

文章编号: 1006-6616(1998)04-50-57

桂林水南洞洞穴沉积物的古地磁记录及其古环境意义

李彬¹ Frank Hauge² Reidar Lovlie² Stein-Erik Lauritzen³
袁道先¹, 林玉石¹, 张美良¹

1 地矿部岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004;

2 挪威卑尔根大学固体地球物理研究所; 3 挪威卑尔根大学地质系.

摘要: 通过对桂林水南洞 2.5m 厚的洞穴沉积物剖面的古地磁初步研究, 其结果及地质证据表明该沉积剖面形成期可能与贾拉米洛正向期对应。根据磁化率、磁性矿物的特征和沉积学特征, 对该地区这一地质时期的古环境变化提出以下认识: 1. 第三暖湿期, 以钙华沉积为特征; 2. 第二干冷期, 以含有少量钙质的黄褐色粘土为特征, 并以含有高矫顽磁性矿物和低磁化率为特征; 3. 第二暖湿期, 以互层的红褐色粘土、含高含量钙质的粘土或钙华为特征, 并以含有低矫顽磁性矿物和高磁化率为特征; 4. 第一干冷期, 以褐灰色粘土为特征, 并以含有高矫顽磁性矿物和低磁化率为特征; 5. 第一暖湿期, 以地下河沉积相(砂卵石为主)为特征。

关键词: 洞穴沉积物; 古地磁记录; 古环境变化

分类号: P318.4, P532 **文献标识码:** A

0 引言

在中国南方岩溶区, 岩溶形态极为发育。研究表明各种岩溶形态可提供丰富的古环境和古气候信息, 而洞穴沉积物, 包括化学的和机械的沉积物, 在古环境研究中尤为重要。目前尽管已对洞穴沉积物的古地磁进行了较多的研究^[1-5], 但对洞穴沉积物在古环境方面的古地磁记录还无详细的讨论。从理论上来说, 洞穴内的温度和湿度一般都很稳定, 风化和生物扰动也很弱, 因此洞穴沉积物常常保持完好, 可以提供较好的古环境和古气候信息。据此, 我们对桂林水南洞的一沉积剖面进行了初步的研究, 以求获得该地区的古地磁记录及有关古环境变化的信息。

收稿日期: 1998-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49632100)

作者简介: 李彬 (1962), 男, 地质矿产部岩溶地质研究所副研究员, 多年来一直从事年代学和环境同位素应用的研究。

1 地质背景

水南洞位于桂林西北部的桃花江畔(图 1A), 该洞穴形成于较纯的泥盆纪灰岩中。洞穴长约 230m,宽 10- 50m(图 1B)。洞内机械沉积物较丰富,而化学沉积物则以丰富的钙华和较少的石笋、钟乳石为主。

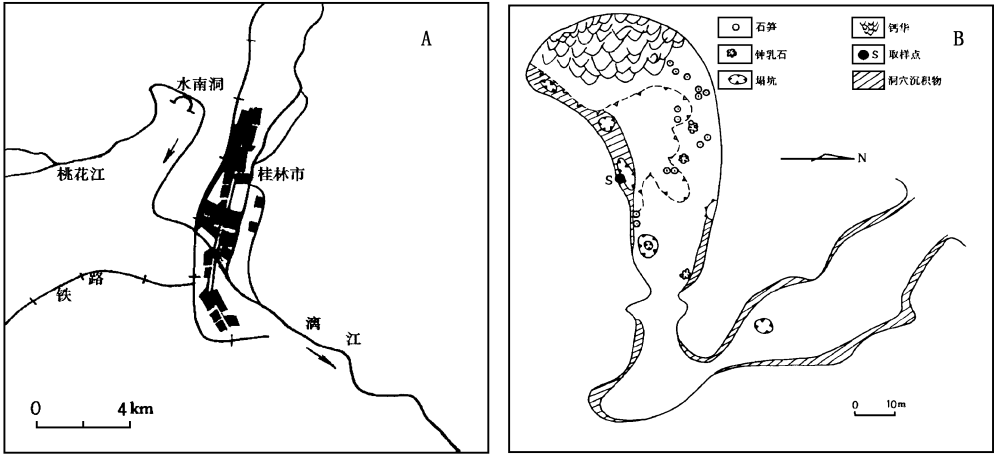


图 1 水南洞位置示意图及水南洞平面示意图

Fig. 1 Sketch map(A) showing the location of Shuinan Cave and planesketch (B) of the cave

