

北京以北沙漠砂样的选频释光特征研究

李东旭 魏明建 王均平 潘宝林 赵世元 刘兆文

(首都师范大学光断代实验室 北京 100048)

摘要 采用 BG2003 释光仪对北京北方科尔沁沙地和浑善达克沙地表层砂的选频释光特征进行了研究,发现在热激发条件下,在 85℃–135℃和 350℃–400℃温度区间光子计数最多的来源于 4.13 eV(300 nm)、4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm);在绿光(2.33 eV, 532 nm)激发条件下,释光光子的能量分别为 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm)。同时,8 个采样点上述能量的释光光子计数在一定剂量范围内随辐照剂量增加而增大。特征波长具备了对辐射剂量响应的条件,可分别用于年代测定。

关键词 选频释光,特征图谱,沙漠砂

中图分类号 TL824

选频释光技术利用矿物的特征释光研究矿物的发光特征,在选定激发光源、确定释放光子的特征能级之后,用矿物的特征释光谱进行年代测定和矿物鉴定^[1]。不同矿物在不同激发条件下会出现不同能级的发射光子,每种矿物都有自己的特征释光谱。它也是矿物晶体中储能电子的能谱图,给出这些储能电子的能量分布特征,又真实地显示矿物晶体的本质(晶体的结构、晶体中所含的杂质离子的种类和含量等)。通过矿物的释光谱图,可深入了解磷光发射机制和磷光体结构与物质组成的关系。矿物释光对样品所含矿物的晶格缺陷和混合矿物成分的差异非常敏感。不同区域的地质样品所含矿物成分和各矿物的晶格缺陷都有所不同,它们的释光图谱也不同。本工作通过对北京以北两沙地的样品进行热激发和绿光激发,确定了这两处混合矿物在不同激发条件下释光光子的特征陷阱的能级。

1 实验方法

1.1 样品制备

2007 年 12 月在上述沙漠采集表层砂样 8 份(表 1)。将砂样先过 0.1 mm 筛,再过 0.074 mm 筛,得到粒径为 0.074–0.1 mm 的混合矿物颗粒。用 5% 的王水洗 3 遍,去除有机质和碳酸盐类,纯净水冲洗 3 遍至中性,低温烘干。

每份样品制作若干个样片。在 $\phi 10\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 铝片上滴上硅油,使其均匀分布,放置 5 min 后称重。砂样均匀铺放于光滑白纸上,倒扣铝片使其均

匀粘上样品到铝片,并使砂粒粘而不脱落。称重,并计算净重,样品质量控制为 10–15 mg。

1.2 样品辐照

所用放射源为 β 面源,剂量率为 8 Gy/min。每份样品辐照 480 Gy。为求特征能级和波长,每份样品留下 5 片,其余样片分别进行 240、320、400、480、560、640、720 Gy 的附加剂量辐照。

1.3 样品测量

释光谱仪 BG2003 配备有加热装置和多种不同波长、不同强度的激发光源^[2,3],可热激发和选频激发样品,分频接收发射光子,由多道分析器和计算机获得光释光谱。绿光激发光源波长为 532 nm,系北京美可达机电技术有限公司的半导体全固体绿激光器。

所有样片测量在暗室中进行。先进行绿光释光测量,激发 10 s,记录 12 能级接收的光子计数。再进行热释光测量,40℃预热 10 s,以 5℃/s 速率升温至 500℃,记录和 12 能级五个温度区间(85℃–135℃、160℃–210℃、200℃–250℃、300℃–350℃、350℃–400℃)^[4,5]计数和整个升温过程中接收光子的总计数,测量时间均为 130 s。

1.4 数据处理

对样品单个剂量辐照测得的数据:同一样品的 5 个样片,每道数据选取一致性较好的 3–5 个数值

表 1 8 份沙地样品的采样地点
Table 1 Samples and sampling locations in the two deserts

沙地 Sandy Lands	编号 No.	地点 Description of Location	纬度 Latitude/N	经度 Longitude/E
科尔沁沙地 Horqin desert	23#	通辽东北, 七棵樹南 Northeast of Tongliao	44 27 19.3	123 03 33.8
	29#	通辽东南, 阿都沁南 Southeast of Tongliao	43 27 28.9	123 03 25.7
	51#	通辽以西 60 km west of Tongliao	43 26 15.2	122 13 01.5
	63#	通辽以西 154 km west of Tongliao	43 01 48.2	120 47 31.5
浑善达克沙地 Otindag desert	77#	桑根达来以西 21 km west of Sanggandalai	43 14 19.1	117 30 01.0
	79#	桑根达来以东 150 km east of Sanggandalai	42 36 25.9	115 46 58.6
	95#	桑根达来以西, 快到镶黄旗 West of Sanggandalai bordering Yellow Banner	42 14 20.9	113 54 57.8
	107#	桑根达来以北, 接近锡林浩特市 Northeast of Sanggandalai near Xilinhaote	43 52 46.3	116 05 36.5

