

地质科学研究中的方法论

中国科学院院士、北京大学地质系教授 董申保
(北京大学地质系, 北京 100871)

提要:地质作用代表着一种自然界中永恒的物质运动形态。它以不同的作用形式存在于无限的空间和时间内,并有着特有的运动历史。它的研究属于自然界中较高级的物质运动形态,不应等同于简单的、初级的物理和化学的运动形态,但又以它们为基础。基于自然界的观察,地质科学研究的方法主要是外延法(abduction),是在认识过程中,通过归纳和演绎,对推理采用的最佳解释。揭示地质作用的内在矛盾及其转化的争论是地质科学研究中的驱动力。通过论争,找出关键,而达到认识的统一,是地质科学研究的主要途径,通过不断地对地质作用的内在矛盾的了解,从而逐步深入地揭示地质作用本身的客观规律。

关键词:地质作用的物质运动形态,地质研究中的外延法,揭示矛盾的论争的普遍性。

地质科学是研究自然界中与地球有关的地质作用的科学,其目的是了解地质作用的规律,掌握它们之间的相互控制(mutual constraints),并用这些规律和控制来解决人类生存的空间和生活的需要——环境和资源的需求——的重大问题。

地质科学从来就是基础和应用密切结合的一种科学。自有历史以来,人类就已积累了丰富的地质方面的知识,诸如火山、地震、洪水和找矿方面的观察和总结。我国历史上在这方面的认识,也屡见不鲜,例如沧海桑田的论证,徐霞客的游记以及古老史书上记载的岩石和矿物的简单分类等等。这些涓涓细流经过了 Lyell 的汇总形成了地质科学。当时,他冲破了世俗的宗教和机械论的偏见,建立了现实主义原则,第一次把理性(reasoning)带入了地质学(见恩格斯的自然辩证法,中译本,1959)。此后,地质



科学发展的每一阶段,从朴素的唯物论至十九世纪末的各种分支学科的建立,直至晚近的各圈层相互作用的地球动力学(geodynamics)的研究,无一不是从应用到理论,又从理论反馈于应用,导致了质和量的变化,循环往返,逐渐使人类对自然的认识,由自由成为必然。追溯地质科学发展的历史,可以清楚地看到由表及里,由浅入深的指向,表象的观察进入到地幔内探索壳、幔相互作用的热流变化,单一的陆壳研究转入到洋壳和陆壳的结合,由静态观察转向动力作用的研究和由定性叙述进入到定量化

推理等等。地质研究的世纪性巨大变化充分保障了人民的生存环境和生活上的资源需求,在国家战略布局上指出了长远和明确的目标,在人民的生存上指导了趋吉避凶的方向,减少了不必要的重大损失。对于一个国家来说,若不能从本国的地质实际出发,

董申保(Dong Shenbao 1917.9.17~) 中国科学院院士。岩石学家。江苏常州人。1940年毕业于北京大学(西南联大)地质系。1944年获得该校硕士学位。北京大学教授。从事变质岩及花岗岩研究。50年代领导长春地质学院变质岩研究小组在华北及东北进行变质作用研究,提出“变质建造”及“混合岩矿床”等假说。80年代为编制中国变质地质图(1:400万)的主编者之一,曾在国际有关方面获得声望,并获国家自然科学二等奖(1989)。最近从事于高压变质作用的研究。

并结合人民需求,创造性地总结出自己的地质科学理论以指导实际,则它的发展将会出现踟躇不前的局面,一旦客观规律被忽视,重大困难将不可避免。在我国地质工作处于低潮时,这一问题更需要整个社会和政府的关注。

1. 地质作用的物质运动形态

地质科学是以地球作用为整体,从可接触到的岩石圈层以上的空间的自然界中的地质作用作为研究对象。总体来说,这一对象具有广袤的空间和漫长的时间,控制因素(constraints)是多方面的,在时间上有着本身所特有的历史,处于一个永久变化(ever-changing)的运动中,这一特点使得我们只能凭借对自然界中的地质作用的观察,把它们看成是一个自然实验室的残存的地质作用的记录,从这些地质演化中的残碑断垣来尽可能恢复其形成过程的面貌。并通过物化作用的基本原理和有关实验来进行逼近(approximation)。

