

應用失效模式及效應分析於鋼管製造流程之研究

葉玉玲¹、駱景堯²

¹南開科技大學 行銷與流通管理系

²國立雲林科技大學 工業工程與管理研究所

通訊作者：葉玉玲

聯絡地址：南投縣草屯鎮中正路 568 號 行銷與流通管理系

電子郵件：yip@nkut.edu.tw

投稿日期：2017 年 8 月

接受日期：2017 年 12 月

摘 要

本研究利用失效模式及效應分析方法，針對個案公司鋼管廠之有縫碳鋼鋼管製造流程，以增加生產流程的穩定性與效率，減少異常損失，精進產品品質，降低生產成本為目的。分析製造過程中可能造成產品失效的問題點，檢視追蹤失效潛在的原因，了解造成產品不良之潛在風險提出改善對策與解決方式。研究結果顯示，個案公司導入 FMEA 的技術後，針對關鍵的製程提出可行有效之改善對策，防止因失效效應造成的損害，把風險優先指數降低至可接受的範圍，藉此預防失效再發。利用 FMEA 管理方法改善的過程中，亦可培養團隊溝通協調、相互合作的能力，並作為經驗傳承的參考依據。

關鍵詞：碳鋼鋼管、失效模式及效應分析、風險優先指數

壹、緒論

企業為追求突破的技術，生產能力與品質能力是必要的生存條件，尤其在全球競爭激烈的環境下，能夠快速解決技術問題提升品質的能力，將是企業生存的主要關鍵要素。為提供客戶其需求滿意之產品，降低生產過程中的失效風險，做好風險評估防患未然。失效模式及效應分析 (Failure Mode And Effects Analysis, FMEA) 便是為被廣泛運用的風險管理工具，以失效模式及效應分析的風險優先指數 (Risk Priority Number, RPN) 找出潛在的失效風險，針對指數高項目優先進行改善，提出有效的改善對策，以及對策執行後的風險優先指數差異比較，以此手法持續降低異常發生頻率與品質損失成本，提升產品穩定度、可靠度及客戶滿意度。

本研究針對個案公司有縫碳鋼鋼管製造過程中可能造成產品不良之問題點，應用失效模式及效應分析管理工具建立

相關流程與表單，再利用風險優先指數最高前三項潛在風險，提出改善對策與說明執行成效，降低不良原因再現的發生機率，減少或避免發生時所產生之失效影響。將此過程加以書面化、文件化，可做為個案公司知識管理與經驗傳承。由於個案公司無產品設計責任，無法進行設計變更，故未將產品設計階段納入本次研討範圍內。

(一)、理論模型說明

1. 失效模式及效應分析

失效模式及效應分析法源自於 1950 年代初期，美國空軍將此概念運用於一種戰鬥機主操作控制作業系統之設計分析，以減少墜機失事的發生。1960 年代中期，美國航空太空總署運用 FMEA 於航太工業，成功執行阿波羅太空計畫，從此之後，在訂定契約時都必須要求實施失效模式及效應分析。故美國在太空開發計畫中，經常將此觀念應用在可靠度



分析與安全性之評估。1974 年，美國軍方出版軍用標準 MIL-STD-1629 規定 FMEA 作業程序。1977 年美國福特汽車公司也導入 FMEA，作為分析風險之工具，在公司教育手冊公佈其作業標準，並加以推廣當作教育訓練。1980 年代晶圓製造業引進應用 FMEA 方法，使其活絡使用於高科技產業。1992 年，美國三大車廠克萊斯勒、通用、福特整合汽車工業之規範納入 FMEA，成為 QS9000 美國汽車行業品質管理系統之驗證要求。1999 年，FMEA 為 ISO/TS 16949 國際汽車行業品質管理系統之驗證要求（張燦明等，2004）。FMEA 的應用相關之國際規範有 MIL-STD-1629A、SAE J-1739、ARP-5580、ISO/TS 16949，在國內多數應用於汽車工業及其相關零件供應商，主要是因為 FMEA 為 ISO/TS 16949（國際）汽車行業品質管理系統中，五大核心工具驗證要求之一，通過此品質系統認證才可成為合格供應商。

2000 年後起，FMEA 的分析應用手法除了於醫療產業，希望能在從事醫療作業的過程當中，透過團隊的運作方式，偵測系統、流程、設備、物料找出可能造成的風險因子及影響結果，以降低及減少醫療疏失與糾紛，提高滿意度及服務品質（林淑娟，2004）。與此同時，亦將此方法應用於環境污染產業，以期能找出環境污染之因素，改善居住及生活的環境（吳秀東等，1999；李明賢及王玉鳳，2006）。