采样剖面位于洞穴的中部(图 1B)。图 2为该剖面的示意图,自下而上,其沉积相从地下河相(以砂卵石为主)到洞内湖泊相(以灰褐色砂质粘土为主),再到洞穴包气带水沉积相(以红褐、黄褐色粘土为主,并含丰富的钙质或钙华层)。

2 采样与测量

2.1 采样

在洞内首先开挖了一个 2.5m 的探槽,并将表面清除干净。然后用 5×5×35cm 的铝盒自下而上采样(取决于剖面的硬度或手压或锤击),然后密封,采样位置如图 2 所示。在实验室的进一步的采样中,对较软部分则用 5.4cm³ 的方型塑料盒压入采样,而对较硬部分则用一黄铜取样装置采样,然后再转移至 5.4cm³ 的圆柱型塑料盒中,共取 41 个样品,并置于 4℃ 的冷藏室中保存。

2.2 测量

所有的测量工作均在挪威卑尔根大学固体地球

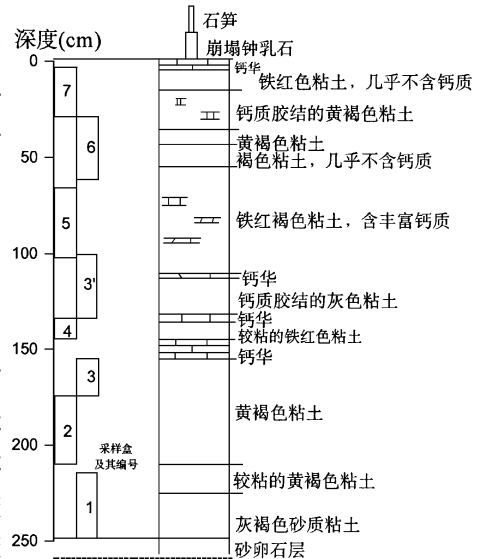


图 2 水南洞沉积物剖面示意图及采样点
Fig. 2 Schematic section and sampling points in the sediments of Shuinan cave, Guilin

物理研究所古地磁实验室完成。磁化率和磁性结构通过在 Kappabridge KLY-2上以 15个不同方向的测量而获得。自然剩余磁性和交变磁场退磁测量则在一低温磁力仪上完成。所有样品均在低磁场的室内 ($< 5_nT$)用旋转磁力仪进行了标准交变磁场的测量。先用螺旋管磁化仪磁化至 0.24T,然后用 Redcliff脉冲磁化仪磁化至 3T,对 30% 的样品进行了进一步的等温剩磁测量以阐明磁性矿物。

3 结果

3.1 磁性磁化率的各向异性 (AMS)

为了检验样品的可靠性,并获得其平均磁化率,所有样品都进行了 AMS(磁化率各向异性)测量。大多数样品的 F值(最大轴与最小轴之间的差异)均大于 4,标准误差小于 1.5,大多数小于 1。这些结果表明所有样品未受扰动,因此古地磁的结果应是可靠的。

3.2 自然剩余磁场方向 (NRM)

图 3表明了水南洞剖面的 NRM 方向,同时表明整个剖面(除深度约 140cm附近的铁红色粘土外)磁化强度较稳定,约为 5mA/m。但在剖面的顶部,伴随着强度的突然增加,磁偏角变化约 180° ,而磁倾角似乎发生了倒转。一般情况下,磁偏角为 -30° — 20° ,而磁倾角变化在 20° — 50° 之间,其平均磁倾角为 32° ,小于该地区的轴向偶极子场 (ADF, 46°)。磁化率的变化表明在剖面的下部(在 150cm处一钙华板之下)有一个稳定带,其磁化率低于 $100 \times 10^{-6} SI$,而其上则变化较大,且具有较大的磁化率,最大达 $300 \times 10^{-6} SI$ 。

