

文章编号: 1000-6524(2004)01-0043-06

# 湖泊纹层的沉积机理研究评述与展望

王冠民, 钟建华

(石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

**摘要:** 湖泊纹泥和湖相页岩主要沉积于湖水明显分层的条件下, 湖水的分层受气候、盐度、水体深度等多方面的控制。在湖水分层的前提下, 各种藻类、碳酸盐、有机质、粘土、粉砂等可以按不同季节分别形成不连续的纹层。其中, 藻类、有机质纹层的沉积与藻类的季节性勃发密切相关; 碳酸盐纹层的沉积可以与化学作用有关, 也可以与藻类勃发产生的生物化学作用有关; 粉砂、粘土则是以平流或层间流的方式季节性输入的。总之, 纹层或页岩沉积的变化与气候的变化密切相关, 利用纹层中的沉积信息研究气候和环境变化早已引起人们的重视, 但以气候的周期性变化为主控因素来探讨纹层的变化和湖水的物理化学性质演化还有待开展。

**关键词:** 湖泊; 纹层; 页岩; 沉积机理

中图分类号: P531

文献标识码: A

## A review and the prospects of the researches on sedimentary mechanism of lacustrine laminae

WANG Guan\_min and ZHONG Jian\_hua

(Earth Science and Information College, Petroleum University, Dongying 257061, China)

**Abstract:** Lacustrine laminae are mainly deposited in lake water with obvious layering. Such factors as temperature, salinity and depth control the water layering. Some materials like algae, carbonate, organic matter, clay and silty sand can separately form different laminae in different seasons. The deposition of algae and organic matter is related to seasonal blooming of algae, and carbonate laminae may be related to chemical or biochemical deposition due to the blooming of algae. Clay and silty sand are transported by stratified current. In any cases, however, the variation in the deposition of laminae is closely related to the change of climates. Much importance has been attached to the application of laminae to deduce the changes of climates and environments in the past. Nevertheless, researches on the changes of laminae and the development of lacustrine physicochemical properties on the basis of periodic changes of climate remain to be conducted.

**Key words:** lake; lamina; shale; sedimentary mechanism

第四纪的湖泊纹泥和湖相页岩中的纹层是长期静水条件下的沉积产物, 包含了大量关于古环境演化方面的信息, 可以为古气候周期、地质事件重现、古湖泊物理、古湖水化学及古生产力的演化研究提供最佳的材料(Anderson and Dean, 1988; 王慧中等, 1998)。近年来, 随着对地球环境变化的日益关注,

对页岩尤其是第四纪古湖泊纹泥中纹层的沉积学研究也越来越引起重视。

### 1 纹层沉积的水体条件

关于纹泥的研究, 国外已有100多年历史

收稿日期: 2003-07-23; 修订日期: 2003-11-10

基金项目: 国家“十五”科技攻关资助项目(2001BA605A09)

作者简介: 王冠民(1969-), 男, 副教授, 从事陆相盆地沉积学研究, E-mail: wguanmin@sohu.com。

(Mitchel, 1976)。在成因上,除最先开始研究的冰水湖纹泥以外,还包括湖泊纹泥(O'Sullivan, 1983; Anderson and Dean, 1988)、海相纹泥(Ulrich *et al.*, 1999)等多种类型。

相对来讲,非冰川成因的正常湖泊纹泥和纹层页岩比较常见。对纹层页岩和古湖泊纹泥形成的水体条件目前比较一致的观点是:分层的水体最有利于纹层的形成(Håkanson *et al.*, 1992; 邓宏文等, 1993; Larson *et al.*, 1993; 王慧中等, 1998),因为湖水分层可以造成底部水体严重缺氧,使底栖动物难以生存,从而避免纹理遭受破坏(Ekdale *et al.*, 1988; Kelts, 1991; 王慧中, 1993)。因此,在盆地处于缺氧状态下,细粒沉积物沉积以后,如果因水体分层而不再受到其他因素的破坏(如生物扰动、底流冲刷),就可以形成与沉积环境变化有关的沉积纹层。