进行算术平均,得到 8 份样品每道光子计数平均值。并用 excel 制表、作图。对样品多个剂量辐照测得的数据: 直接用 excel 制表、作图。

2 结果和讨论

2.1 选频热释光

整个升温过程的热释光光谱图见图 1, 85℃-135℃的热释光光谱图见图 2, 350℃-400℃的热释光光谱图见图 3。图 1 显示接收光子的计数最为明显的有 4 个能级, 说明两个沙地样品中的混合矿物储能电子主要来源于这 4 个能级, 从主到次依次为 4.13 eV(300 nm)、2.70 eV(460 nm)和 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)。23#、29#、51#和 79#虽然四者来源于两个沙地, 但其各能级的光子计数近乎一致; 同样, 63#和 77#分别处于科尔沁沙地西端和浑善达克沙地东端(昭乌达高原两侧), 其响应也较为接近。23#、29#、51#与 63#样品虽然来源于科尔沁沙地, 但它们释光计数却有很大差距。同样, 95#和 107#、79#与 77#三者也一样, 有一定差别。

前述关于样品释光响应差别的阐述, 在图 2 和图 3 再次得到验证。但 23#在 4.13 eV(300 nm)能级出现了反常。这说明 23#在 350℃-400℃区间, 与其他地点相比, 其储能电子还剩余较多。在 85℃-135℃区间, 63#的 2.70 eV(460 nm)陷阱电子多于 4.13 eV(300 nm), 区别于其他样品。在 350℃-400℃区间, 各样品 2.70 eV(460 nm)能级的陷阱电子和其他能级相比, 比 85℃-135℃区间的明显减弱。说明当升温到此温度区间前, 2.70 eV(460 nm)能级的陷阱电子已经大量释放回归价带, 变为能量的较低稳定状态^[5]。

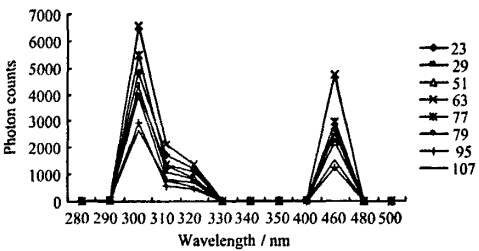


图 1 整个升温过程的热释光光谱图
Fig.1 Photon wavelength from the sample in the entire heating process

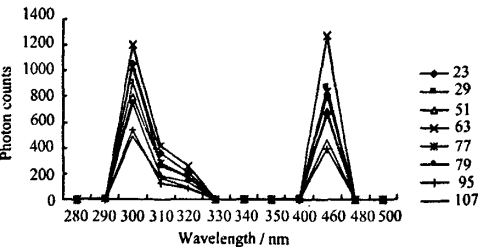


图 2 85℃-135℃的热释光光谱图
Fig.2 Photon wavelength from the sample heated at 85℃-135℃

8 份采样点样品经不同附加剂量辐照后, 测量其选频热释光的光子计数。在辐照剂量为 480 Gy 时, 各样品各能级陷阱都表现为随辐照剂量增加信号增强的趋势, 比较明显的能级也是前述 4 个能级(图 4), 因此可以确定, 这 4 个能级都是此沙地样品的特征能级。不过浑善达克沙地样品(图 4(e)-4(h))总体线性关系不如科尔沁沙地(图 4(a)-4(d))好, 但其中各个地点都有线性关系较好的能级陷阱。如 77#的 2.70 eV(460 nm)(图 4(e)), 79#的 4.00 eV(310 nm)(图 4(f)), 95#的 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320

nm)和 2.70 eV(460 nm) (图 4(g)), 107#的 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm) (图 4(h)) 都表现为较好的线性关系, 可确定为各样品特征能级和波长, 用于年代测定。在辐照剂量达到 640 Gy 时, 各样品各能级的释光信号出现降低趋势。

