

地质科学方法论的思考

——以构造地质学为例

潘桂棠

PAN Gui-tang

中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都, 610082

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610082, Sichuan, China

中图分类号: P5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2008)09-1451-08

PAN G T. Thoughts on geoscience methodology—example from structural geology and tectonics. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(9):1451-1458

地质学的形成和发展至少已有 200 多年的历史, 地球科学的研究和方法也至少有 200 多年的历史了。地质学理论和地质学方法论一直是融于一体的, 有建树的地质学家同时又是一个思维创新的地质学方法论学家。他们用哲理化的语言留下的地质学专著, 如赫顿的《地球的理论》(1795)、莱伊尔的《地质学原理》(1830)、居维叶的《地球表面的革命》(1826)等, 奠定了地质学的基础, 也是地质学方法论的基础。直到 20 世纪中期, 1963 年美国地质学会 75 周年纪念大会以“地质哲学”为主题在会前撰写出版了第一本综合性的地质哲学著作《地质学的结构》, 才开始了有组织的系统的地质哲学研究活动。尽管不同学者对地质学的范畴归类认知不同, 但是通常地质学家强调地质学是一门历史的科学, 区别于物理学和化学, 其目的是重建地球史, 重塑地球物质运动的特殊地质事件的时间-空间序列, 探求地球变化(如岩石圈运动)的内在规律性。地质学也是自然哲学的一部分, 主要涉及对地球上发生的变革过程及变化原理的理解。而从社会学的角度看, 地质学又是一门应用科学, 主要用来为社会发展服务, 致力于解决资源能源和环境保障。

地球科学及其各门专业学科的研究方法理论很多, 我们在长期的地质调查研究实践中, 深感二元论与三元论、比较构造地质学方法和时空结构分析方法的重要性。

1 地质科学中的二元论与三元论

西方思想的两分法和自然的二元论长期深印在我们的文化中, 对立统一的世界观、自然观已成为自然科学和现代地球科学发展的一种重要的思维方法。

均变和灾变是地球演化中 2 类最基本的现象, 它贯穿于地球演化的全过程, 即不规则、不可逆、非线性的交替进行的过程。灾变在地球物质运动的基本过程中是短时序的时空过程, 是认识演化过程的基点; 均变是在突发地质事件所确立的时空结构框架内的调整过程。重大地质事件的构造体制的时空结构也是一种突发性的地质构造过程, 是地质演化和发展的重要形式, 是地质过程发展到一定阶段物质能量的再分配。灾变过程是普遍存在的, 小到基本粒子的跃迁, 大到板块的碰撞, 直至宇观的天体、星系的爆发。

收稿日期: 2008-04-25; 修订日期: 2008-08-29

作者简介: 潘桂棠(1941-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事大地构造和区域地质研究。E-mail: cdpnguitang@cgs.gov.cn

地球地质历史的发展是灾变性的动态变革和均变性的稳态调整的对立统一的过程,表现为阶段性和连续性的对立统一。这种阶段性通常由一些巨大的地质构造事件体现出来,全球地壳岩石圈的结构和构造体制,在始新世末、渐新世初发生了重大变革,进入了新的大地构造发展阶段。青藏高原即是与这一阶段地球表面地壳上发生的印度与亚洲大陆强烈碰撞相关的产物。

现今的青藏高原平均海拔达 4500 m,与周边低海拔的地区相比较表现出高与低的统一,高原隆升与周边盆地沉降的耦合。高原上冰天雪地如此之寒冷,然而地热、温泉广布,在高原新构造强烈活动中,炽热与寒冷得以和谐共生。

青藏高原地壳的厚度一般为 60~70 km,约占地球半径 6378 km 的 1%,是地球上地壳厚度最厚的地区,然而其前身却是地壳厚度很薄的特提斯洋。现今的地质构造结构,主要继承了早期弧陆、陆陆碰撞的深层次断裂带及其间相对稳定的陆块和残余岛弧带,条与块相间,紧密相联,相互依存,组成统一的镶嵌构造格局。每一活动带都是地质时期大陆边缘地壳伸展、裂离、扩张(包括弧后扩张)的裂变带,又是晚期汇聚碰撞的场所。裂变带与聚变带的转换耦合深刻地反映着矛盾的事物的相互转化关系。强烈构造运动形成的断裂带既可成为流体的通道,也可表现出障壁的行为。

特提斯洋壳的俯冲消减,导生岛弧造山作用并使大陆边缘增生。高原区的许多俯冲碰撞带,又惊人而神奇的表现出俯冲与仰冲同一物质运动的两个方面。甲板块(陆块)向乙板块(陆块)之下俯冲,但又可见俯冲板块的一部分消减杂岩仰冲到乙板块之上。俯冲盘拗陷形成前陆盆地,仰冲盘隆起形成造山带。

