

New Evidence of the Earth Expansion and the Size of the Global Tectonic Dynamic Possible Event at Its Late Period

Yanxiang Liu, Zhigeng Chen, Jing Liu, Jun Wei

Institute of Geodynamics and Application, Hebei College of Geology, Shijiazhuang
Email: lyanxiang2010@126.com

Received: Sep. 2nd, 2013; revised: Oct. 3rd, 2013; accepted: Oct. 18th, 2013

Copyright © 2013 Yanxiang Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Yanxiang Liu et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian

Abstract: Based on a series of achievements and new evidence since 1990s, this paper will point out, according to the average value of three test results on radius growth rate of 0.24 mm per year from recent 1 ma to 3 ma, via early Triassic to early cretaceous about 120 ma accumulation, the absolute growth of the earth's crust can be as large as $4.59 \times 10^6 \text{ km}^2$, which is equal to a new global rift system with 50 km wide and over 90,000 km long, and that is longer than 80,000-km-long modern mid-ocean ridge rift system. Obviously, it is a super global tectonic dynamic event, whose scale is larger than that of another two tectonic geological and dynamic events—the uplift of the Tibetan plateau and east China lithosphere thinning. Therefore, the research on the earth expanding dynamic not only has theoretical significance of geoscience but also has research significance on volcano and magmatism, mineralization, global environmental evolution and so on.

Keywords: The Earth Expansion; New Evidence of the Earth Expansion; The Earth's Radius Growth Rate; The Scale of Global Tectonic Dynamic Event

地球膨胀新证据及全球构造动力可能事件的规模

刘燕翔, 陈志耕, 刘 静, 卫 俊

河北地质学院地球动力与应用研究所, 石家庄
Email: lyanxiang2010@126.com

收稿日期: 2013 年 9 月 2 日; 修回日期: 2013 年 10 月 3 日; 录用日期: 2013 年 10 月 18 日

摘 要: 本文在简介上世纪 90 年代以来地球膨胀研究取得一系列成果和直接检验结果的基础上指出, 地球半径若按照最近 1~3 Ma 尺度范围内三项半径增长率检验结果的平均值 0.24 mm/a 计算, 经过早三叠世至早白垩世间约 120 Ma 的积累, 地壳面积的绝对增长量也可高达 $4.59 \times 10^6 \text{ km}^2$, 相当于全球新增平均宽度为 50 km 的裂谷系 9 万余公里大于总长度约 8 万公里的现代地球洋中脊裂谷系。这显然应该是一个全球性的超级构造动力事件。相对青藏高原隆升、中国东部岩石圈减薄两个近于同时代的构造与动力事件的规模而言, 这个全球超级构造动力事件的规模要大得多。因此, 地球膨胀动力研究不仅具有地球科学基础理论意义, 而且还具有火山岩浆与成矿作用、全球环境演化等重要应用科学意义。

关键词: 地球膨胀; 地球膨胀直接证据; 地球半径增长率; 全球超级构造动力事件

1. 引言

被誉为“地球科学革命”的板块构造学说与原子

模型、元素周期律、大爆炸、进化论等一道, 被称为“人类认识自然界的五个里程碑”(席泽宗, 2000)^[1]。

而板块构造理论的四个基本要点之一便是：“岩石圈板块沿地球表面运动，在全球范围内板块沿分离型边界的扩张增生与沿汇聚型边界的压缩消亡互相补偿抵消使地球半径保持不变(DeMets, 1990)^[2]。”与此同样重要的问题是，板块构造动力问题至今尚未解决。因此，立足于地球半径在地质历史时期不断增长变化的地球膨胀及其全球构造动力的研究，具有重大的科学理论意义和矿产资源开发与环境演化应用意义。

地球膨胀很早就已有人提出(Mantovani, 1889, 1909)^[3,4]，20世纪20~30年代对早期提出的地球膨胀说开始有了较多的具体讨论并明确有了以地球膨胀作为解释大陆漂移的动力(Hilgenberg 1933, Halm 1935)^[5,6]的观点，地球膨胀说也因此与板块构造学说一道被认为是大陆漂移说的两个分支。20世纪的50~60年代，地球膨胀研究达到较为盛行的时期，但同时也遇到了较大的反对(Cook & Eardley 1961, Beck 1961, Runcorn 1964)^[7-9]。由于板块构造学说从60年代兴起后便很快盛行起来，而且地球膨胀说本身不仅缺乏直接证据且对其面临的困难问题也未能很好解决，地球膨胀说便逐渐被板块构造学说取而代之。

由于板块构造动力问题长期未能得到解决，而且板块构造学说本身的问题也越来越多，它所依据的事实又大多与地球膨胀说事实依据相一致，因此，从80年代初开始，地球膨胀说又重新活跃起来并得到越来越多的人承认。然而，与板块构造学说比较而言，地球膨胀说的研究则是寥寥无几、少之又少了。

