

辽宁葫芦岛膨润土特性

印航^{1,2}, 高惠民^{2,3}, 任子杰^{2,3}, 管俊芳²

(1. 中能建绿色建材有限公司, 湖北 武汉 430015; 2. 武汉理工大学资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070; 3. 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘要: 葫芦岛市位于锦西-哈尔套膨润土成矿带的最南端, 为探究葫芦岛膨润土的特性, 对葫芦岛的6个膨润土矿进行了研究, 通过测定试样的膨胀容、亚甲基蓝吸收量、阳离子交换容量和X射线衍射分析, 对葫芦岛膨润土的表现特性、矿物组成、膨胀性能和阳离子交换性等性能进行了评价和表征。研究表明: 葫芦岛膨润土矿均为钙基膨润土矿, 总体质量较好, 大部分膨润土的粒度均匀、自然白度较高, 蒙脱石平均含量接近或高于70%。葫芦岛膨润土矿的石英、长石、方解石是主要脉石矿物, 矿物组成比较简单, 阳离子交换性能较好, 在辽西地区膨润土矿中处于中上地位, 具有较强的代表性。然而, 辽西膨润土普遍含有方石英, 限制了产品的应用范围。

关键词: 膨润土; 方石英; 矿物组成

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.02.031

中图分类号: TD985;TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2023)02-0205-08

中国已探明的膨润土资源储量为29.96亿t^[1], 储量仅次于美国, 位列全球第二^[2]。按矿床分布特点可将中国境内的膨润土矿床划分为五个主要矿带^[3], 其中第一矿带由黑龙江宾县经吉林省九台、双阳, 辽宁黑山、建平、凌源到河北、山西、陕西至四川省; 辽西地区的膨润土矿就分布于其上^[4]。辽西膨润土集中分布在凌源-建平成矿带和锦西-哈尔套成矿带两个区域^[5], 辽西两处膨润土成矿带大地构造单元属于中朝准地台(I), 燕山台褶带(褶皱带, 辽西台陷(西台, 中生代火山岩系, 受辽西拗陷内断陷盆地控制^[6], 成因均为沉积火山碎屑岩-再造型^[7], 且均赋存于白垩系义县组地层中^[8]、辽西中生界侏罗-白垩系火山岩及火山碎屑-沉积岩内, 含矿岩系基底为太古界、元古界、古生界等地层及印支期以前的侵入岩^[9]。

辽西膨润土矿床与其他中国东部沿海地区陆相火山沉积岩系非金属矿床的成矿时代(侏罗-白垩纪为主)、成因类型(火山沉积)、成矿物质来源

(成岩物质)、控矿条件(盆地构造)基本相同, 成矿机理和成矿模式基本相似, 即大量炽热的火山碎屑空落入火山湖盆水体或火山灰流入湖盆水体中经水介脱玻及蚀变作用(含长石晶屑的蚀变)而成或熔岩通过空落或溢流入湖盆地经水介脱玻和蚀变交代矿化作用而成^[10-11]。

葫芦岛膨润土矿位于辽西区域的锦西-哈尔套成矿带的最南端, 主要分布在建昌县和南票区, 保有储量1929.966万t, 占全省保有储量的16.16%^[12]。葫芦岛的膨润土矿与周边地区的膨润土矿成矿条件和成矿年代均相同^[8], 在辽西地区的膨润土矿中具有较强的代表性。

目前针对葫芦岛膨润土的特性研究较少, 难以以为合理开发葫芦岛膨润土资源提供科学指导; 另一方面, 辽西膨润土矿均分布于凌源-建平成矿带和锦西-哈尔套成矿带, 分布比较集中且成矿条件相同, 矿石的类型和品质也有很多相似之处, 但目前对辽西地区膨润土矿的特性研究却是独立

收稿日期: 2021-03-05

作者简介: 印航(1985-), 男, 博士, 工程师, 主要从事非金属矿选矿及矿物材料研究。

且分散, 缺乏对辽西膨润土特性的总结归纳。为此, 本文对葫芦岛膨润土进行了研究, 并与辽西地区其他膨润土进行了比较分析, 以期达到以下研究目标: (1) 全面了解葫芦岛膨润土的特性, 为合理开发葫芦岛膨润土资源提供科学依据; (2) 分析总结辽西地区膨润土的特征, 使对辽西膨润土的特性研究更成体系。

1 实验原料与实验方法

1.1 样品来源与样品制备

共采集了 80 个样品, 每个样品 50 kg, 按矿体规模分别取自葫芦岛市的六个膨润土矿, 其中, 1 号矿 12 个, 2 号矿 9 个, 3 号矿 11 个, 4 号矿 29 个, 5 号矿 12 个, 6 号矿 7 个, 试样制备流程见图 1。



