



失效分析参考手册

(初稿)



QA Macau, May 02

目 錄

第 1 章 概 要	3
1.1 制定本手冊之目的	4
1.2 失效分析的作用	4
1.3 本手冊的結構與特點	5
1.4 本手冊適用範圍	5
1.5 參考文件	5
第 2 章 BEL 電子產品件失效分析的一般方法及應用	6
2.1 失效的概念與分類	7
2.1.1 失效的概念	7
2.1.2 失效的分類	9
2.1.3 認識失效模式和機理	9
2.1.3.1 失效模式和失效機理	9
2.1.3.2 失效模式和機理與生產年代、使用環境的關係	10
2.1.4 失效模式的定量判據	10
2.2 失效分析的思路、原則與方法以及分析人員的素質	11
2.2.1 失效分析的思路	11
2.2.2 失效分析的一些原則與方法	11
2.2.3 失效分析人員應具備的素質	14
2.3 失效分析常用技術	14
2.3.1 元件解焊技術	14
2.3.1.1 常規焊接解焊技術	15
2.3.1.2 表面組裝失效件解焊技術	15
2.3.2.1 外觀檢查技術	15
2.3.2.2 機械量度技術	16
2.3.2.3 產品拆封、解剖前電性能驗證技術	16
2.3.2.4 X 射線照相或即時檢測	16
2.3.2.5 失效件顯微鏡觀察、照相技術	17
2.3.2.6 失效件解剖技術	17
2.3.2.7 產品解剖後外觀檢查、機械性能與電性能驗證技術	19
2.4 可能的失效原因和機理的假設及分析	19
2.4.1 產品本質問題	21
2.4.2 誤篩問題	22
2.4.3 誤用問題	22
2.4.4 意外損傷	22
2.5 失效機理驗證	22
2.6 估計失效模式的發生概率和危害性	23
2.6.1 失效模式的發生概率	23

2.6.2	估計失效模式的危害性	24
2.7	進行失效分析的基本條件	25
2.7.1	專業人員和分析小組	25
2.7.2	失效資訊的收集	25
2.7.3	工具和設備	26
2.8	量測系統與資料收集	29
第 3 章 失效模式與失效機理分析舉例		31
3.1	故障樹分析法 (FTA) 與舉例	33
3.2	失效模式與後果分析法 (FMEA) 與舉例	36
3.3	實驗設計 (DOE)	38
3.4	模糊評估綜合分析	41
3.5	失效分析之階段性	43
第 4 章 失效分析報告		45
4.1	失效分析報告內容	46
4.2	失效分析報告格式	48
4.2.1	BEL RETURN AUTHORIZATION REQUEST	49
4.2.2	BEL FAILURE ANALYSIS REQUEST FORM	50
4.2.3	BEL CUSTOMER REPORTED INCIDENT ANALYSIS REPORT	51
4.2.4	FAILURE ANALYSIS REPORT	53
4.2.5	8-D REPORT	54
4.3	失效分析報告處理和應用	57
第 5 章 失效分析流程		60

第 1 章

概 要

第 1 章 概 要

1.1 制定本手冊之目的

Bel Fuse 電子公司是一家總部設在美國專業生產高品質電子產品的大型跨國公司。公司主要設計、生產與銷售磁性產品、保險絲、延遲線、厚膜與 ICM 產品等。產品廣泛應用於網路、電訊、高速資料傳輸、電腦等領域、也應用於汽車與其他消費類電子市場。

在多年研發、生產、銷售服務中，我們對發生失效的產品由外觀特徵、材質、工藝、電氣性能、系統功能、結構特徵、受力狀況及環境條件等諸多方面著手進行分析研究，判明其失效性質與原因，提出預防與糾正措施的技術活動與管理活動，即是失效分析。從另一意義上來說，對產品可靠性的要求不斷增加，是 Bel 產品失效分析的由來與發展的動力。

鑒於此，特制定此失效分析手冊，以求介紹一些通用的原則、方法以及 Bel 以往的一些經驗，在以後對不合格的產品、半成品元件進行分析時，能提供一個指導與參考的作用。

1.2 失效分析的作用

Bel 從成立至今的半個多世紀以來，公司全體成員特別是公司管理層、產品的研製者、質量工程師，通過對眾多產品在研發階段、生產階段、售後服務階段（處理客戶投訴）所發生的質量問題進行一系列詳盡分析，通過製造、試驗暴露問題，作失效分析並找出原因，重新設計、改良管理與工藝，再製造，再試驗，再分析，再改進的多次循環，在保證批量產品的合格付運的同時，積累了優秀的技術經驗，使得我們的產品固有可靠性得到提高，贏得了客戶的信賴，確保了 Bel 在市場上所應有的市場佔有率。

多年的經驗歸納起來，失效分析的作用是：

- 1) 通過失效分析結果為產品開發規劃，設計，產品改進設計、工藝或應用提供了主要依據。
- 2) 通過瞭解引起失效的物理現象得到預測可靠性模型。同時，為 Bel 可靠性試驗(加速壽命試驗、篩選)條件提供理論依據和實際分析手段。
- 3) 在處理來料或生產中遇到的批量問題時，為是否 MRB 提供了決策依據。
- 4) 通過分析而明確了失效責任，如責任在供應商，提供了對供應商索賠或退貨的技術依據；如責任在客戶，則挽回了顧客對我們的信心，保證與提高了顧客滿意度。
- 5) 最重要的是，通過實施失效分析的糾正措施可以提高成品率和可靠性，減小系統試驗和運行工作時的故障，得到明顯的經濟效益。
- 6) 認真從事產品失效分析的負責作風，會使客戶產生極大的信任感，不僅不會因某些產品失效而喪失信譽，反而在多次的認真探討與改進中與客戶共同提高了彼此的市場競爭力與市場佔有額。

1.3 本手冊的結構與特點

本手冊共分五章，可供失效分析人員工作時參考，也可以幫助 Bel 基層管理員瞭解 Bel 部產品之質量注意事項

本手冊主要特點是：

- a) 介紹 Bel 產品失效分析需要共同遵循的原則和方法。
- b) 提出並討論失效模式和失效機理。
- c) 介紹失效分析程式的研究過程，以求建立針對具體產品作有針對性的失效分析工作程式。
- d) 針對 Bel 生產中從來料到成品中諸多常見、多發質量問題，略舉事例加以說明。
- e) 總結工作中實踐，提出處理失效件的工作內容和程式。

1.4 本手冊適用範圍

此手冊適用於 Bel 所有零部件、成品及有關生產過程中的失效模式的分析。

1.5 參考文件

SYST-CORR-01	INTERNAL CORRECTIVE ACTION PROCEDURE
SYST-CORR-02	CUSTOMER COMPLAINT HANDLING PROCEDURE
SYST-NONC-01	PROCEDURE FOR CONTROL OF NON-CONFORMING PRODUCT
SYST-QUAL-03	MATERIAL REVIEW BOARD PROCEDURE

第 2 章

Bel 電子產品件失效分析的一般方法及應用

第 2 章 Bel 電子產品件失效分析的一般方法及應用

2.1 失效的概念與分類

2.1.1 失效的概念

1. 失效

Failure

產品喪失規定的功能。對可修復產品通常也稱故障

2. 失效模式

Failure Mode

失效的表現形式。

3. 失效機理

Failure Mechanism

引起失效的物理、化學變化等內在原因。

4. 誤用失效

Misuse Failure

不按規定條件使用產品而引起的失效。

5. 本質失效

Inherent Weakness Failure

產品在規定的條件下使用的失效。

6. 早期失效

Early Failure

產品由於設計製造上的缺陷等原因而發生的失效。

7. 偶然失效

Random Failure

產品由於偶然因素發生的失效，只能通過概率或統計方法來預測。

8. 耗損失效

Wear-out Failure

產品由於老化、磨損、疲勞等原因引起的失效。

9. 完全失效

Complete Failure

產品的性能超過某種確定的界限，以致完全喪失規定功能的失效。

10. 部分失效

Partial Failure

產品的性能超過某種確定的界限，但沒有完全喪失規定功能的失效。

11. 突然失效

Sudden Failure

通過事先的測試或監控不能預測到的失效。

12. 漸變失效

Gradual Failure

通過事先的測試或監控可以預測到的失效。

13. 間隙失效

Intermittent Failure

產品失效後，不經修復而在限定時間內，能自行恢復功能的失效。

14. 突變失效

Catastrophic Failure

突然而完全的失效。

15. 退化失效

Degradation Failure

漸變而部分的失效

16. 嚴重失效

Critical Failure

可能導致人或物重大損失的失效。

17. 重要失效

Major Failure

可能導致複雜產品完成規定功能能力降低的產品組成單元的失效。

18. 輕度失效

Minor Failure

不致引起複雜產品完成規定功能能力降低的產品組成單元的失效，僅限於外觀不雅等輕微缺陷。

19. 關聯失效

Relevant Failure

在解釋試驗結果或計算可靠性特徵量的數值時必須計入的失效。

20. 非關聯失效

Non-relevant Failure

在解釋試驗結果或計算可靠性特徵量的數值時不應計入的失效。

21. 獨立失效

Independent Failure

不是由於另一個產品失效引起的失效。

22. 從屬失效

Dependent Failure

由於另一個產品失效引起的失效。

2.1.2 失效的分類

在實際使用中，可以根據需要對失效做適當的分類。

按失效模式，電性能方面可以分成開路、短路、無功能、特性退化(劣化)、重測合格；機械方面可分為尺寸規格不合要求或設計錯誤、力學性能不合規格；外觀方面可分為損傷、污染、裂、孔、披鋒、毛刺、印刷不良等等。

按失效原因，可以分成誤用失效、本質失效、早期失效、耗損失效。

按失效程度，可以分成完全失效、部分(局部)失效。

按失效時間特性程度及時間特性的組合，可以分成突然失效、漸變失效、間隙失效、突變失效、退化失效、可恢復性失效。

按失效後果的嚴重性，可以分成嚴重失效、重要失效、輕度失效。

按失效的關聯性和獨立性，可以分成關聯失效、非關聯失效、獨立失效、從屬失效。

按失效的場合。可以分成試驗失效、現場失效。現場失效可以再分成調試失效、運行失效。

按失效的外部表現，可以分成明顯失效、隱蔽失效。

2.1.3 認識失效模式和機理

2.1.3.1 失效模式和失效機理：

在產品研發、生產、使用諸階段都可能出現失效，認真地考察各階段上失效的種種形態，以此為出發點來開展分析工作，這就涉及到觀測失效模式進而觀測失效的誘因——工作應力、環境應力和時間，從中找出失效發生的真實過程，即失效機理。

所有失效之共同點乃是：來自環境條件、工作條件等的能量積蓄，一旦超過某個界限而進入另一界限，產品就開始退化，或直接喪失功效。這些環境條件、工作條件等退化的誘因，一般稱之為應力。

不僅是應力，時間的因素也是不可忽視的。應力只是誘因，產品總是經過一定的時間才演變至失效。

應力大致可分為兩類，一類為驅動產品完成其功能所必需的應力(例如：加在 LED 上讓其工作的電力等)。另一類為加在產品上的環境應力(即產品所處的環境，如溫度、濕度、振動及其它污染物危害等)。

上述的應力和時間為產生失效的外因，而失效的內因，即導致發生失效的物理、電化學或機械過程，則稱為失效機理。雖然，失效機理依 Bel 產品的種類、使用環境而異，不能一概而論。但是，往往都以老化、擊穿、腐蝕、磨損、氧化、電解等簡單的形式表現出來。

下表為 Bel 產品中易發生的常見失效模式與機理、應力、時間之一覽表。

表：失效模式、機理、應力、時間

影響退化的狀態	工作應力	環境應力	時間因素	失效模式	失效機理
熱的 化學的 電磁的 彈性、塑性的 (流變學的) 結構方面的 (內應力,形變, 相變化)	電流負荷 電壓、應力 感應電荷 浪湧 機械負荷 檢驗時的應力 貯存中的退化 表面破損	溫度及其變化 (循環、衝擊) 氣壓及其變化 濕度及其變化 電磁波 砂塵、灰塵、化學 污染 振動 衝擊 損傷 上述應力的組合	時間單位加應力 的順序 環境隨時間變化 的形式 應力循環的頻率 應力的波形、頻率 負荷頻率 隨時間的老化	開路 短路 退化(功能降低) 漏泄 形變 不穩定 表面問題 堵塞 玷污 印刷不良 變形 不吻合 裂縫 燒損 破裂、缺損 多膠、披鋒	導體的開路、短路 電壓超載 漏泄的增大 磁滯 電弧、電暈放電 接觸面腐蝕 幹擾 壓電效應 頻率效應 介質擊穿 電解 溶化,粘結 化學玷污 過負荷 重量不平衡 腐蝕 疲勞 磨損 斷裂 擴散 化學反應 吸附 結晶結構的變 化、結晶生長 交互作用

2.1.3.2 失效模式和機理與生產年代、使用環境的關係：

對於功能或型號相同的器件，不同年代的產品失效模式和機理是不同的。比如，上世紀 50~60 年代因半導體加工用的去離子水純度不夠，鈉離子玷污造成的器件漏電大的失效模式占失效總數的比例很高，此後，大約過了二十多年，因去離子水純度問題已經解決，鈉離子玷污造成的器件漏電大的失效模式明顯減少。又如，Bel 某些有需要 Molding 的產品，以前產品內部使用收縮率大的 Silicon，好幾年，產品經常有 Crack 存在。後來，改用 Dolph，此問題明顯減少。

即使同年代的產品，地區不同，失效模式機理也不同。比如同批次的積體電路其內在的抗靜電能力相同，但因為環境濕度不同，在不同地方，出現靜電擊穿失效模式的比例也不同。同在一個地方使用，夏季出現的比例比冬季要少。同在一個地方與冬季使用，使用時注意靜電防護的單位或個人，出現的靜電擊穿比例少。

所以，如果不瞭解這一點，有時我們可能無法解釋一個 20 年前製造的失效件的失效現象^①，或無法解釋同批的失效件僅僅在特定的條件下失效。

2.1.4 失效模式的定量判據

在把失效模式按電性能方面分成開路、短路、無功能、特性退化(劣化)、重測合格；機械方面分為尺寸規格不合要求或設計錯誤、力學性能不合規格；外觀方面分為損傷、污染、裂、孔、披鋒、毛刺、印刷不良(錯誤)等失效中，遇到分類的定量判據問題。一般情況下，這些模式

^① 2000 年，澳門失效分析工程師曾處理一客戶投訴，產品生產日期為 1981 年。

可以按失效程度分為三類；例如，電性能中開路、短路和無功能是完全失效，特性退化是部分失效；重測合格模式在不合格時也有完全失效和部分失效兩種可能性。機械與外觀方面之失效同樣可參照客戶要求與產品規格書之說明。

關於完全失效和部分失效的明確界限或者定量判據，是涉及許多因素的複雜問題。為處理問題的方便，在失效分析的實踐中已有一些約定。

首先，要用功能(主要性能)是否存在做判斷依據。無功能的是完全失效，短路和開路是完全失效。例如：對於大部分 SMD 變壓器或 ICM 產品，磁環繞組部分與引線接針腳部分開路，造成導電性喪失，所以是功能失效，是完全失效。

