

胶东烟台磁山花岗岩的形成时代及其成矿意义

孟繁聪¹, 史仁灯¹, Tsuyoshi Iizuka², 杨经绥¹, Takafumi Hirata²

(1. 中国地质科学院地质研究所大陆动力学实验室, 北京 100037; 2. Laboratory for Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, Ookayama 2_12_1, Meguro, Tokyo 152_8551, Japan)

摘要: 利用激光探针等离子体质谱测年技术(LA-ICP-MS)对胶东烟台磁山花岗岩的锆石进行了U-Pb年龄测定, 8粒锆石的年龄为199~149 Ma, 可分成3组: 192~199 Ma(3粒)、178~185 Ma(2粒)和149~154 Ma(3粒), 第3组年龄可能代表岩体的最终侵位时代, 表明岩体形成于晚侏罗世, 为燕山期花岗岩。另外4粒早元古代的继承锆石年龄为2110~2467 Ma, 平均年龄为2252±41 Ma, 反映其源岩有早元古代粉子山群的物质。该岩体的形成年龄为探讨南张家金矿的成因提供了重要依据。

关键词: 胶东; 磁山花岗岩; 锆石; LA-ICP-MS; 形成时代; 成矿意义

中图分类号: P588.12⁺1; P597

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2005)05-0464-05

Ages of Cishan granite in Yantai, Jiaodong, and their metallogenic implications

MENG Fancong¹, SHI Rendeng¹, Tsuyoshi Iizuka², YANG Jingsui¹ and Takafumi Hirata²

(1. Laboratory for Continental Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China);
2. Laboratory for Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, Ookayama 2_12_1, Meguro, Tokyo 152_8551, Japan)

Abstract: The U-Pb ages of zircon from Cishan granite were determined by LA-ICP-MS (Laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometer). The ages of 199~149 Ma from 8 grains indicate the Jurassic formation of the granite, which can thus be termed Yanshanian granite. The ages of 2110~2467 Ma (2252±41 Ma in average) from 4 grains of Early Paleozoic inherited zircon show that the source of the granite contains materials from Early Paleozoic Fenzishan Group. The formation ages of the granite provide important evidence for the origin of the Nanzhangjia gold deposit.

Key words: Jiaodong; Cishan granite; zircon; LA-ICP-MS; age; metallogenic implications

胶东是我国著名的黄金产区, 据前人研究可划分为4个成矿带: 招远-莱州带、蓬莱-栖霞带、牟平-乳山带和文登-荣城带, 其中招-莱带和牟-乳带集中了胶东黄金储量的绝大部分, 约占总储量的97% (杨敏之等, 1996), 前人对这两个带上的金矿的成矿作用、成因类型等研究较多 (陈光远等, 1989; 姚凤良等, 1990; 翟明国等, 2001; 周新华等, 2002; 陈衍景等, 2004)。为进一步探讨花岗岩的成因及其与金矿化的关系, 近年来, 应用SHRIMP技术对招远-莱州带上的玲珑岩体、郭家岭岩体和滦家河岩体中的锆石进行了U-Pb同位素分析, 确定了这些岩体主要形成于晚侏罗世-早白垩世(160~126 Ma), 含大量继承性锆石, 金矿化发生在126~120 Ma之间 (苗来成等, 1997; 关康等, 1998; Wang *et al.*, 1998; 罗镇宽等, 1999)。位于牟-乳带和蓬莱-栖霞带之间的烟台福山地区

是胶东的找矿新区, 1988年在该区发现了南张家金矿, 但由于基础地质工作薄弱, 南张家金矿上马后即面临资源危机。磁山花岗岩为烟台南张家金矿的容矿围岩, 金矿化与岩体在空间上有密切的联系, 但二者在成因上是否有联系仍值得探讨, 其中成岩时代与成矿时代的准确测定是探讨其成因关系的重要依据之一。本文采用LA-ICP-MS(激光探针等离子体质谱)技术对磁山花岗岩的形成时代进行了限定, 并讨论其成矿意义。

1 地质背景

胶东位于郯庐断裂以东, 太平洋板块以西, 五莲-荣城断裂又把胶东一分为二, 北为胶北地块, 南为胶南地块。研究区

收稿日期: 2005-07-05; 修订日期: 2005-08-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(2003CB716502); 国家自然科学基金重大项目(40399143)

