

出國報告（出國類別：考察）

參加 2016 NACE 東亞及平洋區防蝕年
會 NACE East Asia & Pacific Area
Conference

服務機關：台灣中油煉製研究所

姓名職稱：邱德俊工程師

派赴國家：馬來西亞

出國期間：105/08/15-/105/08/19

報告日期：105/09/19

摘要

地下管線的檢測是維護管線安全的必要步驟，在檢測管線時發現除一般因包覆不良產生的土壤因素腐蝕外，也偵測出管線及油槽電位異常波動的行為。在數次的開挖檢查時，鋼管材料的腐蝕型態明顯不同於以往，因此注意到地下管線可能受到非常嚴重的雜散電流干擾而產生腐蝕穿孔。

由於一旦管線受到雜散電流之攻擊，部份的包覆無法抵抗干擾電流的攻擊，而管材在電解效應下會快速腐蝕並在短期內穿孔。由於雜散電流的干擾表現或因時間及大小因素，很難在儲運設備防蝕定期檢測中察覺，一旦產生啟始反應，鋼管的腐蝕將相當嚴重且有集中性，往往發現時多數油料已洩漏造成污染。

由於各國因應經濟的發展，大量的電力相關基礎建設及交通系統的投入，管線鋪設的密集程度，均使得雜散電流的產生成為必然，為了防止地下管線腐蝕，各國均將干擾腐蝕列為重大的課題，無論是電力系統本身、交通設施單位或是管線擁有者均投入大量的人力與物力進行各種的防制研究、探索新的偵測機制及應用各種檢測方法，希望可以及早發現及改善。本次奉派出國之主要目的為參加在馬來西亞吉隆坡由美國防蝕工程師協會(NACE)東亞及平洋區防蝕分會所舉辦之腐蝕年會，目的是瞭解亞洲各國在地下管線的腐蝕及安全檢測的方法，同時參與討論並汲取相關知識及技術。

目 次

一、目的	4
二、過程	5
三、研討會及重要場次心得	6
四、心得與建議	18
五、附件	19

一、目的

地下管線的檢測是維護管線安全的必要步驟，本所在檢測管線時發現除一般包覆不良產生管線與土壤環境作用的腐蝕外，也偵測出管線及油槽電位異常波動的行為。在數次的開挖檢查時，鋼管的腐蝕型態明顯不同於以往，因此注意到地下管線受到嚴重的雜散電流干擾而產生腐蝕穿孔。

由於一旦管線受到雜散電流之攻擊，部份的包覆無法抵抗干擾電流的攻擊。管材在電解效應下會快速腐蝕並可能在短期內產生穿孔。由於雜散電流的干擾不易在一般管線防蝕定期檢測時察覺，因此一旦產生啟始反應，鋼管的腐蝕將相當嚴重且有集中性，往往發現時多數油料已洩漏造成污染。

地下管線的檢測方式在國內多以鋼管在土壤中表現的電位數據量測為主要作法，根據美國防蝕工程師協會(NACE)所建議的方式有直流電梯度法及交流電電磁感應法，這些方式是否可應用在國內的管線環境，仍要進一步了解。此次參加研討會，主要參與有關地下管線防蝕及檢測方法的討論，了解與會者的使用方式及經驗，希望討論獲取知識及技術，作為本公司在地下油氣管線檢測時的應用。

二、過程

日期	地點	詳細工作內容
08/15	吉隆坡	啟程
08/16	香格里拉會議廳	大會開幕及研討會
08/17	香格里拉會議廳	研討會
08/18	香格里拉會議廳	研討會
08/19	桃園	返程

三、研討會及重要場次心得

會議場次不少分成六個主題同時進行，在參加研討會的不同主題，提出下列主題進行說明。

第一日，2016/8/16 於 Kedah room 舉行的 Cathodic Protection Session 1
New Concepts in Life Extension of Cathodic Protection Systems for Brownfield Offshore Assets

