

文章编号: 1000-0550(2012)05-0919-09

塔里木盆地西北缘库孜贡苏剖面晚白垩世—早中新世沉积物岩石磁学研究^①

张志高¹ 迟云平² 脱世博¹ 吴松² 刘艳蕊¹
张涛¹ 滕晓华¹ 方小敏^{1,3} 宋春晖²

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室 兰州大学西部环境与气候变化研究院 兰州 730000;
2. 兰州大学地质科学与矿产资源学院 兰州 730000; 3. 中国科学院青藏高原研究所 北京 100085)

摘要: 对塔里木盆地西北缘库孜贡苏剖面晚白垩世—早中新世沉积物进行了热退磁及岩石磁学研究,结果表明岩石热退磁及岩石磁学特征随沉积环境可分为三种类型:潮下、台地边缘浅滩相岩石主要磁性矿物为磁铁矿及少量针铁矿、磁赤铁矿,磁性矿物含量较少、颗粒较小(假单畴),其天然剩磁强度较小,一般小于 1×10^{-2} A/m,在250℃~500℃能获得稳定特征剩磁方向,特征剩磁由磁铁矿携带;潮间、潮上带岩石主要磁性矿物为磁铁矿,并含有少量磁赤铁矿、赤铁矿、针铁矿,磁性矿物颗粒为假单畴和多畴,天然剩磁强度一般在 $1 \times 10^{-2} \sim 1$ A/m之间,在250℃~580℃能获得稳定特征剩磁方向,特征剩磁由磁铁矿携带;河湖相岩石主要磁性矿物为磁铁矿、赤铁矿,并含有少量磁赤铁矿、针铁矿,磁性矿物含量较多、颗粒较小(假单畴),天然剩磁强度一般在 1×10^{-1} A/m以上,多数样品特征剩磁由赤铁矿携带,少数由磁铁矿与赤铁矿共同携带。岩石磁学研究对于在沉积环境复杂剖面进行古地磁研究具有重要的意义。

关键词: 岩石磁学 沉积环境 晚白垩世—早中新世 塔里木西北缘

第一作者简介: 张志高 男 1986年出生 博士研究生 自然地理学 E-mail: zhangzhg06@yahoo.cn

中图分类号: P534.6 **文献标识码:** A

0 引言

新生代印度—欧亚板块碰撞导致中亚广大范围内产生强烈的陆内变形^[1],并形成了一系列大、中型沉积盆地。高原北缘的塔里木盆地堆积了巨厚的沉积物,这些沉积物记录了高原隆升、特提斯海退出过程及环境效应的丰富信息,因而塔里木盆地成为近年来地质学家关注的热点^[2-6]。特别是一些研究者利用磁性地层学及其他地质手段,对高原隆升、特提斯海退出过程以及环境效应进行了有益的探讨^[7-18]。我们知道,磁性地层学研究的关键是要获得可靠的原生(特征)剩磁信息,但这些沉积物由于沉积过程及后生变化,因而确定沉积物中的磁性矿物种类、含量、粒径大小、粒径排列方向、来源和后生变化对确定岩石的原生(特征)剩磁具有重要意义^[19,20],特别是一个连续剖面上出现不同沉积环境不同岩性时更应研究沉积物的磁性矿物特征,从而获得可靠的磁性地层结果。塔里木盆地西北部喀什拗陷出露连续的晚白

垩世—早中新世沉积地层,岩石类型主要由海相—湖相—河流相泥岩、砂岩、灰岩等组成。本文通过对塔里木盆地喀什拗陷库孜贡苏剖面代表性样品的岩石磁学研究,为认识不同沉积环境岩石磁性矿物特征提供基础资料。

1 地质概况与剖面地层沉积

1.1 地质概况

研究区位于塔里木盆地西部的喀什拗陷(图1),是塔里木盆地西南拗陷的一个二级构造单元,面积约24 000 km²。它东接麦盖提斜坡,北邻南天山,南部与帕米尔高原东北侧的西昆仑山和喀喇昆仑山相邻,天山和西昆仑山在喀什拗陷西部汇聚。

喀什拗陷为一中—新生代拗陷,新生界极为发育,天山和昆仑山在新生代以来的强烈挤压和塔拉斯—费尔干纳断裂的大规模走滑活动对喀什拗陷的形成和变形起着重要作用^[22]。燕山运动早期西昆仑褶皱带在拉张引力作用下形成断陷盆地,沉积了侏罗

^①国家973重点基础研究发展计划项目(编号:2011CB403000、2010CB833401)、国家自然科学基金项目(批准号:40872029、40902015)和国家教育部博士点基金资助项目(编号:20090211120027)资助。
收稿日期:2011-10-20;收修稿日期:2012-02-16

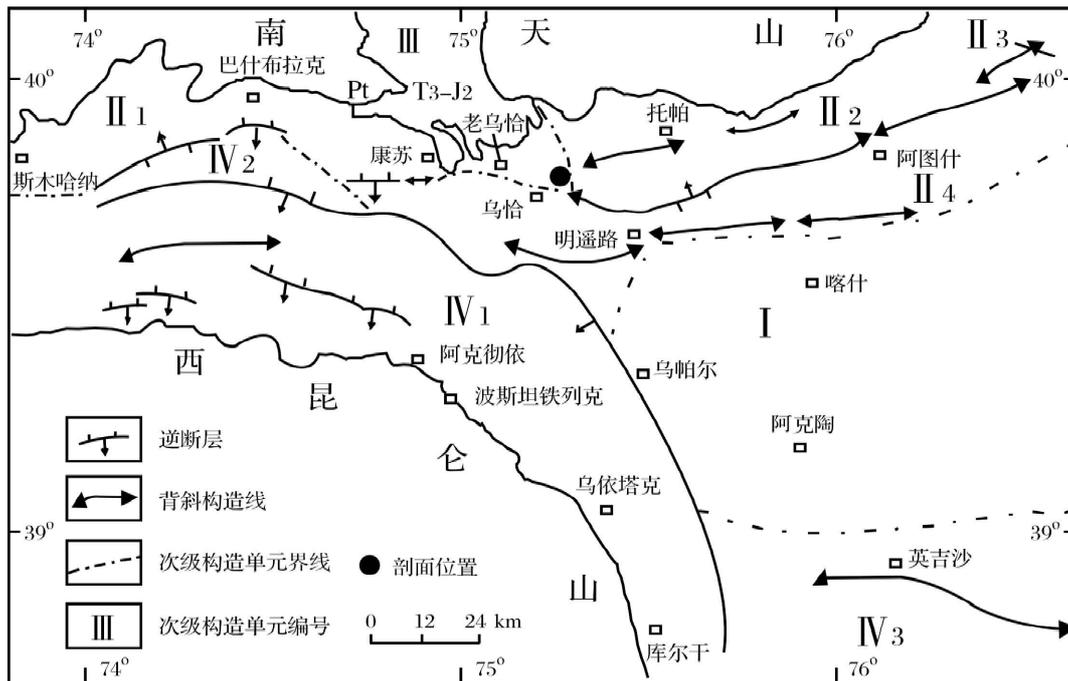


图1 塔里木盆地西部主要构造单元(据周新源等 2005^[21])

