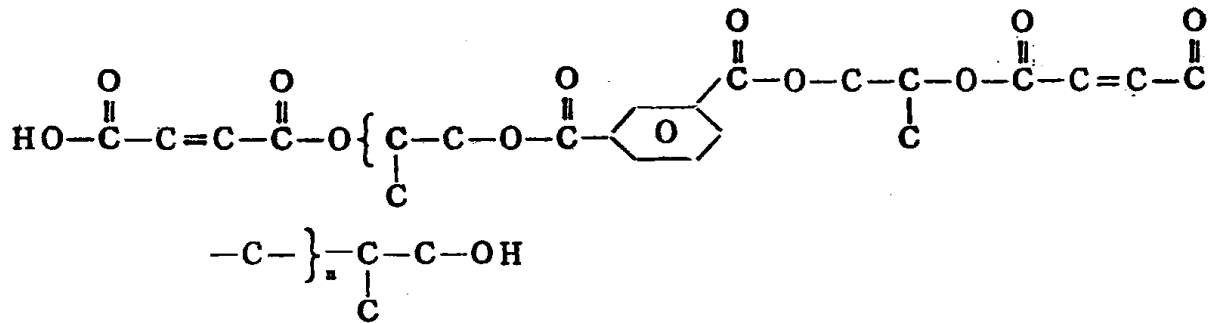




### 2-2-2 間系不飽和聚脂 (Iso Phthalic polyester)

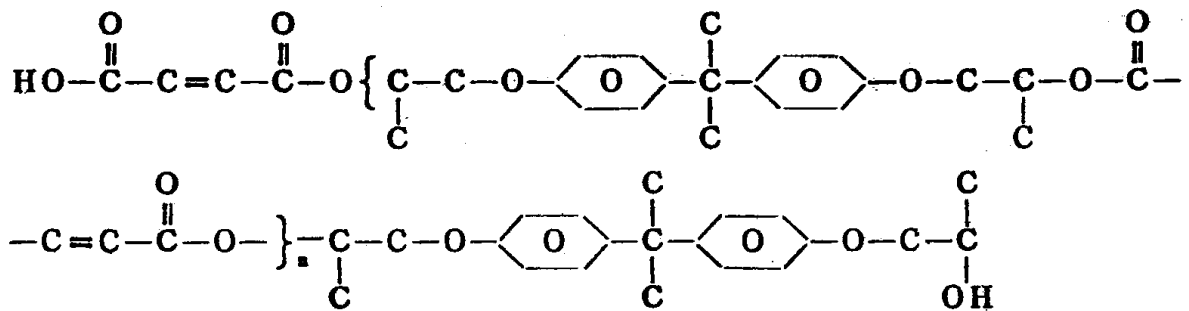
結構



Iso Phthalic polyester 對弱酸、水為極佳的耐蝕材料，但易被苛性鈉所腐蝕。

### 2-2-3 二酚丙烷系 (Bisphenol-A Polyester)

結構

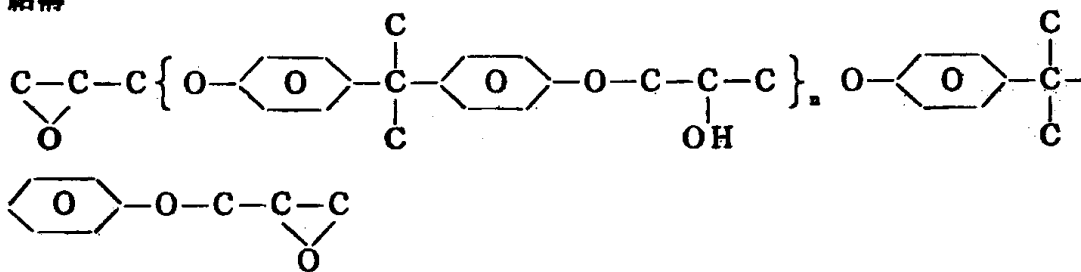


Bisphenol-A Polyester最特殊的是主鏈以二酚丙烷 ( $-\langle \text{O} \rangle-\underset{\text{C}}{\text{C}}-\langle \text{O} \rangle-$ ) 為構架，分子

