

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第三名

080217

「異」想「添」開

~影響化學黏土及磁性黏土之因素探究與應用

學校名稱：高雄市苓雅區四維國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳沛文	廖啟助
小五 陳暉文	李俊霖
小五 柯昀彤	
小五 洪穎珊	
小五 盧彥丞	
小五 賴又睿	

關鍵詞：自製儀器、聚乙烯醇、交聯作用

摘要

我們嘗試利用生活中常得看到的**食品**或**添加物**來與**膠水**混合進行**交聯作用**，加入**磁鐵粉**後製成**化學磁性黏土**，並且不斷改良**自製檢測儀器**物性測量，綜合實驗結果得到以下結論：

- 1、我們將儀器利用馬達**自動化**，並**自製儀器**能有效的測量物性。
- 2、我們發現以**玉米澱粉複合交聯的化學黏土**，在低濃度硼砂下，具**極高度延展性**，並能**降低黏性**，其電阻低，方便用於**導電的線路**上。
- 3、我們發現以**甲基纖維素複合交聯的化學黏土**，在**極低**硼砂濃度下，具有**展性**及**黏性**，可做成**除塵黏土**；而在一般濃度下，可製成**具高彈性及高延性**的化學黏土，使用性更廣。
- 4、我們以自製**磁鐵粉**，加入化學黏土中，結果不影響其的交聯性，能製作物品應用於生活當中。

壹、研究動機

我們從公視電視台**流言追追追**的節目中，看到磁性流體被磁鐵吸引後，竟然可以像花一樣盛開，畫面美不勝收。另外，曾在三年級自然課程—奇妙的磁鐵單元內有介紹過磁鐵可以吸引鐵粉，形成一圈一圈尖凸形狀的鐵粉圈。再加上之前學校的科學活動中，老師曾教我們利用膠水與飽和硼砂水製作化學黏土，這個活動簡單又有趣，引起很大的迴響。我們心想：如果將磁性流體放到化學黏土中，經磁鐵吸引後，不知會發生什麼好玩的事情？這個想法引起我們的好奇心，因此我們決定製作一系列具有磁性的化學黏土，並應用於生活當中，於是開始進行以下實驗…



圖 1 摘錄公視中的節目片段



圖 2 網路影片磁性黏土被鉤磁鐵吸引的情形

貳、研究目的

- 一、探討(1-3代)自製測展性、彈性及磁性的儀器及自動攪拌器的更新與改良，並測試其可行性。
- 二、探討市售磁性黏土的性質。
- 三、探討不同物質與硼砂交聯作用形成化學黏土的效果。
- 四、探討添加硼砂於膠水及白膠中，在不同比例下，形成化學黏土的效果。
- 五、探討添加不同化學物質，對於膠水加硼砂形成化學黏土的效果。
- 六、探討磁流體與磁鐵粉的製作，並找出最佳比例。
- 七、探討不同濃度膠水、硼砂及磁鐵粉製作磁性黏土的最佳比例。
- 八、探討甲基纖維素、乙基纖維素及玉米澱粉等交聯物質混合膠水與硼砂，對其性質影響。
- 九、探討添加白膠、甲基纖維素及玉米澱粉與膠水進行交聯，並加入硼砂，製成磁性黏土，對其性質影響。
- 十、探討自製化學磁性黏土，應用於日常生活當中，讓我們的生活更加便利。

參、研究設備及器材

一、藥品

聚乙烯醇	膠水	硼砂	白膠
保利龍膠	聚丙烯酸	玉米澱粉	太白粉
木薯粉	醋酸	碳酸氫鈉	四氧化三鐵
氨水	乙酸乙酯	硫酸亞鐵	氯化鐵
油酸	吉利丁	澱粉	幾丁質
聚丙烯酸	山梨醇	晶球粉	寒天
蛋白質	低筋麵粉	高筋麵粉	環氧補土
甲基纖維素	乙基纖維素	羧甲基纖維素鈉	市售黏土

二、器材

木板	夾子	細線	衣架
紙板	電池	電線	齒輪
馬達	牛奶桶	L形攪拌棒	開關

電子天平	加熱攪拌器	磁石	錐形瓶
容量瓶	燒杯	滴管	玻棒
稱量紙	藥匙	大玻璃罐	數位相機
方格墊板	長尺	顯微鏡	銬磁鐵
護貝膜	製圖紙	開關	砂紙
紅外線測溫槍	三用電表	製圖紙	瓦楞紙

三、相關知識

(一)聚乙炔醇

聚乙炔醇是一種用途廣泛的水溶性高分子聚合物，其性能介於塑料和橡膠之間。聚乙炔醇的性質主要由它的聚合度和醇解度來決定，隨著聚合度的提高，聚乙炔醇溶液的黏度、黏著性、成膜性、剛性隨著增大，但水溶性、漿膜的柔軟性變差，溶液的流動性、浸潤性能也隨著降低。

聚乙炔醇是一種白色粉末狀、片狀或絮狀固體，其用途非常廣泛，可用作漿料、塗料、黏著劑（例如透明膠水）、穩定劑…等。無毒，對皮膚無刺激作用，不會引起皮膚過敏。實驗過程中我們使用聚乙炔醇來製成化學黏土的重要成分。

(二)硼砂

硼砂是我們製作化學黏土的另一個重要成分。硼砂的學名為硼酸鈉或四硼酸鈉，通常為含有無色晶體的白色粉末，易溶於水，有防腐作用。硼砂的用廣泛途，可用作清潔劑、化妝品、殺蟲劑……等，硼砂在世界各國多禁用做為食用食品添加物。

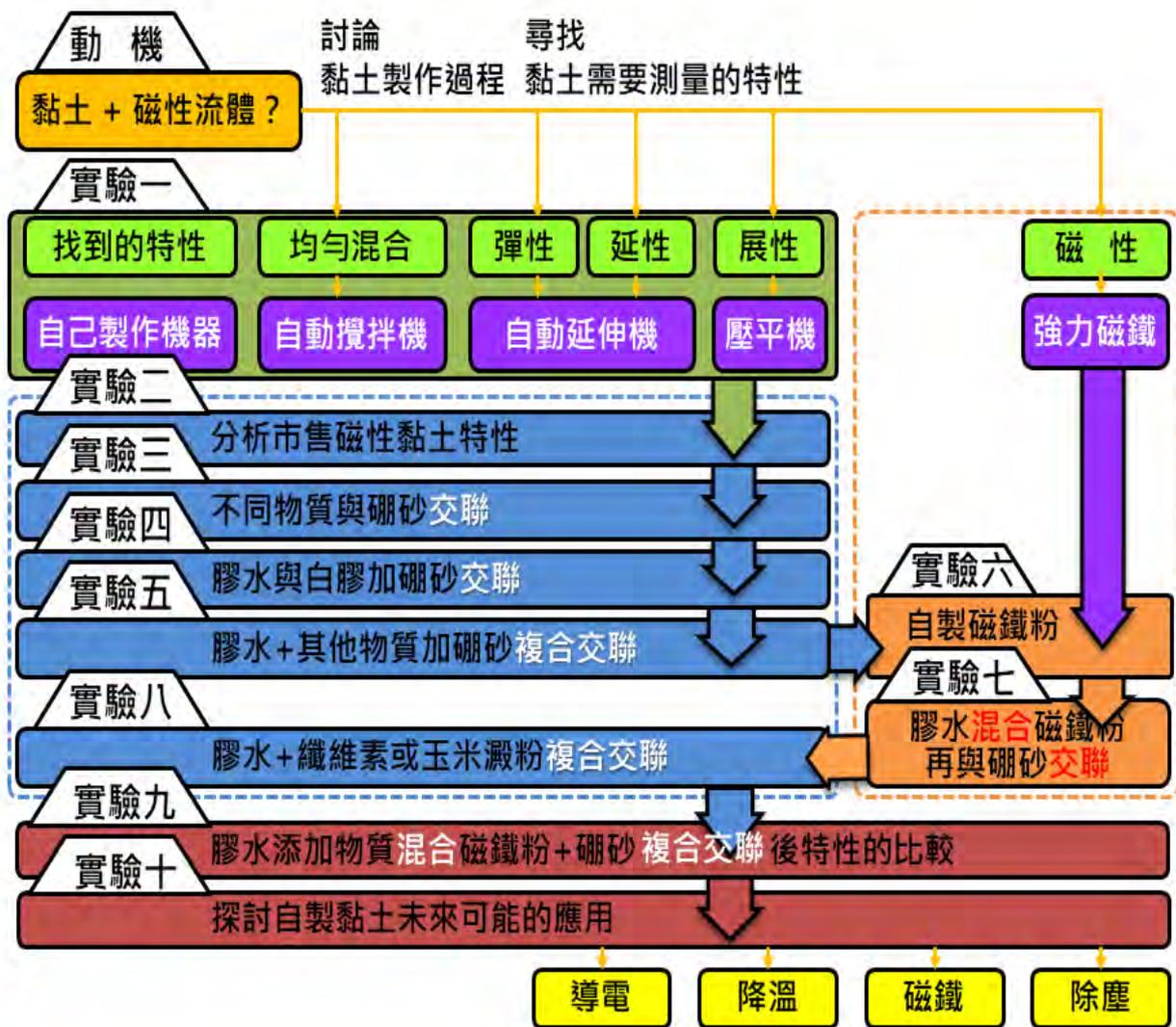
(三)聚乙炔醇與硼砂的交聯作用：

- 1、 「交聯作用」是指具有一定聚合度的高分子聚合物。在交聯劑的作用下形成新的鍵結，使得可溶性的高分子相互連接形成具有一定交聯密度的網狀結構。
- 2、 膠水是由直鏈結構的聚乙炔醇（PVA）組成，硼砂溶於水之後後會產生硼酸根離子。硼酸根離子會與 PVA 中的氫氧基進行交聯作用，形成具有彈性的黏土狀聚合物。
- 3、 白膠含有聚醋酸乙炔酯（PVAc）。當硼砂加入白膠之後，由於硼砂會解離出 $B(OH)_4^-$ 離子與PVAc分子形成交聯，使分子之間的吸引力更強，無法自由運動，因此有固化的現象。

(三)黏稠劑（糊料）

1. 甲基纖維素 (Methyl Cellulose)，本品可使用於各類食品；用量為 20 g/kg 以下。
2. 乙基纖維素 (Ethyl Cellulose)，本品可於膠囊狀、錠狀食品中視實際需要適量使用。
3. 羧甲基纖維素鈉 (Sodium Carboxymethyl Cellulose)，本品可使用於各類食品；用量為 20 g/kg 以下。

肆、研究過程及方法



伍、研究過程

實驗一 自製測展性、彈性及磁性的儀器及自動攪拌儀器，並測試其可行性

一、展性測定法：

(一)、第一代展性測定儀：

- 1.將 10 克磁性黏土，搓揉成一個圓球。
- 2.將搓好的磁性黏土放置在兩片壓克力板中間，壓克力板底下放置方格紙。
- 3.利用重物壓10 秒，觀察半徑展開程度。
- 4.重覆以上步驟，進行反覆實驗。



圖 3 第一代展性測定儀測量過程

(二)、實驗結果討論：

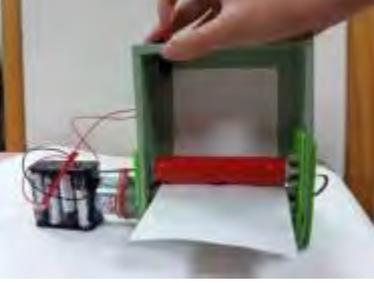
- 1.利用重物壓平，我們發現要先固定重物，避免搖動產生差異。
- 2.壓平的效果較不均勻，且可能因為壓的位置造成展性的差異。

