胶莱盆地北缘金矿床的成矿年代学研究*

Ore-forming Isotope Chronology Studies on Interlayer Sliding Breccia Gold Deposits Along North Margin of Jiaolai Basin

沈远超 曾庆栋 刘铁兵 李光明 张连昌 邹为雷 杨金中

（中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029）

Shen Yuanchao, Zeng Qingdong, Liu Tiebing, Li Guangming, Zhang Lianchang, Zou Weilei, Yang Jinzhong

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

摘 要 近年来，在胶莱盆地北缘陆续发现和勘探了一些新的金矿床——层间滑动角砾岩型金矿床，这类金矿产于中生代胶莱盆地边缘附近的层间滑动断层中，矿体具有厚度大、埋藏浅、品位低、易采选的特点。对该类型金矿成矿年代学研究表明，金矿成矿发生于胶莱盆地中火山-次火山岩浆活动期间，年龄为 120～117 Ma，形成于中生代白垩纪。

关键词 层间滑动角砾岩型金矿 氩同位素 胶莱盆地北缘

近年来，随着胶东乳山地区蓬家夼式金矿的确立（沈远超等，1998），在胶莱盆地的北缘陆续发现、勘探成功了一系列具有相似背景和相似特征的金矿床，如牟平发云夼金矿、牟平辽上金矿、海阳郭城金矿、平度大庄子金矿，探明的黄金工业储量已达 50 余吨。这一新类型金矿的陆续发现，正引起众多地质学者的关注。沈远超等(1998， 2001)、曾庆栋等(2000)、杨金中等(2001)、邹为雷等(2001)认为它是层间滑动角砾岩型金矿，称之为“蓬家夼式金矿”。张竹如等(1999)、聂爱国等(1999)认为该类型金矿为烃金双源层中层控金矿床；刘玉强等(1999)认为是砾岩型金矿；朱大岗等 (1999)、吕古贤等(1999)认为该类金矿为与韧脆性剪切带有关的蚀变岩型金矿。该类型金矿具有良好的成矿前景，其中东北缘蓬家夼一带具有 100 吨以上的成矿远景（曾庆栋等，2000），是超大型金矿找矿靶区。在中国科学院创新工程项目资助下，笔者对该类型金矿进行了地质、地球化学、地球物理特征综合研究，本文是其中部分研究成果。

1 矿床地质概况

胶莱盆地北缘金成矿区位于胶东地区，其北西侧招掖成矿带为我国目前探明储量和发现特大型、大型金矿床最多的地区，金成矿作用与燕山期花岗岩有关。其北东侧为牟乳成矿带，是山东省第二金矿富集区。胶莱盆地北缘金成矿区目前已勘探成功大型矿床 1 处(乳山蓬家夼金矿)，中型矿床 2 处(牟平发云夼金矿、平度大庄子金矿)、小型矿床 3 处(牟平辽上金矿、海阳郭城土堆金矿、沙旺金矿)，发现矿点及矿化异常多处，已确定多处成矿有利区段，其中盆地东北缘蓬家夼一带是盆缘大型构造的局部异常区段，存在大型聚矿构造的标志,是一个超大型金矿成矿、找矿靶区。胶莱盆地北缘金矿成矿区有望成为山东省重要的黄金接替资源基地（图略）。

胶莱盆地北侧以太古宙、元古宙变质岩系为主，岩石组合以斜长角闪岩为主，次为片麻岩、变粒岩等，是胶东地区的基底构造层，其中元古宙荆山群地层与中生代盆地莱阳组砾岩接触带附近是层间滑动断层发育区。盆地中为白垩纪地层，自下而上为莱阳群砾岩、青山群中基性、中酸性火山岩夹砂页岩、王氏群碎

* 本文得到中国科学院创新工程项目(KZCX1-Y-03-01)的资助
第一作者简介 沈远超，男，1943 年生，研究员，博士生导师，主要从事岩石学及矿床学研究工作。

