

高中常見錯合物異構探討

篇名：

高中常見錯合物異構探討

作者：

何宜穎。國立嘉義高中。高二 16 班

劉哲宇。國立嘉義高中。高二 16 班

賴冠儒。國立嘉義高中。高二 16 班

指導老師：

簡詩展老師

壹●前言

本篇小論文重點在於探討高中常見錯合物的異構物。多配位錯合物異構物非常多，探討時又不會涉及太深奧以致於高中生無法研究的理論，因此選定此主題。爲了要探討多配位化合物，需要以價鍵理論及分子軌域混成爲基礎，才能建構出錯合物形狀及幾何關係，所以在本篇小論文中，我們先略微提及錯合物的定義及配位基，再以配位數帶出錯合物幾何形狀，之後以軌域混成解釋其幾何形狀，最後探討不同形狀的錯合物之異構物。在結論裡，我們以一個有較多異構物的例子根據本篇小論文有講到的異構來探討，並寫出其所有異構。

貳●正文

一、錯合物定義

錯合物的形成，爲一個中心金屬離子或原子，與配位基以配位共價鍵鍵結。中心離子或原子提供空軌域，配位基提供孤對電子，形成配位共價鍵。中心離子需提供一個或更多空軌域以容納電子對，故其大多爲金屬原子或離子。配位基上某個原子帶有孤對電子而可與中心離子或原子鍵結，此原子稱之爲「配位原子」。錯合物中心離子或原子接受電子，作爲一路易士鹼；配位基提供孤對電子，作爲路易士酸；形成的錯合物亦可稱爲「配位化合物」。其配位數可決定幾何形狀。

二、配位基與配位數

1. 配位基

可提供孤對電子的離子或分子，稱爲配位基。大部分爲陰離子或中性分子，少部分爲陽離子。依照其可提供孤對電子對數，可分爲「單牙基」（提供一對孤對電子）、「雙牙基」（可提供兩對孤對電子）、「多牙基」（可提供兩對以上孤對電子）等等。多牙基一個分子上可提供多個孤對電子，其幾何形狀似一個鉗子去咬住中心離子，故又稱爲「柑合劑」或「螯合劑」，所形成錯合物又稱爲「柑合物」或「螯合物」。

A. 單牙基

可提供一對孤對電子。常見的單牙基有： F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 I^- 、 $:C\equiv O:$ 、 $:C\equiv N:^-$ 、 NH_3 、 H_2O 等等。

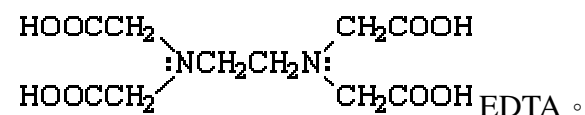
B. 雙牙基

可提供兩對孤對電子。常見的雙牙基有： CO_3^{2-} 、 $C_2O_4^{2-}$ 、乙二胺(en)等等。

C. 三牙基

$NH_2CH_2CH_2NHCH_2CH_2NH_2$ 二乙三胺(dien)。

D. 六牙基



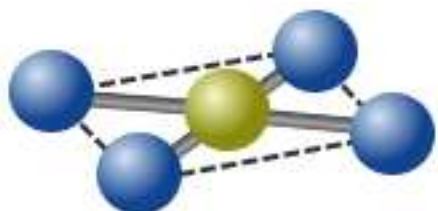
2. 配位數

中心離子接受之孤對電子數，為其配位數，不一定為配位基數。配位數決定其幾何形狀，通常偶數較常見。同種中心離子之配位數並非固定不變，由配位基及中心離子價數決定。配位數不同，高中常見錯合物有以下的幾何形狀：

