

中国前寒武纪地壳演化与成矿*

沈保丰 杨春亮 翟安民 胡小蝶

(天津地质矿产研究所, 天津 300170)

摘 要 从 3.8 Ga 到 0.543 Ga, 中国前寒武纪地壳经历了从陆核孕育、陆块形成、古大陆的汇聚和裂解等至少 7 次重大的地质事件和演化阶段。与地壳演化阶段相适应, 在不同演化阶段形成了各类矿床。在地壳演化早期主要是产在古陆核边缘的浅海变质火山-沉积型的条带状铁建造铁矿床。在新太古代形成与活动大陆边缘与碰撞汇聚有关的绿岩带型铁、铜锌、硫铁矿和金矿床。古元古代在华北古大陆和佳木斯微陆块主要以形成与裂谷(或被动大陆边缘)有关的铜、硼、菱镁矿、滑石、石墨、铅锌等矿床, 而在扬子古大陆则形成与活动大陆边缘有关的铜、铁等矿床。随着中元古代-青白口纪中国古大陆的再次裂解和汇聚, 在华北、扬子、华夏等古大陆主要形成与伸展体系作用有关的铅锌、硫铁矿、稀土-铌-铁、铜镍、铜、铁等矿床, 而在华北、扬子古大陆局部地段的大陆活动边缘或岛弧带, 形成与碰撞汇聚地质作用有关的铜金、铁、铜锌、金等矿床。南华纪-震旦纪, 中国古大陆主体为裂解阶段, 形成与此有关的磷、锰、铁、蛭石、金红石等矿床。

关键词 中国 前寒武纪 地壳演化 成矿

中国是世界上前寒武纪岩层分布较广泛的国家之一, 前寒武纪岩层出露面积达 671 000 km², 占全国出露岩层总面积的 7.74 % (程裕洪等, 1994) (图 1)。应该指出的是, 现今出露地表的前寒武纪露头, 多是通过显生宙基底的抬升侵蚀和陆块边缘造山带的再造侵蚀呈现出来的, 因而许多地区在显生宙岩层下部, 还广泛分布着前寒武纪岩层。中国前寒武纪岩层从始太古代到震旦纪都有, 保存了从 3.8 Ga 至 0.543 Ga, 近 32 多亿年、占地球形成时期 7/8 的漫长地质记录, 它不仅是探讨早期地壳演化的窗口, 同时对了解丰富的矿产资源的形成和寻找, 提供了丰富的地质条件。前寒武纪是中国十分重要的成矿期, 也是大规模矿床的形成时期, 在中国前寒武纪岩层中蕴藏着十分丰富的矿产资源。在此期间, 形成了众多的铁、铜、铅锌、金、镍、稀土、锰、石墨、磷、菱镁矿、滑石、硼等一批大型、超大型矿床。

中国前寒武纪地壳在形成过程中经历了复杂多变的地质演化历史。早期地壳的增长方式以垂直增生为主, 到中后期主要被水平增生方式所代替。早期形成地壳的物质为地幔分异的直接产物, 而中后期则是以先存地壳经过部分熔融而形成的再造物质, 仅有少量是通过热点(或地幔柱)和来自地幔的壳下底侵作用, 添加到先存地壳的新物质。伴随着中国前寒武纪复杂多变的地壳运动, 相应的形成一大批矿床。中国前寒武纪地壳的形成、发展和演化至少经历了 7 次重大的地质事件和演化阶段及相应的成矿作用。

1 始太古代——中国最古老的地壳 (>3 600 Ma)

大于 3 600 Ma 的地质年代是地球最早期的地质历史。最古老的地壳是地球形成初期的历史记录, 是了解最早期地球特征和演化的最重要证据。由于长期受到以后的多次变质、变形、岩浆活动、剥蚀、地外物质的撞击等多种地质作用的叠加、改造, 大部分地壳均已变得支离破碎或循环进入地幔, 从而难以恢复其本来面貌和规模。目前全球最古老地质残留体已不多, 仅在西格陵兰、加拿大、澳大利亚、东南极、南非

*本文得到地质大调查综合研究项目(编号 K1.4-3-1)《前寒武纪成矿作用》资助

第一作者简介 沈保丰, 男, 1935 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿床和前寒武纪成矿作用研究。

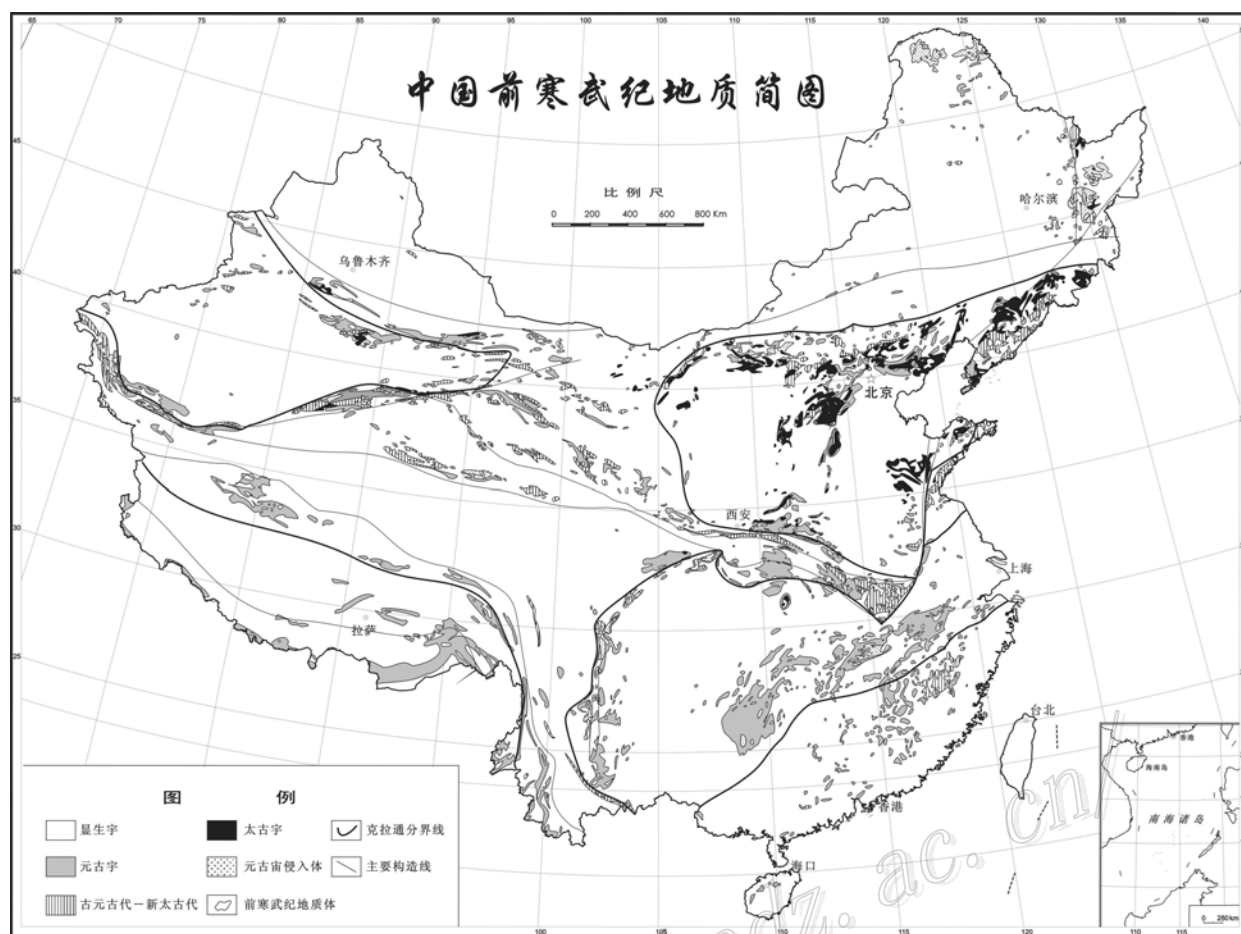


图 1 中国前寒武纪地壳演化与成矿图

Fig.1 Geological map showing Cambrian crustal evolution and mineralization in China

