. 臭味及味道

9.1 試驗步驟：試驗水及空白試驗水各取約 100mL 個別裝入共栓錐形燒瓶內，輕輕蓋栓後加溫 40~50℃，開栓同時與比對之空白試驗比較，檢查有無臭味及味道。

引用標準：CNS 3464 艾氏凹壓試驗法

CNS 9007 塗料一般檢驗法—取樣及試驗一般條件

CNS 10352 顏料檢驗法

CNS 10756-1 塗料一般檢驗法(有關塗膜之視覺特性之試驗法)

CNS 10757 塗料一般檢驗法(塗膜抗化學性質之試驗部分)

CNS 11607 塗料一般檢驗法(有關塗膜之長期耐久性之試驗法)

附錄四

BS 7892:2000 規範

「Specification for seal coats on cement
mortar lined ductile iron pipes and fittings」

Specification for seal coats on cement mortar lined ductile iron pipes and fittings

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan, under license from BSPL.*

ICS 23.040.10; 25.220.60

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW



Committees responsible for this British Standard

The preparation of this British Standard was entrusted to Technical Committee PSE/10, Iron pipes and fittings, upon which the following bodies were represented:

Adhesive Tape Manufacturers' Association
British Compressed Gases Association
British Foundry Association
Ductile Iron Pipe Committee
Institute of British Foundrymen
Institution of Mechanical Engineers
Society of British Water Industries

This British Standard, having been prepared under the direction of the Sector Committee for Engineering, was published under the authority of the Standards Committee and comes into effect on 15 October 2000

© BSI 04-2001

First published August 1997
Second edition October 2000

The following BSI references relate to the work on this standard:
Committee reference PSE/10
Draft for comment 99/709721 DC

ISBN 0 580 28275 9

Amendments issued since publication

Amd. No.	Date	Comments
12085 Corrigendum No. 1	April 2001	Indicated by a sideline

This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan. Under license from BSPL.

Contents

	Page
Committees responsible	Inside front cover
Foreword	ii
Introduction	1
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	1
4 Type test requirements	2
4.1 Water quality (pH)	2
4.2 Durability	2
4.3 Abrasion resistance	2
5 Routine test requirements	2
5.1 General	2
5.2 Visual appearance	2
5.3 Coating thickness	2
5.4 Adhesion	2
5.5 Odour	3
6 Marking	3
Annex A (normative) Water quality (pH)	4
Annex B (normative) Durability type test for seal coats	4
Annex C (normative) Abrasion type test for seal coats	5
Annex D (normative) Dry coating thickness measurement using test film	6
Annex E (normative) Adhesion test	8
Annex F (normative) Odour test	9
Bibliography	11
Figure B.1 — Schematic diagram of durability rig	5
Figure C.1 — Schematic diagram of abrasion test rig	6

*Copyright © 2000 British Standards Institution Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan, under license from BSPL.*

Foreword

This British Standard has been prepared by Technical Committee PSE/10, Iron pipes and fittings and is a revision of BS 7892:1997 which is withdrawn.

WARNING This specification calls for the use of substances and/or procedures that may be injurious to health if adequate precautions are not taken. It refers only to technical suitability and does not absolve the user from legal obligations relating to health and safety at any stage.

Product certification

Users of this British Standard are advised to consider the desirability of third-party certification of product conformity with this British Standard based on testing and continuing surveillance, which may be coupled with assessment of a supplier's quality systems against the appropriate part of BS EN ISO 9000.

Enquiries as to the availability of third-party certification schemes will be forwarded by BSI to the Association of Certification Bodies. If a third-party certification scheme does not already exist, users should consider approaching an appropriate body from the list of association members.

Annexes A to F are normative.

A British Standard does not purport to include all the necessary provisions of a contract. Users of British Standards are responsible for their correct application.

Compliance with a British Standard does not of itself confer immunity from legal obligations. Attention is drawn to the following statutory regulations.

- Water Supply (Water Quality) Regulations 1989 as amended by the Water Supply (Water Quality) (Amendment) Regulations 1991 [1] (in particular Regulation 25).
- The Water Supply (Water Quality) (Scotland) Regulations 1990 [2] (in particular Regulation 25).

*This British Standard is published by BSI.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
& Finance, under license from BSI.*

Summary of pages

This document comprises a front cover, an inside front cover, pages i and ii, pages 1 to 11 and a back cover.

The BSI copyright notice displayed in this document indicates when the document was last issued.

Sideline in this document indicates the most recent changes by amendment.

Introduction

The intended purpose of the seal coat is to control leaching of lime (CaOH_2) and other hydroxides from the cement into the water supply such that the pH of conveyed water is maintained below 9.5 during normal use. A pH of 9.5 is the maximum prescribed value permitted by the Water Supply (Water Quality) Regulations 1989 as amended by the Water Supply (Water Quality) (Amendment) Regulations 1991 [1] and the Water Supply (Water Quality) (Scotland) Regulations 1990 [2]. The seal coat is also intended to control leaching of other deleterious materials which could cause their maximum permitted concentration or value to be exceeded.

Attention is drawn to the fact that National or International Water Supply or Water Quality Regulations, effective within the region, may apply when seal coated surfaces come into contact with, or are likely to come into contact with, potable water, when used:

- a) in accordance with the product manufacturer's instructions for use; and
- b) under any other appropriate conditions defined for that product within any published list of substances, products and processes approved to those Water Supply or Water Quality Regulations.

Seal coatings are usually specified where the pipeline is to convey soft water, and/or where water residence times are very long. Supply water quality data for such pipelines should be discussed between the prospective client and the manufacturer of the product so as to ensure the suitability of the product for use.

1 Scope

This British Standard is issued to satisfy the requirements of both users and suppliers for a standard specification for seal coats on cement mortar linings in ductile iron pipes and fittings. It specifies requirements for seal coatings for factory application to the surface of cement mortar linings which are factory applied to the interior of ductile iron pipes and fittings.

This standard is applicable to products for potable and other water applications.

This standard gives requirements for routine testing for visual appearance, coating thickness, adhesion and odour; it also gives type test requirements for water quality effects (pH), durability, and abrasion resistance.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this British Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. For undated references, the latest edition of the publication referred to applies.

BS 3887:1991, *Specification for pressure sensitive adhesive closing and sealing tapes.*

BS 3900-C.5:1997, *Methods of test for paints — Group C: Tests associated with paint film formation — Part C5: Determination of film thickness.*

BS 6068-2.50:1995, *Water quality — Part 2: Physical, chemical and biochemical methods — Section 2.50: Determination of pH.*

3 Terms and definitions

For the purposes of this British Standard the following terms and definitions apply:

3.1

ductile iron

cast iron in which graphite is present substantially in spheroidal form

3.2

fitting

casting other than a pipe which allows pipeline deviation or change of direction or bore

NOTE Flanged-socket pieces, flanged-spigot pieces and collars are classified as fittings.

3.3

test film

film of consistent thickness and density, morphologically stable at the temperature of the substrate during seal coat application, used as a surrogate surface for the measurement of coating thicknesses

3.4

pipe

casting of uniform bore, straight in axis, having either spigot, socket, flange or plain ends

NOTE This does not include flanged socket pieces, flanged spigot pieces and collars, which are classified as fittings.

3.5

product

seal coated, cement mortar lined iron pipe or fitting

3.6

seal coat

coating applied over a cement mortar lining to control the interactions between the lining and the contents of the main

3.7

type test

proof of design test which is done once and only repeated after change of design

4 Type test requirements

4.1 Water quality (pH)

When tested in accordance with annex A, the pH of the test water shall not exceed 9.5.

4.2 Durability

When tested for a period of six months in accordance with annex B the pH of the test water shall not exceed 9.5 after a 24 hour contact time.

4.3 Abrasion resistance

When tested in accordance with annex C, the pH of the test water shall not exceed 9.5.

5 Routine test requirements

5.1 General

Coating and re-work procedures (e.g. drying regimes for solvent based coatings and mixing and curing regimes for multi-component materials) shall be defined by the manufacturer of the product in agreement with the seal coat supplier, where necessary, such as to enable the product to conform to the requirements of this standard.

The tests specified in 5.2 to 5.5 shall be carried out on factory seal coated pipes or fittings as opposed to separately prepared test pieces.

Sampling plans for the tests specified in 5.2 to 5.5, specific to the seal coating material used, the size of the batch and the storage conditions, shall be specified by the coater for each batch of product.

Where a non-conforming product is identified, the product shall be re-worked such that it meets the requirements of this standard, or rejected.

5.2 Visual appearance

When examined visually, the seal coat shall be free of any defects likely to be detrimental to coating performance. The manufacturer of the product shall define those defects taking into account the nature of the seal coat material.

5.3 Coating thickness

When tested in accordance with BS 3900-C.5:1997, method 1A, or annex D of this standard, the wet or dry coating thickness shall be within the limits specified by the manufacturer of the product in conjunction with the seal coat supplier, where necessary.

5.4 Adhesion

When tested in accordance with annex E, the adhesive strength shall fall within the range of 1 to 3.

Adhesive failure of the seal coat to substrate bond shall be considered a fail. A cohesive failure within the seal coat or within the mortar (evidenced by a white/grey layer on the underside of the detached coating) shall not be considered as a fail in this test.

The area damaged during testing shall be repaired in accordance with a procedure defined by the manufacturer of the product in agreement with the seal coat supplier, where necessary.

5.5 Odour

When tested in accordance with annex F, no significant difference in odour shall be detectable, by inhalation, between test water and tap water.

NOTE 1 It is not normally considered necessary to test fittings for odour as they generally only constitute a minor proportion of a main; however, some installations are fittings intensive (for instance pumping stations) and odour tests should therefore be carried out on seal coated fittings by agreement between the manufacturer and the customer.

NOTE 2 Some seal coat materials (for instance solvent-based single pack coatings) which dry by solvent evaporation will exhibit odour levels which diminish with increased storage time. In these cases the pipe batches should be stored and released by the coater only when they exhibit an acceptable level of odour. Other seal coat materials (e.g. multi-component solvent-free epoxy coatings) which harden and cure by chemical reaction may not improve with increased storage time. Failure of the odour test of such materials probably results from a process abnormality which should be investigated. All pipes in the batch from which the test sample was taken should be considered suspect and quarantined pending investigation of the process records etc.

NOTE 3 This test is a production quality control test to be undertaken by the manufacturer of the product as part of his Quality Assurance procedures. It is not a test of conformance with the requirements of statutory regulations. Attention is drawn to the fact that statutory regulations may apply when seal coat materials are used in contact with potable water. See the Foreword and Introduction of this standard.

The manufacturer of the product shall define a procedure for the investigation and resolution of repeated failures of the odour test within a batch, taking into account the nature of the seal coat material and the process abnormalities which might cause repeated failure of the test.

6 Marking

Each seal coated pipe or fitting shall be identified with the pipe manufacturer's name or mark.

In addition, seal coated pipes shall be indelibly and legibly marked on the external surface with the following:

- a) either the batch number or code, or the date of manufacture (effectively date of seal coat application);
- b) the number and year of this standard¹⁾.

NOTE Where pipes are bundled, the markings required by a) and/or b) may be applied to the bundle rather than to individual pipes.

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan, under license from BSI.*

¹⁾ Marking BS 7892:2000 on or in relation to a product represents a manufacturer's declaration of conformity, i.e. a claim by or on behalf of the manufacturer that the product meets the requirements of the standard. The accuracy of the claim is solely the claimant's responsibility. Such a declaration is not to be confused with third-party certification of conformity.

