第 20 卷 第 3 期 铀 矿 地 质 Vol. 20 No. 3
2004 年 5 月 Uranium Geology May 2004

浙江 199 淋积矿床铀矿化类型及其特征

汤其韬

(浙江省核工业地质局 269 大队，浙江 金华 321028)

[摘要] 本文论述了产于寿昌-梅城中生代火山喷发带的 199 铀矿床的基本地质特征，在分析其矿化类型和控矿因素的基础上，探讨了矿床的成因，认为该矿床由淋积作用所形成。199 铀矿床具有品位高、埋藏浅、易于开采和浸出，经济效益较高的特点。

[关键词] 铀矿化；淋积型；吸附还原剂；层间断裂

[文章编号] 1000-0658(2004)03-0156-07 [中图分类号] P618 [文献标识码] A

1 矿区地质概况

199 矿床位于江山-绍兴深大断裂带北侧、寿昌-梅城中生代火山喷发带北东段的阳山火山盆地西部。

基底由元古界双溪坞群浅变质的碎屑岩建造，震旦系碎屑岩、含镁碳酸盐建造，古生界寒武系含炭泥质、钙镁质碳酸盐建造组成。

盖层由中生界上侏罗统黄尖组及寿昌组组成，总体上围绕阳山火山口分布，主要为火山岩相及湖相地层。火山岩的厚度由阳山四周向外逐渐变薄。黄尖组由流纹岩、火山碎屑沉积岩、沉积岩组成，为一套火山岩相及河湖相地层。寿昌组由流纹岩、流纹斑岩、火山碎屑岩及砂岩夹页岩、泥岩组成，为一套火山岩相、次火山岩相及湖相地层。

区内发育 NE、NW、EW 及 NNW 向断裂[1]。

2 矿床地质

矿床范围内出露的地层有上侏罗统黄尖组和寿昌组。

黄尖组为一套中酸-酸性火山碎屑岩和熔岩地层，可划分为 3 段，矿床范围内只有中、上两段地层：中段 (J_3^2h) 为英安质角砾熔结凝灰岩、英安质角砾岩屑凝灰岩、角砾凝灰岩，夹含砾砂岩、粉砂岩、泥岩，底部为黑色玄武岩。上段 (J_3^3h) 下部为浅黄色含砾流纹质多屑熔结凝灰岩、流纹岩，局部见凝灰质砂岩或沉凝灰岩；顶部为流纹质熔结凝灰岩、角砾集块岩等。

寿昌组地层分为两段：下段 (J_3^1s) 主要岩性为钙质粉砂岩、凝灰质粉砂岩、长石石英砂岩、含砾砂岩夹炭质页岩、泥岩。岩石碎屑分选好，层理清楚，具有微细层理及交错层理。胶结物为粘土、钙质等。该段属湖相沉积，是矿床的主要含矿层。铀矿化主要产于该段的上部地层中。上段 (J_3^2s) 具火山喷发韵律特征，分为两个亚段：第一亚段 ($J_3^{2-1}s$) 分为两层。第一层为斑状流纹岩（局部见珍珠流纹岩），斑状结构，斑晶为长石(多见钾长石)。该层底部岩石具有微弱红化及铀矿化，为矿床主要含矿地层之一。第二

[收稿日期] 2003-02-26

[作者简介] 汤其韬（1940 - ），男，1964 年毕业于长沙地质学校，长期从事铀矿地质工作，现已退休。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

层为沉凝灰岩，主要由石英、长石和玻屑组成，岩石次生变化为碳酸盐化、水云母化。第二亚段（$J_3^{2-2}s$），分为两层。第一层为流纹质含砾熔结凝灰岩、角砾安山岩、霏细岩、凝灰岩。岩石次生变化是水云母化。第二层为巨厚层熔岩，具有明显的块状构造。

矿区次火山岩及脉岩比较发育，主要有流纹斑岩、霏细斑岩、辉绿岩、安山玢岩等。

矿床范围内断裂、裂隙发育，与铀矿化关系密切的是 NNW、NW 向断裂及层间断裂。

3　铀矿化类型及其特征

矿床位于阳山的西坡，距离阳山熔岩型火山通道只有 1.5 km。火山活动形成的熔岩，即斑状、块状流纹岩，其厚度大（仅 $J_3^{2-1}s$ 第一层就厚达 224 m），岩石铀含量普遍较高，且富含黄铁矿。斑状流纹岩的平均铀含量为 36.5×10^{-6}；块状流纹岩为 40×10^{-6}；火山管道相的陡立状流纹岩为 55×10^{-6}。它们均高出地壳同类岩石铀含量平均值的许多倍，这表明它们可以为矿床的形成提供丰富的物质来源[2]。

