

第一章 地壳演化思维的历史回顾

无疑，“地壳（岩石圈）处于永恒的演化之中”，这一观念在今天是普遍被接受的。然而这一认识的形成却经历了一个极其曲折的历史过程。

如果把 18 世纪中叶当作经典地质学的肇始，那么，在从这至今的这 250 年间，人们在“地壳（岩石圈）是如何演化的”这一地质学的纲领性问题上，表现出四种观念形态，经历了三次观念转变。本章拟就这一问题加以总括性地评论。

一、静态地壳观阶段（1750 \pm ～1830 \pm ）

这一时期，人们关于地壳的知识主要局限于显生宙的沉积盖层，主要任务是搜集基本地质学事实，对岩石、矿物进行肉眼观察分类、成因分类（水成或火成），建立生物地层系统以及确立经验地质学研究方法。可以看出，在这一时期静态（机械）的自然观始终束缚着人们的认识，同时宗教神学仍然是制约地壳演化思想发展的一道无形樊篱。

布丰（G. L. de Buffon, 1707～1788）是第一个用实验和数学方法解决地球演化问题的人，他用灼热铁球冷却法，求得了一个与宗教教义（6000 年）相悖的 74800 年的地球年龄，并把地球演化划分为 7 个阶段。这本是一个对机械自然观及宗教神学的有意义突破，然而迫于教会的淫威，他却不得不违心地附和宗教循环论中的“6 个宇宙天”，把 74800 年划分为 6 个纪

(Epoch)。尽管这样，巴黎大学还是宣布在他的著作中有 14 处“违背了宗教信条”，使得他后来不得不放弃自己的学说^[1]。

魏纳 (Werner A G. 1749~1817) 是第一个把地质知识系统化的学者，他建立了一门“地球构成学” (Geognosy)，旨在研究矿物的性质、用途和地理分布，而不太关心矿物成因和形成过程^[2]。在他看来，地壳是僵硬不动的，并且存在一个一成不变的、普遍适用的地层序列——“万有建造” (Universal Formations)^[3]，——这与牛顿的“自然法则”何其相似！他把地表变化的原因归于不可预测的某种超自然的力量^[4]。他的学生詹姆森 (Jamson R. 1774~1854) 则更加露骨地宣扬神创论，认为圣经条文是解释自然的最终根据^[5]。

由赫顿 (Hutton J. 1727~1797) 提出、由莱伊尔 (Lyell C. 1797~1875) 系统化了的“均变论” (Uniformitarianism) 或“渐变论” (Gradulism) 实际上把地球看作一个无始地终的实体^[6]。地质过程“没有开端的迹象，也没有终结的前景”^[7]。在莱氏看来，变化是存在的，但却极其缓慢，现今存在和发生的，必定在无限的地质史中永恒地存在^[8]。现今的变化规则在地质史中永远适用 (The present is the key to the past)。正如恩格斯批评莱伊尔讲的，“地球的冷却对他来说是不存在的，地球不是按照一定的方向发展着”^[9~10]。他们所犯的错误是混淆了方法论上的均变与本体论上的均变^[11]，把现实主义原则的适应范围夸大到不适当的程度。

居维叶 (Cuvier D C. 1769 ~ 1832) 的灾变论 (Catastrophism) 完全是科学事实与观念冲突的产物。一方面，他通过实际观察看到了生物化石在各地层中的差异性，甚至总结了一些在时间上的变化规律，另一方面，“物种不变”的自然观和根深蒂固的宗教情感却不允许他做出一个合乎理性的解释，于是只能借助于上帝之手。

二、探究地壳、岩矿成因阶段 (1830 ± ~ 1910 ±)

这一时期，人们关于地壳演化的知识的增长和观念变化主要有如下五个方面：

经过阿尔伯蒂（Alberti）、席基威克（Sedgwick）、麦其生（Murchison）等人的努力，建立了较完整的显生宙地层表。这对以后的地质学发展具有奠基性意义。

从波蒙（E. de. Beaumont）的《论山系》（1852）到徐士（Suess E）的《地球面貌》（1883），反映了地质学开始从区域地层、全球山脉走向及走向变化、构造形态、排布规律等的对比分析上思考山脉形成机理和地壳演化问题。这反映出区域地层、古生物、岩相古地理等地质资料的日益丰富，也反映出全球地貌研究的迅速发展。

槽台学说的创立。由美国人霍尔（Hall J. 1859）和丹纳（Dana J D. 1873）创立的，后经欧洲学者奥格（Haug）、冠伯（Kober L）、徐士等人完善化了的地槽—地台理论，第一次详尽地讨论了地表狭长的活动带与宽阔的稳定地块、盆地与山脉、洋壳与陆壳之间的生因关系。首次建立了一个基于可靠经验事实之上的地壳演化模式。

以尼科尔（Nicol W. 1829）偏光显微镜的发明为肇始，后经索尔比（Sorby H. C）、齐尔克尔（Zirkel F）、罗森布什（Rosenbusch H）等几代师生薪尽火传的努力，到 60 年代末建立了一套完整的岩矿显微结构研究的方法和理论。1890，俄国的费罗多夫（Федоров Е С）又发明了双环测角器（费氏台）。此时，人们便超越了传统的肉眼观察方法，能够对矿物的显微结构、结晶规律、理化性质等做出可靠的说明。尤其重要的是 70 年代以

后，由于地球化学的兴起，使人们能够把显微方法与化学分析相结合对岩石学进行有效分类和成因探讨。由美国岩石学家克鲁斯（Cross）等创立的 CIPW 岩石分类体系（1905，根据矿物共生规律，把化学分析年算成一系列标准矿物并依此进行分类的方法）是一个典型的例子。

基于岩矿分析化学、地球化学的迅速发展，50 年代以后出现了丰富的岩石、矿床、矿物的成因理论。例如德国的鱼特（Roth, 1869）的火成岩同源岩浆分异说，俄国列文生—列星格（Левинсон-Лессинг）与美国的戴利（Daly）的低共同化分异假说，德国的尚德伯格（Sandberger）关于矿脉成因的侧分泌说等。此外，法国的一批学者如达罗切爾（Dulocher, 1857）等还提出了花岗岩生成理论，提出了岩石旋回（原生沉积—变质—花岗岩）等假说，这反映出人们已注意到三大岩类的成因及转化关系。

这一时期存在的问题可归纳为如下几点：

由于地壳放射性元素的存在及其功能的无知，人们对地内热状态缺乏准确的知识。总体上仍停留在布丰的“单纯冷却”模式上，对地壳运动的能量来源尚处于直观、模糊的猜测阶段。有两个显著的表现：a. 整个这一时期是以冷缩说占主导地位的地壳演化模式，把地壳收缩的水平作用力当作山脉形成的主因；b. 物理学家（以 Thomson William 为代表）仍坚持以热球冷却法来估算地球年龄。

由于没有可靠的同位素测龄方法，对于山脉、岩石等地质体的年龄、同时性、序次性等不能给出准确的答案，因而限制了对地质客体的历史演化、生因关系及事件的持续久暂等做有效讨论。

在地壳演化模式上，地槽学说无疑是一个里程碑。但该学说从一开始就陷于“是此非彼”的思维模式，即“非槽即台，非

台即槽”，递进演化思想尚不具备。

在海陆位置及其关系上固定论占据统治地位。

此外，必须指出，达尔文进化论（1859）的提出是一个重大的地质学事件。它对于整个地质学的发展具有观念变革的意义。如果说以前自然科学家的信条是“自然的固定秩序”，那么从这时开始，自然科学家的格言就变成了“进化”。人类学、文化史、比较生态学，甚至比较宗教学都开始积极地寻找与生物进化论的接合部位^[12]。但是，概念的普遍使用并不等于对概念的深刻理解，尤其在地壳演化这一地质学纲领性问题上，递进演化的观念直至20世纪60年代才真正树立起来。

三、递进演化的地壳观形成阶段 (1910±~1960±)

这一时期地壳演化知识的主要进展如下：

活动论的兴起。新世纪活动论的兴起有两个重要原因。一是区域地层、古生物、岩相古地理、宏观构造形态等地质资料的大量积累，使得人们能从横向比较上悟出各大陆在地史上的几何关系。徐士（1885）的活动论思想倾向就是以此为基础的，而泰勒（F. B. Tayler）的活动论（1910）则是徐士思想的继承和发展。后来的李四光思想（1926）又是对泰勒思想的完善化。由于物理学革命对放射性元素蜕变释热功能的揭示（居里夫妇，1903）及其在地壳岩石中的广泛分布这一事实的发现，使得人们相信这足以补偿甚至超过地壳散失的总热量（Rayleigh, 1906）。这无疑为地壳运动找到了巨大的动力源泉。这一事实不仅和地球冷缩说产生明显的冲突（如按冷缩说单是形成第三纪褶皱，地球就需要整体降温2400℃，没有足够的补偿，漫长地史中的构造运动就难以解释），而且只有在地球膨胀时表壳才会有一个相互

分离、飘移的几何空间。所以这一条是魏格纳活动论的最重要依据。

顺便指出，魏格纳的活动论与泰勒—李四光活动论存在三点区别。一是前者关注的是诸大陆形态上的可拼接性，后者则从两极—赤道地质建造的规律性变化上得到启示；二是前者以南美与非洲的古生物地层对比为基础，而后者则立足于全球构造形态的规则性和连贯性；三是前者把地球转动作为陆块分离的动力，而后者则强调地球自转速度的变化造就了全球构造系统。

槽台学说的精致化。魏格纳活动论之所以在当时被视为标新立异甚至“轻率的空想”，其主要原因有两方面，一是它只注意到各大陆壳体的运动学特征，而忽视了地球历史建造方面，这显得与根深蒂固的、有扎实基础的“槽台”说的对立太突出、尖锐^[14]；二是与当时已知的“大西洋、印度洋下面许多地方仍是下沉的陆地”等重大事实不符^[15]。所以直到 60 年代以前，“槽台”理论仍占据着主导地位，并不断走向精致化。“槽台”学说在这一时期的主要进展有：

a. 对地槽空间结构的研究。例如史蒂勒（H. Stille, 1913~1940）把地槽分为“阿尔卑斯型”和“日耳曼型”。并在 1936 年将地槽分为正地槽、准地槽。别洛乌索夫（В. В. Белоусов, 1930）划出中央隆起、前缘拗陷、山间拗陷等。

b. 对地槽演化史的研究。典型的例子是史蒂勒（1940）提出的正地槽岩浆演化的四个阶段：先造山期（形成蛇绿岩），同造山期（硅铝壳成岩作用期），安山岩型火山作用期，后造山作用期（玄武岩喷发）。

c. 对地槽活动横向迁移的研究。如葛利普（A. W. Graban）对喜马拉雅山的研究，黄汲清（1931）对秦岭地槽迁移的研究。

d. 对造山作用全球同时性或准同时性、幕次性的讨论。如

史蒂勒 (1913~1940)、丁文江 (1923)、黄汲清 (1931~1945) 的研究和讨论。

e. 对地槽演化与地壳深层分异联系起来进行研究。如别洛乌索夫指出地槽的发展伴随着地壳深部不断的物质分异，结果导致硅铝壳酸性组分不断增加^[16]。

从槽台论到“动—静”递进转化观。

槽台学说的问世，打破了僵死不变的地壳观，因而具有革命性意义。然而科学上的巨大进步往往成为巨大的羁绊。随着“槽台”理论的创立，人们便把“槽”与“台”看作地壳上两种最基本的构造单元和构造性质。活动的“槽”转变为稳定的“台”被当作地壳演化的固定模式和惟一的发展方向，地槽一旦演化为地台就永恒地停止下来。别洛乌索夫和沙特斯基 (Н. С. Шатский) 曾经认为，在全部地球史中，地台面积的扩大和地槽面积的缩小，乃是地壳发展的“一般规律”。而裴伟 (А. В. Лейве) 和西尼村 (В. М. Синицин) 则基于对前苏联和中国的研究，认为在先寒武纪存在一个“泛地台”^[17]。这两种观点都是传统“槽台”观念的衍生物。“泛地槽”说的错误在于假想地壳最终会走向永恒的宁静，而“泛地槽”说的错误在于认为地壳在6亿年前已进入到近乎静止的状态，之后的演化只是微弱的活动。

到了1954年至1956年，哈茵 (В. Е. Хаин)、别洛乌索夫、巴浦洛夫斯基 (Е. В. Павловский) 等先后注意到，中亚地区许多已经稳定了的地台在中生代以来又发生了强烈的构造运动。这种现象被称为地台“活化”，意指地槽在地台上的“复活”。别洛乌索夫开始觉悟到，这一发现说明，“地壳变为死亡”的观念是错误的，并指出地壳演化会有很多周期，我们不能把这些周期比作一个圆圈，而应比作一条螺旋曲线^[18]。

也许由于特殊的大地构造背景和历史，中国学者很快认识到

中国地台的非稳定性质。1956年，陈国达注意到华南的地台活化现象（后称之为“地洼区”）。同年黄汲清指出中国地台普遍具有不稳定性，提出“准地台”概念。黄陈二人的观点存在着观念上的分歧，由此展开了旷日持久的“黄陈论战”。今天看来，陈国达的地洼学说具有观念变革的意义，他清醒地意识到，地台不是地台演化的最终产物，地台的“活化”也决非地槽历史的简单重演，活化会导致一个内容新颖的构造层。而黄汲清的递进演化意识相对淡薄，当时他的提法是“多轮回”（1962年后改为“多旋回”）。综合当时一些批评者的意见，“准地台”概念和“多轮回”说存在两方面问题。一是“准地台”假定了一个终极的、理想的稳定地台存在，这实际上是“非台即槽”观念的反映，二是“多轮回”说把历史上的构造运动同等对待，否认了地壳“动—静”转化中的螺旋式递进性^[19~22]。60年代以后，这一问题变得清楚了，从太古代开始，便出现了两种对立的构造单元“萌地槽”和“萌地台”，以后又有不同名称的活动与稳定二元构造单元同时存在。活动与稳定阶段不断交替，每一阶段都产生与以前性质迥异的地质体。

四、综合的、不可逆的地壳演化观形成 (1960± ~)

50年代至60年代初的海底三大发现（全球裂谷系、地热异常、地磁条带）与其说导致了活动论的复活，不如说使得传统固定论（“槽台”说）遭到致命挑战。海底巨裂谷系的巨大错移、地磁极的多端变化都是固定论无法解释的。而地热流异常却极大地支持了霍姆斯（A. Holmes, 1928）的地幔对流假说，为大陆漂移说解决了地壳驱动力问题。可以说，海底三大发现对新旧两种地质理论具有判决性事实的意义。

板块构造理论（1962）的创立具有科学革命的意义。它不仅引起了地质学观念的变革，而且它给地质学带来了一个知识激增的时月。地质科学以广泛综合的方式迅速繁衍，新的方法、概念、理论大量涌现。标花宠草难以胜数，就地壳演化研究而论，以下几条是其梗概。

观测、探测、测试、分析技术日新月异。新的测试、分析技术不断问世，朝着高灵敏度、高精度（ ≤ 10 微米）快速的方向迅速发展，红外技术能用以观察化学反应动力学过程；地震、重、磁手段广泛用于探测地球圈层结构、壳下地体物性状态；航测遥感技术用于普查和综合评价；全球定位系统（GPS）可有效测定板块位移速度和进行海洋钻探定位；通过对痕量元素及其同位素、稀土元素、Ra—Os 系等的化学分析，能确定构造背景、物质来源、地壳成熟度、洋壳再循环、灾变事件等；同位素测年方法日益精细、多样化；高温、高压实验能模拟壳下、上地幔成岩成矿过程，对地壳演化机理和历史作出有效说明；新一代的计算机能处理复杂地质信息和进行地质绘图。

研究对象在时、空两方面大大拓展。海洋板块理论的发迹之地。60~70 年代，为了寻求新的证据，地质学家们在包括红海、地中海、北冰洋在内的各海洋、洋域展开了广泛的工作，取得了大量的地形、地热、地磁、构造、岩石、同位素等资料，极大加深了人们对海洋地质的认识，并使得板块理论获得支配性地位。80 年代，地质学把眼光转向大陆边缘。由于大陆地壳的高成熟度和演化记录的完整性，很快，地壳演化研究又向大陆内部转移。裂谷或裂谷系、造山带、盆地等成为新的热点。另一个拓展是深部地质研究，主要有大陆超深钻（如科拉半岛超深钻已达 1.3 万米）、深源地震、深部（超）高压、高温模拟、国际深大断面、大陆岩石圈四维填图等。空间上的第三个拓展是比较行星地质学的建立。从 1961 年阿波罗太空船在月球上取样开始，人

类进入了太空时代。近 40 年来，人们通过各种飞行器从太空取得了大量资料，包括月球、火星的照片、岩石样品等。通过对月岩、陨石的常量元素及微量元素（如 Sr 比值）、稀土元素、同位素年龄的对比分析，大大加深了人们对地球早期（星子原地体阶段）历史、不均一性及地体成熟度的认识。时间拓展主要表现在对前寒武地体、古老地质、早期生命、早期大气圈、海洋化学岩等的多方位研究，初步勾勒出一幅地球早期演化的生动画面。

关注地壳演化的多种因素。现在，人们不再把地壳看成一个孤立的壳体，而是把它置于一个复杂的地球物质系统甚至宇宙系统之中。当作一个与多种因素复杂相干的子系统。探讨地壳演化，不单考虑地壳本身的性质、地壳表层的海陆变化，而是同时考虑上地幔物源、温度、压力、重力、含矿热液、水分、生物、大气圈、天文事件以及时间效应等多种因素。如以水而论，水不仅是重要的外动力，而且能通过降低岩石熔点以影响深部地质过程；以含矿热液而论，它不仅可以成岩成矿，而且可以长距离运移，起到润滑剂作用以改变地壳运动的动力学条件；以生物而论，地球上曾经存在的生命质量总和等于地球质量的 1000 倍。生命演化直接影响大气构成，进而影响地表温度、化学元素的循环和聚集^[23]；以天文事件而论，随着越来越多的灾变层位的发现，人们不再只是把地层、古生物的缺失看作是地质记录的不完整，而是归结于周期性的天文事件。地外物体撞击地球所造成的动力学（气化、爆炸、熔融、破碎等）及环境效应日益为人们所关注；以时间而论，漫长的地质时间保证了地质客体能以蠕变或晶格错移的方式发生大幅度的韧性剪切或构造置换，使得固体地壳能产生与流体相似的形变。长时间的、平稳的作用累积可以导致与骤变相同的效果。时间也帮助人们认识到地质作用的剧烈性与物理、化学的剧烈性之间的巨大差异。

新理论、新概念大量涌现。随着研究领域的拓展、深度的

加大、实践手段的进步，各个地质学科之间、各地质学科与其它基础科学和技术之间广泛地进行着杂交、嫁接。新的地壳演化理论、名词层出不穷，旧的概念又常常被赋以新的内涵。如太古代绿岩带、高级地体、三叉裂谷、A型俯冲、拆离构造、薄皮构造、厚皮构造、推覆构造、韧性剪切、盆地演化、大陆动力学、地幔柱构造理论、新灾变论、新脉动说等。由于科学事实的迅猛积累，在活动论得到普遍支持的同时，又扩大了其遭受攻击的面积。人们已不满足于一种单一的理论解释，试图寻找一个更加完美的、新的系统性行星地球演化理论体系。

国际合作日益加强。由于地壳（岩石圈）客体的巨大性、复杂性、横向不均一性，任何一个国家或地区都难以实施全面而深入的研究。共享技术设备、资料、人才、资金及地质客体已成为各国地质学家的共识。50年代后期国际上开展的“地球物理年”活动、60年代初期的“上地幔计划”、70年代组织的“地球动力学计划”、80年代的“国际岩石圈计划”等为各国地质学家提供了广泛的协作与竞争的舞台。与之同时，国际地科联组织的国际地质大会及其他学术会议为地质学家们提供了了解信息、交流思想的机会。

“板块革命”以来地壳演化观念的变化不仅由“稳定论”转向“活动论”，而且还突出表现在“不可逆”的地壳演化观逐渐形成，主要有如下两点：

一是对地质条件历史性的认识。每一时代都有其特殊的地壳演化背景和条件，地史时期的地壳面貌具有一去不复返的性质。各时代的地质条件既有可比的一面又有不可比的一面。以板块运动而论，至少10亿年前缺乏现今意义上的大洋和洋壳，20亿年前地球未形成整体性的软流圈和岩石圈^[26]。那时广泛存在的是陆间盆地，类似于秦岭宽坪群（23亿年），蛇绿岩套与陆源碎屑岩的交替出现，便是明证。所以把板块理论无限外推便会遇到很

大的困难。以地壳演化的温压条件而论，由于早期岩石圈较现在薄，上地幔物源浅，分异程度低，地球半径仅是现在的一半，这样形成类似于紫苏花岗岩、麻粒岩的区域深变质作用就不需要 30~40 公里的巨大深度，7.5~12.5 公里即可满足要求。否则就会得出像“快速冷侵入、上升”这样令人难以置信的结论^[24]。

二是对地壳演化的结果和原因的相互转化的认识。地壳演化的产物反过来又作为地壳演化的条件，新的条件又导致新的产物……如此不断递进。原始地球是一个炽热熔融球体，逐渐冷却导致了薄而不连续的陆壳产生。陆壳的产生改变了地壳演化的温压条件，减缓了地球释热速度；水圈的形成大大改变了地球外动力条件，沿深断裂的下渗作用可导致壳下岩石熔点的降低，并引起能量的积蓄和缓慢结晶。早期缺氧的大气圈层是生命出现的重要保证，而厌氧生物的出现又导致了大气圈 O_2 含量的提高，进一步又导致了喜氧生物的产生。而生命的产生对调整大气组成有重要意义，否则会因 CO_2 的不断增值，导致温室效应，以致地表水丧失殆尽，这就就会产生一个类似于金星表面的面貌，往后的演化及板块运动就难以想象^[27]。人类的活动不再被认为是一种生物力量，而是当作最强大的地质营力。人类活动对地壳物质迁移、生态面貌、大气圈组成的变化等方面的作用日益受到广泛关注。

第二章 地质理论中的思维因素

地质学是研究地球演化历史和地球运动规律的一门学科。在地质学理论产生和形成过程中，地质思维具有十分重要的作用，这是地质学研究对象的特殊性所决定的。

众所周知，地质学相对于其他学科，有自己的特殊性。这些特点我们作如下概括：

地质构造跨时空运动的多变性，地质体的多层次性，地壳运动的多阶段性，地质现象的模糊性，地质事件的多解性和地质记录的不完全性^[1]。

研究对象超巨型，物质结构不均衡，并带有明显的区域性。在特定的场所和条件下，存在着特定的物体和状态，特别是在地质现象出现反复之际，常常呈现出难以把握的细微特征。

室内根本无法重演和直接模拟研究对象的本质特征，而理想的模拟人为因素太强，其结果只能作为参考，根本无法完全替代。

现存的地质现象只是地质历史的遗迹，破坏严重，支离破碎，留一失万，可供研究的证据十分不完整。

地理环境和人的寿命无情地制约着人们的地质实践的活动范围，无法经历和直接观察其演化、运动的全过程。

⑥地质理论产生时，“先人为主”的因素太重，致使人们对前人的结论产生不信赖感，对理论的通用性发生怀疑。

⑦传统的研究方法，尤其是人们常常选用的“将今论古”、“以点代面”、“线性推理”的方法本身就潜在着危机与不足。

所以，地质学的研究内容是一个极其错综复杂的体系，这个体系造成了地质学研究中形形色色的思考方式和各有千秋的认识过程。

一、地质理论中的思维因素

从讨论地质学的定义出发，我们不难理解，地质学首先可以被看作是一门研究历史的科学，历史是“确已发生的事情”^[2]，而现存的地质现象只是地质历史演化进程中的一个侧面，可供研究的资料极不完整，地质历史的原貌又不可能重现。所以，地质学家只能依据从现存的地质现象中提取的资料，去推测、思考和判断已消失了的地质历史，并且创造出了许多地质科学的理论，这些理论中无疑渗透着人的关于地球科学的思维因素。

地质学研究的第二个内容是地质运动的规律。地质运动，是自然界诸种物质运动形式的（包括机械的、物理的、化学的、生命的运动形式和地球内、外无机界和有机界乃至行星天体上的运动）综合效应^[3]。这一复合运动系统的制约因素又同地质演化的历史联结在一起，构成了一个动态系统，使传统的思维方式和普通的研究方法受到挑战，如果仅仅依靠自然科学的某一学科所提供的思想和研究方法去进行探索，显然是不够的。

地质学家是用自身的知识结构、认识能力和思维方式来把握地质运动规律的。于是，便产生了形形色色的关于地质运动规律的学说和理论，这些理论同样凝聚了人的关于地球科学的思维因素。

那么，人们关于地质科学思维的实质内容是什么？通过研究后我们发现，人们所从事的地质学理论的研究，实际上是在运用现代时、空域中的地质参量构成的坐标系与地质历史时、空域中的地质参量构成的坐标系进行着不同形式的坐标变换和参量对

比。这就向我们提出了一系列值得深思的问题：如何确定地质参量和建立坐标系？谁来承担绝对参照系的重任？地质历史时、空域中的地质参量，是一个未知数，也是我们所要探求的最终结果，关于这一组坐标，在研究初期，只能通过想像来假设（是有一定科学根据的想像和假设，绝不是胡思乱想），它是不能够作为绝对参照系的。现代时、空域中的地质参量又不完全具备承担绝对参照系的重任，甚至研究程度较深的板块学说，也“似乎没有一个板块能够提供绝对参照系”^[4]。

虽然，自科学地质学产生以来，地质研究工作从未间断过，新的地质理论层出不穷。可是，这两组坐标系究竟在哪里？又是如何在起作用呢？其实不难回答，是在地质学家的头脑中，并通过地质学家的思维活动在发挥作用。美国已故著名石油地质学家华莱士·E·普拉特集数十年地质研究之经验后指出：“归根结底，首先找到石油的地方是在人们的脑海中”^[5]。地质学家是通过实践来把握现存的地质资料的，然后将这些资料与自身的知识结合在一起，在脑海中建立坐标系并且进行地质参量的对比和坐标变换。由于具体的地质学家的知识结构的重心不同，思维品质的差异，所选择的绝对参照系不同，所作的变换艺术不同，故所产生的地质理论也有所不同。这些理论可以说是客观地质因素与人的因素，具体地说是人的思维因素相结合的产物，正是这一点，地质理论与其他自然科学的理论相比较，是极富特色的，地质学界学派林立，学术观点的争论也更为激烈。所以，在地质科学发展史上的几次大的革命，每一次传统观念和旧的地质理论框架的被突破，首先得益于地质学家思维模式的转换和思维艺术的提高。

二、地质学思维及其特点

研究地质学理论中的思维因素，是为了更深入地研究地质学思维（简称地质思维）。地质思维，是人们关于地球科学的思维，是人脑与地质体相互作用的过程中，对客观地质现象概括的、间接的反映^[6]。

作为人的一种高级心理活动，地质思维与普通思维有相同之处，也有不同之处。我们认为地质思维是受人们的地质学意识所控制的一种科学性的思维活动。

地质学的研究领域非常宽广，它涉及到物理学、化学、生物学、数学、天文学等学科的主要内容，并具有自己鲜明的特性，这些均决定了地质思维研究的领域和内容，地质思维机理和方法的特殊性。为了深入地认识和把握地质思维的属性和特点，现作如下概括：

（一）思维机理

思维问题是一个“黑箱”问题。地质学是研究地质历史的一门科学，地质历史本身是一个黑箱，作为具体研究对象的任何一个地质历史时期中的地质现象或地质事件，同样也是一个黑箱。地质思维的过程是人脑（主动黑箱）与地质体（被动黑箱）之间相互作用的过程，它们之间的关系是相互映射的关系（当然不是惟一的），从这一角度分析问题，完全可以建立地质思维形成机理的物理—数学模型。

（二）思维形式

通过研究，我们发现地质意识可以划分为两个单元，即地质潜意识单元和地质显意识单元，地质潜意识单元中所包含的地质思维是地质意识单元中地质思维过程的准备阶段。

地质潜意识的思维过程，主要有地质混沌思维和地质灵感思

维两种思维形式，后者是前者的继续，地质灵感是这一思维过程的最终产物，又是诱发地质显意识单元中思维现象的源泉。

在地质显意识单元中，其思维过程又明显地划分为两个阶段，即地质形象思维阶段和地质理论思维阶段。在地质形象思维阶段，所使用的主要思维工具是地质画面语言；在地质理论思维阶段，所运用的思维工具是地质语言。

（三）地质思维逻辑

在不同的思维阶段中，所使用的思维逻辑不同。在潜意识单元中，主要运用的是混沌逻辑，其值域是朦胧状态的；在显意识单元中的形象思维阶段，主要使用的是模糊逻辑，其值域是模糊的，而抽象逻辑仅作为辅助；在地质理论思维阶段，主要采用的是抽象逻辑，而模糊逻辑被作为辅助工具。例如，在这一阶段中，地质学家表现出惊人的逻辑概括能力，十分复杂的地质现象均能简洁地归纳在二维空间的地质图幅上。总之，地质思维逻辑的值域十分宽泛，主要表现为多维、多值、多向等特点。

（四）地质思维工具系统

由于思维过程的不同，地质思维的工具系统由两部分组成：地质画面语言子系统和地质语言子系统。

（1）地质画面语言子系统

地质思维过程中，地质形象思维所经历的时间最久，也是主要的思维形式之一，魏格纳的大陆漂移说到今天的板块构造说，是地质形象思维最光辉的范例。

地质画面语言是地质形象思维的工具，这一子系统包括：时间画面语言、空间画面语言、空间的分割率和深度率，地质体的画面创造语言、投影语言、布局语言以及调合流动语言和地质画面的结构语言、形式语言、艺术语言和地质语言（是指地质画面中所含的地质参量值）等。

(2) 地质语言子系统

地质语言的特点是语义的模糊性，其意义要素和模糊属性均来自自然界中的地质属性。

从认识论的逻辑学出发，地质现象反映在人的头脑中，经过形象思维后升迁到理论思维阶段时，思维主体（人）试图用语言或文字表达地质现象的本质，因为受到各种因素的限制，往往用语言和文字所表述的地质概念都是模糊的，其内涵和外延以及边界条件是不清晰的。

地质语言系统是从讨论地质语义开始，研究地质单词、词组、语句的定义和文法，并用语气算子和模糊化算子、语义模糊集合的数学表达式进行描述，最终目的是能够用于计算机处理地质文件。

(五) 思维的时空域

地质思维的时间域是已发生的地质事件的时间域，时态为过去时、过去进行时和过去将来时。地质思维从时间上看，可分为过去远期思维、中期思维和近期思维。它的空间域首先决定于时间域，从空间上看，可分为点式思维、线性思维、面式思维、立体思维和多维思维。

把握地质思维时空域是确定地质参量和建立坐标系的关键，特别是地质思维中的时空概念把地质学中的诸多因素联系在一起，揭示了人类无法观察的时间、空间、物质和运动之间的内在联系，丰富并深化了时空是物质存在形式的原理。

(六) 思维的基本规律

“规律是本质的关系”^[7]。地质思维规律是地质思维的本质关系，它应该具有一系列规律，并且还存在着一个基本规律。如果把研究其规律的角度限定在反映论的限度中，反映同一律是地质思维的基本规律之一。反映同一律讲得是客体本质要如实地反映到人脑中，它所表示的是客体本质和移植到人脑中的客体本质

之间的关系。但是鉴于地质学的特点和由于经过时空改造后的现存地质事件已经不能完全地显示地质事件的真实本质，造成了主、客体之间移植映象的误差。例如，现存的寒武纪资料并不是5亿~6亿年前真实的寒武纪。可是，地质学严格的研究对象应该是它的历史原貌，在这个条件下，针对地质学的具体对象，反映同一律虽然表示了它们之间一定程度的本质关系，但是有缺陷，缺陷就在于它不能完整地表示在反映结果中主体对客体的反映关系。那么，什么是地质思维的基本规律呢？它应该是“反映同一相似律”。我们认为，反映同一相似律能够从反映同一、相似两个方面比较正确地表示地质思维的基本规律。因为反映同一对于地质思维而言，决不是十分简单的映象同一，反映同一或者物质同一的关系，而是这三者的结合。地质学中包涵着地质思维因素的大量的概念和定义，包括含义具体的和思辩的（指假说），它们所反映的映象关系和同一性应该有一个贴近度，贴近度的值域是0到1之间的连续小数，不包括0和1这两个点，即为0到1之间的开区间。

地质思维基本规律中的相似是指在反映同一性质中所产生的结果。地质思维结果的相似性是惟一的，这一点可以推广到地质学研究的各个领域，地质学研究的所有结论也只能是相似，不可能是同一的，正如地质学理论所描述的地质事件与历史地质事件不可能同一，也只能是相似。地质思维基本规律中的相似性如同反映同一性一样，二者不能分割，正是它们的结合和互补，才得以构成比较理想地、能较准确地描述其基本规律的“反映同一相似律”。

（七）思维方法

是指在地质思维过程中，能够娴熟地建立、使用、变换和比较地质参量坐标系的技巧和主动地去改造旧图式和构筑新图式，以新的认识方式把握研究对象的本质和运动规律的艺术。其方法

主要有：立体思维、平面扩散思维、线性集中思维、模型思维、模糊思维、综合思维和整体思维等。

当然，以上概括只能是初步和概括性的，有关内容我们将在后面的章节展开，有些问题也有待于深入。不管怎样，深入研究和把握地质思维的本质属性和基本特征，有助于培养和提高人们的地质思维的素质和水平，促进地质科学的繁荣和发展。

三、研究地质理论中思维因素的意义

在本章的第二部分，我们曾指出研究地质理论中思维因素的目的是为了讨论地质学思维的问题。由于这是一项理科学科的思维研究课题，它在自然科学思维的领域中既带有明显的共性，又具有十分突出的个性。它是通过对产生地质思维的物质背景和精神背景的研究以及对理论形成因素的分析，探讨地质思维的机理和方法以及在弥补地质理论中的不足时所发挥的实效，企图在地质科学历史发展的轨迹上寻找出形成科学地质理论的最佳途径。

关于地质思维的研究是从思维科学的角度对地质历史、地质事件、地质实践和地质理论形成因素更深层次的开掘，这个开掘不仅揭示了地质学研究中多年来一直被忽视的人的因素与地质物质因素的本质关系，把地质理论的内涵清晰地展现在了地质工作者的面前，而且充实和深化了地质学研究的内容，建立了新的研究方向，拓宽和丰富了地质学的领域。

地质思维研究的核心是地质学领域中人的精神世界和地质物质世界二个主要方向。人的精神世界是指在地质文化背景和地质哲学背景下的地质工作者的精神世界，它通过研究地质工作者的心理活动、思维活动和认识能力以及知识结构等带有普遍性的问题，寻找出共性和特点，讨论地质意识产生和思维活动过程中的规律和方法。对于地质物质世界的研究，主要是结合地质物质的

特点，研究它们在经过时空变化的过程中所发生的变异，以及当它们作为地质学研究对象时在思维过程中的不同作用和所造成的违背“映象同一”的本质差异，这种差异给地质学理论所带来的多解性、预测性和相似性。

通过对地质思维不断深入的研究，我们相信在不久的将来，不仅会有一门新的学科，即地质思维学产生，而将以它为核心，可能会建立一个包括地质思维基础理论、地质思维方法、地质科学研究方法和地质科学哲学等内容的地质思维科学体系。这个体系与现有的地质学体系相互对应，围绕着地质学的特点，结合在一起还会产生出一些辅助学科，如地学心理学、地学美学、地学教育学、地学社会学、地学哲学等新学科。这些学科不仅会对地质学的发展产生积极的作用，甚至还有可能对于人类的认识系统和思维科学领域赋予新的内容。

地质工作，贵在创新。地质思维的研究有助于解放地质工作者的思想，强化地质意识，开拓视野，培养和提高地质工作者的思维品质和思维艺术。总之，这项工作将会对地质学现有理论的升华，新学说的产生，指导攻克重大的地质科研项目和建立正确的地质科学哲学和文化背景，培养“高、精、尖”的地质人才，加速矿产资源的开发，促进国民经济的发展，具有十分重要的作用。

第三章 论地质学实践的结构

在自然科学领域里，地质学是一门实践性极强的学科，它独特的研究内容、思维方式以及认识过程都首先是建立在地质学实践的基础之上的，因之，它的结构也有自己的特色。本章从讨论地学实践的性质和入手，通过分析它的特点来把握地质学实践的结构和层次，其最终目的是为了进一步探讨地学思维的机理和方法。

一、地质学实践的定义和性质

地质学实践是地学主体能动地探索地质客体本质及规律的物质性活动。它不以改造地质客体为其直接目的，其主要目的在于认识地质学现象的本质和地质学的运动规律，发现和开拓新的研究领域，发展地质学理论和丰富人类的地学知识宝库。所以，它是依靠地质学实践主体的地学意识和高度的组织性与自觉性，以研究课题为中心展开的有计划、有目的探索性活动。

这里所说的实践主体是指具体参与地质学实践活动的地质工作者，他们通过对地质对象的有限观察（观测）和有限变革（实验测试等），借助于自身的知识结构和思维能力实现对地质实体的认识。是依靠自然驱体和意识发生的物质力量，借助自身的知识结构和思维能力来认识地学实践的客体。地学实践的客体，即研究对象——自然界中的天、地、生系统，这一系统是客观存在的，但是，客观存在的东西只有进入了人的实践活动的领域，作

为实践活动的现实对象，才能成为实践的客体。地质学实践就是实践主体和实践客体这两种物质力量之间的相互作用。这是一个物质地表现出来的可感知的客观过程，在这一客观过程中，地质工作者充分表现出了他的主观能动性，依照一定的目的进行活动，时刻表现着他们的本质力量，并对地质的客体进行作用，或者引起客体的某些变化。所以，地质学实践的定义又可表达为，由地质学实践主体与客体两种物质力量的相互作用所引起地学实践变革的一种物质的、真正感性的活动。

二、地质学实践的特点

地质实践从一定意义上讲是一个客体主体化的过程，即把客体的内在联系、本质、规律内化为人的观念图式的过程。但是，在自然界中的地质学现象一般是由复合因素的相互影响而引起的，由于经历的时间太长，随着历史的变迁，遗迹破坏严重，支离破碎，留一失万，可供研究的证据受到限制，造成地质学实践活动的障碍。

地质学现象的模糊性是自然界固有的属性，因之，致使地学理论的许多概念的内涵和外延不清晰。人们对于地质构造体系的争论、地理学中地带性与非地带性、显域性与非显域性、矿产资源的有限性与无限性，甚至人与猿、生物与非生物、脊椎动物与非脊椎动物等等这些对立的观念，都没有确定不移的界限。

地球物质的非均一性是由内外多种动力因素相互叠加和多种复杂的运动形式造成的。特别是在地质现象出现反复之际，常常呈现出难以捉摸的细微特征，使人们对于理论的通用性发生怀疑，对前人的地质实践成果产生不依赖感。

地质实践的客体时空跨度大，带有明显的区域性，在特定的场所和特定的条件下，存在着特定的特体和特定的状态。同时，

地理环境和人类的寿命无情地制约着人们的地质实践活动的范围，人是无法经历和直接观察其演化、运动的全过程，而现存的状态又只是进化过程中的一个侧面，造成了地质学研究中形形色色的思考方法和各有千秋的地质学实践过程。数、理、化和生物学的基本规律，以及一些先进的科学技术是地质学研究经常借用的常规方法。但地质学研究的对象太大，又不均一，一般呈超实验室状态，人是无法在室内重演和直接模拟的，而理想的模拟无法回避人为的因素，只能去接近实际，却不能完全替代实践的客体。

地质学现象本身限制了人类的地质实践活动，迫使人们选用常规的线性推理、一点带面、将今论古的类比方法。而这些方法本身就潜在着危机和不足，因此造成地学研究中“逻辑推理”、“假说”的成分增多。地学现象的特殊性决定了地学实践的内容和方法的特殊性。在地质学研究的领域中，地质实践明显地表现出历史的继承性、群体实践活动的整体性和对地质学理论反复验证的重复性等。

三、地质学实践的结构

在关于地质学实践的定义中，我们首先认定实践的主体和客体是两种不同的物质，并具有一定的能量。地质学实践是这两种物质力量之间的相互作用，根据物理学中力的概念，物质与物质的相互作用，必然产生力，这个力是与这两种物质的构成要素相关的。并且在这个力产生的同时，伴随着一个物质场出现，这个场即为地学实践场。那么，地质学实践的物质结构应该是由实践主体、实践客体和实践场这三种不同的物质构成的，它们在地质学实践的过程中，发挥着不同的作用。

实践主体是由人和受其操纵的工具这两种物质组成的，其中

人是主要因素，因为人能够进行思维，有意识和主观能动性，能够把握和控制地质学实践过程中的各个环节，并具有明确的目的性，所以他是地质学实践中这三种物质的相互作用的主体。地质学实践客体的范畴极为广泛，可以说自然界凡是构成地质现象的物质均可以归入这一领域。但是，一旦地质学实践主体的目的性形成，与之对应的实践主体的物质集合的边界便被确定，它所包括的物质内容即成为主体作用的对象和认识的物质基础。如果从物质的角度分析它们之间所发生的作用，按常规的观点，地质学实践的主体仅具活动性，而客体不具备这一特点。其实不然，在它们之间的相互作用中，所形成的力为两组，即物质之间的引力和相互接触时产生的作用力与反作用力。除了两组力外，它们之间的相互作用伴随着地质学实践场这一特殊的物质和地质学实践结构体系的物质因素的基础，这三种力构成这一结构动态因素的主因。

由于这三种物质的属性不同，所产生的力的性质不同，所受到的力的作用也不同。引力的大小主要决定于实践主体的活动性，引力的大小决定了地质学实践场力的强弱，它与场力构成了一对密切相关的力。作用力与反作用力是主体对于客体能量的诱发，其结果是客体能够向外发散信息，而信息量的强弱和能量的大小不仅取决于作用力的大小，而且还决定于实践场力的大小，经过作用力和实践场力作用后的客体，与未进入实践场时的物质相比，已经发生了质的变化，这个变化使客体由静态物质变成了动态物质，并具有了活力，能够反作用于实践的主体。这时，地质学实践的主体只有“现实的、有形体的、站在稳固的地球上呼吸着一切自然力”，并“具有意识的、经过思虑或凭激情行动时，为了追求某种目的”，才能在地学实践过程中作为主导。

地质学实践结构中的精神因素是由实践主体的地质意识、地质思维和主观能动性构成的。地质意识，概括地说，是地质实践

主体对自己思想中发生了什么的认识，是自身活动的自我调节，具有“超前反映”的特点，依赖于自身的内部状态，对外界的影响作出回答的能力。已故的美国著名石油地质学家普拉特所说的：“首先找到石油的地方是在人们的脑海中”^{〔1〕}，正是说明了地质意识中“自我调节”的反映形式和“超前反映”的特点在地质实践主体自觉的理性行为上得到最高的发展，灵感和创造代替了地质学理论上的不足，思维的理性代替了直观的感知，实践主体依靠地质意识不仅能分辨出实践客体的客观属性、内在联系的细微特征，而且能够自觉地组织、管理和控制地质学实践的发展过程。所以说，地质学意识是保证地学研究符合客观规律和自觉能动性，实现地质学实践物质过程中主、客观相统一的必要条件。

地质学思维是人们关于地球科学的思维，是指人脑与思维客体相互作用的过程中，对客观的地学现象间接的、概括的反映^{〔2〕}。在地学实践中，它的作用是形式观念地把握研究对象，通过地质学知识的理论体系来观念地反映自然界中的地质运动的规律，并不引起地质学实践主体对客体发生作用。然而它们之间的关系不是一种观念的关系，而是一种物质关系，即物质地表现出来的直接现实的相互作用。正是基于这一点，地质认识思维才有可能。地质思维是一条联结整个地质实践各环节的链条，负载着指导地质实践的理论和方法，控制着主体的主观能动性，一头系在地质学历史的源头，一头联结着地质学实践的最终结果，发挥着为地质学实践的方向定势的作用。

随着现代科学技术的发展和人类认识层次的加深，对于地质学实践的目标要求更加严格，为了实现其目标，大量的物资（高技术的观察、分析仪器和数据处理设备等）和人力必然会进入和参加地质学实践的过程，使之成为有目的、有组织整体性的科学研究活动，有组织整体性来自科学的管理，这就构成了地质

学实践结构中的管理因素。那么，地质学实践就是由物质因素、动态因素、精神因素和管理因素构成的四维结构系统。

为了进一步论证地质学实践的结构，需要从纵向上对它作以讨论。根据地质学实践的目的和性质，可以将其分为：关于地质学基础理论研究的地质学实践、地质学应用研究的实践和地质学开发研究的实践三个层次，这三个层次是相互渗透、相互关联的，往往是前一类实践的结果是后一类研究的依据和指导，后一类的工作又不断地为前一类的实践提出目标和提供赖以总结提高的实践基础。

地质学基础理论研究通常分为两种，非定向基础理论和定向基础理论研究。第一种地质学实践的目的一般诱发于地学灵感思维，实践过程也具有较大的自由度，它的主要任务是在探索中发现新事实、新原理和新法则，这些法则和原理经过反复验证后方可纳入地质学理论的领域。定向基础理论研究的地质学实践是针对地质学基础理论中带有特殊性、普遍性的问题所开展的关于理论探索性质的实践活动，它有事先赋予的一定的实用目的，一般都是为了证实或继续探索某一个地质学理论或地质学现象的本质，它最明显的特点是群体实践活动的整体性和实践史的继承性。例如，人类对于阿尔卑斯构造带和秦岭构造带的基础理论研究就付出了数代人的心血，现今的许多关于定向基础理论研究的地质学实践乃是在前人工作的基础上进行的。地质学理论应用研究的实践是建立在地质学基础理论的实践活动基础之上的，它的目的是应用前者的实践成果，并将其转化成具有应用价值的理论和技术，重新应用到地质实践中去。例如，人们借助于基础理论从事的环境问题、生态平衡和矿产开发的研究实践活动就是属于这一类。地质学开发研究的实践又叫地质学发展研究的实践，它是在前两类实践的基础上，将地学研究的领域和地学实践的范围扩大，或者延拓到新领域。这一类实践的目的具有“双向性”，

即含有双重的研究价值。例如，人们通过地质构造体系的探索可以同地震的规律；矿物学家对于成因的研究可以延伸到经济领域；地理学家对于自然地理环境的考察可以变成开发旅游业的实践活动等等。地质学开发研究的实践活动关键在于地质工作者的思想解放和知识结构的更新，传统的那种矿物学家只注重研究刚玉、绿柱石的晶形、物理化学性质，而缺乏像珠宝商那样重视它们的质地、颜色、装饰和美学以及商业价值的现象不应再继续下去了，地质学科学的发展需要将这二者结合起来。所以，这一类的实践活动在目前我国矿产资源趋于减少的状况下，可能是地质学研究和实践的一个新方向。

四、物质、动态、精神、管理诸因素 在地质学实践中的地位和作用

地质学实践中的物质、动态、精神、管理因素是构筑结构体系的必要条件。在地质实践的过程中，它们的地位和作用是各不相同的。

物质因素是地质实践的基础。地质实践是实践主体与客体之间两种物质的相互作用，是物质的活动，但这些活动均是在前两种物质作用下应运而生的第三物质（地质实践场）环境中进行的。地质学实践中所有关于人的精神表现（如意识、思维、智力、意志、主观能动性）等，都是地质实践物质因素的反映，动态因素的动因来自物质本身的属性，管理因素首先是管物，人、科学仪器、资料等均属于自然集合中物的范畴，具有客观的物质属性，构成了地质学实践的基础。

动态因素是活动。地质实践中的动因产生于物质之间力的作用，这些力使主体得以强化，使客体从静止进入了动态，特别是整个结构体系活化起来，使整个实践过程有了“灵气”。

精神因素是地持学实践的主导。“实践是人的实践”，地质学实践过程中的一切行为都是人的行为，人地地质学实践活动的具体执行者，指导地质学实践的理论是人创造的，地质学实践的过程是体现人的意识、思维、能力、意志、情感的过程，地质实践的目标靠人去论证和设计，地质学实践的规模靠人去制定，地质学实践的方式和方法靠人去实施，地质学实践的结果是人的脑力和体力劳动的结晶，最后还是通过人的实践活动去检验。总之，人是地质学实践中最宝贵的因素，而人在地学实践中的一切行为都来自于地学实践的精神因素，有意识，能思维，具有主观能动性，地质实践离开了人，离开了人的精神因素，其本身就无实践的意义了，所以，地质学实践的精神因素是主导。

管理因素是保证地质学实践成功的关键。对于地质学实践进行科学的管理，主要是指对地质学实践过程中的行政业务管理和物质管理。行政业务的组织管理是为了统一全体人员的思想、意志、目标和活动，协调分工，各司其职，让人尽其才，充分发挥人在地质学实践中的最大作用。物质管理主要负责地质学实践中的资金、仪器、工具、资料、设施和实践现场的管理，其目的是让器尽其利、物尽其用，最大限度地发挥它们在地质学实践中的物质价值。

第四章 地质学的思维机理

在自然科学领域中，地质学独特的研究内容和方法产生了一种特殊的思维方式——地质学思维（简称地质思维）。关于地质学思维存在问题，李秉平、白屯等人都作过有益讨论，这有助于我们对地质学思维机理的进一步理解。

探索地质学思维的机理，应该从讨论地质学的本质入手，通过研究地质学思维的性质，进而探讨其思维机理。

一、地质学的本质

地质学是研究地球的科学。它的研究内容由三部分组成：岩石圈的物质组分（目前已涉及到水圈和地壳以下的“地幔”及更深的层位）、产状、成因及其分布规律，地壳运动及其所引起的各种地质构造活动和发展规律，地球的发展历史和生物演化规律。这些内容实质上是实在的固体地球物质和这些物质本身的运动形式、时空样态、质－能活动以及这诸多方面内容的自身演变。地质运动的规律、地质发展的历史、地球上生物演化的过程是地球物质自身运动、变化、发展的信息，是一种区别于地球物质自身的直接存在性的一种间接存在，这些间接存在的信息就直接凝结在现存的地球物质的直接存在的结构和状态中。这些间接存在的信息以现存地球物质的结构和状态为载体，并显示和表征着后者的历史、现状、规律和性质。研究地球物质本身的结构和状态，并通过这种研究破译其中凝结着的关于自身历史、结构、

现状和规律的信息便构成了地质学的研究对象和内容。

关于地质学研究对象和内容的复杂性，我们在第二章中曾作过较详细的论述，但这些论述尚显浮浅，并未涉及到复杂性的实质问题，因之，还需作进一步的剖析。

（一）地质学的复杂性

造成地质学复杂性的因素，至少有以下几个方面：一是地质学本身的性质、研究对象和内容的不确定性；二是地球结构、状态、规律、性质的复杂性；三是地球历史信息的不完全性和难以破译的隐蔽性；四是我们获取这些信息的间接性。例如，对于历史地质学家来说，地质学是研究和考证“地球历史”的科学，可是地质历史是什么？尽管我们承认反映地质历史信息的“资料”存在于地层之中，地层中的生物化石可以作为地层层序的证据，但是研究化石生物的古生物学本身还不是地球历史的主要内容，现存的地层中的地质遗迹究竟包含了多少原始的、真实的地质信息，它们能否反映完整的地质历史还是值得深思的。80年代，前寒武纪研究的进展为探索地球这一段极其漫长的、没有“文字”记载的地质历史增添了新的内容，可是它的研究如同塞德霍姆在半个多世纪前所指出的：“先寒武纪地质学如同永远完不成的纺织品，白天织成了，晚上又拆开重织”。

近年来，国外许多地质学家非常注重重建地质史的工作，许靖华先生也在国内连续出版了四部与之研究有关的学术著作（即《地学革命风云录》《大地构造与沉积作用》《古海荒漠》和《祸从天降——恐龙绝灭之谜》），都是在为企图重建地质历史和为创立新的地质理论鸣锣开道，其目的是不言而喻的。

重建地质历史首先需要对已建立的地质历史进行反思，需要对原有的地质历史的“序”作以确证，因为它是建立地质历史的核心点。我们知道，任何历史的“序”是按照时间的不可逆性建立的。地质学历史中的时间序列是用地球的年龄为原点和地层层

序的年龄为依据排列的，也就是说，我们要确证已建立的地质历史的可靠性首先要确证这些地质时间的真实性，否则，一切将是苍白和无说服力的。

地球的年龄是多少，关于这个问题争论的历史大概与地质科学的历史一样漫长，虽然现代科学技术的先进测试方法给出了一个大家还能够接受的 46 亿年的地球年龄，但是谁又敢于去定论这个年龄就是真实的、确切的，是以后再也不会被修正的最终年龄呢？假如这一点难以得到承认，那么我们一直沿用着的地质历史中的各个宙、代、纪、统的时间（绝对年龄）也将随时受到冲击。时间和空间的概念是自然科学的核心，地质学的时间概念一直是依靠沉积时间、古生物时间（生物时）、放射性时间（同位素年龄）和磁性时间来维系的，由于确定这些时间的物质本身就有模糊性，所以由之所确立的地质时间在客观上就具有不确定的性质。

确切地地质时间是什么，现在还只能是一个存疑，我们并没有真正把握到它。就我们目前的认识能力而言，我们还没有找到能够确定真实的地质时间的最佳方法。尽管这么多年来，我们有意或无意地回避着对这一问题的讨论，甚至仍在违心地进行着一项又一项的地质学研究，或者在“认认真真”的像儿童摆积木那样排列着地层的时间序列，但问题终究是问题，事实是不容忽视的，正是由于这个问题的客观存在，国外的许多地质学家都心照不宣地打起了为新的地质理论鸣锣开道的旗号，纷纷热衷于重建地质史。

地质学不仅是地质历史关系的科学，同时也是认识地球物质空间形式和分布规律的科学。认识地质物质存在形式与认识地质时间是同等重要的。地质学的定义明确地规定了它的空间区域，尤其是当地理学再次被众多的科学家承认为是研究地球表层的科学以后，这种研究领域的分界就越发明朗化了。

物质的存在形式和分布规律蕴含在物质本身的特殊性质中，地球物质的特殊性质是什么，我们通过对地质物质的分析研究，认识到它们具有四种不同的特殊性质，即模糊性、运动变异性、重构性和隐蔽性。

模糊性：是地质物质自身存在着一种自然属性，如矿物的颜色、地质体的形态、结构以及分类的界限都是模糊的，这些因素导致了人们所形成的地质概念内涵的不清晰和外延边界的软化。

运动变异性：地质体在地质运动过程中时刻伴随有形态的变异和物质的变异，如裸露岩体的风化和埋藏岩体的变质等，这些变异性的程度除了随着时间的增长会持续增长外，有时还会发生突变性的变异增长事件。

重构性：由于运动变异性的存在，现存的地质体总是重构在旧的地质体的基础上，也就是说，对同一个地质体而言，现存的地质体由于重构的作用，已不仅仅是它原来的地质体了，犹如一座冰山，随着时间的推移它的面貌总是日新月异的，永远不会再恢复到它原来的“形状”了。因而，现在的地质体已不是地质历史上某个时期的产物，而是在漫长的运动变异的演化历史中，发生过多次重构性变异的，具有复杂性结构、状态和性质的地质体。在这些地质体中凝结着不同演化阶段上的复杂交织的多重迭代着的信息，这就为我们的破译带来了诸多方面的困难。

隐蔽性：是指地质体对其本源和物质本性的隐蔽，其中也包含着自身形态的隐蔽。例如我们无法直接观察的一切地质体，像地下的岩层、构造以及地幔和地核的物质等，都具有这种性质。除此而外，发生过的地质运动、消失了的地质历史等，也同样具有这种隐蔽性。这种隐蔽性不仅给地质学家的研究工作带来了困难，而且使地质学失去了获取第一手资料的机会，因此许多现有的地质理论只能建立在假说的基础上和依靠地质学家的思维来维系。国际古生物协会主席 B. C. 索科洛夫曾说过“地质学

的核心是地质年代学”，当人们无法从时间角度去确定地质学内涵的时候，又转向从空间的物质角度研究地质学的内容，由于地质物质存在着上述四种性质，无疑增大了地质学研究的难度。尤其是地质学中这种时、空内容的表性分离，呈现出一种客观的自然属性，使地质学复杂化和具有了超出其他自然学科的复杂性。

（二）地质学理论的难以检验性和反复认识性

已形成的地质学理论普遍存在着是否能够被检验和如何检验的问题。实践是检验真理的标准，地质实践虽然在目前仍是进行地质学研究最基本的方法和检验地质理论的最佳手段，但是地质构造跨时空运动的多变性、地质体的多层次性、地壳运动的多阶段性、地质现象的模糊性、地质事件的多解性和地质记录的不完全性，加之地理环境和人的寿命无情地制约着人们的地质实践的活动范围，无法经历和直接观察其演化、运动的全过程，这些都决定了地质实践检验的理论的相对性。如果我们选取物理学的试验方式来进行检验，但是室内根本无法重演和直接模拟研究对象的本质特征，而理想的模拟人为因素太强，其结果只能作为参考，也无法完全替代。

那么，对于地质学理论的检验难以像地层学那样建立一个作为对比的“标准层型剖面”。地质学的研究内容是一个极其错综复杂的体系，这个体系蕴含着物质的客观因素和人为因素，构成了地质学研究中形形色色的思考方式和各有千秋的认识过程，以及强烈渗透着人的思维因素的地质理论，因而对于这些理论的检验，实在难以建立一个统一的“标准层型剖面”。

地质学中还存在着许多我们根本无法直接观察的“真面目”，如地下的岩层和构造、消失了的地质历史和地质运动过程，这些都是无法检验的，所以我们可以说，就目前人的认识能力而言，地质学乃是一门难以检验的科学。

地质学虽然是一门难以检验的科学，但并非不可认识，如果

不承认这一点。就不是一个唯物主义者。

地质学的本质是可以认识的，但认识它的过程与其他学科比较起来复杂得多，这就需要每一个地质工作者在地质实践的过程中，建立一个相对稳定的认识对象，然后再去进行反复的认识，这种活动需要一些外在的因素，这些因素将有助于我们去进一步探索其本质。所以说，地质学的理论是难以检验的，只有用循序渐进方法一步步去逼近，最终认识其本质还是有可能的，因此，地质学的理论还存在着一个反复认识性。

那么，什么是地质学的本质？著名科学哲学家波普尔说过：“知识是客观的，本质上是猜测的”。我们认为波普尔的话正好言中了地质学的本质，即它的客观性、猜测性和思维性，其客观性、思维性和猜测性具有浓郁的地质学特点和地质学意识，我们称之为地质学思维。

二、地质学思维的性质

地质学的本质是客观性、猜测性和思维性，地质学理论主要是解释客观地质现象的规律性，把这两点联系在一起，地质理论反映了地质学的本质，同时也反映了地质学思维的性质。

地质学思维在地质学研究中的作用是活化地质学复杂的研究体系，使其从静态的存在形式变成动态的内视角空间存在的形式，使“不实在”的地质时间变为“实在”的现代地质时间，使静态的空间研究对象变成动态的空间研究对象。例如，地质学家对岩石圈造机理的把握，板块漂移的有关对流机制问题、矿床成因过程的理性推论，地层沉积模式的分析以及地质史的重建，都离不开活化的研究对象，因此，地质学思维的活化性是地质学思维的一个重要性质。

地质学思维的活化性与其他思维不同，它所活化的对象必须

是思维主体直接观察到的或者经推断存在着的实在的地质内容，地质学思维的过程是受一定的地质理论和地质意识所控制的，所以它具有历史的继承性和理论的指导性。世界上没有离开这个原则的地质学思维，正是这一点，地质学思维才具有了理性的内涵。

在地质学思维过程中，当思维主体把实在的地质内容活化为内视角空间的地质内容的时候，二者相比较，后者已在前者的基础上对前者进行了变异和重构的作用，这种变异和重构在整个思维过程中是反复多次的，而且总是不断对前面进行的某种理性建构的重构变换。在这里，只有第一次的重构和变异是对实在的地质内容而言的，以后的种种作用均是在前一次变异和重构基础上进行的。

在地质学思维过程中，当最初由实在的地质内容转化为内视角的地质内容时，这两种内容遵循的是“反映同一律”，这个规律表征的客体本质或表象要如实地映射到人脑中，表示的是这二者之间的关系。当实质的地质内容根据“反映同一”的规律变为内视角地质内容以后，后续的思维活动都是在按序排列的内视角地质内容中进行的，这些按序发生的内视角地质内容之间的变换关系遵循的是“相似”律。每一次变异和重构的内视角地质内容总是修改着它的前者的内容，前者与后者之间总是存在着一定的变态扭曲的差异，这种差异除了与思维主体的主观因素有关外，还与地质学的特点和复杂性以及由于经过时空改造后的现存的地质客体已经不能完全地显示原始地质内容的真实性这一性质有关。地质学思维结果的相似性是惟一的，这点可以推广到地质学研究的各个领域，地质学研究的所有结论也只能是相似的，不可能是同一的，这决定了地质学理论所解释的地质事件与历史地质事件不可能同一，也只能是相似。

地质学思维初期阶段的反映同一并不是简单的反映同一、映

像同一或者物质同一的关系，而是这三者的结合，这三者的结合也仅仅反映了地质思维基本规律的一个侧面。所以，地质思维基本规律中的相似性如同反映同一性一样，二者不能分割，正是它们的结合与互补，才得以构成比较理想的、能够准确地描述地质思维基本规律的“反映同一相似律”，这个基本规律与地质学的猜测性的本质是统一和谐的。

三、黑体概念的阐述

笔者对黑体（Black body）概念的最早构思是在思考地质学研究的实在物质范畴和如何对地质学思维的机理进行解释的问题中萌发的。我们知道，近年来关于地学学科内容的分野问题有了新的进展，愈来愈多的地理学家已经接受了地理学是研究地球表层的科学一概念，如果该观点得到地质学家认可，那么地球物质除去地理学研究的内容就属于地质学的研究范畴了。

地质学范畴中的物质是地质思维中的思维客体，不仅普遍存在着模糊性、运动变异性、重构性和隐蔽性，而且这些物质的具体物质属性（如：物质的运动过程、演化历史、能量……）还存在着难以检验性。这些特性在自然科学界和物质范畴内部具有十分重要的典型性，于是，为了便于思维机理的讨论，我们将具有这些性质的物质称为黑体。

（一）“黑箱”与“黑体”

1966年，艾什比为了提出和解决被控系统的模型建立问题叙述了：“黑箱”的概念。即所谓黑箱是指这样一个系统，我们只能得到它的输入值输出值，而不知道它的内部结构是什么。艾什比是在研究控制论的过程中阐释这一问题的，他认为控制论的贡献不在于把这样一类我们对其一无所知的系统称之为“黑箱”，而在于它提供了一种认识这种“黑箱”的方法，也就是将人与黑

箱耦合起来，两者形成了一个有反馈的机器，黑箱方法就是研究这个系统的，黑箱理论地非是研究观察者与其环境之间的关系的理论。

艾什比的论述给了我们深刻的启迪，迫使我们以下几个问题进行反思。

如果“黑箱”理论是一个认识论问题，那么就人的认识能力而言，单纯地把认识对象划分为“白箱、灰箱、黑箱、”三个主要层次是否妥当。世界上并没有什么界限分明的“黑、灰、白”之分，仅仅是知之多少的问题，例如，艾什比所列举的电机师与密封箱的例子，如果电机师敢于对密封箱进行一些摆弄，密封箱对这个电机师来说至少是个“灰箱”，而对制造密封箱的人来说，它是一个“白箱”。

