

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030116

屏東縣立新園國民中學

指導老師姓名

郭美好

陳志瑋

作者姓名

林千郁

陳依暄

余沛珊

林素燕

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會作品說明書

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：砂子比熱的測量

關鍵詞：比熱、溫度分佈圖、混合物的比熱

砂子比熱的測量

摘要

對比熱大小不同的物質加熱，比熱小的物質溫度上升較快。當比較水與砂子受熱後溫度上升的難易時，除了考慮比熱大小不同外，另外，不可忽略水與砂子兩種物質的主要熱傳播方式並不同——水主要靠「對流」，而砂子主要靠「傳導」及「輻射」，水的「對流」較砂子的「傳導」要快，因此，對水加熱時，整體的溫度比砂子均勻，比砂子先達到平衡。本研究主要從水、砂子加熱過程溫度分佈情況做起，進一步利用水的「對流」傳熱較快的特性，以水與砂混合求砂子的比熱，更進而利用水與砂子的不同比例混合物(加熱後溫度較均勻)與不同溫度的水混合，檢驗砂子的比熱，並與前述結果比較。最後，對定量的水與砂分別加熱七分後，停止加熱，從兩者各處的溫度變化，推測水與砂子的熱傳播的快慢。

貳、研究動機：

當我們的「自然與生活科技」課，上到「比熱」時，我們仿照國立編譯館所編國民中學理化課本，第一冊第五章的“實驗 5-3 測量不同物質受熱後溫度的變化”，對 200 公克的水和 200 公克的砂子分別加熱，比較兩者溫度上升的快慢情形。結果全班六組同學實驗的結果，有三組的結果是，砂子溫度上升速率比水的溫度上升速率快；另有二組砂子溫度上升速率比水的溫度上升速率慢。為探究為何六組同學所得結果會不同？於是我們請老師為我們指導，進行砂子比熱的測量實驗。

參、研究目的：

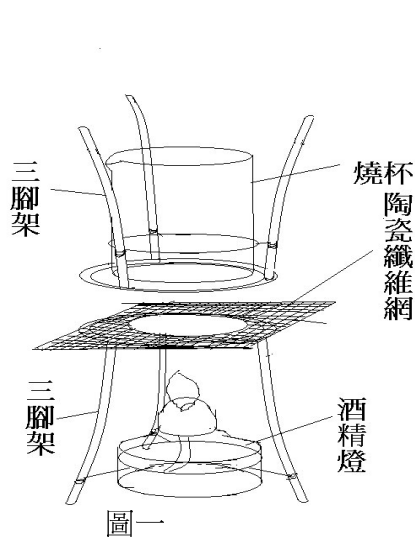
- 一、探索水、砂子，加熱過程中，溫度的分佈情況。
- 二、利用不同方法測量砂子的比熱，並加以比較。
- 三、探討造成，三組砂子溫度上升速率比水的溫度上升速率快，三組砂子溫度上升速率比水的溫度上升速率慢，矛盾現象的原因。

肆、研究設備及器材：

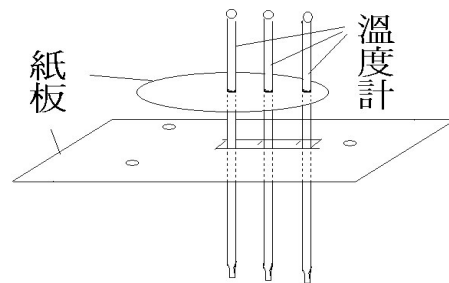
三樑天平一台、溫度計三支、250 毫升燒杯一個、酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網、鐵架、鋁杯三個、保溫保利綸盒三個、保利綸板、保利綸切割器、保利綸黏著劑、鋁罐(355 毫升)二個、砂子

伍、研究過程及方法：

- 一、以非穩定(non-steady state)方式對水加熱，測加熱過程中各處溫度變化情形(溫度分佈情形)：



圖一



圖二

- (一)、將三腳架、陶瓷纖維網組合成如圖一裝置。紙板依圖二剪裁、組合，用以固定溫度計。
 - (二)、圖一燒杯盛 200 公克水，將圖二溫度計放入水中，放至杯底，以酒精燈對水加熱，每隔一分鐘測水溫一次。
 - (三)、如步驟(二)改將溫度計，放置於距杯底 2.5 公分處，其餘如步驟(二)。
 - (四)、如步驟(二)改將溫度計，放置於距杯底 5 公分處，其餘如步驟(二)。
- 二、以非穩定(non-steady state)方式對砂加熱，測加熱過程中各處溫度變化情形(溫度分佈情形)：

步驟如前述步驟一，改以 200 公克砂取代步驟一的水，而測量的深度，分別是在杯底、距杯底 1 公分處、距杯底 2 公分處。
 - 三、以穩定(steady state)方式對水加熱，測不同加熱時間的水溫：

取 200 公克的水加熱每隔 2 分鐘，停止加熱，取下燒杯，攪拌後，將盛水的燒杯放入保利綸盒中，放入溫度計，測其水溫。測完後，再放回繼續加熱。
 - 四、以穩定(steady state)方式對砂加熱，測不同加熱時間的砂溫(並粗估砂子的比熱)：

取 200 公克的砂子加熱每隔 2 分鐘，停止加熱，取下燒杯，攪拌後，將盛砂子的燒杯放入保利綸盒中，放入溫度計，測其溫度。測完後，再放回繼續加熱。
 - 五、對水與砂子不同比例混合物，以穩定(steady state)方式加熱，測不同加熱時間的溫度(測混合物的比熱)：

分別取 200 公克的水/砂子不同比例(160 公克水/40 公克砂、140 公克水/60 公克砂、120 公克水/80 公克砂、100 公克水/100 公克砂)混合物加熱，每隔 2 分鐘，停止加熱，取下燒杯攪拌後，將盛混合物的燒杯放入保利綸盒中，放入溫度計，測其水溫。測完後，再放回繼續加熱。

六、以不同溫度 160 公克的水與 40 公克砂子混合，測量平衡溫度。

七、以不同溫度的水/砂混合物與水混合，測平衡後的溫度(反推砂子的比熱)：

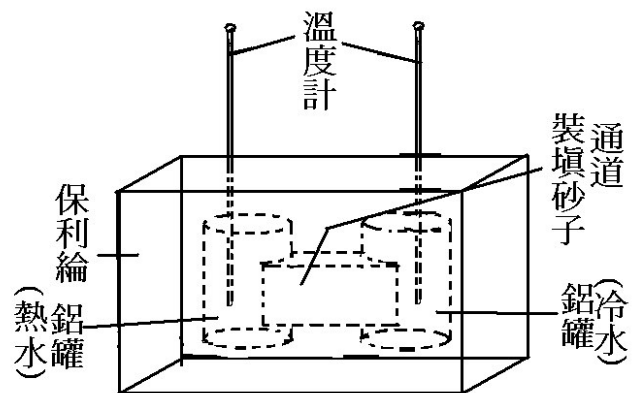
取不同比例的水/砂子(80 公克水/40 公克砂子、60 公克水/60 公克砂子)混合物與不同溫度的水混合，測量達成平衡後的溫度。

八、測量砂子傳熱速率：

如圖三所示，在中間通道中填入砂子，在兩鋁罐中分別加入冷水、熱水，每隔適當時間，記錄兩邊鋁杯中的水溫。

九、比較水及砂子的傳熱速率：

- (一).燒杯盛 200 公克的水，以酒精燈加熱七分鐘後，停止加熱，將燒杯放入圖四所示保利綸保溫盒，加蓋後，調整溫度計，使三支溫度計插至燒杯底部，每隔適當時間，記錄各處水溫。
- (二).同步驟(一)，但將三支溫度計調整到距燒杯底部 1 公分處，測量距底部 1 公分深各處，在停止加熱後溫度變化情形。
- (三).同步驟(一)，但將三支溫度計調整到距燒杯底部 1 公分處，測量距底部 2 公分深各處，溫度變化情形。
- (四).燒杯盛 200 公克的砂子，以酒精燈加熱七分鐘後，停止加熱，將燒杯放入圖四所示保利綸保溫盒，加蓋後，每隔適當時間，記錄各處砂子溫度。



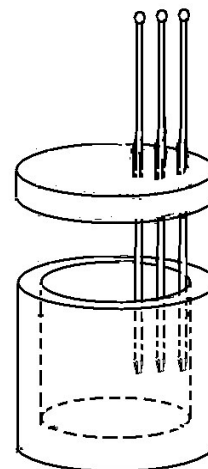
圖三

- (五).同步驟(四)，但將三支溫度計調整到距燒杯底部 1 公分處，測量距底部 1 公分深各處，溫度變化情形。
- (六).同步驟(四)，但將三支溫度計調整到距燒杯底部 1 公分處，測量距底部 2 公分深各處，溫度變化情形。