實驗改進：為有效控制展性，我們改成利用滾輪的測法進行偵測。

(三)、展性檢測裝置：參考市售的壓麵機，研發自動壓平機。

表 1 第二代展性測定儀設計過程

1.繪製設計圖	2.自製齒輪與滾筒：	3.使用工具
		

4. 安裝滾輪、齒輪	5. 安裝馬達、開關、電池座	6. 儀器製作完成圖
		
7. 準備護貝膜、製圖紙	8. 測試	9. 測試結果
		

(四)、實驗結果討論：

1. 我們至烘焙賣場研究市售的壓麵機，發現原理很簡單，只需滾輪與齒輪結合，靠著一方齒輪的轉動，帶動另一個齒輪連動，往前推進，透過滾輪上下壓平，就可以完成壓平的工作。
2. 在模型店購買環氧補土跟砂紙製作齒輪及滾筒。
3. 將製作好1克的化學黏土，放在製圖紙上，配合護貝膜，就可知道化學黏土展性是多少。
4. 護貝膜不易壓壞，可重複利用。
5. 我們重覆進行滾壓三次，再求其面積大小。

二、延性測定法

(一)、第一代延性測定儀：

1. 利用夾子中間放入 10 克磁性黏土，搓揉成長度約 4 cm 的長條狀，並塞入夾子內。
2. 用鐵夾夾住一端以向一邊拉動，直到斷掉為止，盡量懸空拉長，避免黏桌誤差。
3. 重覆以上步驟，進行反覆實驗。



圖4 第一代延性測定法

(二)、實驗結果討論：

- 1.剛開始測試化學黏土的延性時，我們利用手拿夾子，一邊拿夾子固定，另一邊移動伸長，因為手拿不穩定，再加上每個人固定位置不同，所以測量出來的數據也不同，因此想動手研發自動延伸機。因為每一個人的拉力大小與時間均不同，且拉的位置也不容易固定，容易造成誤差。
- 2.結果發現，每一次的測量值均易呈現不同的數據，且差異較大。

實驗改進：將拉力的部分，改以馬達自動的拉力，並利用導電性進行偵測。

(三)、第二代及第三代延性測定儀：

表2 第二代及第三代延性測定儀設計過程

型號	第二代 手動延伸機	第三代 自動延伸機
材料	木材、衣夾子、棉線、竹筷、衣架都是家中常見的材料，考量環保，將廢物加以利用。	珍珠板、馬達、齒輪、電池、化學黏土導電性。
圖示		
特色	固定盤、省力轉軸，避免因拉力大小不均及拉的位置不固定而造成測量數據不同。	有效控制拉力，所以我們製備了控速馬達跟齒輪，並接電池，固定拉條，將夾子改為固定盤，並利用化學黏土的導電性完成完整的電路，當化學黏土斷裂後，供電自動停止。

<p>測 試</p>	 <p>使用 10 克化學黏土搓成 4 公分高，放在固定盤上用衣夾子固定，另一端使用衣夾子夾住，開始轉動轉軸，測量化學黏土斷掉時，轉軸衣架升高的高度，測量 5 次，去高低取平均值，就可得知其延性。</p>	 <p>使用 10 克化學黏土搓成 4 公分高，放在固定盤上用鐵環固定，另一端也使用鐵環固定，利用化學黏土導電性，自動拉升，當化學黏土斷掉時，供電自動停止，測量 5 次，去高低取平均值，就可得知其延性。</p>
<p>分 析</p>	<p>缺點：</p> <p>由於一開始的儀器在拉的過程及下方夾子會有晃動的情形，所以我們固定線的位置及夾子的大小的固定，但轉速還是會因人而異，測量的數據仍有差異。</p>	<p>優點：</p> <p>轉速固定，減少許多人為因素干擾。</p>

(四)、實驗結果討論：

我們為了增加磁性化學黏土的彈力，經多次研究後，我們運用了硼砂、膠水等材料。但在實驗初期，發現此材料的組合，當彈性越佳時，越容易脆裂，為了克服此材料的缺陷及有效偵測其物性的準確性，我們決定製作「延性和展性」檢測工具，準確的測量加入各材料製作出的化學黏土其「延性和展性」，找出製作化學黏土的最佳配方。



圖5 測試其導電性及效果

我們參考歷屆全國科展有關史萊姆實驗的作品，分析各屆檢測裝置優缺點，每人提出想法，共同討論優缺點，學習歷屆作品優點，並將缺點加以改良，並請教任教國中的生活科技教師，花了一個月設計與製作出我們的「延性和展性檢測工具」。

三、彈性測定法

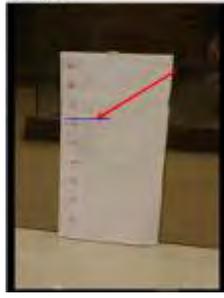
(一)、第一代及第二代彈性測定儀：

- 1.取10公克磁性黏土搓成圓球狀，於40公分處，也就是直尺頂端放下。
- 2.利用錄影偵測，以球的最低點作為彈力依據。
- 3.測試磁性黏土第一次彈跳高度。
- 4.重覆以上步驟，進行反覆實驗。
- 5.第二代彈性改由儀器的最上端，將10公克磁性黏土放下，測試彈跳高度，並錄影觀察。

(二)、實驗討論：

- 1.將上方加上紙板作為高度固定的位置，利用∩形固定形狀與高度。
- 2.將背色改為綠色，增加方便觀察，並與自動延伸機結合為一台儀器，利用錄影觀測彈力。

表3 第一代及第二代彈性測定儀設計原理

第一代彈性測定儀	第二代彈性測定儀
	
<p>缺點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.由於落下的位置用手拿，較不易固定。 2.背景為白色較不易觀察。 	<p>優點：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.方便固定化學黏土落下的高度。 2.背色改為綠色方便觀察。

四、自動攪拌機

(一)、實驗裝置設計：為了克服每一位同學攪拌力道及大小不均，有可能讓交聯作用產生差異，因此我們製作一組自動攪拌機，並測試其穩定度。

表4 第一代至第三代自動攪拌機設計原理

型號	第一代自動攪拌機	第二代自動攪拌機	第三代自動攪拌機
材料	使用家中常見、隨手可得，堅固並兼具環保的物品當作材料，利用家庭號牛奶罐當外殼(外殼較硬)，以400轉的馬達加電池座為動力，加上開關控制。		外觀支架仍使用家庭號牛奶罐當外殼，採奶泡機的攪拌方式，以3V的馬達為動力，體積更為輕巧。
	攪拌棒為衣架，黏在馬達的軸心。	攪拌棒改為L型玻璃棒。	攪拌棒改為傳動軸加迴轉鏈。

圖示			
特點	<p>利用牛奶瓶製作馬達支架，並於後方黏上電池供電，中心利用衣架來製作攪拌器</p>		
缺點	<p>1.整體裝置不穩定，使得衣架攪拌器易變形，且外膜易脫落，中心的鐵會生鏽。 2.受限於牛奶瓶的底部範圍，燒杯很容易卡住，不好取出。</p>	<p>1.去除下方牛奶瓶，底部挖空，便可適用於任何樣式的燒杯，並加上塑膠管固定器穩定底部。 2.為了能有效攪拌，我們選用轉速較適合的馬達進行攪拌，並接上開關方便操作。但攪拌棒會變形，最後我們換上改用 L 型玻璃棒。 3.機器攪拌時會產生晃動，需要用手來協助穩定裝置。</p>	<p>1.攪拌棒改為傳動軸加迴轉鏈，攪拌時可因迴轉鏈使得聚合物快速產生交聯作用且攪拌結果相當均勻。 2.為了減少機器因攪拌時所產生的晃動，我們在機器的下方安裝了小吸盤，穩定機器。</p>
<p>(二)、實驗討論：</p> <p>1.將相同的材料、時間，利用人力與自製攪拌機進行攪拌後，放在顯微鏡下觀察，很明顯地看到人力攪拌的結果有許多大顆粒且分布不均勻。</p> <p>2.利用自製攪拌機攪拌結果顆粒分布均勻，顆粒較小，可達到均質化的效果，尤其是第三代攪拌機，攪拌速度快，機型較為輕巧，攪拌結果相當均勻。</p>			

實驗二 探討市售磁性黏土的性質

一、市售黏土特性

- 1.以儀器最高處標準測驗落下時彈性，以第一次反彈高度為準。
- 2.使用 10 克化學黏土搓成 4 公分高，利用化學黏土導電性，自動拉升，至化學黏土斷掉，測量 5 次，去高低取平均值，就可得知其延性。

3.各取 10 克，使用儀器測其展性，重覆進行滾壓三次，再求其面積大小。



圖 6 由左而右為輕黏土、果凍黏土、樹脂黏土

表 5-1 市售化學黏土其彈性、延性及展性

品項	外觀描述	彈性(cm)	延性(cm)	展性(cm ²)
輕黏土	不透明水彩色，手感光滑不黏手	20	63	102
果凍黏土	呈半透明霧狀，觸感粗糙但黏手	15	28	35
樹脂黏土	深色不透明，並濕滑且黏手	8	46	21

二、測驗市面上化學黏土的彈性

由於本研究所製作產品有些具有相當的彈性，今先行測試市面上的化學黏土於 100 cm 時落下彈起的高度，以及彈跳的次數。

表 5-2 市售化學黏土的彈性與彈跳次數

品項	外觀描述	彈性
一般彈力球	摸來較硬且光滑	48
PU 彈力球	外觀看來霧狀，摸起來較為粗糙	41
塑膠彈力球	不透明水彩色，手感光滑不黏手	33

三、市售磁性黏土外觀跟物理性質

(一)、市售磁性黏土外觀跟物理性質

名稱	市售磁性黏土外觀	顯微鏡下外觀	延性測試	展性測試	磁力測試
圖片					
特性	不易變形，不黏且很有彈性。	主要有銀白色跟黑色兩種分散顏色，觀察表面並沒有很圓滑。	可以拉到83cm，中間會變很細，拉長時不容易斷。	有一些厚度，不會整個壓得很扁。	強力磁鐵可以吸很長且不容易斷裂。

(二)、磁性黏土的其他性質測定

重量(g)	體積(mL)	彈性	表面特性	加 5%酸性溶液
10g	7.0 mL	23 cm	不黏手，但因為有磁性，所以分開後容易相連	不起變化
磁性 (移動5公分)	延性	展性	在水中的情形	加 5%鹼性溶液
11 秒	83 cm	8.25 cm ²	不起變化，從水中拿出後，不影響外面接觸感覺	不起變化

(三)、藥品配製說明：

1. 5%鹼性溶液的配製：

- (1)取50克的碳酸氫鈉粉末，將之溶解於500 mL水中，經攪拌完全溶解。
- (2)將此溶液倒入1000 mL量瓶中，加水至1000 mL刻度，則此溶液為5%鹼性溶液。

2. 5%酸性溶液的配製：

- (1)利用量筒取50 mL的5%醋酸溶液，加入已裝有500 mL水的1000 mL的量瓶中。
- (2)加水至1000 mL的刻度處，即成為5 %酸性溶液。

三、實驗結果討論：

- 1.本次對照組實驗，可以瞭解到市面上的黏土多半注重其延展性和可塑性，彈性就算有彈起次數也極少。而化學黏土則幾乎沒有延展性，鮮少市售用品有二者兼具的功能。
- 2.市售磁性黏土對於酸、鹼或水均無反應，從溶液中取出後擦乾，仍可保持原來彈性與延展性。
- 3.市售磁性黏土有相當好的彈性、延性及展性較差，其中磁性吸引速度較慢，但可以吸很長。
- 4.市售磁性黏土摸起來的感覺比較像黏土，有一些黏黏的感覺，但不黏手。