作者简介: 孟繁聪(1967-), 男, 博士, 副研究员, 岩石矿物学专业, E-mail: mengfancong@yeah.net

位于胶北地块的北缘,区内NE向构造发育(图1)。胶东含矿花岗岩体的时空结构暗示了其形成可能与古太平洋板块的活动有关。古太平洋板块与欧亚板块的相互作用从三叠纪(250 Ma)开始,此后,中国东部便形成一个活动的大陆边缘,到晚白垩世(100 Ma)开始发生明显的转化,逐渐转变为现今的西太平洋型沟-弧-盆体系(胡受奚等,1994)。

烟台南张家地区岩浆岩出露面积较大,主要分布在西部地区,由西北往东南依次为:郭家岭岩体(花岗闪长岩)、九目山岩体(二长花岗岩)、燕子乔岩体(细粒二长花岗岩)和磁山岩体(二长花岗岩)。出露的地层主要有胶东群(齐山组)、粉子山群、蓬莱群、白垩系火山岩和第四系(图1)。其中粉子山群(北粉子山群)主要分布在区内的北东部,构成了洪均山向斜的翼部,主要岩性为白云质大理岩、石墨白云方解大理岩及少量黑云变粒岩、片岩,属中深变质岩系,含1900 Ma的微古植物化石(杨敏之等,1996)。在胶东其他地区,该岩层含金为6~400($\times 10^{-9}$),平均为 21.38×10^{-9} ,因此,粉子山群也可成为金矿的有利矿源层(陈光远等,1989)。

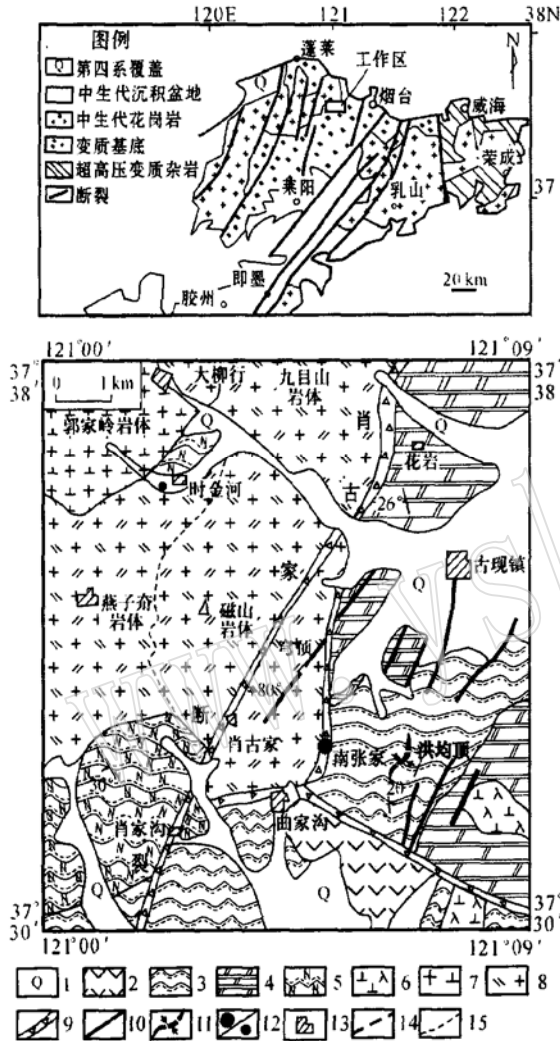


图1 南张家金矿区域地质简图

Fig.1 Simplified geological map of the Nanzhangjia gold deposit

- 1—第四系; 2—安山岩(安山角砾岩); 3—蓬莱群; 4—粉子山群;
 - 5—胶东群; 6—石英闪长玢岩; 7—花岗闪长岩; 8—二长花岗岩;
 - 9—碎裂岩带; 10—张性断裂; 11—向斜; 12—矿床(点); 13—村镇;
 - 14—推测断层; 15—岩相界线
- 1—Quaternary; 2—andesite; 3—Penglai Group; 4—Fenzishan Group; 5—Jiaodong Group; 6—quartz diorite porphyrite; 7—granodiorite; 8—monzogranite; 9—cataclastic zone; 10—extensional fault; 11—synclinal axis; 12—ore deposit (spot); 13—town; 14— inferred fault; 15—petrographic boundary

