

岩石圈减薄与成矿关系的不均一性

赫 英^{1,2}, 岳可芬^{1,2}, 张维萍^{1,2}, 张红强¹, 成 一¹

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 西北大学 化学与材料科学学院, 陕西 西安 710069)

摘要: 结合实际工作中的体会, 提出和讨论了“岩石圈减薄与成矿关系的不均一性”这一有意义的科学问题。岩石圈减薄导致岩石圈中分布不均一的金、钼、钨等成矿元素被消耗带出至地壳中成矿, 是中国东部金、钼、钨大规模成矿的基本机制; 华北地块岩石圈减薄对金、钼、钨大规模成矿的贡献时限始自构造转折开始时而终至岩浆富集地幔源向亏损地幔源转化期, 即可能在 163~136 Ma 至 117~80 Ma 期间; 岩石圈在时间和空间上的不均一减薄可能是地壳中不同类型的金、钼、钨等矿床和矿集区时空分布差异性的重要原因。

关键词: 岩石圈减薄; 成矿; 金; 钼; 钨; 华北地块

中图分类号: P61 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)03-0221-04

Inhomogeneity of Relationship Between Lithospheric Thinning and Mineralization

HE Ying¹, YUE Ke-fen^{1,2}, ZHANG Wei-ping^{1,2}, ZHANG Hong-qiang¹, CHENG Yi¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

2. School of Chemistry and Material Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China)

Abstract The inhomogeneity of relationship between lithospheric thinning and mineralization were put forward and discussed. The basic mechanism for mineralization of gold, molybdenum and tungsten in large in Eastern China was that gold, molybdenum and tungsten deposits, which were inhomogeneous in lithosphere because of lithospheric thinning, were depleted and taken into earth crust. The time ranges for mineralization of gold, molybdenum and tungsten in large caused by lithospheric thinning in North China Craton, began from tectonic transition and ended in period of magma transforming from enriched mantle source to depleted mantle source, could be from 163-136 Ma to 117-80 Ma. The important reason for the difference of time-space distribution of gold, molybdenum and tungsten deposits and ore concentration areas could be the inhomogeneous lithospheric thinning in time and space.

Key words: lithospheric thinning; mineralization; gold; molybdenum; tungsten; North China Craton

0 引言

赫英等^[1]在《地球深部包体与成矿关系——一个有意义的研究方向》一文中, 结合实际研究工作中的成果和体会, 指出地球深部包体中金、钼、钨等成矿元素的含量是不均一的, 金在地幔岩包体中含量最高, 钼在玄武岩及镁铁质麻粒岩包体中最高, 而钨在长英质麻粒岩和花岗岩类包体中含量最高, 反映

岩石圈和软流圈以及岩石圈不同层次中金、钼、钨等成矿元素的含量是不均一的, 它们分别提供了地壳中金、钼、钨矿床的初始物质来源。但岩石圈不同层次中金、钼、钨等成矿元素是怎样被带入地壳中成矿的? 这是需要进一步研究和讨论的重要科学问题。中新世是中国东部金、钼、钨等金属矿床的重要成矿期, 岩石圈减薄导致岩石圈中成矿元素被带出成矿可能是其基本机制。笔者尝试对此做一些探讨。

收稿日期: 2009-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(40372052); 高等学校博士点基金项目(20040697003)

作者简介: 赫 英(1944-)男, 吉林长春人, 教授, 从事矿床与地球化学研究。E-mail: heyiing@nwu.edu.cn

© 1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 岩石圈减薄及其与成矿关系

在众多学者多年深入研究的基础上^[2-18], 近些年华北地块研究的重要进展之一是该区中生代岩石圈显著减薄及其发生时间、机制等的提出和讨论^[19-37], 但目前对岩石圈减薄与成矿关系的研究还较少, 有待深入^[38-42]。