主要內容是主如何更新舊有的陰極防蝕系統壽命以使標的設備得以在防蝕安全條件下再增長使用年限。

Case 1. 1980 年設置的海上鑽油平台再延長 20 年使用壽命的陰極防蝕更新

- (1). 本平台結構以網樁方式安裝在 160 公尺深海水環境
- (2). 原用犧牲陽極失效，防蝕電位已在標準之下，海底結構的防蝕見圖一。



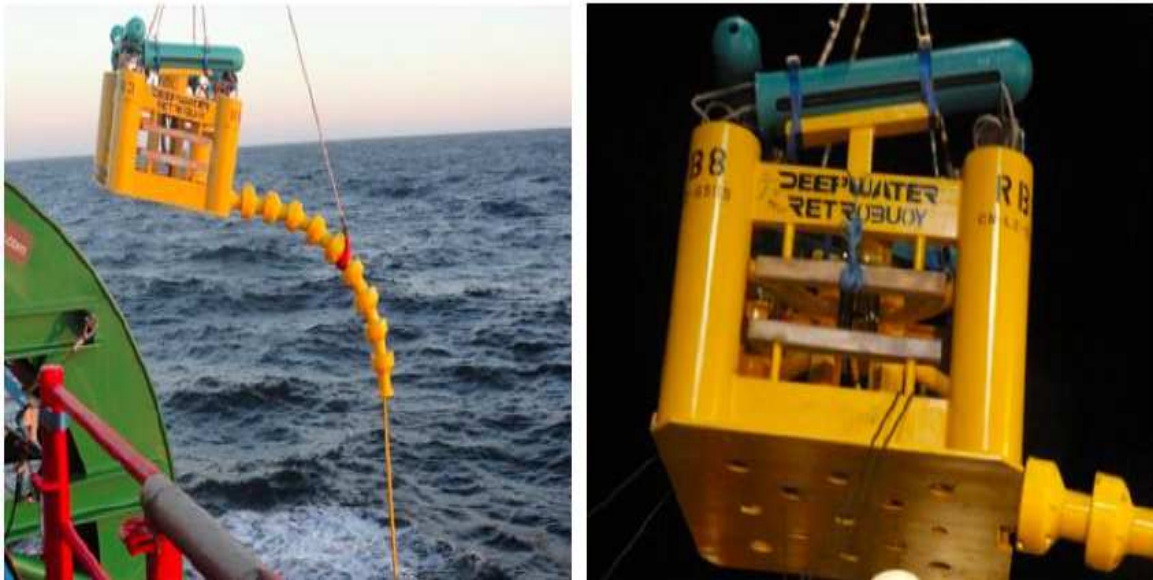
圖一 水下結構的防蝕設施

- (3) 以數值模擬在水下之結構共需 7500 安培電流量。
- (4) 新設有結構是可以安裝陽極，然而在海中的既設有平台安裝是不切實際，因為要拆除舊有殘留設施，再安裝至少 600 噸的陽極其安裝成本是非常高的。
- (5). 在水下的施工空間不足以達到平均電流分佈的目的。
- (6). 改採用外加電流系統，見圖二。
- (7). 以數值計算模擬方式規劃電流的應用性。
- (8). 以 950 安培多回路的電流系統提供，海上物的陰極防蝕常需要極大尺寸的電源散熱系統見圖三，整流器則使用空氣冷卻型態而不採用油浸式以防止海洋的污