Annex A (normative)

Water quality (pH)

A.1 Principle

The effect of a seal coated cement lined surface upon the water quality (pH) of a given test water is determined by measuring the pH of test water after three successive 24 h periods of exposure within a seal coated pipe sample.

A.2 Apparatus and materials

A.2.1 *DN 100 seal coated and cement lined pipe*, with double spigot and at least 150 mm long.

A.2.2 *Paraffin wax*, solvent-less epoxy, silicone resin or other suitable sealing material.

A.2.3 *Test water*, having bicarbonate alkalinity of approximately 26 mg/l as CaCO₃, at equilibrium with the atmosphere (i.e. no artificially induced carbon dioxide level) and with a pH of 8 ± 0.1.

This water shall be produced by dissolving (0.0278 ± 0.0005)g of CaCl₂ (calcium chloride) and (0.0420 ± 0.0005)g of NaHCO₃ (sodium bicarbonate) in 1 l of distilled water.

NOTE It should be noted that such a soft, poorly buffered water would be considered to represent the worst case for UK waters.

A.2.4 *Petroleum jelly*

A.2.5 *pH meter*, having capacity to measure pH 0 to pH 14, with discrimination of a pH of 0.01 or better.

A.3 Procedure

A.3.1 Seal the pipe (A.2.1) at its lower end in molten paraffin wax, uncured liquid epoxy, uncured silicone resin or other suitable sealing material (A.2.2). Allow the sealant to cool or harden.

A.3.2 Fill the pipe with test water (A.2.3) at room temperature.

A.3.3 Cover the top of the pipe with a glass plate and seal it with petroleum jelly (A.2.4).

A.3.4 After (24 ± 1) h, dispose of the water and refill with test water (A.2.3).

A.3.5 Repeat A.3.4 twice, sampling the water after the third fill period.

A.3.6 Determine the pH of the water supply with the pH meter (A.2.5) in accordance with BS 6068-2.50.

Annex B (normative)

Durability type test for seal coats

B.1 Principle

The ability of a seal coat to maintain its sealing efficiency for an extended period is determined by measuring the performance of the seal coated surface after exposure to flowing water for six months.

B.2 Materials

B.2.1 *Test water*, as defined in annex A.

B.3 Apparatus

B.3.1 *Pump*, capable of a pumping rate in accordance with B.5.2.

B.3.2 *pH meter*, having capacity to measure pH 0 to pH 14, with discrimination of a pH of 0.01 or better.

B.4 Preparation of test samples

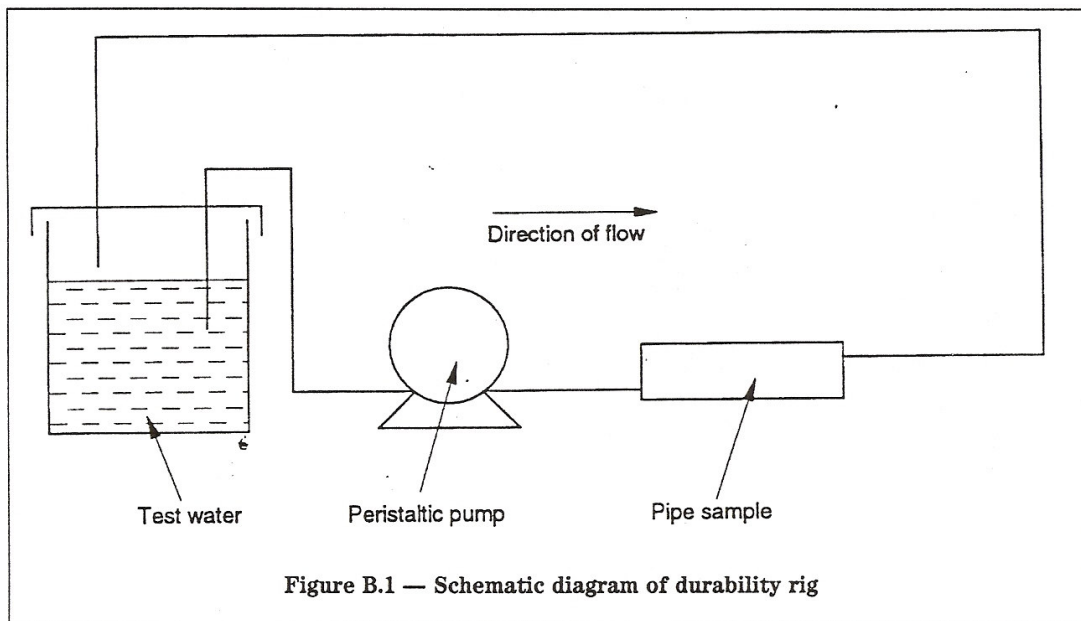
The test shall be carried out using nominally 500 mm long, DN 100, sections of seal coated, cement lined, ductile iron pipe samples. These samples shall be cut from pipes taken from normal production batches.

B.5 Procedure

B.5.1 Seal both pipe ends to allow water to be recirculated through the pipe sample and set up apparatus in accordance with Figure B.1. Ensure that the test water does not come into direct contact with the cement lining which can be exposed at the pipe ends.

B.5.2 Using a peristaltic pump (B.3.1), recirculate a total volume of 40 l of test water (B.2.1) through the pipe sample. The retention time of water in the test pipe shall be approximately 1 h. The test water shall be replaced every seven days.

B.5.3 After a minimum of 26 weeks, assess the lime leaching potential by replacing the test water and measuring its pH using the pH meter (B.3.2), in accordance with BS 6068-2.50, under static flow conditions after a minimum 24 h contact time.



Annex C (normative)

Abrasion type test for seal coats

C.1 Principle

The resistance of a seal coated, cement lined surface to withstand the abrasion which may result from swabbing during the commissioning or use of a pipeline is determined by testing the performance of the seal coated surface after five cycles of simulated abrasive pigging.

C.2 Apparatus and materials

C.2.1 DN 100 cement mortar lined, seal coated pipe, of standard length, having a spigot at one end.

C.2.2 Soft bare swab, bullet shaped, base coated, 125 mm nominal diameter, 28 to 32 kg/m³ nominal density.

C.2.3 Silica sand, mean grading 500 µm, maximum grain size 1 000 µm.

C.2.4 Polypropylene or nylon rope, minimum of 10 m in length.

C.2.5 Test water, as defined in annex A.

C.2.6 End cap for pipe, fitted with a valve.

C.2.7 pH meter, having capacity to measure pH 0 to pH 14, with discrimination of a pH of 0.01 or better.

C.3 Procedure

C.3.1 Fit the rope (C.2.4) through the swab (C.2.2), such that the swab may be pulled through the pipe, tapered nose first.

C.3.2 Incline the pipe (C.2.1) relative to the horizontal with the spigot at the lower end as shown in Figure C.1.

- C.3.3 At the lower end of the pipe introduce (100 ± 2) g of sand (C.2.3) and the swab. Bring the rope through the pipe and out of the higher end.
- C.3.4 Fit the lower end of the pipe with an end cap fitted with a valve (C.2.6).
- C.3.5 Fill the pipe from the spigot end with tap water.
- C.3.6 Pull the swab through the pipe by hand, at a rate between 0.25 m/s and 0.5 m/s.
- C.3.7 Repeat four times (total of five passages of swab). Fill the pipe with test water (C.2.5), leave for a maximum of 2 min, then drain the water through the valve.
- C.3.8 Fill the pipe with test water and leave for a minimum of 24 h.
- C.3.9 Empty the water from the pipe through the valve.
- C.3.10 Rinse the pipe for a minimum of 1 h with tap water.
- C.3.11 Empty the water from the pipe through the valve.
- C.3.12 Fill the pipe with test water (C.2.5) and leave for a maximum of 2 min.
- C.3.13 Empty the test water from the pipe through the valve.
- C.3.14 Fill the pipe with test water (C.2.5) and leave for a minimum of 24 h.
- C.3.15 Drain approximately half the contents of the pipe. Measure the pH of the test water using the pH meter (C.2.7) in accordance with BS 6068-2.50.

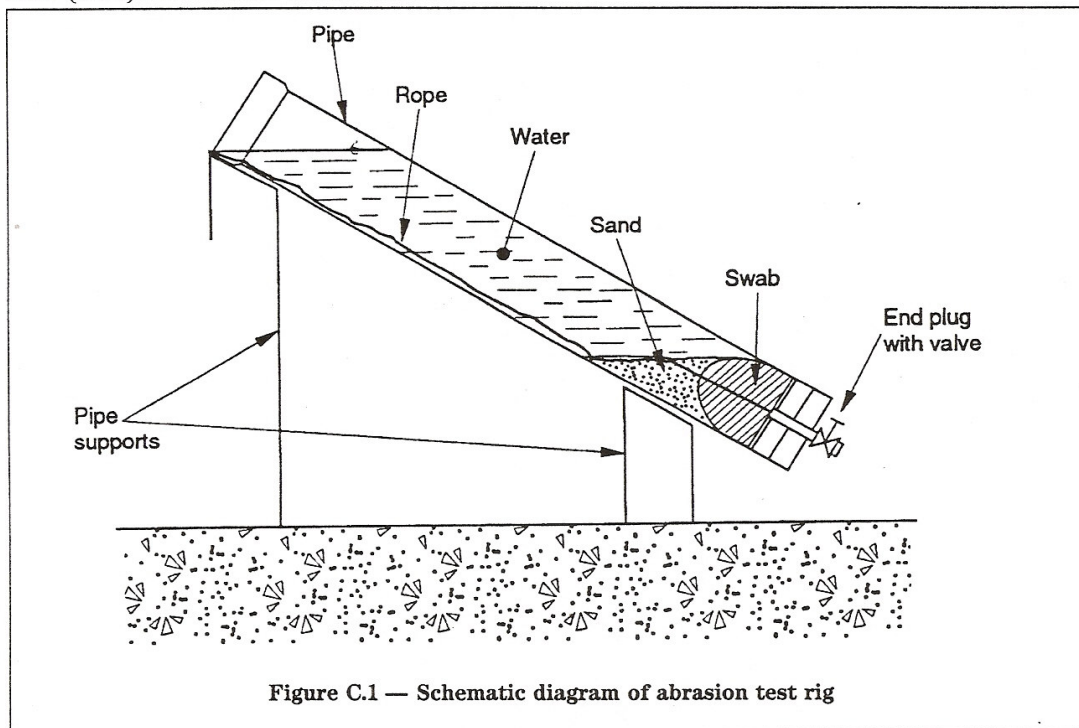


Figure C.1 — Schematic diagram of abrasion test rig

Annex D (normative)

Dry coating thickness measurement using test film

D.1 Principle

The average thickness of dry coating on a test film is determined to within $5 \mu\text{m}$ either by using a micrometer or by using a weight and area method.

D.2 Apparatus

D.2.1 *Test film*, having a minimum area of $10\,000 \text{ mm}^2$.

D.2.2 *Micrometer*, having the capacity to measure to at least 10 mm , with a resolution of $5 \mu\text{m}$ or less.

D.2.3 *Tape measure*, at least 1 m in length, with a resolution of 1 mm.

D.2.4 *Analytical balance*, having at least 200 g capacity and a resolution of 0.01 g.