艾什比忽略了对黑箱物质属性的深层解释，如果从物质的角度理解艾什比提出的“黑箱”理论，自然界是否存在像物质的黑体性。如果不存在，如何理解物质的无限可分性和人类的认识永远不会完结的观点。

“黑箱”的概念是相对的。同一研究对象，对于不同的认识主体，由于主体拥有的经验技术手段及认识任务不同，可以是黑箱，也可以不是。但事物的黑体性是物质的客观属性，是不以人们的意志为转移的，二者的关系犹如圆与多边形的关系，多边形的角度可以随意增加，但永远无法替代圆。

“黑箱”系统辨别法也有局限性，并不是所有的系统都可以从它的输入与输出的关系中确定其结构和参数，例如人脑的研究就是如此。

艾什比建立的耦合反馈系统涉及到反馈信息对比问题。对于黑体这样的研究对象如何选取和决定标准的、真实的对比信息。

（二）黑体的分类

为了便于对这一问题的讨论我们将自然界中包罗万象的物质统称为自然集合，用 N 表示， N 中心含有黑体性的物质组合我们称为 N_b ，根据 N_b 中各个子集的性质分为两类，即为主动黑体集合和被动黑体集合。

主动黑体集合（ N_{b1} ）：是指该集合中的元素自身具有接收、加工处理外来信息，并能将加工、处理后的信息向外发射的系统的一类黑体。人脑是（ N_{b1} ）中最典型的黑体元素。

被动黑体集合（ N_{b2} ）是指 N_b 中除主动黑体集合之外的所有黑体集合。 N_{b2} 中的元素本身具有向外界辐射原始信息的功能，当来自主动黑体集合 N_{b1} 中的元素的信息与其作用时， N_{b2} 中的元素向外辐射的原始信息量将被进一步诱发和扩充。 N_{b2} 中的元素与 N_{b1} 中的元素性质区别是对外来作用的信息不做任何加工处理。

四、地质思维：典型的黑体相互作用的范例

地质思维是人脑黑体与地质黑体的相互作用。根据黑体的分类，人脑黑体与地质黑体均属于自然集合 N 中的子集，这里需要说明的是，不应把人脑黑体笼统地看作为主动黑体，如当人脑不接受外界信息或不处理、不加工外界信息时，它只保留被动黑体的性质，只是一个被动黑体。只有运动着的人脑才是主动黑体。所以，研究地质思维是讨论运动着的人脑黑体与地质黑体相互作用过程。

首先，我们讨论人脑黑体在对地质黑体作用时，地质黑体的作用和功能。

地质黑体在空间的存在是客观实在，它无论是否与其他黑体作用，但总是客观地每时每刻向外界辐射着信息，并且在其周围

空间形成了一个信息场。

接着我们讨论人脑黑体在对地质黑体作用时产生的效应是什么？根据前苏联神经心理学家鲁利亚等人对人脑的研究后所得的结论，认为脑可分为三个基本系统，特别是第二个机能系统位于大脑皮层后部，包括大脑皮层的视觉区（枕叶）、听觉区（颞叶）和一般感觉区（顶叶）以及相应的皮层下组织，主要功能是接受来自内外环境的各种刺激（信息），并对它们进行加工保存。所以，对于人脑黑体，它本身存在着一整套接受、加工、处理外来信息的系统。在人脑黑体与地质黑体作用时，人脑黑体进入地质黑体的信息场中时，来自地质黑体的辐射线不断地向人脑黑体作用，进入人脑黑体的信息通过接受器后即传入处理、加工系统中的意识核。人脑黑体中的意识核实际上是一个由人的知识、阅历、经验和判别水准构成的功能团。这种功能团因人、因事、因接受的信息的内容而异，一般变化过程是从隐核向显核发展，如果主司的功能阶段为隐核时，则表现为潜意识态，如果主司的功能阶段为显核时，则表现为显意识态。无论是潜意识核或显意识核，在它们核外都有一层呈现封闭状的空心球面包裹着，称之为意识包。隐核意识包面为软包界成，而显核的包面为硬包界面。但意识核的包界面的强度不是严格地区分为软、硬两种的，二者之间常常相互转换，并受某一限定的阈值变量所控制（不同的黑体对象其阈值不同）。同时，意识核的包域大小（直径的大小）也是一个复合变量，受多因素控制，主要受控于地质工作者的知识结构，心理素质等因素。

在人脑黑体与地质黑体相互作用时，如果接收到的信息主要是靠潜意识核作用时，人脑黑体首先表现为潜意识状态，这时的意识包界面为软包界面，即意识包的包界面不清晰。人脑黑体对地质黑体的作用可以解释为是意识核接收到经过加工、处理的外来信息后向外发射的过程，从意识发射出去的射线为复射线。复

射线除具有与被动黑体（地质黑体）地作用外，它还具有诱发和携带地质黑体新的信息功能，当携带的信息返回人脑黑体后，再次对意识核作用，作用的结果是意识核的能量增加。随着能量梯度的升高，当意识核能量增加到某一阈值时，隐核变成显核，软包界面变成硬包界面，而且其包域半径成为定值，其核的能量不再以射线形式向地质黑体进行作用，而是以射线束流的形式穿过硬包界向地质黑体作用，这时在人脑黑体与地质黑体之间出现意识束流场（实际上是地质黑体的信息场与意识束流场的混合），意识束流场的场强随着意识束流的强度变化而变化。这时，由于意识核的功能强度增加，人脑黑体的信息处理、加工系统进入了一种新的思维工作状态，同时在人脑黑体与地质黑体之间的意识束流场上，出现了与人脑黑体作用的第二种“物质”——思维模块，随着人脑与思维模块作用的发生，人脑便相应产生了不同的思维形式。

思维模块是人脑黑体与地质黑体相互作用的中介产物，是人脑对地质黑体作用后重构出来的一种与地质黑体有着本质联系的产物。从思维模块出现在意识束流场上后，人脑黑体与地质黑体的直接作用就结束了，转向与思维模块进行作用，而这种作用过程是在人脑的内视觉范围内进行的。

由于人脑在与被动黑体的反复作用中已经完全地把握了（这是带有主观因素的）黑体的本质，所以在人脑与思维模块作用时，就进入了一个自由的王国。人脑进入思维状态时，它可以能动地按照主观的意志去加工、处理、重构、变换思维模块的形象信息和符号信息；可以能动地按着自己的知识结构通过对思维模块的剖析去想象（形象思维）、推断（逻辑思维）地质黑体的本质（这种通过思维加工程序后所获得的关于地质黑体的本质信息与最初人脑黑体与被动黑体作用过程中所直接认识的被动黑体的材料并不完全同一，这其中参与了思维主体的活动建构的积极因

素)。最后，一旦逻辑思维的过程完全后，人脑就进入了理论思维阶段。在这个阶段中，人脑完全理性地把握和推论远远大于被作用的地质黑体时、空域内的地质物质和现象，并由此会产生一系列地质概念和新的地质理论的雏形。

这就是地质思维的整个过程。在这个过程中，人一直处于十分重要的地位，也正是这个地位的存在，产生了形形色色的地质理论和对地质黑体进行实践和预测的方法。

五、从主动黑体与被动黑体的作用 到思维产生的数学描述

“思维问题是一个黑箱问题”，人脑是自然集合 N 中最典型的黑体元素，思维的本质是人们对物质的黑体属性的思考，思维的过程也是建立在从主动黑体与被动黑体作用到结果之上的。

主动黑体与被动黑体的作用存在着一种称之为“迭代”的关系，下面我们用数学语言来描述这种“迭代”的过程，剖析一下思维的实质。

定义 1：设主动黑体元素为 A ，被动黑体元素为 B

$$\forall a \in A \text{ 则 } f(a) = \begin{cases} ba & ba \in B \\ 0 & ba \notin B \end{cases}$$

称 f 是 A 与 B 之间的一个映射。

在地质学中，我们可以把认识按照时间次序（这种次序可以是年代，也可以是重要程度的区分、优先次序等）或者思维空间排列起来，就可以定义映射的序。

定义 2：若 $a_1 > a_2$ ，有 $f(a_1) > f(a_2)$ 称映射为正序，否则称为反序。

在一个系统中，被动黑体元素 B 随时处于工作状态，每时每刻向外界发射着信息。如果对于主动黑体元素 A 中的一个信

息在 f 的作用下属于被动黑体元素 B ，注意到 B 的不间断性又影响 A ，这一过程是相互作用的不断深化，将这种不断深化的过程，可以看成是一个“迭代”过程，一般地来说

$$\pi_{(K+1)} = f(\pi_K)$$

其中： $(\pi_k) \in A$ ，且 $\pi_{(K+1)} \in A$ 。需要注意的是，这里的 f 已不是简单映射，而是具有反馈功能的映射，称 π_0 为初始迭代信息。

定义 3：设 π_0 是一个初始迭代元素，在 $\pi_{K+1} = f(\pi_k)$ 的作用下，诱发出新的信息，称 π_K 的迭代度为 t 。

迭代度反映了初始迭代元素活跃程度，一个元素的迭代度越多，反映出的信息也就越多，引起的思维过程也就越复杂。仅有迭代度是不够的，在思维过程中还须考虑贴近度 λ ，用 $\lambda \in (0, 1)$ 作为映射关系和同一性之比值作为贴近度的数量特征。

迭代度和贴度近都是反映地质思维过程的标志，但它们是不同的。只有在反映的信息揭示出事物本质的迭代度和贴近度时才是相辅相成的。

熟知，“反映同一相似律”是地质思维的基本规律，它从“反映同一”、“相似”两个方面比较准确地表示了地质思维的基本关系。如前所述，如果我们把思维过程理解为数学上的迭代过程，并假设 g_1 、 g_2 是两个不同的地质思维过程，如果 T_1 （在 g_1 下的贴近度）和 T_2 （在 g_2 下的贴近度） $\in (0, 1)$ 在允许误差范围 G 中， $|T_1 - T_2| < G$ ，称 g_1 、 g_2 是相似的，易见贴近度值越大，思维过程越准确，反之亦然。

唯物辩证法是普遍适用的思想方法，也是地质思维最基本的研究方法之一。特别是地质思维是一种非常复杂的心理活动，受诸多因素影响，所以我们用数学方法描述时，采用了逻辑推理和直观判断相结合的方法。

记 $KerA$ 为黑体 A 的核。

$KerA = \{ \text{构成黑体的主要成分} \}$

如果 $KerA$ 在外界干扰下始终保持不变，称 A 是独立的。
 如果一个黑体由 L 个独立黑体构成，就称 L 为黑体的秩，记为 $R_A = L$ 。

如果 $R_A = L$ 有

$$f(A) = f(\sum_{i=1}^L A_i) = \sum_{i=1}^L f(A_i)$$

主动黑体 A 与被动黑体 B 之间有时会呈现膨胀现象，使 B 随时处于工作状态，并向外界辐射着信息，在周围形成了一个信息场。当 A 不独立时，就会接收从 B 中辐射着的信息，这样反复作用的过程，必然会诱发 B 向外辐射的信息量的变化，我们称这种反复变化为黑体映射能量，记为 E_P ：

$$E_P, a \sum_{i=1}^L EB_{if}$$

E_{Bif} 为子被动黑体在 f 作用下的映射能量。

满足能量的条件是 B 首先向 A 作用。为了更好地分析地质思维过程，我们还需要下述定义：

如果迭代度 $t < 2$ 时，黑体 A 与 B 在 π_0 处作用，称 A 处于意识状态。

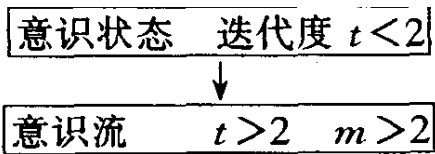
如果 $t > m$ ($m < 2$) 时，称黑体 A 与 B 之间的作用处于意识速流中。

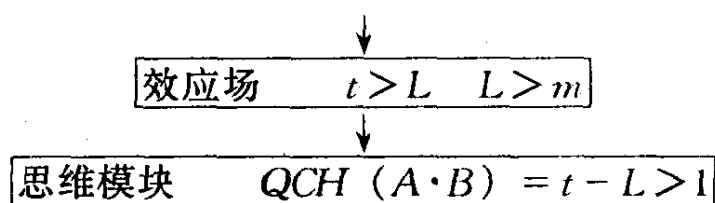
如果 $t > L$, $L > m$ 时，称黑体 A 与 B 之间形成效应场。

用 $CH(A \cdot B)$ 表示 A 、 B 之间的效应场， $QCH(A \cdot B)$ 表示 A 、 B 之间效应场强。

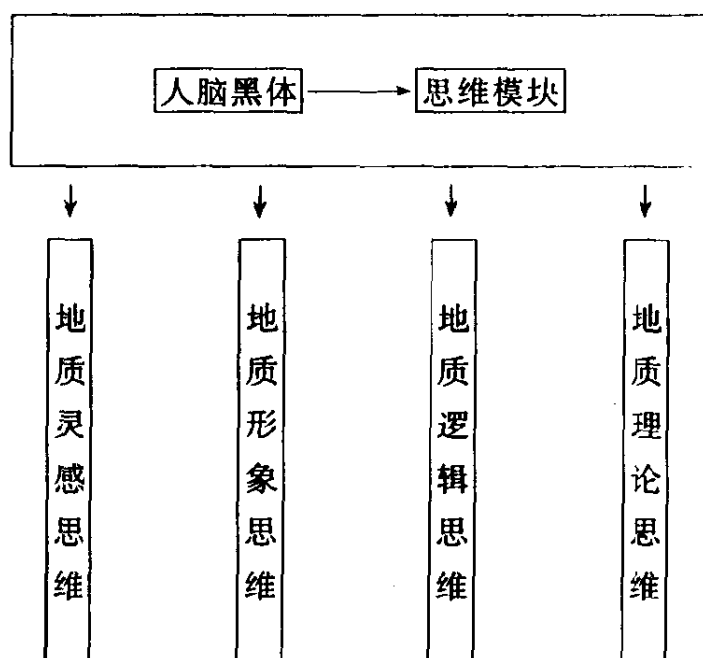
$$QCH(A \cdot B) = t - 1$$

如果 $QCH(A \cdot B) > 1$ ，就称 A 、 B 之间形成了中介物（思维模块）





思维模块出现后，黑体 A 便与黑体 B 之间的作用结束，转向与思维模块作用。如果对思维模块进行不同形式的作用时，所出现的思维结果则不同。



六、本章结语

在上述的论述中，我们可以明确地将地质思维过程分为两个阶段，即人脑与客观地质体的直接作用阶段、人脑与思维模块的作用阶段。第一阶段的思维活动常常是与地质野外实践伴随在一起的，第二阶段思维过程多是在一个比较安静的环境中进行的。

第一阶段地质思维的关键是思维模块与地质客体的本质同一和相似性问题。不同的思维主体虽然对于同一地质客体作用，所产生的思维模块是不同的。思维模块质量的差异不仅能够反映思

维主体的思维能力水准，而且还能够反映思维主体的地质意识强度。这些差异最终表现在所产生的地质理论的质量和不同的地质见解中。在地质学界，我们常常能够见到这样一种现象，许多地质工作者一生都兢兢业业地从事着地质工作，但其建树不大，只能称得上是一位野外地质学家，其原因之一就是产生不出高质量的思维模块。

第二阶段是人脑对思维模块的作用。人脑对思维模块的作用存在着一个用什么知识结构改造思维模块的问题。例如，李四光先生是用力学的理论（主要是材料力学）改造早已在他的大脑中形成的大地构造的模块，由此产生的是地质力学理论。

总之，地质思维模块的产生和改造是因人而异的，这里集中反映了一个人的地质思维品质。地质思维品质包括思维的广度、思维的深度、思维的独立性、思维的敏捷性、思维的逻辑性以及思维赖以展开的知识背景、方式、看问题的角度、层次等诸多方面。

第五章 地质形象思维

在前一章我们论述过，思维模块是脑黑体与地质黑体相互作用的产物，是人脑对地质黑体作用后重构出来的一种与地质黑体有着本质联系的产物。人脑与思维有模块作用时，便进入了思维状态，它可以能动地按照主观的意志去加工、处理、重构、变换思维模块的形象信息和符号信息。地质形象思维，就是人脑能动地按照自己的知识结构通过对思维模块的剖析去想像的过程。地质形象思维可以说是地质学中的艺术思维，它是以概象的形式对客观地质世界的理性思维，具有十分鲜明的特点。本章从讨论地质形象思维的特点入手，扼要阐述了它的规律性、逻辑性和语言问题。

关于地质思维的定义，我们曾做过商榷性的规定：“地质思维，是受人们地学意识所控制的一种科学性的思维活动，是人脑与地质体相互的过程中，对客观地质世界概括的、间接的反映”。地质形象思维作为地质思维的内容，同样制约在地质学意识的范畴内，从本质上说是人们以“概象”形式对客观地质世界的理性思维。

一、地质形象思维的特点

恩格斯说：“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。”^{〔1〕}波普尔也说过：“知识是客观的，但本质上是猜测性的。”地质学作为一门研究地球演化历史和地质运动规律的科学，这两

点决定了地质知识的猜测性和思维性。对于历史，特别是地质历史的研究，地质形象思维必然是最有效的方法之一。

究其地质学发展的轨迹和现状，我们应当坦率地承认地质学在自然科学中仍是一门“年轻的科学”，甚至可以说是一门以“想象”为主要研究方法的学问。纵观地质学的历史，从前科学时期人类的地球观和宇宙理论到科学时期的地球成因说和化石、矿物变异论，甚至到今天的板块理论以及具体到像秦岭构造带中商丹断裂区域的讨论，无不渗透着地质形象思维。但是，前科学时期的地质形象思维，如古人对天体成因拟人化的想象，虽然十分具体和鲜明，但它是思维理性上的混沌，与科学时期的地质形象思维相比较，是不同质的。

按照传统的观点，形象思维是作为文学理论中的艺术思维来研究的，普遍认为形象思维是以表象为思维材料，在整个思维过程中都不脱离形象，始终具有具体可感性，是以“形象”作为细胞构成的思维。那么，地质形象思维是否具有特殊性，是否也是以表象为思维材料，以“形象”作为细胞的思维呢？关于这一问题我们作以阐释。

（一）地质形象思维的思维材料

确切地说，人脑与客观地质世界相互作用时，作用的对象是出现在地质意识流上的中介物，这些中介物已不是客观的地质实在，而是几经变换、选择、建构过了的关于客体的对象的信息。

地质形象思维的思维材料，则是这些中介物的形态信息和形象信息。当这些信息作为思维材料时，地质思维过程则表现为地质形象思维。

关于地质形象思维的例证，在古今浩瀚的地质著作中俯拾皆是，摘抄几段作以示例，以说明这一点。

阿尔卑斯造山运动是非洲地块向北漂移的效应，如果我们在

横截面上把黑森林和非洲之间的阿尔卑斯褶皱和逆掩重新展平，到今天的 1800 公里的间隔，就会成为原有的约 3000~3500 公里距离，也就是说阿尔卑斯地带——阿尔卑斯是从广义上说的——挤压了约 1500 千米。这样我们就看到非洲地块真正做了大幅度的移动。

阿·魏格纳《大陆和海洋的形成》第 126 页

依据他们的假说，白垩纪期间的北极盆地曾是一个巨大的淡水湖，被一个陆地壁障与世界上的大洋分开。白垩纪末期，一次大地震破坏了这个壁障，湖水大量涌入海洋，使表层水的盐度下降。大量的淡水导致了菊石之类的软体动物，以及浮游动物和软体动物的灭绝。

许靖华《祸从天降——恐龙绝灭之谜》第 137 页

在水面上往往由于波浪的自相干扰以及波峰上的水暂时顺坡下流，发生大波浪套小波浪的复杂现象。地壳波浪也有类似的结合。有些挠曲断块在地面上形成了特别巨大的规模不同的石化波浪。这些轩然大波还不免套着次一级的波浪，由此类推，在有些地带可以看到很多级的、级级相套的情况。就规模来说，巨大波浪的波长可以达几千公里，它们的幅度可以到几万米，小的波浪的波长和幅度可以小到几米或更小。

张伯声《张伯声地质文集》第 104 页

上述文字是三位作者运用地质形象思维对不同的“地质现象”所作的叙述，从这些叙述中，我们可以明显地看到作者使用的思维材料已不是现实中的客观地质信息了，叙述中的地质景观完全是作者脑海中对客观现象经过中介的即几经变换、选择、建构过了的关于客体对象的信息。

（二）地质形象思维的细胞

关于这一问题，我们仍以对具体事例的分析来作以说明。

如果说，燕山期秦岭构造运动以大的收缩性逆冲断裂和推覆构造为主要特征，而这一特征可能与显生宙早期以来的秦岭区中地质背景和动力学机制有关，有一定继承性的发展，使华北地块与扬子地块还在继续收缩挤压，并导致东秦岭形成独特构造，那么秦岭这种表现的平移运动就可能与中生代时期太平洋、印度洋两大板块活动直接有关。

张国伟《秦岭造山带的形成及演化》第 13 页

这段文字，作者开首使用了“如果说”，把我们的思维带到了大约 1 亿年前的燕山运动期，巍峨的秦岭仿佛活化起来——秦岭构造带以大的收缩性逆冲断裂和推覆运动着……。为了进一步探索构造运动的动因，作者再次驾起形象思维的神翼，遥想太平洋、印度洋两大板块的活动牵动了华北地块与扬子地块不断地相向收缩而发生挤压，导致了东秦岭的横空出世。甚至包括推断，作者仍运用着形象思维：“而这一特征可有与显生宙以来的秦岭区深部地质背景和动力学机制有关，有一定继承性的发展”。

在作者编织的这幅画卷中，我们能够清楚地分辨出作者的想象首先是从假设出发的，运动的过程是推定的，构成画面的要素（思维的细胞）主要是地质概念和与之相关的形象，这些概念的内涵和外延多是不清晰的模糊地质概念，它们的模糊性来自客观地质现象的模糊性。那么，构成地质形象思维的细胞应该是模糊地质概念和形象二者结合的产物——概象。

概象的实质是人脑中的地质形象具体与模糊地质概念的结合。模糊地质概念是地质形态信息的理性升华，概象已经不是个别认识对象的直观反映，而是诸多同为认识对象共同本质特征的形象反映，或者是不同类认识对象不同特征的硬性组合的形象反

映。因此，从地质形象思维的实质着，概象已不属于“感性的具体”，而属于“思维中的具体”了。这是地质学的特殊性决定的，因为在人们认识地质现象的实践中，面对抽象的研究对象，需要借助于形象思维使这些抽象的地质实物活化，最终通过地质形象思维来比较容易地把握研究对象的本质。

二、地质形象思维的规律

本质问题即规律问题。“规律是本质的关系”^{〔3〕}，地质形象思维的规律应从思维的过程来讨论。

在地质形象思维过程中，思维主体对思维客体的作用分为象化、建构、动态、识别、组合的过程。这些过程都是在思维主体地质意识的控制下有目的地向思维客体本质的趋进。趋进中，思维过程始终遵循形一质统一律。

形一质统一律，是指在地质形象思维中，思维主体所应用的形象，始终要与思维客体的质保持统一。例如，张国伟文中的地质活动图景虽然是他脑海中的中介信息经过重新的分解、组合和科学艺术加工后的秦岭构造带，但它的原形必然是现实中的秦岭，因为不论地质形象思维中的图形怎样地发生变化，都须始终与现实保持质的统一，地质形象思维的细胞——概象，也是形一质的统一。

时空结合律。物质、运动、空间和时间是一个相互规定着的四位一体，是客观实在最本质的方面和自然存在的深刻的本源和根据。从这个意义上讲，地质形象思维的性质决定于思维的时空域。因为思维中的画面都是在一定的时空域中活动的，也就是说，在地质形象思维过程中，形象的感觉，概象的建构、储存、识别、创造和描述总是在一定的时间和空间中进行的。时间和空间二者总是结合在一道，不可分离。

地质学的研究，实际上是地质学家的运用现代时、空域中的地质参量构成的坐标系与地质历史时、空域中的地质参量构成的坐标系进行着不同形式的坐标变换和参量对比。地质形象思维则属于这类坐标中的一种艺术方法。变换中概象的时空域，仍遵循的是时空结合律。

地质形象思维的时间域为过去时态的时间域，空间域为三维空间域，形象思维主体的构图也是在特定的时空域中进行的。这些构图和形象都是客观地质现象及地质运动规律在人脑中的反映，又是客观时空结合律的体现。

地质形象思维的第三条基本规律是静态活化率。这条规律内容是：在思维的过程中，将中介物静态形象进行活化是地质形象思维的初始条件。因为地质形象思维是以想象的形式对地质世界的思维，整个思维运动都离不开画面，而这些画面的活动必须是动态的，否则思维就无法进行。画面的活化是将中介物的第一形态（静态）转变为第二形态（动态），并要求思维主体不仅能够活动、重组、合成、推演动态的画面，而且要求在这些画面中能够看见第一状态过去的痕迹和第二状态出生的影子。由第一状态到第二状态的转变，即是由无生命而至有生命，由静止而运动起来的过程，独立分割的地质形象被集中起来，纷沓而至、幻化而出。科学的想象与客观的地质现实相交融，构成了别具一格的地质意境，这些全仰仗静态活功夫和地质学家观察外在物质本质的慧眼以及思维艺术的能力。

整体同向律。地质形象思维是对概象有意识、有指向地选择和重新排列组合的加工处理过程。在这个过程中，思维主体必须保持思维内容的连续性和整体性，始终保持各个环节指向的同向性。这是因为客观事物的形象总是有其整体性的，虽然现存的地质现象可能因时空的变化表现出不完整性，但对于思维，特别是思维主体，必须把握思维过程中全景的变化，因为任何残缺难一

构成的整体的形，更难构成完整情节的活动过程，正如美国数学家斯蒂恩说的，如果一个特定的问题可以被转化为一个图形，那么思想就整体地把握了问题，并且能够创造性地思索问题的解法。

同向性是指在思维过程中的各个环节必须与思维目的保持同向，不得游离，以保证思维运动向纵深发展。地质形象思维的发展不是简单的表象横向浮动，而是复杂的纵向上升，从一开始便进入了有意识、有指向地对有关概象进行选择 and 重新排列组合的运动过程，这是一个从具体表象思维到抽象概象思想的升迁过程。首先是思维的各个信息要素环节以具体的曾经感知过的个体物的表象的形式再现出来，在这个链条的终端产生概象。这个概象在它产生的同时也可以被识辨、记忆，当这类可识辨、记忆的概象积累多了，便会形成基于概象之上的思维过程，概象思维已经是抽象化的思维过程了，运动终结时即能形成有新质的渗透着理性内容的新结果。这是在原有概象基础上，经同上思维主体按照一定的客观规律对其有意识有指向地加工处理的结果，因而尽管仍以概象形式出现，但是这个具体可感知的外貌不是包含着思维主体地质意识的、渗透了理性内容的和切入了客观地质现实本质的。

三、地质形象思维的逻辑性

前面反复提到，地质形象思维是概象形式的思维，概象是地质形象信息与形态信息的组合，二者虽然是地质现实的中介物的映象信息，但本质上都是客观地质现象的反映。地质形象思维的逻辑与客观现实中的地质逻辑的性质有着密切的关系。但是，客观现实中的逻辑性，是物质形态方面的东西，而地质形象思维的具体是“思维中的具体”，而不是“客观现实中的具体”。地质形

象思维的逻辑性，是地质意识形态方面的东西，是思维主体依靠自然躯体和意识发生的物质力量，借助自身的知识结构和思维能力形象地（实际上是观念地）把握思维客体本质的逻辑。例如张伯声文中的“在水面上往往由于波浪的自相干扰以及波峰上的水暂时顺坡下流，发生大波浪套小波浪的现象”，完全是反映了自然界中水波运动的逻辑，他由水波运动联想到了“地壳波浪也有类似的结合。有些挠曲或断块在地面上形成了特别巨大的规模壮阔的石化波浪”。并对想象中的石化波浪运动逻辑进行了描述：“这些轩然大还不免套着次一级的波浪，次一级的波浪又套着更次一级的波浪，由此类推，在有些地带可以看到很多组的、级级相套的情况”。他的想象。无疑是从客观的地质现实出发的，但思维运用的地质概象，即石化波壳，完全是一个模糊的、具有形象性质的地质概念，他所反映的石化波浪运动的规律，虽然离不开客观现实，但从逻辑性质上来看，却只能是地意识形态方面的东西。在地质学中，之所以把具有想象性和体系性的学术观点称作XX说，说者，思想，思维之精华也，就是这个道理。可见，客观现实的逻辑性和地质形象思维的逻辑性，在性质方面是有根本区别。其次，虽然客观现实的逻辑性和地质形象思维的逻辑性，从表象上看都是通过形象来显示，但是二者的形象是不同的，显示客观现实的逻辑性的形象，是现实本来的面貌和现象，而显示形象思维的逻辑性的形象，则是主体在形象思维过程中创造的形象。在自然界中，水波是动态水的形象，显示了水动态变化的逻辑，是动态水的处在形态。而石化波浪，是思维主体对地壳运动变化这一地质形象的思维逻辑，是张伯声在地质形象思维中创造出来的形象。

意识是存在的反映。作为地质意识的地质形象思维的逻辑性，总是作为存在的客观现实的逻辑性的反映。虽然显示地质形象思维的逻辑性的形象是思维主体在地质形象思维中创造的，虽

然地质形象思维的逻辑性和客观现实的逻辑性在外形上并不完全相同，但是，地质形象思维的逻辑性总是以客观现实的逻辑性为依据，总是客观现实的逻辑性的反映。

地质形象思维过程毕竟是以地质概象的形式向客观地质现实的逼近，逼近过程所遵循的逻辑和概象的逻辑相同，均属于模糊逻辑。逼近是一种运动的认识方式，概象是客观地质信息间接的、概括的反映，遵循的是自然界中的地质逻辑。地质逻辑，是自然界地质物质运动和变化规律的反映，同属于模糊逻辑的范畴。

地质形象思维具有两方面的特征，一是直觉与严格性的有机结合，可以进行整体性、平行性的思考，因而必须是模糊的；一是推理过程具有逻辑的顺序的特点，因而必须是形式化的。所以模糊逻辑较准确地反映这两个基本特征。

逻辑是反映自然界具有模糊属性的物质运动变化规律的逻辑，也是在传统的二值逻辑之间用连续小数的方式（不包括 0 和 1）反映人的认识过程的一种逻辑。例如，地质形象思维中使用的大量的概象，本身没有清晰的内涵和外延，地质形象思维的过程是用概象的形式向客观地质现实的逼近，逼近过程是一个极限趋进的过程，所以二值逻辑对它们失去了意义。

思维主体对思维客体质的逼近可以用模糊逻辑中的隶属度来描述，即用 0 和 1 之间的开区间小数反映地质形象思维的结果，但需要说明的是，地质形象思维的结果的隶属度永远不可能达到 1，这是由概象的属性和地质形象思维的性质所决定的。

四、地质形象思维的语言

从本质上讲，语言是思维的工具。地质形象思维的语言是地质画面语言和地质形象语言，地质形象语言是地质画面语言的文

字化描述。地质画面语言属于思维主体的内视觉语言，是思维主体对科学地质历史画卷的艺术再现和艺术心理感受。

内视觉中的地质画面是三维空间中以生动的主体形式表现的，空间域是无限的，时间域是连续多值流动的，中间可以跳跃。这与地质理论思维过程中的画面不同，地质理论思维的画面是以二维空间的颊形式具体表示的，时空域是限定的。二者图画活动的性质也不同，并者是动态的连续，后者是静态的瞬时稳定；前者表示的是某一地质环境变化的过程，后者表示的是地质历史轨迹上的一个点。

地质画面语言的内容包括：绘画造形语言、构图语言、时空语言、情节语言、逻辑真值语言和地质价语言。

绘画造形语言：在地质形象思维过程中，思维主体遵照明确的目的性，以客观的地质现实为模特，在一定的制约条件下，根据思维性质和思维过程的要求构筑的艺术造型，如张国伟的燕山期的秦岭造山带，张伯声的石化的波浪，魏格纳的非洲地块和许靖华的白垩纪北极盆地等。

构图语言：是指在特定的空间内，按照地质运动的规律安排和处理地质造形的关系和位置，把局部的形象组成整体活动的艺术。目的是要求画面能够明确地表达思维主体的思想。

时空语言：地质形象思维的空间是思维主体的内视觉三维空间，时间域是连续流动的（允许有间断点），时态和方向允许跳跃和反向，时间流动的方向决定着思维发展的方向。

情节语言：情节语言是地质画面语言的灵魂，是指构图沿着时间变化的方向连续地按照思维主体的意图，遵循一定的地质规律和思维逻辑规律的运动变化语言。它的特征是要要求情节变化具有生动性和科学性。

逻辑真值语言：逻辑真值语言是反映地质形象思维过程中的合成、识别、推演内在关系逻辑语言，它属模糊语言范畴。

地质价语言：是定量或定性地对地质形象思维的分段性结果和最终结果的地质价值的评价语言。其中还包括对目的同一性，过程的完整性、情节的科学性、思维的艺术性等进行综合评判。

总之，我们认为地质形象思维是以中介物的形态信息和形象信息为思维材料，以地质概象为思维细胞的理性艺术思维，其规律和逻辑性以及语言都有突出的特点，在地质学研究中具有十分重要的作用。

但目前对地质形象思维的认识还是十分肤浅的，有些工作还有待于深入，特别是形象思维与地质学的关系，综合问题、生动性和运动规律以及思维方法艺术，我们将地做进一步的研究。

第六章 地质学中的创造性思维

在地质学思维中，创造性思维是为人脑黑体与思维模块的作用中，超越常规的带有创造性的思维方式。这种思维方式多表现在地质显意识状态中，它是地质思维过程中的异峰凸起，是思维主体突破了传统的思维定势所进行的一种前所未有的思维尝试。因此，在本章我们想就创造性思维的含义、它的表现形态及地质学中创造性思维必备的品质等问题作如下讨论。

一、什么是创造性思维

综合前人^[1~3]对创造性思维的定义，我们认为，所谓创造性思维就是认识主体以前所未有的、富有创见的方式把握事物的本质和属性、事物间联系的思维活动。创造性思维是与常规性思维或再生性思维相对峙的。常规性思维是指主体重用过去在类似情况中所用过的办法解决问题的思维活动。美国心理学家科勒斯沓涅克认为，创造性思维就是指发明或发现一种新方式用以处理某件事情或者表达某种事物的思维活动。克雷奇等人在《心理学纲要》中写道，“我们在日常环境中遇到的问题，大多只需要重复以往类似的情况下进行的思维。这种“再生性思维”似乎大都可以用学习、记忆、迁移等过程来解释，而创造性思维或创见性解决问题，它要求提出新的和发明性的解决办法。

一种普遍的意见认为，创造性思维应有狭义和广义之分。所谓狭义的创造性思维是指在认识史上第一次产生的、前所未有

的、具有一定科学意义和社会价值的思维活动。诸如发明技术、提出假说、创建新理论等。而广义的创造性思维是指，凡是有效方法可供直接利用的，不存在确定规则可供遵循的一切思维活动。显然狭义的创造性思维主要是指主体的在探索未知领域的思维活动中概念图式、理论框架的转变，而广义的创造性思维则包括了日常思维中视觉的转变、花样的翻新，诸如烹饪师的小窍门、园艺师的别出心裁等等。

显然，自然科学所讨论的主要是这种狭义的创造性思维，本文以下也均在此意义上使用这一概念。

科学中的创造性思维并非一个短暂的思维行为，而是表现为一个过程。英国心理学家沃勒斯在他的《思考的艺术》（1926年）一书中提出，任何创造过程一般都可经历四个阶段：1）创造的准备期。它发现问题、收集资料，并从前人的经验中获取知识和得到启示；2）创造的酝酿期，这一阶段主要是冥思苦想，其中包括利用传统的知识和手法对问题作各种试探性的解决；3）创造的明朗期，在上阶段酝酿成熟的基础上，突然出现灵感产生顿悟，新思想脱颖而出；4）创造的验证期，即对灵感突发等得到的初具轮廓的新思想进行验证。从这一划分中可以看出，第三阶段对于整个创造过程具有关键性意义，它表现为跳跃的形式冲破旧理论、旧观念的束缚达到认识的质变。但这一阶段绝无孤立存在的资格，从创造的准备、酝酿到创造的验证，都不能脱离严密的逻辑思维。从这里我们可初步看到创造性思维是非逻辑思维与逻辑思维的统一。

在讨论创造性思维的含义时需要注意的一个问题是马克思主义哲学关于人类意识创造性的规定。列宁说“人的意识不仅反映客观世界，而且创造世界”^{〔4〕}。马克思主义哲学认为，人的认识过程，不是主观对客观简单、直接的摹写，而是一个能动的运用现有图式对外部刺激的吸收、改造和整合过程，是一个不断调节

主体认识图式的过程^[5]。在这个意义上，马克思主义哲学把意识的创造性、能动性当作人类意识的本质规定。当涉及意识创造性的表现时，一般强调如下四个方面：1) 目的性和计划性；2) 抽象性和具体性（思维能够抽象事物的本质，又能把抽象的理论与具体形象相结合）；3) 预见性和超前性；4) 独创性和开拓性。

从以上可以看出，马克思主义哲学认识论中所讲的意识（Conscious）的创造性是一个十分宽泛的规定，它既包含了主体认识图式的转变，又包含了对固有图式的运用。与意识创造性相对峙的是意识的“摹写”和“反映”功能。其表现形式远不止创造性思维所强调的“创造性”或“开拓性”；而思维科学所着重的是主体在问题境遇中思维（thinking）的创造过程和表现方式。它主要关心的是思维图式的转变，与“创造性思维”相对峙的是“常规性思维”。

二、创造性思维的表现形态

创造性思维有两种基本的表现形态，即非逻辑的和逻辑的创造性思维方式。

（一）非逻辑的创造性思维方式

以非逻辑思维为主的创造性思维方式，主要表现有形象思维与直觉思维方式。

1. 形象思维

所谓形象思维就是在形象地反映客体的具体形状或姿态的感情认识基础上，通过形象联想、形象想象、形象组合等方式来揭示对象本质及规律的理性思维方式。对于地质学，由于它的普遍性特点，形象思维便成为其思维创造的重要形式。

形象思维与逻辑思维的区别首先在于，逻辑思维的细胞是抽象的概念，而形象思维的原材料和产品都是形象^[6]。只不过这

种形象（image）不同于感性认识阶段中的印象（impression）和表象（idea）这样一些“内心图画”。它舍弃了印象、表象中与对象本质无关的个性特征，集中反映了对对象的共性，常常伴随着关于对象的模糊概念，可以称之为“现象”^[7]或“意象”^[8]。这种概象或意象已不属于“感性的具体”，而是“思维中的具体”了。

创造性思维常以形象为基本材料进行联想、想象和组合。所谓形象联想，即由一形象唤起另一形象，通过形象类比来揭示事物之间的差别、相似或接近。形象联想的特点在于不给出对象抽象规定的前提下，笼统地猜测出事物的本质或相互联系。地质学中许多基本概念都是形象联想的产物，如沟、弧、盆、槽、台、板块、洋中脊、牛轭湖、棋盘格式构造……这些理论名词与其说是概念不如说是概象。地质学中许多理论模式更是得益于形象联想。达尔文曾将生物器官、生态环境、生物进化、生存斗争分别比作精巧机器、岸边丛树、不规则的生命之树、战争等，整部《物种起源》实际上是一个巨大的形象比喻系统^[9]。李四光的“大陆军阀说”及“拧毛巾”式成油理论、张伯声的“天平式地块摆动”模式及“地壳波浪”、黄汲清的“手风琴式”构造开合等等无一不是形象联想的产物。

应能看出，创造性思维中的形象联想不同于日常意义上的联想，它不是在同一种或相近种的对象中寻找联系，而是有较大的类的跨度。

所谓想象，就是以目不能及的事物的形象、状态、相互关系的设想或思维创造，使思维突破一定的时空和条件限制，获得对事物深刻本质的猜测。想象是创造性思维中最重要的方式。爱因斯坦说，对于承担创造性劳动的理论家，“不应当吹毛求疵地说他是“异想天开”，相反，应当允许他有权去自由发挥他的幻想，因为除此以外就没有别的道路可以达到目的”^[10]。在地质学领

域，由于地质客体在空间上的巨大性、时间上的漫长性、演化过程的缓慢性及深部地质温压条件的不可模拟性等，要把握对象的相互作用及运动过程就尤其需要想象。现代地质学中，从大陆漂移到地球脉动，从洋脊扩张到地幔对流，从推覆构造到韧性剪切，从岩浆起源到各种成矿作用……若非借助于想象力，几乎任何一种地质学理论都难以提出。莱伊尔在他的《地质学原理》中说：“我们虽然仅仅是地球表面上的过客，并且束缚在有限的空间，所经过的时间也很短促，然而人类的思想，非但可以推测到人类目前所不能看到的世界，而且也可以追溯到人类肇始以前无限时期内所发生的事故，并且对深海的秘密或地球的内部，都可以洞察无遗；我们和诗人所描写的创造宇宙的神灵，同样自由，——在所有的陆地上，所有的海洋里和高空中漫游”^{〔11〕}。这或许是莱伊尔对想象在地质学创造性思维中的意义的绝好说明。

所谓形象组合，就是把诸种相关的形象按一种前所未有的方式拼合到一起，从而实现对事物内在联系的揭示。爱因斯坦对形象组合曾予以高度评价，他说：“组合作用似乎是创造性思维的本质特征”。“一个为了更经济地满足人类的需要而找出已知装备的新的组合的人就是发明家”^{〔12〕}。形象组合在地质学发展中发挥着重要作用。现代中国大地构造五大学派的构造理论实际上是中国宏观地质客体的五种不同形象组合模式。

由于地质体的缺失、叠加、错动、倒转等现象的普遍存在。对地质客体形象的分割、拼接、翻转、置换等思维操作功夫就尤为重要；由于地球物质系统为复杂巨系统，常常存在一因多果、一果多因、综合因果等复杂现象，且人们只能看到结果而不能见到地质过程本身。因而把不同的可能的“因”或“果”组合在一起就成为地质学探索活动的重要内容。

2. 直觉思维

所谓直觉思维是以以往的知识经验为基础，从整体上跳跃

地、直接而迅速地把握事物本质的思维方式。它常常伴随着称为“灵感”的特殊心理体验和心理过程^[13~14]。它不是通过逻辑推理，按照逻辑程式进行推理，也不是借助于具体形象的思维、逻辑推理是循序渐进的、阶梯式的，形象思维始终伴随着形象，而直觉思维是根据个别现象，瞬间内作出对事物本质的判断和抽象。它缺乏明显的中间过程，表现出很大的跳跃性。

爱因斯坦认为，物理学家的使命就是要发现那些普遍的基本定律，但物理学家“要通向这些定律，并没有逻辑的道路，只有通过那种对经验的共鸣的理解为依据的直觉，才能得到这些定律”^[15]。福克说：“伟大的，以及不伟大的发现，都不是按逻辑的法则发现的，而都是由猜测得来的，换句话说，大都是凭创造性的直觉得来”^[16]。试想，如果科学发现有逻辑规则可循，那么，艰苦的探索活动就成为多余，科学家只需学习“发现的逻辑”就了事。显然这不是现实的。

人们常以魏格纳（1910）在病床上从大西洋岸地形的相似顿悟出“大陆漂移”为直觉思维的典型例证。其实此类例子在地质学史中是很多的。在魏格纳之先的徐士（1885）从伊朗—喜马拉雅山与一系列东亚弧型构造猜测到了欧亚大陆对印—非板块的整体性运动；50年代初我国地质学家李四光、黄汲清等根据有限资料作出关于我国东部油藏远景的预言；我国现代地质学家马宗晋从牙刷套管破裂的“折扇骨子”状裂纹顿然领悟到羽扇状节理产生的力学机理^[17]等。

需要指出，非逻辑性、跳跃性仅仅是创造性思维成熟阶段（沃勒斯所说的明朗期）的表现形式。如果片面地认为直觉思维完全可以脱离逻辑思维和常规性思维则大谬不然。从如下两个方面的意义上来讲直觉离不开逻辑。一是直觉的产生必然以思维主体长期学习、积累、艰苦思考（相当于沃勒斯所说的准备期和酝酿期）为基础。主体通过常规思维和逻辑方法对事物内在联系的

种种可能的方式进行艰苦的搜索、筛选，突破了显意识和潜意识活动的种种限制，一旦某些现象或内心图画闪现，便能实现某种突然性的沟通。以马宗晋对羽扇节理形成机理的顿悟为例，60年代初，马宗晋对节理的思考几乎达到了入迷的地步。在野外，对于一个断面、一块岩石露头，他都要测量、描述上百条节理，常常带着干粮一干就是一天。回到市区，马路路面上、地铁车站和机场候机厅的大理石贴面上、百货大楼墙壁上，未名湖畔、万寿山的太湖石上、厕所瓷砖上……所到之处，凡能见到节理的地方，他都要琢磨一番。除此，他还用钉子砸玻璃、砸塑料牙刷套管，观察其破裂花纹……突然，灵感出现了！试想，若非一个地质学大家长期学习理论、专注地思考专业问题，在一个新遇的地质现象面前他岂能比一个门外汉“看”出更多的东西？说直觉离不开逻辑的第二个理由是说直觉所得出的判断要运用逻辑方法进行检验、加工、制作。否则，人们就无法判断真伪，也无法从科学假说走向科学理论。科学也就只能是诉诸于约定和信仰的东西。关于大陆漂移的猜想提出以后，魏格纳便开始从构造、古生物、冰川、古气候等各个方面搜寻证据，以求得他的猜想在逻辑上的自恰性。

由此看来，创造性的直觉，虽以非逻辑方式为主，但又必须以逻辑思维为基础，直觉可以说是逻辑思维与非逻辑思维结合的产物。

（二）逻辑思维的创造性思维方式

人们往往忽视逻辑思维在创造性思维中的重要作用，甚至将二者对立起来，这其实是片面的。形式逻辑思维不仅在创造性思维中具有基础性的作用，而且它本身就可以直接产生创造性的成果。而辩证逻辑更可以说是创造性思维的重要方式。

1、形式逻辑思维

演绎推理，虽然前提与结论之间有蕴涵关系，但是演绎外推

完全可以进入尚未为人考察的未知领域。当地质学用一种新的理论（包括新的地质学理论和其他基础学科理论）对特定未知地质客体（如岩体、矿体等）或地质现象（如地震、滑坡、泥石流等）进行预测和解释时，往往导致重大地质发现，这无疑是以演绎方法为主的研究过程。

归纳推理的结论往往超出前提的范围，更可以说是由已知进入未知的方法。尤其是直觉归纳，可以就是创造性思维的重要形式（它本身既具有归纳推理的特点，又具有直觉思维的特点）。多数地质学理论都源于对有限区域研究。从水成论、火成论到槽台说、活化说，从花岗岩同源岩浆序列理论到岩浆岩区多次变形叠加理论……无不如此。地质学家多是这种“见到两只天鹅是白的，便说一切天鹅是白的”的人。

类比推理的结论也不具有逻辑的必然性，它能为思维创造提供广阔的天地。非逻辑思维中的形象联想是类比的一个重要方面，在此基础上关于对象的结构、功能、属性、运动机理等方面的类比则显然超出形象联想的范围。关于理论的原则、形式、方法、内容等方面的类比更应属于逻辑推理的范畴。地质学家常常把一个未知的地质客体（构造单元、地层、岩体、矿体等）同一个或多个已知的客体从剖面结构、建造类型、岩石组合、地球化学、构造演化等诸多方面进行详细比较，从而获得关于未知对象的深刻认识或重要预言。除此之外，地质学家还常常对两种不同的理论、概念、数学模型等进行类比研究，如把板块理论与传统槽台理论，把波浪镶嵌理论与板块理论进行对比；把地下水动力学中的水头（ h ）方程与电学中的电势（ u ）方程进行对比，以获得正确选择和重要启示。汤川秀树说：“类比是一种创造性思维方式……假定存在一个人所不能理解的某物，他偶尔注意到这一某物与他熟知的某一他物的相似性。他通过将两者比较就可以理解他在此刻尚不能理解的某物。如果他的理解是恰当的而且还没有

人达到这样的理解，那么，他就可以说他的思维确实是创造性的”^{〔18〕}。

2. 辩证逻辑思维

辩证逻辑思维又可称为矛盾思维，可以将之概括为在同一中把握对立或在对立中把握同一。任何客观事物都存在既相同一又相对立的两个方面，同时注意研究事物两个相互联系的矛盾方面对于科学发现具有积极的意义。列宁说：“可以把辩证法简单地确定为关于对立面的统一的学说，这样就抓住了辩证法的核心”^{〔19〕}。黑格尔说：“理性矛盾的真正意义，在于认识一切现实之物都包含有相反的规定于自身。因此认识甚或把握一个对象，正在于意识到这个对象作为相反的规定之具体的统一”^{〔20〕}。

玻尔曾提出过著名的“互补原理”。他说，“互补”一词的意义是，一些经典概念的任何明确应用，得排除另一些经典概念的同时应用。而这另一些概念在另一种条件下却是阐明此现象所同样不可缺少的^{〔21〕}。玻尔互补原理的含义是，在微观领域，对对象的因果性描述和时空描述是互斥的。因而必须使用两组相互排斥、不能相互归结，但又互相补充的经典物理概念。只有在它们的这种相互补充中，才能提供关于微观客体的完整描述。中国古代的阴阳互补思想曾使玻尔感到震惊，他以中国的太极图作为族徽的图案，并加上“对立即互补”的铭文，足见“对立统一”模式在玻尔科学思维中的地位。

爱因斯坦被美国精神病学和行为科学教授卢林堡称为“两面神思维”者（两面神是古罗马的门神，有两付面孔，能同时兼顾两个相反的视向）。他说：“爱因斯坦一生的思维似乎大多是关于对立面的问题……使他的一些不完整的思想获得物理根据，并结合成为有意义的表述的创造性跃进的关键，就是对立面同时起作用的这样一种特殊概念”^{〔22〕}。

毫不例外，矛盾思维是地质学理论创造和观念更新的重要形

式。地质学史中许多重大理论的失误之处往往在于极端化，如水成论、灾变论、固定论、单一论缩说、单一膨胀说、垂直运动主因论、水平运动主因论……面对这些学说的拯救往往是对这些极端观点的反叛或对两种极端观点的揉合。如火成论、渐变论、渐变—激变论、间断—平衡论、大陆漂移说、脉动说……相互矛盾的理论的排斥、渗透、借鉴、转化，编织出一幅斑驳陆离的地质学历史长卷。从更广泛的意义上看，日常地质研究也离不开辩证思维。往往需要人们从正面现象看到反面现象、从正面概念联系到反面概念，如从进化中看出退化、从分化中看出反分化、从固相想到液相、从刚性脆断想到韧性流变……矛盾着的两个方面，正像地质学当中的共轭性断裂，如影随形，相伴而生，我们不防把这种矛盾思维方法称作“共轭思维”。

三、创造性地质思维的品质

创造性思维不仅是个方法问题，而且是个品质问题，所谓创造性思维的品质，即创造性思维主体必备的品格和素养。地质学的创造性思维品质可以归纳为如下六个方面。

（一）专一

即在较长的时间内保持研究目标的相对确定。惟此才能积累丰富的知识和资料，才能从纷繁的经验材料中看清对象的各个方面和层面，才能不断发现问题和熟练地解决问题。在地质学中，许多重大发现都是地质学家对某一地区或某一问题长期地、不厌其烦地进行研究的结果。如波浪镶嵌学说就源于张伯声对秦岭的长期研究。同样，地洼学说的创始人陈国达得益于华南地质研究……人们对欧洲阿尔卑斯山和美国阿帕拉契亚山研究了一百多年，新的发现并不因的研究而枯竭。相反，从槽—台学说今天的推覆理论、韧性剪切、薄皮构造、拆离构造、薄皮板块、A型

俯冲等理论在这里层出不穷。

显然，当今“知识爆炸”之说纯系危言耸听，任何能几十年如一日专心于科学一隅的人绝不会一无所得。

（二）猎奇

不受专业界线限制，对各种知识抱以兴趣，从中领悟其思维方式、思想路线、解题方法。有了多方面的知识储备，才能在科学研究中左右逢源、才思如注。日本化学家、诺贝尔奖获得者福井谦一说：“学过的东西，将在什么时候、以什么形式发挥作用是难以预料的。如果把知识比作植物的话，各种知识的地下茎会在意想不到的地方相互联接起来。爱因斯坦和薛定谔这二位伟大的物理学家的事例，雄辩地证明了学问也具有这样微妙的一面，所以我认为广泛的学习是非常重要的”^[23]。尤其对于地质学这门综合性很强的科学，广阔的专业视野对于任何一个想有所建树的人十分必要。需要指出的是“猎奇”与“专一”并不相矛盾。“专一”是“猎奇”的基础，反过来只有“猎奇”才能冲破外部束缚和内部定势提出各种可能的、别具风格的见解。当然，二者之间有一个“度”的问题，既不可太专，亦不可太泛。

（三）层次连动能力

我国地质学家杜乐天把这种品质称为“振荡思维”。任何科学对象都具有复杂的层次结构。不思维固定在某个单一的层面，而是对对象进行各个层次的穿梭性考察，从而识得“庐山真面目”。一般说来，可将地球物质系统划分为如下几个层次^[24]：

地球、核、幔、壳；

大地构造单元：台、槽、板块、地体等；

岩体、地层；

岩石、矿石；

矿物；

元素；

同位素、核子、电子。

以上划分实际是揭示了地球物质系统存在相互联系的多级结构、多级功能和多级环境。高层系统与低层系统之间存在双向因果链关系，这样，研究某一层次时，用其他各层次对之进行解释、说明、预测就成为可能和必要。

（四）全息辨察能力

即察微知著、“一叶知秋”式的洞察能力。地质学的全息辨察表现在以下四个方面：1) 结构全息或形态全息。如从洪积扇、冲积扇的结构、形态辨察三角洲的结构，从岩石上的节理配套关系辨察大断裂的配套关系等。2) 功能全息。如从次级的岩浆活动功能（动—静相间等）、次级构造的活动方式（如断裂的运动形式）辨察地球演化的渐变—激变、深大断裂的开、合、扭、旋等。3) 演化全息。如从火成岩的由基性—酸性的演化序列辨察地壳成分的变化趋向，从动物胚胎发育过程辨察种群演化历史。4) 信息全息。如以榴辉岩中柯石英的存在辨察该岩石形成的高压条件，从显微镜下的矿物组合辨察岩石形成环境。总之，全息辨察要求地质学家必须具备“以一闻十”、“从一滴水中看到宇宙”的本领。

（五）怀疑

怀疑是科学的伟大品格。怀疑就是要求破除对任何理论和权威的迷信，敢于向一切权威挑战，相信权威之见往往是科学进步的羁绊；就是应在不同的理论和方法之间保持必要的张力。当一种理论或方法不能完满解释问题时，不可牵强附会。即使在已有理论和方法能够完满解释问题时，也不防提出几种新的方法，那怕这几种方法较现有方法逊色一些，也不失为一种创造。

（六）综合能力

科学发展的趋势之一就是综合。现代地质科学分化出来的几百个分枝学科从另一面看又可以说是学科综合的结果。地质学中

的综合主要包括如下三个方面。 1) 理论嫁接，即把基础科学的理论和方法移植到地质学某一领域。地质力学、地球化学、数学地质等都是理论嫁接的产物。 2) 综合前人（包括自己）的成果、资料。善于把前人对某一问题的研究成果加以系统化整理，往往能得到一种富有创造性的、全面的认识。 3) 寻求批评和意见。同行的点滴意见往往能起到抛砖引玉的作用。单独思考往往易钻牛角而不能自拔，同行的批评和意见往往能帮助研究者改变视角、克服片面性。在我国地质界，李四光、张伯声、张文佑等人都表现出很强的综合能力。张文佑就曾被讥讽为“剪刀加胶水”的地质学家。但我们从中都可以看出他可贵的思维品质。

最后我们需要说明的是，创造性思维的发生完全有可能出现在思维过程的任何时刻，并不排除在理论思维阶段就没有创造性思维。所以说，在人脑黑体与思维模块作用时，只要其思维定势得到突破，思维就有崭新的涵意，也就是说，在思维过程中注入了创造因子，那么，这种思维就有了创造性，应该属于创造性思维。

第七章 地质学中的 Fuzzy 语文系统

语言是思维的外壳。地质学思维的语言归属于地质语文系统，该系统中的语言形式分为两类，一类为地质文字语言，另一类为地质口语语言，二者的区别在于，文字语言比口语语言规范。

研究地质语言系统的主要目的是解析地质语言的结构、特点以及环境和功能，为地质学研究内容的定量化和智能计算机化作准备。在探讨上述问题之前，首先论述地质学语言的属性问题。

一、地质语言的模糊性

地质语言的模糊性来自人类对自然界认识和自然界本身就具有的模糊属性，这种属性是地质语言的物质基础。人类的地质语言起源可追溯到旧石器时代，例如在陕西省中部蓝田县陈家窝村和公王岭蓝田猿人（*Homo erectus lantianensis* Woo, 1964）化石层中发现的旧石器中，就有石英、石英岩、石英岩砾石、细石英砂岩和黑色燧石。在北京房山县周口店第一地点出土的 3700 多件石器中，脉石英石占 78%，石英砂岩占 18%，燧石占 3%，水晶占 1%。从对以上资料的分析来看，远古人类已经初步具有了判别个别岩石种类的能力（主要是从硬度上），这类岩石的寻找和开采都需要一定的智力和集体劳动，由此可以联想到先祖们已具有了极其简单的地质语言了。

“石”一字最早见著于殷周时期的甲骨文，以后逐渐演化为

“石头”“岩石”。煤在先秦的《山海经·西次二经》中称之为石涅，“涅”在古汉语解释为“不灭”的意思，“石涅”是石头燃烧后其质仍不灭”的意思，汉魏时称为“石墨”，晋至元朝时称石炭，从明以后才用“煤”这具字至今。

“石油”一词在公元9世纪班固所著的《汉书·地理志》中称为“洧水”，西晋司马彪《后汉书·郡国志》中称为“石漆”，后又称为“脂水”，宋代沈括在《梦溪笔谈》中首先使用“石油”，沿用至今。

例如，现在的教课书，对“石油”二字涵义的描述是这样的：“石油是一种成分十分复杂的天然有机化合物，其中的主要成分是液态烃。它们的组成和性质，因受多种因素，如原始物质、生成条件和后期演化等的影响，变化很大”。可是在古代，对石油的描述最完全的要算是北宋的沈括了，“延川境内有石油，旧说高奴县出脂水，即此也。生于水际，沙石与泉水相杂，惛惛而出，土人以雉尾豪之，乃采入缶中，颇似淳漆，燃之如麻，但烟甚浓，所沾帷幕皆黑。预疑其烟可用，试扫其煤（烟）以为墨，黑光如漆，松墨不及也，遂大为之。其识文为‘延川石液’者是也，此物后必大行于世，自预始为之。盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭。”从沈括的描述中可以看出，由于受当时科学技术的限制，他的描述只是局限于对石油表面一些性质的认识。

对于自然语言，它的重要特点是模糊性，其根源是物质本身就具有模糊性。既然地质语言可以说是自然语言的一个单元，它同自然语言一样，同样具有模糊性。况且我们知道，语言中的意义要素来自思维，没有思维就不可能有意义要素。这一点正是人类思维产生模糊意识的基础。

从认识论的逻辑学出发，客观事物反映在人们的头脑中，人们通过大脑的思维后，用语言企图表达事物的本质，因为受各种

因素的限制，往往产生的语言表示的都是模糊概念。甚至对于某些物质的名称，正如美国洛杉矶的加利福尼亚大学计算机科学系教授哥根指出的：“人对自然语言的理解其本质也是模糊的”。

模糊数学的创立者查德（L. A. Zadeh）教授在他著名的《模糊集》这篇文章中曾指出：“在现实物质世界中所遇到的客体，经常没有精确规定的界线”。例如，像狗、马、鸟等动物其界限较明显，但是细菌究竟是植物还是动物，难以说清；由于无脊椎、无骨骼但又有脊索的文昌鱼存在，脊椎动物和无脊椎动物的界限打破了；由于兼有自养和异养特性的裸藻的存在，动物和植物的概念集合又变得不太分明。他还指出，“‘高个儿’不是经典数学的那种集合，所以说，这种没有明确处延的概念是模糊的，称之为模糊概念，模糊概念是客观事物本质属性在人们头脑中的反映，模糊性的根源在于客观事物的差异之间存在着中间过渡，存在着亦此亦彼的现象”。模糊概念不能用经典集合来判别，而应使用模糊集合。

在经典数学中，把具有某种属性的元素的全体叫集合。如果这个集合的内涵和外延都是清晰的，称之为硬边界，反之则称之为软边界，这种软边界的集合也叫着模糊集合。

例如，地质学思维中所涉及的地质逻辑属于多值逻辑，即用 $0\sim 1$ 之间的小数来描述地质客体的真度，多值逻辑就是模糊逻辑，模糊逻辑更能恰切地描述地质学中的亦此亦彼的现象。

本书曾在地质学特点的论述中强调过地质物质的模糊性，“是地质物质自身存在着的一种属性，如矿物的颜色，地质体的形态、结构以及分类的界限都是模糊的，这些因素导致了人们所形成的地质概念内涵的不清晰和外延边界的软化”。在地质学语言中，这种属性也是造成地质语言模糊性的主要因素。地质语言的这种属性是带有普遍性的，地质学著作中大量出现的模糊文法和模糊语句，也恰恰是这一学科的特点，反映了地质学科本身的

模糊性和人们对地质学本质认识的局限性。

计算机科学技术在地质学中的应用给地质学的研究带来了方法上的革新，大量计算工作和对实际观测、检测分析数据的数学处理使其研究在许多分枝上前进了一步。随着地质学的进展，地质学将与计算机的关系越来越密切。计算机各种先进的语言将逐步达到人机对话的程度，但是计算机毕竟要受到严格、甚至刻板的规则限制，现在地质学大量使用的各种软件，都未能解决地质学研究中的模糊逻辑问题，其实质仅是软件设计者人为因素的再现，地质学中使用计算机关键是解决地质语言的电算化问题。在地质语言系统中使用计算机处理地质语言，可能会失去地质语言模糊性所具有的灵活应变能力。因此，对应于地质语文系统来说，它需要一套能够处理模糊语言的“智能”计算机。

二、地质语文系统

地质语言属于模糊语言，模糊语言又归属于模糊数学范畴。美国著名语言学家弗朗西斯（W. N. Francis）曾这样从语言学的角度评价查德的这一概念：“我很高兴得知存在着‘模糊集合’这样一种东西。回想 50 年代给语言范畴下定义时，我们都力求精确。因为我那时要有足够的勇气才敢于说；像形容词这类词只有中心是十分清晰的，到边缘越来越模糊了……对过去所谈论的事情，我现在有了一个可爱的术语：‘模糊集合’”。