屑岩夹富碱性中基性火山岩。

层间滑动角砾岩型金矿沿胶莱盆地北缘分布，受低角度层间滑动断层（呈低角度铲式）控制。层间滑动断层由碎裂岩化长英质岩石、白云质大理岩、含石墨长英质片岩、片麻岩及黄铁矿化构造角砾岩等组成，金矿化主要发生在断层带内的角砾岩和碎裂岩带内，具有顺层的特点。另外，发育于盆地内侧砂砾岩中的次级断裂、裂隙系统也是有利的容矿构造。矿体富矿段与层间滑动断层构造带中的黄铁矿化硅化角砾岩、碎裂岩有关，矿体厚度大（14～46 m，平均为 30 m）、埋藏浅（0～50 m），品位低（3×10^{-6}～5×10^{-6}）。主要金矿物为银金矿，矿石结构以压碎结构为主，矿石构造以角砾状构造为主。矿化与硅化和黄铁矿化关系密切，硅化、黄铁矿化越强，金矿化越强（沈远超等，1998；杨金中等，2001）。

2　氩同位素年代学

^{40}Ar-^{39}Ar 年龄样品采自胶莱盆地北缘蓬家夼金矿区和大庄子金矿区，样品分别为蓬家夼金矿区成矿前糜棱岩中石英条带中石英、与金矿伴生的煌斑岩中的黑云母、成矿阶段石英-黄铁矿阶段（角砾状矿石）中石英样品，及大庄子金矿区角砾状矿石中石英样品，样品重量分别是 0.1916 g （F7）, 0.118 g (BP-66)，0.269 g (BP-99)，0.2496 g (Dz-004)。分选提纯后的石英、黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 快中子活化年龄测定在中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 法定年实验室 RGA-10 气体源质谱计上完成（$\lambda=5.543e^{-10}a^{-1}$），由桑海清测定。测试结果见图 1、表 1。

