

# 國際化學奧林匹亞競賽卅年理論試題的回顧與展望

方泰山 余瑞虔  
國立臺灣師範大學 化學系

## 一、緒論

國際化學奧林匹亞規則中明定，國際化學奧林匹亞競賽包括兩大部份：第一部份：實作；第二部份：理論。每一部份有四至五小時的考試時間，在兩個部份的中間，至少間隔一天的休息。比賽前約半年，參賽者會收到，包括解答在內的所謂“準備題”一本。早期是以英、法、俄、德四種語言寫成，參賽國可選擇其中一種語文版本。現在則用單一的英文寫成。在主辦國方面，有責任聘請專家去準備競賽的試題，並由這些專家組成國際化學奧林匹亞的科學委員會，去籌劃解題的參考方式以及給分標準，並且在國際評審委員會中提出討論，以取得各國的共識與認可，作為最後的考題與評分的共同準則。給分方式：理論試題部份最高可佔 60%，另 40% 是屬於實作試題，如此組成了滿分 100 分。在競賽開始之前，競賽的考卷經由各隊老師，翻譯成其學生所能了解的母語和文字。於競賽時學生使用其本身的語言進行測驗。

競賽試卷的批改由 IChO 科學委員會的作者與各隊老師，各自參照評審委員會所達成共識的給分標準評分，如此學生才不會因為相同的錯誤而被重複扣分，這兩個評分結果再經由仲裁會議相互比較與討論，來確定每一位學生的最後成績。最後在國際評審委員會中討論所有參賽者的最終成績並排序，然後依規章訂出頒發獎牌之標準，完成競賽的最終成果。

過去三十年來，有關實作部份的回顧與展望，本刊上期（88 年二月 217 期 p47~59）已詳予報導，本文將就理論試題部份予以探討。

## 二、國際化學奧林匹亞理論試題的內容與程度

在過去國際化學奧林匹亞的國際評審委員會中，常常討論到理論試題的深度與內容。這一點也不令人驚訝，因為它深深影響了參與競賽的學生，也是總成績的基石；更甚者，競賽試題的內容，直接關連參賽國家的高中化學教學課程，很自然地，隊伍的教練會與其他國家的教學課程相比較，並加以調適來與國際化學奧林匹亞所要求的相符，而形成一個

正向的、具有激勵性的作用。有關於正式比賽試題的討論，不斷的在各層級的會議加以討論，如國際評審委員會、工作小組、與試題作者間的討論等，各種建議與結論，可說是琳琅滿目，最後只有一部份經由表決通過而被接受。

### 1. 試題的演進

檢視最初的國際化學奧林匹亞的試卷，發現試卷題目是這種直接了當的試題，如第 1 屆中的試題二：

(第一屆試題二)

1. 在鹼性溶液  $[\text{KOH}(\text{aq})]$  中用溴氧化三氯化鉻。
2. 在酸性溶液  $[\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})]$  中用過錳酸鉀氧化硝酸鉀。
3. 在冷的反應環境中，使氯氣與熟石灰  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  互相作用。

又如在第二屆國際化學奧林匹亞競賽試題中，發現到如此的試題：

(第二屆試題二)

化合物 A 的組成為鉀 38.67%、氮 13.85%、氧 47.48%。加熱化合物 A 後，轉變為化合物 B，其組成為鉀 45.85%、氮 16.47%、氧 37.66%。試寫出化合物 A 及化合物 B 的分子式相應的化學式。

(第二屆試題四)

