

2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160029

參展科別 物理與天文學

作品名稱 介面活性劑對電流變現象的影響

得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 臺北市立建國高級中學

指導教師 江宏仁、柳順儒

作者姓名 卓昱辰

關鍵詞 電流變液、介面活性劑、介面活性劑橋理論

作者簡介



我是卓昱辰，建國中學二年級生。

第一次讀到電流變液是在推理小說中，在那之後就一直認為這是很神奇的材料。有幸到台大應力所做專題研究，剛好可以接觸電流變液的實驗，不久後就栽入了這個主題中。在進行專題的過程中，十分感謝我父母的支持和鼓勵，以及實驗室老師的指導和協助。

摘要

本研究在探討介面活性劑對二氧化矽電流變液在外加電場下黏度的影響。主要是用沉降法測試溶液的黏度。經甘油以及 90%甘油水黏度的測量後，確定此方法可行。

測量二氧化矽電流變液的黏度後，發現黏度和電場的平方成正比。在電流變液中加入不同體積的介面活性劑 triton X-100，發現介面活性劑體積百分濃度為 3.75%、二氧化矽體積百分濃度 20%和介面活性劑體積百分濃度為 1.875%、二氧化矽體積百分濃度 10%的流變效果最佳。研讀介面活性劑橋理論後，我推測造成上述差異是介於兩二氧化矽粒子間介面活性劑的量。當介面和法向量的夾角接近 90 度時其作用力為最大；而介面活性劑的量稍微多或少時，因為角度的改變，使其作用力減少而黏度減少。觀察電流變液中氧化鐵粒子在低電壓和高電壓的運動，發現粒徑較大的粒子在高電壓下無法運動，推測為高電場下鍊與鍊之間距離縮小造成。

Abstract

This study is discussing surfactant's impact on the viscosity of SiO₂ electrorheological fluid under electric field. The main method to test the viscosity of solution is sedimentation. This method has been proved feasible after measuring the viscosity of glycerin and 90% glycerin solution. After measuring the viscosity of SiO₂ electrorheological fluid, I found that viscosity and electric field square are in direct proportion. Adding different volume of surfactant triton X-100 into electrorheological fluid, it is found that rheological effect is the best when the volume concentration of surfactant is 3.75%, 20% SiO₂, or 1.875% surfactant and 10% SiO₂. After studying Surfactant Bridge Theory, I assumed the above difference between the volume concentration of surfactant is stem from different amount of surfactant between two SiO₂ particles. When the angle between interface and normal vector approaches 90 degree, the force is the biggest. When the amount of surfactant is a little more or less, the angle changes, and leads to the decrease of force, therefore, the viscosity decreases. Observing the particles' exercises in low and high voltage, it is found that the particles with larger radius can't move in high voltage. It is estimated that the distance between chain and chain decreases under high voltage.

壹、研究動機

電流變液是新興智能流體，這種流體的黏滯係數會隨著外加電場而增加，其原因為分散在溶液中的粒子排列成鍊狀結構。在配製電流變液時，原本應該分散在矽油中的二氧化矽粒子有少部分沉澱，故興起加入少量界面活性劑的念頭。在測試後發現加入介面活性劑有助於電流變液在電場增加下黏度的增加，決定深入研究介面活性劑的影響。

貳、研究過程與方法

一、配製二氧化矽電流變液

本研究中的二氧化矽粒子是由 Percoll 蒸乾後取得的，而矽油是使用 Cas 號為 68083-14-7 的高溫矽油。

取 8 毫升的 Percoll，以電磁攪拌器在 150°C 下加熱 45 分鐘，之後將除去水份的二氧化矽粉末研磨後加到 8 毫升的矽油中，加 0.2 毫升 triton X-100，以超音波震盪器震盪 60 分鐘。

二、測量二氧化矽電流變液的黏度

(一) 測量甘油的黏度

為了確定此方法可以精確量測溶液黏度，故先測量已知黏度的甘油和體積濃度為 90% 的甘油水。

實驗方法：

1. 以 Pipette 吸取 4 毫升的甘油，加到比色管中
2. 以鑷子夾取直徑 4 毫米的鋼珠，於液面上方靜止釋放
3. 錄製鋼珠在甘油中下沉的影片，測量在液體中的一段時間的位移
4. 重複數次實驗
5. 換成體積濃度為 90% 的甘油水溶液進行測量

