

北京清水河流域现代稀性泥石流 物质选频释光特性

周 锐^{1,3}, 魏明建^{1,2,3}, 李东旭¹, 张 彬^{1,3}, 刘兆文⁴,
刘 超¹, 何友兵¹

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 资源环境与地理信息系统北京重点实验室,
北京 100048; 3. 国家重点实验室培育基地——城市环境过程与数字模拟,
北京 100048; 4. 天津师范大学人事处, 天津 300387)

摘要: 采用 BG2003 释光谱仪对北京清水河流域达摩沟、西北山沟的稀性泥石流物质选频释光特性进行研究, 并将其与云南蒋家沟流域现代粘性泥石流物质进行比较。研究表明: 北京清水河流域泥石流物质样品受热激发后, 290nm、310nm、400nm、480nm 释光响应最为明显。储能电子主要源自的能级为 4.28eV、4.00eV、3.50eV、2.58eV。用 532nm 绿光激发后, 310nm、480nm 释光响应最为明显, 相应的储能电子主要源自的能级为 4.00eV、2.58eV。采用选频释光技术能够区分清水河流域和蒋家沟流域的泥石流物质。该事实对进一步探索采用选频释光技术进行泥石流断代及泥石流物源识别具有基础性意义。

关 键 词: 选频释光; 特性; 稀性泥石流

文章编号: 1000-0585(2012)04-0619-08

1 引言

北京市山地面积占 62%。有些山区山势陡峻, 地表覆盖大量松散碎屑物质, 在暴雨的条件下, 极易引发泥石流灾害。据统计, 自有泥石流灾害记录以来至 1991 年的 130 年间共发生泥石流灾害 40 次, 其中建国后发生 26 次, 主要集中在 7~8 月份。泥石流多发于北京市门头沟、房山、怀柔、平谷、昌平、延庆、密云山区, 1957 年泥石流以门头沟为多发区, 1957 年以后以密云为多发区^[1,2]。清水河流域位于门头沟山区, 泥石流灾害是流域内最具破坏性的地质灾害之一^[3]。北京清水河流域泥石流灾害的预防与预测的工作已有报道, 然而泥石流物质示踪领域的研究则是空白^[3~5]。李永化等根据大量野外考察和室内测年数据, 总结了青藏高原东部及华北地区第四纪泥石流活动的规律, 晚更新世位于大陆内部的秦岭北坡及陇南山地泥石流活动减弱, 华北北京山区及太行山东麓泥石流活动加强^[6]。文安邦等运用 ¹³⁷Cs 示踪法研究云南东川小江流域 6 条泥石流沟、6 条非泥石流沟和主河的泥沙来源^[7]。贾松伟等通过研究蒋家沟泥石流沉积物的磁性特征, 定量地研究了流域的物源, 与以往利用 ¹³⁷Cs 示踪技术研究的结果相符^[8]。已有的研究主要针对以蒋家沟

收稿日期: 2011-03-24; 修订日期: 2011-08-15

基金项目: 北京市自然科学基金项目 (8102013); 国家自然科学基金项目 (40871017); 北京市教委科技计划基金重点项目 (KZ200810028015)

作者简介: 周锐 (1986-), 男, 北京人, 博士研究生, 主要从事第四纪地质学、自然地理学研究。

E-mail: cnuarui@sina.com

流域为代表的粘性泥石流,而对稀性泥石流的研究仍少见报道。研究北方稀性泥石流的物质来源,对于泥石流灾害防治,泥石流沉积物年代测定,古泥石流活动期间自然环境的恢复均有重要意义。

