

稻城冰帽冰碛物光释光测年研究中遇到的问题及探讨

张志刚^{1,2)}, 王建^{1,3)}, 赖忠平²⁾, 徐孝彬⁴⁾, 白世彪^{1,3)}, 张茂恒¹⁾

1) 南京师范大学地理科学学院, 南京, 210046;

2) 中国科学院盐湖资源与化学重点实验室, 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁, 810008;

3) 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京, 210046;

4) 江苏教育学院, 南京, 210024

内容提要:冰川事件是气候波动最直接的地质证据, 利用冰川作用过程中形成的冰碛物的年代数据建立冰川事件的时间顺序, 是反演冰川演化历史以及区域古气候和古环境的有效途径。然而, 由于冰川沉积环境的复杂性, 很大程度限制了冰川年代数据的获取。近年来, 随着光释光测年技术的不断完善, 其应用范围已经扩展到冰川沉积物的年代测定。本文利用光释光(OSL)测年技术对青藏高原东南部稻城冰帽库照日地区系列冰碛垄进行年代测定, 试图建立库照日地区冰川事件的年代序列。然而, 光释光(OSL)年代结果与先前发表的 ESR 和宇生核素¹⁰Be 暴露年代数据不一致, 且个别数据与地貌新老关系不符。通过对比分析显示: 冰碛物样品埋藏前释光信号的部分晒退以及样品提取的石英不纯, 可能导致冰碛物光释光测年的较大误差和不准确性, 应该引起足够的注意。

关键词:稻城冰帽; 库照日; 光释光测年; 冰川; 冰碛物; 非正常衰减

20 世纪 80 年代以来, 作为陆地上最高隆起区的青藏高原逐渐成为地球科学研究的热点(李吉均等, 1998), 高原的隆升对于北半球中纬度地区的干旱化、对于亚洲季风的形成与加强、对于北半球第四纪冰期的形成、甚至对晚新生代世界气候的变冷, 都起到了重要的作用。对高原第四纪冰期中冰川覆盖的面积与时代研究, 是正确理解高原环境变化对区域和全球气候变化影响的关键因素(王建等, 2006)。而利用冰川作用的“证据”——“冰碛物”的形成年代来建立冰川事件的时间顺序是反演冰川演化历史及了解区域古气候和古环境的有效途径(王建等, 2003, 2006; 周尚哲等, 2004; Hein et al., 2010; Owen et al., 2010; Anslow et al., 2010)。位于青藏高原东南部的横断山地区是高原上第四纪冰川规模大、冰期间冰期变化幅度最大的地区, 截至目前, 整个横断山地区业已发现的最老的冰川遗迹是位于沙鲁里山稻城冰帽南缘稻城断陷谷地的深红色冰碛垄(周尚哲等, 2004)。因此, 稻城冰帽区是研究青藏高原第四纪冰川作用序列的理想区域, 而且许多学者在此做过相关研究: 罗来兴等(1963)首

先对该区进行地貌考察, 其后在 1981 年和 1984 年, 中国科学院青藏高原综合科学考察队冰川组和地貌组对该区共同做过考察(施雅风, 2006)。随后, 姚檀栋等(1983)、李吉均等(1986)对稻城冰帽的基本特征和发育模式进行了详细的调查研究。此外, 李钟武等(1989)也对该区进行相关研究。但是, 这些研究往往都是从冰碛物的数量、形态、位置、相对风化程度、岩矿分析等来建立一个相对的冰川序列, 没有绝对年代支撑。郑本兴等(1995)对稻城冰帽的特征和冰期进行了相关讨论, 同时对稻城古冰帽南缘的稻城河支流尼雅隆雄曲和央英错沟的古冰川进行岩矿分析和¹⁴C 年代测定, 开始了该地区冰川绝对年代的研究; 赵志中等(2000)首次对理塘海子山口的第四纪冰碛物进行宇生核素(¹⁰Be、²⁶Al 和²¹Ne)暴露年代测定, 结果表明该区的冰碛物为末次冰期山谷冰川扩张导致的。许刘兵等(2004)利用¹⁴C 和 ESR 测年技术对库照日系列冰碛垄进行年代测定, 首次比较全面地建立了该地区 6 次冰川前进的年代序列; 王建等(2006)对稻城冰帽库照日最老冰碛垄进行宇生核素¹⁰Be 的年代测定。

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40572097)、江苏省优势学科项目、中国科学院百人计划项目(编号 A0961)资助成果。

收稿日期: 2011-11-09; 改回日期: 2012-01-14; 责任编辑: 周健。

作者简介: 张志刚, 男, 1984 年生。南京师范大学地理科学学院博士研究生, 从事第四纪冰川和地貌演化研究。Email: zhangzhigang840620@126.com。通讯作者: 王建, Email: jwang169@vip.sina.com。

从以上对该区的研究历史总结可知,该区冰碛物的绝对年代数据相对较少,完整序列的年代数据仅有 ESR 数据,缺乏不同方法之间的对比。最近几年,随着光释光测年技术的不断发展(张家富等, 2007),除了用来测定风成沉积物的年代(Roberts et al., 2001; Lai et al., 2008b),还可以测定湖相沉积物的释光年代(Berger et al., 2004; 郭盛桥等, 2005; 赵希涛等, 2007; 樊启顺等, 2010)以及冰碛物的光释光年代。而且在亚洲(Owen et al., 2009; Ou et al., 2010; Hebenstreit et al., 2011)和欧洲(Klasen et al., 2007; Alexanderson et al., 2011)的冰川沉积物研究中获得了一些可靠的年代数据。尽管目前对于光释光测定冰碛物年代还存在着一些问题,如:不完全晒退、热转移、纯石英难以提取、释光信号敏感度低等(Richards, 2000; Fuchs et al., 2008),但是面对复杂的冰川环境以及其他测年方法无法解决年代问题的情况,光释光方法测定冰川年代不失为一种可以选择的方法,这样也可以与先前的研究结果进行比较从而增加年代数据的可靠程度。

