

第四章 研究結果

本章針對本研究樣本「蟲蟲危機」之作品創新歷程記錄之內容分析，作詳細的討論與分析，針對作品創新歷程記錄中所呈現的問題解決分析。第一節為分析作品創新歷程之數學概念，主要以對稱、空間立體、幾何形狀及測量等數學概念；第二節分析作品創作歷程之物理概念，主要以力學、電學及材料與加工等物理概念。茲將研究結果，討論如下：

第一節 科技創新歷程數學概念之分析

本節旨在將作品創新歷程記錄內容屬於數學概念的問題解決方式，作質與量的分析，除了記錄內容的顯著意義之外，研究者也嘗試由記錄內容的內涵去探討其隱含的概念。

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現屬於數學概念構面的問題所占的百分比如下：「對稱概念」占17%、「空間立體概念」占9%、「測量概念」占23%、「幾何形狀概念」占23%，百分比如下：

表 4-1-1 數學概念量化表

構面	問題類型	數量	百分比
數學概念	對稱概念	12	17
	空間立體概念	6	9
	測量概念	16	23
	幾何形狀概念	10	23
	小計	44	100

壹、對稱概念

學童創新歷程記錄之相關的問題，經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現者歸納出有關與「對稱概念」共有 12 個相關的問題，並探討其隱含的概念。

基礎物理學家認為，終極設計者(大自然)是用美的方程來設計這個宇宙。這裡所說的美不是別的，恰恰指對稱性。他們得出這個結論，首先是從對事物及幾何學的審視中吸取精髓的。事實上，人們會傾向於認為只有那些具有對稱性的建築才有可能是美的，沒有對稱性的建築就是不美的。以對稱概念為基礎，可以發展出全等、座標、鏡像反射、重複等相關連概念。

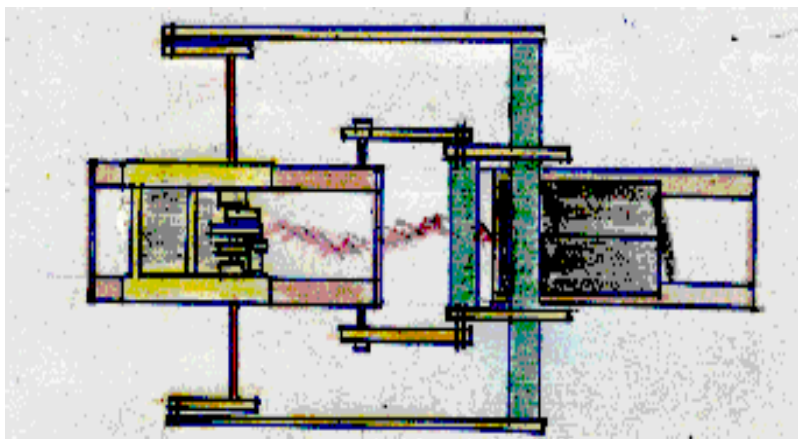


圖 4-1-1 蟲蟲危機機構俯視圖

「蟲蟲危機」的零件製作及組裝良劣，將影響機構運作時的前進方向是否為直線的行走機能。以「對稱概念」來說，學童多以「中心線」、「中間」、「中線」及「對稱」等文字來描述問題的原因。歸因主要解決方式如下：1. 馬達箱沒放置於機座中心線上，導致機構前進時的偏離直線方向；2. 馬達箱兩側的曲柄為對稱對關係，若是沒有達成對稱很容易偏離方向；3. 連接桿的組裝亦為對稱平行的關係，若無法達成對稱，機構很容易偏離直線方向。

因此，為了解決「蟲蟲危機」多以利用對稱的概念來修正，提出問題假設以解決機構運走時方向的偏離。學生透過「蟲蟲危機」的輔助學習過程，從具體動手操作中覺知對稱現象，進而發現對稱關係，再由此建構出對稱概念，最後經由應用的過程中，產生與其他概念的聯結，並對稱概念的抽象特質有更深層的理解。

二、空間立體

學童創新歷程記錄之相關的問題，研究者歸納出有關與「空間立體」共有 6 個相關的問題，並探討其隱含的概念。

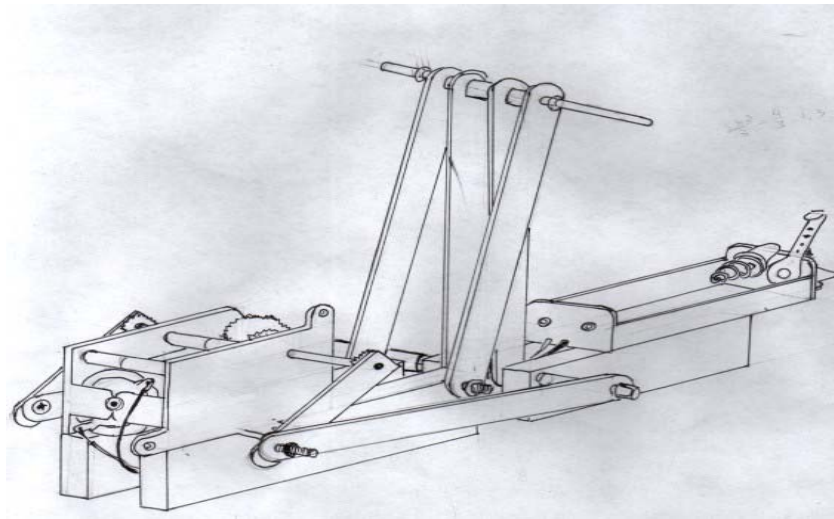


圖 4-1-2 蟲蟲危機機構空間立體圖

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現「空間立體」之相關問題類型中包含：「電池盒的位置」相關問題，占 50%；「機座的位置」相關問題，占 30%；「連桿的位置」相關問題占 20%。以下針對量化分析之問題類型再深入探討其問題解決方式之質性分析。

表 4-1-2 空間立體

問題類型	分類	數量	百分比
空間立體	電池盒的最佳位	3	50

置		
機座的最佳位置	2	30
連桿的最佳位置	1	20
小計	6	100

學童在製作「蟲蟲危機」時，常發生有關空間立體的問題零件放直的位置錯誤，導致機件活動時產生干涉及機能效能的浪費。歸納有關「空間立體」的問題解決方式如下：

- 1.電池盒的最佳位置：以保持機身重心的平衡為主要考量；
- 2.機座的最佳位置：整體機座必須放置於中心線上，以保持機構運作時的準確性，前進時方向才不易偏離；
- 3.連桿的最佳位置：連桿間保持平行，連桿與連桿之間利用吸管約束其活動的空間，以達到最佳的運動位置。
- 4.清楚地瞭解長短、大小、高矮、輕重、寬窄的意義，而且透過實驗做比較，具有量的保留概念。

三、幾何形狀

學童創新歷程記錄之相關的問題，研究者歸納出有關與「空間立體」共有 10 個幾何形狀之相關的問題，並探討其隱含的概念。

圖形並非實際存在的東西，它是附著於具體存在的物體上，從具體實物中摒棄其顏色、氣味、材質、輕重、硬度、厚度、大小、...等特性之抽象結果。簡單地說，它僅是指實物外觀的樣子。平面圖形是將具體物的表面拓印出來的結果，通常透過立體圖形的面來辨識。在製作「蟲蟲危機」的過程中，學童必需先於工作圖上規劃設計各零件的形狀與尺寸

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現「幾何形狀」之相關問題類型中包含：「雪翹形」占 30%；「矩形」占 60%；「正方形、長方形、」占 10%。以下針對量化分析之問題類型再深入探討其問題解決方式之質性分析，如(表 4-1-3)所示。

表 4-1-3 幾何形狀問題量化表

問題類型	分類	數量	百分比
幾何形狀	雪翹形	2	20.
	矩形	3	30
	正方形、長方形	5	50
	小計	10	100

「Power Tech」為一利用基本素材，無特定尺寸與形狀，讓學童發揮創意思考利用「動手做」，將想法實現出來。而「蟲蟲危機」除了冰棒桿、螺絲、電池盒及齒輪箱等即存之材料形狀之外，密集板的設計就是讓學童發揮其創意最大的空間。依據學童研究樣本歸納出由密集板所製作的機座形狀除了由三塊矩形所組成之外，尚有在底板做成雪翹之弧形，以降低其行走時的阻力。

歸納有關「幾何形狀概念」之問題解決方式：1.雪翹形：機座側板設計成「雪翹形」，以減低行走時的阻力；

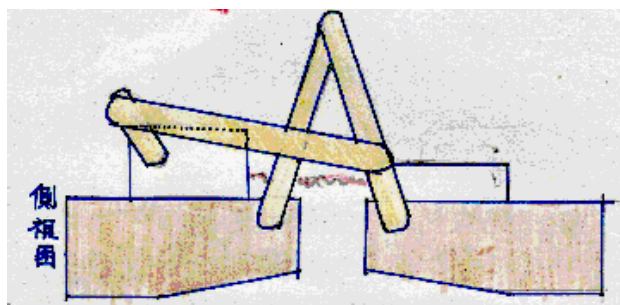


圖 4-1-3 雪翹形的底座

2.矩形：機座底板設計成矩形，有利於電池盒及齒輪箱定位之用；3.、正方形、長方形、等基本幾何圖形之外，還可以說出其間的異同點，會做複雜的圖形組合。

四、測量概念

學童創新歷程記錄之 70 個相關的問題，研究者歸納出有關與「空間立體」共有 16 個相關的問題，探討其隱含的概念。

(一)測量的意義

測量免不了要作「估計」，因此測量的結果也必有「誤差」。測量的結果必須包含兩大部份，即 1.數字部分 2.單位部分。如小華身高 145 公分，此為測量的結果，其中數字的部分為「145」，單位部分為「公分」。

