

西藏米林地区湖积物的磁性特征及其古气候意义

朱宗敏^{1,2}, 寸金鸿², 庞龙飞², 向树元², 陈奋宁², 江尚松²

1. 生物地质与环境地质教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

摘要: 米林地区雅鲁藏布江三级河流阶地上发育厚达 52.2 m 的晚更新世晚期深-浅湖相和滨-浅湖相沉积物, 显示当时米林地区存在一个规模较大的古堰塞湖。为了探讨该套湖积物记录的古气候、古环境信息, 在米林机场剖面采集了 259 块定向样品进行环境磁学测试和分析。其中, 磁组构分析表明 86% 的样品具有原生磁组构, 它们的最大磁化率主轴 κ_1 指示米林古堰塞湖的物源经历了由南、北方向到西、北东再至西向这一大致顺时针方向变化的趋势, 可能与该区的差异隆升作用有关。研究剖面的天然剩余磁化强度 (NRM) 和体积磁化率 (κ) 变化曲线与沉积物的粒度、沉积相关系密切, 反映该区晚更新世晚期至少经历了 4 次显著的气候波动; 同时, NRM、 κ 波动曲线能够很好地对应于格陵兰冰心 GISP2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线 IS1 IS6 和 IS8 并记录了新仙女木事件 (YD) 和 3 次 Heinrich 事件 (H1, H2, H3), 表明米林地区晚更新世晚期的气候变化受到全球气候系统影响。

关键词: 西藏; 米林; 环境磁学; 古气候。

中图分类号: P539.3

文章编号: 1000-2383(2007)05-0622-07

收稿日期: 2007-06-19

Magnetic Properties of Lacustrine Sediments and Implications for Paleoclimate in Milin Area, Tibet

ZHU Zong min^{1,2}, CUN Jin hong², PANG Long fei², XIANG Shu yuan²,
CHEN Fen ning², JIANG Shang song²

1. Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, Ministry of Education, Wuhan 430074, China

2. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: There are 52.2 m deep low lacustrine facies and littoral low lacustrine facies sediments developed at the later stage of late Pleistocene distributed on the third terrace of Yarlung Zangbo river, Milin region, southeast Tibet, indicating that there was a large ancient dammed lake in the Milin region at that time. In order to discuss the paleoclimate and paleoenvironment of this area, we measured some magnetic parameters of 259 directed samples collected from the Milin airport section. The results indicated that most of the samples have original magnetic fabric and their κ_1 axis indicated the direction of provenance of the Milin ancient dammed lake changed from south and north directions to west and northeast directions, and then to west direction, i. e. a clockwise changing, the changes probably are related to the change in denudation rate induced by differential uplifting of the studied region. The natural remanent magnetization (NRM) and bulk susceptibility (κ) of Milin section have close relationship with particle size and sedimentary facies, which revealed that there are at least four times obvious fluctuates of paleoclimate during later stage of late Pleistocene. The NRM & κ curves of Milin section correspond to IS1 IS6 and IS8 stages of Greenland GISP2 $\delta^{18}\text{O}$ ice record and also clearly record the Younger Dryas (YD) event and Heinrich events (H1, H2, H3), indicating that the climate of Milin region was influence by the global climate system.

Key words: Tibet; Milin; environmental magnetism; paleoclimate.

0 引言

环境磁学是一门介于磁学、地学和环境科学之间的新兴交叉学科。它主要是通过各种磁学测量手段,获取沉积物中磁性矿物的种类、粒度、浓度以及空间分布状态等信息,并根据上述信息与沉积物源、风化、搬运和沉积过程以及气候之间的密切关系,为恢复古气候、古环境提供代用指标。目前,环境磁学方法已经广泛运用于黄土(Chen *et al.*, 1997; Geiss and Zanner, 2007)、红土(Hu *et al.*, 2003; 朱宗敏等, 2006)、湖泊(Doner, 2003; 韩志勇和李徐生, 2006)和海洋(Oldfield *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2006)等不同类型沉积物的研究中,为重建全球不同区域、不同时间尺度的古气候、古环境提供了丰富的定量化指标和对比依据。

