



艤裝工廠專題報導

N6154 系列船

鋁合金結構區域鋁材質電纜貫穿件腐蝕問題之探討

報告人：童柏儒 工程師

指導：顏聰輝 廠長、林志隆 主任、洪榮謙 工程師

一、背景

於海巡署首艦 1154 船交船後，經由船員開立保固單編號 D022 反映，發現有填灌 Sealing Compound 之電纜貫穿件有融化、增生異物脫落現象。經登艦實際勘查，發現此現象並非尋常，且僅發生於鋁合金結構區域（如圖 1-1）。且在後續第二艦 1155 船開始填灌 Sealing Compound 後，約莫 7 天後，電纜貫穿件開始有疑似化學反應之異物質冒出，且一樣僅發生於鋁合金結構區域。

有鑒於此一如此特殊之情況，且電裝工場自使用 KVM Sealing Compound 以來從未發生過類似之情況，KVM 原廠也表示從未遇果此情形，所以無法提供明確的解決方法。

且經過多次觀察發現，只要有鎧甲電纜穿過的鋁材質貫穿件都會發生這個現象，若是鋁材質貫穿件內部全部都是橡膠外層包覆之電纜穿過，就不會有這樣的情況發生。經由長官指示深入探討，並進行相關之試驗，以推論出發生此狀況之肇因，並提出能有效杜絕此問題之參考方案。



圖 1-1 艦上鋁材質貫穿件情況

二、試驗方法

本章節中朝三個方向進行試驗，以探討發生問題之肇因，分別為：1. 塗料材質、2. KVM Sealing Compound 批號材質、3. 電化學反應。另也有要求原廠採集化學變化所產生之物質送分析檢驗，以釐清肇因。

1 塗料材質因素試驗

因懷疑可能是 KVM 材質與塗料之材質產生化學質變，並模擬完全無塗裝、無電焊塗裝及電焊後塗裝…等樣品，因此分別拿了 6 個貫穿件做試驗（如表 2-1），需塗裝的貫穿件即委託塗裝工場按照船上之施工工序、工法塗裝，已完全比照船上之方式進行試驗。