碳化鈣與水的反應是生成下列產物的基本原料：

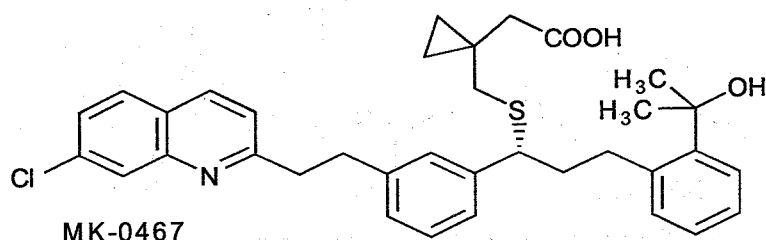
1. 乙醇；2. 醋酸；3. 乙烯和聚乙烯；4. 氯乙烯；5. 苯

試寫出獲得上列各化合物的每一反應的化學方程式。

將這三個最初的試題，拿來與第 29 屆的題目相比較：

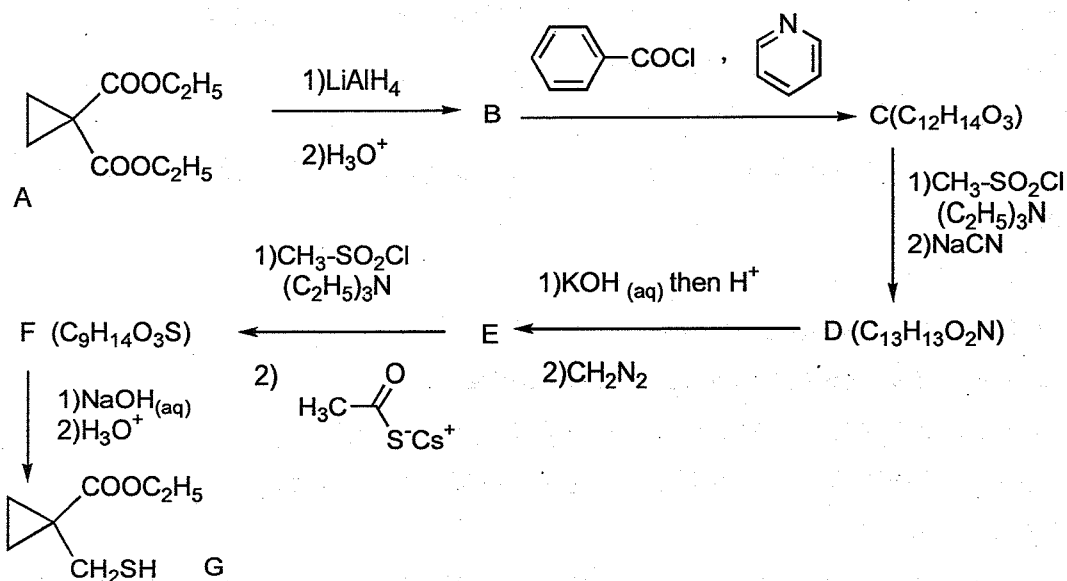
(第二十九屆問題三) (15 分)

在 Merck Frosst Canada in Montreal 的化學家，發明出了一種很有前途的對抗哮喘的藥物 (MK-0467)，這個藥物的結構如下圖所示：

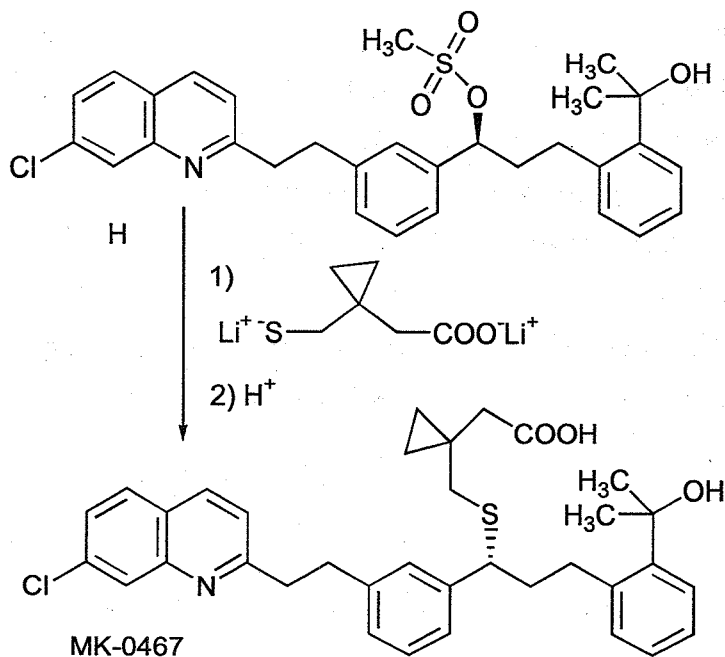


在他們的探索過程中，他們設計了一個簡單且有效率的合成方法，其方法描述如下：  
在 MK-0467 的硫醇部份是由乙醚 A (diethyl ether A) 當起始物

i) 將在此系統中的中間產物 B-F 的結構是畫出。



在合成 MK-04762 的最後步驟的其中之一，是將上面硫醇酸 G (thiol acid G) 的二鋰鹽 (dilithium salt)，與分子剩餘部份的支鏈相組合，如下圖所顯示：



