

文章编号 0258-7106(2010)02-0343-09

桃山铀矿田成矿系统及矿化网络

曾文乐^{1,2} 郭湖生³

(1 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2 江西省核工业地质局, 江西 南昌 330046;
3 江西省核工业地质局 266 大队, 江西 南昌 330038)

摘要 文章以成矿系统为理论基础, 从成矿背景和环境、成矿要素、成矿作用过程、成矿产物及其保存等方面阐述了桃山矿田铀矿床形成-变化-保存的全过程。研究表明, 桃山地区铀成矿与中生代伸展拉张构造-热液成矿系统密切相关, 在此背景下, 多因耦合、临界转换是成矿作用的主要机理。文章在对本区铀矿化网络各类矿床的发育程度、时空关系、成因联系以及被改造情况等进一步研究的基础上, 分析和探讨了桃山矿田下一步的找矿方向。

关键词 地质学, 成矿系统, 矿化网络, 找矿方向, 江西桃山
中图分类号 P619.14 **文献标志码** A

Metallogenic system and mineralization network of Taoshan uranium orefield

ZENG WenLe^{1,2} and GUO HuSheng³

(1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2 Jiangxi Bureau of Geology for Nuclear Industry, Nanchang 330046, Jiangxi, China; 3 No. 266 Geological Party, Jiangxi Bureau of Geology for Nuclear Industry, Nanchang 330038, Jiangxi, China)

Abstract

Based on the theory of metallogenic system, the authors studied the whole process of formation, transformation and preservation of uranium deposits in the Taoshan orefield in the aspects of metallogenic background and environment, ore-forming elements, ore-forming process, and metallogenic products as well as their preservation. It is shown that uranium mineralization in Taoshan area is closely related to the Mesozoic-Cenozoic extensional tectonic-hydrothermal metallogenic system. In such a background, coupling of many factors and criticality transition seem to constitute the basic ore-forming mechanism. Further ore-prospecting orientations in the Taoshan orefield are discussed in this paper on the basis of deepgoing researches on the development extent, temporal-spatial relationship, genetic relationship and reformation of various ore deposits in the uranium mineralization network of this area.

Key words: geology, metallogenic system, mineralization network, prospecting orientation, Taoshan in Jiangxi

在现代成矿学中, 成矿系统研究已成为当前矿床学的一个重要内容。近十年来, 成矿系统一词常见于矿床研究文献中, 例如, 热水成矿系统、斑岩成矿系统、成矿系统分析、内生流体成矿系统等。所谓成矿系统是指在一定的地质时空域中, 控制矿床形成、变化和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程, 以及所产生的矿床系列、异常系列构成的整体, 它是具有成矿功能的一个自然系统, 成矿系统总体上是开放的、远离平衡的、时空延展的复杂动力学系统(翟裕生, 1999)。成矿系统研究是系统科学方法在矿床学中的一种创新性应用, 它

是在矿床组合、成矿系列研究的基础上发展起来的, 体现了现代矿床学系统化、全球化发展的趋势, 拓宽了矿床研究领域, 给矿床学研究注入了新的活力。一个成矿系统包括了控矿要素、成矿作用过程、成矿产物(矿床及有关异常)以及成矿后的变化等 4 方面的内容, 体现了与矿床形成有关的物质、运动、能量、空间、时间的统一性和整体性。在成矿系统的理论框架里, 包括了 5 个理论要点: 成矿系统形成的构造背景; 成矿系统多因耦合、临界转换的成矿机制; 矿床系列和异常系列构成的矿化网络; 矿床形成、变化、保存的演化过程; 成矿系统资源

第一作者简介 曾文乐, 男, 1963 年生, 教授级高级工程师, 在职博士, 主要从事铀矿地质和矿产资源勘查工作。Email: zengwenle@126.com

收稿日期 2009-09-21; 改回日期 2009-10-26。李德先编辑。

环境的双重效应。由此可见,成矿系统包括从矿床个体、局部、静态研究到系统、整体、动态研究的全过程。成矿系统研究将成矿的环境、背景、要素、作用、过程、动力、产物、异常和延延等作为一个自然作用的整体加以研究,有利于全面认识成矿动力学机制、矿床形成演变历史和矿床的时空分布规律,是提高矿床学科学水平的一个重要途径,从而有利于系统、全面和深入地研究成矿规律,以提高成矿预测和矿产勘查工作的成效(翟裕生等,2002;翟裕生,2007)。

中国很多学者就成矿系统也开展了大量卓有成效的研究(关广岳,1994;於崇文,1994;2001;翟裕生,1999;2007;翟裕生等,2000;2002;2004;涂光焯,2001;李人澍,1996;侯增谦等,1998;张元厚等,2009)。其中於崇文等(1994;2001)从成矿作用的动力学角度探讨了金属成矿系统的形成过程和机理;李人澍(1996)全面论述了成矿系统的研究内容和方法;翟裕生等(2000;2002;2004)进一步讨论了成矿系统理论的构思。

江西桃山地区,从20世纪50年代中期以来,已勘探出了拥有12个铀矿床和众多铀矿点带的花岗岩型铀矿田——桃山铀矿田^①,其在华南花岗岩型铀矿中占有重要的地位,已发展成为中国著名的花岗岩型铀矿田和铀矿资源勘查开发的大基地之一(张金带,2004;杜乐天,1982;戴民主,2006)。地质工作者对桃山地区的铀成矿地质条件和成矿规律开展过大量的研究工作,也取得了可喜的研究成果(徐国庆,1987;颜裕民,1996;傅增耀,1979;曾文乐等,2006a;戴民主,2006;郭湖生,2006)。但由于国家铀矿地质工作方针的调整,桃山铀矿田自20世纪80年代中期以来中断了近20年的铀矿勘查,地质认识水平没有得到更高的提升。近年来,随着地质成矿理论不断发展以及国家新一轮找矿热潮的掀起,国家加大了对桃山铀矿的地质勘查力度,这为进一步加深对桃山地区铀成矿地质特征和成矿规律的认识提供了良机。本文以成矿系统为理论基础,试图从成矿背景和环境、成矿要素、成矿作用过程、成矿产物及其保存等方面来研究桃山铀矿田成矿规律、矿化网络,并探讨下一步找矿方向。

1 桃山铀矿田成矿系统

1.1 大地构造背景

赣中南地区位于华夏板块北部陆缘的加里东造山带,而桃山铀矿田就处在加里东造山带中部雩山隆起带上。晚中生代(燕山-喜马拉雅期)赣中南地区进入陆块活化阶段:早侏罗世末发生陆内造山,有较多的花岗岩侵入和火山活动;中侏罗世晚期(170 Ma±)陆内地壳强烈收缩隆升,扬子、华夏古板块再次挤压叠覆少有沉积,开始了岩浆侵入和火山喷发活动;至晚侏罗世陆内造山运动进入剧动期,发生了岩浆-成矿大爆发,地壳发生隆坳分异和断裂作用,形成了大量重熔型