實驗三 探討不同物質與硼砂形成化學黏土的效果

我們發現，一般市面上常見製作化學黏土的方法都是用膠水(聚乙烯醇)、白膠(聚酯酸乙烯酯)，跟硼砂交聯而成，都是利用聚醇類(多醇類)來進行交聯。因此，我們想說利用其他物質，像是尿布吸水成份(聚丙烯酸 PAA，酸類)、或是澱粉類(多醇類，如玉米粉、太白粉、木薯粉…等)來進行交聯實驗。

一、實驗步驟：

- 1.取以下單一物質各 20 克，加入至 5 mL 水中，溶解並攪拌混合均勻。
- 2.慢慢滴入飽和硼砂水，一邊滴入快速攪拌均勻，直至加至 4 mL。
- 3.分別加入 1 克的澱粉及玉米澱粉至膠水及白膠中，進行混合，再加入至 5 mL 水中後，並最後加入飽和硼砂水 4 mL。
- 4.測量上述物質的延性、展性及彈性。

二、觀察外觀與特性--延性、展性、彈性：

表 6 不同物質分別加入硼砂水後的延性、展性及彈性情形

物質	外觀及特性	延性(cm)	展性(cm ²)	彈性(cm)
聚丙烯酸(PAA)	呈現乳白色，易碎	10.5	70	13.5
保利龍膠	呈現乳白色，易碎	9.5	21.3	47.4
膠水	呈現乳白色	9.8	18.3	42.6
白膠	顏色透明	14.5	23.5	42.6
太白粉	顏色透明，會呈現黏稠狀	不易成形	不易成形	不易成形

玉米粉	呈色乳白色，表面光滑	不易成形	不易成形	不易成形
木薯粉	呈色乳白色，表面摸起來很光澤	不易成形	不易成形	不易成形
澱粉+膠水	呈色亮白色，表面光滑	37.5	83	13.2
澱粉+白膠	呈色乳白色，表面較硬	19.8	72.3	25.3
玉米粉+膠水	呈色乳白色，表面光滑	43.7	121	11.5
玉米粉+白膠	呈色乳白色，表面較硬	21.5	67.2	27.9

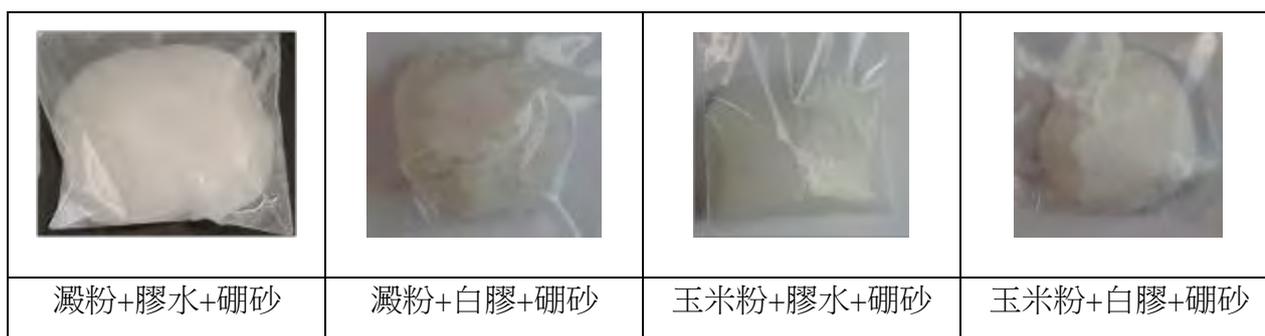


圖7 澱粉及玉米澱粉分別與膠水及白膠混合交聯作用的情形

三、實驗結果討論：

- 1.上面所有的物質，除了太白粉、玉米粉、木薯粉外，其他都可能成形，但保利龍膠、白膠、聚丙烯酸感覺比較硬，較沒有延展性，但彈性不錯。
- 2.太白粉很黏且不容易塑造形狀，本身也不易溶解於水，所做的化學黏土的彈性也最差。
- 3.本實驗中我們發現膠水所做的化學黏土的彈性很好，延展性也較好。
- 4.聚丙烯酸為吸水高分子，能吸附本身重的水量，但做為本實驗的彈力、延展性，其效果不佳。
- 5.白膠、保利龍膠的成分為醋酸乙烯，不易溶於水，市售白膠裡面有加一些有機溶劑，而做出的白色化學黏土性質較硬，有一種很像去光水的味道。
- 6.玉米粉、澱粉分別與膠水及白膠混合，發現可以改變其物理性質，代表其內部產生新的交聯作用，進一步影響其性質。因此，我們試想，能否利用添加的方式來增加其交聯性，並探討其交聯後的性質改變情形。

實驗四 探討利用膠水、白膠與硼砂在不同比例下，形成化學黏土的效果

硼砂和膠水、白膠的這些東西成為我們這次製作化學黏土的重要材料，實驗的過程中，我們全程使用塑膠手套跟口罩來完成每項實驗。

首先我們先測試聚乙烯醇加水後，其溶解度佳，經攪拌後幾乎可以溶解，而硼砂可以溶解至飽和(必要時可以加些熱水或加熱)，但白膠(聚醋酸乙烯酯)對水的溶解性不佳，常常沉於水底下，並產生奇怪的味道，有點像是去光水的味道。因此，我們探討聚乙烯醇加水稀釋，白膠只能加少部分的水，再跟硼砂來進行交聯實驗。



圖 8 膠水與硼砂交聯情形

一、探討不同比例的膠水、白膠、硼砂交聯情形：

(一)、探討不同的硼砂量+膠水對化學黏土的影響

- 1.加入不同重量的硼砂於100 mL的水中，攪拌溶解後備用。
- 2.稱取20克的膠水後，取出硼砂水，並逐滴將溶液滴入後快速攪拌，直至4 mL。
- 3.將完成的的化學黏土裝入袋內，避免水分散失太快。

(二)、實驗觀察如下：

表 7-1 探討不同比例的硼砂量+膠水實驗與特徵觀察

編號	1	2	3	4	5	6
硼砂(g)	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0
外觀						
特徵	可以暫時的成形，但很快就呈現平面狀，有彈性，不太黏於塑膠袋上。	可以暫時的成形，但易呈現平面狀，有彈性，容易聚合在一起。	可以暫時的成形，但易呈現平面狀，有彈性，可拉長，容易聚合在一起。	有部分彈跳的性質，可以拉長，一下子就會形成平面狀。	硬度高、有彈性，可以拉長，經過很久時間會呈現平面狀。	硬度高、有彈性，不易拉開，且不易分散。

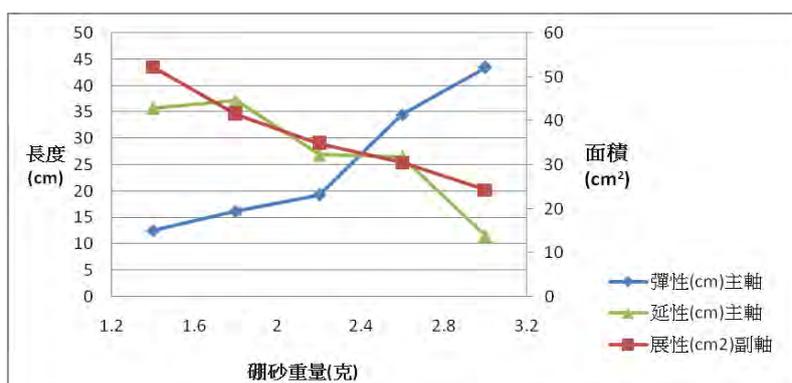


圖9 不同比例的硼砂量+膠水實驗情形

(三)、實驗結果討論：

1. 硼砂比例越低的擴展速率最快，延展速率與硼砂水濃度成反比。
2. 我們觀察到所有化學黏土的表面都形成一層像塑膠的薄膜，或許是與空氣接觸所形成的，這層膜會限制化學黏土的延展性，放置太多天會乾掉，猜想這可能跟膠水的水分散失有關。
3. 在進行實驗發現：硼砂水濃度越高，分子的交聯反應比較好，彈性佳，可以做成化學黏土；反之，交聯反應較差，黏性與延展性好。
4. 硼砂比例越低，化學黏土拉伸不容易斷，而硼砂比例越高，則是會太硬而拉斷，硼砂水濃度愈高，成品愈硬，一摔即碎，不適合做化學黏土。
5. 加入色素，對於延展性及彈性並不影響。



二、探討不同的硼砂量+白膠對化學黏土的影響

(一)、配製不同比例的溶液

1. 加入不同重量的硼砂於100 mL的水中，攪拌溶解後備用。
2. 稱取15克的白膠後，加入5 mL的水混合，再加入硼砂水，並逐漸滴入後用自狀攪拌機快速攪拌，加至4 mL。
3. 將完成的的化學黏土裝入袋內，避免水分散失太快。

(二)、實驗觀察如下：

表 7-2 探討不同比例的硼砂量+白膠實驗與特徵觀察

編號	1	2	3	4	5	6
硼砂(g)	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.0
外觀						
特徵	不太能成形，有點像漿糊，一般無彈性，幾乎整個黏在塑膠袋上，部分可流動。	可以暫時的成形，極易呈現平面狀，彈性不大。	可以暫時的成形，但易呈現平面狀，有彈性，可拉長，可以聚合在一起。	有部分彈跳的性質，可以拉長，摸起來軟軟的，一下子就會形成平面狀。	硬度不高，摸起來軟軟的、有些彈性，不好拉開，而且會些許分散。	硬度不高，摸起來軟軟的、有些彈性，不易拉開，且不易分散及斷裂。

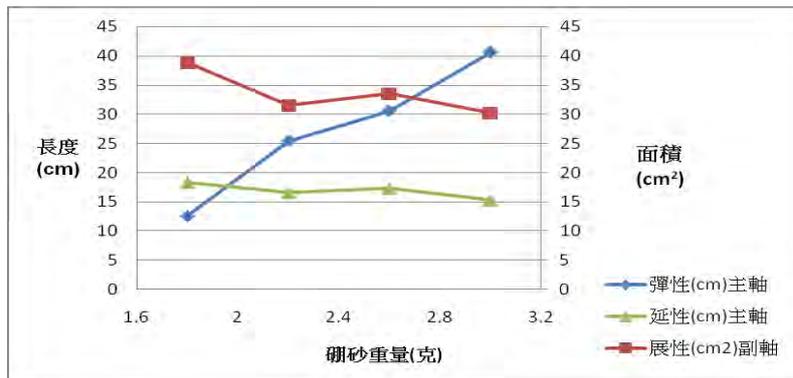


圖12 不同比例的硼砂量+白膠實驗情形

(三)、實驗結果討論：

- 1.跟膠水一樣，硼砂比例越低的擴展速率最快，但仍比膠水差一些，延展速率與硼砂水濃度成反比。
- 2.加入白膠後，所有化學黏土的表面也會因為放置太多天會乾掉，而經過一些時間，表面也會產生一層硬硬的部分。
- 3.延性跟展性一樣，硼砂比例越低，化學黏土拉伸容易，而硼砂比例越高，則是會太硬而拉斷。

