

罗文行, 周云, 房艳国, 等. 碳酸岩 U 系测年在滇西北北衙组地层抬升速率计算中的应用[J]. 华南地震, 2019, 39 (3): 1-5. [LUO Wenxing, ZHOU Yun, FANG Yanguo, et al. Application of Carbonatite Uranium Series Dating Method in the Calculation of the Beiya Formation Stratigraphic Uplifting Rate in Northwest Yunnan[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(3): 1-5]

碳酸岩 U 系测年在滇西北北衙组地层抬升 速率计算中的应用

罗文行¹, 周 云¹, 房艳国¹, 李 路², 肖宙轩², 林靖愉², 杨 鹏³, Jianxin ZHAO⁴
(1. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 武汉 430010; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 3. 中山大学海洋科学学院, 广州 519082; 4. 澳大利亚昆士兰大学放射性同位素重点实验室, 澳大利亚昆士兰州 4072)

摘要: 自第四纪以来, 滇西北地区地壳活动强度明显增强, 地震活动频繁, 区域稳定性越来越低, 人类生存环境严酷。选取滇西北地区鹤庆—洱源断裂带经过的北衙组地层作为研究对象, 通过对干涸的溶洞内鹅管碳酸盐矿物进行 U 系不平衡法准确定年, 厘定出构造隆升作用的起始时间, 最终计算得出该套地层抬升速率为 2.4 mm/a。北衙组地层的迅速抬升, 反映了滇西北地区作为青藏高原东南扩展前缘的地球动力学过程, 可能与青藏高原下地壳物质向滇西流动汇聚有关。同时, 该抬升速率为滇西地区国家重大工程建设的设防抗震提供了可靠的数据支撑。

关键词: U 系测年; 构造隆升; 抬升速率; 北衙组; 滇西北

中图分类号: P597.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)03-0001-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.03.001

Application of Carbonatite Uranium Series Dating Method in the Calculation of the Beiya Formation Stratigraphic Uplifting Rate in Northwest Yunnan

LUO Wenxing¹, ZHOU Yun¹, FANG Yanguo¹, LI Lu², XIAO Zhouxuan²,
LIN Jingyu², YANG Peng³, Jianxin ZHAO⁴

(1. Changjiang Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430010, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an, 710054, China; 3. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China; 4. Radiogenic Isotope Facility, School of Earth Sciences, The University of Queensland, Qld 4072, Australia)

收稿日期: 2019-05-10

基金项目: 国家重点研发计划: 隧洞穿越活断层围岩—衬砌灾变机制及抗断技术(2016YFC0401803)

作者简介: 罗文行(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事构造地质与地热资源勘查研究工作。

E-mail: luo_wenxing@qq.com.

Abstract: Since the Quaternary, the intensity of crustal activity in the northwestern Yunnan region has been significantly enhanced, earthquake activity is frequent, regional stability is getting lower and lower, and human living environment is harsh. The paper selected the Beiya formation as the research object, which was been through with the Heqing-Eryuan fault zone. By using the U series unbalance method of the goose tube in the dried karst cave, the starting time of the tectonic uplift is determined. Finally, the uplift rate of Beiya formation is calculated to be 2.4mm/a, which provides reliable data support for the major construction of the country.

Keywords: U series dating; Tectonic uplift; Uplift rate; Beiya formation; Northwest Yunnan

0 引言

鹤庆—洱源断裂带位于滇西北活动断裂系的中心部位,是该区域活动断裂系的重要组成部分^[1-3],因此对其构造性质、活动特征以及构造运动历史的认识可以识别和理解该地区构造运动提供直接证据,还能够为研究该地区的构造变形、构造运动机制等提供重要资料。由于印度板块与欧亚板块碰撞引起青藏高原地壳增厚和强烈隆升,而在这一驱动力的作用下,滇西北地区经历了复杂的构造演化过程^[4],滇西北地区从晚更新世以来开始强烈构造隆升,主要分为块断式(玉龙雪山、点苍山为代表)、线带式(高黎贡山为代表)和阶梯式隆升^[5]。强烈构造隆升同时,表现出构造差异性特点,北部隆升幅度大于南部地区,时间上从晚更新世以来隆升速度有明显加剧的趋势^[6]。前人对剑川县南部进行研究表明,其构造隆升速率从 0.83 mm/a(晚更新世)变化到 >4 mm/a(全新世),但是截止目前对鹤庆地区的构造隆升速率还未有报道。计算构造隆升速率,活动时间是关键问题,前人对于第四纪地层的年代学测试方法主要集中于 ¹⁴C、光释光、热释光以及 K-Ar 方法,但是这些测试方法都有自己的局限性和弊端,而近年来发展起来的 U 系平衡法,测年范围几百年到 500~600 ka,从而可以准确提供地球数十万年以来的各种信息演化历史,填补了 ¹⁴C 和 K-Ar 法之间年龄测试的空隙。90 年代, Luo et al^[6]首次将多接收电感耦合等离子质谱 (Multi-collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, MC-ICP-MS) 用于 U 系测年,比之前的 TIMS 方法需要更少的样品,大大缩短测试时间,以及测年上限超过 0.6 Ma^[7-9],大大提高了测试精度,可以进行微区测年^[9]。基于前人研究成果之上,本文选取鹤庆—洱源断裂带南部北衙组灰岩地层为研究对象,基于详细的野外地质调查和室内 U 系准确测试工作,查明该套地层分

