

超大陆裂解几何学研究新思路

——截顶正二十面体模型的应用

刘守偈 李江海 贺 电

北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 地球与空间科学学院, 北京 100871

摘 要 截顶正二十面体是目前应用广泛的球体张拉整体结构模型之一。它具有 60 个顶点, 12 个五边形边, 20 个六边形面。球壳在均匀的伸展状态下, 沿该模型的棱的方位最容易裂开。前人从全球规模的角度出发, 用截顶正二十面体模型解释了劳伦大陆以及冈瓦纳超大陆裂解时期全球范围内的伸展构造组合的展布, 包括裂谷系、非造山岩浆活动和岩墙群。本文在前人的基础上, 用该模型解释了现代大洋中脊分布、东非—红海—亚丁湾裂谷系的平面几何形态以及华北克拉通 1.80 Ga 裂谷系分布。根据该模型进行计算, 得出半径为单位 1 的该模型的棱长为 23.3° , 带入地球平均半径则得全球最长直线裂谷的长度为 2589.53 km, 同时得到五边形和六边形的顶角分别为 111.4° 和 124.3° 。由此, 超过该长度的裂谷将以 120° 左右的夹角拐弯。该模型能解释大范围伸展构造组合的分布规律。

关键词 超大陆裂解, 截顶正二十面体, 裂谷系, 全球构造

A New Idea for Studying Geometry of Supercontinent Breakup: the Application of Truncated Icosahedra

LIU Shoujie LI Jianghai HE Dian

Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871

Abstract Truncated icosahedra is one of the most widely used spherical tensility modules. Under uniform extension, spherical shell tends to break up along the edge of this module. Previous workers tried to use truncated icosahedra to explain the distribution of rifting system, anorogenic magmatism and dyke swarms of Laurentia and Gondwana in a global view. On such a basis, the authors have used this module to explain the distribution of the present mid-ocean ridge, the contour of the Great Rift Valley and the distribution of the rifting system of the North China Craton dated 1.80 Ga. According to this module, when its radius is unit 1, its edge should be 23.3° . If we use Earth's even radius, the length of the longest straight line rift is 2589.53 km, and the angle of pentagon and hexagon is 111.4° and 124.3° respectively. That is, a rift longer than 2589.53 km would turn at an angle of 120° or so.

Key words breakup supercontinent, truncated icosahedra, rifting system, global tectonics

超大陆裂解的研究主要从大陆裂谷, 岩墙群以及非造山岩浆活动等伸展性质的构造组合入手。目前对于超大陆裂解的研究都仅局限于某一个裂谷带, 岩墙群或者非造山岩浆省, 包括其几何学, 运动学, 动力学, 岩石学, 地球化学, 地质年代学等的研

究, 但是对于裂谷在全球尺度上的展布以及其相互力学关系探讨不多。Sears 等(2005)首次用截顶正二十面体模型解释全球范围的伸展构造组合展布。

由 Buckminster Fuller 提出的截顶正二十面体 (truncated icosahedra) 是目前应用最广泛的球体拉

本文由 973 项目 (编号: 2006CB4035002) 和国家自然科学基金项目 (编号: 40472097) 联合资助。

责任编辑: 刘志强; 收稿日期: 2006-10-17; 改回日期: 2007-06-08。

第一作者简介: 刘守偈, 男, 1983 年生, 硕士, 构造地质学专业; 通讯地址: 100871, 北京市海淀区颐和园路 5 号; 电话: 010-62751155; E-mail: sjliu_pku@163.com。