染，

見圖四。

(10).應考慮事項有電流分佈、如何監測、陽極的位置及吾人從未思考過的系統散熱。



圖二 改用外加電流陽極的佈放

本主題主要是以經濟的考量來選擇延用的系統，陽極經詢問是以平板方式安置在海床。陽極的阻抗不是問題，反而是電流的回路阻力計算是要詳細評估的。



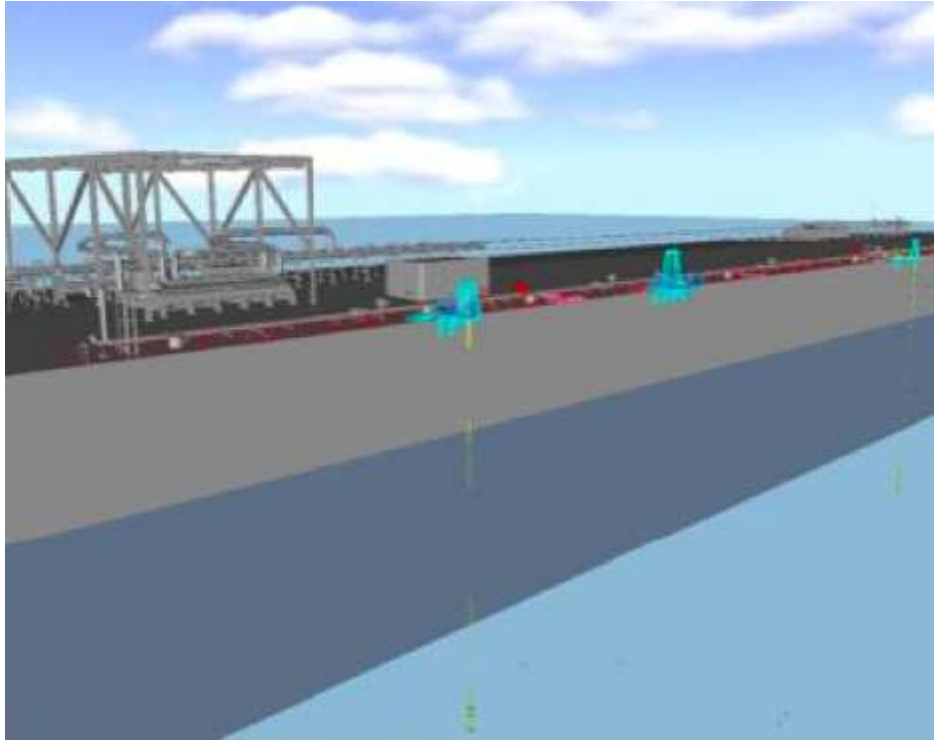
圖三 大型陰極防蝕電源站



圖四 外加電流電力系統

Case 2. 為海上儲油浮式儲槽延役的陰極防蝕更新

- (1). 以船體為海上儲油槽於 1996 年安裝。
- (2). 吃水深 30 公尺，2006 年陰極防蝕失效。
- (3). 所需電流為 300 安培。
- (4). 陽極以懸掛式陽極，見圖五及圖六，本國目前無使用此一型式陽極。
- (5). 考慮使用犧牲陽極或外加電流時要以其穩定性為參考。
- (6). 以 BEM 軟體計算驗證規劃。
- (7). 以雙參考電流控制外加電流的有效性。
- (8). 以無線監測系統讀取參考電流電位控制電流。
- (9). 以 150 安培電位控制整流器輸出電流。
- (10). 要考慮之重點有懸掛式陽極的平衡及穩定性、在海水環境中如何保持陽極的導線不會腐蝕及陽極不致因水流的不穩定而曲線擺動，見圖七及圖八。



圖五 海上浮式儲槽的懸掛式陽極



圖六 海上浮式儲槽的懸掛式陽極及其安裝方式



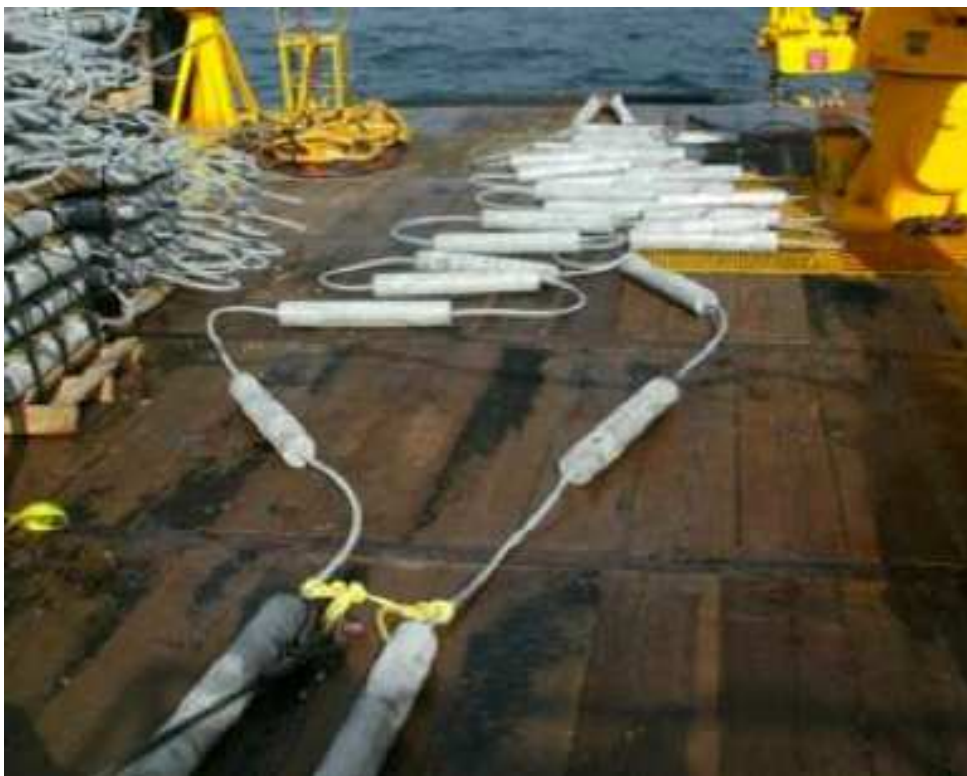
圖七 陽極懸吊作業方式



圖八 陽極接線防過度彎曲保護方式

Case 3. 為鑽油井延役的陰極防蝕系統更新，本設施有 6 條 42 公尺深的鑽油井

- (1) 平台是以 4 支管樁為支撐，有 6 條 42 公尺深的鑽油井，設於 1970 年
- (2) 陰極防蝕電位僅有 $-680\text{mV}(\text{sce})$ 。
- (3) 電流需要在初期為 325 安培，在一般時期要 175 安培。
- (4) 使用拖式陽極安置在管樁底部，見圖九及圖十。
- (5) 成本及天候為主要考量
- (6) 考慮的重點為依操作時期提供不同電流設計，此為台灣未來可考慮使用的方法，可以降低設置成本。
- (7) 陽極的損害會影響電流分佈，因此在環境惡劣的地方可考慮以雙系統保護。