湖水的分层现象是湖泊十分重要的特征之一,主要起因于湖水密度的变化。既可以是由气候因素中的温度变化引起温度(热)分层,也可以是因溶质含量不同引起的盐度(化学)分层。

湖水盐度分层一般是比较稳定的(Bates *et al.*, 1993; 邓宏文等, 1993)。常常可以形成永久性的分层。但在热带、亚热带条件下,温度的作用有时也能形成稳定的分层,如非洲的Bosumtwi湖、Kivu湖、坦噶尼喀湖、马拉维湖(Talbot, 1991)等同样可以形成永久性的温度分层。目前引起广泛注意的第四纪淡水玛珥湖(Creer *et al.*, 1996; 刘东生等, 1998; Zolitschka *et al.*, 1999; 储国强等, 2000)尽管有很多处于温带,但由于湖泊多深而小,受水流、风力的影响弱,其纹泥也常沉积于长期温度分层的条件下。

湖水的分层性与气候的变化密切相关,但在影响方式上还有不同的认识。Talbot(1991)认为:风力较弱的潮湿气候期,湖水较深,可以具有稳定的分层体系;干旱时期水体浅,风力大,难以形成稳定的湖水分层;Sucheki(1988)也利用碳酸盐的碳、氧同位素揭示出北美哈特福特盆地在湖水面积最大、气候潮湿时,形成明显的湖水分层。但相反的例子是北美的绿河页岩明显形成于气候较为干旱时期(Talbot, 1991),具有稳定盐度分层的死海(邓宏文, 1993)更是干旱环境下的代表,邓宏文(1993)在研究东营凹陷古近系沉积环境时也认为沙四上一沙三下段气候干旱,盐度高,湖水形成永久性盐度分层,沙三中段气候潮湿,形成季节性的温度分层。

需要指出的是,水体在高盐度情况下的分层未

必一定是盐度分层,水体的分层性质除了受气候、盐度控制以外,也受水体深度、入注水量等因素的影响。如青海湖的盐度达到1.4%,但却是典型的季节性温度分层(中国科学院兰州分院, 1994)。在海洋条件下也有类似的情况,我国的黄海为温度分层,而东海则属盐度分层(邹娥梅等, 2001),台湾海峡和南海为温度和盐度混合分层(李培良等, 2000)。

另外,尽管湖水的深浅与湖水分层之间不存在必然的对应关系,如瑞士Lugano湖在水深270 m的湖底仍然是周期性富氧的(Kelts, 1991),云南抚仙湖100 m以下水体还有4 mg/L溶解氧,而雷州半岛的湖光岩玛珥湖虽然最大水深只有22 m,却在8~13 m处出现温跃层(储国强等, 2000)。但不管是温度分层还是盐度分层,湖水具有一定的深度是必要条件(Talbot, 1991; Håkanson *et al.*, 1992; 刘东生等, 1998),这样可以避免已经分层的湖水因风力、淡水注入、湖流等因素发生混合。

湖水分层不是一个简单的水体密度差异问题,盐度或温度变化造成的密度差异只是湖水分层的必要前提,整体气候、水深、湖流、入注水体甚至湖盆大小等都可以影响水体的分层性质。如何根据一定的环境条件,分析预测湖水的分层性质将是湖泊学研究中的一项富有挑战性的工作。

## 2 纹层的沉积机理

目前见诸于文献的有关纹层的沉积机理主要包括季节性的生物作用、化学作用和机械作用等。Anderson(1986)曾指出,细粒沉积物在湖泊中沉积以后,如果不再受到其他因素的破坏而保留下来,都可以表现出季节性或多年季节性的纹理。这是因为季节性气候变化的影响力要远远超过其他时间尺度的气候周期(Anderson *et al.*, 1988)。所以,随季节性变动而相应产生的各类物质,如各种藻类、碳酸盐、有机质、粘土、粉砂等可以按不同季节分别形成连续的沉积纹层。Anderson等(1988)不仅通过对20多个现代湖泊的研究证实了这一点,而且还利用美国Elk湖不同纹层组合类型的垂向变化,反推了过去10 000年历史中Elk湖的类型、地形、地质、气候的背景。

