

以 TRIZ 理論應用於 M14 步槍扳機機構創新設計之研究

孫懷谷¹ 鄧世剛¹ 葉昭南^{2*} 廖健雄³

¹國防大學理工學院動力及系統工程學系

²國防大學理工學院國防科學研究所

³國防大學理工學院兵器系統工程研究所

摘 要

本研究以 TRIZ 理論為基礎，進行簡化機構元件、創新機構設計研究，並針對 M14 步槍扳機機構進行設計改善。文中系統化方法為運用功能分析、策略編輯對系統元件進行價值評估，選擇及刪除價值低的零件，以簡化扳機機構，再配合 TRIZ 方法解決簡化後問題。最後運用電腦輔助軟體進行零組件 3D 建模及機構模擬，以驗證創新機構可行性。新扳機機構除能成功達成原有功能外，機構零件數量較原有設計更少，也能直接取代現有步槍扳機機構安裝於 M14 步槍上。

關鍵詞：TRIZ，創新機構設計，扳機機構，功能分析

The Research of Innovative Design of M14 Rifle Trigger Mechanism Based on TRIZ

Huai-Ku Sun¹, Shi-Gan Deng¹, Jau-Nan Yeh^{2*}, and Jian-Xiong Liao³

¹ Department of Power Vehicle and System Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

² Graduate School of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

³ Master Program of Weapon System Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University

ABSTRACT

This research presents a systemic method to the innovative design of M14 rifle trigger mechanism based on TRIZ. We used the System Functional Analysis to define the functions for the components of trigger mechanism, the Strategy Edition to evaluate the value of the components for selection and deletion of the lower value components to simplify the trigger mechanism. The technical parameters, the invention principle, and the contradictory matrix of TRIZ were applied to solve the contradictory problem generated during the innovative design process. Finally, we created the 3D modeling of parts and simulation of the new trigger mechanism to prove its feasibility. After we applied this systematic method to the M14 rifle trigger mechanism, not only fewer components has made, but the trigger mechanism newly designed can do all the functions of original design; it can be also replace the original trigger mechanism to install into M14 rifles.

Keywords: TRIZ, Innovative design, Trigger mechanism, Functional analysis

一、前言

創新設計通常透過腦力激盪或試誤法，沒有已知方法提供答案。如果解答剛好在自己專長或經驗範圍內，嘗試次數會較少；但若非如此，則答案的搜尋將相當困難。例如，化學範疇的問題要用電子原理才能找到答案，可能會浪費很多時間在化學領域中探索解答的方向。這種傾向在熟悉領域，依據過去經驗或學習背景，來探尋解答現象，稱為心理慣性。在創新設計過程中，心裡慣性通常耗費時間且沒有效率[1]。

兵器機構設計模式亦然，通常由設計者依據自身創意設計天分，與相關設計經驗，或經長時間演進，從無到有自行完全研發設計，常需耗時多年。研發期程長且須投入大量人、物力及財力，經過多年研製之成品恐已不符現況所需。國內為加速兵器機構研發時程，及早獲得武器投入戰備，模仿現有武器產品之設計理念，或採逆向工程方法進行設計，為普遍採用之設計模式。惟模仿創新或逆向工程設計，係依現有產品進行模仿，容易陷入先入為主之思考模式，產生多餘零件或動作設計。

本研究希望找出一套系統化方法，在模仿創新設計時，可以排除設計者先入為主思考模式，尋找並排除可能存在之多餘零件或作動，達到于道文[2]提出之「結構簡單、拆裝方便」目標；此一系統化方法為，闡明現有產品設計上限制及要求，運用功能分析方法，建立現有產品功能模型，配合評估元件價值[3]，將其結果作為選擇簡化、改良何者元件的依據。接著以理想化的思維，運用修減(Trimming)[3]淘汰價值性較低之元件，產生新功能模型。藉由 TRIZ 理論 39 個工程參數，定義新功能模型設計問題，配合矛盾矩陣中 40 項發明原則，解決相關技術及物理矛盾問題，完成新型機構設計。最後進行新型機構 3D 建模與動態模擬，驗證新型機構功能是否符合設計需求。

本文系統化方法為首先將現有產品進行功能分析，運用功能分析將現有產品元件功能分類，確定有益及有害功能。配合評估元件價值，計算結果作為評估取捨元件的方向，再配合理想化的思維與設計者的決策，運用修減淘汰價值性較低之元件。之後經由修減所產生的問題，藉由 TRIZ 理論中的 39 個工程參數以

縮小問題範圍並明確定義。再運用 40 項發明原則，消去功能模型的矛盾並對創新設計功能模型做檢視，思量具體化的可行性，以完成新的創新概念。最後運用 CAD 電腦輔助設計軟體，進行創新機構元件的 3D 建模與動態模擬，以進行創新機構的評估。

二、TRIZ 理論

2.1 TRIZ 理論發展背景

前蘇聯 TRIZ 創始人 Genrich Altshuller 於 1946 年，為幫助人們增廣創新性思維，減少設計時心理慣性，產生「突破常規」的想法，審閱近 20 萬件專利，尋找有規則依循的創新問題解決方法。Altshuller 歸納出 20 萬件專利發明的共同性、重覆性和創新發明性思維的邏輯，將研究成果經由分類及紀錄，彙整出心得發表公布後，吸引許多相同興趣人士參與研究，發現保守估計約有超過百萬的專利，是應用 Altshuller 所創造的方法來分類歸納的。隨著 TRIZ 的發展，世界各國(如美國、以色列、中國、韓國、日本、台灣、印度、西班牙、德國、英國、澳洲、芬蘭等)紛紛引進，來提升企業內部研發人員的創新發明能力[1]。

2.2 TRIZ 理論介紹

2.2.1 發明層級

Altshuller 在審查專利過程中，發現專利所述的技術方案具有不同程度的獨創性，提出針對各種發明專利對應於不同創新層級的指標，亦是創新發明的層級，如表 1。

2.2.2 技術矛盾

技術矛盾之所以存在，是因為當嘗試改進一技術參數 A 時，會使參數 B 惡化。例如增加一個產品厚度會更堅固，但卻使重量變重。如果使用好材料，卻使成本增加等之類的問題。

傳統工程方法會用「妥協」去解決這些矛盾，也就是使用折衷的辦法。在 TRIZ 理論中不存在折衷的方法，而是新的思考方向，會超越技術矛盾，使得兩個矛盾參數都向良好方向

發展[1]。

2.2.4 物理矛盾

2.2.3 矛盾矩陣與創新發明原則

Altshuller 歸納 39 個工程參數(如表 2)及 40 個創造發明原則(如表 3)，製成 39x39 的矩陣，稱之為矛盾矩陣(如圖 1)，完整矛盾矩陣內容如附錄 A[1]，40 項發明原則、次原則說明表如附錄 B[4]。

Altshuller 把發生在同一參數本身的矛盾情形，稱為物理矛盾。例如只有一個可改變參數 C，在某狀況希望它增加，在其他狀況卻希望它降低。如槍枝的槍托，射擊時希望長度增加便於瞄準，不射擊時希望長度減少便於攜帶，這就是物理矛盾。

表 1. 發明層級表[1]

級數	等級	概述
層級一	標準化	專門領域內大家熟知的解決方法
層級二	改良化	(1)現有系統的改良，通常伴隨一些複雜的組合 (2)同產業中學到的方法
層級三	模式內創新	(1)現有系統的大幅改善 (2)參考其他領域之方法
層級四	模式外創新	(1)新一代系統的創新 (2)「屬於科學層次，非僅技術層次」的創新
層級五	新發現	(1)全新系統之先驅發明 (2)重大發明或新科學理論

表 2. 39 個工程參數(六大群組)[4]

類別	工程參數	類別	工程參數	類別	工程參數
幾何	3. 移動物體長度	資源	19.移動物體消耗能量	害處	30.物體上有害因素
	4. 靜止物體長度		20.靜止物體消耗能量		31.有害的副作用
	5. 移動物體面積		22.能源浪費		
	6. 靜止物體面積		23.物質浪費		
	7. 移動物體體積		24.資訊喪失		
	8. 靜止物體體積		25.時間浪費		
	12. 形狀		26.物質數量		
物理	1. 移動物體重量	能力	13.物體穩定性	操控	28.量測準確度
	2. 靜止物體重量		14.強度		29.製造準確度
	9. 速度		15.移動物體耐久性		33.使用方便性
	10.力量		16.靜止物體耐久性		36.設備複雜性
	11.張力、壓力		27.可靠度		37.控制複雜性
	17.溫度		32.可製造性		38.自動化程度
	18.亮度		34.可修護性		
	21.功率		35.可適應性		
			39.生產性		

表 3. 40 項發明原則[4]

1.分割	15.動態性	29.氣壓或液壓構造
2.萃取	16.部分或過量的作動	30.薄版和薄膜
3.局部特性	17.移至新的空間	31.多孔性材料
4.非對稱性	18.機械振動	32.改變顏色
5.合併	19.週期運動	33.同質

6.通用/普遍性	20.利用動作連續性	34.拋棄與復原
7.重疊	21.急速通過	35.改變物質特性
8.平衡力	22.轉壞處為利處	36.相轉變
9.預先抵銷	23.回饋	37.熱膨脹
10.事先動作	24.媒介	38.強氧化劑
11.預先緩衝	25.自我服務	39.惰性環境
12.等位性	26.複製	40.複合材料
13.反置	27.便宜/拋棄式	
14.球狀、曲線	28.置換機械系統	

	Worsening Feature →	Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object
↓	Improving Feature	1	2	3	4	5	6	7
1	Weight of moving object			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28
2	Weight of stationary object				10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2	
3	Length of moving object	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35
4	Length of stationary object		35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40	

圖 1. 矛盾矩陣示意圖。

年,朱晏樟[9]提出整合 TRIZ 與功能分析之設計方法,利用 TRIZ 方法產生創新概念,以功能分析將現有產品及創新概念,轉換為基礎功能模型與功能元件模組。2005 年,林晉任[10]提出整合 TRIZ 與系統分析創新方法,企圖從矛盾矩陣中找出最佳且多面性的工程參數,進而整合各工程參數的優點,開發合乎市場需求的產品。綜合前述,目前 TRIZ 理論與系統功能分析結合,多數發表應用於企業產品開發設計,甚少運用於兵器機構創新設計研究上。本研究擬對 1957 年於美軍服役之 M14 步槍,運用 TRIZ 理論檢視該步槍扳機機構予以創新設計,探討 TRIZ 理論運用於兵器機構創新設計之可行性。

