

吴国庆教授专栏

# 考查创造性思维的化学 竞赛试题设计之一

北京师范大学化学系 吴国庆

文章编号:1002-2201(2002)03-0010-02

中图分类号:G424.79

文献标识码:A

考试是测验知识水平最便利的方式,一般来说,也能提供最公平的结果。不幸,从了解应考者具有的科学才能的观点来看,考试却恰恰是最无价值的办法。假如我们根据每一个应考者从事崭新观察的能力或者根据他把一些新观察到的现象有条理地加以归纳的能力来测验应考者的话,换言之,假如我们以科研作为考试办法的话,我们就可以找到更加可靠的理想的办法,来了解应考者在理解和运用科学方法方面究竟有多大能力。

——(英)J. D. 贝尔纳,科学的社会功能

全国化学竞赛初赛是一项有影响的中学学生课外活动,它以普及科学知识,激发青少年科学兴趣,促进化学教学改革,探索发现科学人才的途径为目的,同时,也有选拔大学免试保送生和选拔参加国际化学奥林匹克竞赛的选手的功能。竞赛试题的命题思想直接关系到竞赛的初衷是否能够真正体现。竞赛命题人最想出的是什么类型的试题?笔者作为一名竞赛试题命题人,想给大家交个底:我最想出的是考查学生的创造性思维能力的试题。怎样考查中学生的创造性思维能力?笔者认为,可以通过:(1)考查他们崭新的观察能力;(2)考查他们对信息的理解、加工和归纳的能力;(3)考查他们对化学在人类进步、社会发展环境保护等人类社会活动以及对其他科学与技术的发展的作用与意义的理解与关心;(4)考查他们对科学家的思想和方法的领悟力;(5)考查他们(想像、逻辑、演绎、归纳、创造等)思维的品质。

我们承认,无论什么试题,总在考查应试者的知识水平。笔者的思想是:试题涉及的知识,应该尽可能的低,它们应当是中学生的一般知识、普通知识、通用知识、核心知识、可生长、可繁衍、可持续发展的知识,不应当是超乎

一般中学生知识水平的高深知识。但笔者认为,我们界定什么是中学生的如上知识,不应以现行中学课本为依据,而应以中学科学课程应有的目标和应有的基本内容为依据。深入讨论中学课程的目标和基本内容不是本文的任务。命题人更多的是从国际中学化学课程的内容、国际中学化学教育的著名学者的意见、化学学科本身的现代特征、本人的经验等方面对某些知识是不是中学化学的核心内容作出判断的。为体现命题人的判断,中国化学会为参加竞赛的师生编制了一个叫做“竞赛基本内容”的文件。例如,价层电子对互斥模型,命题人认为应当是中學生理解分子立体模型的核心知识,因而在竞赛基本要求上作了规定,而中学现行课本里没有这个内容。

本文重点不是讨论竞赛的知识基础,而是以举例的方式说明,竞赛试题是如何考查应试者的创造性思维能力的。

第 1 个例子。笔者认为,2001 年初赛第 11-4 题是考查应试者的崭新观察能力的试题。该题前面的第 11-3 题是:

11-3 纳米材料的表面原子占总原子数的比例极大,这是它的许多特殊性质的原因,假设某氯化钠纳米颗粒的大小和形状恰等于氯化钠晶胞的大小和形状,求这种纳米颗粒的表面原子占总原子数的百分比。(1 分)

该试题明确了为什么要研究颗粒表面原子占颗粒总原子的比例。宣传了当前的科技热点之一的纳米材料。该题分值很低,是因为前年初赛已有如下试题:

5. 最近发现一种由钛原子和碳原子构成的气态团簇分子,如图 1 所示,顶角和面心的原子是钛原子

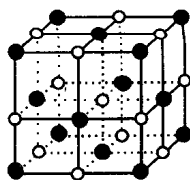


图 1 晶体结构

子,棱的中心和体心的原子是碳原子,它的化学式是\_\_\_\_。(2分)

命题人假设,参赛人必定读过前年的竞赛试题。而去年这道题跟前年的试题的知识点是相同的,只不过切入点不同而已。因此,命题人相信,应试者只要看过前年试题的答案,一定答得上来。不仅如此,命题人还相信,应试者一定画得出氯化钠晶胞,因为前年试题画的图,如果认为是晶胞,几乎就是氯化钠晶胞。而氯化钠晶胞是中学化学课本上三个晶胞图之一,经前年试题这样一考,再不把它搞清楚,这样的应试者就太没有应试经验了,而在我国这种考试大国,简直不可想像。