### 2.1 生物作用

大量研究认为,浮游植物的生长随着季节的变化而波动,甚至在某一季节勃发,这在海洋(Ackleson

*et al.*, 1988; Hay and Honjo, 1990) 和许多现代湖泊 (Kelts and Hsu, 1978) 中是常见的现象。Ackleson 等 (1988) 报道美国缅因湾颗石藻勃发时形成的“White waters”中, 颗石藻的密度达到  $1.2 \times 10^5$  个/mL。Hay & Honjo (1990) 介绍过黑海在春季硅藻勃发, 秋季颗石藻勃发。

研究发现, 每一种藻类都有其最佳的温度、光线、营养等生活环境, 不同藻类的最佳生活环境和最繁盛的 生长范围一般是不会重合的 (刘东生等, 1998), 而且某一属种的藻类勃发以后还可以通过遮盖光线、夺取营养等手段抑制其他藻类生长 (Sancetta, 1996)。因此, 按一定浮游生物物种的变化序列, 许多湖泊水体中的生物生产率可以形成以年为周期的演替旋回。如果湖水具有明显的分层, 浮游生物物种的变化信息就可以在湖底的静水环境中沉积保留下来, 形成不同的纹层。例如, 在分层的湖泊中, 水体的季节性循环和混合可以使富含大量营养物质的底层湖水上升到表层, 造成藻类的季节性勃发。中高纬度的双季回水湖中, 春秋两季具有两个重要的湖水混合和循环期, 相应地存在两个藻类勃发时期。除温度的因素以外, 在热带地区, 不管太阳的辐射量是否均匀, 季风形成的风驱上升流或风吹冷却作用等也可以造成湖水的周期性混合 (王慧中, 1993), 形成藻类的季节性勃发。

不仅湖水的周期性混合可以造成生物物种的更替, 在一些永久性分层的湖泊中, 单是温度的季节性变化就足以影响浮游生物的演化, 使有机质生产率也遵循着确定的生物属种和生产率的季节性模式。Brüchmann (1997) 通过扫描电镜观察了德国 Holzmaar 玛珥湖的硅藻季节纹层, 发现每个纹层内部不同硅藻种类是随着季节呈明显的层状变化的。Poth 等 (1993) 识别了 Meerfelder 玛珥湖纹层, 发现年纹层主要由春夏季发育的金藻门孢囊和浮游硅藻、秋季发育的滨岸硅藻和有机物以及冬季发育的矿物碎屑组成。

藻类勃发之后可以分解出大量的有机质。在水体分层的条件下, 这些有机质的沉降速率比较慢, 往往在水体比较稳定的秋冬季节方能沉积下来。秋冬季节, 生物的生产力很低, 这些有机质可以构成单独的纹层 (徐金鲤, 私人交流)。在湖相有机质暗色纹层中, 常包括植物孢囊、几丁质碎片、生物组织等 (王慧中, 1993)。藻类的勃发不仅可以产生大量有机质, 而且部分藻类具有生物骨骼, 在湖水分层的条件

下, 这些藻类骨骼可以单独堆积成纹层, 如: 颗石藻纹层和硅藻纹层等。在济阳拗陷的钙质纹层页岩中常见颗石藻鳞板单独组成的钙质纹层 (刘传联等, 2000)。

细菌对湖底纹层的形成和改造也会起一定的作用 (Hite *et al.*, 1991; Kelts, 1991; Talbot, 1991), 甚至可以形成深水微生物席, 构成纹层。如苏黎世湖中的化学自养硫细菌的丝状体 *beeggiatoa*, 在沉积物表面可形成白色节网, 保护沉积物免受弱底流的破坏 (Kelts, 1991)。但由细菌形成的这类有机质纹层在地层中尚难以识别。另外, 细菌的活动能够在其表面聚集多种金属 (贾建业等, 2001; 王恩德等, 2001)。在沉积速率很低的情况下, 细菌的繁盛可以在湖底形成富金属尤其是富铁纹层, 但这方面目前还没有更多的研究。

