

塔里木盆地柯坪地区奥陶系层序地层研究

武振杰¹, 姚建新¹, 陈留勤²

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 以露头层序地层学和沉积学为指导, 对塔里木盆地西北缘柯坪地区奥陶系 3 个剖面进行了深入研究, 建立了柯坪地区奥陶系层序地层格架。柯坪地区奥陶系由 6 个三级层序组成, 横向对比表明四石厂剖面发育最完整, 同古四布隆和苏巴什剖面有地层缺失, 只能识别出下部 3 个三级层序。碳酸盐岩磁化率测量结果表明, 磁化率的变化趋势与相对海平面升降曲线之间呈负相关, 并且与层序界面、层序内部各体系域之间有着较好的对应关系, 可以作为划分层序的一个辅助性的定量化指标。

关键词: 塔里木盆地; 柯坪地区; 奥陶系; 层序地层; 碳酸盐岩磁化率

中图分类号: P534.42; P539.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)06-0875-10

Ordovician sequence stratigraphy of Keping area, northwest Tarim Basin

WU Zhen-jie¹, YAO Jian-xin¹ and CHEN Liu-qin²

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Ordovician sequence stratigraphic framework has been erected in this paper on the basis of the investigation of outcrop sequence stratigraphy and sedimentology along three sections in Keping area, northwest Tarim Basin. The Ordovician strata can be divided into six third-grade sequences. Correlations shows all these six sequences can be recognized in the Sishichang section, while only the lower three ones are developed in the Subashi and Tongusibulong section. Carbonate magnetic susceptibility is negatively related to the relative sea level change, while its curve can reflect the sequence boundaries and system tracts of the third-grade sequences respectively. The results obtained by the authors indicate that carbonate magnetic susceptibility can be used as a quantitative index to assist the division of stratigraphic sequence.

Key words: Tarim Basin; Keping area; Ordovician; sequence stratigraphy; carbonate magnetic susceptibility

塔里木盆地西北缘柯坪地区奥陶系十分发育, 层位齐全。前人在岩石地层、生物地层、古地理和层序地层等方面做过大量的研究工作(新疆维吾尔自治区地质矿产局, 1982; 新疆石油管理局南疆石油勘探公司, 1991; 于炳松, 1995, 1996a, 1996b; 樊太亮等, 1997; 陈国俊等, 1999; 顾家裕, 2000; 于炳松等, 2001; 周志毅等, 2001; 江大勇等, 2001; 史基安等, 2001; 陈明等, 2004; 吴兴宁等, 2012)。

就层序地层学研究来说, 不同的学者所做的层序地层划分结果之间存在着一定的差异(于炳松, 1995, 1996a, 1996b; 樊太亮等, 1997; 陈国俊等, 1999; 于炳松等, 2001; 史基安等, 2001; 陈明等, 2004)。虽然起源于海相碎屑岩地层的层序地层学理论在碳酸盐岩地层中的应用已有很多实例报道, 但是碳酸盐岩对海平面变化较为敏感, 而且大多数碳酸盐岩与生物生产力之间存在密切联系, 造成碳酸盐岩层

序地层学研究仍存在理论问题。海平面变化是控制碳酸盐磁化率大小的重要因素(Ellwood *et al.* , 1999 , 2000 ; 张世红等 , 2004) , 在进行海相碳酸盐岩地层研究时 , 岩石磁化率测量逐渐成为一种重要手段(张世红等 , 1999 ; Ellwood *et al.* , 2000 ; 张海军等 , 2003) 。 把磁化率变化特征应用于研究区碳酸盐岩层序地层的研究工作也鲜有报道。

本文选取柯坪地区 3 个奥陶系剖面(图 1) , 按照从岩相序列到沉积旋回、从沉积相序列到三级层序划分的工作方法(Mial , 1997 ; 梅冥相等 , 2005) , 在年代地层框架内开展了奥陶系层序地层学研究工

作 , 并结合笔者在该地区奥陶系中做过的碳酸盐岩磁化率测量和统计工作(武振杰等 , 2009) , 研究了奥陶系碳酸盐岩磁化率与对应层位的三级层序、层序界面、体系域等之间对应关系 , 讨论了磁化率这种定量参数应用于层序地层学研究的可能性。

