

编号: 0258-7106(2011)04-0645-09

冀东马兰庄条带状硅铁建造的变质时代及地质意义*

李延河^{1,2}, 张增杰^{1,2}, 伍家善³, 尚龙平⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
2 国土资源部同位素地质重点实验室, 北京 100037; 3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;
4 北京勘查技术工程研究所有限公司, 北京 100085)

摘要 前寒武纪条带状硅铁建造(BIF)是世界,也是中国最重要的铁矿资源类型,无论是储量,还是开采量,均居首位。前寒武纪条带状硅铁建造是地球早期特有的化学沉积建造类型,广泛分布于太古代—早元古代(3.2~1.8 Ga),记录了地球早期大气和海洋的化学成分、氧化还原状态及演化,是广大地质工作者长期关注的焦点之一。在国外,与BIF有关的古风化壳型富铁矿广泛发育,同时也是国外重点开采的富铁矿类型,但在中国一直没有发现。本文测定了冀东迁安矿区东矿带马兰庄硅铁建造中与硅铁建造互层产出的花岗质岩石的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,确定了BIF遭受混合岩化的时代,并根据中国BIF的形成年龄和变质时代对造成中国缺失与BIF有关的古风化壳型富铁矿这一问题进行了探讨。在中国,硅铁建造形成不久可能即被深埋,遭受区域变质作用和混合岩化作用,但没有在地表长时间遭受风化剥蚀,这可能是冀东地区,乃至中国缺失与BIF有关的古风化壳型富铁矿的重要原因之一。

关键词 地质学; 条带状硅铁建造(BIF); 变质时代; 古风化壳型富铁矿; 冀东马兰庄
中图分类号: P618.31 文献标志码: A

Metamorphic chronology of the BIF in Malanzhuang of eastern Hebei Province and its geological implications

LI YanHe^{1,2}, ZHANG ZengJie^{1,2}, WU JiaShan³ and SHANG LongPing⁴

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Key Laboratory of Isotope Geology of Ministry of Land and Resources, Beijing 100037, China; 3 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China; 4 Beijing Institute of Exploration Techniques, Beijing 100085, China)

Abstract

The Precambrian Banded Iron Formations (BIF) are the most important iron resource both in China and abroad, whether in the exploratory reserves or in the quantity of the exploitation. BIF were also the special geochemical sediments in the early earth history which recorded the composition and the redoxomorphic stage of the contemporary atmosphere and the ocean as well as their evolution. The paleo-weathering crust of BIF, which is the most enriched iron ore, is widely distributed in the world. However, this type of BIF has never been found in China. Why is the paleo-weathering crust of BIF absent in China? This is the main focus of this paper. The authors investigated the metamorphic chronology of the BIF in Malanzhuang by means of SHRIMP II analysis of the zircons from the granitic rocks which occur in the interlayer of the BIF. Based on a comparative study of

* 本文得到国家自然科学基金(项目编号:40273008,40203003)、公益行业科研专项(项目编号:201111002)和地质调查项目(项目编号:1212010916067)的联合资助

第一作者简介 李延河,男,1962年生,研究员,博士生导师,长期从事同位素地球化学研究。Email: lyh@mx.cei.gov.cn
收稿日期 2010-07-28; 改回日期 2011-02-11。许德焕编辑。

the time of the BIF formation, the authors have concluded that the BIF in China were deeply buried immediately after their formation, and subsequently they experienced regional metamorphism and migmatization. The BIF in China experienced no weathering for a long time at the earth's surface, which is the reason why the paleo-weathering crust type of enriched iron ore cannot be found in China.

Key words: geology, banded iron formations (BIF), metamorphic chronology, paleo-weathering crust of BIF, Malanzhuang of eastern Hebei

前寒武纪条带状硅铁建造(BIF)是世界也是中国最重要的铁矿资源类型,无论是储量,还是开采量,均居首位,是中国今后铁矿资源调查评价的重点,也是最有可能取得找矿突破的矿床类型。

条带状硅铁建造是地球早期特有的化学沉积建造类型,广泛分布于太古代—古元古代(3.2~1.8 Ga),记录了地球早期大气和海洋的化学成分、氧化还原状态及演化,是广大地质工作者长期关注的焦点之一(Cloud,1973;Holland,1984;Trendall,1973;Trendall et al.,1983;Huston et al.,2004)。与世界其他地区的BIF相比,中国的BIF以阿尔果马型(Algoma type)为主,苏必利尔型(Superior type)则较少,规模也不大,品位较低,变质程度高。在中国,硅铁建造普遍遭受了角闪岩相至麻粒岩相的变质作用,很多同位素封闭体系被破坏,能够准确记录硅铁