(二) 測量體積濃度 20% 的二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度

為了得知所配製的電流變液的流變效果，故進行此測定。

實驗方法：

1. 將銅膠帶黏在比色管相對的兩壁上

2. 以 Pipette 吸取 4 毫升的溶液，加到比色管中
3. 以鑷子夾取直徑 4 毫米的鋼珠，於液面上方靜止釋放
4. 錄製鋼珠在甘油中下沉的影片，測量在液體中的一段時間的位移，並藉此計算溶液的黏度
5. 重複數次實驗
6. 用電源供應器施以 2000 伏特、4000 伏特、6000 伏特，分別測量溶液的黏度

(三) 測量介面活性劑的量對流變效果的影響

為了得知加入的介面活性劑對流變的影響，故進行此實驗。

實驗方法：

1. 在配製電流變液時，改為分別加入 0.3 毫升、0.4 毫升和 0.6 毫升的 triton X-100
2. 以上述方法測量溶液的黏度和電場的關係

(四) 測量體積濃度 10% 的二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度

為了得知二氧化矽體積百分濃度對流變的影響，故進行此實驗。

實驗方法：

1. 在配製電流變液時，改為加入 4 毫升的 Percoll
2. 電流變液中的介面活性劑的量亦為上述的一半，即為 0.1 毫升、0.15 毫升及 0.2 毫升
3. 以上述方法測量溶液的黏度和電場的關係

(五) 觀察氧化鐵粒子在電流變液中的運動情形

為了得知在高電壓下二氧化矽鍊的排列，故在電流變液中加入少量的氧化鐵粒子進行觀察。

實驗方法：

1. 在二氧化矽體積百分濃度 20%，triton X-100 體積百分濃度 5% 的電流變液中加入少許的氧化鐵粒子。
2. 將溶液置於超音波震盪器中震盪 30 分鐘。

3. 將溶液置入比色管中，塞上蓋子後橫放於顯微鏡上
4. 調整粗細調節輪直到視野中可清晰看見氧化鐵粒子
5. 分別施加 4000 伏特和 6000 伏特的電壓，以 CCD 錄製氧化鐵粒子運動的情形，並每一秒取三張圖做分析
6. 在二氧化矽體積百分濃度 20%，triton X-100 體積百分濃度 3.75% 的電流變液中加入少許的氧化鐵粒子，以同樣方法配製藥品，測量其中的氧化鐵粒子在 6000 伏特下的運動情形。