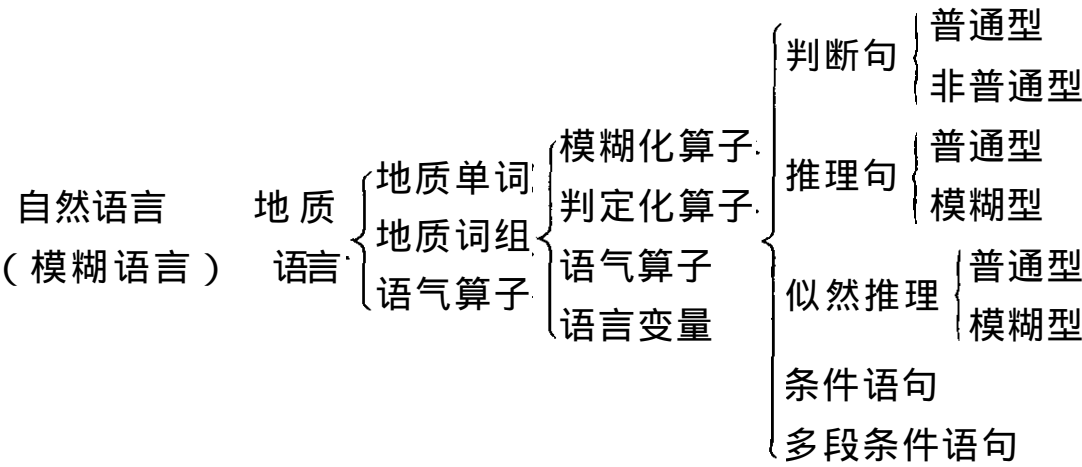
语言文字是一种符号系统，总是用一定的“字”去代表一定的“义”，字义的关系叫作语义，由字、词组成的每一句话必须有一定的排列与结构，有一定的生成规则，这就叫文法结构。

计算机在地质学中的应用，特别是对大量的地质观测数据和大量的实验测试数据的处理，以及对许多地质现象的模拟，已得到了一些成功的经验。但是，计算机所运用的程序都是人编制

的，是受人的思维所控制的，而处理的对象是地质学中的亦此亦彼性。地质学家的语言是其思维的形式，没有思维就没有语言，两者之间有不可分割的关系。而我们只有把我们所要用的语言定量化，才能用计算机来处理这些语言所包括的信息。文字是语言的记录符号。因此应该看到，在地质文献中，地质学家使用的地质语言的语义多是游离不定的。如“本区经过详细勘探，认为含油气的远景是有希望的”；“××矿区的储量约为×××万吨”等等。引文中使用的“详细、大有希望、约为”等词，显然用“是”或“否”的二值逻辑概念来定性描述，看来是不可能的。那么，正如查德所指出的那样：“在自然语言中，句子的大部分是模糊集的名称，而不是非模糊集中的‘名称’”。

我们如果引入查德的“模糊集”的思想，从语言学的角度对地质语文系统的语义做以模糊数学的描述，是对地质语言定量化实现的一条路径，甚至有助于计算机在地质学应用上的“智能”开发研究。

地质语文系统的内涵如下表：



三、描述地质语文系统的方法

下面我们讨论模糊集合描述地质语文系统的方法。

(一) 单词

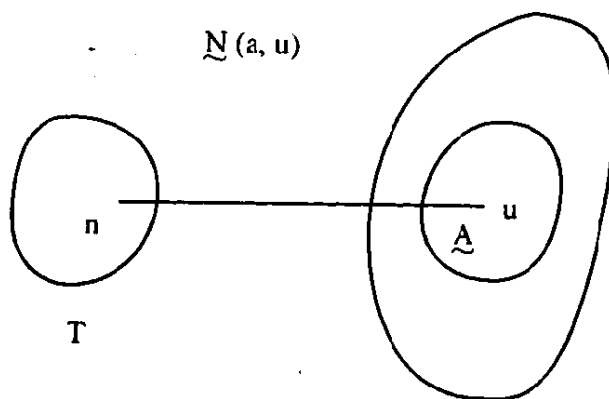
地质语言中，作为表示“概念”的最基本单位是单词，如地球、宇宙、煤、石油、化石、砂岩、沙漠和黄土等等。

那么，我们就用模糊数学的方法给出单词的定义：

相对于一定的论域 U ，一类单词构成一个集合 T ，语义通过从 T 到 U 的对应关系 N 来表达。 N 是一个模糊关系，任意固定 $a \in T$ ，记

$$N(a, u) = A(u)$$

A 是 U 的一个模糊子集。



单词

单词对应于 U 的一个模糊子集，这个集合用与 a 相对应的大写字母表示。当 $A = \bar{A}$ 是一个普通集合时，单词 a 是明确的，否则是模糊的。

(二) 词组

如果单词通过“或”、“且”连接起来，或者在单词前面加“非”，变成词组。如：陆海、硅铝层、西北、非油层等。

例如：陆海 = 陆或海 = $[\text{陆}] \cup [\text{海}]$

硅铝层 = 硅且铝 = $[\text{硅}] \cap [\text{铝}]$

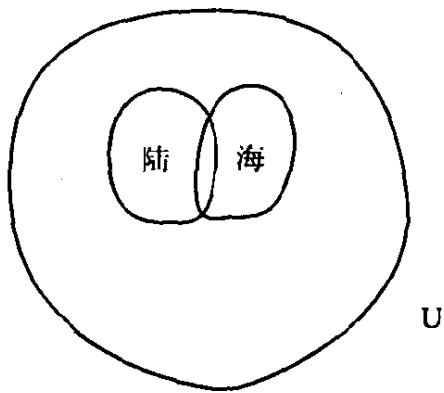
西北方 = 西北且北方 = $[\text{西方}] \cap [\text{北方}]$

非油层 = $[\text{油层}]^c$

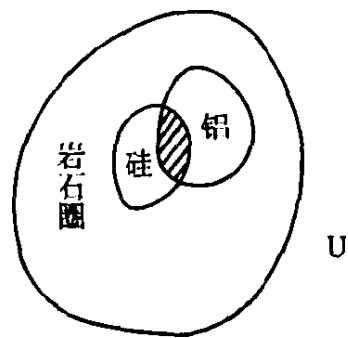
(三) 语气算子

这里引入语气算子，“算子”这一概念犹如高等数学中的微分算子，拉普拉斯算子的功能相同，一般函数经过算子的运算，

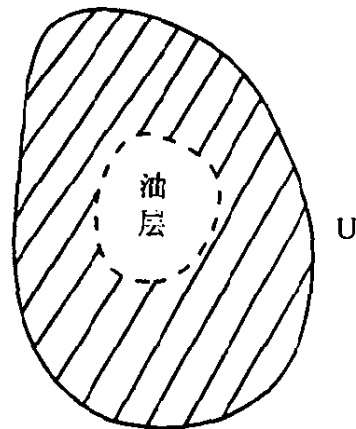
便成为另一种新函数，表示的是另一种方程。



陆海



硅铝层



非油层

地质语言中，如“这个矿很大”，含铁品位极富，地理位置非常理想，交通比较方便，并且还含有微量钛以外的其他稀有金属，它的含量可能达到百分之……以上是地质情况的略述……

请注意这些带点的词，“很”、“极”、“非常”、“比较”、“微”、“其他”、“及”、“略”等等，把这些词缀到一个单词或词组的前面，便调整了该词词义的肯定程度，把原来的单词变成了一个新的词。如：“大”前面加很以后，它的域 U 就扩大了。再如，稀有金属，如不加其他，应表示稀有金属这个论域 U ，但是加上其他后，就不再包括钛了。如图（图号）所示。

其他稀有金属 = [钛]^C

因此，上述字眼可以分别看做是一种算子，叫做语气算子。

集合表示：语气算子 $H_\lambda: \eta(u) \rightarrow f(u)$ (λ 是一个正

实数)

$$(H_\lambda A)(u)$$

$$\triangleq [A(u)]$$

当 $\lambda > 1$ 时, H_λ 叫集中化算子。

当 $\lambda < 1$ 时, H_λ 叫散漫化算子。

例如：在石油地质中，常用到“饱和油层”，“一般含油”，“略含油”和“微含油”。

那么：我们假设规定： H_4 为“饱”， H_2 为“一般”， $H_{\frac{1}{2}}$ 为“略”， $H_{\frac{1}{4}}$ 为“微”。

$$\begin{aligned} [\text{饱和油}](u) &= H_4 \quad [\text{饱}](u) = [[\text{饱}](u)]^4 \\ &= \begin{cases} 0 & S_0 \leq a \\ S_0 - a & S_0 > a \end{cases} \\ &\quad \{ [1 + (\frac{1}{(S_0 - a) \times 10})^2]^{-1} \}^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{一般含油}](u) &= H_2 \quad [\text{含油}](u) = [[\text{含油}](u)]^2 \\ &= \begin{cases} 0 & S_0 \leq a \\ \{ [1 + (\frac{1}{(S_0 - a) \times 10})^2]^{-1} \}^{-2} & S_0 > a \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{略含油}](u) &= H_{\frac{1}{2}} \quad [\text{略}](u) = [[\text{略}](u)]^{\frac{1}{2}} \\ &= \begin{cases} 0 & S_0 \leq a \\ \{ [1 + (\frac{1}{(S_0 - a) \times 10})^2]^{-1} \}^{\frac{1}{2}} & S_0 > a \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{微含量}](u) &= H_{\frac{1}{4}} \quad [\text{微}](u) = [[\text{微}](u)]^{\frac{1}{4}} \\ &= \begin{cases} 0 & \\ \{ [1 + (\frac{1}{(S_0 - a) \times 10})^2]^{-1} \}^{\frac{1}{4}} & \end{cases} \end{aligned}$$

公式中 a 应为一常数，根据不同的地区，可给出相应的值。 S_0 表示的是含油饱和度， $0 \leq S_0 \leq 1$ 。

在地质语言中，凡是同“饱”、“一般”、“略”、“微”等价的语气算子，表示的程度就是一样的。如：“饱” \cong “特别” \cong “非常”。可以使用上面的公式，也可以根据其他情况重新计算，如使用上述公式时，只要把 S_0 换掉就行。地质语言中，表示程度的语气算子所包括的涵义一般都在 $[0, 1]$ 区间内，这是一个特点。

(四) 模糊化算子

这种算子在地质报告、文献及著作中出现的最多，这是由于地质学科的性质所决定的，如“大概”、“近乎”、“很有希望”、“差不多”、“大约”等等。它缀在一个单词或词组的前面，就把该词的意义模糊化了，顾名思义叫做模糊化算子。

模糊化算子的一般形式为：

$$(FA \circ u) \triangleq (E_0 A \circ u) = \bigvee_{a \in u} (E(u, a) \vee A(a))$$

此处 E 是 U 上的一个相似关系，满足自反性和对称性。当 $U = (-\infty + \infty)$ ，常取

$$\tilde{E}(u, a) = \begin{cases} e - (u - a)^2 & \text{当 } |u - a| < \delta \\ 0 & \text{当 } |u - a| \geq \delta \end{cases}$$

这里， δ 是参数。

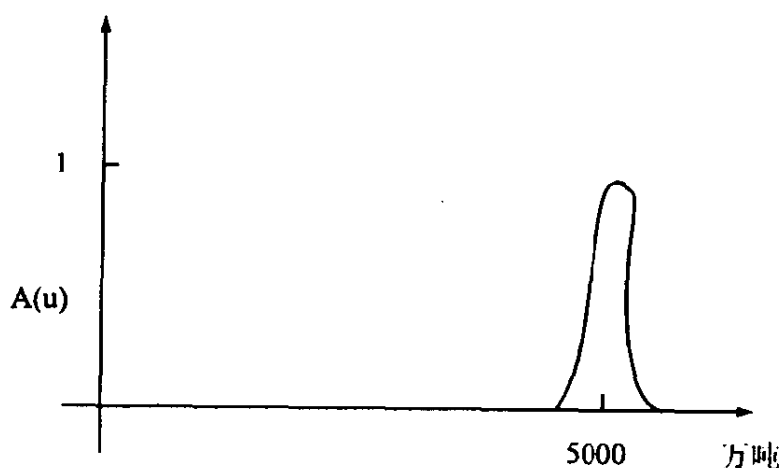
例如：该区某矿储量约为 5000 万吨

$$A(u) = \begin{cases} 1, & \text{当 } u = 5000 \text{ 万吨} \\ 0, & \text{当 } u \neq 5000 \text{ 万吨} \end{cases}$$

则 $FA(u) = \bigvee_{a \in u} (\tilde{E}(u, a) \wedge A(a) \wedge E(5000))$

$$\begin{cases} e - (u - 5000)^2 & \text{当 } |u - 5000| \leq \delta \\ 0 & \text{当 } |u - 5000| > \delta (\text{单位万吨}) \end{cases}$$

FA 对应的词叫做“约为 5000 万吨”，图示如下：



把“5000”变为约5000

(五) 语言变量

大、小、多、少、轻、重、长、短……这些直接以实数域 $R = (-\infty, +\infty)$ 或其子集为论域的单词，在地质语文系统中其论域常常被扩大，如：很大、不太大、不太小、有可能、完全有可能、非常轻等，都叫作语言变量。

例如：在论域 X 上定义：

$$X = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$$

$$[\text{有可能}] = 0.2/4 + 0.4/5 + 0.6/6 + 0.8/7 + 1/8 + 1/9 + 1/10$$

$$[\text{不可能}] = 1/1 + 0.8/2 + 0.6/3 + 0.4/4 + 0.2/5$$

$$[\text{完全可能}] = H_2[\text{可能}] = 0.04/4 + 0.16/5 + 0.36/6 + 0.64/7 + 1/8 + 1/9 + 1/10$$

$$[\text{可能性不大也不小}] = 0.2/2 + 0.4/3 + 0.6/4 + 0.6/5 + 0.4/6 + 0.2/7$$

$$[\text{较有可能}] = 1/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9 + 1/10$$

语言变量之间有两种运算，一种是把它们看作是在 R 上的模糊子集，对它们进行集合运算；另一方面，由于它们的论域都是

实数域，故可以定义为四则运算。

语言变量的四则运算：

设 α, β 分别是两个语言变量， $*$ 代表实数之间的一种四则运算，则定 $\alpha * \beta$ 如下：

$$(\alpha * \beta)(z) \triangleq \bigvee_{x * y = z} (\alpha(x) \wedge \beta(y))$$

语言变量的四则运算需要具备一些模糊数学的基本知识，有兴趣者可参考有关文献。

现运用上述公式举例：

设：

$$\alpha = [\text{不可能}] = 1/1 + 0.8/2 + 0.2/3$$

$$\beta = [\text{一般有可能}] = 0.2/2 + 0.8/3 + 1/4$$

$$\begin{aligned}\alpha + \beta &= 1 \wedge 0.2 / (1+2) + 1 \wedge 0.8 / (1+3) + 1 \wedge 1 / (1+4) \\ &\quad + 0.8 \wedge 0.2 / (2+2) + 0.8 \wedge 1 / (2+4) \\ &\quad + 0.2 \wedge 0.2 / (3+2) + 0.2 \wedge 0.8 / (3+3) \\ &\quad + 0.2 \wedge 1 / (3+4) \\ &= 0.2/3 + 0.8/4 + 1/5 + 0.8/6 + 0.2/7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha - \beta &= 1 \wedge 0.2 / (1-2) + 1 \wedge 0.8 / (1-3) + 1 \wedge 1 / (1-4) \\ &\quad + 0.8 \wedge 0.2 / (2-2) + 0.8 \wedge 0.8 / (2-3) \\ &\quad + 0.8 \wedge 1 / (2-4) + 0.2 \wedge 0.2 / (3-2) \\ &\quad + 0.2 \wedge 0.8 / (3-3) + 0.2 \wedge 1 / (3-4)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha \cdot \beta &= 0.2/1 \cdot 2 + 0.8/1 \cdot 3 + 1/1 \cdot 4 + 0.2/2 \cdot 2 \\ &\quad + 0.8/2 \cdot 3 + 0.8/2 \cdot 4 + 0.2/3 \cdot 2 + 0.2/3 \cdot 3 \\ &\quad + 0.2/3 \cdot 4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 0.2/2 + 0.8/3 + 1/4 + 0.2/4 + 0.8/6 \\ &\quad + 0.8/8 + 0.2/6 + 0.2/9 + 0.2/12 \\ &= 0.2/2 + 0.8/3 + 1/4 \\ &\quad + 0.8/6 + 0.8/8 + 0.2/9 + 0.2/12\end{aligned}$$

$$\alpha \div \beta = 0.2/1 \div 2 + 0.8/1 \div 3 + 1/1 \div 4 + 0.2/2 \div 2$$

$$\begin{aligned}
& + 0.8/2 \div 3 + 0.8/2 \div 4 + 0.2/3 \div 2 + 0.2/3 \div 3 \\
& + 0.2/3 \div 4 \\
& = 0.2/\frac{3}{2} + 0.2/1 + 0.2/\frac{3}{4} + 0.8/\frac{2}{3} + \\
& 0.2/\frac{1}{2} + 0.8/\frac{1}{3} + 1/\frac{1}{4}
\end{aligned}$$

四、文法与结构

在地质语文系统中，概念用词表示，判断推理构成句。

(一) 判断句

句型：沙河街组是三叠系地层

用数学式表示：

“ u 是 a ”， a 是表示概念沙河街组的一个词（可是单词或词组），这里的 u ，叫作语言变元，它可以代表论域中的任何一个特定对象（如三叠系地层）。

“ u 是 a ”这种句型，叫判断句，记作 (a) 。如果 a 所对应的是普通集合 A ，则称 (a) 是普通的。

如果 $u \in A$ ，称 (a) 对 u 真。

如果 $u \notin A$ ，称 (a) 对 u 假。

即：

$$(a) \text{ 对 } u \text{ 真} \Leftrightarrow u \in A$$

$$(a) \text{ 对 } u \text{ 假} \Leftrightarrow u \notin A$$

称 u 对 A 的隶属度为两种，即真 = 1，假 = 0，可用隶属度运算来规定真值的运算：

\vee	1	1
0	0	1
1	1	1

\wedge	1	1
0	0	1
1	0	1

a	a^c
0	1
1	0

(a)恒真 $\Leftrightarrow A = u$

如果灰绿色块状砂岩是否由沙河街组，那么就是(a)对 u 没有绝对的真假可言，只能用 u 对 A 的隶属度定为(a)对 u 的真值。而它的隶属度只能取 $0 \sim 1$ 之间的连续小数，不包括 0 和 1 ，即 $(0, 1)$ 。

隶属度的运算为：

$$a \vee b = \max(a, b), a \wedge b = \min(a, b).$$

$$a^c = 1 - a$$

若(a)对任意 $u \in U$ 其真值均 $\geq \lambda$ ($1 \leq \lambda \leq 0$)。

(二)推理句

句型：若沙河街组有油层，则三叠系含油，用数学公式表示：

若 u (沙河街组)是 a (油层)，则 u 是 b (三叠系含油)，简记为(a) \rightarrow (b)。

(a) \rightarrow (b)对 u 真 $\Leftrightarrow u \in (A - B)^c$ 。

故推理句(a) \rightarrow (b)等价于一个判句 u 是 C ， C 是 $(A - B)^c$ 所对应的词，如：

若 u 是三叠系，则 u 是油层。(推理句)

若 u 不是三叠系的油层。(判断句)

(三)模糊推理句

如“ u 是油层，则 u 可能产油”。 a ：油层， b ：可能产油。它们对应的是模糊集合，故(a) \rightarrow (b)是模糊推句。

对于模糊推理句，一般不同其真假，仅判断程序真(隶属

度)。

$$(a) \rightarrow (b) \text{ 对 } u \text{ 的真值} \triangleq (a) \rightarrow (b)(u) \\ \triangleq (A - B)^C(u)$$

$$= 1 - A(u) \wedge [1 - B(u)]$$

如果：

$$(A - B)^C = (A \cap B^C)A^C(B^C) = A^C = \bigcup B$$

故有

$$(a) \rightarrow (b)(u) = [1 - A(u)] \vee A(u)$$

(四)条件句

若三叠系 (a) 是油层，则沙河街组 (b) 是油层，否则是干层 (C)，记作：

$$[(a) \rightarrow (b), (a) \rightarrow (b)]$$

设 (a) 是论域 X 上的命题，a 对应 X 的模糊子集 A，(b) 和 (c) 是论域 Y 上的命题，b、c 对应于 Y 的模糊子集 B，C。

$[(a) \rightarrow (b), (a) \rightarrow (c)]$ 表示 $X \times Y$ 的一个模糊子集，设 (x, y) 对应它的隶属度为 $U(x, y)$ ，则：

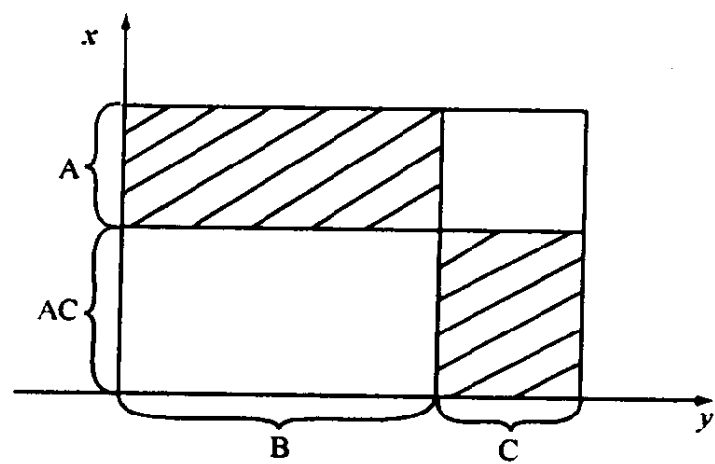
$$u(x, y) \triangleq [A(x) \wedge B(y)] \vee [1 - A(x)] \wedge C(y)]$$

当 $A = A, B = B, C = C$ 时，均为非模糊，该式则为

$$(A \times B) \cup (A^C \times C) \text{ 如图 (图号)}$$

图号：以此类推，还应有多段条件句，多段条件句主要是用模糊数学的方法描述句义的转换关系，这里就不再赘述了。

总之，地质语言是在人类的地质实践中形成的，其共性是反应模糊概念的词占主导地位，笔者认为，地质语文系统在计算机中的应用，关键是确定对应的模糊集的隶属度，本章介绍的方法仅是一种尝试，有待进一步总结和修改、完善。



$[(a) \rightarrow (b), \quad (a) \rightarrow (c)]$ 的真域

第八章 地球的整体性与整体性地质思维

由于地球是一个多层次、多要素且处于宇宙大环境之中并不断受其影响的动态的开放性系统，因此地质学家研究的地质目标，既不是单纯一个点，也不是孤立的一条线，还不是简单的一个平面，而是具有全部丰富性和复杂性的动态立体网状结构的地质整体；地质学家所考察的地质运动，既不是由单因素动力所决定，也不仅表现为某一种运动形式，而是由内外多种动力相互叠加作用和多种复杂运动形式综合表现，且统一在一个整体范式之中；地质学家所探讨的地球演变历史，既不是停留在某一阶段，也不是单一阶段与形式的简单重复，而是具有多阶段、多旋回，并由低级向高级不断进化的螺旋式发展的连续过程。地球物质系统和运动系统的这种整体性，决定了地质学家只有坚持整体性地质思维，才能准确地把握地球演变的内在规律。整体性地质思维具有连续性、立体性、系统性和动态性等四项基本原则，具有正确把握整体与层次、部分、结构、功能环境和运动等辩证关系的五个思维方向。进行思维导向的五个转变则是摆在地质学家面前的迫切任务。

一、整体性地质思维的意义

地质科学的对象是地球。历经沧桑变迁的地球，具有时间演变的漫长性、空间延拓的广阔性、地质体的多层次性、地质现象的模糊性、地壳演化的多阶段性、地质事件的多解性、地质记录

的残缺性等特性。因此，地球系统是一错综复杂、变化万端的动态系统。

由于地球具有如此复杂的特性，因而人们只能从地球经过几十亿年演化所形成的现今状态和环境，去推断它的过去；从它们的演化在物质组成及地层结构上所留下的痕迹，去推论它的运动、变化及其规律。不言而喻，地质科学既具有较强的实践性，又具有较强的探索性和综合性。因此，地质学研究的每一步都离不开理论思维。实际上，地质学史上的几次大的变革，除了与原有的知识范畴、层次、学科边界和技术能力突破有关以外，还主要是因为旧的地质科学观念、理论框图的被突破。而后者在相当程度上，又主要取决于地质学家科学思维艺术的提高乃至飞跃。本章则是从分析地球的整体性和各种地质现的内在联系入手，探讨地质思维的整体性原则和方法，以期在地质学思维领域开辟一块新领地。

二、地球的整体性

思维的整体性取决于研究客体的整体性。目前地质学研究的主要对象仍然是岩石圈，但地球的各个圈层，即气、水、岩石圈及地幔、地核，都是地球的组成部分，是地球这个大系统中的子系统，它们都服从地球的整体运动规律，并相互联系在一起，且又相互作用、相互影响。不仅如此，地球作为宇宙天体中的一员，其运动和演化又受控于宇宙大系统的变化。因此，地球既是一个完整的个体，又是一个与宇宙环境相关联的开放大系统（见表1），它的整体性规律表现在地球演化与天体演化的统一、地质结构的统一、地球物质系统的统一、地壳运动的统一和地球历史演变的统一等五个方面。

（一）地球演化与天体演化的统一

当我们把地球置于宇宙巨系统之中去考察时不难发现，地球是太阳系中的一颗行星，太阳则是银河系的一颗恒星，在偌大个银河系中，地球乃沧海之一粟。毫无疑问，地球的发展直至消亡，必然服从地球的演化规律，地球在宇宙空间中的运动，必然与宇宙环境的变化息息相关。

1. 地球与天体是同源的

地球与天体的同源性，可由太阳系中的类地行星的形成演化的若干共同点来说明：第一，地球和其他行星、月球、陨石等都是在 46 亿年前大致同时形成的，都是太阳系原始星云凝聚产物。凝聚时，星云物质在旋转中向核心凝聚时，核反应强烈进行，并不断发生塌陷作用。第二，核反应导致的分异作用，使每种类地行星均具有明显的分层性。第三，所有类地行星的早期都曾遭受过星外物质的猛烈轰击，这种轰击很可能是形成行星的聚积方式。月球上至今完好地保存着这种最初轰击的“弹坑”，地球上早期的“弹坑”虽已多被掩埋，但早期地壳的增生及原始海洋盆地的形成可能与这种撞击作用有关。第四，地球与其他八大行星及月球均绕太阳朝一个方向转动，它们的轨道似乎在同一平面，但各自又有自己的地位、轨道形状运行速度，从行星的运行受着万有引力制约，总体结构有如一个排列有序、“纪律严明”的大家族，牛广林曾尝试用“巨星分离说”解释这种的统一成因，试图揭示地球与太阳系其他行星是共同起源的。

2. 地球表面构造与类地行星构造是相似的

类地行星资料表明，金星、火星和月球等，在许多方面与地球具有相似之处：其表面均有大量陨击坑出现，都分布着北东、北西以及东西、南北等方向的全球性大断裂网络，都具有相似规模和形式的火山活动，其表面均以高山和峡谷为典型特征……这说明，共生于太阳系的各星体的生成与演化必有一个的宇宙环境。

3. 地球物质与宇宙物质是交流的

共生于同一家族的各星体在共同进化中既相互影响、相互制约，又不断进行着物质与能量的交换。如地球上多处发现来自其他星球的岩石和矿物，多处发现来自天外的高铀异常和微球粒等。说明地外物质直接参与了地球的演化，并起到了划分地质历史阶段的作用。

4. 地质事件与宇宙事件是相关的

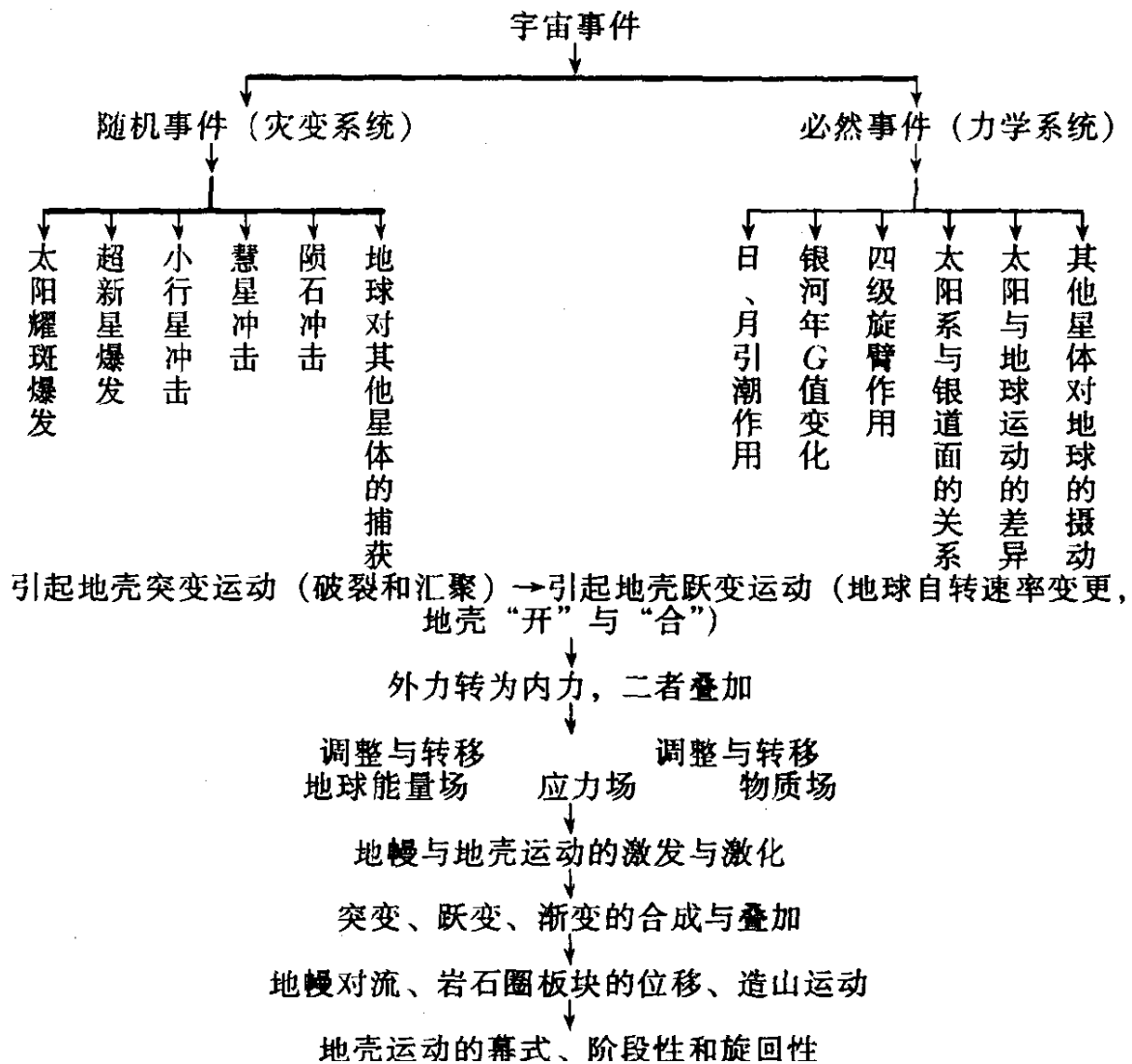
包括地壳运动、火山作用、沉积作用、成矿作用、生物演化等在内的各种地质事件的发生和发展，无不受到宇宙环境变化的影响。若把宇宙环境发生显著改变的事件称为宇宙事件，就可在宇宙事件与地质事件之间找到联系的桥梁。我们曾把这种宇宙事件地壳运动联系起来，建立了地具相关模式（见表 2）。其中，6 种正常事件改变地球自转速率，并进而引起地壳跃变运动；另 6 种为灾变事件，它们直接引起地壳突变运动，启动岩石圈的板块运动。可见，地壳运动与宇宙事件的发生是一个有机联系的整体运动。若离开宇宙事件，只是就地球论地球，显然是只见树木，不见森林。

显而易见，地球既与其他天体相互关联、相互制约、共同进化构成一个开放大系统，又与宇宙空间进行着物质与能量的交换，并导致地球状态发生变化而构成一个开放大系统。因此，现代地质科学已到了把分割天体与地球之间的壁垒推倒，并把二者结合起来进行综合研究的时候了。

（二）地壳结构的统一

全球的统一层结构为地球结构的统一的主要表现，但各圈层又有自己的统一结构体，这从更深层上证明了地球结构的统一性，从而又使我们进一步认识地球的整体客观性。

表 2 宇宙事件引起地壳运动关系表



将地壳视为一全球性实体，它显示出地球内部性状的全貌同时还反映出气、水、生物圈和天文圈作用于它的痕迹；当从全球规模并结合不同年龄的岩石来考虑时，它还揭示出过去 46 亿年间地球构造圈演化中的时空变化规律。因此，地质学家历来把地壳视为主要研究对象。地壳的结构，是指地壳上的各构造单元的排列组合方式。由于有一全球性的整体作用在控制着地壳的性状，所以它有结构具有相当程度的统一性。

大陆、海洋的沟岛弧系三大构造单元，组成了地壳的主要结

构体系，在今天看来，三者相互联系、相互作用，镶嵌成一个整体。但在地质历史上，大陆区并非总是大陆区，洋区也并非总是洋区。在过去的 46 亿年间的大部分时间内，无论是在空间上，还是在时间上，全球各处的大陆海洋都是在不断变化着的。所以，地壳结构的统一性既体现在这三大构造单元的相互依赖上，又体现在以这三大构造单元的转换与迁移为标志的地壳结构的统一变化上。在讨论地壳结构的统一变化方面，板块构造理论为我们提供了一个较为理想的框架。

按照板块构造的观点，全球构造是一个整体，个别大陆区域地质历史演化是与邻区演化发展密切相关的，也与全球演化密切相关，即牵一发而动全局。如一个地区大幅度引张破裂，必然导致地球表层另一个地区的撞压集体冲，否则相反。根据这相思路，板块构造把岩石圈划分为若干个板块（包括大陆板块和大洋板块，沟岛弧系介于二者边缘）。分割海洋板块的是洋中脊，连接大陆与海洋的纽带为俯冲带（碰撞带）；当洋中脊不断扩张时，新的洋壳因此不断生长，旧的洋（陆）壳向大陆俯冲（或仰冲）、拼贴，巨大的碰撞动力造成大陆板块的强烈变形，形成板块边缘的内陆带盆地造山带，有些板块边界则为大型转换边界（（断层）所分隔和调整；在不同类型的板块单元和边界上，具有不同类型的岩石、变质作用、构造和矿产系列；板块运动内动力主要来自地幔物质的对流，随着地幔物质在洋中脊上涌，地壳物质在碰撞带下冲，地幔与地壳物质循环交流。所以，板块构造就提供了一个有关大地构造统一过程的完整模式。它既把整个地壳结构及其运动过程统一起来，也把控制岩石、矿产、地震、和地热的形成和演化的环境、条件与大地构造过程联系起来，而且还把地壳结构的调整与地幔物质的对流联系起来。因此，它给诸多地质领域提供了一个一体化思考的框架。

洋、陆和沟岛弧系虽可统一在一个整体范之中，但各自仍有

自己的统一结构，这又进一步说明地壳结构统一的普遍规律。

洋、陆均具有各自的山盆体系和裂谷系。山盆系和裂谷系的结构统一性又反映出洋、陆结构的整体性。例如，若从研究大洋板块活动的观点出发，观察大陆的山盆体系不难发现，现代大洋扩张作用发生的两亿年来，正是现代大陆盆地诞生的时候。大洋盆地地形成，是由于洋底扩张造成的，大陆盆地也可能是盆底扩张造成的（白文吉等，1985）。盆底的扩张作用，使其周围的地层褶皱成山脉，并且向“山根”增加着堆积物，使山脉抬升，同时发生浅—中深源地震和岩浆活动，这就把山脉和盆地两个不同构造单元看成是相互共存的统一整体。

裂谷系一名，本身就有整体性意义。裂谷为全球性构造体系，它是由大陆裂谷、大洋裂谷和陆间裂谷这样一些有一定差别的但都是巨大的张裂带的部分组成的统一整体。裂谷系可以是威尔逊旋回的一部分，但实际上有着自己的特殊整体结构，所以它独立于板块范畴之外，其特殊性表现在；裂谷从早期成穹到晚期回返，为一个系统的演化过程；裂谷作用在地质历史上具有一定的旋回性（杨巍然，1984）；裂谷有其特殊的成岩成矿系列（宫同伦、彭建兵，1986）；裂谷从具有独特的构造、地貌和地球物理特征；裂谷的形成均与软流圈中的热物质的运动，特别是对流包或热点的位置有较密切的关系。软流圈的活动与裂谷的活动可能互相影响，同时地幔物质沿裂谷的上升，引起和加速大陆的分裂、大洋的诞生和地震的孕育及发生等一系列地质事件，甚或可能导致全球构造格局的改变。这表明全球裂谷系是岩石圈与软流圈之间进行物质、能量交换的主要通道与场所，显然是自然的，与外界发生关系的动态系统。

沟岛弧系，三者形影不离，是海底地形反差最大，地球上构造活动最强的地区。从它们的地壳——地幔特征的布局和组合方面来看，具有显著的规律，从而表明它们是统一机理所产生的整

体性构造单元。

由海陆系到山盆系、裂谷系及至沟岛弧系，勾绘出了地壳结构的完整统一性，也反映出结构整体的层次性和横向的非均一性；这种统一性和非均一性是地壳结构统一性的两个矛盾侧面，整体性恰寓于这对矛盾之中。

构造形迹的统一更具体和直观地反映了地壳结构的统一性的内涵。构造形迹的统一性可概括出三种规律：

1. 全球构造形迹的优选方位性

地球上大部分洋中脊、俯冲带、裂谷、地缝合线、山脉和盆地等都有一定的方向性，且主要是径向和纬向的，这可能主要取决于日月引潮力和地球自转速率变化引起的东西、南北两个方向应力变化的作用。全球性的大型断裂的北东和北西两个优选方位，除了与上述动力有关外，还反映了类地行星相似特征的同一宇宙环境的重要作用。

2. 构造系列的组合规律性

初看，地球上的褶皱断裂密布、山脉盆地交叉，似乎杂乱无章。但细心观察，地壳上的一个个褶皱、一条条断裂、一块块凹地、一座座高山彼此都不是孤立的、零乱无序的，而是受统一应力场控制、具有一定组合规律的构造体系。李四光所创立的构造体系的概念，把那些似乎是孤立的、静止的构造形迹，用地应力场作为纽带联系起来了。一个构造体既包括若干小的或更小的构造体系，而且还包含了许多不同等级、不同序次的构造形迹。可见，任何一个构造都不孤立的，都隶属于不同层次的构造体系，这种规律明显的反映出地壳整体运动规律的内在联系。

3. 构造单元的配套性

褶皱和断裂分属两个不同构造单元，但二者往往相伴而生。这是因为一个岩块受力后的变形是一个连续过程，即初始破裂
节理系 弯曲失稳 褶皱系 断裂系 褶断加剧 褶断系。这种

变形过程的连续导致了构造单元的配套性，从而反映了构造系统的内在序次性和外在结构的统一性。

（三）物质系统的统一

地球物质系统的统一性主要表现在岩石系列、成矿系列以及生物与生态系列等方面。

1. 成岩成矿系列

岩矿共生组合，是地球物质系统中的普遍规律。多种相关元素共生组合为矿物或晶体；特定的造岩矿物共生组合为一定的岩石类型；有用矿物高度富集共生组合为一定矿床；成因相关的地层或岩石组成一定的岩相和建造系列；某地区各时代地层的时空组合构成该区的地层系统……地质学家通过识别这些规律，进而提出了成岩成矿系列的概念和判别原则。

所谓岩石系列，从岩类角度划分有岩浆岩系列、变质岩系列和沉积岩系列等。各大系列又包括若干子系统。如岩浆岩系列主要分为拉斑玄武岩系列、钙碱系列和碱性系列等。依据沉积相的不同，沉积岩又主要分为碎屑岩系列、碳酸盐岩系列等；从板块构造观点出发，人们把变质岩系列分为高压低温变质岩系和低压高温变质岩系两大类。科马提岩和蛇绿岩套则作为两各特殊的岩石系列被发现，对岩石学的理论图景产生了深远的影响：前者产于太古宇宙绿岩带，由橄榄岩、单斜辉石、铬铁矿和玻璃质基质组成，具鬃刺结构，其 $CaO: Al_2O_3$ 高，碱低；后者则是一种有其自身特点的镁铁质到超镁铁质的岩石组合，并代表着一种特殊的大地构造环境。

成矿系列是指一定的地质单元内，在一定的地质发展阶段，与一定的地质作用有关，且在不同的地质位置形成具有成因上相互联系的各种矿种、各种矿床类型的。按其成因不同可划分为岩浆矿产系列、沉积矿产系列、层控矿产系列、变质矿产系列、热液矿产系列、外生矿产系列等。它们又各自包含若干小的成矿系

列，例如岩浆矿产系列主要有岩浆分结成矿系列、岩浆熔离成矿系列、岩浆自变质成矿系列、岩浆溶离成矿系列、岩浆喷溢成矿系列等等。作为沉积矿床的在矿系列也有许多例子，它们主要受沉积时古地理——沉积岩相和沉积物质来源区的岩性特点等的控制，例如近代干旱区盐湖沉积中的食盐、硼砂，卤水中的钾、锂、镁等成矿系列；第三纪盆地中的褐煤、油页岩、天然碱等成矿系列；大陆温湿地区煤系沉积建造中的煤、黄铁矿、耐火粘土成矿系列；早古生代大陆边缘海底洋流活动区硅、碳、泥沉积建造中的磷、锰、铀、钒、银、钼成矿系列等。由于原岩成分和变质环境与程度的不同，可以出现各种变质成矿系列，例如、受变质沉积矿床成矿系列（如内蒙古狼山群变质岩系中的铅、锌、铜、铁系列）；受变质火山矿床成矿系列（如五台地区的变质火山沉积铁矿）；花岗岩化及“超变质”作用而形成的变质热液富集型成矿系列（绿岩带块的金矿）；混合岩化富集成矿系列（如辽宁、吉林早元古代“宽甸群”中硼铁（稀土）矿床系列。

岩石或矿产的这种共生组合规律，显示出了地球物质系列之间的共生亲缘关系，但更重要的是反映了统一的地质环境对物质系统的形成与演化的时、空控制作用。

地质环境在空间上的制约性。

所谓空间上的制约性，主要反映在大地构造单元不同，出现不同类型的成岩成矿系列（如表 3 所示）。

地质环境在时间上的制约性

历史阶段不同，物质建造的性质和类型也不同，这是划分地质历史阶段的基础。成岩成矿系列均具有地质时代的某些特点，例如，世界上 75% 的金矿、62% 的镍钴矿、60% 以上的铁矿形成于前寒武纪；石炭二叠纪为世界主要的成煤期，二叠纪为世界上最主要的成盐期；全球 80% 的钨矿产于中生代，50% 的锡产于中生代末，85% 钼产于中、新生代；世界上最主要的成油期为

新生代等，这显然与全球构造活动的阶段特殊性和地质环境的特殊性有关。

构造演化的不同阶段，也可出现不同类型岩石矿产系列。例如，造山带发展的不同阶段出现不同类型的岩矿系列；在大陆裂谷阶段，沉积岩系列为磨拉石沉积、红层—熔岩—蒸发岩（浊积岩）组合系列；岩浆系则为碱性系列或碱性—拉斑玄武岩系列，矿产系列则为与裂谷岩浆活动有关的 Ni 、 Cr 、 Ti 、 Pt 、金刚石、 W 、 Sn 、 Nb 等矿产系热液—沉积金属矿产系列以及煤、油、盐类矿床。洋底扩张阶段主要为深海沉积系列、大西洋型浊积岩和陆架沉积系列等；岩浆系列主要为拉班玄武岩系列、蛇绿岩套等，矿产主要为与蛇绿岩套有关的矿床、大陆边缘裂谷中的层控多金属矿床和大洋盆地深海锰结核等矿产系列。俯冲阶段为弧沟系的各种沉积作用和各种类型的沉积岩系列，岩浆活动主要是钙碱系列为主的喷出和侵入；矿产则主要为 Fe 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 W 、 Sn 、 Mo 、 Au 、 Sb 、 Hg 等金属矿产系列。大陆碰撞阶段出现边缘、盆地型的浊积岩和磨拉石沉积，以及地壳重熔产生的花岗岩系列的形成并侵位，矿产则主要与 S 型花岗岩有关的 Sn 、 W 矿床、边缘盆地中层状 Cu 、 U 、 V 矿床系列、层控 Pb 、 Zn 、 Hg 矿床系列等。

此外，在成岩矿的不同阶段，由于地质环境的变化，也可导致不同类型的成岩成矿系列，叠加型复成矿床即为该类模式，如内蒙古白云鄂博稀土矿床即为早期沉积矿床—中期沉积变质矿床—晚期沉积变质热液矿床。

由上可见，成岩成矿系列是在一定的地质历史时期、一定构造单元、一定物相和地化条件下的统一成岩成矿作用过程的综合效应，它体现了地质现象与地质作用之间的整体内在联系。

2 生物生态系列

悠久的地质历史，历来是由古生物的演化顺序而判读的。回

溯地质历史上生物演化的轨迹，人们认识到生物系统作为地球物质系统的一部分，也具有自身独有的统一演化规律；从时间上看，生物整体是由简单到复杂，由低级向高级演化的，但由于不同历史阶段的生态环境不同，因而出现不同类型的生物系；从空间上看，生物具有分区的特征，由于气候和环境在地域上的差异不同的地域出现不同类型的生物系列。这种生物系列在时间演化上的差异性，成为人们划分地质历史阶段的依据；生物系列在空间上的差异性则又为人们划分古地理分区提供了条件，甚至于通过古生物分区的对比，进而恢复古大陆的分裂、漂移或聚合的历史本来面目。

生物系列研究的流行方法是生物群落的研究。顾名思义，生物群落是指“在一定区域内生活在一起的生物群”。因此，群落一词明显体现出生物系统统一性和研究思路的整体性。一个群落至少要包含三个方面的特征：①空间特征（地理环境特征）；②构造特征（生物群本身所占有的模式特征）；③能量链特征（食物链）。

上述三个特征实际上包含了生态系统的基本内涵。生态系统是由一定的生物组合和非生物环境（包括生物的产物）所构成的复杂的动态结构。系统之内、系统之间，均有物质、能量和信息交流。一个生态系统与它的外环境（包括其他生态系统）之间有物质和能量的交流，因而是一个开放系统。一个生态系统由建立之初的不稳定的、无序的状态，通过与外部的物质能量的交换和内部的自我组织过程而逐步达到相对稳定的、有序的状态，并依靠外部（主要是太阳）能量的流入和内部能量的耗散来维持其稳定有序的结构。因此，生态系统也符合耗散结构的概念。

生物系列的演化明显受控于生态系统和演化。因此，生物系列的时间与空间域上的特殊性实际上反映了生态系列的特殊性。在不同地质时期，生态系统的特点是明显的（见表 4）。驱动生

态系统不断变化的主要因素是地球环境的不可逆、趋向性变化和物种的不可逆的生物学进化。但近些年，这种稳定状态的生态系统变化观点和生物学进化论受到了严峻的挑战。一些学者认为，生态系统的进化思想中应注入灾变事件的激素，因为生物种的大规模替代往往是环境灾变事件所引起的。美国的 A. J. Boucot，根据整个地质历程中的群落和群落群的演变情况，把从前寒武纪至现代的整个显生宙划分出 12 个生态进化单元，多数生态进化单元之间有一个全球性较大生物灭绝事件。12 个生态进化单元和地质历史时期的海进、海退、气候变化、地壳运动均可对应。这不仅告诉我们，生物与生态系列的演化是依赖于地球环境的整体性变化，而且启示古生物学家应进一步寻找引起生物灭绝或大规模衰退的主要原因，以及形成这些生态进化单元并导致彼此演化的主要机理。

（四）地球运动的统一

系统的运动可分辨出各种状态，组成系统的状态序列和系统产生的状态序列主要来自系统要素之间和系统与环境之间的相互矛盾、相互制约。在地球体系之内，我们可把在我们这个行星中引起许多重大变化的化学和物理的作用划分为两个主要亚系。一个是在球表面和大气圈中运动着的流体系统——水文系统。在这个系统内，风化、流水、地下水、冰川和波浪作用，都在侵蚀着地球的表面，并将由此而产生的沉积物在海洋堆积起来。水文系统的能源来自宇宙，其中主要是太阳。另一个系统是地球内部的物质运动，运动在地表的表现火山作用、地震、山脉和盆地的形成、大陆漂移、海底扩张和海陆的聚合与分离等地质作用。由于地球是一个整体，所以每一种类型的地质作用的发展与其他地质作用相互联系、相互制约，共同构成了一个整体变化格局。这种辩证统一的作用规律主要表现在如下五个方面。

1. 内动力地质作用与外动力地质作用的统一

地球是一个不断演化的具有复杂的内部和外部动力地质作用的动态系统。所谓动力地质作用，应当包括地质作用的形式和诱发地质作用的动力两个不同层次的问题。内、外动力地质作用基本区分原则是：内动力地质作用的动力以内动力为主，外动力为辅，诱发的地质作用为内生地质作用；外动力地质作用的动力以外动力为主，内动力为辅，诱发的地质作用为外生地质作用，其分类和相关性如表 4 所示。

由表 4 可看出，内外动力地质作用的对立统一性的特征是十分明显的；

地球内外动力之间相互交叉作用。外动力之一的宇宙动力可以改变地球旋转力能、重力能甚至地热能等内动力状态，而后者变化又可改变风力、水力等次生动力的状态。

地球内动力之间相互作用、相互影响。例如，地球重力能驱使物质向内聚集，地热能则驱使物质向外扩散，重力分异作用与热力分异作用相辅相成。在纵向上，重力向心增大率与热向心增温率彼此呼应；在横向上，海陆重力均衡代偿律与海陆平均热流量均衡律相伴出现。当重热均衡代偿不良时，在海陆必然相应产生重力异常与热流异常现象。重力能与地热能相互作用，是控制地壳构造运动发生发展的主导因素。其总趋势是打破旧的重热静态平衡，力求建立新的重热动态平衡。这种相反相成、相互制约的关系，反映了地球内部物质引斥互控的内在联系。

内、外生地质作用之间相互影响、相互制约。内动力引起的岩石变形和地震、火山活动等可触发诸如滑坡、崩塌、泥石流和海啸等表生地质作用，悠久而强烈的剥蚀与搬运作用又可改变局部重力场而导致内生地质作用。

内生地质作用之间或外生地质作用之间相伴而生、相互影响。例如，由于“地幔对流”的热流的升降循环运动，导致了海底扩张、大陆漂移、板块变位的机械运动，伴生而来的便是炽热

基性岩流沿洋中脊、转换断层等破裂带乘虚侵入的岩浆、变质作用，形成洋壳板块的新陈代谢的构造变动；岩石圈板块之间的碰撞和岩石圈与软流圈之间的摩擦或剪切作用又可转化为地热运动。新产生的地热能与软流圈潜藏的炽热岩流相结合，便可导致地下热能运动内部矛盾的激化与突变，从而触发板块边缘地带强烈的岩浆侵入、火山爆发、地震活动和变质作用。这种作用的相互转换，实际上是地球内部机械运动与物理化学运动的相互转化。外生地质作用之间也同样存在相互制约的现象。例如种植、采矿、工程开挖等人为地质作用，又作为一个巨大营力参加表生地质作用的循环，可直接引起边坡破坏，加速剥蚀和搬运、加快风化、诱发滑坡和泥石流等灾害性地质作用的发生。

总之，内外动力地质作用相伴发生、相互作用、相互抵偿、相互叠加，反映了地球运动统一性的内在关系。

2. 水平运动与垂直运动的统一

复杂的地壳运动具有两种基本运动形式，即垂直运动和水平运动。哪一种运动为主，一直是地学领域长期争论不休的重大理论问题之一。当人们从不同沉积岩相的特征变化来推断构造运动时，最先看到的是海陆沉积环境变化，因此极易联想到地壳是有升有降的，似乎是以垂直运动为主。于是萌生了“固定论”假说，认为地壳仅在垂直方向上作升降运动。海陆位置是固定不变的，否认在水平方向上的平移运动，这就是 20 世纪 60 年代以前一直占据地学领袖舞台的槽台观点。

与此不同，从力学机制来分析地质构造的学者，则根据地壳内向斜、倒转褶皱、大型推覆体和大规模平移断层的事实，提出了地壳构造运动以水平方向为主的观点。板块学说风靡全球后，水平运动观点取代了“固定论”的领袖地位。由于板块学说既合理地解释了海陆升降的原因，又论证了火山、地震的分布规律；既指出了裂谷盆地形成的原因，也揭示了高山产生的根源，所以

它把一个个看似孤立的上升、下降或水平移动等地壳运动现象上升到整体的协调运动，把岩石圈板块的水平运动和它的抬升与下降运动纳入同一过程，这样就把水平运动与垂直运动统一起来了。

地壳运动以水平运动为主，垂直运动辅之。地壳应力研究表明，在地壳上部，构造应力的水平分量一般均大于垂直分量，特别是大洋中脊扩张、洋壳向陆壳底下俯冲、洋陆相撞造山等现象，令人信服地证明，地壳上层构造运动是以水平为主的。地堑与裂谷带，过去一直认为是垂直方向的断陷所造成的，近年来，在深部构造研究的基础上，发现不少地堑与裂谷带的形成在深部受到一个低角度铲形断裂的控制，如东非大裂谷和华北断陷盆地等；有的则是水平张扭应力场所形成的拉分盆地，如山西地堑系等。

当然，在水平运动为主的总趋势下，局部地区和地段，垂直运动也可占优势，如深部岩体对上部构造的控制、地幔热柱和盐丘形成上部的断陷盆地等。

水平运动与垂直运动相伴而生，互为补充。板块既然是地壳运动的基本单元，那么板块的水平运动则成为控制地壳其他运动的枢纽。板块学说所揭示的地壳运动是以水平运动和垂直运动相伴而生的运动：地幔物质沿着大洋裂谷上涌形成新洋壳，这是一种垂直运动；洋底的扩张，不断地向大陆方向的推移，这是一种水平运动；而洋壳与陆壳的碰撞带则是一个一般倾向大陆的逆冲断层带，水平位移分量和垂直位移分量均存在，而大小则依其倾角而定。因此，在这一运动系统中水平运动与垂直运动都存在，两者互为依存且随位置的不同而相互转化。所以，水平与垂直运动的相伴而生的运动形式使全球板块运动构成一个整体：在海底扩张的同时，大陆漂移正在进行；而板块的水平挤压又控制着地壳垂直运动的发生。因此，板块构造说将一个生生不息的运

动着的地壳表面图景生动地呈现出来。

水平运动与垂直运动相互派生、互为因果这种互为因果的关系恰可由槽台演化与板块构造之间的联系表现出来。岩石圈作不协调水平运动时，总是处于地壳的均衡调整过程中，从而形成明显的升降运动痕迹。例如，在大陆上，岩石圈作背离水平运动时所产生的岩石圈断裂导致大陆裂谷的产生、壳层的堆陷、地槽的形成及地垒、地堑等张性断裂构造。可见地槽的升降过程是在岩石圈水平运动的背景下实现的，而地槽的纵横迁移则是岩石圈持续的水平运动的结果。近些年，发现的一些无根性山脉，就是岩石圈水平运动的不协调所产生的局部大规模推覆进而抬升为山脉的。

同样，垂直运动也可派生水平运动。在洋脊和大陆裂谷处，岩石圈中的地幔上升涌流导致岩石圈的穹起，形成大洋中脊体系。洋脊的两侧岩石圈壳下流的水平背离运动限制了洋脊的水下高度，而壳下和洋脊内的上升流则是地幔涌流与岩石圈接近时在三维空间中发散的产物。可见，岩石圈的水平运动实质上是地幔物质的垂直运动所派生的，同样壳层的差异水平运动也要受到岩石圈重力位差的影响。可以说，没有幔源物质的上涌就没有板块的水平运动。所以，地幔物质的对流式的水平运动导致了物质上涌式的垂直运动，进而导致了地壳物质的水平运动。在局部范围内，由升降运动所派生的水平运动也屡见鲜，如重力滑动导致地质体水平扩展，局部地区地幔热柱的上涌造成地表拉破而形成裂谷盆地等。

由此可见，水平运动和垂直运动在地球的任一层次都不是孤立存在的。地球的膨胀和收缩是经向的升降运动，地球不同圈层表面积的增大和缩小是切向的水平运动。在相同的级别或层次上，水平运动和垂直运动是并列共存的两种运动形式。张伯声教授认为，所谓的垂直运动和水平运动，实际上是地壳运动方向的

投影，本质上是斜向运动，根本原因则是地壳运动是一种波浪状运动，水平与垂直运动只不过是波浪状运动的特殊表现形式，这或许从本质上揭示了水平运动与垂直运动的内在联系？值得进一步探讨。

3. “开”与“合”的统一

马杏垣教授按构造应力作用状态和变形体制的不同，将地壳运动概括为“升、降、开、合、扭”等五种形式。其中，“开”与“合”是最基本的，它是地质构造演化的一对主要矛盾。开裂可以形成盆地、裂谷、拗拉槽、地槽、大洋等构造，它们各有不同的岩浆、沉积、变质和成矿特征；聚合则褶皱造山、隆起成陆，同样伴随着特有的各种地质事件。在地质历史上，大陆与大洋演化的基本特征是“开”、“合”有规律的出现。开裂的最高产物是大洋的出现，聚合的最终结果是大陆的固结，地壳和岩石圈就是这样不断裂开又不断开拉通化地发展。显然，不管在地质历史演化中，还是在一个区域的构造变动中，“开”与“合”是地壳整体运动的两上不同侧面，二者的统一性由时空上的组合规律所反映。

①在时间上，“开”、“合”是可以互相转化的。从整个地质历史看，地壳的“开”与“合”是相间出现的，一个时期以开裂运动为主，另一个时期则以聚合为主，一“开”一“合”便构成了一个构造旋回。循此思路，杨巍然教授等划分出了中国地壳演化史的若干个开裂期和若干个聚合期。从一个区域而言，一个时期表现为开裂，另一个时期必表现为聚合。如东秦岭构造演化，中晚元古代以“合”为主，通过板块俯冲一对接而使南北古陆连为一体；到古生代至三叠纪，开裂占优势，统一古陆解体，形成断裂造山带；至中生代早期，聚合变为主要矛盾，表现为断块逆冲及形成推覆构造；而在中生代晚期和新生代，则再次转为开裂为主，在张性断裂控制下形成各种山间盆地。

在总体的开裂阶段也可有局部暂时的聚合发生，或者说，剧烈的开裂实际上只集中发生在一个漫长拉张阶段内相对短暂的几个作用期内。如在南格陵兰的加达尔火山省中，就辨认出了始生代时期有三次主要的裂开幕及相关的碱性岩浆活动，它们分别发生在距今 13 亿年、12.65 亿年和 11.7 亿年。同样，在总体的聚合阶段，也可有局部暂时的开裂发生。如晋宁运动（距今 10.5 亿~8 亿年）使扬子地块的基底形成，澄江运动（距今 7 亿年）则使晋宁运动后的磨拉石建造轻微褶皱并开始了南沱冰碛层的沉积。因此这一历史阶段在扬子地区为聚合期，但在其西—西北边缘却有开裂环境下的陆相火山喷溢活动（铁船山群等）。

②在空间上，“开”与“合”是互补的。从全球构造而言，大洋中脊的开裂往往与洋陆聚合相伴出现。从区域上看，一个地区遭受开裂形成盆地，相邻地区则挤压形成高山，山盆体系如“孪生兄弟”，反映了“开”与“合”的统一性。在整体的开裂区内，也有局部的聚合，如大西洋的拉张大陆边缘中，局部可见到太平洋型的挤压大陆边缘。在整体的挤压区内，也可有局部的拉张发生，如新生代中国东部在滨太平洋挤压环境下，华北盆地中出现局部的拉张型盆地等。

“扭”是联系“开”与“合”的桥梁。“开”、“合”、“扭”是地壳运动的三种最基本的“扭”常常调节着“开”与“合”的演化和转换。中国东部中生代构造演化规律恰好反映了三者之间的内在联系：*a.* “开”、“合”相间出现为中国东部构造演化的基本动因，中生代共有八次开裂作用，比聚合作用明显，“开”、“合”控制了成油盆地和地震区；*b.* 扭动构造比“开”、“合”构造型式更直观，它控制着储油构造和地震带，掩盖或改造了“开”、“合”构造形迹；*c.* “开”、“合”从基底作用和区域动力环境两个方面制约着“扭”，但扭动也造成了局部的“开”与“合”。“开、合、扭”三类构造形迹的相互叠加和改造，造成

了中国东部中生代构造的复杂化和多样化。

因此，“开、合、扭”三种运动是处于同一运动系统之中的。40多亿年来，正由于地壳的多次“开”，加之“扭”的叠加与调节，沧海桑田、分离拼合，并伴随着强烈的褶皱、断裂、变质、岩浆活动、花岗岩化和混合岩化等后期的多次改造作用，方便全球构造图景显示出如此复杂的面貌。

4. 膨胀与收缩的统一

1852年鲍蒙首先提出地球收缩说。1927年林德曼反其道而行之提出膨胀假说，这两种截然相反的观点在地学舞台上各领风骚数十年。后来由于板块学说的问世，它们才退出了前台。但是，由于胀缩观点既可解释一些地质现象，又有客观存在的成因条件，而且某些观点与板块构造的观点不谋而合甚或可弥补板块观点的不足，因此至今仍有许多学者认为，地球的胀缩脉动是地壳运动的动力之一。

由于地球是一个不均质的弹塑体，决定了地球体积胀缩形变的必然性。地球在演变中既不会只收缩，也不会只膨胀。而是有缩有胀。因此，地球长缩交替的周期性运动贯穿于地球发展史的全过程。

控制地球体积胀缩变化的主要因素有：①宇宙环境的周期性变化；②地球内部的热作用；③地球重力作用；④地球自转速率的周期性变化。这四种主要因素之间是相互联系、相互影响的。宇宙环境的变化引起地球胀缩脉动可分为直接和间接影响。当宇宙中的物质以高速碰撞地球而加入地球时，地球质量将不断增长。地心引力增大，地球必然收缩，这乃直接影响因素。另一方面，日月岁差转距和潮汐转距的变化以及银河年G值的变化也可导致地球自转速率发生改变。当地球自转因此而变慢时，也就伴随着地球体积的膨胀；当地球自转因此而变快时，必然伴随着地球的收缩。由于诸种宇宙动力的变化具有周期性，所以地球自

转速率的变更同样具有周期性，地球的胀缩脉动在地质历史上则是周期性交替出现的，因此二者是统一的。

地球内部热作用包括：地内重核分裂的蜕变轻化作用将引起元素总体积相应增大几十至上百倍，不可避免地导致地球体积增大与地球物质密度减小的总效应；放射热（巨量核变能），积累与释放为主的地球热运动（热冷波动）将产生宏观性的热胀冷缩效应；各大洋底沿洋中脊的扩张导致地球体积增大；地壳热胀和破裂促使加速向太空散射地热和物质，又会转而促使地球变冷收缩和旋转速率加速。可见，热作用因条件不同主要导致地球膨胀，但也可引起地球冷缩，因此在同一因此影响下，地球的胀缩是可以相互转化的。

