

文章编号:0258-7106(2004)01-0031-08

牡丹江穆棱沸石矿床矿化分带特征与规律*

张寿庭¹ 赵鹏大¹ 徐旃章² 杨耕东²

(1 中国地质大学,北京 100083; 2 成都理工大学,四川 成都 610059)

摘要 文章以穆棱沸石矿床为例,探讨了天然沸石矿矿化分带特征与矿石物化性能的空间变化规律。研究表明:矿床不同部位沸石矿化类型的差异变化与碱金属 K、Na 元素的分异富集特征关系密切;若两者分异富集明显,易形成单一的斜发沸石或丝光沸石矿;反之,则形成混合型沸石矿。由矿体浅部往深部,矿石物化性能的差异变化总体表现为: NH_4^+ 和 K^+ 的交换容量、最大热失重值、吸湿率及气体吸附容量等渐趋增大;而矿石的耐酸性和热稳定性却有相反的变化趋势。

关键词 地质学 沸石矿 矿化分带 矿石类型 化学组分 物化性能 牡丹江穆棱

中图分类号:P619.21⁺⁷

文献标识码:A

沸石矿是当今世界各国十分重视的新兴矿产资源。沸石以其独特的吸附、离子交换、耐酸耐热、催化反应和耐辐射等物化性能,被广泛应用于建筑业、轻工业、农牧渔业、化工、环保及国防等各个领域。

由于世界上天然沸石矿床的发现较晚,中国迟至1972年底才首次在浙江缙云发现了该类矿床,之前人们多注重于沸石的物化特性和人工合成沸石的研究。近二三十年来,国内外已有众多学者(Hay, 1978; Tschemich, 1992; Zhang et al., 2001b; 2001c; 苏明迪等, 1983; 陶维屏等, 1985; 1989; 蔡蕙兰等, 1992; 张寿庭等, 2001a; 2001d; 2001e)对天然沸石矿床的地质特征、时空分布及成矿规律等方面进行过较深入的研究。天然沸石矿床的成矿地质环境并不复杂,找矿难度也较小。然而,由于沸石矿拥有众多优异的物化特性与广泛的应用领域,并且,矿床(体)内矿石品位、矿石组分与各种物化性能复杂多变,因此,对天然沸石矿床的工业评价难度大,也难有统一的工业评价指标。迄今,国内外尚无统一的较为成熟的沸石矿产评价方法与勘探规范。

天然沸石矿床(体)不同部位矿化分带特征与矿石物化性能的空间变化规律,是进行系统性与综合性开发利用预测评价的重要理论依据。笔者等(张寿庭等, 2001a; 2001d; Zhang et al., 2001b; 2001c)曾

对穆棱沸石矿的沸石类型、物化性能与化学组分之间的相关规律进行了较系统的研究,本文以穆棱沸石矿为例,拟重点探讨天然沸石矿的矿化分带特征与规律。

1 矿床地质概述

研究区域地处牡丹江东部,该区沸石矿资源丰富,是中国东部环太平洋沸石成矿带北段的重要组成部分,位于区域性敦化—密山深大断裂带中段。本区火山熔岩改造型沸石矿多分布于不同规模断裂带内及其旁侧;在岩层陡立及岩浆期后构造破碎带叠加发育的地段,均为气液活动创造了有利条件,也是火山熔岩改造型沸石矿成矿的有利部位,在这些部位,蚀变、矿化强度大,矿石品位富。成矿与岩浆期后(即火山熔岩形成后)原岩中的断裂裂隙系统及其发育程度密切相关(张寿庭等 2001d; 2001e)。

本区出露地层较多,以第三系玄武岩分布面积最广,其次为白垩系的海浪组(K_2h)、猴石沟组($K_{1-2}h$)、穆棱组(K_1m)和东大岭组(K_1d),另外,零星出露有二叠系平阳镇组($P_{1-2}p$)和黑龙江群变质岩等(图1)。本区现已发现的珍珠岩和沸石矿均产于下白垩统东大岭组中;矿化原岩为一套近火山口喷溢

* 本文得到中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室开放基金、教育部博士点基金(20010491007)及国土资源部非传统矿产资源开放研究实验室基金(200104)资助