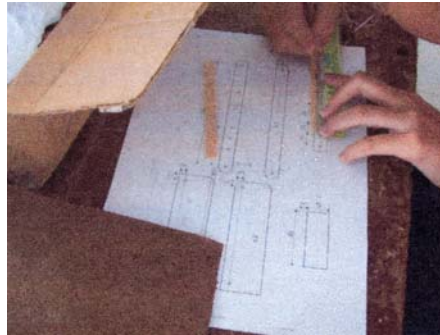


圖 4-1-4 測量的意義

測量值的表示法：測量值為「準確」值加上一位估計值。由直尺讀取的測量值中，最後第二個數字所代表的單位就是直尺的最小刻度。

測量值與統計值不同：1.測量值由測量、估計得，必有誤差。如：142 公分，15.0 平方公尺，10.5 秒等。 2.統計值由累加而得，為準確數值：如：1000 元，45 人，10 個 蘋果...等。

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現「測量概念」之相關問題類型中包含：「測量值」占 58%；「統計值」占 42%。以下針對量化分析之問題類型再深入探討其問題解決方式之質性分析，如(表 4-1-4)。

表 4-1-4 測量概念問題量化表

問題類型	分類	數量	百分比
測量概念	測量值	11	68.7
	統計值	5	31.3
	小計	16	100

學生能力的發展始於流利的基礎運算和推演、對數學概念的理解，然後懂得利用推論去解決數學問題，包括理解和解決日常問題，以及在不熟悉解答方式時，懂得自尋解決問題的途徑。傳統數學教學上，常把觀念與演算截然二分。



圖 4-1-5 量測

然數學運算或計算並不只是機械式計算操作而已。所謂能熟練數學的運算或計算，係指在能夠理解數學概念或演算規則的情況下，所進行的純熟操作。這種透過理解並能將觀念與計算結合的能力，才是演算能力。

歸納有關「幾何形狀概念」之問題解決方式：1.學童能運用符號、記號、模型、圖形或其他數學語言、清楚傳達量化、邏輯關係；2.學童發展邏輯思考，用來分析證據、提出支持或否定假設的論點。3.學生自行在不同數學概念之間做連結，並連結數學與其他學習領域。

第二節 科技創新歷程物理概念之分析

本節旨在將作品創新歷程記錄內容屬於物理概念的問題解決方式，作質與量的分析，除了記錄內容的顯著意義之外，研究者也嘗試由記錄內容的內涵去探討其隱含的概念。

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現屬於物理概念構面所占的百分比如下：「力學概念」占 44%，「電學概念」占 3%，「材料與加工」占 84%。歸納物理性之問題類型，茲將整理結果之說明如下：

表 4-2-1 物理概念問題量化表

構面	問題類型	數量	百分比
物理概念	力學概念	31	44
	電學概念	2	3
	材料與加工	59	84

壹、力學概念

經由三位編碼員，針對分析類目去界定學童解決問題的內容的類目之後，研究發現「力學概念」之相關問題類型中包含：「摩擦力」相關問題，占 58%；「重心」相關問題，占 16%；「扭力」相關問題占 26%。以下針對量化分析之問題類型再深入探討其問題解決方式之質性分析。從「力學概念」構面來探討創新歷程紀錄中所呈現的問題解決方式。茲將整理結果如(表4-2-1)所示，

表 4-2-2 力學概念量化表

問題類型	分類	數量	百分比
力學概念	摩擦力概念	18	58
	重心概念	5	16
	力矩概念	8	26

一、摩擦力概念

依據研究樣本，研究者整理關於「摩擦力概念」的問題類型，將「蟲蟲危機」之作品創新歷程記錄之內容作質性的分析，說明如下：

(一) 摩擦力原理

摩擦力起源於兩接觸面間的附著吸引力由於原子或分子間的電磁吸引力使得物體有巨觀的結構，也是相同的作用力導致於摩擦的存在。接觸面的性質有關且與兩界面間的正向力(W)成正比，如(圖 4-2-1)所示。

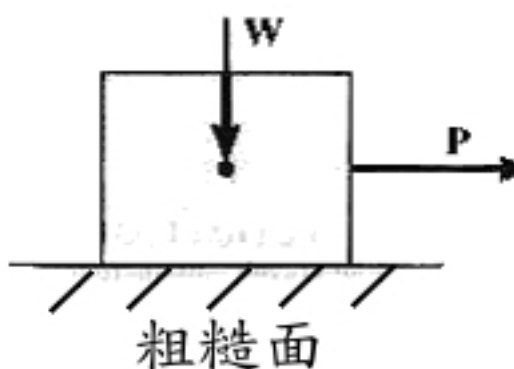


圖 4-2-1 摩擦力

摩擦力的物理公式如下

$$\text{摩擦力 } P = \mu W_N \dots \dots \dots (4-1)$$

「 μ 」為摩擦係數由兩接觸面間性質決定，因不同的接觸面性質而異，在摩擦的過程中不見得恆為定值，所以又分為動摩擦係數及靜摩擦係數； W_N 則為兩介面間的正向力。也就是垂直於接觸面方向的作用力。

摩擦係數代表兩物體接觸面之光滑程度。靜摩擦係數之測量為置物體於斜面上，緩慢增加傾斜角，觀察物體恰欲開始下滑之角度 θ ，此時靜摩擦係數= $\tan(\theta)$ ，如(圖 4-2-2)所示。

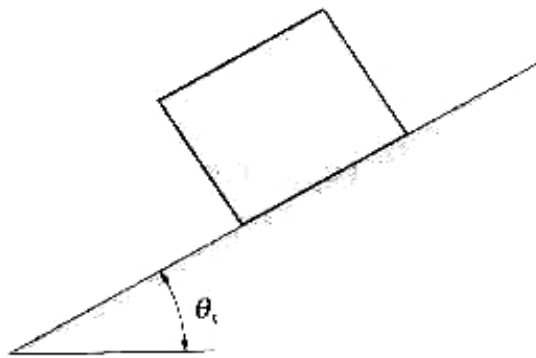


圖 4-2-2 靜摩擦係數 $=\tan(\theta)$

依據力平衡方程式，得 $N = W \cos\theta$ ，以及 $F = \mu N = \mu W \cos\theta$ ，所以 θ 即為靜止角(angle of repose)，比較得知此角與靜摩角 ϕ_s 相等，一旦此角得知，可由 $\mu = \tan\theta$ 求得靜摩擦係數，如(圖 4-2-3)所示。

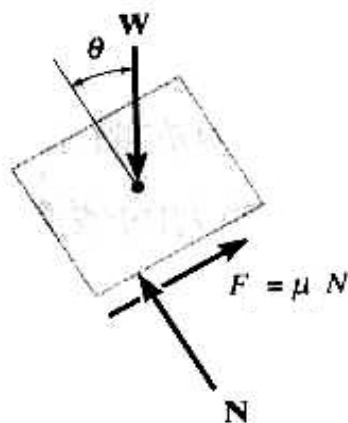


圖 4-2-3 靜止角

一般而言， μ 值小於 1，亦有例外，如鋁與鋁接觸，其值 μ 大於 1，此表示摩擦力比正向力大。再者 μ 值無單位，且僅與接觸面間之性質有關如(表 4-2-2)所示。

表 4-2-2 靜摩擦係數表

接觸材料	靜摩擦係數(μ)
金屬與冰	0.03~0.05
木材與木材	0.30~0.70
皮革與木材	0.20~0.50
皮革與金屬	0.30~0.60
鋁與鋁	1.10~1.70

資料來源：陳宏洲(民 79)

密集板為「蟲蟲危機」最主要的機構材料，做為前座承載齒輪箱及後座用來承載電池盒之用。以直接碰觸到地面的方式帶動整個機構往前行進。因此，容易與地面接觸產生摩擦力的問題。

(二)解決摩擦力問題之方式

從研究樣本發現學童遭遇到的摩擦力問題可分為不足及過大等，這些問題都造成機構無法順利前進。因此，以下針對摩擦力不足及過大來分析學童解進摩擦力問題的方式：

1. 摩擦力不足之問題解決方式：

根據研究樣本的內容，研究者將摩擦力不足導致機體無法前進，機體原地打滑的問題歸納整理如(表 4-2-3)所示。

表 4-2-3 摩擦力不足問題解決方式

物理現象	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
摩擦力不足	1.行走時前半身會翹起。	前半身的後端太輕。無法前進。	在前半身的後端加廢電池。	不會翹起。可前進。
	2.車身直線前進時機體會向後打滑。	底部摩擦力不足。	在底部用橡皮管、砂紙。 增加重量。	可以止滑。 不會打滑了。
	直線運行時，不太會行走。	機體底部摩擦力不足。	於底部貼上砂紙。	控制滑行和粗糙面適時觸地。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

研究者歸納學童解決摩擦力過大問題的方式如下：

- (1)增加正向力(W_N)：在機構運轉時，遭遇到因摩擦力不足而機身翹起、打滑時，可以在機體上加重負荷物以增加機體底部與地面接觸的摩擦力。
- (2)選用摩擦係數較大的材質(μ)：利用在機體底部貼上橡皮管、砂紙等摩擦係數較大之物質，增加機身底部與接觸面的摩擦力。