伍、結果與討論：

- 一、以非穩定(non-steady state)方式對水加熱，測加熱過程中各處溫度變化情形(溫度分佈情形)：

- (一).200 公克水熱過程中距杯底不同深度，離中心點 0 公分、1.5 公分、3 公分溫度變化比較如下：

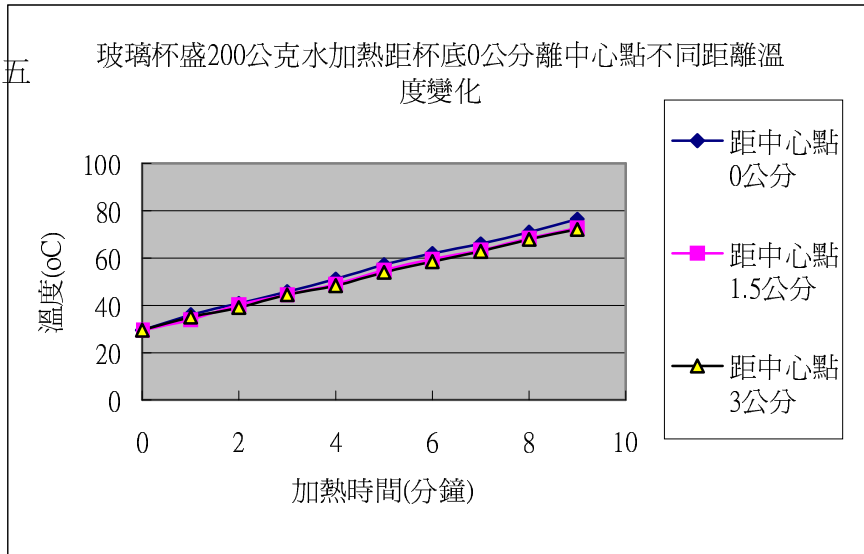


表一、200 公克的水的 non-steady state 加熱溫度變化

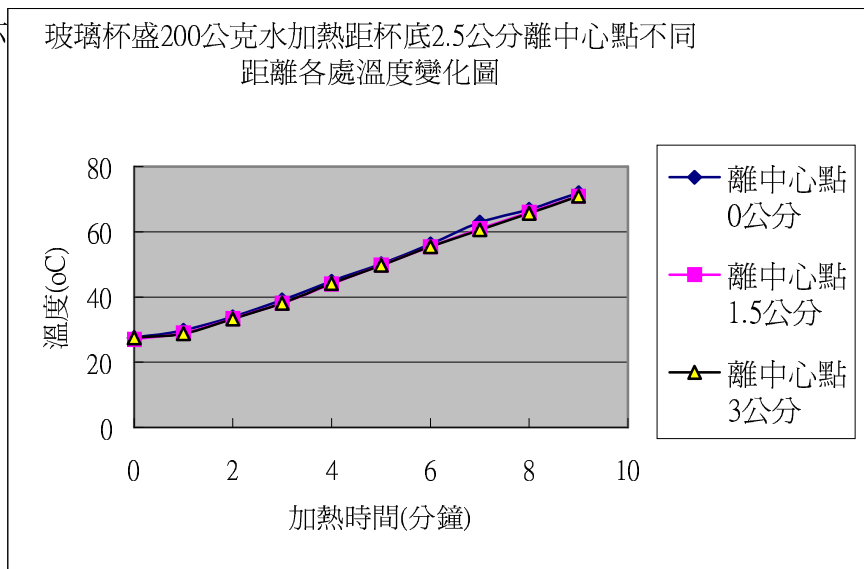
圖四

	時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
距杯底 0 公分	離中心點 0 公分處	29.5	36	40.8	45.8	51.2	57.2	62	66	71	76.5
	離中心點 1.5 公分處	29.5	34	40.2	44.5	49	54.8	59.5	63.4	68.5	72.8
	離中心點 3 公分處	29.5	35	39	44.5	48.3	54	58.5	62.9	68	72.2
距杯底 2.5 公分	離中心點 0 公分處	27.5	29.8	34	39.1	44.8	50.2	56.3	62.9	66.9	72
	離中心點 1.5 公分處	27	29	33.4	38.1	44	49.8	55.5	61	66	71
	離中心點 3 公分處	27.5	28.8	33.3	38.1	44.2	49.7	55.5	60.6	65.7	71
距杯底 5 公分	離中心點 0 公分處	27.5	30.1	34.5	38.8	43.3	48.2	53.2	58.9	63	67.5
	離中心點 1.5 公分處	27.2	29.8	34.2	39	43.8	48.8	53.8	58.9	63.8	67.6
	離中心點 3 公分處	27.2	29.9	34	39	43.5	48.5	53.8	58.8	63	67.5

