

齐齐哈尔碾子山麦饭石岩石矿物学特征研究

文科^{1,2,3}, 刘国庆⁴, 殷艳珍⁵, 王钺博^{1,2,3}, 王辅亚^{1,2}, 朱建喜^{1,2}

1. 中国科学院矿物学与成矿学重点实验室 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;
2. 广东省物理与材料研究开发重点实验室, 广东 广州 510640;
3. 中国科学院大学, 北京 100049;
4. 齐齐哈尔市碾子山区政府, 黑龙江 齐齐哈尔 161046;
5. 齐齐哈尔市碾子山区麦饭石研究所, 黑龙江 齐齐哈尔 161046

【摘要】 麦饭石是一种天然矿物药石,多用于医药保健、农业畜牧等领域。采用近代岩石学分析测试技术,对有中华麦饭石之乡称号的齐齐哈尔市碾子山区麦饭石的岩石学特征、矿物组分与化学成分、热学性质以及结构特性等进行研究测定。结果表明:碾子山麦饭石是一种具有斑状结构呈致密块状的闪长玢岩,其中, $w(\text{SiO}_2)$ 约64%, $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 约16%,里特曼指数 $\sigma=2.9<3.3$ 。含Sr、V等对人体有益微量元素,主要矿物有斜长石、钾长石、石英,含少量风化蚀变产物(如角闪石、绿泥石和蒙脱石等粘土矿物)。在1000℃条件下,碾子山麦饭石仍保持良好的热稳定性。碾子山麦饭石具有海绵状多孔结构,孔径以6 μm 以上的大孔为主。大孔结构使其既可作为优良吸附剂应用于环境领域,同时也便于其中微量元素的溶出,有望作为制药载体等得到广泛应用。

【关键词】 碾子山麦饭石;矿物组分;多孔结构;热稳定性

中图分类号:P579 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2016)01-0001-07

0 引言

麦饭石是我国古代医药学家根据其外观颇似大米煮出的饭团而得名,为我国应用最早的一种传统天然矿物药石^[1]。作为一种对生物无毒、无害并

具有一定生物活性的复合矿物或药用岩石,其利用历史十分悠久,明代大医药学家李时珍所著《本草纲目》对麦饭石的性能、用途和用法已有记载^[2]。从地质科学的角度讲,麦饭石母岩通常被认为是钙碱性岩石系列岩浆晚期分异结晶形成的以次火山岩产出的闪长玢岩、石英钠长斑岩或石英闪长斑岩等,矿物

收稿日期:2015-10-11; 改回日期:2015-12-18

作者简介:文科,男,24岁,硕士生,地质工程专业,研究方向:应用矿物学及环境矿物学。E-mail:wenke@gig.ac.cn

通讯作者:朱建喜,男,研究员,矿物学专业,研究方向:环境矿物、粘土矿物材料及矿物资源利用。E-mail:zhujx@gig.ac.cn

成分主要有斜长石、钾长石、石英、角闪石、绿泥石等^[3]。风化蚀变后的麦饭石,矿物成分和化学成分与未风化的原岩基本一致,只是多了一些高岭土、绢云母、蒙脱石、绿泥石等蚀变矿物^[4]。

我国麦饭石资源极为丰富,几乎各省、市、自治区均有分布,比较著名并已开发应用的有山东蒙阴、内蒙古奈曼旗、天津蓟县、辽宁阜新、浙江四明山、江西赣南、台湾台东等^[5]。齐齐哈尔市碾子山区麦饭石因矿产储量较高、品质较好而被赋予中国麦饭石之乡的称号。该麦饭石矿区地处大兴安岭东麓余脉,距齐齐哈尔市中心 89 公里,属浅山丘陵地域。目前,由于基础研究薄弱以及相关科学数据的缺乏,碾子山麦饭石仅在部分领域得到较为简单的开发和利用。

我国是麦饭石出口大国,但基本以原材料出口为主,产品档次较低,价格不高,而日本、韩国的麦饭石产品(Bakuhanseki),尽管原材料多源于我国,但由于其包装和营销手段,常以高端产品的面貌出现在市场。上世纪 80 年代~90 年代国内出现了麦饭石研究热潮,随后衰退,近些年虽有所恢复,但论文总量也不及高峰期的三分之一。关于麦饭石的研究,国内多集中在医药^[6]、生物保健^[7]、饮用水净化^[8~10]等领域,而境外仅在日本、韩国、新加坡和台湾等个别部分地区有研究^[11~13]。

在综合前期华丰麦饭石矿地质评价的基础上,借助多种现代分析测试手段,对齐齐哈尔碾子山麦饭石展开岩石矿物及结构等的研究,并在此基础上评价其基本物理化学性能,为碾子山麦饭石资源的开发利用提供科学的理论依据。