第一作者简介 张寿庭,男,1964年生,博士,教授,主要从事矿床学、矿产普查与勘探等方面的教研工作。

收稿日期 2003-05-06; 改回日期 2003-11-26。李岩编辑。

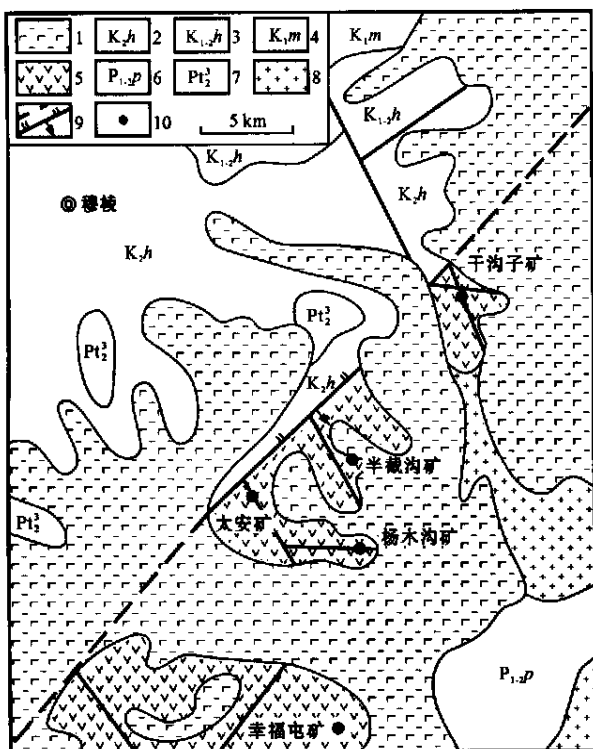


图1 穆棱沸石矿床地质略图

1—宁安组($\beta N_1 n$); 2—海浪组($K_2 h$); 3—猴石沟组($K_{1-2} h$); 4—穆棱组($K_1 m$); 5—东大岭组($K_1 d$); 6—平阳镇组($P_{1-2} p$); 7—黑龙江群; 8—花岗闪长岩($\gamma \delta_3^2$); 9—实测和推测断裂; 10—沸石矿体

Fig.1 Geological map of the Muling zeolite deposit

1—Ningan Formation; 2—Hailang Formation; 3—Houshigou Formation; 4—Muling Formation; 5—Dongdaling Formation; 6—Pingyangzhen Formation; 7—Heilongjiang Group; 8—Granodiorite; 9—Measured and inferred faults; 10—Zeolite orebodies

相的酸性火山熔岩——流纹岩和珍珠岩等。

目前,研究区在东大岭组含矿岩带内已发现沸石矿床5处,大小矿体10余个。矿体形态、产状较复杂,似层状、透镜状及脉状矿体均有发育。矿体厚度一般在20~50 m,延长数百米至1 km不等。矿石自然类型以流纹质火山熔岩改造型致密块状矿石为主,角砾状、团块状及细脉状矿石主要发育于主矿体近顶底板两侧,在部分矿体近底板间夹球泡状矿石层。

X射线衍射、差热分析及扫描电镜综合研究(Zhang et al., 2001c; 张寿庭等, 2001a)表明:沸石矿类型主要为丝光沸石矿和斜发沸石矿(图2);根据化学成分分类,本区沸石矿床的矿石类型均为高硅型 [$n(\text{SiO}_2) / n(\text{Al}_2\text{O}_3) > 8$];斜发沸石矿以高硅富钾钙为特征,丝光沸石矿以高硅富钾钠为特征。

矿床类型属近火山口喷溢相火山熔岩改造型沸石矿床。

2 矿化空间分带特征

从火山岩岩性、岩相与成矿关系分析,本区沸石矿成矿与酸性熔岩的空间分带密切相关。尽管不同地段酸性熔岩流的内部分带特征不尽一致,但总体而言,位处酸性岩流下部和上部的酸性熔岩以玻璃质组分相对发育为特征。从含矿岩系($K_1 d$)剖面特

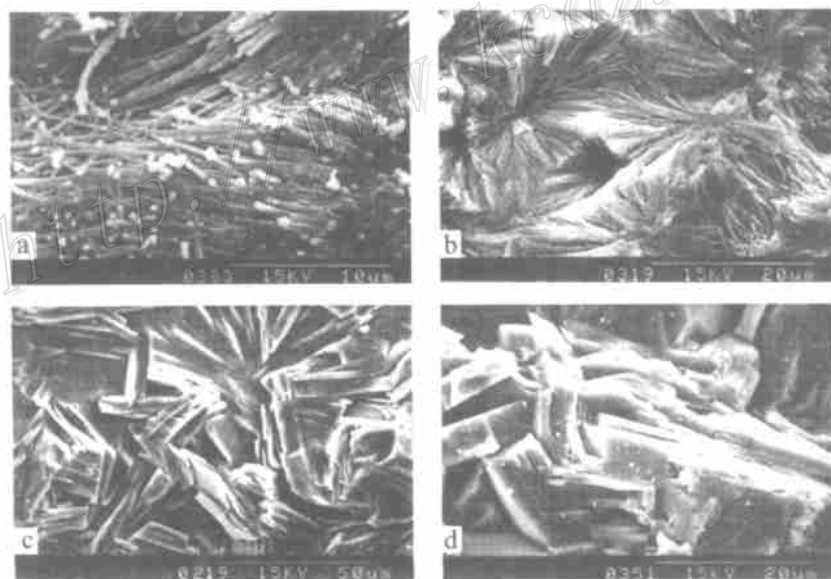


图2 研究区沸石矿矿石电镜扫描照片

a、b—丝光沸石矿;c、d—斜发沸石矿

Fig.2 SEM photos of zeolites from the study area

a & b—Mordenite; c & d—Clinoptilolite

表 1 研究区沸石矿化垂向分带基本特征

Table 1 Vertical zoning characteristics of zeolitic mineralization in the study area