1 地质背景

早奥陶世时塔里木腹地、北天山以北和伊宁一带为隆起区 , 其他地区均为海水覆盖 ; 中奥陶世水域范围扩大 ; 自中奥陶世晚期开始 , 新疆自南向北依次

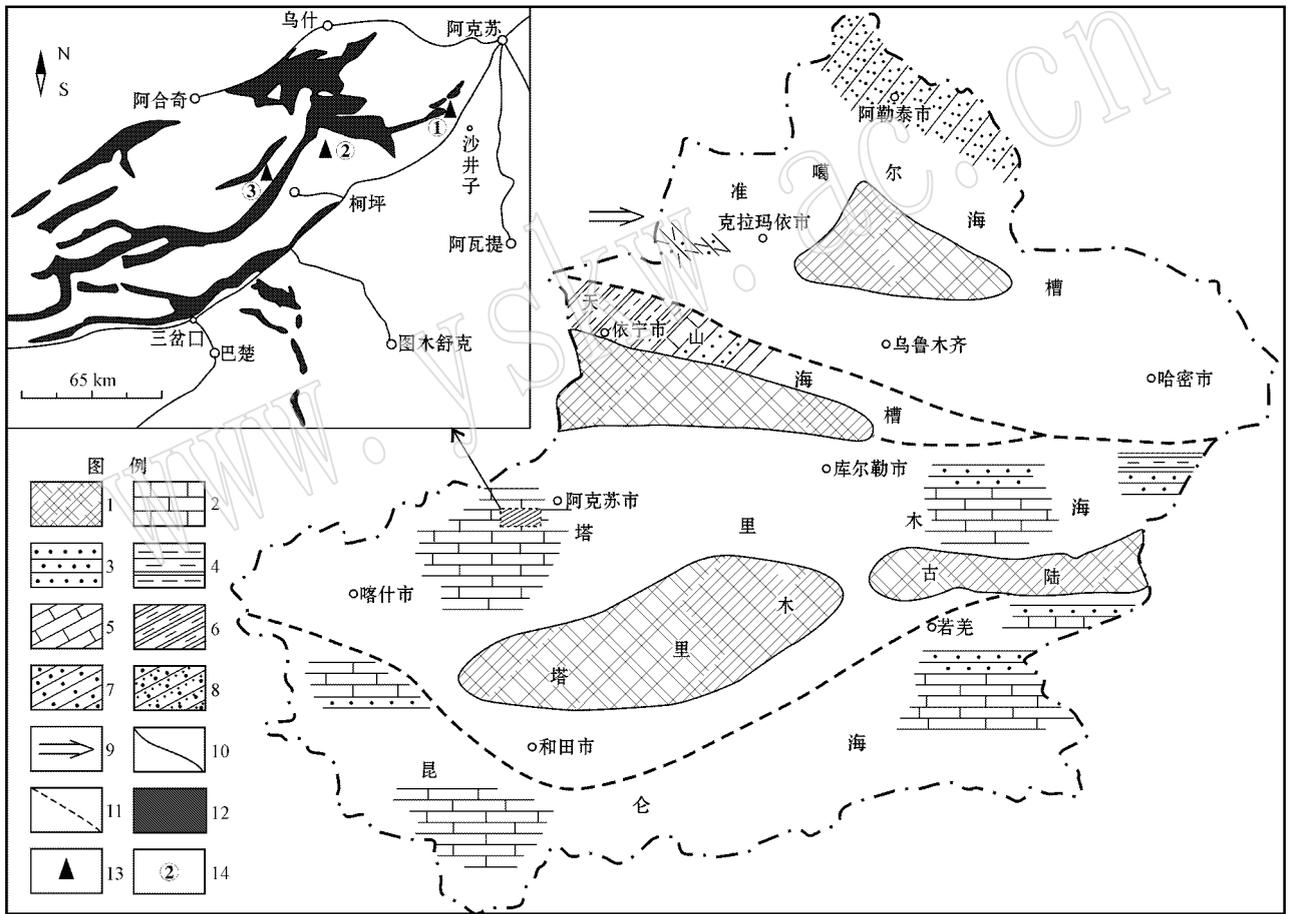


图 1 新疆早、中奥陶世古地理简图及剖面位置图(改自新疆维吾尔自治区地质矿产局 , 1982)

Fig. 1 Sketch map showing paleogeography of Early and Middle Ordovician strata of Xinjiang and locations of sections (modified from Geology and Mineral Resources Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region , 1982)

- 1—古陆剥蚀区 ; 2~4—稳定类型海相沉积 : 2—碳酸盐岩 ; 3—碎屑岩 ; 4—硅、泥质岩 ; 5~8—活动类型海相沉积 : 5—碳酸盐岩 ; 6—硅、泥质岩 ; 7—碎屑岩 ; 8—浊积岩 ; 9—海侵方向 ; 10—海陆分界 ; 11—相带分界 ; 12—奥陶系 ; 13—剖面点 ; 14—剖面编号 ;
- ①—四石厂剖面 ; ②—同古四布隆剖面 ; ③—苏巴什剖面

1—denuded zone of ancient land ; 2~4—stable marine facies : 2—carbonate rock ; 3—clastic rock ; 4—siliceous rock/mudstone ; 5~8—active marine facies : 5—carbonate rock ; 6—siliceous rock/mudstone ; 7—clastic rock ; 8—turbidite ; 9—transgression direction ; 10—boundary between land and sea ; 11—facies boundary ; 12—Ordovician ; 13—section location ; 14—section serial number ; ①—Sishichang section ; ②—Tongusibulong section ; ③—Subashi section

抬升,塔里木古陆以南广大地区开始露出水面(新疆维吾尔自治区地质矿产局,1982)(图1)。柯坪地区奥陶系研究历史由来已久,其划分方案也不尽相同。本文采用周志毅等(2001)划分方案,将奥陶系自下而上分为中下奥陶统上丘里塔格组,中奥陶统大湾沟组,中上奥陶统萨尔干组,上奥陶统坎岭组、其浪组、印干组和柯坪塔格组下段。柯坪地区奥陶系下部为碳酸盐岩,岩性主要有瘤状灰岩、钙质泥岩、泥晶灰岩和砂屑灰岩等,上部主要为细碎屑岩系。奥陶系沉积环境主要有半闭塞-开阔台地相、台缘斜坡相、陆棚相、滞留盆地相、滨浅海相等(张致民,2000;周志毅等,2001)。

2 层序地层研究

传统的层序地层学研究中层序界面的标定对于层序的识别非常重要,但在碳酸盐岩地层中通常难以找到可以直接识别的物理性层序界面。基于此原因,笔者运用露头层序地层学的工作方法,通过在地层中识别出来的不同沉积旋回类型及其组合特征,对阿克苏市四石厂、柯坪同古四布隆和柯坪苏巴什3个奥陶系剖面进行了层序划分与对比。

2.1 阿克苏四石厂剖面

柯坪地区奥陶系发育较为完整,以阿克苏沙井子四石厂剖面为代表,自下而上分别为中下奥陶统上丘里塔格组,中奥陶统大湾沟组,中上奥陶统萨尔干组,上奥陶统坎岭组、其浪组和柯坪塔格组下段。其中可以识别出6个三级层序(图2),其层序特征如下:

OSQ1 相当于上丘里塔格组下部,以“TST(海侵体系域)+HST(高位体系域)”序列为特征,其中海侵体系域厚约32 m,主要岩性为砾屑灰岩,为台地边缘浅滩相沉积,高位体系域厚约34 m,主要岩性为团粒灰岩,属台地相沉积。

OSQ2 相当于上丘里塔格组上部,以“TST+HST”序列为特征,其中海侵体系域厚约26 m,主要岩性为砾屑团粒灰岩,属台地边缘浅滩相沉积,高位体系域厚约49 m,主要岩性为纹层状灰岩,偶见窗格构造和鸟眼构造,属台地相沉积。

OSQ3 相当于大湾沟组、萨尔干组和坎岭组,以“TST+CS(凝缩段)+EHST(早期高位体系域)+LHST(晚期高位体系域)”序列为特征。其中海侵体系域厚约22 m,岩性为瘤状灰岩,属陆棚相沉积;凝

缩段厚约2.5 m,岩性为黑色页岩,属滞留盆地相沉积;早期高位体系域厚约12 m,岩性以瘤状灰岩为主,上部与页岩互层,属陆棚相沉积;晚期高位体系域厚约10 m,岩性为砂屑灰岩和钙质泥岩,属台缘斜坡相沉积。

OSQ4 相当于其浪组下部地层,以“TST+EHST+LHST”序列为特征。其中海侵体系域厚约58 m,岩性为瘤状灰岩和钙质页岩为主,局部夹灰岩透镜体,属陆棚边缘相和陆棚相沉积;早期高位体系域厚约12 m,岩性下部为瘤状灰岩,上部为泥晶灰岩、泥灰岩夹瘤状灰岩,属陆棚边缘相沉积;晚期高位体系域厚约2 m,岩性为粗砂岩,属台缘斜坡相沉积。