碰撞构造过程可使原始有序叠复的地层被改造成不同时代不同岩石类型的混杂,逆冲-叠置作用可导致地壳的倒转的分层结构,时代很老的基底岩层冲断、叠置于时代新的沉积盖层之上。

碰撞汇聚造山带既包含有挤压收缩的构造,也包含有伸展滑脱的构造。在弧后扩张的区域,既有伸展构造,也有挤压构造发育。

用哲学的语言概括构成事物的矛盾两极的互相转化、对立统一,每一方既包含有自身又包含着对方,二重组合既互相联系、互相依存,又有各自的特征,这应是对事物本质的认识。一分为二是认识事物

性质的哲学方法论。

我们的时代是以多种概念和方法的相互汇合和冲击为特征的时代。不同学科的概念和方法在经历了各自分离发展的道路以后,都在新时期打破了自然科学各门类之间的壁垒,汇聚在一起,表现为不同重要科学分支间的界面扩展,导致诸如基本粒子物理学与宇宙学合流,分子生物学和结晶学的相互渗透,大地构造学和成矿学的融合。就是这种合流、渗透、融合的汇聚作用可能再次导致科学的发展。科学本身正经历着一个理论变革的时期。许多塑造着地球、岩石圈、地壳物质构型的基本过程本来是不可避免的、随机的、复杂的,描述物质系统、过程、行为的基本相互作用的一分为二的二元论,还不足以告诉人们地球、岩石圈、地壳物质运动的全部真实状态。许多自然现象和物质的存在状态、时空结构、作用方式,运用二元论分析方法是概括不了的。

自然界中物质的存在状态、时空结构、作用方式都表现为一分为三的状态、格局和方式。一分为三的三元论是认识事物存在状态的哲学方法论。

物质存在状态从宏观上可分为 3 种:固态、液态和气态。

中国早古时代即流传着九重天、十八层地狱的传说。现代天文学家已确定太阳系有九大行星。而地球内部分层结构传统的三分是地壳、地幔、地核(核幔边界约在 2900 km 处),按圈层结构三分为岩石圈、幔圈和核圈。20 世纪 60 年代以来,地球物理学家已经识别出幔圈分为 B、C、D 三层,核圈又分为外核 E、过渡层 F 和内核 G。对地震波(有体波、面波和自由振动 3 种)的各自震相值走时曲线和地内物质密度、粘度等的深入研究,认为也许地球内部圈层的基本结构可分为 18 层。

地球表面及之上的基本圈层为大气圈、水圈和生物圈。大气圈的密度随高度的增加而减小,高达 800 km。也被气象学家分为 3 层:对流层、平流层和电离层。对流层一般距地表 12 km 左右(在赤道区高为 16~18 km,在两极仅 7~8 km),这是与地质作用过程密切相关的层次。平流层与电离层的“界面”距地表约 85 km。电离层之上为太空逸散、扩散、逃逸的稀薄气体的基本粒子。

水圈中的水随温度的不同以固体、气体和液体 3 种状态分布。固体冰雪分布在极区冰川和高原雪山上,液体水在海洋、江河、湖泊中及地下,气体水在

空中的云、雾中。水循环过程一般包括蒸发、降水和径流 3 个基本环节。河流侵蚀作用塑造地球表面环境通过 3 种方式:下切侵蚀、侧方侵蚀和向源侵蚀。地面流水是塑造大陆地貌地形的最重要的地质营力。重要的有坡面流水、沟谷流水和河流流水 3 类。其流态可分为紊流、层流和环流。一条河流水系大体可分为 3 个部分:支流、干流及河口散流系统。水流的能量主要消耗于侵蚀作用与搬运作用中,而堆积作用是能量平衡过程的一种表现。这 3 种作用中河流地质作用是水圈中最基本的作用。

由大气圈、水圈和岩石圈相互作用塑造而成的青藏高原地貌可三分为北部山原盆地区(即内陆水系分区)、东部平行岭谷山地区(即太平洋水系分布区)和南部高山深谷区(即印度洋水系分布区)。

地球表面有各类矿物质、有空气、有水的地带,在适合的温度、压力、酸碱度条件下就具备适合于生物生存的环境,并在地球长期演化的地质作用过程中出现了生物(有生命的物体),包括植物、动物和微生物三大类。在地质演化过程中许多生物又绝灭。生命演化过程是地质学家最重视的一个研究领域。地球史约 45 亿年,已生存过至少有上亿种生物,现今生存的植物有 40 万种,动物有百万种,微生物至少有 10 多万种。