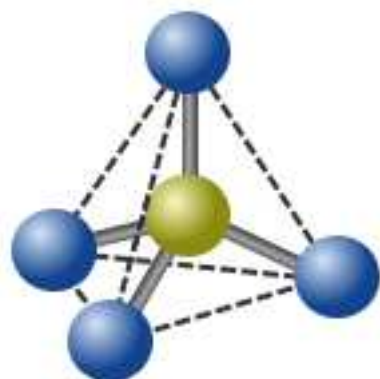
A. 直線形（2 配位） Linear



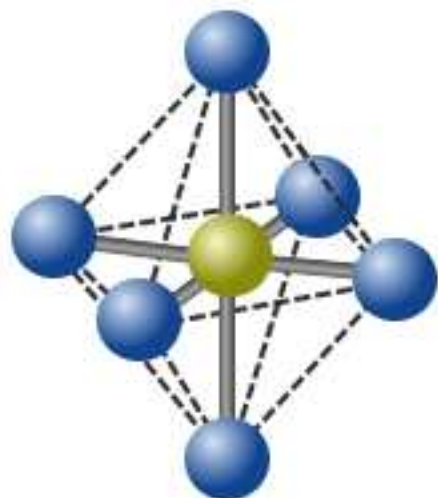
B. 平面四邊形（4 配位） Squareplanar



C. 四面體形（4 配位） Tetrahedral



D. 八面體形（6 配位） Octahedral



三、混成軌域

中心離子與配位基以共價鍵結合時，配位基與中心離子軌域重疊，形成軌域混成。軌域混成與分子形狀有極大關聯，以下為其關係：

1. 直線形(sp 混成)

直線形的錯合物為二配位，例如： $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$ 、 $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ 。

Cu^+	4p	— — —	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$	4p	$\uparrow\downarrow$ — —
	4s	—		4s	$\uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$ 的兩個配位基給 Cu^+ 的電子被放置在 4p 及 4s 軌域，進行混成，形成兩個 sp 混成軌域，能量相等。

$\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$	sp	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

2. 四面體形(sp^3 混成)

四面體形的錯合物為四配位，例如： $\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 、 $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 。

Zn^{2+}	4p	— — —	$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	4p	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	4s	—		4s	$\uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$ 的四個配位基給 Zn^{2+} 的電子被放置在三個 4p 及 4s 軌域，進行混成，形成四個 sp^3 混成軌域，能量相等。

$\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$	sp^3	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

3. 平面四邊形(dsp^2 混成)

平面四邊形的錯合物也是四配位，但含有 d 軌域混成，因此中心離子多為過渡金屬。例如： $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 、 $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$ 。

Cu^{2+}	4p	— — —	$\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$	4p	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow$
	4s	—		4s	$\uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

Ni^{2+}	4p	— — —	Ni^{2+}	4p	— — —
	4s	—		4s	—
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow \uparrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow _$
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	4p	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow _$		4p	— — —
	4s	$\uparrow\downarrow$		4s	—
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow _$

$\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$ 的兩個配位基給 Cu^{2+} 的電子被放置在一個 3d、兩個 4p 及 4s 軌域，進行混成，形成四個 dsp^2 混成軌域，能量相等。因為 Cu^{2+} 之 d 軌域只有一個為

半滿，因此有一電子被提升至 4p 軌域，四個配位基提供四對電子放入 3d 軌域。而 Ni^{2+} 之 d 軌域有兩個為半滿， CN^- 將兩個半滿軌域的電子集中至一個軌域，控出一個 d 軌域，將電子填入，形成四個 dsp^2 混成軌域。

$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	dsp^2	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
$\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$	4p	\uparrow
	dsp^2	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$

4. 八面體形(sp^3d^2 或 d^2sp^3 混成)

六配位錯合物，因配位基強度，而有兩種混成軌域。配位基較強，會把中心金屬離子之(n-1)d 軌域電子移動讓出兩個 d 軌域，與 ns、np 形成 d^2sp^3 混成軌域，此錯合物為「內層軌域錯合物」，或稱為「內錯」；其(n-1)d 軌域有兩個以上空軌域時也會形成內錯。配位基較弱時，無法移動(n-1)d 軌域電子，轉而與 ns、np、nd 軌域形成 sp^3d^2 混成軌域，此錯合物為「外層軌域錯合物」，或稱為「外錯」。不論內錯或外錯皆為八面體形錯合物。