晶体的释光是晶体中储能电子能量的直接反映。释光谱图也就是晶体中储能电子的能谱图,它既代表着晶体中储能电子的能量分布特征,又真实地显示了晶体的本质^[9]。矿物的选频释光特性可以被用来鉴定矿物。对于混合矿物而言,其选频释光特性可以作为混合矿物整体性特征,用来区别混合矿物组合的种类。矿物的搬运过程中,这种混合矿物的总体性特征,能够作为区别物源的依据。何易平等利用 100BXMTS 野外光谱仪探测了小江支流蒋家沟新、老泥石流堆积物的光谱反射率,总结了新老堆积物的反射光谱特性,进而分析了影响泥石流堆积物反射光谱特性的因素^[10]。魏明建等利用 BG2003 释光仪研究新疆的克拉玛依、沙湾黄梁、阜康西和鄯善,甘肃的雅丹、月牙泉,河北的天漠 8 个沙漠砂样品的选频释光特征,确定了发射光子的特征发射频率^[11]。刘兆文等采用 BG2003 释光仪研究云南蒋家沟流域泥得坪台地、多照台地、大凹子沟、蒋家沟 4 个地点的 8 个古泥石流物质样品的选频释光特征,确定了发射光子的特征发射频率^[12]。李东旭等采用 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^[13]。刘兆文等采用 BG2003 释光仪研究云南蒋家沟流域泥得坪沟、多照沟、大凹子沟、蒋家沟沟底现代泥石流物质的选频释光特征,确定了发射光子的特征发射频率^[14]。以往的研究在一定程度上揭示了沙漠物质、泥石流物质的选频释光特征,促进了选频释光断代技术的发展,也为利用选频释光进行物源分析提供了有力支持。目前北京西山现代稀性泥石流堆积物的选频释光特性还有待被人们所认识。研究北京清水河地区现代泥石流堆积物的选频释光特性有助于分析沟内物质的物源,有利于利用选频释光技术开展泥石流断代研究。

2 研究区概况

清水河是永定河官厅山峡最大支流(图 1)。上游有两支,北支发源于灵山,南支发源于百花山,两支于塔河口汇合,称清水河。清水河流向为自西而东,流经上清水、下清水、西斋堂、东斋堂、西胡林、东胡林、军响至青白口处注入永定河,全长 41km。清水河流域水资源较丰富,流域内水文地质情况复杂。1950 年清水河流域发生了大规模的泥石流灾害。1950

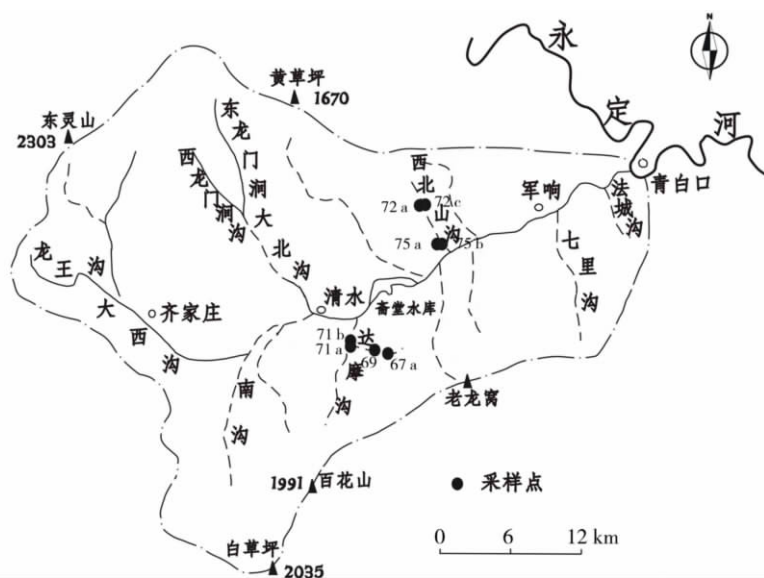


图 1 研究区位置和采样点位置图^[4]