D.3 Preparation of test samples

D.3.1 The test shall be carried out using a piece of test film (D.2.1) of known thickness and mass/unit area with a minimum area of 10 000 mm².

D.3.2 Immediately prior to coating application, attach the piece of test film to the surface of the lining using self-adhesive tape.

NOTE The test film may be attached to the surface by applying tape to two edges of the film.

D.3.3 After the coating application, remove the test film. Allow the coating on the film to dry.

D.3.4 When the coating on the film is dry, determine the dry film thickness using one or both of the methods D.4 or D.5.

D.4 Micrometer measurement method

D.4.1 Procedure

D.4.1.1 Select positions on the test film, where readings are to be taken, that are free from surface irregularities and are not less than 20 mm from the coated test film edge and not less than 20 mm apart.

For large areas of coated test film, select the number and distribution of the test areas to give a representative indication of the coated film thickness.

D.4.1.2 Position the micrometer (D.2.2) with the fixed jaw in contact with the underside (uncoated side) of the coated test film immediately opposite the first test area. Gently screw home the movable jaw until a resistance is felt and no further movement of the jaw occurs on turning the ratchet.

Note the reading on the micrometer. Record the reading on a test sheet.

D.4.1.3 Release the micrometer and repeat the whole procedure (D.4.1.2) at each of the other test positions.

D.4.2 Calculation

D.4.2.1 Calculate the film thickness at each point by subtracting the mean thickness of the test film from each thickness reading.

NOTE The mean thickness of the test film, if unknown, may be determined in accordance with D.4.1.2, using an uncoated test film sample, taking the average of ten or more results thus obtained.

D.4.2.2 Calculate the mean value for the thickness of the coating to the nearest multiple of 5 µm or less (depending upon the accuracy of the micrometer).

D.5 Weight and area method

D.5.1 Procedure

D.5.1.1 Cut away areas of the coated test film which have adhesive tape attached to produce a rectangular sample.

D.5.1.2 Using a tape measure (D.2.3), measure the sides of the sample to an accuracy of 1 mm, and then determine the area of the remaining film *A* in square metres (m²) to three significant figures.

D.5.1.3 Weigh the coated test film *G* in grams (g) to three significant figures using the balance (D.2.4).

D.5.1.4 Determine the coating thickness *T* in microns (µm), using the following equation:

$$T = \frac{1}{D} \times \frac{G - W}{A}$$

where

D is the density of the coating dry film in grams per cubic centimetre (g/cm³); and

W is the mass per unit area of test film in grams per square metre (g/m²).

Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan, under license from BSPL.

Annex E (normative)

Adhesion test

E.1 Principle

The adhesion of a seal coat to a cement mortar substrate is assessed by applying and removing clear pressure sensitive self adhesive tape over an X cut made in the film.

E.2 Apparatus

E.2.1 Cutting tool, sharp bladed knife, scalpel, high speed micro abrasive disc or other cutting device.

E.2.2 Cutting guide, steel or other hard metal straight edge to ensure straight cuts.

E.2.3 Soft brush, for removing debris from the cut area.

E.2.4 Illumination, a source of light to assist in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

E.2.5 Tape, 25 mm wide clear or semi-transparent pressure sensitive self-adhesive tape, conforming to BS 3887.

E.3 Procedure

E.3.1 Select an area of seal coated surface and ensure that it is clean and dry.

E.3.2 Using the cutting tool (E.2.1) with the straight edge (E.2.2) as a guide, in one steady motion, make two cuts in the film, each about 50 mm long, which intersect near their middle with a smaller angle of between 30° and 45°. Remove any cutting debris using a soft brush (E.2.3).

E.3.3 Using the source of illumination (E.2.4), inspect the incisions to establish that the coating film has been penetrated. If not, repeat E.3.2.

E.3.4 Remove a length of self-adhesive tape (E.2.5) at least 75 mm long from the roll, and place the centre of the tape at the intersection of the cuts in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place using finger pressure in the area of the incisions.

E.3.5 Within (60 ± 30) s of application, remove the tape by grasping the free end and pulling it off rapidly (not jerked) perpendicular to the plane of the seal coated lining.

E.3.6 Inspect the area of the tape corresponding to the position of the X cut for removal of seal coat from the substrate, and determine the adhesion in terms of the following scale:

- 1) no peeling or removal of seal coat;
- 2) traces of peeling or removal along incisions or at the intersection;
- 3) jagged removal of seal coat along incisions up to 2 mm either side;
- 4) jagged removal of seal coat along incisions up to 4 mm either side;
- 5) removal of most of the area of the X onto the tape;
- 6) removal beyond the area of the X.

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Service of Standards,
Technology and Inspection, Ministry of Economic
& Finance, under license from BSI.*

Annex F (normative)

Odour test

F.1 Principle

The capacity of a seal coated, cement lined surface to release odoriferous substances into tap water is assessed by comparing the odour of test water which has been in contact with the seal coat for 24 h with that of a control sample.

F.2 Apparatus and materials

F.2.1 *Cement mortar lined, seal coated pipe*, of standard length, having a spigot at one end.

F.2.2 *Potable tap water*.

F.2.3 *End cap for pipe*, fitted with a valve.

F.2.4 *Screw top glass bottles*, which are clean, airtight, and have at least 500 ml capacity.

F.2.5 *Glass bottles*, which are parallel sided, stoppered, clean and have at least 500 ml capacity.

F.3 Procedure

F.3.1 Hold the pipe (F.2.1) with its axis at an angle to the horizontal in an environment representative of that of the production batch, such that the test water is in contact with the seal coated surface. Fit an end cap (F.2.3), which permits sampling and draining of the test water, to the lower end of the pipe. Drain the pipe through the end cap.

F.3.2 Fully charge the pipe with tap water (F.2.2).

F.3.3 After a minimum of 24 h, collect a test water sample from the pipe in a screw top glass bottle (F.2.4), filling the bottle so as to leave only a minimal air gap.

F.3.4 Collect a tap water control sample in a screw top glass bottle (F.2.4), filling the bottle so as to leave only a minimal air gap. Store the test water sample and the tap water control sample in the dark at 23 °C to 27 °C until required.

F.3.5 Carry out steps F.3.6 to F.3.8 when the test water and tap water control samples have stabilized at 23 °C to 27 °C. The odour test shall be conducted by suitably trained individuals in a controlled environment designated as suitable for such testing which shall provide odour-free, ventilated air and seclusion from distraction and noise.

F.3.6 Remove the screw top from the test water sample bottle and immediately either:

- dispose of approximately one-half of the contents; or
- transfer approximately 200 ml of the test water into the 500 ml stoppered, glass bottle (F.2.5).

F.3.7 After refitting the stopper or screw top, shake the bottle containing the test water or control sample vigorously by hand, remove the stopper or screw top, immediately inhaling the vapour which has accumulated in the neck of the bottle.

F.3.8 Repeat steps F.3.6 and F.3.7 with the tap water sample, inhaling the vapour as a comparison test.

If no significant difference can be determined between the odour of test water and control samples, then the odour test shall be repeated by another suitably trained individual. Only if neither trained individual can detect a significant difference between the odour of the test water and control samples may the batch be considered to have passed and be released.

F.3.9 If the test water sample fails, drain the test sample completely and repeat the original procedure on the original test sample or a new sample from the same batch. No test sample shall be tested more than twice. The product shall be deemed non-conforming when a total of six consecutive failures have been recorded. (See also 5.5, Note 2.)

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Tel Aviv, under license from BSI.*

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Technology and Inspection, Ministry of Commerce
and Industry, London, W.C.2.*

Bibliography

Standards publications

BS EN ISO 9000, *Quality management and quality assurance standards.*

Other documents

- [1] GREAT BRITAIN. Water Supply (Water Quality) Regulations 1989 as amended by the Water Supply (Water Quality) (Amendment) Regulations 1991. London: The Stationery Office.
- [2] GREAT BRITAIN. Water Supply (Water Quality) (Scotland) Regulations 1990. London: The Stationery Office.

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Technology and Inspection, Ministry of Technology*

BSI — British Standards Institution

BSI is the independent national body responsible for preparing British Standards. It presents the UK view on standards in Europe and at the international level. It is incorporated by Royal Charter.

Revisions

British Standards are updated by amendment or revision. Users of British Standards should make sure that they possess the latest amendments or editions.

It is the constant aim of BSI to improve the quality of our products and services. We would be grateful if anyone finding an inaccuracy or ambiguity while using this British Standard would inform the Secretary of the technical committee responsible, the identity of which can be found on the inside front cover. Tel: 020 8996 9000. Fax: 020 8996 7400.

BSI offers members an individual updating service called PLUS which ensures that subscribers automatically receive the latest editions of standards.

Buying standards

Orders for all BSI, international and foreign standards publications should be addressed to Customer Services. Tel: 020 8996 9001. Fax: 020 8996 7001. Standards are also available from the BSI website at <http://www.bsi-global.com>.

In response to orders for international standards, it is BSI policy to supply the BSI implementation of those that have been published as British Standards, unless otherwise requested.

Information on standards

BSI provides a wide range of information on national, European and international standards through its Library and its Technical Help to Exporters Service. Various BSI electronic information services are also available which give details on all its products and services. Contact the Information Centre. Tel: 020 8996 7111. Fax: 020 8996 7048.

Subscribing members of BSI are kept up to date with standards developments and receive substantial discounts on the purchase price of standards. For details of these and other benefits contact Membership Administration. Tel: 020 8996 7002. Fax: 020 8996 7001. Further information about BSI is available on the BSI website at <http://www.bsi-global.com>.

Copyright

Copyright subsists in all BSI publications. BSI also holds the copyright, in the UK, of the publications of the international standardization bodies. Except as permitted under the Copyright, Designs and Patents Act 1988 no extract may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means – electronic, photocopying, recording or otherwise – without prior written permission from BSI.

This does not preclude the free use, in the course of implementing the standard, of necessary details such as symbols, and size, type or grade designations. If these details are to be used for any other purpose than implementation then the prior written permission of BSI must be obtained.

If permission is granted, the terms may include royalty payments or a licensing agreement. Details and advice can be obtained from the Copyright Manager. Tel: 020 8996 7070.