2. 摩擦力過大之問題解決方式：

除此之外，因為機構底部的摩擦力過大，導致機構無前進及加工時遭遇因為，整理歸納因摩擦力過大的問題，如(表 4-2-4)所示：

表 4-2-4 摩擦力過大問題解決方式

物理現象	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
摩擦力過大	因為前腳前端呈直角，阻力太大。	1.前腳前端磨圓。2.使前腳成雪橇狀	摩擦力更小	車身在伸張行程時不易前進。
	鋸切密集板一半時，鋸條容易斷。	鋸條太細、摩擦生熱導致斷裂。	慢慢鋸，不要太用力鋸。	比較不會斷了。
	連桿轉動摩擦的不順。	二支連桿轉動時互相摩擦。	在轉動的地方用墊片隔開再點些潤滑油。	摩擦的情況好多了。
	蟲蟲前進速度很慢。	車底不平，摩擦太大。	使車底更平滑。	前進很順。
	機體摩擦力不夠。	把底板加大增加接觸面積。	在比賽一開始便將對手拉了過來。	拔河力道不夠。
	讓機構行走好。	鐵軸與連桿之間有摩擦。	連桿的孔中間加吸管可減少摩擦。	前進的速度有增快。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

研究者歸納學童解決摩擦力過大問題的方式如下：(1)減低摩擦係數(μ)：利用砂紙把機座的底部磨得較平滑以改變與地面接觸面，以減低摩擦力的影響；(2)把機身底部磨成圓弧形鋤雪橇狀可以達到分散並抵消正向力(N)以減低摩擦力的效果，因為 $N > N_1$ ，所以 N 所產生的摩擦力就會比 N_1 所產生的摩擦力大；(3)利用砂紙使機體底部磨成平滑，及利用潤滑油加注於連桿間接觸的地方，降低摩擦力以避免動力的消耗。如圖(4-2-4)所示。

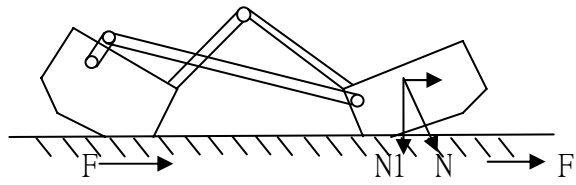


圖 4-2-4 減少正向力

(三) 摩擦力問題解決方式質性分析

1. 摩擦力原理

根據摩擦力的物理定義，分析研究樣本中學童解決摩擦力的方式是否正確，以下就影響摩擦力的因素分別討論：

(1) 作用於接觸面的作用力

利用廢電池等重物來增加摩擦力。掌握「蟲蟲危機」在行進時地面的「反作用點」，摩擦力對於機體是助力也是阻力，因為機體的摩擦力比必需適得其所。由機座與地面產生的摩擦力最好的位置在於機構前進的反作用點處，於此處可以加重物及來作為機構前進的反作用點以產生反作用力(摩擦力)，即可以避免機構打滑及能量的損失了。因此，分析研究樣本的記錄內容中發現，學童都是在機座上加上螺帽、電池等重物以增加作用於機座與地面所產生的摩擦力。

(2) 接觸面的性質

密集板的加工面不可過粗糙留下鋸切時加工的「毛邊」。這些殘留的加工毛邊都會在機構運轉時產生不必要的摩擦力，保持密集板每個加工面的平滑，並且修正機體圓弧形的底部，雪橇狀的底部可以達到分散並抵消正向力以減低摩擦力的效果。機構在組裝上之遭遇到有關摩擦力有過大及過小的問題。在組裝連桿時，因為連桿間之運轉間產生的摩擦力及機座底部粗糙的表面皆是消耗於機構能量，因此利用吸管墊在連桿孔內及孔內加注潤滑油及用砂紙磨平機座的底部

減低摩擦力，如(圖 4-2-5)所示。

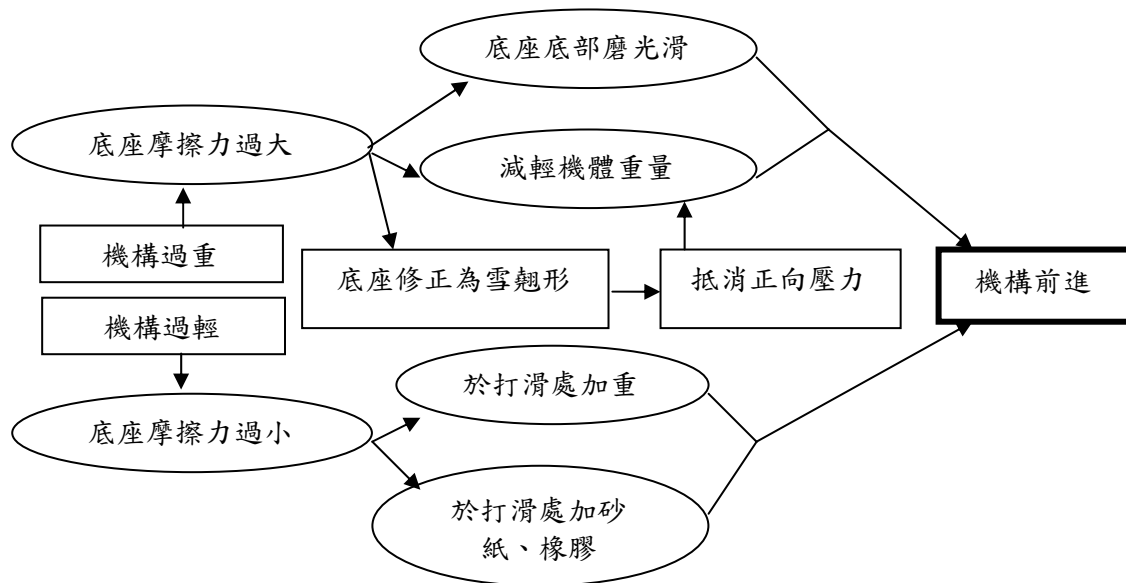


圖 4-2-5 摩擦力解決方式流程圖

2. 摩擦力矛盾問題分析

研究者從樣本中發現，並非所有記載摩擦力的問題內容都可以順利解決問題。從上述控制影響摩擦力原理的二個因素中，以加重物於機構以增加摩擦力，但是又會發生重量太重導致摩擦力過大的問題。以 TRIZ 的觀點來看，這是屬於「一個子系統中有助性能增強的同時導致該子系統中有害性能的增強。」的物理矛盾。

因此，研究者試圖以 TRIZ 的矛盾矩陣來獲得這個問題最適合的解決原則。依照這個問題欲改善的參數為「蟲蟲危機」行走的速度(speed)，而欲避免的功能為移動件的重量(weight of moving object)，從 TRIZ 矛盾矩陣表中得到以下四點建議原則：1. 移除(extraction)；2. 反向(inversion)；3. 置換機械系統(mechanics substitution)；4. 加速氧化(accelerated oxidation)，在此我們選擇了移除(extraction)及反向(inversion)二個來做為解決「蟲蟲危機」摩

摩擦力問題的指標。為了增加「蟲蟲危機」行走的速度，可以移除機構上不必要的零件或設計較小的零件，以減少重量；另一方面，利用砂紙去掉機座底部的不平整的表面，以達到提升行走速度 (speed)，如(圖 4-2-6)所示。

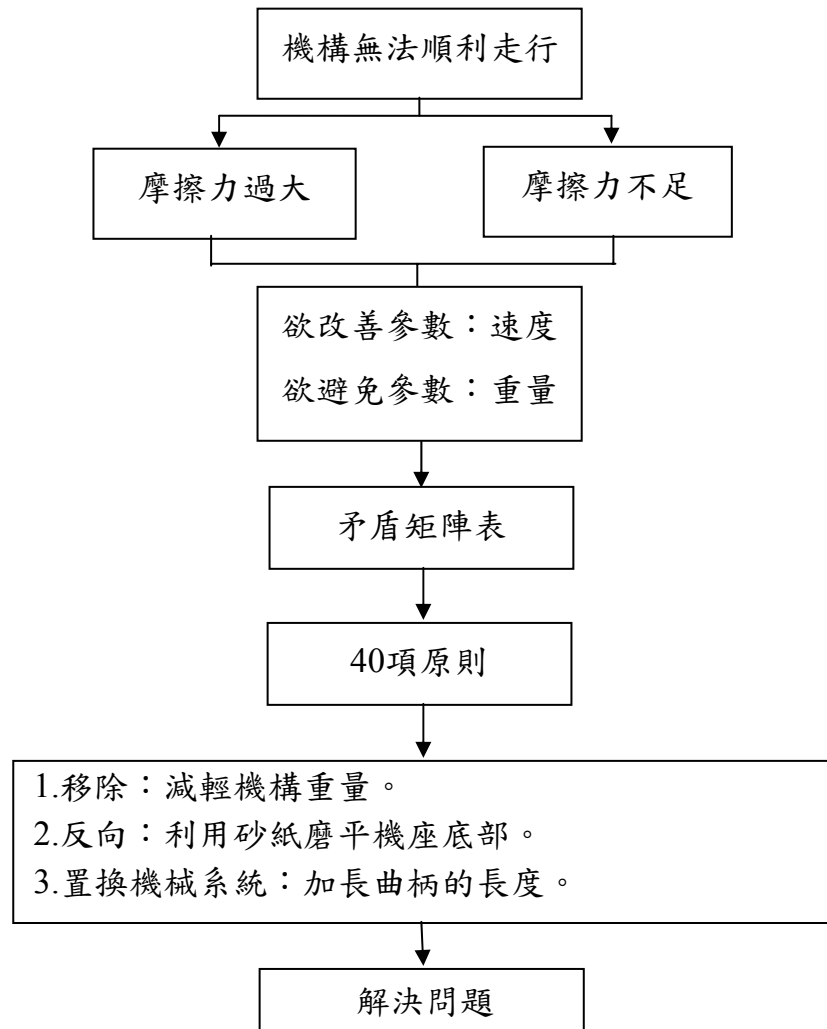


圖 4-2-6 解決摩擦力矛盾問題流程圖

二、力矩概念

曲柄輸出的扭力為力矩與槓桿原理的現象，物體的轉動施力於一物體時，物體除了可能會沿力的方向運動外，也可能發生轉動。如(圖 4-2-7)所示，當門轉動時，除了門軸外，門上各點的位置皆有改變。而門軸上 O 與 O' 連線上的各點，其位置並沒有改變，這個連線稱為轉軸。施力垂直於門面時，施力距離轉軸較遠時，轉動效果愈省力。