Fig. 1 The geographical position of the study area and sampling locations

年 8 月 1~3 日，清水河流域连续降雨，4 日早晨又降暴雨，总雨量达到 322mm，降水强度达 56.5mm，使清水河中游地区 124 沟谷爆发泥石流灾害，造成 84 人死亡，24 人重伤，毁坏房屋 800 余间，冲毁梯田和滩地 1.9 万亩，其中以田寺、达摩庄、东北山、黄岭西等村庄灾害最为严重。达摩庄后沟发生的泥石流造成 38 人死亡，倒塌房屋 100 多间，大片耕地毁于一旦^[3, 4]。清水河流域泥石流分布总体呈北东向带状展布，自西北向东南大致分为三个带：沿河城断裂带北西侧泥石流分布带，共有泥石流沟 25 条，分布较分散，岩性主要为蓟县系和青白口系白云岩；沿河城断裂带南东侧至清水河谷的中部泥石流分布带，共有泥石流沟 30 条，主要分布在清水乡与斋堂镇北部地区，多数为 1950 年泥石流沟。分布区地层岩性复杂多样，主要是寒武、奥陶、石炭、侏罗系的白云岩、灰岩、砂质页岩和粉砂岩；白草畔至老龙窝山脊北西坡的长条型泥石流分布带，共有泥石流沟 25 条，大部分沿山脊线发育，以老泥石流为主^[4]。

3 样品采集与制备

3.1 样品采集

样品采集自清水河流域达摩沟和西北山沟（图 1）。地理位置及海拔高度，如表 1 所示。样品采集后，以黑色塑料袋封装，避光保存。

表 1 泥石流物质的采样地点
Tab. 1 Sampling locations of debris flow materials

沟谷	编号	地点	纬度	经度	高度 (m)
达摩沟	69 #	流通区	39°55′31.9″	115°39′08.6″	649
	67 # a	陡坡坡脚风化物	39°55′32.1″	115°39′10.1″	640
	71 # b	堆积区拦洪坝中间	39°55′21.5″	115°38′57.0″	595
	71 # a	堆积区拦洪坝中间（距 b 层 20m）	39°55′21.5″	115°38′57.0″	595
西北山沟	72 # a	物源物中上游分界线	39°59′32.6″	115°40′58.7″	554
	75 # a	堆积区	39°59′20.8″	115°40′58.6″	492
	75 # b	堆积区	39°59′20.8″	115°40′58.6″	492
	72 # c	物源物中上游分界线	39°59′32.6″	115°40′58.7″	554

3.2 样品制备

在暗室中，用 5% 王水处理现代北京清水河流域泥石流样品，除去样品中的有机质、碳酸盐等物质。用蒸馏水洗样品，直至洗至中性。样品经干燥处理后，先过 0.15mm 筛，再过 0.074mm 筛，获得粒径为 0.074~0.15mm 的混合矿物组分。每份样品制作若干样片备用。用 95% 酒精擦洗直径为 10mm 的铝制样片。在样片上滴加硅油，使硅油均匀地分布在样片上。将样品均匀平铺于白纸上，用镊子倒扣沾有硅油的铝制样片使样品充分与之接触，均匀地粘在其上。静置 5 分钟以上，使样品粘牢。

4 样品辐照与测量

4.1 样品辐照

样品辐照采用的放射源为中国原子能科学研究院提供的 β 面源（⁹⁰Sr—⁹⁰Y），剂量率为 8Gy/min。分别对每个样品的 4 个样片辐照 150Gy 的剂量。辐照过程避光进行。

4.2 样品测量

样品采用 BG2003 释光谱仪进行测量。BG2003 释光谱仪支持同一个样品的光释光和热释光测量。同一个的样品可以通过该仪器获得其热释光特性和光释光特性。其激发光源的能量和光的强度是可以选择的。释光光子的接收是按其发射频率划分为 12 个频道。BG2003 的接收频率可以调整, 对不同频率的光子分别处理和计数, 能够获得具有 12 个频道的结晶固体释光图谱^[14,15]。激发光源是由北京美可达机电技术有限公司提供的半导体全固体绿激光器。激发光源波长为 532nm。

