

鋼筋混凝土腐蝕損壞診斷與修護方法檢討

林 維 明

省交通省港灣技術研究所研究員兼港工材料組組長

一、前 言

(一) 混凝土耐久性

常常混凝土被認為是耐久性之材料，然而確實並非如此，其使用性能不僅依曝露條件而且依混凝土品質而定，而混凝土品質變化相當大。

所有使用中的混凝土都承受物理性及化學性變化，一耐久性混凝土為在預期在使用年限內，這些變化之發生速率不至於危害到影響其使用性能。對所有材料，有時似乎需作一些維護，而其程度及特性依各種情況而變。

混凝土優點之一為其特定之性質可採用合適的水泥、骨材及摻料而獲得。在一特定環境下之混凝土，其性質將受設計，材料選用及施工技術等因素所影響。

現今對於混凝土惡化機構已經有一些認識例如酸雨造成表面之腐蝕或侵入混凝土內部與水泥發生化學反應，本文僅考慮鋼筋混凝土之腐蝕問題，有關其他惡化機構可參閱 Lea⁽¹⁾及 Neville⁽²⁾之專著。

本文所述鋼筋混凝土腐蝕之修護方法亦可在其他 RC 之惡化機構損壞下應用，而有關建物之清除及表面修理可參閱英國標準學會所訂之規範⁽³⁾，由於混凝土之修理包括許多操作及使用特殊材料經常在惡劣之環境下施工，故為一件相當困難之工作。因此本文介紹現通用之方法，由於這方面之研究工作一直在

繼續不斷進行中，因此本文也檢討正在發展中之研究，希望有助於改進維修技術。

(二) 鋼筋腐蝕

1. 混凝土之鋼筋保護

鋼筋混凝土由於混凝土中之孔隙水之 pH 值大於 12.5 而且鋼筋表面有一層氧化鐵薄膜（鈍態）所以通常不易發生腐蝕。

卜特蘭水泥凝結反應放出鹼性（鈉、鉀及鈣之氫氧化物）進入新拌混凝土中之孔隙水中，使其 pH 值高達 12.6—13.6，（pH 值通常為量測酸／鹼度之標準）在此種 pH 值下，在鋼筋表面迅速發生之化學反應，稱為鈍態，此時電化學反應過程受抑制。當 pH 值維持在高值及保護層未被觸動情況下則在混凝土中之鋼筋表面將維持在鈍態。既使氧氣和濕氣侵及鋼筋處亦如是。

有兩種條件可導致鋼筋喪失其鈍態，一為鋼筋周界之混凝土鹼性喪失，另一為出現化學物（例如氯化物）將破壞原有鈍態，這二種影響性將討論如下：

2. 碳化

混凝土鹼性喪失通常稱為碳化（Carbonation）在此情況下大氣中之 CO₂ 與混凝土中之鹼性材料反應變為碳酸物，pH 值將降為低於鈍態（代表性 pH 值為 11—11.5）

因為碳化包含與空氣中之 CO₂ 之

反應，它的進行為自混凝土表面侵入，影響其侵入率之因素很多例如空氣中之相對濕度和混凝土之滲透性，當它侵入深時，侵入率愈慢，考慮混凝土保護層對 CO_2 侵入之阻抗，過去學者曾發現碳化深度與時間之平方根成正比⁽⁴⁾（深度 = 常數 $\times \sqrt{\text{時間}}$ ），式中常數依混凝土性質而變⁽⁵⁾，有些混凝土表面上有瑕疵情況者例如有氣孔蜂窩或龜裂等現象將使碳化之速率加快。

濕氣為碳化反應所必需者，然而並不是當作一氣體與一固體反應。而是一氣體在一水汽膜內溶解與在溶液中之鹼性起反應，在相對濕度 50—75 % 情況下碳化發生最快，相對濕度低於 50 %，水汽膜不易在孔隙表面形成，而當相對濕度大於 75 % 則易受水所阻塞，而二氧化碳侵入速率減慢，使得不易發生碳化。

與碳化相似之化學反應為空氣中之二氧化硫作用稱為硫酸化則鹼性亦降低，碳化及硫酸化之合成作用將使得鹼性損失更快，這就是為什麼在污染環境下必須建議增加混凝土保護層之原因。

一旦鋼筋周界之混凝土發生碳化，則不再能夠由混凝土之鹼性可保護鋼筋因此可能發生腐蝕，根據經驗顯示在建築物內之混凝土將發生碳化，而不需等到碳化達到鋼筋處才發生腐蝕，因為大氣之濕度經常較低且在混凝土中之濕氣不足，然而若有濕氣將發生腐蝕，相對濕度 70 % 可視為臨界值。

一旦在已碳化混凝土開始發生腐蝕，其腐蝕速率將依混凝土之品質及滲透性及環境中有充足之濕氣等而定。腐蝕進行速率相當慢，在病徵可見到之前；可能已進行好幾年了。

由上述，可見在混凝土碳化所導致之腐蝕情況為自混凝土製作到開始發生腐蝕時有一段時間，過後，腐蝕開始以變化之速率進行，當評估一特定一塊混凝土，必須區分開始腐蝕及正在進行中，因為若有一小塊混凝土經過 20 年後發生剝落並非表示在未來 20 年內僅有一塊會剝落。

3. 氯化物侵襲

通常最能破壞鋼筋之鈍態者為氯離子，氯化物可能在混凝土拌合中摻入或在使用中侵入。在拌合中摻入可能為骨材，拌合水或摻料中含有 CaCl_2 ，用以控制混凝土早期強度性質者。在使用情形下氯離子通常由海洋環境中侵入混凝土結構物中或由曝露在除冰之鹽份滲入所致。

在混凝土中，有些氯離子將與水泥之結晶水化物合成而剩下的溶解於混凝土之孔隙水中，則相當自由地運動而與鋼筋腐蝕有關係的為這些孔隙水中游離之氯離子，一般與石灰石結合之氯化物（bound chlorides）與游離氯離子達到一溶解上之平衡，所以由外界侵入之氯離子將容易侵襲至鋼筋處而發生腐蝕現象。

在混凝土含氯化物之鋼筋腐蝕機構相當複雜無法詳述請參見 wilkins 等之論文⁽⁸⁾，氯離子能分解未被碳化混凝土高鹼性情況下鋼筋表面之鈍態反應。而在已碳化之混凝土，微量之氯化物將可能使鋼筋之鈍態喪失且使腐蝕反應更為加速。