3.3 去磁化结果

为了确定自然剩余磁性方向的稳定性和矫顽磁性的分布特征,所有样品均在交变磁场(最大至 50mT)中作去磁测量。对于大多数样品,叠加于稳定单一组分之上的次级组分在 6mT下(通常在 3mT时)均被除去。图 4为 15mT下的去磁化后的特征剩余磁性 (ChRM),从图中可以看出,尽管剖面顶部的倒转方向已消失,但趋向于较浅的磁倾角和偏南的磁偏角。

3.4 磁性矿物

为了评价磁性结构的成因,共检测 13个样品的磁性矿物学。图 5是两个典型例子的结果。结果表明从剖面的底部到顶部, RACF由 578.9mT变至 60.1mT,这表明剖面中由下而上磁

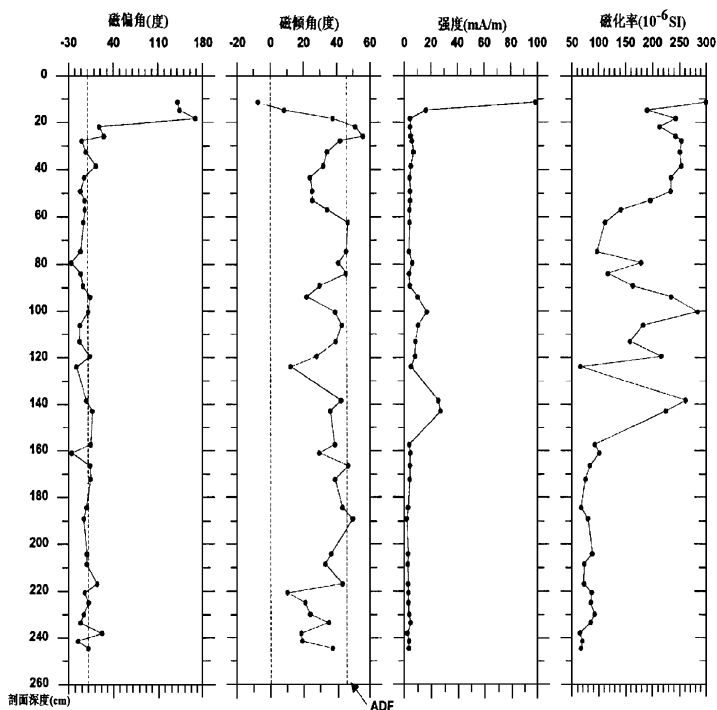


图 3 水南洞沉积物自然剩余磁性特征及磁化率
Fig. 3 NRM results from the sediments of Shuinan cave

性矿物具有从高的矫顽磁性变为低的矫顽磁性的趋势。两种磁性特征的分界线大约在 155cm, 与沉积相的变化相对应。此外, 图 5a 还表明, 退磁场曲线可分为两种明显的不同部分, 即上部以低矫顽磁性矿物为特征, 下部则以高矫顽磁性矿物为特征。因此, 该结果表明在位于 155cm 之上的剖面中可能含有两种磁性矿物组合, 而剖面的下部则主要以高矫顽磁性的矿物组合为特征。

为了进一步研究磁性矿物的特征, 对一些参数 S ($b\text{IRM} / \text{SIRM}$) 和 HIRM ($(b\text{IRM} + \text{SIRM}) / 2$) 作了进一步的研究。SIRM (饱和等温剩磁) 和 $b\text{IRM}$ (退磁等温剩磁) 值分别在 500mT