ii) 根據觀察上面反應的立體化學，在此組合的反應機構設計為何？

iii) 如果這是經由你設計的反應機構進行的結果，將硫醇鹽 (thiolate salt) 和反應物 H 的濃度同時增為三倍，這整個反應的速率將會發生何種改變？

iv) 對於親和性取代反應，模型上的研究可以用溴乙烷(bromoethane)當成反應物，則可完美的達成上述的組合。畫出一當量莫耳的溴乙烷，與下列物質反應主要產物的唯一結構：

a) G 物質再加上二當量莫耳的鹼

b) G 物質再加上一當量莫耳的鹼

v) G 物質的副反應是形成它自己的氧化二複合體(oxidative dimerization)，畫出此二複合體產物的結構式，並且標明所有未鍵結電子。

在此並不需要詳細閱讀上述的題目，就可很明顯的發現到難度大幅提升。

另一方面，在理論競賽試題的數量也跟著擴增，最初的主辦者並不需要很多的紙張，事實上只需要一、二張紙，就可完成競賽試題。第十屆國際化學奧林匹亞競賽，光是理論試題部份就需要 10 張紙，第卅屆需要 13 張紙，而第卅屆更是需要 19 張紙，不但是用較小的字體，而且每一頁紙書寫的行數又更多，另外還附加了答案紙。如此，單只爲了閱讀整篇理論試題，就增加了很多的時間。

## 2. 各屆試題中獨特的部份

最近每一屆的主辦者，在試題上都顯示出某些特別主題，最初的國際化學奧林匹亞競賽，學生所拿到的試題範圍僅是化學計量的無機化學與普通化學、或是物理化學的初步，這些都是相當簡單，例如：運用氣體定律。在第二屆國際化學奧林匹亞競賽，加入了簡單有機化學以及電解的電化學試題。之後，在每一屆的競賽中都會加入一點新的領域，其結果如表一。第三屆以後，每一屆中新加入的特別領域，由表可見接下去的例子，多多少少較爲詳細。

表一：每一屆中新加入的特別領域

屆數	在理論試題中的新領域
3	平衡
4	熱化學
5	含有離子的平衡
6	電化學的結合
7	具有在化學鍵結的有機化學理論
8	光學活性
9	光化學，半反應平衡
10	熱力學
11	在一個實驗室中的實驗，選擇適當的儀器

12	有機分子的構造組成
13	動力學，糖
14	物質溶解度，錯合物化學
15	有機反應機構
16	放射性活性，生物化學
17	分子軌域理論
18	技術性化學，酵素催化反應
19	化學電位
20	量子數，質譜，X 光繞射，VSEPR
21	標計化合物
22	含氫的有機化合物
23	德布洛依波長（物質波波長）
24	Pourbaix diagra（氧化還原電位 pE-pH 圖）
25	層析術
26	紅外光光譜
27	離子選擇電極
28	架橋系統
29	大氣化學
30	多環分子結構，NMR

### 3. 理論競賽試題與製作的審議

在一些國際化學奧林匹亞的國際審議委員會，所決議的競賽試題是介於兩個化學領域中的試題，以此方式，將有可能使選取到的試題，更加符合學生的知識程度，但是這常需要花很多的時間，在審議委員會的會議討論。隨著時代進步，試題的討論會議也有所改進，在 1988 年，這是首次可選派代表，在會議討論前數個小時前取得試題，在 1991 年，這也是首次各隊教練，有機會能與理論試題的命題者，在審議會開議前對談。

值得注意的是：1984 年在 Frankfurt，審議委員會的討論第一次以一種語言（英語）進行，不再用其他被稱為官方語言（德語，法語，蘇聯語）加以翻譯。於 1992 年 Pittsburgh 開始，再也不需要剪刀、膠帶和打字機，每一位參與審議委員會的成員，都發給一部採用個別國家語言的個人電腦，供作處理，雖然如此，這並沒有減少晚上的製作試卷的時間，反而這部電腦（相當於 100 MHz）只會使得各代表團得教練們花更多的時間，用於設計佈置他們翻譯的結果。

爲了節省晚上翻譯的時間，在 1997 年的審議委員會曾分成兩部份，來討論理論試題。1998 年又爲了防止因電子通訊的進步，限制只能使用大會所準備的電腦文書處理設施，且

