中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　生活與應用科學科

030811

螞其頓防線

學校名稱：臺北市立石牌國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳語柔 國二 楊筑安	鄭鈺亮

關鍵詞：螞蟻　磁浮　電擊

螞其頓防線

壹、摘要

食物若存放不慎，常被惱人的螞蟻光顧。目前防蟻主要是靠化學藥劑，可能對其他生物或人類有毒，本研究目的在設計有效的物理性防蟻裝置。以家中常見的黑頭慌蟻與狂蟻爲測試對象，在利用不同障礙方面，發現螞蟻超越能力很強，靜態障礙可延緩但不易完全阻擋螞蟻通過，相對的動態阻絕裝置較爲有效；而製作磁浮板，使螞蟻無法攀爬上懸空的平臺，也是值得繼續探討的方法；最後發現利用所設計的電擊防蟻裝置，在低到 12 伏特的電壓下，即可完全阻擋螞蟻通過覓食。

貳、研究動機

螞蟻是尋找食物的天生好手，不論在學校教室或家中，若不小心存放食物，尤其是甜食，轉眼間便佈滿螞蟻，令人不快。目前主要靠化學藥劑防蟻，可能對人類或其他生物有毒，所以希望能研發出有效的物理性防蟻裝置。去年防蟻商品螞蟻魔墊得到國內發明金牌獎，利用具同心圓突起的圓盤裝置，防止螞蟻爬上放食物的圓盤，故探討是否有些障礙可阻擋螞蟻通過；自然與生活科技課本有介紹磁鐵與磁場，磁力爲不靠接觸而發生的超距力，也想如能利用磁鐵相斥原理，製造出可浮在空中的磁浮板，讓螞蟻只能望其上食物興嘆，想必會十分新奇有趣；最後由家中利用電蚊拍電擊蚊子的原理得到靈感，測試是否可藉上課學到的電學原理，設計出利用電擊防蟻的裝置。

參、研究目的

一、認識家中常見的螞蟻－黑頭慌蟻及狂蟻

二、探討利用不同障礙阻擋螞蟻的可能性

三、製造防蟻磁浮板

四、發展電擊防蟻裝置

肆、研究設備及器材

一、研究設備器具

(一) 一般器具：小玻璃瓶、試管、載玻片、圓規刀、刀片、切割墊、烤盤、塑膠容器、餅乾盒蓋、老虎鉗

(二) 觀察用設備：數位相機、解剖顯微鏡

(三) 養螞蟻設備：螞蟻飼養箱、螞蟻專用隔離膏

(四) 帶鋸機、桌上型鑽孔機、烙鐵

(五) 可調式直流供應器、三用電表

二、材料

(一) 探討利用不同障礙阻擋螞蟻的可能性

1. 特殊材質－鐵氟龍製薄膜、膠帶、模型及攪拌棒
2. 不同線狀材料－縫衣線、釣魚線及頭髮
3. 毛狀、尖細或螺旋構造－魔術貼、鋼刷、牙籤、竹籤、彈簧
4. 靜態組合障礙－投影片、小鋼棒、膠帶、橡皮底座
5. 動態組合障礙－時鐘、CD 片及彩帶

(二) 製造防蟻磁浮板

1. 釹鐵硼強力磁鐵、氧化鐵磁鐵
2. 木片、砂紙、黏膠

(三) 發展電擊防蟻裝置

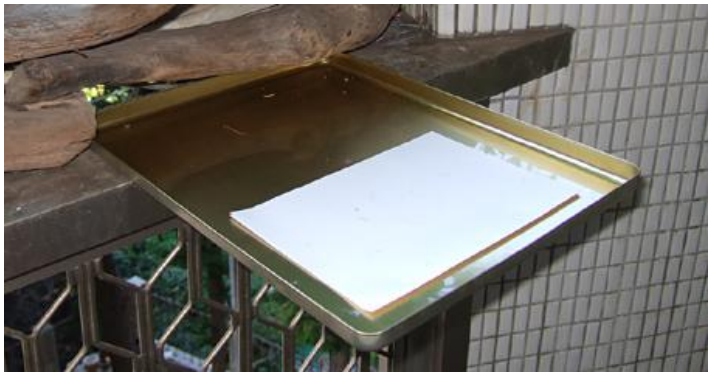
1. 焊接材料－焊料、助焊劑
2. 裝置材料－木塊、大黃銅環、小紅銅環、銅箔、銅線、矽利康黏膠、雙面膠帶
3. 電相關材料－電線、鱷魚夾

伍、研究過程或方法

一、飼養狂蟻－購買完整群落的狂蟻以供長期研究，飼養時在飼養箱邊緣塗螞蟻專用隔離膏以防脫逃。

二、利用解剖顯微鏡及數位相機拍攝螞蟻腳－切下狂蟻的腳，在解剖顯微鏡下放大 45 倍觀察，並用數位相機照相記錄。

三、觀察螞蟻的研究設施－研究黑頭慌蟻時，在陽臺螞蟻常出沒處用餅乾盒蓋設置餵食研究場（圖一），先用食物餵幾天，讓螞蟻熟悉到此處覓食；在研究豢養狂蟻時，在桌上由飼養箱用厚紙箱板搭橋至架於水上的烤盤餵食研究場（圖二），使螞蟻可由中間搭的橋進出餵食研究場。



圖一、陽臺餵食研究場。

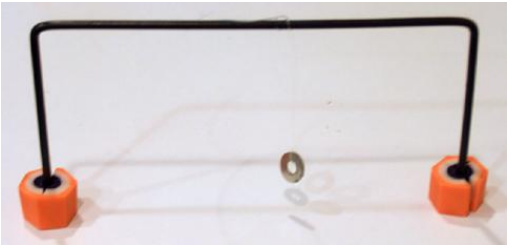
圖二、桌上餵食研究場。左側爲螞蟻飼養箱，右側爲架於水上之餵食研究場，中間爲厚紙箱板橋，螞蟻飼養箱及餵食研究場四周均塗上隔離膏以防螞蟻脫逃。

四、探討利用不同障礙阻擋螞蟻的可能性

利用食物吸引螞蟻，探討覓食時螞蟻是否可順利通過下列障礙：

(一) 不同線狀障礙

組成線狀研究設置（圖三），利用縫衣線、釣魚線或頭髮將食物懸空吊著，看螞蟻是否可攀爬過細線。



圖三、線狀研究設置。將粗鐵絲折成ㄇ字形兩端插入橡皮擦底座，鐵絲中央吊掛不同線下懸放食物之圓圈金屬墊片。

(二) 毛狀、尖細或螺旋障礙（圖四）

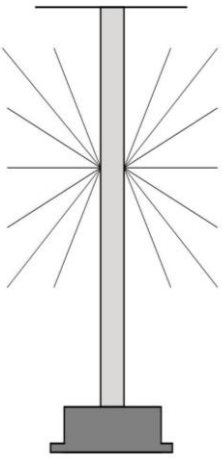
1. 魔術貼－將魔術貼貼在小玻璃瓶上，食物放於瓶上。
2. 鋼刷－插在小玻璃瓶內，食物放於鋼刷上方中央。
3. 牙籤或竹籤組合－將牙籤或竹籤組合成束，食物放於上方中央。
4. 大、小彈簧－將彈簧立起，食物放於彈簧上方。

圖四、測試毛狀、尖細或螺旋構造。上左圖為魔術貼裝置；上中圖為鋼刷裝置；下左圖為牙籤組合；下中圖為立起的大、小彈簧；右圖為竹籤組合。

(三) 不同靜態組合障礙

1. 小夾角層塔

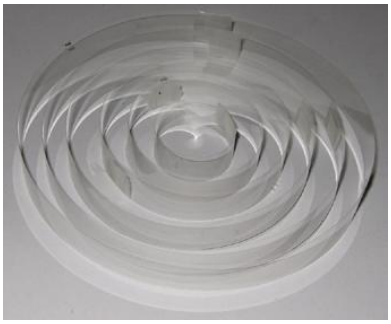
利用圓規刀切出圓形投影片，再裁成扇形並用膠帶黏貼成錐狀後，插到中央小金屬棒上組成小夾角層塔（圖五）。再將食物放於上方平臺。



圖五、小夾角層塔。左圖爲實物，右圖爲剖面示意圖。

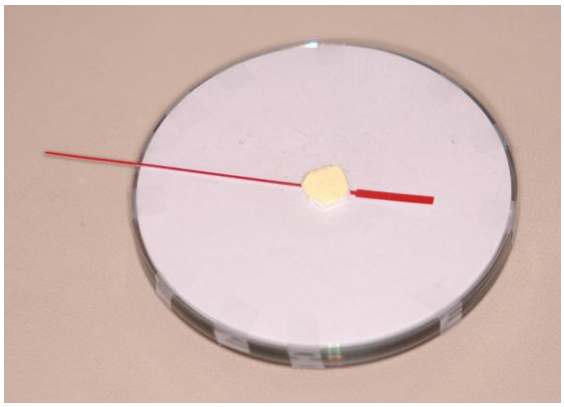
2. 圓環組合

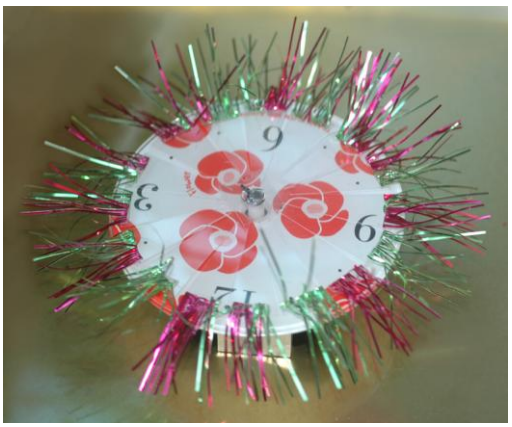
裁出不同長度寬約 1.5 公分的投影片條，再用膠帶黏成直徑分別爲 3、5、7、9、11、13 公分的 6 個圓圈，再以同心方式排成圓環組合（圖六），測試時將食物放於中央。



