

# 要因分析的科學方法

◎李麗女 編譯

## 利用品質工具分析數據以科學方法應用於 要因分析 專注於事實

要因分析(RCA)的運作方式與科學方法非常相似—即使假設錯誤，仍然可以從過程中獲取有用的資訊，幫助未來的要因分析。

作者討論了如何將科學方法應用於要因分析，並使用品質工具來分析數據。

學習測試和評估假設的過程，以便最終根據結果採取行動。

在科學中，假設是被形成並評估的。假設「是一個假定的原則或狀態，用以解釋一系列事實<sup>1</sup>。」它被暫時假定為真，以便進行測試。

假設應該保持簡單，並避免做出過多的假設<sup>2</sup>，因為更複雜的假設不太可能正確。假設也必須是可以被駁回的<sup>3</sup>—無法測試的假設幾乎沒有用處。

通常，假設會被形成、評估並駁回，這是科學的一部分，也是尋求真理和了解自然狀態的過程。真理是未知且幾乎無法知曉的。我們只有「我們所知」，而這些知識隨著時間的推移而不斷接近真理。

**獲取知識的科學方法：數據必須轉化為資訊，這是將數據組織成結構化格式的結果。資訊隨後可以用來獲得知識。**

科學與知識的追求是循序漸進的。有時，當基本假設被發現是錯誤的時候，可能需要退一步。例如，以乙太(aether)為例。科學家曾經相信地球穿越乙太，但這

是錯誤的—這一點由邁克爾森-莫雷實驗證明(詳見下列方框內的註解「追尋品質相關知識」)。

### 追尋品質相關知識

#### 乙太

亞里士多德認為，天上的光亮天體是由一種稱為「乙太」<sup>1</sup>的物質構成的。後來，這種「光輻射乙太」被認為是光在空間中傳播的介質。

1887年，物理學家阿爾伯特·A·邁克爾遜和愛德華·W·莫雷進行了一個實驗，測量光在兩個垂直方向上的速度，以確定物質相對於光輻射乙太的運動。然而，他們意外地發現：根本不存在光輻射乙太<sup>2</sup>。

雖然光輻射乙太在19世紀是一個重要的科學概念，但它通過實驗中的發現被排除了。當時的科學家們錯了；然而，經過修正後，為後來的特殊相對論開闢了道路。

### 探索性數據分析

約翰·圖基創立了探索性數據分析(EDA)，他認為這是一種偵探工作，用於獲取線索和理解證據。

EDA使用圖形方法來觀察數據中的顯著特徵。有趣的觀察結果可以通過更具實證性的方法進行評估<sup>3</sup>。

突出顯著的觀察結果是“顯著特徵”，它們“是因果效應的指紋”<sup>4</sup>。在確定這些顯著特徵後，可以通過更具實證性的方式，例如統計假設檢定或實驗來進行評估。



### 迭代歸納演繹過程

迭代歸納演繹過程是一種學習過程，利用演繹法從假設到數據，再利用歸納法從數據到假設<sup>5</sup>。在這裡，歸納法使用已知的資訊來推斷一般前提，而演繹法則從一般概念推導出具體情況<sup>6</sup>。

如果演繹論證的前提為真，那麼論證必定為真。另一方面，歸納論證提供證據來支持前提的真實性，但不一定能證明它。迭代歸納演繹過程在歸納和演繹的階段之間循環，並在這些階段之間進行實驗或觀察。

### 科學方法

科學方法用於獲取科學知識。然而，沒有一種單一的科學方法。學校教授的科學方法可能與實際科學家在實驗室中使用的方法略有不同。然而，儘管解釋科學方法的方式各異，所採取的行動基本相似。

科學方法的一個版本是約翰·普拉特的強推論法，它從形成一個替代假設開始。接著，設計一個關鍵實驗，盡可能排除其他假設。實驗完成後，過程會重複，每次都修改假設<sup>7</sup>。