建造形成年龄的对象以及对其进行同位素定年的方法都很少,很多硅铁建造的形成时代是根据岩浆岩的年代格架及硅铁建造与地层的地质关系推断出来的。

中国缺少与BIF有关的古风化壳型富铁矿。20世纪70年代在风化淋滤成矿模式的指导下,中国开展了大规模的“富铁矿会战”,寻找古风化壳型赤铁矿富矿,但未取得突破。因此,研究和查明造成中国缺失与BIF有关的古风化壳型富铁矿的原因,不仅具有重要的理论意义,而且具有重大的现实意义。

冀东是中国最重要的硅铁建造集中区之一,分布着一系列大型条带状铁矿床,主要有遵化地区的石人沟、迁安地区的水厂、孟家沟、大石河、马兰庄,滦县地区的司家营、大贾庄,青龙地区的朱杖子等(图1)。最近,又在该地区发现了储量达10亿吨的马城铁矿床。根据前人资料,该地区硅铁建造的

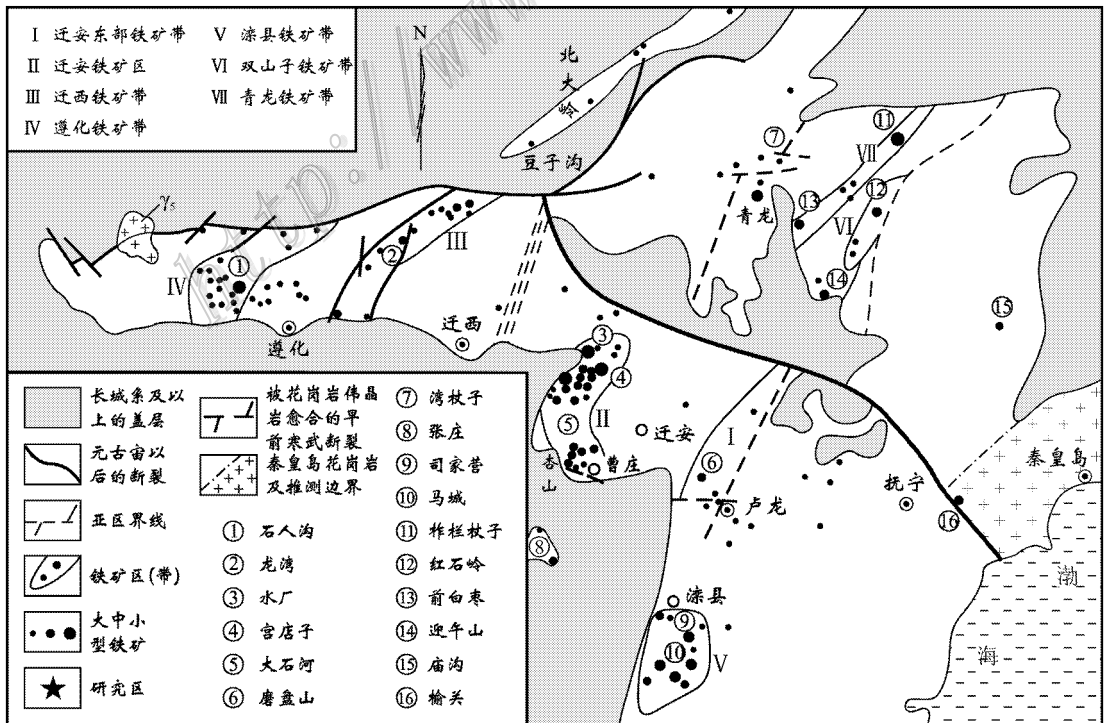


图1 冀东条带状硅铁建造分布示意图(据沈其韩,1998)

Fig. 1 Distribution of Precambrian banded iron formations in eastern Hebei Province(after Shen, 1998)

