doi: 10.3969/j.issn.1674-3504.2011.04.003

桃山-诸广岩体铀矿床地质-地球物理找矿模式探讨

徐 浩， 崔焕敏， 蔡煜琦， 何德宝
(核工业北京地质研究院，中核集团铀资源勘查与评价技术重点实验室，北京 100029)

摘 要：桃山-诸广铀成矿带是我国最大的花岗岩型铀成矿带，带内集中产出了桃山、鹿井、下庄等花岗岩型大矿田。桃山-诸广岩体地区位于华南活动带内。从区域重力、航磁、航放异常入手，结合地质因素进行综合分析，筛选出与铀元素富集有关的物探异常，列出了地球物理异常找矿的两级标志，总结了桃山-诸广岩体地区花岗岩型铀矿床区域地质-地球物理找矿模式。

关键词：桃山-诸广；花岗岩型铀矿床；地质-地球物理
中图分类号：P619.14 文献标识码：A 文章编号：1674-3504(2011)04-0315-08
引文格式：徐浩，崔焕敏，蔡煜琦，等. 2011. 桃山-诸广岩体铀矿床地质-地球物理找矿模式探讨[J]. 东华理工大学学报：自然科学版，34(4)：315-322. Xu Hao，Cui Huan-min，Cai Yu-qi，et al. 2011. Study on geology-geophysical prospecting model of uranium deposit of Taoshan-Zhuguangshan rock[J]. Journal of East China Institute of Technology(Natural Science)，34(4)：315-322.

在我国南方花岗岩型的铀矿找矿中，尤其是在铀成矿环境的研究中，重力、航磁资料起着非常好的作用，它几乎贯穿铀成矿预测工作的全部过程(舒孝敬，2004)。桃山-诸广铀成矿带是我国最大的花岗岩型铀成矿带，带内集中产出了桃山、诸广、鹿井、下庄等花岗岩型大矿田。前人在岩体演化、岩石地球化学特征、控矿因素、矿化和蚀变、矿床成因和成矿规律方面取得了很多成果(杜乐天，1982；余达淦等，1988；潘永正等，1994；王明太等，1999；戴民主，2005；李建红等，2006；曾文乐等，2006)。而在地球物理方面，将整个成矿带整体考虑的研究较少。本文拟从重力、航磁和航放异常的分析入手，结合铀成矿地质背景，圈定铀成矿的有利地段。

1 地质概况

桃山-诸广铀成矿带位于武夷山-诸广后加里东隆起区的中部，属于华南板块华南活动带，也是滨太平洋的大陆边缘活化造山带。如图1所示，区内广泛出露以震旦-寒武系为主体的早古生代地层。中生界以火山碎屑沉积岩为主，新生界发育于断陷盆地中。岩浆活动频繁，具有多期多阶段活动的特点。以燕山期、印支期和加里东期花岗岩为主。燕山期花岗岩分布最为广泛，几乎遍及整个花岗岩带，南部为呈EW向展布的南岭花岗岩带，北部为呈NE向展布的桃山-于山花岗岩带。区内断裂、褶皱十分发育，尤以NE向深断裂为主。鹰潭-宁都-翁源大断裂、桃山-韶关大断裂、抚州-遂川大断裂三条NE向区域性深大断裂纵贯全区。这些基本地质背景，决定着区内各地质体之间存在较大的密度、磁性及放射性等物性差异，为应用物探方法研究该地区地质体的分布及构造关系奠定了基础。另外，应指出的是，由于受中生代以来太平洋板块间陆壳俯冲和碰撞的影响，铀及其它金属元素活化、迁移、富集，从而使本地区的物探异常中不仅包含了与地质构造相关联的地质信息，同时也包含与铀成矿作用相关的信息。

2 重力异常标志

2.1 预测花岗岩型铀矿床的重力场一级标志

重力异常反映的F3断裂带、隆起带，是预测花岗岩型铀矿床的一级重力场标志(图2)。通过对重力异常的延拓及求导，认为区内以NNE-NE向断裂构造为主，伴随发育NW向、近EW向断裂，构成区域断裂构造格架，对铀成矿带、矿床的形成及赋存起着重要作用。重力延拓表明，NNE-NE向断裂大都为深层断裂构造，其中F1为良口-吉梁断裂，F2

收稿日期：2011-07-12； 责任编辑：吴志猛
基金项目：全国铀矿资源潜力评价项目(1212010733812)
作者简介：徐 浩(1982—)，男，硕士，工程师，现主要从事铀矿地质科研工作。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为赣州-南丰断裂,F3 为安远-宁都-大王山断裂,F4 为黎州-万田-安西断裂,F5 为寻邬-长汀断裂,F6 为上杭-连城(东)断裂。经重力延拓、大地电磁测深及地震法综合验证,安远-宁都-大王山断裂(F3),被认为是切穿地壳的深大断裂。F3 是罗霄褶皱系和武夷山褶皱系的分界线。在区域重力场中,反映为宏观的区域高、低重力异常分界线,在相应的莫霍面深度图上,反映为错断带,在宁都附近尤为明显。F3 是桃山-诸广岩体北部地区的控矿断裂,沿 F3 自北向南已发现了桃山、河草坑、白面石等矿田。因此,根据重力异常判定切壳断裂 F3 的邻近地段,尤其是 F3 转折部位靠重力低场区一侧,是铀成矿最有利的地段。

