

可靠度技術手冊
使用條件分析技術



彭鴻霖 編著

中華民國八十九年十二月十二日

使用條件分析技術

目 錄

1 前言	1
2 工作條件分析	1
2.1 輸入信號分析	1
2.2 功能模式定義	1
3 環境條件分析	2
3.1 環境條件分類	2
3.1.1 氣候環境	3
3.1.2 機械環境	3
3.1.3 電磁環境	3
3.1.4 生物環境	3
3.1.5 化學作用環境	3
3.1.6 機械作用環境	3
3.2 環境輪廓分析	3
3.3 環境參數定義	4
3.4 環境條件等級分類	4
3.5 環境條件等級選擇	5
3.6 環境規格擬訂	6
3.6.1 氣候溫度環境	7
3.6.1.1 美軍體系	7
3.6.1.2 國際標準 IEC 體系	11
3.6.1.3 台灣地區	14
3.6.2 濕度環境	14
3.6.2.1 美軍標準 MIL-STD-210	14
3.6.2.2 美軍標準 MIL-STD-810	14
3.6.2.3 國際標準 IEC 721	16
3.6.2.4 台灣地區	16
3.6.3 鹽霧環境	16
3.6.4 振動環境	16
3.6.5 衝擊環境	16
4 維修條件分析	19
參考文獻	25

使用條件分析技術

1 前言

基本上，可靠度為產品的重要品質特性之一，也是產品的設計參數之一。在產品壽命週期的整個研發設計過程中，由設計人員努力所建立植入產品中。基於現代產品對可靠度的重視與要求，特別是現代精密的產品，缺乏完善的可靠度設計與分析技術和作業能量，是無法在競爭激烈的市場上佔有一席之地的。為達到此一目標，首先要確定產品的可靠度需求，然後運用各種適切的設計方法與程序，導入各種分析手法，在產品的設計過程中將可靠度需求轉換成各層次的設計特性參數，如此才能事先預防在使用時可能發生的失效現象，達到確保產品可靠度水準的目的，此即所謂「可靠度是設計入產品的」。本報告主要是就可靠度的觀點，探討使用條件之分析課題加以討論。

可靠度規格必須涵蓋物品的操作使用時輸入的工作條件、所遭受到來自載台邊界的環境條件以及必要的維修條件。這些負載條件會對物品產生全部或局部的應力，因而影響物品的可靠度。因此，在進行設計時，必須針對工作條件、環境條件及維修條件進行分析工作，以便瞭解及掌握這些條件，奠定設計的基本工作。

2 工作條件分析

所謂工作條件係指物品在使用任務中的輸入信號(input signal)及功能模式(functional mode)等條件，工作條件分析即是針對這些條件的特性及其影響所進行的分析工作，其目的在決定這些輸入條件對物品所產生的應力水準。此項分析工作必須以系統與裝備的壽命週期、任務輪廓定義、以及功能需求為基礎。一般而言，工作條件與使用狀況和動力源習習相關，也就是物品在設計時所考慮的輸入信號分析和功能模式定義等工作。

2.1 輸入信號分析

電機、電子系統與裝備的主要工作動力源為電源，其中影響物品使用結果的因子為電壓與頻率。常用的電源有電池與市電兩種，電池又分為可充電電池與不可充電電池。另外根據電源特性又可分為直流電及交流電兩種，電池以供應直流電為主，而市電大多是交流電。市電一般係由電力公司所供應，標稱電壓分為 110 伏特及 220 伏特兩類。除了標稱值之外，在實際使用時都會存在著變異量，這些變異當然會影響裝備的操作使用績效。

機械系統與裝備的主要工作動力源包括氣壓、液壓、內燃機等。近年來，則因為機電技術整合，大多數的機械系統已改採電動馬達為其動力源，其考慮因素同電子裝備。

2.2 功能模式定義

所謂功能模式是指裝備在壽命週期中的開機、關機狀態，以及開機後的功能操作方式。簡單的裝備在開機後大多只有一種功能模式，定義與分析工作較為單純；複雜

的裝備則可能有數種定義清楚、目的不同功能模式的組合，一般以操作輪廓(operational profile)來描述各種操作功能模式的狀況、時間比率，和由一種操作模式到另外一種模式間的轉換樣式。依照使用需求與狀況，這種轉換樣式可能式直接由作業員操作控制、加裝自動控制設備利用事先規劃好的控制信號來操作。具有數種功能模式的裝備，例如家用音響可以作為接收調幅、調頻信號的收音機，或當作唱盤、錄音帶、光碟信號的放大機等操作使用方式；量測裝備可以作為數位電壓器或計數器；雷達系統可以人工追蹤或自追蹤的方式操作使用。

3 環境條件分析

環境條件為系統或裝備在其壽命週期中的某一特定時間所遭受來自外部或連接結構、內部其他部位的物理(電、熱與機械)和化學條件，為研究與分析方便起見，這些環境條件通常可按各種原則予以分類。一般系統與裝備所遭受之環境條件，可以先確定各種單一環境參數及其嚴厲度，然後再以個別或複合的方式來表示。有關環境條件需求，在軍用裝備主要可參考美軍標準 MIL-STD-210「軍用裝備氣候極值」、MIL-STD-810「環境試驗方法與工程指南」及美國陸軍武器裝備司令部組織編撰的 AMCP 706-116「自然環境因素」、AMCP 706-117「誘發環境因素」和 AMCP 706-118「壽命週期環境」。在民用裝備方面，則可依據國際電工委員會所發行的國際標準 IEC 721「環境條件分類」之規定。以下分別從環境條件分類、環境輪廓分析、環境參數選定、環境條件等級分類、環境條件等級選擇及環境規格擬訂等方面，探討如何分析及建立裝備壽命週期之環境條件。

3.1 環境條件分類

美軍標準 MIL-STD-810「環境試驗方法與工程指引」及國際標準 IEC 721「環境條件分類」，均按各種環境條件的來源或特性加以分類。

根據環境條件的來源，有的是出現於自然現象及來由產品本身，有的則是由外部來源所產生，前者稱為自然環境(natural environments)，後者則稱為誘發環境(induced environments)。自然環境主要是由於裝備安裝與使用位置的氣象、地形等外部因素所引起的，又稱為氣候環境(climatic environments)；誘發環境則為裝備搬運、安裝、及操作使用時所引起的。一般而言，裝備在其壽命週期中所遭遇之環境條件都是由這兩類所組合而成的。

這些環境條件也可以按其理化特性之不同加以分類，一般可分為自然環境、動力環境(dynamic environments)和輻射環境(radiation environments)，其中自然環境又可分為熱力環境(thermal environments)和腐蝕環境(corrosive environments)。

目前國際標準 IEC 721 已經將環境條件分類加以標準化，將所有的單一環境條件分為氣候環境、機械應力環境、電磁環境、生物環境、機械作用環境、及化學作用環境等六類，這分類法將主導著未來的環境條件分類趨勢，每一種環境條件分類所包含的環境條件項目說明如下：

3.1.1 氣候環境

氣候環境與物品在壽命週期中各階段所處的地理位置有關，可分為：溫度(高溫、低溫)、溫度變化(溫度循環、溫度衝擊)、氣動力熱、濕度(穩態濕度、循環濕度)、大氣壓力(高壓、低壓及真空)、壓力變化、週圍媒介運動、降落物(包括雨淋、雪、冰雹)、輻射線(包括太陽輻射、除太陽輻射外之熱輻射、離子輻射)、雨水以外的其他水來源(有分為滴水、灑水、噴水與水噴流、水波浪、浸泡)、潮濕等項目。

