

# Keysight Technologies

## 探索測試設備真正的「整體擁有成本」

### 白皮書

**摘要** — 當您需要針對測試設備的採購、升級或維護做出重要決策時，設備擁有成本一直都是首要考量。然而，要依據那些標準來建立整體擁有成本（TCO）模型，很快就變成涉及多個層面和各種情緒的爭辯。但凡跟測試設備的取得和操作成本有關，我們便很難草率做出決定。如果從產品生命週期（PLC）成本或效能導向物流（PBL）的觀點來看，我們可建立更準確的成本模型。深入了解與這些資產之取得、操作、維護、遷移和處置相關的直接和間接成本，有助於建立準確的 TCO 模型。本文將介紹測試設備的 PLC / PBL 成本，並說明一個可協助您針對不同選擇做出取舍的 TCO 模型。

原刊登於 IEEE AUTOTESTCON 2010 期刊。

## 簡介

作者：

**Bill Lycette**

企業品質

**Duane Lowenstein**

測試程序分析經理

Keysight Technologies, Inc.

多年來，量測設備一直被視為是確保公司製造的電子產品想達到零缺陷的必要工具。70 和 80 年代是電子產品高速成長的時期，許多原因促使製造商競相添購量測設備，但其中最重要的驅動力是由於電子設計的不一致性。設計工程師多半使用業界慣用的試算表，或他們自行開發的表格，來計算設計邊限。到了 90 年代，隨著電子設計變得更加複雜，大多數設計工程師被迫使用專業的模擬工具。結果證實，經過精密模擬的設計，有效縮小了理論設計和實際產品之間的效能差距。利用設計模擬，加上外包製造商的高品質製造方法，使得電子產品具有超過 95% 的良率。不過，問題仍然存在。如果電子產品的品質這麼卓越，我們為什麼還要支付這麼多測試費用？或者我們應該問：真正的測試費用到底是多少？

在 90 年代，電子產品開始提供更出色的效能、控制性和更多資訊，而消費者期待以更低價格獲得更多的功能、不變的品質和更多元的產品。在全球化經濟浪潮中，製造商面臨著削減成本的巨大壓力，因為大家都可以取得相同的勞動力、零件供應鍊和設計工具。這使得業界將採購重點聚焦於整體擁有成本（TCO）。TCO 一詞首先在半導體產業中廣為流傳，他們體認到採購決策的重要性，遠高於初始購置成本。而半導體產線的建置成本動輒就是數千萬美元。進一步的分析顯示，在設備的整個使用生命週期中，擁有和操作資產的相關成本，可能遠遠超出購置成本。

本文將介紹電子量測設備的 TCO 模型，並說明為什麼操作成本，而非購置（資金）成本，是降低整體擁有成本的關鍵因素。此 TCO 概念可協助設備擁有者做出明智的採購決策。此外，文中將展示 TCO 變數如何在整個產品生命週期中，大幅改變量測設備的擁有成本。

原刊登於 IEEE AUTOTESTCON 2010 期刊

## 測試成本

許多專文針對測試成本 (CoT) 進行了廣泛的探討。目前業界已建立了一些 CoT 模型，但這些方法都有相同的問題，就是僅在單一時間點計算 CoT。換言之，它們雖然計算了購買成本以及幾年後所剩的殘值，但通常以「平均」成本來看待其他費用（如預防性和修正性維護費用）。從 PBL 研究中，我們已得知產品成本不是線性的，而且不能僅在一個時間點進行評估。折舊和修理費用便是很好的例子。根據所使用的會計方法，折舊可採三年或五年分攤，而大多數量測設備的折舊年限可能更短。無論採用何種方法，五年內殘值就幾乎等於零。在折舊年限內，設備故障的機率相對較低，然而五年後，故障的機會開始升高，並且隨著設備老化而持續增加。

因此，您決定建立操作模型的時間點，將全面影響使用 CoT 工具所產生的成本計算結果。在第 1 年，主要費用是購置成本，到了第 10 年，維護和停機因素將導致費用節節攀升。所以，您計算出的成本是多少？其實，最準確的數值是設備在預期使用壽命內的平均成本，其中計入了設備老化所衍生的各種費用。

了解真正的 TCO 後，您將發現使用 CoT 模型來計算平均成本會產生誤導。讓我們以使用相同設備的兩條生產線為例。假設兩個 CoT 模型所求得的成本相同，唯一的差異是一條生產線具有測試速率瓶頸，另一條生產線沒有。使用 CoT 模型時，這個因素通常不會影響計算結果。相較之下，TCO 模型會將這個瓶頸納入可靠性和維修完成時間等參數中。在有測試速率瓶頸的產線上，任何停機時間都會影響到生產速度，進而影響營收。

