

# 中国白垩纪大陆成矿体系的初步研究及找矿前景浅析

王登红<sup>1</sup>, 陈毓川<sup>2</sup>, 徐志刚<sup>1</sup>

1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037

2. 中国地质科学院, 北京 100037

WANG Deng-hong<sup>1</sup>, CHEN Yu-chuan<sup>2</sup>, XU Zhi-gang<sup>1</sup>

1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, XU Zhi-gang. Preliminary study on Cretaceous mineralization systems in China: Implications for future prospecting. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(2): 231-239

**Abstract:** Cretaceous mineralization systems in China is commonly recognized as having formed in a continental environment. A Paleo-Yinshan-Yanshan, Paleo-Qinling the area encompassed by the North China platform, the Dabieshan, the Yangtze platform and Southeast China contains Cretaceous continental rocks and associated mineralization. By contrast only a few deposits of Cretaceous age have been discovered in Northwest China and Southwest China, thereby suggesting a great potential for prospecting in these areas. In eastern China, important deposits have been discovered, but it is still possible to find new economic deposits, such as the Pengjiakuang and Fayunkuang gold deposits in Jiaodong-Laiyang Basin in Shandong Province and the Changkeng gold deposit in Guangdong Province. Therefore, we suggest to prospect for new metal deposits in and around basins.

**Key words:** Cretaceous; continental mineralization system; minerogenetic series; prospecting

**摘要:** 中国白垩纪大陆成矿体系,是指在白垩纪时期发生于大陆环境(包括大陆边缘)的成矿作用及其成矿地质要素构成的整体。由分布在东北、古阴山—燕山、华北地台、古秦岭—大别、扬子地台和东南沿海等大型、超大型矿集区的12个主要矿床成矿系列,可大致构筑起中国白垩纪的大陆成矿体系。而西北和西南地区已知的白垩纪矿产资源尚少,找矿潜力很大。即使是东部地区,研究程度虽高,但只要开拓思路,深入研究,仍然可以取得找矿新突破,如到盆地找金属矿床,到非金属矿集区找金属矿床,到“山下去找山上的金属矿床”等等。

**关键词:** 白垩纪;大陆成矿体系;矿床成矿系列;找矿前景

中图分类号:P534.53;P617 文献标识码:A 文章编号:1005-2321(2005)02-0231-09

大陆成矿体系的研究目前还处于探索阶段。我们理解的“中国成矿体系”,是指中国境内各个地质历史时期所形成的矿床及其与成矿作用密切相关的地质要素所共同构成的整体。此处的地质要素,包括成矿时代、成矿时的大地构造背景、具体的成矿地质环境、与成矿有关的地质作用及其过程、控矿构造、赋矿围岩等等。对于每一个具体的矿床成矿系列而言,一般涵盖了成矿时代、构造环境、地质成矿

收稿日期:2004-12-20;修回日期:2005-01-10

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200420190004, K1.4, 200310200002);科学技术部国家科技攻关计划 2003BA612A-01 课题;国家自然科学基金项目(40202012, 40332020);国土资源部百人计划项目

作者简介:王登红(1967—),男,研究员,主要从事矿床学及与成矿有关问题的研究。E-mail: wangdenghong@sina.com

作用和元素及矿种四个要素。因此,采用矿床成矿系列这一基本单位来构筑中国成矿体系是比较合适的<sup>①</sup>。由此,中国白垩纪大陆成矿体系是指在白垩纪时期发生于大陆环境(包括大陆边缘)的成矿作用及其成矿地质要素构成的整体。本文试图从成矿系列的角度来初步构筑中国白垩纪时期的大陆成矿体系,并在此成矿体系的框架内初步探讨找矿前景。

## 1 白垩纪矿产资源的时空分布

中生代是我国最重要的成矿期之一,不但有大量的内生金属矿床,也有丰富的表生矿产资源。其中,主要形成于白垩纪的矿产资源大量地分布在中国东部,自北向南形成了若干个大规模成矿集中区:

(1)东北超大型矿集区。该矿集区以北北东向盆岭构造为特点,中部是古兴安岭造山带,西侧为海拉尔—锡林浩特盆地,东侧为松辽盆地。在松辽盆地以东地区为三江近海盆地和造山带。其中古兴安岭造山带地区主要是有色、稀有金属,如内蒙古的巴尔哲超大型稀土稀有金属矿床(127.2~125 Ma<sup>[1]</sup>),闹牛山、莲花山、布墩花等地的铜多金属矿床,浩布高、甲乌拉、查干布拉根、三河、二道河等地的铅锌矿;古兴安岭造山带海拉尔盆地区则以煤矿大量出现为特点,如内蒙古的胜利和白彦花超大型煤矿均赋存于白垩系下统巴彥花组中,其他还有白彦花、白音乌拉、锡林浩特、吉林郭勒、巴彦呼硕、马尼特、大雁、伊敏、马达木吉、巴彦哈达、宝日希勒、灵东、灵泉等一大批大中型煤矿,主要赋存在下白垩统大磨拐河组、伊敏组、西岗子组和九峰山组等陆相沉积地层中;松辽盆地则以石油、油页岩、含锆煤矿和膨润土矿床为特点,包括黑龙江的大庆油田、吉林的扶余油田及农安(超大型)、登娄库(大型)等油页岩矿床、营城大型煤锆矿及刘房子、羊草沟和石碑岭等地的膨润土矿床。在松辽盆地以东地区的三江近海盆地中,形成有鸡西、双鸭山等地的一系列煤矿,主要赋存在下白垩统城子河组、穆棱组中;而三江近海盆地周边的造山带或隆起区则形成有金矿,如黑龙江的团结沟、杜家河等金矿与燕山晚期的花岗闪长斑岩有关。可见,东北地区的白垩纪成矿体系自西向东呈“煤→稀土稀有、铜、铅锌→石油、油页岩、锆煤、膨润土→煤、金”的有序分布格局。