三、M14 步槍扳機介紹

M1 加蘭德步槍是世上第一種大量服役的半自動步槍,在 1936 年取代了美軍制式 M1903 春田步槍,亦是二戰中最著名的步槍之一。美軍的 M1 加蘭德步槍在 1957 年,被 M14 自動步槍取代。M14 步槍部分零件繼承自 M1 加蘭德步槍,採用氣動式原理,槍機迴轉閉鎖方式。導氣管位於槍管下方,可選擇半自動或全自動射擊。1945 年,美國實施新的步槍研究計劃,著名槍械設計師約翰·加蘭德,在 M1 加蘭德步槍基礎上開始設計自動步槍,1954 年設計出原型槍經過試驗和改進。1957 年,美國軍方定型命名為 M14 步槍,1958 年在春田兵工廠投產。M14 步槍即成為美國軍隊制式裝備[11]。M14 步槍有多種衍生型,如摺疊槍托、重槍管及短槍管等,列舉如下:

- (1)M14E1: 摺疊槍托
- (2)M15: 重槍管、兩腳架、支肩托板、可選射擊模式。

2.2.5 分離原則

Altshuller 針對解決物理矛盾提出一種非常有效的運算子,稱之為分離原則。分離原則包含四項為:(1)空間分離、(2)時間分離、(3)條件狀況分離、(4)系統分離。

Altshuller 使用以下 4 種分離原則並對照 40 發明原則,解決物理矛盾[5][6]:

- (1)空間分離: 1,2,3,4,7,14,17,24,26。
- (2)時間分離: 9,10,11,15,16,18,19,20,21,29,34,37。
- (3)條件狀況分離: 13,28,32,35,36,38,39。
- (4)系統分離: 1,27,5,22。

2.3 TRIZ 理論應用

1999 年,Bohuslav Busov、Darrell Mann 及 Pavel Jirman[7]提出結合 TRIZ 理論與功能分析創新熱交換機設計。2000 年,盧啟宏[8]提出以 TRIZ 輔助自動販賣機之設計。2003

- (3)M14E2/M14A1：重槍管、兩腳架、支肩托板。
- (4)M21 狙擊步槍：美軍於 1966 年精確化後之 M14 狙擊步槍版本。
- (5)M14 SMUD：使用裝有瞄準鏡的國際比賽級 M14 步槍。
- (6)Mk 14 Mod 0/1 EBR：戰術型 M14 步槍、470 公釐短槍管、高效能槍口消焰器、伸縮槍托、設有戰術導軌以安裝戰術配件、獲美國海軍海豹部隊採用。
- (7)M14 DMR：M2A 槍托、變倍瞄準鏡。
- (8)M25 狙擊步槍：M21 狙擊步槍的更新改良型。

雖然 M14 步槍有多種衍生型，均為因應不同戰術戰法需求而衍生，其扳機機構均採用相同設計原理，介紹如下：

M14 步槍扳機機構採用旋轉式擊錘設計，當射手扣扳機，使擊錘釋放撞擊擊針，擊針撞擊底火，使彈藥擊發(如圖 2 上)。此時槍枝利用彈藥燃燒氣體，自動進行開門、退殼、拋殼、後座等運動。槍機後座時推動擊錘旋轉，擊錘壓縮擊錘簧後與主/副扣機結合，形成備發狀態(如圖 2 下，此時擊錘簧儲存能量)。當射手再次扣發扳機(半自動模式)，或經閉鎖機構帶動連桿(全自動模式)，使擊錘與主/副扣機分離，擊錘便承受擊錘簧彈力，撞擊

擊針使底火點燃發射藥，子彈再次射出。當射手鬆開扳機，擊錘因槍機後座壓縮擊錘簧，與主/副扣機結合，槍枝恢復成備發狀態。M14 步槍扳機機構零件如圖 3。

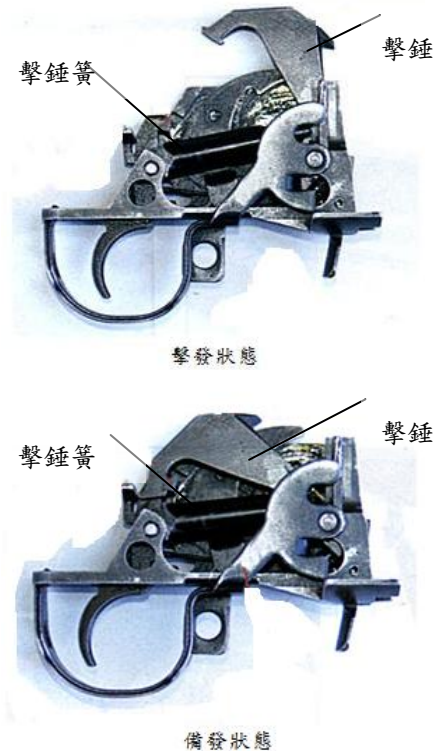


圖 2. M14 步槍扳機射擊及備發狀態示意圖。

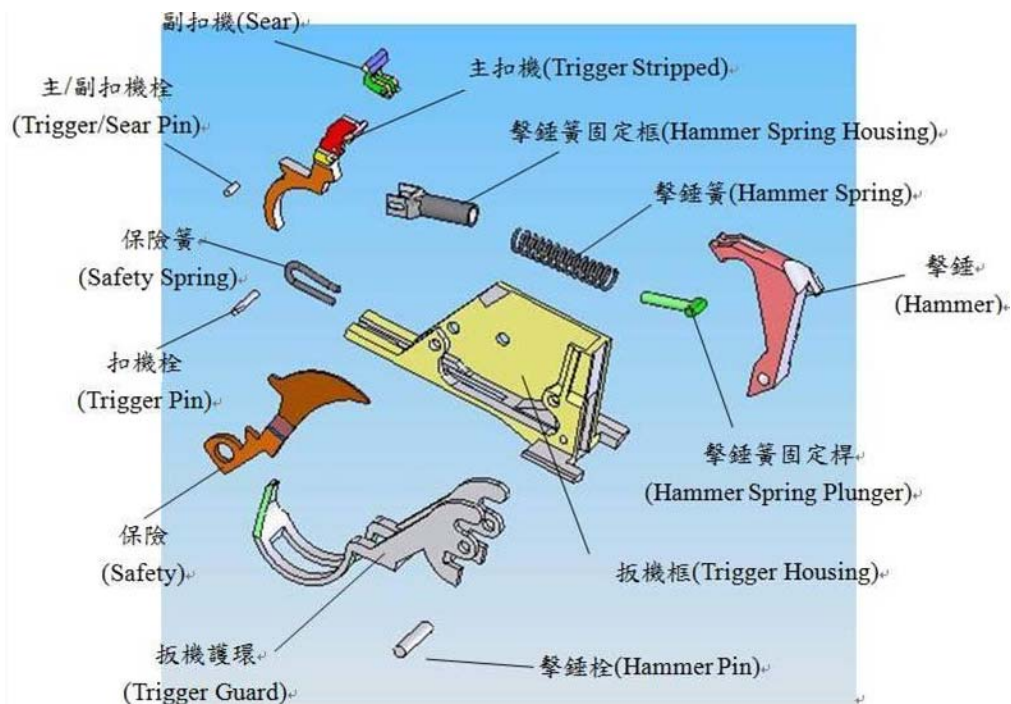


圖 3. M14 步槍扳機機構圖。

扳機機構的功能，主要提供射手根據不同火力要求，選擇半自動(單發)或全自動(連發)射擊，並且須有保險裝置避免誤扣走火(如圖 4)。單發或連發射擊兩者作動原理並不相同：

