

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040206

熱化學之極致—暖暖包

國立馬公高級中學

作者姓名：

高二 張凱傑

指導老師：

許嘉琪 陳寧俊

第四十五屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化學科

組 別：高中組

作品名稱：熱化學之極致－暖暖包

關 鍵 詞：暖暖包、熱包、熱化學

編 號：

熱化學之極致－暖暖包

壹、摘要

由分析暖暖包內各成分的質量，推論放熱的主反應是 $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。再進一步研究各個成份在暖暖包的作用性為何。最後我們用其他物質代替暖暖包中的主成份觀察實驗的結果。在實用性、簡便性及商業的利益的考量之下，我們想看看暖暖包未來還有什麼發展空間。

貳、研究動機

居住在有「風島」之稱的澎湖，每逢冬季，在強勁的東北季風吹襲之下，除了添加衣物來保暖身子之外，我們也可以到便利商店或藥局購買暖暖包來驅除體內的寒氣。而之所以選擇暖暖包作為研究對象，主要是因為發覺暖暖包在寒冷的冬天還有更多的發揮空間，且市售的暖暖包僅表示出內含何種成份但並未指出各成份的比例；在了解其成份和發熱原理的同時，也想親自動手作出比市售的暖暖包更有商業價值的熱包。

參、研究目的

處在科技的洪流中，所做出的結果尚未是一完整的成品，必須不斷的更新使之對人類有更多的發展空間。上述所需了解的如各成份的比例、作用性及未來發展性使它能够對於人類有所貢獻。

肆、研究設備及器材

- 一、器材：燒杯（500ml、250ml）、薊頭漏斗、導管、玻璃棒、橡皮塞、漏斗、濾紙、溫度計、蒸發皿、滴管、剪刀、玻璃片、秤量紙、橡皮管、錐形瓶、量筒、廣口瓶、刮勺、三樑天平、暖暖袋。
- 二、藥品：雙氧水（ H_2O_2 ）、鐵（Fe）、鋅（Zn）、鋁（Al）、鎂（Mg）、碳粉（C）、食鹽（NaCl）、蛭石、蒸餾水（ H_2O ）、鹽酸（HCl）、硝酸鉀（ KNO_3 ）、硝酸銨（ NH_4NO_3 ）、氯化銨（ NH_4Cl ）、二氧化錳（ MnO_2 ）。

伍、研究過程或方法

- 一、實驗一：以科學性的方法找出各成份及比例
方法及過程：
 - （一）、由暖暖包的成分介紹下我們得知主要的成份有NaCl、Fe、C和蛭石+ H_2O 。
 - （二）、先將市售的暖暖包（40g）倒入 100 克的蒸餾水中（已知 NaCl 在 NTP 下的溶解度約為 37%）。
 - （三）、等此溶液的 NaCl 完全溶解後(食鹽水)，再將它倒入附有兩層濾紙的漏

斗中（只有一層濾紙的話些許碳粉會通過濾紙），收集濾液。

（四）、將濾液倒入蒸發皿中經烤箱烘乾後，剩下的固體就是食鹽的量。

（五）、而濾紙上則剩下Fe、C和蛭石。已知活潑金屬加上強酸會產生H₂（氧化還原反應）則可以鹽酸反應產生H₂的量計算Fe的莫耳數，可推求出暖暖包內Fe的質量。



由步驟（三）將濾紙上的所有成分置入錐形瓶中加入鹽酸，以排水集氣法求出產生的H₂的體積，再扣除在該溫度的飽和蒸氣壓，用理想氣體方程式（PV=nRT）求出H₂的莫耳數。

二、實驗二：分析暖暖包內各成分物質的作用性

方法及過程：由實驗一了解到暖暖包主要成份物質為NaCl、Fe、C和蛭石+ H₂O，現在我們每次改變其中一種物質作為操作變因來了解物質在暖暖包內的作用性。

三、實驗三：嘗試改變暖暖包內成分的比例看看對暖暖包放熱的影響程度

方法及過程：為了使市售的暖暖包能發揮最大功效，所以業者對於暖暖包成分物質的混合比例想必已接近完美，但是那真的是最好的了嗎？我不禁懷疑，所以還是想調整一下比例。我先把C+蛭石+ H₂O固定為5克，使NaCl是8.5克、Fe是26.5克（根據實驗一的結果），再調整比例，看看是否有新的發現。

四、實驗四：將Fe和NaCl改用其他金屬和鹽類觀察暖暖包的放熱效果

方法及過程：用Fe的理由是什麼？又已知NaCl具有加速Fe氧化的速度，是否可以用其他金屬代替呢（根據實驗二的結果）？而NaCl是否也可以改用其他鹽類替代呢？在此實驗由我們將Fe和NaCl改用其他金屬和鹽類看看對暖暖包有多大的作用。