在規範中有人建議混凝土拌合需依據氯化物極限值。而由於近年來研究結果及經驗，現在規範中所規定的比早期限制值較低。原因是實際氯化物侵入量比原來想像的為少。

自環境侵入之氯化物主要由混凝土保護層之滲透性與厚度控制。除非混凝土表面由不透水塗料完全密封，

區別氯化物引起之腐蝕或僅為混凝土碳化所致情形是相當重要的，而兩種情況之修理方法經常是相似的，細節方面可能有所不同，而未來可能發生之性能將相當地不同，若碳化已經侵入保護層則很難防止混凝土繼續惡化。同時混凝土中所含氯化物濃度高亦沒有可靠之方法可防制混凝土繼續發生惡化。

在本文建議之修理方法可歸納如

- 經常需考慮現在尚未修理但將來很可能發生惡化之混凝土斷面，通常這種考慮很難，因為假如沒有做過一連串之試驗以確定特殊情況下有問題結構物可能發生惡化之原因，則通常不易判斷，診斷方法在本文中將詳細討論。

修理之技術一直在進步中，有些已經被使用之混凝土修理之技術包括材料之選擇及應用，以及有許多已經完成之修理工作但沒有很清楚之文件規範，鑒於在應用特殊材料及技術工人需求上之困難，完整之規範將有助於減少有關混凝土修理未確定現象之說明。這些專題限於篇幅未在本文中討論，將另文探討。

(一)徵兆

損傷之型態影響因素很多包括鋼筋間距及大小，混凝土保護層厚度及品質，構件形狀和腐蝕量等，一個結構單元靠近角隅處之鋼筋（例如標或柱）起初在一個面上產生龜裂，爾後龜裂擴展到兩面，甚至整個角隅幾乎將發生剝落分離，其破壞面通過鋼筋表面。

在可見到腐蝕徵兆前，發生之腐蝕數量變化很大，將受上述所提到之因素所影響。在某些實例，微量之腐蝕亦將造成剝落而有些則需發生相當量之鋼筋

斷面損失，以點蝕為例，在惡化明顯前，腐蝕之徵兆是可見的。通常必須假定鋼筋腐蝕正在混凝土其他部份進行中，而尚未發展到足以造成剝落和龜裂之程度。

當然必須注意並非所有龜裂都是因為鋼筋腐蝕所引起的，有些是因為R/C承受負載之正常反應所致，有些則是塑性收縮或溫度變化影響所致⁽⁹⁾，鋼筋腐蝕之裂縫方向大致與鋼筋同向。

(二) 調查方法

分析許多實例，R/C腐蝕主要原因為鋼筋保護層太薄，滲透性大之混凝土和氯化物含量高等因素所致，在進行修理前，必須進行調查以確認問題之特性及程度，進行方式如下：

1. 完成初步檢查，可能需用一些簡單之試驗以更初步定出惡化之特性及規劃細步之調查工作。
2. 完成細步調查包括有一試驗計劃以證實惡化成因及測量（全部或取代表性）評估其惡化程度。

各種調查所花費之時間因結構物而異，而且亦因在此兩個階段中應包括調查之詳細度而不同，除非有非常相似之結構物包括在內，不然建議各種情況都應該使用此兩階段之調查方法執行作業。

(三) 初步調查

初步調查工作必須包含下列工作：

1. 目視檢查整個結構物，儘可能接近之觀測範圍使用雙目望遠鏡或適當的望遠鏡檢視。
2. 用照相記錄各種型態之目視徵兆。
3. 在鋼筋腐蝕龜裂處敲掉幾塊剝落或龜裂混凝土，目視檢查在混凝土保護層惡化情形及鋼筋腐蝕程度。
4. 可能的話記下保護層厚度
5. 校核鬆落混凝土塊可能引起的任何危

險。

有助於初步試驗工作，可能較實用之調查工作如下：

- (1) 用鋼筋保護層探查器量測某些地方之保護層厚度。
- (2) 用化學指示溶液在現場測量剛破壞混凝土表層之碳化深度。
- (3) 由鑽孔所採集到之混凝土試樣可在實驗室作氯化物含量分析。通常剛開始檢查不宜作完整之測量，最重要的是蒐集足夠之資料因此可擬定細步檢查與測量及詳細試驗之計劃書。

(四) 細部調查

在作最適當之修理程序前必須對下列問題能夠得到清晰的解答：

- (1) 其為局部惡化問題或發生惡化區域已蔓延擴及結構物中很寬廣的範圍呢？
- (2) 碳化深度之範圍如何？
- (3) 碳化深度與量測的保護層厚度比較結果如何？
- (4) 混凝土中是否有氯化物？若有含量多少？
- (5) 若有氯化物出現，判斷是來自外界或是在拌合時摻入？
- (6) 是否有其他因素造成混凝土惡化？例如凍霜或化學侵襲？
- (7) 混凝土的一般性質如何？是否不同部位的混凝土性質變化很大？
- (8) 惡化是否會影響結構構件之負荷承載能力？

細部檢查必需安排能接近混凝土表面重要之部位作詳細檢查即需搭鷹架測量部位之範圍將依結構物之特性而變，有些重覆之結構單元經常可取小範圍作詳細檢查比取許多不同混凝土單元檢查更佳。

一般而言，包含每一結構單元取一代表性檢查，在混凝土表面有25%需作檢查，必須檢查曝露在不同方位上代表性區域，這種調查主要之目的為能夠

評估下列三項：

- (1)引起堅度不足或問題之致因。
- (2)可能處理方法之範圍及變化。
- (3)最合適之修理方法及材料。

於某些情況，當侵蝕極為明顯時，可光憑肉眼偵測而推論所需修理之概略數量。但當侵蝕不甚顯著，必需藉由更進一步的檢測才能評估所需修護之數量。又若結構物的設計圖，特別是有配筋圖存在的話，可藉以分析比對，則細部檢查將可輕鬆愉快地進行。否則將耗費許多時日以進行鋼筋分佈之調查。

不同結構物檢查細部紀錄之程度各有所不同。若以不同的腐蝕觀點進行調查，建議採個別的記錄，以易於分析及得到結論。所有相關聯三點必須要記錄下來，在調查前應先將所欲調查及記錄之事項做一規劃整理。例如，注意區分銹污的來源是混凝土本身（硫化鐵，施工時捆紮鋼索），還是鋼筋銹蝕由裂縫流出來的。

