早-中元古代 Columbia 超级大陆研究进展

赵国春^① 孙 敏^① S. A. Wilde^②

(^①香港大学地球科学系, 香港; ^②Department of Applied Geology, Curtin University of Technology, Bentley 6102, Australia.

E-mail: gzhao@hkucc.hku.hk)

地球在过去 25 亿年里曾发生过几次全球性大规模碰撞造山事件(如 Grenville 事件, Pan-African 事件等);地质学家由此推测大陆块自早元古代以来曾发生过周期性拼合和分离,从而导致古超级大陆的形成和裂解^[1]. 在过去 10 年里(1991~2001 年),被认为由约 1.0 Ga Grenville 造山事件所形成的超级大陆 Rodinia 已成为古大陆重建的一个热点^[2,3]. 然而,地质学家们在重建 Rodinia 过程中发现,并非全部 Rodinia 组成陆块都是由 Grenville 造山带所焊接,而且,许多由 Grenville 造山带所焊接的大陆块内部含有更早期的全球性碰撞造山事件信息^[4]. 这使得一些地质学家推测可能存在一个前 Rodinia 超级大陆^[4,5]. 尽管这一超级大陆的形成和演化历史目前还不十分清楚,地质学家们最近在有关其拼合、随后增生和最终裂解等方面已取得一些重要研究进展^[4~10].

1 前 Rodinia 超级大陆——Columbia

Rogers 等人^[6]认为北美 Columbia 地区在 Rodinia 形成之前某一时期曾与印度东部相连,并认为这是前 Rodinia 超级大陆存在的最重要证据,因此他们将前 Rodinia 超级大陆命名为“Columbia”. 图 1(a)是 Rogers 等人提出的 Columbia 超级大陆的一个重建方案. 该方案将南非、马达加斯加、印度、澳大利亚和部分南极陆块与北美陆块西缘连在一起,将格陵兰、波罗的和西伯利亚陆块与北美陆块的东北缘连在一起,并将南美陆块与西非陆块相连. 最近, Zhao 等人^[4]提出 Columbia 超级大陆重建的另一种方案(图 1(b)). 该方案中有关格陵兰、波罗的和西伯利亚陆块与北美陆块的重建以及南美陆块和西非陆块的重建与 Rogers 等人的重建方案相似,但有关印度、澳大利亚、南极陆块与北美陆块的重建则与这些陆块在 Rodinia 超级大陆中的重建方案相同. 在这些重建方案中,格陵兰、波罗的和西伯利亚陆块与北美陆块的重建以及南美陆块和西非陆块的重建

得到了古地磁资料的支持^[8]. 例如,已有的古地磁资料显示,在 1.8~1.3 Ga 期间,北美、格陵兰、波罗的和西伯利亚陆块具有非常一致的视极移曲线,并都主要分布在 $\pm 30^\circ$ 的古纬度^[8];在 2.0~1.5 Ga 期间,南美陆块和西非陆块记录了相似的视极移曲线^[11]. 这些古地磁资料有力地支持了 Columbia 超级大陆的存在.

2 2.1~1.8 Ga 全球碰撞事件与 Columbia 拼合

Columbia 超级大陆各组成陆块是在 2.1~1.8 Ga 碰撞事件中拼合在一起的^[4,6,7]. 这一认识主要是基于 2.1~1.8 Ga 碰撞造山带分布于 Columbia 所有组成陆块或克拉通之间或其内部. 如图 1(b)所示,这些碰撞带包括南美和西非陆块之间的 2.1~2.0 Ga Trans-amazonian-Eburnean 碰撞带,劳伦(Laurentia)陆块内部的 1.9~1.8 Ga Trans-Hudson 和 Nagssugtoqidaín 碰撞带,波罗的陆块内部的 1.9~1.8 Ga Kola-Karelia 碰撞带,西伯利亚陆块内部的 1.9~1.8 Ga Akitkan 碰撞带,南非卡普沃(Kaapvaal)和津巴布韦(Zimbabwe)克拉通之间的 2.0~1.9 Ga Limpopo 碰撞带,西澳耶尔岗(Yilgarn)和皮尔巴拉(Pilbara)克拉通之间的 2.0~1.9 Ga Capricorn 碰撞带,南北印度克拉通之间的早元古代印度中央碰撞带以及华北克拉通东、西陆块之间的 1.9 ~ 1.8 Ga 华北中部碰撞带等. 这些 2.1~1.8 Ga 碰撞造山带可能记录了一次全球性碰撞事件,它导致了太古宙-早元古宙克拉通陆块的拼合,从而形成一个统一的前 Rodinia 超级大陆——Columbia^[4].

