

捌、美國高中化學

何嘉仁

前 言

本次國際教科書比較研究是針對高中教師指引的比較，本內容是有關高中化學部分，Chem Com是美國廣泛被採用的一本化學教科書，其有關內容及編排授課方式已經在上一年度的國際教科書比較研究計畫中詳加介紹和分析。由於其內容涵概七大章節，三十七小節，從最基本的水資源開始介紹，接著引出化學資源的應用與維護，石油的用途，食物能源的開發與分析，核化學的重要性，大氣化學及對氣候的影響，人體的生化反應及化學工業的發展等。每章節皆有很詳盡的介紹，而且多以牽連到人類的需要做為開端，每一大章節的主題皆與人類的生存息息相關，每個生活在地球上的個人多必須去了解這些主題所引發出來的可能問題，如何去思考對策加以立法維護，使這地球人類得以繼續生存下去。因為該教科書的設計在每個章節開端多提出一生活上所可能面臨的一個災禍，要每個人思考如何去認識問題，分析問題，進而解決問題。就在這一系列的認知過程中，提出該章節的主要內容，要每個人先具備這內容所介紹的基本概念和知識，才有可能去一步步認識這些問題，進而思考解決的對策。在課程內容的設計上相當特殊，使讀者引發興趣，並對所提的問題感到切身重要，這在促進學生學習動機的項目上，確實幫助不少。由於內容函概太廣，本報告僅針對第一大章節「水資源」提出該教科書的教學指引內容，提供給國內教科書指引做參考。有關教科書的內容方面，請參閱上一年度的研究報告，這裡就不再重覆。

指引內容

第一章 水資源的提供

首先定出教學進度，本章擬定25天的教學日，包括4次小考及一次總復習考並安排5次實驗，每一教學日基本上是一節課約45~50分鐘。由於本章所提到的是水資源，所以也有一些要學生回家完成的小試驗，例如要學生記錄每天用水量最多的是什麼樣的需要，如洗澡、洗手或煮飯等等也有一部分是學生的作業，須先閱讀課文的內容等。接著定出教學目標，學生學了本章節後，應該學會如下的知識和技能。

教學目標

- (一)學會使用公制測量單位，包括長度、體積、質量及密度。
- (二)可以討論直接或間接用水對水資源的管理及維護。
- (三)可以敘述自然界水的循環使用原理及水庫的水是如何形成。
- (四)能夠討論水的不尋常物理性質對地球生物的衝擊，例如長久不下雨，或溫室效應使冰河溶化，對地球上生物的大衝擊等。
- (五)能夠分辨並舉例何謂溶劑、溶液及溶質。
- (六)能夠分辨元素、化合物及混合物，包括溶液、膠體及懸浮液等。
- (七)認識化學符號、化學式，並可以平衡化學反應式。
- (八)能夠敘述原子的細部構造，包括電子、質子及中子，以及這些構造對物質的極性和溶解度的關係。
- (九)能定義出可溶、微溶及不溶，飽和及過飽和溶液，並且能計算溶液的濃度及百分比等。
- (十)利用溶解度曲線能描述溫度與溶解度的關係，並計算溶液在某溫度的飽和度。
- (十一)能夠示範去分析或解釋一些環境所測量的數據或其它圖表所代表意義。
- (十二)能由PH值去辨識溶液的酸鹼度。
- (十三)能由陽離子或陰離子的名稱去確定可能形成的離子化合物的化學式及名稱。
- (十四)如果在水資源中有鉛、汞、及鎘等重金屬污染，學生能夠去評估其可能造成的危險性。
- (十五)比較自然與人工淨化水的不同，並評估軟化水及在水中加氯淨化的優點及可

能造成的危害。

第一節 我們使用水的水質

先介紹在報紙上刊登的消息，“在村裡的一座水庫中發現一大堆死魚，村裡的人對這一件事情的反應”老師則鼓勵學生對這一件事情發表意見，並將每位學生的意見加以引導，如何用科學的方法去解決此一問題，首先介紹測量先要學會如何去測量水中的污染物，才能做更進一步的分析。

老師可以要求學生使用公制單位（SI unit）去測量長度體積，質量及密度等，如量日常用品筆、書本、桌子等的長度，茶杯的體積，及水的質量，進而求密度等，一律以公制為單位。老師可以從中介紹一些單位的換算及練習等。