地质作用属于自然界中的一种较高级物质运动形态,是由具有不同的独立的如岩浆作用、构造作用、沉积作用等等的次一级地质作用组成,并随时间而变化着的永恒的物质运动形式。这些地质作用都有着本身的内涵,它们不同于一般简单的物质运动形态和如机械作用等各种物质化学作用,二者之间不是简单的函数关系,不能用物化作用的运动形态来代替地质作用。物化作用是地质作用的初级和基础控制,并受地质控制的约束。当然,地质作用若缺乏基础理论科学的渗入,它也不可能成为一种确切的科学(exact science)。例如热力学理论及其高温高压实验引入岩浆作用时,曾促使岩石学成为地质科学中的分支科学。但是热力学应用于岩浆作用中,若缺少对岩浆岩体的地质控制的了解,诸如岩浆发生时的源岩影响,岩浆运动时的机制以及含水量对于它们的影响等方面的自然界中固有的资料,那么热力学用于岩浆作用的解释,只可能对它们形成时的可能的范围加以限制,指出不可能形成的方面胜于其成因方面。

不同的物质运动形态决定着自然科学分工范围。地质科学既有着本身固有的特定的物质运动形态,又有着代表初级物质运动形态的基础理论作为柱石,二者既不应偏废,又不能混淆。在研究工作中,如果对这两种物质运动形态认识不清,或者用表面形态的地质观察的感性认识来代替深层次的基础理

论的科学论断;或者用某些简单的初级运动形态的物理或化学上的成果来取代自然界中复杂的地质作用,其结果将使地质科学的发展出现停滞不前的局面,容易受到一些“伪科学”的观点的困惑,或者不自觉地陷入于科学发展早期(十八世纪末)的以 Newton 和 Linnaeus 为标志的“自然界的绝对不变性的见解”(absolute immutability of nature)。回顾地质学发展的历史,这种徘徊和误区屡见不鲜。例如在大地构造的研究中常见的以某些构造形态的感观知识来说明岩浆作用或区域变质作用发生的根源,而不探讨这些作用发生时的深部热流扰动(thermal perturbation)和热流松弛(thermal relaxation)的特征及其与大地构造变化的联系,又如岩浆岩石学的研究中出现以简单的高温高压的平衡作用来代替整个岩浆的成因等等,在分支学科上经常遇到。从历史上看,这种曲线形的发展过程虽不可避免,但总结经验,以前车之鉴,为后事之师应是我们工作中引以为戒的。

从地质作用的特征出发,它的研究首先依赖于自然中的地质观察。由于地质作用具有漫长的演化过程,各种地质作用相互迭加,深部地质至今没有确切的佐证,风化侵蚀又影响了广大面积,因此所剩余的地质记录往往支离破碎,残碑断垣,很难窥其全豹,再加上工作者各自形成的偏见,在研究中往往出现不同的见解,导致一些人主张的所谓“地质多解论”(multiple solutions of geological sciences)。这一论断认为地质作用不如物理和化学那样严密,一种地质作用可以有多种解决方法。其实质是主张自然界中客观规律不是唯一的,存在着这种或那种的解法,亦即存在着一定的不确定性(uncertainties)。这一不确定性不是人类的主观思维所形成的,而是自然界中所固有的。“地质多解论”至今仍有着较广泛的影响。

“地质多解论”只看到某些表面现象,而未接触到事物的本质,因此并不具有确切的科学意义。地质研究中出现不同的见解是普遍存在的,但这一现象不能归之为地质作用本质上的不确定性,而应加以具体分析。多种见解的由来,主要方面来自于对地质作用客观规律认识的必然性,是对地质作用认识逼近中的一个必然结果。由于地质控制的多样性,和它们的时、空分布的扩展性,我们只能从地质作用的各个侧面来了解其本质,这种局部见解往往代表多种控制的一个方面,当它们之间的联系未得到印证时,往往可出现不同的推论和见解。通过实践、观察、分析的反馈过程,不同见解可以逐渐逼近。但逐渐逼近

的过程不是“多解性”的消失,而是通过不同的对立的观点的论争来揭示这一地质作用的内在矛盾,有利于矛盾的相互转化,达到新的认识的暂时统一,并在这一新的认识的基础上,出现新的不同的论争。这种渐进的认识过程服从于宇宙间的矛盾—统一的规律,是揭示地质作用内在矛盾的必然过程(详后)。另一种的“多解性”则是由于对地质作用存在着不同的认识,从每个人的自然观或工作中形成的不同偏见,对同一的客观物体得出不同的看法。这种“多解性”虽然也反映了部分存在的客观矛盾,但主要来自于工作者的主观思维,大半来自于不同的自然观。