其次，按生產和用戶雙方或幾方事先協商確定的定量數值做判斷依據。這種商定往往與使用狀態有關。例如，電容器的容量變化量，當應用在旁路時，允許較大的變化量，但應用在振盪電路決定頻率時，就不能有較大的變化量，否則會引起整個產品功能喪失。所以，同一個電性參數值在不同的使用狀態下可以為失效，也可以為合格。最明顯的是，當產品在外觀上有缺陷時，因應不同的觀點，則以多方所協定的簽樣或外觀輔助圖為準。特別要注意的是，有時客戶投訴產品外觀時其標準過於嚴格，與現行通用國際標準及 Bel 標準相去太遠（Bel 原則上遵照國際標準），失效分析人員更要不卑不亢地向客戶提出並與之協商，以確保或嘗試讓客戶認同我們的標準。

這兩種判別完全失效的方法，可以依次簡稱為功能法、協商法。

2.2 失效分析的思路、原則與方法以及分析人員的素質

2.2.1 失效分析的思路

- (a) 確認失效現象。
- (b) 明確失效分析的深度(目標)。
- (c) 根據失效現象，列舉失效部位的全部疑點。
- (d) 制定排除疑點的方案。
- (e) 逐級定位失效部位。
- (f) 提出導致失效部位現象的各種假設。
- (g) 用試驗的方法驗證假設。
- (h) 提出並評審預防失效的方案。
- (i) 試驗預防失效方案的效果。
- (j) 實施預防失效的方案。

2.2.2 失效分析的一些原則與方法

失效分析的基點或起點可以是一個 Bobbin、一塊 PCB 板，也可以是一個完整的 2X8 Ports BelStack 或 OSI HID GEN4 最終產品。但制定分析程式的原則與方法可以大致相同。

一些通用的原則如下：

1. 先方案後操作

失效分析人員先靜下心，考慮出分析方案再動手。如果上來就碰這摺那地撬開 ICM 的 Metal Shield 與分離內部的 Toroid Base 與 Contact Pin Block，或一拿到環氧樹脂封裝的 Delay Line 就鉗開封裝而用放大鏡觀察內部結構。徒勞的結果也許尚可容忍，但造成產品原始失效狀態的破壞從而導致誤判或者引入新的失效導致更大的失效(故障)則後患無窮。

2. 先安檢後通電

失效分析人員應先做外觀檢查和機械量度，再進行普通電性能測量(例如用萬用表低阻擋測量 Open/Short 與 DCR，或直接在生產線進行)，在至少排除明顯的外部短路點後，再開始加電測試(如用高阻計測量 IR 或用耐壓測試機測量產品耐壓值)。

3. 先弱電後強電

對於出現故障的失效樣品，在測試電性能或故障定位時，電源功率、輸入信號、輸出功率等要根據具體情況由弱漸強。在由弱漸強的過程中，注意觀察、記錄異常現象。防止滿功率的突然開機、關機過程的衝擊，破壞失效狀態，增加失效分析的困難。這一點在測試產品耐壓時特別注意。

4. 先靜態後動態

先做靜態、穩態、直流下的檢測，後做動態、過渡狀態(如高溫)下的檢測。

5. 先外部後內部

先外部檢測，後內部檢測；先驗證外部疑點，後驗證內部疑點。避免隨意啓封、拆裝。

6. 先宏觀後微觀

先做功能檢測，後做精度測量。先做成品單元檢測，後做一個針腳、一個 Port、一根線、一個 Core 或其他最小單元元件的單獨檢測。

7. 先一般後特殊

先做經常故障部位檢測，後做很少出現故障部位檢測。

8. 先簡單後複雜

列出全部故障部位疑點後，先做簡單的容易實現的檢測。例如，先檢測各針腳間直流電阻，再做 X 射線照相或拆開封裝觀察內部狀況。

9. 先主要後次要

主要次要由故障影響功能的程度決定。

10. 先無損後破壞

先做無損性檢測(如 X 光照相)，後做破壞性檢測(如：去掉固封膠，解剖產品等)。

11. 先現象後本質

許多失效特徵只表示有特定涵義的失效現象。如引線在磁環內斷開，一般情況下，可以得出外力作用斷線的結論。但還沒有找出導致外力來源的原因，更無法提出防止同一現象的再發生的有效措施。應進一步分析是否使用工具不當或磁環 R 位刮傷。這樣，才能為防止同一失效的再發生提出有效措施。

一些通用的方法如下：

①. 相關性方法

就是把失效模式（如 OPEN、SHORT、針腳斷等），失效特徵，額定工作條件，材質情況，製造工藝水平和製造過程，使用情況等，都放進一個分析系統中，從總體上加以考慮的一種思路方法。以此判斷失效原因與設計、選材、製造、使用、環境等方面的原因。由此進一步深入地測試分析，找出真正的失效原因。本方法要盡可能地搜集與全局性有關的資料和測試資訊，從而合理地確定測試分析範圍。

②. 抓關鍵問題的方法

一個產品的失效，往往是由一個關鍵元件失效引起。例如，一個 Delay Line 無輸入，可能是線棒斷線（電感 Open）。開路的原因未見進一步說明，但主要原因一般也只要一、兩個，或漆皮線本質問題；或偶然的外力或應力集中造成斷線。因此，這種分析方法，首先是找準引起失效的部件。這是第一個關鍵問題，第二個關鍵問題，就是在主失效件上找出根源，再找出失效原因。

③. 對比的方法

應盡可能弄到與失效件同品種的合格產品，與之對比。例如，分析 ICM 產品 USB 插入撥出力失效分析時，應盡可能找到另一家合格供應商所提供的合格塑膠座或同一家供應商所提供的不同批次中合格的那一批產品作對比。從中得出差異，進而尋找引起失效的原因。

④. 歷史的方法

不同產品的失效表現和引起的失效原因，都有它特定的因果關係。根據這種關係通過對過去同類或相近似的失效所表現出的失效情況和變化規律的總結、歸納，可以推斷已發生失效的可能原因。這種方法會提高分析效率和準確性。但這一方法的條件，取決於分析人員對去積累的資料的多少。

⑤. 邏輯方法

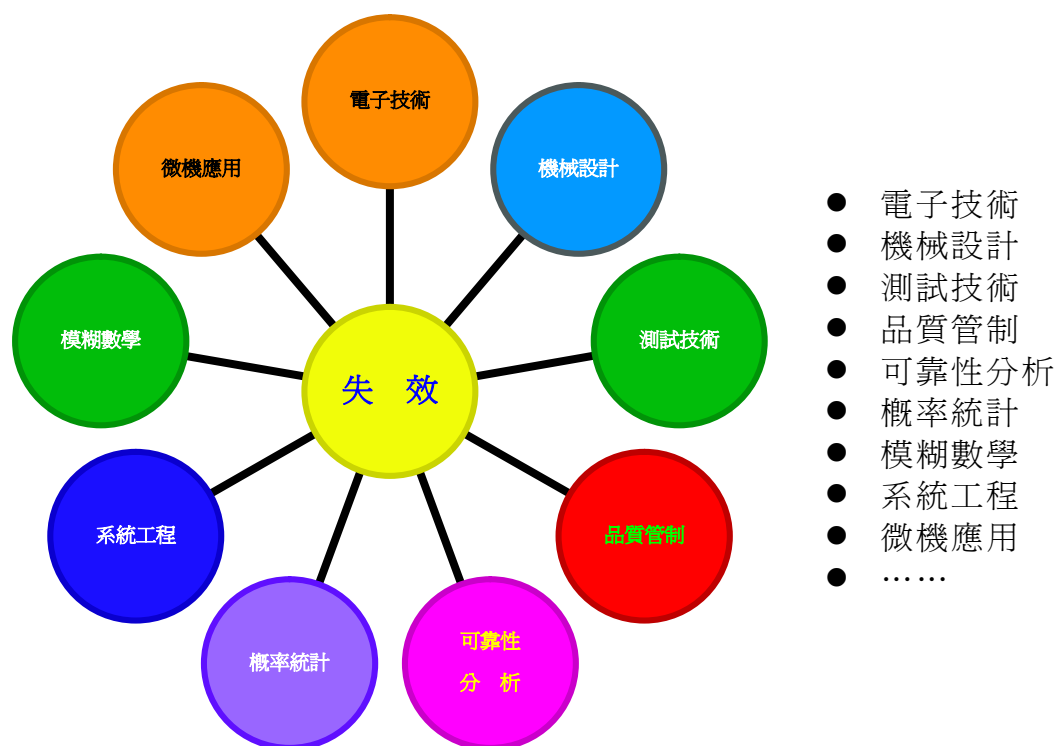
這種方法是根據失效事件的背景資料（如客戶要求、產品規格、用料情況、製造工藝等），失效件的實驗分析、測試獲得的資料等，進行分析比較、綜合歸納和概括，最後做出判斷和推論，得出最終可能的失效原因。

方法 5、6 的綜合，就是產品 FMEA 的基礎。

需要指出的是，以上這些原則和方法一般都不是單獨應用，而是根據實際情況靈活地交叉運用。失效分析的速度和準確程度，除經驗外主要取決於對這些原則和方法的熟練程度和運用水平。

2.2.3 失效分析人員應具備的素質

Bel 多年的生產經驗表明，失效分析涉及的學科很多。它以許多學科和技術為基礎並不斷發展，從電子技術到機械設計，從管理到電腦。最常見如下圖所示：



圖：失效分析涉及到的主要學科

由上圖可看出，失效分析人員應具備多方面的學科知識。除此之外，還應具備以下素質：

- ①. 具有堅持到底的毅力，能夠知難而進，對失效原因的分析，有一追到底的責任心和強烈的探索興趣。
- ②. 具有實事求是的工作態度，公正中立，不受其他人意圖的幹擾。
- ③. 具有組織工作能力和基本的分析技能。
- ④. 具有搜集資料的技巧，會借助資料（案例）分析問題。
- ⑤. 知識面廣，有豐富的工作經驗。
- ⑥. 有較好的文字和語言表達能力。

2.3 失效分析常用技術

2.3.1 元件解焊技術

從失效分析的角度，對元件解焊的要求是：元件要完整地取下(包括引線)，解焊過程中既要防止熱應力、機械應力、靜電等對產品產生破壞作用，也要防止破壞鄰近的元器件。

解焊常用的工具是：

- (a) 一般工具，螺絲刀，尖嘴鉗子，斜口剪子，鑷子，撥針等。
- (b) 焊接工具：抗靜電的普通電烙鐵，可以吸走被溶化的焊接劑(如錫)

的真空吸錫器等。

(c) 防靜電器材：防靜電手環等。

2.3.1.1 常規焊接解焊技術

常規焊接的解焊，是指對穿孔組裝形式的解焊，即從 PCB 板上去除失效件引線（針腳）或連線（如 OSI 產品）的焊點，使針腳（引線）與板脫離。通常，元件放在 PCB 板上面，引線通過印製電路板的穿孔焊到板的背面。採用完成一個焊點溶化、吸錫、用尖嘴鉗子夾住引線輕輕搖晃直到引線鬆動可以拔出的過程後，再解焊下一個焊點的方法。如果溶化一個焊點，就要拔出一個引線，不僅可能使被拔出的引線根部受力過大。也可能使尚未解焊的其他引線根部受力過大，造成引線根部斷裂。

2.3.1.2 表面組裝失效件解焊技術

表面組裝失效件解焊技術與常規焊接解焊技術不同有以下原因：

原因之一是：表面組裝沒有穿孔形式，不能採用完成一個焊點溶化、用尖嘴鉗子夾住引線輕輕搖晃直到引線鬆動可以拔出的過程後，再解焊下一個焊點的方法。

原因之二是；有些表面組裝產品、除了在引線或端電極焊接外，還有產品與板之間焊膏或膠的粘接，也有應用於塑膠緊配合的超聲波焊接等。

原因之三是：表面組裝失效件的引線或端電極尺寸和相應的印製電路板條寬小，裝配密度大。可供解焊操作的空間很小。

原因之四是：表面組裝後，一般會用矽膠塗覆。

表面組裝產品解焊技術的特點是同時加熱要解焊元件的全部焊點，在整個失效件鬆動時，及時取下。例如：

方法之一是溫控焊筆法。使用裝有表面組裝解焊焊尖的溫控焊筆或溫控烙鐵，表面組裝解焊焊尖有多種形式可以選擇，選取與被解焊失效件一致的焊尖，可以同時加熱要解焊的表面組裝失效件的全部焊點。失效件鬆動時，及時取下。

方法之二是小嘴噴熱氣法。使用從小嘴噴出可控溫的加熱特殊氣體（為保證焊點質量，常用為氮氣）的裝置，對準要解焊的表面組裝失效件的全部焊點噴熱氮氣。為方便起見，Bel 一般直接用熱風槍加熱產品，待元件鬆動時，及時取下。值得注意的是，表面組裝失效件耐焊接熱的限度以及維持在此高溫下的時間長短是否適當，溫度過高或時間過長，將損壞元件。

2.3.2 產品失效部位定位技術

2.3.2.1 外觀檢查技術

外觀檢查通常採用目檢，可以直接用眼睛觀察或者用 10~40 倍的放大鏡或光學顯微鏡。

外觀檢查的作用之一是驗證失效件與標準、規範的一致性。主要內容有：驗證失效件的標誌(產品代號、產品批號等)，材料(如針腳塗覆是鍍鎳還是鍍錫)，結構(如產品外殼類型是直插式還是扁平式，有否發光二極體)，工藝(如產品表面印字是移印還是鐳射印)等。

外觀檢查的作用之二是尋找可能導致失效的疑點。例如，濾波器塑膠封裝有裂縫，BelMag 針腳根部有異物（膠）。

由於 Bel 之產品失效分析大部分要做去掉外殼的拆封、解剖工作，外觀檢查的物件可能不再存在，因此，外觀檢查時要做記錄並適當影像。

2.3.2.2 機械量度技術

機械量度一般採用經專業儀器校驗人員確定的計量合格的卡尺、投影儀、厚薄規、針規、高度計、力度計等一系列量規、量具對產品作量測。並對照產品規格書要求確定其是否合格，或通過量測試的資料分析產品設計是否合理。

因此，機械量度的作用也是驗證失效件與標準、規範的一致性以及查找可能的失效疑點。

2.3.2.3 產品拆封、解剖前電性能驗證技術

1. 功能測試

產品解剖前電性能驗證技術之一，是功能測試。解剖前功能測試的作用是確認產品是否失效；解剖過程中多次功能測試的作用是建立參考判據，得出失效模式和失效分析過程是否引入新的失效因素。功能測試的主要做法是按照失效件的產品手冊或採購規範規定的電性能要求，使用規定的測試儀器和設備驗證產品的功能和性能是否正常，確定失效模式。

功能測試一般採用計量合格的測試儀器設備。特殊情況時，需按客戶要求與產品規範規定要用到一系列的測試夾具與混合電路，如 MAU, OSI HID 之類電氣性能測試。

對失效件進行功能測試後，一般可以得出具體的性能失效模式（如 OCL, OPEN, DCR, IL 等）並可以按 2.1.4 節失效模式的定量判據，確認為完全失效(在測試中，完全失效也稱為功能失效)。

2. 附加測試

失效件解剖前電性能驗證技術之二，是附加測試，也稱補充測試。用於驗證環境條件與失效的聯繫，尋找可能導致失效的疑點。例如，對 BelMag 做 125°C 時半個小時的烘焙，再做電測試，以驗證產品在客戶裝配時所發生故障與溫度之關係。

2.3.2.4 X 射線照相或即時檢測

當解剖前功能測試結果出來以後，我們需進一步確定其位置。

例如，用萬用表對某種 SMD 塑封 10/100 BaseT 各針腳之間的電測試，並與合格品比較，得出異常的數值。對照產品原理圖，可以確定大致位置，在針腳附近 OPEN 還是線圈內 SHORT。

