

膠體溶液的帶電性與凝聚

施建輝

國立新竹科學園區實驗高級中學

教育部高中化學學科中心

schemistry0120@gmail.com

■ 疑難問題

在膠體溶液的單元中，有一段文字敘述：「金屬的氫氧化物帶正電，金屬的硫化物則帶負電」，為何兩者會帶電？為何帶有不同的電荷？

■ 解答一：膠體溶液的帶電性說明

膠體 (Colloid) 溶液有三大特性，「帶電」是其特性之一。在教科書開放之前，由國立編譯館發行的化學課本裡，有一句話：「膠體溶液中，金屬的氫氧化物帶正電，金屬的硫化物帶負電」，困擾高中化學老師多年，近來

又有老師問起，因此作者參考多本相關書籍，提供這個問題的解釋方式，供高中化學老師參考。

以硝酸銀 (AgNO_3) 溶液與碘化鉀 (KI) 溶液混合為例，使其中某一溶液過量，過量之電解質溶液扮演穩定劑的角色，讓膠體溶液能穩定存在。碘化銀溶膠的帶電性說明如下。



圖 1：膠核的形成



圖 2：膠核吸附碘離子

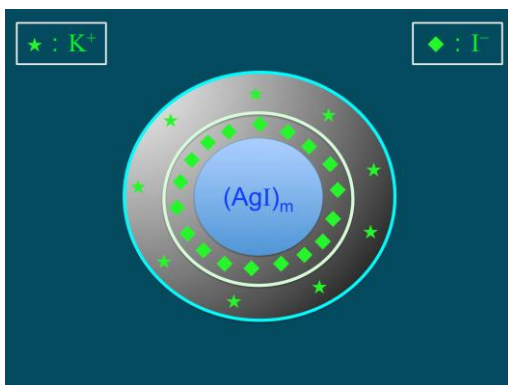


圖 3：再吸附鉀離子，構成膠體粒子

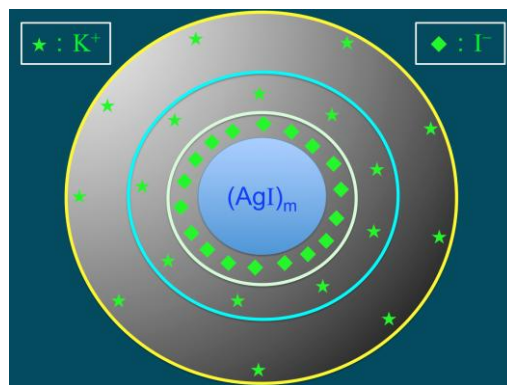


圖 4：電雙層的形成

當硝酸銀溶液與碘化鉀溶液混合時，銀離子 (Ag^+) 與碘離子 (I^-) 會生成有晶體結構的 $(\text{AgI})_m$ 而形成「膠核」(colloidal nucleus) (圖 1)。膠核選擇性的吸附溶液中過量的碘離子 (I^-) 而帶負電 (圖 2)。帶負電的粒子吸引溶液中帶正電荷的鉀離子 (K^+)，被吸附的碘離子 (I^-) 與鉀離子 (K^+) 稱為「吸附層」(Stern layer) (圖 3)，膠核與吸附層構成「膠體粒子」，又稱「膠粒」(colloidal particle)。因為膠體粒子吸附的碘離子 (I^-) 數目大於鉀離子 (K^+)，故此膠體粒子帶負電。帶負電的膠體粒子再以疏鬆的方式吸引鉀離子 (K^+)，此為「擴散層」(diffuse layer)，膠體粒子與擴散層構成「膠團」(圖 4)。膠團即膠體溶液常被提及的「電雙層」(electric double layer)，電雙層為電中性。 AgI 膠團的示意圖，如圖 5 所示。

