

中国前寒武纪地壳研究 及其在地质战略上的意义

孙 大 中

一、前 言

前寒武纪(包括太古和元古两个宙)占地球历史时间的 7/8,是地球演化历史最漫长的阶段。全球地壳出露的岩石中前寒武纪岩石约占 1/5,而中国大陆地表前寒武纪岩石则达 1/3,估计占地壳的 85%以上,因此前寒武纪地壳在其形成的时间上和所占据的空间上对于研究中国地质战略具有举足轻重的意义。

长期以来,特别是 80 年代中国前寒武纪地质研究有许多长足的进展。从各个角度对中国前寒武纪地质演化归纳总结的文章相继发表。同时各学科、各领域和各地区的前寒武纪研究也都有一系列的新进展,大大地丰富了中国前寒武纪地质学的内容。

尽管如此,对中国前寒武纪地壳演化的研究仍然十分需要深化。原因之一是在于大陆地质的关键是深部地质,而早期地质历史研究是打开深部地质的一把钥匙(Clibert, 1983);原因之二是大陆地质的中心议题是地壳的生长和大陆的聚合与分离,前寒武纪时期是讨论这些问题的最重要的时期。对于这些问题的研究我国仍处于初级阶段。而从现有的资料来看,中国前寒武地壳具有明显的特殊性和复杂性,因此它的研究不仅具有地质理论意义,而且在地质找矿等方面都将具有深刻的意义。下面从三个方面加以讨论。

二、中国前寒武地壳的特殊性

关于中国早前寒武纪地质特点,由于 80 年代初国外太古宙高级变质区和花岗绿岩带以及一些早期地壳演化模式引进后,在我国也曾引起一些讨论。通过不断深入的研究,特别是近两年对华北克拉通等地区已积累一些资料说明其具有自身的某些特点:

1、具有漫长而相对连续的地质演化记录。我国的前寒武纪根据地质记录的测年,其时限可以由大约 3.5Ga 到 0.6Ga,长达近 30 亿年之久。其中值得提出的是在全球的许多大陆内早元古代的 2.4—2.0Ga 期间的岩浆演化记录是罕见的或空缺的,在华北克拉通的许多处早元古内硅铝盆地或下陷带中都有着良好的记录。特别是最近对中条山元古活动带精确的单颗粒锆石 U—Pb 定年,更进一步肯定了这一特点。另外,中晚元古时期出现蓟县剖面这样较连续沉积时限近 8—9 亿年的地层记录也是世界罕见的。由此可见中国的元古宙具有最为丰富和漫长的地质记录。

孙大中,男,57岁,地矿部天津地矿研究所(天津市河东区大直沽6号路4号,邮编300170)研究员,同位素地质研究室主任,中国地质学会理事,前寒武纪地质专业委员会主任,国际地科联前寒武地层分会中国成员、国际地质对比计划217项元古地球化学国际工作组中国工作组组长,长期从事前寒武地质、岩石—地球化学、年代学和金属成矿作用等方面研究。

2、太古宙地壳经过强烈而滞后的改造。由于华北克拉通在 2.6—2.4Ga 期间有强烈的变质变形作用和大量花岗岩形成,从而对太古宙地壳有强烈的改造,也促使一些地区的太古宙和元古宙的分界地质记录,太古宙和早元古代火成岩的地球化学(如稀土元素和其它不相容元素)以及太古宙的高级变质区同花岗绿岩带的分野不清楚。同时也使得中国大于 2.6Ga 的古老岩石区保留范围小。太古宙岩石的 Rb—Sr 和 Sm—Nd 体系所给出的年龄和初始比值的极密区都比世界太古宙晚期热事件的高潮滞后约 0.1—0.2Ga。

