

柴达木盆地西部典型剖面磁化率特征及其意义

宋华颖, 伊海生, 马 雪, 李盛俊

(成都理工大学沉积地质研究院, 四川成都 610059)

摘要:在对柴达木盆地西部西岔沟剖面野外沉积岩石学特征观察的基础上,进行了磁化率测量,对沉积物的粒级、颜色、旋回性与磁化率的大小变化进行了分析和研究。结果表明,沉积物磁化率的大小与沉积物的粒度及岩石类型有一定的关系:砾岩磁化率的峰值最低,粉砂、泥质粉砂岩和泥岩的磁化率峰值相对较大;不同颜色的泥岩也会因氧化程度、有机质含量的不同而表现出不同的磁化率峰值;磁化率曲线变化是剖面岩性和沉积旋回的一种反映。

关键词:磁化率;粒度;柴达木盆地西部;西岔沟剖面

中图分类号:P631.2

文献标识码:A

磁化率(矿物学家称之为体积磁化率)是物质被磁化难易程度的一种量度,表示单位体积样品的感应磁化强度与外加磁场强度的比值,反映沉积物中磁性矿物的含量。定义关系式为 $\kappa=M/H$,式中 M 是在磁化率为 κ 的物质中由外加场 H 引起的磁化强度^[1]。

沉积物是在特定的沉积环境中形成的,环境的变化会使沉积物的磁化率发生变化,也就是说,磁性特征的变化是对沉积环境控制的诸多过程的响应。这些过程包括植被演替、土壤发育、水动力条件和沉积作用的改变等。磁性矿物在这些过程中充当了环境信息的重要载体,可以作为古环境/古气候重建的代用指标^[2]。磁化率作为表征物质磁学特征的物理量,能够判断样品记载的环境变化信息,分析古气候变化规律及其细节,推断样品形成过程的环境条件,为古环境研究提供可靠的科学依据^[3]。

自 20 世纪 70 年代 Oldfield 和 Thompson 创立环境磁学以来,国内许多专家学者应用磁化率分析进行了大量的黄土研究,在黄土地层的划分、对比以及古环境序列的研究方面取得了丰硕的成果。近年来也有学者将磁化率指标引入第四系湖相磁学的研究^[2],促进了湖盆地层对比及湖泊沉积环境研究的发展,但对于影响和控制磁化率变化的主要因素的研究还不够深入^[4]。本文选取柴达木盆地西部西岔沟地区典型剖面为研究对象,对剖面沉积物的磁化率进行了测量,对磁化率数据进行了整理、统计和分析,拟寻求柴达木盆地西部古近系-新近系沉积物磁化率特征、影响因素及所反映的环境意义,希望对今后探讨柴达木盆地乃至青藏高原的演化史有所帮助。

