

文章编号: 1000- 6524 (2002) 04- 0343- 13

## 华北陆块对 Rodinia 超大陆 的响应及其特征

彭 澎, 刘文军, 翟明国

(中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘 要:** 研究揭示华北陆块 1 300~ 1 000 Ma 和 800~ 650 Ma 都存在比较弱的岩浆- 变质事件, 它们可能对应于华南陆块的碰撞(四堡运动)和裂解事件。华北陆块的四堡期蛇绿混杂岩可能只见于新元古代秦岭造山带中。秦岭造山带北缘识别出了一些花岗质侵入体, 它们具有碰撞或碰撞后花岗岩的特征。华北陆块北缘的火山沉积岩系不具有离散边界杂岩的特征, 它们可能揭示了大陆边缘或者大陆伸展过程。华北陆块与 800~ 650 Ma 事件相关的岩石主要为来自富集地幔的基性岩墙和来自陆内裂谷的沉积岩, 它们很可能与 Rodinia 裂解有关。沉积学和古生物学特征表明元古宙华北陆块不同于华南陆块, 而与西伯利亚陆块相似。据此可以认为华北陆块是 Rodinia 超大陆的一部分, 它位于超大陆的边缘, 可能不与华南陆块紧邻, 而与西伯利亚陆块较近。

**关键词:** 华北陆块; Grenville 造山运动; Rodinia 超大陆

**中图分类号:** P542; P588. 3

**文献标识码:** A

## Response of North China Block to Rodinia supercontinent and its characteristics

PENG Peng, LIU Wen\_jun and ZHAI Ming\_guo

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Recent studies reveal records of weak metamorphic- magmatic events of 1 300~ 1 000 Ma and 800~ 650 Ma in the North China Block (NCB), which probably correspond to collision events (Sibao orogenic event) and breakup events in the South China Block (SCB). The Sibao-age ophiolitic complex in NCB is represented only by Neoproterozoic North Qinling orogenic belt. Some granitic intrusive rocks were recognized along the North Qinling belt, which demonstrate properties of collisional and post-collisional granites. There are some volcanic-sedimentary rocks distributed along the northern margin of NCB, most of which do not show characteristics of the complex in the divergent margin, but probably reflect extensional process of the continent and continental margin. The rocks of 800~ 650 Ma are mainly basic dikes in the enriched mantle and sedimentary successions in continental rift, most likely related to the breakup of Rodinian supercontinent. The characteristics of sedimentology and palaeontol-

收稿日期: 2002- 05- 17; 修订日期: 2002- 07- 24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40072061); 中国科学院重大创新资助项目(KZCX1- 07)

作者简介: 彭 澎(1978- ), 男, 博士研究生, 岩石学和地球化学专业。

ogy suggest that NCB was quite different from SCB in Proterozoic, but similar to the Siberia block. Based on the above discussion, the authors hold that, being a part of Rodinia supercontinent and located at its edge, NCB seems not to connect with the SCB but is quite close to the Siberia block.

**Key words:** North China Block; Grenville orogenic event; Rodinia supercontinent

## 1 前言

扬子陆块和华夏陆块都记录了新元古代 800~ 650 Ma 的 Rodinia 超大陆裂解事件 (Zhang & Li, 2001; Li, 1999; Li *et al.*, 1996, 1999)。Li 等 (2002) 报道的最新证据表明 Grenville 事件 (四堡运动, 1 300~ 1 000 Ma) 中, 扬子陆块和华夏陆块碰撞形成了华南陆块。这一新元古代大陆碰撞带可能是 Rodinia 超大陆中部的一条古缝合带, 它于 1 000 Ma 将澳大利亚-扬子和华夏-劳亚陆块联系在一起。1 300~ 1 000 Ma 的碰撞事件和 800~ 650 Ma 的裂解事件在华南陆块表现很强烈。前者形成的岩石主要包括变质火山岩和火山-沉积岩, 其中一些被认为是蛇绿岩残片 (Li *et al.*, 1994; 白瑾等, 1993; 水涛, 1987), 沉积岩可能是四堡运动大陆碰撞中前陆盆地沉积, 源岩可能来自华夏陆块 (Li *et al.*, 2002)。扬子陆块和华夏陆块之间的四堡造山带两侧岩石遭受了变质。海南、云南、四川和江西等地的同位素年龄提供了 1 300~ 1 000 Ma Grenville 同期碰撞事件的证据 (Li *et al.*, 1994, 2001), 而广泛出露于华南的 800~ 650 Ma 基性岩墙和花岗闪长岩是华南陆块 Rodinia 裂解的证据 (Li *et al.*, 1999; 水涛, 1987; 白瑾等, 1993; 周鼎武等, 1999)。因此, 华南陆块新元古代的演化与 Rodinia 超大陆演化关系密切。

然而, 华北陆块对 Rodinia 超大陆响应却很少被讨论到。前寒武纪华北陆块 (NCB) 的演化可以简单描述如下: 2 900~ 2 700 Ma 为大陆地壳的主要生长期; 2 600~ 2 450 Ma 和 1 900~ 1 650 Ma 发生了两期重要的构造-变质事件, Zhai 等 (2000) 分别称为 25 亿年地质事件和 18 亿年地质事件, 所有的前寒武纪岩石都有这两期地质事件的变质和年代学记录; 从 1 650 Ma 到中生代中期, 华北陆块处于一个稳定期, 前人称之为华北地台或者华北准地台。虽然赵宗溥 (1993) 和白瑾等 (1993) 认为华北陆块和华南陆块在新元古代-中元古代之前是一个联合大陆, 但是目前的研究并不能提供足够的证据。我们最近的研究表明华北陆块记录了 1 300~ 1 000 Ma 和 800~ 650 Ma 的地质事件, 这两期事件很弱。图 1a 是华北陆块前寒武纪变质火山岩同位素年龄的统计分布图, 两个主要的峰期为 2 600~ 2 450 Ma 和 1 950~ 1 750 Ma。对华北陆块北缘、南缘和中西部局部低级变质岩和未变质岩石的研究揭示出另外两个峰期: 600~ 750 Ma 和 1 500~ 1 350 Ma (图 1b), 这两个峰期事件可能反映了华北陆块对 Grenville 造山运动和 Rodinia 超大陆裂解的响应, 表明华北陆块仍然处于亚洲增生带中, 并且处于新元古代 Rodinia 超大陆的范围之中。然而, Rodinia 裂解事件在华北陆块的记录比扬子陆块、华夏陆块和塔里木陆块要弱很多, 这可能是新元古代华北陆块位于 Rodinia 超大陆边缘的一个特征。

