

氧化還原反應： 符號運用和文字解讀

文・圖 | 阮邦球 劉靜文

1. 前言

氧化還原反應是化學的核心知識，亦是教學評的重點。除此以外，它在日常生活和科技應用方面亦至為重要。由呼吸作用到光合反應，由石化燃料到火箭推進劑，由電鍍工藝到手機電池，都與氧化還原反應息息相關。掌握氧化還原反應的基礎知識，有助我們認識自然和科技世界。

氧化還原反應是由氧化反應和還原反應兩個概念所組成。在理解和運用這兩個詞彙上，師生常常存在着一些誤讀、誤解和誤用。筆者嘗試在符號運用和文字解讀兩個層面上，構建氧化還原反應體系的知識。

2. 氧化還原反應體系

化學是研究物質及其變化的科學。氧化性和還原性是物質的性質，它們分別代表物質得到電子和失去電子的能力。氧化劑具有氧化性，氧化性愈強代表得到電子的能力愈強；還原劑具有還原性，還原性愈強代表失去電子的能力愈強。舉例，金屬容易失去電子，非金屬容易得到電子，所以金屬常用作還原劑，而非金屬常用作氧化劑。

若以電子得失作為界定化學反應的準則，化學反應可分為兩種類型：一種是有電子得失的化學反應，另一種是沒有電子得失的化學反應；前者稱為氧化還原反應，而後者則稱為非氧化還原反應。氧化還原反應是由氧化反應和還原反應兩個半反應所組成，它



們共生共存。在氧化還原反應中，反應物承擔着氧化劑和還原劑的角色，通過電子轉移，反應物發生變化，配合相應的兩個半反應，生成還原產物和氧化產物，它們交織而成一個完整的氧化還原反應體系。

氧化還原反應的基本概念包括：

● 定義：

氧化還原反應是涉及電子得失的化學反應。

● 物質的概念：

反應前的物質是反應物，而反應後的物質是產物（或生成物）。在化學方程式中，在反應符號“→”左邊的是反應物，右邊的是產物。

● 反應的概念：

化學反應是涉及物質組成的變化，化學變化等同於化學反應。氧化還原反應是一個全反應，它由氧化反應和還原反應兩個半反應所組成。氧化反應由一組反應物和產物組成，而還原反應則由另一組反應物和產物組成。

● 化學的語言：

氧化還原化學方程式包括全反應和半反應。常見的反應類型如下：

全反應：反應物₁ + 反應物₂ → 產物₁ + 產物₂

半反應： 反應物₁ → 產物₁

半反應： 反應物₂ → 產物₂

● 守恒法則：

原子守恒：反應前後的原子數目保持相等。

電子守恒：全反應的兩個半反應，其電子得失數目必然相等。

表 1：氧化還原反應知識體系的重要概念

名稱	反應物		反應		產物	
	氧化劑	還原劑	氧化反應	還原反應	氧化產物	還原產物
定義	得到電子	失去電子	失去電子	得到電子	氧化反應	還原反應

氧化劑的傳統定義是“氧化它物而自身被還原”的反應物，還原劑是“還原它物而自身被氧化”的反應物。從本質而言，氧化劑是得到電子的反應物，而還原劑是失去電子的反應物。氧化劑和還原劑之間相互作用，經電子轉移，引發氧化還原反應，生成氧化產物和還原產物。氧化反應是失去電子的反應，還原反應是得到電子的反應。氧化反應的產物稱為氧化產物，而還原反應的產物稱為還原產物。

氧化劑的氧化性和還原劑的還原性分別強調物質“得到電子”的氧化能力和“失去電子”的還原能力。“氧化”和“還原”這兩個詞彙是描述反應物之間的電子轉移，氧化是反應物失去電子，還原是反應物得到電子；而“被氧化”和“被還原”，則分別表達反應物“失去電子”和“得到電子”後，生成對應產物的意思。氧化劑“氧化”其它反應物而自身“被還原”成產物；而還原劑“還原”其它反應物而自身“被氧化”成產物。

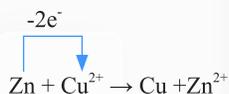
3. 單橋法：符號、實例和解读

單橋的符號

單橋符號規定由還原劑指向氧化劑，意思是電子由還原劑轉移到氧化劑。



單橋法的實例



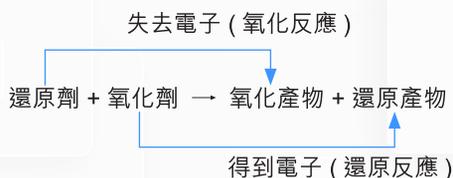


“-2e⁻”符號代表失去 2 個電子。單橋符號表示 2 個電子由還原劑 Zn 轉移到氧化劑 Cu²⁺，Zn 還原 Cu²⁺，Zn 自身被氧化成 Zn²⁺；Cu²⁺ 氧化 Zn，Cu²⁺ 自身被還原成 Cu。