3.1.2 機械環境

機械環境主要為對產品表面其內部會產生機械應力者，依照其特性靜態機械應力環境與動態靜機械應力環境。靜態機械應力環境主要是加速度環境，包括靜力負載及穩定狀態加速度。動態機械應力環境又分為穩態振動及非穩態振動兩類：穩態振動包括週期性的正弦振動及非週期性的隨機振動，包括運輸振動、飛行振動、槍擊振動、音響(噪音)、爆炸大氣等；非穩態振動一般統稱為衝擊，包括自由落體、跌落、外物碰撞、滾動與搖動、顛簸、滾動等。

3.1.3 電磁環境

電磁環境包括因為裝備本身或其他裝備操作所產生，以及自然存在者兩類，可分為：電場(包括靜態場和交流場)、磁場(包括靜態場和交流場)、導線傳送干擾、靜電放電、閃電雷擊、核子輻射等。其中後三者屬於自然存在者。

3.1.4 生物環境

生物環境主要是由具有生物作用的物質所構成的，包括植物(霉與菌)及動物(如蟑螂、老鼠、白蟻等)。

3.1.5 化學作用環境

化學作用環境是會對產品產生化學作用的外在環境因素，包括海水鹽霧、二氧化硫、硫化物、氮氧化物、臭氧、有機碳水化合物、阿摩尼亞等具有化學作用的物質。

3.1.6 機械作用環境

機械作用環境是會對產品外表面產生破壞性作用者，包括砂、塵、及泥等具有機械作用的顆粒。

3.2 環境輪廓分析

環境輪廓分析乃根據計畫系統硬品之整個壽命週期輪廓，分析硬品自出廠，經搬運、運輸、儲存、備戰、使用至除役報廢為止各過程可能遭遇到的環境項目，瞭解其對硬品的功能、可靠度或操作能力所可能造成的影響。根據此一分析結果建立環境需求，作為系統初期設計分析、環境規格擬訂及試驗規劃與執行之參考。

環境分析工作應於產品研發初期執行，根據專案所定義之系統形態、性能需求、使用地區、儲存方式、運輸方式及任務輪廓等進行分析，其步驟說明如下：

- (1). 依據計畫之壽命週期建立環境輪廓；
- (2). 分析各個過程可能遭遇環境應力；
- (3). 確定影響較大之環境項目。

3.3 環境參數定義

環境參數乃是說明環境條件的一種或一種以上的物理或化學性質，常用者例如：溫度為溫度值(或)和時間(hr)，若考慮溫度變化時，則須另外加上溫度範圍、溫度變化率(/in 或 /sec)；濕度環境參數則以相對濕度(%RH)表示；振動環境參數則是由振動型式(正弦或隨機)、功率頻譜密度(g^2/hz)、加速度(g)、頻率(hz)及時間(sec 或 min)等特徵所構成的。

產品所遭遇之實際環境條件一般都很複雜，而且是由許多環境參數所混合而成的。當定義某一特定產品應用情形的環境條件時，通常必須注意下列事項：(1).表列有關的環境參數；(2).每一參數選定適切的數值。將環境參數列表的主要目的為：(1).當做確保已經考慮所有相關的參數的檢核表；(2).達到描述環境的一致性。

除了單一環境的表列之外，尚需要關於最重要的環境參數複合情形以及環境參數次序的說明。產品同時暴露於許多環境參數之下，當產品暴露在複合環境與暴露於單一環境所產生的效應不同時，環境參數的複合或組合情形特別重要。在選擇某一產品應用的環境參數時，應該檢查所有的環境參數，考慮可能的複合或組合情形。

產品暴露在一種環境參數所產生的某些效應，有時候是因為接續暴露於兩個或兩個以上環境參數的結果而有所影響，因此在定義某一產品所可能遭遇的環境條件時，必須將所有這些可能性列入考慮。以下為兩個重要的例子：

(1). 溫度衝擊

溫度衝擊環境可能是因為產品先暴露於高溫，接著馬上暴露在低溫度，或者是相反的情形，例如由夏天高熱跑道快速起飛至低溫的高空，或是由低溫高空空投下降至高溫地面；另一種可能發生的情形是產品先暴露於水中(雨淋、水噴流、海浪、浸泡)，然後再直接暴露於高溫環境。

(2). 結冰

結冰通常是將產品先暴露於寒冷環境之後，馬上接觸濕氣、雨或雨以外的水而在物品表面產生的，相反的次序也會在產品表面形成結冰現象。

3.4 環境條件等級分類

國際電工委員會將環境條件等級按下列產品應用狀況情形分成七個分組：

- (1). IEC 721-3-1：儲存；
- (2). IEC 721-3-2：運輸；

- (3). IEC 721-3-3：穩態使用，有氣候保護措施；
- (4). IEC 721-3-4：穩態使用，無氣候保護措施；
- (5). IEC 721-3-5：安裝於地面車輛；
- (6). IEC 721-3-6：艦船環境；
- (7). IEC 721-3-7：攜帶式與非穩態使用。

國際標準正推行一套環境條件編碼系統，將環境條件等級以三碼的編碼加以識別，必要時擴充至四碼，此一編碼原則說明如下：

- (1). 第一碼為數字，定義應用狀況：1 代表儲存，2 代表運輸，3 代表有氣候保護措施之穩態使用，4 代表無氣候保護措施之穩態使用，5 代表地面車輛，6 代表艦船，7 代表攜帶式及非穩態使用等；
- (2). 第二碼為字母，表示環境條件分類：K 代表氣候條件，Z 代表特殊氣候條件，M 代表機械條件，B 代表生物條件，C 代表具有化學作用物質，S 代表具有機械作用物質，必要時可加以擴充；
- (3). 第三碼為數字，表示嚴厲度：通常較大的數字表示較嚴格的條件；
- (4). 如有必要時，可再增加第四碼做更進一步的區分，以 H 表示高、L 表示低，例如溫度可能是非常的低但永遠不會有高的情形。

範例：某一環境條件等級為 2K3，此處：2=運輸；K=氣候條件；3=嚴厲度。

國際標準 IEC 721-3 系列各部份都提供一些表單規定所有的等級，包括每一等級的每一種環境參數的嚴厲度。除此之外，每一份刊物也包含一個附錄，說明假設產品可能會遭受的環境條件以及構成等級的基礎等細節。這些附錄主要的目的是導引刊物的使用者，針對其特定的產品應用情形選擇適合的等級。

每一等級所表列的環境參數涵蓋該等級的產品將遭受的環境條件，乃是以「IEC 721-1：環境條件分類，第 1 部份：環境參數及其嚴厲度分類」整個資料為檢核表而選擇決定的。

每一項環境參數所規定的嚴厲度依照下述原則：超過此一規格是在連續暴露時間中(如溫度)，或者是暴露事件總數中(如衝擊)相當不顯著的部份。因此，IEC 721-3 所規定的等級，可以作為定義一個產品在短時間所遭受環境應力的最大值，但是並沒有提供任何有關長時間，或者整個壽命時間內產品的環境應力。

3.5 環境條件等級選擇

所有的產品在設計時，都應該考慮到能夠在其壽命週期中所遭育到的各種不同嚴厲程度的環境下存活與工作。基本上，環境影響產品有兩種方式：

- (1). 短時間極值環境條件的作用，造成產品功能不正常或破壞；
- (2). 長時間遭受非極值環境的作用，慢慢地使產品退化，最後才造成產品功能不正常或破壞。

短時間極值環境條件，亦即 IEC 721-3 所規定者，可能會在產品壽命中的任何一個時刻發生，極值條件對於一個嶄新的產品可能不會造成影響，但是對於一個使用一段時間的產品，由於老化的作用，遭受到同樣的條件就有可能會失效。

