

123-128

中更新世以来青藏高原 RH 孔  
和洛川黄土记录的比较研究

p534.631

薛 滨 王苏民

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**提要** 根据若尔盖盆地 RH 孔的研究成果, 具体地将该孔的 21 个阶段和洛川黄土记录进行对比, 分析其异同点, 探讨了高原不同隆升阶段自身环境特点及其对邻近西北干旱区的影响。

**关键词** RH 孔, 洛川黄土记录 比较研究

地层  
中更新世 青藏高原

青藏高原的隆起是晚新生代最重大的地质事件, 它使全球海陆热力差异加大, 行星风系被破坏, 东亚季风环流建立, 高原作为地球的“第三极”对全球气候有着极其深远的影响, 这一共识已越来越被人们接受<sup>[1,2]</sup>。但是, 长期以来青藏高原地区缺乏长时间尺度、高分辨、连续的气候环境记录, 使我们难以了解高原隆升过程中陆地气候演化的特征, 尤其是青藏高原隆起对季风环流、亚洲自然环境分异和干旱区形成的影响。若尔盖盆地 RH 孔 800ka 以来湖泊沉积、环境多代用指标的气候记录的研究成果, 为我们进行区域对比, 加深理解青藏高原隆升驱动下的气候效应及对相邻地区的影响提供了依据<sup>[3]</sup>。

中国黄土的第四纪研究已经取得了突破性进展, 获得了迄今最连续完整的陆地气候记录, 其中以洛川剖面研究最为详细。作为黄土地层的典型剖面, 已经和深海同位素研究进行了系统的对比<sup>[4]</sup>。

若尔盖盆地位于青藏高原向黄土高原的过渡带, RH 孔根据生物、地球化学等环境代用指标的分析, 全孔划分了 21 个阶段, 可以和深海钻孔的氧同位素阶段对比。本文力图将 RH 孔的分析结果与洛川黄土记录进行对比(图 1), 分析其异同点, 揭示全球性气候变化的规律和区域特点, 认识青藏高原隆升对邻近我国西北干旱区的影响。

## 1 RH 孔与洛川黄土记录的对比

### 1.1 RH 孔及洛川黄土地层的年代序列

精确的年代序列的建立是进行对比的基础, 近 800ka 来, 洛川黄土记录的年代地层是较为清晰的, RH 孔的年代序列主要依据古地磁地层学和<sup>14</sup>C 年代学, 获得了迄今为止最完整的磁性地层柱。RH 孔 B/M 转换带位于 108.0—116.0m, 相当于整个同位素阶段 20, 甚至可以延至

· “八五”国家自然科学基金重点基金资助项目(编号:49131030)。

收稿日期:1996-01-11;收到修改稿日期:1996-05-03。

作者简介:薛滨,男,1970年生,助理研究员,1993年于中国科学院南京地理与湖泊研究所硕士毕业,主要从事古湖泊学研究,发表《中国中东部湖泊 12 000 年来演化及古季风过程》等论文十多篇。