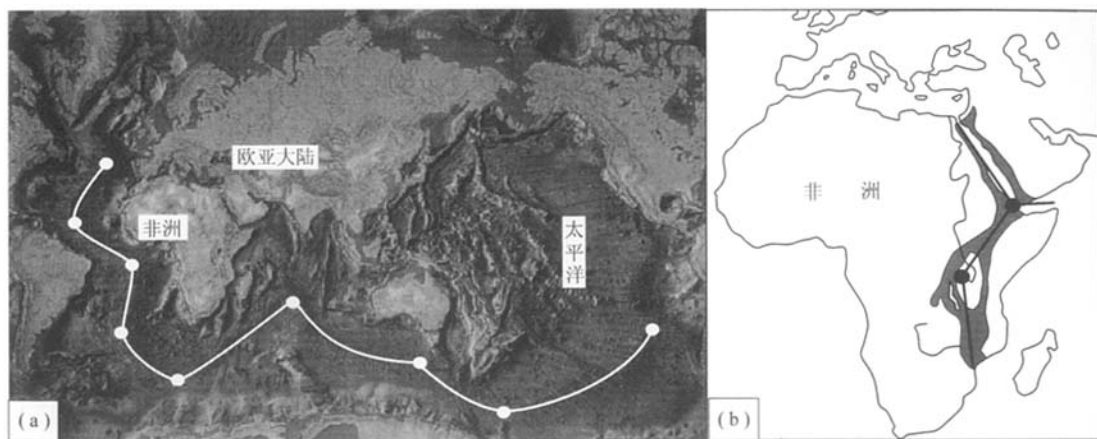


图 1 全球洋底地貌图(a)和东非大裂谷(b)

Fig. 1 Global oceanic floor topography (a) and East African Great Rift Valley (b)

张整体结构模型之一(Hidenori, 2001)。自然界中有许多与球体张拉结构都具有截顶正二十面体的几何特征(Anderson, 1982, 2001, 2002)。在均匀的水平拉张条件下,球壳的裂开,比如大陆裂谷的张开和相关非造山岩浆的侵位,具有截顶正二十面体的几何特征。裂谷沿这种方式裂开所需要消耗的功最小(Sears et al., 2005)。

本文在前人的基础上,对截顶正二十面体的几何性质进行了更深一步的探讨,并带入地球平均半径计算得到地球上最长的直线裂谷长度为 2589.53 km,超过此长度,裂谷将以 120° 左右夹角拐弯。同时,应用该模型解释了现代洋中脊的展布、东非裂谷以及华北克拉通 1.80 Ga 裂谷系的分布。在大范围均匀伸展条件下,通常为与地幔柱活动相关的超大陆裂解事件,可以用该模型来解释其裂解的几何形态。

1 截顶正二十面体

自然界中有且仅有五种正多面体形:由正三角形面组成的正四面体,正八面体,正十二面体,正二十面体以及由正方形组成的立方体。如果我们把正二十面体沿各棱的三等分点把原顶点截掉,则得到自然界中由两种正多边形拼合起来的最接近球体的立体图形—截顶正二十面体。

将截顶正二十面体充气,使之成为一个球体(足球),设该球体半径为单位 1,那么可以计算出,该球体表面五边形和六边形的边长为 0.4063379

rad(23.3°),正五边形的顶角为 111.4° ,正六边形的顶角为 124.3° ,正五边形的面积为 0.2950691,正六边形面积为 0.4512774。把地球平均半径带入上述计算过程中,则得:棱长为 2589.53 km,正五边形的面积为 150428154.311 km²,正六边形的面积为 230064165.866 km²。

自然界中,有很多与球体平衡相关的现象都具有截顶正二十面体的几何特征。如足球,富勒烯分子,树瘤病毒,疱疹病毒,放射虫等深海单细胞动物,龟壳上的裂纹,沸石(分子筛),准晶体,笼形化合物,硼水合物以及泡沫等(Anderson, 2002)。它们都具有一个共同的性质:球面均匀的拉张力作用,沿截顶正二十面体棱的方位最容易裂开。沿这种方式裂开消耗的功最小(Sears et al., 2001, 2003, 2005)。

岩石圈也是一个球面,在遭受均匀的拉张力的地区,岩石圈的也会沿截顶正二十面体棱的方位裂开,具体则表现为裂谷系以及非造山岩浆活动在地表分布与截顶正二十面体棱的方位一致。

2 用截顶正二十面体模型解释大陆裂解中的实例

下面就现代洋中脊与裂谷,冈瓦纳超大陆裂解,中元古代劳伦大陆裂谷系分布以及 1.80 Ga 华北克拉通的热事件为例,简要讨论用截顶正二十面体模型研究超大陆裂解的力学机制。