据矿床铀矿化的控制因素、矿体产状及成因差异，可将其划分为脉状和层状类型铀矿化。

3.1　脉状类型铀矿化

脉状型是指受切层断裂、裂隙控制的铀矿化。在矿床内有 NNW 及 NW 向两组断裂、裂隙控制着矿化的产出，其中以 NNW 向为主（NW 向断、裂裂隙虽有矿化，但未见表内矿体，下面不加赘述）。

该类型铀矿化主要分布在一号带偏北部的寿昌组 J_3^1s 和 $J_3^{2-1}s$ 地层中的 NNW 向切层断裂、裂隙中（图1）。这组NNW走向的切层

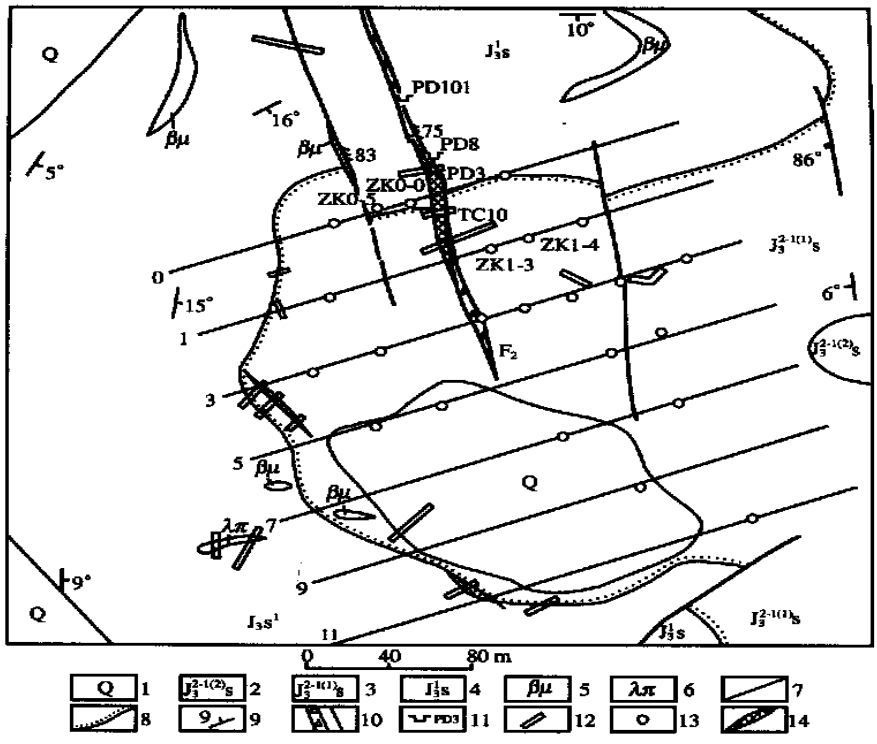


图 1　199 铀矿床 1 号带地质图

Fig. 1　Geologic map of mineralized zone No. 1, uranium deposit No. 199

1 ——第四系；2 ——沉凝灰岩、角砾凝灰岩；3 ——斑状流纹岩、球泡流纹岩；4 ——钙质炭质凝灰质砂岩、粉砂岩夹页岩；5 ——辉绿岩；6 ——流纹斑岩；7 ——地质界线；8 ——不整合界线；9 ——地层产状；10 ——断裂破碎带；11 ——坑道及编号；12 ——探槽；13 ——钻孔；14 ——矿体及矿化体。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

断裂倾向 NEE，倾角 73 °～80 °，宽 1.4～4 m，沿走向长数百米。据新华夏系构造行迹应力分析，该组断裂归属于 350 °的张性断裂组，其经过了多次活动。从野外调查结果看：断裂的第一次活动以张性为主，伴有扭性，并沿之入侵了辉绿岩脉；第二次活动造成流纹岩、砂岩及辉绿岩等的破碎，形成张性角砾岩带；第三次是压扭性活动，充填了断层泥。每次活动后均有淋积铀矿化的富集。矿体厚度与断裂的宽度变化关系十分密切，以 F_2 断裂表现最为明显。