我們再來討論另一種狀況，就是必須在兩家測試設備製造商中擇一配合，以建立一條新的生產線。其中一家的測試設備售價較高，但故障率較低；另一家則恰好相反，售價低、故障率高。採 CoT 模型時，售價較低的資產似乎是較有利的選擇，但如果將 TCO 納入考量，則預先支出較多預算在更可靠的資產上，才是明智的抉擇。雖然 CoT 和 TCO 模型有很多差異，但其實這兩種方法是互補的。如果您想在生產週期中建立準確的 CoT 模型，或藉由比較兩個不同的量測設備，以獲得準確的 PBL 成本，則 TCO 為深入了解成本結構的基礎。讓以下將探討 TCO 模型的細節。

## 整體擁有成本

### TCO 的定義

TCO 被定義為在其使用壽命內，擁有和操作一台設備的總成本。是德科技為測試和量測產業開發了 TCO 模型，其中包含資本支出（採購成本）和操作費用這兩個核心要素。資本支出的結構相當單純，折舊年限是唯一的變數。資本支出是取得與安裝儀器的成本（ $C_a$ ）。而操作費用則可細分為各種不同的項目，您可以決定要將哪些明細，以何種形式，納入 TCO 模型中。本文提出的 TCO 模型，將操作費用細分為下列要素：

- 預防性維護 —  $C_{pm}$
- 維修 —  $C_r$
- 減少停機時間 —  $C_{dm}$
- 技術更新 —  $C_{tr}$
- 培訓與教育 —  $C_{te}$
- 轉售價值或處置成本 —  $C_{rv}$
- 設施 —  $C_f$
- 其他 —  $C_o$

以下為計算整體擁有成本的公式

$$TCO = C_a + C_{pm} + C_r + C_{dm} + C_{tr} + C_{te} + C_{rv} + C_f + C_o$$

### TCO 成本要素

設備的校驗（即計量）通常是構成預防性維護費用的最大成本要素。因此，要降低計量成本，唯一的方法就是延長校驗週期。除了校驗成本之外，其他重要變數包括儀器完成校驗時間（TAT）、物流成本和任何「維修成本」，以便讓儀器調整到校驗後的狀態。預防性維護成本還包含其他定期發生的費用，例如固定更換磨損零件的費用等等。

維修，有時也稱為修正性維護，通常指非計劃的故障事件，例如設備故障。就此 TCO 模型而言，修正性維護成本包含進行修復、修復後重新校驗、移除 / 運送 / 重新安裝（物流），以及驗證設備性能等種種成本。我們可藉由簽訂維修合約來確認維修成本。如果設備擁有者想要的話，也可以針對每個故障事件（PI）個別採購維修服務。依據您可以預估一年中儀器可能發生問題的次數，以便估算年度的單次修理成本，也就是將每次修理成本，乘上每一年可能出現的設備故障次數。乍看之下，PI 策略的成本似乎較低，但其實您沒有考慮到，維修合約可提供更短的修復 TAT，並可減少停機時間。

一旦停機，設備擁有者就無法使用儀器，這樣的代價相當高昂。為此，您需在 TCO 算式中加入成本變數，例如每週租賃費率，因此公式變成：無法使用設備的成本 = (購買價格) x (租賃費率) x (修復 TAT)。

高效能量測設備的每週租賃費率通常佔儀器採購價格的 2% 至 5%。

對於企業而言，計劃之外的修正性維護事件（例如設備故障），其後果可能非常慘痛，甚至可能帶來災難性結果。舉例而言，如果量產製造環境中或是重要研發應用所使用的測試系統無法運作，可能導致訂單被取消、業務商機流失，讓企業蒙受總金額高達數百萬美元的損失。由於這類停機事件很難估算或預測其損失，TCO 模型並未將這部分的成本歸類到修復成本項下，而是用成本規避方法與策略（通稱為減少停機時間策略）來避免產生這種「災難性」成本。例如，您可購買可靠性更高的儀器、縮短儀器完修時間，並增加測試容量等等。