地球的重力作用主要引起地球体积的收缩。在一定条件下，当地球内部向心引力常数 K 值增大时，地球就不断地收缩。但是，当地球物质密度减小引起重力加速度 g 和地心引力常数 K 值降低时，又会促使地球体积趋向膨胀。热作用和重力作用均可导致地球的膨胀和收缩，二者的对抗性作用是地球演化过程中的一对基本矛盾。重力作用主要导致地球收缩，热力作用则主要导致地球膨胀。地质历史也是多次收缩与膨胀交替的历史。

随着地球的收缩，一方面地内物质产生“向心迁移”，并在侧向收缩压力作用下，造成地壳凹陷、褶皱等地质构造和岩浆侵入活动；另一方面，地球自转速率加快，这时便产生两极向赤道方向的离心惯性力，前者将使地球偏心率增大，地壳表层物质从高纬度向赤道方向推移，海水则向赤道方向浸没，发生南北向的挤压和扭动，后者使大陆发生大规模的东西向的挤压、张裂和扭动并伴随着其他地质事件的发生。

在地球的整体或局部膨胀期，地内物质将产生离心迁移，即物质主要由地壳深部和地幔移向表层。同时，地球膨胀将导致陆壳和洋壳破裂，形成张性深大断裂、大陆裂谷和洋脊裂谷。地球

的膨胀还将产生东西向的挤压和扭动，地壳表面出现大规模的南北向构造带。

宇宙环境周期性的变化，可导致地球自转速率周期性变化，进而引起地球周期性的胀缩脉动；地球的重力和势力的对抗生斗争和转换又引起地球收缩和膨胀的交替，进而又导致地球自转速率的变化。收缩和膨胀又可诱发地壳运动，从而不断地调整着地球内部的物理化学状态，也不断地改变着地球表面的构造格局和地貌形态，这就是地球收缩与膨胀交替作用的统一运动过程。

5. 均变与灾变的统一

19 世纪中叶以前，以居维叶为代表的地质学家曾把地球历史看成是由一系列灾变事件所分割的历史。莱伊尔的均变论占领地学领袖舞台以后，灾变论一度沉默多年。均变论认为，地球在过去并没有经历过巨大的灾变，地质学家所观察到的生物、气候、构造等剧烈变化是由于缓慢的逐渐积累的结果。近些年，由于天文地质学的一些新发现，灾变论思潮重新崛起。这股思潮认为，灾变是常见的、普遍的地质现象，是划分地质历史阶段的基本因素，是旧阶段消亡、新阶段出现的基本动力。于是，新灾变论的崛起又挑起了均变论与灾变论的争端。

新灾变论的崛起是以许多基本事实为依据的。例如：类地行星表面大量陨击坑说明，小天体对地球等星体的冲撞是一种相当普遍的灾变现象；古生物在地质历史上有过多次大规模的突然灭绝与新生期；全球性的古地磁极性倒转事件是在相对短暂的时刻内发生的；全球性的构造剧烈变动时期大体是同时发生的；地质历史上的五次大冰期表明古气候的变化具有大规模的突然性变化等等。这些事实说明，地球灾变事件是客观的，并且贯穿着地球演化的始终。

如前所述，若把地质作用的过程看成是外动力与内动力作用的对立统一的话，那么就可以认为，地质历史的发展是一个均变

与激变（灾变）的对立统一过程，在各种外动力作用下发生的风化、剥蚀、搬运、沉积和固结成岩作用是一种渐变的过程，它们常常是在相对稳定的地质环境中通过漫长的岁月而显示其作用的，一些外力作用（天体动力）和各种内力作用，如火山爆发、地震、地壳运动则是一种激变的过程。它们把地壳深部长期积累起来的能量迅速地释放出去，从而达到一种新的动态平衡，开始一个新的地质阶段。因此，均变是一种长期缓慢作用过程。激变（灾变）则是短期突发作用过程。二者相互交替发生，贯穿于整个地质历史，地球因此而永无休止地经历着由低级向高级的螺旋式上升的发展。

造成地球发生激变运动的动力主要是宇宙事件、地球胀缩脉动和地球自转速率突然变更等。多种动力在某一阶段的同步作用，导致地球能量场、物质场和应力场发生调整 and 变化，进而引起地幔与地壳运动的激发与激化，出现地幔对流，岩石圈板块位移和造山运动等全球性泊变事件。除此而外，渐变与激变之间也可互为因果，从而体现二者成因联系上的对立统一性。在一个长期渐变过程中，随着能量的积累，往往孕育着新的激变事件的发生。如断层在长期蠕滑活动中，不断地积累应力，到一定的极限条件时，断层将发生突然性的粘滑活动即应力突然释放，从而引起地震活动。相反，激变运动所造成的地球能量的分散与释放，为渐变过程的到来提供了前提；激变运动所形成的山脉体系，又为缓慢的剥蚀和沉积作用提供了物质源和沉积空间。

渐变与激变的交替发生不仅表现在地壳运动这一层次上，而且还表现在其他地质事件中，如沉积物 沉积岩 沉积矿的转化过程中，就有两次激变事件；生物的遗传、变异和进化过程中的渐变与激变在地质历史上也是交替发生的。

上述事实说明，地球在其演变过程中，存在渐进变化，但重大的历史转折处，常是质地快速变化，它们常与地质灾变事件有

关；渐变的积累也可导致激变，而激变中又孕育着新的渐变，激变与渐变在一定条件下可以相互转化，并因此而推动着地壳运动由低级向高级，由简单到复杂的运动发展。

（五）地球演化历史的统一——地壳运动的旋回性

自 1788 年 *J. Hutton* 首次在《地球理论》一书中提出地质旋回这一概念以来，地质学界许多新思潮的开创者对地质历史中的特征明显的分幕事件的连续系列进行了旋回性的研究。

在漫长的地质历史时期中，地壳运动明显地呈现出周期性重复发展的特征，一般把地质构造发展有规律地出现的周期性构造活动过程称为构造旋回。在一个构造旋回期间，整个地壳同时呈现出地壳构造状态的周期性变化，其延续时间或 2 亿年、或 1 亿年左右。然而，每一构造旋回在不同地区并不是绝对同时开始和同时结束的，在不同地区地壳的构造旋回发育也是不一致的。地壳的演化就是从一个构造旋回向另一个构造旋回螺旋式发展的过程。

构造旋回的思想首先是在地槽说中建立起来的。别洛乌索夫等人把地槽发展的旋回分为下降沉积、褶皱隆起、岩浆侵入上升和硬化剥蚀等四个阶段。这种观点认为，地壳的演化是地槽、地台的相互转化，原始的地槽在造山过程中固结硬化，转变为原始的地台；在下一个构造旋回期间，地台破碎形成地槽，再次重复上述演化过程。每个构造旋回都是从地槽的发生、发展开始，旋回的晚期均以地台占优势。

我国黄汲清教授早在 1945 年也提出了地槽褶皱带多旋回发展的思想，通过解剖秦岭等典型褶皱系的发展史，黄先生后来把地槽褶皱带的多旋回发展分成三个阶段，即早期旋回、主旋回和后期旋回。同时还指出，褶皱带的多旋回发展并不是重复固定在一个位置上，而是往往朝着一定的方向连续移动，对于整个带来说是在几个构造旋回中完成的，但对于其中某一狭小的范围来

讲，其发展又多是在一个旋回中完成的。所以，多旋回在时间上表现为多次重复，空间上表现为构造迁移。

如果把多旋回理解为多次活动，这应当是地壳发展的一个普遍规律，其原因可能与地幔对流阵发性的活动特点有关。所谓槽台的相互转化，实际上是陆壳与洋壳的相互转化。洋陆转化本质上反映了板块构造演化的旋回性。即威尔逊旋回：隆起 裂谷 早期漂移（红海型） 晚期漂移（大西洋型） 吸收和消亡（太平洋型） 封闭（地中海型） 结束（喜马拉雅型） 稳定和固结（克拉通型）等八个阶段。这八个阶段归纳为一个大的板块构造旋回，从这个角度看，它是巨大的物质运动和物质富集作用的基础和前提。大陆从分到合，从合到分形成了一个完整的周期，伴随大陆的分合过程，大洋也经历着从张开到闭合的发展过程。

不管是地槽发展的旋回，还是板块构造旋回，均是地壳构造演化的历史统一性的具体表现。地球演化的旋回性并不仅限于构造旋回，地质旋回是由一系列相互联系的旋回组成，包括生物进化旋回、沉积旋回、岩浆旋回、变质旋回、冰川旋回、地球化学旋回、海水进退旋回等。例如，从火山活动的方式来看，不同时代的火山喷发性质不同，太古代以熔透式喷发为主，古、中生代以裂隙喷发为主，而第四纪大陆上的火山活动基本上都是中心式喷发。*R. Dearnley* 统计了 3400 个岩浆岩年龄数据，结果表明其高峰值分别落到 27.5、19.5、10.75、6.5 和 1.8（亿年）几个点上，这些点正好与大规模的全球构造运动的时代相吻合。这说明岩浆活动不仅有一定的周期性，而且与构造旋回具有统一性。

生物演化的周期性则更明显。自显生宙以来，寒武纪的海洋是三叶虫的天下，到泥盆纪则易位于鱼类；石炭、二叠纪为两栖动物与孢子植物的时代；爬行动物则主宰了中生代的海陆空，裸子植物统治了当时的植物王国；第三纪哺乳动物与被子植物统治

着生物界，到第四纪人类变成了地球的主人。

这些旋回虽然涉及到地球的不同圈层，但其周期往往有严格的同步关系。具体表现为，每一次激烈的构造运动发生时，岩浆活动频繁强烈并伴随着成矿作用和变质作用的发生；海水向赤道汇集（海退）；气候变冷（有时出现冰期），生物发生大规模灭绝。当构造运动趋于缓和时，岩浆活动减少；成矿和变质作用也减缓；海水向两极流动（海进）；气候变暖，新生物大批出现。

是什么力量可以同时推动地球诸层圈发生同步运动呢？什么因素导致多种地质事件同步发生？我们认为，复杂的“地球交响乐”，不仅反映了地球内部与外部作用过程的共振，而且还反映了地球运动的古今统一的渐变与激变的交替规律，更主要的则是反映了地球与宇宙运动的共振。近些年，发展中的天文地质学提供的许多资料证明，地质旋回与宇宙事件发生的旋回有密切的关系。例如，小天体冲击地球以 6 亿年为一大周期，并与日月对地球的潮汐和岁差转矩的变化的 6 亿年一年周期相叠加。这些宇宙事件的巨周期与地壳的分裂和汇集旋回相对应（6 亿年）；小天体冲击还有 2 亿年和 1 亿年为间隔的两个周期，与地壳运动的 2 亿年和 1 亿年的旋回相对应（尤其是古生代以来）；银河年的周期约为 2 亿 ~ 2.5 亿年，与大规模的地壳运动时间间隔一致；地球大规模的海侵出现于太阳在远银心点时期，大规模的海退出现于太阳在近银心点时期；古生物门类的产生与灭绝及古地磁移阶段的改变也发生在远银心点或近银心点时期；地壳上最重要的成煤、成油时期也集中在近银心点时期。这些事实进一步说明，天体—地球—地球诸层圈的运动是相互联系的，宇宙事件—地质事件的旋回是有着共振关系的。循着这一思路，作者建立了一个新的壳运动旋回系列（见表 5）。

周期性的宇宙事件调节着地球的胀缩脉动，制约着地壳运动的旋回，不断地打扰和推动着全球构造的演化，使地球演化进入

一个又一个的新时期。地壳运动与地质事件的旋回性，是地球演化的古今统一性的具体表现，它体现了地球演变的天与地的对立统一、稳定与不稳定的对立统一、渐变与激变的对立统一、前进性与曲折性的对立统一以及连续性与阶段性的对立统一。由此可见，要真正把握地球运动的规律。任何单一的模式都不能完善地解释整个地球的演化历史，也无法阐明各个地质时期的各种地质作用和地质事件发生与发展的原因，在这个意义上，整体性地质思维方法就显示出了较强的生命力。

三、整体性地质思维的原则与方法

客观事物的整体性是整体思维的前提。由上述分析可知，地球本身是一个整体，地球物质系统是一个整体，地球运动系统也是一个整体，地球的演化是一个整体演化过程，这就客观上要求地质学家的研究地球这个整体性客体时必须坚持整体性思维。整体性地质思维的任务就是：思维主体如何在整个思维过程中全面、系统、综合、立体地反映地球的客观整体性。因此，整体性地质思维的基本要求是把地球看成由各部分所构成，又把它看成是有机联系的不可分割的整体，还把它看成是处于宇宙世界中普遍联系的一员，这样才能地质思维中逻辑地再现客观整体。我们在这里给地质整体思维下一个普通的定义：地质整体思维就是把地球这个客观对象的抽象整体加以系统分析和系统综合，也就是从多角度、多层次、多手段、多形式去全面地考察地球这个客观对象抽象的整体，并使之具体化的思维过程。

整体性地质思维是一个十分有趣的问题。我们结合自己的科学科学研究工作进行过长期的探讨。经过几年思索，我们认为地质整体思维有特定的原则、规律和方法，而这些内容将从三个方面进行讨论。

（一）整体性地质思维的基本原则

所谓地质思维的整体性原则，就是运用系统的观点来认识地质现象的一个最基本、最核心的原则，具体就是连续性、立体性、系统性和动态性等四原则。

1. 连续性原则

连续性原则是指思维的主体从纵的方面去反映地球的本来面目，就像把无数个不在一个平面上的点，连成无数条直线，进而把整个地球的演化和地质事件勾画成一个有机连续而不间断的发展过程，不要人为地中断整个思维过程。

在地质学研究中，将今论古的历史分析方法正是体现了这一原则。人类生活的一段时间，在地球的演化进程中虽然只不过是一瞬间，但仍是地质历史链条中的一环。因此，“现在是认识过去的钥匙”。地质学家可以凭借对现代地壳运动的观察，在已知的现在到过去的未知之间搭起一座由此及彼的桥梁，运用“已知现在推断未知过去”，进而做到由知之较少到知之较多，逐渐揭示地史演化的这个未知领域的奥秘。

将今论古的历史分析方法是建立在地质演化的连续性基础之上的。第一，如前所述，地球今天的面貌是几十亿年的漫长发展史的连续，因而今天与昨天、近代与古代之间有着不可分割的联系。第二，地史期间的不同阶段可能出现相类似的运动形式，例如拉张、挤压、岩浆活动、变质作用等，在不同的历史阶段均可发生。第三，地史演化所留下的地质事件的历果轮回与相互作用的遗迹，为人们提供了“由已知现在推断未知过去”的基础。例如，将残缺不全的地层，按照相继生成和逐一重叠起来的上下顺序确定新老关系，可进行地层划分，编出地层层序；根据生物群组合与地质环境的关系，将不同地区具有同种生物化石遗迹的地层，确定为一年代，可为地层对比提供依据。第四，一定的地质事件受控于一定的地质环境，从已有地质事件保留的信息中，可

反推出各种历史地质环境。例如，通过相分析和相迁移恢复沉积环境，再造古地理面貌及其演化；从地层厚度、拗陷深度反演拗陷速度；通过确定地壳运动面的性质、判别地壳运动的时间及空间的发育规律；通过岩浆系列、沉积系列和变质系列的划分确定大地构造环境；通过不同建造的空间上的分布及时间上的变化，勾绘出稳定区与活动区构造演化的过程等。第五，不同历史阶段的地质事件之间具有一定的序次关系，为由新到老、由此及彼的历史综合分析提供了条件。例如，通过对同一构造应力场作用下的构造组合形式的序次分析，可推知这些构造单元所经历的发育演化和相互作用的过程。由于新构造往往继承了老构造的活动，通过追溯应力场的演化，由新到老、由近及远、由浅入深，一幕幕地去探求，然后再由老到新、由远及近、由深入浅，一幕幕地反演并互相验证，就可揭示出一个地区的构造演化历史过程。

因此，力学分析描绘和拍摄的是构造形态和构造形迹的空间展布格局的大量片断和镜头，历史分析则把这些片断和镜头串联起来，将之编织为前后连贯的胶片，从而再现出几十亿年来地球各圈层演化的历史过程。在这方面，板块构造学说可谓是这种连续性整体思维的典范。板块构造说把地壳视为六大板块的有机组合，把地壳运动看成六大板块作相互水平移动，地壳的“过去”和“现在”的整体运动与局部运动总是相互联结的。几亿年前已经发生的整体分裂的各个大陆，至今以“海底扩张，板块构造”的漂移机制为中介，仍然处于相互制约之中。过去一向被人误解的亚、非、美等大陆各个孤立组成部分，原来就是一块有机的整体结构。由古至今，由今及古，整个地球就是一个具有整体联系和整体运动的特征的庞大系统。

不言而喻，地质整体思维的连续性原则实质上是一个时间原则，它体现了辩证唯物主义把世界不仅看成是事件的集合体，而且看成是过程的集合体的思想。

2. 立体性原则

地质整体性思维的立体性原则，指的是思维的主体从横的方面去多方面反映地球这个整体。地球物质系统和运动系统，如同由许多复杂元素构成的网，如果我们的思维仅从某一角度发生，虽然可局部描绘某一个方面发展，但常易使地质学家一叶障目，忽视对地质现象整体活动的研究，立体性原则强调的是地质思维要从地球所包含的各种属性出发，全面、综合、整体地考察它、反映它，如同放射现象一样，围绕着对象中心向四周展开，使整体性事物内在诸要素之间的错综复杂关系的网清晰地展示在我们面前。

长期以来，由于科学技术水平的限制，人类对地球之处、大陆之外和地表之下的事情知之甚少。所以在相当长的时间内，地质学家一直是瞎子摸象般地琢磨地球，难以窥其全貌。近些年，随着人类上天、下海和入地成为现实，地质学家从三维角度去认识地球逐步变得现实起来。板块构造学者借助于海洋勘探资料，开了立体认识地壳运动的先河。通过海陆对比，人们一方面发现海洋与大陆的构造特征具有深刻的一致性，从而通过海洋进一步认识了大陆地壳生成演化和运动的规律；另一方面，人们又把大陆与海洋的演化和运动联系起来，看成是由两上不同部分组成的运动整体，二者由挤压式、引张式和转换式三种边界连接，三种边界则为大陆与海洋之间的三种相互作用的形式，不同形式又伴生或派生不同类型的其他地质事件，这样就有效地认识了地壳运动的立体面貌和海陆之间的内在联系。

通过天地对比，人们发现了地球与类地行星的诸多共性，找到了地球运动与宇宙天体运动之间的内在联系的纽带，在认识地球的本质又前进了一大步。通过浅深层的对比，地质学家有了从纵向上认识地球层次结构的机会。原来，下部软流圈和上部岩石圈的纵向结构，以及扩张带、消减带及转换断层以三合点形式

将岩石圈切割为若干个板块的横向结构，是地球上部最基本、最典型的结构。在这种结构背景上的全球板块运动和构造发育过程及特点就体现出相应的层次特征。

通过浅深层的对比，人们还进一步发现了地壳本身的层状构造特性。地壳上层发育沉积盖层，出现脆性变形，中层为韧性层，出现层状的塑性流动构造，下层为花岗岩化或混合岩化的流变层，反映岩石内部的固态对流。各层又可分为若干构造层，通过这种纵向上的不均一性，人们又发现了犁式断层、剥离断层、大型推覆构造等薄皮式伸展构造，以及远距离迁移的地体等特殊构造现象。可见，对地球深层结构探索的地球物理方法与对地球表层的地质观察方法相结合，促进了浅层的认识向深层的发展，深层认识又丰富了浅层的认识。

地质思维的立体性原则还可由遥感方法的应用得到体现。各种地质体和地质构造形迹，通过地表形态、土壤和植被覆盖、侵蚀网的平面分布、地貌景观要素的特殊分布等特征，在航空航天照片中间接地得到反映。借助于这些信息，通过计算机处理，由一个地区地质现象的可辨状态系列，恢复地表物覆盖下的地质构造面貌。毫无疑问，把航片、卫片上反映出的信息联系起来，从而也就把一个地区的地质构造和地质现象勾画为一个整体。这样，我们不仅从总体上研究各种地质现象的组成、结构体系、各部分之间的关系等方面，认识其发展趋势，而且还可抽取不同结构层次和类型的信息特征类比研究其他地区的地质问题，甚至由卫星照片获得的地质信息特征类比其他星球的相似特征。

由上可见，立体性原则实际上是一个空间原则，坚持这一思维原则，可使我们在认识地质现象时避免以偏一概全的片面性思维方法。

3. 系统性原则

一般认为，系统性原则就是从整体内部的诸要素本身所固有

的联系来考察和分析整体性事物。考虑到地质科学思维的特殊性，我们认为系统性原则是时、空统一的原则，它反映了连续性原则和立体性原则的统一。系统性原则包括三重意义：一是构成地质整体的各地质事件的成因联系，具体反映了各种地质现象之间的因果关系和序次关系；二是构成地质整体的各地质事件的组合关系，如前所述的成岩成矿的物质组合关系，构造形迹之间的配套关系；三是不同层次的地质整体与其环境的关系，包括从最高层次的地球整体与宇宙环境的关系到低层次的元素迁移富集与地球化学环境的关系等。

地质整体的规定性就存在于这三种联系之中，系统原则即是对这三种联系进行考察。这三种联系是一种综合效应，在地质学研究中，“系”、“场”、“相”等概念及其研究方法是系统原则的具体化。

“系”的概念在地质学中应用很广，如前所述的各种构造系列、物质系列等。它说明，在地质体中，每一个层次的物质是相互联系的，可以自成体系。每一体系要受高一层级的体系所控制，但同时又控制着更低一层次的体系。如构造体系的思想就表述了构造形迹之间的内在联系，分解过程为：统一构造应力场
统一的构造体系 不同类型的构造带 各种低级别的构造体系
具有成因联系的构造形迹群 单个构造形迹（亦或微形构造体系）。显然，任何一种构造现象都不是孤立的，都隶属于不同层次的构造体系，低级别受高级别控制，各级别构造体系受统一动力场和边界条件制约。

关于“场”用的最广是“构造应力场”和“构造形变场”。所谓构造应力场，指的是在一定的空间范围内构造应力的分布状态。受到某种应力场控制，相应出现的构造形迹的空间则称为构造形变场。就一个地块而言，构造应力场不仅仅是最大、最小、中间主应力的分布状态，还包括了不同方向和不同层次的剪切应

力分布状况，这反映了各种应力之间的内在联系。同时，一个地块的应力场还受边界条件的制约和外动力（如重力和宇宙力的制约），所以构造应力场不因环境的变化而被调整，这反映了“场”与外部环境之间的相互性。构造形变场则是地块中具有成生联系的构造形迹之间的组合类型、排列规律以及分布关系，如构造体系即是构造形变场的具体形式。

我们通过近几年在关中地区工作发现，关中地区的滑坡、地震、地裂、泥石流等地质灾害相互之间有一个协调关系，构成一个区域性灾害场，而这个灾害场又受控于关中地区新构造形变场，形变场的变化又由新构造应力场所调节，新构造应力场又随着关中盆地的边界条件、深部条件和外动力地质作用的变化而得到调整。这表明，诸种地质现象之间既具有相互作用、相互制约的内在联系，又受控于高级别地质现象和外部环境的制约。

关于“相”的概念，不管是“沉积相”、“变质相”，还是“生物相”和“形变相”，都赋予了组合和环境的意义。例如，沉积相分为河流相、湖泊相、边缘海相、海相等。很明显各相的划分依据除了它本身固有岩石组合特征以外，还与它们的生成环境密切相关。变质相则主要由温度、压力和时间所决定，当然还包括其原岩岩相的背景。生物相却反映了温度、盐度、光度、压力、水、空气等条件的差异。特别应当指出的是，自 E·韩森 1971 年把相的概念引进构造地质学以后，构造形变相的分析已逐步成为热门。傅昭仁撰文认为，构造形变相的分析乃是构造变形生态环境的研究，他把各种物理条件，包括温度、围压、地化溶液、以及岩石应变速率（时间）和应力施加方式都看成是岩石变形习性的函数，即：

$$M = f(\begin{matrix} T & P & Q & S & t \end{matrix})$$

↓

↓

↓

↓

↓

温度压力溶液受力方式时间

上述五个条件都影响着岩石的变形习性（ M ），进而影响着岩石的变形样式程度，即变形相，关系式为：

$$D = f\{M, E, S, t\}$$

↓

变形相 $[E(T, P, Q)]$

这样就把岩形变特征与其变形性状和变形环境之间的成生联系揭示出来了。进一步，由于变形相的不同，则出现不同类型的构造群落，这一术语用以表达同一构造变形条件下所产生的那些具成生联系，并组合成一个统一整体的各种构造形迹的总和。由于不同深度的构造生态环境不同，所以不同层次具有不同的构造群落；地质发展的不同阶段、构造生态环境也有差异。因而也出现不同类型的构造群落，甚至构造群落的叠加和构造式的置换。这种研究思路恰好体现了地质整体性思维的系统性原则，为创造地质学的研究开创了一条新路。

由此不难看出，系统性原则就是从地质整体内部的诸要素间本身所固有的联系来考虑和分析地质体和地质事件，它从纵横两方面对地质体进行分析和综合，并按客观地质体本身所固有的层次和结构，组成认识之网，逻辑再现客观现象的全貌和本质。所以，系统的观点是地质整体思维的最重要原则和思想。

4. 动态性原则

所谓动态性原则，是指思维的主体要从变化的角度去反映地球客体，这是因为地球是一个变化万端的复杂整体；整体中的物质、能量、动力状态等要素在不断地变化着；由于各地质体和地质事件等要素本身的变化及其他方面的发展，要素之间的联系随之而不断地变化着；影响地球整体发展的环境因素，诸如宇宙环境、外动力等各个方面都在变化着，以新的面貌影响着地球的发展；不同的历史阶段，出现了不同的地质事件，其显示

的地质面貌也必然不同，这是时间的差异性； 地球的运动和发展可因地域的不同而表现形式不一致，这是空间上的差异性。

因此，我们所研究的对象是“活”的动态的整体。所以我们的思维也应当具有动态性，以便准确把握地球物质系统和运动系统的差异性和变化性，从而正确认识地质客体的发展规律。

地质现象的差异性表现在诸多方面。例如，裂谷系在空间上虽具有配套组合的地质构造和岩石矿床的统一模式，在时间上也具有大致相似的演化过程。但实际上，世界各地的裂谷又都具有自己的特点和演化阶段，这是地域上的差异性。地壳运动具有2亿年或1亿年左右的旋回性，但这种旋回并不是同一种形式的简单重复，在老旋回基础上发展的新旋回往往具有新的性质，是地球历史上的一次“进步”，历史就是这样不断更新而前进的，这是时间上的差异。地壳运动在宏观上表现为大陆有分有合，分久必合，合久必分；大洋有生有长、有消有亡。地球面貌是不断更新的，这反映地球演化的动态变化性。陈国达先生提出的“地壳构造历经了地槽 地台 地洼三个前后相继的发展阶段”的思想，体现了整体思维的动态性原则。地槽阶段并非地壳演化的起点，地洼阶段也非地壳发展的尾声。这种多阶段的地壳演化本质上表现为“活动区”与“稳定区”的相互转化和交替更迭与更新，恰恰反映了地壳整体运动的动态变化性。地洼说还认为，多阶段的地壳演化是因地而异的，就现阶段来看，有的地区已进入地洼阶段，有的尚属地台阶段，还有一些地区则依然表现了强烈的地槽活动，这种同一运动机理下的因地而异的表现形式又恰恰反映了地壳整体运动在空间上的差异性。

近年来活跃于构造地质学领域的构造地球化学和构造动力成矿的学术思想，就是在科学思维中把握住了动态性原则的实例。

杨开庆先生将地壳运动与地壳物质的变化与调整归于统一，探讨了构造运动引起的地壳物质调整的规律，认为地应力是物质

调整、变化的主要动力之一，而物质的组成和空间的调整是外力和应力的必然适应性平衡过程。其基本思路是：地壳运动 应力调整 物质的调整 新的岩矿类型。这一思想不仅把握了运动与物质的统一性，而且还把握了运动与物质本身在不同条件下的变化性。

与此略有不同，宫同伦先生提出的动力成矿作用，则强调定向构造应力作用于含矿层或矿源层所引起的矿物以不同方式进行运动和迁移、并在构造有利部位富集成矿的过程。这种思想把握住了静态的含矿层在动态的构造应力作用下的可变性，同时也把构造运动与物质系统联系起来了。

总之，复杂多变的地质事实告诉我们，地质思维绝不可停留在一个平面上，也不能停留在一个阶段上，而是应根据实际情况不断地调整自己的思维导向和思维方法，以求真实的揭示地球这个整体客体的本来面目，这就是地质整体思维的动态性原则。

（二）整体性地质思维的基本方向

地球的整体性质与规律存在于组成其各地质体和各种地质事件等要素的相互联系和相互作用之中，而这种相互联系和相互作用共同规律则反映在事物的整体与层次、部分、结构、功能、环境和运动的辩证关系上。因此，地质整体思维应当把握住下述五种辩证关系。

1. 整体与层次的关系

处理整体与层次的辩证关系，是为了确定地质学的认识对象和思考范围。所谓层次即层次结构，并非指结构内的分层排布现象，如原子核外电子的分层排布，地球壳、幔、核的分层排布等。层次结构是旨若干要素经相干性关系构成的系统，再经过新的相干关系构成新系统的逐极构成的结构关系。整体以层次态将不同的部分联系在一起，相互作用而形成统一整体。整体与部分要素属于两个不同层次的东西，整体是上一层次的，是由各部分

组成的统一体；要素是下一层次的，地球壳、幔、核虽呈分层排布，但却同属地球整体下的同一层次的要素。不同的层次，具有不同的特点和运动规律。一般来讲，微观世界服从量子力学规律，宏观世界服从牛顿力学的规律，而客观世界则服从相对论力学的规律。地球整体的运动规律显然与壳、幔、核的规律不同，当然这并不排除壳、幔、核各自在运动规律上的差异性。另一方面，还要看到整体与部分的区分又有不确定的、相对的一面。整体相对于它的上层次是部分，而部分相对于它的下一层次为整体。从对象的整个序列来看，整体与部分相互过渡，具有一种阶次分明的层次性。如矿床系统是由矿物系统—矿床系统—成矿系统—成矿带等不同层次组成，各层次在所属系列中占据自己的位置。研究各层次时，既要看到它和整体联系，同时又要把它作为一个完整的系统，注意它和其他层次的联系，同时又要把它作为一个完整的系统，注意它和其他层次的联系。通常在考察一个地质现象时，只要把它上层次和下层次考虑进来就够了，没有必要也没有可能把所有的层次都考虑进来。

此外，各层及同一层次的要素之间又存在着相互作用、相互转化的机制。高层次作用于低层次，低层次也可作用高层次。例如，地球内部圈层之间的相互作用，地幔热能的聚集可导致地壳破裂和系统开放，促使地幔热能和物质外向散溢，地球散热与聚热过程循环往复，驱动着一系列地质作用的过程，导致岩石圈板块的分离、聚合和碰撞。相反，随着古老洋壳物质进入地内，地幔局部将出现减温，则进一步加速地幔对流的循环。

层次性的深入，可加深对整体性的认识、整体性的概括，又可扩展对层次的认识。地质学研究是在愈来愈深入的辩证的整体性与层次性的认识中不断前进的。例如，在动力作用下，地质学家最初看到的是岩块的变形和破坏，即岩块的调整。借助显微镜，人们发现了岩石的变形与变质特性，即岩石的调整；现在通

过电子探针分析，人们发现了矿物的应力分解，杂质挤入、重结晶、相变、晶体结构和体积变化，矿物的磁、热和电性变化等现象，即矿物的调整，可见，对同一问题可有不同层次的探讨，弄清微观层次的状态，又是搞清宏观整体变化的手段。

2. 整体与部分的关系

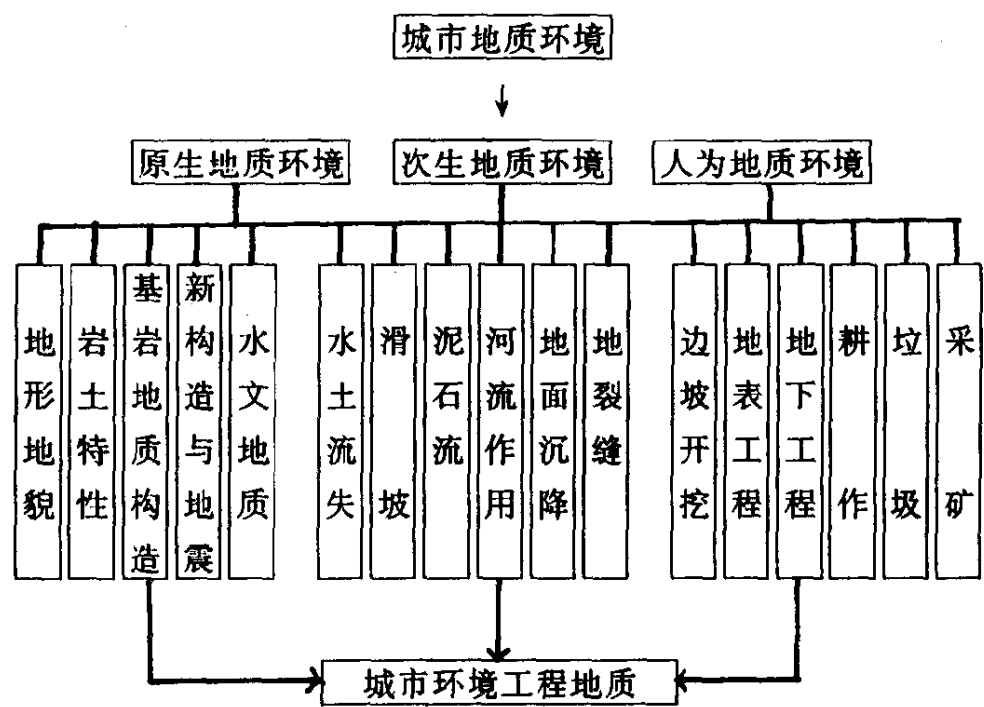
古希腊伟大思想家亚里士多德曾说过：“整体大于它的各部分的总和”。这形象地表述了整体与部分的关系，任何整体虽由各个部分组成，但在功能与行为上，在运动规律上，又与构成它的部分回然不同。整体的功能不等于各部分功能之和，称之为非加和性，是整体方法的一个基本原则。例如，钠（ Na ）和氯（ Cl ）元素构成食盐（ $NaCl$ ）为人类食用，但单独的元素钠和氯本身却不具备这种功能，是无法食用的。然而，部分也能在一定程度上体现整体的性质，认识部分也可以在一定程度上认识整体。例如，我们可能通过陨石的研究考察其他天体的组成成分，由一块恐龙骨头推断恐龙的整体结构等。所以，认识部分是认识整体的重要途径。

地质整体与部分的关系还表现在地质整体的每一部分的运动都依赖和影响其他部分的运动，每一部分要在其他部分的作用下，才能对整体发挥作用。如城市环境工程地质问题，刘玉海教授将其视为一个动态性的整体，它由原生地质环境、次生地质环境和人为地质环境三大部分所组成。我们总结其整体结构如表 6 所示。

三大部分的关系及其与整个城市环境工程地质的关系为：人为地质环境及其对城市环境的工程地质的影响要依赖于次生地质环境，而次生地质环境又依赖了原生地质环境的影响，原生地质环境又在一定程度上取决于次生地质环境和人为地质环境。可见，整体与部分之间的关系并不是一个单因果关系的因果链，而是一个互为因果的因果网，整体的任一部分都是整体所有部分的

函数。我们还可进一步分析比例，当三个部分之一发生变化时，整个城市环境工程地质就要发生变化，这说明整体行为依赖于部分的行为。相反，若城市工程地质环境出现不协调，也会导致三个子环境之一发生变化，这又说明部分的行为又受整体行为的控制，并协调于整体行为之中。

表 6 城市环境工程地质结构关系



根据以上分析，我们在研究地质问题时，应当把地质客体始终作为整体看待，把整体的各个部分、各个方面、各个因素联系起来考察，从中找出共同规律性的东西。对部分的研究只是手段，目的是加深对整体的认识。此外，对部分的研究不能孤立地进行，应把这一部分与其他部分及整体联系起来，在对部分取得一定认识之后，应用立体图景关系求得整体的性质，把对部分的认识与对整体的认识联系起来，把对部分的认识反馈到对整体的认识，从而使对整体的认识得到修改、充实和提高。

需要指出的是，我们虽然强调整体性思维，但也不排除在一

定条件下把复杂的地质现象的联系割裂和切断，对某些特殊的部分有进行考察的必要性。例如在研究造山带时，我们有时通过研究沉积相，进而确定造山带物质系统的建造环境；通过研究变质岩中的拉伸线理，确定造山带的缩短方向和量级等。然而，这种方法有一定的局限性，只能把它作为多种方法中的一种方法，还必须要有其他手段和参照系统，并把运用不同方法所取得的认识结果相比较，取长补短，从而形成较为全面的认识。

3. 整体与结构功能的关系

整体各部分之间的联系方式和作用形式的总体称为整体结构。整体对物质、能量、信息的转换能力和对环境的作用称为整体功能。整体结构是整体功能的基础，整体功能是整体结构的表现。结构决定功能，但功能也反作用于结构。地质整体的结构，是普遍地、有序地存在于地质物质系统和地质运动系统之中的。矿物结构、矿石结构、岩石结构、岩体结构、土的结构等都指的是这些物质系统内部要素各要素的排列组合方式；裂谷系、沟岛弧系、山盆系、构造体系则是大地构造单元内部的各要素的排列组合方式的集合。结构对整体具有决定性作用，地质体内部排列不同可引起地质体功能发生质变。例如，石墨和金刚石都是由同量的碳元素构成，但由于二者碳原子的空间排列形式不同就显示出截然不同的物理性质，一个软得可碾成粉末，一个硬得可钻透顽石。结构若发生变化，整体功能也随之改变。例如天然矿物的晶体结构一般都不是完美无暇的，往往存在十分复杂的缺陷。当矿物受力时，必然发生晶体的位错和位错的传递、攀移及堆垛而导致晶体内部结构的改变，以显微构造体现其结构调整方式。这种结构的调整使矿物许多物理性质发生改变，包括硬度、X光衍射峰的宽度、密度和导电性等。有时因矿物的结构调整，甚至可以导致矿物变异，如矽线石在强应力作用下，其结构由斜方晶系变为三斜晶系，矽线石变为蓝晶石。这说明，即便整体的成分

不变（矽线石和蓝晶石都是 Al_2SiO_5 ），结构的变化也可使整体的功能发生根本转变。

上述矿物晶体的结构是一种平衡结构，但地质体中，有许多是非平衡结构，如岩石中的环带构造、缝合线构造和条带构造等。诺贝尔奖金获得者普里高津创立的耗散结构论，为我们研究地质体中的非平衡结构引出了新思路。所谓耗散结构，即是物质系统通过向外界耗散能量，使体系在非平衡状态（往往是远离平衡态）下形成的时间和空间上的有序结构。由于耗散结构是一种非平衡的有序结构，这就决定了它在地质学中应用的广泛性。地质过程都是不可逆的过程，因而演化过程所经历的状态全为非平衡态，在地质过程的非平衡演变过程中可形成非平衡结构，即耗散结构。於崇文教授将耗散结构理论引入地球化学研究中，认为时间的不对称性和地球化学过程的不可逆性以及空间的不对称性和地球化学系统走向有序结构（耗散结构）是一切地球化学系统存在与发展的基本规律。例如：成矿作用的发生，本质上是无矿的非平衡状态失稳并转为耗散结构（成矿状态）的条件与机制的问题；化学元素的地球化学旋回可视为耗散结构随时间作周期性演变，即周期性的化学振荡；地球化学场则是一种局域化的耗散结构等。从而较合理地解释了地球化学整体作用过程与非平衡态结构演变的关系。

Ortoleva 应用耗散结构论研究沉积岩认为，沉积岩中的层状分带（一种特殊结构）与沉积层理一致，是成岩阶段受流体等作用自发形成的，称自模式化，也就是耗散结构理论中的自组织结构。沿着这一思路，*Menino* 似乎走得更远，他将地质上所见到的许多环带状、条带状构造系统称为自组织或自模式化现象。我们认为，许多地质问题都符合耗散结构所揭示的规律，大到地球由低级有序到高级有序结构的转变过程，小到显微构造的发生与分布规律。此外城市工程地质和斜坡稳定等问题也同样可用耗散

结构理论的思想进行研究。

既然部分通过一定的结构才结合成完整的整体，部分与结构都是决定事物性质的因素，因而要考察地质体的整体性质，就不仅要认识单个地质现象，而且还要认识地质体的结构，尤其要把握结构的变化。这就是通过了解各组成部分以及它们之间的关系（结构），进而从各组成部分中推导出整体的性质的思维方法。

4. 整体与环境的关系

地球物质系统和运动系统的功能表现为整体与外界环境的相互作用上，功能是整体在一定环境中产生的，功能又制约着整体的结构。如果一个整体不能发挥综特有的功能，就不能与外界环境进行正常的物质、能量和信息的交换，从而这个整体无法保持自身结构上的稳定性。因此整体与功能的关系在相当程度上体现在整体与环境的关系上。

所谓环境，是指与地质整体事件发生相互联系和作用的全部外界条件的总和，它既包括比某一地质整体更高层次的更大的地质整体，又包括该整体周围的其他物质或运动系统。整体与环境的关系，一方面表现在环境对整体的物质、能量的输入，另一方面则是整体对环境的反馈，即输出。任何地质系统都有一种达到并保持动力学平衡（自动平衡）的趋向，当外界环境发生变化时，这种动态平衡可能失调。于是地质系统的结构、功能将会发生改变，进而导致系统的性质和状态变化。例如，斜坡的极限平衡条件由斜坡的应力状态所确定，而斜坡的应力状态又取决于构成斜坡稳定的内在因素，如岩土物性、岩层结构和产状、地质构造、岩体位置、坡角和临空面等。这些内在因素决定了斜坡的结构、功能及其稳定性，同时这些内在条件又受斜坡的边界环境所制约。斜坡的外界环境包括地表水、地下水、风化作用、荷载作用、气候、植被、新构造运动、人工载挖边坡等。这些外部条件之一发生变化，就可通过内在条件作用而导致斜坡的极限平衡条

件改变。如斜坡地区的新构造活动，必然改变斜坡原有地质构造条件变化，进而引起斜坡应力状态的改变，导致滑坡的发生；连续暴雨使斜坡原有裂隙扩大并贯通，必导致大面积滑坡或滑塌等……一个地区滑坡的周期性发生恰恰反映了该区自然环境或地质环境的周期性变化。

由于整体与环境的关系，实际上是整体与其他整体或它所从属的更大整体的关系，因而要深刻认识地质界任何一个物质系统或运动系统与环境的关系问题，又必须进一步研究地质界的层次问题以及环境的变化对地质整体状态和性质的变化的影响规律。整体与环境的关系，本质上也是一个内因与外因的关系，环境的变化通过内因而导致整体的改变。与人类经济——工程活动有关的外部环境的改变是由人类控制的，因此人们可以通过维持自然环境的平衡而达到维持城镇工程环境的平衡，减少地质灾害的发生。

5. 整体与运动的关系

层次、部分、结构、功能、环境是任何一个地质整体都不可缺少的方面，整体变化是这几个方面协调作用的结果。离开了任一方面，整体也不能发展变化。这是因为任何整体都是动态的开放系统，它在与周围环境进行物质、能量和交换过程中，除了要接受外部环境的各种作用，其内部各部分间也通过结构而相互作用。整体的运动可分辨出许多种状态，组成整体的状态系列。如地震、地热、黄土湿陷、地下水位下降、地面沉降、地裂缝等存在的可辨状态，组成了西安市区环境地质系统的状态系列，而这种状态系列的成因，主要来自整体部分之间（构造原因）和整体与环境（自然与人为两类）之间的相互矛盾、相互制约（张明定，1983）这种状态系列又决定了西安市环境地质的整体运动状态，后者是前者的综合效应，这说明整体的运动状态受控于各部分运动状态，各部分之间的运动又相互影响，互为因果。如

地裂缝的发生可因地面沉降引起，地下水位下降则是地面沉降的主因等。

此外，整体的运动也可促使整体的各个部分、各个方面发生协同作用，成为整体存在的必要条件。如当地壳运动发生时，挤压应力场与引张应力场往往相伴发生。在前部出现挤压，后部就出现扩张，前部扩张、后部则出现挤压，这是整体运动导致各部分间的空间上的协调性。早期区域拉张有局部的挤压——地槽早期裂开的沉陷；晚期的区域性挤压存在局部的拉张——地槽晚期隆起——褶皱和回返；这是整体运动导致各部分在过程上的协调性。因此，整体与运动是不可分割的，我们应当把整体置于运动中去考察。

（三）整体性地质思维方法的若干特点

地球的整体性，决定了地质思维必须从整体与层次、部分、结构、功能、边界条件、动力学环境、运动机制的辩证关系上来把握它，从地球本身所固有的各个方面、各种联系上去考察它、分析它。这种整体性地质思维方法的基本特点概括起来为四个方面，也即导致地质学家思维方法变革的五个转变。

1. 对单一地质现象的研究转向对地质事件进行时（地史）空（构造）物质场（岩矿）的立体研究

由对单一地质事件的研究转向总体上对不同事件的相关性研究。如把沉积建造、岩浆活动、构造变动和成矿作用等不同地质事件作为相互作用着的部分的总和来考察；将地壳运动的水平与垂直、固定与活动、激变与均变之争统一到诸种动力和作用相互制约、相互协调、交替出现的整体运动过程中。

2. 由对各种地质事件实体的研究转向对各类地质事件的联系和结构的研究

把不同地质事件用组合或系列的概念联系起来，把构造变形的方向与地壳运动的方向性联系起来，用“场”、“系”等观点考

察地质整体的结构联系、功能联系、各部分联系、部分与整体的相互关系。

3. 由对地质事件的相对静止的研究转向着重对地质事件的动态，发生发展和历史演变的研究

从时间联系方面反映客观地质现象，将地壳运动看成是在时空上呈波浪式或螺旋式发展；用地壳运动旋回的观点将地质历史的多期性与周期性、连续性与阶段性、前进性与曲折性统一起来。

4. 由对地质事件的内部联系的研究转向着重对地质事件与环境统一的研究

将地球运动与宇宙环境的变化联系起来，将各种地质事件的相互作用看成是互为环境的关系，用“相”的观点解释各种地质现象的生成环境……

5. 由对地质现象的一般组合特征的研究转向对地质现象的因果联系的研究

用构造序次的概念将构造变形的成生联系统一起来，注重考察新构造对老构造的继承性、盖层构造对基底构造的继承性，注重次生地质作用受原生地质作用的制约、次生地质作用又常由人类经济工程活动所诱发等相互关联的问题。

四、本章结语

由上分析可见，地质学家所研究的地质目标，既不是单纯一个点，也不是孤立的一条线、一个面，而是具有全部丰富性和复杂性动态立体网状结构的地质整体；地质学家所考察的地质运动，既不由单一动力所致，也不仅表现为某一种运动形式，而是具有内外多种动力的相互叠加和多种复杂的地质运动形式，但又统一性在整体而连续的范围中；地质学家考察的地球演化史，既

不是停留在某一阶段，也不是某一形式的简单重复，而是具有多阶段、多旋回，并由低级向高级不断进化的螺旋式发展的连续过程。

不言而喻，地质学家的思维方法，已不是机械地化繁为简，用单因素的分析法来认识部分地质现象，又用简单相加的方法求知整体地质现象，而是由线性研究转为非线性研究，由单向思维转为多路思维甚至反向思维，由封闭思维转向开放性思维，由简单类比转向串联思维……从而综合地、立体地、系统地、连续地、动态地研究地质现象和把握地球运动及演化规律。

第九章 从中西哲学的比较上看 中国地学思维的特点

中西方文化存在诸多重要差异，哲学差异是文化差异的核心内容，从哲学差异上来探讨中国古今地学思想的具体特征，可以发现许多有趣的内在联系。这对于研究地学思维，不无裨益。

一、两种不同的自然观——有机的和机械的

中西哲学的首要区别就是在于二者的自然观上。中国传统哲学把整个物质世界视为一个有机整体，因而可称之为“有机的自然观”，而西方哲学总体上说来，则是力图从部分入手来把握世界，认识事物，因而不妨称之为“机械的自然观”。具体表现在以下四个方面：

（一）中国古代哲学把整个自然界看作一个互相联系的有机整体

人是自然界的一部分，是自然系统中的不可缺少的因素之一。“万物与我们同根，天地与我同体”；“天地与我并生，万物与我为一”；“天地一指，万物一马”（《庄子·齐物论》）；仁者以天地万物为一体，莫非己也（《二程全书》卷十二）。总之，“天人合一”。中国哲人很少讲“征服自然”、“战胜自然”、“与自然相抗争”一类的话。虽然荀子有过“大天而思之，孰与物畜而制之，从天而颂之，孰与制天命而用之”（《荀子·天论》）的“天人相分”的思想，但始终未能成为中国文化的主流。这种思想与现

代生态文明思想相一致，但另一方面却抑制了人们改造自然的热情和发展科学技术的内在欲求。

中国古代哲学不仅把整个自然界视作一个有机整体，而且每一具体事物也是一个有机整体。在这种整体论中，整体与部分表现为非加和式的关系，即整体不等于部分之和；部分与部分之间是相互渗透、相互包含和相互作用的。认识整体比认识部分更重要。从“阴阳”二气的相互消长，“五行”的相克相生到传统医学的经络学说及辩证施治，都表现了这种整体论。

和中国自然观不同，西方哲学把宇宙看作是由一些最基本的“颗粒”(“原子”、“元素”、“基本粒子”等)铺砌而成。一些极端的观点甚至把整个自然界看作一架机器；把人体、人脑视为具有复杂结构的机械装置(如霍布斯及18世纪的法国唯物论者)。在这种整体论中，整体与部分之间表现为加和式的关系、部分与部分之间存在截然分界面。认识部分可以代替认识整体，因而更有意义。如为了解生命本质，就需将生命体进行解剖，分成骨骼系统、血液循环系统、神经系统等。

中西哲学在自然观的上述区别可用图1表示。

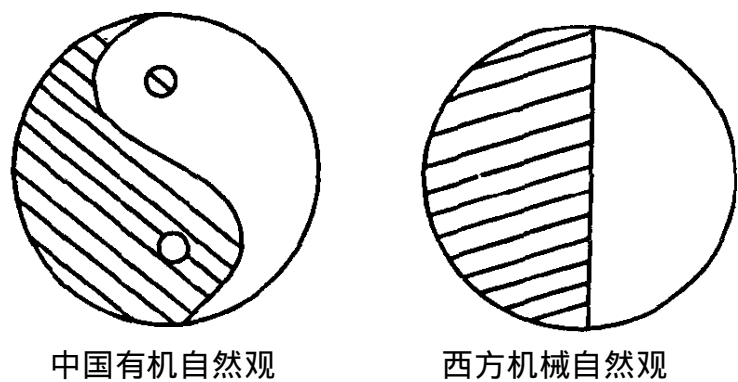


图 1

受上述整体观的支配，中国先哲们在 2000 多年以前就注意到九州内自然景观的宏观变化(见《禹贡》)，产生了明确的山系概念，并注意到中国山系具有向西收敛、向东撒开的趋势^[1]。

现代中国地质学中的诸大地构造学派也都多带有立足于全球构造的系统论思想。

（二）中国哲学把世界统一于物质性的“气”或“道”

这不同于西方哲学把世界要么统一于某种具体的物质形态（如水、火等），或某一具体物质层次（如原子），要么统一于某种精神实体（如“理念”等）。中国哲学的“气”或“道”作为万物的统一基础，具有自本自根的特征。其特征与现代的“物质”概念有相通之处。道“覆天载地，廓四方，柝八极，高不可际，深不可测，包裹天地，禀受无形。”（《淮南子·原道训》），总之“通天下一气耳”（《庄子·知北游》）。“气”或“道”是永恒存在、万古不朽的，具有“物质不灭”的特征。“一物能化谓之神，一物能变谓之智。化不易气，变不易智”（《管子·内业》）；又说气“化物者来尝化也，其所化则化矣。”（《淮南子·精神训》），即宇宙万物运动不止，流转不息，但作为其统一的基础，物质性的“气”或“道”则是不变不化的。

（三）中国哲学中的“天道”与人性相贯通

“人法地，地法天，天法道，道法自然”（《老子》二十五章）。作为宇宙本根和存在规律的“道”同时又是人生价值、伦理道德的标准和行为规范。即知（知识）与行（道德践履）相统一，知识范围的“真”与道德范畴中的“善”相统一。“天命靡常，惟德是从，民之所欲，天必从之”（《左传》襄公二十年引《尚书·泰誓》语）。“道未始有天人之别，但在天则为天道，在地则为地道，在人则为人道”（《程氏遗书》卷二十二），人可以由“尽心”到“知性”，由“知性”到“知天”（《孟子·尽心上》），以达到人与天的和谐统一。而在西方哲学中，“意志自由”恰好在于对自然规律的独立性，意志法则是一种纯粹超越经验的形式，非人所能感觉、认识^[2]。在基督教神学中，在凡尘与天国之间更是有一条不可逾越的鸿沟。

（四）中国哲学中的整体思想与西方哲学中的区别

在中国哲学中，不仅人性可以通“天道”，而且宇宙中万事万物的部分都可以映像其整体。整体之中有部分，部分又是一整体，每一层次的部分与整体之间都具有“分形”或“自相似”的特点。《周易》的核心思想就是认为人类万物普遍具有天地（阴阳）的结构特点和主从关系。天为阳，地为阴；在天则日为阳，月为阴；在地则春夏为阳，秋冬为阴；昼为阳，夜为阴；男为阳，女为阴；父为阳，母为阴……在中医学中，这种部分映象整体的思想十分丰富。以《黄帝内经》为例，如“五脏六腑之精气，皆上德于目而为精”（《灵枢·大惑论》）；“耳者，宗脉之所降也”（《灵枢·口问》）；“十二经脉，三百六十五络，其血气皆上于面而是空窍”（《灵枢·邪气脏腑病形篇》），这就是说，中医把人的眼、耳、鼻、手、足等均视为一个个可与整个人体五脏六腑相映像的小人体。

在西方哲学中，尽管也有部分映像整体的思想，但究其实质，多是把部分与整体简单化地等同、同一，如毕达哥拉斯的“一”，德谟克利特的“原子”等，实际上都认为存在一个铺砌世界大厦的最小砖块，这些砖块在质上与整个宇宙大厦完全同一。这同样反映出其机械的整体观。

中国传统哲学中的这种“全息论”思想，对中国现代地质学有明显影响。如李四光、张伯声、张文佑等均提出“大小构造不分家”。在运动方式及形成机理等方面小构造可以映现大构造，对小构造的研究可以对大构造研究产生启迪。尤其是张伯声的波浪镶嵌构造学说，把地壳看作一级套一级的波浪状构造交织网络，“块中有条，条中有块”，一直到显微构造。这些构造网的任一层次在结构和功能上都可相类比。

二、两种不同的运动观——生命的和物理的

中西哲学的重要差别之二，表现在二者的运动观上。西方哲学从古希腊开始，就以数学、几何学、物理学知识为依托，把物理、机械的运动等自然现象作为自己的研究对象。从毕达哥拉斯派的“动”与“静”、芝诺的“四个悖论”、亚里士多德的“四因”说，一直到文艺复兴后的培根、霍布斯、笛卡尔及18世纪的法国唯物论者，哲学家着重讨论的都是机械的、物理的运动。而中国哲学则不同，中国哲学以自然现象的认识主要是基于“生命存在”的内在体验。自然现象常被赋以生命的特征。在中国古代哲学看来，宇宙是一个健动不息的生命存在，是一个不断演化的有机系统，生命的“大化流行”和永恒运动构成宇宙、天地、万物最重要的本质。

中西哲学在运动观上的差异，并不主要在于是否承认运动的存在和普遍性，而在于对运动的终极动因的不同理解。“物理论”者把运动的终极原因或归于某种“物理实体”——如亚里士多德的“不动的推动者”、巴门尼德的绝对静止的“存在者”；或归于某种精神实体，如基督教的上帝、黑格尔的“客观精神”等等。这些物理实体或精神实体属于超验存在，与现象界是截然相分离的。而在中国哲学中，由于把自然界看作是一个有机的整体，生生不息、大化流行便为宇宙机体所固有的根本属性。宇宙万物中都包含着“气”或“道”，这些物质运动的“本根”与万物是一种不即不离的关系。根本无需到物以外去寻找其运动的原因和动力。从日月星辰的形成，生命、人类的起源，生物的演化，四时的变化乃至地震的产生，矿物的形成均源于宇宙间无处不在的“阴阳”二气的流转和相互作用。

关于宇宙的生成，《淮南子·天文训》说：“天际未形，冯冯

翼翼……气有涯垠，清阳者，薄靡而为天；重浊者，凝滞而为地。清妙之和专易，重浊而凝竭难，故天先成而地后定，天地之袭精为阴阳，阴阳之专精为四时，四时之散精为万物。积阳之热气生火，火气之精者为日；积阴之寒气为水，水之精者为月；日月之淫为，精者为星辰”。《叔真训》中还把宇宙的形成分为四个阶段：开天辟地以前的以前，开天辟地以前，开天辟地，万物产生。第一阶段是混沌状态，第二阶段是“天气始下，地气始上，阴阳结合，相于游竞畅于宇宙之间”。这种从宇宙本身探讨宇宙形成的思想与近代康德星云假说有相似之处，与现代地壳演化理论中“清升浊降”、“元素垂向分异”的思想相吻合。其中的“天先成而地后定”与现代科学对宇宙、太阳、地球年龄的厘定、比较结果相一致。

关于生物、人类的形成，《管子·内业》说：“凡物之精（精气），此则为生，下生五谷，上为列星，流于天地之间，谓之鬼神”。“凡人生也，天出其精，地出其形，合此以为生”；《庄子》说：“本无气，杂乎芒芴之间，变而有气，气变而有形，形变而有声”（《至乐》）；“人之生，气之聚也，聚之为生，散则为死”（《知北游》）。荀子说：“水火有气而无生，草木有生而无知，禽兽有知而无义，人有气、有生、有知、亦且有义，故最为天贵也”（《荀子·王制》）。

关于生物的演化，《周易》将之看作天地这一最大的“阴阳”规律性的动静交替作用的结果。“动静有常，刚柔断矣”；“夫乾，其静也专，其动也直，是以大生焉。夫坤，其静也翕，其动也辟，是以广生焉”（《系辞上》），意思是天在静时，保持一定的气候，使万物产生一定的适应性，形成一定的生活阶段，天在动时，改变原来的气候，使万物产生一定的变化性，出现生活阶段的转变；地在静时，以一定的方式滋养万物，地在动时，改变生存环境，促进万物转变，坤卦《文言》说：“天地变化，草木蕃

蕃”。这种关于生物与环境之间的矛盾运动引起生物演化的思想与达尔文“物竞天择”说相一致。

关于地震，《国语·周语》对周幽王（公元前8世纪）二年的地震解释说：“周将亡矣！夫天地之气，不失其序。若过其序，民乱之也。阳伏而不能出，阴迫而不能蒸，于是有地震”。

关于矿物岩石的成因，中国古代仍然是“气”成说。《淮南子》把五方（东、西、南、北、中）、五种金属（铅、银、铜、铁、金）五种矿物（青曾——孔雀石、白舆一砷、赤丹——朱砂、玄砥一磨石、石夫一雄黄）联系起来，认为形成矿物、岩石的根本原因是由各方位具有不同作用的“气”相互作用而成的。公元5世纪，《鹤顶新书》则说：“丹砂受青阳之气，始生矿石。三百年成丹砂而青女孕，三百年成铅，又二百年成银，又二百年多得太和之气而化为金”，显然，中国古代对矿物岩石之类的东西也赋以生命本质，而不是看成某种一成不变的东西。

基于有机的自然观，中国传统哲学不仅是大流化论，而且是变异和谐论。万物的变化在于“阴阳”、“五行”之间的矛盾和差异，其存在和发展还在于诸种内在要素和谐统一。在于对立面的相互依存、相互渗透和相互转化。“夫和实生物，同则不继，以他平他谓之和，故能丰长而物归之。若以同裨同，乃尽弃也。故先王以土与金、木、水、火杂，以成百物……声无一听，物无一文，味无一果，物无一讲（《国语·郑语》）“故有无相生，难易相成，长短相形，高下相倾，音声相和，前后相随，恒也”（《老子》第二章），“和如羹焉（《左传》昭元二十年）即对立面的相互依存相互转化是永恒的，这种相互依存相互转化也是美的。孔子提出了著名“中庸”思想，这种“中庸”思想的核心是“执两用中”、“致中和”。“中也者，天下之大本也，和也者，天下之达道也，致中和，天地位焉，万物育也”（《中庸·天命》）。

上述大流化的传统观念和变易和谐的思想在中国近现代地质

学史上也留下明显印痕。中国大地构造学说从一开始就多是活动论而不是固定论。例如李四光 1926 年从地球运动的全球系统性出发讨论了“地球表面形象变迁之主因”；黄汲清很早（1924 年）就接受了葛利普提出的“地槽迁移”说，后来又把传统“槽一台”说改造为多旋回说；陈国达把“单行程”和“活化说”改造成“动静递进转化”说——“地洼”说；最值得一提是张伯声的地壳波浪镶嵌说，他把整个地球看成一个在时间和空间上和谐有序的变化系统。认为在时间上地壳演化显示出一定的周期性和螺旋式上升，在空间上“地块”则表现为：“漂而不远，移而不乱”的特征。张伯声生前经常告诉他的学生“不能光讲一分为二，合二而一同样重要”中国传统的变易和谐思想在他那里得到了很好的体现。

三、两种不同的理性——具体的和抽象的

中西哲学的区别之三，在于二者是两种不同的理性形式。中国哲学是一种和实际生活、实际人生紧密相关的哲学，并没有为了理论而沉湎于纯粹抽象的推理，因而可以称之为具体的理性。西方哲学是一种“知识论”哲学，以追求某种超验的终极性存在成为哲学演进的动力源泉，思维往往不受实践的目的所制约，哲学常以数学、逻辑学、物理学为基点，围绕一些“基础性”的问题大加讨论，甚至常常出现许多极端的见解，因而可称之为抽象的理性。

具体表现在如下两个方面：

一是对宇宙体的不同设定。关于宇宙的终极性根源和演化机制，西方哲学先后提出过“逻格斯”、“存在”、“理念”、“上帝”、“单子”、“客观精神”等本体范畴。这些超验性的本体和现实事物处于相对立相分离的地位，对现实事物具有“始基”和原动力

作用。而中国哲学，由于把人与自然看成一个有机的整体，从而没有从严格意义上将本体与现实、自我与非我、主体与客体、人与天造成一种共时性、空间性的分离。中国的“道”或“气”不仅是“天地之根”，“万物之母”，同时又含于宇宙万物之中与万物“不即不离”。并且宇宙本体又是价值本体，是人类活动的最高准则的最后目的，是人生价值的中心内容。

二是西方哲学在现象与本质、属性和实体、殊相与共相之间严格划界，把可知而不可感的“本质”、“实体”、“共相”看作惟一真实的存在。这样使得共相和概念的使用获得了理性主义的支撑。从而为进一步的概念的运动奠定了基础，即促使了判断、推理、三段论等逻辑形式的成熟。而在中国哲学中，现象与本质，殊相与共相，个别与一般则表现为一种相互映像、相互联结的关系，因而中国古代哲学没有产生纯粹意义的对象性思维，相反地充分发展了意向性思维、象征思维和辩证思维。