1 研究区概况

柴达木盆地位于青藏高原的东北隅,地处古亚

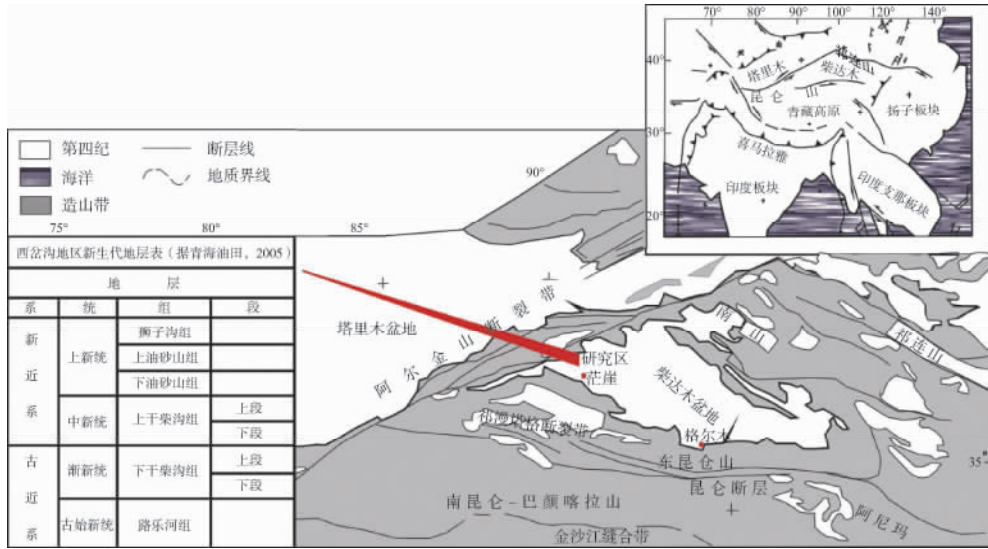
洲构造域南缘附近,南邻特提斯-喜马拉雅构造域,是在柴达木地块基础上发育起来的中新生代山间盆地。构成该盆地的主体——新近系-古近系,是在前新生代伸展裂陷盆地基础上发展、形成的以拗陷为主的盆地域,发育了巨厚的河湖相碎屑岩建造,总面积约 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。研究区西岔沟剖面位于柴达木盆地西部茫崖凹陷西北端阿尔金斜坡西段(以下简称柴西地区),是柴达木古近系-新近系湖盆中边缘斜坡带的重要组成部分。剖面始于 $38^{\circ}27' \text{ N}, 90^{\circ}51' \text{ E}$, 终至 $38^{\circ}23' \text{ N}, 90^{\circ}53' \text{ E}$, 包括渐新统-中新统的下干柴沟组和上干柴沟组,总厚度约 1 616.0 m(图 1)。其中渐新统下干柴沟组未见底,厚 763.2 m,分为上下两段:下段主要为棕红色砾岩、砾状砂岩与棕红色、黄绿色砂质泥岩互层;上段为灰色砾岩、砂岩、棕红色粉砂岩、蓝灰色泥岩。中新统上干柴沟组厚 852.0 m,与下干柴沟组为连续沉积,岩性主要为黄绿色、灰色、紫红色钙质泥岩、砂质泥岩与灰色砂岩互层,夹杂色泥岩、泥灰岩及疙瘩状灰岩。

采用 KT-6 磁化率计进行了剖面磁化率的测量。KT-6 磁化率计的最大测量精度为 $1 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 单位,自动测量范围为 $0 \sim 999.00 \times 10^{-3} \text{ SI}$ 单位。测量间距一般为 0.50~1.00 m,最小 0.05 m,厚层砾岩段约 2.00 m。对露头上颜色旋回清晰的 207~211 层采取加密采样的方法,测量间距平均为 0.40 m。实测磁化率数据共 1 871 个,其中下干柴沟组 713 个,上干柴沟组 1 158 个。

收稿日期:2009-05-18; **改回日期:**2009-06-01。

第一作者简介:宋华颖(1982—),女,硕士研究生,主要从事沉积学方面的研究工作。

基金项目:国家自然科学基金项目“青藏高原北部第三纪沉积体制转型与构造及气候变化耦合过程研究”(编号:40572077)资助。

图 1 研究区位置及概况^[5]

2 测量结果分析

2.1 碎屑岩类型的磁化率特征

2.1.1 砾岩

研究区砾岩非常发育,且多为紫红色厚层块状,厚度 20~100 cm 不等,多处层间夹灰色透镜状的粉砂质泥岩。砾石粒径大小悬殊,一般为 2~3 cm,最大 15 cm,最小 2 mm,平均为 2 cm,且成分复杂,有花岗岩、石英岩、硅质岩、变砂岩、片岩、变质岩及泥岩等,其中以石英、花岗岩及泥岩为主。外形总体上呈次棱角到次圆状,分选较差,磨圆中等,主要为颗粒-杂基支撑。对剖面中所测的 495 个砾岩(主要是细砾岩)的磁化率数据进行统计分析可知:分布在 $(0.03 \sim 0.06) \times 10^{-3}$ SI 之间的砾岩磁化率数据有 205 个,占整个砾岩磁化率数据的 41.41%;分布在 $(0.06 \sim 0.09) \times 10^{-3}$ SI 之间的砾岩磁化率数据有 144 个,占有砾岩磁化率数据的 29.09%。整个剖面中砾岩磁化率的平均值为 0.07×10^{-3} SI(图 2)。

