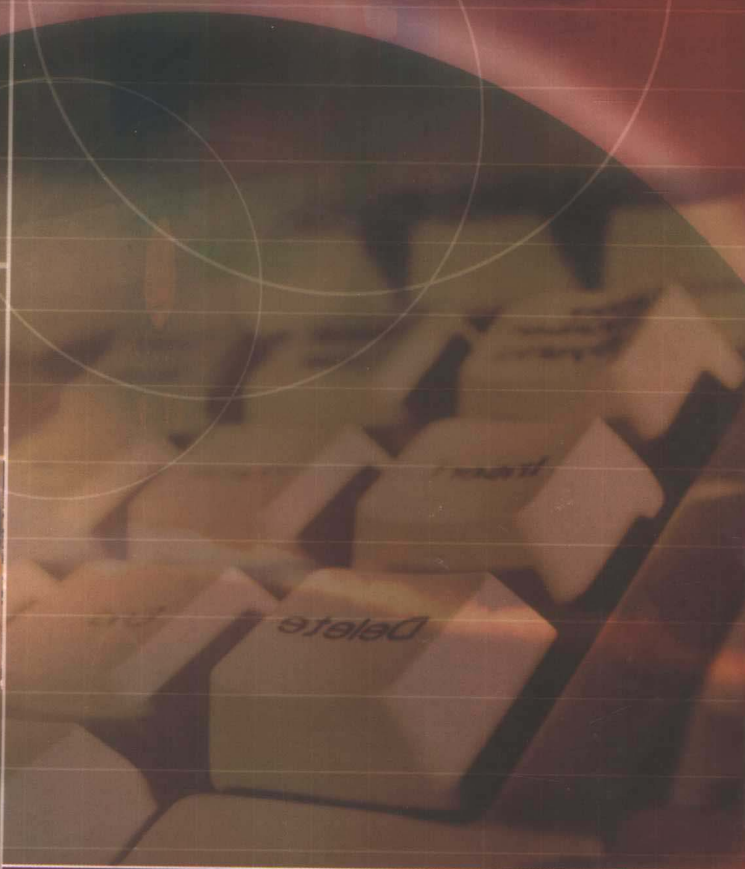


▶▶ 教与学方法丛书 ◀◀

化学方法论

王后雄 编著



中南大学出版社

化 学 方 法 论

王后雄 编著

中 南 大 学 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

化学方法论/王后雄编著. —长沙:中南大学出版社,
2003. 2
ISBN 7-81061-576-9

I. 化... II. 王... III. 化学—方法论 IV. 06—0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 086685 号

化学方法论

王后雄 编著

☐责任编辑 刘后年

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 中南大学湘雅印刷厂

☐开 本 850×1168 1/32 ☐印张 12.5 ☐字数 302 千字

☐版 次 2003 年 1 月第 1 版 ☐2003 年 1 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81061-576-9/O · 029

☐定 价 22.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

科学方法是人们在认识和改革客观世界的实践活动中总结出来的正确的思维方法和行为方式。在学习和科学研究中,科学方法被视作产生知识的“知识”。一方面,科学方法是获得知识的手段,学生掌握了科学规律,了解它们产生、发展的本质原因,理解科学的过程;另一方面,科学方法作为思维和行为方式,蕴含着极大的智力价值,学生一旦将科学方法内化为自己的思维和行为方式,其智力水平会大大提高,所以,可以把科学方法看作是知识转化为创新能力的桥梁。

《化学方法论》是学习方法论的一个重要分支领域。化学学习,贵在得法。当代著名的科学家和科学史学者贝乐纳曾经指出:“良好方法能使我们更好地发挥运用天赋的才能,而拙劣的方法则可能阻碍才能发挥。”化学研究如此,化学学习也如此。《化学方法论》从化学研究方法、一般学习方法中分化出来后,也开始了它的内部分化过程。这种内部分化导致多种多样的化学方法及其分类系统的出现,对化学学科的方法分类可以从不同角度、不同层次进行。本书对化学方法论的分类主要从三个层面着手:

(1) 自然科学的一般方法。如:①科学思维的逻辑方法,如比较、分类、分析和综合、归纳和演绎、类比、证明等;②一般科学方法(又称综合性科学方法),如假设方法、数学方法、模型方法、科学抽象与具体方法、理想化模型方法、实验方法、观察方法等。

(2) 化学学科的专门方法。如物质合成法、分析测量法、示踪原子法、分子模型法、化学反应剖析法等。

(3)解决化学问题的特定方法和技巧。如等效平衡法、平均值法、差量法、极端假设法、守恒法等。

全书体例包括方法提要、实例诠释、解释、评注等部分。方法提要概述了学习、研究和解决化学问题的理论方法及思维技巧,突出方法的综合性、贯通性和实用性。实例诠释和解释通过典型的实例诠释方法的实际应用,力求结合实例给读者以解决问题的思路与方法。评注指明解决问题的作用和意义,比较和说明多种方法的优劣,以及运用中应注意的问题。全书选用的实例包括奥赛题、高考题以及大学化学中典型试题等。本书体例及实例决定了本书适用于大学师生及中学师生等广阔的读者群,也适用于关心化学方法研究的人们阅读和参考,并可作为化学教师进修和师范院校化学系选修教材。

在这本书问世的时候,我们要向许多在化学教育领域孜孜不倦地辛勤耕耘几十年的前辈们表示由衷的感谢!没有他们的基础性、开拓性工作,我们难以达到现在这样的水平。我们也要对中南大学出版社的领导和编辑为这套书的出版所付出艰辛的劳动表示衷心的感谢和深切的敬意。

本书由王后雄主编,程俊参加了撰写,最后由王后雄统稿。由于我们水平有限,书中肯定存在粗陋甚至错误之处,恳请读者批评指正。

王后雄

于华中师范大学化学学院

2002年10月



作者简介

王后雄，男，1962年生，湖北黄冈人。湖北省特级教师，中国化学教学专业委员会会员，黄冈市化学教学专业委员会副理事长，湖北省第九届人大代表，兼黄冈县人大常委会副主任等。现任华中师范大学化学系副教授、硕士研究生导师。主要研究方向为化学课程论、化学教学诊断学、化学方法论、奥林匹克竞赛以及高考化学及理科综合命题研究等。

主编和编著有《初等化学教育系统分析》、《化学教学诊断学》、《化学方法论》、《高中化学竞赛基础教程》、《初中化学竞赛名师指导》、《高考综合科考试教程》(理科综合、文理综合)、《理化生实验考试大全》、王氏目标控制教学法书系《初中、高中化学重难点手册》、工具书《中学化学题典大全》等30余部图书。发表论100多篇。提出的“化学教学诊断学”、“中学化学目标控制教学法”在全国1万多所中学试验推广，效果显著。有多项课题获全国及湖北省优秀教育科研成果一、二等奖。

曾被评为享受国务院政府特殊津贴的教育专家、全国劳动模范、全国教育改革“十佳”教师、“湖北省优秀教师”、“湖北省教育科研学术带头人”、“全国十大杰出中青年教师提名奖”、“黄冈市首届十大杰出青年”、“黄冈市科学技术带头人”等称号。

目录

第1章 化学经验方法	(1)
1.1 观察方法	(1)
1.2 实验方法	(10)
1.3 模拟方法	(26)
1.4 粗估方法	(28)
1.5 逐步逼近方法	(31)
第2章 化学理论方法	(39)
2.1 分析方法	(39)
2.2 综合方法	(48)
2.3 抽象方法	(57)
2.4 比较方法	(63)
2.5 分类方法	(69)
2.6 概括推论方法	(76)
2.7 归纳类推方法	(80)
2.8 联想思维方法	(82)
第3章 化学思维方法	(87)
3.1 归纳方法	(87)
3.2 演绎方法	(95)
3.3 类比方法	(107)