技術更新（有時稱為產品轉移）是指設備擁有者希望將其資產升級為具有更高量測能力，或是具高速量測速度的產品。產品轉移成本通常源自於設備擁有者為確保新的設備在測試過程中之向後 / 向前相容性所進行的投資。而開發與編輯測試程式碼，以確保設備在測試過程中的相容性，所花費的成本相當可觀。這些都是一次性費用，應均攤在所有可帶來獲利的現有設備。

基礎設施成本則包括操作設備所需的電力和設備的佔地面積。

當設備使用壽命結束，可透過銷售、換購，或設備回收等方式來處理資產。在 TCO 模型中，銷售和換購都被當作是可扣抵的成本。在 TCO 公式中，高轉售價值成為優質產品供應商的策略性優勢。

企業可能還需要納入其他的 TCO 成本，包括耗材，例如連接器和電纜。

## 減少災難性停機成本

如前所述，隨機出現的非計畫性停機事件（設備故障），極可能使企業蒙受災難性的損失。但我們無法以準確又可信的方式估算停機成本。因此企業需開發並部署設備運作策略，以減輕（或消除）非計畫性停機事件的衝擊。現在有許多減少停機時間策略可供工程和管理階層選擇，包括：

- 1) 高可靠性
  - 選擇具高可靠性的產品。
- 2) Low Repair TAT
  - 選擇提供最低修復 TAT 的送回維修 (return-to-depot) 服務供應商。
  - 由簽約的服務供應商來進行現場修復，或在內部培養現場維修能力。
  - 購買延長保固服務合約，以減少或消除物流、行政和採購延遲。
- 3) 增加容量與備援
  - 購買並保留額外的製造測試容量。
  - 購買備用設備。
  - 購買備用零件（自行維修用）。

## TCO 成本要素隨時間的變化

在 TCO 公式中，某些因素將導致成本隨時間而變化。例如，設備的可靠性（影響修復成本和停機成本）通常遵循典型的可靠性浴缸曲線。這條曲線最初會有一段改善故障率時期（新設備損壞率），隨後是一段固定故障率時期，最後是故障率升高時期（磨損）。電子量測設備的機電裝置是易於磨損的機構，導致 TCO 成本出現變化的另一個因素是校驗週期（影響計量和預防性維護成本）。為了讓企業正確地計算未來的運作成本，建立 TCO 成本隨時間變化的模型至關重要，如圖 1 所示。

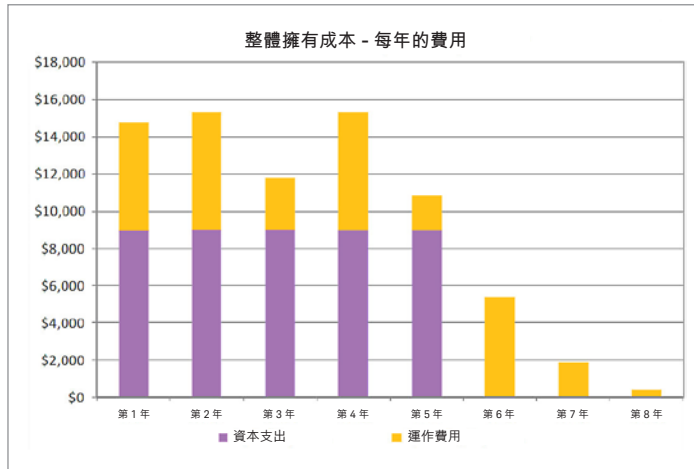


圖 1：整體擁有成本隨時間的變化

## TCO 高於採購價格

在 TCO 公式中，採購價格通常被視為是最重要的成本要素。很多時候，採購價格甚至是公式中的唯一要素。讓我們來看一個例子，其中效能、計量和可靠性等因素，對於 TCO 計算有極大的影響。

產品 A 是高成本的測試解決方案，售價 10 萬美元，可提供更高的量測速度、更長的校驗間隔、出色的可靠性，和更高的程式碼相容性。由於具有高可靠性，產品 A 的使用者只需保留較少的測試容量，以防止設備故障等計劃外的停機事件（即下表中的減少停機時間）。產品 A 的供應商還提供現場維修，這是產品 B 的供應商無法提供的服務。現場維修服務合約雖然使得價格升高，但是與送回原廠維修合約相比，大幅降低的修復 TAT 讓這個採購變得超划算。

