

化学方法论

启功题

浙江教育出版社



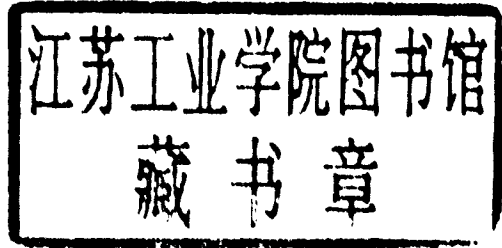
QSD

2

06

化学方法论

《化学方法论》编委会



浙江教育出版社

内 容 介 绍

本书是由中、日两国学者共同编写的理论专著，书中系统地阐述了化学方法论的内容，为化学研究、化学史研究和化学哲学研究提供了较全面的思想方法和手段，富有启发性和哲理性。可供化学工作者、化学史工作者、自然辩证法工作者、化学教育工作者参考，也可作为大专院校化学系、化工系研究生和本科生以及中学化学教师的教学参考书，还可供哲学工作者参阅。

化 学 方 法 论

《化学方法论》编委会编著

封面设计 陈海路

责任编辑 邱连根

浙江教育出版社出版

浙江省新华书店发行

上虞汤浦印刷厂排版

浙江新华印刷厂印刷

开本850×1168 1/32 印张12 插页1 字数296000 印数0001—1050

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

ISBN 7-5338-0343-3/G·344 定 价：3.15 元

序

化学工作者从事化学研究,探索化学运动规律,需要运用科学的方法作为工具,这是不言而喻的,否则就难以顺利达到目的。实际上,化学工作者的化学创造力,往往是由化学方法的掌握和运用水平决定的。但是,与此不相适应的是,长期以来,化学工作者还未能对散见于近代化学诞生后三百多年来取得的化学成就中的化学方法,进行比较全面、系统和深入的整理和概括,以致使化学方法的研究至今仍停留在零碎的、自发的状态,这不能不说是一个不足。

现在,由中国自然辩证法研究会化学化工专业委员会组织全国一些化学哲学和化学科学工作者,并与国外学者合作完成的我国第一部《化学方法论》,可以说是依照马克思主义哲学原理探索这一重要课题的可贵尝试,因此,这是一项开拓性的工作,它对于化学、化学哲学和化学教育工作的深入开展都将会有所裨益。此外,与国外学者共同从事化学方法论的研究,也是我国化学哲学工作者进行国际学术交流的良好开端,这是值得提倡的。

《化学方法论》的出版,连同已经出版的《化学哲学基础》、《化学思想史》两部著作一起,为我国化学哲学学术工作的深入开展,提供了一个比较全面的理论基础。这也说明我国化学哲学的研究已经进入了一个比较扎实发展的时期。

《化学方法论》的问世,还将促进化学工作者与化学哲学工作者的密切联系与合作,从战术与战略两方面共同促进化学科学的发展。

当然,这部著作还存在缺点,为此,谨希望本书作者能够广泛

听取多方面的意见,进一步加强化学方法论的研究,为我国化学哲学事业的发展作出更多贡献。

唐敖庆

1987.2.21

2038/15

目 录

序

绪 论

| | | |
|-----|--------------|----|
| 第一节 | 化学方法论的对象和内容 | 1 |
| 第二节 | 研究化学方法论的意义 | 4 |
| 第三节 | 如何学习和研究化学方法论 | 10 |

第一章 化学方法的发展

| | | |
|-----|---------|----|
| 第一节 | 思辨方法阶段 | 15 |
| 第二节 | 准实验方法阶段 | 19 |
| 第三节 | 经验方法阶段 | 21 |
| 第四节 | 理论方法阶段 | 27 |
| 第五节 | 综合方法阶段 | 34 |

第二章 化学研究课题的确定

| | | |
|-----|-------------|----|
| 第一节 | 化学研究中的问题 | 43 |
| 第二节 | 化学研究课题的某些特征 | 46 |
| 第三节 | 寻找化学研究课题的途径 | 51 |
| 第四节 | 确定化学研究课题的原则 | 56 |