圖 4-2-7 不同的施力點對門的轉動效果

力臂與力的大小的乘積，稱為力矩。能使物體繞轉軸產生轉動效果的物理量。

$$\text{力矩} = \text{力臂} \times \text{作用力}$$

以「蟲蟲危機」機構為例，「力矩」為直流電馬達輸出的扭力，「力臂」則為馬達軸孔與曲柄軸孔的距離，「作用力」則為帶動機構前進的動力。學童為了讓機體前進速度加快及拔河更有扭力，於是在組裝設計曲柄時，以多鑽幾個孔在以因應比賽性質調整扭力的大小，如(表 4-2-5)所示。

表 4-2-5 扭力問題解決方式

物理現象	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
力矩	車身太輕及力臂太長。	加廢電池在車頭加重並調整力臂長度。	效果好。	比賽拔河容易被對方拉走。
	拔河時曲柄(冰棒棍)常脫落於鐵軸。常常會輸掉比賽。	用一根太薄熱熔膠不容易黏牢固。	使用二根冰棒棍當曲柄。	不容易脫落了，拔河也比較有力氣。
	作用的力臂太短。	將連接前段機身的連桿降低。	在鑽冰棒棍時預留許多孔位，再調整到最適的位置。	速度變快了。
	拔河沒力。	配重不對。	找出最佳的位置配重	比較拉得動對方
	比賽拔河容易被對方拉走。	車身太輕。	加重。	加廢電池在前座。
	比賽拔河容易被對方拉走。	曲柄與輪軸的距離太長，造成力量不足。	縮短曲柄與輪軸的距離。	競速時把曲柄與輪軸的距離加大，拔河時反之。
	拔河力量不足	曲柄的扭力不足。	利用倒齒鈎的東西放在底座的面，可以讓機構只進不退。	效果大增。

拔河測試拉
重成績不理
想。

連結齒輪組
的曲柄長或
短會影響成
績。

在曲柄上鑽
了幾個洞再
做測試。

經過多次的測
試曲柄不能過
短，過短速過
慢，取中間
值。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-5)歸納出解決力矩概念問題解決方式：

- (一)以增加曲柄軸孔間的距離，提高前進的速度。
- (二)以減少曲柄軸孔間的距離，提高拔河の扭力，如(圖 4-2-8)所示。



圖 4-2-8 調整曲柄與軸孔的距離

三、力矩問題解決方式質性分析

綜合「扭力概念」之問題解決方式，研究者分析如下：

根據力矩的定義，由於馬達輸出的扭力為一定值(constant)與力臂成反比，所以在加工曲柄時，就縮短馬達與曲柄軸孔的距離，以增加作用力。除了縮短曲柄與馬達的軸孔之外，尚可加大底板與地面接觸的面積，以增加底座與地面接觸的摩擦力。

「蟲蟲危機」在拔河賽時產生的物理現在有摩擦力及扭力，這二項物理變項在拔河賽都是影響機構勝負的關鍵。因此，在底座上就必需要要產生摩擦力來輔助曲柄輸出扭力的不足。要增加機構的扭力，與機構扭力有直接相關的材料就屬「馬達」但受限於比賽公平性每位學童皆使用同樣規格之馬達。因此在機構設計上，可以將曲柄的軸孔與馬達的軸孔的距離縮短，可以增加曲柄的作用力。

為了能在拔河賽取得良好的拔河機能。根據力矩的定義，在加工材料時都以提升拔河機能為主。以曲柄為例，由於必需傳達由鐵軸輸出之扭力，因此以加厚冰棒棍厚度的方式。組裝機構時，要在拔河賽中得到較好的優勢就是要增加

曲柄的作用力，因此利用力矩定義，以減短曲柄半徑。還有利用在機座上加上廢電池及負重物等來增加底板的摩擦力，提升拔河的功能，如(圖 4-2-9)所示。

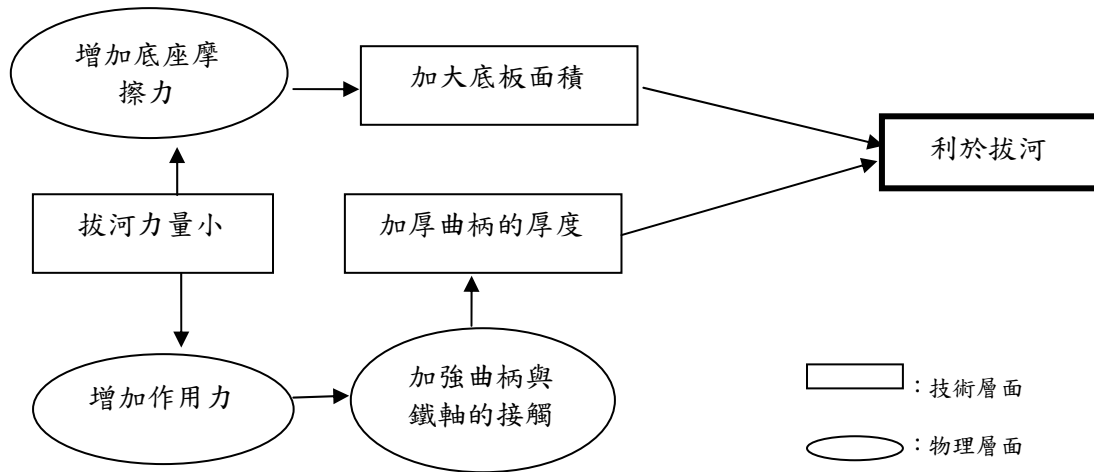


圖 4-2-9 力矩問題解決流程圖

參、重心概念

將物體內部分割無數個小質點，而物體之重量為地心引力作用於此等小質點之合力，該合力的作用點，即為此物體之重心。如(圖 4-2-10)所示，若物體的重量為 W ，而物體內部之各質點的重量分別為 W_1 、 W_2 、 W_3 ……，則 $W=W_1+W_2+W_3+\dots$ ，各質點至 X 軸及 Y 軸的距離為 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 ……與 X_1 、 X_2 、 X_3 ……。 G 點為物體的重心， G 點的座標為 \bar{X} 、 \bar{Y} 。

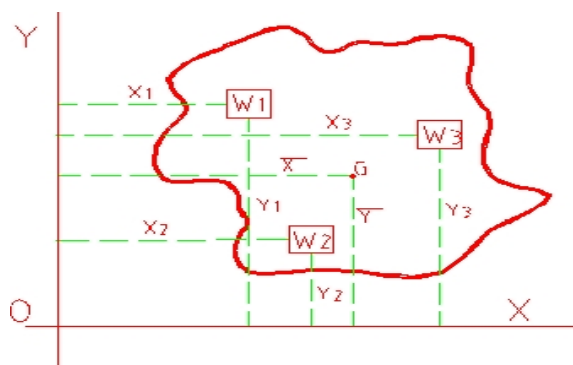


圖 4-2-10 重心

依力矩原理：

1.對 Y 軸之重心：

$$W \times \bar{X} = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + \dots$$
$$\therefore \bar{X} = \frac{W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + \dots}{W} \dots\dots\dots(4-2)$$

2.對 X 軸之重心：

$$W \times \bar{Y} = W_1Y_1 + W_2Y_2 + W_3Y_3 + \dots$$
$$\therefore \bar{Y} = \frac{W_1Y_1 + W_2Y_2 + W_3Y_3 + \dots}{W} \dots\dots\dots(4-3)$$

則該物體的重心坐標 G 為 (\bar{X}, \bar{Y})

一、重心問題解決方式

製作蟲蟲危機時的零件加工，依據蟲蟲危機的機構，為一對稱機構，重量相對地就在機構的中間位置。根據研究樣本研究整理。將學童製作機構時所遇到的有關「重心」的問題及其問題解決的方式，如(表 4-2-6)所示。

表 4-2-6 重心之問題解決方式

技術矛盾	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
重心側傾	行走時前半身會翹起。	前半身的後端太輕。	後端加重。	改善很多。
			電池盒後移。	不會翹起了。
	機體在前進時會往前傾。	機體底部摩擦力太大。	頭的前方加重。	可以了。
	在黏兩片木板時可能沒有對齊，或者是左右重心不平衡。	用尺把每個材料的尺寸量出來。	把齒輪箱放在前底座的中間前面的右側，使兩邊左右平衡。	可直向行走。
	機身前進方向會偏。	機體前方木板一邊一邊低。	測試運行的方向來決定墊高的位置。	有改善。
重心偏高	機身重心不穩。	機身重心偏高。	機身密集板的高度降低。	效果好。
	重心設計速度問題。	製作時，重心偏掉，使其行動速度的緩慢，甚至會造成無法移動的問題	將電池盒和馬達的重量來加強其重心，以便加強行動的速度。	將馬達和電池盒的位置調整，將可以解決重心的問題。
	車體速度移動緩慢，甚至無法移動。	製作時重心不足。	用電池盒和馬達來加強機身重心。	調整電池盒和馬達的位置，使車速加快。