OSQ5 相当于其浪组上部和柯坪塔格组底部,以“TST+HST”序列为特征。其中海侵体系域厚约57 m,岩性以瘤状灰岩为主,夹薄层泥灰岩,属陆棚相沉积;高位体系域厚约9 m,岩性为砂岩及砂质泥岩,其中发育有交错层理,属滨海相沉积。

OSQ6 相当柯坪塔格组下段上部,以“TST+EHST+LHST”序列为特征。其中海侵体系域厚约110 m,岩性以砂页岩互层为主,属滨外、过渡带和临滨沉积;早期高位体系域厚约56 m,岩性为砂岩及砂质泥岩,发育平行层理、斜层理和交错层理等构造,属中临滨相沉积;晚期高位体系域厚约66 m,岩性以厚层砂岩为主,大量发育槽状、楔状、鱼骨状交错层理,属上临滨沉积。

2.2 柯坪同古四布隆剖面

该剖面位于柯坪县西同古四布隆村,出露中下奥陶统上丘里塔格组、中奥陶统大湾沟组、中上奥陶统萨尔干组、上奥陶统坎岭组。其中可以识别出3个三级层序(图3),其层序特征如下:

OSQ1 相当于上丘里塔格组底部,以“TST+HST”序列为特征,其中海侵体系域厚约16 m,岩性为砾屑白云岩,属潮下带沉积;高位体系域厚约34 m,主要岩性为粉屑白云岩,属潮间带-潮上带沉积。

OSQ2 相当于上丘里塔格组的中上部,以“TST+HST”序列为特征,其中海侵体系域厚约113 m,下部岩性为中层至块状致密灰岩,上部为含鲕粒砂屑灰岩,属台缘浅滩相沉积;高位体系域厚约43 m,主要岩性为泥晶灰岩,属开阔台地相沉积。