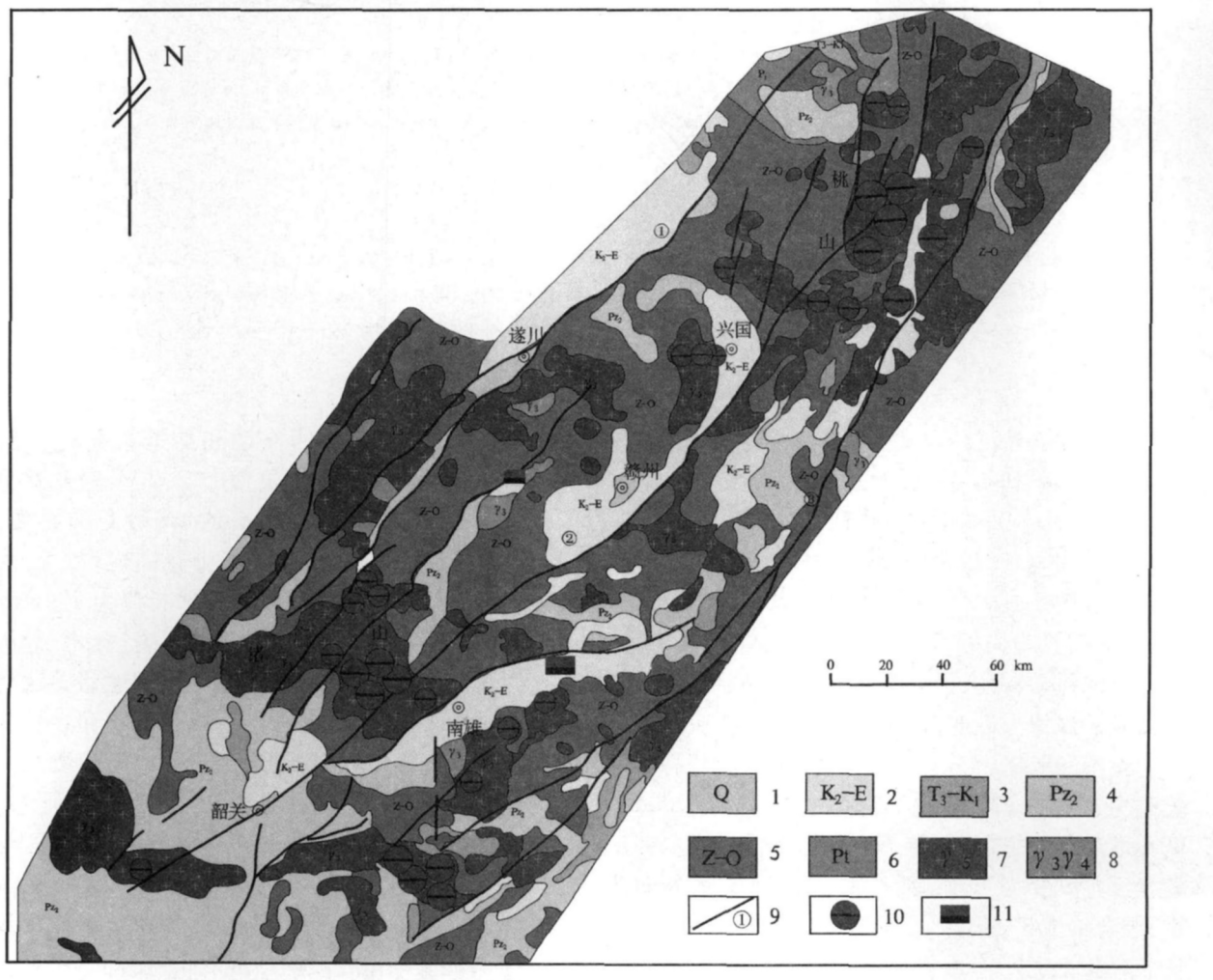

图 1 桃山-诸广铀成矿带地质简图(据黄净白,2005)

Fig. 1 The geological map showing Taoshan-Zhuguangshan uranium mineralization

1. 第四系; 2. 上白垩统-古近系; 3. 上三叠统-下白垩统; 4. 上古生界; 5. 震旦-奥陶系; 6. 元古界; 7. 印支、燕山期花岗岩; 8. 加里东、海西期花岗岩; 9. 大断裂及编号: ①抚州-遂川深大断裂,②桃山-韶关深大断裂,③宁都-翁源深大断裂; 10. 花岗岩型铀矿床、矿点; 11. 砂岩型铀矿床、矿点