老舊結構物如果找不到設計圖時，有關結構物之尺寸需加以測量，以供修設計之依據。

(四)現地試驗

一般最常進行之現地試驗如下：

- (1)以鋼筋探測儀探測保護層厚度。
- (2)以最初表面吸收儀器 (initial surface absorption equipment) 做透水性試驗。
- (3)用化學指示劑探測中性化深度。
- (4)以試驗錘進行混凝土表面強度試驗。

其他技術例如使用腐蝕電位分佈圖法可用於測定特定型態之結構物之腐蝕特性，使用鋼筋探測儀進行調查鋼筋保護層厚度並不會與肉眼觀測完全一致，特別是當保護層厚度有所變化時，可於適當的環境先做一小型的試驗以為比對。當使用鋼筋探測儀時須先檢驗其刻劃精度和適用範圍，可使用敲開混

土直接比對。為避免此試驗法之不準確性，記錄結果之精確度必須不超過 5 mm（如 6—10 mm 或 21~25 mm 等）。

在實驗室所作之混凝土透水性試驗，將對於現地的透水性試驗有幫助。最初表面吸收試驗方法最廣受愛用。雖然其並不十分適用於現地試驗，但得利於其發展的套裝組件儀器。此試驗結果雖然不十分準確，但已足評估混凝土的表面品質。

使用化學指示劑檢驗中性化深度為最直接的方法。一般較常用的指示劑為酚酞的酒精與水溶液。當混凝土仍為強鹼性時，其色澤為粉紅色。當已中性化時，則為無色。在使用此種指示劑時必須將之噴灑至混凝土表面；一般有兩種方法進行檢驗：一為塗在混凝土剝落塊的表面上；一為塗於混凝土之鉗孔內，觀察其變色之深度，其中必須注意於鉗孔時須防止測試表面的污染。

中性化深度將依混凝土結構物之不同部位而有所不同，而曝露在雨水中之部位將較隱蔽之部位為淺。因此，試驗必須包含各種不同之曝露環境，成果必須以取其平均值及原始發現結果呈現可供比較及檢討。

(10)

現地強度試驗之依據可參照BS 5089。當鋼筋銹蝕，現地混凝土強度試驗可視為強度的一般指標，若需更明確的結果，一般採用破壞性的鉗心取樣試驗，但須記住很難找出強度與腐蝕耐久性間之關係。

銹蝕為一電化學現象過程，所以在混凝土中鋼筋銹蝕時會有些跡象可尋，此可由腐蝕電位分佈圖法加以判斷。此技術會成功地運用於混凝土橋面受除雪之曬塩滲入腐蝕，也曾在丹麥廣泛地運用到鋼筋混凝土陽台及海洋結構物等。其最大的好處為非破壞性的偵測，並可在銹蝕極為輕微時便可偵測得到。本法主要為一電化學技術；混凝土之電阻係

數為一指標，當腐蝕電流通過時，結合電位分佈圖資料以進行偵測，其中電化噪音即顯示有銹蝕之化學作用發生。

(六)混凝土取樣供試驗室實驗；

通常取樣在實驗室進行下列測定工作：

- (1)氯化物含量；
- (2)中性化程度；
- (3)水泥含量；
- (4)密度；
- (5)吸水率。

採樣及強度試驗方法可參閱英國國家標準 BS 6089⁽¹⁰⁾及英國混凝土協會技術報告 No.11⁽¹¹⁾。取樣包括由鉗孔中取粉末 (dust) (供氯化物含量測定) 及將整個混凝土取出 (即鑽心)。對於在鑽孔中取粉末作業上，取同樣大小的三孔混凝土粉末重約25克，孔徑至少10mm，鉗孔深度須大於保護層厚度。若欲探測原混凝土中氯離子含量，則表層 5 mm 之混凝土須拋棄不予採用，因原含氯化物可能它被析出。若氯離子已由外滲入內部，可在不同深度來取樣 (包含表層 5 mm)，以測定氯離子貫入程度之變化。

當考慮外界之氯離子侵入之情況如有可能的話，取樣須包含未曝露在氯離子環境中之混凝土或鑽入混凝土更深處取樣，以便建立原混凝土配比之背景資料。

取樣數量多寡變化性很大，一般常用之方式為在數量大的混凝土單位或構件情況下，採樣率以 10.% 為適當，而大面積之牆或版以每 50. 平方公尺取一樣品為適當；而小型結構物至少取 5 個，最好取 10. 個較為恰當。現場取混凝土塊以供在實驗室試驗，在角隅處混凝土大都已剝落或龜裂，所以欲取得未發生裂紋之樣品相當不容易。有一些試驗 (如密度和吸水性) 可助於比較受影響與未受影響

者之差別。取樣時，於角隅處，可於相距 75. mm 鋸出兩橫切口，再敲掉二者間之混凝土塊即為樣品。遠離轉角處，取樣以鑽心方式為最佳，一般可以鉗孔孔徑 50. mm 鉗心作業取出其中間部份之混凝土。

採樣數量將依環境而定，除非結構物非常小，一般至少取 5 至 10. 個樣品。當考慮混凝土及其環境之有顯著之變化時，則可能需考慮取更多之樣品。

(七)實驗室試驗

(1)氯化物含量：可由酸度萃取法測出，其結果以氯離子在混凝土中之重量百分比表示。若已知水泥含量，則水泥中之氯離子含量即可計算得出。如此，與規範規定之數值比較，即可據以評估。然而若水泥量未知，亦可評估氯化物含量將在以下介紹。

過去，氯化物含量多以無水氯化鈣或磷片氯化鈣之含量表示。如今，習慣上以實驗室所測出之氯離子含量表示。此結果可包含所有氯化物的來源例如摻料骨材、拌合水、除冰鹽和海鹽等。若欲求得某一氯化物之含量僅需將氯離子含量乘一常數即可算出 (如：無水氯化鈣乘 1.56；磷片氯化鈣乘 2.07)。

(2)中性化試驗：以酚酞指示劑來測定混凝土之碳酸化程度。即使在現場已做過此項試驗，最好還能在試驗室中將樣品剖開可在控制良好的環境下進行測定。

(3)水泥含量：此為混凝土耐久性之指標，此將有助於評估鋼筋腐蝕之原因。經由樣品測出之水泥含量平均值可將混凝土中所含氯化物之重量百分比轉換為水泥中之氯化物含量重量百分比。然而水泥含量之測定有極大的誤差存在，既使可提供混凝土之原始組成材料之樣品。