1.1 华北地块矿产分布概况及基本规律

从整体上看, 华北地块北南两缘的内蒙古山带和秦岭—大别造山带是近东西展布并有延续性, 其上有近南北—北北东向构造的叠加构成格架状。华北绝大多数已知矿产是产在其近东西向的褶皱断裂构造系与近南北或北北东向断裂构造带之上及其邻近地区, 特别在二者交汇之处矿产尤为密集。华北地块北南两缘矿产之分布, 西段以元古代—古生代成矿作用为主, 叠加在太古界或元古界中矿产之上; 中段在古生代及以前成矿作用之上叠加有中生代成矿作用; 而东段中生代成矿作用十分发育。从太古界隆起向外, 在矿种上有“金→钼→钨”的变化趋势^[43-47]。如在华北克拉通南缘, 在其西南边缘太古界—元古界地层中的金矿不发育, 元古界地层中有钨—钼矿床多为小到中型, 但在边缘裂谷中出现金川铜镍硫化物超大型矿床; 在中段有太古界—元古界地层中的小秦岭—熊耳山金矿带和金堆城(钼, 中元古界地层中)—南泥湖(钼—钨, 上元古地层中)钼—钨矿带, 而在东段太古界地层中有胶东金矿矿集区, 元古界地层中钼—钨矿床不发育但有少量铜矿出现。似乎由西而东, 在矿床成矿元素类型的重要性上有“金→钼—钨→金”的变化趋势, 矿集区的展布由点→带→面变化; 而东段和中段相比, 钼、钨的重要性减弱而金的成矿规模变大。在华北克拉通北缘金、钼、钨矿产也有类似分布趋势, 但相对更集中于东北和华北, 如夹皮沟金矿、大黑山和杨家杖子钼矿、密云钨矿等^[48]。

1.2 华北地块岩石圈减薄的不均一性

众所周知, 华北克拉通岩石圈在中生代曾发生显著减薄。初步研究表明, 华北克拉通岩石圈减薄是不均一的。邢作云等^[49]通过对华北地区地震层析成像成果的研究, 将其分为软流圈上涌带、过渡带和巨厚岩石圈带。由东向西的鲁淮硬块—沁水硬块—鄂尔多斯地块的各岩石圈巨厚区厚度为 120~200 km, 由东向西增厚。而金伯利岩及其幔源包体的研究表明, 古生代华北地块存在至少

200 km 厚的岩石圈根, 这暗示华北克拉通中生代岩石圈减薄由东向西程度不同, 即东强中弱而西微, 鄂尔多斯盆地以西中生代基本没有发生减薄。有关地球化学研究也得出了类似的结论^[50-51]。值得注意的是, 渤海湾和邯郸 2 个大型软流圈上涌带仅出现在华北克拉通东段的东部, 而太行山断裂带两侧的软流体(大同、吕梁、南阳、中条)皆较小, 亦反映减薄东强中弱的特征。特别是所有软流体均呈北北东—近南北向展布, 反映环太平洋构造对中生代软流圈上升和岩石圈的减薄有控制作用, 即岩石圈减薄大致开始于 163~136 Ma^[52-53]; 研究表明, 在 117~106 Ma, 华北北部岩浆来源从富集的岩石圈地幔转化成亏损的软流圈地幔, 而华北克拉通南缘要晚一些, 大致发生在 100~80 Ma^[54-55]。这也就是说, 华北地块岩石圈减薄大致发生在 163~136 Ma 至 117~80 Ma 期间, 这与翟明国等^[39]估计的 150~100 Ma 构造转折时限基本一致。

1.3 岩石圈减薄与成矿关系的不均一性

岩石圈减薄的实质是岩石圈特别是岩石圈地幔的消耗及伴随的流体逸出和交代以及大规模的岩浆作用, 这对地壳中一些矿床和矿集区的形成具有特殊意义。随软流圈地幔隆起伴随的减压将导致玄武岩浆渗透并出现自由流体相出溶而形成地幔流体^[56]。显微镜下观察可以见到, 地幔岩包体中富二氧化碳流体包裹体和含金硫化物包裹体共沿一条裂隙分离式分布, 单偏光和反光镜下对比十分鲜明; 而在裂隙尖灭端, 云雾似的富二氧化碳流体包裹体和硫化物包裹体相伴呈抛物线状, 反映出伴随软流圈地幔的隆起而渗滤、溶出的富二氧化碳含金流体的形成和交代作用^[39]。这些裂隙被新生代玄武岩所截切并明显具张性特征, 很可能是岩石圈减薄的产物。值得注意的是, 据支霞臣等^[28] Re—Os 同位素研究, 安徽明光一带岩石圈在中生代未明显减薄, 而显微镜下观察发现其二辉橄榄岩包体中富二氧化碳包裹体和硫化物包裹体很少, 暗示富二氧化碳含金地幔流体的形成、性质、成分、数量可能与岩石圈减薄及其不均一性有关。笔者还分析了山东蒙阴金伯利岩中地幔岩包体的金含量。结果表明, 金伯利岩中地幔岩包体的金质量分数为 $(5.2 \sim 180) \times 10^{-9}$, 平均 52.0×10^{-9} ^[57]。山东金伯利岩形成时代为古生代, 而岩石圈减薄发生于中生代, 因而金伯利岩中地幔岩包体代表了减薄前岩石圈根中的金。但山东临朐新生代玄武岩中的地