量大，相對地使酯基濃度減少，因而其具有優越的耐酸、耐鹼、耐鹽性等。

### 2-2-4 環氧樹脂 (Bisphenol-A Epoxy)

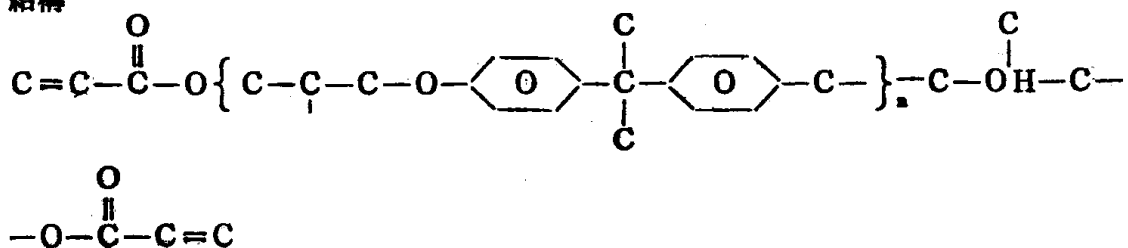
結構



Epoxy 亦見以二酚丙烷為構造，不含酯基，故耐蝕性優越，常溫硬化使用胺基 (Amine) 硬化劑，胺基本身為鹼性物質，故耐鹼性優良，對苯化學性能佳，但對酸較差。

### 2-2-5 乙烯酯 (Vinyl Ester)

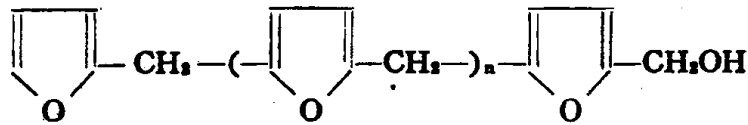
結構



Vinyl ester 末端是壓克力基，主鏈以二酚丙烷為構造，酯基濃度較 Bisphenol-A Polyester 為少，所以更具優良的耐蝕性和耐溶劑性，其主鏈不含雙鍵，硬化時只以尾端雙鍵鍵結，故具有優越的機械強度，存在二個OH基，故和玻璃纖維相容性最佳，具有最好之屈曲性。

### 2-2-6 呋喃樹脂 (Furan Resin)

結構



Furan Resin 由於其結構特殊，其施工乃是在常溫硬化後再施行高溫硬化處理，Furan Resin FRP 內襯具優異的耐強酸性，耐強鹼性和耐溶劑性，耐熱可達 150°C，但不耐氧化性酸。

### 各耐蝕樹脂的耐藥品性比較 (表一、表二)

表一、各樹脂耐藥品性之比較表

| 性<br>能           | 樹<br>脂<br>型<br>態 | 不飽和聚酯樹脂 |      |      |      |      | 乙烯酯樹脂 |                 |              |
|------------------|------------------|---------|------|------|------|------|-------|-----------------|--------------|
|                  |                  | Ortho系  | Iso系 | TAP系 | Bis系 |      | HET   | Bis phenol<br>型 | Novolac<br>型 |
|                  |                  |         |      |      | BPA系 | HBPA |       |                 |              |
| 伸長率 %            |                  | 2.0     | 2.0  | 2.2  | 2.0  | 1.7  | 1.0   | 5.0             | 3.0          |
| 熱變型溫度 °C         |                  | 95      | 115  | 135  | 125  | 130  | 135   | 110             | 160          |
| 耐<br>藥<br>品<br>性 | 耐酸性              | △       | ○    | ○    | ◎    | ◎    | △ ○   | ◎               | ◎            |
|                  | 耐鹼性              | × ×     | ×-△  | ×    | ◎    | ◎    | ×     | ◎               | ○            |
|                  | 耐氧化性             | ×       | △    | △    | ○    | ○    | ◎     | ○               | ○            |
|                  | 耐溶劑性             | ×       | △    | △    | ×    | △    | ×     | ○               | ◎            |