圖六、圓環組合。

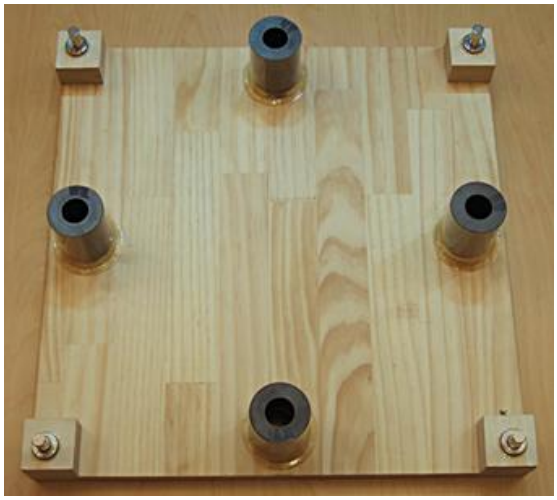
(四) 時鐘平臺動態組合障礙（圖七）

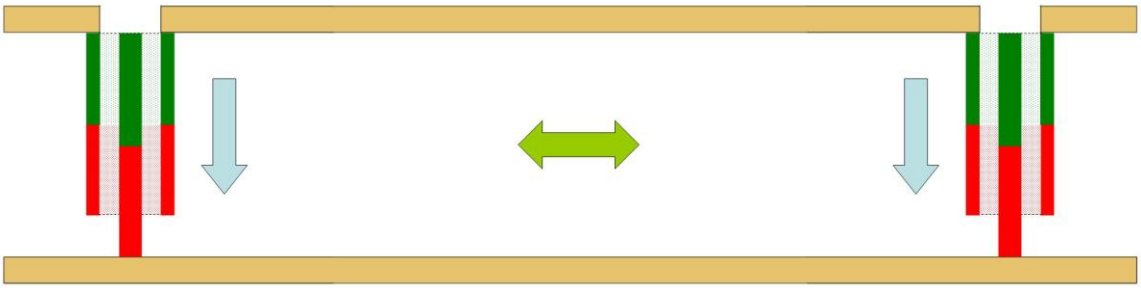




圖七、時鐘平臺動態組合障礙。左圖爲先驅模型，拆下時鐘的時針及分鐘，利用秒針帶動黏在其上的圓形投影片，讓投影片隨著秒針每秒旋轉，再將食物放在投影片上方。右圖爲加裝有彩帶的時鐘平臺，在投影片周圍用膠帶黏上彩帶，使彩帶隨投影片轉動而舞動。

五、製造防蟻磁浮板（圖八）





圖八、製造防蟻磁浮板。上左圖爲磁浮底座，上右圖爲磁浮板底面觀，下圖爲水平穩定設計剖面圖。在磁浮板四邊挖四洞並在挖洞處底面固 定管狀磁鐵，在底座相對應處則裝設棒狀磁鐵 。綠色部分爲磁鐵 N 極，紅色部分爲磁鐵 S 極。當磁浮板未載物時，管狀磁鐵與棒狀磁鐵間斥力大於吸力，當承載物時（力量方向如青色箭頭），管狀磁鐵與棒狀磁鐵間斥力更加大於吸力。當有磁浮板水平分力時（力量方向如草綠色箭頭），因爲磁浮板所受到的水平分力較垂直重力相對較小，希望藉管狀磁鐵與棒狀磁鐵間之斥力來維持其水平穩定度，垂直方向磁浮板的支持力則由磁浮板與底座上相對應位置的磁鐵所產生的斥力提供。

六、發展電擊防蟻裝置

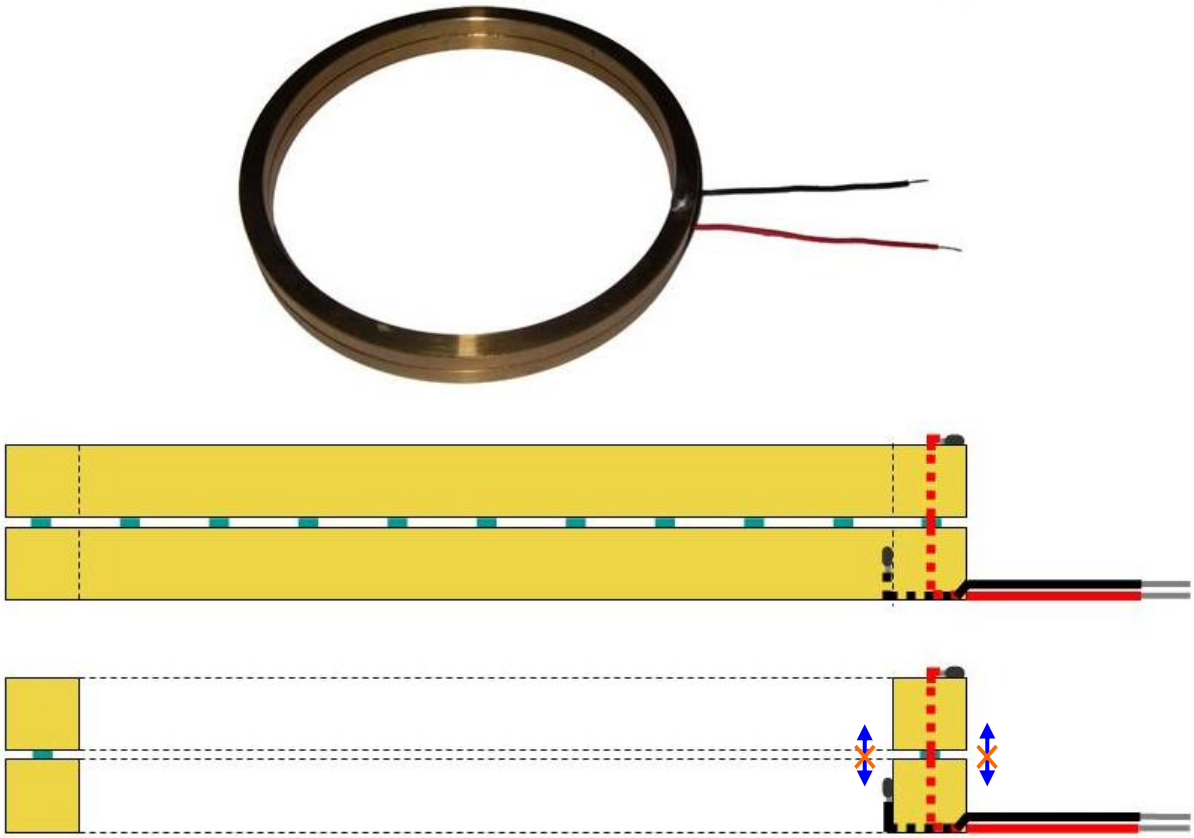
使用大銅環、小銅圈或貼銅箔在木製測試平臺上，再接電線製作不同電擊防蟻裝置。利用直流電源供應器提供直流電源，電流調在 100 毫安培，依不同實驗狀況調整電壓伏特數。將正、負電分別接到緊鄰但不接觸（中間相隔約 1 公釐縫隙）的兩側銅製結構上，螞蟻爬過該處，同時碰觸到通正、負電的縫隙兩側銅製結構時，即會遭受電擊。製成不同電擊防蟻裝置後，未插電狀況下，利用三用電表測試探針分別接觸縫隙兩側金屬，以電阻讀值確認沒有

相接觸；在通電後，也用三用電表測量兩側金屬間是否有預期電壓存在。所設計不同電擊防蟻裝置如下：

(一) 銅環垂直式電擊防蟻裝置

1. 大銅環式（圖九）

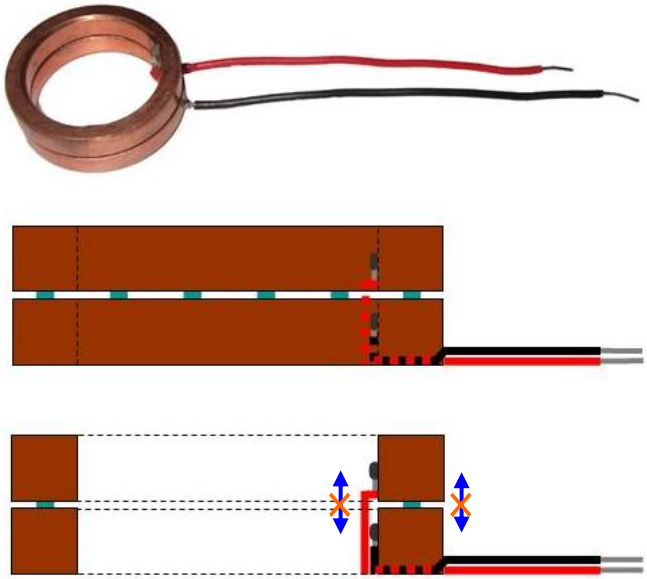
將兩個內徑約 9 公分，厚 5 公釐，高 5 公釐的黃銅環疊起（均先鑽一小洞以接連電線，下環磨溝以容納電線），用小紙片放在二環間以維持二環不直接相觸，再用矽利康膠在此不相觸的情況下將二環黏住。



圖九、大銅環式電擊防蟻裝置。上圖爲實物照片，中圖爲側面外觀示意圖，下圖爲側面剖面示意圖。黃色部分爲黃銅環，二環間青色部分代表矽利康膠，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在上、下銅環，下圖左側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