本文从上世纪90年代以来至今20多年间地球膨胀研究取得的新证据以及地球半径仅以每年0.24 mm增长的膨胀晚期全球构造动力事件的惊人规模两个方面，说明地球膨胀构造动力研究的重要性，以期引起更多学者的关注。

2. 最近20多年来地球膨胀研究简况及地球膨胀新证据

地球膨胀的可靠证据问题是地球膨胀动力研究的根本和关键。只要地球膨胀被事实所证明，就必然有其特定的膨胀原因和膨胀前物质高密度的合理性，而且不管对其合理性的理解有多么困难和多么不可思议(Chudinov, 1998)^[10]。

上个世纪50~70年代较多地是以古地理、古地磁、

古生物钟、地质学等传统方法检验地球膨胀，从90年代初期开始，逐渐出现了一些应用新理论和现代科学技术方法研究地球膨胀的新成果。

王鸿祯等(1987)^[11]应用计算机成图方法对震旦纪古大陆的地理位置和全球构造单元及其古大陆再造后发现，古大陆再造与古生物地理、构造古地理之间的矛盾，古生代生物地理分区与古大陆再造的分布格局之间也存在矛盾。如果假定当时地球表面积较现代为小，则矛盾可以缓解。结合构造研究发现和确认的大量地壳伸展构造(王鸿祯, 1998)¹，远远超过以前的认识。

陈志耕(1990)^[12]根据天文学观测、古生物钟研究成果得到的地球自转速度变化率，应用由类地行星物理研究得到的“类地行星尺度-物质分布状态线性规则”(陈志耕, 1985)^[13]和转动力学基本原理，得到地球膨胀半径的平均增长率为0.4 mm/a。这是以类地行星物理结合古天文及古生物钟方法独立给出的地球半径增长率。

王鸿祯等(1995、1996)^[14,15]提出地球曾发生阶段性不对称有限膨胀的设想。在每次联合古陆解体都引起5%左右的地球半径增长的推定下，则在前2500 Ma、1950 Ma、1450 Ma、850 Ma、250 Ma的五个联合古陆时期的地球半径分别为现值的75%、80%、85%、90%和95%。随后王鸿祯研究组利用古地磁数据进行检验的结果分别是：2500 Ma时地球半径为现值的76%、1950 Ma时地球半径为现值的81%、250 Ma时地球半径为现值的94%，与5次联合古陆解体都引起5%左右地球半径增长的推定基本一致。

徐仲平(1992)^[16]通过概率分布拟合优度检验，证实大洋中脊裂谷系转换断层和东非裂谷地堑型断裂的间距均服从Γ-分布，据此提出洋底裂谷系、大陆裂谷、全球巨型断裂等可能是由突发事件导致地壳灾变而留下的形迹。

Owen(1992)^[17]指出，在地球半径不变的情况下，新增地壳应等于消减量和缩短量之和。在被动大陆边缘基本无消减的情况下，所有的消减都应集中在太平洋和印度洋东北部，这显然无法平衡。他还根据横贯太平洋的卫星激光测距(SLR)的结果得出太平洋正在扩张的结论。

¹ 王鸿祯，地球阶段性有限膨胀及其对地球演化机制的控制，攀登计划(探索性)基础科研项目建议书，1998.06.25。

傅容珊等(1998)^[18]根据刚性板块绕欧拉轴旋转运动模式,通过对以相对于热点参考架的地质-地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)数据的分析计算,对地球膨胀构造动力进行检验,得到近几个 Ma 内地球半径增长率为 0.13 mm/a。

陈志耕(1999)^[19]在王鸿祯(1995、1996)^[14,15]关于地球膨胀有限性思想的启示下,依据自然演化的一般规律,根据当时已知地球上最早酸性岩石 ≥ 4000 Ma 的年龄,以初始地壳为基性的辉长质斜长岩类月质地壳随后产生硅铝质地壳的模式,在地质与地球物理约束条件和初始岩石圈壳弹性力学分析的基础上,建立了地球的非线性有限膨胀演化模型。根据该演化模型计算,地球从前 4300 Ma 开始膨胀至今的平均半径增长率约为 0.4 mm/a。而由于地球的非线性衰减膨胀演化特征,前从 4300 Ma 地球开始膨胀到前 4184 Ma 发生全球性膨胀构造应力最初释放的 116 Ma 间,地球半径的平均增长率高达 1.08 mm/a;在前 2800~2500 Ma 间的晚太古代 300 Ma 内,地球半径的平均增长衰减至 0.42 mm/a;在震旦纪至早寒武世的前 800~550 Ma 间的 250 Ma 间,地球半径的平均增长率衰减至 0.13 mm/a;从早白垩世至今的 120 Ma 间,地球半径的平均增长率再减至约 0.1 mm/a。

Scalera(2001)^[20]根据侏罗纪、白垩纪和古新世的全球古地理重建和三叠纪古地磁矢量数据,得出从三叠纪到古新世地球半径平均增长率高达 15 mm/a 的结论。