問題思考單元

接著老師引進一個與主題“水”有關的問題來引發學生的思考，這是一個很有創意的地方，值得參考。該問題是讓學生去想想吃兩個雞蛋及喝一杯1.3公升的罐裝果汁，其間引發對水所造成的消耗可以用來洗10次澡，10次衣服，或洗25堆盤子或沖100次的馬桶。為什麼會用掉這麼多的水，讓學生想想看。在討論該問題時，可以引發學生去思考雞蛋及果汁的製造過程：首先須種植雞所吃的食物，雞也要喝水，從小雞養到大雞下蛋，下蛋也要水來清洗。相同地，果汁須從果實得來，亦須經過種植過程，須要用多少水來培植果樹。最值得一提的是該果汁罐的製作過程須從金屬礦產的挖掘開始，送到煉鋼廠去提煉也要用很多的工業用水，估算出來欲製作一個果汁罐，約須使用126公升的水，因此喝罐裝的飲料或許給我們帶來短期的方便或外表上的節約水源，但對水庫長期的水量庫存並無任何貢獻。

本單元並非每小節都有，但筆者認為該單元的創意及構思相當好，值得參考。

選擇性補充資料單元

本單元列出美國對水使用量的統計數據，依據全部使用量平均每人每天共用去6230公升的水，其中工業用水，水力發電及石油裂解廠等等生產製造工業大約占了51%，農業灌溉用水約占40%，市政建設約占9%。公佈這些數據的主要目的除了讓學生了解到個人每天用水量約325公升外，背後還有更大量的

用水來製造或提供個人所需的用品。

實驗單元

本實驗是提供給學生一個污水樣品，經由學生自己的純化達到至少可以用來洗淨他們的手之用，而不要求達到可以飲用的目的。因此所介紹的純化法是過濾、吸附及分離。因為這是第一次實驗，因此特別介紹實驗室安全守則及安全設備如眼睛沖洗台，淋浴設施，及救火毯子等。同時須宣佈在實驗室內配帶隱形眼鏡所可能帶來的危險性，並鼓勵學生在進實驗室前脫去隱形眼鏡，以免萬一有化學藥品不小心濺入眼睛時可能造成的嚴重傷害。老師也要解釋帶安全眼鏡的主要用意。在做實驗的過程中，若要求配帶安全眼鏡時，學生必須確實遵守，同時不可做出危險性的動作，包括在實驗室內嬉戲。

本實驗所需要的時間為一節課，並挪出一些時間來示範蒸餾過程。

實驗器材單元

如同一般實驗，列出需用的配備及器材。

污水樣品的配製

將1/2匙的食鹽，1/2匙的蔥粉，1/2匙的咖啡粉末及1/3匙的植物油（沙拉油）放入一兩公升的瓶蓋容器內，並加入清水到滿，蓋上瓶蓋，充分搖盪即得污水樣品。老師可以鼓勵學生小心做實驗，比較那一組學生所得淨化水較多，同時老師準備有測導電度的裝置，可以大略檢驗一下淨化水的純度。

實驗結果

學生應可得到40~60%的量的淨化水，同時須讓學生理解到水的淨化除了須要費用外，同時也須損耗一些可用的水。學生須將淨化過程中每一步驟的結果記錄下來，並且填入所設計的表格，結果應接近下表：

步 驟	顏色	清析度	味道	油存在否	固體存在否	體 積
未處理前	暗	混 濁	強	有	有	80~100ml
油水分離	暗	混 濁	強	少	有	75~ 95ml
過 濾	暗	清 澈	強	無	無	70~ 90ml
活性炭過濾	亮	清 澈	弱	無	無	65~ 85ml

老師可以示範蒸餾過程，並除去前面20%的水（因為含較多溶解的氣體）及後面20%的水（因含較多溶解的鹽），只能取用中間約60%的部分。將此部分與標準蒸餾水做導電度的比較，確定經由蒸餾過程的淨化水，其純度是最高的，藉此可以告知學生不可只用眼睛觀看水的清析度就認定這水是乾淨而不含污染物的。同時讓學生體會到水的淨化過程須付出極高的費用與時間，尤其是蒸餾過程，這就是市政府或社會機關所付不起的，一般自來水公司只做到前述簡單淨化過程而已。

水量的使用—你來決定

該活動主要是要讓學生理解到如何去節約用水。當有水荒出現時，尤其是在本章內容開頭假設水庫的水發現一大堆死魚的情形時，那節約用水應如何去應變，何種活動的用水須減量，及何者活動的用水列為最優先等。這是提供給學生很好的機會教育，除了認識水質外，同時也得到一些用水知識，做為將來緊急應變的常識。