表 2-1 6 個試驗用貫穿件示意

	未塗裝	塗料含有 EPOXY	塗料不含 EPOXY
有電焊	○	○	○
無電焊	○	○	○

1.1 試驗步驟

將 6 個貫穿件分為三組（如圖 2-1），分別為未塗裝有電焊、無電焊，塗料中含有 EPOXY 成分有電焊、無電焊，塗料中不含 EPOXY 成分有電焊、無電焊。



圖 2-1 3 組試驗用貫穿件

需電焊的 3 個貫穿件電焊完成後，都有經過研磨處理。其中需要塗裝的兩個電焊過的貫穿件，塗裝工作都委託塗裝工場協助處理。貫穿件準備流程如下（如圖 2-2）：

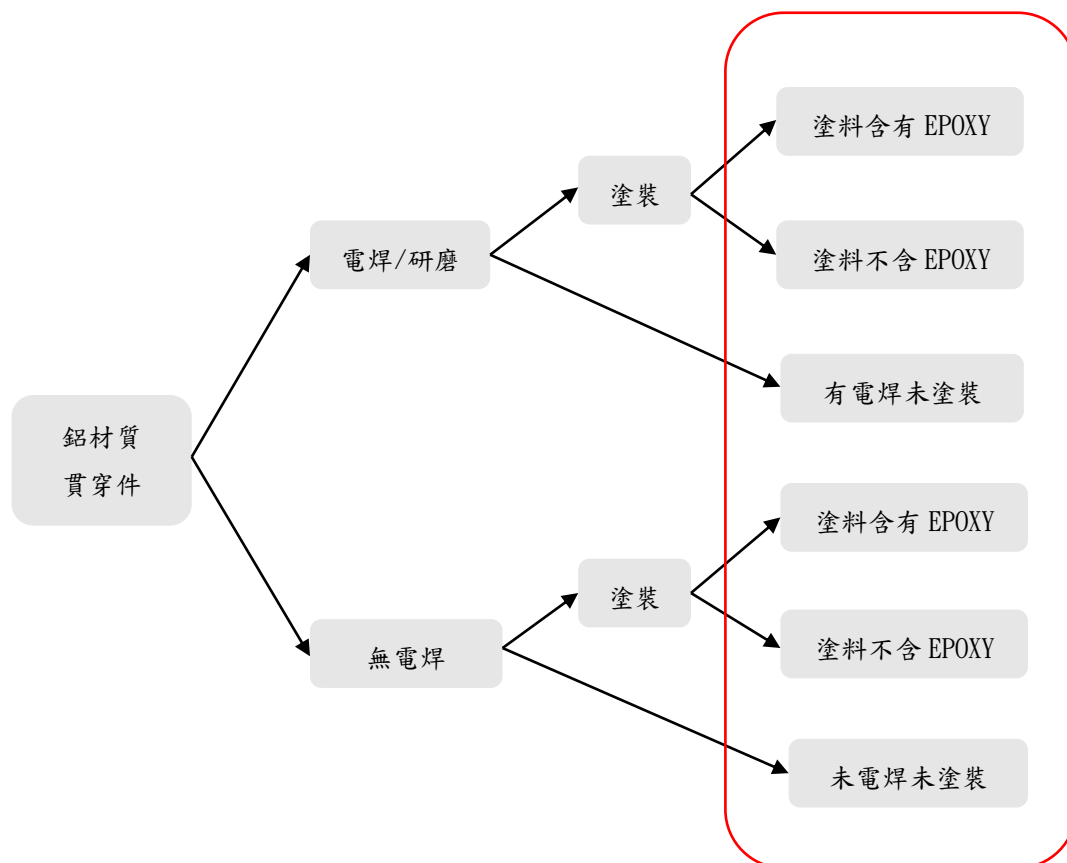


圖 2-2 貫穿件準備流程

貫穿件準備完成後，將電纜分別穿入每個貫穿件後即可進行 Sealing Compound 澆灌作業（如圖 2-3）。



圖 2-3 Sealing Compound 澆灌作業

1.2 試驗結果

1.2.1 未塗裝試驗組

第一組試驗組為未塗裝之試驗組，於 110 年 06 月 30 日進行澆灌後，觀察至今仍未發生任何化學變化（如圖 2-4）。



圖 2-4 第一組試驗組澆灌後之觀察

1.2.2 塗料中含有 EPOXY 成分

第二組試驗組為塗料中含有 EPOXY 之試驗組，於 110 年 07 月 06 日進行澆灌後，觀察至今仍未發生任何化學變化（如圖 2-5）。



圖 2-5 第二組試驗組澆灌後之觀察

1.2.3 塗料中不含 EPOXY 成分

第二組試驗組為塗料中不含 EPOXY 之試驗組，於 110 年 07 月 06 日進行澆灌後，觀察至今仍未發生任何化學變化（如圖 2-6）。



圖 2-6 第三組試驗組澆灌後之觀察

1.3 結論

經此試驗過後反覆觀察至今仍然沒有看到類似船上所生成之物質的任何化學變化，應可推論發生此化學反應之肇因，與塗料成分並無關連。

2 KVM Sealing Compound 批號試驗

此試驗起因為懷疑高雄廠 Sealing Compound 產生質變而造成，因此在長官協助下調用一組基隆廠 Sealing Compound 使用（如圖 2-7）。除了使用同一廠牌 Sealing Compound 試驗外，也請設計尋求其它廠牌之 Sealing Compound 以確保有其他替代品可以解決此問題（如圖 2-8）。

台灣國際造船股份有限公司基隆廠
物料放行證

填發日期：110 年 7 月 5 日 (A) 000390

品名	規格	單位	數量	用途	備考
Sealing Compound	白色塑膠桶		2	至高雄廠	
填發單位	主管審核簽章	單位(廠商)	負責人或攜出人	車號	
機電	黃坤代	揭出	劉仲軒	523-V3	
承辦人簽章	黃坤代	銘達	0913091116	駕駛	劉仲軒

一、本物料放行證需經填發單位二級以上主管審查核章，各欄位如有塗改，請主管於塗改處蓋章。
二、本單物料數量填寫：零壹貳叁肆伍陸柒捌玖拾。
註：編號：QSE-MS-006-07 100.1.1製表



圖 2-7 基隆廠 Sealing Compound



圖 2-8 其它廠牌之 Sealing Compound

2.1 基隆廠不同批號 Sealing Compound

使用基隆廠之 Sealing Compound 於 110 年 07 月 08 日澆灌在 1155 船鋁構區，約莫 7 天後，後發現一樣有產生化學反應之物質產生，因此證明並非高雄廠 Sealing Compound 變質所造成（如圖 2-9）。