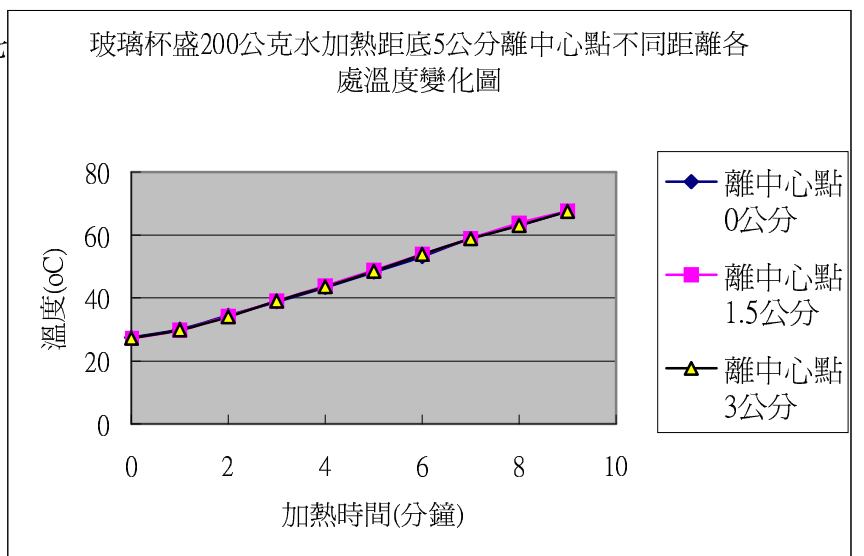
圖五



圖六

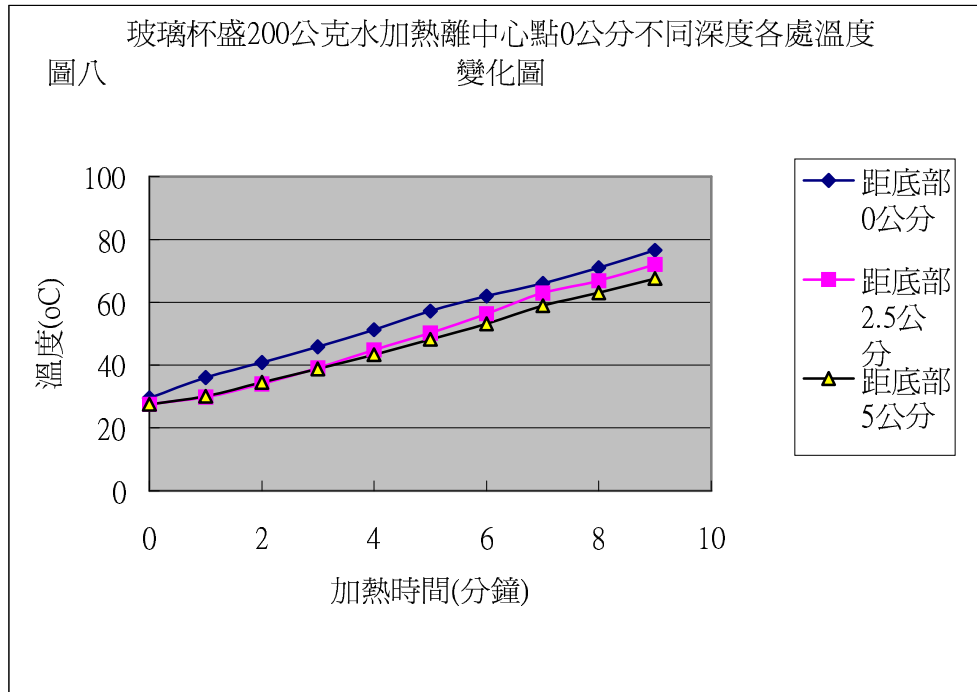


圖七

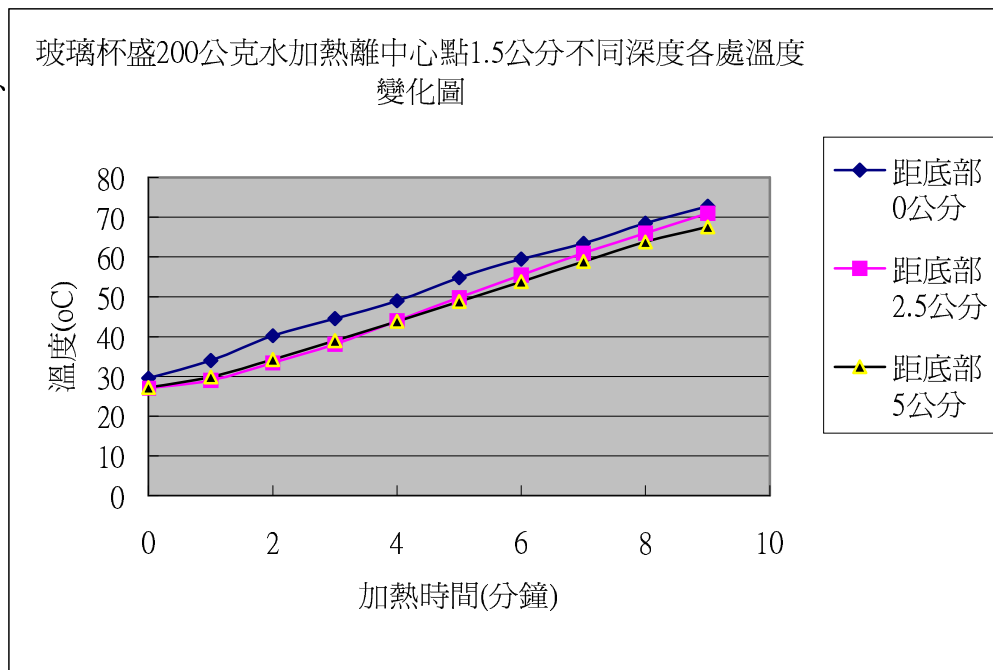


靠近杯底處，中心點溫度較高，愈往外，溫度愈低。往上走，則離中心點不同距離各點(內、中、外)溫度相差不大。

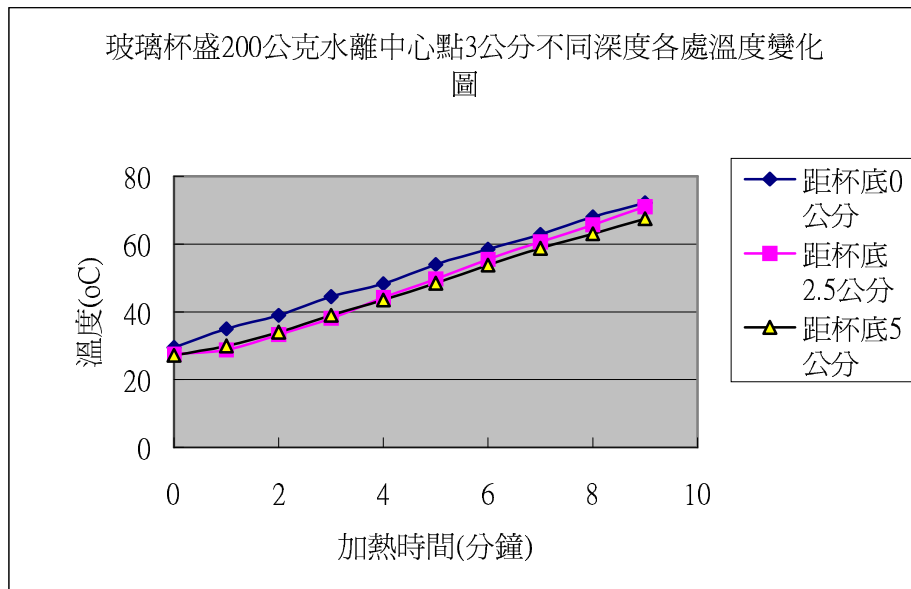
(二) 200 公克水熱過程中離中心點不同距離，距杯底 0 公分、2.5 公分、5 公分溫度變化比較如下：



圖九、



圖十



離中心點

不同距離的各處，溫度都是愈近底部溫度愈高。愈靠近中心點處，上、中、下三處溫度相差愈明顯；愈遠離中心點處，上、中、下三處溫度相差愈小。加熱曲線，大致上可說得上是一次函數圖形，曲線前段偏離直線較多，可能肇因於，陶瓷纖維網傳熱較慢，上、中、下層水溫的差異，大於同一水平面距中心點不同距離各點的差異，實因水主要靠對流來傳熱，水的對流比較好，熱傳播較快。

二、以非穩定(non-steady state)方式對砂加熱，測加熱過程中各處溫度變化情形(溫度分佈情形)：

(一).200 公克砂子熱過程中距杯底不同深度，離中心點 0 公分、1.5 公分、3 公分溫度

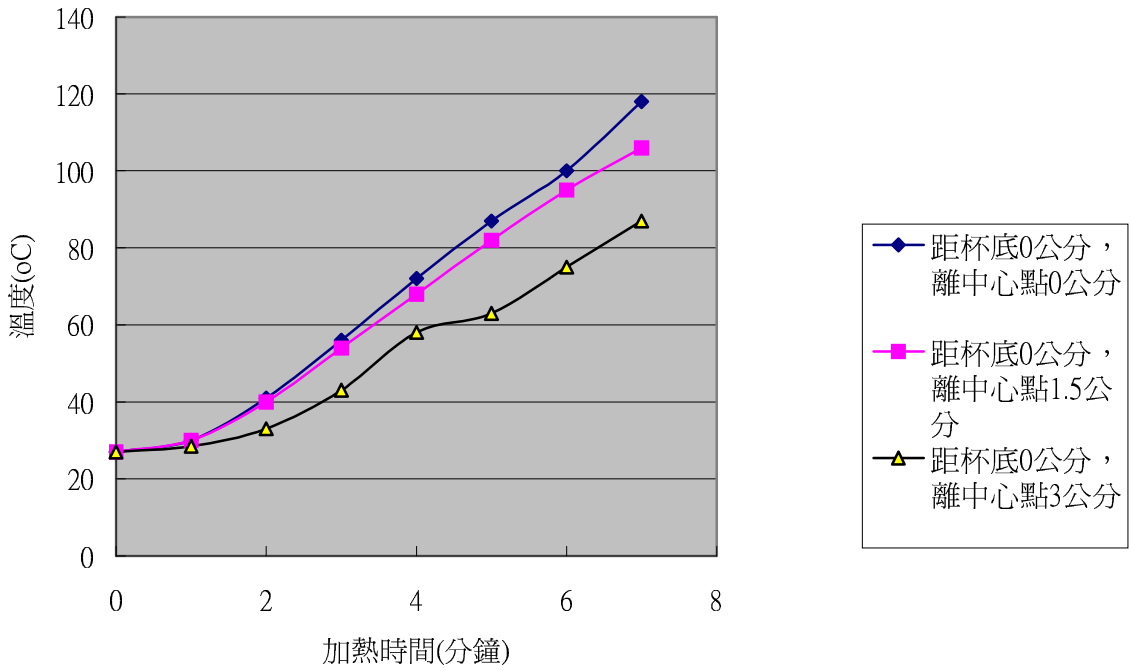
表二、200 公克的砂的 non-steady state 加熱溫度變化

	時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
距杯底 0 公分	離中心點 0 公分處	27	30	41	56	72	87	100	118		
	離中心點 1.5 公分處	27	30	40	54	68	82	95	106		
	離中心點 3 公分處	27	28.5	33	43	58	63	75	87		
距杯底 1 公分	離中心點 0 公分處	28.8	29.7	33.8	42.4	53	63	74	85.2	95.4	
	離中心點 1.5 公分處	29	30.1	35.1	45	56	67	78	88.5	99	
	離中心點 3 公分處	29.5	30.5	35.9	45.8	55.5	65.7	74.8	84.3	94	
距杯底 2 公分	離中心點 0 公分處	27	27	27.2	27.8	28.2	29.2	31	34.2	36.5	40.8
	離中心點 1.5 公分處	27	27.2	27.5	28	28.6	30	32	35.1	39	44
	離中心點 3 公分處	27	27.5	27.8	28.8	29.8	31.5	33.5	37	41	45

變化比較如下：靠近底部，溫度高低：愈靠近中心點處，溫度愈高；中、上部，則以離中心點較遠處，溫度較高。蓋因，從底部傳來的熱量靠砂的傳導，從側面傳來的熱量，係來自玻璃的傳導。可見砂的熱傳導比玻璃的熱傳導慢。以同一時間測量溫度的九個點溫差很大，是故如果不說明清楚所測的溫度是在何處所測得，很容易得到不同的答案。砂只靠熱傳導傳熱，受測樣品整體溫度變異大。相對地，水主要靠對流來傳熱，比砂子能在較短時間內使全體溫度趨一致。故國編版理化課本，只以砂子比熱小，推斷加熱同質量的水、砂子，砂子的溫度上升比水快。實際上，很容易因實驗時溫度計的距離中心點距離、深淺，而得到不同的結果。故須考慮水和砂子的主要傳熱的方式不同、以及傳熱速率不同。上、中、下層溫差大。同一水平面離中心點不距離各點，溫差因所在的水平面位置不同，而有不同的結果：愈靠近底部的平面，距離中心點不同距離的各點，溫差愈大。