布特征、构造隆升特征,确定构造隆升的速率,为后期国家重大工程建设提供科学数据。

1 区域地质背景及样品采集

研究区大地构造上位于哀牢山—红河断裂的北东侧(图 1a),处于北北西构造带和北北东构造带的复合部位东侧,北北西向的红河断裂带和北北东向的丽江—剑川断裂带交汇于乔后井附近(图 1b)。滇西北地区经历了复杂的构造演化过程,从上更新世末到早更新世初伴随着青藏高原加速隆升,区域夷平面解体,局部地段发生断陷;早更新世与中更新世之间区域发生一次重要构造事件,滇西北乃至滇西地区的下更新统与中更新统之间普遍发育角度不整合或假整合^[10];晚更新世早期青藏高原又一次强烈隆升^[11]。滇西活动构造系包括多个活动断裂带,主要以北东或近南北走向为主,如龙蟠—乔后断裂带、丽江—剑川断裂带、鹤庆—洱源断裂带(图 1b),均以左旋走滑为主要运动方式。研究区内的鹤庆—洱源断裂带位于川滇菱形块体西南缘,滇中次级地块西北隅的大理和丽江境内,呈北北东方向展布,自西南洱源盆地西缘起,向北东经老虎箐、后本阱、松村曲,然后进入鹤庆盆地后沿盆地西边界和东边界延伸。沿西边界经赵屯、辛屯、新民村、保吉村,然后与小金河—丽江断裂(区内称丽江—剑川断裂)相交,沿东边界经北西村、三义村,止于关坡附近。全长 108 km,宽 3~7 km(图 1b)。

研究区地层沉积特征具有地台型特征,区内出露地层较齐全,除寒武系外,其余地层均有出露。基底地层岩性为元古界变质岩。盖层地层岩性主要有下古生界下奥陶统砂页岩,主要分布于洱海以东以及剑川—洱源一带;上古生界泥盆系碳酸盐岩及石炭系碳酸盐岩,主要分布在剑川—洱源一带;二叠系碎屑岩及峨眉山玄武岩组,主要分布在剑川—牛街—大理一线及鹤庆东部地区;

三叠系碳酸盐岩、碎屑岩主要分布在鹤庆东山及松桂、北衙一带，主要是北衙组(T₂)，岩性以灰岩、白云质灰岩为主，部分夹泥灰岩，松桂组(T₃)主要以石英砂岩、长石砂岩为主，夹粘土岩或粉砂质粘土岩；第三系碎屑沉积岩，主要分布在鹤庆东山一带；第四系主要为残坡积、冲洪积堆积物，分布于洼地、缓坡、河谷和山间盆地。区内岩浆活动较强烈，从华力西-喜山期均有活动，酸性、基性、超基性和中性岩浆岩均有出露，多沿区域长大断裂分布。本次论文研究的对象为北衙组灰岩中溶蚀作用形成的新生物质。采集样品位置见图 1 c，海拔高度 2450 m。样品为灰岩溶洞

中的鹅管石(图 2a, b)。鹅管是岩溶作用初期形成的，没有继续发育为石钟乳，说明其刚刚形成就被抬升，高于区域地下水水位了，是很好的测年对象。其年龄即反映了古岩溶作用形成鹅管到现在的时间，也正是从抬升高出岩溶顶界面之后到目前高度所经历的时间。从样品质量上看，鹅管长约 1.5 cm，表面呈土黄色，新鲜面为乳白色，适合作为碳酸岩 U 系测年的理想对象。作为对照点的蝙蝠洞，是发育在北衙组灰岩中的现代溶洞，地下河从洞中流出，说明蝙蝠洞可以作为现代岩溶作用的顶界面，其海拔高度为 2240 m，与采样位置高程差为 210 m。

