

硫酸銅晶體的結構探討

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

■ 為何硫酸銅結晶水會分段釋出？

問：「化學計量」此一單元有個問題，提及五水合硫酸銅 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 加熱，在不同溫度下，會失去某些結晶水而質量減輕，在失去所有結晶水後，在高溫下，硫酸銅 (CuSO_4) 開始分解。有學生問起：為何結晶水會分段釋出？請問如何解釋此一現象。題目如下：

取 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶體 100 mg，置於石英容器內加熱，使其溫度緩緩升高，以觀察其重量變化的情形。其測定結果如圖 1 所示，回答以下問題：(原子量：H = 1.01 g/mol、O = 16.0 g/mol、Cu = 64.5 g/mol、S = 32.1 g/mol)

- (1) 若加熱至 102°C 所得物質重量為 85.6 mg，則其化學式為_____。
- (2) 若加熱至 113°C 所得物質重量為 71.2 mg，則其化學式為_____。
- (3) 若加熱至 258°C 所得物質重量為 64.0 mg，則其化學式為_____。
- (4) 若繼續加熱至 600°C 附近，上一小題(3)所得物質開始分解，生成銅的某種氧化物與硫的氧化物，且重量減少 32.0 mg，則此含銅的物質之化學式為_____。

- (5) 若對此含銅物質繼續強熱至 960°C ，又減輕 3.2 mg，生成銅的另一種氧化物，則最後的物質其化學式為_____。

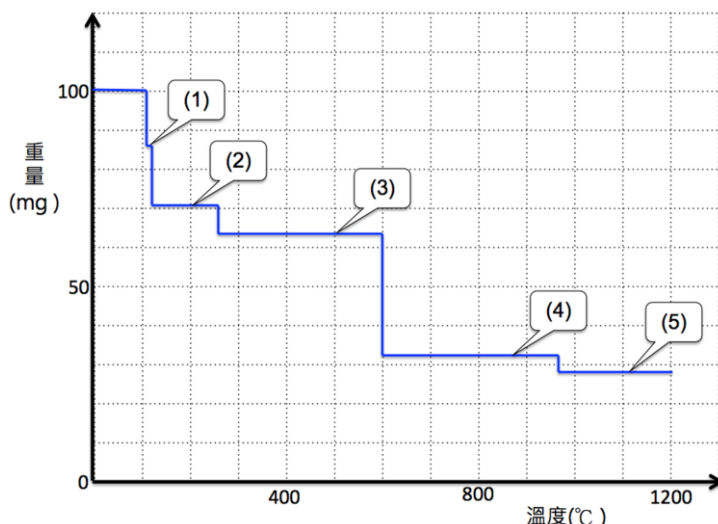
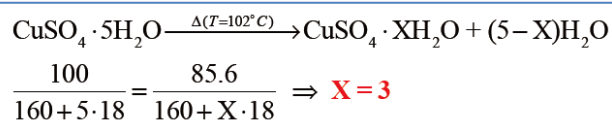


圖 1：硫酸銅受熱與重量的關係

■ 解題方式一：化學計量

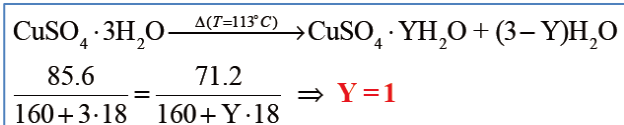
以化學計量方式，各小題解題如下：

- (1) 100 mg 的 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 102°C 失去部分結晶水，設剩下 X 個結晶水：

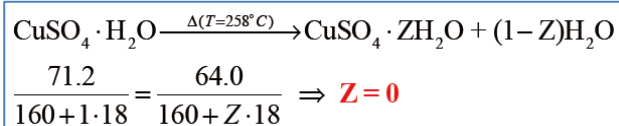


- 85.6 mg 的 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 113°C 繼

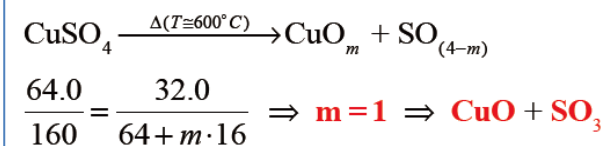
續失去部分結晶水，設剩下 Y 個結晶水：



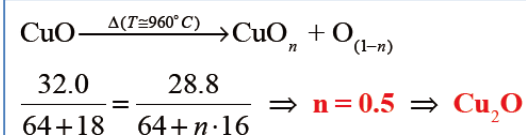
71.2 mg 的 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 258°C 繼續失去部分結晶水，設剩下 Z 個結晶水：



64.0 mg 的 CuSO_4 加熱至 600°C 附近開始分解且重量減少 32.0 mg，生成銅的某種氧化物與硫的氧化物，分別設 CuO_m 和 $\text{SO}_{(4-m)}$ ：