2.1 现代洋中脊与裂谷分布

图 1(a)为现代洋底地貌图。图中清晰地展示

生代大陆漂移恢复后,劳伦大陆中—新元古代裂谷系的分布大致上接近于截顶正二十面体中一个正六边形以及一个正五边形的一部分 (Sears et al., 2005)。裂谷系中主要发育中—新元古代非造山岩浆,包括岩墙群,含火山喷发物质的沉积裂谷盆地,以及斜长岩—花岗岩—流纹岩系列 (Sears, 2001),它们的形成与地幔的热膨胀作用有关。这些非造山岩浆系列为典型的 A 型双峰式岩浆岩,且具有板内痕量元素特征 (Van Schmus et al., 1993)。

图 3 中,苏格兰、格陵兰、育空以及蒙大拿四个裂谷中心地区占据了劳伦大陆六边形的四个顶点,且其间所确定的三条边的边长大致相等且大致等于 23° 圆弧的长度。阿拉巴马与蒙大拿之间的蒙大拿—田纳西构造带确定了六边形的第四条边,构造带中主要为美国中部地表以下的岩墙群和非造山岩浆岩 (Hatcher et al., 1987; Paulsen et al., 1994; Marshak et al., 2000; Sears, 2003)。剩下的两条边可能被格林威尔造山带改造了, Sears 等 (2005) 对此做了可能的恢复。

2.4 华北克拉通

华北克拉通在 1.80 Ga 发育了六套裂谷—坳拉谷系 (图 4),以及相关的非造山岩浆活动和基性岩墙群 (李江海, 2001; 彭澎等, 2004; 侯贵廷等, 2005)。

如图 4 所示,燕辽坳拉谷是华北克拉通 1.80 Ga 唯一保存了比较明显的三叉裂谷的特点,其中心位于三叉连点。其他裂谷的中心位置也可以大致确定出来。然后沿裂谷的大致走向,并考虑非造山岩浆活动的分布,将它们连接起来。燕辽坳拉谷的西北支 (天亡支) 同白云鄂博的东南支连接起来,扎尔泰裂谷的东支和白云鄂博的西支连接起来,贺兰山坳拉谷的北支与扎尔泰裂谷的南支连接起来,山西—陕西裂谷的西北支与贺兰山坳拉谷的南支连接起来,熊尔—中条裂谷的西支同山西—陕西裂谷的东支连接起来,其东北支与燕辽坳拉谷的西南支连接起来,这样就形成了一个六边形。

这个六边形大体上显示出一部分截顶正二十面体的形态,但是有部分细节并不一致。山西—陕西裂谷的位置处在一个不平衡点上,其方向正好与标准的模型的方向相反。且由于经历后期改造明显,因此六边形在整体形态上已经有了较大的偏离。另外,与标准的截顶正二十面体相比,六边形的大小也偏小。通过以上四个例子说明,用截顶正二十面体

模型来解释大范围伸展事件—如超大陆裂解事件—各种伸展构造组合的展布是可行的。从现代的洋中脊分布和东非裂谷的几何形态,到冈瓦纳大陆 (200 Ma) 的裂解形态,再到更古老的古—中元古代劳伦大陆的裂谷系分布,都显示出截顶正二十面体模型的几何特征。而且,时代越新、涉及的空间范围更广的例子,如东非裂谷和冈瓦纳大陆裂解形态,就越接近完美的截顶正二十面体模型。但是,古元古代晚期到中元古代早期 (1.80 Ga) 华北克拉通裂谷系的分布与完美的截顶正二十面体模型的六边形面相比,在形态上和规模上都有一定差异,这可能与球体张拉整体结构模型更深层次的力学性质和后期地质作用的改造有关。

3 讨论与结论

现代洋中脊分布,冈瓦纳大陆的裂解,劳伦大陆的裂谷分布以及华北克拉通 1.80 Ga 裂谷分布等大面积伸展构造组合与截顶正二十面体的棱分布基本一致,这可以为我们的研究超大陆裂解提供一个几何学角度的新思路,但是在应用中还存在很多问题:

(1) 应用条件。从自然界中各种具有截顶正二十面体模型几何特征的实例,小到富勒烯分子,大到整个岩石圈的裂解,我们可以抽象出应用该模型的基本条件:遭受均匀拉张力作用的球壳。由于岩石圈不可能是处处都处于伸展状态,有部分是碰撞挤压状态,因此地球整体不可能显现出完整的截顶正二十面体的形态。但是在与地幔柱 (Condie, 2001) 作用相关的大面积均匀伸展区,也即超大陆的裂解时期,裂谷系和非造山岩浆活动等伸展构造组合的展布是与截顶正二十面体棱的方位是一致的。

(2) 以整个地球为一个截顶正二十面体,那么每一条直线裂谷的长度,以及裂谷间的夹角也就确定了,分别为 2589.53 km 和 120° 左右。超过这一长度,裂谷将会以 120° 左右的角度拐弯或形成三叉裂谷。但是现实中往往存在规模更小的裂谷,例如华北克拉通 1.80 Ga 的构造热事件中的裂谷。这并不意味着截顶正二十面体模型不可用,反而提供了探讨关于截顶正二十面体模型更深层次力学性质的思路。在水平面上,均匀的拉张力所导致的裂纹是类似于玄武岩柱状节理的纯六边形;而在球壳上,五边形的出现只是为了调节平面弯曲。规模较小的裂谷系可以近似看成为水平面,因此六边形较多,规模也较小。