最多只能有三位同時在闖場討論試題與翻譯試題。

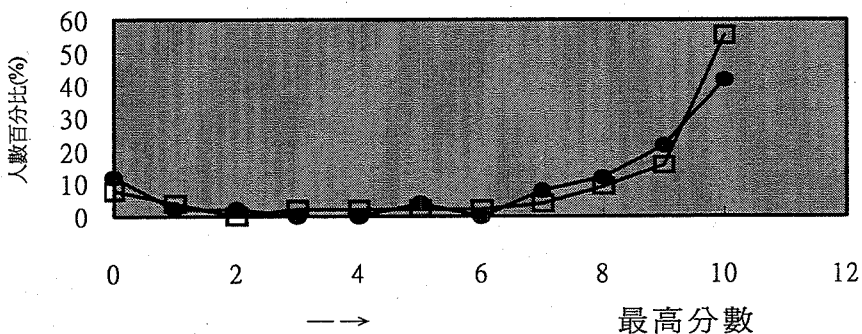
在第 29 屆國際化學奧林匹亞之前，審議委員會的會議討論部分與翻譯部份，由於整個部份，所花的時間維持不變，對於一些隊伍而言，因為一方面審議委員會需要討論越來越多且越長的試題，另一方面又要緊接著進行翻譯，所以持續進行了整個晚上。然而，現在這工作已經變得容易多了。

#### 4. 競賽試題的難易程度

對於理論試題的難度的評論年有增加，在 1994 年 Neusiedl 召開的工作小組的說明下，試題的作者必須考慮學生的程度，並非大學程度，而是只有 17 歲的高中生。假若這些命題者，有過參加國際化學奧林匹亞的經驗，其實可以避免許多問題。這些試題應該是屬於智慧型的，不是反覆的、嘲弄腦力的測驗；它們是要新穎的，且是用一個謹慎的方式。這些試題也許困難，但是這種困難並不是在試題開始的第一個句子中，而是在試題中逐漸增加。競賽試題的一部份，必須是屬於一般高中學校程度，問題困難部份的組成，是與其他部份彼此相連結，並且幾乎能使所有學生可以解決開始的問題，在試題中最後的問題，只有最優秀的學生能夠回答。

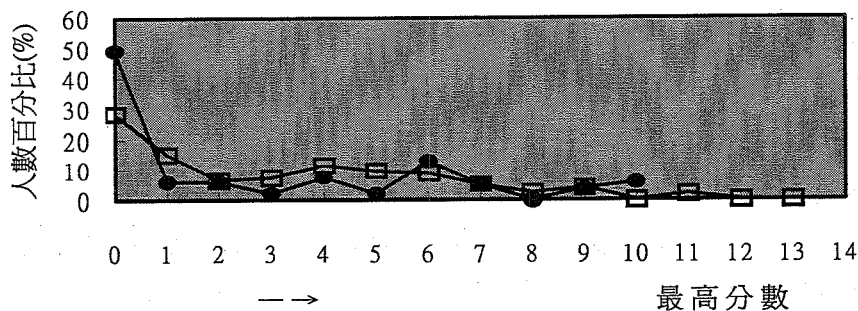
用國際化學奧林匹亞試題學生所獲得的平均分數，來評斷試題的品質，是沒有意義的。舉例來說，一個好的平均數 50% 也有可能是一個差勁的試卷，它有一半的學生得到零分，另一半得到滿分。對於好的試卷的評價是：以競賽者的數目（或百分比）對於所獲得的分數作圖，能夠得到像是“高斯曲線”（Gauss-curve）的圖形。

在 1984 年 Frankfurt 奧林匹亞競賽裏，Sirota 曾發表了一些試題難易程度的統計。如在圖一，顯示出兩個奧林匹亞試題單元的圖形，除了其中最難的一題之外，整個單元試題非常簡單，幾無鑑別度可言。