◎：優 ○：良 △：可 ×：不可 ××：絕對不可

表二、各種材料的耐藥品性

| 材料名稱    | 耐酸性 | 耐鹼性 | 耐有機溶劑性 | 耐氧化性 | 使用上限溫度    |
|---------|-----|-----|--------|------|-----------|
| 呋喃樹脂    | ○   | ○   | ○      | ×    | 150-200°C |
| 三酚丙烷聚脂  | ○   | ○   | ×      | △    | 100-120   |
| 環氧樹脂    | △   | ○   | ×      | ×    | 90        |
| 硬質橡膠    | ○   | ○   | ×      | ×    | 50        |
| 硬質氯乙烯樹脂 | ○   | ○   | ×      | ○    | 60        |
| 不銹鋼     | ×   | ○   | ○      | ×    | >200      |

2-3 玻璃纖維 (Glass Fiber)

2-3-1 表面氈 (Surface Mat) : 理論上與藥品接觸而最好由樹脂組成, 但施工上有困難而且脆弱, 因此表面由表面氈 (10%) 與樹脂90%可獲得完善效用。

234-2 玻璃氈 (Cbopped Strand Mat) : 纖維呈不規則方向, 均勻交叉層積而成, 樹脂含量約70—75%, 使斜方向的應力 (Stress) 獲得極佳的改善。

2-3-3 玻璃布 (Glass Cloth) : 以捻過的玻璃絲 (Glass Filament) 作為原絲織成布者樹脂約50%。

2-3-4 編紗布 (Roving cloth) : 是用 Glass roving 所織成的較厚的布, 樹脂含量約50—55%。

2-4 促進劑 (Promoter)

耐蝕 FRP 內襯最普遍的促進劑是環烷酸鈷 (Cobalth Napht henate), 其功用乃在促進自由基 (Free radical) 反應, 添加量0.5—1%, 除此尚有DMA (Dimethyl Aniline) 唯其添加量僅0.05—0.1%。

2-5 觸媒 (Catalyst)

最常用的是 MEKPO (Methyl Ethyl Ketone Peroxide)、CHP、TBPO等過氧化物當硬化劑, 其添加量約在1—2%, 唯隨著儲存時間的增長, 觸媒將逐漸降低其活性。

2-6 樹脂各型態之硬化反應性比較 (表三、表四、表五)

表三、樹脂型態的硬化反應性

| 樹脂型態           | 硬化條件 | 膠化時間(min) | 硬化時間(min) | 最高發熱溫度(°C) |
|----------------|------|-----------|-----------|------------|
| Iso-Type 系     | a)   | 19.6      | 34.3      | 157        |
|                | b)   | 5.8       | 9.7       | 173        |
| Bis-Phemical 系 | b)   | 37.1      | 54.0      | 149        |
| Vinyl Ester 樹脂 | b)   | 34.0      | 62.0      | 145        |

註：硬化溫度25°C

a) MEKPO 1%, 6% Cobalt naphthenate 0.5%

b) MEKPO 1%, 6% Cobalt naphthenate 0.5%, DMA 0.05%

表四、Bis-Phenel系樹脂的硬化

| 硬化劑添加量 (%) |      |      | 促進劑添加量% |      | GT    | CT    | Tmax | RS   |
|------------|------|------|---------|------|-------|-------|------|------|
| MEKPO      | AAPO | TBPO | 6% Co   | DMA  | (Min) | (Min) | (°C) | (%)  |
| 1          | —    | —    | 0.5     | 0.05 | 32.2  | 79.9  | 134  | 2.5  |
| 1          | —    | —    | 0.5     | 0.10 | 12.0  | 22.8  | 167  | 2.8  |
| 0.5        | —    | 0.5  | 0.5     | 0.10 | 61.8  | 84.4  | 163  | 0.1  |
| —          | 1    | —    | 0.5     | 0.05 | 21.3  | 29.5  | 151  | 1.3  |
| —          | 0.5  | 0.5  | 0.5     | 0.05 | 26.2  | 33.1  | 172  | 0.03 |