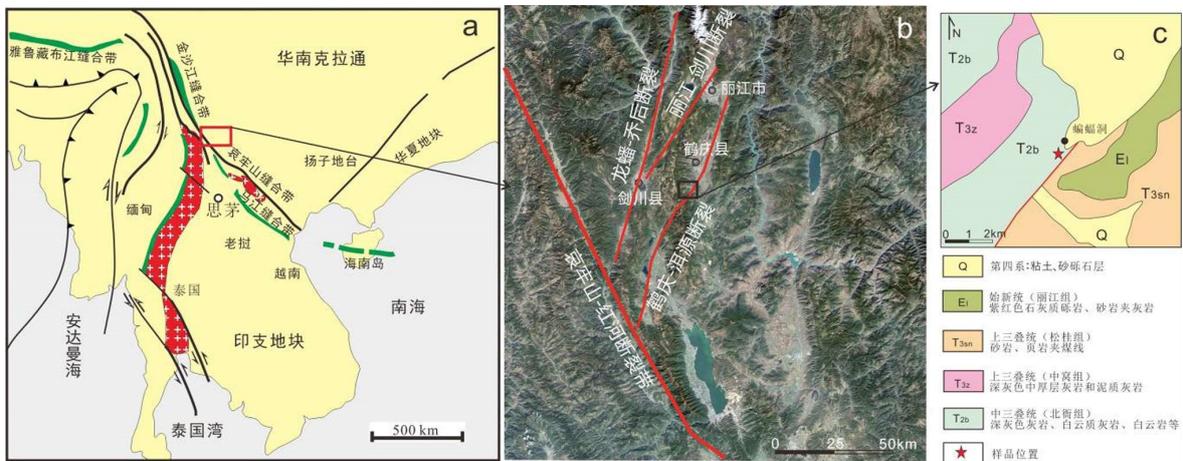


图 1 研究区区域地质构造简图

Fig.1 Regional geological tectonic map of study area



a, b 为蝙蝠洞西南侧山坡高处发育在北衙组灰岩中的溶蚀构造和鹅管石(石钟乳发育的早期形态);c 为蝙蝠洞地下河洞口,是现代岩溶的顶界面

图 2 样品采集野外照片(a,b)和蝙蝠洞地下河洞口(c)(位置见图 1c)

Fig.2 Field photos of samples(a, b)and underground river hole of Bianfudong(The location is showed in Fig.1c)

2 样品测试方法及测试结果

样品处理及测试工作在澳大利亚昆士兰大学放射性同位素重点实验室完成,采用MC-ICP-MS方法进行测试,主要方法如下:样品首先经过仔细剔选,将纯净样品颗粒置于纯水中,超声波震荡洗涤,尽可能去除碎屑物质污染。

取制备好的样品50~100 mg溶于1:1 HNO₃中,并加入²²⁹Th-²³³U示踪剂。待全部溶解后,加入数滴H₂O₂,以去除样品中可能残留的有机质,同时也确保同位素交换平衡。将样品溶于0.2 ml 7 M HNO₃,经二步阴离子交换分离纯化^[12]。将纯化后的U、Th样品溶液分别点于已涂敷石墨的单铱带上,其上用石墨再覆一层。U、Th化学分离后,将70%的Th混入一定百分比的U,并稀释到3 ml 2% HNO₃中。U的百分比取决于样品中U的含量,一般来讲,在3 ml混合液中U含量为~10 ppb或者略少为宜,这主要是依据测量U-Th溶液时屏幕上所显示的信号来判断。

U-Th混合液可通过DSN-100除溶剂(desolvation)系统,以每分钟0.12 ml进样到MC-ICP-MS,对探测器配置进行小幅度的校正后,U-Th同位素比值,依据Hellstrom^[8]等描述的分析方

法,经Nu Plasma MC-ICP-MS测量得出。每个样品测试只需要25 min,不同样品间需要经过15 min清洗,且要检测所有同位素,来确保未受到样品的影响。最后,U-Th年龄的计算由Isoplot/EX3.0 Program^[13]得出。