三、探討在空氣中放置數小時後，放置時間長短會影響化學黏土的性質：

(一)、實驗方法

1.取硼砂水濃度5%的成品10克，放在塑膠盤上，在開放系統的塑膠盤中靜置，每小時偵測一次。

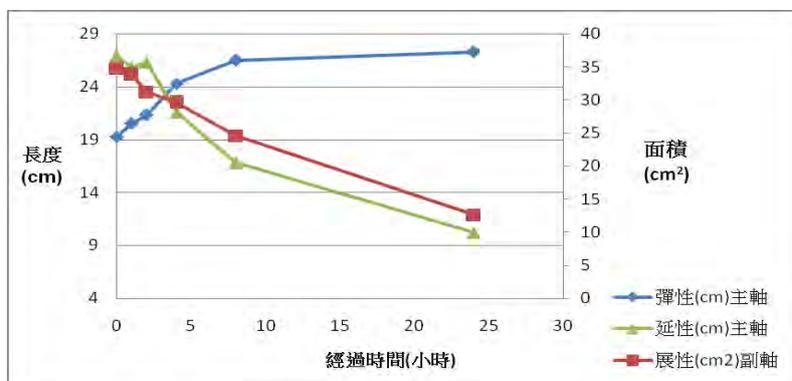


圖13 放置時間長短與彈力測試

(二)、實驗討論：

1. 剛做好的成品放置空氣中隨時間越長，展性和延性都降低，但彈性變好。
2. 放置在空氣中一段時間後，化學黏土表層變硬，而加酸或加溫可讓這個現象消失，降溫後仍會再形成。

實驗五 探討添加不同化學物質，對於膠水加硼砂形成化學黏土的效果

一、與膠水有相同特性的醇類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
膠水		容易成形，彈性好，可以拉長，但有一些黏手，放置桌上容易變形。
山梨醇		稍微成形，但如膠水一般無法成形，十分黏手，甚至無法從溶液中撈起
澱粉		加水有些許的溶解性，加膠水後可以混合，加入少量硼砂後可聚合，彈性尚可，延展性佳可拉很長，外觀變成米白色，性質較膠水+硼砂不易變形

玉米澱粉		加水會形成糊狀，有些許彈性，都可以混合在水中，但易變硬，加膠水後可以混合，加入少量硼砂後可聚合，彈性普通，延展性佳，可拉較長，外形較軟，外觀變成純白色，易拉成許多形狀。
甲基纖維素		加水溶解度較差，部分可溶解一些，加入膠水後可以混合在一塊，但內部有極多的小氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，在延性方面，拉一小段距離後斷裂，外觀呈現米白色。
寒天		加水溶解度普通，可完全溶解成膠狀，加入膠水後可以混合在一塊，但內部有許多的細小氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，但延性較差，拉一小段距離後斷裂，外觀呈現米黃色。

二、與白膠有相似特性的酸(或酯)類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
白膠		容易成形，彈性很好，不易拉長且不黏手，放置桌上不容易變形，但有一些臭臭的味道。
尿布		加水易膨脹，不溶於水，水會吸乾，加膠水後可以混合，加入硼砂後，不易聚合，需加入大量硼砂後可以聚合，外觀雪白，觸感像棉花糖，可以拉部分長度，具延展性，但無彈性。
晶球粉		加水溶解度佳，加入膠水後可以混合成膠狀，有少量氣泡，加入硼砂後，易出水，有極小部分成形，但比起其他聚合小很多，彈性很差，不易變形有些硬，外觀呈現米黃色。

三、與蛋白質有相似特性的醯胺類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
蛋白質		加水溶解度佳，可完全溶解，加入膠水後可以互溶，加入硼砂後，易形成小塊聚合，易碎不易聚在一塊，彈性可，不具延展性，易斷裂。
甲殼素		加水溶解度佳，加入膠水後可以混合成膠狀，並無氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形可塑形，拉一小段距離後斷裂，斷開後不易黏回，外觀呈現米黃色。

高筋麵粉		顏色雪白，容易成形，但彈性較差。
低筋麵粉		顏色雪白，容易成形，但彈性較差。
吉利丁		加水可溶解成膠狀，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，但延性較差，外觀顏色暗黃，有腥味，但彈性佳。

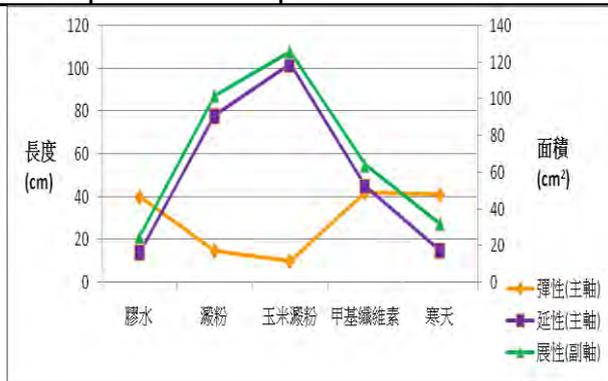


圖 14 各種添加物交聯後的性質 1

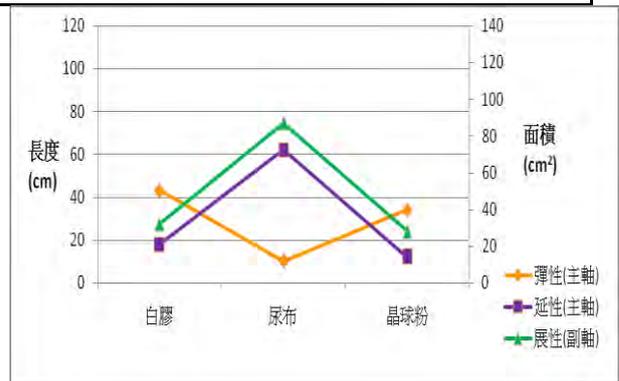


圖 15 各種添加物交聯後的性質 2

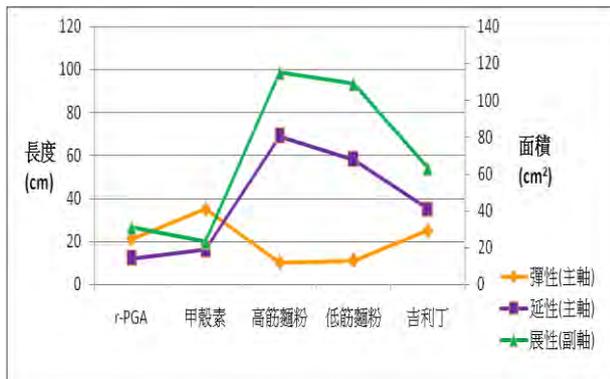


圖 16 各種添加物交聯後的性質 3



圖 17 各種添加物交聯後的外觀



圖 18 添加玉米澱粉後的延展性



圖 19 經過三個月後其交聯物的情形

四、實驗結果討論：

- 1.在膠水加山梨醇，山梨醇會與膠水競爭硼砂交聯，山梨醇的濃度越高，越不容易成形。
- 2.經過交聯後彈性變好的有纖維素、寒天、白膠、甲殼素、吉利丁，這類交聯物不像膠水一般產生易裂開的情形。
- 3.交聯作用後，延展性則是以澱粉、玉米澱粉及麵粉為較佳，都是以澱粉類的結構為主，交聯後不黏手，會降低黏性。
- 4.交聯作用後較，不易軟化變形的有寒天、纖維素、白膠及甲殼素。
- 5.本實驗的交聯物放置三個月後，發現寒天、澱粉、甲殼素…等都容易被分解而消失。

實驗六 探討磁性流體及磁鐵粉製作，並找出最佳比例

一、實驗步驟：

表 8 磁性流體及磁鐵粉的製作流程

	<ol style="list-style-type: none">1.分別秤取0.7克的硫酸亞鐵和氯化鐵後，加水溶解後，裝入 250 mL的容量瓶，並加水到刻度上。2.量取3.7 mL的氨水，並加水溶解後，裝入250 mL的容量瓶，並加水到刻度上。
	<p>↓</p> <ol style="list-style-type: none">3.取 25 mL 的硫酸亞鐵及 50 mL 的氯化鐵後，利用磁石攪拌，並逐滴加入氨水，直到溶液變色。
	<p>↓</p> <ol style="list-style-type: none">4.利用強力磁鐵在底部吸磁鐵，上面的溶液倒到回收桶，並用蒸餾水清洗2次。
	<p>↓</p> <ol style="list-style-type: none">5.加入油酸，均勻混合。6.加入乙酸乙酯，均勻混合。7.利用強力磁鐵測試。

二、實驗結果討論：

- 1.根據磁鐵的結構，反應所需要的硫酸亞鐵溶液與氯化鐵的含量最佳形成磁鐵的條件為 1：2。
- 2.滴氨水要讓整個溶液全部變成黑色，逐一增加其氯化亞鐵含量，比較容易成功，此時溶液會呈現整個顏色較為均勻的黑色。

- 3.要盡量將多餘的氨水溶液吸出，或洗乾淨，避免無法產生磁顆粒的尖凸形狀。
- 4.油酸不能加太多，但少量的油酸可讓磁鐵粒均勻分布。反應過程中會有水被析出，多搖幾次，才可以把水完全析出，為了得到磁鐵粒，則盡可能將上層多餘的水分用吸管吸走。
5. 加入約 10 毫升的乙酸乙酯，可以使被油酸混合的磁鐵粒分散在其中，利用強力磁鐵吸引，可以使鐵磁粒呈現尖凸的形狀。
- 6.在步驟三當產生磁鐵粒時，也可以用水洗淨並除去氨水後烘乾，即可得到磁鐵粉。

實驗七 利用不同濃度的膠水、硼砂及磁鐵粉製作磁性黏土的最佳比例

一、實驗步驟：

- 1.加入不同重量的硼砂於100 mL的水中，攪拌溶解後備用。
- 2.稱取20克不同膠水與水的比例，並稱取1克的磁鐵粉後，加入膠水中攪拌均勻，再加入硼砂水，逐滴滴入後快速攪拌，直至4 mL。
- 3.將完成的磁性黏土裝入袋內，避免水分散失太快。
- 4.加測磁性，利用強力磁放置在5cm處，觀察磁性黏土幾秒鐘可以吸上來。



圖20 製作磁性黏土

二、在不同的比例下，其外觀及其物理特性：

表9 不同比例下的膠水及水的比例，其外觀及特徵

編號	1	2	3	4	5	6
硼砂(g)	2.2	2.2	2.2	3.6	3.6	3.6
膠水/水 比例	10 : 10	15 : 5	20 : 0	10 : 10	15 : 5	20 : 0
外觀						
特徵	無彈跳性，可以拉長，有些許黏性，很快就會形成平面狀。	無彈跳性，可以拉長，可能短暫成形，少可塑形，很快就會形成平面狀。	彈跳性不佳，可以拉長，短暫成形，可塑形，一下子就會形成平面狀。	有部分彈跳的性質，可以拉長，一下子就會形成平面狀。	硬度高、有彈性，好拉開，緩慢形成平面狀。	硬度高、彈性佳，好拉開，不易分散跟裂掉。

