从聚合到裂解：联合古陆变化过程的地质学考察

周文斌

中山大学物理学院，广东 广州 510275

摘 要：联合古陆是地质历史时期最后一个完整的超级大陆，其形成、鼎盛与解体构成了显生宙以来最宏大的板块构造事件。本文以联合古陆的完整变化过程为主线，首先梳理了超大陆旋回理论与古大陆重建的方法论基础，继而从聚合、鼎盛和裂解三个阶段系统阐释联合古陆的演化历程，并深入分析裂解过程中地幔柱活动、特提斯洋演化以及二叠纪末生物大灭绝等全球性响应，最后结合中国主要陆块在联合古陆拼合中的独特角色，展示这一超级大陆变化过程对现代地貌格局与全球气候系统的深远影响。

关键词：联合古陆；超大陆旋回；板块构造；裂解；特提斯洋；二叠纪末大灭绝

1 引 言

当我们打开一幅现代世界地图，南美洲与非洲的轮廓仿佛仍能重新拼合在一起——这并非巧合。大约 2.5 亿年前，地球上几乎所有的大陆块体聚合在一起，形成了一个被古海洋环绕的单一超级大陆，地质学上称之为“联合古陆”或“泛大陆”（Pangea）。奥地利地质学家 E. 休斯于 1885 年首先提出了“冈瓦纳古陆”的概念，而德国气象学家魏格纳则在 1912 年的大陆漂移理论中正式命名了这一超级大陆。此后一个多世纪中，随着古地磁技术、深海钻探和板块构造理论的相继突破，联合古陆的面貌逐渐清晰——它不仅是一个地质学概念，更是理解地球从古生代向中生代转型的关键钥匙。

联合古陆的完整存在时间约为晚石炭世至早侏罗世，距今约 3 亿至 1.8 亿年。在这大约 1.2 亿年的地质尺度中，它经历了从多个离散大陆逐步聚拢、到所有陆块暂时整合、再到缓慢裂解直至完全分离的全过程。这一过程并非孤立的陆地变化，而是与威尔逊旋回、地幔柱上涌、全球气候变化以及生物大规模兴衰交织在一起的复杂系统演化。本文将从聚合、鼎盛和裂解三个阶段，综合考察联合古陆的变化过程，揭示这一超级大陆如何在运动与变化中塑造了今日地球的基本面貌。

2 超大陆旋回与古大陆重建的理论框架

2.1 超大陆旋回：地球历史的宏大节律

地质学家早已注意到，地球上的大陆并非始终处于分离状态，而是呈现出周期性聚散的规律，这便是“超大陆旋回”概念的核心内涵。研究表明，太古代末至早古生代存在至少四次超大陆或大陆聚合时期，超大陆的聚合与裂解造成了全球性的重大构造-热事件，成为全球板块构造演化的主线。联合古陆正是这一宏大旋回中最年轻且证据最为丰富的一个环节——在

作者简介: 周文斌，男；**学号**： ；E-mail：zhouwb27@mail2.sysu.edu.cn

其之前，有哥伦比亚超大陆（约 19 亿～14 亿年前）和罗迪尼亚超大陆（约 11 亿～7.5 亿年前）；在其之后，则是正在形成中的下一个超大陆——“终极潘基亚”，预计在未来的 2.5 亿年后出现。

2.2 古大陆重建的方法学演进

联合古陆的变化过程之所以能被人类认知，依赖于古大陆重建方法的不断创新。最早的古大陆再造基于大陆轮廓的直观拼接——非洲与南美洲仿佛可以严丝合缝地拼合在一起，这一观察成为大陆漂移说的起点。然而，形状的相似性终究只是表象，真正的突破来自 20 世纪 50 年代古地磁技术的成熟。岩石在形成时记录了当时的地球磁场方向，利用这一原理，科学家可以确定古陆块形成时所在的古纬度位置。结合古生物区系的相似性与地质构造的延续性，古大陆的复原逐渐从推测走向定量。此外，全球沉积地质计划在 20 世纪 90 年代启动了“联合古陆专项研究”，通过对全球石炭纪至侏罗纪沉积岩进行系统的古地理学、古气候学和古海洋学研究，进一步丰富了联合古陆变化过程的沉积证据。

3 联合古陆的聚合：从离散走向统一

3.1 古生代早期的离散格局

在联合古陆形成之前，地球上的大陆块体处于相当分散的状态。根据古地磁数据的复原，古生代早期全球各大陆的主要部分都位于赤道附近及南半球，大致表现为沿纬度呈东西向排列的特征。彼时存在几个主要的陆块群：北半球的劳伦大陆、西伯利亚大陆和波罗的陆块，以及南半球的冈瓦纳大陆（包括南美洲、非洲、印度、澳大利亚和南极洲）。这些陆块之间分布着大洋——其中最重要的是位于劳伦大陆与波罗的陆块之间的亚皮特斯洋，以及更广阔的古特提斯洋。