I. 喀什深洼陷; II. 南天山山前褶皱-冲断层: II 1. 巴什布拉克褶皱-冲断带, II 2. 托帕-塔什皮萨克背斜带, II 3. 阿图什背斜带, II 4. 喀什背斜带; III. 库孜贡苏晚三叠-中侏罗世断隆; IV. 西昆仑山前褶皱-冲断层: IV 1. 乌帕尔逆冲推覆构造带, IV 2. 肖尔布拉克构造带, IV 3. 英吉沙背斜带

Fig. 1 Structural units of Western Tarim Basin (modified from Zhou Xinyuan, et al., 2005)

纪含煤地层;燕山运动晚期断陷盆地逐渐扩大,沉积了早白垩世内陆河流相沉积;晚白垩世库克拜期海水从西向东经喀什拗陷进入塔西南,直至渐新世中晚期海水向西退出喀什拗陷^[23],形成了一个大的海进-海退旋回,由4~5个小的海进-海退旋回组成,海相沉积体系在垂向上相变频繁;渐新世中晚期,特提斯海已退出塔里木盆地西北缘地区,之后转为陆相咸水湖泊(含残留海水)环境^[24];渐新世末期至第四纪主要是一套巨厚的河流、洪积-冲积相沉积建造^[25]。

1.2 剖面地层沉积

库孜贡苏剖面位于天山南缘、乌恰县以北约8 km处,沿库孜贡苏河两岸地区,地层总厚度1 075 m(图2)剖面沉积连续,从下向上由海相上白垩统库克拜组、乌依塔克组、依格孜牙组,古近系吐依洛克组、阿尔塔什组、齐姆根组、盖吉塔格组、卡拉塔尔组、乌拉跟组、巴什布拉克组和陆相新近系克孜洛依组组成。库孜贡苏剖面库克拜组、乌依塔克组、依格孜牙组、吐依洛克组、阿尔塔什组主要属于潮间、潮上带环境,岩性以棕红色砂泥岩、碳酸盐岩、棕红色膏泥岩以及巨厚石膏层为主;齐姆根组发生海侵,主要属于潮下带环境,岩性主要为暗色泥岩夹碳酸盐岩;盖吉塔

格组为潮间带,岩性为棕红色膏泥岩夹碳酸盐岩;卡拉塔尔组与乌拉跟组沉积环境为台地边缘浅滩、生物礁相,岩性为碳酸盐岩;巴什布拉克组发生本区最后一次海侵,沉积环境有潮下带、潮间、潮上带,岩性为棕红色泥岩、粉砂岩,下部夹石膏,顶部夹碳酸盐岩;克孜洛依组为河湖相沉积,下段为灰绿色砂岩、褐黄色粉砂岩、浅褐红色钙质泥岩互层;中段为褐红色泥岩与褐黄色泥岩夹粉砂岩;上段是浅灰绿色砂岩、褐黄色泥岩夹褐黄色粉砂岩组成的韵律层。砂岩具槽状、楔状交错层理及波状交错层理和波痕构造,泥岩和粉砂岩发育水平层理。

2 样品采集与测试

野外用自然面定向法系统采集新鲜岩石样品,采样间距0.5~1 m,部分地段如阿尔塔什组以大套石膏为主,采样间距依据粉砂岩、泥岩等分布情况进行调整。据此共采集样品1 472块。室内用小型切割机把每块样品加工成2 cm×2 cm×2 cm的立方体定向待测样品。本文选择了不同层位不同沉积环境的岩石样品先在兰州大学古地磁学实验室进行了岩石系统热退磁试验,之后从中选择代表性样品12个进

行岩石磁学实验。系统热退磁样品在零磁场空间内 MMTD80 热退磁仪上加热、2G760SRM 超导磁力仪上测量剩磁,退磁温度区间室温 - 690℃,用 Kirschvink^[26] 主向量分析法判断剩磁矢量。对同一层位样品分别做了温度—磁化强度 ($J-T$)、磁滞参数和等温剩磁及剩磁矫顽力测量,热磁($J-T$) 曲线和磁滞回线使用 VFTB(variable field transition balance) 测量仪测量;剩磁矫顽力测量用 ASC 脉冲磁场发生仪获得剩磁,用 Molspin Minispin 旋转磁力仪测量,并计算了样品的各种特征参数,结果见表 1。