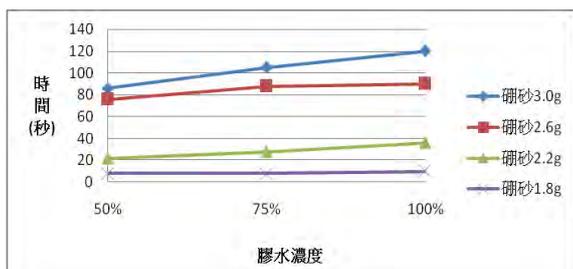


圖21 用強力磁鐵吸引5cm所需時間

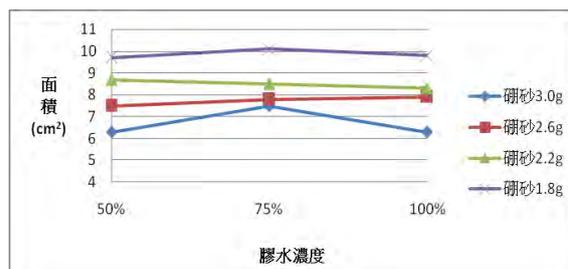


圖22 不同比例硼砂其展性情形

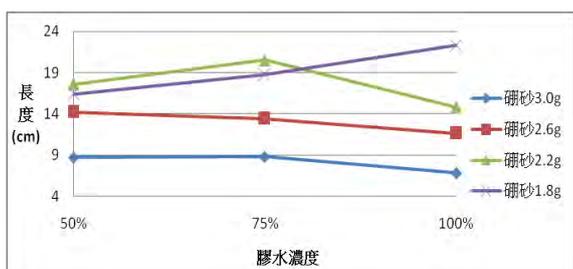


圖23 不同比例硼砂其延性情形

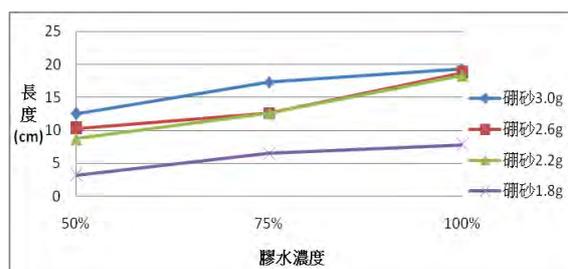


圖24 不同比例硼砂其彈性情形

三、實驗結果討論：

1. 硼砂濃度越高，越不容易變形，所需利用強力磁鐵吸引的時間也越長。隨著膠水及硼砂的濃度降低，其相對的黏性越強，但流動性越高，被強力磁鐵吸引的時間也越短。
2. 隨著硼砂的濃度越高，磁性黏土越硬，不容易變形，展性的大小就越小。
3. 延性所需要的硼砂濃度要適中，濃度太高太低都不好，濃度太高則是易斷，濃度太低則形狀不易定形。而在 1.8 克硼砂加入 100% 市售膠水的拉長效果最好。
4. 彈性仍隨著硼砂或膠水的濃度越高，其彈力越好，但濃度太高有易碎的問題。
5. 實驗結果發現，加入鐵粉後，對於物性的影響不大。因此，物性的主要的交聯作用仍為硼砂為主，鐵粉主要以混合為主。

實驗八 探討甲基纖維素、羧甲基纖維素及玉米澱粉等交聯物質混合膠水與硼砂，其性質影響

一、配製甲基纖維素、羧甲基纖維素及玉米澱粉混合膠水與硼砂，找出最佳比例：

(一)、實驗步驟：

1. 加入不同重量的硼砂於 100 mL 的水中，攪拌溶解後備用。
2. 稱取 20 克不同膠水，分別加入甲基纖維素、乙基纖維素、羧甲基纖維素及玉米澱粉 0.5 克、1.0 克、1.5 克，並攪拌均勻，再加入硼砂水，逐滴滴入後快速攪拌，直至 4 mL。
3. 將完成的化學黏土裝入袋內，避免水分散失太快。
4. 利用自製儀器偵測其物性。

(二)、在不同的比例下，其外觀及其物理特性：

1. 羧甲基纖維素

編號	圖示	重量 (g)	硼砂：水	彈性	延性	展性
1		0.5	2.0 : 2.0	23	11	21

2. 甲基纖維素

編號	1	2	3	4	5	6	7
圖示							
添加物重量(g)	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5
硼砂：水	0.8 : 3.2	2.0 : 2.0	3.6 : 0.4	0.8 : 3.2	2.0 : 2.0	0.8 : 3.2	0.4:3.6
彈性(cm)	35	40	45	32	41	42	38
延性(cm)	60	8	8	57	22	51	57
展性(cm ²)	80	13	12	78	25	63	78

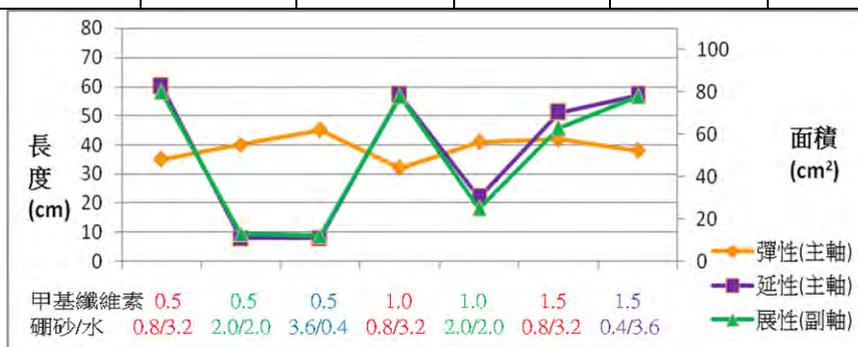


圖 25 添加甲基纖維素對化學黏土的性質影響

3. 乙基纖維素

編號	1	2	3	4	5	6
圖示						

添加物重量(g)	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5
硼砂：水	0.8：3.2	2.0：2.0	0.8：3.2	2.0：2.0	0.8：3.2	2.0：2.0
彈性(cm)	26	40	23	41	20	40
延性(cm)	39	12	39	12	40	12
展性(cm ²)	82	41	78	38	102	36

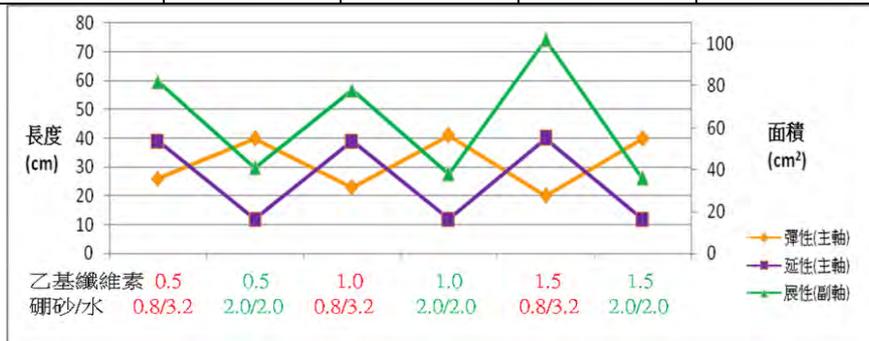


圖 26 添加乙基纖維素對化學黏土的性質影響

4. 玉米澱粉

編號	1	2	3	4	5	6
圖示						
添加物重量(g)	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5
硼砂：水	0.8：3.2	2.0：2.0	0.8：3.2	2.0：2.0	0.8：3.2	2.0：2.0
彈性(cm)	26	42	28	39	28	46
延性(cm)	72	12	75	12	13	12
展性(cm ²)	97	32	98	36	42	32

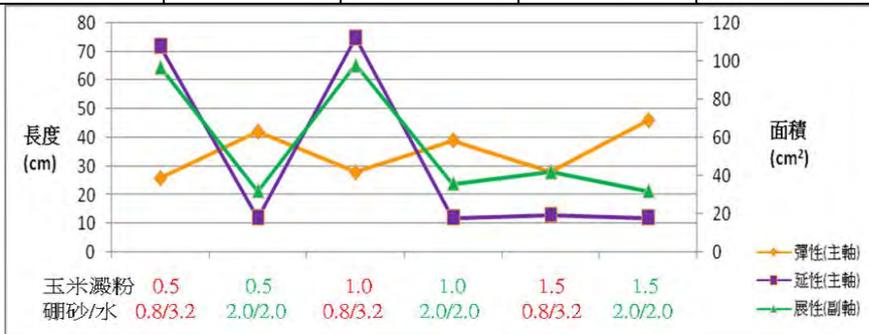


圖 27 添加玉米澱粉對化學黏土的性質影響

三、實驗結果討論：

- 1.加入羧甲基纖維素無延展性，彈性普通，與甲殼素相同容易變硬，且不易混合均勻，混合後體積縮小。因此不考慮使用羧甲基纖維素進行實驗。
- 2.添加甲基纖維素越多越不易變形，普遍都有較好的彈性。在低量的硼砂中也容易定形，也可保有較佳的黏性及延展性，可拉長且不易斷裂。
- 3.加入乙基纖維素，表面有細小顆粒，交聯作用效果不佳。性質則與膠水+硼砂的效果相近，彈性較膠水交聯作用較好。
- 4.添加玉米澱粉後，普遍較無黏性，在低濃度的硼砂當中，有極佳的延展性，且不容易斷裂。而玉米澱粉加入 1.5 克時，雖彈性較好，但缺乏延展性。

實驗九 探討添加甲基纖維素、玉米澱粉加入白膠、膠水及硼砂後，製成磁性黏土的性質

一、實驗步驟：

- 1.依照上述物理比例，我們製作不同形態的磁性黏土。
- 2.利用上述的最比例製作，並偵測其性質。

二、觀察外觀特徵，測量彈性、延性及展性：

添加物	圖示	添加比例	特徵	彈性 (cm)	延性 (cm)	展性 (cm ³)
膠水+ 白膠		硼砂：水 2.2:1.8 鐵粉 1 克 白膠 15 克 膠水 15 克	加入硼砂後能快速聚成球狀，表面容易乾，塑形快，不易變形，延展性、磁性較差。彈性比原來尚未加入磁鐵粉前來得差。	45	8	9.3
膠水+ 甲基纖維素		硼砂：水 0.4:3.6 鐵粉 1 克 甲纖粉 1.5 克 膠水 15 克	加入硼砂後能快速聚成球狀，塑形快，不易變形。延展性普通，磁鐵靠近磁性黏土時可以拉很長。彈性佳，彈得很高。	43	37	55
膠水+ 玉米澱粉		硼砂：水 0.8：3.2 鐵粉 1 克 玉米粉 0.5 克 膠水 15 克	加入硼砂交聯作用後變軟且易變形，可以拉成很多形狀，延展性極佳，磁鐵靠近磁性黏土時可以拉很長，但無彈性。	12	62	103

			
圖 28 添加白膠的磁性	圖 29 添加纖維素的磁性	圖 30 添加玉米澱粉後的延性	圖 31 添加玉米澱粉的磁性

三、實驗結果討論：

1. 利用膠水+白膠形成的磁性黏土，易乾燥形成易碎且拉斷後不易接回，需用水一直保持潮溼才能塑形，彈力可，但沒有像純膠水+硼砂好，可能是加入鐵粉後的關係，彈性更差。
2. 在磁性黏土中加入玉米澱粉後，能產生較佳的拉長效果，但會完全沒有彈性，尤其是加了鐵粉後，更沒有彈性。
3. 本實驗發現，加入纖維素後，能讓磁性黏土快速成形且不易變形外，仍可以塑形，尤其是仍保有磁性黏土的彈性，這與市售的磁性黏土有較相近的效果，且也能夠比白膠成品有很好的磁吸性。

實驗十 探討自製化學磁性黏土，應用於日常生活當中

一、測量導電性：

(一)、實驗步驟：

1. 利用實驗 8 的成品比例製作玉米澱粉、甲基纖維素、乙基纖維素 1-6 號。
2. 利用三用電錶，將兩極分開約一公分，偵測其電阻值。
3. 測量不同物質其電阻值的大小。

(二)、實驗結果：

		
圖 32 測試玉米澱粉電阻	圖 33 測試甲基纖維素電阻	圖 34 測試導電情形

1.利用實驗 8 的成品比例製作，並測其電阻值大小(kΩ)

種類 編號	玉米澱粉	甲基纖維素	乙基纖維素
1 號	420	967	530
2 號	554	854	891
3 號	450	858	480
4 號	366	786	810
5 號	382	818	560
6 號	342	830	845
平均	419	852	686

2.不同種類物質添加鐵粉後，其電阻值大小(kΩ)

