光電追蹤40年

◎系發中心／歐陽敏隆

我國為提昇國防自主能力，於民國58年成立中山科學研究院，建立計畫研發各式武器，各項系統完成設計後，須經研製、測試、改進與評估才能使系統達到國防使用標準。民國62年本院執行恆春計畫，於屏東縣滿州鄉、牡丹鄉交界建立九鵬測試場，測試場由當年第二研究所（現為飛彈所）鄭毓珊副所長督導，第六組組長張關宗負責建置。測試場是執行系統測試與評估的主要場所，功能包含通信、射控、資料處理、雷達、遙測、光學等分系統，其中光電追蹤系統提供測試時光學可視影像。

古語「百聞不如一見」、「眼見為憑」為光電追蹤系統直接與客觀之特性，當年鄭將軍參訪先進國家測試場，於以色列測試場獲得光電追蹤系統資訊，在民國67年於九鵬測試場建立光電追蹤系統(EOTS)，系統為瑞士CONTRAVES公司製作，包含一主控站指揮四個伺服追蹤站，分佈於九鵬十餘公里區域，可執行陸海空各式武器系統之驗證，主要功能提供演訓測試時之電影片與即時光學彈道供各計畫分析，為測試場執行測試任務不可或缺之系統。系統屢經自行維護與改進，沿用至今屆40年，現添加之新式高解析度長焦距與紅外線攝影機，為本院研發提供不少重要成果畫面。

回顧系統初建，系統只安裝長焦距電影機用膠捲底片，每次測試結束後還需要立即將影片送至光學廠沖洗，顯像後經放影機投影至銀幕才能知道測試結果，常常是晚上長官們至九鵬光學廠等影片沖洗，經迫不及待之等候，當看到成功中靶畫面之後，同仁扛來雞箱啤酒慶功，留下歡樂的回味。直到系統改裝即時視訊後，可於第一時間了解測試結果，免除了影片沖洗之等待，也免除了化學程序所遺留之化學汙染疑慮。

系統運作難免會有一些故障，但因系統複雜，運作初期少量的備份件常備不到，維修工程師需要找到故障的零件，加以更換才能恢復運作，故測試前常有挑燈夜戰，尋尋覓覓以求趕快找到問題零件更換，以參加隔日測試的狀況。經逐年採購備份模組後，維修資源較為充足，維修的壓力減輕不少，但隨著多年之運作後，電子系統進步神速變異大，當年的電路模組逐漸不再生產，尤其是即時資料傳輸與處理控制處理器，資訊類的商源逐漸消失，遇到故障無備品可換。資料通訊協定屬於原廠特殊格式，限制了硬體界面，為了維持系統運作，必須擺脫限制，將追蹤站伺服控制與無線通信等系統之軟硬體，以及光電主控站軟硬體與其通信協定，同時改為我們能掌握之系統，民國92年小組以多年使用經驗整合新式數位信號處理與資料通信系統，完成了系統精進研改，從此擺脫消失商源之困境。

由於測試場地處於潮濕多霾之環境，遇到霧霾時可見光能見度低，且對目標追蹤距離影響大，導致目標影像不清楚，每站逐年加裝中波段紅外線攝影機，改善了濕霾環境對影像的影響，日夜都可追蹤目標，對於熱能較大目標，甚至可達上百公里之持續追蹤。

單站追蹤性能提升之後，使用單位之需求也跟著提升至雙目標追蹤，單純EOTS（瑞士CONTRAVES製造）追蹤站數量僅四站，鎖定雙目標可靠度較低，為此修改主控站之資料處理與通信協定，將兩組攝影追蹤CTM基座（美國PHOTO-SONICS製造）納入整個光電追蹤系統，整個系統可任意混合兩個不同公司製造之追蹤基座，追蹤兩個不同目標，同時與測試場即時資料處理系統（RCCS）可相互交換彈道資料，提升了系統之追蹤可靠度。

