

文章编号: 1000-0550(2009) 01-0128-09

柴西西岔沟新近系磁组构特征对环境变化的响应^①

高军平¹ 李艾银¹ 宋春晖¹ 彭杨宏¹ 张伟林^{1,2} 李生喜¹

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室 & 资源与环境学院 兰州 730000 2 中国科学院青藏高原研究所 北京 100085)

摘要 通过对柴达木盆地西部(简称柴西地区)的干柴沟背斜南西翼的西岔沟层型剖面进行系统测制和 2~3 m 等间隔磁性地层学、磁化率各向异性系统采样,并进行精确测量,利用在该区建立的高分辨率、高精度磁性地层年代资料,结合沉积学等研究,讨论了磁化率各向异性参数变化趋势对环境的指示,并揭示在约 23~6.2 Ma 期间环境演化经历了三个阶段: I 阶段(22.4~13.4 Ma)为湿润环境; II 阶段(13.4~8.2 Ma)为温干环境向干冷转型; III 阶段(8.2~6.2 Ma)气候转冷变干且变化更复杂。认为 7.8 Ma 以来气候转型及有规律的变化与现代季风形成有关。为青藏高原的隆升过程及其环境效应提供可靠资料。

关键词 磁组构 柴达木盆地 气候变化 西岔沟

第一作者简介 高军平 男 1965 年出生 讲师 矿床学 E-mail: jga@lzu.edu.cn

中图分类号 P534.61 **文献标识码** A

0 前言

自印度—欧亚板块碰撞以来,青藏高原的演化及其资源环境效应引起了全球科学界的高度关注。高原内部及其周边的构造形迹既是高原变形与隆起的结果,也是对两大板块碰撞过程的良好响应;高原内外的同构造盆地不仅堆积了巨厚的中、新生代地层,同时也记录了高原隆升过程、挤压变形历史以及环境变化的完整信息;高原隆起到一定高度后所产生的环境效应对中亚乃至全球的气候和生态环境产生的重要影响,可能是中亚干旱区最直接的地质导因^[1~4]。尽管在国内外地学工作者的不懈努力下,青藏高原研究已取得了骄人的成就,但是对青藏高原隆升的时间、过程、幅度和形式,以及高原隆升的环境效应等问题,仍是众说纷纭^[3, 22]。

青藏高原北部的柴达木盆地(图 1)在新生代发育了巨厚的河—湖相沉积,系统记录了高原北部构造和环境演变。因此对该盆地内地层、构造变形、沉积环境、微体化石以及磁性地层学的研究有助于探讨青藏高原的隆升时代及环境演变^[3, 4, 23]。

前人根据沉积特征、古生物、古地磁及裂变径迹年龄测定,将盆地内新生界划分为 7 个组^[4],自下而上为:路乐河组(53.4~43.8 Ma)、下干柴沟组(43.8~31.5 Ma)、上干柴沟组(31.5~22.0 Ma)、下油砂山

组(22.0~14.9 Ma)、上油砂山组(14.9~8.2 Ma)、狮子沟组(8.2~<2.9 Ma)和七个泉组(>2.4 Ma~今)。本文选取西岔沟剖面(实测厚度 4 422 m)中上部进行详细系统的磁化率各向异性(AMS)测试,以探索青藏高原隆升过程的环境效应。

西岔沟层型剖面除未出露下干柴沟组中下部及路乐河组之外,其余地层均有发育。从下到上简述如下:下干柴沟组仅见顶部(0~34 m),岩性为砂质砾岩、砾岩,属于洪积扇相沉积。上干柴沟组下部(34~875 m)由灰绿色砾岩、砂质砾岩组成,夹灰色泥岩、泥质粉砂岩、砂岩,发育水平层理,属于较稳定—不稳定的扇三角洲相沉积和稳定的浅湖相沉积;上部(875~1 500 m)由黄绿色、灰色、紫红色钙质泥岩、砂质泥岩与灰色砂岩互层组成,夹杂色泥岩、泥灰岩及疙瘩状灰岩,有较多石膏脉,产介形类、古植物、轮藻化石,总体以湖相沉积为主。下油砂山组由下部(1 500~1 840 m)的暗绿色、蓝灰色、褐红色的泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩,夹灰岩,中部(1 840~2 630 m)的灰绿色砾岩、砂质砾岩与棕褐色、灰绿色砂岩互层,夹薄层泥岩,以及上部(2 630~2 850 m)的灰绿色、蓝灰色的泥岩组成;沉积相分析表明上下部属于湖相,中部为湖相夹扇三角洲相。上油砂山组下部(2 850~3 140 m)由浅褐色、灰绿色的泥岩组成,偶夹薄层砾岩,属于浅湖相偶夹扇三角洲相沉积;中部

^①国家重点基础研究发展规划(973项目)(批准号:2005CB42001)、国家自然科学基金委青年科学家群体研究项目(批准号:40421101)和教育部分重大项目(批准号:306016)资助。

