

唐山孙家楼探槽光释光测年及其对古地震事件的指示意义^{*}

赵俊香^{1,2)} 江娃利¹⁾ 郭 慧¹⁾ 于慎谔¹⁾
(¹⁾中国地震局地壳应力研究所(地壳动力学重点实验室),北京 100085)
(²⁾中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100089)

摘 要 利用细颗粒(4~11 μm)石英简单多片再生法(SMAR)光释光测年技术对横跨1976年唐山地震孙家楼探槽剖面中的样品进行系统测年,研究表明:样品的光释光信号以快组份为主,适合光释光测年。根据年龄数据和深度建立年龄-深度曲线和函数,推算出了剖面的沉积速率。研究结果表明,该地区50~7.16 ka以来,断层两侧沉积速率曲线为两条平行直线。说明该剖面揭示此期间沉积环境稳定,无构造运动,沉积速率很小,为0.03 m/ka,平行线之间0.6 m的距离可能是1976年唐山地震造成。75~50 ka期间,主断层在~50 ka的活动造成地层沉积速率增大,为~0.1 m/ka。同期的次断层活动造成断层西侧沉积速率为东侧的两倍,即~0.2 m/ka。可见,研究区沉积速率发生变化的主要因素是构造运动,非气候成因。

关键词 唐山;孙家楼探槽;光释光;沉积速率;构造运动

中图分类号:P575.6 **文献标识码**:A

OPTICAL DATING OF SUNJIALOU TRENCH IN TANGSHAN AND ITS SIGNIFICANCE FOR PALAEOSEISMIC EVENTS

Zhao Junxiang^{1,2)}, Jiang Wali¹⁾, Guo Hui¹⁾ and Yu Shen'e¹⁾
(¹⁾Key Laboratory of Crustal Dynamics, Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085)
(²⁾School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100089)

Abstract We use simplified multiple aliquot regenerative-dose(SMAR) protocol from fine grain quartz(4~11 μm) to systematically date samples from Sunjialou trench across Tangshan earthquake zone in 1976. OSL signals of these samples dominated by fast component show that they are suitable for OSL dating. On the basis of the optical ages and the burial depth of samples, the age-depth curve and function of the trench are obtained. Through it we inferred depositional rate. The results suggest that depositional rate curves on both sides of the fault show two parallels between 50 and 7.16 ka, which indicates sedimentary environment are stable and no tectonic movement happened during that time interval. The depositional rate is about 0.03 m/ka and 0.6 meters distance in the range of two parallels is vertical offsets generated by the 1976 Tangshan earthquake. Activity caused by the main fault in about 50 ka leads to depositional rate increase, which is 0.1 m/ka. Coeval activity in the secondary faults causes depositional rate in western segment about twice that of eastern segment, which is 0.2 m/ka. In conclusion, tectonic movement is main factor for depositional rate change in study area but climate change. The depositional rate change may be useful approaches for the palaeoseismic events.

Key words: Tangshan; Sunjialou trench; OSL; depositional rate; tectonic movement

^{*} 收稿日期:2012-03-23
基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项(ZDJ2010-24,ZDJ2007-1,ZDJ2007-14)
作者简介:赵俊香,女,1976年生,助理研究员,博士研究生,主要从事光释光测年研究. E-mail:zhjx1014@sina.com

1 引言

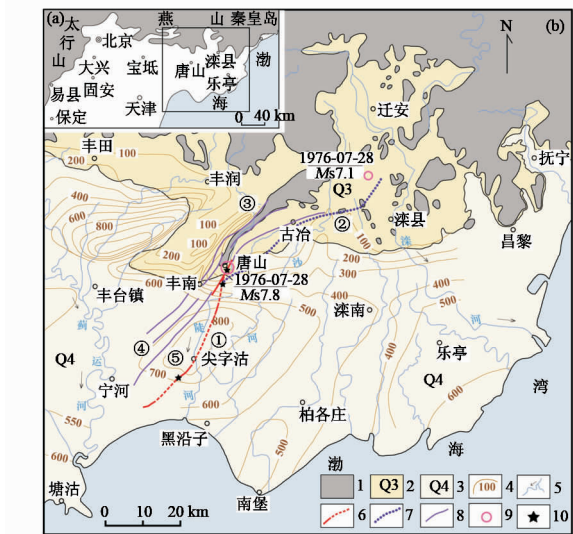
1976 年唐山 Ms7.8 地震是中国东部近 300 年来发生的最大地震,震后一些学者曾做过一些研究,但主要集中于其古地震事件复发周期等。如王挺梅等^[1]根据探槽中的液化现象及地层¹⁴C 测年,推定唐山地区曾发生过两次古强震,其时间分别为(7 665 ± 105) 年和 14 865 年,大震重复间隔约为 7 500 年。郭慧等^[2]根据沿 1976 年唐山地震破裂带开挖的三个钻孔和一个探槽样品的热释光年龄、电子自旋共振年龄及¹⁴C 年龄,认为唐山地区在 1976 年前发生三次古地震事件,时间分别为 7.61 ~ 8.13 ka、>14.47 ka 和 24.21 ~ 26.57 ka。