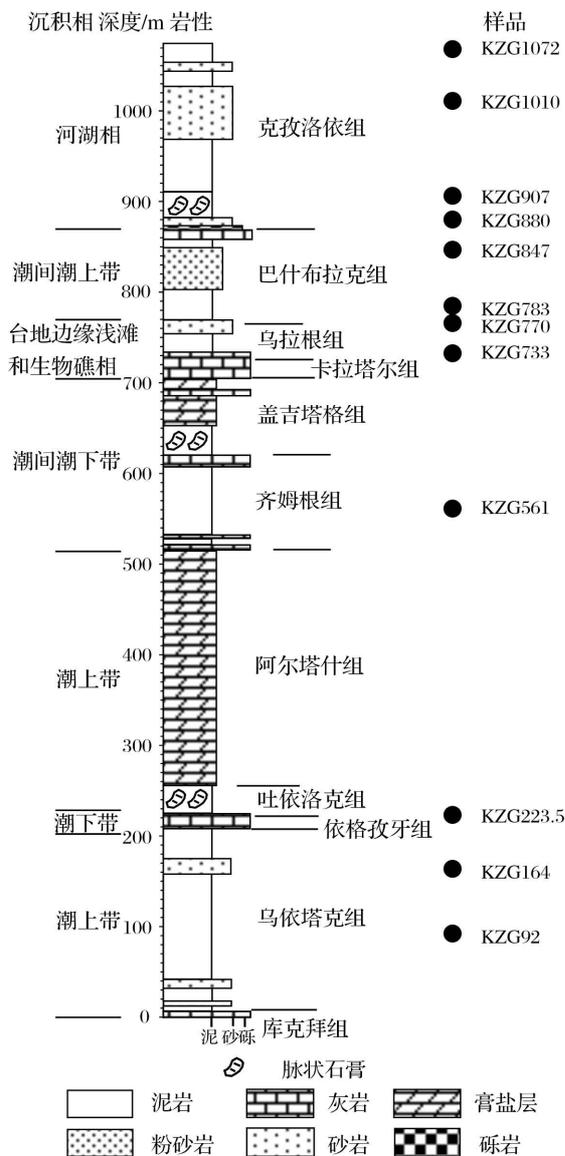


图 2 塔里木盆地西北缘库孜贡苏剖面图

Fig. 2 Stratigraphy of Kuzigongsu Section of Northwestern Tarim Basin

3 结果与讨论

3.1 岩石热退磁

图 3 是代表性样品岩石系统热退磁结果。从图上可以看出,大部分样品在 50℃ 时剩磁强度有较明显降低,说明是粘滞剩磁的消除。随退磁温度升高,除少量样品不能分离出特征(原生)剩磁外,大多数不同沉积环境岩石剩磁变化表现为三种类型:

(1) 潮下、台地边缘浅滩相岩石: 这部分样品天然剩磁强度低,一般小于 1×10^{-2} A/m,样品在 120℃ 时磁场强度有降低,之后随温度又有升高,表明样品中针铁矿所携带的剩磁方向与特征剩磁方向相反,多数样品在 250℃ ~ 500℃ 剩磁强度逐渐降低,剩磁方向稳定趋向原点,代表样品的特征(原生)剩磁,剩磁多在 500℃ 附近解阻(见图 3a、3b)。磁性矿物中含有钛的铁磁性矿物或含铁硫化物可以降低样品的解阻温度,因此这部分样品中除含磁铁矿外还可能含有钛的铁磁性矿物或含铁硫化物。

(2) 潮间、潮上带岩石: 这部分样品天然剩磁较大,一般在 1×10^{-2} ~ 1 A/m 之间,热退磁曲线显示样品中可能存在少量针铁矿,剩磁在 250(120)℃ ~ 580℃ 之间强度稳定降低而剩磁方向稳定趋向原点,说明特征(原生)剩磁由磁铁矿携带(见图 3c、3d)。

(3) 河湖相岩石: 天然剩磁强度相对于海相岩石要大,一般在 1×10^{-1} A/m 以上,可以分离出低、中和高温三个分量,分别在 200℃ 之前、580℃ 和 690℃ 之前解阻(见图 3e、3f)。低、中温分量退磁曲线不趋向原点,高温分量方向趋向原点,为特征剩磁分量,说明三个分量分别由针铁矿、磁铁矿和赤铁矿携带,而特征(原生)剩磁由赤铁矿携带。少数样品中,高温分量方向一致,说明特征剩磁由磁铁矿与赤铁矿共同携带。

上述岩石热退磁结果说明库孜贡苏剖面岩石中磁性矿物类型复杂,特征剩磁携带矿物不尽相同,这需要在剩磁分量分离和统计等工作中分别鉴别,首要的工作就是进行更详细的岩石磁学研究来确定各种磁性矿物的特征。

3.2 岩石磁学测量结果

3.2.1 岩石磁性矿物种类、相对含量与大小

典型样品剩磁矫顽力 (H_{cr}) 获得曲线如图 4 所示,总体来说,海相灰色样品剩磁矫顽力较小在 30

表1 样品岩性及磁学参数

Table 1 Lithological character and rock magnetic parameters of samples

编号	岩相	岩性	磁学参数						
			M_{rs}	M_s	B_{cr}/mT	B_c/mT	M_{rs}/M_s	B_{cr}/B_c	$S-Ratio$
			$/ (10^{-7} Am^2 kg^{-1})$	$/ (10^{-7} Am^2 kg^{-1})$					
KZG92	潮上	红色泥岩	2.26	6.81	211.09	28.75	0.33	7.34	0.63
KZG164	潮上	砖红色砂岩	3.17	11.8	94.27	21.81	0.27	4.32	0.76
KZG223.5	潮下	灰黄色灰岩	0.36	1.52	33.74	10.56	0.23	3.19	1.09
KZG561	潮下	灰绿色泥岩	0.38	1.77	25.83	12.06	0.21	2.14	0.58
KZG733	台地边缘浅滩	灰黄色灰岩	0.14	0.34		21.49	0.40		
KZG770	潮间	紫红色砂岩	3.46	9.31	213.66	40.54	0.37	5.27	0.59
KZG783	潮间	紫红色泥岩	18.7	28.5	289.79	126.89	0.66	2.28	0.51
KZG847	潮上	紫红色细砂岩	1.49	2.57	290.57	77.15	0.58	3.77	0.51
KZG880	河湖相	红色砂岩	5.49	9.90	250.36	50.31	0.55	4.98	0.54
KZG907	河湖相	褐红色泥岩	9.01	26.5	120.51	28.25	0.34	4.27	0.7
KZG1010	河湖相	灰黑色砂岩	8.38	39.6	66.47	17.24	0.21	3.86	0.8
KZG1072	河湖相	红色泥岩	18.5	50.06	136.56	31.32	0.37	4.36	0.7