收稿日期:2007-12-22 收修改稿日期:2008-03-06

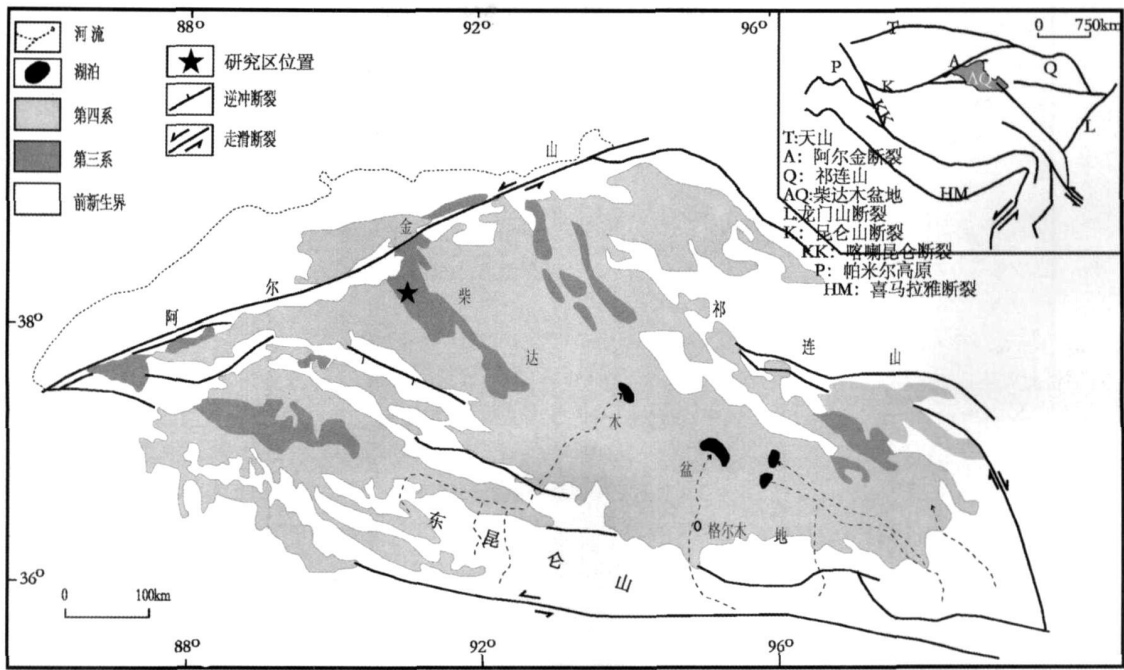


图 1 柴达木盆地构造简图

(A. 阿尔金断裂带; Q. 祁连山断裂带; L. 龙门山断裂带; T. 天山断裂带; K. 昆仑山短裂带; HM. 喜马拉雅山)

Fig 1 Generalized geologic map of Qaidam Basin (A. Altyn Tagh Fault, Q. Qilian Fault,

L. Longmen Fault, T. Tianshan Fault, K. Kunlun Fault, HM. Himalayan mountains)

(3 140~3 470 m) 灰绿色砾岩、砾质砂岩与泥岩、粉砂岩互层,属于扇三角洲相夹湖相沉积,上部(3 470~4 080 m)沉积物粒度与中部相比变细,以泥岩、砂岩为主,夹砾岩层,属于湖相夹扇三角洲相沉积。狮子沟组在西岔沟剖面以出现大套厚层灰黑色砾岩为标志(4 080~4 422 m,未见顶),但底部仍夹有泥岩、泥质砂岩,其沉积相由较稳定—不稳定的扇三角洲相沉积过度到不稳定的洪积扇相^[4,7]。宏观上该剖面从老到新表现为由较粗粒的三角洲—河湖相沉积、经细粒的湖相沉积、到粗粒的扇三角洲与洪积扇相沉积,总体构成粗—细—粗的沉积旋回。

1 样品的采集与测定

在剖面测制过程中,用自然面定向法^[5]系统采集新鲜岩石样品。采样间距一般为 2~3 m,部分为 1 m,在厚层砾岩段采样间距据粉砂、泥岩等透镜体分布情况进行适当调整。主要采集泥岩、细砂岩,砾岩中亦然。据此原则,共采集样品 1 163 块(实测 719 块)。室内用小型切割机把每块块状定向样品加工成 2 cm × 2 cm × 2 cm 的立方体定向待测样品。磁化率各向异性测量在中国地质大学(北京)古地磁实验室 HKB-1 型卡帕桥上完成(灵敏度为 2×10^{-7} SI,重复精度为 $\pm 2\%$)。每个样品分别测定 15 个方位的磁

化率张量。根据最小二乘法原理,采用多元统计回归方法计算得出 6 个独立分量的统计平均值^{[7]①}

2 磁化率参数特征及意义

2.1 岩石磁组构

岩石磁组构是岩石磁化率各向异性的一种表示。磁组构方法由于对岩石形成及演化过程的“记忆”功能,因而对推断岩石的形成背景以及岩石形成后所经历的地质事件具有重要的作用。沉积岩的磁组构是风化形成的不规则磁性颗粒,在沉积过程中,受搬运力的作用,使其长轴趋向于某一方向排列而成。磁组构在沉积岩形成以后,具有相当的稳定性,在低温低应力的条件下不会被改造^[12]。因此,表示沉积磁组构的磁化率椭球体三个主轴量值及其衍生参数(磁化率各向异性度、磁化率椭球体的形状因子、磁基质颗粒度、磁面理度、磁线理度等)不仅可以反映沉积颗粒的有序化排列方式,而且可揭示沉积环境、沉积过程,后者与高原形成演化过程的环境效应密切相关^[13,30]。西岔沟剖面中上部地层的磁化率各