(2)古阴山—燕山(华北地台北缘)东西向矿集区。在一定程度上该矿集区与东北矿集区的南侧有

重叠,但在成矿作用方面也可以自成体系,包括赋存在九佛堂组( $K_1$ )中的内蒙古杨树沟和辽宁野马套海油页岩、阜新组( $K_1$ )中的内蒙古元宝山和辽宁铁法煤矿等、固阳组( $K_1$ )中的乌拉山和固阳煤矿等。金属矿产主要是与燕山晚期闪长岩、石英斑岩和二长斑岩等中酸性侵入岩有关的铜、金、铅锌矿,如河北的蔡家营式铅锌矿、辽宁的二棚甸子式多金属矿床(含正岔、万宝)、通化式铜矿、南岔—沙窝沟式金矿(含金厂沟)。其中,蔡家营铅锌矿是华北地台北缘最大的铅锌矿之一,赋存在元古宙红旗营子群变质岩中,但与成矿有关的花岗岩的同位素年龄变化于134.0~118.9 Ma和158.1~113.6 Ma<sup>[2,3]</sup>。华北地台北缘许多金属矿床具有多期次成矿特点,其中保存有白垩纪成矿记录的矿区还有:①金厂沟梁—二道沟金矿区第二期含金石英脉型为121.5~72.5 Ma,斑岩型铜钼矿化主期为123~121 Ma<sup>[4]</sup>;②红花沟含金石英脉的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄为80.9 Ma<sup>[5]</sup>;③辽宁排山楼金矿区变形闪长玢岩脉、变形花岗斑岩脉、成矿后闪长玢岩脉和大石头沟黑云母花岗岩的SHRIMP锆石U-Pb年龄分别为126、124、125和124 Ma,表明排山楼韧性剪切带型金矿可能是燕山晚期形成的,且与矿石中蚀变黑云母的Ar-Ar年龄124.4 Ma十分接近<sup>[6]</sup>;④撰山子金矿花岗斑岩的K-Ar年龄为123 Ma<sup>[7]</sup>;⑤安家营子含金斑状二长花岗岩岩体的Rb-Sr等时线年龄为130.7 Ma<sup>[7]</sup>,成矿于126~132 Ma<sup>[8]</sup>。

(3)华北地台超大型矿集区。该矿集区自西向东由鄂尔多斯→晋陕高地→古太行山→华北盆地→胶辽隆起等次级单元构成,已知的白垩纪矿产资源不如前两个矿集区(目前仅知山西的义兴寨金矿、支家地银矿、刁泉式铜金银矿和塔儿山式铁金矿可能形成于白垩纪),但胶东地区金矿大量发育。胶东地区与金矿床具有空间联系的花岗岩一般形成于152~160 Ma<sup>[9,10]</sup>,但成矿年龄多数集中在126~100 Ma。杨进辉等<sup>[11]</sup>对玲珑金矿主成矿期载金矿物(黄铁矿)进行了Rb-Sr同位素研究,认为121.6 Ma是玲珑金矿的主成矿期;卢焕章等<sup>[9]</sup>测得玲珑花岗岩的K-Ar年龄为152.7 Ma、Rb-Sr年龄为154~156 Ma,但他认为大部分矿床形成于100~126 Ma;关康等<sup>[12]</sup>测得郭家岭型花岗岩的年龄为130~126

① 陈毓川,王登红,徐志刚,等. 中国成矿体系与区域成矿评价(科技报告). 2004. 6

Ma, 成矿后花岗斑岩脉的年龄为 120 Ma, 主要金矿化期限在 126~120 Ma 之间; 李厚民等(2003)<sup>[13]</sup>对位于焦家—新城金矿带中的东季金矿矿脉中的石英及其两侧的蚀变钾长石进行了研究, 测得东季金矿钾长石 Ar-Ar 坪年龄为 116.07 Ma, 等时线年龄为 116.34 Ma, 石英脉中石英 Ar-Ar 坪年龄为 115.22 Ma, 等时线年龄为 114.44 Ma; 杨进辉等<sup>[11]</sup>测得新城金矿黄铁绢英岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 116.6 Ma。结合焦家、仓上等大型超大型金矿蚀变矿物、石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄、K-Ar 年龄 105、106 和 113.5 Ma, 认为胶东半岛西北部破碎带蚀变岩型金矿的成矿时代主要集中在 100~117 Ma。栖霞金矿是胶东产于变质岩中石英脉型金矿的代表, 其 Rb-Sr 等时线年龄为 125.8 Ma<sup>[14]</sup>。另外, 在下白垩统青山组中赋存有钓鱼台超大型硫铁矿、涌泉庄膨润土矿及宋官瞳、化山和荆山等重晶石矿, 邢家山的大型钼矿和孔辛头的铜钼矿也与燕山晚期花岗闪长岩有关。

(4) 古秦岭—大别山(华北地台南缘)东西向矿集区。在其西部古秦岭地区分布有与燕山晚期花岗岩和隐爆角砾岩有关的雷门沟钼矿和祁雨沟金矿, 在中部大别山地区分布有与燕山晚期花岗岩有关的尖山大型萤石矿床、与早白垩世中酸性火山岩有关的皇城山银矿及上天梯—刘家冲膨润土矿及赋存在上白垩统胡岗组中的王城芒硝矿。小秦岭地区的东沟大型金矿形成于 143~128 Ma<sup>[15]</sup>。

(5) 扬子地台超大型矿集区。该矿区虽然也呈现“盆岭相间”的格局, 但盆地主要呈北东向且规模较小。其中, 在扬子地台西缘的下白垩统马头山组中赋存有砂岩型铜矿(如四川的大铜厂、云南的大村、六苴、牟定等), 在高峰寺组中也赋存有凹地苴等砂岩铜矿; 在上白垩统海棠井组中赋存有大量的芒硝矿床, 如四川的金华(超大型)、眉山、白塔、公义、邓庙、草坝等; 在长江中下游的下白垩统龙王山—大王山组火山岩中赋存有膨润土(如江苏甲山, 大型)、上白垩统跑马岗组中赋存有超大型石膏矿(如湖北的子陵铺和麻城铺, 超大型), 与燕山晚期岩浆作用有关的金属矿床以铁、铜、钨钼为主, 如江苏的梅山、麒麟山及安徽的凹山、姑山、白象山等铁矿, 湖北的阮家湾钨钼矿、龙角山铜钨矿、安徽的沙溪铜矿、江苏的安基山铜矿和伏牛山铜矿等; 在南岭及滇东南地区则形成了目前世界上最重要的锡多金属矿带, 包括广西大厂和云南个旧在内的超大型锡多金属矿

床, 均形成于白垩纪。其他的大中型矿床还有云南的白牛厂银多金属矿床、老君山钨矿和广西的五圩锡矿、大明山钨矿、两江铜矿、笔架山水晶矿床、芒场锡矿和高田钨矿等。

(6) 东南沿海北东向超大型矿集区。该矿集区主要与白垩纪陆相火山岩和燕山晚期花岗岩有关, 如浙江的矾山超大型明矾石矿床、后岸银矿和金田寺银矿, 广东的厚婆坳和西岭锡矿, 海南的羊角岭超大型水晶矿、什统大型萤石矿及富文金银矿、泗顶岭水晶矿、石门山钼矿、后万岭钼矿及南好多金属矿床等。成矿作用可波及内地的江南古陆, 如安徽的白茅岭大型萤石矿、新潭和大山的大型膨润土矿, 江西的谢坊大型萤石矿和岩背锡矿<sup>①</sup>。

