文章编号:1005－6157(2006)04－252－05

浙江缙云中生代陆相火山岩沸石矿床地质特征

陈婉君，杨智荣

（广东省有色金属地质勘查研究院， 广东 广州 510080）

摘 要:浙江省缙云县是我国东部中生代陆相火山岩型沸石矿床的重要产区。本文主要叙述了浙江缙云壶镇盆地及外围的沸石矿区－区域地质概况及矿床地质特征。

关键词:矿床地质特征;找矿标志;沸石矿石;浙江缙云
中图分类号: P619.2; P588.21 文献标识码:B

沸石是一类具有奇妙孔道结构和独特晶体化学性质的含水架状硅铝酸盐矿物，具有优异的离子交换、吸附、催化及分子筛分性能，在农业、建材、化工、环保、医药、国防以及新材料等众多领域有着广泛的现实应用与巨大的应用潜力。浙江省缙云县是我国东部中生代陆相火山岩型沸石矿床的重要产区。自20世纪70年代初在该地区发现沸石矿床以来,国内对沸石矿床的特征及应用研究从未间断,也已经取得了一些成果和进展[1-2]。本文主要介绍了浙江省缙云县壶镇盆地及其外围一带中生代陆相火山岩型沸石矿床的矿床地质特征。

1 区域地质背景

矿区处在中生代断陷型陆相火山盆地－壶镇盆地（沈宅矿区）及其外围（岱石东南矿区）。该区位于东南地洼区闽浙地洼系福州地穹列与浙粤地穹系绍广地洼列交替复合部位，主体处在福州地洼列。

壶镇盆地及其外围地层出露比较简单。除少量第四系全新统冲积层分布冲沟和溪流及其沿岸外,盆地内部主要出露晚侏罗世和白垩纪地层,盆地外围仅出露晚侏罗世地层。

区域构造以断裂发育为基本特点。断裂构造主体可分为北东向和北西向两组,尤以北东向者为著。延伸规模大、区域性控岩控矿作用显著的北东向断裂在区域西侧外围有江山－绍兴深断裂,区域东侧外围有温州－镇海大断裂,区域内部则有丽水－余姚深断裂直接通过壶镇盆地。延伸规模较大、具有一定区域控岩控矿作用的北西向断裂有区域南部的淳安-温州大断裂和区域北侧外围的嵊州－宁海大断裂。

本区燕山期岩浆活动非常强烈,岩浆活动方式主要为多期次多旋回陆相火山喷发。形成了广泛分布于本区的晚侏罗世、晚白垩世中期中酸性陆相火山岩建造，并伴有大量霏细岩、流纹斑岩、霏细斑岩等次火山岩浆侵入，呈脉状、筒状或小岩株状产出，对区域沸石矿床的矿化就位具有明显控制作用。

2 矿床地质特征

2.1 地层

2.1.1沈宅矿区赋矿地层

沈宅矿区出露地层包括第四系全新统（Q）、白垩系上统赖家组（K_2^l）、塘上组（K_2^t）

以及上侏罗统c段下亚段（J_3^{c-1}）。K_2^l和K_2^t是本小区所出露的地层主体，J_3^{c-1}仅出露于矿区南东角，亦无明显沸石矿化现象。其中塘上组（K_2^t）又分为7层（K_2^{t-7}、K_2^{t-6}、K_2^{t-5}、K_2^{t-4}、K_2^{t-3}、K_2^{t-2}、K_2^{t-1}），主要赋矿层位为K_2^{t-6}、K_2^{t-4}、K_2^{t-2}三个亚层。

上白垩统塘上组（K_2^t）：以陆相酸性火山碎屑岩为主，岩性类型包括火山集块角砾凝灰岩、角砾凝灰岩、晶屑玻屑凝灰岩、含砾玻屑凝灰岩、流纹岩及珍珠岩。除陆相火山岩外，常有紫红色粉砂岩、含砾砂岩以及砂质砾岩夹层。该组地层分布广泛，是主要沸石含矿层位，并有珍珠岩、膨润土等矿化，与下伏地层不整合接触。