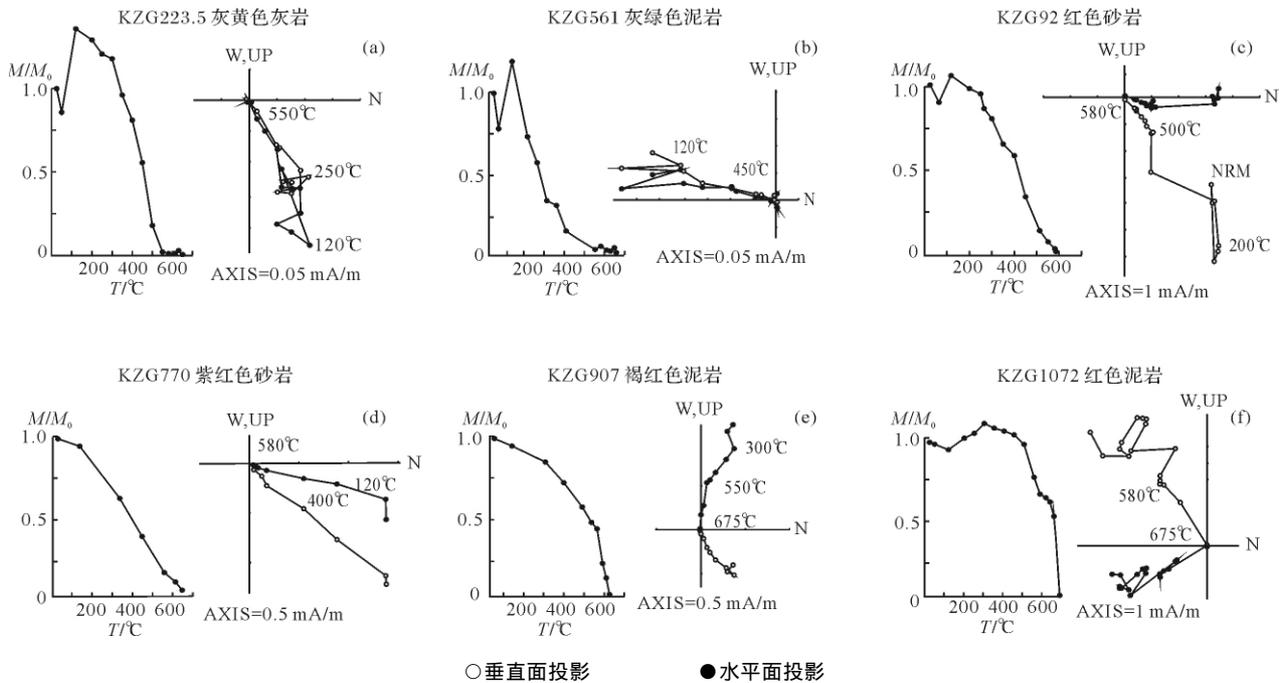


图3 库孜贡苏剖面热退磁结果

Fig. 3 The thermal demagnetization behaviors of rocks of Kuzigongsu Section

mT左右,反映磁性矿物主要为软磁性矿物。河湖相样品的剩磁矫顽力一般达100 mT左右,而潮间、潮上带样品具更高的矫顽力,最高可达290.57 mT。海相灰色样品除外的其他样品与天山北缘^[27]新近系沉积物相比剩磁矫顽力明显偏大,并且比先前报道的库孜贡苏剖面附近黑孜苇剖面^[28]中新世以来的沉积物的剩磁矫顽力也要大,指示库孜贡苏剖面上大部分样品比临近剖面上类似样品含有更多的高矫顽力磁性矿物。

磁化强度随温度变化曲线(即J-T曲线)能反映主要磁性矿物随温度的变化特征,根据不同磁性矿物居里点可以揭示样品中主要磁性矿物的种类^[20]。代表性样品的J-T曲线如图5所示,曲线中磁化强度用初始磁化强度值进行归一化处理。从图上可以看出,所有样品的J-T曲线不可逆,样品磁化强度均在580°C附近急剧下降,推测磁铁矿是岩石中的主要磁性矿物。大部分样品的磁化强度在120°C、450°C左右略微降低,说明还有针铁矿、磁赤铁矿的存

在^[29];此外,大部分代表性样品在 675℃ 附近磁化强度最终降低到仪器背景值,表明样品中含有赤铁矿

(见图 5),但这在岩石热退磁曲线中不明显,说明岩石磁学实验比热退磁实验对岩石中磁性矿物的鉴别能力更强。从图 5 还可以看出 4 个样品的冷却曲线在加热曲线的上方,表明在加热过程中有新的强磁性矿物生成,而这些强磁性矿物很有可能是由含铁的硅酸盐、粘土矿物分解或铁的氢氧化物脱水等作用形成^[30,31](见图 5a,5b,5c,5d)。河湖相样品总体上降温曲线在加热曲线下面(见图 5e,5f),表明加热过程中有磁性矿物的损失,是由于受热不稳定的磁赤铁矿转变为赤铁矿。由于磁赤铁矿(或完全氧化的磁铁矿)在加热时转变为热稳定矿物赤铁矿^[19,32],因而它的 $J-T$ 曲线在 350℃ 左右有一个低谷^[19,20],然而 Özdemiř^[33]认为,部分氧化的磁铁矿因为仅表面磁赤铁矿化(或表面阳离子不足),所以加热时在 $J-T$ 曲线中并不表现出低谷,因此部分样品的 $J-T$ 曲线在 350℃ 左右没有明显低谷(见图 5)。与其他样品不同,样品(KZG1072)其磁化强度在加热到 700℃ 后,仍有一定的磁化强度,推测可能是次生赤铁矿或者是赤铁矿被改造,从而造成了其居里温度的增高。此外,灰岩样品(KZG223.5)在 500℃ 之前表现出类似于霍普金森效应(Hopkinson)的行为特征。