註：硬化溫度25°C

樹脂：ATLAC382-05

RS：Styrene 殘留量 (室溫放置7日後80°C2小時硬化)

表五、Vinyl Ester樹脂的硬化

| 硬化劑添加量 (%) |     |      | 促進劑添加量 (%) |      | CT    | CT    | Tmax | RS  | 發泡  |
|------------|-----|------|------------|------|-------|-------|------|-----|-----|
| MEKPO      | CHP | TBPO | 6% Co      | DMA  | (Min) | (Min) | (°C) | (%) | 有 無 |
| 1          | —   | —    | 0.5        | 0.05 | 26.2  | 46.6  | 114  | 8.6 | 有   |
| 0.5        | —   | 0.5  | 0.5        | 0.05 | 29.5  | 48.1  | 150  | 4.6 | 有   |
| —          | 1   | —    | 0.5        | 0.1  | 22.5  | 40.3  | 112  | 7.3 | 無   |
| —          | 0.5 | 0.5  | 0.5        | 0.1  | 29.9  | 45.0  | 153  | 4.1 | 無   |

註：硬化溫度25°C

樹脂：Derakane 411-C-45

RS：殘留 Styrene (室溫放置7日後測定)

### 三、施工法

#### 3-1 設計上的重點

設計內襯的母體時，內襯面需盡量加工成平滑狀，破洞在直徑3公分以上者需修補，凹陷銳角部份盡量補平，否則樹脂在未硬化前會流動，該部份樹脂含量少，殘留針孔。FRP內襯大體可分：

##### (1) 結構層 (強化層)

此結構層重點在於強度，Roving cloth 強度最佳，但樹脂含量約50—55%耐蝕差，為強化耐蝕性故以R和M交互積層。

例如：M+M+R+M+R+M……

##### (2) 耐蝕層

此耐蝕層重點在於樹脂的耐蝕，故樹脂量需多

例如：流動激烈的貯槽耐蝕層用……+R+M+C+

M+C+SM

R=Roving cloth 600—800g/M<sup>2</sup>

C=Glass cloth 200—300g/M<sup>2</sup>

M=Cbopped strand Mat 300—600 g/M<sup>2</sup>

SM=Surface Mat 0.25—0.5mm厚

#### 3-2 表面處理

清理殘渣、污垢，予以噴砂處理至SSPC-SP-10 (Sa 2<sup>1/2</sup>) 以上或給予酸洗，通常用15% HCl 酸洗至泡消，再以水沖洗後乾燥。