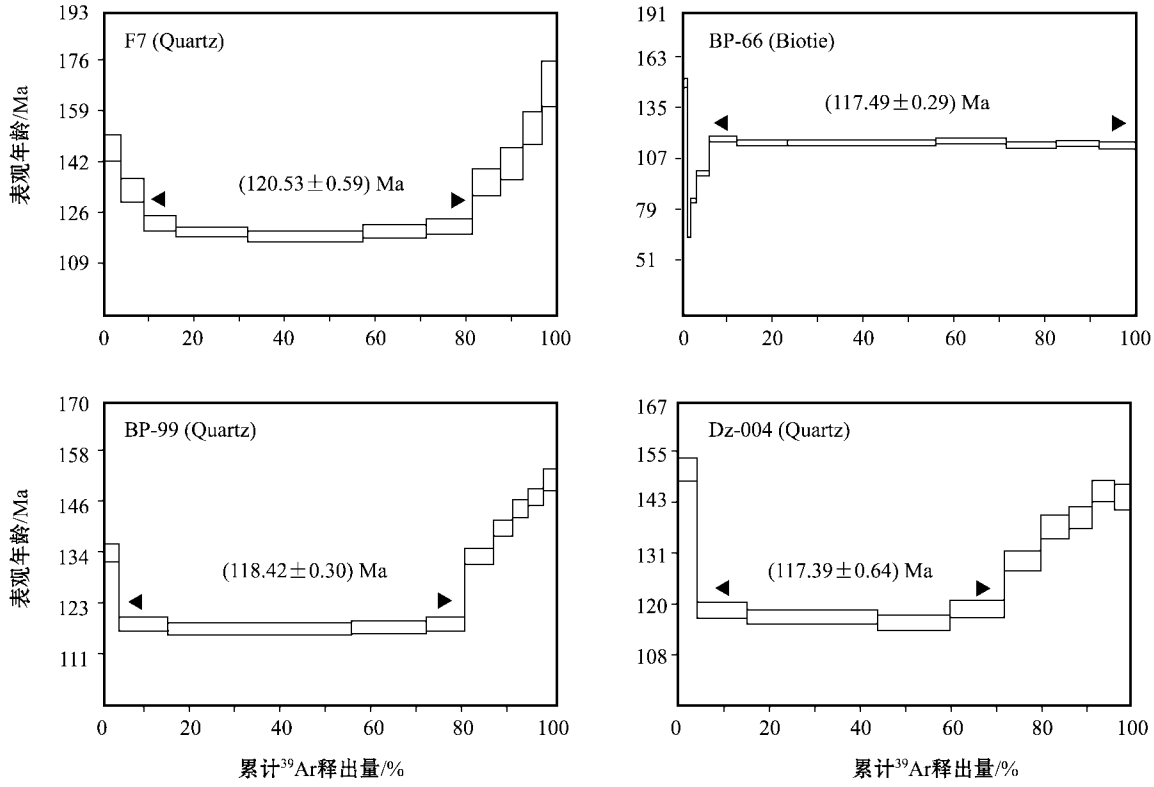


图 1　胶莱盆地北缘蓬家夼金矿床和大庄子金矿床石英和黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 坪年龄

蓬家夼金矿床 F7 石英样品给出的 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄谱属于“ 马鞍型 ”年龄谱（图 1A），反映了过剩的 ^{40}Ar 主要有两个相：一是低温相，主要含在流体包裹体中，通常在 400～700℃之间析出，占比例较小；二是高温相，主要赋存于石英晶体之中，一般在 1000℃以上析出，这部分过剩 ^{40}Ar 所占比例较大。因此，低温和高温部分气体给出的视年龄，一般不具有地质意义，而年龄谱中坪年龄或最小视年龄一般代表了石英的

形成时代(桑海清等，1994；Zeitler et al., 1986)。蓬家亦金矿 F7 石英样品的坪年龄为（120.53±0.59）Ma，最小视年龄为(118.70±1.68)Ma，其中坪年龄部分包括 670℃至 1020℃5 个阶段，析出量占总量的 72.03%。这些数据点满足等时线对样品同时、同源和化学封闭的条件，可以进行等时线年龄计算。计算结果为（117.33±0.15）Ma。坪年龄（(120.53±0.59）Ma)、最小视年龄（(118.70±1.68）Ma)、等时线年龄（(117.33±0.15）Ma）十分接近，反映了石英样品年龄的真实，由此可见，坪年龄应代表石英的形成时代。因此，这一年龄可能代表了层间滑动断层早期韧性剪切变形发生的时期。