A. sp^3d^2 混成

配位基強度較弱之六配位錯合物，會形成 sp^3d^2 混成。例如： FeF_6^{3-} 、 CoCl_6^{3-} 。

Fe^{3+}	4d	_____	FeF_6^{3-}	4d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$ _____
	4p	_____		4p	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	4s	—		4s	$\uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$		3d	$\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$

因 F^- 為較弱配位基，故六個電子對分別填充 Fe^{3+} 的 4s、4p、4d 軌域，形成六個 sp^3d^2 混成軌域，為外層軌域錯合物。

FeF_6^{3-}	sp^3d^2	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$

B. d^2sp^3 混成

配位基較強之六配位錯合物，會形成 d^2sp^3 混成。例如： $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 、 $\text{Cr}(\text{NH}_6)^{3+}$ 。

Fe^{3+}	4d	_____	Fe^{3+}	4d	_____
	4p	_____		4p	_____
	4s	—		4s	—
	3d	$\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$		3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow$ _____
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	4d	_____			
	4p	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$			
	4s	$\uparrow\downarrow$			
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$			

因 CN^- 為較強配位基，會使 Fe^{3+} 之 3d 軌域讓出兩個空軌域，六對電子分別填入兩個 3d、4s、及三個 4p 軌域形成六個 d^2sp^3 混成軌域，為內層軌域錯合物。

$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$	d^2sp^3	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow\downarrow$
	3d	$\uparrow\downarrow \uparrow\downarrow \uparrow$

四、異構探討

錯合物中最值得探討的，便是它的異構物。錯合物中的配位基種類愈多，其異構數愈多。異構主要可分為下列幾種：

1. 幾何異構

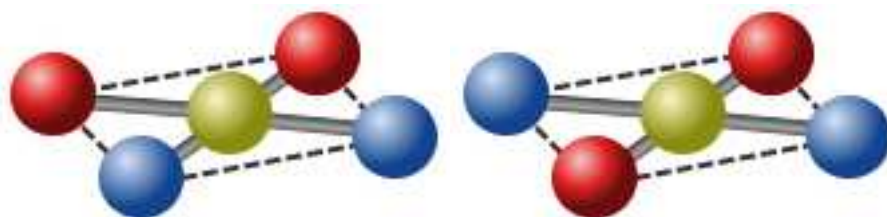
配位基與中心離子之鍵結位置不同而產生的異構。在高中常見錯合物中，直線形、四面體錯合物並無結構異構。