青藏高原第四纪以来的古气候变化一直是人们关注的焦点,来自于高原西北部的古里雅冰心提供的氧同位素变化曲线建立了高原深海氧同位素5阶段(MIS5)气候变化的基本格架(姚檀栋等, 1997),但是为了重建整个高原第四纪以来的古气候、古环境,显然还需要高原其他区域地质记录的补充,而广泛发育于高原内部的湖相沉积系列具有得天独厚的条件。近年来,已经有一些学者先后对藏北的青海湖(沈吉等, 2004)和藏南的纳木错(朱大岗等, 2004)、色林错(顾兆炎等, 1993)、错鄂(陈诗越等, 2006)等湖泊的沉积物进行多指标古气候学分析,为深入探讨上述问题提供了一些珍贵的资料,但对于广袤无垠的青藏高原来说还远远不够。2006年在藏南开展的第四纪地质调查过程中,笔者发现在雅鲁藏布江大峡谷的上游河段米林地区的三级河谷阶地上普遍发育着厚达50多m的湖相沉积物,这套厚度巨大的湖积物不仅与雅鲁藏布江的演化有着密切关系,而且它将为揭示高原东南隅的古气候、古环境信息提供重要的参考资料。为此,本文在详细介绍这套湖积物沉积特征的基础上,以10~20cm为间距在研究剖面上系统采集了259块定向样品开展环境磁学研究。

1 研究剖面沉积特征

1.1 沉积序列

研究剖面位于米林县雪嘎村新建机场附近(以

下简称米林机场剖面,位置 $29^{\circ}18.45'E$, $94^{\circ}21.01'N$),海拔高度2950~3017m,湖积物顶部(第2层顶部)高出江面60~70m。剖面实测厚度56m,共分为9层,其中湖积物为2~9层,厚度52.2m。剖面沉积序列特征如下:

- (1) 厚层状砾岩,未见顶。砾石直径2~50cm,分选差,磨圆为次圆状,成分主要为混合片麻岩、辉岩、角闪岩、石英岩,砾石最大面具有弱定向性。厚度3.8m。
- (2) 褐黄色中粒砂岩,上部含泥质条带,顶部存在一个冲刷面,发育平行层理。厚度1.7m。
- (3) 褐黄色、深灰色粉砂质泥岩与泥岩组成的灰黄相间的韵律层,每组韵律厚度约0.02cm左右,顶部含有约10cm的黑色碳泥质层。厚度5.3m。
- (4) 褐黄色中、细粒砂岩,含黄褐色条带,发育小型波状层理、斜层理、水平层理,局部可见槽状层理。厚度3.5m。
- (5) 褐黄色粉砂质泥岩与深灰色泥质组成灰黄相间的韵律层,向下韵律变密,颜色变深,有机质含量增加。厚度11.0m。
- (6) 含砾中粗粒-中粒砂岩和砾岩互层,中部夹一层中细粒砂岩,局部可见泥岩透镜体。砾石直径2~5cm,分选好,磨圆次圆-圆,砾石成分以石英砂岩、花岗岩、片麻岩为主,砂岩层内发育交错层理、斜层理。厚度9.4m。
- (7) 上部为粉砂岩、粉砂质泥岩和泥岩互层,局部夹有薄层状细-中粗粒砂岩层;下部为灰黑色粉砂质泥岩与黄褐色粉砂岩互层,泥岩中有机质含量高。发育波状层理、斜层理和水平层理。厚度12.5m。
- (8) 上部为灰黄色中、粗粒砂岩,底部为细砾层,砾石层中部夹薄层粉砂质泥岩。发育水平层理。厚度6.0m。
- (9) 上部为泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,泥岩中有机质含量高,中部为粉砂岩,下部为粗砂岩夹透镜状细砂岩,该层未见底,出露厚度3.0m。

1.2 米林湖积物特征

根据上述沉积序列,将米林机场剖面的沉积物划分为:

- (1) 深-浅湖相:厚层状粉砂质泥岩及泥岩为主,具明显灰黄、灰白相间季节性韵律状纹层,纹层细密;向上颗粒逐渐变粗,砂质含量增多,分选好,具水平状层理。
- (2) 滨湖-浅湖相:为黄色中粗粒砂岩、含砾砂岩以及薄层状细砾岩,夹薄层状细砂岩、砂质泥岩等。砾石分选性好,磨圆度较好,具有弱定向性,砂岩层中发育很好的交错层理、波状层理、斜层理、水平层理以及透镜状层理。