表 **1** 胶莱盆地北缘蓬家亦矿床和大庄子金矿床石英和黑云母 Ar-Ar 氩分析结果

加热阶段	θ/℃	$^{40}Ar/^{39}Ar$	$^{36}Ar/^{39}Ar$	$^{37}Ar/^{39}Ar$	$^{38}Ar/^{39}Ar$	$^{39}Ar_k/10^{-12}$mol	$^{39}Ar_k$/ %	t_a/ Ma
		样品 (石英)		F7	*J*=0.009965			
1	450	29.596	0.0717	0.8476	0.3318	0.517	3.71	147.54±4.51
2	560	23.288	0.0531	0.7552	0.3356	0.677	4.85	138.83±3.73
3	670	17.439	0.0353	0.5911	0.2274	1.050	7.53	123.03±2.49
4	780	11.596	0.0159	0.4692	0.1214	2.180	15.6	120.26±1.71
5	860	9.2857	0.0084	0.5421	0.1214	3.571	25.6	118.70±1.68
6	940	12.143	0.0178	0.8814	0.1690	1.948	13.1	120.69±1.99
7	1020	15.552	0.0292	1.0996	0.2191	1.428	10.2	122.17±2.37
8	1100	21.984	0.0482	1.3936	0.4048	0.864	6.11	136.73±4.33
9	1200	27.946	0.0673	1.4320	0.4141	0.688	4.93	142.59±4.89
10	1300	32.245	0.0796	1.4788	0.4000	0.568	4.07	154.15±5.53
11	1500	38.832	0.0981	1.5192	0.4467	0.456	3.27	168.78±7.36
		样品 (黑云母)		BP-66	*J*=0.008471			
1	400	44.869	0.1182	1.9318	0.1078	1.332	0.69	149.76±2.48
2	540	29.651	0.0860	1.1650	0.0744	1.993	1.03	66.09±0.88
3	670	24.437	0.0743	2.2546	0.0683	2.304	1.20	85.29±1.11
4	780	14.058	0.0251	1.3396	0.0317	5.539	2.88	100.38±1.19
5	900	11.442	0.0115	0.4397	0.0184	12.06	6.28	119.07±1.39
6	980	9.7872	0.0063	0.2618	0.0175	21.80	11.3	116.88±1.36
7	1060	8.7908	0.0029	0.2132	0.0165	62.53	32.6	116.94±1.36
8	1140	9.5275	0.0051	0.2435	0.0247	29.45	15.3	118.48±1.38
9	1250	10.085	0.0075	0.4276	0.0188	21.61	11.2	116.60±1.36
10	1350	10.376	0.0081	0.4299	0.0177	17.85	9.31	117.94±1.37
11	1450	10.954	0.0106	0.9603	0.0231	15.30	7.97	116.64±1.36
		样品 (石英)		BP-99	*J*=0.008471			
1	450	84.153	0.2513	0.5023	0.1912	0.424	1.39	149.88±2.58
2	530	48.701	0.1350	2.5923	0.1480	0.891	2.92	134.86±2.04
3	680	16.754	0.0289	0.6870	0.0814	3.501	11.4	118.57±1.50
4	780	10.828	0.0103	2.3989	0.0231	12.29	40.3	117.60±1.37
5	880	13.348	0.0188	0.8734	0.0348	5.504	16.5	118.22±1.39
6	970	18.022	0.0373	0.7937	0.0648	2.608	8.55	119.42±1.46
7	1050	28.024	0.0641	0.6322	0.0913	1.878	6.15	134.91±1.74
8	1150	38.431	0.0980	0.9269	0.0941	1.182	3.87	141.65±1.84
9	1250	47.446	0.1276	1.0338	0.1127	1.089	3.57	146.05±1.99
10	1350	46.842	0.1250	1.1749	0.1078	0.880	2.88	148.71±2.00
11	1550	53.728	0.1474	1.2019	0.1457	0.683	2.24	152.72±2.29
		样品 (石英)		Dz-004	*J*=0.00991			
1	460	42.276	0.1276	0.8495	0.2074	0.871	4.49	150.42±2.74
2	540	19.988	0.0446	0.5378	0.0971	2.076	10.7	118.79±1.57
3	620	13.557	0.0231	0.7109	0.0749	5.507	28.4	117.28±1.47
4	700	16.044	0.0320	1.0027	0.1171	3.106	16.0	115.37±1.60
5	800	20.412	0.0463	1.1133	0.1453	2.248	11.6	118.24±1.79
6	900	26.615	0.0653	1.3417	0.1892	1.506	7.77	128.89±2.22
7	1000	32.264	0.0830	1.3584	0.2169	1.228	6.34	136.61±2.56
8	1150	40.975	0.1121	1.3850	0.2121	0.950	4.90	138.76±2.57
9	1300	35.937	0.0937	0.9718	0.1854	1.112	5.74	144.58±2.46
10	1500	51.060	0.1454	0.8604	0.2242	0.765	3.94	143.58±2.76

样品 BP66 黑云母样品的坪年龄为（117.49±0.29）Ma（图 1B），等时线年龄为（116.83±0.36）Ma。这一年龄纪录了胶莱盆地中火山-次火山岩活动的时期。并与盆地中火山岩 K-Ar 年龄（苏尚国等，1999)、大庄子矿区煌斑岩的 K-Ar 年龄（朱大岗等，1999；吕古贤等，1999）相一致。

成矿阶段两个石英样品（BP-99, Dz-004 ），年龄谱特点与 F7 相似。其坪年龄分别为（118.42±0.30）Ma 和（117.39±0.64）Ma（图 1C，D）。其等时线年龄计算结果分别为（117.03±0.13）Ma,（115.62±1.01）Ma。这一年龄代表了本区金矿成矿作用的时代。

3　讨　论

胶莱盆地北缘蓬家夼金矿床和大庄子金矿床石英和黑云母样品的 ^{40}Ar-^{39}Ar 定年表明，该区层间滑动断层产生的时代最早（(120.53±0.59）Ma），之后，盆地中的火山活动晚期产生的次火山岩浆向盆地边缘运移并就位（煌斑岩等，(117.49±0.29）Ma），同时，含矿热液也向层间滑动断层带运移并沉淀成矿（118.42±0.30）Ma 、(117.39±0.64) Ma）。因此，该类型金矿成矿期为燕山晚期。