矿体垂向分带		岩石和矿石特征
上	原岩带	酸性熔岩带(流纹岩、珍珠岩等)
↓	矿化带	沸石化珍珠岩等,矿化多沿层面、原岩流面及穿层断裂裂隙面发育,沸石多无实际工业意义
	低品级矿石带	脉状、角砾状、团块状矿石,品位变化大
下	高级级矿石带(未见底)	块状矿石;脉状、团块状、角砾状矿石主要发育于主矿体两侧

征分析,本区沸石矿主要产于 K_1d 火山喷发旋回晚期的酸性熔岩流的下部。酸性熔岩内斑晶少、玻璃质珍珠岩(含松脂岩等)发育,并以球粒结构和球泡、球珠(硅质)等相对发育为特征,常见自碎成因的角砾熔岩,呈现出较明显的垂向分带性,由上往下依次为:流纹岩带→珍珠岩(常含松脂岩)带→沸石化珍珠岩带或沸石岩带,这种“三层式”结构模式对本区沸石矿床勘查与找矿预测有重要的指导意义。

此外,对沸石矿体而言,由于成矿与原岩类型、岩性、岩相及断裂裂隙发育特征等密切相关,因此,矿体的矿化空间分带特征较复杂。现将矿体空间变化规律概述如下:

(1) 在横向上,由主矿体往顶、底板两侧,矿化强度渐趋减弱,通常呈渐变过渡关系。矿体中部以致密块状矿石为特征,往两侧渐变为角砾状、团块状及细脉状矿石。在矿体近顶板一侧,团块状、细网脉状石英发育,系属构造-热液成矿期晚阶段产物,在原岩(火山玻璃及珍珠岩)沸石化过程中带出 SiO_2 ,并在先成沸石岩及矿化围岩裂隙中充填发育。矿石 X 射线衍射及扫描电镜研究表明:矿体中部斜发沸石相对发育;边部,尤其是靠矿体顶板一侧则丝光沸石相对发育。

(2) 在垂向上,矿化特征与断裂裂隙发育程度密切相关,对保存较完整的矿体而言(如幸福屯等),浅部矿体由上往下常见如下垂向分带变化特征(表 1):原岩带→矿化带→低品级矿石带→高级级矿石带(未见底);由上往下矿化强度渐趋增强,矿石品位渐趋变富。沸石矿物组合则似有浅部丝光沸石相对发育、深部斜发沸石相对发育之变化特征。

3 沸石矿体矿石化学组分变化规律与空间变化模式

研究区沸石矿均主要由斜发沸石和丝光沸石组

成,根据两者相对发育程度可把穆棱沸石矿床不同地段的沸石矿体划分为:丝光沸石矿体(如干沟子矿体)、斜发沸石矿体(如幸福屯、大安、杨木沟矿体)和混合型矿体(如半截沟矿体)。对不同类型沸石矿体剖面采样并进行化学全分析,结果(表 2、表 3)表明:

(1) 不论是斜发沸石矿体还是丝光沸石矿体,由矿体两侧围岩往矿体中部,随着矿化强度加大,矿石品位变富,相应的化学成分变化总体表现为: $w(H_2O)$ 、 $w(CaO) + w(MgO)$ 以及 $[w(CaO) + w(MgO)] / [w(K_2O) + w(Na_2O)]$ 等渐趋增大,而 $w(K_2O) + w(Na_2O)$ 则有渐趋降低之势。

(2) 由矿体两侧往中部 $w(K_2O) + w(Na_2O)$ 总量降低,但并不是两个分量都降低,而是表现为:在丝光沸石矿体中部 Na_2O 相对富集、 K_2O 相对贫化、 $w(K_2O) / w(Na_2O)$ 比值减小的变化规律;在斜发沸石矿体中则表现出相反的变化趋势。

此外,对不同类型沸石的矿化强度(以矿石品位“CEC 值”定量标度)与碱金属 K、Na 含量的相关性研究(张寿庭等,2001a)表明:在斜发沸石矿体中, $w(Na_2O)$ 与 CEC 值呈负相关,而 $w(K_2O)$ 与矿化强度呈正相关。在丝光沸石矿体中, $w(Na_2O)$ 与 CEC 值呈正相关, $w(K_2O)$ 与 CEC 值则呈明显的负相关。在混合型矿体中, $w(K_2O)$ 、 $w(Na_2O)$ 与 CEC 值之间的相关性不明显。研究认为,在火山玻璃质发生水岩作用形成沸石的过程中,K、Na 地球化学行为的差异性以及两者的分异富集特征,与矿化类型关系密切:当两者分异富集明显时,易形成单一的斜发或丝光沸石矿;当两者分异富集特征不明显时,则形成混合型沸石矿。并且,在斜发沸石矿体中相对富 K 贫 Na,在丝光沸石矿体中相对富 Na 贫 K,它们随矿体不同部位矿化强度的变化而变化。据此,可将不同类型沸石矿体的元素组分空间变化模式概述于图 3。