產品 B 在許多設備擁有成本要素方面均略遜一籌，不過售價低了 25%。業界認為產品 A 具有較高的內在價值，它在公開市場中的高轉售價值證明了這一點。

表 1 列出產品 A 和 B 之設備擁有成本中的關鍵差異。

表 1：

	產品 A	產品 B
購買價格	\$100,000	\$75,000
每個 DUT 的測試時間 (秒)	75	100
量測速率 (每週可處理的 DUT)	4400	3300
校驗間隔 (年)	2	1
年度故障率	8%	13%
年度簽約維修成本	\$2,200	\$1,300
修理期間的停機時間 (天數)	2.0	30.0
減少停機時間 (保留容量)	4%	7%
程式碼開發成本	\$10,000	\$50,000
轉售價值	\$25,000	\$10,000

測試設備在製造環境中每週運作 96 小時，使用壽命為 8 年，折舊攤提為 5 年。停機損失（每週 4% 的購買價格）反映在修復、校驗或其他預防性維護期間，設備停止運作的成本。測試軟體開發成本以確保程式碼相容性，平均攤提在 20 個已安裝的測試系統。

執行 TCO 分析後，結果顯示擁有和操作產品 A 的生命週期成本為 137,000 美元，而產品 B 的生命週期成本為 160,000 美元。如將速度優勢納入考量，產品 A 顯然是更划算的選擇。產品 A 的 TCO 結果顯示每個 DUT 的成本為 10.1 美分，而產品 B 的 TCO 則顯示每個 DUT 的成本為 14.8 美分，如圖 2 所示。產品 A 不僅總運作成本更低，而且就 DUT 成本來看，產品 A 的資本支出也低於產品 B。

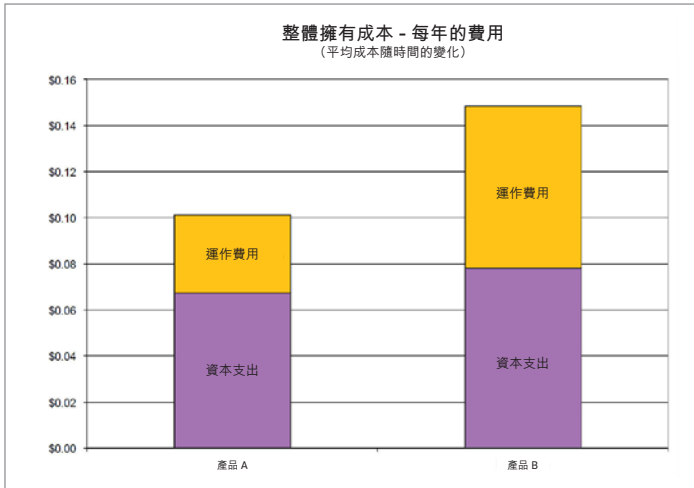


圖 2：以每個 DUT 成本表示的 TCO

您需了解測試設備運作費用的主要差異。圖 3 顯示，計量成本和維修成本是導致產品 A 和產品 B 之資本支出出現重大差異的兩個關鍵要素。產品 A 具有較長的校驗間隔，是其最大的 TCO 優勢，結果反映在較低的計量成本上。出色的可靠性和維修期間較短的停機時間，是產品 A 得以降低維修成本的因素。事實上，這兩個因素大大抵消了產品 B 提供的較低簽約維修成本。

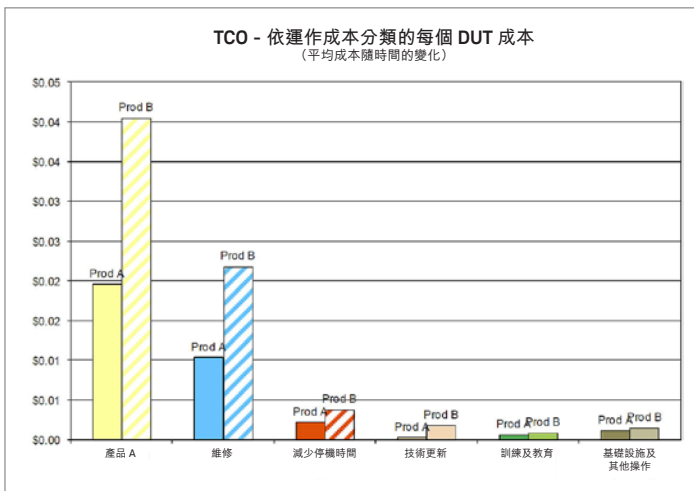


圖 3：以每個 DUT 成本表示的操作成本

## 結語

本文比較並對照了測試成本和整體擁有成本模型。這兩種技術本質上是互補的，並有重疊之處，但 CoT 的缺點之一是它通常僅計算某個單一時間點的成本。本文介紹的 TCO 方法藉由提供一個模型，來計算設備整個生命週期中的重要設備擁有成本，進而縮小此一落差。