整体来讲, 湖水分层加上浮游植物类型或生产力的季节性波动, 可导致湖泊生物沉积作用的周期性变化, 形成与生物有关的季节性纹层, 由藻类所构成的不同纹层在湖泊沉积中是相当普遍的。

## 2.2 化学作用或生物化学作用

### 2.2.1 化学作用

常见的单纯由化学作用形成的纹层主要出现在蒸发作用强烈、盐度较高的湖盆中, 如蒸发强度的周期性变化可以在湖盆底部出现文石和石膏的层偶。有许多文献对蒸发作用或气候的干湿与碳酸盐含量间的关系进行过讨论。曹建廷等 (2000) 通过对内蒙古微咸水湖岱海碳酸盐含量与孢粉的对比分析, 发现干冷时蒸发量大, 碳酸盐的沉积量也大, 气候温湿时碳酸盐含量下降。相似的结论也常见于其他第四纪不同气候带的不同性质的湖泊沉积研究中, 并常常被用来反推过去的气候变化。

化学沉淀作用还可能与湖水本身的环境要素密切相关, 例如真溶液和胶体溶液的沉淀不仅与自身的溶解度有关, 而且还受湖水的温度、pH 值、Eh 值等多方面的影响 (王慧中, 1993)。如死海的浅色与暗色相间纹层中, 浅色纹层主要是夏季温度较高时沉淀的石膏, 而在冬季则沉淀星束状的文石针 (Tucker *et al.*, 1990)。另外 pH 值对大部分化学物质均存在显著影响, 可以使溶解物质产生各种变化, 如  $\text{SiO}_2$  的溶解度随 pH 值的增大而增大,  $\text{CaCO}_3$  则相反; 高价 Fe 在不同的 pH 值下有不同的沉积形式等。pH 值的大小常与湖水的分层性质和气候控制下的湖水化学性质密切相关。

### 2.2.2 生物化学作用

化学作用也可由生物作用引起。在很多温带甚至热带湖泊中,碳酸盐-有机质层偶是最常见的纹层组合类型。Anderson等(1988)通过对湖泊的实测结果表明,湖水碳酸盐沉淀的主要原因是浮游植物的光合作用萃取了湖水中的 $\text{CO}_2$ ,造成湖上层的碳酸钙过饱和,从而诱发碳酸盐类沉淀。因此,碳酸盐的沉淀主要出现在一年中最暖的月份,并随盐度的增加,碳酸盐矿物依次为低镁方解石、高镁方解石或文石。Stiller等(1999)对Hardwater湖水中不同季节、不同深度的 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化做了大量研究,也得出了相似的结论:在春季藻类繁盛期的末期,由于生物的吸收和分馏作用使表层水体中溶解的 $\text{CO}_2$ 大量减少并开始出现较高的 $^{13}\text{C}$ 值,相应地开始沉淀 $\delta^{13}\text{C}$ 较高的碳酸岩颗粒。汪品先(1993)甚至认为由藻类勃发破坏湖水中的碳平衡,从而诱发湖水中碳酸盐的周期性化学沉淀是许多湖相纹层的形成机理。刘传联等(2001)、王慧中(1998)在东营凹陷古近系的钙质纹层泥岩中发现钙质纹层均由颗粒及藻类诱发的细粒方解石微晶(1~4 $\mu\text{m}$ )构成。