等少数地点有报导。从上世纪 90 年代初,刘敦一等(1990; 1994)在中国冀东、鞍山等地发现这段时期的地壳残留,在本世纪初,李惠民等(2001; 2002)在中国西部阿尔金东端从花岗片麻岩中,获得了略大于 3 600 Ma 的年代学信息,说明在我国西部亦存在最早期地壳的迹象。

在冀东黄柏峪村北,产出有铬云母石英岩。刘敦一等(1990; 1994)用 SHRIMP 法测定了铬云母石英岩中 68 粒碎屑锆石的 U-Pb 年龄,共获得了 4 组 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄峰值,分别为 3 830~3 820 Ma、3 800~3 780 Ma、3 720~3 700 Ma 和 3 680~3 660 Ma,其中最老的一粒年龄为 3 851 Ma,较小的年龄为 3 610 Ma。虽然碎屑锆石的测年结果不能反映铬云母石英岩的形成年龄,但所有的测年结果都大于 3 600 Ma,可以推测铬云母石英岩的形成年龄大于 3 600 Ma。从铬云母石英岩的地质特征和碎屑矿物的种类和形态特征分析,蚀源区以花岗质岩石为主,说明该区附近具有一定规模的硅铝质古陆壳。

在辽宁鞍山市东白家坟发现 (3804 ± 5) Ma 的花岗质糜棱岩(刘敦一等, 1992),它呈北西-南东向延伸的楔状体夹于 3300 Ma 陈台沟构造岩片中。根据岩石中锆石的特征、变余花岗结构和主要元素、微量元素和稀土元素的地球化学特征,推测其原岩为奥长花岗岩,是始太古代一次重要的岩浆活动。

李惠民等(2002)在阿尔金山东端花岗片麻岩中的 1~4 号数据点的锆石中,用 TIMS 法测得年龄为 (3605 ± 43) Ma。锆石为浅紫红色透明半自形晶体,具有古老花岗岩岩浆结晶锆石的特征。这是在塔里木陆块中,存在始太古代结晶基底的重要证据。

以上 3 处始太古代最古老地壳的发现说明,华北和塔里木陆块亦是世界上最古老的陆块之一,均是硅铝质古陆壳。

2 古太古代陆核形成的萌芽阶段 (3 600~3 200 Ma)

目前在中国已发现古太古代岩层的地区有 4 处, 即: 冀东曹庄、黄柏峪变质表壳岩系, 鞍山陈台沟变质表壳岩及陈台沟花岗岩, 阜平岩群下部斜长角闪岩系和阿尔金山阿格塔什塔格花岗岩系等, 前 3 处位于华北陆块, 最后 1 处则分布在塔里木陆块。

在迁安曹庄、黄柏峪一带零星出露着曹庄岩组的深变质表壳岩, 并呈大小不等的包体形态产在中、新太古代变质深成岩中。曹庄岩组出露的层序不连续、不完整, 但大致可以划分为下部斜长角闪岩、(矽线)黑云斜长片麻岩夹石榴或堇青石英岩, 中部为黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩和薄层不纯大理岩, 上部为黑云片岩、斜长角闪岩及具工业意义的条带状铁建造(BIF)。该岩组的原岩主要为泥砂质、不纯钙质泥(砂)岩建造夹基性火山岩和铁建造, 除火山岩外, 处于相对稳定的浅水沉积环境。

江博明等在 1987 年报导了曹庄一带斜长角闪岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为 $(3\,470 \pm 107)$ Ma。同时, 黄莹和乔广生在 1986 年和 1987 年分别获得曹庄-黄柏峪一带斜长角闪岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为 $(3\,500 \pm 80)$ Ma 和 $(3\,495 \pm 15)$ Ma。

在此期间, 冀东黄柏峪一带分布着杏山、脑峪门、黄柏峪北山等中小型 BIF 型铁矿床, 这可能是中国最早形成的矿床。

鞍山地区的古太古代岩石主要是指陈台沟变质表壳岩和花岗岩。陈台沟变质表壳岩出露在鞍山市东陈台沟村南小山脊一带, 岩层呈北西-南东走向延伸, 长约 500 m, 宽约 50~60 m, 岩层产状较陡立。主要有 3 种岩石类型: 绿色、暗绿色斜长角闪岩, 灰色、灰白色中薄层镁铁闪石石英岩、石英岩和黑云斜长片岩夹黑云角闪片岩、薄层变粒岩。1994 年宋彪、P.A.Natman 对陈台沟变质表壳岩作了锆石 U-Pb 年龄测定, 侵入陈台沟黑云斜长片岩的花岗岩脉的锆石 U-Pb 年龄为 $(3\,342 \pm 6)$ Ma, 夹于黑云斜长片麻岩中薄层浅粒岩中自形锆石 U-Pb 年龄为 $(3\,376 \pm 5)$ Ma。陈台沟变质表壳岩的沉积年龄约 3.4Ga。

陆松年等(2002)在西部阿格塔什塔格获得一批岩浆岩的 TIMS 法锆石年龄和 Nd 模式年龄: 奥长花岗(片麻)岩 $(2\,374 \pm 10)$ Ma、 $T_{DM} 3\,460$ Ma, 英云闪长(片麻)岩 $(2\,604 \pm 102)$ Ma、 $T_{DM} 3\,063$ Ma, 二长花岗(片麻)岩 $(3\,096 \pm 17)$ Ma、 $T_{DM} 2\,978$ Ma, 花岗(片麻)岩 $(3\,605 \pm 43)$ Ma、 $T_{DM} 3\,528$ Ma。从以上同位素年龄的数据, 结合 Nd 同位素地球化学的资料, 可以说明阿格塔什塔格地区在太古代 3.5~3.6Ga 和 3.0~3.1 Ga 各有一次造陆运动。

沈保丰等在阜平岩群下部辉石斜长角闪岩中获得 $(3\,352 \pm 50)$ Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄, 样品的平均 Nd 模式年龄为 3.374 Ga, ϵ_{Nd} 为 2.5 (待刊)。说明在阜平地区在 3.4Ga 古太古代时已有来自亏损地幔的基性火山岩等地壳。在阜平岩群内分布着少量 BIF 型铁矿床, 但铁矿层单层厚度薄, 含铁量低, 规模小, 仅形成僧官、黄石口、东庄等小型铁矿床或矿点。

总之, 在古太古代时期, 在中国已出现 4 处规模不大的古地壳和在浅海环境形成杏山等中国最古老的矿床, 但仅为 BIF 型铁矿床, 以中小型矿床和矿点为主。

3 中太古代陆核初步形成阶段 (3 200~2 800 Ma)

中太古代, 特别在末期 (2 800 Ma), 经过迁西运动 (或阜平运动), 在原古太古代地壳上的增生体或新生的洋盆, 经褶皱、变质、岩浆活动、挤压抬升等地质作用, 形成大小不等的陆块群, 成为在中太古代形成规模较大的古大陆 (或古陆块) 的陆核。这时期形成的陆块 (或陆核) 有迁西、辽吉、阜平、汞丹山和阿尔金山东段, 其中以迁西、辽吉等陆块 (或陆核) 规模较大。需要指出的, 中太古代时期的陆块 (或陆核), 虽然受到后期各类地质作用的叠加改造, 但已具有一定的体积、质量和浮力, 因而部分作为最古老的岩石圈组分保存下来。

