

# 延性鑄鐵管環氧樹脂粉體塗裝內襯之推動計畫

\*宋奕穎

\*三級工程師

臺北自來水事業處東區營業分處

## 一、摘要

臺北自來水事業處(以下簡稱北水處)使用延性鑄鐵管(DIP)水泥砂漿襯裡已逾 30 餘年，水泥因內含鹼性物質，可抵抗酸性化學腐蝕，對 DIP 管內面可形成保護作用。然而，水泥本身會釋放鹼性化學物質，尤其北水處供水具腐蝕性(藍氏飽和指標 Langelier Saturation Index, LSI 為負值)，更容易溶解鹼性物質釋放至自來水中，造成 pH 及鹼度增加。對於自來水流動性佳之供水區域，其影響甚小；但對於自來水流動性不佳之供水區域，其影響尤為顯著。

歐美及日本等先進國家為改善鹼性物質釋出問題，已改採環氧樹脂粉體塗裝(以下簡稱粉體塗裝)作為 DIP 管內襯，北水處自民國 88 年開始採用粉體塗裝作為 DIP 管件內襯，至今已具 20 多年使用實績，後續未能延伸應用至 DIP 直管，最主要考量因素為，粉體塗裝厚度僅 0.3mm，若發生塗裝品質或施工品質不佳之情形，將導致塗裝大面積脫落，使 DIP 管內面失去內襯保護，而發生銹蝕。

近年北水處推動直飲政策不遺餘力，深獲各界好評，為能持續提供更優質之自來水品質予用戶，經多年的研究與努力之下，透過增修材料、施工及倉儲等規範，可確保粉體塗裝於施工多年後不發生脫落，北水處已制

定推動時程表，自民國 109 年起將逐年提高使用比率，5 年內將全面採用 DIP 粉體管。

## 二、現況遭遇與改善策略

本處陽明分處轄區北投區文化三路文化社區及中和街 502 巷秀林社區，自 106 年 8 月底迄今已發生 4 起總表因粉體塗裝脫落導致表前濾網堵塞之無水案件(圖 1)，類似案件在其他分處不斷偶然發生。脫落之粉體塗裝來自於 DIP 管件，探究脫落原因，可能與粉體塗裝工序未按規定、施工過程損傷粉體塗裝而未修補或倉儲不當等因素有關，管線埋設完成後不久後即發生粉體塗裝脫落，脫落粉體塗裝於管網中亂竄，最終堵塞至用戶水表。



圖 1 粉體塗料脫落導致堵塞水表

DIP 粉體塗裝須受 CNS13273-G3254「延性鑄鐵管件及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝」國家規範檢驗，CNS13273 國家規範內容大致有成分、品質、塗裝方法及試驗項目等規定，而粉體塗裝試驗項目有「塗

膜外觀」、「塗膜附著性」、「塗膜硬化程度」、「塗膜厚度」及「塗膜刮痕抵抗力」等物理性試驗方法(表 1)，若鑄鐵廠商粉體塗裝過程若能依國家規範規定塗裝並進行檢驗，基本上塗裝品質應無虞。

表 1 粉體塗裝品質之檢驗方法

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。以偵測器測試，不會有發生火花的針孔等缺陷。	以目視檢查是否摻入異物，塗布不均，漏塗等現象。針孔係用針孔偵測器(Holiday Detector)施加 1000 V 電壓測試。
塗膜附著性	不剝離。	使用試驗錘輕敲塗裝面測試。
塗膜硬化程度	無發生破碎，剝離現象。	使用 CNS 10756-1 所規定之美工刀，刻畫長度 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。
塗膜厚度	0.3mm 以上	使用電磁微厚計或其他適當的測定器具測定之。
塗膜刮痕抵抗力	無異常	鉛筆刮痕試驗，依 CNS10757 第 5 節之規定試驗，但使用鉛筆之硬度為 H。

CNS13273 對於塗裝品質，除厚度有量化的試驗外，其餘大都使用工具以目視作為檢驗依據。雖有塗膜附著性的檢驗項目，但試驗方法以試驗錘輕敲，並以目視檢查是否有剝離現象，判定粉體附著力之良窳。此法，檢驗標準過於主觀且方法較不科學，缺少可量化粉體附著力之檢驗方法與標準。為補足 CNS 13273-G3254 對於粉體塗裝檢驗項目之不足，北水處已於採購規範增加可量化粉體附著力之拉拔試驗，作為把關鑄鐵廠商重視塗