褶皱基底隆起带的边缘是铀矿沉淀的重要部位。本地区的褶皱基底主要由密度高达 2.69 g/cm^3 的晚古生代变质岩系构成。区内重力异常的面貌主要由褶皱基底的起伏及侵入于其中的花岗岩体所决定。为查明铀矿赋存与褶皱基底起伏的关系,对重力异常进行了定量计算,得出了褶皱基底深度图(图 3)。可以看出铀矿田及铀矿床皆在褶皱基底的隆坳过渡带部位,如桃山矿田位于隆起带 I(隆 1)与坳陷带(坳 1)之间;鹿井矿田位于隆 2 与坳 2-2 之间;下庄矿田位于隆 3-2 与坳 3 之间等。本地区褶皱基底,是华南加里东褶皱带的组成部分。基底的隆起可能是岩石圈在白垩系发生了大

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

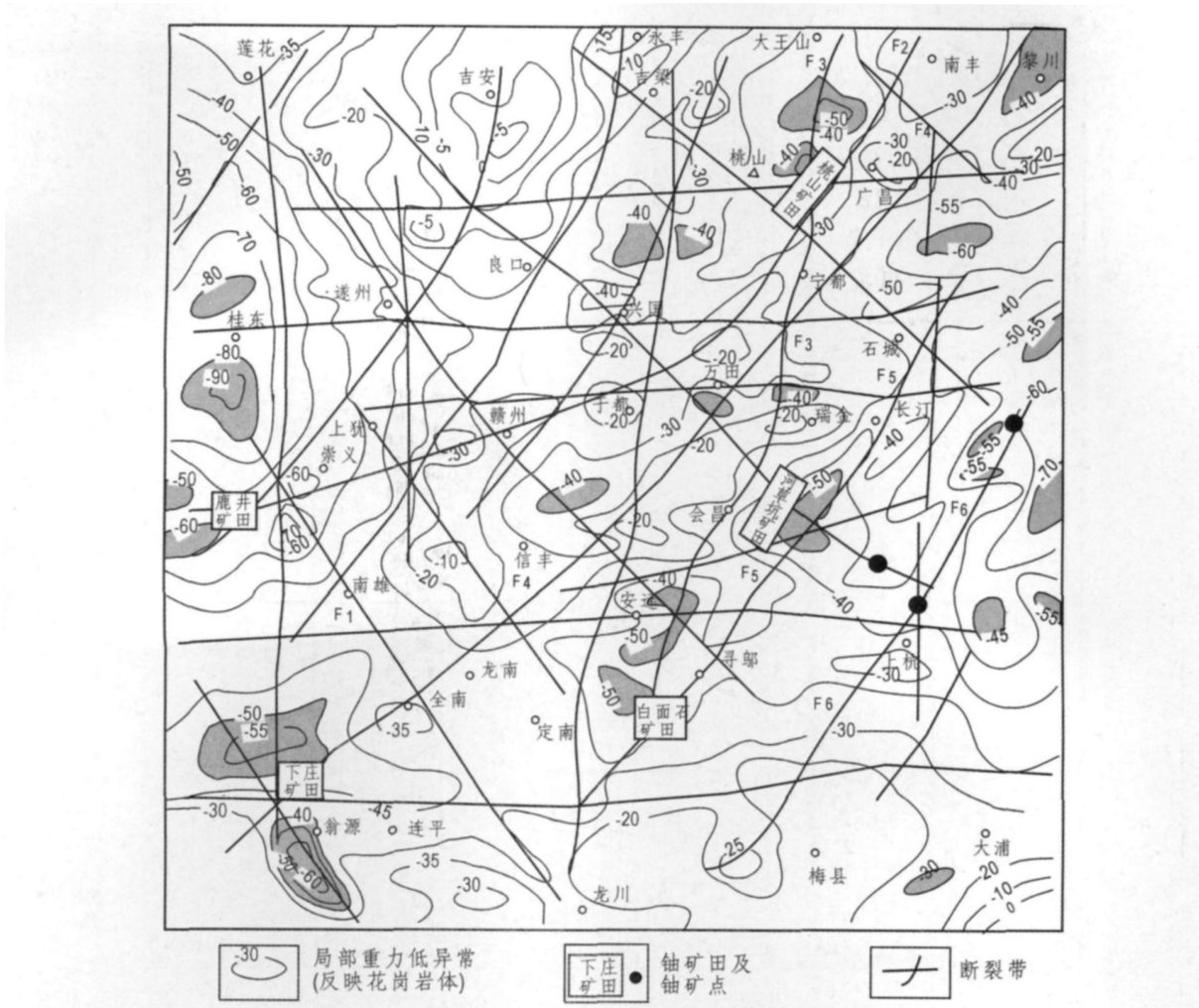

图 2　桃山-诸广重力异常解释图

Fig. 2　The gravity anomaly map of Taoshan-Zhuguangshan region

规模拆沉并引发软流圈地幔强烈上涌所致，上涌的热流对地壳物质加热，能形成巨大的岩浆房（高山等，1997；李子颖等，1999）。岩浆沿断裂不断向浅部涌升，其中的铀元素在适宜的构造及地球化学环境中能富集成铀矿床。