表 2 穆棱幸福屯斜发沸石矿体不同部位矿石化学成分变化特征

Table 2 Chemical composition and parameters of samples from the cross profile of Xingfutun clinoptilolite orebody in Muling

取样位置	样号	品位 CEC/ (mmol·100 g ⁻¹)	w(B) / %									w(SiO ₂) / w(Al ₂ O ₃)	w(CaO + MgO) / w(K ₂ O + Na ₂ O)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻		
底板围岩 ↑ 矿体中部 ↓ 顶板围岩	Y ₅₋₁	珍珠岩	68.35	12.69	1.11	0.27	3.49	3.03	7.49	6.72	2.16	9.16	0.21
	Y ₅₋₂	65.68	67.25	12.99	1.31	0.46	3.34	2.44	9.21	7.52	3.74	8.08	0.30
	Y ₅₋₃	94.99	66.56	12.13	2.53	0.46	3.04	0.47	12.55	10.44	6.28	9.33	0.85
	Y ₅₋₄	85.63	67.33	11.95	2.35	0.60	3.30	0.50	11.59	9.24	6.67	9.58	0.78
	Y ₅₋₅	99.92	66.70	12.37	2.20	0.49	3.94	0.95	11.05	8.59	5.14	9.17	0.55
	Y ₅₋₆	118.14	69.03	11.37	2.53	0.46	3.89	1.04	10.48	8.71	3.36	10.33	0.61
	Y ₅₋₇	102.13	66.58	12.33	2.62	0.60	2.66	1.26	12.47	10.38	4.92	9.18	0.82
	Y ₅₋₈	珍珠岩	69.12	12.55	1.35	0.30	3.30	2.76	7.95	6.90	2.29	9.38	0.27

测试方法:SiO₂及烧失量为重量法,K₂O、Na₂O为原子吸收法,Al₂O₃、CaO、MgO为滴定法;测试单位:西南冶金地质测试所。

表 3 穆棱干沟子丝光沸石矿体不同部位矿石化学成分变化特征

Table 3 Chemical composition and parameters of samples from the cross profile of Gangouzi modenite orebody in Muling

取样位置	样号	品位 CEC/ (mmol·100 g ⁻¹)	w(B) / %									w(SiO ₂) / w(Al ₂ O ₃)	w(CaO + MgO) / w(K ₂ O + Na ₂ O)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻		
顶板围岩 ↓ 矿体 (未见底)	YV-1	39.10	71.78	12.61	0.76	0.11	8.17	1.16	3.52	2.68	1.54	9.68	0.09
	YV-2	90.77	66.74	12.96	1.08	0.46	4.82	2.85	9.34	7.57	2.03	8.77	0.20
	YV-3	83.45	72.63	10.62	0.66	0.49	4.19	2.07	7.64	6.68	1.56	11.63	0.18
	YV-4	107.08	68.49	12.58	1.17	0.30	4.94	2.40	8.13	7.61	1.96	9.26	0.20
	YV-5	131.20	70.38	11.35	0.70	0.64	3.30	2.76	8.88	7.51	1.81	10.54	0.22
	YV-6	166.05	67.83	11.62	1.78	0.23	2.29	3.12	11.17	10.62	2.95	9.92	0.37
	YV-7	174.60	65.15	12.24	1.31	0.49	1.23	3.71	13.87	12.25	4.25	9.05	0.36
	YV-8	195.22	65.94	11.84	0.79	0.64	1.90	4.09	13.01	11.29	3.15	9.47	0.24

测试方法及测试单位同表 2。

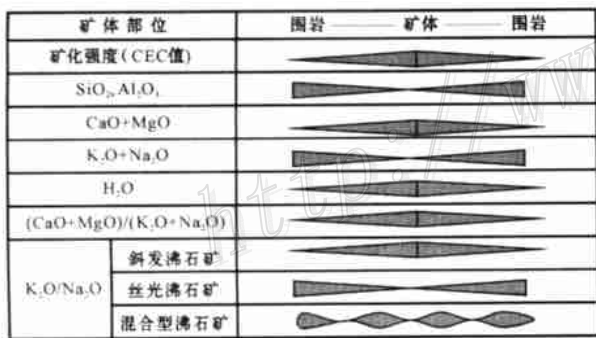


图 3 沸石矿体矿化强度及化学组成的空间变化模式
图中分子式均代表该物质的质量分数

Fig. 3 Spatial structural model of mineralization intensity and chemical composition of zeolite orebodies

4 矿体不同部位矿石物化性能空间变化特征与规律

4.1 阳离子交换性能及其空间变化规律

NH₄⁺、K⁺的交换性能是目前对天然沸石矿进行

工业评价的最基本指标。本文对研究区内不同类型的沸石矿体矿石 NH₄⁺、K⁺的交换性能进行了系统研究,结果表明(图 4):

