

中国北方第四纪磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化耦合关系

郑国璋^{1,2}, 岳乐平¹

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2. 山西师范大学 城市与环境科学学院, 山西 临汾 041004)

[摘要] 应用古地磁学原理, 分析了中国北方第四纪黄土、泥河湾盆地、黄海陆架磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化之间的关系。研究表明第四纪古地磁极倒转与气候变化有一定的耦合关系: Matuyama/Gauss 极性界限、Brunhes/Matuyama 极性界限与第四纪气候变冷期相对应, Matuyama 负极性时中的正极性亚时及 Brunhes 正极性时中的负极性亚时与气候变暖期相一致。因而, 第四纪古地磁极倒转可能是第四纪气候冷暖波动变化的主要驱动因素之一。

[关键词] 第四纪; 磁性地层; 古地磁极倒转; 气候变化; 中国北部

[中图分类号] P534.63; P318.4⁺4 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)03-0091-04

[作者简介] 郑国璋(1965-), 男, 山西洪洞人, 山西师范大学副教授, 西北大学博士研究生, 从事第四纪地质与环境研究。

古地磁学广泛应用于第四纪地质与环境研究, 根据古地磁测年建立第四纪年代地层单位——磁性地层已十分普遍, 黄土-古土壤序列磁化率的变化已成为反映古气候-环境变化的替代性指标^[1], 《中国黄土古地磁学》^[2]的出版使中国黄土古地磁学研究达到了一个新的水平。第四纪古地磁极倒转对气候变化的影响也引起许多学者的重视, 但对这一问题目前学术界尚未形成统一认识。

研究表明, 第四纪古地磁极倒转与气候变化存在一定的耦合关系, 如北美内布拉斯加冰期开始与 Olduvai 亚时的开始相一致, 堪萨斯冰期开始于 Jaramillo 亚时之末, 伊利诺冰期开始则可与 Brunhes 期中一次短极性亚时(0.42 Ma)相对应。著名的海相弗利卡剖面上, 以喜冷有孔虫的出现与喜暖有孔虫的绝灭为标志的古气候变冷, 与 Olduvai 亚时的开始一致。北欧歌德堡极性亚时(13.75~12.4 ka)、美国和加拿大歌德堡极性突跳(12.4~12.35 ka)与全新世气候变暖相吻合^[3]。中国北方第四纪磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化

耦合关系与欧美有相似之处, 但又有一定的不同, 值得深入研究与探讨。

1 黄土第四纪磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化关系

通过对洛川、宝鸡、西峰、刘家坡、九州台、靖远、黄陵、蓝田等8个黄土剖面磁性地层的分析表明, 黄土第四纪磁性地层记录的 Matuyama/Gauss、Brunhes/Matuyama 极性界限与气候变冷期相对应; Matuyama 负极性时中的正极性亚时及 Brunhes 正极性时中的负极性亚时与古土壤密集带相一致, 古土壤密集带形成时期反映了古气候变暖期(表1)。

洛川黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限与 L₃₃ 相对应, Olduvai 亚时与 S₂₅~S₂₈ 相对应, Jaramillo 亚时与 S₁₀~S₁₂ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[4,5]。

宝鸡黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限与 L₃₃ 相对应, Olduvai 亚时与 S₂₅~S₂₇ 相对应, Jaramillo 亚时与 S₁₀~S₁₂ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[6]。

西峰黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限与 L₃₃ 相对应, Olduvai 亚时与 S₂₄~S₂₆ 相对

[收稿日期] 2004 08 13

[基金项目] 国家重点基础研究发展研究计划项目(973 计划)
(2003CB214607)