2. 失效模式及效應分析的應用

失效模式及效應分析其應用範圍十分之廣，如：H.Arabian-Hoseynabadi 等人（2009），將 FMEA 可導向高可靠度與提高安全模式，從風險的角度有條理的進行分析，評估可能發生的原因與失效模式，以判斷過程中之風險。

林淑娟（2004）針對手術流程之病人安全評估，在手術室醫療流程中，其潛藏於風險之中的因子，並建立標準程序制度，以改善病人在手術室內的安全且可行之方案，提升病人手術安全的醫療服務品質。陳鴻儀（2009）強調半導體晶圓廠的設備成本占總成本之比率相當高，利用 FMEA 評估方式，讓失效風險影響性高的製程設備，降低故障風險與損害範圍，提升設備可靠度的改善機制，達到事先預防與控制，以提高生產效率和產品良率，使公司更有競爭能力。李欣旺（2012）針對飛機的故障肇事所付出高損失成本，飛航的安全向來亦是為第一優先，以 FMEA 流程改善方法進行失效風險分析，針對風險優先數值高的因子，於執行飛航工作前提提供警告訊息，以採取應變的監控作為，有效促進飛航安全。李相稷（2012）尋找服務中可能發生的失效模式，針對實施對策選出關鍵優先的順序，透過事前所討論的因應對策，追蹤管制、矯正預防措施，並持續不斷檢測，降低服務失效達到客戶滿意，提升服務品質。黃建榮（2013）運用 FMEA、ORM 及 Kappa 等品質手法，透過分析、改善、訪談、歸納

等步驟而發展出新人作業訓練與作業品質管制的模式，這模式經產業界實際檢驗的結果可有效縮短新人上線的學習曲線，而達到降低作業風險及提昇生產效率，將可作為相關製造業者導入參考。施元奇等（2016）針對化學清洗設備(wet bench)，進行使用安全性調查與風險評估分析；風險評估的結果，可供國內 LED 產業在 web bench 設備之採購、操作與使用維護之參考基準。饒忻與詹益竺（2017）藉由失效模式與效應分析之風險評估概念，來建構物料風險之評估架構及準則，計算出物料的風險優先指數，確實有效的篩選出高風險物料，可針對此物料進行風險改善，也發現許多物料類別風險性已明顯降低，可大幅減少在進料 RoHS 檢測上的頻率和時間。

3. 風險分析工具選用

風險的評估方法種類很多，每種方法的用途及功能亦有所差異，常用種類大致有下列方法：

- (1) 故障樹分析（Fault Tree Analysis, FTA）：故障樹分析是以一種樹狀圖形繪製及求解，說明其相互之間的邏輯關係，評估系統可靠度及安全風險，利用定量方式的分析結果指出重要性高的構成因素，可作為安全改善的參考與依據（李世珍&高樟木，2004；陳啟政&黃明弦，2008）。
- (2) 萃思（TRIZ）：TRIZ 為俄文 Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch 之縮寫，為「發明問題解決理論」之意思，從專利中利用有系統的解決方式，提出不同領域與不同時期的創新流程與解題途徑，利用 39 個工程參數與 39 個惡化參數構成的矛盾矩陣，將特定問題轉換為一般問題解答成為具體且可行之解決方案（G Altshuller，2000）。跳脫個人思考的侷限，利用不同視野刺激思考找出需要改善的因素，以 TRIZ 之工程參數、矛盾矩陣與創新法則為依據，針對各種矛盾問題進行改善的創新方法（劉明盛，2008）。
- (3) 失效模式及效應分析：為一種透過事前分析潛在失效模式與效應，並加以改善，降低產品失效機率的預防手法，利用嚴重度、發生度、及難檢度為評估因子，計算三者相乘積之 RPN 值，由 RPN 高至低值依序進行改善，並比較改善前與改善後之 RPN 差異。利用表單解析的方式找出系統上下層彼此的影響關係，針對可能導致重大故障的零件或機器，透過評估將其重要性加以量化，決定改善對策的優先順序（小野寺勝重，2001）。
- (4) 腦力激盪（Brainstorming）：針對選定的主題，由成員集思廣益提供各種意見，激發團隊想像力與創造力，過程中任何意見都不能被批評，最後由成員共同評估討論，將重要的意見加以分析（楊鴻堂，2010）。