極值環境條件影響產品有下列可能情形：

- (1). 只有當產品處於非操作狀態下(如在儲存及運輸時期)；
- (2). 只有當產品處於操作狀態下；
- (3). 上述兩種情形同時發生。

因此，在產品規範或規格書引述 IEC 721-3 中的某一特定等級時，必須定義清楚，當產品遭受到引用等級所規定的條件時，對於產品的要求是必須能夠在那種條件下操作，或者只要能夠存活不要有永久性的破壞，關於這點是非常重要的。使用範例說明如下：

- (1). 由製造廠商在無保護措施下遭遇一段長時間運輸振動後才運輸至使用者的產品，其環境分類為：2K4/2B2/2C3/2S2/2M3；
- (2). 安裝在有天候保護之位置穩態使用的產品，其環境分類為：3K3/3Z1/3B1/3C23S2/3M2；
- (3). 攜帶式非固定使用的產品，其環境分類為：7K4/7Z2/7Z6/7Z10/7B2/7C3/7S3/7M3。

環境條件等級可以作為選擇產品設計與試驗水準的基礎，但這並不意謂著每一等級的規格應該當作設計與試驗水準，也不是說在此一等級規格時必須是零失效率，設計與試驗水準的選擇必須按個案處理的原則，根據失效所能忍受的風險，亦即依照失效預期發生的結果決定較高或較低的嚴厲度。

3.6 環境規格擬訂

環境規格為物品重要規格項目之一，合理的環境規格，不僅有助於提昇其品質與可靠度，更可節省成本。因此，在擬訂環境規格時，首先必須依據系統的壽命週期定義建立任務輪廓與環境輪廓。系統環境輪廓，依其特性可分為儲運環境和操作使用環境。環境規格擬訂有參考規範、預估及量測三種方式，三者之間有相互關係，於擬訂規格時需配合實際需要而彈性使用。一般而言，在系統研發初期以參考資料和預估為主，訂出系統環境需求與合理的初期設計規格，作為硬品設計與試驗之依據。在研發過程配合系統各項試用演習或特別規劃之試驗，進行環境量測，以瞭解實際操作環境。量測數據按照其特性進行各種必要的處理與分析工作，根據分析結果進行規格轉換，作為修訂環境規格之主要依據，環境規格擬訂的工作流程如圖 1 所示。

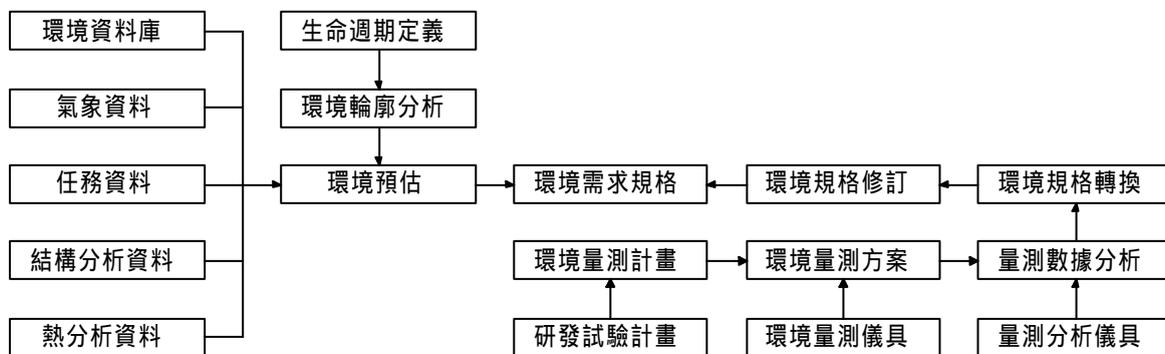


圖 1：環境規格擬訂流程

一般環境量測可分為有線量測與遙測(telemetry)兩種方法，量測結果數據又可分為利用筆式記錄器(pen recorder)和磁帶記錄器(tape recorder)等兩種記錄方式。

環境量測所得的數據必須經過科學化的分析，使它轉換成有用的資料和工具。一般說來，溫度數據可依時間域(time domain)加以分層統計分析；振動、音響、衝擊等環境的量測數據除了以時間域分析外，尚應以頻率域(frequency domain)予以分層統計分析。

環境量測所得的數據越多，分析後的結果也越可靠，大量累積後的環境量測數據可以各種統計方法予以分析之，如相關分析、迴歸分析、多元配置分析、交絡分析及檢定推論等方法行之。

在一般標準或規範中所訂定的每一種參數的嚴厲度主要是為了標準化的目的，對 IEC 體系中，說明環境參數的名詞應該儘可能與 IEC 刊物 68：基本環境試驗程序相對應，而在美軍體系則是以 MIL-STD-210 及 MIL-STD-810 為主。

一般在環境標準或規範中所規定的環境嚴厲度，通常是指產品可能暴露的環境參數嚴厲度，並不涵蓋這些環境對產品所產生的應力的嚴厲度，例如：溫度環境參數所定義的是週圍媒介(如：空氣、水、土壤、水蒸汽、冰、油等)的溫度和連接產品的結構的溫度，但是並不涵蓋產品本身熱點的溫度。

環境嚴厲度主要是說明環境條件的界限關係，並不包括參考量測、校準等的條件。

3.6.1 氣候溫度環境

3.6.1.1 美軍體系

美軍標準 210 是有關軍用裝備氣候環境資料相當完整的文件，所提供的氣候資料包括溫度、濕度、降水量(包括雨、霜、雪)、風速等。在溫度方面的資料包括陸面高溫、低溫，海面高溫、低溫，以及溫度隨高度變化情形等。

根據 210 的統計資料顯示，全世界的空氣溫度極值為-88 到+58 ，其間的差距有 146 之多。不過這兩個極值溫度並非發生在同一個地理位置，根據記載，同一地理位置所發生的最大空氣溫度差距為 100 。

在陸面空氣溫度方面，全世界空氣高溫極值記錄為+58 ，低溫極值為-88 。美軍標準 210 同時提供不同風險下的溫度值，它的統計分析是以每年發生最嚴厲的月份為基礎，一般氣象資料每小時一個記錄值，以平均每月 30 天計，每月共有 720 小時，因此 1 %風險表示比該溫度嚴厲發生的時間約為 7 小時。按此原則進行統計分析，高溫以每年最熱月計，1 %風險高溫為+49 ，5 %風險高溫為+46 ，10 %風險高溫為+45 。低溫以每年最冷月份計，1 %風險低溫為-61 ，5 %風險低溫為-57 ，10 %風險低溫為-54 ，20 %風險低溫為-51 。

至於海面溫度，一般分為岸站空氣溫度和海面空氣溫度兩種。由於海洋本身是一個相當大的調節溫度儲熱器，因此海面空氣溫度遠較陸面空氣溫度為緩和，根據資料顯示，全世界的海面高溫極值為+51 ，低溫極值為-38 。以每年最熱月高溫資料的統計分析結果，1 %風險高溫為+48 ，5 %風險高溫為+46 ，10 %風險高溫為+45 ，20 %風險高溫為+43 。以每年最冷月低溫資料的統計分析結果，1 %風險低溫為-