陈志耕等(2000)^[21]进行了全球岩石圈板块的自相似性和特征尺度与频度关系的研究,发现现代全球板块在特征线度为 $r = 400 \sim 1800$ km 无标度空间范围内具有分形分布和降维演化的特征。在此基础上,按照奇异吸引子的产生必须以系统发生失稳为前提的分形动力学理论,提出这种具有分形分布及降维演化特征的全球板块构造,是地球岩石圈发生临界失稳所形成,全球岩石圈板块的分形分布和降维演化特征,反映和保留着膨胀地球的初始破裂信息,为地球的膨胀演化提供了非线性科学依据。

可能以《科学通报》关于地球有限膨胀演化问题的公开讨论(石耀林, 2001; 陈志耕, 2001)^[22,23]为转折点,开始引起一些学者对于地球有限膨胀演化问题的深层关注,逐渐出现了以地球膨胀检验为主的研究

并取得了一些高水平地球膨胀动力研究的成果(魏东平, 2003; Gerasimenko, 2003; 陈志耕, 2004; 申文斌等, 2007; 韩建成等, 2008; 曹帅等, 2009; 孙榕等, 2010; Shen 等, 2011; Xiaoping Wu 等, 2011)^[24-26,29-33,35-38]。

魏东平(2003)^[24]根据相对于热点参考架的地质-地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)计算得到近 3 Ma 内地球半径增长率为 0.29 mm/a。

Gerasimenko(2003)^[25]通过对 NASA(National Aeronautics and Space Administration, 美国宇航局)提供的 1999 年 6 月提供的基线干涉测量(VLBI)数据进行分析处理,对地球半径变化进行检验,得到最近 20a 间地球半径的平均增长率为 0.2 mm/a。

陈志耕(2004)^[26]分析综合了地震层析成像成果资料,发现了地球膨胀的地震层析成像新证据。指出地震层析成像探测结果表明:大陆裂谷、大洋中脊、热点下部以及全球深部的高温低速体的分布特征,具有地球整体膨胀产生岩石圈拉张破裂减压熔融和深部膨胀推挤的“无根上涌”运动学与形态学特征。同时还分析了应用板块的地质-地球物理绝对运动模型得到最近 3 Ma 内南北纬中纬圈线长变化率、应用空间大地测量技术所得 20 年间地球南北中纬圈线长变化率来说明地球非对称性问题的两方面研究成果资料(马宗晋等, 2001; 孙付平等, 1999)^[27,28],从中发现地球半径存在 0.20 mm/a 以上的增长率。

Scalera(2006)在连续发表地球膨胀研究成果的基础上,再次以地史学的古地理学方法得出三叠纪以来(前 220 Ma)地球半径的平均增长率为 14 mm/a 的研究结论^[29]。

申文斌等(2007)^[30]通过全球分布的重力台站与重力卫星联合解算建立高精度、精细时间分辨率的时变重力场,根据所得地球惯性矩的年增加量计算了地球 1996~2006 年间的半径变化,得出 10 年间地球半径的平均增长率为 0.58 mm/a 的结果。申文斌等(2008)^[31]又采用 GPS、VLBI 等多种高精度空间探测技术,综合解算得到的国际地球参考框架(ITRF)2000 站坐标速度,用 Delaunay 算法生成三角网逼近计算地球的体积变化,得到近 10 年间地球半径增长率为 0.54 mm/a。Shen 等(2008)^[32]利用时变重力场数据计算了地球主惯性矩的变化,得出地球半径增长率约为 0.2 mm/a 的结

论。

韩建成等(2008)^[33]根据地心引力常数 GM ，计算给出了万有引力 G 值按 Dirac 的大数假说理论长期衰减变化为 $10^{-10}/a$ (饶扬玉，1994)^[34]条件下，因质量变化引起的地球膨胀速率约为 0.246 mm/a 。

曹帅等(2009)^[35]根据地质 - 地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)，仔细分析了板块边界段的两板块间的相对运动速度，计算一定时间内板块边界段的面积变化，得到最近 1 Ma 内地球半径的增长率为 $0.16\sim0.25 \text{ mm/a}$ 。

孙榕等(2010)^[36]依据最新版本的国际地球参考框架(ITRF)的 GPS、VLBI、SLR、DORIS 等四种不同的空间大地测量技术给出参数联合解算的地表速度场，得出 10 年尺度内地球整体膨胀的半径增长率为 0.1 mm/a 。

Shen 等(2011)^[37]又基于多种空间大地测量和时空重力测量两种方法，得出最近十年地球一直在膨胀的结论：1) 根据覆盖超过 10 年的全球定位系统(GPS)、甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)、卫星多普勒轨道学和射电综合测量技术(DORIS)等数据，利用国际地球参考框架(ITRF)2008 站坐标和速度综合解算，用 Delaunay 算法生成三角网逼近计算地球的体积变化，得到近 10 年间的地球半径增长率为 $0.24 \pm 0.04 \text{ mm/a}$ ；2) 根据地球引力常数的长期变化率、卫星激光测距与地球的平均极数据，估计地球的转动惯量及其时空变化，发现至少在最近几十年内地球发生了膨胀，膨胀地球的半径增长率从 $0.17 \pm 0.02 \text{ mm/a}$