这套厚达50m以上的湖积物在雅鲁藏布江河谷两侧对称分布,在高于剖面顶部的谷坡上可见明显的古湖岸线。前人研究表明,末次冰期以来,由于

雅鲁藏布江大峡谷处则隆弄冰川的多次快速跃进,使大峡谷上游河段及其支流河谷受阻形成多期堰塞湖,因而在河谷阶地上形成湖相沉积物(刘宇平等, 2006)。而更新世晚期至全新世该区至少出现 4 期规模较大的古堰塞湖。其中,第 3 期形成的湖积物从大峡谷一直延伸到紧靠米林县的林芝地区(Montgomery *et al.*, 2004; 刘宇平等, 2006)。米林机场剖面的湖积物发育特征与林芝地区三级河流阶地上湖积物的十分相似,两者应形成于同一时期(尹光侯等, 2005),说明当时的古堰塞湖已经扩展到米林地区,形成规模较大的林芝—米林古堰塞湖。

陈万勇(1980)在林芝湖积物下部测得古藤本植物化石¹⁴C 年龄为 36 ka,刘宇平等(2006)测得该区三级河流阶地上湖积物顶部年代为 10 ka 左右,由于米林机场剖面湖积物顶部(第 2 层)受到冲蚀而缺失部分地层,因此,笔者认为米林机场剖面湖积物的底部年龄在 36 ka 左右,而顶部年龄大于 10 ka。

2 研究方法

常用的环境磁学参数繁多,本文主要利用磁组构、沉积物的天然剩余磁化强度(NRM)和体积磁化率(κ)等参数来探讨该区晚更新世晚期的古气候特征。

其中,沉积物的磁组构即沉积物中磁性颗粒的空间分布和物理取向,通常用磁化率量值椭球的 3 个主轴(最大磁化率主轴 κ_1 、中间磁化率主轴 κ_2 、最小磁化率主轴 κ_3)来表示。沉积物的原生磁组构特征(即未受后期应力强烈改造的磁组构)主要受沉积物沉积时水动力和重力的控制,往往具有 κ_3 轴的方向垂直于层面、 κ_1 轴倾角较小且 κ_1 轴的叠瓦方向指示物源方向的特征。因此,可以通过沉积物的原生磁组构特征进行沉积盆地的物源方向分析(许同春, 1989; 张家强等, 1998)。 κ 值是沉积物中磁性颗粒的种类、粒度和浓度等特征的综合反映,与沉积物源、风化、搬运、转化以及有机质含量等因素有关,而这些因素离不开气候、环境的影响,因而沉积物的 κ 值常被用作古气候的代用指标(Stage, 2001)。沉积物的 NRM 值是磁性颗粒在水中沉降时或之后在空隙水中使自己沿外磁场方向排列而获得的剩余磁化强度。一般来说, NRM 和沉积物的岩性与地球磁场强度有关,但往往岩性对 NRM 值的影响更加显著(Thompson and Oldfield, 1986),而不同的岩性显

然是不同气候、环境下的产物,因而 NRM 值亦能够用于古气候、古环境分析,并且具备定量化和高分辨率的优点。

样品测试在中国地质大学(武汉)生物地质与环境地质教育部重点实验室进行,天然剩余磁化强度(NRM)测试采用 SMD 88 型旋转磁力仪,体积磁化率(κ)和磁组构参数(κ_1 、 κ_2 、 κ_3 轴)的测试采用 HKB 3 型磁化率仪。

3 结果与讨论

3.1 磁组构特征及物源方向

磁组构测试表明: κ_3 轴的倾角大多接近 90° ,其中大于 70° 的样品数占总数的 86%; κ_1 轴倾角普遍较低,其中倾角小于 20° 的样品数占总数的 93%。 κ_1 、 κ_3 轴的赤平投影图更能直观显示上述特征。从图 1 可以看出, κ_3 轴主要分布在投影图的中心部位,而 κ_1 轴主要分布在投影图的边缘。因此,研究剖面至少有 86% 的样品具有原生沉积磁组构,可以用这部分样品的 κ_1 轴方向进行物源分析。

