

中国庐山地区大校场晚第四纪沉积 年龄测定及层序地层学

胡东生^{1,2,3,4}, 胡蓉⁵, 李小豫², 胡文瑄⁶,
王旭龙³, 田新红⁴, 刘卫国³, 张国伟⁴

(1. 湖南师范大学资源环境科学学院, 长沙 410081; 2. 中国煤炭地质总局青海煤炭地质勘察院, 西宁 810001;
3. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075; 4. 西北大学大陆动力学国家重点实验室,
西安 710069; 5. 北京师范大学珠海分校司法与行政学院, 广东珠海 519087; 6. 南京大学地球科学学院, 南京 210093)

[摘要] 通过庐山科学考察(1997—2009)对大校场沟口晚第四纪剖面地层进行精细研究, 采用古地磁、电子自旋共振(ESR)、³⁶Cl、释光法等多种仪器测年方法的分析, 建立了完整剖面的全时段地层的自 400 ka. B. P. 以来的系列年龄数据, 与之相对应识别出 Biwa - III(320 ka. B. P.)事件、Biwa - II(260 ka. B. P.)事件、Biwa - I(180 ka. B. P.)事件(因铁盘扰动影响缺失)、Blake(100 ka. B. P.)事件、Laschamp(20 ka. B. P.)事件(因表层活动影响未发育)等古地磁极性事件, 结合层序地层和层型特征及沉积环境将剖面地层由早至晚划分为 4 个发展旋回阶段: I 阶段为冰期(400~200 ka. B. P.)气候时期, II 阶段为间冰期(200~100 ka. B. P.)气候时期, III 阶段为冰缘期(100~10 ka. B. P.)气候时期, IV 阶段为冰后期(10~0 ka. B. P.)气候时期。

[关键词] 晚第四纪沉积; 多种器测定年数据; 层型序列及综合年龄; 沉积旋回阶段; 庐山大校场

[中图分类号] P539; P597+.3 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)11-0036-08

1 前言

地球科学是当今世界最活跃的基础科学之一, 其现代化装备也十分迅速促使这门认知科学向其更深层次的境界发展, 但是实践第一、调查第一、证据第一的原则依然是地质学乃至地球科学永恒的精髓。随着器测数据的增多, 进行验证及修正过去地质状况的研究是正常的科学过程, 从而对地球自然规律的认识更前进一步。本文是庐山科学考察(1997—2010)的系列研究成果之一。

2 地质剖面位置

中国江西庐山在芦林盆地东北部边缘大校场沟

口晚第四纪地质剖面, 海拔高度为(1 028 ± 13) m, 此处地貌位置恰好处于上游冲沟与下游剥蚀盆地的交汇处。上游冲沟是由庐山北部中段最高山峰大月山和与其平行排列的女儿城(山脊)二者所夹持形成的陡壁宽底平直沟谷, 下游剥蚀盆地现已修建为人工水库芦林湖。其沟谷两侧山脉顶部狭窄汇流面积十分有限, 根本不具备集水成片的洪流状态, 如用流水侵蚀及泥石流等作用解释其成因, 缺少了最基本的孕育条件和发育物质之来源; 反之, 其典型的地貌形态就非常值得进行古冰川作用的探究。同样是这条庐山第四纪沉积剖面, 不同色彩学术观点的观测与描述竟会出现较大的差异, 甚至会渲染为直接对立的地质现象, 所以地质剖面的准确观测和客观

[收稿日期] 2011-04-01

[基金项目] 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目(SKLLQG0701); 湖南省重点学科建设项目(ZRDL0701); 西北大学大陆动力学国家重点实验室开放基金项目(DL2006001)

[作者简介] 胡东生(1951—), 男, 甘肃天水市人, 教授, 主要从事地球资源环境和遥感地质学与地球动力学及全球变化的教学与研究工作;
E-mail: huds@hnnu.edu.cn

描述也是十分重要的(见图1和图2)。

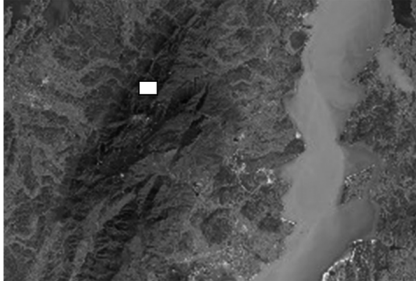


图1 庐山地球卫星影像及地质位置
(法国卫星-SP4,2002.11.04-.)

(中心白色矩形为大校场沟口断面位置处)

Fig.1 Lushan's earth satellite image and geological position (SP4,2002.11.04-.)