形成年龄跨度很大,从25亿年至35亿年以上,其变质程度明显不同,从绿片岩相至麻粒岩相(沈其韩,1998),但已获得确切形成年龄和变质年龄的则不多。笔者在野外地质调查中,在冀东迁安矿区东矿带的马兰庄硅铁建造中,发现了与硅铁建造互层产出的花岗质岩石,利用离子探针 SHRIMP II 对花岗质岩石中的锆石 U-Pb 年龄进行了测定。结合花岗质岩石的产状、矿物组合和镜下特征,确定了该花岗质岩石为混合岩化顺层侵入的产物,其锆石 U-Pb 年龄代表了 BIF 的深变质时代。根据中国 BIF 的形成时代和遭受高级变质的年龄,对中国缺少与 BIF 有关的古风化壳型富铁矿的原因进行了探讨。

1 地质背景及样品情况

马兰庄铁矿床位于河北省迁安县马兰庄乡,迁安铁矿区东矿带(宫店子-白马山矿带)的北段(图1)。区内出露的地层主要为太古界迁西群三屯营组变质岩系,岩性以黑云变粒岩、黑云斜长片麻岩、紫苏黑云变粒岩为主,夹有斜长角闪岩、斜长辉石岩、麻粒岩、磁铁辉石岩、堇青砂线黑云斜长片麻岩及硅铁建造,厚度 > 700 m。其原岩为中-酸性熔岩夹多层中-基性火山碎屑岩、黏土质沉积岩。该地层普遍遭受麻粒岩相变质作用和混合岩化作用,但不均匀,常见岩石为条带状混合岩和各种混合片麻岩。

马兰庄矿区包括宫店子矿床和白马山矿床。宫店子矿床全长 1 144 m,主矿体呈向斜形态产出;白马山矿床全长 800 m,宽 600 m,共有矿体 38 个,其中主要矿体有 9 个。众矿体位于一复式倒转向斜之中。该向斜长约 2 000 m,走向 50~60°,倾向北西,倾角 50~80°,北东段仰起,枢纽向南西方向倾伏,倾角 5~10°。该向斜的东翼为正常翼,倾角 40~50°,西翼为倒转翼,倾角 70~75°。

矿石类型可分为磁铁石英岩、辉石磁铁石英岩、磁铁辉石岩和赤铁石英岩等 4 种,以前 2 种居多。矿石矿物主要为磁铁矿、赤铁矿、石英、透辉石、紫苏辉石,其次为角闪石、黑云母、石榴子石、黄铁矿和斜长石。

用于年龄测定的样品采自马兰庄矿区沙河山采矿场。在该采矿场见有片麻状花岗质岩石与磁铁石英岩呈相互平行的条带互层产出,类似于硅铁建造中的磁铁矿条带和硅质条带(图2)。花岗片麻岩/磁铁矿条带宽窄不一,宽的条带有 5~6 cm,窄的条带只



图2 花岗质条带与硅铁条带互层
(马兰庄矿区沙河山采矿场)

Fig. 2 Granitic stripes (light) intercalated with BIFs bands (dark) in Shaheshan stope, the Malanzhuang ore district

有 1~2 cm。在 70 cm 范围内,共有 5 条相互平行的片麻状花岗质岩石条带。岩石呈浅灰色,中粗粒片麻状构造。在磁铁矿条带与片麻状花岗质条带的接触部位,磁铁矿条带中磁铁矿的粒度有所增大,黄铁矿和石英的含量明显增高,而片麻状花岗质条带中矿物的粒度变细,显示出后期顺层侵入的特点。片麻状花岗质条带的主要矿物为钾长石、斜长石和石英。常见细粒-微粒钠长石+石英沿着主矿物的边缘交代主矿物的现象,常出现“蠕石英”(图3b)。钾长石具纺锤状格子双晶,显微条纹构造很不发育,表明岩石的形成温度较低。斜长石普遍具有“补片状”反条纹构造(图3a),为混合岩化花岗岩的典型特征。上述矿物成分和结构构造特征表明,该条带状花岗质岩石可能是在硅铁建造形成之后,在深变质和混合岩化过程中,局部熔融所产生的长英质熔体沿着条带状硅铁建造的层间裂隙顺层侵入的产物。

2 锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果

在片麻状花岗质条带中,锆石含量高。锆石主要为浅紫色,透明-半透明,长轴长 85~285 μm ,平均 160 μm ,呈长柱状-短柱状,延长度为 3~2;晶棱、晶面保存完好,未见明显磨蚀和溶蚀现象,内部普遍发育密集的平行环带,显示出明显的岩浆锆石的特征(图4)。锆石的这些特征表明其是岩浆成因的,未经长距离的搬运,说明片麻状花岗质条带可能是在高级变质和混合岩化过程中,由围岩局部熔融所产