(7) 西北地区的白垩纪成矿作用, 以往所知甚少, 近年来的研究表明, 白垩纪时也发生过重要的成矿作用, 如在新疆可可托海 3 号伟晶岩脉测得块状石英-微斜长石带中微斜长石的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄 148 Ma, 等时线年龄 115 Ma<sup>[16,17]</sup>。天山山脉在白垩纪有一次明显的抬升<sup>[18]</sup>, 与天山隆起相对应, 焉耆盆地最显著的抬升降温事件也主要发生在白垩纪<sup>[19]</sup>, 但成矿作用除了油气之外, 已知的同期金属矿床尚属罕见。

(8) 西南部地区(相当于现今青藏高原的区域)白垩纪的成矿作用研究程度也低, 虽然在三江带和冈底斯带均有已知矿床, 如云南的小龙河锡矿、西藏的罗布萨铬铁矿等, 但总体上还没有形成矿集区, 找矿前景很大。

## 2 白垩纪大陆成矿体系的初步构筑

从上述主要矿床的分布特征可以看出, 中国白垩纪的成矿作用具有鲜明的大陆成矿特点, 总体上早白垩世强于晚白垩世, 东北强于西北, 华南强于华北。根据成矿作用、时间、空间和成矿元素或矿种的组合关系, 从成矿系列的角度, 可以认为中国白垩纪的成矿体系可以由以下 12 个矿床成矿系列构成(跨时代的矿床成矿系列在此不细述):

(1) 大兴安岭西侧戈壁盆地与白垩纪沉积作用有关的煤、膨润土、锆、沸石、菱铁矿成矿系列。大兴安岭地区在晚侏罗世时属于兴安火山岩盆地区, 到早白垩世开始逐渐分化出海拉尔、黑河和锡林浩特

① 裴荣富等. 中生代成矿作用(研究报告). 2003. 6

等内陆断陷成因的火山碎屑盆地,但到晚白垩世很快又消失,被古兴安岭所代替。在这些火山碎屑盆地中普遍形成了煤矿,根据盆地可区分出不同的成矿亚系列:①海拉尔盆地与白垩纪陆相碎屑岩、泥质岩有关的煤矿成矿亚系列。海拉尔盆地的煤矿统称为海拉尔式,包括拉布达林、灵东、灵泉、西胡里吐、宝日希勒、巴彦哈达、马达木吉、伊敏、大雁等;②黑河盆地与白垩纪陆相碎屑岩、火山碎屑沉积岩有关的煤矿成矿亚系列。主要分布在黑龙江,其中赋存于九峰山组中的煤矿称为黑宝山式,包括黑宝山、金水等煤矿;③锡林浩特—巴彦和硕盆地与白垩纪陆相碎屑岩及泥质岩有关的煤矿成矿亚系列。赋存在下白垩统白彦花组中的煤矿称为白彦花式,包括巨里贺、马尼特、白音华、巴彦呼硕、西乌旗、吉林郭勒、锡林浩特、胜利、白音乌拉、赛汗塔拉等。

(2) 松辽盆地与白垩纪沉积作用有关的石油、油页岩、膨润土矿床成矿系列。松辽盆地在白垩纪得到迅速发展,在其中部和东南部分别形成两个亚系列:①松辽盆地中部与白垩纪陆相砂泥质岩有关的石油、油页岩成矿亚系列,包括黑龙江大庆式的油气矿藏(含吉林的扶余油田)和农安式(登娄库、永安、小合隆)的油页岩矿床;②松辽盆地东南部与白垩纪陆相碎屑岩及泥质岩有关的煤、膨润土成矿亚系列,包括赋存在下白垩统大羊草沟组中的煤矿(称为九台式煤矿),如营城、羊草沟、石碑岭、刘房子等。

(3) 双鸭山—鸡西近海盆地与白垩纪陆相及海陆过渡相碎屑岩有关的煤矿成矿系列。双鸭山、鸡西一带的煤矿资源很丰富,包括兴山、兴安、东辉、集贤、七星河、宝山、新安、双阳、方盛、北兴、岚峰、金沙、密山、龙湖、四海、正阳、滴道、小恒山等几十处煤矿,其中赋存在鸡西群中的煤矿称为鸡西式。

(4) 华北地台及周边与中生代后期陆相盆地碎屑岩、泥质岩有关的煤、油页岩矿床成矿系列。华北地台及周边地区的中生代盆地不少,但规模不大,可以视为统一构造体制下形成的内陆盆地,不同的小盆地作为控制沉积矿床成矿亚系列的基本构造单元。其中,在固阳盆地、多伦盆地、赤峰盆地均有白垩纪的煤矿,但与侏罗纪的成矿作用具有继承性。

(5) 华北地台东部与燕山期壳幔双源基性-中酸性-碱性浅成超浅成侵入岩有关的 Au、Cu、Mo、Pb、Zn、硫矿床成矿系列。在新生代渤海盆地形成之前,华北地台东部的胶辽隆起是一个重要的矿集区,形成有我国最重要的以金为主的白垩纪矿床成

矿系列,包括 5 个亚系列:①营口—丹东与燕山期中酸性火山-侵入岩有关的 Au、Cu、Mo、Pb、Zn、Fe 矿床成矿亚系列。五龙金矿主成矿阶段石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 120 Ma,稍晚于三股流花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 法年龄(131 和 129 Ma)<sup>[20]</sup>;②胶东与印支—燕山期混合花岗岩有关的 Au、Ag、Cu 矿床成矿亚系列,包括十里铺式银矿(含虎鹿乔)、发云乔式金矿、蓬家乔式金矿、玲珑式金矿(马家窑、邓格庄、金青顶)、焦家式金矿(金牛山式、新城、三山岛、金翅岭、大尹各庄、姜家窑、上庄)等。综合各方面资料,可以认为胶东金矿主要形成于早白垩世,以 120 Ma 为高峰期<sup>[21]</sup>,而且所测得的成矿时代数据比较集中,不像华北地台北缘那样常常出现多期次叠加的现象;③胶东北部与燕山期中酸性侵入岩有关的 Mo、Cu、Pb、Zn 成矿亚系列,包括邢家山式钼矿(含孔辛头)、福山王家庄式铜矿、栖霞香乔式硫-铜矿(含尚家庄);④胶东南部与白垩系火山碎屑岩有关的重晶石、硫铁矿、膨润土矿床成矿亚系列,包括涌泉庄式、宋官瞳式(含化山、荆山)和钓鱼台式;⑤鲁中凹陷 Cu、Mo、W、Pb、Zn、Au 矿床成矿亚系列,包括邹平的王家庄、堆金山等铜钼矿床。