(Center white rectangle is a cross section position)



图2 江西庐山大校场泥砾沉积剖面位置
(黑色竖线表示取样位置)

Fig.2 Section position of mire gravel sediment in Daojiaochang of Lushan (Black perpendicular line is sampling position)

这条地质观测剖面,由于庐山第四纪冰川环境大争论的影响而非常著名^[1,2],人为破坏也比较严重,所以观测取样的保真性便十分重要。根据初步测量,其第四纪松散沉积与下伏震旦纪基岩接触带呈角度不整合关系,其倾角约为 28° ;由沟口向沟脑方向的沟底坡度角也平均为 28° 。由于流水的溯源侵蚀,其剖面位置发生逐年后退现象,特别是大洪水的影响使得剖面形状改变很大。

2005年5月31日的观测和取样,芦林盆地大校场沟口晚第四纪地质剖面的特征由上向下依次如下所述(现场取样层的位置及层序编号)。

1)灰褐色现代植被层(厚 $35\sim 50\text{ cm}$),褐土层,主要以植物根颈及半腐烂植物叶片为主。

2)灰黑色腐殖质粘土层(厚 $25\sim 30\text{ cm}$),层内植物根须发育,砂质-泥质结构,砂粒直径平均为 1 mm 左右,一般不含砾石,粘土含量在 70% 以上。

取样层1层(埋深为 $0.5\sim 0.6\text{ m}$)。

3)黑褐色粘土层(厚 $20\sim 30\text{ cm}$),有机质含量丰富,砂质结构,颗粒直径一般为 $1\sim 2\text{ mm}$;砾石含量约为 5% ,砾石直径约为 $0.5\sim 1\text{ cm}$;粘土含量在 60% 以上。取样层2层(埋深为 $0.7\sim 0.8\text{ m}$)。

4)黑灰-灰褐色泥砾层(厚 $100\sim 150\text{ cm}$),砾石直径相差比较大大约在 10 倍左右, $\phi_{\max} 0.3\text{ m}$, $\phi_{\min} 1\sim 3\text{ mm}$,粘土与砾石的含量各占一半。取样层3层(埋深为 $1.1\sim 1.3\text{ m}$)。取样层4层(埋深为 $1.8\sim 1.9\text{ m}$)。

5)红褐色泥砾层(厚 $25\sim 30\text{ cm}$),泥砾混杂,沿沟壁有分层现象,并有水平层理及条带发育;砾石直径在 $1\text{ mm}\sim 1\text{ m}$ 之间, $\phi_{\max} 1\text{ m}$, $\phi_{\min} 1\sim 5\text{ mm}$,粘土与砾石的含量各占一半。取样层5层(埋深为 $2.1\sim 2.3\text{ m}$)。

6)砖红色泥砾层(厚 $100\sim 150\text{ cm}$),泥砾混杂,沿沟壁两侧有分层现象,水平层理及分带现象发育;砾石直径在 $1\text{ mm}\sim 3\text{ m}$ 之间, $\phi_{\max} 1\sim 3\text{ m}$, $\phi_{\min} 1\sim 5\text{ mm}$;粘土与砾石的含量约占一半,泥沙胶结,胶结紧密。取样层6层(埋深为 $2.8\sim 2.9\text{ m}$)。

7)黑色铁锰质条带层(厚 $25\sim 30\text{ cm}$),近水平状分布,出现多层及分叉现象,单层厚度约在 $1\sim 20\text{ cm}$ 之间;主要沿着上覆红色泥砾层与下伏黄色泥砾层的分界带附近交叉展布,大体范围在沿着分界线上、下 0.5 m 左右分布;其间所夹裹的砾石也被染黑。取样层7层(埋深为 $3.1\sim 3.4\text{ m}$)。

8)黄色-黄褐色泥砾层(厚 $250\sim 300\text{ cm}$),泥砾混杂,砾石直径在 $1\text{ mm}\sim 8\text{ m}$ 之间, $\phi_{\max} 5\sim 8\text{ m}$, $\phi_{\min} 1\sim 5\text{ mm}$,粘土与砾石的含量各占一半;胶结紧密,成分混杂,分层不明显。取样层8层(埋深为 $3.6\sim 3.8\text{ m}$)。取样层9层(埋深为 $5.2\sim 5.3\text{ m}$)。取样层10层(埋深为 $5.4\sim 5.5\text{ m}$)。

9)灰白-灰绿色长石石英砂岩层(厚 $3\sim 5\text{ m}$),隶属于震旦系下统莲沱群牯牛岭组,为下伏基岩层,与上覆岩层呈现为波状起伏及角度不整合的接触关系。埋深为 5.5 m 。

以上剖面的出露特征和岩性组合及观察记录,与1985年周慕林先生主编《中国的第四系》^[3]所收录的同一位置剖面的描述基本相一致,出露的分层层位及岩性特征均可以逐层进行对比;其他文献^[4,5,6]收录的剖面记录由于其断面走向和分层精度与考察时间以及沉积相环境的选择不一,在岩性特征描述上存在感官性的区别和记述性的差异,剖