34，5% 風險低溫為-28，10% 風險低溫為-25，20%風險低溫為-22。有關全世界陸面、海面空氣高低溫統計資料如表 1 所示，更詳細的資料內容可參閱美軍標準 MIL-STD-210。

上述氣候溫度統計資料，大多是應用來決定裝備的操作溫度，另外 210 還提供了有關儲存溫度的資料，詳細如表 2 所示。由表可知，儲存溫度以儲存年限有關，不過在實際應用時很少有人根據此一準則訂定儲存溫度規格，而大多以操作溫度極值作為裝備的儲存溫度極值。

在美軍標準與規範體系中，根據 210 之氣候資料發展出軍用裝備與系統的溫度需求規格，主要規定環境規格者為 810 及 MIL-E-16400(以下簡稱為 16400)。前者規定一般陸海空三軍使用系統與裝備之環境需求；後者主要是規定艦船系統與裝備之各種需求規格，其中包括環境規格。

表 1: 全世界溫度環境資料(單位：)

冒險率	極值	1%	5%	10%	20%
陸面空氣高溫	+58	+49	+46	+45	-
陸面空氣低溫	-68	-61	-57	-54	-51
海面空氣高溫	+51	+48	+46	+45	+43
海面空氣低溫	-38	-34	-28	-25	-22

資料來源：MIL-STD-210B

表 2: 全世界儲存溫度環境(單位：)

壽限	2年	5年	10年	25年
陸面空氣高溫	+53	+54	+55	+56
陸面空氣低溫	-66	-67	-69	-71
海面空氣高溫	+51	+51	+51	+52
海面空氣低溫	-37	-38	-39	-41

資料來源：MIL-STD-210B

由於高溫環境是相當尋常的環境項目，因此美軍在規定裝備的高溫需求規格方面取 1%風險(相當於 7 小時的發生時間)，亦即+49 (120)，作為設計之基準。由於早期美軍所使用的工程單位是以英制為主，後來才改為公制後，因為單位換算關係，常見的高溫需求多為+51 (130)。

至於暴露於室外的裝備，則會因為太陽輻射的作用而增加溫度。太陽是地球上能量的主要來源，其表面溫度高達 +6000°K，從太陽表面輻射出來的熱輻射能量大約為 64500kW/m²，在這些能量中約略只有 1395 kW/m² 會抵達地球大氣的外層，其中 35%為雲層反射為太空中，19%為大氣層所吸收，剩下的 46%抵達地球表面。

由於日晒太陽輻射能的關係，系統與裝備本身及其儲存、運輸包裝容器，特別是在室外或露天操作或儲運者，必須考慮及太陽輻射的效應所增加的溫度。根據實際量測室外量測資料，一般太陽輻射效應會使裝備溫度比空氣溫度升高 20，因此室外高溫為空氣高溫加上太陽輻射之效應，亦即 51 +20 = 71，此一數值為美軍體系中極為常見的高溫需求。

所以在美軍體系常見的高溫需求，對於無遮蔽無空調的裝備，810 規定高溫規格為 +71。美軍規範 16400 規定在陸地使用的無遮蔽裝備的高溫規格為+71，此與 810

之規定相同；而一般岸站裝備則為+65。至於在有遮蔽地區使用的裝備，例如在室內或船艙內使用，無論有無空調，16400均規定為+50。

在低溫環境需求方面，由於低溫環境以極區為主，對於裝備而言低溫環境並不是每一種裝備都會常遭遇到的，因此，美軍是以 10% 風險作為決定低溫需求規格的準則。所以在美軍體系常見之低溫需求規格，對於無遮蔽無空調的裝備，810和 16400都是規定為-54；對於有遮蔽無空調的裝備，16400規定陸地使用裝備為-54，岸站裝備則為-40。至於在有遮蔽有空調地區使用的裝備，16400G規定的低溫規格為 0。

近年來，對於環境需求的訂定逐漸趨於按實際使用地區及日夜溫度循環變化而推導的務實作法，因此除了應用美軍標準 210 所提供的全世界氣候溫度極值和不同風險下的氣象統計資料外，1985年發行的美軍標準 810D亦提供了有關大氣溫度和誘發溫度與地理位置關係和日夜循環變化的資料。

在高溫方面，美軍標準 810 將全世界按地理位置區分為高熱區域(hot)和中熱區域(basic hot)2 個地區：高熱地區的代號為 A₁，中熱地區代號則為 A₂。每一地區的空气溫度均以溫度範圍表示，典型的空氣溫度及考慮太陽輻射效應的誘發溫度範圍如表 3 所示。高熱地區的高溫溫度範圍為+32 +49；中熱地區的高溫溫度範圍為+30 +43。

在低溫方面，美軍標準 810 將全世界按地理位置分為溫冷區域(mild cold)、中冷區域(basic cold)、寒冷區域(cold)和極冷區域(severe cold)等 4 個地區，其代號分別為 C₀、C₁、C₂ 和 C₃。同樣的，每一地區的空气溫度均以溫度範圍表示，典型的空氣溫度及考慮太陽輻射效應的誘發溫度，其範圍如表 4 所示。由表 4 可知，在溫冷地區的空气溫度及誘發溫度範圍分別為：-6 -19 和-10 -21；在中冷地區分別為：-21 -31 和-25 -33；在寒冷地區均為-37 -46；在極冷地區則為固定溫度-51。

另外，太陽輻射效應隨著緯度增加，其影響越小，到極冷的極區，則幾乎完全沒有作用。每天以小時為單位共分為 24 個單元，詳細的溫度與濕度日夜循環變化，高熱地區如表 5 所示，中熱地區如表 6 所示。由表 5 及表 6 可看出太陽輻射效應對高溫的影響情形。

表 3: 全球各區域之高溫參考值

區域分類	位置	大氣溫度 ()	誘發溫度 ()
高熱區域(A ₁)	北非、中東、巴基斯坦及印度、美洲西南部、墨西哥北部	+32 +39 (+90 +120)	+33 +71 (+91 160)
中熱區域(A ₂)	除了 A ₁ 以外之其他大部份區域，包括美洲、墨西哥、非洲、澳洲、非洲南部、南美洲、西班牙南部及亞洲南部。	+30 +43 (+86 +110)	+30 +63 (+86 +145)

資料來源：美軍標準 MIL-STD-810D

表 4 全球低溫地區分類與各地區之溫度範圍參考值

區域分類	位置	大氣溫度 ()	誘發溫度 ()
溫冷區域(C ₀)	西歐沿海地區、澳洲南部、紐西蘭低地區域	-6 -19 (+21 -2)	-10 -21 (+14 -6)
中冷區域(C ₁)	歐洲大部份區域、美國北疆、加拿大南部、高緯度沿海區域(如阿拉斯加南部沿岸)、低緯度高海拔區域	-21 -31 (-6 -24)	-25 -33 (-13 -27)
寒冷區域(C ₂)	加拿大北部、阿拉斯加(不含內陸)、格林蘭(不含極區)、斯堪的那維亞半島北部、亞洲北部(部份區域)、高海拔區域、阿爾卑斯山脈、西馬拉亞山脈、安地斯山脈	-37 -46 (-35 -51)	-37 -46 (-35 -51)
極冷區域(C ₃)	阿拉斯加內陸、育康(加拿大西北部)、冰島內陸、格林蘭冰帽、亞洲北部	-51 (-60)	-51 (-60)