假設永遠無法真正被證明為真，因為未來的實驗總是可能反駁它<sup>8</sup>；然而，經過嚴格評估和測試的假設可以暫時假設為真。

參考資料：

1. Isaac Asimov, *The Stars in Their Courses*, Ace Books, 1971.
2. David Bohm, *The Special Theory of Relativity*, Routledge Classics, 1965.
3. John W. Tukey, *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, 1977.
4. Jeroen de Mast and Marcus Bergman, "Hypothesis Generation in Quality

Improvement Projects: Approaches for Exploratory Studies," *Quality and Reliability Engineering International*, Vol.22, No. 7, 2006, pp. 839-850.

5. Bertrand Russel, *The Problems of Philosophy*, Dover Publications, Inc., 1999.
6. George E.P. Box, Stuart Hunter and William G. Hunter, *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building*, second edition, John Wiley and Sons, 2005.
7. John R. Platt, "Strong Inference," *Science*, Vol. 146, No. 3642. October 1964, pp. 347-353.
8. Karl Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Routledge, 2007.

然而，這並不意味著科學是錯誤的一恰恰相反。通過證明乙太的不存在，這個實驗成為了科學家發現新資訊並修正理論以適應最新知識的例子。

知識不是自動獲得的。它很少會以禮物的形式出現在大淺盤上，以等待結論的得出。知識始於數據，數據本身僅僅是一組事實，數據可以從許多可能的來源收集，使用各種方法進行收集。數據可以是來自某個族群的樣本、對小族群中每個個體的描述，甚至是調查的原始結果。

數據必須轉化為資訊，這是將數據組織成結構化格式的結果。可以在細節中找到感興趣的類別，例如在特定時間內失效的部件數量。然後，這些資訊可以用來獲得知識。例如，我們可能知道部件只有在生產班次開始時才會失效，即使我們不知道為什麼。

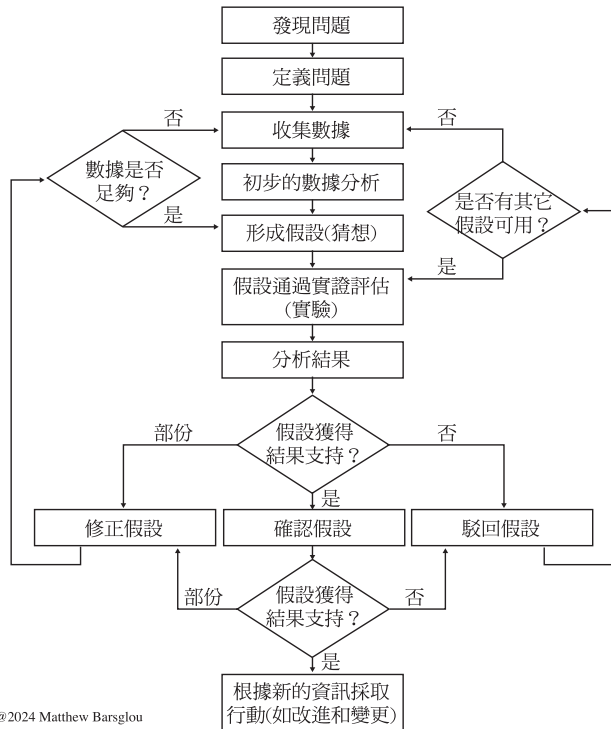
### 科學方法與要因分析(RCA)

到目前為止，我已經討論了科學和知識，但尚未涉及要因分析(RCA)。在這

裡，適用相同的概念，即在要因分析的主題下，必須獲得知識來確定失效的原因或

改進產品或過程。圖1展示了將科學方法應用於要因分析的過程。

圖1 要因分析的科學方法



## 問題定義

在發現問題後，必須採取措施來解決問題。通常，發現問題後可能會導致要进行要因分析，以識別失效的原因。

在發現問題後，必須明確定義問題。問題定義應包括事實數據—而非推測—並從客戶的角度來表述。包括失效的數量和以比例表達的失效情況，以及失效的位置。可以以要點形式添加更多細節。一個問題陳述的例子是：