五、實驗五：特殊狀況下暖暖包的極致效果

方法及過程：已知在實驗四中，Zn的最高溫度優於Fe，但是持久時間Zn的效果較差，但我們若能綜合其優點，想必這個暖暖包必定夠實用。在某些情況下，如你的肩膀或其他部位扭傷時，醫生都會先替你熱敷，這就是暖暖包所呈現出來的價值。不過想要有如此高的溫度，我推想在同一個暖暖包中，Zn的質量要大於Fe的質量，再調整比例看看結果會有什麼不同。此外，包裝袋是否有特殊設計。

陸、研究結果

一、實驗一的結果：

(一)：在分析暖暖包的成分物質時，我做了三組實驗，結果如下：

項目 \ 組別	實 驗 組 A	實 驗 組 B	實 驗 組 C
NaCl 的量 (g)	8.3	8.6	8.5
Fe 的量 (g)	26.7	26.1	26.5
C+蛭石的量 (g)	5	5.3	5
備註	1. 各實驗組的總合皆為 40 g 2. 以上之實驗皆在 26°C (±1.0) 中實驗 3. $PV = nRT$ 的 V 單位為公升，R 為 0.082，T 為絕對溫度 K。 4. $760-25.209(26^{\circ}\text{C}\text{時的水蒸氣壓})/760 \times 11.94(\text{H}_2\text{的平均體積}) = n \times 0.082 \times 299$ ，得 n 為 0.47mol，		

