

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學(三)

組 別：國中組

作品名稱：會說話的電線

關 鍵 詞：感溫變色粉、熱傳導

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

會說話的電線

摘要

由於對感溫變色粉的好奇，同時注意到校園電線的安全隱憂，我們開始思考將變色特性應用於電線過熱預警。本研究以「會說話的電線」為題目，目的在利用感溫變色粉將看不見的電線溫度轉化為肉眼可見的顏色變化，以達到防災預警效果。我們透過不同厚度的塗料塗抹於電線表面，並對比「加熱板直接加熱」與「鋁板傳導加熱」兩種模式，探討厚度對變色時間的影響。實驗結果顯示：厚度與時間呈正相關，當塗層愈厚，熱阻愈高，完全變色的反應時間會越長；模擬電線內部發熱的「鋁板傳導」模式，其變色緩衝時間約為外部直接加熱的 2 倍；鏽蝕或受損的電線會形成熱阻，導致變色預警時間大幅延遲（鏽蝕組延遲超過 100%），顯示環境因素會造成安全隱患。研究建議實務應用應以中層厚度最為合適，既能維持視覺對比，又能保有靈敏的預警時效。

壹、前言

一、研究動機

我們一開始是因為對「感溫變色粉」這種材料感到好奇，只要溫度改變，顏色就會跟著變化，覺得非常神奇。查資料後，我們發現感溫變色粉常被用在杯子、玩具或貼紙上，但大多只是用來增加趣味性，因此我們開始思考：這種會隨溫度改變顏色的特性，能不能應用在更實用、甚至和安全有關的地方？

剛好在我們發想實驗主題的時候，學校正在進行消防安全檢查，我們也一起整理了實驗室中一些老舊的電線。這些電線外觀看起來還可以使用，但有些外皮已經老化或磨損，讓我們開始擔心：電線在使用時，會不會因為老舊或接觸不良而產生過熱，卻不容易被發現？於是我們想到，如果能讓電線「用顏色告訴我們溫度變化」，是不是就能提早發現危險。

我們的學校靠近海邊，空氣中濕氣重鹽分高，到處都可以看到生鏽的金屬零件。這樣的環境是否會造成潛在的危機？

因此，我們希望利用感溫變色粉，將平時看不到的溫度變化轉換成顏色變化，讓電線是

否過熱可以用肉眼直接觀察。希望透過模擬電線加熱的情形，探討感溫變色粉在不同溫度下的變色狀況，期望未來能發展出一種簡單、低成本，又能提早提醒用電安全的防災方法，為校園與家庭安全提供更多保障。

二、研究目的

- (一) 探討塗層厚度與警示時間的關聯性。
- (二) 探討塗層厚度與警示溫度的關聯性。
- (三) 探討塗層厚度與變色緩衝時間的關係。
- (四) 比較「直接接觸」與「間接傳導」加熱方式對感溫塗層的差異性。
- (五) 模擬損壞電線及鏽蝕電線找出最佳警示的厚度，找出最適合觀察且具預警效果的塗層厚度。

三、文獻探討

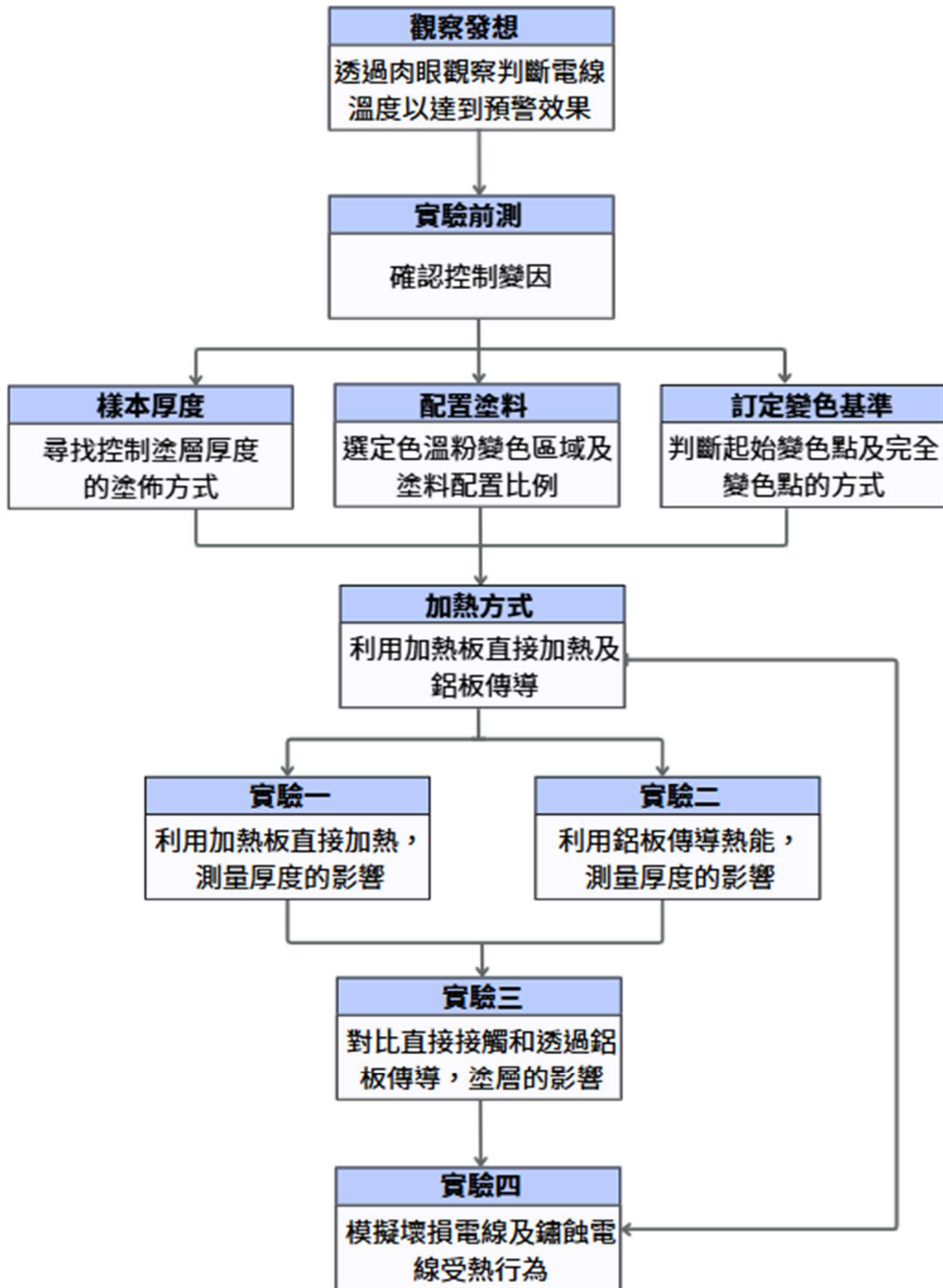
參考文獻	研究內容 / 可延伸性
變色杯的祕密～感溫變色材料的研究與應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 感溫粉的變色機制主要是當溫度達到特定的標準以上時，就會發生褪色反應。不過，褪色後並非變成完全的透明無色，而是呈現灰白色。 ● 變色過程為漸進式：感溫粉的顏色改變是隨著溫度的升降而「漸進」變化的，並不是達到某一個特定溫度點時就突然瞬間變色。
酷筆	<ul style="list-style-type: none"> ● 廠商建議的基本比例：感溫粉與溶液（膠水）的基本建議比例為 1:3（即 1 平匙的感溫粉加入 3 平匙的膠水攪拌均勻） ● 考量塗層在電線上的附著性，我們增加比例至 1:5
行政院公報 表一六~一 低壓絕緣導線之最高容許溫度表	<ul style="list-style-type: none"> ● PVC(聚氯乙烯)一般家用線：通常為 60 至 75°C，若超過 60°C 且長期用電過載，絕緣皮容易老化導致短路。 ● 因此本實驗採用變色臨界溫度 65°C 的感溫粉