## 2 Grenville(四堡)造山运动

### 2.1 华北陆块南缘

华北陆块南缘可能是 Grenville 期的蛇绿混杂岩 (北秦岭新元古代造山带) (张国伟等,

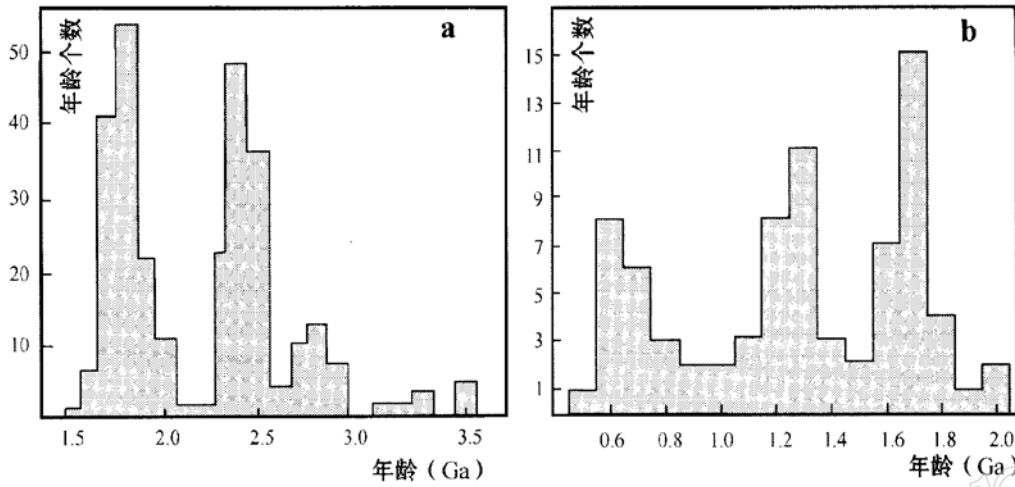


图 1 华北陆块前寒武纪变质火山岩同位素年龄统计图

Fig. 1 Isotopic chronological histogram of Precambrian metamorphic volcanic rocks in the North China Block  
a—2 600~ 2 450 Ma 和 1 950~ 1 750 Ma 的峰值; b—1 150~ 1 350Ma 和 600~ 750Ma 的峰值

2001; 周鼎武等, 1998; Zhang & Piper, 1997; 周鼎武等, 1995; 张宗清等, 1995; 陈能松等, 1991), 主要岩石是板片状变辉长岩-蛇纹石化橄榄岩和相关的变火山沉积序列(宽坪群)。宽坪群由一些绿片岩相到角闪岩相火山沉积岩夹少量碳酸盐岩组成。变沉积岩是具有鲍马序列特征的浊流沉积(李靠社等, 1994)。变火山岩主要为基性岩, 并含有少量酸性岩。大多数基性岩具有平坦的稀土元素分布型式, K、Rb、Ba 富集, 其他大离子亲石元素(LIL) 相对亏损, 类似于大洋板底玄武岩。少量岩石具有轻微 LREE 富集特征,  $(La/Yb)_n$  值为 1.5~ 5。在  $(La/Sm)_n - (Ba/Sm)_n$  图上, 大多数样品落入洋中脊玄武岩(MORB) 范围, 少量样品落入岛弧玄武岩(IAT) 范围, 它们的  $\epsilon Nd(t)$  值范围从 +2 到 +6.5。因此, 推断这些变基性火山岩为洋中脊玄武岩或者弧后盆地玄武岩(张宗清等, 1995; 刘良等, 1995)。变质辉长质岩石包括斜长角闪岩和石榴石角闪岩, 它们遭受了强烈的韧性剪切变形, 表现为构造透镜体和布丁体。其他共生透镜体为超基性岩, 包括纯橄岩、斜方辉石橄榄岩、二辉橄榄岩和透辉石橄榄岩等, 所有的岩石都经历了不同程度的蛇纹石化蚀变。辉长岩-超基性岩见微弱变形特征, 表现为糜棱结构、斑状结构、亚颗粒、膝折带、错断等。张国伟等(2001) 报道了变辉长岩的地球化学特征, 其 REE 模式可以分为 3 类: 类型 I 表现为轻度 REE 亏损, 类似于 MORB; 类型 II 表现为平坦或轻度轻稀土元素(LREE) 富集,  $(Ce/Yb)_n$  值为 1~ 4; 类型 III 表现为轻稀土元素(LREE) 富集,  $(Ce/Yb)_n$  值达 14。3 类样品都趋向于亏损地幔(DM)。超基性岩具有更加复杂的地球化学特征, 也可以根据 REE 特征分成 3 类: 下凹型、强烈的 LREE 亏损型和 LREE 富集型, 这可能与它们接受改造和重熔的程度有关(张国伟等, 2001)。辉长质岩石记录了高压变质历史, 从石榴石角闪岩中可以识别出 3 期变质, 主期矿物组合为 Grt + Cpx<sub>1</sub> + Qtz 包体; 第 2 期矿物组合为石榴石边, 由 Hy + Plg + Cpx<sub>2</sub> 和少量石英、磁铁矿组成; 第 3 期表现为角闪石替代辉石, 长石替代石榴石。这 3 期变质作用的温压条件分别为 800~ 900 °C、1.4~ 1.5 GPa, 765~ 825 °C、0.9 GPa 和 400~ 500 °C、0.5~ 0.7 GPa, 组成了一个快速减压的  $p - T$  轨迹(刘良等, 1995; 王焰等, 1997)。宽坪群和变质辉长岩的 Sm-Nd、Rb-