目录

教与学方法丛书

2

3.4	求同方法	(118)
3.5	存异方法	(121)
3.6	同异并用方法	(123)
3.7	剩余方法	(126)
3.8	共变方法	(128)
3.9	证明方法	(130)
3.10	反驳方法	(137)
3.11	对称方法	(142)
3.12	外推方法	(145)
3.13	模型方法	(148)
3.14	假说方法	(155)
第4章 数学方法		(166)
4.1	误差理论方法	(167)
4.2	等效平衡方法	(171)
4.3	守恒方法	(175)
4.4	平均值方法	(179)
4.5	差量方法	(183)
4.6	极值方法 (极端假设方法)	(188)
4.7	不定方程方法	(191)

目录

4.8	不等式方法	(194)
4.9	排列组合方法	(199)
4.10	数列方法	(203)
4.11	几何方法	(207)
4.12	代数方法	(211)
4.13	数型结合方法	(219)
第5章	化学属性方法	(226)
5.1	功能模拟方法	(226)
5.2	物质合成方法	(230)
5.3	示踪原子方法	(235)
5.4	理想化模型方法	(237)
5.5	仿生方法	(241)
5.6	黑箱方法	(244)
5.7	化学反应剖析方法	(253)
第6章	化学创造性思维方法	(259)
6.1	灵感方法	(260)
6.2	列举方法	(264)
6.3	移植方法	(269)
6.4	想像方法	(275)

目录

6.5	思维变通方法	(283)
6.6	相似剩余方法	(291)
第7章	化学分析测量方法	(295)
7.1	化学分析方法	(295)
7.2	仪器分析方法	(326)
第8章	化学信息加工方法	(339)
8.1	信息简约方法	(340)
8.2	信息类比方法	(348)
8.3	信息引申方法	(351)
8.4	信息转换方法	(353)
8.5	信息评价方法	(361)
第9章	化学综合渗透方法	(368)
9.1	学科交叉方法	(368)
9.2	STS方法	(373)
9.3	理化综合方法	(376)
9.4	生化综合方法	(380)
参考文献		(385)

第1章 化学经验方法

为建立间接性的理论知识,而对原始材料进行观察、实验、调查、积累和确定等,并直接同科学实践,同对象、工具和仪器等各种手段的活动形态相联系着的获取感性材料的一类科学方法,称为经验方法。

相对而言,经验思维是一种输入性思维,直接面对思维对象而发生,其思维的加工是较简单的、初步的,是形成经验知识的方法,是一种较初级的思维功能活动。

1.1 观察方法

方法提要

化学观察方法是以获得关于物质和化学变化的感性认识为目的,有计划、有选择地进行化学知觉活动的方法。其知觉活动包括对观察对象的物质的物理性质和化学性质、物理变化、化学变化或物质种类的知觉以及对化学模型、图像的知觉等内容。由此可见,化学观察方法一般在实验过程中运用。

1. 科学观察方法的性质

科学的观察方法一般应具有以下几方面性质:①客观性。力求使观察的结果符合实际情况而不是主观臆断,并且如实地记录和反映观察的结果。②全面性。要尽可能从各种角度进行观察,力求获得整体印象,又不遗漏重要的“细节”。定性观察跟定量观察相结合,空间观察跟时间观察相结合,静态观察跟动态观察相结合

合,重点观察跟全面观察相结合,相异点观察跟相同点观察相结合,使观察全面地进行。③选择性。能敏锐地区分本质与非本质现象,分清观察内容的主次,然后有目的、有计划地展开观察。先主后次,善于应用特殊手段排除背景和非本质因素的干扰,放大微弱的有用信号,从而清晰地观察化学事物。