(4)密度：可容易地測定。除取平均值外，密度之變化性亦為應關心注意的

。

(5)吸水率：可將樣品浸於水中，記錄其10分鐘、30分鐘、1小時、6小時和24小時後重量之增加量，便可計算得出吸水率。但吸水率會受樣品的形狀和大小影響，一般以75公釐直徑圓柱體切割一75公釐薄片為標準試體進行試驗。一般而言，混凝土吸水率愈高者，其中性化深度愈大。

在某些環境下，混凝土之腐蝕生成物檢驗可使用掃描式電子顯微鏡 (SEM, Scanning Electron Microscope) 可放大1萬倍微觀星相，配備能量消散X光分析 (Energy Dispersion X ray analysis) 可作定量及定性分析其成份。X光繞射分析儀 (X ray diffraction) 可分析鐵銹及混凝土有害物質及碳化物成份等。

(六)評估

根據檢查，測量和試驗，可評估個案發生問題之原因，可根據下列要點作一適當的評估：

(1)鋼筋保護層

鋼筋之保護層厚度可由施工規範中查得，因為規範一直在修正，因此必須要參照最新之資料，必須了解保護層薄並非是鋼筋腐蝕之必要因素，在評估保護層之厚度測量結果同時亦應將中性化和氯化物之測定結果一併考慮。

(2)中性化

根據混凝土結構物使用之材齡及其中性化平均深度之測定結果則可評估保護層中性化所需之時間，即為平方根關係 (中性化深度 = 常數 $\times \sqrt{\text{時間}}$) 在施工規範中所規定之保護層厚度即為避免結構物在設計年限內中性化侵入到鋼筋位置。對不同品質之混凝土，此關係式中之常數將各有不同數值。另外必須注意的是上述關係式為一近似值，其結果僅可作為一般性之指標，既使在同一結構

物中亦有顯著之不同結果。

(3)氯化物

當水泥含量已測定時，氯化物含量可由氯離子佔水泥之重量百分率表示之。其結果可與規範中所定之限制值做一比較，而所參照的規範必須為最近之資料而且必須與結構物建造時期所採用的作一比較，作這種比較必須注意考慮試驗結果的精確度。

根據英國建築研究機構 (Building Research Establishment) 報告⁽¹²⁾建議氯化物含量標準可區分為三類：

低含量：氯離子含量低於水泥重量之0.4%；

中含量：氯離子含量在0.4 ~ 1.0%之間。

高含量：氯離子大於1.0%；

此種分類特別用於混凝土拌合中摻有氯化物，若由外界侵入硬化混凝土需限制低氯離子含量。

當水泥含量未知時，氯化物含量可由氯化物與混凝土之重量百分比表示。下列數值可作為一般性之指標：

0.02%以下：無徵候區；

0.02 ~ 0.05%：低危險含量區；不見得有氯化物曾拌合於混凝土中。

0.05 ~ 0.15%：中危險含量區；

0.15%以上：高危險含量區。

當氯化物可由外界滲入時，其含量達0.05 ~ 0.15%，將導致相當大的腐蝕危險，而在低於0.05%時亦可能發現有銹蝕現象發生。

實際上氯化物含量變化性很大，即使在混凝土拌合中摻加含氯化物之摻料使用標準配量，然而由於配藥劑儀器上容許之變化，骨材所含氯化物量，拌合中摻料配藥劑不完全和由外界侵入之氯化物等變化。因此當取相當大量之樣品時例如20次其平均值與原配劑相當接近，但個別之結果將變化很大，例如氯化物

含量為水泥重之1%（規範中上限值），則試驗結果為水泥重之0.5～2.0%之間。

(4) 混凝土品質

由水泥含量、密度和吸水率（或透水性）等測試結果則可對於結構物之混凝土品質有所瞭解，因此對於確認腐蝕的發生原因將較有幫助。其容許的範圍可參考一般混凝土書籍（1.2）。

(4) 調查結論

根據前述可歸納出腐蝕問題的發生，主要歸因於鋼筋的保護層厚度不足，混凝土的透水性太大和氯化物含量過高。因此，為避免混凝土未來的惡化，需防止上述三種原因的發生。在進行腐蝕調查時，對各種可能發生之腐蝕因子均需加以分析研判，因此環境中或混凝土本身不尋常的現象才可加以辨認追蹤並作為維修之根據。

三、修復方法

(一) 一般原理

(1) 概說

混凝土的修補一般是將修補材料直接加在混凝土斷面上，或清除壞蝕材料再更換良好補修材料。其填補的方式一般可為：

- ①以模板澆築；
- ②以特製噴槍或噴漿填補；
- ③以手工填補。

修補的工作亦包含底漆，粘著劑（握裹力塗裝）和表面塗裝等運用。

(2) 結構上考慮

當結構物內鋼筋發生銹蝕，其對結構強度發生的影響必需仔細評估，有關評估之細節部份不在本文討論範圍內，可參考混凝土協會和結構工程之專利報告（11.13）。當修補時需要恢復構件強度和耐久性時，必須考慮下列各點：

- ①除非修補前已將負荷去除（例如以油

壓支撐，光憑簡單支撐是不足夠的），否則修補的部份將會增加結構物的負荷。

②修補部份分擔負荷的能力不僅依混凝土之抗壓強度，亦受其彈性模數和與原有混凝土之結合強度等因素影響。例如，低彈性模數的材料與高彈性模數比較，所需之應力與應變有顯著的差異。

③修補材料與原混凝土之乾縮與潛變性質不同將影響修理斷面的負荷承載分佈。因為舊有混凝土的潛變較新修補混凝土的潛變小了很多，當新修補材料發生乾縮現象，儘管其與原結構物的結合力很強，仍會造成相當大的負荷承載損失。

因此，在修護時對結構強度的恢復評估需考慮荷重情況與修補材料的性質。

補修工作經常包括將惡劣之混凝土清除至鋼筋背後，此對於結構上之影響性必須在修補計劃前考慮。在結構上之考慮為敲除工作之程度及所需時間之最低要求，對於鋼筋錨碇端附近及任何有關預力混凝土部份均必須特別加以小心注意其結構之影響性。

