

星地碰撞的板块构造效应

刘广润¹, 张宏泰², 唐辉明³

1. 华中科技大学水电学院, 湖北武汉 430074

2. 湖北省地质调查院, 湖北武汉 430030

3. 中国地质大学工程学院, 湖北武汉 430074

摘要: 板块构造是一种全球大地构造理论. 它以洋底扩张、洋壳边缘俯冲及转换断层为主要构造活动形式, 配以地幔对流为原动力, 建立一套颇具魅力的板块构造机制理论, 被受到广泛认同. 但也存在一些重要问题, 主要是其地幔对流理念难以令人信服和对海陆格局变迁问题没提出明确的动力机制. 在阐明造成板块构造理论这两方面困难问题的主要理由之后, 介绍了星地碰撞事件的存在状况及其动力作用, 着重论述了大规模星地碰撞的动力作用强大, 对全球地质构造活动都有重要影响, 板块构造也难以避免; 星地碰撞的强烈冲击作用, 有能力造成洋底开裂或使大陆裂解. 据此设想, 可用“星地撞击成缝, 减压诱发岩浆上侵”的模式, 取代与地球内部层圈结构相抵触的“地幔对流”模式来解释洋底扩张; 并以星地碰撞发生地点的随机变化性作为大规模海陆格局变迁的主控原因. 如此, 则可有助于上述板块构造理论中存在的两大难题的解决.

关键词: 星地碰撞; 板块构造; 洋底扩张; 海陆变迁.

中图分类号: P541

文章编号: 1000-2383(2007)03-0381-08

收稿日期: 2007-03-19

The Effect of the Impact of a Celestial Body with the Earth on the Plate Structure of the Crust

LIU Guang-run¹, ZHANG Hong-tai², TANG Hui-ming³

1. School of Hydropower and Digital Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

2. Hubei Institute of Geological Survey, Wuhan 430030, China

3. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Plate tectonics is a global structure theory. It takes the sea-floor spreading, oceanic crust subduction, and transform fault as main active forms and mantle convection as an original dynamic. Despite the fact that plate tectonic theory has been established with a popular acceptance, there are some important problems expecting to be resolved. The mainly reason is that its conception of mantle convection is not very convincing enough and it fails to explain the dynamic mechanism of sea-land shift. After the illustration of the chief reasons causing these difficult problems on the plate tectonic theory, the instance and dynamic action of collision of a celestial body with the earth is introduced in the paper. It is emphasized that large-scale collision plays such an important part in the global tectonic activity that the plate tectonics is no exception also and the intensive impact of a celestial body with the Earth is able to cause the crack of sea-floor or continent. So we can use the pattern of the crack caused by the collision of a celestial body with the Earth induces the uprising of magma by the subtraction of pressure (might simply be named "Impacted crack induce magma uprising pattern") to supplant the pattern of mantle convection which is featured with collision with the layer texture in Earth interior in order to explain the sea-floor spreading, and take the random variability of the spot of the collision as the main reason of large-scale sea-land shift. Thus it could be useful to solve the two main problems of the plate tectonic theory mentioned above.

Keywords: collision of a celestial body with the earth; plate tectonics; sea-floor spreading; sea-land shift.

1 板块构造的基本状况及存在的主要问题

1.1 板块构造的基本状况

板块构造是一种全球大地构造体系理念. 它以全球强烈地震活动带及大洋中脊海岭为边界, 将全球地壳分为七大板块活动单元, 以地幔对流为原动力, 以洋底扩张、洋壳俯冲及转换断层为主要构造活动形式, 来概括论述全球地质构造运动(傅承义, 1972; 上田诚也, 1973; 竹内均等, 1978; 许志琴等, 2003; 陈琦和刘永祥, 2004; 鄢全树和石学法, 2006. 图 1, 2).

由于其立论有较丰富的海洋地形、地质调查及古地磁资料为依据, 板块构造单元划分和构造活动论述基本上符合全球地质构造的总体格局, 故受到地质界的广泛接受, 被誉为地球科学史上的一次革命(许靖华, 1985). 几十年来, 其学说风靡全球, 众多地质构造调查研究工作都热衷于为其寻找新证据, 并将所获成果与其对号入座, 而很少去考虑其研究欠妥之处. 实际上, 它还存在着一些重大问题, 有待认真研究解决.

1.2 板块构造(理论)存在的主要问题

1.2.1 洋底扩张的地幔对流成困难以确信 洋底扩张的事实不容怀疑. 但将洋底扩张的动力成因锁定为地幔对流则有很大困难. 它首先就与地球内部的分层结构相矛盾. 根据多年全球地球物理勘探成

果资料, 反映在不同深度上, 地内物体有若干个全球连续性的物性(主要是波速反映的密度)差异分界面. 据之, 对地球内部进行了层圈结构划分(陈琦和刘永祥, 2004. 图 3), 分出了地壳、地幔、地核三大层及其各自内部的次级小层. 地幔被分为上下两部, 上地幔内又分出“软流层”夹层. 这些明显的水平方向物性差异分界面, 足以否定垂直穿越层圈界线的大规模地幔对流(图 2a)的存在可能性. 热对流如果有的话也只能在各自层圈之内进行. 否则, 就会难以找到相邻层圈之间的物性差异界限. 软流层具有最容易发生流动的物性, 而且直接位于岩石圈之下, 所以它是真正可能发生热对流活动的层圈场所, 但又有另外的困难.