大自然五彩缤纷,然而自然界的颜色只有 3 种感色单元,即红、绿、蓝“三原色”。3 种一定波长的光波在不同强度和条件下可以合成光谱中的各种色光。红+绿转化为黄色,红+蓝变为品红,再叠加绿色则呈白色。

地球围绕太阳旋转,导致气候分带,从极区到赤道,大致以 60° 、 30° 的纬度划分出寒带、温带和热带。动力气候分 3 类:低纬度气候带(主要受赤道海洋气团、热带海洋气团和热带大陆气团控制)、中纬度气候带(是热带气团和极地气团相互作用的地带)和高纬度气候带(盛行极地气团和冰洋气团)。

时间从地球演化观而言,既是一个基本的哲学范畴,也是一个基本的科学范畴,它是不可逆的钟表时间。地质历史的时间通常以“万年”为单位。而且被三分为太古宙(25 亿年以前)、元古宙(25~5.4 亿年)和显生宙(5.4 亿年以来)。显生宙三分为古生代(540~250 百万年)、中生代(250~65 百万年)和新生代(65 百万年以来)。早古生代三分为寒武纪、奥陶纪和志留纪;晚古生代三分为泥盆纪、石炭

纪和二叠纪;中生代三分为三叠纪、侏罗纪和白垩纪;新生代三分为古近纪、新近纪和第四纪。第四纪也可称为人类纪(248 万年)。地质系统的内部时间是随着地质体(层序系统、构造单元、岩浆体等)系统的复杂程度而演变的,本质上不同于从钟表上读出的内部时间。它与地质过程的某种物态、相态、位态相联系,是认知地质体地质作用行为与外部环境相互作用的一种不可逆的过程。地质学家之所以能够认识地质演化过程,就是因为有对时间的不可逆性和方向性的认知。

关于板块构造学说引发的现代地学革命的基本情况,从主导性地位的科学观念的更替、思想转换的标志、概念要素的变化、概念结构的重组、语言表达等方面已做过详细的论证^[1]。板块构造学说经过 40 多年的科学实践和检验,已被证明是一个高度成功的理论,它涉及面广、有相当大的解释力和预见力,并且具有高度的简单性。它成功地解释了当今全球三大洋:太平洋、大西洋和印度洋的海底扩张的状态、年代、方式和洋底构造形态的成因。展望整个地质学领域,几乎不可能不为板块构造学说提出的诸如造山作用、岩浆作用、变质作用、沉积盆地分析、金属矿的形成、海平面升降变化、古地理重建和古生物、古气候等问题带来的新见解留下深刻的印象。我们如今已趋于在比旧的“固定论”时代更高的理解水平上进行地质调查研究工作^[2],但不能否定在板块构造学说面前还存在着一系列不确定性的问题。在大陆地质的研究中,还有许多值得探索的领域。

厘定了三大类板块构造边界:洋中脊、俯冲带(包括碰撞缝合带)和转换断层。碰撞带可分为弧弧碰撞带、弧陆碰撞带和陆陆碰撞带。

已识别出岛弧的不同类型,按大地构造环境可分出陆缘弧、离陆岛弧和洋内弧,按成因可分为张性弧、压性弧和中性弧,按作用方式可分为残留弧、前缘弧和增生弧。与岛弧相应的盆地可分出弧前盆地、弧间盆地和弧后盆地。

由洋壳消减保存在大陆造山带中的蛇绿岩是变形橄榄岩-堆晶岩、块状辉长岩-岩墙群和枕状玄武岩三位一体的组合。组成混杂岩的最基本的三要素是基质、构造-地层岩块和其间的剪切带。碰撞造山带的研究重要的是研究地质体的变形、变质和变位。在大陆地质、大地构造研究中,一级构造单元分为造山带、稳定陆块(盖层-基底)和蛇绿混杂岩或俯冲

碰撞结合带。中国大陆地质构造格局和现今大地构造时空结构的形成,是古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域地球动力学相互作用的结果。

地壳变形体制分为挤压收缩、伸展扩张和平移剪切三大类,有三维应变的压、张、扭和大小尺度的逆冲、滑脱、走滑的构造变形样式。李四光创立的地质力学,其构造体系分为三类:纬向、经向和旋扭构造体系。地壳中的岩石类型分为沉积岩、岩浆岩和变质岩三大类。地层层序中常见到造山角度不整合、伸展不整合和平行不整合。