(3) 復建保護

修補受鋼筋銹蝕損壞剝落的混凝土部份，主要在用於保護鋼筋避免受到進一步的腐蝕。藉由修補使鋼筋所處環境恢復原先的鹼性狀態或產生一保護層以隔絕空氣和水之侵入。

混凝土中強鹼環境的抑制作用可對鋼筋產生保護機構已如前述。利用卜特蘭水泥進行修補，一般均可恢復所需之強鹼環境。修補部份鋼筋的耐久性將取決於修補材料之中性化的速率。

假使無法恢復鋼筋的鹼性環境，則銹蝕防護仍可使用一種抑制膜來達成，例如使用樹脂砂漿。樹脂砂漿可產生一

低透水性之隔絕層，如此空氣和濕氣將無法接觸到鋼筋。

以鹼性環境或低滲透性之隔絕層來保護鋼筋的相對優點至今仍為學者們研究的專題。無疑地此二者均可提供有效的修護，但孰優孰劣將取決於工址環境與所使用的材料。一般而言，鹼性環境的恢復遠較產生一低滲透性隔絕層容易的多。然而，由於環境的關係亦可能有相反的結果。所以對選取卜特蘭水泥恢復鹼性環境或以樹脂砂漿隔絕層都需對整個問題環境的施工因素和價格進行整體性的評估。

(4)修護範圍

儘管造成腐蝕的原因可能非常廣泛，而鋼筋的銹蝕範圍大多為局部性的。因此修補的區域須先做一決定。

根據前述的偵測方法可適當的決定修補形式，而無需對整個結構物做一整體性的翻修。當做一區域性的修護工作時十分需要，作進一步的表面檢測以便估計需要修補的範圍，特別是在修護合同未訂定之前應該先進行此項工作。

對於惡化之混凝土可使用鋼筋保護層測量儀及敲擊混凝土表面來決定其惡化範圍。而銹蝕的鋼筋可利用電位分佈圖技術來偵測其範圍。由於鋼筋包在混凝土內，雖已銹蝕但在混凝土表面上無法察覺，可使用腐蝕電位偵測儀測定得知範圍。

當以填補修護時，一般沿著銹蝕鋼筋將混凝土挖除，一直挖到無銹跡應再至少多深進50公厘為止，並應盡量避免擾動到原結構。若需更換鋼筋則須增加搭接所需寬度。

在許多環境下，特別是混凝土中含有氯化物，為求較為耐久的修護，必須挖除鋼筋附近的惡化混凝土。若鋼筋下面的混凝土未予挖除，則鋼筋部份在老舊已污染的混凝土中，部份在新修護的

混凝土中，這時如果銹蝕的原因是由於混凝土中含氯化物，則鋼筋將會繼續惡化。如果銹蝕是因為混凝土中性化的關係，則情況將不致於太嚴重。

在各種修護階段，特別是混凝土被切除時，需注意考慮結構之完整性。

(5)惡化的防治或減緩

混凝土的修護計劃中不僅應考慮修補損壞的部份，而且亦應考慮限制鋼筋未來的銹蝕。

鋼筋銹蝕的原因，如前所述，由下列因子構成：

- ①保護層過薄；
- ②混凝土保護層透水性過大；
- ③內部或外界透入之氯化物存在。

如果氯化物的存在是腐蝕的主要關鍵，則光憑混凝土的表面處理是無法遏止銹蝕的。但銹蝕時需有少量的水及空氣存在才會發生。因此，可使用不透水之材料將所有會滲漏之表面塗裝，如此將可減緩銹蝕反應的速率。

藉由混凝土表面的塗裝，可降低混凝土中性化的速度。須注意的是混凝土的內層亦有中性化的可能。一般的塗裝對水蒸氣的滲透率很低，而且對二氧化碳的滲透率亦極低。但有某種塗裝可配方為對水蒸氣具有高滲透性，而對CO₂為低滲透性者，如此當混凝土表面塗上這種透水蒸氣材質時，可獲致較長的塗裝年限。

在混凝土之中性化尚未到達鋼筋時，使用抗CO₂塗裝可有效的防止鋼筋將來的銹蝕。但當中性化已侵入到鋼筋時，若尚未發生銹蝕剝落，則塗裝抗蝕的效用將決定於其對濕度的阻絕能力，在此種情況，可降低腐蝕率及延長使用壽命。

如果混凝土已中性化再加上含氯化物過多，則不管其表面有否塗裝，仍可能會繼續造成鋼筋銹蝕。

若鋼筋保護層太薄時，則其銹蝕將取決於保護層的混凝土成份和品質。而防蝕效果與其中性化的速率有關。

在少數情況下，裂縫將導致鋼筋銹蝕。因此，欲防止銹蝕的惡化，須將這些裂縫填補。所以，分辨銹蝕引起的裂縫或引起銹蝕的裂縫是十分重要的。然而，填縫法僅能治標，並不能消除腐蝕的因子（如高透水性、高氯化物含量等），新的裂縫仍將會繼續不斷地產生。

(6)修護的外觀

區域性的填補修護，很難使其外觀與原混凝土一致。由於不同的吸水特性，修補的混凝土對氣候的反應亦有所不同。尤其是特殊的表面粉刷，修補後要想恢復已往的外觀是相當困難的。因此，對外表美觀的要求往往在是否需對整體外觀重新處理一遍作一抉擇。

(7)修護之耐久性

修護的耐久性是難以估計的。每種修補方式其耐久性將受多種因子影響。

根據經驗，以傳統的修護方法優良的修補一般可維持一段有效的時間。大多數情況，修補過後的問題多發生在未曾修補的部份。

影響修護年限的主要因子為修護混凝土部份處理之周密性和鋼筋表面的清潔度、粘著劑的品質和修補材料的滲透性等。當局部性的修補部份受氯化物侵蝕時，易使修補的附近受到損害。這種損害的速率及範圍目前尚無法預測。然而大多數情形為使用較經濟方法作局部補修，爾後視需要再修理比第一次看見損壞就使用昂貴修補方法較受愛用。理論上來說，以樹脂的修補會在舊混凝土與新混凝土間產生一粘著層或在鋼筋表面上提供一阻擋物。可以降低修補的混凝土與原混凝土間的電化學反應作用。