具体说来，中国哲学的非逻辑思维表现为如下两种方法。

1. 比类取象方法

由于不在现象与本质、殊相与共相之间严格划界，中国古代哲学对事物缺乏严格的分析性的概念、定义，因而缺乏归纳、演绎等逻辑形式，而采取了“援物比类”或“比类对象”的非逻辑形式。中国古代哲学的“象”不仅指事物的现象、形象，而且有更多的象征、本质的涵义，不仅包含着感性成分而且包含着理性成分。在一定意义上，中国古代哲学实际上用“象”代替了西方哲学中的“本质”、“共相”等的思维功能。如“五行”中的“金、木、水、火、土”，“六气”中的“风、寒、暑、湿、燥、火”，直至“阴、阳”这样的“大象”，都是对大量特例、现象中的感性成分高度凝炼的结果，就连最高的宇宙本体“道”也是兼蓄感性与理性两种成分，“道之为物，惟恍惟惚。惚兮恍兮，其中有象，恍兮惚兮，其中有物”（《老子》二十章）。

中国古代哲学中抽象的“象”，是对相对具体的“象”的抽象和总结，而反过来，抽象的“象”又用相对具体的“象”来说明。取“象”、说“象”的目的均在于“尽意”。这种方法的好处在于在不对“象”进行剖析、拆零并给出定义、概念的情况下，不藉两种“象”的逻辑关系（彼此之间逻辑关系往往相距甚远），而只凭藉两类“象”在形象或功能上的某些一致就可说明认识对象的属性、特征和本质。如，关于万物的形成，《易传·系辞下》说：“天地或氤氲，万物化醇，男女构精，万物化生”。又如：张衡在解释他的“浑天”说时说：“浑天如鸡子，天体如弹丸，地如鸡中黄，孤居其内。天大而地小，天表里有水，天之包地，犹壳之裹黄，天地各乘气而立，载水而浮”（张衡《浑天仪图注》）。借“男女构精”喻天地，借“鸡子”喻宇宙结构，这在逻辑上可谓风马牛不相及，然而，这各抽象的“象”与具体的“象”之间的相通之处确能起到一定的“尽意”作用，并使人获得一定的真知。在现代中国地质学中，李四光提出的“大陆车阀”说，张伯声提出的“波浪状镶嵌构造”及“天平式摆动”模式，黄汲清提出的“手风琴式”的构造开合等等，均无不包含着丰富的比类取象的传统哲学方法。这种整体性的比类取象方法，确实有其独特之处，它能发现一些运用拆零、分析法无法获得的真理和启迪。这种方法在中国传统医学及现代中国地质学中的成功运用均为明证。

2. “心悟”法

不像西方哲学通过对概念、定义的准确理解和消化来学习知识，重建知识体系，中国传统思维是建立在“心悟”或直观的方法论基础之上的。即以自我身心的各种感受了解为基础，通过形象比喻，达到对事物之间关系的整体性把握。《墨经》上说：“知，接也”。又说，“知，知也者，以其知遇物，而能貌之，若见”。这里的“接”、“遇”不仅有感官与外物相接触之意，也应

包含人的亲身体验与外物相贯通之意。正如程明道说：“吾学虽有授受，天理二字却是自家体贴而来”。

朱熹在解释格物致知时说“是以大学始教，必使学者即凡天下之物莫不因已知之理而益穷之，以求至乎其极，至于用力之久，而一旦豁然贯通焉，则众物之表里精粗无不到，而吾心之大用无不明矣。此谓格物，此谓知之至也”（《大学章句》），讲的正是这个意思。

“心悟”的显著特点在于其“统觉性”（*apprehension*），即在不对事物的细节方面入微地进行把握的前提下，从其整体形象上“悟”出事物的本质和内在联系。中国传统哲学甚至反对用感官对事物进行精确的辨析。“道可道，非常道”（《老子》第一章）。“道不可见，见而非道，道不可言，言而非也”（《庄子·大宗师》）。《庄子》在《知北游》中所讲的混沌开窍的寓言，就明显否弃耳目感官的作用。“南海之帝为倏，北海之帝为忽，中央为混沌，倏与忽时相遇混沌之地，混沌待之其善，倏与忽谋报混沌之德。曰‘人皆有七窍，以视食息，此独无有，尝试凿之’。日凿一窍，七日混沌死。”这种“心悟”方法在很大程度上阻滞了知识的交流和积累，使得中国古代地学知识及其他一切科学知识缺乏系统性和精确性，并常使后人对前人的学说发生程度不等的歧义。如像关于中国古代地球形状的种种谈论，究竟是球形大地观还是地平大地观，至今仍存在诸多争论。又如中国古代成矿学说中“气”的概念，至今也难以给出一个准确的解释。

第十章 地质学中的几个时间问题

时间，在辩证唯物主义哲学中被定义为物质运动的持续性，标示事物或过程持续的久暂、间隔的长短、出现的先后序次，并指出时间具有一维性的特点。在地质学中，有许多耐人寻味的的时间问题，最突出地表现在如下三个方面：一是地球物质客体存在的持续性问题（主要是地球的年龄问题）；二是地球物质客体运动的可逆与不可逆问题；三是时间尺度的选择问题。围绕这三个方面问题，曾产生过或正在产生着许多观念冲突和方法论上的分歧。

一、无限的与有限的地质时间

关于地球物质客体（主要是地球整体）存在的时间问题，从来就有两种对立的观点，即认为地球年龄是有限的或无限的。可以说，在同位素测龄方法发现之前，有限论始终是占主导地位的。在不同的历史时期，这两种观点有不同的具体形态。在古希腊表现为“永恒论”（*Steady state*）与“循环论”（*Cyclic Cosmos*）的对立，前者以亚里士多德（BC 384~322）为代表，后者以芝诺等斯多亚派（BC 300~100）为代表。前者认为宇宙是无始无终的，而后者则继承了公元前5世纪赫拉克利特的“逻格斯”，认为万物源于火，终于水，第一循环约10800年^[1]。形成于公元1世纪的基督教，其初衷在于组织犹太人民进行革命斗争，循环论能满足鼓舞人民革命斗志的需要。按照这种观点，世界末日已

为期不远，届时救世主（基督）会重返人世，拯救人民，世界的最后 1000 年将是充满希望的“至福千年”（*Promised Millenium*）^[2]。后来，基督教逐渐演变为奴隶主阶级、封建主阶级的统治工具。这种“循环论”便蜕变为麻醉人民、并且神圣不可侵犯的“天条”。而永恒论，却一直被认为是违背教义，——尽管，亚里士多德的宇宙空间有限论、宇宙运动的“第一推动”说及目的论等倍受基督教神学的青睐。

16 世纪中叶，哥白尼的《天体运行论》发表之后，尽管人们心目中的地球的地位彻底改变了，宇宙的尺寸大大地拓展了，然而关于地球的年龄仍然盛行的是“循环论”。人们普遍认为，整个世界的进程由 6 个“宇宙天”组成，每“天”包含 1000 年，按宗教教义地球产生于公元前 4000 年，因此，“地球已活了 5000 多岁，世界已不会有多少令人欣喜的征兆”，时间的春蚕不再会吐出像以前那么多的丝了。“世界已临近它的末日”^[3]。许多基督教徒，甚至像开普勒等严谨的科学家对地球年龄都作过认真的考证，但他们的根据始终未超出圣经原文，其结论自然与圣经基本吻合。最有意思的是 16 世纪中叶的爱尔兰的大主教厄希尔（*Usher*），提出了一个极其精确的“创世日”，——认为地球诞生于公元前 4004 年 10 月 26 日早上 9 点钟，其工作之精细，态度之严谨，使得牛顿也对之深信不疑。

从文艺复兴开始，经过由伽利略到牛顿几代人的努力，力学和数学取得了辉煌的成就，人们通过实验、观察的方法对声、光、电、磁、天文、地质等现象进行了一定程度的研究，深信存在着普遍的“自然法则”。然而，人们并不把这些自然法则视作自然界本身的内在联系，而是当作上帝的“设计原则”的体现^[4]。似乎科学的目的就是要再现造物主创世的蓝图。从伍德沃德（*J. Wood Word* 1665～1728）和史登诺（*N. Steno*, 1631～1687）一直到魏纳（*A. G. Werner*, 1749～1817）、居

维叶 (*D. G. Cuvier* 1769~1832), 他们多在方法论上崇尚观察、实验和力学原理, 然而在自然观上始终不能摆脱宗教教义的影响, 地层和化石被他们当成诺亚洪水的见证^[5~6]。显然, 在地球年龄问题上, 他们是有限论者。

无限论的第一个有意义的进展应归功于布丰 (*G. de Buffon* 1707~1788)。18 世纪中叶, 物理热学已比较成熟, 摄氏百分温度计已经制成, 温度、热量、潜热、比热等概念相继确立^[8], 这使得布丰有可能以“科学”的方法对地球进行测龄。其做法是将一只烧红了的铁球来模拟地球的演化过程, 由之推算地球由炽热状态冷却到适合人类居住时, 需要 74800 年。尽管这是一个极不准确的数字, 但却无疑对循环论是一个沉重的打击。再就是赫屯 (*J. Hotton* 1726~1797), 他是第一个以科学原理为依据强调无限论的人, 作为瓦特的挚友, 赫屯提出地球运动的“热机”模式似乎是顺理成章的。他认为地球深部蕴藏着巨大的能量, 火山喷发炽热岩浆即是明证。地球的演化是循环的, 其建造作用与改造作用相抵消, 因而地球的时间“既没有开始的踪迹, 也没有结束的希望”。

真正使“无限论”盛行起来的是莱伊尔和达尔文。1830 年, 莱伊尔发表了他的《地质学原理》, 在这本书中, 可知论的现实主义原则被引入地质学, 从而成为近代地质学全面发展的起点。莱伊尔把地质作用看作是绝对均一的过程, 认为极其缓慢的地质作用可以造成令人惊异的地质现象。这样他就把地球的年龄看作是无限长。达尔文评价说: “有幸读过莱伊尔《地质学原理》的人, 如果不承认过去的时间长的令人难以置信, 那么不如立即把书合上^[9]。《原理》的影响在当时是空前的, 当时英国一位女作家曾这样写道: “中产阶级一般人士宁愿买五本价钱很贵的地质学书籍, 而不愿买一本当时很流行的小说”^[10], 由于这种影响, 使得无限论一下子流行起来。后来 (1859 年) 达尔文《物种起

源》的出版，更使得无限论的观念盛行一世，在该书中，达尔文对南部威尔德高地进行了研究，通过分别计算从窟窿高地上剥蚀下来物质总量及现代海岸的剥蚀速度，从而计算出搬运这些物质需要 3 亿年的时间。实际上，到 50 年代末，绝大多数地质学家都相信地球的年龄是以亿年计的^{〔11〕}。

1862 年，在欧洲享有盛誉的物理学家、热力学第二定律的创立人威廉·汤姆逊（*Willian Thomson* 1824~1907），发表了一篇题为《关于太阳热能的年龄》的文章。他的基本思路是，太阳是由大量陨星汇聚而成的，这些陨星在汇聚之前处于相对静止状态。在它们相互接近的活动中，引力势能转变为动能，在它们碰撞的瞬间转变为热能。其中有一半热能很快散失了，这样就可能对太阳的全部热能有一个估计，进一步对太阳发光的历史有一个估计。他得出的结论是太阳的年龄在 1 亿~1.5 亿年之间，1863 年，他在另一篇文章中指出，地球最初处于熔融状态，接着便是冷却。地表冷却的岩石在结晶前便下沉，从而引起对流。这样就保持了整个地球的热平衡，直到由中心向外表的结晶开始，最后是地壳结晶，整个地球变为一个各处温度均一的球体。他运用当时最先进的数学和物理学知识，经过一系列复杂的计算，得出一个 0.98 亿年的地球年龄值。从此在地球年龄问题上的有限论与无限论之间展开了一场旷日持久的激烈论战，在这场长达近 40 年的激烈争论中，地质学家、物理学家尝试了十余种不同的测龄方法和方案。其结果是以物理学家（汤姆逊等）为代表的有限论者大显威风，而以地质学家（莱伊尔、达尔文、赫胥黎等）为代表的无限论者一再退却（莱伊尔三番五次地修订他在《地质学原理》一书中的地球年龄数字）。最后地质学家们认识到，无限的时间是不存在的，但遗留的困惑是 1 亿年左右的有限时间实在难以满足地质作用和生物进化的要求^{〔12〕}。

无限论与有限论争论的历史给人的启示是，古代无限论与有

限论都是缺乏事实根据的猜测。后来由于宗教的影响，使有限论得以长期占统治地位，从 18 世纪中叶开始无限论抬头，到 19 世纪 60 年代无限论达到顶峰，60 年代以后有限论又占据了上风。总之，在近代地质学史中，人们对于地层、岩石的相对年龄看法是容易趋于一致的，但由于原子大门尚未打开，人们对地壳下的物性状态、地内热源及生物演化速度等方面知识还十分肤浅，同时缺乏切实可靠的地球测龄方法，因而从根本上讲，无限论与有限论的争论是无法得到仲裁的。

二、可逆的与不可逆的地质时间

所谓可逆与不可逆问题包含两方面含义：一是地球物质客体是永远如是地存在着还是处于演变之中的；二是演变仅仅是一些简单的重复性的变化还是一个由低级到高级的递进过程。

可逆的时间观念在西方是根深蒂固的，其源头可追溯到德谟克利特(BC 460 ~ 370) 的不变原子、柏拉图 (BC 428 ~ 347) “巨匠”(*Artificer*) 的理念世界以及圣经中上帝的创世蓝图。历史不变观念广泛地渗透在西方文化的各个领域，中世纪的绘画中人物的服饰不存在时代问题，莎士比亚戏剧中人物的服饰也会不存在年代错误^[14]。……不论在社会科学还是自然科学之中几乎没有时代划分的概念^[15]。在社会科学领域，17 世纪的意大利学者维柯(*Giambata Vico*) 最先把“发展”与“历史阶段”的概念引入历史学研究之中，但他的观点过了一二百年以后才跻身欧洲的社会思潮中。而在自然科学领域，演化的概念远未露出端倪。文艺复兴对于自然科学具有至关重要的意义，然而，由伽利略、牛顿所创立的机械自然科学各个领域充斥着对上帝的“自然法则”、“自然秩序”的虔诚呼唤。在人们看来自然界的任何变化，仅仅是上帝“设计原则”的体现而已。只要搞清了原理，任

何结果都会在预料之中，只要给出初始条件，任何过程都可在时间上反演（即 $-t \rightarrow t$ 不变）。正如图尔明所说，由伽利略到牛顿的科学革命所造成的直接影响是“自然秩序”的冻结^[16]。

林奈（1730）的物种分类方案无疑对生物学和地质学具有至关重要的意义，然而另一方面却体现的是机械的自然观。事物之间横向上的相互孤立必然导致时间上的静止不变，这些鸽子洞式的、“是此非彼”的物种一旦溯其本源便只能归于上帝之手。

从伍德沃德、史登诺到魏纳、居维叶这些受宗教循环论影响的地质学家无疑应划入可逆论的范畴，而莱伊尔这位无限论者又怎样呢？这位倡导现实主义方法的先师，对近代地质学是功不可没的。然而，应该看到，他明显地混淆了方法论上的均变和本体论上的均变。在方法论上，将今论古无疑是一个巨大的进步，而他却同时把地质过程、各个地史时期的地质环境看成是亘古如一的，这无疑是一个巨大的时间观念上的错误。

还要提到布丰在 1749 年的那个模拟实验，他不仅提出了一个与宗教教义相对抗的 74800 年的地球年龄，而且把地球看作是一个逐渐演化的东西，并且划分出七个演化阶段。这一关于自然界演化的学说对第二次科学革命的意义不应在康德星去假说（1755）之下。对不可逆的地质时间观做出划时代贡献的自然应是达尔文，他在《物种起源》（1859）一书中不仅勾勒了一幅生物、群落、生态之间相互联系的生动画面，同时也描绘了生物在时间上的进化图景。指出了任何物种都无非是变动不居的地质史发展的产物。生物进化论的影响是巨大的，它影响到自然科学、社会科学的许多领域。如果说 19 世纪以前自然科学家的信条是“自然的固定秩序”那么 1859 年以后自然科学的格言就变成了“进化”。人类学、文化史、比较生态学，甚至比较宗教学都开始积极地寻找与生物进化论的接合部位^[17]。

从这时开始，“进化”问题似乎一劳永逸地解决了，地质学

的各个领域（生物学、地层学、岩石学）似乎普遍地接受了演化的时间观念。然而，概念的普遍使用并非等于对概念的深刻理解。最令人遗憾的是，在地壳（岩石圈）是如何演化的这一纲领性的问题上，演化的、不可逆的时间观念却经历了整整一百年，才真正地确立起来。1859年，美国古生物学家霍尔（*J. Hall*）开始注意到阿巴拉契亚存在地槽这一特殊的构造单元。后来，丹纳（*J. D. Dana*; 1873）完整地提出“地槽”这一概念。那时人们尚没有“地台”这一概念，只是揣测到通过地槽的演化可以造陆；80年代初奥地利的冠伯（*L. Kober*），首次明确提出地槽带在造山之后可转化为一种稳定的构造单元，提出“克拉通”、“陆台”、（稳定低地）和高原（稳定高地）等概念；1885年，奥地利地质学家徐士（*E. Suess*）首先明确提出“地台”的概念，从而把地槽学说发展为“槽—台”学说。

此后的半个多世纪里，尽管人们（例如徐士、贝特朗、奥格、史蒂勒等）在地槽与地台的空间展布、形态组合演变过程等方面做了大量的研究工作，但一种僵化的时间观念却一直束缚着人们的思维，即认为，在地壳中存在两种对立的、典型的构造单元“槽”和“台”，并且非“槽”即“台”或非“台”即“槽”，地槽一经转化为台地，就不再演化了。到了1954~1956年，前苏联学者哈茵、别洛乌索夫、巴甫洛夫斯基先后注意到许多稳定的地台形成之后，又发生了中生代以来的强烈构造变动，由于其外在形态与地槽的相似性，于是提出“活化地台”的概念，即认为是地槽的“复活”。别洛乌索夫敏锐地指出，由于这一发现，那种期待“地壳变为死亡”（即认为地槽一经转化为地台就不再演化了）的观念便站不住脚了，并指出地壳演化会有很多周期。我们不能把这些周期比作一个一个圆圈，而应比作一条螺旋曲线^[18]。

1956年，陈国达注意到华南的活化现象，并进而（1959）

将之称为“地洼区”。1960年，黄汲清也注意到华北地台遭受燕山、喜山构造变动的情况，他把华北地台称为“准地台”。陈国达与黄汲清的区别在于前者意识到了地台上的“活化”并不是对地槽阶段的简单重演，活化会导致一个内容新颖的构造层，而后者这种不可逆的时间观念相对淡薄，其提法当时是“多轮回”。60年代以后，这一问题似乎比较清楚了，从晚太古开始便有两种相互对立的构造单元——“萌地槽”和“萌地台”，元古代又有“原地槽”和“原地台”（马杏垣，1961），地台并非最终的稳定单元，其上的活化区（地洼）非最终的活动单元，地壳的演化确实表现为一个递进的、不可逆的过程。

然而，这仍不是问题的彻底解决，在地壳演化问题上，时代模式任意套用的做法似乎还普遍地存在着，比如，把板块模式外推到前寒武，试图在元古界、太古界中寻找与现今相对应的种种板块构造证据，而不考虑当时地壳的圈层结构及地壳横向上的分化特征等；又如对于前寒武蛇绿岩套，似乎一见到蛇绿岩套中却始终夹杂着陆源碎屑物质，又该作何解释？须知，元古代的壳幔分异还极不彻底，地幔位置并不像现今这样深，并且那时候地表也不大可能形成像现今这样宽阔的洋域。

总之，地球物质客体在时间上是不可逆的，它们总是处于不停的演化之中的，其演化在时间上也表现为阶段性。每一阶段都有其特定的条件和环境，因而特定的演化内容，总体上表现为简单到复杂的螺旋式递进过程。特定的演化条件和演化内容决定了特定的规律性，人们尤其不要忘记，演化决非简单的重复，不可把现今的规律当作过去的规律。

三、时间尺度的选择问题

作为物质的存在形式，从本质上讲，时间离不开物质的运

动，它的持续性是靠物质运动、靠不连续的事件表现出来的，同时也是靠物质的运动来测定的。也就是说，人们对时间的把握实质上是凭一种（或多种）运动对另一种（或多种）运动的把握。

从 18 世纪中叶开始到同位素方位确立之前，人们尝试过许多种地球物质客体绝对年龄的测龄方法，如布丰的铁球模拟实验，达尔文（1859）、菲力蒲（1860）、里德（*T. Melard Read*）用剥蚀与沉积速度测龄的方法，汤姆逊（1862、1863）通过太阳和地球总能估计地球年龄的方法，泰特（*Rait*）用潮汐摩擦对地球自转的影响进行估算的方法，霍福顿（*Samuel Haughtoy* 1875）的古气候测算法，约翰·约利（*Joho Jo Lg* 1857~1993）利用海水中 NaCl 浓度估算地球年龄的方法……这些仅仅是对经验方法的总结，一个重要的问题却从来被人们忽视，即人们对各种地质作用过程的理解方式。可以说，人类在任何时期都是在自己的生命时间里，凭借自己的生命历程来理解地质时间的。每一个人的生命持续，甚至整个人类社会的历史，相对于地质史却只不过是短暂一瞬，谁也不曾亲自目睹任何一个完整的地质过程。即使是现在正在发生的一些地质作用，人们也难以觉察、难以理解的。所以在诸如黄土成因、板块运动方式诸多问题上存在争议便毫不奇怪，当人们用精密仪器、人造卫星测得某一板块向某一方向运动的年速度时，我们能由此推测板块在地史时期内的漂移规模吗？我们能由此断言板块在某一巨大的时间尺度内一如既往地这样运动吗？当我们研究了人类对地震数千年的记录，便可由此得出可靠的、规律性的认识吗？时间在诸如构造蠕变、岩石的相变中所起的作用更令人费解。原子晶格的错移、许多岩矿的形成过程是我们在实验室中永远无法观察到的。

另一方面，地质运动的迭复性、递进性也给人们对地质时间的认识和理解带来许多困难，似乎通过某些化学元素的半衰期测得的同位素年龄是可靠的，然而由于地质运动的迭复性，人们所

得到的往往不是原岩的年龄而是变质年龄。我们现在普遍承认的地球年龄是 46 亿年，然而最古老的变质岩的年龄只有 38 亿年（格陵兰伊苏群）~41 亿年（南极比涅尔杂岩）。此外，在同一地层甚至在同一露头采得的标本，用不同的方法测得的绝对年龄几乎都不一样，有些差距还相当大，即使是用种方法在同一露头上所做的两次结果也绝少雷同^[19]。在用地体的截切关系所判断的相对年龄与用精确的同位素方法测定的绝对年龄两者面前我们宁愿相信前者^[20]。

还有一个易为人们忽略的问题，就是地质时间中“年”的概念。现在的每“年”以 365 天计算，而地史时期的“年”并不等于这个数字。如由中泥盆世的珊瑚生长线所反映的那时的“年”为 400 天左右，而晚石炭世的珊瑚生长线所反映的“年”为 385 天左右。地史时期，太阳由于能量损失引起质量不断损失，而地球由于外来物质的加入，质量则在增大，加上热膨胀效应，自转速度及轨道肯定不是移定不变的，这样，当我们说寒武纪的始限距今 590 百万年时，这绝非意味着从那时起地球绕太阳公转共计 5.9 亿圈^[21]。

总之，地球物质客体的运动属于宏观低速运动，不存在相对论效应问题，然而对地质时间的认识、对地质过程的理解确有一个尺度和参照系的选择问题，存在一个观念和思维方式问题，切不可把在有限的人类历史中所总结出来的规律任意外推，把从有限的、片段的地质事件中得到的认识绝对化。

第十一章 地质学问题

与任何一门自然科学一样，地质学问题贯穿于地质学发展的始终。地质学史实际上是一部不断提出问题与解决问题的历史。重大地质学问题反映着地质学的现状，预示着一定阶段内地质学的发展方向。

一、地质学问题的背景

参考有关科学问题的概念^[1]，可认为地质学问题是地质学在当时的知识背景下提出的关于地质学认识和实践需要解决的矛盾。它包含一定的求解目标和应答域，但尚无确定答案。

地质学问题是在特定背景下的产物，这种问题背景是指两个方面。一是社会物质条件、观念、心理等非理论要素。任何重大地质学问题的产生首先是特定社会物质条件、人类实践能力的反映。1957年以来，国际科协理事会和国际地科联等组织先后推出的国际地球物理计划、国际上地幔计划、国际地球动力学计划及国际岩石圈计划等重大国际合作项目，实际上是以人类在人工地震、深海勘测、超深钻等方面的重大技术进步为前提的。从微观上看，一定的地质问题还反映了地质学家的思想观念及心理倾向等。地质学萌芽时期，人们从对地球年龄的询问到对地层、化石成因的探求，始终不能摆脱宗教教义的束缚；20世纪到来之前，由于对地内热状态的无知，人们只能在固定论的观念框架中提出地球演化的若干问题。心理因素包括地质学家的“心理偏

好”、期望及他们对什么感兴趣。劳丹说“即使是事实，也未必成为经验问题，仅当我们感到有必要予以解决时，才能成为问题^[2]。地质学家曾从沉积速度、生物演化等多方面的大量事实中论证了地球年龄是一个非常大的数字，但作为物理学家的开尔文却觉得不屑一顾，认为他自己的 1000 多万年的年龄值不成问题^[3]。这说明心理要素也是问题背景的一个重要因素。问题背景的另一方面是理论预设 (*Presoposition*)。任何地质学问题都离不开一定的理论背景，问题本身就具有概念深度和理论意义。如“沟—弧—盆系是怎样演化的？”这一问题，实际上就预设了板块理论的成立。同一地质现象可在不同的理论背景下有不同表现。如“地球是怎样演化的？”这一问题，在居维叶—赖伊尔时代主要表现为“地球是均变的还是灾变的？”，休斯 (*E. Suess*, 1885) 之后则变为“地槽如何转变为地台？”20 世纪 60 年代以后则主要变为“板块是怎样运动的？”。第 28 届国际地质大会上关于大地构造作用的大部分议题都是以板块理论为基础提出的^[4]。可见问题离不开理论背景，并且同一问题可随理论背景的进化而不断变更其表现形式。

二、地质学问题的结构

地质学问题是有其结构的，在地质学问题中蕴含着问题的指向、深度、研究目标和求解的应答域。其核心是问题的应答域，应答域即问题答案发现的可能范围。首先，应答域对于地质学问题是必要的，否则它就不能被视为科学问题。*N. D. Belnap* 和 *T. B. Steel* 指出，“每一个问题至少可明确地预设一个直接的解答是真的。”并且认为要构成一个问题的预设，其充要条件是当且仅当命题的真值对于命题的真正解答来说是必然的^[5]。*T. Nickles* 说：“一个问题是由所有的条件或者对答案的限制再

2.

[10]。

3.

What , Which ,

Whether , Why

Wh

① *What*

② *Which*

③ *Whether*

Why

~

19

100

A

200

Hutton、G.Barrow、H.H.Reed

地质学研究似乎可认为是从搜集事实、获取材料开始的，可是正如波普尔指出的，科学始于问题而不是始于观察。尽管观察可以引出问题，但是在观察时必须带有一定的问题，漫无目的的观察是不存在的。地质学问题对于研究无疑起着重要的导向作用。人们正是依凭一定的问题为框架有选择地收集事实材料的，与问题无关的材料则不在认识主体中引起效应。也许正是从这个意义上爱因斯坦说“提出一个问题往往比解决一个问题更重要^[11]”。

（二）地质学问题是地质学理论发展的动力

问题即矛盾。地质学的矛盾是普遍存在的，大体说来有经验事实与理论的矛盾，理论内部“自洽性”、“广泛性”的矛盾，不同学派之间的矛盾；由社会需求引起的矛盾。正是在这些矛盾的刺激下，理论不断走向完善，新的理论不断产生，不同理论相互补充，社会需求得到不断满足。并且，从前面对地质学问题理论背景的讨论中可以看出，一个重大地质学问题的解决并不等于问题的消失，而是前问题（ Q_1 ）在背景知识的进化中以变化了的形式逐步归化到新问题（ $Q_2 \cdots Q_n$ ）中去了。这从一个侧面反映了问题贯穿于地质学发展的始终。

（三）地质学问题可作为地质学理论进步的标志

地质学理论的进步不应只从理论本身上去考察，而应同时注意到地质学的问题方面，注意到理论与问题的相互关系方面。用问题来衡量理论的进步的意义在于：1) 在新的理论框架中的问题 Q_2 与旧理论框架中的问题 Q_1 相比，其应答域更加明确，或者说 Q_2 比 Q_1 有更强的约束。史密斯用化石对比代替岩性对比确定地层层位即属这种进步；2) 新理论除了能解决旧理论中的几乎所有问题外，并能解决一些新出现的问题，火成论取代水成论即属其例；3) 在新的理论框架中 Q_2 比 Q_1 更具有普遍性或更大的整体性意义。板块学说取代传统槽台说即属此种进步。

第十二章 地质学事实和地质学理论的一些特点

科学事实对科学理论具有奠基和评价作用，科学理论对科学事实具有定向和反评价作用。本章无意关注科学事实与科学理论的一般关系问题及科学理论的评价问题，只是想指出地质学中的事实与其他科学（物理学、化学、生物学等）事实的区别，及地质学事实导致了地质学理论怎样的一些特点。

一、地质学事实的几个特点

地质学事实是对地质观察、实验结果的个别存在的陈述和判断。从这一定义中可以看出两对关系：一是主体与客体的对立统一关系，即地质学事关承载着地质客体本身的某些客观信息，同时又是主体对这些信息加工、整合的结果；二是地质学理论与地质学事实的对立统一关系，即理论虽以事实为基础，但事实并无独立的资格，因为陈述和判断离不开科学语言，地质学事实只有在与地质学理论的关联中才能获得确定意义。下面所要论及的地质学事实的几个特点与上述二对关系有关。

地质事实是定性成分较多的陈述和判断。经验地质学时期的地质事实是纯碎唯象的。现代地质学尽管有一个定量事实日增的趋势，但定量事实仍远不及定性事实的权重。这可从各种地质书刊中数据、公式所占比例得到印证，亦可从诸多的定性修饰词及日常形象名词的借用中得到说明，如“剧烈的”、“大幅度的”、

“密集的’，……“火成岩”、“水成岩”、“槽”、“台”、“沟”、“弧”、“盆”……即使在那些定量化的事实中也难免定性化的因素。周世泰（1984）对17种恢复变质原岩的岩石方法进行了研究，结果发现误差率小于10%的仅有5种。定性事实的广泛在一方面说明地质客体内部及客体之间相互作用方式的复杂性（非均匀、非加合、非决定性性等），另一方面则反映了地质学理论的不成熟。

地质学事实多是间接性的陈述和判断。地质事实往往是对地质作用的结果的描述，而不是对作用本身过程的揭示。地质作用历史的漫长性和地质客体的巨大性及其演化的不可逆性，决定了主体不能直接观察到人类文明以前数十亿年的地质作用过程及主体实践范围以外的空间，而地质实验也只能反映一种理想的边界条件极为苛刻的情形。即使现代正在进行的地质过程，由于过程的极其缓慢，人们也难以对之有效的观察。如对第四纪黄土的成因问题、现代板块运动的速度问题等都难免诸多争论。

地质学事实是复合性的陈述和判断。越来越多的物理事实、化学事实、生物学事实甚至天文事实进入地质事实的集合中。例如“磁异常条带”、“元素背景值”、“厌氧生物”、“灾变层位”等。相反，地质学事实却很少进入其他学科领域并为之所用。

二、地质学理论的几个特点

地质学理论的特点是由上述地质学事实的特殊性决定的。

定性的地质学事实决定了定性的地质学理论。理论是对事实的抽象和概括，是事实的某种连通集。既然事实是定性的或半定量的，那么理论也只能是定性或半定量的。作为板块构造理论基础的事实，如大西洋两岸地形的吻合、沟—弧—盆体系的存在等是象的，所以关于板块运动的方式、相现也只能是形象化的。作

为地壳波浪镶嵌学说的事实基础首先是地表的“条”、“块”相间的外在格局，所以关于地壳的波浪状运动的形式和地球的“脉动”也只能是定性的。“定性性”意味着理论的不精确，意味着对实践指导的准确度不足。如前述，即使是定量、半定量的地质学也难以具备充分的可靠性。所以，真正可以称得上“地质规律”的理论寥寥无几。如所谓“成矿规律”只能指出矿床出现的可能范围，却不能绝对准确地指出其真实位置。然而定性理论的不精确又不等于不正确。它毕竟是对来自实践的并已经验证的事实的概括和总结。大地质学事实面前，当定性化理论与定量化理论发生冲突时并不见得前者必错。如上一个世纪关于地球年龄的那场论战，结果以定性的地质学理论取胜告终。而物理学家则犯了把定量理论简单套用的错误。

间接的地质学事实决定了地质学理论的普遍假说化倾向。地质观察只限于地质作用的结果，甚至只是有限的结果。而地质实验只限于在理想条件下再现某些局部过程或某一过程的有限片段。理论的必要性就在于解释事实，作为个别存在陈述的事实与事实之间又不存在必然性联系。事实需要理论提供某种“联系规则”，这种联系规则便是思想模型。又由于地质学事实的这种普遍的间接性和不完整性，思想模型就难以不带有假说性色彩。地质理论的普遍假说化的重要表现就在于“理论名词”（不可观察对象的名词）的大量涌现。如“陆桥”、“地幔柱”、“对流环”、“地球脉动”、“磁极倒转”、“地球四面体”、“幔汁”、“岩浆房”

地质学事实的间接性还决定了地质学理论的片面性特点。其表现有二：一是理论的“地域性”色彩，二是理论的“现实性”局限。前者的例子如一直身居萨克森（那里没有火山遗迹）的魏纳提出了“水成论”；而在法国奥弗涅这一典型的火山岩地区却造就了德马勒、赫顿等火成论者，并使魏纳的两个门徒离经叛

道。也许由于同一原因，大西洋西岸的美国、加拿大学者热衷于活动论，而身处大陆腹心的前苏联学者却坚守固定论；后者的例证如，“地质力学”只适于解释轮近时期以来的构造格式；同样板块模式也难以外推到前寒武。

复合性的地质学事实导致了地质学理论的综合性。地质学早期所出现的地质事实几乎是“纯地质学”（纯定性）的。随着地质学事实的多元化积累，一方面使地质学产生许多分支——矿物学、矿床学、岩石学、地层学、古生物学等。另一方面，物理学、化学、生物学、数学甚至天文学等理论也日益溶入地质学，形成了纷繁多样的交叉学科，使得地质学成为一个具人复杂结构理论的整体。这一整体一方面增加了地质学理论对事实的消化功能，另一方面却也增加了地质理论遭遇“反例”攻击的面积。正如蒯因所指出的，在任何情况下理论整体内部的陈述都可以免受修正。基于同样的原因，整体内部的任何陈述都可以被修正。如果说这是蒯因对一般科学理论特征的揭示的话，那么在地质学理论中，这一特征则尤为突出。

三、地质学理论的进化

上述地质学事实和理论的特点决定了地质学理论进化的特点。

以假说的多元化方式进化。科学始于问题，始于理论对事实作出某种断定时所引的矛盾。波普尔（1966）以如下图式来描绘理论的成长：

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

其中“ P ”，表示问题，“ TT ”表示试探性理论（假说），“ EE ”表示排除错误。然而地质学由于其事实与理论的综合性特征，使之理论进化并不表现为这种“单线”的径迹，而更像是按

下述这种“路线系综”前进的：

$$\nearrow TTa \rightarrow EEa \rightarrow P_2a$$

$$P_1 \rightarrow TTb \rightarrow EEb \rightarrow P_2b \quad (\text{参考舒炜光 1987 略有改动})$$

$$\searrow TTc \rightarrow EEc \rightarrow P_2c$$

这就是说，一个地质学问题，可以引起多种、多方面的试探性理论，然后有多种多方面的体验，继而又产生诸多新问题。由于地质事实、理论的定性性、间接性和片面性，多元理论的长期并存便在所难免。从“全球构造”到“地球起源”、从“山根”到“恐龙灭绝”、从“花岗岩成因”到“成矿热液”……无处不是假说林立的繁荣景象。

以理论异化的方式进化。地质学的发展过程可以盾作一个“同化”其他理论过程，而这种“同化”又“异化”了地质学本身。“同化—异化”的外表现之一就是作为理论细胞的概念的大量产生和“死亡”。新的概念一般能为人注意，而“死亡”了的概念则易为人所忘却。新生的概念不需列举，下面一些被抛弃了的概念大概会令新一代地质学家感到新奇，如“原始层”、“万有建造”、“第二纪”、“二元系”、“三元系”、“陆台”、“长恒”、“边原”、“台坝”、“台峡”、“台垣”、“台坑”……“同化—异化”的表现之二，就是旧概念被赋以新的内涵。如“火成岩”、“地壳”、“地槽”、“热液”、“蛇绿岩套”、“山根”……从概念的这种内涵复杂化的变化中，可以看出新理论对旧理论的否定并非以完全武断的形式进行，而是采取一种“温和”的态度，如“火成论”对“水成论”的否定、“板块说”对传统“槽—台”说的否定，都不是绝然抛弃前者的概念形式，而只是对上述理论中的一些关键性概念或改变一些内涵并继续沿用。

理论进化的非完全自主性。结构复杂化了的地质理论“有机体”（不妨这样称呼现代地质学），对“异质器官”（不妨这样称呼进入地质学中的其他科学）的依赖性逐渐增强，使得地质学的

进化越来越取决于其他科学的发展。这可以从地质学史中找出明证。早期地质学的两次重大的观念转变——“水成论”转向“火成论”，“灾变论”转向“均变论”是地质学自主性的进化。而20世纪以来的几次大的观念转变如“脉动说”取代“冷缩说”与“膨胀说”，“活动论”取代“固定论”，以及新的“间断—平衡”论的兴起，无一不有赖于其他科学（技术）门类的进步。

第十三章 关于地质思维科学体系的构思

地质思维是关于地球客体的思维，主要是指人与地球客体相互作用的过程中，人脑对客观的地质现象间接的、概括的反映。它是地质工作者在从事地质学研究过程中的高级心理活动。

地质运动的特殊性和地质现象的特殊性决定了地质科学的特殊性和地质学研究中思维方式的特殊性。地质思维科学是研究地质思维规律的方法的学问，是以地质学研究的对象、理论、实践为依据，探讨人脑与地质体之间相互的作用关系的。它通过详细分解人脑中地质意识产生和流变过程中的各种地质思维活动，对地质学理论和地质思想进行更深层次的开掘，探索其形成机理和演变趋势，确定其科学概念和定义，寻找其规律性，总结形成科学地质理论的思维方法，建立包括地质学思维基础理论、思维方法、科学研究方法论和地质科学哲学等内容的地质学思维科学体系。

一、建立地质思维科学的基础

建立地质学思维科学的基础是地质学思维本身所具有的规律性。

从思维的生理机制分析，思维是大脑受外界刺激引起的，外界的刺激又是自然界变化和运动的产物，并遵循自然界和社会运动的规律，必然会反映到人脑中。而人脑的结构、生理机制是完全相同的，受相同的生活经验或社会实践所引起的适应、发展和

调整也是相同的，这就从人脑的微观结构保证了思维的规律性。

地质思维是指人们针对地质现象所产生的有意识思维，“任何一种地质现象都是其历史的积累”（岛村福太郎等，《地质史话》），例如地质层序的迭复，构造体系规律性的分布，周期性的突变发生和生物的进化，总是有规律可循的。人类的地质学思想本身就反映了地球运动和演化的规律，正如恩格斯所指出的，外部世界和人类思维“这两个系列的规律在本质上是同一的”（恩格斯《自然辩证法》）。地质学思维作为一种客观现象，间接地、概括地反映自然界中的地质内容，同样是有规律性的。

地质思维有哪些规律，这是地质思维科学研究的内容之一，对此，我们将在有关著作中作以介绍。

地质思维科学是地质学与思维科学相结合产生的，是由多学科综合而成的一门边缘学科。它是以地质科学研究的对象作为思维的客体，思维主体与思维客体之间的藉合关系牢牢地制约在地质科学与地质思维科学构成的范畴内。

在这个范畴内，人的思维内容和思维方法与地质学理论结合在一起，构成了一一对应的关系，组成了一个耦合系统，从而打破了地质学中那种传统的、把人的因素隔离开来的现状。

在这个系统中，能够充分发挥人的思维作用，有助于现代地质科学思维的形成，有助于地质新学说的产生，有助于攻克重大地质科研项目，建立正确的科学地质哲学背景，培养高、精、尖的地质人才，加速矿产资源的发展。促进国民经济的发展。

二、地质思维科学体系的构思

开宗明义，地质学思维科学是为地质学服务的，而地质学是自然科学的一大门类。钱学森教授将自然科学划分为基础科学、技术科学、工程技术三个阶层。在这三个阶层之上，作为认识客观世界的最高概括，应当是马克思主义哲学、辩证唯物主义。从

自然科学到辩证唯物主义的桥梁是自然辩证法，从思维科学到辩证唯物主义的桥梁的认识论，这两座桥梁是地质学思维科学通向马克思主义哲学的必由之路。

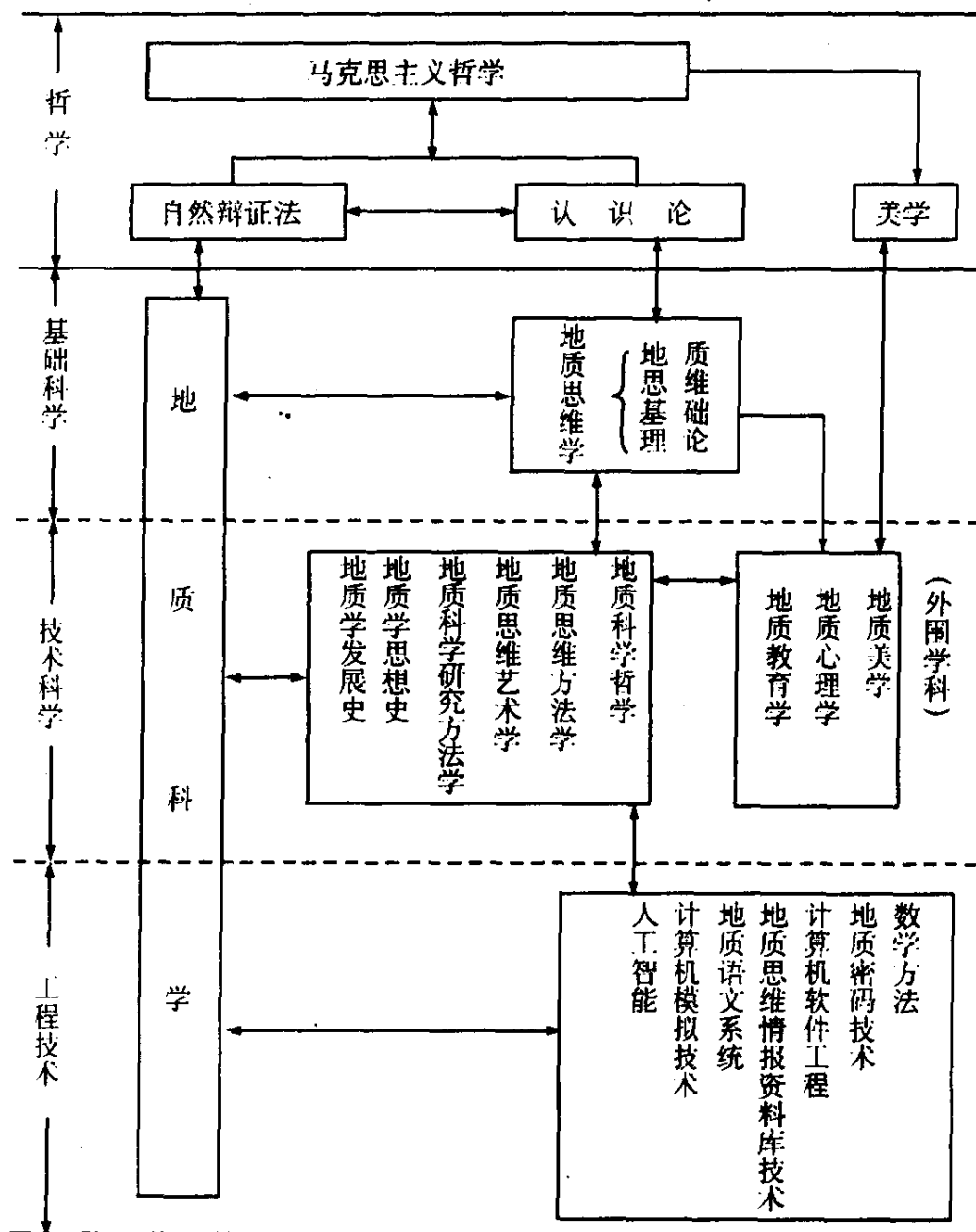
首先，地质学思维科学体系的基础科学，应该是能够深刻揭示人们在地质实践中的思维活动的本质和普遍规律的基础理论。该体系的基础学科应当包括两个大类：一类是总结人们关于地质、思维的经验，揭示思维经验的普遍规律和思维自身普遍规律的各种思维学科；一类是在此基础上所进行的地质思维研究和哲学理论的研究。思维机理的研究内容应当包括普通心理学和地质心理学。但鉴于在这一问题上有争论，我们将地质心理学放在这个体系的外围学科中。外围学科还应包括地质美学和地质教育学。

我们构想的地质学思维科学体系如下图所示。在这个图中，地质学思维是地质学思维的核心学科，列入了基础科学这一阶层，它的内容是地质学思维机理和地质学思维基础理论。地质学思维的基础理论是黑体论，地质学思维机理包括地质意识论、地质实践论、地质形象思维论、地质逻辑思维论、地质灵感思维论、地质理论思维论（不同于地质逻辑思维论）和创造性地质思维论（钱学森等《关于思维科学》）。

地质思维科学的技术科学阶层包括：

1. 地质思维科学发展史和地质学思想史

恩格斯指出：“关于思维的科学，和其他任何科学一样，是一种历史的科学，关于人的思维的历史发展的科学”。（恩格斯，《自然辩证法》）；“科学的发展 就是一部思维的发展史”（钱学森等《关于思维科学》）。地质科学发展史和地质学思想史，归根结底，是人类的一部地质学思维史。在地质工作者的社会实践中，正是思维地、概括地反映了客观世界的物质运动规律，推动了地质科学的发展，而地质科学的发展，又对地质学家的思维提



地质思想科学体系示意图

出了更高的要求。周而复始，促进了地质科学的、变化和革命性的飞跃，使地质学思维经历了从低级到高级，从简单到复杂，从具体到概括的发展历程，最后形成了科学体系。

2. 地质科学研究方法论和地质学思维艺术学

研究地质科学是为了探索迄今人类在对地质学科尚未掌握的知识和规律，是对现今的地质学思维和地质行动所依据的学说和原理不断进行检验的一种思维活动，其实质是探索未知，创造知识。

地质科学研究工作的主要任务是在地质学领域中进行新的探索和应用新的科学技术，包括从地质现象和规律的发展到新技术的发明，从地质科学原理的产生到地质成果的检验，从地质基础理论研究到地质应用研究和地质开发研究中的已经产生知识的整理、统计、图表和数据的搜集、编辑和分析研究工作。

地质科学研究工作的实质内容，是通过各种地质科学研究方法对客观存在的地质事实和确凿的地质材料进行加工整理，从感性认识上升到理性认识，发现地球发展变化的地质规律，创造出新的地质学知识。

地质科学研究方法是地质学研究理论和地质实践的概括和总结，是关于地质科学理论学说。其内容包括：地质科学方法学的对象、性质和特点地质野外实践过程中的方法论问题；地质室内工作过程中的方法论问题；地质学思维过程中理论工具的方法论问题；地质理论体系中的方法论问题；地质理论体系评价和地质成果过程中的方法问题；科学地质方法等。

在科学方法中，研究对象、物质手段、思维形式、方法和理论工具被看作是科学方法的四个基本要素。在地质科学研究方法论中，将地质思维形式和方法这一要素分工，把思维过程中理论工具问题保留在方法中，而把思维过程中的方法论与地质思维技巧合成为地质学思维艺术，主要探讨地质思维过程中的方法和技

巧问题。地质学中的这一部分内容极其丰富。从思维方法和研究对象着手，探索地质学思维的艺术，它比其他研究更抽象、更具体、更灵活，坚持唯物主义辩证法的意义更重大。

3. 地质科学哲学

地质科学哲学主要涉及地质理论与地质逻辑学的认识论和地质科学研究方法论的关系，中心任务是用哲学方法对地质理论进行科学评价，企图解决地质理论的科学合理性问题。在地质学中，当一个理论取代另一个理论的时候，这个理论客观之外有没有不依据于科学心理状况的优点？如果有，那是什么？这就是地质科学哲学所要研究的问题。

关于地质理论的科学合理性问题，因为在地质科学发展过程中最重要的形式是理论更替。其更替离不开地质实践，由于地质实践的异常复杂性，使地质理论的科学性难以建立精确的检验真伪的标准。地质科学哲学研究地质家判断理论的真伪和建立理论的依据是什么？有无合理的因素，检验地质科学理论的标准是什么，能否建立一个动态的地质科学发展模型，而这些内容，与地质哲学是有区别的。

地质学思维科学属于工程技术阶层的有：

1. 地质语言系统

语言是思维的工具。地质语言是自然语言集合的一个单元，同样具有模糊属性。

地质语言系统从讨论地质语义开始，研究地质单词、词组、语句的定义，并用语气算子和模糊化算子、语义模糊集合的数表达式进行描述，其目的是能够为计算机处理地质语言资料。

2. 情报、数据库技术密码技术，人工智能、电子计算机软件工程和模拟技术。

主要任务是应用电子新技术解决和难验证地质学思维科学中的数理模型，为地质学思维基础研究和方法提出可靠的依据。地

地质学思维情报、数据库的建立，对于高速检索、提取、复制、充实和更新国内外地质学思维研究中，主要是承担破译地质学思维科学研究中隐含着的密码任务，包括人脑密码，为寻找它们之间的隐含关系作物质上的准备。

以上是对地质学思维科学体系和内容的一个不成熟的构想。为了使之更合理，它的外围应该设置以下辅助学科：

1. 地质心理学

地质心理学是研究地质工作者的心理现象发生、发展规律的学说。“思维是人的高级心理活动”。地质心理学研究地质学家的心理活动，除常规性的心理学讨论外，它还包括对地质心理学的对象、任务和方法，地质学家的个性及其倾向性，地质活动与心理，地质想象，地质语言，地质情绪和情感，地质学家的意志、能力、评价、气质、性格等内容的研究，总结地质学家的思维品质。

2. 地质教育学

地质教育学是研究地质教育现象，揭示教育规律的科学。研究地质学思维规律是为了强化地质工作者的地质意识，而地质意识的培养和训练又是地质教育学的主要内容。

3. 地质美学

随着社会文明和科学进步，对于地质工作者来说，美感是自身必不可少的修养。美感的建立，审美意识和情趣的培养，与地质思维有密切的关系。审美作为艺术地掌握现实的一种方式，即认识和反映现实的一种特殊的形式，具有一般认识功能，能够揭示客观事物的本质。地质学思维正是在审美中规范知觉、想像的趋向，前者渗透、融化于后者之中，地质工作者才能不只是看到对象的感性形态自身，而且通过它获得了对地质同象广阔的理解、认识，最后把许多个别的特殊的感觉材料集中、综合、概括为典型形象，揭示地质运动的本质特征。地质美学主要讨论地质

学中的真、善、美，讨论人与地球的关系，即从美学角度研究天、地、人巨系统。用美学中的基本观点讨论地质学中的时空问题和地质学思维本质，从地质学思维学的角度研究地质学中美的本质问题。

总之，地质学研究中应该给地质学思维一席之地，而地质学思维科学的研究必须有一个体系。

第十四章 地球物质系统中自组织现象的形成机理

现代系统理论把系统由无序向有序、由低级有序向高级有序的发展过程称为“自组织”，并且认为系统“自组织”过程的实现，必须具备以下四个条件：①远离平衡态；②具有开放性；③子系统之间为非线性关系；④有涨落作用的不时发生。普里高津（I Prigogine）把满足这四个条件的系统称为耗散结构（Dissipative structures）。截至目前许多地球物质系统（地球整体、地球各固态圈层、地表系统、生态系统、地壳中的成岩成矿系统、以至生物个体等）的演化亦表现为一个自组织的过程，何以如此，就在于其符合上述四条，下面分别讨论之。

一、地球物质系统的非平衡态

普里高津指出，“非平衡是有序之源”。系统从无序走向有序，必须处于远离平衡的状态，即系统的热力学力（例如，温度梯度、浓度梯度、势梯度、化学亲和势……）和热力学流（例如，热流、电流、扩散流、化学的反应率……）远远大于零，且二者以非线性相关。

非平衡对于地球物质系统的深化具有下述四点意义：

非平衡构成地球物质系统演化的动力条件。物体不会自动升温，水不会自动由低处流向高处而只会相反。地球物质系统之所以能从无序到有序，由低级有序向高级有序不断跃迁，首先在于它们一直处于非平衡态。

非平衡自然界决定了地球物质系统的存在方式。首先决定了系统形成功能耦合结构，然后子系统通过这些耦合结构发生相互作用。例如由于非平衡，引起地球物质的纵向分化和横向分化，引起“清升浊降”，从而形成圈层结构及不同性质的构造单元的同时并存，进一步由于这引起差异，才会有层之间、各构造单元之间的热力作用。

非平衡与平衡的矛盾运动决定了地球物质系统的演化方向。系统演化的总趋势是由非平衡走向。“均匀的温度分布对于初始的非均匀分布来说是一个吸引中心（I Prigogine），换句话说，系统总是要以温度、密度、电磁属性、粒子数、产生速率、分子浓度等等的各向同一性，即熵极大作为自己的“目的”。例如，各种构造运动均可看作是某构造单元系统对其现实“目的”的“追求”；地球化学系统的演化过程可以被视作是对其实“目的”的接近；地球的终极态是一个冰冷的球体（或像有人指出的四面体），这决定了地球的演化方向是在脉动中冷缩。

由于非平衡与平衡的矛盾运动，使地球物质系统在横向上表现为稳定态呈现出多样性，在时间序列中表现为多阶段和螺旋式的递进，而不是一蹴而就，一下子由非平衡跃向平衡。

二、地球物质系统的开放性

根据与环境的关系，常将系统分为孤立系统、封闭系统和开放系统。不与环境交换物质能量的孤立系统几乎不存在。而后二种则是普遍的，且对形成地球物质系统中的有序现象有意义。

封闭系统可形成“死”的有序结构

对于封闭系统，常用亥姆霍茨自由能 F 来代替熵 S 刻画其宏观状态，即 $F = E - TS$ 。其中 E 为系统， T 是系统与外界同一时的绝对温度， S 为熵。

在封闭系统，随着温度的降低自由能逐渐减小。当 $T \rightarrow 0$

时， $S \rightarrow 0$ ，可以忽略不计，从而 TS 也忽略不计，但 E 同时达到最小值。例如，热力学体系从汽相转为液相时，散失分子自由运动能，由液相转为固相，丧失移动能、滑动转动能等，当 $T \rightarrow 273.15$ 时内能几乎丧失殆尽。由固—液相向结晶态转变时，则进一步丧失原子键扭曲能等。这就是说，封闭系统的有序结构是以损失系统内能为前提，且只能形成“死”的结构。

在片段时间或有限空间内，可以认为有些地球物质系统或某些系统的某些部分、方面具有封闭系统甚至孤立系统的性质，而从联系的角度来看，绝大多数系统则属于开放系统，即与环境既交换能量又交换物质的系统。以岩浆作用为例，上行的岩浆绝不是既无能量损失亦无物质成分变化的孤立系统，也不是单纯降温的封闭系统，而是一个同时具有降温、同化围岩、与环境交换物质或成分的开放系统。

开放系统可“活”的有序结构

地球物质系统从开始形成时就是开放的，即与环境进行着物质、能量的交换。首先，地球整体是由宇宙物质聚集而成，至今每天仍有大量宇宙物质（每天约 $100 \sim 1000$ 吨）加入地球，同时又有物质逃逸向宇宙。地球从宇宙、从太阳系获取动能（吸集能、引力势能、日月潮汐能、陨石冲击能）、热能（现今，地表每分钟平均接受太阳能 1.96 卡， $1 \text{ 卡} = 4.1897$ 焦耳）同时地球热能又向宇宙不断扩散。这样加上地内放射性元素衰变和裂变产生的巨大核转变能（ $10^{20} \sim 10^{22}$ 卡/年）内外动力共同驱使地球整体，使之与宇宙不断进行物质、能量交换。其次，地球内部各圈层之间（固态圈层、水圈、生物圈、大气圈）、各圈层内不同热力学体之间、地壳内各构造单元之间，生物圈内各生物群落之间……由于非平衡机制和开放性，使它们之间每时每刻都在进行着物质、能量、信息的交换。正是这种交换，使得系统在演化中能够在与环境的相互作用中产生“负熵”流，并可能足以抵消

系统内部的熵产生，从而保证有序结构的出现及向前发展。用公式表示为 $ds = dis + des$ ，其中 dis 为系统内部水滴产生，恒为正值； des 为系统下环境相互作用时产生的熵流，可以为正也可为负，当 $des < 0$ ，且 $|des| > dis$ 时系统便转向有序。

三、系统的非线性相互作用

与线性相互作用对应，非线性相互作用是指用非线性方程来描述的相互作用，它有如下三个特点：它是可以相干的相互作用，即作用各方不表现为简单的数量叠加，而是相互制约、相互协同，从而耦合为新的整体效应。如生命有机体不等于各个器官的简单叠加。它是不均匀的相互作用，即作用方式随时间而“进化”。如地壳在地球热能的耗散，又促使了地表系统的形成，并使之反过来参与地球整体的作用，从而使整个地球系统作用方式趋于复杂化。③它具有多体不对称性，作用对象之间存在着支配与从属、催化与被催化、控制与反馈等复杂关系。并且正是通过反馈回路和催化环来维护自身的动态稳定性。

线性关系在地球物质系统中也具有普遍性，但其远没有非线性关系意义重大。以化学元素的研究为例，具有相同或相似地球化学性质的元素 La 与 Ce 或含于同一化合物中的元素（如 NaCl 中的 Cl 与 Na）往往是线性关系，但它们往往不能提供有用的地质信息，也不能很好地说明地质作用过程的复杂性。在地质过程中，地球化学元素往往发生自催化作用，引起某种正反馈机制，同时不同元素在化学旋回中又产生复杂耦合，从而影响反馈机制和旋回的动力学特征。所以线性关系只反映元素之间的静态或准静态相关关系，而非线性则揭示地球化学的动态（非平衡态）过程或演化机理。这也是近年来国内外普遍重视地球化学动力学研究的原因所在。

又以对火成作用过程（非平衡作用过程）的研究为例，一般

地可用下面反应——扩散方程来描述。

$$\frac{\partial X_i}{\partial t} = f_i(|X_i|, \lambda) + D_i \nabla^2 X_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中 X_i 为组分 i 的浓度， ∇^2 为拉普拉斯算符， D_i 是组分 i 的扩散系数。在这里假定了 D_i 为常数，实际上 D_i 是随温度、压力的变化而变化的。

(1) 式中 $f_i(|X_i|, \lambda)$ 表示化学反应的速率定律，它是体系中各组分浓度 $|X_i|$ 的非线性函数，因而 (1) 式是一个抛物线型的非线性偏微分方程。 λ 是控制参数，它表示各种速率常数，主要是反应物的浓度、扩散系统等。

对于火成作用过程中形成的时空有序结构的理论分析都是基于上述反应——扩散方程基础上进行的。它可以解释如下自组织过程：基性杂岩体的层状构造；花岗岩中的球状构造；斜长石环带；花岗岩体的成分分带等。在这诸种有序结构的形成过程中，系统内诸要素之间始终伴随着相干性、非均匀性、多体不对称性等三大特点。

四、涨落在地球物质系统演化中的作用

人们把描述系统整体状态的宏观量对平均值的偏离称为涨落，涨落来自两个方面——系统内部和外部，分别称之为内涨落与外涨落。

稳定与涨落是一种对立统一关系，当涨落来临并被放大之后，系统中原有结构就可能为新相干结构所取代，与之相应，原来的稳定状态就要向新的稳定状态过渡。在地球早期演化中，陆核的出现，不仅标志着新的要素的加入，而且标志着地球新的整体的形成，意味着一系列新的结构、功能的涌现。在生物演化中，骨质的出现不仅标志着生物体具备了新的结构，而且标志着新的功能如食肉、迅速发育、个增大等的出现。

涨落作用在地球物质系统的自组织过程中扮演着重要角色。地壳形成之初，一定要首先形成“陆核”。而陆核究竟首先形成于何处、同时，由那些物质首先形成都是随机有的、偶然的，是离不开涨落作用的；大断裂的形成是必然的，是一级一级地由小而大发展起来的，但在由下一级的断裂（裂隙、节理等）向上的发展中究竟由哪一些首先向上发展却是偶然的；然而矿物完善晶形的形成却是建立在这些分子、原子、粒子最初毫无规则的随机运动基础之上的；地表生命的起源，正是建立在广漠的宇宙空间无数处、无数次偶然的物理化学作用的基础之上的；而生物的进化、新物种的出现是建立在生物物种的实际基因频率对平均基因频率的偏高——频繁变异的基础之上的，如无变异，则无遗传，亦无进化。

非平衡系统中涨落是时刻存在的，系统的动态平衡的维持是以涨落为前提的。涨落达到一定阈就会支配系统的行为。同时这种涨落为一定条件所巩固，新的稳定态就会出现。非平衡的地球物质系统中始终蕴含着结构 \rightleftharpoons 功能 \rightleftharpoons 涨落这一作用机制，从而使这一系统经历稳定—失稳—再稳定的演进历程。

第十五章 造山带与地质思维

——一个案例分析之一

当代地质科学以板块构造学说兴起与发展为标志，取得了巨大的突破性进展，使之成为以现代科学理论与技术为基础、以固体地球整体及岩石圈、水圈、气圈、生物圈乃至宇宙外层空间和地球深部等为目标的高度综合的科学体系。在目前，由于板块构造理论应用于大陆地质而触发和孕育着一场新的科学思维理论。大陆地质和大陆造山带研究，已成为现代固体地球科学主要的前沿研究领域之一。在这种情况下，重视和加强地学哲学和地质学思维的研究，显而易见是非常重要和必要要的。每一次地学的重大发展，都与思想学术观念的重大转变密切相关。思想观念的变革必然会开创新的理论天地，获得科学实践与理论的丰硕成果。这里仅从秦岭造山带研究中涉及到的地质思维问题作一论述。

