

鄂西黄陵穹窿三斗坪地区新生代隆升特征研究

向芳¹⁾, 李志宏¹⁾, 王成善²⁾, 朱利东¹⁾, 刘顺³⁾

1) 成都理工大学沉积地质研究院, 成都, 610059; 2) 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京, 100083; 3) 成都理工大学地球科学学院, 成都, 610059

内容提要:位于湖北省西部的黄陵穹窿具有基底加盖层双层结构,其暴露的基底主要以黄陵花岗岩为代表。该穹窿对长江三峡的形成演化、四川—江汉盆地一带构造格局的形成,以及三峡大坝的安全性等方面均具有重要控制和影响作用。本文通过对黄陵花岗岩的裂变径迹特征分析,结合夷平面分析和野外实测阶地地貌数据,获得了黄陵穹窿自65Ma以来的隆升速率、隆升高度等方面的数据:①65~7Ma,隆升速率为24.6~7.4m/Ma,隆升高度为1426.8~429.2m;②7Ma至今,平均隆升速率为204.1m/Ma,隆升高度为1428.7m。其中7~0.73Ma,隆升速率由0.009~0.013m/ka增加至0.293~0.387m/ka;而0.73~0.01Ma以来隆升速率由0.058m/ka增加为1.033m/ka,平均隆升速率为0.134m/ka,显示出隆升早期较慢,后期加快的趋势。65Ma以来,总的剥蚀厚度至少为2455.5~1457.9m,其中7Ma以来剥蚀的厚度为1028.7m,剥蚀速率为0.147mm/a。研究结果表明,该区的隆升历史,与青藏高原的形成演化密切相关,同时约束了长江三峡的形成时间和过程,证实了三峡是一年轻的河谷;该区隆升所引发的地表活动也可能会对三峡大坝产生一定的影响。

关键词: 黄陵穹窿; 新生代; 隆升特征; 三峡贯通; 隆升原因

具有基底加盖层双层结构的黄陵穹窿,习惯上称为黄陵背斜,位于湖北省西部,地质构造属扬子准地台滇黔川鄂台褶带上的次一级隆起,是淮阳山字型西翼反射弧砥柱与新华夏系第三隆起带(鄂西隆起带)的复合部位(熊成云等,2004)。已有的研究认为(唐贵志,2001),黄陵穹窿对于四川盆地—江汉盆地一带构造格局的形成具有重要的控制作用,而以穹窿为核心的黄陵旋卷构造体系也是新构造运动活跃的地区。黄陵穹窿也被认为可能是分隔长江三峡东西两支的分水岭(李四光,1924;叶良辅等,1925;李承三,1956),因此是长江三峡形成演化历史研究中一个重要的内容,也是三峡峡谷性质判断的一个重要指标。此外,举世瞩目的长江三峡大坝位于黄陵穹窿的核部位置,对黄陵穹窿新生代以来隆升历史的研究将对三峡大坝安全性的判定提供重要信息。

然而对于黄陵穹窿新生代以来隆升历史的研究资料非常有限,仅见张丽萍(2003)对其作过风化速率的研究,以及胡圣标等(2005)对秦岭—大别—苏鲁造山带白垩纪以来的隆升冷却史研究中涉及到该

区域。因此本文通过对黄陵穹窿核部三斗坪地区裂变径迹样品的分析,以及地貌学的特征对穹窿核部三斗坪地区新生代以来的隆升历史进行详细研究,从而为以上理论和实际问题的解决提供重要数据。

1 地质背景及样品采集

位于湖北省西部的黄陵穹窿南北长约75km,东西宽近36km,是长宽比为2:1的长垣形穹窿。基底由晚太古代—早元古代崆岭群、前晋宁期基性—超基性岩体和晋宁期黄陵花岗岩岩基为主的大量酸性岩浆侵入体构成(陈明是等,1998)(图1)。盖层包括震旦系—中侏罗统,围绕基底依由老至新顺序向外呈环形分布。黄陵穹窿的演化经历了地槽(前南华纪)、准地台(Nh-T₂)、陆缘活化(T₃-Q)三大构造演化阶段,可以划分出前吕梁(Ar)、吕梁(Pt₁)、扬子(Pt₂₋₃)、澄江—印支(Nh-T)、燕山—喜马拉雅(J-Q)等构造旋回(熊成云等,2004)。由于晋宁造山运动,基底在新元古代抬升遭受风化剥蚀,之后震旦系南沱组—三叠系地层覆盖在基底之上,各组间均呈整合或假整合接触,反映自震旦纪—三叠

注:本文为国家自然科学基金项目(编号40602011)资助的成果。

收稿日期:2008-07-15;改回日期:2009-02-20;责任编辑:郝梓国。

作者简介:向芳,女,1974年生。博士,副教授。主要从事沉积学及第四纪地质学与地貌学研究。Email:xiangf@cdut.edu.cn。

纪该区持续发生频繁的升降运动(江麟生等,2002)。白垩纪以来,该区的抬升冷却过程表现为三阶段:100~80Ma 之前的快速抬升阶段;80~20Ma 之间的缓慢抬升期,以及上新世(20~10Ma)以来的加速抬升阶段(胡圣标等,2005)。