2 磁山花岗岩特征

磁山岩体出露面积17 km²,主体岩性为似斑状黑云母二长花岗岩。岩体中见有胶东群斜长角闪岩残留体,呈透镜状,大小1.5 m × 1 m。岩体中也有粉子山群的残留体^①。岩体北侧为九目山岩体,西侧为燕子乔岩体和郭家岭岩体,九目山岩体、燕子乔岩体均侵入到磁山岩体中。根据穿插关系,该区岩体的形成顺序为:磁山岩体→燕子乔岩体→九目山岩体→郭家岭岩体。磁山岩体东部与粉子山群和蓬莱群呈断层接触。南张家金矿化发育在断层破碎带靠近岩体一侧(图1)。

磁山花岗岩由斜长石(35%)、钾长石(30%)、石英(25%)、黑云母(10%)组成,副矿物有石榴石、磷灰石、锆石、磁铁矿、褐帘石等。与胶东三大含矿岩体(玲珑岩体、郭家岭岩体和昆崙山岩体)对比,矿物组合中不含角闪石与郭家岭岩体(含角闪石)相区别;以黑云母(10%)、副矿物中石榴石(318 g/t)、黄铁矿(9.58 g/t)含量高,磁铁矿(101 g/t)含量低与玲珑、昆崙山岩体相区别,磁山岩体σ值在1.80~2.52之间变化(平均2.06),SI值在2.81~5.86之间(平均4.78),DI值在78.95~85.51之间(平均82),氧化率平均为0.47,是成矿的有利岩体(孟繁聪等,2001)。

3 锆石形态群特征

本文分析的锆石样品取自磁山岩体西坡的半风化岩石,采用拣块采样法(采样面积50 m × 50 m,选岩体的主体岩性),获得10 kg人工重砂(破碎到60目以下),共选出0.095 g 锆石,粒度0.1~0.2 mm。锆石呈黄褐色-蜜黄色-浅黄色,透明,部分颗粒有黑色包裹体,可能为磁铁矿。长柱状,自形晶占优势,a{100}面发育,长/宽以2:1~3:1为主,占60%。可见连生体及环带结构,柱面生长纹可能是{100}层生长造成的。浑圆状颗粒较少,是岩浆熔蚀造成或是源岩粉子山群、胶东群的残留锆石。

磁山岩体中的锆石晶体类型共有S、L、Q、P、G5种主型

① 山东省地矿局第八地质队,1992. 山东省福山区张家金矿区勘探中间地质报告。

(439 粒) (Pupin, 1985; 孟繁聪等, 1999), 包括 S_{1-14} 、 S_{19-20} 、 L_{1-5} 、 Q_{2-3} 、 P_{1-3} 、 G_1 等 27 种亚型。通过与玲珑、郭家岭、昆崙山岩体的锆石形态群特征的对比, 表明磁山岩体的锆石群与玲珑岩体锆石群相似, 而区别于郭家岭岩体锆石群和昆崙山岩体锆石群。磁山岩体与玲珑岩体的锆石群特征的相似性, 反映其岩浆演化特征类似(孟繁聪等, 1999)。玲珑岩体形成时代 150~160 Ma(苗来成等, 1997), 为晚侏罗世的产物, 推测磁山岩体的形成时代可能与玲珑岩体形成时代相近。

4 锆石 U-Pb 定年

4.1 锆石样品的制备及测试条件

将分选出的锆石在双目镜下精选数十粒安装在双面胶带上, 然后用环氧树脂包裹成饼状, 最后将该饼抛光露出锆石颗粒, 照相, 即可准备测试。测试采用激光探针等离子体质谱(LA-ICP-MS)测年技术, 实验是在日本东京工业大学行星科学实验室完成的, 测试条件见文献(Hirata *et al.*, 1995; Iizuka & Hirata, 2004)。

4.2 方法的可行性

激光探针等离子体质谱(LA-ICP-MS)测年技术是近几年发展起来的, 具有与 SHRIMP 相同的点分析优势, 同时可获得锆石微区的微量元素数据(刘海臣等, 1998), 因而有着广泛的应用前景, 缺点是精度稍差。用 LAM-ICP-MS 法对已知 TIMS 年龄数据的若干单颗粒锆石进行了 Pb/Pb 和 Pb/U 年龄测定, 得到的 Pb/Pb 年龄和 Pb/U 年龄与 TIMS 结果误差分别为 $\ll 1\%$ 和 $< 3\%$, 表明此法的可行性和可靠性(刘海臣等, 1998)。采用此法测得的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 比值测量精度为 $1\% \sim 3\%$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值的测量精度为 $2\% \sim 10\%$, 与 TIMS 和 SHRIMP 测定的年龄结果较为接近(梁细荣等, 1999; Iizuka & Hirata, 2004)。但是对于内部形态不均匀、显示强烈 Pb 丢失的样品, 不宜仅作 ICP-MS $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄分析, 只有在精确的 U/Pb 同位素分析的基础上, 依据 U-Pb 一致曲线, 才能获得正确的年龄信息(孙敏等, 2001)。