為進行下一步的失效分析指出方向。以下兩種方法可以適當運用：

- a) 可用 X 射線即時檢測系統對其觀察，在螢幕上找出失效點並且將圖像存電腦或列印作為結論之依據。
- b) 可用 X 射線照相設備對放置在感光膠片上的失效件作為時 12~18 秒的照射，用顯影液與定影液處理膠片取得內部電路佈線或結構圖之底片，然後在放大鏡下觀察分析之，並作為結論之依據。

2.3.2.5 失效件顯微鏡觀察、照相技術

顯微鏡觀察、照相技術和即時錄影技術可能要在失效分析的全過程中經常使用，應用這些技術的水平，直接影響失效分析質量、進度和經濟效益。顯微鏡觀察、照相和即時錄影的主要作用是：

(a) 固定並且確定失效現場。如供應商來貨時包裝不良致產品付運裝卸時雜亂、損壞。此類照相可為分析研究失效情況，開展失效分析工作，提供線索和依據。

(b) 固定並且確定被檢物體的特徵。為了使失效部位定位，經常要進行由表及裏的工作，例如，對 10/100 Base T 要去掉外殼環氧樹脂封裝與線圈所被覆的矽膠、對 ICM 產品要除掉金屬罩，這些工作具有破壞性，或者說具有不可逆性。因此，固定並且確定重要步驟被檢物體的特徵，將為揭示和證實失效部位或失效機理提供證據。

(c) 儲存失效分析資料。為以後的失效分析中快速地鑒別已知和未知的現象提供證明，避免重複性勞動或無效勞動。

在做光學顯微鏡觀察時，應首先將樣品固定在樣品臺上。理想的樣品台，應具有上下、左右、前後旋轉和傾斜等調節功能。簡便實用的辦法是將樣品固定在適量的橡皮泥上。在觀察樣品時，為便於調節焦距，起始的放大倍數不宜太高，可以從 5 倍左右開始。照相的內容中，一般要有失效與合格樣品的全貌照片和局部特寫照片。失效樣品的局部特寫照片應突出失效特徵，並注意以失效樣品相同的放大倍數攝下合格失效件的全貌和局部。全貌照片除為說明局部和整體的關係之外，還可以說明樣品的結構。

2.3.2.6 失效件解剖技術

解剖技術是暴露更深層次或更為內部問題所必須的技術。

1. 解剖的難點

解剖的難點之一是：經解剖後，只暴露指定的層次或部位尋找揭示失效原因的失效痕跡。

解剖的難點之二是：絕大部分 Bel 產品的體積較小，操作困難。

解剖的難點之三是：雖然解剖工作相當於逆向的製造加工過程，但許多情況下，不能採用與製造加工相同的辦法達到解剖的目的。例如，製造 10/100 BaseT 環氧樹脂的外殼，是將可塑的熱固性環氧樹脂在高溫下固化。保持一定的溫度，就完成製造加工。但如果解剖時也採用保持一定溫度的做法，是去不掉環氧樹脂外殼的。所以，解剖工作既不能破壞原有的失效痕跡，也不應出現雖然保持原有的失效痕跡，但引入了新的失效因素的情況。

2. 解剖的步驟

由於解剖工作有較大的風險性，因此，解剖工作需分三步走。

第一步，要瞭解清楚樣品的製造工藝和內部結構。即參閱與失效件相對應的產品規格書與工序操作指引等。

第二步，是選取與失效樣品的工藝和結構相同(例如相同製造批次)的正常產品實施解剖(有條件時可從生產部尋找報廢品多作練習)，以實踐檢驗解剖方案的正確性。

第三步，再對失效樣品作破壞性解剖以尋找失效機理。

3. 常用的解剖設備和材料

常用的解剖設備和材料包括；封裝(外殼)開封機、切割機、研磨機、尖嘴鉗子、斜口剪和一些化學試劑。

4. 常用的解剖技術

常用的解剖技術有封裝(外殼)開封、表層剝離和制取剖面

(a) 封裝(外殼)開封技術

Bel 電子產品的封裝樣式千姿百態(如常見的有扁平、直插、圓形金屬帽、J 型腳、金屬罩)，封裝材料五花八門(如金屬、塑膠、環氧、玻璃、矽膠)，封裝封口(密封縫)多種多樣(如塑封、Fuse 錫封、冷壓、HID 緊配合)。因此，要全面地列出各種封裝的準確的開封方法是有一定困難的，也許沒有必要。但經歸納總結，常用封裝開封技術有直接剪切、磨薄劃縫、圓形開帽器、等離子腐蝕、化學腐蝕等。

直接剪切是利用基本工具如鉗、剪等，輔之以適當的夾具，小心地將產品外部封裝材料（一般為塑封）去除，暴露內部結構的一種方法。此方法方便、快捷，在 Bel 應用最多。但必須注意的是，操作時，力度不易受控制，易傷及產品而產生新的失效模式，失效分析員需要經常訓練，才熟能生巧。

磨薄劃縫技術要點是：研磨密封縫，邊磨邊看至足夠薄，但並不磨透。清潔樣品表面後，用鋒利的工具(如小刀)劃開密封縫。磨薄劃縫開封法適用於有密封縫的封裝。如注塑產品。此方法效率太低，除非必要，很少採用。

圓形開帽器裝置利用切割輪對圓帽做環形切割。在環形切割時，不斷調節切割深度，直到圓帽在環形切口處被切開。圓形開帽器適用於有空腔的圓形封裝開封。如 Fuse。

工業界也有採用等離子腐蝕的方法用以開封，它是利用高頻輝光放電形成等離子體，以氧氣等氣體做腐蝕劑與被腐蝕材料發生化學腐蝕反應。可以將塑膠、環氧等封裝變成粉末，除去封裝。等離子腐蝕法適用於塑膠、環氧等封裝的開封（此方法在 Bel 並未採用，故略）。

化學腐蝕開封也適用於塑膠、環氧等封裝。經常使用的化學藥品是發煙硝酸或硫酸，將產品投入加熱後沸騰的化學液體中進行腐蝕，幾分鐘後再取出內部結構件，用無水酒精脫水再清洗乾淨。Bel 澳門曾試用過，但因危險性太大且效果不理想，後停止使用。

(b) 元件分離技術

由表及裏、由淺入深是分析瞭解事物本質的常用的方法。要深入地對 Bel 產品特別是對 ICM 產品進行失效分析，必須掌握產品各元件的分離技術。

分離技術的基本過程是，在對產品的各元件進行判別的基礎上，熟悉其工藝方法，有針對性地用不同的工具、方法，盡最大可能完整地分離各元件，逐漸暴露、尋找不合格的組件。通過檢測收集有關分離前後的資訊，確定失效件的失效部位、失效機理。

(c) 制取剖面技術

制取剖面技術大體分為砂紙研磨法、化學腐蝕法和離子刻蝕法。

砂紙研磨是傳統的制取表面技術，其一般過程是將樣品嵌入裝置(澆鑄或固封)，在研磨機上研磨。通過調行研磨壓力和研磨用金剛石砂紙(如不

用砂紙，可以採用拋光劑)的顆粒大小，控制剖面的質量。研磨壓力大時，可以節省時間，但容易出現破裂和溫度過高造成的形變。爲了較快地完成研磨，並使預定層次的剖面不帶有研磨的痕跡，應從較大顆粒的砂紙開始逐漸減小。有時爲了方便，也可以直接用手工研磨，諸如分析 Toroid Edge 對 Hi-Pot 的影響時，用砂紙制取磁環剖面後，可以直接在測量顯微鏡下分析與量取數值。

化學腐蝕與離子刻蝕制取剖面技術，在 Bel 沒有應用，此處略去。

2.3.2.7 產品解剖後外觀檢查、機械性能與電性能驗證技術

獲得樣品上任意懷疑點的機械性能、電性能資訊，往往是證實假設的失效部位和失效機理的關鍵。解剖後這兩者之驗證技術主要包括外觀檢測、尺寸量測，電性能測試等技術。對照產品規範書之要求，應用傳統測量方法即可完成此步驟。

2.4 可能的失效原因和機理的假設及分析

在作分析前，必須依據目前已掌握的資訊，已積累的經驗，對可能的失效原因和機理進行假設及分析。這樣做是爲了明確工作方向，縮小懷疑範圍，以求制定切合實際的失效分析程式或方案，做到用時短、費用低、結論正確。

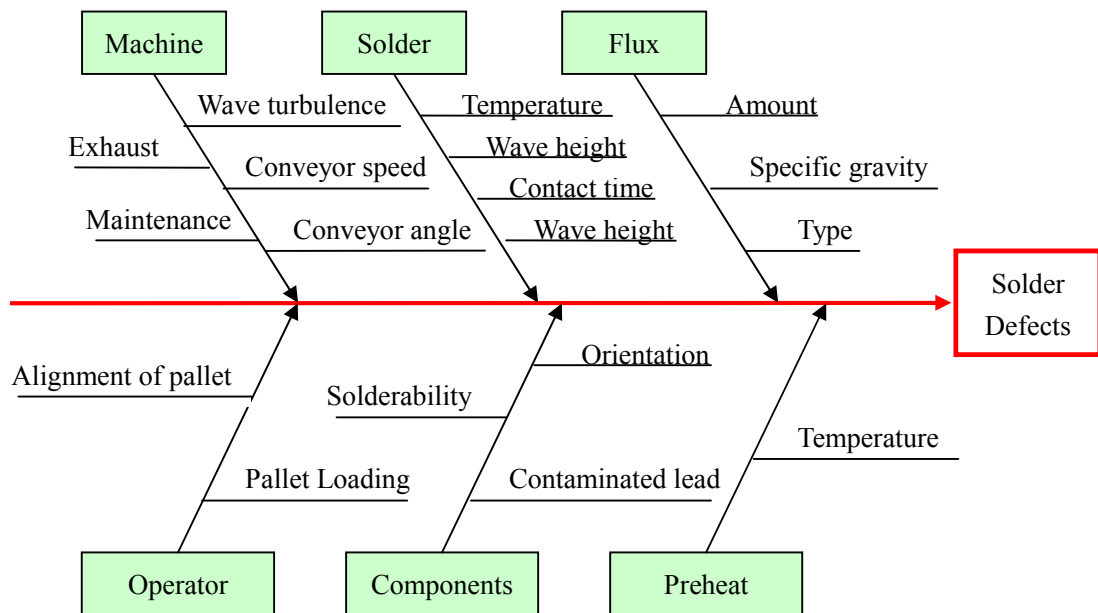
一般地說，可能的失效原因存四大類，即失效件本質問題、誤篩問題、誤用問題和意外損傷。每一大類問題可以得分爲多個小類。每個小類也許能假設出幾種失效機理。

在做失效分析時，首先要確認失效現象。調查失效背景後，根據失效現象，假設發生失效的各種可能的部位。確認部位後，再假設各種可能的失效機理，按照本質問題、誤篩問題、誤用問題、意外損傷問題四個路徑設計驗證試驗。

2.4.1 產品本質問題

在規定的條件下使用產品，由於產品本身固有的弱點或缺陷而引起的失效問題被稱爲本質問題。分析失效件本質問題，假設各種可能失效機理的工作，需要對失效件設計、材料、工藝、檢驗等方面有全面相深入的瞭解。當多種因素造成一種模式時，採用魚骨圖也許便於掌握因果關係和主次關係。

例如下圖所示，



圖：Cause and effect diagram for the printed circuit board flow solder process

按照工程要求，僅僅給出失效件本質失效原因是不夠的，還要明確失效的性質是個別性的(偶然的)還是批次性的(可以重現或再次發生的)。

1. 與批有關的缺陷和具有批次性的失效件問題

由於設計或製造、試驗或檢驗過程所引起的缺陷如果是可以重現的，這種缺陷被稱為與批有關的缺陷。如 CAR-SQA02100，P/N 5303-0154-02 在生產線衝壓成型時操作工壓反方向，成批共 16800 PCS 全部有質量問題而報廢。

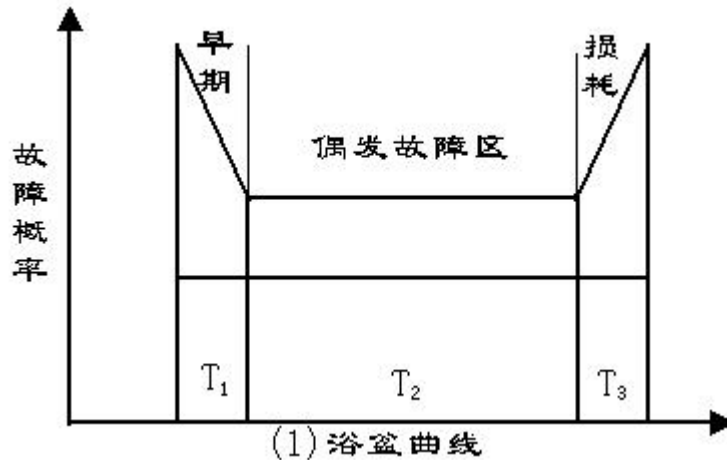
當產品本身固有的缺陷是與批有關的缺陷時，就可以認為失效的性質是批次性的。如果與批有關的缺陷是可以篩選剔除的，經篩選後的同批器件可以繼續使用，如果沒有有效的篩選方法，同批器件不應該繼續使用。當失效件的失效性質是批次件問題時，如果只是取下失效件，簡單地換上一個同批器件，將導致相同的失效再次發生(雖然可能不是立即發生)。

2. 失效件早期失效的判據和處理

失效分析人員對失效件屬於早期失效的判據是什麼？早期失效的性質是個別性的、偶然的還是批次性的、可以重現或再次發生的？

早期失效的概念來源於浴盆曲線。

我們知道，儘管有很好的產品設計,並通過認可的成熟的工藝來製造,產品也有可能失效。大多數早期失效主要有三種類型，即：有缺陷的零部件、製造工藝錯誤和有工藝應力。如果這類因素存在，將帶來潛在的缺陷，而此種缺陷通過常規的試驗不易出現，也不易鑒別，但是，隨著使用時間的增長，可能使產品突然失效。根據產品累積失效的資料指出：潛在缺陷通常引導產品早期失效，當產品經過早期失效階段，通常就是可靠的。如下圖（1）所示的產品典型壽命週期曲線，通常表示為一浴盆曲線。由圖可看出：產品壽命分為三段，即：早期，有效壽命期和磨損期。



早期，產品使用期間，各種因素作用，此期間失效率較高，用 T1 代表。經過一段時間後，失效率很小，即偶發期用 T2 表示。隨著時間增加故障率開始增加，即磨損故障區，用 T3 表示。

雖然，工業界對浴盆曲線有些不同觀點，例如失效率不斷下降、早期失效期應由先升後降的初始期替代，偶然失效期應由畸變期和無失效期替代，但早期失效的概念還在應用。以浴盆曲線的理論，處於浴盆曲線失效率由高向低過程的失效件(拐點之前)屬於早期失效。通過試驗得到失效產品母體的浴盆曲線拐點的時間和應力，可以得出早期失效的定量判據。一般地說，處在早期失效階段的產品母體，還有出現相同失效現象的可能，通過篩選，可以剔除。由於通過試驗獲取拐點的難度較大，在得到失效件屬於早期失效結論時要推敲。

在一些情況下，可以採用通過足夠強應力(例如，滿足工程要求的時間應力、電應力、溫度應力)，對失效產品的母體實施考核子試驗的方法，取得在工程要求下產品失效的規律性用於處理失效問題。