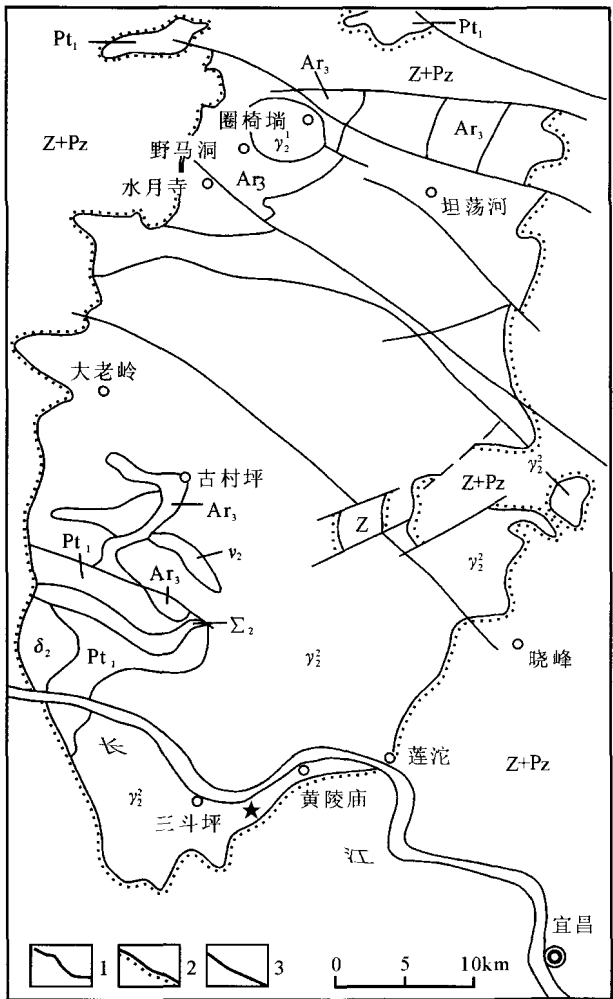


图 1 黄陵穹隆位置及主要出露岩性
(根据马大铨等,1997)

Fig. 1 location and main rock types of Huangling Dome (From Ma Daquan et al. , 1997)

Ar₃—基底片麻岩;Pt—表壳岩;Σ₂—橄辉岩;v₂—辉长岩;δ₂—闪长岩;γ₂¹—圈椅墙花岗岩;γ₂²—黄陵花岗岩;Z-Pz—震旦系及古生界;1—地质界线;2—不整合;3—断层;★—采样位置
Ar₃—Basal gneiss;Pt—superficial rocks;Σ₂—peridotite;v₂—gabbro;δ₂—diorite;γ₂¹—Quanyitang granite;γ₂²—Huangling granite;Z-Pz—Sinian and Paleozoic strata;1—geological borderline;2—unconformity;3—fault;★—sample location

通过对三斗坪一带出露的黄陵花岗岩进行野外实地测量发现,该花岗岩在长江两岸形成明显的阶梯状地貌,在长江的右岸可以识别出 6 级基座阶地,

长江的左岸可以明显识别出 5 级阶地。对长江右岸的各级阶地利用 GPS 实测的海拔高程见表 1。同时,在该区可以识别出 3 级夷平面,根据区域地质资料及前人的研究资料(谢明等,1996;田陵君等,1996),三级夷平面分别为鄂西期、山原期以及云梦期夷平面,其海拔高程分别为:1500~2000m、800~1000m、500~600m。

在长江右岸黄陵花岗岩分布区海拔高度 92m (对应于第 1 级阶地)和 270m 处采集花岗岩样品(采样位置见图 1),用于裂变径迹分析。

表 1 三斗坪地区的阶地特征

Table 1 Character of terraces in Shandouping area

阶地级数	海拔高程 (m)	阶地性质
T6	226	黄陵花岗岩为基底,基座阶地
T5	186	黄陵花岗岩为基底,基座阶地
T4	168	黄陵花岗岩为基底,基座阶地
T3	148	黄陵花岗岩为基底,基座阶地
T2	123	黄陵花岗岩为基底,基座阶地
T1	92	黄陵花岗岩为基底,基座阶地

2 研究方法 及 结果讨论

2.1 裂变径迹测试及结果讨论

裂变径迹技术从 20 世纪 80 年代末以来就在地质研究中得到较广泛的应用。利用矿物的裂变径迹来恢复隆升和剥蚀量、计算平均隆升速率是大地构造学研究中常用和较为成熟的方法。由于磷灰石相对于其它常用的测试矿物(如锆石、榍石)其裂变径迹的封闭温度较低,为 70~120℃(丁林,1997),因而广泛用于晚近地质时期的冷却隆升史的研究中(王军,1997)。

野外采得的花岗岩裂变径迹样品经常规重矿物分离流程处理,在显微镜下挑选磷灰石颗粒后,送中国科学院高能物理研究所测试。具体测试结果见表 2。

从表 2 测试数据可知,两个样品的表观年龄分别为 42、59Ma,按采样高程计算,则 59~42Ma 期间的隆升速率为 10.47m/Ma。由于磷灰石的裂变径迹表观年龄实际上代表的是岩体进入到有效封闭温度(100℃)区间至今的年龄,同时岩体隆升过程可以有不同的方式,因此上述年龄数据不能准确表明黄陵穹隆结晶基底开始隆升的具体时间以及隆升的详细过程。

表 2 黄陵花岗岩中磷灰石裂变径迹测试结果
Table 2 Fission-track data of apatite in Huangling Dome

采样高度 (m)	样品号	颗粒数 (n)	$\rho_s(10^5/\text{cm})$ (Ns)	$\rho_i(10^5/\text{cm})$ (Ni)	$\rho_d(10^5/\text{cm})$ (N)	P(%)	Central 年龄(Ma) ($\pm 1\sigma$)	Pooled 年龄(Ma) ($\pm 1\sigma$)	长度 (μm) (N)
92	062	21	1.920 (663)	15.224 (5258)	17.823 (9430)	87.7	42 ± 3	42 ± 3	12.0 ± 1.8 (110)
270	068	21	2.641 (747)	14.916 (4219)	17.749 (9430)	97.7	59 ± 4	59 ± 4	12.3 ± 1.5 (109)