根据贝纳尔的实验研究(上田诚也, 1973), 在对流层中, 对流介质常呈众多的对流涡体密集并列分布. 每个对流涡体的直径与对流层的厚度趋于相等. 且其内部的对流活动是由中心向上, 至顶部朝四周分流转由边部向下, 并无特定的集中分流方向. 软流层的厚度约为 300 km, 其中的对流涡体直径也不会大于此数. 以此种规模的对流涡体单个分流, 想在顶部将地壳拉开展长达数千乃至上万 km 的大洋中脊裂缝显然是不可能的. 只有将几十个涡体集中排成一条线, 然后同步进行同方向的分流, 才有此种可能性. 但那种条件机遇极小. 有人想用软流层中的宽大扁饼状对流涡体来完成这个任务(图 2b), 那纯属超常规想象, 也与贝纳尔的实验结果相违背. 至于有些人提出的局部穿越地幔层圈的筒状或树枝状“地幔

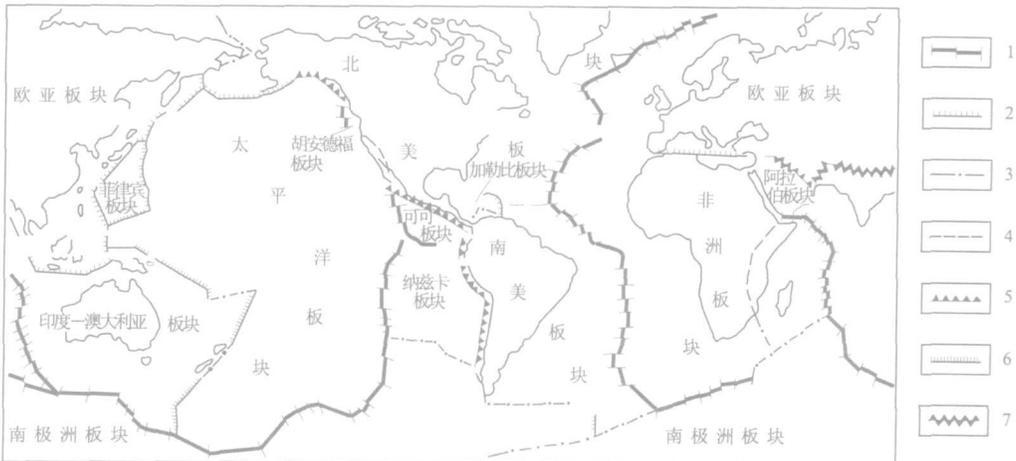


图 1 全球板块构造分区图(转引自上田诚也, 1973)

Fig. 1 Distribution of global plate tectonics

- 1. 扩张轴, 大洋裂谷; 2. 洋壳俯冲到大陆架之下; 3. 几种类型的断裂带; 4. 大陆裂谷; 5. 洋壳俯冲到科迪勒拉山系之下; 6. 洋壳俯冲到洋壳之下; 7. 大陆—大陆碰撞

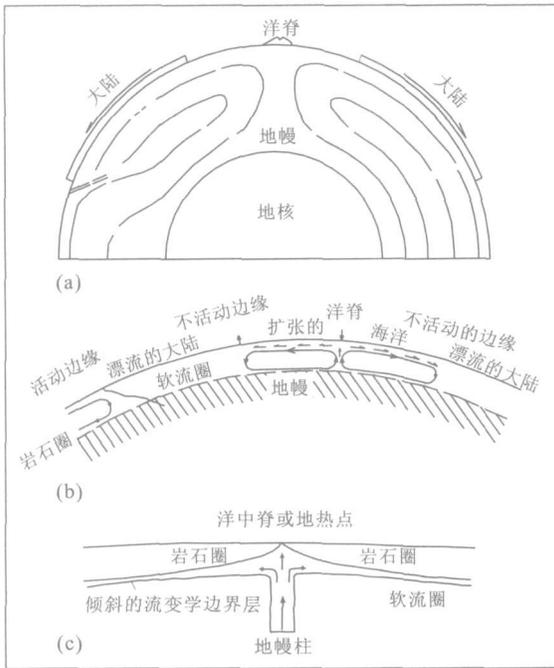


图 2 地幔对流及洋底扩张示意剖面图(a 图和 b 图转引自陈琦和刘永祥, 2004; c 图据鄧全树和石学法, 2006)

Fig. 2 Schematic section of mantle convection and seafloor spreading

柱”对流活动(图 2c), 其规模可能会造成一些“热点”, 但不足以对整个海洋的形成有太大帮助. 所以, 板块构造的地幔对流造成洋底开裂的机制论点是难以确信的.