① 张伟林. 柴达木盆地新生代高精度磁性地层与青藏高原隆升(博士论文). 兰州大学, 2006

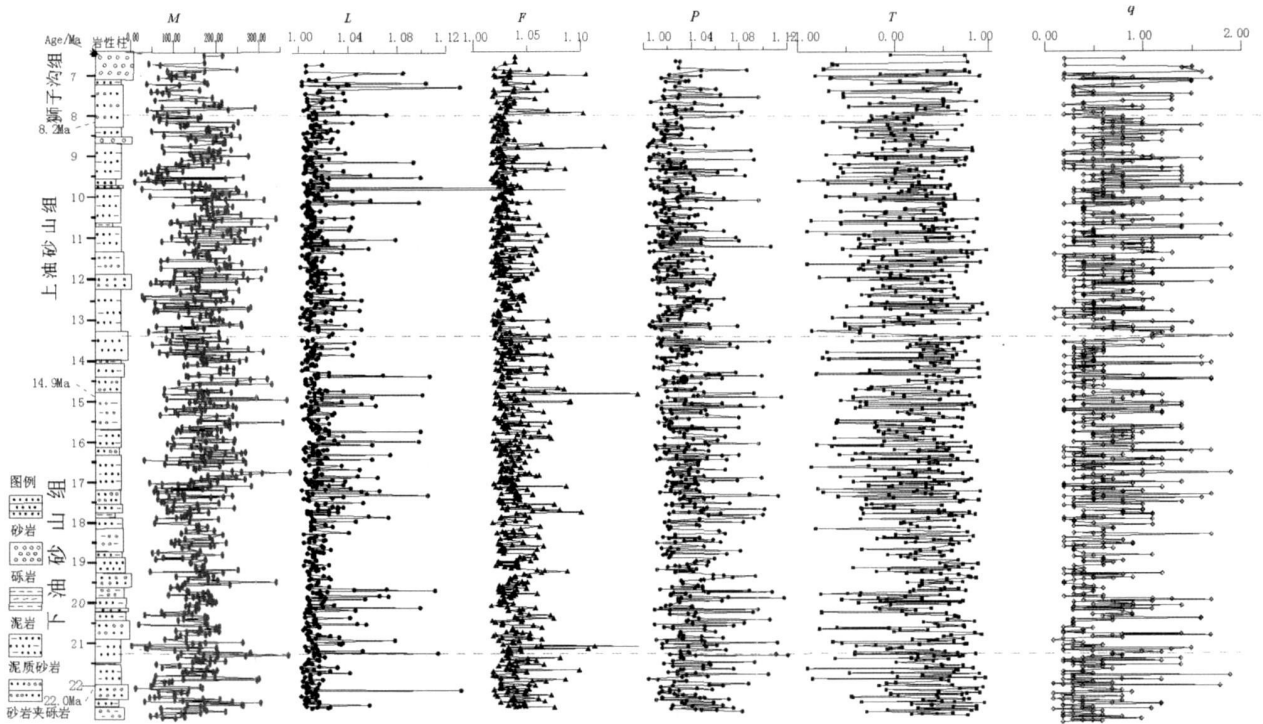


图 2 西岔沟剖面中上部地层磁化率各向异性参数变化趋势
Fig 2 Changes of magnetic fabric parameters in upper Xichagou section

表 1 西岔沟剖面磁组构参数

Table 1 Magnetic fabric parameters of sedimentary rocks from the mid-upper Xichagou section

地层	磁组构参数 (括号内为平均值)					
	$K_m I / (\times 10^{-6} \text{SI})$	L	F	P	q	T
狮子沟组	6.341 ~ 279.5 (146.1384)	1.001 ~ 1.089 (1.0152)	1.001 ~ 1.157 (1.0205)	1.007 ~ 1.191 (1.0361)	0.0606 ~ 1.6667 (0.5253)	-0.802 ~ 0.889 (0.1252)
上油砂山组	27.23 ~ 323.1 (188.1269)	1.001 ~ 1.802 (1.0173)	1.001 ~ 1.279 (1.0179)	1.004 ~ 2.305 (1.0363)	0.00 ~ 1.90 (0.5813)	-0.971 ~ 0.969 (0.1734)
下油砂山组	7.475 ~ 354.3 (171.2178)	1.001 ~ 1.782 (1.0184)	1.001 ~ 1.293 (1.0245)	1.006 ~ 2.304 (1.0441)	0.00 ~ 1.80 (0.50)	-0.873 ~ 0.959 (0.2721)

向异性参数变化范围见表 1, 其变化趋势见图 2。

2.2 平均磁化率 (K_m)

反映沉积物中磁性矿物的种类、浓度及粒度等特征, 与沉积物物源关系密切。不同的岩层, 由于其沉积物岩性的差异, 磁化率也不同^[12-16]。西岔沟剖面下油砂山组 K_m 为 $7.475 \times 10^{-6} \sim 354.3 \times 10^{-6}$ SI 平均 171.278×10^{-6} SI 变化较大, 可能形成于较为湿润的环境, 时有事件沉积发生^[14]; 上油砂山组 K_m 为 $27.23 \times 10^{-6} \sim 323.1 \times 10^{-6}$ SI 平均 188.269×10^{-6} SI (表 1), 在图 2 中变化相对平稳, 在个别部位具高值, 对应于较细的蓝灰色—浅砖红色粉砂岩、泥岩沉积, 表明与暖湿环境下较强的地表夷平、源区化学风化较强、沉积湖盆水深加大即还原环境有关; 狮子沟组的 K_m 为 $6.341 \times 10^{-6} \sim 279.5 \times 10^{-6}$ SI 平均

146.1384×10^{-6} SI 磁化率随时代变年轻明显增大, 在剖面上该组地层岩石粒度明显加粗, 以砾岩夹(细)砂岩、粉砂岩为主, 表明此时源区气候逐渐变为干冷、物理风化渐强, 沉积物中有较多赤铁矿、磁铁矿等。

2.3 磁化率各向异性度 (P)

P 是用以说明沉积物中颗粒排列的有序化程度, 其数值大小反映了沉积环境的稳定性和能量的相对高低。一般地, 能量较高的稳定环境中的沉积物, 其颗粒排列有序化程度较高, P 值较大; 能量较低的环境或不稳定的底流环境中的沉积物, 其颗粒排列有序化程度较低, P 值较小。对湖盆而言, 沉积物降落时基本处于不完全的相对静水环境, P 值虽较小但存在一定的分异度, 同时湖泊底流、波浪运动对沉积物的改造较小。因此 P 的变化可以在一定程度上反映搬

运介质—水动力大小的变化和沉积物的搬运距离。一般地,水成沉积的 $P > 1.02$ 在快速堆积或物源区磁性矿物贫乏等少数情况下,以及风成沉积时,其 P 值可 < 1.02 ^[16 31]。

在西岔沟剖面, P 的变化较大,为 $1.004 \sim 2.305$ (表 1)。下油砂山组 P 为 $1.004 \sim 2.304$ 平均值 (1.044) > 1.02 在三个组中是最高的,说明该组地层的沉积物颗粒有序化程度高,但沉积时的水动能高,粗碎屑沉积物源较丰富。因此该组中部地层揭示的源区信息和气候特征应该与 Km 不同,即干冷、以物理风化为主、植被不很发育,而上、下部地层则表现为湿润、还原、植被较为发育的环境,湖盆面积增加,与高原上古湖发育同期^[32]。在上油砂山组中, P 变化于 $1.004 \sim 2.305$ 波动仍较大,平均值 (1.036) 在三个组中介于中间,但其中不乏大于 1.12 的样品 (图 2),说明上油砂山组沉积时的环境变化比较频繁,尤其在该组的中部;上、下部相对较稳定,即沉积时的环境由稳定转为动荡后又渐趋稳定,源区由化学风化 \rightarrow 物理风化 \rightarrow 化学风化、气候由暖湿 \rightarrow 干冷 \rightarrow 暖湿、植被也表现为相似趋势,湖盆面积逐渐扩展。而狮子沟组的 P 为 $1.007 \sim 1.191$,平均为 1.036 (表 1)。说明组成该组地层的沉积物有序化程度有所下降,环境在继承前一时期特点的基础上,在本组中晚期又开始逐渐变得动荡:地形高差加大、粗碎屑物供应陡增、植被开始减退、降水减少、气候变得更为干冷。这种趋势在图 2 中表现得相当明显,也与 Km 的变化趋势完全匹配。