圖九 拖式陽極



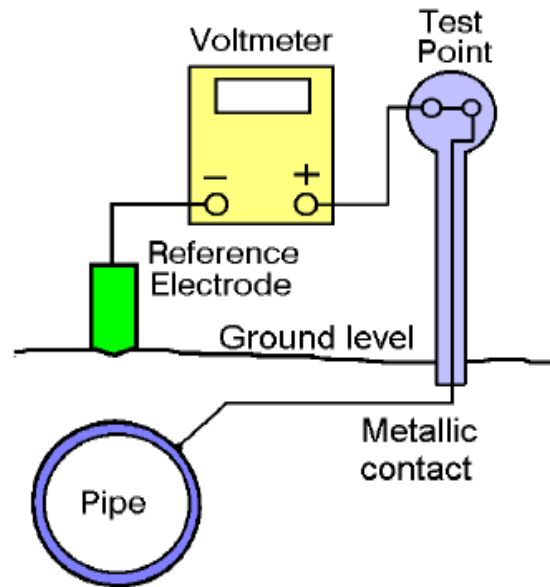
圖十 拖式陽極佈放圖

第二日，2016/8/17 於 Kedah room 舉行的 Cathodic Protection Session 2
Case of Challenges in Optimizing Cathodic Protection in High and Low Temperature
Environment

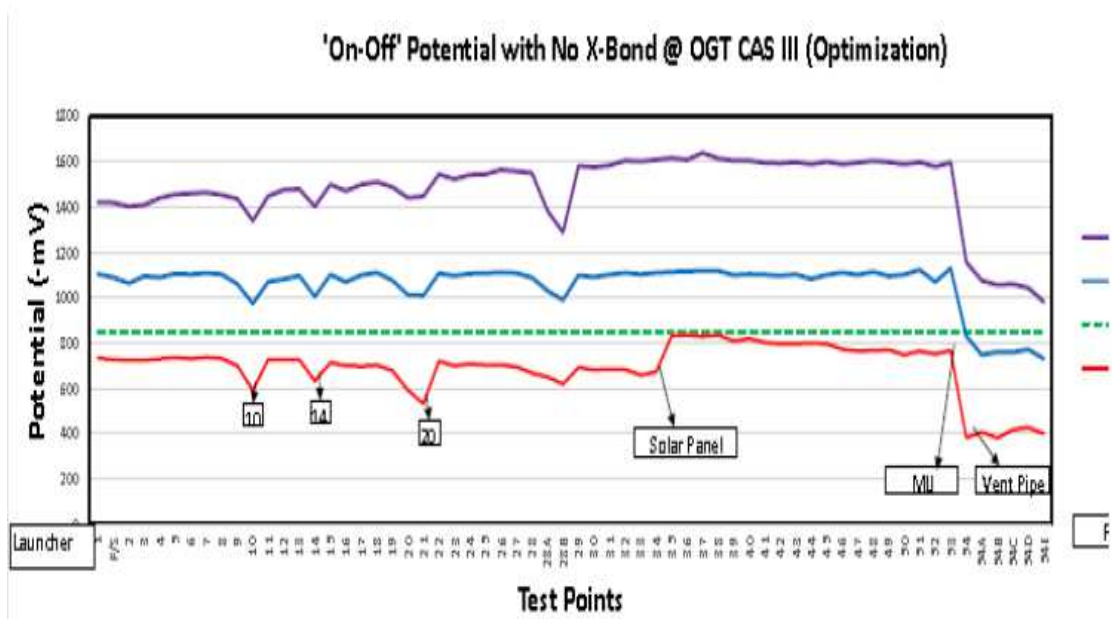
主要是說明在高低溫環境下如何最佳化陰極防蝕系統

- (1) 管線標的沿著 Caspian(裏海)，溫度 - 20°C to + 45 °C
- (2) 包含海岸的氣體處理廠，相關配管及由土耳其至俄羅斯之長途地下管線
- (3) 管線系統複雜有 12 至 24 吋天然氣管、6 至 12 吋廠內管理處及 40 吋天然氣出口至國外的管線。
- (4) 管線經沙漠使用 3 層 PE 包覆管，本國使用 2 層 PE 包覆管。
- (5) 管線經過高壓交流電的地方採用直流阻隔。
- (6) 管線太長所以施工時先用臨時的陰極防蝕系統，這在本國是無此步驟。
- (7) 因管線長因此只能用外加電流方式保護。
- (8) 地處沙漠，因此可考慮太陽能發電，這在台灣南部可考慮使用，無日照時可用交流或電池。
- (9) 管線經過位置，陽極位置均進行土壤電阻率檢測。
- (10) 以 ASTM G57 方式，本司亦採用此法
- (11) 管線經過有干擾疑慮地區時，採用監測作為，見圖十一。
- (12) 以緊密電位進行陰極防蝕效果檢測除建立管線狀態基線外，也可根據檢測結果進行系統調整，此一步驟值得的參考，見圖十二。
- (13) 防蝕標準是使用 NACE 0169-2013 標準，一般控制在-950mV(cse).
- (14) 為了防止包覆的陰極防蝕剝離，電位 off 時不負於 11500mV(cse).