課本提及的帶電性即為膠核與吸附層構成的膠體粒子所帶的電荷，上例因碘化鉀溶液過量，故此一膠體溶液帶負電；反之，若

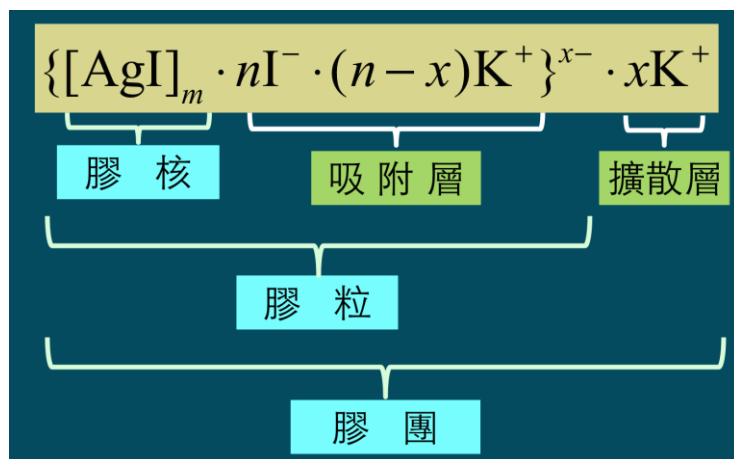
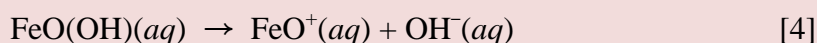
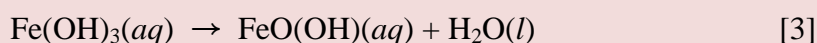
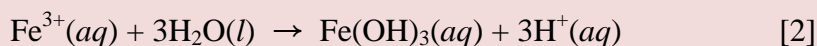


圖 5： AgI 膠團形成的示意圖

是硝酸銀溶液過量，則形成之膠體溶液帶正電。

回頭說明為何「膠體溶液中，金屬的氫氧化物帶正電，金屬的硫化物帶負電」。

一、**氫氧化鐵溶膠**：氯化鐵溶於水可製得氫氧化鐵溶膠，其化學反應式，如式 [1] ~ [4] 所示：

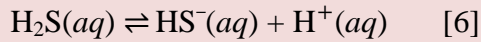
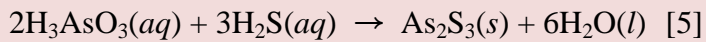


其中鐵離子 (Fe^{3+}) 是酸性陽離子，在水中會起水解，其水解過程如下：

$[\text{Fe}(\text{OH})_3]_m$ 為膠核 (圖 6)，膠核選擇性的吸附溶液中類似晶格粒子的 FeO^+ 而帶正電 (圖 7)。帶正電的粒子吸引溶液中帶負電荷的氯離子 (Cl^-) (圖 8)，膠核與吸附層構成「膠體粒子」。因為膠體粒子吸附的 FeO^+ 數目大於 Cl^- ，故此膠體粒子帶正電。帶正電的膠體粒子再以疏鬆的方式吸引 Cl^- ，構成「膠團」(圖 9)。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 膠團的示意圖，如圖 10 所示。

二、**硫化砷溶膠**：將氫硫酸溶液 (H_2S) 與亞砷酸溶液 (H_3AsO_3) 作用，可製得硫化砷溶膠，其化學反應式，如式 [5] 所示：

氫硫酸溶液 (H_2S) 在水中會解



離，生成 HS^- 與 H^+ ，其解離反應式，如式[6]所示：

$[\text{As}_2\text{S}_3]_m$ 為膠核，膠核選擇性的吸附溶液中類似晶格粒子的 HS^- 而帶負電。帶負電的粒子吸引溶液中帶正電荷的氫離子 (H^+)，膠核與吸附層構成「膠體粒子」。因為膠體粒子吸附的 HS^- 數目大於 H^+ ，故此膠體粒子帶負

之後，此處就要論及膠體溶液的凝聚。膠體溶液凝聚常用的方法有三：加熱、通電與加入電解質溶液。加熱是克服因膠體粒子帶電而互斥，以致無法形成夠大的顆粒以生成沉澱；通電則是利用溶膠的帶電性，讓帶電的溶膠移向不同電性的