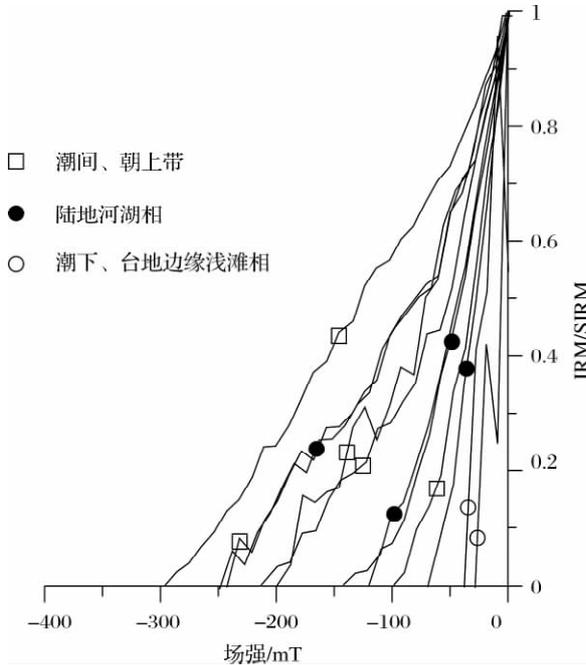


图 4 库孜贡苏剖面部分样品反向磁场退磁曲线

Fig. 4 Reverse field demagnetised curve of Kuzigongsu Section

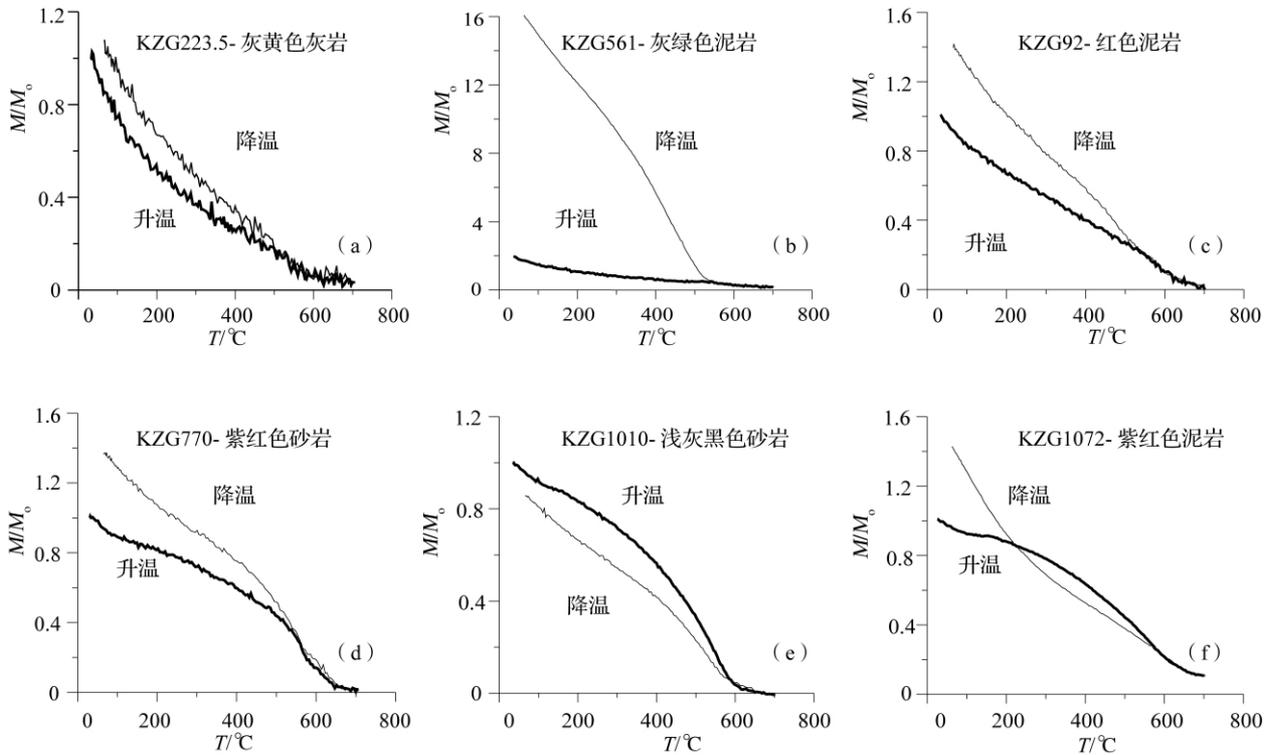


图 5 库孜贡苏剖面代表性样品热磁曲线

Fig. 5 Thermomagnetic ($J-T$) curves from Kuzigongsu Section

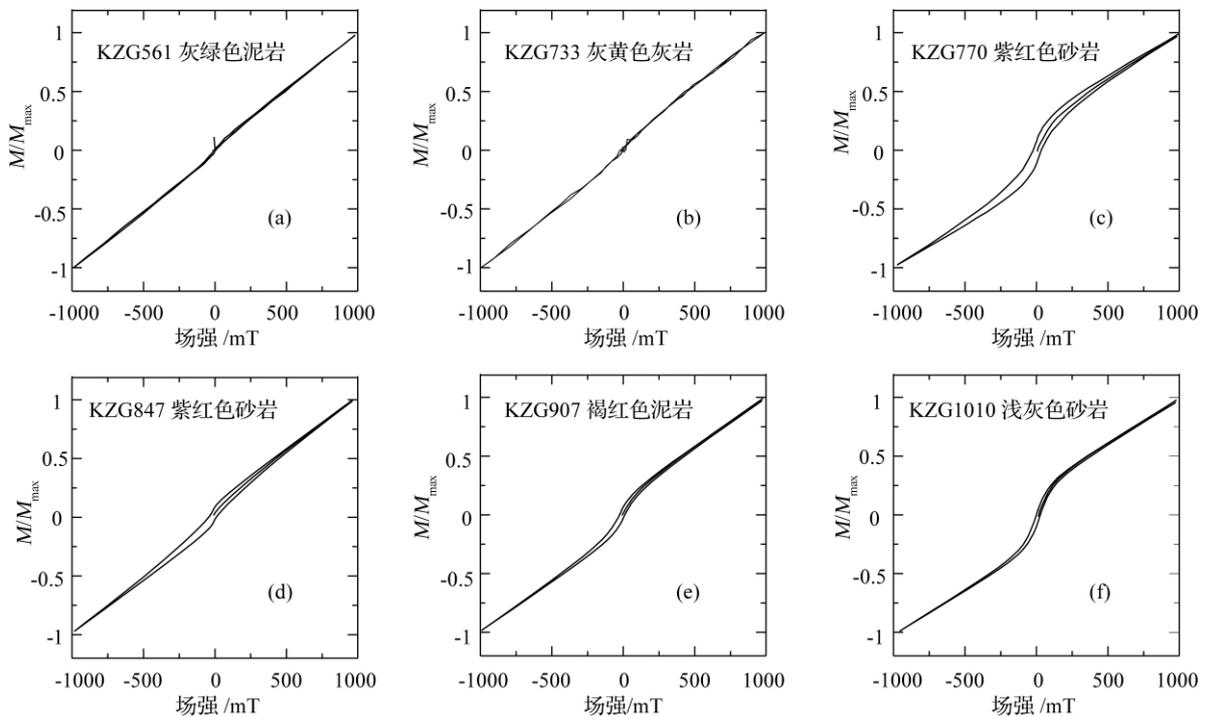


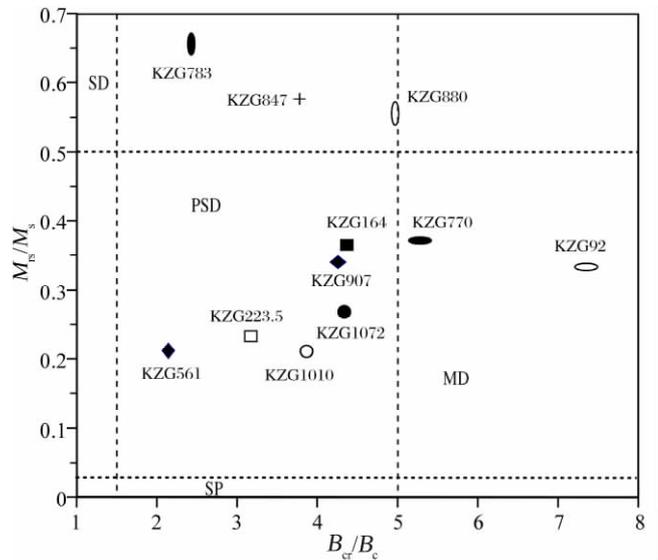
图6 库孜贡苏剖面代表性样品磁滞回线特征

Fig. 6 Hysteresis loops for the representative samples of Kuzigongsu Section

磁滞回线能反映磁性矿物磁化强度随外界磁场变化的信息^[20],据此可以判定样品磁性矿物类型。如图5所示,实验最大外加磁场为1 T。灰岩样品(KZG733)由于其本身磁性较弱,曲线形态波动较大,但其矫顽力 B_c 分别为21.49 mT,另一灰岩样品(KZG223.5)曲线波动更大,其 B_c 为10.56 mT,样品(KZG561)曲线极窄并在0.2 T之前闭合,其矫顽力 B_c 为12.06 mT,说明以上样品磁性矿物以软磁性矿物为主。其他样品具有明显的“蜂腰型”特征,反映了软磁性矿物和硬磁性矿物的共同存在^[34]。不同的是,海相潮间、潮上带样品(见图6c d)的磁滞回线明显更为宽缓,表明其比河湖相样品(见图6e f)含有更多的硬磁性矿物。

用 M_{rs}/M_s 和 H_{cr}/H_c 所做出的Day氏图可以确定磁性矿物颗粒的磁畴状态^[35]。后来Dunlop等人^[36]对参数界定进行了修正,本文采用修正的Day氏图进行畴态分析。由图7可以看出,样品中磁性矿物颗粒落在假单畴与多畴区域中。海相灰色样品与河湖相样品磁性矿物颗粒较小,均落在假单畴区域,但河湖相样品更靠近假单畴与多畴界限,潮间、潮上带样品既有假单畴形态又有多畴形态,且其分布更趋分散。

S_{-Ratio} 可以作为定性研究磁性矿物高矫顽力(硬



SP: 超顺磁, SD: 单畴, PSD: 假单畴, MD: 多畴

图7 库孜贡苏剖面样品的Day氏图^[36]