- (15) 長效型參考電極不要放在沙中，此一問題對於本公司埋設電極時應特別注意，應訂標準的環境標準。
- (16) 在高溫量測管線電位時可用水降溫以免溫差電位偏離，此部份本公司早已了解
- (17) 可進行雙極法量測以取得管線的包覆缺陷，此一方式在單一管線是可以執行，但對於地小的台灣，管線用地取得不易，因此同一區域或道路就有多條管線，在各干擾之下要得到 DCVG 的小電位差異來判斷是不易的。



圖十一 管線電位數監測模式



圖十二 管線的電位分佈

第三日，2016/8/18 於 Perak room 舉行的 Research Paper session
Research on Effective Measurement and Protection Technology for Dynamic DC interference of Subway System

本項議題是目前從事管線防蝕人員最為重視的。中國大陸目前擁有最多長度的直流牽引的軌道系統，而影響的管線也最多，特別是北京、上海及深圳等地。在中國的學術界從事此研究領域的學校及機構相當多。今年 NACE 年會特別以中文舉辦一日的管線干擾研討會。中國大陸雜散電流的研究以北京科技大學為重點學校，除研究設備外亦有模擬場。本次演講是由路民旭教授主講管線受到 DC 雜散電流檢測及影響。

因為直流牽引軌道車輛運行時期，從直流電力系統中洩漏出直流雜散電流是不可避免的現象。直流雜散電流會引起軌道周圍的地下管線及鋼構物的腐蝕。這是因為直流雜散電流腐蝕具有量大和集中在特定位置的特點，使金屬管線及結構物出現電解性的腐蝕、穿孔的現象。捷運系統路網鋪設的地下，周圍有高密度的管線系統，其引起的腐蝕問題更為嚴重。大部份的技術人員及研究者在直流軌道系統雜散電流的一些研究中，在產生的機制和防護措施有了一定的認識。但對於直流牽引軌道系統雜散電流動態變化特徵對腐蝕行為的影響規律，以及動態雜散電流與陰極保護系統的相互作用和判斷指標仍在探究中，尤其是如何量測在實際運行中動態雜散電流的大小及腐蝕程度認定帶來了很大的困難。

在直流牽引軌道動態雜散電流干擾下的地下管線腐蝕行為，對於確定動態雜散電流的判斷指標、有效檢測方法和排除技術具有重要的意義和價值。在研究動態直流雜散電流與陰極保護系統共同作用下的腐蝕規律，路教授提出首先要模擬出動態雜散電流進行數量的解析。

因為電流是向量，根據其可加成性，北京科技大學使用電流間斷器來模擬動態雜散電流與陰極保護電流共同作用下經過試片的總電流。即電流間斷器斷開時，試片上只通過陰極保護電流；當斷路器連通時，模擬的是雜散電流與陰極保護電流共同作用下通過試片的總電流。再由控制斷路器的工作時間長短和工作間隔，即可模擬出動態雜散電流與陰極保護電流的相互作用。研究人員採用恆電位儀(此與本國不同)來提供陰極保護，用直流干擾電源上使用間斷器的方式來模擬直流牽引軌道產生的直流雜散電流。

對於其所描述的，有些疑問是要考慮的，即真實的環境中的動態雜散電流腐蝕都是發生在土壤中的，但是實驗室中的土壤性質，容易在試驗後發生改變，降低試驗的正確及有效性。

路教授的研究是在存在動態直流雜散電流的條件下，定時記錄試片與參考電極之間的電位差來得到試片的電位變化情況。同時，測量電阻兩端電壓以得到流經試片的電流變化情況，以此來研究動態直流雜散電流腐蝕的判定指標。在試驗結束後，用重量損失法稱量試片剩餘質量，以損失重量來計算腐蝕速率(這在實際的操作有些困難)。

他指出動態雜散電流的腐蝕速率相對其他形式的電化學腐蝕速率比較慢，但在經歷較長時間的累積後，動態雜散電流造成的腐蝕仍是非常大的，是不能忽視的。在其團隊的研判中，在 1cm² 的試片面積。由腐蝕速率計算公式，干擾的累計時間達到 70.6

小時，即 300ms 持續 98 天，即可以使試片的腐蝕深度達到 1 mm。因此由其研究由時間的累積效應，動態雜散電流腐蝕是不容忽視的。在不同的電流強度下由該團隊試驗數據可以看出短的干擾時間且大電流密度條件下的腐蝕重量損失比長的干擾時間小電流密度條件下的腐蝕重量來得小，即腐蝕程度低。

實際中的直流牽引軌道系統雜散電流如果僅用電位波動的範圍來判定腐蝕的嚴重程度是不夠的，還要與列車運行快慢、軌道電阻、流入地下的雜散電流大小以及頻率相關，軌道電阻與洩漏電流之關係見表一。