第三章 化学中的观察和实验方法

| | | |
|-----|----------------|----|
| 第一节 | 化学研究中的观察方法 | 60 |
| 第二节 | 化学研究中的实验方法 | 64 |
| 第三节 | 仪器和思维在化学实验中的作用 | 71 |

第四章 化学分析方法

| | | |
|-----|-----------|----|
| 第一节 | 分析方法的演进 | 77 |
| 第二节 | 现代分析方法 | 79 |
| 第三节 | 分析方法的发展趋向 | 85 |

第五章 化学中的比较和分类

| | | |
|-----|------------------------|----|
| 第一节 | 比较方法 | 90 |
| 第二节 | 分类方法 | 94 |
| 第三节 | 比较和分类方法在化学中的重要意义 | 97 |

第六章 化学符号系统

| | | |
|-----|--------------------|-----|
| 第一节 | 化学符号系统的形成和演变 | 108 |
| 第二节 | 化学符号语言的特点和功能 | 120 |

第七章 化学中的推理方法

| | | |
|-----|-------------|-----|
| 第一节 | 归纳方法 | 129 |
| 第二节 | 演绎方法 | 136 |
| 第三节 | 类比方法 | 140 |
| 第四节 | 公理化方法 | 145 |

第八章 化学中的逻辑分析与综合

| | | |
|-----|------------------|-----|
| 第一节 | 化学研究中的逻辑分析 | 151 |
| 第二节 | 化学研究中的综合方法 | 154 |
| 第三节 | 分析与综合的统一 | 156 |

第九章 化学中的科学抽象

| | | |
|-----|----------------------|-----|
| 第一节 | 科学抽象的客观依据 | 159 |
| 第二节 | 科学抽象的一般进程和实现方式 | 164 |
| 第三节 | 化学中的理想化方法 | 174 |
| 第四节 | 形成化学概念的思维方法 | 184 |

第十章 化学中的模型方法

| | | |
|-----|-----------------|-----|
| 第一节 | 模型方法和化学模型 | 192 |
| 第二节 | 结构化学中的模型 | 204 |
| 第三节 | 化学热力学中的模型 | 216 |
| 第四节 | 化学动力学中的模型 | 221 |

第十一章 化学家的创造性思维

| | | |
|-------------------------|-----------------------|-----|
| 第一节 | 化学家的直觉 | 231 |
| 第二节 | 想象力和机遇的捕捉 | 239 |
| 第三节 | 化学家的创造力 | 245 |
| 第十二章 化学研究中的假说方法 | | |
| 第一节 | 假说在化学研究中的作用 | 253 |
| 第二节 | 化学假说的形成 | 259 |
| 第三节 | 化学假说的验证和发展 | 265 |
| 第十三章 化学研究中的移植方法 | | |
| 第一节 | 物理方法向化学的移植 | 273 |
| 第二节 | 化学和生物学方法的相互移植 | 280 |
| 第三节 | 移植方法的特点和化学边缘学科的开拓 | 289 |
| 第十四章 化学中的数学方法 | | |
| 第一节 | 数学方法概述 | 296 |
| 第二节 | 经典数学方法与化学研究 | 307 |
| 第三节 | 现代数学方法与化学研究 | 316 |
| 第十五章 化学研究中的系统方法 | | |
| 第一节 | “三论”与三论方法 | 322 |
| 第二节 | 布鲁赛尔学派研究化学中自组织现象的方法 | 334 |
| 第三节 | 三论方法与化学工程 | 343 |
| 第十六章 化学前沿中的方法论问题 | | |
| 第一节 | 探测化学结构的间接性方法 | 347 |
| 第二节 | 量子化学、计算化学和分子设计中的方法论问题 | 353 |
| 第三节 | 生命化学方法论问题 | 360 |
| 结 束 语 | | 365 |
| 主要参考文献 | | 371 |
| 编 后 记 | | 376 |