图 1 试样制备流程

Fig.1 Sample preparation flow chart

1.2 测试方法

亚甲基蓝吸收量 (吸蓝量, Methylene Blue Index, MBI)、阳离子交换容量 (Cation Exchange Capacity, CEC) 的测试方法参照标准《膨润土》GB/T 20973-2007^[13]。

pH 值、膨胀容 (Swell volume, SV) 的测试方

法参照标准《出口颗粒膨润土中白度、酸度及膨胀容的检验方法》SNT 0990-2001^[14]。

X 射线衍射 (XRD) X 射线来源采用铜靶所产生的 Cu K α 辐射线, 扫描范围 3~70°, 扫描速度 0.02°/s。XRD 物相半定量分析依据公式 (1) 计算^[15]:

$$w_j = \frac{I_j/K_j}{\sum_{j=1}^n (I_j/K_j)} \quad (1)$$

式中: w_j —物相的半定量计算含量 (%); I_j —第 j 相的衍射强度; K_j —第 j 相的参比强度。

2 结果与分析

2.1 葫芦岛膨润土的特性

(1) 表观特性

通过观察膨润土的颜色、质地、触感等表观特性能够较为粗略直观的对膨润土的品质及性质做出判断。一般来说, 蒙脱石含量较高、杂质含量少的膨润土矿, 以白色、灰白色和淡黄绿色为主, 自然白度较高, 由较多的细颗粒和松软的土块构成, 块团质地不坚硬, 易破碎或塑形较好, 尤以有较强蜡质触感为佳。反正, 若颜色较深、质地坚硬、块团不易破碎或不具备塑形, 则品质较差。图 2 为 6 个膨润土矿具有代表性的原矿外观形貌照片。

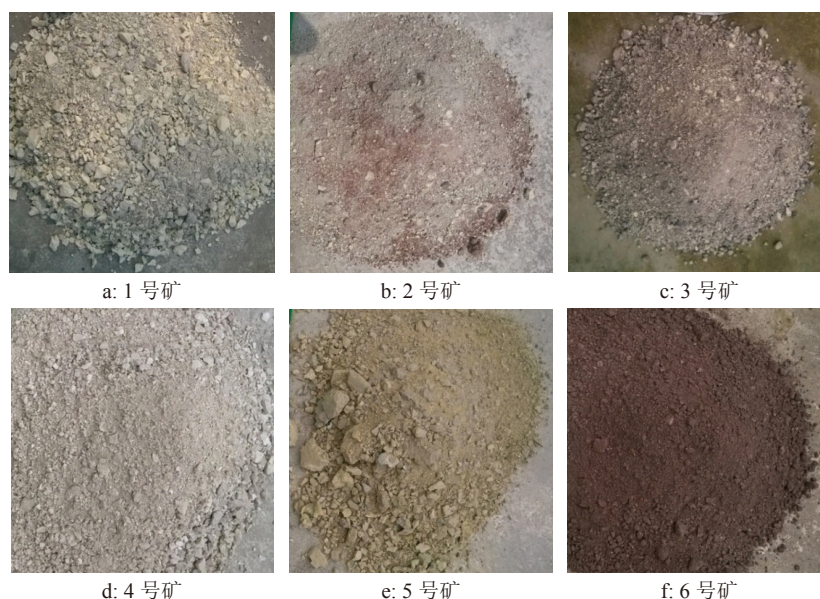


图 2 各个膨润土矿具有代表性的原矿外观形貌照片

Fig.2 Photos of representative samples

由图2，试样的表观特征差异较大。其中，1号矿呈灰白色、自然白度较高，以细粒为主，粒度较均匀，质地松散，有明显沙砾质感，有少量坚硬的土块。2号矿呈灰褐色、自然白度较低，以细粒为主，粒度较均匀，质地松散，有明显沙砾质感。3号矿呈灰褐色、灰白色、土黄色，白度差距大，以细粒为主，粒度较均匀，质地松散，有明显沙砾质感。4号矿呈灰白色，自然白度较高，

以细粒为主，粒度较均匀，质地松散，有明显沙砾质感，有少量坚硬的土块。5号矿呈土黄色或灰绿色，白度较低，块样含量多，粒度不均匀，有明显蜡质感，砂感不明显。6号矿呈褐色，白度低，块样含量多，质地坚硬，粒度不均匀，破碎难度较大，岩石质感明显。各膨润土样品的表观特性总结见表1，通过对比样品的表观特性可知，在六个矿区中6号矿膨润土的品质稍差。