基于稻城冰帽区绝对年代数据的匮乏以及光释光测年技术在冰川沉积物中的广泛应用,本文利用光释光测年技术首次测定稻城冰帽区库照日系列冰碛垄的年代,并对测年过程中遇到的一些问题进行探讨。

1 区域背景及样品采集

1.1 研究区地貌和地质概况

稻城古冰帽(图 1)位于四川西部理塘与稻城之间的海子山山顶夷平面上(99°48′~100°30′E, 29°02′~30°08′N),长约 135 km,朝向东南 30°,面积达 3000 km²,属于沙鲁里山高原面的一部分。北临毛垭坝盆地和理塘盆地,东接甲洼盆地和无量河断裂带,西界希曲和稻城河谷。该高山夷平面北高南低,北段帽合山海拔在 4850~5150 m 左右,主体海拔在 4600~4800 m,残留在夷平面的个别高山海拔超过 5000 m,如九拐山和稻城河北山最高峰达到 5130 m。虽然目前稻城海子山已无现代冰川,但在第四纪期间,这里曾多次形成古冰帽并留下古冰帽特殊

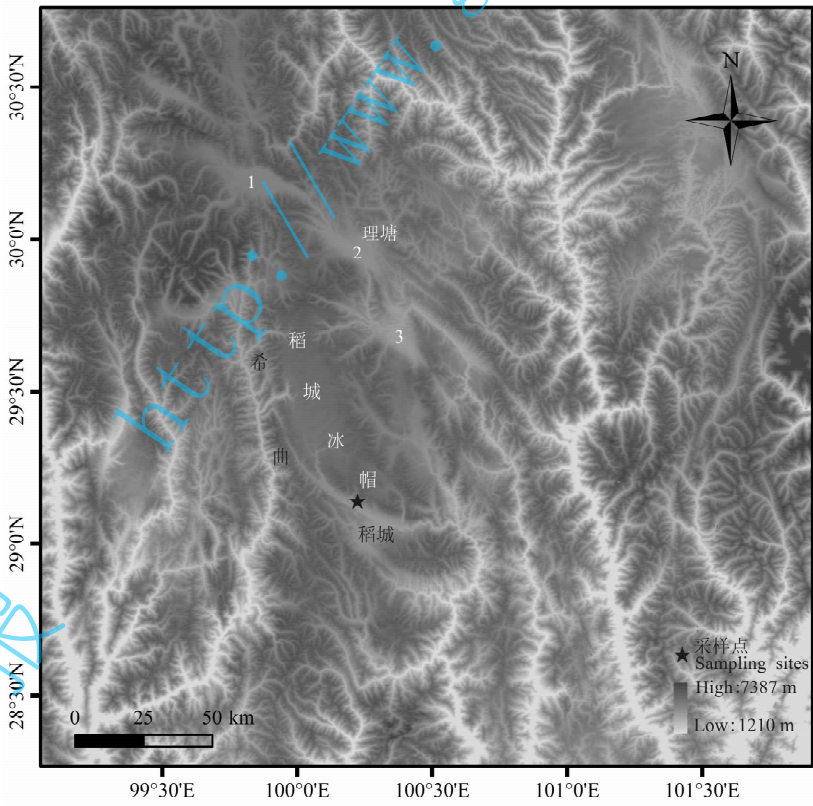


图 1 研究区以及采样点位置

Fig. 1 The study area and the sample locality

1—毛垭坝盆地;2—理塘盆地;3—甲洼-康嘎盆地

1—Maoyaba basin; 2—Litang basin; 3—Jiawa-Kangga basin

的侵蚀堆积地貌遗迹,如:古冰斗、冰蚀槽谷、冰蚀盆地、羊背石、冰蚀丘陵、底碛、鼓丘、终碛与侧碛等(郑本兴等, 1995;许刘兵等, 2004)。

稻城海子山地区主要出露的是印支期的花岗岩,而周围和中南部的尼增曲西岸分布有三叠纪的粉砂岩和黑色页岩,在尼增曲下游还分布有古近纪的红色碎屑岩系。在海子山东面的下木拉乡海拔 3700 m 处还有 N_2-Q_1 的湖湘沉积,从目前高山夷平面夷平古近纪地层的事实推断,横断山区的高山夷平面形成于上新世,属青藏高原统一高原面的组成部分(郑本兴等, 1995;许刘兵等, 2004)。正是由于燕山期花岗岩侵入体,岩性坚硬古夷平面保存面积大,从而成为古冰帽冰川发育的地貌基础(李吉均等,1991)。

1.2 样品采集情况

在稻城冰帽南缘的库照日槽谷至今保存着一系列大小不等的冰碛垄,比较明显的大约有 6~7 列,从最东面的 E 垄依次向里为 D、C、B、A、a、b、c 垄,DE 垄是指 E 垄和 D 垄之间的小型冰碛堆积体、DC 垄是指 D 垄和 C 垄之间的小型冰碛物堆积体、AB 垄是指 B 垄和 A 垄之间的冰碛物堆积体,据采样记录以及相关研究(Xu et al., 2009),绘制库照日槽谷冰碛垄示意图(图 2)。本文在每个冰碛垄上采集一个光释光样品进行年代测定(共 11 个样品,如图 2,但是在样品处理时由于样品 CT-2 不符合要求被废弃)。E 垄表面被红色风化壳覆盖,其厚度达 70 cm 左右,风化壳土壤化学分析表明具有很高的硅铝比(2.42),冰碛由大小混杂的花岗岩、三叠系砂板岩以及页岩组成,风化程度较深(许刘兵等, 2004);D 垄大部分被 C 垄覆盖,未被覆盖的部分已经长满植被,其表面分布着大量花岗岩漂砾以及少量三叠系砂板岩和黑色的页岩碎屑,少量出露的花岗岩漂砾