2.1.2岱石东南矿区赋矿地层

收稿日期:2006-07-27 责任编辑:李勇
作者简介：陈婉君（1968-），女，江西上饶人，工程师,主要从事地质找矿和研究工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

该矿区地层时代主体为上侏罗统c段下亚段J_3^{c-1}，其次为J_3^d，西部边缘有K_2^t地层。其主体是陆相火山建造。J_3^{c-1}分为5层。主要赋矿层位为J_3^{c-1-5}、J_3^{c-1-4}、J_3^{c-1-3}三个亚层。

上侏罗统c段下亚段（J_3^{c-1}）：为一套紫灰、黄绿以及紫红色的含集块角砾凝灰岩、角砾晶屑凝灰岩、晶屑玻屑熔结凝灰岩、球泡（粒）流纹岩、流纹质凝灰熔岩及珍珠岩。常有凝灰质砂岩等沉积夹层。与下伏地层为火山喷发不整合接触。在壶镇盆地及其近围常见其分布，是重要的沸石含矿层位，并有珍珠岩矿产相伴。

2.2 构造

2.2.1沈宅矿区构造

在沈宅矿区，断裂构造是该区基本构造类型。根据形态产状、影响地层层位、相互交切关系、力学性质以及控岩控矿作用的差异，可将区内主要断层分为三期。

早期：以矿区南部北东东向K_2^t与J_3^{c-1}边界断层为代表。其发育于晚侏罗世火山旋回与晚白垩世火山旋回之间，为燕山早期构造活动产物，活动强度大，影响范围广，具有区域规模。

中期:以矿区内部被霏细岩或霏细斑岩脉充填的断层为代表。区内所见断层普遍被霏细岩、霏细斑岩脉充填，个别被石英脉充填。脉体厚度一般30～50cm，个别部位可达1～2m，常成组密集。

晚期：以同时切割J_3^{c-1}、K_2^t和K_2^l地层的北北东向断层为代表。该期断裂发育于晚白垩世晚期，可能为燕山晚期最后一幕构造活动产物，活动强度大，影响范围广，具有区域规模。系沸石矿床的破矿构造。

2.2.2岱石东南矿区构造

岱石东南矿区无褶皱构造发育，总体表现为单斜构造。根据断层走向，可将区内主要断层分为近南北向、北东向、北西向以及近东西向四组，无论形态产状、发育规模、影响地层层位、活动期次、力学性质以及控岩控矿作用都存在差异。

近南北向断层：是区内形成最晚的一组断层，可能为燕山晚期最后一幕构造活动产物，系破矿构造。其走向延伸较为平直，主要倾向北西西，倾角75°以上，走向延伸数百米至数千米，可见破碎带最宽十余米，在地貌上多成为较陡峭的冲沟，可见断层陡崖和三角面，具有左旋平移正断层性质。

北东向断层：该组断裂具有多期次活动特点，早期活动具有明显的控矿作用，晚期活动可能与近南北向断层同期，为破矿构造。具有区域规模者以岱石-黄茅山断层为代表。

北西向断层：与北东向断层相似，该组断裂也具有多期次活动特点，早期具有明显控矿作用，晚期活动可能与近南北向断层同期，为破矿构造。

近东西向断层：这组断层发育规模较小，分布少，被近南北向断层切割成数段，区内所见断裂破碎带最宽仅数米，基岩破碎风化，仅局部可见断层陡崖与残存断层结构面，倾向多为北倾，倾角80°以上，明显具有压性正断层特点。

