

鄂尔多斯盆地东南部延长组  
湖盆致密砂岩储层层序  
地层与油气勘探

谢 渊 王 剑 刘家铎 王生朗  
李春玉 谢正温 罗建宁 张哨楠 李静群 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

我国陆相盆地众多，陆相湖盆成油特点显著，湖盆致密砂岩越来越成为油气勘探深入与突破的一大热点和难点。运用层序地层学理论和方法，结合储层地质学研究理论和手段，进行湖盆致密砂岩成因与展布的系统深入研究，已经成为湖盆致密砂岩储层油气勘探的关键技术支撑。

本书以鄂尔多斯盆地东南部油气勘探程度相对较低的富县地区延长组致密砂岩为研究对象，应用陆相层序地层学、储层沉积学、储层地质学及微量元素地球化学等理论和测试手段，系统研究了该区延长组沉积相、层序地层及储层特征，综合分析了致密砂岩储层的成因与分布和层序地层格架内生储盖组合特征及其分布、油气成藏条件及主要成藏模式，并对有利油气勘探区块进行了预测与评价，为该区延长组油气勘探的深入提供了重要的科学依据。

本书适合于从事沉积、地层、油气等方面研究的教学、科研及生产人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

鄂尔多斯盆地东南部延长组湖盆致密砂岩储层层序地  
层与油气勘探/ 谢渊等著. —北京: 地质出版社,  
2004. 6

ISBN 7-116-04126-5

. 鄂 ... . 谢 ... . 鄂尔多斯盆地 - 砂岩 -  
地层层序 - 研究 鄂尔多斯盆地 - 油气勘探 - 研究  
. P618 . 130 . 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 057952 号

EERDUOSIPENDI DONGNANBUYANCHANGZU HUPENZHIMISHAYAN  
CHUCENG CENGXUDICENG YU YOUQIKANTAN

责任编辑: 徐建峨 白 铁

责任校对: 田建茹

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010) 82324508 (邮购部); (010) 82324579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: [zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京印刷学院实习工厂

开 本: 787 mm × 1092 mm <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张: 9.75 插页: 2 页 彩页: 4 页

字 数: 200 千字

印 数: 1—700 册

版 次: 2004 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 40.00 元

ISBN 7-116-04126-5/ P·2485

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

# 前 言

我国陆相沉积盆地众多，油气资源丰富。我国几代石油地质学家，从陆相沉积盆地的具体条件出发，突破国外曾经盛行的“陆相贫油”、“中国贫油”的观念壁垒，引领我国石油工业走过了自1907年陕北延长油矿第一口油井完钻至今近百年的辉煌发展历程，创建并依靠中新生界陆相成油理论，建立起了拥有500多个油田和170多个气田、油气产能居世界第五位的石油工业大国。近百年的油气勘探发展表明，引进国外先进的油气地质理论，并结合我国含油气盆地自身特点，开创具有中国特色的陆相油气地质理论，是我国石油工业快速发展的根本动力源泉。

## 一、陆相沉积盆地油气地质特征

陆相盆地经历了多旋回的构造运动、明显的周期性气候变化，因此陆相沉积具有韵律性、旋回性及周期性强的显著特点，发育复杂多变的沉积体系，出现各种不同规模的不整合界面，表现出油气分布复杂、油气藏类型多样、油气藏完整程度不等以及油气层物性差异较大的强烈的非均一性。但总体上，我国陆相沉积盆地油气地质特征明显（李国玉，2001）。

1) 烃源岩系厚度大，油气资源丰富。烃源岩厚度一般为数百米到1000多米，最厚达2000 m；有机质含量高，有机碳含量在半深湖深湖亚相生油岩达1.2%~3.5%，在半深湖浅湖亚相为1.0%~1.3%；油气资源丰富，截止到1998年，我国陆相石油资源量达980亿吨。

2) 储集层成因类型复杂，包括山麓、冲积平原、三角洲及湖泊相4种大的成因环境。而湖盆三角洲相沉积是鄂尔多斯盆地延长组最主要的储层成因类型。

3) 含油气层位分布广但又相对集中，从元古宇震旦系到第四系都有油气分布，但已探明的90%油气储量产于中新生界陆相湖盆沉积之中，其中分布于白垩系、第三系的占74%。

4) 单个盆地含油层系多、勘探领域广，一个盆地往往发育几大套含油气层系，常常出现满盆含油的局面（如东营、泌阳、辽河两斜坡、大民屯等）。但由于岩性变化大、出油气点多且难以连片，构造、地层及岩性含油气单元条块分割，因此，勘探难度大。

5) 单个油气田油气层层数多、厚薄并存，以砂岩为主。一般盆地中发育数十个小油层，但油层的单层厚度较小，一般为几米，而达到数十米的较少。

6) 油气运移距离短。一般陆相盆地受本身面积较小、沉积地形起伏不平及差异构造升降等因素的限制而发育多个生油凹陷中心。油气运移距离为50 km左右，如鄂尔多斯盆地油气运移距离一般小于40 km，最大为60 km。因此，油气及油气田的分布多受到生油凹陷的明显控制。