本次实验测试有两个结果,样品结果如表1所示,通过计算得出枯竭溶洞内的鹅管年龄为87.61~87.10 ka(图3)。

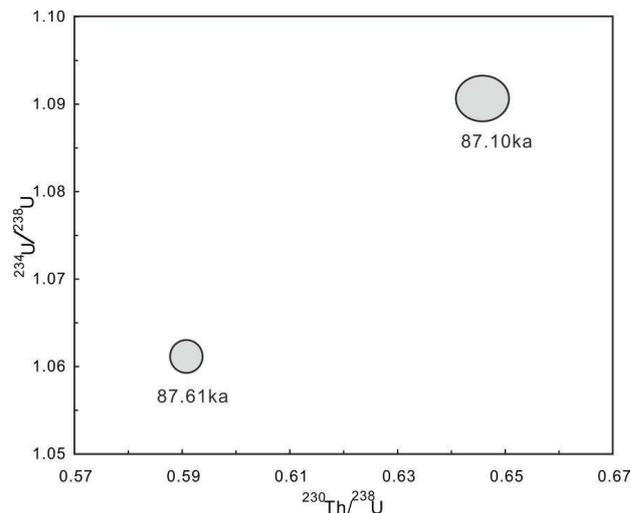


图3 碳酸岩²³⁰Th/²³⁸U vs. ²³⁴U/²³⁸U 比值图

Fig.3 ²³⁰Th/²³⁸U vs. ²³⁴U/²³⁸U graph of Carbonatite rock

表1 北衙组溶洞内鹅管U系测年结果

Table 1 U-series dating results of goose pipe in Beiya formation karst cave

样品编 号	样品重 量/(g)	U/ (ppm)	±2s	²³² Th/ (ppb)	±2s	(²³⁰ Th/ ²³² Th)	±2s	(²³⁰ Th/ ²³⁸ U)	±2s	(²³⁴ U/ ²³⁸ U)	±2s	Uncorr. Age (ka)	±2s	corr.Age (ka)	±2s	corr. Initial (²³⁴ U/ ²³⁸ U)	±2s
D17BC 06	0.087 93	0.066 548	0.000 035	22.057	0.025	5.91	0.04	0.6458	0.0040	1.0906	0.0021	96.3	1.0	87.10	4.3	1.1274	0.0069
D17BC 11	0.083 48	0.085 740	0.000 044	1.115	0.002	137.84	0.59	0.5909	0.0024	1.0610	0.0015	87.97	0.59	87.61	0.61	1.0784	0.0019

3 构造隆升速率

前人对鹤庆—洱源断裂带做过部分调查和研究,并取得了若干新资料、新认识,但是工作重点主要集中在断裂带以北的丽江盆地、鹤庆盆地以及洱源盆地^[10,14-17],而对断裂带中部连接鹤庆和洱源盆地的基岩山区,由于地形起伏较大,第四纪地层覆盖面积较小,整体研究程度较低。

前人在滇西北地区进行过多方面构造隆升速率计算,王凯元等^[18]计算得出玉龙雪山地区上更新

世—更新世初期的构造隆升速率为0.3 mm/a,晚更新世以来为1.7 mm/a,现代>4 mm/a;冉康勇等^[5]对剑川南部计算得出更新世以来为0.83 mm/a;李峰和薛传东^[4]认为第四纪以来,滇西北地壳活动增强,山脉的构造隆升速率从全新世以前的0.3~1.7 mm/a变为全新世以来的2~7.1 mm/a,构造变形速度加快,地震活动强度加剧。与青藏高原构造隆升变化趋势相同,但是后者速率更快,这可能与更靠近板块最后碰撞带有关^[4,19]。

本文选取的北衙组地层中干涸溶洞内上层盖

板产生的鹅管,其年代学代表了地层构造隆升的初始年龄,也就是由于构造隆升所导致的地下水被错断而使得鹅管没有继续发育形成石笋。碳酸盐 U 系测年法确定其形成时代为 87.61~87.10 ka,并且现今溶洞地下水出口的海拔高程为 2240 m,取样的干涸溶洞海拔高程 2450 m,也就是说北衙组 8 万年时间内抬升高度约 210 m,因此得出其抬升速率约 2.40~2.41 mm/a。

北衙组地层的迅速抬升,反映了滇西北地区作为青藏高原东南扩展前缘的地球动力学过程,可能与青藏高原下地壳物质向滇西流动汇聚有关。综合区域第四纪地壳运动和现代地震活动发展趋势认为,未来该区内断裂活动、地壳隆升、变形、地应力积聚等会加快,导致地震频度和强度增加,区域稳定性因此越来越低,在这种情况下,对城市规划、国家重大工程建设等就必须充分考虑这一地质背景因素。该抬升速率的准确计算,为滇西地区国家重大工程建设的设防抗震提供了可靠的数据支撑。