當單發射擊機構作動時，其控制擊錘元件為主扣機(如圖 5)；連發發射機構作動時，其控制擊錘元件為副扣機(如圖 6)。

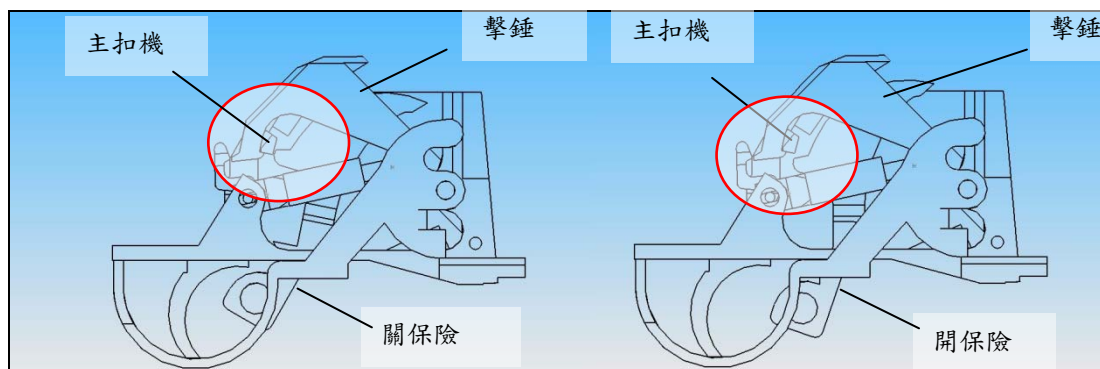


圖 4. 扳機保險示意圖。

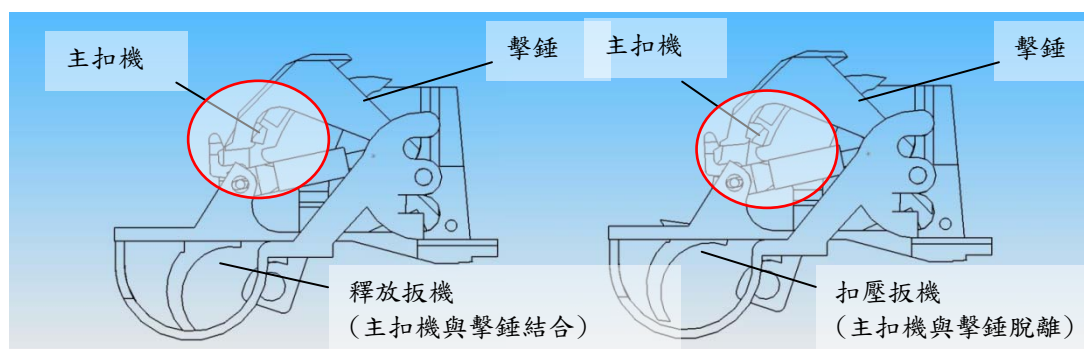


圖 5. 單發射擊作動。

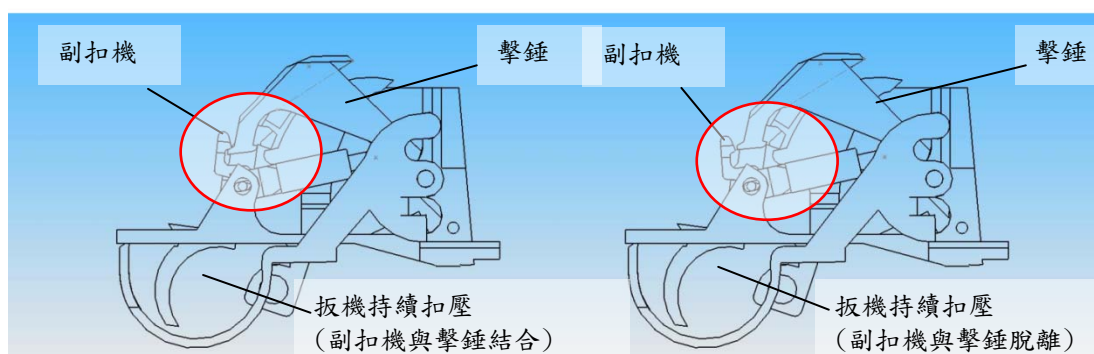


圖 6. 連發射擊作動。

四、M14 步槍扳機機構創新設計

本研究使用 CATIA TechOptimizer 軟體，進行產品元件功能分析、流程分析、動作分析、價值評估及較低價值元件修減等。須注意當修減不同功能與元件時，將建構出不一樣創新的功能元件模組，之後所產生的問題皆不同。即使是同樣的創新法則，在由不同的設計

者以不同的角度思考，也可能產生多樣的創新想法。

4.1 步槍扳機設計限制

當彈藥擊發產生高壓氣體，槍機接受氣體壓力向後開門後退時，其路徑行程經過扳機機構上方，與擊錘運動路徑產生重疊(如圖 7 上，紅色斜線區)。因此，在扳機機構設計時，須

避免擊錘與槍機運動產生干涉，此為 M14 步槍扳機機構設計限制。

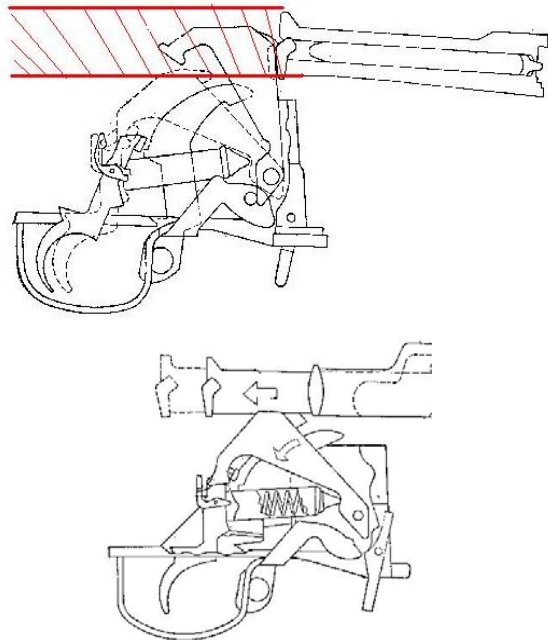


圖 7. 扳機機構之擊錘與槍機後座路徑重疊示意圖 [12]。

4.2 創新扳機機構設計要求

新型扳機於尺寸上，須能於原步槍扳機空

間裝置，而這空間是有限的。於系統功能上，須能與步槍結合後使用，提供步槍射擊及保險功能。在符合步槍扳機設計限制前提下，本研究新型扳機設計要求訂定如下：

- (1)創新機構設計採用機械作動式。
- (2)簡化原扳機機構設計，且功能符合槍枝整體性能需求。
- (3)新扳機系統所佔空間與運動行程，不能與 M14 步槍其他次系統干涉。
- (4)必須具有保險機構。

4.3 建立產品功能模型

扳機系統(以下簡稱扳機)裝載在步槍上，為步槍之次系統，扳機經由槍機後座成備發狀態，此時擊錘簧會儲存能量，擊錘簧儲存能量釋放後推動擊錘，擊錘撞擊彈藥底火，使彈藥擊發。故「能量」可設定為步槍扳機功能模型的「系統目地(Purpose)」，「步槍」、「槍機後座」、「射手」與「閉鎖機構」等四者可設定為功能模型之「超系統(Supersystem)」。系統目地與超系統設定後，藉由扳機運作流程分析與動作分析，即可定義扳機元件之間交互作用，建立功能模型(如圖 8)。其中各元件說明如表 4，元件功能說明如表 5。

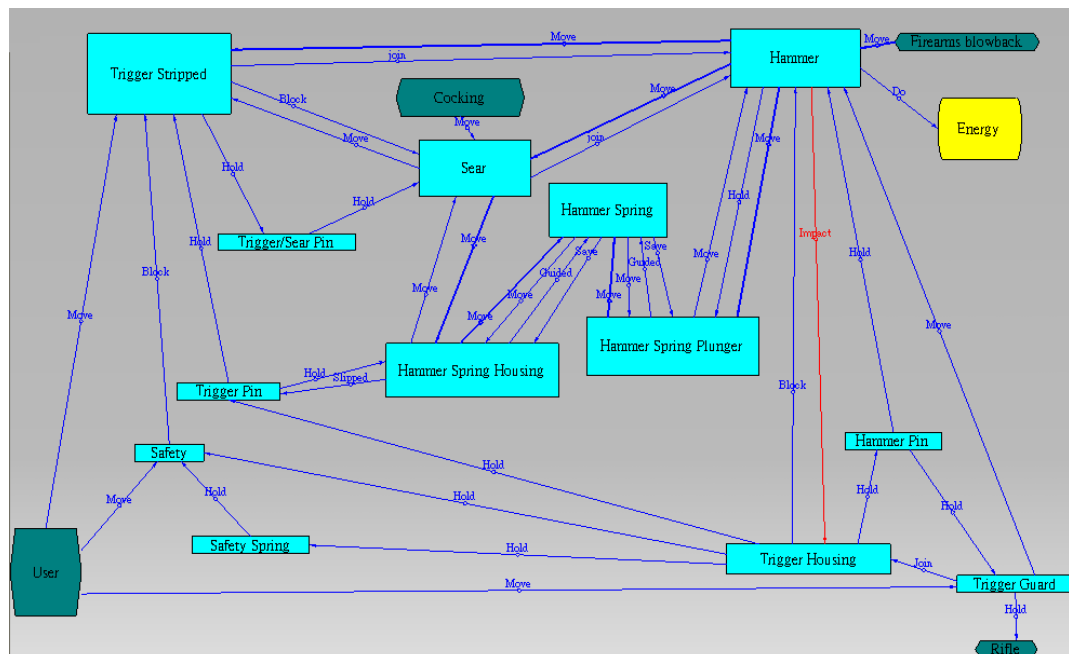


圖 8. M14 步槍原扳機功能模型圖。

表 4. 步槍扳機元件之說明

元件	說明
User(射手)	槍枝控制使用者
Firearms Blowback(槍機後座)	使扳機恢復成備發狀態
Locking(閉鎖機構)	在全自動時可控制連續射擊
Rifle(步槍)	扳機是步槍的次系統，裝置於步槍上
Hammer(擊錘)	接受槍機及擊錘簧能量的元件
Hammer Spring Plunger(擊錘簧固定桿)	接受擊錘及擊錘簧施力的元件
Hammer Spring(擊錘簧)	可儲存及釋放能量的元件
Hammer Spring Housing(擊錘簧固定框)	接受擊錘簧與副扣機施力的元件
Trigger Stripped(主扣機)	(1)扳機與使用者的介面 (2)可控留及釋放擊錘的元件
Sear(副扣機)	可控留及釋放擊錘的元件
Safety(保險裝置)	可阻止使用者扣發扳機
Safety Spring(保險裝置彈簧)	固定保險裝置
Hammer Pin(擊錘栓)	固定擊錘在基座上的圓桿
Trigger Pin(扣機栓)	固定主扣機與擊錘簧固定框在基座上的圓桿
Trigger/Sear Pin(扣機/副扣機栓)	固定副扣機在主扣機上的圓桿
Trigger Housing(扳機框)	扳機其他元件的基座
Trigger Guard(扳機護環)	扳機與步槍結合的元件

表 5. 步槍扳機元件之功能說明

功能	說明
Do	輸出能量
Move	主元件推動目標元件
Hold	主元件固定目標元件
Join	目標元件結合在主元件上
Slipped	主元件對目標元件可作滑動
Block	主元件阻擋目標元件
Saving	主元件儲存目標元件之能量
Guided	主元件控制目標元件之路徑
Impact	主元件衝擊目標元件
備註	目標元件：箭頭指向之元件 主元件：箭頭出發之元件

4.4 評估產品元件價值

定義及建立功能模型後，訂定功能等級、問題等級，計算相關功能等級值。再利用策略編輯(Strategic Editor) [3]對產品元件價值進行評估。策略編輯內容包含：(1)成本降低(Cost Reduction)、(2)價值提昇(Value Increasing)及(3)問題排除(Problem Elimination)。本研究選取「價值提昇」策略進行元件價值評估，依照功能等級(Function Rank)、問題等級(Problem