因此,笔者绘制了剖面不同深度位置的 κ_1 轴方向的玫瑰花图(图 2)。图 2 显示古堰塞湖的物源方向大致呈现顺时针方向变化的特征:早期沉积物源主要来自于湖盆的北面 and 南面,且北面的物源更为

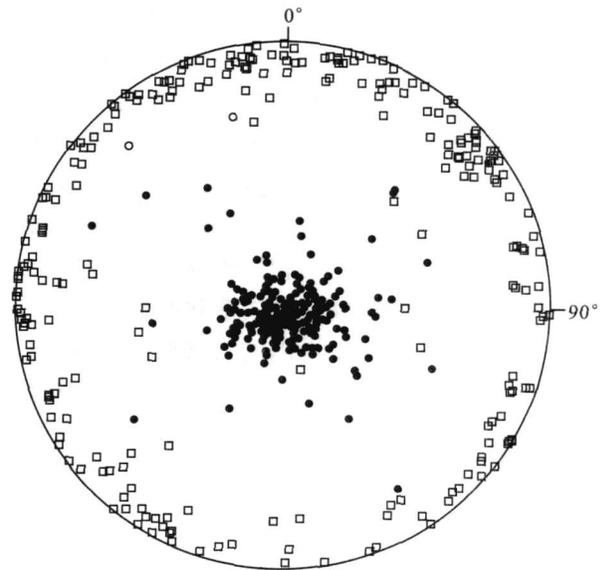


图 1 米林机场剖面所有样品的 κ_1 、 κ_3 轴的赤平投影图
Fig. 1 Stereographic projection of the κ_1 & κ_3 axis of all samples in Milin airport section

圆点代表 κ_3 轴,方框代表 κ_1 轴

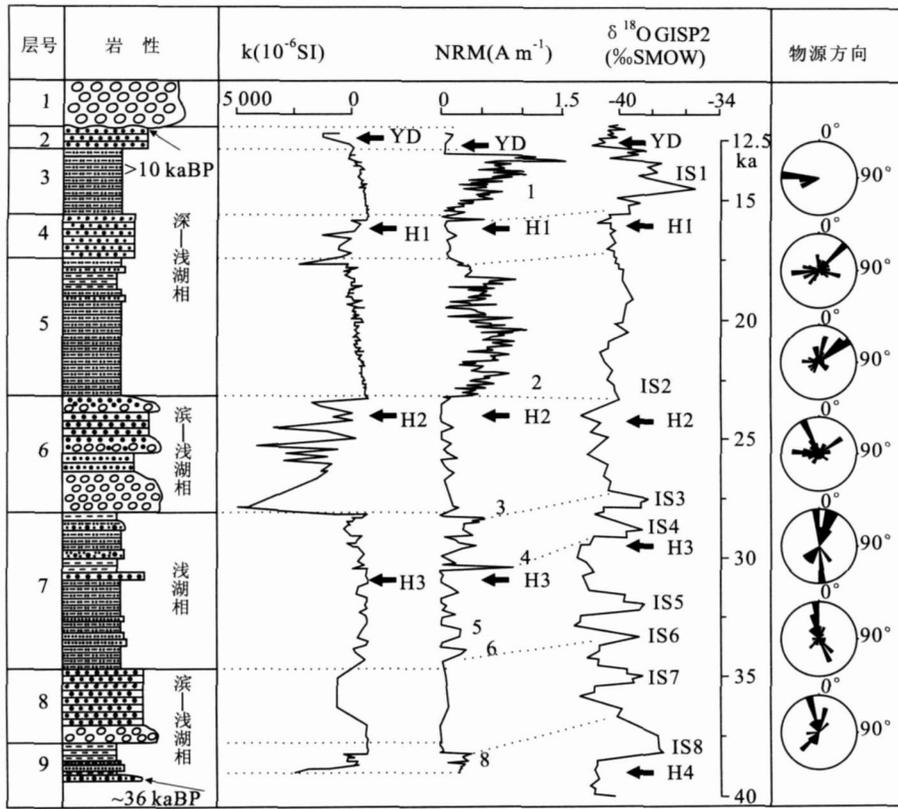


图 2 米林机场剖面岩性及环境磁学参数特征

Fig. 2 Characteristics of Lithology and environmental magnetic parameters in Milin airport section