實驗結果：將此三次實驗的結果平均，得 Fe : NaCl : C+蛭石+水的比例約為 26.5 : 8.5 : 5，



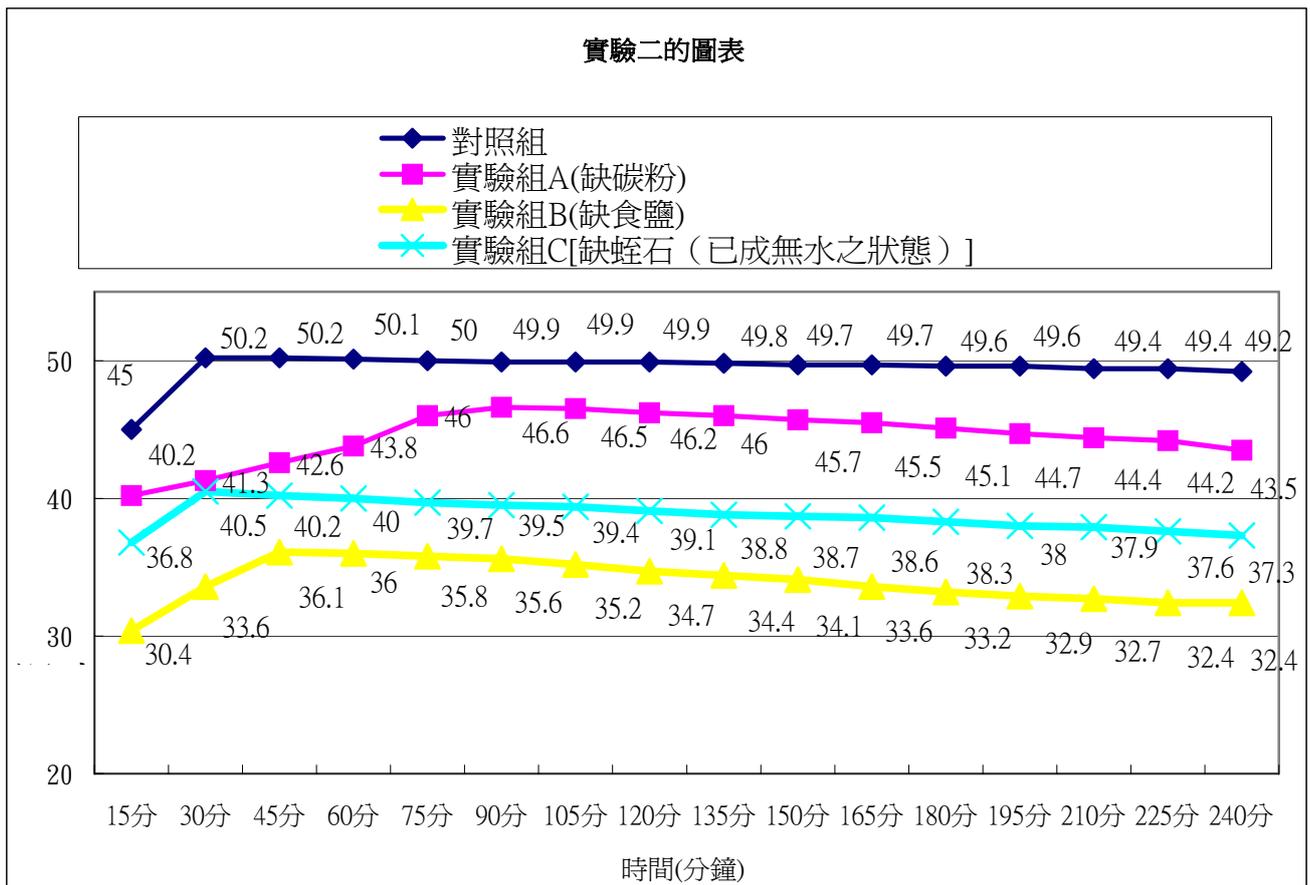
* 上圖是作鐵粉加入鹽酸的情形



* 上圖是濾紙上殘留鐵粉的情形

二、實驗二的結果：了解成分物質的作用性

組別 項目	對 照 組	實 驗 組 A (缺碳粉)	實 驗 組 B (缺食鹽)	實 驗 組 C 缺蛭石 (暖暖包內無水)
最高溫度 (°C)	50.2	46.6	40.5	36.1
40°C以上 之維持時 間	240	240	45	0
備註	1.以上之實驗皆在 25.3°C (±1.0) 中實驗 2.此時間單位為分鐘 3.實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4.此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			

