



國立雲林科技大學工業工程與管理所

Graduate school of Industrial Engineering & Management,
National Yunlin University of Science & Technology

系統可靠度實驗室 System Reliability Lab.

<http://campusweb.yuntech.edu.tw/~gre/index.htm>

Combining preventive maintenance and statistical process control: a preliminary investigation

出 處：IIE Transactions (2000) 32, 47 1478

作 者：C. RICHARD CASSADY^{1,*}, ROYCE O. BOWDEN¹,
LEEMIN LIEW¹ and EDWARD A. POHL²

報 告 者：鄭欣卉

指導老師：童超塵教授



Contents

- Introduction
- Problem statement
- Solution methodology
- Numerical example
- Summary and conclusions

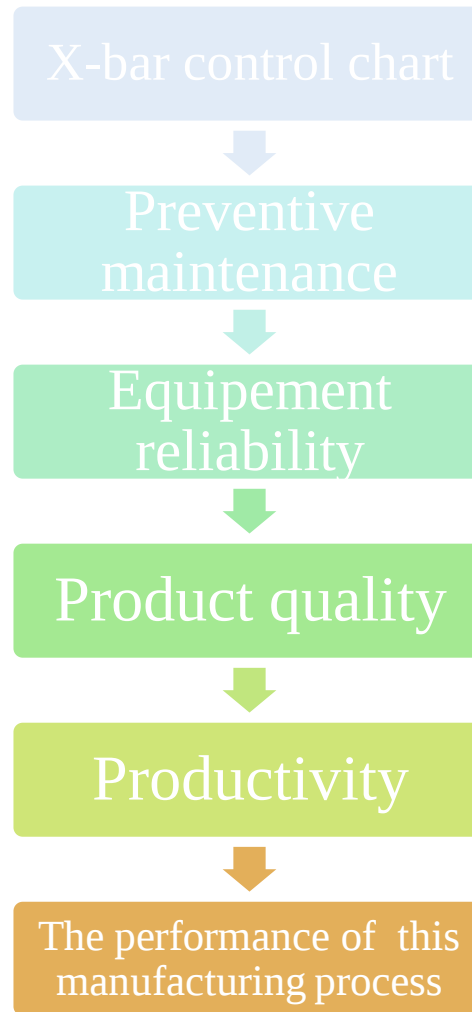
Introduction

- 現代工業工程師面臨使用少許資源，以提高產品品質的需求。
- 過去20-25年，提出統計品質管制(SQC)方法來有效解決這項問題。EX：管制圖和田口方法，改善品質提升生產力將近15%-25%。
- 最近SPC研究領域專注於管制圖經濟設計，以最佳成本模型選擇管制圖參數設計，以達到最小品質成本。

Introduction

- 根據維護計畫和維護最佳化所發展出的數學模型已受到越來越多的關注(Dekker³, Valdez-Flores and Feldman⁴, Pierskalla and Voelker⁵, and McCall⁶)
- 然而維護仍然被視為一個必要的問題，儘管須要奉獻很多的資源來進行維護的活動。
- Cassady and Nachlas¹有效維護計畫是工業生產力成長的關鍵因素。

Introduction



Introduction

- 儘管這樣的關係是很明顯的，但未有針對維護與品質之間公式化的關係提出和探討。
- Lochner⁸發展一個方法使用管制圖來評估最後更換零件的時間與產品績效之間的關係。
- Kneile et al.⁹論證管制圖如何達到有效減少維護成本。
- 這篇研究認為設備維護和產品品質間的關係是一個很重要的議題但未被有效的深入探討。



Introduction

- 研究目的找到**維護-品質**的關係的方法來達到生產力的改善。
- 這篇研究給予一個初步的探討如何結合**預防維護**和**SPC**，以達到生產力成長。

Problem statement

- 每小時生產率： ρ
- 關鍵品質特徵一生產量： $X \sim N(\mu, \sigma)$
- 製程處於管制內： $\mu = \mu_0, \sigma = \sigma_0$
- 假設製程標準差不變，製程平均數受限於瞬間型態的偏移，且把偏移型態歸因於設備失效。
製程處於管制外： $\mu = \mu_0 + \delta\sigma_0$

Problem statement

- T ：製程開始到發生偏移的時間

- Weibull $\sim(\beta, \eta)$

$$F_T(t) = P(T \leq t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

- T_1 ：管制圖發出管制外訊號後，檢察發現是假警報所需的時間
- T_2 ：完成預防維護所需時間
- T_3 ：修理所需時間

Problem statement

- Age-replacement preventive maintenance policy
 - 設備運作 τ 小時沒有失效，設備停止且進行預防維護。
- Modified Age-replacement preventive maintenance policy
 - 設備運作 τ 小時沒有檢測到失效，則設備停止且進行預防維護。
- $\bar{X}$ 管制圖：
$$UCL = \mu_0 + k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}, \quad LCL = \mu_0 - k \frac{\sigma_0}{\sqrt{n}}$$