花岗岩,沿深大断裂或缝合带有同熔型中酸性斑岩产出;白垩纪时库拉板块向内陆俯冲,上地幔俯冲带前缘至武夷山东麓,江西处于弧后伸展环境。至喜马拉雅旋回,江西则进入强烈裂陷期。以断陷盆地为特征,隆陷反差最大值可达4 000~5 000 m,盆内以红色磨拉石堆积为主,间有湖相沉积,形成了膏盐矿床。新近纪以来江西地壳活动趋缓,总体处于稳定隆升或掀斜状态。晚更新世后,断裂活动进一步减弱,地壳进入一个相对宁静的时期。

1.2 成矿基本特征

桃山铀矿田位于江西省中南部宁都县境内,处在中国最大的花岗岩型铀成矿带桃山-诸广铀成矿带的东北部的桃山复式岩体内,矿田由大布(6217)、大府上(6214)、坪上(6213)、小庙(6212)、牙子径(6211)、罗坑(6219)、竹元头(6223)、小源(6218)、车盘坑(6221)、麻田(6222)、雷斗石(6227)和稳布(6215)共12个铀矿床组成,是中国最大的花岗岩型铀矿田之一(图1)。桃山铀矿田及其外围具有如下地质特征(颜裕民,1996;傅增耀,1979;曾文乐等,2006a;戴民主,2006;郭湖生,2006):

(1)桃山地区铀矿床大多分布在两条深断裂的夹持部位,即北东向大余-南城深断裂(在矿区称桃山断裂)和北北东向鹰潭-安远深断裂的夹持部位,其中矿田内大多数矿床又分布在斜贯桃山岩体的桃山和罗坑两大断裂所夹持的断陷区块内的燕山早期晚阶段打鼓寨岩体(由中粒二云母花岗岩、中粒少斑黑云母花岗岩、中粒黑云母花岗岩组成)内外接触带中。

(2)桃山岩体为多期多阶段的复式岩体,铀成矿与燕山晚期岩浆活动更为密切。桃山复式岩体经历了加里东、印支、燕山3个大的构造旋回,岩体由外向内为加里东、印支、燕山早期早、中、晚阶段各类岩石,依次呈马蹄状、半球状、环带状分布,属陆壳重熔型花岗岩,燕山晚期各阶段形成的小岩基、岩株、岩瘤多居岩体中心部位,具有同熔型花岗岩特点(颜裕民,1996)。岩浆活动的中心有逐渐向复式岩体中部迁移的趋势,表明燕山早期至燕山晚期,岩浆活动随着时间的推移,逐渐减弱,形成的岩体规模也由大到小。燕山早期一、二阶段形成的岩体一般为大岩基,燕山早期晚阶段的岩体为小岩基,燕山晚期形成的是岩瘤、岩株或岩脉。反复侵入的复式岩体能提供足够的热能以维持对流的热液系统。因此,在热液活动区中复式岩体的存在是找矿的关键性标志(翟裕生等,2004)。处于岩浆活动中心的燕山早期晚阶段的打鼓寨岩体(颜裕民,1996;曾文乐等,2006b;郭湖生,2006)内常见细粒花岗岩、花岗斑岩、伟晶岩、细晶岩、中粒黑云母二长花岗岩、煌斑岩等酸性和中基性小岩株、小岩瘤、脉体侵入,而铀矿化与这些小岩株、小岩瘤、脉体有密切的时空关系。

(3)区内铀成矿的时空分布与区域伸展构造拉张活动期相合拍。燕山晚期,由于太平洋板块俯冲速度变慢,以及俯冲带逐渐向太平洋方向迁移,华南大陆边缘地区由受到强烈挤

① 戴民主,等. 2005. 华北铀矿地质志(内部资料).

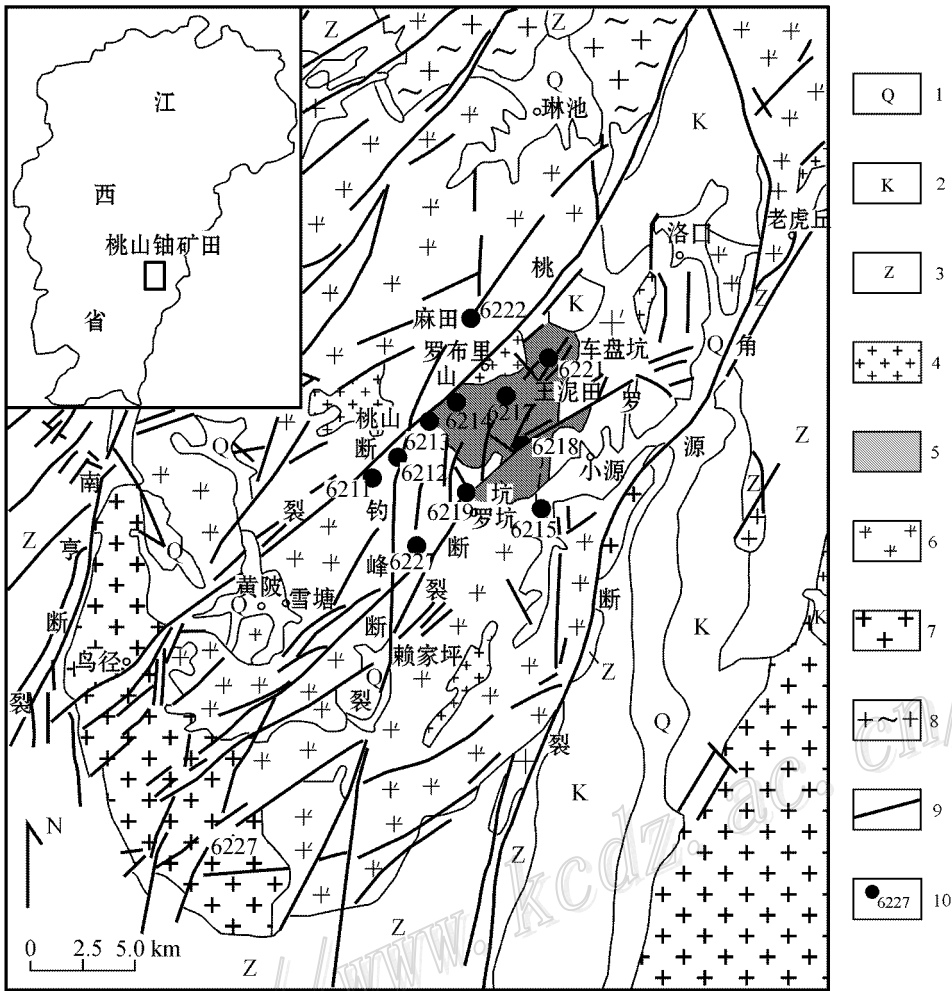


图 1 桃山矿田区域地质图

1—第四系；2—白垩系；3—震旦系；4—燕山晚期花岗岩；5—燕山早期二云母花岗岩；6—燕山早期黑云母花岗岩；7—印支期花岗岩；8—加里东期花岗岩；9—断裂；10—铀矿床及编号