面地质地层观测及客观记录等方面整体对比一致。

3 地层年龄及测定方法

庐山芦林盆地大校场沟口晚第四纪剖面地层自1947年李四光^[7]介绍面世以来,直至1992年都没有确切的年龄数据,从区域地质环境对比初步认定为与里士冰期(Riss glacial period)相当的庐山冰期堆积物^[7,8]。1977年孙殿卿等^[8]曾将这套地层与青藏高原珠穆朗玛冰期I期(基龙寺阶段)相对比。在20世纪80年代发生的第四纪冰川环境大争论中,似乎并没有对此地层时代产生疑义^[4],继后郑本兴、徐钦琦等*将同期冰期(古乡冰期)采用部分测年资料确定为300~130 Ka. B. P.,这是与庐山冰期地层时代相当并且有清晰实际材料可以相互对比的区域地质调查科学的仅存硕果。

3.1 古地磁极性年龄

地磁极性事件是表述全球变化及演化阶段的有效手段^[9],利用全球确知地层比对所建立的地磁极性年表对确定区域地层的年代是十分有用的。

本区最早开展磁性地层学研究的是中国地质科学院何培元课题组^[5,10],他们是从1982年开始的,样品测量采用英国生产 Digici 旋转磁力仪^[10]。在庐山大校场沟口剖面实测堆积物深达6 m,测定的结果如下:0~3.5 m为正极性,3.5~6 m为负极性。通过区域地层对比和邻近芦林盆地剖面验证,将其归属于布容正极性期的负极性亚带或极性漂移事件,依据古地磁断代年龄确定为0.2~0.4 Ma,这是此套地层首次有了器测相对年龄数据的成果。继后,1992年南京大学朱诚课题组^[6]开始进行华东地区第四纪环境对比研究,采用美国 Schonstedt 公司生产的 DSM-2 数字旋转磁力仪进行该地区地层磁性特征^[11]的分析。庐山大校场沟口实测剖面深为6.3 m,以正极性为主,其中有3次小时段的负极性事件;其剖面由下往上,将深度6.3~5 m划定为中更新世,深度5~1.2 m划定为晚更新世,深度1.2~0 m划定为全新世,这是此套地层底部基岩震旦纪岩系之上首次报导有晚第四纪连续沉积的详细记述。

上述两期不同工作时期的古地磁地层学的研究,剖面表述基本相同,测量位置基本相近,揭露深

度基本一致。比较详细的庐山大校场沟口地层剖面岩性(1983)记述如下^[5,10]:0~0.4 m为近代腐殖质土及碎石,0.4~2.0 m为黄褐色碎石粘土层,2.0~3.5 m为棕红色粘土砾石层底部发育铁锰质条带,3.5~6.0(6.3) m为棕黄色粘土砾石层;堆积物中砾石呈半浑圆、次棱角及棱角状;水平方向同层内砾石大小混杂无有分选,垂直方向穿层内砾石规模呈逐渐过渡无明显分层现象。比较清晰的相同剖面的地层极性事件(1993)测定如下^[11]:0~1.8 m为正极性,1.8~2.1 m为负极性,2.1~5.0 m为正极性,5.0~5.2 m为负极性,5.2~5.5 m为正极性,5.5~6.1 m为负极性,6.1~6.3 m为正极性。

庐山大校场剖面2005年的观测(本文)与1983年^[5,10]、1985年^[3]、1992年^[11]的观测完全吻合,具有良好的可对比性,说明剖面观测的地质表述是符合客观事实及科学理性的。经过地层层序对比与综合剖面全时段分析,依据第四纪长尺度极性事件分布模式及其地层层位序列分布状况,确定该位置第四纪沉积地层为布容正极性期,其中表层在埋深1.8 m以上与相邻芦林盆地剖面^[5]相对比有负极性的发育及潜育条件的可能应为拉斯奇姆(Laschamp)事件—20~30 ka. B. P.;埋深1.8~2.1 m负极性为布莱克事件(Blake event)—100~110 ka. B. P.;按照沉积速率与铁盘干扰的叠加分析埋深3.0 m左右负极性即琵琶湖I期(Biwa-I)事件—180 ka. B. P.,但并未出现;埋深5.0~5.2 m负极性为琵琶湖II期(Biwa-II)事件—260 ka. B. P.;埋深5.5~6.1 m负极性为琵琶湖III期(Biwa-III)事件—320 ka. B. P.,其晚第四纪沉积底界年龄约为400 ka. B. P.。

3.2 电子自旋共振(ESR)年龄

电子自旋共振(ESR)是利用碳酸盐、硫酸盐和磷酸盐等矿物晶体遭受时间影响的放射性损伤程度来定年^[9]的一种方法,也可利用人造辐射源照射样品估算单位辐射剂量所产生的电子自旋浓度(波谱曲线与信号强度)来求得年龄^[9,12]。

庐山大校场剖面电子自旋共振年龄是近几年测得的(见表1)^[12],在整段剖面分为上下两部分分层取样,习惯上以剖面中部的铁盘层(铁锰质条带)为中心分为上下两部分,其上部地层年龄为130 ka. B. P.(其位置推测约处在本文所选剖面取样层3层下部),其下部地层年龄为180 ka. B. P.(其位置推测约处在本文所选剖面取样层6层附近)。

* 郑本兴、徐钦琦,青藏高原第四纪冰川旋回与气候变化的关系,中国科学院兰州冰川冻土研究所编,青藏高原第四纪冰期研究中的问题,1999,336~348。

表1 芦林盆地大校场沟口第四纪地质剖面沉积物电子自旋共振测年参数表^[12]