BSI
389 Chiswick High Road
London
W4 4AL

*Copyright British Standards Publishing Ltd.
This copy has been made by the Bureau of Standards,
Metrology and Inspection, Ministry of Economic
Affairs, Taiwan, under license from BSI.*

附錄五

水質浸泡試驗之成果數據

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type1-DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)

水源：鹽井淡化水(成功淨水場)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫(°C)	pH值	鹼度(mg/L)	TDS(mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	22.9	6.46	60	255	14	-2.38
2	104.1.16 AM 9:10	22.8	6.97	59	256	15	-1.85
3	104.1.16 AM 9:30	22.6	7.08	58	287	18	-1.68
4	104.1.16 AM 10:00	22.7	7.12	68	321	19	-1.56
5	104.1.16 AM 11:00	23.3	7.23	71	325	17	-1.47
6	104.1.16 PM 13:00	23.6	7.31	76	315	18	-1.33
7	104.1.16 PM 17:00	18.0	8.69	90	381	15	-0.05
8	104.1.17 AM 9:00	19.2	9.46	109	445	14	0.78
9	104.1.18 AM 9:00	17.1	9.77	112	431	12	1.00
10	104.1.19 AM 9:00	19.7	10.12	108	450	12	1.37
11	104.1.20 AM 9:00	21.3	10.41	115	489	19	1.90
12	104.1.21 AM 9:00	20.1	10.77	121	479	17	2.22
13	104.1.22 AM 9:00	20.4	10.94	131	485	21	2.52
14	104.1.30 AM 9:00	20.6	11.31	219	701	94	3.73
15	104.2.6 AM 9:00	15.4	11.59	221	797	141	4.09
16	104.2.13 AM 9:00	26.3	11.53	231	923	178	4.29

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type2-DIP+水泥襯裡(第2型卜特蘭水泥)

水源：鹽井淡化水(成功淨水場)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫(°C)	pH值	鹼度(mg/L)	TDS(mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	23.3	6.75	72	271	15	-1.98
2	104.1.16 AM 9:10	22.7	6.90	59	262	16	-1.89
3	104.1.16 AM 9:30	22.6	6.95	62	264	21	-1.71
4	104.1.16 AM 10:00	23.3	6.96	61	278	20	-1.72
5	104.1.16 AM 11:00	22.9	7.04	60	282	20	-1.68
6	104.1.16 PM 13:00	23.1	7.31	62	270	18	-1.41
7	104.1.16 PM 17:00	18.0	8.57	67	317	17	-0.23
8	104.1.17 AM 9:00	19.0	10.26	86	373	17	1.57
9	104.1.18 AM 9:00	17.1	10.95	136	416	11	2.23
10	104.1.19 AM 9:00	19.6	11.11	155	438	9	2.39
11	104.1.20 AM 9:00	21.3	11.22	176	483	9	2.57
12	104.1.21 AM 9:00	19.9	11.38	225	488	16	3.07
13	104.1.22 AM 9:00	20.3	11.46	246	479	10	2.99
14	104.1.30 AM 9:00	20.5	11.66	324	686	12	3.35
15	104.2.6 AM 9:00	15.3	11.96	306	729	20	3.72
16	104.2.13 AM 9:00	25.9	11.92	348	760	18	3.88

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type3-3. DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)+環氧樹脂漆封層

水源：鹽井淡化水(成功淨水場)

序 號	採樣 日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	23.5	6.80	67	280	14	-1.99
2	104.1.16 AM 9:10	22.4	7.10	67	260	15	-1.67
3	104.1.16 AM 9:30	22.7	7.13	59	270	18	-1.62
4	104.1.16 AM 10:00	23.6	7.21	68	253	17	-1.48
5	104.1.16 AM 11:00	23.2	7.31	72	256	17	-1.36
6	104.1.16 PM 13:00	23.1	7.52	75	258	18	-1.11
7	104.1.16 PM 17:00	18.0	7.63	74	282	17	-1.11
8	104.1.17 AM 9:00	18.9	7.85	84	302	19	-0.78
9	104.1.18 AM 9:00	17.0	7.91	91	301	27	-0.56
10	104.1.19 AM 9:00	19.7	7.96	93	303	27	-0.46
11	104.1.20 AM 9:00	21.6	8.07	105	297	40	-0.10
12	104.1.21 AM 9:00	20.1	8.09	106	276	40	-0.09
13	104.1.22 AM 9:00	20.4	8.15	105	283	42	-0.01
14	104.1.30 AM 9:00	20.5	8.26	112	275	46	0.17
15	104.2.6 AM 9:00	15.2	8.33	96	295	46	0.57
16	104.2.13 AM 9:00	26.6	8.34	93	326	47	0.25

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type4-鑄鐵管+環氧樹脂粉體塗裝

水源：鹽井淡化水（成功淨水場）

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	23.2	6.86	57	284	17	-1.92
2	104.1.16 AM 9:10	22.7	6.97	60	246	16	-1.81
3	104.1.16 AM 9:30	23.0	7.05	64	234	15	-1.72
4	104.1.16 AM 10:00	23.4	7.11	63	263	19	-1.57
5	104.1.16 AM 11:00	23.3	7.15	64	258	17	-1.57
6	104.1.16 PM 13:00	23.2	7.27	62	250	17	-1.46
7	104.1.16 PM 17:00	17.8	7.36	66	276	18	-1.41
8	104.1.17 AM 9:00	19.2	7.47	68	286	19	-1.25
9	104.1.18 AM 9:00	17.0	7.43	70	274	19	-1.30
10	104.1.19 AM 9:00	19.9	7.46	66	273	20	-1.23
11	104.1.20 AM 9:00	21.8	7.46	72	282	23	-1.11
12	104.1.21 AM 9:00	20.3	7.40	70	244	23	-1.19
13	104.1.22 AM 9:00	20.7	7.55	69	228	22	-1.06
14	104.1.30 AM 9:00	20.6	7.78	72	274	24	-0.78
15	104.2.6 AM 9:00	15.3	7.82	62	266	30	-0.79
16	104.2.13 AM 9:00	26.6	7.83	63	288	29	-0.63

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type5-耐衝擊硬質聚氯乙烯塑膠管(HIWP)

水源：鹽井淡化水（成功淨水場）

序 號	採樣 日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	23.5	6.94	62	280	14	-1.88
2	104.1.16 AM 9:10	22.8	6.98	64	245	16	-1.77
3	104.1.16 AM 9:30	23.2	7.00	58	254	16	-1.79
4	104.1.16 AM 10:00	24.1	7.06	59	262	17	-1.69
5	104.1.16 AM 11:00	23.7	7.08	60	254	17	-1.66
6	104.1.16 PM 13:00	23.6	7.21	59	235	16	-1.56
7	104.1.16 PM 17:00	19.4	7.29	60	267	16	-1.55
8	104.1.17 AM 9:00	18.5	7.37	61	271	18	-1.42
9	104.1.18 AM 9:00	17.0	7.38	62	241	18	-1.42
10	104.1.19 AM 9:00	18.8	7.36	60	255	16	-1.48
11	104.1.20 AM 9:00	20.5	7.41	61	257	18	-1.35
12	104.1.21 AM 9:00	19.5	7.43	58	226	17	-1.38
13	104.1.22 AM 9:00	19.4	7.55	63	225	17	-1.22
14	104.1.30 AM 9:00	20.0	7.56	60	230	16	-1.26
15	104.2.6 AM 9:00	15.0	7.66	60	236	18	-1.11
16	104.2.13 AM 9:00	22.8	7.53	71	240	31	-0.89

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type1-DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)

水源：湖庫水(成功淨水場)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫(°C)	pH值	鹼度(mg/L)	TDS(mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	17.8	7.19	220	833	79	-0.53
2	104.1.16 AM 9:10	18.4	7.31	215	857	72	-0.45
3	104.1.16 AM 9:30	19.6	7.33	213	849	76	-0.40
4	104.1.16 AM 10:00	20.8	7.26	210	850	79	-0.44
5	104.1.16 AM 11:00	23.6	7.28	209	817	81	-0.37
6	104.1.16 PM 13:00	24.5	7.68	211	821	74	0.01
7	104.1.16 PM 17:00	21.8	8.02	197	810	79	0.31
8	104.1.17 AM 9:00	18.8	8.78	194	854	73	0.98
9	104.1.18 AM 9:00	17.1	9.74	181	847	39	1.62
10	104.1.19 AM 9:00	18.6	10.16	177	886	37	2.02
11	104.1.20 AM 9:00	19.9	10.41	179	880	23	2.09
12	104.1.21 AM 9:00	19.0	10.66	177	873	20	2.26
13	104.1.22 AM 9:00	18.2	10.94	182	892	17	2.47
14	104.1.30 AM 9:00	20.4	11.48	287	958	13	3.11
15	104.2.6 AM 9:00	15.5	11.78	353	1073	25	3.70
16	104.2.13 AM 9:00	25.6	11.59	358	1151	26	3.67

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type2-DIP+水泥襯裡(第2型卜特蘭水泥)

水源：湖庫水(成功淨水場)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	17.7	7.34	219	828	72	-0.42
2	104.1.16 AM 9:10	18.3	7.33	212	808	76	-0.41
3	104.1.16 AM 9:30	19.6	7.34	216	826	74	-0.39
4	104.1.16 AM 10:00	20.7	7.29	214	832	83	-0.38
5	104.1.16 AM 11:00	23.1	7.35	211	789	82	-0.29
6	104.1.16 PM 13:00	23.9	7.67	210	844	82	0.03
7	104.1.16 PM 17:00	20.2	7.97	217	831	85	0.31
8	104.1.17 AM 9:00	18.7	8.40	191	862	85	0.66
9	104.1.18 AM 9:00	17.0	9.16	183	831	60	1.23
10	104.1.19 AM 9:00	18.8	9.73	183	875	43	1.68
11	104.1.20 AM 9:00	19.9	10.12	195	869	26	1.89
12	104.1.21 AM 9:00	19.0	10.43	199	881	19	2.06
13	104.1.22 AM 9:00	18.3	10.61	197	909	17	2.17
14	104.1.30 AM 9:00	20.4	11.00	188	892	7.8	2.24
15	104.2.6 AM 9:00	15.5	11.38	218	889	8.8	2.66
16	104.2.13 AM 9:00	25.6	11.26	208	975	9.8	2.70

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type3-3. DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)+環氧樹脂漆封層

水源：湖庫水(成功淨水場)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	17.7	7.37	219	8.43	74	-0.38
2	104.1.16 AM 9:10	18.2	7.45	218	822	71	-0.31
3	104.1.16 AM 9:30	19.3	7.40	217	830	82	-0.29
4	104.1.16 AM 10:00	20.3	7.36	220	823	83	-0.30
5	104.1.16 AM 11:00	22.8	7.38	219	824	80	-0.26
6	104.1.16 PM 13:00	21.1	7.45	216	798	82	-0.21
7	104.1.16 PM 17:00	19.5	7.67	213	794	81	-0.02
8	104.1.17 AM 9:00	18.6	7.88	225	853	84	0.21
9	104.1.18 AM 9:00	16.9	7.90	222	808	83	0.20
10	104.1.19 AM 9:00	18.8	7.97	215	852	79	0.25
11	104.1.20 AM 9:00	20.0	8.07	216	840	80	0.38
12	104.1.21 AM 9:00	18.8	8.18	224	841	80	0.49
13	104.1.22 AM 9:00	18.9	8.27	224	851	78	0.57
14	104.1.30 AM 9:00	20.3	8.39	211	796	75	0.67
15	104.2.6 AM 9:00	15.4	8.50	231	821	77	0.76
16	104.2.13 AM 9:00	24.9	8.49	248	860	82	0.94

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type4-鑄鐵管+環氧樹脂粉體塗裝

水源：湖庫水（成功淨水場）

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	17.8	7.29	217	833	68	-0.50
2	104.1.16 AM 9:10	18.2	7.33	213	804	75	-0.42
3	104.1.16 AM 9:30	19.3	7.32	219	822	80	-0.37
4	104.1.16 AM 10:00	19.0	7.27	217	808	81	-0.42
5	104.1.16 AM 11:00	22.5	7.28	214	818	78	-0.39
6	104.1.16 PM 13:00	22.3	7.39	215	797	76	-0.28
7	104.1.16 PM 17:00	19.1	7.46	212	786	85	-0.22
8	104.1.17 AM 9:00	18.5	7.50	215	794	85	-0.18
9	104.1.18 AM 9:00	17.0	7.51	217	781	81	-0.21
10	104.1.19 AM 9:00	18.9	7.58	212	813	78	-0.14
11	104.1.20 AM 9:00	20.0	7.67	212	838	84	-0.01
12	104.1.21 AM 9:00	18.9	7.59	219	821	84	-0.09
13	104.1.22 AM 9:00	19.4	7.61	223	839	82	-0.06
14	104.1.30 AM 9:00	20.4	7.65	215	842	80	-0.04
15	104.2.6 AM 9:00	15.3	7.59	219	822	86	-0.13
16	104.2.13 AM 9:00	24.8	7.47	283	841	90	0.02