总体来看,“地质多解论”只是一种直观反映,不能以此来确定它是地质作用的客观规律。

2. 地质科学研究的发展途径

地质科学的形成来源于人类关于自然界中地质现象的叙述,诸如地震、火山、洪水和找矿等,因此一开始它就建立在感性认识的基础上。以后,古代的朴素的唯物观的自然哲学观曾是地质科学研究中的一个准则,指导着它的发展。十九世纪中叶,通过一系列的对地质现象的归纳和总结,最后,Lyell 建立了现实主义原则和历史对比方法,分类和对比的工作方法得到了广泛的应用。十九世纪末,由于基础科学理论的发展和实验技术方法的应用促使地质学的各个部分形成了各自的分支学科,如构造地质学、古生物学、岩石学、矿物学等。它们逐渐成为地质科学的基础学科,地质科学终于完成了它自己的科学体系,成为一门真正的科学。

分支学科的发展是地质科学发展的必由之路,舍此无其它途径,但同时也出现了偏差。分支学科的发展往往形成分工中的某些偏见,容易陷于一个侧面,而忽略其整体,成为分工的奴隶。这种只从本学科的侧面来替代整体地质演化过程的思维方法往往容易滋长固定论的观点,对整体地质作用的研究会形成某些阻力。这一时期,科学分工的体系形成了,而整体的地质观反而有所减弱,不如古代朴素的唯物史观那样明了。

近代地质科学的发展一方面是沿着已有的学科的前沿方向,进行深入研究,另一方面更重要的则是冲破了传统的科学分工的范围,从二种不同学科的边缘,特别是基础科学和地质科学的边缘建立起新的分支学科。这样,既加强了学科之间的联系,又扩大了某些地质上的禁区,诸如深部地幔、大洋洋壳、

天体地质和与时间演化有关的动力学中的重大问题等。这些发展使地质科学走向了一个飞跃过程,一方面是引入了定量化的动力学机制,促使地质作用的物质运动规律从本质上得到了某些解决,冲破了长期统治的静态和固定的观点,另一方面是在科学分工的基础上从理性上认识上进行了第二次地质作用的综合研究,它们包括从大气圈到上部地幔的相互作用的研究以了解它们的内在联系。这一研究虽正处于一个起始阶段,但毫无疑问将从理论及应用上保证人类当今必需的生存和生活条件。

地质科学的研究方法不同于基础理论的某一领域中的演绎法(deduction),可以用某一定理、公式或诺模式解释(deduction nomological explanation)即可总结出这一领域的基本规律。它的研究首先立足于归纳(induction),从自然界的现象的观察出发,借助于经验的相等性(empirical equivalence)或实验中的一定的控制性,以有关理论的演绎为准绳,由推断(claim)上升为推理(inference)。推理反馈于自然,进一步经过再归纳和演绎的程序,逐渐形成假设(hypothesis)。真正假说的建立往往通过推断—推理—假说。这一工作方法基本属于 C. S. Peirce 所提出的外延法(abduction)(见 Boyd 等,1991)。它来自于归纳,归纳与演绎相辅相成,以达到最适宜的推理的解释(inference to the best explanation)。

假说的成立往往需要经过过去伪存真(falsification, Popper 1972)的检验,亦即指出哪些观察和其中的形成环境可使这一假说或推理出现误区(falsify)。Popper 曾指出科学的进展常与发展中的假说的系统的去伪存真使之成为确证的假说(corroboration)有关。假如在研究工作中仅用某些假说先验性地(a priori)来印证其中的结论,而不用去伪存真的方法来检验这一假说的可行性,则这一假说很难得到发展。至于有些热衷于某些学说的维护者为了维持定这一学说的地位则用了某些特殊(ad hoc)的设想来避免它遭到反驳。这种企图常常会使这一学说降低其学术价值,甚至遭受到毁灭性的命运。这种作法 Popper 称之为因袭者的策略(convventionalist's strategm)(见 Popper, 1972)。

Popper 曾说过“若一个理论不能为任何可确信的事件所反驳,它是非科学的。无反驳性不是理论的优点(如有些人所认为),而是一类缺点。”

“A theory is not refutable by any conceivable event is non-scientific. Irrefutability is not a virtue of a theory(as some people think), but a vice.”(Pop-

per, 1972)。

在讨论板块构造学说中的地幔岩浆与全球构造的结合时, Carmichael (1974) 曾指出二者之间目前仍然是一个薄弱的环节, 自由度是多方面的, 可以在成因模式上形成多种渠道, 如 Karl Popper 的“因袭主义者的策略”所说(见上)。“在形成一个持久的可行的地幔岩浆体系与全体构造学说的一般综合分析以前, 近代学说需要更多的严格的相互制约来检验其真伪。”

“More rigorous mutual constraints by which current hypothesis may be tested by attempted falsification are needed before we shall see any enduring general synthesis of a viable mantle—magma system with the phenomena of global tectonics.” (Carmichael, 1974)。

