

从柯石英和“大陆深俯冲”到全球构造运动 原动力的思考

池顺良

中国科学院计算地球动力学重点实验室,北京,100049

内容提要:大陆深俯冲与快速折返假说提出20年来一直存在争论。大陆深俯冲中需要地幔对流拖拽,但存在大陆根的事实和30亿年中在上地幔固定深度缓慢生长的大颗粒金刚石实物证据,表明地幔并未发生大规模对流。目前大地构造学的主流理论本质上是“热机类理论”,地幔热对流是这部热机的驱动原动力。对地幔对流的质疑表明,摆脱“热机类理论”的束缚,开展以地球自转为根本能源和动力的“转动机类理论”的探讨,将从驱动原动力上为大地构造学研究开辟道路。笔者认为:根据能量守恒定律,潮汐作用是转动机类理论中地球转动能转化为构造运动的原动力。全球构造运动是潮汐引起壳幔层圈间相互作用的结果。

关键词:大陆深俯冲;柯石英;地幔对流;大陆根;大颗粒金刚石;转动机类理论

柯斯合成出石英第一个高压相柯石英后,许多学者在静高压装置中完成了大量有关石英的高压相变实验,做出了石英的压力—温度相图。石英—柯石英,柯石英—斯石英相变压力和温度呈线性关系,常被用作高压腔体压力校正的标准。由此带给人们一个印象,石英—柯石英相变压力在一定温度下是一定的。而忽视了这是静高压装置中“平衡相变”条件下的相图,并不具有普遍性。

当前超高压实验技术在压力腔中引入差应力和流变等非平衡相变因素仍在发展中。对于各种非平衡相变情况石英相图的精确知识还得等待实验技术的进步。但是,对某些非静压情况下的石英相变压力已提出低于静压相变的压力数据(武红岭等,2003;周永胜等,2003;苏文辉等,2005;罗扬等,2007)。

合成金刚石工业发展出了在较低压力温度下合成金刚石的技术。加入触媒,能使金刚石合成温度和压力降低。而化学气相沉积则可以在常压下生长出金刚石薄膜!(沈亮等,2005)

高压物理是凝聚态物理学的分支。“凝聚态物理学是关于自由度数目巨大的系统的物理学,它向人们提出了多方面的智力挑战。探索概念上、数学上及实验上切实可行的途径,以便找出这类系统的本质特征,这需要高度的创造性,而数学上严格处理这类系统则是不可能的”(物理学评述委员会,

1994)。认识凝聚态物质更普遍的非平衡相变特性,还得依靠非静高压实验技术发展。

苏文辉(2011)指出:提不出俯冲与折返的驱动原动力是“大陆深俯冲和快折返”假说的致命要害。“从物理学的角度,研究一个体系的动力学时,求解原动力和驱动力是首要的问题。寻找板块俯冲和折返驱动力的来源和形式,对检验地球板块深俯冲快折返假说的正确性具有重要的意义。”“大陆深俯冲和快折返”假说将地幔对流拖拽作为陆壳俯冲驱动原动力。“地幔对流”也是近代大地构造学派解释构造运动依赖的主要驱动原动力。但是,“地幔对流”仍是地球科学中的一个“猜想”。而存在大陆根的观测事实和在三十多亿年中在地幔固定深度缓慢生长的大颗粒金刚石实物证据,表明地幔并未对流。“大陆深俯冲”缺乏驱动原动力,就不可能发生。

目前大地构造学主流理论本质上是一种“热动力机类理论”,“地幔热对流”是这部热机的驱动原动力。地幔对流不存在的证据,提醒我们应该摆脱“热机理论”框架束缚,开展以地球自转为根本能源和动力的“转动机类理论”的探索,将从驱动原动力上为大地构造学研究开辟新路。

1 地幔对流说在地球科学中的地位

大陆物质密度比地幔小,由于阿基米德原理制约陆壳不可能沉入地幔中。在大陆深俯冲数值模拟

中,大陆条块要被洋壳拽着,对流的地幔裹着洋壳和陆壳往地幔深处拽(徐备等,2005)。由此看来,没有地幔对流就没有大陆深俯冲。

滕吉文等(2009)指出:“自板块构造理论问世后,理解板块运动、洋壳深部物质上涌、陆缘地域的俯冲、消减都以地幔对流来解释其运动的力源,故地幔动力学研究一直是地球科学家们所关注的重要方向。尽管地幔对流可以解释很多地球科学中的现象,但也应当看到,它毕竟仍是一个‘猜想’,这便表明,当今的一切地学模型都是建立在对地幔对流假设模型的基础之上,即十分缺乏观测数据的检验。尽管大量的地球物理观测、地震层析成像、地球化学等新的观测数据和大规模计算机数值模拟不断涌现出不同的模型或认识,但解并不唯一,所给定的模型中往往包括了许多未知数。”