OSQ3 相当于上丘里塔格组顶部、大湾沟组、萨尔干组和坎岭组,以“TST+CS+EHST”序列为特征,其中海侵体系域厚约79 m,下部为台缘斜坡相中

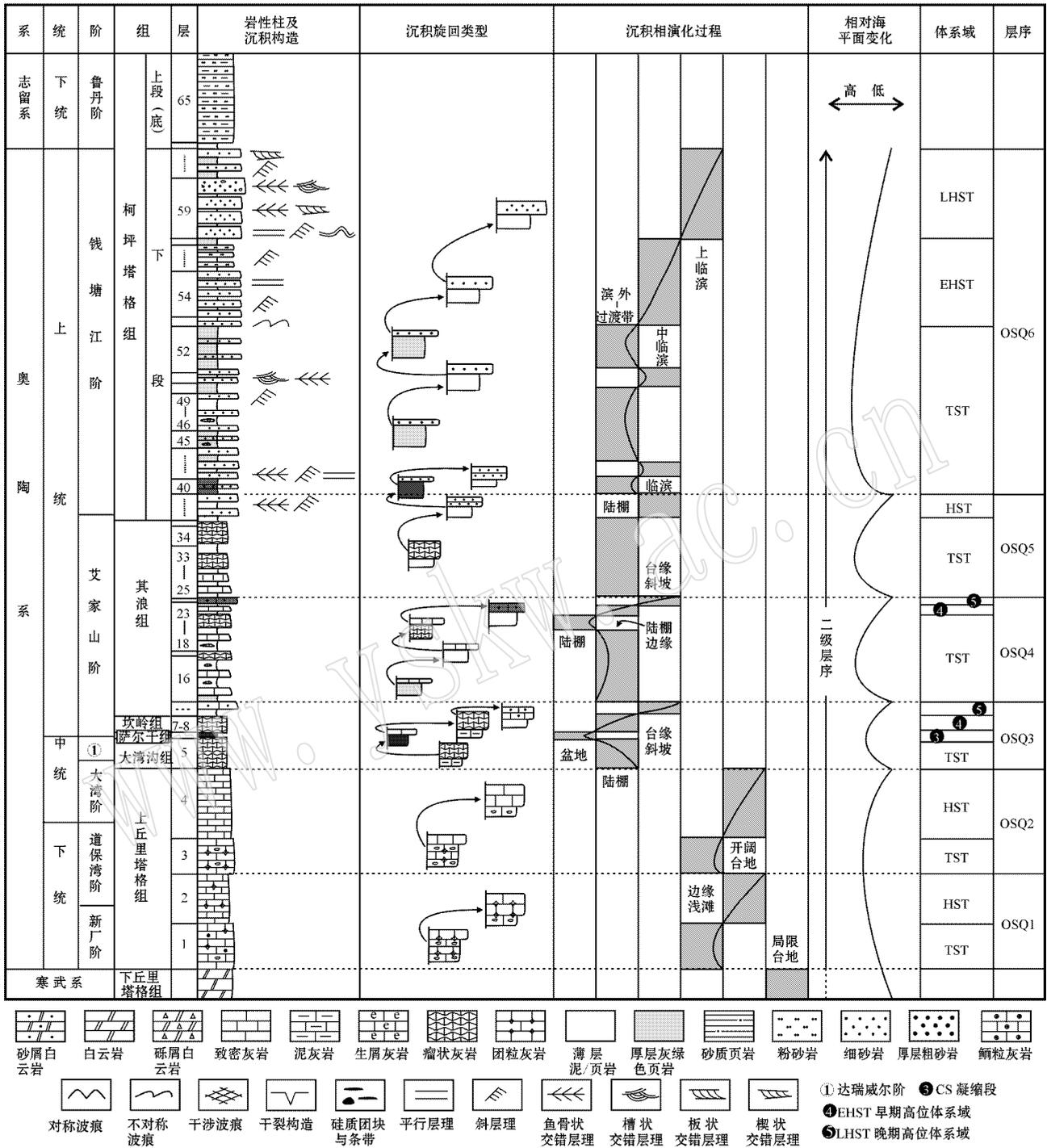


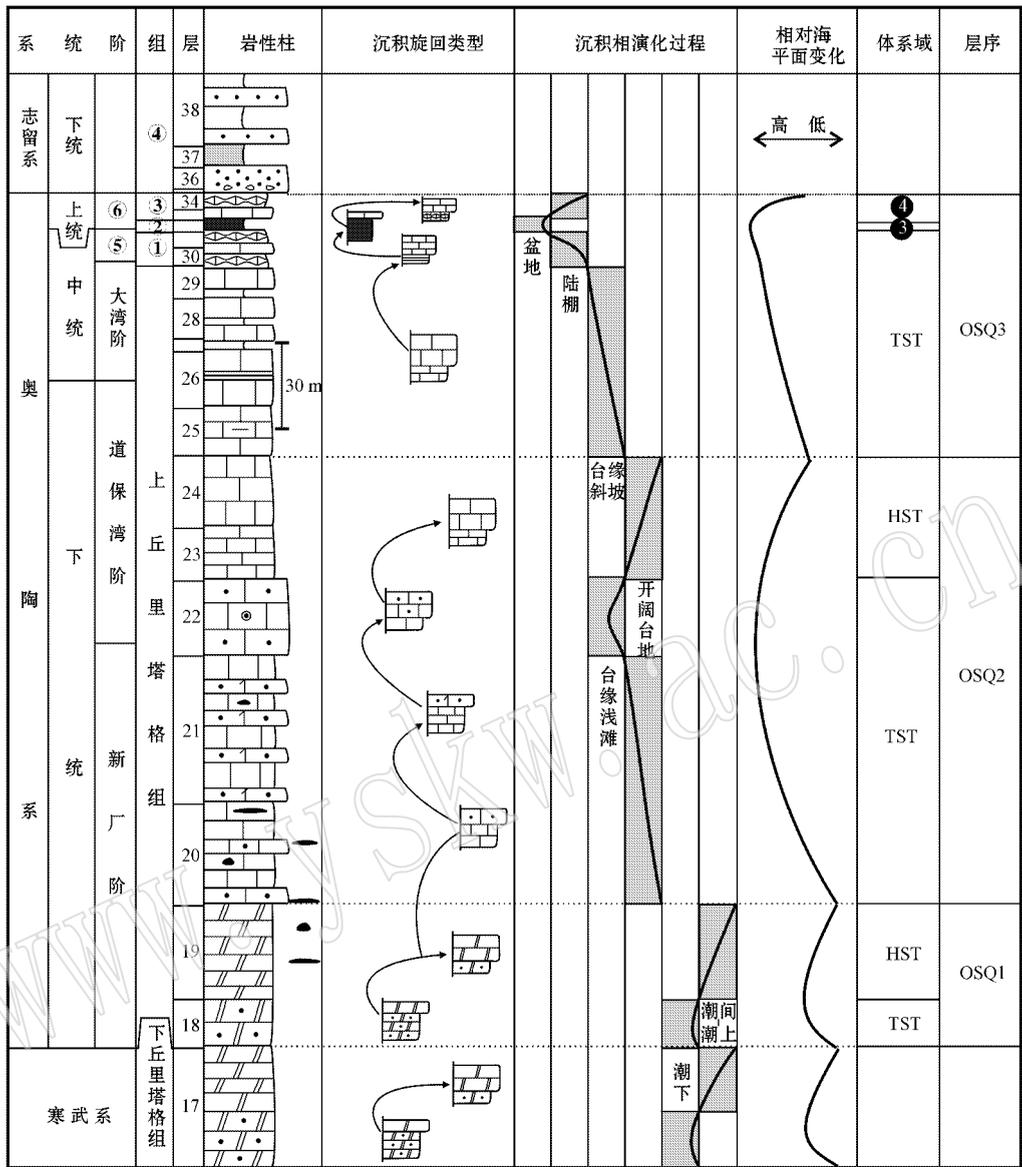
图 2 四石厂剖面奥陶系层序地层划分

Fig. 2 Sequence stratigraphy division of the Ordovician along Sishichang section

薄层泥晶灰岩和泥灰岩,上部为陆棚相瘤状灰岩;凝缩段厚 7 m,岩性为黑色页岩,属滞留盆地相沉积;早期高位体系域厚约 10 m,岩性主要为泥晶灰岩夹瘤状灰岩,属陆棚相沉积。

2.3 柯坪苏巴什剖面

该剖面位于柯坪县西苏巴什村,出露了中下奥陶统上丘里塔格组、中奥陶统大湾沟组、中上奥陶统萨尔干组、上奥陶统坎岭组。其中可以识别出 3 个



①大湾沟组 ②萨尔干组 ③坎岭组 ④柯坪塔格组B段 ⑤达瑞威尔阶 ⑥艾家山阶 ⑦CS 凝缩段 ⑧EHST 早期高位体系域

图 3 同古四布隆剖面奥陶系层序地层划分(图例见图 2)

Fig. 3 Sequence stratigraphy division of the Ordovician along Tongusibulong section(legend as for Fig. 2)

三级层序(图 4) ,其层序特征如下:

OSQ1 相当于上丘里塔格组底部,以“TST + HST”序列为特征,其中海侵体系域厚约 35 m,岩性为砂屑白云岩,局部含燧石条带,属潮下带沉积;高位体系域厚约 22 m,主要岩性为含砾粉屑白云岩,属潮间带-潮上带沉积。

OSQ2 相当于上丘里塔格组上部和大湾沟组下部,以“TST(海侵体系域)+HST(高位体系域)”序列为特征,其中海侵体系域厚约 31 m,岩性以泥晶灰岩为主,属开阔台地和台缘浅滩相沉积;高位体系

域厚约 60 m,岩性为泥晶灰岩夹泥灰岩,属开阔台地相沉积。

OSQ3 相当于大湾沟组、萨尔干组和坎岭组,以“TST + CS + EHST”序列为特征,其中海侵体系域厚约 3 m,岩性为瘤状灰岩,属陆棚相沉积;凝缩段厚 6.5 m,岩性为黑色页岩,属滞留盆地相沉积;早期高位体系域厚约 10 m,岩性主要为瘤状灰岩与泥灰岩互层,属陆棚相沉积。