表 1 河北迁安马兰庄铁矿沙河山采场片麻状花岗岩质条带中岩浆锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果
Table 1 SHRIMP U-Pb data of zircon from banded granitic rock in Shahe-shan slope, the Malanzhuang ore deposit, Qian an area

测点	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$	年龄/Ma	不谐和性/ $\%^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	$\pm\%$		
1.1	0.09	1 832	0.04	577	2 013 ± 25	2 469.5 ± 5.2	18	0.16 132	0.31	8.15	1.5	0.3 666	1.4
1.2	0.58	2 809	0.11	520	1 250 ± 68	2 193.9 ± 8.5	43	0.13 736	0.50	4.05	6.0	0.214	6.0
2.1	0.05	1 206	0.33	332	1 790 ± 24	2 150 ± 28	17	0.1 339	1.6	5.91	2.2	0.3 201	1.5
4.1	0.03	2 921	0.08	954	2 076 ± 26	2 530 ± 29	18	0.1 672	1.7	8.76	2.2	0.3 800	1.4
5.1	0.11	2 229	0.05	411	1 251 ± 17	1 635.7 ± 7.6	23	0.10 063	0.41	2.973	1.5	0.2 142	1.5
6.1	0.01	765	0.29	306	2 463 ± 30	2 498.3 ± 6.3	1	0.16 410	0.37	10.53	1.5	0.4 653	1.4
8.1	0.21	2 374	1.22	768	2 055 ± 25	2 393.9 ± 4.9	14	0.15 428	0.29	7.98	1.4	0.3 754	1.4
9.1	0.26	595	0.59	237	2 452 ± 30	2 507.3 ± 8.3	2	0.16 499	0.50	10.53	1.5	0.4 628	1.5
10.1	0.08	1 882	0.05	343	1 240 ± 16	1 790.4 ± 9.2	31	0.10 946	0.51	3.201	1.5	0.2 121	1.4
11.1	0.14	1 561	0.62	393	1 654 ± 21	2 112 ± 28	22	0.1 310	1.6	5.28	2.2	0.2 925	1.4
12.1	0.04	1 349	0.04	318	1 563 ± 20	2 384.7 ± 6.5	34	0.15 345	0.38	5.805	1.5	0.2 744	1.5
13.1	0.91	1 237	0.82	273	1 460 ± 19	2 039 ± 17	28	0.1 258	0.98	4.406	1.8	0.2 542	1.5
14.1	0.08	751	1.18	226	1 932 ± 25	2 293 ± 26	16	0.1 455	1.5	7.01	2.1	0.3 494	1.5
15.1	0.10	137	0.71	49.4	2 256 ± 33	2 401 ± 15	6	0.1 550	0.90	8.95	2.0	0.4 190	1.7
16.1	0.06	134	0.56	50.5	2 343 ± 33	2 623 ± 38	11	0.1 768	2.3	10.69	2.8	0.4 384	1.7
17.1	0.05	115	0.89	48.3	2 565 ± 41	2 556 ± 14	0	0.1 699	0.86	11.44	2.1	0.4 887	1.9
18.1	0.14	2 654	0.10	690	1 703 ± 22	2 092.7 ± 5.3	19	0.12 962	0.30	5.402	1.5	0.3 023	1.4
19.1	0.41	762	0.17	214	1 813 ± 23	2 253 ± 12	19	0.14 209	0.67	6.36	1.6	0.3 249	1.5
20.1	0.06	224	0.50	82.9	2 305 ± 61	2 538 ± 39	9	0.1 680	2.3	9.95	3.9	0.430	3.2
21.1	0.23	323	0.51	96.4	1 916 ± 25	2 384 ± 12	20	0.1 534	0.69	7.32	1.7	0.3 462	1.5
21.2	0.40	3 344	0.10	606	1 229 ± 17	1 816.0 ± 7.5	32	0.11 102	0.42	3.215	1.6	0.2 100	1.5
22.1	0.12	236	0.93	76.1	2 054 ± 27	2 458 ± 12	16	0.1 602	0.69	8.29	1.7	0.3 753	1.6
23.1	0.28	271	1.01	93.5	2 171 ± 28	2 385 ± 31	9	0.1 535	1.8	8.47	2.4	0.4 004	1.5
24.1	0.81	387	0.52	142	2 270 ± 29	2 412 ± 27	6	0.1 560	1.6	9.08	2.2	0.4 222	1.5