電池盒該放何處？	因為電池的重量增加摩擦力而喪失前進的功能。	選擇由後座做測試。	配重應可得到協調。
----------	-----------------------	-----------	-----------

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-6)歸納出解決重心的問題：

(一)重心左右側傾：

- 1.利用重物改善機構運作時翹起的反作用力。
- 2.利用量尺，量測材料的中央位置。
- 3.調整電池盒、齒輪箱的位置。
- 4.提升零件加工精密度，避免材料尺寸不對稱。

(二)重心偏高：

- 1.適當配置馬達箱、電池盒位置，以調整機構的最佳重心位置。
- 2.馬達箱放置在前機座的中心位置，電池盒放置在後機座中心位置上以平衡機體重心。
- 3.利用修正材料尺寸降低機構重心位置。

二、重心問題解決方式質性分析

綜合重心問題解決方式之分析，研究者的分析如下：「蟲蟲危機」為一對稱的機構，因此依照的重心定義的最佳重心位置為機構的中間，即可平衡機構前進運轉時的摩擦力，轉阻力為助力。因為重心偏移所造成的摩擦力問題，導致無法前進的問題，除了導正移動偏移的材料之外，就是利用砂紙及其他方式來修正底座的平滑度，以減少不必要的能量耗損。機構重心的偏移會影響到「蟲蟲危機」行進的方向，學童利用馬達箱、電池盒來調整機體偏離的反方向以得到改善前進偏離方向的效果。以平衡機構的重心為原則，避免因為重心的偏移而影響到前進的方向，如(圖 4-2-11)。

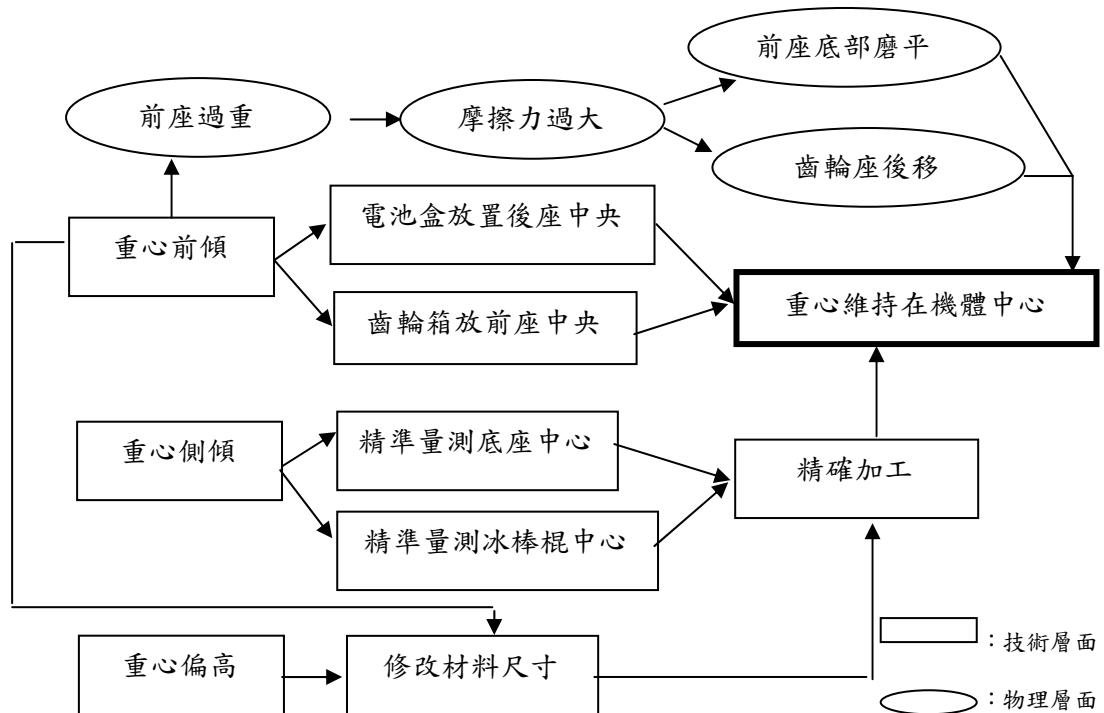


圖 4-2-11 機構重心問題解決流程圖

參、電學概念

直流電的電源作用是在使其輸出的兩端產生一個電壓，以驅使電荷流動，提供電能。凡能供給電流的裝置均稱為電源，如電池、發電機等均是。完整的電路至少需要有電源、導線和電器，缺一不可。

依據研究樣本，研究者整理出學童在材料與加工概念問題解決方式，茲將整理結果之說明如下：

表 4-2-7 材料與加工概念量化表

問題構面	問題類型	數量	百分比
電學概念	電池	5	26.3
	電線	8	42.2
	馬達	6	31.5
	共計	19	100

「蟲蟲危機」機構所需要的電力來源為二顆 1.5V 的電池，為一串聯的接法。另外機構的動力來源為一顆 3V 的直流電馬達以下就電

池原理與直流電馬達作動原理簡略說明：：「電池」相關問題，占 26.3%；「電線」相關問題，占 42.2%；「馬達」相關問題，占 31.5%；，以做為學童解決相關電學問題之依據：

一、電池原理

電池是一種將化學能轉換為電能的裝置，當兩種不同的金屬浸於電解液中時，便形成一個電池。儲存於原子間的化學能藉由化學反應轉換為電能，如(圖 4-2-12)所示。

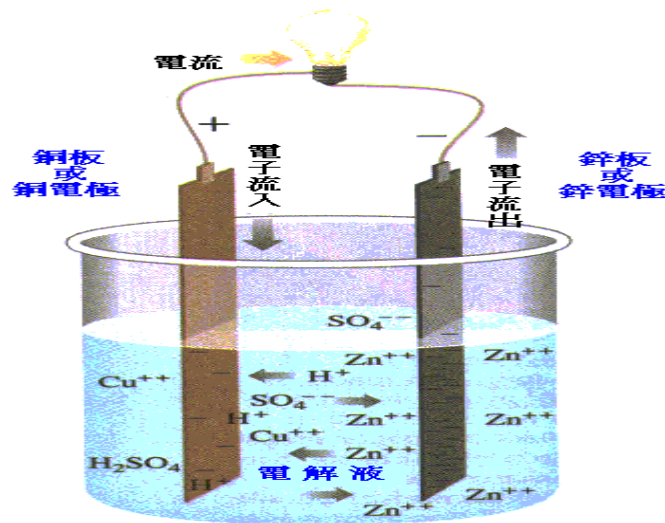


圖 4-2-12 電池的原理

硫酸 H_2SO_4 會腐蝕銅電極，於是銅離子 Cu^{++} 會溶入電解液中。形成帶負電的銅電極。但是鋅 Zn 比銅 Cu 更容易腐蝕(溶入更大量的 Zn^{++})。留下帶更多負電的鋅電極。銅電極的電位比電解液 H_2SO_4 低，但是鋅電極電位更低很多。於是銅與鋅兩電極間形成電位差。當沒有電流輸出時兩電極間的電位差稱為兩電極間的電動勢(electromotive force)。

當電池和外界線路形成通路時，外界線路中流動的是電子流，電子由外界線路流向正電極。這些電子則和電極的元素進行還原反應。在電池內部則是分別有正、負離子由一電極流向另一電極。在負電極則是由氧化反應提供外界電路所需的電子。整個電路迴路是封閉的。負電極氧化反應每產生一個電子，在正電極

的還原反應也同時吸收一個電子。

若電池電極的氧化以及還原反應是不可逆的，則電池用完後只後廢棄。可是也有些所謂的『可充電電池』，其電氧化、還原反應是可逆的。若由外界提供電能使得電流方向和使用時相反，於是藉逆向反應使得電極可作用的元素逐漸恢復，便是充電。

電池的大小則決定輸出的最大電流。一般的乾電池的電動勢約 1.5V，水銀電池電動勢約 1.4V，一組鉛蓄電池則輸出電動勢為 2.0V。可以將多組的電池串接以獲得更高的輸出電壓。

二、直流電馬達的原理

電流使通過轉子導線，產生磁場與定子磁場相互作用而轉動，(圖 4-2-13)中 M 表示定子磁場方向，I 表示流過轉子導體電流方向，F 表示轉子與定子磁場相互作用產生作用力的方向。