到 $0.21 \pm 0.02 \text{ mm/a}$ 。综合这两种空间大地测量观测和重力数据得到的结论是：在最近 10 年内地球半径的增长率约为 0.2 mm/a 。

由美国宇航局(NASA)喷气推进实验室、法国国家地理研究所、荷兰代尔夫特技术大学组成的一个国际研究小组，前不久在《地球物理研究快报》(*Geophysical Research Letters*)上发表了一项新的研究成果。这项研究同样应用 GPS、VLBI、SLR 和 DORIS 等四种空间大地测量结果的新数据处理技术，得到最近 25 年间地球半径增长率为 0.1 mm/a (Xiaoping Wu 等 2011)^[38]。

上述地球膨胀半径检验研究的主要成果可分类汇总列入表 1 和 2。在最近 20 多年来的一系列地球整体膨胀检验研究结果中，根据可靠性较好的全部三项地质 - 地球物理板块运动模型检验研究结果(傅容珊，1998；魏东平，2003；曹帅等，2009)^[18,24,35]，地球在最近 1~3 Ma 尺度范围内有平均约为 0.24 mm/a 的半径增长率；而根据四项多种空间大地测量的最新检验结果(孙榕等，2010；Shen 等，2011；Xiaoping Wu 等，2011)^[25,33,37,38]，地球在最近 10a~25a 的小尺度范围内有平均为 0.15 mm/a 的半径增长率。显然，两类检测手段极其相应的两类时间尺度检验结果对比的地球整体膨胀半径变化的趋势是：1~3 Ma 的大尺度范围的地球半径增长率大于 10a~250a 小尺度范围的半径增长率。这种地球半径增长的变化趋势与地球的非线性有限膨胀演化模型(陈志耕，1999)^[19]预测的地球半径增长的非线性变化趋势有较好的一致性。

Table 1. In recent 20 years geological-geophysical model method of plate movement test results the size of 1 - 3 Ma the radius of the earth changes^[18,24,26,35]

表 1. 最近 20 年来地质 - 地球物理板块运动模型方法检验 1~3 Ma 尺度地球半径变化的主要成果^[18,24,26,35]

作者(发表时间)	膨胀地球半径增长率的得出途径与方法	半径增长时期/Ma	平均半径增长率(mm/a)
傅容珊等(1998) ^[18]	应用相对于热点参考架的地质 - 地球物理板块运动模型(US2-NUVEL1)分别计算地球经圈和纬圈方向上的表面积变化率和半径变化率。	n ($n = 1\sim3$)	$0.14\sim0.27$ (中值 0.21)
魏东平(2003) ^[24]	计算全球每个独立板块基于相对热点参考架的地质-地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)运动规律下的面积变化，估算出全球板块的总面积的变化，得到现代地球的膨胀速率。	3	0.29
陈志耕(2004) ^[26]	依据从地质 - 地球物理板块绝对运动模型(US2-NUVEL1)中计算得到的地球南、北纬中纬圈线长度年变化率数据 ^[27] 的比较分析。	n ($n = 1\sim3$)	>0.20
曹帅等(2009) ^[35]	利用 NUVEL1 等多个典型全球板块相对运动模型的欧拉矢量，计算沿板块边界段的两两板块间的相对运动速度。据此计算这些板块边界段的面积变化，得到各模型中每个板块面积变化和全球表面积变化总量。	1	$0.16\sim0.25$ (中值 0.21)
三项地质 - 地球物理板块模型法检验结果 ^[18,24,35] 的平均值			0.24

Table 2. In recent 20 years in space geodesy techniques test results the size of 10a - 25a the radius of the earth changes^[25,26,31,33,37,38]
 表 2. 最近 20 年来多种空间大地测量技术方法检验 10a~25a 尺度地球半径变化的主要成果^[25,26,31,33,37,38]

作者(发表时间)	膨胀地球半径增长率的得出途径与方法	半径增长时期/a	平均半径增长率 (mm/a)
Gerasimenko(2003) ^[25]	对 NASA 提供的甚长基线干涉测量(VLBI)数据进行处理计算得到。	20	0.20
陈志耕(2004) ^[26]	依据 LVBI、GPS、SLR 三种空间大地测量技术实测得到的地球南、北中纬度的纬圈长度年变化率数据 ^[28] 中比较分析得到。	15	>0.20
申文斌等(2008) ^[31]	采用高精度 GPS、VLBI 空间大地测量数据综合解算所得 ITRF 和 ITRF2000 站坐标速度, 以 Delaunay 算法生成三角网逼近计算地球体积变化得到。	10	0.54
孙榕等(2010) ^[33]	依据最新版本的国际地球参考框架(ITRF)中的 GPS、VLBI、SLR、DORIS 等四种不同的空间大地测量技术给出参数联合解算的地表速度场得到。	10	0.10
Shen.WB et al(2011) ^[37]	GPS、VLBI、SLR、DORIS 等空间大地测量与时空重力测量方法相结合的综合方法。	10	0.20
Xiaoping Wu et al(2011) ^[38]	GPS、VLBI、SLR、DORIS 等空间大地测量数据和新的数据处理技术。	25	0.10
其中四项空间大地测量检验结果 ^[25,33,37,38] 的平均值			0.15