1 样品与方法

1.1 样品采集与编号

本研究中所使用的麦饭石均采集于齐齐哈尔市碾子山区麦饭石矿区,依次在矿区北段及南段不同位置进行采样,所采样品经破碎研磨,并分别筛分至 16 目,100 目和 200 目粒径储存备用,样品具体信息及编号设置见表 1。

表 1 样品信息及编号

Table 1 Sample information of Maifan stones

粒径	北矿区(N)			南矿区(S)		
16 目	MNA-16	MNB-16	MNC-16	MSA-16	MSB-16	MSC-16
100 目	MNA100	MNB-100	MNC-100	MSA-100	MSB-100	MSC-100
200 目	MNA-200	MNB-200	MNC-200	MSA-200	MSB-200	MSC-200

注:M. 麦饭石; N 和 S 分别代表北矿区和南矿区; A、B 和 C 代表不同采样位置, A 为坡顶, B 为中部, C 为坡底; 16、100 和 200 分别代表样品颗粒目数

1.2 样品分析测试方法

通过实验室自制样品岩石手标本及光学薄片,观察分析鉴定岩石矿物组分。

采用 Rigaku 100e 型波长色散型 X 射线荧光光谱仪对样品进行化学成分分析(X 射线荧光光谱分析, XRF), 使用 4 KW 超薄端窗型(30 μ m)、铑靶 X 射线管。

采用德国 Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪对样品进行物相分析(X 射线衍射分析, XRD), 测试条件为: 铜靶(CuK α)辐射($\lambda=0.154$ nm), 管电压 40 kV, 管电流 40 mA, 2θ 扫描范围为 $3^\circ \sim 60^\circ$, 扫描速率 $2.0^\circ(2\theta)/\text{min}$ 。常规分析采用粉晶制法制备样品。自然定向片及乙二醇定向片样品制备方法采用如下方法制得: 40 mg 样品($< 2 \mu\text{m}$)加入至 10 ml 试管中, 向其中加入 0.7 ml 溶剂, 超声处理 10 min 后滴于玻璃薄片上, 自然风干得到定向片; 乙二醇定向片采用类似方法进行制备, 将制备好的自然定向片置于乙二醇饱和蒸汽压条件下 8 h, 得到乙二醇定向片。

采用德国 Netzsch STA 409 PC 型 TG/DSC 同步热分析仪对样品的热稳定性进行分析。取约 20 mg 的 200 目样品, 均匀铺在三氧化二铝坩埚底部, 加盖, 氮气气氛, 气流流速 $60 \text{ cm}^3/\text{min}$, 升温速率 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 升温范围 $30^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ 。数据采用 Netzsch-TA4.5 软件 Proteus Analysis 进行分析。

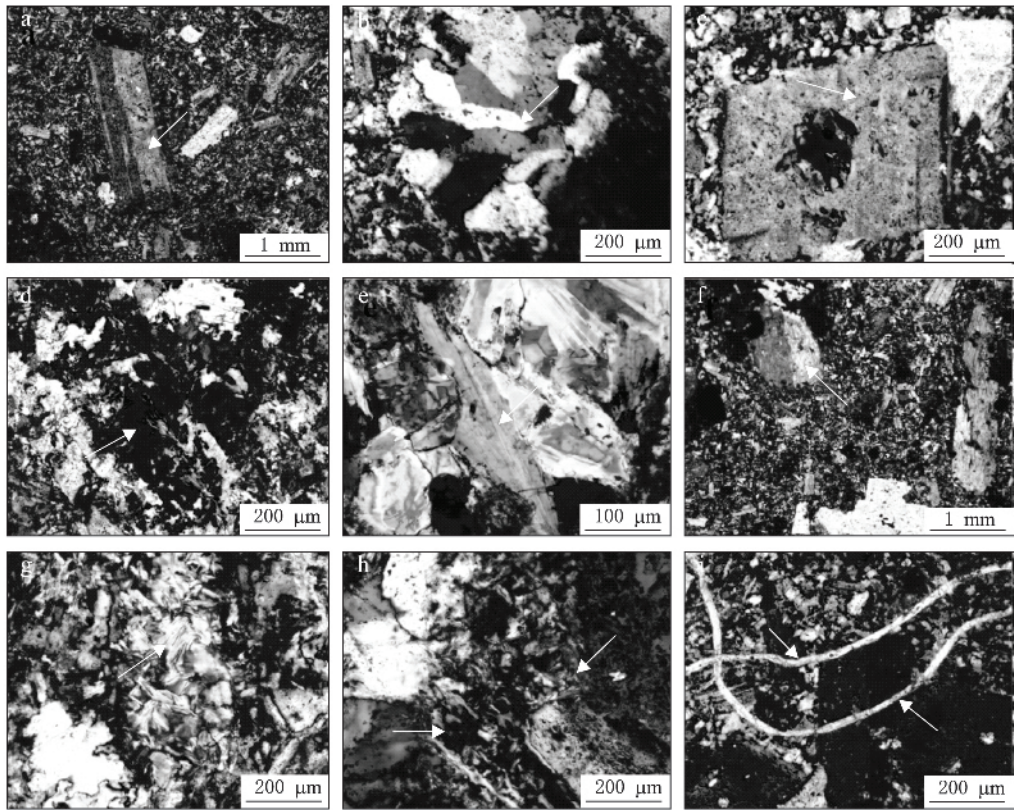
采用美国 Micromeritics ASAP 2020M 比表面与孔径分析仪对样品的比表面及孔隙信息进行分析。测试前, 样品于 200°C 下真空脱气 12 h, 比表面信息采用多点 BET 法进行计算, 总孔体积在相对压力 $P/P_0=0.99$ 处取得。