Sr 和锆石 U-Pb 同位素数据为 920 Ma 到 1 200 Ma。因此,华北陆块南缘北秦岭造山带可能类似于 Grenville 期碰撞造山带。

## 2.2 华北陆块北缘

华北北缘广泛分布着 1 150~ 1 350 Ma 变质岩石,其构造和岩石组合更加复杂。这些岩石沿着 3 个带分布,从南到北依次为渣尔泰裂谷带、白云鄂博裂谷带和温都尔庙岩浆-变质带。渣尔泰裂谷带 EW 走向,长 500 km,裂谷中的变质沉积-火山岩被称为渣尔泰群,由 3 000 m 厚的沉积序列夹陆内火山岩组成。下部为砾岩、杂砂岩和一些低成熟度的岩石,砾岩的产出和源区差异很大,表明存在一个断裂盆地快速堆积的过程。中部由成熟度高的石英砂岩和具有双峰特征的火山岩组成。中部的上层由沉积于滨海地区的泥质粉砂岩、含叠层石灰岩和白云岩组成。上部由黑色炭质页岩和微晶石灰岩夹铜锌铅硫化物沉积组成,沉积于氧化环境(水涛,1987),同位素年龄为 1 000 Ma 到 1 250 Ma(聂凤军等,1993,1995)。白云鄂博裂谷带位于渣尔泰裂谷带以北,长约 800 km,由白云鄂博群沉积-火山序列组成,显示浊流沉积的特征,沉积厚度约 10 000m,以碎屑岩和粘土岩为主,占沉积序列体积的 90%,其他岩石为碳酸岩和火山岩。白云鄂博群以富集 REE-Nb-Fe 矿产为特征,稀土元素富集与碱性火山岩和碳酸岩岩浆有关(陶克捷等,1998)。碱性火山岩的 K、Na、Li<sub>2</sub>O、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 BaO 含量大大高于一般火山岩。碳酸岩的 FeO、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 K<sub>2</sub>O 含量高,并且富集 Nb、Ta、Ce、Ti、Th、Ba 和 Zr,  $\delta^{13}\text{C}$  值为  $-6.57\text{‰} \sim +0.36\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $+8.28\text{‰} \sim +19.36\text{‰}$ , REE 模式为 LREE 富集,与碱性陆内玄武岩相似(王楫等,1989;陈辉等,1987),这些都表明碳酸质火山岩来自一个较深的源区。白云鄂博中部和西部 REE 矿物的 Sm-Nd 同位素年龄分别为  $1\,286 \pm 91$  Ma(张宗清等,1994)和  $1\,313 \pm 41$  Ma(任英忱等,1994),钠角闪石  $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$  坪年龄为  $1\,288 \pm 12$  Ma(张宗清等,1994)。富 REE 矿物的白云岩 Sm-Nd 同位素年龄为  $1\,273 \pm 100$  Ma 和  $1\,250 \pm 210$  Ma(张宗清等,2001)。白云鄂博群之上不整合覆盖一套新元古代白云质碳酸盐岩(阿牙登群)。渣尔泰裂谷带和白云鄂博裂谷带在空间上平行,时间上相近,它们形成于前寒武纪统一的变质基底(东五分子杂岩)之上。王楫等(1995)和邵济安等(2002)根据两个裂谷带发现了少量可能为 1 600~ 1 800 Ma 的变质岩,认为它们最初形成于 1 800 Ma,主要发育于 1 300~ 1 100 Ma 以前。邵济安等(2002)认为渣尔泰裂谷限于陆内克拉通的拗拉谷,而白云鄂博裂谷位于克拉通边缘,靠近古蒙古洋,它的演化经历了一个更长时间的滨海相沉积过程,其规模更大,碱性火山岩和碳酸质岩浆非常发育。因此认为白云鄂博裂谷带是陆内斜坡裂谷,形成于 1 800 Ma,发育于 1 350~ 1 100 Ma,最后于 700~ 650 Ma 停止活动。新元古代和寒武纪厚层碳酸质沉积可能表明华北陆块北缘直到晚中生代长期位于大陆边缘。温都尔庙带是一个复杂的岩浆-变质带。许多变质正片麻岩和角闪岩相表壳岩可能是古老基底,它们通常都具有 1 200~ 1 400 Ma 的同位素变质年龄(唐克东,1992;张臣,1999)。所谓的温都尔庙群主要由沉积火山岩和一些侵入体组成,沉积火山岩强烈变形并且经历了低级变质,在一些地区甚至出现蓝片岩、枕状熔岩、变质辉长岩和蛇纹岩组合,因此温都尔庙杂岩被认为是含有蛇绿岩残片的岩浆-变质构造带(唐克东,1992;张臣,1999)。温都尔庙杂岩的同位素年龄为 1 100~ 1 300 Ma(张臣等,1996;聂凤军等,1994),绿片岩和角闪岩的 Sm-Nd 同位素年龄分别为 1 413 Ma 和 1 511 Ma(张臣,1999),锆石一致年龄和 Sm-Nd 同位素年龄为 1 131 Ma 和 1 151 Ma(张臣等,1996),另外还有一些 900 Ma、800 Ma 和 600 Ma 的绿片岩和侵入的闪长岩年龄(张臣等,1996;1998;徐

备等, 2001), 这些年龄被解释为变质年龄或者成岩年龄。Zhai(2001)和邵济安等(2002)认为温都尔庙杂岩为中元古代陆内活动边缘。

### 2.3 华北陆块内部

华北陆块内部很少报道有 Grenville 期(四堡期)事件年龄。华北陆块北部的燕山拗拉谷主要形成于中元古代(白瑾等, 1993), 向南延伸到太行山, 很可能与华北陆块南缘的熊耳拗拉谷相连。燕山地区中元古代沉积称为长城系和蓟县系, 沉积于 1 800~ 1 500 Ma, 蓟县系沉积年代可能延续到 1 400~ 1 100 Ma(任富根, 1986)。华北陆块有大量 NW 走向的辉绿岩墙(陈孝德等, 1992),  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  坪年龄为 1 235~ 1 169 Ma(刘鸿允等, 1999), 一系列 K-Ar 年龄为 1 195~ 1 184 Ma。这些岩墙一般未变质并且具有富集地幔的特征, 其围岩是早前寒武纪高级变质岩。正片麻岩中的一些钾质伟晶岩脉体也有 1 262~ 1 274 Ma 的  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  坪年龄, 因此, 邵济安等(2002)认为基性岩墙群形成于中元古代伸展事件而不是 Grenville 期碰撞事件。

## 3 Rodinia 裂解事件

华南陆块的一些来自富集地幔的非造山花岗岩和玄武质岩墙群被解释为形成于超级地幔柱, 超级地幔柱导致了 Rodinia 超大陆的裂解(Li *et al.*, 1996, 1999)。然而, 华北陆块 800~ 600 Ma 的岩浆活动和变质事件与华南陆块相比非常弱, 主要岩浆活动表现为基性岩墙。基性岩墙是未变质辉绿岩, 主要分布于山西省和河北省北部, 周宝和<sup>①</sup>对其做了系统的工作, 测定其主要年龄值为 600~ 900 Ma。变质岩样品主要取自内蒙古西北部, 其年龄数据显示了一个弱的变质事件。邵济安等(2002)获得了一系列 600~ 700 Ma 的基性岩墙年龄, 并总结了一些岩墙和变质岩 600~ 700 Ma 的年龄数据, 岩石样品采自华北陆块北缘和中西部。他们认为这一时期华北陆块存在一期重要的伸展事件。

## 4 华北陆块对 Rodinia 超大陆响应的制约

前人根据全球中元古代 Grenville 造山事件和新元古代接连发生的裂解事件提出了 SWEAT 假说(Moores, 1991), 认为存在一个新元古代 Rodinia 超大陆(Dalziel, 1991, 1992; Hoffman, 1991)。Hoffman(1991)假定的 Rodinia 超大陆结构中, 劳亚古陆和东冈瓦纳陆块位于超大陆的中心位置, 但并没有标出新元古代华南陆块和华北陆块的位置。过去的 10 年中, 出版了一系列地质学、地层学和古地磁学数据(Li *et al.*, 1999; Zhang & Piper, 1997; 张惠民等, 1991; Piper & Zhang, 1997; Li *et al.*, 1991; Wang *et al.*, 1995), 也提出了一些假设: ①华北陆块和华南陆块中生代以前并未拼合(Li *et al.*, 1996; Zhang & Li, 2001; Zhang & Piper, 1997; 张世红等, 2000); ②华北陆块、华南陆块和塔里木陆块沿着 Grenville 造山带组成了一个统一的陆块(Wang *et al.*, 1997; 郭进京等, 1999; 陆松年, 1998), 秦岭-大别-苏鲁造山带被认为是华北陆块和华南陆块碰撞边界, 但是碰撞的时代却存在争议。榴辉岩 Sm-Nd 同位素和 Rb-Sr 同位素年龄集中于 210~ 240 Ma, 榴辉岩和花岗闪长岩锆石年龄差异很