4. 導入 FMEA 步驟如下：



- (1) 以 3~4 位相關的人員組成一個團隊。
- (2) 將產品或系統其欲分析的對象、問題，明確的定義清楚。
- (3) 針對產品或系統過程中，找出可能使產品失效的模式。
- (4) 將每一個失效模式可能產生失效的原因，運用要因分析的方法建立魚骨圖清楚呈現。
- (5) 依各公司的特性與需求，設計適用的 FMEA 表單。
- (6) FMEA 的風險優先指數計算及界定如下：
 - A. 嚴重度：依失效的傷害程度，評定賦予 1（無危險）到 10（非常嚴重）之間的嚴重度數值。
 - B. 發生度：依失效的出現頻率，評定賦予 1（未發生）到 10（經常發生）之間的發生度數值。
 - C. 探測度：依失效被發現的程度，評定賦予 1（未發現）到 10（經常發現）之間的難檢度數值。
 - D. 計算風險優先指數，將評定賦予的嚴重度、發生度、探測度數值相乘，即可得到此指數，風險高者就應優先尋求解決方式。
- (7) 尋求改善方法，比較改善前與改善後的差異，並分析執行成效。
- (8) 定期檢視，重覆進行步驟 1 到 5。

貳、研究方法

本研究針對鋼管製程不良進行改善，經與品保課及生產計劃課人員針對個案鋼管特性及問題點因子進行評估後，個案公司適合運用 FMEA 的方法進行鋼管製造流程的風險評估，以 FMEA 手法有系統的進行探討失效之原因及改善對策。

（一）、鋼管的應用與製造流程

“鋼管”指兩端為開口且中空斷面的金屬製品，其長度比周邊外徑較為大，依生產方式可分為無縫鋼管和有縫鋼管兩大類；一般常應用在液體輸送、機械五金、石油地質勘探、海洋工程與造船、化學工業方面，近年來鋼管的應用範圍更擴張至房屋結構、建築桁架、橋樑、油井、車輛結構、輕軌工程。鋼管之斷面形狀通常為圓形，也有正方形、長方形、六角形、八角形或橢圓形、扇形等。產品範圍包括鋼管（碳鋼、合金鋼、不銹鋼）、鑄造管（鑄鐵、鑄鋼、鑄銅管）等（林偉凱，2007）。

本研究個案公司主要以生產配管用管、結構用管及輸油用管之有縫碳鋼鋼管，廣泛使用於輸送氣體、水、油及天然氣鋼管、油井套管、一般結構用及機械結構用鋼管。個案公司鋼管製造流程說明如下：

1. 裁剪分條（Slitter）：鋼捲原料經裁剪機，依要求尺寸裁剪分條成所需寬度之鋼帶。
2. 解捲（Uncoiler）：將裁剪後之鋼帶鬆開並解捲整平

（Flattener）。

3. 整平（Flattener）：將鋼帶的頭端及尾端整平，讓鋼帶可順利穿帶。
4. 接料機（Shear&Welder）：將前一條與下一條鋼帶接頭銲接並將銲道研磨後送至積料設備。
5. 積料（Looping）：儲存鋼帶，可使產線可以不停機連續生產。
6. 成型（Forming）：鋼帶經軋輪軋延成型為鋼管。
7. 高週波銲接（H.F.Welding）：成型後以高頻電磁波（頻率高於 100Khz）進行鋼管銲接成管。
8. 內、外銲道整平（Weld Scarfing）：將銲接過程中產生之熔渣整平刮除。
9. 線上超音波檢測（Online Ultrasonic Testing）：檢測鋼管內、外銲縫品質是否有瑕疵。
10. 中週波退火（M.F.Annealing）：將鋼管銲縫作退火或正常化熱處理。
11. 空冷卻（Air Cooling）：在常溫下冷卻。
12. 水冷卻（Water Cooling）：以噴水方式進行冷卻。
13. 精整（Rotary Sizing）：將鋼管精整圓度及直度至合乎品質要求。
14. 定尺切斷（Cutting）：將鋼管裁剪至所要求之長度。
15. 修面（End Facing）：處理管端的平整度及內、外倒角角度。
16. 水壓檢測（Hydrostatic Testing）：以水加壓方式測試鋼管銲縫是否有瑕疵。
17. 通徑檢測（Drift Testing）：測試鋼管經水壓檢測後直度及圓度是否有變形。
18. 線外超音波檢測（Offline Ultrasonic Testing）：測試鋼管經水壓檢測後銲縫品質是否有瑕疵。
19. 終端檢測（Final Inspection）：確認鋼管各項品質數據是否達要求。
20. 塗裝（Coating）：鋼管成品表面進行塗覆防銹處理。
21. 噴誌（Stenciling）：依品質規範或客戶要求，將產品內容標示於鋼管表面。
22. 包裝（Packing）：依客戶要求之支數進行包裝。