F_2 断裂在 PD3 坑道地表处最宽，断裂破碎带的影响造成碎裂岩宽度达 4 m 多，而其赋存的矿体也有 4 m 多厚。断裂沿其走向南北两段慢慢变窄，而矿体也随之变薄，最后尖灭。在矿体尖灭处向南北方向延伸出去的断裂部位虽然无矿体存在，但是伽玛场明显偏高，为沿断裂分布的偏高场。无论是沿走向还是倾向，断裂均有细微的弯曲，在弯曲处断裂变宽，而矿体厚度也随之加大，断裂破碎程度高处，矿石品位也富。矿体边界线常常是与断裂破碎带、碎裂岩的边界线相一致，所以断裂的宽度往往决定了矿体厚度。即断裂宽，矿体厚度大；断裂窄，矿体就薄。

值得指出的是，并非所有 NNW 向断裂、裂隙中都有铀矿化。矿化主要产于辉绿岩与含砾砂岩、细-粗砂岩接触的断裂、裂隙中，以及辉绿岩、流纹岩、次火山岩——流纹斑岩中断裂、裂隙发育地段。

脉型铀矿化在矿床中有多个表内矿体，占矿床储量的 70 %，其中处在 F_2 断裂中的 I 号矿体是矿床中最大的一个（图 2），占矿床储量的 50 %以上。

矿体呈脉状、群脉状。每个矿体长短、宽窄不一，差异很大：最大者沿走向长 100 余米，厚 2～4 m，沿倾斜延伸百米有余；小者沿走向和倾向长约 20 m。矿石品位很富，埋藏浅（主矿体出露地表），便于开采利用。

该类铀矿化分为原生矿体和后生淋积叠加而成的富矿体。前者保留某些热液成因特征，以 F_2 断裂中的 I 号矿体最为典型。热液成因矿体见有原生的沥青铀矿；蚀变类型有红化、水云母化、硅化、萤石化、绿泥石化、碳酸盐化和黄铁矿化等；微量元素有 Mo、Pb、Y 等，U 与 Mo 含量成正相关关系。然而，后生淋积富集的主要是次生铀矿物和呈吸附状态的铀，表生矿物特别发育。

后生淋积作用形成的次生铀矿物有铀黑、钙铀云母、硅钙铀矿、β-硅钙铀矿，钡铀云母等。

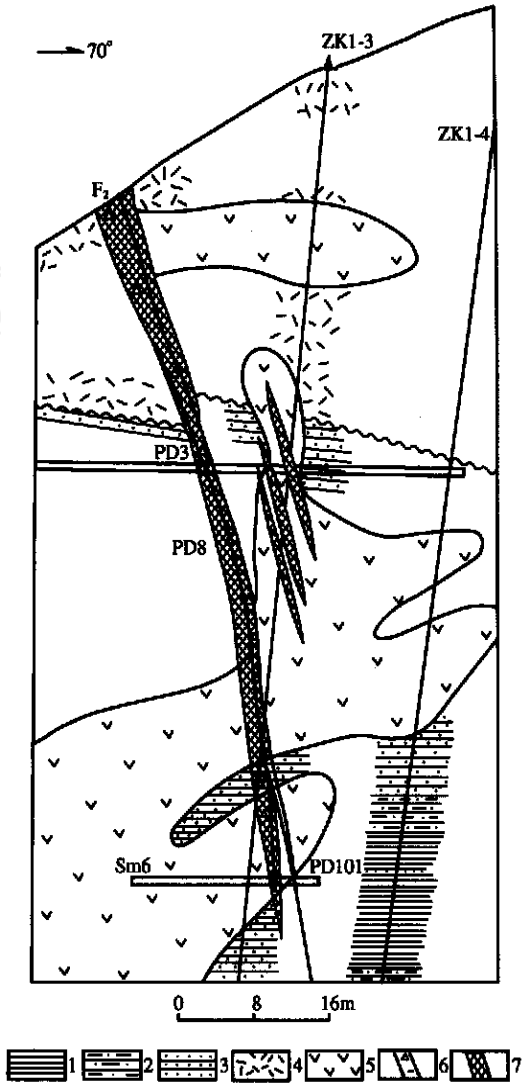


图 2 199 铀矿床 1 号勘探线剖面示意图

Fig. 2 Schematic exploration profile No. 1, uranium deposit No. 199

1——页岩；2——粉砂岩；3——砂岩；4——流纹岩；5——辉绿岩；6——断裂破碎带；7——铀矿体。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