這種方法的優點是針對性強。但必須注意，得到的規律性可能只適用於特定的工程、某一批產品或某種範圍的產品，沒有普遍意義。所以，在做失效分析時，很多時候我們僅對庫存中與客投訴產品相同型號作有針對性的應力處理，如 IR Screen。

2.4.2 誤篩問題

產品作為合格品出廠後，根據工程使用的要求，可能還要由用戶的或者獨立的試驗室做補充篩選試驗，俗稱篩選試驗。這種試驗發生在廠家的質量保證工作告一段落，產品作為元件正式裝機之前。補充篩選試驗的目的可能是為了剔除早期失效，驗證產品在出廠前的篩選試驗或是為剔除不適應特殊應用環境的個別產品，挑選性能符合特定要求的產品。

補充篩選試驗對正常的產品應是無損的，對有潛在缺陷的產品有加速暴露的作用。但是，也有在補充試驗中將正常的產品損壞的問題，這類問題被稱為誤篩問題。誤篩問題可以再分成許多小類。

例如：

- (a) 設備故障。如設備的電壓指示與實際值不符。
- (b) 操作失誤。如引線接反。

(c) 環境不良。電壓、溫度波動；靜電防護不良。

(e) 標準有錯。如規定的試驗溫度過高。

在判斷一種失效問題是產品本質問題還是誤篩問題時，經常採用對比試驗的方法。找到差別，再從差別入手、繼續分析。例如：選取相同批次已經補充篩選合格的產品，選取相同廠家的不同生產批次的產品，選取由不同的設備補充篩選合格的不相同的廠家的相同產品型號的產品，讓這 3 種狀態的產品同時經歷相同狀態(例如相同的設備、操作、環境、試驗條件)後，如 3 種產品的失效模式相同，則需要重點分析誤篩問題(這比較適用於分析供應商來料)。

曾經，Malaysia 的客戶就投訴 Bel 的 ICM 產品在客正式批量生產前的可靠性試驗中失效。對此，我們一定要詳細瞭解其試驗系統。

2.4.3 誤用問題

誤用問題也就是不按規定條件使用產品而引起的誤用失效問題，需要說明的是，使用問題不等於誤用問題。因為“使用問題”一詞含有在使用過程中出現問題的意思，表示出現問題的場合，並未明確失效原因。而使用過程中出現問題，既可能是因產品本質失效，也可能是因誤用失效。在未做失效分析之前，不能定論。

誤用問題包括選擇和應用兩個方面。由於選擇和應用不適當造成產品失效所佔有的比例較大，因此詳細地調查選擇和應用十分重要。

2.4.4 意外損傷

意外損傷是指偶然出現的外界應力造成產品失效。例如在客戶有時會投訴 ICM 產品接地腳斷，或是產品在搬運途中損傷。這種損傷容易判別，不具有普遍性。

2.5 失效機理驗證

失效機理驗證是指在預定的條件下，使與失效產品設計、工藝、經歷相同的正常(這種正常也許隱含著不正常)產品重現相同的失效現象，出現特定的痕跡和特徵。

驗證的過程往往十分困難。即使是具有豐富實踐經驗的專業分析人員，提出的假設的正確率也不是百分之合，在複雜情況下可能很低。這時，應再做失效部位的鑒別，描述失效特徵，提出新的假設後再驗證。在驗證中出現百分之百相同的失效現象可以說是一種難以實現的理想。如果實現了半定量或定性的驗證也可以滿足工程要求，就不需要強求百分之百。在驗證前，應明確出現何種特定的痕跡和特徵就認為驗證成功。多次驗證仍然失敗也是可能的。造成產品失效的狀態十分複雜，也許是不易捕捉的瞬態，也許在短時間內不再重現難以摸出規律，也許人為類比受設備、時間、經費和認識水平等條件限制，應該可以理解。但在工程處理時，應該記住曾經有失效機理不明的失效件，並根據已經開展的失效分析結果做必要的預防工作。

失效機理驗證工作要求掌握專業技術，因此要根據實際情況選派適當

的人員。有三種應用形式可以選擇。

(1) 失效分析人員直接應用。例如，顯微鏡觀察、照相技術，發現、收集各種失效痕跡。

(2) 鑒定人員運用。例如，MAU 或者其他 Hybrid 積體電路測試等，鑒定人員必須具有一定的資格，運用的設備應獲得確認。

(3) 委託外部測量專家。在失效分析中，涉及和需要的技術知識極其廣泛。需要用到的儀器也有許多不同類別，委託其他外部測量機構或專家，可以解決某些分析問題的局限性。例如，Bel 中山廠 ICM 投產初階段，Contact Pin 鍍鎳層厚度之測量分析，就委託中華人民共和國華南計量中心由專家用高倍顯微鏡量測微剖切面之方法完成。

2.6 估計失效模式的發生概率和危害性

估計失效模式的發生概率和危害性的目的是為了降低質量成本和提高風險決策的準確性。

2.6.1 失效模式的發生概率

成品失效模式發生概率的分類見下表。

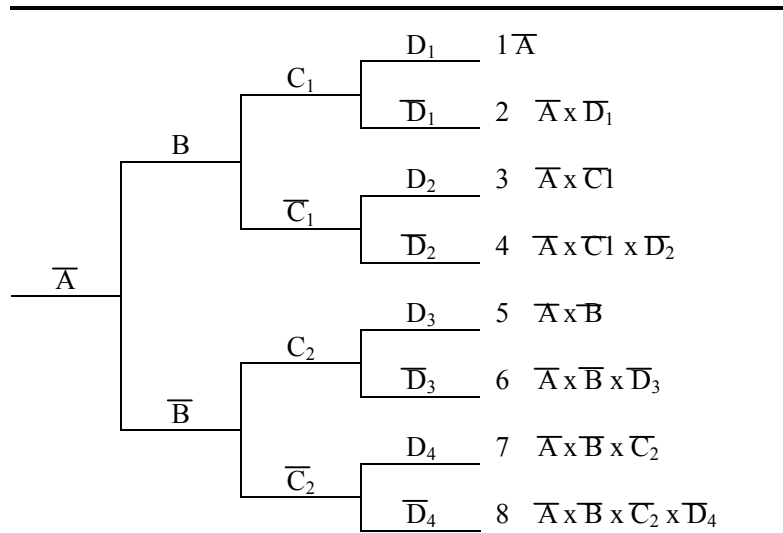
等級	發生概率
A 級（經常發生）	大於產品總失效概率的 20%
B 級（有時發生）	產品總失效概率的 10%~20%
C 級（偶然發生）	產品總失效概率的 1%~10%
D 級（很少發生）	產品總失效概率的 0.1%~1%
E 級（極少發生）	小於產品總失效概率的 0.1%

估計失效模式發生概率有多種方法，諸如：事件時序樹分析法 ETA，故障樹分析法 FTA 等。

從認為是失效原因的初始事件出發，按時間順序追蹤，到成為產品的最終事件為止，按照零部件的功能和應用的順序，把在阻止事件發生上是成功的或者是失敗的事件展開，再求取其概率。

如下圖，圖中的大寫英文字母代表事件，因為每一種事件都可能有兩種狀態，即完好和故障狀態。例如，A、B、C、D 分別代表不同四種事件的完好狀態，相反，為故障狀態。A 為初始事件，按照事件發生的時序，依次與各事件的兩種狀態連接起來構成時序樹。樹中每一條連通線就是一個事件序列，下圖共有八個事件序列（分枝）。

事件 A 事件 B 事件 C 事件 D 失效系列的總概率



圖：ETA

事件時序樹中每個分枝代表偶然事件序列發生的概率，由該分枝上所有事件（包括完好和故障事件）的概率決定，並等於它們的乘積，如上圖中最後一項所示。

因為一個事件的故障概率通常都小於 0.1，於是完好的概率等於 $1 - 0.1 \approx 1$ 。故通常都假定完好概率等於 1。因此，

$$\bar{A} \times B \times C_1 \times D_1 = \bar{A}$$

同理，3 的概率由 \bar{A} 、 B 、 \bar{C}_1 、 D_2 決定，且等於 $\bar{A} \times B \times \bar{C}_1 \times D_2 = \bar{A} \times \bar{C}_1$ 。

估計失效模式發生概率需要較強的統計、概率論知識。請參考相關叢書。

2.6.2 估計失效模式的危害性

產品估計危害性的主要工作內容，是根據失效分析的結果，將失效模式按已知的控制方法進行分類。如果估計採用較小的代價就可以控制的失效模式，其危害性較小。而對目前還沒有有效的控制方法的失效模式，應在失效分析報告中特別提出，以引起重視：顯然，如果某種失效模式是不可控制的，並且發生概率很大，這種失效模式的危害性就很大。

成品失效件失效模式可控程度的分類見下表。

表：成品失效模式可控程度

可控等級	控制程度	說明	舉例
1	完全可以控制,可以通過篩選的方法100%的剔除帶有特定的失效模式的產品	失效模式已知,失效模式的產生原因和應力的關係清楚,通過適當的篩選可以有把握地剔除帶有隱患的產品	因接錯線而導致相位錯失效模式,可以100%篩選,這種失效模式可以有效控制。
2	具有一定的控制能力,不能100%篩選剔除	失效模式已知,失效模式產生的原因清楚,但與應力的關係複雜,並且不十分清楚。在短時間內,尚無把握通過適當的篩選剔除帶有隱患的產品,但可以用較少的元件數量(母體)評價整批的質量	P/N 0556-3873-03 針腳經過衝壓模彎腳成型後,針腳彎位基材受損,極易斷裂。在暫無其他合適測試/檢查情況下,惟有採用抽樣做破壞性彎針測試,以評價整批的質量。
3	沒有控制能力,失效原因屬於不能篩選剔除的基本生產工藝問題	失效模式已知,這類失效模式產生的原因可以分析清楚,屬於基本生產工藝問題。失效與長期應力積累有關。在短時間內,沒有把握通過適當的篩選剔除帶有隱患的產品	產品內部物理損傷、腐蝕開路失效模式。如針腳與引線焊接處,由於溫度變化,水汽侵入等物理變化和化學反應而令引線斷。
4	沒有控制能力。失效原因屬於不能篩選的基本設計問題	已知的失效模式,這類失效模式的產生原因可以分析清楚,屬於基本設計問題。失效與長期應力積累有關	在應用無鉛錫作為焊料的產品中錯用155C線作為半成品。
5	沒有控制能力,是新失效模式或失效原因不明,未知是否為批問題	新失效模式或失效原因不明	

2.7 進行失效分析的基本條件

2.7.1 專業人員和分析小組

要有失效分析專業人員和分析小組。

失效分析專業人員應該具有的素質是:熟悉被分析失效件的結構(參考產品結構圖)、製造工藝、製造標準、產品性能;有操作失效分析設備的能力;有使用產品的常識;有豐富的想像力和嚴謹的工作作風;具有關於失效分析的堅實理論知識和豐富實踐經驗。

在失效分析中,涉及和需要的自然科學技術知識極其廣泛。因失效分析涉及的物件而成立由供應商或使用方和失效分析單位的內行相結合的分析小組,往往可以使失效分析的質量高、速度快、經費少、不推諉責任、見效果。

專業人員和分析小組應遵循實事求實,團隊精神、迅速及時原則。

2.7.2 失效資訊的收集

失效資訊的收集工作十分重要,失效資訊的數量和質量相當直接影響失效分析的成敗。需要收集的失效資訊主要有失效狀態、失效背景等。

失效狀態指成品故障或產品失效的現象、成品故障或產品失效時的工作條件(電應力、環境應力)、判斷成品故障或元件失效的過程。

失效背景指成品失效前的設計性能和性能變化、工作經歷和失效統

計；產品或元件在成品或整機中的功能、製造過程、裝配前的電性能、可靠性試驗經歷、同批次產品的失效模式、機理和數量等。

2.7.3 工具和設備

故障定位和失效分析的常用設備

(1) 一般工具：平口或十字口起子、尖嘴鉗子、斜口剪子，鑷子、撥針、金剛銼、砂紙、小刀等。部分如下圖：



圖：常用工具之刀、銼、鉗、剪等

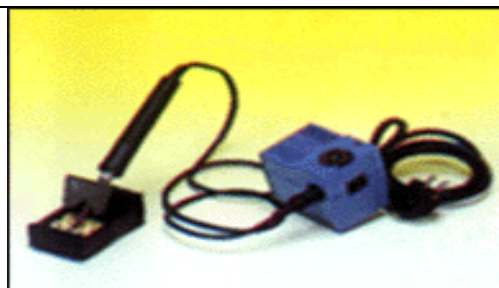


圖：金屬鑷子

(2) 焊接工具：抗靜電的普通電烙鐵、專用溫控烙鐵、可以去焊(吸走被溶化的焊接劑)的真空吸錫器等。



圖：吸錫器



圖：溫控烙鐵

(3) 防靜電器材：防靜電複合橡膠席、防靜電手環等。



圖：防靜電複合橡膠席



圖：防靜電手環

(4) 外觀檢查設備：以放大鏡、光學顯微鏡的形貌觀察照相設備為主。如下圖：



圖：連監視器與彩色印表機之光學放大鏡量測系統

(5) 機械量測設備：帶表卡尺、數顯卡尺、針規、千分尺、投影儀、高度計、厚薄規、數位式力度計、電子磅、線材延長性測試儀。



圖：數字式力度計與可控速升降座



圖：光學投影儀

(6) 電性能量測設備：萬用表、示波器、LCR 測試儀、信號發生器、網路分析儀、耐壓測試儀、高阻計、電晶體特性圖示儀及 BEL 其他根據需求選配或選用適用於測試產品功能、性能的設備。

(7) 其他分析設備和輔助設備：X-RAY 照相設備、X-RAY 即時檢測系統、IR 回流爐、高低溫衝擊溫度試驗箱、恆溫恆濕箱、溫控錫爐、切割機、研磨機、CMI、電腦等。部分如下圖所示：



圖：X-RAY 照相設備



圖：X-RAY 即時檢測系統之主要部件（無損檢測物件接受 X-RAY 照射部位）



圖：電動研磨機



圖：電動切割機



圖：臺式虎鉗（帶剪切刀具）



圖：IR 爐



圖：可編程高低溫衝擊箱



圖：恒溫恒濕環境試驗箱

2.8 量測系統與資料收集

量測系統是產品失效的一個風險來源，資料收集是進行失效分析的條件之一。

在正常生產與失效分析時，我們會應用合適的儀器與量測方法對產品進行一系列的測試。這就構成了量測系統。量測結果所反映的一些數值和測試時不尋常的環境事件以及其他觀察到的情況就是我們所要的資料。所以，為了使產品正確被評估或資料取得的準確性與方便性，需留意以下幾點：

- 被測量的參數是什麼？為什麼？
 - 瞭解你試圖評估的是什麼，確定受測物的特性(值)，以提供客觀的決策依據。
 - 資料的型態（計量與計數型）為何？
- 目前有量測哪些項目？這些項目幫助你決策是否適當或足夠？
 - 例如，對於含有 L、C 電路的某些產品，生產時曾有僅有用通路測試而未用 C-Test 來測試 OPEN。結果自然強差人意。
 - 沒有完全理解客戶要求，或因生產任務緊而漏測某些項目。
- 資料是如何收集的？由誰收集？
 - 收集是否容易，且可以快速地將資料用合適的載體儲存與處理（電腦存檔或直接影印）。
 - 小組成員必須同意採用一致的收集方法。
- 如何得知量測系統是可靠的？
 - 有否用量測系統分析（MSA）驗證作業上的定義。
 - 計量器具是否合格且在校正期限內。
 - 測試夾具是否合格。
 - 樣本數是否足夠。
 - 操作人員是否合格。
 - 是否有正確的操作指引且被操作人員遵循。
 - 機器可靠度是否符合要求。
 - 電腦輔助自動測試程式是否正確，其編譯、發行、使用與維護