样品测量均于避光条件进行。先测量绿光激发条件释光。绿光激发 10 秒后, 分别记录 12 个频道中的光子计数。继续测量热释光, 40℃ 预热 10sec, 以 5℃/sec 速率匀速升温至 500℃ 记录 85℃~135℃、160℃~210℃、200℃~250℃、300℃~350℃、350℃~400℃ 等 5 个温度区间的光子计数和升温过程的接收光子的总计数, 测量时间为 130 秒^[13]。

5 结果分析

5.1 选频热释光

光子最多的波长为 290nm、310nm、400nm、480nm, 储能电子主要来自 4.28eV、4.00eV、3.50eV、2.58eV 四个能级。样品的选频释光特征谱形状基本相似, 光子计数总体接近, 可以为达摩沟、西北山沟作为清水河流域的两条支沟物质组成基本一致提供依据。这与野外观察中认识到的达摩沟、西北山沟分别是清水河流域的支沟一致。说明所取的泥石流样品能够代表沟内泥石流物质。具备进一步开展泥石流物质释光信号变化的研究基础。

达摩沟、西北山沟的泥石流样品选频热释光 85℃~135℃ 温度区间内, 接收光子最多的波长为 290nm、310nm、400nm、480nm, 与整个升温过程的释光响应波长一致 (图 2)。85℃~135℃ 温度区间内, 300nm 波长接收的光子数波动很大, 说明泥石流物质中某些样品存在有某些 300nm 具有释光响应的物质, 体现沟内物质组分有一定的复杂性。整体上, 达摩沟、西北山沟各波长光子数标准差的平均值为分别为 0.66 和 0.90, 说明西北山沟物质组成较达摩沟更为复杂。85℃~135℃ 温度区间中, 标准差最小的为 480nm 波长, 此波长中达摩沟光子计数低于西北山沟, 反映流域内部的差异性, 可以选择 480nm 作为区分达摩沟与西北山沟物质的波长。从流域物质成分上看, 达摩沟流域地层主要为燕山期火山碎屑岩和侏罗系砾岩、粉砂岩、页岩及煤系地层等, 而西北山沟的源区物质主要为深度变质岩, 有明显的重结晶现象, 原岩层理仍可见^[5,16]。释光信号响应的差异很可能是物源差异导致的。这一事实可为采用选频释光技术区分泥石流物质物源提供依据。

达摩沟、西北山沟的泥石流样品选频热释光 300℃~350℃ 温度区间内, 接收光子最多的波长为 290nm、310nm、400nm、480nm, 与整个升温过程的释光响应存在一致性 (图 3)。300℃~350℃ 温度区间内, 310nm 接收的光子数西北山沟多于达摩沟, 说明在温度升高到 300℃~350℃ 前, 能级为 4.00eV 的储能电子大部分已经释放回价带, 处于能量较低的稳定状态, 其余储能电子需要更高的温度, 才能够得以释放^[13]。71# 堆积区 a 层样品 400nm 接收的光子数远高于其他样品, 与相距间隔 10cm 的 b 层物质有存在明显差异, 说明堆积区泥石流物质具有不均一性。400nm 波长达摩沟释光响应较弱, 而西北山沟释光响应相对较强。480nm 接收的光子计数达摩沟低于西北山沟的现象依然存在。

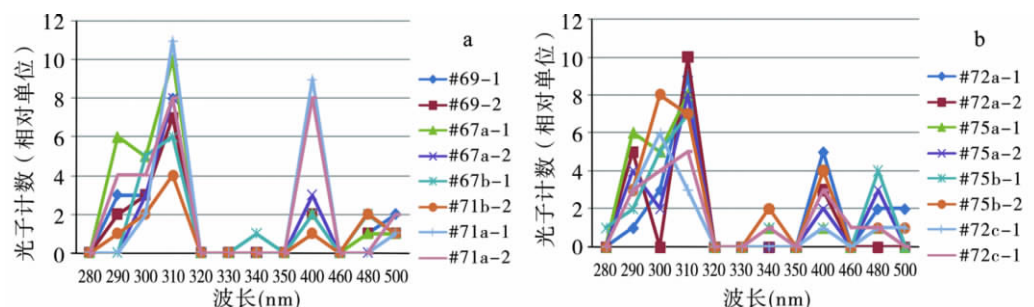


图 2 达摩沟 (a)、西北山沟 (b) 泥石流样品 85℃~135℃选频热释光谱

Fig. 2 Photon wavelength of debris flow samples collected from Damo Gully (a) and Xibei Mount Gully (b) heated at 85℃~135℃