裝工序之手段，期盼提升國內 DIP 粉體管生產品質，最終使用於北水處管網系統中，提供更優質自來水予用戶飲用。

### 三、體塗裝施作方法

依日本延性鑄鐵管協會所出刊的「延性鑄鐵管內襯-環氧樹脂粉體塗裝」JCPA T 47 所示，粉體塗料的塗膜形成過程如下(圖 2)，透過加熱鑄鐵管壁，用熱能將粉體溶化、燒結再經硬化反應而形成塗膜。

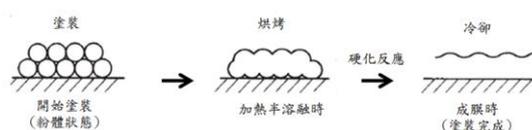


圖 2 粉體塗料塗膜形成過程

環氧樹脂粉體塗料則是由樹脂、填充料、色料(顏色)、流平劑(硬化劑)、添加劑所組成，經查 CNS14273 無規定各成分組成比例，國內塗料廠商所生產之粉體塗料，一般而言，樹脂會佔 55%至 65%之間，常見的粉體塗裝方法有下列 2 種：

1. 旋轉噴塗法：將鑄鐵管加熱至 (160~230°C)，用氣動輸送環氧樹脂粉體塗料，並將其噴塗在旋轉的鑄鐵管上，粉體熔化而形成塗膜，此種方法常要用於直管上，由於直管型式較管件單純，實務上大多以自動化噴塗替代人工(圖 3)。



圖 3 旋轉噴塗法

2. 靜電塗裝方法：把粉體塗料送到噴槍之噴嘴尖端，以高壓 (4 萬至 8 萬伏特) 電離使粉體帶負電荷，預

熱鑄鐵管讓管壁帶正電，以靜電力(庫倫力)方式讓粉體附著在管壁上，粉體熔化而形成塗膜，此種方法常要用於管件(圖 4)。

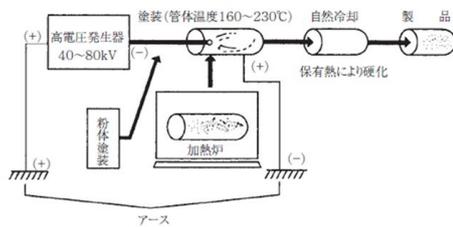


圖 4 靜電塗裝法

DIP 粉體內襯製作流程相較水泥砂漿襯裡更需注重鑄鐵管內部表面處理及加熱溫度，粉體塗裝品質要佳，粉體的黏結力與凝聚力要夠強，粉體塗裝過程關鍵步驟在於管內研磨、清潔、鑄鐵加熱、噴塗、保溫(粉體燒結)等。DIP 粉體管優點如下：

1. 塗層表面均勻光滑不結垢，水質不會被水中微生物污染，鑄管不會氧化生鏽，磨擦阻力小能增加管內流量及流速，並穩定水質中 pH 值、濁度及抑制異味產生。
2. 塗層具有優越韌性及附著強度，可耐長期水流之沖刷不產生剝離。
3. 使用無溶劑型塗料，不會釋出有毒物質影響飲用水品質，符合飲用水之要求。
4. 粉體熔化時的熔融粘度很高，對鑄鐵面具優異的附著性，塗層厚度自然容易塗厚，並可以形成有效的保護膜。
5. 粉體成品是顆粒細小的粉狀，製程可結合自動化噴漆提高生產效率。

#### 四、修訂相關規範

(一)修訂材料規範：

為改善 CNS 14273 對於粉體品質試驗項目之不足，北水處採 ASTM D4541(Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers) Method C 之試驗方法(圖 5)，惟此法並無制定 DIP 粉體管之塗層拉拔強度，為建立適用於國內之驗收標準，北水處分別對國內與日本的 DIP 粉體管進行拉拔試驗，將試驗數據作為建立試驗標準之參考依據。基於國內目前僅有一家廠商生產 DIP 粉體管，故拉拔試驗在實施初期，不宜訂定太過嚴苛的允收標準(驗收標準)。最低門檻法則，僅要一點未達標準及認定不合格，做為驗收評判標準似乎過於嚴苛，不適合做為初期推動之驗收方式，經考量後採平均強度法做為允收標準較為妥適。

