

高中新舊化學實驗教材比較研究

(十二) 探討「過渡元素及其化合物」 新舊實驗教材之異同

許丹瓊

臺北市立第一女子高級中學

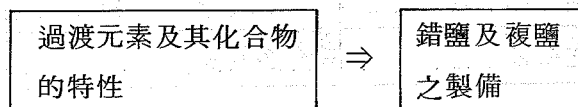
王澄霞

國立臺灣師範大學化學系

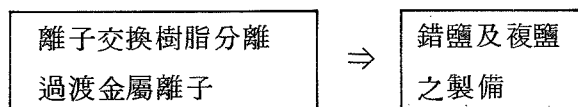
本文針對新舊高中化學教材中，有關“過渡元素及其化合物”主題概念之實驗加以整理，並就實驗前後順序，實驗項目及內容之異同，加以比較研究（1，2）

一、實驗前後順序

新實驗教材：



舊實驗教材：



二、實驗項目之異同

將新舊教材之實驗項目分三個階段比較之。

第一階段：有關「過渡元素及其化合物的特性」實驗項目之異同如下：

實驗號碼	實驗項目	異 同
1	錳氧化數的變化	新教材之實驗，舊教材無
2	鐵離子及其化合物	同上
3	鐵的生銹	新舊教材均有，但其呈現順序不同。新教材配合過渡元素及其化合物之部分，而舊教材配合氧化還原之部分。
4	銅離子及其化合物	新教材之實驗，舊教材無

第二階段：有關「離子交換樹脂分離過渡金屬離子」實驗項目之異同如下：

實 驗 項 目	異 同
離子交換樹脂分離過渡金屬離子	舊教材之實驗，新教材無

第三階段：有關「錯鹽及複鹽之製備」實驗項目之異同如下：

實 驗 項 目	異 同
錯鹽及複鹽之製備	新舊教材都有

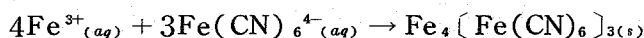
三、實驗內容之異同

第一階段：

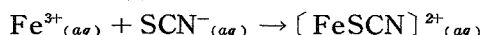
1. 錳氧化數的變化

新實驗教材〔化三．7-1〕錳氧化數的變化：其實驗內容是先觀察過錳酸鉀溶液之顏色，然後於其中加入氫氧化鈉溶液和酒精一滴搖盪至顏色起變化。再將溶液加熱至生成沉澱，並滴加濃硫酸使沉澱溶解。所導引的概念是：過錳酸鉀溶液呈紫色，此為過錳酸根離子（ MnO_4^- ）特有的顏色，此離子中錳的氧化數為+7。於其中加入氫氧化鈉溶液鹼化後，再滴入酒精搖盪會使溶液變成綠色，是因強氧化劑過錳酸鉀在鹼性溶液中被酒精還原生成錳酸鉀（ K_2MnO_4 ）之緣故，反應方程式如下：

另外取氯化鐵(III)溶液，分別滴入鐵(III)氰化鉀（赤血鹽）溶液、鐵(II)氰化鉀（黃血鹽）溶液及硫氰化鉀溶液，觀察其變化。所導引的概念是：鐵(III)鹽溶液與赤血鹽溶液不起變化，與黃血鹽溶液反應生成深藍色沉澱，俗稱普魯士藍：



而與硫氰化鉀溶液，則生成血紅色錯離子 $[\text{FeSCN}]^{2+}_{(aq)}$ ：



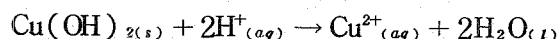
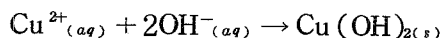
新教材此實驗之優點是做過此實驗後，學生可以利用實驗之結果，來鑑定溶液中所存在的離子，究竟是鐵(II)離子或鐵(III)離子。