采用美国 Micromeritics Autopore IV 9500 压汞仪对碾子山麦饭石样品的大孔特征进行分析, 汞注入压为 $3.4 \text{ kPa} \sim 413700 \text{ kPa}$, 分低压和高压两阶段测试。

2 结果与讨论

2.1 岩性及矿物组分分析

通过对不同样品手标本进行观察, 发现麦饭石手标本呈致密块状, 具斑状构造, 整体呈灰色及灰绿色。新鲜面多呈灰色, 灰白色, 可见短柱状矿物, 硬度 > 5 (小刀); 白色者为石英; 风化面呈灰白至灰绿色者硬度在 $2.5 \sim 5$ (介于指甲与小刀之间)。结合岩石光学薄片显微镜下分析(照片 1)及粉晶 X 射线衍射分析结果(图 1, 图 2), 确定碾子山麦饭石的主



照片 1 麦饭石样品的矿物组分
 a. 斜长石; b. 石英; c. 钾长石; d. 绿泥石; e. 蒙脱石; f. 角闪石; g. 绿帘石; h. 长石的绿泥石化和绿帘石化;
 i. 长石的片状白云母, 条带构造

Photo 1 Mineral components of the Maifan stones

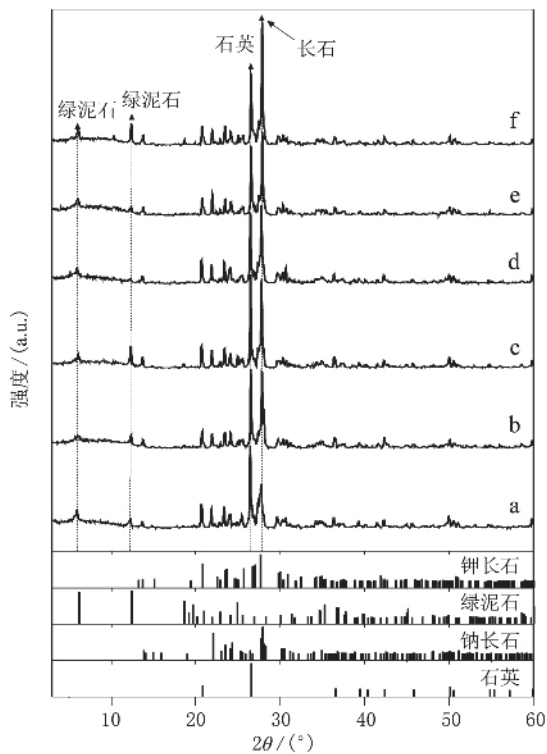


图 1 碾子山麦饭石样品粉晶 X 射线衍射图谱
 a. MNA-200; b. MNB-200; c. MNC-200; d. MSA-200; e. MSB-200; f. MSC-200

Fig. 1 X-ray diffraction of Maifan stone powder

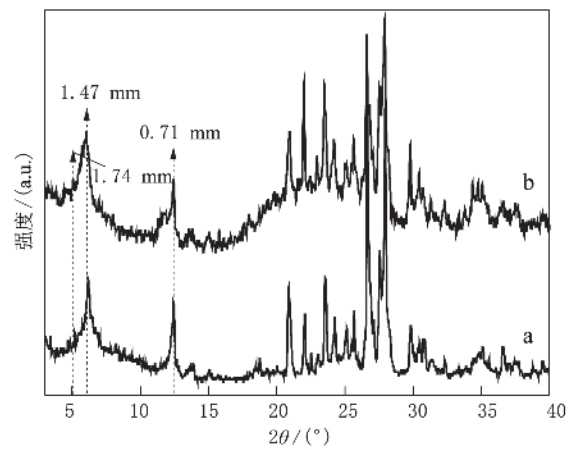


图 2 麦饭石样品粉晶 X 射线衍射定向片分析
 a. MNA-200 自然定向片; b. MNA-200 乙二醇定向片

Fig. 2 XRD directional analysis of the Maifan stones

要矿物有斜长石、石英、钾长石, 含少量蒙脱石、绿泥石、绿帘石、角闪石。

结合样品化学成分测试结果(表 3), 通过粉晶 X 射线衍射半定量分析可以确定样品中个矿物组分间的相对含量。不同位置麦饭石样品中各矿物组分相对含量关系见表 2, 从表 2 中数据看, 矿区麦饭石矿物组分以长石类矿物为主, 含量约 60%, 其中斜长石约占 40%。同时, 麦饭石样品中的粘土矿物含量总计约 30%, 其余为石英。麦饭石中粘土的相对