- 是否遵守一定的程式^①。
- 如何分析資料？
 - 如何分析與展示資料，有否使用恰當的工具^②。
 - 如何探尋變數間的關係。
 - 如何適切地處理幹擾訊息。
 - 如何溝通資料所顯示的結果？
 - 是否快速地將問題告知相關人員，如制程問題應及時通知 Process Owners。

^① Bel 生產中幾次發現漏測針腳問題，造成不合格產品誤判成合格且流至客戶處，遭客戶投訴。

^② 當今業界較常見的如：適於中級應用的 Minitab，適於高級應用的 SAS。

第 3 章

失效模式與失效機理分析舉例

第 3 章 失效模式與失效機理分析舉例

在正式討論 Bel 產品常見失效問題前，先介紹兩個例子，以求能對所有接觸失效分析的人員有一個啓發的作用。

例 1 軟性失誤：

英代爾公司的客戶發現，有些記憶體會突然失去作用，但過一會兒通常又會自動恢復。這有些離奇，無法解釋。英代爾公司每天開會，面臨極大壓力。當時的英代爾公司的總裁對此現象十分好奇，有次開會他半開玩笑地預：“這些產品失去作用好象是”軟性失誤”，無規則可循，時斷時續，讓我想起宇宙線”。沒有人會異想天開，將宇宙線和記憶體失去作用扯在一起。但當時已無計可施，還是做了一些實驗。結果，證明這就是癥結所在。一旦清楚了原因，要找出解決方案就相當容易：那就是避免在封裝內留有任何會產生輻射的材料。

例 2 對香草霜淇淋過敏的汽車：

通用汽車的總裁 Pontiac 收到了一封由客戶服務組轉來的抱怨信函，內容一開頭如下：“雖然這是我第二次寫這封信投訴你們公司，但我並打算責怪你們沒有及時回答我。也許你們會覺得匪夷所思，也許你們甚至會認為我只是個變態的瘋子，但經過一再的試驗和思考，我幾乎可以確信，我買到的這一型車對香草霜淇淋過敏。”接著說明他每天都會開車到附近的霜淇淋店買一整桶霜淇淋。奇怪的是，平常從不無故熄火的車子，在買完芒果霜淇淋或草莓霜淇淋都能正常發動，但只要一買香草霜淇淋，車子就必定發不動。最奇怪的是，只要修車廠的人一來，車子就一定又恢復正常。經過多次試驗，仍舊如此。

看過這封信的人大都一笑置之。但 Pontiac 仍然派了一個工程師跟進。這個工程師試坐了三次，車子果然有顧客所投訴的問題——買香草霜淇淋，車子就不能正常發動。

這個工程師開始調查，他記下了所有需要的資料：time of day, type of gas used, time to drive back and forth 等等。終於，他找到了線索，原來，因為香草霜淇淋比較受大眾歡迎，在店裏擺得離櫃檯近，因此即使是一次買一整桶，也只會耽誤幾分鐘，而其他品種的則需要多一點時間，這裏存在一個時間差。正是在這一較短時間內，那部汽車的點火系統因為存在某種氣體來不及散去，且發動機氣缸冷卻不夠因此便無法點火啓動引擎；相對之下，整桶的芒果霜淇淋因為較少人買，店員必須到後面去拿，這段多出來的時間，便足以讓引擎恢復正常。這也是為什麼，每次修車廠的人來了，車子就已經好了。

這是兩個經典案例，寫在這裏只是想說明：

- ☞ 問題是層出不窮的，不可能的事往往有可能發生。
- ☞ 只有掌握了正確處理問題的方法，才有可能找到並解決問題。
- ☞ 經驗總有其局限性。












聯繫 2.1.3.2 失效模式和機理與生產年代、使用環境的關係，今天所見到的一些失效，在明天可能因為工業的發展與系統的改變而蕩然無存。所以，本章仍然借事例闡述分析問題的方法。當然，對於 Bel 生產中發生的一些質量問題，因產品的多樣性，因應不同的材料、製造過程、工藝條件、產品使用條件而有不同種類與程度的失效，詳細記錄、整理成文

是必須的。但需要指出的是，這是一個動態的文件，要持續不斷的審查、修改與更新。所以，將另編成冊而不在此參考手冊之內。

3.1 故障樹分析法（FTA）與舉例

根據一定的邏輯，利用數學圖論中樹的概念和電腦的演算法符號列明與失效發生有關的所有可能原因，並把分析物件的過程或結果形象地表現出來的一種方法即是故障樹分析法。

FTA 法的符號：

符 號	名 稱、意 義
	頂端事件 表示有待分析的事件，位元於故障樹的最上端
	基本事件 是無需進一步展開的失效的初始原因。它意味著已經達到適當的分解極限。
	省略事件 雖然可以展開，但因缺乏與該事件有關的資訊、或對事件本身推論不夠透徹、或再展開意義不大而不再展開的事件
	正常事件 雖會經常發生，但不是失效事件，是正常現象，不再展開。
	條件事件 用來加於邏輯門的條件或限制、當輸入事件滿足此條件時，輸出事件才能發生。
	“與”門 表示只有當所有輸入事件（原因、因素或現象）同時發生時，才能發生輸出事件。
	“或”門 表示在所有輸入事件中，只要有一個發生，輸出事件就能發生。
	“禁”門或“制約”門 是與門的一種特殊情況。輸出是由單個輸入引起，在輸入產生和輸出之前，必須滿足某種適當的條件。
	“異一或”門 是或門的一種特殊情況。只有當輸入的單個事件發生時才發生；反之，當兩個事件同時輸入或同時不輸入，則輸出事件都不發生。
	“非”門 表示輸出事件是輸入事件的逆事件。
	“轉入”“與”“轉出” 兩個符號成對，並與事件符號結合使用。在有豎線的三角形下方展開的 FT 分支，即轉入分支；在有橫線的三角形下方展開的分支，即轉出分支。在成對的三角形內注明相同編號以便識別

FT 圖繪製完以後，有時由於在樹中不同位置存在相同的基本事件，如不經化簡處理，在進行定性分析時就會造成分析錯誤。所以，需用到布林代數（邏輯代數）進行運算。同時，在 FTA 中需要尋求最小割集^①與最小路集^②，用以發現產品系統的薄弱環節或最關鍵部分，從而集中力量對指出的關鍵部分進行改善。這些，請參考相關叢書。

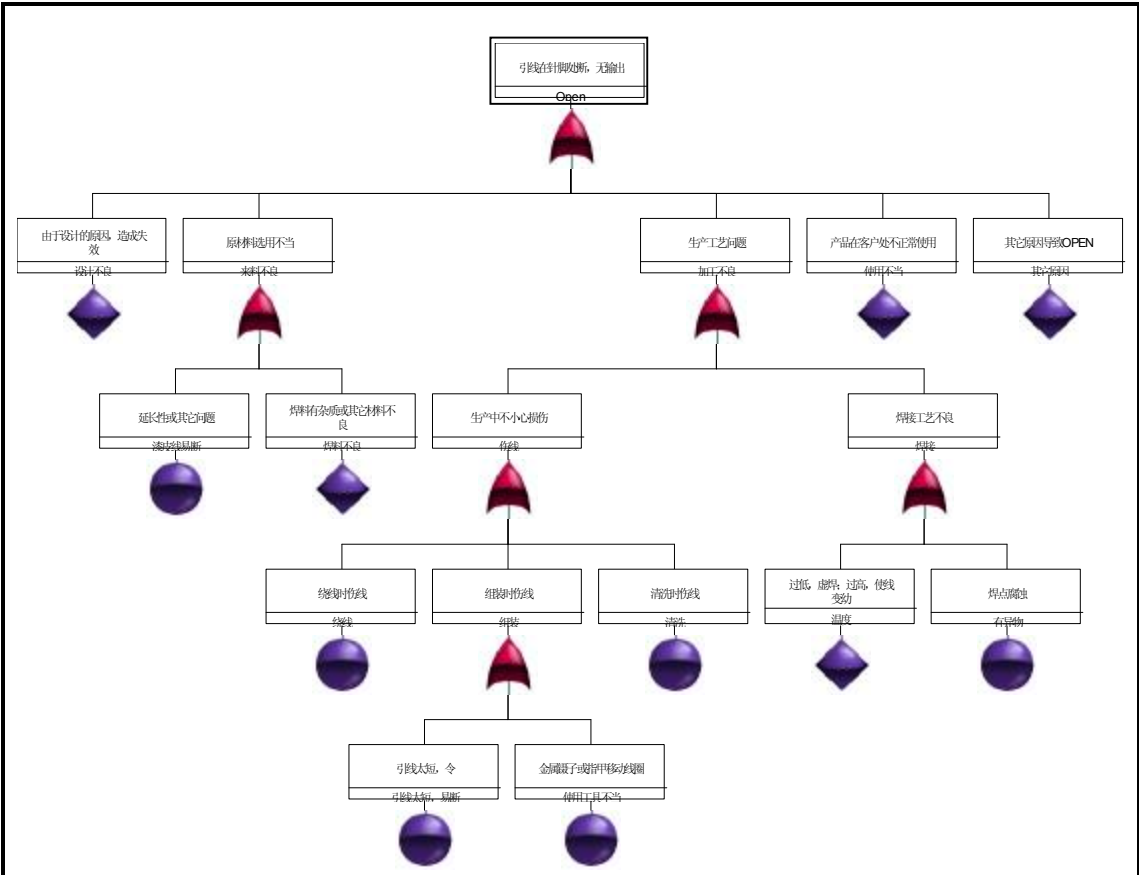
以下是幾個用 FTA 分析失效的簡單例子：

Subject:	Fault Tree Analysis for Magnetic Hi-Pot	Author:	Jason Chow
----------	---	---------	----------------------------



^① 設 FT 中有 n 個基本事件 x_1, x_2, \dots, x_n ，其中某些事件組成的集合為 $C = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ ，當 C 的全部基本事件都發生時，頂端事件必然發生，則稱 C 是該故障事的一個割集，倘若 C 中任意去掉一個基本事後就不是割集，則稱 C 是最小割集。

^② 設 $D = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ 是一些基本事件所組成的集合，當 D 中每一個基本事件都不發生時，頂端事件才不發生，則稱 D 為一個路集，倘若 D 中任意去掉一個基本事件後就不是路集，則稱 D 是最小路集。



ftdesc

引線在針腳處斷，無輸出
 由於設計的原因，造成失效
 原材料選用不當
 生產工藝問題
 產品在客戶處不正常使用
 其他原因導致 OPEN
 延長性或其他問題
 焊料有雜質或其他材料不良
 生產中不小心損傷
 焊接工藝不良
 繞線時傷線
 組裝時傷線
 清洗時傷線
 過低，虛焊；過高，使線變幼
 焊點腐蝕
 引線太短，組裝時拉得太緊
 金屬鑷子或指甲移動線圈

ftname

Open
 設計不良
 來料不良
 加工不良
 使用不當
 其他原因
 其他原因
 漆皮線易斷
 焊料不良
 傷線
 焊接
 繞線
 組裝
 清洗
 溫度
 有異物
 引線太短，易斷
 使用工具不當

Ftparent

Open
 Open
 Open
 Open
 Open
 Open
 來料不良
 來料不良
 加工不良
 加工不良
 傷線
 傷線
 傷線
 焊接
 焊接
 組裝
 組裝

3.2 失效模式與後果分析法（FMEA）與舉例

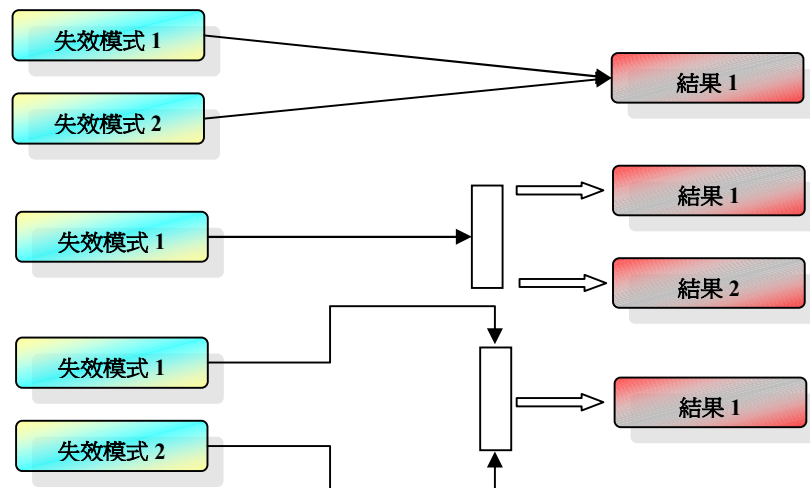
採用對系統逐層解剖的方式，從元件可能發生的失效對一上層次造成的影響，再從部件的功能障礙對產品系統的影響這進行分析即是 FMEA。

其主要指導原則為：找出產品或制程可能失敗的方式並排除或降低失效的風險。



D.H Stamatis, FMEA:FMEA from Theory to Practice, Quality Press,1995

有許多因素導致產品失效，但失效模式與結果的關係不一定是 1-對-1 的關係。



採用 FMEA 分析法需要滿足以下四點：

- A) 熟識產品制程圖（Process Map），
- B) 熟練運用因果矩陣圖（C&E Matrix）^①，
- C) 詳盡瞭解制程的歷史記錄（Quality Record）
- D) 通曉制程技術方面的程式（WKIC）。

以上四點是 FMEA 的輸入，通過這些輸入並對其分析，找出制程管制

^① 這是一個簡單的 QFD(Quality Function Deployment)矩陣，使用制程圖為主要的資料來源，將關鍵輸入與輸出排在一起並依輸出變數對客戶的重要程度與輸出變數與輸入變數間的相關性對關鍵輸出與關鍵輸入分別進行打分，為 FMEA 及管制計畫的分析基礎。

中計畫不足的地方、評估其風險。然後，

E) 列出預防原因發生或偵測失效模式的改善行動，即為 FMEA 的輸出結果。

有關 FMEA 方法及實例，請參考 Bel 相關程式與 FMEA 系列文件。

下表從 BelMag FMEA 中摘錄而來，為 ICM 生產中常見的一些失效模式與失效機理之舉例（已略去嚴重性、發生頻率與偵測能力等）。

表：BelMag 主要工序與常見失效

工序名稱	成品失效模式	失效機理或原因	常見解決辦法
線材準備	回饋損耗不良	雙絞線絞線數目錯	將設備設定正確
			生產中加強抽檢
磁環準備	OCL 不良	用錯磁環	加強控制
磁環繞線	Short	繞線時刮傷線皮	檢查磁環材料
	Hi-Pot Failure		檢查繞線力度與手法
	OCL 不良	繞線數目錯	加強抽檢與控制
	IL/RL Failure	線分佈不均勻或缺口角度不適當	加強控制
抽頭浸錫	OPEN	浸錫長度不夠	檢查調整夾具
		焊錫溫度不夠致潤濕性不良	檢查調整焊錫溫度或檢查漆皮線來料
		線材漆皮難熔	
磁環組裝	Open/DCR	上錫圈數不夠或焊錫位物理化學性能不良	加強工藝控制與檢查來料
	Short	裸線過長致連線、撲膠量太少或擺放磁環時線材受損	加強控制
	Hi-Pot Failure		
	Phase	接錯線	
Contact Base	產品可靠性不良（如接觸電阻過大）	不適當的衝壓速度與力度、產品擺放不當致變形	加強抽檢與設立外觀輔助圖
		露銅	加強抽檢與檢修模具
	接觸針變形	模具磨損致產品有毛刺	
貼片	焊接不良	印刷錫漿不良	加強控制
	無功能或功能不良	錯漏零件	
		零件擺放傾斜	
再流焊	Open	熱應力與 PCB 彎曲等機械應力致電容開裂	加強來料與工藝控制
		熔融錫表面張力致元件立碑或錯位	
	Short	溫度曲線不正確致飛錫成珠	
		錫漿中焊劑過多或有水蒸汽，高溫時產生錫珠	
PCB 分板	裝配不良	刀具磨損或機器異常	加強抽檢
LED 成型	成品尺寸超標	LED 擺放不當致切腳長度超標準	加強抽檢
成品組裝	Open	焊接溫度不夠	加強檢控
	Short	焊接不良	
	LED 錯相位	操作工裝反或來料有誤	設外觀輔助圖或檢查來料
	遮罩罩鬆動	機器異常或模具磨損	設外觀輔助圖與檢修機器或模具