由于浮游植物的勃发或演替与气候的季节性变化密切相关,故而由生物化学作用形成的碳酸盐沉淀也与气候的周期性变化有关。

在淡水-半咸水湖泊中化学作用对纹层的影响相对比较微弱,所以生物作用和生物化学作用的周期性变化则成为这类湖泊中不同纹层的主要机制。

### 2.3 机械作用

湖泊纹层中除了生物、化学成因的沉积物以外,还有机械成因的沉积物质。机械沉积物主要来自盆缘集水区,并通过入湖的水系输入。在水体分层的情况下,随入湖水流输入的碎屑物质可以沿湖平面(或温跃层)呈平流或层间流的方式运移到整个深湖区(Håkanson and Jansson, 1992; 邓宏文等, 1993)。翟秋敏等(2002)曾在坝上高原的安固里淖发现了由冬季风搬运物与湖心沉积共同形成的粒度年纹层,但因沉积物少很难识别。Giovanolì(1990)曾在瑞士日内瓦湖发现了含较多悬浮物质沿温跃层运移扩散的层间流。在海洋方面一个很好的实例是由长江流入东海的淡水以平流的方式将粘土级碎屑物质输送到济州岛一带(白虹等, 2002)。这种平流或层间流的发育程度直接与气候或气候控制下的入湖水量有关。Glenn and Kelts(1991)认为,这些平流物质需要克服它们自身的内聚力和水体的摩擦力后方能沉积

下来。内聚力和摩擦力对正常的平流悬移状态起保护作用,免受气候驱动力影响,直到处于某种决定性的机械沉积临界值为止。与其相对的湖泊内化学沉淀物的发生主要取决于湖水的化学平衡状态,对气候的变化有快速灵敏的响应。一些文献(Glenn and Kelts, 1991; Håkanson *et al.*, 1992; 王慧中, 1998; 储国强等, 2000; 刘传联等, 2001)中也认为在水体分层明显的冬季,甚至水面结冰情况下(Glenn and Kelts, 1991)才有利于促进细碎屑物质的沉淀。

## 3 研究展望

纹层对沉积环境变化有良好的记录,可为古气候、地质事件重现、古湖泊物理化学性质及古生产力的演化研究提供最佳的材料。在不同的沉积环境尤其是季节性气候变化的条件下,纹层的组成特征会有一些差异,这些差异是反推古环境、古气候演化的基础。正基于此,纹层的组成及其对环境和气候变化的响应早已引起人们的广泛重视,有关从纹层中提取古气候、古环境信息方面的研究还会不断加强。

如上所述,湖泊纹层沉积的影响因素确实比较复杂,包括气候、水深、盐度、湖流、入注水流、生物和生物化学作用等多个方面。不同的纹层可由其中任何一个因素变化所形成,也可能由这些因素的联合作用所形成。有学者(胡春燕等, 1998)认为,湖泊中的生物作用和化学作用都与年太阳辐射、季风或风驱湖泊上涌有关,甚至太阳辐射也是冰川溶解节律的动力源。更进一步说,气候变化才是纹层形成的最广泛的控制因素(Anderson and Dean, 1988)。不仅仅是温度、季风等气候因素的影响可以形成纹层的变化,其他气候因素的周期性变化(如干、湿变化)也可以形成纹层的变化。从前述中可以归纳出:影响纹层沉积的水体分层性、湖流、降水、沉积物沉降等因素的变化都与气候的冷、热、干、湿有关,甚至深度、盐度的变化在一定程度上也受气候的控制。近年来以米兰柯维奇旋回为代表的高频旋回地层学也已经证明在构造背景稳定的前提下,气候旋回是控制盆地沉积过程的根本因素(郑荣才等, 2001)。

但目前大量的研究还都是直接从纹层中提取古气候和古环境的变化信息,反过来从气候周期性变化的角度出发,系统研究湖泊纹层的沉积过程和机理方面的工作尚未开展。相信随着气候与湖泊沉积响应研究的深入,结合一定的沉积背景,以气候的周