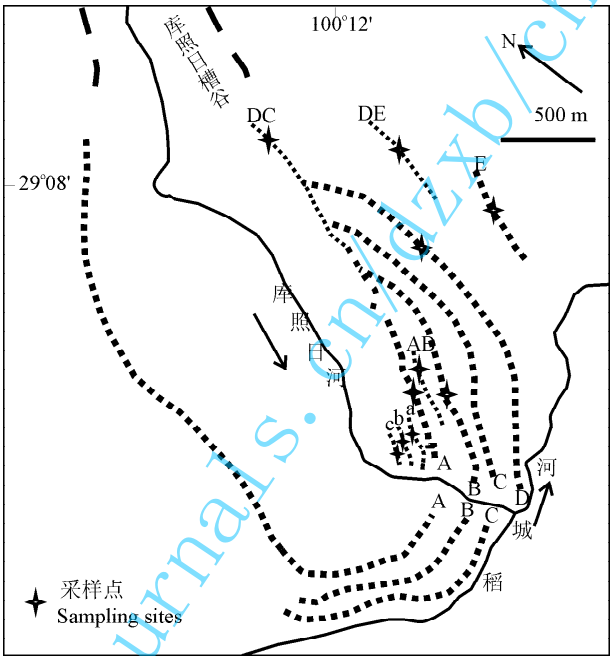


图 2 库照日槽谷冰碛垄示意图

(根据 Xu et al., 2009 整理)

Fig. 2 The Map of Kuzhaori trough moraine

(modified from Xu et al., 2009)

呈现较深的高岭土化;B 垄的风化程度较轻,呈现轻度红色风化;A 垄的末端叠置在 D 垄的末端,表明 D 垄所代表的冰川规模要大于 A 垄所代表的冰川规模,其风化程度与 B 垄相当;a、b、c 垄是紧靠 A 垄的 3 列规模较小的侧碛垄,风化程度与 A 垄相似(许刘兵等, 2004)。具体采样情况如表 1。

2 样品前处理及实验方法

2.1 样品前处理

首先,在释光实验室(暗室)将样品从铁管中取出,位于管子两端的可能暴露的样品应去除,管子中

表 1 库照日槽谷样品采集情况一览表

Table 1 Background of the samples from Kuzhaori tough moraine

样品编号	经度	纬度	海拔(m)	采样情况	样品性质
ET-2	E 100°13'20.7"	N29°07'31.6"	3894	埋深 120 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
DET-2	E 100°13'10.2"	N 29°07'31.6"	3900	埋深 200 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
DT-2	E 100°13'11.8"	N 29°07'42.2"	3921	埋深 80 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
DCT-2	E 100°13'9.9"	N 29°08'8.3"	4011	埋深 70 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
BT-2	E 100°12'55.9"	N 29°07'42.8"	3969	埋深 70 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
ABT-2	E 100°12'53.4"	N 29°07'43.5"	3959	埋深 70 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
AT-2	E 100°12'50.5"	N 29°07'43.4"	3957	埋深 70 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
aT-2	E 100°12'48.1"	N 29°07'39.3"	3940	埋深 40 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
bT-2	E 100°12'47.5"	N 29°07'42.2"	3932	埋深 40 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑
cT-2	E 100°12'42.7"	N 29°07'38.8"	3912	埋深 80 cm,挖入 40 cm,再打入 20 cm	冰碛碎屑

间的样品首先经过 10% 盐酸(HCl)和 30% 的双氧水(H₂O₂)处理,目的是去除碳酸盐和有机质。然后,样品经过纯水清洗后烘干、过筛,筛选出 38~63 μm 的部分,该部分样品再经过氟硅酸(H₂SiF₆)浸泡两周左右,目的是去除长石(Roberts, 2007; Lai et al., 2008b),经过氟硅酸浸泡后的样品再经过 10% 的盐酸清洗后用纯水清洗干净。最后,分离后的石英部分再经过红外(IR, 830 nm)检查,目的是检查石英的纯度(看是否有长石)。样品经过 IR 检查后发现明显的红外信号存在(即含有不可忽略的长石组分),之后所有的样品再次经过氟硅酸浸泡约 20d 左右,按相同的步骤处理后仍然有明显的红外信号(0.1<IRSL/OSL<0.4)。最终采用难以去除长石组分的石英颗粒(38~63 μm)进行光释光年代测定。样品一般是先用硅油固定在直径为 0.97 cm 的不锈钢圆片上然后上机测试(样品附着范围直径约为 0.6 cm)。样品 CT-2 由于管子两端的样品和中间样品混合会导致两端曝光部分与中间部分混合从而导致年代误差,该样品最后丢弃。

2.2 实验方法

该实验是在中国科学院青海盐湖研究所释光测年实验室完成,所用仪器为丹麦 Risø 实验室生产的 Risø TL/OSL-DA-20 热释光/光释光两用仪。再生剂量测试预热条件(Preheat)为 260℃,10 s;检验剂量测试预热条件(cut-heat)为 220℃,10 s。辐射源为(⁹⁰Sr/⁹⁰Y)β源,样品释光信号是在 130℃(激发温度)温度条件下用蓝光(λ=470±20 nm)激发 40 s,经由 7.5 mm 厚的 HoyaU-340 滤光片(检查窗口为:275~390 nm)进入 9235QA 光电倍增管内被探测并记录。分析时只选取初始 0.64 s(4 通道)减去背景值(最后 8 s,即最后 50 通道)之后的释光信号值。

样品的 U、Th 和 K 含量用中子活化分析法对全样进行测试,石英的 α 系数选取为 0.035±0.003 (Lai et al., 2008a)。含水量估计值为 10±5%,在剂量率计算过程中相关的因素采用 Aitken (1985)的系数。宇宙射线对样品剂量率的影响采用 Prescott 等(1994)的方法进行校正。剂量率结果见表 2。