2.3 岩浆岩

壶镇盆地内部岩浆活动以陆相中酸性火山喷发强烈为特征，形成了J_3^{c-1}、J_3^d和K_2^t地层主体所代表的陆相火山喷发建造。J_3^{c-1}、J_3^d和K_2^t各代表一个基本火山旋回。J_3^{c-1}和J_3^d为早燕山期陆相火山活动产物，K_2^t为晚燕山期陆相火山活动产物。沸石矿化所对应的岩性主要为（含集块）角砾凝灰岩、凝灰熔岩、流纹质熔岩等酸性火山岩。另外，矿区也出现了沿北东向和北西向小规模断层充填的霏细岩和霏细斑岩。

2.4 矿体地质特征

2.4.1沈宅矿区矿体特征

沈宅矿区沸石矿化出现在上白垩统塘上组，沸石化程度较高的层位包括K_2^{t-6}、K_2^{t-4}和K_2^{t-2}等三层，被K_2^{t-5}和K_2^{t-3}分隔，各矿层基本呈层状相间分布，产状与各岩性分层基本一致，总体呈SWW-NEE向延伸，横贯全区，倾向NNE，倾角15°~25°。主体含矿岩性为厚层状灰白、浅灰白色含角砾玻屑凝灰岩，中厚层-厚层状浅灰、灰白、浅灰白色角砾凝灰岩，浅灰白色凝灰熔岩。各含矿层都构成工业矿化，除局部火山岩夹层和霏细(斑)岩脉外，沸石平均含量均达50%以上，矿层累计平均厚度达120m，有效走向长度达1.5km，有效倾斜延伸长度为200~400m。

2.4.2岱石东南矿区矿体特征

岱石东南矿区沸石矿化出现在上侏罗统C段下亚段(J_3^{c-1})，沸石化程度较高的岩性分层层位主要为J_3^{c-1-4}，J_3^{c-1-3}和J_3^{c-1-5}底部岩层，构成沸石矿体的组成部分。因为地形切割和断裂构造发育，导致该矿区以J_3^{c-1-4}为主的沸石含矿层空间分布呈散片状，各分布地段的含矿层剥蚀程度也存在差别。尽管各含矿层出露地段产状有所不同，但全区各地段矿层总体走向为近东西向（NWW-SEE向或NEE-SWW向），向南倾，

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

倾角18°~43°。矿区的主要矿体，除局部火山岩夹层、珍珠岩残留体和霏细（斑）岩脉外，这些矿体的沸石平均含量均达60%以上，平均含矿率达90%。主要含矿岩性为集块角砾凝灰岩、流纹质熔岩、球泡流纹岩、流纹质熔岩和流纹质凝灰熔岩。

2.5 矿石特征

2.5.1矿石物质组成

2.5.1.1矿石的化学组成

根据地表连续拣块、探槽刻槽和钻孔取芯分析，矿石化学组成的共同特点是（表1）：主要化学组成依含量降低的顺序为：SiO_2，Al_2O_3，Loss（灼失量），K_2O，CaO，Na_2O以及Fe_2O_3。SiO_2、Al_2O_3和Loss的累加含量达90%以上，其他如MgO，FeO，P_2O_5，Mn_3O_4，TiO_2，SO_3等的含量很低。Al_2O_3、SiO_2是沸石骨架结构组分，Na_2O、K_2O、CaO是沸石骨架外阳离子组分，Loss（灼失量）主要来自沸石结晶水，它们都是沸石的基本化学成分，也是矿石的有益化学组分[6]。Fe_2O_3、FeO、Mn_3O_4、TiO_2、SO_3等是矿石的明显有害化学组分。除Fe_2O_3、FeO外，Mn_3O_4、TiO_2、SO_3含量都很低，对矿石质量无明显影响。Fe_2O_3和FeO的含量分布极为稳定，一般二者累加含量为1.2%~1.4%，最高不足1.5%。