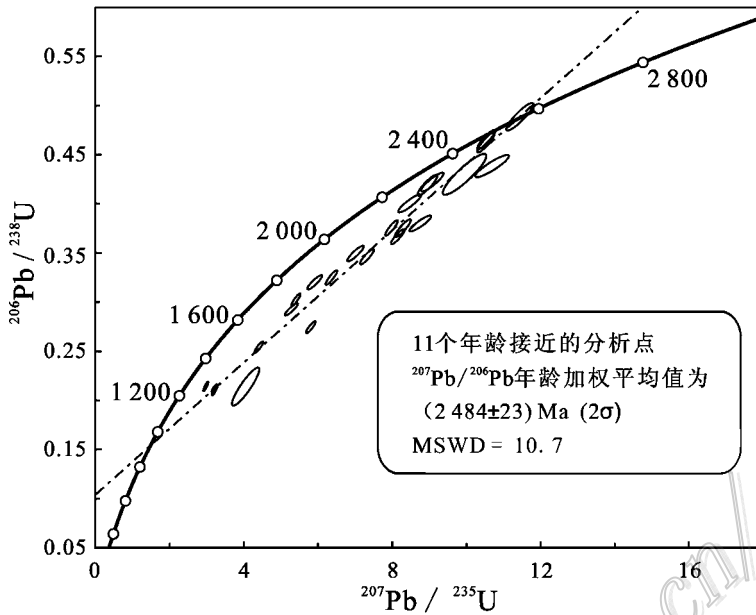


图 5 马兰庄矿区沙河山采矿场内片麻状花岗质条带中锆石的 SHRIMP U-Pb 定年结果

Fig. 5 SHRIMP U-Pb concordant diagram of zircons from banded granitic rock in Shaheshan stope, the Malanzhuang deposits

生的长英质熔体沿硅铁建造的层间裂隙贯入形成的。其形成年龄应代表硅铁建造遭受到高级变质和混合岩化的时代。

笔者应用北京离子探针中心的 SHRIMP II 对马兰庄矿区沙河山采矿场内片麻状花岗质条带(样品编号 JSA18)中的 24 粒锆石进行了 U-Pb 年龄测定,测定结果列于表 1,示于图 5。由表 1 可见,锆石的 $\alpha(U)$ 高且变化范围很大,为 $(115 \sim 11\ 837) \times 10^{-6}$,变化幅度超过了 100 倍;其 $\alpha(Th)$ 的变化范围也很大,为 $(72 \sim 2\ 806) \times 10^{-6}$ 。 $^{232}Th/^{238}U$ 比值 0.04~1.22,平均 0.44,具典型岩浆成因锆石的特征。由于遭受到变质作用,锆石发生了重结晶,许多锆石显示出程度不同的 Pb 丢失,其数据点偏离了 $^{207}Pb/^{235}U$ - $^{206}Pb/^{238}U$ 谐和线,使年龄值偏低;但所有的数据点均指向上交点年龄,表明这些锆石具有相同的成因,是同时形成的。由 11 个数据点拟合出的上交点年龄为 $(2\ 484 \pm 23) Ma$,可能代表了这套片麻状花岗质条带的形成年龄,也就是冀东硅铁建造遭受到变质作用和混合岩化的时代。

3 华北地台硅铁建造的形成时代和变质年龄

中国有关硅铁建造形成的年龄数据还很少,而且以 Sm-Nd 和 Rb-Sr 年龄为主。万渝生等(2005)对

比了太古代变质岩的锆石 U-Pb 年龄及全岩 Sm-Nd 和 Rb-Sr 年龄,其中,由全岩 Sm-Nd 和 Rb-Sr 法给出的太古代变质岩石的年龄相对偏高,因此,以前采用 Sm-Nd 和 Rb-Sr 定年方法得到的硅铁建造的形成年龄可能偏老,而锆石 U-Pb 年龄可能更准确地反映了硅铁建造的形成年龄和变质时代。

表 2 列出了一些关于华北地台前寒武纪条带状硅铁建造形成和变质年龄的前人研究成果。

万渝生(1993)测定了辽宁鞍山地区弓长岭铁矿二矿区和岭东矿区中间标志层黑云变粒岩中碎屑锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄,为 2 550 Ma,反映了弓长岭铁矿形成年龄的上限。王守伦等(1995)测定了齐大山铁矿直接围岩黑云变粒岩中单颗粒锆石的 U-Pb 年龄,为 2 533 Ma,该黑云变粒岩的原岩为与硅铁建造同期形成的中-酸性火山岩,该年龄应代表了齐大山硅铁建造的形成年龄。齐大山与弓长岭硅铁建造的形成年龄一致,与地质情况亦相符,间接证明了该结果的可靠性。