表 2 库照日槽谷样品光释光年代结果

Table 2 The OSL dating results of the samples from Kuzhaori tough moraine

样品编号	深度(m)	K(%)	U(×10 ⁻⁶)	Th(×10 ⁻⁶)	含水量(%)	剂量率(Gy/ka)	等效剂量(Gy)	年代(ka BP)
ET-2	1.60	2.05±0.06	5.14±0.16	24.58±0.57	10±5	5.27±0.35	519±33	98.4±9.2
DET-2	2.40	2.23±0.07	1.99±0.13	9.78±0.30	10±5	3.48±0.24	348±30	100.1±11.1
DT-2	1.20	1.81±0.06	4.23±0.21	20.59±0.54	10±5	4.55±0.31	190±4	41.8±3.0
DCT-2	1.10	2.56±0.08	1.23±0.13	5.90±0.25	10±5	3.36±0.24	88±8	26.3±3.1
BT-2	1.10	3.13±0.09	1.76±0.16	13.42±0.39	10±5	4.56±0.33	94±6	20.6±2.1
ABT-2	1.10	2.10±0.07	1.75±0.15	11.46±0.36	10±5	3.49±0.24	76±2	21.8±1.7
AT-2	1.10	2.09±0.07	1.84±0.14	10.94±0.34	10±5	3.47±0.24	168±7	48.4±3.9
aT-2	0.80	2.29±0.08	2.10±0.16	10.25±0.34	10±5	3.67±0.26	187±9	48.2±4.2
bT-2	0.80	2.40±0.08	1.59±0.14	7.31±0.29	10±5	3.42±0.24	133±7	38.8±3.5
cT-2	1.20	2.24±0.07	1.91±0.16	12.52±0.38	10±5	3.73±0.26	211±12	56.6±5.3

3 古剂量(De)测定、分布及年代计算

3.1 等效剂量(equivalent dose,De)的测定

在进行样品的预热坪实验(目的是选择合适的温度,本研究的合适温度为 260℃)和剂量恢复实验,目的是检验单片再生剂量法(Single-aliquot regenerative-dose, SAR)是否适合该样品的剂量测定。本文选择一个样品(ABT-2)4 个片子进行剂量恢复试验,样品经过蓝光激发 100 s 消除天然信号后,再附加与天然剂量相等的实验室剂量 78 Gy,然后用 SAR 程序测定其等效剂量,4 个片子的恢复剂量分别为 74 Gy、66 Gy、68 Gy、66 Gy,平均值为 69

Gy,测试回复结果的平均值为 0.9,可以满足 10% 的可接受范围,表明可以利用再生剂量法测定样品的等效剂量(Murray et al., 2000; Wintle et al., 2006)。

图 3 为样品 ABT-2 样品的光释光信号衰减曲线和生长曲线,以及样品 ET-2 的生长曲线。由图 3 可以看出,样品在蓝光的激发下,在最初的 2 s 内衰减很快,但是在 2 s 到 4 s 的时候还有一个衰减,说明释光信号并不主要是由快组分控制,还有慢组分的贡献。对于样品 ET-2,当剂量达到 600 Gy 时,仍然有增长的趋势而没有到达饱和状态。10 个样品的绝大部分样片的循环比(Recycling ratio)在 0.9

~1.1 的范围内,表明检验剂量对感应剂量的校正结果非常理想。图 3a 中 0 剂量的衰减曲线显示信号非常低(约 460 counts),表明在样品预热过程中热转移的贡献可以忽略不计。

3.2 等效剂量的分布

等效剂量的频率分布图是为了检验样品在最后一次埋藏前,释光信号的晒退情况。成正偏的、在高

值一端带有“尾巴”的等效剂量分布说明被测样品中有一部分颗粒的释光信号在最后一次埋藏没有经过完全晒退;而非常宽的等效剂量分布则说明样品中含有大量未完全晒退的颗粒(Wallinga, 2002; 欧先交等, 2011),或者是由于沉积物内部微剂量的不一致引起(Murray et al., 1997)。而完全晒退的样品,其等效剂量的分布是紧凑的、对称的高斯分布(Wallinga, 2002)。

图 4 是 10 个样品的等效剂量概率分布直方图,样品的等效剂量值是利用 SAR 方法和普适生长曲线(common growth curve, CGC)方法测定的(Roberts et al., 2004; Lai, 2006; Lai et al., 2007; 欧先交等, 2011)。从图中可以看出样品在埋藏前晒退不完全。

3.3 光释光年代计算

样品的光释光年代是根据样品的等效剂量与剂量率的比值计算而成,其中等效剂量是 SAR 方法的所得的等效剂量和 CGC 方法所得的等效剂量的平均值,具体结果见表 2。

4 结果与讨论

4.1 样品结果分析及原因探讨

从表 2 可以得知,冰碛垄由外向内(ET-2、DET-2、DT-2、DCT-2、BT-2、ABT-2、AT-2、aT-2、bT-2、cT-2)的光释光年代数据依次为:98.4±9.2 ka BP、100.1±11.1 ka BP、41.8±3.0 ka BP、26.3±3.1 ka BP、20.6±2.1 ka BP、21.8±1.7 ka BP、48.4±3.9 ka BP、48.2±4.2 ka BP、38.8±3.5 ka BP、56.6±5.3 ka BP,呈现一种“老一新一老”的关系,而从野外地貌形态和风化程度来看,这些冰碛垄由外到内应该是一种由老到新的情况,光释光年代数据与野外观察结果不符。许刘兵等(2004)通过对稻城冰帽系列冰碛垄进行 ESR 年代测定得出的结果为:M-Ⅶ(相当于 ET-2)为 571.2 ka BP(相当于 MIS 16)、M-V(相当于 DT-2)为 134.8 ka BP、M-Ⅲ(相当于 BT-2)为 27.2 ka BP、M-Ⅱ(相当于 AT-2)为 16.7 ka BP。王建等(2006)利用宇生核素¹⁰Be 对库照日最老冰碛垄(也就是本文中的 E 垄对应于样品 ET-2)进行年代测定,结果表明,该冰碛垄最可能是在 MIS16 阶段形成。通过同一冰碛垄样品的 ESR 年代和¹⁰Be 暴露年代的相互验证可以认为,样品 ET-2、DT-2 的 OSL 年代数据可能是偏年轻,而对于样品 AT-2、aT-2、bT-2、cT-2,其 OSL 年代数据可能是偏老。