Fig. 7 Hysteresis ratios plotted on a Day diagram of the samples of Kuzigongsu Section^[36]

磁)磁性颗粒与低矫顽力(软磁)颗粒相对含量的一个有效指标^[37],其方法是外加一个正向场使样品达到饱和,再将其置于一个反向场中(通常为0.3 T),即可获得S比值(IRM0.3T/SIRM)。S_{-Ratio}值大(接近

1) 时,表明低矫顽力部分占主导;值小(接近0)时就表明高矫顽力成分占主导。由表1可知,海相灰色样品两个值为1.09,0.58,出现大于1的比值可能是灰黄色灰岩样品磁性较弱,试验误差所致;潮间、潮上带样品的 S_{-Ratio} 比值都在0.51~0.76之间,说明高矫顽力的磁性矿物占有较大比例;河湖相样品的 S_{-Ratio} 比值除样品KZG880为0.54外,其他样品都在0.7以上,说明比潮间、潮上带样品有更高比例的软磁性矿物含量。

3.2.2 不同沉积环境岩石磁性特征

从上述测量结果来看,库孜贡苏剖面晚白垩世一早中新世沉积物岩石磁学性质复杂,主要表现在磁性矿物特征随不同沉积环境变化较大,具体可分为三种沉积环境类型:

(1) 潮下、台地边缘浅滩相:岩石天然剩磁强度一般小于 1×10^{-2} A/m,热退磁时特征剩磁稳定在200℃~500℃温度区间,由磁铁矿携带;岩石磁学测量显示磁性矿物主要为磁铁矿,另含有少量针铁矿、磁赤铁矿,磁性矿物相对其他两种沉积环境较少,磁性矿物颗粒也较小(假单畴)。

(2) 潮间、潮上带:岩石天然剩磁强度一般在 1×10^{-2} ~ 1 A/m 之间,大部分样品在200℃~585℃可分离出特征剩磁分量,特征剩磁载磁矿物亦为磁铁矿,岩石磁学测量显示磁性矿物主要为磁铁矿,并含有少量的针铁矿、磁赤铁矿和赤铁矿,磁性矿物粒径变化较大,从假单畴到多畴。

(3) 河湖相:岩石天然剩磁强度一般较大,大多在 1×10^{-1} A/m 以上,可分离出两个以上的剩磁分量,其中高温分量为特征剩磁,由赤铁矿携带,少量样品由磁铁矿赤铁矿共同携带。主要磁性矿物为磁铁矿、赤铁矿,并含有少量磁赤铁矿、针铁矿,磁性矿物含量较多、颗粒较小。

4 结论

(1) 塔里木盆地西北缘库孜贡苏剖面晚白垩世一早中新世沉积地层岩石热退磁及岩石磁学特征随不同岩性及沉积环境可分为三种类型:潮下、台地边缘浅滩相岩石主要磁性矿物为磁铁矿及少量针铁矿、磁赤铁矿,磁性矿物含量较少、粒度较小;潮间、潮上带岩石磁性矿物主要为磁铁矿及少量针铁矿、赤铁矿和磁赤铁矿,磁性矿物含量较多、粒度变化较大;河湖相样品主要磁性矿物为磁铁矿、赤铁矿,并含有磁赤铁矿、针铁矿,磁性矿物含量较多、粒径较小。