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type5-耐衝擊硬質聚氯乙烯塑膠管(HIWP)

水源：湖庫水（成功淨水場）

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	17.8	7.22	216	847	73	-0.54
2	104.1.16 AM 9:10	17.9	7.34	217	854	76	-0.40
3	104.1.16 AM 9:30	18.5	7.31	218	812	79	-0.40
4	104.1.16 AM 10:00	20.2	7.39	214	805	78	-0.31
5	104.1.16 AM 11:00	20.5	7.41	213	809	78	-0.29
6	104.1.16 PM 13:00	22.7	7.42	216	787	74	-0.26
7	104.1.16 PM 17:00	19.3	7.45	211	790	78	-0.26
8	104.1.17 AM 9:00	18.1	7.46	216	805	82	-0.24
9	104.1.18 AM 9:00	16.7	7.44	219	787	81	-0.28
10	104.1.19 AM 9:00	18.2	7.50	210	827	77	-0.24
11	104.1.20 AM 9:00	19.1	7.54	213	845	80	-0.17
12	104.1.21 AM 9:00	18.7	7.55	203	866	80	-0.19
13	104.1.22 AM 9:00	18.9	7.59	215	887	79	-0.13
14	104.1.30 AM 9:00	19.6	7.45	212	889	78	-0.27
15	104.2.6 AM 9:00	15.0	7.52	213	813	77	-0.26
16	104.2.13 AM 9:00	21.6	7.51	218	840	85	-0.13

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type1-DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)

水源：純海淡水(馬公海淡廠)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	19.3	7.79	26	278	23	-1.26
2	104.1.16 AM 9:10	20.0	8.07	25	281	24	-0.97
3	104.1.16 AM 9:30	20.4	8.17	29	296	24	-0.80
4	104.1.16 AM 10:00	21.0	8.59	29	297	25	-0.35
5	104.1.16 AM 11:00	22.8	9.02	31	327	25	0.12
6	104.1.16 PM 13:00	23.8	9.32	42	344	22	0.51
7	104.1.16 PM 17:00	18.9	9.5	49	381	22	0.68
8	104.1.17 AM 9:00	18.5	9.77	52	392	20	0.92
9	104.1.18 AM 9:00	17.7	9.91	56	410	20	1.08
10	104.1.19 AM 9:00	21.9	10.11	58	427	20	1.35
11	104.1.20 AM 9:00	22.1	10.19	60	437	20	1.45
12	104.1.21 AM 9:00	21.0	10.59	74	469	23	1.97
13	104.1.22 AM 9:00	25.4	10.68	86	500	28	2.27
14	104.1.30 AM 9:00	21.1	11.28	160	663	90	3.56
15	104.2.6 AM 9:00	24.7	11.34	171	674	92	3.70
16	104.2.13 AM 9:00	25.4	11.39	182	680	95	3.80

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type2-DIP+水泥襯裡(第2型卜特蘭水泥)

水源：純海淡水(馬公海淡廠)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	19.9	7.83	25	277	24	-1.21
2	104.1.16 AM 9:10	19.8	8.09	26	283	24	-0.93
3	104.1.16 AM 9:30	20.4	8.14	26	282	27	-0.82
4	104.1.16 AM 10:00	21.0	8.61	28	291	27	-0.31
5	104.1.16 AM 11:00	22.4	8.95	27	332	29	0.05
6	104.1.16 PM 13:00	24.0	9.40	30	355	31	0.59
7	104.1.16 PM 17:00	18.7	9.95	36	392	31	1.14
8	104.1.17 AM 9:00	18.7	10.73	62	433	58	2.41
9	104.1.18 AM 9:00	17.7	11.36	116	472	65	3.34
10	104.1.19 AM 9:00	21.8	11.39	158	555	79	3.63
11	104.1.20 AM 9:00	21.8	11.51	196	598	96	3.92
12	104.1.21 AM 9:00	20.8	11.63	229	642	100	4.11
13	104.1.22 AM 9:00	24.6	11.67	260	689	107	4.28
14	104.1.30 AM 9:00	20.9	11.85	383	820	116	4.59
15	104.2.6 AM 9:00	24.6	11.87	389	838	119	4.67
16	104.2.13 AM 9:00	25.6	11.89	396	850	124	4.73

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type3-3. DIP+水泥襯裡(第1型卜特蘭水泥)+環氧樹脂漆封層

水源：純海淡水(馬公海淡廠)

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	19.9	7.82	27	283	23	-1.20
2	104.1.16 AM 9:10	19.8	8.40	28	294	23	-0.61
3	104.1.16 AM 9:30	20.5	8.42	28	278	24	-0.56
4	104.1.16 AM 10:00	20.8	8.54	29	278	23	-0.44
5	104.1.16 AM 11:00	22.0	8.62	32	302	25	-0.27
6	104.1.16 PM 13:00	23.5	8.73	35	310	25	-0.10
7	104.1.16 PM 17:00	18.4	8.77	37	313	26	-0.09
8	104.1.17 AM 9:00	18.6	8.81	38	315	27	-0.02
9	104.1.18 AM 9:00	17.7	8.84	40	318	28	0.03
10	104.1.19 AM 9:00	21.3	8.85	41	321	28	0.10
11	104.1.20 AM 9:00	21.5	8.79	42	306	29	0.08
12	104.1.21 AM 9:00	20.7	8.89	42	297	30	0.18
13	104.1.22 AM 9:00	25.0	8.82	42	300	30	0.17
14	104.1.30 AM 9:00	21.0	8.85	46	306	36	0.26
15	104.2.6 AM 9:00	24.2	8.90	48	309	38	0.40
16	104.2.13 AM 9:00	25.5	8.97	52	314	38	0.52

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type4-鑄鐵管+環氧樹脂粉體塗裝

水源：純海淡水（馬公海淡廠）

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	20.0	7.79	25	282	24	-1.25
2	104.1.16 AM 9:10	20.5	7.88	26	275	24	-1.13
3	104.1.16 AM 9:30	20.5	7.88	26	270	24	-1.13
4	104.1.16 AM 10:00	20.9	7.90	26	270	25	-1.09
5	104.1.16 AM 11:00	22.0	7.98	26	286	24	-1.01
6	104.1.16 PM 13:00	23.5	8.02	26	297	24	-0.95
7	104.1.16 PM 17:00	18.5	8.04	27	278	25	-0.97
8	104.1.17 AM 9:00	18.8	8.23	30	278	26	-0.71
9	104.1.18 AM 9:00	17.6	8.23	30	280	28	-0.70
10	104.1.19 AM 9:00	21.7	8.26	30	283	28	-0.61
11	104.1.20 AM 9:00	21.7	8.37	32	284	29	-0.45
12	104.1.21 AM 9:00	20.7	8.39	33	270	30	-0.42
13	104.1.22 AM 9:00	24.6	8.40	34	278	35	-0.27
14	104.1.30 AM 9:00	20.9	8.41	38	282	36	-0.26
15	104.2.6 AM 9:00	24.9	8.44	39	281	36	-0.16
16	104.2.13 AM 9:00	23.4	8.47	40	280	36	-0.14

[澎湖地區送配水管管種最適化探討]水質檢驗記錄表

管種：Type5-耐衝擊硬質聚氯乙烯塑膠管(HIWP)

水源：純海淡水（馬公海淡廠）

序號	採樣日期及時間	檢驗項目					
		水溫 (°C)	pH值	鹼度 (mg/L)	TDS (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	LSI值
1	104.1.16 AM 9:00	20.4	7.79	27	293	23	-1.23
2	104.1.16 AM 9:10	20.7	7.79	26	271	24	-1.22
3	104.1.16 AM 9:30	21.0	7.79	26	266	24	-1.21
4	104.1.16 AM 10:00	20.9	7.79	26	270	24	-1.21
5	104.1.16 AM 11:00	21.5	7.79	25	288	23	-1.25
6	104.1.16 PM 13:00	23.1	7.79	25	287	24	-1.20
7	104.1.16 PM 17:00	20.1	7.80	26	283	25	-1.20
8	104.1.17 AM 9:00	18.2	7.80	26	274	24	-1.24
9	104.1.18 AM 9:00	18.0	7.83	26	277	24	-1.22
10	104.1.19 AM 9:00	21.1	7.82	25	287	23	-1.22
11	104.1.20 AM 9:00	20.5	7.80	26	289	22	-1.25
12	104.1.21 AM 9:00	19.8	7.87	26	274	23	-1.17
13	104.1.22 AM 9:00	23.3	7.88	25	267	23	-1.12
14	104.1.30 AM 9:00	20.4	7.80	26	265	24	-1.21
15	104.2.6 AM 9:00	24.1	7.87	26	270	23	-1.11
16	104.2.13 AM 9:00	25.0	7.90	26	278	23	-1.07

附錄六

「澎湖地區送配水管管種最適化探討」

座談會議紀錄

「澎湖地區送配水管管種最適化探討」 座談會議紀錄

壹、時間：104 年 4 月 9 日上午 9 時 30 分

貳、地點：第一會議室

參、主持人：李處長嘉榮

記錄：謝榮哲

肆、出席單位或人員：詳出席人員簽名冊

伍、主席致詞：略

陸、綜合討論：

一、臺北自來水事業處曾股長喜彩

1. 依本處測試發現，原 DIP 水泥襯裡加環氧樹脂密封塗層經鞍帶分水栓鑽孔後，會於配水管中產生猶如硬幣大小般的碎片，無法排出管外，截至目前尚無法克服，故於使用上應特別注意。
2. 另本處測試發現，DIP 經第 1 次及洗管後之第 2 次 pH 測試發現，其 pH 值上升幅度有明顯趨緩，故完工後之洗管作業，對水質影響有其必要性。
3. DIP 水泥襯裡加環氧樹脂密封塗層在純海淡水中 pH 仍有明顯上升趨勢，後續應針對膜厚有一定之規範，以達到完全阻隔效果。
4. 本案除管內 pH 值過高問題外，管外腐蝕亦是問題所在，本處目前是採 PE 套模方式處理，因其水密性不高，若使用沿海地下水位較高地區，恐怕較不適合。