Rank)再配合成本(Cost)，對其系統元件評價(Evaluation)；當元件功能重要度愈低、問題愈多及成本愈高時，其價值性愈低[3]。

有關扳機元件成本部分，由於國內無生產與販賣 M14 步槍與相關零件，故參考美國目前販售 M14 步槍零件價格[13][14]，作為元件成本價值估算，並以最高值為 10 進行比例分配。最後，利用「價值提昇」策略公式，計算出 7 個元件評價(Evaluation)值低於 10(如表 6)。

價值提昇策略公式如式(1)：

$$K = \frac{F \times F}{P + C} \quad (1)$$

各字母意義表示如下：

K ：代表元件的評價(Evaluation)值。

F ：代表元件的功能等級(Function Rank)。

P ：代表元件的問題等級(Problem Rank)。

C ：代表元件的成本(Cost Rank)。

元件評價值愈小，代表元件價值性愈低，可予以簡化刪除；經評估元件價值後，評價值 10 以下建議優先刪除，順序分別為：保險、保險簧、扳機框(基座)、擊錘簧固定桿、擊錘簧固定框、擊錘及副扣機等 7 項。

表 6. 扳機元件評價值由低至高排列

Components	Problem Rank	Function Rank	Cost Rank	Evaluation 由低至高
Safety	0	1.67	2.99	0.93
Safety Spring	0	1.11	0.48	2.76
Trigger Housing	0	6.67	10	4.44
Hammer Spring Plunger	2.5	4.44	0.48	6.7
Hammer Spring Housing	2.5	5	1.19	6.77
Hammer	10	10	4.33	6.98
Sear	2.5	5	0.75	7.7
Trigger Guard	0	6.11	2.99	12.51
Trigger Stripped	0	5	1.94	12.88
Trigger/Sear Pin	0	1.67	0.15	18.61
Trigger Pin	0	2.78	0.3	25.85
Hammer Pin	0	3.89	0.3	50.66
Hammer Spring	0	5.56	0.6	51.7

4.5 TRIZ 理想化的思維

接著考量 M14 步槍扳機設計限制與要求，配合 TRIZ 理想化思考方式，對 7 項元件價值性較低元件功能逐一檢視：

- (1)保險及保險簧等 2 項元件，可提供槍枝保險功能。
- (2)扳機框為扳機所有元件的基座。
- (3)擊錘為槍枝射擊主要元件。
- (4)副扣機為扣留及釋放擊錘的元件。
- (5)擊錘簧固定桿與擊錘簧固定框等 2 項元件，為輔助擊錘簧功能之元件。

藉由 TRIZ 「去除輔助功能 (Exclude auxiliary functions)」的理想化思維，本研究將「擊錘簧固定桿」及「擊錘簧固定框」等 2 項元件功能考量合併或删除；保險、保險簧、基座、擊錘及副扣機等 5 項元件則予以保留。

4.6 運用 TRIZ 修減功能模型

利用 TRIZ 修減功能，可輔助設計者對「擊錘簧固定桿」及「擊錘簧固定框」等 2 項元件簡化與功能合併，產生新功能模型(如圖 9)。

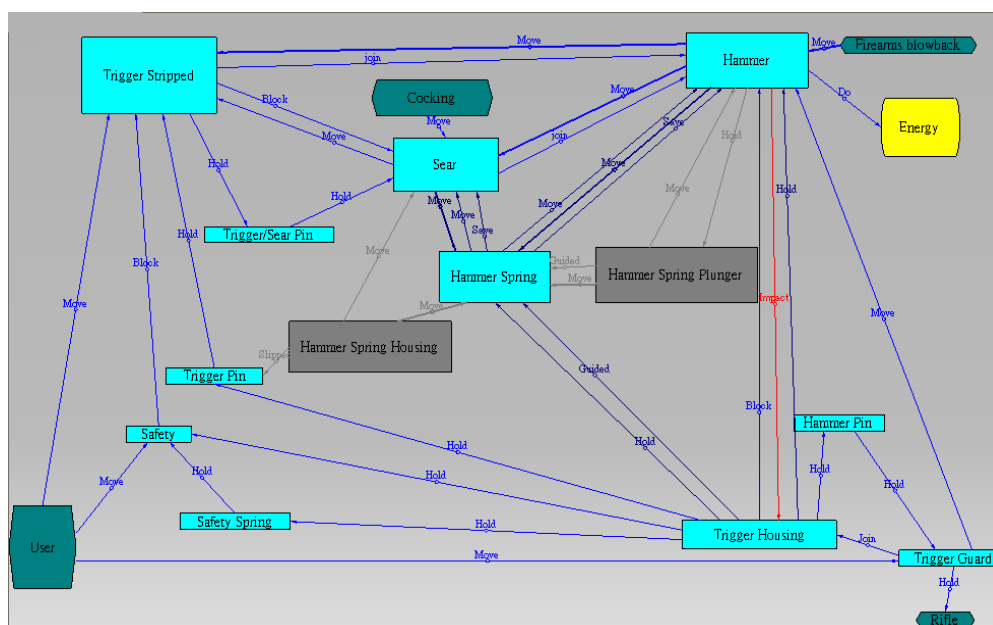


圖 9. 修減後新步槍扳機功能模型圖。

4.7 問題描述與運用 TRIZ 解決衍生問題

由於彈簧能夠正常伸縮運作，須使彈簧持續受到中心軸直線方向之力。旋轉式擊錘壓縮擊錘簧，其壓縮方向為非直線，故需要「擊錘簧固定桿」及「擊錘簧固定框」等 2 項輔助元件；當輔助元件修減後，須考量「如何讓擊錘簧不需輔助元件，而能正常伸縮」問題。此時，直覺式改善方向為改成左右直線運動式擊錘，擊錘簧便可不需輔助元件，而能正常伸縮。但此設計將使槍機後座與擊錘運動路徑相衝突(如圖 10 上)，產生「阻礙與通過」物理矛盾問題。

為解決上述問題，本研究運用 TRIZ 「分離原則」之「1.空間分離」原則，再對應 40 發明原則之「17.移至新的空間」原則，依次原則：A.「把一個物體移至二維或三維的空間」C.「傾斜物體」概念，將左右擊錘，改成斜上下直線運動式擊錘設計(如圖 10 下)。

創新扳機設計將以新型擊錘為設計基礎，設計扳機其他元件。若其他元件創新設計遇到問題時，則回到問題描述，運用 TRIZ 理論建議方向解決之。

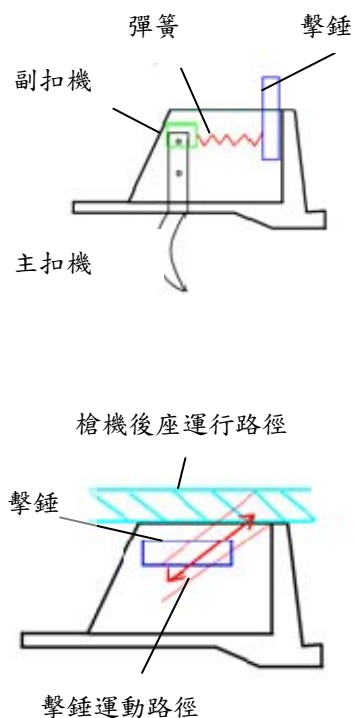


圖 10. 創新扳機擊錘運動思考方向。

4.8 創新扳機元件

4.8.1 扳機框與擊錘簧

新扳機之擊錘運動設計概念確定後，其衍生問題為：「如何讓扳機框(基座)固定與引導擊錘簧」，直覺式改善方向為直接修改原扳機框設計，增加擊錘簧導軌(如圖 11 紅圈處)，彈簧便可正常伸縮不致脫軌，新型扳機框與擊錘簧設計如圖 11~12。

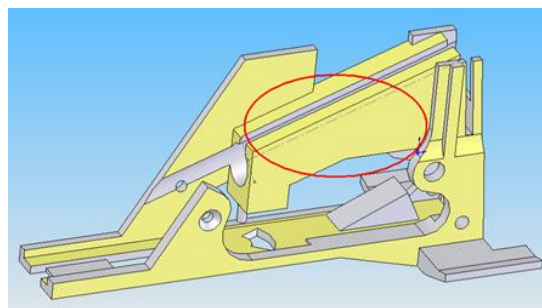


圖 11. 創新扳機框設計。

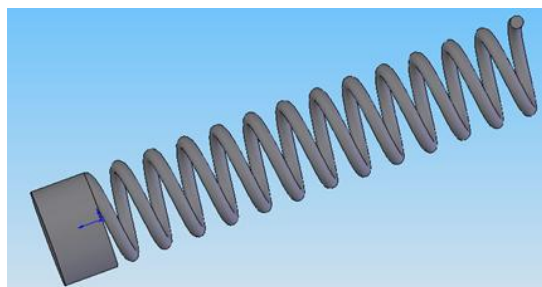


圖 12. 創新擊錘簧設計。

4.8.2 擊錘與主扣機

斜上下直線運動式擊錘設計，必須考量槍枝停射、扳機釋放時，主扣機可受擊錘推動下，與擊錘結合，成備發狀態；但連續射擊、扳機扣壓時，主扣機須避免與擊錘及扳機框產生干涉。圖 13 藍色線條為擊錘行進路徑，綠色為主扣機避免干涉距離。本研究希望改變擊錘及主扣機形狀，符合扳機設計要求，惟須避免扣壓或釋放扳機時，主扣機與其他元件干涉狀況發生。

為解決上述技術矛盾問題，將希望改善參數訂為：「12.形狀」(擊錘、主扣機及副扣機形狀)，避免惡化參數訂為：「4.靜止物件的長度」(主扣機干涉距離)，運用 TRIZ 矛盾矩陣表找尋對應之建議解決方法為：「13.反置」、「14.球狀、曲線」、「10.事先動作」及「7.重疊」(如表 7)。

本研究採用「13.反置」，其次原則為：A.