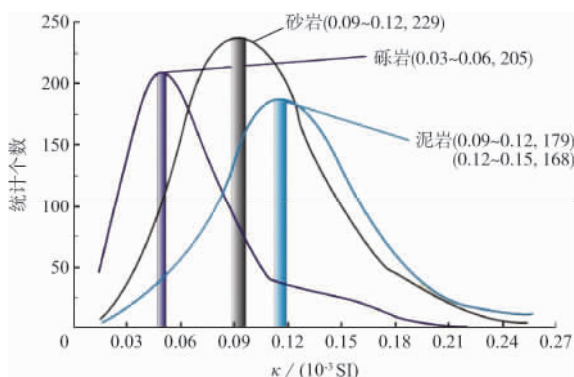


图 2 不同类型沉积物的磁化率分布

2.1.2 砂岩

砂岩是研究区最为常见的一类岩石,根据研究需要被分为粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩,在上、下干柴沟组广泛分布,大部分为浅灰色-黄灰色,部分层段呈现出褐色或棕褐色,分选、磨圆中等,发育各种沉积构造。进行镜下薄片鉴定,并结合砂岩的矿物成分,认为研究区的砂岩主要为长石质岩屑砂岩、岩屑质石英砂岩、长石质石英砂岩。主要矿物成分为石英、长石(以微斜长石、斜长石为主,部分长石绢云母化)、燧石、变质石英岩岩屑及云母(黑云母/绢云母),胶结物主要为钙质(方解石/含铁质),染色后呈紫红色。实测砂岩磁化率数据共计 937 个,其中粗砂岩 160 个,中砂岩 147 个,细砂岩 309 个,粉砂岩 321 个,有 229 个砂岩磁化率数据分布在 $(0.09 \sim 0.12) \times 10^{-3}$ SI 之间。粗砂岩的磁化率数据有 41.25% 分布在 $(0.03 \sim 0.06) \times 10^{-3}$ SI 之间,25.00% 分布在 $(0.06 \sim 0.09) \times 10^{-3}$ SI 之间,平均值为 0.07×10^{-3} SI。中砂岩的磁化率数据在 $(0.06 \sim 0.12) \times 10^{-3}$ SI 之间分布最多,占到 64.62%,平均值为 0.12×10^{-3} SI。细砂岩的磁化率数据在 $(0.06 \sim 0.15) \times 10^{-3}$ SI 之间分布最多,占 73.47%,平均值为 0.12×10^{-3} SI。粉砂岩的磁化率数据有 91.89% 出现在 $(0.06 \sim 0.18) \times 10^{-3}$ SI 之间,且有 14.02% 的数据出现在 $(0.15 \sim 0.21) \times 10^{-3}$ SI 之间,平均值为 0.12×10^{-3} SI(图 2,图 3)。

2.1.3 泥岩

研究区的泥岩主要为黄绿色、紫红色、浅灰色、蓝灰色、深灰色和灰黑色,不同颜色的泥岩中粘土矿物的含量不同。整个剖面共实测泥岩磁化率数据 460 个,平均值为 0.12×10^{-3} SI,主要分布在 $(0.09 \sim$

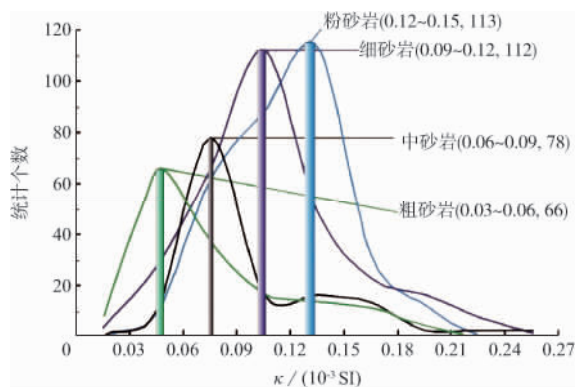


图 3 砂岩粒度与磁化率的变化关系

0.12) × 10⁻³ SI 和 (0.12~0.15) × 10⁻³ SI 之间, 分别有 155 和 116 个, 占 33.7% 和 25.2%。分布在 (0.12~0.18) × 10⁻³ SI 和 (0.18~0.27) × 10⁻³ SI 之间的泥岩磁化率数据分别占 34.1% 和 5.7% (图 2)。