由於技術已不再是提供差異化的競爭手段，並且由於採購部門多半根據購買成本做出採購決策，因此了解真正的設備擁有成本，對於企業的成功變得越來越重要。前期取得資產的成本較低，不代表在其使用生命週期內，擁有和操作該設備的總成本較低，因此也不代表所製造之產品的 CoT 較低。

## 參考文件

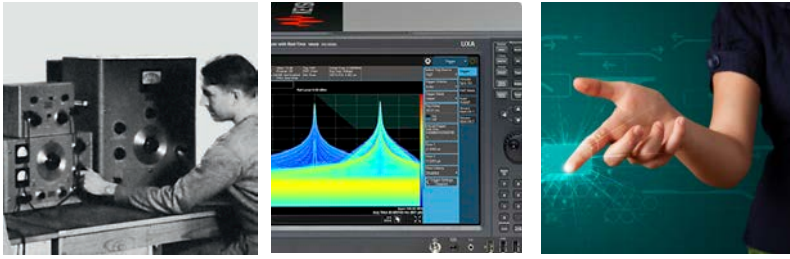
- [1] *Total Cost of Ownership Models: An Exploratory Study*, Bruce G. Ferrin and Richard E. Plank, *Journal of Supply Chain Management*, Summer 2002, pp. 18-29.
- [2] *Using Availability Analysis to Reduce Total Cost of Ownership*, Bill Lycette, *Journal of the Reliability Information Analysis Center*, Second Quarter, 2010, pp. 10-15.
- [3] *Uncovering the Total Cost of Ownership of Storage Management*, Mark Buczynski, *Computer Technology Review*, January 2002, pp. 45-446.



## 演進

是德科技獨一無二的硬體、軟體，支援及專家組合，可協助您拓展全新的局面。

讓我們是帶動前瞻技術不斷演進的推手。



薪火相傳 - 惠普將火炬傳給安捷倫，再由安捷倫交棒給是德科技



### myKeysight

myKeysight

[www.keysight.com/find/mykeysight](http://www.keysight.com/find/mykeysight)

透過個人化頁面查看與您息息相關的資訊。

### KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.  
Lower costs.

是德科技服務

[www.keysight.com/find/service](http://www.keysight.com/find/service)

是德科技擁有領先業界且陣容堅強的專業人員、量測程序和測試工具，可提供一應俱全的設計、測試和量測服務。如此一來，我們協助您部署新技術，並改善量測程序，以便降低成本。

三年保固



[www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty](http://www.keysight.com/find/ThreeYearWarranty)

除了享有卓越的產品規格外，您還可獲得與眾不同的產品擁有體驗。是德科技是全球所有量測儀器廠商中，唯一保證所有儀器皆享 3 年保固的廠商。此外，是德科技針對所有配件、校驗裝置、系統和客製化產品，提供完整的 1 年保固。



是德科技保固保證方案

[www.keysight.com/find/AssurancePlans](http://www.keysight.com/find/AssurancePlans)

是德科技提供長達十年保固，以避免任何意外的維修費用，確保儀器能夠在規格範圍內運作，讓您能永遠信賴儀器提供的量測準確度。

原刊登於 IEEE AUTOTESTCON 2010 期刊

[www.keysight.com/find/techrefresh](http://www.keysight.com/find/techrefresh)

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢

聯絡窗口查詢：

[www.keysight.com.tw/find/contactus](http://www.keysight.com.tw/find/contactus)

台灣是德科技網站：

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)

台灣是德科技股份有限公司

免費客服專線：0800-047-866

104 台北市復興南路一段 2 號 7 樓

電話：(02) 8772-5888

324 桃園市平鎮區高雙路 20 號

電話：(03) 492-9666

802 高雄市四維三路 6 號 25 樓之 1

電話：(07) 535-5035

DEKRA Certified  
ISO 9001 Quality Management System

[www.keysight.com/go/quality](http://www.keysight.com/go/quality)

是德科技 -

DEKRA Certified ISO 9001:2015

品質管理系統。

本文件中的產品規格及說明如有修改，恕不另行通知。

© Keysight Technologies, 2010 - 2017  
Published in USA, February 22, 2017

中文版：5992-6642ZHA

[www.keysight.com.tw](http://www.keysight.com.tw)



Unlocking Measurement Insights