表 2 麦饭石样品中各矿物组分相对含量. $w(B)/\%$

Table 2 Relative contents of mineral components in the Maifan stones (in percentage)

样品号	斜长石	钾长石	石英	蒙脱石	绿泥石	绿帘石	角闪石
MNA-200	40	18	11	10	12	4	5
MNB-200	39	20	13	8	12	5	4
MNC-200	42	19	16	7	10	4	2
MSA-200	32	23	16	11	7	6	5
MSB-200	39	20	14	5	11	8	3
MSC-200	39	18	15	5	10	10	3

含量,某种程度上反映岩石遭受风化的剧烈程度,粘土含量相对较高者,其自身性质往往较好^[14]。

2.2 麦饭石样品化学成分分析

化学成分分析作为研究分析岩石矿物组分的一个重要手段,对于麦饭石矿物组分的鉴定以及麦饭石品质的评价都具有重要的意义。碾子山麦饭石样品的主要化学成分见表 3,与《中华麦饭石》的数据较一致^[15]。从表 3 中看到,碾子山麦饭石样品的化学成分以 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O 为主,与显微镜下矿物组分分析以及物相分析结果一致,证明该麦饭石样品以碱性长石及石英为主要矿物。同时,碾子山麦饭石样品中含有约 0.07% 的 SrO 以及 0.03% 的 V_2O_5 ,有研究表明 Sr 和 V 微量元素对人体的生长及生理机能具有重要影响^[16,17],因此若能将其从麦饭石中溶出,则在医药及保健方

表 4 不同产地麦饭石化学成分对比. $w(B)/\%$

Table 4 Chemical composition of Maifan stones in different regions (in Percentage)

样品	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	P_2O_5
MN	63.82	0.59	16.52	4.64	0.10	1.51	3.23	4.17	3.33	1.71	0.13
MS	63.94	0.59	16.44	4.63	0.11	1.42	2.98	4.81	3.31	1.38	0.14
CH	65.57	0.79	17.42	10.08	0.08	1.26	3.30	4.36	2.72	—	—
BP	68.63	0.36	14.63	4.02	0.07	1.03	1.53	4.76	4.04	—	0.12
TW	63.27	0.32	17.66	3.93	—	2.68	4.41	3.88	1.81	—	—
JA	69.76	0.32	14.02	2.69	0.02	3.55	2.00	3.16	3.19	—	0.26

注:MN. 碾子山北矿区麦饭石; MS. 碾子山南矿区麦饭石; CH. 中华麦饭石; BP. 北票麦饭石; TW. 台湾麦饭石; JA. 日本麦饭石

里特曼指数 $\sigma = [\omega(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})]^2 / [\omega(\text{SiO}_2 - 43)]$,使用去掉百分号的元素含量,适用于 SiO_2 含量大于 43% 的岩石。 $\sigma < 3.3$ 为钙碱性岩, $3.3 < \sigma < 9$ 为碱性岩, $\sigma > 9$ 为过碱性岩。

2.3 麦饭石样品热重分析

通过对样品进行热重分析,可以更好地了解麦饭石的热稳定性,同时为 BET 氮吸附脱附法测试样品比表面及孔径信息提供脱气温度参考。图 4 为北矿区(MN)及南矿区(MS)麦饭石样品的热重(TG)曲线及微分热重(DTG)曲线。整体上看,各样品的失重量随温度变化差异并不大,这说明各样品具有相似的热稳定性,当温度以 $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率从 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 升高至 $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$ 时,各样品的失重量大约在 $2\% \sim$

面可得到一定的应用。

表 3 不同麦饭石样品的主要化学成分. $w(B)/\%$

Table 3 Main chemical compositions of different Maifan stones (in percentage)