表1 葫芦岛膨润土的形貌特征
Table 1 Apparent characteristics of Huludao bentonite

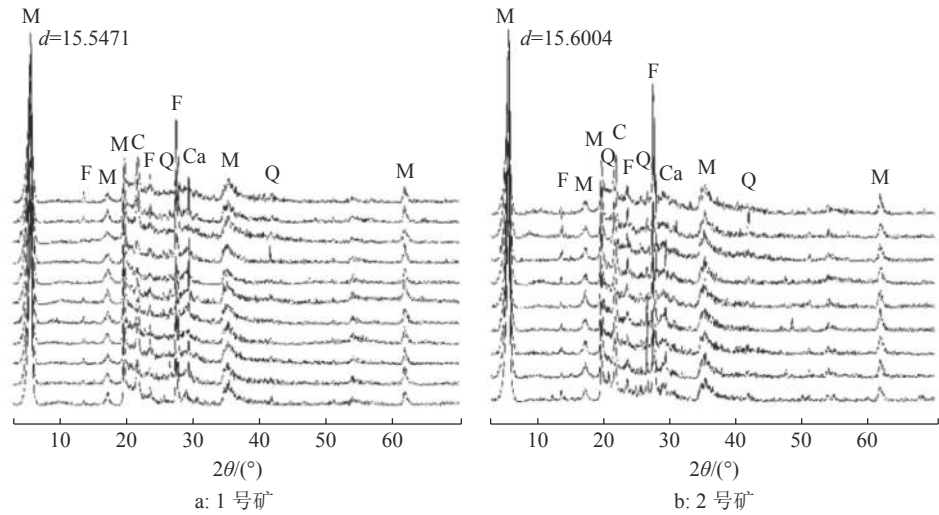
编号	颜色	表观白度	粒度均匀	质感	块矿占比	其他
1	灰白	高	×	砂质	多	
2	灰白、浅褐色	中	√	砂质	无	
3	灰白、褐色	低	√	砂质	少	
4	灰白	高	√	砂质	少	
5	土黄色、灰绿色	中	×	蜡质	多	柔软、有塑形
6	深褐色	低	×	岩石质	少	坚硬、难破碎

(2) 物相组成与理化性质

对试样进行了理化性质检测和表征，包括：MBI反映蒙脱石含量，CEC反映阳离子交换性能，SV反映膨胀性能，XRD图谱和半定量分析反映相特征和矿物组成。

图3为XRD表征结果，图中膨润土的d001峰值均在15.00-16.00之间，表明所有的膨润土样品都属于钙基膨润土。1号矿、2号矿和3号矿的试样（图3.a,b,c）主要的脉石矿物为长石、石英、方解石和方石英；4号矿（图3.d,e）、5号矿（图3.f）的主要脉石矿物是石英，长石和方石英；6号矿物相构成最为复杂（图3.g），主要脉

石矿物是方石英，石英，长石和方解石，部分样品含有白云石。根据XRD分析结果对试样的物相进行半定量分析并进行统计分析，结果见图4。5号矿（图4.a）的蒙脱石平均含量较高（73.74%），标准差（SD为2.51）和变异系数（CV为0.03）较低，表明该矿蒙脱石含量较高且矿体内蒙脱石含量波动很小，矿石质量很稳定。1号矿（66.71%），2号矿（68.86%），3号矿（70.14%）和4号矿（65.82%）的蒙脱石平均含量略低于5号矿，标准差值接近（4.77，5.92，5.23、4.74）和变异系数也都较低（0.07、0.09、0.07、0.07），说明这四个矿的蒙脱石含量波动也都很小，矿石质量稳