3、华北克拉通具有相对成熟的地壳特征。表现在太古时期可经常见到原始为浅水成熟沉积的石英岩,高铝粉砂岩,碳酸盐和碳质沉积物等。特别是具有巨厚稳定的条带铁建造是华北克拉通的一大特色。除从化学成份角度可以认为出现少量玄武质科马提岩而外,接近地幔特点的斜长岩和橄榄科马提岩很少发现。太古宙和早元古代基性岩常常富集大半径阳离子亲石元素(LIL),轻稀土(LREE)和 Th 等,而 Nb, Ta 则表现为负异常。这种特点被认为是俯冲带地球化学特征,在国外绿岩带中基性岩常具此特征。但在华北克拉通却往往不具俯冲带地质背景,从而解释为板内层圈间交代作用或受大陆地壳混染所致。此外角闪岩的成份常含铁较高,被认为是可能与形成大量铁矿有关。太古宙的花岗岩类虽然早期有一些含钠高的英云闪长岩类(TTG),但晚太古时大量出现钾质花岗岩,这也与太古宙以 TTG 为主的地球化学特征的世界性规律有所差异。这种早前寒武岩石普遍含钾较高的特点是不同于南半球和北美的。最近统计中国大陆壳与世界相比也具有高钾特征。同样我国大陆的 Pb、Sr、Nd 同位素变化范围要比南半球和北美小得多,这些都可能是由于北半球的东部壳层厚或具有不同原始组成等所引起的,反映了我国前寒武地壳成熟度相对较高。

4、中国前寒武地壳的变质作用是多样化的。既有较大面积出露的高温麻粒岩相变质区,也有高压变质作用生成的兰片岩—榴辉岩带。总的来说区域变质的温度是随年龄的减小而降低,这是与欧亚大陆或世界前寒武纪的变质温度的统计资料相一致的。但华北克拉通前寒武区域变质作用的压力却与 Grambling 统计的随时间减小而压力增加的规律相反。特别是太古宙变质高峰多形成于中压条件,温度变化不大,推算地壳可厚达 40km 以上,小于 20km 者很少,平均压力约为 $8.1 \times 10^5 \text{KPa}$,比世界各地太古宙变质作用的平均压力高约一倍弱。也反映了华北克拉通的太古地壳厚度大,构造升降幅度也大的特点。

5、中国前寒武地壳经历了多期构造变动。从全国范围来看,前寒武地壳经历了 8 次以上的构造运动,华北和华南前寒武地壳也都经历了五次以上的构造变动。根据某些地区的细微构造研究,如五台地区的五台和吕梁构造期中还可以再分出 6 次构造运动幕。由此可见虽然地壳厚大成熟度高但构造变动并未减弱和减少。究其原因之一可能是与前寒武地壳相对生热元素 K、Th、U 含量高有关。现今华北和扬子克拉通等地的热流值高于世界前寒武地质区的平均热流值的 50% 强。这也不能不使人考虑到生热元素的作用不仅与前寒武也与后寒武的花岗岩生成和构造活动的关系。

6、早前寒武地壳模式反映了底板垫托作用的可能性。通过对华北克拉通的不同变质条件的岩石和构造的研究已可以推断出部分早前寒武地壳结构。最近,根据酸性火成岩单锆石 U—Pb 方法所获得的继承或捕获锆石的年龄,用基性岩的 Nd 同位素亏损地幔模式年龄(TDM)并结合火成岩地球化学特征综合成为火成岩作为岩石圈探针法,用此方法对华北克拉通南部元古宙五套火山岩研究可以构成一个中条山元古宙年代地壳结构模式。这一地质结构模式和程裕淇等(1986)根据地质特征所拟出的华北克拉通地壳演化模式基