舉平面四邊形及八面體錯合物為例：

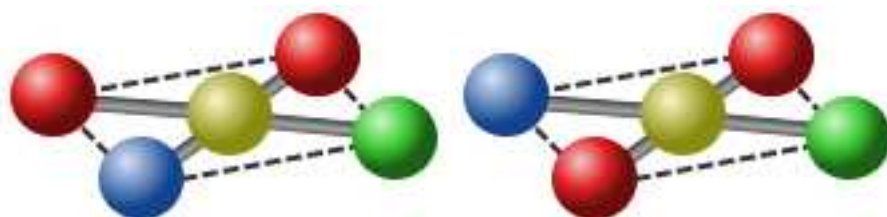
A. 平面四邊形

平面四邊形通式可簡寫為 MABCD (四配位, M 為中心離子, ABCD 為配位基)。當平面四邊形通式為 MA_4 、 MA_3B 時，並無異構物。

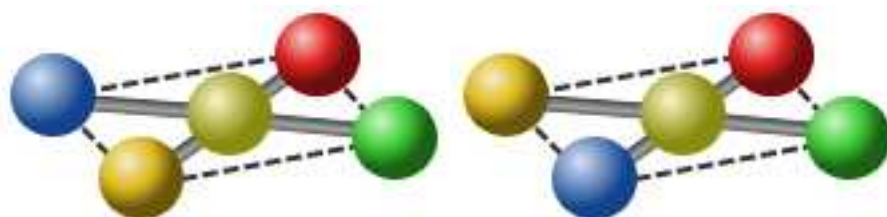
通式為 MA_2B_2 時，有兩種異構物：

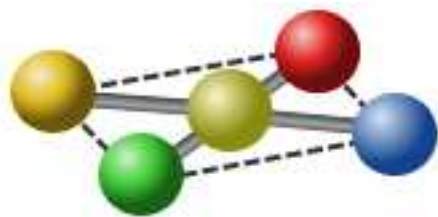


通式為 MA_2BC 時，有兩種異構物：



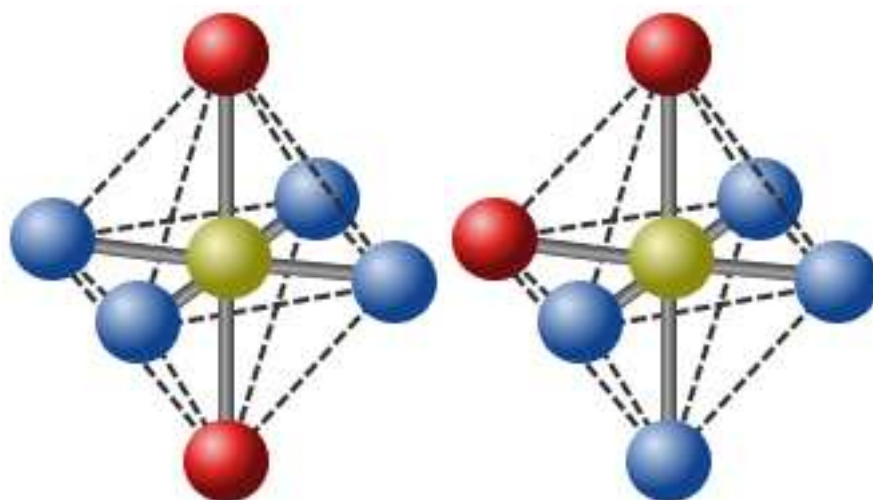
通式為 MABCD 時，有三種異構物：



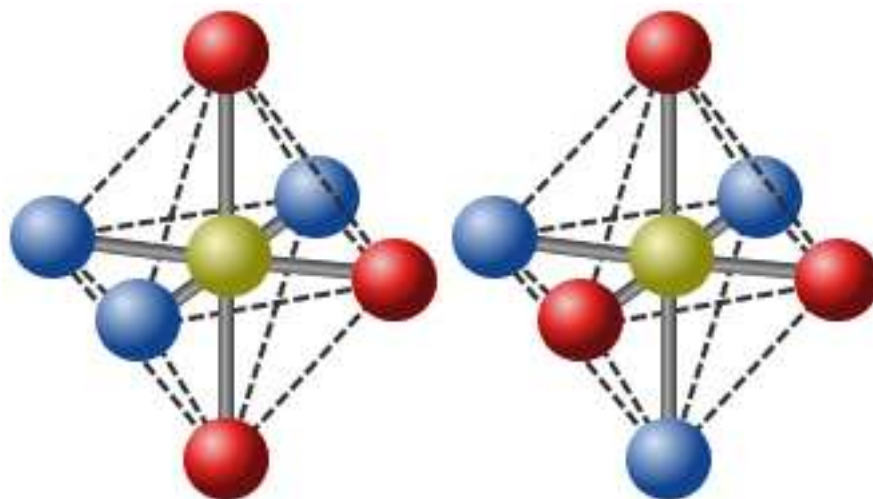


B. 八面體

平面四邊行通式可簡寫為 $MABCDEF$ (六配位, M 為中心離子, $ABCDEF$ 為配位基)。當八面體通式為 MA_4B_2 時, 有兩種異構物:

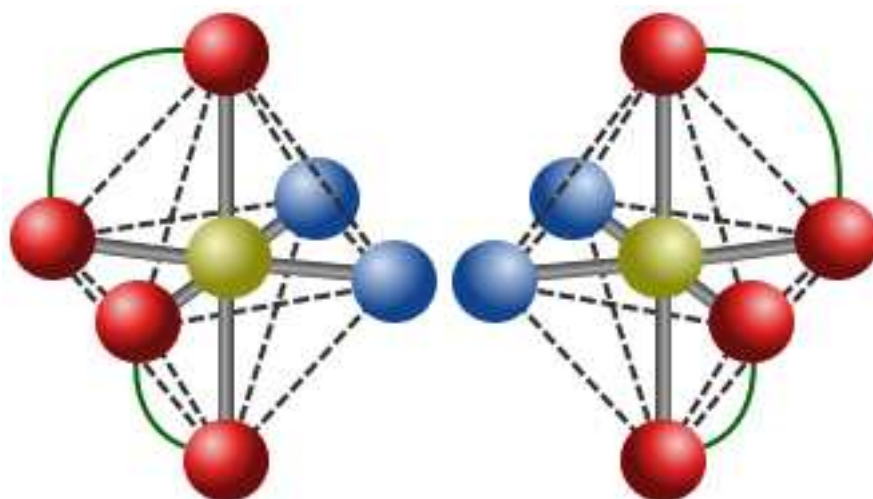


當八面體通式為 MA_3B_3 時, 有兩種異構物:



2. 光學異構

又稱鏡像異構, 就如一個不對稱分子透過平面鏡產生的像, 像與物為鏡像關係, 左右相反。很多六配位螯合物滿足鏡像異構的條件, 以金屬離子為中心軸做對稱。例如: $Co(en)_2(NO_2)_2$ 、 $Co(en)_3$ 。



3. 離子異構

兩化合物分子式一樣，但溶於水中產生不同離子，離子與配位基行取代反應，產生不同錯合物。

例如： $[\text{Pt}(\text{en})_2\text{Cl}_2]\text{Br}_2$ 及 $[\text{Pt}(\text{en})_2\text{Br}_2]\text{Cl}_2$ ， $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Br}]\text{SO}_4$ 及 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{SO}_4]\text{Br}$ ， $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{SCN})\text{Br}]\text{Cl}$ 及 $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{BrCl}]\text{SCN}$ 。

4. 溶劑合異構

此種異構與離子異構很像，差異點在於離子異構是水中離子與配位基行取代反應，而溶劑合異構為溶劑與配位基行取代反應。

例如： $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ 、 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

5. 配位異構

兩化合物的分子式一樣，但其配位基互相行排列組合所產生的異構物。

例如： $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6][\text{Cr}(\text{SCN})_6]$ 和 $\text{Cr}(\text{SCN})_2(\text{NH}_3)_4[\text{Cr}(\text{SCN})_4(\text{NH}_3)_2]$ ， $[\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_4)_3][\text{Co}(\text{SCN})_4]$ 和 $[\text{Ni}(\text{SCN})_4][\text{Co}(\text{C}_2\text{H}_4)_3]$ 。

其分子內的配位基可不論中心離子種類、價數進行排列組合。

6. 配位基異構

顧名思義，除了錯合物配位基對中心離子排列組合不同外，配位基本身有異構物時，就可能產生配位基異構。配位基異構主要發生在有機化合物的配位基，因其異構物較多。

例如：1,3-二氨基丙烷($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$)及 1,2-二氨基丙烷(H_2N



其所產生的異構物 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_3-\text{NH}_2)\text{Cl}_2]$ 及 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{CH}_3)\text{Cl}_2]$ 互為配位基異構。

7. 鍵結異構

配位基與中心離子以配位共價鍵鍵結，配位基提供孤對電子。若同種配位基，但提供孤對電子的配位原子不同，會產生鍵結異構。這種配位基常出現在單牙基，若單牙基上原子都有孤對電子，且電負度相近，就有可能產生此種異構。會產生此種異構的配位基有： $:\text{C}\equiv\text{O}:$ 、 $:\text{C}\equiv\text{N}:^-$ 、 NO_2^- 、 $:\text{N}\equiv\text{C}-\text{S}:^-$ 、等等。