舊教材無此方面的實驗。

3.鐵的生銹：此實驗新舊教材均有，其所導引的概念相同，都是以氧化還原之原理探討鐵之腐蝕。新實驗教材強調鐵為過渡元素，將鐵生銹變成鐵之氧化物當作過渡元素化合物，所以配合化學課本第三冊第十二章之12-4過渡元素及其化合物之部分，其優點是實驗教材與課本教材之進度安排能互相銜接配合。詳細內容請參閱參考資料(3)。

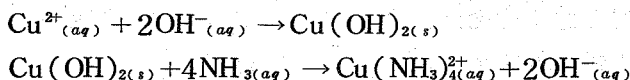
4.銅離子及其化合物：其實驗內容分為兩部分，第一部分是有關銅的化合物，先觀察滴加濃硫酸於藍色硫酸銅晶體及將此晶體加熱時之變化，然後將加熱過之試管冷卻，滴入水再觀察其變化，並將其配成溶液。所導引的概念是：含有五個結晶水的藍色硫酸銅晶體，俗稱膽礬或藍礬，當滴加濃硫酸或加熱時則失去結晶水，而成為不含結晶水的白色硫酸銅粉末，此白色粉末滴入水後，又成為藍色硫酸銅晶體。

另外將配成的硫酸銅溶液，分置二試管中，一支加入氫氧化鈉溶液，煮沸沉降後，吸去上層澄清液，再滴入硫酸觀察其變化。所導引的概念是：硫酸銅溶液中加入氫氧化鈉時，產生藍綠色膠狀的氫氧化銅沉澱，然後滴入硫酸，此氫氧化銅沉澱溶解，而生成藍色的水合銅(II)離子：

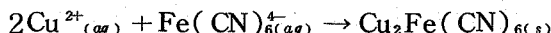


另一支試管中加入氨水，先有沉澱生成，繼續滴入氨水直至沉澱完全溶解。所導引的概念是：硫酸銅溶液中加入氨水時，則先產生藍綠色膠狀的氫氧化銅沉澱，此氫氧化銅沉

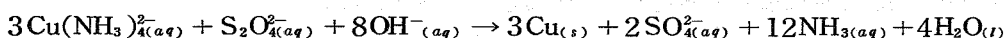
澱可溶解於過量氨水中，而生成深藍色的四氨銅(II)錯離子：



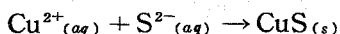
第二部分是有關銅離子的反應：先取硫酸銅溶液加入鐵(II)氰化鉀(黃血鹽)，觀察其變化，所導引的概念是：水合銅(II)離子呈藍色，當其與鐵(II)氰離子相遇時，即結合生成鐵(II)氰化銅(II)的紅棕色沉澱：



因此可用黃血鹽溶液來檢驗銅離子。另取硫酸銅溶液滴入氨水，直至沉澱全溶後，將其煮沸，加入低亞硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 觀察變化。所導引的概念是：滴入氨水於硫酸銅溶液，直至沈澱全溶時，可生成四氨銅(II)錯離子，然後加入低亞硫酸鈉靜置，則起氧化還原反應，產生紅色金屬銅：



再取硫酸銅溶液加入硫化鈉觀察變化，所導引的概念是：銅離子溶液遇到硫離子即產生黑色的硫化銅沈澱，方程式如下：

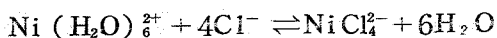
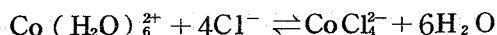
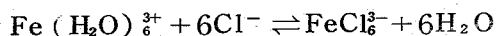