① 周宝和, 1983. 山西省基性侵入岩. 山西省地矿局区域地质调查队一分队内部资料, 68~ 77

大,可分为 200~ 240 Ma、650~ 850 Ma 和 1 000~ 2 300 Ma 3 组。赞成第 1 种假设的地质学家认为碰撞时代应为 210~ 240 Ma, 650~ 850 Ma 是花岗闪长片麻岩的形成时间, 1 000~ 2 300 Ma 是更老岩石残片的形成时间(Zhai *et al.*, 2000; Cong *et al.*, 1999; 李曙光等, 1994, 1996; Liou *et al.*, 1995)。第 2 种假设的依据是广泛发育于秦岭- 大别- 苏鲁造山带的 850 ~ 650 Ma 变质正片麻岩。他们认为 850 Ma 是碰撞时间或者同构造- 构造后花岗岩的形成时间, 210~ 240 Ma 是后期非超高压榴辉岩的变质时间(Cong *et al.*, 1999), 华北陆块和华南陆块在四堡期造山运动中碰撞, 然后作为一个整体参与到 Rodinia 超大陆。

华北陆块和华南陆块新元古代沉积层序(包括冰碛层)相差很大(白瑾等, 1993; Zhang & Piper, 1997; 刘鸿允等, 1999; 郝杰, 2002)。Li 等(1996)认为扬子陆块、华夏陆块和塔里木陆块具有相近的构造地层特征: 它们都有新元古代裂谷/被动陆缘沉积序列, 至少从古元古代到中元古代具有相似的地层特征。华南陆块典型的新元古代层序剖面是位于长江中游峡东地区的震旦系(刘鸿允等, 1999), 分为两部分: 下部莲沱组和南沱组, 上部陡山沱组和灯影组, 两部分之间为平行不整合(图 2)。莲沱组由长石砂岩、石英砂岩和凝灰岩及砂质页岩夹层组成, 是一个河流沉积序列。南沱组由一套深绿色- 紫色冰碛岩和少量紫色砂质页岩组成, 上部为大尺度海侵沉积物, 包括白云岩、燧石条带白云岩和鲕粒状硅质岩。冰碛层(南沱组)是与其他新元古代大陆陆块如加拿大西部和 Adelaide 等相似的标志层(Li *et al.*, 1996)。华北陆块基底之上的中- 新元古代沉积(长城- 蓟县- 青白口系)由一套厚达 10 km 的不整合或假整合的浅海硅质碎屑岩- 泥质岩- 碳酸盐岩组成(图 2), 沉积于陆内裂谷。长城系从 1 800 Ma 开始沉积, 同位素年龄表明蓟县系内的火山活动主要发生于 1 650 Ma~ 1 600 Ma(白瑾等, 1993; 任富根, 1986), 上部蓟县系出现广泛分布的超覆层序, 结束于 1 100 Ma 以前。1 100~ 1 000 Ma 蓟县系和青白口系之间存在一个重要的沉积间断, 称为芹裕上隆或不整合(白瑾等, 1993)。由于它与 Grenville 期造山活动年代相近, 郝杰(2002)认为芹裕不整合是新元古代超大陆在华北陆块的反映。青白口系包含一套石英砂岩- 页岩- 碳酸盐岩组合, 显示一个稳定沉积环境, 沉积年代为 950~ 850 Ma。震旦纪沉积(850~ 650 Ma)只见于华北陆块南缘和辽宁局部地区(图 2a), 同时期的有山西西部和河南的黄莲垛组和罗圈组、北秦岭的三岔口组、江苏- 安徽的淮南组(或刘老碑组)和中国东北部的碱厂组(图 2), 它们和华南陡山沱岩石建造(华南的震旦系)年龄相同, 但是沉积相和岩石组合却明显不同。华北震旦纪岩石为浅海碳酸盐岩和硅质碎屑岩沉积, 底部含或不含砾岩, 顶部含或不含粘土质碳酸盐岩序列, 冰碛层(罗圈组)只见于河南西部。罗圈组可以和扬子陆块的震旦系对应(郝杰, 2002)。华北陆块新元古代化石属于淮南生物群, 显示华北震旦纪沉积事件为 850 Ma 到 600 Ma。淮南生物群(850~ 750 Ma)主要为 19 个种属大型海藻化石、10 个种属的蠕虫化石(matazoan)、疑源类和丰富的叠层石(陈孟莪, 1989; 牛绍武等, 2000)。蠕虫动物 *Pararenicola*-*Palealina* 化石组合只见于华北陆块、西伯利亚陆块和印度陆块, 这可能表明新元古代华北陆块和华南陆块并未连接到一起(Chumakov & Semikhatov, 1981; Zapolnov, 1993; Li *et al.*, 1996; 牛绍武等, 2000)。因此, 元古代华北陆块更有可能和西伯利亚陆块连在一起。

Li 等(1996) Zhang & Piper(1997) 张世红等(2000) 和 Zhang & Li(2001) 报道了一些古地磁数据, 他们的研究表明华北陆块和华南陆块位于 Rodinia 超大陆的不同位置。Zhang & Piper (1997) 认为新元古代华北陆块位于中纬度的澳大利亚陆块东北部, 华南陆块