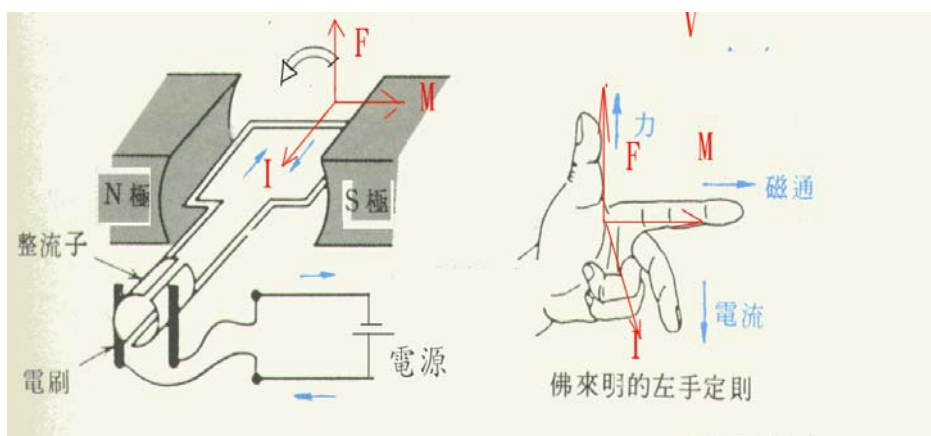


圖 4-2-13 直流電馬達原理

由於磁場的磁力，可由永久磁鐵或電磁鐵產生，因此馬達的轉子或定子，都可以是電磁鐵或永久磁鐵，(圖 4-2-14)的玩具直流馬達，其轉子為電磁鐵(以漆包線繞成)，定子則為永久磁鐵。

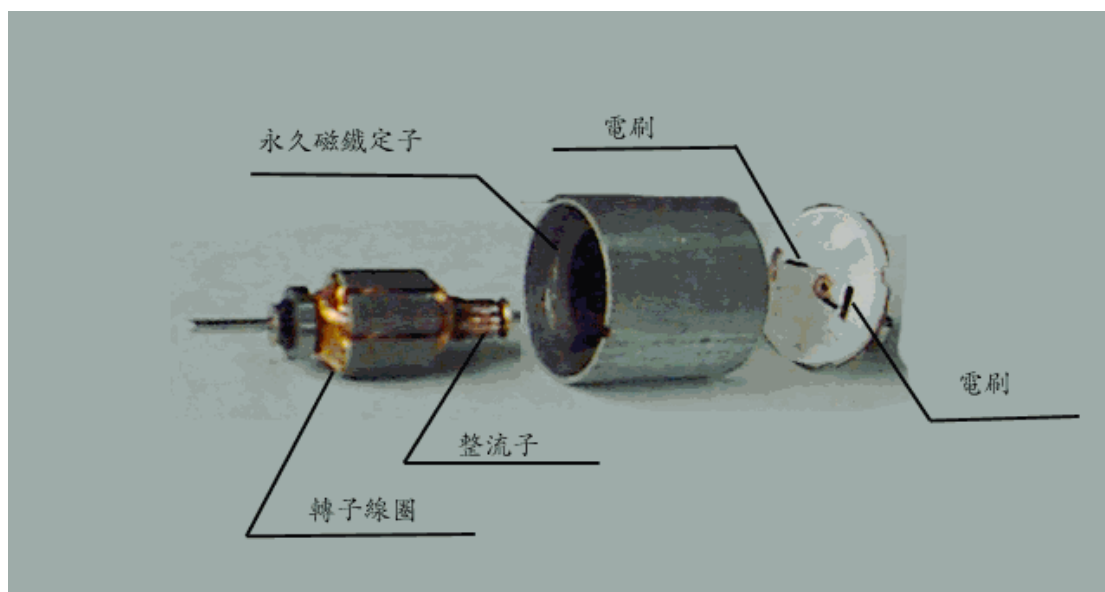


圖 4-2-14 直流馬達

「蟲蟲危機」的電力來源為 3V 直流電的電池及一顆永磁馬達。研究者整理出學童有關電路及馬達的問題如(表 4-2-8)所示：

表 4-2-8 電學概念問題解決方式

物理現象	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
電學概念	機構往後退。	電線反裝。	電線裝正。	接線時測試。
	電線會卡住	電線太長。	使用膠帶進行整線。	效果良好。
	直線前進時，半路機能會喪失。	電線沒黏好。	因電線不夠長而不牢固。	不會了。
	機構走一走，電池很容易沒電。	電池的電量不足。	用高電容的充電電池。	效果良好。
	馬達轉速不夠。	線圈圈數不足。	改裝線圈。	成功。但是大會比賽規定不准。

電線相接地 方易掉下 來。	橡皮管剪多 一點，留長 一點。	效果佳，不 易接觸不 良。	電線接觸不 良。
---------------------	-----------------------	---------------------	-------------

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-8)歸納出電學概念問題解決方式：

- (一)改變電流方向：利用正負極調轉改變馬達旋轉的方向，以控制機構前進的方向。
- (二)利用充電電池，增加電源的持久。
- (三)確實連接電線：以適當的裸線長度確實連接於馬達上，以防止機構運轉時脫落。
- (四)利用增加線圈的方式，增加馬達的轉速。(但受限於競賽規則不得任意更改馬達線圈之公平原則，故此方式不可行。)
- (五)電線整線：進行整線以避免纏繞到運轉中的機構材料，如(圖 4-2-12)所示。



圖 4-2-12 利用吸管整線

參、材料與加工概念

「蟲蟲危機」的機構所使用的主要材料為密集板、冰棒棍，除了基本工法的細膩外，尚可以利用其他材料輔助，以達到組裝上的精密度。「材料與加工概念」的目的在培養學童從「動手做」的過程中了解科技創作的概念。冰棒棍、密集板及齒輪…等一些可以讓自由創作的素材，學童必需在機構組裝前要先規劃設計並經過精確的加工後

才能成為材料。

依據研究樣本，研究者整理出學童在材料與加工概念問題解決方式，茲將整理結果之說明如(表 4-2-9)：

表 4-2-9 材料與加工概念量化表

問題構面	問題類型	數量	百分比
材料與加工概念	密集板	10	40
	冰棒棍	13	52
	吸管、膠帶	4	16
	齒輪	3	12
	螺絲、螺帽	5	20
	共計	25	100

「材料與加工概念」之相關類型中包含：「密集板加工」相關問題，占 40%；「冰棒棍加工」相關問題，占 52%；「吸管、膠帶加工」相關問題，占 16%；「齒輪箱加工」相關問題，占 12%；「螺絲、螺帽加工」相關問題，占 20%。以下就量化分析之問題類型再深入探討其問題解決方式之質性分析。

一、密集板加工

密集板即為俗稱的「甘蔗板」，屬於低密度的塑合板材。是以木材碎片加膠之後高溫壓製而成。密集板在製作「蟲蟲危機」的用途中，為一「U」字型之三塊矩形本塊所組成，多以用來當作承載齒輪箱及電池盒之用並且會直接碰觸到地面。因此，如果此「U」字型之組合的平行度及垂直度不足的話，很容易影響造成「蟲蟲危機」在行走時的方向。

研究者整理學童處理直線競賽時在密集板加工時遭遇到的問題，如(表 4-2-10)所示。

表 4-2-10 密集板加工問題解決方式

材料加工	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
密集板加工	直線競速時無法成一直線，機身歪一些。	後機身不是很對稱。	注意左右邊的對稱。	做下一代時確實鋸好情形改善很多。
	直線前進時會偏走一邊。	直立兩邊的密集板高低不同。	用砂紙磨平。	現象有改善。
	直線前進時會偏走一邊。	前、後機身的協調性不好。	前、後段機身側板孔位改成一上一下。	效果不錯。
	鋸不直會偏	手工鋸不好使用，板子也有沒固定好，不好鋸。	把板子固定	鋸的比較直了。
	鑽密集板時都會不直。	鑽時要從手搖鑽的正上方往下看才知道手搖鑽是否偏。	一個人負責鑽，一個人負責看。	比較不會歪了，如果有鑽床就更好了。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-10)歸納出解決密集板加工時直線競速方向會偏差的問題：

(一)磨削加工：

1. 以同時磨削對稱材料，以求對稱材料的平行度。
2. 以磨削加強零件加工的精密度。
3. 磨削可以補足鋸削時的偏差，因此磨削時儘可以保持磨削面的平穩。

(二)鑽削加工：

1. 設定零件加工的基準面。
2. 鑽孔時一個人負責注視，一個人鑽。

(三)鋸削加工：

1. 利用夾具輔助鋸削，以增加鋸削的施力。
2. 鋸削時務必慢且注意是否偏離工作線。

二、冰棒棍加工

冰棒棍之材質即纖維素、木質素等膜壁和在其間之無數小空隙所構成，此等空隙乃有空氣、液體、沉積物及其他物質。因此，其質地脆而密集低，在進行鑽削加工時，常因施力過研究者整理出學童遭遇到在冰棒棍、齒輪等零件加工上的解決問題的方式。

冰棒棍為連結與帶動材料之用，先利用鑽孔再使用鐵軸或螺絲做為連結。孔軸之間的平行度影響到各材料在連動時的平行度。(表 4-2-11)為本研究者整理學童在遭遇直線競速時，冰棒棍加工之的問題解決方式。

表 4-2-11 冰棒棍加工問題解決方式

材料加工	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
冰棒棍加工	直線前進時會偏走一邊。	冰棒棍兩側的連桿鑽的位置不對稱。	冰棒棍鑽孔前用尺做兩次確認。	鑽孔行走的偏一現象有改善。
	競速時會偏一邊。	各連桿打洞位置左右不對稱。	打洞時，用尺量並精密鑽洞。	只要很精確的鑽洞，就不會走歪。
	冰棒棍鑽孔易破裂。	冰棒棍太薄。	鑽孔時輕輕、慢慢地。	較好。
	鑽冰棒棍會裂開。	用力太過度。	更小心鑽，雖耗時間但不易裂。	比較不易裂，效果不佳。