新教材此實驗之優點是：學生對於銅的化合物—硫酸銅晶體的性質，及其在水中所產生之銅離子的反應，能夠有系統的認識與瞭解，如此可以提高他們的學習興趣。

舊教材無此方面的實驗。

第二階段：離子交換樹脂分離過渡金屬離子

舊實驗教材〔二十七〕離子交換樹脂分離過渡金屬離子：其實驗內容是將鐵鹽、亞鈷鹽和亞鎳鹽溶在 12M HCl 中作為試液，倒入陰離子交換樹脂管柱中。再將配製好的 9M HCl、5M HCl、1M HCl 依次倒入流過樹脂管柱，而分別溶離出 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Fe^{3+} 離子，其顏色依次為綠色、淡紅色、黃色。然後於 Ni^{2+} 、 Co^{2+} 、 Fe^{3+} 離子之溶離液中，滴加二甲基二乙醛二肟、硫氰化鉍丙酮溶液、硫氰化鉀溶液檢驗之，所呈現之顏色依次為鮮紅色、藍色、血紅色。所導引的概念是：將鐵鹽、亞鈷鹽和亞鎳鹽溶液在 12M HCl 中時，其陽離子能變為錯氯化物陰離子 FeCl_6^{3-} ， CoCl_4^{2-} ， NiCl_4^{2-} ，方程式如下：



這些錯陰離子可與陰離子交換樹脂中的陰離子交換。然後把鹽酸的濃度降至 9 M，因氯離子濃度降低，則上述平衡趨向左端，最不穩定的錯氯化物離子 NiCl_4^{2-} 最先回復成水合的鎳(II)陽離子，此陽離子不再留於樹脂上而被溶離出來，溶離液呈綠色。接著將鹽酸的濃度降至 5 M，溶離出水合的鈷(II)陽離子，溶離液呈淡紅色。再將鹽酸的濃度降至 1 M，最穩定的錯氯化物離子 FeCl_4^{3-} ，回復成水合的鐵(III)陽離子而溶離出來，溶離液呈黃色。其溶離液分別滴入二甲基二乙醛二肟，若有鮮紅沉澱生成，表示有 Ni^{2+} 離子存在。滴入硫氰化鉍丙酮溶液，若有藍色呈現，表示有 Co^{2+} 離子存在。滴入硫氰化鉀溶液，若有血紅色呈現，表示有 Fe^{3+} 離子存在。

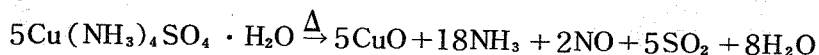
舊教材此實驗之優點是：選用三種過渡金屬—鐵(III)、鈷(II)、鎳(II)的離子加以分離，雖然其性質相接近，不易以物理或化學的方法將其分離。但可以採用陰離子交換樹脂法，利用其與 12M HCl 所形成的錯陰離子之安定性的不同，分別將其回復成過渡金屬陽離子溶離析出。其在溶離液中各呈現不同的顏色，極易加以區別。

新教材雖然在第三冊第十二章討論過渡元素性質之相似性，但無配合此方面的實驗。

第三階段：錯鹽及複鹽之製備

新實驗教材〔化三·8〕錯鹽及複鹽，舊實驗教材〔二十八〕錯化合物及複鹽之製備，其實驗內容相同，第一部分皆為硫酸銅銨〔 $\text{CuSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 〕複鹽的製備：將五水硫酸銅（ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）與硫酸銨〔 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 〕研碎，加水全部溶解後，靜置過夜，有硫酸銅銨之複鹽晶體析出。所導引的概念是：兩種鹽類以簡單的比例共同結晶析出時可得複鹽，複鹽的溶液會呈現各成分鹽類所有的每一種離子（通常是水合離子）的特性。教材中介紹兩類複鹽，一類其通式為 $\text{M}^+ \text{M}^{3+} (\text{SO}_4^{2-})_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 如鉀明礬 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ，另一類其通式為 $\text{M}^{2+} (\text{M}^+)_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 如硫酸銅銨 $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 。第二部分為硫酸四氨銅〔 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 〕錯鹽的製備：將五水硫酸銅研碎，全部溶解於濃氨水後，以酒精覆蓋整個溶液，靜置過夜，有硫酸四氨銅之錯鹽晶體析出。所導引的概念是：很多過渡金屬的離子能與水以外的分子或離子形成穩定的錯離子，含錯離子的鹽類稱為錯化合物或錯鹽，其溶液會呈現錯離子，如硫酸四氨銅錯鹽的溶液中，有四氨銅〔 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 〕錯離子的存在。第三部分為單鹽、複鹽及錯鹽的性質比較：先取無水硫酸銅單鹽加水，觀察顏色變化，然後滴入氨水，再觀察結果。所導引的概念是：無水硫酸銅呈白色，加水後含 $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 水合離子而呈藍色，然後滴入氨水產生藍綠色氫氧化銅沉澱，再滴入氨水，沉澱消失，同時溶液呈深藍色，乃因產生 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 錯離子之故。然後將自製之複鹽、錯鹽加水，比較兩溶液