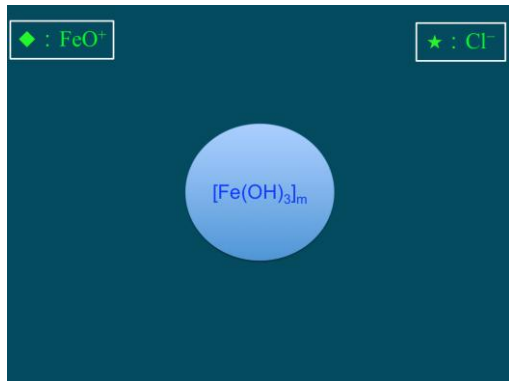


圖 6：膠核的形成

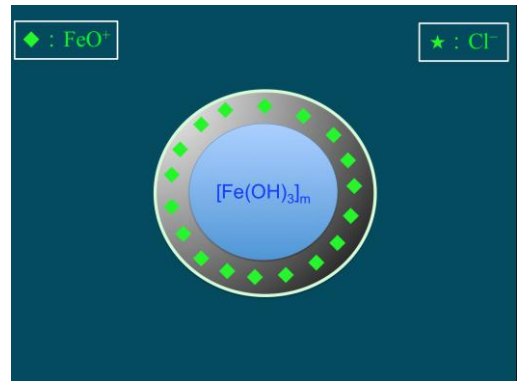


圖 7：膠核吸附 FeO^+ 離子

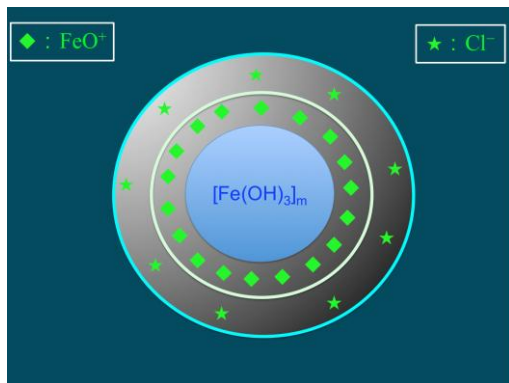


圖 8：再吸附氯離子，構成膠體粒子

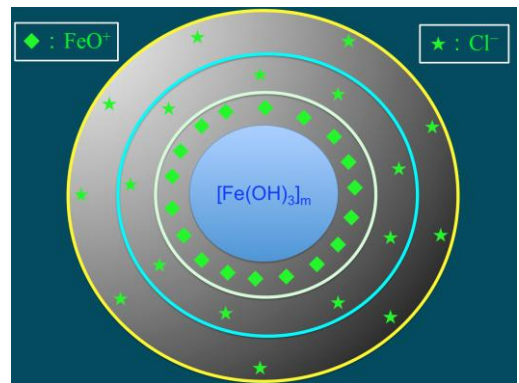


圖 9：電雙層的形成

電。帶正電的膠體粒子再以疏鬆的方式吸引 H^+ ，構成「膠團」。As₂S₃ 膠團的示意圖，如圖 11 所示。

■ 解答二：膠體溶液的凝聚說明

明白為何「金屬的氫氧化物帶正電，金屬的硫化物則帶負電」

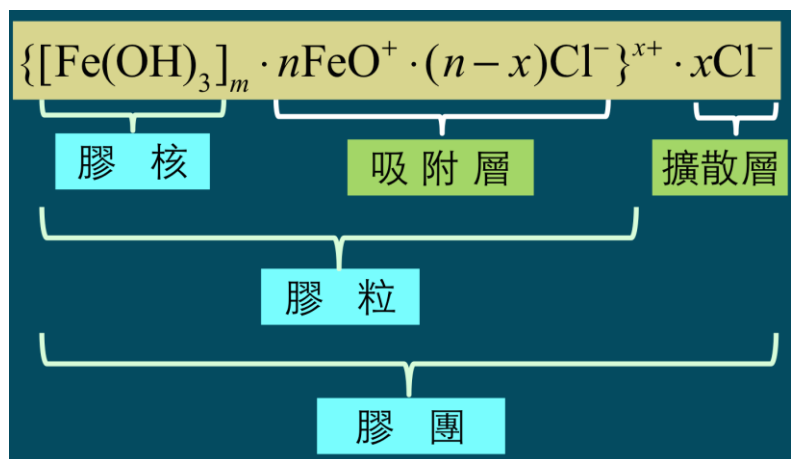


圖 10：Fe(OH)₃ 膠團形成的示意圖

電極，
去除所
帶電荷
而凝
聚，此
一方法
亦可驗
證溶膠
帶何種
電荷，
圖 12 即

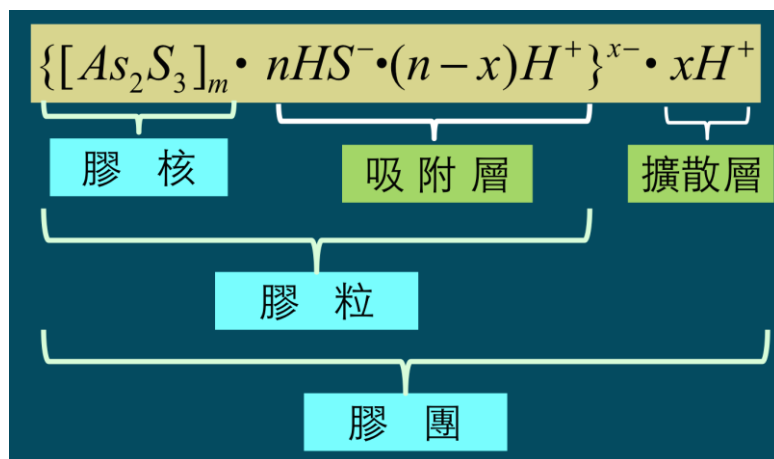


圖 11：As₂S₃ 膠團形成的示意圖

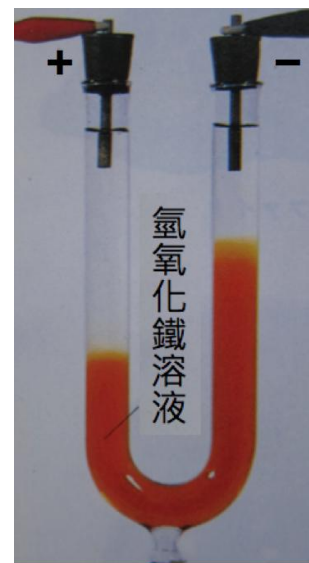


圖 12：通電後，氫氧化鐵溶膠移向負極並凝聚

是通電後，氫氧化鐵溶膠移向負極並凝聚，
可驗證氫氧化鐵溶膠確實帶正電；

最後，則是加入電解質溶液以中和該溶膠所帶的電荷而達到凝聚的效果。溶膠所帶電荷的種類與加入的電解質之關係，如表一所示，「聚沉值」為特定條件下，使溶膠明顯凝聚所需電解質溶液的最小濃度。