競速時會偏一邊。	前進時身體及連桿會左右晃動，導致走歪。	固定連桿的位置。	馬達盒的兩連桿套上三截吸管。
----------	---------------------	----------	----------------

表 4-2-11 冰棒棍加工問題解決方式(續)

發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
車子行走會歪掉。	冰棒棍兩點之間沒有平行。	調整冰棒棍的角度。	利用直角尺將冰棒棍調成平行。
前進時不是很順。	傳動連桿和前後連桿沒有平行，讓一些力量損失。	連接時沒有很平衡和對稱。	重新連接，調整到平行的位置。
前進時不是很直。	因連桿先標明「A」或「B」做為識別。	連桿會對稱平行，行走時比較直。	行走時比較直了。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-11)歸納出解決冰棒棍加工時直線競速方向偏差的問題：

- (一)用尺精準的定位軸孔。
- (二)以認真的態度來鑽孔。
- (三)平行度：連桿組裝要求平行。
- (四)固定：材料組裝連接點要確定固定。以防止材料鬆脫。
- (五)組裝工法：在各個材料上標識編號，以求組裝的精準度。
- (六)以適當的力道進行冰棒棍鑽孔，以防裂開。

三、吸管、膠帶加工問題解決方式

「蟲蟲危機」組裝機構運作時產生的不平行及不精密常因受

限於學童不細膩的工法及有限的材料資料。因此，輔助材料運用的創思與實驗對於機構組裝的精密度有很大的影響，如(圖 4-2-13)(圖 4-2-14)所示。

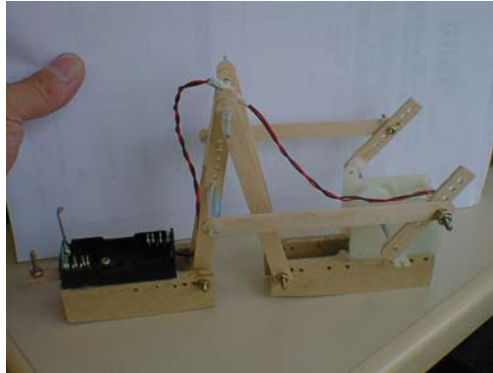


圖 4-2-13 利用膠帶整線

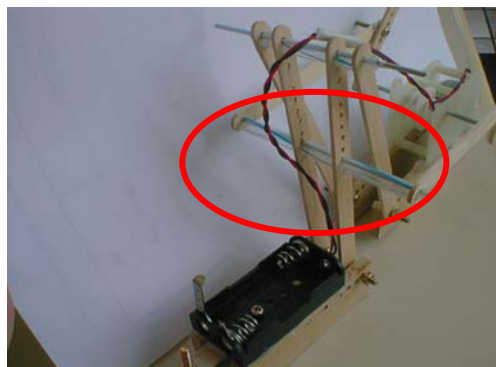


圖 4-2-14 利用吸管隔離連桿

表 4-2-12 吸管、膠帶加工問題解決方式

材料加工	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
吸管	連桿會滑動。	沒有限制連桿運作的空間。	用吸管做為間隔連桿。	連桿不滑動，行走也直行。
膠帶	兩支曲柄分別組裝，軸心不對稱	用眼睛瞄及尺量不準。	膠帶黏住對稱的冰棒棍，同時組裝。	很準，不會歪。
	組裝連桿時容易不平行。	黏接時，手一抖就會歪了。	用膠帶夾住再黏。	不會再歪了。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-12)歸納出解決機構組裝時材料平行度的問題：

- (一)利用吸管約束連桿的自由度，以保持機構運行的平行度。
- (二)利用木板輔助黏接曲柄的精準度。
- (三)利用膠帶輔助對稱零件加工要求同軸心的精準度。

二、螺絲、螺帽材料性問題解決方式

「蟲蟲危機」材料組裝的固定與連接皆使用螺絲、螺帽、熱熔膠及各式的膠類，端看設計的目的而定。必需轉動的機構使用螺絲、螺帽；不需轉動的則使用熱熔膠固定。

表 4-2-13 螺絲、螺帽材料問題解決方式

材料加工	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
螺絲、螺帽	螺帽鎖太緊了。	螺帽不可鎖死。	冰棒棍易轉。	冰棒棍可轉。
	螺帽易脫落	螺帽太鬆了	兩個螺帽互相鎖緊。	不會鬆落。

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-13)歸納出解決「機構組裝與設計」之材料固定的問題：

- (一)連桿機構組裝不可以將螺帽鎖死。
- (二)使用二個螺帽以避免螺絲、螺帽自鎖現象。

四、齒輪材料性問題解決方式

聚縮醛(Polyoxymethylene, POM)為「蟲蟲危機」動力系統之齒輪系使用的材料，為塑膠高分子(或聚合體)材料，日常熟悉的塑膠材料和橡膠材料,它們許多均為有機化合物,其化學組成是以碳、氫和其他非金屬元素為基礎，所組成的聚合物。此類高分子

材料通常具有非常大的分子結構，由於它大多是碳氫氧等元素所組成，因此這些材料大多具有低密度且性能柔軟，如(表 4-2-13)所示。

表 4-2-14 聚縮醛(POM)特性

項目	單位	試驗方法	標準共聚合物
密度	g/cm ³	ISO 1183	1.41
拉伸強度	MPa	ISO 527	66
伸長率	%	ISO 527	55
彎曲強度	MPa	ISO 790	88
Izod耐衝擊性	J/m	ASTM D256	59
熔融溫度	°C	-	165

資料來源：Plastic 成形材料 Data Book，工業材料(2002 年 10 月別冊)

常見的有聚乙烯、聚氯乙炔、聚苯乙烯和碳氟化合物、環氧樹脂、聚縮醛、酚類及聚脂全都可歸類為塑膠大部份塑膠是非常硬且脆；其餘為柔軟，受應力可充份時展現彈性及塑性變形能力。

表4-2-15 齒輪加工問題解決方式

材料加工	發生問題	原因分析	假設對策	驗證對策
齒輪	運轉時馬達組會卡住。	齒輪太乾燥帶法順利運轉。	在齒輪上加點針車油。	加上油運轉的問題就解決。
	連桿轉動過慢。	未加上潤滑油。	滴上潤滑了。	轉動時比較順暢。
	齒輪易壞。	組裝過程中敲打用力過度，導致破裂或變形。	安裝齒輪盒時，避免敲打過份用力。	完成組裝時，再檢村是否有損壞的情形。
	馬達不會動。	1.電池沒電。 2.齒輪卡死。 3.電路有問題。	重新安裝，檢查電池和電路是否出錯。	將齒輪拔出更換成新的電池。

齒輪易壞。	在組裝過程中因為敲打用力過度，導致破裂或變形。	安裝齒輪盒時，避免敲打過份用力。	完成組裝時，再檢材是否有損壞的情形，再進度後續組裝。
-------	-------------------------	------------------	----------------------------

資料來源：研究者參酌研究樣本整理

根據(表 4-2-15)歸納出解決齒輪加工的問題：

- (一)馬達不動：馬達不動時，檢查電池是否有電、電線是否確定連接及齒輪是否卡死。
- (二)齒輪損壞：
 - 1.組裝時避免用力過度敲打，以避免破壞。
 - 2.組裝後加注潤滑油，以避免磨損。
- (三)齒輪時敲打破壞。之後修正使用力道才得以改善。

五、材料與加工問題解決方式

綜合材料與加工問題解決方式之分析，研究者整理學童遭遇問題之方式為提昇「蟲蟲危機」在直線競速的機能，並且脫穎而出，在零件加工技術層面上關鍵有以下幾點。

- (一)曲柄的特性：要設計曲柄旋轉半徑加長，曲柄愈長，則前進的距離相對的就會加大。曲柄則使用膠帶來加強二根冰棒棍來承受馬達扭力在鐵軸上剪力的輸出。
- (二)機構「平行度」：而連桿的部份就可以額外使用吸管來約束連桿的平行度。機構組裝的精密度常受到材料的限制，特別在連桿及曲柄的精密度上，如果沒有良好的平行度，勢必在機構組裝完畢後，機構的運轉會造成誤差，導致前進方向會有偏差。因此，在「機構組裝與設計」上，針對連桿的組裝，選用吸管來約束連桿運轉的平行度連桿及曲柄的連接要顧及平行

度，機構的運轉又必需要有活動空間，產生了技術矛盾的問題。因此，利用二個螺帽的自鎖當做可以隨時調整連桿及曲柄組裝時的活動空間也可以顧及平行度。

(三)機構「垂直度」：密集板的部份要黏接動作要確實，即可要求垂直度，機構的平行度及垂直度不足造成組裝機構產生前進方向會偏的問題原因所在。而材料組裝又分為密集板及連桿的組裝及固定。因此要特別注意機構的平行度及垂直度的精確。

(四)加工精密度：提升加工的精密度除了熟練的技術之外更要利用數學的精密度量測。二枝對稱材料二個軸孔的中心要配合精確的量測及設計規劃。另外加長曲柄孔距的原理，在於增加曲柄的線速度，以提升機構前進的速度。另在改變電流的方向就可以改變馬達轉動的方向。機構前進方向容易偏離的原因為各連桿、密集板間平行度及垂直度不佳所造成，因此在組裝上就必要注意到機構組裝的精確。藉由平行度及垂直度讓學童學習數學量測的觀念及方法。

(五)選用材料的創意：這個階段，材料的加工除了在規定內使用的範圍限制內，其他只要不是拿現成的「成品」來當作機構上的材料都是可以被准許使用的。多多用生活中日常生活用品來當做輔助材料，還有培養建立科技創作的態度。