(1) 不论是斜发沸石矿还是丝光沸石矿,在矿体垂深方向上,NH₄⁺、K⁺交换容量均表现出由浅部往深部(目前揭露垂深高差一般在 20~50 m)渐趋增大的总体变化规律。反映由浅部往深部矿化强度增大以及矿石品位变富的趋势。

(2) 在横向上,矿体不同部位矿石的 NH₄⁺、K⁺交换容量的变化较大,也即变化系数较大,尤其在矿体浅部表现更为明显,反映出矿化的不均一性。

4.2 热失重特征及其空间变化规律

沸石矿的热失重现象主要是由沸石中的 H₂O 在温度升高的作用下脱除而产生的(又称“加热脱水失重”)。通过热失重曲线分析不但可以协助判析沸石矿物的类型,而且从最大热失重值的分析还可间接评价矿石质量(品位)的高低。

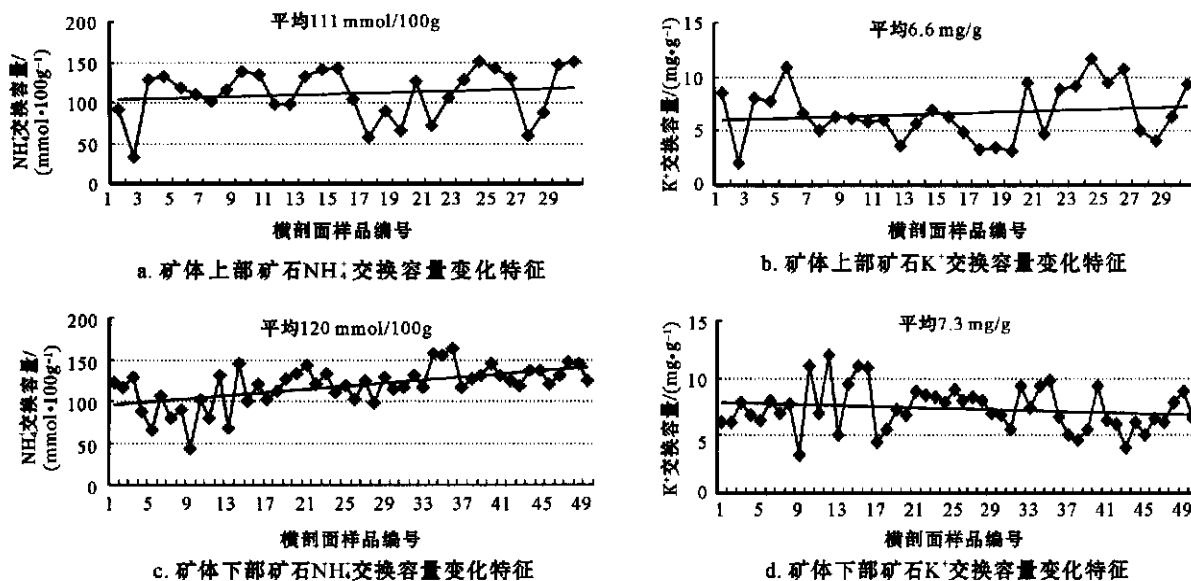


图 4 穆棱干沟子沸石矿体不同部位矿石 NH_4^+ 、 K^+ 交换容量变化特征

Fig. 4 Variations of CEC of NH_4^+ and K^+ for zeolite ores in different parts of Gangouzi orebody in Muling (Locations of the cross profiles: a & b—Upper orebody; c & d—Lower orebody)

以穆棱干沟子沸石矿体为例,对矿体不同深度的横剖面取样分析结果(图 5)表明:热失重与上述 K^+ 、 NH_4^+ 交换容量所揭示的变化规律相一致,即矿体浅部矿石热失重值较小(平均最大热失重值 8.9%),且横向上变化较大,往深部(推断剖面位属

矿体中部)矿石最大热失重值增大(平均 13.6%),且横向上变化幅度小。

4.3 吸附性能及其空间变化规律

吸附性能是沸石的重要特性之一,一般包括对 H_2O (又称吸湿率)和气体 SO_2 、 H_2S 、 CO_2 、 NO_2 等的吸附性。吸附性能除与矿石中的沸石含量、类型有关外,还与沸石矿物的结晶程度、比表面积及化学成分密切相关(张寿庭等,2001a)。研究表明,矿体不同部位矿石的吸附性能与上述 NH_4^+ 、 K^+ 阳离子交换性能及热失重特征等有相似的变化规律。以干沟子沸石矿体为例(图 6):