Fig. 1 Regional geological map of the Taoshan orefield

1—Quaternary；2—Cretaceous；3—Sinian；4—Late Yanshanian granite；5—Early Yanshanian two-mica granite；6—Early Yanshanian biotite granite；7—Indosinian granite；8—Caledonian granite；9—Fault；10—Uranium deposit and its serial number

压转变为强烈拉张,发生强烈的断块运动,因而在本区形成北东向、北北东向拉张构造、裂隙带和红色沉积盆地。这种区域上的拉张作用自燕山晚期一直持续到第三纪(杨明桂等, 2009; 谢桂青等 2005)。值得注意的是,本区的各类型铀矿化的成矿时代(同位素年龄表明,铀成矿年龄为 72 Ma、65 Ma、41 Ma)与上述地壳伸展拉张时间一致。

(4) 矿田内铀矿床类型比较简单,为花岗岩型铀矿,又可分为碎裂蚀变岩型和硅化破碎带型 2 个亚型,其中以碎裂蚀变岩型为主,碎裂蚀变岩带及其中的裂隙带是最主要的储矿场所,碎裂蚀变岩带直接控制铀矿化的分布范围。矿体呈群脉状、鱼群状展布,当矿体受单裂隙控制时,呈简单的脉状,受裂隙组复合控制时,矿体形态复杂,多呈不规则状或透镜状。矿体多短小,沿走向、倾向延伸一般 10~30 m,走向最大长度

325 m,倾向最大长度 255 m。目前控制矿带矿体最大垂幅 700 多米,深部未封边,预计矿体群向深部还有较大延伸空间。

(5) 铀成矿类型分布具有一定的分带性,即桃山矿田中部以碎裂蚀变岩型铀矿为主,主要为铀-赤铁矿型矿化,向其外围则以硅化破碎带型铀矿为主,主要为铀-硅质脉型矿化。再向外至岩体外带变质岩(高山区)主要出现钨、铍矿,如中村钨矿、南部岩体内带的安福铍矿和外带的画眉坳、廖坑钨矿等矿床。

(6) 矿田中矿床的定位主要决定于不同断裂构造的复合形式、构造与岩体的圈闭作用。同一岩性单一构造复合控制的矿床范围较大,矿体成群脉状产出,单体规模较小,矿化幅度和矿床规模较大,构造、岩性“双重圈闭”控制的矿床范围较小,矿体成大脉状或透镜状,分布较集中,矿床规模中等。

(7)区内铀矿体多为盲矿,矿体群集中展布在标高150~100 m之间。已控制矿化最低标高-200 m,目前总体已控制成矿垂幅达700多米。

(8)依据矿石主要特征性蚀变矿物,矿田主要矿石类型可分为5种:铀-赤铁矿型(红化型)、铀-绿泥石、水云母型(绿化型)、铀-萤石型、铀-碳酸盐型和铀-微晶石英型。前4种矿石类型主要产于碎裂蚀变岩亚型铀矿,仅铀-微晶石英型矿石主要产于硅化破碎带亚型。一般碎裂蚀变岩型铀矿化主要分布于岩体中部地区,向外环带主要为硅化破碎带型铀矿化。

(9)区内铀成矿早期矿化为铀-赤铁矿型,铀品位一般0.1%以下。晚期铀矿化为铀-萤石型、铀-绿泥石型、铀-碳酸盐型,当早期铀矿化被晚期类型叠加时,矿石品位明显增富,多大于0.1%,最高可达3.23%。

(10)桃山矿田各矿床的围岩蚀变除局部较强外,总体不强。根据围岩蚀变与铀矿化关系,可分为成矿前蚀变、成矿期蚀变和矿后蚀变。矿前蚀变为云英岩化、白云母化、碱交代、水云母化,矿期蚀变主要为赤铁矿化、绿泥石化、水云母化、黄铁矿化、萤石化、硅化、碳酸盐化,矿后蚀变为浅萤石化、碳酸盐化、硅化。

1.3 桃山地区伸展拉张构造-热液成矿系统

自中生代以来,中国东部发生了一系列重大的地质事件和多幕次强烈构造活动,伴随有广泛的岩浆活动和大规模成矿作用。近年来,不少学者对中国东部中生代成矿大爆发做了充分的论述(陈毓川等,2006;陈毓川,2007;华仁民等,1999;2003;毛景文等,1999;2004;陈培荣,2004;谢桂青等,2005)。中国东部及华南地区的大规模铀成矿作用也不例外(仇宝聚,2001;毛景文等,2009)。燕山晚期,由于太平洋板块俯冲速度变慢,以及俯冲带逐渐向太平洋方向迁移,华南大陆边缘地区由受到强烈挤压转变为强烈拉张,发生强烈的断块运动,因而在本区形成北东向、北北东向拉张构造、裂陷带和红色沉积盆地。这种区域上的伸展拉张作用自燕山晚期一直持续到第三纪(杨明桂等,2009)。与伸展作用相对应,形成了大量花岗岩型、火山岩型和碱硅泥岩型铀矿床(黄净白等,2005;胡瑞忠等,2007)。伸展拉张构造在华东地区主要表现型式:一系列北北东向、北东向中生代地堑式、半地堑式箕状断陷盆地、裂陷盆地、高角度正断层系;热隆伸展构造及变质核杂岩构造的多层次的滑脱剥离断层(陈跃辉等,1997);岩体内部发育的断陷带以及中酸性、中基性脉岩带。铀成矿与伸展拉张构造的关系十分密切,陈跃辉等(1997)对华东中生代伸展构造时空演化与铀矿化时空分布做了详尽阐述。

值得注意的是,桃山地区的各类型铀矿床的成矿时代(铀成矿年龄为72 Ma、65 Ma、41 Ma)与上述伸展拉张构造时间基本一致,有较好的对应关系。拉张裂陷作用与铀成矿作用关系密切的内在原因在于:上地幔隆起和地幔流体的加入,不仅给该地区带来了热能,而且带来了大量矿化剂(F、Cl、CO₂、H₂S、P₂O₅、CH₄、H₂)。胡瑞忠等(1993;2004;2007)。此外,矿物质高度富集的原生流体,在向地壳上部运移途中,必然会与