本一致。同样表明了华北克拉通的太古宙到早元古代地壳以垂直增长为主,支持了底板垫托构造模式。与加拿大地盾的模式相比,华北太古宙地壳最上层的钾质花岗岩层更为明显。

综上所述,中国前寒武地壳,特别是华北和扬子克拉通等具有长期连续、厚度大、成熟度高、富生热元素和构造上活跃等特点。这些特点的进一步研究不仅对我国前寒武纪地壳演化历史有更深刻的认识,发展我国自己的早期地壳演化模式和理论,甚至可能导致对显生宙大地构造格局的一些新认识。同时中国前寒武地壳的特点在经济意义上会影响到某些金属成矿规律和找矿工作,而且某些地球化学(如生热元素高等)特点还会对于环境地质和农业地质等有着深刻的影响。因此它的实践意义不仅在资源方面,也涉及到“生活环境”。

三、中国前寒武地壳的复杂性

中国前寒武地壳现在分属于几个大地构造单元,有着不尽相同的后期演化历史,且出露和埋深差异大,因而形成一些复杂的面貌。但影响前寒武纪地壳复杂性的最根本问题有两个:一是中国前寒武纪地壳是增长的还是拼合的;二是前寒武纪地壳被后期事件改造的程度。这也是认识中国前寒武地壳的另一个侧面。

1、中国前寒武纪地壳是增长的还是拼合的。

这是中国地质研究中的一个十分引人注意的问题。70年代末及80年代早期,不少地质学家认为中国的太古宙岩石主要出露在华北克拉通的范围,其上发育有元古宙的岩石,而在早元古末或中元古末地壳向外生长,包括了华北、杨子和塔里木这三个地台基底,形成了中国地台基底的概念。笼统地说这是大陆地壳向外增长的概念。如果从Nd、Sr、Pb等同位素地球化学的角度来看,中国前寒武地壳有三次大规模物质添加期,即2.6—2.4Ga, 1.9—1.7Ga和~1.0,分别相当于阜平期、中条期和晋宁期构造阶段。还可能有一地壳添加期为>2.8Ga。我国的大陆壳(不包括西藏)的概略平均年龄为 1.8 ± 0.1 Ga。值得注意的是华南的一些花岗岩和沉积岩的Nd同位素和扬子、华南、塔里木的单颗粒锆石和常规锆石U—Pb年龄均显示有2.8—2.0Ga的年龄,说明那里有更古老的基底。从这个意义上讲,华北、扬子、塔里木和华南都可能存在太古宙和/或早元古代的古老基底。张国伟等(1988)根据秦岭两侧古老岩石的年龄,磁场特征和构造变形等推测华北和扬子克拉通在晚太古时曾是统一的古老陆壳,而后来才分裂漂移开的。

关于前寒武大陆地壳的增长方式,华北克拉通地壳生长的一种机制被认为是由于底板垫托作用生成。更具体地说,根据年代和地球化学特征,太古宙为面型底板垫托生成,在早元古则为受网格控制的交叉点底板垫托的形式出现。华北克拉通之外,早元古可能有个大面积的增长,中、晚元古的具陆壳开合或拼合的特征。但对华北克拉通中的早元古活动带如五台地区,仍有主张为古岛弧和海沟,或认为是与近代相似的碰撞造山带。还有从太古宙基性岩的地球化学来推测太古宙时就有与俯冲带有关的环境。这种学术讨论,无疑会对板块构造机制在中国的起始时间等问题加深认识。

如果从现有的一些古地磁资料来看,中国的古老地块包括华北、杨子和塔里木在1.7—0.6Ga时,具有各自的漂移位置,早期与非洲和北美洲大陆相近,而到晚期则是与澳大利亚和西伯利亚靠近。在0.6Ga时有可能形成一全球性的“超联合大陆”,但当时华北在北,塔里木和扬子在南,并未联合起来,西侧则是澳大利亚。乔秀夫等(1988)则强调0.8—0.6Ga时中国北方构造域由华北地块及其大陆边缘所构成,而塔里木、扬子和华夏属