广东省地质矿产厅综合利用研究所对该类矿石所做的一系列碱浸取对比试验结果表明，其中吸附状态的铀占总量的 48 %。所采样品的水冶结果表明次生铀矿物和吸附状态的铀大致比例为 1∶1。

从上述可知，矿石中的铀主要是以次生铀矿物和吸附状态的形式存在。吸附铀的主要载体是粘土矿物、褐铁矿及有机质等，它们对铀的吸附能力是不同的。取样分析的结果表明（表 1），主要脉石矿物中铀的占有率为 36.9 %，其中主要是粘土矿物和褐铁矿。粘土矿物（多水高岭石、蒙脱石、伊利石、水云母、绿泥石等）中吸附的铀达 23 %，褐铁矿为 13 %。

从一般矿石的矿物光谱分析结果可以看出，伴生元素与铀矿化无明显关系（表 2）。

从矿物化学多项分析结果（表 3），可以看出，矿石化学成分与同类无矿岩石具有明显的一致性。

表 1　铀在主要脉石矿物中的分布

Table 1　Distribution of uranium in main gangue minerals

矿物名称	矿物含量（%）	铀含量（%）	铀的分配量	铀的分配率（%）
粘土矿物	56.4	0.0436	0.0245904	23.00
褐铁矿	7.8	0.179	0.013962	13.0
黄铁矿	0.6	0.013	0.000078	0.1
长石	14.1	0.0056	0.0007896	0.7
碳酸盐矿物	12.2	0.0008	0.0000976	0.1
合计			0.0395176	36.9

表 2　矿石伴生元素含量（光谱定量分析）（%）

Table 2　Content of associated elements in uranium ore (quantitative spectrographic analysis)

样品	Ba	Zr	Mo	Cu	Pb	Sn	Ni	V	Y
铀矿石	0.05	0.02	0.004	0.009	0.008	0.001	0.02	0.005	0.004
	0.05	< 0.01	0.005	0.002	0.002	/	0.02	< 0.01	/

表 3　矿石和无矿化岩石化学成分分析（%）

Table 3　Chemical composition of mineralized and non-mineralized rocks

样品名称		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	MnO	FeO	K_2O	Na_2O	U
流纹岩	岩石	76.01	0.93	12.47	0.04	0.12	0.17	0.02	0.01	0.37	4.35	3.78	0.005
	矿石	76.19	0.91	11.76	0.04	0.15	0.15	0.01	0.01	0.45	3.75	3.85	0.395
辉绿岩	岩石	47.53	3.59	15.64	1.52	6.78	5.18	0.49	0.13	5.27	2.11	3.51	0.004
	矿石	46.39	2.88	15.27	1.49	7.36	5.10	0.48	0.13	5.34	2.10	3.40	0.102
砂岩	岩石	62.21	5.42	16.43	0.68	0.48	1.24	0.10	0.04	0.50	4.93	1.60	0.011
	矿石	67.30	2.11	14.46	0.60	0.48	1.50	0.06	0.01	0.38	5.25	0.95	1.268

基于矿床脉型铀矿化的矿石中伴生元素与铀矿化无明显关系，且与同类无矿化岩石成分具有明显的一致性，认为富铀矿体是由热液成因的铀矿化，经后生淋积作用叠加形成的。淋积叠加过程中，粘土矿物和褐铁矿等对铀的吸附起了极其重要的作用。

1 号带的 I号矿体表现出原生矿体经氧化-淋积的脉状富矿体特征。该矿体不但有明显的热液成因特征，而且在矿体中段的垂直 70 m 深处，见有 10 cm 宽的沥青铀矿脉及较强的热液蚀变，后生淋积叠加富集更加明显，矿体更加富化，个别样品铀含量 > 10 %。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