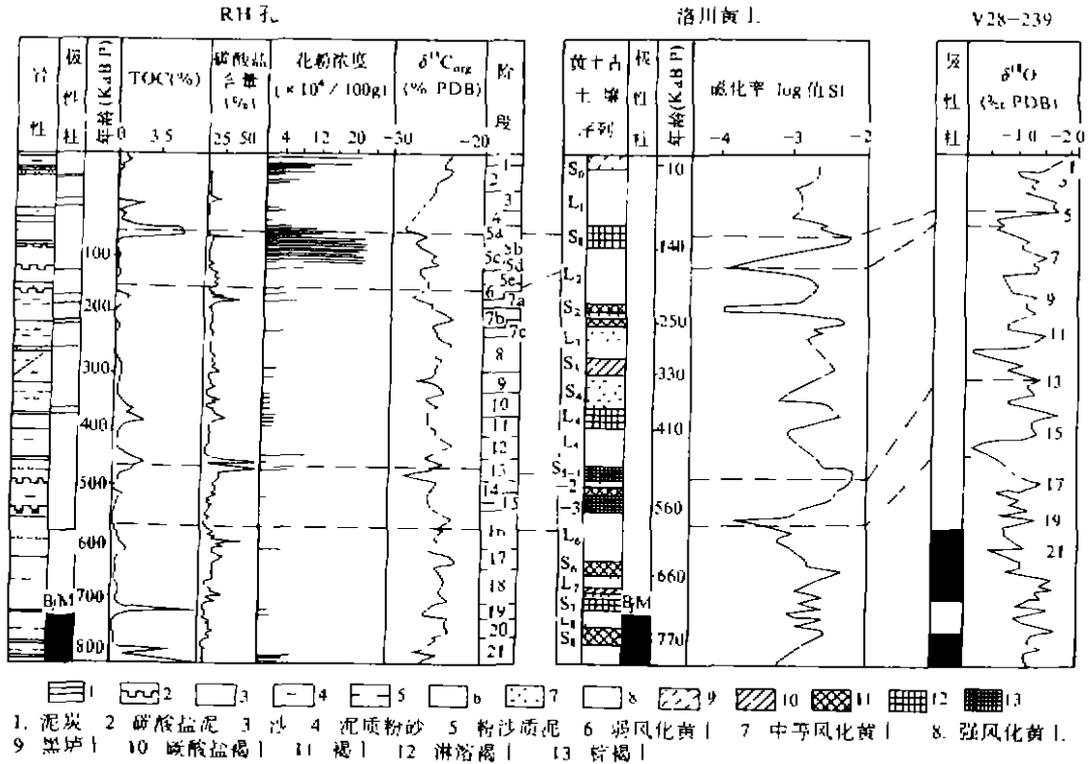


图 1 RH孔与洛川黄土的比较  
Fig. 1 Comparison of Core RH with Luochuan Loess record

阶段 19 底部,而洛川剖面 B/M 界限大约位于 L8 黄土中上部,和深海 V28-239<sup>[5]</sup> B/M 界限位于阶段 20 的上部一致,但就大多数深海钻孔而言, B/M 界限位于氧同位素阶段 19. 所以 RH 孔和黄土及深海同位素记录的 B/M 界限基本能够对应.

RH 孔布莱克事件出现在 26.2-26.8m, 相当于同位素 5e 阶段顶部, 年代为 112.0-115.0kaB. P. 在洛川黄土地层中, 关于布莱克事件的记载极少, 但从安芷生等最近的研究<sup>[6]</sup>, 洛川黄土 5e 的年龄是 120-110kaB. P., 这和作者分析 RH 孔得出的年代地层基本一致.

### 1.2 RH孔和洛川黄土记录的阶段对比

RH 孔 B/M 转换带以下, 也即 116.0m 以下到底部是一个持续时间较长的温暖湿润时期, 中部有一次短暂的冷干波动, 它对应于洛川的 S8 为发育较好古土壤, 可见有两个不显著的磁化率峰. 在兰州地区 S8 明显由两层古土壤组成, 磁化率峰值较高, 持时较长<sup>[7]</sup>. RH 孔阶段 20 和阶段 18 各种环境指标表明为冷干的环境, 但内部均有湿的波动, 气候环境并非十分恶劣. 和洛川黄土的 L8, L7 为显著风化黄土, 反映较为和缓的冷期一致. 特别是 L7 黄土中含有一薄风化层, 显示了一次不显著的温湿波动, 恰与 RH 孔阶段 18 中部的湿波动一致. RH 孔阶段 19, 18, 17, 16 可分别与 S7, L7, S6, L6 对比, 值得注意的是, 阶段 16 洛川黄土记录的是一次极干冷事件, L6 磁化率谷极深. 深海氧同位素温度曲线反映了全球冰量在近百万年来最大, 而 RH

孔尽管揭示出当时气候较冷,但湿度并不低,这和黄土记录形成鲜明的对照。

RH 孔阶段 15、14、13、12,持续近 150ka,对应黄土 S5 和 L5 也有 150ka 的持续时间。阶段 13 是一个引人注目的阶段,孢粉浓度几乎达到  $1 \times 10^5$  粒/100g<sup>[5]</sup>,是阶段 5 前浓度最大时期,其它各项指标均指示气候温暖湿润,且持时较长,但温湿程度不如阶段 5(孢粉浓度可达  $2 \times 10^5$  粒/100g)。而洛川剖面 S5 由 3 层古土壤和 2 个薄层黄土组成,对应阶段 13 的 S5-1 磁化率峰是近百万年来最高的,记录的气候最温暖湿润,显然这和 RH 孔并不一致。但作者注意到,六盘山以西如兰州黄土记录,S5 磁化率峰也并非最高,反映的温湿程度不如 S1,这也许是古土壤发育的区域环境差异所致。尽管阶段 15 在 RH 孔中是一个温湿时期,但暖湿程度远不如阶段 13,这和黄土记录是一致的。RH 孔阶段 14,据孢粉资料可能为偏湿的环境,对应 S5-1 与 S5-2 之间的黄土磁化率谷并不很低,阶段 12 在深海记录中,氧同位素值基本接近阶段 16,在 V28-239 孔中尤为明显,为一个全球冰量极大的时期,RH 孔阶段 12 为一个冷略偏湿的时期,对应洛川剖面也是较为一致的,L5 磁化率谷值并不太低。