3. 地球膨胀产生的全球构造动力事件的规模

由于地质时代观念建立的困难或者对其理解得不够深刻, 人们往往忽略仅有 0.1~0.2 mm/a 的地球膨胀速率, 经过数百个 Ma 积累之后所产生全球构造地质作用的翻天覆地的效应。例如, 由 NASA 以及多国研究人员组成的一个国际研究小组, 使用空间大地测量一项新的数据处理技术, 得到地球在最近 25 年间的半径平均增长率为 0.1 mm 的结果之后, 仍然得出结论称: “并没有发现地球出现统计学意义上的明显膨胀。”^[38]无独有偶, 在 1978 年由澳大利亚国立大学 McElhinney 等人^[39]在国际权威杂志 Nature 上发表的一项研究成果中, 依据世界古地磁数据对地球半径变化进行检验, 得出在最近 400 Ma 间的地球半径增长总量小于 0.8%的结论。这相当于在最近 400 Ma 内, 地球半径有平均 <0.13 mm/a 的增长率。但遗憾的是 McElhinney 等人却认为这个结果“足以排除目前任何地球膨胀的理论”。类似的这些认识在很大程度上误导了很多入。

除此之外, 即使地球膨胀有较为可靠的事实证明, 即使人们对于地质学特别是对于已经建立起漫长地质时代观念的地质学家们, 也并不一定就能够深刻地理解地球半径仅以 0.24 mm/a 增长的膨胀晚期, 所产生的全球构造动力事件的惊人规模。例如, 有的地质学家就颇具代表性地将这种不理解明确地表述为:

即使地球有限膨胀假说将来得到证实, 也不足以解释显生宙大地构造史(孙荣圭, 1984)^[40]。这类认识的误导, 可能是人们一直忽略地球膨胀的另一个重要原因。

因此, 特别需要认识这种看起来微不足道的地球膨胀速率, 经过一定时间积累后所产生的全球构造动力事件的规模。

陈志耕(1999)^[19]曾结合全球的放射性同位素事件的峰值年龄, 讨论了地球按照非线性膨胀模型连续、渐变的演化, 而表现为实际上的阶段、突变性半径增长问题, 用以解释地球连续膨胀演化与全球构造动力事件的阶段性表现之间的关系, 其中在 250 Ma 的中生代初期早三叠世发生了地球的全球性构造事件之后, 经过约 130 Ma 的相对全球构造相对稳定期到 120 Ma 的晚白垩世, 又发生了一次全球性构造动力事件。

若以中生代早三叠世至早白垩世 120 Ma 间地球膨胀晚期为例, 由近年来较为可靠的较大时间尺度上的地球膨胀检验结果(傅容珊, 1998; 魏东平, 2003; 曹帅, 2009)^[18,24,35]得到的 1~3 Ma 尺度内地球半径增长率 0.24 mm/a 的平均值估算全球构造动力事件的规模, 那么从 250 Ma 的早三叠世至 130 Ma 的早白垩世之间约 120 Ma 内, 地球半径增长的总幅度约为 28.8 km。由球体的球面积表达式可知, 因地球膨胀而产生的地球表面积的几何增长率为:

$$dS/dt = 8\pi R \cdot dR/dt \quad (1)$$

根据 0.24 mm/a 的地球半径增长率平均值计算, 从早三叠世至早白垩世的 120 Ma 内, 产生的地球表面面积的增量约为:

$$\begin{aligned} dS &= 8\pi R \cdot dR = 8\pi \times (6371 - 28.8) \text{ km} \times 28.8 \text{ km} \\ &= 4.59 \times 10^6 \text{ km}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

参照现代北大西洋洋中脊裂谷 25~50 km 的宽度 (吴时国等, 2006)^[41], 该地球表面积增量若全部由平均宽度为 50 km 的大洋中脊裂谷所形成的话, 则 120 Ma 内产生 $4.59 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的新增地球表面相当于产生了总长度约为 91812 km 的全球新增裂谷系。也就是说从早三叠世至早白垩世的 120 Ma 内, 因地球膨胀产生的全球裂谷系的增长量已经大于现代地球大洋中脊总长度 (约 80,000 km)。显然, 这应该是一个超级的全球构造动力重大事件。