2. 小銅圈式（圖十）

將兩個內徑約 2 公分，厚 2 公釐，高 4 公釐的紅銅環疊起，用小紙片放在二環間以維持二環不直接相觸，再用矽利康膠在此不相觸的情況下將二環黏住。



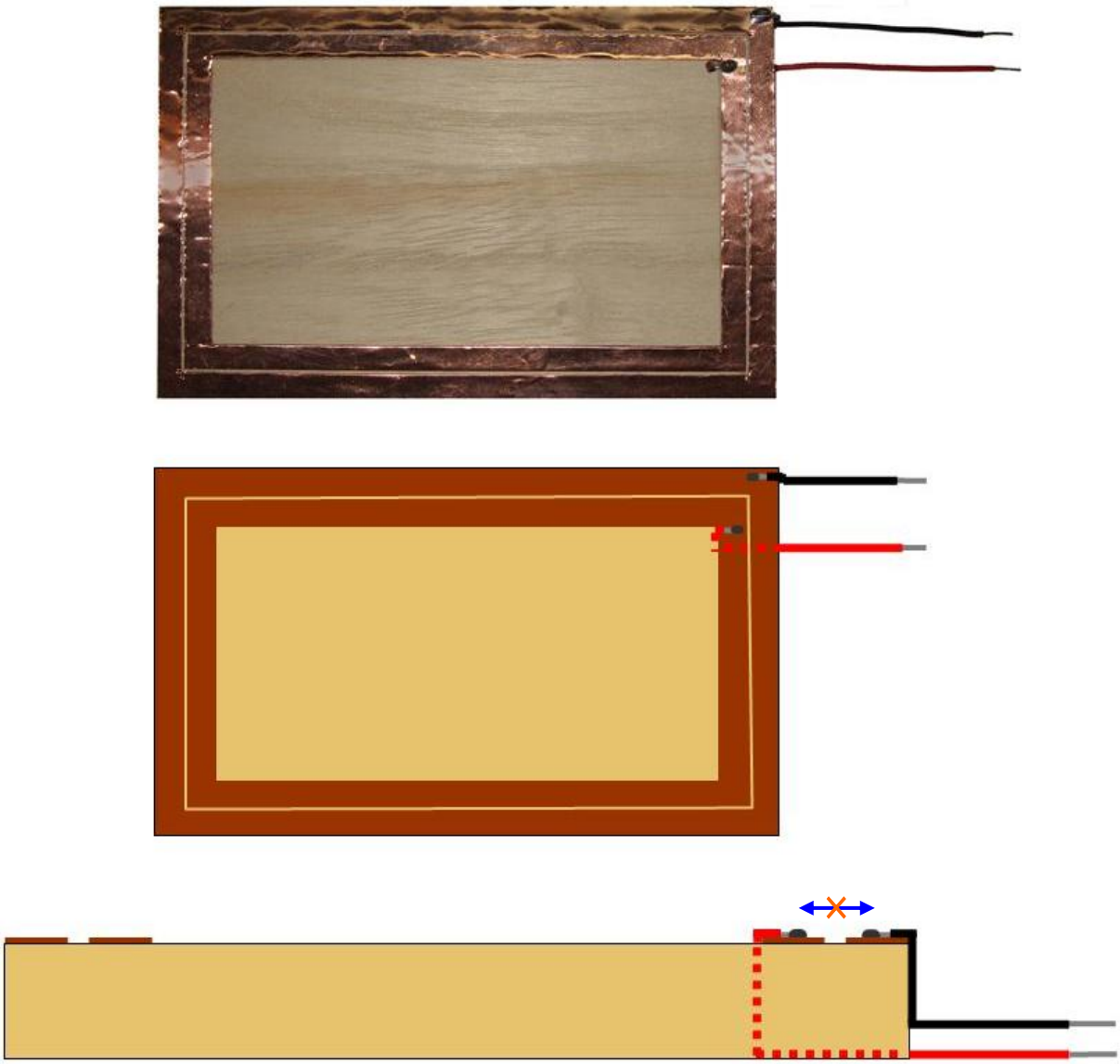
圖十、小銅圈式電擊防蟻裝置。上圖爲實物照片，中圖爲側面外觀示意圖，下圖爲側面剖面示意圖。深棕色部分爲紅銅環（下環磨溝以容納電線），二環間青色部分代表矽利康膠，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在上、下銅圈。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

(二) 銅箔電擊防蟻裝置

1. 水平式電擊防蟻裝置

(1)單純式（圖十一）

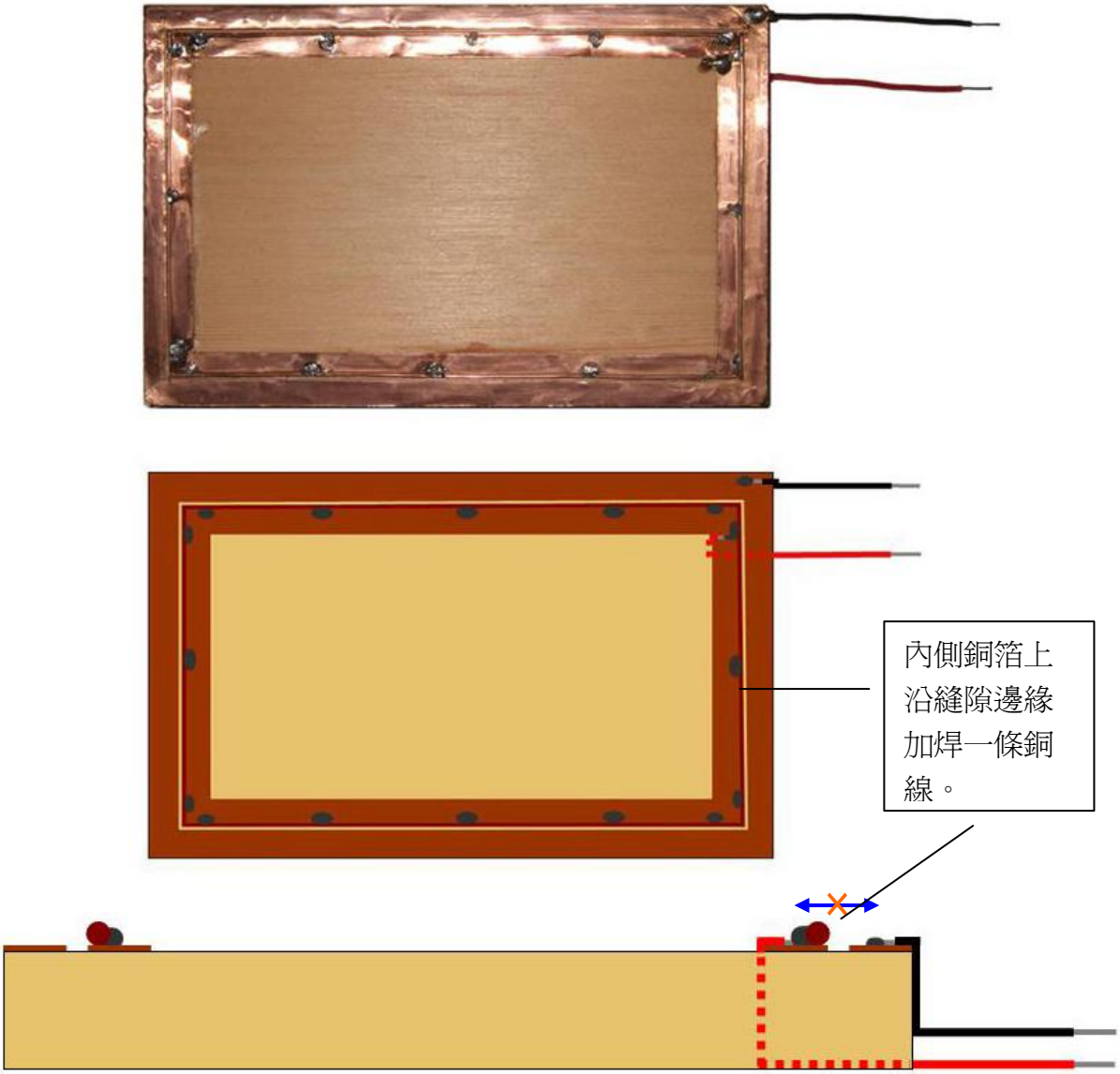
以美工刀切割出所要銅箔形狀，再用雙面膠帶把銅箔貼在木塊上，使內外銅箔間相距約 1 公釐，最後再焊接電線。



圖十一、單純式水平電擊防蟻裝置。上圖為實物上面外觀照片，中圖為上方外觀示意圖，下圖為側面剖面示意圖。棕色部分為銅箔，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在內、外圈銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