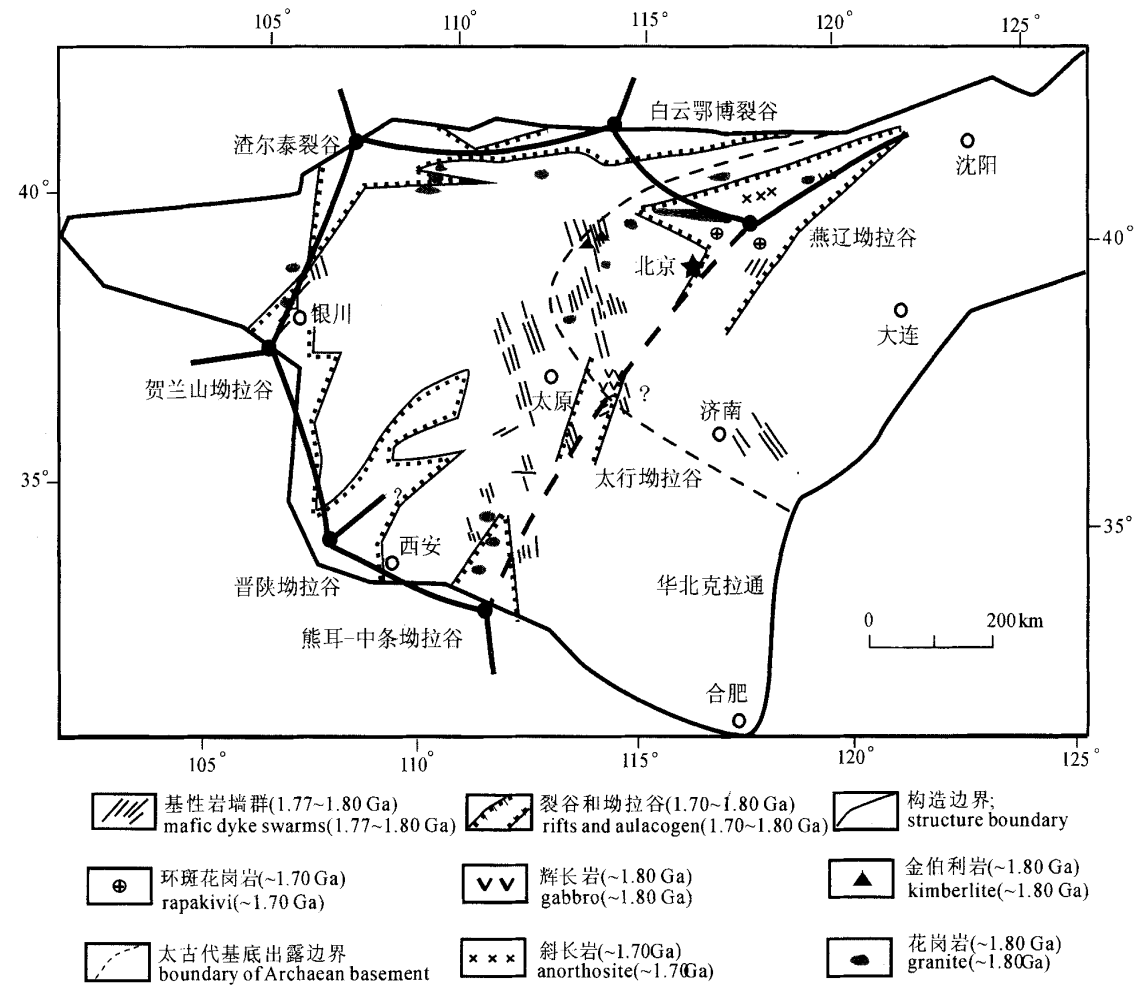


图 4 华北克拉通 1.80 Ga 裂谷和非造山岩浆分布(据李江海等, 2006 修改)

Fig. 4 Distribution of rift system and anorogenic magmatism of North China Craton (1.80 Ga) (modified from Li et al. , 2006)

超大陆裂解时所产生的一系列伸展事件,包括裂谷系、基性岩墙群和非造山岩浆活动,在几何上以及力学上是相互关联的,可以用截顶正二十面球体拉张平衡模型来解释。这个模型为我们研究超大陆裂解事件提供了几何学的新思路。

镁铁质岩墙群的地球化学特征及其地质意义以晋冀蒙交界地区为例. 岩石学报, 20(3): 439~456.

参考文献

侯贵廷, 李江海, 刘玉琳, 钱祥麟. 2005. 华北克拉通古元古代末的伸展事件: 拗拉谷与岩墙群. 自然科学进展, 15(11): 1366~1373.

李江海, 侯贵廷, 黄雄南, 张志全, 钱祥麟. 2001. 华北克拉通对前寒武纪超大陆旋回的基本制约. 岩石学报, 17(2): 177~186.

李江海, 刘守偈, 侯贵廷. 2006. 华北中部古元古代末期构造—热事件性质及其构造成因模式. 中国地质, 33(6): 60~70.

彭澎, 翟明国, 张华锋, 赵太平, 倪志耀. 2004. 华北克拉 1.80 Ga

References

Anderson D L. 1982. Hotspots, polar wander, Mesozoic convection and the geoid. Nature, 297: 391~393.

Anderson D L. 2001. Top-down tectonics? Science, 293:2017~2018.

Anderson D L. 2002. How many plates? Geology, 30: 411~414.

Burke K, Dewey J F. 1973. Plume-generated triple junctions: key indicators in applying plate tectonics to old rocks. Journal of Geology, 81: 406~433.

Condie, K C. 2001. Mantle plumes and their record in Earth history. Cambridge: Cambridge University Press, 216~241.

Hatcher Jr R D, Zietz I, Litchiser J J. 1987. Crustal subdivisions of the eastern and central United States and a seismic boundary hypothesis