資料來源：美軍標準 MIL-STD-810D

表 5：高熱區域(A₁)之日高溫溫度與相對濕度循環

時間 (hr)	大氣環境		誘發環境	
	溫度 ()	濕度%RH	溫度 ()	濕度%RH
0100	35(95)	6	35(95)	6
0200	34(94)	7	34(94)	7
0300	34(94)	7	34(94)	7
0400	33(92)	8	33(92)	7
0500	33(92)	8	33(92)	7
0600	32(90)	8	33(91)	7
0700	33(91)	8	36(97)	5
0800	35(95)	6	40(104)	4
0900	38(101)	6	44(111)	4
1000	41(106)	5	51(124)	3
1100	43(110)	4	56(133)	2
1200	44(112)	4	63(145)	2
1300	47(116)	3	69(156)	1
1400	48(118)	3	70(158)	1
1500	48(119)	3	71(160)	1
1600	49(120)	3	70(158)	1
1700	48(119)	3	67(153)	1
1800	48(118)	3	63(145)	2
1900	46(114)	3	55(131)	2
2000	42(108)	4	48(118)	3
2100	41(105)	5	41(105)	5
2200	39(102)	6	39(103)	6
2300	38(100)	6	37(99)	6
2400	36(98)	6	35(95)	6

資料來源：美軍標準 MIL-STD-810D

表 6：中熱區域(A₂)之日高溫溫度與相對濕度循環

時間 (hr)	大氣環境		誘發環境	
	溫度 ()	濕度%RH	溫度 ()	濕度%RH
0100	33(91)	36	33(91)	36
0200	32(90)	38	32(90)	38
0300	32(90)	41	32(90)	41
0400	31(88)	44	31(88)	44
0500	30(86)	44	30(86)	44
0600	30(86)	44	31(88)	43
0700	31(88)	41	34(93)	32
0800	34(93)	34	38(101)	30
0900	37(99)	29	42(110)	23
1000	39(101)	24	45(113)	17
1100	41(106)	21	51(124)	14
1200	42(107)	18	57(134)	8
1300	43(109)	16	61(142)	6
1400	43(109)	15	63(145)	6
1500	43(109)	14	63(145)	5
1600	43(109)	14	62(144)	6
1700	43(109)	14	60(140)	6
1800	42(107)	15	57(134)	6
1900	40(104)	17	50(122)	10
2000	38(100)	20	44(111)	14
2100	36(97)	22	38(101)	19
2200	35(95)	25	35(95)	25
2300	34(93)	28	34(93)	28
2400	33(91)	33	33(91)	33

資料來源：美軍標準 MIL-STD-810D

3.6.1.2 國際標準IEC 體系

國際電工委員會所發行的國際標準 IEC 721 對於氣候溫度環境是以開放空間的空氣氣候資料為主。全世界之開放空氣氣候，一般是依照地區來加以分類。根據累積超過十年以上的全世界氣象資料，計算其統計值。一般而言，增加觀測資料的時間，將使絕對極值變得更大，但對於平均值等統計量的影響則較不顯著。IEC 將氣候地帶依照地球的地理位置和產品的應用情形兩個原則來加以分類，分別摘錄說明如下。

IEC 將全世界的地理位置分為：(1).極冷地帶(除南極中央地帶)；(2).冷帶；(3).寒帶；(4).溫帶；(5).溫乾地帶；(6).中等溫乾地帶；(7).極溫乾(乾熱)地帶；(8).溫濕地帶；(9).穩定溫濕地帶等九個氣候分區；並且根據全世界累積之氣象資料，將每個地區所有累積時間的氣候資料中每一年的每日平均最高溫度、最低溫度、相對濕度大於 95%RH 之最高溫度和絕對濕度等氣候環境資料集中在一起，首先取每一年的極值，然後再取統計平均值如表 7 所示；取每一年的氣候環境極值，然後計算其平均值如表 8 所示；而取所有氣候環境資料中的極值，則如表 9 所示。

國際電工委員會 IEC 同時也按產品的應用情形將氣候環境分為四組：(1).有限應用組：侷限在應用於溫帶地區的產品；(2).普通應用組：適用在應用於寒帶、溫帶、溫乾帶和中等溫乾帶等地區的產品；(3).一般應用組：適用在除應用於極冷帶和極溫乾帶等以外地區的產品；(4).全世界應用組：應用於所有地區的產品。這四組相對應的開放空氣氣候環境資料如表 10 至表 12 所示。

國際標準 IEC 721 對於溫度環境的嚴厲度規定如下：

- (1). 單位：
- (2). 嚴厲度範圍：-80、-65、-55、-40、-25、-15、-15、-5、+5、+15、+20、+25、+30、+40、+55、+60、+70、+85、+100、+125、+155、+200

一般產品遭遇到溫度衝擊可能是因為從一個媒介搬移到另外一個媒介(如：從室外移至室內)所造成的，或是因為因為產品溫度與接觸到的媒介的溫度不同所造成的(如遭遇到雨、水噴流)，此處所規定的溫度衝擊嚴厲度指的是媒介溫度(空氣溫度或水溫)，不論是單一環境或是與週圍媒介運度的組合。

國際標準 IEC 對於溫度環境變化率的嚴厲度規定如下：

- (1). 單位：變化率， /min、 /sec
- (2). 嚴厲度範圍：0.1、0.5、1、3、5 (/min)；1、5 (/sec)

表 7：全世界氣候資料每日平均值年極值之平均值 - 氣候分區

氣候分區	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).極冷地帶(除南極中央地帶)	-55	+26	+18	14
(2).冷帶	-45	+25	+13	12
(3).寒帶	-29	+29	+18	15
(4).溫帶	-15	+30	+20	17
(5).溫乾地帶	-10	+35	+23	20
(6).中等溫乾地帶	0	+35	+24	22
(7).極溫乾(乾熱)地帶	+8	+43	+26	24
(8).溫濕地帶	+12	+35	+28	27
(9).穩定溫濕地帶	+17	+33	+31	30

資料來源：國際標準 IEC 721

表 8：全世界氣候資料每年極值之平均值 - 氣候分區

(高溫取 0.05%，發生時間約 5 小時；低溫取 0.1%，發生時間約 10 小時)

氣候分區	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).極冷地帶(除南極中央地帶)	-65	+32	+20	17
(2).冷帶	-50	+32	+20	18
(3).寒帶	-33	+34	+23	20
(4).溫帶	-20	+35	+25	22
(5).溫乾地帶	-20	+40	+27	24
(6).中等溫乾地帶	-5	+40	+27	25
(7).極溫乾(乾熱)地帶	+3	+55	+28	27
(8).溫濕地帶	+3	+40	+31	30
(9).穩定溫濕地帶	+13	+35	+33	36

資料來源：國際標準 IEC 721

表 9：全世界氣候資料絕對極值 - 氣候分區

氣候分區	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).極冷地帶(除南極中央地帶)	-75	+40	+24	20
(2).冷帶	-60	+40	+27	22
(3).寒帶	-45	+40	+28	25
(4).溫帶	-35	+40	+28	25
(5).溫乾地帶	-30	+45	+30	27
(6).中等溫乾地帶	-15	+45	+31	30
(7).極溫乾(乾熱)地帶	-10	+60	+31	30
(8).溫濕地帶	0	+45	+35	36
(9).穩定溫濕地帶	+4	+40	+37	40

資料來源：國際標準 IEC 721

表 10：全世界氣候資料每日平均值年極值之平均值 - 應用分組

應用分組	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).限制應用組	-15	+30	+20	17
(2).普通應用組	-29	+35	+24	22
(3).一般應用組	-45	+35	+31	30
(4).全世界應用組	-55	+43	+31	30