圖 2-9 基隆廠 Sealing Compound 澆灌後情況

2.2 尋找它廠牌 Sealing Compound

尋找到它廠牌 Sealing Compound 為 HUOKE JZ-DMT 型號之防火密封填料施工方式同樣為澆灌型式。但因目前尚未到料，所以沒有相關的試驗結果。但是在與廠家的過程中，廠家有提到他們曾經有遇到過使用 JZ-DMT 澆灌鋁材質貫穿件後，亦有發生貫穿件產生腐蝕之情形。

其中該廠家回覆之關鍵內容為「JZ-DMT 型灌注式填料會存在有腐蝕鋁構件的風險，尤其在通電環境下，易發生電化學腐蝕。」詳細內容請參閱參考資料章節。

由此可推斷，Sealing Compound 澆灌後造成鋁材質貫穿發生腐蝕及產生異物之原因為「電化學腐蝕」。

關於電化學腐蝕探討及試驗將於下個章節中細述。

2.3 結論

經過塗料材質試驗及 Sealing Compound 所做的試驗檢視，可以推斷發生化學反應之原因皆與此二方向之試驗無關。

3 電化學反應試驗

參閱其它廠家之經驗及探討，以及多次登上 1154 船及 1155 船勘查後發現，產生貫穿件腐蝕情況之部位，僅發生於有貫穿鎧甲（鐵材質）電纜之貫穿件，有橡膠外層包覆之電纜都沒有發生腐蝕之狀況（如圖 2-10）。



圖 2-10 貫穿之電纜有無橡膠層所造成之變化

上三張圖片為鎧甲電纜貫穿；下三張圖片為橡膠層電纜貫穿

猜測澆灌型式之 Sealing Compound 為導體，澆灌於貫穿件後，導致鎧甲電纜與鋁材質之貫穿件兩異金屬材質接觸，造成電化學腐蝕。相關的研究報告皆指出，兩異材質金屬接觸會造成活性大的金屬產生腐蝕現象。

但由於電化學腐蝕為歷經長時間之反應才能觀察到造成腐蝕的結果，就目前所

觀察的反應現象，皆在 7 天左右發生，因此懷疑在船舶建造過程中，電焊所產生之雜散電流可能會催化電化學反應。

3.1 KVM Sealing Compound 絕緣測試

因懷疑 Sealing Compound 調和後的灌漿為導體，因此針對未乾涸的 Sealing Compound 做電阻量測，果顯示僅有 $16.54\text{K}\Omega$ ，而固化後的 Sealing Compound 絕緣測試也僅有 $19.66\text{K}\Omega$ （如圖-11）。



圖 2-11 Sealing Compound 電阻測量

3.2 艦上實際測量雜散電流產生之電位差

於 110 年 7 月 23 日上，於 1155 船駕駛台左舷舷窗下之電纜貫穿件量測電焊作業時所產生之雜散電流，而當時距離量測點最近的電焊的位置於艦長室。

電錶架設方式為負極極棒對鎧甲電纜之鎧甲層，正極極棒對鋁材質貫穿件，電錶架設後檔位撥到歐姆檔，量測到的電阻為 0.9Ω （如圖 2-12）。



圖 2-12 貫穿件與電纜間電阻測量

因雜散電流較難量測，因此以精密電錶觀察電壓之變化。量測時段分別為上午 09：00～11：00 的施工高峰時段；以及上午 11：30～12：00 接近午休的收工時段。觀察到的電壓變化如下：

3.2.1 施工高峰時段，測量時間為上午 10：09

電錶架設 1 分鐘進行觀察，發現電壓持續變動，變動範圍從 0mV～900mV（如圖 2-13）



圖 2-13 施工時貫穿件與電纜間電壓變化

3.2.2 收工時段，測量時間為上午 11：42

電錶架設 1 分鐘進行觀察，電壓一直維持在 0mV 沒有任何變化（如圖 2-14）



圖 2-14 收工時貫穿件與電纜間電壓變化

3.3 模擬電焊產生雜散電流造成的電化學反應

經由上述的資訊以及實際量測所得到的數值顯示，除異金屬材質接觸後造成的電化學反應外，電焊所產生之雜散電流可能也是催化反應的因素。

因此，在實驗室以一個能夠提供穩定且調整範圍為 0~1.2A 之直流電源之電源供應器，正極連接鎧甲電纜之鎧甲層，負極連接鋁質貫穿件外側，在澆灌 Sealing Compound 後直接通電觀察澆灌到固化過程中所發生的化學變化(如圖 2-15)。