表 1 黄土第四纪磁性地层古地磁极倒转与气候变化的关系

古地磁极倒转	黄土剖面古土壤层								气候特征
	洛川	宝鸡	西峰	刘家坡	九州台	靖远	黄陵	段家坡	
Blake 亚时(108 ~ 114 ka)						S ₁			变暖
Emperor 亚时(0. 47 ~ 0. 48 Ma)			S ₆			S ₅			变暖
Brunhes/Matuyama 界限(0. 78 Ma)	L ₈	L ₈	L ₈	L ₈	L ₈	L ₈	L ₈	L ₈	变冷
Qionghai 亚时(0. 770 ~ 0. 810 Ma)									
Lantian 亚时(0. 794 ~ 0. 805 Ma)			L ₉ S ₉		S' ₈		L ₉	L ₉	
Jaramillo 亚时(0. 90 ~ 0. 97 Ma)	S ₁₀ ~ S ₁₂	S ₁₀ ~ S ₁₂	S ₁₀ ~ S ₁₂	S ₁₀ ~ S ₁₂	S ₁₀ ~ S ₁₁	S ₁₁ ~ S ₁₃	S ₁₀ ~ S ₁₂	S ₁₀ ~ S ₁₂	变暖
Olduvai 亚时(1. 67 ~ 1. 87 Ma)	S ₂₅ ~ S ₂₈	S ₂₅ ~ S ₂₇	S ₂₄ ~ S ₂₆	S ₂₁ ~ S ₂₃				S ₂₈ ~ S ₃₂	变暖
Reunion1 亚时(2. 01 ~ 2. 04 Ma)									
Reunion2 亚时(2. 12 ~ 2. 14 Ma)								L ₃₆ S ₃₈	
Matuyama/Gauss 界限(2. 6 Ma)	L ₃₃	L ₃₃	L ₃₃	L ₃₃			L ₂₇	L ₄₄	变冷

应, Jaramillo 亚时与 S₁₀ ~ S₁₂ 相对应, Qionghai 亚时与 L₉, S₉ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应, Emperor 亚时与 S₆ 相对应^[7~9]。

刘家坡黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限与 L₃₃ 相对应, Olduvai 亚时与 S₂₁ ~ S₂₃ 相对应, Jaramillo 亚时与 S₁₀ ~ S₁₂ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[9, 10]。

九州台黄土剖面磁性地层 Jaramillo 亚时与 S₁₀ ~ S₁₁ 相对应, Qionghai 亚时与 S'₈ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[7]。

靖远黄土剖面磁性地层 Jaramillo 亚时与 S₁₁ ~ S₁₃ 相对应, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应, Emperor 亚时位于 S₅ 底部^[11]。

黄陵黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限位于 L₂₇ 底部与红粘土接触处, Jaramillo 亚时与 S₁₀ ~ S₁₂ 相对应, Post Jaramillo 亚时位于 L₉ 上部, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[12]。

蓝田段家坡黄土剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限位于 L₄₄ 与红粘土之间, Reunion 1 亚时及 Reunion 2 亚时分别与 L₃₆ 及 S₃₈ 相对应, Olduvai 亚时与 S₂₈ ~ S₃₂, Jaramillo 亚时与 S₁₀ ~ S₁₂ 相对应, Lantian 亚时(Post Jaramillo 亚时) 位于 L₉ 上部, Brunhes/Matuyama 极性界限与 L₈ 相对应^[13]。

黄土磁性地层中 Emperor 亚时在黄土剖面中多次发现, 层位多在 S₅ 附近, 如靖远、合阳、洛川后子头、渭南武家堡、阎村 W₇ 孔、洛川剖面^[2, 11, 14~17]。

黄土磁性地层中 Blake 亚时在靖远、长武丁家沟、陕县、西宁剖面 S₁ 层中都有发现^[2, 11, 18]。

2 泥河湾盆地第四纪磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化关系

通过对泥河湾盆地钱家沙洼-洞沟剖面、小渡口-郝家台剖面第四纪磁性地层的分析表明, 泥河湾盆地磁性地层记录的 Matuyama/Gauss、Brunhes/Matuyama 极性界限与气候暖湿与冷干波动相对应; Matuyama 负极性时中的正极性亚时及 Brunhes 正极性时中的负极性亚时与湖侵期相一致, 湖侵期相反映了古气候变暖期(表 2)。