简言之,“地幔对流”在地球科学中是既关键又没有被确证的重要角色,也在“大陆深俯冲”疑谜中担当动力源。地幔对流假说提出七十多年来,既未被证实也未被证伪。提出任何能证实或证伪“地幔对流”的证据,对地球科学都有重要意义。

以“地幔对流”为根本力源的“板块大地构造学说”是一种“热动力机”类理论。以“地幔对流”为驱动机制的这部热机需要对流体下方有放射性热源加热。而地热学等研究表明,地幔下方的放射性元素极其稀少,不足以为这部热机提供热量。

2 放射性元素集中于地表不能驱动地幔对流

“地幔对流—板块构造说”是以地球内部热为根本动力的,对地球内部热源、放射性元素分布规律的研究成为地球动力学研究的重要问题。

地热学研究指出:热流观测资料,只有放射性热源浓度随深度指数衰减,才能得到解释(Buntbarth, 1988)。也就是说地球上的放射性元素实际上都集中在地壳中了。

放射性元素在地球中的密度随深度指数衰减,是地球排气作用的结果(杜乐天,1998,2000)。

地球由太阳气体尘埃星云物质吸积形成,星云中富含氢元素,地核与地幔中储存有巨量氢。在极高的压力和温度下,氢以超临界流体形态存在。地球内部巨大的压力和地表的零压,形成了从地心指向地表的强大压差场。在压差驱动下氢流向地外辐射,穿透地核和地幔时把分散的活性很大的阳离子萃取出来并携带向上,其中就包括钾(^{40}K)、铀

(^{238}U 、 ^{235}U)钍(^{232}Th)等放射性元素。这些元素被氢元素带向地表扩散。这一过程可以用扩散方程描述。地表是扩散终点,所以放射性元素的含量从地表向深部以指数率迅速衰减(池顺良,2003)。

设想中的地球热动力机的燃烧室竟然在锅炉的上方而不在下方。这是一台完全不能提供动力的热机!

下述观测事实和实物证据则表明:板块说需要的那种大规模“地幔对流”事实上并不存在。

3 观测与实物证据揭示地幔并不对流

3.1 各大洋洋底玄武岩同位素成分的系统差异

上世纪70年代“国际上地幔计划”的主要成果是发现了上地幔的不均一性。各大洋洋岛玄武岩和洋中脊玄武岩成分存在系统差异,尤其是相距遥远的印度洋和北冰洋之间的成分差异更大(郑永飞,1999)。

地球是在太阳星云盘中类地行星形成区某一宽度范围内由星子随机吸积形成的,星子成分并不均一。地球由不同成分星子吸积而成,造成了各大洋地幔岩成分的差别(欧阳自远等,1994;欧阳自远等,2002)。

成矿学家总结世界大型及超大型矿床和矿集区的成因特征时指出,超大型矿床往往具有点型分布,独一无二等特征。说明超大型矿床形成与地球形成时物质不均匀分布有关,是原始不均一的地壳、地幔形成时,地球化学异常高度聚集的结果(李晓波,1993;韩吟文,1993;路凤香,1993)。

地球形成四十多亿年后,仍然保留着各地元素成分不均一性,说明没有发生过能够使地幔成分均一化的大尺度搅动,不支持地幔曾经对流的说法。

3.2 地震层析成像发现“大陆根”,限制了地幔对流和大陆漂移

板块说建立后,地震学家发展三维地震层析成像技术,希望找到地幔对流的观测证据,却发现了“大陆根”现象。波速扰动大于2%的高速体位于各大陆块下方,深达400 km以上(Grand, 1987)。