与这个全球超级构造动力事件近于同时代、持续 150 Ma 之久的燕山期中国东部岩石圈从 200 km 拆沉减薄至 80 km 的大陆“去根”(邓晋福等, 1994、1996) 事件^[42,43], 以及备受地学家关注的至少在 100 Ma 前还沉睡海底至今已成为“世界屋脊”但海拔高度尚不到 9 km 的青藏高原隆升事件^[44-47]的构造动力规模, 都远小于这个全球超级构造动力事件的规模。

即使按照地球的非线性有限膨胀演化模型所给出的从早白垩世至今地球半径的平均增长率 0.1 mm/a (陈志耕, 1999)^[19] 计算, 在 120 Ma 内地球半径增长的总量约为 12 km。因地球膨胀而产生的地球表面积的绝对几何增长率约为 $1.92 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。若该地表面积增量同样全部由平均扩张宽度为 50 km 的裂谷所形成, 则相当于产生总长度为 38356.7 km 的全球新增裂谷系, 约占现代 80,000 km 的全球大洋中脊裂谷系总长度的 48%。

在 120 Ma 内形成新增 9 万余公里地球裂谷系的全球构造、火山、岩浆与成矿地质作用, 必然也是惊天动地的全球超级构造动力事件。而一系列研究表明, 此时段后期的确发生了以火山大爆发、高原溢流玄武岩、海底高原、大火山省和成矿大爆发等为代表的白垩纪一系列地球整体性的重大事件 (Campbell and Griffiths, 1990; Coffin M.F., 1994; Tu G.Z., 1995; 涂光炽, 1995; 邓晋福莫宣学等, 1999; 华仁民、毛景文, 1999; Condie K.C., 2001)^[48-56]。这些事件包括:

1) 跨越白垩纪大部分的火山大爆发持续活动长达 65

Ma 以及相应的大火山省事件, 在此期火山大爆发间海洋地壳的生长率是今天的 2 倍; 2) 印度德干高原的溢流玄武岩、Caribbean 大洋高原玄武岩、太平洋西南的 Ontong-Java 海底高原玄武岩、印度洋南部的 Kerguelen 海底高原玄武岩等; 3) 白垩纪海平面升高 100 m; 4) 在岩浆活动的构造背景问题上, 过去认为代表挤压环境的岩浆活动构造背景, 已被证明是在拉张背景下形成的 (王鸿祯等, 1998)^[1]; 5) 成矿大爆发。

4. 结语

1) 最近 20 多年来, 已经有了一系列地球整体膨胀检验研究的成果。这些检验结果为地球膨胀构造动力提供了较为可靠的新证据。根据可靠性较好的地质-地球物理板块运动模型检验研究结果, 地球在最近 1~3 Ma 尺度范围内约有 0.24 mm/a 的半径平均增长率; 按照多种空间大地测量检验结果, 地球在最近 10a~25a 的小尺度范围内有 0.15 mm/a 的半径平均增长率。这两类不同时间尺度范围得到的地球半径增长变化趋势, 与地球的非线性有限膨胀演化模型所给出的地球半径增长的非线性变化趋势有较好的一致性。

2) 由近年来较为可靠的较大时间尺度地球膨胀检验结果: 在 1~3 Ma 尺度内地球半径平均增长率约为 0.24 mm/a。以此估算地球膨胀晚期持续膨胀 120 Ma 积累后产生的全球构造动力事件的规模相当于地球新增加总长约为 91,812 km 的全球裂谷系, 已经超过现代约 80,000 km 的大洋中脊裂谷系的总长度。这是一个全球性的超级构造动力事件。已经有大量的地质研究成果证明, 这一时段内全球确实发生了以火山大爆发、高原溢流玄武岩、海底高原、大火山省和成矿大爆发等为代表的一系列重大地质事件。

3) 在地球膨胀已经被一系列直接证据不断证明的情况下, 地球科学基本理论特别是全球构造动力学说, 考虑在地球整体膨胀动力的框架下进行新的解释与完善, 是非常必要的。

Condie (1982) 曾经认为膨胀的地球与海底扩张并不矛盾^[57]。同样, 地球膨胀构造与板块构造也没有根本的分歧, 二者不仅所依据的事实证据基本一致, 而且在许多认识上也是相近的。两者的根本不同之处在于: 地球膨胀学说引进并包含了板块学说正确发展的某些方面, 是一个更高层次的学说 (牛来正夫, 1986)

[58]。

4) 地球膨胀学说长期以来一直难以被人们接受的重要原因, 固然与可靠地检验地球半径变化的技术手段在最近 20 多年刚刚成熟而未能提供地球膨胀的直接证据有关。但是, 一些检验研究者所得结论的偏见以及对于地球膨胀形成全球构造事件的规模估计不足这两方面的误导也是重要的原因。