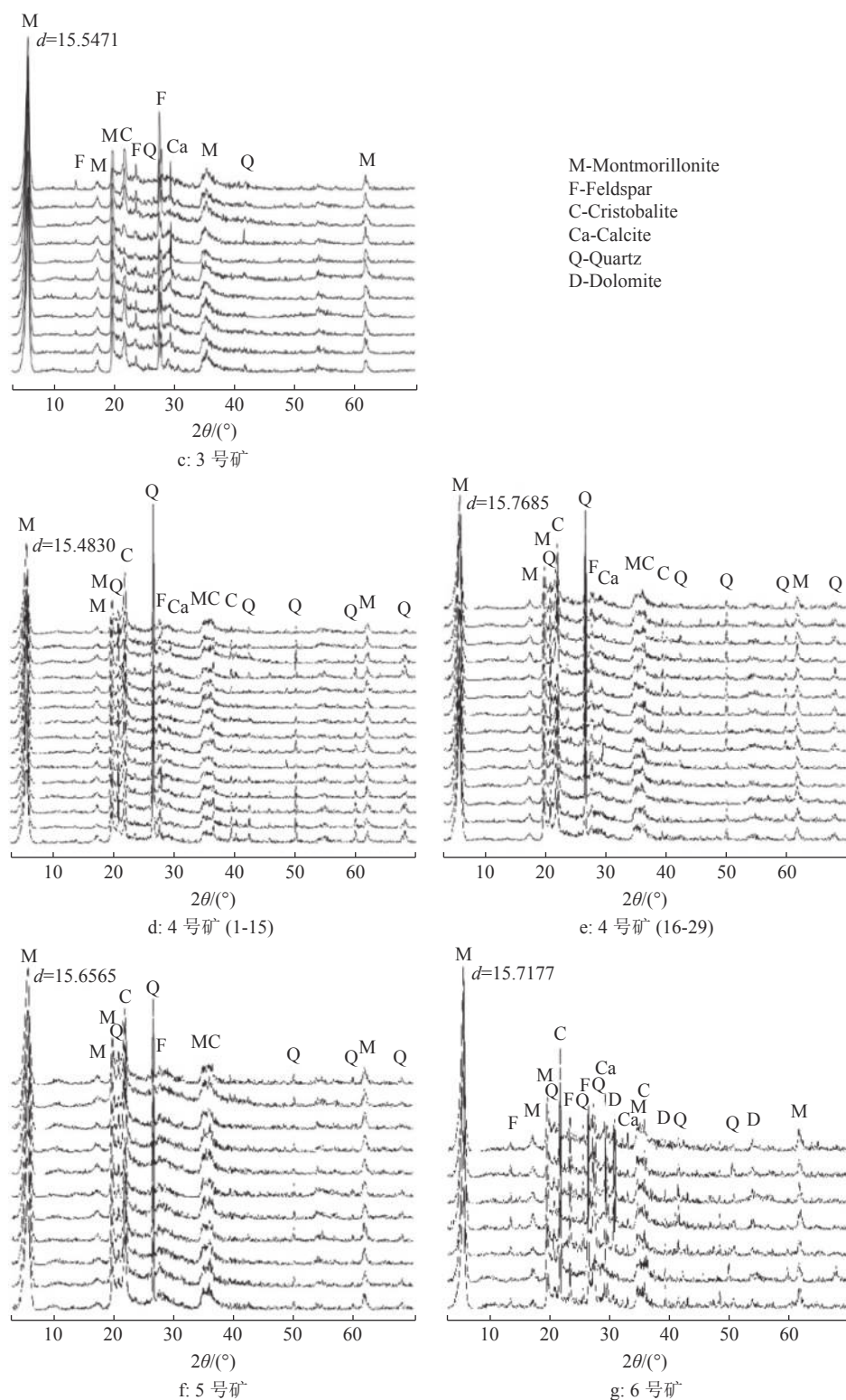


图3 XRD 衍射分析

Fig.3 XRD diffraction patterns

定, 但品质略低于 5 号矿。6 号矿蒙脱石平均含量较低 (55.32%), 而且波动很大, 是六个膨润土矿中膨润土品位最低、质量最不稳定的一个; 但

该矿蒙脱土的平均含量仍超过 55%, 说明葫芦岛膨润土的整体质量良好。

长石在葫芦岛膨润土中最主要的脉石矿物

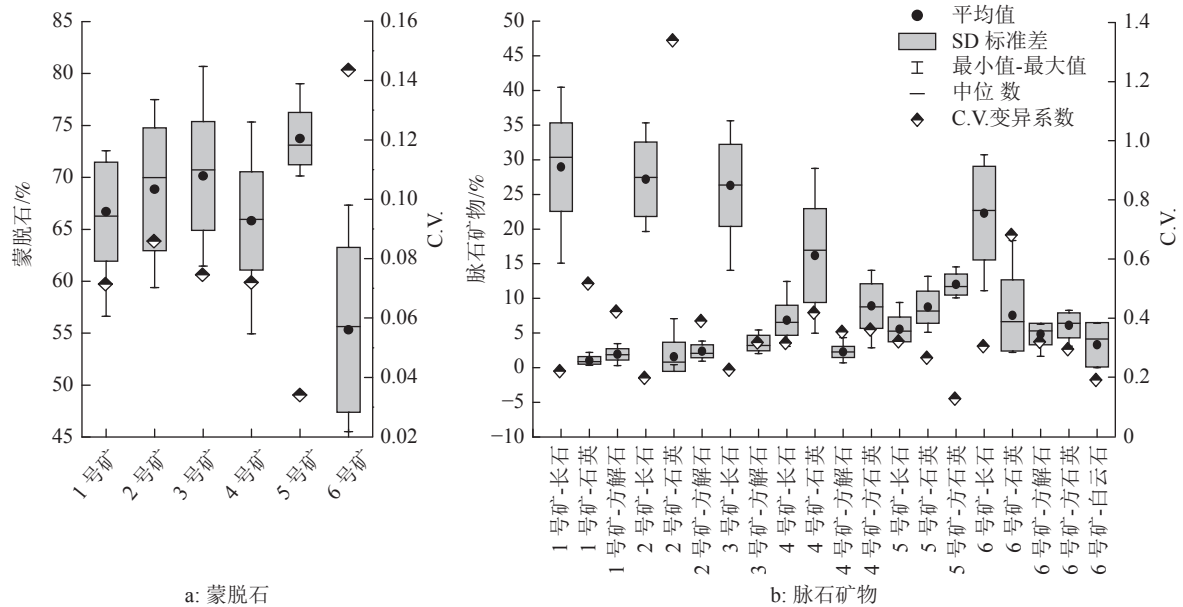


图4 物相的半定量统计分析结果

Fig.4 Proportions of mineral composition by X-ray diffraction analyses

(图 4.b)；1~3 号矿的主要脉石矿物都是长石（28.94%，27.19%，26.30%），标准差值（6.39、5.38、5.93）和变异系数（0.22、0.20、0.23）接近，其他石矿物的含量很低，说明这三个矿的矿物组成相近。4 号矿的主要脉石矿物为晶体二氧化硅（石英为 16.18%，方石英为 8.9%），其次是长石（6.84%）和少量方解石（2.26%）。5 号矿的主要脉石矿物也是晶体二氧化硅，但它的方石英含量（12%）高于石英含量（8.73%）。6 号矿的脉石矿物组成较复杂，含量最高的是长石（22.44%），其次为石英（7.55%），方石英（6.10%），方解