貳、研究設備及器材

類別	名稱	用途
材料	色溫變色粉 (65°C)	溫度達臨界時產生顏色變化
材料	雄獅合成膠水	作為色溫粉塗料基材
材料	2.0mm 單芯銅線	作為測試樣本
材料	絕緣膠帶	固定電線減少測試時的誤差
設備	加熱板	提供穩定熱源
設備	ktype	量測電線溫度
設備	平板	方便記錄過程以及電線顏色的變化
輔助	熱風機	在風乾過程觀察均勻度
輔助	筆刷	使染料均勻塗在絕緣電線上
輔助	攪拌棒	攪拌變色染料的工具
輔助	透明塑膠杯	配置變色染料的容器
輔助	撥線鉗	剝除電線表層讓電線受熱更均勻

參、研究過程或方法

一、研究架構圖



二、研究過程

(一) 樣本厚度控制

實驗版本	操作方式	觀察/實測紀錄	圖片紀錄
第一代	我們使用水彩筆塗抹，固定塗抹力道，採薄塗多次策略，待第一層後風乾後再增加第二層的厚度。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 塗層均勻度不佳，筆刷不平整，多次塗抹的結果導致厚度無法準確控制。 2. 溫度上升沒有規律。 	
第二代	我們搜尋網路資料發現可以利用膠帶固定兩側，利用膠帶厚度控制塗抹厚度，再利用尺刮平表面。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 膠水的黏性會隨著刮刀離開，導致表現撕裂情況，且厚度極不穩定。 2. 溫度上升沒有規律。 	
第三代	我們改用點狀旋轉塗抹，並利用熱風機加速表面固化，在風乾的過程中察看其均勻度。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發現塗料會因為重力向下，導致厚度不一，且當厚度越厚，均勻度不易觀察。 2. 溫度上升沒有規律。 	

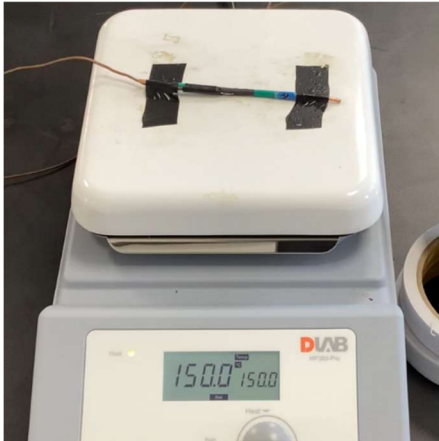
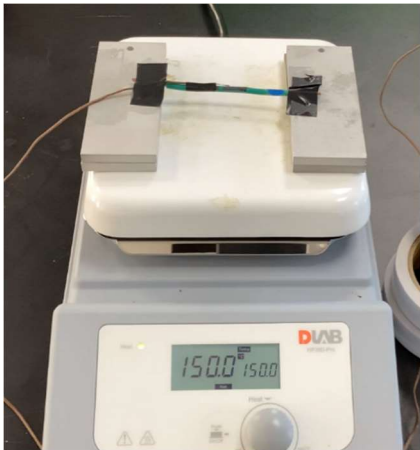
實驗版本	操作方式	觀察/實測紀錄	圖片紀錄
第四代 (最終採用)	<p>我們最後決定利用控制質量的方式，先將膠帶開孔來控制變色粉塗抹的面積(2cm*0.5cm)，測量電線塗抹前後的重量差，利用固定的質量差，來推論厚度的一致性。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用此方式可以控制塗層質量 0.02 克，藉由每次精準的增加塗層厚度，可將樣本分成薄(M)、中(M+0.02 克)、厚(M+0.04 克)三組樣本。 2. 溫度上升可看出差異性。 	   

(二) 判斷變色時機

實驗版本	操作方式	觀察/實測紀錄	圖片紀錄
第一代	<p>我們選用實驗室原有的色溫法來進行實驗，使用手機 APP-色彩辨別來偵測玫紅色至淺灰色的 RGB 數值變化，希望藉由軟體可以建立數位判別的標準，對比肉眼觀察的時間差。</p>	<p>我們發現環境的干擾較嚴重，因手機具備自動補光功能，且容易因為當天天氣導致室內外光線影響，無法準確的判斷變色點。</p>	
第二代	<p>我們利用影片中變色前後的影像找出開始變色及完全變色的顏色，利用 Adobe color 做出色塊圖，放在電線旁邊，作為肉眼比對的基準。</p>	<p>我們發現塗層厚度會影響變色深淺，而非只是單一顏色變化，容易造成判斷變色終點的誤差。 (右上圖-開始變色) (右下圖-完全變色)</p>	
第三代 (最終採用)	<p>我們決定尋找新的色溫粉，發現黑色變為黃色顏色對比大且遇到高溫警示性較強烈的色溫粉。</p>	<p>我們發現變色瞬間明顯，黑色區塊中會出現黃色顆粒，可以精準的判斷變色點(右圖為不同厚度的顏色呈現)。</p>	

(三) 加熱方式評估

在實驗發想階段，我們想要尋找最貼近電線超載過熱的模擬方式。

實驗過程	操作方式	結論
第一代	電線的實際情形是直接利用插頭通電，透過電流熱效應來達到目的，但是經過資料檢索，發現要達到電線危險溫度 65°C ，需使用高電壓電流的直流電源供應器。	為求實驗安全性，我們決定改採其他方式。
第二代	搜尋網路資料發現可以利用學校現有的加熱板直接加熱，將溫度加熱到判定溫度，並觀察變色過程。 	但這個方式和實際電線在使用時是由內而外散熱的方式不同，於是我們再次尋找其他方式。
第三代	為了更真實模擬內部溫度加熱，我們決定利用讓兩端露出的銅線直接接觸加熱板，讓熱能沿著銅線進入到塗層位置。 	為了探討不同加熱方式對變色反應的影響，我們決定同時保留兩者加熱方式進行對照。