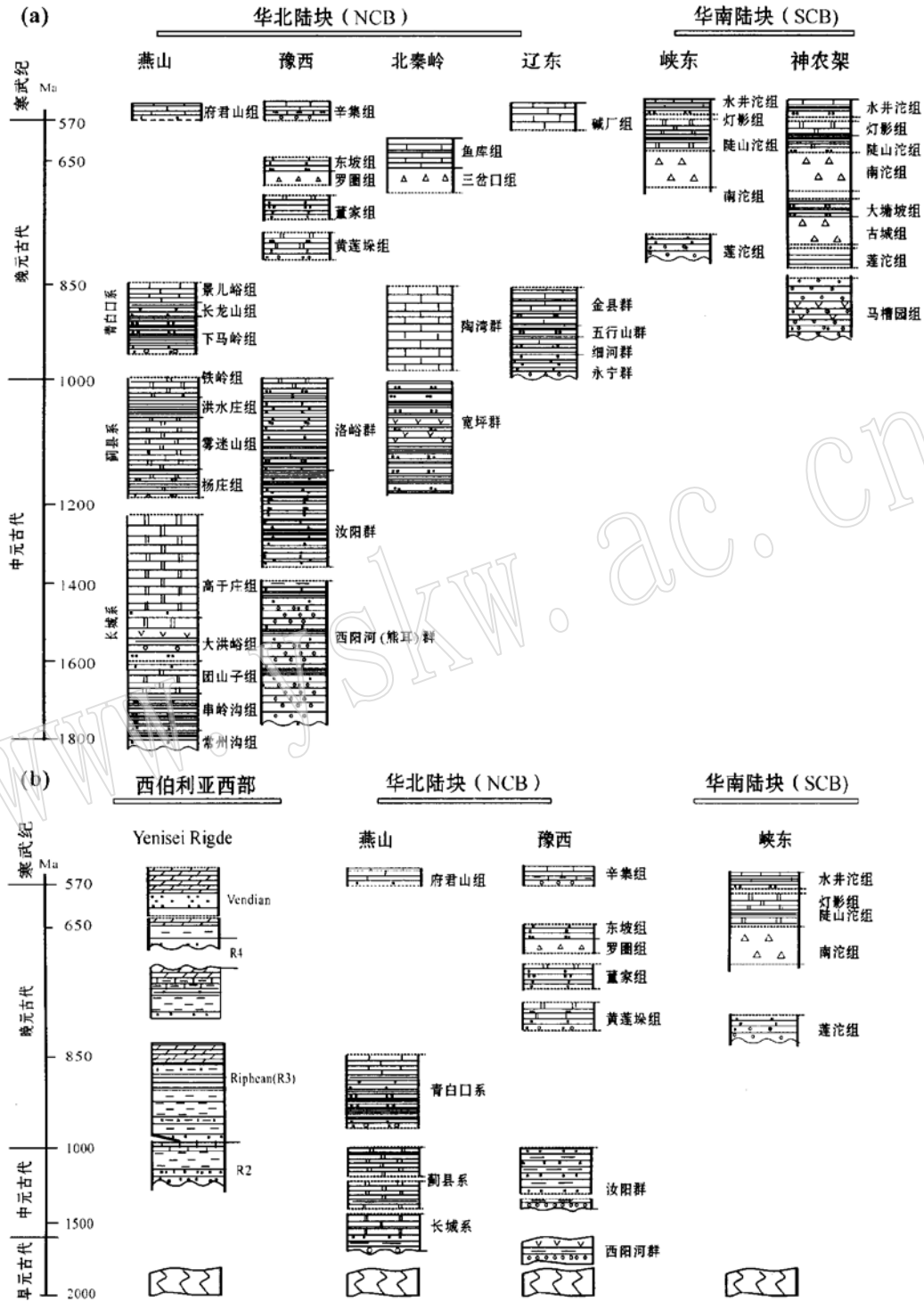


图 2 研究区地层对比图

Fig. 2 Stratigraphic correlations between the studied area and other areas

a—华北陆块荆县、豫西和其他地区地层对比; b—西伯利亚西部、华北陆块和 华南陆块地层对比

位于澳大利亚西北部。Wang 等(1997)主要是基于生物地层学研究,认为华北陆块新元古代中期位于美洲陆块西北部。Li 等(1996, 2002)认为华南陆块位于 Rodinia 超大陆中部,与澳大利亚、东南极、劳亚古陆和西伯利亚相连。他们根据构造地层学对比,把华北陆块现在的北缘与西伯利亚的叶尼塞山脉西缘相对。张世红等(2000)和 Zhang & Li(2001)报道了华北陆块新元古代寒武纪新的数据,通过对河南西部和辽宁连续地层做古地磁分析,讨论华北陆块、西伯利亚陆块和劳亚古陆在 Rodinia 聚合和裂解中的关系,对 800~ 650 Ma 古地理的重建表明这一时期华北陆块与西伯利亚陆块紧邻。图 3a 是 Zhang & Li(2001)提出的位置。

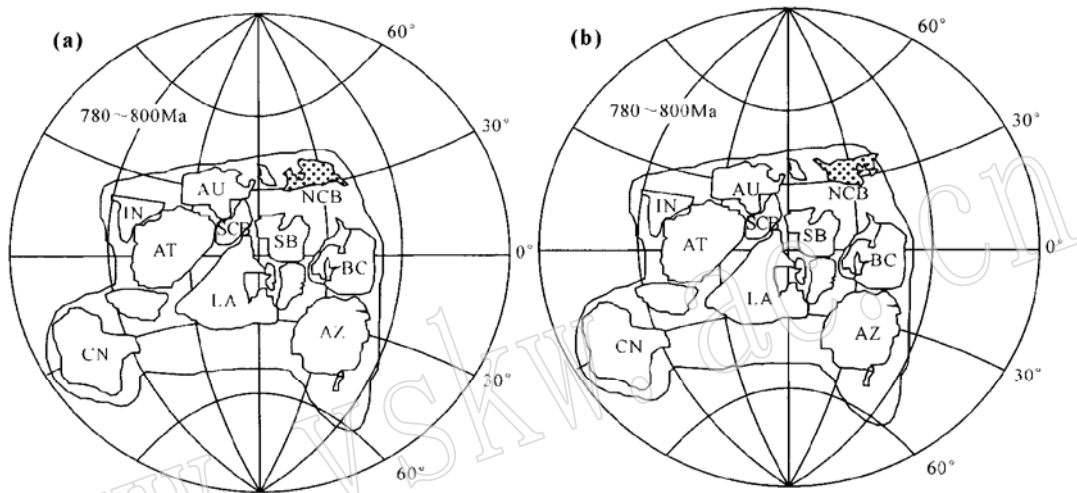


图 3 华北陆块 700~ 800 Ma 在全球中的古地理位置

Fig. 3 Palaeogeographic position of the North China Block in global reconstruction of 700~ 800 Ma  
 a—Zhang & Li(2001) 提出的位置; b—本文提出的位置; AT—南极洲陆块; AU—澳大利亚陆块; AZ—亚巴逊陆块;  
 BC—波罗的陆块; CN—刚果陆块; IN—印度陆块; LA—劳伦提亚陆块; NCB—华北陆块; SCB—华南陆块;  
 SB—西伯利亚陆块

## 5 讨论和初步结论

(1) 华北陆块南缘和北缘局部分布着一些 Grenville 同期岩石,西部也有零星分布。华北陆块南缘北秦岭蛇绿混杂岩可能代表与 Grenville 同期的碰撞带,但是并没有证据表明中元古代时现今华北陆块南缘和华南陆块北缘相连。华北陆块北缘相关岩石形成于大陆裂谷或者大陆边缘。因此,现在的华北陆块北缘在 Grenville 拼合过程中并没有和主要古老大陆陆块相连。

(2) 华北陆块内部分布着与 Rodinia 裂解同期的岩石,它们主要是基性岩墙和大陆拗拉谷内的沉积岩。华北陆块 Rodinia 裂解时期的岩石记录非常弱是一个很重要的证据,它表明华北陆块离新元古代超级地幔柱中心很远。华北陆块和华南陆块构造地层特征差异很大,前者新元古代沉积序列缺少典型的冰碛层。华北陆块中的蠕虫动物典型化石群 *Pararenicola-Palealina* 组合也见于西伯利亚地块的 Riphean(R3) 沉积层序中,因此华北