把一個通常用來解決特定問題的方法反向思考。B.把一個可移動的物體固定，把一個固定的物體讓它變成可移動。C.將物體或過程上下顛倒。依前述原則，將原擊錘中央除料與主扣機突出設計，做反向配置；改為擊錘突出與主扣機中央除料設計(如圖 14)。

表 7. 矛盾矩陣表

希望改善參數	避免惡化參數
12.形狀	4.靜止件長度
	13,14,10,7

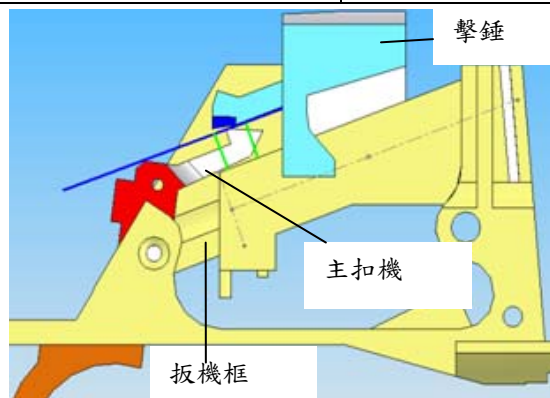


圖 13. 主扣機避免與擊錘及扳機框干涉設計示意圖。

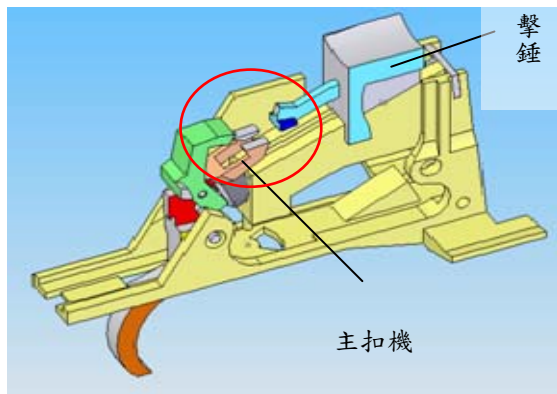


圖 14. 創新擊錘與主扣機。

4.8.3 副扣機

本研究設計新副扣機元件時，係參考原副扣機運動軌跡。1 號線為槍枝連續射擊，射手持續扣壓扳機時，副扣機脫離擊錘之運動軌跡(如圖 15)；此新型元件設計過程無矛盾現象產生。

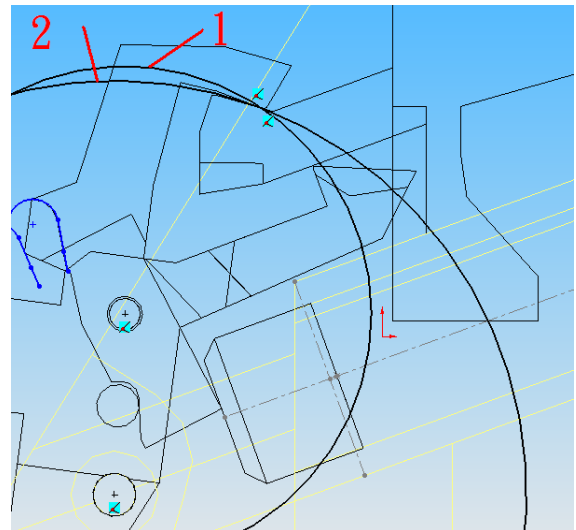


圖 15. 新型副扣機脫離擊錘運動軌跡示意圖。

4.8.4 保險與保險簧

保險為槍枝必要功能，設計時須注意人因工程操作介面。在扳機有限空間內移動，須避免與其他元件干涉。本研究希望在扳機有限空間內，尺寸設計不能過小，影響射手使用；但尺寸過大又會造成與其他元件干涉，故產生「3.移動件長度」與「7.移動件體積」技術矛盾。

為解決上述問題，TRIZ 矛盾矩陣建議解決方向為：「7.重疊」、「17.移至新的空間」、「4.非對稱性」及「35.改變物質特性」(如表 8)。本研究運用「7.重疊」、「17.移至新的空間」及「35.改變物質特性」等 3 項原則。次原則分別為：

- (1)「7.重疊」：A.物體內可放入另一物體、B.一物體可通過另一物體的孔洞。
- (2)「17.移至新的空間」：A.把一個物體移至二維或三維的空間、B.以多層組合取代單層、C.傾斜物體、D.投射影像至鄰近區域或該物體的另一側。
- (3)「35.改變物質特性」：A.改變物體各種狀態、密度、濃度、彈性、溫度、長度…等其他參數。

當射手關保險時，將新型保險元件往下扳動(如圖 16 左上)，脫離定位塊(如圖 16 右上)，再旋轉(如圖 16 左下)，至主扣機下方位置(如圖 16 右下)，而達到槍枝保險功能。

表 8. 矛盾矩陣表

避免惡化參數 希望改善參數	7 移動件體積
3 移動件長度	7,17,4,35

4.9 創新扳機功能驗證

完成新型扳機元件設計後(如圖 17)，運用 CAD 動態模擬 M14 步槍「單發射擊」、「連續射擊」及「連續射擊中止」等扳機機構動作，驗證新型扳機機構功能。

1.單發射擊時，新型扳機機構動作流程：(1) 槍機後座，推動擊錘往左下移動(如圖 18 左上)。(2)擊錘與副扣機結合(如圖 18 右上)。

(3)釋放扳機，擊錘與主扣機結合成備發狀態(圖 18 左下)。(4)射手扣壓扳機，擊錘簧推動擊錘，槍枝擊發(如圖 18 右下)。

2.連續射擊時，新型扳機機構動作流程：(1) 槍機後座，推動擊錘往左下移動(如圖 19 上)。(2)擊錘與副扣機結合(如圖 19 中)。(3) 閉鎖機構帶動連桿推動副扣機，擊錘脫離副扣機，擊錘簧推動擊錘，槍枝擊發(如圖 19 下)。

3.連續射擊中止時，新型扳機機構動作流程：(1)射手釋放扳機，擊錘受槍機後座力往左下作動(如圖 20 上)。(2)擊錘推動主扣機，推動主扣機往下(如圖 20 中)。(3)主扣機與擊錘結合(如圖 20 下)，槍枝成備發狀態。