绪 论

第一节 化学方法论的对象和内容

化学方法论是关于化学科学一般研究方法的理论，它既具有自然科学方法论的一般特征，又反映化学科学研究方法的特殊规律。作为一般方法和特殊方法相互交叉渗透产物的化学方法论，一方面，它把哲学方法、自然科学一般方法具体运用于物质化学运动规律性的研究，紧密地和化学学科的特点相结合，因而它在科学方法论体系中具有相对独立性。这种独立性表现在：在内容上较一般自然科学方法论深入和充实；在表述上较一般自然科学方法论精确和具体。另一方面，它又对化学学科中某些共有的、通用的方法加以提炼(通过抽象和概括)，使之上升为自然科学研究的一般方法。

化学方法论亦是化学方法历史发展和化学逻辑思维发展的结合体。一方面，它以发展的观点考察了化学方法的演进及其与化学科学发展的关联，指出化学的发展史也是化学方法发展的历史。另一方面，化学方法论又以辩证的观点阐述了化学家的思维方式对化学研究方法的深刻影响。可以这样认为，化学方法论通过对化学科学的哲学考察，获得、确定、构造和发展化学知识的原理和方法，旨在为化学科学的发展提供坚实的逻辑基础，为化学家有效地进行认识活动提供指南。总之，从认识论角度来看，化学方法论在内容上应该体现化学历史发展与化学逻辑发展的统一。

历史从哪里开始，逻辑也应从哪里开始。鉴于化学方法的历

史发展和化学研究活动顺序的一致性，可以得出如下化学方法论的基本内容。

1. 研究化学科学认识的逻辑结构和活动次序，揭示化学科学研究过程的各个阶段和每一环节的作用、特点及其所应遵循的一般原则。

在这里，主要是把化学方法论作为一个整体来研究，即一方面研究化学方法论的逻辑结构体系。诸如，总体结构由哪些方法组成，其间联系的环节如何？选题、观察、实验、逻辑思维和非逻辑思维、假说与理论等方法的相互关系如何？它们分别在整体中的地位如何？等等。另一方面研究化学科学研究活动次序的规律性。也就是说，要完成一项化学科学研究究竟要经过哪些环节和步骤？运用哪些方法手段？这些方法在整个科研过程中占何地位？起何作用、有何特点？运用这些方法需遵循哪些基本原则等。

2. 研究化学科学中常用的一般方法，揭示它们的客观基础、适用范围、运用技巧，全面认识它们的特点及其规律性。

这方面的研究内容涉及两个侧面：一个是研究一般自然科学方法，如选题方法、观察与实验、逻辑推理、想象与灵感、直觉、模型方法、理想化方法、假说及数学方法等在化学研究中具体运用时的特点、作用和适用范围等规律性问题。另一个侧面是研究如何把富有化学研究特色的个别方法，通过提炼使其上升为一般自然科学方法。如化学的定量与定性分析方法、化学合成法、分子模型法以及化学热力学方法与量子化学方法等对其它学科（尤其是生物学、生态学、环境科学、材料科学及能源科学等）的普适性。广义地来看，化学的某些原理、概念以至化学符号语言系统也具有一般科学方法论的功能；它们在向其它学科移植时，这种方法论功能已日益引起人们的关注（对生物学来说尤为显著）。

3. 具体研讨化学史上和近现代著名化学家的研究方法，着重

分析化学化工史上的重大突破和有代表性的案例，揭示其方法论意义。

在这里，需要着重指出的是：如果说，化学知识和化学方法是构成化学的两大部分，犹如经线和纬线构成织物一样，那么化学家就是一批既聪颖又勤奋的编织者。他们以自己的化学知识和化学方法的交替增长，促进化学科学的发展。因此，总结他们的研究方式和治学经验，揭示其方法论意义，无论对传统化学方法的合理继承，还是对现代化学方法的变革与创新都有重要的作用。化学史表明，无论是近代的拉瓦锡、道尔顿、门捷列夫、凯库勒、范霍夫等，还是现代的鲍林、福井谦一、伍德瓦德、西博格、普里高津、李远哲等众多有造诣和成就卓著的化学家，他们不仅有渊博的科学知识，而且在化学方法论上亦各有独到之处。显然，这方面的研究是化学方法论中极富有活力的一部分，因而是不可缺的。