石（4.85%）和白云石（3.31%）。由表 2 可知，通过吸蓝量换算来的蒙脱石品位比 XRD 半定量分析所得的蒙脱石品位略高，这可能是由膨润土中的杂质微量吸附亚甲基蓝引起的。吸蓝量平均值仍然是 5 号矿较高，6 号矿较低，其他四个矿的吸蓝量平均值比较接近，测试结果与 XRD 半定量分析结果相吻合。试样的 CEC 平均值都很高，说明葫芦岛膨润土的阳离子交换性能较好；膨胀容普遍较低、pH 值均呈现弱碱性，符合钙基膨润土的特征。

表 2 吸蓝量、CEC、膨胀容和 pH 值测试结果
Table 2 Test results of MBI, CEC, SV and pH value

No.		1号	2号	3号	4号	5号	6号
吸蓝量换算的蒙脱石含量/%	min	60.8	61.3	64.3	58.8	72.3	45.7
	max	76.3	78.5	83.3	78.0	81.0	69.7
	mean	70.2	70.9	72.3	67.9	75.4	57.3
CEC/mm $\cdot$ (100 g) $^{-1}$	min	64.47	71.33	70.75	65.33	80.54	52.63
	max	86.53	95.53	96.87	88.87	92.05	76.52
	mean	78	81.16	82.02	76.71	85.39	64.51
膨胀容/(mL $\cdot$ g $^{-1}$)	min	6	9	10	8	8	8
	max	13	14	13	15	14	12
	mean	9	11	12	11	12	10
pH值	min	7.5	7.6	7.6	7.3	7.6	7.9
	max	8.1	8.4	8.5	8.7	8.2	8.9
	mean	7.8	8.1	8.0	8.1	7.9	8.5

总的来说,大部分葫芦岛膨润土由疏松的细颗粒组成,具有较高的自然白度、深色颗粒少;蒙脱石平均含量较高、波动较小,矿石质量稳定。葫芦岛膨润土中的主要脉石矿物长石,石英和方解石,矿物成分很简单;阳离子交换性能好,但膨胀性能较差。

试样主要理化性质的统计结果见表 2。

此外,应注意的是,多数试样的 XRD 图谱中

都存在方石英相,说明方石英是一种普遍存在于

葫芦岛膨润土中的脉石矿物。方石英吸入人体后具有致癌性^[16-18],已被美国疾病控制与预防中心列入致癌物清单^[19-20]。方石英的存在会限制葫芦岛膨润土的应用范围。

2.2 辽西膨润土的特性总结

辽西膨润土主要集中在朝阳、阜新、锦州和葫芦岛四地,主要产区有彰武,阜蒙,北票,黑山,建平,凌源等,辽西膨润土的性质见表 3。

表 3 辽西地区膨润土主产地膨润土矿的特征
Table 3 Characteristics of bentonite in western Liaoning

序号	产地	类型	蒙脱石/%	性质与特征
1	建平	镁基	62.32	胶质价46; 膨胀容8; 脉石矿物: 石英 ^[21]
2		钙基	85.06	胶质价96.3; 膨胀容10.4 ^[22] ; pH值 8.6; CEC 36.5; 脉石矿物: 石英、云母、长石 ^[21]
3		钠基	57.67	胶质价62.30; 膨胀容8.1; pH 8.60 ; CEC 59.90 ^[23]
4	阜蒙	钙基	56.04	胶质价100; 膨胀容10.75; pH 9.15; CEC 56.04
5		钙基	40-70	CEC 49-69; ^[23] 脉石矿物: 石英8~20%、长石12~27%、水云母2.3~5.6%、方英石1%以下 ^[24]
6	凌源	钙基/钠基	60~80	pH 值7.5~8.2 (钙基); 9.01~9.89 (钠基); 胶质价87~100; 膨胀容8-9; 脉石: 方英石、斜长石、方解石、少量伊利石、沸石和石英 ^[8]
7	黑山	钙基	50~60	胶质价80~100; 膨胀倍数 12-33; 脉石: 沸石、方英石、伊利石、石英、长石、云母 ^[8]
8	阜新	钠基	65	脉石: 方石英、石英、长石、方解石 ^[5]
9		钙基	68.5	胶质价68.55; 膨胀容8.87; pH 8.75脉石: 方英石、长石, 少量石英和方解石 ^[25]
10	北票	钙基	73.8	胶质价99.45; 膨胀容18.9; pH值8.06; 脉石: 方英石、长石, 少量石英和方解石 ^[25]
11		钙基	88.1	胶质价56.55; 膨胀容6.10; pH8.22; 脉石: 方英石、长石, 少量石英和方解石 ^[25]
12	彰武	钙基	55.83~78.33	CEC:51.39~82.09; 脉石: 高岭土、伊利石和少量长石、石英、方解石、黑云母 ^[26]