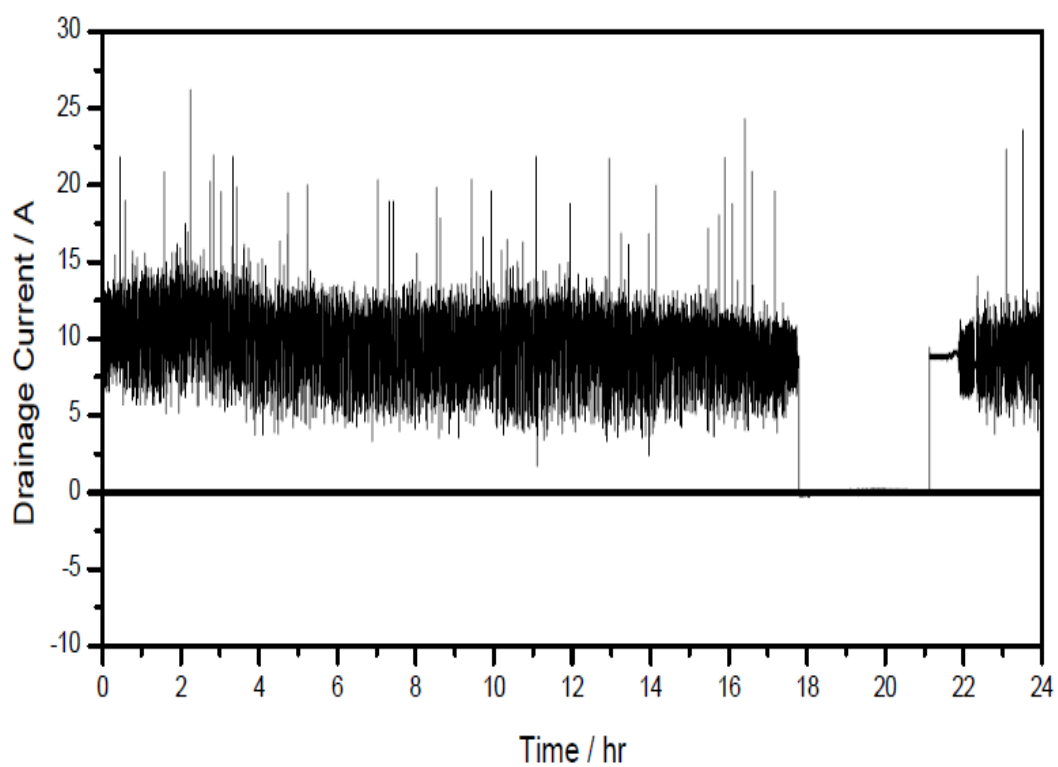
在穩定雜散電流密度相同時，干擾時間對腐蝕速率的影響研究中，腐蝕的重量損失與每個週期的干擾時間呈現出比較好的線性關係，因此他認為干擾時間是影響雜散電流腐蝕的重要因素，同時可以初步推測電流密度是評估腐蝕量的重要因素之一。

Rail to earth resistance Ωkm single track	Stray current with single train drawing 2000 A at 500m from each substation	Stray current with single train drawing 4000 A at 500m from each substation	Stray current with single train drawing 6000 A at 500m from each substation
EN 50122-2: permitted minimum: 2 Ωkm	2.52 A	5.04 A	7.57 A
Design Recommendation: 100 Ωkm	50.1 mA	100.63mA	150.12 mA
Service Operation: 40 Ωkm	125.34 mA	250.21 mA	37.38 mA