2.4 磁面理度 (F)

F 反映沉积颗粒呈面状分布的程度, F 值大,沉积物中微层理构造发育得好; F 值小,反映微层理构造不发育,因而其量值大小取决于沉积动力强度及环境稳定状况^[31]。湖相沉积中一般磁面理较磁线理发育 (图 2)。西岔沟剖面中,下油砂山组、上油砂山组和狮子沟组的 F 值依次为 $1.001 \sim 1.293$ (平均为 1.024)、 $1.001 \sim 1.279$ (平均为 1.017)、 $1.001 \sim 1.157$ (平均为 1.020)。尽管各组的 F 值有一定变化范围,但其平均值从下到上呈现大—小—大的特点,反映出沉积物颗粒面状分布的较好—较差—较好的特点,即岩层中微层理的发育在不同部位差异明显。由蓝灰色泥岩、砂岩为主组成的下油砂山组,层理构造发育,说明当时的环境总体以湿润为主,湖盆面积大,但中部可能为干冷;上油砂山组的 F 从下到上逐渐降低,变动幅度也渐次变小,说明上油砂山组沉积环境

水动能较弱,但比较稳定,沉积层理发育较差,这与 Km 、 P 揭示的环境特点吻合;狮子沟组沉积的早中期, F 值继承前一时期特征,仍为低值,说明磁面理发育减弱,沉积环境稳定性下降,至狮子沟组晚期 F 值略有增大、波动加强,表明沉积水动力变化加剧。这时候环境开始向干旱化快速的发展。

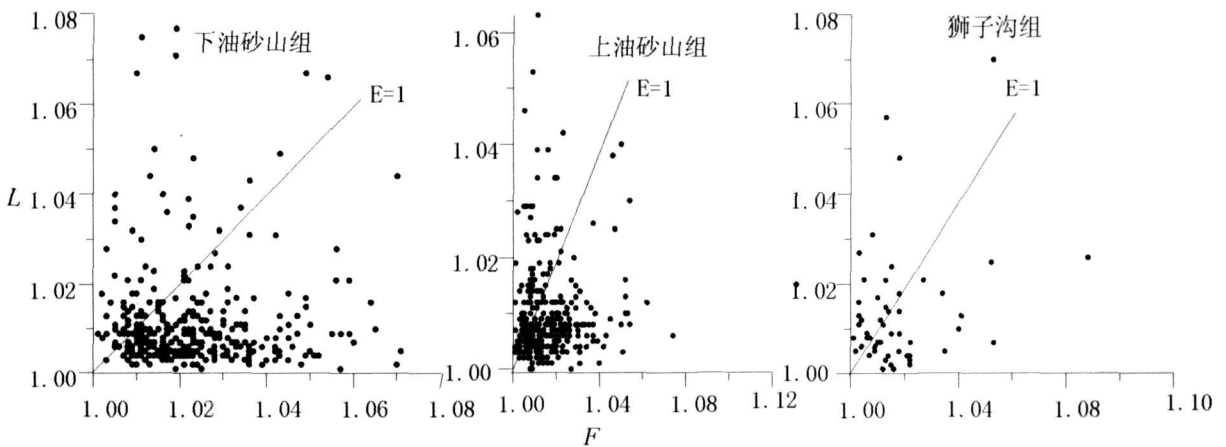
2.5 磁线理度 (L)

反映沉积颗粒呈线状排列程度,受控于搬运介质流动方向的单一性及沉积动力强度。流体流动持续而稳定,颗粒排列有序度高,则 L 值大;反之, L 小^[12 16 31]。组成西岔沟剖面的下油砂山组、上油砂山组和狮子沟组的 L 依次为 $1.001 \sim 1.782$ (平均为 1.018)、 $1.001 \sim 1.802$ (平均为 1.017)、 $1.001 \sim 1.089$ (平均为 1.015)。平均值逐次递减。在正常情况下,狮子沟组 L 平均值应该比上、下油砂山组要大,结果正好与实际相反,可能原因是狮子沟组样品较少、加之所采样很多为砂岩、样品质量不高所致。下油砂山组 L 较大,说明该组沉积时水流相对较稳定,物源供应也较固定,水动力较强,因此其中部沉积了较多粗碎屑岩石。上油砂山组的 L 较前一地层明显下降,表明此时水动力较强但水流方向多变,沉积了代表水深变化较大的碎屑岩类,所揭示的环境信息类似 Km 、 P 。狮子沟组中 L 较小,延续了前一时期的特点,但在晚期水动力略有反弹,沉积了代表洪积的粗碎屑岩类。至此,湖面迅速萎缩,气候快速变干。

西岔沟剖面各组地层的 F 值均大于 L 值。上下油砂山组发育 F ,表明当时以湖相沉积为主,夹杂扇三角洲相等沉积;狮子沟组 F 较 L 略发育,仍然反映出动荡多变的环境特点。即随时代的渐新,水动力逐渐加强,流向持续性和稳定性也渐次变差,暗示沉积环境改变的单一性和节律性 (图 3)。

2.6 磁基质颗粒度 (q)

q 值的大小一般与沉积物粒度的均一状况及碎屑颗粒排列的有序化程度有关,也就是说 q 反映沉积作用与沉积过程,被用以说明沉积物粒度的分选性,其数值大小反映了沉积状态和介质能量衰减的幅度^[12 31]。一般地, $q < 0.5$ 代表了颗粒在底流能量缓慢衰减情况下的有序沉积,即正常重力分异作用下的沉降,沉积物分选性较好,成层性也好; $q > 0.7$ 代表了颗粒在底流能量急剧衰减情况下的快速堆积 (如风暴沉积),或代表了底流比较紊乱的无序沉积,即非正常重力分异作用下的沉积,水动能锐减,沉积物粗细混杂,大小不同的碎屑同时沉积,分选性差,成层