高波速大陆根在各个地震层析研究组发表的层析图上都能看到。加拿大—格陵兰地盾、西伯利亚—北欧地盾、西澳大利亚地盾、南美地盾、非洲地盾都存在高波速大陆深地幔根。

大陆的“深根”成了所有要求大陆发生运动假说的致命障碍。这就是为什么在发现大陆地幔根现象后不久,Lowman就提出了‘大陆固定不动的板块

说'的原因(Lowman, 1985)。

大陆存在地幔根使得大陆根下地幔,以150~200km深处软流圈底部为上界的地幔对流设想被否定。

3.3 金刚石的生长史说明 3000 Ma 以来地幔中无大规模对流

天然金刚石,特别是大颗粒金刚石($\geq 2\text{mm}$)主要产在金伯利岩和钾镁煌斑岩中。多年来人们一直认为金刚石是金伯利岩中的斑晶。1977年,Kramers对南非Finsch和Premier矿山金刚石中的硫化物包裹体的年龄测定,获得了 $>2000\text{Ma}$ 的模式年龄,而金伯利岩侵位于90Ma。1984年,Richardson测定了Kimberley和Finsch金刚石中石榴子石包裹体的Rb-Sr和Sm-Nd模式年龄,均为古太古代(3200~3300Ma)结晶产物,它们的寄主岩侵位于中生代。这些成果使人们认识到金刚石是生长在岩石圈地幔和软流圈地幔中的。金刚石属古老地幔结晶成因,而岩浆只起了运载工具作用的观点获得了有力的证据,并得到了广泛的认可(Richardson, et al. 1984; Mitchell, 1991; 路凤香等, 1998)。

因此,金刚石作为来自上地幔源的捕虏体,开始形成于古上地幔环境,并长期位于地幔环境中生长。金刚石在数十亿年长期生长过程中捕获的包裹体中包含了关于地幔环境条件的丰富信息。金刚石是最硬的矿物,加上金刚石本身的化学惰性,是携带地幔流体和包裹体成分到地球表层最好的矿物和信使,是提取地幔长期历史信息的最佳信息载体。

通常,金刚石晶体中存在环带结构。这是由于金刚石在其生长过程中环境 $P-T-f_{\text{O}_2}$ (压力-温度-氧逸度)、碳饱和程度等的改变,导致杂质和晶体缺陷在晶体中的不均匀分布而形成环带构造。金刚石不同环带包裹体中的共生矿物对可用来计算金刚石生长温度及压力的变化。Bulanova用Ellis和Greend地质温度计对Yakutian金刚石不同环带生长的温度进行了推算,结果表明环带从中心到边缘,其形成温度从1250℃下降到1190℃(此数据对地球热演化史研究极具价值)。对有关金刚石硅酸盐包裹体温、压测定表明,大多数金刚石形成于温度1000~1300℃、压力4000~6000 kPa,即150~200 km深度的环境中。少数有可能形成于450 km深处。金刚石流体包裹体中石英子晶的红外吸收光谱表明金刚石微流体包裹体室温下的压力为1.5~2.1 GPa,相当于地幔温度(1000~1300℃)条件下4~7 GPa压力(相当于150~230 km深度)(见肖化云

等, 2001)。

金刚石分布相当广泛。对众多产地天然金刚石生成温压条件及其形成年代的研究,表明大部分金刚石形成于150~230 km深的上地幔中。大颗粒天然金刚石的形成经过了数十亿年时间,在漫长的地质时间中,金刚石中记录的环境温度和压力的变化却很小,说明金刚石是在固定深度的上地幔中经长期生长生成的(见肖化云等, 2001)。

结论是:在这些测试了生长史的金刚石产地,在金刚石生长的数十亿年时间内,其所在的地幔并没有发生对流。

不存在地幔对流,全球大地构造运动原动力来自何处?

4 地球自转能耗散推动大地构造运动

地球是个具有巨大内能并不断与外界交换能量和物质的远离平衡态的开放系统。地球上发生的一次又一次构造运动旋回,就是地球系统在不断消耗某种能量后形成的空间和时间上的有序结构。这种能量耗散必定通过某个物质系统的某种物理运动过程实现。找出这种物理运动过程和耗散的能量源,找到体系运动的原动力和驱动力成为大地构造学、“地球动力学”探索最困难的核心问题。

魏格纳提出“大陆漂移说”,却找不到大陆漂移的原动力。离极力、潮汐力、极移力等都被考虑过但均无法确定(魏格纳, 1964)。由于力的复杂性,直接从力来寻找原动力陷于困境。能量有守恒定律,力没有守恒定律可以依靠——我们试图从耗散能源着手,寻找线索。