幔岩包体可代表减薄后新生岩石圈地幔中的金,其金质量分数为 $(4.8 \sim 15.0) \times 10^{-9}$,平均 8.6×10^{-9} 。二者相差6倍多,这种情况可能和富二氧化碳地幔流体对岩石圈地幔中金的活化、转移作用有关。

岩石相平衡实验和原理表明,玄武质是地幔橄榄岩系统的低熔组分,花岗质是玄武岩系统的低熔组分^[58]。很可能早期较弱的减薄有利于形成花岗岩类及与其有关的钼-钨矿床和钼-钨矿集区,其中由于钨的不相容性比钼更强,倾向于在岩石圈消耗的最早期进入相对比较富钼且相对形成较早的黑云母花岗岩,而钼则在稍晚时进入相对比较富钠、钙且相对形成较晚的花岗闪长斑岩-花岗斑岩;晚期强烈的减薄导致岩石圈显著消耗,有利于形成源自富金岩石圈地幔即富集地幔源的玄武岩类及与其有关的金矿和金矿矿集区。

华北克拉通西南缘金川岩体的研究表明,对应于金川岩体的地幔源具有由富集型地幔向亏损型地幔岩演化的过渡性地幔源即大陆裂谷发育初期的地幔源特征^[59],与之相应有金川超大型铜镍硫化物矿床出现。相比之下,结合东西玄武岩类和花岗岩类分布比例和规模的时空差异,华北克拉通南缘东段岩浆来源在100~80 Ma时从富集岩石圈地幔向亏损软流圈地幔的转化,可能反映了大陆裂谷发育前期与岩石圈减薄有关的地幔源特征,与之相应有胶东金矿矿集区。例如,笔者发现在岩石圈消耗期火山岩类金含量高,而在其岩浆源向亏损地幔的转化期金含量骤降。如济阳盆地演化早期中生代安山岩及有关侵入岩中的金质量分数很高,平均 780×10^{-9} ,最高 2150×10^{-9} ;早第三纪碱性橄榄玄武岩及有关侵入岩中的金质量分数较高,平均 181×10^{-9} ,最高 920×10^{-9} ;至早第三纪橄榄拉斑玄武岩及有关侵入岩中的金质量分数很低,平均 3.0×10^{-9} ,最高 5.5×10^{-9} 。这些都暗示随火山岩类岩浆来源中岩石圈地幔贡献的减少,其中的金含量也降低^[60];而中段与胶东相比规模较弱的小秦岭-熊耳山金矿带及独特的金堆城-南泥湖钼-钨矿带的出现,暗示其地球动力学引张环境处于更早而较弱的阶段。矿床及有关岩体年龄研究表明,南泥湖-三道庄钼-钨矿与有关岩体的形成年龄最早,分别为141~145 Ma(南泥湖钼矿比三道庄钼-钨矿略晚)和158.2 Ma;中段的钼矿及有关斑岩的形成年龄其次,分别为131.6~133.1 Ma和136.2 Ma左右;而胶东金矿和小秦岭金矿的成矿年龄最

晚,分别为122~123 Ma和126.7~128.5 Ma(胶东金矿比小秦岭金矿晚),其有关花岗岩成岩年龄分别为126~130 Ma(胶东)和138.4~141.7 Ma(小秦岭)^[38,40,61-62],即钼、钨、金矿床及有关岩体的形成顺序与减薄的早晚和弱强的顺序相应。山东基性岩脉出现最晚,为103~123 Ma,接近富集岩石圈地幔向亏损软流圈地幔转化的时间但其源区依旧为富集地幔^[63];小秦岭基性岩脉出现的准确时间尚无确切资料,估计比山东要早一些。上述成岩成矿时间正在前述华北地块南缘岩石圈减薄对成矿贡献的时限之内,即163~136 Ma至100~80 Ma之间。因此,华北地块南缘东、中段金、钼、钨矿床应和岩石圈减薄有关,而且不同程度的岩石圈减薄可能与不同类型的矿床和矿集区形成有关。这可以解释前述华北克拉通南缘东西成岩成矿的差异性,也可以解释华北克拉通北、南两缘向外都表现出的“金→钼→钨”矿床分带现象。