迁西陆块主要分布在水厂-平林镇-姜子山一带和北京市密云水库周边相当于苇子峪杂岩的一套高角

闪岩相-麻粒岩相的含铁层位的表壳岩系。其中多被中、新太古代变质深成岩所包围，因而露头很不连续。迁西岩群主要由暗色麻粒岩、含辉石黑云斜长片麻岩、浅色麻粒岩、条带状辉石磁铁石英岩等互层带组成，在铁矿层上部有矽线石榴斜长片麻岩、堇青石榴斜长片麻岩等。其原岩为基性火山熔岩、中酸性火山喷发岩并夹有少量碎屑沉积岩、条带状铁建造等。在迁安羊崖山，侵入到迁西岩群铁建造的席状花岗岩的锆石 U-Pb 一致线年龄为 2 960 Ma（刘敦一等，1990），羊崖山含紫苏辉石花岗岩中基性麻粒岩包体的 Sm-Nd 模式年龄为 3 280 Ma 和 3 230 Ma。说明迁西岩群的形成时间应大于 3000 Ma。

阜平陆块主要分布在太行山北段阜平-涞源-唐县-平山一带，由麻粒岩-角闪岩相的角闪二辉麻粒岩、含辉石斜长角闪岩、浅粒岩、变粒岩、大理岩夹条带状铁建造等组成。阜平岩群变质岩常被新太古代深成岩侵入穿切和包围，成规模不等的包体或残体出露。原岩主要是下部的火山岩系和上部沉积岩系，大致构成一个从基性-中酸性火山岩-沉积岩的一级火山-沉积旋回，火山岩的原岩主要是钙碱性系列的拉斑玄武岩-安山岩-英安岩-流纹岩系，反映其形成于活动大陆边缘（沈保丰等，2000）。沈保丰等在阜平岩群下部辉石斜长角闪岩中获得 $(3\,352 \pm 50)$ Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄，而侵入阜平岩群的东城铺黑云角闪斜长片麻岩（原岩为花岗闪长岩）的锆石激光探针等离子体的年龄为 2.69 Ga（关鸿等，1998）。阜平陆块形成时代大致 3 400~2 800 Ma，从中太古代-古太古代。

辽吉陆块（或古隆区）主要是指分布在辽宁东北部和吉林南部的龙岗山卵形穹隆和辽宁鞍山市东南的铁架山隆起。这 2 个地区共同的特点是在中太古代时均广泛发育花岗质岩浆活动，为中太古代硅铝壳分布区。

龙岗山卵形穹隆呈拉长的北东向长板状，长 200 km，宽 50~60 km，总面积约 12 000 km²。主体为片麻状英云闪长岩，中心部位有少量奥长花岗岩，两者多为逐渐过渡关系，穹隆的西南端，在大苏河、小莱河一带，主要为花岗闪长岩，具弱片麻理。在中太古代岩浆岩中，还有少量的镁铁质-超镁铁质层状杂岩，大部分在英云闪长岩中呈大小不等的包体状产出。表壳岩大多成大小不等的包体产在 TTG 岩系中，下部由辉石斜长角闪岩、辉石磁铁石英岩、石榴辉石斜长角闪岩和斜长角闪岩组成，上部以石榴角闪斜长片麻岩、含辉石角闪斜长变粒岩为主，夹少量斜长角闪岩、黑云石英片岩和磁铁石英岩。斜长角闪岩的 Sm-Nd 等时线年龄为 $(3\,018 \pm 20)$ Ma，Nd 模式年龄平均为 3 494 Ma， ϵ_{Nd} 为 (0.190 ± 0.165) （李俊建等，2000）。

铁架山隆起主要是指出露在鞍山市东南，以铁架山花岗岩体为中心，包括立山、东鞍山等花岗岩体组成，露头总面积约 100 余平方公里。花岗岩为中粗粒斑状结构，斑晶为肉红色微斜长石，基质为奥长石、石英和少量黑云母，SHRIMP 锆石年龄 2970 Ma（伍家善等，1998）。立山花岗岩为灰色、中细粒花岗结构、块状构造，主要由奥长石、石英和少量黑云母、微斜长石等组成。东鞍山花岗岩为灰色、中粒花岗结构，弱片麻状构造。A.P.Nutman 和宋彪对立山、东鞍山花岗岩用 SHRIMP 法进行测定，分别获得锆石年龄 $(3\,142 \pm 7)$ Ma 和 $(2\,994 \pm 8)$ Ma（伍家善等，1998）。鞍本地区中太古代岩石几乎全部为花岗质岩石组成，同时代表壳岩保存较少，其来源可能于地壳深部的玄武质岩石的部分熔融作用。

在阿尔金山阿格塔什塔格在中太古代也获得一批岩浆活动的信息，如二长花岗（片麻）岩的 TIMS 锆石年龄 (3096 ± 17) Ma， T_{DM} 为 2 978 Ma，花岗闪长（片麻）岩的 TIMS 锆石年龄 $(2\,604 \pm 102)$ Ma， T_{DM} 为 3063 Ma（陆松年，2002），说明本区在 3.0 Ga 左右有一次造壳运动。

中太古代矿床仅为条带状铁建造铁矿床，形成环境为古陆边缘或相似于岛弧环境，出现以水厂为代表的超大型铁矿床。

4 新太古代华北、塔里木古大陆的汇聚和初始克拉通化阶段（2 800~2 500Ma）

中国古大陆也同其他古大陆一样，太古宙，特别新太古代是一次十分重要的造壳时期。在新太古代时期，在华北、塔里木和扬子古大陆内，洋盆明显增多、规模增大，火山-沉积岩系的分布范围和岩层厚度大大的增加，形成的构造环境分异显著。通过古陆核地幔柱底侵作用的垂直增生和边缘侧向增生等方式，陆块增生，然后通过洋盆消减、弧陆拼合直到陆陆碰撞和俯冲，各陆块汇聚形成古大陆和初始克拉通化。应

该指出的是,在中国古大陆新太古代的岩层主要分布在华北古大陆,其次在塔里木古大陆,扬子古大陆出露较零星。华北古大陆内新太古代的岩层广泛分布,并以广泛分布着绿岩带为特色。从华北陆块北缘、南缘到五台山-恒山和胶东-鲁西等地都有绿岩带产出,如:夹皮沟、清原、鞍山、辽西、乌拉山、遵化、张宣、胶东、鲁西、五台山、小秦岭等。这些绿岩带主要形成在活动大陆边缘或岛弧构造环境中,原岩建造以镁铁质火山岩为主,其次为安山质-长英质火山岩,有时安山质火山岩缺失,沉积岩有碎屑岩和碳酸盐岩及条带状铁建造,常构成一个或数个火山-沉积旋回。变质作用以角闪岩相为主,也有角闪麻粒岩相和绿片岩相。形成时期为新太古代早期(2.8~2.7 Ga)和新太古代晚期(2.6~2.5 Ga)。片麻岩-麻粒岩亦是新太古代很重要的岩石组合,主要分布在华北陆块北缘,此外在吕梁山等地也有产出。分布在大青山-乌拉山、吕梁山界河口群等地的片麻岩-麻粒岩的原岩以粉砂质、泥质、碳酸盐岩沉积为主,火山岩相对较少,反映其形成在稳定的大陆边缘。塔里木陆块多为中新元古代岩层和显生宙的盖层所覆盖,目前认为较确切的新太古代岩石和地层露头主要有分布在塔里木北缘库鲁克塔格地区的托格拉克布拉克杂岩和阿尔金-敦煌地区的米兰岩群。托格拉克布拉克杂岩主要由片麻岩类、变粒岩夹斜长角闪岩和各种片岩不均匀互(夹)层组成,下部以片麻岩为主,上部主要为变粒岩。片麻岩类有斜长角闪片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、钠长片麻岩类等,部分片麻岩类原岩为中基性、中酸性和酸性火山岩。钠长片麻岩类的原岩相当于中酸性火山岩。变粒岩及石英片岩化学成分相当于陆源碎屑杂砂岩。在杂岩内糜棱岩、片麻状花岗质岩石(原岩相当于TTG-花岗岩)占相当部分,有可能属于花岗岩-绿岩带。米兰岩群主体为一套变质的深成岩,成分以英云闪长质-花岗闪长质片麻岩为主和石英片岩类、角闪(片)岩类、变粒岩类和大理岩类组成。根据地球物理资料及出露少量的太古宙岩石露头推断,塔里木陆块基底主要为太古宙杂岩,推测在新太古代末塔里木陆块初始克拉通化。

