

The Application of the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) to the Creative Engineering Design for the Cooling System of Disc Brakes

Yung-Jun Weng* and Tzu-Yi Lei

Department of Mechanical and Energy Engineering, National Chiayi University,
Chiayi City, Taiwan

*Corresponding author, E-mail: yjweng@mail.ncyu.edu.tw

(Received 7 November 2016; final version received 22 August 2017)

Abstract

With the application of the TRIZ tool, this study attempts to solve the problem of defective brakes, which caused by the high temperature created during the friction between the brake pad and disc, by creative design and discussion. During the process of design, the design and discussion of function analysis, substance-field analysis, design discussion and improvement of 76 standard solutions, discussion of opportunity recognition, and design and discussion of 39 engineering parameters and 40 invention principles, are used for a series of analysis. Finally, the separated and water cooled disc braking system is used to provide the possibility and reference for the creative engineering design and patent of relevant industries.

Keywords: TRIZ, Braking system, Disc, Cooling

References

- John, T., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). *Systematic Innovation, an introduction to TRIZ*.
- Liou, S. (2004), Investigation of the Management Style and Profit Model in Convenience Store, I-Shou University, Master Thesis.
- Sheu, D. (2015), *Mastering TRIZ Innovation Tool: Part I*, Agitek International Consulting, Inc..
- Liao, W.(2017), Using TRIZ to Increase the University Service Quality, National Taichung University of Education, Master Thesis.
- Chen, P.(2016), Using TRIZ to Enhance the Loyalty to the Tutoring School, National Taichung University of Education, Master Thesis.
- Slutsky, A. S. (1999). *Lung injury caused by mechanical ventilation*, Chest, 116(1) , 9S-15S.
- Torres, A., Ewig, S., Lode, H. and Carlet, J. (2009). *Defining, treating and preventing hospital acquired pneumonia:European perspective*, *Intensive Care Medicine*, 35, 9-29.

應用 TRIZ 發明性問題解決理論進行碟式煞車散熱系統之 創意性工程設計

翁永進^{1*}、雷子誼²

¹ 國立嘉義大學機械與能源工程學系副教授

² 國立嘉義大學機械與能源工程學系專題生

*通訊作者，E-mail：yjweng@mail.ncyu.edu.tw

摘要

本研究利用 TRIZ 之發明性問題解決理論部分工具，嘗試解決煞車來令片與碟盤摩擦過程溫度過高導致煞車失靈之創意性設計與探討。設計過程中經由元件分析(Function analysis)設計探討、物質-場分析、76 標準解設計探討改良機會辨識探討以及 39 工程參數和 40 發明原則設計探討進行系列性的分析，最後經由分離水冷式碟式煞車系統之作為，提供相關產業創新工程設計專利的可能以及參考。

關鍵詞： TRIZ、煞車系統、碟盤、散熱

1. 發明性問題解決理論簡介

TRIZ 是前蘇聯—亞賽拜然 (Azerbaijan) 發明家：根里奇·阿奇舒勒 (Genrich Saulovich Altshuller) 所提出，他認為發明者是能夠經由學習而達成的，當人們進行發明創造、解決技術難題時，能夠有可遵循的科學方法和法則，再經由系統性的整理並將各種參數集大成，方可涵蓋大部分可行之創意。Altshuller 領導前蘇聯的研究機構、大學、企業組成 TRIZ 的研究團體，在他和團隊致力研究下，總結出各種技術發展進化遵循的規律模式，能夠解決大部分技術矛盾和物理矛盾的創新原理和法則，並綜合多學科領域的原理和法則，建立起 TRIZ 理論體系(維基百科, 2017)。TRIZ 體系大致分為以下幾種：衝突矩陣、76 標準解答、ARIZ、AFD、物質-場分析、ISQ、DE、8 種演化類型、科學效應等，常用的有衝突矩陣、76 標準解答及物質-場分析。

TRIZ 在商業上價值極高，故近年許多企業皆採用 TRIZ 協助研發，知名公司如克萊斯勒公司、通用公司、全錄公司、飛利浦、雪鐵龍...等。台灣業界也有利用 TRIZ 成功改善或改良產品的成果，如台積電利用 TRIZ 改善 300mm plating efficiency、台灣電力公司利用 TRIZ 改善輸電地下電纜運轉容量等(維基百科, 2017；北美智權 NAIPO, 2018；MBA 智庫百科 MBA, 2018；翁國亮、黃俊明等 2010；許棟樑, 2016)。世界發展至今，天馬行空的創意有限且效率低落，故若能以系統性、規律性的分析問題並且找到理想且符合需求的創意或解決方法，即能快速且有效率地使世界進步。以下，