南方构造域。两个构造域在生物和沉积作用等方面均有明显的差异。上述古地磁和有关地质资料都不支持 1.4—0.6Ga 期间中国为统一的古中国地台的观点,反映甚至到古生代时各大块体还有自己的极移轨迹,尚未拼合在一起。古地磁资料还表明中、晚元古时欧亚大陆是几个分离的块体在漂移,而南半球各大陆和北美则各是独立的单元在漂移。显然中国前寒武地壳的生长、分离和拼合的问题还有待深入研究。但地壳生长是水平的还是垂直的,板块机制从什么时间开始,中国前寒武地壳是否是来源不同块体的拼合等问题,不仅涉及到地质理论上固定论和活动论在早期地壳演化中的适用程度,也涉及到地壳早期增长或聚合的具体方式和过程。从理论上讲地壳增长模式相对是一独立体系的发展,而拼合则可能是不同性质和特点地壳的聚合。从成矿作用和找矿部署以及环境地质等来说,应对来源不同的地壳区别对待,以发挥其经济效益,这就是研究这个问题的经济意义。

2、中国前寒武地壳研究中另一个复杂的问题,就是后期改造强烈。中国大陆地壳厚度东西差异大显然是后期改造的一个特点。通过地学大断面对地壳结构的研究,华北克拉通某些地壳特点随山区、盆地、裂谷等晚近构造单元的不同而异,其地壳构造显然是受了中、新生代构造的影响。而扬子克拉通则具有深、浅变质的双重基底。在华南出现较大范围的深部滑脱构造,许多花岗岩的生成可能与区域性滑脱面有关。现代地壳结构模式的下地壳应为麻粒岩相岩石(1981)。但华北克拉通北部麻粒岩相带有两个值得注意问题,一是麻粒岩相带之下仍有较厚的地壳(可大于 30km),二是麻粒岩相带中有许多燕山期甚至于是 S 型花岗岩。近年来发现在麻粒岩相带或之下有深层次的韧性剪切带说明其深部仍有多层次的滑脱构造存在。地球物理资料指示麻粒岩相带之下 10—20km 有低速体,这对于理解麻粒岩相带中有来自深部的晚期花岗岩和解释地震震源都是有帮助的。另外有些地区如大别山的地质历史长期以来时代难予肯定,可能也是由于古老地壳再造所形成的复杂性所引起的。

上述这些复杂性不仅影响到对于亚洲大陆发展史的认识,而且对于环太平洋带来说,中国地壳发展史和金属成矿带特点所具有重要位置及其对比意义将是不言而喻的。显然把中国地质的复杂性仅仅归咎于中、新生代构造活化或是受太平洋、西伯利亚和印度板块等的影响是不够全面的。至少还应对前寒武地壳生长和运动过程的复杂性有足够的估计。

四、中国前寒武地壳与金属成矿作用

由于中国前寒武地壳演化是有其本身特点的,因此研究其与成矿关系就不能囿于国外的成矿模式与时空关系。从中国前寒武地壳演化的角度出发建立具有中国特色的成矿模式与理论以指导找矿工作已经成为需要和可能。

1、中国太古宙地壳主要出露在华北克拉通,其中有大量的铁矿和金矿等出现。从成矿条件来说,火山作用的基性岩中含铁相对较高,沉积条件相对稳定和缺氧的条件下形成了巨大的太古宙条带铁建造是可以理解的。金矿在华北克拉通太古宙高级变质区中大量出现,这是华北克拉通中的另一个成矿特点。除了铅同位素等指示金可能来自太古宙变质岩(如斜长角闪岩)外,各种成矿作用均难以证实为太古宙年龄。另一值得注意的现象是麻粒岩相围岩中却很少有金矿。近年来已证实麻粒岩相岩石往往有 K、Rb、U、Th 等大半径阳离子亲石元素的亏损,这是由于 CO_2 流体作用的结果。而太古宙金矿在许多地区被认为是由于角闪岩相向麻粒岩相转变过程形成 CO_2 — H_2O 流体携带溶解的金和硫等向中地壳转移的结果。华北克拉通在太古宙高级变质区所出现的金矿(包括蚀变岩型的花岗岩的气液包裹体几乎无例外地都是 H_2O — CO_2 流体(谈芬大,1990)。因此这些携带金矿的流体不管是