2 结语

(1)岩石圈和软流圈以及岩石圈的不同层次中金、钼、钨等成矿元素的含量是不均一的,它们分别提供了地壳中金、钼、钨矿床的初始物质来源。岩石圈减薄对大规模成矿的贡献是通过消耗岩石圈来实现的,岩石圈减薄导致岩石圈中的成矿元素被消耗带出至地壳中成矿是中国东部金、钼、钨大规模成矿的基本机制。

(2)华北地块岩石圈减薄对金、钼、钨大规模成矿的贡献时限始自构造转折开始时而终至岩浆富集地幔源向亏损地幔源转化期,即可能在163~136 Ma至117~80 Ma之间。

(3)在岩石圈不均一减薄过程中,伴随不同程度软流圈隆起而出现的大规模岩浆作用和深部流体作用对岩石圈中不同成矿元素有不同的活化、转移和富集作用,即岩石圈在时间和空间上的不均一减薄可能是地壳中不同类型的金、钼、钨等矿床和矿集区时空分布差异性的重要原因。

参考文献:

- [1] 赫英,张维萍,岳可芬,等.地球深部包体与成矿关系——一个有意义的研究方向[J].地球科学与环境学报,2010,32(1):24-26.
- [2] 陈国达.地台活化说及其找矿意义[M].北京:地质出版社,1960.
- [3] 丁国瑜.中国岩石圈动力学概论[M].北京:地震出版社,