样品	MNA	MNB	MNC	MSA	MSB	MSC
SiO_2	64.01	63.74	63.70	64.07	64.26	63.50
Al_2O_3	16.40	16.86	16.30	16.46	16.45	16.40
Fe_2O_3	4.59	4.58	4.76	4.60	4.61	4.69
CaO	2.67	3.24	3.78	2.97	2.82	3.14
MgO	1.50	1.49	1.55	1.31	1.41	1.55
K_2O	4.10	2.98	2.91	3.21	3.14	3.59
Na_2O	3.80	4.35	4.37	4.91	4.84	4.67
TiO_2	0.59	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59
P_2O_5	0.16	0.12	0.10	0.21	0.15	0.057
MnO	0.097	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11
SrO	0.070	0.077	0.066	0.075	0.067	0.071
ZrO	0.033	0.032	0.032	0.03	0.032	0.031
V_2O_5	0.042	0.03	/	0.029	0.02	0.027
ZnO	0.015	0.011	0.011	0.01	0.008	0.008
SO_3	/	/	/	/	/	0.082

里特曼指数表示岩浆岩中碱的含量与二氧化硅含量之间的关系,由计算公式 $\sigma = [\omega(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})]^2 / [\omega(\text{SiO}_2 - 43)]$ 计算得到该区麦饭石样品的里特曼指数 $\sigma = 2.9$,略低于北票麦饭石($\sigma = 3.0$),高于中华麦饭石($\sigma = 2.2$)、泰山麦饭石($\sigma = 2.0$)、蓟县麦饭石($\sigma = 1.6$)、台湾麦饭石($\sigma = 1.6$)和日本麦饭石($\sigma = 1.5$),都属于钙碱性系列岩浆岩(里特曼指数 $\sigma \leq 3.3$)^[18]。

3%。

整体上看,碾子山麦饭石主要在低于 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 以及 $560\text{ }^\circ\text{C}$ 左右出现明显的失重峰,平均失重量分别约为 $1\% \sim 1.5\%$ 和 $1\% \sim 2\%$ 。具体分析发现,温度低于 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 时,样品失重以颗粒间及表面吸附水脱失为主,主要是片层状矿物(如蒙脱石、绿泥石等)表面及颗粒间吸附水的脱失;约温度近于 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 时,部分矿物有少量结晶水发生脱失; $560\text{ }^\circ\text{C}$ 附近出现的样品失重应归于绿泥石矿物八面体片层结晶水的脱失;当温度升高至 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时,矿物结构开始发生破坏,首先是片层矿物的片层结构坍塌,峰位在 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 与 $840\text{ }^\circ\text{C}$ 附近,接着在温度达到 $850\text{ }^\circ\text{C} \sim 950\text{ }^\circ\text{C}$ 时,粘土质矿物结构基本已完全解体^[19~21]。

将碾子山麦饭石各样品的热处理曲线进行对比,可以发现,北矿区与南矿区样品热稳定性差异较小,各样品均在 560 °C 附近出现八面体片脱羟基水的失重阶梯;北区 MNA, MNB, MNC 样品对比(图 3a,图 3b,图 3c)可观察到,560 °C 位置峰强依次增加,这反映出样品中粘土矿物相对含量的高低及岩石的风化程度依次增强,南区的 MSA, MSB, MSC (图 3d,图 3e,图 3f)同样复合该规律,此规律与实际采样地点风化程度关系吻合。碾子山麦饭石样品的热稳定性归因于其矿物组分以热稳定性良好的长石为主,长石相对含量约 60%。

2.4 麦饭石比表面及孔隙分析

麦饭石是经风化、蚀变而形成,这导致了其在结构上呈多孔状和海绵状。前人研究表明,表面的孔隙一般为开放孔,内部孔有互连孔、封闭孔和半封闭孔^[22,23]。通过 BET 氮吸附脱附法测试可有效表征

材料的比表面及孔径(一般适用于 < 50 nm)信息。本研究对不同位置麦饭石样品进行液氮条件下 N₂ 吸附脱附测试,得到图 4 的等温吸附脱附曲线。从曲线中可以看到,吸附曲线属 II 型吸附曲线^[24],回滞环为 H3 型回滞环^[24]。吸附曲线中低压区吸附量极小,高压区吸附量随压力增加迅速上升,证明样品中几乎不含微孔,而以中大孔为主,孔隙类型为狭缝型孔。

麦饭石的比表面及孔隙信息见表 5。由表中数据发现,无论从比表面积还是从总孔容数据看,北矿区 MNA 样品及南矿区 MSA, MSB 样品孔隙较其他样品更发育,该结果与衍射半定量分析样品中粘土矿物含量结果吻合。