- for eastern seismicity. *Geology*, 15: 528 ~ 532.
- Hidekuni M, Yoshitaka N. 2001. Static and dynamic characterization of regular truncated icosahedral and dodecahedral tensegrity modules. *International Journal of Solid and Structure*, 38: 9359 ~ 9381
- Hou Guiting, Li Jianghai, Liu Yulin, Qian Xianglin. 2005. Extensional event of North China Craton in Paleoproterozoic; aulacogen and dyke swarms. *Progress in Nature Science*, 15(11): 1366 ~ 1373 (in Chinese with English abstract).
- Hunter D R, Reid D L. 1987. Mafic dyke swarms in southern Africa. In: Halls, H. C., Fahrig, Special Paper-Geological Association of Canada, 34: 445 ~ 456.
- John J W, Rogers, M Santosh. 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent. *Gondwana Research*, 5(1): 5 ~ 2.
- Lawver L A, Gahagan L M, Dalziel IWD. 1999. A tight fit early Mesozoic Gondwana, a plate reconstruction perspective. *National Institute of Polar Research, Special Issue*, 53: 214 ~ 229.
- Li Jianghai, Hou Guiting, Huang Xiongnan, Zhang Zhiqian, Qian Xianglin. 2001. The constraint for the supercontinental cycles: evidence from Precambrian geology of North China Block. *Acta Petrologica Sinica*, 17 (2): 177 ~ 186 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianghai, Liu Shoujie, Hou Guiting. 2006. Nature of the latest Paleoproterozoic tectono-magmatic event in central North China and its tectonic genetic model. *Geology in China*, 33(6): 60 ~ 70.
- Marshak S, Karlstrom K E, Timmons J M. 2000. Inversion of Proterozoic extensional faults: an explanation for the pattern of Laramide and ancestral Rockies intracratonic deformation, United States. *Geology*, 28: 735 ~ 738.
- Paulsen T, Marshak S. 1994. Cratonic weak zone in the U. S. continental interior; the Dakota-Carolina corridor. *Geology*, 22: 15 ~ 18.
- Peng Peng, Zhai Minguo, Zhang Huafeng, Zhao Taiping, Ni Zhiyao. 2004. Geochemistry and geologic significance of the 1.80 Ga mafic dyke swarms in the North China Craton: an example from the juncture of Shanxi, Hebei and Inner Mongolia. *Acta Petrologica Sinica*, 20(3): 439 ~ 456 (in Chinese with English abstract).
- Rogers J J W, Santosh M. 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent. *Gondwana Res.*, 5: 5 ~ 22.
- Sears J W. 2001. Icosahedral fracture tessellation of early Mesoproterozoic Laurentia. *Geology*, 29: 327 ~ 330.
- Sears JW. 2003. On the edge of the icosahedron: anatomy of the Montana-Tennessee structural corridor. *Abstracts with Programs-Geological Society of America*, 35 (5): 41.
- Sears J W, Price R A. 2003. Tightening the Siberian connection to western Laurentia. *Geological Society of America Bulletin*, 115: 943 ~ 953.
- Sears J W., Gregory M. S t. George, J. Chris Winne. 2005. Continental rift systems and anorogenic magmatism. *Lithos*, 80: 147 ~ 154.
- Van Schmus W R, Bickford M E. 1993. Transcontinental Proterozoic provinces. In: Reed, J C, Bickford, M E, Houston, R S, Link, P K, Rankin, D W, Sims, P K, Van Schmus, W R (Eds.), *Geology of North America. Geological Society of America DNAG, C-2*: 171 ~ 334.
- Zhao Guochun, Cawood P A, Wilde S A, Sun Min. 2002. Review of global 2.1 ~ 1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent. *Earth - Science Reviews*, 59: 125 ~ 162.
- Zhao Guochun, Sun Min, Wilde S A, Li Sanzhong. 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: assembly, growth and breakup. *Earth Science Review*, 67: 91 ~ 123.

我院杨经绥研究员获 2007 年度何梁何利科学与技术进步奖

何梁何利基金 2007 年度颁奖大会于 10 月 31 日在京举行,我院地质所研究员杨经绥获得科学与技术进步奖。

杨经绥研究员长期从事岩石学和大地构造学紧密结合的研究,在青藏高原的地体构架、超高压变质带和地幔矿物研究中有重要发现与创新:建立了中国西部柴北缘和中部东秦岭两条超高压变质带,并被国际承认;提出中国中央 4000 km 巨型超高压变质带和早古生代及印支期两期超高压变质事件,为

解决中国重大关键地质构造问题做出重要贡献;新发现和厘定西藏拉萨高压/超高压变质带,对于揭示青藏高原新的地体边界和古特提斯洋盆深俯冲具有重要意义;发现西藏蛇绿岩铬铁矿中柯石英和乌拉尔铬铁矿中金刚石等超高压矿物,提出铬铁矿深部地幔成因新认识。

国务委员陈至立、全国人大常委会副委员长路甬祥为获奖者颁奖。

(信息来源:2007-12-13. <http://www.cags.net.cn/20071109-2.htm>)