数量上能提供大地构造运动的地球内部能源有热能、自转能和重力分异能三种,重力分异能最终又转化为热能和自转能。其他能量数量过小,不够大地构造运动所需,能提供大地构造运动的地球内部能源只有热能和地球自转能两种。由此,地壳运动的动力学理论只有两类:第一类依靠消耗地球内部热为基本能源的“热机类理论”;第二类以消耗地球转动能为基本能源的“转动机类理论”。不同动力导致不同结果:地球自转动力机制必然导致地壳运动强度分布存在明显纬度效应;热机动力机制不会导致纬度效应。

全球地震释放能量的纬度分布特征表明,全球构造运动的确起源于地球自转。两极是自转轴通过的地方,是球面上的“奇点”,地球自转产生的转动离心力、固体潮汐应力在两极地区都为趋近于零的

极小值;转动离心力在赤道地区达到极大值、潮汐应力则在40°中纬度区达到极大值。

图1给出了单位陆地面积地震释放能量纬度分布曲线。这一物理量在南、北半球是对称的,最大值位于南、北纬40°地区,其数值约 $1 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$,位置与潮汐应力极大值区重合。图1表明,两极地区地震活动十分微弱,是地壳运动不活跃区;40°中纬度地区是构造运动活跃区,南北纬40°之间的广大地区为中等活动强度区。

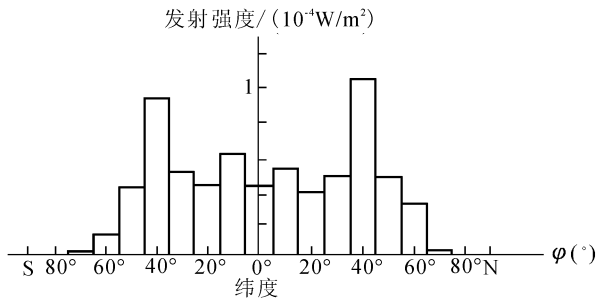


图1 单位陆地面积地震能量发射强度的纬度分布
(池顺良等,1992)

Fig. 1 Latitudinal distribution of seismic energy emission intensity of unit land area (Chi Shunliang, et al., 1992).
地震能量统计了1897年—1980年835个7级以上大地震释放的能量
Statistics of 835 $M \geq 7$ quakes' seismic energy from 1897 to 1980

两极地区缺少地震一直令板块说困惑,而在一个“转动机类型”体系中则是十分自然的。

李四光提出以自转变化离心力为地壳运动驱动力的“地质力学”理论是有过重要影响的“转动机类理论”。

“地质力学”的提出,是中国科学家独立探索全球构造运动的重要尝试。著名力学家王仁等学者被邀请参加研究,帮助寻找地球自转速度变化推动构造运动的力学机制。但力学计算却指出,地球自转变化离心力十分微弱,依靠这一机制不可能产生构造运动。

离心力是地球惯性转动效应,惯性转动不能使地球自转能转化。一个太空中孤立转动的星体,因角动量守恒可以永远转动下去,它的自转能释放不出来。没有能量释放就没有可转换为构造运动的能量。

但李四光没有按照力学家的意见修正理论,“地质力学”最终没有找到地球自转推动大地构造运动的物理作用环节。

地壳运动是一种能量耗散过程,需要的能量如果来自地球转动能的转化,只有地球转动能被消耗,转动能才有可能转化为地壳运动能。唯一能够消耗转动能,减慢地球转速的过程是地球自转受到月亮和太阳的潮汐作用。因而,潮汐作用必定是推动大地构造运动“转动机理论”中必不可少的物理环节。

天文学家最早预见到木卫一上可能有潮汐作用引起的火山爆发。

2001年2月,夏威夷岛上Keck II望远镜(10 m口径具有自适应光学系统)对木卫一进行观察。从2月20日开始的3天里,木卫一火山喷发经历了从开始至高峰的所有阶段。熔岩喷射高达数千米,从火山口流出的熔岩温度达到1200℃,几乎与地球上火山喷发的熔岩温度相同。流出熔岩面积达到1900 km²,比地球上所有喷发火山的总面积还大。

潮汐作用引起石质星体构造运动得到了观测实证。

5 壳—幔相互作用导致莫霍面内波生长为构造运动提供原动力

当我们在大地震现场看到将山体劈裂的大断层延伸至看不到尽头的远方;在高耸的大山上看到几千米高处的地层竟是海中沉积地层组成;我们不禁为大地构造运动动力之巨大而惊讶。

地球自转与潮汐作用是在什么范围的物质系统中通过何种物理机制积累起如此巨大的能量和动力,能将海底沉积了万米厚的地层抬起形成高耸的山脉,将几百千米坚硬的地层剪断引起大地震呢?