注: 胶质价 (mL/15 g) 膨胀容 (mL/g) CEC (mmol/100 g)

辽西膨润土多为钙基膨润土,有少量的镁基和钠基膨润土。蒙脱石含量普遍较高,但矿物组成差异较大,石英、长石和方解石是最常见的脉石矿物;pH 值一般在 8~10 之间,呈弱碱性,与膨润土的种类相吻合;CEC 都比较高,表明辽西膨润土具有较好的阳离子交换性能。辽西膨润土矿带大体上呈东北-西南分布,西南部分的膨润土矿品质优于东北部分的。

在辽西膨润土中,建平出产膨润土矿品质最好,不仅蒙脱石含量高、脉石矿物种类少,而且还有比较少见的镁基蒙脱石。葫芦岛膨润土的品质和北票、凌源的接近,蒙脱石品位都比较高,但凌源膨润土的脉石矿物组成比较复杂;阜蒙膨润土品质稍差。

辽西膨润土的胶质价普遍较高而膨胀容较低。胶质价用于衡量膨润土的分散性、亲水性和

膨胀性,而膨胀容则侧重于衡量膨润土的膨胀性。胶质价高而膨胀容低说明辽西膨润土的亲水性和分散性普遍较好,但膨胀性能被抑制。这是由于辽西膨润土成矿于滨海地区,相比内陆淡水条件下成矿的膨润土矿,滨海膨润土矿的膨胀性能被大量的阳离子所抑制而导致的^[27-30]。另一方面,辽西膨润土中普遍含有方石英,限制了辽西膨润土的应用范围。

3 结 论

(1) 辽西地区是中国北方重要的膨润土产地,其膨润土资源集中分布在凌源-建平和锦西-哈尔套两个成矿带上,大体上呈东北-西南走向,西南部分的膨润土矿品质优于东北部分的。辽西地区膨润土的品质较好,不仅蒙脱石含量高,而且

具有良好的阳离子交换性能。

(2) 葫芦岛位于辽西地区的最南端, 锦西-哈尔套成矿带的西南起点。葫芦岛市境内已探明的膨润土矿保有储量为 1929.966 万吨, 已探明的膨润土矿床全部属于钙基膨润土矿。大部分的膨润土品质都比较好, 蒙脱石含量接近或大于 70%, 属于高品位或中高品位的膨润土。脉石矿物以石英、长石和方解石为主, 矿物组成比较简单。外观特征上一般呈现灰绿或灰白色, 深色矿少, 自然白度较高, 且粒度均匀, 少有硬质岩块。另外, 葫芦岛膨润土还具有阳离子交换性能好的特点, 宜于通过活化、有机改性等方式进行深加工。在辽西地区众多的膨润土矿中, 葫芦岛膨润土的品质与凌源、北票膨润土的品质接近, 略逊色于建平膨润土的品质, 各方面特性在辽西地区膨润土中均具有较强的代表性。

(3) 辽西地区的膨润土矿具有两个比较显著的缺点: 其一是膨胀性能差。这与其滨海的成矿环境有关, 高盐环境中大量的阳离子压制了其膨胀性能。其二是方石英的存在限制了膨润土的用途。方石英是辽西膨润土中普遍存在的脉石矿物, 其致癌性会限制辽西膨润土的应用范围。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告 2019[M]. 中国地质出版社, 2019.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. China mineral resources report 2019 [M]. China Geological Publishing House, 2019.
- [2] Zhang Yaozu. Review on Research Progress of Bentonite[J]. Advances in Environmental Protection, 2019, 3(9):496-501.
- [3] 王新江, 雷建斌. 我国膨润土资源概况及开发利用现状[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2010(3):13-15.
WANG X J, LEI J B. General situation of bentonite resources in my country and status quo of development and utilization[J]. China Non-Metallic Mineral Industry Guide, 2010(3):13-15.
- [4] 施春辉, 吕品, 王立林. 辽宁省膨润土工业现状及发展建议[J]. 辽宁化工, 2018, 47(9):954-956.
- SHI C H, LV P, WANG L L. Status quo and development suggestions of bentonite industry in Liaoning Province[J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47(9):954-956.
- [5] 代连铎. 辽宁西部膨润土矿控矿条件与地质特征浅析[J].

中国科技纵横, 2015(21):157-158, 160.

DAI L D. An analysis of ore-controlling conditions and geological characteristics of bentonite deposits in western Liaoning[J]. China Science and Technology, 2015(21):157-158, 160.