在不同深度渗流的大气成因地下水相混合,这种混合流体活化和浸取了岩石中的铀,形成含矿流体。特别强调的是,高位较高的花岗岩基和过渡岩浆室产生的巨大热场,改变了原来地下水循环的水动力条件,并形成了一个规模巨大、深度可达数千米的地下热水体系。原生流体混入这个热水体系,使接近中性的地下热水变为具有较强酸性或碱性,成为具有特定地球化学性质和成矿能力以及蚀变围岩能力的热液(水),从而将围岩中的铀等成矿元素浸取出来、迁移、搬运,在适宜的地球化学场下形成铀矿,如江西宁都三槽岭矿床和赣南河草坑矿田(会昌热隆伸展构造)的成矿与伸展拉张构造密切相关(陈跃辉等,1997;曾文乐等,2006c)。

2 桃山铀矿田矿化网络

矿化网络是物化了的成矿系统,是在一成矿系统中形成的矿床和相关异常及其所在环境组成的实体,是可以看得见、摸得着的具体事物(翟裕生等,2002)。以下从各类矿床的发育程度、时空关系、成因联系及各类矿床被改造情况等方面对桃山铀矿田矿化网络进行阐述和分析。

2.1 发育程度

正如前述,桃山矿田区内矿床类型简单,均为花岗岩型。据产出部位和控矿因素的不同,可分为2个亚类型:

(1) 碎裂蚀变岩带亚型

无论是矿床数量还是矿床规模,该亚类型在区内均占主导地位。这类矿床主要分布在桃山复式岩体内部、桃山和罗坑两断裂之间形成的一个“地堑”式的断陷带内,其内断裂构造发育,矿化受裂隙构造控制,矿化范围大,矿体规模小、数量多,常成群出现的大矿体呈透镜状产出,小矿体多呈脉状产出。赋矿围岩主要是燕山早期蚀变强烈的黑云母花岗岩和二云母花岗岩。燕山晚期早阶段的罗布里克中粒黑云母二长花岗岩体围绕着打鼓寨岩体零星出露,在深部呈隐伏状态侵入于打鼓寨岩体之中,可能是一个“顶托”打鼓寨岩体的岩基。在侵入时,作为一个强热源体,对打鼓寨岩体的改造和铀的活化成矿可能起重要的作用。在岩体接触带的两侧,主要在二云母花岗岩一侧形成一系列的铀矿体(图2)。区内桃山复式岩体内共有10个矿床为此类型,即大布大型矿床、大府上和坪上中型矿床以及牙子径、小庙、罗坑、竹元头、小源、麻田和车盘坑等小型矿床。

(2) 硅化破碎带亚型

该亚类型的矿床主要受硅化破碎带或石英断裂带控制,区内的雷石斗矿床和稳布矿床属硅化破碎带亚型。

2.2 空间关系

桃山铀矿田各类矿床分布有如下特点:

(1)分布不均衡性。铀矿床集中分布在桃山岩体中部约100 km²范围内,仅雷石斗矿床产于岩体西南部。

(2)以产于燕山早期岩体为主,仅雷石斗矿床产于印支期岩体中。

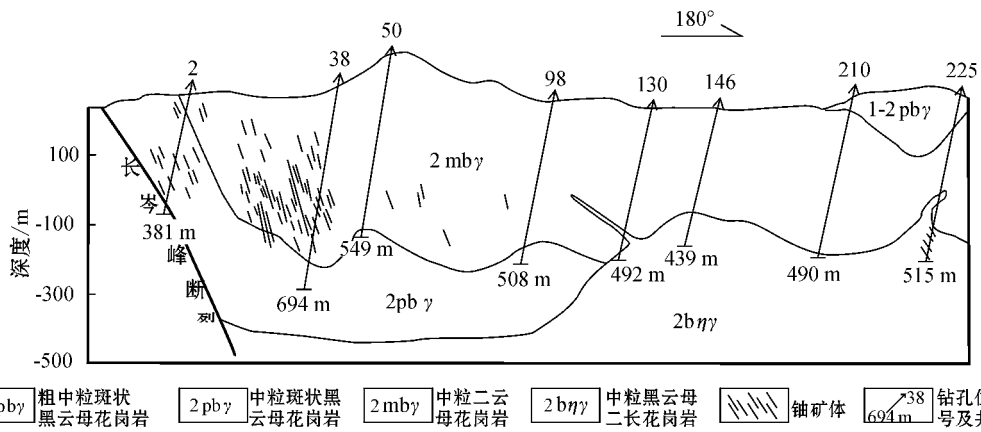


图 2 大布矿床 755 勘探剖面线(中粒黑云母二长花岗岩体穿插、顶托住打鼓寨岩体)

Fig. 2 No. 755 exploration line in the Dabu deposit showing medium-grained biotite monzogranite penetrating and supporting Daguzhai granites at its top

(3) 以产于桃山断裂上盘为主,只有麻田矿床产于桃山断裂下盘。

(4) 铀矿床均沿脉岩断裂构造带分布。矿田内铀矿化严格受断裂构造控制,北东向断裂带、脉岩带,北北东向断裂控制了铀矿床定位,而主要的含矿构造则是断裂带内次级、低序次的裂隙密集带,尤其在岩体中部桃山断裂带上盘,桃山断裂、罗坑断裂及钓峰断裂形成的夹持和交汇部位,形成了大范围的碎裂岩带,其内近东西向的构造裂隙特别发育。单条裂隙规模甚小,在裂隙相对集中的地段为裂隙密集带,是矿田内主要储矿构造。在裂隙密集带内裂隙成群产出,呈雁列式排列,沿走向延伸可达 500~900 m,裂隙带幅度几十米~1 000 m,从南西(牙子径)至北东(大布),裂隙带总体走向由 30°转向 90°,沿桃山脉岩断裂构造带分布的有大布、大府上、牙子径、坪上、小庙、麻田和车盘坑共 7 个矿床;沿罗坑脉岩断裂构造带分布的有竹元头、罗坑和小源,共 3 个矿床;沿鸡婆岭、王册-赖家坪脉岩断裂构造带分布的有雷斗石和稳布 2 个矿床。

(5) 矿化幅度有差异。矿田铀矿化总的垂幅为 710 m,最高出露标高为雷斗石矿床,海拔高程达 510 m,矿化的最低

标高为大布矿床,达 -200 m。根据现有勘探资料统计显示,一般碎裂蚀变岩带亚型的矿化幅度要大于硅化破碎带亚型的矿化幅度。表 1 显示了部分矿床的矿化幅度。

2.3 各类矿床的时间关系

区内各类铀矿床的形成时间上大体一致,与本区燕山晚期-喜马拉雅期形成的断陷带时间上基本同步,矿田内矿石中沥青铀矿同位素年龄值最大为 72 Ma(大府上矿床),其次为 65 Ma 和 41 Ma(大布矿床),最小为 34.5 Ma(罗坑矿床)^①。各种类型铀矿床年龄数据表明,同一铀矿床存在多个不同的成矿年龄值,表明铀矿床是经过多期多次成矿作用形成的。区内铀成矿有 2 个时期,早期为晚白垩世,属燕山运动晚期,相当于白垩纪裂陷红盆形成时期,晚期为始新世。