(2)單純加內側銅線式（圖十二）

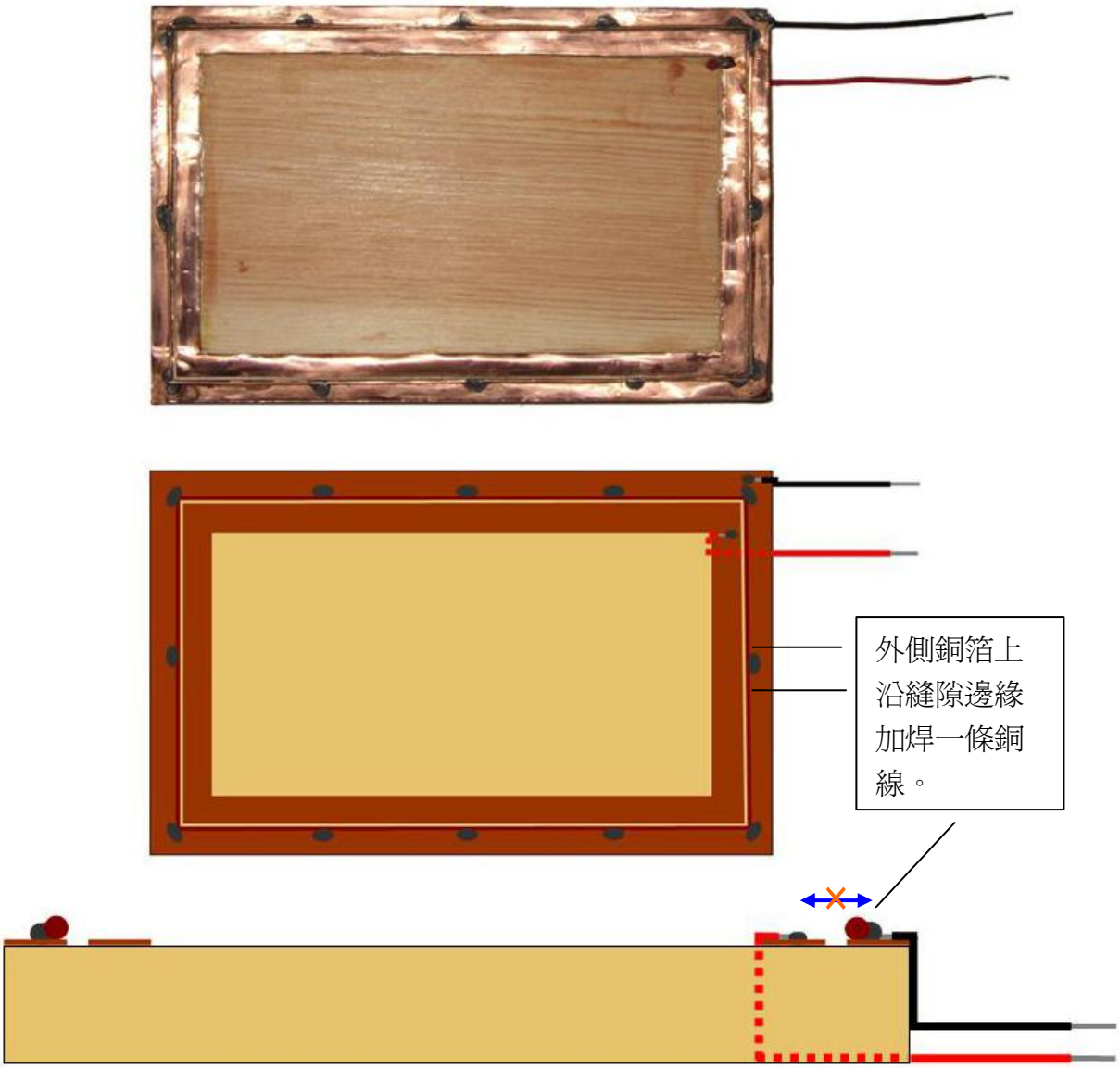
在單純水平式電擊防蟻裝置內側銅箔上沿縫隙邊緣加焊一條銅線。



圖十二、單純加內側銅線式水平電擊防蟻裝置。上左圖為實物上面觀，上右圖為上面觀示意圖，下圖為側面剖面示意圖。棕色部分為銅箔，深棕色部分為所加焊上之銅線，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在內、外圈銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

(3)單純加外側銅線式（圖十三）

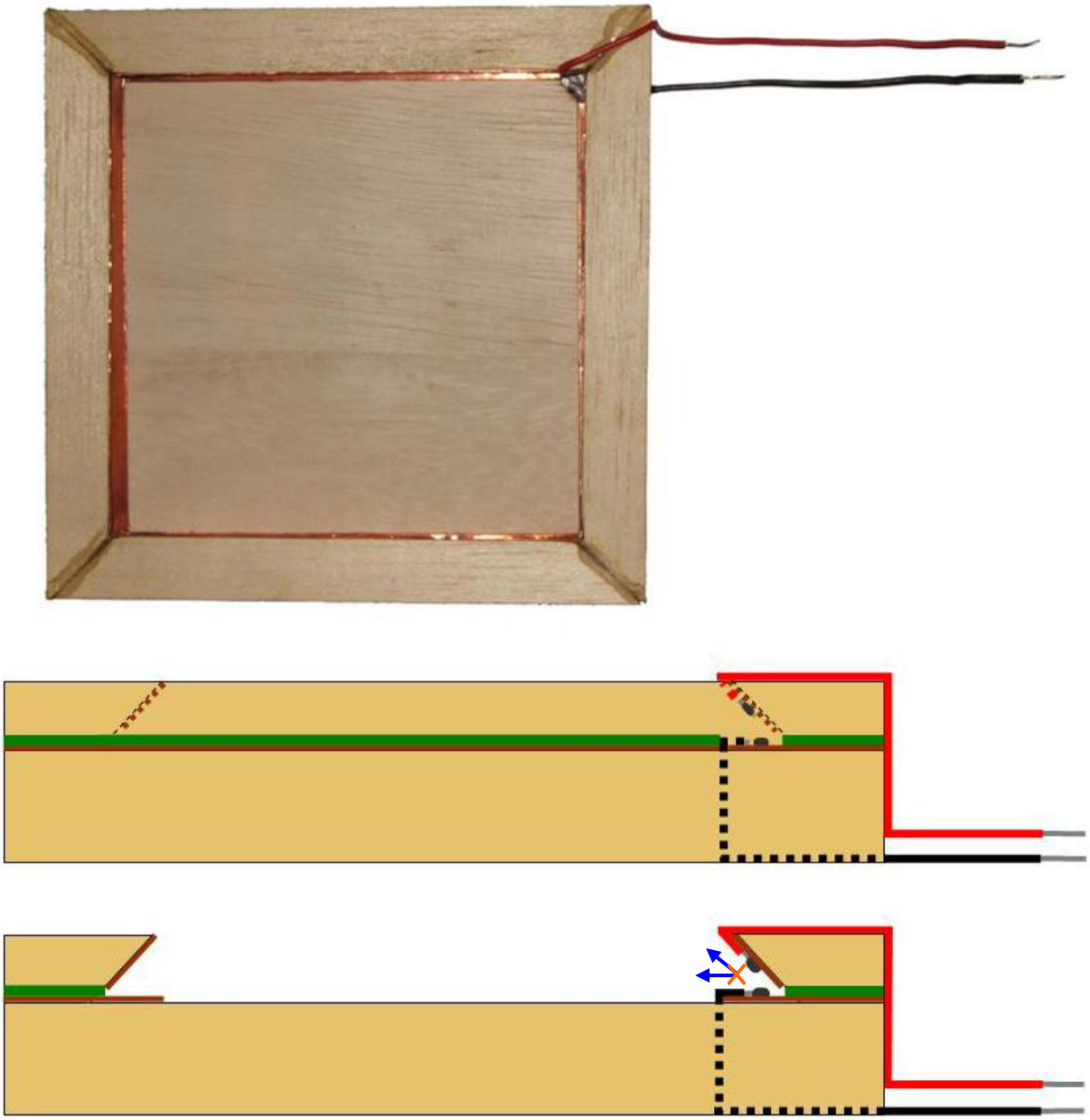
在單純水平式電擊防蟻裝置外側銅箔上沿縫隙邊緣加焊一條銅線。



圖十三、單純加外側銅線式水平電擊防蟻裝置。上左圖為實物上面觀，上右圖為上面觀示意圖，下圖為側面剖面示意圖。棕色部分為銅箔，深棕色部分為所加焊上之銅線，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在內、外圈銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