回顧過往，整個系統運作已屆滿40年，至目前每年漢光演習、三軍精準飛彈射擊與各計畫之測試都需要光電追蹤系統提供重要資料與測試影像，這些多是由老前輩規劃建立傳承與現職同仁們持續努力精進所達成之結果，為了測試場之永續經營，在EOTS建置滿40周年時共敘一堂，共同回顧討論未來，是很有意義之活動。

107年9月開始規劃於10月底在九鵬測試場舉辦光電追蹤系統40周年回顧與精進研討會，因無類似案例，大家都有不易辦成之顧慮，但經公文簽審與支援單位會辦，很意外的各級長官都非常同意與支持，接著的規劃準備工作自然水到渠成。

10月30日9:00時負責接待人員至左營高鐵站，迎接多年未見老同事與長官，高齡92歲老長官鄭副所長與90歲張組長在同仁們相互扶持神采奕奕走出月台，讓人感受到他們對此活動的重視，在左營高鐵大廳裡20餘位多年未見的同仁熱烈寒暄氣氛熱絡，彷彿回到年輕時的互動，為這個活動展開一個美好熱情的開始，帥氣嶄新的院部巴士帶著大家往九鵬前進，約10:45時到達楓港轉運站略作休息，於站上令大家想起當年筆路藍縷闢建九鵬測試場時的交通不便，由壽卡走山間小路進入九鵬之前都在轉運站休息，再去面對顛頗的山路。

中午12:00時到達九鵬測試場三號門，經收取手機核對名冊後到700區餐廳，用餐前系發中心吳典敝副主任表達對各位前輩的歡迎之意，用餐期間鄭將軍閘述九鵬測試場建場經過，與當年層峰經國先生幾次率部會長官視察九鵬，表達對測試場之重視，並說出鄭先生心中的夢：「我們國家的衛星由九鵬測試場發射至太空運行」。用餐完畢稍作休息，前輩們免不了繼續多年不見之敘情：13:00時至800區8A4館測試場控制中心，觀看新版測試場簡介影片與早年前所製作之測試場簡介影片，前輩們於新影片裡看到了測試場之精進，於舊影片裡看到了年輕的自己，並在門口拍攝團體照留下此行的紀念：接著前往000區光電追蹤站做現場運作之了解，對於40年前年輕時建立之追蹤站尚能正常運作，並隨著時代的進步增加精進了一些新的功能露出了欣慰的讚許。

接著移往光學廠，開始活動的主題「光電追蹤系統成立40週年觀摩暨精進研討會」，研討會中前輩們展現了工程師的特性，認真嚴謹對技術問題決不馬虎，討論熱烈，對系統精確度要求、影像處理、自動追蹤及系統未來後續經營等議題皆留下寶貴建議，鄭將軍期許工程師們要有國際觀，寬廣的視野與格局，建議院裡多送人至國外受訓或長短期進修。最後工作人員準備了雙層蛋糕，於生日快樂的歌聲中，由鄭將軍切下第一刀後展開簡單的慶祝、快樂的交流。

貴賓們於17:00時離開測試場至當年的九鵬希爾頓飯店一一阿義飲食店，頻頻話起當年回憶點滴，氣氛融洽賓主盡歡，結束晚宴後往墾丁靠近海邊之寧揮海旅店住宿，當晚有些體力較佳之老友長談至半夜才結束就寢。隔日早餐結束後，大巴士開往左營高鐵站，途中老長官發表感言，對光電追蹤系統經過40年運作的比以前更進步感到肯定，並期許現職的同仁繼續努力，把以往的光榮繼續傳承與發揚光大，抵達高鐵後於珍重再見聲中離情依依，為此活動留下美好的句點。