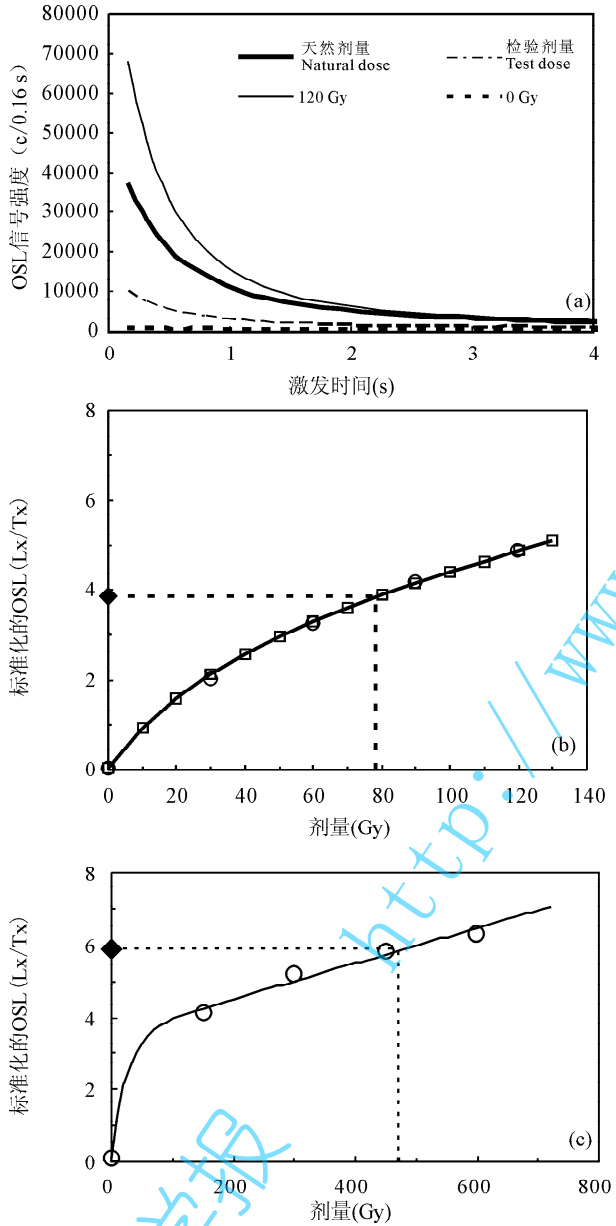


图 3 库照日槽谷样品光释光信号的衰减曲线及生长曲线
Fig. 3 OSL decay curves and growth curve of the samples from Kuzhaori tough moraine
(a) 样品 ABT-2 的释光信号衰减曲线; (b) 样品 ABT-2 的生长曲线; (c) 样品 ET-2 的生长曲线
(a)—OSL decay curves of sample ABT-2; (b)—growth curve of sample ABT-2; (c)—growth curve of sample ET-2