2.4 各类矿床的成因联系

如前所述,区内燕山晚期地壳处于拉张伸展环境,致使区域性断块运动发育,并伴有基性岩浆活动(产生脉岩带)。由于断裂的深切作用,开启热源和减压,使深部岩浆热液和封存在周围岩石粒间及孔隙中的气液向断裂集中,产生初始上升热液。特殊的古气候和古地貌导致周围地下水在重力的作用

表 1 桃山矿田部分矿床矿化幅度一览表^①

Table 1 Mineralization extent of some deposits in the Taoshan uranium orefield

项目	桃山断裂带		罗坑断裂带			鸡婆岭断裂	王册-赖家坪断裂
	牙子径矿床	大布矿床	竹元头矿床	罗坑矿床	小源矿床	雷斗石矿床	稳布矿床
矿体出露标高/m	280	280	250	270	270	510	270
矿体最低标高/m	-170	-200	0	-100	-100	280	150
矿化富集标高/m	200~100	200~-100	150~100	100~-50	200~100	350~300	250~150
矿化垂直幅度/m	450	480	250	370	370	230	120

① 戴民主,等. 2005. 华东铀矿地质志(内部资料).

下,沿裂隙和孔隙向下渗透并逐渐增温,达到一定的深度和温度后加入到上升热液中,形成热液环流体系。在地下水下渗与上升水混合,并沿断裂带向上运移过程中,活动轴不断从围岩中浸出,进入混合溶液,当混合含矿溶液上升到浅部减压的成矿空间时,如碎裂蚀变带、密集裂隙带等有利场所,即可发生铀的沉淀、富集成矿。区内铀矿床为以深源流体成矿为主、混合热水浸出成矿等复成因的中低温热液矿床。

矿田从早到晚划分6个热液活动阶段^①:脉石英阶段、水云母-硫化物阶段、沥青铀矿(铀石)-绿泥石阶段、沥青铀矿-微晶石英阶段、沥青铀矿(铀石)-萤石、碳酸盐阶段和萤石-梳状石英阶段,其中铀成矿有3个阶段,即沥青铀矿(铀石)-绿泥石阶段、沥青铀矿-微晶石英阶段和沥青铀矿(铀石)-萤石、碳酸盐阶段。

区内各矿床中,上述热液活动阶段都有所表现,只是强弱不一,主次不同罢了。如雷斗石矿床铀-微晶石英阶段矿化特别发育,靠近罗坑断裂的小源矿床以及稳布矿床铀-萤石阶段矿化较发育。实际上其他矿床中也出现弱的铀-微晶石英矿化阶段和铀-萤石矿化阶段,仅矿化强度较弱,同样,雷斗石矿床和稳布矿床中也出现少量硫化物阶段和铀-绿泥石阶段的产物。

2.5 各类矿床被改造情况

桃山矿田的铀矿床形成后受后来地质作用的影响不同程度地被改造了。

(1) 受断裂构造的改造

桃山地区新构造运动明显,在钓峰断裂与桃山、罗坑断裂三者交汇区发育一组总体呈北北东向的弧形断裂(似帚状构造),单条断裂长3 km左右,宽0.5~2 m,其活动时期较晚,左行走滑特征明显,切穿了脉岩带和铀矿体和矿化体。如在大府上矿床近东西向的II号带及VI号被左行错动,水平错距约400 m。

(2) 受地壳隆升的影响

新近纪以来,江西地壳活动趋缓,总体处于稳定隆升或掀斜状态,但在局部地段,受断裂构造影响也有断陷沉降区。桃山岩体以桃山断裂为界,西北部隆升速度相对比东南部快,西北部地形切割较强烈,发育北东向、北西向及北北东向断裂构造,山势较高大,而东南部地势较低平,以花岗岩侵蚀丘陵地貌为主,主要发育北北东和北东向断裂构造。此外,在矿化相对集中的桃山断裂带与罗坑断裂带夹持区更是为断陷沉降型低山丘陵地貌,从岩性岩相特点上看(边缘相、晚期细粒、似斑状等),剥蚀程度更浅,对矿化起到了较好的保护作用。另外,红盆发育情况及矿化最低标高表明,桃山断裂带与罗坑断裂带夹持区内断陷沉降也是不均恒的,总体是由西南向东北、由南东向北西掀斜的,如桃山断裂北东端汉源、洛口一带保留有白垩纪红盆,由西南雷斗石矿床向东北方向到牙子径矿床再到大布矿床,矿体最低标高由280 m降到-170 m再降到-200 m,由

罗坑断裂南东面的稳布矿床到小源矿床矿体再到大布矿床,矿体最低标高由150 m降为-100 m再降为-200 m(表1)。这说明在桃山断裂带上盘的铀矿体,北东方向要比南西方向的风化剥蚀弱,保存条件好,北西方向要比南东方向的风化剥蚀弱,保存条件好。

3 桃山铀矿田矿床形成-变化-保存的全过程

综上所述,桃山铀矿田矿床形成-变化-保存的全过程总结如下(图3):

(1) 晚侏罗纪开始的太平洋板块的俯冲作用使大洋沉积物和洋壳玄武岩俯冲进入地幔(刘丛强等,2001;胡瑞忠等,1993),由于脱气与脱水作用而形成地幔流体。此外,深部地幔的脱气与脱水作用也能产生地幔流体。

(2) 深层次的拉张作用使地壳与地幔相互沟通,导致富碱(K、Na)、富大量矿化剂(F、Cl、CO₂、S、H₂S、P₂O₅、CH₄、H₂)的地幔流体上升进入地壳,产生强烈的碱交代蚀变,并在这一过程中包括铀在内的成矿组分被激发、活化,使之转移进入地