扬子陆块内出露的太古宙岩层极少,目前已知的有鄂西的东冲河杂岩、滇中的筴林群和新太古代-古元古代的川西南康定杂岩,对扬子陆块在太古宙末的地壳演化特征有待于进一步研究。

总之,在新太古代末华北陆块和塔里木陆块内的各个小陆块(或陆核)已汇聚,形成初始克拉通。

新太古代是中国重要的成矿期。但这期间的成矿作用主要与陆块增生碰撞汇聚作用所形成的绿岩带有关,形成了铁、铜、锌、硫铁矿和金矿。铁矿床广泛分布在鞍山、五台等绿岩带中,铁矿储量占全国铁矿总储量的50%,形成弓长岭、南芬、东鞍山、西鞍山、齐大山、山羊坪等超大型铁建造铁矿床,矿床类型为阿尔戈马型。在清原绿岩带中出现中国最古老的铜锌和硫铁矿床,以VHMS型红透山大型铜锌矿床和大荒沟硫铁矿床为代表。同国外一样,在遵化、夹皮沟、清原等绿岩带中形成以石英脉型为主的金矿床,如金厂峪、三道岔、二道沟、夹皮沟本区等金矿床。金厂峪金矿床含金石英脉锆石TIMS法年龄为(2539±23) Ma(李俊建等,2002)、二道沟金矿床含金石英脉中锆石TIMS法年龄为(2475±19) Ma(沈保丰等,1998)。

5 古元古代华北、塔里木、扬子古大陆的增生、统一结晶基底形成阶段

(2500~1800Ma)

古元古代是地史上一个十分重要的时期,处于从活动地壳向稳定古大陆过渡时期,同时在全球范围内,在2.0~1.8 Ga期间,各古大陆再次发生大规模的构造拼贴造山作用,地壳增生和形成大面积的古陆。

古元古代初,在太古宙末形成的华北古大陆开始裂解,构造体制发生了本质的变化,由太古宙全活动体制转换为活动带和稳定地块并存的构造格局。在华北古大陆的边缘和内部的活动带和裂谷中,分别发育了被动大陆边缘和活动大陆边缘或岛弧的构造环境和相应的火山-沉积物。辽吉古元古代裂谷位于华北陆块北缘东段,全长大于500 km,中央凹陷区的宽度达100 km,是太古宙古大陆基底形成以后,经过古元古代时的伸展裂陷、火山喷发和沉积、岩浆底辟侵入、挤压褶皱、隆升拆离、消亡等一系列的地质演化历史,时限为约2.2~1.7 Ga,形成了一套厚达8 000 m的辽河群变质火山沉积岩系。中条古元古代裂谷位于华北

陆块南缘新太古代涑水花岗岩-绿岩带形成以后，在约 2.30 Ga 时开始裂解，由于地幔柱上隆或底辟作用，促使地壳变薄、拉伸、裂陷形成古裂谷，大致在 1.85 Ga 裂谷最后挤压消亡、收缩隆起，裂谷存在了大约 450 Ma。中条裂谷内沉积了由绛县群、中条群和担山石群等变质火山沉积岩系，地层总厚度达 9 000 m。在华北陆块北缘中段，在尚义-赤城-滦平-大庙断裂以北，康保-围场断裂以南，分布着具有活动大陆边缘的红旗营子群的火山-沉积岩建造。而在五台山南坡台怀-四集庄以南，石嘴-定襄以北，分布着具有被动大陆边缘的滹沱群。滹沱群是一套轻微变质的沉积岩系，由变质砾岩、石英岩、千枚岩、板岩、白云岩、大理岩并夹少量（变质）玄武岩组成，地层厚度近万米。华北古大陆在 1.85~1.80 Ga 左右，洋盆的削减，吕梁运动导致深熔花岗岩、伟晶岩的侵位和区域低温动力变质作用形成线性构造带，与其两侧的刚性块体拼贴，最终形成统一的稳定的结晶基底。

古元古代初，塔里木古大陆南北两侧再次拉张，由裂陷槽转化为拗陷海盆，形成巨厚的火山-沉积岩系。如：北山西段、天山西段和库鲁克塔格一带的北山群、温泉群、木札尔特河群、那拉提群、兴地塔格群等；柴北缘-祁连段的达肯大板群、沙柳河群；湟源群、北大河群等。天山-北山西段的角闪斜长片岩、斜长角闪片岩、角闪斜长片麻岩和黑云角闪变粒岩等变质岩，其原岩为玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩等，属钙碱性系列，同以硬砂岩为主的火山-沉积岩一起组成中基性火山岩-硬砂岩复理石建造。可以推测天山-北山的活动带是塔里木古大陆北部活动大陆边缘的岛弧带（白瑾等，1996）。在古元古代末的兴地运动（相当吕梁运动），使洋盆闭合，区域动力热流变质作用，并伴随岩石地层的褶皱变形，造山期花岗岩侵位，塔里木古大陆基本形成。

古元古代时，扬子古大陆的周边，由于拉伸、伸展和裂陷作用，分布着由变质岩系组成的活动带，西南缘在哀牢山的东侧的活动大陆边缘，分布着从绿片岩相到高角闪岩相、以细碧角斑岩为代表的大红山群火山-沉积岩系，出露厚度达 4 500 m；北缘在鄂西分布着高角闪岩相的、以含石墨的富铝碎屑沉积岩为主的中基性火山凝灰岩-碎屑岩的水月寺群；在东南缘的庐山东麓及星子县境内出露小片星子群变质岩系，星子群的原岩建造为基性火山岩-杂砂岩-岩屑砂岩，显示其形成于大陆边缘。在华夏古大陆的北缘，在浙西南、闽北、赣东南、广西云开大山等地都分布着古元古代八都群、麻源群等火山-沉积建造。经吕梁运动后，形成的扬子古大陆的规模可能大于现今的扬子陆块。需要指出的是，在华夏古大陆北缘的闽北、浙西南的岩层，其褶皱时间大致也在 1.9 Ga 左右，同时也厘定出华南在 1 950~1 850 Ma 存在花岗岩浆活动事件和变质事件，证明吕梁运动是一次十分重要的造壳事件，因而推测古元古代，华夏古陆块和扬子古大陆共同组成华南古大陆，古元古代末吕梁运动形成华南古大陆的结晶基底。

佳木斯微陆块位于黑龙江东北部，向北与俄罗斯境内的布列亚陆块连为一体，是结晶基底出露面积较大，时代较为古老的陆块。变质基底主要是古元古代麻山岩群。麻山岩群是由深变质片岩、含矽线石榴片麻岩、含石墨片麻岩、大理岩等组成的孔兹岩系，形成于被动大陆边缘的沉积环境。