IS1-8 代表格陵兰冰心氧同位素的不同阶段; 1-8 代表研究剖面与 IS1-8 对应的气候阶段; H1-4 代表前四次 Heinrich 事件; YD 代表 Younger Dryas 事件

显著, 可能当时雅鲁藏布江南北两侧的剥蚀速率均比较大, 北侧略强于南侧; 至中期, 来源于南面的物源明显减少, 而来源于西、北和北东方向的物源显著增多, 说明主要的剥蚀区由南向西、向北迁移, 然后逐渐过渡到西侧和北东方向; 到晚期, 沉积物源则主要来自于湖盆的西侧, 可能与该区西高东低的地貌格局有关。

3.2 κ、NRM 值的波动特征及其古气候意义

米林机场剖面湖积物的 κ 值整体较高而且变化较大, 其平均为 750.2 × 10⁻⁶ SI, 最高达 5760.0 × 10⁻⁶ SI, 分布在剖面第 6 层, 最低为 96.1 × 10⁻⁶ SI, 主要分布于剖面第 3、5、7 和第 9 层。NRM 值在 1.5 ~ 2.2 × 10⁻³ A/m 之间变化, 平均为 3.8 × 10⁻¹ A/m, 其中, 第 3、5、7、9 层具有较高的 NRM 值, 而 4、6、8 层 NRM 值相对较低。结合研究剖面各层的岩性特征, 不难发现 κ、NRM 值的大小与沉积相、粒度有强烈的相关性(图 2): 滨-浅湖相沉积物的 κ 值高而 NRM 值低, 深-浅湖相沉积物

的 κ 值低而 NRM 值高; 粒度小的粉砂岩、泥岩 κ 值小而 NRM 值大, 大颗粒的粗砂岩、砾岩 κ 值大而 NRM 值小。

雅鲁藏布江河谷两岸广泛发育中-基性火山岩及其变质岩(尹光侯等, 2006), 它们往往具有较高的 κ 值。当未经充分风化、近距离搬运时, 磁性颗粒主要赋存于砂砾中, 砂砾含量增加必然使沉积物 κ 值增高, 反之则降低。砂砾沉积物中磁性颗粒的浓度虽然相对较高, 但是由于粗大的磁性颗粒很难克服重力作用及形态的影响转向地球磁场方向, 因而其 NRM 值反而比较小; 细粒沉积物中磁性颗粒虽然浓度低, 但它们更容易沿地球磁场方向取向, 因而 NRM 值反而更大。

由于沉积物的粒度、沉积相最终都受控于古气候的变化, 因而 κ、NRM 值的变化反映了古气候的变化。研究剖面 κ、NRM 值的波动特征显示米林地区 36 ~ 10 ka 间至少存在 4 次较大幅度气候波动, 导致湖平面的升降以及沉积物粒度的变化。

为了探讨米林地区的气候是否与高纬度地区的气候有所联系,笔者将研究剖面的 κ 、NRM 波动曲线与格陵兰冰心 GIPS2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线(Dansgaard *et al.*, 1993)进行对比研究。图 2 显示,研究剖面的 κ 、NRM 波动曲线与 GIPS2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 波动曲线具有很好的对应关系,尤其是 NRM 曲线和后者对应关系更加显著。剖面第 2 层至第 7 层的 κ 、NRM 曲线对应 IS1 - IS6,第 7 层以下部分由于采样间距较大,两者间的对应关系相对较弱,但剖面底部大致可对应于 IS8 顶部。说明高纬度地区的大气环流通过复杂的全球气候系统,对米林地区的气候造成深刻的影响。