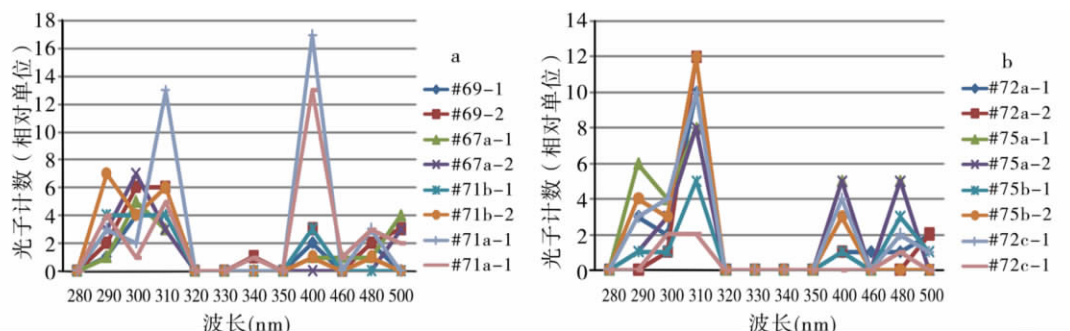


图 3 达摩沟 (a)、西北山沟 (b) 泥石流样品 300℃~350℃选频热释光谱

Fig. 3 Photon wavelength of debris flow samples collected from Damo Gully (a) and Xibei Mount Gully (b) heated at 300℃~350℃

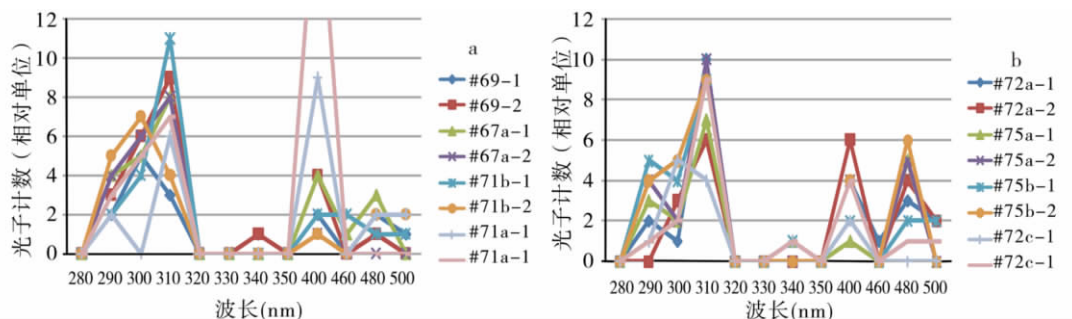


图 4 达摩沟 (a)、西北山沟 (b) 泥石流样品 350℃~400℃选频热释光谱

Fig. 4 Photon wavelength of debris flow samples collected from Damo Gully (a) and Xibei Mount Gully (b) heated at 350℃~400℃

达摩沟、西北山沟的泥石流样品选频热释光 350℃~400℃温度区间内, 310nm 接收的光子数达摩沟与西北山沟近似 (图 4), 说明 350℃~400℃温度区间可使达摩沟样品 310nm 光子释放。附加 150Gy 剂量后, 达摩沟样品选频释光图谱如图 5b 所示, 辐照后样品选频释光量比辐照前略小。光子最多的波长仍为 290nm、310nm、400nm、480nm。