变质热液或花岗岩热液都可能是生成于麻粒岩相带之上角闪岩相深溶带附近的 H_2O-CO_2 流体带的背景上,而与火山作用的 H_2O-CO_2 流体是不同成因的。但麻粒岩相带岩石并非所有部位均有因 CO_2 作用所呈现的 LIL 元素亏损,甚至于在冀东地区北部麻粒岩 LIL 元素亏损而南部则未亏损。北部有许多金矿而南部却尚未发现,原因之一推测是流体不同所引起的,由此可见,我国太古宙地区的成矿作用既不同于国外的太古宙高级变质区而形成了巨大的铁矿,也不同于国外太古宙绿岩带其成矿期是以后太古为主。对金矿的寻找应该考虑太古宙的地壳的再造,后期作用叠加,形成含矿流体的部位和韧性剪切构造等因素。

2、中国北方早元古代成矿作用意义重大。前已述及华北克拉通内部和边缘所保留的早元古活动带在时间上是填补在世界上缺乏记录的空缺期间(2.4—2.0Ga)。从地质条件来说,它们是承上启下位于太古宙和中元古代之间,构造环境上又具有过渡特点。这些早元古活动带早期为内硅铝盆地型绿岩带,其火山岩以基性居多常是双峰式的,但各地的主要化学成分变异大。而微量元素地球化学又常继承太古宙岩石的一些特点,也没有发现科马提岩。它们不能和国外的太古宙绿岩带完全相类比,却可以出现部分相似的矿产,为铁和金。值得注意的是在中条山含钾较高的双峰式火山岩套中既可以出现火山岩型铜矿又可以出现巨大的斑岩型铜矿,火山岩和斑岩均形成于 2.15Ga 附近。在辽吉地区又出现了比较独特的含硼岩系(张秋生等,1986)。显然早元古活动带早期与晚期在空间上往往是有继承性的,但其间却有明显的构造不整合,在中条山称绛县运动,年龄为 2.1Ga。晚期大气圈和水圈有明显变化出现大量碳酸盐沉积,中部有少量火山岩产物。这一期间可以形成层状铜矿和铅锌矿以及著名的菱镁矿等,与我国毗邻的朝鲜则形成了超大型榆德铅锌矿。这些矿床形成时间大约在 2.1—1.9Ga 期间,这是我国层状铜、铅锌矿床在北方重要的成矿时期。由此可见我国北方早元古活动带的早、晚期地壳特点不同,环境各异,成矿作用在时间上,空间上以及类型上都有其特点。地质和成矿特点上,早元古早期趋向与国外的太古绿岩带的某些特点相近但时间滞后,晚期趋向与国外的中、晚元古冒地槽或裂谷的某些特点相近,但时间超前了。总之华北克拉通内及周边早元古活动带由于成矿条件较好仍然是值得重视的找矿战略要地。

3、南方中、晚元古活动带和陆壳再造花岗岩成矿应予重视。虽然在我国南方有大于 1.9Ga 的少数岩石出露区,但大于 1.9Ga 的金属成矿年龄却十分罕见。从地质背景和成矿作用来说中、晚元古活动带是具有良好前景的。而这类活动带与北方不同之处是只分布在扬子克拉通的周边和扬子克拉通与华夏地块之间的接合带附近。华南金属成矿作用与前寒武地壳特点的关系表现尤为明显。扬子克拉通南部边缘中元古代 1.0Ga 左右。与蛇绿岩相关的细碧—角闪岩建造产出有含铜黄铁矿矿床是应引起重视的,与此同时附近岩石含铜和金的相对丰度较高,在此背景上燕山期的深源浅成的花岗闪长斑岩形成了著名的德兴斑岩铜矿,和在韧性剪切带中富集了金矿等(0.17Ga)。而东侧的华夏地块除东部外大部分为长英质沉积物,核部有 1.8Ga 的闪长岩的侵入,并在加里东花岗岩(0.43Ga)侵入之前受到强烈的构造变形和剪切作用的改造,可以总称之为硅铝质活动带,其成矿作用则以铅锌为主。位于上述两个构造单元之间的“赣湘粤桂地块”有来自古老基底的太古年龄数据。花岗岩地球化学研究也显示有来自下地壳麻粒岩重熔改造的迹象。地表也出现一些晚元古代岩石,甚至有含 Sn 等较高的岩层,这一地区与燕山期地壳重熔花岗岩有关的 W、Sn、Nb、Li、Be、HREE 等矿床是驰名中外的。联系到前面所述的地球物理所证实的华