2.4 层序地层格架

塔里木盆地西北缘柯坪地区奥陶系以阿克苏四

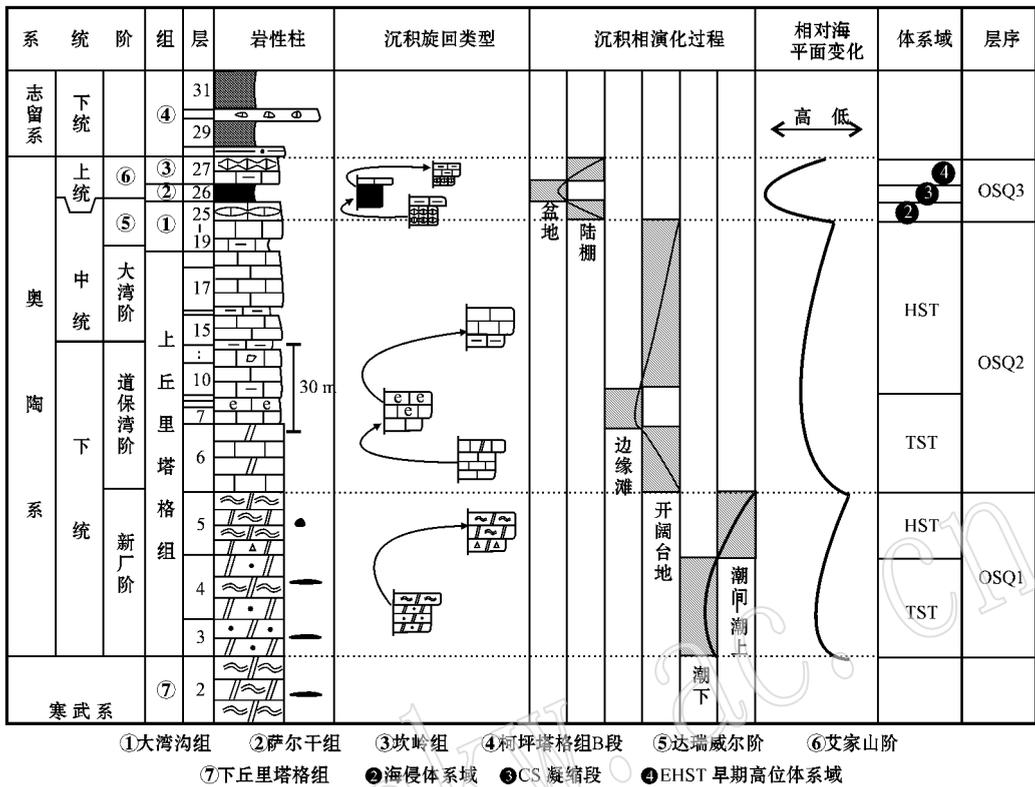


图 4 苏巴什剖面奥陶系层序地层划分(图例见图 2)

Fig. 4 Sequence stratigraphy division of the Ordovician along Subashi section(legend as for Fig. 2)

石厂剖面最为完整,其下部以碳酸盐岩为主,上部夹细碎屑岩系,同古四布隆和苏巴什附近仅出露下部碳酸盐岩地层。该地区奥陶系中可以识别出 6 个三级层序,其中 OSQ1~OSQ3 在 3 个剖面中均可识别,OSQ4~OSQ6 仅见于阿克苏四石厂剖面(图 5)。这 6 个三级层序又可以归并于一个二级层序,其中 OSQ1~OSQ3 上部属于该二级层序的海侵体系域单元,OSQ3 上部~OSQ6 构成该二级层序的高位体系域。

3 碳酸盐岩磁化率在层序地层研究中的应用

黄土和古土壤磁化率过去几十年来已广泛应用于古气候对比和古全球变化研究,成为了古气候的一种替代性指标(Heller and Liu, 1982, 1984; 刘秀铭等, 1993; 朱日祥等, 1994; 张世红等, 1999)。在海洋地质学研究领域,磁化率等磁性参数的测量是 ODP 初始报告的一种基础性数据(张世红, 2000)。近年来,岩石磁化率被频频引入古生代海相碳酸盐岩地层划分、地层对比中,逐渐成为一种重要

手段(张世红等, 1999; Ellwood *et al.*, 2001; 张海军等, 2003; Clark, 2012)。国内外相关专家的研究表明海平面变化是控制碳酸盐岩磁化率大小的重要因素(Crick *et al.*, 1997; Ellwood *et al.*, 1999, 2000, 2001, 2006; 张世红等, 1999, 2004; 张海军等, 2003; Clark, 2012),这使得碳酸盐岩磁化率应用于层序地层学研究有了理论支撑。

笔者在柯坪地区奥陶系中曾经系统做过碳酸盐岩磁化率测量和统计工作,取样层位是阿克苏四石厂剖面上奥陶统坎岭组和其浪组下部,取样间隔为 20~30 cm,累计取样 185 块(武振杰等, 2009)。结合柯坪地区奥陶系层序地层划分结果和碳酸盐岩磁化率变化曲线,可以得出以下认识:

(1) 碳酸盐岩取样层位包括 OSQ3 中上部和 OSQ4 全部,其相对海平面变化经历了先下降到最低点,然后上升达最高点,转为下降再次到达最低点后又上升的变化过程(详见图 2),与对应的碳酸盐岩磁化率变化曲线之间为负相关的对应关系(图 6)。