2.2　预测花岗岩型铀矿床的区域重力场二级标志

花岗岩体反映的低值重力场，尤其是环形局部重力低值异常边缘，是预测花岗岩型铀矿床的区域重力场二级标志。因花岗岩密度值低于围岩变质岩系（花岗岩密度约为 2.66 g/cm^3；变质岩系密度约为 2.69 g/cm^3），通常形成似环形的低值重力异常。该种异常有两种情况，其一是面积可达数万平方公里的区域环形异常，它是漂浮在地幔以上的大型花岗岩基的反映；其二是局部环形异常，其范围比出露岩体小的多，可能指示着岩浆的侵入中心。铀矿床多赋存于这种局部低值重力异常的边缘。

华南铀矿省的花岗岩铀矿床主要分布在加里东褶皱带上，受铀含量较高的花岗岩控制。在区域上不同成因类型的花岗岩呈近 EW 向展布，构成规模巨大的 EW 向构造带（邓平等，2002），它们自北至南分别是：雪峰山-武功山-光泽岩带，塔山-弹前-鼓山岩体，九嶷山-诸广山-仙游岩带，花山-大东山-柱东-泉州岩带，桃山铀矿田、河草坑铀矿田、白面石铀矿田、下庄铀矿田依次赋存于其中的花岗岩带中。

3　区域航磁异常特征

3.1　预测花岗岩型铀矿床的区域航磁异常一级标志

航磁异常反映的正磁异常分布区是预测花岗岩型铀矿床的一级区域航磁异常标志。本地区的花岗岩与围岩（变质岩）相比，具有较高的磁性（花

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

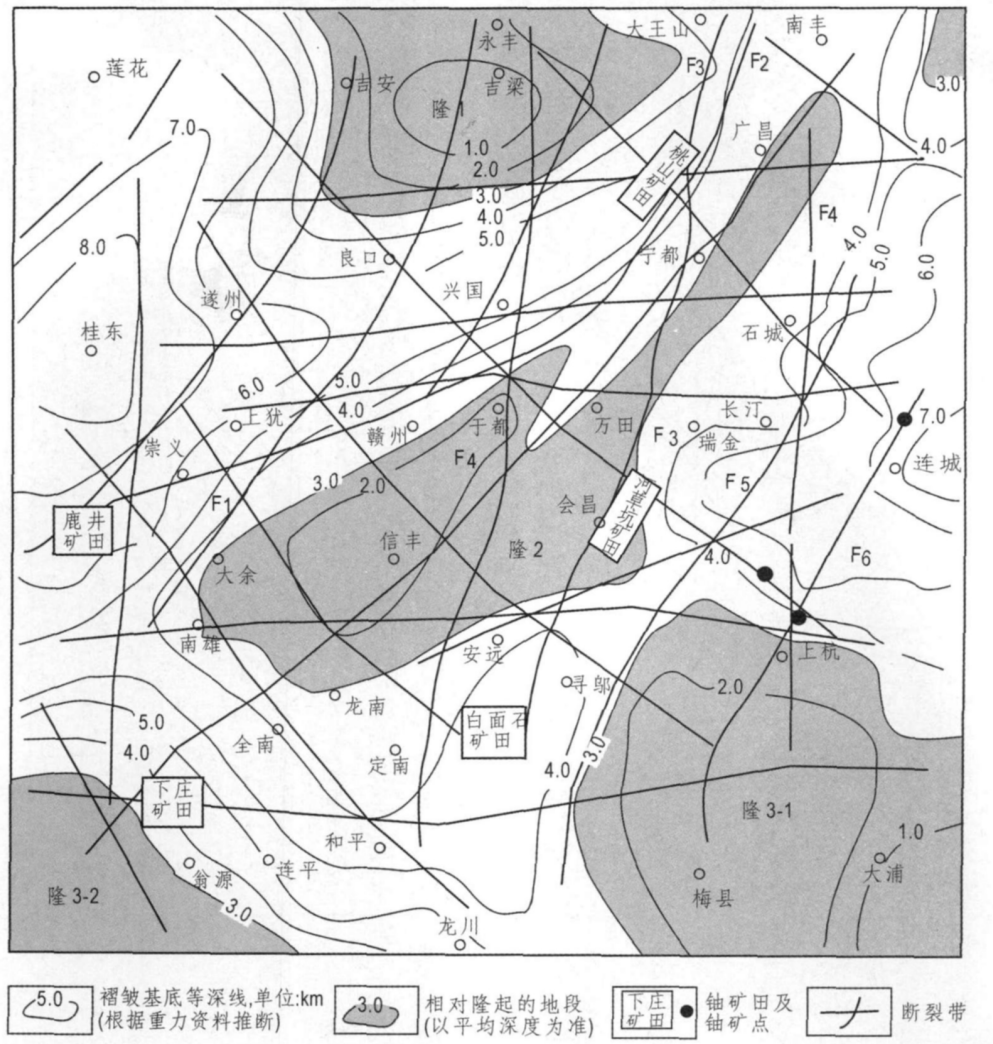

图 3 桃山-诸广褶皱基底深度图

Fig. 3 The folded basement depth map of Taoshan-Zhuguangshan region

岗岩磁化率 K = 3 890 × 1 064 ЛSI)。因此,在航磁异常图上用零值线圈定的异常范围内,以≥50 nT 为标准圈出的正磁异常区(图 4),是预测花岗岩型铀矿床的一级区域航磁异常标志。