- 1.減少洗車、窗、寵物、澆花草。
- 2.減少洗衣物、洗碗盤，並用二度使用過的水去沖洗馬桶，或澆花草，或洗車等。
- 3.水龍頭的開關轉小些來洗澡或洗手等。
- 4.一切以飲用水為優先，如準備食物的用水等等。

第二節 水的本質及其污染物的探討

爲了了解水庫中死魚的成因，我們必須俱備更充分有關污水的化學知識。首先介紹水的物理性質，包括水的常見三相，凝固點、沸點、表面張力、密度、對各種溶質的溶解度等，並說明水在地球上雖是很大量，但在整個宇宙中，它是很稀有的寶物，尤其是在整個太陽系裡，太陽跟本一滴水也無，其它的星球或月亮亦是如此。這突顯出水在宇宙中的獨特性，是人類生活所必須的。

實驗單元

本單元設計一些簡單試驗來觀察水的表面張力，液態水及固態水的相對密度，不同液體間的比較及一些金屬的比重等。同時也設計一些混合物的分辨，使學生能辨認出懸浮液，膠體溶液及真溶液。膠體溶液與真溶液可以利用其對光的散射作用來分辨（Tyndall effect），真溶液不散射光。

實驗結果與討論

對於懸浮液、膠體液及真溶液的區別，由配製好的實驗溶液分置於標號的燒杯中，由學生依照步驟去辨認，並將結果填入設計好的表格中。

樣品	色彩	清析度	有無沈積物	Tyndall effect	過濾物	分辨結果
1	白	些微	無	有	無	膠體
2	藍	清析	無	無	無	真溶液
3	淡褐	混濁	有	有	有	懸浮液
4	黃	清析	無	無	無	真溶液

除此之外，老師可以額外介紹膠體液與真溶液的進一步辨認方法，稱為滲析法（dialysis）。更進一步說明膠體液中的粒子可以經由薄膜滲析，與溶劑分離；而真溶液的溶質粒子則更小，可以透過薄膜。示範實驗可以用2支滲析管分別裝一些牛奶及硫酸銅溶液。其中硫酸銅可以通過滲析管，而牛奶的顆粒則透不過，與水溶液分離。

水分子的大小

由上面的顆粒大小觀念接下來介紹水分子的大小及其組成原子的大小。

利用一些簡單實驗介紹氣體分子的大小，如用2個氣球分別用人體呼出的氣體及氮氣來吹，吹完後，在氣球中用一小針孔，使氣體慢慢跑出來，可以從氣球消散的速率來分辨人體呼出的氣體分子大小與氮氣分子大小的不同。從而介紹化學週期表中組成分子的分子式，組成原子雖相同但分子式不同時，其性質卻完全不同，代表不同化合物，如 H_2O 與 H_2O_2 是完全不同的化合物，同時說明 HO_2 可能不存在。此時不須急著讓學生去學習平衡化學方程式，其在後面會談到，但必須讓學生知道構成化合物的各原子須有一定的比例，就如同在製造一塊蛋糕時，各成分的比例必須維持一定才可達成。

物質的電性

物質由電子、質子及中子所組成，其中電子帶負電，質子帶正電，中子不帶電，由於結構上的排列，而使物質分子間有些引力較強，有些較弱。水就是有較強引力者，因此其沸點較高。同時也可借機引進離子化合物的觀念，順便

解釋前面污水樣品中溶有食鹽，其即為一離子化合物，水為一極性溶劑，所以其溶解度也增大許多。

測定水中離子

水可以溶解許多溶質，該特性顯出水對人體的重要，也因該特性而使水造成容易受污染。如果水中溶有少量的礦物質及大氣的氣體，將會使水更具味道。水中溶有氧氣是使水中生物能夠生存。但是水中若受到重金屬離子如鉛離子、鎘、水銀、及砷等離子，或是殺蟲劑或工業廢料，那將造成人體或其它生物體嚴重的危害。我們必須絕對禁止這些危害人體的污染物靠近我們的水源。另一個挑戰是如果水源被污染了，要如何去除掉這些污染物。這些事件將使學生了解到如何去測定水中存在重金屬離子污染物的的重要性，這將是下一個即將介紹的實驗活動。

實驗活動—水的檢驗

學生將檢驗水中可能含有鐵離子、鈣離子、氯離子及硫酸根離子。告知學生測試不同離子的方法。若是陽性反應則表示水中具有該離子的存在，若是陰性反應並不代表不含有該離子，可能是濃度稍低，達不到檢驗標準。

實驗結果與討論

學生將檢驗結果填入預先設計好的表格中：

參 考 溶 液	顏 色	沈 澱 或 產 物
Fe^{3+}	紅	$\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$ 硫氰化鐵
Ca^{2+}	無	CaC_2O_4 草酸鈣沈澱
Cl^-	無	AgCl 氯化銀沈澱
SO_4^{2-}	無	BaSO_4 硫酸鋇沈澱