野外和室内观察研究发现，矿区地表存在大量的次生铀矿物，矿石为土状、蜂窝状；较深部可见角砾状矿石，角砾为石英、玉髓脉或砂岩、流纹岩、辉绿岩等。胶结物为粘土矿物及褐铁矿等。铀在胶结物中呈吸附状态和次生铀矿物出现，局部地段少量呈沥青铀矿，并以胶结物和脉体成细脉状出现。

取样分析结果表明，矿石与同类无矿岩石相比较，成矿元素有明显的富集，但没有新的组分加入。矿石中有 Zr、Ba、Mo、Cu、Pb、Cr、Y 等微量元素。在常量组分方面，低品位矿石中，铀与 Al_2O_3、褐铁矿、有机质呈正相关关系，表明铀矿化与粘土矿物、褐铁矿、有机质的吸附有关；高品位矿石中，铀与有机质呈负相关关系。这是因为热液原生矿体中的沥青铀矿脉往往在破碎后被氧化淋积叠加成为富矿，而这个过程中可能伴随着有机质被氧化和淋失，氧化铝不受影响或影响不大。除高品位矿石周围有脱炭退色外，一般矿石均保留原岩的颜色，即呈黑色（有染手现象），无明显的围岩蚀变。

从矿石的水冶样品试验来看，冶炼耗酸量很低（采用硫酸浸出铀），酸用量只需 9 %，而铀浸出率可达 89 %，经济效益好。因此，这种类型的铀矿在今后找矿中值得重视。

3.2 层状型铀矿化

层状型铀矿化是指受岩层及层间构造控制的矿化。前面已述，铀矿赋存的地层有寿昌组下段（J_3^1s），以及上段第一亚段第一层的层间构造中。

该类铀矿化主要分布于矿床的 1 号带，见有多个表内矿体。这些矿体产于 J_3^1s 地层的细-粗砂岩、含砾砂岩层内，以及 $J_3^{2-1(1)}s$ 地层中的斑状流纹岩的层间断裂、裂隙中。从矿体规模及品位上看，这种类型铀矿化均不如脉状型铀矿化。

含矿地层产状是由周边向 1 号带中心部位倾斜。从 1 号带地质图（图 1）上看，北部地层向南东倾斜，西部地层向东或南东倾斜，东部地层向西倾斜（东部出图幅是地势最高的阳山火山口，火山岩向四周外倾斜）。南东部地层向北西倾斜，地层倾角均比较缓，为 5 °～16 °，而且往中心部位逐渐变缓，在 TC10 探槽位置附近的地层近似水平，形成了同一地层四周高，中间低的“锅底”形状。有效孔隙度良好的细-粗砂岩、含砾砂岩，及斑状流纹岩层底部的层间断裂、裂隙与切层断裂及火山通道都是彼此沟通，互相联系的。原生的热液矿体及火山活动给层状型铀矿化提供了淋积铀源。该类铀矿化集中分布在地层产状近似水平的部位，这个部位是矿床古地下水活动的汇水区，成了层状铀矿化富集的最佳地段。

无论是细-粗砂岩、含砾砂岩或是流纹岩层底部的矿化，大多数的表内矿体均不出露地表，呈似层状、层状及透镜状，其走向和倾向延伸都不大，分别为 14 m 和 30 m，最大的表内矿体厚 7.63 m（为盲矿体）。

矿化岩石具有颜色浅、松散和孔隙度大的特点。由于原岩中的矿物成分主要是粘土矿物，其次是褐铁矿（由黄铁矿氧化而来）和有机质，它们对铀起了吸附沉淀富集的作用。铀在矿石中主要呈吸附状态和次生铀矿物存在，目前尚没有发现沥青铀矿等铀的氧化物。矿石中粘土矿物主要是多水高岭石，其铀含量很高，大于 0.3 %。因此，吸附铀的粘土矿物是多水高岭石，褐铁矿也吸附了大量的铀。铀的次生矿物主要是硅钙铀矿及钙铀云母等。

矿石中这些含铀矿物和铀的次生矿物是以充填形式存在于断裂角砾岩、砂岩、含砾砂岩的孔隙、砾间空隙及岩石裂隙内，作为胶结物的形式出现。

在化学成分方面，矿化砂岩、含砾砂岩与相应同类无矿岩石比较，矿石中因流失钙而具有较高铁含量的特点，微量元素有 Ni、Mo、Y 和 Zn 的富集。斑状流纹岩层中的矿石与相应的同类无矿岩石没有明显差异。