藝文資訊

12/16 9:00~17:00《山・光・水・色》熊好創作個展（桃園展演中心展場）

12/16 9:00~17:00《白・日・夢》（桃園展演中心展場）

12/16 9:00~17:00《靜界》黃靜瑩油畫個展（桃園展演中心展場）

12/16 10：30、14：302018 年冬季巧虎大型舞臺劇－歡迎光臨怪怪村（中壢藝術館音樂廳）

12/17 桃園藝文廣場街頭藝人－吉他彈唱（桃園展演中心）

12/19 週二至週日 9:00~17:00 桃園市立自強國中第 7 屆美術班畢業美展（中壢藝術館第 2 展覽室）

12/19 桃園藝文廣場街頭藝人－吉他彈唱（桃園展演中心）

12/22 19:30 [2018桃園鐵玫瑰藝術節]李明璁＆探照文化有限公司—《敗者的搖滾瞬間》（桃園展演中心展演廳）

12/23 19:30 武俠音樂劇－《小羊晚點名》披著羊皮的狼（桃園展演中心展演廳）

12/23 14:30【狂樂動漫魂－第四彈】星空交響管樂團 2018 動漫音樂會（中壢藝術館音樂廳）

12/28 19:30 日安。說音樂林晏馳 2018 鋼琴獨奏會（中壢藝術館音樂廳）

12/29 14:30 AM 創意劇場 2018《MusicalTARU! 恐龍復活了！》音樂劇（桃園展演中心展演廳）

12/29 14:30《MusicalTARU! 恐龍復活了！》音樂劇（桃園展演中心展演廳）

12/30 14:30 來自捷克的明信片：方舟藝術交響樂團（中壢藝術館音樂廳）

化學所馬祖卡蹓之旅(1)

◎督安室／蘇登貴

我的第2個故鄉——馬祖，我又來了！應化學所同仁熱情邀約，任內最後一次再度率領本所同仁劉心孳、張立長、蔡忠憲、龐智民、李常有、周是蘭、盛錦上、彭郁文、陳益豐、吳聲堯及眷屬計26員，展開為期3天3夜的馬祖卡蹓之旅，這也是我第6度踏上海上桃花源土地的隊伍。

大夥兒於出發日晚上在五號門集合上車，筆者於車上詳述馬祖為何是我的第2故鄉典故，在民國76年首度踏上莒光島擔任少校保防官，分駐東西兩島，79年年底又二度調任南竿馬防部政四科擔任反情報分遣組中校組長，負責主導全防區八大情治單位協調掌握防區之安全，2次的外島經歷讓我對馬祖有一份深厚的感情。

另外也介紹馬祖列島探訪聚落建築之美、巧奪天工的地質景觀、鬼斧神工之戰地風情、歷史風華的人文古蹟、美食特產巡禮、參訪景點說分明等，島上充滿自然天險，地質奇景、萬千生態、海天一色、薄霧出嵐之美景，彷若化外仙境。

由於大夥兒都是第一次搭乘台馬之星船隻，台馬之星為國內製造之新船，於104年8月12日晚首航東引至南竿，載客數為580人。原台馬輪為購置航行日本瀨戶內海之船隻整修後經營，至今已航行台馬之間20年。隊友們晚上九點半上了船之後就齊聚於甲板上，後甲板也增設了桌椅及鐵皮屋頂，筆者也自備了公杯及小酒杯，並提供1000cc之金門紀念酒供大家享用，在美酒佳餚及欣賞基隆港五光十色之夜景，大夥兒更是陶醉於歡樂之中！

次日清晨五點，夥伴們又齊聚甲板上，海風徐徐吹來，等待日出的那一刻，只見金光閃閃一煞那間跳出來，大家紛紛拿起相機拍照，此情此景不亞於阿里山日出呢！週邊也有一些祖國的漁船在補魚，大家也都揮手示意。約六點時分許，台馬之星緩緩駛入福澳港之際，第一個映入眼簾的就是5層樓高之枕戈待旦照壁，也是馬祖地區之地標。它位於福沃公園山腰上，氣勢雄偉，是民國47年7月先總統蔣公視察馬祖防務時所親題，以嘉勉駐防部隊。照壁內闢有漁業及文物展示館，陳列地區魚業發展概況，公園最高頂也供奉蔣公立像，全年無休保衛家園。