南深部滑脱构造与花岗岩成因密切有关,前寒武深部地壳应是提供成矿元素的重要来源。根据华南这三个不同特点的前寒武地壳块体的各自成矿专属性,不仅反映在前寒武纪时的成矿作用上,而且还特别表现在后来的壳熔花岗岩有关的成矿作用上。

从上述情况来归纳,前寒武纪地壳与成矿关系密切。太古宙时期除形成巨大铁矿等而外总起来看直接成矿条件较差。而元古活动带则具有较好的金属找矿前景。北方应以我国特有的早元古活动带为主要目标,南方则应重视不同地壳基底类型而有不同的金属组合。中国的许多重要的,特别是后期与花岗岩有关的矿床的金属是由前寒武地壳部分或全部提供的,因此前寒武地壳本身或之上的晚期活动带,也应该是重要的找矿战略目标。严格地说,上面所说的许多金属成矿作用并非直接来源于地幔,都须要经过前寒武地壳生成和演化过程使金属元素活化转移以至于在前寒武纪时或以后富集成矿。因此在这方面不能不归功于前寒武地壳所起的作用。

五、结束语

中国前寒武地壳和初步研究表明它既服从于总的地球演化的基本规律即所谓的共性,又有其自己的特性,这是不应忽视的两个方面,本文强调其特殊性和复杂性是来自于实践,目的是为了促进认识和发展我国地质学的某些规律和理论以立足于世界。同时也是讨论地质学研究如何结合我国的实际发展我国的经济和改善我们的环境。

参 考 文 献

【编者按: 原稿除文内引用他人著作用括号列出引用文献的作者和发表年外,于文末附有一长系列中文、外文参考文献目录,本刊仅于下列出中文参考文献的主要作者、编者姓名和著作的发表年,文题与书名、出版单位均从略。于正文内用括号列出的文献作者姓名和发表年,亦略去】

白瑾主编,1986年,程裕祺等,1986;董中保等,1988;胡震琴,1989;胡维兴等,1987;黄汲清等,1977;朱炳泉,1989;李继亮等,1990;李亿斗等,1986;林金录,1985,1987;刘喜山等,1989;马宝林等,1990;马杏垣等,1987;乔秀夫等,1988;孙大中主编,1984;孙大中等,1985,1987,1989,1989;孙大中,1990;孙荣圭等,1986;王鸿祯,1979;王鸿祯等,1987;吴功建等,1988;杨东杰等,1989;张国伟等,1988;张惠民等,1980;张秋生等,1988;张贻侠等,1986;张文祐,1984;中国同位素地质年表工作组,1987。

[1990年7月22日收稿]

(上接 17 页)

②新一代中国地质图、大地构造图(中英版本);

③组织全国跨部门的专家编写总结《中国地质演化》或《中国地质》中英专著,对中国七十年地质工作和地质科学研究进行一次全面总结;

④由中国发起,亚洲多国参加,合作编制《亚洲地质图》、《亚洲板块构造图》、《亚洲应力图》、《亚洲古复原图》、《亚洲水文地质图》、《亚洲环境地质图》(中英版本)。

[1990年11月27日收稿]