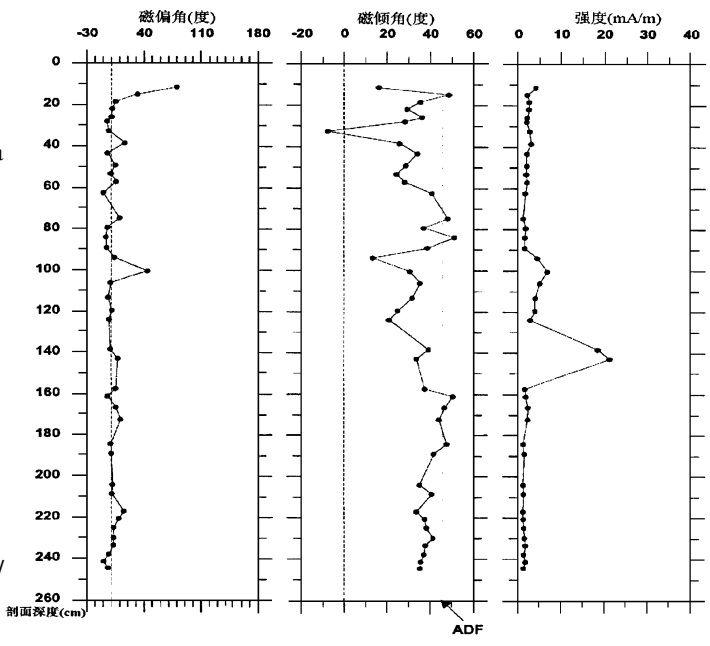


图 4 经 15m T 去磁化后的特征剩余磁性
Fig. 4 ChRM results after 15m T

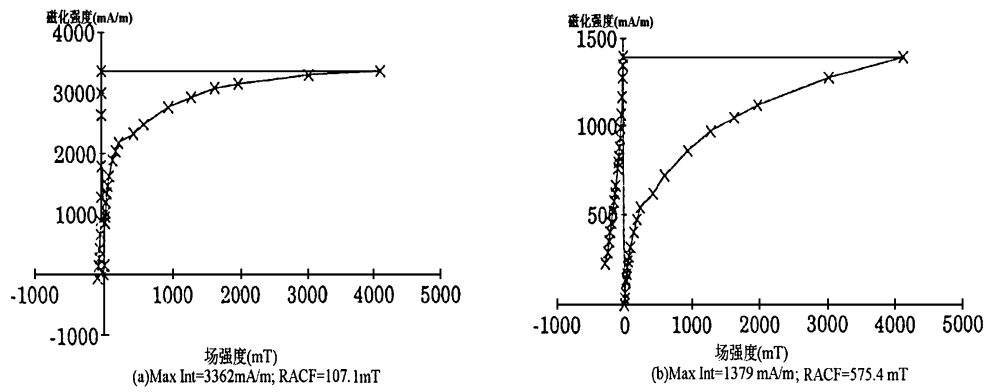


图 5 在强磁场下矫顽磁性分析

Fig. 5 Coercivity spectrum analysis with strong-field thermomagnetic behavior [样品分别来自 11.5cm (a) 和 208.6cm (b)]

和 100m T 磁场下获得。S 值曲线和 HIRM 值曲线同样能反映磁性矿物的特征。当 $S = -1$ 时, 表明有较高比例的磁铁矿, S 值越高表明赤铁矿等高矫顽磁性矿物增加^[6]。HIRM 值则与高矫顽磁性矿物的含量成正比^[6]。因此, S 值曲线和 HIRM 值曲线也清楚地表明剖面中由下而上磁性矿物具有从高的矫顽磁性变为低的矫顽磁性的特点。