- 1991.
- [4] 黄汲清, 任纪舜, 姜春发, 等. 中国大地构造基本轮廓[J]. 地质学报, 1977(2): 117-135.
 - [5] 李江海, 钱祥麟, 黄雄南, 等. 华北陆块基底构造格局及早期大陆克拉通化过程[J]. 岩石学报, 2000, 16(1): 1-10.
 - [6] 李四光. 地质力学概论[M]. 2 版. 北京: 地质出版社, 1999.
 - [7] 李曙光, Hart S R, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据[J]. 中国科学(B 辑), 1989(3): 312-319.
 - [8] 马杏垣, 刘和甫, 王维襄, 等. 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造[J]. 地质学报, 1983(1): 22-32.
 - [9] 任纪舜, 陈廷愚, 牛宝贵, 等. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
 - [10] 孙 枢, 张国伟, 陈志明. 华北断块区南部前寒武纪地质演化[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.
 - [11] 袁学诚. 中国地球物理图集[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
 - [12] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
 - [13] 赵国春, 孙 敏, Wilde S A. 华北克拉通基底构造单元特征及早元古代拼合[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(7): 538-549.
 - [14] 赵宗溥. 中朝准地台前寒武纪地壳演化[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
 - [15] 张文佑, 张 抗, 赵永贵, 等. 华北断块区中、新生代地质构造特征及岩石圈动力学模拟[J]. 地质学报, 1983(1): 33-42.
 - [16] Liu D Y, Nutman A P, Compston W, et al. Remnants of $\geq 3\ 800$ Ma Crust in the Chinese Part of the Sino-Korean Craton[J]. *Geology*, 1992, 20(4): 339-342.
 - [17] Liu G D. The Cenozoic Rift System of the North China Plain and the Deep Internal Process[J]. *Tectonophysics*, 1987, 133(3/4): 277-285.
 - [18] Wang J Y, Chen M X, Wang J A, et al. On the Evolution of the Geothermal Regime of the North China Basin[J]. *Journal of Geodynamics*, 1985, 4(1/4): 133-148.
 - [19] 邓晋福. 大陆裂谷岩浆作用与深部过程[C] // 池际尚. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 25-30.
 - [20] 邓晋福, 苏尚国, 刘 翠, 等. 关于华北克拉通燕山期岩石圈减薄的机制与过程的讨论: 是拆沉, 还是热侵蚀和化学交代? [J]. 地学前缘, 2006, 13(2): 105-119.
 - [21] 樊祺诚, 隋建立, 刘若新, 等. 汉诺坝榴辉岩相石榴辉石岩——岩浆底侵作用新证据[J]. 岩石学报, 2001, 17(1): 1-6.
 - [22] 金振民, 高 山. 底侵作用(underplating)及其壳—幔演化动力学意义[J]. 地质科技情报, 1996, 15(2): 1-7.
 - [23] 吴福元, 孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313-318.
 - [24] 许文良, 王冬艳, 王清海, 等. 华北地块中东部中生代侵入杂岩中角闪石和黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年: 对岩石圈减薄时间的制约[J]. 地球化学, 2004, 33(3): 221-231.
 - [25] 徐义刚. 岩石圈的热-机械侵蚀和化学侵蚀与岩石圈减薄[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(1): 1-5.
 - [26] 张 旗, 金惟俊, 王元龙, 等. 大陆下地壳拆沉模式初探[J]. 岩石学报, 2006, 22(2): 265-276.
 - [27] 郑建平. 中国东部地幔置换作用与中生代岩石圈减薄[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
 - [28] 支霞臣, 秦 协. 中国东部地幔橄榄岩捕虏体的 Re-Os 同位素地球化学: 岩石圈地幔的形成年龄和减薄作用的制约[J]. 岩石学报, 2004, 20(5): 989-998.
 - [29] Fan W M, Zhang H F, Baker J, et al. On and off the North China Craton: Where is the Archaean Keel? [J]. *Journal of Petrology*, 2000, 41(7): 933-950.
 - [30] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, et al. Recycling Lower Continental Crust in the North China Craton[J]. *Nature*, 2004, 432: 892-897.
 - [31] Griffin W L, Zhang A D, O'Reilly S Y, et al. Phanerozoic Evolution of the Lithosphere Beneath the Sino-Korean Craton[C] // Flower M, Chung S L, Lo C H, et al. Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia. Washington: AGU, 1998: 107-126.
 - [32] Menzies M A, Fan W M, Zhang M. Paleozoic and Cenozoic Lithoproses and the Loss of > 120 km of Archaean Lithosphere, Sino-Korean Craton, China[J]. *Geological Society, London, Special Publications*, 1993, 76: 71-81.
 - [33] Zhang H F, Sun M, Zhou X H, et al. Mesozoic Lithosphere Destruction Beneath the North China Craton: Evidence from Major-, Trace-element and Sr-Nd-Pb Isotope Studies of Fangcheng Basalts[J]. *Contributions Mineralogy Petrology*, 2002, 144(2): 241-254.
 - [34] Zhou X H, Sun M, Zhang G H, et al. Continental Crust and Lithospheric Mantle Interaction Beneath North China: Isotopic Evidence from Granulite Xenoliths in Hannuoba, Sino-Korean Craton[J]. *Lithos*, 2002, 62(3/4): 111-124.
 - [35] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(10): 913-920.
 - [36] 郑永飞, 吴福元. 克拉通岩石圈的生长和再造[J]. 科学通报, 2009, 54(14): 1945-1949.
 - [37] 朱日祥, 郑天愉. 华北克拉通破坏机制与古元古代板块构造体系[J]. 科学通报, 2009, 54(14): 1950-1961.
 - [38] Yang J H, Wu F Y, Wilde S A. A Review of the Geodynamic Setting of Large-scale Late Mesozoic Gold Mineralization in the North China Craton: an Association with Lithospheric Thinning[J]. *Ore Geology Reviews*, 2003, 23(3/4): 125-152.
 - [39] 赫 英. 地幔岩、地幔流体和成藏成矿作用[C] // 毛景文. 深部流体成矿系统. 北京: 中国大地出版社, 2005: 78-85.
 - [40] 毛景文, 胡瑞忠, 陈毓川, 等. 大规模成矿作用与大型矿集区[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
 - [41] 岳可芬, 赫 英. 中国东部地幔岩包体及其中硫化物相含量的比较研究[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(1): 78-86.
 - [42] 翟明国. 华北克拉通的形成演化与成矿作用[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 24-36.
 - [43] 郭文魁, 刘兰笙, 余志杰. 中国东部成矿域和成矿期及其区域地质背景[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1982(5): 1-29.