4.3 锆石 LA-ICP-MS 定年结果

测试结果见表 1 和图 2。12 颗锆石中, 共有 8 颗锆石形成于侏罗纪, 占 2/3 (66.7%), 4 颗锆石形成于早元古代, 占 1/3 (33.3%)。侏罗纪锆石年龄可进一步分为 3 组: 早侏罗世(J_1) 3 颗, 年龄为 192~199 Ma; 中侏罗世(J_2) 2 颗, 年龄为 178~185 Ma; 晚侏罗世(J_3) 3 颗, 年龄为 149~155 Ma。其中晚侏罗世的年龄可能代表了磁山花岗岩体的最终侵位时代。4 颗继承性锆石形成于早元古代, 年龄为 2 467~2 110 Ma, 平均年龄为 $2\,252 \pm 41$ Ma, 指示花岗岩源岩有早元古代粉子山群的物质。

5 讨论与结论

5.1 成岩时代

磁山花岗岩中单颗粒锆石 U-Pb 年龄(LA-ICP-MS) 的测

表 1 磁山花岗岩锆石激光探针等离子体质谱 U-Pb 定年数据

Table 1 Single zircon U-Pb ages of Cishan granite determined by LA-ICP-MS

样品号	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	2σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ 年龄	2σ
CS_1_3	0.0235	0.0005	0.1965	0.0048	149.7	3.2
CS_1_5	0.0314	0.0007	0.2240	0.0055	199.2	4.3
CS_1_7	0.0234	0.0005	0.1876	0.0046	148.9	3.2
CS_1_8	0.0243	0.0005	0.1930	0.0047	154.5	3.3
CS_1_9	0.0293	0.0006	0.2342	0.0057	186.0	4.0
CS_1_11	0.0301	0.0007	0.2123	0.0052	192.3	4.1
CS_1_13	0.0281	0.0006	0.2074	0.0051	178.4	3.8
CS_1_15	0.0307	0.0007	0.2124	0.0052	194.9	4.2
CS_1_4	0.4663	0.0101	12.0555	0.2948	2467.1	44.3
CS_1_1	0.3872	0.0084	9.0917	0.2223	2109.8	38.9
CS_1_12	0.4258	0.0092	9.5571	0.2337	2286.9	41.6
CS_1_10	0.3952	0.0086	9.7552	0.2385	2146.8	39.5

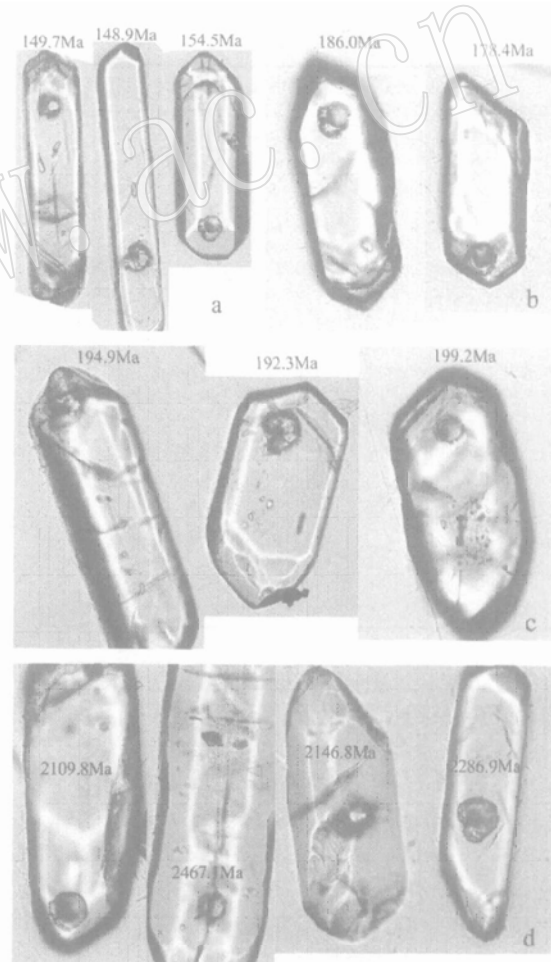


图 2 磁山花岗岩单颗粒锆石特征及其 LA-ICP-MS 分析结果
Fig. 2 Morphology and LA-ICP-MS ages of single zircons from Cishan granite