(6) 华北地台西部与燕山期壳幔源基性-中酸性-碱性浅层超浅层侵入岩有关的 Au、Fe、Cu、Mo、Pb、Zn 矿床成矿系列。成矿作用很强,包括 5 个亚系列,但目前比较确切的白垩纪矿床只有义兴寨金矿(主成矿期石英<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄 131.4 Ma)<sup>[22]</sup>、塔儿山式铁金矿(与成矿有关岩体 K-Ar 年龄为 80~140 Ma)<sup>[23]</sup>。

(7) 长江中下游与燕山期壳幔源侵入-喷出岩有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag 多金属矿床成矿系列。该矿床成矿系列中属于白垩纪的矿床主要集中在庐枞—宁芜火山盆地,形成一个与壳幔源中基性-中酸性-碱性火山岩有关的 Fe、Cu、Au、P、S、明矾石矿床成矿亚系列,包括铜井式、罗河式、沙溪式、安基山式(含伏牛山)、梅山式(含吉山)、凹山式、白象山式(含麒麟山)。安基山铜(钼)矿床产于燕山晚期花岗闪长斑岩-石英闪长玢岩中,以斑岩型和夕卡岩型为主,岩体单矿物 K-Ar 年龄为 123.1~106.0 Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 108 Ma;铜山铜(钼)矿床与燕山晚期石英闪长玢岩有关,夕卡岩型,主岩体 K-Ar 年龄为 117.0 Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 106 Ma<sup>[24]</sup>。沙溪岩体形成于 127.9 Ma<sup>[25]</sup>或成岩于 143.37 Ma(Rb-Sr 法)而成矿于

123.6 Ma( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法)<sup>[26]</sup>。铜牛井铜钼矿形成于130.92 Ma<sup>[27]</sup>。

(8) 江南隆起与燕山期壳源花岗岩有关的 W、Sn、Mo、Hg、Sb、Be、Nb、Ta、Pb、Zn、U、萤石矿床成矿系列。该矿床成矿系列包括大量的矿产资源, 规模大, 数量多, 集中分布在江南地轴的老变质岩区。其中形成于白垩纪的有江西的香炉山钨矿、阳储岭钨矿(其花岗闪长岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 140.5 Ma,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  等时线年龄为 134.0 Ma)<sup>[28]</sup>、相山铀矿(铀-赤铁矿化发生在 115 Ma, 铀-萤石-水云母化发生在 99 Ma)<sup>[29]</sup>、冷水坑银多金属矿床(花岗岩 Rb-Sr 年龄为 131.0 Ma, 火山岩 Rb-Sr 年龄为 129.7 Ma)<sup>[30]</sup>、葛源铋钨矿(132~105 Ma)、银山式铅锌银矿(129.5 Ma)。

(9) 南岭与燕山期中浅成花岗岩类有关的稀土、稀有、有色金属及 U 矿床成矿系列。该矿床成矿系列也包括大量的矿产资源, 规模更大, 数量更多, 分布更广, 而且多分布在古生代地层褶皱区, 并且也是跨时代的。其中: ①赣南—粤北—闽西与燕山期花岗岩类有关的 W、REE、Nb、Ta、Mo、Bi、Sn、U 矿床成矿亚系列, 包括西华山、漂塘、焦里、岩背、新坊、大吉山、行洛坑、足洞和 211 式铀矿等的矿床主要形成于侏罗纪末期—白垩纪初期; ②南丹—河池海西—印支拗陷带与燕山晚期花岗岩类有关 Sn、Pb、Zn、Cu、Sb、Ag、As、Hg、S 矿床成矿亚系列, 包括大厂式、环江式和益兰式, 主要形成于白垩纪<sup>[31]</sup>。

(10) 滇东南与燕山期壳源花岗岩有关的 Sn、W、Ag、Cu、Pb、Zn 矿床成矿亚系列。包括个旧式(含老厂、卡房)、白牛厂式、都龙式(含老君山)、木利式(含洗马塘、小锡板)。其中, 都龙铅锌银铜矿石的 Rb-Sr 全岩等时线年龄为 73.69 Ma, 矿石单矿物 Rb-Sr 等时线年龄为 76.7 Ma<sup>[32]</sup>。

(11) 东南沿海与燕山期火山-侵入活动有关的 Fe、Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Hg、W、Sn、Mo、Nb、Ta、萤石、叶蜡石、明矾石、沸石、膨润土矿床成矿系列。东南沿海的中生代火山岩非常发育, 主要发生在晚侏罗世以后, 在空间上有自南向北推进的趋势, 即从燕山早期的永安—梅州—会昌一带, 到燕山晚期早阶段的闽粤赣, 再到燕山晚期晚阶段集中在浙江和福建北部, 矿种也从 Cu、Fe 到 W、Sn、Nb、Ta, 再到 Pb、Zn、Mo 和萤石、叶蜡石、明矾石等非金属矿床。其中: ①闽粤赣与燕山晚期早阶段与侵入岩有关的

Fe、Cu、W、Sn、Nb、Ta 矿床成矿亚系列, 主要分布在福建南部和广东东部以及江西的东南角, 矿床类型比较复杂, 其中, 与浅成火山-次火山岩有关的铜金矿床称为紫金山式, 与斑岩-次火山岩有关的钨矿称为莲花山式、锡矿称为长埔式、锡铅锌银矿床称为厚婆坳式。紫金山岩浆侵入于 133~118 Ma, 也是铜、金主要成矿期; 区内火山-次火山活动发生 100~105 Ma, 伴随有金矿化; 英安玢岩年龄(73 Ma)代表了该区最晚一次成岩成矿作用<sup>[33]</sup>。②浙闽燕山晚期晚阶段与火山岩有关的 Pb、Zn、Mo、Ag、非金属矿床成矿亚系列。包括福建胡安的赤路式钼矿、浙江五部式铅锌银矿、青田式叶蜡石矿床、矾山式明矾石矿床、老虎头式沸石矿床和武义式萤石矿床等。浙江东部与火山岩有关的非金属超大型矿床, 如缙云老虎头沸石、苍南矾山明矾石、松阳峰洞地开石、青田山口叶蜡石等, 成矿晚于成岩, 沸石为 53~70 Ma(其围岩为 73~86 Ma), 明矾石为 72~95 Ma(其围岩为 87~110 Ma)。通过明矾石激光微区 Ar-Ar 等时年龄与区域地层(87~110 Ma)和矾山明矾石矿床直接围岩 K-Ar 年龄(95~101 Ma)的对比, 矾山明矾石矿床的成矿时代为 74.50 Ma, 大致要比区域火山活动晚 10~20 Ma 左右<sup>[34]</sup>。武义盆地内的萤石矿矿化年龄为 80~95 Ma<sup>[35]</sup>。