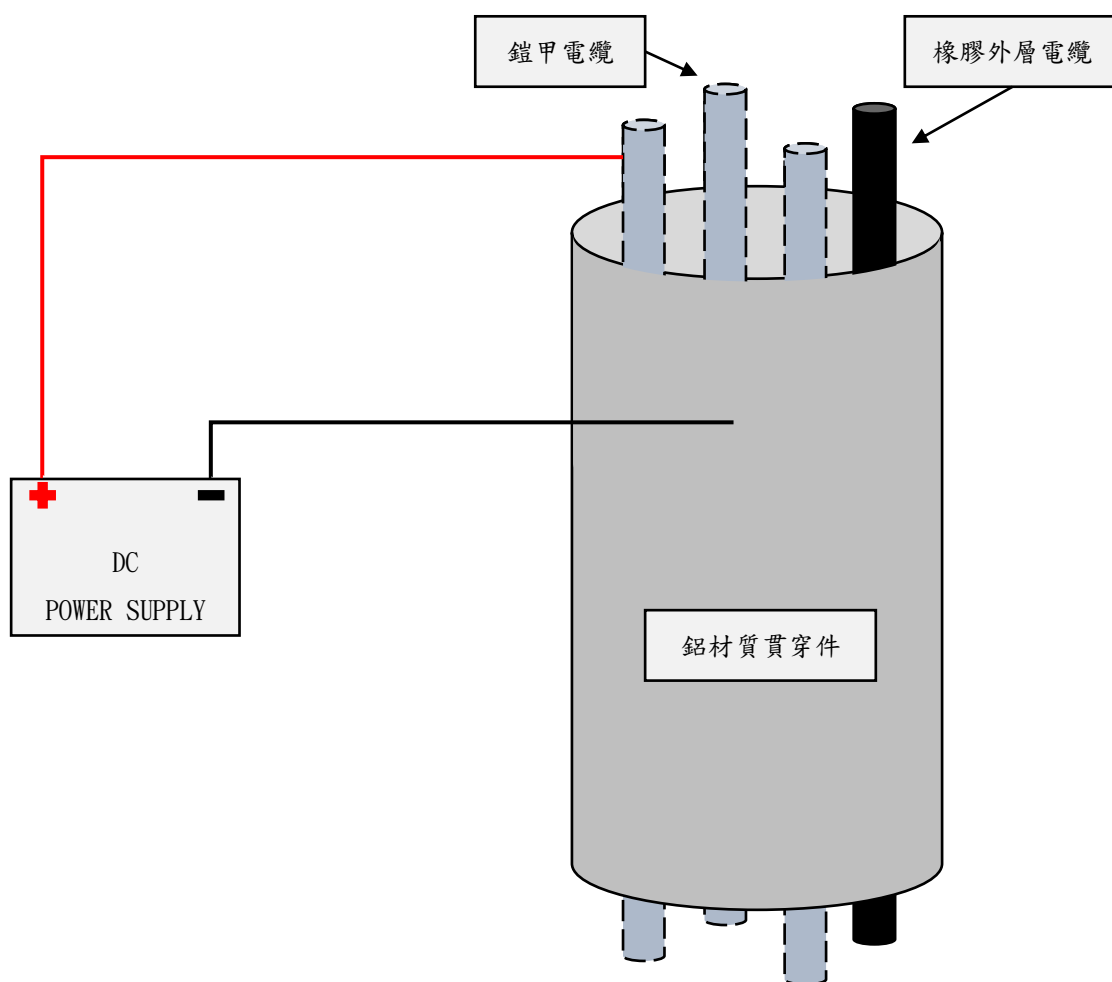


圖 2-15 模擬電焊造成之電流示意圖

3.3.1 澆灌前電阻值量測

電纜貫穿並固定完成後，量測電纜與貫穿件之電阻值，測得結果為無窮大（如圖 2-16）。



圖 2-16 澆灌前電阻測量

3.3.2 澆灌後電阻值量測

澆灌後，量測電纜與貫穿件之電阻值，測得結果為 0Ω （如圖 2-17）。

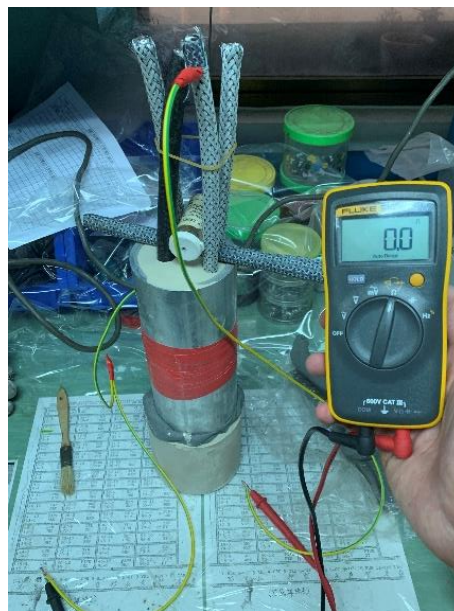


圖 2-17 澆灌後電阻測量

3.3.3 澆灌後通電觀察之變化

於 110 年 07 月 21 日，下午 02：00 澆灌，下午 02：10 外加一恆定之 0.56A 直流電源後，觀察其變化（如圖 2-18）。

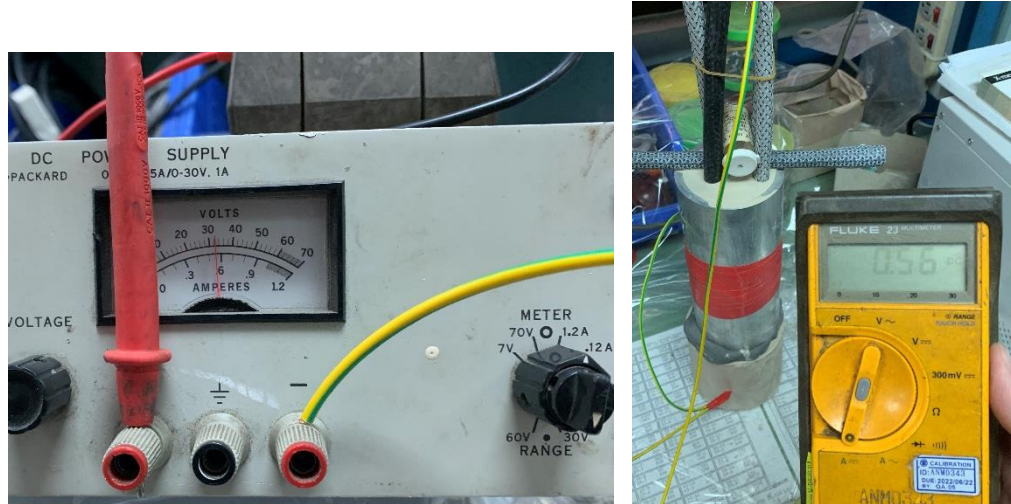


圖 2-18 通電電流紀錄

於下午 02：54 分發現因通電後，開始有氣泡產生。因攪拌過的漿狀 Sealing Compound 內部含有空氣，此為固化過程之正常現象，只是因為通電而加速氣泡之釋出（如圖 2-19）。