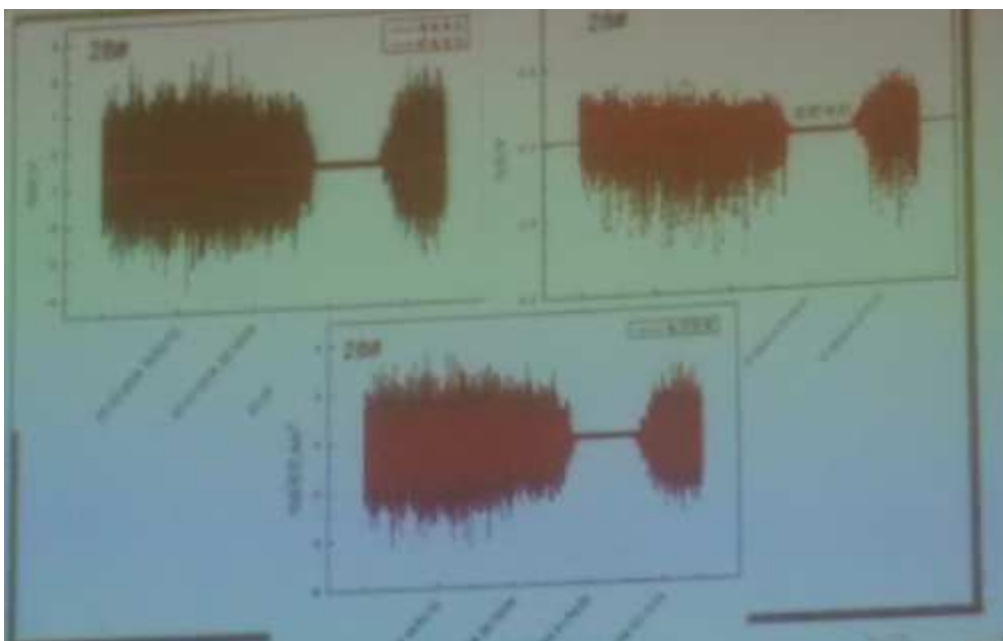
表一 直流牽引軌道車輛軌道電阻與電流之關係

因此在主題中，其論述即干擾電壓大小與腐蝕速率呈正向關係，即動態波動範圍越大，腐蝕速率越大，電位的波動見圖十三，圖十四為北京捷運系統的電位型式。即使動態雜散電流的腐蝕速率相對其他形式的電化學腐蝕的速率較小，但隨著時間的累積，由其實驗結果動態雜散電流的腐蝕速率不小，因此動態雜散電流造成的腐蝕是不可忽視的。短的干擾時間在大電流密度下的腐蝕重量損失比長時間干擾且小電流密度的腐蝕重量損失小。實際中的我們所採用的是當捷運系統運行時，一旦有雜散電流的出現，最常使用的是以電位計量測電位波動的變化範圍來判定是否達到腐蝕程度，要在電場量測受到干擾的電流大小非常困難而複雜，必須投入相當多的設備才能畢其功。因此許多研究人員會使用數值模擬或有限元素法來模擬動態雜散電流存在時軌道的電位變化，藉以研判臨近管線的干擾傾向，見圖十五及圖十六。

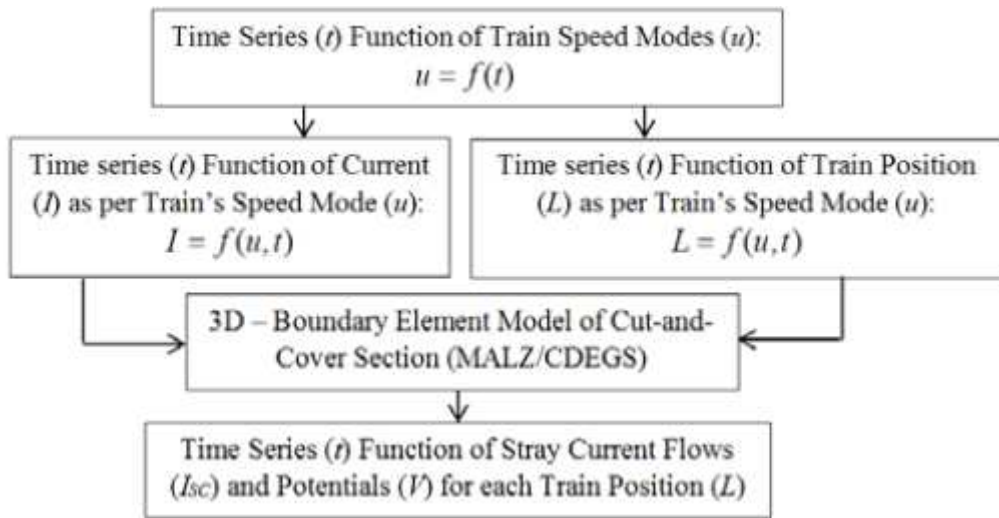
目前直流軌道雜散電流的防制方式也是一項不易解決的問題，直接排流是將干擾電流以輔助設備引出管線，但可能造成更多小規模的腐蝕區，因此不易使用。強制排流則是使用整流器為驅動設備將雜散電流強迫回到軌道，見圖十七，但需要和直流軌道(捷運系統)公司共同執行，是否已在中國大陸施行仍要詢問。



