

机械论思想与几位俄国化学家的成就和失误

张殷全

(广州大学生物与化学工程学院化学系 广州 510405)

摘 要 从机械论哲学思想的影响出发, 分析了罗蒙洛索夫、布特列洛夫和门捷列夫等俄国化学家的学术活动和学术思想, 指出了他们在化学领域上取得的成就和失误。从一个侧面反映出机械论哲学对化学发展的作用和局限性。

关键词 罗蒙洛索夫 布特列洛夫 门捷列夫 机械论哲学 机械论化学 化学结构理论 元素周期律 俄国化学史

The Mechanical Philosophy and The Achievements and Misplays of Several Russian Chemists

Zhang Yinquan

(Guangzhou University, Biol. & Chem. Eng. Coll., Chem. Dep. Guangzhou 510405)

Abstract The academic activity and thought of Russian chemists Lomonosov, Butlerov and Mendeleev were analyzed through the influence of the Mechanical Philosophy. Their achievement and misplays in the field of chemistry were pointed out. Effect and limitation of the Mechanical Philosophy on chemical development were reflected from a flank.

Key words Lomonosov, Butlerov, Mendeleev, The mechanical philosophy, The mechanical chemistry, Chemical structure theory, Element periodic law, Russian chemical history

对于罗蒙洛索夫、布特列洛夫、门捷列夫等世界著名的俄国化学家在科学领域上的成就, 以前(尤其是在 1960 年之前)的苏联科学史论著往往大肆夸张, 甚至渲染天才论和神秘论; 但某些西方评论却又过分贬低, 甚至抹杀了他们的功绩。然而在近 20 年来, 许多学者(包括西方^[1]和中国^[2]的作者)都从当时俄国学术界的实际情况出发, 客观地分析了他们的学术活动和学术思想, 恰如其分地评价了他们对俄国乃至世界科学发展所作的贡献。另外, 近年来科学史学界也扭转了“机械决定论”的实证主义倾向, 重新评价了机械论哲学对近代科学发展的作用和局限性^[3]。本文试图从机械论哲学思想对上述俄国化学家的不同影响, 来分析他们在学术上的成就和失误, 使人们认识到, 只有将机械论的思想方法清除出去之后, 化学科学才能沿着正确的方向进一步发展。

1 罗蒙洛索夫和机械微粒学说^[1a]

米哈伊尔·华西里耶维奇·罗蒙洛索夫(1711~1765)是俄罗斯的第一位大科学家。他的科

张殷全 男, 55 岁, 副教授, 从事有机化学和化学史的教学及研究工作。

2003-02-11 收稿

学活动大致划分为三个“八年”：1740年夏~1748年秋的“理论物理学时期”，1748年秋~1757年春的“化学时期”以及1757年春~1765年4月4日逝世前的“实用科学和科学管理时期”。

罗蒙洛索夫在科学理论领域上最有意义的工作是发展和推广了机械微粒学说。在国外学习期间(1736~1740)，他不仅从机械论化学主要创建者罗伯特·波义耳(Robert Boyle, 1627~1691)的著作中学习机械微粒学说，还通过他的科学哲学导师沃尔夫(Christian Wolf, 1679~1754)了解到莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646~1716)的“单子论”。莱布尼兹是“有机论哲学”创建者，认为机械运动只是表面现象而其内在动因是一种有机的活力，“如果充分细微地分割物资，就必定到达某种不再是物质的东西，而且这些非物质的形而上实体才是我们在世界上观察到的力和方向之源”^[4]，它被称为“单子”。沃尔夫是莱布尼兹“单子论”的忠实追随者，而罗蒙洛索夫却按自己的思路将莱布尼兹非物质的抽象单子转化为具体的“物理单子”(后来他又称之为“元素”或“粒子”)。本来莱布尼兹提出单子概念是为非机械论留下退路，现在却被罗蒙洛索夫堵死了。因此，罗蒙洛索夫的微粒说是彻底的机械论微粒说。他运用机械微粒观念比起其他机械论拥护者“更完整也更为始终如一”。罗蒙洛索夫运用机械微粒学说在俄国建立了机械论化学。这正如他自己所说：“我的化学是物理的化学”“是以物理学的原理和实验为基础，解释化学操作条件下混合物体中发生变化的科学”^[5a]。当时的物理学主要是机械力学，故此罗蒙洛索夫还不止一次地强调：“可以借助力学而更清楚地认识混合体的变化”。他在《数学化学要素》中写道：“物体的一切变化都是由于运动而产生的……运动可以用力学定律来解释……谁想要较深入地研究化学真理，谁就必须研究力学。而且因为力学的知识是以数学的知识为前提的，因此，要想最深入地研究化学就必须很好地懂得数学”^[6a]。这样看来，罗蒙洛索夫的“物理的化学”就是机械论化学。