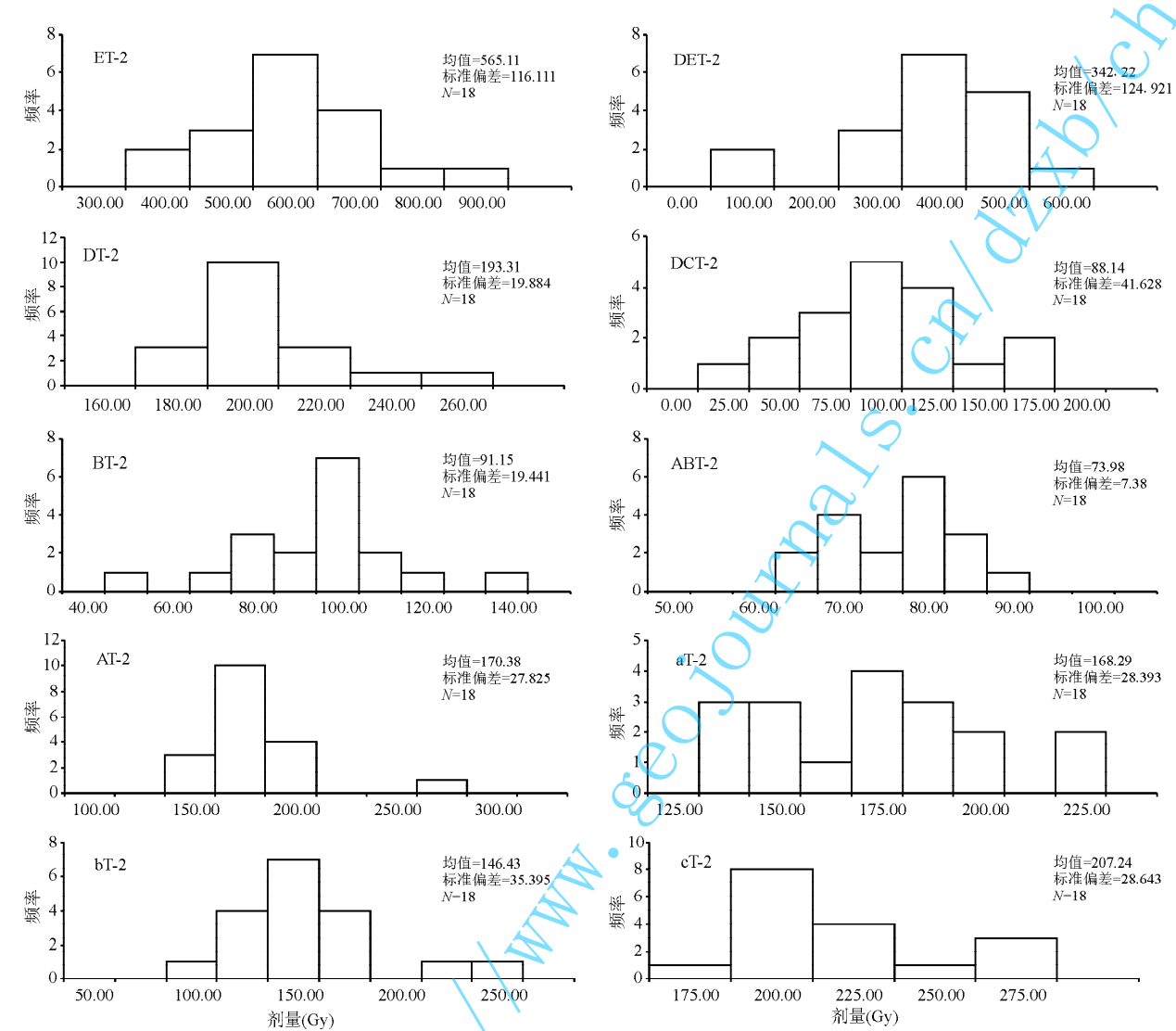


图 4 库照日槽谷样品等效剂量概率分布图
Fig. 4 The histograms of De distributions of the samples from Kuzhaori tough moraine

Wallinga 等(2001)认为石英的光释光年代最大可达到 100~200 ka;Fuchs 等(2008)认为石英的光释光最大可能测到 100~150 ka 的范围;Thiel 等(2011)研究表明从黄土中提取的石英颗粒其最大光释光年龄可达到 50~70 ka。总而言之,石英的光释光测年由于信号饱和其测年范围应在 100 ka 左右。样品 ET-2 和 DT-2 难道是因为超出了石英光释光测年的最大范围而导致光释光年代与实际年代偏差较大?但是从图 3 来看,最老样品 ET-2 的光释光信号达到 600 Gy 都没有饱和,其年代值应该代表了这个样品的光释光年代。而前人研究的石英最大测年范围是由于释光信号饱和引起,所以,这两个样品的光释光年代与实际偏差较大可能不是因为超出了石英的最大测年范围。

再者,从样品的等效剂量分布图(图 4)来看,这

些冰碛物样品存在着埋藏前样品释光信号晒退不完全(partial bleaching 或 incomplete bleaching)的现象,而这种信号不完全晒退会导致样品年代值高估(Klasen et al., 2007; Hebenstreit et al., 2011)。埋藏前的样品释光信号的不完全晒退可以解释样品 AT-2、aT-2、bT-2、cT-2 的光释光年代值比实际年代要高。那么,既然晒退不完全会高估样品年代,而样品 ET-2、DT-2 的光释光年代偏差也不是由于释光测年范围造成的,其年代值应该是高于实际年代的。那么是什么原因导致这两个样品年代低估呢?唯一的解释可能是长石的非正常衰减(anomalous fading)现象,这种现象是 Wintle 于 1973 年发现,而这种非正常衰减会导致样品年龄的低估(Wintle, 1973; Wallinga et al., 2000)。前文提到,本次实验样品由于难以提取纯石英,在实验过程中不得不利

用含有难以去除长石组分的石英颗粒,且研究表明样品年代越老其光释光衰退的程度越严重(Huntley et al., 2001)。因此,对于样品 ET-2、DT-2 其光释光年代值低于实际年代最可能的原因是由于样品中长石组分的非正常衰减现象导致的,而这种年代低估的影响远远大于不完全晒退导致年代高估的影响。

因此,对于这些同时受到释光信号部分晒退(导致年代高估)和长石组分非正常衰减(导致年代低估)影响的样品,由于样品年代越老其受到非正常衰减的影响越严重(Huntley et al., 2001),因此,对于年代较老的样品(如:ET-2、DET-2、DT-2)就会出现年代低于实际年代值的现象,而对于相对年轻的样品(如:AT-2、aT-2、bT-2、cT-2)由于受到非正常衰减的影响较小而受到释光信号晒退不完全的影响较大就出现了年代值高于实际年代的现象,此外,在样品采集过程中,由于冰碛垄的相互叠压导致样品相互混杂从而不能准确反映地貌年代,这也会造成样品光释光年代与先前测定结果不一致。

4.2 相似研究对比及展望

从以上的分析可知本研究应用 SAR 法对库照日系列冰碛垄进行光释光年代学测定存在一些问题,可先前研究表明,在亚洲(Owen et al., 2009; Ou et al., 2010; Hebenstreit et al., 2011)和欧洲(Klasen et al., 2007; Alexanderson et al., 2011)已成功利用光释光测年手段测定冰川沉积物的年代。其原因可能有以下几方面,第一,样品性质的差异:Owen 等(2009)和 Hebenstreit 等(2011)研究中均采用的是冰水沉积物, Alexanderson 等(2011)研究中采用的是冰海相沉积物,且样品埋藏前的释光信号可以忽略。相关研究表明冰水沉积物、冰湖沉积物相对冰碛物具有较长的搬运距离,样品在埋藏前释光信号容易晒退(Ou et al., 2010; 欧先交等, 2011); Fuchs 等(2008)研究表明冰水沉积物、冰湖沉积物、冰海沉积物比冰碛物(冰下和冰内沉积物)更容易晒退,且在采样时尽量采集冰水和冰湖沉积物。第二,样品的特殊性,本研究样品中既存在释光信号晒退不完全的问题又存在纯石英难以提取(长石非正常衰减)的问题;而在 Ou 等(2010)和欧先交等(2011)研究中并不存在本文研究所遇到的问题;而对于存在着不完全晒退的样品,也可以利用不同颗粒(粗颗粒和细颗粒)样品进行测定,并针对不完全晒退的样品的等效剂量进行模型估算(Klasen et al., 2007)从而获得可靠的光释光年代数据。

对于本文研究中所采用的样品,在光释光年代测定过程中具有复杂的问题,但这并不能说明光释光测年手段不适合对冰碛物进行年代测定,在将来的研究中一方面通过在同一冰碛垄上采集多个样品进行相互验证;另一方面可以利用单颗粒(Single grain)技术测定不完全晒退的冰川沉积物样品(选取晒退完全的颗粒来计算等效剂量)(Duller, 2006),以及利用新的测试程序(post_IR_IRSL)来测定难以去除长石的石英样品(避免长石非正常衰减的影响)(Li et al., 2011)。