三、研究方法

(一) 實驗一：利用加熱板直接加熱，測量厚度的影響

1. 步驟一：準備電線樣本

		
<p>剪下 11 公分的電線</p>	<p>使用撥剝線鉗剝除左右 2 公分的電線表層</p>	<p>剝除後檢查中間部分有沒有位移</p>

2. 步驟二：準備色溫變色塗料配置塗料

塗料比例藉由查看文獻得知白膠：色溫粉=5：1 的比例，變色結果最明顯，但因為膠水是透明的不會影響整體的變色結果加上比較快乾，且膠水的流動性比較好，所以採用膠水：色溫粉=5：1 的比例來配置。

		
<p>透明杯子放秤上歸零</p>	<p>倒入需使用克數的膠水</p>	<p>倒入膠水 1.20 克後 將克數歸零</p>
		
<p>加入 0.24 克色溫粉</p>	<p>攪拌 110 圈</p>	<p>成品</p>

3. 步驟三：塗抹色溫變色塗料(詳見研究過程)
4. 步驟四：待塗層完全乾燥後，將 Ktype 黏貼於電線塗層上方
5. 步驟五：設定加熱源，本次實驗採用加熱板直接加熱，溫度設定 150°C

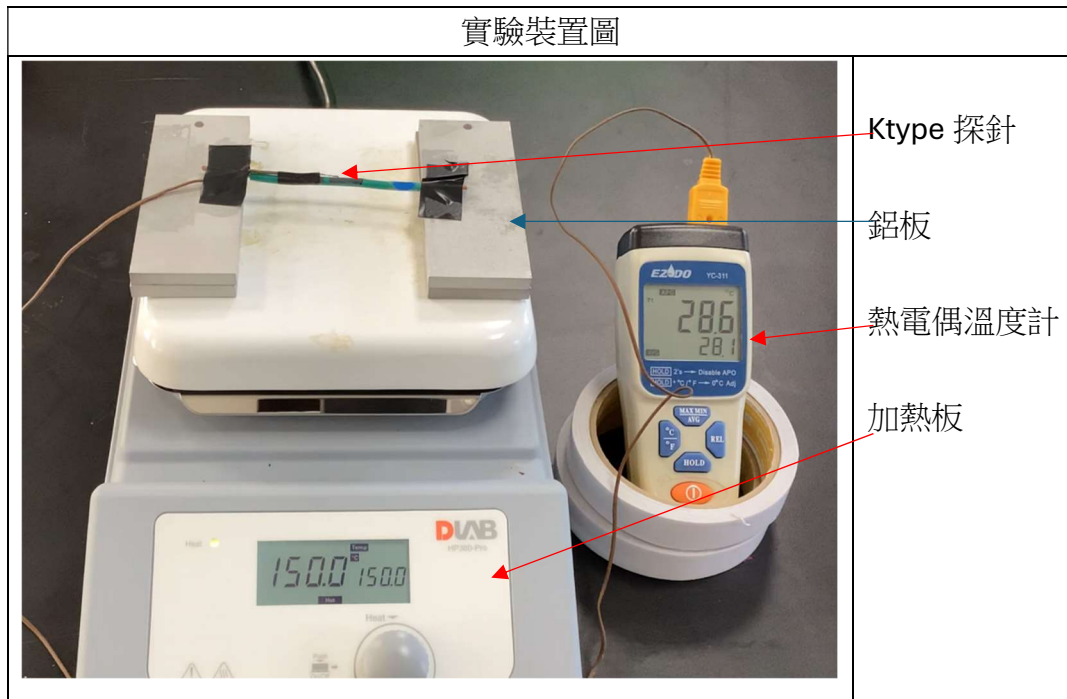
說明：該變色粉設定變色範圍為 65°C，若使用加熱板固定 65°C，會發現電線溫度遠低於 65°C，且當天有冷氣團時電線溫度甚至更低，我們認為可能是因為加熱板和電線接觸面積不足，還有加熱板面積過大暴露在空氣中會因為對流帶走熱量，所以為了讓電線達到 65°C，我們一開始將加熱板設定在 100°C。但在第二階段使用鋁板傳導加熱時，會發現設定 100°C 沒有辦法讓電線溫度達到目標值，所以再度調整設定為 150°C。

6. 步驟六：待加熱板溫度穩定時，放置電線，兩端用絕緣膠帶固定，並從放置於加熱板上時開始計時，並錄影
7. 步驟七：影片紀錄實驗過程
8. 步驟八：數據紀錄
 - (1) 紀錄每十秒電線表面溫度。
 - (2) 紀錄開始變色的時間和溫度。
 - (3) 紀錄完全變色的時間和溫度。
9. 步驟九：重複實驗，相同條件下至少重複 3 次，取平均變色溫度。



(二) 實驗二：利用鋁板透過傳導加熱，測量厚度的影響

1. 重覆實驗一，步驟一至步驟四。
2. 步驟五：設定加熱源，本次實驗採用加熱板溫度設定 150°C ，兩邊放置鋁板透過銅線傳導加熱。
3. 重覆實驗一，步驟六至步驟九。



(三) 實驗三：對比直接接觸和透過鋁板傳導，比較加熱方式對溫度變化的影響

1. 利用實驗一及實驗二的數據進行數據比較。

(四) 模擬損壞電線及鏽蝕電線受熱行為

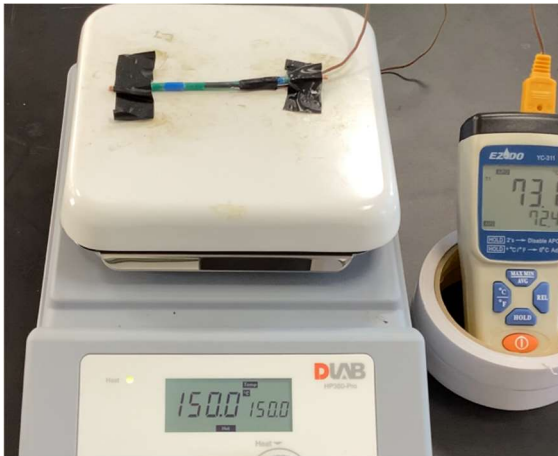
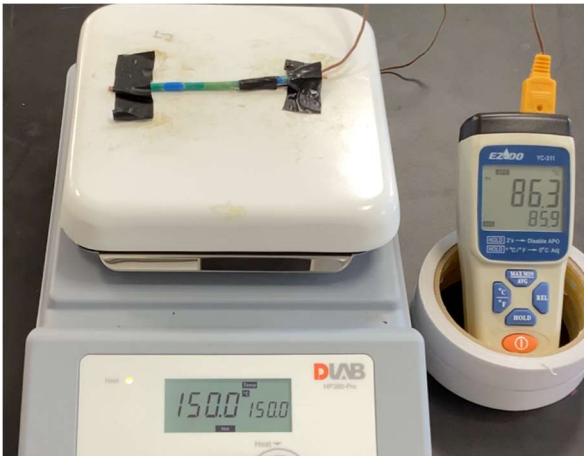




1. 樣本準備：事先配置圖層厚度「中」的電線三條。
2. 模擬壞損老化電線：將其中一條電線使用 300°C 熱風槍連續加熱半小時，使其塑膠外皮軟化變色。
3. 模擬海邊組：將其中一條電線在加熱端銅線泡在鹽水中三天，產生鹽漬。
4. 重覆實驗一，步驟四。
5. 使用兩種加熱源方式進行實驗。
6. 重複實驗一，步驟六至步驟九。