3.2 预测花岗岩型铀矿床的区域航磁异常二级标志

航磁异常反映的磁性界面隆、坳交界处的低(负)磁异常是预测花岗岩型铀矿床的二级区域航磁异常标志。本区的结晶基底具有一定磁性,是一良好的磁性界面。根据大面积分布的航磁异常值的高、低,可判读出磁性界面隆起与坳陷交界处的低(负)磁异常区(带)。低(负)磁异常区(带)通常与深大断裂的位置有关,而且多与热液蚀变作用有关。热液循环对铀矿的形成有重要作用,同时它也有很强的退磁作用,它可使花岗岩体及其边缘地层中的磁性矿物,如:磁铁矿、磁黄铁矿蚀变成黄铁矿、赤铁矿等非磁性矿物,导致强烈退磁,形成低(负)磁异常区(带)。由于低(负)磁异常带不仅反映热液蚀变而且与断裂密切相关。因此,它是预测花岗岩型铀矿矿床的二级航磁异常标志。

4 区域航放异常特征

4.1 预测花岗岩型铀矿床的航放异常一级标志

U,Th,K 高值晕圈是预测花岗岩型铀矿床的一级航放异常标志。U,Th,K 高值晕圈往往受地形、覆盖及水系的影响,不完整、支离和不规则,但可根据不完整的局部 U,Th,K 高值晕圈的形态、走向予以连接,形成较完整的反映富铀花岗岩体的 U,Th,