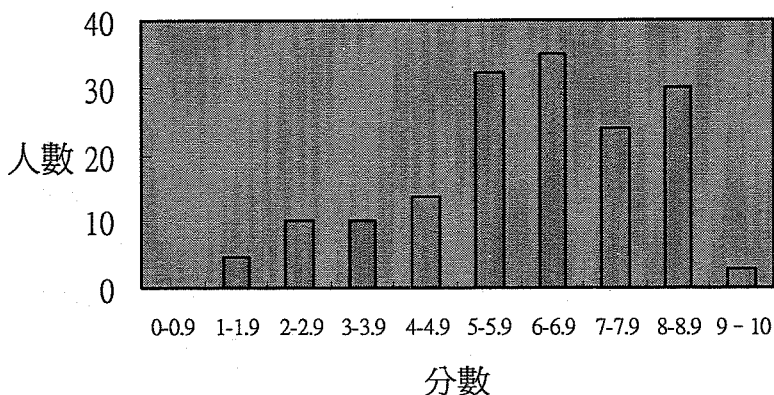
圖一 難度極低的單元試題成績分布圖

圖二是一個與其他試卷向較之下，典型的相當困難單元試題成績分布的圖形，



圖二 難度極高的單元試題成績分布圖

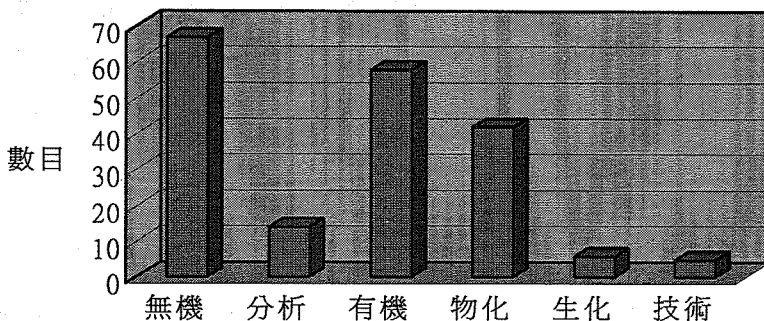
一般而言這種情形在這幾年已經有所改善，以一個好的試題為例子，第 27 屆國際化學奧林匹亞競賽的第 5 題，在試題之間它是逐漸增加困難度的。它的情形如圖三所示：



圖三 具有高鑑別度的難易適中試題單元成績分布圖 (第 27 屆 IChO 第 5 題)

### 5. 理論試題的分布

一份好的試題是簡潔而清爽，如果能用 2 個步驟就不要故意用 5 個步驟，拐彎抹角，去刁難試題的解題者。整個競賽題的內容不需要太多，國際化學奧林匹亞所要決定的是具高品質，而不是計算速度最快的學生。試題上最好能在化學各領域所佔的比例間取得平衡，理論試題的形式，如果能至少在普通化學、物理化學、無機化學、有機化學等各領域中，各佔等量均衡的去發展試題。從第一屆到第卅屆的理論試題，總共有 194 題，將題目分布到化學各領域的數目，繪製如圖四：



圖四 化學試題在六大領域的分布圖

我們將所有國際化學奧林匹亞競賽理論試題的分布情形統計如下：35.6%屬於無機化學；7.2%屬於分析化學（其中大部分是屬於無機的例子）；29.9%屬於有機化學；21.6%屬於物理化學；3.1%屬於生物化學；2.6%屬於技術性化學。但是如果只看最近幾年的競賽試題，粗略的評估下，一個試題單元常平均分布在無機化學、有機化學和物理化學。也因此著實不易去區分試題單元是分屬於化學的哪個領域。

1992年 Sofia 和 1996年 Warsaw 的工作小組會議，將這些領域區再細分為 379 個主題，而且建立了一個國際化學奧林匹亞的課程綱要。這些主題每個又可歸屬於三大群組：群組 1，裡面的主要內容，包含了世界各國共有高中課程的重點；群組 2，內容只包含部份國家在高中有的課程，但是希望沒有納入課程的國家，能將這些課程介紹給具有化學奧林匹亞程度的學生；群組 3，內容是在高中課程都沒有而屬於大學程度的，而且主辦國，如企圖在當年有相關之命題，必須將它納入提供所有參賽國的準備題中。而且在 Montreal 的審議委員會中決定，要降低準備題中較高層級問題的數目。

## 6. 昇華性的試題

由於 Sofia、Neusiedl 和 Warsaw 的工作小組會議建議，已經在往後 IChO 有所改進，在最近幾年中所觀察到的，並沒有進一步提高試題的難度，而且試題平均分布在化學各領域中。但是要求命題達到，不單一只測試學生的單純知識，且限制不能考到很多大學程度的試題，這並不容易。在 1990年 Amsterdam 的工作小組會議特別是波蘭 Lazarov，認為 IChO 至少要有一個題目，是跳脫舊有的架構、模式，來滿足競賽學生的臆測、幻想及挑戰；如此，學生就不易用已有的知識來解決此問題。這種問題相當難去創造，從過去的國際化學奧林匹亞競賽試題中，已經證明了此點，只有很少的題目能夠符合如此的要求。在