自然界和社会领域都存在着大量的偶然、随机和无序现象,一分为三的三元论只是力图从大量的偶然事件中去寻求必然的存在状态的概率,以及一个系统的不断分化的未来状态的线性因果链。我们所观察到的各种成因类型的地质记录和当今地球科学理论板块构造学说所研究的地质事件,都是在一个复杂的但并不随机的系统中产生的混沌行为,并不是非此即彼的二元论。而很久以来所研究的事物只是两类极端的情况,仅是决定性的有序现象。思维和认识方法方面的突破,为探索科学理论的创新而找到一把好钥匙提供了重要的条件。

2 比较构造地质学方法论

中国地质调查、矿产资源评价和地质研究工作,经过长期的积累,已经取得了许多丰富的、宝贵的新资料,通过整理这些资料出版的一系列有关的地质成果,已经引起了国内外学者的高度评价和广泛关注。中国的地质研究程度已有了较大程度的提高,对中国地质构造特征和岩石圈的形成、演化有了进一步的认识和理解。人们已非常成功地利用板块构造模型解释了大洋岩石圈、大洋与大陆边缘的形成过程,探讨了大陆地质特别是造山带的形成演化。一向被认为是认识全球地质构造窗口的青藏高原的神秘面纱正在逐步揭开。

当前值得关心的问题是,面对新出现的资料,用什么样的地学观点来总结、归纳才能比较客观地反映中国大陆地质的实际?板块构造学说中的各种学术观点和概念在中国大陆地质实践的应用中,哪些是取得了较大成功的,又发现了什么样的难点?我们根据关于青藏高原的长期地质实践,以板块构造学说为基础,利用形成洋陆转换多岛弧盆系构造的观点,解释以青藏高原的形成演化和矿产资源预测评

价为中心的地质问题。科学的本质在于不断地探索,人们要正确地认识事物,总要从实际出发,从分析客观的地质事实出发,而不能从概念和原则出发。地质科学研究没有人为的禁区,也没有顶峰,我们既要继承已有各种学说的合理部分,同时又不能囿于传统观念,正如许多年前李四光所说的“不要为已成学说所压倒”。任何理论的出现都与以当时所获得的实际地质新知为基础的综合归纳分不开。

学术观点之争往往更多地表现地质界的“上层”,而且多表现在各种学术会议上,各谈各的看法和见解,而实际上没有真正的争鸣和交锋。应用某些理论进行本部门、本地区实际地质调查研究工作的实践者,在各种学术观点林立的局面中,更多的并不持门户之见。他们在自己的实践中,敢于淘汰、扬弃那些不符合地质事实的理论。没有一定的观点而去从事实际的地质调查研究工作是不可能的,重要的是,当我们进行地调填图和研究某专题时,不能无视持不同观点的同事所发现的地质事实。认识事物的“尺度”、“角度”是有质和量的度规,不同的度规就会有不同的认识。一定的事物具有不同的侧面,其中每个侧面都可以成为认识的对象。一枚硬币,你说是扁的,他说是圆的,另一位说是有图案花纹的,这都是正确的判定,只是受到认识角度的约束。处在同一角度面对同一侧面,真理才会是一个。而站在不同的角度,针对不同的侧面,对立的见解可能都是对的。在科学问题上,用特定的度规视角来研究,以自己所持的学术观点为基础,获得关于某一问题的新证据,做出对某一专题的概括性解释。对这种证据和解释,应该让同行们,甚至持不同观点的同行去评价其内在的价值,以期更全面、客观地认识地质问题,这就涉及到比较构造地质学(或称比较大地构造学)方法论的问题。

有比较才能有鉴别,有比较才能开拓我们的思路,才能提高我们分析问题的能力。所谓的比较构造地质学,包括3个方面的含义:一方面是将现今不同学术观点的大地构造学说加以比较,吸取各家所长;另一方面是将三维空间上各个大地构造单元、各构造带和各种构造地质事件加以比较,从中找出共同性、普遍性和差异性;第3个方面,在时间上将研究区地质构造的形成演化放在全球构造的背景上,与过去或现代正在发生的地质作用所形成的地质构造进行比较(即将今论古的方法),如将地史中青藏高