「客戶ABC識別出90個(3.3%)型號XY的電路板，部件號464848948v004，在客戶

的終端測試中未能通過電導測試。

- 批次號為202111254的失效部件於1月22日生產。
- 該部件已連續生產三年，且未發現類似的失效。」

## 數據收集

在了解問題後，通常需要收集數據。數據可能已經存在，例如儲存在電腦中的統計過程控制數據。在這種情況下，只需收集這些數據。或者，可能需要實地進行測量以獲取所需數據。

制定並使用數據收集計畫，在收集數據時會有所幫助。數據收集計畫列出了將收集的數據類型、收集地點、收集條件、使用的測量設備、數據收集人員以及數據收集時間。

### 探索性數據分析(EDA)

在數據收集後，必須對數據進行分析，以獲取資訊。探索性數據分析(EDA)在這個階段特別有用，因為它通過圖形化的方式探索數據，幫助獲得見解，這些見解可用來形成暫時的假設以解釋失效原因。典型的EDA方法包括：

- **箱型圖(Boxplots)和個別圖形(individual plots)**：用於查看數據集，而不考慮數值生成的順序。
- **直方圖(Histograms)**：用於查看數據分布的形狀。
- **趨勢圖(Run charts)**：當數據按照生成順

序提供使用時。例如，如果測量尺寸是按照順序收集的，可以在趨勢圖中繪製出來。結果的圖表可能顯示出尺寸在特定時間突然變化。

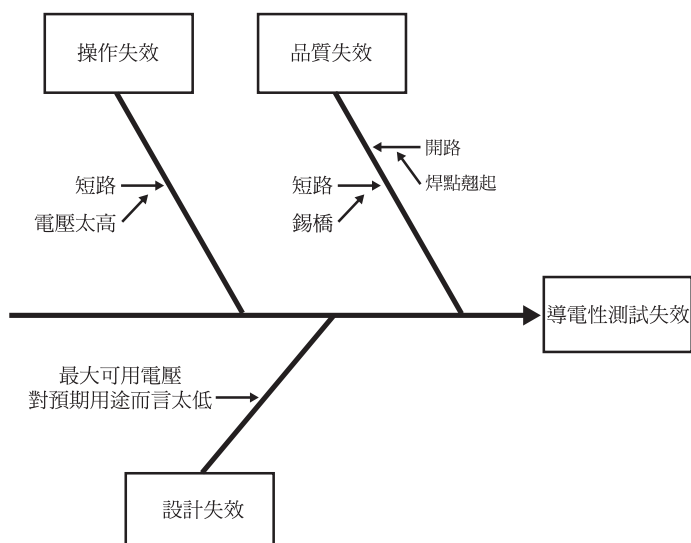
在資訊收集過程中，可能需要額外的品質工具。例如，查檢表(check sheet)可以用來確定失效率，而流程圖(flowchart)可以用來更好地理解過程。

其他對RCA可能有幫助的品質工具包括心智圖(mind maps)、親和圖(affinity diagrams)、樹狀圖(tree diagrams)、關聯圖(relations diagrams)、工作流程圖(workflow diagrams)、散佈圖(scatter diagrams)、是否矩陣(is-is not matrixes)和柏拉圖(Pareto charts)<sup>4</sup>。

### 假設形成

當有足夠的資訊時，可以形成假設並實證評估該假設。所有假設可以列在石川圖(Ishikawa diagram)中，如圖2所示。

圖2 石川圖



石川圖的右側列出問題，假設則列在各分支上。典型的分支標記包括「方法(method)」、「測量(measurement)」、「員工(employee)」、「機械(machine)」、「環境(environment)」和「材料(material)」。然而，這些標記可以有所變化，「品質失效(quality failure)」、「設計失效(design failure)」和「操作條件(operating conditions)」等標記也對RCA有用。