顏色後，再加水稀釋，觀察其變化。所導引的概念是：硫酸銅銨複鹽晶體加水後有 $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$, $\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2^{2-}$, NH_4^+ 等離子存在，因含 $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 水合離子，所以溶液呈藍色，加水稀釋後，溶液變成淡藍色。而硫酸四氨銅錯鹽晶體加水後有 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, $\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2^{2-}$ 等離子存在，因含 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 錯離子，所以溶液呈深藍色。加水稀釋後，溶液變成淡藍色且有藍綠色沉澱，乃因 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 錯離子轉變為 $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 離子，且有藍綠色氫氧化銅沉澱生成之故。最後將自製複鹽、錯鹽慢慢加熱之，觀察其變化。所導引的概念是：硫酸銅銨 $[\text{CuSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 複鹽加熱即產生各種無水之單鹽如 CuSO_4 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，繼之強熱時，分解生成棕色固體包括有 CuO （黑色） Cu_2O （紅色）等。而硫酸四氨銅 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 錯鹽加熱，分解生成黑色氧化銅固體，且有氨、二氧化硫等氣體之產生，方程式如下：



四、結 語

有關“過渡元素及其化合物”概念的實驗比較，可歸納為下列幾點：1.過渡元素及其化合物的特性：新實驗教材最大優點為安排有關錳的氧化數變化實驗，由於其不同氧化數之化合物，各有鮮明且易觀察之不同顏色，容易引起學生學習之興趣，相信他們在做過此實驗後，必能瞭解到過渡元素的特性之一：具有數種的氧化數。但舊實驗教材沒有此方面的實驗。2.離子交換樹脂分離過渡金屬離子：為舊實驗教材之特色，將鐵(Ⅲ)、鈷(Ⅱ)、鎳(Ⅱ)三種性質相近，不易以物理或化學的方法將其分離之過渡金屬離子，採用陰離子交換樹脂法，將過渡金屬陽離子分別溶離析出。由於其溶離液顏色的不同，極易區別為何種過渡金屬離子。而新實驗教材沒有此方面的實驗。3.錯鹽及複鹽之製備：新舊實驗教材之實驗內容與所導引的概念完全相同。