事实上,由于温度-时间对裂变径迹的作用除直接体现在表观年龄上外,更多更详细的信息是被累积径迹的长度所记录(陈文寄等,1999)。通过测试所得样品的裂变径迹长度数据,发现两个样品的径迹长度分布均为略微偏斜的单峰式,径迹的均值为12 μm 左右(图 2、3),反映岩体具有缓慢通过退火带,冷却较慢的特征(Gleadow et al., 1986),同时具有较简单的隆升历史。为了获得更详细的隆升数据,利用最新开发的 AFTsolve 模拟软件(Ketcham et al., 2000)对径迹长度数据进行样品的时间—温度拟合,结果见图 2、3。

拟合结果表明:在 65Ma 以前,两个样品所在位置均处于完全或部分退火带中。65~7Ma 之间,样品处于部分退火带中(PAZ, 60~120 $^{\circ}\text{C}$),同时显示岩体处于缓慢隆升状态,068 样品的冷却速率为 0.259 $^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$,062 样品的冷却速率为 0.862 $^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$ 。

取地温梯度 35 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (王钧等,1990),则隆升速率(地温梯度/冷却速率)约为 24.6~7.4m/Ma。岩体的快速隆升开始于 7Ma 左右,冷却速率为 7.143 $^{\circ}\text{C}/\text{Ma}$,隆升速率为 204.1m/Ma。同时,这种快速隆升的状态一直持续至今。从 65Ma 开始,黄陵花岗岩的隆升幅度(隆升速率 \times 时间)为:① 65~7Ma, 1426.8~429.2m;② 7Ma 至今,1428.7m。总的隆升高度为:2855.5~1857.9m。

从两个样品模拟的结果来看,068 样品的高程高于 062 样品,反映在模拟结果中前者先进入部分退火带中,并对 65Ma 以前的快速隆升有所反映。在 65~7Ma 之间,虽然两个样品的时间—温度历史有所差异,但均反映了样品处于部分退火带中,同时隆升速率较小。7Ma 以后,两个样品的快速隆升历史基本相同。与胡圣标等(2005)给出的 80~100Ma 快速抬升阶段、80~20Ma 缓慢抬升期、20~

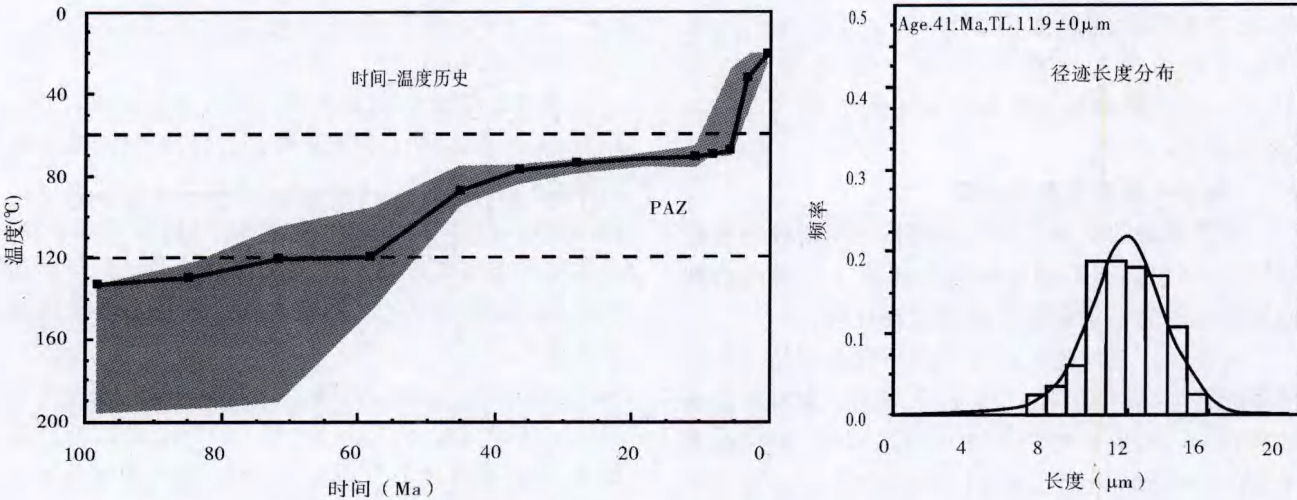


图 2 062 样品的裂变径迹长度分布特征及时间—温度拟合曲线(其中黑实线代表模拟所得的“真实”时间—温度曲线,灰色区域为统计意义上的置信范围。PAZ-部分退火带)
Fig. 2 Fission-track length distribution character and fitting curve of time and temperature of apatite sample 062
(The solid line marks the “true” time-temperature path from which simulated data were derived. Gray regions bound envelopes for statistically good fits. PAZ-partial annealing zone)