按照控制该类矿化的岩石及构造可分为：砂岩及含砾砂岩层控型铀矿化；斑状流纹岩

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

底部层间构造中的层控型铀矿化。

3.2.1　砂岩及含砾砂岩层控型铀矿化

含矿层为近水平岩层，矿体呈平躺着的形式出现。矿化岩石有含砾砂岩、粗砂岩、中粗砂岩、细砂岩，其中含砾砂岩、粗砂岩中的矿化最好。上述这些岩石不但具有良好的孔隙度（在有层间断裂、裂隙发育的地段更加大了岩石的孔隙度），渗透性强，利于含矿溶液在其中活动及沉淀富集；而且，岩石中含有大量的粘土矿物、有机质、褐铁矿、黄铁矿等铀的吸附还原剂，对铀起吸附还原作用，使铀固定在这些岩石中，导致富集成矿，形成了有工业价值的矿体。

含矿层的上覆、下伏地层均有不透水层或透水性很差的泥质粉砂岩、泥岩、页岩等。这样就形成了岩石圈闭条件，使含矿溶液局限在砂岩及含砾砂岩中活动，并沉淀富集成矿体。从 1 号带 0 号勘探线剖面 ZK0–0 钻孔中就有 3 个表内矿体赋存于细–粗砂岩及含砾砂岩中（图 3）。矿体厚度与砂岩及含砾砂岩层的厚度呈正相关关系。如果把该钻孔见到的表外矿体也计算在内，那么，砂岩层加上含砾砂岩层的总厚度，就等于矿体的厚度。由上述可知，此含矿层的上覆、下伏不透水层或透水性极差的岩层对矿液活动起到了屏障作用，对铀成矿作出了贡献。

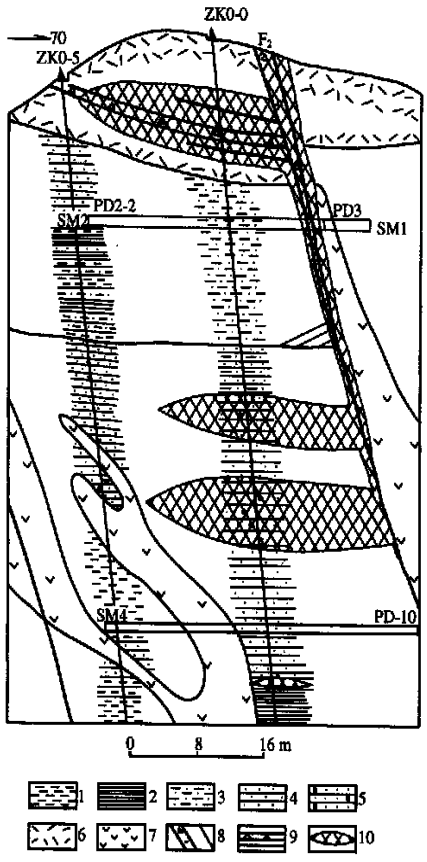


图 3　199 矿床 0 号勘探线剖面图

Fig. 3　Schematic exploration profile No. 0, uranium deposit No. 199

1 ——泥岩；2 ——页岩；3 ——泥质粉砂岩；4 ——砂岩；5 ——含砾砂岩；6 ——流纹岩；7 ——辉绿岩；8 ——切层断裂破碎带；9 ——层间断裂破碎带；10 ——表内矿体。

3.2.2　斑状流纹岩底部层间构造中的层控型铀矿化

矿化产于斑状流纹岩底部，受层间断裂、裂隙控制，矿体产状与地层一致，近于水平。层间断裂表现为角砾糜棱岩、角砾岩、强碎裂岩、片理化带及断层泥等。裂隙表现为平行层间断裂的裂隙发育密集带及微裂隙、丝发状裂隙，呈透镜状分布。在断裂、裂隙中有大量的黄铁矿、褐铁矿、多水高岭石、有机质等吸附沉淀铀的物质，使铀能固定在层间断裂、裂隙内，形成有工业价值的矿体。