表中可見，氫氧化鐵溶膠與氧化鋁溶膠帶正電，所以加入帶較多電荷的陰離子效果較好，如 SO_4^{2-} 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 優於 Cl^- 、 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 又優於 SO_4^{2-} 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 。硫化砷溶膠帶負電，所以加入帶較多電荷的陽離子效果較好，如 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 優於 Na^+ 、 Al^{3+} 又優於 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 。

■ 參考資料

1. 普通化學(第三版)，浙江大學普通化學教研組編，高等教育出版社。
2. 近代物理化學(第三版)，朱志昂主編，科學出版社。
3. 膠體及界面化學入門 (Introduction to Colloid and Surface Chemistry 4/e)，Duncan J. Shaw 原著，張有義、郭蘭生編譯，高立圖書有限公司。

(圖片來源：小林正光、野村祐次郎、本岡達、內藤周式，化學(第三版)，數研出版株式會社，p 2。)

表一：電解質對溶膠的聚沉值 (mmol/L)

Fe(OH) ₃ (正溶膠)		Al ₂ O ₃ (正溶膠)		As ₂ S ₃ (負溶膠)	
NaCl	9.25	NaCl	63.5	NaCl	51
K ₂ SO ₄	0.205	K ₂ SO ₄	0.303	CaCl ₂	0.65
MgSO ₄	0.22	K ₂ Cr ₂ O ₇	0.63	MgSO ₄	0.81
---	---	K ₃ [Fe(CN) ₆]	0.08	1/2Al ₂ (SO ₄) ₃	0.096