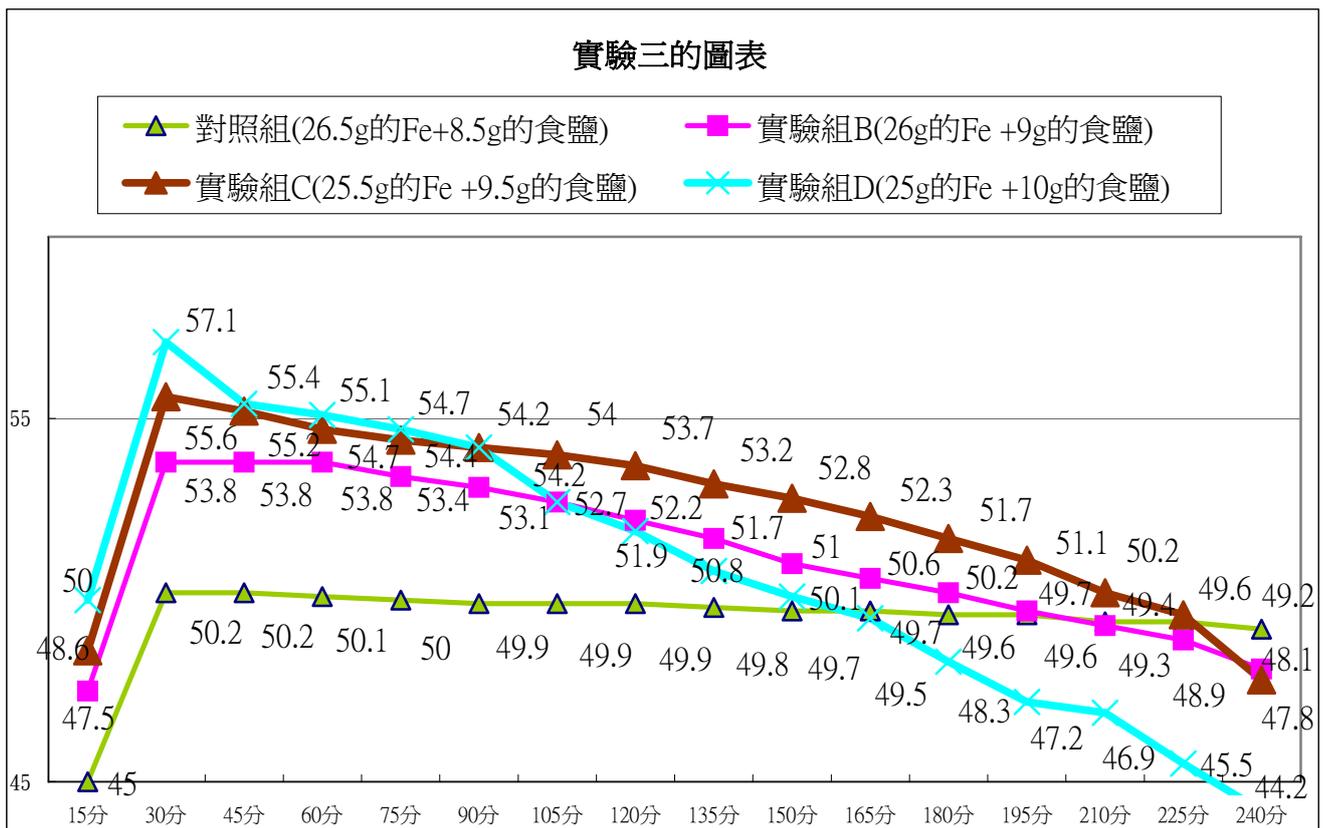


實驗結果：根據此項實驗，我們可以發現各成分其作用性了。在實驗組B中，缺乏NaCl，溫度上升相當緩慢，所以我推測，氯化鈉應為可加速鐵生鏽的成分。而碳粉，雖對總反應來說未起太大作用，但是依照所做出的實驗資料顯示，沒有碳粉，當實驗測試完畢之後，竟然還有剩許多尚未反應（呈黑色），故碳粉之作用主要是當做此反應的催化劑。水，本來就是鐵生鏽所需的條件。

三、實驗三的結果：嘗試改變暖暖包的成分比例

※固定 C+蛭石 (+水) 為 5g， Fe+NaCl 質量和為 35g

組別 項目	對 照 組 26.5 g 的 Fe + 8.5 g 的食鹽	實 驗 組 A 26 g 的 Fe + 9 g 的食鹽	實 驗 組 B 25.5 g 的 Fe + 9.5 g 的食鹽	實 驗 組 C 25 g 的 Fe + 10 g 的食鹽