肆、研究結果

一、實驗一：利用加熱板直接加熱，測量厚度的影響

本研究針對每組樣本進行三次重複實驗，將三次實驗的平均數值列於下方，如果某次實驗數據誤差過大，則不採計，並重新補測第四次。

- 圖片紀錄 (註、本圖片紀錄採其中一次數據影片截圖畫面)

厚度	開始變色瞬間	完全變色瞬間
薄		
中		
厚		

● 實驗結果

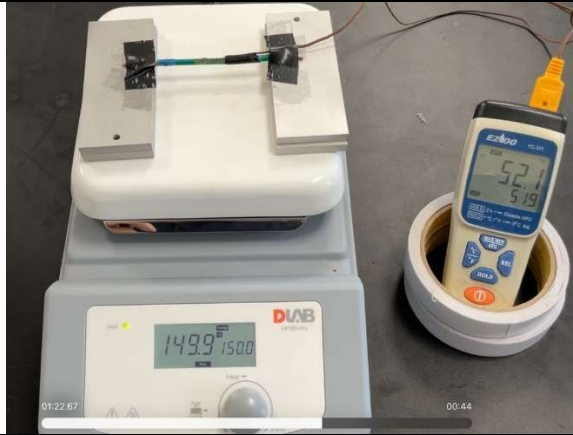



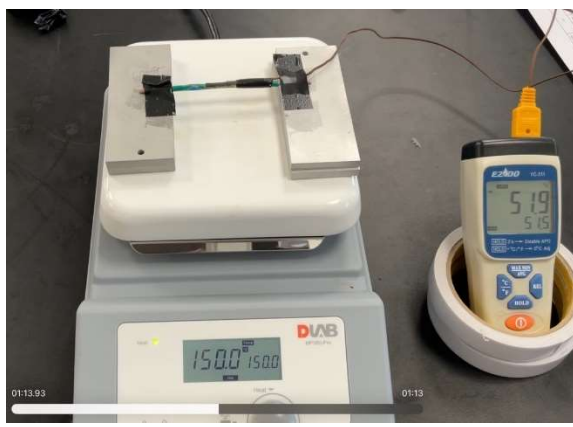
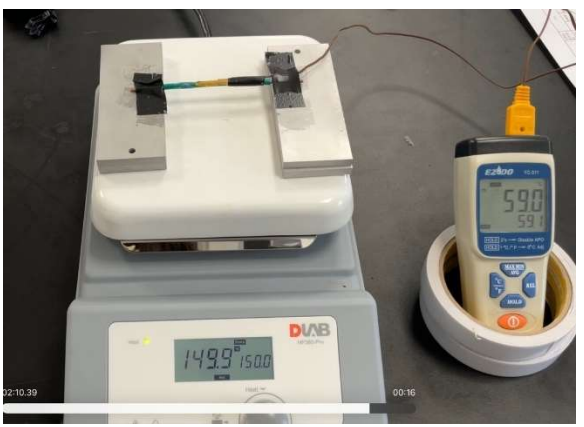
厚度		開始變色 時間(S)	開始變色 溫度(°C)	完全變色 時間(S)	完全變色 溫度(°C)	變色緩衝 時間(S)
薄 (質量)	平均值	10.67	76.93	18.51	88.10	7.84
	標準差	0.47	3.26	0.97	1.61	0.52
中 (質量+0.02 克)	平均值	24.74	48.57	48.67	63.13	23.93
	標準差	0.29	0.58	3.30	2.37	3.59
厚 (質量+0.04 克)	平均值	43.00	62.43	68.00	73.10	25.00
	標準差	1.63	0.90	1.63	1.87	3.27

註、變色緩衝時間定義為：從肉眼觀察到「開始變色」到「完全變色」所經過的秒數。

二、實驗二：利用鋁板透過傳導加熱，測量厚度的影響

本研究針對每組樣本進行三次重複實驗，將三次實驗的平均數值及標準差列於下方，如果某次實驗數據誤差過大，則不採計，並重新補測第四次。

- 圖片紀錄

厚度	開始變色瞬間	完全變色瞬間
薄		
中		
厚		

註、本圖片紀錄採其中一次數據影片截圖畫面。

● 實驗結果

厚度		開始變色 時間(S)	開始變色 溫度(°C)	完全變色 時間(S)	完全變色 溫度(°C)	變色緩衝 時間(S)
	薄	平均值	79.67	51.60	94.67	56.97
標準差		2.49	3.73	2.87	1.10	0.82
中	平均值	81.33	52.60	127.67	59.63	46.30
	標準差	1.25	3.74	5.44	4.09	4.50
厚	平均值	88.67	55.17	139.67	60.33	51.00
	標準差	7.41	1.39	4.64	3.07	11.52

註、變色緩衝時間定義為：從肉眼觀察到「開始變色」到「完全變色」所經過的秒數。

三、實驗三：對比直接接觸和透過鋁板傳導，比較加熱方式對溫度變化的影響







實驗結果

厚度	加熱方式	開始變色 時間(S)	開始變色溫 度(°C)	完全變色時 間(S)	完全變色溫 度(°C)	變色緩衝 時間(S)
薄	直接加熱	10.67	76.93	18.51	88.10	7.84
	鋁板傳導	79.67	51.60	94.67	56.97	15.00
中	直接加熱	24.74	48.57	48.67	63.13	23.93
	鋁板傳導	81.33	52.60	127.67	59.63	46.30
厚	直接加熱	43.00	62.43	68.00	73.10	25.00
	鋁板傳導	88.67	55.17	139.67	60.33	51.00