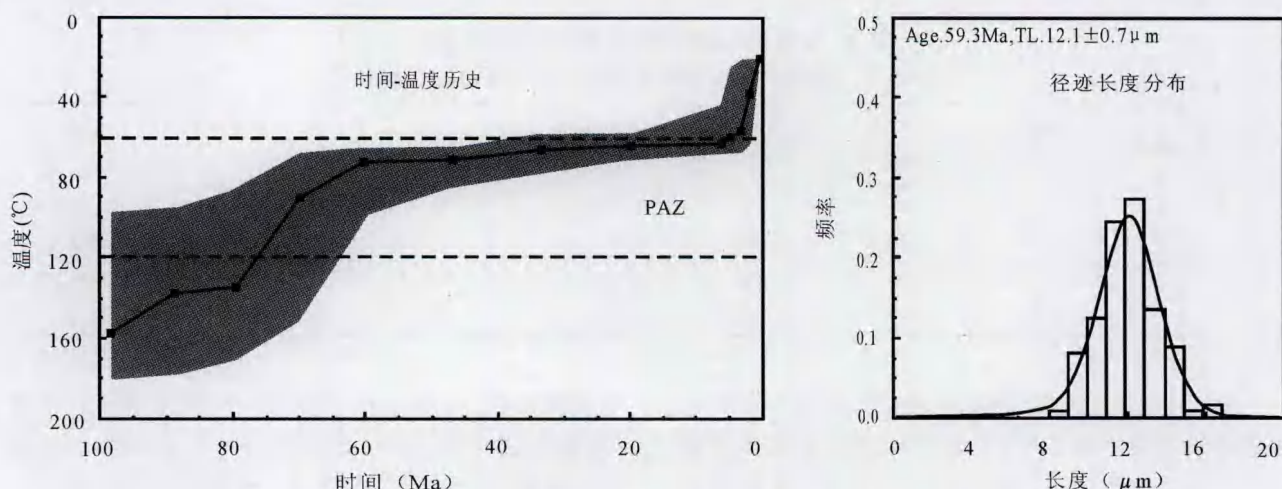


图3 068样品的裂变径迹长度分布特征及时间-温度拟合曲线(其中黑实线代表模拟所得的“真实”时间-温度曲线,灰色区域为统计意义上的置信范围。PAZ-部分退火带)

Fig. 3 Fission-track length distribution character and fitting curve of time and temperature of apatite sample 068 (The solid line marks the “true” time-temperature path from which simulated data were derived. Gray regions bound envelopes for statistically good fits. PAZ-partial annealing zone)

10Ma 以来的加速抬升阶段结论相比,有一定的相似性,但在时间段划分上存在差异。

根据区域地质资料(湖北省地质局,1972)可知,采样点所在位置黄陵花岗岩最大高度为 400m 左右,同时已有的研究发现(长江流域水土保持综合考察队,1986)黄陵花岗岩分布区为中度侵蚀区,因此现今高度应该为长期剥蚀作用形成的残余高度。结合以上裂变径迹获得的隆升高度数据,则 65Ma 以来,至少总的剥蚀厚度为 2455.5~1457.9m,其中 7Ma 以来剥蚀的厚度为 1028.7m,剥蚀速率为 0.147mm/a,该剥蚀速率远远大于前人研究的结果(张丽萍等,2003)。

2.2 地貌中隆升信息的提取

裂变径迹的结果反映的是较长时间段较为粗略的特征,而包括夷平面和河流阶地等在内的地貌则能显示出较为精细的新近构造运动性质。

对于长江三峡地区的夷平面研究最早始于叶良辅等的研究(叶良辅等,1925),众多的学者对夷平面的高程、分期、形成时间等方面做过讨论,但是在夷平面的形成时间上难以给出一致的结论。由于夷平面形成时期一般对应于构造相对平静阶段(任雪梅等,2003),而构造活动的强弱变化在相关的盆地中会有所记录(Burbank et al., 1992),因此通过对邻近黄陵穹隆西侧的江汉盆地西缘白垩纪以来沉积特征的研究(向芳,2004)认为:早白垩一晚白垩早中期断陷盆地发育、以近缘粗颗粒沉积为主所代表的构

造活动期之后的湖相细粒沉积阶段对应了鄂西期夷平作用的开始;经过晚始新世—中新世的沉积间断,上新世开始的沉积反映了山原期夷平作用的开始;而早更新世宜昌地区广泛分布的富含花岗岩砾石的扇状沉积物之上的湖相沉积对应于云梦期夷平作用的开始。根据国际地层委员会 2004 年提供的地质年代表,三期夷平作用开始的时间分别为:85Ma、5.3Ma、1.8Ma。由此可以计算出 85~5.3Ma 和 5.3~1.8Ma 期间的隆升速率分别为:0.009~0.013m/ka、0.086~0.114m/ka。

通过已有的研究(杨达源,1988;田陵君等,1996;Li Jijun et al., 2001;韩志勇等,2006)发现,三峡一线的阶地一般不会超过 6 级,而由贯通长江形成的可以确定和进行对比的阶地一般为 5 级(向芳等,2005),各级阶地的形成年龄见表 3,因此根据阶地的年龄和高程可以计算 0.73Ma 以来黄陵穹隆三斗坪地区的隆升速率:0.73~0.3Ma,0.058m/ka;0.3~0.09Ma,0.067m/ka;0.09~0.03Ma,0.417m/ka;0.03~0.01Ma,1.033m/ka。从 0.73Ma 至 0.01Ma,总的隆升高度为 94m,隆升速率为 0.134m/ka。隆升速率显示出早期隆升较慢,后期隆升速率有加快的趋势。

结合夷平面的资料,可以获得 85Ma 以来该区的隆升信息(表 3):85~0.73Ma,隆升速率不断加快,在云梦期夷平面和最老一级阶地形成期间隆升速率出现高值;0.73 以来,又出现隆升速率由慢变快的趋势。