#### 3-3 積層施工

##### (1) 底漆 (Primer)

A、噴砂後8小時內上塗 Primer。

B、底漆主劑與硬化劑依混合比例完全混合，攪拌均勻靜置3—5 min。

C、均勻將其塗在被塗物上。

##### (2) 主層

A、待底漆硬化後，始能開始積層。

B、主劑與硬化劑依混合比例完全混合，攪拌均勻靜置3—5 min。

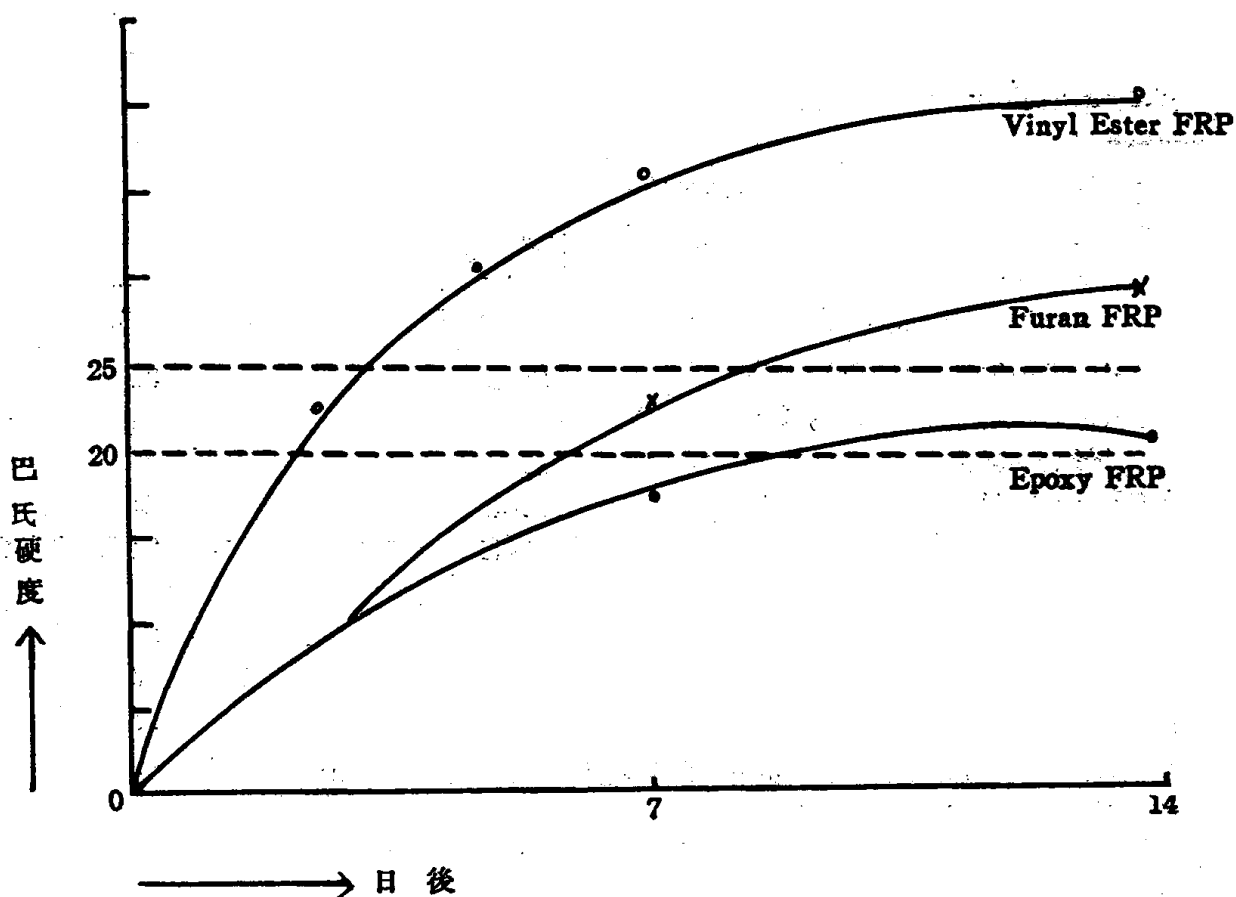
C、均勻塗佈在被塗物上，而後將纖維張貼於上面再以滾筒 (Rollor) 壓平，使纖維完全含浸於樹脂中。

D、待硬化後，重覆B、C項積層到所需厚度。

### (3)面漆 (Top Coat)

#### 施工時應注意事項

- (1)施工時須有專人監工。
- (2)堅立禁煙及閒人勿入之牌子於施工處及儲存處。
- (3)樹脂、硬化劑、促進劑、洗劑，均屬易燃物，需遠離火源，儲存於陰涼處。
- (4)促進劑、硬化劑須分開儲存，使用時再各別拿取，注意二者若直接接觸，會起激烈反應，危險。
- (5)儲存處及施工場所通風要良好。
- (6)攪拌時需在固定地方，攪拌器須穩定。
- (7)秤量時須很精確。
- (8)混合後之樹脂須一次用完，否則易膠化。
- (9)硬化後，若有不平或氣泡處，須將之磨平，然後再修補之。
- (10)施工中，工具須持於眼線下，以防滴入眼睛，皮膚避免接觸到樹脂、促進劑、硬化劑。
- (11)施工完畢，工具須以洗劑 (Acetone) 清洗。
- (12)施工中，工具須常以 Styrene Monomer 清洗。
- (13)施工完畢，所用廢棄物須集中置於適當安全地點。
- (14)施工休息階段，可離開施工地點作深呼吸。