4 结语

(1)碳酸岩 U 系测年技术能够快速、准确确定发育在北衙组溶洞内鹅管的生长结束年龄,时间为 87.61~87.10 ka。

(2)计算获得第四纪以来滇西北地区北衙组地层抬升速率约 2.40~2.41 mm/a,该区断裂活动、地壳隆升、地应力积聚加快,导致地震频度和强度增加。

(3)北衙组地层的迅速抬升,反映了滇西北地区作为青藏高原东南扩展前缘的地球动力学过程,可能与青藏高原下地壳物质向滇西流动汇聚有关。

参考文献:

- [1] 沈晓明,李德文,孙昌斌,等. 鹤庆—洱源断裂带中段晚更新世以来的走滑活动[J]. 大地构造与成矿学,2016,40(1):29-37.
- [2] Wang E, Burchfiel B, H. Royden L, et al. Late Cenozoic Xianshuihe—Xiaojiang, Red River, and Dali fault systems of southwestern Sichuan and central Yunnan, China [M]. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 327, 1998.
- [3] 杨尖絮,尹宏伟,张震,等. 滇西兰坪—思茅盆地成钾地质条件分析[J]. 大地构造与成矿学,2013,37(04):633-640.
- [4] 李峰,薛传东. 滇西北新生代以来地球动力学背景及其环境影响[J]. 大地构造与成矿学,1999,23(02):16-23.
- [5] 冉勇康,李祥根,魏顺民. 大理—丽江地区一些第四纪构造运动现象及认识. 见:现代地壳运动(5)[M]. 北京:地震出版社,1991.
- [6] Luo X, Rehner M, Lee D C, et al. High precision $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ measurements using energy filtered ion magnetic sector multiple collector mass spectrometry[J]. International Journal of Mass Spectrometry & Ion Processes, 1997, 171:105-117.
- [7] Goldstein S J. Techniques for measuring uranium-series nuclides:1992-2002 [J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, 52(1):23-57.
- [8] Hellstrom J. Rapid and accurate U/Th dating using parallel ion counting multi-collector ICP-MS [J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2003, 18(11):1346-1351.
- [9] 程海. 铀系年代学新进展——ICP-MS ^{230}Th 测年[J]. 第四纪研究,2002,22(3):292.
- [10] 韩竹军,向宏发,魏顺民. 滇西北丽江盆地北部区第四纪时期的左旋剪切拉张[J]. 科学通报,2005(04):356-362.
- [11] Shen J, Wang S M, Wang Y, et al. Uplift events of the Qinghai-Tibetan Plateau and environmental evolution of the southwest monsoon since 2.7Ma, recorded in a long lake sediment core from Heqing, China [J]. Quaternary International, 2010, 218(1):67-73.
- [12] Edwards R L, Chen J H, Ku T L, et al. Precise Timing of the last interglacial period from mass spectrometric determination of thorium-230 in corals [J]. Science, 1987, 236(4808):1547-1553.
- [13] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley, CA: Special Publication No. 4a. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, CA., 2003.
- [14] 王晋南. 鹤庆—洱源断裂带 [M]// 国家地震局地质研究所, 云南省地震局. 滇西北地区活动断裂. 北京:地震出版社, 1990.
- [15] 林爱文. 滇西洱源地区断裂构造及其新活动特征研究 [J]. 测绘信息与工程, 1997, 22(02):14-18.
- [16] 魏永明, 魏显虎, 李德文, 等. 滇西北地区鹤庆—洱源断裂带遥感影像特征及活动性分析 [J]. 第四纪研究, 2017, 37(2):234-249.
- [17] 皇甫岗, 王晋南. 滇西北地区断层破碎带宽度与断层错距的统计关系 [J]. 地震研究, 1993, 16(04):384-390.
- [18] 王铠元, 孙克祥, 段彦学. 滇西地区新构造运动几个问题的探讨 [C]//“三江”专著编辑委员会. 青藏高原地质论文集(12). 北京:地质出版社, 1983.
- [19] 张人权, 梁杏, 杨巍然, 等. 中国大陆第四纪以来构造活动加剧及其环境影响 [J]. 水文地质工程地质, 1998, 42(05):1-6.