2.2 不同颜色泥岩的磁化率变化特征

对上、下干柴沟组 460 个泥岩磁化率数据按照不同颜色统计, 结果如图 4 所示。其中紫红色-棕褐色泥岩 102 个, 灰绿色-黄绿色泥岩 250 个, 灰色-深灰色泥岩 70 个, 浅灰色-蓝灰色泥岩 38 个。

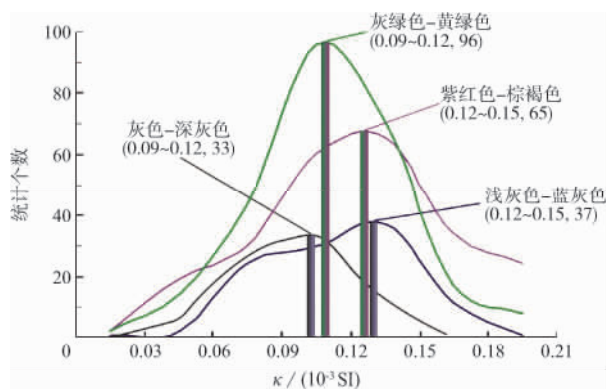


图 4 不同颜色泥岩的磁化率

从蓝灰色-浅灰色泥岩到灰色-深灰色泥岩总体来看, 磁化率的峰值呈逐渐降低的趋势, 灰色-深灰色泥岩的磁化率峰值为 (0.09~0.12) × 10⁻³ SI, 浅灰色-蓝灰色泥岩的磁化率峰值为 (0.12~0.15) × 10⁻³ SI。紫红色-棕褐色泥岩的磁化率数据主要分布在 (0.12~0.15) × 10⁻³ SI 区间内, 灰绿色-黄绿色泥岩的磁化率数据明显集中在 (0.09~0.12) × 10⁻³ SI 区间内, 可见灰绿色-黄绿色泥岩的磁化率峰值低于紫红色-棕褐色泥岩磁化率的峰值。

2.3 剖面旋回序列的磁化率变化特征

从西岔沟上、下干柴沟组整个剖面来看, 粗粒物质的磁化率峰值远不如细粒磁化率峰值高, 磁化率曲线与其对应的岩层有较好的对应关系。为了详细

研究磁化率与岩性之间的关系, 野外对剖面中的 207~211 层磁化率进行加密采样, 研究结果如图 5 所示。可以看出, 不同粒级沉积物的磁化率表现出一定的规律性: 从砾岩、砂岩到泥岩, 磁化率的峰值呈现出由低到高的趋势, 与粒度变化呈相反关系, 磁化率的最高峰值总是出现在泥岩层位, 最小值总是出现在砾岩层位上。纵向上, 随着沉积物由砾到含砾粗砂、粗砂、细砂、粉砂、粉砂质泥岩, 磁化率的峰值呈低-高变化, 随着沉积物颗粒呈粗-细变化旋回, 磁化率也呈现低-高的旋回, 说明沉积物的磁化率可以作为研究剖面岩性变化与沉积旋回的替代指标。