钱家沙洼-洞沟剖面磁性地层 Matuyama/Gauss 极性界限位于第 17 层相对应, 第 17 层属湖侵旋回期 E, 为侵蚀面之上湖相灰黄色粘土质粉砂与灰色粉砂质粘土条带状互层, 反映了气候暖湿与冷干波动。Reunion 1、Reunion 2 亚时位于第 18 层中, 为湖相地层, 属湖侵旋回期 E 的最大湖侵期, 为气候变暖期。Olduvai 亚时与第 22 ~ 24 层相对应, 为湖相地层, 属湖侵旋回期 F^[7], 为气候变暖期。

小渡口-郝家台剖面磁性地层 Olduvai 亚时与第 5 层相对应, 为湖相地层, 属湖侵旋回期 F, 为气候变暖期。Jaramillo 亚时与第 21 层相对应, 为侵蚀面之上的河床相地层, 为气候相对暖期。Brunhes/Matuyama 极性界限位于第 28 ~ 29 层间, 第 28 层为湖相绿灰色薄层板状钙质粉砂质粘土, 第 29 层为湖相棕色粘土下部锈黄色粉砂质粘土, 反映湖水深浅变化与气候湿干波动。孢粉分析表明, 第 28 层含暗针叶林-草本植物孢粉组合, 以云杉为主的暗针叶林组合中含 21. 5% 草本植物花粉, 证明低温与干旱同

时出现是 Jaramillo 亚时后本区气候的重要特征^[7]。

表 2 泥河湾盆地第四纪磁性地层
古地磁极倒转与气候变化的关系

Table 2 Relation of paleomagnetic polarity reverse and climatic change of magnetostratigraphy of Nihewan Basin during Quaternary

古地磁极倒转	地层剖面特征		气候特征
	钱家沙洼-洞沟	小渡口-郝家台	
Brunhes / Matuyama 界限 (0.78 Ma)		第 28, 29 层之间, 为湖相棕色粘土下部锈黄色粉砂质粘土与绿灰色薄层板状钙质粉砂质粘土互层	暖湿与冷干波动
Jaramillo 亚时 (0.90 ~ 0.97 Ma)		第 21 层, 为侵蚀面之上的河床相地层	较为暖湿
Olduvai 亚时 (1.67 ~ 1.87 Ma)	第 22 ~ 24 层, 湖相地层, 湖侵旋回期 F	第 5 层, 湖相地层, 属湖侵旋回期 F	暖湿
Reunion1 亚时 (2.01 ~ 2.12 Ma) Reunion 2 亚时 (2.12 ~ 2.14 Ma)	第 18 层, 湖相地层, 湖侵旋回期 E 的最大湖侵期		暖湿
Matuyama / Gauss 界限(2.6 Ma)	第 17 层湖侵旋回期 E, 灰黄色粘土质粉砂与灰色粉砂质粘土条带状互层		暖湿与冷干波动

3 黄海陆架 QC¹ 孔第四纪磁性地层古地磁极倒转与气候变化关系

黄海陆架 QC¹ 孔第四纪磁性地层记录 Matuyama/Gauss、Brunhes /Matuyama 极性界限与海退期相对应, 反映了古气候变冷期; Matuyama 负极性时的正极性亚时及 Brunhes 正极性时的负极性亚时与海侵期相一致, 反映了古气候变暖期(表 3)。

黄海陆架 QC¹ 孔磁性地层中 Matuyama 反极性时有 3 个正极性亚时, Olduvai 亚时与 H VIII段相对应, 属海侵层, 为气候变暖期。Jaramillo 亚时、Post Jaramillo 亚时(Qionghai 亚时)与 H VI段相对应, 属海侵层, 为气候变暖期。Brunhes /Matuyama 极性界限位于 C VI段底界, 属陆相层, 为气候变冷期^[7]。