4. 雙橋法：符號、實例和解讀

雙橋的符號

雙橋法中的雙橋符號代表兩個半反應，其中一橋由還原劑指向氧化產物，另一橋則由氧化劑指向還原產物；圖中的上橋稱為氧化反應，而下橋則稱為還原反應。



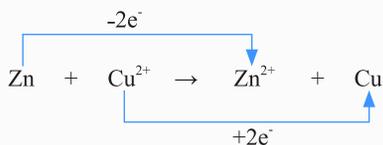
全反應 (氧化還原反應)： 還原劑 + 氧化劑 → 氧化產物 + 還原產物

半反應 (氧化反應)： 還原劑 → 氧化產物

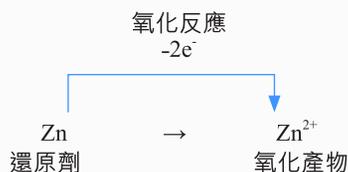
半反應 (還原反應)： 氧化劑 → 還原產物

還原劑失去電子，引發氧化反應，生成氧化產物；氧化劑得到電子，引發還原反應，生成還原產物。

雙橋法的實例

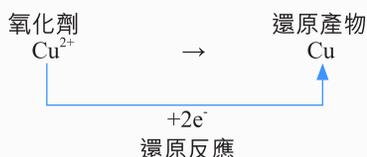


還原劑、氧化反應和氧化產物：



還原劑 Zn 失去電子，發生氧化反應，生成氧化產物 Zn^{2+} 。另一種表述是：Zn 還原 Cu^{2+} ，而 Zn 自身 (失去電子) 被氧化 (通過氧化反應) 生成 Zn^{2+} 。

氧化劑、還原反應和還原產物：



“+2e⁻”符號代表得到 2 個電子。氧化劑 Cu^{2+} 得到電子，發生還原反應，生成還原產物 Cu。亦可以表述為： Cu^{2+} 氧化 Zn， Cu^{2+} 自身 (得到電子) 被還原 (通過還原反應) 生成 Cu。

雙橋法的優點是將氧化還原反應中的三對“兩個關係” (兩個反應物；兩個半反應；兩個產物) 和兩組關係 (第一組是氧化反應的反應物、半反應和產物；第二組是還原反應的反應物、半反應和產物) 構建成一個氧化還原反應。而不足之處在於未能將氧化還原反應中的兩個半反應再構建成一個完整的氧化還原反應體系。

5. 電子轉移圖 (electron-transfer diagram)：符號、實例和解讀

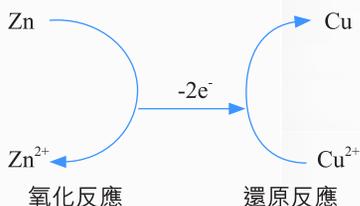
電子轉移圖 (雙弧線法) 的符號

美國麻省理工學院在課堂筆記中使用電子轉移圖進行氧化還原反應的教學。電子轉移圖是描述氧化還原反應的圖示方法，在此簡稱為雙弧線法。它的雙弧線符號代表兩個半反應，其中一弧線由還原劑指向氧化產物，另一弧線由氧化劑指向還原產物；雙弧線之間的單向連線表示由氧化反應所失電子向還原反應方向轉移。

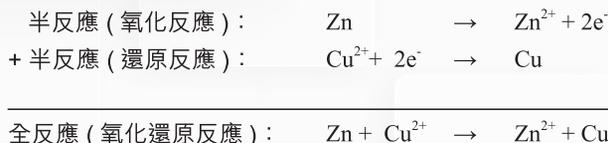




雙弧線法的實例



與上述電子轉移圖相對應的氧化還原化學方程式，書寫如下：



雙弧線法將氧化還原反應中的兩組半反應和它們之間的電子轉移數目合併而成氧化還原全反應，構建成完整的氧化還原反應體系。Zn 還原劑失去 2 個電子，引發另外一組 $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ 的還原反應，而它自身被氧化成氧化產物 Zn^{2+} ； Cu^{2+} 作為氧化劑得到 2 個電子，引發另一組 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ 的氧化反應，而它自身被還原成還原產物 Cu。

6. 總結

以 “ $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ ” 為例，將氧化還原反應的知識體系歸納如下：



- (i) Zn 失去 2 個電子予 Cu^{2+} ，自身變成 Zn^{2+} ； Cu^{2+} 從 Zn 得到 2 個電子， Cu^{2+} 變成 Cu；
- (ii) Zn 還原 Cu^{2+} ； Cu^{2+} 氧化 Zn；
- (iii) Zn 是還原劑，發生 “ $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$ ” 氧化反應； Cu^{2+} 是氧化劑，發生 “ $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ ” 還原反應；

- (iv) Zn 通過氧化反應，被氧化成氧化產物 Zn^{2+} ； Cu^{2+} 通過還原反應，被還原成還原產物 Cu；
- (v) Zn 是還原劑，失去電子，自身發生氧化反應，並引發 “ $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$ ” 還原反應； Cu^{2+} 是氧化劑，得到電子，自身發生還原反應，並引發 “ $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$ ” 氧化反應。

7. 結語

本文運用三種不同氧化還原反應的符號表示法，通過實例比較它們不同的特點。單橋法強調氧化劑和還原劑之間的相互作用，通過電子轉移，引發氧化還原反應；雙橋法的優點在於將全反應分而析之，而其缺點在於未能整而合之；而雙弧線法既能分亦能合，將兩個半反應通過電子轉移而建立一個完整的氧化還原體系。值得注意的是，氧化還原反應至少包括一組氧化反應和一組還原反應，而複雜的氧化還原反應可以包含三組或以上的反應。另外，在運用雙弧線法時，從反應物到產物的箭號方向和半反應間的單向連線亦可作適當的轉換和調整。本文冀借助氧化還原反應的各種不同符號，從不同角度進行文字解讀，期望能協助師生認識氧化還原反應的特點及其知識構建的過程。📖

阮邦球

澳門化學會會長

劉靜文

澳門化學會監事長