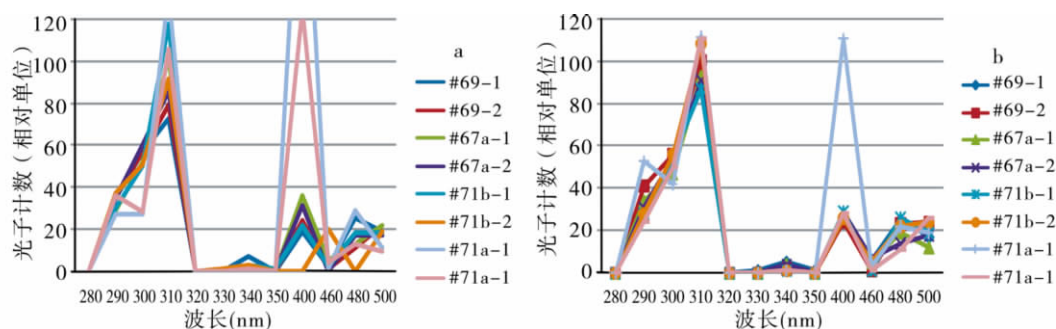


图 5 达摩沟泥石流样品选频热释光谱 (未辐照 a, 辐照后 b)

Fig. 5 Selected frequency thermoluminescence spectrogram of debris flow samples collected from Damo Gully (a before irradiation, b after irradiation)

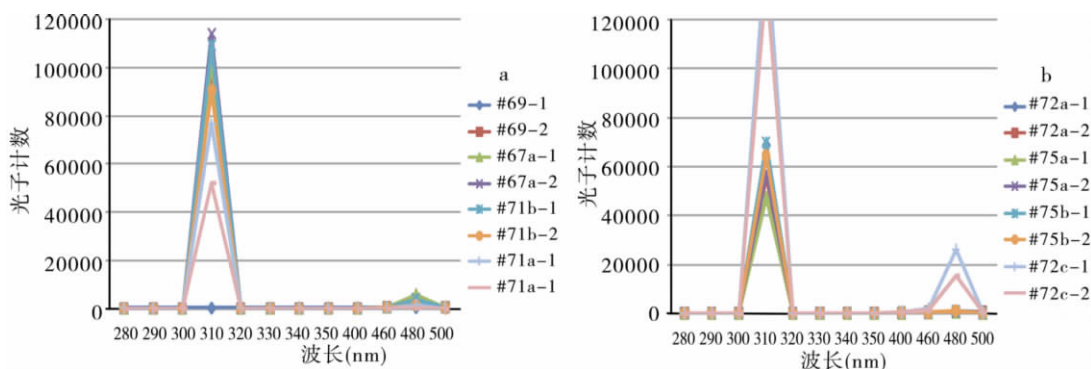


图 6 达摩沟 (a)、西北山沟 (b) 泥石流样品选频绿光释光谱

Fig. 6 Selected frequency optical luminescence spectrogram with green light of debris flow samples collected from Damo Gully (a) and Xibei Mount Gully (b)

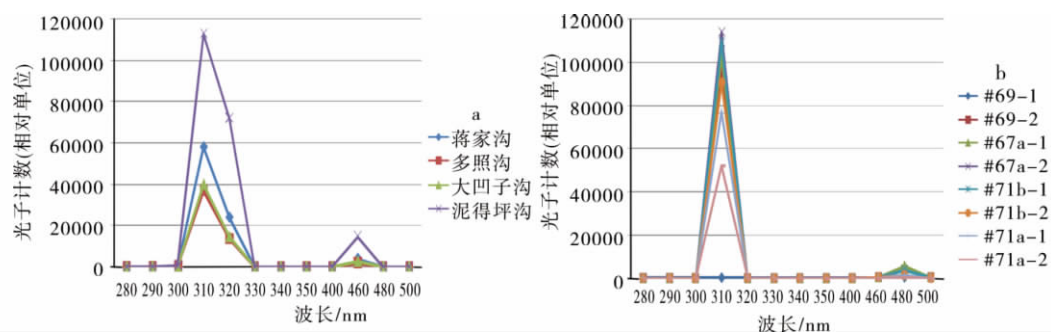


图 7 蒋家沟流域 (a)、达摩沟 (b) 泥石流样品选频绿光释光谱

Fig. 7 Selected frequency optical luminescence spectrogram with green light of debris flow samples collected from Jiangjia Gully (a) and Damo Gully (b)