3.3 實驗設計 (DOE) ①

生產是一個過程。由於輸入的變化、各種幹擾因素的影響以及各波動源之間可能存在的交互作用，使得作為過程結果的產品可能失效。究竟是哪些因素顯著地影響到輸出的波動？在什麼條件下輸出能夠控制在理想的範圍內？實驗設計可以幫助我們解開其中之謎。

實驗設計是以概率論與數理統計為理論基礎，經濟地、科學地制定實驗方案以便對實驗資料進行有效的統計分析的數學理論和方法。即通過一系列有系統的測試，在其中直接操縱不同輸入變數並觀察其對輸出變數的影響。一個設計良好的實驗除了你要測試的原因，排除你所有可能的原因。

人們在實驗中發現，環境條件難於嚴格控制，隨機誤差不可忽視，故提出對實驗方案必須作合理的安排，使實驗資料有合適的數學模型，以減少隨機誤差的影響，從而提高實驗結論的精度和可靠度，這就是實驗設計的基本思想。

實驗設計過程可以分成實驗方案的設計和實驗結果的資料分析兩部分。實驗方案的設計包括確定實驗指標、選取因素、確定因素水平、建立實驗指標的數學模型和設計實驗方案。實驗設計的方法類型很多，但為了提高實驗的準確性和可靠性，都必須遵循三個基本原則：隨機化原則、重複原則和局部控制原則。實驗結果的資料分析是應用線性代數、概率論和數理統計等數學工具對實驗資料進行分析處理，包括擬合模型、對模型的檢驗、實驗統計量的計算以及對實驗經過的解釋等。

在實際應用中，實驗設計可以解決如下問題：

- ☞ 找出材料的變異對產品可靠度的影響。
- ☞ 找出關鍵制程的變異來源，從眾多的影響因素中找出影響輸出的主要因素。
- ☞ 找出較便宜的材料對產品的表現的影響。
- ☞ 找出作業員的不同的產品的影響。
- ☞ 找出制程輸入與產品特性間的因果關係。
- ☞ 分析影響因素之間交互作用影響的大小。
- ☞ 找出較優的參數組合，並通過對實驗結果的分析、比較，找出達到最優化方案進一步實驗的方向。
- ☞ 對最佳方案的輸出值進行預測。

實驗設計中你必須確認一系列輸出且確認試驗永遠是需要的。

但在實驗中，可能弄錯：

- ☞ 因數的水準可能太窄擠在一起或分開太遠。
- ☞ 非隨機的實驗可能造成假的結果。
- ☞ 樣本大小可能太小。
- ☞ 量測系統可能能力不足。
- ☞ 沒作初步試驗 (Pilot run)：因缺乏紀律實驗可能很緊張或搞砸了。
- ☞ 驗證結果的確認試驗 (Confirmation run) 沒做。

① 請參考《實驗設計與分析》，(美) D.C.蒙哥馬利著；汪仁官等譯，北京：中國統計出版社，1998
該書是一本論述實驗設計與分析的入門教科書，內容包括實驗設計原理和概念、簡單比較實驗、方差分析、區組設計、析因設計、套設計和分級設計、回歸分析、回應曲面等。該書用實例、圖形和表格來說明重要的概念、方法和結果。

- ☞ 資料和/或實驗單元(Experimental unit)遺失。
- ☞ 量測系統沒有量出你想要的東西。

當然，DOE 作為一個積極的工具，沒有所謂壞的實驗，只有不佳的設計或執行。同時切記，並非每一個實驗都會產生石破天驚的發現，但你總會學到一些事情，而且，新的資料促使問新的問題並產生後繼的研究。

相對於其他 QC 工具來說，DOE 是一個比較艱深的課題，下面，只是借 DOE 的思想與方法，作實驗以分析厚膜片式電阻器開路失效的原因，以供參考。

厚膜片式電阻器開路失效分析

一、厚膜片式電阻器開路失效現象

電阻器於 240~250℃ 溫度下 3~5 秒波峰焊後開路失效，將開路失效電阻器放在 40x 放大鏡下觀察，可見電阻器端頭電極附近新錫飽滿，二次保護玻璃（OG2）與表面電極接合處的一側，露出一條只見陶瓷基片的細縫通道，即電阻器開路，而另一側接合良好，見圖 1。

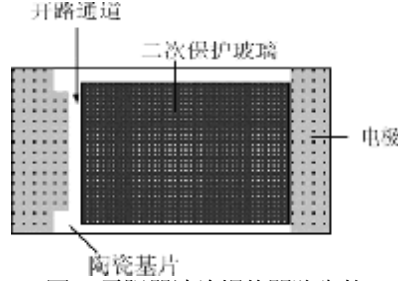


圖 1 電阻器波峰焊後開路失效

二、典型對比實驗

1. 實驗一

按印燒內電極→印燒電阻→印燒一次保護玻璃（OG1）→端銀→燒銀→折粒→電鍍鎳→電鍍錫生產工藝流程生產電阻器，電阻器表面的一次保護玻璃在鍍錫前尚完好，但鍍錫後卻由於不耐酸而被腐蝕掉，所生產電阻器耐焊試驗（250℃，10 秒）時電阻器兩側均沿電阻體邊緣開路，電阻體獨立於基片中心，見圖 2。

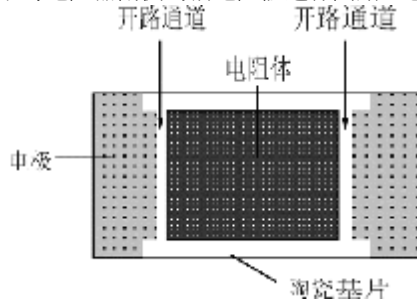


圖 2 未電鍍產品耐焊試驗後開路失效

2. 實驗二

按實驗一工藝流程，將印燒一次保護玻璃（OG1）改為印燒二次保護玻璃（OG2），所生產之電阻器外觀正常，耐焊試驗合格，沒有開路失效現象。

3. 實驗三

取沒有電鍍過的電阻器做耐焊試驗，電阻器端頭電極完全被“吃掉”，表明電阻器內電極不耐焊。

三、厚膜片式電阻器開路失效原因

仔細檢查生產電阻器的每一個環節，發現有二次保護玻璃因偏位而沒有完全覆蓋一次保護玻璃現象，在電極的一端露出一小邊一次保護玻璃，見圖 3。

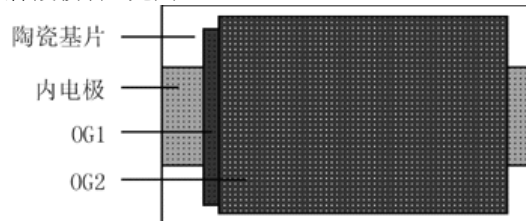


圖 3 電阻器二次保護玻璃偏位

綜合所觀察到的現象和對比實驗可知，電阻器在中性鍍鎳時由於玻璃阻隔，露在二次保護玻璃外被一次保護玻璃覆蓋下的一小邊內電極沒有鍍上鎳，但在酸性鍍錫時卻由於一次保護玻璃被酸腐蝕掉，從而鍍上了一層薄薄的錫，在耐焊試驗或波峰焊時該小邊鍍了錫的電極因沒鍍上鎳不耐焊而被“吃掉”，形成開路通道，導致了電阻器開路失效。

四、改進方法和補救措施

按如下改進方法生產厚膜片式電阻器，保證了產品質量，杜絕了開路失效問題。

- (1) 選用耐酸腐蝕配方的一次保護玻璃。
- (2) 一方面改進玻璃印刷絲網圖案，將一次保護玻璃圖案長度縮短些，二次保護玻璃圖案長度相應增長些；另一方面，嚴格控制工藝操作，保護印刷時一次保護玻璃不露出在外。
- (3) 原工藝生產的電阻器採取補救措施，再電鍍一次鎳和一次錫，解決了開路失效問題。

3.4 模糊評估綜合分析

模糊評估綜合分析技術，就是對產品失效全面測試分析之前，依據失效分析員的知識和經驗，憑自己的直感判斷大致地、模模糊糊地提出失效原因，確定詳細分析程式與方法；或全面測試分析之後，大致地提出失效原因進而驗證，再確定失效分析報告結論與措施的分析技術。

估量與猜測是失效模糊評估綜合分析技術的核心。從統計觀點看，有時我們無法確定單個元素的狀態，但是可以確定多個元素群體活動的狀態。通過分析員的經驗與知識，運用腦力風暴法從這一群體活動狀態上模模糊糊提出其影響因素，並分析進而找到起決定的單個因素就比較容易。這與實驗分析有類似，但跟下來並不僅限於設計具體的實驗去驗證，而是綜合運用以上所介紹的多種方法，分析並判定真正的失效原因。

所以，相對於 FTA、FMEA、DOE，這是失效分析員應用最多的一種集大成分析。當然，在堅持有關失效分析原則下，具體如何應用，就是運用之妙，存乎一心了。

請參考下例 DC-DC Converter 失效分析：

DC-DC Converter 失效分析

一、現狀：

DC-DC Converter 生產時壞品率過高，從生產線取 50 pcs 壞品進行分析。

二、分析；

1· 測試

用配套儀器測試，結果如下：

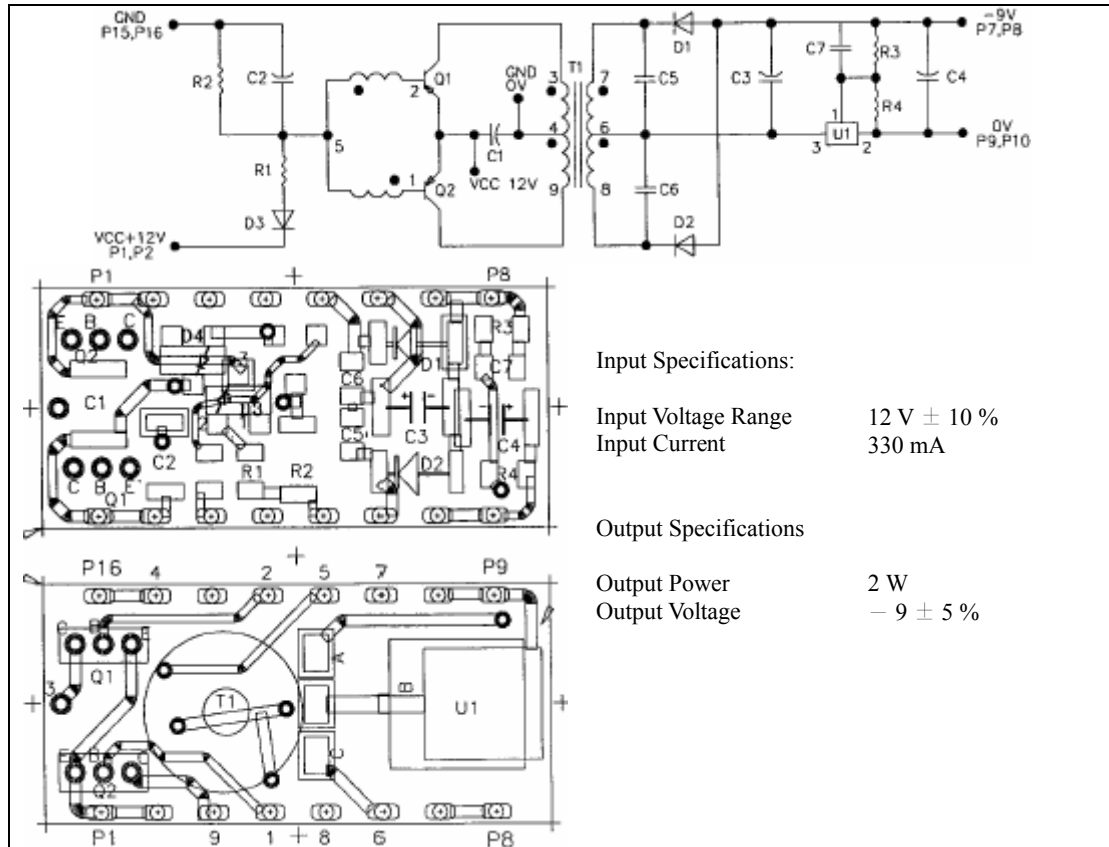
A 類：輸入端壓降 < 6V 30 pcs

B 類：輸入端壓降 $6V < V_{in} < 8V$ 14 pcs

A 類：輸入端無壓降 (=12V)，但輸出電壓為零 6 pcs

A、B 類 (Short) 為主要問題，占全部問題的 88%，需重點解決。

2· 從線路圖分析，造成上述現象之短路問題，原因在次級，即 T1 變換後之部分。



Input Specifications:

Input Voltage Range 12 V ± 10 %
 Input Current 330 mA

Output Specifications

Output Power 2 W
 Output Voltage - 9 ± 5 %

而次級中，最有可能損壞的是 C3。因為 C3 耐壓是 10V，而 T1 是升壓的，從 D1、D2 出來的脈衝形成直流電，其峰值高於 12V，若 C3 質量不好而承受不了，就會被擊穿或至容阻變小而短路。

3· 為了證實此分析，用拆開壞品的方法測試，但因塑封後，無法完整地拆開，只拆有三只是 C3 完整的及從線上找到 1pc 沒塑封的 Short 壞品。經測試均是 C3 損壞（短路）。用另一個辦法驗證：從圖紙上看，C3 兩極，一端接 P7、P8，另一端接 P6。測試這兩腳，若正向電阻約等於 D1、D2 之正向電阻，反向電阻 $R3+R4+U1$ (內阻)，則表明 C3 是好的，反之則是壞的（也有可能是 D1、D2 或 C7、U1 同時損壞，但從拆開的壞品中，無此問題發生）。磨開 10 pcs 壞品及 1 pcs 合格的 P6 腳，用此方法測試，得到證實。

4· 用 12V 電壓測試單個 C3 型電容，發現正向充電後測試 1/10 只壞，反向充電後測試 5/9 只壞，而此 6 只壞品中，2 只為短路，2 只容阻小，為 < 8kΩ，屬 A 類問題，另 2 只容阻偏小，介於 20 至 50kΩ。而耐壓為 16V 以上的電容，則無此現象。