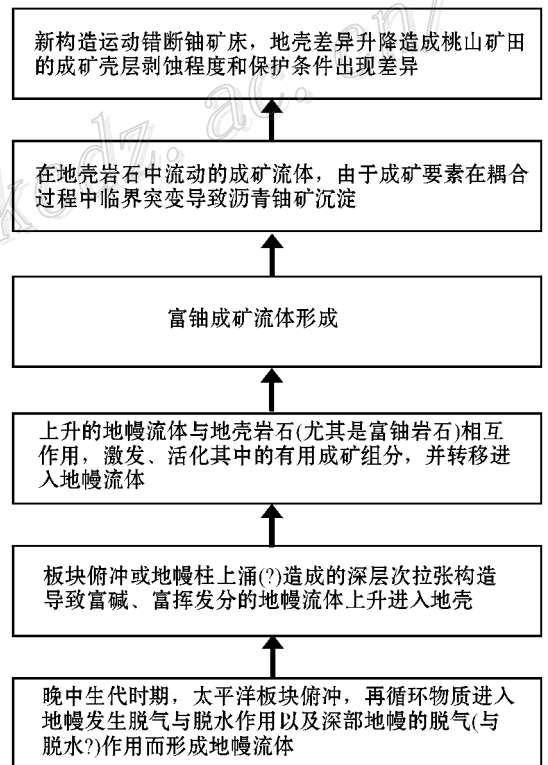


图3 桃山铀矿田矿床形成-变化-保存的全过程示意图
Fig. 3 Sketch map showing the whole process of formation, transformation and preservation of ore deposits in the Taoshan uranium orefield

① 闵茂中,吴燕玉,钟昌满,廖伯成,熊道德,2000.江西6210地区主要铀矿床矿石物质组分研究(内部资料).

幔流体,形成含铀成矿流体。

(3) 侵位较高的花岗岩基、过渡岩浆室、基性岩脉侵入和地幔流体上升带来的巨大热量可以使地壳岩石中循环的地壳流体升温,增强它们对成矿组分的浸取能力,进而可转变为成矿流体,或与上升的地幔流体混合。

(4) 在地壳岩石中流动的成矿流体可能由于成矿要素在耦合过程中临界突变,即构造转换端、断裂带交汇处、地层岩性界面、氧化还原转换带、水相、气相转换点等,在这些地段和时段,原有的平衡被打破,造成热能、流体和物质的强烈变化,如成矿流体进入减压环境时发生的减压沸腾作用,导致 CO_2 逸出,导致铀酰碳酸络离子解体沉淀沥青铀矿。

(5) 新构造运动,尤其北北东向、北东向断裂构造左行走滑错断铀矿体和矿化体,地壳差异升降造成桃山矿田的成矿壳层总体向北东和北西掀斜,桃山矿田的北东和北西部分相对剥蚀程度小、保矿条件好。

4 桃山地区铀矿找矿方向

通过对桃山铀矿田成矿系统及矿化网络分析研究,可以认为桃山热液型铀矿的找矿要紧抓桃山复式岩体的岩浆活动中心之构造、岩浆、蚀变“三位一体”部位,尤其是加强对深部构造的变异部位、构造交结点、隐伏小岩体、碱交代体、岩脉、蚀变岩带等部位的勘查与研究。此外,还要探索研究主控断裂的含矿性,如桃山断裂带、罗坑断裂带及大布矿床王泥田断裂带的含矿性,尤其是这些主控断裂向深部的狭缩变缓部位富含大铀矿体的可能性。最后要充分提高在中基性岩墙、岩脉与各方向含矿断裂带的交汇复合部位寻找富矿的认识。

根据桃山矿田的工作程度差异、铀成矿特征、已知铀矿床和铀矿点的展布规律及物化探找矿成果以及成矿系统理论,桃山地区铀矿找矿方向为:

(1) 在北东、北北东向大断裂构造矿化有利地段的深部由陡变缓的部位,如桃山断裂牙子迳-南岭段;

(2) 中粒黑云母二长花岗岩、细粒花岗岩等岩株、岩枝发育并形成较陡凹槽或洼陷部位,如大布矿床本身及东西两侧深部,约峰-竹元头矿床-罗坑矿床一带;

(3) 酸性、中基性脉岩发育区中硅质脉与中基性脉岩交代部位,如桃山断裂上盘牙子迳-大府上地段,黄潭-小源酸性、中基性岩脉群与罗坑断裂带夹持部位;

(4) 根据对桃山矿田剥蚀程度和保矿条件的研究,桃山断裂上盘大布矿床北东面以及汉源、洛口一带,是桃山地区剥蚀程度最小的地带,保矿条件好,应是铀矿找矿有利地段。

5 结 语

运用成矿系统理论认真研究和掌握桃山矿田各类矿床间的复杂关系,对于认识矿床的分布规律和产出位置、合理进行矿床预测及勘查有重要的意义,对此笔者有以下几点认识:

(1) 成矿系统观点将成矿的构造体系、流体系统和化学反应及矿床定位有机结合起来,从成矿作用动力学的深度来分析成矿作用过程及其要素,从而以新的思路去探讨认识矿床的形成和分布规律,成矿系统分析是指导矿产勘查工作重要观点,也是一种有效的方法。

(2) 作为成矿系统具体表现形式的矿化网络,是在一成矿系统中由矿床、矿化异常及其所在环境有关岩石、构造等构成的综合地质体实体,深入研究其物质时间-空间结构特征是矿田成矿学研究的一项基础内容,有助于把握矿田中矿床时空分布规律,建立整体概念,从而提高找矿效果。

(3) 成矿系统形成后矿床的变化与保存的研究对矿产预测和勘查很重要,它在很大程度上决定了现存矿床的分布规律,在矿产预测和资源评价工作中应加以重视。

(4) 桃山铀矿田在桃山、罗坑断裂形成的“地堑”式断陷区内,矿床剥蚀程度小、保矿条件相对较好,尤其在矿田的北东和北西部分,矿床剥蚀程度更小、保矿条件更好,是下一步找矿的有利地段。

志 谢 本文在成文过程中,得到江西省核工业地质局戴民主教授级高工的悉心指导,得到江西省核工业地调院张平南院长的鼓励和支持,得到江西省核工业地调院(江西省核工业地质局266大队)广大同仁的热情帮助,在此一并志谢!