2. 观察时应注意的事项

在观察时应注意:①避免被假象所迷惑。例如,将湿红布放入装有 Cl_2 的集气瓶中,红布褪色,若不与干红布进行对比观察,就会造成 Cl_2 能使有色物质褪色的假象。②不要放过那些看起来好像是偶然发生的意外现象。在偶然的意外现象后面,很可能存在着人们尚未发现的必然规律。在科学史上,有许多科学大师,正是因为善于通过观察捕捉某些偶然发生的意外现象或尚未引起人们关注的现象,而完成了重大的发明创造。青霉素的发现者弗莱明说:“我的惟一功劳是没有忽视观察。”他正是观察到被霉菌污染的细菌培养基中,葡萄球菌菌落消失,在霉菌菌落周围出现透明圈,从而发现青霉素对某些细菌的抑制作用。而 18 世纪德国著名有机化学家李比希因贸然放弃了对一瓶液体的详细观察和分析,而与“溴的发现者”失之交臂,留下终生遗憾。敏感于一些偶然发生的意外现象,有利于发现有价值的化学问题,实现创造性的活动。③观察要与思维密切联系起来。只有结合思维,才能把握现象的本质特征和必然联系,达到观察目的。

3. 观察方法分类

按照不同的分类标准,一般有以下几种观察方法实用于化学研究中学习。

(1) 按观察进行的方式,有直接观察方法和间接观察方法

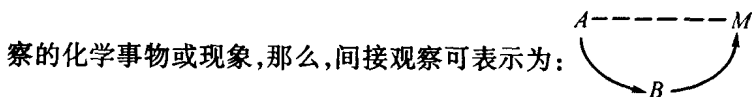
凭借人的感官,直接对现象或事物进行感知或描述,这种方法称为直接观察方法。如果以 A 代表人的感官,以 M 代表人所要观察的现象或事物,那么直接观察可表示为: $A \rightarrow M$ 。

直接观察方法在化学科研和学习中占有重要地位。一些基本

实验都要借助直接观察。对所研究的目标,直接进行观察,可以免除因中间环节的误差所造成的对观察目标认识的错误。但是,由于人的感官受到本身生理条件的限制,其直接观察的作用范围有一定限度。例如,人的眼睛在明视距离(25 cm)时能够分辨的细小物体,大致为0.1 mm左右。在晴朗的夜晚,人的眼睛所能看到的最暗淡的星体为六等星。人的耳朵也只能听到音频20~20 000 Hz范围内的物体振动。这样,一些物质的结构或者反应根本无法直接观察。

观察方法自古有之。早期用肉眼观察,后来由于仪器和仪表的制造和运用,极大地提高了人的直接观察能力,观察方式上有了巨大的进步,由古代直接观察,经过运用仪器、仪表的间接观察,现在似乎又恢复到了直接观察。但是,这并不是一个简单的复归,而是一个否定之否定的过程。今日直接观察手段的进步已经发展到惊人的程度,使昔日的间接观察变为了直接观察。

利用仪器或其他技术手段对现象或事物进行观察。如果以 A 代表人的感官,以 B 代表仪器或其他技术手段,以 M 代表人所要观察的化学事物或现象,那么,间接观察可表示为:



古代由于生产力水平低下,还没有积累起足够的科学知识和生产经验。随着生产力水平的提高,人们在上述方面有了长足的进步。人们运用科学知识和技术手段,在生产中制造出了许多仪器、仪表和工具,从而导致了观察方法的巨大进步。仪表和仪器是人的感官的延长,机器和工具是人体四肢的延长,电脑和人工智能机则是人脑的功能的扩展。由于利用仪器、仪表和工具,间接观察扩大了人们的观察范围,使人们对自然界的认识在深度、广度上都有了进步。在相当长的历史阶段里,人们不知道牛奶如何变酸,肉汁为何变味。1509年发明了显微镜之后,人们借助于这种观测工具,才揭开了牛奶变酸和肉汁变味的奥秘。原来是一种十分微小