原地质构造的形成演化与现代东南亚多岛弧盆系的形成演化进行比较构造地质学研究,以加深理解。当我们只了解和观察一个地区、一个地质事件时,我们的视野就会受到限制,思路就容易僵化。比较构造地质学的方法论是一种宏观考察地质构造的方法,它不但要求从物质组成的角度去考察地壳运动,而且还要求从物质结构的角度考察地壳运动,从而克服地质构造研究中由局部的、区域性研究所带来的狭隘性,把所研究的个别地区的地质构造事件纳入更广泛的区域,以至全球的地质构造框架之中,为全面的综合研究提供基础和前提。比较构造地质研究不但包含了地学界不同学术观点之间长期争论不休的问题,即地壳运动以垂直运动为主还是以水平运动为主,地球是单向膨胀还是单向收缩,还是热胀冷缩(总的趋势是热膨胀),而且还包含了对全球性的不同历史时期发生的地质构造事件的比较研究,是把某些同类的或者某些相互联系的事件归为一体,从四维时空条件下加以观察、对比、分析和研究,从中发掘出各个地质事件的个性和它们在地壳构造运动中的共性。

今天展现在我们面前的中国大陆的各种地质构造现象,均经历了漫长的地质演化历程,在空间上形成了不同部位、不同深度、彼此之间既相互独立又相互联系的有机的统一整体;各时代的沉积地层在垂向上以其特定的地层层序律表现出时代上的有序性,不同期次的火山岩浆活动有其先后的侵位年代格架,不同地质体的叠覆现象显示了它们在时空上的相关性。相对于地球自转轴有规律定向的构造活动带对于扩张盆地及相应产物(如深海沉积岩系、蛇绿岩等)蛇绿混杂带的继承性。表层的物质运动和壳幔深层次物质运动均表现出特定的运动型式,水平运动、垂直运动和涡旋运动是壳幔物质运动的三大表现形式。地球结构纵向上的圈层分异结构、叠置和横向上的拆离滑脱,斜向上的逆冲、剪切旋扭显示了中国大陆各大构造域间总体的垂直运动、水平运动和涡旋运动的动态统一性。

面对中国独特的青藏高原和东部几大稳定的陆块(可谓地台)及其壮观的活动大陆边缘岛弧系,比较原有的学术观点及其对地质构造的形成演化问题的认识,取长补短,互相渗透,从已发现的大量地质事实出发,在新的历史条件下,提炼出一种能够被广为接受的地质发展演化的理论体系,并非是不可能的。

揭示地壳的演化规律与地学的发展规律,一直是许多地质学家,尤其是大地构造学家毕生追求和探索的重大问题。一般来说,自板块构造学说问世以来,原有的许多学派的地质学家,面对海洋地质、深部地质研究中揭示出的大量地质事实,在某种程度上都承认板块构造对原有学派起了较大的冲击作用,把板块构造理论运用于槽台说,以解释地槽地台的时空关系及其成因。板块构造与多旋回学说的结合能较合理地解释多旋回的动力机制,认为板块构造的发展也是长期的多旋回的,并赋予构造旋回以新的内涵^[3-5]。板块构造理论应用于地洼说的研究表明,所谓中国东南部的地洼区,在空间上,越靠近三大板块的结合地带地台活动越强烈;在时间上,无论是地台活化还是现代 3 个大洋的扩张,主要活动均开始于侏罗纪,构造活动的成因也相似,均被解释为来自地球内部上地幔软流层物质的运动,认为板块运动控制地台活化,而地台的活化则是板块运动的一种体现,地台活化和板块运动两者具有密切的联系^[6]。断块学派的学者认为,板块学说是活动论学派在当代的一个代表学说,它以相当有力的科学论证使大陆漂移的思想得到复苏,并使人们对地槽、地台、造山带等老概念有了新的更为合理的认识。断块学说与板块学说的结合,可以使陆地资料与海洋资料、地质资料与地球物理资料、动力学与运动学的研究结合起来,对于全面认识大地构造和地球动力学问题是十分有益的^[7-8]。运用板块构造学说研究中国主要山脉的构造发展,得出比较合理的分析,可以为各有关地区的找矿方向提供新的建议^[9]。板块学说认为,经典的板块构造说描述构造作用过于简略,而实际上构造圈的结构及其发育过程要复杂得多,当从全球规模的研究转向区域性大陆地质研究时更是如此。构造作用的一系列特点最初并未包括在板块构造说的研究范围之内。当前,全球地质界大体都以板块构造观作为讨论问题的“共同语言”。板块构造登陆并不宣告该学说的消亡,而是成功地展现了新征途的开始。在今后深入研究板块构造的过程中会出现更全面、更完善的有关地球动力学和演化的地球系统科学理论,这种理论除了考虑地幔对流之外,还将考虑地球自转、地球体积脉动变化所起的作用,以及球内各层圈的相互作用。