參考資料

1.師大科教中心：高中化學第三冊第 81 頁至第 92 頁。

高中化學實驗手冊第三冊，國立編譯館。

2. a.陳朝棟、王澄霞：高中化學（自然科組）下冊第 170 頁至第 183 頁。

高中化學實驗（自然科組）下冊，商務印書館。

b.車乘會、吳德堡：高中化學（自然科組）下冊第 166 頁至第 178 頁。

高中化學實驗（自然科組）下冊，東華書局。

c.其他我國各書局出版的高中化學教科書。

3.高中新舊化學實驗教材比較研究(九)探討“氧化還原”新舊實驗教材之異同，科學教育月刊第 104 期，第 19 頁至第 25 頁，民國 76 年 11 月。

(十二) “過渡元素及其化合物”主題概念之新舊實驗教材要目

實驗活動名稱	與課本有關概念(知能)	實驗主要內容	科學過程、技能	藥品
〔化三·7〕 過渡元素的特性 (7-1) 錳的氧化 數的變化	12-4-2 過渡元素化合物 1. 過錳酸鉀溶液呈紫色，其為氧化劑，氧化力隨溶液之酸·鹼性而異。 2. 錳酸鉀溶液呈綠色，若加入酸可變為紫色，表示原溶液中含有錳酸根離子。	1. 觀察 KMnO_4 溶液之顏色。 2. 上述溶液加 $\text{NaOH}_{(aq)}$ ，酒精一滴搖盪至顏色變化。 3. 上述溶液加熱至生成沉淀，記錄顏色。 4. 滴加濃 H_2SO_4 ，使沉淀溶解，觀察顏色。 5. MnCl_2 溶液，滴加 $\text{NaCH}_{3\text{COO}}$ 呈鹼性，再加入 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_{(aq)}$ 觀察變化。 6. KMnO_4 溶液，滴入濃 H_2SO_4 ，再滴入草酸，觀察變化。	觀察溶液顏色的變化。	$\text{KMnO}_4(s)$ 6M NaOH 1M NaOH 95% $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 18M H_2SO_4 1M MnCl_2 1M $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 紅色石蕊試紙 1M $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 15M NH_3
(7-2) 鐵離子及其化合物	12-4-2 過渡元素化合物 1. 亞鐵氰化鉀遇鐵鹽溶液生成普魯士藍。 2. 鐵氰化鉀遇亞鐵鹽溶液生成滕氏藍。 3. 鐵離子與 KSCN 反應生成血紅色硫氰化鐵錯離子，亞鐵離子無反應。	1. 3 支試管中各加入 0.1M $\text{FeSO}_{4(aq)}$ ，後，分別滴入 $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6(aq)$ ， $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6(aq)$ ， $\text{KSCN}_{(aq)}$ 觀察溶液的變化。 2. 重複步驟(1)，將 $\text{FeSO}_{4(aq)}$ 改為 $\text{FeCl}_{3(aq)}$ 。	由滴入不同試劑所呈顏色變化，辨認原溶液中含鐵離子或亞鐵離子。	0.1M FeSO_4 0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.1M $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.1M KSCN 0.1M FeCl_3

實驗活動名稱	與課本有關概念(知能)	實驗主要內容	科學過程、技能	藥品
(7-3) 鐵的生銹	12-4-1 過渡元素電子組態及性質 1. 鐵在空氣及水氣下會生銹。 2. 鐵的生銹是金屬鐵轉變為氧化物。	1. 鐵與數種試劑的反應。 2. 兩種互相接觸的金屬的反應： (1) 洋菜溶液加 $K_3Fe(CN)_6(aq)$ 和酚酞。 (2) 四支鐵釘，一支維持原狀，一支彎曲成 90° ，一支繞銅絲，一支繞鋅片，放培養皿中。 (3) 倒入洋菜溶液作觀察。	1. 觀察鐵釘是否生銹。 2. 洋菜溶液倒入培養皿中的技術。	0.1 M NaOH 0.1 M $Na_2Cr_2O_7$ 0.1 M NaCl 0.1 M HCl 0.1 M KOH 0.1 M Na_2CO_3 0.1 M KNO_3 0.1 M HNO_3 0.1 M Na_3PO_4 0.1 M $Na_2C_2O_4$ 0.1 M Na SCN 0.1 M H_2SO_4 石蕊試紙 0.1 M $K_3Fe(CN)_6$ 0.1 M $FeSO_4$ 洋菜粉 酚酞 銅線 鋅片
新	高	中	化	學
教				
材				