一、地球、大陆、造山带

现代固体地球科学对于地球及其固体外壳——岩石圈与其他各圈层的认识，从板块说兴起以来，已跨入一个新的知识层次，并已成为现代进行地学研究的重要基础。自然，在 90 年代地球大陆造山带的新研究，首先需要以现代关于地球、大陆、造山带的最新认识为起点。关于地球、大陆、造山带的新认识、新进展、新思维，可简要地概括以下诸点

(一) 地球

关于地球和地球科学，现在地学界已认识到：

地球整体是一个其物理、化学性质随深度而变化的行星综合体系。

②岩石圈的构造运动是由许多地球内外部的物理、化学过程所引起。洋陆有本质差异，除共性外，陆比洋具有更复杂的研究内容。

地球的组成与结构纵横向极不均一。地球内部的基本特点之一是其化学组分和物理结构与状态的非均匀性，可能并无原始的均一地幔。地球既是高速运动着的天体，自身又是一高度活动的动力学体系。

流体在地球和岩石圈形成与演化中具有不可忽视的重要意，但在现今的地学知识中又是知之甚少的薄弱环节。

灾变与均变、渐变与突变是地球和生物演化的不同形式，都包含有程度不同的量变与质变，而质变是事物运动的更重要的形式，对演化起着主导作用。新灾变论改变了过去简单的稳态均变论，认为灾变是地球发展演化中的重要质变形式。对于地球物质、时空演化、运动存在形式、内因与外因等方面都需作系统辩证的分析。

⑥社会发展日益显示出地球科学对于解决当代重大社会问题具有重要作用，它涉及着人类赖以生存的资源、能源、环境、灾害、水和粮食等等社会基本问题。所以全面了解、研究地球是人类社会向当代地学提出的重大课题。未来地学将以岩石圈和全球变化两大主题而展开研究，人类将从更广阔的角度来认识地球。

⑦在研究方法论上，地球科学正从长期科学实践中的比较方法论为主转变为以系统方法论为指导的新阶段。

⑧现代科学技术的飞速进步、知识的爆炸、学科间从未有过的渗透交叉、地球科学向现代大科学体系的进步、板块构造说的发展，都促使地质科学建立更高层次的囊括整个地球洋陆长期发展演化、成因与动力学的统一行星地球观与理论，这些必将促使

固体地球科学进入一个全新的发展阶段。

(二)大陆

大陆地质研究的重要新进展揭示大陆有如下重要性质：

大陆占据现今地球表面的 $25\% \pm$ ，因其组成平均密度低，相对较轻，具有浮力，长期漂浮，不易俯冲而不能回到地幔。因此大陆是已经历了几十亿年长期发展演化所构成的复杂地质综合体系，可以当作一个独立的系统加以研究，它保存着地球形成与演化的大量的直接记录与信息，具有独特的组成与结构构造及其运动学与动力学特征。

大陆岩石圈相对于大洋岩石圈，作为一个固态介质材料，其强度比较弱，易于发生地质尺度的快速变形。

大陆岩石圈具有不同的夹层式流变结构，不是简单的“刚体”，其地壳和岩石圈地幔间并非是完整连续的刚性整体运动，出现了岩内、壳内、壳幔间和地幔中等多层次拆离滑脱的侧向大规模运动，表现出连续介质中包含着相对坚硬的非连续块体和垂向分层的层状块体特征。它涉及到块体相对运动、介质状态与流变、深部物质的性质状态、作用过程及其与地球上部的关系、热场状态与热历史、漫长时间效应、特殊的本构关系和动力学过程中一些基本因素与参数的多变及模糊不确定性等大陆岩石圈运动学和动力学的复杂问题。这就要求对大陆岩石圈不同深度层次下的物质组成与状态、运动学形式和动力学全过程要有真实的了解与监测。

由于大陆岩石圈上述特殊习性，决定了它长期漂浮，遭受多次叠加构造变动与物质组分的多次再分配组合，因此便与其广泛发育透入性的多期变形变质，呈现出大陆岩石圈组成与结构状态的非均一性、复杂性和区域性，所以选择典型基地，作为天然实验室，进行深入系统的精细研究，是当今大陆地质与大陆造山带研究的重要科学途径之一。

(三) 造山带

造山带研究一直是地质科学的中心课题和地质学家们的重点研究领域，数百年的研究，建立了许多造山带理论与方法，迄今仍处于方兴未艾的探索之中。回顾近代大地构造学的发展可以看到，对地学界影响最广泛深刻的学说，要属地槽说和板块说，它们都是人类对地球认识在不同阶段的总结和知识的结晶，巨大地推动了地质科学的发展。但像现有事实证明的那样，它们都不是认识的终结，而只是人类对于地球形成、生命起源等基本科学问题的不断探索认识的长河中一定阶段的成果。认识总是在不断发展深化、更新。现代板块构造理论取代地槽说而在当代地学中占据支配地位，并成为地质科学向现代化科学理论体系迈进的标志。这场“地学革命”是地质科学发展史上划时代的重大事件。但板块应用于大陆所遇到的新问题与疑难，暗示着地质科学又一次重大发现的到来。其前沿性问题就是在板块构造基础上，重新认识大陆和大陆造山带。

二、造山带研究的观念与思考

(一) 造山带研究的观念

概括近代关于造山带研究的基本假说与观念，可以简要归纳为以下三种：

地槽理论的地槽回返造山说。它总的基本出发点是固定论，认为地壳与地幔密切相关，但岩石圈（或地壳）相对于地幔不可能发生大规模的水平位移。因此其地球构造观立足于造山带是地壳内沉降的沉积槽地及其回返的结果。地槽说长其在地质学中占统治地位，在当时的历史阶段对地质学发展作出了不可磨灭的历史贡献。但无论如何，直到 20 世纪中叶的地槽说始终没有使地质科学摆脱与现代科学技术相脱节而处于描述为主的状态，板块构造取代地槽说是科学发展的必然结果。

板块构造的俯冲碰撞造山说。以活动论为基本观点，从全球构造出发，认为造山带是岩石圈板块在其侧向运动中，陆与洋。或洋与陆和陆与陆等的相互作用产物，也即造山带的形成与演化主要决定于岩石圈板块的相对运动及相互作用，是主要发生在板块边界上的，——板块间的俯冲碰撞造山。从而根本改变了地槽说的壳内槽地沉积堆积作用和回返造山作用的学术观念。所以造山带研究的中心和方法，也必然随之而发生改变，转向着眼于板块形成与演化，古大陆边缘地质、蛇绿岩与混杂岩、主缝合带和俯冲碰撞构造作用及与之相关的岩浆、变质、成矿作用，以及其成因、动力学等等基本问题。从而形成板块构造的基本造山带成因学术观念，即板块的俯冲碰撞造山说。

大陆的多成因造山说。板块构造在经历 70 年代以来的大洋与大陆研究的验证，有了新的发展，得到进一步验证和肯定，但同时也遇到新挑战。尤其是经典板块构造应用于大陆地质过程中，在新的地球物理探测和深部地质的新发现、新成果不断涌现的情况下，愈来愈清楚地认识到大洋与大陆不同。大陆上的许多造山带都是由一系列不同层次的岩块、岩片、岩席在板块边界上，或大陆内、板块内发生大规模侧向位移而造成叠覆堆置、强烈构造变形变质、地壳增厚的结果。发现大陆岩石圈不是简单的像大洋岩圈那样的刚体，而是极其不均一，随深度而变化，具明显塑性流变特征的固态介质材料，可以发生广泛弥散渗透性变形。因此大陆造山带就不仅仅单是俯冲碰撞造山所能全部解释的，而是由包括板块模式在内的多种多样的地质机制所造成。新产生的“内硅铝造山作用”、“岩石圈分层说”、“滑线场理论”等新的多种成因造山说均表明造山带研究的学术思路与观念又在发生变化。

显然，大陆造山带研究的发展体现着人类对于地球认识的不断探索，思维观念的更新深化，充满着关于地学哲学与地质学思

维、方法论的争论，充满着关于造山带时空、运动、成因等的争论。这些尤其明显地反映在固定论与活动论、造山运动的长其渐进统计规律与演变、同时性褶皱幕式造山等的争论上。科学技术的进步与发展，终将导致更大的地学发现和理论创新。板块构造就是这样诞生的，它引起了“地学革命”，极大地促进了地学思维的发展。上述地学哲学的长期争论，有些问题明朗化占了优势，并趋向一致。但这远非地学哲学争论的终止，因为人类认识地球不会终止，新的争论还将继续下去。世界地质学家从 80 年代中期以来在岩石圈和全球变化等前沿领域的地学实践中正进行地学的新探索与新思维，其突破口将会是大陆地质与大陆造山带。据此，为了我国同步参与世界地学发展的新研究，根据上述地学发展的现状与动态，基于对地球、大陆、造山带的最新认识 and 现代科学技术，从地学发展的全球思维出发，对大陆造山带研究作进一步更为深入地思考是必要的。

（二）大陆造山带研究的思考

大陆造山带是重新认识大陆地质的中心研究课题。正如前述，当代地学的发展，由于经典板块构造解释大陆出现的疑难，深部地质的重要新进展，大陆造山带从地槽回返造山、板块俯冲碰撞造山到多成因造山等理论的提出，都集中地突出了大陆地质问题。无疑，重新认识大陆已是当代固体地球科学发展的主要前沿领域之一。大陆的基本单元主要是活动构造带与稳定地块，即造山与克拉通或盆地。而造山带是大陆岩石圈形成、演化、成因与动力学探索的信息储存与记录最多的关键地带。如果把地球作为一个复杂的物理、化学、生物的行星综合体系，则造山带就是这一体系长期发展演化，波澜壮阔变动的集中表现。因此大陆造山带是当代地学发展前沿的重大科学问题和生长点。

全球思维，选择典型基地，建立天然开放实验室。创立板块构造说的一个突出特征是不局限于局部区域思维，而是全球

思维，从而建立了新的全球构造观。今天新的发展，需要在重新认识大陆与大陆造山带的研究中发展板块学说、超越板块学说。首先需要从大陆客观实践中去发现新事实，提取新信息，捕捉新问题，认识大陆的特有习性。进行新思维，需要全球思维指导下的区域思维，也需要从区域思维充实丰富发展全球思维。在典型区域的地学实践中需要有广阔丰富的地质学形象思维、灵感思维等非理性思维，但更重要的是需要理性思维，尤其是区域和全球的地质理论思维。根据大陆岩石圈客观存在的非均一性、复杂性与区域性和大陆岩石圈 80 年代研究的进展与存在问题，从全球思维出发，在全球地质研究基础上，选择典型研究基地，作为天然实验室，进行持续高层次多学科综合探索研究尤显必要。具体说来，就是要广泛吸收、借鉴现代科学知识 with 思维，运用最新的探测、测试、模拟和计算机技术进行造山带具体解剖研究，求得认识的突破，重新认识大陆运动学与动力学，开展创造性理论思维。这是大陆造山带新的研究的重要科学途径。可以说秦岭就是被选作“天然实验室”，进行造山带研究的一个很好基地。

三、造山带物质、时空演化、运动学与动力学

大陆造山带研究就是对地球造山作用、过程、结果和综合研究，即是对造山带形成、演化、成因及动力学的探讨，从而进行理论思维概括、建立模式，进而进行地球与岩石圈动力学的探索，创造发展地学理论。显然它涉及到地球科学及其它自然科学技术的各个方面，研究内容十分广泛、复杂，是一时空四维度综合的系统工程。所以现今的研究，必须在人类现代的科学技术的知识层次上以地学发展的最新成果为基础，进行多学科综合的连续攻关研究。其主要研究内容可概要归纳为：

现今造山带结构的三维几何学、运动学与动力学；

②造山带物质组成、动态演化；

造山带深部结构与状态模型；

造山带造山过程、体制、成因与动力学；

造山带数理计算机模拟实验；

⑥造山带与盆地关系；

⑦造山带与区域成矿、全球变化。

每一个课题都是一个研究领域，包括多学科研究内容，需要高度综合的全方位的研究和理性的思维。

对于造山带选择的典型基地研究，可概括为对造山带现状的研究、追踪与重塑造山历史的过程、动力学分析等。

造山带的现状即研究对象的现今物质组成及其结构的几何学特征，实质就是造山带的现今组成与空间特征问题。任一造山带都是其长期演变至今的综合结果，都是造山带物质运动至今的现时定位及其结构状态的几何学现状。

这里首先要思考与研究的是动态演化中的现时组成的基本物质单元及其三维几何学模型。它包括二维平面的组合形态与变化，三维的不同深度层次的物质与结构的变换及其相互关系，从而求得现今造山带基本物质组成单元和三维结构几何学模型，并尽可能用现代的科学技术与地质语言予以表达，使之成为进一步研究的坚实可靠基础。

造山带的现状是其长期演变至今的现时结果，要真正认识研究造山带，需从现状结果反序地进行追踪和重塑，这是地质学研究的突出特征，属于历史地质学研究范畴。但我们的目的不仅在于查明描述历史，而更重要的是要追索其因果的地质学问题，即成因、机理及动力学规律问题。尤其现代的研究，更需要理论的思维。这里最重要的是造山过程，即造山带物质在时间的序列长河中如何运动。尤其鉴于大陆的复杂性，不仅要了解运动的始末结果，而更需要了解运动轨迹的主要过程。因此造山带历史的追踪重塑，关键是对造山过程的科学研究。要探明在不同时序系统

中，不同深度层次的地球物质在动态中的物理、化学性质，状态及其变化，它们的运动形式与轨迹，以及不同时空条件下形成的综合结果和在演化中它们的转换机理，从中进行反复探索和认识，理解大陆造山的运动学与动力学，追索其成因的客观规律。这是一项跨学科的、内容深刻丰富、因而很困难的研究课题，涉及很多复杂的地质科学未曾深入触及的科学问题。它要求冲破很多固定化的地学观念。尽管困难是巨大的，但它确是获得新发现、新信息，了解大陆造山特有习性规律，创造地质学新思维的广阔科学园地。

大陆造山带是岩石圈中长期强烈的活动构造带；是地球物质在大体和地球动力学体系中，由地球深部物理、化学过程引起的大陆岩石圈物质剧烈分异、交换、再分配和由连续介质及非连续块体相互作用所导致的强烈变动带。可以说它是大陆地球物质的一种特殊运动形式与存在形式，有着深刻的天体与地球内部及大陆动力学背景。所以大陆造山带动力学，从根本上讲也是地球动力学和岩石动力学，它涉及到整个地球动力学体系，尤其是地球深部地质过程及演化、大陆岩石圈的动力学特有性状等等一系列当代地学正在探索的前沿课题。

大陆造山带动力学机制与特征的研究，也正是探索地球动力学的途径之一。通过对造山带形成与演化过程的综合研究，对不同演阶段的不同构造体制动力学分析与动力演变的认识（如对大陆俯冲碰撞构造动力学，陆内造山构造动力学以及前寒武纪、显生宙与现代构造动力学分析），对造山带深部状态、热结构活动、固态流变、流体作用与物质分异交换等等造山带具体内容的详细研究，可以获取大量关于造山带形成与演化的动力学特征与动力学机制的信息。无疑这是追踪造山带动力学和进行造山带分析的可靠依据。造山带基地“天然实验室”的研究和造山带三维结构、造山过程和动力学的研究，是重新认识大陆、发展地球科学

的新科学实践活动。基地的实践是个别的、区域性的实践和思维，它需要上升到基地本身的理性思维，这不仅是对全球构造，而且对于全球造山带构造来说也是如此。区域的思维要进行全球的检验、综合、概括和更高层次的全球理论思维，才能产生新知，创造新理论，推动地学发展。

地质的科学实践是主体和客体间的作用，因此在实践中坚持客观第一性，尊重事实，重视主体科学思维，开阔思路，强化理论思维，立足实际面向全球，持续钻研，必会在造山带、大陆、地球科学的探索研究中给人类知识宝库增加新知识，作出有益于人类的新创造。

四、对秦岭造山带研究的新构思

我国是世界上多造山带的国家，造山带一直是我国地质科学研究的重要内容，尤其近十几年来，国家自然科学基金委和地矿部等单位组织攻关，使我国大陆造山带研究有重要新进展，正加速与国际趋于同步，正处在突破的边缘，其中秦岭造山带就是有望取得重要突破性进展的造山带之一。

鉴于秦岭造山带在全球地质构造背景上所具有的典型性和特殊的构造部位及良好研究基础，对其系深入研究具有重大科学意义和广泛的应用前景，具备了在基础理论研究领域获取重要突破与新进展的基本条件。因此，国家自然科学基金委不失时机地把秦岭造山带基础地质研究列为国家级“八五”重大项目，现已取得许多可喜的成果。

根据近年来对秦岭造山带研究成果，对其形成演化及独有特征作下述概括。秦岭造山带是一个典型的复合陆造山带，具有长期复杂的演化历史，并在不同地质发展阶段以不同构造体制演化。秦岭造山带岩石圈在组成与结构上复杂多变，纵横向极其不均一，地表地质含有各个时代、多种多样不同组成组合的岩石地层单位，有新老不同构造层次与性质的构造的复合叠置。深部有

多种不同的波速与电性结构，发育低速高导层，多样的分层性与横向分带分块性，呈现了极不均一的地球物理场结构与状态及叠加复合的深部地质面貌。秦岭区域地球化学场与演化也同样表现出其区域地壳的地球化学的非均一性和复杂性，综合地质、地球物理和地球化学多学科综合成果，可概括如下：

具有广泛发育的以火山岩为代表的元古宙基底，并具有扩张机制的复杂裂谷系构造特征。

晚元古宙末期到显生宙秦岭造山带演化独具特征，既非典型广阔大洋扩张分割的华北与扬子简单的两个块的相互作用俯冲碰撞造山，也决非是单一的陆内造山过程，是一个具有多级地块复杂组合的小洋盆与微型地块兼杂的有限古秦岭洋域演化过程。发生多次不同类型的造山作用，形成广泛复杂的壳幔、壳内物质交换和板块岩片的多重堆叠，构成独特而复杂的岩石圈组成与结构，有别于已有的造山带模式。现今总体成为南北边界反向向外逆冲，呈不对称扇状，是一个遭受块断和平移走滑改造的复合型大陆造山带。

秦岭中新生代显示强烈陆内造山作用，伴随大量酸性岩浆活动和成矿作用。现今秦岭区深部地球物理场反映它没有山根，热流值高，存在异常地幔；是一个热构造活动区，仍在急剧隆升。综合秦岭岩石圈现有基本地质事实，对比世界典型造山带，表明它有以下突出特点：

第一，特殊的地质构造部位。它横亘于亚洲中部，是地质的南北天然分界线和现今主要活动带。它曾是地质历史中古特提斯带东延部分，并又处在与古太平洋汇交部位，既有重要全球构造意义，又独具演化特点。

第二，具有长期复杂的历史演化过程，不同构造体制多种造山作用依次叠加复合，决非一种构造体制多种造山作用之次叠加复合，决非一种构造体制下，一造种山作用所形成。

第三，大地构造属性长期具多重过渡性。

第四，秦岭地质出露完整，包含有促使地学向更高层次发展的尚待研究的丰富内容。

总之，现有的研究表明秦岭造山带并非为已有的造山带模式所能简单概括，堪称典型的区域性岩石圈研究和创造我国新的地学理论的良好研究基地与“天然实验室”，故为国内外地学界所瞩目。

秦岭造山带虽有长期研究，并已取得丰硕成果，但仍有很多根本问题悬而未决，其核心问题：

一是秦岭造山带的性质、构造体制与主造山期，即在其长期演化中有无大洋，什么样的大洋，什么时代的大洋，秦岭造山带主导构造体制与造山过程是什么？

二是秦岭造山带有无元古宙统一基底，什么性质的基底，秦岭带在什么基础上以什么方式开始发生？

三是对于秦岭造山带岩石圈结构与深部状态及演变还知之甚少。

四是秦岭岩石圈物质分异演化和再循环及造山过程的地球化学示踪也需大大深化。

上述这些问题，涉及秦岭造山带的基本组成、结构、成因、演化及其动力学等等有关大陆造山带形成与演化的一系列根本问题，也是当代地学发展前沿的主要研究课题，也应是秦岭研究的新起点。

对秦岭，进行当代地学发展前沿的新探索的主攻目标应是采用地质、地球化学和地球物理等手段进行多学科综合研究，包括：

秦岭造山带形成演化的造山过程、基本特征及其动力学；

秦岭造山带岩石圈物质分异和状态及其与造山过程制约关系；

秦岭造山带岩石圈三维结构单元等的系统研究。重点探索研究秦岭造山带现今三维结构、显生宙造山过程及其动力学，建立秦岭造山带现今岩石圈组成与结构状态模型，探讨秦岭造山带形成演化及其动力学的基本模式，探索当代大陆造山带前沿课题，推动地学发展，并为区域地质矿产资源开发和保护环境、预防地质灾害提供科学依据。

秦岭造山带新的研究在技术路线与方法学上应采用以下途径：

首先把地质、地球物理、地球化学方法有机结合起来，进行从地表到深部、从结构到物质组成演化、从客观到微观超微观、定性与定量等全面研究。开展全面而又突出重点的大陆造山带的系统综合研究，时空深成四维综合探索造山带作用过程及其动力学。

其次用系统方法论，强调对造山过程的综合研究。充分利用多种现代探测与测试、计算机技术等先进手段探索造山的各种综合过程，重新认识、理解、探讨秦岭造山带的形成演化及其动力学。

再者加强学术交流，开展国际合作，追踪国际前沿研究发展，专设动态研究子课题。

第十六章 关于波浪状镶嵌说中的地质思维 ——一个案例分析之二

地壳的波浪状镶嵌构造假说（简称“镶嵌说”）是已故我国著名地质学家张伯声教授创立的大地构造理论。1959年，张伯声在《西北大学学报》（自然科学版）第二期上发表了一篇《从陕西大地构造单元的划分提出一种有关大地构造发展的看法》的学术论文，在这篇文章中，他对大地构造运动提出了一个独特的见解：两个相邻的地块在不同地史时期，以它们之间的活动带为支点，作天平式摆动；相应地引起活动带本身同时作波浪状运动。1962年，张伯声在《地质学报》第42卷第3期上发表了《镶嵌的地壳》这篇论文，在这篇论文中，他提出了“镶嵌说”中的一个核心概念，即“镶嵌构造”概念，在这篇文章中作者认为，镶嵌的地壳是由集中的条条运动的活动带或活动面把分散地块运动的不太活动的地块拼合而成的地壳，作者在这里把地壳比作镶嵌。整个地壳首先分裂为太平洋、北大陆、冈瓦纳三个巨大地块，它们是由自古以来，各时代的重复的深大断裂及褶皱起来的地带镶嵌起来的。这三个巨大地块又分为许多三角形、四边形及其他多边形的次一级巨大地块，或成大陆地台，或成海洋盆地，它们也是由于不同时代的深大断裂或褶皱镶嵌起来的。大地台和海洋盆地又分为次一级、更次一级的不同大小的地块，为各种不同复杂程度的或简单的断裂褶皱带镶嵌起来。这就是张伯声简单描述的整个地壳的镶嵌图案。

那么，什么是形成镶嵌构造说的主要因素呢？1964年，张

伯声在一篇未发表的文章中论及到这一问题，他认为，地壳波浪运动，是形成镶嵌构造的一个主因，提出这一主因的背景是他建立了“地块波浪”的概念。在他所描述的地壳镶嵌的图案上，一级套一级的各种大小的地块不仅在分布上有一定的规律性，而且在起伏形势上也有其规律性，这就是作正性运动的地块与作负性运动的地块好像波浪状相间起伏，同时又像不同浪系的波浪互相交叉、相互干扰，互相割裂，把地壳分成许多块段，构成错综复杂的地块波浪，形成复杂的镶嵌图案。由此，他根据地面发现的地壳波浪可以分为四个系统，即北极—南极波系、太平洋—欧非波系、西伯利亚—南大西洋波系和北美—印度洋波系。关于四个波系的发生与发展，他认为用地球的收缩和膨胀相交的脉动运动来解释比较合适。在地球收缩时，有收缩到近似于四面体的趋势，这样就产生了四个收缩中心，形成四个巨大洼陷，在巨大洼陷的四个相应的反极地区形成四个巨大隆起，这样就在每对巨大隆起、洼陷的地质极中间地带形成一个相应的大圆构造带与小圆构造带综合起来，在地表呈现出纵横交错、正斜网贯的波峰波谷带，网贯交织的构造带中镶嵌着大块套小块、一级套一级、大小不等的地壳块。地壳的镶嵌构造是地壳波浪运动的结果，地壳波浪是地壳运动的表现形式，地球收缩与膨胀交替的脉动是地壳波浪运动的直接原因而地球自转是地壳波浪运动的补充因素，但根本原因是什么，还需要进一步探索。1965年，他在《从镶嵌构造观点说明中国大地构造的基本特征》一文中，认为中国大地构造位置不仅正当环太平洋断裂褶皱带和堆堤斯褶皱带的一个丁字接头处，由一级分一级的断裂褶皱带镶嵌着一级套一级的大小小的地块，而且是堆堤斯带的分带由西向东作扇面展开与环太平洋带的分带交成织网的地区。这就决定了中国大地构造以支离破碎的地块包在了强烈运动的地带之中，使其变得更加活泼多变，在构造发展上更加错综复杂。1966年，他进一步阐述了“中国

大地构造的基本特征与镶嵌构造的形成机制”，在地质极区可以首先激起地质波浪，通过小圆构造带向大圆构造带推动，大圆地带因而形成了最大隆起与凹陷矛盾集中带，自然在这里显示最大活动性，形成了全球规律的活动带，导致了最强烈的地壳波浪运动，而这一切又是由地球的脉动引发的。1975年，他叙述了地壳波浪运动的三种形式：垂向横波屈伸的蚕行状；侧向横波的蛇行蜿蜒状；纵波的蚯蚓伸缩的蠕行状以及“漂而不远，移而不乱”的水平运动特征。1980年，科学出版社出版了张伯声代表性的学术著作《中国地壳的波浪状镶嵌构造》，该书全面系统地论述了他的波浪状镶嵌构造的学术思想。

一、学说产生的背景和思想起源

张伯声教授是一位现实主义的地质学家。在他生前笔者曾向他询问他的学术思想是怎样萌发的，他讲述过这样一件事：他20年代初在清华学校读书时，每日清晨锻炼时都要跑步到清华学校校园的后墙，休息几分钟后再往回跑。校园的后墙群中有一堵用乱石砌起的墙引起了他的兴趣，他每日总是要观察一番才离开，久而久之他发现这堵乱石砌起的墙非常有趣，堆砌者无心，但砌起的这堵墙中的石头排列得非常具有层次和序列，他为这个现象曾思索了好久。以后到美国学习地质学和在中国从事地质事业，但总是觉得野外看到的地质现象和书本上不一样，而野外的构造现象总使他联想起清华学校里的那堵乱石砌起的墙。“乱石的拼合就是镶嵌，镶嵌是没有规律的，但是拼在一起就有规律了，就有层序了，这就是乱石集合起来的构造，这也是对我最大的启发”。

按思维学的理论来分析这一现象，它应属于灵感思维，灵感思维本身蕴含着创造的意识。这种现象几乎在世界上每一个著名的科学家身上都出现过。如阿基米德在澡盆中悟出的浮力定理，

德国化学家凯库勒在火炉旁梦见蛇咬时，首尾相接形成环状飞舞，领悟到有机化合物苯分子 C_6H_6 的环状结构……。张伯声的波浪状镶嵌理论的萌发更富有陆游的诗意：“六十余年妄学诗，功夫深处独心知，夜来一笑寒灯下，始是金丹换骨时。”“寒灯一笑”，灵感聚发，大彻大悟，但推本求源，正是多年来的实践观察、勤奋探索的结果。

张伯声教授生前讲述他的学说产生时曾说过：“波浪镶嵌构造我想的很早了，但见著于文字已很晚，这是我平生和别的地质学家不一样的观点之一。我公开提出自己的观点是在同意李四光先生的地质力学前提下……”从他现存的著作分析这一点，他非常赞赏李四光“广泛而深入地对地壳构造型式特别是我国大地构造的形式提出独到的、有价值的见解”之外，还与他在解释波浪镶嵌的动力机制时，采纳了地质力学的某些分析方法，如汲取了地质力学中地球自转速率变化的思想，结合脉动说来解释镶嵌构造成因有关。除此而外，黄汲清、张文佑、陈国达、喻德渊、谢家荣、陈国达、马杏垣等中外学者的研究成果，对他均有启发，尤其是“中国和苏联所出版的一些地质图和大地构造图（黄汲清，1958，1960；张文佑，1958；H.C. 沙茨基 1954，1957）启发最大”。

“镶嵌”一词用于地壳构造研究并不是张伯声首先提出的。威思（1959）曾说过：“地壳由断裂形成的四边形镶嵌图案……”别洛乌索夫（1961）也曾把太平洋西岸的地壳比作镶嵌。把地壳的全部描述为镶嵌构造，最早可能是布鲁克（1956），他曾从全球构造的几何图案入手，进行统计分析，把地盾，特别是非洲地盾划分为一系列的镶嵌的地壳碎片。但前人的这些工作多是仅仅停留在描述阶段，或者是未对地壳的镶嵌作以理性说明。当然我们今天不否认这些人的工作对“波浪镶嵌”说的影响，但张伯声毕竟是在前人的基础上迈向了理性的世界，他提出的“镶嵌”的

概念的内涵和外延已与前人有着质上的差别。

“地块波浪”最早是哈因（1960）提出的，地壳构造“在有些地方以挠曲地块为主，在另一些地方以整块变位为主的地块波浪性质”。哈因的这一观点是针对当时有些学者认为地壳“不是波状就是单纯的块状性质”的观点提出来的。镶嵌波浪说中的块状波浪是创造者地质形象思维中的理性探索的结果，它是指作为天平式起伏的地块引起夹在其间的地带随时间变迁的空间上的摆动。波浪状运动的结果形成了倾斜断块、地堑地垒、穹起间陷三种主要样式的地块波浪构造。

“我公开提出自己的观点是在同意李四光先生的地质力学说前提下”，地质力学对镶嵌学说的影响主要是力学原理对镶嵌构造及地壳波浪形成的原因的机理解释方面。地质力学首先注意的是地球上的经向和纬向构造体系的起因，就构造线来说，地壳波浪有经向、纬向和两种斜向的系统，从运动形式来说，镶嵌构造与地壳波浪形成的原因可以分为两个方面，一是由于地球自转引起的侧压力，二是由地球脉动所引起的侧压力。这两种侧压力造成了有伸屈的蚕行状、蜿蜒的蛇行状及伸缩蠕行状三种。地壳波浪的这种方向性和表现形式，基本上可归因于地球自转运动所引起的离心力和水平分力，即侧压力。这种侧压力可以分为经向纬向两种。因此，李四光先生在地质力学中提出的山字型、歹字型等构造以及相邻壳段的水平扭动和旋卷构造都是以影响各不同波系在不同地区的方向，在地壳波浪运动的同时，由于地球自转速度的变化，也可能影响不同地带的地壳波浪的方向。

二、关于镶嵌说中的活动论观与固定论观

在地质学界，越来越多的地质学家已自觉或不自觉地接受了被称之为代表革新的“活动论”的地质观念，所谓的“活动论”之最大的意义笔者认为不是在地质学中，而是在地质思维中，

“活动论”的观念突破了传统的所圈定的认识范围，使人们的地质视野从对地质体的纵向运动扩伸到大规模的远距离的水平运动。这是认识的飞跃，但对地质学来说，后者不可能完全替代前者，或后者完全否定前者，因为对于地质学，目前人们并没有寻找到大家共同认可的规律，尤其是它自己的特点和学科的特殊性决定了这一点。

那么，镶嵌说的论点是属于“固定论”还是属于“活动论”？这一问题曾有许多对该学说感兴趣的同志下过结论，认为镶嵌说毕竟是“固定论”的产物，其对该学说的结论就不言自明了。

最有代表性的“活动论”学说是板块构造说，如果与以为参照系，镶嵌说的创始人张伯声教授是完全不赞同板块说的观点的。1976年他在《西北大学学报》第1期上发表了《板块构造说的正反面概述》这篇檄文，在板块说刚刚兴盛的中国大地上驳斥这一观点，他在该文中所指出的板块说的几个致命弱点恰恰是今天板块说逐渐弱退的主因。

张伯声对自己的学说中关于“活动”与“稳定”观点的看法是这样的：“这里所指的相对稳定与活在两方面不同于传统地质学的提法，首先，传统地质学所说的稳定与活动是大规模的，认为地台和大地块是稳定的而在它们之间的造山褶皱带则是活动的；在镶嵌构造说看来，只要是作整体运动的地块，不分大小都是相对稳定的，只要是作剪切错动的地块不分大小都是活动的。镶嵌构造说认为：镶嵌着大地块的是大活动带，镶嵌着小地块的是小活动带。

其次，他还注意到不应该像传统地质学那样，把像克拉通这样相对稳定的地块与刚性等同，也不应把褶皱造山带与这样的活动带塑性流动结合起来。活动带或面不应分为刚性与柔性，因为镶嵌说指的活动带或面是在不论大小的地块之间的错动带或面，活动带不仅包括曾经塑性流动的构造带，而且还有曾经错动的断

裂带或面。

除此而外，他还注意到了构造活动带方向的一致性和同级构造活动带的近等间距性。

那么，镶嵌说到底是属于“活动论”还是“固定论”，这在许多人看来是区别一个学说是否“先进”或“不先进”的重要标志。首先，我们认为，这种看法就是教条的，地质学史上没有一种学说永立于不败之地的，它完全是由于本学科的性质所决定的。但是对于张伯声的镶嵌说来说，他所创立的学说本身就是现实主义与唯物主义结合的产物，他本人对大地构造的活动与稳定问题是用辩证唯物主义的观点去分析，他注意到了事物发展的二重性。不仅如此，他不苟同于他人的观点，提出了自己独特的看法，活动是永存的，稳定是相对的，镶嵌说的地块运动是天平或摆动（三种形式），“漂而不远，移而不乱”。地壳的波浪运动的近因是地球自转所派生的水平分力导致的水平运动，其原因则是地球的脉动所兴起的垂直运动。张伯声的这一思想，把地壳的波浪将水平运动与垂直运动辩证地统一起来。

三、关于波浪镶嵌说中的历史论观与因果论观

考察波浪镶嵌说的学术思想，需要分析该学说的思想论观，如果把地质学家在地质学研究方面分为两种不同目的和兴趣的科学家的话，张伯声在他的学术思想里，包含着把地质学看成了自然史的一部分，镶嵌学说的一个很重要的目的是在重建大地构造的演化史。例如在进行波浪镶嵌运动的机理探索中，始终在追寻构造运动的历史渊源。1983年，张伯声和王战指出了地球演化所表现大的10亿年的阶段性及20亿年的大周期，以及2亿年的基本构造周期和一级套一级的更小、更更小的周期性。地球演化的这种级级相套的周期性（在时间坐标轴上的等间距性）同地壳构造在空间上所表现出来的级级相套的等距离性相结合，由此而

形成了地球（壳）的波浪式演化与地壳的波浪状构造相统一的时空观。王战（1967）将其提到了哲学的高度，称之为“时一空等间距性原理”。波浪镶嵌说还认为，地球驻波式脉动，是大陆起源和演化的根本驱动机制，因而也是多数和全球性重大地质事件的共同起因。这些论点是典型的历史论地质观的范例，甚至可以说这是对地质周期时间观最典型的描述。除此而外，波浪镶嵌说更加注意到了该学说的哲理探索，即因果论问题，如果说张伯声的波浪说反映的是该学说的历史论观，则完全可以说镶嵌论的核心反映的是他的因果论观。从他 60 年代描述的镶嵌的地壳到 90 年代初王战等对球形四面体所建立的地球多级驻波脉动理论模型，成功地解释了镶嵌机理因果关系。张伯声是以实践中获得的第一手地质资料为基础，用丰富的地质经验的哲学思想来进行理论推理的，他的波浪镶嵌说恰恰是历史论与因果论结合的产物。

第十七章 新灾变论的哲学与 思维方法的启示 ——个案分析之三

地质学的变革与进步，总是以哲学观念和思维方法的变革为先导；同时，地质学的变革与进步，又可导致哲学观念和思维方法的改进。20 世纪 80 年代初兴起的地质学新思潮——新灾变论，对地质学的哲学观和地质学的思维方法都产生了重大的影响。

一、新灾变论的兴起及其地质事实

早在 19 世纪初叶，灾变论的奠基人居维叶从研究生物灭绝入手，提出了灾变论的思想，他的主要论点是：“地球上的生命进程曾多次被灾变事件所打断”，“地球表部曾经历过相继的革命及各种灾变”，“大多数灾变是突然的。”由此推断，地球历史是由一系列的灾变事件所分割的历史（Buckland, 1823），并将最后一次灾变（距今 6000 万年）归因于大洪水。灾变论创立者这些观点不无合理部分，但洪水说的荒谬，却加速了该学说的销声匿迹，给对立派造成了可乘之机。于是，物种不变论者、灾变论者和神创论者三顶大帽子让居维叶戴了一百多年，在地学界他是以反面人物出现的。当时，反灾变论集大成者应推莱伊尔，他主张“自然界的均变性”，他所创立的均变论主要论点是，地球不但在空间上，而且在时间上——地质历史上——是处于平衡状态的，以不变的速度进行循环（非空间）的运动；渐变的侵蚀与沉积相平衡，火山爆发、地壳上升与下降相平衡，生物中的渐变与

新生和绝灭相平衡。

一百多年来，均变论以胜利者自居，一直占领着地学的领袖舞台。然而优胜者并不一定掌握着绝对舞台，许多地质现象用均变论是难以解释的。尤其是 20 世纪 60 年代以后，DSDP 的成果导致了地球科学的一场深刻的革命，产生板块学说和海洋学，孕育了现实主义新灾变论，对均变论提出了新的挑战。新灾变论的主要论点是：在宇宙和地球演化中出现过一系列灾变事件，灾变是一种变化淹博的突变，其特点是短时间、高能量、突发性、外因为主。例如超新星爆发、地球磁场倒转、大规模火山爆发及地震等，同时引起地球上生物大量灭绝；灾变现象存在于事物发展的整个过程中，是一种基本的演化现象，对新事物的诞生和旧事物灭亡起主要作用（Alvarze, 1997；许靖华，1980；Walliser, 1982；徐道一等，1983）。这种论点主要由以下客观事实所支持：天文观测表明，在行星、卫星上存在大小不等的陨石冲击坑。这表明，在行星际空间，陨石、小行星、慧星等小天体对地球等天体的撞击是一种相当普遍的灾变现象；古生物研究表明，海相化石在 6 亿年中有五次大灭绝，其中大部分灭绝在相对短暂的时间内（殷鸿福等，1984；徐道一等，1987；赵靖舟等，1987）；全球性的古地磁极性倒转事件是在相对短暂时间发生的；全球性的构造剧烈变动时期（造山幕）大体是同时发生的；由小天体冲击地球可形成直径达几百至两千千米的陨击坑，对地壳、地幔、大陆、海洋、超壳断裂、板块运动等均有重要作用（许靖华，1978，1980；徐道一等，1983；张勤文等，1986；周瑶琪等，1987；彭建兵，庞桂珍等 1987；欧阳自远等，1991）；地球化学研究表明，在显生宙三条最明显的地质界线（前 ϵ/ϵ 、P/T、K/R）处地球化学元素异常突变，其中的铕含量异常明显是地球灾变造成的地质后果 Brenneeke 等，1977；Aluarze 等，1979；柴之芳等，1987）。由此可见，灾变现象是客观的，所占的时间虽

然短暂，但它在地球演变过程中却扮演了十分重要而特殊的角色。可以说，它是迅速改变全球地质环境的基本动力之一，是划分地质历史的基础。

二、灾变论的灾变哲学观与无序思维

新灾变论的第一哲学意义在于，事物发展的质变并不都是由量变引起的，一些事物的质变还可由灾变引起，这一质变与该事物在此时到来之前的量变的关系并不密切。因此事物的质变有两种形式，一种是量变 = 突变 = 质变模式；另一种是灾变 = 质变模式（徐道一等，1986）。显然，后者的变化并不存在量变到质变的链条，它是一种突发性的、与量变无关的、时间序列上是无序的质变。

这种新的哲学观，反映在思维方法上，则是一种无序思维。均变论者遵循的是有序思维，“现在是认识过去的钥匙”。多年来，地质学家们一直循规蹈矩地从研究地层层序入手，有序地探讨地质历史的演化，而极少注意“天外横祸”的特殊影响。新灾变论则把这种常规思路打乱了，将无序的灾变事件引入地球演化史的研究中。这种思维方法克服了已有思维方法的偏见和制约，打破了因袭式的思想联结链。它的优势是：思维无定势，可产生多级跳跃，进而将各种表面上看似无关的信息和杂乱念头联系起来，得出异于新灾变论寻常的科学见解，从研究地质发展链条上的异常现象入手，进而发现这些异常现象是一种外来因素作用形成的灾变现象，是地质历史发展阶段的基本标志，这是用时间无序论的思维考察地球演化过程。由思维的无序性到地质过程的无序性，进而得出灾变论。可见，无序思维也是一种极有价值的创造性地学思维。

事实上，地质学研究中还有另外一些无序思维成功的案例。最典型莫过于推覆构造的发现和地体说的提出。如地体说，其基

本观点是：许多大陆边缘，尤其是环太平洋新生代活动大陆边缘，其内部构造十分复杂，它们往往是由一系列外来地体拼合成，地体之间以断层为边界，拼合在一起的两个不同地体，在地质历史上毫不相关。可见，地体说体现了两种无序性，一是一个地区的构造地体可以是原地的，也可能是外来的；二是两个拼合在一起的地体，在历史上和成因上可能是毫不相干的，这无疑是一种无序思维。

由此可见，在实际地质问题的研究中，这种思维方法对我们会有较大的帮助。例如秦岭地质问题，多年来不管谁到秦岭，不管见到哪套地层，首先想到的是各个岩块和地层的上下关系。如“三群”谁老谁新？南北秦岭前寒武纪地层谁老谁新？总是企图通过先建立地层层序，然后建立构造格架，进而确定造山带演化和发展过程。这种思维定势可能一开始就把地质学家引入歧途，因为秦岭地区许多地质体本来是不好排“辈份”的。“三群”可能本身就是一个混杂带，你硬去肢解它。给它排辈份恐怕有误。况且，秦岭地质体有些可能是异地推来的，有些又是原地的，若把不同“家族”的东西拉到一起排“辈份”，难免张冠李戴。所以，秦岭地质问题的研究恐怕应当从无序思维的角度出发。

若秦岭地区的地层是无序的（至少在某一个大的地质时代），这又引出另一个问题，那就是许多学者在一定层序基础上建立的构造演化模式是不成立的。这又引申出另一个问题，既然秦岭地槽发展的链条接不起来，那么中国地壳的构造演化格局又必须重新认识。如果说“大推覆、大拆离、大滑脱”的九字经概括了秦岭山链的形成，那么整个中国地壳演化的模式及历程又是个什么样子呢？这又是一个无序思维问题。

三、新灾变论的外因主导哲学观与 系统思维方法启示

新灾变论在哲学方面的另一重要意义是强调了外因在事物发展中的重要作用，即认为在一定条件下，外因可起主导作用，这种哲学思想源于天地相关的系统观。在新灾变论看来，地球即与其它天体相互关联、导致地球状态发生变化而构成一开放大系统（彭建兵等，1987；刘波；1993）。因此，在地球的运动和演化过程中，地外和地内作用互为因果，渐变与灾变交替发生，在漫长的渐进性地壳变动中，地内因素（内因）为主；在瞬息万变的灾变性地壳变动中，地外因素（外因）为主。

这种天地相关的系统哲学观，可从耗散结构理论进行合理的解释。耗散结构理论认为，对于远离平衡态、以非线性反馈为动力过程的系统，因与外界有能量和物质的交换，系统有一系列的涨落现象，这时即使是小涨落也会因非线性反馈而引起巨涨落的现象，从而改变系统的过程，形成在非平衡态条件下的稳定有序结构。地球本身是一个系统，是一个耗散结构，它有自身的量变过程，但同时也接受地球以外能量和干扰。地球以外来的扰动因其本身的非线性反馈而引起地球系统的巨涨落，造成地质灾害事件的出现。

这种天地相关的系统哲学观，反映在思维方法上则是一种系统思维方法。所谓系统思维方法，就是把客体作为系统，从系统的要素、要素和要素、系统和环境的相互联系、相互作用中综合地考察客体的系统性和思维的系统性。如前所述，地球本身是一个系统，同时它又存在于另一个更大的系统即宇宙大系统之中。主体的思维也是一个复杂的巨系统，主体的思维结构是一个系统，主体的思维方式是一个系统。这就决定了系统思维是地质学研究中的一种最重要的思维方式。地质学的系统思维必须遵循如

下三个原则：

1. 整体原则

任何一个系统，都是一个相对独立的整体，应用系统思维方法去认识地质现象，首先必须把地质现象这个客体作为整体来研究。所谓整体原则，就是把地质现象作为由各个部分构成的有机整体，即从整体出发研究地质现象的组成、机理及其发展演化。地质系统思维的整体性包含两重含义：一是构成地质整体和各地质事件的成因联系，具体反映了各种地质现象之间的因果关系和序次关系；二是构成地质整体的各地质事件和地质现象的组合关系。

2. 结构原则

系统的结构是指系统的诸要素之间以及系统与环境之间有机联系的形式。地质系统结构一方面表现为系统内部各地质要素的相互作用、相互联系的方式，另一方面又表现为地质系统与其环境的关系，包括从最高层次的地球整体与宇宙环境之间的关系到低层次的元素迁移富集与地球化学场环境的关系。

3. 动态原则

系统的动态原则是指系统在与周围环境进行物质、能量和信息的交换过程中，不仅能作用于环境，而且还能通过各种形式的反馈进行自我控制，从无序走向有序。地质学的系统思维的动态原则要求在考察地球系统时，一要研究地质系统与周围环境的动态联系，二要研究地质系统自身的存在和演化过程，尤其是要了解地质系统运动和演化过程中的稳定阶段、演化阶段和临界效应。新灾变论则更重视地质过程中的临界效应，也就是灾变效应。地质体中的系统性非常普遍，其中概括性最强的是“系”、“场”、“相”、“带”等地质系统的概念。“系”则有构造系列、成岩系列、成矿系列、矿物系列、生物系列、灾害系列等，“场”则有地球化学场、构造应力场、构造形变场、渗流场等，“相”

则有沉积相、变质相、生物相、矿相和形变相等，“带”则有造山带、褶皱带、断裂带、成矿带、地震带等。这些概念都赋予了成生联系、相互组合、相互作用以及环境的制约与影响的意义。地质体的普遍系统性，决定了地质学系统思维方法的普遍意义。因此，只有坚持地质学系统思维方法，地质学家才能综合地、系统地、连续地、动态地、正确地认识各种地质现象和地质事件的本质。

四、本章结论

由以上分析可见，新灾变论对我们具有如下重要启示：

地质灾变现象是客观存在的，它是迅速改变全球地质环境的基本动力之一，是划分地质历史的基础。

新灾变论在哲学上有两点重要意义：一是事物的质变一定非由量变积累而成，灾变是质变的另一种形式；二是在一定条件下，外因对事物的发展与转变也可起主导作用。

新灾变论在思维上的启示是：无定势、多级跳跃的无序思维是地质学研究中的一种有价值的创造性思维；系统思维方法在地质学研究中具有普适意义。

第十八章 地质灾害的群发性与 地质思维的整体性 ——一个案例分析之四

各种地质灾害具有独特的特征和发展规律，它们共同构成了一个较完整的灾害系统。然而，这个系统并不是所有灾害事件的简单总和，而是这些事件通过相互联系、相互作用组成的一个整体。因此，在研究地质灾害时，应当把它作为一个整体看待，把整体的各部分、各因素联系起来考察，从中找出共同规律性的东西，即坚持整体地质思维。本文试图从地质灾害的群发性入手，探讨地质思维的整体性。

一、地质灾害的群发性

地质灾害具有群发性，在某个时期或某个地区，自然界异常，一种或多种地质灾害频繁出现，给人类带来很大灾难，地质灾害的群发性有两个涵义：一是时间上的群发性，二是空间上的群发性。

1. 时间上的群发性

地质灾害的发生、发展在时间上表现出明显的周期性，即有些时间段发生、发展比较强烈，而在另外一些时间段则比较微弱，这种周期性就构成了时间上的群发性特征。

我国地震的发生具有明显的群发性。17世纪是华北乃至我国近2000年来最强烈的一次地震活跃期。公元231~1980年华北及渤海地区6级以上地震记载有78次（耿庆国，1985），近500年来，平均10年发生一次6级以上地震。17世纪有两次地

震活动期，第一次在 1614~1626 年间，13 年中出现 6 次 6 级以上地震，平均两年一次，出现率是平均数的 5 倍。另一次是在 1654~1695 年间，41 年发生了 6 次 6 级以上地震，并出现了 3 次特大地震，并且，火山活动也相当频繁。近 500 年来全球尘幕指数大于 1000 的火山喷发年份有 30 年（张先恭，1985）。在 1586~1614 年间就有 4 个火山喷发年份，1660~1680 年也有 3 次，平均 7 年一次，其频率也比平均数大一倍多。在这样短的时间里同时发生如此众多的地震和火山活动在历史上是罕见的。地壳运动是地震和火山活动的内因，它的时强时弱决定地震和火山活动在某个时期强烈，某个时期微弱。天文因子作为外因可以触发地震和火山活动，17 世纪太阳活动异常，黑子活动强烈，并于 1665 年发生九大行星会合，对地震和火山异群发有重要作用。

地裂缝是严重影响我国人民生活、生产建设的主要地质灾害之一，它广泛分布于全国各地，条数成千上万。地裂缝中以构造地裂缝的灾害最为波及范围广、致灾严重。1974~1984 年我国华北地区构造活动加强，在唐山等地发生大地震，快速释放了大量应力。而在其他地区应力通过缓慢蠕动的方式即地裂缝释放，因而这期间出现了有史以来少见的地裂缝群发现象。仅河北、河南、陕西、山西、山东、江苏、安徽七省的不完全统计，已有 200 个县市发现地裂缝 746 处，而这一时期仅渭河盆地就有 20 个县市发现地裂缝 70 余处。

滑坡的群发性也很突出，由于气候条件和地震活动等的周期性变化，在某些年份特别频繁，某些年份则很少发生。1981 年我国雨水丰富，是滑坡灾害较严重的一年。7~9 月，四川省遭受了特大暴雨的袭击，使全省 18 个地、市、州的 90 多个县区发生了约 6 万处滑坡、崩塌，其中规模较大的 47000 多处。特别是盆地北部边缘山区各丘陵区分布最为密集。其滑坡数量之多，发生时间之集中和灾害的严重程度都是历史上罕见的。西安地区

1984 年 7~11 月出现滑坡 30 余起。陕南山区 1981 年秋季遭受百年不遇的洪涝灾害，仅凤县、留坝、略阳、宁强等县的不完全统计，共发生滑坡、泥石流约 2 万处，经济损失达 10 亿元以上。渭河盆地也是滑坡发育的主要地区之一，自公元前 780 年以来多次发生破坏性滑坡，其表现出明显的群发性，共有 7 个活跃期（彭建兵等，1992）。

泥石流也往往表现为群发性，其特点是多条泥石流沟同时暴发，而诱发因素是集中降雨。1977 年 8 月 3 日前后，在辽宁省宽甸县的下露河、步达远、大西岔等地有 16000 多处山坡滑塌，导致了泥石流，压毁庄稼 5150 公顷。1981 年 7 月 27~28 日，在辽宁省复县、新金县和盖县三县交界处的老帽山地区出现群发性泥石流，波及 6 个乡的 16 个村，受灾面积达 400 平方千米（种以章，1987）。1982 年 7 月 31 日华山北坡发生成带暴发的泥石流，从莲花寺到孟塬间长约 30 千米的范围内有 40 多条泥石流沟同时暴发，一时间山谷雷鸣，地面振动，形成灾难。泥石流的群发性除表现为周期性或在某个年份集中发生外，还表现为在一年之中某几个月份集中发生、一般多发生于多雨的夏秋季节。

2. 空间上的群发性

地质灾害的发生、发展在空间上有明显的差异，即有些地区是地质灾害的多发区，而有些地区则是少发或不发区，这种不均匀性就构成了空间上的群发性特征。

地壳构造的特点是相对稳定的地块之间为活动的构造带。世界地震的空间分布是不均匀的，最大特点是具有全球规模的带状分布现象。如已划分出的环太平洋地震活动带，地中海喜马拉雅地震活动带、在洋中脊地震活动带和大陆裂谷地震活动带。

我国境内强震分布广泛，受地质构造特点所控制，在空间分布上表现了不均一性，往往是带状群集分布。我国东部有台湾地震带、郯城—庐江地震带、河北平原地震带、汾渭地震带、燕山

一渤海地震带、东南沿海地震带；西部有北天山地震带、南天山地震带、祁连山地震、昆仑山地震带和喜马拉雅地震带；中部有南北地震带等。这些带之间为相对稳定的地块。

地裂缝多呈带状群集发生，区域上与活动构造带对应，单条地裂缝则往往与活断层位置和产状、活动方式一致。渭河盆地地裂缝有泾阳地裂缝带、西安地裂缝带等。西安市内已发裂缝 11 条，呈等间距状分布，多与活断层相对应。

滑坡产生于斜坡，斜坡的特征及其稳定性取决于区域地质和地形条件。诱发斜坡滑动的各种自然随着各地气候、水文条件的不同而变化，所有这些都决定了滑坡的类型和分布具有区域性的特点。许多大型滑坡不是单独出现而是成群分布，就是这种特点。许多大型滑坡不是单独出现而是成群分布，就是这种特点的反映。我国的滑坡分布具有明显的区域性特点，主要集中在西南的云南、贵州、四川、西藏，西北黄土高原区，东南、中南等省山地和丘陵地区，西藏、青海、黑龙江省北部的冻土地区和秦岭一大巴山地区。

我国泥石流的布也具有群发性，规模大、频率高、危害严重的地区主要有滇西北、滇东北地区，川西地区，陕南秦岭一大巴山区，西藏喜马拉雅山地，辽东南山区和川南及白龙江流域等。

3. 多种地质灾害的群发性

地质灾害的群发性除表现为上述某种地质灾害在时间、空间上的群发性外，还常常表现为多种地质灾害在某一时期或某一地区的群发性。这种群发性本质上反映了各种灾害在成因上的同源性和因果链关系。

渭河盆地地震、地裂缝、滑坡、泥石流灾害的分区带多数是叠加在一起的，活跃期也比较接近。沿盆地轴部的渭河断裂带一带，既是大震丛集带，又是地裂缝较集中发育的地带，还是滑坡、崩塌集中分布带；中、强震发育的合阳—临潼—长安地震

带，既是地裂缝发育带，其南段又是滑坡集中分布带；盆地南部大震区既是地裂缝强发育区，又是滑坡、崩塌和泥石流集中分布区。云南东川地区 1966 年是近几十年该区的强震期，使东川的泥石流加剧发展，仅东川铁路在 1970~1981 年的 11 年中就发生泥石流灾害 250 余次。1976 年唐山地震前后华北地区大面积出现地裂缝。1920 年宁夏海原地震时仅在西吉就造成山脉滑体 550 余个，面积达 1000 余平方千米。

4. 地质灾害群发性的成因

自然界是一个有机的统一整体，地球上的四大圈层是相互联系的，它们之间存在着无数物理、化学、生物以至人类活动的过程。有着形形色色的相互作用，某一圈层发生异常时就可能导致其他圈层在较短时间内出现异常。地球是个外包大气层，内含巨大能量，充满活力的旋转球体，它的固态、液态、气态物质一直不停地运动，其物质和能量不断输出。这种过程是受多种因素支配的，主要和物质成分、构造应力状态有关，具有很强的期性、区域性。这种周期性和区域性决定了地质灾害的周期性和区域性即群发性。当气候变化、行星运动的周期和区域与地球物质运动的周期和区域重合时，地质灾害的群发性更为显著。

二、地质灾害研究思维方法的整体性

地质思维的整体性就是把地球的物质系统看成是一个有机的、抽象的整体，并加以系统分析和综合分析，使之具体化的思维过程（彭建兵 1989）。

地球物质系统和运动系统具有整体性，因而地质学家只有坚持整体地质思维才能准确地把握地球演化的内在规律。地质灾害是地球物质运动的结果。研究地质灾害必须坚持整体思维，只有这样才能掌握各种地质灾害和多种地质灾害间的内在规律，为地质灾害预测预报奠定基础。

地球物质系统与运动系统的整体性规律存在于组成部分间的相互联系和相互作用之中，而这种相互联系和相互作用共同规律则反映在事物的整体与层次、部分、结构、功能、环境、运动的辩证关系上。

1. 地质灾害的整体层次关系

整体以层次将不同部分联系起来，相互作用，构成统一的整体。以地震为例，全球有四个地震带、中国位于环太平洋地震带和地中海——喜马拉雅地震带交汇处，汾渭地震带是中国大陆内部一条著名地震带。在渭盆地内部又可进一步划分出 4 个地震区和 5 个地震带。就西安地裂缝而言，最初识别出 11 条地裂缝带，进一步地表发现每条地裂缝带是由若干条地裂缝斜列构成，而探槽开挖和详细测量发现每条地裂缝是由数条次级小裂缝构成的。弄清每条地裂缝的特点即可弄清一个带，进而弄清整个西安市地裂缝的特点。所以，对同一地质灾害应有不同层次探讨，弄清低级层次的状态是搞清宏观整体特点的手段。

2 地质灾害整体与部分的关系

整体的功能不等于各部分功能之和，这是整体思维方法的一个基本原则。泥石流暴发需要松散固体物质、地形和降水三个条件，仅有其中一项不能暴发，而同时具备这三个条件的地区往往局限于某些地域和某个时间段，因而其显示出群发性。然而，部分可能在一定程度上体现整体的性质，沟谷中松散堆积物少、降雨量小的地区泥石流暴发频率低，危害也小。总之，认识部分对认识整体有重要作用。

整体与部分之间的辩证关系还表现在部分与部分之间的相互作用及其对整体的综合影响上。地震、滑坡、地裂缝、泥石流在有些地方同时发生，就是由于它们之间相互制约、相互影响。地面振动使岩土层开裂，产生地裂缝，在斜坡上出现裂缝后在振动力的作用下产生滑坡，若滑坡发生在沟谷，又有集中的降雨，便

产生泥石流，从而加重了灾害。对泥石流来说，降水、松散固体物质、陡峻地形三大部分也是相互影响的，有陡峻的地形就可产生大量松散固体物质堆积在沟谷中，有松散堆积物才能拦住沟中流水使其遭受浸泡，到一定程度成为泥石流暴发。可见，整体与部分，部分与部分是互为因果的。

3. 地质灾害整体与结构功能关系

整体各部分之间的联系和作用形式的总体称为整体结构，整体对物质、能量、信息的转换能力和对环境的作用称为整体的功能。地壳运动对地质灾害具有决定性作用，地壳运动加强的时期地质灾害集中发生。地球表面各种要素组合不同而地质灾害类型、时间和空间活动强度发生变化，此时此地频繁、集中，彼时彼地却很少发生。同为山区，有的地方发生泥石流，有的地方却不发生，这与当地降雨条件和植被覆盖条件即作为泥石流灾害的结构的不同有关。甘肃是我国泥石流最发育的地区之一，由于地质构造、气候、岩性差异即各要素组合不同，表现出在经向、纬向的群发性特征。因而，地质灾害的结构发生变化，性质也随之变化，各要素排列组合不同，性质也不同。研究地质灾害在从体性入手的同时，要认识地质灾害结构的变化对整体功能的影响。

4. 地质灾害的整体与环境的关系

与地质灾害发生相互联系和相互作用的全部外界条件的总和就是环境。整体与环境的关系主要表现在环境对地质灾害的制约上。如滑坡问题，斜坡的平衡条件由斜坡应力状态决定，斜坡的岩土特性、岩层结构及产状、岩体地质构造、斜坡的平衡条件由斜坡的结构及稳定性，而当外界条件或环境在某个时期发生变化，如大范围连续降雨或发生强烈地震时便可导致大面积滑坡发生。因此，地质灾害研究中心须注意环境的变化对地质灾害发生的影响，以便准确掌握地质灾害发生的规律。

5. 地质灾害整体与运动的关系

整体运动状态取决于各部分的运动状态。渭河盆地地震、地裂缝、滑坡、泥石流构成该区地质灾害的整体，它们的运动状态决定了该区地质灾害运动状态，即亦表现为时间上的周期性和空间上的集中性或群发性。这种运动状态是由新构造运动这一内在统一力量所支配的。同时，整体运动各部分之间又相互影响、互为因果，如地震诱发滑坡，滑坡堆积物在一定地形和降雨条件下可形成泥石流。

第十九章 变质作用 $P-T-t$ 轨迹理论 及其研究方法 ——一个例分析之五

为了适应现代地质学科科技革命蓬勃发展的趋势，应当怎样理解和把握现代地质学的思维方式及特点？如何理解和看待现代地质学科中重大理论产生及研究过程中解决问题的思维方式？这是目前地质工作者，也是地质哲学工作者普遍关心的一个问题。深入探讨这个问题，具有重要的理论意义和实践意义。因为一定的地质思维方式总是制约着人们的认识、思维和实践活动。地质学科中新理论的产生和发展，离不开一定的地质学思维方式的指导。它为地质学中新理论的建立提供了认识论、方法论和逻辑学的基础，同时它又在地质学实践活动中制约着地质学工作者的工作方法和行动方式。因此，对于地质学思维方式的深入理解和研究，越来越受到广大地质学工作者的关心和重视。本章以 20 世纪 70 年代中后期地质学分支学科——变质地质学领域理论研究的一个重大突破—— $P-T-t$ 轨迹理论及其研究方法为例，从认识论和方法论的角度，探讨现代地质学科中解决问题的思维方式。

一、从“变质相系”到 $P-T-t$ 轨迹

变质作用是发生于地壳中的热事件。在一次变质事件中，其影响所及的地壳一般都经历了温压增高，到达高峰状态，然后降温、降压这样一个全过程。所以就温压（ $T-P$ ）条件来说，变质作用是随时间（ t ）进程而连续演化的动态过程（ $P-T-t$ 轨迹），而不是外部条件始终事变的静态。但长期以来，对变质作用物理化

学环境的研究，实际只注意其高峰期的温度和压力条件，以平衡共生的矿物组合系列为标志的“变质相系”理论就是这种研究思想（思维方式）的典型实例。这种研究事实上是把变质作用当作（以其峰期为代表）一种静止状态看待，以化学热力学得多相平衡原理和矿物共生分析的方法进行研究。峰期 PT 条件的确定当然也能在一定程度上说明当时地壳中的热状态和岩层埋深等方面的特征，但要进一步将其和大地构造环境或地球动力学过程非成因联系起来说明地壳演化特征就比较困难。