据上所述，可以推测，在古元古代末，经吕梁运动，华北、塔里木、华南等古大陆相连，组成一个统一的中国古大陆的结晶基底。

古元古代是中国前寒武纪十分重要的成矿期。成矿作用主要与古大陆的裂解离散作用有关，矿种类别多，成因类型多样。在古裂谷地质环境形成变质海相火山-斑岩型超大型铜矿峪铜矿床、变质改造热水沉积型超大型翁泉沟硼铁矿床、受变质沉积型超大型海城菱镁矿床、受变质沉积热液改造型超大型范家堡子滑石矿床、SEDEX 型大型青城子铅锌矿床等。产于活动大陆边缘的 VHMS 型特大型蔡家营铅锌矿床、与钠质熔岩有关的火山-沉积型特大型大红山铁铜矿床、层控浸染型大型排山楼金矿床等。而与被动大陆边缘与孔兹岩系有关的、储量占世界首位的石墨矿，以超大型柳毛、勃利矿床和特大型平度、南墅、虎林矿床等为代表。

6 中元古代—青白口纪中国古大陆的裂解和汇聚阶段（1 800~800Ma）

中元古代始，统一的古元古代中国古大陆开始裂解，大部分地区为刚性大陆块活动开始时期，拗拉谷、

裂陷槽、大陆边缘、裂谷和内陆盆地相继出现,由于所处的地质构造环境不同,在各陆块内形成的岩石组合也有明显的差异。在华北和塔里木古大陆内,除少数地区外,没有广泛的和强烈的造山运动,褶皱变形弱,未变质或低变质,表现出刚性地块的面貌,形成了稳定型沉积,构成华北古大陆的第一套沉积盖层。扬子古大陆的边界性质与华北古大陆有很大的区别,以活动大陆边缘为主,以川中地块(微陆块)为核心,在其周边发育了一系列沟、弧、盆体系,形成了活动型沉积。塔里木古大陆在中元古代的地质行径更多相似于扬子古大陆。

中元古代始,华北古大陆裂解,以伸展构造体制为主,斜长岩、环斑花岗岩、基性岩墙群等侵位在太古宙-古元古代的结晶基底上,随后发育裂谷系并伴随火山岩的喷发。出现了燕辽裂陷槽和熊耳-汉高坳拉槽,在北缘、南缘发育了裂谷盆地。燕辽裂陷槽分布在燕山-太行山区,在裂陷槽内,由于同生断裂发育,在中-新元古代时期,在裂陷槽的中心蓟县一带,沉积了厚度达万米的长城系、蓟县系、青白口系。该套地层的岩石由未变质或轻变质的稳定型海相富镁质碳酸盐岩为主,还含碎屑岩、粘土岩,局部夹火山岩,富含微体化石和叠层石。在燕辽裂陷槽内,广泛发育着非造山的中元古代岩浆活动,有侵入岩、火山岩和基性岩墙群。主要岩石类型和组合特征是:斜长岩-苏长岩-纹长二长岩组合,以大庙-头沟侵入杂岩为代表;斜长岩-石英正长岩-富钾花岗岩组合,分布在怀柔-密云北部的长哨营一带;斜长环斑花岗岩-斑状黑云母花岗岩-浅色细粒花岗岩-辉长岩及碱性辉长岩组合,典型地区为密云沙厂岩体;玄武岩-碱性玄武岩-粗面岩组合,在大红峪期广泛发育。裂陷槽的发生发展到消亡成陆大致从 1 800 Ma 到 850 Ma。在华北古大陆的南缘豫陕晋三省交界处,在中元古代形成三义裂谷系,也称熊耳-汉高坳拉槽。在裂谷内分布着一套以熔岩为主,火山碎屑岩次之的古火山岩系,出露面积达 5 350 km²。岩石类型以玄武安山玢岩、玄武粗安岩、安山玢岩、英安玢岩为主,具有高钾、富铁、低铝、少钙的特点,具明显的双峰态特征,未变质。熊耳群的地质年龄大致是 1 650~1 850 Ma,在华北古大陆的北缘西段分布着狼山-白云鄂博裂谷系,裂谷系内产出狼山群、白云鄂博群和渣尔泰山群,其中形成白云鄂博 REE-Nb-铁超大型矿床、霍各乞、炭窑口、东升庙、甲生盘等大型、超大型铜、铅、锌、硫铁矿矿床。裂谷形成年代约 1 730~1 000 Ma(王揖等, 1989)。在华北古大陆北缘中段产出白乃庙群和温都尔庙群。白乃庙群是由绿泥片岩、绿泥阳起斜长片岩、黑云绿泥片岩、残玢阳起斜长片岩、绢云长英片岩、变流纹岩、变凝灰质砂岩夹结晶灰岩透镜体等组成,是一套以基性火山岩为主的海相火山岩。白乃庙群火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 1 146~1 114 Ma(聂凤军等, 1993), Sm-Nd 等时线年龄为 (1 124±57) Ma(聂凤军等, 1999), 属蓟县纪晚期。白乃庙群可能是在大洋壳基底上发展而成的古岛弧残块,然后拼贴到华北古大陆北缘。温都尔庙群下部主要由中基性海相火山岩组成,绿泥拉斑玄武岩、凝灰岩、安山玄武岩、辉绿玢岩和辉绿岩较发育,是一套富钠、低钾和高钛的大洋火山喷发沉积建造。温都尔庙群的 Sm-Nd 等时线年龄为 (807±49) Ma(聂凤军等, 1999), 属新元古代青白口纪晚期,是新元古代洋中脊火山活动的产物。从上可知,从中元古代-青白口纪,华北古大陆一直处于裂解拉伸体制中,分裂出一系列的中元古代地块,其中北缘中西段在新元古代青白口纪拉伸作用达到了顶峰,出现了以温都尔庙群为代表的洋壳残块。

在中元古代-青白口纪塔里木古大陆北侧库鲁克塔格地区先后发育了长城系波尔姆群、蓟县系爱尔基干群和青白口系帕尔岗塔格群。波尔姆群由石英岩、云母(或绿泥)石英片岩和大理岩组成的沉积旋回,在底部的局部地区还保留数十米厚的变质砾岩层。爱尔基干群主要由碳酸盐岩组成,下部为浅海相镁质碳酸盐岩,上部由绿帘阳起片岩、绿帘绿泥石英片岩和黑云片岩组成。帕尔岗塔格群下部为石英岩状砂岩、千枚岩和变质砂砾岩,上部为富含叠层石的海相碳酸盐岩。从上可知,在中元古代-青白口纪库鲁克塔格地区是处在被动大陆边缘盆地。塔里木古大陆西北缘的阿克苏群,以绢云绿泥石英片岩和含绿帘绿泥石英片岩等互层为主,夹有薄层石英岩及含白云钠长、绿帘绿泥石英片岩,局部兰闪片岩呈夹层出现。目前阿克苏群中获得的 Rb-Sr 全岩年龄相差较大, Rb-Sr 全岩年龄有 1 720.8 Ma、(962±12) Ma、(944±42) Ma 等属中元古代,但从其上部与震旦系不整合接触,更可能为青白口纪。它应反映活动大陆边缘盆地。中元古代柴达木古陆北东侧是活动大陆边缘,形成祁连海槽,部分地段还保留了洋壳成分。北祁连西段长城纪朱龙关群、蓟县纪镜铁山群均为巨厚的活动型火山-含铁复理石沉积。朱龙关群海相低钾拉斑玄武岩-铁硅