通过刻板地运用机械力学和机械微粒学说来解释化学和物理化学现象，罗蒙洛索夫有时会得到一些对现代科学来说是卓有远见的论点，但有时却被它们误导失去了新发现的良机。罗蒙洛索夫是一个燃素论者，经常用燃素论解释金属的性质；但机械论观点使他无法设想世上会存在没有质量或有“负质量”的燃素。1740年他重复了波义耳在密闭曲颈甌中煅烧金属的实验，发现曲颈甌(连同瓶内物)在煅烧前后重量不变，否定了波义耳关于“火微粒”进入瓶内与金属结合的臆想。但罗蒙洛索夫没能沿着这一正确的道路继续走下去，反而被机械论误导走上歧路。对于上述实验中煅灰的增重，他不相信这是燃素逸出造成的(这样燃素势必具有负质量)，而从机械微粒学说的观点出发作出了几种互相抵触的解释。例如一种解释是，金属摄取了“空气中飞跑的质点”而变重，但未指出是何种元素的粒子(这正是机械微粒说的特点和缺点)；或是，焙烧使金属表面更加暴露给引力粒子作用而变重；如此等等，而这些解释都不是结论性的。与罗蒙洛索夫不同，法国化学家拉瓦锡(A. Lavoisier, 1743~1794)在1774年进行的相似实验做得比较严格和仔细。拉瓦锡不仅发现曲颈甌在煅烧前后重量不变，而且发现打开瓶口后冲入瓶内的空气重量等于煅灰的增重，从而作出“煅灰是金属与部分空气(后称“氧气”)的化合物”的正确结论，并由此发现了氧化作用并最终推翻了“燃素论”。虽然罗蒙洛索夫的实验领先于拉瓦锡的工作，但却未能从中发现氧化作用，更没有否定燃素论，故此不能说他是“第一个驳斥燃素的科学家”。

2 布特列洛夫和物质结构理论^[5b]

罗蒙洛索夫所处的时代正是静电学研究兴起的年代。与“借助机械力学认识化学变化”的思想方法相同，罗蒙洛索夫提出要借助电力来分解物质，从而认识“物体的内部结构”。他的“电力化学”其实是“机械论化学”的延伸。及至 19 世纪初，人们利用当时新发明的“伏打电堆”成功地进行了各种水溶液的电解反应，终于“实现”了罗蒙洛索夫的心愿。

根据电解反应的结果，瑞典化学家贝采里乌斯(J. J. Berzelius, 1779~1848)在 1814 年提出了“电化二元论”。这个理论认为所有物质都是由相反电荷的两部分通过相互吸引的静电作用而结合组成的，而电力可迫使它们分开。它的原型就是牛顿力学体系中机械作用的引力和斥力。牛顿曾经将机械的引力和斥力作为他的“化学亲和力理论”的基础，他在《光学》一书中提出：“我们已知物体间能通过重力、磁力和电力的吸引，而互相发生作用，那么在不同物质的微粒间，当距离很小时(即相接触时)，则还会有另一种吸引力使两种微粒间以加速度地互相发生冲击”^[7]牛顿对化学亲和力的这种形而上学的机械论解释使他在化学研究上没有得到什么成果。电化二元论继承了机械论传统，而它开始应用于无机化学领域时颇为得心应手(显然是无机物绝大多数属离子型化合物的缘故)，但后来贝采里乌斯将它生硬地照搬到有机化学领域时便遇到了很大的困难。“电化二元论”在有机化学领域中派生了“基团论”。它认为有机物与无机物一样，必须由荷正电组分和荷负电组分组成。但有机物的组分是比无机物复杂的原子团(基团)，这些“基团”在有机反应中与元素在无机反应中的行为相似，可以被取代但本身固定不变。然而基团论很快就受到了严重的冲击。1834 年，卤素对烷基氢的取代反应被发现了。人们看到，历来被认为在反应中稳定的烷基，竟然经受不住氯的进攻；而基中正电性的氢，居然会被负电性的氯取而代之；这些都是基团论和电化二元论无法解释的。在取代学说的基础上，法国化学家罗朗(A. Laurent, 1807~1853)和日拉尔(C. F. Gerhardt, 1816~1856)等提出了“类型论”。它将有机物看成是由水、氨、氯化氢、氢气等几类简单物质中的氢被有机基团取代而衍生出来的，因而有机物也被分成这几种“类型”。虽然类型论比基团论更为合理，但“在日拉尔看来，类型并不反映化合物中各组成成分之间的实际关系，只是为了说明化合物在各个反应中的作用，因此，他提出的类型只能算作是一种功能模型”^[8]而不是一种结构模型。因此，一个有机物在不同的反应中可以有不同的“类型式”。尽管类型式确实和现代结构式十分接近，但类型论者“只考虑从形式上进行类比，对这一点自然是看不出来的。”^[9]不久，这种机械类比方法和经验论也使类型论陷入窘境。