References

- Chen Y C. 2007. Chinese minerogenetic system and regional mineralogical appraisal [M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C, Wang D H, Xu Z G and Zhu M Y. 2006. Preliminary study of Chinese mineralization system [J]. Mineral Deposits, 25(2): 155-163 (in Chinese with English abstract).
- Chen P R. 2004. Geodynamic settings of Mesozoic magmatism in eastern China with respect to uranium mineralization [J]. Uranium Geology, 20(5): 266-270 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y H, Chen Z Y, Cai Y Q, Shi Z H, Feng Q H and Fu J. 1997. Spatial and temporal evolution of Meso-Cenozoic extensional tectonics and the spatial and temporal distribution of uranium deposits [J]. Uranium Geology, 13(3): 129-146 (in Chinese with English abstract).
- Du L T. 1982. Collected papers on granite-hosted uranium deposits [M]. Beijing: Publishing House of Atomic Energy. 1-357 (in Chinese).
- Dai M Z. 2006. Uranium resources potential and its prospecting direction in Jiangxi Province [J]. Journal of East China Institute of Technology, (supp.): 12-19 (in Chinese).
- Fu Z Y. 1979. Discussion on genesis of uranium deposits in a granite [J]. Radioactive Geology, 12(1): 12-19 (in Chinese).
- Guan G Y. 1994. Steady and unsteady in dynamic system of mineralization [J]. Journal of Northeastern University, 15(1): 20-23 (in Chinese with English abstract).
- Guo H S. 2006. Metallogenetic regularity and the prospecting direction in

- Taoshan uranium ore-field [A]. Strengthen the geological work & promote the sustainable development : Geo-scientific forum of six provinces and one municipality in east China [C]. Nanchang : Jiangxi Science and Technology Publishing House. 107-110 (in Chinese).
- Huang J B and Huang S J. 2005. Regional metallogenic characteristics of Chinese uranium resources [J]. Uranium Geology , 21(3) : 129-138 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z , Li C Y , Ni S J and Yu J S. 1993. Source of ΣCO_2 during hydrothermal mineralization of granite-hosted uranium deposits in south China [J]. Science in China (Series B) , 23(2) : 189-196 (in Chinese).
- Hu R Z , Bi X W , Su W C , Peng J T and Li C Y. 2004. The relationship between uranium metallogenesis and crustal extension during the Cretaceous-Tertiary in south China [J]. Earth Science Frontiers , 11(1) : 153-160 (in Chinese with English abstract).
- Hu R Z , Bi X W , Peng J T , Liu S , Zhong H , Zhao J H and Jiang G H. 2007. Some problems concerning relationship between Mesozoic-Cenozoic lithospheric extension and uranium metallogenesis in south China [J]. Mineral Deposits , 26(2) : 139-147 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China [J]. Mineral Deposits , 18(4) : 300-308 (in Chinese with English abstract).
- Hua R M , Chen P R , Zhang W L , Liu X D , Lu J J , Lin J F , Yao J M , Qi H W , Zhang Z S and Gu S Y. 2003. Metallogenic system related to Mesozoic and Cenozoic granite in south China [J]. Science in China (Series D) , 33(4) : 335-343 (in Chinese).
- Hou Z Q and Li H Y. 1998. A tentative discussion on the mantle plume tectonics and metallogenic system as exemplified by the Shanjiang Tethyan metallogenic domain [J]. Mineral Deposits , 17(2) : 97-113 (in Chinese with English abstract).
- Liu C Q , Huang Z L , Li H P and Su G L. 2001. The geofluid in the mantle and its role in ore-forming processes [J]. Earth Science Frontiers , 8(4) : 231-243 (in Chinese with English abstract).
- Li R S. 1996. Theory and practice of metallogenic system analysis [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 19-20 (in Chinese).
- Mao J W , Hua R M and Li X B. 1999. A preliminary study on the large-scale mineralization and large cluster of mineral deposits [J]. Mineral Deposits , 18(4) : 291-299 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , Xie G Q , Li X F , Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in south China [J]. Earth Science Frontiers , 11(1) : 45-51 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , Xie G Q , Cheng Y B and Chen Y C. 2009. Mineral deposit models of Mesozoic ore deposits in south China [J]. Geological Review , 55(3) : 347-353 (in Chinese with English abstract).
- Tu G C. 2000. Superlarge ore-forming deposits of China (I) [M]. Beijing : Geol. Pub. House (in Chinese).
- Tu G C. 2001. The development of the mineral deposit prospecting and research work in the past twenty years : A brief review [J]. Mineral Deposits , 20(1) : 1-9 (in Chinese with English abstract).
- Tu G C. 2003. Consideration about some problems on the prospecting of super large ore deposit [A]. Super large ore deposits of China (II) [M]. Beijing : Science Press. 1-13 (in Chinese).
- Xie G Q , Mao J W , Hu R Z , Li R L and Cao J J. 2005. Discussion on some problems of Mesozoic and Cenozoic geodynamics of southeast China [J]. Geological Review , 51(6) : 613-620 (in Chinese with English abstract).
- Xu G Q. 1987. Origin of granite and mineralization of uranium ore field No. 621 [J]. Uranium Geology , 3(1) : 9-22 (in Chinese).
- Yan Y M. 1996. Geologic characteristics of Taoshan massif and its controlling on uranium mineralization [J]. East China Uranium Geology , (3) : 9-18 (in Chinese with English abstract).
- Yang M G , Huang S B , Lou F S , Tang W X and Mao S B. 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in southeast China continental area [J]. Geology in China , 36(3) : 528-543 (in Chinese with English abstract).
- Yu C W. 1994. Dynamics of metallogenesis : Theoretical system and methodology [J]. Earth Science Frontiers , 1(3) : 54-82 (in Chinese with English abstract).
- Yu C W. 2001. Fractal growth of ore-forming dynamical systems at the edge of chaos : New metallogeny and methodology [J]. Earth Science Frontiers , 8(3) : 9-28 (in Chinese with English abstract).
- Zeng W L , Fu Z Y , Pan K M , Xu Y Y and Zeng Y S. 2006a. Metallogenic characteristics , development foreground and prospecting direction of Taoshan uranium ore field [J]. Journal of East China Institute of Technology , (supp) : 51-55 (in Chinese).
- Zeng W L , Xu Y Y , Shao W J and Pan K M. 2006b. Metallogenesis and ore prospecting in Taoshan uranium ore field in central southern Jiangxi [A]. Opportunity and challenge of mineral deposits research : Meeting the demand of developments , proceedings of 8th national conference of mineral deposits , China [C]. Beijing : Geol. Pub. House. 413-417 (in Chinese).
- Zeng W L , Shao W J , Xu Y Y and Pan K M. 2006c. Discussion on origin of uranium mineralization and prospecting potential for Taoshan uranium ore-field , central Jiangxi [A]. Strengthen the geological work & promote the sustainable development : Geo-scientific forum of six provinces and one municipality in east China [C]. Nanchang : Jiangxi Science and Technology Publishing House. 103-106 (in Chinese).
- Zhai Y S. 1999. On metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers , 6(1) : 13-28 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S , Peng R M , Deng J and Wang J P. 2000. Metallogenic system analysis and new-type ore deposits forecast [J]. Earth Science Frontiers , 7(1) : 123-131 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S , Wang J P , Deng J and Peng R M. 2002. Metallogenic System and Mineralization Network [J]. Mineral Deposits , 21(2) : 106-110 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S , Deng J , Wang J P , Peng R M , Liu J J and Yang L Q. 2004. Researches on deep ore prospecting [J]. Mineral Deposits , 23(2) : 142-148 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S. 2007. Earth system , metallogenic system to exploration system [J]. Earth Science Frontiers , 14(1) : 172-181 (in Chinese with English abstract).