质建造及紧密共生的镁铁质-超镁铁质火山岩体组成巨厚的蛇绿岩套,反映了早期洋壳的存在。从以上一些地质资料表明,在中元古代塔里木的西北缘和南缘都存在着活动大陆边缘盆地,有些地段甚至出现洋壳。在 14 亿年左右,塔里木古大陆与柴达木古陆拼合在一起,标志是沿阿尔金断裂带分布着蛇绿岩带。在青白口纪末,塔里木运动(相当晋宁运动)促使元古南天山洋和元古昆仑洋消减,沿缝合带分布混杂岩带、蓝片岩带等,说明塔里木古大陆和天山、昆仑山汇聚拼贴,最终形成塔里木基底,当时塔里木古大陆的面积比现在塔里木陆块的面积大,同时与华北古大陆对接。

从中元古代始,在古元古代形成结晶基底的华南古大陆再次裂解,分别形成扬子古大陆和华夏古大陆,两古大陆间为古华南洋,其北为古秦岭洋,与华北古大陆相对。在中元古代扬子古大陆的东南缘为大陆边缘裂谷盆地,沉积了中元古代四堡群、梵净山群、冷家溪群、双桥山群等。这是一套厚度达数千米至万米以上,具复理石明显的半深水-深水相浊流沉积,含少量火山熔岩及凝灰物质,遭受低绿片岩相的区域变质作用,主要岩石类型为绢云片岩、粉砂质绢云片岩、变杂砂岩和千枚岩,在局部地区发育的变镁铁质-超镁铁质火山岩多为低钾拉斑玄武岩及科马提质玄武岩。如桂东北的四堡群,是一套浅变质的半深海相砂泥质复理石建造夹基性-超基性火山岩,在该群文通组上段分布着 4 层科马提质玄武岩。冷家溪群为一套浅变质半深水-深水相陆源-火山碎屑浊流沉积,夹科马提质玄武岩(益阳)、变细碧岩(变辉绿岩)等,这些火山岩系有可能反映离散型大地构造的证据。在扬子古大陆的西南缘,由于拉伸裂陷,以安宁河-绿汁江断裂为西界,下江断裂为东界,形成狭长的康滇中元古代裂谷,控制着昆阳群和会理群的沉积。昆阳群主要是一套由碳酸盐岩和碎屑岩组成的浅变质沉积岩,岩石类型有镁质碳酸盐岩、千枚岩、板岩、变质石英砂岩、变质粉砂岩和硅质岩等,该群富含叠层石和微古植物。会理群为一套变质碎屑岩及碳酸盐岩夹火山岩岩石组合。在扬子古大陆北缘,川甘陕交界处,分布着碧口群(中元古界-青白口系),是一套浅变质的火山-沉积岩系,下部为碎屑岩,中、上部为以基性熔岩为主的火山岩。变火山熔岩类包括变细碧岩、变角斑岩、变安山岩、变石英角斑岩、变石英粗安岩、变流纹岩、变石英粗面岩等。这说明在中元古代,在扬子古大陆北缘裂谷开裂已较深,出现洋壳的残留。

在中元古代的华夏古大陆,在浙江诸暨、闽北-浙西南、赣东北、海南等地分布着陈蔡群、马面山群、龙泉群、铁砂街群和抱板群等。陈蔡群原岩建造中下部是火山岩系和火山-沉积岩系,向上过渡为沉积岩系,岩石类型有角闪岩类、长英质变粒岩类、大理岩、云母石英片岩类、石英岩和斜长片麻岩类。经受低-高角闪岩相区域动力热流变质作用,主体形成于不成熟的岛弧环境。抱板群主要岩石类型有黑云二长变粒岩、二云石英片岩、斜长角闪岩等。

在中元古代末,在约 1 000 Ma 左右,经四堡运动,扬子古大陆周边发生了重大的构造变动。在扬子古大陆的东南缘,华夏古大陆和古华南洋组成一个板块,向扬子古大陆俯冲、碰撞和拼贴,经四堡运动,使古华南洋消减萎缩,形成初始的华南古大陆。在扬子古大陆西南缘,经唐房运动(相当于四堡运动),这一构造运动褶皱作用不强,但有较强的侵蚀作用,是昆阳中亚群和上亚群的分界。扬子古大陆北缘的碧口群蛇绿岩和蓝片岩带存在,也反映了在中元古代末-青白口纪与华北古大陆有一次会聚作用的存在。因而经四堡运动后,出现了初始统一的华南古大陆。

经四堡运动,华南古大陆的陆壳厚度明显增厚,古大陆东南缘青白口系分布广泛,发育良好,从滨、浅海相至半深海相沉积都有,这是四堡运动(武陵运动或九岭运动)后,在中元古代不整合面上的一套海进沉积,如登山群(赣东北)、板溪群(湘中、梵净山、雪峰山)、丹洲群(桂北)、双溪坞群(浙西北)、九岭群(赣北)、历口群(皖西南)等。湘北、赣北和皖西南的青白口纪地层为板溪群、修水群、历口群等,主要分布在江南古陆的北部,其构造环境为陆缘滨岸-陆棚斜坡区,沉积物以砂、泥质岩为主,夹碳酸盐岩沉积,常夹一些紫红色地层为特征。在益阳沧水铺地区在板溪群下部发育一套中酸性火山角砾岩为主的火山岩系。在桂东北、雪峰山以南和赣中地区青白口系有丹洲群、高涧群和神山群,形成于地壳拉伸作用的大陆边缘裂谷盆地的火山-沉积岩系。岩石类型有黑色碳质板岩、(凝灰质)绢云板岩、灰绿色杂砂岩,下部夹碳酸盐岩透镜体,有些地区有中性-基性火山岩。怀玉山-浙西北青白口系地层包括登山群、双溪坞群、河上镇群、广丰群、平水群等,它们以发育双峰式火山岩为特征。

晋宁运动在 800~900 Ma 左右,其早期阶段可能在 1 000 Ma 开始,以不均匀的升降运动为主,并伴有不强基性的岩脉侵入和变质作用,其主体在 850 Ma 左右,以强烈的碰撞造山、褶皱断裂并伴随大量花岗质岩石侵入和大面积的变质作用。晋宁期在东南缘,随着古华南海的继续消减和俯冲,沿江绍断裂带中,发育着与碰撞拼贴有关的闪长质岩和角闪质岩的侵入(如平水石英闪长岩、璜山石英闪长岩、石角辉石角闪岩等)。两古大陆以陆-弧-陆形式为主的碰撞汇聚,并残留了古华南海盆地。在西南缘-西北缘,南北向的川滇洋闭合,扬子古大陆与川滇藏古陆沿红河-盐边-石棉-彭县-碧口一线汇聚,并伴有同造山期和造山期后的花岗岩。

总之,晋宁运动不仅形成扬子古大陆的变质基底,同时使扬子古大陆与华夏古大陆再次汇聚,形成华南古大陆。

从中元古代初,塔里木-华北古大陆和华南古大陆裂解,形成北部为弧盆体系,南部属拉张体系的古昆秦洋。古昆秦洋大体经历了以向北为主的 3 次消减活动,最后一次消减,同时伴随着大量新元古代碰撞型花岗岩的侵位(如牛角山、德合、商南、寨根等花岗岩体),大面积的区域变质作用,在秦岭杂岩中出现 900 Ma 左右构造热事件年龄,宽坪岩群中 900 Ma 左右强烈的变质变形,最后形成昆秦结合带,并使北部隆升成陆,南部沉积物褶皱形变。晋宁运动使华北、塔里木、华南古大陆对接相连,形成原始中国古大陆,并可能成为罗迪尼亚(Rodinia)超大陆的一部分。