本研究將利用 TRIZ 之發明性問題解決理論部分工具(John, T., Zusman, A., & Zlotin, B, 1998；Liou, S, 2004；Sheu, D, 2015；Liao, W, 2017；Chen, P, 2016；Slutsky, A. S, 1999；Torres, A., Ewig, S., Lode, H. and Carlet, J, 2009)，進行生活上常見的問題進行分析與 TRIZ 工具使用，藉以鑑別並凸顯此工具在使用上的優秀之處，同時提供相關產業進一步可參考的方法。

2. 煞車系統散熱問題說明

本研究致力於改善煞車來令片與碟盤摩擦過熱之創意性設計與探討。針對市面上常見之碟盤，經觀察市面普遍使用的煞車碟盤種類有下列幾種(維基百科, 2017)：實心平盤、實心打孔、實心劃線、通風平盤、通風打孔、通風劃線。平盤：碟盤表面無任何打孔或刻紋。打孔：在碟盤表面打孔，增加散熱面積達到更佳的散熱效果。劃線：在碟盤表面刻線，使煞車產生之粉塵能夠迅速排除，以保持煞車力道。而實心盤和通風盤的區別是：實心碟盤內部為實心構造，而通風碟盤內部則是輻射中空構造延伸到碟盤側面，使空氣能在碟盤內帶走熱量，利用碟盤本身的旋轉和空氣做傳導，但以上幾種煞車碟盤在高度使用煞車的情況下，散熱效果不佳可能導致碟盤與來令之間摩擦力下降或者使煞車油沸騰產生氣阻現象(維基百科, 2017)，導致煞車失靈。

綜上所述，本研究嘗試利用 TRIZ 多種不同創意性工具進行煞車系統散熱改良設計，期許能獲得使煞車效果在高度使用下仍能正常運作的解決辦法。

3. 煞車系統散熱問題與理況分析

3.1 元件分析(Function analysis)設計探討

本章節首先針對煞車系統進行初步子系統(Sub-system)、系統(System)與超系統(Super system)分類，與其過熱問題產生的情況之相關性。

本研究以圖 1 簡易示意圖作為表現。同時，並將其分類為，系統：煞車系統；子系統元件：煞車碟盤、煞車來令、煞車油；超系統元件：空氣，如圖 2 所示。

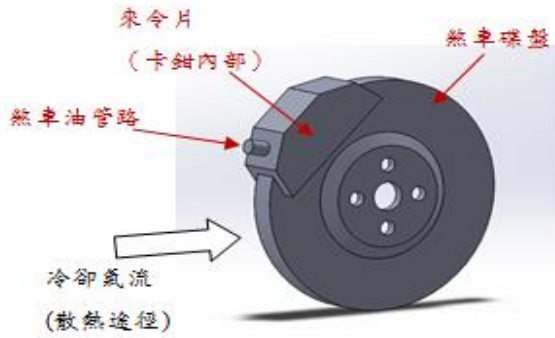


圖 1. 碟式煞車之散熱系統的簡易示意圖

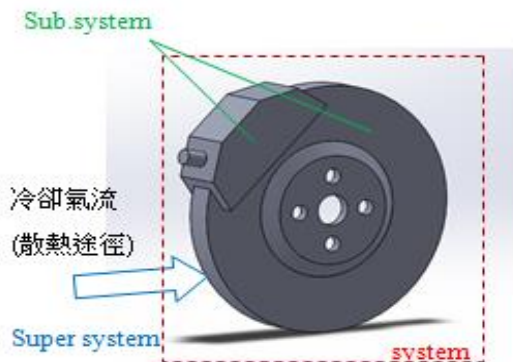


圖 2. 煞車散熱情況之系統、子系統與超系統分類

本研究將系統各部元件相關性的部分進行探討，如表 1 所示。其中，將其有相互作用(Internation relation)關係的以正號(+)表示；沒有相互作用關係(No-internation relation)的以負號(-)表示，但若會造成害處(Harmful relation)的則以(H)表示。並以圖示分析方法進行構圖，如圖 3 所示。