(2) 陆棚等深水低能环境沉积对应于磁化率相对低值,台缘斜坡等高能环境沉积对应于磁化率相

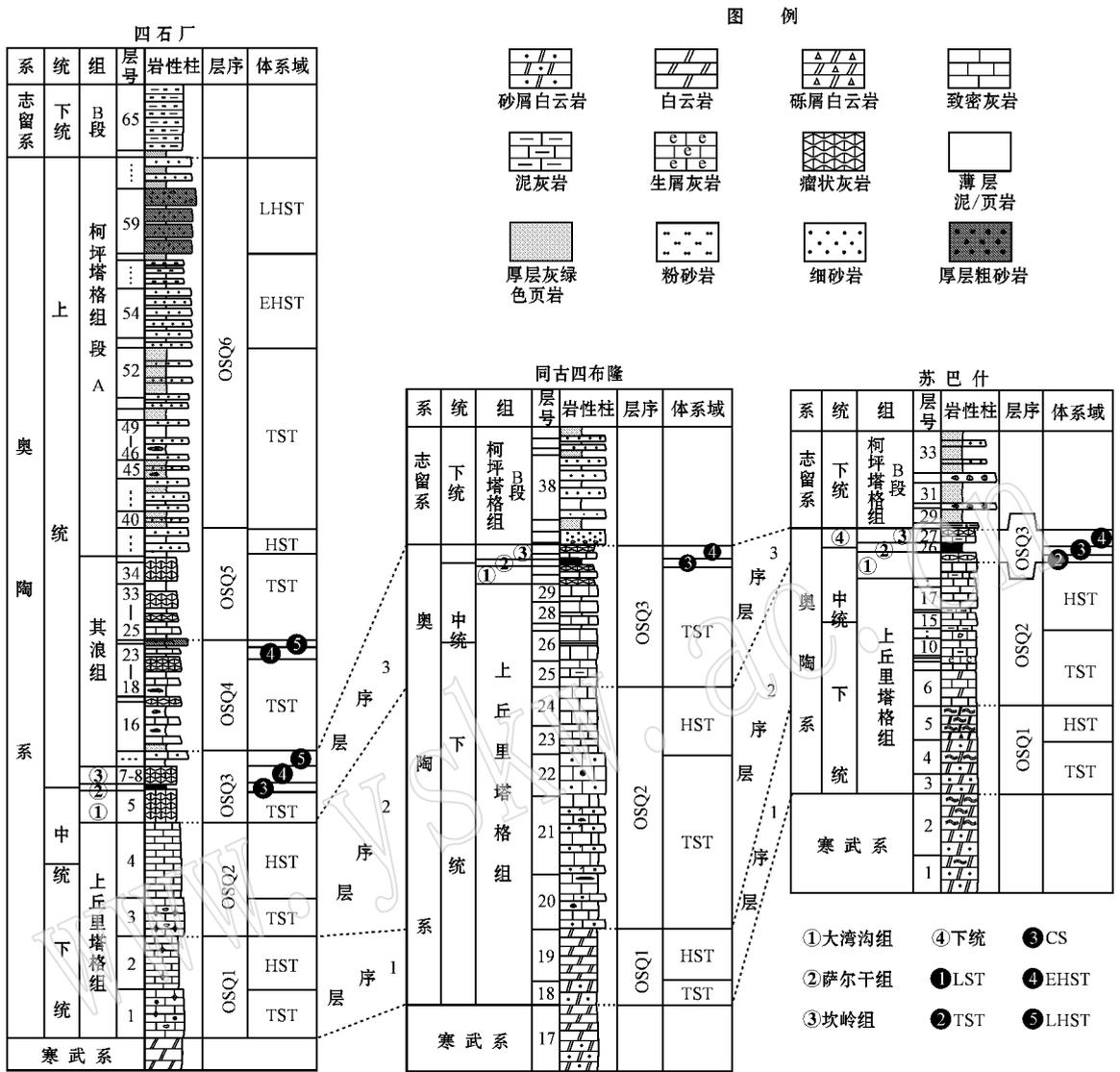


图 5 柯坪奥陶系层序地层格架(图例见图 2)

Fig. 5 Sequence stratigraphic framework of the Ordovician in Keping area (legend as for Fig. 2)

对高值。

(3) 碳酸盐岩地层中层序界面上部地层磁化率测量值较界面下部地层明显减小。

(4) 海侵体系域中磁化率测试值自下而上逐渐变小,高位体系域中磁化率测试值自下而上逐渐变大,且晚期高位体系域变化速度明显高于早期。

作为一个标量,磁化率并不能直接用于地层对比,但磁化率能反映出层序界面附近因暴露和淹没所导致的磁性矿物的富集和(或)矿物相的转变以及不同的体系域中水体深浅变化趋势和充填速率的规律性变化。此外,磁化率在反映岩石类型的细微变化方面具有灵敏度高和分辨率高的特点,并且能够

反映相对海平面变化情况(张世红等,1999,2004)。基于以上原因,磁化率这种定量化参数应用于碳酸盐岩层序地层学研究中是可行的。

4 结论

通过对塔里木盆地西北缘柯坪地区奥陶系 3 个剖面的研究,可以得出以下结论:

(1) 该地区奥陶系剖面中可以识别出 6 个三级层序,其中四石厂一带发育较全,同古四布隆和苏巴什一带缺失上部 3 个层序 OSQ4~OSQ6。

(2) 奥陶系三级层序基本组成结构为“海侵体系

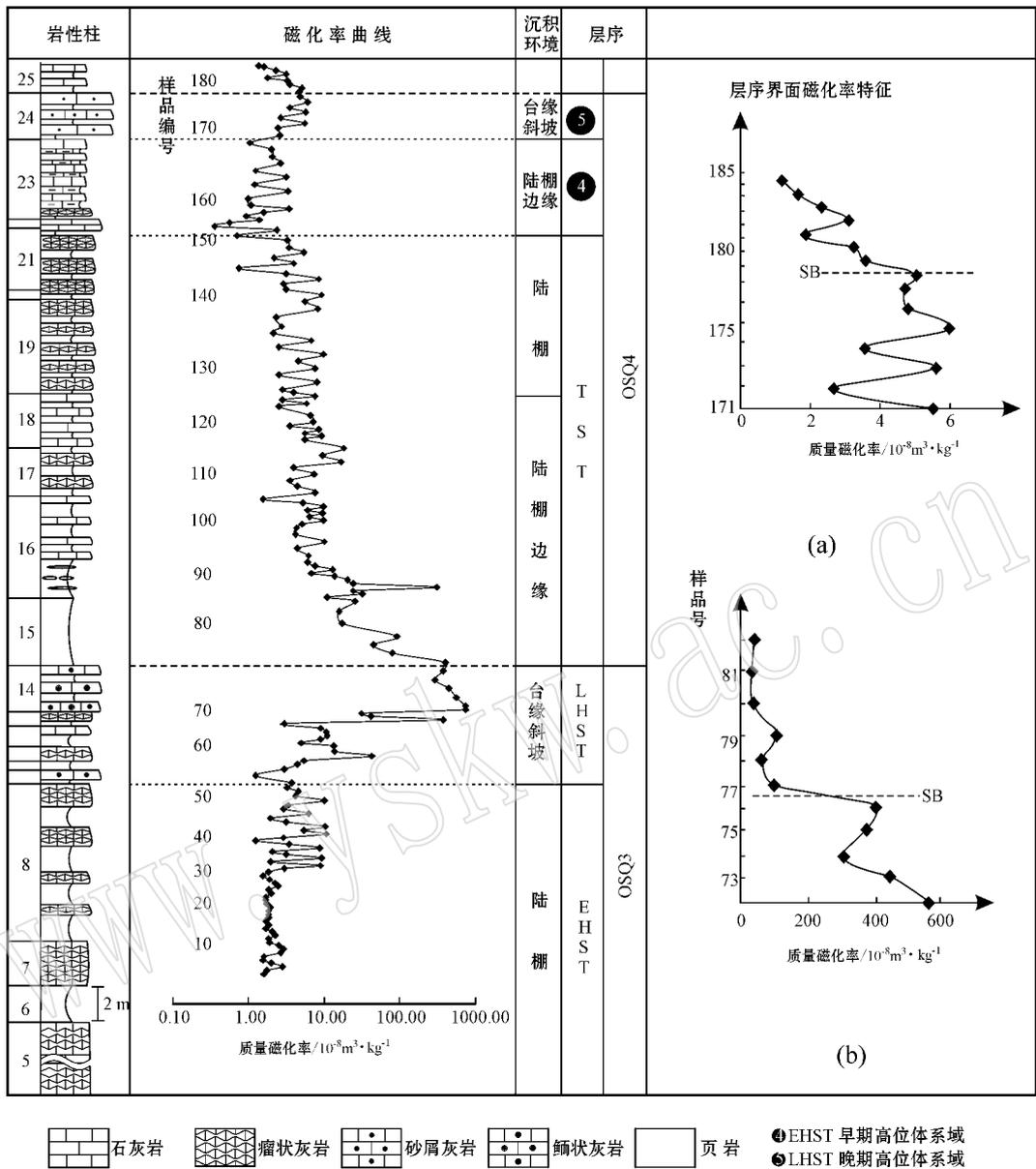


图 6 碳酸盐岩磁化率对三级层序体系域和层序界面的响应

Fig. 6 Carbonate magnetic susceptibility in response to system tracts of third-grade sequence and sequence boundary