2.5.1.2矿石的矿物组成

表1 沸石矿石主要化学成分简表

Table 1 Main chemical compositions of zeolite ore

取样方式	常见化学成分含量(wt%)							
	SiO_2	Al_2O_3	Loss	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	FeO
拣块(2)	68.82~70.86	11.57~11.69	8.25~9.62	0.90~0.93	3.20~3.04	1.10~1.60	2.49~2.76	0.37~0.37
刻槽(2)	72.80~74.92	12.89~12.97	7.28~9.40	1.08~1.29	3.80~5.64	0.72~1.36	0.35~0.96	0.09~0.11
钻孔(4)	71.42~72.74	10.43~12.53	7.32~8.56	1.06~1.46	3.24~4.16	1.44~2.80	1.52~2.63	0.27~0.45
平均(8)	72.08	11.92	8.29	1.12	3.79	1.84	1.79	0.34
拣块(3)	69.16~71.58	11.01~11.65	8.75~11.20	1.01~1.09	1.44~2.50	0.80~2.12	2.35~2.76	0.06~0.34
刻槽(2)	67.40~72.76	11.09~13.64	8.32~11.63	1.11~1.13	1.56~2.56	0.62~0.82	2.07~4.01	0.14~0.16
钻孔(2)	67.92~70.88	11.81~13.48	9.23~12.06	0.90~1.03	1.30~2.36	1.78~1.98	2.28~2.63	0.23~0.52
平均(7)	70.05	12.02	10.21	1.04	1.88	1.41	2.69	0.25
拣块(1)	71.42	11.41	8.15	0.47	2.72	1.94	2.35	0.06
刻槽(1)	69.58	12.37	9.93	0.87	2.64	0.70	3.46	0.06
钻孔(2)	68.54~70.10	12.53~14.20	9.76~10.12	1.12~1.28	3.02~3.32	1.70~2.16	1.52~1.80	0.23~0.29
平均(4)	69.91	12.63	9.49	0.94	2.93	1.63	2.28	0.16

矿区沸石矿石的矿物组成比较简单，可见矿物主要为丝光沸石、斜发沸石、石英，少量存在蒙脱石、长石、伊利石、高岭石及火山玻璃，偶见方解石和水针铁矿等氧化态铁矿物。

2.5.1.3沸石的化学成分

利用扫描电子显微镜在形貌观察的基础上，选择沸石晶体微区进行能谱分析，查定沸石的基本化学成分除氧外，为钠、钾、钙、铝和硅等，铁、镁以及钛等都低于检测限。经换算，代表性样品的沸石Na_2O、K_2O、CaO、Al_2O_3、SiO_2等的含量比例及某些比值参数如表2。从表2可见，无论丝光沸石或斜发沸石，阳离子以富钾高钙为特征[3-5]，骨架结构中则以高硅为特征，以SiO_2/Al_2O_3重量比值衡量，矿区的沸石都为高硅沸石；以K_2O/CaO衡量，矿区沸石都具有低碱度沸石的特点。

2.5.2沸石晶体粒度、形态及嵌联特征

2.5.2.1体颗粒粒径

除岱石东南矿区球泡流纹岩泡腔内丝光沸石纤维状晶体颗粒径长可达0.3～0.5mm甚至更粗以外，矿区沸石晶体颗粒粒度一般仅3～10μm，沸石晶体颗粒粒径主要集中在1～32μm范围内，岱石东南矿区沸石晶体颗粒粒径通常较沈宅矿区更细微。

2.5.2.2晶体颗粒形态

矿区沸石晶体颗粒形态比较简单，通常为半自形晶体，部分沿球泡空腔或岩石孔隙、裂隙充填者为完好的自形晶体，极少部分为结晶程度较低的它形晶体。丝光沸石为纤维状，长/径比达50以上；斜发沸石呈薄片状、板条状，长/径达10以上。无论丝光沸石或斜发沸石，晶体集合体形态均存在束状、放射状、放射环带状、放射球颗状、纤维状以及不规则粒