表 3 三斗坪地区夷平面和阶地的形成年龄及反映的隆升速率

Table 3 Formation time and uplift velocity from terraces and planation surfaces in Sandouping area

夷平面/阶地分期	形成年龄(Ma)*	定年方法*	时间段(Ma)	隆升速率(m/ka)
鄂西期夷平面	85	相关沉积推断		
山原期夷平面	5.3	相关沉积推断	85~5.3	0.009~0.013
云梦期夷平面	1.8	相关沉积推断	5.3~1.8	0.086~0.114
T5	0.7~0.73	ESR 及古地磁年龄限定	1.8~0.73	0.293~0.387
T4	0.3~0.5	ESR 及古地磁年龄限定	0.73~0.3	0.058
T3	0.09~0.11	ESR 及 TL	0.3~0.09	0.067
T2	0.03~0.05	ESR、TL 及 U 系法	0.09~0.03	0.417
T1	0.01	¹⁴ C	0.03~0.01	1.033

* 测试方法和年龄数据为作者研究及前人研究成果的综合。

3 相关问题讨论

3.1 与三峡形成演化的关系

采样点所在的位置处于黄陵穹隆的南翼部位,根据宜昌幅(1:20万)区域地质资料(湖北省地质局,1972),穹隆的沉积盖层最新的地层为中侏罗统,而早白垩统石门组不整合覆盖在沉积盖层之上,因此穹隆三叠纪以后的隆升应开始于中侏罗世一早白垩世之间。穹隆东翼及南、北两端盖层的地层倾角常为10~15°;西翼较陡,倾角大于30°,因此穹隆最高点处在没有剥蚀以前的隆升时间和隆升高度应该大于采样点的时间和高度,能够形成的山脉的高度应该大于样品计算所得的隆升高度,2855.5m。前人的研究(张丽萍等,2003)认为,黄陵穹隆结晶岩遭受风化以前形成的原始山顶面的高度最高可以达到3400m左右,该高度可以和大河体系的分水岭相匹配。裂变径迹数据表明,黄陵穹隆的主要隆升集中于7Ma以来,因此分水岭应主要在7Ma以后形成,其形成的时间限制了长江三峡贯通的时间至少在中新世以后。同时,7Ma以来黄陵穹隆的快速隆升也有利于河流的溯源侵蚀和袭夺作用的产生,对三峡的形成和长江的贯通有重要贡献。通过夷平面和阶地计算数据表明,云梦期夷平面和最老一级阶地形成期间(1.8~0.73Ma)隆升速率出现高值,应对应快速隆升造成的三峡贯通,这一结果与沉积相分析、砾石物源分析、重矿物组合特征分析的结果是吻合的(Xiang et al., 2007;向芳等,2006)

3.2 与三峡库区其它构造活动的关系

陈永成(2000)通过对长江三峡地区(巴东—宜昌段)野外地质调查获得的实际资料研究,认为地下深处与地球物理异常带相对应的基底断裂已切穿中、新生代沉积盖层、在地表形成一组北西向西向断裂带,现代地震活动与这组断裂带有密切的关系。邓

清禄等(2000)通过对三峡库区的断层同位素年龄的统计发现,在0.08~0.78Ma之间,断裂的活跃期从老到新活动有变频繁的趋势,与阶地间歇期的缩短趋势相一致;通过对古滑坡年龄测定数据的总结,发现在0.05~0.41Ma内,滑坡主要发生在三个阶段:0.05~0.17Ma、0.27~0.31Ma、0.37~0.41Ma,从早到晚各滑坡阶段有滑坡数增加、延续时间增长的趋势,三峡库区滑坡发育的这种趋势与本区地壳上升速率的递增趋势相吻合,并且是受其控制的。

本文的研究结果所显示的隆升速率的变化表明,7Ma以来,特别是0.73Ma以来,黄陵穹隆地区具有活动性增强的趋势,这一研究结果与前人的研究结论相吻合,也证实了前人(唐贵志,2001)认为黄陵穹隆是新构造运动活跃地区这种结论,同时,活动性增强的趋势也是导致本区断裂活动、滑坡活动不断增强的原因。

3.3 隆升原因讨论

周彬等(2006)对长江三峡河段的研究认为,0.4Ma以来,长江三峡河段的下切速率有越来越快的趋势,而河流下切的加剧主要是由构造隆升引起。这一结果与本文的研究相吻合,同时也表明,该时间段中构造隆升在整个三峡河段均存在,长江三峡地区在新构造运动中存在着大面积整体抬升的特点(杨达源等,2002),因此隆升的原因必然与大的区域构造运动相联系。

蒋复初等(1998)通过对青藏高原东南部地貌边界带晚新生代构造运动的研究,认为本区存在五次区域性构造运动,分别发生于距今6.5、3.4、2.5、1.2和0.4Ma左右。中新世末期(约6.5Ma前)的强烈构造运动,使青藏地区周边的山岭断块上升,喜马拉雅山与昆仑山边界构造轮廓形成,产生于7Ma的黄陵穹隆快速隆升事件可能就与该构造运动相关。而发生在之后其它时间段的构造运动在黄陵穹

隆区也有相对应的记录。

发生于早更新世晚期(1.6~1.0Ma)的构造运动,被认为是中国大陆一次十分强烈的构造运动(李长安等,1999),这一运动在黄陵穹隆区可能就是黄陵分水岭被切开、长江三峡贯通的时间。

1.2Ma以来青藏高原整体隆升,环绕高原边界的区域发生同步差异运动,现代水系深切,河流溯源侵蚀,长江贯通东流入海(吴锡浩,1989),这些由青藏高原构造活动造成的影响,在本研究区对应了各级阶地的形成。