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

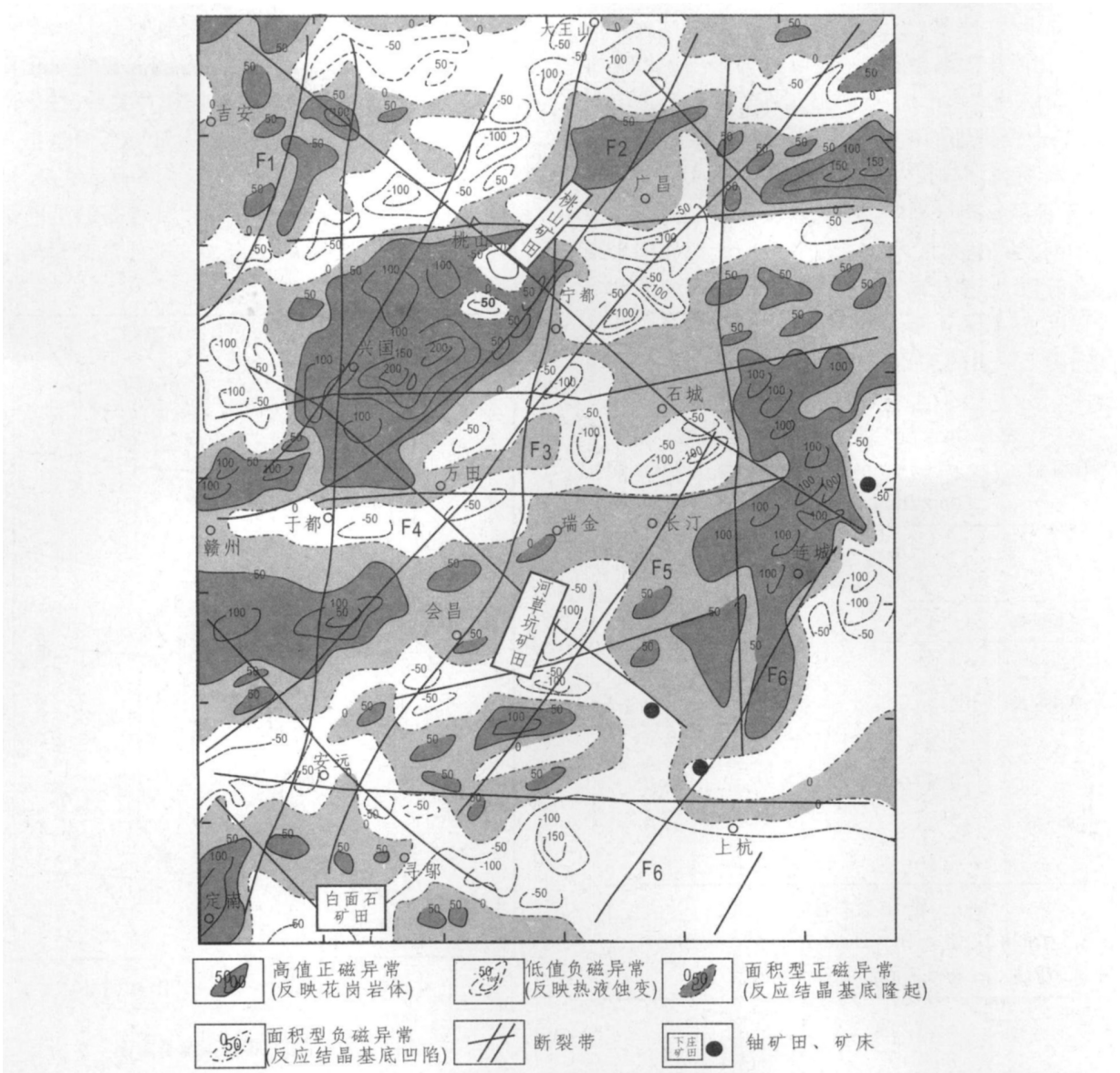

图 4　桃山-诸广航磁异常解释图

Fig. 4　The magnetic anomaly map of Taoshan-Zhuguangshan region

K 高值晕圈,作为预测花岗岩烈铀矿床的一级航放异常标志。本地区的铀源主要来自多期次多阶段的复式花岗岩体(戴民主,2005; 曾文乐等,2006; 李建红等,2006) 。区内主要产铀岩体的 U,Th,K 含量皆高于地壳中酸性岩类内的 U,Th,K 平均含量,U 的活动性大,易于富集成矿。

4.2　预测花岗岩型铀矿床的航放异常二级标志

古铀含量(Gu) 的高值区、Th/U 比的低值区及 K 含量增高区,是预测花岗岩型铀矿床的二级航放标志

(1) Gu 高值区是铀源区的重要标志。依据 Th 元素在地壳中的稳定性以及 Th 元素与 U 元素的共生比值关系,可计算出花岗岩体形成时的初始铀含量,即古铀含量(Gu) 。据统计,产铀花岗岩体形成时的 Gu 值多在 15×10^{-6} 以上。据统计计算,本区桃山岩体及诸广岩体中 $Gu \geqslant 15 \times 10^{-6}$ (表 1) 。诸广岩体中产铀岩体的期次、阶段皆多于桃山岩体,而且 Gu 量也高,因此能形成较大规模的铀矿田。在实际工作中,应用本地区的航空 γ 能谱数据就可进行 Gu 计算,$Gu \geqslant 15 \times 10^{-6}$ 的范围是铀源区。

(2) Th/U 低值区是铀富集区的重要标志。在 Gu 显示的铀源区及其临地段的 U,Th,K 高值晕圈范围内,通常应用活性铀量(Hu) 计算铀的富集地段。但是在山区,由于受残积坡积物、水系及地形

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

变化等干扰,使 Hu 值的客观性受到影响,因此采用 Th/U 比值法效果会更好一些。因为采用比值法可抵消表层及地形干扰,反映出较真实的情况。Th/U >5 的地段是铀的流失区,与用 Gu 量圈定的铀源区基本相当,同时也是蚀源区。而 Th/U <5 的地段,是铀的富集区,其值越低,富集程度越大。从表 2 中可以看出,诸广岩体中的 Th/U <5 的花岗岩期次及阶段,皆多于桃山岩体,但桃山岩体中的铀富集程度,从数值上看,要高于诸广岩体。从航空 γ 能谱图上圈出的 Th/U <5 的范围,指示着铀的富集地段。

表 1 桃山、诸广花岗岩体古铀含量值

Table 1 The paleo-uranium abundance of Taoshan and Zhuguangshan rock

期次		桃山 $Gu \geqslant 15 \times 10^{-6}$	诸广山 $Gu \geqslant 15 \times 10^{-6}$
燕山晚期	Ⅱ	15.3	19.7
燕山早期	Ⅲ	15.6	17.0
	Ⅱ		16.0
	Ⅰ	15.0	19.6
印支期	Ⅲ		18.0
	Ⅱ		19.0
	Ⅰ		18.7

表 2 桃山、诸广岩体 Th/U 值

Table 2 The Th / U ratios of the Taoshan and Zhuguangshan rock

期次		桃山 Th/U	诸广 Th/U
燕山晚期	Ⅱ	0.85	0.76
	Ⅰ	1.6	
燕山早期	Ⅲ	1.6	2.22
		2.1	
	Ⅱ	1.5	2.04
		2.7	2.13
	Ⅰ	2.9	3.79
		1.4	
印支期	Ⅲ		2.02
	Ⅱ		2.57
	Ⅰ		2.18

(3) K 量的增高晕是指示富铀区的辅助标志。地壳中酸性岩类的 K 含量平均值为 3.34×10^{-2},而华南地区花岗岩的 K 含量平均值为 5.02×10^{-2},因此把 $K > 5 \times 10^{-2}$ 的值定为 K 含量增高晕圈的标志。K 量增高反映蚀变程度高,也是氧化作用较强的显示。U 量与 K 量呈正相关关系,在华南地区铀矿床中普遍存在。因此 K 量增高晕是指示铀矿赋存地段的重要辅助标志。图 5 所示的 K 量增高晕的分布中,可清楚看出,K 量增高晕沿断裂分布,尤其沿 F3 断裂分布,断裂交汇处是 K 量的主要富集地段。