3. 地质科学研究中的驱动力和阻力

地质科学研究的对象是自然界中的地质作用。它代表着自然界中永恒的物质运动形态的某一方面。本身有着多种地质因素的控制, 十九世纪中叶简单的自然观察即分之之为内生(endogenic process)和外生作用(exogenic process), 它们以不同的作用形式存在于无限的空间和时间内, 并经历着特有的地质动力学过程(geodynamic process)。正是这一复杂的客观事物反映于人们的思维中, 使研究工作走向了“多解”的道路。

从地质科学的历史来看, 地质作用的客观规律的认识来源于对客观事物的见解的论争(controversy)。通过论争及其不断的发展使人们对这一认识不断深化, 进而了解其本质上的一些问题。这一认识的发展服从于矛盾—统一的规律。这一规律在认识宇宙上无往而不在, 但作为地质科学研究思维来说, 则更有其重要意义, 可看成是研究中的一个驱动力(driving force)。

作为客观事物的地质作用反映于人们的思维中形成了某种见解。由于各人的思维方法和观察的不同, 初步形成的见解仅是一种偏见(prejudice)。假若摒弃那些不以事实为根据和夸夸其谈的偏见外, 一般的偏见常能提供某些事实, 可以启发进一步的思路。偏见的集合形成观点。它们往往是地质作用中某些内在矛盾的反映, 其中对立是普遍存在的, 有时是各持一端, 各不相让。作为岩石学的创始人的 Bowen, 曾在“花岗岩问题和多种偏见方法”(the

granite problem and the method of multiple prejudices, 1948)一文中, 呼吁采用 Chamberlin (1895) 的观点, 用多种工作原则, 认真找出与观察事实相联系的所有过程, 用进一步的事实客观公正地比较演绎所得成果, 最后得出结论。Bowen 认为用 Chamberlin 的见解来解决争论, 现状是可悲的, 但仍存有希望。看来, 客观公正的说法过于抽象, 争论双方都认为自己一方是公正的, 而它方则不然。没有对这一矛盾有着新的突破和新的认识, 论争很难统一, 达到一致看法。

论争的存在, 其目的是为了找出这一矛盾的关键所在, 进行突破, 从而达到新的统一。它是地质作用矛盾转化的进一步的认识, 代表地质理论的提高。新的认识深化了地质作用中内在的矛盾过程, 由此进而产生了新的论争, 它们不是原有论争的重复, 而是指向了更深入的本质研究。

在地质科学的研究中, 揭示内在矛盾及其转化的论争出现于各个方面。包括各种地质作用成因上的论争诸如岩石学的火成作用对水成作用(igneous vs. neptunic); 构造地质学中的地槽对陆台(geosyncline vs. platform); 陆壳和洋壳(continental crust vs. oceanic crust); 板块构造学说对地槽学说(plate tectonics vs. geosynclinal theory); 矿床学中的岩浆热液矿床对层控矿床(hydrothermal deposits vs. strata-bounded deposits)等等, 都在地质科学研究上起着重大作用。

从岩石学研究来看, “水火之争”从火成作用和沉积作用的两个极端的论争, 经过它们之间的转化—变质作用的认识, 完成了岩石学科的任务。花岗岩的论争沿续了一个多世纪, 从岩浆作用对混合岩作用(magmatist vs. migmatist)的论争, 通过用花岗岩深熔实验的成果统一了对深熔作用的认识, 并进一步引发了地壳深熔和地幔混熔(anatexis vs. syntaxis)的对立, 从单一的成岩作用的研究引入了成岩与大地构造环境的联系。又如影响变质作用因素研究中长期的变形和温度的对立(stress action vs. temperature effect)是明显的。通过反复论争, 目前开始达到深部热流扰动(thermal perturbation)和大地构造(tectonics)之间所引发的造山带的变质作用的动力学机制的共识, 这一新的矛盾所引起的论争处于开始阶段, 正引向深入。

反映于地质作用中的自然哲学思维的对立是普遍存在的, 其中如均变论对非均变论(uniformitarianism vs. non-uniformitarianism); 固定论对活动论

(fixism vs. molilism)等成为一切地质作用的指导思想,自觉或不自觉地反映于每一地质作用的研究中。它们之间的矛盾及其转化属于上层建筑范围,由每一地质作用的属性及其相互作用的联系所决定,需要一段长时间来认识。二十世纪五十年代以前,均变论和固定论占有统治地位,七十年代以后,板块构造学的兴起和它的内部矛盾对立的揭露全面地带动了各个地质领域中关于均变论对非均变论、固定论对活动论方面的论争。这一方面的矛盾的揭露以及由此而引入的地质动力学的研究将给予地质科学研究以巨大的推动。