參、研究結果

一、測量二氧化矽電流變液的黏度

(一) 測量甘油的黏度

因為小球的重力和浮力的合力很快就和黏滯力達平衡，固可將下沉過程視為等速運動。根據

$$\mu = (m - \rho V) * g / (6 * \pi * r * v)$$

其中 μ 為黏滯係數，

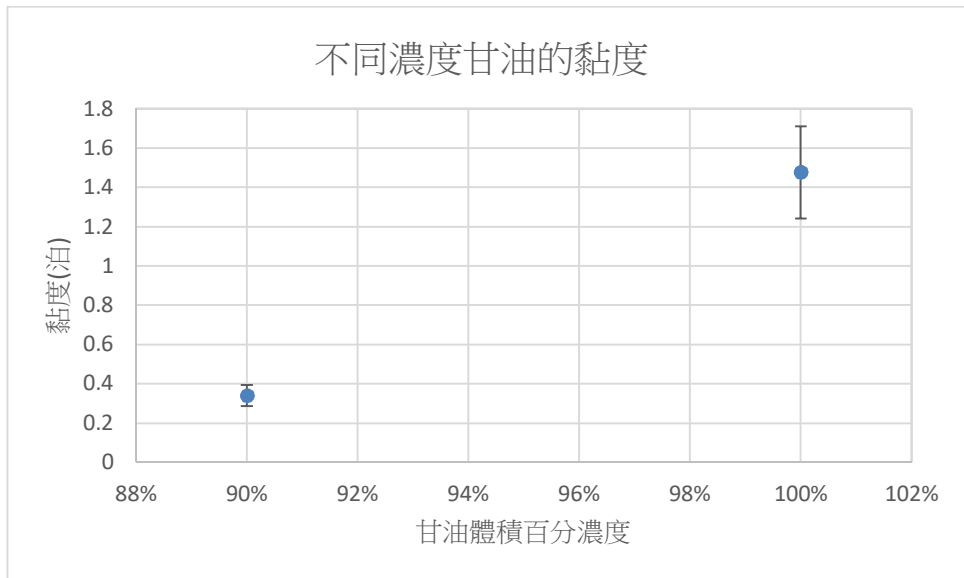
m 為小球質量，

ρ 為液體密度，

V 為小球體積，

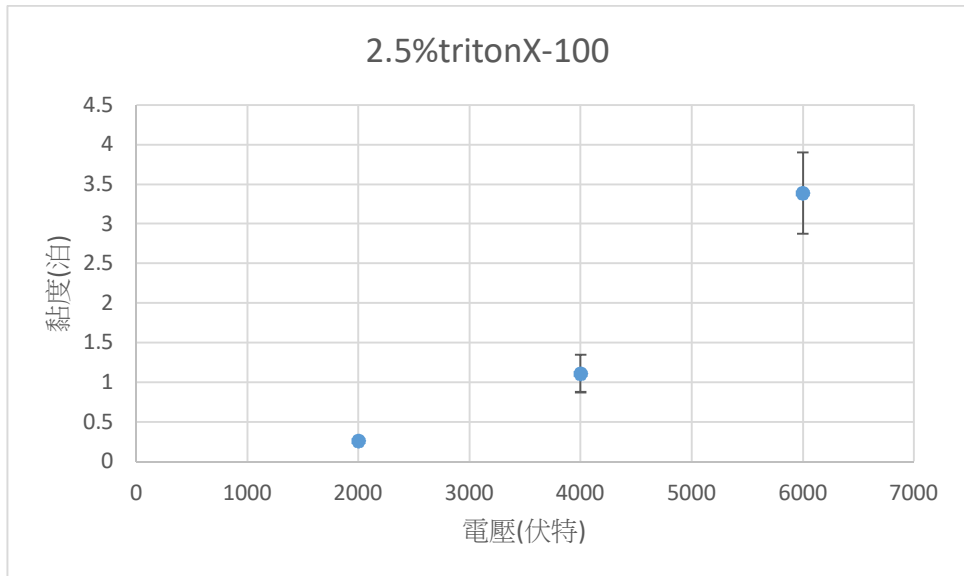
r 為小球半徑，

v 為小球速率。



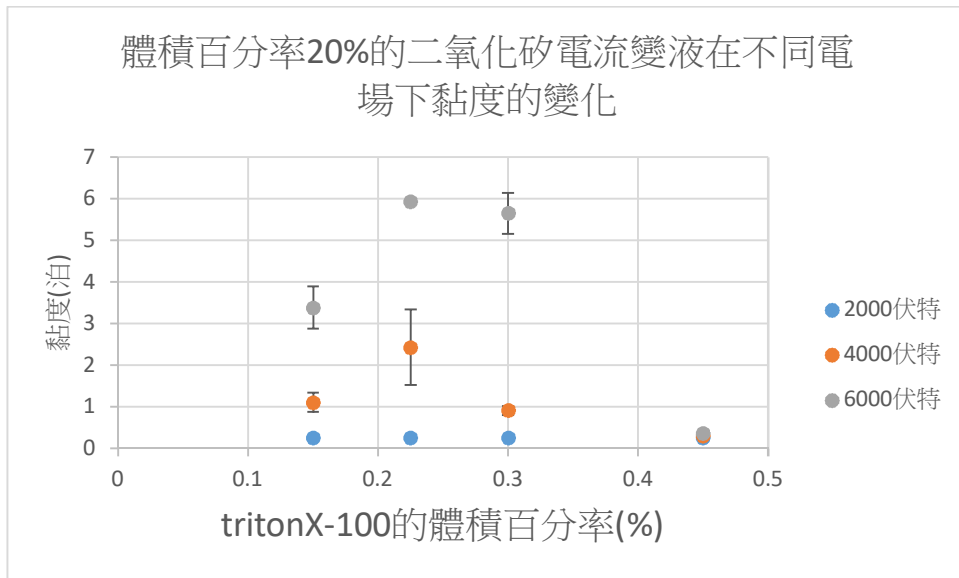
表一、不同濃度甘油的黏度

(二) 測量體積濃度 20%的二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度



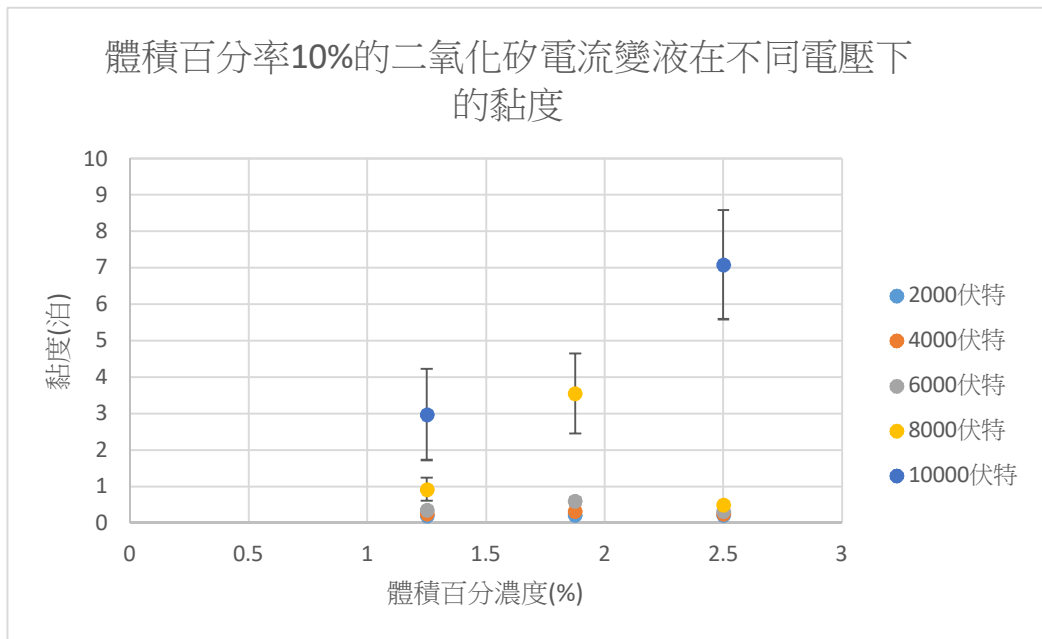
表二、二氧化矽濃度為 20%的電流變液所施加之電場和黏度的關係

(三) 測量介面活性劑的量對流變效果的影响



表三、不同量的介面活性劑和流變的關係

(四) 測量體積濃度 10%的二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度