實驗活動名稱	與課本有關概念(知能)	實驗主要內容	科學過程、技能	藥品
(7-4) 銅離子及其化合物	12-6-3 銅 1. 硫酸銅為白色粉末，硫酸銅晶體呈藍色。 2. 硫酸銅溶液加入氫氧化鈉產生沉澱，此沉澱可溶解於氨水中。 3. 銅離子檢驗試劑是黃血鹽溶液，相遇生成紅棕色沉澱。	1. 銅的化合物 (1) 二支試管放入硫酸銅晶體，一支加濃 H_2SO_4 ，一支加熱，觀察變化。 (2) 將加熱之試管冷卻，滴水觀察變化，再加水配成溶液，置二試管中。 (3) 一支加 $NaOH(aq)$ ，吸去澄清液，沉澱滴入 H_2SO_4 ，觀察變化。 (4) 一支加 $NH_3(aq)$ ，沉澱生成，再加 $NH_3(aq)$ ，至沉澱完全溶解。 2. 銅離子的反應 (1) $CuSO_4(aq)$ 加入 $K_4Fe(CN)_6(aq)$ 觀察變化。 (2) $CuSO_4(aq)$ 滴入 $NH_3(aq)$ ，直至沉澱全溶，觀察顏色。 (3) 將(2)煮沸，加入 $Na_2S_2O_4(s)$ 觀察變化。 (4) $CuSO_4(aq)$ 加入 $Na_2S(aq)$ ，觀察變化。	1. 觀察藍色硫酸銅晶體與白色硫酸銅粉末間的變化。 2. 檢驗銅離子。	$CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$ 18M H_2SO_4 1M $NaOH$ 1M H_2SO_4 6M NH_3 0.1M $CuSO_4$ 0.1M $K_4Fe(CN)_6$ $Na_2S_2O_4$ 0.1M Na_2S

新 中 化 學
教 材

	實驗活動名稱	與課本有關概念（知能）	實驗主要內容	科學過程、技能	藥品
	[化三·8] 錯鹽及複鹽	12-3-2 鋁化合物 礬是一種複鹽，其通式為 $M(1)M(III)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 12-5 金屬錯化合物	1. 複鹽 $[CuSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O]$ 的製備。 2. 錯鹽 $[Cu(NH_3)_4SO_4 \cdot H_2O]$ 的製備。 3. 單鹽、複鹽與錯鹽的性質比較。	1. 製備複鹽。 2. 製備錯鹽。	$CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$ $(NH_4)_2SO_4(s)$ 15M NH_3 95% C_2H_5OH CH_3COOH $CuSO_4(s)$ 6M NH_3
舊教材	[二十七] 離子交換樹脂分離過渡金屬離子	15-3 錯離子 利用離子交換樹脂分離過渡金屬離子。	1. Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} 溶在 12 M HCl 生成錯離子，試液倒入陰離子交換樹脂管中。 2. 將 9 M HCl, 5 M HCl, 1 M HCl 依次通過樹脂管，分別溶離出 Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{3+} 呈綠色、淡紅色、黃色。 3. 溶離液滴加二甲基二乙醛二肟，檢驗 Ni^{2+} 。 4. 溶離液滴加 NH_4SCN (丙酮溶液) 檢驗 Co^{2+} 。 5. 溶離液滴加 $KSCN$ 檢驗 Fe^{3+} 。	1. 裝置離子交換樹脂管。 2. 配製 9M, 5M, 1 M HCl。 3. 溶液中含 Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} 之檢驗。	試液 Fe^{3+} , Co^{2+} , Ni^{2+} 0.1M $KSCN$ 15M NH_3 10% NH_4SCN 9M HCl 1% 二甲基二乙醛二肟
高中化學					

	高中化學舊教材	實驗活動名稱	與課本有關概念(知能)	實驗主要內容	科學過程、技能	藥 品
		〔二十八〕錯化合物及複鹽之製備	13-2 第三列元素的化合物 明礬是一種複鹽其通式為： $M(III)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 15-3 錯離子 錯化合物	1. 複鹽的製備 $[CuSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O]$ 2. 錯鹽的製備 $[Cu(NH_3)_4SO_4 \cdot H_2O]$ 3. 鹽、複鹽和錯鹽的比較。	1. 製備複鹽。 2. 製備錯鹽。	$CuSO_4 \cdot 5H_2O(s)$ $(NH_4)_2SO_4$ 15M NH_3 95% C_2H_5OH $CuSO_4(s)$ 6M NH_3