	膠水	白膠	玉米澱粉	甲基纖維素	乙基纖維素
不加磁鐵粉	606	1152	419	852	686
加磁鐵粉	330	950	213	654	487

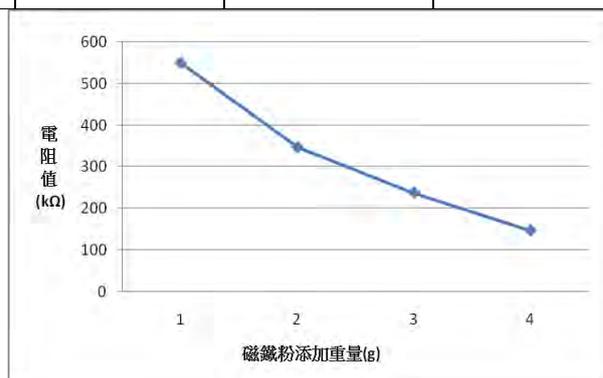
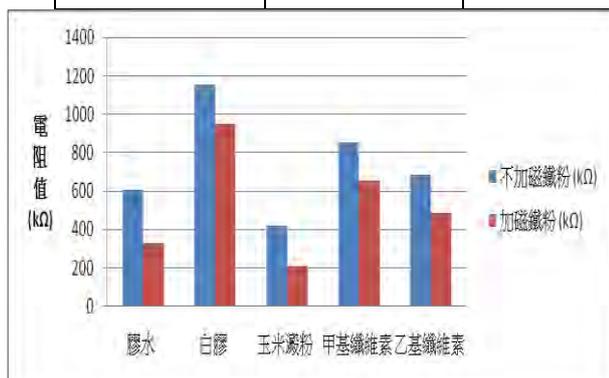


圖 35 不同物質在添加磁鐵粉前後的電阻值變化 圖 36 玉米澱粉複合交聯物在添加不同重量的磁鐵粉，其電阻值變化

二、降溫效果

(一)、實驗步驟：

- 1.將化學黏土放進冷凍庫不同的時間，並測量其降溫情形，並利用紅外線測溫槍，偵測其溫度變化。
- 2.將化學黏土從放入冷凍庫及拿出後，每經過 10 分鐘時，利用紅外線測溫槍，偵測其溫度變化，偵測其升溫情形。

(二)、實驗結果：



圖 37 在室溫時

圖 38 在冷凍庫 1 分鐘後的情形

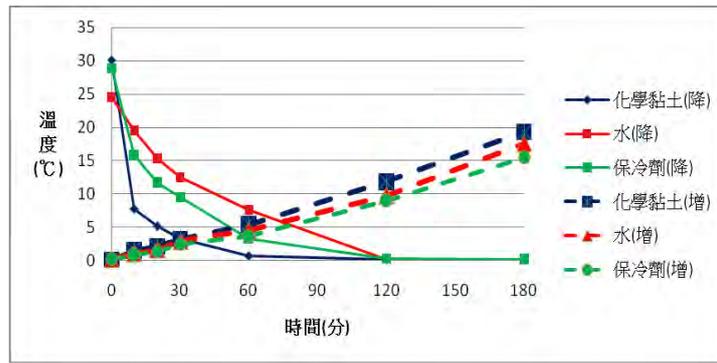


圖 39 化學黏土、水及保冷劑在冰箱與室溫下，其溫度隨時間變化的情形

三、自製磁鐵：

(一)、實驗步驟：

- 1.利用市售的模型器，將自製化學磁鐵塑形，並放置在室溫中，一天定形。
- 2.測定其磁鐵吸力的情形。

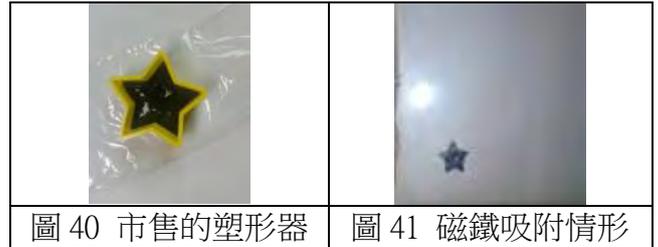


圖 40 市售的塑形器

圖 41 磁鐵吸附情形

四、除塵劑

(一)、實驗步驟

- 1.找到黏性較佳的化學黏土(利用甲基纖維素高含量+低硼砂)測試。
- 2.找到有灰塵的機器進行測試。



圖 42 甲基纖維素除塵效果

五、實驗討論：

- 1.在導電性方面，相同材質的化學黏土，其電阻值差異不大，加入磁鐵粉後，其電阻值會下降。
- 2.作為保冷劑的部分，化學黏土在冰箱冷凍庫有立即降溫效果，在室溫下，不易升溫。與市售保冷劑(聚丙烯醯胺)及水有相似的效果。因此可以作為冰敷袋或是保冷劑。
- 3.利用塑形器可自製磁鐵不同的造形圖案，添加較多磁鐵粉以增加磁性效果，或是作為收納功能，如整理迴紋針。
- 4.利用甲基纖維素在少量的硼砂下，有很好的黏性，也保有原來的延展性，可適用在許多地方清潔，不易斷裂跟殘留。

陸、結論

我們測試化學磁性黏土實驗，經過實驗得出下列結論：

- 一、為了有效控制攪拌，讓交聯效果均質化及其他性質更能系統化的測量，我們自製自動攪拌

機器，及自動延伸裝置，不斷的改良與測試，讓實驗能夠更精準的均質攪拌，並測量我們製作化學黏土及磁性黏土的延展性、彈性及磁性。

二、市售磁性黏土具有彈性與延展性，而一般的化學黏土只有延性或彈性兩者其一，故磁性黏土與化學黏土性質性有所不同。

三、單純與硼砂形成交聯物質中，以白膠跟膠水效果較好，其他的物質均無法有效進行交聯。

四、在製作化學黏土時，硼砂比例越低，化學黏土越易拉長，而硼砂比例越高，則是會太硬而拉斷。彈性則是硼砂水濃度愈高，成品愈硬，一摔即碎，不適合做化學黏土。

五、不同物質與膠水+硼砂的交聯作用，結果發現：彈性變好的有甲基纖維素、寒天、白膠、甲殼素、吉利丁。延展性則是以澱粉、玉米澱粉及麵粉為較佳。不易變形的有寒天、甲基纖維素、白膠還有甲殼素。

六、我們可以成功製作磁流體，並由鉤磁鐵測試，我們磁顆粒能有效產生尖凸形狀，是為磁流體，並可以作為本實驗的磁性鐵粉。

七、加入鐵粉後，對於物性的影響不大，物性的主要的交聯作用仍為膠水與硼砂為主，鐵粉主要為混合為主。

八、加入甲基纖維素不易變形，普遍都有較好的彈性。添加較低濃度的硼砂可以容易定形。另外，極低濃度的硼砂在含量較高的甲基纖維素，會有較佳的黏性及較佳的延展性，可以用於除塵效果。而添加玉米澱粉後較無黏性，有極佳的延性，不容易斷裂。但添加玉米澱粉量較多時，則彈性較好，但已缺乏延展性。

九、在製作磁性黏土，我們找到與市售磁性黏土有較相近的效果的成份為膠水+纖維素與硼砂混合，不但有好的彈性，也不易變形及產生好的磁吸性。我們另外也發現膠水+玉米澱粉所形成的磁性黏土，雖然沒有彈性，但其延展性則是極佳，可以作為另一種變形磁性黏土的應用。

十、最後，我們應用在延展性、彈性及磁性上，均可比擬市售磁性黏土的效果，另外，我們也測試了導電性、降溫效果、自製磁鐵及除塵方面，也都有良好的效果。

柒、參考資料

一、黃蕙君、邱姿蓉（2015）。趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成。臺灣化學教育。

2015年1月，取自<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118>。

二、陳燕華（2013）。神奇的奈米磁鐵礦。科學發展，482期，18-23。2013年2月。

三、楊水平（2011）。變態的膠水—聚乙烯醇與硼砂的交聯作用。國立彰化師範大學理學院化學系。中學化學示範實驗。2011年4月。

四、葉偉文〈譯〉（2004）。蘇老師化學黑白講。臺北市：天下遠見。

【評語】 080217

本作品在探討影響化學黏土及磁性黏土之因素探究與應用，磁性黏土的研究及應用一直是科展的熱門主題，雖然實驗內容無新的觀察或發現，但是本實驗自製磁性黏土，並以自製延展性測定儀、彈性測定儀，以及自動攪拌機作性質測試及分析，深具科展研發精神，值得嘉許。實驗內容主要研究不同物質與硼砂交聯作用形成化學黏土的效果，除了探討市售磁性黏土的性質，利用生活中的食品與添加物與膠水混合進行交聯作用，製成延展性或彈性較好的材料，具有科學性與實用性。建議在文獻探討部分應交代與本研究類似的報告，本研究與現有資料不同處為何？硼砂的多寡為何影響材料的彈性？

作品海報

壹、研究動機

我們從公視電視台流言追追追的節目中，看到磁性流體被磁鐵吸引後，竟然可以像花一樣盛開，畫面美不勝收。另外，曾在三年級自然課程—奇妙的磁鐵單元內有介紹過磁鐵可以吸引鐵粉，形成一圈一圈尖凸形狀的鐵粉圈。再加上之前學校的科學活動中，老師曾教我們利用膠水與飽和硼砂水製作化學黏土，這個活動簡單又有趣，引起很大的迴響。我們心想：如果將磁性流體放到化學黏土中，經磁鐵吸引後，不知會發生什麼好玩的事情？這個想法引起我們的好奇心，因此我們決定製作一系列具有磁性的化學黏土，並應用於生活當中，於是開始進行以下實驗…

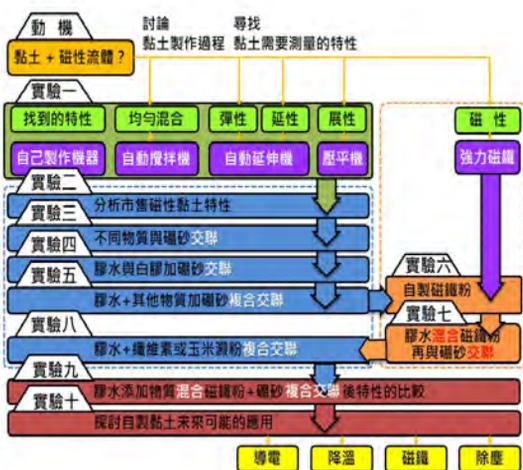
貳、研究目的

- 一、探討(1-3代)自製測展性、彈性及磁性的儀器及自動攪拌儀器的更新與改良，並測試其可行性。
- 二、探討市售磁性黏土的性質。
- 三、探討不同物質與硼砂交聯作用形成化學黏土的效果。
- 四、探討添加硼砂於膠水及白膠中，在不同比例下，形成化學黏土的效果。
- 五、探討添加不同化學物質，對於膠水加硼砂形成化學黏土的效果。
- 六、探討磁流體與磁鐵粉的製作，並找出最佳比例。
- 七、探討不同濃度膠水、硼砂及磁鐵粉製作磁性黏土的最佳比例。
- 八、探討甲基纖維素、乙基纖維素及玉米澱粉等交聯物質混合膠水與硼砂，對其性質影響。
- 九、探討添加白膠、甲基纖維素及玉米澱粉與膠水進行交聯，並加入硼砂，製成磁性黏土，對其性質影響。
- 十、探討自製化學磁性黏土，應用於日常生活當中，讓我們的生活更加便利。

參、研究藥品及器材

(一)、研究藥品 (二)、研究器材 (詳見說明書)