三、結論

C3 型電容質量不穩定，耐壓不夠而導致上述 A、B 類問題發生。

四、改善辦法：

1· 要求現有供應商提供品質穩定之電容

2· 從倉存中選用耐壓略高的電容。

3· 組裝前篩選一遍，用 12V 電壓正、反分別測試，淘汰其被擊穿者。（或者只用 15V 正向測試）。

3.5 失效分析之階段性

在討論失效分析之階段性前先略為總結引線斷裂現象之主要失效機理：

引線斷裂的主要失效機理有兩類。其一是化學腐蝕，其二是機械損傷、疲勞斷裂。在化學腐蝕類型中又可以再細劃分成小孔腐蝕、應力腐蝕、機械應力加速腐蝕等。

☞ 應力腐蝕：

應力腐蝕斷裂斷口，在光學顯微鏡下，可以見到紅色的銅，這表明該斷裂是在焊錫後產生。由於應力腐蝕由小孔腐蝕或表面缺陷處的裂源區開始擴展裂紋，直至由於引線截面積減小。引線承受不了外力斷裂為止。

☞ 鍍層質量問題：

由於鍍層不完整、不緻密，與基體結合強度差等原因，會使鍍層起皮或脫落。鍍層起皮或脫落使基體失去保護層而引起引線基體銹蝕，最後導致斷裂。

☞ 製造加工時的工藝質量問題：

製造加工時的機械損傷，在 Bel 是引線斷裂的主要原因。如果是工藝的不合理性引起的損傷，還可能是批次性問題。舉操作工用手指甲或金屬鑷子移動線圈為例，此問題自開廠至今，長期困擾生產。

判斷引線斷裂部位與時間也有小技巧，例如，一個線圈斷路，到底是在線圈內部斷還是在針腳焊接處斷，可以用測試電容的方法測試相同型號的線圈以得知大致位置。在焊接處可以通過觀察斷口表面是否有錫，知道其斷裂大致時間是生產時還是生產後。

通過以上這個失效機理之探討，細心的你或許會發現：某些分析好像已經超出了你的工作範疇？

聯繫 2.2.3 失效分析人員應具有的素質，我認為，一個完整的分析過程，如果單靠某一個失效分析者或某一部門完成是很困難的。

上例中應力腐蝕與電化學腐蝕以及 FTA 法中材料問題，如果我們非要打破砂鍋問到底，可能的話，應儘量將其轉至另一個層次或階段，由相關人員分析。




如線圈加上 DC Bias 後電感值降低 (Low OCL)，應為磁環來料問題。如果分析人員進一步從磁性材料的基本磁性能如磁化曲線、磁滯回線、飽和磁感應強度 B_s 、剩磁 B_r 、矯頑力 H_c 、功率損耗、磁滯回線的形狀和最大磁能積、磁各向異性與磁致伸縮性等來調查，則可能吃虧不討好。

又如變壓器 Hi-Pot 失效，分析結果為 Bobbin 繞線槽有披鋒刮傷線，為來料問題。有人認為，如果失效分析人員明知其失效比例已經超過 Bel 進料 AQL，又繼續去分析其塑膠模腔與失效之關係、披鋒產生之原因則無端浪費了 Bel 的資源。我是持這種觀點中的一個。

至如 3.3 所示之 DOE 法，自然無設計、生產人員幫忙則無法完成。

所以，失效分析應分階段進行，如下表所示。

表：失效分析工作階段劃分：

由失效分析員完成		由失效分析員與外部相關人員完成		
階段 1	階段 2	階段 3		
定義失效模式	定義失效部位	分析失效機理		
階段 4				
改善建議				
Open Short DCR HI-Pot IR RL	借助外觀與功能 檢測工具確定失 效部位		基本事件： 設計問題 工藝問題 材料問題 使用不當	更改設計 更改材料 更改工藝
			由外部相關人員（外 部工程師或供應商） 展開事件： 設計問題 材料問題	
 <p>6 Sigma DMAIC 流程圖</p>		由失效分析員完成		
		由失效分析員與外部 相關人員共同完成		

有關 Bel 產品失效模式與機理之匯總手冊，在多方的合作下，將儘快出版。在該匯總手冊出版之前，若想瞭解有關例子，請參考各部門之失效分析記錄。

再次重複：

失效分析除前面所介紹的理論性的原則與方法外，最主要的是熟識產品工藝流程與需要大量的動手試驗。實踐出真知，動手多了，最終會得心應手。

第 4 章

失效分析報告

第 4 章 失效分析報告

4.1 失效分析報告內容

對失效分析報告的要求。主要有：

記錄內容：

- a) 失效件來源；
- b) 引起失效或觀察到缺陷的試驗或操作；
- c) 以往的試驗或篩選歷史；
- d) 接收日期；
- e) 處理情況(接收前和接收時)；
- f) 完成失效分析日期；
- g) 分析小組名稱；
- h) 分析後器件的處置情況；

分析內容：

- a) 失效或缺陷的性質(模式)；
- b) 失效或缺陷的驗證；
- c) 分析期間發現的任何器件異常的性質(失效或缺陷機理)；
- d) 可能的話，指出失效的原因；
- e) 闡述在有關批或器件觀察的各種失效模式或缺陷模式的關係；
- f) 提出可採取的糾正措施。

過往實踐經驗表明，完整的(理想的)失效分析報告應由三大部分組成：第一部分，產品失效分析委託單，主要講失效的背景。由委託人填寫。

第二部分，產品失效分析主報告，主要講失效分析過程和結論。由失效分析實施人編寫。

第三部分，失效件失效分析反饋單，主要講分析結論的應用和效果。以委託人填寫為主，以試驗為證。

這三個部分聯繫密切，一環扣一環，從委託單開始，經失效分析主報告到反饋單組成一次迴圈。一次成功的失效分析，可能需要多次迴圈。這種迴圈不是簡單的重複，而是以戴明環為基礎的螺旋式上升。如果一次迴圈完成，又回到原來的起點，即失效重複或再次發生，就不能算是一次非常成功的失效分析，多次的快速的失效分析迴圈，可以帶來巨大的經濟效益。當然，首先要考慮失效分析的正確性，但也不可忽視失效分析委託單的正確性和依據失效分析結論做的改進和試驗的正確性。

在失效分析的實踐中，常見到第一部分的委託單填寫不完整，影響分析進度和質量的情況。更多的是出現第三部分失效分析效果反饋單與第二部分失效分析結論脫節，失效分析報告一分發各相關部門後就束之高閣。這些問題，與對失效分析的認識、失效分析的管理要求和操作的方便程度等因素有關。

所謂認識，是認為失效分析麻煩、是多此一舉。產品壞了，換上好的不就行了。如 BEL 某些供應商有時用換貨的方法來處理失效產品。萬不得已下，這不失為一個保證生產正常的方法，但大量事實說明，換上好的往往不行。原因之一，好的未必真好。具有批次問題的失效件，換上後還要再次失效。原因之二，具有設計缺陷的整機或系統，可以再次引

起好的產品失效。

所謂管理要求，是講生產時規定的嚴密性和檢查經常性。例如，為防止隨意更換元件，在元件發料時規定按配套表數量加定量的備份數量發放。成品完成後，收回餘下數量，既防止成為下次生產時或出貨時的自由替換品，也防止因保管不良造成產品損傷或丟失。如有缺少，寫出書面說明。如 RAR-01-254，因管理不善，兩種不同產品以同一品種（0812-1X1T-03）出貨至客戶，直至客戶投訴罰款才知，在此之前，無人知曉。

所謂操作方便，是說委託單、失效分析報告、反饋說明等應做到標準化、格式化、示範化。否則，雖然一張白紙，沒有負擔，但是無從下筆有之、掛一漏萬有之。

1. 委託單的內容

產品失效分析委託單，主要講失效的背景。由委託人填寫。

產品失效分析人員在收到失效件的同時，應該收到書面的產品失效分析委託單。主要內容是：

(a) 試驗條件。包括使失效件失效的試驗或應用類型，使用時間、溫度及其它應力條件。一些具體的項目是：失效地點、溫度、濕度、電氣、力學環境等。

(b) 系統條件：包括失效件在成品、設備中失效的確切位置、失效件開始在設備中使用的日期、首次記錄到缺陷的試驗，取出失效件時注意到的任何異常環境條件及有關係統的全部異常情況、設備異常的徵兆。一些具體的項目是：產品名稱、設計單位、生產單位。必要時要有設計檔、電路原理圖、實際電路圖(或局部單元圖)、印製板佈局圖。很多時候，產品在客方失效只是因為我們的成品作為元件放在客方的產品系統中（如電腦主板）令到其無功能或功能不良。所以，詳細瞭解這些可以方便我們做快速正確的分析。

(c) 一般資訊。包括失效件的產品名稱、型號規格、(供應商)名稱和編號、日期代碼(批次號)。

(a)、(b)兩項主要見於生產過程中失效分析，具體針對來料與工序，(c)項常見於客戶投訴失效分析，他們一般不會詳細提供失效模式與作業環境與條件。有經驗的失效分析人員在分析客戶投訴產品時，會主動通過適當的渠道向客戶詢問產品失效的試驗條件或系統條件。

2. 失效分析主報告

失效分析主報告主要講失效分析過程和結論。這個報告是失效分析的主體，由失效分析人員完成編寫。由於過去並不十分看重失效分析委託單和失效分析反饋單，或者由於失效分析人員已經將委託單和反饋單的內容編寫在失效分析主報告之中，因此失效分析主報告通常稱為失效分析報告。

由於失效分析的要求不同，失效分析的物件不同，失效分析的複雜程度和工作難度可以很不相同。實際的失效分析過程，時間有長有短，內容有多有少。需要寫入失效分析報告的主要內容是：簡要地說明實施每一步的考慮，簡要地指出所用方法的來源和原理，簡要地描述失效分析

的實際步驟和操作方法。

失效分析主報告的重要內容之一是失效分析結論。

失效分析結論的要點是：

- a) 確認的解剖前失效模式。
- b) 報告失效部位。
- c) 簡述失效機理。
- d) 判定失效性質。
- e) 估計失效模式發生概率和危害性。
- f) 提出處理建議。
- g) 提出防止再發生措施。

4.2 失效分析報告格式

失效分析報告格式表達基本的專業理論和實驗結論，應簡明扼要，有邏輯性。失效分析報告強調的是調查、取證、明確模式、明確失效機理、提出處理建議。就明確失效機理來說，大部分的內容是尋找失效痕跡和特徵，在得到痕跡和特徵後，建立失效痕跡和特徵與失效原因的關係。在必要的時候，驗證這種關係是否成立，成立的條件。另外，失效分析報告的內容需要經常使用，快速、準確地檢索出失效產品的批次、同一型號產品發生相同失效的統計等是工程研製中十分關心的問題。在微機時代，檢索的前提是標準化、格式化。這一點，應設獨立於 Bel ROI System 之 Database 以方便查詢（Bel ROI 系統所錄入之資訊不多）。

以下是失效分析報告格式的一些例子。

4.2.1 Bel Return Authorization Request

bel BEL FUSE LTD.

RETURN AUTHORIZATION REQUEST 00-143

TO: [Redacted] DEPT. QA DATE OF REQUEST 10/1/00

FROM: Manufacturing DEPT. Customer Service

CUSTOMER CONTACT Ken Terry - Kenstar PHONE NO. 410 382 870

CUSTOMER NAME GMV CUSTOMER PO # 034-10007

BEL PART NO. ES46-200-24 CUSTOMER P/N 11209021900

QTY TO RETURN 570 pcs QTY OPEN _____

REASON FOR RETURN (IN DETAIL) High temperature when passing
the rollers (see attached reports) (Attached 20 pcs samples)

IF REASON FOR RETURN IS MECHANICAL/ELECTRICAL THE FOLLOWING INFORMATION IS REQUESTED FROM SALES _____

TOTAL OPEN ORDERS FOR THIS PART 269,270

ON HAND JCY _____

ON HAND HK _____ ON HAND MC 21,746

WORK IN PROCESS HK _____ MC 66,400

TOTAL HK _____ MC _____

TOTAL TO MANUFACTURE HK _____ MC _____

TOTAL QUANTITY OF OPEN ORDER FOR ABOVE CUSTOMER PART NUMBER _____

RETURNED APPROVED BY [Signature] DATE 10/2/00

NOT APPROVED BY _____ DATE _____

REASON _____

RETURNED MATERIAL DISPOSITION SHEET NUMBER ISSUED 11007541

REMARKS: 1/2 11/03 1-06 & 1320 -- 11/07/01 Q.C. COPY

4.2.2 Bel Failure Analysis Request Form



8/F., Luk Hop Ind'l Bldg., 8 Luk Hop St., San Po Kong, Kowloon, HK.
Tel : 852 2325 5244 Fax: 852 2352 3706 (General); 2351 5813 (Sales)

Failure Analysis Request

To:	Ms Heidi Yeung	cc:		Date:	09/11/2001
Fm:	Nancy Tay	cc:		Page:	1/1

Fuse Lan Magnetics Telecom Magnetics Delay Lines VAP

Customer :	SCI	Customer Ref. no.:	
Customer P.O.:		Invoice no.:	Not available
Customer P/N:	9135-5177	Bel P/N:	S558-5999-F8

Failure Contents : failed ICT	
Qty. failed :	1246 PCS
No. of sample returned for evaluation:	72
Lot size:	
Summary of failure :	<input type="checkbox"/> Attached
Failed ICT and open	
Reference data attached:	<input type="checkbox"/> Attached
Action requested:	
<input type="checkbox"/> Failure analysis	
<input type="checkbox"/> Failure analysis and countermeasure	

Date of reply:	Comment:
Initial :	
Final :	

Note : Initial response within 48 hours and final response target for 7 - 14 days after

FAR - 9951

4.2.3 Bel Customer Reported Incident Analysis Report

		Customer Reported Incident	
		BEL RAR FILE # : 02-039	
REQUESTER		CUSTOMER CONTACT	
CUSTOMER		CUSTOMER P/N	
BEL P/N	<u>R553-5999-32</u>	REPORTED DATE	
LOT # / DATE CODE(S)		CUSTOMER CAR #:	
		CUSTOMER PO #:	
ABSTRACT (Customer Reported)	<u>Pts Crack After Reflow</u>		
BEL'S ANALYSIS / FINDINGS			
Both of the returned units (2 pcs.) were verified with package crack on the side.			
ROOT CAUSE			
The returned units' construction is of Z-shape construction or upside down. With such construction when the joints were tinned some flux enters the PCB and trapped inside i.e. between the PCB and Dolph coating. When the parts were heated up during the reflow process the flux trapped inside may have caused expansion that resulted to package crack.			
CORRECTIVE ACTION			
<u>SHORT TERM:</u>			
N/A			
<u>LONG TERM:</u>			
Since November 2000, the Z-construction or upside down construction was changed to L-shape or normal construction.			
EFFECTIVE DATE / DATE CODE: <u>November, 2000</u>			
SIGNATURE:			
APPROVED BY:			
(QA Manager)			
DATE:			

“Bel Customer Reported Incident Analysis Report” 報告形式為 BEL 客戶投訴失效分析主報告主要形式，格式固定。從中我們可以得知以下資訊：

- a) 分析單位名稱、入檔編號、報告日期
- b) 報告類別：失效分析報告。

- c) 產品特徵：BEL 產品編號、客戶產品編號、數量、生產批號、其他。
 - d) 要求分析人、客戶聯絡人、客戶名稱、分析人與報告批核人的簽字。
 - e) 分析過程。一般包括失效背景描述、外觀檢驗、電性能測試、x 射線檢查、內部檢查等項目。
 - f) 分析結論。
 - g) 短期和長期改善行動
- 有時候，報告還附有：
- h) 封裝規格和功能圖、電路原理圖、電性能測試資料表、電性能測試曲線、外部形貌正面和背面照片、x 射線照片、內部檢查照片(全貌和失效部位特寫)。