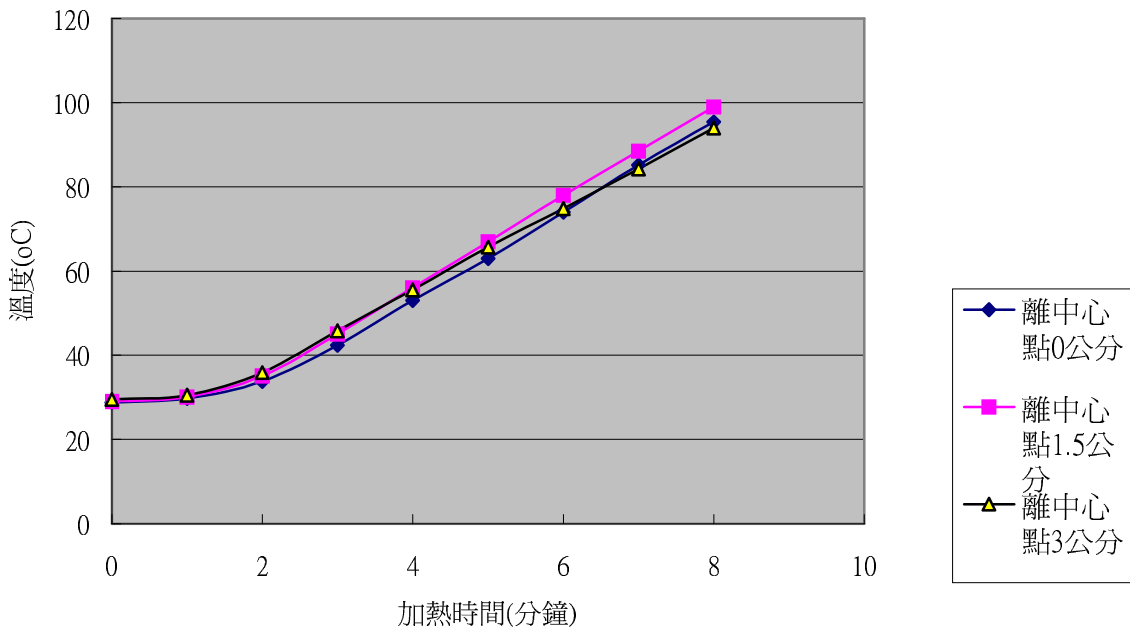
圖十一

玻璃盛200公克砂子加熱距杯底0公分各處位置溫度變化

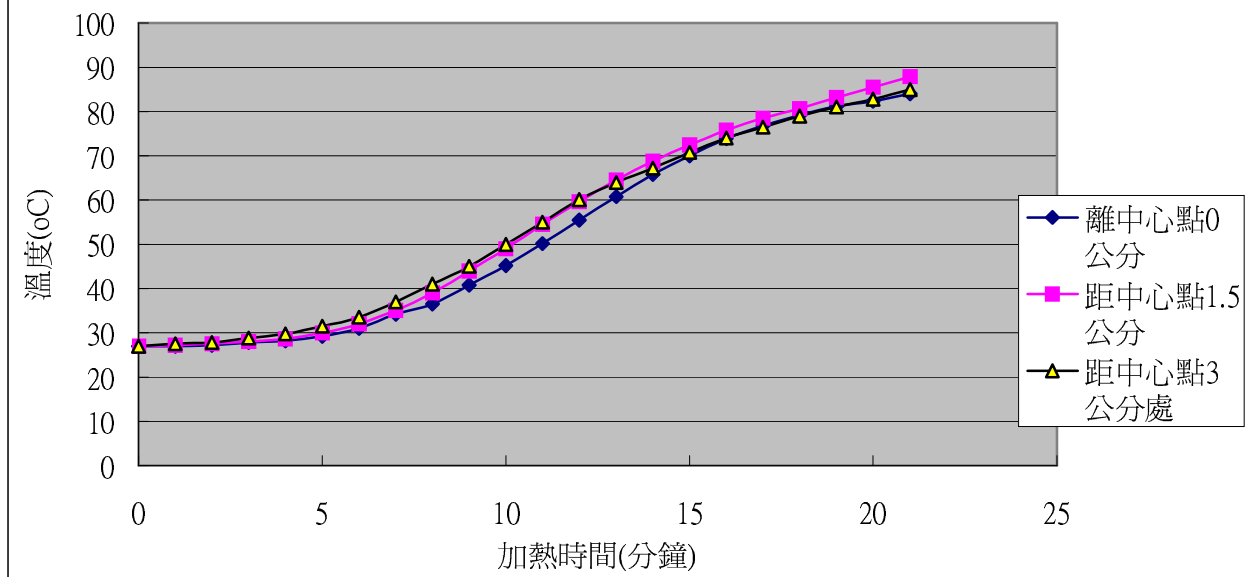


圖十二

玻璃杯盛200公克砂加熱距杯底1公分各處溫度變化圖

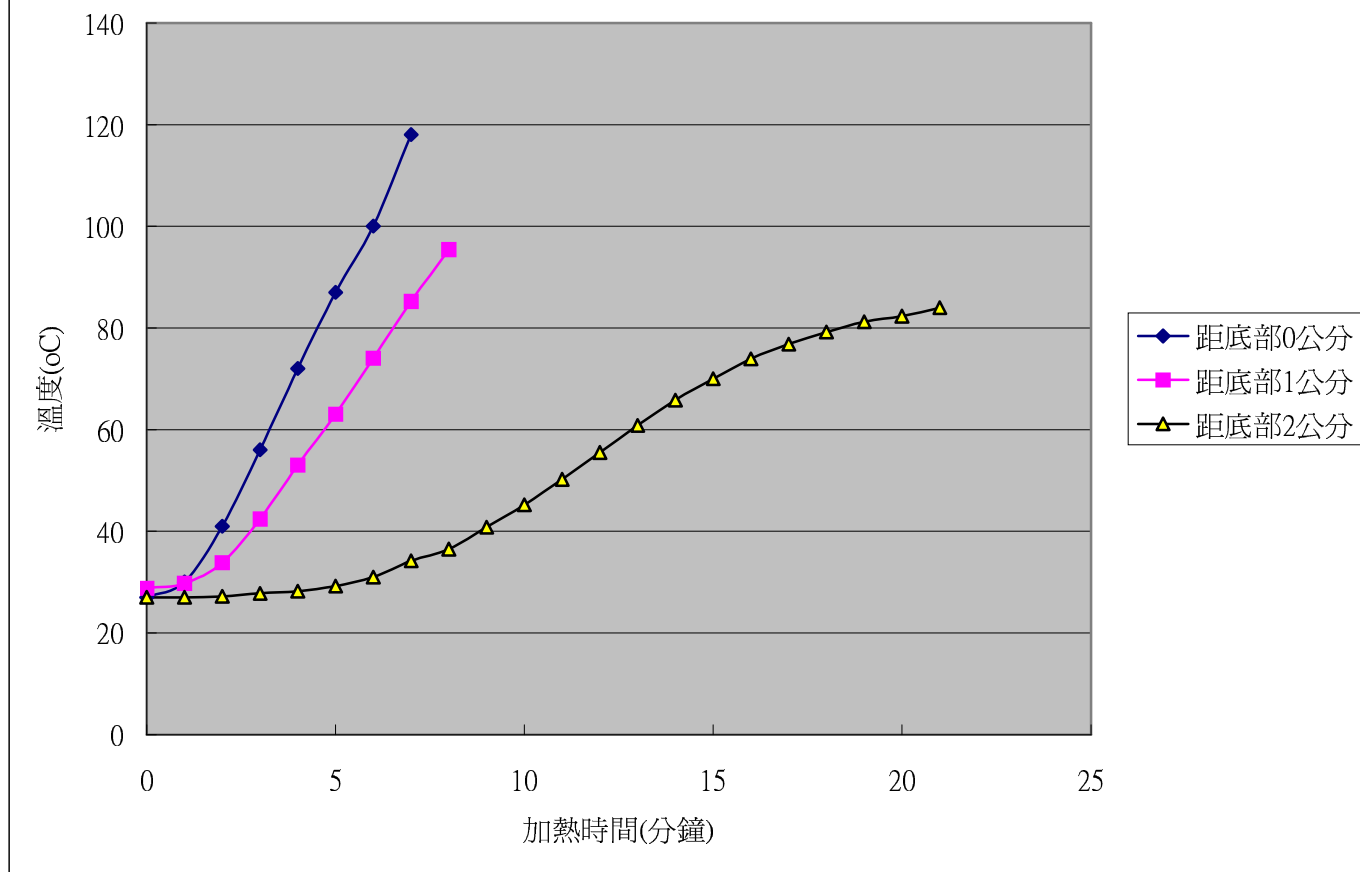


圖十三 玻璃杯盛200公克砂加熱距杯底2公分各處溫度變化圖



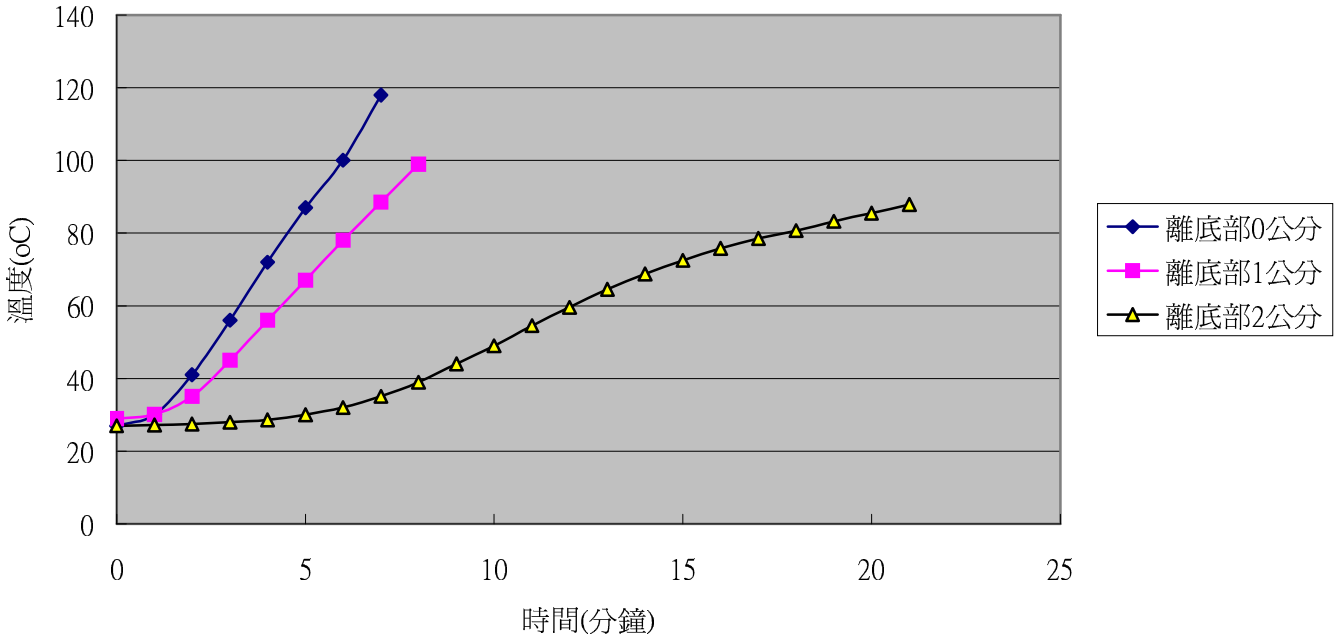
(二) 200 公克水熱過程中離中心點不同距離，距杯底 0 公分、1 公分、2 公分溫度變化比較如下：