图 3 西岔沟剖面中上部地层 $L-F$ 图解Fig 3 Correlation of $L-F$ magnetic fabric parameters from mid-upper Xichagou section

性差; q 值在 0.5 和 0.7 之间则是一种过渡状态^[16, 19, 31]。

西岔沟剖面下油砂山组的 q 值为 0~1.80, 平均值为 0.50, 其中 $q < 0.5$ 占 64.48%, 0.5~0.7 之间的占 14.28%, $q > 0.7$ 占 20.24%, 说明本组地层以正常湖相沉积为主, 夹杂较多事件沉积。上油砂山组的 q 值为 0.0~1.90, 平均值为 0.5813, 其中 $q < 0.5$ 占 57.79%, 0.5~0.7 之间的占 23.16%, $q > 0.7$ 占 29.05%, 表明本组仍以正常湖相沉积为主, 沉积物分选性、成层性较好, 但夹杂更多的事件沉积; 在图 2 中, $q > 0.7$ 的样品集中于上油砂山组的中下部, 表现为不同层厚的砂、砾岩沉积。狮子沟组的 q 值为 0.10~1.60, 平均值为 0.6345, 其中 $q < 0.5$ 占 50.91%, 0.5~0.7 之间的占 16.36%, $q > 0.7$ 占 32.73%。 $q < 0.5$ 占百分比逐次降低, $q > 0.7$ 的百分比则逐次增加, 即该组中沉积事件进一步增加。这种变化可能预示着本区沉积与周缘山地的耦合以及气候波动之间的某种内在关系。在图 2 中 q 值从老到新有所增加, 波动亦然, 表明这一时期沉积的稳定性已有所降低, 气候开始趋于干旱化, 源区抬升明显、剥蚀加强。总之, 西岔沟剖面的 q 值变化较大, 但其反映的基本情况仍然是上、下油砂山组沉积环境相对较为稳定, 狮子沟组沉积环境稳定性较差。

2.7 磁化率椭球体的形状因子 (T)

T 值的大小和变化一般反映了磁面理 F 和磁线理 L 的发育程度。参数 T 中包含磁线理和磁面理, 更能表征磁化率椭球体的形状。当 $T = 0$ 时, 磁面理和磁线理同等发育; 当 $1 > T > 0$ 时, 磁面理发育为主; $T = 1$ 时, 仅有磁面理发育; $0 > T > -1$ 时, 磁线理发育

为主; $T = -1$ 时, 仅有磁线理发育^[12, 16, 19, 31]。西岔沟剖面下油砂山组的 T 变化于 -0.873~0.959, 其中 $1 > T > 0$ 的样品占 74.40%, $0 > T > -1$ 占 25.6%; 上油砂山组的 T 变化于 -0.971~0.969, 其中 $1 > T > 0$ 的样品占 64.03%, $0 > T > -1$ 占 35.97%; 狮子沟组的 T 变化于 -0.802~0.889, 其中 $1 > T > 0$ 的样品占 66.15%, $0 > T > -1$ 占 33.85%, 表明组成西岔沟剖面的沉积层整体以发育磁面理为主(图 3)。所揭示的环境信息也与 L 、 F 、 q 等类似。

3 讨论

研究表明: 磁化率是气候变化的代用指标之一, 其值的高低反映气候的冷暖和沉积颗粒的粗细。较多磁铁矿的存在指示暖湿的沉积环境, 反映沉积颗粒细; 而较多的赤铁矿则指示干冷的沉积环境, 反映沉积物颗粒粗^[9-11, 13-16]。研究发现湖泊沉积物磁组构参数尤其是磁化率各向异性度、磁面理能较好地指示古环境变化的信息。内陆湖泊沉积物是区域及全球气候、环境变迁的良好记录^[18]。因此, 湖泊沉积物的磁组构参数特征是古气候、古环境的重要指标之一^[13]。磁化率记录是气候的环境效应积累到一定程度的结果, 而粒度却是对气候的直接响应, 因此, 海相和陆相沉积物都是古气候变化的标志^[31]。

磁性地层研究表明, 西岔沟剖面的大部分代表性样品的携磁矿物主要为赤铁矿及磁赤铁矿, 少数样品为磁铁矿, 意味着剖面的形成环境应为干冷, 从次生剩磁的携磁矿物——针铁矿来说, 有些地层的形成并不是在冷的环境, 而是在热的环境, 西岔沟剖面下部地层普遍含石膏脉也说明了这一点^[5, 7]。无论引起

磁化率和磁组构参数改变的具体原因是什么, 最终都受制于气候、植被以及沉积盆地周缘山地的隆升与侵蚀等因素的改变, 因此依据内陆湖相沉积岩的磁化率及磁组构研究可以了解丰富的地质、环境信息。

以与水流速度或坡降有关的 L 、 F 参数的变化趋势为主要依据, 结合西岔沟剖面沉积速率变化趋势, 探讨西岔沟剖面平均磁化率及磁组构参数对环境变化的响应。将西岔沟剖面揭示的环境变化响应规律划分为三个阶段:

I 阶段 (22.4~13.4 Ma): 此时期砾岩发育相对较少, 而代之为大量砂岩; 沉积物以湖相为主, 石膏沉积消失, 礁灰岩开始发育, 与高原发育湖相(泥)灰岩呼应^[32]。高原北部和东北部此时开始出现反映湿润森林气候景观的巨犀动物群^[29]。全球变化此时正好快速步入渐新世晚期的温暖时期, 南极冰盖几乎消融。 $\delta^{18}O$ 曲线呈缓慢上升的趋势^[20], 而沉积物通量变化不明显, 沉积速率也没有明显的变化(图 4)。正好与这一时期的全球气候变化相匹配。因此, 推测原先盘踞在高原北部的副热带高压此时应南撤, 致使该区降水增加, 气候湿润, 地表侵蚀加剧、源区抬升明显, 以及沉积物供应量增加, 沉积速率升高。