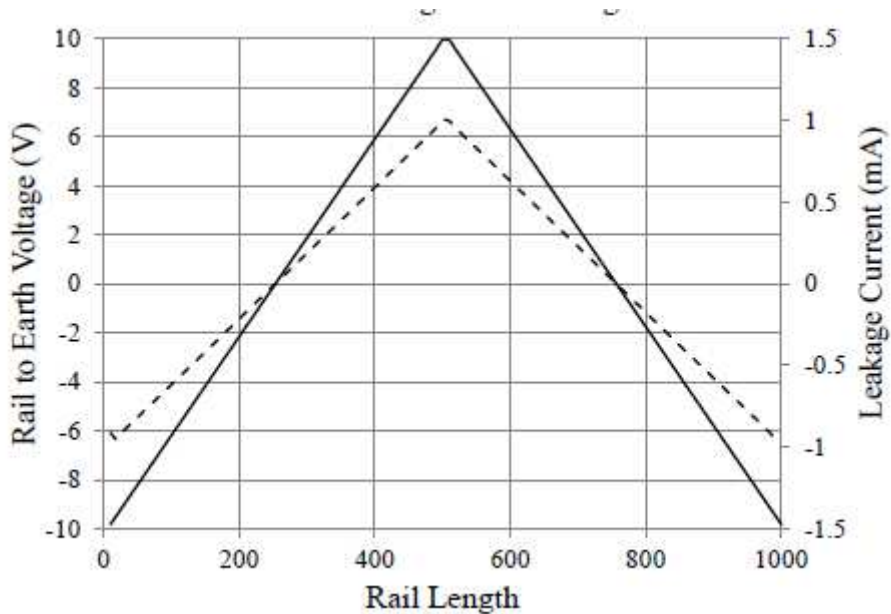
圖十三 典型的動態雜散電位時間圖



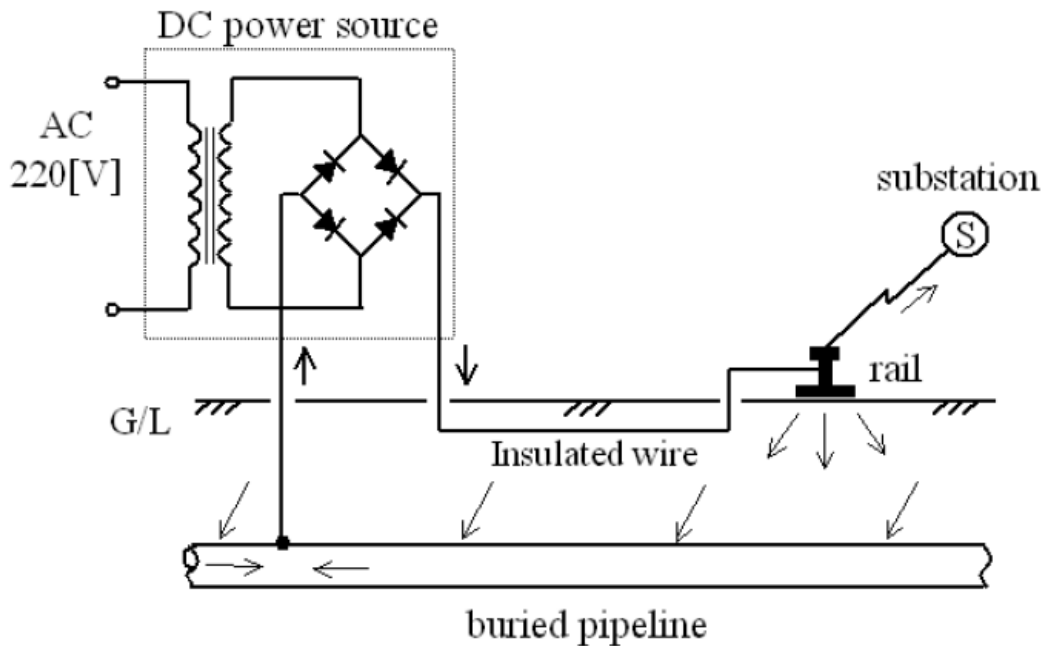
圖十四 北京捷運系統雜散電流的電位時間圖



圖十五 以數值模擬雜散電流的流程



圖十六 數值模擬雜散電流的軌道電位



圖十七 典型的排流法

四、心得與建議

1. 對於台北地區直流牽引軌道系統(捷運系統)雜散電流的干擾監測，本公司是以參考電極量測管線的電位波動來判斷，如以此次參加研討會的想法，似乎不夠有數據上的說服力，因此將協調委託單位，以埋設試片及長效近接參考電極方式，並量測干擾電流密度來取得更精準數據
2. 長效型參考電極的使用越來越受重視及需要，其放在回填沙中可能影響正確性，此一問題對於本公司埋設電極時應特別注意，應訂埋設的環境條件。
3. 進行電位梯度量測法以取得管線的包覆缺陷，就檢測的執行經驗，此一方式在單一管線是可以執行，但對於地小的台灣，管線用地取得不易，因此同一區域或道路就有多條管線，在各管干擾之下要得到電位梯度的極小電位差異來判斷是不易的。但在目前管線檢測的國際準則下似乎必須進行，因此本公司應要求相關單位嘗試量測電位梯度數據，再以數據是否具有判斷的有效性進行研究，或使用其他檢測方式。
4. 新埋設管線完工時可以使用緊密電位進行陰極防蝕效能檢測除建立管線狀態基線外，也可根據檢測結果進行系統調整。
5. 地下管線施工埋設後，管線就處於土壤腐蝕範圍，可以根據埋設時間的長短考慮在各埋設階段用臨時的陰極防蝕系統保護管線。

五、附件



附圖一 於吉隆坡香格里拉飯店會場



附圖二 大會全體會議



附圖三 陰極防蝕主題會場



附圖四 閉幕及下屆會議單位交接儀式會場