最近 20 年来对地球膨胀的检验等研究结果充分表明, 1996 年第 52 次香山科学会议上曾经提出过的建议不仅正确而且极具科学眼光: “开展地质、地球物理、地球化学和天文学等多学科交叉研究, 从深部地质和宇宙地质方面研讨地球膨胀的可能性及可能的膨胀率, 从而提出具有我国特色的地球动力学及演化的总体见解, 力争在国际地学研究上占有一席之地”。

参考文献 (References)

- [1] 席泽宗, 主编 (2000) 人类认识自然界的五个里程碑. 清华大学出版社, 北京; 暨南大学出版社, 广州, 179.
- [2] DeMets, C., Gordon, G.R., Angus, D.F. and Stein, S. (1990) Current plate motion. *Geophysical Journal International*, **101**, 425-478.
- [3] Mantovani, R. (1889) Les fractures de l'écorce terrestre et la théorie de Laplace. *Bulletin de la Société des sciences et arts de l'Ile de la Réunion*, 41-53.
- [4] Mantovani, R. (1909) L'Antarctide. *Je M'instruis La Science pour tous*, **38**, 595-597.
- [5] Hilgenberg, O.C. (1933) Vom wachsenden Erdball (The Expanding Earth). Giessmann & Bartsch, Berlin.
- [6] Halm, J.K.E. (1935) An astronomical aspect of the evolution of the earth. *Astronomy Society of South Africa*, **4**, 1.
- [7] Cook, M.A. and Eardley, A.J. (1961) Energy in terrestrial expansion. *Journal of Geophysical Research*, **66**, 3907-3912.
- [8] Beck, A.E. (1961) Energy requirements of an expanding earth. *Journal of Geophysical Research*, **66**, 1485.
- [9] Runcorn, S.K. (1964) Changes in the Earth's moment of Inertia. *Nature*, **204**, 823-825.
- [10] Chudinov, Yu.V. (1998) Global evolution tectonics of the expanding Earth. VSP BV, Utrecht.
- [11] 王鸿祯, 朱鸿, 贾维民等 (1987) 震旦纪世界构造格局——应用微型计算机自动成图对古大陆位置的再造. 岩相古地理文集(3), 地质出版社, 北京.
- [12] 陈志耕 (1990) 膨胀地球基本参数的初值及其平均变化率. *地球物理学报*, **5**, 611-618.
- [13] 陈志耕, 万明华 (1985) 类地行星半径与转动惯量系数相关关系及其地球动力学意义. *天体物理学报*, **7**, 15-324.
- [14] 王鸿祯 (1995) 全球构造研究的简要回顾. *地学前缘*, **1-2**, 37-42.
- [15] Wang, H.Z., Li, X., Mei, S. and Zhang, S. (1996) Pangaea cycles, Earth's rhythms, and possible Earth expansion. In: Wang, H.Z., et al., Eds., *Origin and History of the Earth, Proceeding of the 30th IGC*, **1**, 731-735.
- [16] 徐仲平 (1992) Γ -分布与地壳灾变. *地球科学(中国地质大学学报)*, **1**, 55-62.
- [17] Owen, H.G. (1992) Has the Earth increased in size? In: Chatterjee, S. and Hotton, N., Eds., *New Concepts in Global Tectonics*, Texas Tech University Press, Lubbock, 241-257, 289-296.
- [18] 傅容珊, 黄建华, 李力刚等 (1998) 地球在膨胀吗? 板块运动与地球几何尺度变化. 中国地球物理学会年刊, 西安地图出版社, 西安, 385.
- [19] 陈志耕 (1999) 地球有限膨胀演化模型. *科学通报*, **9**, 912-920.
- [20] Scalera, G. (2001) The global paleogeographical reconstruction of the Triassic in the earth dilatation framework and the paleo-position of India. *Annals of Geophysics*, **44**, 1.
- [21] 陈志耕, 刘军伟, 孟表柱等 (2000) 岩石圈板块分形及其降维演化的可能机制. *地学前缘*, **1**, 109-122.
- [22] 石耀霖 (2001) 从比较行星学角度看“地球有限膨胀演化模型”. *科学通报*, **1**, 81-82.
- [23] 陈志耕 (2001) 类地行星的地质地球物理比较与地球有限膨胀. *科学通报*, **1**, 83-84.
- [24] 魏东平 (2003) 现代全球板块运动与地球膨胀速率. 中国地球物理学会第 19 届年会论文集.
- [25] Gerasimenko, M.D. (2003) The problem of the change of the Earth dimension in the light of space geodesy data. In: Scalera, G. and Jacobm K.-H., Eds., *Why Expanding Earth?—A Book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. INGV Publisher, Berkeley.
- [26] 陈志耕 (2004) 地球膨胀动力的事实依据、理论分析及场耦合数值模拟. 硕士论文, 中国矿业大学, 北京.
- [27] 马宗晋, 宋晓东, 杜品仁, 傅容珊, 孙付平等 (2002) 地球南、北半球的非对称性. *地球物理学报*, **1**, 26-33.
- [28] 孙付平, 赵铭, 宁津生等 (1999) 用空间大地测量数据检测地球的非对称性全球构造变化. *科学通报*, **20**, 2225-2229.
- [29] Scalera, G. (2006) TPW and polar motion as due to an asymmetrical Earth expansion. In: Lavecchia, G. and Scalera, G., Eds., *Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations, Annals of Geophysics*, **49**, 483-500.
- [30] 申文斌, 陈巍, 李进 (2007) 由时变重力场证实地球膨胀效应. 中国地球物理学会第 23 届年会论文集.
- [31] 申文斌, 张振国 (2008) 利用空间大地测量数据探测地球膨胀效应. *测绘科学*, **3**, 5-6.
- [32] Shen, W.B., et al. (2008) The Earth expansion: Evidence from temporary gravity field and space-geodetic data. EGU General Assembly, Vienna.
- [33] 韩建成, 申文斌, 陈巍 (2008) 根据 GM 的长期变化推估地球膨胀效应. 中国地球物理学会第 24 届年会论文集.
- [34] 饶扬玉 (1994) 引力常数、地球膨胀、地壳运动. *地壳形变与地震*, **1**, 85-91.
- [35] 曹帅, 张克亮, 魏东平 (2009) 板块运动及其对地球表面积变化的影响. *地震*, **4**, 14-22.
- [36] 孙榕, 申文斌 (2010) 由空间大地测量数据探测地球膨胀. 中国地球物理学会第 26 届年会, 中国地震学会第 13 次学术大会论文集.
- [37] Shen, W.B., Sun, R., Chen, W., Zhang, Z.G., Li, J., Han, J.C. and Ding, H. (2011) The expanding Earth at present: Evidence from temporal gravity field and space-geodetic data. *Annals of Geophysics*, **54**, 436-453.
- [38] Wu, X., Collilieux, X., Altamimi, Z., Vermeersen, B.L.A., Gross, R.S. and Fukumori, I. (2011) Accuracy of the international terrestrial reference frame origin and earth expansion. *Geophysical Research Letters*, **38**, 1-5.
- [39] McElhinney, M.W., Taylor, S.R. and Stevenson, D.J. (1978) Limits to the expansion of Earth, Moon, Mars, and Mercury and to changes in the gravitational constant. *Nature*, **271**, 316-321.
- [40] 孙荣圭, 著 (1984) 地质科学史纲. 北京大学出版社, 北京, 327.
- [41] 吴时国, 喻普之, 编著 (2006) 海底构造学导论. 科学出版社, 北京, 79.
- [42] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲等 (1994) 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”. *现代地质*, **3**, 349-356.
- [43] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学等 (1996) 中国大陆根—柱构造—