FA	碟盤	來令片	煞車油	空氣
碟盤		H	-	+
來令片	H		-	+
煞車油	-	-		-
空氣	+	+	-	

表 1. 系統各部元件作用情況分析

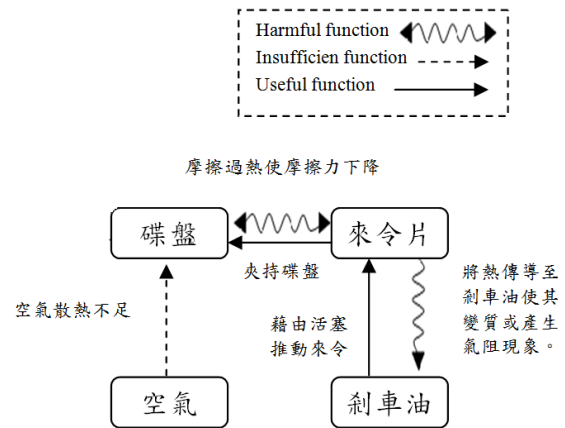


圖 3. 圖示分析

經由元件分析之圖示分析後，觀察過熱部分產生的原因為碟盤與來令片摩擦產生大量熱量而空氣無法有效帶走熱量故導致煞車系統過熱，初步分析可能進行改良的部分為碟盤散熱媒介或材質改變。

散熱媒介(以水為例)(維基百科, 比熱容 2018)：空氣的比熱為 1030 焦耳/(千克*攝氏度)而水的比熱為 4200 焦耳/(千克*攝氏度)，同樣上升 1°C 吸收一卡的热量需要 1 克的水，但空氣卻要 5.78 克，空氣的比熱雖小，但若要使空氣達到預期冷卻效果，需要良好的通風及廣大的散熱面積。水的比熱雖高，但水可根據容器而改變形狀進入發熱物體內，比熱大也可保有較大內能，也可帶走較多熱量。高溫的冷卻水可經由導入散熱片中，增加散熱面積帶走熱量。

3.2 物質一場分析與 76 標準解

本部分利用物質一場分析工具來探討煞車系統過熱之解決辦法。圖 5 為物質一場分析之模型。圖 6 為 76 標準解之解決辦法。

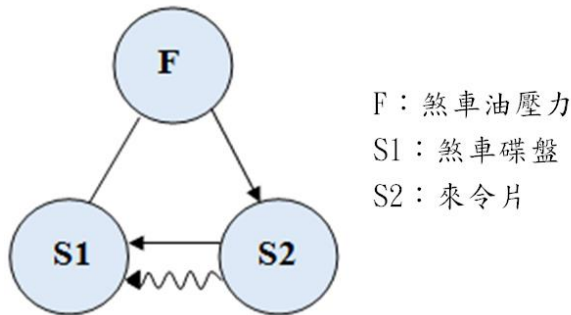


圖 4.物質一場分析模型

圖 4 之作用關係為煞車油之壓力經由活塞推動來令片與碟盤摩擦，以達到煞車的效果，但摩擦時會產生熱量，當熱量超過碟盤與來令承受範圍，煞車效果將驟減。

圖 5 之解決辦法為在來令片基座上加上散熱鰭片，利用空氣將來令片與碟盤摩擦的熱量帶走。

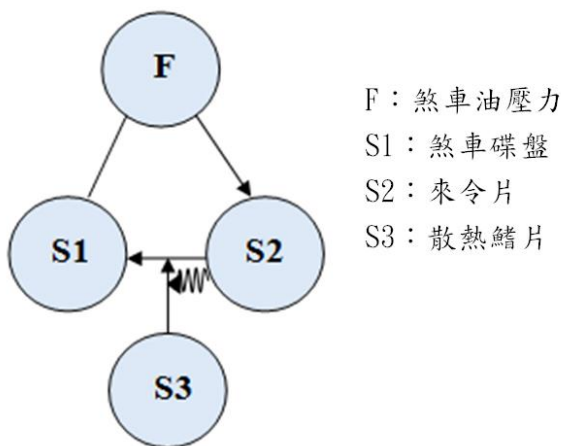


圖 5.76 標準解之解決模型

利用物質一場分析與 76 標準解得出的解決方是為增設散熱鰭片，但此設計為依附在來令片上（散熱面積不夠），且依舊是使用氣冷的方式進行冷卻。在元件分析得出之結論為氣冷在需迅速帶走熱量的情況下效率不佳，故以下繼續嘗試使用 39 工程參數和 40 發明原則進行設計探討。

3.3 39 工程參數和 40 發明原則設計探討

本研究欲改善之問題是如何使剎車系統散熱良好，過程中欲解決此問題之方法是使散熱系統獨立，強化散熱效率，但會引發新的問題產生，即是產品成本提高、構造複雜化，如表 2 所示。

表 2.問題定義與分析表

目標	如何使煞車系統散熱良好
解決方法	使散熱系統獨立，強化散熱效率
新問題	產品成本提高、構造複雜化

因此，為能有效解決此技術衝突狀況，本研究持續使用衝突矩陣表(矛盾矩陣表)進行可能的發明原則找尋，如表 3 所示。

表 3.衝突矩陣表

改善 \ 惡化	7.移動件體積	36.裝置的複雜度
17.溫度	18, 34, 39, 40	2, 16, 17
31.物體產生有害因素	2, 17, 40	1, 19, 31