肆、研究流程

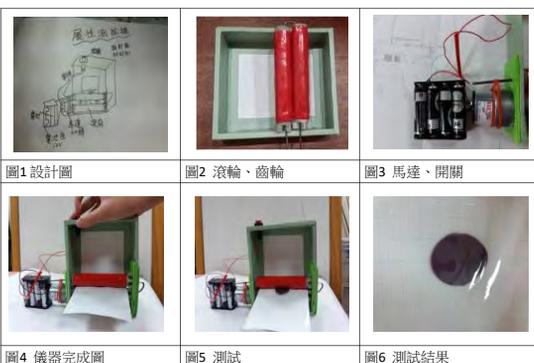


伍、研究結果與討論

實驗一 自製測延展性、彈性及磁性的儀器及自動攪拌儀器，並測試其可行性

(一)自製自動展性測定儀

設計原理：1.避免重物壓平的效果不均的改良。
2.測量的面積更準確的改良。



- 小結：
- 1.利用環氧補土(可變硬)跟砂紙製作齒輪及滾筒，製作外殼使齒輪及滾筒固定，並利用馬達固定轉速。
 - 2.測量10克的化學黏土，發現反覆進行滾壓三次後，其面積大小已呈現固定，並測量五次，去高低求平均值。
 - 3.滾壓後的化學黏土，置於製圖紙上，方便計算。

(二)自製自動延性測定儀

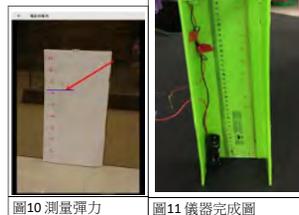
設計原理：1.用手拉動會因每人或每次拉力不均的改良。
2.立即自動偵測效果的改良。
3.高度固定改良及方便顏色觀察。



- 小結：
- 1.利用珍珠板作支架，並配合馬達、齒輪、電池，有效控制拉力。
 - 2.為固定拉條，將10克化學黏土搓成4公分高的長型容器，下方夾子改為固定盤，兩端並用鐵環固定，避免拉時過度晃動。
 - 3.為了提高實驗準確度，我們利用化學黏土的可導電性，當化學黏土拉斷裂後，則轉動停止，並測量五次，去高低取平均值。

(三)彈力測定裝置

- 小結：
- 1.利用瓦楞紙板製作高65cm標示板，固定彈力球落點及方便觀察。
 - 2.取10公克磁性黏土搓成圓球狀，固定從標示板最高點落下，以攝影機錄影，觀察回彈高度。
 - 3.測量五次，去高低取平均值。



(四)自製自動攪拌機裝置

設計原理：1.人力攪拌速度不均，造成試劑混合不均的改良。
2.攪拌棒的材質改良
3.機器的重量及攪拌產生晃動的改良



- 小結：
- 1.人力攪拌往往有時會混合不均，內部有大顆粒的情形出現。
 - 2.利用自製攪拌機，在固定攪拌速度下，可讓溶液混合均勻，分布較均勻，減少物理量上的誤差。
 - 3.改良機器重量、攪拌棒的材質及穩定快速攪拌下，則無大顆粒的情形出現。

實驗二 探討市售磁性黏土的性質

(一)市售化學黏土其延性及展性

品項	外觀描述	彈性 (cm)	延性 (cm)	展性 (cm ²)
輕黏土	不透明水彩色，手感光滑不黏手	20	63	102
果凍黏土	呈半透明霧狀，觸感粗糙但黏手	15	28	35
樹脂黏土	深色不透明，並濕滑且黏手	8	46	21

(二)市售黏土其彈性

品項	外觀描述	彈性(cm)
一般彈力球	摸來較硬且光滑	48
PU彈力球	外觀看來霧狀，摸起來較為粗糙	41
塑膠彈力球	不透明水彩色，手感光滑不黏手	33

(三)市售磁性黏土外觀、物理及化性

名稱	市售磁性黏土外觀	顯微鏡(x60倍)下的外觀	延性測試	展性測試	磁力測試
圖片					
特性	不易變形，像黏土，不黏很有彈性。	主要有銀白色跟黑色兩種分散顏色，表面並沒有很圓滑	可以拉到83cm中間會變很細拉不易斷。	有一些厚度，不會整個壓得很扁。	強力磁鐵可以吸很長且不易斷。
重量(g)	體積(cm ³)	彈性(cm)	表面特性		加5%酸性溶液
10	7.0	23	不黏手，但因為有磁性所以分開後容易相連		不起變化
磁性(秒)	延性(cm)	展性(cm ²)	在水中的情形		加5%酸性溶液
11	83	8.25	不起變化，水中拿出後不影響表面接觸感覺		不起變化

- 小結：
- 1.市售化學黏土具延性則無較佳的彈性，而具較佳彈性的化學黏土則幾乎沒有延性及可塑性。
 - 2.市售磁性黏土對於酸、鹼或水均無反應，不因溶液改變其性質。
 - 3.市售磁性黏土有相當好的彈性、延性，但展性較差，而磁性吸引的速度慢，但可以吸很長。
 - 4.市售磁性黏土摸起來的感覺比較像黏土，有一些黏黏的感覺，但不黏手。

實驗三 比較不同物質與硼砂交聯後的特性

物質	外觀及特性	延性(cm)	展性(cm ²)	彈性(cm)
聚丙烯酸(PAA)	呈現乳白色，易碎	10.5	70	13.5
保利龍膠	呈現乳白色，易碎	9.5	21.3	47.4
膠水	呈現乳白色	9.8	18.3	42.6
白膠	顏色透明	14.5	23.5	42.6
太白粉	顏色透明，會呈現黏稠狀	不易成形	不易成形	不易成形
玉米澱粉	呈色乳白色，表面光滑	不易成形	不易成形	不易成形
木薯粉	呈色乳白色，表面摸起來很光澤	不易成形	不易成形	不易成形
澱粉+膠水	呈色亮白色，表面光滑	37.5	83	13.2
澱粉+白膠	呈色乳白色，表面較硬	19.8	72.3	25.3
玉米澱粉+膠水	呈色乳白色，表面光滑	43.7	121	11.5
玉米澱粉+白膠	呈色乳白色，表面較硬	21.5	67.2	27.9

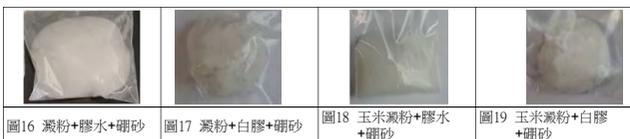


圖16 澱粉+膠水+硼砂 圖17 澱粉+白膠+硼砂 圖18 玉米澱粉+膠水+硼砂 圖19 玉米澱粉+白膠+硼砂

小結：
 1. 除了太白粉、玉米澱粉、木薯粉外，其他都能與硼砂交聯。
 2. 膠水、白膠、保利龍膠與硼砂交聯後的化學黏土性質較硬，較缺乏延展性。
 3. 玉米澱粉、澱粉分別與膠水及白膠複合交聯後，其性質與原先不同，代表其內部會產生新的交聯作用，進一步影響其性質。

實驗四 探討添加不同濃度的硼砂於膠水及白膠中，形成化學黏土的效果

(一) 硼砂+膠水

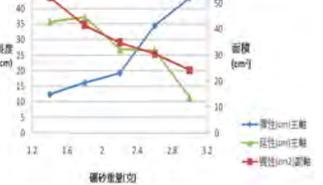


圖20 硼砂+膠水交聯後的特性

(二) 硼砂+白膠

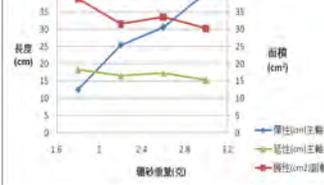


圖21 硼砂+白膠交聯後的特性

(三) 化學黏土放置在空氣中的時間對其性質的影響

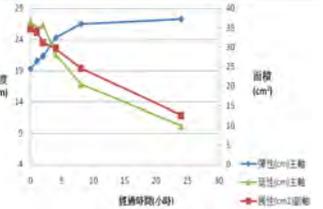


圖22 在空氣中放置時間對化學黏土性質的影響

小結：
 1. 硼砂比例越低的擴展速率最快，延展效果與硼砂水濃度成反比。
 2. 硼砂比例越高，彈力球易拉伸不易斷。硼砂比例越高，會太硬而拉斷，且易碎。
 3. 可加入色素方便觀察，且對於延展性及彈性等性質並不影響。
 4. 白膠膠水一樣，但延展性普遍比膠水差一些，且較不易拉伸，彈性與膠水差異不大，與硼砂的濃度有關。
 5. 剛做好的成品放置在空氣中隨時間越長，展性和延性都降低，但彈性變好。
 6. 放置在空氣中一段時間後，化學黏土表面變硬，而加酸或加溫可讓這個現象消失，降溫後仍會再形成。

實驗五 探討添加不同化學物質，對於膠水加硼砂形成化學黏土效果

(一) 與膠水有相同特性的醇類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
膠水		容易成形，彈性好，可以拉長，但有一些黏手，放置桌上容易變形。
山梨醇		稍微成形，但如膠水般無法成形，十分黏手，甚至無法從溶液中撈起
澱粉		加水有些許的溶解性，加膠水後可以混合，加入少量硼砂後可聚合，彈性尚可，延展性佳可拉很長，外觀變成純白色，性質較膠水+硼砂不易變形
玉米澱粉		加水會形成糊狀，有些許彈性，都可以混合在水中，但易變硬，加膠水後可以混合，加入少量硼砂後可聚合，彈性普通，延展性佳，可拉較長，外形較軟，外觀變成純白色，易拉成許多形狀。
甲基纖維素		加水溶解度較差，部分可溶解一些，加入膠水後可以混合在一塊，但內部有極多的小氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，在延性方面，拉一小段距離後斷裂，外觀呈現米白色。
寒天		加水溶解度普通，可完全溶解成膠狀，加入膠水後可以混合在一塊，但內部有許多的小氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，但延性較差，拉一小段距離後斷裂，外觀呈現米黃色。

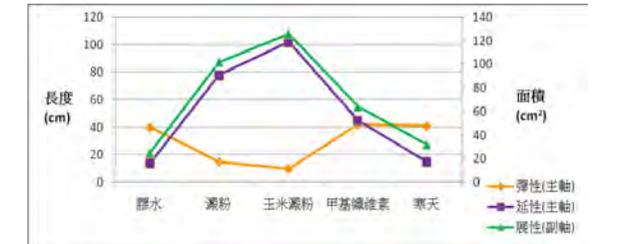
(二) 與白膠有相似特性的酸(或酯)類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
白膠		容易成形，彈性很好，不易拉長且不黏手，放置桌上不容易變形，但有一些臭臭的味道。
尿布		加水易膨脹，不溶於水，水會吸乾，加膠水後可以混合，加入硼砂後，不易聚合，需加入大量硼砂後可以聚合，外觀雪白，觸感像棉花糖，可以拉部分長度，具延展性，但無彈性。
晶球粉		加水溶解度佳，加入膠水後可以混合成膠狀，有少量氣泡，加入硼砂後，易出水，有極小部分成形，但比其他聚合小很多，彈性很差，不易變形有些硬，外觀呈現米黃色。

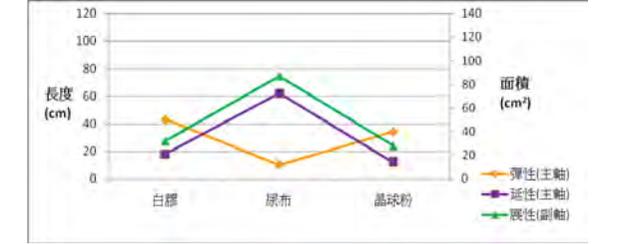
(三) 與蛋白質有相似特性的醃胺類其外觀與特性

添加物	圖示	特徵
r-PGA		加水溶解度佳，可完全溶解，加入膠水後可以互溶，加入硼砂後，易形成小塊聚合，易碎不易聚在一塊，彈性可，不具延展性，易斷。
甲殼素		加水溶解度佳，加入膠水後可以混合成膠狀，並無氣泡，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形可塑形，拉一小段距離後斷裂，斷開後不易黏回，外觀呈現米黃色。
高筋麵粉		顏色雪白，容易成形，但彈性較差。
低筋麵粉		顏色雪白，容易成形，但彈性較差。
吉利丁		加水可溶解成膠狀，加少量硼砂後可聚合，彈性極佳，不易變形，且可塑形，有展性，但延性較差，外觀顏色暗黃，有腥味，彈性佳。