(六)認真的態度：指導老師要積極教育學生要以認真及細心的態度來進行這些材料的加工。之外，更是教育學童以正確加工方法來保護自己的安全。

(七)正確的組裝方式：正確的齒輪組裝方法，是利用壓

擠的方式來組裝在齒輪軸上。完成組裝後，再滴潤滑油於各個齒輪面相接觸的地方，以避免磨損。從研究樣本的資料看到齒輪都是被敲打破壞。因此，要避免齒輪被敲壞就必需使用正確的組裝方法並配合「壓齒板」來達成組裝。

(八)潤滑：馬達的組裝常會發生齒輪箱全部完成後才發生不能轉動的故障。而歸因三個故障因素，一為馬達本身就故障；二為齒輪組裝過緊；三為電池沒電。因此，要避免故障的發生就要先確認這三項因素。

第三節 以 TRIZ 解決物理矛盾問題

當試圖改善一個產品或是工程特性時，卻導致另外一個產品或是工程特性惡化。傳統的方法是用妥協的方式，而 TRIZ 卻是利用消除的方法。

壹、TRIZ 的創新法則

Altshuller(1977)分析歸納經常遇到技術矛盾的系統特徵共有三十九個，將其對應解決的法則，整理成矩陣的方式，提供一個快速簡單的方式，幫助你找到解決技術矛盾的法則，這個矩陣為 39x39 的矩陣，共有 1263 個元素。使用矛盾表時，先從矩陣之縱軸找出"欲改善的參數"，接著從矩陣之橫軸找出"避免惡化的參數"，對照到矛盾矩陣表中的元素，元素中的數字就是矛盾矩陣表建議解決此矛盾的創新發明法則。

通常矛盾的發生是在對系統某些工程特性作改善時才會出現，當工程師知道矛盾特性發生時，將運用 TRIZ 矛盾表(附錄二)和四十個創新法則(附錄三)來解決矛盾問題。首先，可以利用了解「Power Tech」的競賽特性，來分析評估「蟲蟲危機」從製作前的腦中的構想、工程圖的設計、零件材料加工與製造、機構組裝與機能測試等各個階段，針對競賽的特性來做「蟲蟲危機」的最佳化設計的構想。確認機構機能與競賽特質的比較後，需要改善的機構機能特性及可能造成的矛盾，然後利用 TRIZ 工程特性參數，再對應到矛盾表(附錄二)找出合適的創新法則，這些法則可能是用來解決問題的好方法。

因此，我們利用矛盾矩陣表來分析「蟲蟲危機」如(圖 4-3-1)所示：

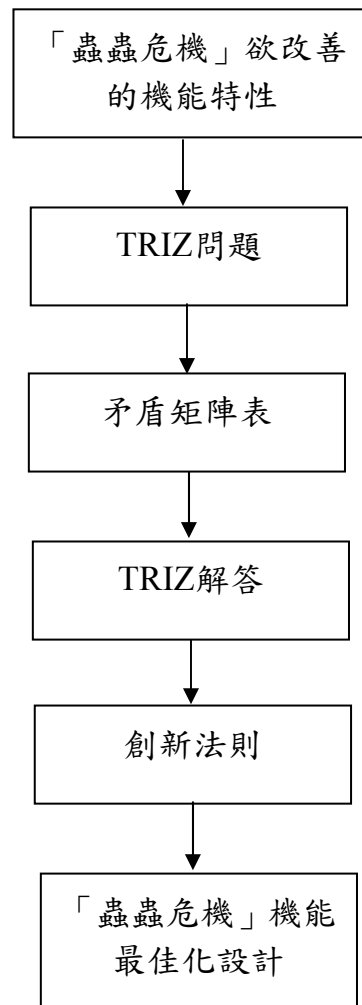


圖 4-3-1 TRIZ 創新法則應用於蟲蟲危機設計流程

貳、「蟲蟲危機」的 TRIZ 創新法則

一、摩擦力概念問題

學童在遇到有關摩擦力問題有「蟲蟲危機」在前進時會打滑，針對重量過輕及過重的問題則加重及減重，針對機構的部份則是做修改，原因分析：

- (一) 摩擦力不足(固定件重量)：機構底部與地面的摩擦力不足及機構重量不足，假設對策有在機體的底部增加砂紙及橡皮材質的物質及增加重物在機構上，其目的在增加機構底部與地面的摩擦力，而在驗證對策中也得到問題的解決。

(二)摩擦力太大(移動件重量)：機構體的底部與地面的摩擦力太大，假設對策為將機構底部磨光滑，或者是減輕機構的物量來減低摩擦力，驗證對策皆得到降低摩擦力的目的。

二、重心概念問題

學童在遇到有關重心的問題有拔河時容易被拔走、機構重心前傾、重心後傾及電池盒放置位置導致機構重心偏移。依照矛盾矩陣表發現的原因分析：

(一)固定件消耗能量：齒輪箱及電池盒沒有對準機構中線，導致重心側偏。解決對策為組裝齒輪箱及電池盒能配合精確的量測，精準的對準機構的中線，機構中線偏移則是重新修正位置以減低機構能量的消耗。

(二) 移動件消耗能量：前、後機座的重量因為過重及過輕導致重心偏前及偏後，導因為前、後機座的設計大小不一樣，以導致整體重心前、後偏。因此解決對策為保持重心於機構中間位置，則是重新規劃設計前、後機座的重量相同改善效果以減低機構能量的消耗。

三、最佳化設計

「蟲蟲危機」於「Power Tech」競賽中，第一輪為直線競速，晉級後進行第二輪的拔河競賽。從機構機能的觀點來看這二種特性，直線競賽需要速度高、行走距離長；而拔河競賽則是需要扭力大。利用矛盾矩陣表解決此一矛盾的問題，發現速度及力量都是我們想達到的功能。但是只要增加機構的「速度」就是減低機構輸出的「力量」，因此，利用矛盾矩陣表得到：

(一)直線競速機構的最佳設計：

1. 加長曲柄的長度(移動件長度)。

2. 減輕機構的重量(固定件重量、移動件重量)。
3. 調整機座底部的摩擦力大於機構整體重量(固定件重量)。
4. 減少零件間的摩擦力，於零件活動處加上潤滑油(移動件消耗能量)。
5. 保持充足的電力(動力)。
6. 消除機構上有害因素，例如：不必要的重物、多餘的電線長度。
7. 加強各零件間的結合(移動件耐久性)。

(二)拔河賽機構的最佳設計：

1. 縮短曲柄的長度，以增加扭力(移動件長度)。
2. 以加大機座的體積來增加機構的重量，一方面增大摩擦力，另一方面提高機座的重心，利於減低對手的作用力點(固定件重量、移動件重量、固定件體積)。
3. 調整機座底部的摩擦力大於機構整體重量(固定件重量>力量)。
4. 減少零件間的摩擦力，於零件活動處加上潤滑油(移動件消耗能量)。
5. 保持充足的電力(動力)。
6. 消除機構上有害因素，例如：不必要的重物、多餘的電線長度。
7. 加強各零件間的結合(移動件耐久性)。
8. 加強曲柄的強度(強度)。

學童在遇到有關機構設計的問題有拔河容易被拔走、前進速度慢、前進會偏向等等。發現的原因有因為與地面的摩擦力大及曲柄的長度過短導致前進速度慢；而拔河容易被拔走是發現機構

重量過輕；前進會偏向則是因為機構中線沒有對齊。假設對策在曲柄的部份則是加長及在曲柄上多鑽洞以做為測試用；而前進速度慢都是在機體的底板前後兩端設計成圓弧形，以因應反作用力支點的變動，驗證對策中也得到問題的解決。

四、加工程序最佳化

解決有關加工程序製作要點方面有：

(一)、繪製成藍圖與機構設計

1. 規劃機構性能(適合性)。
2. 規劃機構架構(物體穩定性)。
3. 規劃零件外形(形狀)。
4. 規劃使用的製作流程花費的時間(時間浪費)。

(二)、研判選用那些量具

1. 根據零件設計藍圖精密度，選用適合精密度的量具(量測精確度)。
2. 根據零件設計藍圖外形，選用可畫製外形之量具(量測精確度)。

(三)、研判選用那些製作工具、夾治具等

1. 按照零件設計圖的精密度選用製作工具(適合性)。
2. 按照零件設計圖的精密度選用夾治具(物體穩定性)。

(四)、研判選用那種方式加工

1. 選擇運用工具的純熟性(製造精確度)。
2. 現成基本工具及自製輔助工具之選擇與應用(製造性)。
3. 工法的熟練：鋸切、砂磨、鑽孔、粘接及潤滑等(控制複雜性)。

(五)、研判選用何種材料

1. 選擇材料的適當性：墊片或固定物、曲柄、斜板、摩擦力及冰棒棍等(物質浪費)。
2. 選擇材料的數量：利用有限的材料數量，製作完成(物料數量)。
3. 選擇材料的可製造性：日常生活之資源利用，簡單又有用的(製造性)。

(六)機構組裝

1. 依據工作圖，先將動力系統的零件先行組裝，再進行機座、連桿及曲柄，最後再利用電池盒定位，並以調整整體機構重心平衡為原則(適合性)。
2. 組裝方法：先將零件大略分類，用些小容器將小零件編號後，放好，以保持加工時的平行度。
3. 組裝用之粘膠選用切務太揮發及不易揮發，以免在組裝時可以做更精準的粘貼及調整(可修理性)。