II 阶段 (13.4~8.2 Ma): 这一阶段磁组构特征表现相对平稳, 具有一定振荡和相对较低值(图 2), 表明此时气候温暖干燥, 源区化学风化较强、粗碎屑

物质供应不足, 植被较好, 降水较多但暂时性流水较少, 山地整体抬升但坡降变小, 湖盆略有扩大水深亦增, 水位稳定。北半球及东南极冰川的扩展对本区影响不大; 植物孢粉分析也表明旱生植物快速增加^[29]。11~10.5 Ma 左右印度洋北部沉积速率剧增可能是构造活动加剧和气候突变导致暂时性流水加强之果, 深海氧同位素明显增加, 沉积物通量快速增加(图 4)。上油砂山组中上部发育本区最细的沉积岩层, 代表可能的湖泛时期, 因湖水较深致使沉积物中磁性矿物被还原, 所以在图 2 中 K_m 具低值; 在该组上部由于构造活动的加强, 碎屑物供给增加, K_m 相应增加但振荡开始加剧。磁化率各向异性参数更多地记录了环境变化对源区的影响。以砂、泥岩为主的湖相沉积, 基本表现为盆地平稳沉降过程中的小幅波动, 沉积速率也在缓慢的上升, 说明到后期气候开始变干。这一现象在青藏高原东北缘的临夏盆地也有记录^[23, 27, 28]。总之, 这一阶段以渐为温干为主。

III 阶段 (8.2~6.3 Ma): 此阶段多数磁组构参数变为较高值、振荡加强(图 2), 表明此时气候转为干冷, 海拔增高, 源区物理风化渐强、粗碎屑物质供应充分, 植被逐渐退化变差, 降水减少且暂时性流水频率增加, 山地坡降增加, 湖盆变浅, 盆地干旱加剧^[26]。这一时期沉积速率快速增加, 最大达到 320 m/Ma, 此时北半球冰川的继续扩展对本区影响明显, 变化不

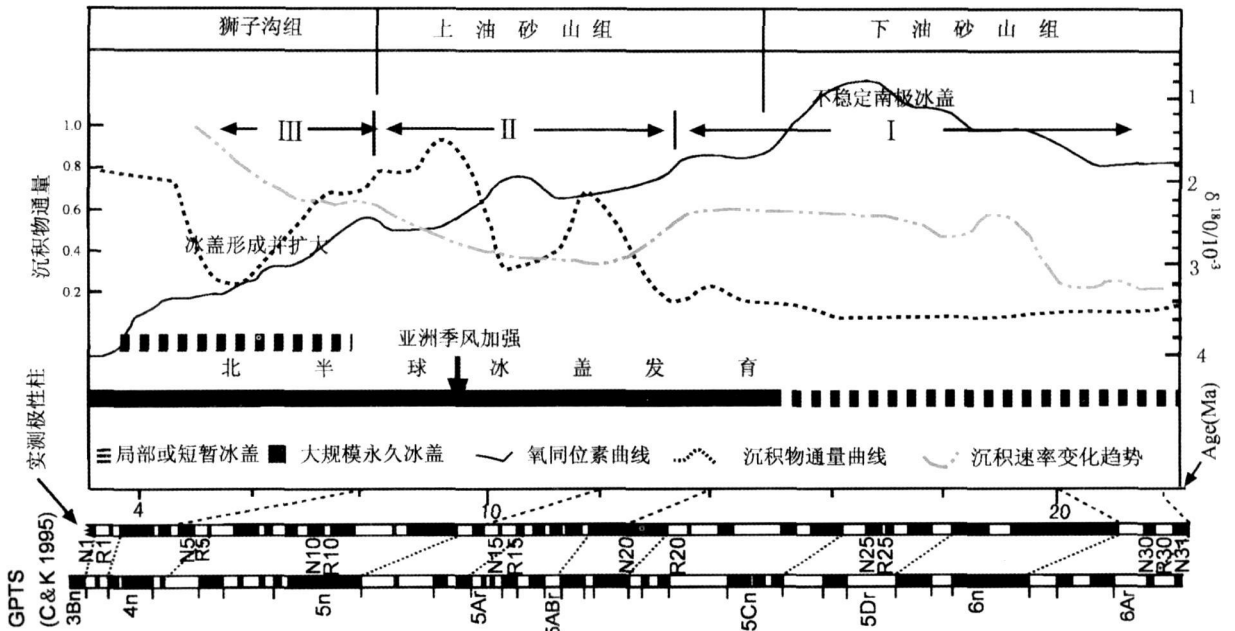


图 4 西岔沟剖面磁组构变化阶段与深海氧同位素曲线(据 Zachos^[20])及印度洋北部沉积物通量对比(据 Rea D K^[21], 1992)

Fig 4 Correlations for stages of magnetic fabric parameters from the middle-upper Tertiary in the Xichagou section with sedimentation rate-age diagram for submarine sediments on sedimentary fans in the North Indian Ocean(after Rea D K, 1992) and global deep-sea $\delta^{18}O$ -isotopic plot (after Zachos, 2001)

大的 F 说明构造地形高差不大。而印度洋北部沉积速率的再次激增, 沉积物通量则快速的增加, 深海氧同位素也缓慢的变大, 狮子沟组不整合于上油砂山组之上等现象记录了这次构造事件 (图 4)。因此, 此阶段的地质环境变化因素早期以构造运动为主, 中晚期以气候为主。狮子沟组砾岩可能是灾害性气候和构造活动共同作用的结果。

安芷生等^[33]通过总结认为青藏高原隆升在中新世以来有 6 个加速时段 (25~20 Ma, 16~14 Ma, 10~7 Ma, 4.5~2.6 Ma, 1.6~1.0 Ma, 0.7 Ma 以后及 0.15 Ma), 我们通过磁化率各向异性也大致揭示出类似的阶段性, 但由于剖面未能纪录更新时代的沉积, 所以对 6.3 Ma 以后的事件未能捉捕到。因此, 西岔沟剖面新近系磁化率各项异性变化趋势能够反映气候或环境变化特征, 也能揭示高原隆升的环境效应。

4 结论

通过以上研究得到如下结论:

(1) 磁化率及其磁组构参数变化趋势可用于判别沉积环境演化过程;

(2) 结合区域地质演化等资料仍较难区分环境变化和构造活动对盆地沉积的贡献的主次;

(3) 柴西西岔沟剖面新近系环境变化、地质构造演化具阶段性, 这与构造演化、环境变化的节律性有关。

致谢 刘栋梁、苗运法、徐先海、李立立、张玺正、刘胜昌参加了野外工作, 刘永乾对样品进行测试, 也感谢青海油田公司勘探开发研究院的鼎力支持。

参考文献 (References)

- Broccoli A J, Manabe S. The effects of orography on middle latitude Northern Hemisphere dry climates [J]. *Journal of Climate*, 1992, 5: 1181-1201
- Kutzbach J E, Guetter P J, Ruddiman W F, et al. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Geology*, 1993, 101: 177-190
- 李吉均, 文世宣, 张青松, 等. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式探讨 [J]. *中国科学*, 1979, (6): 608-618 [Li Jijun, Wen Shixuan, Zhang Qingsong, et al. A discussion on the period, amplitude and type of uplift of the Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Science in China*, 1979, (6): 606-618]
- 刘晓东. 青藏高原隆升对亚洲季风形成和全球气候与环境变化的影响 [J]. *高原气象*, 1999, 18(3): 321-332 [Liu Xiaodong. Influences of Qinghai Xizang (Tibet) Plateau Uplift on the atmospheric circulation, global climate and Environment changes [J]. *Plateau Meteorology*, 1999, 18(3): 321-332]
- Fang X M, Zhang W L, Meng Q Q, et al. High-resolution magnetostratigraphy of the Neogene Huaitoutala section in the eastern Qaidam Basin on the NE Tibetan Plateau, Qinghai Province, China and its implication on tectonic uplift of the NE Tibetan Plateau [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2007, 258: 293-306
- 余钦范, 郑敏. 岩石磁组构分析及其在地质学中的应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 5-25 [Yu Qianfan, Zheng Min. Analysis of Magnetic Fabric in Rocks and Its Applications for Geosciences [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 5-25]
- 高军平, 刘胜昌, 李艾银, 等. 柴西红沟子地区晚新生界磁组构的特征和意义 [J]. *世界地质*, 2007, 26(2): 180-189 [Gao Junping, Liu Shengchang, Li Aiying, et al. Characteristics and significance of magnetic fabric in the Honggouzi section western Qaidam Basin [J]. *Global Geology*, 2007, 6(2): 180-189]
- Lee Thequei, Lin Hwa Sung. Magnetic analysis on lacustrine deposits of Yuanyang lake, Northem Taiwan [J]. *Journal of the Geological Society of China*, 1998, 41(1): 143-158
- 朱立平. 环境磁学反映的藏南沉槽地 1300 年来冷暖变化 [J]. *第四纪研究*, 2001, 21(6): 520-525. [Zhu Liping. Cold/warm fluctuations of the last 1300 years reflected by environmental magnetism in the Chencoaren Southern Tibet [J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(6): 520-525]
- 葛宗诗. 南黄海 QC2 孔磁化率研究 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(4): 35-42 [Ge Zongshi. Study on magnetic susceptibility of Hole QC2 in the South Yellow Sea [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(4): 35-42]
- Sandgren P. Mineral magnetic characteristics of podzolic soils developed on sand dunes in the Lake Goszcz catchment, central Poland [J]. *Physics of the Earth and Planetary*, 1990, 60: 297-313
- 王苏民, 李建仁. 湖泊沉积——研究历史气候的有效手段——以青海湖、岱海为例 [J]. *科学通报*, 1991, 36(1): 54-56 [Wang Sumin, Li Jianren. Lacustrine sediments: an indicator of historical climatic variation: the case of Qinghai Lake and Da Hai Lake [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1991, 36(1): 54-56]
- Thompson R, Oldfield F. *Environmental Magnetism* [M]. London: Allen & Unwin (publishers) Ltd, 1986: 42, 101-113
- 张普纲, 樊行昭, 霍俊杰, 等. 磁性参数的环境指示意义 [J]. *太原理工大学学报*, 2003, 34(3): 301-305 [Zhang Pugang, Fan Xingzhao, Huo Junjie, et al. Environment designating significance of magnetic parameters [J]. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 2003, 34(5): 301-305]
- 姜月华, 殷鸿福, 王润华, 等. 环境磁学理论、方法和研究进展 [J]. *地球学报*, 2004, 2(3): 357-362 [Jiang Yuehua, Yin Hongfu, Wang Runhua, et al. The theory, method and research progress of environmental magnetism [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2004, 25(3): 347-362]
- Collinson D W. *Methods in Rock Magnetism* [M]. London: Allen & Unwin (publishers) Ltd, 1986: 28, 102-231
- 陈庆强, 李从先, 丛友滋, 等. 沉积物磁组构与其动力沉积特征对