二、興南鑄造廠股份有限公司鄧總經理景名

本公司外銷 DIP 因需符合 ISO 規範要求，故其品質較國內依據 CNS 規範更為嚴謹，例如 DIP 管外要求需塗敷熱熔鋅

或覆鋅漆，而國內就沒有要求。另外，中國 GB 規範即依照 ISO 規範據以訂定，建議國內也可以參考國際規範辦理。

三、興南鑄造廠股份有限公司郭課長育美

1. 本次提供台水公司辦理試驗之環氧樹脂密封塗層 DIP，經台水公司試驗結果，使用海淡水時 pH 值會超過 8.5，惟本公司於現場檢驗該 DIP 管體確認環氧樹脂塗膜完整無破損，且再次試驗水質，經浸泡 8 個小時左右，pH 值皆無超過水質標準 8.5。
2. 本公司從未使用海淡水辦理環氧樹脂密封塗層 DIP 之相關試驗，由台水公司試驗結果可做為本公司參考，雖然本公司製作之管材需外銷皆符合 ISO 規範且塗膜厚度由原 0.15mm 增加至 0.30mm，惟使用於海淡水時是否需加厚至 0.50mm，確實可以再進一步探討。
3. 另外，本次提供台水公司辦理試驗之管材口徑為 ϕ 100mm，因為管線口徑較小，亦有可能發生塗膜厚度不均勻情形。未來如有機會，建議可採用較大口徑之管線，再做一次試驗，做為對照比較，以確認該管材是否確實無法使用於澎湖海淡水地區。
4. 由台水公司試驗結果亦發現，環氧樹脂粉體塗裝 DIP 較適合澎湖地區，未來澎湖地區海淡水將佔供水量 7 成以上，因此粉體塗裝相關規範及檢驗程序應加速完備。本公司在生產技術及硬體設備上完全沒問題，目前正加強施作塗膜均勻度及針孔試驗等，以提升材料品質之目標。
5. 本公司外銷 DIP 會於管外施作熱熔鋅或覆鋅漆，之後再塗上環氧樹脂柏油漆，具雙層保護之效果。

四、材料處黃工程師建育

1. 本處尊重長官及設計同仁選用之最佳管材辦理採購。
2. 如擇定採用之新產品、請工務處適時修訂規範、俾以辦理採購及檢驗。

五、 漏水防治處張工程師敬悅

1. 本研究試驗結果顯示，管內襯塗佈環氧樹脂可預防水泥塗層對水質之不良影響並延長管線耐久性，國外自來水事業經驗亦顯示可延長特殊環境之管材壽命，對於漏水防治顯有幫助，建請工務處研議相關施工規範，俾降低未來管線維護成本。
2. 另北水處採用之 PE 覆膜，亦建請工務處參考研議施工規範。

六、 水質處何組長承嶧

1. 針對藍氏飽和指數(Langelier Saturation Index, LSI) 計算的公式為： $LSI = pH - pH_s$ ，表示水管中水質 pH 及碳酸鈣達飽和時之相對 pH 值，由於鈣離子濃度(Ca^{2+})、總鹼度(Alk)、溫度(T)、總溶解性固體物(TDS)皆會影響 pH_s ，故控制合宜的 LSI 值，可有效防止水管腐蝕或結垢，請研究團隊參考合理調控。
2. 針對 DIP 防蝕內襯，建議針對雙酚 A...等環保署列入觀察名單水質檢項部分，進行追蹤分析，俾利新增後符合法規要求。

七、 第七區管理處黃工程師建源

1. 常見的自來水管線腐蝕有下列數種：(1)均勻腐蝕：pH 低於 5 時，鐵和銅快速均勻腐蝕。(2)電位差腐蝕。(3)點蝕與銹核瘤：a.氧為腐蝕反應之直接參與者，其扮演電子收受者之陰極，使腐蝕反應持續進行。典型例子為鐵管中金屬鐵被腐蝕為三價鐵造成沉積、點蝕、瘤核而於水流不穩定時沖流而出造成紅水現象。b.氯與硫酸根離子可造成點蝕，而氯離子比硫酸根離子活性強，水液中氯或硫酸根離子濃度的增加會導致鐵管腐蝕速率的遽增。(4)縫隙腐蝕。(5)沖蝕腐蝕：水流速度高，會因高溶氧與管線內壁的接觸而造成腐蝕。水流速度過低亦常在供水系統造成腐蝕，近停滯的流水常會造成鐵管點蝕與銹瘤核的產生及微生物的滋生而造

成紅水。及(6)生物腐蝕：硫化氫常因管內微生物滋生而產生，其會腐蝕金屬後與金屬離子形成無保護性之金屬硫化物，硫化氫會腐蝕鑄鐵管、鐵管、鋼管、銅管等。

2. 本公司 97 年 10 月 30 日下午 2 時 00 分有關延性鑄鐵管水泥內襯腐蝕研討會劉顧問：LSI 值與水的溶解度、硬度、總鹼度、溶出物、離子含量等皆有關，日本規定 LSI 值需達-1 以上，若 LSI 值>1 則會於管材上型形成一層保護膜。方才亦提到環氧樹脂塗裝〈Epoxy〉，日本污水下水道針對 Epoxy 作各項專業測試發現它通過 pH2~4 之強酸水試驗、耐磨耗、長期暴露於高或低溫氣候下、密合度、真空等試驗，唯獨對於針孔試驗較有問題，亦即 Epoxy 只塗薄薄一層，其均勻度若非以技術優良施作及嚴格品質控管將會有大落差。
3. 目前國際上使用第 2 型卜特蘭水泥襯裏加無溶劑環氧樹脂封層主要國家有：英國、美國、法國、德國、西班牙、日本、香港、科威特、卡達王國、沙烏地阿拉伯……等。中東國家因水比石油重要且貴，將無溶劑環氧樹脂塗料標準提高至濕/乾膜厚為 500uM，理論覆蓋率為以 500uM 乾膜厚時，每公升可做 2.0 平方公尺之面積。具有以下優點：
(一) 具優越之耐酸、鹼性。(二) 附著力強，長期通水也不會發生剝離。(三) 塗層堅硬，不易磨損或產生裂紋及防止空洞浸蝕。(四) 塗層不會稀釋出有毒物質影響飲用水水質。(五) 塗層表面光滑細緻，水垢及沉澱物不易附著積存並使流體通暢。(六) 塗料固化後收縮率低，無揮發性有機物 (VOC) 排放，符合環保理念，對生態無污染。無溶劑環氧樹脂漆旨在保護第 2 型卜特蘭水泥襯裏，第 2 型卜特蘭水泥襯裏保護延性鑄鐵管，如此雙重保護不僅避免自來水管及管中水質遭腐蝕，亦提昇襯裏使用年限。

八、第七區管理處張工程師宗炎

1. 有關 DIP+水泥襯裡+環氧樹脂封層或 DIP+環氧樹脂封層，除檢測 pH 值外，亦請重視塑化劑相關成分之溶出值。
2. 有關台北自來水事業處 DIP 外包覆 PE，其目的應為阻隔空

氣或水氣，用以減緩 DIP 之氧化速度，延長其使用壽命，惟若用於含氯之地下水環境中，其效益較差。

九、 第七區管理處澎湖營運所葉工程員清興

1. 感謝總處及各單位對於澎湖地區送配水管管種選用的重視，因澎湖地區水資源匱乏，故所取用的水源多樣，而所採用的管材，不僅需克服海淡水的 LSI 等問題，還有土質鹽分高對管材的影響。故本所建議宜採用 DIP 管內塗裝環氧樹脂，外部亦塗裝環氧樹脂或以 PE 柏油包覆，惟需探討若裝接用戶分水鞍時，鑽孔後其環氧樹脂碎屑殘存於管內是否會漂流阻塞用戶水管，及鑽孔處環氧樹脂是否會剝落與 DIP 管形成縫隙而造成水管銹蝕之問題。
2. 本所修漏常發現，因以前本公司 DI 另件管壁無使用粉體塗裝，挖掘之 DI 另件或丁字接頭常有管壁積垢阻塞造成無水之情形，故本所建議選用的管材，亦需考量宜選用管壁光滑之材質。

十、 第八區管理處林課長志憲

1. 北水處曾派員至日本進行管種選用考察，發現日本於某些地區會選用經 PE 包覆之 DIP，因其具有延壽的效益，故北水處亦參考日本作法採購有 PE 包覆之 DIP。依據簡報資料顯示，澎湖地區 DIP 管線受地下水鹽化而含氯成份較高之影響，易產生腐蝕現象，尤其是沿海地區，建議可參考北水處作法。
2. 目前公司採用 CLSM 進行全管溝回填，惟 CLSM 最主要回填於管線右左兩側及上層，而管線下方則無法完全包覆 CLSM，且於混凝土凝結後會產生孔隙，一旦地下水位上升，仍有可能發生銹蝕情形。

十一、 第八區管理處莊課長淨雯

1. 本處因多次接獲 1910 民眾反映自來水滑滑的，研判應該是 pH 值的問題，爰辦理「DIP 及其他管材影響管網供水水質

(pH 值)之研究」，選擇用戶數較少且無管網連通之管線末端，設置 20 多個水質監控點，加上當地使用雙水源，經過 1 年多來的追蹤，pH 值皆會不斷上升至 11 左右才會逐漸平衡。另外亦發現 2000 年所埋設之 DIP，迄今仍會析出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 並造成 pH 值升高。

2. 本處請興南公司提供有 Epoxy Coating 之 DIP 埋設於前揭 2 處供水管網內，其中 1 處已通水使用，追蹤發現使用一般 DIP 之 pH 值會升高至 11 左右，而使用 Epoxy Coating 之 DIP，其 pH 值則與淨水場出水時(介於 7~8 之間)約略相同。
3. 本處目前比較在意 Epoxy 有無塑化劑問題，近期將請水質處協助採樣檢驗。
4. 一般 DIP 不管採用 1 型或 2 型水泥襯裡，在管網正常流動之市區使用時，並不會有太大問題；但是在用水量較小之鄉村地區，則有可能發生 pH 值升高，必須定期排放濁水，以維持水質正常，無形中不斷浪費珍貴水資源。因此，建議儘快訂定完成相關規範及檢驗方法，俾能採購最佳的管材，以提供用戶更好的供水水質。

十二、工務處李副處長春銓

1. CNS 對於密封塗層的規範不夠嚴謹，塗膜要多厚及密度要多少？檢驗方法如何進行？等等，皆需進一步討論。
2. CNS 密封塗層規範前已於經濟部標準檢驗局討論過，目前國內尚無法進行塗料檢驗，推動上有其困難。

十三、工務處張組長煥獎

有關興南公司重新試驗及本公司再次試驗結果，均顯示環氧樹脂粉體塗裝 DIP 進行海淡水浸泡試驗結果，其 pH 值並無本公司第 1 次試驗於前幾小時即超過水質標準 8.5 之情形，可能該新管已經過沖洗使用，因此 pH 值較為穩定。惟所有數據皆經現場採樣試驗，本公司予以尊重。

十四、工務處林組長茂祥

本公司 97 年起改以 CLSM 作為管溝回填，對於 DIP 腐蝕有一定效果。

十五、工務處林工程師健益

本案最大顧慮就是「有規範不見得有檢驗機構」，例如環氧樹脂柏油漆據了解目前國內僅該公會辦理檢驗且 2 年出 1 次報告。

柒、會議結論

- 一、有關環氧樹脂塗料是否符合飲用水安全，包含塑化劑及雙酚 A 等，未來在材料規範訂定時，應特別重視。
- 二、環氧樹脂密封塗層 DIP 於安裝分水鞍時會發生密封塗層剝落造成水表阻塞問題，未來必須克服才能使用於 300mm 以下之管線。
- 三、請漏水防治中心蒐集有關沿海地區 DIP 腐蝕漏水情形，提供本處做為未來工程設計或規範修訂之參考，亦可就 DIP 管外壁防腐蝕進一步研究探討。
- 四、請設計組參考本次會議討論具體成果，據以修正研究報告。