（二）、失效模式及效應分析流程導入

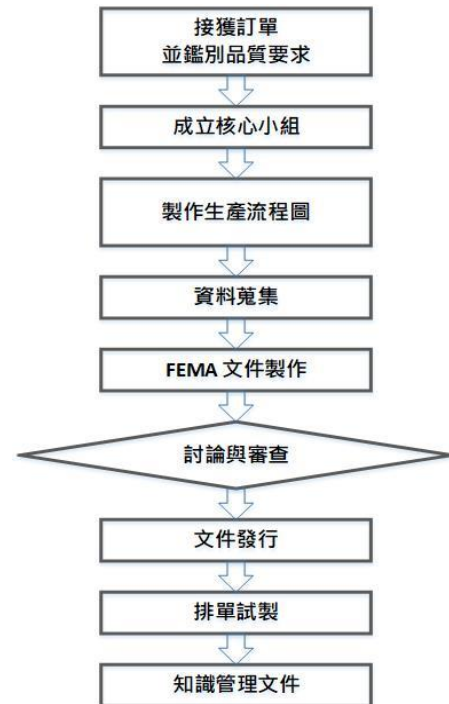
本研究對個案公司有縫鋼管製造流程導入失效模式及效應分析，基於此類鋼管的特性，包括：價格低、需求高、用途普及、成本較低，雖然強度略低，但表面及尺寸精度品質優異而且尺寸範圍廣泛被需求產業所使用被需求產業所使用。因此，透過資深而經驗豐富團隊合作的方式執行與確認流程，相關資料藉由異常事件分析報告；特別是有縫鋼管加



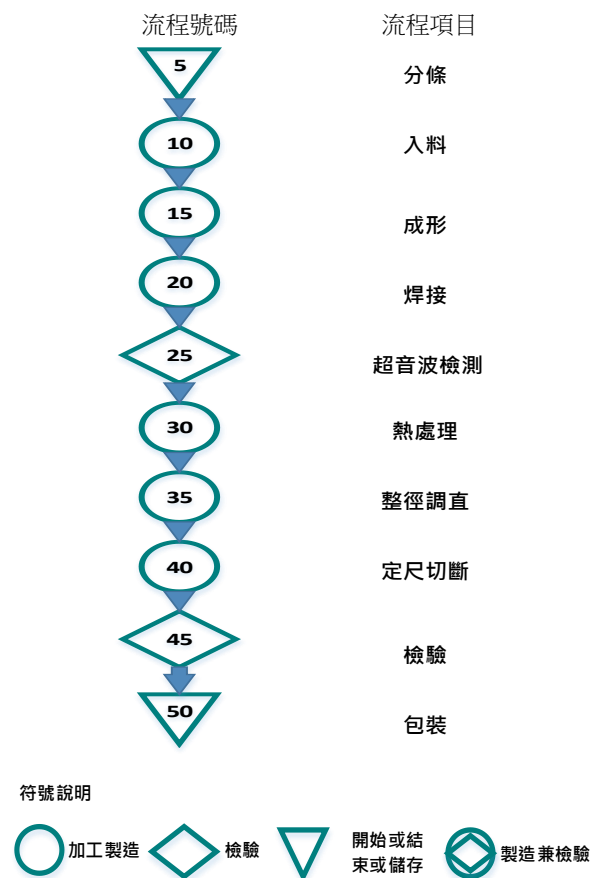
工製程容易使品質檢驗出與品質不符，造成客戶退貨甚至於造成個案公司嚴重損失。FMEA 實施流程見圖一及鋼管製造流程請參見圖二，藉此能夠了解有縫鋼管的加工製程占全製程 60%，加工製程對成品的品質甚大的影響。FMEA 主要措施及步驟說明如後，此模式藉由異常資料彙整後，計算三種屬性得分，針對前幾項嚴重的項目進行改善，並將編制成冊，作為公司日後加工製程的參考。