Table 1 The parameter of electron spin resonate dating of sediment in the geologic section of quaternary period of the Dajiaochang fossa meatus of Lulin Basin^[12]

| 样号 | 地点 | U/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | Th/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) | K ₂ O/% | 剂量率 Dr/mGy | 等效剂量 D/Gy | 年龄/ Ma |
|------|-------|---------------------------------------|--|--------------------|---------------|--------------|-----------|
| Gd07 | 大校场上部 | 0.75 | 3.6 | 1.391 | 1.839 | 237.231 | 0.129 |
| Gd08 | 大校场下部 | 0.98 | 5.4 | 0.941 | 1.899 | 348.295 | 0.183 |

注:表中 U、Th 为核元素背景值

从上述年龄对比分析,取样位置及取样密度对年龄时间域的吻合连接十分重要,但从相对时代关系的层序上认识问题其可信度还是很高的。

3.3 ³⁶Cl 年龄

一般认为³⁶Cl是在自然界由天然来源的中子所引起的³⁵Cl(n, γ) \rightarrow ³⁶Cl反应中产生的^[13],³⁶Cl实际是由高能辐射所引起的光效应过程而形成的,³⁶Cl半衰期为 3.01×10^5 a,其衰变方式为负乙种衰变(β^- 辐射), β^- 分支比占98.9%^[14],³⁶Cl断代测年^[15]可以广泛应用到第四纪沉积物研究中。

根据王敏、赵志中、林源贤等³⁶Cl测年资料^[12,16,17],获得庐山大校场砾石层暴露年龄^[16]为240 ka. B. P.,其埋深位置相当于约处在剖面中部铁盘层(铁锰质条带)之下,与本文所选剖面取样层

7层上部位置相近。

3.4 释光年龄

沉积物的释光测年基于晶体(石英和长石)中被俘获在光敏陷阱中的电子释放^[17],释光测年的年龄范围取决于矿物晶体捕获电子的能力、捕获电子在陷阱中的寿命和环境放射性辐射量水平。

2007年对庐山大校场沟口剖面进行释光年龄断代采样,掘出新鲜层面马上用金属封闭取样管楔进,待管底封闭垫层填满管壁后即刻避光封口包装,在短期内(一个月以内)将原包装送进实验室进行测试。采用美国Daybreak公司生产的Day-break2200-OSL释光测量系统进行测定,其结果见表2(2007.8.31采样)。

表2 芦林盆地大校场沟口第四纪地质剖面沉积物光释光测年参数表

Table 2 The parameter of luminescence dating of sediment in the geologic section of quaternary period of the Dajiaochang fossa meatus of Lulin Basin

| 样品编号 | 取样位置 | U/ppm | Th/ppm | K/% | 含水量/ % | 剂量率/ (Gy·km ⁻¹) | 等效剂量/ Gy | 年龄/ /Ka |
|--------|---------|-------------|--------------|------|-----------|--------------------------------|--------------|--------------|
| LQ-R04 | 剖面5层下部 | 1.85 ± 0.15 | 10.28 ± 0.23 | 3.19 | 20 | 4.25 ± 0.14 | 734.9 ± 1.5 | 173.0 ± 7.1 |
| LQ-R03 | 剖面7层中部 | 2.50 ± 0.15 | 9.86 ± 0.22 | 1.23 | 20 | 2.71 ± 0.10 | 766.1 ± 0.97 | 282.2 ± 11.6 |
| LQ-R02 | 剖面9层下部 | 2.54 ± 0.14 | 9.55 ± 0.21 | 0.78 | 20 | 2.31 ± 0.09 | 629.5 ± 20.5 | 272.0 ± 14.8 |
| LQ-R01 | 剖面10层下部 | 1.66 ± 0.09 | 5.46 ± 0.12 | 1.03 | 20 | 1.95 ± 0.07 | 762.9 ± 21.5 | 391.2 ± 18.8 |

上述4组释光年龄的取样位置,其中有3组处于剖面中部6层(铁盘层)之下,1组处于中部(铁盘层)之上,剖面底部年龄为391.2 ka. B. P.,中部铁盘层(6层)之下年龄为<250(270) ka. B. P.,铁盘层之上年龄为<200(173) ka. B. P.,其年龄数值处于合理分布的范畴,并与其他方法的测年数据可以进行对比。

这次剖面采样及年龄测定是庐山大校场晚第四纪沉积地层最为丰富和最新的年龄断代数据,从底部到表层其年龄时间域具有良好的线性关系,数值相关性及其可信度均非常高。

经过年龄样品采样位置与剖面地层层序校正和

时间相关数值验算等方面的综合分析,可以确认剖面底部(10层底部)年龄为400 ka. B. P.,7层与6层之界限年龄为200 ka. B. P.,6层与5层之界限年龄为180 ka. B. P.,4层与3层之界限年龄为100 ka. B. P.,2层与1层之界限年龄为10 ka. B. P.。