于是,命题人在以上分析的基础上出了第11-4题:

假设某氯化钠颗粒形状为立方体,边长为氯化钠晶胞边长的10倍,试估算表面原子占总原子数的百分比。(5分)

这个问题,需要的知识只是氯化钠晶胞的图像,如上分析说明,应试者一定已经具备了,但命题人相信,只有少数应试者能够解出此题,原因是此题本质上是一个数学建模题,只有具备良好创造性思维品质的应试者才会建立解题的模型。

究竟如何建立模型,说穿了就像捅窗户纸一样的简单:

观察相当于氯化钠晶胞图像的颗粒,可以发现,该颗粒全部原子数为27个,相当于 $3^3$ 个,即图像中每个边上的原子数。而此图像作为晶胞集体的特例是只有1个晶胞,即 $n=1$ ,而3则是 $2n+1$ 。又可以发现,该颗粒非表面原子只有1个,相当于 $1^3$ ,而1,又等于 $2n-1$ 。因此,该颗粒的表面原子数占总原子数之比可以用如下公式算出:

$$[(2n+1)^3 - (2n-1)^3] / (2n+1)^3$$

很可能,这一关系的建立单观察一个晶胞大小的颗粒是得不出来的,但如果观察 $3 \times 3 \times 3$ 晶胞聚集体,而且想到建立关系的目的是解 $10 \times 10 \times 10$ 的晶胞聚集体,就很容易得出来了,如图

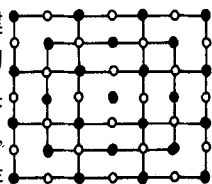


图2 晶胞面

2,图中画出27个晶胞的聚集体的一个面,可见每边的原子数为7个,而里面一层每边有5个原子。 $7=2n+1, 5=2n-1, n=3$ 。

当然,直接考查 $10 \times 10 \times 10$ 的晶胞聚集体也能得到相同的结论。

这样简单的模型,有多少应试者能建立呢?尚未统计,但笔者相信是很难建立的。竞赛刚结束,就见到中学教师在网上发表评价说,该题是整卷最难的。

事实上,参考答案给出了一个更繁复的方程,远比上述模型复杂。该模型的建立,是以晶胞原子计数的技能为基础的,由于晶胞原子计数的技能已是近年考试中的陈题,因此命题人认为应试者很可能会落入这一旧的模式思维,然后进行扩展,得到如参考答案的模型。

计算分两个步骤:

步骤一:计算表面原子数。

可用 $n=2, 3$ 的晶胞聚合体建立模型,得出计算公式,用以计算 $n=10$ 。观察发现,聚集体表面的原子按几何特征不同,可以分为如下6类,每一类原子都可以列出一个计算式,相加,即得到表面原子数的计算公式:

$$[8] + [(n-1) \times 12] + [n \times 12] + [(n-1)^2 \times 6] + [n^2 \times 6] + [(n-1) \times n \times 2 \times 6]$$

顶角+棱上棱交点+棱上棱心+面上棱交点+面上面心+面上棱心

$n=10$ ,表面原子总数为2402。

步骤二:计算晶胞聚集体总原子数。若按计算晶胞原子数来计算 $10 \times 10 \times 10$ 晶胞聚集体的总原子数,得到的数是8000,然而,该数中聚集体顶角原子只计算了 $1/8$ ,应当补足7个。总共要补足多少个原子?只需将上式中6类原子一类一类考查,就可明确,如面上的原子补足 $1/2$ 个,棱上的原子补足 $3/4$ 个。因此有:

$$\begin{aligned} & n^3 \times 8 + [8] \times 7/8 + [(n-1) \times 12] \times 3/4 \\ & + [n \times 12] \times 3/4 + [(n-1)^2 \times 6] / 2 \\ & + [n^2 \times 6] / 2 + [(n-1) \times n \times 2 \times 6] / 2 \\ & = 8000 + 7 + 81 + 90 + 243 + 300 + 540 \\ & = 9261 \end{aligned}$$

表面原子占总原子数的分数:

$$(2402 / 9261) \times 100\% = 26\%$$

命题人认为,该试题是以化学中的晶胞概念为载体考核应试者的数学建模能力,其本质是考查应试者对图形的崭新观察力。为什么说崭新呢?因为在中学各种课程里,没有讲过这个问题,没有画过这样的图形。

请老师们讨论,这一试题的命题思想是否可用于综合试卷试题的命题思路?