圖一、在測定時期內常溫硬化與硬度關係例 ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ )

#### 四、耐蝕FRP內襯之檢驗

##### 硬度

一般FRP內襯硬度均採用巴氏硬度 (Barcol Hardness)，巴氏硬度計 (Barcol Impressor) 主要功用乃依此非破壞性檢驗出FRP之硬度，藉以

- (1) 解析不飽和聚脂之架橋劑 Styrene monome 殘留量與諸物化性的關係。
- (2) 測試 Epoxy 樹脂添加硬化劑種類之硬度變化及硬化程度。

表六、樹脂內襯種類與巴氏硬度基準值參考表

| 樹脂內襯的種類                 | 巴氏硬度推薦基準值    |
|-------------------------|--------------|
| Iso-Type 不飽和聚酯樹脂        | 25以上         |
| Bis-Phenol 系不飽和聚酯樹脂     | 25以上         |
| Vinyl ester 系聚酯樹脂       | 25以上         |
| Furan 樹脂<br>(特殊性能要求之場合) | 25以上<br>40以上 |
| Epoxy 樹脂                | 20以上         |

表七、樹脂系統與允許巴氏硬度參考表

| 樹脂                             | 要求巴氏硬度 | 最小容許巴氏硬度 |
|--------------------------------|--------|----------|
| Atlac 382-05A                  | 35-40  | 32       |
| Atlac 4010A                    | 28-35  | 25       |
| Atlac 711-05A                  | 35-40  | 32       |
| Hetron 197A                    | 38-45  | 34       |
| Hetron 92C(TG)<br>With 5%Sb203 | 38-45  | 34       |
| Hetron 72                      | 4-50   | 36       |
| Qua Corr RP-100A               | 43-51  | 38       |
| Epon 828                       | 40-48  | 36       |
| Bondstrand 4000                | 44-54  | 40       |
| Derakane 510-40                | 36-42  | 32       |
| Derakane 411-45                | 36-42  | 32       |
| Derakane 470-45                | 38-45  | 34       |
| Dion Cor-Res 6694              |        |          |

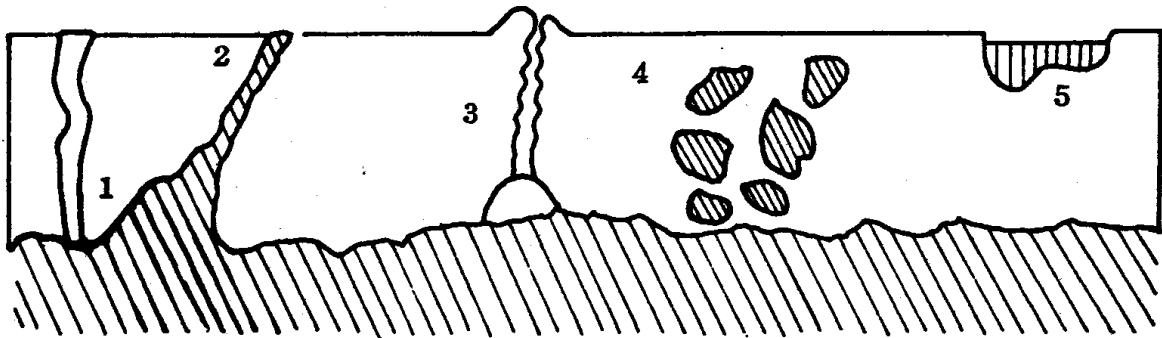
#### 4-2 厚度

耐蝕 FRP Lining 厚度依各用途需要設計而有所差異，其平面測定點通常大 1 點/2M<sup>2</sup>，而整個桶槽至少亦應 5 個測定點。

- (1) 金屬鐵為基材之 FRP，以電磁式膜厚計感應係數的變化或永久磁式膜厚計藉磁石之吸引力測定厚度。
- (2) 金屬鐵以外之銅、鋅、鉛、鋁，以渦電流式膜厚計藉表面電流的變化測定厚度。
- (3) 或以超音波的回聲變化測定厚度。