RH 孔阶段 11、10、9、8 可分别与 S4、L4、S3、L3 对比。黄土记录表明,L3、L4 为中等风化黄土,气候较为和缓。这在 RH 孔岩芯记录中也是较为清楚的,阶段 10 和 8,孢粉等代用指标揭示气候不太寒冷,并且湿度条件相对较好。阶段 10 孢粉浓度甚至可达  $2 \times 10^4$  粒/100g,阶段 8 湿度较阶段 10 更大,该段后期环境条件尤好,为温湿的气候,这与黄土磁化率曲线吻合较好。L3 磁化率值较 L4 大,且 L3 黄土磁化率值呈增大的趋势。

阶段 7 在 RH 孔中也是一个非常突出的阶段。据孢粉资料,该阶段于 250kaB. P. 开始,对应于洛川的 S2 古土壤,RH 孔阶段 7 内孢粉及其它资料揭示两个偏湿的亚阶段,而洛川黄土 S2 古土壤也是由两层复合而成。阶段 6 在 RH 孔中无孢粉检出,TOC 在全孔为最低值,尤其该阶段后期环境极为恶劣,对应黄土地层中 L2 黄土磁化率有一明显的谷值,尤其后期磁化率谷更甚,陈发虎等认为这是近百万年来极为干冷的时期<sup>[7]</sup>。

对于阶段 5 以来气候变化的研究,是国际上极感兴趣的问题,它包括了第四纪距今最近的一个完整的冰期和间冰期。就阶段 5 而言,无论湖泊沉积、黄土记录还是大洋钻孔研究,都表明它是一个极为暖湿的时期,但暖湿的程度两者有一定的差异,这在前已论述。至于阶段 5 内部细分,目前争论较多<sup>[9]</sup>。尽管黄土高原黄土-古土壤序列磁化率曲线以 S1 底部的古土壤值最高,但同样有资料表明阶段 5 的几个亚段并不存在明显的温度差异<sup>[10]</sup>。在若尔盖 RH 孔中孢粉显示温度最高的是 5c 亚段,而热量水汽量最佳配置、生物量最高的是 5a 亚段<sup>[3]</sup>,所以若尔盖盆地阶段 5 记录的独特性,是否与青藏高原上升到一定的高度以及和高原季风有关,这有待今后资料进一步论证。

RH 孔末次冰期开始于 66.7kaB. P.,但湿度仍然相当大,阶段 3 环境和阶段 4 接近。从孢粉记录看,末次冰期存在两个环境相对改善的时期,对应于洛川剖面马兰黄土中部的古土壤,它由 55kaB. P. 和 30kaB. P. 前后的磁化率波峰组成,<sup>10</sup>Be 浓度在马兰黄土中部也略有升高,似乎也指示两个较高的峰<sup>[1]</sup>。RH 孔阶段 2 的前期具有冷偏湿的特点,而后期变得冷干,洛川黄土 L1-1 磁化率似乎也有向上降低的趋势。S0 持续时间约为 9-5kaB. P.,对应于 RH 孔,9-6kaB. P 同样为一个极为温暖湿润的时期。

### 1.3 阶段对比的一些特点

800ka 来 RH 孔的环境演化过程显示出如下特点:冷期持续的时间远远超过暖期。就其内

部结构而言,冷期(偶数段)相对稳定,而暖期的内部次级波动要频繁得多,这在洛川黄土记录中,也有类似特点,很多古土壤都由数层薄的古土壤层复合而成,如 S8、S5、S2;在兰州的黄土记录中甚至 S8、S7、S5、S4、S3、S2、S1 的磁化率均有 2—3 个峰,这似乎均可说明暖期气候的不稳定性。