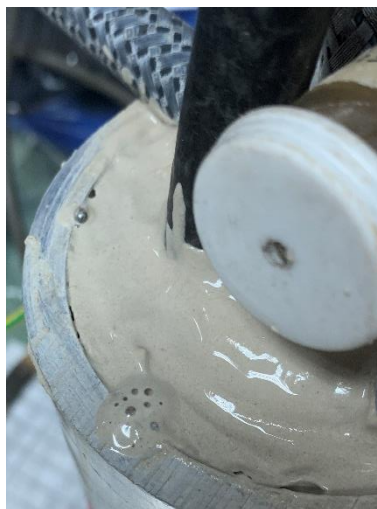


圖 2-19 通電後產出氣泡現象

於下午 04：00 Sealing Compound 固化，發現因氣泡之釋出附著在貫穿件內緣而留下凹槽。並於下午 05：00 切斷電源，於隔日上班再觀察其變化（如圖 2-20）。



圖 2-20 澆灌前電阻測量

於 110 年 07 月 22 日，上午 09：00，發現貫穿件內緣有產生出灰色液狀異物，且有少許白色結晶之現象，與船上發生之情況相似（如圖 2-21）。拍照紀錄後，於上午 10：00 繼續通電，並於下午 05：00 斷電，持續觀察其變化。



圖 2-21 模擬試驗中產出之物質

上兩張為試驗中產出之物質；下兩張為艦上實際狀況

於 110 年 07 月 23 日，上午 08：00 通電，並於下午 05：00 斷電。此日並沒有明顯之變化。

於 110 年 07 月 24 日，上午 10：00 通電，並於 110 年 07 月 26 日上午 08：00 才斷電。在經過 46 小時持續通電後，發現除鋁材質貫穿件異物滲出之外，鎧甲電纜之鐵網也有鏽蝕之情形，與基隆廠發生之情況雷同(如圖 2-22)。