近年来光释光测年方法与技术不断更新,测年精度和准确性都有很大提高。2005 年提出的细颗粒(4 ~ 11 μm)简单多片再生法^[3](SMAR)可准确测定 130 ka 以来黄土样品的年龄^[4,5]。本文对沿 1976 年地震地表破裂带所开挖的唐山孙家楼探槽进行系统采样,利用细颗粒简单多片再生法(SMAR)开展年代学研究,根据样品的光释光年龄及其与深度的关系,结合剖面沉积物特征,探讨晚第四纪(75 ka)以来该剖面所揭示的沉积速率变化及其与古地震事件的关系。

2 样品采集与前处理

样品采集于孙家楼探槽,该探槽地处唐山市稻地乡孙家楼村西北约 500 m。探槽走向 NW65°,长 35 m,上宽 7 m,下宽 1.5 m,深 6.2 m(图 1)。

采样过程为选择好采样点后先去除 30 ~ 50 cm 的表层土,使用长约 20 cm,直径约 5 cm 的不锈钢钢管,将其一端用黑色塑料袋密封,另一端垂直打进清理干净的新鲜剖面取样,并迅速用黑色塑料袋封口,然后再将两端都用黑色塑料袋与锡纸及胶带密封^[6,7]。样品采用 4 ~ 11 μm 细颗粒石英矿物组分进行测年。样品前处理和测试均在中心波长 661 nm 的微弱红灯下进行^[8]。采用 Aitken^[9,10] 和 Lu^[11] 等的前处理方法进行处理,即先取约 20 克样品测其含水量与饱和含水系数,然后将其烘干研磨,筛选出小于 63 μm 的组分作 U、Th、K 分析。其余样品在烘箱(低温 40℃)中烘干,筛选出小于 90 μm 的颗粒,分别用浓度 30% 的 H₂O₂ 和 20% 的 HCl 处理去除有机质和碳酸盐类,然后用静水沉降法分离出粒径为 4 ~ 11 μm 的组分。再将分离出的组分取 1/2 加少量氟硅酸反应,直到样品中的红外释光信号可以忽略为止。用丙酮将分离出的 4 ~ 11 μm 石英颗粒组分制成悬浊液,沉淀在直径为 9.7 cm 的钢片



1. 基岩;2. 上更新统沉积区;3. 全新统沉积区;4. 第四系等值线(m);5. 河流;6. 唐山 7.8 级地震地表破裂带;7. 唐山 7.8 级地震未完全出露地表的破裂带;8. 唐山断裂带;9. 唐山 Ms7.8 地震震中;10. 探槽剖面位置

图 1 唐山地区第四系及断裂分布^[2]

Fig. 1 Distribution map of the Quaternary system and faults in the Tangshan area^[2]

上,每个钢片石英质量约为 1 mg。

3 光释光年龄测量

3.1 等效剂量的测量

光释光信号测量和 β 辐照均在 Daybreak 2200 自动化测量系统上完成,激发光源分别为波长(470 ± 5 nm)的蓝光束(最大功率 67.3 W/cm²)和(880 ± 60 nm)的红外光束(最大功率 80.1 mW/cm²)。光释光信号通过 EMI QA9235 型光电倍增管(PMT)检测。

等效剂量的测量采用简单多片再生法(SMAR),样品在测试之前先利用红外释光(IRSL)信号检测石英纯度^[12]。图 2 为代表性样品 09-OSL-542 天然样品光释光(OSL)信号与 IRSL 信号的对比曲线。从图 2 可见,样品长石在前期处理中已经基本刻蚀干净,达到测试要求。在 SMAR 法测量时天然测片为 10 个,预热温度为 260℃,预热时间 10 s。光释光信号的获得采用蓝光第 1 秒的积分值减去作为本底的最后 1 秒的积分值。SMAR 法光释光衰减曲线与再生剂量生长曲线见图 3,从衰减曲线(图 3(a))来看,样品的光释光信号较强,且呈快速衰减特征,为典型的石英信号特征,符合简单多片再生法光释光测年要求。同一个样品 10 个测试样片的等效剂量值大致相同(图 3(b)虚线)。因此,本文样品的光释光年龄是准确可靠的。