4. 研究新兴学科、新兴技术对化学研究的重大影响，并探讨其深远的方法论意义。

20世纪以来，一大批新兴学科、技术的崛起和整个现代科学技术综合化、整体化发展的大趋势，对现代化学研究方法的发展的影响是十分深远的。在新兴学科方面，尤以系统论、信息论、控制论对化学研究的方法论意义最大，越来越引起化学科研工作者的重视。事实上，“三论”的方法正在日益改变着现代化学家的思维方式。在新兴技术方面，则以电子计算机、激光、分子束、核磁共振、X衍射及超导等现代物理实验技术为中心技术，正在迅速变革化学研究的物质手段。这些物化的手段也是化学方法论迫切需要加以研究的一个内容。如果说，思维工具(所谓化学逻辑)是化学方法论中的“软件”，那么，技术手段便是化学方法论中的“硬件”。只有这两者的互补，才能完成一个完整的化学科学认识活动，并起着开拓化学认识新领域的作用。这一点，在现代化学的前

沿表现更是显著。从这个意义上说，探讨化学前沿研究中的方法论问题是一个十分诱人的目标，它必将把化学方法论的研究提高到一个新的水平。

第二节 研究化学方法论的意义

我们试从剖析化学方法的职能入手，来展开关于研究化学方法论意义的讨论。

1. 推动化学科学发展的工具或手段。

化学方法是化学家认识化学运动规律的工具或手段，它担负着化学发现和建立、检验、运用以及发展化学理论等重要职能。事实上，化学家只有解决好化学方法问题，才能深刻地理解化学运动的本质，发现化学运动的规律，有效地促进化学科学的发展。

(1) 化学发现的手段

实践表明，任何一个化学发现都是依靠一定的化学方法实现的。普利斯特列发现氧气是运用了实验方法，普鲁斯特建立定比定律是依靠了定量分析方法，阿佛加德罗提出分子学说是借助了假说方法，等等。显然，化学方法是化学发现不可缺少的手段。而且，化学家只有掌握了正确的化学方法，才能更好地发挥其才智和天赋，取得成功。相反，如果依靠拙劣以至错误的“方法”，就会阻滞人们固有才智的发挥，事倍而功半，或导致研究的失败。19世纪中叶曾经以精巧运用实验方法著称的贝采里乌斯，在他取得了精确测定原子量的杰出成就以后，由于以主观主义唯理论的方法研究有机结构理论，企图用“千军万马的假想物体”去维护自己的并不正确的“二元学说”，攻击比较正确的“一元学说”，结果导致了失败。

化学方法具有化学发现手段的职能的原因，在于它本身体现

了从简单到复杂,从低级到高级的认识活动程序,或从问题出发、明确研究对象、进行实验考察、提出化学假说和检验化学理论等一般性的化学认识过程,从而可以指明研究的途径和方向,以避免错误,少走弯路,顺利达到目的。正如门捷列夫所说:“观察和实验是科学的躯体……概括、学说、假设和理论是科学的灵魂。”化学史实告诉人们:刚开始从事科学研究的障碍,主要在于缺乏研究方法。因此,为了探索自然奥秘,为了科学,“我们头等重要的任务乃是制定研究方法。”(巴甫洛夫语)

(2) 化学知识增长的杠杆

化学家在化学研究中需要借助化学方法使主观和客观发生联系并达到统一,从而化未知为已知,揭示化学运动本质,建立起化学理论。在此以后,化学家又可以把新建立的化学理论转化为新的化学方法,以新的工具进行新的探索,进一步积累化学知识。例如,19世纪中叶,主要依靠实验分析、实验合成和假说方法建立起来的经典价键理论,到了20世纪初暴露出了局限性。然而,它所确立的“化学结构”概念和关于分子结构与物质性能之间存在相互依赖关系的基本理论,却转化成为研究分子结构的方法,它对于现代化学键理论的发展和化学合成实践的发展,都起到了方法论的指导作用。