的生物在作祟,它就是细菌。这一发现在避免食物变腐方面功德无量,这是众人都有体验的。

间接观察方法在许多方面具有直接观察所不可比拟的长处:它精确、迅速,观察的范围也加大了。间接观察方法也有其局限性,诸如,观测水平要取决于仪器的精密度水平;仪器的误差也会导致错误的观察结果。当然,间接观察不如直接观察对所研究的现象或事物的感觉更直接,因此,想办法弥补这一缺陷也是必要的。

(2)根据观察的目的要求的不同,可以把观察大致分为质的观察方法与量的观察方法

就研究事物或现象的程序来说,对质的观察是最基本的。对质的观察一般把重点放在对事物和化学现象的性质、特征等方面。研究者首先要对所研究的对象有一个概括的了解,然后才能进一步深入去研究它。

就研究化学事物或现象来说,质的观察所涉及的是确定在什么条件(温度、压强等)下发生了什么变化,该变化与别的变化间有什么样的联系,亦就是说确认是什么。如观察白磷在一瓶空气中燃烧,质观察方法的任务是要弄清白磷与什么物质发生反应并生成什么物质。

量观察方法则不仅要确认是什么,还要确定该事物或现象的数量、强度、经历的时间等等。量观察方法是在质观察方法的基础上进行的,但有时只有确定出某些数量关系后,才能确定出所研究的现象或事物是什么。

量观察方法亦称作观测法或测量法。在化学中,研究考察事物与现象之间的规律性,需要对各种物理量加以定量描述,因而就要采用量观察方法。如观察白磷在一瓶空气中燃烧,然后让水自动进入瓶内,观察空气体积的改变,以及白磷与氧气反应的质量比。

量观察方法是建立在对现象或事物有了比较深刻认识的基础

之上的。这是因为,首先应该确定能够表明研究对象特征和属性的那些命题,即用什么概念或命题去描述研究对象的特征和属性,才能进行量的观察。

随着化学学科日益向精密方向发展,数学方法、物理方法进入化学研究,使化学对事物和现象质和量的研究都产生巨大的进步,不仅帮助人们认识物质中有哪些元素或基因,再认识每种成分的数量或物质的纯度,最后还要了解物质中原子彼此之间是如何联结成分子或基团以及在空间又是如何排列的。迅速发展的分析化学就是从质和量的方面对事物或现象作深入的观察、分析和探究的学科。

(3)按手段可将观察方法分为自然观察方法和实验观察方法

自然观察方法是指对自然条件下所发生的某种化学现象或过程所作的系统的考察。如观察暴露在室外的铁钉如何生锈,观察山上鬼火的产生等等。

实验观察方法是指在人工控制的条件下,复制自然现象并在实验过程中干预现象的一种方法。例如,在实验室中模拟室外环境,并对相应条件作适当改变,使铁钉生锈时间缩短;又如在实验室观察白磷自燃等等。

实例诠释

[示例1] 我们将 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ 反应设计为一个针筒实验,试比较针筒内混合气体的颜色,在压缩前后,孰深孰浅(在压缩前后气体的温度相等,而且压缩过程不发生气体的液化,气体的行为遵循理想气体的行为)?

[解释] 对于该题的答案,说前深后浅和说前浅后深可能都有问题,而若理由正确,将会得出既是前深后浅又是前浅后深的结论。乍听起来,似乎有点荒唐,但确是事实。

定性地加以说明:

用符号 p, c, n 分别代表气体的分压、浓度和物质的量。

压缩前:

$$p(\text{NO}_2) + p(\text{N}_2\text{O}_4) = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

设气体的体积压缩到原来的 $1/2$, 存在一个化学平衡未发生移动的“瞬时态”, 这时:

$$2p(\text{NO}_2) + 2p(\text{N}_2\text{O}_4) = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