压汞法分析表明(图 5),样品孔径多集中在 6 μm 以上,不同位置样品之间孔径差异不大。MNC 样品在约 84 nm 出现极为明显的集中分布,该分布

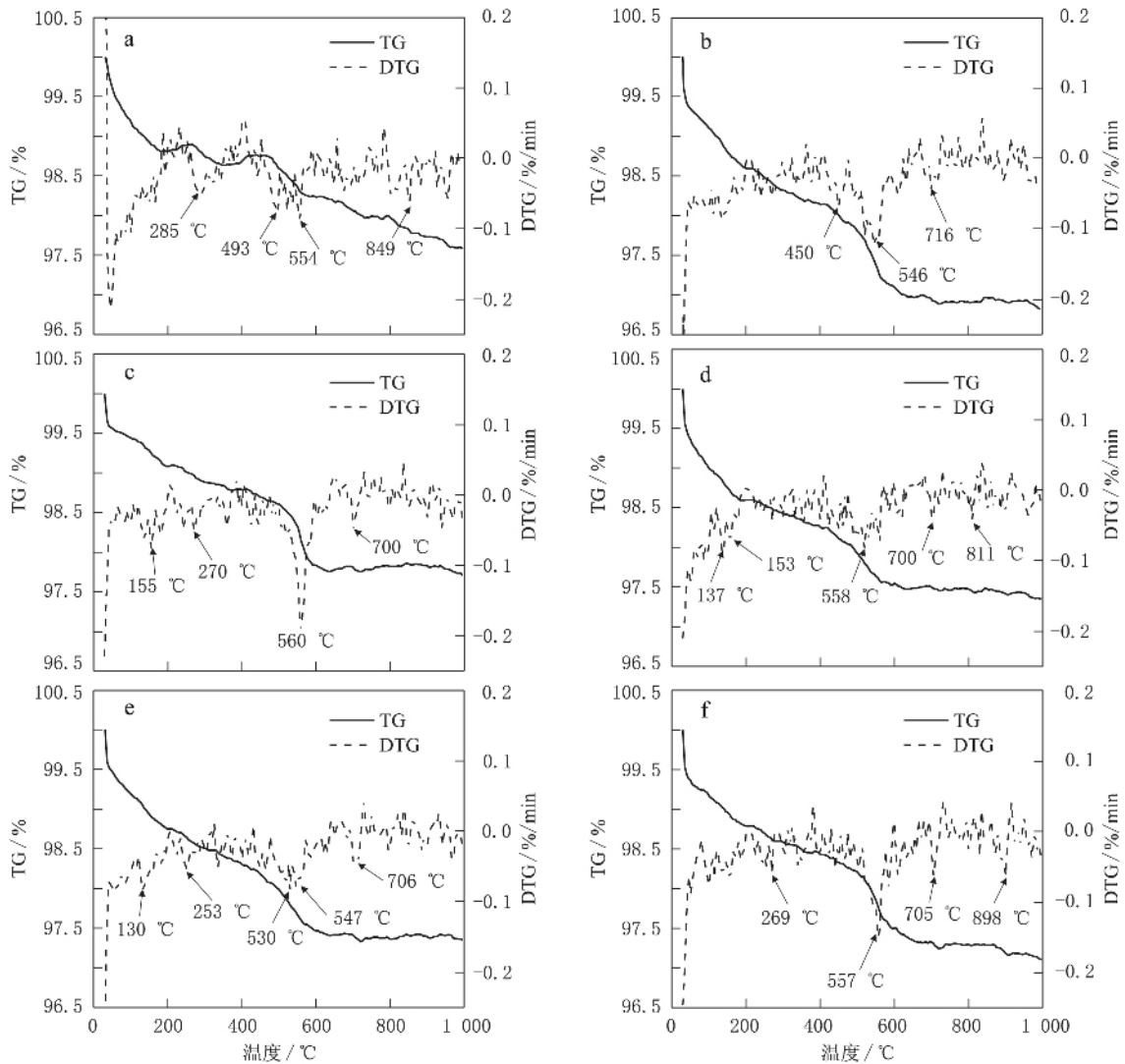


图 3 碾子山麦饭石样品 TG/DTG 曲线

a. MNA-200; b. MNB-200; c. MNC-200; d. MSA-200; e. MSB-200; f. MSC-200

Fig. 3 TG and DTG curves of the Nianzishan Maifan stones

表5 麦饭石的比表面积及孔结构信息

Table 5 Surface and pore properties of Maifan stones

样品	MNA-200	MNB-200	MNC-200	MSA-200	MSB-200	MSC-200
比表面积/($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	6.106	4.921	3.427	5.524	6.053	4.581
总孔容/($\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$)	0.011	0.009	0.007	0.010	0.011	0.008