不仅如此,化学方法在获取化学知识的同时,还往往伴随产生出新的方法,成为进一步获取化学知识的新工具。例如19世纪初期化学家戴维利用移植方法从物理学领域把刚刚发明的原电池引进化学而发现了钾元素。同时,又把这种电化学知识转化为一种前所未有的电解方法,并以此为工具进行了化学探索,又相继发现了钠、钙、锶、钡和镁等一系列新元素,使元素知识得到了急剧增长。可以看出,化学理论与化学方法、化学方法与化学方法之间的转化,可以不断派生出新的化学方法,并以其作为手段或杠杆获

取更多的化学知识。化学方法作为获取知识的手段或杠杆，甚至比获取化学成果的目的本身更为重要和可贵。所以，黑格尔说，“手段是一个比有限目的更高的东西”。

(3) 化学理论建立的工具

化学理论形成的主要标志是在于它具有：能够反映化学运动的客观规律；由前提、推论、证明和结论等所构成的知识体系的严密逻辑性；进行定量表达的精确性等。这些标志所反映的条件，实际上只有依靠化学方法作为研究工具才可能实现。具体来说，化学理论的真理性需要依靠化学实验方法加以检验和证实。

化学理论的逻辑性则需要运用化学演绎等方法去建立，这样可以把零星或散乱的知识依照本质联系和因果关系纳入一个严密的知识体系。例如，化学原子论建立以后，化学家就运用化学演绎等方法逻辑地解释了质量守恒定律、当量定律和定比定律等一系列经验知识，并把它们有机地联系起来，统一成为一个具有严密逻辑性的知识体系，推动了化学理论的发展。

化学的精确性更需要以精确的化学定量分析方法移植形成的数学-化学法和物理-化学法等方法去实现。例如在18世纪中叶以后，化学家依靠定量分析等方法建立了氧化学说、原子分子论和门捷列夫周期律等基础化学理论，19世纪运用数学-化学法和物理-化学法等方法建立了化学热力学、化学动力学和溶液理论；20世纪则产生了量子化学等日益定量化和精确化的现代化学理论。显然，化学方法是使化学理论精确化不可缺少的重要工具。

此外，由于不同学科发展的相互渗透和融合，化学方法已经不仅是化学理论发展的工具，而且也是其它科学理论发展的一种手段。物理学家依靠化学定性分析方法确认出原子裂变产物钡元素，从而才发现了原子裂变，并发展了原子物理学理论；在生物学领域由于应用了化学方法，才使生物学研究从细胞水平深入到分

子水平，建立起分子生物学，推动生物学实现了自达尔文建立进化论以来的第二次深刻变革；在地球科学领域由于运用了化学实验方法才使地学工作者得以认识地壳的组成、结构和元素的分布规律。总之，化学方法向其它学科的移植、渗透，对促进整个自然科学理论的发展，的确是一种重要手段。

2. 促进化学教育改革的重要途径。

现代化学教育的任务已经不是单纯地传授化学知识，而是更加注意发展学生的智力。即培养学生的观察力、想象力、思维力和创造才能等。特别是由于在现代化学迅猛发展的形势下，企图让学生在有限时间内完全掌握日新月异的化学知识已经成为不可能了。这就尤其需要把化学方法论作为化学教育的重要内容，培养和提高学生认识、掌握和运用化学方法的水平，以便能够依此独立、主动、持续不断地获取化学知识，成长为一个具有创造才能的 chemist。因此，化学教育不仅应当讲清化学基本概念和基本理论，而且更应当揭示出化学基本概念和基本理论建立与发展的化学方法，并在化学的实验、作业、实习等各个教学环节中不断加以培养和训练。