黄海陆架 QC¹ 孔磁性地层中 Brunhes 正极性时有 7 负极性亚时, Blake 亚时(114 ~ 108 ka)与 H IV段底部相对应, 相当于氧同位素 5 期底界, Blake 1 ~ Blake 3 亚时与 H IV段相对应, 相当于氧同位素 5 期。H IV段为海侵层, 为气候变暖期。Mungo 亚时(20 ~ 30 ka)与 H II 段相对应, H II 段为海侵层,

为气候温暖期。歌德堡极性亚时(10 ~ 12.4 ka)与 H I 段底界相对应, H I 段为海侵层, 标志着新仙女木事件的结束, 冰后期全新世变暖期开始。歌德堡极性亚时 1(5 ka)位于 H I 段中部, 与中国北方仰韶温暖期相对应^[7]。

表 3 黄海陆架 QC¹ 孔第四纪磁性地层
古地磁极倒转与气候变化的关系

Table 3 Relation of paleomagnetic polarity reverse and climatic change of magnetostratigraphy of Yellow Sea shelf during Quaternary

古地磁极倒转	地层特征	气候变化
Gothenburg 亚时 1(5 ka)	H I 段中部, 海侵层	中国北方仰韶温暖期
Gothenburg 亚时 (10 ~ 12.4 ka)	H I 段底界, 海侵层	全新世变暖期开始
Mungo 亚时(20 ~ 30 ka)	H II 段中部, 海侵层	温暖期
Blake 1, Blake 2, Blake 3 亚时(75 ~ 108 ka)	H IV段底部, 海侵层	温暖期, 相当于氧同位素 5 期
Blake 亚时(108 ~ 114 ka)	H IV段中部, 海侵层	温暖期, 相当于氧同位素 5 期底界
Brunhes /Matuyama 界限(0.78 Ma)	C VI 底界, 陆相层	变冷期
Post Jaramillo 亚时 (0.794 ~ 0.805 Ma)	H VII段中部, 海侵层	变暖期
Jaramillo 亚时(0.90 ~ 0.97 Ma)	H VII段底部, 海侵层	变暖期
Olduvai 亚时(1.67 ~ 1.87 Ma)	H VIII段顶部, 海侵层	变暖期

4 古地磁极倒转引起气候变化探讨

古地磁场引起气候变化的机制目前存在不同的解释。通常认为, 在正常时期地磁场受太阳风的影响, 形成磁层和磁尾, 太阳风带来的高能粒子被磁层俘获, 聚集在地球的高空, 形成范·艾伦带, 地球表面受范·艾伦带的保护没有遭到过量的太阳辐射。在极性转变时期, 地磁场强度大约降到原强度的 1/4, 这意味着地磁场的屏蔽作用大大降低, 强烈的太阳辐射直接到达大气层和地表, 造成地表上接受的太阳辐射增强, 从而引起气候变暖^[3]。这与中国北方第四纪黄土地层、泥河湾盆地河湖相地层、黄海陆架地层中磁性地层记录的 Matuyama 反极性时的正极性亚时与 Brunhes 正极性时的负极性亚时为气候变暖期相一致。

Matuyama/Gauss 古地磁极界限与 Brunhes /Matuyama 古地磁极界限, 为气候变冷期开始, 其直接原因是由于青藏高原强烈隆升(2.6 Ma, 0.78 Ma)

导致古冬季风增强引起的,而青藏高原隆升是地球内部核幔环流运动的结果,核幔环流变化必然会引起古地磁场的变化^[17,19]。Matuyama 反极性时的正极性亚时与 Brunhes 正极性时的负极性亚时气候变暖,正是在第四纪与中晚更新世气候全面变冷背景下受古地磁极倒转等因素影响引起的气候波动。

