

## 海洋腐蝕專家系統之檢討

林維明\*論述

### 摘要

本文檢討蒐集腐蝕知識建立一套電腦專家系統，使其能在一海洋結構物防蝕設計上提供顧問。在建立系統時，需分析腐蝕知識之特性和人類顧問的行為。系統特別強調與使用者保持友善之交談溝通。在系統中列出各種必須定義問題和交談應答所應考慮之因素，以便能充份地詳述腐蝕狀況並且敘述考慮所蒐集各種文獻資料來源之適用性和所採用的歸納與貯存所獲取知識及呈現給使用者的方法。並且識別系統所需進行更深入之發展方向及略述可能之解答。

### 一、前言

近年來使用專家系統可將腐蝕知識及各種蒐集的腐蝕數據都存入資料庫，建立於電腦中。此可在腐蝕問題上提供智慧性的忠告及設計所應考慮之腐蝕和防蝕措施提供建議。此類腐蝕專家系統的一般特性及發展，現已受到廣泛地討論和應用<sup>(1,2)</sup>。

為了瞭解其所包含的問題，英國 AERE HARWELL 公司與英國國家物理試驗室之國家腐蝕服務公司，已經發展兩套專家系統，第一套名稱為 ACHILLES，可廣泛地處理局部腐蝕和對於在製程工場或其他類似構件所遭遇到的問題提供一般性的建議，此系統目前已達到相當進步的示範階段。然而為補充 ACHILLES 的不足之處，另外又發展了一套專家系統，專心處理在特殊海洋曝露環境下之設計諮詢，而為達到此目標必須能定量估計預期之腐蝕量以便可對需幫助之處提供建言。如對外海或近海工程腐蝕環境調查及偵斷所應使用儀器，結構物施工之材料選擇及防蝕措施均能提供良好建議。本系統名稱為 MENTOR，其可被視為一腐蝕專家企圖獲取可確定的觀點或想擴展其知識至另一新的領域的良好指引。此一專家系統之構建可分為兩部份：

- (1)設計一推理引擎（控制系統），使得系統可在一適當的電腦中操作。
- (2)蒐集及整理所需之專家知識，和設計一套對談方式，令使用者易獲取相關的專家知識。

此兩方面很明顯地會有重疊的現象發生，然而其各有自身的特殊性和問題，本文僅就腐蝕知識問題之處理上詳加敘述和討論。

### 二、腐蝕諮詢的目的

#### (一)腐蝕諮詢的目的：

腐蝕諮詢有下列四項目的。

- (1)設計：尚未執行的施工計劃，其有關腐蝕方面之材料選擇及細部設計（包括防蝕措施）等。
- (2)診斷：解釋在現有結構物腐蝕原因，和如何避免未來可能會再度發生此種現象。
- (3)教育：對功的缺乏經驗者可向系統尋問「為什麼」？而獲取適當的解答。
- (4)研究規劃：認清現有腐蝕知識之不完整之處，而需進行更進一步的研究，以幫助規劃研究的重心。

這四項諮詢的目的說明如下：

#### (1)設計

設計最能引起挑戰性和興趣，然而由於必須對某一特殊的問題提供適當之解答，因此系統必

\* 交通處港灣技術研究所港工材料組組長

須針對某些尚未存在的事件提供建議，所以必須使用前向推理方法，故其必須包括相當廣泛的應用、腐蝕條件和材料選擇等，此也造成所蒐集之資料很難達到寬廣之層面及普通性，故必須設法研究如何處理這些知識之方法。

此外腐蝕評估僅為整個設計程序中之部份，因此系統必須負起蒐集一些非腐蝕和一些普遍受優先選用的材料資料。在系統與使用者初步交談期間或在諮詢期或最後推理結果可能傳回給使用者或給另外的專家系統，以評估所需經費和安全性等之相關性。

(2)診斷

專家系統可用於診斷腐蝕破壞之現象，其使用之推理方法為反向的，因為它必須已經處理有些腐蝕破壞的現象，並定出腐蝕之型態及原因。解釋一腐蝕破壞需詳述該事件發生過程之細部情形，才可確定腐蝕的原因。又因為其目的在確定導致構件腐蝕之情形，因此不需輸入非腐蝕之資料，不過需有腐蝕環境之詳細資料（特別是在不正常情況內之資料），以及許多專家知識和見識。因為診斷並非僅是呆板的反向的演繹而已，事實上，若模擬人類之研究調查者，則有些部份必須考慮前向推理，也就是研究者經常需先假設一腐蝕機理，然後推測所期望的腐蝕形態及數量，再與曾經觀測過的資料相比較。