(1) 在矿体不同部位(高差约 20 m 左右)横剖面上取样测试结果表明,浅部矿石吸湿率一般 < 3%,而至深部矿石吸湿率一般均 > 4%。

(2) 气体吸附容量,浅部剖面样: CO_2 3.30 ~ 8.78 mg/g, SO_2 8.59 ~ 32.1 mg/g, H_2S 9.69 ~ 24.2 mg/g, NO_2 7.68 ~ 12.9 mg/g;深部剖面样: CO_2 10.2 ~ 15.2 mg/g, SO_2 35.2 ~ 41.7 mg/g, H_2S 2.9 ~ 27.8 mg/g, NO_2 79.30 ~ 94.40 mg/g。吸附性能呈浅部弱、深部强(即吸附容量由小到大)的变化特征。并且浅部变化幅度大,深部相对均一。

4.4 耐酸性与热稳定性及其变化特征

为使耐酸性与热稳定性研究成果有一个较准确的量化的概念,本次研究分别对样品在不同浓度酸

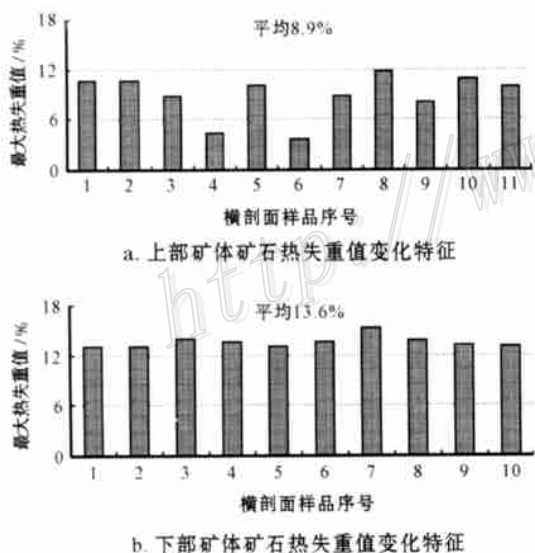


图 5 穆棱干沟子沸石矿体不同部位矿石热失重值变化特征

Fig. 5 Variations of heated water losses for zeolite ores in different parts of Gangouzi orebody in Muling (Locations of the cross profiles: a—Upper orebody; b—Lower orebody)

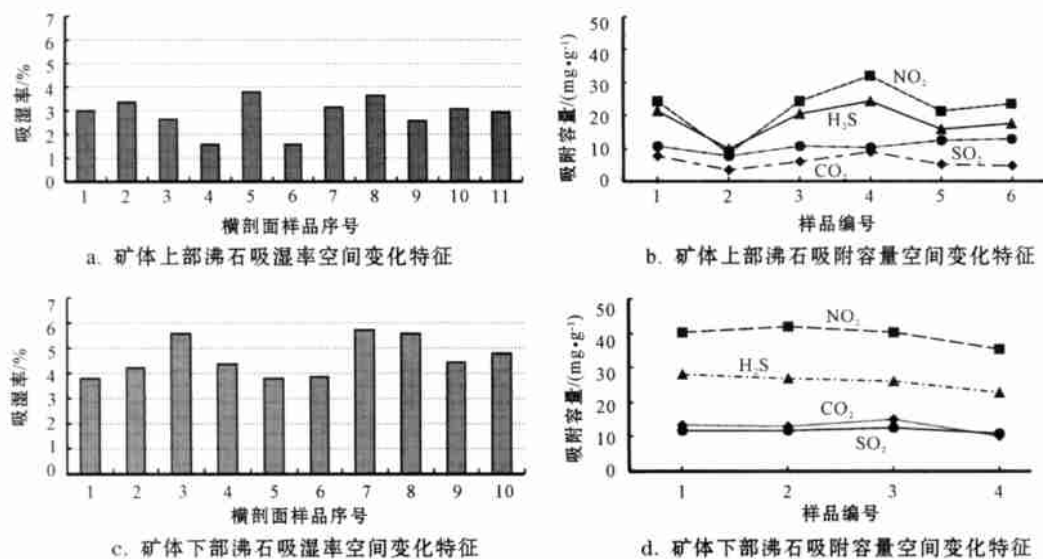


图6 穆棱干沟子沸石矿体吸附性能空间变化特征

Fig.6 Variations of adsorptivities of zeolite ores in different parts of Gangouzi orebody in Muling
(Locations of the cross profiles :a & b-Upper orebody;c & d-Lower orebody)

处理和不同温度热处理后,对矿石进行热失重和吸湿能力变化(即以处理前热失重值和吸湿率为100%,处理后测定值与前者相比)的测定。其中,耐酸性测试方法为:样品用 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $c(\text{HCl}) = 12\text{ mol/L}$ 的盐酸处理1h后,中和、洗涤、烘干,室温下充分吸湿后测定最大热失重值,并与原样相比。热稳定性测试方法为:样品在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下加热2h后,在室温为 $29.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 湿度大于90%吸附平衡时间24h的条件下测定吸湿率,并与原样相比。图中大于

100%的数据表示样品不但性能没有降低,反而较原样更好。研究表明(图7):