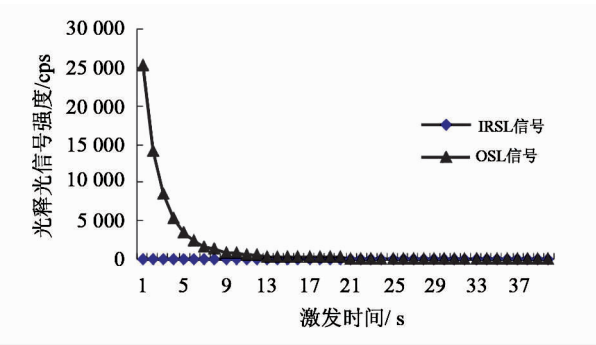


图2 样品天然 IRSL 与 OSL 信号对比(09-OSL-542)
Fig. 2 Comparison between of natural IRSL and OSL signals of sample 09-OSL-542

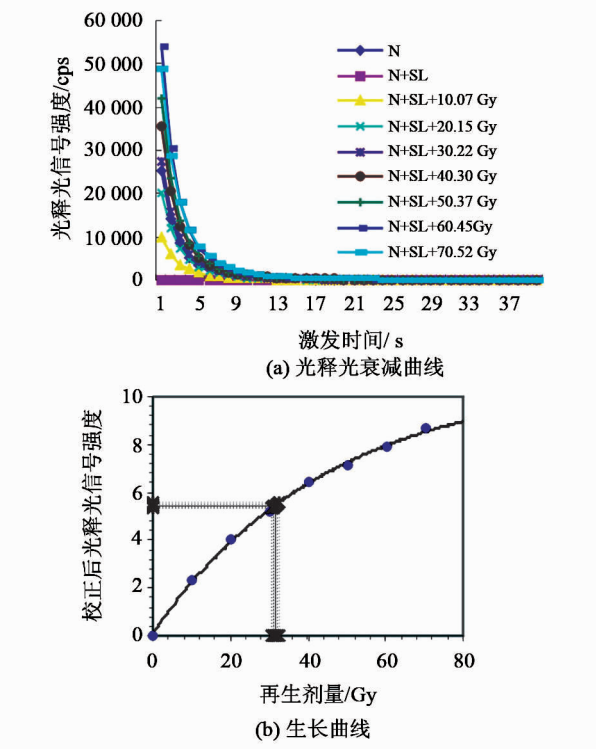


图3 09-OSL-542 样品光释光衰减曲线和生长曲线
Fig. 3 09-OSL-542 OSL decay curve and growth curve

3.2 环境剂量率的测量

环境剂量率是指样品每年吸收的周围环境辐射剂量值。样品环境剂量率的来源主要取决于样品及周围物质中的自然放射性核素衰变所产生的 α 、 β 和 γ 射线及宇宙射线的少量贡献。其中放射性核素对环境剂量率的贡献主要来自铀、钍及其衰变子体以及钾。钾的含量通过火焰光度计测量,铀、钍元素及其衰变子体对样品环境剂量的贡献用经标定的 Daybreak 583 型低本底厚源 α 计数仪测定,在这里沿用的是 α 粒子计数率。计算时 α 系数即 α 辐射产生释光信号的有效系数采用 0.040 ± 0.005 ^[3]。由于水对 α 、 β 和 γ 辐射具有一定的吸收作用,样品埋藏层的含水量对样品的环境剂量的影响不容忽视,