Amsterdam 的工作小組設法去收集並調查，1990 到 1980 年的國際化學奧林匹亞試題，其中可以被標明為好的試題，且將收集的成果以標題為“最近幾年來最好的國際化學奧林匹亞競賽試題”，加以公諸於世；其中的試題能夠選出聰明學生的最好範例，當首推在 1988 年的“Flatlandia；平面世界”的試題：

### 試題一

在我們這個三維空間世界裡的週期系是根據四個量子數建立的，即  $n = 1, 2, 3, \dots$ ； $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ； $m_l = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ ； $m_s = \pm 1/2$ 。

如果我們搬到一個想像的“平面世界”去，那裡的週期系是根據三個量子數建立的，即  $n = 1, 2, 3, \dots$ ； $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm n-1$ ； $m_s = \pm 1/2$ 。這個“平面世界”裡的  $m$  所代表的意義，相當於三維世界中  $l$  和  $m_l$  二者的作用（例如：用他也能表示  $s$ 、 $p$ 、 $d$ ... 能階）不過我們在普通三維世界中的基本原理和方法對這個二維的“平面世界”是適用的、下面幾個問題都是這個“平面世界”有關。

1. 畫出“平面世界”週期表前四個週期。在其中按照核電荷標明原子序數，並用原子序 ( $Z$ ) 當作元素符號。寫出每一元素的電子構型。
2. 現在研究  $n \leq 3$  的各元素。指出與“平面世界”中每種元素相對應的我們三維空間中各種元素的符號，根據這種相似性，你估計在常溫常壓下，哪些“二維世界”元素是固體，哪些是液體，哪些是氣體。
3. 畫出  $n = 2$  各元素的電子軌道。在“平面世界”中的有機化學是以哪一種元素為基礎的（用原子序數做元素符號）？指出以烷、乙烯和環己烷分別與在“平面世界”週期表中的什麼化合物對應。在“平面世界”中什麼樣的芳香化合物可能存在？
4. 在這個“平面世界”中，有哪些規則和三維世界中所用的 8 電子和 18 電子規則相當？
5. 畫圖說明  $n = 2$  的幾個“平面世界”元素的第一游離能的變化趨勢。在“平面世界”週期表中，畫出元素的電負性增長方向。
6. 畫出“平面世界”中  $n = 2$  的各元素的電中性、同核雙原子分子的分子軌道能階圖。其中哪些分子是穩定的？
7.  $n = 2$  的各元素分別與最輕的元素 ( $Z = 1$ ) 形成簡單的二元化合物。用原子序數作為元素符號，畫出他們的 Lewis 結構式，並畫出他們的幾何構型，指出分別與他們中每一化合物相應的三維世界中的化合物。

以及在 1982 年葡萄牙的試題：

假定自然界發生了意外：水分子之間沒有氫鍵，預測自然界會有什麼樣的結果發生。

這兩個題目，其特點就是跳脫舊有的思考模式，設定一個新的環境，測驗學生能否運

用想像力將已經學過的知識，加以創新改變，適合於設定的環境；這不單單是學識的活用，也是對於學生一種挑戰，更能將那些學以致用的優秀學生，挑選出來。

### 三、結語：準備題指引競試題，有效作工是致勝的重要關鍵

對於競賽的命題者而言，命題的過程就好像在走鋼索一樣；所創造出來的題目，要有一點像準備題，卻又不能太相似；這個競賽的目的是去測試學生，將基本的化學知識用在新問題上的能力，以顯示出頭腦的運作與化學方面的思考。因此可能發生學生心中已瞭解所有準備題，卻無法很圓滿的解決競賽所出的試題。

總括來說，三十年來國際化學奧林匹亞競賽理論試題變得更複雜但卻有次序，難度及廣度漸增而後遞減，到目前已達到相當合理的程度，具有較好的評判品質及形成較好的成績分布。由準備題到競賽題的命題、審議委員會、運作委員會和特別是工作小組，就都成爲每一屆奧林匹亞競賽主辦國，及工作小組會議所要達成的重要工作。

### 參考資料

1. 第一至二十五屆國際化學奧林匹亞競賽試題及參考解答，1993，台師大化學系主編。
2. 方泰山，蕭次融編著（1997）；國際化學奧林匹亞—化學課程教材與1986~1996年分類試題，台師大科教中心編印。
3. 中華民國國際化學奧林匹亞競賽網頁；<http://140.122.142.178/~tsfang/icho.htm>
4. 方泰山，劉哲淵；化學實驗在國際化學奧林匹亞卅年競賽的回顧與展望；科教月刊，217期 p.47~59，民國八十八年二月，台師大科教育中心發行。