地球有构造运动被看成“有生命”的星球。像人有脉搏、呼吸标志着生命活动,我们在地层中装上仪器给地球“把脉”,同样可以摸到地球脉搏。图2是在鹤壁和泰安地震台记录的地球固体潮汐“脉搏”。

潮汐作用是日月引潮天体对地球整体的作用。引潮力沿引潮天体和地球连线将地球拉伸成椭球。随着地球自转,突起的形变峰不断转移,地球就像有生命的蠕虫一样伸缩、变形,巨大的机械能流在地球周身流动,地球的自转动能有转化可能(池顺良等,1992)。

地球具有壳、幔、核圈层结构,形成壳—幔、核—幔及液核—固核间三个清晰的全球性地震波速及物性间断面。这三个界面都存在界面波动,尤以壳—幔界面(莫霍面)上波动起伏幅度最大,达到65 km之巨(曾融生,1984)。莫霍面的波动是两种介质交

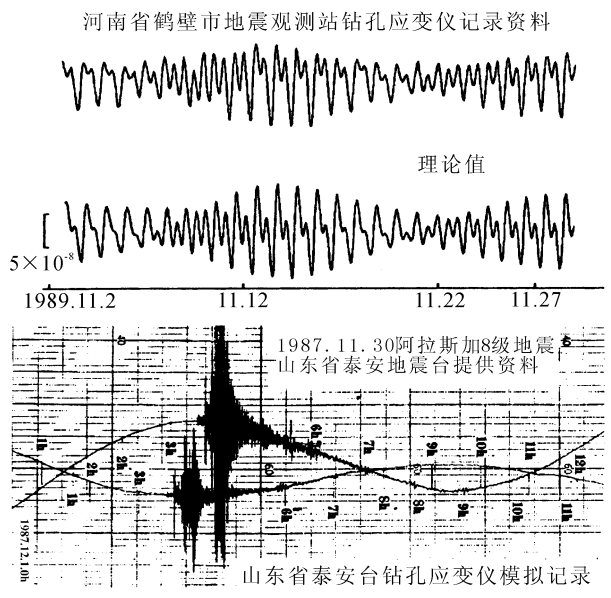


图 2 地球中的潮汐应力、应变记录(据池顺良等,2002)

Fig. 2 Earth's tidal stress and strain records
(after Chi Shunliang et al. ,2002)

记录中经常的最显著的成分是起因于日月引潮力和地球自转的潮汐应力应变。发生大地震时地震应变波叠加在潮汐上的幅度也不小

The most significant component is the tidal strain due to the Sun and the Moon's tidal force and the Earth's rotation. When a mega quake, seismic strain wave superimposed on the tidal wave

界面上的波,这种波动被称作“内波”。

水面波浪是我们熟悉的发生在空气和水体交界面上的内波。“无风不起浪”,空气和水体之间没有相对运动时,水面平静如镜。空气和水体间相对运动,两种介质在界面上发生剪切相互作用,风就对微小起伏的迎风面施压作功,微波就会在水面上生长、发展成波浪。这就是流体力学中的“剪切运动不稳定性”(Tritton,1986):两种介质在交界面上相互的剪切运动引起界面自激波动,导致内波在界面上生长。波浪在风推动下不断向前移动,潮汐的交变性让莫霍面上的内波在原地像驻波似生长。莫霍面内波生长是界面两侧壳、幔物质沿界面发生相向、集体、长期、相互让位、微观蠕动的综合结果(池顺良等,1996)。

潮汐作用在莫霍面上产生交变剪应力和剪应变,潮汐应变的量级在 $10^{-7} \sim 10^{-8}$,潮汐应力的量级在 $1\text{N} / \text{cm}^2$ 。应变和应力的幅度虽然不大,但表明壳、幔圈层间通过莫霍面发生着一日两次交变的水平剪切扭动相互作用。这种扭切相互作用虽然微弱,但亿万年日积月累却不容忽视。条件具备时,地