- 应关系研究 [J]. 科学通报, 1998, 43 (10): 1106-1109 [Chen Qingqiang, Li Congxian, Cong Youzi *et al*. The study of relation between magnetic fabric of sediment and character of dynamic deposit [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (10): 1106-1109]
- 18 张家强, 李从先, 丛友滋, 等. 水成沉积与风成沉积及古土壤的磁组特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19 (2): 85-94 [Zhang Jiaqiang, Li Congxian, Cong Youzi *et al*. Magnetic fabric characteristics of hydraulic deposit, eolian deposit and paleosol [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1999, 19 (2): 85-94]
- 19 丛友滋, 韩国忠, 李从先, 等. 泥质潮坪磁组特征及其意义 [J]. 科学通报, 1997, 42 (15): 1637-1640 [Cong Youzi, Han Guozhong, Li Congxian, *et al*. The magnetic fabric characteristics of tidal mud flat and its study significance [J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42 (15): 1637-1640]
- 20 Zachos J, Pagani M, Sblan L, *et al*. Trends, Rhythms and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present [J]. Science, 2001, 292: 686-693
- 21 Rea D K. Delivery of Himalayan sediment to the Northern Indian Ocean and its relation to global climate, sea level, uplift and seawater strontium [J]. Geophysical Monography, 1992, 70: 389-402
- 22 潘保田, 方小敏, 李吉均, 等. 晚新生代青藏高原隆升与环境变化 [C] // 施雅风, 李吉均, 主编. 青藏高原晚新生代隆升与环境变化. 广州: 广东科技出版社, 1998, 1-463 [Pan Baotian, Fang Xiaomin, Li Jijun *et al*. Uplift and environmental changes of the Qinghai-Xizang (Tibetan) plateau during the late Cenozoic period [C] // Shi Yaofeng, Li Jijun, eds. Uplift and Environmental Changes of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau in the Late Cenozoic. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998, 1-463]
- 23 万天丰, 朱鸿. 中国大陆及邻区中生代—新生代大地构造与环境变迁 [J]. 现代地质, 2002, 16 (2): 107-120 [Wan Tianfeng, Zhu Hong. Tectonics and environment change of Mesozoic-Cenozoic in China continent and its adjacent areas [J]. Geoscience, 2002, 16 (2): 107-120]
- 24 宋春晖, 方小敏, 李吉均, 等. 青藏高原北缘西盆地 13Ma 以来沉积演化与构造隆升 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31 (增刊): 155-162 [Song Chunhui, Fang Xiaomin, Li Jijun *et al*. Tectonic uplift and sedimentary evolution of the Jiuxi Basin in the northern margin of the Tibetan Plateau since 13Ma [J]. Science in China (Series D), 2001, 31 (suppl): 155-162]
- 25 傅开道, 高军平, 方小敏, 等. 祁连山区中西段沉积物粒径和青藏高原隆升关系模型 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31 (增刊): 169-174 [Fu Kaidao, Gao Junping, Fang Xiaomin *et al*. Relationship model of sediment grain size and Tibetan Plateau uplift in middle west parts of Qilian Mountain [J]. Science in China (Series D), 2001, 44 (Suppl): 210-217]
- 26 王建, 席萍, 刘泽纯, 等. 柴达木盆地西部新生代气候与地形演变 [J]. 地质论评, 1996, 42 (2): 166-173 [Wang Jian, Xi Ping, Liu Zechun, *et al*. Cenozoic climatic and topographical changes in the western Qaidam Basin [J]. Geological Review, 1996, 42 (2): 166-173]
- 27 宋春晖, 白晋峰, 赵严德, 等. 临夏盆地 13~4.4Ma 湖相沉积物颜色记录的气候变化探讨 [J]. 沉积学报, 2005, 9 (3): 507-513 [Song Chunhui, Bai Jingfeng, Zhao Yande *et al*. The color of lacustrine sediment recorded climatic change from 13 to 4.4 Ma in Linxia basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 9 (3): 507-513]
- 28 宋春晖, 鲁新川, 邢强, 等. 临夏盆地晚新生代沉积物元素特征与古气候变迁 [J]. 沉积学报, 2007, 25 (3): 409-416 [Song Chunhui, Lu Xinchuan, Xing Qiang *et al*. Late Cenozoic element characters and paleoclimatic change of the lacustrine sediments in Linxia Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25 (3): 409-416]
- 29 邓涛, 王晓鸣. 柴达木盆地新近纪犀科化石新材料 [J]. 古脊椎动物学报, 2004, 42 (3): 216-229 [Deng Tao, Wang Xiaoming. New material of the Neogene Rhinocerotids from Qaidam Basin [J]. Vertebrata Palasiatica, 2004, 42 (3): 216-229]
- 30 钱方. 青藏高原晚新生代磁性地层研究 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (2): 22-34 [Qian Fang. Study on magnetostratigraphy in Qinghai-Tibetan Plateau in last Cenozoic [J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5 (2): 22-34]
- 31 许峰宇, 王力波. 磁化率各向异性在沉积学中的应用 [J]. 沉积学报, 1994, 12 (2): 94-100 [Xu Fengyu, Wang Libo. Measurement of anisotropy of magnetic susceptibility on Xishu loess and its implication to sedimentology [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12 (2): 94-100]
- 32 吴珍汉, 吴中海, 胡道功, 等. 青藏高原腹地中新世早期古大湖的特征及其构造意义 [J]. 地质通报, 2006, 25 (7): 782-791 [Wu Zhenhan, Wu Zhonghai, Hu Daogong *et al*. Features of Early Miocene large paleolakes in the interior of the Qinghai-Tibet Plateau and their tectonic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (7): 782-791]
- 33 安芷生, 张培震, 王二七, 等. 中新世以来我国季风—干旱环境演化与青藏高原的生长 [J]. 第四纪研究, 2006, 26 (5): 678-694 [An Zhisheng, Zhang Peizhen, Wang Erqi *et al*. Changes of the Monsoon and environment in China and growth of the Tibetan Plateau in the Miocene [J]. Quaternary Sciences, 2006, 26 (5): 678-694]

Response of Magnetic Fabric of Xichagou Section in Late Tertiary to Climate Change Western Qaidam Basin

GAO Jun-ping¹ LIA Yi-ni¹ SONG Chun-hui¹ PENG Yang-hong¹ ZHANG Wei-lin² LI Sheng-xi¹

(¹ Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education) & School of Resources and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000;

² Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100085)

Abstract Through equidistantly sampling on 2~3 meters and accurate systematic measurement of samples of Xichagou stratotype section, located in southwestern limb of Ganchagou anticline in western Qaidam Basin (Chaixi area), integrated high resolution and high precision magnetostratigraphy and sedimentological study in this section, authors think the changing trends of magnetic fabric parameters of sedimentary rocks may act as proxies of climate change. It was indicated that environmental change between 22.4 to 6.2 Ma may divide into three stages: first stage, humid context between ~22.4 to 13.4 Ma; secondary stage, warm-arid environment transformed arid-cold one from 13.4 to 8.2 Ma; and third stage from 8.2 to 6.2 Ma, climate lasted dry-cold and more complexly. It can be considered that rhythm of climate change or tectonism correlated to formation of modern monsoon since 7.8 Ma. This result provides available evidence for the uplift process of Tibetan Plateau and its environmental effects.

Key words magnetic fabric, Qaidam Basin, climate change, Xichagou