(2) 岩石磁学测量能有效鉴别不同沉积环境沉积岩石中磁性矿物的种类、相对含量、及磁性矿物颗粒大小,这对于跨时较长的沉积物古地磁研究是十分必要的。

致谢 室内样品测试分析由兰州大学西部环境教育部重点实验室完成,感谢兰州大学岩石磁学实验室吕斌及赵国永博士的测试帮助及有益探讨。王雪鹏、魏引杰、孟昌、杨进云、张曼等同学参与了古地磁实验工作,在此一并深表感谢,戴霜教授于百忙之中对论文提出了宝贵意见,在此表示深深谢意。

参考文献(References)

- 1 Molnar P P, Tapponnier. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J]. Science, 1975, 189: 419-426
- 2 Yin A, Nie S, Harrison T M, et al. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tianshan[J]. Tectonics, 1998, 17(1): 1-27
- 3 Sobel E R, Dumitru T A. Thrusting and exhumation around the margins of the western Tarim basin during the India-Asia collision[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(b3): 5043-5063
- 4 Bosboom R E, Dupont-Nivet G, Alexander J P, et al. Late Eocene sea retreat from the Tarim Basin (west China) and concomitant Asian paleoenvironmental change[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 299: 385-398
- 5 郝治纯,曾学鲁. 从有孔虫的特征探讨中新世西塔里木古海湾的演变[J]. 微体古生物学报, 1984, 1(1): 1-18 [Hao Yichun, Zeng Xuelu. On the evolution of the west Tarim Gulf from Mesozoic to Cenozoic in terms of characteristics of foraminiferal fauna[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1984, 1(1): 1-18
- 6 郭宪璞,丁孝忠,何希贤,等. 塔里木盆地中新世海侵和海相地层研究的新进展[J]. 沉积学报, 1986, 4(3): 67-75 [Guo Xianpu, Ding Xiaozhong, He Xixian, et al. New progress in the study of marine transgressive events and marine strata of the Meso-Cenozoic in the Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(3): 67-75]
- 7 Zheng Hongbo, Powell C M, An Zhisheng, et al. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau[J]. Geology, 2000, 28(8): 715-718
- 8 Sun Jimin, Liu Tunsheng. The age of Taklimakan Desert[J]. Science, 2006, 312(5780): 1621
- 9 Sun Jimin, Zhang Zhenqing, Zhang Liyuan. New evidence on the age of the Taklimakan Desert[J]. Geology, 2009, 37(2): 159-162
- 10 孙东怀,陈发虎,易治宇,等. 晚新生代塔里木盆地中西部地区磁性地层与环境演化[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2009, 45(4): 1-6 [Sun Donghuai, Chen Fahu, Yi Zhiyu, et al. Late Cenozoic magnetostratigraphy and palaeoclimate records of the central and western Tarim Basin[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2009, 45(4): 1-6]
- 11 Sun Jimin, Zhu Rixiang, Bowler J. Timing of the Tianshan Mountains uplift constrained by magnetostratigraphic analysis of molasses deposits[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2004, 219: 239-253
- 12 Charreau J, Chen Yan, Gilder S, et al. Magnetostratigraphy and rock