5.2 选频绿光释光

未附加人工辐照, 达摩沟、西北山沟样品的选频光释光谱如图 6a 所示。接收光子

数量较大的波长为 310nm、480nm, 相应的储能电子主要源自的能级为 4.00eV、2.58eV。与选频热释光相比, 310nm 和 480nm 波长的光子既能被光激发而释放, 又能被热激发释光; 290nm 和 400nm 波长的光子只能通过热激发而释放。

达摩沟的绿光释光光子计数明显大于西北山沟。达摩沟泥石流沟谷中光释光信号泥石流物源区 (67# a)、流通区 (69#)、堆积区 (71# b、71# a) 依次递减。西北山沟泥石流沟谷中光释光信号泥石流物源区、流通区、堆积区, 也同样存在依次递减的现象。该现象表明泥石流物质选频释光信号随运动距离增加而减少, 即流动过程能够使泥石流物质的绿光选频释光信号衰退。如图 6b 所示, 72# 样品 c 层采集于西北山沟物源区 35cm 小剖面的底层, 含的储能电子较多, 光激发条件下, 释放 310nm 光子数量大, 比其他样品光子计数大一个量级。这一现象说明同一剖面内, 下层比上层泥石流物质选频释光信号强, 其原因是下层泥石流物质受背景辐射的时间较长, 其累积的剂量大于上层泥石流物质, 故受绿光激发后, 释放出更多的光子。

刘兆文等采用 BG2003 仪器以 532nm 绿光作为激发光源研究云南蒋家沟流域现代泥石流释光特征 (图 7)。清水河流域现代稀性泥石流物质的释光响应的主要波长位于 310nm 和 480nm, 而蒋家沟流域的位于 310nm、320nm、460nm。两流域的光子计数处于同一数量级。通过绿光激发的选频释光谱能够区分蒋家沟流域和清水河流域的泥石流物质。

6 结论与讨论

(1) 北京清水河流域泥石流物质样品受热激发后, 290nm、310nm、400nm、480nm 释光响应最为明显, 储能电子主要源自 4.28eV、4.00eV、3.50eV、2.58eV 四个能级; 受 532nm 绿光激发后, 310nm、480nm 释光响应最为明显, 相应的储能电子主要源自的能级为 4.00eV、2.58eV。

(2) 选频绿光释光数据表明泥石流物质流动过程释光信号有衰减趋势, 该事实有利于进一步研究利用选频释光技术开展泥石流断代。

(3) 选频释光技术在一定程度上, 能够对泥石流沟谷的物源进行区分。可以选择选频释光特征作为区别泥石流沟谷的一种指标。

本研究获得了清水河流域现代泥石流物质选频热释光和选频绿光释光图谱。明确后续工作为围绕选频热释光主要响应波段 300nm~320nm 和 350~460nm, 进一步研究响应波段与物质组成的关系; 通过选频光释光探究物源区、流通区、堆积物的泥石流光释光信号变化的特征, 揭示泥石流释光断代机制。本项研究工作已经证明选频释光技术能够区分远程、差异明显矿物, 可用于物源研究, 对于流域内物质组成差异较小的物质, 采用选频技术进行区分, 值得进一步深入探讨。

感谢李虎侯教授和魏琳琳同志对本文的指导。

参考文献:

- [1] 张少全, 吕庆书, 吴正华, 等. 首都减灾圈的思考与建议. 地震, 1993, 10(5): 47~61.
- [2] 吴斌, 高甲荣, 甘敬, 等. 北京山区泥石流灾害现状及防治对策. 中国水土保持科学, 2008, 6(4): 1~6.
- [3] 洪惜英, 王礼先, 温秀凤. 清水河流域泥石流成因分析及其防治对策. 水土保持通报, 1991, 11(4): 20~24.