长期以来,地学界的学派纷争分歧点的关键在于立论的基点,由此决定了不同学术观点的思想体

系发展历史并不完全相同,认识理解地壳构造问题的方式也存在差别。不同的学术观点代表着不同的自然科学观和方法论,也都是以一定的地质事实为依据而立论的,同时在长期的实践中有的已被扬弃,有的被修正,有的很难被全面否定,这表明它们都有一定的道理。在地学萌芽发展时期,激烈的水成论与火成论之争,表面上似乎最终以水成论的失败而告终,但谁又能否定现代沉积学的发展又不是以水成论为基础的呢?曾经被遗忘,甚至被认为是谬论的,如“地球是一个悬在宇宙空间的旋转着的球体的观念”曾经得不到任何支持,但随着时间的推移这种推论现在却成了真理。我们认为现今存在的各种学术观点至少都从事物的某一侧面去认识地壳运动的基本规律,因而在某种程度上具有一定的客观性和真实性。只要加强不同学术观点之间的相互联系、相互交流和求同存异,最终就能达到殊途同归到地球系统科学的效果。

3 时空结构分析方法

在边界过程与造山作用之间的因果关系的研究实践中,不同学者提出了各种造山带的演化模式,例如青藏高原是“由一系列外来地体和缝合带组构成的复合地体拼合体”、是“冈瓦纳大陆古板块边缘裂离陆块在不同时期的汇聚镶嵌系统”、是一部“沟-弧-盆构造体系的发育史”、是“复合碰撞山链”等等。其中不乏有真知灼见和真正活动论方面的论断,然而,包括笔者在内,曾经有一种将板块构造的活动论重新纳入传统旋回的固定论的倾向,突出表现为海洋总是在同一位置上按照一定的节律张开-闭合,或简单地套用沟-弧-盆演化模式,或者固守着地体漂移拼合的模式。实际地质事实的进一步发现和深入研究表明,这是一种十分无益的倾向。

地质学是一门特殊的时空科学,它考察着充满了生命的空间,它探索着依次实现的时间。时间和空间是物质运动的存在形式。地质构造信息同时具有空间和时间的量纲,地壳物质最基本的属性是运动,运动又总是以一维时间和三维空间为条件的,大陆块或造山带的大地构造演化作为特殊的地壳物质运动过程,自始至终都有其特定的时空结构。历史的东西,历史地形成着,有规律地发展着,又历史地消亡着,转化为另一种时空结构形式。造山带地壳物质的这一运动过程,通过由一系列岩石建造单元组成

的地质体的组合关系来体现。造山带的形成及其早期的洋-陆相互作用的演化信息,无论是物质组成和体积,还是结构型式都在不断地变化着,表现为地壳构造运动的“不稳定性、不可逆性”和“结构的耗散性”。

板块构造活动造成的地壳结构型式、构造体制和动力学机制是随地史阶段的发展而变化的,现今所见的地壳表层的结构型式和组合系统是构造同时性和历时性的综合图像,构造动力作用在特定时期发生,形成特定的时空结构型式,必将改造前一时期形成的时空构造格局,并将地壳切割成一些块段,使它们或裂离,或汇聚,或斜向滑移,改组成大小不等的地壳构造基体群。这一转化过程既通过岩浆侵入、火山喷发、盆地沉积、盆地沉降、高地隆升剥蚀等事件来体现,也通过地质体的变位、变形、变质和各种事件群形成的大地构造相的相互之间的组合关系来体现。

大地构造学或当今的板块构造学,实质即是在一定构造阶段和大地构造环境中形成的各个不同尺度、不同层次、不同岩石建造组合的构造地层地质体(称之为构造单元)之间的相互关系学。

构造单元(包括板块、陆块、地块、岛弧、盆地、碰撞结合带等)的多样性、差异性、不连续性和密度不均一性,导致整个岩石圈构造系统内隆起高地与沉降盆地的协同变革关系、地壳厚-薄的转换变异关系、扩张和汇聚的逆反关系、构造条块相间的依存关系、构造侵蚀消减和大陆增生以及洋壳新生和俯冲的同步运动关系等一系列无穷的变化,使造山带系统长期处于一种动荡的、急剧变革的、不稳定的构造环境中。从控制论的角度看,正是这一不稳定的体系在其自身演化的过程中支配和控制着造山带的演化。

以大地构造相时空结构分析的构造关系学作为立论基础的造山带或大陆块的形成演化模式,是一种演化时间轴上出现的物质运动状态的有序性或畸变性,并与系统内构造单元的变化过程相对应,反映出大地构造演化过程中的构造体制是呈连续渐进的序列状态或者是呈现不均衡突变的序列状态进行转换的。