註、變色緩衝時間定義為：從肉眼觀察到「開始變色」到「完全變色」所經過的秒數。

四、實驗四：模擬損壞電線及鏽蝕電線受熱行為

● 圖片紀錄

厚度	開始變色瞬間	完全變色瞬間
正常組		
損壞電線組		
鏽蝕電線組		

註、本圖片紀錄採其中一次數據影片截圖畫面。

● 實驗結果

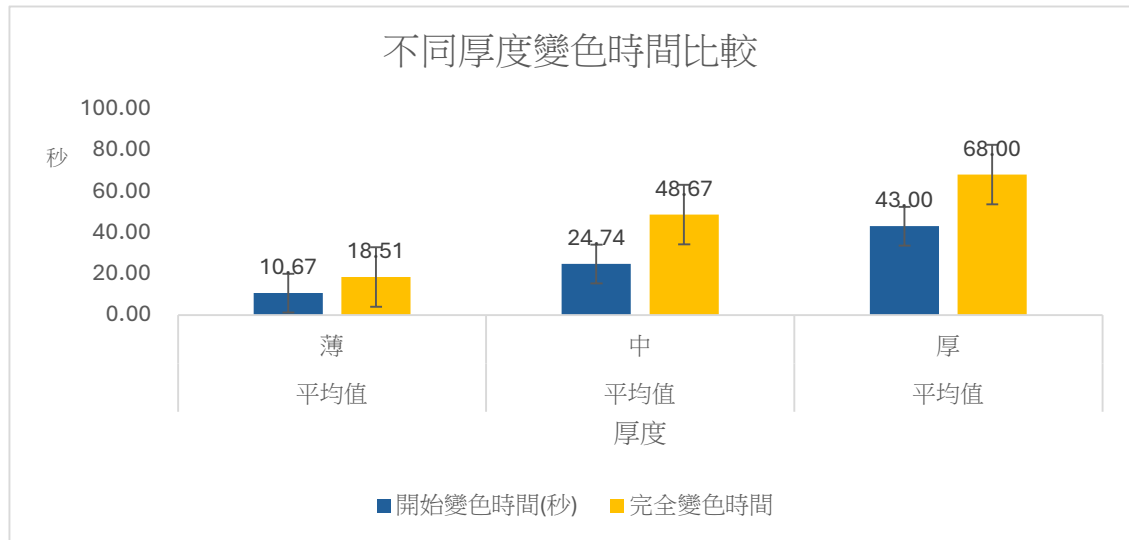
組別	加熱方式	開始變色時間(S)	開始變色溫度(°C)	完全變色時間(S)	完全變色溫度(°C)	變色緩衝時間(S)
正常組	直接加熱	24.74	48.57	48.67	63.13	23.93
	鋁板傳導	81.33	52.60	127.67	59.63	46.30
損壞電線組	直接加熱	21.50	54.15	48.50	74.40	110.50
	鋁板傳導	116.50	54.70	189.50	60.35	73.00
鏽蝕電線組	直接加熱	21.50	54.15	48.50	74.40	110.50
	鋁板傳導	168.00	58.15	233.00	60.60	65.00

註、變色緩衝時間定義為：從肉眼觀察到「開始變色」到「完全變色」所經過的秒數。

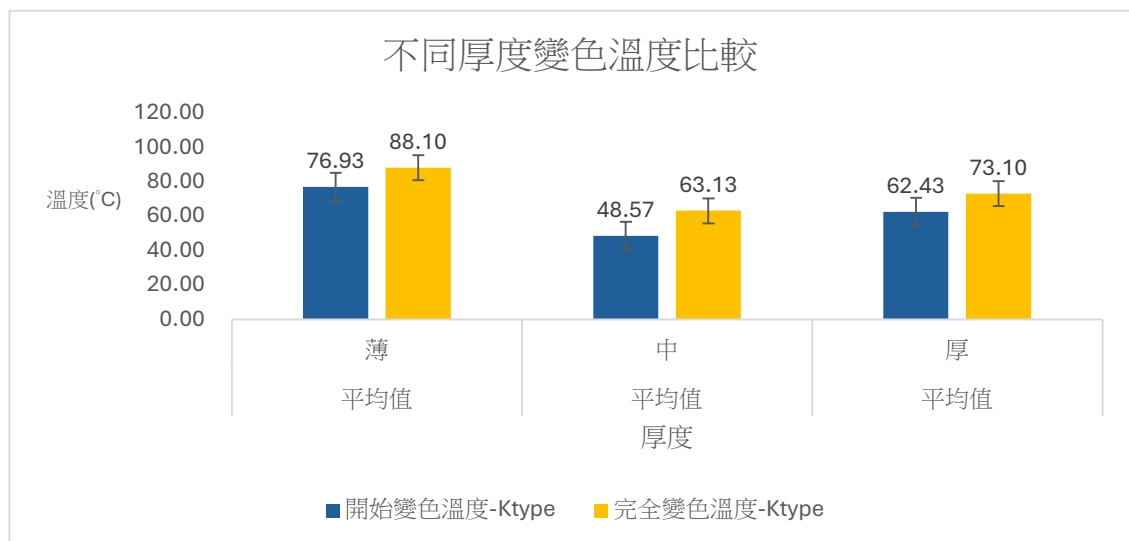
伍、討論

一、實驗一：利用加熱板直接加熱，厚度和變色時間的關係。

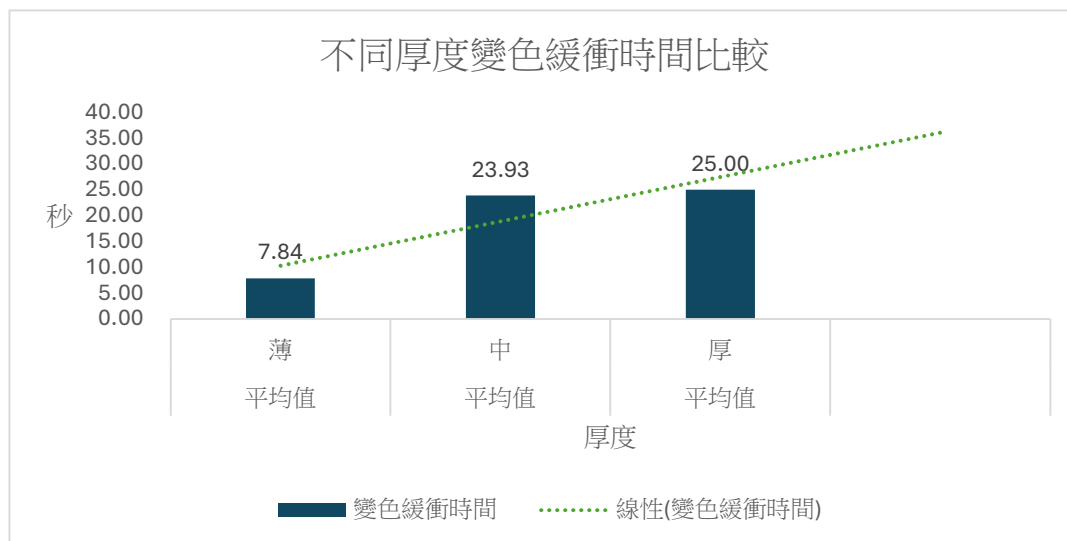
(一) 根據不同厚度開始變色及完全變色時間比較，可看出塗層厚度越厚，平均完全變色時間從 18.51 秒增加為 68.00 秒，可以看出厚度增加會延長熱能傳到電線表面的時間。



(二) 根據不同厚度開始變色溫度及完全變色溫度比較，從數據中可以看出，厚度薄的電線在短時間內溫度迅速上升，遠超過色溫粉原本的變色區間。可能是因為從加熱板底部直接加熱，雖然最外表面的 K-type 讀取到的數值較低，但靠近鋁板的那一層粉末其實早已達到變色點。