3.2 两条拼合带：从加里东到华力西

联合古陆的聚合并非一蹴而就，而是沿着两条主要的造山带逐步完成的。第一阶段的拼合发生在古生代早期，劳伦大陆与波罗的陆块的碰撞形成了加里东造山带，大致对应今日挪威至英伦三岛的山脉分布。更重要的聚合则发生在晚古生代。随着亚皮特斯洋和里克洋的消亡，劳伦大陆与冈瓦纳大陆的西部地区发生南北向拼合，与此同时，西伯利亚大陆也逐渐向北漂移并与上述块体连接。到石炭纪和二叠纪之交，北美、俄罗斯、西伯利亚与南方的冈瓦纳诸陆块最终连为一体，形成了潘基亚超级大陆。这一阶段的关键是华力西造山运动——它使欧亚古陆与非洲古陆拼合，完成了联合古陆的主体架构。

3.3 Pangea A、B 与 C：多次调整的拼合模式

联合古陆的聚合模式并非一成不变，在大约 3.2 亿年至 2.5 亿年期间，劳伦大陆与冈瓦纳大陆之间存在约 30° 的方位调整，由此提出了 Pangea A、B、C 三种不同的重建模型。这表明联合古陆的聚合本身就是一个动态过程——大陆块体从各处聚拢后，并未立即进入静止状态，而是在漫长的晚古生代中持续微调自己的相对位置，直到二叠纪末才达到相对稳定的“鼎盛形态”。

4 联合古陆的鼎盛与解体

4.1 鼎盛期的双重面孔

联合古陆在大约二叠纪末期基本形成，这一由北极延伸至南极的巨型大陆跨越了不同的古气候带，其面积之巨在显生宙中绝无仅有。然

而，鼎盛期并不意味着宁静，而是蕴含着两种截然相反的动力学力量：一方面是多个板块碰撞后仍在持续汇聚的压力，另一方面是已经开始工作的裂解驱动力。这如同一个不断膨胀的气球——当膨胀达到极限时，破裂便不可避免。

4.2 裂解机制：地幔柱与深俯冲之争

关于联合古陆的解体原因，学术界长期存在争论。超大陆的聚合主要通过全球性板块汇聚和造山运动完成，这已成为共识，但导致超大陆裂解的动力机制至今仍是热点议题。主流观点认为，地幔柱的上涌是关键驱动力——超级大陆下方积聚的放射性物质产生的热量达到临界值时，高温的柱状地幔物质将向上涌出，从底部将超大陆“顶开”，形成大型火成岩区。支持这一观点的重要证据是：在联合古陆开始裂解的约 2.0 亿至 1.8 亿年前，全球出现了数个大规模火成岩省的爆发式活动。另一种观点则认为，板块深俯冲过程中释放的流体和热量可能对超大陆的稳定性构成了根本性威胁，裂解是“自上而下”的板块动力学过程的结果。两种机制也许并不互斥——超大陆的解体很可能是深层热能积累与表层板块运动相互耦合、彼此反馈的复杂结果。

4.3 裂解的时空轨迹

实际的裂解过程呈现出清晰的时空次序。裂谷作用最早出现在特提斯域及其外围地区。三叠纪期间，联合古陆东部（今日亚洲方向）发育了最初的裂谷系统。随后，裂谷作用向西迁移，中三叠世时大陆裂谷已延伸至西西里地区。真正意义上的大规模洋盆打开发生在早侏罗世，此时北大西洋开始形成，非洲与美洲大陆沿中洋脊相背漂移，联合古陆由此被撕裂为北方的劳亚古陆和南方的冈瓦纳古陆两块巨体。此后，冈瓦纳古陆在侏罗纪至白垩纪期间进一步分裂——南美洲与非洲首先分离、印度板块向北漂移、澳大利亚与南极洲之间的通道也逐渐打开。当所有这些分裂都完成后，今日世界七大洲的轮廓便大致具备了。

4.4 伴随裂解的特提斯演化

联合古陆的裂解与特提斯洋的演化密不可分。华力西运动使欧亚古陆与非洲古陆拼合后，形成了统一的大陆骨架，而此时东侧的大洋——古特提斯洋——正逐步收缩。随着联合古陆解体和陆块分漂，一个新的洋盆——新特提斯洋——在联合古陆解体后的空隙中敞开。新特提斯洋从三叠纪至白垩纪经历了完整的威尔逊旋回：先是大陆裂谷、成熟大洋盆地的形成，继而洋壳向周边陆块俯冲，最终在中生代末至新生代早期完全闭合，形成了全球瞩目的阿尔卑斯—喜马拉雅造山带。中国西南部的雅鲁藏布江缝合带，正是新特提斯洋闭合时留下的地理印记。

5 裂解的全球响应：从大灭绝到青藏高原

5.1 二叠纪末生命浩劫

联合古陆的聚合并非仅仅是陆地的物理重组，它从根本上改变了地球表层系统的运行方式。一个跨赤道、几乎连贯南北极的超级大陆，意味着全球大气环流格局完全变了——海洋的调温作用被抑制，内陆出现大面积荒漠，气候分带变得极端。二叠纪末至三叠纪最初期，联合古陆的鼎盛与分裂期重叠了地球上迄今为止规模最大的生物灭绝事件：近 95% 的种、82% 的属、一半以上的科消失，海洋中 95% 以上和陆地上 75% 以上的生物物种遭遇灭绝。