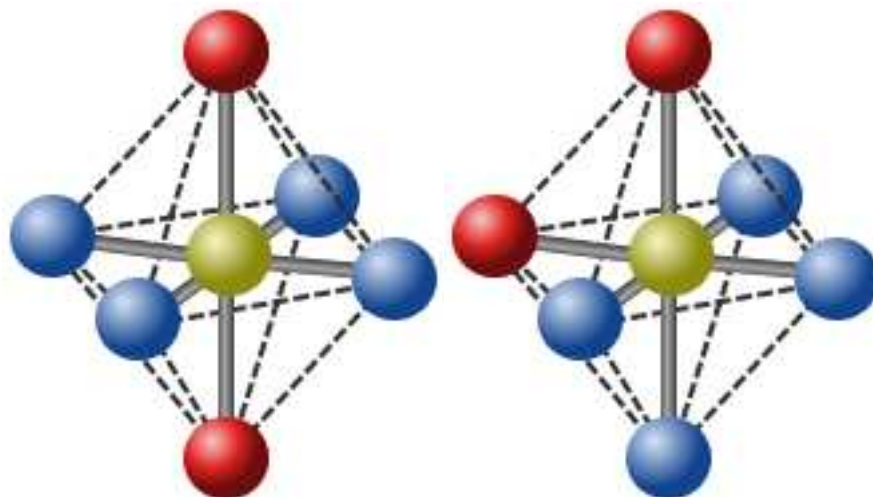
常見的例子有： $[\text{Co}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ 及 $[\text{Co}(\text{ONO})(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ 、 $[\text{Co}(\text{SCN})(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ 及 $[\text{Co}(\text{NCS})(\text{NH}_3)_5]^{2+}$ 。

參●結論

本篇結論的重點在於實際存在錯合物 $[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$ （六配位， d^2sp^3 混成，八面體）異構的探討：

一、幾何異構

$\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4^+$ 為 MA_2B_4 形錯合物，有兩種異構：



二、離子異構

當溶於水時會解離為 $\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4^+$ 及 Cl^- ，所有的離子異構有： $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]\text{NO}_2$ 、 $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_3]\text{NH}_3$ 。

三、溶劑合異構

溶劑合異構即水分子取代原配位基的現象，可視為離子異構的延伸。所有溶劑合

異構有：

$[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}(\text{NO}_2) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}(\text{NO}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)_3]\text{Cl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{NH}_3)]\text{Cl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_3]\text{Cl}(\text{NH}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}(\text{NH}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)]\text{Cl}(\text{NH}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NO}_2)_2]\text{Cl}(\text{NH}_3)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{NO}_2)]\text{Cl}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_3]\text{Cl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)]\text{Cl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]\text{NO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_2)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NH}_3)_3](\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NH}_3)_2](\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NH}_3)](\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_5](\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_3](\text{NO}_2)(\text{NH}_3) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_2](\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)](\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{NO}_2)](\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_3]\text{NH}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_2](\text{NH}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、
 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)](\text{NH}_3)_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $[\text{CoCl}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{NO}_2)_2](\text{NH}_3)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 。

四、鍵結異構

錯合物的配位基配位原子不同時會有鍵結異構。所有鍵結異構有：

$[\text{Co}(\text{NO}_2)_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$ 、 $[\text{Co}(\text{NO}_2)(\text{ONO})(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$ 、 $[\text{Co}(\text{ONO})(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$ 、
 $[\text{Co}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)]\text{Cl}$ 、 $[\text{Co}(\text{NO}_2)(\text{NH}_3)_4(\text{ONO})]\text{Cl}$ 、 $[\text{Co}(\text{ONO})(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_2)]\text{Cl}$ 、
 $[\text{Co}(\text{ONO})(\text{NH}_3)_4(\text{ONO})]\text{Cl}$ 。

肆●引註資料

曾國輝(2001)。化學(第二版)。台北市：藝軒圖書出版社。

<http://www.foodmate.net/lesson/476/h.ppt>

<http://chemedu.pu.edu.tw/genchem/title2/title.htm>