- magnetism of the Neogene Kuitun He section (northwest China): implications for Late Cenozoic uplift of the Tianshan mountains [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 230: 177-192
- 13 Charreau J, Gilder S, Chen Yan, *et al.* Magnetostratigraphy of the Yaha section, Tarim Basin (China): 11 Ma acceleration in erosion and uplift of the Tian Shan Mountains [J]. *Geology*, 2006, 34(3): 181-184
 - 14 Sun Jimin, Yang Li, Zhang Zhen-qing, *et al.* Magnetostratigraphic data on the Neogene growth folding in the foreland basin of the southern Tianshan Mountains [J]. *Geology*, 2009, 37: 1051-1054
 - 15 Lu Honghua, Burbank D W, Li Youli, *et al.* Late Cenozoic structural and stratigraphic evolution of the northern Chinese Tianshan foreland [J]. *Basin Research*, 2010, 22: 249-269
 - 16 Heermance R V, Chen, Jie, Burbank, D W, *et al.* Chronology and tectonic controls of Late Tertiary deposition in the southwestern Tianshan foreland, NW China [J]. *Basin Research*, 2007, 19: 599-632
 - 17 Chen Jie, Burbank D W, Scharer K M, *et al.* Magnetostratigraphy of the Upper Cenozoic strata in the Southern Chinese Tianshan: rates of Pleistocene folding and thrusting [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 195(1-2): 113-130
 - 18 陈杰, Heermance R V, Burbank D W, 等. 中国西南天山西域砾岩的磁性地质年代与地质意义 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 576-587 [Chen Jie, Heermance R V, Burbank D W, *et al.* Magnetostratigraphy and its implications of the Xiyu conglomerate in the southwestern Chinese Tianshan foreland [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(4): 576-587]
 - 19 Dunlop D J, Özdemir. *Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers* [M]. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 1997: 1-573
 - 20 Thompson R, Oldfield F. *Environmental Magnetism* [M]. London: Allen and Unwin, 1986: 1-227
 - 21 周新源, 罗金海, 买光荣. 塔里木盆地喀什凹陷及其周边地区构造特征与油气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 1-233 [Zhou Xinyuan, Luo Jinhai, Mai Guangrong, *et al.* Structural Characteristics and Hydrocarbon Geology in Kashi Depression of Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 1-233]
 - 22 罗金海, 车自成, 刘良, 等. 喀什凹陷的成因及找油方向 [J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 1998, 28(5): 435-438 [Luo Jinhai, Che Zicheng, Liu Liang, *et al.* The origin of Kashi depression and the guide for exploration [J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 1998, 28(5): 435-438]
 - 23 唐天福, 薛耀松, 俞从流. 新疆塔里木盆地西部晚白垩世至早第三纪海相沉积特征及沉积环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1-175 [Tang Tianfu, Xue Yuesong, Yu Congliu. Characteristics and Sedimentary Environments of the Late Cretaceous to Early Tertiary Marine Strata in the Western Tarim Basin, Xinjiang [M]. Beijing: Science Press, 1992: 1-175]
 - 24 张曼, 吴小斌, 闫宝华, 等. 塔里木盆地西北缘乌恰地区晚白垩世-渐新世微相分析及沉积演化 [J]. *沉积学报*, 2012, 30(3): 501-510 [Zhang Man, Wu Xiaobin, Yan Baohua, *et al.* Sedimentary evolution and microfacies analysis of the late Cretaceous-Oligocene from Wuqia area in the northwestern Tarim Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(3): 501-510]
 - 25 钱一雄, 吉让寿, 秦德余, 等. 喀什凹陷北缘中生界的油气勘探前景——含油气系统理论的初步运用 [J]. *石油实验地质*, 2001, 23(1): 32-37 [Qian Yixiong, Ji Rangshou, Qin Deyu, *et al.* An assessment of hydrocarbon potential of Mesozoic-Cenozoic basins in the north part of Kashen depression of Tarim Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2001, 23(1): 32-37]
 - 26 Kirschvink J L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data [J]. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 1980, 62: 699-718
 - 27 李传新, 郭召杰, 孟自芳, 等. 天山北缘新近系沉积物岩石磁学研究 [J]. *中国科学: D 辑*, 2006, 36(11): 988-997 [Li Chuanxin, Guo Zhaojie, Meng Zifang, *et al.* Magnetic research of the Neogene sediments from northern Tian Shan [J]. *Science in China: Series D*, 2006, 36(11): 988-997]
 - 28 王雪鹏, 杨进云, 杜芳芳, 等. 塔里木盆地西缘晚新生代岩石磁学特征及其对区域构造活动的响应 [J]. *甘肃地质*, 2010, 19(4): 1-8 [Wang Xuepeng, Yang Jinyun, Du Fangfang, *et al.* Magnetic characteristics of late Cenozoic rock and its response to tectonic uplift of peripheral mountains in Tarim Basin [J]. *Gansu Geology*, 2010, 19(4): 1-8]
 - 29 刘秀铭, 安芷生, 强小科, 等. 甘肃第三系红粘土磁学性质初步研究及古气候意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(3): 192-205 [Liu Xiuming, An Zhisheng, Qiang Xiaoke, *et al.* Magnetic research of the Neogene red clay and its palaeoclimatic significance from Gansu, NW China [J]. *Science in China: Series D*, 2001, 31(3): 192-205]
 - 30 Pan Yongxin, Zhu Rixiang, Banerjee S K. Rock-magnetic properties related to thermal-treatment of siderite: Behavior and interpretation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2000, 105(B1): 783-794
 - 31 刘秀铭, 夏敦胜, 刘东生, 等. 中国黄土和阿拉斯加黄土磁化率气候记录的两种模式探讨 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(2): 210-220 [Liu Xiuming, Xia Dunsheng, Liu Tungsheng, *et al.* Discussion on two models of paleoclimatic records of magnetic susceptibility of Alaskan and Chinese loess [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(2): 210-220]
 - 32 Liu Xiuming, Hesse P, Rolph T. Origin of maghemite in Chinese loess deposits: aeolian or pedogenic? [J]. *Physics of Earth and Planetary International*, 1999, 112: 191-201
 - 33 Özdemir, Banerjee S K. High temperature stability of maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) [J]. *Geophysical Research Letters*, 1984, 11: 161-164
 - 34 Tauxe L, Mullender T A T, Pick T. Potbelles, wasp-waists, and superparamagnetism in magnetic hysteresis [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(B1): 571-583
 - 35 Day R, Fuller M, Schmidt V A. Hysteresis properties of titanomagnetites: Grain-size and compositional dependence [J]. *Physics of Earth and Planetary International*, 1977, 13: 260-267
 - 36 Dunlop D J. Theory and application of the Day plot (M_s/M_{cr} versus H_{cr}/H_c) 2: Application to data for rocks, sediments and soils [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(B3): 2057, DOI: 10.1029/2001JB00486

37 Michael E Evans , Friedrich H. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics [M]. Oxford(UK): Academic

Press ,2003

Rock-magnetic Characteristics of the Late Cretaceous-Early Miocene Sediments on the Kuzigongsu Section of the Northwestern Tarim Basin

ZHANG Zhi-gao¹ CHI Yun-ping² TUO Shi-bo¹ WU Song² LIU Yan-rui¹
ZHANG Tao¹ TENG Xiao-hua¹ FANG Xiao-min^{1,3} SONG Chun-hui²

(1. Laboratory of Western China's Environmental Systems , Ministry of Education of China , Research School of Arid

Environment & Climate Change , Lanzhou University , Lanzhou 730000;

2. School of Earth Sciences , Lanzhou University , Lanzhou 730000;

3. Institute of Tibetan Plateau Research , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100085)

Abstract: We have carried out an rock magnetism investigation and thermal demagnetization for the Late Cretaceous to Early Miocene sediments on Kuzigongsu section from the Northwestern Tarim basin , Western China. The results indicate that thermal demagnetization and rock magnetic characteristics of rocks can be divided into three types specifically. Rocks from sublittoral zone , shallow of platform edge are dominated by the pseudo-single domain (PSD) magnetite with a little amount of goethite and maghemite. Its natural remanence intensity is smaller than 1×10^{-2} A/m generally , and the characteristic remanent magnetism (ChRM) are carried by magnetite and can be isolated from 250°C ~ 500°C. Rocks from intertidal zone and supratidal zone are dominated by pseudo-single domain and multi-domain (PSD + MD) magnetite generally , with a little amount of goethite , maghemite and hematite. It ' s natural remanence intensity is between $1 \times 10^{-2} \sim 1$ A/m , and the characteristic remanent magnetism (ChRM) are carried by magnetite and can be isolated from 250°C ~ 580°C. Rocks from the fluvial and lacustrine facies are dominated by the pseudo-single domain(PSD) magnetite , the hematite , with a little amount of maghemite , the goethite , Its natural remanence intensity is greater than 1×10^{-1} A/m generally , and the characteristic remanent magnetism (ChRM) are carried by hematite in most samples and carried by magnetite and hematite in some samples. So investigation of rock magnetism on sediments from different sedimentary environments is important for the paleomagnetism research.

Key words: rock magnetism; sedimentary settings; Late Cretaceous to Early Miocene; Western Tarim Basin