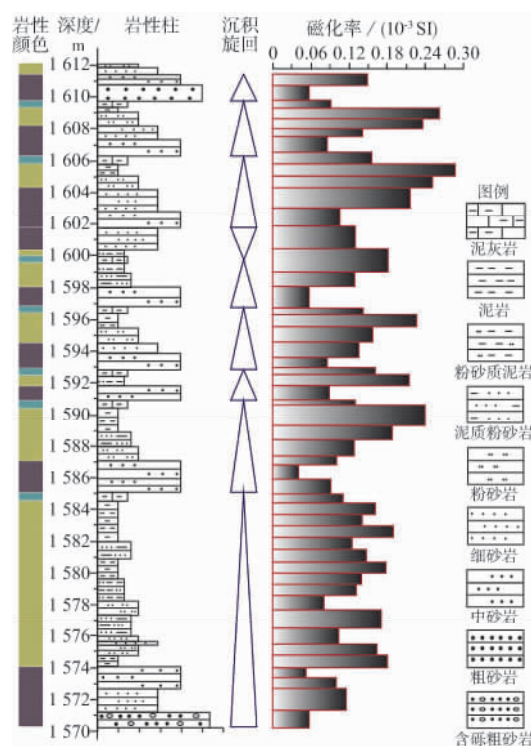


图 5 剖面旋回序列磁化率

3 讨论

3.1 磁性矿物对磁化率的影响

磁性是自然界一种普遍存在的现象, 自然界中的所有物质按其磁性行为可分为: 反磁性、顺磁性和铁磁性 3 类。常见的反磁性矿物有石英、长石、方解石、岩盐等。顺磁性矿物有云母、角闪石、辉石、钛铁矿、菱铁矿和粘土矿物等。铁磁性指物质随外加磁场的的作用产生很强的磁化强度, 当达到饱和状态时, 磁化强度不再随外加磁场的增强而增加, 并且当撤出外加磁场后, 仍有部分磁化强度被保留 (即剩余磁化强度)。铁磁性矿物主要有铁的氧化物和氢氧化物、铁的硫化物及自然界不常见到的钛、钴、镍等一些过渡元素^[6]。

湖相沉积物中磁性矿物的来源主要有 3 种: 外援磁性矿物、自生磁性矿物和成岩过程中产生的磁性矿物。在内陆非封闭性、沉积物以外援碎屑输入为主的湖泊中, 磁性矿物以铁磁性氧化物为主, 其浓度、种类和颗粒大小等特征, 应与沉积物粒级组分相关, 它影响磁化率的大小变化^[7]。

据青海油田对西岔沟地区的高分辨率古地磁测年样品分析化验报告(2004 年), 可知西岔沟上、下干柴沟组剖面沉积物的磁性矿物主要为耐风化的赤铁矿、磁赤铁矿及少量磁铁矿。磁化率高的样品含有多种磁性矿物, 包括磁铁矿、磁赤铁矿和少量针铁矿、赤铁矿, 以低矫顽力的磁铁矿和磁赤铁矿为主; 而磁化率低的样品亦含有磁铁矿、磁赤铁矿和少量针铁矿、赤铁矿, 但以高矫顽力的赤铁矿和针铁矿为主。分析表明, 西岔沟剖面砾岩成分主要为花岗岩、石英岩、硅质岩、变砂岩, 还有少量变质岩、片岩、泥岩。总的来说, 这些岩石都是不太好的剩磁载体, 硅质岩、石英岩及硅质较多的火成岩中氧化铁的含量往往比基性岩或中性岩中的氧化铁要少^[8,9]。泥岩中的粘土矿物组合以伊利石、伊/蒙混层和绿泥石组合为主, 组合中各种矿物的含量随层位变化而变化^[10], 磁性矿物主要为原生剩磁的携磁矿物磁赤铁矿和赤铁矿, 少量样品还含有磁铁矿、针铁矿, 所含磁性矿物的量在所有岩性中最多。正是上述原因使得上、下干柴沟组的砾岩磁化率远低于泥岩的磁化率。

3.2 不同颜色泥岩磁化率峰值不同的影响因素

沉积物的颜色可反映它们的岩石组成和有机质含量。研究表明, 沉积物颜色变化与全球第三纪温度的变化趋势一致, 随着全球气温的降低, 沉积物的颜色中红色指数降低^[11]。

首先从有机质含量在某种程度上对沉积物颜色的影响进行分析。Sheuand Pres-ley 对墨西哥湾 Orca 盆地中的有机物进行分析并证明了: 炭含量大于 1% 的泥页岩呈黑色或黑灰色, 而炭含量小于 1% 的呈浅灰色, 灰色泥岩的颜色主要受有机质和铁的硫化物影响^[1]。从上、下干柴沟组的蓝灰色-浅灰色到灰色-深灰色泥岩总体来看, 磁化率的峰值呈逐渐降低的趋势, 灰色-深灰色泥岩的磁化率峰值为 $(0.09 \sim 0.12) \times 10^{-3}$ SI, 浅灰色-蓝灰色泥岩的磁化率峰值为 $(0.12 \sim 0.15) \times 10^{-3}$ SI(图 4)。灰色泥岩的磁性矿物主要为原生剩磁磁铁矿^[8]。出现这种情况的原因是灰色-深灰色泥岩中相对较高的有机质含量降低了磁性矿物的含量, 长期的滞水和还原环境导致了磁铁矿转化为弱磁性矿