3 Columbia 拼合和增生的沉积和岩浆记录

一些早-中元古代的沉积和岩浆记录为 Columbia 超级大陆早期拼合和随后增生提供了证据. 例如南美和西非大陆上的所有克拉通陆块都发现约 2.0 Ga 的河流相至三角洲相陆内沉积盆地^[12]. 这些盆地具

图 1 早-中元古代 Columbia 超级大陆重建

(a) Rogers 等人^[6]的重建; (b) Zhao 等人^[4]的重建。图中克拉通符号: AU: 澳大利亚; B: 波罗的; CA: 中澳大利亚; CEA: 东南极近岸区; EA: 东南极; G: 格陵兰; IND: 印度; KA: 卡拉哈利 (Kalahari); M: 马达加斯加; NA: 北美; NC: 华北; S: 西伯利亚; SA: 南美; SAF: 南非; SC: 华南; WA: 西澳大利亚; WAF: 西非; ZI: 津巴布韦。图中造山带符号: 1. Trans-Hudson; 2. Penokean; 3. Taltson-Thelon; 4. Wopmay; 5. New Quebec; 6. Torngat; 7. Foxe; 8. Makkovik-Ketilidian; 9. Ungava; 10. Nugssugtoqidian; 11. Kola-Karelian; 12. Svecofennian; 13. Volhyn-Central Russian; 14. Pachelma; 15. Akitkan; 16. Transantarctic; 17. Capricorn; 18. Limpopo; 19. Transamazonian; 20. Eburnian; 21. 华北中部带; 22. 印度中部带; 23. 中阿尔丹造山带; 24. 苏格兰

有相似的沉积成分特征, 都是由河流相至三角洲相砾岩和砂岩所组成, 其代表性沉积建造包括刚果境内的 Francevillian 建造, 西非境内的 Tarkwaian 建造, 南美圭亚那境内的 Rosebel 建造和巴西境内的 Jacobina 建造等。这些沉积建造是在南美和西非陆块碰撞初始阶段所形成的前陆盆地中形成的^[12]。

现今的北美、格陵兰和波罗的大陆的南缘出露一条 1.8~1.3 Ga 大岩浆岩带。该岩浆岩带始于亚利桑那, 穿过科罗拉多、密歇根、南格陵兰、瑞典和芬兰, 止于西俄罗斯^[13]。组成该大岩浆带的主要大陆边缘造山带有北美西南部的 Yavapai 和 Mazatzal 带、北美东北部的 Makkovik 带、南格陵兰的 Ketilidian 带、波罗的南部的 Svecofennian 和 Sveconorwegian 带等。如此大规模形成时间相近、岩石组合相似的岩浆岩带的出现有力地支持了 Columbia 超级大陆的存在^[4,6]。地球化学研究表明, 该大岩浆岩带的火山岩和侵入岩主要形成于岛弧和大陆边缘环境^[14]。因此, 该岩

浆岩带可能代表与俯冲有关的 Columbia 超级大陆边缘的向外增生带^[4,6]。

4 非造山岩浆活动与 Columbia 超级大陆裂解

早-中元古代 Columbia 超级大陆的主要组成陆块 (如北美、格陵兰、波罗的、南美、西非等) 都有 1.6~1.3 Ga 非造山期岩浆岩分布^[4,6]。代表性非造山期岩浆岩组合为斜长岩(anorthosite)-纹长岩(mangerite)-紫苏花岗岩(charnockite)-花岗岩(granite)(简称 AMCG)和环斑花岗岩(rapakivi granite)^[1]。在北大西洋地区, 这些非造山期岩浆岩组合沿北美、格陵兰、波罗的和乌拉尔山一线分布, 它们的成因与 Columbia 超级大陆最终裂解前经历的拉张事件有关^[4,6,13]。同期非造山岩浆活动还包括大量的金伯利岩、钾镁煌斑岩、碳酸岩等碱性超基性岩的侵入, 它们主要分布在西非、南非、印度、南美和西澳大利亚等地, 如南非卡普沃 (Kaapvaal) 克拉通上的 1.6~1.2 Ga 金伯利岩和碳酸

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-18-1361>

岩、西非克拉通上的 1.4~1.2 Ga 金伯利岩和钾镁煌斑岩、西澳大利亚和印度克拉通上的约 1.2 Ga 金伯利岩^[4]。这些板块规模的碱性超基性岩浆活动代表一次重要的地幔上涌事件,可能与导致 Columbia 超级大陆裂解的地幔柱活动有关。此外,1.4~1.3 Ga 基性岩墙群广泛分布于北美、格陵兰、波罗的、中澳大利亚、南极、南美、西非等地,如北美的麦肯奇(MacKenzie)基性岩墙群^[15]。这些基性岩墙群被认为是代表了一期导致 Columbia 超级大陆最终裂解的板块规模拉张事件^[4, 6]。