最高溫度 (°C)	50.2	53.8	55.6	57.1
48°C 以上 之維持時間	240	225	195	150
備 註	1.以上之實驗皆在 25.2°C (±1.2) 中實驗 2.此時間單位為分鐘 3.實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4.此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			



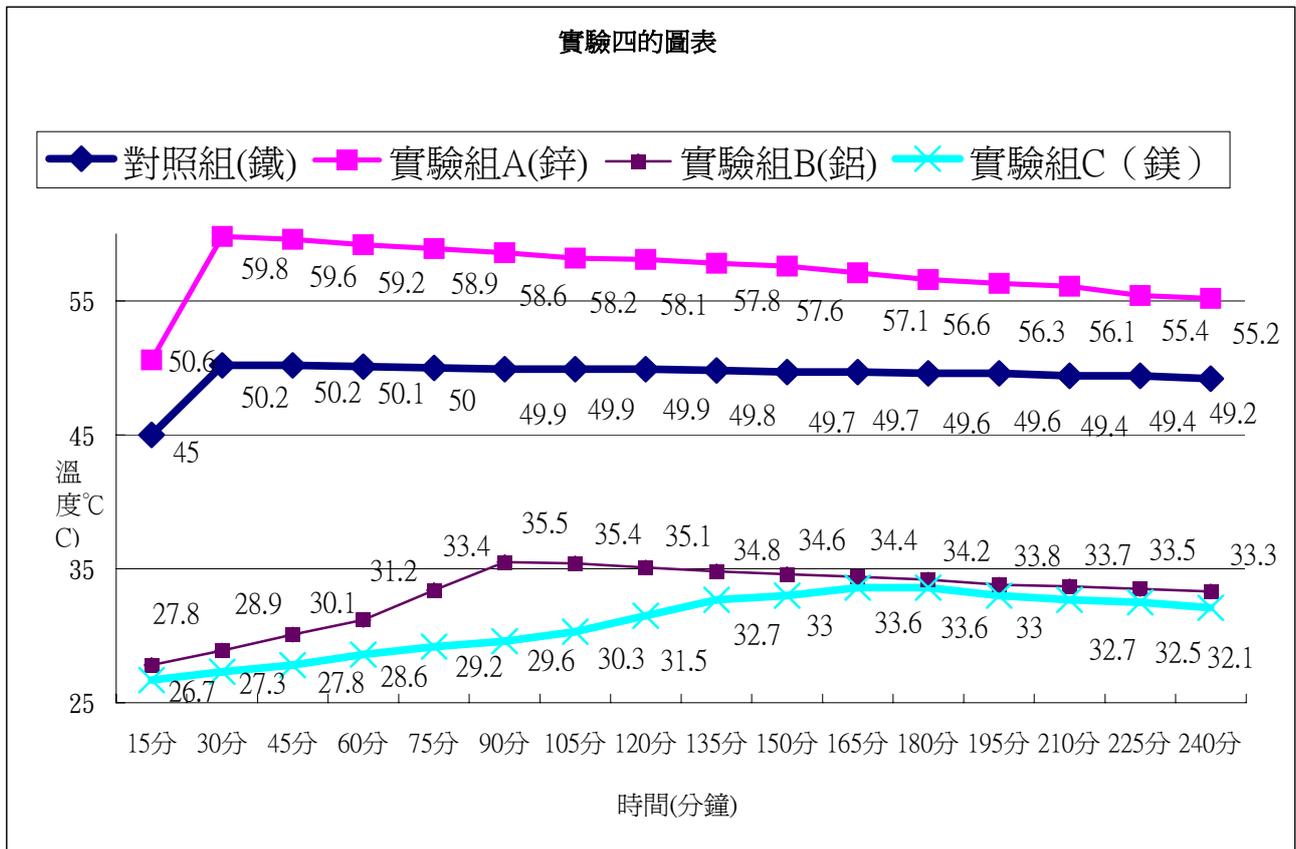
在這個實驗中我們發現，NaCl 的比例越高，最高溫度就會提高，但持久時間卻相對減少；如果增加 Fe 的比例的話，雖可以增加持久時間，但最高溫度卻會下降。