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

状等形态。

2.5.2.3沸石嵌联特征

最常见的嵌镶类型包括:(1) 平直毗连:沸石与石英、蒙脱石等嵌联矿物以平直边界接触连生,是最主要的嵌镶类型。(2) 穿插交联:放射状、束状等沸石晶体集合体内部常有石英、蒙脱石、长石以及粘土矿物等混杂在沸石晶体粒间,以沸石晶体集合体与它们的空间接触关系考察则为穿插交联,也是重要嵌镶类型。(3) 显微脉状嵌镶:组成单纯的沸石晶体集合体沿岩石显微裂隙和岩屑、晶屑裂隙生长而成,为相对次要的嵌镶类型。

表2　沸石矿物主要化学成分简表

Table 2　Main chemical compositions of zeolite mineral

矿区	样品编号	Na_2O (wt%)	K_2O (wt%)	CaO (wt%)	Al_2O_3 (wt%)	SiO_2 (wt%)	Si/Al 原子比	SiO_2/Al_2O_3 重量比	K_2O/CaO	沸石种类
岱石东南矿区	R2125-2	0.49	3.62	7.75	9.90	78.25	6.705	7.904	0.467	丝光沸石
	R2125-3	0.39	2.21	5.84	11.08	80.47	6.166	7.263	0.378	丝光沸石
	R2125-4	0.62	3.06	5.79	10.98	79.54	6.142	7.244	0.528	丝光沸石
	R2034-1	0.76	0.80	7.00	12.41	79.03	5.406	6.368	0.114	斜发沸石
	R2034-2	0.25	0.66	7.94	11.19	79.96	6.062	7.146	0.084	斜发沸石
	R2034-3	0.57	0.63	7.77	10.38	80.66	6.592	7.771	0.082	丝光沸石
	R2034-4	0.98	0.57	5.54	11.69	81.20	5.891	6.946	0.103	斜发沸石
沈宅矿区	R0064-1	0.09	1.41	9.49	12.81	76.20	5.050	5.948	0.149	斜发沸石
	R0064-2	0.16	1.94	9.02	11.43	77.46	5.753	6.777	0.215	丝光沸石
	R0064-3	1.21	10.66	1.60	14.15	72.39	4.338	5.116	6.663	斜发沸石
	R0064-4	0.23	1.18	9.51	12.63	76.45	5.132	6.053	0.124	斜发沸石
	R0064-5	0.12	1.21	9.67	11.47	77.54	5.742	6.760	0.125	丝光沸石

2.5.3矿石结构构造

2.5.3.1矿石构造

矿石构造有:稠密浸染状构造、斑杂状构造、块状构造、稀疏浸染状构造、脉状构造。

2.5.3.2矿石结构

矿石结构类型有:自形晶结构、半自形晶结构、他形晶结构、放射状结构、放射球颗状结构与放射环带状结构、隐晶结构。

2.5.4矿石类型

根据成矿母岩的岩性和组构,可将矿区沸石矿矿石分为集块角砾凝灰岩型、角砾凝灰岩型、凝灰熔岩型以及流纹质熔岩型等自然类型。根据矿石中沸石矿物组合特征,可将矿区矿石划分为丝光沸石型、斜发沸石型和丝光沸石-斜发沸石混合型三种自然类型。

2.5.5围岩蚀变

除火山玻璃脱玻化以及表生期风化作用期间出现的高岭石化、伊利石化等次生变化外,矿区围岩蚀变主要为硅化、蒙脱石化、碳酸盐化。

2.5.5.1硅化

硅化是两矿区最具普遍性、与沸石矿化关系最密切的热液蚀变类型。这种蚀变具有三种表现形式。其一是结晶程度较高的石英集合体呈细脉状、显微脉状分布在沸石含矿层内,通常在靠近霏细岩或霏细斑岩脉体部位以及部分断层破碎带比较多见。其二则是呈半自形-他形显微粒状石英晶体浸染在沸石含矿层内,与沸石晶体集合体紧密嵌联。其三则为玛瑙状致密集合体,呈团块状、短脉状、复杂环带状致密集合体沿部分控矿断层破碎带分布或在球泡流纹岩的球体内腔环绕腔壁出现。