最近,丁仲礼等研究表明<sup>[2]</sup>,松山气候期黄土古土壤磁化率、粒度曲线反映气候变化幅度不大,频率较高,距今 900—550kaB. P. 是个过渡时期,气候变化的幅度加大,频率降低,也即全球变化的气候周期由 41ka 为主的黄赤交角变化周期,过渡为 100ka 为主的偏心率周期;同时磁化率曲线起伏幅度更大。作者在 RH 孔的研究中,也注意到了这一特点,根据对有机质稳定碳同位素的功率谱分析,约距今 500ka 也是一个气候变化的界限,其前 40ka 为周期变化的主成分,其后 100ka 的周期特征明显<sup>[11]</sup>。这种气候变化的特点,作者认为一方面是全球气候旋回的普遍规律,在深海同位素记录中也有此种特征,另一方面与青藏高原的加剧隆升,导致冰期蒙古高压不断增强、气候更为干燥,间冰期东南季风与西南季风逐步加强,气候趋于温暖湿润有关。

## 2 结果与讨论

RH 孔长时间尺度的湖泊记录,基本上可和黄土、深海氧同位素记录对比。事实上,黄土粉尘堆积是气候干燥程度的直接指标,而深海氧同位素记录了全球冰量的大小,也即气候的冷暖程度。湖泊记录反映的是气候冷暖干湿的综合特征。RH 孔和黄土、深海氧同位素记录的一致性,说明晚第四纪以来青藏高原以东我国大部分地区气候变化主要以冷干、暖湿波动为主要型式。

然而,从上述陆相记录的对比可以看出两者有明显不一致,如阶段 16。RH 孔环境代用指标的分析揭示为冷湿的环境。这一时期黄土高原磁化率曲线反映为极为干旱的时期。根据 RH 孔已有研究,阶段 18—16 为倒数第 3 次冰川发育时期,推测当时青藏高原高度较低,比现在低 1 000m<sup>[12]</sup>,有利于水汽的凝结,降水可能相对丰富,利于冰川发育,这次冰期在青藏高原可能是规模最大的冰川作用时期。高原陆相记录和黄土堆积的不一致性,其机制可能为在 700kaB. P. 前后,高原隆升到一个临界高度,从气候因素分析及数字模拟的结果看,这个临界高度近 3 000m,大气环境发生一次根本性的改变,使底层原爬越高原的西风向高原两侧绕流,高空西风波槽增强,扰动加剧,高原季风稳定建立,它即可以激发强烈的西南季风,又不至于明显阻挡其水汽进入高原内部,同时高原季风和绕流西风在冬季还可强化冬季风携带粉尘的能力<sup>[13]</sup>。这就解释了为什么若尔盖高原 700kaB. P. 前后发育最大规模的冰川,而黄土堆积在这一时间后堆积加厚的原因。

在 500kaB. P. 前后,高原普遍发育红色风化壳,可和洛川黄土高原成壤作用最强的 S5 古土壤相对比。但是中更新世以来,由于高原加速隆升到新的高度,其巨大的屏障作用使得水汽来源骤减。从 RH 孔的孢粉记录看,阶段 13—9,若尔盖地区以温暖稍干的气候为主,其间的冷阶段为冷干气候,RH 孔的沉积速率在阶段 10—5 明显加大,这样 RH 孔反映的倒数第二次冰期(也即阶段 8 和 6),气候以寒冷干旱为主要特征。阶段 8 内部有湿的波动,而阶段 6 明显干旱。这和倒数第三次冰期显然不同。黄土高原 L2 磁化率明显的谷值也反映为极为干旱时期,这一方面说明高原本身水汽条件下降,同时高原的整体巨幅隆升,也加剧了我国西北地区的干

旱程度,气候信号显著放大,黄土古土壤序列自 550kaB. P. 后更为醒目。

我国黄土长尺度层序记录了古季风的变化过程,通过青藏高原高分辨连续的记录和黄土记录的对比,可以具体地把高原的新构造进程和我国季风气候的演化联结起来。这项工作有待今后高原长时间高分辨记录的进一步积累,本文暂作一尝试。