四、實驗四的結果：將 Fe 和 NaCl 改用其他金屬和鹽類觀察暖暖包的放熱效果

(一)、Fe 的實驗結果：已知活性 $Fr > Cs > Rb > K > Ba > Sr > Ca > Na > Mg > Al > Mn > C > Zn > Cr > Cd > Fe \dots$ 。想要比 Fe 的發熱效果還要好的話，那就必須找活性比 Fe 還要好的金屬。但有一些不行，像活性大於 Mg 的金屬，有危險性，而 Mn 不能反應，C 已經是暖暖包內的成分，Cr 和 Cd 會對環境造成污染，故可用的只有 Mg、Al、Zn 這三種金屬可行，其實驗結果如下表。

※其中 Fe 為 26.5 g、NaCl 為 8.5 g、C+蛭石為 5 g

組別 項目	對照組 Fe	實驗組 A Zn	實驗組 B Al	實驗組 C Mg
最高溫度 (°C)	50.2	59.8	35.5	33.6
40°C 以上之維持時間	240	240	0	0
備註	1.以上之實驗皆在 25.3°C (±1.0) 中實驗 2.此時間單位為分鐘 3.實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4.此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			

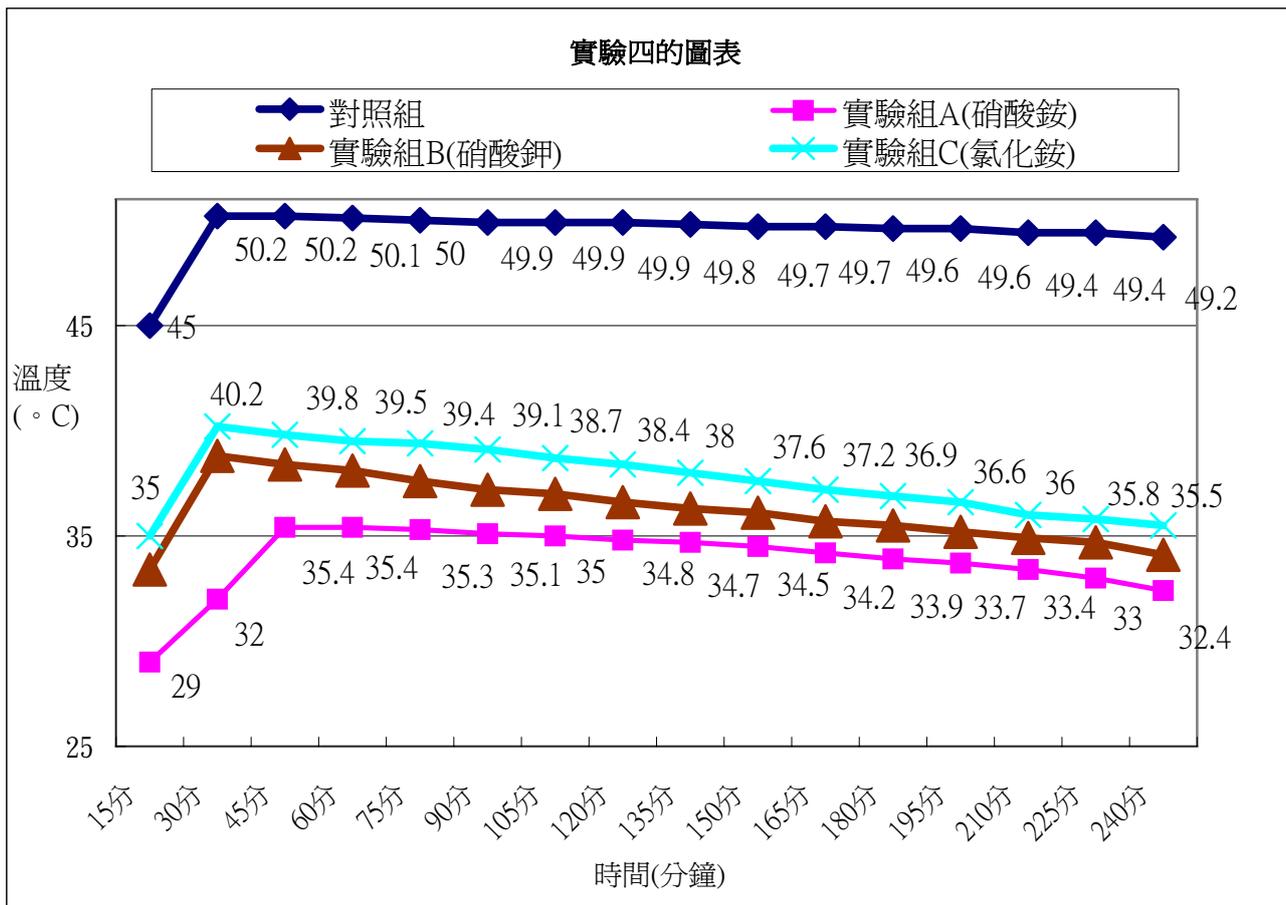


Al 和 Mg 加入後的效果不盡理想，溫度上升不多，加入 Zn 可以產生較高溫度，或許對未來的研究有所幫助。

(二)、NaCl 的實驗結果：已知在酸性的狀態下 Fe 較容易反應，我試試酸性或中性的鹽類代替 NaCl 會有何情形。

※其中 Fe 為 26.5、C+蛭石(+水)為 5 g，各鹽類的質量皆為 8.5 g

組別 項目	對 照 化 NaCl	組 實 驗 組 A 硝 酸 鉍 NH ₄ NO ₃	實 驗 組 B 硝 酸 鉀 KNO ₃	實 驗 組 C 氯 化 鉍 NH ₄ Cl
最高溫度 (°C)	50.2	38.8	35.4	40.2
40°C 以上 之維持時 間	225	15	0	0
各化合物 水溶液的 酸 鹼 度	中性	酸性	中性	酸性
備 註	1.以上之實驗皆在 26.2°C (±1.0) 中實驗 2.此時間單位為分鐘 3.實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4.此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			



這實在是一個錯誤的決定，因為硝酸鉀對於本實驗沒有什麼作用性，更糟的是，氯化銨和硝酸銨溶於水中竟然會吸熱，反而使暖暖包的最高溫度和持久時間減少。

- ※冷包：市面上的冷包的使用方法是將其中一種置入一小袋子中，再將這個小袋子放入一裝水的冷袋中，使用時只需弄破冷袋內中的小袋子，使它反應而吸熱。
- ※本來蛭石我是想用乾燥劑取代，但是鹼性的乾燥劑潮解後觸碰到人的皮膚會有危險性，不適合加入暖暖包中。