由于所测样品都是沙地的现代表层砂(长期暴露于日光下), 推测其残留的天然蓄积量应该接近于零。在进行前述实验步骤时, 对未辐照的实验测片进行了个别测量, 发现其陷阱电子的释光信号都非常小, 与经过辐照后测得的数据相比相差几个数量级, 可以说天然情况下残留在陷阱中电子对其经过辐照后信号的线性关系的影响可以忽略不计。因此,

未对全部测片的天然释光信号进行测量。

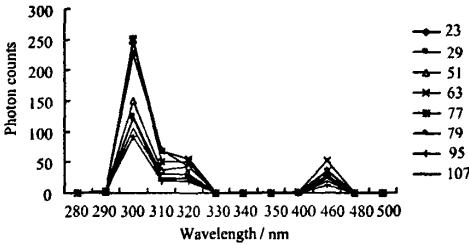


图 3 350℃–400℃的热释光光谱图
Fig.3 Photon wavelength from the sample heated at 350℃–400℃

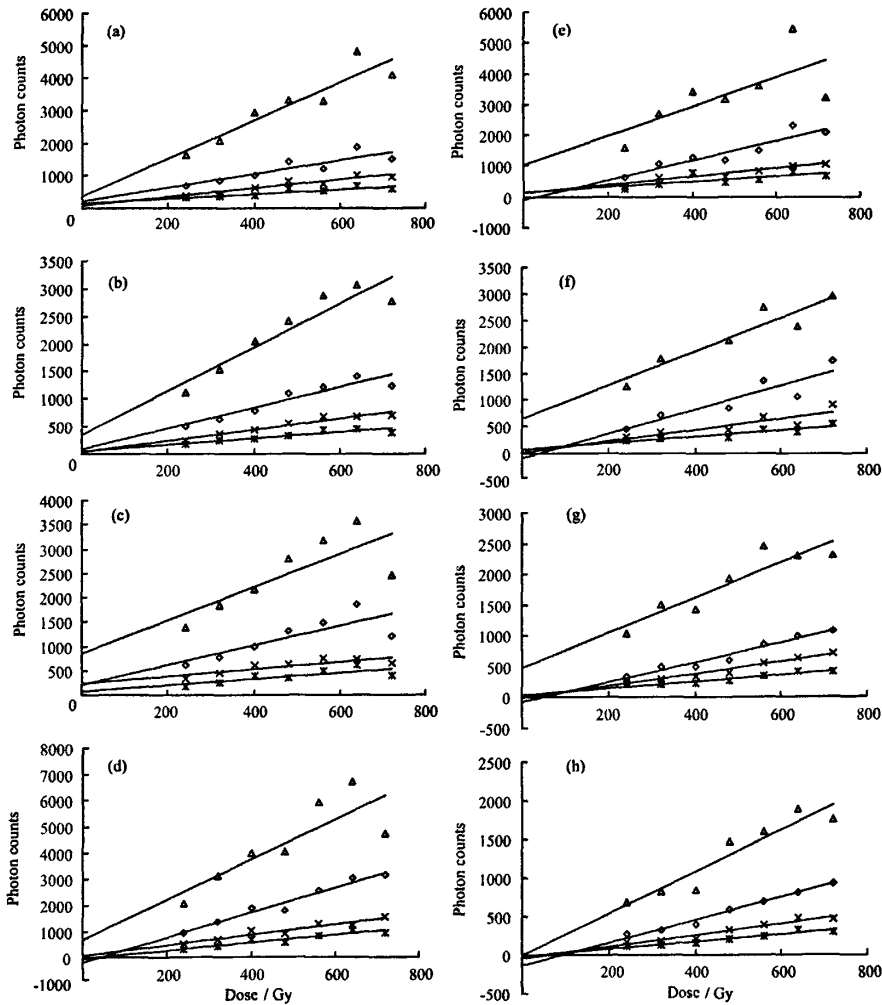


图 4 特征频率发射光子对辐照剂量的热释光响应
Fig.4 Thermoluminescence response at different stimulation frequencies
(a) 23#, (b) 29#, (c) 51#, (d) 63#, (e) 77#, (f) 79#, (g) 95#, (h) 107#
▲ 300 nm × 310 nm × 320 nm ♦ 460 nm