(3)教育

這是前兩個目的之綜合修正型式，由使用者提出問題，再由專家系統根據設計或診斷方式顯示數據，見識和正確之推理結果。

(4)研究規劃

向專家系統請教結果得到不佳的勸告，此即顯示現有知識之短缺處。這將有助於確定未來研究之方向，以修改此類缺陷。

(二)專家系統 MENTOR 之目標

MENTOR 之發展主要專注於設計上，因為系統若能達到此確定之目標，則可再加改寫以應其它目的之需。

早期使用前向推理系統之範例包括發展電腦輔助設計，然而發現並不是很有幫助，因為這種系統經常含有使用者來做重要決定之模式，以致

操作模式顯現其內涵。現今的目的在達到最後設計前，需要系統採用較為主動且能與使用者相制之行為。

若一套專家系統，欲在海洋工程之設計上提供真正有助益之資料，則必須設計一套有效的交談方式，以儘可能的模擬使用者與人類專家會談之行為。為達此目的，問答式交談及知識必須具有人類專家所擁有的詳細精確的腐蝕資料，因此必須蒐集一些經驗和已發表之資料。

為建立電腦專家系統能儲存現有之腐蝕知識則必須列出腐蝕情況下之各種影響參數及實體之特性如表 1 ~ 表 5 所示。

表 1 腐蝕因素

因 素	檢討有關之問題如：
浸入深度	設計（淤泥中、海水中、潮汐帶、潑濺帶）
延 時	設計（欲期使用壽命）
鹽度／氯化物含量	海水
含 氧 量	• 海水 • 設計（除去空氣）
PH 值	• 海水 • 設計（海水處理）
金屬溫度	• 海水 • 設計（熱交換）
亂 流	• 海水（在現址之水流特性） • 設計（亂流）
磨 耗	• 海水（懸移質） 設計（活動部份）
碳 化 物	• 海水
腐蝕電位	• 設計（裂罅，除生物處理） 設計
污 著	• 海水 • 設計（抗污著）
應 力	設計（主要負荷，製造）

### 三、腐蝕知識之特性

#### (一)腐蝕諮詢

為達到 MENTOR 之目的，必須考慮金屬組件與環境互相影響產生破壞之現象，此可取均勻腐蝕或各種局部腐蝕型態。因此，原則上，腐蝕情況包括金屬與腐蝕環境，除此之外，各種工程設計之特性亦會有顯著的影響。因此在開始進行腐蝕諮詢時，專家系統必須先定義金屬，腐蝕環境及工程特性，才可由使用者與系統交談來找出在腐蝕情況下會有顯著影響之因素。

一般金屬之腐蝕可藉金屬本身有關之因素和環境之化學性等來加以描述。如在海水情況下此類因素可如表一所示。在表中亦指出部份交談可獲取有關之資料。在高層次上，則由使用者提供設計資料，而由系統建議防蝕對策，如表 2 所示。表三說明海水參數及對於某一個特殊問題所需要的參數進行交談。然而表三為正常曝露條件下之情形，但有時需有歷時之變化資料，因為某些材料在曝露條件僅有少許之變動，即可能會對預測之腐蝕發生很大的非連續性的影響。故在腐蝕專家系統中之資料，必須列出有完整之腐蝕型態如表 4 所示。但此在早期之研究計劃之經驗中

表 2 設計之特性

一、由使用者所提供之資料	
• 預期的使用壽命	
• 優先選用的材料	
• 去氣	
• 接合（電焊，以銅鋅合金銲接，機械的）	
• 其他材料（特性、面積比、長度、保護措施）	
• 表面條件	
• 應力（穩定、隨機）	
• 亂流（人為部份）	
• 轉動部份，磨耗	
• 熱交換（傳熱速率、流動條件）	
• 抗污著（油漆、選用合金）	
二、由系統建議之抗腐蝕措施	
• 陰極防蝕（犧牲陽極，外加電源法）	
• 塗裝（金屬材料，非金屬材料）	