(12) 上扬子台褶带沉积岩容矿的 Pb、Zn、Hg、Au、Ag、Sb、As、萤石、重晶石矿床成矿系列。该矿床成矿系列涵盖了扬子地台西部主要的低温热液成矿域, 矿区岩浆活动微弱, 矿种以 Sb、Hg、As、Pb、Zn、Au、萤石等为主, 但确切的成矿时代资料少, 其中湖南的锡矿山式锑矿形成于 127.8~118.4 Ma 并可能延续到新生代<sup>[36]</sup>, 贵州的紫木幽式金矿形成于 105 Ma<sup>[37]</sup>。

### 3 讨论与结论——白垩纪大陆成矿体系形成的环境与找矿前景

总体上看, 白垩纪的变质作用不太发育, 除了在四川丹巴等地形成有伟晶岩型白云母矿床之外, 主要是与岩浆作用有关的内生金属矿床和与沉积作用有关的表生矿床。白垩纪的沉积作用继承了侏罗纪的特点, 即海相、陆相和火山岩相同时存在, 但具有区域性分布特点, 并且海相沉积的范围越来越小。中国东部仍是中小型盆地, 并且以火山岩发育为特点, 但也新形成了一些规模较大的盆地, 如松辽、华

北、苏北和江汉“四大”盆地,是油气和膏盐矿产资源的重要赋存地;中部的四川盆地和陕甘宁盆地范围较侏罗纪缩小,以红层为主,常见蒸发岩。中国西部在白垩纪仍处于“南海北陆”,但南方的海洋越来越小,北方的沉积由潮湿变为干旱。岩浆作用以东南沿海火山岩的广泛发育、华南中酸性岩浆岩大面积侵位、长江中下游、华北地台北缘和南缘中酸性条带状分布为特点,伴随有强烈的成矿作用,是我国岩浆热液型金矿、锡矿、锑矿及夕卡岩型多金属矿床最重要的成矿期。大兴安岭、扬子地台西部、秦岭及西北和西南部的广大地区,由于研究程度低,岩体出露少而小,以往地质调查重视不够,已知矿床相对少,但这并不排除发生大规模成矿作用的可能性,因此,需要从成矿系列的角度重新认识这些地区的找矿前景。

根据对中国主要矿床成矿系列的研究<sup>①</sup>,燕山旋回有 33 个矿床成矿系列(白垩纪为主的占 1/3), 97 个亚系列,是 11 个主要成矿时代中最多的,但以百万年为单位来衡量却不如印支旋回和喜马拉雅旋回,表明其找矿前景仍然很大,尤其是中国西部地区发现白垩纪矿床乃至矿集区的可能性不容忽视。下面仅从白垩纪地层的含矿性角度作一粗略分析。

据不完全统计,中国白垩系地层中(以《中国地层典·白垩系》<sup>[38]</sup>中收录的名称为准),至少有 64 个组含有已知的沉积矿床(含矿但成因上与同期或后期侵入岩有关的层位不计在内),其中  $K_1$  最多(26 处),其次是  $K_2$  (16 处),  $K_3$  最少(13 处),跨时代( $K_{1-2}$ 和  $K_{2-3}$ ) 9 处,并且具有“北早( $K_1$ 为主)南晚( $K_2$ 、 $K_3$ )”、“北煤南盐”的特点。具体如下:

(1)  $K_3$  含矿地层有云南的曼宽河组 and 江底河组(砂岩铜矿、石膏、钙芒硝等),四川的灌口组(石膏、钙芒硝),青海的民和组(石膏)、内蒙古的乌兰苏海组 and 金刚泉组(石膏)、河南的马家村组 and 高沟组(石膏等)、湖北的公安寨组(石膏)和跑马岗组(石膏及含铜页岩)、广东的三水组(石膏)、福建的沙县组(石膏、砂岩铜矿等)等。以石膏、钙芒硝和砂岩铜矿最发育,其中福建的沙县组厚度大于千米,在上杭梯子岭、连城及宁化夹钙芒硝薄层,在永安城南和宁化五里亭夹石膏,在上杭、宁化和禾口夹透镜状含铜砂岩,在连城朋口、坎下、天马、吴坑等地夹膨润土、沸石矿体。

(2)  $K_2$ — $K_3$  含矿地层有甘肃的马莲沟组(石膏)、江苏的浦口组(富含石膏、钙芒硝、芒硝、盐岩。

在淮阴苏淮 123 孔见纯盐层 22 层,累计厚度 281 m)、山东的王氏组(石膏和砂岩铜矿)、四川的小坝组(石膏和铜矿化)、新疆的乌依塔克组(石膏)等。

(3)  $K_2$  含矿地层有广东的白鹤洞组(石膏)、湖南的神皇山组(玄武岩淋滤型铜矿)、黑龙江鸡西的猴石沟组(煤)、青白口组(油页岩)、太平林场组(油页岩)、永安村组(石膏、煤)、嫩江组(油页岩)、姚家组(油页岩)、辽宁的泉头组(石膏)、江苏的葛村组(钙基膨润土矿、石膏)、宁夏的乃家河组(石膏、油页岩)、云南的虎头寺组(砂岩铜矿)等。

(4)  $K_1$ — $K_2$  含矿地层有甘肃的河口群(石膏)、内蒙古的庙沟组(石膏)、宁夏的马东山组(石膏、油页岩)、新疆的连木沁组(石膏)等。

(5)  $K_1$  含矿地层有甘肃的鸡山组(煤)、赤金堡组(煤线、石膏、泥灰岩、菱铁矿)、下沟组(石膏、赤铁矿、菱铁矿)、黑龙江的城子河组(煤)、滴道组(煤)、穆棱组(煤)、吉林的长财组(煤)、沙河子组(煤、膨润土)和营城组(煤)、辽宁的阜新组(煤)、内蒙古的东胜组(煤)、伊敏组和固阳组(煤和石膏)、新疆的胜金口组(菱铁矿和石膏)、宁夏的和尚铺组(砂砾岩型铜矿化和铀矿化)、山西的羊投崖组(煤)、湖北的灵乡组(五里墩石膏矿)、四川的飞天山组(铜)、西藏的多尼组(煤)、楚木龙组(煤)、扎旺子组(含铁)、日杂那组(含铁)、曼曲河组(含铁)和贡巴麻那组(含铁)等。