表四、體積濃度 10%的二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度

(五) 觀察氧化鐵粒子在電流變液中的運動情形



圖一、直徑 650 奈米的氧化鐵粒子在電場 40000N/C 下的運動情形



圖二、直徑 2000 奈米的氧化鐵粒子在電場 40000N/C 下的運動情形



圖三、直徑 650 奈米的氧化鐵粒子在電場 60000N/C 下的運動情形



圖四、直徑 1000 奈米的氧化鐵粒子在介面活性劑體積百分濃度 3.75%，電場 60000N/C 下的運動情形



圖五、直徑 3000 奈米的氧化鐵粒子在介面活性劑體積百分濃度 3.75%，電場 60000N/C 下的運動情形

肆、討論

一、測量二氧化矽電流變液的黏度

(一) 測量甘油的黏度

對於甘油溶液而言，黏度的測量值為 1.48 泊，理論值為 1.2 泊，相對誤差約 23%；而 90%的甘油水溶液黏度的測量值為 0.34 泊，理論值為 0.25 泊，相對誤差約 36%。因為本次實驗的攝影器材一秒鐘只能拍 15 張，無法拍到鋼珠在 90%甘油水溶液的位置，只能取頭尾的畫面進行計算，故誤差較大。為了在後面的實驗得到較精確的結果，故後面皆使用一秒拍 60 張的攝影機。