5 Columbia 拼合、增生和裂解事件在华北克拉通上的记录

5.1 拼合记录

近年来,中国地质学家对华北克拉通基底组成和构造演化开展了卓有成效的研究并取得一些重要研究进展。这些研究进展对早中元古代 Columbia 超级大陆的重建提供了重要制约^[16]。新的研究资料表明华北克拉通中部基底与东、西部基底在物质组成、构造样式、变质演化和同位素年龄等方面存在明显差别^[17]。如残余洋壳、混杂岩、高压麻粒岩、退变榴辉岩等与碰撞造山带有关岩石组合只出现在华北克拉通的中部带,而克拉通的东、西部主要由太古宙英云闪长质-奥长花岗质-花岗闪长质(TTG)片麻岩穹隆所组成^[16~19]。变质作用研究也表明华北克拉通中部带与东、西部基底岩石具有不同的变质 P - T 演化特征:前者显示等温降压(ITD)顺时针 P - T 演化轨迹,反映大陆碰撞的构造环境;而后者显示等压冷却(IBC)逆时针 P - T 演化轨迹,反映地幔岩浆底侵环境^[17]。基于这些差异,一些学者提出华北克拉通基底可划分为东部地块、西部地块和中部碰撞带 3 个构造单元;东部地块和西部地块在早元古代末沿中部碰撞带拼合而形成华北克拉通统一结晶基底^[17, 20, 21]。同位素年龄资料证实导致东部地块和西部地块拼合的碰撞造山事件发生在约 1.85 Ga^[22~24]。这说明华北克拉通和世界上其他克拉通陆块一样,记录了导致 Columbia 超级大陆拼合的 2.1~1.8 Ga 全球性碰撞造山事件。

5.2 增生记录

华北克拉通南缘存在以熊耳群、西阳河群、崑山

群、河口群、落凹群等为代表的一条巨型早-中元古代(1.8~1.4 Ga)火山岩带,其分布范围达 40000 km²,实际出露面积约 7000 km²。该火山岩带主要由安山质熔岩和英安质斑岩及少量中酸性火山碎屑岩组成,其组成类似于现代大陆边缘火山弧建造^[25]。一些学者认为熊耳群形成于大陆裂谷环境^[26],但岩石组合和地球化学特征表明该火山岩带形成于安第斯型大陆边缘岩浆弧环境^[25]。这说明在 Columbia 超级大陆存在期间,华北克拉通部分周边也存在像北美、格陵兰和波罗的大陆南缘所出露的早-中元古代(1.8~1.3 Ga)与俯冲有关的岩浆弧增生带,即华北克拉通周边也记录了 Columbia 超级大陆边缘早-中元古宙向外增生的历史。

5.3 裂解记录

现有资料表明,华北克拉通北缘在中元古时期可能发生过广泛的非造山型岩浆活动,其代表性岩石组合有河北大庙 1683 Ma 斜长岩-苏长辉长岩、河北密云-丰宁及辽宁宽甸一带 1716 Ma 环斑花岗岩和长城系串岭沟组和团山子组内的 1683~1625 Ma 高钾火山岩等^[27, 28]。这些非造山期岩浆岩与北美、格陵兰、波罗的、南美等地的斜长岩-纹长岩-紫苏花岗岩-环斑花岗岩-高钾火山岩组合一样,代表一期导致早-中元古宙 Columbia 超级大陆最终裂解的板块规模拉张裂谷事件^[28]。此外,中元古代基性岩墙群广泛分布于华北克拉通内^[28],它们像北美、格陵兰、波罗的、中澳大利亚、南极、南美、西非等地的基性岩墙群一样,其成因可能与早-中元古宙 Columbia 超级大陆裂解前所经历的拉张事件有关。

6 Columbia 超级大陆研究问题与展望

综上所述,一些地质证据表明在 Rodinia 超级大陆形成之前可能存在一个早-中元古代超级大陆——Columbia。然而,由于缺少可靠的古地磁资料和精确同位素年龄数据,地质学家们目前还不可能拿出一个完整的 Columbia 超级大陆重建方案。并且,关键的 2.1~1.8 Ga 碰撞造山带热构造演化数据的缺乏也限制了不同造山带之间的地质对比和 Columbia 超级大陆重建。此外,早-中元古代 Columbia 超级大陆的裂解与晚元古代 Rodinia 超级大陆形成关系目前仍不清楚。为了解决这些问题,美国、澳大利亚、加拿大、

英国、中国、德国和法国等一些国家的地质学家们正在密切合作,努力获得可靠的古地磁数据和与之匹配的精确同位素年龄数据,同时也正在进行详细的造山带之间和克拉通陆块之间的对比研究。这些研究有可能使 Columbia 超级大陆的重建在未来几年里取得一些突破性进展。