同时还发现米林机场剖面的湖积物清楚记录了多次全球性气候变冷事件,包括新仙女木事件(Younger Dryas, 简称 YD)和 3 次 Heinrich 事件(H1、H2、H3),每次冷事件均以 κ 值的显著升高和 NRM 值的突然降低为特征(图 2)。YD 事件是 (12.88 ± 0.26) kaBP ~ (11.64 ± 0.25) kaBP (Stuiver *et al.*, 1997; Qin *et al.*, 2005)间发生的一次气温骤然降低的全球性变冷事件,该事件出现在研究剖面湖积物的顶部——第 2 层。Heinrich 事件是德国科学家 Heinrich(1988)首先发现北大西洋有 6 次大规模的冰川漂移,代表着大量的冰山涌进,继而产生快速的变冷事件(彭子成等, 2002),随后在全球各地长时间序列的沉积物中都可以找到 Heinrich 事件记录(陆钧和陈木宏, 2006)。Bond and Lotti (1995)报道了北大西洋末次冰期以来的 Heinrich 事件的 ^{14}C 年代,其中最近 4 次的分别为 16 500 aBP, 24 000 aBP, 29 000 aBP 和 38 000 aBP,与彭子成等(2002)用热电离质谱(TIMS)一铀系法在贵州七星洞石笋上测得的上述事件的年龄十分接近。根据上述 H1 - H4 的年代数据以及研究剖面 κ 、NRM 曲线与 GIPS2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线的对应关系,可以发现研究剖面记录了 H1、H2、H3 三次事件,它们分别出现在第 4 层、第 6 层上部和第 7 层中部。但米林地区对上述全球变冷事件的响应是否与高纬度地区具有同时性,还有待进一步的研究。

4 结论

分布于米林地区雅鲁藏布江三级河谷阶地上的深 - 浅湖相和滨 - 浅湖相沉积物指示了晚更新世晚期米林古堰塞湖的存在,厚达 50 多 m 的湖积物为

笔者提供了探讨藏东南晚更新世气候环境变化的最佳载体。

磁组构研究表明,研究剖面至少 86% 的样品具有典型的原生沉积磁组构特征,其最大磁化率主轴 κ_1 的方向指示米林古堰塞湖的物源主要来自于西、北和北东方向,并经历了由南、北方向到西、北东再至西向这一大致顺时针方向变化的趋势,可能与研究区域的差异隆升作用有关。

天然剩余磁化强度(NRM)和体积磁化率(κ)的测试分析表明, κ 、NRM 值与沉积物的粒度和沉积相显著相关,深 - 浅湖相的细颗粒的沉积物具有相对较高的 NRM 值和较低的 κ 值,滨 - 浅湖相的砂砾沉积物则刚好相反。由于沉积相和粒度分布与气候密切相关,因而 κ 、NRM 波动曲线能够反映气候波动特征,研究显示米林在 36 ~ 10 ka 间至少存在 4 次显著的气候波动。同时,对比米林机场剖面的 κ 、NRM 曲线与格陵兰冰心 GISP2 的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线发现两者具有很好的一致性,且对应于冰心 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线的 IS1 - IS6 和 IS8 阶段;此外,研究剖面还记录了新仙女木事件(YD)和 3 次 Heinrich 事件(H1, H2, H3)。以上特点反映高纬度的大气环流通过全球气候系统影响到米林地区,但是后者与其他地区的响应是否同步还有待进一步研究。

References

- Bond, G. C., Lotti, R., 1995. Iceberg discharges into the North Atlantic on millennial time scale during the last glaciation. *Nature*, 267: 1005 - 1010.
- Chen, F. H., Bloemendal, J., Wang, J. M., et al., 1997. High resolution multi proxy climate records from Chinese loess: Evidence for rapid climatic changes over the last 75 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 130: 323 - 335.
- Chen, S. Y., Wang, S. M., Wu, Y. H., 2006. Sedimentary cycles and paleoenvironmental evolution of the Co Ngoin lake in Tibetan plateau since late Cenozoic. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(4): 315 - 322 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W. Y., 1980. Natural environment of late Cenozoic in Linzhi basin, Tibet. *Vertebrata Palasiatica*, 18(1): 52 - 58 (in Chinese with English abstract).
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., et al., 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250 kyr ice core record. *Nature*, 364: 218 - 220.
- Doner, L., 2003. Late Holocene paleoenvironments of north