有人曾经提出, 如果将洋底裂缝的生成与其下面软流岩体上升活动的先后顺序加以变更, 即先有其他动力造成的洋底裂缝, 由于顶部压力释放降低, 下面软流层岩浆沿着裂缝集中上侵, 造成大洋中脊及洋底扩张, 可能更易于说明大洋板块的形成. 这样一来, 就避开了地幔对流的解释困难. 想法简单明了, 有其优越性. 但由于没能给出能造成全球规模洋底裂缝的动力来源, 等于用一个新难题推开了一个老难题, 故未受到太大重视.

1.2.2 板块构造学说没能给出海(洋与大)陆变迁的明白机制 板块构造学说对大洋的形成与消亡给出一个分 6 个发展阶段的“威尔逊旋回”理论(陈琦和刘永祥, 2004), 用来说明海洋与大陆的分合变迁. 即从大陆裂谷的出现, 经过初生海洋、成熟大洋、收缩大洋、狭窄洋盆, 最后变成地缝合线. 整个过程都是以大洋中脊裂缝不断扩张, 洋壳边缘不断向陆壳下面俯冲完成的. 始之于陆, 再还之于陆. 看似逻辑严谨, 实则问题颇多. 首先, 大洋地壳向大陆地壳下

面的不断俯冲是以大洋中脊的不断扩张作为推力支撑的. 俯冲的速度绝不会大于洋底扩张的速度. 所以, 大洋地壳绝不会由于洋壳向大陆俯冲而消亡. 其次, 这种海陆变迁机制, 全以大洋地壳的活动为主导, 根本没考虑大陆地壳方面受其他动力驱使的自身能动性, 所以是不全面的. 再者, 按现在的地幔对流机制来看, 只有当对流发生位置重大变化, 地球上的海陆演化格局才会有所改变. 但地幔对流论者也未提出能够大规模改变陆、洋分布格局(产生新的裂谷系统)的地幔对流变化模式与原因以适应地质历史上比较常见的海陆变迁.

2 星地碰撞的板块构造效应

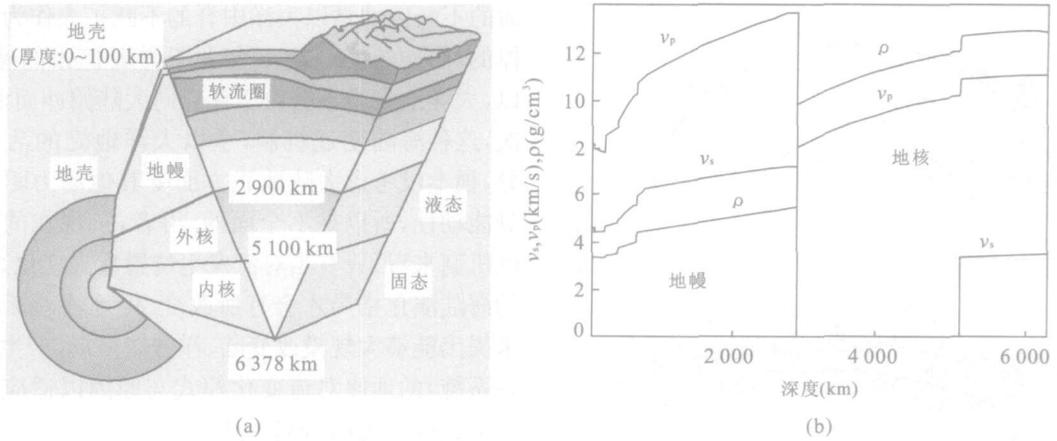
2.1 星地碰撞事件的存在状况

宇宙星体之间的相互碰撞和外来星体对地球的碰撞是常有的事(Kulikovski, 1954). 1994 年发生的苏梅克——利维 9 彗星撞击木星的壮观景象就是现代星体碰撞的一个典型事例. 每天都有很多流星飞向地球, 它们一般都在大气层中燃烧殆尽, 少数残体坠地成为陨石. 地面上现存的最大陨石个体重达 60 t. 较大的陨石撞击地面形成陨石坑, 全球各大洲, 迄今已发现并证实登记在案的陨石坑有 174 个(Spry, 2006). 直径从 10 m 至 300 km 不等. 形成年龄最老的 20 亿年, 最新的 2 万年. 其中最著名的是墨西哥的奇克苏鲁卜(Chixulub)陨石坑(170 km, 0.65 亿年)和南非的维德佛特(Vredefort)陨石坑(300 km, 20.23 亿年). 后者形态保存完好(Albat, 1988; Gorter *et al.*, 1989; Bischoff *et al.*, 1992; 欧阳自远, 1997. 图 4).