4 综合地层层序

地层层序是建立地质时代非常重要的物质基础,也是认识沉积相环境的重要依据^[18]。根据对庐山大校场晚第四纪剖面的多年观测及研究结果,从自然层序—层序结构—年龄层序等方面分析,经过同层对比及层型识别均具有一致的相关性和良好的

对应性,为重新认识本地区晚第四纪地层层序及古地理环境提供了新的地质依据。

4.1 自然地层层序

庐山大校场沟口剖面处于溪流溯源侵蚀的裂点位置,自20世纪80年代初期挖掘以来以1 m/a的平均速度向后退缩,自然断面呈现鲜明的层次分带现象,从地表向底部(基岩以上)依次为表层为灰褐色(植被层),向下层为灰黑色(腐殖层),次下层为黑褐色(粘土层),再下层为黑灰-灰褐色(泥砾层),中上层为红褐色(泥砾层),中下层为砖红色(泥砾层),向深层为黑色(铁锰层),次深层为黄色-黄褐色(泥砾层),底层为灰白-灰绿色(基岩层)。

该剖面第四纪疏松沉积物颜色从下往上分为4段:I——黄-黄褐色,II——砖红-红褐色夹黑色,III——黑灰-灰褐-黑褐色,IV——灰黑-灰褐色;这些不同的颜色反映地层沉积形成过程中发生过环境转型变化。这套剖面在成分组构、砾石比差、层间次序等方面都没有十分明显的分野界限,具有逐渐变化和相互过渡的现象,表明这套地层的物质来源属于同一位置且沉积未有间断;砾石比差从下往上由大变小,反映沉积动能^[19]存在从早期向晚期发生由大变小的变化过程。

4.2 层型地层层序

根据庐山大校场沟口剖面的物质组构等方面的材料,这套沉积物从下往上可以划分为4个一级沉积旋回阶段:I阶段(取样层10→9→8→7层)——黄-黄褐色泥砾层,II阶段(取样层6→5→4层)——砖红-红褐色泥砾层夹黑色铁锰质条带,

III阶段(包括取样层3→2层)——黑灰-灰褐-黑褐色泥砾层,IV阶段(包括取样层1→表层)——灰黑-灰褐色砂土层。这4个沉积旋回层序分布稳定其间没有显著的间断,呈现为逐渐过渡的状态。

依据地层化学组分变化及丰度趋势所表征的态势,该剖面清晰反映出层型演化的特点,由下往上发育连续演化的5个层型层序:I层序包括取样层10→9→8→7层,II层序包括取样层6层,III层序包括取样层5→4层,IV层序包括取样层3→2层,V层序包括取样层1→表层。从区域地表环境过程情景分析,II层序与III层序可以合并为同一完整层序,其下部(6层)波动幅度最大。地层主量元素浓度含量在第6层均出现拐点现象,地层微量元素浓度含量在地层中均以6层作为中轴沿其上下出现波动变化,均反映出是受地球表层过程的环境情景所影响,遵循系统自组织演化结构出现4级分异现象,完全可以与自然层序及沉积旋回相互对比,表现出密切的相关性和一致的对应性。

4.3 年龄地层层序

庐山大校场沟口剖面地层的器测断代年龄数据及方法已达5组之多,分别为古地磁年龄、电子自旋共振(ESR)年龄、³⁶Cl年龄、释光年龄等,由于对地层分层和取样位置的观测存在区别在分检结果数值上稍有差异,并存在仪器系统误差及噪声信号的扰动和影响,但在沉积旋回和层型序列上具有一致的对应性,各种器测年龄存在良好的比对性和互相验证的可行性以及较为可靠的科学性。经过多种器测断代年龄比对性整理庐山大校场剖面地层的综合参考结果见表3。

表3 芦林盆地大校场沟口第四纪地质剖面沉积物综合测年数据对比表

Table 3 The data contrast of synthesis dating of sediment in the geologic section of quaternary period of the Dajiaochang fossa meatus of Lulin Basin

| 取样层位 | 测样位置 | 古地磁年龄/Ma | ES 年龄/Ma | ³⁶ C1 年龄/Ma | 释光年龄/Ma | 综合年龄/Ka |
|------|--------|-----------------------|----------|------------------------|------------|------------|
| 0 | 布容正极性期 | 布容正常期 | 表层 | 表层 | 表层 | 表层(5-?) |
| 1 | —— | 全新世 | —— | —— | —— | 1层底部(10) |
| 2 | —— | (Laschamp event)0.02? | —— | —— | —— | 2层底部(50) |
| 3 | 0.2 Ma | 晚更新世(Blake event)0.1 | —— | 泥砾层暴露年龄 | —— | 3层底部(100) |
| 4 | —— | 中更新世 | —— | —— | —— | 4层底部(140) |
| 5 | 上部正极性 | (Biwa-I)0.18? | 上部0.129 | —— | 上部(下)0.17 | 5层底部(180) |
| 6 | 中部(铁盘) | 中部(铁盘) | 中部(铁盘) | 中部(铁盘) | 中部(铁盘) | 6层底部(200) |
| 7 | 下部负极性 | —— | 下部0.183 | —— | 下部(上)0.28? | 7层底部(220) |
| 8 | —— | (Biwa-II)0.26 | —— | 0.24 | —— | 8层底部(320) |
| 9 | —— | (Biwa-III)0.32 | —— | —— | 下部(中)0.27? | 9层底部(380) |
| 10 | 0.4 Ma | —— | —— | —— | 下部(下)0.39 | 10层底部(400) |