捌、散會：中午 12 時 00 分

附錄七

期中、期末報告審查委員意見及回覆

「澎湖地區送配水管管種選用最適化探討」

期中報告審查委員意見及回覆

委員審查意見	意見回覆
葉宣顯委員	
1. 澎湖馬公地區水質測資料，LSI 值約在-0.5 左右，應該是有調整過的，惟文中未敘明易造成誤解。	感謝委員指正，已補充澎湖海淡水未調整前之水質資料於 p.64。
2. 台水公司 97 年召開之研討會中有提到：「LSI<-1 水質不見得會腐蝕、LSI>+1 也不見得會沉澱。」因為水質腐蝕指標有十多種，哪一個最符合台灣地區實際需求，確實是值得深入研究的課題。	有關水質腐蝕指標相當多，哪一個最符合台灣地區實際需求，確實是值得深入研究的課題。本計畫暫以最常使用之 LSI 作為探討。
史午康委員	
1. 本處為提高供水水質並避免管材造成水質不良之情形，因此，已進行管材試驗之研究。建議可洽本處技術科了解試驗進行之成果。	感謝北水處提供試驗成果及應注意事項，供本計畫參考。
2. p.11 最後一行「剩餘氧濃度」是否有誤？	日文「殘留塩素濃度」經查證係指「水中餘氯」。因此，本計畫已修正為「水中餘氯」。
3. 澎湖地區漏水率較台灣本島高出甚多，如何確保未來供水無虞？	澎湖地區已計畫再興建一座 4,000 噸海淡廠，以提高出水量，並加強降低漏水率各項措施，以「開源」及「節流」併行方式同步辦理，俾滿足未來供水需求。
4. 管材選用並非僅需考慮水質問題，有關「成本」亦為考量因素之一。	依據澎湖地區近年來施作同口徑 ϕ 100 mm 之管線工程為例，HIWP 每公里 450 萬元，而 DIP 每公里 535 萬元，如依其使用年限計算，在 DIP 使用 40 年期間，HIWP 需增加汰換更新 1 次，即 40 年內 DIP 之工程成本每公里 535 萬元，而 HIWP 每公里則需要 900 萬元，重置費用較 DIP 高出每公里 365 萬元，亦即 DIP 工

	程成本僅需 HIWP 約 60%。(詳 p.30)
籃炳樟委員	
1. 封面未符合水協規定，請修正。	本計畫封面已配合水協規定辦理。
2. 內文採用單面印刷，建議改為雙面印刷，俾節能減碳。	本計畫已改採雙面印刷。
3. 缺少摘要，請於期末報告補充	本計畫已增加摘要及參考文獻。
4. 「第一章 前言」論述太多，應以簡單扼要為原則。	本計畫「第一章 前言」已擇要辦理。
5. 「第二章 文獻回顧」卻未見相關文獻。	本計畫「第二章 文獻回顧」已就自來水管線防止腐蝕、延性鑄鐵管、海水淡化廠出水對自來水管線之影響等三方面分別探討其相關之文獻。
6. 部分資料過於老舊，請更新。另外，「舒」緩，請修正為「紓」緩。	本計畫所載之相關資料已儘可能更新至 103 年度最新資料；另外，相關錯字亦已修正。
7. 有關 DIP 水泥襯裡外面加再一層環氧樹脂，由於現有 CNS 規範不足，於施作用戶外線鑽孔時會造成環氧樹脂脆裂而失去保護 DIP 的功能，因此，如要使用該管種，施工方法必須檢討修正。例如日本目前 DIP 內部使用的是環氧樹脂粉體塗裝，就沒有這個問題，他山之石可以攻錯，確實值得我們學習。	「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」於安裝分水鞍以銜接用戶給水外線時會發生密封塗層剝落而影響管中水流，甚至造成阻塞用戶進水設備之情形。因此，建議該管線不使用於 $\phi 300\text{mm}$ 以下且需銜接用戶給水外線之配水管。另外，日本東京都刻正使用之「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」，因國內目前尚未使用，管線廠商製作技術需進一步發展且直管檢驗方法亦需研議完備，方能實施採用。
8. 最好的管材如果使用在不對的地方，也有可能變成最差的管材。因此，管種選擇也必須考慮現地因素。濱海地區含鹽份高，則必須選用抗腐蝕性高的管材，避免管線腐蝕而提早損壞。	澎湖地區 DIP 近 10 年來僅破管修漏 5 次，其中屬管線老化腐蝕者亦僅 2 次，且發生銹蝕之原因相當多且複雜，尚無法了解其真正發生之原因，惟依修漏紀錄顯示 DIP 銹蝕情形應非屬嚴重。 台水公司 97 年起改以「控制性低強度回填材料」作為管溝回填，因隔離 DIP 直接接觸土壤，可提

	供進一步保護，應具防蝕之效果。
9. 本計畫試驗管材係由興南提供，假設試驗成功，未來則必須修正 CNS 規範，屆時恐引起外界懷疑是否參考興南規格辦理？建議未來修正規範時必須訂定開始使用日期，讓廠商有時間提升設備俾有能力製作符合規範之管材。	謝謝委員寶貴意見，未來訂定修正規範時，將廣邀業界各公司共同參與，亦會訂定適當開始使用之日期，以確保各廠商之權益。
林岳委員	
1. 試驗部分建議增列 PE 管。	本計畫試驗採用之管種係以台水公司目前使用之管線為主，並探討 DIP 採用環氧樹脂漆密封塗層或環氧樹脂粉體塗裝之可行性。
2. 浸泡時間規劃最長至 24 小時，建議延長至 48 小時。	本計畫已將試驗之浸泡時間，規劃最長延長至 4 周。
3. LSI 或 pH 值偏高問題必須由源頭解決，因此，海淡水處理後之水質可否進一步提高？	經查台水公司目前刻推動辦理之馬公 4,000 噸海淡廠，已將 LSI 標準由原±1 提高為±0.5。
陳昭仁委員	
1. 本計畫探討管種選用大概都是屬於管體內部因素，惟澎湖屬於鹽分高之地區，對於金屬管外壁腐蝕必然相當嚴重，據查台水公司近期於澎湖地區辦理管線汰換時即選用 HIWP。建議除 DIP 外亦可探討 HIWP 之可行性。	本計畫探討現行使用第 1 型水泥襯裡之 DIP，亦將第 2 型水泥襯裡之 DIP、環氧樹脂密封塗層 DIP 及環氧樹脂粉體塗裝 DIP 等各種 DIP 管做為試驗。除此之外，亦加入 HIWP 做為對照試驗，俾了解各種現行管材之抗腐性。
2. 文中提及降低漏水率計畫，據了解澎湖地區已完成分區計量管網規劃，建議可補充於計畫內。	有關分區計量管網與本計畫尚無直接關聯，建請免於增列補充。
3. 文中提及：「十年降低漏水率計畫完成後每天約減少 45.75 萬立方公尺漏水量，約半座石門水庫每日供水量…」何謂半座石門水庫每日供水量？表達方式應該更明確。	感謝委員指正，為避免造成誤解且該段文字與本計畫內容無關，爰已刪除之。

「澎湖地區送配水管管種選用最適化探討」

期末報告審查委員意見及回覆

委員審查意見	意見回覆
林財富委員	
1. 請補充期中、期末意見及回覆。	感謝委員指正，本計畫已補充期中、期末審查委員意見及回覆(詳附錄七)。
2. 建請補充三種實驗用水的水質參數，以供後續參考。	有關三種實驗用水水質資料，詳附錄五所列起始時間之水質資料。
葉宣顯委員	
1. 建請參考國外海淡廠之經驗，加強 RO 出水之後處理，以生產化學穩定性高之水質。	<p>1. 海淡廠後處理除考慮水質處理之方式外，尚需考量處理成本。一般而言，大都採取「礦物塔」、「石灰-二氧化碳」及「氫氧化鈉」等方式辦理，三種方式處理後皆有良好之防蝕效果，處理後之 pH 約在 7.5 至 9.0 之間。(張伯鴻，2004；林哲昌等，2007)</p> <p>2. 本次試驗所採用之澎湖馬公海淡水係經過「礦化塔+氫氧化鈉」等後處理，其 LSI 約 -0.8 及 pH 約 7.8，尚屬合理範圍。未來如有更佳的后處理方式，台水公司亦非常樂意配合辦理，俾提升海淡水處理技術。惟澎湖地區平均供水銷售成本每立方公尺已高達 60.99 元，約為台水公司平均 9.45 元之 6 倍。如採用其他後處理技術而需增加更高的成本，對於台水公司經營困境無疑雪上加霜，因此，本計畫先以目前供水水質現況探討如何提升自來水管線抗腐蝕之可行性，作為未來台水公司管種選用之參考。</p>

2. p.19 建請將圖中未加註中文之日文字句補充之。	感謝委員指正，p.19 附圖已補充中文標示。(詳圖 2-5)
陳立儒委員	
1. p.1，延性石墨鑄鐵管建議依 CNS 名詞統一為延性鑄鐵管。	感謝委員指正，延性石墨鑄鐵管已統一修正為「延性鑄鐵管」。
2. 結論，想問一件事，採用 DIP 環氧樹脂粉體塗裝管用在海淡水時，相關管件接頭處是否仍可能因為安裝，造成仍有微小面積缺乏粉體塗裝保護，仍會造成腐蝕現象？有補強的構想嗎？	感謝委員寶貴意見，因為目前國內尚無使用「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」，因此無法了解是否會有類此情形發生。未來台水公司在推動採用該管材時，將納入檢討注意。
駱尚廉委員	
1. 摘要中有一段「採用環氧樹脂漆密封塗層管 DIP，不建議使用於純海淡水之供水管網」，建議將原因補充說明之。	感謝委員指正，本計畫已於摘要補充「『環氧樹脂漆密封塗層管 DIP』不建議使用於純海淡水之供水管網」之原因說明。
2. 圖 2-5 之文字說明部分，請再詳細些。	感謝委員指正，已補充詳細說明於 p.23 (原圖 2-5 已調整為圖 2-8 並增加圖 2-6 及 2-7)。
3. 請補充 4.2.1 節之原水質數據。	有關原水質數據，請詳附錄五所列起始時間之水質資料。
康世芳委員	
1. 澎湖地區淨水場淨水操作之清水 LSI 宜先有內控值，再討論管材防蝕。	有關澎湖地區海淡廠處理後之清水水質，其 LSI 已由先前海淡廠要求之±1，提高至目前±0.5，而 pH 值則要求在 6.1~8.3，可符合飲用水水質標準。惟自來水流經輸配水管網後，其中 DIP 之水泥砂漿襯裡會析出 Ca ²⁺ 等礦物質，造成供水 pH 值升高，易使水泥砂漿剝落，進而造成水質異常或管體銹蝕之情形，爰擬改善管線材質，以符合供水水質要求。
2. 國外海淡水廠之 LSI 值控制與其送配水管種等之防蝕對策相關資料宜再補充。	1. 有關海淡廠出水水質穩定控制技術及配水管種之防蝕對策，本計畫已儘可能蒐集相