圖 2-22 通電 46 小時後情況

上兩張為試驗之情況；下兩張為基隆廠試驗之情況

目前將保持每日上午 08：00 通電，下午 05：00 斷電，持續觀察電化學腐蝕產生之變化。持續觀察變化所拍攝之照片請於本報告附件中翻閱。

3.4 結論

因澆灌型式的 Sealing Compound 為導體，在澆灌的過程中，形成異材質金屬之導電介質，進而造成電化學腐蝕。再加上澆灌 Sealing Compound 時，船上又處於大量電焊施工的階段，可能造成電化學腐蝕之催化反應。而電焊造成之雜散電流流過漿狀之 Sealing Compound 是否會造成 Sealing Compound 質變而產生異物，目前無法得知，且公司目前沒有相關之檢驗設備。

三、解決方案

從上一章節所執行的試驗方法中得出，只要能徹底隔絕鎧甲電纜之鐵網外層與貫穿件之接觸，就能解決電化學腐蝕的問題。就如同在船上所觀察到只要是有橡膠外層包覆之電纜穿過之鋁材質貫穿件都沒有發生腐蝕的情況。

因此在本章節中將提出兩種解決方案以解決此問題，並加速後續工程之進度，且提供後續船舶設計考量及材料選用之參考。此方法分別為：1. 於鎧甲電纜外包覆一熱縮套管、2. 於鋁材質貫穿件內緣塗抹一層防水膠。以此二種工法施工後之結果如下。

1 於鎧甲電纜外包覆一熱縮套管

鎧甲電纜未包覆熱縮套管前，貫穿件周圍都有滲出異物之腐蝕現象。之後將此貫穿件之 Sealing Compound 敲除，並將鎧甲電纜套上熱縮套管後重新澆灌 Sealing Compound。經超過 7 天之觀察期查看，發現並無電化學腐蝕之現象發生（如圖 3-1、3-2）。



圖 3-1 左圖為有鎧甲電纜造成之腐蝕現象

右圖為敲除後以及將鎧甲電纜包覆熱縮套管



圖 3-2 包覆熱縮套管重新澆灌後之情形

2 於鋁材質貫穿件內緣塗抹一層防水膠

於駕駛台及駕駛台下方夾層左舷及右舷各選 1 個貫穿件塗上防水膠做試驗，總共 4 個貫穿件。貫穿件編號分別為 L4-WT4、L3-15、L2-8G、L2-7G（如圖 3-3），試驗結果如下。