#### 4-3 針孔和外觀

FRP 內襯因施工不良，蘊含一些小的空孔或氣泡，這些空孔或氣泡的存在，均會減低材料之強度，降低 Lining 的防蝕效能。一般來說，空孔是由於手積樹脂和強化材料時所帶入的空氣造成的，而在樹脂系統硬化時，揮發性成份的逸出，也會造成同樣的結果。



圖二、Pin hole 及外觀剖面分析圖

1.Pin hole 針孔    2.Crack 裂縫    3.Blister 氣泡    4.介在物    5.局部薄膜

### 五、FRP 內襯實例

FRP 內襯實例很多，現例舉一些較明顯例子

例一、位於美國猶他州 Wood Crass 地方一座 6,500 桶，直徑 115 呎鉚釘固定於鐵槽腐蝕穿洞，於 1967 年 6 月完成異苯二甲酸不飽和聚脂 FRP 內襯以後，儲存鍋爐用油屬於一種蒸餾液，溫度介於 170 到 175°C，當 1978 年檢查情況相當良好。

例二、1960 年美國肯薩斯州 Humboldt，一座 107,000 桶油槽（編號 6783）發生洞蝕，作了鄰苯二甲酸聚脂 FRP 內襯，儲存原油，在 1974 年做檢視時，需要做一些補修，補修則使用異苯二甲酸聚脂材料，再使用一段日子後發現槽底含多量過鐵酸鹽，剛好 1978 年決定儲槽改用 Hetron 72 面漆，發現以鄰苯二甲酸聚脂，大量被溶解而露出玻璃纖維，成碎石狀，但是紅色之異苯二甲酸聚脂所補修却保持相當硬度，緊貼槽壁。

例三、位於美國密蘇里州 Sugar creek 地方，編號 169 號儲槽於 1963 年 11 月檢修，發現鉚釘固定的鐵槽底部有嚴重蝕坑，深達 3/16" 還有三處完全穿洞，在焊好這些洞後槽底和槽壁，18 吋高均鋪上異苯二甲酸聚脂 FRP 內襯，這些工作於 1964 年 1 月施工，天氣寒冷，施於槽外加熱促進樹脂完全反應，在內襯之前與完工之後油槽儲存低硫質原油，在最近 1978 年檢視發現其壁面如球場地板般平滑。

例四、位於美國肯薩州 Humboldt 地方 9 座 55,000 儲槽因腐蝕嚴重而漏油（施以異苯二甲酸聚脂 FRP 內襯），在這之前和以後油槽皆儲存柴油及 1、2 號燃油當 1978 年 4 月清洗時發現極為良好，雖然



9 座儲槽中二個因失去光滑表面，但所有槽內襯處均保持相當的硬度。

例五、1971年7月位於印第安納州 Whiting 地方，編號 3620 鐵槽底部腐蝕嚴重，接受異苯二甲酸聚酯 FRP 內襯，從此之後，儲存酸性原油，7年後1978年3月槽被清洗準備改變為可移動浮頂，檢查槽底、壁情況良好，雖然這儲槽被稱為最髒的儲槽，因槽內滿佈紅色修補覆塗物，但這些 FRP 內襯仍舊保存良好硬度。

例六、軍方某單位17,500公秉地下柴油池，建於日據時代，民國六十九年發現嚴重腐蝕及落油現象，決定採用耐蝕樹脂乙稀酯作 FRP 內襯，（由中央玻璃纖維公司負責施工）同年10月開工，翌年3月完工，至今使用情況良好。（註）

例七、國內施以強化玻璃纖維內襯（FRP Lining）其他實例已經非常多，例如中國石油公司，硫酸工場之純水槽、廢氣塔。臺灣塑膠公司，南亞塑膠公司之電渡槽，大德昌石化公司之中和槽、純水槽，中華紙漿公司，臺紙公司之各種漂白槽，臺灣化學纖維公司之成絨槽，統一企業公司之廢水處理池槽，南僑化工公司之貯槽，高雄市政府中洲海洋放流管 FRP 防蝕內襯……等等，均由柏林股份有限公司責任施工，業經多年，情形均非常良好。