燕山晚期（在白垩纪时期），胶东地区及至中国东部地区，由于地幔上隆, 岩石圈减薄，导致地壳伸展作用发生（路凤香等，2000），在盆地中产生火山作用，火山岩年龄为 100～127 Ma 左右（苏尚国等，1999），在盆地边部有利构造部位发生滑动，形成对成矿有利的层间滑动断层带，并与美国西部内华达、亚利桑那、加利福尼亚等州许多金属矿成矿背景相似（低角度正断层与低品位大型金矿具密切的伴生关系）（Walker，1992； Wernicke et al., 1988；Lister et al., 1988）。火山活动晚期产生热液携带了深部的成矿物质向盆地边缘有利构造部位运移，地表的断裂系统，岩石较冷，形成氧化环境下的水溶液循环系统（携带浅部成矿物质）向下运移，在物理化学条件突变带（上下水溶液循环系统的汇合处）构成含矿溶液沉淀的良好场所，形成胶莱盆地北缘新类型(层间滑动角砾岩型)金矿床。

参　考　文　献

刘玉强, 杨东来, 黄太岭，等. 1999. 山东胶莱盆地金矿床地质特征及找矿方向. 矿床地质，18(3)：195～207.

路凤香，李建平，李伍平，等. 2000. 中国东部显生宙地幔演化的主要样式：“ 蘑菇云 ” 模型. 地学前缘，7(1)：97～107.

吕古贤，林文蔚，罗元华，等. 1999. 构造物理化学与金矿成矿预测. 北京：地质出版社，338～342.

聂爱国，张竹如，陈世桢，等. 1999. 胶莱盆地一种新金矿类型-蓬家夼式金矿床研究. 地质地球化学，27(4)：83～86.

桑海清，王松山，胡世玲，1994. 石英的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年方法及 Ar 同位素质谱分析. 质谱学报，(2)：17～27.

沈远超，谢宏远，李光明，等. 1998. 山东乳山蓬家夼金矿的基本特征及其找矿方向. 地质与勘探，34(5)：3～7.

沈远超，张连昌，刘铁兵，等. 2001. 论层间滑动断层及其控矿作用——以山东胶莱盆地北缘金成矿带为例. 地质与勘探，37(1)：20～26.

苏尚国，周若，顾德林. 1999. 山东沂水郯庐断裂带中段火山岩特征及演化. 地质论评，45（增刊）：565～571.

杨金中，沈远超，刘铁兵，等. 2001. 胶东蓬家夼金矿床地质与地球化学特征. 地质科学，36（1）：51～63.

曾庆栋, 沈远超, 刘铁兵，等. 2000. 胶东地区层间滑动角砾岩型金矿成矿远景. 地质与勘探，36（6）：36～39.

张竹如，陈世桢. 1999. 胶东金成矿域胶莱盆地中超大型金矿找矿靶区. 地球化学，28(3)：203～211.

朱大岗，吕古贤，邓军，等. 1999. 胶东大庄子金矿地质特征和成因. 贵金属地质，8（2）：81～86.

邹为雷，沈远超，张连昌，等. 2001. 平度市大庄子金矿床控矿构造特征及金矿赋存规律初步探讨. 地质与勘探，37（1）：44～47.

Lister G S and Davis G A. 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. J. Struc. Geol., 11 (1/2): 65～94.

Walker C T, Francis R D, Dennis J G , et al. 1992. Cenozoic attenuation detachment faulting: A possible control on oil and gas accumulation in East-Central Nevada. Amer. Asso. Pet. Geol. Bull., 76 (11): 1665～1686.

Wernicke B, Axenm G J and Sonw J K. 1988 . Basin and Randge extensional tectonics at the latitude of Las Vegas, Nevadam. Geol. Soci, Amer. Bull. , 100: 1738～1757.

Zeitler P K and Gerald D F. 1986. Saddle-shaped $^{40}Ar/^{39}Ar$ age spectra from young, micro-structurally complex potassium feldspars. Geochim. Cosmochim. Acta. 50：1185～1199.