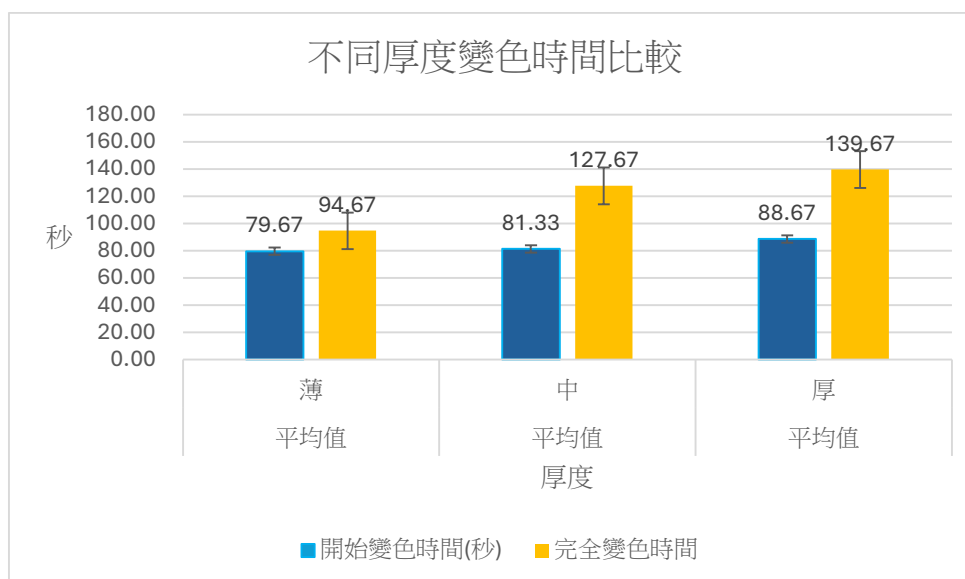


(三) 根據不同厚度變色緩衝時間比較，從數據可見，厚層的緩衝時間至少為薄層的 3 倍。我們推測當塗層加厚時，熱量的傳導需要更多時間。直接加熱是「由下而上」逐層受熱變色，厚度增加導致熱量傳遞的路徑變長，使得變色緩衝時間拉長。



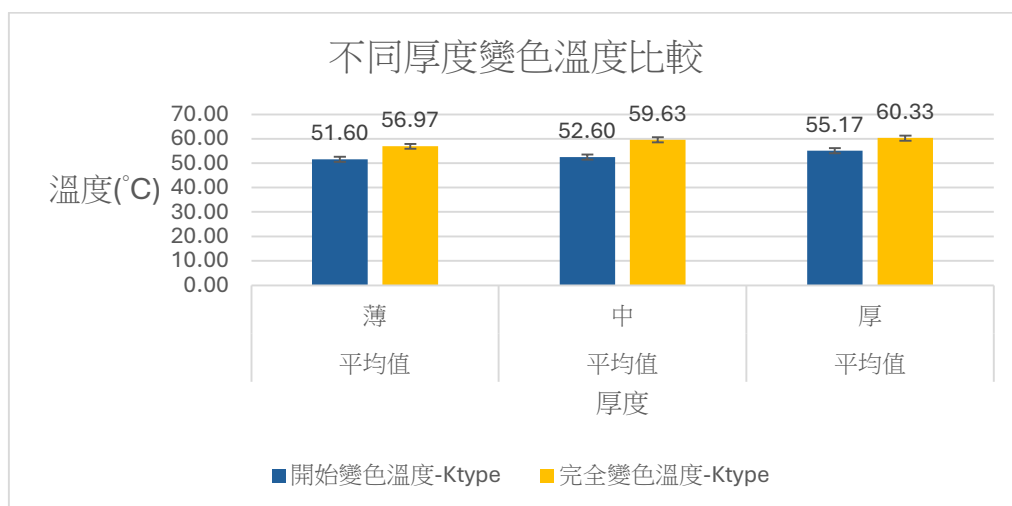
二、實驗二：利用鋁板透過傳導加熱，測量厚度的影響

(一) 根據不同厚度開始變色及完全變色時間比較，可看出當塗層厚度越厚，平均完全變色時間從 94.67 秒增加為 139.67 秒，可以看出厚度增加會延長熱能傳到電線表面的時間。我們推測是因為厚的塗層會阻礙熱能傳遞的速度。

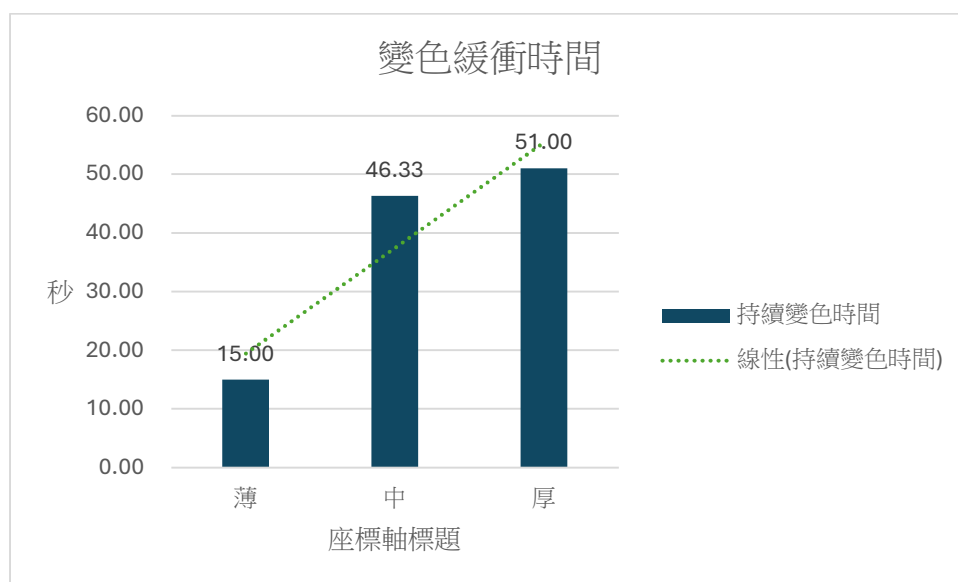


(二) 根據不同厚度開始變色溫度及完全變色溫度比較，從數據中可以看出：

1. 即使厚度不同，三組樣本的平均開始變色溫度均落在 51.60°C 至 55.17°C 之間，可以看出色溫粉的化學反應變色點相對穩定，不會因為塗層厚度而產生劇烈變動。
2. 電線表面所讀取到的溫度，均下降至 51°C-55°C 即變色，皆低於此變色粉原設定溫度。我們推測是因為厚塗層透過內部導熱，雖然表面讀取溫度較低，但靠近電線內部色溫粉已達變色臨界點。