陆块在 Rodinia 超大陆中的位置很可能和 西伯利亚陆块较近而离华南陆块较远。

(3) 基于地质学和构造地层学证据, 可以认为华北陆块是 Rodinia 超大陆的一部分, 它处于 Rodinia 超大陆边缘, 与 Li 等(1996) 和 Zhang & Li(2001) 给出的位置相近。与华北陆块北缘相比, 和 西伯利亚相连的更有可能是华北陆块南缘(图 3b), 但是这一结论还需要进一步的研究来证实, 尤其需要获得包括古地磁在内的更多证据。

## Reference

- Bai Jin, Huang Xueguang, Dai Fengyan, *et al.* 1993. The Precambrian Evolution of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 150~ 163 (in Chinese).
- Chen Hui, Shao Ji'an. 1987. Petrogenesis and geotectonic background of carbonites in Bayan Obo region[A]. Collected Works of Plate Tectonics in Northern China (Part 2)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 73~ 79 (in Chinese).
- Chen Meng'e. 1989. General description of Late Precambrian mega-fossils in China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 3: 244~ 255 (in Chinese with English abstract).
- Chen Nengsong, Han Yuqing, You Zhendong, *et al.* 1991. Dating of Sm- Nd, Rb- Sr on whole rocks and  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  on zircons for core complex of Qinling orogenic belt in western Henan: their implication for crustal evolution[J]. *J. Geochemistry*, 20: 219~ 227 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xiaode, Shi Lanbin. 1992. Study on the Proterozoic dyke swarm in Wutai- Taihang Mountains[J]. *Bulletin of Chinese Sciences*, 29: 812~ 816 (in Chinese).
- Chumakov N M, Semikhatov M A. 1981. Riphean and Vendian of the USSR[J]. *Precambrian Res.*, 15: 229~ 253.
- Cong B L, Wang Q C, Zhai M G. 1999. New data regarding hotly debated topics concerning UHP metamorphism of Dabie- Sulu belt, east central China[J]. *International Geol. Rev.*, 41: 994~ 1004.
- Dalziel I W D. 1991. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica- Australia as a conjugate rift pair: evidence and implications for an Eocambrian supercontinent[J]. *Geology*, 19: 598~ 601.
- Dalziel I W D. 1992. Antarctica: a late of two supercontinents[J]? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 20: 501~ 526.
- Guo Jinjing, Zhang Guowei, Lu Songnian, *et al.* 1999. Neoproterozoic continental block collage of China and Rodinia supercontinent[J]. *Geol. J. Univ., China* 5(2): 148~ 156 (in Chinese with English abstract).
- Hao Jie. 2002. Discussion of the Jinning orogenic movement[J]. *Geol. Rev.* (in Chinese with English abstract) (in press).
- Hoffman P F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside- out[J]? *Science*, 252: 1409~ 1412.
- Li Kaoshe, Bai Shengli, Cai Zenlong. 1994. New speculation on the relationships among the Danfeng Group, Qinling Group and Kuanping Group in the eastern Qinling mountains[J]. *Regional Geology of China*, 3: 215~ 222(in Chinese with English abstract).
- Li X H, Zhou G, Zhao J, *et al.* 1994. SHRIMP ion microprobe zircon U- Pb age of the NE Jiangxi ophiolite and its tectonic implications[J]. *Geochemica*, 23: 125~ 131.
- Li X H. 1999. U- Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze block: Timing of the Neoproterozoic Jinning orogeny in SE China and implications for Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 97: 43~ 57.
- Li Y, Sharps R, McWilliams M O, *et al.* 1991. Sinia palaeomagnetic results from the Tarim block, western China[J]. *Precambrian Research*, 49: 67~ 71.
- Li Z X, Li X H, Zhou H W, *et al.* 2002. Grenvillen continental collision in south China: New SHRIMP U- Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geology*, 30: 163~ 166.
- Li Z X, Li X H, Zhou H, *et al.* 2001. Grenville age continental collision in South China: new SHRIMP age constraints and implications to Rodinia configuration[A]. Sircombe K N & Li Z X. From Basin to Mountains: Rodinia at the Turn of the Century (Abstract)[C]. Chris Powell Memorial Symposium, Perth, Finline Print and Copy Service, 78~ 79.
- Li Z X, Powell C M. 1999. Discussion, palaeomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangtze Block: palaeolatit

- tude and configuration of South China in late Proterozoic supercontinent[J]. *Precambrian Res.*, 94: 1~ 5.
- Li Z X, Zhang L, Powell C M. 1996. Position of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia[J]. *Aust. J. Earth Sci.*, 43: 593~ 604.
- Li Shuguang, Chen Yizhi, Ge Ningjie, *et al.* 1994. Zircon U- Pb ages of amphibolite in Qingdao, east Shandong: multi-stage metamorphism affecting to zircon concordant age[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, (1~ 2): 35~ 36 (in Chinese with English abstract).
- Li Shuguang, Jagoutz E, Xiao Yilin, *et al.* 1996. Ultra high-pressure metamorphic chronology of the Sulu- Dabieshan terrane Sm- Nd isotopic system[J]. *Science in China (D)*, 26(3): 249~ 257 (in Chinese).
- Liou J G, Maruyama S, Ernst W G. 1995. Ultrahigh-pressure metamorphism and tectonics[J]. *Isl. Arc*, 4: 233~ 239.
- Liu Hongyun, Hao Jie, Li Yuejun. 1999. Late Proterozoic Strata and Geological Evolution of East- Central Part of China[M]. Beijing: Scientific Press, 170~ 194 (in Chinese).
- Liu Liang, Zhou Dingwu, Dong Yunpeng. 1995. *PTt* path and its retrograded metamorphism of high-pressure mafic granulites in Songshugou, east Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2): 127~ 136 (in Chinese with English abstract).
- Lu Songnian. 1998. Advances of study on Neoproterozoic Rodinian supercontinent[J]. *Geol. Rev.*, 44(5): 489~ 495 (in Chinese with English abstract).
- Moores E M. 1991. Southwest U. S. - East Antarctic (SWEAT) connection: a hypothesis[J]. *Geology*, 19: 425~ 428.
- Nie Fengjun, Pei Rongfu, Wu Liangshi. 1994. Sm- Nb isotopic study of metamorphic volcanics of the Ondor-Sum Group in Inner Mongolia[J]. *Chinese Sci. Bull.*, 39: 1211~ 1214 (in Chinese).
- Nie Fengjun, Pei Rongfu, Wu Liangshi. 1995. Nd- Sr isotope study on greenschist and granodiorite of the Bainaimiao area, Inner Mongolia, China[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1: 36~ 44 (in Chinese with English abstract).
- Nie Fengjun, Pei Rongfu, Wu Liangshi, *et al.* 1993. Igneous Activity and Metallogeny in the Bainaimiao- Wenduermiao Area, South- central Inner Mongolia, People's Republic of China[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1~ 239 (in Chinese with English abstract).
- Niu Shaowu, Sun Shufen. 2000. The tentative establishment of Palaeopacific Huainan little dal biogeographic demaration and its significance - on the Palaeontological evidence about reestablishing New proterozoic Rodinia supercontinent[J]. *Progress in Precambrian Research*, 23(1): 11~ 21 (in Chinese with English abstract).
- Piper J D R, Zhang Q R. 1997. Palaeomagnetism of Neoproterozoic glacial rocks of the Huabei shield: the North China block in Gondwana[J]. *Gondwana Research*.
- Ren Fugen. 1986. Basic characteristics of the Dahongyu Group volcanic-sedimentary sequence in Jixian[J]. *Bulletin of the Tianjin Institute of Geology*, 16: 91~ 106 (in Chinese with English abstract).
- Ren Yingchen, Zhang Yingchen, Zhang Zongqing. 1994. Study on heat events of ore-forming Bayan Obo deposit[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1~ 2: 95~ 100 (in Chinese with English abstract).
- Shao Ji'an, Zhang Liqiao and Li Daming. 2002. Proterozoic three extensional events in North China Craton[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18(2): 152~ 160 (in Chinese with English abstract).
- Shui Tao. 1987. Geotectonic framework of basement in SE China[J]. *Science in China (B)*, 13(4): 414~ 422 (in Chinese).
- Tang Kedong. 1992. Tectonic Evolution and Mineralogical Regularities of the Fold Belt Along the Northern Margins of Sino-Korea Plate[M]. Beijing: Peking University Press, 60~ 65 (in Chinese).
- Tao Kejie, Yang Zhuming, Zhang Peishan, *et al.* 1998. Systematic geological investigation on carbonatite dykes in Bayan Obo, Inner Mongolia, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33: 73~ 83 (in Chinese with English abstract).
- Wang H Z, Li X, Mei S, *et al.* 1997. Pangaea cycles Earth's rhythms and possible Earth expansion[A]. *Proc. 30th Intern. Geol. Congr [C]*, 184: 1~ 9
- Wang Z M, Van der Woort R, Wang Y. 1995. Palaeomagnetic results from late Sinian/early Cambrian rocks in Guizhou Province, South China block[A]. Subbarao K V. *Magnetism Rocks to Superconductors [C]*. Geological Society of India, Memoir, 29: 159~ 182.
- Wang Ji, Lu Songnian, Li Huimin. 1995. Geochronologic framework of metamorphic rocks in the middle part of Inner Mongolia[J]. *Bulletin of the Tianjin Institute of Geology*, 30: 49~ 50 (in Chinese with English abstract).