記錄修護所使用之材料和方法之

使用性能對爾後的修補將有所幫助，並對新材料的行為將能有所判定。

(8)耐火性能

混凝土構件的耐火性視其鋼筋保護層可提供一屏障限制傳遞至鋼筋處之熱量傳導速率。保護層未受破壞則表示有較長的耐火時間。

混凝土的修護包含對結構物的部份重建或修補。無可避免的在新補混凝土與原有混凝土之界面較為薄弱，因此，修補後的構件其保護層受火災時較未曾修補的構件更易損害剝落。

噴漿方法經常用來處理受火災損害的結構物。為使修理部份之握裹力足夠，經常可加裝鋼筋以固定補強。

樹脂砂漿和聚合水泥砂漿的耐火性尚未被研究透徹，由於樹脂砂漿耐高溫較混凝土為低，所以在火災時，品質將降級。因此不能使用於在火災條件下修理範圍需承受結構負荷之情形，但可用為鋼筋隔熱的絕緣體。雖然環氧樹脂砂漿為可燃性材料，但其不會很快就燃燒掉，而且其在表面上燒黑的狀態有助於絕緣其內部的材料。

樹脂砂漿與混凝土之熱傳導係數不同，將使得在與原混凝土之界面上產生極大的應力，導致可能發生剝落現象。以聚合水泥砂漿修補時，聚合體的效用並不大。而且也可能再度發生握裹不足而造成失敗。

由於缺乏足夠的研究成果，一般所定的建議為當混凝土的破壞是由於鋼筋的銹蝕，修補時亦需考慮耐火性的恢復，且新舊混凝土間不能僅靠粘著力的結合，須以機械性的固定。在鋼筋背後切除惡化混凝土之修理情況，則機械性固定可提供足夠之機械性附著；換言之，既使在火災中握裹力喪失，但由於上述之加強，使得修理材料仍可留在原位，可檢查是否結構上足夠，在其他情況將

需要有一補助之鋼筋網固定於原混凝土上。

(二)修護過程

(1)混凝土之處理

敲除內層惡化混凝土之基本要求：

①將所有壞蝕之部份挖除，並且挖到堅固的混凝土為止。

②清除鋼筋周界的多餘混凝土。

③修補面須切除乾淨，避免軟弱不潔。

④清除混凝土面上沈積物或塗裝，使堅實的混凝土露出。

鋼筋嚴重銹蝕的狀況多發生在氯化物含量高的混凝土內。因此，欲獲致較為耐久性的修護，在銹蝕鋼筋附近的混凝土須予清除。然而在實際情況時，由於鋼筋排列過密等因素，要想將其附近混凝土清除頗有困難。在這種情況，鋼筋不須暴露和儘可能地清除，由於碳化速率較慢，因此在結構物中心部位之混凝土已經發生碳化機會似乎不大，因此假定在結構物之混凝土為堅實高，則仍能對鋼筋提供保護，而輕微腐蝕的鋼筋則有一半斷面埋於堅實混凝土中，假定修理材料與原混凝土之握裹能力很強，則耗資額外的費用，挖除鋼筋周界之混凝土這種施工方式可能並非經常是正確的。此種情形大多在容易接近修理地方，而且修理期間干擾性不顯著，因此補修後不需再回頭重作修復工作。

敲除承受應力之構件內鋼筋底下之混凝土需先做適當的支撐，而混凝土與鋼筋間之握裹力，可能也會受到影響，因此將需要審慎地考慮結構之影響性，且可能導致需決定在未受到氯化物污染之鋼筋周界不需全部敲除，特別在使用噴凝土之情形更是如此。

(2)鋼筋

鋼筋的清理標準視環境不同而定。

在混凝土中，氯化物導致的銹蝕問

題，需將所有的鐵銹、銹垢及表面污物以噴砂法，沖水配合噴砂法或以特殊之高壓噴水等加以清除之。當使用卜特蘭水泥類為修理材料並且保護層足夠，而且混凝土所含氯化物為微量，則鋼筋僅需清除至新建時被接受之條件，用手操作的動力機械，例如使用針槍（needle gun）經常已夠用了。

對於樹脂類修理材料，特別在鋼筋之保護層很低之情形，則所需要之混凝土處理標準將較高，此與在鋼筋油漆之處理方法類似。

若鋼筋已經發生嚴重腐蝕，斷面積減小，則需對結構體評估是否需另加新鋼筋補強。新補強鋼筋需與原有鋼筋做適當的连接，且有適當的搭接長度，此可能需切除混凝土使原有鋼筋相當地曝露，使用焊接技術需考慮與原鋼筋焊接之可能性。

除非呆載重在修護時予以解除，否則新加的鋼筋將不會分擔結構物的呆載重，在採用水泥噴漿法施工修理時，習慣上連接一經型焊接的鋼纖網，而且必須牢靠地固定，通常這種鋼絲網可能也需要考慮耐火能力。

(3)鋼筋上塗底漆

若鋼筋表面經過抗蝕處理，並有適當的保護層，則將不需使用可使鋼筋鈍態之水泥類修理系統。

以樹脂修補時，經常先在鋼筋上塗底漆。不管底漆是否具防蝕性，均宜採用同一材料來源，因此修護系統本身可確保相容性，底漆的塗裝應在鋼筋噴砂乾淨後的數小時之內完成。

使用其他腐蝕抑制鋼筋之前處理，必須先與製造廠商討論使用之情況，而且必須校核與其他被使用的材料之相容性。

(4)黏著塗裝

當以樹脂或水泥砂漿修護時，通常

在混凝土修護面上塗上一層黏著性塗料，而修補材料須在此種塗料仍在軟黏情況下補上。

選用樹脂為修補材料時，通常黏著性塗料也採用樹脂類，但需具有相同的性質，因此可在補修之砂漿中形成凝固，除非是水溶性材料，通常必須塗裝於乾燥表面，若為水溶性，在潮濕表面可被接受，但仍然必須遠離表面水，所有專利樹脂修理系統可提供黏著塗料及修理砂漿。

若採用水泥砂漿為修補材料時，則黏著層可採用樹脂或聚合水泥材料。若修補材料中摻有聚合體類，則通常在黏著塗料中亦需摻入聚合材料。通常材料選用必須根據供應商之建議判斷。

使用黏著性塗料主要目的為可在修補材料與原有混凝土間達到有效的握裹強度。例如在以樹脂砂漿修補時，使用黏著性塗料則有助於“濕化”工作面，或僅使用卜特蘭水泥加水，而使用水泥砂漿時，則發現不加黏著性塗料亦可達到良好的黏著強度。