圖十四 玻璃杯盛200公克砂加熱離中心點0公分深度不同各處溫度變化圖



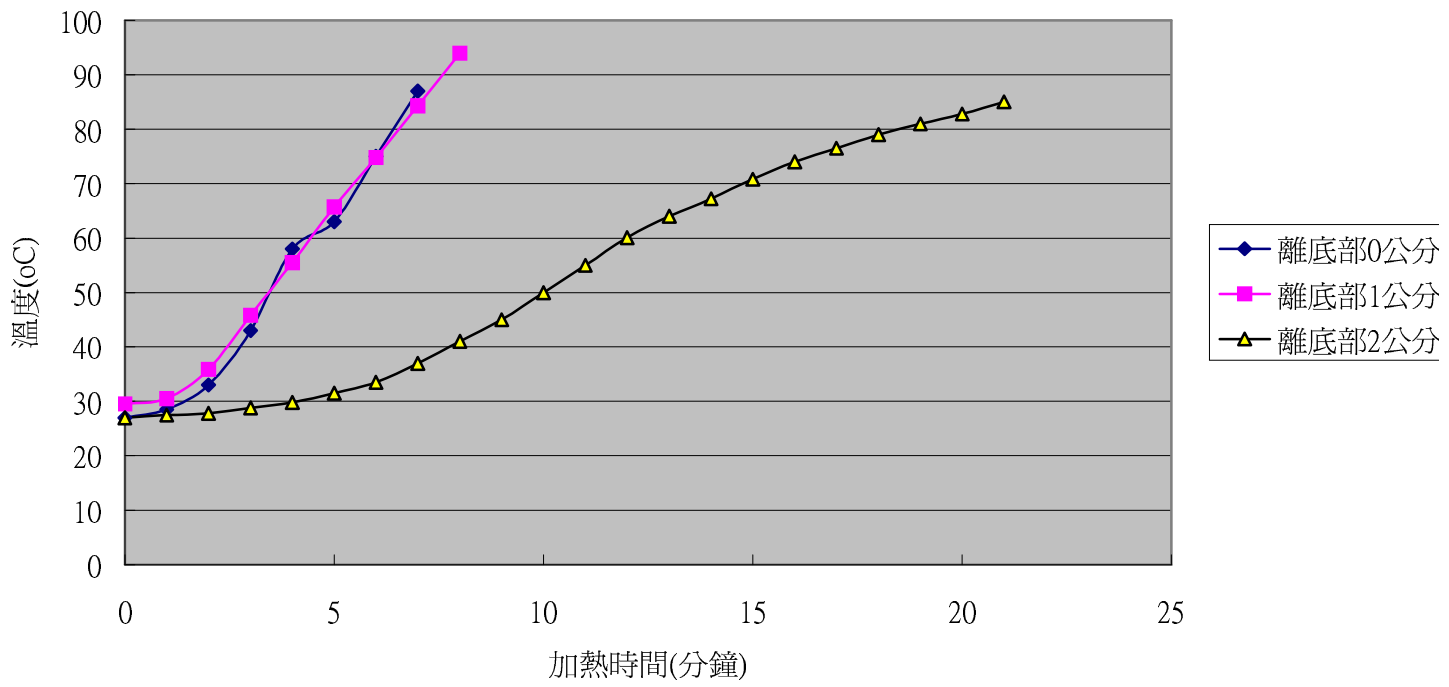
圖十五

玻璃杯盛200公克砂距中心點1.5公分各不同深處溫度變化圖



圖十六

玻璃杯盛200公克砂加熱距中心點3公分不同深度各處溫度變化圖



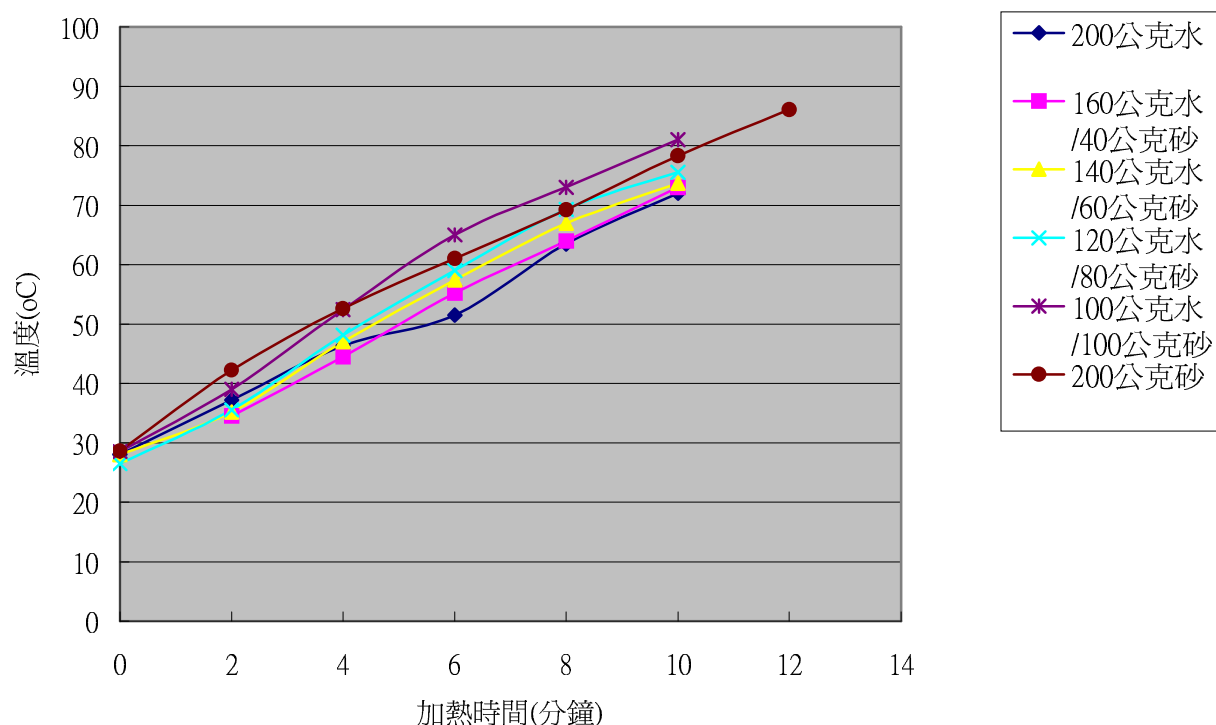
垂直層(上、中、下層)之間的溫度差，比同層距中心點不同距離之間的溫度差大，顯見砂子傳熱水平方向速度比垂直方向速度快。

三、以平衡(steady state)方式對水、砂子、水/砂子不同比例混合物加熱，三者溫度上升圖如下：

表三、加熱水/砂不同比例的溫度變化

加熱時間(分鐘)	0	2	4	6	8	10	12	斜率	由斜率所推算 比熱(cal/g-°C)
200 公克水	28	37.2	46.3	51.5	63.5	72		4.3443	1
160 公克水/40 公克砂		34.5	44.5	55.2	64	73		4.825	0.900373057
140 公克水/60 公克砂	28	35.2	47	57.4	66.9	73.7		4.7714	0.910487488
120 公克水/80 公克砂	26.5	35.5	48.1	59	69.3	75.5		5.1043	0.85110593
100 公克水/100 公克砂	28.5	39	52.4	65	73	81		5.3871	0.806426463
200 公克砂	28.6	42.2	52.6	61	69.2	78.3	86.1	4.6661	0.931034483

圖十七 加熱水/砂不同混合物的溫度變化圖

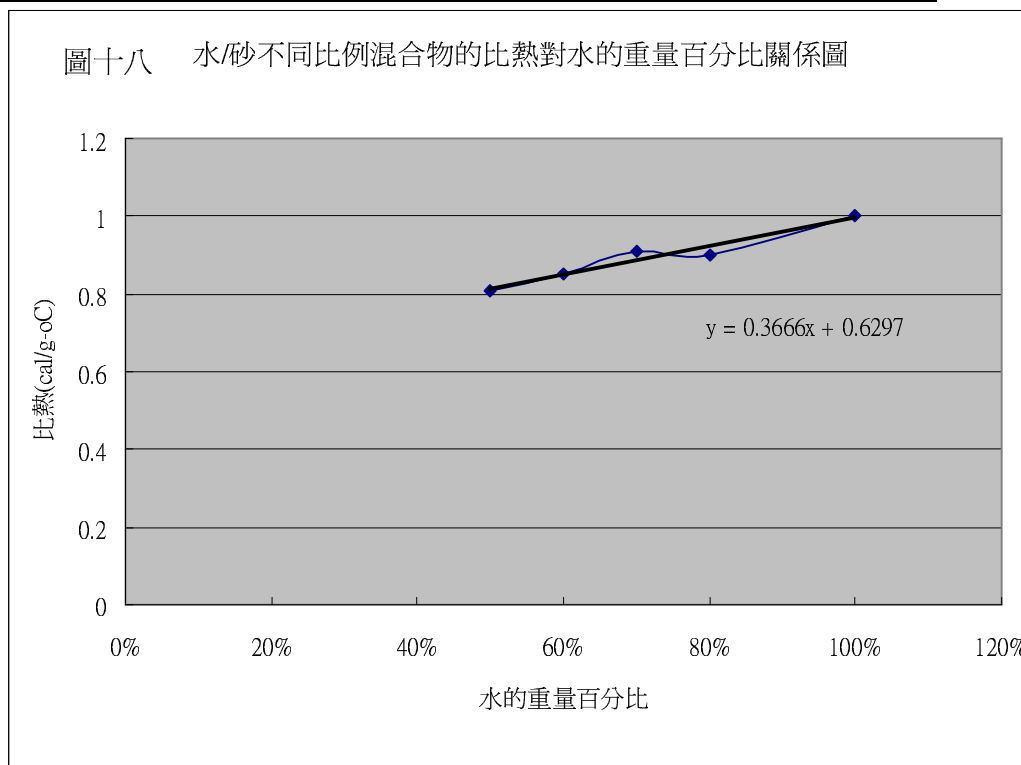


從表三 200 公克的溫度對加熱時間的斜率 4.3443，意即代表：酒精燈每加熱 1 分鐘，可以使 200 公克的水上升 4.3443 °C，則酒精燈每分鐘供應的熱量=200×4.3443=868.86 卡。

砂子的溫度對加熱時間的斜率 4.6661，意即代表：酒精燈每加熱 1 分鐘，可以使 200 公克的砂子上升 4.6661 °C，代入公式 $H=M \times S \times \Delta T$ ，則得到 $868.8=200 \times S \times 4.6661$ ，則可推得砂子的比熱 $S=0.931034483(\text{cal/g-}^\circ\text{C})$

表四、水/砂不同比例混合物的比熱

水所佔比例	50%	60%	70%	80%	100%
所測得比熱(cal/g-°C)	0.8064	0.8511	0.9105	0.9	1



以物質 1(比熱 S_1 ，質量 M_1)與物質 2(比熱 S_2 ，質量 M_2) 混合，供應熱量 H 卡，得到混合物的溫度上升值 Δt ，則：

$$H = M_1 \times S_1 \times \Delta t + M_2 \times S_2 \times \Delta t = (M_1 \times S_1 + M_2 \times S_2) \times \Delta t$$

$$= (M_1 + M_2) \left[\frac{M_1}{(M_1 + M_2)} \times S_1 + \frac{M_2}{(M_1 + M_2)} \times S_2 \right] \times \Delta t$$