對此含銅物質繼續強熱至 960°C ，又減輕 3.2 mg，生成銅的另一種氧化物，設此氧化物為 CuO_n 和 $\text{O}_{(1-n)}$ 之和：



■ 解題方式二：晶體結構圖

一、五水合硫酸銅晶體的結構與受熱分解的過程如下：

(一) 晶體結構圖

五水合硫酸銅晶體的結構，如圖 2、3 和 4 所示：

(二) 結構圖說明

(a) 圖 2 表示以銅離子 (Cu^{2+}) 為中心，4 個

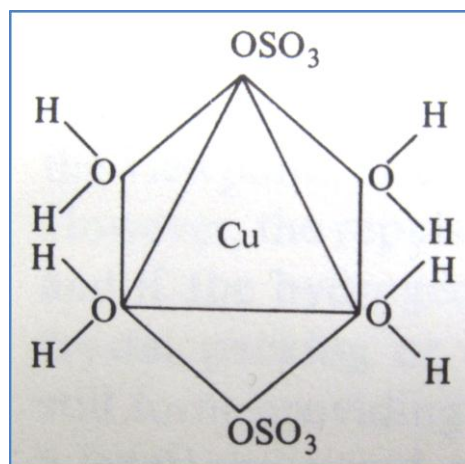


圖 2：五水合硫酸銅晶體的結構圖之一

(圖片來源：James E. Huheey, Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity, 3rd Edition.)

水分子與 2 個硫酸根為配基，形成六配位的八面體結構。

(b) 圖 3 表示兩個八面體結構以二個水分子（上下各一）。利用氫鍵結合在一起。

(c) 從圖 4 計算單位晶格的化學式：1 個銅離子有 4 個水分子直接配位；硫酸根與 2 個銅離子配位，任一銅離子有 2 個硫酸根配位，總計 1 個硫酸根屬於單位晶格；

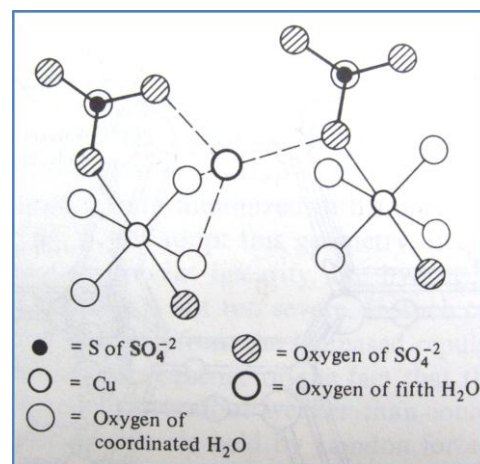


圖 3：五水合硫酸銅晶體的結構圖之二

(圖片來源：James E. Huheey, Inorganic Chemistry: Principles of Structure and Reactivity, 3rd Edition.)

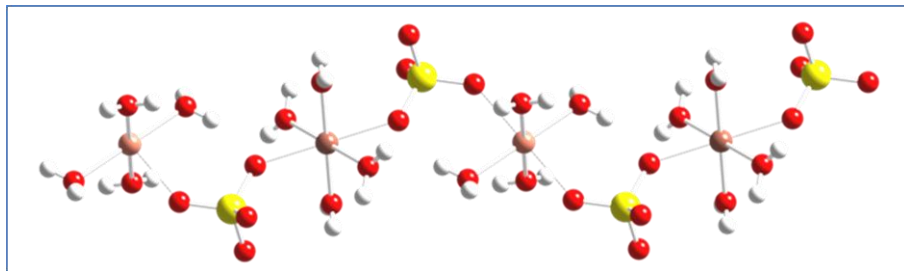


圖 4：五水合硫酸銅晶體的結構圖之三

(圖片來源：[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copper\(II\)-sulfate-pentahydrate-c-axis-xtal-2007-CM-3D-balls.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copper(II)-sulfate-pentahydrate-c-axis-xtal-2007-CM-3D-balls.png).)

兩個八面體結構以二個水分子利用氫鍵結合在一起，總計 1 個水分子屬於單位晶格。硫酸銅晶體的化學式：

4 個直接配位的 H_2O + 1 個 SO_4^{2-} + 1 個連結單位晶格的 H_2O ，

故硫酸銅晶體的化學式為 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 。

(三) 五水合硫酸銅晶體受熱分解的過程：

(a) 五水合硫酸銅晶體的結構示意圖，如圖 5 所示。(為說明水合水的配位鍵結和氫鍵，此圖以兩單位的五水合硫酸銅 $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_2$ 描述之，計有 2 個 CuSO_4 和 10 個 H_2O 。)