[6] 于政海. 辽西地区膨润土矿控矿条件与地质特征探析[J]. 中国金属通报, 2019(5):177, 179.

YU Z H. Exploration and analysis of ore-controlling conditions and geological characteristics of bentonite deposits in western Liaoning[J]. China Metal Bulletin, 2019(5):177, 179.

[7] 高恩忆. 辽西中生代火山岩中珍珠岩、沸石、膨润土成矿因素探讨[J]. 辽宁地质, 1986(1):35-46.

GAO E Y. Discussion on mineralization factors of perlite, zeolite and bentonite in Mesozoic volcanic rocks in western Liaoning[J]. Liaoning Geology, 1986(1):35-46.

[8] 王楚杰. 辽西义县组主要非金属矿床地质特征及成矿条件研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2014.

WANG C J. Study on the geological characteristics and metallogenic conditions of the main non-metallic deposits of Yixian Formation in western Liaoning [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2014.

[9] 李小彬. 辽西地区火山岩型沸石、膨润土、珍珠岩成矿机制与找矿方向探讨[J]. 黑龙江科技信息, 2013(16):101.

LI X B. Discussion on the mineralization mechanism and prospecting direction of volcanic zeolite, bentonite and perlite in western Liaoning[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2013(16):101.

[10] 李广有. 陆相火山沉积岩系非金属矿床的地质特征及控矿条件[J]. 现代地质, 2005(3):361-368.

LI G Y. Geological characteristics and ore-controlling conditions of non-metallic deposits in continental volcanic sedimentary rocks[J]. Modern Geology, 2005(3):361-368.

[11] 李广有. 火山沉积型非金属矿床成矿机理与成矿模式探讨[J]. 安徽地质, 2006(2):88-93.

LI G Y. Discussion on metallogenic mechanism and model of volcanic sedimentary non-metallic deposits[J]. Geology of Anhui, 2006(2):88-93.

[12] 葫芦岛市人民政府. 葫芦岛市矿产资源总体规划(2016-2020)[R]. 2017.

People's Government of Huludao City. Overall planning of mineral resources in Huludao City (2016-2020) [R]. 2017.

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 膨润土[S]. . 2007.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and

Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administrators Association. Bentonite [S]. 2007.

[14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 出口颗粒膨润土中白度、酸度及膨胀容的检验方法 [S]. 2001.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Inspection method for whiteness, acidity and swelling volume of export granular bentonite [S]. 2001.

[15] 陈智杰, 管俊芳, 高惠民, 等. 膨润土中蒙脱石定量分析研究进展 [Z]. 中国安徽合肥: 2016.

CHEN Z J, GUAN J F, GAO H M, et al. Research progress in quantitative analysis of montmorillonite in bentonite [Z]. Hefei, Anhui, China: 2016

[16] Checkoway H, Heyer N J, Seixas N S, et al. Dose-response associations of silica with nonmalignant respiratory disease and lung cancer mortality in the Diatomaceous Earth Industry[J]. *American Journal of Epidemiology*, 1997, 145(8):680-688.

[17] Ruehlmann J, Körschens M. Soil particle density as affected by soil texture and soil organic matter: 2. Predicting the effect of the mineral composition of particle-size fractions[J]. *Geoderma*. 2020, 375: 114543.

[18] Xu G, Li Z, Li P. Fractal features of soil particle-size distribution and total soil nitrogen distribution in a typical watershed in the source area of the middle Dan River, China[J]. *CATENA*. 2013, 101: 17-23.

[19] 1988 osha pel project-cristobalite niosh cdc, (2011-09-28), <https://www.cdc.gov/niosh/pel88/14464-46.html>.

[20] Carcinogen list - occupational cancer niosh cdc, (2012-05-30), <https://www.cdc.gov/niosh/topics/cancer/npotocca.html#c>.

[21] 林涛, 任建晓, 殷学风. 建平膨润土锂化研究[J]. *铸造*, 2013, 62(3):245-248.

LIN T, REN J X, YIN X F. Research on lithation of Jianping bentonite[J]. *Foundry*, 2013, 62(3):245-248.

[22] 李彩霞, 白阳, 赵靖雨, 等. 建平膨润土提纯及制备球团黏结剂实验研究[J]. *非金属矿*, 2017, 40(3):54-56.

LI C X, BAI Y, ZHAO J Y, et al. Experimental study on purification of Jianping bentonite and preparation of pellet binder[J]. *Non-metallic Minerals*, 2017, 40(3):54-56.

[23] 刘殿鹤, 张雪花. 辽宁省二道河膨润土矿床地质特征及

成因探讨[J]. *化工矿产地质*, 2015, 37(2):85-92.

LIU D H, ZHANG X H. Geological characteristics and genesis of Erdaohe bentonite deposit in Liaoning Province[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2015, 37(2):85-92.