則以 $\left(\frac{M_1}{(M_1 + M_2)} \times S_1 + \frac{M_2}{(M_1 + M_2)} \times S_2 \right)$ 視為混合物的比熱

若以物質 1 的質量比例 $\frac{M_1}{(M_1 + M_2)}$ 為 X ，以混合物的比熱為 Y ，則

$$Y = X \times S_1 + \frac{M_2}{(M_1 + M_2)} \times S_2 = X \times S_1 + (1 - X) \times S_2$$

$$Y = X \times (S_1 - S_2) + S_2$$

故，以混合物的比熱為 Y ，以物質 1 的質量比例為 X ，所繪混合物的比熱對物質 1 的重量百分比圖為一直線圖，其斜率為 $(S_1 - S_2)$ ， Y 截距為 S_2

由上圖 Y 截距所推得砂子的比熱是 $0.6297 \text{ cal/g-}^\circ\text{C}$ ，與直接對砂子加熱實驗所得 $0.931034483 \text{ cal/g-}^\circ\text{C}$ 相差甚多。由上圖斜率 = $1 - \text{砂子比熱}$ ，則 $0.3666 = 1 - \text{砂子比熱}$ ，推得砂子的比熱 = $0.6334 \text{ cal/g-}^\circ\text{C}$ ，將兩者平均得 砂子的比熱 = $0.63155 \text{ cal/g-}^\circ\text{C}$

四、不同溫度水與砂子混合，測量平衡溫度，及推算出來砂子的比熱如下：

初溫為 $T_1(^\circ\text{C})$ 質量 M_w 公克的水與初溫為 $T_2(^\circ\text{C})$ M_s 公克的砂子(假設砂子的比熱 $S \text{ cal/g-}^\circ\text{C}$)，平衡後溫度為 $T(^\circ\text{C})$ ，

$$M_w \times (T_1 - T) = M_s \times S \times (T - T_2)$$

$$S = M_w \times (T_1 - T) / [M_s \times (T - T_2)]$$

表五、160 公克與 40 公克混合求砂的比熱

160 公克 水的初溫 (°C)	40 公克砂 的初溫 (°C)	混合後的 平衡溫度 (°C)	推算砂的比熱 (cal/g-°C)
27.7	71.7	31	0.324324
12.2	77.5	18	0.389916
4.1	74	9.1	0.308166
65	28.2	60.5	0.557276
64	18	58.8	0.509804
66	1	58.1	0.553415

將表五的比熱平均得，砂子的比熱=0.440484cal/g-°C

五、以不同溫度的水/砂混合物與水混合，測平衡後的溫度，反推砂子的比熱，結果如下表：

M_{w1} 公克的水與 M_s 公克的砂子(假設砂子的比熱 S cal/g-°C)形成的水/砂子混合物，初溫為 T_1 (°C)，與 M_{w2} 公克的水混合，平衡後溫度為 T (°C)，

$$M_{w1} \times (T - T_1) + M_s \times S \times (T - T_1) = M_{w2} \times (T_2 - T)$$

$$M_s \times S \times (T - T_1) = M_{w2} \times (T_2 - T) - M_{w1} \times (T - T_1)$$

$$S = [M_{w2} \times (T_2 - T) - M_{w1} \times (T - T_1)] / [M_s \times (T - T_1)]$$

表六、40 克砂/80 克水混合物與不同溫度的水 80 公克混合熱平衡，求砂的比熱

40 克砂/80 克水 混合物溫度(°C)	80 克水 溫度(°C)	混合後 平衡溫度 (°C)	推算砂的 比熱 (cal/g-°C)
54	9	33.8	0.455446
54.5	16	36.5	0.277778
9.8	52.5	28.8	0.494737
7.2	56	29	0.477064

將表六的比熱平均得，砂子的比熱=0.426256cal/g-°C

表七、60 克砂/60 克水混合物與 80 克混合熱平衡，求砂的比熱

60 克砂/60 克 水混合物溫 度(°C)	80 克水 溫度(°C)	混合後 平衡溫度 (°C)	推算砂的比熱 (cal/g-°C)
60.5	10	35.5	0.36
62	5.2	34	0.371429
15.5	57.3	35.5	0.453333
4.5	62	32.5	0.404762

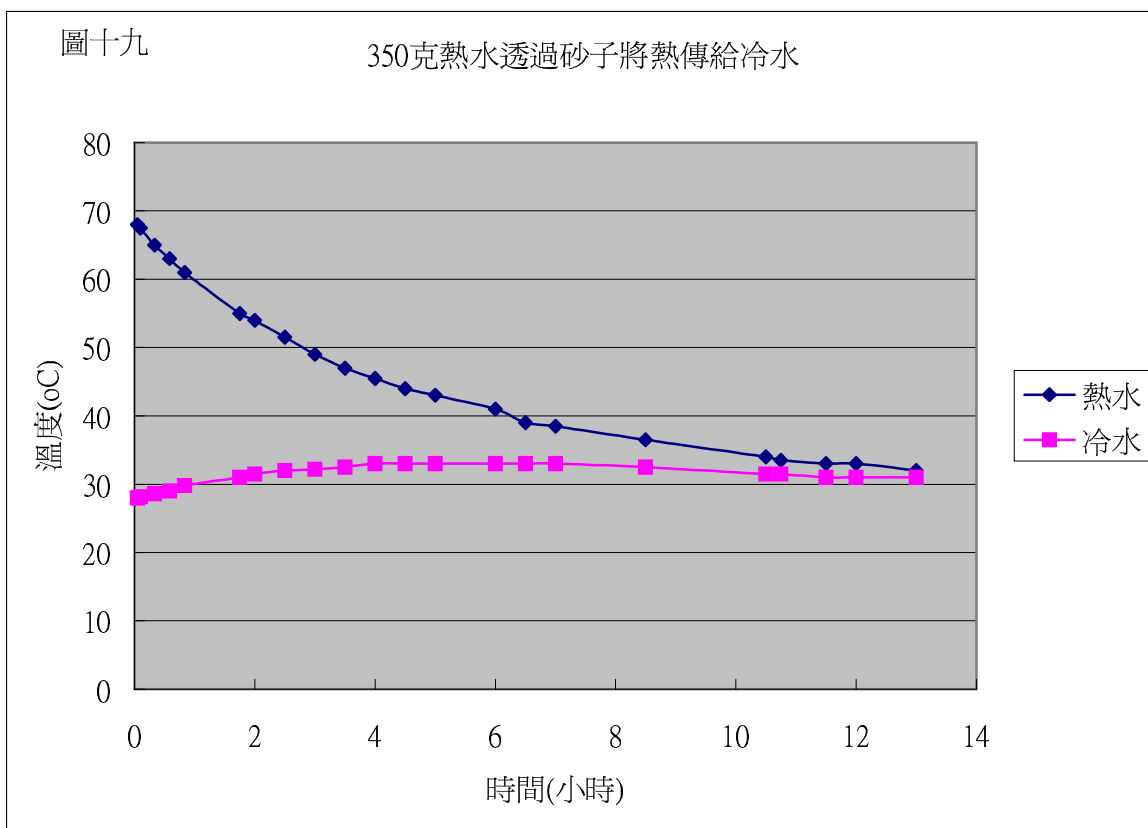
將表七的比熱平均得，砂子的比熱=0.317905cal/g-°C

六、以圖三裝置測量，熱水透過砂子傳給冷水的溫度變化圖如下：

表八、350 公克熱水透過砂子(3cm(長)*3cm(寬)*5.1cm(高)，質量 67.7 公克)通道傳熱給 350 公克冷水的溫度-時間關係

時間(小時)	0.05	0.1	0.33	0.58	0.83	1.75	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	6.5
熱水溫度(°C)	68	67.5	65	63	61	55	54	51.5	49	47	45.5	44	43	41	39
冷水溫度(°C)	28	28.2	28.6	29	29.8	31	31.5	32	32.2	32.5	33	33	33	33	33

7	8.5	10.5	10.8	11.5	12	13
38.5	36.5	34	33.5	33	33	32
33	32.5	31.5	31.5	31	31	31



以 0 至 7 小時觀察，熱水下降了 29.5°C，冷水才上升了 5°C，顯見我們所設計的保利綸絕熱盒，避免熱量散失的效率很差。本次實驗數據不適合用來定量分析，但由上圖可看出，當冷、熱兩杯溫差較大時，熱傳播的速率較快(因熱水溫度下降較快，冷水溫上升也較快)。

七、以圖四裝置測量水、砂子，經加熱 7 分鐘後，停止加熱，各處溫度變化的圖形如下：

(一)水的各處降溫曲線

表九、200 公克的水以酒精燈加熱七鐘後，停止加熱溫度變化

	時間(分)	0	1	2	3	4	5
距杯底 0 公分	離中心點 0 公分處		49	49	48.8	48.6	48.6
	離中心點 1.5 公分處		49.5	49.4	49	49	48.9
	離中心點 3 公分處		49.5	49.3	49	49	48.8
距杯底 1 公分	離中心點 0 公分處	49.2	50.1	50.1	50	50	49.9
	離中心點 1.5 公分處	49	50	50	50	49.8	49.5
	離中心點 3 公分處	49	50	49.8	49.8	49.5	49.2
距杯底 2 公分	離中心點 0 公分處	52.5	53.5	53.3	53.1	53	
	離中心點 1.5 公分處	52	53.5	53.5	53.3	53.2	
	離中心點 3 公分處	52.5	53.8	53.8	53.5	53.2	

上表可見水在停止加熱後，在同一水平面各處溫度相差不大，顯見在停止加熱後，各處水溫相差不大，幾乎已經達成平衡，這都歸功於水的對流效率很大所致。至於，不同深度的位置的溫度並太一致，則是因為，本實驗採用以三支溫度計，同時監控在同一水面上距離中心點不同距離各點的溫度，再分三次測量距離杯底不同距離的不同平面的溫度，不是同時以九支溫度計測量得到表九的數據。故略有誤差。