最近有报道说, 美国科学家根据空中雷达和重力测量, 在南极洲东部威尔斯克地区 800 多米厚的冰盖之下发现一个超级陨石坑, 直径 480 km, 推测其撞地外星直径可能达到 48 km. 并说该次撞击可能是导致 2.5 亿年前发生冈瓦纳古陆解体和二叠纪末全球古生物大灭绝的重大灾变主因.

不能排除地球曾遭受过比这更大的外来星体碰撞. 因为月球和其他星球上就存在着比这还大的撞击环形山. 由于地球上不断发生的造山运动、剥蚀作用和大部分为海洋, 会使不少(特别是古老的)撞击坑被破坏、覆盖或淹没而不复得见.

撞击地球的天体主要来自太阳系的小行星和彗星(欧阳自远和管云彬, 1992; 欧阳自远, 1997; 王道经



圈层			地震波速度(km/s)		弹性 (10 ¹¹ N/cm ²)		切变模量	密度 (g/cm ³)	压力 (10 ³ GPa)	温度 (°C)	附注	
名称	代号	深度 (km)	纵波vp	横波vs	体变模量							
地壳	A	A'	0	5.6	3.4	0.44	0.26	2.6	0.00	14	岩石圈	
			10(15)	6.0(5.8)	3.6(3.2)	0.51	0.3	2.7(2.6)	0.003	300		
		A''	33(24.4)	6.6(6.8)	3.8(3.9)	0.68	0.4	2.9(2.9)				
莫霍面												
地幔	上地幔	B	B'	60	8.9(8.11)	4.4(4.49)	1.17	0.63	3.32(3.38)	0.01	1000	软流层
				100	8.2(8.09)	4.6(4.48)	1.2	0.68	3.34(3.38)	0.019	1200	
		低速带	B''	150	7.8	4.2	1.25	0.67	3.5	0.031	1500	
				250(220)	7.7(8.03)	4.0(4.44)	1.36	0.64	3.5(3.37)	0.049	1700	
				400	8.2(3.36, 3.46)	4.55(3.36, 3.46)	1.48	0.7	3.6(3.36, 3.85)	0.068	1600	
	下地幔	C	C'	650(670)	9.0(8.90, 9.13)	4.98	1.87	0.92	(3.54)	0.14	1710	相变带
				1000	10.2(10.26, 10.75)	5.56	2.58	1.32	(3.99, 4.37)	0.218	1850	
		D	C''	1000	11.43	6.35	3.53	1.87	4.6	0.4	2010	
			D'	2000	12.8	6.92	5.11	2.48	5.1	0.87	2380	
			D''	2752	13.61	7.31	6.5	3.0	5.6	1.34	2600	
古登堡面												
地核	外核	E	(2891)	8.1(8.06)	0	6.3	0.0	9.7(9.90)	1.50	2700	液态	
			350	8.9	0	3.2	0.0	10.4	1.93	2875		
	过渡层	F	(4600, 4671)	10.4	2.07(0)	12.2	0.51	12(11.88)	2.98	3050		
			4900	10.4	1.24	12.2	0.2	12.5	3.2	3100		
			(5120, 5150)	11.0(10.36, 11.03)	3.6(0, 3.50)	13.4	2.08	12.7(12.16, 12.76)	3.32	3200		
			5500	11.2	3.7	14.0	1.7	12.9	3.5	3200		
内核	G	6371	11.3	3.7	14.1	1.3	13(13.09)	(8.7, 36385)	3200			

图 3 地球内部圈层结构划分图(a)、地球内部圈层的波速和密度图(b)和地球内部圈层物理数据统计(c)

Fig. 3 Distribution of layers in earth interior (a); Map of wave velocity and density of layers in earth interior (b); Statistics of physical data of layers in earth interior (c)