基团论和类型论都以有机基团为出发点来考虑有机物的结构和反应关系，不同的只是对基团及其作用的解释。正当它们为此争论不休时，有人却把注意力从基团返回到原子。德国化学家凯库勒(F. A. Kekulè, 1829~1896)在 1857~1858 年间论证了碳原子的四价性和自联性，英国化学家库帕(A. S. Couper, 1831~1892)在 1859 年也独立地提出类似的理论概念。而意大利化学家康尼查罗(S. Cannizzaro, 1826~1911)在 1860 年召开的卡尔斯鲁厄第一次国际化学会议上论证了“原子-分子论”，建立分子的原子结构已势在必行。凯库勒和库帕根据碳原子的四价性和自联性原理写出了正确的结构式。正如洛塔尔·迈尔(J. L. Meyer, 1839~1895)所指出的：“由于确立这两个原理，一切可能的碳化合物的式子的排列也就确定下来了，至于这些式子的书

写方式，只是组合、排列和变化的计算问题，而这个问题是早已解决了的，把这种方式应用到具体场合，并不需要特别的敏感或很大的发明才能。”^[10]然而，凯库勒建造的分子结构是一种“机械结构”。他着眼于原子的排列方式、空间关系和整体形象，并采用 Constitution(法文“构成”、“构造”)一词来表达这种类似机械建筑的分子结构。

著名俄国有机化学家亚历山大·米哈伊洛维奇·布特列洛夫(1828~1886)也参与了结构理论的创建工作。以前，在老师齐宁(1812~1880)的影响下，他对“类型论”很感兴趣。他曾回忆道：“我在彼得堡逗留时与 H. H.齐宁的短短的讨论，完全成为我的科学事业发展中的一个时代。H. H.齐宁指示我罗朗和日拉尔学说的意义，它只表现在第一位著的《化学的方法》中和第二位著的《论有机化学》的开头几章里；并且劝告我遵循日拉尔的教学体系。我遵守了这些劝告。”^[6b]但在 1857~1858 年访问西欧期间，布特列洛夫开始将兴趣转移到凯库勒的理论。他没有参加卡尔斯鲁厄会议，却出席了翌年在施佩耶尔举行的“德国自然科学家和医生代表大会”，并宣读了“论物质的化学结构”这篇著名的论文。他认为无论贝采里乌斯还是罗朗和日拉尔的理论都满足不了化学日益发展的要求，宣布支持凯库勒-库帕的“原子结合理论”，同时引入 Chemische Struktur(德文“化学结构”)代替 Constitution。他在论文中解释了“化学结构”一词的含义：“假定一个原子具有一定的和有限的化学亲和力，借助于这种亲和力，原子形成化合物，那么，这种关系，或者说在组成的化合物中各原子间的相互连接，就可以用化学结构这一术语来表示。”^[11]由此可见，与凯库勒的“机械结构观”不同，布特列洛夫的“化学结构观”着重于原子的化学关系而不是空间关系，强调分子中各原子之间的相互作用和相互影响。因此，“一个分子的本性，取决于组合单元的本性、数量和化学结构”。“根据化学结构可以推测分子的化学性质，同时，又可以根据化学性质和化学反应推测分子的化学结构”^[10]。与“类型论”不同的是，每一化合物只能有一个结构式，它的所有性质都可以用这一结构式解释。他还特别强调要考察不同原子或原子团对有机分子各个活性部分的影响，并指导学生进行这方面的工作。几年后，他的学生马尔可夫尼科夫(1838~1904)和扎伊采夫(1841~1910)各自在这一研究领域总结出重要反应规则。