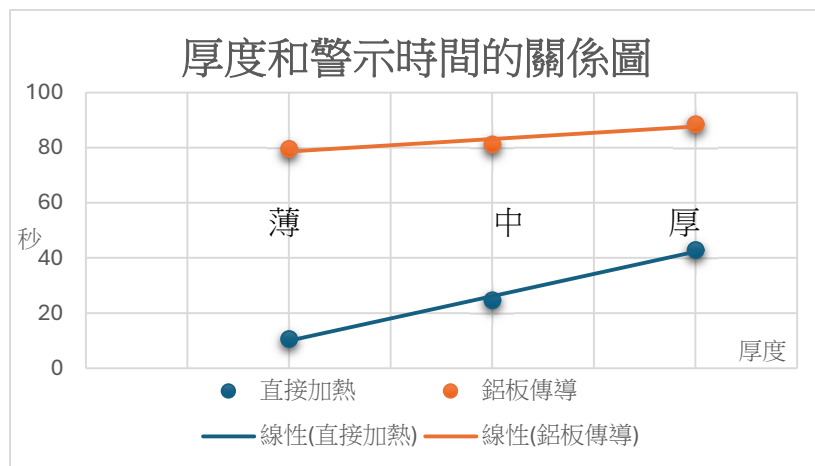


(三) 數據顯示，隨著塗層厚度增加，變色持續時間會變長，由薄塗層的 15 秒增加至厚塗層的 51 秒，我們認為厚度會造成熱量傳到表面的過程變得緩慢。



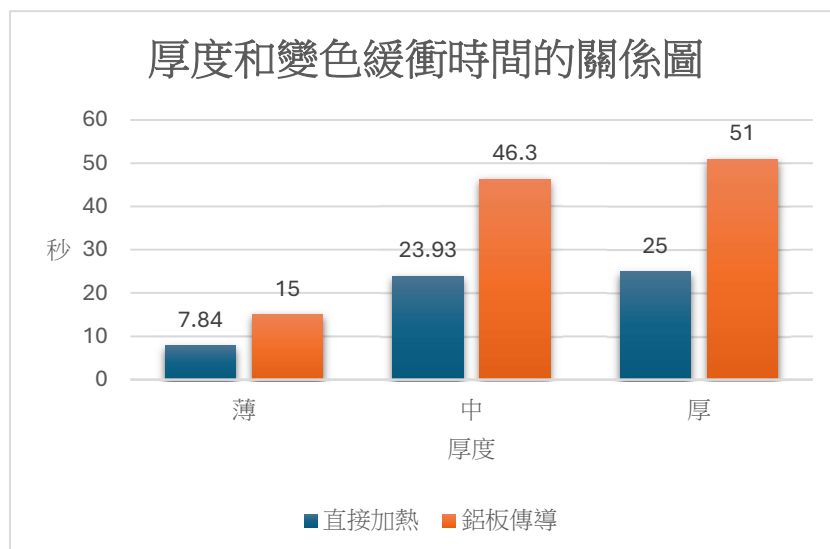
三、實驗三：對比直接接觸和透過鋁板傳導，比較加熱方式對溫度變化的影響

(一) 我們將測量所得開始變色時間視為警示時間，根據在不同加熱源中，不同厚度的警示時間比較，可看出不論是何種加熱方式，塗層層數增加都會造成延後警示時間。但是透過鋁板傳導內部導熱，厚度的延遲時間縮小了，我們推測是因為鋁板傳熱到銅線本身就需要很長的時間，這段加熱時間造成厚度造成的差異性。



(二) 根據在不同加熱源中，不同厚度變色緩衝時間比較，可看出不論是何種加熱方式，變色緩衝時間都隨著厚度增加，且透過鋁板傳導加熱方式，其變色緩衝時間約為直接加熱的 2 倍左右，我們推測可能的原因有兩個：

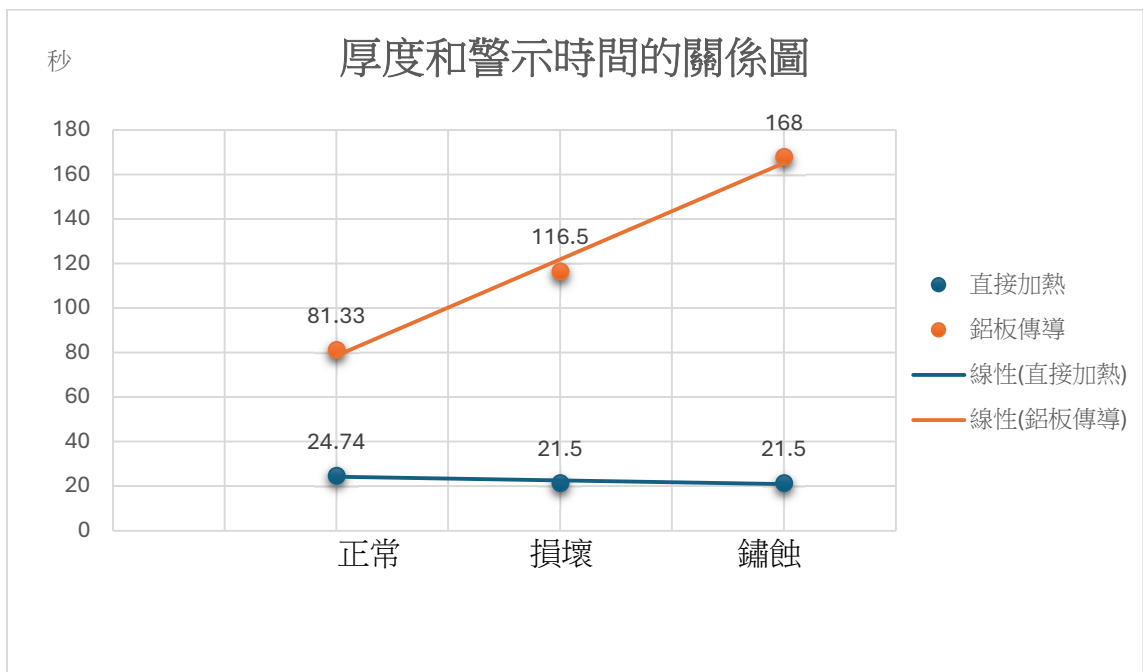
1. 透過鋁板傳導加熱的過程，熱量的傳遞方式熱源 → 鋁板 → 銅線 → 變色漆，透過多次傳遞過程會導致溫度上升變得緩慢。
2. 直接加熱時，外層變色粉末因直接接觸熱源而先變色，肉眼可以馬上看見，但鋁板傳導方式，是從電線的內部開始慢慢加熱，最後表面才完成變色。