(下转第 233 页)

- [9] 吉雄. 地体大地构造理论及其分析、应用[J]. 大地构造与成矿学, 1985, 9(3): 271-287.
- [10] 潘裕生. 青藏高原的形成与隆升[J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 153-163.
- [11] 蒋忠惕. 青藏高原地区的“特提斯”性质、演化及区域构造发育特征[C] //中国地质科学院 562 综合大队. 中国地质科学院 562 综合大队集刊(第 11-12 号). 北京: 地质出版社, 1994: 122-134.
- [12] 陈华慧. 遥感地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [13] 张廷斌, 唐菊兴, 刘登忠. 卫星遥感图像空间分辨率适用性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 79-82.
- [14] 青海省第二区调队. 1:200 000 杂多县幅区域地质调查报告[R]. 西宁: 青海省地质局, 1982.
- [15] 韩德馨, 杨起. 中国煤田地质学(下册)[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.
- [16] 黄克兴, 夏玉成. 构造控煤概论[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1991.
- [17] 宋维刚, 宋生春, 董琳, 等. 青海东北部木里煤田江仓矿区构造特征及其对煤系地层、煤层的控制[J]. 西北地质, 2008, 41(3): 79-85.
- [18] 徐水师, 谭克龙, 曹代勇, 等. 中国煤炭资源遥感调查评价理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] 牛志军, 徐安武, 王建雄, 等. 青海南部二叠纪罗甸期火山岛沉积相模式及对蜓类动物群分布的制约[J]. 中国科学(D 辑), 2008, 38(2): 145-156.
- [20] 牛志军, 段其发, 王建雄, 等. 青海南部治多—杂多—二叠系尔笛组[J]. 地层学杂志, 2006, 30(2): 109-115.
- [21] 王辉, 张峰, 王冰洁, 等. 羌塘盆地晚三叠世构造属性与层序地层格架下聚煤特征[J]. 西北地质, 2009, 42(4): 92-101.
- [22] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原大地构造特征及盆地演化[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

(上接第 224 页)

- [44] 宋叔和. 中国矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [45] 陈毓川, 朱裕生, 龚羽飞. 中国大型超大型矿床的基本特征和勘查现状[J]. 中国地质, 1994(1): 22-26.
- [46] 芮宗瑶, 施林道, 方如恒, 等. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [47] 裴荣富, 熊群尧. 中国特大型金属矿床成矿偏在性与成矿构造聚敛(场)[J]. 矿床地质, 1999, 18(1): 37-46.
- [48] Хэ И. Региональная, Промежуточная и Локальная Зональности Au, Mo, W, Sn-Оруденений на Приме Рудных Районов России и Китая[J]. Геология и Разведка, 1998(1): 154-156.
- [49] 邢作云, 邢集善, 赵斌, 等. 华北地区两个世代深部构造的识别及其意义——燕山运动与深部过程[J]. 地质论评, 2006, 52(4): 433-441.
- [50] 徐义刚. 华北岩石圈减薄的时空不均一特征[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 324-331.
- [51] 闫峻, 陈江峰. 华北地块东部晚中生代至新生代岩石圈不均一减薄与改造模式[J]. 地质论评, 2005, 51(1): 16-26.
- [52] 周新民, 徐夕生, 董传万, 等. 中国东南活动大陆边缘的矿物标志: 钙长石质斜长石[J]. 科学通报, 1994, 39(11): 1011-1014.
- [53] 牛宝贵, 和政军, 宋彪, 等. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义[J]. 地质通报, 2003, 22(2): 140-141.
- [54] 邵济安, 李之彤, 张履桥. 辽西及邻区中-新生代火山岩的时空对称分布及其启示[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 98-106.
- [55] 苏尚国, 周昀若, 顾德林. 山东沂水郯庐断裂带中段中生代火山岩特征及其演化[J]. 地质论评, 1999, 45(增刊): 565-571.
- [56] 张本仁. 地球化学省和壳-幔再循环与成矿的关系[C] //裴荣富, 翟裕生, 张本仁. 深部构造作用与成矿. 北京: 地质出版社, 1999: 121-130.
- [57] 赫英, 岳可芬, 董振信, 等. 再论金伯利岩同周围找寻金矿床的可能性[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊): 388-389.
- [58] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [59] 汤中立, Barnes S J. 岩浆硫化物矿床成矿机制[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [60] 赫英, 王定一, 祝总祺, 等. 胜利油田非烃气藏区火山岩的含金性及其意义[J]. 矿床地质, 1995, 14(3): 291-292.
- [61] 王义天, 毛景文, 卢欣祥, 等. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其意义[J]. 科学通报, 2002, 47(18): 1427-1431.
- [62] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on Crustal Evolution and Gold Metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb Zircon Studies of Granitoids[J]. Ore Geology Reviews, 1998, 13(1): 275-291.
- [63] 胡受奚, 孙景贵, 凌洪飞, 等. 中生代苏-鲁活动大陆边缘榴辉岩、煌斑岩、金矿及富集地幔间的成因联系[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 425-435.