在板块构造问世之后，如何将区域变质作用特征与其形成时的大地构造体制和过程联系起来进行研究，探求这两种过程之间的规律性关系已成为变质地质学的中心任务，单靠峰期 PT 条件的研究很难解决这类问题。在这种背景下，日本学者都城秋穗（1961）提出了变质相学的概念，他认为在同一变质地带的不同空间上，由变质相系所表达的一系列峰期 PT 条件，在 PT 图解上构成一条曲线，它们代表该区当时某种固定的地温梯度，后者又和特定的大地构造背景相联系。据此他划分出众所周知的低压、中压和高压相系，并以板块构造的观点分别对它们的大地构造背景作了探讨。变质相系的理论对促进变质地质学的发展提供了一种基本思路，其重大贡献是试图通过变质时的特定地温梯度将变质作用 PT 条件与大地构造环境进行成因联系。然而，由于受当时地质学总体研究程度和认识水平的限制，都城秋穗对变质相系的地球物理意义和地质构造意义的解释存在严重缺陷。尤其是近年来对各种大地构造环境下的地球动力学过程进行了热模拟，研究结果表明上述变质相系中各变质相（亚相）的温度和压力所标定的 PT 曲线不相当于该区当时任何阶段的真正地温梯度，因为后者是瞬变的，这种曲线也完全不同于地壳中某一具体岩石所真正经历的 PT 变化途径（或称轨迹）。

热模拟研究是变质地质学与地球物理相结合的产物。这种研

究方法的基本思路和主要过程可以简单地概括如下： 某一地壳块段中的温度梯度是其导热率、放射性内部生热量及来自所研究地壳块以外（例如上地幔）的热流等参数的函数，在活动性造山带内，具有重要意义因素还包括大规模变形、岩浆远移及伴有侵蚀的快速隆起等营力的热传递效应，在这种情况下，地壳内的热体制是一种瞬变体制； ②基于上述参数可以建立数学模型，以定量地表征特定构造环境中的地温分布及演变情况； 在地质上合理的范围内改变输入参数及边界条件，就可以计算出系列模型，进而选择出多种参数值的合理组合——这必然会导致与可测定参数（如变质作用的 PT 值，地表热流值）一致的计算结果。本着“将今论古”的原则，一般首先选择年轻造山带作为模拟对象，尔后把模拟结果用于古老变质带的研究。

对变质带的热模拟开始于 60 年代后期，当时的主要研究对象是与岩石圈板块俯冲有关的变质作用。如 D.P. McKenjie (1969) 及 E.R. Oxburgh and D. L. Turcotte (1970) 等，他们成功地用岩石圈板块间俯冲产生的瞬变热体制解释了某些环太平洋变质带的发育。到了 70 年代中期，热模拟的重点转向大陆碰撞作用形成的变质带，于是地质和地球物理研究程度较高的欧洲阿尔卑斯造山带就成了主要研究对象。最早从事这方面工作的是 E.R. Oxburgh and D.L. Turcotte (1974) 以及 M. J. Bickle 等 (1975)，他们运用固体导热的数学理论，建立了适用于这类变质地体的一维传导热松弛模型，奠定了研究方法的基础。1977 年，P.C. England and S.W. Richardson 发表了一篇著名的论文，论述了侵蚀作用对造山带区域变质作用演化过程的影响，明确地提出了变质作用 PT 轨迹的概念。1984 年，P.C. England 与 A.B. Thompson 合作，对陆壳碰撞带大陆增厚事件中区域变质作用的 PT 演化规律进行了更全面的热模拟和变质矿物组合变化的研究，并正式引入“变质作用 PT_t 轨迹”这一术语。

所谓变质作用的 PT_t 轨迹，是指一个造山带在一次区域变质事件过程中，其陆壳岩石从其变质历史的起点到被剥露于地表所经历的 PT 条件的连续变化途径（轨迹）的过程。现以大陆地壳因构造作用而增厚的情况为例加以说明如下。若陆壳因逆掩或逆冲作用而增厚，原始地温梯度会受到很大扰动，称之扰动地温梯度。一旦构造作用弛豫，由于重力均衡效应，增厚的陆壳必然会发生上隆抬升并经受侵蚀作用。在此期间，受扰动的地温梯度向稳态地温梯度演变，称之热弛豫，即产生明显的加热效应；另一方面侵蚀作用导致压力下降。此期间的地温梯度显然是瞬变的，而目前出露于地表的变质岩所经历的“高峰”变质条件恰恰是这一时期记录下来的。图 1 是 P.C.England and S. W. Richardson (1977) 根据对阿尔卑斯地区的热模拟结果所作的图解，假设侵蚀作用在逆冲事件之一 20Ma 时开始起作用，当时 A 岩石所处的 PT 条件为 $12 \times 10^8 \text{Pa}$ 和 650°C 。到逆冲事件之后 33Ma 时，侵蚀作用使压力下降到 $9 \times 10^8 \text{Pa}$ ，而由于热弛豫，加热在持续进行，使温度上升到 720°C 最高值。此后，压力和温度均下降。在 40Ma 时，压力下降至 $7.5 \times 10^8 \text{Pa}$ ，温度为 700°C 。因岩石逐渐趋近地表，温度迅速降低，在 60 和 80Ma 时分别达到 500°C 和 300°C 在逆冲事件之后 150Ma 时，A 岩石到达地表。A 岩石中的矿物组合所记录的变质条件相当于其“高峰”变质条件（ 720°C 和 $9 \times 10^8 \text{Pa}$ ），相应的压力则大大低于岩石在结晶早期阶段所经受的最大压力。图中箭头所表示的曲线是 A 岩石后来所真正经历的 PT_t 变化轨迹；不同断线则分别代表逆冲构造事件后 20Ma、40Ma、60Ma、80Ma 时地壳中实际的瞬间地温梯度。处于埋深的岩石具有不同的初始温压条件，所记录的“高峰”变质条件及记录这种条件的时间也各不相同，因此图中实线代表所有最终到达地表的岩石所记录的“高峰”变质 PT 条件（点）的连接线。这条连接线有人称为变质地温梯度或

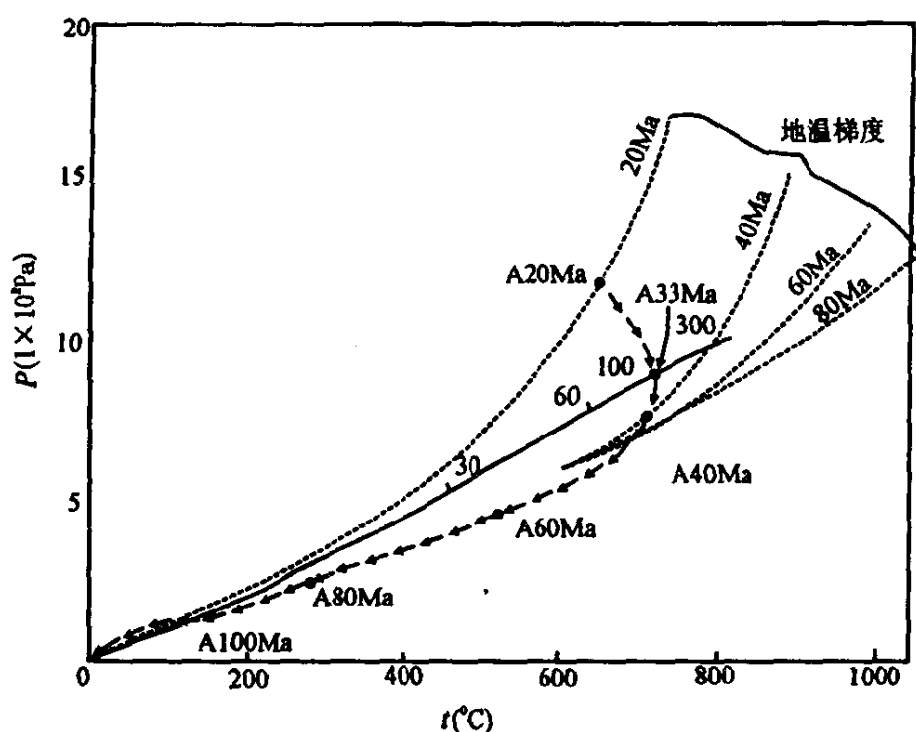


图 19-1 在逆冲作用之后陆壳中 A 岩石所遵循的 PT_t 轨迹

(据 England 和 Richardson, 1977)

图中箭头表示 PT_t 轨迹，虚线表示陆壳在逆冲作用之后 20、40、60 和 80Ma 时的地温梯度曲线；实线表示变质地温梯度，该线上注明岩石到达地表的时间

野外变质梯度，也有称之为温压条件系列。实际上，高峰变质条件的这条曲线相当于都城秋穗（1961）所称的变质相系。都城秋穗认为这类曲线反映一个变质地带当时的地温梯度，但由图 1 可知它完全不同于该区实际存在过的（任何阶段的）瞬变地温梯度，更不同于任一起始点岩石所真正经历的 PT_t 变化轨迹，同时也不能反映变质作用 PT 条件在时间上的变化。由此可见，以固定不变的地温梯度为前提的变质相系理论是不能反映一个地区的热事件和大地构造演化过程及其相互关系的。相反，在这方面， PT_t 轨迹理论则成功地发挥了研究变质作用与构造演化过程

之成因联系的桥梁和纽带作用，受到世界各国越来越多的地质学工作者的高度重视，并取得了许多重大成就，很快使之成为当前国际地质学领域研究的前缘和热点内容之一。

二、确定变质作用 PT_t 轨迹的研究方法和内容

自 PT_t 轨迹概念正式提出以来的近 20 年中，国内外涌现出了一大批高质量的研究成果，为再造变质地体当时的构造环境及其演化过程的分析和探讨，提供了大量可靠的实际资料。总结这些研究成果，把确定 PT_t 轨迹的研究方法可概括为两个方面；

①正演化—热模拟，是引用一些基本热参数的估计值如热导率、生热量来进行数学模拟，确定变质岩石在一定构造环境中可能经历的 PT_t 轨迹；②反演法，以组成变质岩石的矿物及矿物组合的演化资料为基础再造变质作用的 PT_t 轨迹。下面重点介绍与“反演法”有关的主要研究方法和内容。

1. 加强野外地质观察研究

必须以近代变质学的新思想和新观点为指导，结合室内的研究工作，查明工作地区的地质构造特征，主要包括三个方面的内容：划分不同的变质地体，在一个较大的变质地区往往包括几个性质和时代不同的变质地体，它们在岩石组合、原岩建造、构造样式、变质程度、同位素年龄、地球物理特征等方面有所不同，它们也可能具有不同的构造环境和热演化历史，因此在确定变质作用的 PT_t 轨迹时，要对不同的变质地体分别进行研究，不能把几个变质地体的 PT 变化纳入同一个 PT_t 轨迹进行讨论；

建立各种地质事件的演化序列，这是因为变质作用既是一种独立的地质作用，又与构造作用和岩浆作用具有十分密切的联系，只有查明变质地体内的整个变质事件序列，才能正确了解变质作用的期次划分及热演化历史；确定变质作用的主要期次，这是

由于在一个变质地体内往往经历了多期变质作用（尤其是前寒武纪变质地体），按照 PT_t 轨迹是描写同一个地球的动力学过程（即同一期变质作用）所经历的连续变化的概念，必需查明研究区域的变质期次和相对时代，而不能将两个变质期的 PT 变化纳入同一个 PT_t 轨迹进行讨论。

2. 进行仔细的岩相学研究

这项工作是其他室内研究工作的基础，它是在野外观察研究的基础上，通过对各种类型岩石薄片仔细观察和深入研究，根据岩石中矿物之间的互相关系和结构类型，尤其是反应结构、变形结构、包裹关系等，确定不同世代的矿物共生组合，这是划分变质期和阶段的重要依据。

3. 进行深入细致的矿物学研究

在岩相学研究的基础上，应从成因矿物学的观点出发，对不同世代的各种变质矿物进行系统研究，除了它们的产出和光性特征外，选择各种有代表性的矿物，应用电子探针、电子显微镜、X 光分析等先进的测试方法，准确测定它们的化学成分及总结变化规律，并结合岩相学的观察，研究不同世代矿物的形成条件。

4. 确定变质作用的 PT 条件

根据岩相确定的不同世代的矿物共生组合及各种矿物的化学成分，选用合适地质温度度和压力计，计算不同变质期及阶段的 PT 条件，应特别注意的是要选准相同世代的矿物对，而不要将不同世代的矿物当成共生矿物对进行计算。在缺少合适的矿物对时，可根据矿物共生组合及转变关系，参考有关变质反应的实际研究成果，确定不同世代矿物组合的 PT 条件。

5. 确定 PT_t 轨迹中的时间 t

PT_t 轨迹中的 t 是代表时间变量，从根本上说它是连续的，因而可以把它看作变质作用 PT 条件变化的计时，是轨迹运行的时钟，是整个变质过程的时间表示。另一方面，如果赋予 t 以一

定的时间数值，它就成为对某一时间的标定，这时 t 就可能成为过程中某一地质事件的时间指示，因此，确定计时的方法有两种，一种是事件计时，主要根据热力线动力事件的表现，例如升温过程中的某一点线某一环节，或者抬升过程中的某一事件，这种计时方法可通过同位素测年工作加以解决。每次较大的地质事件都会对岩石产生某种影响，在岩石中留下一定的痕迹，并以矿物组合或矿的本身的变化保存下来。通过测年工作，可以挖掘出这些变化的时间信息，这就是事件计时的基本依据。另一种计时方法是时钟计时，可以确定某一地质事件的年龄为目的，而考虑是整个过程的时间运行，因而得到的是岩石演化的相对时间概念。时钟计时的方法主要有矿物环带分析和热模拟，在矿物环带分析中，如石榴石、角闪石等，可对它的生长环带进行化学成分定量计算而得到 PT_t 轨迹；热模拟是建立在一定构造演化模型基础上对地质过程进行定量模拟的一种方法，因而可以提供变质作用演化的时间范围，补充了测年方法所不容易解决的问题。

6. 确定变质作用的 PT_t 轨迹

根据同一期变质作用中不同阶段的矿物共生组合及 PT 条件，可确定每个阶段在 $P-T$ 图解上的具体位置，并考虑相应的变质时代 t ，即可作出变质作用 PT_t 演化轨迹。需要强调指出，由于不同变质地体的构造特征和地壳演化过程有所不同，它们的 PT_t 轨迹也不相同。

7. 构造环境及成因模式的探讨

研究变质作用 PT_t 轨迹的主要目的就是查明变质地体当时的构造环境及地球动力学过程。这是在综合研究的基础上所作的分析推断和理论探讨，为了使这些推断接近真实情况，需要有大量可靠的实际资料。因此必需在查明变质地体内各种地质事件序列的基础上，根据变质作用 PT_t 轨迹的演化特点，并结合区域构造背景综合分析，重建或再造变质地体当时的构造环境及其演

化过程。由于不同变质地体的 PT_t 轨迹和热演化历史的多样性和复杂性，因此不同变质地体的构造环境及成因模式也是多种多样的，而不必受国内外现有成因模式的限制。

三、 PT_t 轨迹研究中存在的几个问题

近年来对造山带的区域变质作用 PT_t 轨迹进行了广泛研究，用以阐明各种变质岩的成因和大地构造环境，判断造山带的地质演化和隆起历史等。这些方面已取得了许多新认识，但不论在概念或研究方法上都还存在不少问题，有待进一步解决和完善。

1. 造山带内部热状态和热历史在空间上的不均匀性

PT_t 轨迹的许多基本认识是对特定地球动力学过程热模拟所得，如关于陆-陆碰撞造山带的 PT 演化历史主要是根据阿尔卑斯的大地构造发展史为模型经过热模拟研究所得。这类模拟的前提是一维热传导，也不考虑与岩浆及其他流体相活动有关（以对流方式进行）的热加入。其次还假定来自地幔最上部的热流量和地壳内部放射性生成热的速率在时空上和空间上都是固定不变的。基于这些条件，就可将整个造山带或研究区作为一个热分布均匀的地质体看待。但实际上造山带的热状态和历史在空间上常极不均匀，不仅整个造山带，就是在一个稍大面积的区域内，也常存在许多“热背斜”和“热谷”，它们代表不均匀分布的热点。其成因有些可能是由于各种构造引起的地幔不均匀底辟作用，在其上涌地区地壳中热流量增大，地热梯度会比相邻地区明显升高，有些还可能由于上地幔或地壳重熔产生的大量较高高温岩浆的上升和侵入某一深度的地壳中，引起局部的地温梯度异常增高。许多情况可能是上述两种因素在不同深度同时起作用。此时以对流方式为主的侧向热传递将起重要作用，即存在二维热传递过程，因此岩石实际经历的 PT_t 轨迹特征可能与热模拟所得的理论形式不大相同。另一方面不少研究还表明同一造山带中不

同构造带和热穹窿的回返上升是穿时的，其上升速率、时间跨度也可各不相同，因此其热历史和 PT_t 轨迹形态也可明显不同。总之，研究表明造山带的热分布在空间上常是不均匀的，即在同一深度也是如此，侧向的热对流传递形式是重要的，不同热构造的热历史可明显不同。

以上讨论表明以一维热传导为前提的热模拟所得出的 PT_t 轨迹可能过于简单化，不完全符合自然界 PT 演化的真实过程，必须代之以二维模式，还应考虑岩浆和流体相以各种方式加入地壳中所引起的热对流方式对地温梯度空间变化的重要影响。但这样的模拟研究在数学计算方面将增加更大的复杂性，其结果则又会有更大的多解性，从而降低了与自然界实际区域变质作用 PT_t 轨迹对比分析的价值。所以目前趋向于把一个地区地质研究所得的各种数据作为必须满足的前提来进行多种方案的热模拟研究，将两者结合起来以确定符合实际的 PT_t 轨迹。

2. PT_t 轨迹线中所包含的某些推断性

岩石所经历的变质作用 PT_t 轨迹理应代表一个连续变化的“过程”，而不是某些状态的组合，但这种过程是难以再现的。在以岩石学方法反演一个地区岩石所经历的 PT_t 轨迹时，实际上只能根据一些岩石中不同世代矿物组合的平衡条件等数据求得几组 PT 数据，它们仍只能代表几组“ PT 状态”。在 PT 图中仅为相应的几个点，各点之间的 PT_t 轨迹线是什么形式只能是合理的推断。 PT 点愈少，推断性就越大，因此反演所得的 PT_t 轨迹总是包含不同程度的推断性，或也可以说是不确定性。特别是当研究者只能确定峰期或其后某阶段的 PT 条件时，其整个轨迹的推断性更为突出。

为了克服再造 PT_t 轨迹时的推断性，目前研究者也提出了一些供考虑的方法。如由于独立的变质事件往往与特定的构造旋回相联系，因此可将变质矿物世代和演化关系与区域构造变形史

联系起来进行研究，以确定研究区岩石中矿物演化过程是否具有连续性，是否存在多次变质事件。有时也可根据岩石中矿物特征、矿物转变关系或矿物微区化学成分变化特征来分析 PT_t 轨迹线的具体形式。

3. 分析 PT_t 轨迹的大地构造环境时的复杂性

根据变质作用 PT_t 轨迹来分析其形成时的大地构造环境和地球动力学过程时也存在许多复杂问题，如典型的逆时针 PT_t 轨迹既可在岛弧线活动大陆边缘岩浆板底垫托或在板内增聚的构造环境中出现，但 R.Loosveld (1990) 提出这种 PT_t 轨迹也可出现于陆壳碰撞造山带地壳加厚同时地幔岩石圈减薄的模式中，这种减薄是由于下垂的岩石圈底面不断受软流圈中物质对流过程中的冲刷作用所致。又如峰期后的等压冷却 PT_t 轨迹在岩浆增聚模式、裂谷拉张模式和上述 R.Loosveld 的模式中均可出现。低 P/T 梯度的进变质也是多种大地构造环境下均可出现。因此对同一地区类似的 PT_t 轨迹，不同学者有时得出不同的大地构造环境推断，如南极板块 Enderby Land 的麻粉岩相 Napier 杂岩具有近等压冷却的 PT_t 轨迹，Sandiford 等 (1986) 认为反映大陆拉张环境，而 Harley (1985) 和 Grew (1981) 等则都将其与岩浆增聚模式相联系，有些人还认为地壳的构造增厚也是重要因素之一。产生不同解释的原因部分是由于反演所得的 PT_t 轨迹的不完整性，推断的因素较多。如许多麻粉岩相高温变质岩中，进变质阶段的矿物组合和矿物之间的转变关系很少能保存下来。因此一般不能确定该阶段的 PT_t 轨迹，而只能再造峰期及开始降温减压阶段的 PT_t 轨迹；相反在中低温度质地带，则由于化学动力学的惰性，岩石在峰期后降温降压阶段的矿物转变难实现，因此一般只能确定由进变质阶段至峰期的 PT_t 轨迹，而很难获得建立退变质阶段 PT_t 轨迹所需的信息。仅根据变质作用全过程中某一阶段的 PT_t 轨迹来分析大地构造背景和演化历史

就难免会出现多解性。出现多解性的另一原因是由于大地构造背景和发展过程本身的复杂性，不同地区有其特点，决不是前述几种模式所能简单概况的。

针对上述问题，目前研究者除重视再造 PT_t 轨迹方法的研究来提高它们的精度和可信度之外，都强调在分析其大地构造背景时，必须同时研究变质地体的区域地质、构造变形岩浆作用的时代和成因特征等问题，并和各种地质事件的同位素年代学研究及深部地球物理研究结合起来。只有进行这样的综合研究并和合理的热模拟研究相配合才能真正阐明一个造山带的热历史和 PT_t 轨迹及当时的大地构造体制和过程。

四、关于现代地质学思维方式的几点启示

任何思维方式都是该时代精神的升华和结晶。现代地质学科的思维方式概括了现代科技革命思想发展的最新成果，凝聚着当代哲学思维的精华，即日益科学化，现代化的辩证唯物主义世界观和方法论。变质作用 PT_t 轨迹理论的提出及其发展充分地说明这一点。因此，现代地质学科的思维方式应是自觉的辩证思维方式。

地质学科辩证思维方式本质上是主体把握地球客体的认识方式、认识活动和形式，属于认识论的范畴。另外，地球客体是一个巨大的耗散系统，具有系统性、层次性、有序性；地球具有历史性，其演化的不可逆性，时间的久远性；地球客体还具有复杂性和多变性，如地质现象的非线性关系，均变和灾变，均一与非均一等等。地球客体的这些特殊性，决定了地质学科辩证思维方式和其他学科辩证思维方式的的不同。它的基本要求就是从地球客体的普遍联系来观察、思考事物和问题，核心是矛盾观与矛盾系统分析方法。

这里要着重指出的是，第一，在地质学思维方式中地质学方

法是地质学思维方式中最核心、最基本的内容，是地质学思维方式中带有全局性的构成部分。它既是人们地质学思维活动的基本规则，又是地质学获得重要成果的手段。科学的地质学思维方法是人们通向真理的重要途径，前述 PT_t 轨迹理论就是将变质作用与地壳演化过程和机制进行成因联系研究的范例，是变质作用理论研究的一大突破和重要成就。第二，现代科学技术革命、现代地质学革命不是简单地抛弃原有的地质学思维方法，而是使传统地质学思维方法更加完善，更具有现代化的功能。正像今天人们仍然使用“变质相系”这一术语，但对“变质相系”的理解已经与都城秋穗当年的提法大相径庭。第三，创造新的地质学思维方法，应包括把其他学科中的思维方法引进到地质学研究中来进行尝试。地球物理热模拟研究与变质地质学的相互渗透和结合，导致 PT_t 轨迹理论诞生应该充分地说明了这一点。

另外，从变质作用 PT_t 轨迹理论的提出和研究方法，我们不难看出现代地质学思维方式的基本特点有：

1. 系统性

从前述 PT_t 轨迹理论研究方法及存在问题诸方面可以看出，现代地质学的发展是高度的分化和高度的综合，精细的学科与多学科的意义联系的辩证统一：微观的“分析和宏观的广泛“综合”的统一。其实质正如系统科学揭示的那样，把地学的研究对象——地球客体，当作一个系统。用模型化和定量化方法，对系统的结构、状态、机制、过程等做综合的描述，在这种描述中，又将系统由各种不同学科研究的不同对象及各个不同方面综合为一个整体，这说明地质学的认识方法发生了重大变革。

2. 多维性

PT_t 轨迹理论的研究从课题到方法都具有复杂性、多样性的特点。这种特点要求现代地质学不能只有单向的理论思维，要越来越多地发挥多维的主体思维方式的作用。多维性思维在本质上

就是网络思维，是系统性在思维过程中的体现。它在思考问题时，既要看到多条线索交叉、冲突，又要看到它们之间形成良好的补充。它的思维线索是在对立中谋求与统一“互补”。这就是多元互补的思维方法。PTt 轨迹的研究方法，要求进行详细的野外调查，室内细致的岩相学和矿物学研究，以及精细的同位素定年和区域大地构造背景分析等，就是这种多维的主体思维方式特点的最好说明。

3. 概率统计性

PTt 轨迹理论的思想早在 1977 年就由 England 和 Richardson 提出，但直到 1984 年由 England 和 Hompson 等人对不同造山带区域变质岩石进行全面的热模拟和细致的研究，总结出了不同构造体制下产出的变质岩石的 PTt 轨迹形态不同的特点之后，这一理论才被地质界所正式接纳并加以推广。究其根本原因，一方面是由于该理论思维方式的进步和更加合理，另一方面是其揭示了构造演化的变质作用之间存在概率统计性规律的基本事实有关。这说明地质学规律的表现形式是决定论和概率统计决定的统一。前者是地质学一系列研究工作的出发点，而后者是揭示其规律的关键所在。由于地质学研究对象的复杂性、多变性，既有线性关系又有非线性关系。对于地质运动规律，概率统计可以刻画出系统整体的规律趋势，但不能严格给出整体中个别因素的状况。总之，决定论和概率决定论是互补的，它分别揭示了地学中的必然性和偶然性两类现象，又分别遵循确定性模型和随机概率统计模型。

4. 创造想象性

创造性思考和科学想像力是现代地质学思维方式的又一特点。它是在已知知识和经验的基础上，在头脑中对研究对象的一种创造和再创造的心理过程。PTt 轨迹理论的提出和发展也是这样，创造性的想像力给思维插上了翅膀。魏格纳敢于“异想天

开”，提出了大陆漂移说，它明显带有一定的主观臆测、虚构和错误的成分，但却是通向未知的途径。赖尔的“将今论古”尽管有缺欠，但是它却打开了人们通向“地球大门的钥匙”，给人们以启示。本章前述的 PT_t 轨迹理论在研究方法和成果分析诸方面还存在着不少复杂问题，但它建立在现代地质学研究的各种成就的基础之上，是研究变质作用与地壳演化过程和机制成因联系的真正纽带，已经对当前的地质学研究起到了推动作用，且必将对今后一个时期的地球动力学研究产生深远的影响。因此，创造想像性是现代地质学思维必不可少的因素。

附录

一、找 油 的 哲 学^①

美国的石油储量，与全球相比是微乎其微的，但近年来采出的石油，却占全世界消费量的 $2/3$ 这不能不说是一个奇迹。

从表象上看，这一奇迹的创造似乎可以归功于美国人找油技艺的高明。但是，许多地质学家认为找油技艺的高低取决于一个人学问的所在。值得深思的是，美国现在找到的这些丰富的石油资源，竟使这些学问高深的石油地质学家惊奇，因为他们认为现在发现石油的地区都是自己曾断言不可能找到石油的区域。事实上，他们高超的勘探技术并未能使美国的资源富足起来，从这个角度说，这些技艺与找油没什么关系。

要发现石油，并不缺乏高超的找油方法，而可怕的是许多人为造成的障碍。这些障碍就是那些很有素养的科学家和工程师极端保守的思想和在认识上对未知世界缺乏认识或根本没有洞察能力，事业心不强，这些人为造成的心理障碍变成了世界石油勘探事业取得成功的障碍。这样分析，真正找到石油的地方还是在人们的脑海里。美国已找到大量的油田，并不是因为我们的石油资源得天独厚，而应归功于我们的经济和政治氛围使人们有充分的自由献身于石油事业。

我是一位从事了多年找油事业的地质学家，40 年来我亲眼目

译自 [美] 华莱士·E·普拉特, Towards A Philosophy of - finding. AAPG, 1965, 1982, Vol. 35. No. 12

睹了高速发展的勘探技术，这些以地质科学为基础的技术，20年代中期以来得到了地球物理学的极大支持。我欣慰地看到了地质事业的辉煌，跨越了我开始从事石油地质工作时所能预见达到的高峰。

然而，经验使我确信，找油工作不应仅凭完善的勘探技术。单纯依靠勘探的完善，工作不仅难以深入，并且往往陷入误区，而这种误区是我们头脑中根深蒂固带有根本性的东西，它常常挫败找油者的锐气，我举两个例子谈谈这个问题。

1920年5月，美国的累计石油产量只有7亿多吨的时候，美国地质调查所公认最有才华的总地质师戴维·怀特曾经预言过：“根据美国现存的石油储量，采油高峰期仅能维持3~5年之久”，如果仍要一意孤行，年采油量超过6500万吨，美国地下的10亿吨石油储量在18年内采完。

怀特的预测距今已30年而今天我们每年以3亿吨的速度仍开采着石油。30年来，我们累计的采油量恰好是戴维·怀特预测的地下石油储量的5倍，现已探明的储量40亿吨，更不必说我们还有许多未探明的油藏了。

在今天看来戴维·怀特的预言太悲观太荒谬。但是他的论点有他自己的根据，他是一位精通专业的十分杰出的地质学家，他的论点在当时有代表性的，许多人都同意他的观点，甚至他的美国地质调查所的同事，竟共同一次次反复地对美国剩余石油资源作了类似悲观的估计。

这不是一个鲜见的事例，在地质学中这样的事情很多。这是因为有时我们自己的认识，误导着我们去精心琢磨。在此基础上最后作出决策，确信某个地方没有石油，结果后来恰恰是这一地区变成大油田。例如世界著名的科威特大油田，在1937年以前的15年内，世界上哪一家石油公司，甚至包括美国、荷兰、英国这些最大的石油公司，谁去问津、勘探过这个地区。可是一经勘探就是

一个世界级的超级大油田。反思这一点，为什么在全球广泛研究地壳石油分布，全球石油工业已发展了 90 年之后 在钻探未证实科威特是个大油田之前，那些最有才智的找油人，不仅没有认识到这个油田的存在，反而曾断言这个地区根本没有油。

这似乎是一个令人难以置信的错误，而犯错误的这些人都是些非常熟悉这一地区石油分布情况，却完全错误地判断了该区含油岩层的潜力。众所周知，中东历来以油苗丰富闻名于世，科威特因此沾沾自喜，邻国伊朗已产油 20 余年，可是断然否定科威特油田没有勘探价值的正是开采伊朗油田的最大公司，另外持同样的观点的两家石油公司多年来在科威特的彼岸开发着伊拉克油田。

在这些公司里有一批世界上最优秀的地质学家，他们完成了专门的研究，对中东的石油地质做过艰苦的地质调查，他们比谁对中东石油的认识都多，他们是在长期积累的经验和广泛调查的资料基础上，否定了科威特的石油，否定不是因为他们对那里的认识不足 恰恰是坚信着自己的研究结论“阿拉伯无石油”。

这三家著名的石油公司，先人为主，自以为认识了阿拉伯石油的规律，错过了勘探科威特的机会。但是不几年，一家无名的小公司在对中东石油情况知之甚少，也不知道“阿拉伯没有石油”这一番道理的情况下，主动要求获得勘探科威特石油的特许权，一举发现了这个特大油田。

10 年之后，这个敢于在科威特承担勘探的小公司变成了今天的世界石油生产的巨头之一——海湾石油公司。在同一时期，海湾石油公司又申请了巴林岛的特许勘探权，不久，它就将这一特许权转让给了加利福尼亚美孚石油公司，巴林岛经过钻探，1932 年发现了大油田。这个油田的发现无声地证明了“阿拉伯是有石油的”。事实无情，前几年还唾弃科威特勘探特许权的三家世界最大的石油公司中的一家，在 1934 年也悄悄地与海湾石油公司合作分享了科威特一半的特许勘探权。

扪心自问，如果我们在科威特的教训，仅仅是判断认识上的一种失误，仅仅是脱离了以往认识和正确无误的轨道的个别行动，对于我们这一批地质学家和石油勘探者来说，那倒是值得自我安慰。但是，我们必须摒弃这种安慰，彻底反省。我们不妨揭揭自己的老底，一眼就可以看出，科威特的教训只是我们一大堆类似错误中的一例而已。而且，这些错误对那些一流的权威人士来说也是屡见不鲜的。

上面的几个事例，都说明人们的精神状态可成为探索石油无形的阻力。

第一个事例讲的是很有素养的科学家的保守思想，可悲地阻碍了真理探索，阻碍了石油地质事业的发展。戴维·怀特明白的东西太多了，忽视的东西也太多了，他错了，我们也跟着错。从石油工业诞生到第二次世界大战开始的漫长时期，这位科学家总是低估了美国石油资源的能力。我们的许多权威，正是这种几乎没有什么剩余石油资源可找的思想，一直阻碍着探索石油的事业，如果人们都相信不可能再找到石油，谁还去继续钻探呢？

科威特这个事例说明了一种更加有害的思想。约瑟夫·波格针对目前尚未发表的石油储量计算的结论中特别突出地表现出的这个不寻常的特性说过：我们对一个油田有所知的，但这很局限，经常使我们不纯粹去做一些渲染，而实际上是把同一油田中未知的东西混为一谈。例如，我们掌握了一点证实储量的知识，我们就断然否定其他用以计算我们总储量的方法。如果我们已知的东西较少，那它的未知的东西一定是很少的。如果用我们已经学会的东西去代替我们还必须学习的东西，必然会给未知的东西蒙上一层未知的阴影，使其真伪难辨，迫使我们视而不见。

那些在找油技术上有学识、有经验的人，对于这种来自一得之见的盲动特别敏感。一个石油勘探者，应根据他对事物的观察和对自己的探区石油地质的熟悉状况而行事。但是每一个勘探者绝

不会知道他们将要遇到的情况，即地层深处某一处尚未勘探或尚未完全勘探的地下深处的真实情况，也就是对他们来说，已知和未知之间的差别特别悬殊，他应该时刻警惕未知的情况发生，保持清醒头脑，未知的东西可能已成了问题。在对一个地区认识不完全时，却特别自信是完全的，把实际上有油的地方说成是没有油的地方。这样，便会根据对事实的不够充分了解得出“阿拉伯没有石油”的结论。

历史证明，我们这些勘探石油的人们，在预测地下油气资源时总是太保守，畏缩不前。尽管我们犯了许多错误，但是自 1920 年以后，我们已发现比戴维·怀特预言多 9 倍的石油，在美国我们找到了多于我们知道应该找到的石油，并且许多大的油田仍在陆续被发现。

美国已经开采了全球石油消费总量的 $\frac{2}{3}$ 。这比以往美国的原油产量，以含油储层单位计算的话相当于全球其他地区的 10 倍。美国的石油被人们议论为是我们的找油速度和产油能力高于其他地区，但到今已真相大白，世界其他地区的油气资源比我们丰富得多。那么，我们为什么能生产出这么多石油呢？是不是克服了上述找油人的精神阻力呢？

我们知道，自石油工业兴起之日开始，美国石油的勘探和开发，是由千百个独立自主的石油公司，成千上万个找油个体苦心经营的。在他们之中，我行我素，每个人都有自己的找油理论和思维，自认为哪里有油就在哪里打井，有许多油田就是这样发现的，不仅获得了与他对社会贡献相应的报酬，而且每一次成功后形成的信念鼓励着他们不懈地去继续勘探。

达种氛围中，美国钻成了百万口以上的油井。这些井中的许多井位都是定在权威人士认为的贫油地区，惟独打井人认为是有油的。就这样年复一年，所谓权威人士认为的贫油区一个个地变成了大油田。将探井打遍全国，这就是我们美国找到石油之谜。

用这种方法，使我们发现了连做梦都想不到的许多油田。

在这种氛围中，石油勘探道路上的种种精神障碍早就云消雾散了。那些找油权威的保守主义，早被这些没有受过专门训练，不受“一点知识”束缚的找油者的实际行动所冲破了。如果谁敢说阿拉伯（或者西德克萨斯）没有石油，即刻就会有人毫不迟疑地去钻一口井，看看是否是对的，却常常发现了石油。

美国的政治环境使每个公民都有钻探石油的自由权，如果找油成功定会获得慷慨的报酬，这一点比先进的勘探技术更重要，这也是美国在找油上取得更大成功的关键所在。其他有些国家的公民虽然也享有这种权利，为什么石油勘探活动较少，主要是他们不富足，找油者或大公司所负的责任，稍有不当，就会使找油事业半途而废。

个体找油者多是一些有信心、有魄力、坚韧不拔、富有冒险精神者，他们有着丰富的想像力，如果能够让他们再受点专门训练，那就更好了。如果他们的知识不使自己过分保守，或者他们在对事实不清楚的时候也会作出模棱两可的判断。如果他的知识让自己盲目对待未知，那就会几乎没有什么发现。

富有想像力，这是一个成功者不可缺少的东西。莱沃森曾说过：“在井未钻完之前，未发现的油气田充其量只能作为一种思想存在于地质学家的脑海里”。我认为，新油田的形成，首先是在地质学家或找油者的脑海里，油田的发现必然有待于我们在脑海里形象化，即我们的想像力。归根结底，首先找到石油的地方在人们的脑海里。未发现的石油同样是作为一种想法存在于找油者的头脑中的。假如没有人相信还有更多的石油需要去勘探，就不可能再发现新的油田。我相信，只要一个找油者头脑中时刻保持着发现油田的想像，有勘探自由，并受到鼓励，新油田就可能继续被发现。

二、赫顿和魏纳的地质学第一原理^①

20世纪初，地质历史上发生了两件重要的事情。第一件是1901年 Karl von Zittel 从德文翻译成英文的著作《19 世纪末的地史和古生物》。这是一部内容丰富的地学编年史，该书对这一时期地质科学的每一项贡献都作了评述。另外一件是 Sir Archibald Geikie 1905 年出版了《地质奠基者》一书，该书以传记体的形式介绍了一些依 Geikie 的评价为基准，曾对现代形式的地质学的建立做出过巨大贡献的地质学家们。且不论他们历史观点有什么异同，而两位作者都高度评价了 Edinburgh 的詹姆士·赫顿（1726～1797）对 19 世纪地质理论发展所做的革命性工作。

Zittel 和 Geikie 都把地质学中大量的关键性的概括和论述归功于赫顿，这些概括和论述将地质学家的注意力集中于——有些已被不同程度解决了的——据认为是最有意义的问题上。在它们中间，有赫顿关于“地质学发展的时间是无限的”假设及赫顿一贯坚持的观点：“现在是打开过去的钥匙”。那就是说，今天地球上的许多变化是基于过去的变化，且这些变化有相同的特征及过程，对现存地球上某些现象进行研究有助于解释过去的地质历史。赫顿在对地球内部热能在造岩及使岩石、矿物发生变形的中心作用上比与他同时代的任何一位地质学家认识得都更彻底、更全面。他将大陆和大洋的生命循环概括为一个无休止的侵蚀和沉积的韵律。在其中，大陆慢慢被流水侵蚀，作为沉积物带入海洋，之后又

慢慢堆积成新的大陆。

赫顿，作为一个真正的现代地质学奠基人的化身在 Frank. D. Adams 的著作《地质科学的诞生与发展》中出现时仍然保留完美的形象。Adams 认识到赫顿已将地质学家的注意力从洪水和其他的灾害转向了对仍存有疑问的小事件的连续性的检测，这些小事件通过巨大的时间分支，已在地球表面锻造了许多变化。赫顿的首要地位在 E. B. Baileys 最近的著述《詹姆士·赫顿：现代地质学的奠基人》（1967）一文中心相似的语言又得到了加强。

在所有的这些著作中，被赫顿的地质学理论都认为是长期观察的结果。首先和其他地质科学家不一样的是，通过对前几个世纪的地质成果的剖析，独立地发现了许多地质理论。例如，他认为大陆岩石中植物、贝壳的存在一定说明了它们早先的海洋环境以及这些岩石并不是天成的或自然结晶的，而是由砂、泥和其他一些老岩石的碎屑组成的。他再次发现了叠覆律——层次较低的岩石一定是较老的，并且研究出了一种方法用来判定一个给定的沉积层的序列是原始的正常的，还是翻转后倒置的。他看出沉积岩在原始沉积后曾被侵蚀、剥蚀或被熔岩所侵蚀。他还观察到这些沉积岩石由于受热而改变以致于全部或者是近乎全部地丧失了原始的特征。

赫顿解释了许多沉积岩层的弯曲组构，并将其作为沉积物被深埋时受热力及压力作用的证据。他认为水平沉积层有时与陡倾岩层连续，暗示了其地质纪录是不完整的。其变形或侵蚀阶段均发生在沉积的连续时间内。所有这些在赫顿的《地质学理论及其证据》一书中均有系统的论述，或许正是这本书才使赫顿得以成名（1795）。

还不止以上言及的赫顿地质工作的内容及其特点，他的生活的某些片断也突出了他的才华。他属于 18 世纪苏格兰最光彩夺目的一个小圈子，且是 Joseph Black, James Hall, Adam Smith,

Adam Ferguson, James Clerk 和其他一些对物理学、经济学、历史学、社会学、军事兵法及哲学作出贡献的人的亲密朋友。

而且，赫顿还试图将他在地学上的工作与自然哲学结合起来。有几位历史学者最近认为他在自然哲学上的论说和关于热能与物质的理论应被认为是“苏格兰哲学”中一个很重要的传统的一部分，这一哲学曾指导了 William Thomson 和 James Maxwell 的工作。在这一领域，他和后来的一些地质学家意见一致（包括 Geikie 和 Zittel）他们相信地学应完整地 and 自然科学结合起来并深深根植于物理学和化学之中。

赫顿的声誉无异于一守卫森严的堡垒。他的许多工作都是最初的，当然也许不是他先提出的，但最少也是有先见的认识；即地质科学应尽可能适当地溶于基础物理科学中，一并被知晓的。独立的、创造性的、有哲学头脑的他不断地将他的工作导向基础科学，将当时最好的论述进行了有用的综合。赫顿与他那个时代科学的发展进程紧密地联系在了一起，同时也被那个时代捧上了神坛。

有一些围绕着赫顿的传说是真的，但他的声誉像一个晶腺，且如果我们将它与固体介质撕开来，我们会看到，围绕空洞的中心进行的有结节的生长和连续的凝结，且是多色彩的，每一层都代表了对这一传说作出了贡献的地质学家的需要和追求。

对革新人物的推断来自于历史化身的压力，展示了革新观点较之它以前的任何事情都具有明显的优势。在赫顿这件事上，这种需要通过在一连串的事情上对他的初创性和优越性的吹嘘而被获得了。在他的体系中，那些看起来落后的、错误的理论却同时又被他的对手在工作中加以强调，其结果只是一个历史的解释，即在 19 世纪初就系统地歪曲了我们对地球科学之状态的看法。

1785 年，在 Exinburgh 的皇家协会前，赫顿宣读了一篇论文《关于地球的理论或关于地球的组成、分解、恢复的可观察的原理

的调查》论文三年后刊登在《社会活动纪录》的第期上（Hutton, 1788）。赫顿开始了一项大型的工作，他在《地球理论》一书中回答了许多批评家提出的问题，又从 Horace Bénédict de Saussure 的《Voyages dans les Alpes》（1779～1796）一书中摘引了大量的篇幅丰富并拓展支持他的原理的论据。

赫顿死于 1797 年，对他的理论的支持和捍卫工作被他的朋友——John Playfair 继承了。他于 1802 年出版了赫顿《地质学理论的说明》一书，这本书成了赫顿的地学原理的修订本，且因此而导致了它后来的盛行与狼籍（Playfair, 1802）。

普莱费尔在这项工作中曾试图用一种连贯的可读的形式来注释赫顿的理论，并防止理论批评家将赫顿的地质学观念从自然理论中分离开来，他还对赫顿的工作提出了一种历史哲学的解释，将它作为地质学思想中的“牛顿革命”，从而与以前所有的理论定性的分离开。

用今天的眼光来看，赫顿的工作本身是虚饰的和混乱不堪的，它的形式是错综复杂的和非决定性的，充满了掺和及复杂的意义解释，许多离题的及保留的部分又连续超出意想中的论述。这也是一首对修正像我们地球这样谐合的系统的造物主仁慈的赞美歌。赫顿关于地球的理论是自然神论的自然神学和自然哲学的第一流的论著，其中地质现象只是做为论据以证明如没有人类智慧的设计（或想像），便不曾会有如此平衡的、有目的的系统产生过。

17 世纪和 18 世纪，那些熟悉自然哲学的人们都认识到自然哲学和自然神学之间的界限常常是狭隘和看不见的。在解释世界的系统性和世界的有序及简单性时，依据的都是上帝设计的证据，赫顿的工作将它们进行有机联系的极端的例子，在他的运动定律的纪录及他给 Richard Btntley 的一封信中赫顿都明确表示了希望，即他的发现将会告诉那些具有理性的人们造物主在工作，且这也将反过来会拓展道德哲学的界限。赫顿分享了这一神学的冲

突，并且对通过地质现象的表述，《地球理论》可用来证明存在一个神所拟定的计划，通过侵蚀与沉积的旋回展示了地球生产能力的连续和再生。

尽管赫顿是一个学习医学的博士，但他实际上只是一个农夫而已，早期他之所以对地质学感兴趣，是因为他想了解新的土壤是怎样被创造出来代替那些已被使用过且已耗尽养料的土壤。他的结论是侵蚀旋回，表面上是破坏性的，其实正是神对这一问题的解决。上帝，在他无限的智慧中，注定陆地将会被侵蚀，被带入海洋，在那儿，新的陆地形成，之后又升出海面，岩石又逐渐的被剥蚀掉，如此无休止的重复，导致了一个不间断的土地沉积过程，即地球是一个自我再生的系统。

当赫顿开始处理为什么疏松物质层不是从大洋中耸起，而是些坚实的沉积物这一问题时，他便为那个神的计划而与人争吵，他认为如果神的目的是对土地进行补弃的活，那么这种现象并没有什么意义和动机。在这一事情上，赫顿的矛盾比那些用侵蚀旋回来解决问题的提议更为独特。他说，火山的存在是因为它们具有拓展性，且拱升地层需要上拱力；河流接下来又切割谷地，将岩石破碎成土壤；藉此土壤，植物与动物又可繁衍生长（Hutton, 1795. ch. 14）。

这种无节制的神论惹火了赫顿早期的对手，一个矿物学家和化学家 犹太人 Richard Kirwan，他探知了赫顿无限的时间发展的邪恶的含义，并避免像赫顿所创下的那些毫无可能性的概念只是通过无底稿的讲读在蔓延。由于周详的考虑而无可阻碍，Kirwan 的攻击是直接的和广泛的。厄歇尔认为地球创造于公元前 4004 年 10 月 23 日，这一推论至少在爱尔兰成为了还不是开明的专家们所取乐的对象，而更像是虔诚学者的一次胜利。如赫顿所认为的“时间发展规模是无限的”假设是令人厌恶的，它极其危险地揭示了宗教的面目。所以赫顿被当作一名敌人对待。赫顿的第二个

Playfair

10
lyell, 1830 ~ 1833, I . CHS. 3. 4)

(rlutton, 1795, II 124)

lyell, 1830 ~ 1833. I , 64)。

1839

W. H. Fitton

Wilson, 1972:

510 – 511)

Lyell
970; Osporat, 1976)。

Ruduick,

1830

1875

12

Beagle

—

Henry De La Reche

—

其对手描绘成不走运的、已被抛弃的理论方法的继承人。

水成论者提供了一种关于地球历史的理论，认为正是世界最初的太古的宇宙海洋的活动，才形成了我们如今看到的地质现象。从 18 世纪来看，这个理论已有其神学上的优势，它好像记录了对《圣经》中洪水的阐述。然而地质学的合理性扎根于事实论据，这在赫顿的理论中也有阐述，即沉积岩层形成并胶结于海底。

在水成论者中最著称的是萨克逊的矿物学家 Abraham Gottlob 魏纳 (1749~1817)，他对于地球历史实质的观点被莱伊尔怀疑为水成论的遗产而歪曲了。莱伊尔并没有从魏纳自己的工作中得到关于魏纳的观点的信息，他的知识好像最初来源于居维叶的一篇颂词，那本身却是关于魏纳错误的信息；还有从魏纳学生的地质学著作中获得的信息，例如 F. á Aubuisson des Voisirs 所著的 *Traité de géognosie* (1819) 他的关于另一位重要的德国作家 Peter Simon Pallas 的理论的知识，好像也是来自于居维叶。

莱伊尔怀疑水成论者的思想对地质学家发展是有害的，它具有不良的影响，他在这一方面的努力集中于对魏纳的攻击上，尽管已有许多的攻击集中于魏纳不是一个水成论者，以及集中于和维纳毫无关联的水成论上。莱伊尔攻击的结果就是创造了一个围绕于魏纳的神话，恰好颠倒了普莱费尔为赫顿所做的——在莱伊尔的论述中，魏纳变成一个反革命分子，一个复仇女神 (Lyell. 1830~1833; I, 50~60; Ospovat 1976)。魏纳神话 (由 Alexander Ospovat 进行了适当定名) 具有好几重含义。

对魏纳的假设的含糊的、不正确的、纲要性的观点提出开始，其中包括对解释《圣经》中洪水的理论而对这些观点的批评，最终又将体系的错误归结于魏纳易暴躁的性情，之后又被 Arohibalol Geikie 夸大为心理衰弱。然而莱伊尔随便地将魏纳个人的观点和他弟子的观点混合起来，他让魏纳独自对水成论的盛誉与谬误承担责任。于是，对魏纳及其体系的最终描绘看起来便是这样：魏纳

研究了一个实用的矿物学体系，远远超过了与他同时代的其它人，且他还在萨克逊的一个矿业科学院工作，由于他的出色讲授，该科学院在 18 世纪末期，19 世纪初期设立了矿物科学的研究中心。魏纳对学生的切望与影响、他完整的矿物收集、他开设的小课堂及在教室里和在野外进行的单独指导、他对矿物材料微细的观察和明晰、系统的论述以及认真的制图的态度、他对自然的及经验主义方法的批评，所有这些都使他赢得了广泛的赞誉，并当领国际地学的潮流。然而，随着这一神话的继续，作为一名矿物学教师，魏纳的伟大便以他在矿物起源及地球历史理论上致命的缺陷蒙蔽了学生们。魏纳认为岩层是连续从大洋中沉积产生的理论体系，已显得僵化且不合时宜。魏纳的论述，带有典型的 18 世纪狭隘主义思想，仅局限于萨克逊地区（在那儿，他的理论已被认可）。而在世界上其他地方，他的理论却被忽视了。完全有悖于常理及已建立的传统，魏纳认为玄武岩不是一种火山喷出岩，而是因化学环境变化，是有关介质发生化学反应而形成的沉积岩（lyell, 1830~1833: I, 58）。他拒绝去看在地球发展中相当重要的火山，否认地球蓄有相当大的内部热量，也不支持侵蚀在地学上具有重要性的说法。魏纳的学生，早先曾为他的体系而折服，为他表面的有秩序及仔细而兴奋，且由于私人感情上的影响而倾向于魏纳，后来才勉强地拒绝接受早先他们所喜爱的魏纳体系。在他们自己亲自观察的证据下，大都转向了火成论的阵营。他的许多学生观看了法国奥弗涅地区的火山及与它有关的玄武岩及熔岩流，且这些现象在 18 世纪中叶由 Efienné Guettard 和 Nicholas Desmarest 所创立的玄武岩浆起源理论的发展中就已有了记载。到 1820 年，除了少数最顽固不化的魏纳的支持者，当然，他们也是魏纳阵营中最好的地质学家，其余的所有地质学家都放弃了魏纳的理论，转而支持赫顿的理论。然而事情的后果显示魏纳理论的盛行带来甚至更大的问题，水成论者与火成论者的争斗过于尖刻以致于所有的理论或推想都变得

有些摇摆不定，它使地质学家们开始倾向于怀疑，甚至连那些由观察到的事实得出的结论，这些怀疑使得当时几乎不可能有合理的结论站得住脚 (Lyell, 1830~1833: I . 71)。

推究魏纳理论错误的原因，除了他观察的狭隘以外，还和他的精神气质及性格特点有关。魏纳几乎没有旅行过，据说，还有点儿神经质，他受困于感情上要求自己做每一件事，而不论其巨细，尤其是他的理论太具有决定性和系统化了，在他的私人生活中，他刻板地将许多时间用于排餐桌的座次表、安排他的图书馆和矿物种类，正像 Geikie 后来认为的那样，他是基于他的文学的框架，并明智地避免出版他理论体系的细节，鉴于他的个人吸引力和压力，如使之付诸印刷，那他们很快就会不再对此进行怀疑。他的教条主义、他的狭隘的视野、他的天知，使魏纳的整个体系看起来“更像是对一矿井的潮温及黑暗的揭示；而不是直面自然的。” (Geikie 1905:238)

Geikie 对魏纳的攻击有两个基础：一是褒扬赫顿，另一是莱伊尔的和居维叶的理论作为对魏纳理论的精确描绘而做一非批判性的接受。稍后，这一些历史又大致被不同派别的地质学家和历史学家所接受，这些人将 Geikie 当作精确的出处，并吸收了这样的观点，认为赫顿是一个真正有革命性的思想，魏纳是一个老年人的代表，不完整，对世界具有个人习性的态度，他反对赫顿理论的最终成功。

这一幕可证明是不正确的，且必须是要改变的。首先，赫顿不得不被恢复他历史真面目且与他自己的理论重新联接起来。其次，被作为有怪癖的人而被滑稽模仿的魏纳的形象必然要被抛弃，因为我们要看出他帮助创立的高度成功的体系，和附合在一的自然历史的传统。将老的和新的进行英雄式的并置忽视了该时期的复杂性，它给了地质学以现代的形式和目标，却又在一些即使是在现在都不失中肯的地学思想上，潜伏了许多思维上的陷阱。

一旦赫顿的体系与魏纳的体系都恢复到它们的本来面目，它们的互撞便会呈现出不同的涵义。实际上涵义相同的领域要比人们想像的更宽广。但科学方法的不同，不正确的视野，地质科学的目标及对事实与理论的关系的不同看法，使得要想在对立者们（或者事实上是调合者）中间达成某种一致，显得很困难。当最初争论的最后回声终于于 19 世纪 20 年代消失时，这些基本的不同仍在维持着，使得赫顿和魏纳方法的实质不仅能够幸存，而且为 19 世纪的地质学在剩余的时间上提供了灵感和方向。

居维叶已经在工作中检验了赫顿理论的作用，这项工作为重新评估赫顿的初创性及其在地质历史上的重要性提供了一个起点。在对从 16 世纪末到 19 世纪后半叶的英国地貌学历史的一项研究中，Davies 将赫顿与他工作所依赖的传统重新联系起来，并解释了普莱费尔、莱伊尔和 Geikie 在赫顿的传统重新建立了一个神话般的历史上所起的作用 (Davies, 1969)。

跟着 Davies，我们可以看到水流在形成土地面貌中所起的作用——河谷地貌学——根据侵蚀与沉积的旋回来进行总的研究并已取得一定进展。厄歇尔和牛顿的成功的圣经编年史（这部编年史认为地球只有 6000 多年的年龄）对观察到的多次运动旋回于地球历史中所起的重要性提出了强烈的反对，认为那只是时间不够的问题。一方面，这使他们的重要性打了个大折扣，另一方面，也致使了提高他们对付周期性的，忽然而剧烈变动性的大洪涝灾害的强度的理论的出现。灾变论的支持者们没有放弃机械主义，而是为了将它们挤进《圣经》所配给的时间，改变了这些事件发生的频率。

18 世纪晚期，赫顿使侵蚀及侵蚀与沉积的旋回理论具有现实（长期效用的说法复兴起来并赋予它们新的含义）放弃局限性的《圣经》编年史并假设出地球无限发展时间的年龄。他认为赫顿并不能像那些将 17 世纪简单的非批判主义的河流作用论与 18 世纪

的宇宙目的论混合起来的学者一样成为 19 世纪后期河谷地貌学的先驱 (Davies 1969:196)。赫顿的时间划分规模，正如他的对手 Deluc 的一样，都是他的神学理论的产物。他所提出的理论几乎在每一个方面都和 Rober Hooke 的理论完全一致，且在论及岩石的侵蚀时，事实上还要较之优越一些 (Davies, 1969:91)。赫顿每一个伟大的理论——无限的时间空间，侵蚀与沉积的旋回，及这些旋回的源动力——是 17 世纪广为流传的许多地质思想的翻版，且它们的组合还是基于神学的推理之上的 (Davies, 1969:180~183)。

18 世纪晚期，英国地貌学的思想处于停滞状态时，赫顿才以一个革命者的面目出现。赫顿的《地质学的诞生》在那个时代英国是一次复兴，而且，按照 Tobern Bergmoum, Desmarest, Glettard Johann lehmann, Peter Simon Pallas, Sausure 和魏纳的研究，这次复兴比欧洲大陆要早数十年。这样，Davies 就认为“人们必须要同意莱伊尔的判断，我赫顿的著述几乎不比 Hooke 和 Steno,(他的 17 世纪的先驱) 的先进”(Davies 1969:195)。正如普莱费尔所言，被赫顿忽视的，又被普莱费尔从他的不可读的形式隐晦中拯救出的思想也是一个神话。在他所有理论的译文于 1795 年出现之前，不管在地学领域还是在神学领域，赫顿都是被 Deluc、Kirwan、Desmarest 和 Lepold Von Buch 争论和诋毁的对象。按 Geikie 的提法，赫顿的译著及其观点都属于一个颂扬者，而不是一个历史学家的工作。将赫顿作为曾形成了新的地球科学理论的爱丁堡，一个强有力的研究队的领导人的想法，只是传记的相似性及其真正钦佩的产物。Geikie 也是来自爱丁堡的火成论地质学家，并且在赫顿所加盟过的那所学校接受了再教育 (Davies 1969:178~179)。

当然，讨论赫顿的理论不能将其与他自身的机械主义分隔开来——地球内部热能是岩浆加固、变形与抬升过程中的能量。Davies 承认赫顿应该“认识到花岗岩是初始岩浆岩”而接受认可

(Davies, 1969:212)。这一认可本身也就包含了一项神话——花岗岩的初始岩浆论最终被广泛接受。H. H. Reall 曾思索“花岗岩的起源问题或许是当今地学界最活跃的课题——但我们应记住，它常常就是这个样子的，大致每 20 年左右，问题就会被最终解决一次，随之就会有一种令人不安的平静被打破” (Read 1957:169)，赫顿之后不久，一个令人不安的平静就被打破了，水成论者认为花岗岩是从水溶液中凝结出的理论完全被推翻，而认为它是从熔浆中结晶出来的说法却大受欢迎。但并不是赫顿发明的岩浆地质学，就是在欧洲建立这一学科时，也并非他的理论起了决定性的作用，在欧洲，这项学说早已被意大利籍和法国地质学家广泛地发展开了。

此类信息可用来澄清被吹嘘的赫顿的初创性，它并不能用作评判赫顿译著中所阐述的理论水平。它只是将赫顿恢复到 he 本来的面目——河流侵蚀理论和自然神学论——他曾在这些领域进行探索，并指出：构成其理论的组成部分并非前所未有的，而且他之所以能够名噪一时，是因为他对一些前人遗留的难题给出了较为明确的答案，人们将这一荣誉给予了他，并夸大了他的声誉。在赫顿的理论和它历史性的对手的遭迂能被合理地估计出之前，我们先要将水成论和赫顿的火成论同莱伊尔和 Geikie 歪曲的历史分隔开来。它真实的面目必会被恢复，并且这一恢复工作在相当程度上已被 Alexander Oshroff, Martin Rudwick, Leroy Page 和另外一些人们在他们的工作中做到了，这些人已将赫顿对其理论的讲授和在莱伊尔的历史中所提供的它的译文进行了对比，并发现了二者显然是不相同的 (Oshroff 1976; Rudwick 1970, Page 1967)。

不过，由莱伊尔所提供的传记的细节，虽是他从居维叶处借来的，但也有些是真实的。魏纳确实通过他对起关键作用的矿物学的出色的讲授出使设在弗雷堡的矿业科学院成为国际上重要的研究基地，他也确实讲授了他的地学理论，依此理论，他关于岩层变

形的基本机制不是岩浆而是水溶液，就其实质来说，他认为那些岩层是从水溶液中沉淀出来的，并通过化学胶结作用完成他们的组合。他的学生对他是忠诚的，况且也只是在面对相反的证据时，才有些勉强地放弃了他的理论。到 19 世纪 20 年代，以魏纳所提供的形式表达的理论已经没有生命力了，只是关于岩浆作用的理论——地球内部热能在造岩方面具有中心作用——已被广泛地认为是正确的。但魏纳理论中的描述既不能说明这套理论为何会盛行起来，也不能说明为何后来魏纳能被广泛地认为是一个伟大的地质学家，尽管他也曾犯过根本性的错误。魏纳理论所依据的一些现象后来被抛弃，尤其是这套理论还采用了一种极端错误的观点，认为玄武岩是种水溶液中的沉淀物。魏纳的理论之所以能盛行不衰，有两种解释：对老师的感情上的依附和对他的矿物学知识的评价及他“对科学具有无可挑战的贡献”（Eyles, 1964; 106~107）而完全失去了水成论者的理论。这两种解释都有其真实性的一面，但更深一层的答案在于魏纳在地质学理论发展中的地位及其在欧洲进行的实践，在那里他死后多年，他所拥护的目标与方法仍然保留着，就这些来说，他也只是推广者，而不是创始人。魏纳像赫顿一样，有他自己的过去。

魏纳最早期的工作，他的理论框架的基础，是当他还是一个在 Leipzig 求学的学生时发展的一个实用性的具有决定性作用的矿物学体系。他将他的体系称为一个“Oryctognosie”从字面上来理解就是“对地上事物的研究。”他曾翻译了 J. K. Gehler 的矿物学体系 *De Characteristibus Fossilium Externis* 并故意出版了这一译著作为他对科学的一个贡献。在 Gehler 的用法中，“化石”（fossilium）一度没有它现在的意义——石化的有机遗体（或遗迹）但在魏纳概念“Oryctognosie”中，化石只是指“从地球中挖掘出的东西”——尤其是指矿物。在知道 Gehler 对自己的体系不满意的自然学家 J. E. Kepp 的催促下，魏纳修订出了一套新的矿物

体系，并于 1774 年以 “Von den ausserlichen Kennzeicher Pdre Fossilien” 为题出版 (Werner 1774/1962:X)。

当现代矿物化学和晶体数学的基础还未诞生的时候，魏纳就在传统自然历史的基础上对矿物世界展开了调查研究——着重于对矿物的颜色、气味、组构和硬度的详细识别上，而系统地忽视了矿物的化学组成、晶体结构、比重、熔点度和其他一些物理特征。这一选择在他最早期的工作中，已被他作为对已过时的观点的致命的依附的特点而被了解或误解，且这一选择还加强了一种判断：即他的最终的影响要么是阻碍性的，要么就是破坏性的。正如 Albert Carozzi 所证明的，魏纳选择并不是返祖现象，也不是什么愚昧。魏纳清醒地知道对矿物学体系应有一基础。而不只是外部特征，例如还有内部特征、独特的物理性质或者事物的模型。他也没有将外部特点看作分类的基础——他同意适当的自然分类只有从化学分析上可以行得通 (Werner 1774/1962:XXVi)。后来，他不准备将他的工作与 Berzelius 的化学结合起来 (Anon 1817:183)。