2. 夾角式電擊防蟻裝置

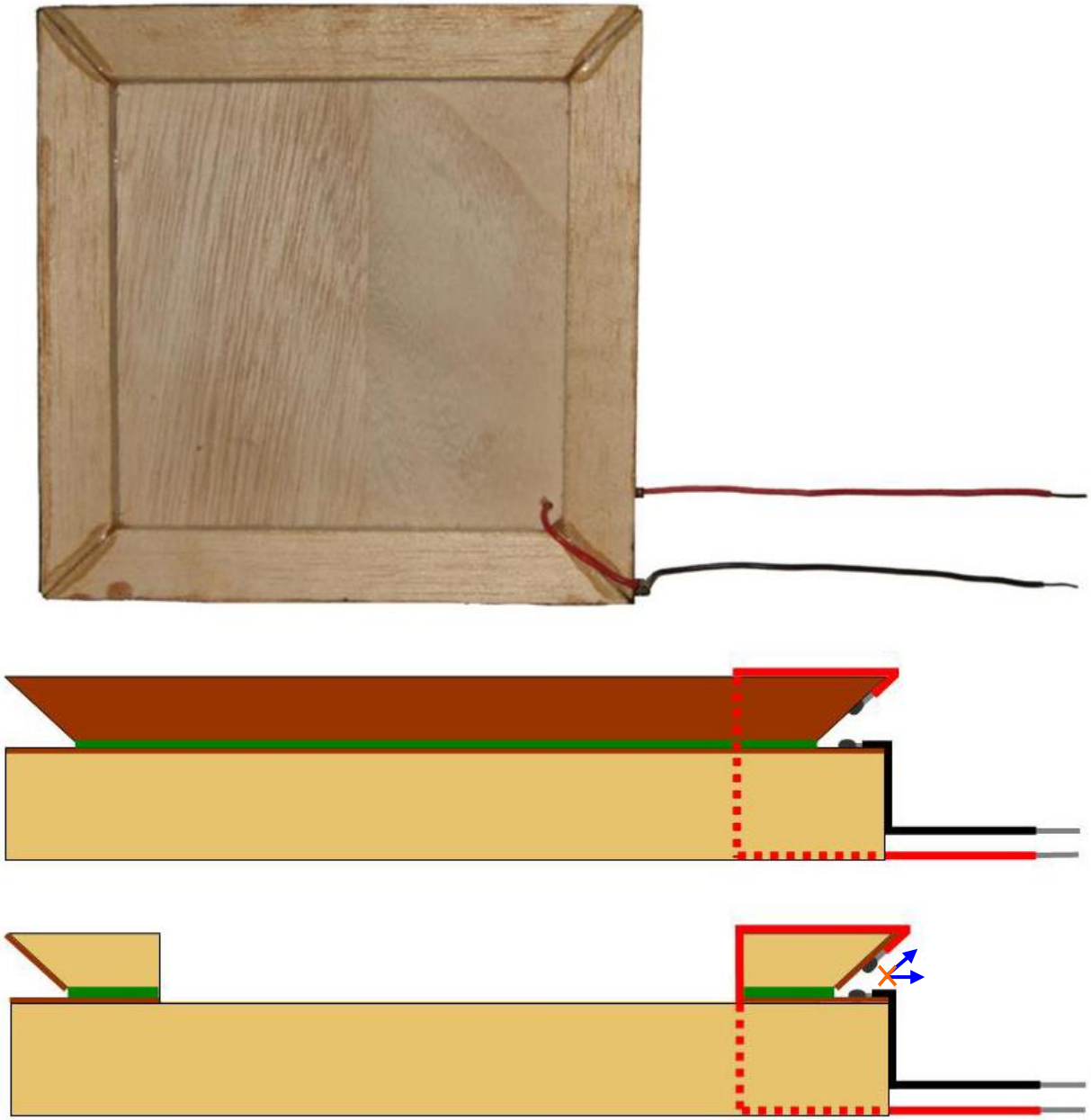
(1)夾角向內式（圖十四）



圖十四、夾角向內式電擊防蟻裝置。上圖爲實物上面觀，中圖爲側面外觀示意圖，下圖爲側面剖面示意圖。棕色部分爲銅箔，綠色部分爲維持間隙用紙片，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在形成 45 度夾角但相隔約 1 公釐間隙的兩側銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

(2)夾角向外式（圖十五）

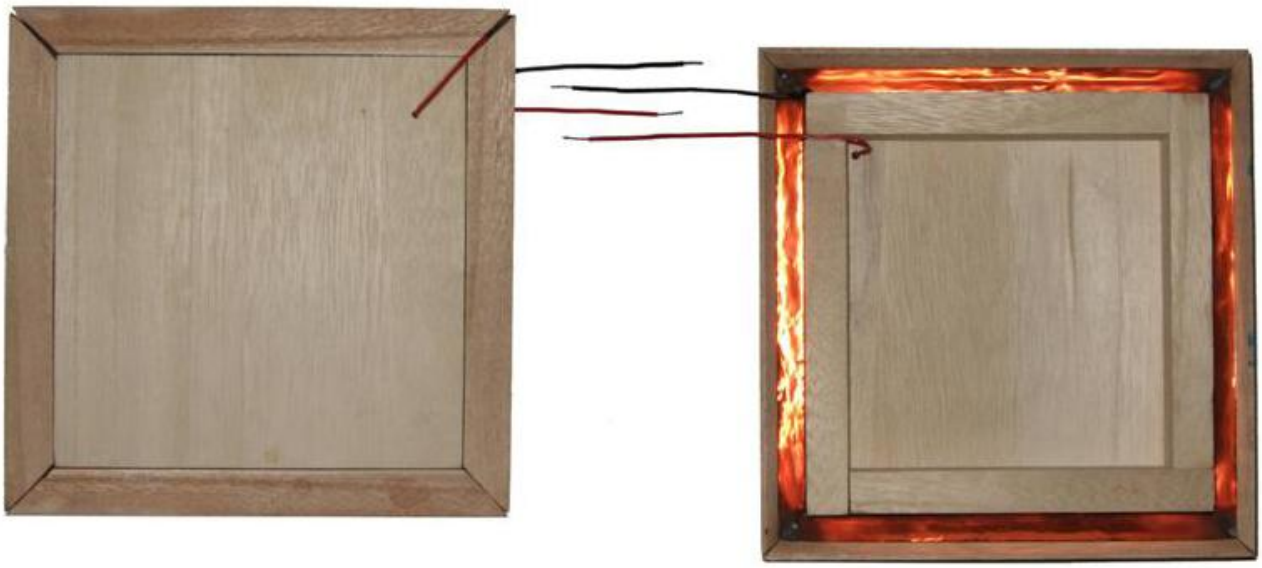
做法與角度向內式相似，但使 45 度夾角朝外。

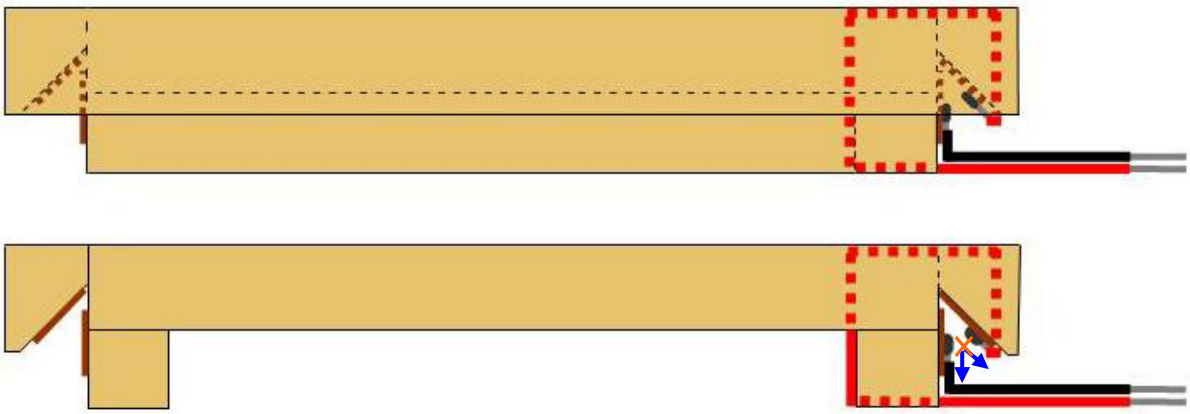


圖十五、夾角向外式電擊防蟻裝置。上圖爲實物上面觀，中圖爲側面外觀示意圖，下圖爲側面剖面示意圖。棕色部分爲銅箔，綠色部分爲維持間隙用紙片，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在形成 45 度夾角但相隔約 1 公釐間隙的兩側銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

(3)夾角向下式（圖十六）

做法與角度向內式相似，但使 45 度夾角朝下。





圖十五、夾角向下式電擊防蟻裝置。上左圖爲實物上面觀，上右圖爲實物底面觀，中圖爲側面外觀示意圖，下圖爲側面剖面示意圖。棕色部分爲銅箔，紅及黑線代表接電之電線分別被焊接在形成 45 度夾角但相隔約 1 公釐間隙的兩側銅箔上。下圖右側藍色箭頭代表螞蟻可能走向，橘色「x」代表電擊處。

陸、研究結果

一、認識家中常見的螞蟻

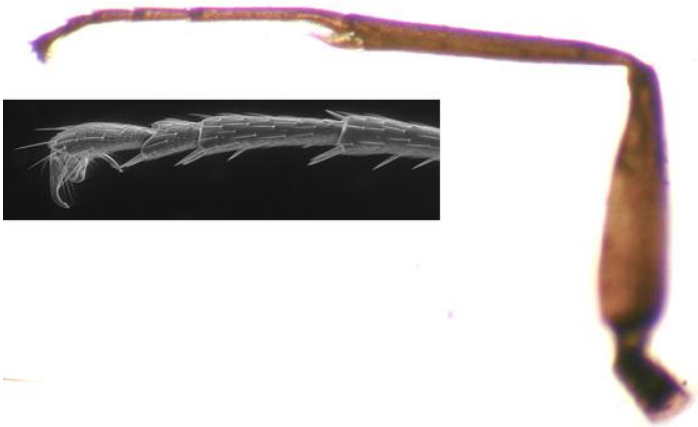
黑頭慌蟻及狂蟻爲臺灣常見之家居螞蟻，家中陽臺常有黑頭慌蟻出沒，而狂蟻則是學校教室常見不速之客，在本研究中也購買豢養的狂蟻以方便研究。

(一) 自行觀察及查得黑頭慌蟻與狂蟻相關比較資料。

螞蟻名稱	黑頭慌蟻	狂蟻（小黑蟻）
自拍相片		
學名	Tapinoma melanocephalum	Paratrechina longicornis
分類	琉螭蟻亞科（Dolichoderinae） 酸臭蟻屬（Tapinoma　Foerster）	蟻亞科（Formicinae） 狂蟻屬（Paratrechina）
測得工蟻體長	1.5～2.0mm	2.3～2.9mm

(二) 觀察螞蟻腳

螞蟻靠腳爬行覓食，連爬垂直牆壁都不會跌下，故在解剖顯微鏡下觀察螞蟻腳的構造。



圖十六、螞蟻腳放大圖。彩色圖爲在解剖顯微鏡下拍攝切下狂蟻的腳（40X），黑白圖爲由網路（http://www.tescan.com/an/an_gal11.html）查得螞蟻腳之掃描電子顯微鏡下放大圖，可見螞蟻腳上有許多可勾住表面攀爬的構造。研究中用鑷子撥動螞蟻腳時，也發現螞蟻腳很容易就勾住鑷子。

二、探討利用不同障礙阻擋螞蟻的可能性

最先想在食物與螞蟻之間（例如放食物的平臺或桌腳處）設計阻擋螞蟻穿越的障礙以防蟻，故從事下列實驗：

(一) 特殊材質（表一）

由資料查詢得知鐵氟龍材質表面很滑，可用於防蟻，故測試一些鐵氟龍製品，看看可否阻擋螞蟻攀爬。結果顯示所有螞蟻均可在測試的鐵氟龍製品上上下下沒有困難，有可能是表面不平或較軟讓螞蟻可勾住爬上。