本阶段丰富多采的地壳演化历史,形成了大量多矿种、多成因类型矿床。有与古大陆裂解离散作用有关的矿床,也有与古大陆碰撞汇聚作用有关的矿床,前者有:产于华北陆块边缘的 SEDEX 型超大型东升庙铅锌硫铁矿床、炭窑口多金属硫铁矿床、喷流沉积-热液交代的超大型白云鄂博稀土-铌-铁矿床和岩浆深部熔离-贯入型超大型金川铜-镍矿床等。在燕辽裂陷槽内形成了沉积型大型瓦房子锰矿床、与生物成矿作用有关的庞家堡沉积铁矿床和与斜长岩等岩浆作用有关的大庙磷钛铁矿床。在扬子陆块西南缘的康滇裂谷中段东缘东川-易门地区昆阳群的因民组、落雪组内赋存着沉积-深源热水叠加的特大型-大中型汤丹、因民、落雪、铜厂等铜矿床和在华夏陆块内我国超大型富铁矿床——海南石碌铁矿床等;后者有扬子陆块东南缘西裘铜锌矿床、沃溪、漠滨等金矿床和华北陆块北缘西段白乃庙铜金钼矿床、温都尔庙铁矿床等。

7 南华纪-震旦纪中国古大陆的裂解阶段(800~543Ma)

南华纪-震旦纪也是中国前寒武纪地壳演化的一个重要的历史阶段。从南华纪始,中国古大陆的地质构造环境又发生了巨大的变化。统一的中国古大陆再度拉张、破裂,其表现为在华南古大陆内扬子古大陆和华夏古大陆间缝合处再次破裂,并保留了古华南海的残盆;塔里木古大陆逐渐远离扬子古大陆漂移并向华北古大陆西侧靠近。华北古大陆南缘和扬子古大陆再度裂开,并逐渐发展形成南华纪-震旦纪-早古生代洋;北缘作为活动大陆边缘仍继续发展。在古大陆的内部则发育了稳定型的沉积,尤以扬子古大陆最为明显。

从南华纪始,沿扬子和华夏古大陆的接合处,华南古大陆东南缘就开始裂解,表现为非造山岩浆活动,大规模基性岩墙群的侵位,双峰式火山岩喷发和活动型沉积等发育。裂解的时间各地不一,较早时间在 825~820 Ma。桂北地区在新元古代存在两类过铝花岗岩:黑云母花岗闪长岩和黑云母花岗岩。这两类过铝花岗岩是超大陆裂解地幔柱上升诱发岩石圈伸展的张性断裂有关,侵位时间 825~820 Ma(葛文春等,2001)。李正祥等(2001)在本区三防基性岩墙中,获得 (828 ± 7) Ma 的结 U-Pb 年龄。此外在湖北黄陵、浙江萧山等地也获得近 800 Ma 年龄的非造山花岗岩,均为在南华纪初,扬子和华夏古大陆的裂解提供依据。需要指出的随着古大陆的裂解,在南华纪中晚期出现古城和南沱两次冰期,特别南沱冰期广泛分布在鄂、湘、赣、桂、黔、川、皖等地,是裂解后的一次重要地质事件。裂解后扬子古大陆自东向西发生了大规模的海侵。南华纪在上扬子和鄂中古陆均处于剥蚀状态,在古陆内或古陆边缘发育了陆相碎屑岩、冰碛岩及间冰期沉积物。在南华纪早期,以峡东莲沱组为代表,主要岩性为砾岩、长石石英砂岩、凝灰质砂岩夹砂质页岩和层凝灰岩,属蛇曲河-近海三角洲相或河口湾-潮坪环境。在南华纪一般划分两个冰期和一个间冰期。

早期莲沱组上部为古城组，又称古城冰期，一般呈大面积星点状分布，在鄂西长阳古城发育完整，建立了小冰层位-古城组层型。晚期为大塘坡组（又称大塘坡间冰期），剖面建立在贵州大塘坡锰矿区，是含锰岩系。南沱组（一般称南沱冰期）在扬子陆块广泛分布。震旦纪古大陆气候转暖，冰川消融，海平面上升，大规模海侵形成的浅海盆地中，沉积了大量碳酸盐岩。在扬子古大陆的西部发育了川滇裂谷带，形成了由火山岩、碎屑岩组成的乌斯大桥群。在华夏古陆的西侧，近古华南海的残盆为不甚发育的陆缘浅海沉积物。如在江西南部南华纪为变余长石石英砂岩、磁铁矿层、黑色板岩、变凝灰质砂岩、含砾砂岩和板岩等。在震旦纪下部为变长石石英砂岩夹黑色板岩，上部为中厚层燧石岩夹硅质板岩及硬砂岩。

华北古大陆在此期间主体上升成陆，仅在东、南、西侧发育了拗陷带，发育了稳定型的碎屑岩-碳酸盐岩沉积物。如南侧以豫西地区最为发育。南华系-震旦系典型剖面自下而上的黄连垛组、罗圈组、东坡组。黄连垛组由硅质条带白云岩和硅质岩、底部为砂砾岩组成，超覆在蓟县系汝阳群洛峪口组和三教堂组之上，分布局限。罗圈组分布较广泛，在东秦岭北坡均有分布，为一套典型的冰碛砾岩和冰水含砾泥砂岩，覆于太古宇登封岩群和青白口系董家组不同时代地层之上。罗圈组的冰川活动时代新于南沱组，可能是震旦纪末期。

在南华纪-震旦纪，塔里木古大陆在不同部位的地质构造环境有很大差别，形成不同的沉积物。在北部边缘发育裂谷构造，伴随有强烈的火山活动和多次冰川活动，形成巨厚的冰川-火山-复理石建造，中南山地区是发育齐全地区。分布在柴达木陆块北部拗陷带的全吉群则为稳定型地台沉积，除底部为磨拉石建造外，由下部石英砂岩、中部砂页岩和上部富含叠层石的碳酸盐岩。在中祁连分布的多若诺尔群，由绿泥石英片岩、变质基性-中基性火山岩、板岩和结晶灰岩，为活动型沉积。

在我国西部在新元古代末-早前寒武世已出现不少 600~500 Ma 的汇聚的年龄信息。在柴达木盆地北缘鱼卡河榴辉岩的 U-Pb 年龄为 500~470 Ma（陆松年等，2002）。

南华纪-震旦纪是中国磷、锰、蛭石、金红石、硫铁矿、铁和铅锌等矿床的重要成矿期。这些矿床主要与古大陆裂解离散地质作用，产在古大陆边缘或裂谷等拉伸构造环境，主要分布在扬子陆块东南缘，其次在华夏陆块北缘和塔里木陆块北缘，形成一批开阳式磷矿床、湘潭式锰矿床、新余式铁矿床、MVT 型铅锌矿床及与超基性-基性岩浆作用有关的蛭石、金红石矿床。具有代表的矿床有：超大型荆襄磷矿床和开阳磷矿床、大型民乐和中型湘潭锰矿床、大型杨家桥铁矿床、超大型大降坪硫铁矿床、超大型且干布拉克蛭石-磷矿床和大型大阜山金红石矿床等。

8 结束语

（1）中国前寒武纪从 3.8 Ga 到 0.543 Ga、占地球形成时期 7/8 的近 32 多亿年的漫长地质时间，地壳经历了从陆核孕育、陆块形成、古大陆的汇聚和裂解等至少经历了 7 次重大的地质事件和演化阶段。

（2）与地壳演化阶段相适应，在不同演化阶段形成了各类矿床。在地壳演化早期主要是产在古陆核（或陆块）边缘的浅海变质火山-沉积型的条带状铁建造铁矿床。在新太古代古陆块汇聚和初始克拉通化阶段，形成在活动大陆边缘与碰撞汇聚地质作用有关的绿岩带型铁、铜锌、硫铁矿和金矿床。古元古代统-古大陆再次裂解，后又汇聚增生，中国古大陆结晶基底形成阶段，在华北古大陆以形成与裂谷（或被动大陆边缘）有关铜、硼、菱镁矿、滑石、石墨、铅锌等矿床为主，而在扬子古大陆则以与活动大陆边缘有关的铜、铁等矿床。随着中元古代-青白口纪中国古大陆的再次裂解和汇聚，在华北、扬子、华夏等古大陆主要形成在与伸展体系作用有关的铅锌、硫铁矿、稀土-铌-铁、铜镍、铜、铁等矿床，而在华北、扬子古大陆局部地段形成在大陆活动边缘或岛弧带，与碰撞汇聚地质作用有关的铜金、铁、铜锌、金等矿床。南华纪-震旦纪中国古大陆主体为裂解阶段，形成与此有关的磷、锰、铁、蛭石、金红石等矿床。