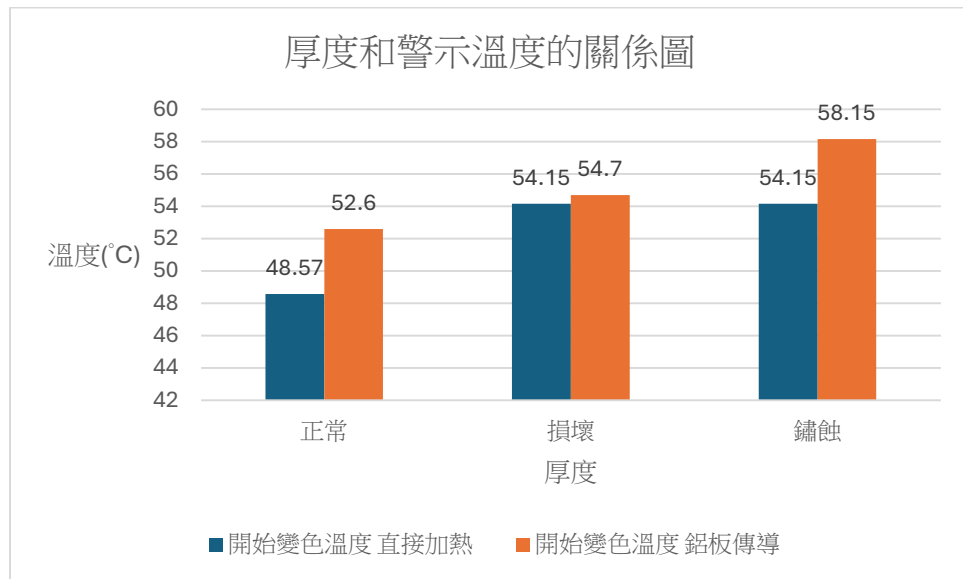
四、實驗四：對比直接接觸和透過鋁板傳導，比較加熱方式對溫度變化的影響

(一) 我們將測量所得開始變色時間視為警示時間，根據在不同加熱源中，不同組別的警示時間比較，可看出：

1. 在直接加熱的情況下，壞損和鏽蝕電線的警示時間不太大差異，外部火源直接作用於塗層表面，因此塗層內部的電線是否損壞，對變色時間的影響沒有顯著影響。
2. 透過鋁板傳導加熱的方式，損壞組的時間延遲 43%，鏽蝕組的時間延遲 106%。我們推測是因為當電線發生鏽蝕或壞損時，會在金屬表現形成熱阻，導致熱量難以從銅線傳到塗層。

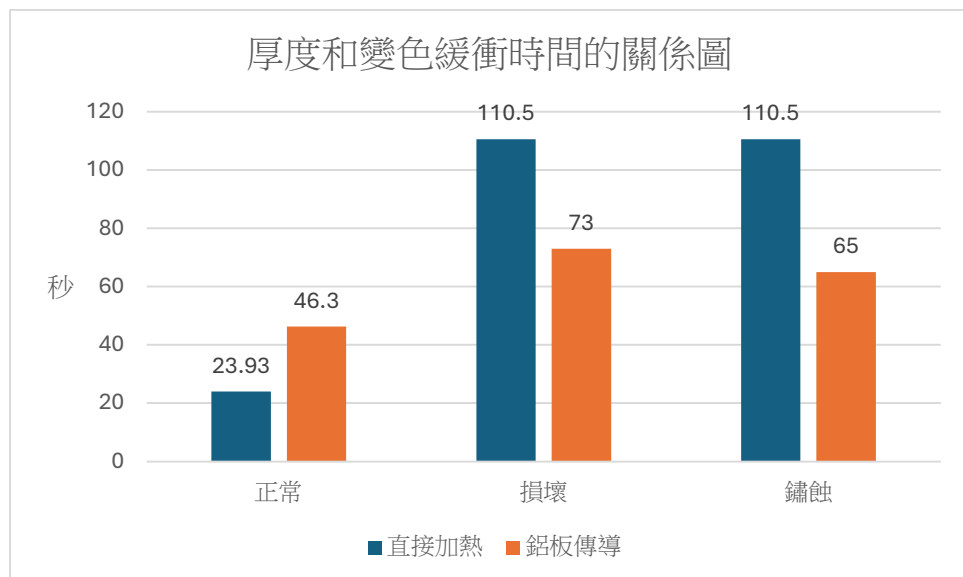


(二) 我們將測量所得開始變色溫度視為警示溫度，根據在不同加熱源中，不同組別的警示溫度比較，可看出鏽蝕組在鋁板傳導時，表面測得溫度最高 58°C，而正常組僅需 52.6°C。我們推測被鹽水鏽蝕的銅線會阻礙熱傳導。



(三) 根據在不同加熱源中，不同組別的變色緩衝時間比較，可看出：

1. 「損壞組」與「鏽蝕組」電線在實驗中表現出變色緩衝時間顯著拉長的現象，我們推測其原因可能是電線發生鏽蝕或壞損時，會在金屬表現形成熱阻，導致熱量難以從銅線傳到塗層，因此變色粉末吸收到能量的速度變得緩慢。
2. 「損壞組」與「鏽蝕組」，在直接加熱時的變色緩衝時間遠高於鋁板傳導，我們推測可能是因為兩者的電線受損造成塗層受熱不均，而延長的完全變色的判定時間，甚至在過程中受熱造成剝離情形，減緩升溫狀況。



陸、結論

一、塗層厚度對預警時間的影響

- (一) 厚度與時間呈現正相關：無論何種加熱方式，完全變色時間均隨塗層厚度增加而顯著延長。厚塗層具有較高的熱阻，會延遲熱能傳遞至表面粉末的速度。
- (二) 中塗層厚度最佳：厚度增加會導致變色過程變得緩慢且不明確，對於需要明確警示的電氣安全而言，薄塗層優於厚塗層。在直接加熱模式下，薄層的警示時間僅需 10.67 秒，反應最為迅速，但顏色易受電線本身顏色影響，錯過警示黃金時間，辨色困難，因此我們認為中層塗層最適合。

二、加熱源模式的差異

- (一) 2 倍緩衝規律：鋁板傳導的變色緩衝時間約為直接加熱的 2 倍。直接加熱時外層粉末先變色，肉眼可立即辨識；鋁板傳導則模擬內部銅線過熱，熱量需由內向外傳遞到漆層，導致表面感應時間加倍。
- (二) 電線接觸熱阻影響：內部導熱模式需經過「鋁板→銅線→變色漆」多次的傳遞，熱量傳遞路徑較長且受接觸熱阻影響，升溫速率較大。

三、電線狀態對熱傳導的影響

- (一) 鏽蝕與損傷導致警示延遲：在模擬內部過熱時，鏽蝕電線組的變色時間較正常組延後超過 100%（從 81s 延至 168s）。
- (二) 金屬熱阻效應：電線表面的鏽蝕氧化層是不良導體，會阻礙熱量傳出，造成內部銅線已達高溫但外皮遲遲未變色的安全危機。
- (三) 損壞組的視覺判定障礙：電線受損導致表面不平整，會造成漆層厚薄不一，進而拉長變色緩衝時間。

四、表面讀取溫度與真實熱源的落差

- (一) 預警門檻的價值：在鋁板傳導實驗中，K-type 紀錄到約 51°C~55°C 時漆層即開始變

色。

- (二) 內熱外冷現象：由於塗層緊貼銅線，其感應溫度的精準度與即時性優於外部測溫工具。當觀察到變色時，通常代表內部溫度已高於表面測得數值，具有極佳的早期預警效果。

五、實務應用建議

- (一) 環境修正參考：針對海邊或潮濕環境的電路接頭，需考量熱傳導延遲，建議調低變色範圍並且增加除鏽保養及更換頻率。
- (二) 判讀標準：發現開始變色的警示點即應視為過熱警訊，不應等待完全變色才處理。

柒、參考文獻資料

陳冠廷、陳佳宏、陳宗佑、沈立婷（2008）。酷筆。第 48 屆全國中小學科展作品。

林昀葶、劉家佐、楊喬安、邱浩恩與黃茵琦（2016）。變色杯的祕密～感溫變色材料的研究與應用。第 56 屆全國中小學科展作品。

李唯瑄、張福安、張家綦、鄭鼎繼、陸鈞平與何杰勝(2024)。神「漆」酷科學－不同粉末對塗料降溫效果之研究。第 64 屆全國中小學科展作品。

感溫變色貼紙。113 年度國中組生應(三)化工與環科第二名。