2.5.5.2蒙脱石化

蒙脱石化是矿区常见的热液蚀变类型,与沸石矿化关系有较密切联系,但岩性直接影响蒙脱石化强度。化学分析结果表明,同样是角砾凝灰岩,酸性程度略低者较酸性程度较高者蒙脱石化更发育。就蒙脱石化与沸石化的关系而言,两矿区的沸石含矿层都具有蒙脱石化现象,但蒙脱石化强度与沸石化强度为反消长关系。同时,蒙脱石化发育的空间范围较沸石更宽。

2.5.5.3碳酸盐化

碳酸盐化现象与沸石矿化具有明显的时空联系,但蚀变强度普遍很低。所见碳酸盐矿物主要为方解

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

石，偶尔可见菱铁矿。这些碳酸盐矿物主要呈短小脉状沿沸石矿层内的小裂隙充填，有时还与结晶石英一道呈短小脉状出现，部分则呈斑点状沿沸石含矿层岩石的空隙充填交代。

2.6 找矿标志

2.6.1地面露头标志

风化表面特征是最为突出的地面露头标志：风化产物薄片状剥落，无明显风化层发育。

2.6.2岩石颜色标志

矿区沸石成矿母岩退色，使得沸石矿呈白色、灰白色等浅色。

2.6.3岩石组构标志

矿区沸石矿的岩石组构类型包括：（1）质地疏松、界面丰富的集块角砾凝灰岩和角砾凝灰岩；（2）质地细腻均匀、内部裂隙和裂纹发育的凝灰熔岩和流纹质熔岩。

2.6.4岩石物化性能标志

比较适用的标志包括：（1）强烈的吸水性；（2）强烈的碱性；（3）瞬时升温。

2.6.5岩性标志

矿区沸石成矿母岩都为富碱的酸性、超酸性岩石。

参考文献

[1] 吴联星. 浙江省沸石资源与勘查简介[J]. 浙江地质科技情报，2002，2：8~11.

[2] 蔡蕙兰，樊培仁，郑小明，等. 缙云沸石的开发利用[M]. 北京：地质出版社，1992

[3] 孙树文，刘红梅，徐旃章，胡文. 黑龙江省穆棱沸石矿田矿石矿物特征及物化性能分析[J]. 地质与勘探，2003，39(2)：40～45

[4] 李嘉，陈代璋，周张健，林文元. 内蒙古多伦县沸石岩特征研究[J]. 矿物岩石，1998，18(1)：17～22.

[5] 张秀英. 胡峪沸石矿地质特征及其开发利用[J]. 山东建材学院学报，1997，11(1)：32～35.

GEOLOGICAL FEATURES OF MESOZOIC CONTINENTAL VOLCANIC ZEOLITE DEPOSIT IN JINYUN, ZHEJIANG

CHEN Wan-jun,YANG Zhi-rong

(Geological Exploration Institute of Nonferrou Metal Geological Exploration Bureau of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China)

Abstract: Jinyun County of Zhejiang Province is a major production area of Mesozoic continental volcanic zeolite deposits in eastern China. This paper mainly introduced regional geological outline of zeolite mines and geological features of the ore deposits in the Huzhen basin and the periphery area in Jinyun of Zhejiang.

Key words: geological features of ore deposit; ore-prospecting marks; zeolite ore; Jinyun of Zhejiang

（上接246页）

GLOBAL PALAEOCLIMATE CHARACTERISTICS AND RESEARCH TECHNIQUE OF LATE PALAEOZOIC

HE Gang, LI Shuang-ying

(School of Natural Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Compared with the Quaternay Period, research of prehistoric palaeoclimate of the globe is inadequate and methodology in this regard needs to be further discussed. This paper summed up the causes of palaeoclimate changes and the features of Late Palaeozoic climate around the globe and then concluded approaches to research of palaeoclimate. As a result, prehistoric palaeoclimate can be studied in detail making the past serve the present through strengthening prognosis of global climate environments of different dimensions.

Key words: Late Palaeozoic; palaeoclimate; research technique

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net