資料來源：國際標準 IEC 721

表 11：全世界氣候資料每年極值之平均值 - 應用分組

(高溫取 0.15%，發生時間約 5 小時；低溫取 0.1%，發生時間約 10 小時)

應用分組	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).限制應用組	-20	+35	+25	22
(2).普通應用組	-33	+40	+27	25
(3).一般應用組	-50	+40	+33	36
(4).全世界應用組	-65	+55	+35	36

資料來源：國際標準 IEC 721

表 12：全世界氣候資料絕對極值 - 應用分組

應用分組	低溫	高溫	相對濕度大於 95% 之最高溫	最大絕對濕度 g/m ³
(1).限制應用組	-30	+45	+28	25
(2).普通應用組	-45	+45	+31	30
(3).一般應用組	-60	+45	+37	40
(4).全世界應用組	-75	+60	+37	40

資料來源：國際標準 IEC 721

3.6.1.3 台灣地區

台灣地區的高溫極值非正式的統計資料如表 13 所示。因此，台灣地區高溫環境規格之擬訂可比照美軍溫度規格之擬訂原則，可以 40 為空氣溫度高溫極值，至於室外裝備考慮太陽輻射升高 20 的效應，其高溫極值可以訂定為 60，亦即 $40 + 20 = 60$ 。有關操作高溫之需求準則可訂定如下：安裝於無遮蔽無空調位置使用操作之裝備，其高溫需求為 60；有遮蔽無空調之裝備，高溫需求為 40；有遮蔽有空調之裝備，高溫需求為 30；至於儲存高溫設計準則，則訂定為 60。

表 13: 台灣地區高溫環境資料(單位：)

地點	大武	東沙	台北	金門	高雄	馬公	馬祖
溫度	39.4	39.0	38.5	38.3	36.7	35.3	34.4

在低溫方面，同樣只有如表 14 之參考資料，並沒有正式的統計數據，因此在一般地區使用的裝備可以 -10 作為低溫極值，至於高山地區則選擇 -20。如上說明，台灣一般地區的操作低溫需求準則如下：無遮蔽無空調之裝備，低溫需求規格可訂定為 -10；有遮蔽無空調之裝備，低溫規格為 +0；有遮蔽有空調之裝備，低溫規格則為 +10。

表 14: 台灣地區低溫環境資料(單位：)

地點	玉山	一般山區	台北	馬祖	金門	高雄	馬公
溫度	-19.4	-6 -8	-1.6	0.6	3.1	7.0	7.0

至於儲存溫度之需求準則，同樣比照美軍原則以操作溫度極值，亦即以室外之高溫極值 +60 與低溫 -10 作為擬訂儲存環境規格之參考。

3.6.2 濕度環境

濕度對一個產品的效應通常是相對濕度與其他環境參數的複合效應，最主要的是溫度和溫度變化，亦即對於濕度環境的參數必須同時考慮濕度、濕度變化、溫度及溫度變化，在溫度環境一節中即說明了濕度與溫度的複合環境資料。

3.6.2.1 美軍標準 MIL-STD-210

在美軍標準 MIL-STD-210C 中，對高溫高濕度的表示方法為，在相對濕度為 100% 時之最高溫度，記錄數據如下：

- (1). 沿海沙漠地區的水面：30 32
- (2). 熱帶地區：30

3.6.2.2 美軍標準 MIL-STD-810

在美軍標準 MIL-STD-810E 中將濕度環境分成自然與誘發兩種如下：

- (1). 自然環境(Natural)：係模擬自然環境的循環，通常應用於裝備曝露於大氣環境或經常保持在通風環境時。其規格之訂定應考慮使用地區之每日間溫、濕度循環，每一循環溫、濕度變化時序依地區特性分成三種：
 - a. 熱濕地區：表 15，Cycle 1。
 - b. 常溫高濕區：表 15，Cycle 2。
 - c. 週期性高濕區：表 15，Cycle 3。
- (2). 誘發環境(Induced)：係模擬不通風的環境，通常裝備於儲存或運輸時若放置在密閉包裝內或置於通風不良處受到陽光照射且無冷氣空調時可選擇此程序。其規格之訂定除考慮使用地區之每日間溫、濕度循環外尚需考慮太陽輻射熱造成的效應，每一循環溫、濕度變化時序依地區特性分成二種：
 - a. 熱濕地區：表 15，Cycle 4。
 - b. 週期性高濕區：表 15，Cycle 5。
 - c.

表 15: 溫、濕度循環分類

Time	自然環境									誘發環境					
	熱 - 濕 (cycle 1)			高濕						熱-濕 (cycle 4)			循環高濕 (cycle 5)		
				常溫 (cycle 2)			循環 (cycle 3)								
	溫度		濕度	溫度		濕度	溫度		濕度	溫度		濕度	溫度		濕度
	°F	°C	%	°F	°C	%	°F	°C	%	°F	°C	%	°F	°C	%
0000	88	31	88	75	24	100	80	27	100	95	35	63	91	33	68
0100	88	31	88	75	24	100	80	27	100	95	35	67	91	33	69
0200	88	31	88	75	24	100	79	26	100	94	34	72	90	32	70
0300	88	31	88	75	24	100	79	26	100	94	34	75	90	32	71
0400	88	31	88	75	24	100	79	26	100	93	34	77	88	31	72
0500	88	31	88	75	24	100	78	26	100	92	33	79	86	30	74
0600	90	32	85	75	24	100	78	26	100	91	33	80	88	31	75
0700	93	34	80	75	24	98	81	27	94	97	36	70	93	34	64
0800	96	36	76	75	24	97	84	29	88	104	40	54	101	38	54
0900	98	37	73	75	24	95	87	31	82	111	44	42	107	42	43
1000	100	38	69	75	24	95	89	32	79	124	51	31	113	45	36
1100	102	39	65	75	24	95	92	33	77	135	57	24	124	51	29
1200	104	40	62	75	24	95	94	34	75	144	62	17	134	57	22
1300	105	41	59	75	24	95	94	34	74	151	66	16	142	61	21
1400	105	41	59	75	24	95	95	35	74	156	69	15	145	63	20
1500	105	41	59	75	24	95	95	35	74	160	71	14	145	63	19
1600	105	41	59	75	24	95	93	34	76	156	69	16	144	62	20
1700	102	39	65	75	24	95	92	33	79	151	66	18	140	60	21
1800	99	37	69	75	24	95	90	32	82	145	63	21	134	57	22
1900	97	36	73	75	24	97	88	31	81	136	58	29	122	50	32
2000	94	34	79	75	24	98	85	29	91	122	50	41	111	44	43
2100	91	33	85	75	24	100	83	28	95	105	41	53	101	38	54
2200	90	32	85	75	24	100	82	28	96	103	39	58	95	35	59
2300	89	32	88	75	24	100	81	27	100	99	37	62	93	34	63

資料來源：美軍標準 MIL-STD-810D

3.6.2.3 國際標準 IEC 721

國際標準 IEC 721 對於濕度環境參數所訂定的嚴厲度準則為：

- (1). 單位：%RH
- (2). 嚴厲度範圍：10、50、75、95% RH。

3.6.2.4 台灣地區

臺澎金馬地區為亞熱帶海島，屬高熱高濕地帶。根據氣象資料，年平均相對濕度為 70~81%RH，每月最高相對濕度值均在 98%以上。因此，濕度環境需求規格可以比照國際間的規定，將濕度需求之規格訂定為大於 95%RH。