期性变化为线索,系统研究湖泊纹层的沉积机理,并进一步探讨包括水体分层性、深度、生物作用、化学作用等在内的湖泊水体物理化学性质变化和沉积演化会引起重视。

## References

- Ackleson S, Balch W M and Holligan P M. 1988. White waters of the gulf of maine[J]. *Oceanography*, 11: 18~ 22.
- Anderson R V. 1986. The varve microcosm: propagator of cyclic bedding[J]. *Paleoceanography*, 1(4): 373~ 382.
- Anderson R V and Dean W E. 1988. Lacustrine varve formation through time[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62(1~ 4): 215~ 235.
- Bai Hong, Hua Feng, Feng Zhigang, *et al.* 2002. Light transmission in summer and its relation to sediment transportation in the east China [J]. *Marine Sciences*, 26(5): 45~ 47(in Chinese with English abstract).
- Bates A L, Spiker E C, Orem V H, *et al.* 1993. Speciation and isotopic composition of sulfur in sediments from Jellyfish Lake[J]. *Palaeochem. Geol.*, 106: 63~ 76.
- Cao Jianting, Wang Sumin and Shen Ji. 2000. The paleoclimate changes during the past millennium Inferred from the lacustrine core in Daihai Lake, Inner Mongolia[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 20(5): 391~ 395(in Chinese with English abstract).
- Chu Guoqiang, Liu Jiaqi and Liu Dongsheng. 2000. The discriminance and significance of two kinds of laminae in maar lake, China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(14): 1 553~ 1 555(in Chinese).
- Creer K M and Thouveny N. 1996. The EU OMAARS project\_ A multi-disciplinary approach directed to the reconstruction of palaeoenvironmental, palaeoclimatic and palaeogeomagnetic changes recorded by sediments deposited in maar lakes located in Western Europe[J]. *Quaternary Science Review*, 15: 99~ 245.
- Deng Hongwen and Qian Kai. 1993. Sediment Geochemistry and Environment Analyse[M]. Lanzhou: Gansu's Technology House, 4~ 45, 69~ 147(in Chinese).
- Ekdale A A and Mason T R. 1988. Characteristic trace fossils associations in oxygen\_poor sedimentary environments[J]. *Geology*, 16: 720~ 723.
- Giovanoli F. 1990. Horizontal transport and sedimentation by interflows and turbidity currents in Lake Geneva[A]. Tilzer M, Serruya C. Large Lakes\_Ecological Structure and Function [C]. Berlin: Springer\_Verlag, 175~ 195.
- Glenn G R and Kelts K. 1991. Sedimentary rhythms in lake deposits [A]. Einsele. Cycles and Events in Stratigraphy[C]. Berlin Heidelberg: Springer\_Verlag, 189~ 220.
- Håkanson L and Jansson M (Translated by Zheng Guangying). 1992. Principium of Lacustrine[M]. Beijing: Science Press, 4~ 22, 144~ 190 (in Chinese).
- Hay B J and Honjo S. 1990. Interannual variability in partial flux in the southwestern Black Sea[J]. *Deep\_Sea Research*, 37: 911~ 928.
- Hite R J and Ander D E. 1991. Petroleum and evaporites[A]. Melvin J. Evaporites[C]. Elsevier Science Publishers B V, 349~ 411.
- Hu Chunyan and Liu Li. 1998. The new progress made in lacustrine sedimentary rhythm of high frequency[J]. *Geology of World*, 17(2): 14~ 17(in Chinese with English abstract).
- Jia Jianye and Tang Yanjie. 2001. New progress in the study of mineral indicators for environment evolution[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(4): 419~ 424(in Chinese with English abstract).
- Kelts K. 1991. Sediment environment of lacustrine hydrocarbon source rock: introduction[A]. Wang Pinxian, Liu Chuanlian, Chen Jiashu *et al.* Translation Corpus in Paleolimnology [C]. Beijing: Ocean House, 27~ 51(in Chinese).
- Kelts K and Hsu K J. 1978. Freshwater carbonate sedimentation[A]. Lerman A. Lake\_Chemistry, Geology, Physics [C]. Berlin: Springer\_Verlag, 295~ 323.
- Lanzhou Branch of Chinese Academy of Sciences. 1994. The Evolution and Its Forecast for Recent Environment of Qinghai Lake[M]. Beijing: Science Press, 112~ 167(in Chinese).
- Larson C P S and Macdonald G M. 1993. Lake morphometry, sediment mixing and the selection of sites for time resolution paleoecological studies[J]. *Quaternary Science Review*, 12: 781~ 791.
- Li Peiliang, Qi Jianhua and Fang Xinhua. 2000. The characteristics of the sea water transition layer in the investigated area of Nansha islands in Nov. 1997[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1: 1~ 6(in Chinese with English abstract).
- Liu Chuanlian and Xu Jinli. 2000. Distribution of paleogene coccolithophorids in Jiyang Depression and their relationship with oil and gas[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 20(3): 73~ 76(in Chinese with English abstract).
- Liu Chuanlian, Shu Xiaoxin and Liu Zhiwei. 2001. Micro-characteristics of paleogene lacustrine petroleum source rocks in Jiyang Depression [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2): 293~ 297(in Chinese with English abstract).
- Liu Tungsheng, Liu Jiaqi and Lu Houyuan. 1998. Progress in high-resolution paleoenvironment research from Maar lake[J]. *Quaternary Sciences*, 4: 290~ 295(in Chinese with English abstract).
- Mitchel J M. 1976. An overview of climatic variability and its casual mechanisms[J]. *Quaternary Research*, 6: 481~ 493.
- O'Sullivan P E. 1983. Annually laminated lake sediments and the study of Quaternary environmental changes\_a review[J]. *Quaternary Science Review*, (1): 245~ 310.
- Poth D and Negendank J F W. 1993. Palaeoclimate reconstruction at the Pliocene/Holocene transition\_a varve dated microstratigraphic record from Lake Meerfelder Maar (Westefel, Germany) [A]. Negendank J F W, Zclitschka B. Paleolimnology of European Maar Lakes. Lecture Notes in Earth Sciences[C]. Berlin: Springer\_Verlag, 49: 209~ 222.
- Sancetta C. 1996. Laminated diatomaceous sediments: controls on formation and strategies for analysis[A]. Kemp A E S. Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments[C]. Lon-