物^[9,12], 从而引起了磁化率的降低。

沉积物中所含的矿物类型及沉积过程和成岩作用对沉积物颜色的影响更大^[12]。研究表明, 大陆地壳的主要造岩矿物——长石与石英, 为反磁性矿物, 磁化率极低。水、盐、方解石也为反磁性矿物, 磁化率也很低。粘土矿物的磁化率均比较低, 其中高岭石最低, 伊利石稍高, 蒙脱石次之, 绿泥石相对最高。占大陆地壳矿物组成极小一部分的铁磁性矿物是控制沉积物磁化率高低的的主导因素^[13]。McBride 对来源于同一物源的泥岩颜色的变化进行研究表明: 红色和棕褐色的泥岩往往含有铁质包壳; 绿色的泥岩含有绿泥石和伊利石, 缺乏赤铁矿、有机质和硫化物^[1]。宋春晖等在对西岔沟剖面 300 个不同层段、不同岩性的代表性样品进行了 24 步系统热退磁(加热区间 $50^{\circ}\text{C} \sim 710^{\circ}\text{C}$, 低温部分退磁温度步长 50°C , 磁铁矿和赤铁矿居里点附近步长 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$) 后发现: 紫红色、红褐色泥岩样品的系统热退磁结果比交变退磁的结果理想, 但是黄绿色样品的结果不理想, 一般在加热到 250°C 以后, 剩磁强度变化杂乱, 剩磁方向紊乱^[8,14]。由此可以判断上、下干柴沟组紫红色-棕褐色泥岩的磁性矿物主要为原生剩磁的携磁矿物磁赤铁矿和赤铁矿, 还有少量磁铁矿; 黄绿色-灰绿色泥岩的磁性矿物为由后期成岩作用形成的次生剩磁的携磁矿物针铁矿。从图 4 可以看出, 紫红色-棕褐色泥岩的磁化率主要分布在 $(0.12 \sim 0.15) \times 10^{-3}$ SI 区间内; 黄绿色-灰绿色泥岩的磁化率明显集中在 $(0.09 \sim 0.12) \times 10^{-3}$ SI 区间内。排除有机质对磁化率的影响, 正是上述原因造成了上、下干柴沟组黄绿色-灰绿色泥岩的磁化率峰值低于紫红色-棕褐色泥岩磁化率的峰值。

综上所述, 沉积物的颜色表现是多种因素综合影响的结果, 不同颜色泥岩的磁化率受不同因素的控制。

3.3 磁化率在陆相盆地研究中的意义

无论是沉积物的粒度、矿物组成、沉积环境还是有机质的含量, 引起的磁化率的改变最终都受控于大气温度和大气降水两个基本参量的改变。因此, 依据湖泊磁化率可以了解丰富的环境和气候信息, 磁化率可作为气候变化的代用指标^[2]。在年降水量为 110 mm 的柴达木盆地西部地区, 主要受西风环流和东亚冬季风的控制, 湖泊沉积物磁化率的高低很好地指示了风力的强弱, 对降水量的反映很微弱。磁化率指标的变化很好地记录了该区中更新世以来的气候与环境变化^[6]。

从陆源碎屑物质来源看,柴达木盆地西部地区碎屑物质主要来自阿尔金山系和东昆仑西段的祁漫塔格山系。从物源区性质来看,主要为中酸性岩浆岩、古生界变质岩和浅变质岩,以及古生界和中生界碎屑岩、火山碎屑和碳酸盐岩。研究区西岔沟地区重矿物以白钦矿、磁铁矿、赤铁矿、硅灰石、角闪石、檐石、锆石、石榴石和绿帘石为主,其中石榴石含量高达30.66%,磁铁矿含量16.10%,白钦矿含量8.60%,锆石含量10.12%,硅灰石含量11.60%,角闪石含量6.30%,反映出该区除了下古生界和下元古界变质岩系外,还伴随有海西期花岗岩、花岗闪长岩等母岩性质,其物源方向为索尔库里^[13]。研究区递变物质主要是粉砂、砂、含砾粗砂、砾,并且物质越粗,递变层厚度越大,侧向延伸也越远。研究区的角砾岩成分主要为肉红色的花岗岩砾和燧石砾岩,呈次棱角、棱角状,分选好、磨圆差,杂基支撑,反映了近源快速堆积的特点。砾岩成分中的花岗岩砾石和片麻岩的含量越靠近物源区越高。以上沉积特征综合表明,研究区离物源区较近,沉积物未经长距离的搬运,结构成熟度较差,沉积物的岩石成分在很大程度上控制了磁化率的大小,使得砾岩的磁化率极低。在不考虑有机质的前提下,砂砾含量增加,意味着磁性矿物数量减少,从而使磁化率减小;反之磁化率就会增加。有机物的含量也会对磁化率造成影响,由于沉积物形成后的氧化还原作用可改变沉积物的矿物组成,表现在沉积物的颜色不同,从而改变沉积物的磁化率。综上所述,磁化率也可作为研究陆相地层剖面岩性变化的替代指标。