a—晚侏罗世锆石; b—中侏罗世锆石; c—早侏罗世锆石; d—早元古代的继承性锆石; 锆石表面的斑点为激光熔蚀坑
a—zircons of Late Jurassic; b—zircons of Middle Jurassic; c—zircons of Early Jurassic; d—inherited zircon of Early Paleozoic; Spots at the surface of zircon are laser corroded pits

定结果表明岩体形成于侏罗纪,是燕山期岩浆活动的产物,与玲珑岩体的形成时代接近,玲珑岩体锆石的 SHRIMP 年龄为 160~150 Ma(苗来成等,1997)。因此,从岩相、岩石化学、锆石群型和锆石的 U-Pb 年龄来看,磁山岩体可与玲珑岩体相比(孟繁聪等,1999,2001)。

磁山岩体与玲珑岩体继承锆石的不同反映了花岗岩源岩物质组成的差别,前者只含有早元古代的锆石,这种继承性锆石表明磁山花岗岩的源岩主要是早元古代粉子山群的岩石,这与岩体中含有粉子山群残留体的地质事实相一致。后者含有大量不同时代的继承性锆石,从古太古代到早中生代的锆石都有出现,其中以印支期的继承性锆石最多,占继承锆石总数的 80%,年龄范围从 312~170 Ma,平均为 220 Ma;早元古代的锆石只占 5%,年龄范围 1 844~2 071 Ma。推测玲珑岩体的源岩主要是以印支期造山花岗岩为主的中酸性岩石(罗镇宽等,1999)。由此可见,继承锆石是识别花岗岩源岩比较有效的手段之一。

5.2 花岗岩的成矿意义

蚀变矿物水云母 Rb-Sr 法限定的招掖金矿带的成矿时代为 135~88 Ma(骆万成等,1987),锆石 SHRIMP 法限定的招掖金矿带的成矿时代为 126~120 Ma(苗来成等,1997),载金矿物黄铁矿的 Rb-Sr 等时线法测定的玲珑金矿主成矿期的年龄为 121.6 ± 8 Ma(杨进辉等,2000),因为郭家岭岩体的形成年龄(130~126 Ma,锆石 SHRIMP 法)与金矿化时间最为接近,被认为是成矿的花岗岩(关康等,1998;罗镇宽等,1999;Wang *et al.*, 1998)。玲珑花岗岩与金矿化存在较大的时差(约 50 Ma),根据已有的招掖成矿带和牟平-乳山成矿带年龄的研究,胶东的金矿化主要发生在 120~130 Ma(骆万成等,1987;杨进辉等,2000;张连昌等,2002;Zhang *et al.*, 2003;Li *et al.*, 2003),笔者倾向认为南张家金矿的矿化时代为 120 Ma。果真如此,金矿化与磁山花岗岩也存在 30~40 Ma 的时差,金矿化可能与花岗岩没有成因联系,只起容矿作用(张德全等,1995)或者仅起到部分矿源层的作用(柳少波等,1996)。因此,构造复合部位是找矿的有利靶区。

References

Chen Guangyuan, Shao Wei and Sun Daisheng. 1989. Genetic Mineralogy of Gold Deposits in Jiaodong District with Emphasis on Gold Prospecting [M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1~452 (in Chinese with English abstract).

Chen Yanjing, Pirajino F, Lai Yong, *et al.* 2004. Metallogenic time and tectonic setting of the Jiaodong gold province, eastern China [J]. Acta Petrologica Sinica, 20(4): 907~922 (in Chinese with English abstract).

Guan Kang, Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, *et al.* 1998. SHRIMP in zircon chronology for Guojialing suite granite in Jiaodong district [J]. Scientia Geologica Sinica, 33(3): 318~328 (in Chinese with English abstract).

Hirata T and Nesbitt R W. 1995. U-Pb isotope geochronology of zircon: Evaluation of the laser probe inductively coupled plasma mass spectrometry technique [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 59: 2 491~2 500.