1. 作業發起：營業銷售單位接獲顧客訂單時，除在訂單系統建立訂單外，須將顧客名稱、訂單規格、訂單尺寸、訂單數量、品質要求等資訊，傳遞給品保課與生產計劃課，以進行後續作業。
2. 成立核心小組：品保課接獲上述資訊後即召開準備會議，成立跨部門專案核心小組，討論核心小組人員名單、定期會議追蹤時間與計畫目標預定完成日程，通知廠方生產單位開始著手進行 FMEA 運作相關事宜及文件製作準備。本次專案核心小組成員包括營業銷售課、品保課、製管課、修護課、技術課、廠務課、產品規範課、生產計劃課，成員中皆有製管技術經驗，其中有五位為超過年資十五年的專家。
3. 界定分析的範圍：確定 FMEA 討論及分析的範圍與主題，問題與目標須明確，避免問題過於發散而無法聚焦。
4. 生產流程圖製作：進行 FMEA 文件製作之前，廠方生產單位應先確定此訂單之所有生產流程，包括生產、檢驗、搬運、儲存等，並製作生產流程，請見圖二。
5. 資料蒐集：蒐集內部品質管理資料、異常事件分析報告、客戶反應意見、客戶客訴事件。
6. FMEA 文件製作：廠方生產單位應鑑別生產流程之有附價流程，分析每一有附價流程之 FMEA，參考 FMEA 管理文件，製作“失效模式與效應分析”文件，討論每一步驟可能產生缺失項目，擬定嚴重度（S）、發生度（O）、探測度（D）評分表，並確認評分標準。
7. FMEA 文件審查：召集核心小組就廠方完成之 FMEA 文件進行討論與審查，提出改善建議，評估改善行動。
8. FMEA 文件核准與發行：FMEA 文件經審查完成後，編製人應將加上封面(ISO 內部文件封面)，經 FMEA 權責單位產品規範課審查，廠長核准後於 ERP 文件管理系統發行給生產、品保與營業銷售等相關之單位，文件名稱應包含顧客名稱與產品規格名稱以利識別。
9. 排單試製：文件發行後始得由生產計劃課進行排單試製，生產單位須依照內容執行控制與探測，執行結果則作為修改之參考。
10. 知識管理文件：列入知識管理文件，建立失效模式與效應分析(FMEA)資料庫以提供後續相關之參考，文件若因

客戶要求或內部自發性改善而有修正必要時，須重新改版後再發行。



圖一 FMEA 實施流程图



圖二 個案公司鋼管生產流程图



(三)、風險優先數值評估

風險優先指數的評估是由跨部門專案核心小組，在進行 FMEA 文件製作與討論的過程中，依相關文獻、歷史資料及過去經驗，協調定義適用於個案公司之嚴重度 (S)、發生度 (O) 及探測度 (D) 的評價標準與計分方式，並以 FMEA 手法進行生產流程分析，計算嚴重度 (S)、發生度 (O) 及探測度 (D) 相乘積的 RPN 風險優先指數。針對 RPN 大者優先提出關鍵改善重點，進行相關的改善活動。各風險指數定義及評定標準如後：

1. 嚴重度 (S) 判定準則為對製程或產品或顧客影響的嚴重程度，共分為 1~10 等級，見表一。
2. 發生度 (O) 判定準則為原因發生頻率，共分為 1~10 等級，見表二。

3. 探測度 (D) 判定準則為失效原因或失效模式探測的可能性，共分為 1~10 等級，見表三。

參、研究結果

本研究的個案公司導入 FMEA 方法後，計算各失效原因風險優先指數，找出關鍵因子，並以風險優先指數最高之前三項提出改善措施，進行對策改善。

(一)、鋼管製程改善項目

針對本研究結果中風險優先數值評估超過 280 以上之五個項目，已彙整見表四，利用現行有限資源優先解決及列為改善重點。

表一 嚴重度評分標準

失效影響	判定準則	等級
不符合安全性或法規要求	可能危害操作者或損傷設備而無預警。	10
	可能危害操作者或損傷設備而有預警。	9
嚴重阻礙	造成生產線停止或出貨中止。	8
	產品可能必須 100% 廢棄 (剔退或轉單)。	7
顯著阻礙	部份產品可能必須廢棄 (剔退或轉單)。	6
	100% 產品必須重工然後才判定合格。	5
中等阻礙	部份產品必須重工然後才判定合格。	4
	產線速度降低或增加人力/時間才能避免產出不良品。	3
微小阻礙	對生產、操作或作業員造成輕微不便。	2
無影響	沒有可識別的影響。	1

表二 發生度評分標準

失效可能性	判定標準	等級	
很高	失效幾乎不可避免	$\geq 10\%$ (10/100)	10
		5.0% (5/100)	9
高	經常失效	2.0% (2/100)	8
		1.0% (1/100)	7
		0.5% (5/1,000)	6
中等	偶爾發生失效	0.2% (2/1,000)	5
		0.10% (1/1,000)	4
		0.05% (5/10,000)	3
低	相對較少失敗	$\leq 0.01\%$ (1/10,000)	2
很低	失效不大可能發生	透過預防管制阻止失效	1