- west Iceland from lake Sediments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 535 – 560.
- Geiss, C. E., Zanner, C. W., 2007. Sediment magnetic signature of climate in modern loessic soils from the Great Plains. *Quaternary International*, 162: 97 – 110.
- Gu, Z. Y., Liu, J. Y., Yuan, B. Y., et al., 1993. Monsoon variation of the Qinghai Xizang plateau during the last 12 000 years: Geochemical evidence from the sediments in the Siling lake. *Chinese Science Bulletin*, 38(1): 61 – 64 (in Chinese).
- Han, Z. Y., Li, X. S., 2006. Orbitally tuned time scales based on climate proxy indicator of grain size distribution in Nihewan basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(6): 773 – 779 (in Chinese with English abstract).
- Heinrich H., 1988. Origin and consequence of cyclic ice rafting in the northeast Atlantic ocean during the past 130 000 years. *Quaternary Research*, 29: 142 – 152.
- Hu, X. F., Cheng, T. F., Wu, H. X., 2003. Do multiple cycles of aeolian deposit pedogenesis exist in the reticulate red clay sections in southern China? *Chinese Science Bulletin*, 48(12): 1251 – 1258.
- Li, H. Y., Zhang, S. H., Fang, N. Q., et al., 2006. Magnetic records of core MD77 181 in the bay of bengal and their paleoenvironmental implications. *Chinese Science Bulletin*, 51(15): 1884 – 1893.
- Liu, Y. P., Montgomery, D. R., Hallet, B., et al., 2006. Quaternary glacier blocking events at the entrance of Yarlung Zangbo great canyon, southeast Tibet. *Quaternary Sciences*, 26(1): 52 – 62 (in Chinese with English abstract).
- Lu, J., Chen, M. H., 2006. Global climate events since Cenozoic. *Journal of Tropical Oceanography*, 25(6): 72 – 79 (in Chinese with English abstract).
- Montgomery, D. R., Hallet, B., Liu, Y. P., et al., 2004. Evidence for Holocene megafloods down the Tsangpo river gorge, southeastern Tibet. *Quaternary Research*, 62(2): 201 – 207.
- Oldfield F., Asioli, A., Accorsi, C. A., et al., 2003. A high resolution late Holocene palaeo environmental record from the central Adriatic sea. *Quaternary Science Reviews*, 22: 319 – 342.
- Peng, Z. C., Zhang, Z. F., Cai, Y. J., et al., 2002. The paleoclimatic records from the late Pleistocene stalagmite in Guizhou Qixing cave. *Quaternary Science*, 22(3): 273 – 282 (in Chinese with English abstract).
- Qin, J. M., Yuan, D. X., Cheng, H., et al., 2005. The Y. D. and climate abrupt events in the early and middle Holocene; Stalagmite oxygen isotope record from Maolan, Guizhou, China. *Science in China (Ser. D)*, 48(4): 530 – 537.
- Shen, J., Liu, X. Q., Matsumoto, R., et al., 2004. A high resolution climatic change since the late Glacial age inferred from multi proxy of sediments in Qinghai lake. *Science in China (Ser. D)*, 34(6): 582 – 589 (in Chinese).
- Stage, M., 2001. Magnetic susceptibility as carrier of a climatic signal in chalk. *Earth and Planetary Science Letters*, 188: 17 – 27.
- Stuiver, M., Braziunas, T. F., Grootes, P. M., et al., 1997. Is there evidence for solar forcing of climate in the GISP2 oxygen isotope record? *Quaternary Research*, 48: 259 – 266.
- Thompson, R., Oldfield F., 1986. Environmental magnetism. Allen & Unwin, London.
- Xu, T. C., 1989. Magnetic fabrics (II). *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 10(3): 72 – 80 (in Chinese with English abstract).
- Yao, T. D., Thompson, L. G., Shi, Y. F., et al., 1997. Research on climate change since the last interglacial period from Guliya ice core. *Science in China (Ser. D)*, 27(5): 447 – 452 (in Chinese).
- Yin, G. H., Bao, G., Yang, S. S., et al., 2006. The granulites and ages of the Nyingchi group complex in the Nyingchi region, Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(3): 8 – 15 (in Chinese with English abstract).
- Yin, G. H., Yang, S. S., Bao, G., et al., 2005. New knowledge of the Quaternary strata of the Linzhi area, Tibet. *Journal of Stratigraphy*, 29 (Suppl.): 626 – 630 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. Q., Li, C. X., Cong, Y. Z., 1998. Hydrodynamic environment and source of the old tidal sand body in the coastal plain of the northern Jiangsu. *Acta Oceanologica Sinica*, 20(3): 82 – 90 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, D. G., Meng, X. G., Zhan, X. T., et al., 2004. Lake level change of Nam Co, Tibet, since the late Pleistocene and environment information of clay minerals in lacustrine deposition. *Journal of Geomechanics*, 10(4): 300 – 309 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, Z. M., Yang, W. Q., Lin, W. J., et al., 2006. Magnetic fabric characteristics and significance of reticulate red earth in Xuancheng profile, Anhui Province. *Marine Geology*, 22(1): 123 – 130 (in Chinese with English abstract).