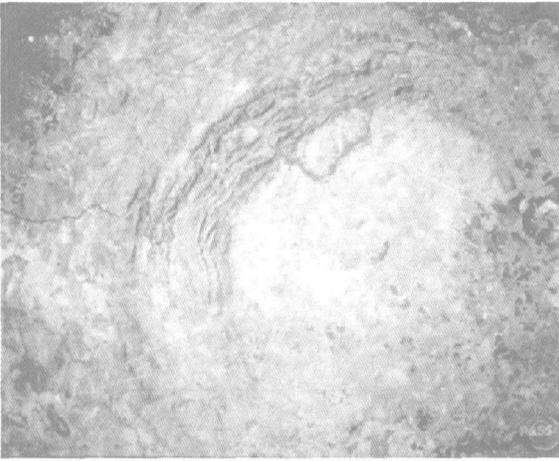


图4 南非维德佛特陨坑卫星图像

ig.4 Satellite image of Vredefort aerolite pit in South Africa

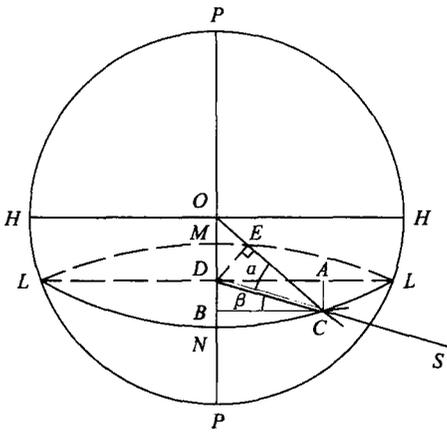


图5 星地碰撞的动力作用图解

Fig.5 Map of dynamic action of collision of a celestial body with the earth

直径最大者达 1000 km. 地球作为太阳系的一员, 跟随太阳系以 250 km/s 的速度围绕银河系中心运行, 约 2 亿年周转一圈 (称为一个宇宙年). 在这种运行中, 不能排除与其他星系穿插遭遇, 被太阳系外较大星体碰撞的可能性. 因此, 在百万年、千万年以至十亿年一遇的水平上, 估计会有几百 km 直径的星体撞击地球的机会, 当不为过.

2.2 星地碰撞的动力作用

外星撞击地球所产生的动力作用, 可分为正向冲击、纬向剪切和经向剪切 3 种. 正向冲击是指沿地球半径方向, 直接指向地心的冲击作用; 纬向剪切是指沿着赤道纬度线, 做与地球半径相垂直的剪切作用; 经向剪切是指沿经度线做与地球半径相垂直的剪切作用. 这 3 种作用只有在极端巧遇的情况下才

会单独存在. 任何一次稍微偏斜的撞击都会同时产生具有这 3 种作用的分力 (图 5).

图 5 中, $S-C-D$ 为外星撞地方向, C 为撞击点; $L-M-L-N$ 为撞击点所在纬度平面, D 为其圆心; O 为地心, $P-P'$ 及 $H-H'$ 为南北向及东西向地球直径. $C-D$ 为总撞击力, 设其不通过地心, 沿 $L-M-L-N$ 纬度平面指向地轴; $C-E$ 为正向冲击力, 指向地心, 其值 = $C-D \cdot \cos\alpha$, 极限值为 D 、 O 重合, 等于总撞击力; $C-A$ 为纬向剪切力, 在撞击点的纬向剖面上, 垂直指向纬度半径, 其值 = $C-D \cdot \sin\beta$, 极限值为 A 、 H 重合, 亦等于总撞击力; $C-B$ 为经向剪切力, 垂直指向地球自转轴, 其值 = $C-D \cdot \cos\beta$, 极限值为 B 、 P 重合, 亦为总撞击力.

星地碰撞作用的力学强度取决于撞地外星的质量、飞行速度、撞击点及撞击方向, 各有其理论计算公式 (Woronkov, 1954; 吴汉珍, 1997; 王建中, 2001).

2.3 星地碰撞的正向冲击可以造成全球规模的地壳裂缝系统, 为岩浆上侵和洋底扩张创造条件

设有一个半径为 100 km 的外星, 正向冲击地球. 根据卡诺理论公式计算, 其冲击释放能量 (E_c) 为 6.78×10^{28} J, 相当于 17 亿个 100 万吨级的原子弹爆炸. 比历史上最大地震, 智利 1960 年 8.9 级地震释放的能量 (1.4×10^{18} J) 大 10 个半数量级. 据统计, 大地震释放的能量与其造成的地裂缝长度有一定相关性. 根据选自全球有震裂长度记载的 8 个 7.4 至 8.9 级地震统计, 震级每增加 0.1 级, 震致裂缝长度增加 50 至 200 km, 平均每高 1 级, 增长 1 000 km. 而且震级越高, 震裂长度增加增幅越大 (王赞军等, 2002; 侯康明等, 2005; 中国地震台网中心, 2007. 表 1).

地震等级与释放能量的关系是确定的, 即震级每提高 2 级, 释放能量增加 3 个数量级. 前述比智利 8.9 级地震的能量还高 10 个半数量级的那次星地碰撞, 其能量相当于 1 个 15.9 级地震. 星地碰撞与地震都是对地球浅表部岩体的动力破坏作用, 若可参照对比, 则该次星地碰撞, 至少能造成 8 600 km 的地壳裂缝 (智利地震造成 1 600 km 的海底裂缝), 据此推断, 足以使整个大陆或洋底裂解. 前述美国专家推测, 埋藏在南极冰盖下面那个直径 480 km 的陨坑可能就是导致冈瓦纳古陆裂解 (随之漂流分散) 的那次外星撞击的遗迹. 这也表明了有关专家对大规模星地碰撞能够造成大陆或海洋地壳裂解的共

表 1 地震震级与地震裂缝长度的关系统计

Table 1 Statistics of seismic magnitude and the length of seismic crack

时间	地点	震级	释放的能量 (J)	地震裂缝长度 (km)	裂缝长度分级 (km)	每 0.1 级地震增幅所增加的裂缝长度 (km)
1960-05	智利	8.9	1.4×10^{18}	1 600	1 600	200
2004-12	印尼苏门答腊	8.7	7.1×10^{17}	1 200		
1964-03	阿拉斯加	8.4	2.5×10^{17}	800	1 000	140
1932-06	哈里斯科地震	8.2	1.3×10^{17}	220		
2001-11	中国青海昆仑山口	8.1	8.9×10^{16}	350~400	300	50
1997-11	中国西藏玛尼	7.9	4.5×10^{16}	120		
1973-02	四川甘孜·炉霍	7.9	4.5×10^{16}	100	150	
1999-08	土耳其伊兹米特	7.4	7.9×10^{15}	150~200		