18.機械震動 (Mechanical vibration)
34.拋棄後再生 (Discarding and re-covering)
39.鈍性環境(Inert atmosphere)
40.複合材料 (Composite material)

2.分離(Extraction)
16.部分或過量做動(Partial or excessive actions)
17.移至新空間 (Another dimension)

1.分割 (Segmentation)
19.週期性動作 (Periodic)
31.多孔材料 (Porous materials)

在衝突矩陣分析過程中，經由設定欲改善參數設定如下：溫度 (17)、物體產生有害因素(31)；惡化參數設定為：移動件體積(7)、裝置的複雜度(36)，進行衝突矩陣之建立及比較後發現，本研究選用具有較強關聯性並可以以直覺方式設計出解決方法的發明原則，故可能進行改良的發明原則有：2：分離、40：複合材料，以下是經由所得發明原則所歸納出之設計方向。

原則 2：分離：從一物中提煉、移除、分離出不想要(有害)的部分或屬性:將原本設在碟盤上之氣冷

系統獨立出來，設立一個獨立的冷卻系統，將熱量傳導出來，使散熱效能提高。搭配液體循環冷卻裝置，使冷卻效率上升。

原則 40：複合材料：目前市面上已有碳纖維及陶瓷複合材料製成之碟盤，其散熱和制動力是優於一般鑄鐵碟盤的，但其製程極為複雜且售價昂貴，故在此就不再討論。

3.4.39 分離水冷式碟式煞車系統創新工程設計概念

統整本研究運元分析、物質一場分析、76 標準解及 39 工程參數和 40 發明原則設計探討等創意設計工具之結果，由於使用複合材料之煞車碟盤經調查在市場上已有類似專利，故在此採用以發明原則 2 得到之構想：將原本設在碟盤上之氣冷系統獨立出來，設立一個獨立的冷卻系統，利用不同的介質將熱量傳導出來，使散熱效能提高。搭配冷排使散熱面積擴大，使冷卻效率上升。

圖 6 為此構想碟盤之概念圖，在煞車碟盤內建立冷卻水道，使冷卻水能充分循環並將碟盤冷卻。

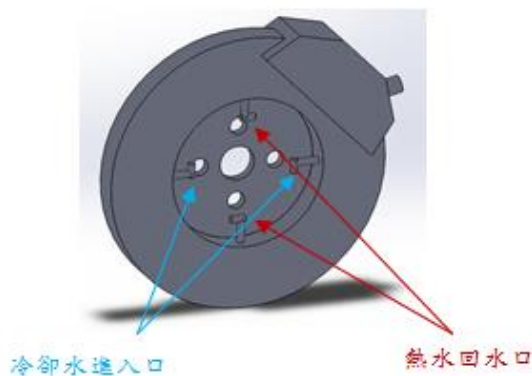


圖 6. 76 內含冷卻水道之碟盤

另外，圖 7 為軸向旋轉式冷卻水循環系統，此構造是裝置在傳動系統之外半軸部分，為使能在車輪旋轉狀況下進行冷卻水的循環，而將供水裝置設計成同軸形式。

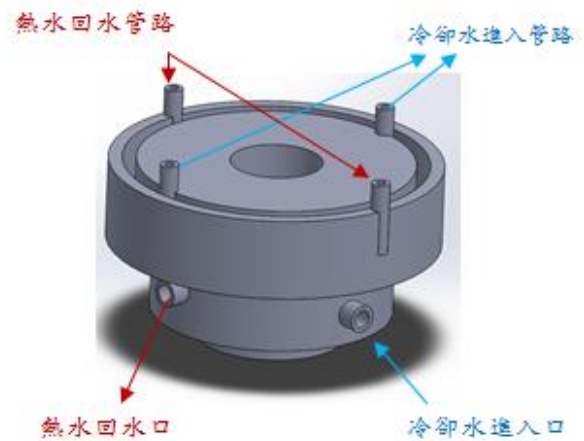


圖 7. 軸向旋轉式冷卻水循環系統

此裝置分為上、下兩部分，在上半部及下半部結合處有油封及承軸，此裝置上半部為可旋轉式固定在外半軸上，可隨車輪旋轉。下半部則為固定式；圖 8 則為分離水冷式碟式煞車系統。