推而广之, 设气体的体积压缩到原来的 $1/x$, 则其“瞬时态”有:

$$xp(\text{NO}_2) + xp(\text{N}_2\text{O}_4) = x \times 10^5 \text{ Pa}$$

当然, 以上关系式成立的条件是: ①压缩不引起气体的液化, ②压缩前后气体的温度相等。或者可以概括为: 混合气体的行为遵循理想气体的行为。于是还有:

$$pV = nRT, \text{ 即 } p = nRT/V, \text{ 即 } p = cRT, \text{ 即 } p \propto c。$$

这就是说, 气体经压缩, 若未发生化学平衡的移动, 在“瞬时态”下显色气体 NO_2 的分压从 p 增大到 xp (因 $x > 1$), 它的浓度也由 c 增大到 xc 。

然而, 这是不是就意味着, 我们必定“观察到”注射器里的混合气体的颜色一定变深呢(在“观察到”三个字上加了引号, 这是因为事实上不存在这种“瞬时态”, 因而我们事实上观察不到这一“现象”, 但是, 这并不妨碍我们作理论的分析)?

为了说明这一点, 我们可以设计一个模拟实验:

往两上下直径不变的量筒或者比色管或者培养皿里注入同样高度的红墨水, 然后在一支量筒里注入水来稀释, 我们发现, 从两个不同的观察角度或者说观察方向, 我们观察到的现象是不同的:

从水平的方向观察, 稀释后颜色变浅了; 而从上向下观察, 稀释后颜色不变!

这是因为, 我们观察到的颜色的强度 I (基本上, 也可以假设完全地) 符合如下的关系式:

$$I \propto c \times l$$

式中的 c 是有色物质的浓度, l 是我们的视程中的有色物质的

厚度。从水平方向观察时,稀释前后 l 不变, c 变小,故 I 变小,观察到颜色变浅;从上向下观察时,稀释引起 $c \rightarrow c/x$ 的浓度变小的同时,还引起 $l \rightarrow xl$ 的变化,两者的总效果是:

$$I \propto c/x \times xl = c \times l$$

即稀释前后颜色不变!

通过这一模拟实验我们不难理解:上述混合气体经压缩到假想的“瞬时态”,颜色的变化是,若垂直于注射器“进行观察”,颜色变深;若顺着注射器“进行观察”,颜色不变。

我们再来分析从上述的“瞬时态”到发生化学平衡的移动,达到压缩后的等温平衡态时颜色的变化。

对于平衡式 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$, 增加压力将使平衡向右移动,使显色气体 NO_2 的浓度从压缩后假想的“瞬时态”的 xc 减小到 c' 。现在的问题是: c' 和压缩前的 c 比较,孰大孰小? 有人说, $c' = c$ 。理由是:勒夏特列原理告诉我们,平衡将向抵消引起平衡移动的因素的方向移动。“移动后,平衡恢复到原来的状态”。这是对勒夏特列原理的误解。我们说:平衡移动决不可能将引起平衡移动的因素完全抵消。为了说明这一点,我们可以做如下模拟实验。取一个连通器(例如 U 形管,最好连通管的两边的管径粗细不同),注入一定体积的水,达到平衡后,记下水面的高度,再从一管口注入水,平衡移动达到新的平衡,我们发现,水面的新高度不等于原高度,而是比原高度高。这个实验告诉我们,上述化学平衡,压缩后的 NO_2 的浓度 c' 一定大于压缩前的浓度 c 。

若垂直于注射器进行观察:

压缩前 $I = c \times d$ (注: d 为注射器的直径)

压缩后 $I' = c' \times d$

因 $c' > c$; 故 $I'/I = c'/c > 1$; $I' > I$ 。

结论是:压缩后的气体的颜色比压缩前的气体的颜色深。

若顺着注射器进行观察:压缩后的“瞬时态”的气体的颜色跟压缩前的气体的颜色相等。从“瞬时态”到压缩后的平衡态,注射