註：發生度以過去生產經驗值判斷，大部分原因不因產品別而不同。



表三 探測度評分標準

探測機會	判定準則	等級	可能性
無探測機會	無現行的製程管制，無法探測或分析。	10	幾乎不可能
任何階段不易探測	對失效模式/失效原因不易探測（例如隨機抽測）。	9	些微
在後製程人工探測	由操作員以視覺/觸覺/聽覺在後製程進行失效模式探測。	8	微小
在本製程人工探測	失效模式由操作員以視覺/觸覺/聽覺在本製程進行探測，此探測結果可能因不同操作者而產生差異（例如表面品質），或由後製程操作員以計數型工具探測（如 go/no-go）。	7	很低
在後製程半自動探測	失效模式由後製程操作員以計量型工具進行探測（顯示測值），或由本製程操作員以計數型工具探測（如 go/no-go）	6	低
在本製程半自動探測	失效模式或失效原因由本製程操作員依計量型工具探測（顯示測值），或由自動控制探測，以警示方式通知本製程操作員；顯示標準值供作業員比對；在作業前準備和首件檢查時進行量測（僅適用於探測作業前因準備錯誤的原因）。	5	中等
在後製程自動探測	失效模式由後製程自動探測並控制，防止探測異常產品進入下製程。	4	中等偏高
在本製程自動探測	失效模式由本製程自動探測並控制，防止探測異常產品進入下製程，或雖由操作員以視覺探測，但探測結果不會因不同操作者而產生差異或誤判（例如打包鐵帶條數）。	3	高
錯誤探測/問題預防	失效原因在本製程自動探測與控制，防止不符合產品被生產。	2	很高
缺失預防	經由治工具設計、機械設計、零件設計等錯誤（原因）預防，使異常產品無法被生產。	1	幾乎確定

表四 鋼管製造流程 FMEA 分析改善項目

過程步驟	過程要求	潛在失效模式	失效潛在影響	嚴重度	失效潛在原因	現行過程			RPN	建議措施	
						控制預防	發生度	控制探測			
分條	鋼捲資料正確 註1	鋼捲身分錯誤	帳物不符無法分條	8	標籤貼錯吊運錯誤	比對裁剪製令	5	操作記錄表	7	280	避免人為確認
成型	鋼管表面無損傷	輓傷	重工研磨處理或依規範轉單	8	鋼管擠壓量過大	輓輪生產前檢查表面	5	註2	7	280	用荷重計 load cell 管制擠壓力
銲接	銲接完善	銲縫夾渣	剔退格外管	7	蒸汽回沖	超音波檢測異常	8	螢幕顯示監控	7	392	設備改善
整徑調直	直度符合製令要求	直度 NG	剔退格外管	6	加熱溫度高，冷卻速度過快	降低速度或調整水量	8	以水線量測距離	7	336	新購設備
塗裝防銹	表面固化完整	固化時間不足	重工	8	表面剝落	降低線速度	7	首件百格試驗	7	392	設備改善
銲接	銲接完善	銲縫夾渣	剔退格外管	7	蒸汽回沖	超音波檢測異常	8	螢幕顯示監控	7	392	設備改善
塗裝防銹	表面固化完整	固化時間不足	重工	8	表面剝落	降低線速度	7	首件百格試驗	7	392	設備改善
整徑調直	直度符合製令要求	直度 NG	剔退格外管	6	加熱溫度高，冷卻速度過快	降低速度或調整水量	8	以水線量測距離	7	336	新購設備
分條	鋼捲資料正確 註1	鋼捲身分錯誤	帳物不符無法分條	8	標籤貼錯吊運錯誤	比對裁剪製令	5	操作記錄表	7	280	避免人為確認
成型	鋼管表面無損傷	輓傷	重工研磨處理或依規範轉單	8	鋼管擠壓量過大	輓輪生產前檢查表面	5	註2	7	280	用荷重計 load cell 管制擠壓力

註 1：包括編號、規格、材質、重量

註 2：本站操作員管控擠壓量目視檢驗鋼管表面



(二)、鋼管製程不良原因說明及改善結果

本研究針對表四風險優先指數最高之前五項造成失效的不良原因，在現行可用的資源下，透過核心小組專家成員協調討論，提出改善對策與可行的解決方法，完成改善後並重新評估改善後之 RPN 指數，見表五。表五中完成日期為實際採取措施與完成日期，經與個案公司討論後，此資訊屬於公司內部資料，故本文內不列示。

1. 銲縫夾渣蒸汽回沖不良之改善

- (1) 不良原因說明：因蒸汽回沖推擠管內殘留的冷卻水衝向銲接點，導致銲接溫度過低，發生銲縫夾渣造成品質不良而剔退。
- (2) 改善對策：設計不銹鋼擋片加裝於內刮刀組，阻擋冷卻水所造成的蒸汽回沖現象，參見圖三；加裝抽水管，抽取殘留冷卻水，參見圖四。