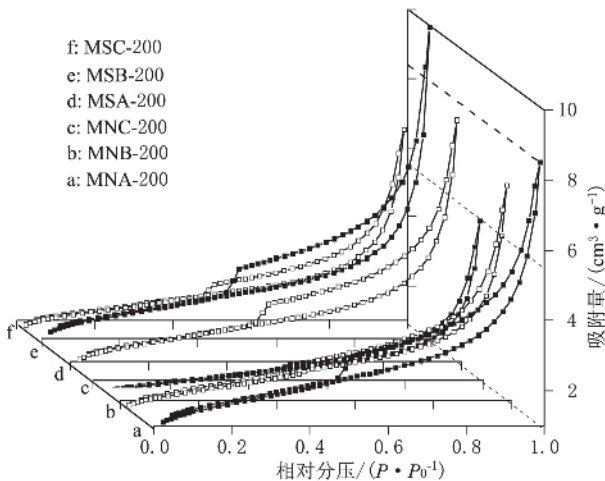


图4 麦饭石样品氮气等温吸附脱附曲线

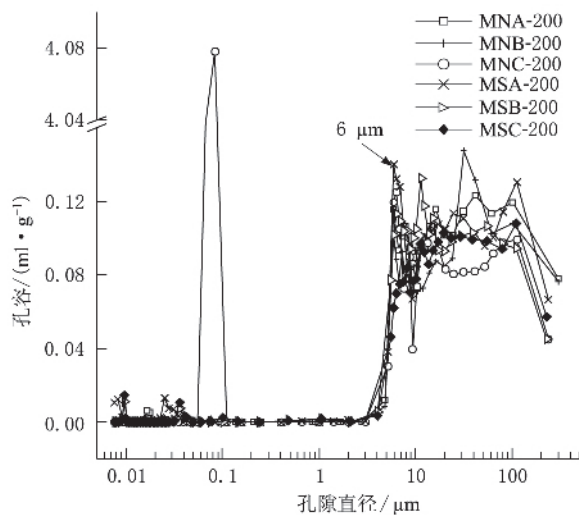
Fig. 4 The N_2 adsorption-desorption isotherms of the Nianzishan Maifan stones

图5 不同麦饭石样品大孔孔径分布(压汞法)

Fig. 5 Macro-pore distribution of different Maifan stones (mercury intrusion method)

并非样品本身结构所有,应归属于颗粒间的堆积孔隙。

参考文献

- [1] Noriko Takeda, Md. Abul Kalam Azad, Katsumi Ishikawa, *et al.* Development of soil activating agents for agriculture using bakuhanseki [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2007, 5 (3-4): 363-367.
- [2] 董国英, 张永信, 葛德栋. 麦饭石及其应用[M]. 辽宁科学技术出版社, 1988.
- [3] 冯光化. 中国麦饭石资源与开发研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20 (2): 131-135.
- [4] 牛 佳. 麦饭石的研究现状及发展展望[J]. *中山大学研究生学刊*, 2013, 34 (2): 71-77.
- [5] 陈淑桂, 郑晓梅, 王英华, 等. 麦饭石加工与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [6] 王维清, 冯启明, 袁昌来. 一种新型无机抗菌剂载体——麦饭石[J]. *中国矿业*, 2005, 14: 41-44.
- [7] 谢明勇, 邓泽元. 麦饭石概况及应用前景[J]. *江西食品工业*, 2000, 3: 6-10.

总之,碾子山麦饭石是由钙碱性岩浆岩经风化蚀变,以石英和长石为主,并含一定量粘土矿物的岩石。它热稳定性好,含有益微量元素且具有海绵状大孔结构,有望作为药剂载体等在制药保健领域得到广泛应用。

3 结 论

(1)通过岩石手标本鉴定、粉晶 X 射线衍射分析、岩石化学成分分析等多种现代分析测试手段,确定齐齐哈尔市碾子山麦饭石是以钙碱性长石为主要矿物的钙碱性岩浆岩,具致密块状构造及斑状结构,颜色呈灰至灰绿色,矿物组分主要有斜长石、钾长石和石英,含有少量的绿泥石、角闪石、绿帘石以及蒙脱石。

(2)通过粉晶 X 射线衍射分析技术,并结合岩石化学成分分析,对碾子山麦饭石矿物组分进行半定量分析,发现其中斜长石约 40%,钾长石 20%,石英 15%,粘土含量总计约 25%。岩石中粘土矿物组分相对含量的多少可以间接反映该位置岩石的风化程度,由不同位置岩石半定量分析结果对比发现,矿区不同位置样品风化蚀变程度存在差异,样品中 MNA-200 及 MSB-200 风化程度相对较高。

(3)对碾子山麦饭石岩石样品进行热分析,发现该麦饭石样品除了在 550 °C 及 700 °C 附近出现粘土矿物脱失羟基的变化外,整体表现出良好的热稳定性,这归因于其矿物组分以热稳定性良好的长石为主,1 000 °C 内麦饭石样品的总失重量在 2%~3%。

(4)通过氮气吸脱附法以及压汞法对碾子山麦饭石进行孔结构及比表面信息表征,发现该麦饭石以孔径 $> 6 \mu\text{m}$ 的大孔为主要孔,比表面积小,在 $3 \text{ m}^2/\text{g} \sim 6 \text{ m}^2/\text{g}$,这也恰恰是大孔材料所具备的特征。