(1) 穆棱沸石矿不论是斜发沸石矿还是丝光沸石矿,均具优良的耐酸性能,尤以丝光沸石矿更优,经高浓度盐酸 [$c(\text{HCl}) = 12\text{ mol/L}$]处理后,性能仍可维持原样的70%~80%。并且,在矿体不同部位,矿石耐酸性能的变化不明显,略有浅部矿石的耐酸性能更佳的变化趋势。

(2) 热稳定性性能也以丝光沸石矿体更佳,一般

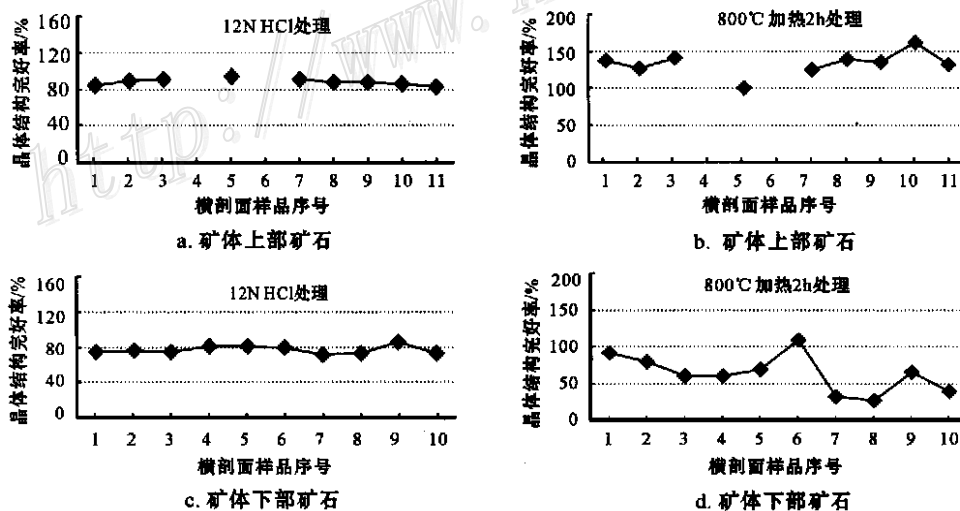


图7 穆棱干沟子沸石矿体不同部位矿石耐酸性、热稳定性变化特征

Fig.7 Variations of resistances to heat and acid for zeolite ores in different parts of Gangouzi orebody in Muling
(Locations of the cross profiles :a & b-Upper orebody;c & d-Lower orebody)

斜发沸石矿在 800 °C 高温下处理 2 h 后性能仍可维持原样的 50 % 左右, 而丝光沸石矿经 900 °C 高温处理后仍有原样 50 % 左右的性状。对于同一矿体不同部位而言, 矿体浅部矿石的热稳定性能更佳的变化特征较为明显。

5 结 论

(1) 穆棱沸石矿床矿体不同部位矿化特征与断裂裂隙发育程度密切相关, 对保存较完整的矿体而言, 浅部矿体常见垂向分带, 由上往下依次为: 原岩带 → 矿化带 → 低品级矿石带 → 高品级矿石带。

(2) 矿体不同部位矿石化学成分特征与矿化强度及矿化类型关系密切。不论是斜发沸石还是丝光沸石矿体, 由矿体两侧围岩往矿体中部, 随着矿化强度加大, 矿石品位变富, 相应矿石化学成分特征为: $w(\text{H}_2\text{O})$ 、 $w(\text{CaO}) + w(\text{MgO})$ 以及 $[w(\text{CaO}) + w(\text{MgO})] / [w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})]$ 等渐趋增大, 而 $w(\text{K}_2\text{O}) + w(\text{Na}_2\text{O})$ 则有渐趋降低之势。

(3) 沸石矿化过程中, 矿化类型与碱金属 K、Na 的地球化学行为的差异性以及两者的分异富集特征关系密切: 当两者分异富集明显时, 易形成单一的斜发或丝光沸石矿; 当两者分异富集特征不明显时, 则形成混合型沸石矿。并且, 在斜发沸石矿体中相对富 K 贫 Na, 在丝光沸石矿体中相对富 Na 贫 K, 它们随矿体不同部位矿化强度的变化而变化。

(4) 矿体垂向矿石物化性能的变化总体表现为: 由浅部往深部矿石的 NH_4^+ 、 K^+ 交换容量, 最大热失重值, 吸湿率及气体吸附性能(容量)等有逐渐增大的趋势; 而矿石的耐酸性能和热稳定性能却有相反的变化趋势, 即浅部矿石的耐酸性能和热稳定性能更佳。

致 谢 本文研究的沸石矿样品的 NH_4^+ 、 K^+ 交换容量, 最大热失重值, 吸湿率, 气体吸附性能, 耐酸性和热稳定性的测试分析工作, 均由天津地质矿产研究所完成, 李钟鸣研究员等付出了艰辛的劳动。参加野外研究工作的还有马秀华、孙树文、修云峰等, 在此一并致谢。

References

Cai H L, Fan P R, Zheng X M, et al. 1992. Development and applica-

tion of Jinyun zeolite[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 24(in Chinese) .