5 结论

本文通过对稻城古冰帽库照日系列冰碛垄的光释光年代研究,并与前人的相关研究进行对比,发现在该地区利用光释光测定冰川沉积物的年代还存在着冰碛物埋藏前释光信号晒退不充分的现象和石英样品中难以去除长石组分的问题,这两个问题可能是本研究利用光释光测年数据与其他测年数据不一致的原因。冰碛物样品埋藏前释光信号的部分晒退以及样品难以提取纯石英,可能导致冰碛物光释光测年的较大误差和不准确性,应该引起足够的注意。

参 考 文 献

- 樊启顺, 赖忠平, 刘向军, 孙永娟, 隆浩. 2010. 晚第四纪柴达木盆地东部古湖泊高湖面光释光年代学. 地质学报, 84(11): 1652~1660.
- 郭盛桥, 王苏民, 杨丽娟. 2005. 末次盛冰期华北平原古气候古环境演化. 地质论评, 51(4): 423~427.
- 李吉均, 姚檀栋, 冯兆东. 1986. 稻城古冰帽发育模式. 见: 横断山考察专集(二). 北京: 北京科学技术出版社, 269~279.
- 李吉均, 周尚哲, 潘宝田. 1991. 青藏高原东部第四纪冰川问题. 第四纪研究, 3: 193~203.
- 李吉均, 方小敏. 1998. 青藏高原隆起与环境变化研究. 科学通报, 43(15): 1569~1574.
- 罗来兴, 杨逸畴. 1963. 川西滇北地貌形成的探讨. 见: 地理集刊 5 号. 北京: 科学出版社, 34~46.
- 李钟武, 王明龙, 陈治荣. 1989. 我国西部第四纪冰期划分与对比的讨论. 见: 高生淮, 郑远昌主编. 横断山研究. 成都: 四川科技出版社, 37~49.
- 欧先交, 曾兰华, 隆浩, 许刘兵, 周尚哲, 赖忠平. 2011. 横断山区末次冰期冰碛物石英光释光测年的适应性. 冰川冻土, 33(1): 110~117.
- 施雅风. 2006. 中国第四纪冰川与环境变化. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1~426.
- 王建, Yiou F, Raisbeck G, 徐孝彬. 2003. 利用陆面岩石中生成的宇生同位素重建冰川漂砾运动历史的尝试. 地质学报, 77(3): 407~413.
- 王建, Raisbeck G, 徐孝彬, Yiou F, 白世彪. 2006. 青藏高原东南

- 部沙鲁里山南端第四纪冰川作用的 ^{10}Be 年代学研究. 中国科学(D辑), 38(8): 706~712.
- 许刘兵, 周尚哲, 崔建新, 王杰, Mickelson D. 2004. 稻城冰帽区更新世冰川测年研究. 冰川冻土, 26(5): 528~534.
- 姚檀栋, 冯兆东, 李吉均. 1983. 稻城古冰帽的基本特征. 见: 横断山考察专集(一). 昆明: 云南人民出版社, 132~139.
- 张家富, 周立平. 2007. 释光技术在构造事件定年中的应用. 核技术, 30(11): 934~939.
- 赵希涛, 郑绵平, 李道明. 2007. 云南迪庆小中甸古湖的形成演化及其与石鼓古湖和金沙江河谷发育的关系. 地质学报, 81(12): 1645~1651.
- 赵志中, 吴锡浩, 田国强, Tschudi S, Schafer J, Ivy-Ochs S, Kubik P W, Schluchter C. 2000. 青藏高原第四纪冰川的宇宙核素暴露年龄首次测定及意义. 见: “九五”全国地质科技重要成果论文集. 376~680.
- 郑本兴, 马秋华. 1995. 川西稻城古冰帽的地貌特征与冰期探讨. 冰川冻土, 17(1): 23~32.
- 周尚哲, 许刘兵, 崔建新, 张小伟, 赵井东. 2004. 沙鲁里山第四纪地貌发育与环境演变. 科学通报, 49(23): 2480~2484.
- Aitken M J. 1985. Thermoluminescence Dating. London: Academic Press.
- Alexanderson H, Landvik J Y, Molodkov A, Murray A S. 2011. A multi-method approach to dating middle and late Quaternary high sea-level events on NW Svalbard—a case study. Quaternary Geochronology, 6: 326~340.
- Anslow F S, Clark P U, Kurz M D, Hostetler S W. 2010. Geochronology and paleoclimatic implications of the last deglaciation of the Mauna Kea Ice Cap, Hawaii. Earth and Planetary Science Letters, 297: 234~248.
- Berger G W, Melles M, Banerjee D, Murray A S, Raab A. 2004. Luminescence chronology of non-glacial sediments in Changeable Lake, Russian High Arctic, and implications for limited Eurasian Ice-sheet extent during the LGM. Journal of Quaternary Science, 19(5): 513~523.
- Duller G A T. 2006. Single-grain optical dating of glacial deposits. Quaternary Geochronology, 1: 296~304.
- Fuchs M, Owen L A. 2008. Luminescence dating of glacial and associated sediments: review, recommendations and future directions. Boreas, 37: 636~659.
- Hebenstreit R, Ivy-Ochs S, Kubik P W, Schluchter C, Bose Margot. 2011. Lateglacial and early Holocene surface exposure ages of glacial boulders in the Taiwanese high mountain range. Quaternary Science Reviews, 30: 298~311.
- Hein A S, Hulton N R J, Dunai T J, Sugden D E, Kaplan M R, Xu Sheng. 2010. The chronology of the Last Glacial Maximum and deglacial events in central Argentine Patagonia. Quaternary Science Reviews, 29: 1212~1227.
- Huntley D J, Lamothe M. 2001. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. Canadian Journal Earth Science, 38(7): 1093~1106.
- Klasen N, Fiebig M, Preusser F, Reitner J M, Radtke U. 2007. Luminescence dating of proglacial sediments from the Eastern Alps. Quaternary International, 164~165: 21~32.
- Lai Zhongping. 2006. Testing the use of an OSL standardized growth curve (SGC) for De determination on quartz from the Chinese Loess Plateau. Radiation Measurements, 41: 9~16.
- Lai Zhongping, Brückner H, Zöller L, Fulling A. 2007. Existence of a common growth curve for silt-sized quartz OSL of loess from different continents. Radiation Measurements, 42: 1432~1440.
- Lai Zhongping, Zöller L, Fuchs M, Brückner H. 2008a. Alpha efficiency determination for OSL of quartz extracted from Chinese loess. Radiation Measurements, 43: 767~770.
- Lai Zhongping, Brückner H. 2008b. Effects of feldspar contamination on equivalent dose and the shape of growth curve for OSL of silt-sized quartz extracted from Chinese loess. Geochronometria, 30: 49~53.
- Li B, Li S H. 2011. Luminescence dating of K-feldspar from sediments: a protocol without anomalous fading correction. Quaternary Geochronology, 6: 468~479.
- Murray A S, Roberts R G. 1997. Determining the burial time of single grains of quartz using optically stimulated luminescence. Earth and Planetary Science Letters, 152: 163~180.
- Murray A S, Wintle A G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. Radiation Measurements, 32: 57~73.
- Ou Xianjiao, Xu Liubing, Lai Zhongping, Long Hao, He Zhong, Fan Qishun, Zhou Shangzhe. 2010. Potential of quartz OSL dating on moraine deposits from eastern Tibetan Plateau using SAR protocol. Quaternary Geochronology, 5: 257~262.
- Owen L A, Robinson R, Benn D I, Finkel R C, Davis N K, Yi Chaolu, Putkonen J, Li Dewen, Murray A S. 2009. Quaternary glaciation of Mount Everest. Quaternary Science Reviews, 28: 1412~1433.
- Owen L A, Yi Chaolu, Finkel R C, Davis N K. 2010. Quaternary glaciation of Gurla Mandhata (Naimon'anyi). Quaternary Science Reviews, 29: 1817~1830.
- Prescott J R, Hutton J T. 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. Radiation Measurements, 23: 497~500.
- Richards B W M. 2000. Luminescence dating of Quaternary sediments in the Himalaya and High Asia: a practical guide to its use and limitations for constraining the timing of glaciation. Quaternary International, 65/66: 49~61.
- Roberts H M, Wintle A G, Maher B A, Hu M Y. 2001. Holocene sediment-accumulation rates in the western Loess Plateau, China, and a 2500-year record of agricultural activity, revealed by OSL dating. The Holocene, 11: 477~483.
- Roberts H M, Duller G A T. 2004. Standardised growth curve for optical dating of sediment using multiple-grain aliquots. Radiation Measurements, 38: 241~252.
- Roberts R M. 2007. Assessing the effectiveness of the double-SAR protocol in isolating a luminescence signal dominated by quartz. Radiation Measurements, 42: 1627~1636.