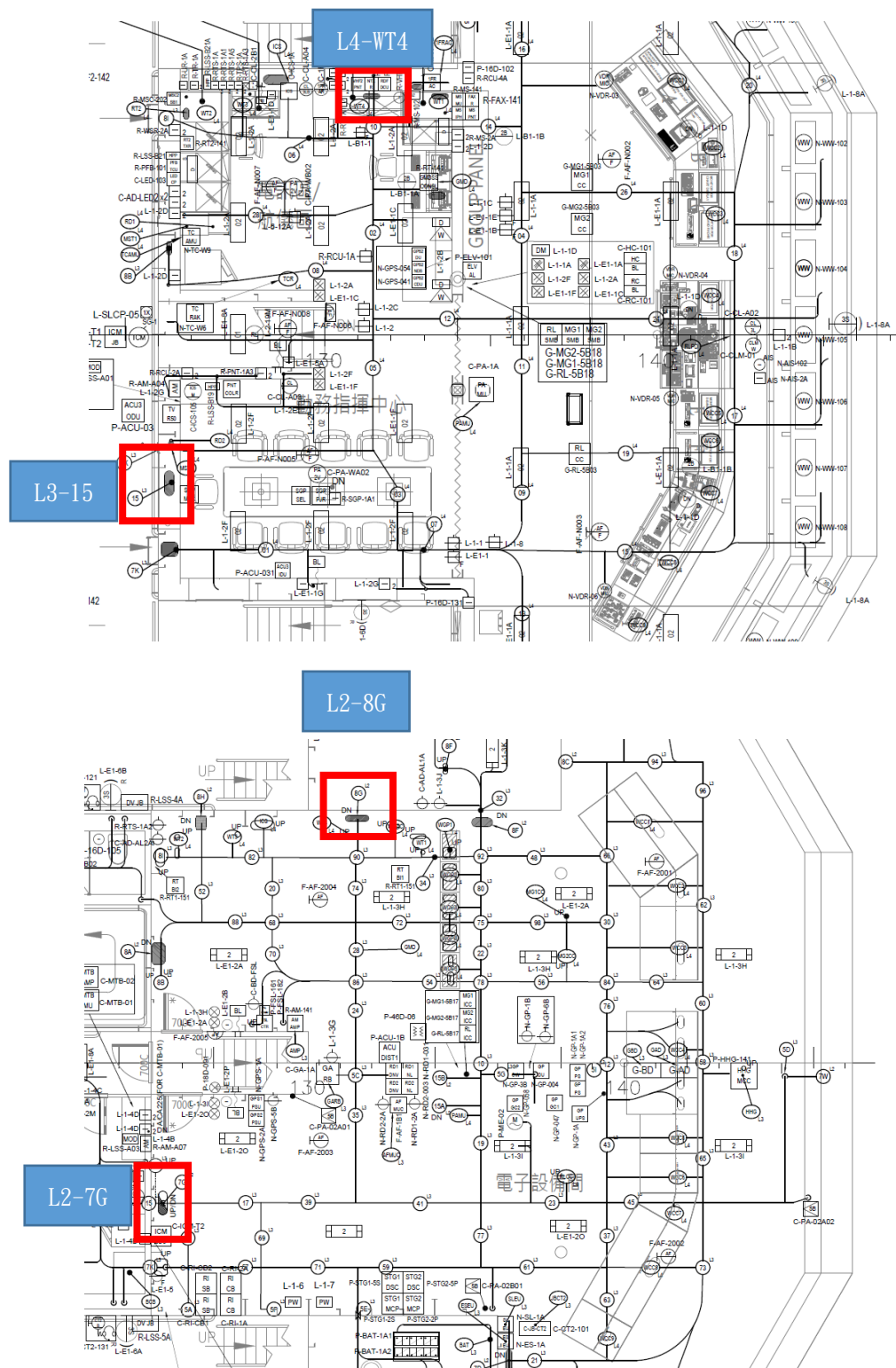


圖 3-3 塗防水膠的貫穿件；上圖為駕駛台，下圖為夾層

使用防水膠種類（如圖 3-4）

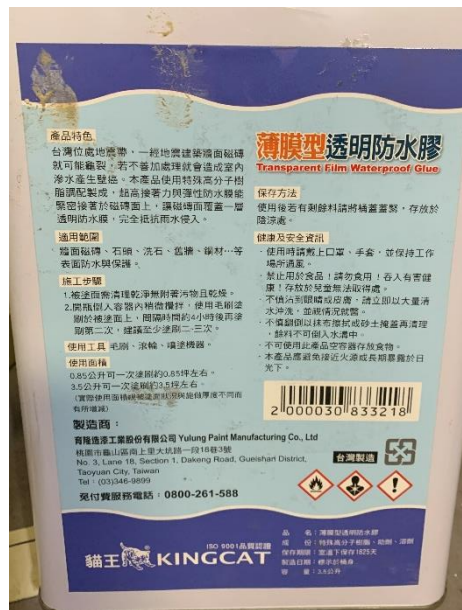


圖 3-4 防水膠照片

2.1 塗上防水膠後電阻值測量

塗抹防水膠後，測量貫穿件與船殼之電阻值，測量結果為無限大（如圖 3-5）。



圖 3-5 塗抹防水膠後電阻值量測

2.2 澆灌打底層後電阻質測量

澆灌打底層後，量測電纜與船殼之電阻值以及 Sealing Compound 與貫穿件之電阻值，測量結果為無限大（如圖 3-6）。



圖 3-6 澆灌打底後電阻值量測

2.3 貫穿件填罐完經過 7 天靜置之情形

只有將 L4-WT4 貫穿件填灌一半，觀察貫穿件內部情況，其餘 3 個貫穿件完全灌滿。於 110 年 7 月 29 日澆灌後經過 7 天觀察，於 110 年 8 月 5 日檢查發現，僅有 L2-8G 貫穿件開口端防水膠破損處有小部分滲漏狀況（如圖 3-7），其餘 3 個貫穿件都無異狀如圖（如圖 3-8）。