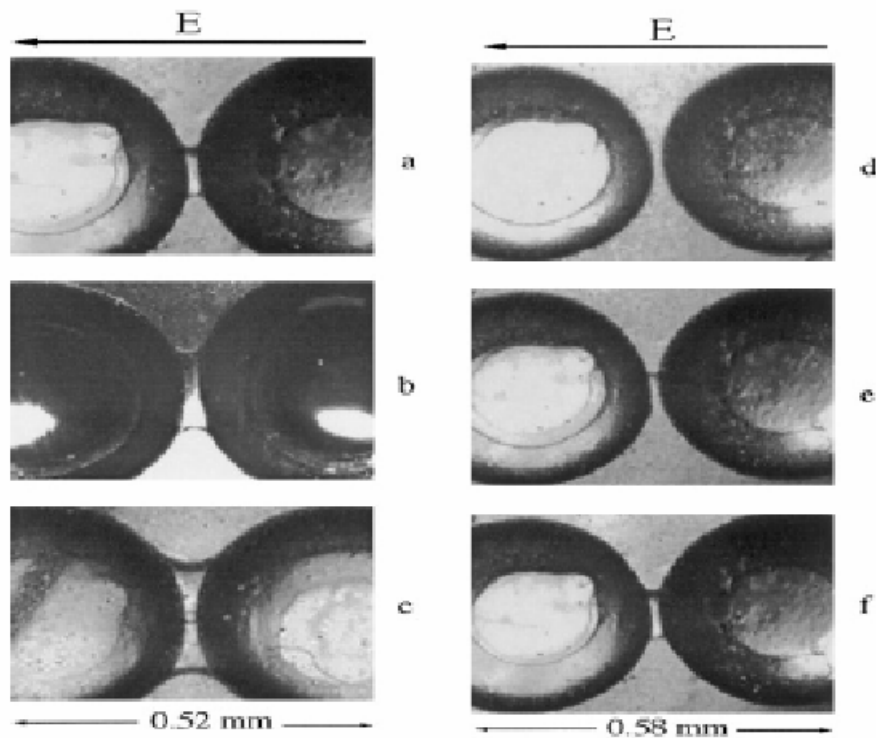
(二) 測量二氧化矽電流變液在不同電壓下的黏度

二氧化矽電流變液的黏度和電壓的平方成正比。

(三) 測量介面活性劑的量對流變效果的影響

對二氧化矽體積百分濃度為 20% 的電流變液來說，在介面活性劑的體積百分濃度小於 3.75% 時，加入越多的介面活性劑對電流變的效果是越佳的；而介面活性劑的體積百分濃度大於 3.75% 時，加入越多量的介面活性劑則會使電流變效果越不明顯。在閱讀參考資料四(四、 Y. D. Kim, D. J. Klingenberg(1996).

Two roles of nonionic surfactants on the electrorheological response, Journal of Colloid and Interface Science.)後，我認為 triton X-100 的效應應該和該研究的模型接近(見圖四)，當介面活性劑的量在一定的範圍內時，其介面與接觸點法向量的夾角會因為介面活性劑的量增加或電壓加大使分子間的距離減少而增加，使兩粒子分子間的作用力增加進而使黏度增加；反之，當介面活性劑的量超過一定的值後，會因為在兩分子間介面活性劑的量增加而使角度變化不明顯，使得電流變效果沒有前者明顯。



圖六、介面活性劑在電場下將作用於兩粒子之間，形成一介面活性劑橋，此圖為微米級的粒子在顯微鏡下的照片。參考 Y. D. Kim, D. J. Klingenberg(1996).

Two roles of nonionic surfactants on the electrorheological response, Journal of Colloid and Interface Science.

(四) 測量電流變液中二氧化矽體積百分濃度對流變的影響

為了證實 triton X-100 的機制和參考資料四的機制類似，所以我進行了改變電流變液二氧化矽體積百分濃度的實驗。實驗結果可得知，當二氧化矽體積百分濃度為原本的一半時，若要造成類似電流變效應的趨勢，只需加入一半的介面活性劑，但是要在較高的電壓下才可看見。此結果證明 triton X-100 的機制和粒子的密度有關，且可作為介面活性劑是在兩粒子間形成介面活性劑橋的證據。比較特別的是在二氧化矽體積百分濃度為 20%，介面活性劑體積百分濃度為 5% 的電流變液，和二氧化矽體積百分濃度為 10%，介面活性劑體積百分濃度為 2.5% 的電流變液分別於 6000 伏特和 10000 伏特的電壓下，其黏度有大量增加的趨勢，推測為高電壓使得二氧化矽鍊與二氧化矽鍊間距縮小，加上介面活性劑對鍊與鍊間的作用與影響所造成黏度的大量提升。