识. 不过, 其在时间关系的论述上有些问题, 因为造成大陆裂解的撞击坑, 理应是大陆裂解的裂缝交汇点, 它本身势必也被分割成数瓣而各随所在大陆块体漂流开去, 不大可能还完整地留在原地.

至于洋底由大洋中脊向两侧扩张所表现的断续多期性, 可用多期星地碰撞效应来解释. 每一次大的星地碰撞对全球地壳的稳固性都是一次大的冲击. 超大规模 (譬如几千万年至上亿年一遇) 的星地碰撞能造成大规模新的断裂系统, 同时会引起原有老断裂的普遍强烈复活; 即使是强度稍弱一些 (譬如几十万一年一遇) 的星地碰撞, 也足以引发原有地壳大裂缝的复活. 原有洋底大裂缝, 虽经先期岩浆填充, 但仍是一个异常脆弱带, 经历后来每次强大扰动复活后, 都会再度裂开接受一次新的岩浆上侵, 并形成一较新年代的岩石条带. 这也就是洋脊两侧岩石古地磁年龄依次变老, 而且其年龄突变时期常与古地磁的极性倒转时期一致的原因. 根据我们的研究, 古地磁的极性倒转也常是星地碰撞引起的.

2.4 星地碰撞作用可以为海陆变迁和板块兴衰提供新的模式机制与动力来源

每次大规模星地碰撞的正向冲击作用都会在地壳上形成新的大规模断裂系统, 并使受影响的老断裂复活. 撞击地点是随机变化的. 不同时期的大规模撞击在不同地区造成的新断裂系统, 就会使与断裂有关的海陆变迁出现新的地域变化格局. 此外, 星地碰撞的纬向剪切作用会使地球转速发生变化, 从而产生经向及纬向惯性离心力增量, 导致地壳上下层圈之间发生水平运动. 在洋壳与陆壳之间的接触运动方面, 如果不光注视洋壳的俯冲前进, 而将陆壳可能有的水平运动 (刘广润和张宏泰, 2007) 也充分考虑进去, 可能会有补益. 总之, 上述星地碰撞作用的效果, 可以使板块构造学说解释在海陆变迁机制和

洋壳俯冲消亡等方面的困惑, 并有助于大陆古板运动演化问题 (李春显和汤耀庆, 1983; 钟增球等, 2001; 姜春发, 2002; 张国伟等, 2002; 王鸿祯等, 2002; 洪汉净等, 2005) 的深入研究.

3 结语

(1) 星地碰撞作用对地球来说是一种来自外部的强大突发外动力作用. 它对地球上地质构造的影响是全球性的, 大陆与海洋所有地区概莫能免. 板块构造活动是全球性的, 它也避免不了星地撞击的影响. 板块构造理论是以地幔对流为力源支撑的一种内动力主导型理论. 在其研究中也必要充分考虑星地碰撞及其他内、外动力作用的影响, 补充、完善自己的不足, 以求有关问题的合理解决. 本文“星地碰撞作用的板块构造效应”的主旨, 就是试图将星地碰撞作用的某些可能效应, 应用到板块构造研究上来. 我们绝无全盘否定板块构造之意. 我们认为, 用先生成撞击裂缝而后诱发岩浆集中沿缝上侵 (不妨称之为“撞裂诱侵”) 的理念取代地幔对流, 以洋底扩张为主的板块构造活动会照样进行, 板块构造理论或可更好地发展.

(2) 全球地质构造的发展演化历史, 是在来自地球内部的和外部的, 突发的和渐变的, 多种动力作用共同参与下形成的 (孙殿卿等, 1995; 马宗晋和杜品仁, 1995). 每一种构造学说或假说, 只要能清楚地说明其中一个方面或一类特殊问题, 就有其存在的价值. 若想形成一种成熟的、全面的全球构造理论, 必须综合考虑集成吸纳各有关方面的有用成果. 这需要地质界同仁的共同努力.