北水處於 107 年 4 月 11 日邀請國內鑄鐵廠商召開「延性鑄鐵直管及管件規範」修訂前協商會議，參加廠商普遍認同採購規範增訂粉體塗之拉拔試驗，惟 DIP 粉體管目前國內僅一家廠商生產，其他廠商仍在投入生產規劃階段，故建議驗收強度不制訂過高，使有意願投入生產廠商可早日參與供料；同時建議須考量儀器誤差，將驗收值之小數點捨去，取為整數值。

隨後歷經召開多次廠商交流會議，最終拍板定案初期拉拔試驗允收標準如下示，後續允收標準則加入每年採購驗收之拉拔強度試驗值，加以分析檢討，視需求調整允收標準。

1. 管件部分：取樣管材任取 6 點進行拉拔試驗，去除最低值，5 點平均值之強度需大於 11 MPa。

2. 直管部分：取樣管材任取 6 點進行拉拔試驗，去除最低值，5 點平均值之強度需大於 16 MPa。

允收標準建立之後，北水處即著手修訂採購規範，DIP 粉體管之塗裝規定除須滿足 CNS 14273 規定外，仍須符合北水處制定之拉拔試驗。

拉拔試驗之驗收標準值需視需求滾動檢討，故將試驗方法及標準新增於附錄 A，不訂於採購規範主文，以利日後彈性修訂。附錄 A 之試驗方法是參考 ASTM D4541 並修訂部分內容訂定而成，附錄 A 之試驗標準值由北水處制定，附錄 A 內容已與國內多家 TAF 實驗室進行討論，目前至少有 3 至 4 家國內 TAF 實驗室可進行委託拉拔試驗。



圖 5 DIP 粉體管拉拔試驗

(二)修訂倉儲規範：

環氧樹脂粉體塗料，若受紫外線照射很容易發生氧化並促使材料產生劣化，因此 DIP 粉體管內面應避免長時間陽光照射，最好能放置於具有加蓋屋頂之倉儲環境，若要暴露在戶外，應將管頭與管尾兩端做適當的保護設施。

現行北水處採購規範對於管材封口規定為「所有口徑直管及管件，其管頭、管尾應以塑膠封蓋(厚 1 mm 以上)或自粘性塑膠貼布或美耐板(厚 3 mm 以上)，將開口各端封包，但 600 mm 以上口徑直管，管尾封口材料應用

美耐板」。此項規定主要是避免塗層劣化並減少飛塵或異物附著於內壁。

採購規範之封口規定，廠商具選擇性可採塑膠封蓋、自粘性塑膠貼布或美耐板，一般廠商為節省成本大都以自粘性塑膠貼布封口，此封口方式的缺點容易破裂，且當破裂發生時現場倉儲人員難以修補(圖 6)。為改善此種情形，限制 DIP 粉體管僅能以塑膠蓋(厚 2mm 以上)進行封口，塑膠蓋除厚度較厚，有較強隔離紫外線帶來的傷害且不易破損外，倉儲人員一旦發現破損或遺失，也能輕易進行更換，避免粉體塗裝長時間曝曬陽光下而生劣化(圖 7)。

另為妥善保持粉體塗裝品質，DIP 粉體管從出廠到現地施作埋管，應落實倉儲管理之先進先出原則，確實掌控材料之生產及使用時間，勿因儲存時間過長造成品質變異，減損管材使用壽命；管材搬運時不可大力撞擊或摔落，必須以布條吊掛搬運，務使搬運時受力平均，以免造成管材內襯破裂受損。