上述沉积矿产明显地只在东北地区,由于工作程度相对较高而发现了一系列的重要矿床(如鸡西的煤矿),而其他地区虽然点多面广,但矿床的发现率不高,主要是工作程度低,而非没有矿。与岩浆过程有关的成矿作用除了在胶东形成以金为主的大型矿集区、在江南古陆形成以银铅锌为主的大型矿集区、在南岭及滇东南形成钨锡多金属矿集区、在扬子地台西部形成浅成低温热液型矿集区、在东南沿海形成铜金非金属矿集区等之外,在地域辽阔的西部地区已知矿床却寥若晨星,找矿潜力很大,但需要投入大量的调查与研究。实际上,即使是研究程度很高的东部地区,也不是矿已找尽。如,胶东地区近年来在胶莱盆地中发现的蓬家乔和发云乔等大型金矿,均形成于白垩纪,并且与胶东北部焦家式金矿、玲珑式金矿等的形成时代(115~126 Ma)基本相同。其中,蓬家乔金矿的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄为 117.33

① 陈毓川,王登红,徐志刚,等. 中国成矿体系与区域成矿评价(研究报告). 2004-06

~118.42 Ma<sup>[21]</sup>, 大庄子金矿为 117.39 Ma, 发云齐金矿中黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 128.49 Ma。可见, 找矿工作还需要开拓思路, “到山下去找山上的矿床”也不是不可能。如广东三水盆地发现的长坑大型金矿和富湾超大型银矿(目前中国最大的独立银矿)位于西江边, 交通非常方便, 也是白垩纪形成并延续到新生代初期的矿床<sup>[39]</sup>。

东南沿海的白垩纪火山岩很发育, 其中厚度 1 km 以上的有福建的石牛山组(K<sub>3</sub>)、寨下组(K<sub>2</sub>)、黄坑组(K<sub>2</sub>)、赤水组(K<sub>1</sub>)、坂头组(K<sub>1</sub>), 海南的岭壳村组(K<sub>3</sub>)、六罗村组(K<sub>2</sub>)、浙江的塘上组(K<sub>3</sub>)、方岩组(K<sub>2</sub>)、大爽组(K<sub>1</sub>)、湖北的大寺组(K<sub>1</sub>)、江苏的大王山组(K<sub>1</sub>)、辽宁的义县组(K<sub>1</sub>)、内蒙古的白女羊盘组(K<sub>1</sub>)、西藏的叶巴组(K<sub>2</sub>)、达果奴玛组(K<sub>1</sub>—K<sub>2</sub>)等。这些强烈喷发的陆相火山岩一般伴随有次火山岩, 并且保存有发育良好的火山机构, 有利于斑岩型铜、金多金属矿床和浅成低温热液型金矿及非金属矿床成矿的形成与保存, 但目前已知的矿床很少, 应该加强对这些火山岩区的调查与研究, 扩大找矿前景是很有希望的。福建双旗山浅成脉型金矿的发现即是明证<sup>[40]</sup>。厚度不到千米但含矿性较好的地层也需要重视, 如浙江的西山头组, 在中厚层块状流纹岩和熔结凝灰岩中赋存有青田的塘后和小寺、温州的岭下和三门岔坑等 Pb-Zn 矿床, 在临海有芳周亭 Cu-Zn 矿床, 在象山和临海分别有黄岙和田坑的磁铁矿, 在青田有世界闻名的山口叶蜡石(青田石)矿床<sup>[41]</sup>。

白垩纪时期有一些全球性的大事件, 如 125~120 Ma 期间翁通爪哇海台的形成与 Aptian 地幔柱有关<sup>[42]</sup>, 而这一时期(及其前后)恰恰是中国东部大规模成矿作用的爆发期, 如胶东的金矿、长江中下游的多金属矿床、华南的铀矿及有色金属矿床等。但是, 年龄数据上的“巧合”并不会自然而然地揭示出二者之间是否存在内在的必然联系, 还需要进行大量的深入研究。限于篇幅, 关于中国白垩纪大陆成矿体系形成的构造背景及其在全球的地位、大陆成矿体系与大洋成矿体系的关系等问题, 将在以后专文讨论, 在此从略。

## References:

[1] WANG Yixian, ZHAO Zhenhua. Geochemistry and genesis of the Ba'eze superlarge REE-Nb-Be-Zr deposit[J]. *Geochemistry*, 1997, 26(1):24-35(in Chinese).

[2] ZHANG Changjiang. Geological features of the Caijiaying Pb-Zn-(Au-Ag) deposit in Hebei[J]. *Mineral Deposits*, 1990, 9(4):301-308(in Chinese).

[3] HUANG Dianhao, DING Xiaoshi, WU Chengyu, et al. *Caijiaying Pb-Zn-Ag deposit*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992(in Chinese).

[4] ZHOU Naiwu. Coordination of ore-forming age data for the Jinchanggouliang Au(Cu) ore-field[J]. *Bulletin of Gold*, 2000, 2(3):180-185(in Chinese).

[5] HU Daxiang, LUO Guiling. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of gold-bearing quartz veins and their geological significance in typical gold deposits of Zhangjiakou-Xuanhua gold field, Hebei Province[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1994, 29(2):151-158(in Chinese).

[6] LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, GUAN Kang, et al. The SHRIMP age and its significance of magmatic zircon from the Paishanlou gold mine, Fuxin, Liaoning[J]. *Geochemistry*, 2001, 30(5):483-490(in Chinese).

[7] WANG Shiqi, SUN Chengzhi, CUI Wenyuan. *Geology of Gold Deposits in Chifeng, Neimonggu*[M]. Hohhot: People Press of Neimonggu, 1994(in Chinese).

[8] LI Yonggang, ZHAI Mingguo, YANG Jinhui, et al. Ore-forming age of the Anjiayingzi gold deposit, Chifeng, Neimonggu, and its implication for the mineralization bursting in north China[J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 33(10):960-966(in Chinese).

[9] LU Huanzhang, YUAN Wanchun, ZHANG Guoping, et al. Stable isotopes studies and age dating of gold deposits and Linglong granites in Linglong-Jiaojia area, Shandong, China[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 1999, 19(1):1-8(in Chinese).

[10] WANG Jijun. Discussion on genesis of Linglong granite[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2000, 15(4):289-298(in Chinese).

[11] YANG Jinhui, ZHOU Xinhua. Rb-Sr isochron age and mineralization time of ores and gold-bearing minerals from Linglong, Jiaodong Area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(14):1547-1553(in Chinese).

[12] GUAN Kang, LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, et al. Geochronology of Zircon from Guojialing granite and its lead isotopic features, Zhaoye, Jiaodong[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1997, 18(Suppl):142-144(in Chinese).