- Zhang B J. 2001. Large ore-concentrated area of uranium deposits and uranium metallogeny[J]. Uranium Geology, 17(1):5-16 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J D. 2004. Summarized analysis on potential of uranium resources in China and strategy for uranium geologic exploration[J]. Uranium Geology, 20(5):260-265 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y H, Mao J W, Li Z Y, Qiao C J, Zhang X M and Zhang X W. 2009. Ore deposit types and characteristics of magmatic-hydrothermal systems and implication for exploration[J]. Acta Geologica Sinica, 83(3):399-425 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈毓川,王登红,徐志刚,朱明玉. 2006. 对中国成矿体系的初步探讨[J]. 矿床地质, 25(2):155-163.
- 陈毓川. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京:地质出版社.
- 陈培荣. 2004. 华南东部中生代岩浆作用的动力学背景及其与铀成矿关系[J]. 铀矿地质, 20(5):266-270.
- 陈跃辉,陈祖伊,蔡煜琦,施祖海,封全宏,付锦. 1997. 华东南中生代伸展构造时空演化与铀矿化时空分布[J]. 铀矿地质, 13(3):129-146.
- 杜乐天. 1982. 花岗岩型铀矿文集[M]. 北京:原子能出版社. 1-357.
- 戴民主. 2006. 江西省铀矿资源潜力及其找矿方向[J]. 东华理工学院学报,(增刊):12-19.
- 傅增耀. 1979. 某区花岗岩中铀矿床成因讨论[J]. 放射性地质, 12(1):12-18.
- 关广岳. 1994. 成矿动力系统的定志与失定[J]. 东北大学学报, 15(1):20-23.
- 郭湖生. 2006. 桃山铀矿田成矿规律与找矿方向[A]. 加强地质工作促进可持续发展——华东六省一市地学论坛文集[C]. 南昌:江西科学技术出版社. 107-110.
- 黄净白,黄世杰. 2005. 中国铀资源区域成矿特征[J]. 铀矿地质, 21(3):129-138.
- 胡瑞忠,李朝阳,倪师军,于津生. 1993. 华南花岗岩型铀矿床成矿热液中 ΣCO_2 来源研究[J]. 中国科学(B辑), 23(2):189-196.
- 胡瑞忠,毕献武,苏文超,彭建堂,李朝阳. 2004. 华南白垩-第三纪地壳拉张与铀成矿的关系[J]. 地学前缘, 11(1):153-160.
- 胡瑞忠,毕献武,彭建堂,刘森,钟宏,赵军红,蒋国豪. 2007. 华南地区中生代以来岩石圈伸展及其与铀成矿关系研究的若干问题[J]. 矿床地质, 26(2):139-147.
- 华仁民,毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18(4):300-308.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,刘晓东,陆建军,林锦富,姚军明,戚华文,张展适,顾晟彦. 2003. 华南中-新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学(D辑), 33(4):335-343.
- 侯增谦,李红阳. 1998. 试论幔柱构造与成矿系统——以三江特提斯成矿域为例[J]. 矿床地质, 17(2):97.
- 刘丛强,黄智龙,李和平,苏根利. 2001. 地幔流体及其成矿作用[J]. 地学前缘, 8(4):231-243.
- 李人澍. 1996. 成矿系统分析的理论与实践[M]. 北京:地质出版社. 19-20.
- 毛景文,华仁民,李晓波. 1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质, 18(4):291-299.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 11(1):45-51.
- 毛景文,谢桂青,程彦博,陈毓川. 2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型[J]. 地质论评, 55(3):347-353.
- 涂光炽. 2000. 中国超大型矿床(IIM)[M]. 北京:地质出版社.
- 涂光炽. 2001. 过去20年矿床事业发展的概略回顾[J]. 矿床地质, 20(1):1-9.
- 涂光炽. 2003. 寻找超大型矿床基础研究若干问题思考[A]. 中国超大型矿床(IIIM)[M]. 北京:科学出版社. 1-13.
- 谢桂青,毛景文,胡瑞忠,李瑞玲,曹勤建. 2005. 中国东南部中生代地球动力学背景若干问题的探讨[J]. 地质论评, 51(6):613-620.
- 徐国庆. 1987. 6210铀矿田的花岗岩和矿化成因[J]. 铀矿地质, 3(1):9-22.
- 颜裕民. 1996. 桃山岩体地质特征及对铀成矿的控制作用[J]. 华东铀矿地质, (3):9-18.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,唐维新,毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 36(3):528-543.
- 於崇文. 1994. 成矿作用动力学——理论体系和方法论[J]. 地学前缘, 1(3):54-82.
- 於崇文. 2001. 成矿动力系统在混沌边缘分形生长——一种新的成矿理论与方法论[J]. 地学前缘, 8(3):9-28.
- 曾文乐,傅增耀,潘开明,徐宜芽,曾银生. 2006a. 桃山铀矿田成矿特征、开发前景及找矿方向[J]. 东华理工学院学报,(增刊):51-55.
- 曾文乐,徐宜芽,邵维江,潘开明. 2006b. 江西桃山铀矿田成矿作用及找矿前景展望[A]. 第八届全国矿床会议论文集——矿床学研究面向国家重大需求新机遇与新挑战[C]. 北京:地质出版社. 413-417.
- 曾文乐,邵维江,徐宜芽,潘开明. 2006c. 赣中桃山矿田铀矿成因及找矿前景探讨[A]. 加强地质工作促进可持续发展(文集)——华东六省一市地学科技论坛论文集[C]. 南昌:江西科学技术出版社. 103-106.
- 翟裕生. 1999. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 6(1):13-28.
- 翟裕生,彭润民,邓军,王建平. 2000. 成矿系统分析与新类型矿床预测[J]. 地学前缘, 7(1):123-131.
- 翟裕生,王建平,邓军,彭润民. 2002. 成矿系统与矿化网络研究[J]. 矿床地质, 21(2):106-110.
- 翟裕生,邓军,王建平,彭润民,刘家军,杨立强. 2004. 深部找矿研究问题[J]. 矿床地质, 23(2):142-148.
- 翟裕生. 2007. 地球系统、成矿系统到勘查系统[J]. 地学前缘, 14(1):172-181.
- 仇宝聚. 2001. 铀矿大型矿集区与成矿作用[J]. 铀矿地质, 17(1):5-16.
- 张金带. 2004. 我国铀资源潜力分析与铀矿地质勘查战略[J]. 铀矿地质, 20(5):260-265.
- 张元厚,毛景文,李宗彦,乔翠杰,张孝民,张向卫. 2009. 岩浆热液系统中矿床类型、特征及其在勘探中的应用[J]. 地质学报, 83(3):399-425.