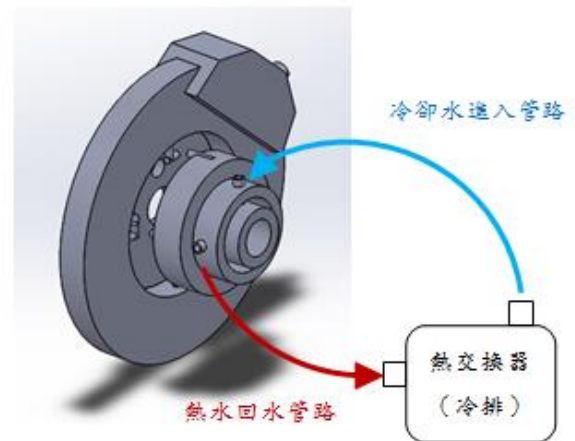


圖 8. 分離水冷式碟式煞車系統

4. 總結與未來展望

本研究主要使用四種 TRIZ 常用創意性發明技巧工具，進行煞車系統散熱之設計，過程中經由初步調查並探討市面上碟盤的類型，再利用 TRIZ 工具進而獲得相關創意產出。本研究主要是分別利用：(1) 元件分析，提出可能改方法；(2) 物質一場分析；(3) 76 標準解比較後，提出增設散熱片藉以達成目的之創意改良方法，但效率不佳故不採用；(4) 39 工程參數和 40 發明原則設計，獲得兩種發明原則(原則 2 以及原則 40)，經詳細分析後，最後選擇分離水冷式碟式煞車系統作為最後解答。經本研究驗證 TRIZ 發明性問題解決理論，在設計上確實提供相當有邏輯且快速地推導，在設計及創新領域富含高度價值。

5. 參考文獻

維基百科，煞車(2017)

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%85%9E%E8%BB%8A> 2017/11/24 引用

維基百科，制動液(2017)

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%88%B6%E5%8B%95%E6%B6%B2> 2017/11/24 引用

維基百科，比熱容(2018)

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AF%94%E7%86%B1%E5%AE%B9> 2018/1/2 引用

維基百科，TRIZ(2018)

<http://en.wikipedia.org/wiki/TRIZ> 2018/1/3 引用

北美智權 NAIPO (2018)

<http://www.naiipo.com> 2018/1/3 引用

MBA 智庫百科MBA，(2018)

<http://wiki.mbalib.com/zh-tw/MBA%E6%99%BA%E5%BA%93%E7%99%BE%E7%A7%91%E5%85%B3%E4%BA%8E> 2018/1/5 引用

翁國亮, 黃俊明, 洪煥耀, & 王創. (2010)。運用創造性問題解決 (CPS) 模式結合 TRIZ 技法建構產品之創新流程-通用設計為例。創新與經營管理學刊, 1(1), 85-100.

許棟樑、王傳友、歐陽怡山(2016)。創新：3+4。新竹市：亞卓國際顧問有限公司。(Sheu, Wang, & Ouyang, 2016)

References

John, T., Zusman, A., & Zlotin, B. (1998). *Systematic Innovation, an introduction to TRIZ*.

Liou, S.(2004), Investigation of the Management Style and Profit Model in Convenience Store, I-Shou University, Master Thesis.

Sheu, D.(2015), *Mastering TRIZ Innovation Tool: Part I*, Agitek International Consulting, Inc..

Liao, W.(2017), Using TRIZ to Increase the University Service Quality, National Taichung University of Education, Master Thesis.

Chen, P.(2016), Using TRIZ to Enhance the Loyalty to the Tutoring School, National Taichung University of Education, Master Thesis.

Slutsky, A. S. (1999). *Lung injury caused by mechanicalventilation*, Chest, 116(1) , 9S-15S.

Torres, A., Ewig, S., Lode, H. and Carlet, J. (2009). *Defining, treating and preventing hospital acquired pneumonia:European perspective*, *Intensive Care Medicine*, 35, 9-29.

作者簡介



翁永進博士自 2013 年以來在台灣嘉義大學當任教職。在此之前，他在國立中央大學、國立臺灣科技大學機械系及開南大學等學術單位分別擔任專兼任教職。翁教授從國立台灣大學獲得工學博士學位後、持續致力於創新研究與微系統製程開發為主要研究主題。他的研究領域包括微奈米壓印、精微與創新性之塑膠成型技術、微元作成形製程、TRIZ 研究。



雷子誼目前就讀於國立嘉義大學機械與能源工程學系專題生。對於創新研究方法領域很感興趣，亦曾參加過第九屆海峽兩岸創新方法研討會並進行口頭論文發表，目前主要興趣是微系統工程製程，並積極朝系統性創新此方向領域邁進。