球上某些宽数十至数百千米,长数百至数千千米的带状或长卵形地区的莫霍面上,“内波”就会发育生长。莫霍面上驻波状内波的生长改变了地壳厚度。在巨大的均衡力作用下,莫霍面隆起处地面沉降;莫霍面凹陷处地面隆起。最后形成莫霍面起伏与地形起伏的镜像对称。

地球表面存在强烈的剥蚀搬运外动力地质作用。隆起区的岩土物质被流水搬运到沉降区沉积(每年将数百亿吨泥沙搬至远处,但其巨大的动力作用却很少被注意)。负荷重分布和地幔浮力又促使剥蚀减荷处地层抬升、沉积加荷处地层沉降。随着莫霍面两侧壳幔物质不断相向迁移、内波持续生长、隆起区岩土物质不断被流水搬运到沉降区沉积,沉降区中可沉积 $10 \sim 20\text{km}$ 厚的沉积地层。

随着沉积地层加厚,地面冷物质沉到地壳深部,莫霍面处物质的粘滞度增加,壳、幔物质相向迁移停顿,内波停止生长。之后,发生驻波运动相位的反向,原先沉降区变成隆升区,万米厚沉积地层被均衡力抬起形成巨大的山脉。

在抬升与沉降交界处,岩层中的剪切应力可达到 $1900\text{N} / \text{cm}^2$ 以上,足以将最坚固的岩层剪断,形成深达莫霍面的大断裂(池顺良,1984)。

处于沉降区深处高温、高压环境,但尚未熔融的沉积地层,由于隆起,上复地层遭受剥蚀,围压大幅降低,沉积地层物质发生范围广大的减压熔融,沉积地层就地重熔形成巨大的花岗岩岩基(池顺良,1977;陈国能,1996;池顺良等,2002)。

由沉积地层重熔形成的酸性岩浆比基性岩浆粘稠得多,这里的火山大多数是爆炸式的喷发。

地层被抬升到数千米的高处就具有了巨大的重力势能。高处的地层向低处推进就会形成推覆构造(朱志澄,1991)。

只要莫霍面上出现内波生长,不借助各种设想中的外力,日常司空见惯的刮风下雨流水剥蚀搬运作用,就能造成断裂构造,伴随发生强烈地震,形成绵延万里的花岗岩岩基和壮观的火山爆发活动。在这幅大地构造运动图集中,我们无须引入“地幔对流”,自然也不需要“大陆深俯冲”。

白文吉等(1985,1993)提出的“盆山运动”概念,强调盆地、山脉形成的统一性,山脉和高原隆升起因于相邻盆地深部地壳物质向山脉下方的集聚。

李德威(1993)、李德威等(2000)提出“大陆层流隆陷构造”,为解释构造运动的成因在地壳深部及莫霍面两侧引入扩大地壳厚度差别的壳、幔物质

相向流动。

在继续深化“地幔对流”研究,寻找板块运动驱动力,发展板块构造学说同时,深入研究地球自转能转化为构造运动驱动力的机制,研究新机制下能够替代板块假说的新全球构造假说,供地球科学家比较和验证,必将有益于我国大地构造学科的昌盛和发展。

6 结语

由柯石英引起的“大陆深俯冲”又一次引起争论。与十多年前以吕古贤、丛柏林为代表的两派地质学家间的争论不同,这次争论发生在“深俯冲”主流派与高压物理学家之间。

争论先从柯石英形成压力开始,以后扩展到折返速率及柯石英保存、变质岩与地幔同位素成分差异、深俯冲与快速折返动力来源等问题。陆壳深俯冲离不开地幔对流拖拽,最终必然牵涉到板块学说本身。

全球构造理论是地学所有学科的根,根出了问题就不得了。板块理论已经被宣传为“20 世纪最伟大的科学发现”,编入中、小学教科书。正因如此,地球科学家们更要认真对待这个学说中的纰漏了。

2006 年 9 月,在地质学界召开的“对当代地球科学理论的质疑与挑战”学术沙龙上,杜乐天对板块理论提出了强烈的批判意见。下面摘自杜乐天的部分发言:“板块理论存在五个缺证、四个矛盾。五个缺证:①证明不了俯冲带的存在;②证明不了地幔对流;③证明不了存在 plume, Hot spots;④证明不了存在只是物理性质意义上产生岩浆作用的纯热流;⑤证明不了存在壳幔循环。四个矛盾:①大洋底不全是玄武岩,存在大量中酸性岩浆岩;②洋底中发现大片残留沉没的古陆;③新近纪以后的青藏急速隆升不再是印度板块的俯冲挤压;④洋壳俯冲挤压不可能导致弧后拉张。中国大陆东部不是弧后拉张。

这里,杜乐天指出了板块说存在严重的“缺证”与“矛盾”。其中一些能招致板块说崩溃。如洋底发现大片残留沉没的古陆,就让海底扩张说无法自圆其说。海底扩张说不成立,洋壳还俯冲吗(更别提陆壳深俯冲了),板块说还剩下什么?