(3) 改善成效結果：銲縫夾渣改善前後產率比較如表六。

2. 固化時間不足不良之改善

- (1) 不良原因說明：UV 漆固化時間不足，導致 UV 漆容易整片剝落，影響外觀及防鏽品質，須進行重工處理避免造成表面生鏽，除此之外，延長固化時間將會影響產線速度。
- (2) 改善對策：增設小型固化設備，將鋼管 UV 漆固化時間固定在指定時間內，亦可提高產線速度。透過百格實驗方式調整 UV 漆與固化劑比例，讓 UV 漆在要求之時間內固化。
- (3) 改善預估成效：經評估後，預估此改善不良率可由原 12.2% 降低至 1.5%，使表面塗覆品質更加穩定，每分鐘產出支數可由 1.25 支提高至 1.7 支，每分鐘增加 0.45 支，改善前後比較參見表七。

表五 鋼管製造流程 FMEA 改善結果

過程步驟	潛在失效模式	改善前				建議措施	採取措施與完成日期	改善後			
		S	O	D	RPN			S	O	D	RPN
銲接	銲縫夾渣	7	8	7	392	設備改善	加裝擋片與抽水設備	2	3	4	24
塗裝防銹	固化時間不足	8	7	7	392	設備改善	增設固化設備，調整固化劑比例	4	3	3	36
整徑調直	直度 NG	6	8	7	336	新購設備	加裝矯直機	3	3	2	18
分條	鋼捲身分錯誤	8	5	7	280	避免人為確認	增設條碼掃描器進行管控，防止錯誤	3	2	3	18
成型	輓傷	8	5	7	280	用荷重計 load cell 管制擠壓力	加裝荷重計 load cell 管制	4	4	3	48

說明：S：嚴重度、O：發生度、D：探測度



圖三 不銹鋼擋片安裝圖



圖四 抽水管安裝完成圖

表六 銲縫夾渣改善前後產率比較表

規格	管徑 (mm)	厚度 (mm)	時間	產率	提升
API 5LX42	60.3	3.91	改善前	72.13%	20.15%
			改善後	92.28%	
API 5CTJ55	60.32	4.82	改善前	70.34%	15.28%
			改善後	85.62%	

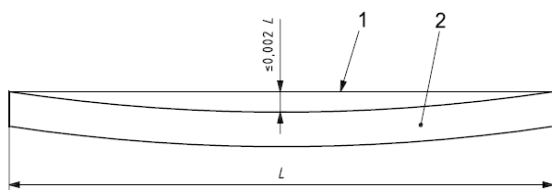


表七 固化時間不足改善前後比較表

改善對策	時間	不良率	產出 (支數/分鐘)
固化時間不足之改善	改善前	12.2%	1.25
	改善後	1.5%	1.70

3. 鋼管直度不良之改善

- (1) 不良原因說明：鋼管經攝氏 700~800 度高溫加熱銲接後，在冷卻過程會產生直度翹曲，造成須重工進行矯直，增加生產成本與費用，參見圖四。



說明：1：拉緊之鋼線、2：鋼管

圖四 鋼管直度公差要求

- (2) 改善對策：增設矯直機，提高鋼管直度，減少重工所需時間，提高生產效率。
- (3) 改善預估成效：預計可由現行因直度所造成之不良率 35% 降低至 1%，直度公差確保可為鋼管長度 0.1%。

肆、結論與建議

本研究運用 FMEA 有系統方法進行鋼管製造流程的風險評估，經過銲縫夾渣蒸汽回沖不良、固化時間不足不良及鋼管直度不良等改善後，都能提升生產效率與提高鋼管的品質。

(一)、研究結論

- 藉由 FMEA 的應用手法，本研究在碳鋼鋼管的生產過程中，找出可能造成的失效原因，並提出解決對策，除降低失效風險，精進產品品質，創造更多的利潤外，亦可提高顧客滿意度，達到雙贏。
- 將個案公司運作 FMEA 的過程加以文件化、書面化，列入知識管理文件，作為爾後教育訓練與經驗傳承之參考依據。
- FMEA 的運作過程中，除藉由團員之間的專業知識腦力激盪，尋找失效模式與原因外，改善對策的擬定與過程的執行，亦可培養團隊溝通協調、相互合作的能力，創造友善的工作環境。

(二)、研究建議

- FMEA 的運作可重複持續進行改善，針對短、中、長期不同階段之時間點訂定改善的優先順序，直到風險達到可接受的範圍。
- 除製造流程之外，可針對進料、出貨、運輸、工作安全流程建立一套完整的 FMEA 資料庫，強化知識管理的傳承。
- 適當運用各種功能不同的分析方式，找出不同流程中最合適整合風險的評估方法，加強辨識確認真因。