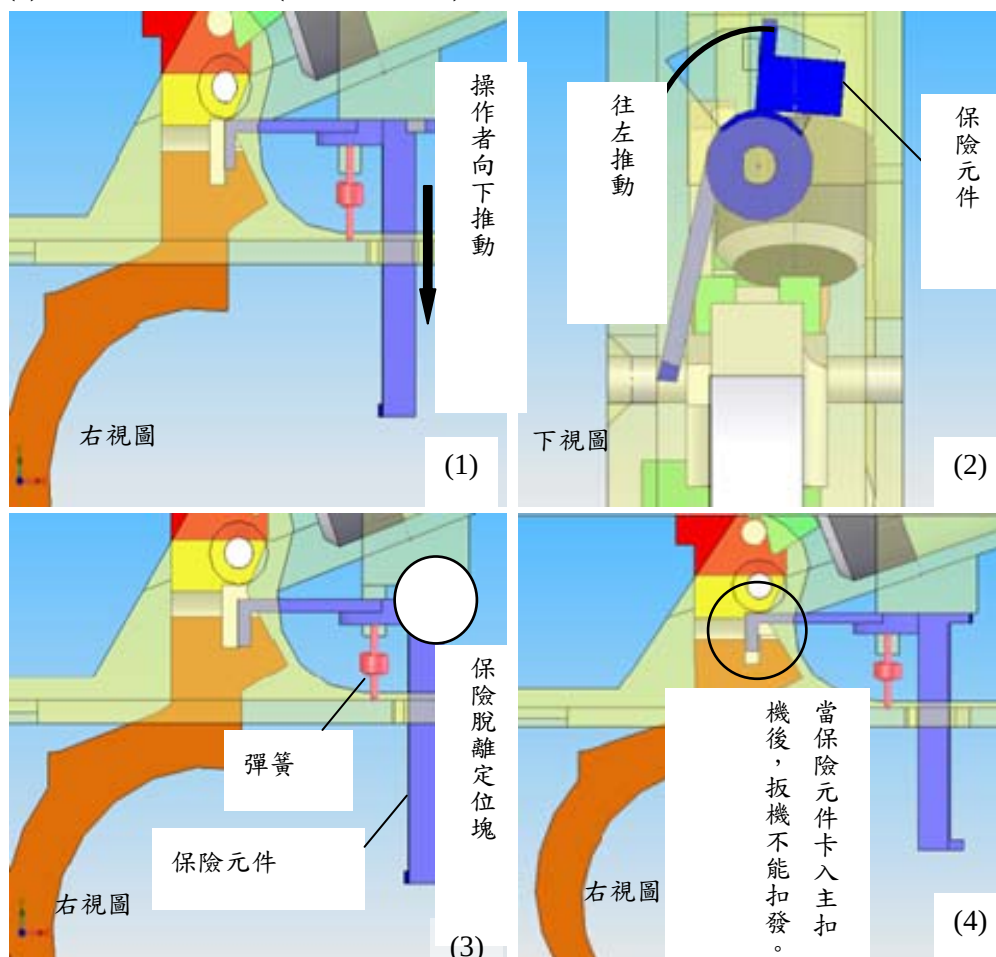


圖 16. 創新保險元件模組。

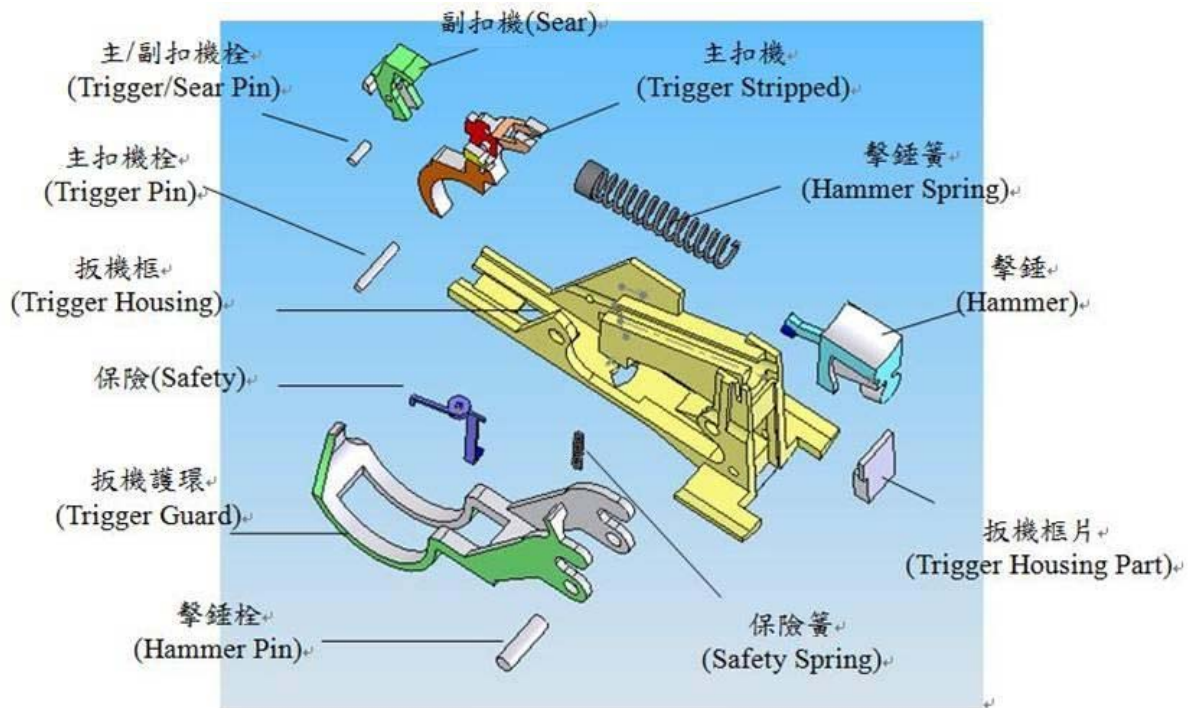


圖 17. M14 步槍新型扳機機構圖。

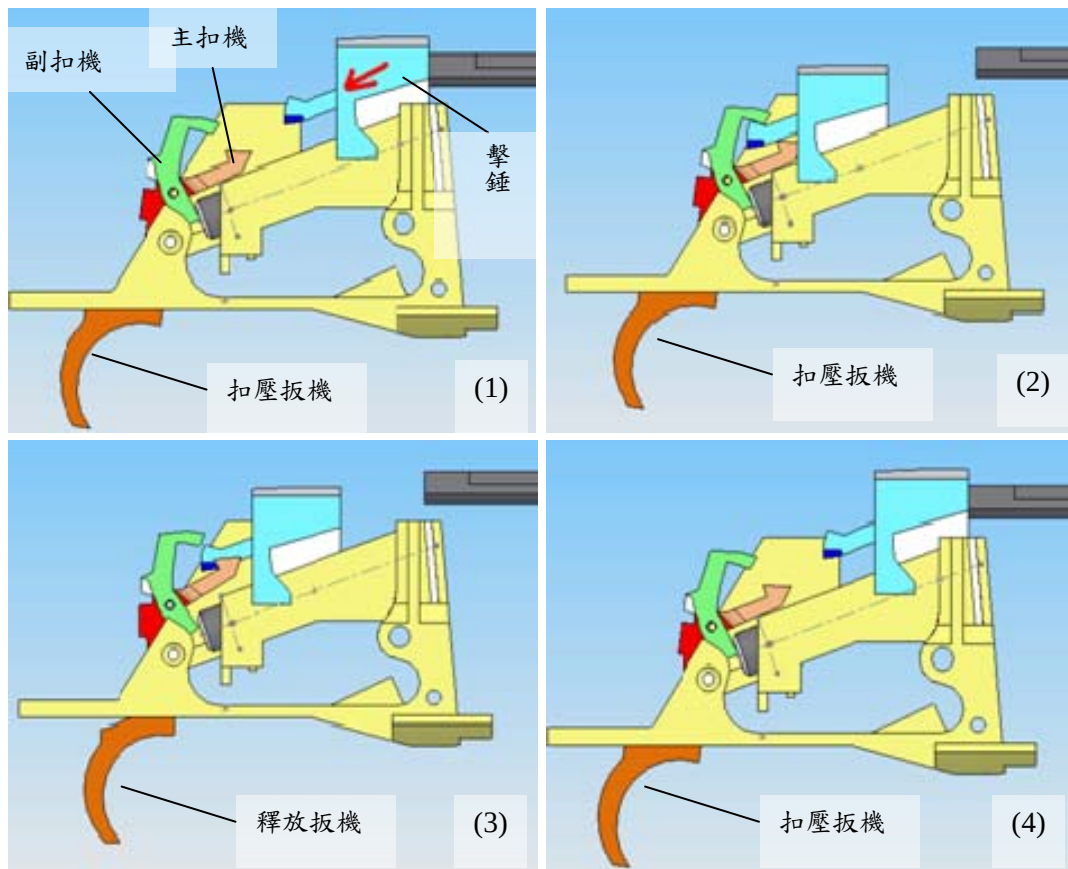


圖 18. 單發射擊動作流程。

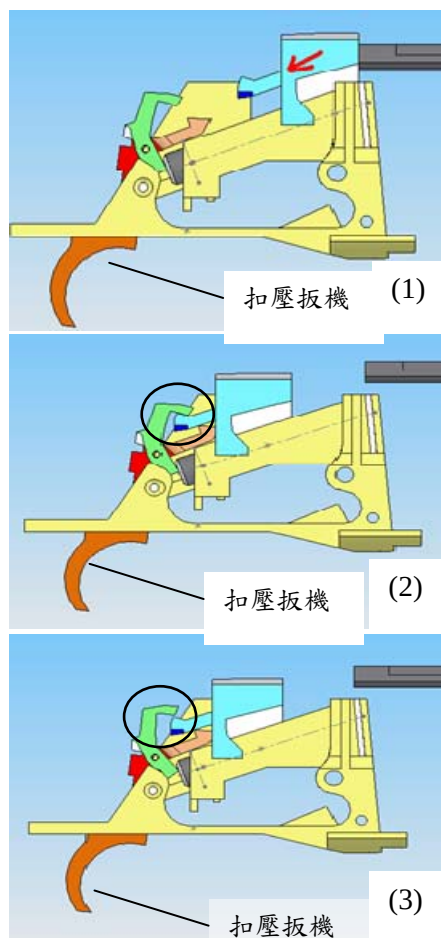


圖 19. 連續射擊動作流程。

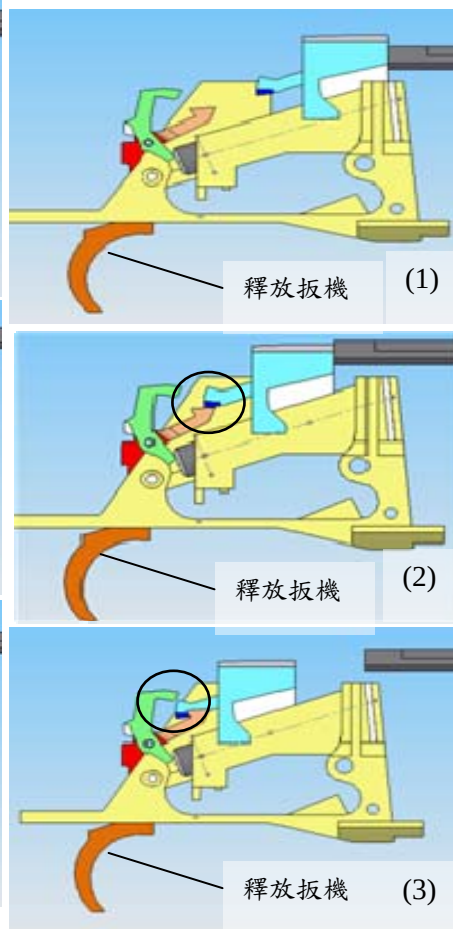


圖 20. 連續射擊中止動作流程。

七、結論

本研究運用 TRIZ 理論與方法，成功發展出 M14 步槍新型扳機機構，證實創造發明除了憑空想像與腦力激盪，亦可用一套有系統、有邏輯的方法，解決發明創造過程所衍生的矛盾問題。因此，此系統化方法可提供設計者，除了使用模仿創新或逆向工程進行產品研發設計外，另一個值得參考的設計模式。

此外，本研究成功運用 TRIZ 方法與兵器系統研發設計上，創新了 M14 步槍扳機機構。原 M14 步槍扳機機構零組件數量為 13 件，可執行單發、連發射擊功能及具有保險裝置，其設計已屬簡單與精巧。本研究刪除原機構輔助元件，其他元件配合重新設計，結果新型扳機數量較原扳機機構元件減少 1 件，且經模擬驗證亦可達到單發、連發射擊及保險功能，可取代原 M14 步槍扳機；本研究之方法與結果，

建議可提供國軍武器研製單位參考運用。

參考文獻

- [1] Stan Kaplan 著，姜台林編譯，TRIZ 發明問題解決理論，宇河文化出版有限公司，台北，第 16-203 頁，2008。
- [2] 于道文，自動武器學，國防工業出版社，北京，第 441 頁，1992。
- [3] 尤春風，CATIA V5 使用手冊 進階應用篇，知城數位科技股份有限公司，台北，第三章 1-12 頁與第四章 1-55 頁，2003。
- [4] 洪永杰，TRIZ 理論與應用簡介，元智大學，最佳化設計實驗室報告，第 3-20 頁，2004。
- [5] http://stu.csim.hk.edu.tw/msung/Research/Creativity/TRIZ/TRIZ_tree/TRIZ_index.htm.
- [6] 尤春風，CATIA V5 使用手冊 進階應用

- 篇，知城數位科技股份有限公司，台北，第四章 100-101 頁，2003。
- [7] Busov, B., Mann, D., and Jirman, P., “Case Studies In TRIZ: A Novel Heat Exchanger,” The TRIZ Journal (Published on line <http://www.triz-journal.com/>), december, 1999.
- [8] 盧啟宏，“以 TRIZ 輔助多功能投幣機構之設計”，碩士論文，國立中山大學機械工程學系，台灣，2000。
- [9] 朱晏樟，“整合 TRIZ 與功能分析之設計方法研究”，碩士論文，國立成功大學機械工程系，台灣，2003。
- [10] 林晉任，“整合 TRIZ 與系統分析創新方法研究”，碩士論文，遠東技術學院機械工程系，台灣，2005。
- [11] 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/M14%E8%87%AA%E5%8A%A8%E6%AD%A5%E6%9E%AA>。
- [12] 風語者世界武器大全，M14 型步槍，<http://www.power-dy.com/index.htm>。
- [13] <http://www.usarmory.com/catalog.asp?PAGE=5>.
- [14] <http://www.e-gunparts.com/productschem.asp?chrMasterModel=2070zM14>.