5 结语

中国北方第四纪黄土、泥河湾盆地、黄海陆架磁性地层记录的古地磁极倒转与气候变化之间的关系表明,第四纪古地磁极倒转与气候变化有着一定的耦合关系。Matuyama/Gauss 古地磁极界限及 Brunhes /Matuyama 古地磁界限与第四纪气候全面变冷相对应;Matuyama 负极性时中的正极性亚时及 Brunhes 正极性时中的负极性亚时与第四纪气候变暖期相一致。第四纪古地磁极倒转可能是第四纪气候冷暖波动变化的主要驱动因素之一。因而,中国北方第四纪气候冷暖波动是受全球冰量变化、古冬夏季风强弱变化及古地磁极倒转等综合作用结果。

[参 考 文 献]

- [1] Williams M A J, Dunkerley D L, Deckker P D, 等. 第四纪环境[M]. 刘东生编译. 北京: 科学出版社, 1997.
- [2] 岳乐平, 薛祥熙. 中国黄土古地磁学[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 夏正楷. 第四纪环境学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- [4] 安芷生, 刘东生. 洛川黄土地层学[J]. 第四纪研究, 1989, 9(2): 156~168.
- [5] 孙继敏, 刘东生. 洛川黄土地层的再划分及其 L_0 、 L_{15} 古环境意义的新解释[J]. 第四纪研究, 2002, 22(5): 406~411.
- [6] 丁仲礼, 刘东生. 中国黄土研究新进展(一)黄土地层[J]. 第四纪研究, 1989, 9(1): 1~9.
- [7] 杨子庚, 林和茂. 中国第四纪地层与国际对比[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [8] 刘秀铭, 刘东生, Heller F, 等. 中国黄土磁化率与第四纪古气候研究[J]. 地质科学, 1992, 27(增刊): 279~285.
- [9] 朱日祥, 岳乐平, 白立新. 中国第四纪古地磁学研究进展[J]. 第四纪研究, 1995, 15(2): 162~173.
- [10] 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [11] 岳乐平, 屈红军, 雷祥义. 靖远黄土剖面的磁性地层学初步研究[J]. 第四纪研究, 1991, 11(4): 349~353.
- [12] 石建省, 李铮华, 魏明建, 等. 黄土与古气候演化[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [13] 岳乐平. 蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学研究[J]. 地质论评, 1989, 35(5): 188~192.
- [14] 葛同明, 樊利民, 刘坚. 安比拉事件在中国存在的证据[J]. 地质学报, 1992, 66(2): 381~389.
- [15] 葛同明, 樊利民, 徐行, 等. 渭南市阎村 W7 孔岩心样品的古地磁学研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1991, 11(4): 37~44.
- [16] 葛同明. 洛川黄土沉积层的磁性地层学研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(1): 59~72.
- [17] 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): 589~599.
- [18] 朱日祥, 刘青松, 潘永信. 地磁极性倒转与全球性地质事件的相关性[J]. 科学通报, 1999, 44(15): 1582~1589.
- [19] 李秉成. 黄土高原古植被与再造山川秀美[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(1): 85~88.

Coupling of paleomagnetic polarity reverse with climatic change recoded by magnetostratigraphy in Northern China during Quaternary

ZHENG Guo zhang^{1,2}, YUE Le ping¹

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. School of Urban and Environment Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract This paper analyzed the relationship between paleomagnetic polarity reverse and climatic change recoded by magnetostratigraphy of loess, Nihewan Basin and Yellow Sea shelf in Northern China during Quaternary by paleomagnetism. The study indicate that the coupling exists in between paleomagnetic polarity reverse and climatic change during Quaternary: Matuyama/Gauss polarity transition and Brunhes /Matuyama polarity transition correspond with climatic chill period during Quaternary. Normal polarity subchron of Matuyama reverse polarity chron and reverse polarity subchron of Brunhes normal polarity chron correspond with climatic warm period. Therefore, paleomagnetic polarity reverse of Quaternary may be one of the main driving factors.

Key words: Quaternary; magnetostratigraphy; paleomagnetic polarity reverse; climatic change; Northern China

[英文审定: 马致远]