过去的苏联出版物经常将“化学结构理论”的发明权全归于布特列洛夫。其实，布特列洛夫是在凯库勒、库帕等人的奠基性工作的基础上才完善了这个理论的。也有人说布特列洛夫只是提出一个新术语，实际上对结构理论并无建树，这又几乎完全抹杀了他的功绩。布特列洛夫在结构理论中的主要贡献是：划清了原子结构理论与基团论和类型论的界线，清除了机械论思想方法的影响，并且发展和推广了这个新理论。当然，开始时类型论那种“经验论”和机械类比思想方法的残余在他和凯库勒身上都还存在，正如后来他自己检讨说：“当时总是事先认为，既然物质起源不同，则其本身亦因之而异”^[12]。起初，他从乙烷的两种不同制法出发，曾以为有两种乙烷：并提出过“碳价相异”假说(将碳的四价分成“伯价”和“仲价”两种)来解决“类型论”与“原子结合理论”之间的矛盾。但在德国化学家肖莱马(C. Schorlemmer, 1834~1892)用实验证实了只有一种乙烷以及“碳四价等同性”原理后，布特列洛夫表现出了一位大科学家应有的风范，他及时放弃自己的错误假说，欣然接受正确的理论并高度评价了肖莱马的工作。^[12]

3 门捷列夫和元素周期律^[1b, 2, 5c]

19 世纪 60 年代, 是理论化学界捷报频传的新时代。正当有机化学家忙于建立化学结构理论时, 无机化学系统化的工作也在各国间相继地展开, 最后导致元素周期律的发现。据科学史专家统计, 在 1862~1869 年间, 涉猎元素周期性探索的化学家不下六七位, 他们也曾发表过诸如“三素组”、“八音律”、“螺旋图”和各种各样的“元素表”。但由于种种缘故, 大多数人的工作都中途而废, 而坚持完成这项工作的只有两位学者: 俄国化学家季米特里·伊凡诺维奇·门捷列夫(1834~1907)和德国化学家 J. L. 迈尔。他们都是在编写无机化学教科书时, 为了使其内容更加系统化而研究出元素周期性变化规律的, 但他们的思想方法和做法却是迥然不同的。

17 世纪时, 受机械论哲学思想支配的学术界曾强制自然科学各学科变成机械力学的分支。后来更形成了一种“大物理学观”的还原论, 它企图将化学还原为原子-分子的牛顿力学。有些化学家就将注意力放在研究物理性质上, 以便使自己的实验结果靠拢牛顿力学。受这种思想方法影响, 迈尔在探索元素周期性变化规律时偏重于它的物理性质方面。在 1864 年出版的《现代化学理论》教科书中, 他刊出了一张“六元素表”, 初步按原子量递增的顺序将原子价和元素性质(主要是物理性质)排列成表。1868 年, 他发表了著名的“原子体积周期性图解”, 明确指出了元素的原子量与原子体积(又是物理性质!)之间的周期性变化规律。

门捷列夫的周期表是在(俄历 1869 年 2 月 17 日(即公历 3 月 1 日)这天内一气呵成的, 科学史专家常把它称为门捷列夫的“伟大发现的一天”。当时, 门捷列夫已写完他的教科书《化学原理》中的卤素和碱金属部分, 它们都是一价元素。按理下一章应当讲二价元素, 究竟是碱土金属还是铜、汞等现在称为过渡金属的部分? 那天上午他在办公室一边准备出差(俄国“自由经济协会”催促他赶快去外省考察乳酪生产), 一边思考这个问题。开始, 他在“自由经济协会”秘书来信的信笺背面写上卤素、碱金属、碱土金属和铜、汞等金属元素, 并对比它们的原子量差值。然后, 他按原子量差值最小(这样它们之间就不可能插入另外一组元素)和原子量递减的原则, 在一张白纸上排列出几族(当时已知有卤素、碱金属、碱土金属族)元素:

		Ca=40	Sr=87.6	Ba=139
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85.4	Cs=133
	F=19	Cl=35.5	Br=80	I=127