板块主流派对杜乐天提出的这些宝贵的反对意见并未回应或释疑,更未予以批驳,而是不理睬。

纵观地质史,正是魏尔纳与赫顿间水成论和火成论这样的激烈争论推动了地质科学发展。对重大反对意见冷漠甚至不予理睬,让我国地学界失去前

进动力和创新机会。

柯石英、大陆深俯冲论争再次引出地球科学无法回避的构造运动原动力问题。寻找到符合大自然的,支配大地构造运动的动力机制及在此动力机制支配下展开的行星地球地质演化过程的奥秘,才是论争的最终目的。

在科学已经高度分化的时代,很难有一个科学家具备解决这一难题所需要的全部知识。要解决这样一个高度综合性的科学大难题,只有将各方面专家的知识 and 才能有机地综合起来。

文中所述的:地球自转——潮汐作用——壳幔间圈层相互作用——莫霍面内波生长 + 剥蚀搬运外动力地质作用,内外动力共同作用驱动全球大地构造运动的动力机制是否符合地质实际,期待接受地质学家们的检验和验证。

参 考 文 献 / References

- 白文吉,杨经绥. 1985. 论大陆盆—山构造格局、盆地扩张及其形成机制. 长春地质学院学报, (4): 21 ~ 28.
- 白文吉,胡旭峰,杨经绥,周美付. 1993. 山系的形成与板块构造碰撞无关. 地质论评, 39 (2): 111 ~ 116.
- 陈国能. 1996. 原地重熔与元素地球化学场. 北京:地质出版社.
- 池顺良. 1977. 地壳动力源探索. 东北地质, 总 22 期: 16 ~ 26.
- 池顺良. 1984. 地壳中的负荷应力. 地震地质, 6(2): 6 ~ 8.
- 池顺良,骆鸣津. 1992. 固体地球中的潮汐机械能流. 地震学报, 14 (2): 243 ~ 246.
- 池顺良,锤荣融,杨洪之,骆鸣津. 1996. 大地构造和海陆起源的内波假说. 地壳形变与地震, 16(1): 1 ~ 17.
- 池顺良,骆鸣津. 2002. 海陆的起源. 北京:地震出版社, 53 ~ 74.
- 池顺良. 2003. 放射性元素集中于上地壳的原因及其地球动力学意义. 地球科学, 28(1): 17 ~ 19.
- 杜乐天. 1998. 地幔流体与玄武岩及碱性岩浆成因. 地学前缘, 5(3): 145 ~ 157.
- 杜乐天. 2000. 地球排气作用——建立整体地球科学的一条统纲. 地学前缘, 7(2): 381 ~ 390.
- 韩吟文. 1993. 上地幔成分不均一性研究, 见: 肖庆辉, 等. 著. 当代地质科学前沿. 武汉:中国地质大学出版社, 287 ~ 290.
- 罗扬,施旭,贺红亮,赵永红. 2007. 石英高压相变研究进展. 地学前缘, 14(3): 149 ~ 157.
- 李德威. 1993. 大陆构造样式及大陆动力学模式初探. 地球科学进展, 8(5): 88 ~ 92.
- 李德威,纪云龙. 2000. 大陆下地壳层流作用及其大陆动力学意义. 地震地质, 22(1): 89 ~ 96.
- 李晓波. 1993. 成矿作用与地球动力学. 见: 肖庆辉, 等. 著. 当代地质科学前沿. 武汉:中国地质大学出版社, 49 ~ 54.
- 路凤香. 1993. 上地幔的不均一性与岩浆源区. 见: 肖庆辉, 等. 著. 当代地质科学前沿. 武汉:中国地质大学出版社, 290 ~ 299.
- 路凤香,郑建平,陈美华. 1998. 有关金刚石形成条件的讨论. 地学前缘, 5(3): 125 ~ 132.
- 欧阳自远,王世杰,张福勤. 1994. 堆积的地球及其初始不均一性. 地球科学进展, 9(3): 1 ~ 5.
- 欧阳自远,刘建忠,张福勤,王世杰,徐琳. 2002. 行星地球不均一成

因和演化的理论框架初探. 地学前缘, 9(3): 23 ~ 30 .