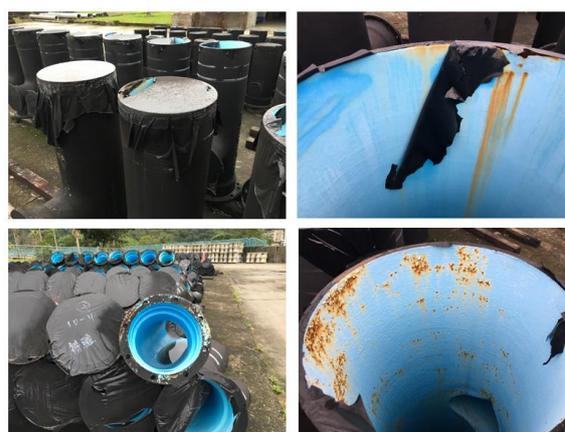


圖 6 自粘性塑膠貼布破裂難以修補



圖 7 塑膠蓋封口 DIP 粉體管

(三)修訂施工規範：

DIP 粉體管內襯厚度約 0.3 mm，施工廠商在吊運、堆放及施工時，應遵守下列事項，妥善並謹慎地處理管材，避免管材出現變形、塗裝受損等情形發生。

1. 施工廠商應使用防護材料進行管材的堆放與搬運，避免管體及塗裝損傷。
2. 施工廠商在吊掛管材時，應在管材兩端安裝吊具，進行雙點式吊掛。此外，為了保護管材塗裝，吊具應使用尼龍繩或用有橡膠包覆的纜繩(圖 8)。
3. 施工廠商應謹慎吊掛管材並緩緩搬運，避免拖拉管材或以滾動方式移動管材。

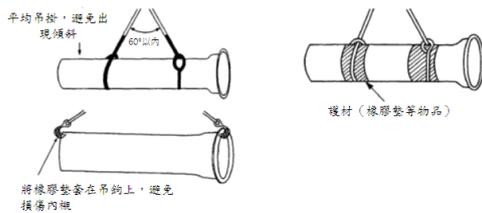


圖 8 管材吊掛方式

4. 施工廠商應將管材置於固定角材等枕木上保存，避免損傷管材內外兩面塗裝。此外，應放置卡榫等保護措施，避免管材滾動。
5. 在管材下方鋪放枕木，盡量將承口與插口交錯堆疊，並避免承口法蘭損傷旁邊的管材。此外，務必在兩端放置卡榫，避免管材滑

動(圖 9)。

6. 施作 DIP 粉體內襯之鞍帶分水栓施工時，應使用電動鑽孔機及 90 度鑽頭進行鑽孔。
7. DIP 粉體管切管後，須在斷面塗上修補液，防止切面生鏽(圖 10)。

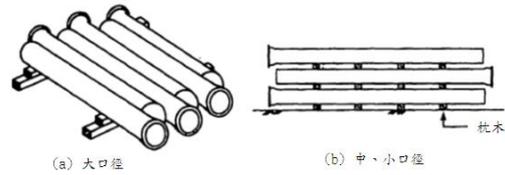


圖 9 管材放置方式



圖 10 切管斷面塗上修補液

## 五、雙水交流

提供更安全更佳的水質是自來水事業共同的目標，台水公司近幾年也刻正積極推動 DIP 粉體管試辦計畫。推動初期同樣遭遇與北水處相同的問題與挑戰，如何確保所埋設的 DIP 粉體管塗裝品質無虞，能在管網通水 30 至 40 年都不脫落，持續保護鑄鐵管避免鏽蝕，是為雙水共同的課題。為謀臺灣自來水事業最大利益，北水處主動於 107 年 10 月 1 日前往台水公司總管理處針對粉體塗裝拉拔試驗進行交流與說明(圖 11)，深獲台水公司認同並研議於材料規範增訂相關試驗。

台水公司隨後於 107 年 10 月 11 日召開延性鑄鐵管內面採環氧樹脂粉體塗裝第 2 次座談會，邀請北水處、國內各鑄鐵廠商及粉體塗料生產廠商，會議除決議於規範增訂拉拔試驗

外，並表明後續擴大採購之決心，使雙水共同攜手合作共同打開市場需求，訂定相同的試驗規範，將有助於推動 DIP 粉體管政策，國內鑄鐵廠商因自來水事業持續開出需求，廠商才有足夠誘因去做產線開發。



圖 11 雙水交流情形

## 六、選址原則與推動進度

國內鑄鐵管廠商目前僅有一家具 DIP 粉體管生產實績，雖經評估未來產能可滿足北水處全面採用需求，惟仍須提供其他鑄鐵廠商參與本處優化延性鑄鐵管內襯機會，使供應市場產生良性競爭。延性鑄鐵管水泥內襯改以粉體內襯優化納入管網改善計畫，首先以獨立型小區及滯留時間大於 45 分非獨立型小區為首要選址區域，逐步進行至所有小區皆採用 DIP 粉體管，本計畫採 3 階段推動(表 2)。