(3) 星地碰撞的地质效应是多方面的. 除了对大陆与海洋区的地质构造效应 (刘广润和张宏泰,

2007)外, 还有地层及岩矿学效应、古气候及古生物效应和古地磁效应(刘广润和张宏泰, 2005)等, 目前我们正对之进行初步的系统探索。

本文在成文过程中, 得到中国地质大学(武汉)工程学院杨有成博士、胡斌博士, 华中科技大学力学系黄敏生博士, 中国核工业总公司董仕枢高工, 天津地勘局李凤忠教授级高工等在力学计算、资料收集和图件绘制等方面的热心帮助, 在此一并致谢。

References

- Albat, H. M., 1988. Shatter cone/ bedding interrelationship in the Vredefort structure: Evidence for meteorite impact. *South African Journal of Geology*, 91: 106—113.
- Bischoff, L., Brockmeyer P., Jenchen, U., et al., 1992. Structural aspects of the Araguinha impact structure (Brazil) (abstract). In: International Conference on Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution. *LPI Contribution*, (790): 6—7.
- Chen, Q., Liu, Y. X., 2004. Introduction to geology. Jilin University Press, Changchun (in Chinese).
- China Earthquake Network Center, 2007. Earthquake history — Representative earthquake. China Earthquake Bureau, Beijing.
- Fu, C. Y., 1972. Continental drift, sea-floor expansion and plate tectonics. Science Press Beijing (in Chinese).
- Gorter, J. D., Gostin, V. A., Plummer, P. S., 1989. The enigmatic sub-surface Tookoonooka complex in south-west Queensland: Its impact origin and implications for hydrocarbon accumulations. In: O'Neil, B. J., ed., The Cooper and Eromanga basins, Australia. Petroleum Exploration Society of Australia, Adelaide, 441—456.
- Hong, H. J., Ma, Z. J., Cheng, G. L., et al., 2005. Characteristics of fossil continental plate evolution and movement in China. *Oil & Gas Geology*, (1): 23—28 (in Chinese with English abstract).
- Hou, K. M., Lei, Z. S., Wai, F. L., et al., 2005. Research on the 1879 southern Wudu M8.0 earthquake and its co-seismic ruptures. *Earthquake Research in China*, (3): 295—310 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, C. F., 2002. Several significant geological problems about central orogenic belt and the progress of its research. *Geological Bulletin of China*, 21(8—9): 453—455 (in Chinese with English abstract).
- Li, C. Y., Tang, Y. Q., 1983. Some problems of subdivision of palaeo-plates in Asia. *Acta Geologica Sinica*, (1): 1—10 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. R., Zhang, H. T., 2005. Cause of geomagnetic polarity reversal: A view of collision dynamics of a celestial body with earth. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(3): 371—376 (in Chinese with English abstract).
- Liu, G. R., Zhang, H. T., 2007. Continental folding orogenesis from the perspective of collision dynamics of a celestial body with the earth. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(1): 63—70 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. J., Du, P. R., 1995. Current problems of earth movement. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Ma, Z. J., Gao, X. L., 2004. Some thoughts on the research on continental tectonics, oceanic tectonics and earth tectonics. *Earth Science Frontiers*, (3): 9—14 (in Chinese with English abstract).
- Ouyang, Z. Y., 1997. Ruins on the earth collided by planet 2 billion years ago. *Nature Magazine*, (4): 93—95 (in Chinese with English abstract).
- Ouyang, Z. Y., Guan, X. B., 1992. Preliminary study on paleoclimate cycle induced by huge collision. *Chinese Science Bulletin*, (9): 829—831 (in Chinese).
- Shangtian, C. Y., 1973. New earth view. Translated by Chang, Z. W., Science Press, Beijing (in Chinese).
- Spray, J., 2006. Earth impact database. Planetary and Space Science Centre, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Sun, D. Q., Chen, Q. X., Cui, S. Q., et al., 1995. A study on the tectonic framework of the earth and causative dynamics. *Earth Science Frontiers*, (2): 137—139 (in Chinese with English abstract).
- Tang, H. M., Yan, T. Z., 1993. The theory of rockmass fracture and its application. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Tao, Z. Y., Pan, B. T., 1991. Principle and methods of rock mechanics. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Wang, D. J., Wang, X. J., Ding, S. J., et al., 1997. Baisha crater in Hainan Island. Hainan Island Press Hainan (in Chinese).
- Wang, J. Z., 2001. Extension and simplification of the formula of mechanical energy loss in the collision. *Journal of Hangzhou Institute of Applied Engineering*, (4): 40—45 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Z. J., Dang, G. M., Zhang, R. B., et al., 2002. Styles and characteristics of the surface rupture of the West Kunlun Mountains earthquake with Ms 8.1. *Plateau Earthquake Re-*