- Wang Ji, Wang Baoliang, Xu Chenghai. 1989. Langshan– Bayan Obo rift system and characteristics of mineralization[A]. Collected Works of Plate Tectonics in Northern China (Part 2)[C]. Beijing: Geological Publishing House, 59~ 72 (in Chinese).
- Xu Bei, Charvet J, Zhang Fuqin. 2001. Primary study on petrology and geochronology of blueschists in Sunitezuoqi, northern Inner Mongolia[J]. Chinese J. Geol., 36: 424~ 434 (in Chinese with English abstract).
- Zapolnov A K. 1993. Precambrian of the Cover[A]. Rundqvist D V & Mitrofanov F P. Precambrian Geology of the USSR [C]. Amsterdam, Elsevier, 399~ 414.
- Zhai M G, Cong B L, Guo J H, *et al.* 2000. Sm– Nd geochronology and petrography of garnet pyroxene granulites in the northern Sulu region of China and their geotectonic implication[J]. Lithos, 52: 23~ 33.
- Zhai M G. 2001. Signature of North China Block in supercontinent Rodinia[J]. Gondwana Research, 4, 838~ 839.
- Zhang Q R, Piper J D R. 1997. Paleomagnetic study of Neoproterozoic glacial rocks of the Yangtze block, Palaeolatitute and configuration of South China in late Proterozoic supercontinent[J]. Precambrian Res., 85: 173~ 199.
- Zhang S H, Li Z X. 2001. Positions of the North China Block in Neoproterozoic Rodinia: a palaeomagnetic constraint[A]. Sircombe K N & Li Z X. From Basin to Mountains: Rodinia at the Turn of the Century (Abstract)[C]. Chris Powell Memorial Symposium, Perth, Fineline Print and Copy Service, 117~ 119.
- Zhang Chen. 1999. Study advances of the Ondor Sum Group in southern Suzuoqi, Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 6(3): 112 (in Chinese).
- Zhang Chen, Wu Tairan. 1998. Sm– Nd, Rb– Sr isotopic isochron of metamorphic volcanic rocks of Ondor Sum Group, Inner Mongolia[J]. Scientia Geologica Sinica, 33(1): 25~ 30 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chen, Chen Yaping, Qian Xianglin. 1993. Essential features and tectonic implications of diabase dyke swarm of middle Proterozoic era in Datong– Tianzhen region of North China craton[J]. Shanxi Geology, 8, 131~ 139 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chen, Li Maosong, He Guoqi, *et al.* 1996. Age of Sm– Nd isotopic of amphibolite facies metamorphic zone and its significance in Wulawusu– Deyanqimiao area of Inner Mongolia[J]. Scientia Geologica Sinica, 31(1), 65~ 70 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, *et al.* 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 655~ 682 (in Chinese).
- Zhang Huimin, Zhang Wenzhi, Elston D P. 1991. Palaeomagnetic study of Middle and Late Proterozoic rocks in Jixian, North China[J]. Bulletin of the Tianjin Institute of Geology, 34: 631~ 647 (in Chinese).
- Zhang Shihong, Li Zhengxiang, Wu Huaichun, *et al.* 2000. New palaeomagnetic results from the Neoproterozoic successions in southern North China block and palaeogeographic implications[J]. Science in China (D), 43 (Supp.): 234~ 244 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Tang Suohan, Wang Jianghai. 1994. New data for ore-forming age of the Bayan Obo REE ore deposit, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 1~ 2: 85~ 93 (in Chinese).
- Zhang Zongqing, Tang Suohan, Yuan Zhongxin, *et al.* 2001. The Sm– Nd and Rb– Sr isotopic systems of the dolomites in the Bayan Obo ore deposit, Inner Mongolia, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 17: 637~ 642 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zongqing, Zhang Qi. 1995. Geochemistry of metamorphosed late Proterozoic Kuanping ophiolite in the Northern Qinling, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 11(supp.): 165~ 177 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zongpu. 1993. Precambrian Crustal Evolution of Sino– Korean Paraplatform[M]. Beijing: Science Press, 368~ 376 (in Chinese).
- Zhou Dingwu, Zhang Chengli, Zhou Xiaohu, *et al.* 1999.  $^{40}\text{Ar}$ –  $^{39}\text{Ar}$  dating of basic dykes from Wudang block and their geology significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(1): 14~ 20 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Dong Yunpeng, Liu Liang, *et al.* 1998. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the Proterozoic ophiolite from Songshugou area [J]. Scientia Geologica Sinica, 33(1): 31~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Dingwu, Zhang Zejun, Dong Yunpeng. 1995. Geological and geochemical characteristics of Proterozoic Songshugou ophi-