参 考 文 献

- 白瑾, 黄学光, 王惠初, 等. 1996. 中国前寒武纪地壳演化 [M]. 第二版. 北京: 地质出版社. 1~259.
- 程裕淇主编. 1994. 中国区域地质概论[M]. 北京: 地质出版社. 1~517.
- 葛文春, 李献华, 李正祥, 等. 2001. 桂北新元古代两类过铝花岗岩的地球化学研究[J]. 地球化学, 30 (1): 24~33.
- 关鸿, 孙敏, 徐平. 1998. 阜平杂岩中几种不同类型片麻岩的锆石激光探针等离子体质谱年代学研究[J]. 岩石学报, 14 (4): 450~470.
- 侯宗林, 薛友智, 黄金水, 等. 1997. 扬子地台周边锰矿[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1~364.
- 李惠民, 陆松年, 郑健康, 等. 2001. 阿尔金山东端花岗片麻岩中 3.6Ga 锆石的地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 20 (4): 259~262.
- 李俊建, 沈保丰, 骆辉, 等. 2002. 华北地台北缘中段金矿床成矿年代学研究[J]. 前寒武纪研究进展, 25 (3-4): 239~244.
- 李俊建, 沈保丰. 2000. 辽吉地区早前寒武纪大陆壳的地质年代学[J]. 前寒武纪研究进展, 23 (4): 244~249.
- 刘敦一, Nutman A P, Williams J S, 等. 1994. 中朝克拉通老于 38 亿年的残余陆壳-离子探针锆石微区 U-Pb 年代学证据[J]. 地球学报, 1~2: 3~13.
- 陆松年, 等. 2002. 青藏高原北部前寒武纪地质初探[M]. 北京: 地质出版社. 1~125.
- 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: 北京科学技术出版社. 1~239.
- 乔广生, 王凯怡, 郭起凤, 等. 1987. 冀东早太古代岩石 Sm-Nd 同位素年龄测定[J]. 地球科学, 1: 86~92.
- 邱华宁, J.R.Wijbrans, 李献华, 等. 2002. 东川式层状铜矿 ^{40}Ar - ^{39}Ar 成矿年龄研究: 华南地区晋宁-澄江期成矿作用新证据[J]. 矿床地质, 21 (2): 129~136.
- 沈保丰, 骆辉, 韩国刚, 等. 1994a. 辽北-吉南太古宙地质及成矿[M]. 北京: 地质出版社. 1~255.
- 沈保丰, 骆辉, 李双保, 等. 1994b. 华北陆台太古宙绿岩带地质及成矿[M]. 北京: 地质出版社. 1~202.
- 沈保丰, 李俊建, 毛德宝, 等. 1998. 吉林夹皮沟金矿地质与成矿预测[M]. 北京: 地质出版社. 1~175.
- 沈保丰, 李俊建, 翟安民, 曹秀兰. 2000. 初论阜平深变质绿岩带地质特征[A]. 见: 中国地质学会编 “九五” 全国地质科技重要成果论文集[C]. 北京: 地质出版社. 155~158.
- 沈保丰, 杨春亮, 翟安民, 等. 2002. 初论华南陆块东南缘在 Rodinia 超大陆旋回时的成矿作用[J]. 矿床地质, 21 (增刊): 61~62.
- 宋彪, 伍家善, 万渝生, 等. 1994. 鞍山地区陈台沟表壳岩时代归属的初步研究[J]. 地球学报, 30~31 (1~2): 14~16..
- 孙大中, 胡维兴. 1993. 中条山前寒武纪年代构造格架和年代地壳结构[M]. 北京: 地质出版社. 1~180.
- 万渝生, 伍家善, 刘敦一, 等. 1997. 鞍山 3.3Ga 陈台沟花岗岩地球化学和 Nd、Pb 同位素特征[J]. 地球学报, 18 (4): 382~387.
- 王楫, 王保良, 徐成海, 等. 1989. 内蒙古渣尔泰山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. 1~171.
- 伍家善, 耿元生, 沈其韩, 等. 1998. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M]. 北京: 地质出版社. 1~211.
- Jahn B M, Auvray B and Conicher J. 1987. 3.5Ga old amphibolites from easter Hebei province, China: Field occurrence, Petrography, Sm-Nd isochron age, REE geochemistry[J]. Precambrian Research, 34: 311~346.
- Li Z X, Wang J, et al. 2001. South China in Rodinia--an update[J]. Gondwana Research, 4(4): 685~686.
- Lin D Y, Shen Q H, Zhang Z Q, et al. 1990. Archean crustal evolution in China: U-Pb geochronology of Qianxi Complex[J]. Precambrian Research, 48 (3): 223~244.
- Liu D Y, Shen Q H, Zhang Z Q, et al. 1990. Archean crustal evolution in China: U-Pb geochronology of the Qianxi Complex[J]. Precambrian Research, 48: 223~244.
- Liu D Y, Nutman A P, Williams J S, et al. 1992. Remnants of >3 800Ma crust in the Chinese part of the Sino-Korean craton[J]. Geology, 3: 339~342.
- Nie F J and Arne Bjorlykke. 1999. Nd and Sr isotope constraints on the age and origin of Proterozoic metamafic volcanic rocks in the Bainaimiao-Wenduermiao district, south-central Inner Mongolia, China[J]. Continental dynamics, 4(1): 1~14.

Precambrian Crustal Evolution and Mineralization in China

Shen Baofeng, Yang Chunliang, Zhai Anmin and Hu Xiaodie
(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

Abstract

From 3.8 Ga to 0.543 Ga, Precambrian crust in China experienced at least seven important geological events and evolutionary stages, such as continental nucleus pregnancy, landmass formation, and paleo-continent aggregation and breakup. Different evolutionary stages gave birth to different ore deposits. In the earlier period of the crustal evolution, there were mainly shallow marine metamorphic volcano-sedimentary iron deposits of bedded iron formation distributed on the paleocontinental margin. In Neoarchean, iron, copper, zinc, pyrite, and gold deposits of greenstone belt type were formed, which were related to the active continental margin and landmass collision. In Paleoproterozoic, there occurred copper, boron, magnesite, talc, graphite, lead and zinc deposits, related mainly to rifts (or passive continental margins) in the North China paleolandmass and Jiamusi microlandmass, whereas in Yangtze paleolandmass, copper, iron and some other deposits related to active continental margins were formed. The Chinese Paleolandmass experienced breakup and aggregation again in Mesoproterozoic-Qingbaikouan period and, in consequence, lead, zinc, pyrite, REE-Nb-Fe, copper, nickel and iron deposits related to the extensional system were formed in North China, Yangtze and Cathaysian Paleolandmasses, while copper, gold, zinc and iron deposits related to collisional geological function occurred in the active continental margin or island arc environment in some areas of North China and Yangtze Paleolandmass. In Nanhua -Sinian period, the Chinese Paleolandmass experienced the major breakup stage, forming phosphorus, manganese, iron, vermiculite and rutile deposits.

Key words: China, Precambrian, crustal evolution, mineralization

<http://www.kcdz.ac.cn/>