螞蟻 測試品	黑頭慌蟻	野生狂蟻	豢養狂蟻
鐵氟龍薄膜	容易上下	容易上下	容易上下
鐵氟龍膠帶	容易上下	容易上下	容易上下
鐵氟龍塊	容易上下	容易上下	容易上下
鐵氟龍攪拌棒	容易上下	容易上下	容易上下

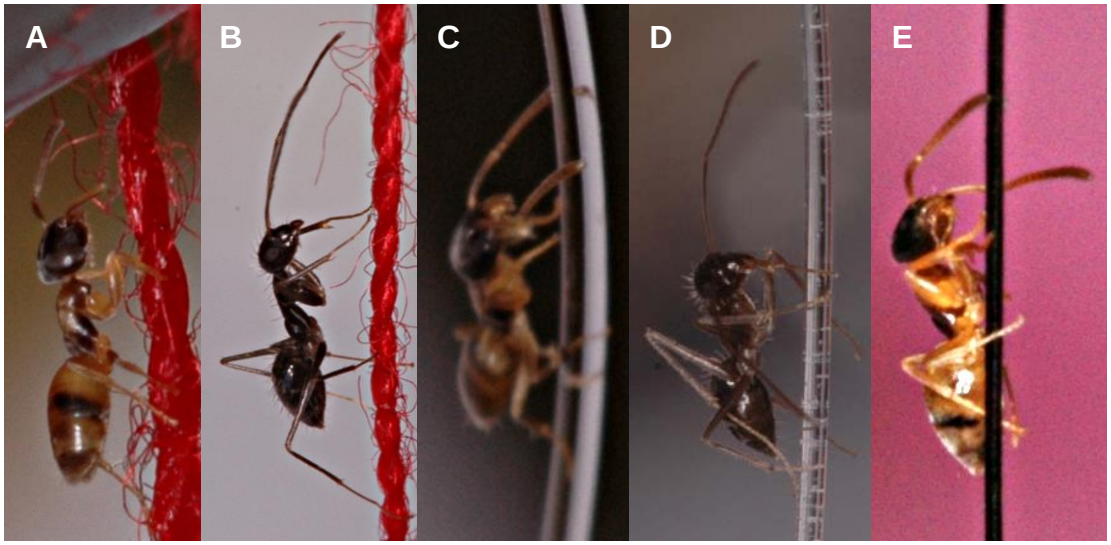
表一、測試螞蟻通過不同鐵氟龍製品結果。鐵氟龍薄膜及膠帶先纏在小玻璃瓶上，鐵氟龍塊及攪拌棒則直接測試。

(二) 不同線狀材料（表二、圖十七）

爲看懸空吊食物是否可防蟻，故測試螞蟻是否可爬線。結果發現紅色縫衣線表面粗糙，螞蟻都可以用腳勾住直接輕易爬上爬下，但對表面較光滑的釣魚線及頭髮則用腳的側面邊抱住線邊爬。狂蟻體型較大可抱住釣魚線，尚可爬上爬下，而黑頭慌蟻型較小不易抱住釣魚線，故爬得戰戰兢兢。反之頭髮比釣魚線更細，狂蟻因抱不住頭髮而摔落，黑頭慌蟻卻仍可勉強順著頭髮爬行。可見螞蟻較不易攀爬光滑線，而上下光滑線時其難易度與體型有關。

測試品＼螞蟻	黑頭慌蟻	野生狂蟻	豢養狂蟻
紅線	易爬上爬下	易爬上爬下	易爬上爬下
釣魚線	爬得戰戰兢兢	尚可爬上爬下	尚可爬上爬下
頭髮	很難爬但尚可	未測	抓不住而掉下來

表二、測試螞蟻通過不同線狀的難易。利用圖三線狀研究設置，選用表面粗糙的紅線、光滑的釣魚線及很細的頭髮將食物懸空吊著，看螞蟻是否可攀爬過細線。



圖十七、螞蟻爬不同種線的情形。A：黑頭慌蟻+紅線，B：豢養狂蟻+紅線，C：黑頭慌蟻+釣魚線，D：豢養狂蟻+釣魚線，E：黑頭慌蟻+頭髮。

(三) 毛狀、尖細或螺旋構造（表三、圖十八）

螞蟻一般用費洛蒙指引食物方向，毛狀或尖細構造障礙或許可減少其費洛蒙作用，此外螞蟻腳很細，觀察螞蟻在毛狀物或尖端行進狀況，看是否仍可踏穩腳步。此外螺旋構造可增加到達食物所需距離，可看看螞蟻是否可堅持爬到食物處。結果發現螞蟻可超越所測試的不同障礙，且很有毅力，爲得食物可走很遠，由牙籤及竹籤組合來看，如果體型允許，螞蟻一般均可在尖端上爬行，應有不錯的近距視覺及平衡感。

螞蟻 測試品	黑頭慌蟻	豢養狂蟻
魔術貼	容易上下	容易上下
鋼刷	容易上下	容易上下
牙籤組合	從縫隙間過	腳踏在尖端上走
竹籤組合	從縫隙間走再爬上尖端	腳踏在尖端上走，有時會跌下
大彈簧	可順著螺旋往上走	可順著螺旋往上走
小彈簧	可順著螺旋往上走	可跨越螺旋直接上下

表三、測試螞蟻通過毛狀、尖細或螺旋構造難易。

圖十八、豢養狂蟻爬牙籤及竹籤組合情形。A：豢養狂蟻＋牙籤組合－可站在相距較近的牙籤尖端，B：豢養狂蟻＋竹籤組合－勉強可站在相距較遠的竹籤尖端，C：豢養狂蟻＋竹籤組合－有時會有跌落尖端情形。

(四) 靜態組合障礙（表四）

兩平面若成很小夾角，至夾角處時螞蟻除非站起來，且靠前兩支腳抓住另一平面，並有足夠抓力，否則不易爬上，故進行小夾角高塔（圖五）測試。另外螞蟻常延著牆邊走，若只繞外圈則不易進入內部，故進行圓環組合（圖六）測試。結果顯示因體型關係，狂蟻均可輕易上下小夾角高塔，黑頭慌蟻則較爲困難；而圓圈組合似乎有效，但若欲確保完全阻擋螞蟻可能需有足夠圈數；此外，若將螞蟻先移入圓環組合中央，則不同螞蟻均可逃出，一方面代表有足夠體力可爬越整個圓環組合，另一方面也代表逃生時比找食物更急迫，更積極要穿越障礙。

測試品＼螞蟻	黑頭慌蟻	野生狂蟻	豢養狂蟻
小夾角高塔	較困難但仍可上去，至夾角時可前腳抓住上方平面而倒爬上去	容易上下	容易上下
圓環組合（進入）	只在最外面 2 圈走來走去	進入到第 4 圈即走出來	進入到第 3 圈即走出來
圓環組合（逃出）	14 分 32 秒逃出	3 分 58 秒逃出	4 分 26 秒逃出

表四、測試螞蟻通過不同靜態組合障礙的難易。使用圖五、六研究設置，圓環組合測試由外進入覓食和由內往外逃（先將一隻螞蟻放入最內圈）。

(五) 動態組合障礙

路邊食物攤子常用馬達帶動長長彩帶旋轉以趕蒼蠅，而時鐘的指針可隨時轉動，故設計兩種時鐘平臺（無彩帶及有彩帶，圖七），看看是否可嚇阻或抵擋螞蟻的入侵。結果顯示黑頭慌蟻較為膽小，不但在先前食物研究中，只要稍有震動便四散，在此研究中也因時鐘基座持續地震動而不敢往上爬；豢養狂蟻體力較好且動作較迅速，但爬上會轉動的平臺後馬上會逃走，若要爬上彩帶平臺也會被彩帶碰到而嚇離。

時鐘平臺＼螞蟻	黑頭慌蟻	眷養狂蟻
無彩帶	因震動而不敢上時鐘基座	一上時鐘平台後馬上因平臺轉動而逃下平臺
有彩帶	因震動而不敢上時鐘基座	想上時鐘平台時被轉動彩帶碰到而逃離

表五、測試螞蟻通過動態組合障礙的難易。利用圖七研究設置測試螞蟻爬上轉動平臺覓食的情形。

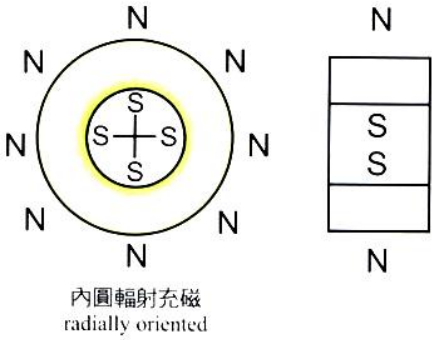
三、製造防蟻磁浮板

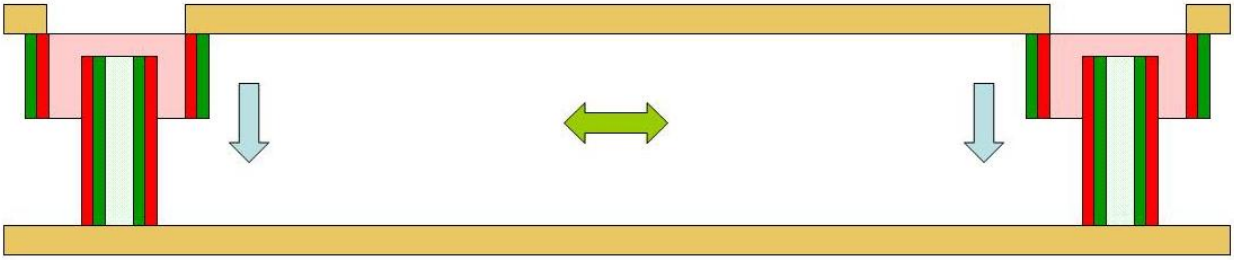
如能利用磁鐵相斥原理，製造出浮在空中的磁浮板，若懸浮高度可讓螞蟻搆不到，則螞蟻只能望其上的食物興嘆。設計構想為在上下相對位置放置相斥的強力磁鐵以支撐重量，再