(二)砂子的各處降溫曲線：

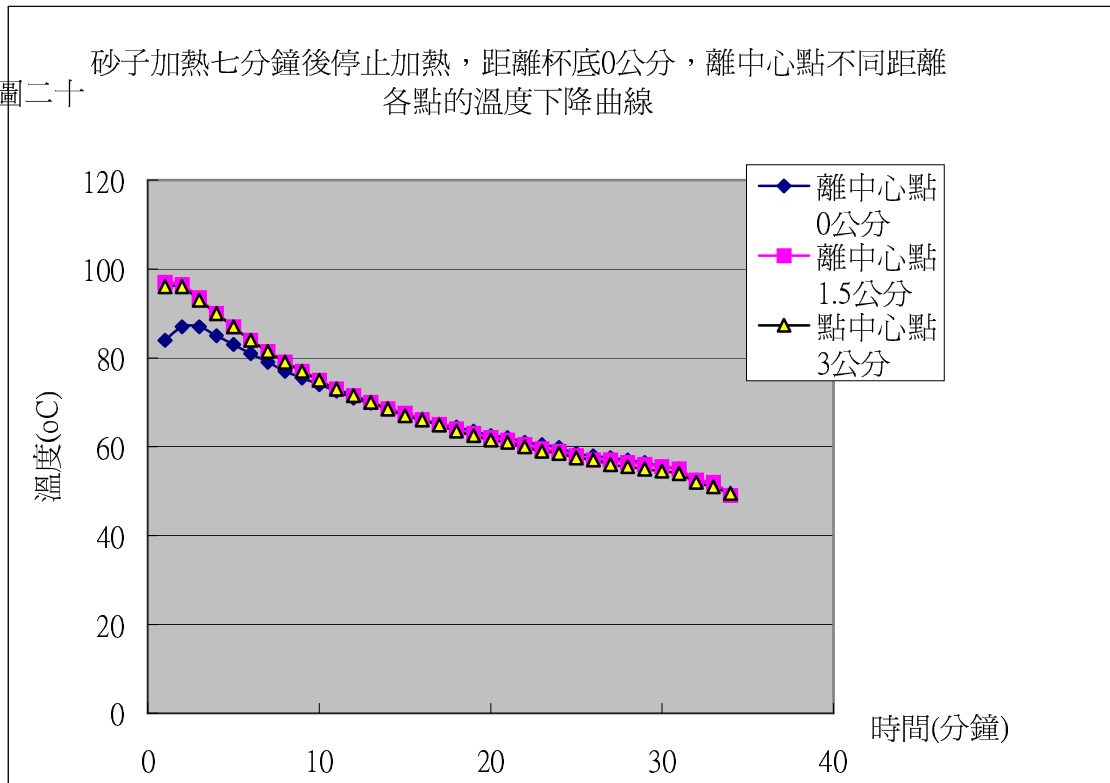
表十、200 公克的砂以酒精燈加熱七鐘後，停止加熱溫度變化

	時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
距杯底 0 公分	離中心點 0 公分處		84	87	87	85	83	81	79	77	75.5	74	72.5	71
	離中心點 1.5 公分處		97	96.5	93.5	90	87	84	81.5	79	77	75	73	71.5
	離中心點 3 公分處		96	96	93	90	87	84	81.5	79	77	75	73	71.5
距杯底 1 公分	離中心點 0 公分處		61	66	69	71	71.8	72	71.5	71.2	70.5	70	69.3	68.8
	離中心點 1.5 公分處		65	71.1	74.5	76.2	76.8	76.5	75.5	75	74	73	72	71.2
	離中心點 3 公分處		66	72	75	76.2	76.2	75.8	74.5	74	73.2	72.2	71	70.2
距杯底 2 公分	離中心點 0 公分處		36.5	40	43	45	47	49	50	51	52	52.5	53	53.5
	離中心點 1.5 公分處		34.5	37	40	42	44	45	46.5	47.5	48.5	49	49.8	50
	離中心點 3 公分處		36.5	39	41.5	43	45	46	47	48	48.7	49	49.8	50

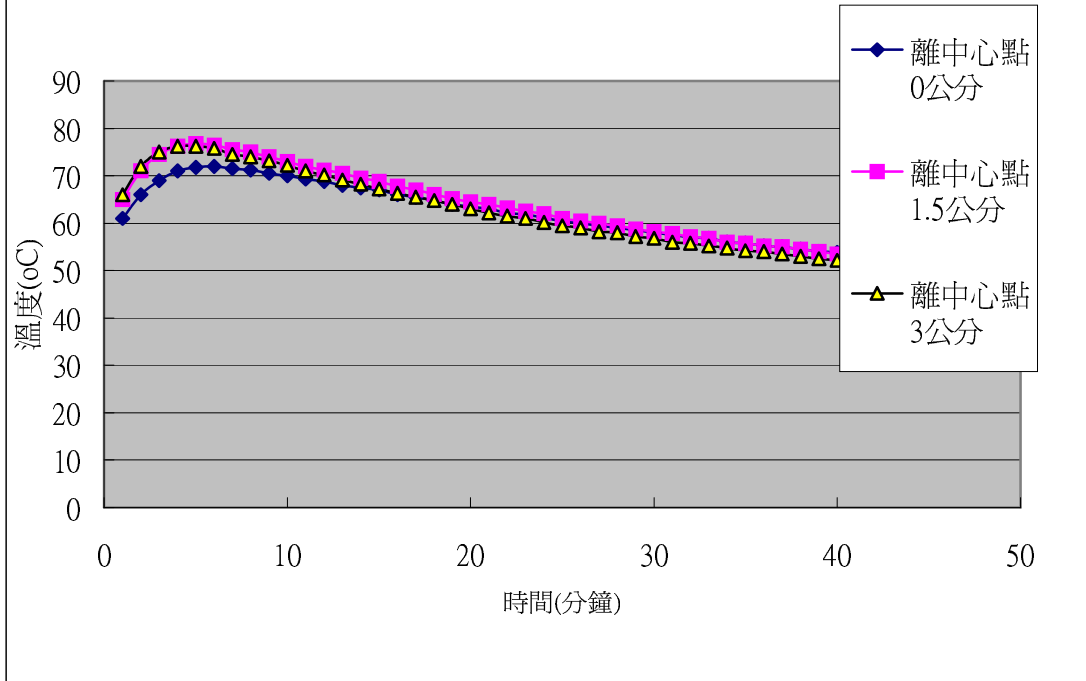
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
69.8	68.5	67.5	66.2	65.1	64.5	63.5	62.5	62	61	60.5	59.8	58.5	58	57.5	57	56.5	55.5
70	68.5	67.5	66.1	65	64	63	62	61.5	60.5	59.5	59	58	57	57	56.5	56	55.5
70	68.5	67	66	64.9	63.5	62.5	61.5	61	60	59	58.5	57.5	57	56	55.5	55	54.5
68	67.5	67	66	65.5	64.8	64	63.5	63	62.2	61.8	61.2	60.5	60	59.5	59	58.5	58
70.5	69.5	68.8	67.8	67	66.1	65.2	64.5	64	63.2	62.5	62	61	60.5	60	59.5	58.8	58.2
69.1	68.2	67.2	66.3	65.5	64.8	64	63	62.2	61.5	61	60.2	59.5	59	58.2	58	57.2	56.8
54	54	54.5	54.8	55	55	55	55	55	55	54.5	54	54	54	54	53.5	53.5	53
50.6	51	51.5	51.8	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	51.5	51.2	51
50.5	51	51	51.2	51.2	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51.5	51	51	51	51	50.5	50.2	50.1

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
55			52.5		52									49
55			52.5		52									49
54			52		51									49.5
57.5	57	56.8	56	55.8	55.2	55	54.5	54	53.8	53.2	53	52.5	52.2	52
57.8	57.1	56.8	56	55.8	55.2	55	54.5	54	53.5	53	52.8	52.2	52	51.5
56	55.8	55.2	54.8	54.2	54	53.5	53	52.5	52.2	51.8	51.5	51	50.8	50.2
53	52.8	52.8	52	52	51.6	51.5	51	51	50.5	50.1	50	50	49.8	49
51	51	50.6	50.2	50.1	50	49.8	49.5	49	49	49	48.5	48.5	48	48
50	50	49.8	49.5	49	49	48.8	48.5	48.5	48	48	47.5	47.5	47	47

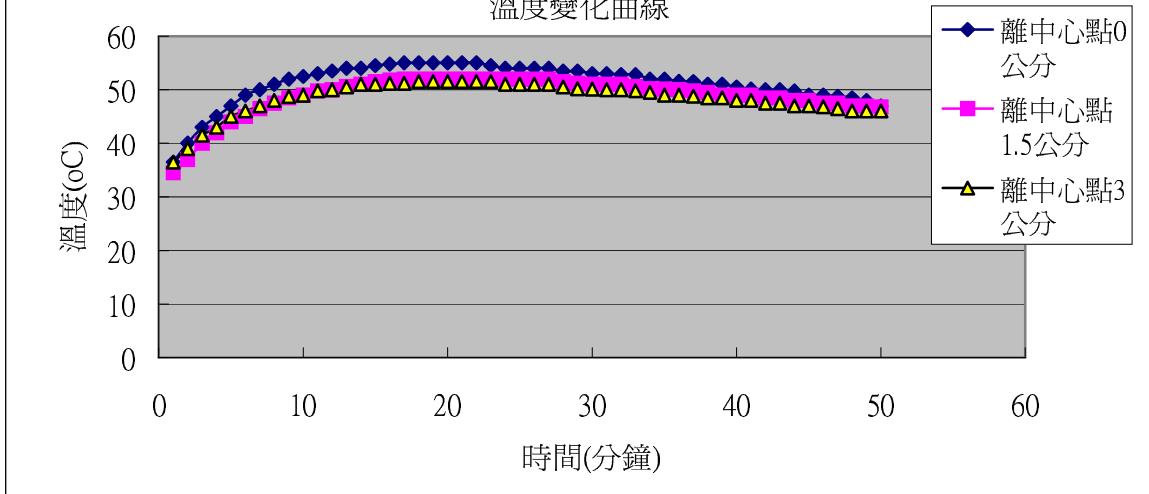
圖二十 砂子加熱七分鐘後停止加熱，距離杯底0公分，離中心點不同距離各點的溫度下降曲線