这是至关重要的一步。门捷列夫在一年后回忆周期表的创立过程时曾说过, 这三组元素的关系包含着“整个事情的实质”。接着, 他就考虑如何将其它所有元素都按原子量差值最小和原子量递减的两个原则编入表内。为了避免重复书写和修改的麻烦, 平时喜欢玩扑克牌的门捷列夫突然想到采用“牌阵法”来解决这个难题。他用厚纸裁了几十张卡片, 再将当时已知元素的元素符号、原子量和元素性质分别写在卡片上, 然后按上述原则“排阵”并将结果记录在白纸上, 最后得到一张原子量递减的总表。之后, 极度疲倦的门捷列夫就躺在办公室的沙发上打盹休息。据他后来说, 他打盹时“梦见”他那张元素总表被颠倒排列了。于是, 他醒来后就将总表由原子量递减顺序改为原子量递增顺序。这样一来, 元素性质的周期性变化规律就清晰显现出来了。从这一天到俄历 2 月底, 他一鼓作气写出了他的第一篇关于元素周期律的论文。俄历 3 月 1 日门捷列夫将这篇论文交给《俄罗斯化学学会会志》的主编并委托他在 3 月 6 日的俄罗斯化学学会年会上代为宣读, 而他自己在这段时间正为乳酪生产到了外省出差(后人无法想象门捷列夫竟会在这关键时刻缺席, 于是就编造了他“因病未能到会”的传说)。由此可见, 门捷列夫与迈尔不同,

他非常注重元素的化学性质。他从化学性质相似性建立起元素群结构，再将内在元素群与递增原子量联系起来，从而发现周期性变化规律。而迈尔却在更早的阶段上就把原子量当作排序的依据，他是通过物理性质的周期性变化由外在的递增原子量序列看出内在的元素群结构的。在这两种做法中，前者更具优越性。为了照顾化学性质的相似性，门捷列夫居然改动了铍、镓等几种元素的“公认”原子量，还留下 4 个空格给未知元素并预测了它们的原子量和各种性质，而他的这些做法后来都被一一证实是明智的和正确的。但迈尔却拘泥于“公认”原子量的递增顺序，不敢越雷池半步，甚至认为门捷列夫的改动和预测是一种轻率行为。无怪乎英国皇家学会授与他们两人以当时化学界的最高荣誉——戴维奖章时，认为门捷列夫是周期律的发现者，而迈尔是组织者(他的周期表在编排上比门捷列夫略胜一筹)。

元素周期律体现了从量变到质变的辩证规律，打击了机械论的形而上学思想方法。然而门捷列夫并没有自觉运用这一辩证规律来认识原子，依然用对宏观世界适用的牛顿力学体系看待微观世界的原子。直到 20 世纪初，晚年的门捷列夫仍恪守着这个牛顿机械粒子的信条，坚持原子不可分、元素不可变、每种元素只有一个原子量的机械论观念，公开反对元素蜕变学说、原子内部结构模型和电子理论。虽然希望新发现能解开周期表中几组元素原子量颠倒排列的疑团，却又害怕新发现会搞乱他的周期表，门捷列夫就是怀着这种矛盾心情于 1907 年离开人世的。

4 结语

综上所述，机械论思想方法对上述三位著名俄国化学家的影响是非常不同的。它对罗蒙洛索夫的影响很大，并通过他成为当时俄国学术界的主导思想；但对布特列洛夫和门捷列夫的影响较小，甚至被他们所抵制。正因为如此，布特列洛夫和门捷列夫才能在各自的领域对化学发展作出实质性的贡献。

参考文献

- [1] 格雷厄姆, 叶式辉 译, 黄一勤 译. 俄罗斯和苏联科学简史. 上海: 复旦大学出版社, 2001: (a)16~21, (b)45~56.
- [2] 钱时惕. 重大科学发现个例研究. 北京: 科学出版社, 1987: 176~201.
- [3] 韦斯特福尔 著, 彭万华 译. 近代科学的建构: 机械论与力学. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [4] 汉金斯 著, 任定成 张爱珍 译. 科学与启蒙运动. 上海: 复旦大学出版社, 2000: 127.
- [5] 凯德洛夫 著, 陈益升 袁绍渊 译. 化学元素概念的演变. 北京: 科学出版社, 1985: (a)112~116, (b)128, (c)132.
- [6] 阿尔布蜀夫 著, 张国光 等译. 俄罗斯有机化学发展概论. 北京: 科学出版社, 1954: (a)16, (b)50.
- [7] 潘吉星, 赵匡华. 化学发展简史. 北京: 科学出版社, 1980: 94.
- [8] 张嘉同. 化学哲学. 南昌: 江西教育出版社, 1994: 238.
- [9] 莱斯特 著, 吴忠 译. 化学的历史背景. 北京: 商务印书馆, 1985: 202.
- [10] 肖莱马 著, 潘吉星 译. 有机化学的产生和发展. 北京: 科学出版社, 1978: 83.
- [11] 袁翰青, 应礼文. 化学重要史实. 北京: 人民教育出版社, 1989: 221~226.
- [12] 潘吉星. 卡尔·肖莱马. 沈阳: 辽宁教育出版社, 1986: 241.