抵達南竿時，與筆者已有25年昔日好友，現任連江縣消防局救災防護指揮中心葉炎官主任親至碼頭迎接我們中科院好夥伴到來。用完早餐後隨即展開一天的南竿之旅—巨神像、仁愛鐵堡、津沙聚落、馬祖天后宮、馬祖酒廠、八八坑道、雲台山軍情館、枕戈待旦、勝利山莊、大漢據點、北海坑道等景點。

第一站來到了新開放之景點，標高29.6公尺媽祖巨神像，與馬祖列島面積29.6平方公里相互輝映，也是全台最高的一座媽祖神像，它是由365塊石頭堆砌雕刻而成，意喻著365天日日平安，已申請世界金氏世界紀錄初審通過。其外觀比照湄洲媽祖廟形式，神像手執提燈方式，象徵媽祖海上導引漁民方向，立於港邊的巨神像，已成為馬祖的新地標，更代表馬祖人民對於媽祖信仰之虔誠。

隨後來到了仁愛鐵堡，這裡原是一座突出於海上的獨立岩礁，係國軍兩棲蛙人部隊的重要據點，馬祖當年唯一有軍階的一隻狼犬，就駐防於此。堡體為花崗岩礁所形成，傲然聳立於狂濤巨浪中，早期都是要經由流籠輸送三餐及食物進入鐵堡，後來開放觀光以後才建了步道，從山丘上沿著石階步道拾級而下，據點內幾乎是整個掏空的地下石室與坑道，並設有不少砲座，還有昔日官兵駐防於此所使用的石床及洗手間，簡直就是一座完整的地下化戰備工事，大夥兒走一趟真是嘆為觀止。

另外，也特別增加了外人所不知的勝利山莊景點，它是乙座將山壁開鑿後所建立的招待所，花了一年時間建設，於民71年12月完工，並於民99年12月開放參觀。山莊是專門接待總統或高級長官蒞臨馬祖之用，進門兩側均掛有蒞臨長官之時間及名牌，坑道內除了配置有接待大廳、展示廳、客房外，還設有寬敞氣派的餐廳，每當總統蒞臨巡視都會安排在此舉辦餐會，並發表談話。

接著參觀了雲台山軍情館，解說員詳細介紹當面地形地物，由於天候良好，肉眼就可看到閩江口週邊大陸的景色；另外也參觀了防區最大的240砲，射程遠及大陸內陸地區，這也是此行最大的收獲。（待續）

《定期英語學習課程》系列之十：單字篇(上)

獨 裁 者

Ways to Increase Word Power

◎航空所／張瑞釗

回顧

從五顏六色句子結構分析 (5-block-6-color approach to the analysis of sentence structure)，如附圖的五個方塊中，可以發覺只出現八大詞類 (parts of speech) 中的四個詞類：名詞 (noun, n)、動詞 (verb, v)、形容詞 (adjective, adj)、及副詞 (adverb, adv)，也因此，這四大詞類構成了句子的大部份，是有意義的實體字：其他四個詞類：代名詞、介系詞、連接詞、感嘆詞屬於虛字，僅為滿足文法的需要。

五顏六色句子結構分析，填滿句子結構的三元素：單字、片語、子句中，片語及子句已於本系列中完整敘述，包含字的組合、一般片語、成語、介系詞片語、動詞片語、動詞銳變及子句進化，這些於語言學中稱為片語形成 (phrase formation)，亦即以前提過，含括全部的文法 (grammar)。本篇將解析構造最簡單也最多重的單字，這部份則叫做字的形成 (word formation)，又稱為辭彙 (lexicon)，例如：英語母語者，他們會很習慣的於過去式動詞字尾加上 -ed。文法與辭彙構成了語言 (language)（註一、註二）。