[24] 李坛, 胡墨田, 王吉平. 辽宁省阜蒙县北窝铺膨润土矿床地质特征及控矿因素 [J]. *化工矿产地质*. 2014, 36(3): 161-166.

LI T, HU M T, WANG J P. Geological characteristics and ore-controlling factors of the bentonite deposit in Beiwopu, Fumeng County, Liaoning Province [J]. *Geology of Chemical Minerals*. 2014, 36(3): 161-166.

[25] 许凤林, 徐传云, 何雪寒, 等. 辽宁北票膨润土制备活性白土试验研究 [J]. *中国非金属矿工业导刊*. 2009(6): 31-33.

XU F L, XU C Y, HE X H, et al. Experimental study on preparation of activated white clay from Beipiao Bentonite in Liaoning [J]. *China Non-Metallic Mineral Industry Guide*. 2009(6): 31-33.

[26] 董军. 辽宁省彰武县三道沟地区膨润土矿床特征及成因探讨 [J]. *矿产与地质*. 2015, 29(2): 221-224.

DONG J. Characteristics and genesis of bentonite deposits in Sandaogou area, Zhangwu County, Liaoning Province [J]. *Mineral Resources and Geology*. 2015, 29(02): 221-224.

[27] Idiart A, Laviña M, Cochepein B, et al. Hydro-chemo-mechanical modelling of long-term evolution of bentonite swelling[J]. *Applied Clay Science*. 2020, 195: 105717.

[28] Lim J, de Kretser R G, Scales P J. Investigating the influence of total electrolyte concentration and sodium-calcium ion competition on controlled dispersion of swelling clays[J]. *International Journal of Mineral Processing*. 2009, 93(2): 95-102.

[29] Li X, Li C, Xu Y. Representation of volume change for bentonite in saline solution based on modified effective stress[J]. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019, 23(5): 2065-2073.

[30] 印航, 高惠民, 管俊芳, 等. 新疆某地钠基膨润土提纯试验研究[J]. *矿产综合利用*, 2009(5):17-20.

YIN H, GAO H M, GUAN J F, et al. Experimental study on the purification of sodium bentonite in a certain area of Xinjiang[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2009(5):17-20.

(下转第 224 页)

spodumene in the granitic pegmatite in Nanping, Fujian Province[J]. Geology of Fujian, 1995, 14(2):95-108.

Mineralogical Characteristics of Spodumene in No. VIII Pegmatite Vein of Dangba Spodumene Deposit, Sichuan

Luo Xiaolong^{1,2}, Cai Yunhua², Liu Yu¹, Zhu Huipai², Tan Hua², Fei Guangchun¹

(1.College of Earth Science, Key Laboratory of Tectonic Controls on Mineralization and Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Natural Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan, China; 2.Geochemistry Exploration Team of the Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Deyang, Sichuan, China)

Abstract: Systematic research of mineralogical characteristics of spodumene of VIII pegmatite vein in Dangba spodumene deposit are studied by microscopic observation, electron probe micro analysis (EPMA), Laser ablation plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) and X-ray diffraction analysis (XRD). The results show that the main ore mineral is spodumene. The spodumene crystal partical is large, lithium mainly occurs in spodumene, accompanied by niobium and tantalum beneficial components. XRD and LA-ICP-MS analysis show that the purity of spodumene is very high (the average content of Li_2O is 7.84%) and the cell parameters are slightly lower than those of standard cards. The EPMA results show that the content of SiO_2 in spodumene was high (65.62%~65.82%), with a small amount of impurities such as Fe and Mn. The contents of Li_2O in the pegmatite ore is up to 1.33%. To sum up, the lithium ore has important development and utilization value.

Keywords: Mineralogy; Spodumene; Comprehensive utilization; Dangba; Sichuan Province

////////////////////////////////////
(上接第 212 页)

Study on Characteristics of Bentonite in Huludao, Liaoning

Yin Hang^{1,2}, Gao Huimin^{2,3}, Ren Zijie^{2,3}, Guan Junfang²

(1.China Energy Green Building Material Co., Ltd., Wuhan, Hubei, China; 2.School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan, Hubei, China; 3.Hubei Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment, Wuhan, Hubei, China)

Abstract: Huludao is the starting point of the Jinxi-Hartao metallogenic belt. In order to explore the characteristics of Huludao bentonite, six bentonite mines in Huludao were studied. Crystalline phases, montmorillonite content, swelling property, cation exchange performance of the samples were characterized and evaluated by X-ray diffraction, swelling volume, cation exchange capacity and methylene blue index, respectively. By comparing Huludao bentonite with other bentonites in western Liaoning, the characteristics of bentonite in western Liaoning were summarized. Huludao bentonite belongs to calcium-base bentonite and has the following advantages: high whiteness, high montmorillonite content, simple mineral composition, good cation exchange performance and stable ore quality, which has a strong representativeness in western Liaoning. However, bentonite in the western Liaoning generally contains cristobalite, which limits the application range of the product.

Keywords: Bentonite; Cristobalite; Mineral composition