	<p>關資料並摘錄於文獻回顧內，惟國際間使用 DIP 作為配水管線並同時使用海淡水之情形，非常少見，以致相關文獻亦相當稀少。</p> <p>2. 另外，由鄰近新加坡為例，該國於 2003 年起亦開始興建海淡廠，惟海淡水並非直接使用，而係混合其他淨水處理後之自來水，再供送進入自來水管網。依據 Singapore's national water agency 網站資料顯示，新加坡自來水水質 pH 約在 7.7~ 8.4，且新加坡近年來亦開始採用「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」，以提高供水水質。</p>
<p>吳振榮委員</p>	
<p>1. 澎湖地區供水水源並無區分鹽井淡化水、湖庫水及海淡水的供水區域，反而較趨近於三種混合供水，但報告及附錄並無混合水試驗資料，報告 P73 却有混合水的可使用管種優先順序，是否合宜？建議再酌。</p>	<p>感謝委員指正，有關本計畫係採用澎湖地區 3 種水源進行試驗，俾了解各種水源在不同管材之使用特性。然而實際上，澎湖地區確實大部分均為該 3 種水源混合使用。為避免本研究試驗結果造成誤解，並考量未來澎湖地區海淡水使用比例逐年提高，成為以海淡水為主之混合供水系統。因此，澎湖地區管材選用建議比照「純海淡水」之試驗結果，以「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」為最優先，其次為「HIWP」。第五章之表 5-1「澎湖地區各種水源可使用之管種」，一併刪除之。</p>
<p>2. 本報告係探討送配水管管種最適化，建議敘明漏水比率最高的用戶外線不在研究範圍。故報告 P37 引東京都水道局用戶外線採用具防漏效率的 SSP(不銹鋼波狀管)，是否妥適？另該管材是否適用於澎湖地區水質尚</p>	<p>感謝委員指正，有關本計畫原 p.37 引用東京都水道局用戶外線採用不銹鋼波狀管乙節，確實與本研究無關，已刪除之。</p>

無定論，故建議酌修。	
<p>3. 報告 P73 HIWP 使用年限僅 20 年，重置費用較 DIP 更高，只是敘述建議增加數據探討比較。另若採用「DIP+環氧樹脂粉體塗裝」，此種組合最適之 LSI 範圍是多少能否敘明，俾供參考。</p>	<p>1. 依據澎湖地區近年來施作同口徑 $\phi 100$ mm 之管線工程為例，HIWP 每公里 450 萬元，而 DIP 每公里 535 萬元，如依其使用年限計算，在 DIP 使用 40 年期間，HIWP 需增加汰換更新 1 次，即 40 年內 DIP 之工程成本每公里 535 萬元，而 HIWP 每公里則需要 900 萬元，重置費用較 DIP 高出每公里 365 萬元，亦即 DIP 工程成本僅需 HIWP 約 60%。(詳 p.30)</p> <p>2. 「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」經使用 3 種不同水源，其 LSI 在 -2.0 至 -0.5 之間，並經浸泡試驗後，水質皆不受影響，呈現穩定狀態。</p>
<p>4. 報告 P29, P30, P32 各表 103 年水質監測資料顯示：pH 及 TDS 有未符水質標準現象，尤其 P32 表 3-5 TDS 介於 612~777mg/L 間已逾 500mg/L 限值，如果確認無誤，那現在情況有無改善？</p>	<p>有關澎湖地區供水水質未符飲用水水質標準之辦理情形如下：</p> <p>1. pH 超過 8.5 時，採取排放濁水方式至符合標準。</p> <p>2. 有關白沙地區水質改善問題，經查澎湖營運所計畫增設 1 組 600CMD 之 RO 薄膜淡化機組並就現有鹽淡廠另件設備辦理改善，經處理後之淡化水送入現有 600M³ 清水池與傳統設備處理產出之清水混合，使水質符合飲用水標準後再供水。另外，亦配合降低漏水率計畫，加速辦理舊漏管線汰換更新及加強違章竊水取締，以降低白沙地區用水需求。</p>
<p>5. 本研究的試驗係採不同管種及 DIP 襯裡材質，分別以鹽井淡化水、湖庫水及海淡水三種水源浸泡觀察水質變化，實際供配</p>	<p>感謝委員寶貴意見，有關本計畫結論，已先敘明前提條件，再依試驗結果，建議澎湖地區管材選用以「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」</p>

<p>水是流動性的、水源趨近於三種混合供水，因此本研究所得結論應先敘明前提條件，才不致產生困惑。</p>	<p>為最優先，其次為「HIWP」。</p>
<p>陳曼莉委員</p>	
<p>1. DIP 管外壁銹蝕機率之降低，建議採用 PE 套膜，應可獲致一定效果。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，台水公司刻參考北水處辦理經驗，研議訂定 PE 套膜施工規範及使用時機，據以辦理。</p>
<p>2. 自來水事業基於水質及其他使用上之需求，應可對國內水管製造廠商提出規範上之要求，發揮由需求面領導業界製造能力之角色。</p>	<p>本計畫已初步探討「環氧樹脂漆密封塗層 DIP」及「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」於不同水源下之使用特性，未來將可提供資訊據以訂定或修正 CNS 規範，屆時亦可透過北水處及台水公司共同合作，俾提高自來水工程技術水準。</p>
<p>史午康委員</p>	
<p>1. HIWP 水管之英文全名建請補上。</p>	<p>感謝委員指正，HIWP 水管之英文全名已補充於 p.2。</p>
<p>2. p.19 圖之出處建請述明；下圖中之中文標示上下標反了（日文部分是對的）。</p>	<p>感謝委員指正，p.19 附圖已標示出處並修正中文標示。（詳圖 2-5）</p>
<p>3. p.39 浸泡實驗之管材有無作前處理？出場前/施工前/施工後？蓋管材出廠前有無對水泥襯裡作刨光（將浮水刨除）、浸泡前有無作沖洗等皆會影響實驗值（任何新設之水泥襯裡管剛通水時皆會有 pH 偏高情況，使用後乃逐漸穩定；若是出廠時有作刨光處理，情況也會較為緩和）；實驗數值與實際管網中之管線水泥襯裡逐漸穩定後之情況會有所不同；水泥襯裡對腐蝕性水質之耐用年限似乎更值得探討。</p>	<p>本計畫係依據台水公司實際使用管材之現況並據以規劃試驗，依據北水處提供之辦理經驗，DIP 水泥襯裡經過前處理後確實會影響實驗值且水質反應亦較緩和，惟一般實際使用 DIP 時並不會將 DIP 水泥襯裡作刨光等前處理，因此，本計畫試驗為探討 DIP 實際使用情形，爰試驗採用之 DIP 並其水泥襯裡無經過任何前處理。</p>
<p>4. p.67 自來水「平均」停留時間僅稍具參考性，當考量管網水質</p>	<p>本計畫 4.2.5 節所述供水管網自來水平均停留時間乙節，經查澎</p>

<p>pH 異常之情況。建請針對管末問題點（脆弱點）或 p.29 水質監測資料中 pH 最異常之點，去估算其停留時間（water age）較有意義。</p>	<p>湖地區刻正辦理小區管網建置中，目前尚無適當之封閉管網可供檢測 pH 異常區域之平均停留時間。故本計畫僅能先就調查整個馬公地區之平均停留時間，雖然確實僅稍具參考性，本計畫亦未針對本節內容再深入探討，惟平均停留時間確實可提供供水管網操作維護之參考。未來俟澎湖小區管網完成後，台水公司即可針對管線末端或水質異常地區去估算其停留時間及水質變化之關係。</p>
<p>5. 據 p.80 卜特蘭 2 型水泥既是較 1 型更適用於具腐蝕性水質，為何實驗結果卻是相反？不知貴公司 1 區及 8 區試用結果如何？廠商之經驗如何？</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依據「混凝土工程設計規範與解說」有關第 2 型卜特蘭水泥具抗硫性，可抵抗中度硫酸鹽侵害，惟並無提及第 2 型卜特蘭水泥適用於水質 LSI 負值之供水環境。 2. 依據 97 年 10 月 30 日之研討會議討論之結論，請台水公司擇定第一及八區管理處，將管材改用第 2 型卜特蘭水泥襯裡，並分析其成效。經台水公司試辦後，因並未全面抽換管線，故無法探討改用第 2 型卜特蘭水泥襯裡之成效。 3. 本計畫爰將第 2 型卜特蘭水泥襯裡之 DIP 亦納入試驗，經試驗成果與第 1 型卜特蘭水泥襯裡之 DIP 相似，亦或更差。由此亦可驗證採用第 2 型卜特蘭水泥襯裡並無法改善澎湖地區水質異常之情形。

<p>6. 結論 5.中「HIWP 重置費用較 DIP 高」，建請以「資產全生命週期」之成本來做比較。</p>	<p>依據澎湖地區近年來施作同口徑 ϕ 100 mm 之管線工程為例，HIWP 每公里 450 萬元，而 DIP 每公里 535 萬元，如依其使用年限計算，在 DIP 使用 40 年期間，HIWP 需增加汰換更新 1 次，即 40 年內 DIP 之工程成本每公里 535 萬元，而 HIWP 每公里則需要 900 萬元，重置費用較 DIP 高出每公里 365 萬元，亦即 DIP 工程成本僅需 HIWP 約 60%。(詳 p.30)</p>
<p>7. 結論 6.中「DIP 管外壁防蝕」貴公司 97 年度起改以「控制性低強度回填材料」包覆 DIP 管之方式，效果如何？若考慮採用 ISO 規範，成本如何？廠商配合度如何？。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 澎湖地區 DIP 近 10 年來僅破管修漏 5 次，其中屬管線老化腐蝕者亦僅 2 次，且發生銹蝕之原因相當多且複雜，尚無法了解其真正發生之原因，惟依修漏紀錄顯示 DIP 銹蝕情形應非屬嚴重。 2. 台水公司 97 年起改以「控制性低強度回填材料」作為管溝回填，因隔離 DIP 直接接觸土壤，可提供進一步保護，應具防蝕之效果。 3. 如採用 ISO 規範，將 DIP 外管改以熱熔鋅或覆鋅漆塗敷，其防蝕效果將可大大提升，惟管材製造成本屬廠商商業機密，尚不得而知，惟增加之經費經推估應不致太多，技術上亦無太大問題，如 CNS 規範依據 ISO 規範修訂後，廠商即可配合辦理，確實具有可行性。
<p>8. 建議 6.「環氧樹脂密封塗層 DIP」安裝分水鞍時，造成密封塗層剝落問題，可以考量鑽孔技術改良(參日本作法)或接三通管方式(參香港作法)。</p>	<p>感謝委員寶貴意見，經洽東京都水道局查詢，囿於製造設備的限制，管線口徑小於 1000mm(含)時，可採用「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」，超過口徑 1000mm 只能採用「環氧樹脂漆密封塗層</p>

	<p>DIP」。因此，東京都於小口徑配水管線並不會使用「環氧樹脂密封塗層 DIP」，亦不會於安裝分水鞍時發生密封塗層剝落問題。故本計畫建議管線口徑小於300mm 之配水管線以採用「環氧樹脂粉體塗裝 DIP」為宜，以避免造成密封塗層剝落問題，並可作為日後台水公司訂定規範及施工參考。</p>
<p>9. 對國內 CNS 規範趕不上需求之情況，有何具體建議?(有道:「遇強則強，遇弱則弱」)。</p>	<p>依據政府採購法第 26 條:「機關辦理公告金額以上之採購，應依功能或效益訂定招標文件。其有國際標準或國家標準者，應從其規定。」亦即，如無國家標準者，可從國際標準之規定辦理。因此，倘 CNS 規範趕不上需求時，建議北水處及台水公司可就自來水事業之需求，共同合作並參考國際標準訂定規範辦理。</p>