- don: Geological Society Special Publication, 17~ 22.
- Stiller M and Neeenbauma A. 1999. A stable carbon isotope study of dissolved inorganic carbon in Hardwater Lake Kinneret (Sea of Galille)[J]. *South African Journal of Science*, 95(4) (download from EBSCO HOST, no pages).
- Talbot M R. 1991. Origin of lacustrine hydrocarbon source rock: the material from tropical Africa[A]. Wang Pinxian, Liu Chuanlian, Chen Jiashu, *et al.* Translation Corpus in Paleolimnology[C]. Beijing: Ocean House, 52~ 66(in Chinese).
- Tucker M E, Wright V P and Dickson J A D. 1990. Lacustrine carbonate (chapter 4)[A]. In: Carbonate Sedimentology [C], Blackwell Scientific Publication, 174~ 176.
- Ulrich V R, Michael S, Klaus H M, *et al.* 1999. A 5000\_yr record of climate change in varved sediments from the oxygen minimum zone off Pakistan, north eastern Arabian Sea[J]. *Quaternary Research*, 51: 39~ 53.
- Wang Ende, Wang Danli and Wang Yi. 2001. A study on the role of bacterial action in the formation of iron minerals[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(4): 414~ 418(in Chinese with English abstract).
- Wang Huizhong. 1993. The study to lacustrine rhythmite[A]. Wang Pinxian, Liu Chuanlian. The Study Technique to Paleolimnology of Oil\_bearing Basin[C]. Beijing: Ocean House, 36~ 57(in Chinese).
- Wang Huizhong and Mei Hongming. 1998. Paleolimnological information from the oil shale in the Lower part of sha 3 Formation, in Dongying Depression[J]. *Journal of Tongji University*, 26(3): 315 ~ 318(in Chinese with English abstract).
- Wang Pinxian. 1993. From lithofacies paleogeography to Paleolimnology\_the new method of study to terrestrial oil\_bearing basin[A]. Wang Pinxian, Liu Chuanlian. The Study Technique to Paleolimnology of Oil\_bearing Basin[C]. Beijing: Ocean House, 1~ 12(in Chinese).
- Zhai Qiumin, Li Rongquan and Guo Zhiyong. 2002. Annual laminations of grain size in Angulinuo Lake and the environmental changes in Bashang Plateau[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 22(3), 331~ 335 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Rongcai, Peng Jun and Wu Chaorong. 2001. Grade division of base level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19(2): 249~ 254(in Chinese with English abstract).