圖 3-7 L2-8G 貫穿件防水膠破損處滲漏情形



圖 3-7 其餘 3 個貫穿件情況，其中 L4-WT4 貫穿件僅填灌一半

左圖為 L3-15 貫穿件；中圖為 L4-WT4 貫穿件；右圖為 L2-7G 貫穿件

2.4 結論

經觀察後發現，於貫穿件內部塗抹防水膠確實可以預防電化學腐蝕之情形發生。而在塗抹不均或是防水膠破損處，仍會造成滲漏情況發生。因此，為了預防這種情況發生，將採取以下兩中措施，分別為：

1. 在貫穿件塗抹防水膠時，盡可能將防水膠塗厚一點，也要確認貫穿件開口端一定要確實塗滿防水膠，且於填灌過程中，避免因碰裝及敲擊造成防水膠破損。
2. 澆灌時，先將貫穿件澆灌 8 分滿，待乾固後再加強貫穿件開口端防水膠之塗抹，並於防水膠乾固後，再將貫穿件灌滿。

四、總結

經過主管指導，及在和設計處與品保處多次的探討及協助下，終於討論出以符合現場施工情況，且能在最短的時內解決此問題的方法。

而原本與設計討論之解決方案為更換 Sealing Compound 之材質，但礙於其它廠牌之 Sealing Compound 所需要的澆灌深度都必須達到 200mm，但目前設計圖上所配的貫穿件最深僅 200mm，扣掉打底用的油泥所需的 20mm，最深也僅能澆灌 180mm。因此完全無法使用。

透過此事件可以提出兩點建議，還請長官斟酌考量：

- 1 若可以多方涉略參考其他廠牌之防火填充材於貫穿件之施工說明及標準，並於日後將現有的貫穿件於設計階段都修改成通用標準品，不僅能節省現場施工時領料、找料的時間，且若遇到突發事，急需尋找替代品時，現場所使用的貫穿件亦能符合其它廠家之施工標準。
- 2 將電纜統一修改成都有橡膠外層包覆之種類，不僅能在設計階段線材選用之花樣簡化，且於現場施工時也毋需注意是否有艙間佈纜錯誤之情形。亦可預防此次情況之發生。

五、參考資料

1 HOUKE 提出之答覆及參考：

JZ-DMT 型灌注式填料會存在有腐蝕鋁構件的風險，尤其在通電環境下，易發生電化學腐蝕。這種腐蝕現象也不是必然會發生的。這個是比較傳統的填堵方式，我們也在研究新的無機堵料產品，有望能解決這個腐蝕性的問題。

通常，我們會建議客戶使用套管密封膠的封堵方式，可以規避掉和金屬樞發生反應的問題。

以下是套管密封膠封堵的產品和安裝工藝，您可以參考看看。

产 / 品 / 介 / 绍



产品名称	HK-M型膨胀防火密封胶	产品名称	HK-G型膨胀防火套管
基材	膨胀型水性无机盐	密度	1.4 x10 ³ Kg/m ³
表干时间	5-10 分钟	膨胀率	≥35
强度	1.2 x10 ² MPa	耐火极限	≥5
膨胀率	≥100%	耐火时间	50-100
抗压强度	≥1.0 MPa		
拉伸强度	≥0.5 MPa		
伸长率	≥50		
粘接强度	≥5		
包装规格	300mL/支，20支/箱		
贮存周期	12个月		
贮存条件	干燥，0-30℃室内环境		
	对钢、铝、铜、塑料、橡胶无腐蚀，无卤素		

电缆贯穿防火密封工艺过程 | A级和H级电缆贯穿装置采用完全相同的产品形式 |



步骤①：
清洁电缆表面及护套内壁。



步骤②：
将不同规格HK-G膨胀防火套管
预置在相对热的电缆上，使电缆之
间的距离大于5mm。



步骤③：
电缆根间余空用填充27/19和
19/12两种规格的填充套管。



步骤④：
将HK-M膨胀防火密封胶均匀
涂抹于护套的两端，厚度不
小于20mm。



步骤⑤：
用湿毛巾等工具将密封胶抹平并
适度挤压，以保证密封胶和电缆
以及框架的粘结力。



步骤⑥：
在密封胶完全固化前尽量不要扰动
电缆，以保证密封胶的粘结性能。

2 原廠採樣之檢驗分析報告：

目前還沒有拿到原廠針對此事件之任何報告，請品保處提供。

六、附件

模擬電焊產生雜散電流造成的電化學反應，後續觀察所拍攝之照片

110 年 07 月 28 日：

持續冒泡並有腐蝕現象