此外，在化学教育方法方面，现代教育也要求教师不应平铺直叙地“讲解”化学知识，而应引导学生自己去“研究”问题，“发现”规律，运用所谓“发现式”的教学法，唤起学生的主动求知精神，并让他们始终保持一种对新奇事物的兴奋感和对化学研究的亲近感。教师要这样做，仅仅依靠丰富的化学知识是不够的，还必须掌握一套科学的化学方法，以便能依照这些方法指出的途径带领学生能动而有效地去汲取化学知识，不断提高教学质量。有位化学教育家提出，化学教育法的理论基础有两个，一是化学教育论；二是化学方法论。应当认为这是一种远见卓识。

3. 联结哲学和化学科学的一条纽带。

化学方法论从一个方面把哲学和自然科学相关联，并把哲学对自然科学的指导加以具体化。从一定意义上说，化学方法论是哲学在化学研究领域的具体运用或具体表现形式，从而为哲学应用于化学领域，促进化学研究提供了具体途径。这就是说，哲学往往需要通过化学方法的途径才能有效地在化学领域发挥作用，并且自身也从中得到发展。例如，恩格斯早在一百多年以前就依照辩证唯物主义原理指出了“从无机物中制造出蛋白质”的必然性，从而为生命化学的研究提供了有力指导。然而，这也只能在一百多年以后依靠现代化学合成方法的途径才可能实现，并使哲学自身在这一过程中也得到了充实和发展。

其次，也表现在它是检验哲学原理、为哲学提供科学证明的一种手段。这是因为哲学是对包括化学在内的自然科学的概括，是在化学等自然科学的基础上发展起来的。因此，化学方法也就必然会成为提供这种科学基础，进而检验哲学原理的工具。例如化学家由于运用了定量归纳法而发现了质量守恒定律，从而为辩证唯物主义物质不灭的原理提供了有力证明；由于运用了化学抽象等方法而建立了原子分子论，从而为辩证唯物主义自然观提供了科学依据，等等。

再次，还表现在它是丰富马克思主义哲学内容的一条重要途径。由于唯物辩证法和化学方法论二者之间存在着普遍与特殊的关系，由此对特殊的化学方法的概括和综合，就可以丰富具有普遍意义的辩证唯物主义方法，发展马克思主义哲学。例如研究化学家如何具体运用化学方法获得化学感性知识，以及认识化学规律的过程，就能够丰富马克思主义哲学认识论；研究化学的归纳与演绎、分析与综合、抽象与具体、历史与逻辑等化学方法的关系，就有助于发展马克思主义的辩证逻辑；研究化学发现中的灵感和机遇等非逻辑思维方法，就会丰富辩证唯物主义哲学的必然性与

偶然性的范畴,等等。事实上,马克思主义哲学需要从化学方法中不断吸取新的养料和做出新的概括,才会持续地保持旺盛的生命力,得到不断发展。

综观以上可以看出,化学方法对于化学以及整个自然科学乃至哲学和化学教育的发展都具有重要意义。从马克思主义认识论看来,它之所以能够具有如此重要的职能,根本上说是在于它具有化学实践和化学理论的中间环节的作用,从而使马克思主义认识论的反映论原则能够在化学认识活动中得到贯彻,并把化学感性认识上升为理性认识的过程转化为实际的化学思维活动,成为化学认识过程两个飞跃的桥梁。这就是说,在化学领域中如果没有科学的化学方法,科学的认识论原则就不能转化为实际的科学的化学认识活动。事实上,化学家对于化学运动规律的正确认识无一不是在联系着正确的化学方法。因此,任何一个在化学研究中卓有成就的化学家都莫不深切感到运用化学方法的重要性和迫切性,并对化学方法论予以莫大的关注。

这样,现代化学家在从事化学研究的过程中就不仅要善于继承前人已取得的化学成果,还要善于挖掘和学习前人取得化学成果中的化学方法,不仅要以极大的热情、勤奋、毅力和胆识去从事自己追逐的科学目标,还要善于制定、掌握和运用一套能够有效实现这一科学目标的化学方法。为此,要求化学家应当不断学习和掌握化学方法,研究化学方法的历史,剖析化学家的发现过程并钻研科学方法论,从哲学的高度认识化学家成功的经验和失败的教训,揭示化学方法论的实质,不断提高运用化学方法论的水平,更有效地为化学发展服务。