4 结论

通过对黄陵穹隆核部花岗岩的裂变径迹测试结果,结合夷平面和长江在此形成的基座阶地的高度特征,可以获得黄陵穹隆在新生代以来隆升速率、高度和剥蚀速率等方面的信息。研究表明,黄陵穹隆的快速隆升开始于7Ma左右,隆升速率为204.1m/Ma,隆升幅度在65~7Ma为1426.8~429.2m,在7Ma至今为1428.7m。总的隆升高度为2855.5~1857.9m。65Ma以来,总的剥蚀厚度为2455.5m~1457.9m,其中7Ma以来剥蚀的厚度为1028.7m,剥蚀速率为0.147mm/a。7Ma以来,隆升速率的变化出现两个阶段:7~0.73Ma,隆升速率逐渐增加,由0.009~0.013m/ka增加至0.293~0.387m/ka;0.73Ma以来,黄陵穹隆的隆升速率从0.058m/ka增加为1.033m/ka,又显示出隆升速率不断加快的趋势。

黄陵穹隆的隆升历史与青藏高原的形成演化密切相关,受青藏高原形成过程中的系列构造运动影响。穹隆的隆升历史约束了长江三峡形成的时间,证实了三峡的贯通是非常新近发生的事件,同时也为三峡的贯通机制提供了相应的构造解释。而三峡贯通以后大河水系流经于此,也为该区较强剥蚀作用的产生创造了条件。另一方面,黄陵穹隆区第四纪的活动可能会对位于穹隆核部三斗坪部位的三峡大坝坝基产生一定的影响。

参 考 文 献

- 长江流域水土保持综合考察队. 1986. 长江流域土壤侵蚀区划报告. 中国科学院西北水土保持研究所集刊, (4): 1~92.
- 陈明是, 张树淮. 1998. 长江三峡地区弧形对突构造特征及其形成机制. 华南地质与矿产, 1: 47~55.
- 陈文奇, 计凤桔, 王非主编. 1999. 年轻地质体系的年代测定(续)——新方法、新进展. 北京: 地震出版社, 81~84.
- 陈永成. 2000. 长江三峡地区地球物理异常带的地表地质特征. 华南地震, 20(1): 61~65.
- 邓清禄, 王学平. 2000. 长江三峡库区滑坡与构造活动的关系. 工程地质学报, 8(2): 136~141.
- 丁林. 1997. 裂变径迹定年方法的进展及应用. 第四纪研究, 3: 272~280.
- 韩志勇, 李徐生, 任雪梅, 胥勤勉, 杨达源. 2006. 三峡库区长江阶地冲积物的年代测定. 地理学报, 61(11): 1200~1207.
- 胡圣标, 郝杰, 付明系, 吴维平, 汪集旻. 2005. 秦岭—大别—苏鲁造山带白垩纪以来的抬升冷却史——低温年代学数据约束. 岩石学报, 21(4): 1167~1173.
- 湖北省地质局. 1972. 中华人民共和国区域地质调查报告宜昌幅(1:20万)(地质图). 地质出版社.
- 江麟生, 陈铁龙, 周忠友. 2002. 黄陵地区的几个主要基础地质问题. 湖北地矿, 16(1): 8~13.
- 蒋复初, 吴锡浩. 1998. 青藏高原东南部地貌边界带晚新生代构造运动. 成都理工学院学报, 25(2): 162~168.
- 李长安, 张玉芬. 1999. 一次重要的第四纪构造运动及其环境效应. 地质科技情报, 18(4): 42~46.
- 李承三. 1956. 长江发育史. 人民长江, (12): 3~6.
- 李四光. 1924. 峡东地质及长江之历史. 中国地质学会志, 3(3-4): 351~391.
- 马大铨, 李志昌, 肖志发. 1997. 鄂西崆岭杂岩的组成、时代及地质演化. 地球学报, 18(3): 233~241.
- 任雪梅, 陈忠, 罗丽霞, 周心琴, 王建力. 2003. 夷平面研究综述. 地理科学, 23(1): 107~111.
- 唐贵志编著. 2001. 长江三峡地区新构造、地质灾害和第四纪冰川作用与三峡形成图集. 湖北科学技术出版社, 31~77.
- 田陵君, 李平忠, 罗雁. 1996. 长江三峡河谷发育史. 成都: 西南交通大学出版社, 16~29.
- 王军. 1997. 利用磷灰石裂变径迹计算隆升速率的一些问题. 地质科技情报, 16(1): 97~102.
- 王钧, 黄尚瑶, 黄歌山. 1990. 中国地温分布的基本特征. 北京: 地震出版社, 30~38.
- 吴锡浩. 1989. 青藏高原东南部地貌边界与金沙江水系发育. 山地研究, 7(2): 75~84.
- 向芳, 王成善, 朱利东, 李国忠, 李永昭, 姜平. 2006. 宜昌地区第四纪沉积物重矿物特征及其与三峡贯通的关系. 成都理工大学学报(自然科学版), 33(2): 117~121.
- 向芳, 朱利东, 王成善, 李永昭, 杨文光. 2005. 长江三峡阶地的年代对比法及其意义. 成都理工大学学报(自然科学版), 32(2): 162~166.
- 向芳, 朱利东, 王成善, 杨文光. 2006. 宜昌地区第四纪沉积物中玄武岩砾石特征及其与长江三峡贯通的关系. 地球科学与环境学报, 28(2): 6~10.
- 向芳. 2004. 长江三峡的贯通与江汉盆地西缘及邻区的沉积响应. 博士论文.
- 谢明. 1990. 长江三峡地区第四纪以来新构造上升速度和形式. 第四纪研究, 3: 308~315.
- 熊成云, 韦昌山, 金光富, 谭文清, 李文美. 2004. 鄂西黄陵背斜地区前南华纪古构造格架及主要地质事件. 地质力学学报, 10(2): 97~112.
- 杨达源, 李徐生, 柯贤坤, 周旅复, 陈德基, 杨天民, 薛果夫. 2002. 长江三峡坝区河谷深槽的地貌特征及其成因. 地理学报, 57(5): 547~552.
- 杨达源. 长江三峡的起源与演变. 1988. 南京大学学报(自然科学版), 24(3): 466~473.
- 叶良辅, 谢家荣. 1925. 扬子江流域巫山以下地质构造与地文发育史. 地质汇报, 7: 22~30.
- 张丽萍, 杨达源, 朱大奎. 2003. 长江三峡黄陵背斜地质时期结