- search, (1): 17—25 (in Chinese with English abstract).
- Wu, H. Z., 1997. Geodynamics of the rotating earth. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, J. H., 1985. A stormy record of geoscience revolution. Translated by He, Q. X.. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Xu, J. H., He, Q. X., 1980. The impact of comet—Reason of disaster in earth at the end of Cretaceous. *Journal of Jiling University (Earth Science Edition)*, (2): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Zhao, Z. X., Yang, J. S., et al., 2003. Tectonic beneath plates and mantle dynamics. *Geological Bulletin of China*, 22(3): 149—159 (in Chinese).
- Yan, Q. S., Shi, X. F., 2006. Mantle plume (hotspot)-ridge interaction. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (5): 131—138 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. W., Dong, Y. P., Yao, A. P., 2002. Some thoughts on the study of continental dynamics and orogenic belt. *Geology in China*, 29(1): 7—13 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, Z. Q., Suo, S. T., Zhang, H. F., et al., 2001. Major constituents and texture of the Tongbai-Dabie collisional orogenic belt. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(6): 560—567.
- Zhu, N. J., Shangtian, C. Y., Jinshen, B. X., 1978. A hypothesis of crust movement—From continent drift to plate structure. Translated by Mou, W. G.. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Kulikovskii, П.Г., 1954. Handbook for the lovers of astronomy. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Woronkov, И.М., 1954. Course of theoretical mechanics. Translated by Theoretical Mechanics Section, Harbin Institute of Technology. Higher Education Press, Beijing (in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 陈琦, 刘永祥, 2004. 地质学概论. 长春: 吉林大学出版社.
- 傅承义, 1972. 大陆漂移、海底扩张和板块构造. 北京: 科学出版社.
- 洪汉净, 马宗晋, 程国梁, 等, 2005. 我国大陆古板块运动演化的特征. *石油与天然气地质*, (1): 23—28.
- 侯康明, 雷中生, 万夫岭, 等, 2005. 1879 年武都南 8 级大地震及其同震破裂研究. *中国地震*, (3): 295—310.
- 姜春发, 2002. 中央造山带几个重要地质问题及其研究进展. *地质通报*, 21(8—9): 453—455.
- 李春昱, 汤耀庆, 1983. 亚洲古板块划分以及有关问题. *地质学报*, (1): 1—10.
- 刘广润, 张宏泰, 2005. 地球磁极倒转的星地碰撞成因. *地球科学——中国地质大学学报*, 30(3): 371—376.
- 刘广润, 张宏泰, 2007. 大陆褶皱造山运动的星地碰撞成因. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(1): 63—70.
- 马宗晋, 杜品仁, 1995. 现今地壳运动问题. 北京: 地质出版社.
- 马宗晋, 高祥林, 2004. 大陆构造、大洋构造和地球构造研究构想. *地学前缘*, (3): 9—14.
- 欧阳自远, 1997. 20 亿年前小行星撞击地球的遗址——南非弗里德佛撞击坑初探. *自然杂志*, (4): 93—95.
- 欧阳自远, 管云彬, 1992. 巨大撞击事件诱发古气候旋回的初步研究. *科学通报*, (9): 829—831.
- 上田诚也, 1973. 新地球观. 常子文译. 北京: 科学出版社.
- 孙殿卿, 陈庆宣, 崔盛芹, 等, 1995. 全球构造格局及其动力学机制研究. *地学前缘*, (2): 137—139.
- 唐辉明, 晏同珍, 1993. 岩体断裂力学理论与工程应用. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 陶振宇, 潘别桐, 1991. 岩石力学原理与方法. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 王道经, 王秀娟, 丁式江, 等, 1997. 海南岛白沙陨石坑. 海南: 海南岛出版社.
- 王鸿祯, 张世红, 2002. 全球前寒武纪基底构造格局与古大陆再造问题. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(5): 467—481.
- 王建中, 2001. 碰撞过程机械能损失公式的推广及简化. *浙江科技学院学报*, (4): 40—45.
- 王赞军, 党光明, 张瑞斌, 等, 2002. 昆仑山口西 8.1 级地震地表破裂的类型与性质. *高原地震*, (1): 17—25.
- 吴汉珍, 1997. 旋转地球动力学. 北京: 地质出版社.
- 许靖华, 1985. 地学革命风云录. 何起祥译. 北京: 地质出版社.
- 许靖华, 何起祥, 1980. 彗星冲击作用——白垩纪末期地球上发生灾变的原因. *吉林大学学报(地球科学版)*, (2): 1—8.
- 许志琴, 赵志兴, 杨经绥, 等, 2003. 板块下的构造及地幔动力学. *地质通报*, 22(3): 149—159.
- 鄢全树, 石学法, 2006. 洋中脊与地幔柱热点相互作用研究进展. *海洋地质与第四纪地质*, (5): 131—138.
- 张国伟, 董云鹏, 姚安平, 2002. 关于中国大陆动力学与造山带研究的几点思考. *中国地质*, 29(1): 7—13.
- 钟增球, 索书田, 张宏飞, 等, 2001. 桐柏—大别碰撞造山带的基本组成与结构. *地球科学——中国地质大学学报*, 26(6): 560—567.
- 中国地震台网中心, 2007. 地震史话——典型地震. 北京: 中国地震局.
- 竹内均, 上田诚也, 金森博雄, 1978. 地壳运动假说——从大陆漂移到板块构造. 牟维国译. 北京: 地质出版社.
- 库利寇夫斯基, П.Г., 1954. 天文爱好者手册. 北京: 科学出版社.
- 沃伦科夫, И.М., 1954. 理论力学教程. 哈尔滨工业大学理论力学教研室译. 北京: 高等教育出版社.