附錄 A 矛盾矩陣表[1]

Worsening Feature  Improving Feature 		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Weight of moving object	+		15, 8, 29,34		29,17, 38, 34		29,2, 40,28		2, 8, 15,38	8, 10, 18, 37	10,36, 37, 40	10,14, 35, 40	1, 35, 19, 39
2	Weight of stationary object		+		10, 1, 29, 35		35,30, 13, 2		5, 35, 14, 2		8, 10, 19, 35	13,29, 10, 18	13,10, 29, 14	26,39, 1, 40
3	Length of moving object	8,15, 29,34		+		15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34
4	Length of stationary object		35,28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2,14		28, 10	1, 14, 35	13,14, 15, 7	39, 37, 35
5	Area of moving object	2, 17, 29, 4		14,15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4		29,30, 4, 34	19,30, 35, 2	10,15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39
6	Area of stationary object		30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+				1, 18, 35, 36	10,15, 36, 37		2, 38
7	Volume of moving object	2, 26, 29,40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		+		29, 4, 38, 34	15,35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28,10, 1, 39
8	Volume of stationary object		35,10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14				+		2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34,28, 35, 40
9	Speed	2, 28, 13,38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		+	13,28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35,15, 18, 34	28,33, 1, 18
10	Force (Intensity)	8, 1, 37,18	18,13, 1, 28	17,19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12,37	2, 36, 18, 37	13,28, 15, 12	+	18, 21, 11	10,35, 40, 34	35, 10, 21
11	Stress or pressure	10,36, 37, 40	13,29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10,15, 36, 28	10,15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35,33, 2, 40
12	Shape	8, 10, 29, 40	15,10, 26, 3	29,34, 5, 4	13,14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14,4, 15,22	7, 2, 35	35,15, 34, 18	35,10, 37, 40	34,15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4
13	Stability of the object's composition	21,35, 2, 39	26,39, 1, 40	13,15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28,10, 19, 39	34,28, 35, 40	33,15, 28, 18	10,35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature  Improving Feature 		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35
15	Duration of action of moving object	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35
16	Duration of action by stationary object		6, 27, 19, 16		1, 40, 35				35, 34, 38					39, 3, 35, 23
17	Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32
18	Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10		10, 13, 19	26, 19, 6		32, 30	32, 3, 27
19	Use of energy by moving object	12, 18, 2, 8, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24
20	Use of energy by stationary object		19, 9, 6, 27								36, 37			27, 4, 29, 18
21	Power	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31
22	Loss of Energy	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38			14, 2, 39, 6
23	Loss of substance	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40
24	Loss of Information	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32				
25	Loss of Time	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18		10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5
26	Quantity of substance	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18		15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29		35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature  Improving Feature 		Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's composition
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	Reliability	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	
28	Measurement accuracy	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6		28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13
29	Manufacturing precision	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18
30	Object-affected harmful factors	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18
31	Object-generated harmful factors	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22		17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39
32	Ease of manufacture	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1
33	Ease of operation	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12		1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30
34	Ease of repair	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35
35	Adaptability or versatility	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29		35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14
36	Device complexity	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19
37	Difficulty of detecting and measuring	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30
38	Extent of automation	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13		35, 13, 16		28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1
39	Productivity	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2		28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature → Improving Feature ↓		Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	Use of energy by stationary object	Power	Loss of Energy	Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	Weight of moving object	28,27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35,12, 34, 31		12,36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10,35, 20, 28	3, 26, 18, 31
2	Weight of stationary object	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28,19, 32, 22	19, 32, 35		18,19, 28, 1	15,19, 18, 22	18,19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10,20, 35, 26	19, 6, 18, 26
3	Length of moving object	8, 35, 29, 34	19		10, 15, 19	32	8, 35, 24		1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35
4	Length of stationary object	15,14, 28, 26		1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10,28, 24, 35	24, 26,	30, 29, 14	
5	Area of moving object	3, 15, 40, 14	6, 3		2, 15, 16	15,32, 19, 13	19, 32		19,10, 32, 18	15,17, 30, 26	10,35, 2, 39	30, 26	26, 4	29,30, 6, 13
6	Area of stationary object	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10,14, 18, 39	30, 16	10,35, 4, 18	2, 18, 40, 4
7	Volume of moving object	9, 14, 15, 7	6, 35, 4		34,39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36,39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7
8	Volume of stationary object	9, 14, 17, 15		35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6		10,39, 35, 34		35,16, 32, 18	35, 3
9	Speed	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28,30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38		19,35, 38, 2	14,20, 19, 35	10,13, 28, 38	13, 26		10,19, 29, 38
10	Force (Intensity)	35,10, 14, 27	19, 2		35, 10, 21		19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19,35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14,29, 18, 36
11	Stress or pressure	9, 18, 3, 40	19, 3, 27		35,39, 19, 2		14,24, 10, 37		10, 35, 14	2, 36, 25	10,36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36
12	Shape	30,14, 10, 40	14,26, 9, 25		22,14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14		4, 6, 2	14	35,29, 3, 5		14,10, 34, 17	36, 22
13	Stability of the object's composition	17, 9, 15	13,27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18	32,35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature → Improving Feature ↓		Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	Use of energy by stationary object	Power	Loss of Energy	Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
14	Strength	+	27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27
15	Duration of action of moving object	27, 3, 10	+		19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40
16	Duration of action by stationary object			+	19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31
17	Temperature	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39
18	Illumination intensity	35, 19	2, 19, 6		32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19
19	Use of energy by moving object	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18
20	Use of energy by stationary object	35				19, 2, 35, 32	-	+			28, 27, 18, 31			3, 35, 31
21	Power	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37		+	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19
22	Loss of Energy	26			19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25
23	Loss of substance	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	+		15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24
24	Loss of Information		10	10		19			10, 19	19, 10		+	24, 26, 28, 32	24, 28, 35
25	Loss of Time	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	+	35, 38, 18, 16
26	Quantity of substance	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39		34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	+

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature Improving Feature		Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature	Illumination intensity	Use of energy by moving object	Use of energy by stationary object	Power	Loss of Energy	Loss of Substance	Loss of Information	Loss of Time	Quantity of substance
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	Reliability	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32
28	Measurement accuracy	3, 27	3, 27, 40		19, 26	3, 32	32, 2		32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30
29	Manufacturing precision	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31
30	Object-affected harmful factors	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1
31	Object-generated harmful factors	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24
32	Ease of manufacture	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24		35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35
33	Ease of operation	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16		15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25
34	Ease of repair	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13		19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15
35	Adaptability or versatility	2, 13, 28	10, 4, 28, 15		2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28		20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10
36	Device complexity	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18
37	Difficulty of detecting and measuring	25, 13	6, 9		26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13		28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13
38	Extent of automation	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23		35, 38
39	Productivity	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32		3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature → Improving Feature ↓		Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors	Object-generated harmful factors	Ease of manufacture	Ease of operation	Ease of repair	Adaptability or versatility	Device complexity	Difficulty of detecting and measuring	Extent of automation	Productivity
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Weight of moving object	1, 3, 11, 27	28,27, 35, 26	28,35, 26, 18	22,21, 18, 27	22,35, 31, 39	27,28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26,30, 36, 34	28,29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2	Weight of stationary object	10,28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35,22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25,28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35
3	Length of moving object	10,14, 29, 40	28, 32, 4	10,28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15,29, 35, 4	1, 28, 10	14,15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17,24, 26, 16	14, 4, 28, 29
4	Length of stationary object	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30,14, 7, 26
5	Area of moving object	29, 9	26,28, 32, 3	2, 32	22,33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15,17, 13, 16	15,13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14,30, 28, 23	10,26, 34, 2
6	Area of stationary object	32,35, 40, 4	26,28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10,15, 17, 7
7	Volume of moving object	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25,28, 2, 16	22,21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15,13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35,34, 16, 24	10, 6, 2, 34
8	Volume of stationary object	2, 35, 16		35, 10, 25	34,39, 19, 27	30,18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26		35,37, 10, 2
9	Speed	11,35, 27, 28	28,32, 1, 24	10,28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35,13, 8, 1	32,28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10,28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	
10	Force (Intensity)	3, 35, 13, 21	35,10, 23, 24	28,29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15,37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15,17, 18, 20	26,35, 10, 18	36,37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
11	Stress or pressure	10,13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10,14, 35, 37
12	Shape	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16,29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17,26, 34, 10
13	Stability of the object's composition		13	18	35,24, 30, 18	35,40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35,30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35,22, 39, 23	1, 8, 35	23,35, 40, 3

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature → Improving Feature ↓		Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors	Object-generated harmful factors	Ease of manufacture	Ease of operation	Ease of repair	Adaptability or versatility	Device complexity	Difficulty of detecting and measuring	Extent of automation	Productivity
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
14	Strength	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18,35, 37, 1	15,35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32,40, 25, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29,35, 10, 14
15	Duration of action of moving object	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22,15, 33, 28	21,39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19,29, 39, 35	6, 10	35,17, 14, 19
16	Duration of action by stationary object	34,27, 6, 40	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25,34, 6, 35	1	20,10, 16, 38
17	Temperature	19,35, 3, 10	32, 19, 24	24	22,33, 35, 2	22,35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35
18	Illumination intensity		11, 15, 32	3, 32	15, 19	35,19, 32, 39	19,35, 28, 26	28, 26, 19	15,17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
19	Use of energy by moving object	19,21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15,17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
20	Use of energy by stationary object	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19,35, 16, 25		1, 6
21	Power	19,24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19,22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20,19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
22	Loss of Energy	11, 10, 35	32		21,22, 35, 2	21,35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28,10, 29, 35
23	Loss of substance	10,29, 39, 35	16,34, 31, 28	35,10, 24, 31	33,22, 30, 40	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32,28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35,10, 28, 24	35,18, 10, 13	35, 10, 18	28,35, 10, 23
24	Loss of Information	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 22	32	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15
25	Loss of Time	10, 30, 4	24,34, 28, 32	24,26, 28, 18	35,18, 34	35,22, 18, 39	35,28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18,28, 32, 10	24,28, 35, 30	
26	Quantity of substance	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35,33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35,29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13,29, 3, 27