於本系列之初，曾舉例五顏六色句子結構之五個基本句型，都是由最簡單的單字所構成的句子。然而，單字除了因為僅是一個字以外，其實並不簡單。中文約有 6 萬字，英文則有 120 萬字以上，窮畢生之力，能用上百分之一就算不錯了。

單字多重的原因在於，除了單字中最小獨立存在的單位（稱為 free morpheme），例如：boy, eat, water... 以外，因為動詞時式的關係、名詞單複數的關係、形容詞比較級……而形成很多衍生單字，例如：boys 即包含兩個 morphemes: boy 和 s，動詞尾 -ing,-ed.....。因此，本篇將就各詞類 (parts of speech)，舉出較常用的單字及其衍生字的用法，並說明如何增進字彙能力。

部首

本系列提過，小學上國語課時，老師都會教我們造詞、造句，還會教如何辨認字的部首。然而，英文的部首：字首 (prefix)、字根 (root)、字尾 (suffix)，卻疏忽了，而這也是我在英文學習生涯中的最後一堂課，深深覺得部首之重要性。學習部首除了可以增進字彙能力外，對於文字之美及其意義會有更深的認識，也更能激發英文學習的樂趣和效果。

英語母語小孩在五歲時，已學會了 2,500 至 3,000 個單字，學生每年要學 3,000 字，平均每天 8 個字以上。如果要考好 TOEFL, GRE, 或 GMAT，單字量至少要 10,000 字。據統計，受過教育的成年英語母語人士的單字量約 25,000 字至 80,000 字。現在可以衡量一下你需要學會多少單字，並想想應如何學。

部首主題一：為何 company n. 既指「公司」，又有「陪伴」的意思。

Company 可以分成字首 (prefix) com, 字根 (root) pan, 及字尾 (suffix) y。字首 com 意指一起 (together)，pan 指麵包 (pan 發音和台語發音同，台灣曾住過荷蘭及日本人之故)，亦即主食，字尾 y 指地方 (place)。公司是一群人在一起 (com)，為了主食 (pan) 而打拼的地方 (y)，因此，company 意義之一為「公司」。

每年考季一到，可以看到父母陪伴 (company) 考生一起 (com) 在樹蔭下 (y) 吃麵包 (pan) 的情形，所以，company 又叫陪伴。這些情境有時可以自己杜撰，增進記憶。

在英文中，常用字首如 com 者約 40 個，字根如 pan 者約 30 個，而字尾如 y 者約 30 個。字首、字根和字尾總共 100 個，猶如積木，可以組合出 40*30*30=36,000 個單字。按照目前國人或學子一直還是單字一個一個背 (single vocabulary items)，那 36,000 個單字，可以讓你背到天荒地老，還不一定背得起來，背了也不一定會用。至此，終於明白何以母語人士的單字量可以高達 80,000 字了。但是別洩氣，今天起，只要會 100 個英文部首，就會擁有 36,000 個單字量的潛力。

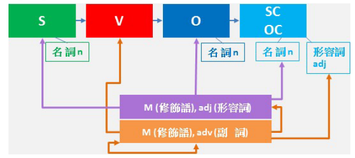
部首主題二：為何 dictate vt,i. 是指「獨裁」，又是「聽寫」的意思。

Dictate 可以分成字首 dict, 和字尾 ate。字首 dict 是「說」(say) 的意思，ate 是動詞字尾之一。dictation n. 是 dictate 的名詞，tion 是名詞字尾之一。而 dictator n. 就叫獨裁者，叫人聽寫者。字尾由 ate 變形為 ator, 字尾 or 是指人。獨裁是「命令」別人按其旨意做事，而聽寫也是由老師唸，「命令」學生寫，因此，dictator 既是「獨裁者」，亦指「叫人聽寫者」。

例如：She is *dictating* a letter to her secretary right now. 她正在唸一封信給她的秘書打字。Islamic custom *dictates* that women should be fully covered. 伊斯蘭風俗命令女人要包覆全身。（待續）

註 一：Emma L. Pavey, *The structure of language*, Cambridge University Press, 2018.