Hay R L. 1978. Natural zeolites-occurrence, properties and use[M]. London: Pergamon Press. 1 ~ 136 .

Su M D and Dai C L. 1983. Geological feature and genesis of zeolite in the Mesozoic volcanic rocks in east China[J]. Scientia Geologica Sinica, (2) : 116 ~ 126(in Chinese with English abstract) .

Tao W P. 1985. The distribution regularity of some nonmetallic deposits along the circum-pacific belt of east China[J]. Mineral Deposits, 4 (3) : 61 ~ 70(in Chinese with English abstract) .

Tao W P. 1989. The minerogenetic series of nonmetallic mineral deposits of China[J]. Acta Geologica Sinica, 63 (4) : 324 ~ 337(in Chinese with English abstract) .

Tschernich R W. 1992. Zeolites of the world[M]. Arizona: Geoscience Press. 9 ~ 26 .

Zhang S T, Zhao P D, Chen J P, et al. 2001 a. Relationship between absorptivity and cationic components for zeolites[J]. Geochimica, 30 (5) : 477 ~ 482(in Chinese with English abstract) .

Zhang S T, Zhao P D, Xu Z Z, et al. 2001 b. Water/ rock interactions and changes in chemical composition during zeolite mineralization[J]. Chinese J. Geochem., 20(3) : 226 ~ 232 .

Zhang S T, Zhao P D, Chen J P, et al. 2001 c. Migration of alkaline metal elements potassium and sodium during zeolite mineralizing[J]. Scientia Geologica Sinica, 10(3) : 197 ~ 203 .

Zhang S T, Xu Z Z, Yang G. D, et al. 2001 d. Natural zeolite with ore grade of frontiers of technology found in the eastern of Mudanjiang [J]. Geological Science and Technology Information, 20(4) : 63 ~ 67(in Chinese with English abstract) .

Zhang S T, Zhao P D, Xu Z Z, et al. 2001 e. Metaltectonic dynamics environment of zeolite ore deposits around the Songliao basin[J]. Geoscience, 15(4) : 399 ~ 404(in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

蔡蕙兰, 樊培仁, 郑小明, 等. 1992. 缙云沸石的开发应用[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 24 .

苏明迪, 戴长禄. 1983. 中国东部中生代火山岩中沸石岩的地质特征和成因[J]. 地质科学, (2) : 116 ~ 126 .

陶维屏. 1985. 中国东部环太平洋带某些非金属矿的分布规律[J]. 矿床地质, 4(3) : 61 ~ 70 .

陶维屏. 1989. 中国非金属矿床的成矿系列[J]. 地质学报, 63(4) : 324 ~ 337 .

张寿庭, 赵鹏大, 陈建平, 等. 2001 a. 天然沸石吸附性能与阳离子组分之间的关系[J]. 地球化学, 30(5) : 477 ~ 482 .

张寿庭, 徐旂章, 杨耕东, 等. 2001 d. 牡丹江东部高品级天然沸石矿的研究[J]. 地质科技情报, 20(4) : 63 ~ 67 .

张寿庭, 赵鹏大, 徐旂章, 等. 2001 e. 松辽盆地周围沸石矿成矿构造动力学环境[J]. 现代地质, 15(4) : 399 ~ 404 .

Mineralization Zonation of Muling Zeolite Deposit in Mudanjiang

Zhang Shouting¹, Zhao Pengda¹, Xu Zhazhang² and Yang Gengdong²

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract

With a case study of the Muling zeolite ore deposit as an example, this paper has discussed the zeolitization zoning characteristics and the spatial variation of physical-chemical capabilities of natural zeolite ores. Studies show that, along with the intensification of mineralization and the enrichment of ore grades, H_2O and $CaO + MgO$ contents and $(CaO + MgO) / (K_2O + Na_2O)$ ratios tend to increase whereas $K_2O + Na_2O$ amounts seem to decrease. There are close relations between zeolitization types and differentiations of alkali metals K and Na. The higher K-Na differentiation is responsible for the formation of simple zeolite (mordenite or clinoptilolite) deposits, while the lower K-Na differentiation is responsible for the formation of mixed zeolite (mordenite and clinoptilolite) deposits. The clinoptilolite orebodies are relatively enriched in K and depleted in Na, whereas the mordenite orebodies are relatively enriched in Na and depleted in K. The variation of physical-chemical capabilities of natural zeolite ores in different parts of an orebody shows the following regularity: the CEC of NH_4^+ and K^+ , the values of heated water losses, the hydroscopicity and the gas-absorbed capacities tend to increase, while the resistances to heat and acid for zeolite ores tend to decrease in downward succession of an orebody.

Key Words: geology, zeolite, mineralization zoning, ore types, chemical components, physical-chemical capabilities, Muling in Mudanjiang

<http://www.kcdz.ac.cn/>