地质科学研究中不仅存在着人们对地质作用中内在矛盾的认识,同样重要的是人们在研究中所反映出来的自然观。用什么样的自然观来揭露客观中的事物本质?是研究中的发展动力抑或是发展的阻力?特别是某一科学处于快速发展阶段中,这一问题尤其值得注意。

研究的阻力来源于传统的关于自然界的绝对不变性的见解。这一总的观点在 lyell 建立的现实主义原则中并未加以澄清,而后世的一些伟大的地质学家们也都或多或少不能自拔于这一影响之外。它的核心是企图用一种普遍的简单的理论体制(simplified universally-true scheme)来解释自然界中所有的恒动着的事物。在这一原则的支配下,其表现大致可分为:①用感性知识或表象的经验总结代替理性分析和推理;②用局部地区或类型的理论验证代替整体观察;③用初级的未经全面检验的物质运动形态的基本理论代替具有多种地质因素控制的复杂作用;④用某一代表整体或全球的理论体系先验地(a priori)用于解释未经检验的地质领域,甚至在不能自圆其说的情况下,还用特殊的假设(ad hoc assumptions)来维护这一理论的地位(见前)。在地质研究发展史的早期,对地质的了解仅处于初期阶段时,这一情形经常可以遇到,甚至著名的地质学家如 Werner, Rosenbusch 等也在所难免。时至今日,这种现象虽有所减少,但仍不应忽视。真正的地质理论,它在地质长河中亦仅是一个过客,若不追踪其足迹,溯其本源和了解其趋向,极有可能会迷失方向。

岩石学发展史上出现的这种停滞现象是值得注意的。十八世纪末, Werner 的一切岩石都来自于沉积作用的观点曾统治过较长的时期。二十世纪初,以 Rosenbusch 为代表的 Heidelberg 学派建立了以岩相

学体系来统率一切貌似岩浆岩石的结晶作用,曾风行一时。这些理论在岩石学的研究上曾起着重大的推动作用,但同时亦在人们的自然观中加深了地质作用一成不变的约束。目前岩石学研究中仍然不能避免这一现象的蔓延。例如近代盛行的用经验性(empirical)的地球化学图解唯一地(uniquely)来解释岩石形成时的大地构造环境就是突出的实例。Pearce 于 70 年代以后的一段时间内,曾广泛地引用地球化学判别图解经验性地来解决古代玄武岩的大地构造环境。尽管这一论据既没有热力学理论和实验的证实,又缺乏有关地质控制的约束,但在一段时间内曾得到广泛的应用,而在我国更为显著,至今仍未减弱。

我国的地质研究起步较晚,不足百年。解放前基础薄弱,未得重视。解放后,通过各个领域的地质工作的开展,积累了大量资料,但由于实用论的干扰,严重地影响了应有的研究和提高。八十年代开始,国际方面地质研究发展迅速,传播很广。当时,我们正处于刚刚摆脱闭关锁国的困惑,对此,目迷五色,不知所从,模仿和照搬有些是必要的,也是难免的,可以看成是一种过渡。但时至今日,我们相当一部分的地质研究仍把国际上某些“时行”的理论奉为圭臬,亦步亦趋,不能以它们为鉴,从我国固有的地质实际中抽象出有发展动力的地质理论来,甚至还把这些成果自诩为已达国际领先水平。这不能不看成是我们地质研究事业中的隐忧。应该承认我们这一方面与国际比仍有一定的差距,而如何从地质研究的思维和方法论上进行总结,避免那些不应有的陷阱(pitfalls),以形成某些借鉴,在世纪之交,地质工作发展迅速的时代,仍应是当务之急,不应掉以轻心。

参考文献

- [1]恩格斯. 自然辩证法(中译本). 人民出版社, 1959. 1—20.
- [2]Bowen, N. L. The granite problem and the method of multiple prejudices. Geol. Soc. Am. Mem. 1948. 28: 97—90.
- [3]Boyd, R., Gasper, P., and Trout, J. D., (ed.). The Philosophy of Science. MIT Press, M. I. T., Cambridge, Massachusetts. 1991. 775—781.
- [4]Carmichael, I. S. E., Turner, F. J., and Verhoogen, J. Petrologic assessment of the mantle—magma system. In: Igneous Petrology. Macgraw—Hill Book Company. 1974. 621—664.
- [5]Popper, K. Conjectures and Refutations. 4th ed. Routledge and Kegan Paul, London, 1972. 36—37.

(责任编辑:刘冬梅)