- Zolitschka B and Negendank J F W. 1999. High\_resolution records from European lakes[J]. *Quaternary Science Review*, 18: 885~ 888.
- Zou Emci, Xiong Xuejun and Guo Binghuo. 2001. Characteristics and seasonal variations of the thermocline and halocline in the Huanghai Sea and the East China Sea[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas*, 19(3): 8~ 17(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白虹, 华锋, 冯志纲, 等. 2002. 东海透光度分布的夏季特征及其与陆架悬浮体运移的关系[J]. *海洋科学*, 26(5), 45~ 47.
- 曹建廷, 王苏民, 沈吉. 2000. 近千年来内蒙古岱海气候环境演变的湖泊沉积记录[J]. *地理科学*, 20(5): 391~ 395.
- 储国强, 刘嘉麒, 刘东生. 2000. 中国玛珥湖中两种沉积纹层的辨识及意义[J]. *科学通报*, 45(14): 1553~ 1555.
- 邓宏文, 钱凯. 1993. 沉积地球化学与环境分析[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 4~ 45, 69~ 147.
- Håkanson L, Jansson M. 郑光膺译. 1992. 湖泊沉积学原理[M]. 北京: 科学出版社, 4~ 22, 144~ 190, 200~ 210.
- 胡春燕, 刘立. 1998. 高频湖相沉积节律研究的新进展[J]. *世界地质*, 17(2): 14~ 17.
- 贾建业, 汤艳杰. 2001. 环境演变的矿物标识研究新进展[J]. *岩石矿物学杂志*, 20(4): 419~ 424.
- Kelts K. 1991. 湖相油源岩的沉积环境: 绪论[A]. 汪品先, 刘传联, 陈嘉树, 等. 古湖泊论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 27~ 51.
- 李培良, 戚建华, 方欣华. 2000. 1997年11月南沙群岛调查海区的跃层特征[J]. *海洋湖沼通报*, 1: 1~ 6.
- 刘传联, 徐金鲤. 2000. 济阳坳陷下第三系颗石藻类化石的分布及与油气的关系[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 20(3): 73~ 76.
- 刘传联, 舒小辛, 刘志伟. 2001. 济阳坳陷下第三系湖相生油岩的微观特征[J]. *沉积学报*, 19(2): 293~ 297.
- 刘东生, 刘嘉麒, 吕厚远. 1998. 玛珥湖高分辨率古环境研究新进展[J]. *第四纪研究*, 4: 290~ 295.
- Talbot M R. 1991. 湖相生油岩的成因: 来自热带非洲湖泊的资料[A]. 汪品先, 刘传联, 陈嘉树, 等. 古湖泊论文集[C]. 北京: 海洋出版社, 52~ 66.
- 王恩德, 王丹丽, 王毅. 2001. 铁矿物形成过程中的细菌作用研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 20(4): 414~ 418.
- 王慧中, 梅洪明. 1998. 东营凹陷沙三下亚段油页岩中古湖泊学信息[J]. *同济大学学报*, 26(3): 315~ 318.
- 王慧中. 1993. 湖相沉积韵律及其研究[A]. 汪品先, 刘传联. 含油盆地古湖泊学研究方法[C]. 北京: 海洋出版社, 36~ 57.
- 汪品先. 1993. 从岩相古地理到古湖泊学——陆相含油盆地研究的新途径[A]. 汪品先, 刘传联. 含油盆地古湖泊学研究方法[C]. 北京: 海洋出版社, 1~ 12.
- 翟秋敏, 李容全, 郭志永. 2002. 坝上高原安固里淖粒度年纹层与环境变化[J]. *地理科学*, 22(3): 331~ 333.
- 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 2001. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. *沉积学报*, 19(2): 249~ 254.
- 中国科学院兰州分院. 1994. 青海湖近代环境的演化和预测[M]. 北京: 科学出版社, 112~ 167.
- 邹娥梅, 熊学军, 郭炳火. 2001. 黄、东海温盐跃层的分布特征及其季节变化[J]. *黄渤海海洋*, 19(3): 8~ 17.