olite in Shangnan, eastern Qinling[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11: 154~ 164(in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 白瑾, 黄学光, 戴凤岩, 等. 1993. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 地质出版社, 150~ 163.
- 陈辉, 邵济安. 1987. 白云鄂博地区碳酸岩的形成方式及构造背景[A]. 中国北方板块构造论文集(第二集)[C]. 地质出版社, 73~ 79.
- 陈孟莪. 1989. 中国晚元古代大化石的一般描述[J]. 岩石学报, 3: 244~ 255.
- 陈能松, 韩郁菁, 游振东, 等. 1991. 豫西东秦岭造山带核部杂岩全岩 Sm-Nd, Rb-Sr 和单颗粒锆石 Pb-Pb 计时及其地壳演化[J]. 地球化学, 20(3): 219~ 228.
- 陈孝德, 史兰斌. 1992. 五台-太行辉绿岩岩墙初步研究[J]. 科学通报, 29: 812~ 816.
- 郭进京, 张国伟, 陆松年, 等. 1999. 中国新元古陆块拼合与罗的尼亚超大陆[J]. 高校地质学报, 5(2): 148~ 156.
- 郝杰. 2002. 晋宁造山运动讨论[J]. 地质论评(待刊).
- 李靠社, 白胜利, 蔡振龙. 1994. 东秦岭丹凤群秦岭群宽坪群关系新探[J]. 中国区域地质, 3: 215~ 222.
- 李曙光, 陈移之, 葛宁洁, 等. 1994. 青岛榴辉岩及胶南群片麻岩的锆石 U-Pb 年龄——胶南群中晋宁期岩浆事件的证据[J]. 地球学报, (1~ 2): 35~ 36.
- 李曙光, Jagoutz E, 肖益林, 等. 1996. 苏鲁-大别地体超高压变质作用 Sm-Nd 年代学[J]. 中国科学(D), 26(3): 249~ 257.
- 刘鸿允, 郝杰, 李曰俊. 1999. 华北中国东部晚元古代地层和演化[M]. 北京: 科学出版社, 170~ 194.
- 刘良, 周鼎武, 董云鹏, 等. 1995. 东秦岭松树沟高压变质基性岩及其退变质作用的  $P-T-t$  演化轨迹[J]. 岩石学报, 11(2): 127~ 136.
- 陆松年. 1998. 新元古代时期 Rodinia 超大陆研究进展评述[J]. 地质论评, 44(5): 489~ 495.
- 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 1994. 内蒙古别鲁乌图晚元古代火山岩 Sm-Nd 同位素研究[J]. 科学通报, 39: 1 211~ 1 214.
- 聂凤军, 裴荣富, 吴良士. 1995. 内蒙古白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的铷和锶同位素研究[J]. 地球学报, 1: 36~ 44.
- 聂凤军, 裴荣富, 吴良士, 等. 1993. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1~ 239.
- 牛绍武, 孙淑芳. 2000. 古太平洋淮南小达尔生物物理区的初步认识及其意义——重建新元古代 Rodinia 超大陆的古生物学证据[J]. 前寒武纪研究进展, 23(1): 11~ 21.
- 任富根. 1986. 蓟县大红峪组火山沉积岩的基本特征[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 16: 91~ 106.
- 任英忱, 张英臣, 张宗清. 1994. 白云鄂博稀土超大型矿床的成矿时代及其主要地质热事件[J]. 地球学报, 18(Supp.): 43~ 45.
- 邵济安, 张履桥, 李大明. 2002. 华北克拉通元古代的三次伸展事件[J]. 岩石学报, 18(2): 152~ 160.
- 水涛. 1987. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(B), 13(4): 414~ 422.
- 唐克东. 1992. 中朝板块北缘褶皱带构造演化和成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社, 60~ 65.
- 陶克捷, 杨主明, 张培善, 等. 1998. 白云鄂博矿区周围火成碳酸岩岩墙地质特征[J]. 地质科学, 33: 73~ 83.
- 王楫, 陆松年, 李惠民, 等. 1995. 内蒙古中部变质岩同位素年代构造格架[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 30: 49~ 50.
- 王楫, 王保良, 徐成海, 等. 1989. 渣尔泰群与白云鄂博群时代对比及含矿性[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 91~ 143.
- 王焰, 刘良, 周鼎武. 1997. 东秦岭松树沟长英质高压麻粒岩的原岩性质[J]. 西北大学学报(自然科学版), 27(6): 525~ 528.
- 徐备, Charvet J, 张富勤. 2001. 内蒙古北部苏尼特左旗蓝片岩岩石学和年代学研究[J]. 地质科学, 36(4): 424~ 434.
- 张臣. 1999. 内蒙古苏左旗南部温都尔庙群研究的新进展[J]. 地学前缘, 6(3): 112.
- 张臣, 陈亚平, 钱祥麟. 1993. 大同-天镇地区中元古代辉绿岩岩墙群的基本特征和构造意义[J]. 山西地质, 8(2):

131~ 169.

- 张 臣, 李茂松, 何国琦, 等. 1996. 内蒙古乌拉乌苏- 德言其庙地区角闪岩相变质带 Sm- Nd 同位素等时线年龄及其意义[J]. 地质科学, 31(1): 65~ 70.
- 张 臣, 吴泰然. 1998. 内蒙古温都尔庙群变质基性火山岩 Sm- Nd, Rb- Sr 同位素年代研究[J]. 地质科学, 33(1): 25~ 30.
- 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 2001. 秦岭造山带及其大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 655~ 682.
- 张惠民, 张文治. 1991. 湖北京山中、上元古界打鼓石群、花山群和震旦系的古地磁研究[J]. 天津地质矿产研究所所刊, 34: 631~ 647.
- 张世红, 李正祥, 吴怀春, 等. 2000. 华北地台新元古代古地磁研究新成果及其古地理意义[J]. 中国科学(D), 30(增刊): 138~ 147.
- 张宗清, 唐索寒, 王江海. 1994. 内蒙古白云鄂博稀土矿的形成年龄[J]. 岩石学报, (1~ 2): 85~ 93.
- 张宗清, 唐索寒, 袁忠信, 等. 2001. 白云鄂博矿床白云岩的 Sm- Nd, Rb- Sr 同位素体系[J]. 岩石学报, 17(4): 637~ 642.
- 张宗清, 张 旗. 1995. 北秦岭晚元古代宽坪蛇绿岩中变质基性火山岩的地球化学特征[J]. 岩石学报, 11(增刊): 165~ 177.
- 赵宗溥. 1993. 华北准地台前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 368~ 376.
- 周鼎武, 董云鹏, 刘 良, 等. 1998. 松树沟元古宙蛇绿岩 Nd, Sr, Pb 同位素地球化学特征[J]. 地质科学, 33(1): 31~ 38.
- 周鼎武, 张成立, 周小虎, 等. 1999. 武当地块基性岩墙群 Ar- Ar 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 15(1): 14~ 20.
- 周鼎武, 张泽军, 董云鹏. 1995. 东秦岭早古生代两条不同构造- 岩浆带的形成构造环境[J]. 岩石学报, 11(2): 115~ 126.