辽宁清源地区小莱河铁矿中,角闪变粒岩与斜长角闪岩和 BIF 互层,其原岩可能为与硅铁建造同期形成的中-酸性火山熔岩,其中的锆石具典型的岩浆锆石特征,无经历长距离搬运的痕迹。这些锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 515 Ma(万渝生等,2005),应代表了硅铁建造形成的确切年龄。小莱河铁矿与斜长角闪岩互层的角闪变粒岩中变质锆石

表 2 华北地台前寒武条带状硅铁建造的形成和变质年龄一览表

Table 2 Formation epoch and metamorphic ages of Precambrian BIFs in North China Craton

地区	测试对象	测年方法	形成时代/Ma	变质时代/Ma	资料来源
辽宁清原	小莱河铁矿角闪变粒岩,与斜长角闪岩和 BIF 互层	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 515		万渝生等, 2005
	角闪变粒岩,与斜长角闪岩互层	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 510		万渝生等, 2005
	角闪变粒岩,与斜长角闪岩互层	SHRIMP 锆石 U-Pb		2 479	万渝生等, 2005
	深熔片麻状 TTG 花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 528~2 556	2 469~2 477	万渝生等, 2005
辽宁鞍山	弓长岭二矿区和岭东矿区中间标志层的黑云变粒岩中碎屑锆石	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 550		万渝生, 1993
	齐大山铁矿围岩黑云变粒岩	单颗粒锆石 U-Pb	2 533		王守伦等, 1995
辽宁建平	磁铁石英岩中碎屑锆石和变质锆石	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 520	2 487	王长秋等, 1999
河北东部	朱杖子群黑云变粒岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 512		伍家善等, 1991
	马兰庄铁矿中片麻状花岗质条带	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 484		本文
山西五台	太怀亚群柏枝岩组绿片岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 555		王凯怡等, 1997
山东西部	沂水蔡峪岩体(含铁英岩包体)	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 562	2 518	沈其韩等, 2004b
	沂水大山岩体	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 545	2 508	沈其韩等, 2004b
	颜店铁矿围岩变质长英质火山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	2 561 ± 15		王世进等, 2009

的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 479 Ma。该地区深熔片麻状 TTG 花岗岩中内核残余锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 528~2 556 Ma, 应代表熔融母岩的形成时代, 而外带新生锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 469~2 477 Ma(万渝生等, 2005), 应反映了深熔作用的时代, 与角闪变粒岩中变质锆石的 U-Pb 年龄完全一致。这表明, 辽宁清原地区的硅铁建造在形成之后不到 50 Ma 就遭受到深变质作用。

辽西建平群磁铁石英岩中碎屑锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 520 Ma, 变质锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 487 Ma, 说明硅铁建造形成于 2 520 Ma 之后 2 487 Ma 之前(王长秋等, 1999), 两者仅相差 33 Ma。

上述研究结果说明, 辽宁鞍山地区、清原地区和建平地区内硅铁建造的形成年龄非常接近, 分布于 2 515~2 550 Ma 之间, 硅铁建造形成之后不久就被深埋, 并遭受了强烈的变质作用和深熔作用。

冀东青龙地区朱杖子群黑云变粒岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 512 Ma(伍家善等, 1991), 朱杖子硅铁建造的形成时代应与之基本相同。最近, 陈正乐、张连昌等人对冀东杏山、水厂、石人沟等硅铁建造内的锆石进行了 U-Pb 年龄测定, 测定结果表明, 这些硅铁建造的形成时代集中分布在 2 500~2 560 Ma 之间^①, 与鞍山地区硅铁建造的形成时代基本一致。耿元生(1998)测得了迁安铁矿区东矿带

南部羊崖山地区含有麻粒岩、斜长角闪岩和磁铁石英岩包体的紫苏花岗岩内锆石的 U-Pb 一致线年龄, 为 2 517 Ma。伍家善等(1991)测得了水厂紫苏花岗岩内锆石的 U-Pb 一致线年龄, 为 2 526~2 538 Ma。这些结果可能代表了冀东地区高级变质、混合岩化和岩浆侵位的年龄, 与本文的测定结果是一致的, 与辽宁鞍山地区的变质年龄也非常接近。