上圖是測量暖暖包溫度的情形

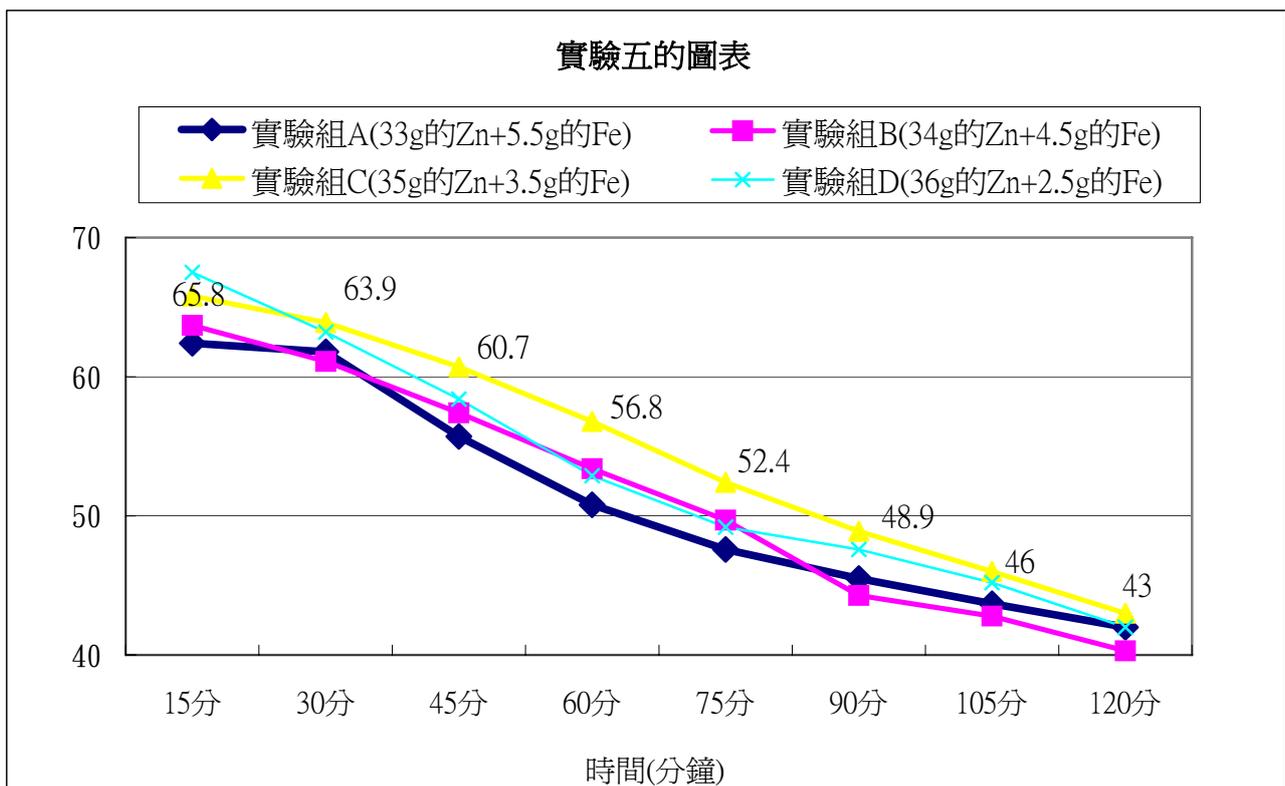
五、實驗五的研究結果：特殊狀況下暖暖包的極致效果

(一)、Zn 粉與 Fe 粉混合摻雜的結果

※ 現在的趨勢已走向輕小便捷，我的暖暖包又主要是要醫療用，故只需提高最高溫度即可。依然遵循 Fe : NaCl : C+蛭石+水的比例各為 26.5 : 8.5 : 5，但我卻要減少暖暖包的原質量的 50 克，改以 40 克的暖暖包進攻醫療市場，除了可以降低成本，並使最高溫度不至於太高，以免消費者灼傷。

本實驗的 Zn+Fe 的質量為 21.2 克、NaCl 為 6.8 克、而 C+蛭石+水為 4 克

組別 項目	實驗組 A 15.7g 的 Zn+ 5.5g 的 Fe	實驗組 B 16.7g 的 Zn+ 4.5g 的 Fe	實驗組 C 17.7g 的 Zn+ 3.5g 的 Fe	實驗組 D 18.7g 的 Zn+ 2.5g 的 Fe
最高溫度 (°C)	62.4	63.7	65.8	67.5
50°C 以上之維持時間	60	45	45	30
備註	1. 以上之實驗皆在 24.7°C (±1.0) 中實驗 2. 此時間單位為分鐘 3. 實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4. 此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			



(二)、暖暖包包裝袋的透氧性對實驗的影響

組別 項目	實驗組 A 置於空氣中		實驗組 B 置於O ₂ 中	
	暖暖袋	普通的袋子	暖暖袋	普通的袋子
最高溫度 (°C)	50.2	62.8	56.4	67.1
40°C 以上 之維持時間	225	150	180	90
備註	1.以上之實驗皆在 26.2°C (±1.0) 中實驗 2.此時間單位為分鐘 3.實驗過程中的反應都是我一直重複搓揉而紀錄成 4.此實驗是重複作 3 次所得出之平均值			