域 (TST) + 高位体系域 (HST)”或“海侵体系域 (TST) + 凝缩段 (CS) + 高位体系域 (HST)”, 其中凝缩段 (CS) 仅见于 OSQ3 中, OSQ3、OSQ4 和 OSQ6 的高水体体系域可以细分为早期高水体体系域 (LHST) 和晚期高位体系域 (LHST)。

(3) 碳酸盐岩磁化率随海平面上升而下降, 随海平面下降而上升, 两者之间为负相关; 沉积环境、层序界面、各种体系域与碳酸盐岩磁化率变化之间也存在着较明显的对应关系。

致谢 中国地质大学(北京)古地磁学与环境磁学实验室李海燕老师在样品处理和测试阶段提供了大量的指导和帮助, 审稿人和编辑提出了宝贵的修改意见, 在此一并表示衷心的感谢!

References

Chen Guojun, Xue Lianhua, Wang Qi, et al. 1999. Sea-Level changes and formation of cyclic-sequence of Cambrian-Ordovician in Akesu-Bachu area, Xinjiang [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 17(2): 192~197

- (in Chinese with English abstract).
- Chen Ming, Xu Xiaosong, Wan Fang, *et al.* 2004. Study on outcrop sequence stratigraphy of the Lower-Middle Ordovician strata in Keping Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(1): 110 ~ 116 (in Chinese with English abstract).
- Clark M A. 2012. Magnetostratigraphy Susceptibility Correlations for the Guadalupian-Lopingian Boundary and the Placement of the North American Ochoan Series : Texas (USA) and South China [D]. US : Louisiana State University.
- Crick R E, Ellwood B B, El Hassani A, *et al.* 1997. MagnetoSusceptibility event and cyclostratigraphy (MSEC) of the Eifelian-Givetian GSSP and associated boundary sequences in North Africa and Europe[J]. *Episodes*, 20(3): 167 ~ 175.
- Ellwood B B, Crick R E and El Hassani A. 1999. The magneto-susceptibility event and cyclostratigraphy (MSEC) method used in geological correlation of Devonian rocks from Anti-Atlas Morocco[J]. *AAPG Bulletin*, 83(7): 1119 ~ 1134.
- Ellwood B B, Crick R E, El Hassani A, *et al.* 2000. Magneto-susceptibility event and cyclostratigraphy method applied to marine rocks : Detrital input versus carbonate productivity [J]. *Geology*, 28(12): 1135 ~ 1138.
- Ellwood B B, Crick R E, García-Alcalde J L, *et al.* 2001. Global correlation using magnetic susceptibility data from Lower Devonian rocks [J]. *Geology*, 29(7): 583 ~ 586.
- Ellwood B B, García-Alcalde J L, El Hassani A, *et al.* 2006. Stratigraphy of the Middle Devonian boundary : Formal definition of the susceptibility magnetostratotype in Germany with comparisons to sections in the Czech Republic, Morocco and Spain [J]. *Tectonophysics*, 418 : 31 ~ 49.
- Fan Taijiang and Liu Jinhui. 1997. Sequence stratigraphic features of Sinian-Paleozoic in north Tarim basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 18(2): 120 ~ 127 (in Chinese with English abstract).
- Geology and Mineral Resources Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. 1982. Regional Geology of Xinjiang Uygur Autonomous Region [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Gu Jiayu. 2000. The feature and origin of lower Ordovician dolomite in Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 21(2): 120 ~ 122 (in Chinese).
- Heller F and Liu T S. 1982. Magnetostratigraphic dating of loess deposit in China [J]. *Nature*, 300 : 431 ~ 433.
- Heller F and Liu T S. 1984. Magnetism of Chinese loess deposits [J]. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77(1): 125 ~ 141.
- Jiang Dayong, Yao Jianxin, Hao Weicheng, *et al.* 2001. New Progress of the Study on Late Ordovician-Early Carboniferous Stratigraphic Division and Correlation in Tarim Basin, Xinjiang [J]. *Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis*, 37(4): 529 ~ 536 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xiuming, Liu Dongsheng and Shaw J. 1993. Magnetic mineral characteristics of Chinese loess and its paleoclimatic significance [J]. *Quaternary Sciences*, 3 : 281 ~ 287 (in Chinese with English abstract).
- Mei Mingxiang and Gao Jinhan. 2005. Facies-Analysis Method and Principle of Lithostratigraphy [M]. Beijing : Geological Publishing House (in Chinese).
- Miall A D. 1997. The Geology of Stratigraphic Sequences [M]. Berlin : Springer-verlag.
- Shi Ji'an, Chen Guojun, Wang Qi, *et al.* 2001. Sequence Stratigraphy, Sedimentary and Diagenetic Evolution in the Western Tarim Basin [M]. Beijing : Science Press (in Chinese with English abstract).
- Southern Xinjiang Petroleum Prospecting Corporation, Xinjiang Petroleum Administration Bureau, Exploration and Development Research Institute, Jiangnan Petroleum Administration Bureau. 1991. Sinian to Permian Stratigraphy and Palaeontology of the Tarim Basin, Xinjiang (II) Kalpin-Bachu Region [M]. Beijing : Petroleum Industry Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Wu Xingning, Shou Jianfeng, Zhang Huiliang, *et al.* 2012. Characteristics of the petroleum system in Cambrian and Ordovician sequence frameworks of the Tarim Basin and its exploration significance [J]. *Acta Petroli Sinica*, 33(2): 225 ~ 231 (in Chinese with English abstract).
- Wu Zhenjie, Yao Jianxin, Chen Liuqin, *et al.* 2009. Discussion on the Relationship between Carbonate Magnetic Susceptibility and Sequence Stratigraphy in Middle-Upper Ordovician in Aksu Area, Xinjiang [J]. *Geoscience*, 23(2): 229 ~ 233 (in Chinese with English abstract).
- Yu Bingsong. 1995. Analysis of typical carbonate sequences in Northern Talimu Basin [J]. *Mineral Petrol.*, 15(3): 44 ~ 49 (in Chinese with English abstract).
- Yu Bingsong. 1996a. The Paleozoic sequence stratigraphic system in northern Tarim Basin [J]. *Geological Review*, 42(1): 14 ~ 21 (in Chinese with English abstract).
- Yu Bingsong. 1996b. Sequence stratigraphic framework of the Cambrian-Ordovician in northern Tarim Basin [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 16(3): 298 ~ 303 (in Chinese with English abstract).
- Yu Bingsong, Chen Jianqiang and Lin Changsong. 2001. Sequence stratigraphy of the Cambria- Ordovician in northern Tarim Basin and correlation with Yangzi and North China [J]. *Science in China (Series D)*, 31(1): 17 ~ 26 (in Chinese).
- Zhang Haijun, Wang Xunlian, Xia Guoying, *et al.* 2003. The carbonate microfacies and sedimentary environments of the Carboniferous-Permian boundary section at Xikou, Zhen 'an County, Shaanxi Province, China [J]. *Geoscience*, 17(4): 387 ~ 394 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shihong. 2000. Discussion on the concepts methods and application of magnetostratigraphy [J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 498 ~ 498 (in Chinese).
- Zhang Shihong and Li Haiyan. 2004. Progresses of Geomagnetism, Paleomagnetism and Environmental Magnetism : an overview on the