经过对比分析可知,过去的地质调查在大校场晚第四纪堆积地层的上下分界界限的认识存在盲点,下部底界的界线是清楚的,以疏松堆积物与震旦纪基岩为分野无人存疑,上部顶界的界线一般以表层(1 m 左右)之下的泥砾层为顶部,其表述十分模糊。言下之意其泥砾层(晚更新世——里士期或庐山期)之上存在地层间断被近代堆积层所覆盖,实际上这套地层从表层到底层都有泥砾的成分,仅其含量和比例及结构等存在不同。这种传统认识更加模糊了地层层序和精细时代及时间尺度的深入分析,在 20 世纪发生的 3 次学术争论中作为正反双方的支撑点被共同默认,也使中国第四纪冰川环境争论的实质未被彰显而仅在地质表象和主观记述与逻辑推断上纠缠不休。

上述多种有效器测地层断代年龄的比对结果清楚地显示,这些数据及相对年龄都是可以对比的,吻合性相当一致,其可信度非常高。其中覆盖全断面的精细地层分析(2005 年调查)和长时段古地磁(根据朱诚 2000 年资料修改)与释光测年数据(本文首次报导)的兼容性非常好,通过数值对比和同一化处理产生综合年龄结果,能够对整个地层剖面的各个分层层位序列进行合理的时代认定和年龄的数值控制。

5 层型特征及层序事件

根据全球晚第四纪长时段剖面磁性地层的精细识别,曾在日本琵琶湖连续沉积中发现 40 万年以来的负磁性事件有 5 期^[20]:Laschamp 事件约为 20 ~ 30 ka. B. P.,Blake 事件约为 100 ka. B. P.,琵琶湖 - I (Biwa - I) 事件约为 180 ka. B. P.,琵琶湖 - II (Biwa - II) 事件约为 260 ka. B. P.,琵琶湖 - III (Biwa - III) 事件约为 320 ka. B. P.。日本琵琶湖晚第四纪沉积岩芯的磁性地层及极性事件,在东亚地层对比与全球变化分析等方面的研究上具有重要的位置和意义。

中国大陆若尔盖盆地古湖泊沉积布容正极性剖面中曾清楚识别出 6 次(实际为 8 ~ 13 次)负极性事件^[21]对应于:Laschamp 事件约为 20 ~ 30 ka. B. P.,Blake 事件约为 100 ka. B. P.,琵琶湖 - I (Biwa - I) 事件约为 180 ka. B. P.,琵琶湖 - II (Biwa - II) 事件约为 260 ka. B. P.,琵琶湖 - III (Biwa - III) 事件约为 320 ka. B. P.,冒斯特 (Mosty) 事件约为 580 ka. B. P.,有些事件具有双漂移^[21]及多次漂移^[22]的特征。

在庐山大校场剖面全时段磁性地层年龄的判读中,初始时仅为认定出 Blake 事件,将下部两个事件仅作为布容正极期与之相关的漂移事件^[11]来对待。Blake 事件是全球性的地磁事件^[23],发生时间约为 114 ~ 105 ka. B. P.,其持续时间约为 5 000 ~ 7 000 a,期间甚至发生多次倒转及密集漂移^[24]事件,是识别晚第四纪地层的重要标志。经过剖面同层层位修订比对认为,以 Blake 事件为基点,往上部层位物质结构疏松噪声信号增多而导致 Laschamp 事件缺失,往下部层位受到剖面中部铁盘铁锰质矿物的干扰影响而导致 Biwa - I 事件缺失,其下两个负极性事件分别对应于 Biwa - II 事件和 Biwa - III 事件。该剖面综合分析见图 3。

通过比对多种器测年龄综合认定,该剖面由下往上依次如下:

10 层——底部年龄为 400 ka. B. P.,区域气候转型的开始;

9 层——底部年龄为 380 ka. B. P.,顶部年龄 320 ka. B. P. 出现 Biwa - III 事件;

8 层——顶部年龄为 220 ka. B. P.,中上部(采样点)年龄为 260 ka. B. P. 出现 Biwa - II 事件;

7 层——底部年龄为 220 ka. B. P.,顶部年龄为 200 ka. B. P.;

6 层——底部年龄为 200 ka. B. P.,顶部年龄为 180 ka. B. P.;

5 层——底部年龄为 180 ka. B. P.,此位置应为 Biwa - I (因铁盘元素干扰未出现)事件发育时期,顶部年龄为 140 ka. B. P.;

4 层——底部年龄为 140 ka. B. P.,顶部年龄为 100 ka. B. P.;