他选择的动机是着重实效，并且他所提供的并不是一套自然的矿物学体系，而是一种系统的人工方法：“在一个系统内对矿物进行分类”，他写道“和从它们的外在特点来识别矿物是两码事” (Werner 1774/1962:XXV)。他选择外部特征来作为他的识别体系的基础是因为它最好识别、最简单，在矿物学家的实践中又是最方便的方法。他想，实用矿物学已通过对矿物形成和分布的研究而得到了发展，但他认为，关于矿物的赋存应用、组成或一些公认的主要特点的论述过于繁锁，对识别矿物来说是足够的，却在其诊断作用上是失败的。他“宁可使矿物有很好的描述，没有很好的分类，也不愿对矿物分类好而描述不好”。(Werner 1774/1962:XXiX) 这一判断显示了其家庭背景——有三百年历史的萨克逊矿工——且他自己的职业又是国立矿业科学院教授和萨克逊的矿业顾问。也许这一效忠于对实践要求的宣誓是存心的——他所提

出的矿物体系当然只是他被任命为弗雷堡矿物学领域的权威的一个因素而已。在弗雷堡能对实践具有如此的贡献必定会大受欢迎。之后，当他得志成功之时，他的观点就采用了一种更理论化的形式。

魏纳也认识到他处理矿物的方法不太自然，有些牵强，但他坚持认为从某种程度上来说，他的体系是真实的，他所选用来鉴别矿物的特点不是武断的或个人臆造的，也不是选取了矿物形态的某些方面，而是作为自然形态存在的矿物形态的所有关键性的特征要素。从这种意义上来说，他的体系是“自然的”——它对矿物的其自然界中本来面目对待，而非采用化学方式。即便一种矿物捣成粉末，他的实质仍是一样的——但一旦它溶于酸，或是被别的化学物质沾染而发生化学反应，那么这一矿物就会失去其自然特点而不会再以其天然物质的面目出现。避重就轻的回答并不是纯学究的，它和下面的例子是相类似的，即水可被电解成 H_2 和 O ，又可从分子水平降到原子水平，最终不会以水的形式而存在。

依魏纳的分析，一个受过良好训练的人，不用借助于分析工具及实验技术就可以鉴定矿物，并且魏纳至死也没有改变他的这一信念。他在 1816 年对他的体系的个人版本的修订中反复地为他对结晶学和矿物的物理特征的忽视进行了开脱；这些方法基本上都是不太实用的——“它们太耗费时间，且易混淆人们的看法” (Werner 1774/1962:54)。

至于他的体系如何开展工作或许正是人们对其感兴趣的问题之一，他在弗雷堡有个人的矿物收集，其中一些是从他游历世界各地的学生处补弃来的，最终矿物岩石和矿石的样品总数高达 100,000 个左右。作为一名年轻人，魏纳展示了其识别矿物样品来源的惊人的能力，并因此出名，这还不是以地区来分辨，而是识出哪些矿石是来自于哪个矿上。从这些庞杂的样品收集里，他挑选出部分作为识别某些矿物特征的标准样品，犹如一个古生物学家在

挑选化石并为其注索引。

颜色是一种重要的外部特征，魏纳从他收集的典型样品中，选定了 50 多种颜色。“鲜红”只是 10 种可识别的红色中的一种，在这一体系中，可识别出 6 种棕色、9 种黄色、6 种绿色、6 种蓝色、4 种黑色、6 种灰色和 7 种白色。其他的一些红色分别叫做枣红、猩红、血红、铜红、洋红、绯红、桃红、樱桃红色和棕红色。鲜红的矿物是灰红色的，是绯红色和黄白色的合成色，其典型样品就是从 Rochlitz 收集来的红瓷粘土。另外一种颜色，稻草黄，被描述成一种硫黄的黄色和一丁点儿红灰色的混合色，其典型矿物——Bohemia 的 Carlsbad 附近的 Lessa 产出的一种碧玉。

魏纳的体系是一个离奇的体系，又麻烦又散漫，还要支付出极大的努力才能掌握，尤其是要经过培训，要能识别不同的矿物特点及颜色。但是若有一些识别特征较相似的矿物相互混在一起，在他那个时代，这还是在这一领域中最行之有效的从中识别矿物的方法。

一旦掌握后，这一体系就被 Alexander Von Hambddt 传到了南美，由 Henrick steftens 传到了丹麦和挪威，又被 Benjamin Silliman 传到美国，由 Robert Jameson 传到苏格兰，又被 leopold Von Buch 几乎传遍全世界。若一个人面前摆着一矿物，颜色雪白，呈块状，表面不平，内、外均耀眼夺目，呈普通光译，由大而平的片状矿物组成，这些大的片可被分成小的菱形碎片，透明、柔软，具挠性，有滑腻感，具冰凉的感觉（尽管还没有滑石那样凉），那么他就可以确信，他拿着的矿物是一块“透石膏”（Werner, 1774: 114）。

这一体系是连续的、完整的，包容了任何新发现的矿物，它有一个独特的矿物外部特征的完整的体系，即便一矿物是作为新矿物而进行鉴定，也可以立即分清它与体系里其他矿物的关系，并通过一遍又一遍地识别而确定其矿物种类，这可以完全不用任何科技手段或分析方法。不过人们也可以看出，通过某种方法，这一体

系还可补充进化学分析方法和晶体学。

作为他的体系的标准矿物，魏纳的矿物收集的功能唤醒了人们对一个轶闻的记忆，这一轶闻证实了魏纳对矿物科学的态度与关心已嬗变成了“魏纳神话”的一部分。Henrik Steffens 是一个挪威矿物学家，它曾和魏纳一起进行研究工作，据他自己说，在那次以自然哲学而闻名的科学运动中，他还是魏纳的亲密伙伴，在那个方向上，他拓展了魏纳的体系。他的自传的第四部分，这自传有十个部分，4000 多页 是从他 25 岁那年开始 那时 他刚动身到弗雷堡求学。在许多关于魏纳的传说中，有一点的说法是，当矿物标本箱子被传来传去的时候，Steffens 正在演讲大厅。而在矿物学家们大肆演讲之时，魏纳却把他的班分成几个小组，并给各组提供仪器，教他们怎样从手标本上识别矿物 (Raumer 1859:205)。当传递样品盘时，样品盘被人推了一个，几乎所有东西都掉在地上，按照 Steffens 的说法 那时“魏纳脸色苍白 说不出一句话……七八分钟后才回过神来。”有人可以将此等逸事与另外一位怪人相比，这位怪人“一个四季却憋着一肚子火”“对石头着迷到了疯狂的程度” (Steffens, 1836:82~83)。但考虑到标本在魏纳体系中的重要性，他便恰当地与巴黎附近的那位有标准测量棒的保管员相似，这位保管员成了一位把他的测量棒做成铁撬的助手。

魏纳习惯于一个世界，它一出现就能完全理解，这个世界是，有忍耐力、注意力和毅力。这不是 Button 或 Diderot 的无限丰富和变化，这些不能完全减缩为一个指令。魏纳争执并证明说矿物王国应用不同的思想可以系统化和完全的条理化，这些思想主要追求的是矿物标本的普遍持久性与有限的人类感性认识能力的结合，在他能把这个体系表达给他的学生的限度内，他证实，只利用自然历史的路线是可以达到地质科学的要求，并不非要牵扯上基础科学实验或数学分析。

1780 年 魏纳 Freiberg 讲一门他称为是“描述地质学”的

课 在他 1774 年公布的矿物学体系里，把矿物科学的研究分成三部分，第一部分是生物化石学，用来实验或测定矿物学；第二部分叫地球构造学，主要是研究矿体的埋藏和构造，第三部分是矿相学，主要研究矿物的分布与山脉的形态、结构和矿藏。这种初级的以数学为目的的划分引起极大的混乱，尽管它的介绍是为了提出魏纳这样一个论点：如构造的位置形式的标识应排除于限定矿物学之外。这些混乱一方面来自于魏纳对他的这些组织明智的观点的修改，另一方面来自他的学生毫无根据地校正一系列他的基础著作而出版，这些作品反映了他在弗雷堡讲课时的相继的一些变化。

在 1774 年，他的《Von den ausserlichen Kennzeichen der Fossilien》问世之后 魏纳仅出版了两本注重理论的书 第一本是一个小册子，概括了他在描述地质学课时的矿物有 24 页长，名字为《一个对不同矿物集合的分类和描述》(werner, 1787)。第二本是一篇较长的论文。魏纳的许多学生是外国人，他们有时是按魏纳改变的观点翻译他的名目，有时把他的意思给予他们自己的解释，历史上对 Gebirge 的解释一片混乱，在现代注语中它有明确的意思是“山”但在魏纳的时代 按照 Ospovat 它可以表示“山”、“山脉”、“矿物集合”、“构造”——事实上结果是基岩采矿在山脉的一系列构造矿里是合乎科学的开采，因此在魏纳部分著作形式的文献中该术语有各不相同的意思 (Ospovat, 1969, 25)。

最不可捉摸的术语是 Geognose 魏纳承认 Geologe 这个术语，但把它用于整个地球认识的纯推理体系，在岩石学、岩性地层学、地史学的某些地方的现代术语中，描述地质学属“硬科学”项。魏纳从地层学家、矿物学家 J. c. Fuchs 的工作借用这个术语，魏纳后来在描述地质学的讲课中，扩展了此术语初始的含义，如能为各种推测性矿物找到一席之地的地质学。

地球科学各部分之间的安排与命名在 18 世纪(和 19 世纪)一

片混乱，这反映了不同理论间的竞争和常常是退化到舌战的纯理论分类研究。魏纳从地质学（讨论地球）中分出描述地质学（地球的知识）试着从猜测中分出知识，但后来违反了这些划分。他的大多数追随者和学生，不论是否主张岩石水成论，都愿把他们的工作说成是描述地质学。这时赫顿却对术语“地质学”有所偏爱，忽视了古典语言学的细节。这两个趋向常给人以错误的印象，认为描述地质学与地质学是可限定的不同研究，不晓得什么缘故，这两个术语可以显示工作的内容和所属的是哪一个派别。一些科学杂志——例如瑞士科学刊登的 *Bibliothèque Universelle des sciences et des arts de Geneve*——几次重新修改他们的目录内容，从描述地质学中来判别对地质学的贡献。（Anon 1816: 314）。1818 年，Scipione Breislak 写的一篇地质论文问世，后来企图调停 Huttonian 和魏纳系统的主要观点，Breislak 应用地球科学之分，始于矿物学，研究构成地壳的矿物的排列和起伏，最后，地质学以物理学和化学为基础，集大家于一体，构成地球的全部历史（Breislak, 1818: 204）。Breislak 试想在这个程序首先被赫顿采纳的前提下，给地球历史学家，描述地质学家带来真实的贡献，那个程序是以物理程序为基础的结果。晚到 1902 年，术语“描述地质学”还在被沿用，Geikie 的地质教科书中包括了它的一部分，从而成为矿物学和岩石学的结合（Geikie, 1902: 9~10）。Breislak 对该术语的认识似乎是最能普遍理解的一个，在 19 世纪被欧洲地质学家使用，同时很接近魏纳的原始限定，并由矿物物理学作了补充。

如此考虑，在矿物研究中，描述地质学是最传统的科目，魏纳的科目也不是科学的一个新分支，而是长期对沉积地层研究的一个继续。几个世纪以来，矿工们调查了地壳的一系列岩石，企图发现一定的岩石序列与渴望的矿物之间的独特关系，17 世纪末期，规则地层学的系列理论被一些观察家发展，这些观察家包括著名的人物 Robert Hooke 和 Fohor Ray，尤其知名人物是丹麦的物理

学家 Miels Steensen(Nicolaus Steno 1638~1687)。他服务于佛罗伦萨的 Grand Duke Ferdinand 并成为著名 Gimento 的一员。该科学研究所是欧洲最早的大型研究所之一。Steensen 的工作是处理化石的自然特点、山脉的起源,侵蚀旋回阶段,沉积机制和地层变形。

18 世纪中期,地质学家的活动遍布欧洲,有 Guettard、Desmarest, Antonio. Moro, Giovanni Arduino. John Strachey, Button 和其他许多人。由于两个原因,山脉被广泛的研究,一是经济的重要性,二是山脉是地壳上升地层暴露最多的部分。

Peter Simon Pallas(1741~1811)调查乌拉尔山脉和西伯利亚地区的山脉,发现其中都有三套构造重复出现,从链状构造的顶端,沿长轴是结晶岩石的结合,在它们的侧翼沉积层按顺序依次是石灰质岩石、含石的石灰岩、泥灰岩、页岩 其上是含高度发育的有机质残留体的松散沉积物。Pallas 分别把这些岩石称为第一、第二和第三序列,这种划分表示出按叠覆律的沉积生长的假设顺序。该原理是:年轻的岩层位于老的岩层之上,结晶岩被称为第一序列。这反映出那个时代地质学家所观察到的是任何地方的沉积岩之下都覆盖着巨厚的结晶岩石。那一世纪早期的托斯卡纳矿工,矿物学家、冶金学家 Giovanni Arduino(1713~1795)采用了同样的规则,他是在他自己的野外实践基础上,增加了第四个序列——火山岩 Geikie,1905:195)。

这个组织规化在 Johann Gottlob Lehmann(d. 1729)和 J. c. Fwchsel(1722~1773)的推动下在德国永盛不衰,他们利用具体山脉的详细地图把这一规则系列的研究向前推进,Lehmann 的工作是在捷克斯洛伐克边境的 Harz 和 Eyz 山展开的 在他的《Versuch einer Gesshichte Von Floetz——Gebirgen》(1756),他坚持这些山,如 Pallas 和 Arduino 观察的那些一样,具有特征的三部分结构。

在这些山脉中,核部——岩石沿着山脉的轴部在顶端暴露

——是由结晶岩石组成的。其山覆盖着 Flötz—Gebirge“ 沉积结构 ”)其中含有化石 其上 侧向向着山脉外侧 是第三序列的松散的物质，结构不很紧密。 lehmarn 和 Steno Pallas Ardwinio 一样假设，核部岩石现处在地形最高处的，是最先沉积的。因此早先也是埋藏最深的。

在 Thuringia 省工作 Fuchsel 是用化石内容证实地层的形成的先驱，在他的工作里可以在所见的一系列岩石中追求重点，不是对那些随便的孤立岩层 而是对他所称的“ 地层组合 ”它们由可预测的序列中许多地层组成，因此原始的三部分序列在 18 世纪中期出现混乱，因为小的序列组合也似乎服从连续样式的规则 (Cdarns 1938:2171)。

另外的一些作品（和其他许多的）魏纳也得接近由瑞典科学家 Tokern Bergmann(1735:178)提议的分类体系，涉及该体系的书籍广泛发行，并于 1769 年翻译成德文和英文《球体的物质描述》。Bergmann 的工作是一个创新立系统，魏纳于 1780 年开始介绍 Bergmann 的思想，并对地球结晶核部强烈振动沉降的以岩石水成论划分法作一个解释。在魏纳的描述地质学开始的几年内，他吸取了 Bergmann 书中所建议的岩石序列，以一本名为《Knrze Klussifikation》小册子出版 很清楚 这不是想表示对 Bergmann 的信任，而是反映了魏纳早期的作法是想从他创始的理论中分离出的一系列地层组的图示，从地质学中分出描述地质学，从理论中分出事实的划分。

魏纳的 Kurze Klassifikation 把 18 世纪晚期地层系列思潮中占主要地位的理论实施于教学。他的划分为：底板，始生岩，原始岩，原生岩石 (Uranfängliche)；连续的沉积岩层 (Flötz) 火山岩 (Vulkanische) 和冲积层 Aufgeschuennmfe)。这些主要的进一步划分是以更细致的内部系列做了补弃，这清楚的反映了他的德国前辈和他自己观察的工作 (werner 1787)。在 1796 年 ,Werner 插入

了一项新的主要的分类：过渡系（Vbergangsgebirge）是在原始岩与沉积岩地层组之间——这个论点是在他讲演时随手编入了他的讲稿，但遗憾的是没有以他的原稿译文发表。

魏纳地壳起源理论在这一阵述中隐含而没有详细说明，正如 Bergmann 的一样，魏纳的这一理论依赖于岩石是从太古时期广泛分布的海洋中沉淀下来的思想，这一海洋和它的沉淀体系一起成为地壳起源水成理论的标记，水成论者的理论和魏纳反对的以深层作用和火山作用的火成理论坚决战斗。魏纳从来没有发表他自己关于水成论的文章。Geikie 勉强把此解释为是怕这一理论的荒谬一旦被泄露，它的内容与他富有魅力的演讲将相分离，正如大多数魏纳的传说——真理在别处。

起初，魏纳以自己的野外实践证实了该理论，他从其中收集到许多证据的 Erz 山脉。是欧洲地史上的第二大褶皱幕的产品，被称为是海西或华力西造山运动。发生在晚古生代的石炭纪末期，大约距今有 3 亿年。在魏纳观察的地方火山活动异常频繁，现正在开采的大量锡矿是这时侵位的，这一火山建造在萨克的缺失一定让魏纳拒绝接受火山作用是地质上一个重要的原因。在海西运动之前，那里的山脉抬升，一个时期的强烈变质，使以沉积岩为特征的原始碎屑、碎块岩通过热和重结晶为基岩，一个统一的结晶再现与消失阶段 Werner 的 Vranfängliche Gebirge) 接下来的三叠系 (始于 2.25 亿年前) 欧洲大部分地区被砂岩和碳酸岩覆盖 被称为是斑砂岩统地层组、壳灰岩地层组、考依波地层组 (Brinkmann 1960: 10. 18. 60)，这不免给魏纳也给他之前的 Lehmann Fuchsel 一个强烈的印象，—— 这个时期的沉积面积广大，也许是全球性的。按照欧洲其他地区，俄国、意大利的主要山脉来看，似乎对魏纳已在 Saxony 所见的普遍地层组类型的想法有所支持 如此在他自己陈述的系统里“普遍地层组”被限制在原始化和沉积的较低部分，就是后来魏纳重新命名的过渡系，同样这是

可解释为在原始海洋中普遍化学沉淀的基底地层组（Adams 1938:222）。所有的后生地层组，沉积遗留的、火山的、冲积的，都是小部分覆盖于地球表面的部分地层组，同时也是一系列复杂化学生成的，如机械沉积、冲蚀和小部分火山活动的产物（Werner 1787）。

完全从化学溶液或悬浮液中广泛沉积形成的一系列岩石而创造的地球“洋葱皮神话”正如 Osharat 提到的，是魏纳的一个发明。这一理论也许要归功于 Bergmann 但魏纳的理论更复杂 他自己的著作中没有甚至他学生中几乎没有一篇纯粹的“水成论”文章。认为这化学生成的沉积岩层在地球表面是绝对不变的，现在我们明白这一不变的地层正是一种错误的观念，但在过去却被不加鉴别的反复运用，直到莱伊尔时代才罢休（Osharat 1976,182）。

魏纳的实际理论应用对广泛的海洋的假设，并以有条理的方式组织描述地质现象，原始岩或结晶岩先沉淀出，覆盖在凹凸不平的地核上，溶液中如此多的物质的迁移导致洋面实质上的下降，解释了为什么峰顶一般由结晶岩组成，它们被保留在海洋以上，不参与地球的后生沉淀史，在过渡岩沉淀的时候，自然发生的结晶核足够巨大，过渡岩沉积在其上面，古老的、垂直的障碍把世界分成大陆和大洋 标志着大洋的‘普遍性’的终结。

这些新海洋中的紊流侵蚀着原来的地层组，随着进一步的沉积又导致几组机械生成的地层，这些区域地层建造，魏纳主张通过沉积期的残留部分，海平面大的升降（相当于海进海退理论，一个有活力的后生理论）来解释沉积层的纷繁的特点和复杂的序列。在较后的时期，魏纳争论到：峭壁的大多数类型特点都是由海洋的深层紊流形成——形成谷地和悬崖 崩塌、滑塌和破裂在已沉积的地里发生，这些破裂被沉淀的矿物充填，形成矿脉，逐渐的进程减慢 变得更规则 在他自己的时代，一直持续到它接近完善 才结束这一过程。

在向他的学生解释这一记录时，他不得不建立许多地层组的确切位置，但在他的一生中都未能建立一个完美的序列。尽管，Stettens报道过他“坚守自己观点”的个性，他的系统在许多点上被公开颠倒。确实，魏纳对矿业、矿工对描述性地质学的使用，对在独特的地层组中寻找有价值的矿藏等方面的实践与专业责任心是举世公认的。但一个个性优点往往隐含着缺陷的另一面，魏纳坚持水成论，这是一个包含有自我灭亡的种子的理论。他首要的目的是以经验为主建立一套不论在何地都规则存在的地层标型系列，这一标型地层的知识可立即应用于实践和经济目标。

在魏纳自己的学生手里，这一动机成为水成论的失败的主要方式，而不是真正的或想象的优于赫顿学派的地球理论。如果说魏纳的描述地质体系有一个独特的缺点，那是它不存在特别精美的内部逻辑，在验证和广衍化的重压下趋向倒塌。然而，就他的矿物学而言，最多的是方法。当它变得越来越庞大时，系统方面开始消失，而退回到自然史——它越来越多地变成岩层序列的生成史，而越来越少地有地球理论，这一灵活性使该理论具有更大的坚韧性，英国水成论的姿态与赫顿学派作战，赫顿学派的理论是紧密结合的一套方式，具有理论性和抽象性，结果是不能容易地修改和放弃，简言之，魏纳不是以起初的思想家出现，不是以狭隘而死板的地球理论家出现，他是以概括化教学相结合，接近有大的实际运用的地球研究的一个系统专家。

一旦魏纳的体系的合理性被了解，以他性格方面去解释他的体系的需要也就不存在了。魏纳在他性情与环境二者间的矛盾对抗下，他得了病，他把他的精力都消耗在教学、野外工作的监管上，首要的是他作为萨克逊王国矿业顾问的负责上，他的矿物学体系所涉及的性质使他把个人的注意力集中到学生身上。他的名声与日俱增的同时，他在Bergakademie Freiberg的责任随之增大，因为他让他的学生扩展萨克逊的矿物调查。在这点上，他用了20多年

的时间，致力于计划和估量围绕弗雷堡的几百公里的矿坑野外工作，尤其对它们的特别路线和特别地层的调查 (Stettens 1863:84~85) 这些耐心的注意 被像 Stettens 之流的自由精神的哲学家误解 企图想强加‘固定观念的忠诚’控制他 好象魏纳监管他的野外工作是阻止 Stettens 发现真理。

魏纳通信的数量与他的名声一起增长，不久就压倒了他，他不喜欢写信，怕以此失去了科学函件要求的时间 (Anon, 1817: 1811)。正如传说中详细说的，如果他讨厌写普通的信件，他显然可以克服这一困难，省出足够的时间在他的岩石学家生涯中写数千页的矿业报告 (Ospovat 1976:191)。因此流传着关于他怪癖的种种逸事，刻守时间到狂热的地步；他确实是一个非常忙的人——部分是教授，部分是人民公仆——不浪费一点时间 吃饭时喜欢排座次或许是他生活中及有规律性的一个表示。也许，更可能的原因，是他要招待大量来自世界各地的访问者，他们的谈话使他保持与弗雷堡以外的世界接触，用他的激情去安排矿物标本和他图书馆中书籍。他更像一个分类学家，在魏纳的故事中，无理由去批评不读所有他购买的书籍，而在一个协会里建立一个大学图书馆，以他自己的名声让这里成为全世界研究地质和矿物学的中心。

魏纳和赫顿堪称代表传统地质学研究顶峰的人物，在他们的理论驱于成熟形式之时，他们的研究却不复存在了。赫顿的地质学组合与自然神学在英国已不被支持，在这一洲已被（或几乎）被放弃 由于运动和他对他的（如果有效）体系的依恋 而忽视化学和晶体学。以实践的形成，是不足以广泛地致力于科学题目的研究领域的。他所包含的水成论也不在任何情况下生存。剥去他那些理论较早的部分，正如较早的历史学家所做的，仅以他们最实质性的成功与最突出的错误来论证，就会剥夺了他们最合理的结构和存在的权利。进而，更严肃的是很让人费解为什么在 19 世纪前十年的“水成论——火成论”之争正如这个称呼的寓意，为什么赫顿

的理论没有立即脱颖而出，它与现代地质学具有成功的相似性，优于几乎已被忘却的水成论。

三、阿尔卑斯山脉及解决法

莱伊尔的支持者们，特别是白瑟琪和赫瑟尔，试图通过在地区或欧洲大陆的高度范围内建立似乎合理的山脉起源的动力解释和侵蚀旋回的特殊性来战胜对手。他们得到其他地质学家的支持，像詹姆斯·霍尔 他脱离全凭观察和实验的手段 惟心地试图把地质学仅仅保持在自然历史的限制之内。

这些变观均和激进论群体之间的敌对，在美国阿帕拉契山脉地区的结构的讨论中表现出来。詹姆斯·霍尔精确地运用莱伊尔的观点说明了美国东部的地质，并反对亨利·罗倍兹的早期灾祸理论。詹姆斯·丹纳，他关于阿帕拉契山脉结构最早的理论是推测的、几何学的和突然而剧烈变动的。接着又发展了一个理论，它为不同信念地质学家们提供了一个共同区域，即他认为欧洲大陆的抬升和下沉的一般理论能够而且必须包括在欧洲大陆边界地槽区域山脉起源的一个特殊理论内。丹纳否认狄鲍蒙夸大几何学的形式主义，而接受莱伊尔和赫顿的地质时间阶段学说在地壳发展中的每一过程。但是，丹纳也注重地球长期相互作用，欧洲大陆抬升和平息，山脉的创造等的重要性，道出了地质变化的步调是缓慢的这一非均性质结论。两个观点都有助于地质理论的倾向远离精确的莱伊尔论而转向自各处随意取材和折衷处理的中间区域。

丹纳的理论主要是基于北美洲的地质结构以及它与边界海洋的关系。这样他的地槽理论，虽然吸引人，但首先很明显与欧洲地质以及欧洲地质学家们面临的构造问题联系很少。而在另一方

面，新大陆的巨大山脉系与欧洲大陆的边缘平行，欧洲的大部分山脉是横向的，而且正好在欧洲大陆边界之内。在欧洲的横向山脉系中，阿尔卑斯山脉是主要的，它复杂的结构破坏了一个世纪以来它与各种一般理论相互关系的尝试。山脉的聚集组成了西部阿尔卑斯山脉和东部阿尔卑斯山脉，而喀尔巴阡山脉（或许还有比利牛斯系、侏罗系和狄那里山脉）描绘了一条比东到西穿过欧洲大陆的宽曲线，它给那些信仰山脉系的线形倾向的地质学家们提出了结构连续性的提示。但是，在阿尔卑斯地区地层连续的重复研究并未表明沿着山系的走向有明显的连续性——西部阿尔卑斯山脉和东部阿尔卑斯山脉好像是由不同的沉淀的建造组成的。从北到南，组分地区的雁行式排列有一个使人同样困惑的连贯性的缺乏问题——链与链之上有不同的岩不同特征不同的沉积相以及结构的不连续性。在 1775 年和 1796 年间，阿尔卑斯山脉的 17 个“Z”字形攀登处 贺瑞斯·班尼德克特·狄塞苏尔，第一位伟大的阿尔卑斯山脉地质学家 把他作为一个“没有希望的混杂区”而放弃了。

阿尔卑斯山脉建造和结构的复杂性为不同体系起源的解释提供了学说研究的场所。高大的白云质灰岩柱子，对利奥波德·凡布赫而言，似乎是一个大灾祸演变的证据。斯图德尔对蒙特布兰科花岗岩的研究，使他发展了“深层物质沿轴线上涌”基础上的阿尔卑斯山脉理论，由此引起两边皱褶以及它们侧翼岩层的滑脱。主张欧洲大陆的普遍提升或滑脱由地震造成凹陷硬壳切开部分的横向挤压，是这些机构挤压各种结合引起的，地质学家们能够使他们的理论从阿尔卑斯山丰富的建造和构造中，通过有见识地选择得到进展。许多仍然回避着构造理论争论的地质学家，都把目光集中到了阿尔卑斯山脉研究的地层、岩石学和化石学中，并且把阿尔卑斯山脉丰富的地质现象应用到这些日益专长化领域的发展中去了。阿尔卑斯山脉的全面解释仍然是一个可望而不可及的目标。在阿尔卑斯山脉谜解开之前，当它们复杂的状态最终简化为有序，

并且像一个单元那样被了解之时，解决方法将给一般地质理论重要的暗示。在塞苏尔时代，有一个地质学家说：“总之，促进地球理论发展的研究是山脉的研究”。到 19 世纪中叶，没有一个能够作出阿尔卑斯这种皱褶山脉的起源解释的一般理论。特别是在欧洲大陆，那儿地质思维开始被阿尔卑斯问题所控制，就像欧洲大陆被山脉它们自己控制了一样。早在赫顿时代，阿尔卑斯的起源已成为一个争论的焦点，赫顿广泛的吸取了塞苏尔观察的精华，详尽描述了他的地球理论。布赫和洪保德在阿尔卑斯山脉地质上作了大量的努力，波蒙山脉理论的许多东西就是取自他对阿尔卑斯山脉的研究，他的研究是一个经典的组成的皱褶山脉结构的典型。莱伊尔、席基威克、摩克森和狄拉贝克旅行到阿尔卑斯山脉亲身体验它们结构的复杂性。到 20 世纪中叶，他们的见识已经成为一些希望主宰地质学教育的主要部分。

奥地利的地质学家爱迪尔德·休斯 (Eduard Suess) 就是这样一个人。他在 19 岁开始了他的地质学徒期。休斯参加了 1848 年的革命酝酿工作而被关押，由于皇家地质查堪所的头头，威尔黑姆·凡·海丁格的求情，从监狱获释，休斯因为有政治记录未能进入“the Technische Hochschule” 仅作为一名办事员在皇家地质博物馆的化石学部分开始了他的地质生涯。1851 年他被委托做一个横跨阿尔卑斯山脉东部的达克斯坦地区的剖面。

休斯的达克斯坦剖面是他一生当中得益于许多教师经验指点的许多阿尔卑斯山脉调查研究工作中最早的剖面之一。这些教师之中，主要是瑞土地质学家伯纳德·斯图德尔和阿诺德·艾思克·凡德林斯。是他在 1854 年遇到的。斯图德尔从 1823 年到 1872 年在伯恩大学任地质学教授，是一位在阿尔卑斯山脉部分用地图详细说明的先锋，从土恩湖到日内瓦湖开始了他的攀登，在 1834 年出版了《Geologie der Westlichen Schweizeralpen》，艾斯克·汉斯·康瑞德，艾斯克的儿子，是一个第二代阿尔卑斯山脉的地质学家，他

关于大规模上推的著作对阿尔卑斯山脉关于侧面移动区域这一观点造成彻底改革。斯图德尔是一个阿尔卑斯山脉火山口演变理论的提议者；艾斯克从不论什么理论观点的争论中都坚定的克制了下来。艾斯克和斯图德尔在瑞典的第一幅综合的地质地图的制作过程中，携手工作了许多年。斯图德尔独立写了上千页的著作《Geologie der schweiz》及相关地质图在 1853 出版。休斯认为这两个人都是聪明可信赖的顾问和朋友，他们一生保持着密切的联系。

休斯的思想慢慢地成熟了，直到 1875 年经过 1/4 个世纪的研究，他才着手在一个并不引人注目的栏目内写了要略和阿尔卑斯山脉理论的批评文章，标题为《Die Entstehung der Alpen》。随着批评文章和世界上关于阿尔卑斯山脉结构研究的国际文献发表，使休斯在别人的调查研究及自己的工作领域中推断出来新的阿尔卑斯山脉的理论。他的作品是很有影响力的，许多年之后，皮尔·德米尔回忆说他的老师 马赛尔·伯丘恩特（阿尔卑斯山推覆体理论的发起人之一，他自己是休斯的一位学生）读了《阿尔卑斯成因》之后，才决定成为一名阿尔卑斯山脉地质学家。伯丘恩特，他曾蔑视过波蒙的讲课，都被休斯的阿尔卑斯山脉其实包含了所有主要的地质问题的答案这一著作征服了；更不用说休斯的声誉赖以支持的、更著名的著作《地球的面貌》了，它产生了更大的影响。

《阿尔卑斯成因》是休斯后来许多工作的理论基础。其中，他试图清除当时正在流行和重新开始的关于阿尔卑斯山脉结构的各种各样的假说。他分享了他同时代人的思想，认为阿尔卑斯与地球上其他巨大的山脉一样，以同样的方式形成，认为阿尔卑斯建造的研究结构一般来说，也适用于浮雕，从空气、水和冰的毁灭性和建设性的活动中分离出来。在时代背景中，这作品也许又被命名为《山脉的建造》——含意是相同的。休斯通常视阿尔卑斯山脉为

皱褶山脉的“典型地区”，认为对它们结构的认识将会解决所有动力地质的主要问题。

自从休斯在 1849 年开始了自己在阿尔卑斯山脉的工作这几十年间，随着地质制图的进一步精细，阿尔卑斯山脉各种不同的知识急速地增加。但是，他受到这样一个事实的打击，就是，尽管这些结构工作增加了内容，质量改进了，但是地质学家们在阿尔卑斯山脉的地层产生复杂皱褶的自然力量方面没有更近的意见。而每一个新的研究都加强了变形比以前调研人员想象的要大得多这一观点，意见最可能的不同点仍保留在巨大的变形和断层的成因上。在德国产生，特别是在德国壮大的，流行的观点是某些地块的突出 无论是不变的 半动的 还是流动的 都迫使覆盖的地层沿轴线区域分开。同时，许多说法被提出，发现对山脉建立这个理论最清楚的表述不是在它的创始人布赫的作品中。

休斯既不满意蒙的地球冷缩而成的，也不满意上侵成山的说法，认为深层岩体上升成山是一种无力的解释。仅仅被一个大体预先安排的结论所统一，认为力源来自深部，被垂直地表现出来（休斯 1875:2）。但是横向挤压这一相反的理论也有缺陷，休斯引证说同意康斯坦特·普雷沃斯特的观点，康曾辩论说，人们只能说取代作用，而不能说上升，因为从表面上看，一个地区的上升或它周围边缘的下沉都是可能的（普雷沃斯特 1840:186）

虽然休斯认为两种学说都不令人满意，但他指出，在这个课题上现行（1875 年）工作的更大部分已倾向于一个横向挤压观点的新说法：现在，没有纯粹的上升被暗指或需要来产生山脉。相反，被提出的作用过程是地球的相互作用和平息，以及邻近部分相互联系的地壳凹陷。这儿，休斯提到一组与上升理论一样松散的观点——他引用丹纳、利康特和阿尔卑斯山脉地质学家查尔斯·洛雷的最近工作作为例子（休斯 1875:4~7）。休斯准备赞成这样的观点，证据的份量在横向移动和下沉理论这一边，而不是在垂直移动

和上升理论上。因此，他开始了上升理论的详细批评工作，在它最近的及高深的说法中提出：那也是他的朋友兼老师斯图德尔的看法。

斯图德尔坚持这样的观点（就像他之前的许多地质学家们一样）：阿尔卑斯山脉由三条大致平行于东西轴的长条形地带组成。中间地带周围脱离深层岩体，被高高皱起的沉积岩地带(Nebenzonen)向着北边和南边两侧。斯图德尔的观点是：沿着中间地带轴线的一个有力的过程被表示出来了。斯图德尔认为，在 Finsteraarhorn 附近，有一个巨大的瑞士阿尔卑斯山脉的花岗岩山系。在那儿，花岗岩好像被中生代化石结成地层穿透。在斯图德尔那个时代的地质学家看来，这好像是支持像花岗岩这样的结晶岩能够像熔岩那样以同样的方式变形这一观点，他反驳了水成论者关于花岗岩是原始岩石的主张。更晚的沉积层的突破表明，深层石是贯穿地球历史的积极的地质动因（休斯 1875:9）。

休斯看到整个争论像它开始发生的背景一样过时了。休斯认为一个“中间喷发的”力量这一观点，无力解释数公里断层的痕迹及南北的上升遗迹。即使中间地带的深层岩体是喷发的，在斯图德尔看来这是缺少推断的——随后被验明深层岩石群能够通过某种令人惊异的力量表现形式，上升数十平方公里的面积，把它向北边和南边劈开，并且皱褶。远远不是那种宇宙的活动力量，深成岩和火山岩被看作被动地发生皱褶，是领受者而不是变形说的发起者。总之，二叠纪的岩石能主动地上升第三纪的沉积岩这个可笑的争论再也不能维持下去了（休斯 1875:10~2）。

休斯攻击在他自己理由上的上升假设，对上升理论家中佼佼者的证明表示怀疑。斯图德尔已选择支持他的观点。他指出上升假设是从有限的实例中推广来的，它是以过时的岩石学概念为基础的，在不正确的地层学基础上说明的，它产生比某些观察到的正在喷发的力量更大地按次序发生的巨大变形力量。

这个对上升理论的分析是一个开端，休斯反对上升论的争论所用的主要方式中，继承了布赫、洪保德和狄鲍蒙倡导的传统线性分析法。孤立场所的岩石学和地层学连续的严密分析可能引起无论什么样的争论，一个更激烈的争论可以从把阿尔卑斯山系的主要单元看成一个整体的证明中引发。对于休斯，驳回在阿尔卑斯山脉通过“中心地块”或中间喷发沿中央轴线上推这一上升理论的最综合的理由是，假设高地 *Erhebung centra* 不规则的、不完整的、露出地面的岩石和区域外的地带皱褶不间断的、规则的走向之间北部的和南部的 *Neben zonen* 带之间的对比，很清楚地表明对阿尔卑斯山脉北边脚下年轻矿床的一般上冲，不能从高地成孤立中心地块的喷发产生，而只能从整个山脉系的一般运动产生”（休斯 1875:13）。

休斯的整个山脉系横向移动的惊人假设同样遭到上升理论和流行的横向挤压理论的反驳。它受到山系被对称的压力从两侧上推和皱褶的横向压缩论的提倡者的支持。这在霍尔 1812 年的“压力盆”实验中是正确的，在狄鲍蒙 1852 年的假设中同样也是正确的，再度从整个阿尔卑斯山脉系的一般观察引起的争论中，休斯坚持这不会持久。如果山系不是被从底部推上来的，那么它们也不是被“老虎钳”抓住，被向山系北部和南部前进的坚硬地块的狭窄入口挤上来的。他推理道，整个山系向北部上推更年轻的矿床，使人想起一个单侧移动，此外，阿尔卑斯山脉呈一条向北凸的巨大宽曲线，这表明它们受到一个从南部来的推力。如果它们仅仅在某个部位被挤压，那将无法解释这样一个地区的、巨大的、像碗状的单斜挠曲。

整个山系横向迁移的这个观点，在以前的任一理论中没有极类似提法。它与斯图德尔的上升理论，或狄鲍蒙的对称压缩理论不一致。它同样与莱伊尔自己，白璧其、赫瑟尔或霍尔的某些莱伊尔派的山脉解释不相容。甚至休斯用来暗示造山力量的（持横向

观点的) 丹纳的理论, 就缺这种横向移动的空间。他在分析方式中沿用了以前的理论—— 平面特征的线性倾向, 认为队阿尔卑斯在一个巨大规模上、在侵蚀和沉积的均匀循环和大海的有规则的海侵上、提供了一个附加的、山系动力学的、辨得出的历史。这样 休斯的工作属于和丹纳和狄鲍蒙的理论一样传统: 它是明显地不均匀的, 不需要灾祸的。

休斯又把他的观念运用到其他山脉上—— 他认为已经完成的阿尔卑斯问题的解决方法, 是一个同样适用于毗连的皱褶山脉的解决方法。

The Juar 的皱褶正是描述了这样一条连续的线条, 不间断的长长地伸展, the Jura 完全没有(任何这样的)中心地块。没有比分裂的中间地块与外侧皱褶的对比更明显了.....它仅仅通过山系整个地块的一个一般的和同态的运动就能被解释。.....从 the Jura 到亚平宁山脉和喀尔巴阡山脉的所有这些山系, 是不间断的, 总体走向上是一致的。

各章参考文献

第一章

- 1 王子贤 王恒礼 简明地质学史. 郑州: 河南科学技术出版社, 1985. 69
- 2 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 54
- 3 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 23
- 4 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 316
- 5 [日] 小林英夫. 地质学发展史. 北京 地质出版社, 1983. 75~76, 169
- 6 Hallam A. Great geological controvesies. Oxford: Oxford University Press, 1983. 8
- 7 王子贤 王恒礼. 简明地质学史. 郑州: 河南科学技术出版社, 1985. 87
- 8 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 322
- 9 恩格斯. 反杜林论. 北京: 人民出版社, 1970. 134
- 10 Greene M T. Geology in the nineteenth century. London: Cornell University Pr. 1982. 144~167
- 11 段联合 雷援朝 彭建兵. 地质学中的时间问题. 自然辩证法研究, 1997 (7): 16
- 12 Toulmin S. The discovery of time. Manchester: Lit. phil. Men. proc. 1962~1963. 121
- 13 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 80~81
- 14 [日] 小林英夫. 地质学发展史. 北京 地质出版社, 1984. 316
- 15 燕东鲁. 论地壳运动的本质. 地质论评, 1958(1): 60
- 16 燕东鲁. 论地壳运动的本质. 地质论评, 1958(1): 59
- 17 孙荣圭. 地质科学史纲. 北京: 北京大学出版社, 1984. 54
- 18 B. B. 别洛乌索夫. 地质构造和地壳发展问题. 地质学报, 1953(4): 304~306
- 19 宇声. 我国大地构造主要学说简介. 地质学报, 1961(2): 212~217
- 20 黄汲清. 黄汲清著作选集第三卷. 北京: 地质出版社, 1992: 142~150

- 21 陈国达.地洼区的特征和性质及其与所谓“准地台”的比较.地质学报, 1960(2):167~184
- 22 陈国达.地壳动静转化递进说——论地壳发展的一般规律.地质学报, 1959(3):279~291
- 23 张的.新自然观与人类文明现代科学的哲学探索(赵光武主编)北京: 北京大学出版社,1993.306~318
- 24 国家自然科学基金委员会.地质科学——自然科学发展战略研究报告.北京:科学出版社,1991.44
- 25 渠天祚(译).地球膨胀及脉动说的发展与现状.地质构造学,1998(2):59~61
- 26 欧阳自远,王世杰中国天体化学研究展望世纪之交矿物学岩石学地球化学的回顾与展望(欧阳自远主编).北京:原子能出版社,1998.177
- 27 张昀:新自然观与人类文明.现代科学的哲学探索(赵光武主编).北京:北京大学出版社,1993.311~312

第二章

- 1 彭建兵.地质高等教育研究,1989(1):28
- 2 [瑞士]许靖华.祸从天降——恐龙绝灭之谜.剪万筹等译西安:西北大学出版社,1989
- 3 刘波.哲学研究,1986(8):49
- 4 国家地震局地质研究所十一室.岩石圈——报告会.北京:地震出版社,1987
- 5 Pratt Wallace E. Towards a Philosophy of Oil - finding. AAPG Bull, 1982, 36,(12)
- 6 雷援朝.论地质思维的科学体系.北京:地质出版社,1988
- 7 列宁.哲学笔记.北京:人民出版社,1956.135

第三章

- 1 Pratt Wallace E. Towardsa Philosophy of oil - finding. AAPG Bull, 1982. 36 (12):45

- 2 雷援朝.关于地质学思维科学体系的构思.地学与智慧.北京:地质出版社,1989
- 3 庄寿鹤.论实践结构.哲学研究.1985(5):48

第五章

- 1 恩格斯.自然辩证法.人民出版社,1971.218页。
- 2 波普尔.客观知识.上海译文出版社,1987年版 序言第2页。
- 3 列宁.哲学笔记.人民出版社 第135页。

第六章

- 1 王晋.创造性思维讨论综述.数学与研究(中国人民大学).1985年 第6期 第57~58页
- 2 国家教委编.《自然辩证法概论》.高等教育出版社,1988年版 第162~163页
- 3 王干才.矛盾思维和创造性思维.山西师范大学学报(临汾).1990年第4期 第4~8页
- 4 《列宁全集》.人民出版社,1963年版 第38卷 第194页
- 5 李秀林、王于、李淮春主编,辩证唯物主义和历史唯物主义原理.中国人民大学出版社,1990年版 第246~247页
- 6 王南.论形象思维的普遍性.载钱学森主编.关于思维科学.上海人民出版社,1992年版 第115页
- 7 雷援朝.地质形象思维初探.载余谋昌等主编.地学与思维.地质出版社,1992年版 第215页
- 8 国家教委组编.《自然辩证法概论》.高等教育出版社,1988年版 第158页
- 9 罗慧生.西方科学哲学史纲.天津人民出版社.1988年版 第428页
- 10 《爱因斯坦文集》.商务印书馆,1976年版 第一卷 第262~263页
- 11 杨德荣.漫话科学假说.辽宁人民出版社,1982年版 第86页
- 12 《爱因斯坦文集》.商务印书馆,1976年版 第一卷 第102页
- 13 陈思远、加天山.直觉思维的认识论意义.文史哲(济南),1988年第2

期 第 10 页

- 14 国家教委组编.《自然辩证法概论》.高等教育出版社,1988 年版 第 160 页
- 15 《爱因斯坦文集》.商务印书馆,1976 年版 第一卷 第 262~263 页
- 16 王干才.矛盾思维和创造性思维.山西师范大学学报(临汾).1990 年第 4 期 第 5 页
- 17 陈恂清.在李四光开辟的道路上.载王泽九等主编.地质之光.中国工人出版社,1991 年版 第 188~189 页
- 18 汤川秀树.科学中的创造性思维.自然科学哲学问题丛刊,1982 年第 2 期
- 19 列宁《哲学笔记》.人民出版社,1974 年版 第 240 页
- 20 黑格尔.《小逻辑》.商务印书社,1982 年版 第 133 页
- 21 N.玻尔.《原子论和自然科学的描述》.商务印书社,1969 年版 第 9 页
- 22 〔美〕《精神病学》杂志.1979 年第 1 期 第 92 页
- 23 福井谦一.《学问的创造》.生活·读书·新知.三联书店,1988 年版 第 66 页
- 24 杜乐天.由地学思维到一般思维.载顿铁军张明定主编《地学的哲理》.西北大学出版社,1994 年版 第 15 页

第八章

- 1 李四光.地质力学概论.科学出版社,1973
- 2 黄汲清指导,任继舜等著.中国大地构造及其演化.科学出版社,1978
- 3 马杏恒.论伸展构造.地球科学,1982,3
- 4 陈国达.中国大地构造纲要.地震出版社,1977
- 5 张伯声.辩证的地质学.西安地质学院学报,1984.1
- 6 张文佑.断块构造导论.石油工业出版社,1984
- 7 杨开庆.动力成岩成矿理论的研究内容和方向.地质力学所刊,1986 第 7 号
- 8 宫同伦.论动力成矿作用.西安地质学院学报,1987,1
- 9 宫同伦、彭建兵.裂谷系的形成机制,演化特征及成矿作用.西安地质学院

学报 1986,2

- 10 高庆华. 板块地质力学与地质系统论探讨. 河北地质学院学报, 1986, 3~4
- 11 杨巍然. 中国构造演化中的“开”与“合”地球科学, 1984, 3
- 12 杨巍然. 东秦岭的“开”“合”史 地球科学, 1987, 3
- 13 刘玉海等. 延安城市工程地质. 中国地质大学出版社, 1988
- 14 付照仁. 变质岩层构造的形变相分析. 地球科学, 1983, 3
- 15 徐道一等. 天文地质学概论. 地质出版社, 1983
- 16 彭建兵、庞桂珍. 论地壳运动的宇宙起因. 西安地质学院学报, 1987, 4
- 17 沈小峰等. 耗散结构论. 上海人民出版社, 1987
- 18 鲍征宇. 耗散结构理论及其地学应用. 地学之光, 1987, 1
- 19 张昀. 生态系统演化, 大自然探索, 1987, 2
- 20 张炳培主编. 当代地质学科动力. 地质出版社, 1987
- 21 李春煜等著. 板块构造基本问题. 地震出版社, 1986
- 22 白文吉等. 漫话大地构造学说. 地质出版社, 1985
- 23 吕国忱. 科学认识的整体性原则, 哲学研究, 1984, 10
- 24 王旭. 系统、系统规律与系统方法. 哲学研究, 1984, 7
- 25 陈念文. 论自然界的系统性. 自然信息, 1984, 2
- 26 刘茂才. 地质科学思想的形成及其发展. 1981
- 27 马成立. 略论地质学回向系统的研究方法. 哲学研究. 1981, 9
- 28 陈建平. 从遥感地质谈地球科学研究的方法. 大自然探索, 1987, 4
- 29 崔宝成等. 构造地质学的一些新进展与认识. 地质系统管理研究, 1987, 4
- 30 孙立广. 论构造运动的主导方向. 地质系统管理研究, 1987, 4
- 31 顾兆康. “整体思维”在临床诊断中的意义. 自然信息, 1984, 3
- 32 李英时. 谈谈整体思维. 百科知识, 1983
- 33 刘波. 地壳运动; 自然界诸种物质运动基本形式的综合效应. 哲学研究, 1986, 3
- 34 刘波. 关于地球物质系统演化规律的探讨. 自然辩证法通讯, 1986, 3
- 35 彭建兵. 李四光地学思维方法探微. 从铜车马到现代科学技术. 西安交大出版社, 1986
- 36 彭建兵. 反向思维—开启科学灵感的钥匙. 安徽科技信息, 1987

- 37 吴延滢、付立.当代地球科学中的革命与新地球观.中国人民大学学报, 1997
- 38 彭作林、陶明信.辩证自然观对地质构造研究的启迪.科学、经济、社会, 1986.2
- 39 杨志达.论现代地质科学对地质思维的影响.河北地质学院学报.1997.3
- 40 Billy P. Glass, Introduction to Planetary Geology 1982
- 41 Xent C. Condie, Plate Tectonics and Ckustal Evolution 1982

第九章

- 1 L·劳丹,进步及问题,华夏出版社,1990年版 第 15~16 页
- 2 A·哈勒姆 地质学大争论 西北大学出版社,1991年版 第 99~132 页
- 3 中国地质学会,当今世界地球科学动向,地质出版社,1989年版第 18页
- 4 张怡 科学问题的动力学研究 哲学研究(京),1993年第 2期 第 28 页
- 5 T·Nickles,“What is a Problems That we May Solveved”in Synttese 47
- 6 H·A·Simon 漫谈科学研究方法,自然辩证法通讯,1992年第 1期 第 6 页
- 7 国家自然科学基金 地质科学 科学出版社,1991年版 第 119 页
- 8 〔日〕小材英夫 地质学发展史 地质出版社,1983年版 第 55 页
- 9 N·D·Belnap and T·S·Steel,“The Logic of Questions and Answers”Yale University Press(1976),PP34~35
- 10 爱因斯坦·英费尔德《物理学的进化》上海科学出版社,1962年版 第 66 页

第十章

- 1 全增嘏主编.西方哲学 1983 上海人民出版社出版 第 195—250 页
- 2 Stepher Toulmin The Discovery of Time 1962~1963 Manchestes Lit. Phil. Men. Proc 100
- 3 Stepher Touimin The Discovery of Time 1962~1963 Manchestes Lit. Phil. Men. Proc. 101
- 4 恩格斯,自然辩证法 人民出版社 1971年
- 5 王子贤、王恒礼.简明地质学史,河南科学技术出版社,1985 第 63—66 页

- 6 孙荣圭,地质科学史纲,北京大学出版社,1984 第 7—8 页
- 7 王子贤、王恒礼,简明地质学史,河南科学技术出版社,1985,第 82—85
- 8 高之栋,自然科学史讲话,陕西科学技术出版社,1986,第 434—439 页
- 9 Anthony Hallam Great Geological Controversies Xford University Press, 1983. 8
- 10 梅森,自然科学史,上海人民出版社,1977,第 385 页
- 11 Anthony Hallam Great Geological Controversies Xford University Press, 1983. 89
- 12 Anthony Hallam Great Geological Controversies Xford University Press, 1983. 84~182
- 13 全增嘏主编,西方哲学,1983,上海人民出版社 第 53 页
- 14 Stepher Toulmin The Discovery of Time 1962—1963 Manchestes Lit. Phil. Men. Proc. 107
- 15 Anthony Hallam Great Geological Controversies Xford University Press, 1983. 82
- 16 Stepher Toulmin The Discovery of Time 1962 - 1963 Manchestes Lit. Phil. Men. Proc. 103
- 17 Stepher Toulmin The Discovery of Time 1962 - 1963 Manchestes Lit. Phil. Men. Proc. 121
- 18 B. B. 别洛乌索夫,地质构造和地壳发展的问题,地质学报 第 33 卷 第 4 期,1953 年 12 月 第 305、306 页
- 19 王战,地质学时间论议,载《地学的哲理》,西北大学出版社,1994 年 7 月 第 79 页
- 20 段联合等,地质学的事实和理论的特点,科学技术辩证法,1995 年第 2 期
- 21 王战,地质学时间论议,载《地学的哲理》,西北大学出版社。1994 年 7 月 第 8 页

第十一章

- 1 国家教委编,自然辩证法概论,高等教育出版社,1989 年版第 111 页

- 2 L·劳丹 进步及问题 华夏出版社 1990 年版 第 15~16 页
- 3 A·哈勒姆 地质学大争论. 西北大学出版社 ,1991 年版 第 99~132 页
- 4 中国地质学会, 当今世界地球科学动向. 地质出版社 ,1989 年版第 18 页
- 5 张怡 .科学问题的动力学研究 哲学研究《京》,1993 年第 2 期 第 28 页
- 6 T·Nickles. "What is a Problems That we May Solveved" in Synttese 47
- 7 H·A·Simon 漫谈科学研究方法, 自然辩证法通讯 ,1992 年第 1 期 ,第 6 页
- 8 国家自然科学基金地质科学, 科学出版社, 1991 年版 第 119 页
- 9 [日]小材英夫. 地质学发展史, 地质出版社 ,1983 年版 第 55 页
- 10 N·D·Belnap and T·B·Steel, "The Logic of Questions and Answers" Ynle University Press (1976), PP34~35

第十三章

- 1 中国国家自然科学基金委员会, 地质科学—自然科学学科发展战略研究报告(1991 年)北京 出版社
- 2 肖庆辉等 .中国地质科学近期发展战略思考 (1991 年)北京 中国地质大学出版社
- 3 中国地质学会 . 当今世界地球科学动向 (1989 年)北京 地质出版社
- 4 28th International gelolgical congress. Abstracts. U. S. A, 1989, 1~3
- 5 GSA. Geoscience Resarch and Public Policy (1989 Annual Meeting Committee Fronters Symposium) 1989
- 6 美国地球物质的物理和化学专题讨论会报告 地球物质研究(谢鸿森等译 ,1990 年)西安 西北大学出版社
- 7 Molnar P. Continental Tectonics in the Aftermath of Plate Tectonicso Nature, 1988, Vol. 335
- 8 Zwart, H. J. the international lithosphere program review. Episodes, 1989, 12 (2)
- 9 Geophysics Study Committee, The Role of Fluids in Crustal Processes. National Academy Press, 1990
- 10 殷鸿福 .古生物演化的新思潮及其对地质学的影响, 地质论评, (1986 年), 32

- 11 吴瑞棠 .事件地层学——一个新的挑战 , 地质论评 (1986 年),No. 4
- 12 Hsu KJ. EhenKen - Mellies WU(ed.) Earth Processes and Global Changes. Global and Planetary changes, 1990, 2(1~2)
- 13 Fuchs K. Composition, Structure and Dynsmics of the Litheosphere - Asthenosphere System. American Geophysical Union, 1988
- 14 Fuchs K.(ed) Super - deep Continental drilling and Deep Geophysical Berlin, Spring er. 1990
- 15 Gubbins D. Seismology and Plate Tectonics. Cambridge Univ. Press, 1990
- 16 Howell D. G. Tectonics of susect terranes: Mountain bulding and continenrtal growth. London, Chapman and Hall, 1989
- 17 Koziowsky YeA(ed) The Superdeep well of the Kola peninsuls. Berlin, Springer, 1987

第十六章

- 1 张伯声 .张伯声地质文集 .西安 陕西科学技术出版社 ,1984
- 2 别洛乌索夫 .B. B. 中国中部和南部大地构造基本特征 , 地质译丛 ,1957 (1):1~14
- 3 哈茵 B. E 世界大地构造学的现状 .地质译丛 ,1957(10):1~15
- 4 李四光等 .旋卷和一般扭动构造及地质构造体系复合问题 .北京 科学出版社 ,1958
- 5 王战 .波浪镶嵌构造机理研究 .地学的哲理 .西安 : 西北大学出版社 ,1994

第十九章

- 1 地学与思维 .地质出版社 ,1992
- 2 地学哲学概论 .中国地质大学出版社 ,1989
- 3 自然科学史 .上海人民出版社 ,1977
- 4 区域变质作用的压力—温度—时间 (PTt) 轨迹及其在造山带构造和变质作用研究中的应用 .国外地质科技 ,1987 第 8期
- 5 England, P. and Richardson, B. . 1987. The influence of erosion upon the mineral facies of rocks from different metamorphic environents. J. Ged. Soc.

London. 134, P201~213

- 6 England. P and Thampson A. 1984, Pressure – temperature – time paths of regional metamorphism I. heat transfer during the evolution of regions of thickening continental Crust, II Their inference and interrelation using mineral assemblages metamorphic rocks, J. Petrology 25, 894 – 955

前 言

多年来 每当我们在地质科学的殿堂中徘徊的时候 我们常常被地质学这个神秘的研究客体所困惑，翻阅地质学的历史巨册，科学大师们的学术思想曾几度拨开重重迷雾 但随着时光的运行 我们又陷入到了云雾之中。关于地质学的性质，西方地质学家认为区别于物理学和化学这些理论科学的根本特征在于它是一门历史科学，它的目的是重建地球史即重建独特地质事件的时间序列，而不是探求支配地球变化的一般性规律，并且认为地质事件的时间序列才是地质学中的理论思维的最高追求。基茨 (1963, 1977) 认为在地质学研究中，对特殊事件的关心和描述这些事件的单称性陈述使得地质学本质上是历史的。他引证波普尔的观点说，对于历史科学家，单称描述性陈述是他们的研究目的，理论仅是通向目的的手段；对于理性科学家来说，普适性的理论是他们的研究目的，单称描述性陈述则是通向目的的手段。80 年代由劳丹对其提出了挑战，她认为把地质学性质归结为历史是一种严重的误解。事实表明，地质学中既有历史性成分又有理论性成分，人们长期以来把赫顿、赖伊尔等人的工作曲解了。事实上，他们的工作性质涉及到对地球上变革过程的理解。因此，重要的是保持历史论地质学和理性地质学之间的张力。所以，因果论地质学认为地质过程中存在着许多独特的规律。该学说以能否建立一套系统的地质学规律作为衡量地质学成熟与否的重要标志。劳丹的观点得到国内一些学者的认同。例如陈国达教授就撰写过《地洼说——历史论与因果论结合的学说》等。但是，面对地质事实，遗憾的是可供研

究的资料极不完整，地质历史的原貌又不可能重现。所以，地质学家只能依据从现存的地质现象中提取资料，去推测、思考和判断已消失了的地质历史、地质运动过程中的因果关系，并且创造出了许多地质科学的理论。这些理论无疑渗透着人的关于地球科学的思维因素。

关于地质学中的研究方法，首先地质学研究碰到的是三方面的困难：

1. 地质过程的不可及性。许多地质现象是地球内部物质活动的过程造成的，如深部地质问题，而我们今天的研究，也只是借助于星际的陨石或一些地球物理手段来间接的感知，所以这些过程对于任何人类观察者来说都是不可企及的。

2. 地质变化的长期性。许多地质现象发生的过程是那样的长，以致在人类的时间尺度里不可能完成对他们的整个观察。

3. 地质原因的复杂性。造成地球表面的各种变化，并不是少数几个简单因素造成的结果。可以轻而易举地识别出来的原因，往往是由多因素组成、相互作用的极其复杂的系统。所以，地质学家长期以来就是依据这些特点选择和调整着研究方法。

对于地质科学的方法，国外一些学者认为现在人们一直在强调地质学研究方法与一般研究方法是如何不同，但即使是赖伊尔的地质现实与历史的比较法则也不是与一般研究方法相脱离的。地质学研究方法的特殊性仅仅是地质学在运用一般方法论时有其自己的特点。由此可知，在地质学方法论研究中，重要的不是发现或发明多少种完全标新立异的“地质学”方法，而是应该琢磨如何把科学研究的一般方法论创造性地转化为与地质学的特殊性相匹配的思维法则。例如，地质工作中的假说是上世纪末张伯伦提出的 他的观点在地质学界很有影响 哈勒姆 1983)通过研究地质学史上的许多案例后提出，事实上杰出地质学家多数采用的是某种形式的“假说—演绎法”即首先构想假说(地质形象思维)然

后在地质实践中取舍和发展它们，并认为这样的地质思维更有进取性。

那么 什么是地质学的本质 著名科学哲学家波普尔说过：“知识是客观的，本质上是猜测的”。我们认为波普尔的话正好言中了地质学的本质，即它的研究对象是客观的，而它的研究方法本质上是思维性的，理论是猜测性的。其客观性、思维性和猜测性都具有浓郁的地质学特点和地质学意识。并且在我们多年的研究中认识到，地质学的研究方法并非主要是借助于化学、物理学、生物学的研究方法，而是具有鲜明地质特点的思维法则和思维方法。我们将这些思维法则和方法，称之为地质学思维。我们的这部著作就是从剖析地质学思想体系入手，通过探讨地质理论中的思维因素、地质实践的结构，研究地质学思维和地质学思维方法，以及其中的某些地质哲学问题（如地质学时间等）。为了阐明我们的论点，我们还解析了造山带（以秦岭造山带为主）研究和镶嵌构造学说中的研究思想和思维方法。所以该书取名为《地质学的思维》。

1985 年，我们开始对地质学工作中的这些问题发生了浓厚的兴趣，1989 年，我们承担了陕西省教委的《地质学思维机理》研究的课题，1991 年至 1994 年我们的《地质学中的思维方法研究》获得了国家自然科学基金委员会的资助。多年来，我们一直从事这方面的研究，十余年来我们发表了 60 余篇论文，在多年研究成果的基础上，撰写了这部学术著作。

这部著作分为 19 章 约 25 万字，内容分为五个层次：1. 对地质学思想体系的探索；2. 在分析地质学研究中的思维因素中，建立了地质学思维方法的基本理论；3. 对地质学思维方法的解析；4. 探讨了地质学时间等哲学问题；5. 具体的案例分析。

为了使本书的内容更为丰满，我们在附录部分转载了美国著名石油地质学家华莱士·E·普拉特的名篇《找油的哲学》和《十九世纪的地质学》一书中的两篇文章。

书中的第一、六、九、十、十二、十四章由段联合撰写 第二、三、四、五、七、十三、十五、十六章由雷援朝撰写 第八、十七、十八章由彭建兵撰写；十九章由刘良撰写；三篇译文由雷援朝翻译；全书的提纲、前言、后记及统稿均由雷援朝执笔。

我们在研究和撰写书稿的过程中，多次得到了马宗晋、王鸿祯、张国伟院士 朱训、王子贤、杜乐天、余谋昌、吴凤鸣、黄顺基、肖庆辉、何贤杰、石宝珩、王恒礼、王战、宋正海、赵重远、刘池阳、孙勇教授以及好友诸大建、吕国平、白屯等学者的支持，特别是国家自然科学基金委地学部和西北大学地质系的关怀才得以完稿，在此一并致谢。

著 者

1998 年 10 月于西安