4 讨论

4.1 剖面年龄的确定

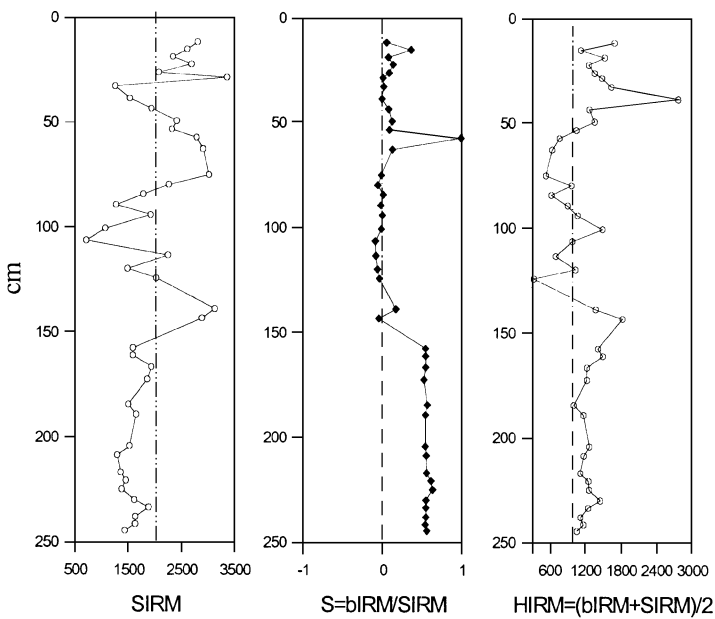


图 6 水南洞沉积物中 S 值、HIRM 参数的变化

Fig. 6 Variations of ratios S and HIRM in the Shuinan Cave Sediments

年龄的确定对于古环境的研究至关重要,但遗憾的是在本剖面的古地磁研究中未能获得可靠的极性记录,故而不能获得一个确定的年龄。但是,结合古地磁和剖面上部次生化学沉积物的轴系年龄结果,以及该地区的地质历史,我们试图得出该剖面的大致年龄。

图 4 表明在剖面的顶部存在一个倒转事件的某些证据,尽管在 15m T 后该事件消失,但趋于倒转的趋势仍存在。因此,这似乎表明一个倒转事件可能已在剖面的顶部发生。

桂林位于紧邻云贵高原的广西盆地,因此该地区的大地构造运动应与青藏高原的抬升相对应。此外,该剖面的沉积相从地下河相到地下洞穴的湖泊相,再到洞穴包气带水的沉积相也表明了该地区地壳的上升运动过程。根据青藏高原的研究,它经历了 3 次强烈上升运动,即从 2.0Ma 到 1.5Ma 约 1Ma (从 1.1Ma 到 0.75Ma) 和从 0.3Ma 到 0.4Ma^[7]。另外一些研究表明,其现代地貌形态大约距今 1.2Ma 以来形成^[8,9]。因此,水南洞随着这一大地构造运动,也经历了从地下河到地下湖泊,再到干洞的地质过程,也就是说该剖面的形成时代应在 1Ma 左右,即与现代地形的形成大致相当。

通过以上分析可以推断,该剖面的形成时代可能与贾拉米洛正向期对应,即形成于 0.97—0.90Ma。

4.2 古气候记录

4.2.1 基本原理

洞穴沉积物磁性特征是由颗粒大小、形态、矿物类型和洞内洞外的风化、沉积特征等综合因素所决定的,而这些特征又是由洞穴环境和古气候所决定的,因此沉积物的磁性参数可以反映环境及气候的变化。

黄土、湖泊和海洋沉积物的研究表明,一些磁性参数,如 κ (磁化率)^[10-12], SIRM 和 S ($bIRM/SIRM$)^[6,13] 可以反映磁性矿物组合的矫顽磁力变化,继而反映古气候的变化。但对于洞穴沉积物,除了一些与湖泊沉积物类似的特征外,还有一些特殊的方面,如较多的原地化学沉积物,极弱的生物扰动。此外在干洞阶段,沉积物可能直接源自于洞穴的顶部,并直接反映洞

外的风化条件。因此,洞穴沉积物磁性特征的研究可以提供重要的古环境变化信息

对于黄土和古土壤序列,磁化率在古土壤(暖湿气候)中增大,而在黄土(干冷气候)中减小。一些研究表明^[6]湖泊沉积物中,在间冰期期间,由于有机质供给的增加和陆源物质的减少,磁化率减小;而在冰期,由于有机质供给的减少和陆源物质的增加,磁化率增大。对于海洋沉积物,已发现了两种相互矛盾的关系^[13]。因此,磁化率的变化规律取决于沉积物的类型,而对于洞穴沉积物则又有其特殊性。

4.2.2 磁化率的记录 图3表明了水南洞洞穴沉积物磁化率 κ 随沉积相的变化而变化。由于沉积特征的变化可能反映沉积环境和物质来源的变化,故磁化率无疑也从另一个侧面反映了古环境的变化。