3 层——底部年龄为 100 ka. B. P.,出现 Blake 事件,顶部年龄为 400 ka. B. P.;

2 层——底部年龄为 50 ka. B. P.,中上部(采样点)年龄为 20 ka. B. P. 应为 Laschamp (因表层扰动未出现)事件发育位置;

1 层——底部年龄为 10 ka. B. P.,顶部年龄为 5 ka. B. P.;

0 层即表层——底部年龄为 5 ka. B. P.,上部直至现代堆积。

庐山大校场沟口剖面器测年龄数据和层型地层与发展阶段相对应,其响应结果如下:

I 阶段包括 10 → 9 → 8 → 7 层,底部年龄为 0.4 Ma,顶部年龄为 0.2 Ma;

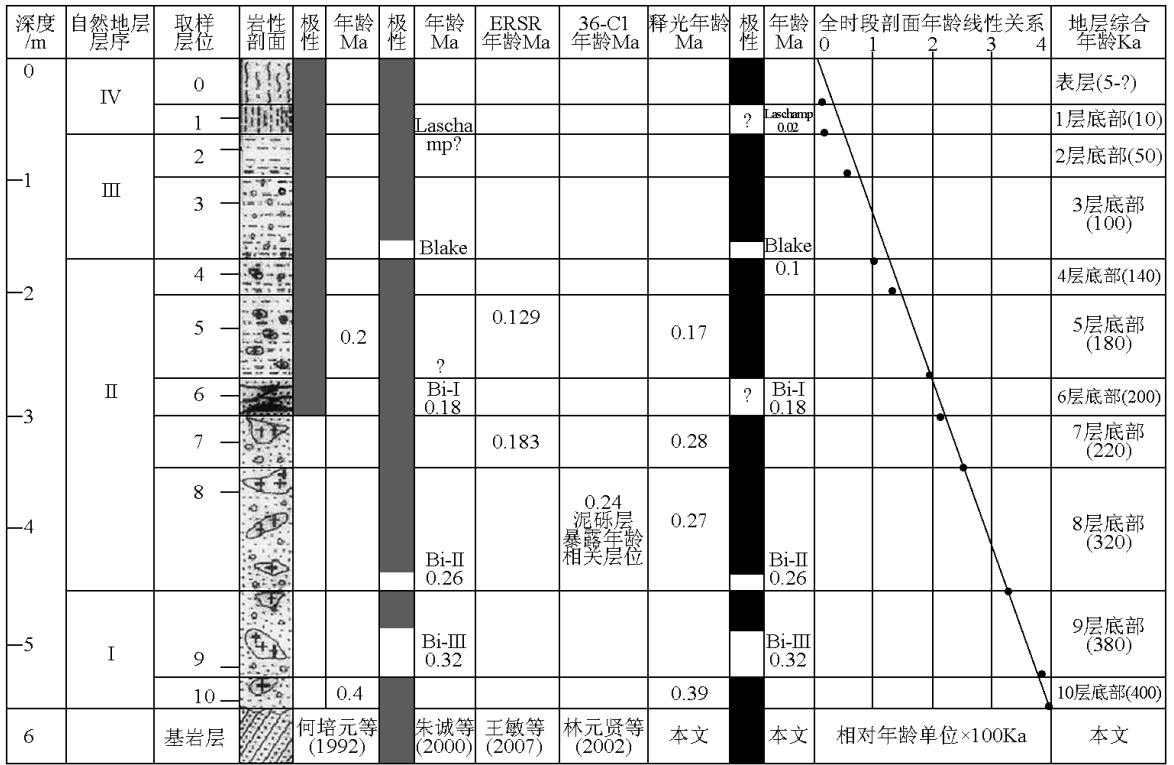


图3 庐山芦林盆地大校场沟口第四纪地质剖面器测年龄及地层沉积序列

Fig. 3 The instrumenting dating and its sediment sequence of geologic strata in the geologic section of quaternary period of the Dajiaochang fossa meatus of Lulin Basin

II 阶段包括 6→5→4 层,底部年龄为 0.2 Ma,顶部年龄为 0.1 Ma;III 包括 3→2 层,底部年龄为 0.1 Ma,顶部年龄为 0.01 Ma;IV 阶段包括 1→表层,底部年龄为 10 ka. B. P.,顶部年龄至现代。

6 结语

根据自然地层剖面 and 层序沉积回及多种器测(古地磁、电子自旋共振、³⁶Cl、释光测年等)断代年龄,辨认及确证了庐山大校场剖面的层型特征和沉积层序与发展阶段及其年龄序列,将这套地层从早到晚划归为 4 个沉积旋回及发展阶段:I 旋回阶段(400~200 ka. B. P.)为黄色-黄褐色泥砾堆积层,有机质含量较高,应为较寒冷或凉爽时期的产物;II 旋回阶段(200~100 ka. B. P.)上部为红褐色泥砾堆积、中部砖红色泥砾堆积、下部为黑色铁锰质条带,有机质含量较低,应为较炎热或高温时期的产物;III 旋回阶段(100~10 ka. B. P.)为黑灰-灰褐