（註）地下柴油貯槽內襯，施工經驗有下列各項：

- (1)準備工作：材料、工具、人員配置、照明、通風裝設、噴砂機具、清洗機器……等各項準備。
- (2)安全檢查：施工前，施工中均需有完善的安全檢查，不然易生危險，例如用電安全測試，槽內有毒氣體含量檢查，Styrene 含量應在100PPM以下，氧氣應16%以上。
- (3)油槽清洗：須將附着於槽胴體，底板之油污、雜物，以特殊界面活性劑，經高壓清洗機以  $200\text{kg}/\text{cm}^2$  作清洗處理。
- (4)油槽防漏：底板龜裂滲水部份，需以特殊防漏劑，立可堵 (Liquid Tight) 作止水處理。
- (5)防蝕內襯：內襯施工前，鋼板需確實施以表面處理，噴砂達 Sa2<sup>1/2</sup> 級以上，然後塗佈底劑 (Primer)，再以玻璃纖維蓆配合特殊耐蝕樹脂 (Vinyl Ester) 作積層，底部 CSM#300 三層，表面毯一層，厚度 3m/m 以上，接角部 CSM#300 四層，表面毯一層厚度 4m/m 以上，其他 CSM#300 二層，表面毯一層厚度 2.5m/m 以上。
- (6)品質檢查：外觀檢查、厚度檢查、硬度檢查、針孔檢查。

## 六、討 論

- 1.不飽和聚酯 (Unsaturated polyester) 已有40年使用歷史，普遍應用於船舶（漁船、遊艇）、建材（浪板、管道）、日用品（衛生設備、水塔等）……等。
- 2.乙稀酯 (Vinyl Ester) 是由美國 Dow Chemical 公司所開發的耐蝕樹脂其產品 Derakane 411、470，其他廠牌 ANTICO、U-PICA 等，應用於石油桶槽、化學桶槽液體洗淨塔、煙囪……等內襯。使用範圍甚廣，主要基於其具有優良的化學性能和物理性能。
- 3.二酚丙烷系 (Bis-A Polyester) 係由 Atlas Chemical 公司所開發 1963 年花王石鹼與 Atlas Chemical 合併，成立花王 Atlas，生產 Bis-A Polyester 的代表 ATLAC 382 樹脂，作為耐蝕樹脂。Bis-A 亦具有很好耐化學性，耐鹼性與 EPOXY 接近，耐酸、熱，韌性則優於 Iso Phthalic Polyester。
- 4.環氧樹脂 (EPOXY) Dow、Shell、Ciba、Vcc 等均有生產，其應用於塗料方面較內襯為多，其耐苯 (Benzene) 性能較佳，耐鹼性亦優良，但對耐酸、熱則差。
- 5.耐蝕 FRP 雖在選擇材料方面佔絕對重要的地位，但要達到最佳耐蝕效果，亦需配合着優良的設計和施工技術。

## 七、結 論

耐蝕 FRP 之施工除了兩種必須使用的基本材料之外，尚有一些添加材料必須在硬化前、硬化中或則硬化後加入這些材料包括稀釋劑、增稠劑、增充料、色料、觸媒、促進劑和加速劑等均可多方面的影響到樹脂的性能。它們可能使硬化後的內襯更強或更弱可能加速硬化，也可能使硬化速度減慢，會使樹脂更容易流動或者使樹脂更容易浸潤玻璃纖維。耐蝕 FRP 從1950年開始發展至今亦有30年歷史，廣泛應用於石化工業、化學工業、食品工業、紙漿工業、染整工業，耐蝕 FRP 主要乃利用耐蝕樹脂優良的施工性，耐酸、耐鹼、耐熱、耐化學藥品和耐滲透性，再配合玻璃纖維（補強材）來增加物理性能，做為耐蝕最佳保護體，獲得內襯使用年限的使命。

作者：任職柏林公司總經理

本會常務理事