Thiel C, Buylaert J P, Murray A, Terhorst B, Hofer I, Tsukamoto S, Frechen M. 2011. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria)—testing the potential of an elevated temperature post-IR IRSL protocol. *Quaternary International*, 234: 23~31.

Wallinga J. 2002. On the detection of OSL age overestimation using single-aliquot techniques. *Geochronometria*, 21: 17~26.

Wallinga J, Murray A S, Wintle A. 2000. The single-aliquot regenerative-dose (SAR) protocol applied to coarse-grain feldspar. *Radiation Measurements*, 32: 529~533.

Wallinga J, Murray A S, Duller G A T, Tornqvist T E. 2001. Testing optically stimulated luminescence dating of sand-sized

quartz and feldspar from fluvial deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, 193: 617~630.

Wintle A G. 1973. Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245 (5421): 143~144.

Wintle A G, Murray A S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41: 369~391.

Xu L B, Zhou S Z. 2009. Quaternary glaciations recorded by glacial and fluvial landforms in the Shaluli Mountains, southeastern Tibetan Plateau. *Geomorphology*, 103: 268~275.

Problems and Analyses of Optically Stimulated Luminescence Studies of Glacial Deposits from Daocheng Ice Cap, Sichuan, China

ZHANG Zhigang^{1,2)}, WANG Jian^{1,3)}, LAI Zhongping²⁾, XU Xiaobin⁴⁾,
BAI Shibiao^{1,3)}, ZHANG Maoheng¹⁾

1) School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, 210046;

2) Luminescence Dating Group, Key Laboratory of Salt Lake Resources and Chemistry, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008;

3) School of Geography Science, Key Laboratory of Virtual Geographical Environment (Ministry of Education), Nanjing Normal University, Nanjing, 210046;

4) Jiangsu College of Education, Nanjing, 210024

Abstract

Glacier events are a direct geological indicator for climatic changes. Time sequence established using dating data of ice-borne sediments formed during glaciation process is an effective mean to inverse history of the glacial changes and regional paleoclimate and paleoenvironment. But complicated glacial deposition environment limits acquisition of glacial time to a large extent. In the recent years, with the development of Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating method, it has been widely used in dating of glacial sediments. This study employed the OSL method to date the moraine sequences on the southern margin of the ancient ice-cap of Daocheng, Sichuan so as to establish time sequence of glacial events occurring in the Kuzhaori area. However, the OSL ages were not in accordance with previously reported ESR ages (Electron Spin Resonance) and ^{10}Be exposure ages; in addition, some of the OSL dates do not agree with the relative geomorphologic and stratigraphic relationship of the moraines. The comparative study suggests that partial bleaching prior to burial and poor purity of the quartz may result in inaccuracy of the dating results, and enough attention should be paid on this issue.

Key words: Daocheng ice cap; Kuzhaori; OSL; glacier deposits; anomalous fading