3.6.3 鹽霧環境

鹽霧之需求較為單純，規格之制訂主要係以試驗規格為導向，雖然到目前為止並沒有一種模擬試驗可精確地複製戶外鹽霧環境所造成腐蝕情形。多年來有不少材料專家和環境試驗者一直致力於尋求一種可概略模擬實際鹽霧環境腐蝕效果的試驗方法。美國政府為了通用起見，直接引用美國材料協會(ASTM)所發展出來之試驗方法，即為美軍標準 MIL-STD-810E 試驗方法 509 之規定。

早期建立之鹽霧試驗，鹽水溶液的濃度規定為 20%，後來 ASTM 於 1973 年提出修正，認為 5%濃度的試驗結果更為有效，因此 5%濃度，35 成為目前唯一採用之鹽霧規定(ASTM B117-73 標準鹽霧試驗方法和 MIL-STD-810E, 509 鹽霧試驗)。不過有些較老規範，由於其訂立年限較早，採用的是舊有 20%的濃度做試驗評估的依據。

3.6.4 振動環境

在系統與裝備生命週期中，必須考慮振動環境的為運輸及操作兩個時期。振動環境的大小與裝備載具的特性有關。對於陸地及艦船系統，均需考慮運輸振動，其規格參考美軍標準 MIL-STD-810D，考慮無舖越野道路之可能性。艦船系統另需考慮船舶振動，船舶振動分為一般巡航與戰鬥兩類，一般巡航船舶振動規格參考 MIL-STD-781D。戰鬥船舶振動規格則參考美軍標準 MIL-STD-167-1。飛機裝備與飛彈裝備之操作振動環境規格主要參考美軍標準 MIL-STD-810E。IEC 721 對於振動環境需求同樣有正弦振動與隨機振動兩種，分別如表 16 與表 17 所示。有關包裝運輸，ASTM 規定的振動需求如表 18 所示。

3.6.5 衝擊環境

衝擊環境分為操作衝擊、火工衝擊、搬運衝擊等，前二者與操作使用之任務定義有關，而搬運衝擊大致可分為運輸衝擊、維修搬運衝擊及裝箱跌落三種，另外依包裝形態分為無包裝箱設計與有包裝設計兩種。

- (1). 無包裝箱設計
 - a. 運輸衝擊：衝擊試驗規格擬訂為 40 g, 11ms；若為安裝後驗收之地面固定裝備，規格則擬訂為 20 g, 11ms。

- b. 維修搬運衝擊：維修搬運衝擊採跌落方式執行，詳細規定參考 MIL-STD-810 之需求。

(2). 有包裝箱設計

- a. 基本設計衝擊：衝擊試驗規格為 20 g, 11ms。
- b. 維修搬運衝擊：維修搬運衝擊採跌落方式執行，詳細規定參考 MIL-STD-810 之需求。
- c. 裝箱跌落試驗：裝箱跌落之規格為跌落高度，與重量有關，詳細規定參考 MIL-STD-810 之需求。

IEC 對於衝擊環境的規定是以衝擊反應頻譜表示，如表 19 所示。

另外，有關產品與包裝在搬運時遭受嚴厲的衝擊環境，ASTM D4169 提供跌落高度與包裝重量的關係，如表 20 所示。越輕的產品或包裝，其可能的跌落高度通常越高，保證水準區分為三級，選取的原則係基於產品價值、品質保證程度、搬運的產品數量及其他因素而定，通常多選用第 II 級保證水準。

表 16: IEC 721-1 正弦振動環境需求

頻譜類型	位移峰值 $f < f_c$ (mm)	加速度峰值 $f > f_c$ (m/s^2)
I		1
I		2
I	1.5	5
I	3.5	10
I	7.5	20
I	10.0	30
II	0.15	20
II	0.35	50
II	0.75	100
II	1.00	150

頻譜類型 I : $f_c = 9$ Hz

頻譜類型 II : $f_c = 60$ Hz

其他頻譜另行考慮

表 17 IEC 721-1 隨機振動環境需求

頻率範圍 (Hz)	加速度功率頻譜密度(m ² /s ³)	
	f < 200Hz	f > 200Hz
I(10Hz 至 2000Hz)	1	0.3
I	3	1
I	10	3
I	30	10
II (10Hz至 2000Hz)	0.3	0.3
II	1	1
II	3	3
II	10	10
II	30	30

表 18: 包裝設計正弦振動試驗水準

保證水準	頻率範圍	振動強度 G (0-pk)		掃描時間
	(Hz)	火車	卡車	(min)
第 I 級	3 100	0.25	0.5	15
第 II 級	3 100	0.25	0.5	10
第 III 級	3 100	0.25	0.5	5

表 19: IEC 721-1 衝擊環境需求

頻譜類型	衝擊加速度峰值 a m/s ²
I	50
I	100
I	150
I	300
I	500
I	1000
II	300
II	1000
III	1500
III	3000
III	5000
III	10000

作用時間分為 22ms、11ms、及 6ms 等三種。

表 20: 衝擊環境 (跌落高度與包裝重量的關係)

包裝重量		跌落高度 inch(mm)及保證水準		
lb	kg	第 I 組	第 II 組	第 III 組
0 20	0 9.1	24(610)	15(381)	9(229)
20 40	9.1 18.1	21(533)	13(330)	8(203)
40 60	18.1 27.2	18(457)	12(305)	7(178)
60 80	27.2 36.6	15(381)	10(254)	6(152)
80 100	36.3 45.4	12(305)	9(229)	5(127)
100 200	45.4 90.7	10(254)	7(178)	4(102)

3.7 環境效應

物品在其壽命週期中所遭遇到的每一項環境條件因子，對物品可能會造成各種效應，這些環境因子的效應包括單獨效應與複合效應，如表 21、圖 2 及表 22 所示。而物品實際會受到的影響，則須配合物品設計加以仔細加以考量，詳細在各種環境條件的應力分析與強度設計章節將作深入探討。

4 維修條件分析

維修的目的是為了保持或恢復物品完成規定的能力而採取的各項措施或作業，維修包括維護與修復兩方面的工作，維護是為了防止物品性能發生退化或降低物品失效的機率依照事前規劃好的作業程序，或相對應技術條件的規定進行的保養作業，一般稱為預防維修(preventive maintenance)或事前維修；而修復是當物品失效後，為了使其恢復到原有的能力，繼續完成規定的功能而進行的作業，又稱為改正維修(corrective maintenance)或事後維修。依照失效部位的處理方式又分為修理與更換兩種，現代的維修觀念，特別是對某些零組件而言，更換反而是較符合經濟效益的做法。簡而言之，維修的目的就是希望以最低的成本、在最快的時間內，保持或恢復物品的功能，在實務上多以維修時間描述物品的維修度績效。

維修時間的快慢及與維修績效品質的好壞與下列三項因素有關：

- (1). 進行維修作業物品的配合情形，例如測試性(testability)、失效部位的進手性或可及性(accessibility)等；
- (2). 執行維修作業人員的技術水準訓練需求；
- (3). 執行維修作業所需的備份件準備(spare provisioning)、儀具、工具、設備與設施等。

上述三項因素相互有關聯，相互影響，而且決定維修的效果。對於可修復裝備，在其壽命週期中會依不同的維修政策而採取不同的維修方式，這些維修作業會影響到裝備的操作使用能力。維修條件與後勤補給與後勤支援作業有關，因此，維修作業條件需求必須在研發之初就予以律定，並在設計時做詳細規劃與考量，才不致影響或減弱裝備設計時所賦予的固有能力。