置放水平方向相斥的磁鐵以維持磁浮板的水平穩定度（圖八）。

(一) 磁浮板的水平穩定度的維持

維持磁浮板的水平穩定是設計磁浮裝置的主要挑戰，經過許多不同設計及測試後，認爲用如下圖（圖十九）之大小磁鐵管裝置最可能解決磁浮板的水平穩定度難題，在不同高度下的水平各方向均可獲得斥力平衡，惜磁鐵廠商告知此種充磁方向罕見，須訂做特殊充磁夾具十分昂貴（需數萬元）而作罷。目前只能取得兩端不同極之普通磁鐵管，退而求其次而設計出如圖八之設計（管狀磁鐵與棒狀磁鐵間大部分爲相斥，但有小部分相吸），另因氧化鐵磁鐵磁力很弱，所能提供水平穩定力量不足達到上下部裝置完全不接觸之目標，若能改用釹鐵硼磁鐵管（不易找到），預期效果將會較好。





圖十九、上右圖爲磁鐵公司網頁（http://www.gdphonein.com/product_magnet_ndfeb_c.htm#3）所示以內圓輻射充磁法可製造內外不同極之磁鐵管；下圖爲大小磁鐵管磁浮裝置設計圖。將圖八的磁鐵管、磁鐵棒分別改成大、小磁鐵管（磁鐵管內外不同極），利用大小磁鐵管間斥力維持磁浮板水平穩定。

(二) 磁浮板的載重力評估

雖然目前我們仍無法達到穩定平衡狀態，但仍可大略評估磁浮板的載重力。在磁浮板側面輕輕接觸以維持磁浮板水平穩定度情形下，再放重物於磁浮板上，看在離基座底板 5 公釐時，約可承載多少重量，結果顯示當使用四組相對的圓形強力釹鐵硼磁鐵（2.5 公分直徑，3 公釐厚）時，至少可承重三公斤。

四、發展電擊防蟻裝置

電擊原理已被廣泛應用於擊殺蚊子，我們曾將螞蟻放到電蚊拍上，結果螞蟻馬上被電擊而爆裂，本研究測試是否可藉較安全的低壓直流電防蟻，並設計出利用電擊防蟻的裝置。

(一) 測試大銅環式垂直式電擊防蟻裝置的逃生實驗（表六）

螞蟻一被放入銅環內就驚慌失措地拼命想逃出去，約在 20 伏特電壓左右螞蟻會遭電擊而後退，但偶爾被電到後反而受驚嚇往前衝過間隙；在 24 伏特或以上電壓就可造成螞蟻死傷，若高至 30 伏特時，螞蟻就無法逃出銅環。

種類 電壓(V)	黑頭慌蟻	豢養狂蟻
0	全逃出（很快就全衝出環外）	全逃出（很快就全衝出環外）
12	全逃出（1->2 分 18 秒，10->10 分 42 秒）	全逃出（1->1 分 40 秒，4->5 分 10 秒）
16	全逃出（1->2 分 33 秒，10->12 分 18 秒）	全逃出（1->1 分 38 秒，4->4 分 52 秒）
20	7 逃出（1->2 分 21 秒）	全逃出（1->2 分 13 秒，4->7 分 11 秒）
24	3 逃出+在上環 3（1->3 分 2 秒）	3 逃出+在上環 1（1->2 分 57 秒）
28	2 逃出+在上環 4（1->7 分 40 秒）	1 逃出+在上環 1（1->3 分 47 秒）
30	0 逃出	0 逃出
32	0 逃出+在上環 1（幾乎死）	0 逃出

表六、測試大銅環式垂直式電擊防蟻裝置（圖九）的逃生實驗。將黑頭慌蟻（10 隻）或豢養狂蟻（4 隻）放入銅環內，在不同電壓下觀察 30 分鐘內螞蟻由環內往環外逃生的情形，記錄逃出隻數、第一隻及最後一隻螞蟻逃出之時間。螞蟻由環內至環外須經過兩次間隙，會遭受到兩次電擊，若只經過一次間隙則留在上環。

(二) 測試大銅環式垂直式電擊防蟻裝置的覓食實驗（表七）

結果顯示電壓越高越少螞蟻進入銅環覓食，在高至 30 伏特以上在 2 小時後仍未有螞蟻進入銅環。此外，研究中亦觀察到在 24 伏特或更高的電壓下，螞蟻就會有傷亡現象。

時間(分) 電壓(V)　隻	30	60	90	120
0	2	6	10	16
12	0	1+在上環 2	2+在上環 3	4+在上環 1
16	0	2+在上環 1	2+在上環 2	5+在上環 2
20	0	1+在上環 1	2+在上環 1	3+在上環 1
24	0	0	2+在上環 2	2+在上環 2
28	0	0	1+在上環 2	2+在上環 1
30	0	0	0+在上環 1	0+在上環 1
32	0	0	0	0+在上環 1

表七、測試大銅環式垂直式電擊防蟻裝置（圖九）的覓食實驗。將雞蛋布丁放在銅環內吸引黑頭慌蟻，在不同電壓及不同時間觀察銅環內螞蟻數，螞蟻由環外至環內須經過兩次間隙，會遭受到兩次電擊，有些螞蟻則只經過一次間隙而留在上環。

(三) 測試小銅圈式電擊防蟻裝置的覓食實驗

因與大銅環式同爲垂直式電擊防蟻裝置，測試結果相似，但小銅圈式設計（圖十）有其應用上的優點，不但材料較省，而且可利用多個小銅圈，以並聯方式通電，並撐起平臺或容器，可提供較大置放食物的面積（圖二十）。

圖二十、利用四個小銅圈式電擊防蟻裝置支撐一玻璃容器以置放食物。

(四) 測試單純式水平電擊防蟻裝置

考慮採用銅箔製作電擊防蟻裝置，因在價格及施工難度上均比大銅環或小銅圈具優勢，不但較便宜，而且用美工刀即可裁切施工。惟在單純式水平電擊防蟻裝置（圖十一），因螞蟻在水平間隙處被電擊後，常常受驚嚇往前衝過電擊區，致阻擋螞蟻的效果不理想，故想到在間隙處附近設置障礙，使螞蟻被電擊後，不能輕易往前衝而通過電擊區。

(五) 測試單純加內或外側銅線式水平電擊防蟻裝置逃生實驗

沿間隙處內或外側加焊銅線以增加螞蟻通過難度。逃生實驗（表八、九）結果顯示外側加銅線明顯比內側加銅線阻擋螞蟻效果好很多，且電死螞蟻數較多，推測其原因在於螞蟻經過間隙之前或之後被銅線阻擋的不同。內側加銅線式只能延緩螞蟻到達間隙，無阻擋螞蟻被電擊後往前衝過間隙的效果；反之，外側加銅線則可擋住螞蟻被電擊後的前路，使螞蟻轉回，或因要爬過銅線較慢而延長了受電擊的時間。

種類 電壓(V)	黑頭慌蟻	豢養狂蟻
12	全逃出（1->1 秒，10->43 秒）	全逃出（1->3 秒，4->27 秒）
16	全逃出（1->2 秒，10->48 秒）	全逃出（1->2 秒，4->45 秒）
20	全逃出（1->4 秒，10->1 分 2 秒）	全逃出（1->6 秒，4->54 秒）
24	全逃出（1->12 秒，10->1 分 47 秒）	全逃出（1->5 秒，4->1 分 12 秒）
28	全逃出（1->56 秒，10->2 分 3 秒）	全逃出（1->19 秒，4->1 分 33 秒）
30	全逃出（1->59 秒，10->3 分 18 秒）	全逃出（1->38 秒，4->2 分 10 秒）
32	全逃出（1->57 秒，10->3 分 46 秒）	全出去（1->46 秒，4->3 分 4 秒）

表八、測試單純加內側銅線式水平電擊防蟻裝置逃生實驗。將黑頭慌蟻（10 隻）或豢養狂蟻（4 隻）放在裝置平臺上（圖九）內，在不同電壓下個別做實驗，並觀察螞蟻 30 分鐘內由平臺上往外逃生的情形，記錄逃出隻數、第一隻及最後一隻螞蟻逃出之時間。

種類 電壓(V)	黑頭慌蟻	豢養狂蟻
12	全逃出（1->3 秒，10->57 秒）	全逃出（1->2 秒，4->47 秒）
16	全逃出（1->2 秒，10->1 分 2 秒）	全逃出（1->3 秒，4->58 秒）
20	全逃出（1->7 秒，10->3 分 14 秒）	全逃出（1->5 秒，4->1 分 5 秒）
24	全逃出（1->59 秒，10->5 分 31 秒）	全逃出（1->37 秒，4->2 分 14 秒）
28	6 逃出（1->2 分 11 秒），3 死	3 逃出（1->1 分 45 秒）
30	3 逃出（1->5 分 49 秒），4 死	1 逃出（1->6 分 3 秒），1 死
32	1 逃出（1->10 分 17 秒），3 死	0 出去，2 死