苏文辉, 刘曙娥, 许大鹏, 王巍然, 姚斌, 郭星原, 刘志国, 钟正. 2005. 一种由 α -石英到柯石英转变的新途径. 自然科学进展, 15(10): 1217 ~ 1222 .

苏文辉. 2011. 远离平衡相边界的柯石英形成机制及板块折返假说的物理机制. 地质论评, 57(4): 457 ~ 472.

Tritton D. 1986. 物理流体力学. 北京: 科学出版社, 270 ~ 274.

沈亮, 丁小平, 李恒. 2005. 人工合成金刚石技术比较. 首都师范大学学报(自然科学版), 26(2): 26 ~ 29.

滕吉文, 白武明, 张中杰, 杨顶辉, 杨辉, 刘财, 韩立国, 张雪梅. 2009. 中国大陆动力学研究导向和思考. 地球物理学进展, 24(6): 1913 ~ 1936.

魏格纳. 1964. 海陆的起源. 北京: 商务印书馆, 159 ~ 170.

武红岭, 池顺良. 2003. 微观结构超压机理与超高压矿物的形成. 岩石学报, 19(4): 739 ~ 744.

物理学评述委员会. 1994. 凝聚态物理学. 北京: 科学出版社, 2.

肖化云, 刘丛强, 黄智龙. 2001. 金刚石包裹体中的古地幔信息. 地球科学进展, 16(2): 244 ~ 250 . 徐备, 张家声, 许鹤华, 张可丰, 方之楚, 单建新, 蔡永恩, 王化宇. 2005. 大陆深俯冲的动力学机制: 观测和模拟结果. 岩石学报, 21(4): 1303 ~ 1310.

Buntebarth G. 1988. 地热学导论. 北京: 地震出版社, 17.

周永胜, 何昌荣, 马胜利, 马瑾. 2003. 差应力在超高压变质岩形成过程中的作用——来自石英—柯石英转化的高温高压实验证据. 地震地质, 25(4): 566 ~ 573.

曾融生. 1984. 固体地球物理学导论. 北京: 科学出版社, 126 ~ 133.

郑永飞. 1999. 化学地球动力学. 北京: 科学出版社, 128 ~ 132.

朱志澄. 1991. 逆冲推覆构造. 北京: 中国地质大学出版社, 36 ~ 41, 63 ~ 68.

Grand S P. 1987. Tomographic inversion for shear velocity beneath the North American plate. Journal of Geophysical Research, 92 (B13): 14065 ~ 14090.

Lowman P D Jr. 1985. Plate tectonics with fixed continents: a testable hypothesis. Journal of Petroleum Geology, 8(4): 373 ~ 378.

Mitchell R H. 1991. Kimberlites and lamproites primary sources of diamond. Geoscience Canada, 18: 1 ~ 16.

Richardson S H, Gurney J J, Erlank A J, Harris J W. 1984. Origin of diamonds in old enriched mantle. Nature, 310: 198 ~ 202.

From Coesite, Continental Deep Subduction to the Driving Force of Global Tectonic Movement

CHI Shunliang

Key Laboratory of Computational Geodynamics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

Abstract: The hypothesis of continental deep subduction and rapid exhumation has been of much controversy, since it was put forward two decades ago. It is known that the continental deep subduction needs mantle convection to drag, but the fact of observed continental roots and the physical evidence of slow growth of large diamond particles at fixed depth during three billion years in the upper mantle suggest no occurrence of a large-scale mantle convection. The mainstream current tectonic theory is essentially a heat engine theory, which explains that the driving force of the heat engine is the mantle convection. So, it is necessary now to get rid of this theory framework and take up the rotating machine theory as a guide to approach to the geotectonics. According to the law of conservation of energy, the author holds that tidal action may serve as the driving force, which can transform the earth rotation energy into the tectonic motions on the basis of the rotating machine theory. The global tectonic movement is the response to tidal-induced crust—mantle interaction.

Key words: continental deep subduction; coesite; mantle convection; continental roots; large particles of diamond; rotating machine theory