五台地区太怀亚群柏枝岩组绿片岩内锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 555 Ma, 该岩组次火山岩内锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 524 Ma; 该地区高凡亚群凝灰质火山岩内锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 528 Ma(王凯怡等, 1997)。这些锆石 U-Pb 年龄非常一致, 代表了五台群及该地区硅铁建造的形成年龄。侵入太怀亚群的俄口花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 555~2 556 Ma, 侵入太怀亚群的车厂-北台岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 538~2 552 Ma, 侵入太怀亚群的王家惠花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 517~2 520 Ma, 侵入太怀亚群的光明寺奥长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 2 531 Ma(王凯怡等, 1997)。这些岩体的侵入时代基本一致, 而且与被侵入地层的年龄接近, 说明岩浆侵入作用是在地层(包括硅铁建造)沉积埋藏之后不久发生的, 可能代表了该地区高级变质和岩浆侵入的时代。

山东济宁地区济宁(岩)群颜店铁矿的围岩变质

① 陈正乐, 张连昌, 等. 2010 年第十届全国矿床会议口头报告资料.

长英质火山岩中岩浆锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(2\ 561 \pm 15)\text{Ma}$ (王世进等, 2009), 应代表硅铁建造的形成年龄。山东沂水包含有硅铁建造包体的蔡峪岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $2\ 562\text{Ma}$, 与硅铁建造的形成年龄一致, 与鞍本地区 and 冀东地区硅铁建造的形成时代差别不大。岩体中变质锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 $2\ 518\text{Ma}$ (沈其韩等, 2004a; 2004b), 与鞍本地区和冀东地区的变质年龄一致。

4 结 论

冀东迁安马兰庄硅铁建造中与硅铁条带互层产出的片麻状花岗质条带是混合岩化顺层贯入的产物, 混合岩化的形成时代为 $(2\ 484 \pm 23)\text{Ma}$ 。该期深变质和混合岩化作用在华北地台普遍存在, 变质年龄集中分布在 $2\ 469 \sim 2\ 518\text{Ma}$ 之间。不同地区的变质程度明显不同, 其变质程度可能与埋藏深度有关。

冀东迁安、滦县、青龙地区, 辽宁鞍本、清原、建平地区, 山西五台地区以及山东济宁地区的硅铁建造的形成时代均分布在 $2\ 510 \sim 2\ 561\text{Ma}$ 之间, 硅铁建造形成之后不久地壳就发生凹陷, 硅铁建造被深埋, 随后发生花岗质岩石的侵入作用, 并于 $2\ 469 \sim 2\ 518\text{Ma}$ 遭受高级变质作用和混合岩化作用。硅铁建造形成后没有长时间暴露在地表遭受风化剥蚀, 这可能是冀东地区, 乃至中国缺失与 BIF 有关的古风化壳型富铁矿的重要原因之一。