2.2 选频绿光释光

接收光子的计数最为明显的有 3 个能级(图 5)。说明绿光激发下,两个沙地样品中的混合矿物储能电子主要来源于这 3 个能级,从主到次依次为 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm)。这与热释光信号的主次顺序不同。同时对于 4.13 eV(300 nm)能级也接收到一定信号,但是与其他三个能级相比较少。77#、79#与 95#、107#虽然来源于同一沙地,但它们释光计数在各能级都有较大差距,和前述热释光有相同的反应;同时,29#、51#、63#和 77#虽然来源于两个沙地,但其光子计数近乎一致。

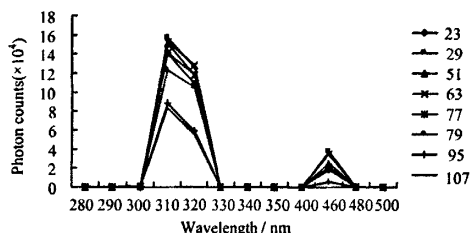


图 5 绿光释光光谱图
Fig.5 Wavelength of the emitted photon stimulated by green light.

3 结论

(1) 各样品受热激发后在 4.13 eV(300 nm)、4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm)4 个能级,绿光激发后在 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm)三个能级的释光响应最为明显。

(2) 在两个沙地的结合部(63#和 77#)都有较大的释光信号。在浑善达克沙地的 95#和 107#其释光信号明显比其他样品小。

(3) 从地理位置上看,样品的释光信号从西北向东南首先显著增大,到达 63#地点时,又向东北

缓慢减少。

(4) 科尔沁沙地 4 个样品的各能级,77#的 2.70 eV(460 nm),79#的 4.00 eV(310 nm),95#和 107#的 4.00 eV(310 nm)、3.88 eV(320 nm)和 2.70 eV(460 nm),都表现为随辐照剂量增加信号增强的趋势,因此这些样品的上述对应能级中天然积存量约在 240–640 Gy 时,可以用于年代测定。

4 展望

通过对实验结果的分析,获得了北京北方沙漠表层砂不同采样点的选频热释光和绿光释光特征,为建立北京北方两个沙地混合矿物的释光特征图谱提供了数据。在后续工作中,计划对北京西方多个沙漠进行调查取样研究,以获得北京北方和西方沙漠不同样品的规律性特征图谱,为今后辨别不同样品的沙源地提供依据。进而,为了解北京地区近 10 万年来沙尘暴发展演化与我国西部北部沙尘区的关系,明确不同时期主要受到不同沙尘源区的影响,以及降尘强度等变化细节提供基本科学依据,为从根本上治理沙尘暴作出基础性的贡献。

参考文献

- 1 李虎侯. 核技术, 2001, 24(12): 961–963
LI Huhou. Nucl Tech, 2001, 24(12): 961–963
- 2 李虎侯. 核电子学与探测技术, 2004, 24(2): 111–113
LI Huhou. Nucl Electron Detect Technol, 2004, 24(2): 111–113
- 3 李虎侯. 核电子学与探测技术, 2001, 21(3): 176–179
LI Huhou. Nucl Electron Detect Technol, 2001, 21(3): 176–179
- 4 Prescott J R, Robertson G B. Radiat Meas, 1997, 27: 893–922
- 5 Aitken M J. Thermoluminescence dating. London: Academic Academic Press, 1985. 41–60

Characteristic of selected frequency luminescence for samples collected in deserts north to Beijing

LI Dongxu WEI Mingjian WANG Junping PAN Baolin ZHAO Shiyuan LIU Zhaowen

(Laboratory of Luminescence Dating, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract Surface sand samples were collected in eight sites of the Horqin and Otindag deserts located in north to Beijing. BG2003 luminescence spectrograph was used to analyze the emitted photons and characteristic spectra of the selected frequency luminescence were obtained. It was found that high intensities of emitted photons stimulated by

heat from 85°C–135°C and 350°C–400°C. It belong to the traps of 4.13 eV(300 nm), 4.00 eV(310 nm), 3.88 eV(320 nm) and 2.70 eV(460 nm), and the emitted photons belong to traps of 4.00 eV(310 nm), 3.88 eV(320 nm) and 2.70 eV(460 nm) were stimulated by green laser. And sand samples of the eight sites can respond to the increase of definite radiological dose at each wavelength, which is the characteristic spectrum to provide radiation dosimetry basis for dating. There are definite district characteristic in their characteristic spectra.

Key words Selected frequency luminescence, Characteristic spectrum, Desert sand

CLC TL824