(五) 觀察氧化鐵粒子在電流變液中的運動情形

為了證實介面活性劑在高電壓下會增加鍊與鍊的作用力，故想測量鍊與鍊的間距，但因為電流變液中的二氧化矽直徑皆小於 4 微米，粒徑太小及間距太小下無法使用繞射法測得其間距，故在電流變液中加入少量的氧化鐵粒子，在不影響其電流變效果的情形下間接得到其鍊與鍊間距的變化。而實驗結果也間接證實，在高電壓下鍊與鍊的間距確實會有明顯的減少。若使用文獻四的理論模型去計算，則二氧化矽體積百分濃度 20%，介面活性劑體積百分率 3.75% 的電流變液的黏度在 6000 伏特下應比實驗值少約 2.2 泊；而二氧化矽體積百分濃度 20%，介面活性劑體積百分率 5% 的電流變液的黏度在 6000 伏特下應比實驗值少約 3.6 泊。在此實驗中，二氧化矽體積百分濃度 20%，介面活性劑體積百分率 5% 的電流變液中的鍊距約 2000 奈米，二氧化矽體積百分濃度 20%，介面活性劑體積百分率 3.75% 的電流變液中的鍊距約 3000 奈米，故實驗結果顯示，溶液黏度增加量和鍊的間距成反比。

伍、結論

- 一、本實驗方法確實可以測得溶液的黏度而可以忽略比色管管壁造成的邊界效應，所測得的黏度在低電壓下和電壓的平方成正比。
- 二、二氧化矽體積百分濃度為 20%，介面活性劑體積百分濃度為 3.75% 的電流變液，和二氧化矽體積百分濃度為 10%，介面活性劑體積百分濃度為 1.875% 的電流變液的電流變效果最佳。推測介面活性劑會作用於兩粒子間，增加其作用力使溶液黏度增加。
- 三、在高電壓下，介面活性劑會增加鍊與鍊之間的作用力，使鍊與鍊的間距縮小，而溶液黏度增加量和鍊的間距成反比。

陸、參考資料

- 一、劉竹亭等(2005)。甘油黏度與濃度關係之實驗研究。延安大學學報第 24 卷第 4 期。
- 二、Tomoaki Satoh, Tetsuo Ashitaka, Shinya Orihara, Yoshihisa Saimoto, and Mikio Konno(2001). Electrorheological Response and Structure Growth of Colloidal Silica Suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science* 234, P19–P23.
- 三、Xiaopeng Zhao, Jianbo Yin and Hong Tang (2007). *New Advances in Design and Preparation of Electrorheological Materials and Devices*.
- 四、Y. D. Kim, D. J. Klingenberg(1996). Two roles of nonionic surfactants on the electrorheological response, *Journal of Colloid and Interface Science*.
- 五、N. Felici, J. N. Foulc, P. Atten(1994). A conduction model of electrorheological effect, the 4th International Conference on ER Fluids – Mechanisms, Properties, Structure, Technology and Applications, p139

柒、附錄

	X	Y
1	1373	835
2	1439	837
3	1464	834
4	1378	835
5	1379	835
6	1382	835
7	1381	832
8	1390	829
9	1382	834

10	1388	834
11	1445	831
12	1440	829
13	1375	829
14	1446	835
15	1370	832
16	1439	825
17	1443	823
18	1485	823
19	1435	823
20	1384	832
21	1442	826
22	1388	835
23	1488	823
24	1448	811
25	1363	825
26	1360	823
27	1364	823
28	1384	835
29	1420	832
30	1467	820
31	1467	823
32	1375	829
33	1439	819
34	1399	819
35	1481	822
36	1445	817
37	1446	819
38	1382	829
39	1373	828
40	1427	847
41	1481	823
42	1476	826
43	1355	822
44	1433	831
45	1348	825
46	1451	828
47	1351	822
48	1354	819