1. 109 至 110 年(第 1 階段):為初期推廣階段，每年汰換 10 公里。本階段除做為廠商及監工人員熟悉 DIP 粉體管施工方式外，也預留各鑄鐵管廠商準備投入生產線之

時間。

2. 111 至 112 年(第 2 階段):擴大推廣階段，111 年汰換 20 公里、112 年汰換 30 公里，此階段施工與監造人員均已熟悉 DIP 粉體管施工方式，對於 DIP 水泥內襯管之用量與採購量應開始進行控管，逐漸減少 DIP 水泥內襯管之庫存，以利進入第 3 階段穩定發展階段。
3. 113 年以後(第 3 階段):進入穩定發展階段，此時市場供料已無虞，各單位對於 DIP 粉體管的施工已累積 4 年施工經驗，配水管網已可全面使用 DIP 粉體管。

表 2 DIP 粉體管預計執行期程表

各階段 期程	DIP 粉體管執行長度
初期 推廣 階段	(109-110 年) 每年汰換 10 公里 (目的在使各分處熟悉 DIP 粉體管 施工方式)
持續 推廣 階段	(111-112 年) 111 年汰換 20 公里 112 年汰換 30 公里 (拉高 DIP 粉體管汰換比例，減少 DIP 水泥內襯管之庫存)
穩定 發展 階段	(113 年以後) 全面使用粉體管

北水處已於 108 年正式完成材料標發包，並已請得標廠商供料 DIP 粉體管至北水處直潭倉庫，提供初期推廣階段使用，堅信在拉拔試驗的驗收標準下，應可確保粉體塗裝品質。109 年已發包「109 東區管網汰換工程(DIP 粉體管專標)」、「109 西區管網汰換工程(DIP 粉體管專標)」及「109 南區管

網汰換工程(DIP 粉體管專標)」等 3 標施工標，各施工標均已開工埋設 DIP 粉體管，北水處已朝全面採用 DIP 粉體管邁出成功的第一步。

## 七、結論與建議

1. 為推動 DIP 粉體管政策，期間歷經 DIP 粉體管試辦計畫、拉拔試驗、規範修訂，辦理廠商座談會、雙水相互交流、材料標發包及施工標發包等各項工作，終於在 109 年邁入初期推廣階段，預計於 110 年底前完成 20 公里 DIP 粉體管埋設，再逐年逐步擴大實施，預計於 113 年配水管網系統將全面使用 DIP 粉體管。
2. DIP 粉體管要能順利推動，雙水須共同攜手合作打開國內市場需求，訂定相同的試驗規範，國內鑄鐵廠商因自來水事業單位持續開出需求，廠商才有足夠誘因去做產線開發。
3. 目前僅訂初期粉體塗裝允收標準，後續自來水事業若要求更優質之粉體塗裝品質時，勢必將增加鑄鐵管製造商之生產成本，屆時應適度調整 DIP 管材預算單價。
4. 為確保粉體內襯管材之埋設品質，除加強現場運搬及倉儲管理之外，鑽孔施工更是不容忽視的一環。
5. 為求驗收公正性，拉拔試驗應委託 TAF 實驗室進行試驗。
6. 為改善粉體管封口破裂無法修補，造成粉體暴露在太陽光下的問題，須以塑膠蓋(厚 2mm 以上)進行封口。

7. 修補液國內已可自行調製，無須仰賴進口，為確保修補液是否對於水質有健康風險影響，建議由塗料生產製造廠商出具相關溶出試驗報告。

## 八、參考文獻

1. 延性石墨鑄鐵管水泥襯裡加密封塗層可行性評估報告，臺北自來水事業處，103 年 10 月。
2. 台灣自來水公司，澎湖地區送配水管管種最適化探討，中華民國自來水協會，104 年 5 月。
3. JCPA T 47 延性鑄鐵管內襯-環氧樹脂粉體塗裝
4. ASTM D 4541 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers
5. CNS 13273 G3254 延性鑄鐵管及管件內面用環氧樹脂粉體塗裝。