ology and Quaternary Geology, 26(4): 105 - 110 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈诗越, 王苏民, 吴艳宏, 2006. 西藏错鄂湖沉积旋回与古环境变迁. 地球学报, 27(4): 315 - 322.

陈万勇, 1980. 西藏林芝盆地新生代晚期的自然环境. 古脊椎动物与古人类, 18(1): 52 - 58.

顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印, 等, 1993. 12 000 年来青藏高原季风变化——色林错沉积物地球化学的证据. 科学通报, 38(1): 61 - 64.

韩志勇, 李徐生, 2006. 泥河湾盆地基于粒度气候指标的轨道调谐时间标尺. 地球科学——中国地质大学学报, 31(6): 773 - 779.

刘宇平, Montganery, D. R., Hallet, B., 等, 2006. 西藏东南雅鲁藏布大峡谷入口处第四纪多次冰川阻江事件. 第四纪研究, 26(1): 52 - 62.

陆钧, 陈木宏, 2006. 新生代主要全球气候事件研究进展. 热带海洋学报, 25(6): 72 - 79.

彭子成, 张兆峰, 蔡演军, 等, 2002. 贵州七星洞晚更新世晚期石笋的古气候环境记录. 第四纪研究, 22(3): 273 -

282.

沈吉, 刘兴起, Matsumoto, R., 等, 2004. 晚冰期以来青海湖沉积物多指标高分辨率的古气候演化. 中国科学(D 辑), 34(6): 582 - 589.

许同春, 1989. 磁组构(下). 地震地磁观测与研究, 10(3): 72 - 80.

姚檀栋, Thompson, L. G., 施雅风, 等, 1997. 古里雅冰心中末次间冰期以来气候变化记录研究. 中国科学(D 辑), 27(5): 447 - 452.

尹光侯, 包钢, 杨淑胜, 2006. 西藏林芝地区林芝岩群麻粒岩及时代讨论. 沉积与特提斯地质, 26(3): 8 - 15.

尹光侯, 张留青, 包钢, 等, 2005. 西藏林芝地区第四纪新知. 地层学杂志, 29(增刊): 626 - 630.

张家强, 李从先, 丛友滋, 1998. 苏北陆区古潮成沙体沉积动力环境及物源. 海洋学报, 20(3): 82 - 90.

朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等, 2004. 西藏纳木错晚更新世以来湖面变化和湖相沉积中粘土矿物显示的环境信息. 地质力学学报, 10(4): 300 - 309.

朱宗敏, 杨文强, 林文姣, 等, 2006. 安徽宣城第四纪网纹红土的磁组构特征及其意义. 海洋地质与第四纪地质, 26(4): 105 - 110.

《地球科学——中国地质大学学报》
2007 年 第 32 卷 第 6 期 要目预告

地球生物学的理论方法体系与海相优质烃源岩形成过程的正演和评价 谢树成等

扬子克拉通古大陆边缘 Mo 同位素特征及对有机碳埋藏量的指示意义 周 炼等

海相烃源岩的正反演对比分析 解习农等

海相高演化烃源岩总有机碳恢复系数研究 秦建中等

海洋极端环境微生物活动与油气资源关系 王家生等

地球微生物过程与潜在烃源岩的形成: 钙质微生物岩 杨 浩等

鄂湘黔桂地区大隆组的沉积特征及与烃源岩的关系 蔡雄飞等

现代海洋脂类从生物生产力到沉积有机质的变化及其对正演烃源岩有机质形成的启示 王红梅等

从地球生物学角度讨论华南中二叠世海相烃源岩缺氧沉积环境成因模式 颜佳新等