49	1351	820
50	1449	822

表五、直徑 650 奈米的氧化鐵粒子在電場 40000N/C 下的運動情形

	X	Y
1	1384	832
2	1446	831
3	1475	837
4	1384	841
5	1388	846
6	1384	829
7	1387	829
8	1385	829
9	1457	816
10	1375	829
11	1372	823
12	1372	825
13	1442	829
14	1394	829
15	1436	825
16	1382	835
17	1409	826
18	1382	837
19	1376	829
20	1443	828
21	1390	831
22	1451	817
23	1449	813
24	1385	835
25	1381	840
26	1388	840
27	1387	840
28	1382	834
29	1464	837
30	1469	823
31	1470	823
32	1376	829
33	1455	819
34	1376	829

35	1369	826
36	1451	823
37	1451	820
38	1366	829
39	1378	829
40	1378	826
41	1382	828
42	1424	823
43	1360	820
44	1352	826
45	1360	831
46	1446	823
47	1376	834
48	1373	835
49	1375	835
50	1449	823

表六、直徑 2000 奈米的氧化鐵粒子在電場 40000N/C 下的運動情形

	X	Y
1	1417	810
2	1336	823
3	1340	823
4	1342	823
5	1343	826
6	1418	817
7	1343	829
8	1348	823
9	1399	807
10	1391	820
11	1432	829
12	1363	837
13	1438	831
14	1361	847
15	1361	843
16	1443	829
17	1355	841
18	1354	840
19	1354	841
20	1360	840

21	1378	835
22	1446	832
23	1452	832
24	1352	835
25	1357	835
26	1355	832
27	1451	829
28	1369	849
29	1375	847
30	1455	838
31	1372	846
32	1460	837
33	1364	849
34	1378	849
35	1460	840
36	1460	837
37	1455	835
38	1461	835
39	1372	841
40	1379	841
41	1454	837
42	1357	844
43	1360	847
44	1360	847
45	1358	846
46	1435	826
47	1348	840
48	1349	835
49	1363	832
50	1346	832

表七、直徑 650 奈米的氧化鐵粒子在電場 60000N/C 下的運動情形

	X	Y
1	861	392
2	870	392
3	873	392
4	874	387
5	877	387
6	874	390

7	879	390
8	877	387
9	876	389
10	879	389
11	880	392
12	877	390
13	879	390
14	879	389
15	879	389
16	879	392
17	879	390
18	882	390
19	879	392
20	873	392
21	873	392
22	867	392
23	868	386
24	867	390
25	867	396
26	870	389
27	865	393
28	867	392
29	873	389
30	874	392
31	877	390
32	877	387
33	879	386
34	877	392
35	879	390
36	874	390
37	874	386
38	877	389
39	877	392
40	883	387
41	879	389
42	877	389
43	876	390
44	879	387
45	879	389

46	879	387
47	873	389
48	873	392
49	867	392
50	867	392

表八、直徑 1000 奈米的氧化鐵粒子在介面活性劑體積百分濃度 3.75%，電場 60000N/C 下的運動情形

	X	Y
1	1156	841
2	1168	838
3	1174	835
4	1174	837
5	1175	837
6	1171	834
7	1174	835
8	1174	835
9	1177	835
10	1181	835
11	1172	832
12	1174	835
13	1169	835
14	1178	835
15	1172	837
16	1169	835
17	1175	834
18	1178	831
19	1168	840
20	1168	832
21	1168	835
22	1165	837
23	1162	840
24	1160	835
25	1165	837
26	1160	837
27	1162	835
28	1163	838
29	1168	835
30	1168	834

31	1174	835
32	1171	832
33	1172	835
34	1172	834
35	1174	831
36	1175	831
37	1174	835
38	1174	829
39	1174	834
40	1172	831
41	1174	834
42	1174	832
43	1172	834
44	1175	834
45	1175	832
46	1174	831
47	1172	835
48	1168	832
49	1168	832
50	1168	835

表九、直徑 3000 奈米的氧化鐵粒子在介面活性劑體積百分濃度 3.75%，電場 60000N/C 下的運動情形

【評語】 160029

本作品研究在矽油中加入二氧化矽粒子，在電場中矽油的黏度上升，呈現指數函數關係。如果加入介面活性劑會造成二氧化矽粒子分散，影響黏度變化。本作品題材新穎，具創新性，值得嘉許。

作品有幾項問題以加強：

(1)內容提及二氧化矽粒子形成長鏈結構，最好提供直接證據。

(2)鐵粒子 600 奈米在電場中呈現往復運動現象非常有趣。應考慮繼續研究，可以成為優良科展題目。