- [4] 赵波,董桂芝. 北京西山清水河流域泥石流及危害预测. 北京地质, 1996, (3): 1~14.
- [5] 慎乃齐, 韦京莲, 赵波, 等. 京西达摩沟泥石流形成条件与防治. 探矿工程, 2003, (z1): 96~98.
- [6] 李永化, 赵军, 崔之久, 等. 青藏高原东缘和邻区晚新生代泥石流活动规律及其成因. 地理研究, 2002, 21(5): 561~568.
- [7] 文安邦, 张信宝, 张一云, 等. 云南东川泥石流沟与非泥石流沟¹³⁷Cs 示踪法物源研究. 泥沙研究, 2003, (4): 52~56.
- [8] 贾松伟, 韦方强. 利用磁性参数诊断泥石流沟道沉积物来源——以云南蒋家沟流域为例. 泥沙研究, 2009, (2): 54~59.
- [9] 李虎侯. BG1999 选频光释光断代仪. 核技术, 2001, 24(12): 961~963.
- [10] 何易平, 崔鹏, 李先华. 浅析泥石流堆积物的光谱特征——以蒋家沟泥石流堆积物为例. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(4): 346~350.
- [11] 魏明建, 陈华亮. 沙漠砂的选频释光特征. 原子能科学技术, 2006, 40(5): 521~524.
- [12] 刘兆文, 魏明建, 潘宝林, 等. 蒋家沟流域古泥石流物质选频释光特征研究. 原子能科学技术, 2008, 42(S1): 362~366.
- [13] 李东旭, 魏明建, 王均平, 等. 北京以北沙漠砂样的选频释光特征研究. 核技术, 2009, 32(2): 105~109.
- [14] 刘兆文, 魏明建, 葛永刚, 等. 蒋家沟流域现代泥石流物质选频光释光特征初步研究. 核技术, 2009, 32(2): 127~130.
- [15] 李虎侯. BG2003 释光谱仪. 核电子学与探测技术, 2004, 24(2): 111~113.
- [16] 周锐, 魏明建, 刘超, 等. 北京清水河流域现代稀性泥石流表层物质热释光本底初步研究. 核电子学和探测技术, 2010, 30(8): 1059~1062.

Selected frequency luminescence characteristics for modern turbulent debris flow materials in Qingshui River Basin, Beijing

ZHOU Rui^{1,3}, WEI Ming-jian^{1,2,3}, LI Dong-xu¹, ZHANG Bin^{1,3}, LIU Zhao-wen⁴,
LIU Chao¹, HE You-bing¹

(1. Laboratory of Luminescence Dating, Capital Normal University, Beijing 100048, China;
2. Resource Environment and Geographic Information System Beijing Key Laboratory, Beijing 100048,
China; 3. State Key Laboratory Cultivation Base—Urban Environment Process and Digital Module,
Beijing 100048, China; 4. Department of Human Resources,
Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: The selected frequency luminescence characteristics of turbulent debris flow materials of Damo Gully and Xibei Mount Gully were studied using BG2003 luminescence spectrograph, which was compared with the debris flow materials collected in Jiangjia gully basin, Yunnan. The result indicates that the luminescence response of the debris flow samples collected from the Qingshui River basin is obvious at the wavelengths of 290 nm, 310 nm, 400 nm and 480 nm by thermal stimulating. Energy storage electron mainly originates from the energy levels of 4.28 eV, 4.00 eV, 3.50 eV and 2.58 eV. The luminescence response is obvious at the wavelengths of 310 nm and 480 nm by 532 nm green optical stimulation. The relevant energy storage electron mainly originates from the energy levels of 4.00 eV and 2.58 eV. The luminescence spectrogram can be used in distinguishing the debris flow from the Qingshui River Basin and Jiangjia Valley. It is significant to conduct further studies on utilizing selected frequency luminescence technology to dating debris flow materials and distinguishing the source of the materials.

Key words: selected frequency luminescence; characteristics; turbulent debris flow