[13] LI Houmin, MAO Jingwen, SHEN Yuanchao, et al. Ar-Ar ages of K-feldspar and quartz from Dongji gold deposit, Northwest Jiaodong, and their significance[J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(1):72-77(in Chinese).

[14] ZHAI Jianping, XU Guangping, HU Kai. Mineral, ore-forming fluid and isotope characteristics of the Qixia gold deposit and their implications[J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17(4):307-313(in Chinese).

[15] LI Qiangzhi, CHEN Yanjing, ZHONG Zengqiu, et al. <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar ages of the ore-forming processes of the Dongchuang gold deposit in the Xiaoqinling district, China[J]. *Geological Review*, 2002(Suppl):122-126(in Chinese).

[16] Chen Fuwen, Li Huaqin, Wang Denghong, et al. New geochronological evidence for the Yanshanian rock-forming and

- ore-forming ages in the Altay orogenic belt, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(11): 1142-1148 (in Chinese).
- [17] WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Zhigang, et al. *Minerogenetic Series and Regularity of Mineralization in the Altay Metallogenetic Province, China*[M]. Beijing: Atomic Press, 2002: 493(in Chinese).
- [18] WANG Yanbin, WANG Yong, LIU Xun, et al. Apatite fission-track records of Mesozoic and Cenozoic episodic reactivation of the Tianshan and west Kunlun Mountains[J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(1): 94-99(in Chinese).
- [19] WU Fuqiang, LIU Jiaduo, HE Mingxi, et al. Apatite fission-track analysis applied for prospecting oil and gas in the Yanqi Basin[J]. *Journal of the Chengdu College of Technology*, 2000, 27(2): 141-144(in Chinese).
- [20] WEI Junhao, LIU Congqiang, LIU Guochun. Method of dating of gold deposit and the related problems[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(2): 319-326(in Chinese).
- [21] ZHANG Liancang, SHEN Yuanchao, LIU Tiebing, et al. Ar-Ar and Rb-Sr isochron ages and metallogenetic time of the gold deposits in north Jiaolai basin, Shandong[J]. *Science in China(Series D)*: 2002, 32(9): 727-734(in Chinese).
- [22] YE Rong, ZHAO Lunshan, SHEN Yongli. Geochemistry features of Yixingzhai gold deposit in Shanxi Province[J]. *Geoscience*, 1999, 13(4): 415-418(in Chinese).
- [23] ZENG Jiannian, ZUO Dahua, MA Xian. The evolution of Yanshanian magma and its control function to metallic mineralization in Taershan district, Shanxi Province[J]. *Journal of Geology and Mineral Resources of North China*, 1997, 12(1): 33-43(in Chinese).
- [24] WANG Liben, JI Kejian, CHEN Dong. Re-Os isotope ages of molybdenite from the Anjishan copper deposit and the Tongshan copper-molybdenum deposit and their implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1997, 16(2): 154-159 (in Chinese).
- [25] XU Zhaowen, XU Wenyi, QIU Jiansheng, et al. An investigation of the age and geological-geochemical characteristics of quartz diorite porphyry in Shaxi porphyry copper (gold) deposit[J]. *Geology and Prospecting*, 2000, 36(4): 36-40 (in Chinese).
- [26] XU Wenyi, XU Zhaowen, GU Lianxing, et al. Heat evolution from intrusion to mineralization in Shaxi porphyry copper (gold) deposits, Anhui Province[J]. *Geological Review*, 1999, 45(4): 361-367(in Chinese).
- [27] ZHOU Taofa, YUAN Feng, ZHANG Xin, et al.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  fast neutron activation dating of quartz from the Tongniujing vein-type Cu-Mo-Au deposit, Anqing, Anhui Province[J]. *Geological Review*, 2003, 49(2): 212-216(in Chinese).
- [28] MAN Fasheng, WANG Xiaosong. Isotopic geochronological study of the Yangchuling porphyry-type W-Mo deposit[J]. *Mineral Resources and Geology*, 1988, 2(4): 61-67 (in Chinese).
- [29] FAN Honghai, LING Hongfei, WANG Dezi, et al. Study on metallogenetic mechanism of Xiangshan uranium ore-field[J]. *Uranium Geology*, 2003, 19(4): 208-213(in Chinese).
- [30] XU Wenyi, XIAO Menghua, CHEN Minyang. A study of isotope geochemistry of the Lenshuikeng Ag-Pb-Zn ore deposit in Jiangxi[J]. *Geological Review*, 2002(Suppl): 193-197 (in Chinese).
- [31] WANG Denghong, CHEN Yuchuan, CHEN Wen, et al. Dating the Dachang giant Tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(1): 132-138 (in Chinese).
- [32] LIU Yuping, LI Chaoyang, GU Tuan, et al. Isotopic constraints on the source of ore-forming materials of Dulong Sn-Zn polymetallic deposit, Yunnan[J]. *Geology Geochemistry*, 2000, 28(4): 75-81(in Chinese).
- [33] ZHOU Su, CHEN Haoshou. Geochronological study of the Zhijinshan Cu-Au deposit and its geological significance[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1996, 15(4): 216-219(in Chinese).
- [34] REN Shengli, ZHOU Xinhua. Geochemistry and Geochronology of the non-metal super-large deposits related to volcanic rocks in Zhejiang[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1997, 16(1): 7-10(in Chinese).
- [35] ZHANG Yongjia. Motion trend and regularity of ore-solution for the formation of fluorite deposit in the Wuyi Cretaceous Basin, Zhejiang[J]. *Journal of the Chengdu College of Technology*, 1995, 22(3): 86-90(in Chinese).
- [36] JIN Jingfu. Anatomy the emplacement mechanism of super-large antimony deposits—Case study of Xikuangshan[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2002, 21(3): 145-151(in Chinese).
- [37] CHEN Yuchuan, LI Zaonai, MU Ruisheng, et al. *Gold Deposits and Its Metallogenetic Regularity in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 465(in Chinese).
- [38] Editorial Committee of Dictionary of Strata in China. *Dictionary of Cretaceous in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000(in Chinese).
- [39] CHEN Yuchuan, WANG Denghong. *Study on Himalayan Endogenic Mineralization*[M]. Beijing: Seismological Press, 2001 (in Chinese).
- [40] LIU Liandeng, CHEN Guohua, LIU Yunliang, et al. The geological characteristics and its significance of Shuangqishan gold deposit of epithermal and vein type in Fujian Province[J]. *Geology of Fujian*, 1999, 18(2): 51-58(in Chinese).
- [41] WANG Denghong, CHEN Yuchuan, XU Jue, et al. *Cenozoic Mineralization in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005 (in Press)(in Chinese).
- [42] WANG Denghong. *Mantle Plume and Mineralization*[M]. Beijing: Seismological Press, 1998(in Chinese).