附錄 A 矛盾矩陣表(續) [1]

Worsening Feature → Improving Feature ↓		Reliability	Measurement accuracy	Manufacturing precision	Object-affected harmful factors	Object-generated harmful factors	Ease of manufacture	Ease of operation	Ease of repair	Adaptability or versatility	Device complexity	Difficulty of detecting and measuring	Extent of automation	Productivity
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
27	Reliability	5, 11, 1, 23	+		28,24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27,35, 10, 34	26,24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10,34, 28, 32
28	Measurement accuracy	11, 32, 1		+	26,28, 10, 36	4, 17, 34, 26		1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26,28, 18, 23	10,18, 32, 39
29	Manufacturing precision	27,24, 2, 40	28,33, 23, 26	26,28, 10, 18	+		24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35,11, 22, 31	22,19, 29, 40	22,19, 29, 40	33, 3, 34	22,35, 13, 24
30	Object-affected harmful factors	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+					19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22,35, 18, 39
31	Object-generated harmful factors		1, 35, 12, 18		24, 2		+	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
32	Ease of manufacture	17,27, 8, 40	25,13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39		2, 5, 12	+	12,26, 1, 32	15,34, 1, 16	32,26, 12, 17		1, 34, 12, 3	15, 1, 28
33	Ease of operation	11,10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35,10, 2, 16		1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	+	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11		34,35, 7, 13	1, 32, 10
34	Ease of repair	35,13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35,11, 32, 31		1, 13, 31	15,34, 1, 16	1, 16, 7, 4	+	15,29, 37, 28	1	27, 34, 35	35,28, 6, 37
35	Adaptability or versatility	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22,19, 29, 40	19, 1	27,26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29,15, 28, 37	+	15,10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
36	Device complexity	27,40, 28, 8	26,24, 32, 28		22,19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15,10, 37, 28	+	34, 21	35, 18
37	Difficulty of detecting and measuring	11, 27, 32	28,26, 10, 34	28,26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	+	5, 12, 35, 26
38	Extent of automation	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18,10, 32, 1	22,35, 13, 24	35,22, 18, 39	35,28, 2, 24	1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12,17, 28, 24	35,18, 27, 2	5, 12, 35, 26	+
39	Productivity	5, 11, 1, 23	+		28,24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27,35, 10, 34	26,24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10,34, 28, 32

附錄 B. 40 項發明原則、次原則說明表[4]

編號	發明原則	次原則
1	Segmentation (分割)	(1) 將一個物體拆解成幾個獨立的部分。 (2) 使一個物體容易拆開。 (3) 增加分裂或分割的程度。
2	Extraction (萃取)	(1) 從一個物體中萃取出令人不快的元件或屬性。 (2) 僅萃取出需要的零件或屬性。
3	Local Quality (局部特性)	(1) 把一個物體由相同成分組成的結構轉換成不同成分組成的結構。 (2) 使一個物體在其限制條件下，每部分元件皆能達成最合適的操作。 (3) 使一個物體每一部分都能達到不同且有用的功能。
4	Asymmetry (非對稱性)	(1) 把一個物體由對稱結構改為不對稱結構。 (2) 如果一物體原為不對稱結構，則改變其不對稱的程度。
5	Combining (合併)	(1) 合併相同或相似的物體，或集合相同或相似的元件來達成相同的操作。 (2) 將相同或連續性的操作在時間上加以結合。
6	Universality (通用／普遍性)	將一物體或結構具備多樣功能，以消除其他部分的需求。
7	Nesting (重疊)	(1) 物體內可放入另一物體。 (2) 一物體可通過另一物體的孔洞。
8	Counterweight (平衡力)	(1) 為了補償一個物體的重量，可以和其他具有升力(lifting force)的物體相連接。 (2) 為了補償一個物體的重量，可以和環境所提供之空氣動力或水的浮力產生互動。
9	Prior Counteraction (預先抵銷)	(1) 如果需要的話，應事先考慮反作用力。 (2) 在一物體內預先給予一壓（張）力來對抗一個已知且存在的壓（張）力。
10	Preliminary Action (事先動作)	(1) 事先準備使物體可及時並在適當的地方作用。 (2) 預先完成全部的動作或至少完成部分動作。
11	Beforehand Cushioning (預先緩衝)	為了補償低可靠性的物體，可預先採取對策。
12	Equipotentiality (等位性)	改變工作的狀態，可減少物體被舉起或降低的次數。
13	Inversion (反置)	(1) 把一個通常用來解決特定問題的方法反向思考。 (2) 把一個可移動的物體固定，把一個固定的物體讓它變成可移動。 (3) 將物體或過程上下顛倒。
14	Spheroidality-Curvature (球狀、曲線)	(1) 利用曲線取代直線元件或表面、以球體取代立方體。 (2) 使用滾筒、球或螺旋。 (3) 把直線運動改成滾動，使用離心力。

附錄 B. 40 項發明原則、次原則說明表(續) [4]

編號	發明原則	次原則
15	Dynamics (動態性)	(1) 使物體的特性或外在環境能在作業的各階段為了達到最適性能而自動的調整。 (2) 把一個物體分成幾個部分且有相對運動的能力。 (3) 如果一個物體或過程是剛性或不可撓曲的，把它變成可動或是可撓曲的。
16	Partial or Excessive Actions (部分或過量的作動)	如果不易做到 100% 的期望效果，則用一樣的方法，考慮使用少一點或多一點的量來解決可能會容易些。
17	Moving to a New Dimension (移至新的空間)	(1) 把一個物體移至二維或三維的空間。 (2) 以多層組合取代單層。 (3) 傾斜物體。 (4) 投射影像至鄰近區域或該物體的另一側。
18	Mechanical Vibration (機械振動)	(1) 使物體振動。 (2) 增加振動的頻率。 (3) 使用物體的共振。 (4) 用壓電振動取代機械振動，結合超音速和電磁場振動。
19	Periodic Action (週期運動)	(1) 使用週期性運動取代連續性的運動。 (2) 如果已經是用週期運動，則改變振幅或頻率。 (3) 使用脈衝間的暫停時間來達成一個不同的運動。
20	Continuity of Useful Action (利用動作連續性)	(1) 不間斷的完成一個動作，物體所有的零件應該全力作業。 (2) 移除無益及中間動作。 (3) 用迴轉運動取代來回運動。
21	Rushing Through (急速通過)	在高速下完成有害或危險的動作。
22	Convert Harm into Benefit (轉壞處為利處)	(1) 使有害的因子達成正面的影響。 (2) 以另一個有害的因子來取代原有害因子。 (3) 增加有害因子的量直至它停止造成傷害。
23	Feedback (回饋)	(1) 引進回饋來改善一個動作或過程。 (2) 如果回饋已存在，則改變其大小或影響。
24	Mediator (媒介)	(1) 利用一個中間物質去轉換或完成一個動作。 (2) 暫時將一個物體和另一物體連接在一起，以方便將它移除。
25	Self-service (自我服務)	(1) 使物體能自己完成補充及修護作業。 (2) 使材料和能源沒有浪費。
26	Copying (複製)	(1) 用簡單、便宜的複製品取代複雜、昂貴、易脆、不方便的物體來操作。 (2) 以光學複製品，光學影像代替一個物體或系統，一個尺度能被用來縮小或放大影像。 (3) 以紅外線或紫外線複製取代可見光複製。
27	Dispose (便宜/拋棄式)	利用多樣複合低價格的東西代替昂貴的物品，達到品質的妥協。

附錄 B. 40 項發明原則、次原則說明表(續) [4]

編號	發明原則	次原則
28	Replacement of Mechanical Systems (置換機械系統)	(1) 以視覺、聽覺、嗅覺系統取代機械系統。 (2) 以電場、磁場、電磁場使物體互相影響。 (3) 把靜態場改成動態場，把無結構場改成有結構場。 (4) 使場和活化粒子(磁)結合。
29	Pneumatics and Hydraulics (氣壓或液體構造)	以氣體或液體取代一個物體的固體零件。
30	Flexible Shells and Thin Films (薄板和薄膜)	(1) 以彈性膜及薄膜更換原來的構造。 (2) 以純淨的薄膜將物體和外界環境隔離。
31	Porous Materials (多孔性材料)	(1) 使物體多孔化或使用附加多孔元件的物體(嵌入件，蓋等)。 (2) 假如物體有許多孔，則預先填充物質。
32	Color Changes (改變顏色)	(1) 改變一個物體或它周圍事物的顏色。 (2) 改變一個物體或它周圍事物的透明程度。 (3) 使用顏色添加劑去觀察不易看到的區域。
33	Homogeneity (同質)	使物體的相互作用得自於相同材料或接近其行為的材料。
34	Discarding and Recovering (拋棄與復原)	(1) 當物體的功能達成後或無用時把它拋棄或修正(如拋棄、分解、消散)。 (2) 直接復原已耗盡的零件或物體。
35	Transformation of Properties (改變物質特性)	改變物體各種狀態、密度、濃度、彈性、溫度、長度…等其他參數。
36	Phase Transitions (相轉變)	在物質的相的轉變過程中實現一個有效的成長。
37	Thermal Expansion (熱膨脹)	(1) 運用熱使材料膨脹或收縮。 (2) 使用具有不同熱膨脹係數的材料。
38	Strong Oxidants (強氧化劑)	(1) 以加濃空氣取代正常空氣。 (2) 以氧氣取代加濃空氣。 (3) 在空氣或氧氣中進行離子化。 (4) 使用氧離子。
39	Inert Atmosphere (惰性環境)	(1) 以非活性環境取代正常環境。 (2) 在其空中完成過程。
40	Composite Material (複合材料)	以合成材料取代同質材料。

孫懷谷等

以 TRIZ 理論應用於 M14 步槍扳機機構創新設計之研究