- 晶岩风化剥蚀速率研究. 中国科学(D辑), 33(1):81~88.
- 周彬, 杨达源, 韩志勇, 李徐生, 王鹏, 葛兆帅. 2006. 长江三峡河段下切速率研究. 第四纪研究, 26(3): 406~412.
- Burbank D W. Causes of recent Himalayan uplift Deduced from deposit patterns in the Ganges Basin. *Nature*, 1992, 357(25): 680~682.
- Chen Mingshi, Zhang Shuhuai. 1998. Characteristics and forming mechanism of opposite protruding arcuate structural zones in the Three Gorges area of the Yangtze River, South China. *Geology and Mineral Resources of South China*, 1: 47~55.
- Chen Wenji, Ji Fengju, Wang Fei. 1999. Dating of youth geological system (additional)—new method and progress. Beijing: Seism Press, 81~84.
- Cheng Yongcheng. 2000. Features of surface geology of geophysical anomaly zone in the Yangtze River Three Gorges region. *South China Journal Seismology*, 20(1): 61~65.
- Deng Qinglu, Wang Xueping. 2000. Relationship between Neotectonism and Landslides in reservoir area of Three-Gorges Project on Yangtze River. *Journal of Engineering Geology*, 8(2): 136~141.
- Ding Lin. 1997. Advance of fission-track analysis method and its application. *Quaternary Sciences*, 3: 272~280.
- Gleadow A J W, Duddy I R, Green F F. 1986. Confined fission track length in the apatite: a diagnostic tool for thermal history analysis. *Contrib. Mineral petrol*, 94: 405~415.
- Han Zhiyong, Li Xusheng, Ren Xuemei, Xu Qinmian, Yang Dayuan. 2005. Dating of River Terraces in the Three Gorges Reservoir Area. *Acta Geographica Sinica*, 61(11):1200~1207.
- Hu ShengBiao, Hao Jie, Fu MingXi, Wu WeiPing, Wang JiYang. 2005. Cenozoic denudation and cooling history of Qinling-Dabie-Sulu orogens: apatite fission track thermochronology constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 21(4):1167~1173.
- Integrated Survey Group of water and soil conservation in Yangtze drainage. 1986. Zoning report of soil denudation in Yangtze drainage area. Article collections of Institute of Northwest water and soil conservation of Chinese Academy of Science, (4): 1~92.
- Jiang Fuchu, Wu Xihao. 1998. Late Cenozoic Tectonic movement in geomorphologic boundary belt of Southeastern Qinghai-Xizang Plateau. *Journal of Chengdu University of Technology*, 25(2): 162~168.
- Jiang Linsheng, Chen Teilong, Zhou Zhongyou. 2002. Several principal geological problems in Huangling. *Hubei Geology & Mineral Resources*, 16(1): 8~13.
- Ketcham R A, Donelick R A, Donelick M B. 2000. AFTSolve: A program for multi-kinetic modeling of apatite fission-track data. *Geological Materials Research*, 2(1): 1~32.
- Lee Chengshan. 1957. General geology of the Three Gorges. *Geography Knowledge*, (12):6~11.
- Lee, Siguang. 1924. Geology of the Gorge district of the Yangtze (from Ichang to Tzekuer) with special reference to the development of the Gorges. *Bulletin of the Geological Society of China*, 3 (3-4), 351~391.
- Li Chang'an, Zhang Yufen. 1999. An important tectonic movement and its environmental effect in Quaternary. *Geological Science and Technology Information*, 18(4): 42~46.
- Li Chengsan. 1956. Development history of the Yangtze River. *Yangtze River*, (12): 3~6.
- Li Jijun, Xie Shiyong, Kuang Mingsheng. 2001. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation. *Geomorphology*, 41 (2-3): 125~135.
- Ma Daquan, Li Zhichang, Xiao Zhifa. 1997. The Constitution, Geochronology and Geologic Evolution of the Kongling Complex, Western Hubei. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(3):233~241.
- Ren Xuemei, Chen Zhong, Luo Lixia, Zhou Xinqin, Wang Jianli. 2003. Summary on the study of planation surface. *Scientia Geographica Sinica*, 23(1): 107~111.
- Tang Guizhi. 2001. An atlas of neotectonics geological hazards and Quaternary glacial geomorphology in the Yangtze Three Gorges area. Hubei Science and Technology Press, 31~77.
- The Geological Bureau of Hubei Province. 1972. Report of 1:20000 regional geological survey of Yichang area in China (Geology map).
- Tian Lingjun, Li Pingzhong, Luo Yan. 1996. Developmental History of Yangtze Gorges. Chengdu: Southwest Jiangtong university Press, 16~29.
- Wang Jun, Huang shangyao, Huang Geshan. 1990. Basic characteristics of earth's temperature distribution in China. Beijing: Seism Press, 30~38.
- Wang Jun. 1997. Some existing problems in uplift rate calculated by apatite fission-track analysis. *Geological Science and Technology Information*, 16(1):97~102.
- Wu Xihao. 1989. On Morphologic boundary of the south-eastern Qinghai-Xizang Plateau and development of Jinsha River System. *Mountain Research*, 7(2): 75~84.
- Xiang Fang. 2004. Forming of the Three Gorges of the Yangtze River and sedimentary response in the west edge of Jiangnan Basin and adjacent area. Doctor Thesis.
- Xiang F, Zhu L D, Wang C S, Zhao X X, Chen H D, Yang W G. 2007. Quaternary sediment in the Yichang area: Implications for the formation of the Three Gorges of the Yangtze River. *Geomorphology*, 85: 249~258.
- Xiang Fang, Wang Chengshan, Li Guozhong, Zhu Lidong, Li Yongzhao, Jiang Ping. 2006. Character of heavy minerals in Quaternary sediments in Yichang area and its relationship with cut-through of the Yangtze Three Gorges, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 33 (2): 117~121.
- Xiang Fang, Zhu Lidong, Wang Chengshan, Li Yongzhao, Yang Wenguang. 2005. Terrace age correlation and its significance in research of Yangtze Three Gorges, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 32 (2): 162~166.
- Xiang Fang, Zhu Lidong, Wang Chengshan, Yang Wenguang. 2006. Character of Basaltic Gravels in Quaternary Sediments in Yichang Area and Its Relationship with Formation of Yangtze Three Gorges. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 28 (2): 6~11.
- Xie Ming. 1990. Neotectonic uplift velocity and type along the Changjiang River during Quaternary. *Quaternary Sciences*, 3: 308~315.
- Xiong Chengyun, Wei Changshan, Jin Guangfu, Tan Weiqing, Li Wenxiang. 2004. Pre-sinian paleostructural framework and major geological events in the Huangling Anticline, Western Hubei. *Journal of Geomechanics*, 10(2): 97~112.