註 二：Fromkin, Rodman, Hyams, *An Introduction to Language, 10 ed.*, Cengage Learning, 2013

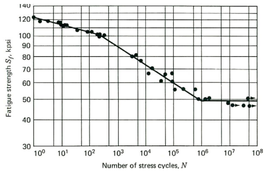


飛機結構容忍損傷設計

◎航空所／魏楞傑

1970 年代以前，軍機結構採用「安全壽命」的設計觀念，假設結構件在設計製造完成時沒有任何的先天或人為缺陷，結構疲勞壽命分析採「疲勞強度耐久限」的方法，在實驗室裡用各種小尺寸試片，放在不同的等振幅負載情況下，執行多次的疲勞試驗後，得到試片應力和試片可承受的負載週期數間的 S-N 曲線圖（圖一），S 代表應力，N 代表負載週期數，曲線尾端負載週期數大於 106 水平部分，代表若試片應力低於對應值，則此材料將永不疲勞損壞，此對應之應力值稱為此材料的耐久限，以此曲線圖數據依照線性損傷累加的方式，來預測實際飛機結構件的疲勞壽命。

當時的材料科學家發現，許多鋼材的耐久限和拉伸強度成正比，耐久限大約是拉伸強度的三成半到六成之間。換言之，材料拉伸強度越高，它的耐久限也就越高，因此若能找到一強度極高的材料，讓其在負載作用下的應力低於耐久限，則此材料就永遠不會有疲勞損壞的顧慮。當時的飛機製造廠商受到此觀念的影響，為了減輕飛機重量以提高性能，又能讓結構有足夠的疲勞壽命，紛紛追求高強度的金屬材料。美國空軍 1960 年代開發的 F-111 戰轟機就陷入此種迷思，在許多重要的結構位置採用了降伏強度為 220-240 ksi 的 D6ac 不銹鋼。

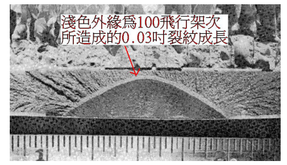


圖一 鐵基金屬材料典型S-N曲線

1969 年 12 月 22 日，一架機尾編號 67-049 僅飛行 107 架次的 F-111A，於內華達州內里斯空軍基地上空進行武器拋投訓練飛行時墜毀，當時飛機是以低高度對一模擬目標發射火箭後，以 3.5g ±0.5g 對稱飛行拉起時，左翼掉落，飛機墜毀，飛行員逃生模組可能因為受到脫落的機翼撞擊，導致兩名飛行員無法彈出座艙而當場喪生，飛機殘骸中左翼之機翼樞紐接頭由中間斷裂成內、外兩塊，內半塊遺留於機身上，外半塊與機翼相連。當時的負載因子、速度、重量皆小於設計值。

美國空軍立即全面停飛 F-111A，並展開有史以來規模最大的飛機結構疲勞失事調查。美國空軍將殘骸送交原製造廠通用動力執行破斷面檢驗，結果在機翼樞紐接頭下緣發現有個製造過程遺留的半橢圓形淬火裂紋，寬約 1 英吋，深約 0.25 英吋，幾乎穿透下緣厚度，此初始裂紋在經過大約 100 飛行架次後，僅約再成長 0.03 英吋就到達使裂紋急速成長導致接頭強制破壞的臨界長度（圖二）。