(四) 與膠水有相同特性的醇類的物理性質



(五) 與白膠有相似特性的酸(或酯)類的物理性質



(六) 與蛋白質有相似特性的醃胺類的物理性質



圖23 各種添加物交聯後的外觀 圖24 添加玉米澱粉後的延展性



圖25 經過三個月後其交聯物的分解情形

小結：
 1. 在膠水加山梨醇，山梨醇會與膠水競爭硼砂交聯，山梨醇的濃度越高，越不容易成形。
 2. 經過交聯後彈性變好的有纖維素、寒天、白膠、甲殼素、吉利丁，這類交聯物不像膠水一般產生易裂開的情形。
 3. 交聯作用後，延展性則是以澱粉、玉米澱粉及麵粉為較佳，都是以澱粉類的結構為主，交聯後不黏手，會降低黏性。
 4. 交聯作用後較軟，不易軟化變形的有寒天、纖維素、白膠及甲殼素。
 5. 本實驗的交聯物放置三個月後，發現寒天、澱粉、甲殼素...等都容易被分解而消失。

實驗六 探討磁性流體及磁鐵粉製作，並找出最佳比例

配製硫酸亞鐵、氯化鐵及氨水

加入油酸及乙酸乙酯後，以強力磁鐵測試。

利用強力磁鐵在底部吸奈米磁鐵，並清洗。

圖26 自製磁鐵粉流程

小結：

1. 硫酸亞鐵溶液與氯化鐵的用量，最佳形成磁鐵粉的條件為1：2，氨水用量為上述溶液的12~13倍，進行混合可讓溶液變成黑色，磁鐵粉製作較容易成功。將其洗乾淨後烘乾，可得到磁鐵粉。
2. 加入少量的油酸可讓磁鐵粉均勻分布，再加入乙酸乙酯，可溶解並有效分散磁鐵粉。

實驗七 探討不同濃度的膠水、硼砂及磁鐵粉製作磁性黏土的最佳比例

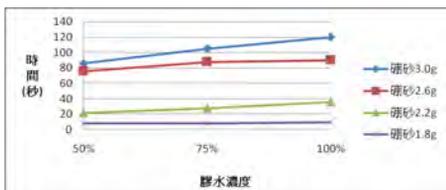


圖27 利用強力磁鐵吸引至5cm所需的時間

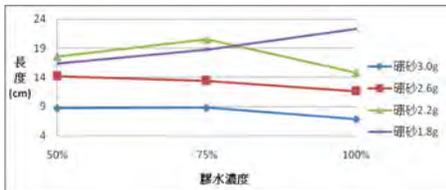


圖28 偵測磁性黏土延性

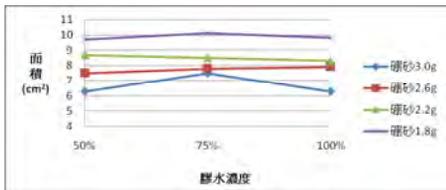


圖29 偵測磁性黏土的展性

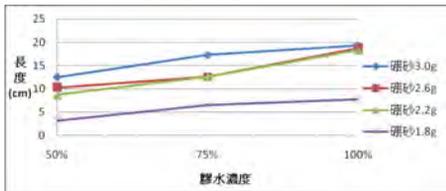


圖30 偵測磁性黏土的彈性

小結：

1. 隨著硼砂的濃度越高，磁性黏土彈性較佳，延展性變差，不容易變形，而以強力磁鐵吸引的時間也越長。而硼砂濃度越低，則剛好性質相反。
2. 硼砂的濃度太高，容易有易碎的現象產生。
3. 加入鐵粉後，對於物性的影響不大。因此，物性主要的交聯作用仍為硼砂為主，鐵粉主要以混合為主。

實驗八 探討甲基纖維素、乙基纖維素及玉米澱粉等交聯物質混合膠水與硼砂，對其性質影響

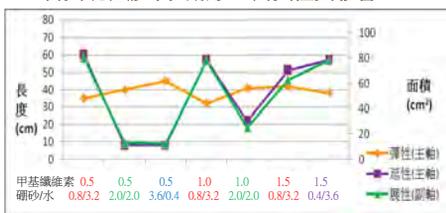


圖31 添加甲基纖維素對化學黏土的性質影響



圖32 添加乙基纖維素對化學黏土的性質影響

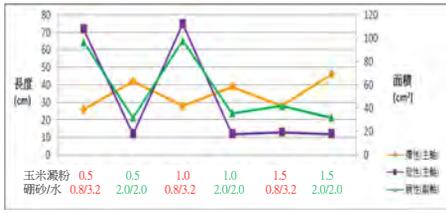


圖33 添加玉米澱粉對化學黏土的性質影響

小結：

1. 加入羧甲基纖維素無延展性，彈性普通，與甲殼素相同容易變硬，且不易混合均勻，混合後體積縮小。因此不考慮使用羧甲基纖維素進行實驗。
2. 添加甲基纖維素越多越不易變形，普遍都有較好的彈性。在低量的硼砂中也容易變形，也可保有較佳的黏性及延展性，可拉長且不易斷裂。
3. 加入乙基纖維素，表面有細小顆粒，交聯作用效果不佳。性質則與膠水+硼砂的效果相近，彈性較膠水交聯作用較好。
4. 添加玉米澱粉後，普遍較無黏性，在低濃度的硼砂當中，有極佳的延展性，且不容易斷裂。而玉米澱粉加入1.5克時，雖彈性較好，但缺乏延展性。

實驗九 探討添加白膠、甲基纖維素及玉米澱粉與膠水進行交聯，並加入硼砂，製成磁性黏土，對其性質影響

添加物	圖示	添加比例	特徵	彈性 (cm)	延性 (cm)	展性 (cm ²)
膠水+白膠		硼砂：水 2.2:1.8 鐵粉4克 白膠15克 膠水15克	加入硼砂後能快速聚成球狀，表面容易乾，變形快，不易變形，延展性、磁性較差，彈性比原來尚未加入磁鐵粉前差。	45	8	9.3
膠水+甲基纖維素		硼砂：水 0.4:3.6 鐵粉4克 甲基纖維素1.5克 膠水15克	加入硼砂後能快速聚成球狀，變形快，不易變形，延展性普通，磁鐵靠近磁性黏土時可以拉很長，彈性佳，彈得很高。	43	37	55
膠水+玉米澱粉		硼砂：水 0.8：3.2 鐵粉4克 玉米澱粉0.5克 膠水15克	加入硼砂交聯作用後變軟且易變形，可以拉成很多形狀，延展性極佳，磁鐵靠近磁性黏土時可以拉很長，但無彈性。	12	62	103



圖34 添加白膠的磁性



圖35 添加甲基纖維素的磁性



圖36 添加玉米澱粉的磁性



圖37 添加玉米澱粉的延性

小結：

1. 利用膠水+白膠形成的磁性黏土，易乾燥且易碎，拉斷後不易接回，需用水一直保持潮溼才能塑形。彈力尚可，但沒有像膠水+硼砂好，加入鐵粉後，彈性更差。
2. 在磁性黏土中加入玉米澱粉後，能產生較佳的拉長效果，但彈性較差，尤其是加了鐵粉後，更沒有彈性。
3. 本實驗發現，加入甲基纖維素後，能讓磁性黏土不易變形，同時可以塑形。除保有磁性黏土的彈性外，與市售的磁性黏土有較相近的效果，也比白膠有很好磁鐵吸引的特性。

實驗十 探討自製化學磁性黏土，應用於日常生活當中

一、導電性

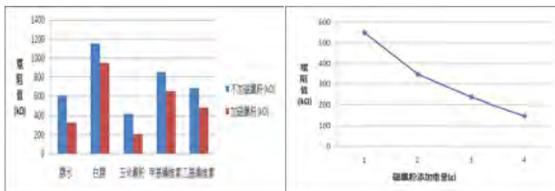


圖38 不同物質在添加磁鐵粉前後的電阻值變化

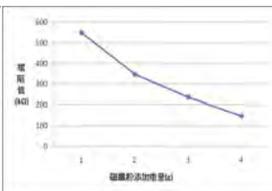


圖39 玉米澱粉複合交聯物在添加不同重量的磁鐵粉，其電阻值變化

二、降溫效果

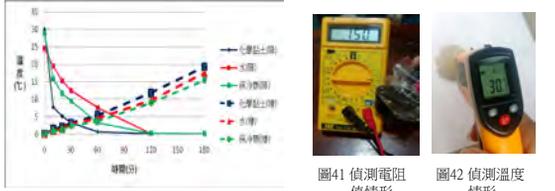


圖40 化學黏土、水及保冷劑在水箱與室溫下，其溫度隨時間變化的情形



圖41 偵測電阻值情形



圖42 偵測溫度情形

三、自製磁鐵

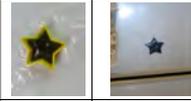


圖43 自製磁鐵

四、除塵劑



圖45 添加甲基纖維素化學黏土的除塵效果

小結：

1. 在導電性方面，相同材質的化學黏土，其電阻值差異不大，加入磁鐵粉後，其電阻值會下降。
2. 作為保冷劑的部分，化學黏土在水箱冷凍庫有立即降溫效果，在室溫下，不易升溫。與市售保冷劑(聚丙稀鹽酸)及水有相似的效果。因此可以作為冰敷袋或是保冷劑。
3. 利用塑形器可自製磁鐵不同的造型圖案，添加較多磁鐵粉以增加磁性效果，或是作為收納功能，如整理週針。
4. 利用甲基纖維素在少量的硼砂下，有很好的黏性，也保有原來的延展性，可應用在許多地方清潔，不易斷裂跟殘留。

陸、結論

我們嘗試利用生活中常看得到的食品或添加物來與膠水混合進行交聯作用，加入磁鐵粉後製成化學磁性黏土，並且不斷改良自製檢測儀器物性測量，綜合實驗結果得到以下結論：

1. 我們將儀器利用馬達自動化，並自製儀器能有效的測量物性。
2. 我們發現以玉米澱粉複合交聯的化學黏土，在低濃度硼砂下，具備高度延展性，並能降低黏性，其電阻低，方便用於導電的線路上。
3. 我們發現以甲基纖維素複合交聯的化學黏土，在極低硼砂濃度下，具有展性及黏性，可做成除塵黏土；而在一般濃度下，可製成具高彈性及高延性的化學黏土，使用性更廣。
4. 我們以自製磁鐵粉，加入化學黏土中，結果不影響其的交聯性，能製作物品應用於生活當中。

柒、參考資料

- 一、黃蕙君、邱姿蓉 (2015)。趣味化學玩具：神奇磁流體的玩法與合成。臺灣化學教育。2015年1月，取自 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118>。
- 二、陳燕華 (2013)。神奇的奈米磁鐵。科學發展，482期，18-23。2013年2月。
- 三、楊水平 (2011)。變態的膠水—聚乙稀醇與硼砂的交聯作用。國立彰化師範大學理學院化學系。中學化學示範實驗。2011年4月。
- 四、吳孟霖(2016)。【上撇步】DIY清潔「史萊姆」角落灰塵的剋星。2015年1月，取自：http://www.upmedia.mg/news_info.php?SerialNo=1816
- 五、葉偉文 (譯) (2004)。蘇老師化學黑白講。臺北市：天下遠見。