- Yang Dayuan, Li Xusheng, Ke Xiankun, Zhou Lufu, Chen Deji, Yang Tianming, Xue Guofu. Geomorphic features and origin of the valley bottom throughs at the site of the Three Gorges Dam. *Acta Geographica Sinica*, 57(5): 547~552.
- Yang Dayuan. 1988. Origin and evolution of Yangtze Three Gorges. *Journal of Nanjing University (Geography)*, 24(3): 466~473.
- Ye Liangfu, Xie, Jiarong. 1925. Geological structure and physiographic developing history of the Yangtze drainage area backward Wushan Mountain. *Geological Report*, 7, 22~30.
- Zhang Liping, Yang Dayuan, Zhu Dakui. 2003. Weathering and Denudation Velocity of Crystalline Rock of Huangling Anticline in the Yangtze Three Gorges. *Science in China (Series D)*, 33(1): 81~88.
- Zhou Bin, Yang Dayuan, Han Zhiyong, Li Xusheng, Wang Peng, Ge Zhaoshuai. 2006. Incision rate of the Three Gorges section of the Changjiang River. *Quaternary Sciences*, 26(3): 406~412.

Cenozoic uplift Characteristics of Shandouping Section of Huangling Dome in the West of Hubei Province

XIANG Fang¹⁾, LI Zhihong¹⁾, WANG Chengshan²⁾, ZHU Lidong¹⁾, LIU Shun³⁾

1) *Institute of Sedimentology, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059*; 2) *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083*; 3) *School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059*

Abstract

Huangling Dome consists of base and cover rocks, which is located in the west edge of Hubei Province, with Hungling Granite being representative outcrop of the base. Huangling Dome is very important to the formation and evolution of the Yangtze Three Gorges, the formation of structural pattern of Sichuan and Jiangnan Basins, and also has important effect on security of the Yangtze Three Gorges Dam. Based on fission track analysis of Hungling Granite, combining with research of planation surfaces and terraces characteristics in field, we obtain data of uplift velocity and uplift height of Huangling Dome since 65Ma: ①65~7Ma, uplift velocity was 24.6~7.4m/Ma, and uplift height was 1426.8~429.2m; ②7~0Ma, uplift velocity was 204.1m/Ma, and uplift height was 1428.7m. Especially, uplift velocity increased from 0.009~0.013m/Ka to 0.293~0.387m/Ka during 7~0.73Ma, and increased from 0.058m/Ka to 1.033m/Ka in the course of 0.73Ma to 0.01Ma and mean velocity was 0.134m/Ka, which showed that uplift velocity was slow in the early stage, but increased continuously from then on. Total denudation depth was 2455.5~1457.9m from 65Ma to now, and denudation depth was 1028.7m and mean denudation velocity was 0.147mm/a from 7Ma to present. Research results reflect uplift history in this area has close relationship with formation and evolution of the Qinghai-Xizang Plateau, and also restrict formation time and process of the Yangtze Three Gorges, and prove the Three Gorges is a youthful river valley. On the other hand, surface geological activities aroused by uplift of Huangling Dome will have some effects on the Three-Gorges Dam.

Key words: Hungling Dome; Cenozoic; uplift characteristics; formation of the Yangtze Three Gorges; uplift reason