Problem statement

- 研究目標同時使用 $\bar{x}$ 管制圖和 Age-replacement preventive maintenance policy 以改善製程績效。
 -
- 以品質成本、檢驗和製程閒置成本最小化選擇參數 d, n, k, τ

Solution methodology

■ 衡量製程績效：以品質管制和維護計畫所需成本為經濟模型

■ C_i ：檢驗成本(每個項目的)

■ C_d ：閒置成本

■ 二次損失函數：品質成本

$$C_p = \gamma(x - \mu_0)^2$$

■ 衡量指標—平均成本/hr： $C(d, n, k, \tau)$

Solution methodology

- 計算給與決策變數特定值後的 $C(d, n, k, \tau)$
 - 透過離散事件模擬模型，直到成本達到穩態才停止並且估計 $C(d, n, k, \tau)$ 值。
- 五個不同案例來調查此結合的優勢

Table 1. Summary of the five cases

Case	Title	Control chart	PM policy
1	Textbook SPC and No PM	$d = 1, n = 5, k = 3$	none
2	Optimal SPC and No PM	optimized	none
3	No SPC and Optimal PM	none	optimized
4	Textbook SPC and Optimal PM	$d = 1, n = 5, k = 3$	optimized
5	Optimal SPC and PM	optimized	optimized

Solution methodology

■ 如何最佳化決策變數

- 進化策略(ES)演算法與模擬模型聯合起來，尋找最佳決策變數，以達到最小化平均成本/小時
- 採用 Back and Schwefel³⁰ 自適應特徵，在搜尋決策變數時，透過模擬模型，允許動態調整拓撲反應表面。

Numerical example

- 生產率 $\rho = 100/\text{hr}$
- 管制內： $\mu_0 = 0, \sigma_0 = 1$
- 管制外： $\mu = 2.5 (\delta = 2.5)$
- 管制內期間長度(T) $\sim \text{Weibull}(\beta = 2, \eta = 80)$
- 假警報所造成的閒置時間 $T_1 = 0.1\text{hr}$
- 預防維護所需的時間 $T_2 = 0.5\text{hr}$
- 維修所需的時間 $T_3 = 2.5\text{hr}$
- 每項檢查成本 $c_i = \$7$
- 閒置時間的成本 $c_d = \$3500\text{hr}$
- 品質成本的二次損失函數參數 $\gamma = 21$

Numerical example

Table 2. Numerical example results

<i>Case</i>	<i>Estimated cost per hour (\$)</i>	<i>Lower confidence limit</i>	<i>Upper confidence limit</i>
1	2281.58	2278.86	2284.30
2	2260.80	2258.17	2263.45
3	2258.66	2245.65	2271.67
4	2211.14	2208.72	2213.55
5	2193.09	2189.70	2196.48

- ”Textbook SPC and No PM” : $C_1 = C(1, 5, 3, \infty) = \2281.58
- “Optimal SPC and No PM” : $C_2(0.75, 4, 2.8, \infty) = \2260.8
- “No SPC and Optimal PM” : $C_3(\infty, n, k, 11.5) = \2258.66
- “Textbook SPC and Optimal PM” : $C_4(1, 5, 3, 13.2) = \$2211.14$
- “Optimal SPC and PM” : $C_5(1.33, 2, 2.4, 20.25) = \2193.09
- 論證應該盡可能結合管制圖和預防維護策以達到提升製造製程績效。

Summary and conclusions

- 發展一個策略同時執行SPC($\bar{X}$ 管制圖)和age-replacement預防維護策略用來監控和控制製程，應用在製程由於設備失效而失控。
- 此結合的目的是要發掘管制圖的失效監控和預防維護策略的失效預防兩者間的協同效應。
- 以經濟設計模型制定相關成本。以模擬模型分析經濟設計模型和模擬-最佳化策略評估最佳化管制圖參數和預防維護政策。
- 論證管制圖和預防維護策略結合的績效優於只使用管制圖或預防維護策略。

Summary and conclusions

- 此研究考慮的製程是基於相當嚴格的假設，未來可以有更大的擴展：多台設備、變動生產率、製程偏移影響製程標準差、多種型態的製程偏移(設備失效)、製程偏移無法使用預防維護來預防、最小化設備維修、多產品品質特徵、隨機假警報偵測時間、隨機維修和預防保養時間、隨機成本。
- 管制圖監控 σ 、EWMA、CUSUM、多變量管制圖、變動抽樣策略。