說明使用過的檢驗管必須用蒸餾水來沖洗，以便將殘餘的離子帶走，否則會污染下回裝在檢驗管的溶液。檢驗結果所顯現出的顏色可與標準液比較，以確定該離子的存在。檢驗標準液時可能會出現深暗色或一些沈澱而與一般預期稍有出入，這是由於硫氰化鐵濃度太大而使顏色變深，因以建議學生加一些蒸

餾水較容易觀察真正顏色。老師亦可告知學生可用點滴量來做檢驗，而不須使用檢驗管，以節省樣品與檢驗液的用量，其為將樣品滴幾滴在塑膠盤上，再滴入一滴的檢驗液即可觀察出顏色變化或沈澱。老師亦可補充說明目前更進步的科技是利用光譜儀來觀察顏色的深淺，能更精確定出污染物的量，如果有光譜儀的設備，亦可同時示範光譜吸收度與濃度的關係。

學生對水庫死魚原因提出相關性意見

本部分為老師介紹學生以科學的步驟去解決問題的訓練。由於水庫死魚有經過政府機關派人鑑定死魚的狀況，並且公佈一些數據，老師可以要求學生利用前面所學的化學知識依照這公佈的數據尋找規則性或模式。老師可以將學生分組，以四人為一組，共同去討論。由這些數據，學生必須理解到如果死因與水質有關，那一定是水中有懸浮物或水中有污染物溶解，這就縮小了死因的範圍。老師此時可以鼓勵學生去思考這溶於水的可能污染物，或懸浮物，足以嚴重危害到水中生物的生命。市政機關所公佈的數據如下：

- 1.死魚經過初步檢驗，不含有毒性物質。
- 2.死魚有內出血，且在皮膚內層有一些氣泡。
- 3.死魚被發現於水庫的上游 1 公里處。
- 4.死魚的成因非水中懸浮物所造成。

老師此時可以鼓勵學生從這些數據中去尋找可能的相關性，但必須強調“立刻下決論”並不是一件聰明更不是科學所依循的路徑。

第三節 調查死魚的原因

由第二節有關死魚狀況的調查，了解到其死因與水中溶有污染物有關，因此本節可以引導學生對離子及分子化合物的結構。命名、及溶解度的表示法或濃度的算法有更深一層的認識。本節一開始是介紹溶解度的一般用語和基本觀念，接著讓學生了解到有很多物質皆可溶解於水，其中氧氣在水中的溶解度（DO, dissolved Oxygen）對水中生物是相當重要。同時也給學生理解到氧的溶解度若低於某一濃度時，水中的生物就有危險，由此介紹溶解度與溫度的關係的概念。讓學生去計算看看死魚的原因是否與當時的溫度有關。接著考慮酸的污染，由此介紹酸鹼的化學概念，溶液的酸鹼度（PH值）測量法，這也列入水質調查之一。最後介紹重金屬離子溶解度，檢驗方法及溶度積的計算。在

本節末尾引進分子物質可能溶於水的檢驗方法。

溶解度

在這單元裡，溶質、溶劑及溶液的觀念給予舉例介紹，其中溶解度對溫度的關係也以圖表的方式顯現出來，其中液體、固體的趨勢與氣體溶解度的趨勢不相同。由圖示法可以指出飽和濃度的點。這種方式可以給學生對溶解度的一個整體觀，值得參考。

示範實驗

1.飽和與未飽和的觀念可以由本示範實驗來說明清楚。

拿一塊海棉，放在開很小的水龍頭底下，逐漸吸收水，直到水從海棉滴下為止。此時飽和與未飽和的觀念就一清二楚了。

2.溶解度與溫度的關係可以如下的示範實驗說明。

取一瓶有色彩的蘇打飲料，冷卻至接近0°C。準備3個燒杯，內裝水，一個水溫為0°C，一個為室溫，另一個為40°C。取三支小試管，將上述的冰冷飲料裝滿，並蓋以攪有一小洞的活塞。此時用手堵住活塞洞口並將試管倒放入裝有水的燒杯中，三支試管分別倒放入三個不同溫度的燒杯中，此時會觀察到在高溫的燒杯中會有CO₂氣泡從試管中冒出來，且三個燒杯氣泡所冒的量不見得一樣。這就說明氣體在水中溶解度隨溫度的關係。