如上所述,洞穴沉积物的古地磁记录有其特殊的方面。从现代环境来看,在干冷期,由于水循环强度减弱,外源物质供给减少,磁化率则减少。此外,由于温度降低,降水减少,有机质分解速度和被冲刷的强度减小,地表有机质趋于增加,因此在有限的外源物质中有机质相对增加,这也造成了磁化率的减小。而在暖湿时期,水循环强度增强,外源物质供给增加,磁化率则增大。同时,由于条件适宜,碳和钙(镁)循环也增强,导致了洞内钙华的形成,这也会引起磁化率的降低。因此,根据这一原理,并结合图3,我们可以对水南洞剖面的古地磁记录得出以下结论:从150-250cm,以低磁化率为特征,这可能反映了一个相对干冷时期;从45-155cm以磁化率波动变化较大为特征,但平均来说较高,这可能反映了一个相对暖湿时期,而磁化率的波动则可能与剖面中钙质含量大小相对应;从20-45cm磁化率则相对较高,也反映了一个相对暖湿时期。但在20-6cm磁化率则有减小的趋势,这可能反映了气候条件由暖湿向干冷变化的趋势。

4.2.3 S比值和 HIRM 参数的记录 湖泊沉积物的研究表明^[6],在暖湿时期,沉积物的磁性矿物以低矫顽磁力矿物为特征,而在干冷时期,则以高矫顽磁力矿物为特征。而洞穴沉积物的形成在某种程度上与湖泊沉积物类似,即一方面物质来源于地表风化物,另一方面也经历了洞内湖泊的沉积过程。因此,参照湖泊沉积物的研究结果,并结合本剖面沉积物的S比值和HIRM参数,作出如下分析。

图6表明了S比值和HIRM参数,以及SIRM参数的变化特征。S比值的变化表明了两个明显的部分,即从距顶6-155cm和155-250cm下部以高S比值为特征,这表明沉积物以含高矫顽磁力的矿物为主。相反,上部以低S比值为特征,这表明沉积物以含低矫顽磁力的矿物为主。因此,S比值的变化反映了两个不同的古气候变化时期,即从相对干冷时期(155-250cm)到相对暖湿时期(155-250cm)。

在图6中,HIRM的变化较明显地分为3个部分,即从距顶155-250cm,以相对低HIRM值为特征;从距顶45-155cm,以相对高HIRM值为特征;从距顶6-45cm,以相对低HIRM值为特征。如上所述,HIRM值的变化与沉积物中磁性矿物的矫顽磁力有关,即较高的HIRM值表明沉积物中的磁性矿物以高矫顽磁力的矿物为主。因此,根据HIRM值的变化,将该地区分为3个不同的气候时期,即由相对干冷到相对暖湿,再到相对干冷。

4.2.4 古气候变化的概念模式 根据上述沉积和古地磁特征的分析,我们可将桂林地区的这一沉积剖面沉积时期的古气候重建如下:

(1) 第三个暖湿期(剖面的顶部):以6cm厚的钙华沉积为特征

(2) 第二个干冷期(6-45cm):以含有较少钙质的黄褐色粘土为主,并以高矫顽磁力的矿物和磁化率由高而低的变化趋势。

(3) 第二个暖湿期 (45—155cm): 以含有较高钙质或钙华层的红褐色粘土为主, 并以低矫顽磁力的矿物和相对高磁化率为特征。

(4) 第一个干冷期 (155—250cm): 以含有较少钙质的灰褐色粘土为主, 并以高矫顽磁力的矿物和相对低磁化率为特征。

(5) 第一个暖湿期 (> 250cm): 该时期以地下河沉积相的砂卵石沉积为特征。

5 结论

通过以上分析, 初步得出桂林地区 1Ma—0.9Ma 的古气候变化特征。尽管这一研究还不完全, 如缺乏足够的年代证据, 但研究结果显示在中国南方岩溶区, 由于缺乏象北方黄土和青藏高原区冰心、湖泊沉积物等古气候信息的载体, 故洞穴沉积物的详细研究可能会提供一些重要的古气候变化信息。