本文样品含水量采用估计值 $15 \pm 5\%$,同时也考虑了宇宙射线的影响。最后根据 Aitken^[9] 提出的换算关系得出研究区样品的环境剂量率。

4 测年结果及指示意义

表 1 列出了唐山孙家楼探槽 13 个样品的光释光年龄及其参数,图 4 为孙家楼探槽剖面。

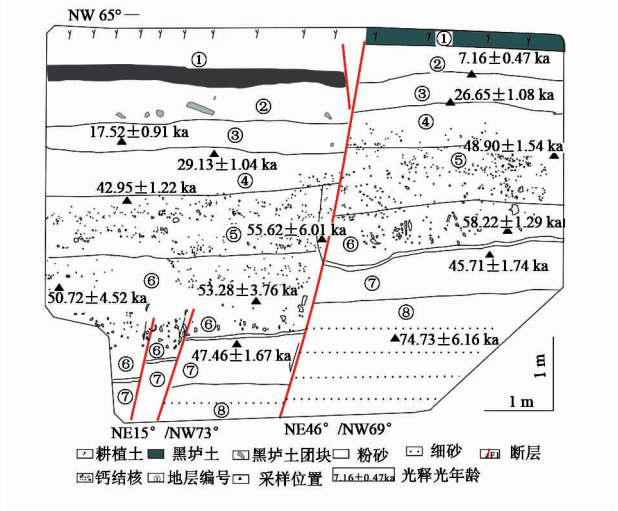


图4 孙家楼探槽剖面
Fig. 4 Section of Sunjialou trench

图 4 揭示该剖面有 8 个地层单元,总体呈现下粗上细特征;下部为砂质粉土和细砂,中部和上部为黏质粉土;上部地层较干,下部较湿;上部和下部地层分选较好,中部稍差。地层自上向下分层如下:

层①: 垆土,地表耕植土;局部有砂土块混杂堆积;主断层西侧有约 20 cm 厚的垆土;近断层处,出现张性开裂,其内充填垆土;

层②: 灰黄色黏质粉土,局部有灰黑色黏土团块,最大直径 30 cm,最小 4 cm;

层③: 浅黄色黏质粉土,含少量浅灰黑色黏土团块,团块分布比层②明显减少,直径也减小,最大仅为 4 cm;

层④: 灰黄色黏质粉土,靠近底部含少量微小钙结核呈零星分布,底面在近断层处呈斜坡状分布;

层⑤: 黄色黏质粉土,含大量钙质结核和灰白色钙质小砾石,直径 1~3 cm;靠近断面一带含零星黏土团块,在断层西侧靠近断面出现张性开裂,充填物质为灰色砂质粉土,可能为主断层活动产生的喷砂;

层⑥: 黄色黏质粉土,底部富含钙质结核,直径较大,10~15 cm;该层在断层西侧比东侧厚,厚约 0.6 m;

层⑦: 黄褐色砂质粉土,层中含大量微小碳点

表 1 孙家楼探槽样品光释光测年结果

Tab. 1 Results of optical dating for samples from Sunjialou trench

实验编号	野外编号	α 粒子计数率 (Ksec)	K ₂ O (%)	埋深 (m)	环境剂量率 (Gy/ka)	等效剂量 (Gy)	光释光年龄 (ka)
断层西侧							
09-OSL-541	TSTC-13	10.86 ± 0.25	1.84	1.54	4.19	73.45 ± 4.82	17.52 ± 0.91
09-OSL-550	TSTC-6	11.55 ± 0.23	1.70	1.85	4.22	123.01 ± 4.98	29.13 ± 1.04
09-OSL-543	TSTC-12	11.30 ± 0.25	1.50	2.31	3.99	171.56 ± 5.37	42.95 ± 1.22
09-OSL-549	TSTC-11	12.95 ± 0.25	2.00	3.54	4.79	243.00 ± 22.29	50.72 ± 4.52
09-OSL-552	TSTC-14	11.75 ± 0.26	2.04	3.12	4.56	253.78 ± 20.62	55.62 ± 6.01
09-OSL-548	TSTC-10	12.17 ± 0.22	2.36	4.62	4.93	262.85 ± 19.05	53.28 ± 3.76
09-OSL-547	TSTC-9	12.31 ± 0.23	2.48	4.92	5.07	240.52 ± 8.18	47.46 ± 1.67
断层东侧							
09-OSL-542	TSTC-5	11.48 ± 0.26	1.92	0.62	4.40	31.51 ± 1.96	7.16 ± 0.47
09-OSL-544	TSTC-4	11.97 ± 0.22	1.74	1.15	4.35	115.94 ± 4.32	26.65 ± 1.08
09-OSL-539	TSTC-3	12.82 ± 0.24	2.10	1.85	4.85	237.14 ± 6.55	48.90 ± 1.54
09-OSL-540	TSTC-2	13.70 ± 0.28	2.36	3.08	5.27	306.75 ± 6.24	58.22 ± 1.29
09-OSL-545	TSTC-1	12.97 ± 0.24	2.66	3.62	5.37	245.47 ± 7.58	45.71 ± 1.74
09-OSL-551	TSTC-8	3.90 ± 0.13	2.72	4.62	3.24	256.32 ± 21.12	74.73 ± 6.16