学者们逐渐认识到，这一灾难并非偶然的单独事件，而是联合古陆聚合的地球表层效应。泛大陆的形成带来了一系列连锁反应：洋中脊减少 $\rightarrow$ 隔热垫效应 $\rightarrow$ 大规模陆相火山喷发

（峨眉山玄武岩和西伯利亚暗色岩）→ 温室气体释放 → 全球温度飙升 → 海洋缺氧与酸化；同时大陆干旱化、纬度风系取代季风气候导致植被大面积消亡。联合古陆的聚合与裂解在这条因果链条中扮演了核心角色——它像一个巨大的热力学开关，在聚合时压制了海洋的缓冲作用，在裂解时又触发了地幔柱的活动。

5.2 中国陆块群的崛起

在联合古陆形成和解体的全球大背景下，中国主要陆块一直扮演着一个独特的角色。华北、华南和塔里木三大古陆在前寒武纪各自有独立的构造演化历史，在古生代的大部分时间里保持着相对离散的状态，始终处于劳伦大陆、西伯利亚与冈瓦纳大陆之间，在古特提斯洋中缓慢地向北运移。直到石炭纪至三叠纪期间，这些陆块才在天山—兴安岭、昆仑山、秦岭—大别等地区发生一系列局部性的陆陆碰撞，逐渐拼入欧亚大陆的南缘。

正是这一“姗姗来迟”的角色，使中国地质与中国大陆型造山带的研究在联合古陆问题中拥有独特的价值。中央造山系的高压—超高压变质作用研究证实，中国主要古陆块正是在三叠纪全球 Pangea 造山运动时期最终拼合在一起，形成了中国大陆的主体。而在联合古陆开始裂解之后，青藏高原地区的新特提斯洋演化又成为地球大陆碰撞研究中最经典的案例。可以说，从古特提斯洋中漂泊的中国小陆块群，到最终被卷入联合古陆，再到新特提斯洋的闭合造就青藏高原——中国大地亲身见证了联合古陆从聚合到裂解、从生到死的完整循环。

6 结论与启示

联合古陆的变化过程，是一部大陆从离散到统一、再从统一走向离散的宏大史诗。在漂移、碰撞、拼合与裂解之间，大陆完成了这场持续约 1.2 亿年的循环：古生代早期分散于南北半球的各大板块，通过加里东、华力西等多次造山运动聚集成一个横跨南北半球的超级大陆；鼎盛期只维持了数千万年，便被地幔柱的热力从底部撕裂，沿着三叠纪裂谷的印痕崩解为劳亚古陆和冈瓦纳古陆两块巨体，随后进一步分裂为今日的七大洲与五大洋。

这场变化的意义远远超出了地质学本身的范畴。联合古陆的聚合触发了二叠纪末最严重的生物危机，它的裂解则开启了中生代恐龙繁盛的新纪元。当印度板块从冈瓦纳古陆裂离并高速向北漂移时，它在约 5000 万年前与欧亚大陆的碰撞形成了青藏高原——这一抬升反过来改变了亚洲季风的格局乃至全球气候。在更深的层次上，联合古陆的变化过程为我们提供了一个跨越亿万年尺度的“系统演化实验”：大陆如何聚合、裂解，生命如何响应、适应或灭绝，气候如何被重塑——这些问题不仅是历史地质学的研究课题，也为我们理解当代全球变化提供了最深远的时间参照。

参考文献：

[1] 李江海. 前寒武纪的超大陆旋回及其板块构造演化意义 [J]. 地学前缘, 1998(S1): 144-154.

[2] 万天丰, 朱鸿. 古生代与三叠纪中国各陆块在全球古大陆再造中的位置与运动学特征 [J]. 现代地质, 2007, 21(1): 1-13.

[3] 殷鸿福, 宋海军. 古、中生代之交生物大灭绝与泛大陆聚合 [J]. 中国科学:地球科学, 2013, 43(10): 1539-1552.

[4] 翟庆国. 中国主要古陆与联合大陆的形成——综述与展望 [J]. 中国科学：地球科学, 2013.

[5] 金玉玕, 张进, 尚庆华. 前乐平统海洋动物灾变事件 [J]. 古生物学报, 1995.

[6] 颜仰基, 吴应林, 许效松, 等. 全球沉积地质计划“联合古陆”项目及 92 年工作会议介绍 [J]. 沉积与特提斯地质, 1992, 12(6): 59-60.

[7] 黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化 [M]. 地质出版社,1987.

[8] 李献华.2021. 超大陆裂解的主要驱动力——地幔柱或深俯冲？[J]. 地质学报,95(1):20-31.

[9] 傅恒, 李雪兰, 邝碧湘. 天文事件与二叠纪末联合古陆解体 [J]. 沉积与特提斯地质,2004,(2):101-105.

[10] 张世红, 王鸿祯. 古大陆再造的回顾与展望 [J]. 地质论评,2002,48(2):198-213.