以构造单元之间的相互关系为对象的时空结构分析,面临着纵横两重意义的交叉:横的结构学的含义,是根据各构造单元的一种或几种存在方式、方向

和方位建立的动态性差异和应变场的相互作用;纵向演化学的含义,则是构造单元在构造演化过程中的历时性表现。当今青藏高原大地构造格局的存在状态是其同时态和历时态的统一系统,是横向结构在纵向上的发展过程。转换结构学的意义只有在构造演化学的内涵意义中才能获得成立,这一点正如社会学、政治学和经济上常常提到的“山外有山,天外有天”那样。同时同质的存在的历时化是量的积累,具有定向性;不同时不同质的存在的历时化,则无所谓多旋回量的比较,也就无法定量定质地发生、发展和演化。

所以构造单元既反映了地壳组构上大地构造相环境的时空属性,又具有不同构造阶段的时空层次属性。就造山带内地壳岩石建造的组构方式而言,大陆地质中的构造单元大致可以分为洋壳消滅的增生杂岩带、不同基底的岛弧造山带和刚性陆壳块体(含有序地层的沉积盆地)。就构造单元的运动方式而言,不外乎如马杏垣^[10]归纳的“升、降、伸、缩、斜、旋、滑、剪”。我们将大地构造演化过程中的一次主导性地质事件所产生的构造单元的组构方式和运动型式的组合称为构造体制,而主导性事件产生的构造体制所涉及的三维空间则可称为事件构造域。

在整个不同质、不同尺度、不同层次的构造单元及其条块相间的大陆及其造山带构造系统内,条是活动带,然而所有的活动条带中又包含有次级的隐性稳定块;块是稳定区,然而稳定块中常有显性活动带的存在。稳定块具有自身的演化规律和内在的集成信息结构,其中低序次的信息元既可能包含有离散形式的载体,又可能包含高级别的集成信息。

根据构造单元的时空信息结构,吸纳周详等^[11]的研究思路,可以将造山带内具有 1000 km 尺度以上的构造单元大致划分为三大类型:①自稳自组单元,表层地壳中宏观考察可确定的依次石化的、时空有序的地层建造的陆块单元;②自稳重组单元,时间信息流只显示有终端而无始端,空间定态和定位信息的反馈是可以鉴别的,具有明显的构造置换的变质岩、混合岩等基底杂岩单元和火山-岩浆岩建造的岩浆弧;③畸变重组单元,时空信息流为离散型,仅以混杂体系中的环境因子作为参照定时定态,如构造混杂岩中各种不同性质的消滅杂岩组合。

古老地盾或地台通常是相对稳定的、刚性的冷地壳,在漫长的地质历史演化中虽然几经沉浮,或其

边缘带因受大地构造挠动而发生多次重组,但它们始终像中流砥柱一样成为特有的大陆集成体的核心;在长距离的漂移过程中虽有直移、摆动和旋转,但仍然呈稳定或准稳定的大地构造状态,正如周详等^[11]所称的无序时空混沌域,保留着无结构的本质,存在自稳自组的内部构造演化机制。在岩石圈构造演化的过程中,直至现今仍保存有单个直径大于 1000 km 范围的地质体,在大陆漂移过程中总体显示出垂直运动和整体沉降或隆升的运动方式,沉积层序具有渐变性和有序性,较少的热事件,上地壳构造变形以脆性变形为主,在 3 个构造层次上的变形式样是纵向有序,在显生宙 600 Ma 以来全球构造上的作用,更多的是对岩石圈地壳构造变形起相对阻抗的作用。

造山带不论是否经过地球内外动力洋陆转换的强烈综合作用,都保留着有序时空结构的本质,只不过不同时间、不同空间演化和发展的多岛弧盆碰撞造山系,存在着造山型式的多样性而已。

一般来说,由于大陆块在地球表层水平漂移速率的不均一,常可识别出地壳一部分区域出现裂变事件域,而另一部分则出现聚变事件域,在聚变域表现为带状造山链。有意思的是,聚变事件域的造山带是软基底热地壳的大规模裂变、解体(甚至某些子系统的块体消失)和岛弧增生,经构造体制的变革转化而来的。

值得指出的是,在各大陆漂移的过程中,大陆边缘的裂解和汇聚都不是正向纯粹的裂解或汇聚,都会有漂移速率的不均一,均存在转换扭动机制的叠加,横断山晚古生代时的裂解构造体制和三叠纪以后的走滑汇聚体制都叠加有转换扭动机制。因此,在对横断山造山带的板块构造分析研究中,最不能忽视的因素应当是转换旋扭机制。从这一点来看,李四光将横断山带归入扭动构造系统仍然是一个值得深思的课题。