一般而言，在修護面使用粘著性塗裝，將可達到更為理想可靠之握裹強度。

(5)斷面復原

為使修補後之斷面恢復原狀，或為需有適當的鋼筋保護層厚度，修理後之斷面較原斷面為佳，材料可能需分數層填補，此可視採用之補修方法而定，通常樹脂和水泥砂漿修補之每層厚度約在15至25 mm，若太厚時則在施工時必須特別注意。當一層填補完成硬化後才能進行次一層的施工，並且須在其層面上製成刮痕才可獲得所需之握裹力，假定修補面已經受污染或曾浸於潮水中，則在補修前其表面也需進行表面處理。

為獲得良好的工作線，可以輕質木板或鋼絲固定在最後所需之斷面上。此

點對使用噴漿工法作維修工作特別重要，因為施工時可能超出原斷面。

在修補的砂漿相當厚的情況，則需使用模板可使砂漿在一次澆築作業下完成補修工作。或可能在補修過程中逐次搭建模板；澆築時可能以細骨材料的混凝土較為適當。模板的斷面設計必須能提供適當的工作線，而不致於影響修護材料的施工或打到模板上。

(6)表面粉刷

通常使用鐮刀或噴灑施工之修補材料大多為堅硬、低坍度（或無坍度）的混合料需要相當之努力以抹平及夯實。儘管型式不同，行為上有所差異與底質之握裹可能受擾動，然而原則上必須儘量減少後續維修工作。由於補修材料其色澤及構造上與原有混凝土不完全一致，所以不妨以薄層表面塗裝粉刷或噴灑在整體結構外表，不僅可以裝飾，而且可保護結構體，使其色澤及組織均勻一致，這種處理很明顯地可降低混凝土之惡化速率。

(三)操作因子

(1)修補工作中環境之影響性

在設計一個適當的修護計劃時，須考慮各種影響因素說明如下：

- ①是否工作過程不會中斷，可使得承包商能安排其工作流程或必要採行的工作流程，結構物部份或整個在使用中（或佔用）因而迫使分段實施補修計劃，在任何時間工作數量上之限制在某一段時間補修某一結構部份等等。
- ②結構物在使用時所引起的變形，振動或衝擊力等，何者可能對補修工作造成不良之影響？
- ③在製造工廠機械或其他設備在連續使用中，是否需接近去操作及作維護工作呢？
- ④現有工廠或設備在補修期間仍在繼續操作中，而所產生的熱、蒸氣或溢出

物是否會對修理工作造成影響？

⑤接近修護地方是否有任何特殊問題存在？工作空間的限制將使得某些補修工作難以施工。固定的工作台對於補修工作之進行及維修工作之監工工作相當方便，但對某些結構物而言，可能太貴而吊籃可能相當便宜。對於小範圍的修補工作，使用水力平台可能相當實用或在有受限情況而沒有足夠的時間作裝卸固定式工作台時亦可使用水力平台。在跨河之補修工作時，由於考慮洪水的風險性，可能限制在同一時間搭固定式工作台之數量，在海域環境作修理工作時，必須特別考慮因為受靠船及暴風浪等之影響性，尤其與搭工作架有關者必須詳細考慮。

⑥滲流在結構物上，必須設法止漏或臨時使它轉向。

⑦為了完成工作，工廠和設備需要搬運或以特殊方法安置例如進入隧道，下至坑道或搬上至高樓，是否特殊之臨時工作？

⑧現有任何裝置，傢俱、設備或機器等在補修及換新工作時是否需要搬移？若無法遷移時而妨害到補修工作時，將作如何考慮？

⑨考慮交通流量，大眾的使用性及工廠製造生產等需求或是否需要在夜間或周末施工？或僅需禁止通行或生產停工一段時間就可以，或是鄰近住家、醫院或其他敏感地區等是否必需要限制正常上班的工作時間，否則將會影響維修工作之執行。

(2)維修工作對環境的影響

所有補修工作包括清除任何不堅實或有毛病的混凝土表面材料，可能一些堅實混凝土、及混凝土表面沈積物及清理乾淨暴露之銹蝕的鋼筋的鐵銹等。清除工作可使用噴砂動力機具，或高壓噴

水等，因此將發出噪音，而且清除後會在該補修範圍內，由清除下來的混凝土殘骸、污水及磨蝕物等髒東西，所以必須採取適當措施以便保護附近區域的人民、交通及工廠及機器等不要受到噪音、灰塵、廢水及碎片等影響。

修理工作可能會干擾到鄰近工廠，設備及結構物本身等之使用。有些修理過程中，例如噴漿可能有噴射過量或反彈現象，可能需增加特別保護措施。填抹和注入管系統，可能會造成水泥質或樹脂類等之溢出或漏出，此種情形可能會對人造成損傷。因此，建築粉刷、門窗修理水管或雨水系統（後者為避免堵塞或受損傷）等之保護；河川污染的防制；農作物及草木、路面及人行道抗拒水泥、樹脂溶劑和油料等之濺濺的防護等在維修過程中所必需特別注意考慮的。

(3)天候對維修工作之影響性

冷、熱、濕或風大的天候均會對施工上造成明顯的影響，若無適當的安排，甚至將會迫使停工。

樹脂砂漿和注入填補法可能很明顯的受濕冷影響，除非採用特殊的配方使其能在低溫下可使用，否則將難以施工。同樣地，若欲耐潮濕性條件，則亦需採用特殊配方，這些系統亦受相當炎熱之條件所影響而可能導致材料之快速硬化。

噴漿法可使用於相當薄層上施工，其較傳統性之混凝土易受熱、冷或濕的環境影響。因此可能需要採取適當的保護修補材料措施以避免快速乾燥凍結和新鮮材料被沖走等現象。強風會干擾實際的澆置作業將造成材料的分離和過量的損失，特別是在強風加上乾燥情況將更為顯著。