- [8] 王 斌, 张保林, 崔伟丽, 等. 南阳麦饭石改性实验研究[J]. 化工矿物与加工, 2009, (2): 6-9.
- [9] 曹钦臣. 青岛麦饭石矿的特征及其功能与机理[J]. 南京大学学报: 地球科学, 1992, 3(2): 26-30.
- [10] 陈 理, 李 峰, 傅德慧, 等. 中华麦饭石表面性质测定及吸附机制的研究[J]. 内蒙古石油化工, 1998, 24: 18-20.
- [11] Ablaza J D, Ishikawa K, Mori M, *et al.* Vernalization effects for seeds of late summer sowing cultivation in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2010, 8: 651-653.
- [12] Islam S, Takeda N, Ishikawa K, *et al.* Water treatment with silicate minerals and its effect on early growth of radish plant (*Raphanus sativus* L.) [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2008, 6: 177-181.
- [13] Sheheli Islam, Katsumi Ishikawa. Utilization of bakuhanseki for the removal of cationic dye from aqueous solutions [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2010, 8 (3 & 4): 1 352-1 356.
- [14] 庆承松, 黄明康. 麦饭石评价中的若干问题探讨[J]. 矿物岩石, 1995, 15(4): 34-37.
- [15] 隋洪伟, 徐永柏, 傅德彬. 论中华麦饭石的地学特征[J]. 吉林地质, 1990, 4: 48-56.
- [16] 曹 明, 郭兴忠, 杨 辉. 麦饭石中微量元素的溶出及其动力学特征[J]. 广东微量元素科学, 2004, 11(6): 45-49.
- [17] 王海宏, 谢忠忱. 硒的生物学功能及其机理研究[J]. 动物营养学报, 2003, 15(3): 6-11.
- [18] 闫平科, 马正先, 高玉娟. 阜新麦饭石矿产资源的基础研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2008, 2: 10-12.
- [19] 王 璞, 潘兆棹, 翁玲宝, 等. 系统矿物学[M]. 地质出版社, 1987.
- [20] 陈国玺, 张月明. 矿物热分析粉晶分析相变图谱手册[M]. 四川科学技术出版社, 1989.
- [21] 赵杏媛, 张有瑜. 粘土矿物与粘土矿物分析[M]. 海洋出版社, 1990.
- [22] 王书运, 孙京田, 谢英渤, 等. 麦饭石亚显微结构及元素分析[J]. 山东师大学报: 自然科学版, 1994, 9 (1): 84-88.
- [23] 王银叶, 马育莲, 史艳娇. 活性麦饭石孔结构的探讨及应用[J]. 天津化工, 2003, 17(2): 7-9.
- [24] Thommes M, Kaneko K, Neimark A V, *et al.* Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) [J]. *Pure and Applied Chemistry*, 2015, 87(9-10): 1 051-1 069.

PROCESS MINERALOGICAL STUDY ON THE MAIFAN STONE IN QIQIHAER NIANZISHAN

WEN Ke^{1,2,3}, LIU Guo-qing⁴, YIN Yan-zhen⁵, WANG Yue-bo^{1,2,3}
WANG Fu-ya^{1,2}, ZHU Jian-xi^{1,2}

1. CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 511 Kehua Street, Guangzhou 510640, China;
2. Key Lab. of Guangdong Province for Mineral Physics and Materials, 511 Kehua Street, Guangzhou 510640, China;
3. University of China Academy of Sciences, 19 Yuquan Road, Beijing 100049, China;
4. Qiqihar Nianzishan District People's Government, Qiqihar Nianzishan 161046, China;
5. Nianzishan Institute of Medical Stone, Fanrong Road, Qiqihar Nianzishan 161046, China

Abstract: Maifan stone is a natural medical stone and used in many fields, such as medicine, health care, agriculture, animal husbandry. The mineral and chemical composition, microstructure, thermal performances and micro-structural properties of Nianzishan Maifan stone are investigated by modern analytical techniques. It is showed that the Nianzishan Maifan stone is a structurally compact porphyritic calcium-alkaline magmatic rock (Rittman index: $\sigma = 2.9 < 3.3$) with 64% of $w(\text{SiO}_2)$, 16% of $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$. The Nianzishan Maifan stone is mainly composed of feldspar, quartz, with minor weathered and altered products (montmorillonite, etc.), containing various beneficial trace elements. Its thermal stability is within 1 000 °C and possess a spongy porous structure with dominant pore size above 6 μm , so it can be used as excellent adsorbent in environmental field, and also as good drug carrier in pharmacy.

Key words: Nianzishan Maifan Stone; mineral composition; porous structure; thermal stability

ISSN 1001-6872(2016)01-0001-07; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Wen Ke, male, 24 years old, a Ms of geological engineering. Now he is engaged in the research of utilization of mineral resources and environmental mineralogy.