對於公司內部日常生產中之失效分析，則用下頁的格式：

4.2.4 Failure Analysis Report



Failure Analysis Group

ACESSORIOS ELECTRONICOS "BEL FUSE" MACAU LDA

FAILURE ANALYSIS REPORT

To:

CC:

Fm:

Job Number 報告編號:F.A.R.	Date 日期 :
Part Number 產品編號 :	Qty 數量 :
Defect Level 總失效 :	Lot No. 批號 :

1. Failure mode 失效問題:

2. Analysis 分析:

Analysis by 分析人:

坏品稍後寄上

3. Recommendation 建議:

Recommendation by 建議人:

4. Action to be done 採取了什麼行動:(負責部門填此欄)

Expire Date 期限:

Lot NO. started 開始批號:

Issued date 出貨日期:

Responsibler 負責人:

5. Follow up action 改良措施跟進:

CHECKED BY: _____


OK

FAIL

接到此表後, 請於三週內回復(Please answer with in three weeks after getting this FAR)

4.2.5 8-D Report

在分析客投訴時，有時，我們也用到 8-D 報告，其格式與示例分析如下：

 <i>EIGHT-DISCIPLINE WORKSHEET</i>		
SUPPLIER: Belfuse	PART #	DESCRIPTION:
DISCIPLINE 1	INTERNAL MEMBERS	EXTERNAL MEMBERS
START DATE:		
DISCIPLINE 2	DESCRIBE THE PROBLEM	DATE:
DISCIPLINE 3	DESCRIBE THE CAUSE	DATE:
DISCIPLINE 4	CONTAINMENT PLAN	DATE:
DISCIPLINE 5	PERMANENT C/A PLAN	DATE:
DISCIPLINE 6	VERIFICATION OF EFFECTIVENESS	DATE:
DISCIPLINE 7	PREVENT RECURRENCE	DATE:
DISCIPLINE 8	CONGRATULATE YOUR TEAM	DATE:
DATE CLOSED:	QA NO #	8-D #
		CAR #

8-D 報告樣式:

SUPPLIER: Belfuse
PART # 0852-1X1T-03

DISCIPLINE 1 INTERNAL MEMBERS EXTERNAL MEMBERS START DATE:

DISCIPLINE 2 DESCRIBE THE PROBLEM DATE: 9/10/2001

Customer reported that they found:

- A) 3 units – the locking spoon pulling out of the front shield before goods receiving.
- B) Pulling force was larger than 5kg.
- C) 1 unit – the locking spoon pulling out by the customer.

DISCIPLINE 3 DESCRIBE THE CAUSE DATE: 9/10/2001

Bel's Analysis and Findings:

- A. Visual-checked 10000 pieces of our finished goods in our stock, there was no such failure parts of the locking spoon pulling out. All units were in good appearance.
- B. Re-checked 100 units for pulling force test: test results = 14-40N (~1.4-4kg).
- C. Mated & extracted 3 times for 1000 units with USB plug by hand:
 - I. Extracted the units in horizontal level, all 1000 units were good without jam. When the USB was not jammed, normally, there would not have chance to pull the locking spoon out.
 - II. Then applied a downward force on the USB plug during extraction from the USB port, there were 2 units (one at lower USB port & another one was at upper port) in which the USB plug was jammed with the USB port. Applied a large force than 60N or larger, the locking spoon was pulled out.

Causes:

- A. In review of our process and OQC inspection, it is impossible to escape such poor appearance parts out (locking spoon of USB front shield pulling out). Moreover, we did not have such problem found before. All parts are under 100% visual inspection by our OQC who would not allow such poor parts out. Anyway, we have highlighted all our QCs and production to take care of it. Customer please informs us if such failure part would be found again.
- B. Our extraction test set up photos, USB plugs, golden samples (with our measured data) & criteria have been sent to customer's SuZhou plant for her reference. If customer still has problem, please send us her measured value against the golden units.

Please note that the speed of extraction test should be slow at 12.5mm/ minutes (per international standard). If the extraction is done with hand, it would result a high pull force.

- C.
 - a. When the USB plug was extracted from the USB port in horizontal level, the traveling length of the windows' edge of USB plug on the surface of USB locking spoon was ~0.002-0.003". Then the windows' edges of USB plug would be easily off-hook from the USB locking spoon. Therefore, it would have less chance to cause jam between the USB plug and the locking spoon.
In review of the contact surfaces (after 20 times mating & extraction with USB plug), the scratches on them were slight.
 - b. When applying a downward force during extraction, the locking spoon of few units would be fully entrapped into the windows of USB plug. Hence, the traveling length between them would be increased twice - ~0.005-0.006" before off-hook.

Our normal extraction force are ~30-40N. It was quite strong (It was because we had complained from other customer who claimed the force was too small so that we changed our design with larger extraction force). When the traveling length was also increased as above described, the solder plating

of few units would be scratched seriously (The surfaces of the USB locking spoon were soft with Sn60/Pb40 plating) – please see the attached photo which was taken from the jammed locking spoon. Then the solder flashes would jam the windows’ edge of USB plug & the locking spoon. If the USB plug was used for many times, the scratches would be worst.

DISCIPLINE 4 CONTAINMENT PLAN DATE: 9/10/2001

Immediately, all stocks including the goods in customer side have been doing sorting with 3 times mating & extraction with USB plug – Our trail run results: We had tried to mate & extract other 5000 units with 3 times and found 15 units with jam problem. If the unit would have jam problem, the first time of mating & extraction would be found. Then we did the test 10 times more for the above 4985 good units. All were not found jam problem.

DISCIPLINE 5 PERMANENT C/A PLAN DATE: 9/10/2001

Increase the radius of the locking spoon from 0.045” into 0.055”. The extraction force would be reduced as ~15-25N. Moreover, the contact surfaces between the windows’ edges of USB plug & locking spoon could be flattened to avoid deep scratches on the spoon’s solder plating surface. This would also make the USB plug easily be off-hook without jam from the locking spoon during extraction.

DISCIPLINE 6 VERIFICATION OF EFFECTIVENESS DATE: 9/10/2001

1. Tried 100 units with the above modified locking spoon, the results are initially good. We will order 10-20k pieces more to try in production as soon as possible.
2. Our production will continuously do with 3 times mating & extraction as above described for one to two weeks more in order to monitor & confirm this improved method to be good and stable.

DISCIPLINE 7 PREVENT RECURRENCE DATE: 9/10/2001

1. Our stock has around 600k pieces and we will continue to do above sorting method for them.
2. We will continue to do 3 times mating & extraction test for ~1 week more with the new shields in order to confirm there will be no problem to use them. Up to now, we have tried around 1k units with new shields and found they were good with smaller extraction force and no jam problem. We will continue to try when new 20k units will be available.

DISCIPLINE 8 CONGRATULATE YOUR TEAM DATE: Jan. 7, 02

DATE CLOSED:

QA NO #

8-D #

CAR #

4.3 失效分析報告處理和應用

失效分析報告是巨大的損失換來的，切勿暴殄“天物”！

前面提到，失效分析報告由委託單、主報告和反饋單三個部分組成。在工程實踐中大量遇到的問題是不能及時地正確地處理和不能正確地應用由委託單和主報告組成的失效分析報告。

正常情況下，委託人或委託人所在的管理部門收到失效分析報告後，應該有條不紊、按部就班的走出幾步。

首先應該閱讀結論。要審查結論要點的完整性和結論與分析要求的符合性。

其次應該閱讀報告的全文，看分析過程的邏輯性，看引用方法的權威性，看失效證據的公認性。如果必要，也可以請有關專家來講解並評價甚至組織專家會診。

第三應該使報告的結論變成要實施的計畫。

第四應該檢查落實計畫的實施。

下面用一些例子說明如何閱讀結論，審查結論要點的完整性和結論與分析要求的符合性。

1. 確認的解剖前失效模式

確認的解剖前失效模式，即不經破壞性試驗或解剖工作，通過目檢、電性能測試等就可以確認的失效現象。例如：開路、短路、電性能超出規範值、功能失效、結構性能失效、力學性能失效、表面性能失效等。這些失效模式還可以再具體一些。例如：結構性能失效，可以再分成產品斷裂、產品變形、引線斷裂、接觸針變形、結構尺寸超差、絕緣不良、多餘物等。力學性能失效，可以再分成插不上或插合力異常、拔不下或分離力異常、扳不動或換向力異常、按不動或按動力異常等。表面性能失效，可以再分成塗覆層質量不良、電鍍層開裂、電鍍層脫落、表面損傷、表面銹蝕、平整度不良、表面變色、印字質量不良、可焊性不良等。

2. 報告失效部位

報告中指出的失效部位定位的範圍或深入的程度取決於失效分析的要求或實際工作的情況。意即失效部位是一部分電路？還是電路中的某一個元件？或是某一個元件的某一部分如三極管發射結？不同程度的深入，工程量會大不同。

3. 簡述失效機理

失效機理是講失效的原因、是講失效的物理和化學過程。失效機理不是講失效現象或失效模式；也不是講失效部位，再詳細的失效部位也不能代替失效機理。例如，“BelMag 0810-1X1T-03 內部 PCB 與遮罩罩開路”是在描述失效部位。“裝配連接座時，PCB 裝配不平衡，在屈金屬針腳時，將翹起的 PCB 往下壓而變形，導致電容破裂”是在描述失效機理。

另外，需要注意的是，追究具體問題的失效機理應該適可而止。有時所謂對失效機理的深入討論，可能已經在討論另外的事物。

4. 判定失效性質

判定失效性質的工作，是要指出問題的根源，往往也是指出責任部門

或責任者的工作。例如：誤用失效、本質失效、意外損傷失效、從屬失效、重測合格和失效原因不明等。失效性質，還可以再具體一些。例如：誤用失效，可以再分成整機設計或選用元件不當、成品生產工藝不良、誤操作和具體原因不明四類。本質失效，可以再分成產品設計、產品生產工藝不良、產品材料缺陷和具體原因不明四類。重測合格，可以再分成誤判、性能不符合客戶整機實際要求、使用環境、原因不明等四類。見下表：

表：失效性質之定義與簡單分類

序號	失效性質	定義	失效性質的進一步分類
1	誤用失效	不按規定條件使用產品而引起的失效	設計或選用元件不當 生產工藝不良 操作人員誤操作 具體原因不明
2	本質失效	產品在規定的條件下使用，由於產品本身固有的弱點而引起的失效	設計不良 生產工藝不良 材料和零件缺陷 具體原因不明
3	意外損傷失效	非常規、偶然出現的外部作用而引起的失效	
4	從屬失效	由於另一個產品失效而引起的失效	
5	重測合格失效	產品在整機上偶然出現失效或完全失效，但拆卸成爲元器個體時測試合格	誤判 產品性能不合客方整機實際要求 使用環境（電磁）幹擾 產品時好時壞 具體原因不明
6	失效原因不明		

5. 判定失效性質

從某種意義上說，判定失效性質是指出了產生失效的原因，明確了造成失效的責任，提出瞭解決問題的方向。在名詞術語上，判定失效性質和確定失效性質是有差別的。判定，意味著含有一定程度的主觀的邏輯推理、應用經驗成分。確定，意味著試驗比較深入細緻，客觀的資料比較充分。

6. 失效模式發生概率

在多數情況下，失效分析結論已經包括確認的解剖前失效模式、失效部位、失效機理、失效性質等內容。當委託人需要知道失效模式發生概率和危害性、處理建議、防止再發生措施等內容時，可以再明確要求，因爲這些工作涉及的試驗設備、試驗樣品和試驗條件在失效分析單位可能並不具備。

例如 BelMag 0810-1X1T-03 解剖前的失效模式是開路，解剖後的失效模式是電容破裂，失效部位是 PCB 上的電路，失效機理是裝配連接座時，PCB 裝配不平衡，在屈金屬針腳時，將翹起的 PCB 往下壓而變形，導致電容破裂，失效性質是本質失效，但要知道失效模式發生概率和危害性、處理建議、防止再發生措施等內容時，就要有試驗資料做支援，這些工作，可以認爲是失效分析的深層次的工作內容。

爲得出產品失效模式發生概率，需要提供已確認爲相同批次的樣品做特定環境的類比試驗，估計失效模式發生概率和危害性。

7. 處理建議。

處理建議的內容之一，是圍繞失效分析工作本身，根據失效分析的進展建議下一步要做的失效分析工作，如追加樣品，增加試驗等。

處理建議的內容之二，是圍繞解決產品給成品或整機帶來的影響，如根據失效性質換上同批合格元件、換上其他批次合格元件、換上其他生產廠的合格元件等。至於換上合格元件後，要做什麼工作，主要由成品方面考慮。

處理建議的內容之三，圍繞同類型的失效不在其他用戶再次發生，考慮是否要整批不用，是否要向較大範圍報警。

8. 預防失效的措施

預防失效的措施，需要有方案評審、實施監督和效果評價的考慮。在方案階段要注意多出方案。比較權衡；在實施階段要注意在經過模擬試驗、首先試驗等準備後，再正式實施；在效果評價階段注意副作用問題。

第 5 章

失效分析流程

第 5 章 失效分析流程

經過前面的闡述，我們得知失效分析是一項十分細緻的工作，每項分析步驟都應獲得所要求的資訊，而且知道失效分析的某些步驟具有破壞性，不能重複再來。爲了防止在失效分析過程中把真正的失效因素或跡象漏掉或引入新的失效因素，失效分析工作不僅需要十分小心地操作，而且還必須制定出一個科學的分析程式。

首先，應對需要作分析的產品本身有詳細和充分的瞭解，包括線路、參數、工藝、結構、測試方法等；並詳細收集和整理與失效樣品有關的機械、電氣、物理和化學等方面的資料。運用已積累的有關知識和經驗，在掌握失效機理的基礎上對上述資料進行推理，逐漸將失效因素的範圍縮小，然後再按照合適的程式，採用必要的分析方法來驗證失效機理，去偽存真，將真正的失效原因找出來。

下頁是 Bel 通用的失效分析流程圖：

正確理解這個流程是有必要的。

首先，一個有經驗的失效分析人員，具體分析時要靈活運用流程，即不要過於教條，但也要保證分析質量。

對於一個簡單部件的失效（如 Bobbin 來料中孔塑膠披鋒），由於其失效因素或機理比較簡單（這僅相對於 Bel 之立場來說，若從供應商之立場來說，披鋒的產生涉及原料、模具、成型工藝等因素，並非小問題），不需要嚴格按照以上流程也可以有條不紊地進行分析，因爲這簡單的分析程式和步驟已成了訓練有素的工作習慣。但是，對於一個比較複雜的失效，我強烈建議參照以上通用流程針對具體的產品而事先做一個分析程式和實施步驟。這樣可以使得小組工作協調、分析進展快速、過程不漏取資料或走彎路，當然更可以防止把步驟弄顛倒而毀掉了應該取得的資料。

另外，針對不同的失效來源，分析中其所應用的表格與記錄儲存系統也不同。

例如，對於客戶投訴，我們需要用到 RAR Database 與 ROI 系統；對於日常生產中之失效分析，則用”FAILURE ANALYSIS REPORT”；對於供應商來料，則用不定型之格式（但對於要求供應商分析與改善之專案，我們需要用到 VCAR）。

失效分析流程圖：

Subject: Failure Analysis Flowchart Author: Jason Chow