顯示很難建立一有效的對談方式，除非有應用上（即被設計之結構體型態）的需要。MENTOR 專家系統最後能處理的各種應用範圍，如表 5 所示，在適當之程序中，每一種應用將依專家之經驗優先選用適當的材料。

簡而言之，腐蝕諮詢必須包含應用環境及使用者想要的設計特性等三項，而經諮詢輸出之資料為一種或多種建議可使用之材料上並作定量預測腐蝕之主要型態和設計上應採取之預防措施。因此輸出資料包括建議的材料，預測腐蝕型態、數量和設計特性（建議防蝕措施）等。

#### (二)腐蝕專家

為協助規劃一腐蝕諮詢之整體策略，則需定義一人類腐蝕專家對計劃之設計所能提供之建議，現述如下：

表 3 海水參數

若缺乏實測值，假定沒有相違之資料，可應用下列資料：

鹽度	30-40ppt
含氧量	4-ppm
PH值	8-8.4
污著	假設發生會導致腐蝕速率隨著時間下降
硫化物	若含氧量 < 0.5ppm，流速 < 1ft/sec，或有裂罅現象，則假設其出現量低

在交談時，對特殊問題所需要之參數

鹽度	波羅的海：8ppt
含氧量	太平洋水深大於1000ft：1-2ppm
PH值	深海：7-7.4
污著	無：若溫度低或亂流強或使用抗污著措施
硫化物	若含有機污染物則其量較高

例外情形：

水溫？	在現址之正常情況如何？
流速？	在現址之正常情況如何？
去氣？	完全：O <sub>2</sub> < 0.1ppm 部份：O <sub>2</sub> 為 0.1-4ppm
在海岸？	若是；懸移質？有機污染物？

表 4 腐蝕型態

均勻腐蝕 ( Uniform Corrosion )
點蝕 ( Pitting Corrosion )
沖蝕 ( Erosion Corrosion )
衝擊 ( Impingement Attack )
腐蝕疲勞龜裂 ( Corrosion Fatigue Cracking )
應力腐蝕龜裂 ( Stress Corrosion Cracking )
磨損腐蝕 ( Fretting Corrosion )
腐蝕生成物傷害 ( Corrosion Product Damage )

表 5 應用

1. 電纜	6. 閥
2. 結構物	7. 船體殼
3. 管線	8. 船隻
4. 熱交換器	9. 螺旋槳
5. 幫浦	10. 其他

- (1) 確定使用者所看見真正開始腐蝕之狀況。
  - (2) 對不明顯的開始腐蝕情況的感受性。
  - (3) 提供難以取得的事實或數據。
  - (4) 認知微妙和複雜的相互關係。
  - (5) 對於互相抵觸之數據或資料有權衡之觀點。
  - (6) 記憶過去類似之情況，推想會發生之狀況。
- 為實行這些功能，專家系統需如同人類專家將貯存明確或隱含之腐蝕知識包含下列各項：
- (1) 腐蝕理論之基本原理。
  - (2) 基本試驗所獲取之數據。
  - (3) 由經驗的測試所得之數據。
  - (4) 現場經驗所獲得的數據。
  - (5) 由經驗所得之見解：瞭解理論原則及其在實際上之應用和記憶過去類似情況下「何者將會發生」等之經驗。
  - (6) 詳述其他專家之知識，此可能對於研判很有用。

#### 四、腐蝕知識之獲取與表現

##### (一) 策略

發展 MENTOR 專家系統之問題為由現有之資訊中獲取適當的腐蝕知識，同時設計可使用交

談之方法，來表現所具有的腐蝕知識，經驗顯示此兩方面必須按程序發展。假定沒有注意到如何使用資料之方法，則不可能選用和歸納資料；相反的除非由使用者所獲取的初步資料之特性和系統可給與的建議，兩者均相當清楚，否則無法建立交談之邏輯關係。