- 大陆动力学的钥匙. 地质出版社, 北京, 110.
- [44] 李吉均, 文世宣, 张青松等 (1979) 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. *中国科学A 辑*, **6**, 608-616.
- [45] 施雅风, 李吉均, 李炳元等 (1999) 晚新生代青藏高原的隆升与东亚环境变化. *地理学报*, **1**, 10-21.
- [46] 潘裕生 (1999) 青藏高原的形成与隆升. *地学前缘*, **3**, 153-163.
- [47] 吴珍汉, 吴中海, 胡道功等 (2007) 青藏高原渐新世晚期隆升的地质证据. *地质学报*, **5**, 577-587.
- [48] Campbell, I.H. and Griffiths, R.W. (1990) Campbell and Griffiths, implications of mantle plume structure for the evolution of flood-basalts. *Earth and Planetary Sciences Letters*, **99**, 99-93.
- [49] Coffin, M.F. (1994) Large igneous provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences. *Reviews of Geophysics*, **32**, 1-36.
- [50] Tu, G.Z. (1995) Some problems pertaining to super large ore deposits of China. *Episodes*, **18**, 83-86.
- [51] 涂光炽, 主编 (1995) 庞然大物——与寻找超大型矿床有关的基础研究. 湖南科技出版社, 长沙, 116.
- [52] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜 (1999) 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境. *矿床地质*, **4**, 309-315.
- [53] 华仁民, 毛景文 (1999) 试论中国东部中生代成矿大爆发. *矿床地质*, **4**, 300-309.
- [54] 毛景文, 张招崇, 任丰寿等 (1999) 北祁连山西段金属矿床时空分布和生成演化. *地质学报*, **1**, 73-82.
- [55] 毛景文, 华仁民, 李晓波 (1999) 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. *矿床地质*, **4**, 291-299.
- [56] Condie, K.C. (2001) Mantle plumes and their record in Earth history. Cambridge University Press, Cambridge.
- [57] Condie, K.C. (1986) 板块构造与地壳演化(1982). 张雯华等, 译. 从柏林, 校. 科学出版社, 北京, 161.
- [58] 牛来正夫 (1987) 地球的膨胀(1986). *世界地质*, **1**, 22-35.