表九、測試單純加外側銅線式水平電擊防蟻裝置逃生實驗。方法似表八。

(六) 測試單純加內或外側銅線式水平電擊防蟻裝置覓食實驗

因爲豢養的狂蟻數量減少且對食物的興趣不高，所以只以黑頭慌蟻測試此覓食實驗（表十、十一）。結果顯示在 16 伏特以上的電壓，似乎加內側銅線式防蟻效果較佳，不但上到平臺螞蟻數量較少，而且實驗中觀察到電死數也較多，可能與內側銅線減少螞蟻受電擊後往內衝發生及延長受電擊時間有關。

時間(分) 電壓(V)　隻	30	60	90	120
0	3	10	13	24
12	2	3	7	12
16	0	2	4	7
20	0	1	2	2
24	0	0	1（1 死）	1
28	0	0	0（1 死）	0（2 死）
30	0	0	0（2 死）	0（4 死）
32	0	0	0	0（3 死）

表十、測試單純加內側銅線式水平電擊防蟻裝置的覓食實驗。將雞蛋布丁放在電擊防蟻裝置上吸引黑頭慌蟻，在不同電壓下個別做實驗，並在不同時間點記錄平臺上螞蟻數。

時間(分) 電壓(V)　隻	30	60	90	120
0	2	11	15	21
12	1	3	5	14
16	0	2	6	11
20	0	1	3	5
24	0	0	2	2
28	0	0	0	1
30	0	0	0	0
32	0	0	0（2 死）	0（2 死）

表十一、測試單純加外側銅線式水平電擊防蟻裝置覓食實驗。方法似表十。

(七) 測試夾角式電擊防蟻裝置防蟻效果

由以上結果得知：若在受電擊的間隙處延緩螞蟻經過，會有較佳防蟻作用，在利用不同障礙阻擋螞蟻的先前研究中，觀察到螞蟻由夾角的一面爬至另一面較慢，故設計夾角式電擊防蟻裝置，其中夾角向下式（圖十八）設計最具優點，不但擺放時，手不易碰觸到通電的銅箔，其方位設計也讓螞蟻最不容易通過，且螞蟻受電擊後很容易往下掉而離開銅箔間隙。夾角向內式（圖十四）用於逃生實驗（表十二），而夾角向外式（圖十五）及夾角向下式則用於覓食實驗（表十三、十四），如此受電擊時螞蟻不會通過電擊間隙。結果發現夾角式設計比加焊銅線式似乎防蟻效果略好，在電壓 28 伏特即可完全阻擋螞蟻逃生或覓食；此外，亦發現夾角向下式的防蟻效果最佳，只要通電 12 伏特即可防蟻，且不會使螞蟻死亡。

種類 電壓(V)	黑頭慌蟻	豢養狂蟻
12	全逃出（1->48 秒，10->3 分 18 秒）	全逃出（1->27 秒，4->1 分 52 秒）
16	全逃出（1->51 秒，10->4 分 52 秒）	全逃出（1->43 秒，4->2 分 10 秒）
20	3 逃出（1->1 分 44 秒）	全逃出（1->59 秒，4->2 分 33 秒）
24	1 逃出（1->3 分 7 秒）	2 逃出（1->1 分 32 秒）
28	0 逃出	0 逃出
30	0 逃出，3 死	0 逃出，1 死
32	0 逃出，5 死	0 逃出，1 死

表十二、測試夾角向內式電擊防蟻裝置（圖十四）逃生實驗。將黑頭慌蟻（10 隻）或豢養狂蟻（4 隻）放在裝置平臺上，在不同電壓下個別做實驗，並觀察螞蟻 30 分鐘內由平臺上往外逃生的情形，記錄逃出隻數、第一隻及最後一隻螞蟻逃出之時間。

時間(分) 電壓(V)　隻	30	60	90	120
0	2	7	11	17
12	0	1	8	11
16	0	2	5	4
20	0	0	1	3
24	0	0	1	1
28	0	0	0	0
30	0	0	0（2 死）	0（3 死）
32	0	0（3 死）	0（8 死）	0（10 死）

表十三、測試夾角向外式電擊防蟻裝置（圖十五）覓食實驗。將雞蛋布丁放在電擊防蟻裝置上吸引黑頭慌蟻，在不同電壓下個別做實驗，並在不同時間點記錄平臺上螞蟻數。

時間(分) 電壓(V)　隻	30	60	90	120
0	0	2	6	14
12	0	0	0	0
16	0	0	0	0
20	0	0	0	0
24	0	0	0	0
28	0	0	0	0
30	0	0（1 死）	0（2 死）	0（3 死）
32	0	0	0（3 死）	0（5 死）

表十四、測試夾角向下式電擊防蟻裝置（圖十六）覓食實驗，實驗方法似表十三。

柒、討論

一、本研究目的在發展物理性防蟻裝置，從使用不同障礙、製作磁浮板及電擊防蟻裝置三方面下手，物理性防蟻裝置相較於化學性防蟻法，不會對人畜產生毒性，也不易失效，值得進一步探討研究。

二、在探討利用不同障礙阻擋螞蟻的實驗中，發現靜態障礙一般只能延緩，而不能完全阻止螞蟻通過，由研究中發現螞蟻具有許多超越障礙的優異特點，例如腳部有勾狀構造很容易勾住攀爬表面；螞蟻的力量相對於其體重而言十分強大；螞蟻的短距視力及平衡感均不錯，可在牙籤組合尖端前進；十分具有耐力及毅力，繞彈簧走很遠仍可達頂端。

三、目前所測試時鐘平臺或黏貼之彩帶的動態障礙，已顯示以動態防蟻法具防蟻潛力，但所用轉動平臺無法載重，將來後續可研究的動態障礙包括發展軌道式動態阻礙裝置運行在食物周圍以防蟻，或是在食物上方懸掛旋轉之裝置，使垂下之彩帶等接觸平臺四周形成動態障礙。

四、在研究使用磁浮板防蟻方面，如磁浮板可與底座保持家居螞蟻搆不到的距離，則防蟻效果應保證很好，由本研究發現用斥力懸浮磁浮板可載重至少數公斤，若要增加載重能力，則可以增加磁鐵數目或尺寸等方式達到目的。惟因訂製所要特殊磁鐵價格太高，目前只能提出有助於維持磁浮板水平穩定度的設計構想，在收集資料過程發現磁浮原理目前已被應用於承載音響，若本研究所提出維持磁浮板水平穩定度的設計構想可行，說不定可運用於製造音響用磁浮板。

五、本研究中創新設計不同電擊防蟻裝置，具有多項特點，例如可設計成包圍大面積防蟻用裝置（例如整個房子），且只要調到適當伏特數即具殺蟻作用，而且也可能一併可阻擋蟑螂或其他昆蟲等。若將來想商品化時，銅箔可改成像電路板一樣採印刷製作方法，此外也可設計成有多重電擊間隙，以獲得更佳防蟻效果。電擊防蟻裝置若設計上配合不同障礙以延緩螞蟻通過電擊區，則可在較低電壓下即達到理想防蟻效果，例如本研究中夾角向下式電擊防蟻裝置，在 12 伏特即可有效阻擋螞蟻覓食，未來也許可再繼續測試是否可以電池爲直流電來源來增加使用的便利性。

柒、結論

本研究所得主要結果歸納如下：

一、螞蟻超越能力很強，一般靜態障礙只能延緩而不易完全阻擋螞蟻通過，使用動態阻絕裝置時較爲有效，值得進一步研究。

二、製作磁浮板，使螞蟻無法攀爬上懸空的平臺，可提供不錯的承載力，也同樣具研究價值，主要困難點在於維持磁浮板的水平穩定。

三、螞蟻受到 24 伏特或以上直流電壓就可能致死，利用所設計的電擊防蟻裝置，以低至 12 伏特的電壓，即可有效阻擋螞蟻且不會將之電死。

化學性防蟻法爲目前主流，但可能對人畜產生毒性，本研究結果顯示發展物理性防蟻裝置深具應用潛力，可繼續研究並加以推廣。

玖、參考資料及其他

王效岳：螞蟻的天地。初版，台北市，台灣省立博物館。民 77。

王皓平：蟻小博大－校園螞蟻的形態學和生態學研究。民國 96 年 6 月 5 日，取自：http://www.mxeduc.org.tw/ScienceAward/history/projectDoc/4th/doc/SA4-191_final.pdf。

林英智：1-4 電與生活，國中自然與生活科技 3 下第一本。台北市，康軒文教事業股份有限公司。24-32 頁，民 96。

林英智：2-1 磁鐵與磁場，國中自然與生活科技 3 下第一本。台北市，康軒文教事業股份有限公司。34-39 頁，民 96。

林英智：4-1 電壓與電流，國中自然與生活科技 3 上第一本。台北市，康軒文教事業股份有限公司。80-86 頁，民 95。

林英智：4-2 電阻與歐姆定律，國中自然與生活科技 3 上第一本。台北市，康軒文教事業股份有限公司。87-95 頁，民 95。

林星輝：童年四季－夏，兒童自然科學圖鑑。三重市，幼華出版社。民 85。

姚珩：6-1 力與力的形式，國中自然與生活科技 2 下。台南市，翰林出版事業股份有限公司。120-123 頁，民 96。

威爾森、霍德伯勒：螞蟻，螞蟻。台北市，遠流出版社。民 89。

國立臺灣大學昆蟲學系暨研究所：臺灣螞蟻中英文名錄。民國 96 年 6 月 5 日，取自：http://www.entomol.ntu.edu.tw/~ant/new_page_12.htm。

蘇宗宏：台灣居家螞蟻之種類、生態及防治。中興大學昆蟲學系。民 88。民國 96 年 6 月 5 日，取自：http://www.cpca.org.tw/publish/11.htm。

【評　語】　　030811　螞其頓防線

本作品具備實用性，也頗有創意。但是螞蟻動物實驗不易控制，對於各種情形實驗次數或樣本不夠多，可能降低數據之準確度。若能發展出穩定的實驗方法，對於作品的說服力將可提高。