Hu Shouxi, Zhao Yiyang, Hu Zhihong, *et al.* 1994. Evolution and development of tectonic and magmatism at the active continental margin of the east China during Mesozoic and Cenozoic [J]. Acta Petrologica Sinica, 10(4): 370~381 (in Chinese with English abstract).

Iizuka T and Hirata T. 2004. Simultaneous determinations of U-Pb age and REE abundances for zircons using ArF excimer laser ablation-ICPMS [J]. Geochemical Journal, 38: 229~241.

Li J, Vasconcelos P, Zhang J, *et al.* 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism and continental margin transtension in the Jiaodong gold province eastern China [J]. Journal of Geology, 111: 741~751.

Liang Xirong, Li Xianhua and Liu Yongkang, *et al.* 1999. Simultaneous determination of U-Pb ages and trace elements in single zircon by using LAM-ICPMS [J]. Rock and Mineral Analysis, 18(4): 253~257 (in Chinese with English abstract).

Liu Haichen, Zhu Bingquan and Zhang Zhanxia. 1998. Determination of U-Pb ages in single zircon by using LAM-ICPMS [J]. Chinese Science Bulletin, 43(10): 1 103~1 106 (in Chinese).

Liu Shaobo and Wang Liankui. 1996. The time gap between rock and gold ore formation [J]. Geological Review, 42(2): 155~165 (in Chinese with English abstract).

Luo Wancheng and Wu Qinsheng. 1987. Dating of the mineralizing age of gold deposits in Jiaodong Peninsula using the alteration minerals [J]. Chinese Science Bulletin, 32(16): 1 245~1 248 (in Chinese).

Luo Zhenkuan, Guan Kang, Miao Laicheng, *et al.* 1999. The age and its significance of inherited zircons in the granitoid in Zhaoyuan-Laizhou area [J]. Geology of Shandong, 15(3): 24~30 (in Chinese with English abstract).

Meng Fancong, Sun Daisheng and Li Shengrong. 2001. Characteristics and metallogeny of Cishan granite, East Shandong (Jiaodong) [J]. Mineral Deposits, 20(4): 394~401 (in Chinese with English abstract).

Meng Fancong, Sun Daisheng, Li Shengrong, *et al.* 1999. Characteristics and significance of zircon typology of Cishan granite in Jiaodong [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 18(1): 87~94 (in Chinese with English abstract).

Miao Laicheng, Luo Zhenkuan and Huang Jiazhan. 1997. SHRIMP in zircon chronology for granites in Zhaoye gold metallogeny zone in Shandong Peninsula [J]. Science in China, 27(3): 207~213 (in Chinese).

Pupin J P. 1985. Magmatic zoning of hercynian granitoids in France based on zircon typology [J]. Mineral. Petrograph. Mitt, (65): 29~36.

Sun Min and Guan Hong. 2001. Zircon U-Pb ages of the Fuping complex and their implications: some comments on the geochronological study of the Precambrian high-grade metamorphic terranes [J].