由實驗結果得知，暖暖袋有杜絕部分空氣中的O₂與Fe作用，所以才可使暖暖包的使用壽命增加，如果是使用普通的袋子的話，Fe可能早就已經氧化完了。

柒、討論

- 一、 實驗一的討論：為何要用市售的暖暖包來求出成份物質的比例呢？因為在考慮成本的條件下，若要使消費者更滿意，必須要使最高溫度和持久時間都很高，所以一定會做幾百次、甚至是幾千次來求出接近完美的比例，所以我調查出市售的暖暖包中的比例，結果我找出來 Fe : NaCl : C+蛭石比例約為 26.5 : 8.5 : 5。
- 二、 實驗二的討論：成分內容上寫道：內含 Fe、NaCl、蛭石+C。但是為什麼要有這些東西呢？那每個成份又有什麼用呢？不要它可不可以？這是我剛做這個實驗時所想到的問題，在了解後，對於暖暖包的應用是很有助益的，原來 NaCl 是可以加速 Fe 生鏽的成份、蛭石可以使水分不容易散失，碳粉是催化劑。
- 三、 實驗三的討論：我曾經這樣跟我自己問說：「為什麼還要做這個實驗呢？了解市售的比例就好了嗎？」但是我發現其實說達到完美，倒不如說是接近完美，因為當我增加 NaCl 在暖暖包的比重的話，雖最高溫度提高，但無法同時也使持久時間增加，反而還會降低，增加 Fe 的則反之。所以這個實驗是無法有個結果的。
- 四、實驗四的討論：我的每個實驗都是環環相扣且密不可分的，既然知道了比例，則用相同的比例，把 NaCl、主反應中的 Fe 都成爲了實驗的對象，因為我覺得：

「爲什麼要 Fe 呢？用其他活性大的金屬不行嗎？」原來除了效果之外，成本也是一個很重要的因素，且像 Zn 那一種，溫度的起伏實在太大，且 BTU 也太大了，在有限制的質量之下，Zn 的 BTU > Fe 的 BTU，不適合用於現狀的暖暖包，但是我覺得他溫度特高的特性倒是可以在其他的用途上大放異彩。

五、實驗五的討論：

- (一)、在上體育課的時候，每次上到排球，我不禁會抱怨連連，因爲每次下課時我的手腕部分都會發疼，老師每次都說：「同學，手腕會痛是正常的，回家熱敷一下就好了」。但是我實在太痛了，所以我每次都會帶暖暖包來熱敷，可是溫度不夠，還是很痛，所以我就想做出溫度很高但持久時間不需要很長的暖暖包。我之前有做 26.5g 的 Fe+20g 的 NaCl，但是效果不彰，所以我就想到了 Zn，只有它可以助我達到此理想，對人也才有貢獻。
- (二)、想做此實驗的動機是因爲覺得暖暖袋的有無爲什麼對 Fe 的最高溫度和持久時間有如此大的影響，我們知道在暖暖袋內的 Fe，明明就還有尚未反應的 Fe，但卻沒有足夠的可以 O₂ 反應，所以我先假設 O₂ 因爲暖暖袋史的 O₂ 變成了限量試劑，增加了持久時間，結果實驗證明我的推論是正確的，在空氣中，普通的袋子內的 Fe 的氧化顯然比暖暖袋內的 Fe 快，在純氧中也是如此。

六、總討論：目前醫生們認爲最好的方法來治療肩膀酸痛的是熱療，原理是讓緊繃的肌肉或神經有效放鬆，藉由熱力促進血液循環，幫助新陳代謝，讓囤積在肌肉的廢棄物能夠順利排出體外（劃線部份來自參考資料），所以暖暖包未來可能是文明病的剋星也說不定。

捌、結論

我還記的我剛上高中時的歷史課，有幾句課文這樣寫道：「在舊石器時代，北京人已知用火，能烹煮食物。」我也曾經看過一本雜誌寫道：「在二次世界大戰時，美國人有所謂的野戰加熱包，原理和暖暖包一樣都是因金屬氧化而放熱。」當使我覺得我可以做出野戰加熱包。但是我又想到，現在又沒戰爭，誰會想帶暖暖包，而且現在大家去露營烤肉時帶火種和木炭即可。這種例子也曾經發生在愛迪生的身上，他覺得每次的國家會議投票過於緩慢，影響到國家的發展，所以愛迪生就發明了投票機，以爲可以解決，但是它不知道，投票機對國家來說根本沒有用途，所以愛迪生就說了一句話：「我要發明對人類有用的東西。」所以我不將目標放在熟食，我將目標放於醫療，因爲我所做的暖暖包可不希望只有保暖的功能，我所做的實驗主要是想讓暖暖包能在其他方面對人類有所貢獻。

玖、參考資料及其他

- 一、葉平安、呂叢佑 物質科學化學篇(上冊)應考手冊 台北市，泰宇出版社 理想氣體(P2-16~P2-18)。

- 二、 余岳川著 生活與化學 台北市中正區 第五章 生活與熱化學 冷敷？熱敷？隨手敷？(81-84)
- 三、 陳進成博士著 如何保健脊椎預防疾病 台北縣板橋縣雙十路二段 231 號 保健篇 part3 「熱療」可以減緩慢性疼痛 (62-63)

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 化學科

040206

熱化學之極致—暖暖包

國立馬公高級中學

評語：

主題明確，唯探討變因不足，缺乏突破性。