## 参考文献:

- [1] 王一先, 赵振华. 巴尔哲超大型稀土铋铍锆矿床地球化学和成因[J]. *地球化学*, 1997, 26(1): 24-35.
- [2] 张长江. 河北蔡家营铅锌(金银)矿床地质特征[J]. *矿床地质*, 1990, 9(4): 301-308.
- [3] 黄典豪, 丁孝石, 吴澄宇, 等. 蔡家营铅锌-银矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [4] 周乃武. 金厂沟梁金(铜)矿田成矿时代的理顺[J]. *黄金学报*,



- 2000, 2(3): 180-185.
- [5] 胡达骥, 罗桂玲. 河北张宣金矿区含金石英脉<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄[J]. 地质科学, 1994, 29(2): 151-158.
- [6] 罗镇宽, 苗来成, 关康, 等. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩锆石SHRIMP定年及其意义[J]. 地球化学, 2001, 30(5): 483-490.
- [7] 王时麒, 孙承志, 崔文元. 内蒙古赤峰地区金矿地质[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1994.
- [8] 李永刚, 翟明国, 杨进辉, 等. 内蒙古赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义[J]. 中国科学(D), 2003, 33(10): 960-966.
- [9] 卢焕章, 袁万春, 张国平, 等. 玲珑—焦家地区主要金矿床稳定同位素及同位素年代学[J]. 桂林工学院学报, 1999, 19(1): 1-8.
- [10] 王吉君. 玲珑花岗岩成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(4): 289-298.
- [11] 杨进辉, 周新华. 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, 2000, 45(14): 1547-1553.
- [12] 关康, 罗镇宽, 苗来成, 等. 胶东招掖郭家岭花岗岩锆石年代学及其 Pb 同位素特征[J]. 地球学报, 1997, 18(增刊): 142-144.
- [13] 李厚民, 毛景文, 沈远超, 等. 胶西北东季金矿床钾长石和石英的 Ar-Ar 年龄及其意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 72-77.
- [14] 翟建平, 徐光平, 胡凯. 栖霞金矿矿物、流体和同位素特征及意义[J]. 矿床地质, 1998, 17(4): 307-313.
- [15] 李强之, 陈衍景, 钟增球, 等. 小秦岭东沟金矿成矿作用的 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年代学研究[J]. 地质论评, 2002(增刊): 122-126.
- [16] 陈富文, 李华芹, 王登红, 等. 中国阿尔泰山带燕山期成岩成矿同位素年代学新证据[J]. 科学通报, 1999, 44(11): 1142-1148.
- [17] 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 阿尔泰山成矿省的成矿系列与成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社, 2002: 493.
- [18] 王彦斌, 王永, 刘训, 等. 天山—西昆仑山中—新生代幕式活动的磷灰石裂变径迹记录[J]. 中国区域地质, 2001, 20(1): 94-99.
- [19] 吴富强, 刘家铎, 何明喜. 磷灰石裂变径迹分析在焉耆盆地油气勘探中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(2): 141-144.
- [20] 魏俊浩, 刘丛强, 刘国春. 红花沟金矿金矿测年方法讨论及定年中存在的问题[J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 319-326.
- [21] 张连昌, 沈远超, 刘铁兵, 等. 山东胶莱盆地北缘金矿 Ar-Ar 法和 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代[J]. 中国科学(D), 2002, 32(9): 727-734.
- [22] 叶荣, 赵伦山, 沈镛立. 山西义兴寨金矿床地球化学研究[J]. 现代地质, 1999, 13(4): 415-418.
- [23] 曾键年, 左大华, 马宪. 山西塔儿山地区燕山期岩浆演化及其对金属成矿的控制作用[J]. 华北地质矿产杂志, 1997, 12(1): 33-43.
- [24] 王立本, 季克俭, 陈东. 安基山和铜山铜(钼)矿床中辉钼矿的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(2): 154-159.
- [25] 徐兆文, 徐文艺, 邱检生, 等. 沙溪斑岩铜(金)矿床有关的石英闪长斑岩地质地球化学特征及形成时代研究[J]. 地质与勘探, 2000, 36(4): 36-40.
- [26] 徐文艺, 徐兆文, 顾连兴, 等. 安徽沙溪斑岩铜(金)矿床成岩成矿热历史探讨[J]. 地质论评, 1999, 45(4): 361-367.
- [27] 周涛发, 袁峰, 张鑫, 等. 安庆铜牛井热液脉型铜-钼-矿床石英的 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 快中子活化年龄[J]. 地质论评, 2003, 49(2): 212-216.
- [28] 满发胜, 王小松. 阳储岭斑岩型钨钼矿床同位素地质年代学研究[J]. 矿产与地质, 1988, 2(4): 61-67.
- [29] 范洪海, 凌洪飞, 王德滋, 等. 相山铀矿田成矿机理研究[J]. 铀矿地质, 2003, 19(4): 208-213.
- [30] 徐文忻, 肖孟华, 陈民扬. 江西冷水坑银多金属矿床同位素地球化学研究[J]. 地质论评, 2002(增刊): 193-197.
- [31] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 132-138.
- [32] 刘玉平, 李朝阳, 谷团, 等. 都龙锡矿都龙锡锌多金属矿床成矿物质来源的同位素示踪[J]. 地质地球化学, 2000, 28(4): 75-81.
- [33] 周肃, 陈好寿. 紫金山铜金矿同位素年代学及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1996, 15(4): 216-219.
- [34] 任胜利, 周新华. 浙东与火山岩有关的非金属超大型矿床地球化学及同位素年代学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16(1): 7-10.
- [35] 章永加. 浙江武义白垩纪盆地萤石矿液运移趋势与规律[J]. 成都理工学院学报, 1995, 22(3): 86-90.
- [36] 金景福. 超大型锑矿床定位机制剖析——以锡矿山锑矿床为例[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3): 145-151.
- [37] 陈毓川, 李兆薰, 毋瑞省, 等. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2001: 465.
- [38] 中国地层典编委会. 中国地层典, 白垩系[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [39] 陈毓川, 王登红. 喜马拉雅期内生矿作用研究[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [40] 刘连登, 陈国华, 刘允良, 等. 福建省双旗山浅成脉型金矿地质及其意义[J]. 福建地质, 1999, 18(2): 51-58.
- [41] 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2005(待版).
- [42] 王登红. 地幔柱及其成矿作用[M]. 北京: 地震出版社, 1998.