在所有的各種修護法之施工中，必須特別注意確保被修補之結構物之溫度，不得太低而可能造成過冷或甚至補修

材料發生凍結，因為通常結構的質量比修理材料大很多。

(4)安全性的考慮

在現有立法上可護工作人員安全的工作為最重要的基本要求，而且必須經常採取適當的措施，在施工時必須特別注意下列各點：

- ①在切除混凝土、噴砂和噴漿時必須注意眼睛的保護。
- ②在切除混凝土時必須防禦混凝土碎片掉落。
- ③混凝土碎片重量對工作鷹架影響性的考慮。
- ④使用樹脂時可能會對皮膚造成過敏性及眼睛受到傷害的危險性。
- ⑤使用空氣壓縮機在高標準的維護和實際安全工作上的需求。
- ⑥工作鷹架、吊籃，水力平台或任何其他型式的施工架，需讓工作人員易於在上面工作，而且可讓人到任何需檢查及修理之地區去工作。

(四)工作的選擇

如上述，在一特定的環境下，欲選擇最適當的修補方法的必須詳細考慮許多影響因素，表一列出在不同的損壞條件下補修材料選用標準在使用時，亦需注意下列事項：

- (1)一般樹脂砂漿多使用在小體積範圍的修補工作。
- (2)對大體積範圍的修補，最適當的方法可能為噴漿或現鑄混凝土等方式施工

。

- (3)對於寬廣面積之修補最常使用的修補材料大致為水泥質材料或改良聚合水泥材料。
- (4)補修地方的鋼筋保護層太薄時，以採用樹脂砂漿為佳，因為這種材料具有在相當薄層下，而透水性很低之特性。
- (5)若修理地方的鋼筋保護層厚度較實際規範所訂的標準為薄時，可考慮使用改良式聚合膠結砂漿材料（但保護層厚度不得小於 12 mm）。
- (6)原混凝土結構物中之氯化物含量為相當重要的影響因素，可使用樹脂砂漿限制氯化物侵入新修補的混凝土中。

根據表一及上述注意事項可簡化選擇恰當的修補方法問題。而在某些情況，一座結構物中可能需要作大面積和小面積的修補工作。此時若以不同的施工法執行工作，可能並非是最有效的整體解決方式。

此外，不同工法的可運用性可延伸其基本使用範圍，以利實際需要。

此外除原訂主要補修方式外，再增添鋼筋塗裝或對於修理断面作表面處理再加上塗漆，則修護方法之可應用性將比表一所訂的範圍為廣，然而，必須記住對於結構的行為，耐火性施工之可行性和安全性等因素上之考慮可能勝過上述注意事項。

表一 混凝土修護材料的選擇

可能使用於修護 之施工材料	大面積剝落	小面積剝落	裂縫 填封	縫修 性裂護	握強 裹力化
	保護層 (mm) >25 12 - 25 6 - 12	保護層 (mm) 12 - 25 6 - 12			
混凝土 噴漿混凝土 水泥砂漿	*				
改良聚合體 膠結質砂漿	*	*			
環氧樹脂砂漿	*	*			
多元酯樹脂砂漿		*			
抗濕性環氧樹脂					*
SBR 亞克力及 聚量分子聚合物 乳劑			*		*
低黏性多元酯及 亞克力樹脂			*		
低黏性環氧樹脂				*	
PVAC 握裹促進 劑	使用於內部				
PVAC 改良砂漿	使用於內部				

註：* SBR：styrene butadiene rubbers (苯乙烯丁二烯橡膠)

** PVAC: polyvinyl acetate (聚合乙烯醋酸)

四、結論與建議

1. 鋼筋混凝土結構必須要定期檢查，才可確認發生問題之特性及程度範圍，而且可以針對問題立即採取有效的補修對策。
2. 確保鋼筋混凝土結構物耐久性必須嚴格要求保護層厚度足夠混凝土之透水性低和氯化物含量低，因此必須在使用材料，設計及施工方面詳細考慮。
3. 對於補修方法選擇必須詳細考慮修理範圍、程度，如何提高耐久性，修理過程，環境因素對維修之影響性，材料的選擇兼顧結構行為耐火性，施工之可行性及安全性等各種參數作多方面之考慮，才能得出較佳之選擇。

參 考 文 獻

1. LEA, F. M. The chemistry of cement and concrete. Third edition. London, Edward Arnold. 1970 727 pp.
2. NEVILLE, A.M. Properties of concrete. Third edition. London. Pitman Publishing Ltd. 1981. 792 pp.
3. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. Code of practice for cleaning and surface repair of buildings. Part 2: Concrete. London, to be published 1985. BS6270:Part 2.
4. ROBERTS, M.H. Carbonation of concrete made with dense natural aggregates. Garston. Building Research Establishment. April 1981. 4pp. BRE information Paper IP 6/81.
5. PIHLAJAVAARA, S.E. History-dependence, ageing and irreversibility of properties of concrete. Structure, solid mechanics and engineering design. the Proceedings of the Southampton 1969 civil Engineering Materials Conference. London, Wiley-interscience, 1971, Part 1, 719-741. Paper No. 60.
6. TUUTTI, K. Service life of structures with regard to corrosion of embedded steel. Quality control of concrete structures, June 1971, 1979, Stockholm, Sweden. Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1979, Vol. 1, pp. 293-301.
7. BEEBY, A.W. Corrosion of reinforcing steel in concrete and its relation to cracking. The Structural Engineer. Vol. 56A. No. 3, March 1978, pp. 77-81.
8. WILKINS, N.J.M. and LAWRENCE, P.F. The corrosion of steel reinforcements in concrete immersed in seawater. Corrosion of reinforcement in concrete construction. (Editor: A. P. CRANE) Chichester, Ellis Horwood, 1983, pp. 119-142.
9. THE CONCRETE SOCIETY, Non-structural cracks in concrete. Report of a Concrete Society Working Party. London, 1982, 40 pp. Technical Rep-

- ort No. 22, Publication 53,038.
- 10 BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Guide to the assessment of concrete strength in existing structures, London 12 pp. BS 6089: 1981.
 11. THE CONCRETE SOCIETY, Concrete core testing for strength. Report of a Concrete Society Working Party. London, 1976, 44 pp. Technical Report No. 11, Publication 51,071.
 12. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. The durability of steel in concrete: Part 2. Diagnosis and assessment of corrosion-cracked concrete London, HMSO, August 1982, 8 pp. BRE Digest 264.
 13. INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS. Appraisal of existing structures. London, July 1980, 60 pp.
 14. THE CONCRETE SOCIETY, Assessment of fire-damaged concrete structures and repair by gunite. Report of a Concrete society Working Party, London, 1978. 28 pp. Technical Report No. 15, Publication 51,077.