當此系統進步時，知識之獲取及表現之觀念亦隨之進步，而使用者之交談即為系統之主要特色，其最重要的兩點為：

- ① 可由使用者之處獲取腐蝕評估所需之所有參數。
- ② 系統能給與使用者有表示其願望之機會，特別是有關材料之選用。

不過，原來整個策略仍保留。這是專家系統 MENTOR 必須由一系列較受愛用的材料開始逐一地進行研究，預測在一特定的使用時間下將有多少腐蝕損失量，此類計算結果將可定性的建議，然後系統再重新考慮於優先選用材料之名單中，另選一種材料，用上式同樣的方法處理。最後使用者將對其材料選用問題得到一個或幾個較好的解答。

##### (二) 資料來源

在蒐集資料時，首先試著由文獻中獲取腐蝕知識，並專注於特殊金屬材料行為之腐蝕理論，期望能綜合這些資料以適合 MENTOR 專家系統來使用。然而卻發現相當難以達到此目的。因此後來將注意力轉向其他可能之資料來源上。腐蝕資料可視為包含多度空間之知識。各種資料如教科書、參考書、研究報告、商業上文獻和個人交換心得等均會被有效地應用在材料應用、理論與實務經驗上。

在查閱文獻中，發現最有收獲的是使用一些專注於特殊應用上能給與腐蝕指引之出版物，其提供之腐蝕知識相當於與人類專家所能對設計諮詢所提供者一樣。此方法即可獲取較為完整的現有腐蝕資料，它特別是能改進不同金屬接觸如幫浦、閥、熱交換器等應用上之處理。使用精確的材料之基本方法是將每一構件個別作諮詢，卻因而不易將設備當作一整體來考慮。

雖然現在的交談方式集中於應用上，但仍然保留由較受愛用之材料清單中逐一選擇的程序

在每一種適用的材料資料中為某一特殊材料之說明及記錄，可為系統用來進行敘述是可用之前提（premises）。

這些敘述都寫在每一個應用上，實際上為能將它顯示在電腦銀幕上，包含數字和性質資料。欲期在完全發展之系統中能完成計算（即預測總腐蝕量），每一敘述將含有適當之前提，例如使用“若……”表示之。

### (三)交談之發展

以下即以固定結構物及泵浦兩個特殊應用為範例介紹如何發展實際的交談。其包括各種腐蝕條件和材料之選擇，且可示範 NENTER。系統之功能，此方法不僅依敘述與前提為基礎使其易於由文獻中獲取知識。且可使用 POOLOG 程式，然後可用於 ACHILES 專家系統上。此具有勸告聲明與引述（Premise）等雙重系統，將使腐蝕專家歸納其資料，再以程式設計者可瞭解之型式輸入並構建於 MENTOR 結構中。

在構建系統時，必須試驗許多模擬諮詢，最確實的方法為使用交談式問答，然而此為一相當耗時之程序；因此最有效及快速的方法為腐蝕專家建立規則結構存入於系統之知識庫中，在每一決定點時，即可根據規則進行推理選擇最佳的決定。

除了交談之正確詢問及回答外，也需有更詳細之說明資料，以令使用者能瞭解系統所提出之問題，系統亦需準備為使用者定義出專有名辭。

在專家系統 ACHILLES 所採用的重要腐蝕專題，係選用簡短之敘述以表示回答相關之關鍵字，因為一般性之敘述不適於複雜的對話。書寫簡短敘述較為容易。

### (四)材料基本資料

因為許多腐蝕研究試驗都是根據特殊之材料，故有關材料的知識也相當重要，在材料知識方面必須包括下列各項：

- 材料。
- 作者及參考文獻。
- 觀察所得結果（實驗室或現場試驗及經驗）之特性。
- 腐蝕條件（海水條件，重要的設計特徵）。
- 腐蝕數據。

在建立材料基本資料時，發現可能需瀏覽各類的文獻，例如最近的科技雜誌，一般腐蝕書籍，特殊金屬腐蝕書及商業上文獻等。再歸納其內容存於資料庫中，此時需將之分類為經常可閱讀到的文獻，掃描挑選具有特殊用途之資料與結論以及可當人類專家提供建議等數大類。其次再考慮人類專家使用，材料基本知識，對應用及証實提供勸告之行為，確信專家系統亦可達此目的。在應用方面可使用法則交談，由資料庫提供材料知識証實其觀點。程式發展可加強此雙重結構，將資料庫納入專家系統中，而使專家系統能在交談時需要定量或定性之材料時，可向資料庫諮詢。