- Acta Petrologica Sinica, 17(1): 145~ 156 (in Chinese with English abstract).
- Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, *et al.* 1998. Constraints on crustal and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U_Pb zircon studies of granitoids [J]. *Ore Geology Reviews*, 13: 275~ 291.
- Yang Jinhui and Zhou Xinhua. 2000. The Rb_Sr isochron of ore and pyrite sub_samples from Linglong gold deposit, Jiaodong Peninsula, eastern China and their geological significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(14): 1 522~ 1 547(in Chinese).
- Yang Minzhi and Lü Guxian. 1996. The Geology - Geochemistry of Gold Deposits of the Greenstone Belt in Jiaodong District, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~ 76(in Chinese).
- Yao Fengliang, Liu Liandeng, Kong Qingcun, *et al.* 1990. Lode_gold Deposits in the Northwestern Part of the the Jiaodong Area [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1~ 220(in Chinese).
- Zhai Mingguo, Yang Jinhui and Liu Wenjun. 2001. Large clusters of gold deposits and large_scale metallogenesis in Jiaodong Peninsula, Eastern China [J]. *Science in China (series D)*. 31(7): 545~ 552 (in Chinese).
- Zhang Dequan, Xu Honglin and Sun Guiying. 1995. Emplacement ages of the Denggezhuang gold deposit and the Kunyushan granite and their geological implications [J]. *Geological Review*, 41(5): 415~ 425 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lianchang, Shen Yuanchao, Liu Tiebing, *et al.* 2002. Ar_Ar and Rb_Sr isochron ages and ore forming time for gold deposits in the Northern margin of Zhaolai basin, Shandong Province [J]. *Science in China (series D)*, 32(9): 727~ 734 (in Chinese).
- Zhang X, Cawood P, Wilde S, *et al.* 2003. Geology and timing of mineralization at the Canshang gold deposit, north_western Jiaodong Peninsula, China [J]. *Mineralium Deposita*, 38: 141~ 153.
- Zhou Xinhua, Yang Jinhui and Zhang Lianchang. 2002. Metallogenesis of superlarge gold deposits in Jiaodong region and deep processes of subcontinental lithosphere beneath North China Craton in Mesozoic [J]. *Science in China (series D)*, 32(S.): 11~ 20 (in Chinese).
- 和构造环境 [J]. *岩石学报*, 20(4): 907~ 922.
- 关 康, 罗镇宽, 苗来成, 等. 1998. 胶东招掖郭家岭花岗岩锆石 SHRIMP 年代学研究 [J]. *地质科学*, 33(3): 318~ 328.
- 胡受奚, 赵乙英, 胡志宏, 等. 1994. 中国东部中生代大陆边缘构造-岩浆作用演化和发展 [J]. *岩石学报*, 10(4): 370~ 381.
- 梁细荣, 李献华, 刘永康, 等. 1999. 激光探针等离子体质谱同时测定锆石微区铀-铅年龄及微量元素 [J]. *岩矿测试*, 18(4): 253~ 257.
- 刘海臣, 朱炳泉, 张展霞. 1998. LAM_ICP MS 法用于单颗粒锆石定年研究 [J]. *科学通报*, 43(10): 1 103~ 1 106.
- 柳少波, 王联魁. 1996. 金矿成岩 成矿时差述评 [J]. *地质论评*, 42(2): 155~ 165.
- 骆万成, 伍勤生. 1987. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄 [J]. *科学通报*, 32(16): 1 245~ 1 248.
- 罗镇宽, 关 康, 苗来成, 等. 1999. 招远-莱州地区花岗岩类继承性锆石年龄及其意义 [J]. *山东地质*, 15(3): 24~ 30.
- 孟繁聪, 孙岱生, 李胜荣. 2001. 胶东磁山花岗岩的特征及其成矿性 [J]. *矿床地质*, 20(4): 394~ 401.
- 孟繁聪, 孙岱生, 李胜荣, 等. 1999. 胶东磁山花岗岩锆石形态群的特征及其意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 18(1): 87~ 94.
- 苗来成, 罗镇宽, 黄佳展, 等. 1997. 山东招掖金矿带内花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 研究及其意义 [J]. *中国科学*, 27(3): 207~ 213.
- 孙 敏, 关 鸿. 2001. 阜平杂岩年龄及其地质意义: 兼论前寒武纪变质地体的定年问题 [J]. *岩石学报*, 17(1): 145~ 156.
- 杨进辉, 周新华. 2000. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb_Sr 等时线年龄与成矿时代 [J]. *科学通报*, 45(14): 1 522~ 1 547.
- 杨敏之, 吕古贤. 1996. 胶东绿岩带金矿地质地球化学 [M]. 北京: 地质出版社, 1~ 76.
- 姚凤良, 刘连登, 孔庆存, 等. 1990. 胶东西北部脉状金矿床 [M]. 长春: 吉林科技出版社, 1~ 220.
- 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 2001. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用 [J]. *中国科学(D 辑)*, 31(7): 545~ 552.
- 张德全, 徐洪林, 孙桂英. 1995. 山东邓格庄金矿与昆嵛山花岗岩的定位时代及其地质意义 [J]. *地质论评*, 41(5): 415~ 425.
- 张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 等. 2002. 山东招掖盆地北缘金矿床 Ar_Ar 法和 Rb_Sr 法等时线年龄与成矿时代 [J]. *中国科学(D 辑)*, 32(9): 727~ 734.
- 周新华, 杨进辉, 张连昌. 2002. 胶东超大型金矿的形成与中生代华北大陆岩石圈深部过程 [J]. *中国科学(D 辑)*, 32(增刊): 11~ 20.

附中文参考文献

- 陈光远, 邵 伟, 孙岱生. 1989. 胶东金矿成因矿物学与找矿 [M]. 重庆: 重庆科技出版社, 1~ 452.
- 陈衍景, Pirajno F, 赖 勇, 等. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间