或锰点;与层⑥的界线很明显,与层⑥、⑦的颜色明显不同,主要为浅灰黑色与桔黄色的薄层砂质粉土,上部为浅灰黑色,下部为桔黄色,这里称之为标志层,厚度 5 ~ 7 cm;

层⑧:浅黄色细砂,纯净,水平层理清楚。剖面中发育有 3 条断层:主断层(F₁)和 2 条平行的次断层(F₂ 和 F₃)。最新的一次古地震事件断错了根植土以外的所有地层并上延至地表,断距约为 0.6 m,可以断定该次破裂事件是 1976 年唐山 M_s7.8 地震所为。因为断层两侧层⑤ ~ ①的位错量基本一致,均为 0.6 m。第二次破裂事件使断层两侧的层⑧ ~ ⑥的落差达到 1.2 m,层⑥和⑦之间的标志层,也被断错 1.2 m。可以认为在层⑥堆积之后和层⑤堆积之前(~ 50 ka)还发生过一次古地震事件,扣除 1976 年的错断量,该次古地震事件造成的断距也为 0.6 m,震级与 1976 年唐山地震相近。断层西侧层⑥较东侧厚约 0.6 m,等同于主断层对层⑧ ~ ⑥造成的垂直位错量,这可能由 ~ 50 ka 的断层活动造成的。可见,剖面揭示主断层在 75 ka 以来共发生过两次古地震事件。在断层西侧,还有两条平行的次级断层,次级断层活动断错层⑧ ~ ⑥以及标志层。累积位移量约为 0.6 m。可能与主断层早期活动同期发生(~ 50 ka),次断层只对主断层西侧的地层起控制作用。

利用剖面光释光年龄数据对样品的埋深作图,得出样品的年龄-深度模式图如图 5 所示,对图 5 中各点进行回归分析得出了其年龄-深度曲线和年龄-深度函数(x 表示年龄(ka), y 表示深度(m), R^2 表

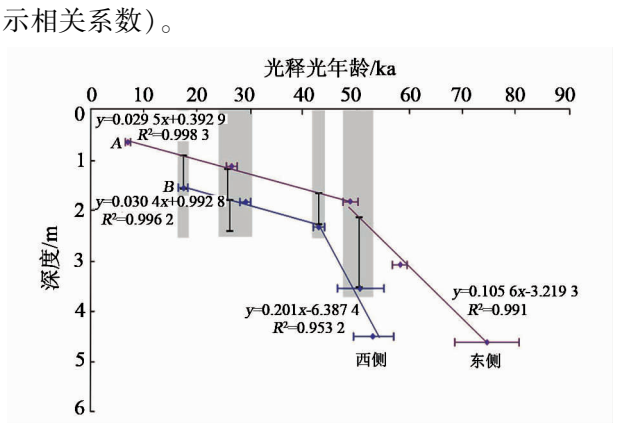


图 5 探槽样品的年龄-深度曲线

Fig. 5 Age-depth curve given from OSL dating of samples in the section

从图 5 年龄-深度曲线上看,沉积速率在 50 ka 附近发生过变化。50 ~ 7.16 ka,断层东西两侧沉积速率曲线表现为平行的两条直线,其斜率一致,沉积速率均为 ~ 0.03 m/ka,两条直线的距离为 0.6 m,应为 A 点年龄(7.16 ka)后的地震事件造成的位移,结合图 4,正好与 1976 年唐山地震所形成的位移一致。因此,认为两条直线间的距离就应该是 1976 年地震造成的位错量。沉积速率曲线在 ~ 50 ka 分为斜率不同的两段直线,直线下段斜率明显增大。结合图 4,可以推测,沉积速率的变化是由于 ~ 50 ka 发生的古地震事件造成的。在断层两侧,同期(75 ~ 50 ka)沉积速率不一致,东侧的沉积速率为 0.105 6 m/ka,西侧为 0.201 m/ka,可以推测, ~ 50 ka 发生的古地震事件造成两侧沉积速率都增大为

0.105 6 m/ka,而同期的次级断层活动造成西侧沉积速率继续增大,为 0.201 m/ka。

层⑤断层东侧靠近主断层处喷砂中采集的样品光释光年龄为 55.62 ± 6.01 ka,因该年龄不代表所在地层的真实年龄,所以未参与沉积速率的计算。断层两侧层⑦地层年龄出现倒置,即层⑦的样品年龄均比层⑥偏年轻,野外观察该层很湿,计算时可能低估了该层的含水量而导致年龄偏年轻。