### 参 考 文 献

- 1 Kutzbach J E, Guetter P J, Ruddiman W F, *et al.* Sensitivity of climate to late Cenozoic uplift in southern Asia and the American west, numerical experiments. *J Geophys Res*, 1989, **94**:18393—18407
- 2 Ding Z L, Yu Z, Rutter N W, *et al.* Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits. *Quaternary Science Reviews*, 1994, **13**:39—40
- 3 王苏民, 施雅凤, 沈吉. 青藏高原东部 800ka 以来古气候与古环境变迁的初步研究. 见: 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 236—248
- 4 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985
- 5 Shackleton N J and Opdyke N D. Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of Pacific core V28—239. Late Pliocene to latest Pleistocene. *Geological Society of American Memoirs*, 1976, **145**:449—464
- 6 An Z S, Kukla G J, Porter S D, *et al.* Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130000 years. *Quaternary Research*, 1991, **36**:29—36
- 7 陈发虎, 张维信. 甘青地区黄土地层和第四纪冰川. 北京: 科学出版社, 1993
- 8 刘光秀, 沈永平, 张平中. 青藏高原若尔盖盆地 RH 孔 800—150kaB. P. 孢粉记录及其古气候意义. *沉积学报*, 1994, **12**(4): 101—109
- 9 Lauritzen S, Anderson P M. Introduction: The Last Interglaciation in Arctic and Subarctic regions, time frame, structure and duration. *Quaternary Research*, 1995, **43**:115—116
- 10 Guiot J, Pons A, Beaulieu J L, *et al.* A 140000-year continental climate reconstruction from two European pollen records. *Nature*, 1989, **338**:309—313
- 11 吴敬祿. 青藏高原东部古气候的频谱分析. *湖泊科学*, 1997, **9**(出版中)
- 12 施雅凤, 郑本兴, 李世杰等. 青藏高原中东部最大冰期时代与气候环境演化. *冰川冻土*, 1995, **17**(2):97—107
- 13 方小敏, 李吉均, 朱俊杰等. 临夏盆地约 30Ma 以来 CaCO<sub>3</sub> 含量变化与气候演化, 见: 青藏项目专家委员会编. 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊(1994). 北京: 科学出版社, 1995. 55—65

## COMPARISON STUDY OF RH CORE FROM ZOIGE BASIN WITH LUOCHUAN LOESS RECORD SINCE 800kaB. P.

Xue Bin      Wang Sumin

*(Lake Sedimentation and Environment Lab., Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008)*

### Abstract

Zoige Basin is located in the eastern Qinghai-Xizang Plateau. Core RH(33°54'N, 102°33'E) has been sampled from the depth of 120m with the bottom age of 826 ka B. P., and divided into 21 stages according to the multi-proxy analysis, which can be basically compared with the oxygen isotope record of deep sea core.

The good correlation of core RH, loess and oxygen isotope record of deep sea suggests that the climatic change of eastern Qinghai-Xizang Plateau since the middle Pleistocene is mainly characterized by cold-dry and warm-wet fluctuations.

However, there are discrepancies between the two records from the above-mentioned comparison of the continental records. For example, core RH suggests cold and wet climate for stage 16, whereas Loess Plateau record indicates very dry climate for this period. The authors speculate that the plateau had uplifted to a threshold altitude about 3 000m at some 700kaB. P. At that time the fundamental change of air circulation occurred, i. e. the bottom of the westerlies became into rounding both north and south sides of the plateau from climbing over the plateau originally, resulting in the strengthening of upper westerly trough and hence the intensification of turbulence. Thus a stable Plateau monsoon was established. The plateau might induce the strong southwest monsoon, and did not obstruct obviously the moisture transport into its interior, meanwhile the large scale of ice-snow coverage and increase in albedo made the plateau a cold high pressure cell, hence strengthening Siberia and Mongolia High, which intensified winter monsoon and restrained summer monsoon to a great extent. This may explain why the maximum glaciation was developed in the plateau, whereas in Loess Plateau coarser and thicker loess was deposited, displaying a cold-dry environment.

Afterwards, the plateau accelerated uplift to a new height and acted as a mechanical barrier. This gave rise to the decrease of moisture transportation. Therefore, the penultimate glaciation (stages 8 and 6) from core RH is characterized by cold-dry climate, which contrasts with the maximum glaciation. The moisture condition of the plateau itself was deteriorated, and entirely drastic uplift of the plateau strengthened cold-source and heat-source effect. The Loess Plateau is characterized by the more remarkable alternative sequences of loess and palaeosol, resulting from the evident amplification of monsoon climate cycle signal.

**Key Words** RH core, Luochuan Loess record, comparison study