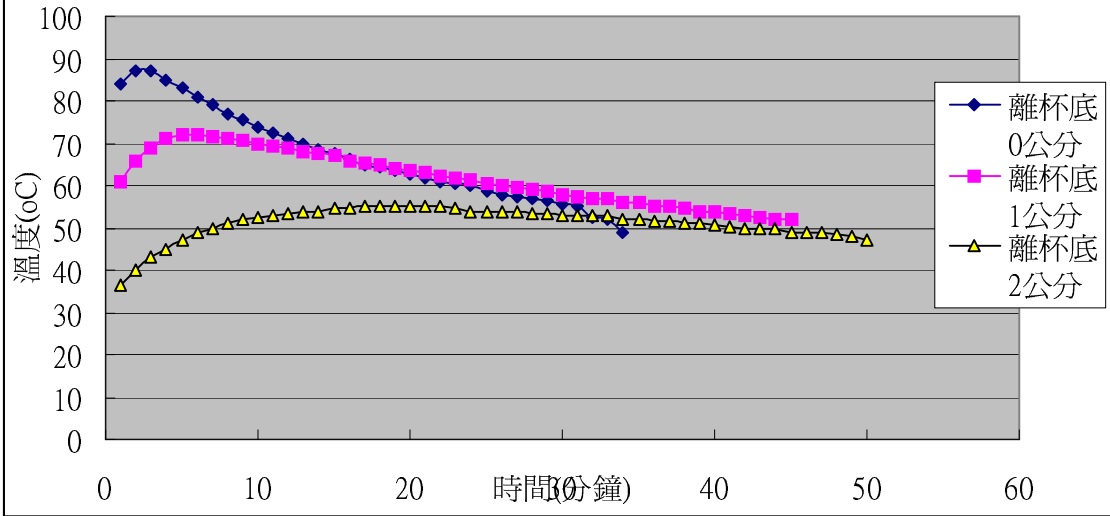
圖二十一 砂子加熱七分鐘後，停止加熱，距杯底1公分，離中心點不同距離各點溫度變化曲線



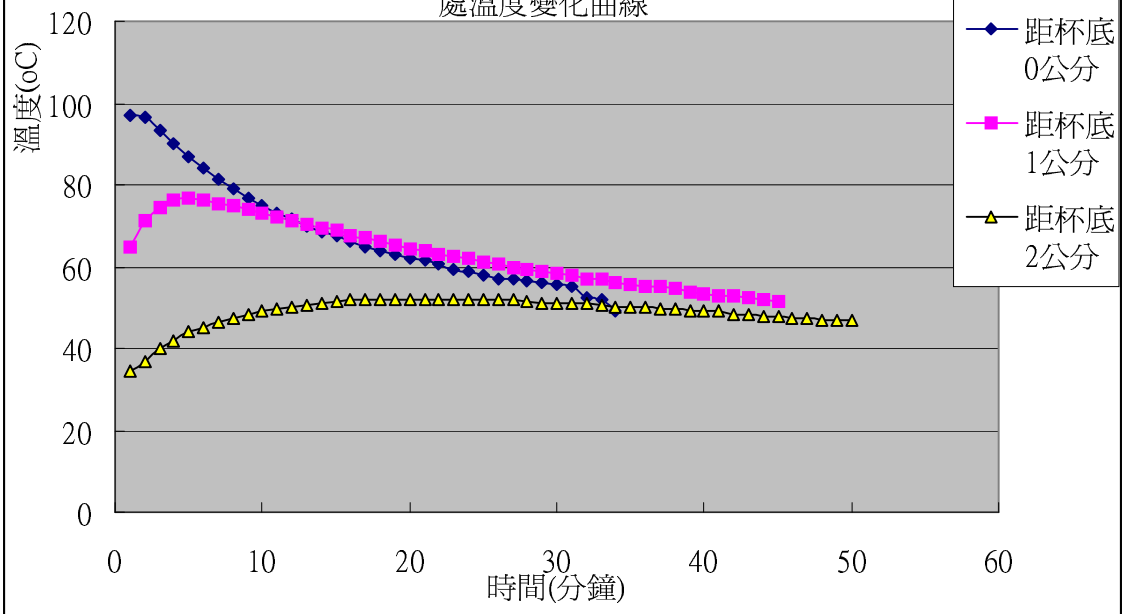
圖二十二 加熱砂子七分鐘後，停止加熱，距杯底2公分離中心點不同距離各處溫度變化曲線



圖二十三 加熱砂子七分鐘後，停止加熱，離中心點0公分距杯底不同距離各處溫度變化曲線

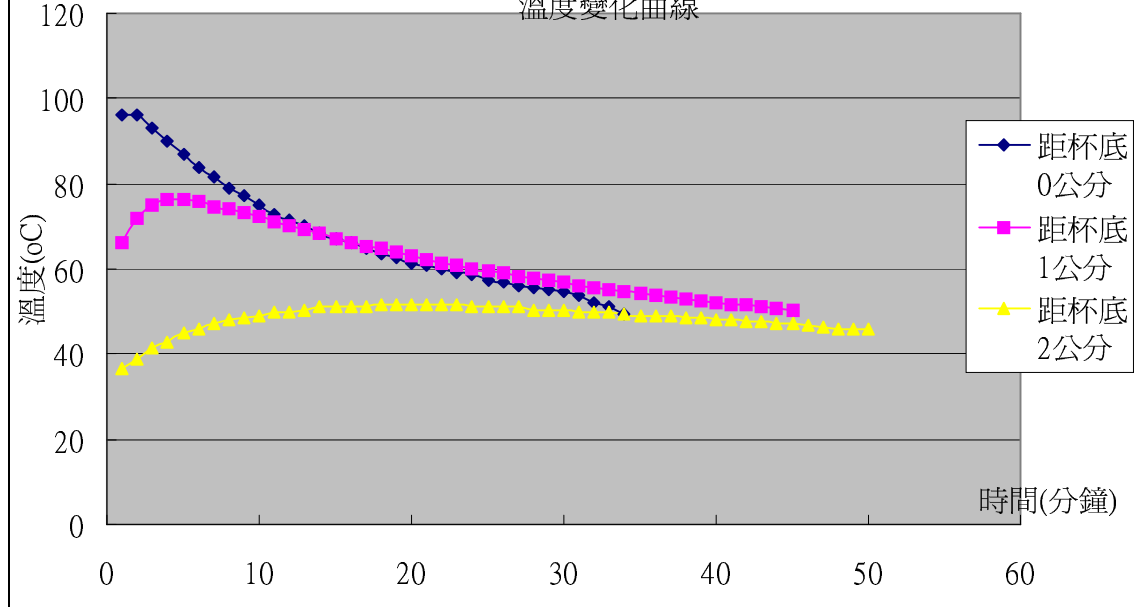


圖二十四 加熱砂子七分鐘後，停止加熱，離中心點1.5公分距杯底不同距離各處溫度變化曲線



圖二十五

加熱砂子七分鐘後，停止加熱，離中心點3公分距杯底不同距離各處
溫度變化曲線



從上圖二十至圖二十五，可看出，停止加熱後，砂子的溫度繼續上升，距杯底 0 公分大約在 1~3 分鐘達到最高溫然後就往下下降，距杯底 1 公分大約在 4~6 分鐘達到最高溫，距杯底 2 公分大約在 17 分鐘達到最高溫。整體溫度達到平衡大約需 20~30 分鐘或更長，由此可見，砂子憑藉傳導及輻射來傳熱，效率比水的對流差。前面的實驗，借水與砂子混合，改進砂子傳熱不夠快的缺點，這也是在無法完全做到杜絕熱量外洩的情況下，透過水加速砂子達成熱平衡，減少實驗誤的權宜之計。

陸、結論：

- 一、對水和砂子加熱時，水的對流比砂子的傳導更有效率。
- 二、砂子的比熱大約在 0.3 至 0.65 cal/g-°C
- 三、以傳統的測比熱的方式，測量砂子的比熱，效果不太好，因為砂子的溫度要達成平衡，需加以攪拌，何時達成平衡不易判斷，若溫度不均勻，各處所測溫度皆不相同，無法得到準確的溫度。另外，砂子溫度高時，倒入冷水中，容易造成水局部沸騰，熱能隨水蒸氣散失，往往造成極大的誤差。是以改用以水與砂子以適量混合成的混合物與水進行比熱測量比前者更好。
- 四、砂子的比熱比水小。
- 五、比熱與傳熱速率是物質的兩種不同的特性，兩者並沒有絕對的關係。
- 六、保利綸的絕熱效果比其他物質好，但仍會有大量的熱量透過保利綸散失掉。

柒、參考資料：

- 一、國立編譯館，“國民中學理化教科書第一冊“再版二刷，台北市，國立編譯館，第 130 頁至第 131 頁，中華民國九十年
- 二、Raymond A. Serway，“Physics for Science And Engineers/with Modern Physics”，台北市，中央圖書出版社，PP341~344，1983
- 三、參考網站：
 - (一).New Jersey Institute of Technology University Heights
<http://physics.njit.edu/classes/physlab/laboratory231/labE/labE.html>
 - (二)國立中興大學 ez 物理通網
<http://ezphysics.nchu.edu.tw/physiweb/up/html/SOLID.htm>

030116 國中組物理科

砂子比熱的測量

測量誤差較大，難以彰顯原先把水和砂子混合，以推算砂子比熱的目的。