-黑褐色泥砾层,有机质含量较高,应为较寒冷及较凉爽时期的产物;IV 旋回阶段(10~0 ka. B. P.)为灰黑-灰褐色粘土层,有机质含量最高,应为湿润及温和时期的产物。显示出自 400 ka. B. P. 以来的具有层型特征的连续沉积物及其沉积情景,环境转型与层序事件及其地球表层作用的发生使其地层结构与断面外观具备复杂性。

地质记录已经证实自第四纪以来的地球环境变化过程中,全球的温度具有每 40~100Ka 就有一次幅度达 4~10℃ 的波动变化规律^[9],最大变幅可能达到 2~15℃^[25]。系统地层分析及环境发展旋回事件可以标定为 4 个阶段,反映了庐山地区晚第四纪的冰期(400~200 ka. B. P.)、间冰期(200~100 ka. B. P.)、冰缘期(100~10 ka. B. P.)和冰后期(10~0 ka. B. P.)的气候演变过程及气候波动旋回。

参考文献

- [1] 孙殿卿,吴锡浩. 中国第四纪构造——气候旋回的初步研究[J]. 第四纪研究,1986,7(2):1-9.
- [2] 施雅风,崔之久,苏珍. 中国第四纪冰川与环境变化[M]. 石家庄:河北科学技术出版社,2006.
- [3] 周慕林. 中国的第四系[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [4] 施雅风,崔之久,李吉钧. 中国东部第四纪冰川与环境问题[M]. 北京:科学出版社,1989.
- [5] 何培元,段万倜,邢历生,等. 庐山第四纪冰期与环境[M]. 北京:地震出版社,1992.
- [6] 朱诚. 华东山地第四纪沉积环境研究[M]. 南京:南京大学出版社,2000.
- [7] 李四光. 李四光全集第二卷·冰川地质[M]. 武汉:湖北人民出版社,1996.
- [8] 孙殿卿,周慕林,潘建英. 中国第四纪冰期[J]. 地质学报,1977(2):101-108.
- [9] 刘东生. 第四纪环境[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [10] 邢历生. 庐山地区第四纪冰期的古地磁年代[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊,1989(13):71-78.
- [11] 朱诚. 对庐山东麓第四纪沉积物物源及新构造运动的新认识[J]. 地理学报,1995,50(1):41-50.
- [12] 王敏,李名则,赵志中. 庐山第四纪砾石层的年代学研究,庐山世界公园第四纪地质研究[C]. 北京:地质出版社,2007.
- [13] K·兰卡玛. 同位素地质学[M]. 北京:地质出版社,1960.
- [14] 核素图表编制组. 核素常用数据表[M]. 北京:原子能出版社,1977.
- [15] 黄麒. ^{36}Cl 断代法[J]. 第四纪研究,1997(3):240-247.
- [16] 赵志中,何培元,钱方. 庐山第四纪冰川研究的有关问题[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [17] 林源贤. $^{40}\text{Ar}(\text{n,p})-^{36}\text{Cl}$ 测年进展,前寒武纪、第四纪地质文集[C]. 北京:地质出版社,2002.
- [18] 张家富,周力平. 释光技术在构造事件定年中的应用[J]. 核技术,2007,30(11):934-939.
- [19] 梅志超. 层序地层学[M]. 西安:西北大学出版社,1993.
- [20] Yaskawa K, Nakajima T, Kawai N, et al. Paleomagnetism of a core from Lake Biwa (I)[J]. J Geomag Geoelectr, 1973(25):447-451.
- [21] 陈发虎,王苏民,李吉均,等. 青藏高原若尔盖湖芯磁性地层研究[J]. 中国科学:B辑,1995,25(7):772-777.
- [22] 施雅风,李吉均,李炳元. 青藏高原晚新生代隆起与环境变化[M]. 广州:广东科技出版社,1998.
- [23] 朱日祥,吴汉宁,黄宝春,等. Blake亚时及其形态学研究[J]. 地球物理学报,1993,36(5):589-598.
- [24] Smith J D, Foster J H. Geomagnetic reversal in Brunhes normal polarity epoch[J]. Science, 1969, 163:565-567.
- [25] Lockwood J G. World Climatic Systems[M]. London: Edward Arnold Ltd, 1985: 1-292.

The age measurese and its layer sequence stratigraphy of Late Quaternary sediment in Lushan Dajiaochang of China

Hu Dongsheng^{1,2,3,4}, Hu Rong⁵, Li Xiaoyu²,
Hu Wenxuan⁶, Wang Xulong³, Tian Xinhong⁴,
Liu Weiguo³, Zhang Guowei⁴

- (1. College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;
2. Qinghai Academy of Coal Geological Perambulation, Chinese Assemble Bureau of Coal Geology, Xining 810001, China; 3. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China;
4. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an 710069, China;
5. College of Judicature and Administration, Zhuhai Dispart School of Beijing Normal University, Zhuhai, Guangdong 519087, China; 6. College of Geological Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

(下转 48 页)