通过图 4 和图 5 的分析,可以推测,剖面沉积速率发生变化的主要因素是构造活动,非气候成因。

5 结论

1) 样品的光释光信号以快组份为主,适合光释光测年;

2) 50 ~ 7.16 ka 期间,沉积环境稳定,无构造运动,两盘沉积速率曲线为平行的两条直线,沉积速率很小(0.03 m/ka),两条平行线之间的 0.6 m 的截距可能是 1976 年唐山 Ms7.8 地震造成;

3) 75 ~ 50 ka 期间,主断层在 ~ 50 ka 的活动造成断层同侧下部地层沉积速率增大,为 ~ 0.1 m/ka。同期的两个次断层的活动造成下盘沉积速率继续增大,为 ~ 0.2 m/ka;

4) 剖面沉积速率发生变化的主要因素是构造活动,非气候成因。

5) 对探槽进行古地震事件分析时,可以对断层两盘系统密集采样,通过研究其沉积速率的变化再探讨古地震事件。

参 考 文 献

- 王挺梅,李建平. 唐山大地震的重复间隔[J]. 地震地质, 1984, (3): 79 - 85. (Wang Tingmei and Li Jianping. The recurrence intervals of the strong earthquakes in Tangshan [J]. Seismology and Geology, 1984, (3): 79 - 85)
- 郭慧,江娃利,谢新生. 钻孔与探槽揭示 1976 年河北唐山 Ms7.8 地震发震构造晚第四纪强震活动特征[J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41: 1 009 - 1 028. (Guo Hui, Jiang Wali and Xie Xinsheng. Late-Quaternary strong earthquakes on the seismogenic fault of the 1976 Ms7.8 Tangshan earthquake, Hebei, as revealed by drilling and trenching [J]. Science China (Earth Sciences), 2011, 54: 1 696 - 1 715)
- 王旭龙, 卢演涛, 李晓妮. 细颗粒石英光释光测年: 简单多片再生法[J]. 地震地质, 2005b, 27(4): 615 - 623. (Wang Xulong, Lu Yanchou and Li Xiaoni. Luminescence dating of fine-grained quartz in Chinese loess-Simplified multiple aliquot regenerative-dose (MAR) protocol [J]. Seismology and Geology, 2005b, 27(4): 615 - 623)
- Wang X L, Lu Y C and Zhao H. On the performances of the single-aliquot regenerative - dose (SAR) protocol for Chinese loess: fine quartz and polymineral grains[J]. Radiation Measurements, 2006a, 41: 1 - 8.
- Lu Y C, Wang X L and Wintle A G. A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130 000 years for the Chinese Loess Plateau [J]. Quaternary Research, 2007, 67: 152 - 160.
- 赵俊香, 等. 山西忻定盆地断层崩积楔 OSL 年龄及其对古地震事件的指示意义[J]. 现代地质, 2009, 23(6): 1 022 - 1 029. (Zhao Junxiang, et al. OSL age of fault collapse wedge in Xinding basin, Shanxi province and its significance for paleoearthquake events [J]. Geoscience, 2009, 23(6): 1 022 - 1 029)
- 赵俊香, 等. 断层崩积楔单片再生法光释光测年: 以山西忻定盆地西田探槽为例[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 356 - 362. (Zhao Junxiang, et al. OSL dating of fault collapse wedge using SAR method: taking the Xitian trench of Xinding basin, Shanxi as an example [J]. Geoscience, 2011, 25(2): 356 - 362)
- 王旭龙, 李晓妮, 卢演涛. 红光固体二极管点阵在释光测年中的光照应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24: 133 - 138. (Wang Xulong, Li Xiaoni and Lu Yanchou. Red LED and its application to luminescence lighting [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2004, 24: 133 - 138)
- Aitken M J. Thermoluminescence dating [M]. London: Academic Press, 1985.
- Aitken M J. An introduction to optical dating [M]. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- Lu Y C, Zhang J Z and Xie J. Thermoluminescence dating of loss and paleosols from the Lantian section, Shaanxi Province, China [J]. Quaternary Science Reviews, 1988, 7(3 - 4): 245 - 250.
- Duller H A T. Distinguishing quartz and feldspar in single grain luminescence measurements [J]. Radiation Measurements, 2003, 37: 161 - 165.