假設必須是可測試的，才有實際用途。例如，如果沒有錄影記錄作業員在組裝時做了什麼，「作業員錯誤(operator error)」可能很難確認。與其將操作員錯誤列為假設，不如列出操作員錯誤的後果，例如因使用

過多焊料而形成的錫橋(solder bridge)。

假設也可以使用「五個為什麼(five whys)」來擴展，即問「為什麼？」五次。然而，對於RCA，最好保持在較高的層次，只有在確認假設後才問「為什麼？」。例如，如果有焊錫橋，則可以在石川圖中將焊錫橋作為子分支列出，並在焊錫橋下列出新的假設或多個新假設。

### 假設評估

來自石川圖的假設應該轉移到行動項目追蹤器中，例如表1所示的Perkin追蹤器。石川圖的頂部分支與假設一起列出，接著按優先級別劃分為高、中、低。

表1 Perkin追蹤器

| 石川分支 | 假設              | 優先級別 | 措施           | 到期日  | 負責人     | 結果        |
|------|-----------------|------|--------------|------|---------|-----------|
| 品質失效 | 開路—焊點翹起         | 中    | 檢查是否有翹起的焊點   | 7月2日 | Carl M. | 未觀察到翹起的焊點 |
| 品質失效 | 短路—錫橋           | 高    | 檢查是否有錫橋      | 7月2日 | Carl M. | 未觀察到錫橋    |
| 操作失效 | 短路—電壓太高         | 高    | 檢查是否因高壓電導致損壞 | 7月2日 | Ty L.   | 未觀察到損壞    |
| 操作失效 | 短路—電壓太高         | 高    | 請求客戶的測試數據    | 7月6日 | Rene D. |           |
| 設計失效 | 最大可用電壓對預期用途而言太低 | 低    |              |      |         |           |

● **高優先級別假設**：這些假設要麼有強而有力的證據與問題相關，要麼只是快速且容易評估，且成本有限。例如，在投入大量資金進行昂貴的測試程序之前，可能更好地先進行低優先級別的尺寸檢查，這樣可以避免對成本過高的高優先級別假設進行過多的投入。

● **中優先級別假設**：這些假設的證據支持程度較低，或需要過多的資源來檢查。可能需要在資源可用且不會延誤對高優先級別假設調查的情況下，對這些假設進行額外的措施。

● **低優先級別假設**：這些假設在理論上可能引起問題，但目前的證據不支持它們。

對所有高優先級別假設分配措施項目。如果資源允許，並且這些措施不會延誤對高優先級別假設的調查，也可以對中優先級別假設分配額外的措施項目。

對於石川圖中的假設，可能需要分配多個措施項目，每個行動項目應有截止日期和負責執行的專人。如果負責人員不是團隊成員，如內部或外部測試實驗室的員工，則應指定一名問題解決團隊的成員負責通知該人員並報告結果。最後，結果應列在Perkin追蹤器中。

可能需要多次循環的實驗並需要加以形成假設，這是正常的一科學方法包含實證和概念元素<sup>5</sup>。通常，調查者必須在新的假設根據先前實驗結果的基礎上，經歷實驗和假設形成的循環。George E.P. Box、Stuart Hunter和William G. Hunter將這稱為「迭代歸納-演繹過程」<sup>6</sup>。

任何產生的新假設應列在石川圖中，轉移至Perkin追蹤器並按優先級別排列。例如，當手機連接到充電器時可能只間歇性充電，此時一個有用但模糊的假設可能是「系統中有某個部分損壞」。測試此假設的一種簡單方法是用不同的充電器充電手機，或用原來的充電器充電另一部手機。如果原手機充電正常，而另一部已知良好的手機充電間歇，則問題可能起因於充電器和電纜。如果問題是充電器或電纜，則下一步假設是「充電器和電纜有問題」，並可以進一步調查。

產業界中的問題可能比簡單的手機例子複雜得多，但相同的原則仍然適用。與假設的手機例子不同，產業界中的問題可以通過團隊方法來處理，這樣可以確保有合適的專家提供意見。例如，對於破損的機械加工金屬托架的調查應包括冶金學家和機械加工專家。此外，生產操作員也可