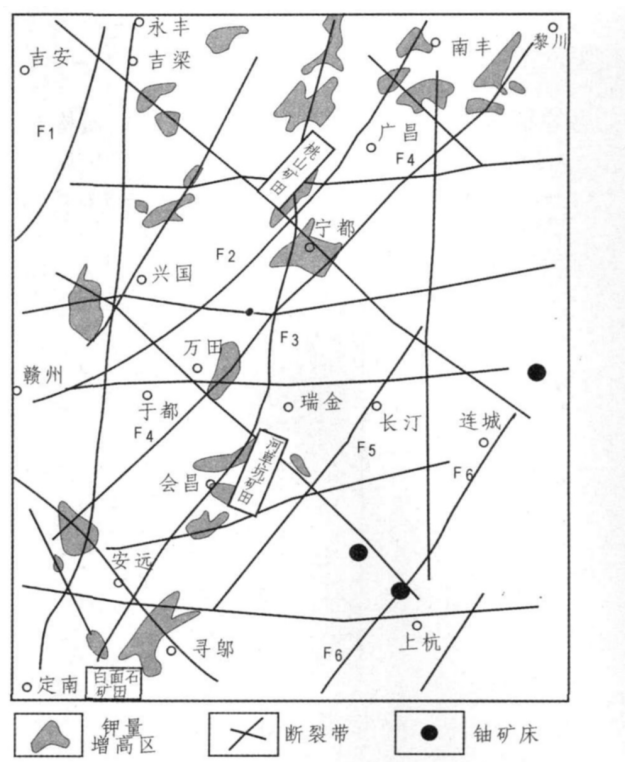

图 5 桃山-诸广钾量增高异常图

Fig. 5 The increasing potassium anomaly map of Taoshan-Zhuguangshan region

5 区域地质-地球物理找矿模式

前人对桃山-诸广成矿带内铀矿床的成因做了很多研究(李田港,1989; 张祖还等,1991; 郑永飞,1996; 周新民等,2007; 张辉仁,2010),带内铀矿床多属花岗岩型铀矿床,具体可分为硅化带型、碎裂蚀变岩型、交点型、花岗岩体外带等亚类型。铀矿床都是受岩浆活动作用活化的成矿热液在浅部富集的结果,铀源主要来自花岗岩,热源主要来自加热的深循环地下水和岩浆残余热液,部分来自地幔热流体。赋矿部位在花岗岩岩体内张性构造发育,早期蚀变以硅质充填为主时常形成硅质脉型铀矿床; 在赋矿部位压扭性构造发育,碎裂蚀变较强烈

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时常形成破碎蚀变型铀矿床; 当岩体内中基性脉岩发育时,由于岩性的差异性,中基性脉体较岩体构造带其他部位更有利于成矿,常形成交点型铀矿床; 赋矿部位在岩体边缘带时,矿体常受构造与岩性双重控制,形成外带型铀矿床。

将富铀的花岗岩体、区域深大断裂、蚀变带、富铀地层等成矿要素与区域地球物理找矿标志进行分析、综合,即可得出"桃山-诸广岩体北部地区花岗岩型铀矿床区域地质-地球物理找矿模式",用表(表 3)。根据布格重力异常及航磁异常地球物理找矿标志,判定本地区有利于铀成矿的地质构造地带,然后再依据航空 γ 能谱找矿标志,圈定富集铀矿的最有利地段。

随着找矿勘查技术的进步以及工作程度的提升,浅表矿床绝大多数已被发现,铀矿勘查工作正朝着寻找隐伏矿、深部矿的方向转变。随着找矿深度的增加,找矿难度不断加大,深部铀资源的扩大与预测技术急需攻关。而地质找矿模式和物化遥等综合资料的应用是深部找矿的重要要素,如何将地质找矿模式和物化遥综合信息有机结合,建立适用的地质-地球物理找矿模式值得进一步探索。

表 3　桃山-诸广岩体铀矿地质-地球物理模式

Table 3　The geology-geophysical model of uranium deposit of Taoshan-Zhuguangshan rock