4 结论

1) 柴达木盆地西部西岔沟地区上、下干柴沟组剖面中不同岩性、不同粒度沉积物的磁化率峰值不同,泥岩最大,砾岩(主要为细砾岩)最小,磁化率大小与粒度呈相反关系。

2) 泥岩中有机炭的含量及铁离子的氧化状态不同等,使得研究区的泥岩表现出不同的颜色、不同的磁化率峰值。其中灰绿色-黄绿色泥岩的磁化率峰值远低于紫红色-棕褐色泥岩磁化率的峰值,灰黑色-深灰色泥岩的磁化率峰值高于浅灰色-蓝灰色泥岩磁化率的峰值。

3) 在磁化率剖面旋回序列内,磁化率的峰值总是对应于细粒百分含量最大的层位,而最小值则对应于粗粒百分含量最大的层位,磁化率曲线与其

对应的岩层沉积物的旋回有很好的对应关系。因此,磁化率可作为研究剖面岩性变化及沉积旋回的替代指标。

在此向一同去野外测量的孙瑕、达雪娟、杜秋定、荣建峰等表示衷心感谢!

参 考 文 献

- 1 汤普森 R, 奥尔德费尔德 F 著. 环境磁学[M]. 严尧基编译. 北京:地质出版社,1995. 9~16, 83~98
- 2 殷勇, 方念乔, 王倩, 等. 云南中甸纳帕海湖泊沉积物的磁化率及环境意义[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 413~418
- 3 Stage Morten. Magnetic susceptibility as carrier of a climatic signal in chalk[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 188: 17~27
- 4 王建, 刘泽纯, 姜文英, 等. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 155~162
- 5 Wang Fei, Lo Chinghua, Li Qi, et al. Onset timing of significant unroofing around Qaidam basin, northern Tibet, China: constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and FT thermochronology on granitoids[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2004, 24: 59~69
- 6 宿星. 中更新世以来柴达木盆地西北缘气候变化的环境磁学研究[D]. 甘肃:兰州大学, 2006
- 7 杨小强, 李华梅. 泥河湾盆地沉积物粒度组分与磁化率变化相关性研究[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 675~678
- 8 宋春晖. 青藏高原北缘新生代沉积演化与高原构造隆升过程[D]. 甘肃:兰州大学, 2006
- 9 宋春晖, 白晋锋, 赵彦德, 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, 23(3): 507~512
- 10 杨平. 柴达木盆地西部七个泉-红柳泉地区第三系层序生物地层学研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2007
- 11 李双建, 张然, 王清晨. 沉积物颜色和粘土矿物对库车坳陷第三纪气候变化的指示[J]. 沉积学报, 2006, 24(4): 522~528
- 12 叶爱娟, 朱扬明. 柴达木盆地第三系咸水湖相生油岩古沉积环境地球化学特征[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(5): 472~479
- 13 Ellwood B B, Tomkin J H, Febo L A, et al. Time series analysis of magnetic susceptibility variations in deep marine sedimentary rocks: A test using the upper Danian-Lower Selandian proposed GSSP, Spain[J]. Science-Direct, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2008, 261: 270~279
- 14 高军平, 李艾银, 宋春晖, 等. 柴西西岔沟新近系磁组特征对环境变化的响应[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 128~134

(编辑:戴春秋)