致谢 本工作受香港 RGC 项目(HKU 7115/00P, HKU 7090/01P)和中国国家自然科学基金(批准号:40072061)资助。

参 考 文 献

- Windley B. The Evolving Continents. 3rd ed. Chichester: John Wiley and Son, 1995. 526
- Hoffman F P. Did breakout of Laurentia turn Gondwana inside-out? Science, 1991, 252: 1409~1411
- Dalziel I W D. Pacific margins of Laurentia and East Antarctic-Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. Geology, 1991, 19: 598~601
- Zhao G C, Cawood P A, Wilde S A, et al. Review of global 2.1~1.8 Ga orogens: Implications for a pre-Rodinia supercontinent. Earth Sci Rev, 2002 (in press)
- Rogers J J W. A history of continents in the past three billion years. J Geol, 1996, 104: 91~107
- Rogers J, Santosh M. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent. Gondwana Res, 2002, 5: 5~22
- Condie K C. Breakup of a Paleoproterozoic supercontinent. Gondwana Res, 2002, 5: 41~43
- Meert J G. Paleomagnetic evidence for a Paleo-Mesoproterozoic supercontinent Columbia. Gondwana Res, 2002, 5: 207~216
- Sear J W, Price R A. The hypothetical Mesoproterozoic Columbia: Implications of the Siberian-West Laurentian Ghost. Gondwana Res, 2002, 5: 35~40
- Wilde S A, Zhao G C, Sun M. Development of the North China Craton during the late Archean and its final amalgamation at 1.8 Ga: Some speculations on its position within a global Paleoproterozoic supercontinent. Gondwana Res, 2002, 5: 85~94
- Onstott T C, Hargraves R B. Proterozoic transcurrent tectonics: Paleomagnetic evidence from Venezuela and Africa. Nature, 1981, 289: 131~136
- Ledru P, Johan V, Milési J P, et al. Makers of the last stage of the Paleoproterozoic collision: Evidence for 2 Ga continent involving circum-South Atlantic provinces. Precambrian Res, 1994, 69: 169~191
- Gower C F, Ryan A B, Rivers T. Mid-Proterozoic Laurentia-Baltica: An overview of its geological evolution and summary of the contributions by this volume. In: Gower C F, Rivers T, Ryan B, eds. Mid-Proterozoic Laurentia-Baltica. Geol Assoc Can Spec Pap, 1990, 38: 1~20
- Patchett P J, Arndt N T. Nd isotopes and tectonics of 1.9~1.7 Ga crustal genesis. Earth Planet Sci Lett, 1986, 78: 329~338
- Le Cheminant A N, Heaman L M. Mackenzie igneous event, Canada; Middle Proterozoic hotspot magmatism associated with ocean opening. Earth Planet Sci Lett, 1989, 96: 38~48
- 李江海. 华北克拉通对前寒武纪超级大陆旋回的基本制约. 岩石学报, 2001, 17: 177~186
- Zhao G C, Wilde S A, Cawood P A, et al. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton: Lithological, geochemical, structural and *P-T* path constraints and tectonic evolution. Precambrian Res, 2001, 107: 45~73
- 王凯怡, 李继亮, 郝杰. 山西省五台山晚太古宙铁镁质-超铁镁质岩: 一种可能的古蛇绿混杂岩. 岩石学报, 1997, 13: 139~151
- 翟明国, 郭敬辉, 阎月华, 等. 中国华北高压麻粒岩的发现及其初步研究. 中国科学, B 辑, 1992, (12): 1325~1330
- Zhao G C. Palaeoproterozoic assembly of the North China Craton. Geol Mag, 2001, 138: 87~91
- 吴昌华, 钟长汀. 华北陆台中段吕梁期的 SW-NE 向碰撞. 前寒武纪研究进展, 1998, 21: 28~50
- 郭敬辉, 翟明国, 许荣华. 华北桑干地区大规模麻粒岩相变质作用的时代: 锆石 U-Pb 年代学. 中国科学, D 辑, 2002, 32(1): 10~18
- 郭敬辉, 翟明国. 华北克拉通桑干地区高压麻粒岩变质作用的 Sm-Nd 年代学. 科学通报, 2000, 45(19): 2055~2061
- Guan H, Sun M, Wilde S A, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping Complex: Implications for formation and assembly of the North China craton. Precambrian Res, 2002, 113: 1~18
- 陈衍景. 熊耳群和西阳河群的构造背景. 地质论评, 1992, 38: 325~333
- 孙枢, 从柏林, 李继亮. 豫-陕中-晚元古代沉积盆地. 地质科学, 1981, 4: 314~322
- 翟明国, 卞爱国. 华北克拉通新太古代末超大陆拼合及古元古代末-中元古代裂解. 中国科学, D 辑, 2000, 30(增刊): 129~137
- Lu S N, Yang C L, Li H K, et al. A group of rifting events in the terminal Paleoproterozoic in the North China Craton. Gondwana Res, 2002, 5: 123~131

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-18-1361>

(2002-04-13 收稿)