問題思考單元

一個40公升的水族箱保持在25°C，另一同樣水族箱保存在20°C，假設水族箱的生物在此二種溫度下皆能生存，試問何者可以容納或飼養較多的水中生物而不致死亡？為什麼？

該題目對學生而言，因剛學會前述的單元，應該很容易就可以回答出來，答案是20°C的水族箱可以養活較多的生物。這是給學生的一個很好常識教育，同時讓學生確實了解到水中的氧不是從水的結構H₂O中的氧原子而來，而是外界氧分子溶到水中形成的，或是水裡的植物行光合作用放出氧氣而溶入水中。水中的嗜氧細菌（aerobic bacteria）也須要氧氣來生存，因此常會與魚類來競爭，因此在溫度稍高的氣候過後，常會發現有一些死魚出現於河中，這也提供學生對水庫死魚原因的另一可能性。

酸的污染

本單元對酸、鹼的觀念及酸鹼中和反應，PH值等皆有做一些基本的介紹

。同時對醋酸分子式 CH_3COOH ，雖然有 4 個氫原子，但只有一個質子可以游離出來。同理對醇類分子式中如 CH_3OH 、 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 等，雖然含有 OH 結構，但並不是鹼性物質。水質的酸鹼度可以 PH 值來量測。

離子與離子化合物

首先介紹離子的定義，其為帶電的原子或原子團，可帶正電或負電，端看整個原子團或原子總電子數與質子數的和而定。陰陽離子結合而成中性離子化合物。本單元有列出幾個離子化合物的化學式，分別由陰離子與陽離子組合而成，給學生一些練習機會。

離子化合物之所以溶於水是由於水分子本身具有極性，舉例說明氯化鈉晶體易溶於水的原因。亦即水分子中的 H 原子帶有部分正電性，可與氯化鈉中的陰離子， Cl^- 互相吸引，而 H_2O 中的氧原子，帶有部分負電性，可與陽離子， Na^+ ，互相吸引，且其間的作用力大於 Na^+ 與 Cl^- 間的引力，因而可以將 Na^+ 與 Cl^- 拉開，陰、陽離子四周圍皆分別受到水分子的緊密包圍～所謂的溶解現象。但是當陰陽離子間作用力極強時，例 Ag^+ 、 Cl^- 、 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 等離子化合物，水分子與這些離子作用力，尚不足將這些陰陽離子拉開，因此不溶於水，或難溶於水。這是給學生很好的正確觀念，說明並非所有離子化合物皆易溶於水的錯誤觀念。同時也給學一個重要觀念，那即是重金屬離子溶於水而造成危害，而不是原子態的金屬元素。溶解度單位（ ppm ）在此也做了詳盡的敘述。

分子物質溶解度

極性溶劑較易溶解極性溶質，非極性溶劑較易溶解非極性溶質，亦即“like dissolve like”，該觀念在此單元介紹出來，氧分子對水溶解度之所以那麼小，是因為氧分子不具極性而水為極性溶劑。該單元也做了一個實驗，給學生檢驗一些物質在水中（極性）及在己烷中（非極性溶劑）溶解度的大小，而這些物質包括極性， $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 NH_4Cl 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 等溶質，與非極性， I_2 、 C_{10}H_8 等溶質。

第四節 水的純化與處理

本節內容著重於水質的要求，其標準可能因人而異，同時牽涉到質與量的相對平衡問題。我們使用的水要多純？如何能達到？水溶性的污染物（廢水）如何處理？

自然界水的自然淨化循環系統在本節有詳加介紹，但問題是它需要相當長的時間來完成一個循環，而人類社會的用水相當大，取之於自然的淨水往往不夠用。

硬水中溶有太高濃度的礦物質，使用上造成一些問題，因此須施以軟化的過程，硬水變軟水的技術在本節中也詳加討論。因此整個社區使用水的淨化過程，廢水是如何經過處理後再排放出去，亦即人工淨化水是如何經過事先處理及使用後的事後處理過程。加氯的作用可以殺菌但也可能造成問題，因此其用量的多寡亦是關鍵。

總括上述，利用社區水庫有死魚出現的誘因引導學生去探討水資源的形成，可能遭受到的污染，有關污染物的檢驗分析，及讓學生了解到水資源對人類日常生活的重要性，必須靠整個社區的人來共同維護等整體觀。學生體會到這麼方便的常用水為人類生活所不可或缺，自然而然會很實際地去接受一步步很有條理的科學知識。除此之外，也鼓勵學生對整個事件的參與感，以所學的理论知識及實驗結果，加上科學邏輯推理及個人的智慧，對將來實際的共同社會生活會有相當建設性的貢獻。