层间断裂、裂隙下伏地层为不透水的泥质粉砂岩、泥岩，使成矿溶液限制在不透水层之上的层间断裂、裂隙内活动，导致沉淀富集铀矿化

沿层间断裂、裂隙带及其旁侧的岩石中见有微弱红化，说明铀矿化不完全是常温下富集而成的。火山活动加热地下水，造成热水含矿溶液沿流纹岩底部层间断裂、裂隙中流动并形成铀矿化及微弱的围岩蚀变。然而，铀矿化是处在弱红化的核部。

层间断裂中的铀矿化比较稳定，呈透镜状、似层状。矿体厚度较大，约 5 m 左右，为角砾状矿石。裂隙带中的矿化极不稳定，呈小透镜状及小团块状，为细脉状或网脉状矿石，常常是以层间断裂、裂隙带的边界为矿体边界线。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

鉴于上述层状型铀矿化的特征，笔者推断，矿化是由于含矿常温地下水或地下热水顺寿昌组第一段（J_3^1s）细-粗砂岩、含砾砂岩，及寿昌组第二段第一亚段第一层（$J_3^{2-1(1)}s$）斑状流纹岩底部的层间断裂、裂隙带循环活动过程中，在有利的地质及物理化学条件下沉淀富集而成的，属于古淋积型铀矿化。然而，现今的矿床部位正处于潜水面之上的氧化环境中，造成铀的迁移流失。

4 几点认识

(1) 脉状及层状铀矿化，虽然均属淋积富集成矿，但是在成因上还是有一些差异：脉状型铀矿化赋存于切层断裂、裂隙带中，经过了多次断裂活动，第一次断裂活动还伴有热液活动，形成热液铀矿体或矿化地段，后经氧化-淋积叠加改造含矿主岩，属原生-淋积叠加富矿化；层状型铀矿化赋存于砂岩和含砾砂岩层及斑状流纹岩底部的断裂、裂隙中，由含矿地下水的顺层渗滤作用（古淋积）形成。

(2) 无论是切层古淋积型还是顺层渗滤古淋积型铀矿化，它们共同的主要特点是：具有较多的铀的吸附还原剂——黄铁矿、褐铁矿、粘土类矿物、有机质等，这些吸附还原剂是铀沉淀富集的重要因素；矿石与相应同类无矿岩石比较，矿物成分及化学成分没有明显差异。

(3) 矿床无论是原生-淋积叠加铀矿化，还是地下水渗滤、淋积铀矿化，它们都形成于同一个地质时代。寿昌早期沉积了砂岩层及含砾砂岩层，晚期形成一套火山岩。火山岩形成以后，横山期及整个白垩纪时期是寿昌-梅城喷发带盆地红层发育时期，干旱的气候和潮湿气候交替出现，同时，构造变动及火山活动强烈，因而，这个时期既宜于原生-淋积叠加铀矿化的形成，也宜于地下水渗滤淋积铀矿化的形成。

(4) 根据矿床中两种类型铀矿化的成矿特点和规律，找矿时首先必须考虑具备良好的铀源条件，要注重富铀地层中的伽玛高异常场地段，也要注意岩石组合及相变等特征，然后分析有利的地层构造，有利的岩性（有效孔隙度及有利的铀的吸附还原剂），逐步缩小靶区，找出矿化段。

[参考文献]

[1] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志（区域地质）[M]. 北京：地质出版社，1983.11.

[2] 汤其韬. 浙江铀矿床主要地质特征及成矿模式[J]. 铀矿地质，2000. 2 (16)：91～98.

Mineralization-type of uranium deposit No. 199 and its characteristics

TANG Qi-tao

(Geologic party No. 269, Zhejiang Nuclear Industry, Jinhua 321028, China;)

Abstract: Basic geologic characteristics of uranium deposit No. 199 located in Shouchang-Meicheng Mesozoic volcanic-effusive belt are expounded. Meanwhile, on the basis of analyzing the mineralization type and ore-controlling factors, the genesis of the deposit is discussed. It is suggested that the deposit was formed by the infiltration process. Ores of uranium deposit No. 199 are characterized by high grade, shallow occurrence, easiness to be mined and leached, as well as the high economic efficiency.

Key Words: uranium mineralization; infiltration-type; adsorbent-reductant; interlayer fault

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net