在此作者向给与项目开展以财政资助的挪威国家科学理事会表示衷心的感谢! 并向挪威卑尔根大学固体地球物理研究所古地磁实验室和地质系铀系年代实验室的大力支持表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- [1] Noel M. The magnetic remanence and anisotropy of susceptibility of cave sediments from Agen Allwedd, South Wales [J]. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 1983, 72: 557—570.
- [2] Noel M. Palaeomagnetism and magnetic fabric of sediments from Peak cavern, Derbyshire [J]. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 1986, 84: 445—454.
- [3] Noel M. Palaeomagnetic and archaeomagnetic studies in the caves of Guangxi [J]. *Cave Science*, 1990, 17: 73—76.
- [4] Schmidt V. A. Magnetostratigraphy of sediments in Mammoth cave, Kentucky [J]. *Science*, 1982, 217: 827—829.
- [5] Lovlie R, Giliĳ-Nilson H, Lauritzen S-E. Reversed magnetostratigraphic age estimate of cave sediments from Grnligrotta, Norway [J]. *Cave Science*, 1988, 15: 105—108.
- [6] Peck J A, King J W, Colman S M et al. A rock magnetic record from lake Baikal, Siberia: Evidence for lake Quaternary climate change [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, 122: 221—238.
- [7] Li J. The environmental effects of the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1991, 10: 479—483.
- [8] Liu T, Zhang S, Han J. Stratigraphy and palaeoenvironmental changes in the loess of central China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1986, 5: 490—495.
- [9] Sun D, Wu X. Preliminary study of Quaternary tectono-climatic cycles in China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1986, 5: 497—501.
- [10] An Z, Kukla G J, Porter S C et al. Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the loess plateau of central China during the last 130,000 yr [J]. *Quaternary Research*, 1991, 36: 29—36.
- [11] Kukla G. Loess stratigraphy in central China [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1987, 6: 191—219.
- [12] Forster T, Heller F. Loess deposits from the Tajik depression (central Asia): Magnetic properties and paleoclimate [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1994, 128: 501—512.
- [13] Creer K M, Morris A. Proxy-climate and geomagnetic palaeointensity records extending back to ca. 75,000a B. P. derived from sediments cored from Lago Grande Di Monticchio, southern Italy [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1996, 15: 167—188.

PALAEOMAGNETIC RECORDS FROM SHUINAN CAVE SEDIMENTS, GUILIN AND ITS BEARING ON PALAEOCLIMATIC CHANGES

LI Bin¹, FRANK Hauge², REIDAR Lovlie², STEIN-Erik Lauritzen³,
YUAN Daoxiao¹, LIN Yushi¹, ZHANG Meiliang¹

1 Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004;

2 Institute of Solid Earth Physics of Bergen University, Norway;

3 Geological Department of Bergen University, Norway.

Abstract A detailed palaeomagnetic study of a 2.5 m thick section of cave sediment has been made in order to retrieve a record of palaeoenvironmental change in Guilin area. The palaeomagnetic results and geological evidence show that the sediments might have been deposited during the Jaramillo Polarity subchron, i.e. from 0.97 Ma to 0.90 Ma. Based on the susceptibility, the magnetic minerals (S ratios, SIRM etc.), and sediments characteristics), and a correlation with the loess records in north China, a conceptual model of the palaeoclimatic changes in Guilin area is proposed as follows: 1. a warm and wet period (since 0.90 Ma) characterised by travertine deposit; 2. a dry and cold period (0.92 to 0.90 Ma) characterised by yellowish-brown clay with less calcareous content, high coercivity minerals and low susceptibility; 3. a warm and period (0.94 to 0.92 Ma) characterised by the interbedded reddish-brown clay, calcareous material and travertine, low coercivity minerals and high susceptibility; 4. a dry and cold period (0.96 to 0.94 Ma) characterised by greyish-brown clay with less calcareous material, high coercivity minerals and low susceptibility; and 5. a warm and wet period (> 0.96 Ma) characterised by the sandy gravel (underground river facies).

Key words Cave sediments; palaeomagnetic records; paleoenvironmental changes