References

- Cloud P. 1973. Paleogeological significance of the banded iron formation [J]. *Econ. Geol.*, 68: 1135-1143.
- Geng Y S. 1998. Archean granitic hypogene magma events and its involvement in Qian'an area, eastern Hebei Province [A]. In: Cheng Y Q, ed. *Early Precambrian research in North China Craton* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 105-122 (in Chinese).
- Holland H D. 1984. *The chemical evolution of the atmosphere and Oceans* [M]. Princeton: Princeton Univ. Press.
- Huston D L and Logan G A. 2004. Barite, BIFs and bugs: Evidence for the evolution of the Earth's early hydrosphere [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 220: 41-55.
- Shen Q H. 1998. Geological signature and setting of Precambrian banded iron formations in North China Craton [A]. In: Cheng Y Q, ed. *Early Precambrian Research in North China Craton* [C]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Shen Q H, Geng Y S, Yang C H, Wang X S and Wu C M. 2004a. Important new progress in study on early Precambrian stratigraphy of China [J]. *Journal of Stratigraphy*, 28(4): 289-296 (in Chinese with English abstract).
- Shen Q H, Song B, Xu H F, Geng Y S and Shen K. 2004b. Emplacement and metamorphism ages of Caiyu and Dashan igneous bodies, Yishui County, Shandong Province: Zircon SHRIMP chronology [J]. *Geological Review*, 50(3): 275-284 (in Chinese with English abstract).
- Trendall A F. 1973. Varve cycles in the Weeli Wolli Formation of the Precambrian Hamersley Group, Western Australia [J]. *Econ. Geol.*, 68: 1089-1097.
- Trendall A F and Marris R C. 1983. *Iron-formation: Facts and problems* [M]. Amsterdam: Elsevier.
- Wan Y S. 1993. *The formation and evolution of the iron-bearing rock series of the Gongchangling area, Liaoning Province* [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press. 108p (in Chinese).
- Wan Y S, Song B, Yang C and Liu D Y. 2005. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of Archaean rocks from the Fushun-Qingyuan area, Liaoning Province and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 78-87 (in Chinese with English abstract).
- Wang C Q, Cui W Y, Kröner A and Nemchin A A. 1999. Zircon isotopic ages from magnetite quartzites of the Jianping metamorphic complex, western Liaoning Province [J]. *Chinese Science Bulletin*, 44(6): 1666-1670 (in Chinese).
- Wang K Y, Hao J, Zhou S P, Wild S and Cawood P D. 1997. The tectonic movement of Late Archaean-Early Proterozoic in the Wutaishan area: Constraints from SHRIMP U-Pb zircon data [J]. *Chinese Science Bulletin*, 42(12): 1295-1298 (in Chinese).
- Wang S J, Wan Y S, Zhang C J, Yang E X, Song Z Y, Wang L F and Wang J G. 2009. Forming ages of early Precambrian metamorphic strata in Shandong Province—Proofs of zircon SHRIMP U-Pb dating [J]. *Shandong Land and Resources*, 25(10): 18-24 (in Chinese with English abstract).
- Wang S L and Zhang R H. 1995. U-Pb isotope age of individual zircon from biotite leptynite in the Qidashan iron deposit and its significance [J]. *Mineral Deposits*, 14(3): 216-219 (in Chinese with English abstract).
- Wu J S, Geng Y S, Shen Q H, Liu D Y, Li Z L and Zhao D M. 1991. Great geological event of early Precambrian in North China Craton [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 115p (in Chinese).

附中文参考文献

- 耿元生. 1998. 冀东迁安地区太古宙花岗质深成岩浆事件及演化 [A]. 见: 程裕琪, 主编. 《华北地台早前寒武纪地质研究》论文集 [C]. 北京: 地质出版社. 105-122.
- 沈其韩. 1998. 华北地台早前寒武纪条带状铁英岩地质特征和形成的地质背景 [A]. 见: 程裕琪, 主编. 华北地台早前寒武纪地质研究论文集 [C]. 北京: 地质出版社.
- 沈其韩, 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 吴春明. 2004a. 我国早前寒武纪地层研究的主要新进展 [J]. *地层学杂志*, 28(4): 289-296.

- 沈其韩,宋彪,徐慧芬,耿元生,沈昆. 2004b. 山东沂水太古宙蔡峪和大山岩体 SHRIMP 锆石年代学[J]. 地质论评, 50(3):275-284.
- 万渝生. 1993. 辽宁弓长岭含铁岩系的形成与演化[M]. 北京:北京科学技术出版社. 108 页.
- 万渝生,宋彪,杨淳,刘敦一. 2005. 辽宁抚顺-清原地区太古宙岩石 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学及地质意义[J]. 地质学报, 79(1):78-87.
- 王长秋,崔文元, Kroner A, Nemchin A A. 1999. 辽西太古代建平变质杂岩中磁铁矿石英岩的锆石同位素年龄[J]. 科学通报, 44(15):1666-1670.
- 王凯怡,郝杰,周少平, Wild S, Cawood P D. 1997. 单颗粒锆石离子探针质谱定年结果对五台造山事件的制约[J]. 科学通报, 42(12):1295-1298.
- 王世进,万渝生,张成基,杨恩秀,宋志勇,王立法,王金光. 2009. 山东早前寒武纪变质地层形成年代——锆石 SHRIMP U-Pb 测年的证据[J]. 山东国土资源, 25(10):18-24.
- 王守伦,张瑞华. 1995. 齐大山铁矿黑云变粒岩单锆石年龄及意义[J]. 矿床地质, 14(3):216-219.
- 伍家善,耿元生,沈其韩,刘敦一,厉子龙,赵敦敏. 1991. 华北陆台早前寒武纪重大地质事件[M]. 北京:地质出版社. 115 页.

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