能因為對部件的經驗和詳細了解生產步驟中對托架的處理而提供有價值的見解。

在形成假設和規劃實驗時，擁有主題專家(SMEs)是至關重要的。實驗可以簡單到檢查故障單位內部是否缺少部件。或者，可以使用實驗設計來獲取新的見解。在這兩種情況下，規劃實驗所需的基本活動是相同的。實驗涉及四個活動：猜測、實驗、分析和結論。首先，提出一個猜測；換句話說，形成一個假設。然後，對該假設進行實驗測試。接下來，分析結果，並根據結果得出結論。

如果假設得到了部分支持，則可能需要修訂假設並進行新的實驗<sup>7</sup>；如果假設完全得到支持，則需進行驗證；如果結果不支持假設，則可能需要完全駁回該假設。

### 假設的駁回或修訂

即使一個實驗導致假設被駁回，也不應視為失敗，即使這個假設曾被強烈認為是正確的，因為從實驗中獲得的新資訊仍然有價值。當假設被駁回時，實驗者至少知道該假設是不正確的。另一方面，如果假設得到部分支持，則可以利用從實驗中獲得的知識來完善假設。

當假設需要修訂時，可能需要收集更多數據。假設進行修改後，修訂過的假設應列在石川圖中。如果假設被駁回，則需要收集數據並形成新的假設，或選擇其他現有假設進行評估。

### 假設確認

如果實驗支持假設，則應進行確認實驗。在要因分析(RCA)中，這可能包括通過移除和重新安裝修正措施來開關問題，以驗證根本原因。或者，也可以收集更多相同類型的數據，以確保統計分析的結果保持不變。



### 根據新資訊採取行動

當結果得到證據支持時，必須付諸實施。在這個階段，應確定和評估潛在的解決方案，並實施和監控選定的解決方案。

### 結論

要執行要因分析(RCA)，必須找到數據並將其轉換為資訊，從而形成可以通過實驗進行評估的假設。石川圖提供了一個列出假設的地方。這些假設被轉移到Perkin追蹤器中，進行優先級別排序並進行實驗調查。然而，一次實驗通常是不足夠的，從實驗中獲得的資訊/信息可以用來規劃進一步的實驗。

### 參考文獻：

- 1.Stephen Tramel, "Explanatory Hypotheses and the Scientific Method," Ways of Knowing in Comparative Perspective: The WKCP Companion and Anthology, Copley Custom Textbooks, 2006.
- 2.W.V. Quine and J.S. Ullian, The Web of Belief, 10th edition, Random House, 1978.
- 3.Tramel, "Explanatory Hypotheses and the Scientific Method, see reference 1.
- 4.Nancy Tague, The Quality Toolbox, second edition, Quality Press, 2005.
- 5.Tramel, "Explanatory Hypotheses and the Scientific Method," see reference 1.
- 6.George E.P. Box, Stuart Hunter and William G. Hunter, Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis and Model Building, second edition, John Wiley and Sons, 2005.
- 7.Douglas C. Montgomery, George C. Runger and Norma F. Hubble, Engineering Statistics, second edition, John Wiley and Sons, 2001.

作者: Matthew Barsalou works in the automotive industry in Germany. He has a master's degree in business administration and engineering from Wilhelm Büchner Hochschule, and a master's degree in liberal studies from Fort Hays State University in Hays, KS. Barsalou is an academician in the International Academy for Quality, an ASQ fellow and the 2021 chair of ASQ's Statistics Division. He is certified as a lean Six Sigma Master Black Belt and an ASQ-certified Six Sigma Black Belt, manager of quality/organizational excellence, quality technician and quality engineer.

### 資料來源：

Quality Progress April 2024, Page 28-35  
Reprinted with permission from Quality Progress©  
2024 AQS,  
www.asq.org All rights reserved. No further  
distribution allowed without permission.