分类		地球物理找矿标志	地质因素
布格重力异常	一级标志	①重力异常、延拓、求导反映的 F3 深大断裂,其边缘的重力低场及转折部位; ②重力资料反映的褶皱基底隆起带边缘的坳陷地带。	①F3 是岩浆上升的通道,在 F3 与近东西向断裂的交汇部位,有大量花岗岩入侵。桃山、河草坑、白面石等铀矿田皆存在于 F3 断裂旁侧,尤其是断裂交汇及转折部位。 ②褶皱基底隆起带推断为岩浆房所在处,在其边缘的坳陷部位,在地化环境适宜下富集成矿。
	二级标志	局部环形低值重力异常及边缘地带。	花岗岩的密度低于围岩变质岩,因此呈现重力低值异常。局部环形重力低值异常,是花岗岩体的侵入中心,铀矿多赋存于其边缘。
航磁标志	一级标志	航磁异常反映的正值环形磁异常(≥50 nT)及其边缘地带。	花岗岩与围岩相比具有较高磁性,通过统计与对比,用≥50nT 的等磁异常线圈出的局部环形磁异常应是花岗岩的侵入体。
	二级标志	大面积航磁异常反映的磁性界面隆、凹交界处,尤其是低(负)磁异常带。	本地区的结晶基底具有磁性,大面积正、负磁异常的交界部位应是深大断裂的位置。该处的负磁异常区是热液蚀变退磁作用的结果。
航空 γ 能谱	一级标志	U,Th,K 高值晕圈	本地区的铀源来自 U,Th,K 含量皆甚高的花岗岩体,因此,根据 U,Th,K 高值晕圈可以圈出铀源区。
	二级标志	①古铀含量(Gu)高值区($Gu \geq 15 \times 10^{-6}$);②Th/U 比值低值区(Th/U < 5);③K 量高值区($K > 5 \times 10^{-2}$)	①根据 Th 元素的稳定性及与 U 因素的共生比值关系可计算出古铀量(Gu),$Gu \geq 15 \times 10^{-6}$ 的花岗岩是产铀岩体; ②Th/U 比值低是富铀的标志,富铀地区的 Th/U < 5; ③K 与 U 的性质相近,富 K 处 U 量亦高,K 量增高处与断裂相关,K 量增高处也是 Sn,Zn,Pb,Ag 等元素的高值区,与红盆的位置基本一致。

参 考 文 献

戴民主. 2005. 华东铀矿地质志 [M] //中国核工业地质局. 中国南方铀矿地质志.

邓平,舒良树,谭正中,等. 2002. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与铀成矿序列 [J]. 铀矿地质,18(5):257-263.

杜乐天. 1982. 花岗岩型铀矿文集 [M]. 北京: 原子能出版社.

高山,金振民. 1997. 拆沉作用及其壳—幔演化动力学意义 [J]. 地质科技情报,16(1):1-9.

李建红,梁良. 2006. 桃山-诸广-桂东花岗岩岩体的地质地球化学特征和构造环境及其铀成矿 [J]. 矿物岩石地球化学通报,(Z1):294-295.

李田港. 1989. 201 和东坑矿床地质特征和富矿形成条件初步分析 [J]. 铀矿地质,5(2):66-71.

李子颖,李秀珍,林锦荣. 1999. 试论华南中新生代地幔柱构造、铀成矿作用及其找矿方向 [J]. 铀矿地质,15(1):9-17.

潘永正,张建新. 1994. 诸广岩体南部伸展构造与铀成矿关系的探索 [J]. 铀矿地质,10(3):138-143.

舒孝敬. 2004. 重力、航磁资料在花岗岩型铀矿成矿研究中的应用 [J]. 铀矿地质,20(2):99-109.

王明太,罗毅. 1999. 诸广铀成矿区矿床成因探讨 [J]. 铀矿地质,15(5):266-270.

余达淦,汪明. 1988. 桃山-诸广复式岩体花岗岩类岩石铀-钍地球化学特征 [J]. 华东地质学院学报,11(4):301-312.

曾文乐,傅增耀,潘开明,等. 2006. 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,(Z1):51-55.

张辉仁,王军,徐海文,等. 2010. 粤北下庄矿田东、西部"交点"型铀矿化差异分析 [J]. 东华理工大学学报: 自然科学版,33(1):1-8.

张祖还,章邦桐. 1991. 华南产铀花岗岩及有关铀矿床研究 [M]. 北京: 原子能出版社.

郑永飞. 1996. 6217 热液铀矿床形成的物理化学条件研究 [J]. 矿物学报,16(1):20-27.

周新民,陈培荣,徐夕生,等. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化 [M]. 北京: 科学出版社.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Study on Geology-geophysical Prospecting Model of Uranium Deposit of Taoshan-Zhuguangshan Rock

XU Hao, CUI Huan-min, CAI Yu-qi, HE De-bao
(Beijing Research Institute of Uranium Geology, CNNC Key Laboratory of Uranium Resource Exploration and Evaluation Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Taoshan-Zhuguangshan uranium mineralization is the largest granite-type uranium ore belt in China. The Taoshan, Lujing, Xiazhuang and other large granite-type ore field are distributed there. The Taoshan-Zhuguang rock lies in Huanan active tectonic belt. The uranium enrichment-related geophysical anomalies are decided based on the comprehensive analysis of regional gravity, aeromagnetic, airborne radioactivity data and geological factors. The geophysical anomalies with two grades are stated. The geology-geophysical prospecting model of uranium deposit was established.

Key Words: Taoshan-Zhuguangshan; granite-type uranium deposit; geology-geophysical prospecting model

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net