參考文獻

- 小野寺勝重 (2001)。實踐 FMEA 手法，中衛發展中心。
- 吳秀東、吳修閏 (1999)。建立環境績效評估執行流程及方法介紹。工業污染防治報導，第139期，6-12頁。
- 李世珍、高梓木 (2004)。故障樹分析技術介紹。工業安全衛生，175期，8-12頁。
- 李旭華 (2003)。品質管理。台北市：滄海書局。
- 李明賢、王玉鳳 (2006)。運用FMEA鑑別ISO14001顯著環境考量面之個案研究。品質學報，13卷2期，169-183頁。
- 李欣旺 (2012)。運用FMEA於提升飛航安全性之研究-以T團隊飛航管制作業為例。碩士論文，屏東市，屏東科技大學企業管理研究所。
- 李相稷 (2012)。運用FMEA技術提昇公務機關客戶滿意度之研究-以L鄉公所為例。碩士論文，屏東市，屏東科技大學企業管理研究所。
- 林偉凱 (2007)。台灣鋼管產品概況分析。ITIS產業評析專欄，2007年7月13日，金屬工業研究發展中心。
- 林淑娟 (2004)。運用失效模式與效應分析於手術流程之病人安全評估-以中部某區域教學醫院為例。碩士論文，台中市，中國醫藥大學醫務管理研究所。
- 施元奇、王子奇、張承明、莊宗奇 (2016)。LED製程化學清洗設備使用安全性調查，勞動及職業安全衛生研究季刊，24卷3期，311-329頁。
- 翁紹仁、林光甫 (2011)。可靠度工程之失效模式與效應分析 (Failure Mode & Effect Analysis; FMEA) 介紹。品質月刊，47卷2期，32-34頁。
- 張燦明、吳英偉、何境峰、江瑞坤 (2004)。「製程FMEA」在汽車零件製造的實證研究。修平學報，9期，137-156頁。
- 陳啟政、黃明弘 (2008)。運用FTA與FMEA技術於建構自主保養制度之研究。工業科技與管理學刊，2卷，197-212頁。
- 陳鴻儀 (2009)。運用FMEA方法對半導體晶圓廠製程設備



- 維護之探討。碩士論文，台南市，成功大學工學院工程管理專班。
- 黃建榮（2013）。建構新人作業訓練與品質管制模式之研究。研究報告，台中市，正修科技大學，企業管理系。
- 楊鴻堂（2010）。失效模式與效應分析應用在電鑄薄膜的設計與製程開發階段之改善-以台灣某一銘版公司為例。碩士論文，台中市，中興大學高階經理人碩士在職專班。
- 劉明盛、洪三讚、林綉敏（2008）。萃思TRIZ創新法則的應用。品質月刊，44卷2期，55-58頁。
- 饒忻、詹益竺（2017）。RoHS物料風險評估－以網路設備公司為例，先進工程學刊，12卷2期，45－52頁。
- Arabian-Hoseynabadi H., H.Oraee, P.J.Tavner. (2009). Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for wind turbines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32(7), 817-824.
- Benjamin, D. M. (2003). Reducing Medication Errors and Increasing Patient Safety: Case Studies in Clinical Pharmacology. *Journal of Clinical Pharmacology*, 43(7), 768-783.
- G. Altshuller (2000). *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*. Technical Innovation Center, Inc., Worcester.



The Study of the Manufacturing Process for Carbon Steel Pipe by using Failure Mode and Effects Analysis

Yu-Ling Yeh¹, Chin-Yao Low²

¹Department of Marketing and Logistics, Nan Kai University of Technology

²Department of Industrial Management, National Yunlin University of Science and Technology

Abstract

The purpose of this study was involved to increase the stability and efficiency for the production process, decrease the abnormal loss, enhance the quality, and diminish the production cost. This research concerned the improvement of the manufacturing process for the carbon steel pipe by using Failure Mode and Effects Analysis method. Firstly, the possible failure point of manufacturing process was analyzed and then the main potential failure reasons was detected. Then the possible solutions with appropriate technique to specified product was improved. Furthermore, the manufacturing process for the steel pipe was being increased more stability and efficiency. The result showed that, by applying Failure Mode and Effects Analysis method it can focus on the main failure reasons for the manufacturing process and prevent the damage from failure by using the Risk Priority Number to bring down the range. It can also prevent failure happen again through the Failure Mode and Effects Analysis management process and enhance the group coordination and cooperation to form up the experience database for the future.

Keywords: Carbon Steel Pipe, Failure Mode And Effects Analysis, Risk Priority Number