经刘志刚先生同意,下面引述他对“时空结构分析”的认识。“时空结构分析”是大地构造研究的基本内容与方法。就大地构造研究的方法学而言,将其“归于从属性的”地位,意指在理论体系上它还难以独立构成系统的、专属于某种大地构造模型及其方法学的学科思想体系。例如:在历史大地构造学、比较大地构造学等诸多领域中,该方法作为常规的综合性方法普遍得以运用,并无专门的指向。因此,它

是一门跨方法学的“通学”,也是方法学的基础要素。“时空结构分析”把关注点集中放在细致地刻画构造地质体的演化过程及其作用方式上,将构造地质体的时空格架及其交切、转换、复合、解耦等作为主要的研究方向和内容,并在“方法学”上不拘泥于固有模型的约束,融合地球科学的各种有效方法,从实证的角度给出更加符合客观实际的新观察,继而在“比较大地构造学”的视野中不断完善和挑战固有的模式。然而,它的出发点并不仅限于模式本身,而更加专注于多元多尺度的重构要素,建立彼此间的新关联,从各异的现存模式中汲取精华,挖掘本质因素,进而统一构建和诠释构造体的演化程式及其成因机制。在这个意义上,“比较大地构造学”是形而上的,而“时空结构分析”是实用主义的。前者处在理论(模式)更新的前夜,后者比前者更具有“方法学”的价值。从上述层面去认知,“比较大地构造学”是表,“时空结构分析”才是本,因为“时空结构分析”是建立在脚踏实地和从实践中来的基础上的“方法学”(如果可以这样称作)。事实上,理论大地构造学也好,比较大地构造学也罢,它们通常给出的是特定或极端条件和环境中的模式,尽管具有一定的理论指导意义,但却不可忽视地质过程的差异性和新生性。因此,我们又可将“时空结构分析”理解为,系打开“趋同性(相似性)”与“差异性(新生性)”之门的一把现实的金钥匙。

4 结 语

本文是基于区域地质调查、构造地质学研究实践,在地质哲学的视野中,企盼对地质科学的创新思维 and 一般方法论进行探讨的初次尝试。二重组合的二元论或“一分为二”是认识事物性质的方法论,“一分为三”的三元论是认识事物存在状态及其复杂性的方法论,是地学哲学层面的方法论。比较构造地质

学或比较大地构造学是宏观考察地质构造、认识地壳构造演化规律抑或基本的有效的常用的方法论。时空结构分析是地球科学内各专业学科研究的基本内容和方法,就大地构造研究的方法论而言,大地构造相的时空结构分析,无疑是探讨造山带或陆块区结构组成演化规律的一把实用的钥匙。

限于对现代自然科学哲学的理论体系及其前沿方向不甚了解,本文不是也不能定位于将客观事物的实证性与认识论上的思辩性有机结合,不是纯粹科学哲学内涵的论文,只是笔者长期野外地质实践中的“思想断片”。望能引发同行讨论,不吝赐教、批评指正。

致谢:在成文过程中,肖庆辉、陆松年、施俊法研究员提出了宝贵的修改意见,使笔者受益匪浅,在此致以衷心的感谢!

参考文献:

- [1]诸大建.现代地学革命与科学革命理论[J].自然辩证法通讯,1994,(2):14-20.
- [2]Hallam A. Great geological controversies[M]. Oxford University Press. 1983:162-171.
- [3]黄汲清.中国大地构造基本轮廓[J].地质学报,1977,(2):117-135.
- [4]任纪舜,姜春发,张正坤,等.中国大地构造及其演化——1:400 万中国大地构造图简要说明[M].北京:科学出版社,1980:1-124.
- [5]任纪舜,王作勋,陈炳蔚,等.从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图及简要说明[M].北京:地质出版社,1999:1-50.
- [6]陈国达.地洼学说及其实践意义[C]//国际交流地质学术论文集.北京:地质出版社,1980.
- [7]张文佑,叶洪,钟嘉猷.“断块”与“板块”[J].中国科学(A 辑),1978,(2):195-214.
- [8]张文佑.断块构造导论[M].北京:石油工业出版社,1984:385.
- [9]李春昱.用板块构造学说对中国部分地区构造发展的分析[J].地球物理学报,1975,18(1):52-76.
- [10]马杏垣.解析构造学刍议[J].地球科学,1983,3:1-9.
- [11]周祥,曹佑功.西藏板块构造—建造图(1:1500000)说明书[M].北京:地质出版社,1988:1-32.