- presentations in the 32nd International Geological Congress[J].
Geoscience, 18(4): 415~422(in Chinese with English abstract).
- Zhang Shihong, Wang Xunlian and Zhu Hong. 2000. Magnetic susceptibility variations of carbonates controlled by sea-level changes-Examples in Devonian to Carboniferous strata in southern Guizhou Province, China[J]. Science in China(Series D: Earth Sciences), 43(3): 266~276.
- Zhang Zhimin. 2000. Paleogeography of the Ordovician in Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 18(4): 309~314(in Chinese).
- Zhou Zhiyi, Zhao Zhixin, Hu Zhaoxun, *et al.* 2001. Stratigraphy of the Tarim Basin[M]. Beijing: Science Press(in Chinese with English abstract).
- Zhu Rixiang, Li Jingchun, Wu Hanning, *et al.* 1994. The character of Chinese Loess magnetism and its Paleoclimatic Significance[J]. Science in China(Series B), 24(9): 992~997(in Chinese).
- ### 附中文参考文献
- 陈国俊, 薛莲花, 王琪, 等. 1999. 新疆阿克苏—巴楚地区寒武—奥陶纪海平面变化与旋回层序的形成[J]. 沉积学报, 17(2): 192~197.
- 陈明, 许效松, 万方, 等. 2004. 塔里木盆地柯坪地区中下奥陶统碳酸盐岩露头层序地层学研究[J]. 沉积学报, 22(1): 110~116.
- 樊太亮, 刘金辉. 1997. 塔里木盆地北部震旦系—古生界层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 18(2): 120~127.
- 顾家裕. 2000. 塔里木盆地下奥陶统白云岩特征及成因[J]. 新疆石油地质, 21(2): 120~122.
- 江大勇, 姚建新, 郝维城, 等. 2001. 新疆塔里木盆地晚奥陶世—早石炭世地层划分对比研究新突破[J]. 北京大学学报(自然科学版), 37(4): 529~536.
- 刘秀铭, 刘东生, Shaw J. 1993. 中国黄土磁性矿物特征及其古气候意义[J]. 第四纪研究, 3: 281~287.
- 梅冥相, 高金汉. 2005. 岩石地层的相分析方法与原理[M]. 北京: 地质出版社.
- 史基安, 陈国俊, 王琪, 等. 2001. 塔里木盆地西部层序地层与沉积、成岩演化[M]. 北京: 科学出版社.
- 吴兴宁, 寿建峰, 张惠良, 等. 2012. 塔里木盆地寒武系—奥陶系层序格架中生储盖组合特征与勘探意义[J]. 石油学报, 33(2): 225~231.
- 武振杰, 姚建新, 陈留勤, 等. 2009. 新疆阿克苏地区中、上奥陶统碳酸盐岩磁化率与层序地层关系[J]. 现代地质, 23(2): 229~233.
- 新疆石油管理局南疆石油勘探公司, 江汉石油管理局勘探开发研究院. 1991. 塔里木盆地震旦纪至二叠纪地层古生物(II)柯坪—巴楚地区分册[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 1982. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社.
- 于炳松. 1995. 塔里木盆地北部中下奥陶统碳酸盐陆棚—盆地的层序地层分析[J]. 矿物岩石, 15(3): 44~49.
- 于炳松. 1996a. 塔里木盆地北部古生代层序地层系统[J]. 地质论评, 42(1): 14~21.
- 于炳松. 1996b. 塔里木盆地北部寒武—奥陶纪层序地层格架[J]. 矿物学报, 16(3): 298~303.
- 于炳松, 陈建强, 林畅松. 2001. 塔里木地台北部寒武纪—奥陶纪层序地层及其与扬子地台和华北地台的对比[J]. 中国科学(D 辑), 31(1): 17~26.
- 张海军, 王训练, 夏国英, 等. 2003. 陕西镇安西口石炭系—二叠系界线剖面碳酸盐岩微相特征与沉积环境的研究[J]. 现代地质, 17(4): 387~394.
- 张世红. 2000. 论岩石磁性地层学的概念、方法的应用[J]. 地学前缘, 7(2): 498~498.
- 张世红, 李海燕. 2004. 地磁学、古地磁学和环境磁学的研究新进展——第 32 届国际地质大会学科总结和评述[J]. 现代地质, 18(4): 415~422.
- 张世红, 王训练, 朱鸿. 1999. 碳酸盐岩磁化率与相对海平面变化的关系——黔南泥盆石炭系例析[J]. 中国科学(D 辑), 29(6): 558~566.
- 张致民. 2000. 新疆奥陶纪古地理[J]. 新疆地质, 18(4): 309~314.
- 周志毅, 赵治信, 胡兆甸, 等. 2001. 塔里木盆地各纪地层[M]. 北京: 科学出版社.
- 朱日祥, 李景春, 吴汉宁, 等. 1994. 中国黄土磁性性质与古气候意义[J]. 中国科学(B 辑), 24(9): 992~997.