## 五、未來系統之發展

將 MENTOR 專家系統當作一位腐蝕顧問，目前仍在發展中，但深信其結構上對於大多數策略上和智慧上之問題，已顯示可解決各種不同程度之問題。未來之發展必須在已定義之大綱上再加以精心設計使其特性更為顯著，不過仍有原則上之問題需待解決，現概述如下：

### (一)資料處理

通常在資料庫儲存的資料，能藉電腦專家系統來使用，但卻仍必須先透過人類專家之融會貫通。因從文獻所蒐集的腐蝕資料變化性太大且許多數值上不一致性，因此需人類專家之消化，以達到①合成補充之數據與矛盾之數據能達成一致性；②供應前後聯貫之上下文之欠缺資料及有些項目有所遺漏之參數；和③依其精確的腐蝕條件選擇項目，並且明確地說明適當之使用法則。連接專家系統 MENTOR 與資料庫，可能為執行此一融會貫通資料之方法。在每一資料庫項目上給予部份命名，包含主題及根據那一條資料項目之參考號碼。然後由人類專家對每一資料庫項目作有系統地列出一條或多條法則。再根據判斷交談的部份加入新資料以補強之。此判斷可能包含選擇近似值或甚至可忽略部份數據，再與在資料庫中其他項目中之資料相互比較來作決定。

交談程序可能也很有用，即在專家系統 MENTOR 內尋找資料項，以便可支持規則所作之敘述。所有規則需有此特殊之支持，因此不僅對於系統建造者想要校對規則之來源很重要，且也

可提供有疑問之使用者辯明系統所給與之建議。

### (二)有系統的專家系統構建策略

迄今，即使在特殊應用作為範例，新資料項目之增加與新規則之撰寫已進行到相當零散之現象，在未來非常期望能以一相當有系統的方法來構建專家系統的特別章節。若有此一想法，則在專家系統中，對使用者所發出之問題及所作之建議事項之法則號碼的各別應用上都宜歸類在單一之檔案上。這些檔案係依控制腐蝕情況之因素（表1至表3中所列舉的）。除外，凡具有可能是有用的資料庫之資料，將可插進於適當的位置。

此種問題，建議與資料三者關聯性的清冊被發現為專家系統在處理每一個應用上可提供一相當有效的鳥瞰方法。此對於識別部份之交談規則的結構或現有資料短缺處特別有用。因此期望未來系統之完整性及範圍擴展方面，能更具系統化。在系統中有三種欠缺之型態可立即鑑定的是

- ①尚未完全商討的重要主題；
- ②未藉忠告或數據答覆之問題；
- ③發出問題，沒有可以得到之數據或忠告的答覆。

### (三)計 算

在整個計劃期間內，假設專家系統（MENTOR）經過蒐集所有需要之資料後，將計算預期之腐蝕量或估計重要組件之使用壽命，而給與使用者所需之結果。計算的慣例可能由一些規則和執行簡單之算術計算，即可提供一些合成的數值資料。安排選擇和合成數據可能是一件比實際計算程序更為大的工作，可能需撰寫特殊規則，以供計算使用，這些規則可在資料中發現。

### (四)流電互制（Galvanic interactions）

許多諮詢將需對金屬偶合可能造成之流電腐蝕提供建議。腐蝕文獻包含一些這一方面的實務經驗資料，有些是以相當簡單的形式存於系統中。此程序必須加以改進並在主要規則結構中建立。可能需插入更多有關流電腐蝕之資料於某些資料庫專題中，因而可能需使用以下所建議的額外之資料庫。

### (五)合金之說明

對未來之發展有一特別且重要的需求，為設

法參考在文獻中所提及的種合金之方法，因此必須引用專家系統 MENTOR 所予之建議，在各種合金可依下列分類型態加以描述。

- ①一般冶金類；
- ②組成（有時以各種組成元素表示）；
- ③製造者之專利編號；
- ④製造者之參考號碼；
- ⑤標準規範號碼（國家或國際上所定之一些系列）。

然而這些歸類有可能相互重覆，故不可能期望製作一包羅廣泛之看表（look-up table），可以提供在每一歸類上描述，但需有一些方法以確保 MENTOR 之建議儘可能地有益處，此可能需用電腦的輸出資料，詳述合金之歸類，此與在輸入時所使用的知識不同，因此似乎可構建一套 STATUS 資料庫，其命名與上列之各種合金類相當。此一資料庫可含上節所述合金之流電互制之資料，亦可包含每一種材料最受關心的腐蝕型態說明，此可說是相當有用的。