表 21：各種環境因子效應與失效模式

環境因子	主要效應	引起的典型失效
高溫	熱老化： 氧化 結構變化 化學反應	絕緣失效 電氣特性變化
	軟化、溶化與昇華	結構失效
	黏度降低與蒸發	失去潤滑性
	體積膨脹	結構失效 機械應力增加 活動零件的磨損增加
低溫	黏度增加與凝固	失去潤滑性
	結冰	電氣特性改變
	脆化	喪失機械強度 破裂、裂縫
	體積收縮	結構失效 活動零件的磨損增加
高相對濕度	吸潮濕	容器破裂、膨脹 外形破裂 喪失抗電能力
	化學反應： 腐蝕 電解	喪失機械強度 妨礙功能 損害電氣特性 增加絕緣體的導電性
低相對濕度	乾燥： 脆化 形成粒面	喪失機械強度 結構毀壞 電氣特性改變、集塵
高壓	壓縮	結構破壞 密封穿透 防礙功能
低壓	膨脹	容器破裂 爆炸性膨脹
	漏氣	電氣特性改變 喪失機械強度
	降低空氣介電強度	絕緣破壞與產生電弧 電暈放電與形成臭氧
太陽輻射	光化與生物化學	表面損壞
	反應： 脆化	電氣特性改變 材料退色 形成臭氧

表 21：各種環境因子效應與失效模式(續)

環境因子	主要效應	引起的典型失效
砂塵	磨損	磨損增加
	阻塞	防礙功能 電氣特性改變
鹽霧	化學反應： 腐蝕	磨損增加 喪失機械強度 電氣特性改變 防礙功能
	電解	表面損壞 結構強度降低 導電性增加
風	力的作用	結構毀壞 防礙功能 喪失機械強度
	材料沉積	機械防礙與阻塞 磨損加快
	耗熱(低速)	加速低溫影響
	加熱(高速)	加速高溫影響
雨	物理應力	結構毀壞
	吸水與浸漬	增加重量 增加散熱 電氣失效 結構強度降低
	浸蝕	除去保護層 結構強度降低 表面損壞
	腐蝕	加速化學反應

表 22：複合環境效應

複合環境		效應
高溫	濕度	高溫往往提高濕氣的穿透速度，在高溫作用下濕氣的整體破壞作用增大。
	低壓	這兩種環境互相依賴，例如，當壓力降低，材料成份的除氣增加；當溫度提高，除氣率提高。任何一種環境因子都加劇另一種的影響。
	鹽霧	高溫往往提高鹽霧引起的腐蝕速度。
	太陽輻射	這是一個與人無關的複合，它增加了對有機材料的影響。
	霉菌	高溫在一定程度上是霉菌和微生物生長的必需條件，但是，160°F(71°C)以上霉菌和微生物不能發育成長。
	砂塵	高溫可能加速砂塵的磨損速度，但是高溫降低砂塵的穿透性。
	振動和衝擊	由於這兩類環境因子影響材料共同特性，它們會加劇彼此的影響。影響加劇的程度取決於複合中各種環境因子的大小。除非是處於極高溫狀況中，塑膠材料和聚合物比金屬對這種複合更敏感。
	加速度	這種複合產生像高溫與振動和衝擊相同的影響
	爆炸大氣	溫度對於爆炸大氣的點燃影響甚少，但是它影響空氣霧化比，這個比值是一個特別應考慮的問題。
	臭氧	溫度從 300°F(150°C)開始，臭氧減少。在正常氣壓下，溫度超過 520°F(270°C)時，臭氧無法存在。
低溫	濕度	濕度隨溫度降低而降低，但是低溫引起水汽凝結，如果溫度足夠低，則出現霜或冰。
	太陽輻射	低溫往往降低太陽輻射的影響，反之亦然。
	低壓	這種環境因子複合可能加速通過焊縫的洩漏等。
	鹽霧	低溫降低鹽霧的腐蝕速度。
	砂塵	低溫增加塵土的浸透作用。
	霉菌	低溫減少生霉，溫度為零下時，霉菌處於假死狀態。
	衝擊和振動	低溫往往加劇衝擊和振動的影響。但是，僅僅在很低的溫度下才需要考慮。
	加速度	這種環境因子複合產生的影響和低溫與衝擊和振動相同。
	爆炸大氣	溫度對於點燃爆炸大氣的影響很小。但是它影響空氣霧化率，應予以重視。
臭氧	在較低的溫度下，臭氧的影響降低；但是隨著溫度降低，臭氧的濃度增加。	

表 22：複合環境效應(續)

濕度	低壓	濕度增加了低壓的影響，特別是對於電子或電氣設備。但是，這種環境因子複合的實際影響在很大程度上取決於濕度。
	鹽霧	高濕度可能稀釋鹽的濃度，但它並不影響鹽的腐蝕作用。
	霉菌	濕度有助於生長霉菌和微生物，但對它們的影響不大。
	砂塵	砂塵與水具有自然親和力，這種環境因子複合增加破壞力。
	太陽輻射	濕度加劇太陽輻射對有機材料的破壞作用。
	臭氧	臭氧遇見水蒸汽形成過氧化氫，它對於塑膠材料和合成橡膠的破壞作用比水汽和臭氧的單獨作用大的。
低壓	鹽霧	這種環境因子複合預期不存在。
	太陽輻射	這種環境因子複合對整體的影響沒有什麼關係。
	霉菌	這種環境因子複合對整體的影響沒有什麼關係
	砂塵	這種環境因子複合只有在大暴風時才出現，此時把塵土帶到高空
	振動	這種環境因子複合對各類設備的影響都加劇，但是對電子和電氣設備的影響最大。
	衝擊和加速度	這些環境因子複合僅僅在超環境等級下，和高溫複合才變得重要。
	爆炸大氣	在低溫時，更容易放電，但爆炸大氣更難點燃。
鹽霧	霉菌	不可能出現這種環境因子複合
	砂塵	它和濕度與砂塵的複合影響相同。
	振動	它和濕度與振動的複合影響相同。
	衝擊和加速度	這種環境因子複合不會產生更多影響。
	爆炸大氣	不可能出現這種環境因子複合
	臭氧	它和濕度與臭氧的複合影響相同。
太陽輻射	霉菌	因為太陽輻射發熱，這種複合可能和高溫與霉菌的複合影響相同。另外，未濾波輻射線中的紫外線是最有效的殺菌劑。
	砂塵	這種環境因子複合可能會產生高溫。
	臭氧	這種環境因子複合增加了材料的氧化速度。
	衝擊和加速度	這種複合不會產生更多的影響。
	振動	在振動條件下，太陽輻射對塑膠材料和合成橡膠、油等有加速破壞的作用。
	爆炸大氣	這種環境因子複合不會產生更多影響。
霉菌	臭氧	臭氧殺死霉菌。
砂塵	振動	振動可能增加砂塵的磨損作用。
衝擊	振動	這種環境因子複合不會產生更多影響。
振動	加速度	當遇到高溫和低壓在超環境範圍內，這種環境因子複合的影響增加。

參考文獻

1. IEC 68, Basic Environmental Testing Procedures
2. IEC 721, Classification of Environmental Conditions
3. MIL-STD-210, Climatic Extremes for Military Equipment
4. MIL-STD-781, Reliability Design Qualification and Production Acceptance Tests: Exponential Distribution
5. MIL-STD-810, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines
6. MIL-STD-1670, Environmental Criteria and Guidelines for Air-Launched Weapons