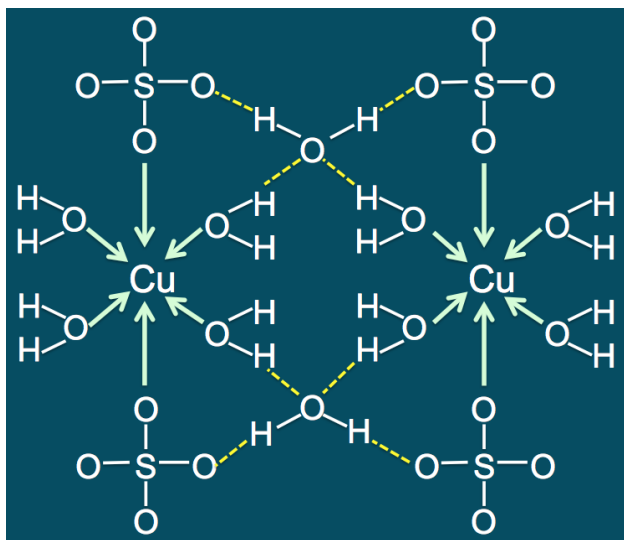


圖 5：有兩單位的五水合硫酸銅

$(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_2$ 的結構

(b) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 102°C 時，與銅離子配位且不與其他配基生成氫鍵的水分子，先脫離 2 個 H_2O 而生成 $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ，如圖 6 所示。(此圖指出脫離紅框之 4 個 H_2O ，兩單位各脫離 2 個 H_2O 。)

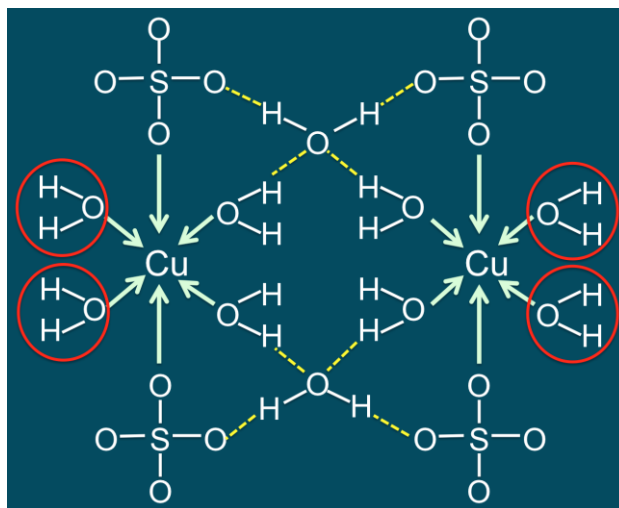


圖 6：有兩單位的三水合硫酸銅

$(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O})_2$ 的結構(失去紅框的 H_2O)

(c) $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 113°C 時，與銅離子配位且與其他配基生成氫鍵的水分子，隨之脫離 2 個 H_2O 而生成 $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ，如圖 7 所示。(此圖指出再脫離紅框之 4 個 H_2O ，兩單位各脫離 2 個 H_2O 。)

(d) $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶體加熱至 258°C 時，與硫酸根離子生成氫鍵的水分子，隨之脫離脫離 1 個 H_2O 而生成不帶有結晶水的白色硫酸銅 (CuSO_4)，如圖 8 所示。(此圖

指出再脫離紅框之 2 個 H_2O ，兩單位各脫離 1 個 H_2O 。)

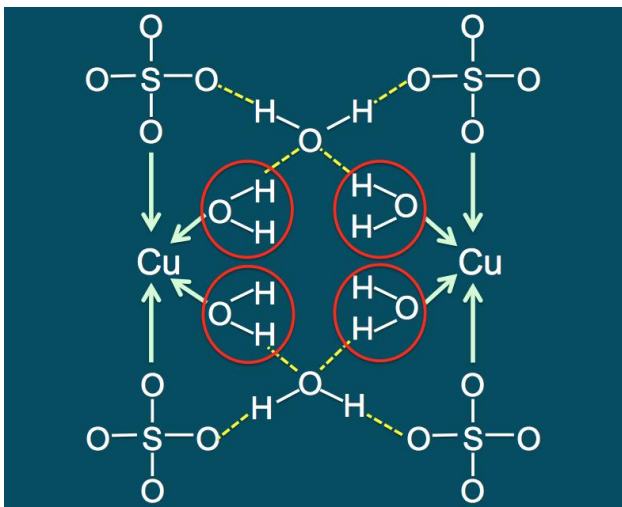


圖 7：有兩單位的一水合硫酸銅
($(\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})_2$) 晶體的結構 (失去紅框的
 H_2O)

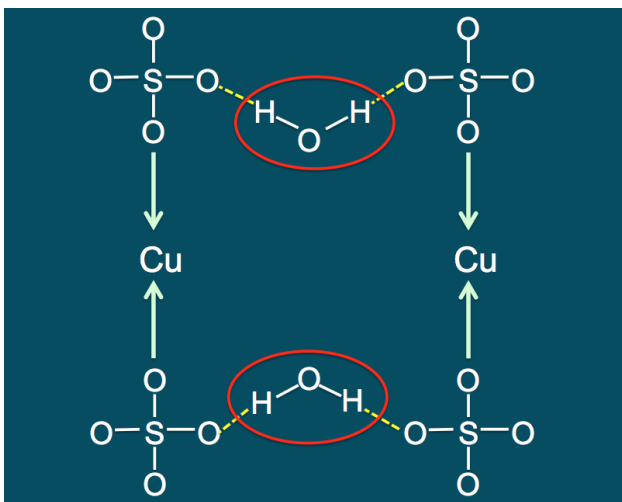


圖 8：有兩單位的無水合硫酸銅 ($(\text{CuSO}_4)_2$)
的結構 (失去紅框的 H_2O)