### (六)中斷諮詢

有時使用者實際期望需中斷一諮詢，以便補充資料及設計計劃等，接著再繼續進行諮詢，而現在之電腦程式包括追蹤完全應用規則結構的諮詢方法，因此可在第二段開始前摘要概述先前所諮詢之一些臨時性結論。

### (七)系統之證明

許多使用者都有相信電腦缺乏批判性反應之習性，因此需有廣泛的嘗試諮詢以証實系統。此種需求可能與腐蝕狀況未明顯方面有關。原則上，使用者未提及腐蝕情況未明顯之現象，因而可能導致系統表示一些錯誤的建議。

## 六、結 論

迄今在選用腐蝕資料來源上擷取知識且構建所得之資料，因此可在諮詢系統中使用，由這些使用經驗中，可得下列結論：

- ①一套有效之系統不能僅靠蒐集理論或實際之腐蝕資料而建立，基本上需先站在人類專家之立場，根據他對所要解決之問題，再去發掘問題，並討論分析，最後給與建議之行為，構建交談法則。這種對答方式必須在系統與使用者之間，

不論系統發出建議時或從使用者處獲取相當多，有關明述其問題所需之細節資料等方面，都是將保持相當友善的交換意見態度。

②需明確地正視實際控制腐蝕情況結果之資料（如材料、環境及設計特性），及儘可能完全地列出各種影響因素。依此方法可奠定對答之根基，包含各種有系統的詢問背景，而未遺漏任何重要應考慮的事情。

③表一至表 1 至表 5 列出海洋腐蝕相關因素，無疑地這些都可加以改進，這些表中所列者，均為首先試圖嚴謹地列舉詳述一腐蝕專家系統所應考慮之知識領域。

④一位人類專家可能會使用所學得的見識及精確的資料（有時為數字的），前者屬於其直覺，而他可能也需賴記憶一些後者之資料，通常他必須查閱與特殊訊問相關的文獻。

⑤當專家系統 MENTOR 已經發展出來時，它已反應上述人類專家諮詢之兩種特性，學到的見識大部份包含在對答內，且有規則結構加以協助。而事實之資料則存於資料庫中。總而言之，程式之安排使得專家系統的這兩部份可聯接在一起，且能結合使用。

⑥根據經驗顯示在對所考慮之特殊應用上，最好能根據規則和對答方式，且材料之知識最好已存於資料庫中。

⑦已經証實可使用各類文獻來源獲取腐蝕知識，且適合於建立規則結構或資料庫。

⑧相信大多數原則上之問題都已被確認，而

且有各種不同程度的分析結果。然而有些仍需再深入考慮，首先需設計一較為有系統的方法以建立交談問答、發展對答並與資料庫間有較為完整之聯接，資料處理需人類專家先對規置於資料庫中之文獻知識加以融會貫通，達到更深入的境界。

⑨對專家系統的未來發展之需要，如本文所述在資料處理上有系統的專家系統構造策略，計算流電腐蝕、合金描述，中斷諮詢及系統証明等各方面上已有所認定及可能將有解決之策。

⑩概言之，MENTOR 專家系統僅為一個非常初步之設計顧問，其構造可視為僅達到初步起頭而已，未來仍待努力研究改進。

⑪本文僅簡介蒐集腐蝕資料建立海洋腐蝕電腦專家系統所應考慮之因素，未來在這方面的發展相當急迫需要有待關心者共同努力。

### 參考文獻

1. Croall I. F. et al.: "Expert Systems-the application of new Computer methods to Corrosion problems" Report AERE-M3392 AERE Harwell 1984 Independent Corrosion 1984, 2(5), 13.
2. Westcott C. et al. "The application of expert systems to corrosion problems" Report AERE-M3445 AERE Harwell 1984 in Computeraided acquisition and analysis of corrosion data 190: 1985 Pennington NJ. Electrochemical Society.
3. Wanklyn I. N, and N. J. M. Wilkins "Development of an expert system for design Consultation on marine corrosion" British Corrosion Journal Vol. 20: No. 4 pp. 161-166.