F-111 事件昭示了「安全壽命」設計觀念的重大缺失：飛機在製造過程中不小心所造成的微小裂紋，有可能因檢驗疏失而隨機存在某些結構上，對飛機服役期間的結構安全帶來致命威脅，但「安全壽命」的疲勞分析或是全機疲勞試驗，都假設結構件上沒有任何初始缺陷或裂紋存在，根本無法計入這些隨機小裂紋對結構疲勞壽命造成的影響。為了補救這項缺失，美國空軍在痛定思痛之後，於 1974 年 7 月 2 日頒行了新的飛機結構設計規範：MIL-A-83444《飛機容忍損傷需求》。規定飛機上損壞時會直接造成飛機墜毀，或是若損壞後一直未能發現，有可能導致飛機墜毀的飛安結構件，在飛機全新出廠時，由於不同的材料、製作、製程所影響，會造成「特定大小的裂紋」預先存在於結構上最容易發生裂紋的位置，飛機的設計必需在這些裂紋存在且成長的情況下，結構仍具備「特定的剩餘強度」，能在「特定的使用期限」內安全地容忍損傷，這就是現今的飛機結構容忍損傷設計理念。



圖二 美國空軍F-111機翼樞紐接頭上製造過程遺留的瑕疵

特定的初始裂紋

飛機全新出廠時，結構關鍵位置處的初始裂紋大小及形狀見圖三。

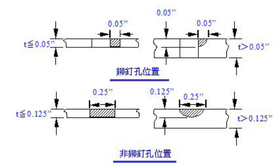
特定的使用期限

對於可由場站或基地執行檢查的結構，特定使用期限為設計服役壽命的一半；對於結構位置太過隱蔽，以致檢驗人員無法著手進行檢查，或是結構裂紋臨界長度太小，超出各種非破壞性檢驗的能力，以致無從檢查的結構，特定使用期限為設計服役壽命的二倍。

特定的剩餘強度

為了防止飛機發生飛安顧慮，初始裂紋在特定安全使用期限內不能成長到臨界長度，且在此期限內，飛機結構還得具備特定的剩餘強度。此剩餘強度至少需等於或大於飛機服役期間預期會遭遇到的最大負載，但小於一倍服役壽命中可能發生的最大負載之 1.2 倍值。

飛安結構件上的初始裂紋在飛行負載作用下會緩慢成長，結構件在裂紋成長階段所具備的剩餘強度，由破壞力學的裂紋成長分析來加以評估。



圖三 容忍損傷設計的初始裂紋假設

與舊有的「安全壽命」觀念比較之下，「容忍損傷」設計觀念的優點顯而易見：「安全壽命」設計依據來自試片數據，而這些試片沒有任何裂紋的存在，若將此種數據應用於飛機結構設計，我們很難相信，也無法保証實際飛機結構上的所有結構零件都處於完美無缺的情況，換言之，結構事實上早已預先存在著各式各樣微小的裂紋，只是製造時的非破壞性檢驗能力無法發現，因此在負載的作用下時，就會造成分析的結果顯得過度樂觀。

美國空軍第一型採用「容忍損傷」設計發展的飛機是 F-16，之後的 F-22 猛禽號、F-35 閃電二型、V-22 鶚式旋翼機等，皆是採用相同的設計理念，美國空軍自實施「容忍損傷」設計規範後所發展的這些新飛機，就未再發生因結構疲勞導致飛機連續失事的重大事件，因此繼美國聯邦航空總署在 1978 年宣布此種設計觀念為民航飛機結構強度的適航認證評估標準後，其他國家也紛紛跟進，除了歐洲部分戰機仍採用舊的「安全壽命」疲勞設計觀念外，「容忍損傷」現在幾乎已成為全球各種航空器一體適用的結構設計標準。

參考文獻

NACA Technical Note 3866, December 1966
"Airplane Damage Tolerance Requirements," Military Specification MIL-A-83444 (USAF) 2 July 1974
"Milestone Case Histories in Aircraft Structural integrity," National Aerospace Laboratory NLR, NLR-TP-2002-521