7) 油气圈闭类型多种多样，发育构造、地层、岩性及其复合类型的4类圈闭。其中

勘探难度较大的地层、岩性圈闭较为发育，但它们可形成数千平方公里面积的大油气田，如鄂尔多斯盆地的长庆气田（达 4 000 km<sup>2</sup>）。

8) 油气资源探明程度低。从 1994 年对我国 150 个盆地和地区涉及 430 × 10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> 的沉积岩区的油气资源评价得出，全国石油、天然气资源量期望值分别达 940 × 10<sup>8</sup> t、38 × 10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>，而石油和天然气资源探明程度分别为 27.6% 和 6.85%。

9) 未勘探领域广阔，且勘探潜力巨大。未勘探的新区有华中、河西走廊、西藏羌塘盆地等，老区尚有未重点勘探的深层和浅层，以及还未发现的地质单元。近年来，济阳拗陷渤深 6 井、东濮凹陷前 8 井、高邮凹陷富深 1 井、淮北凹陷央 6 井、盐城凹陷盐参 1 和盐城 1 井及泌阳凹陷多口探井均在深层获工业油流，揭示东部老区深层勘探具有良好的勘探前景；同时济阳拗陷东营北带及垦东北部馆陶组、高邮凹陷许浅 1 井、百色盆地祥浅 1 井和伏浅 1 井等均获浅层工业油流或天然气，表明浅层油气亦具有一定勘探前景。

10) 每年新增的石油天然气储量多数在陆相沉积盆地中。近年来，鄂尔多斯盆地大气田和油田以及我国东部老区新层、深层及浅层均在陆相沉积中取得新的油气勘探突破。中国石油化工集团 2001 年新增的石油储量中，东部陆相沉积油气储量占 77.2%。

11) 致密低渗透储集层油气和稠油勘探潜力很大。许多陆相盆地目前都面临储层致密的严峻现实。据不完全统计，致密砂岩油层中大约有 30 × 10<sup>8</sup> t 的储量不能开采；浅层、深层稠油储量较多。

通过近百年的油气勘探，尤其是新中国成立以来 50 多年，人们已经充分认识到我国陆相沉积盆地油气地质特征，总结出了以下油气勘探模式（李国玉，2001）：

1) 大型古隆起区油气富集带，如威远大气田等。

2) 大型沉降中心构造带，如胜坨油田等。

3) 大型背斜构造带，如松辽盆地大庆长垣油田等。

4) 大型断裂带，如大港断裂带的大港油田、东辛断裂带的东辛油田以及克乌断裂带的克拉玛依油田等。近年又在西部山前逆冲带获得新发现，如塔里木盆地南天山山前逆冲带的克拉 2、大北、依齐克里克等油气田，准噶尔盆地的北天山山前呼图壁气田、卡因迪克油田，并且酒西盆地南缘祁连山山前推覆构造带的窟 4、5、8 井也获重大突破。

5) 大型斜坡带，如辽河油田西斜坡的高升、曙光及双喜岭油田。近年在以层序地层学理论为基础的“坡折带低位扇”模式指导下，在东营凹陷陡坡带砂砾岩扇体（沙河街组、馆陶组）和缓坡带岩性（构造岩性）油气藏勘探中均取得新进展。

6) 大型地层、岩性尖灭带，如鄂尔多斯盆地马岭油田等。近年在济阳拗陷东营北带、东濮凹陷马寨柳屯环洼带、惠民凹陷临南洼陷带、高邮凹陷深凹带、潜江凹陷潜江组、金湖凹陷崔庄以西、百色盆地东部拗陷北部等地，运用层序地层学等理论和方法新发现一批岩性、构造岩性隐蔽性油气藏，揭示了隐蔽油气藏勘探是现代油气增储上产的一个重要领域。

7) 大型不整合带，如准噶尔盆地克拉玛依油田等。

## 二、致密砂岩储层研究进展与前景

长期的油气勘探表明，凡是大油气田，均与良好的储集层有关；凡是差油气藏，无不与性质不良的储集层联系在一起（李国玉，2001）。因此，储层是制约沉积盆地、油气田

储量和产能大小的关键因素。随着油气勘探的深入及新理论、新技术方法的不断提出与应用，构造油气藏勘探技术更为成熟，地层、岩性及其与构造叠加控制的隐蔽油气藏日益成为油气勘探面临的重要方向，而储层已成为影响和制约这些隐蔽油气藏勘探的关键和难点。因此，当今不断涌现的许多油气勘探新理论和技术方法，无不是瞄准制约油气勘探进程与突破的储层问题，储层已成为目前油气勘探最关注的核心内容之一。

油气储层主要包括碎屑岩和碳酸盐岩两大类。其中砂岩又是最重要的碎屑岩储集层类型，世界上 60% 以上的油气储量和 60% ~ 70% 的产量都产于其中，全球 266 个大油气田中 62% 的油气来源于此；我国已探明石油储量的 90% 储存于砂岩中（李彦芳等，1993）。而在砂岩储层中，湖盆成因砂岩又占有极其重要的地位，具体包括三角洲河口砂坝、分流河道、近岸砂坝、浊积砂体等多种沉积成因。在我国、美国、澳大利亚及中亚等国家和地区就广泛发育湖盆成因砂岩储层。因此，湖盆砂岩储层的类型、展布和物性条件，历来是砂岩油气勘探关注的焦点。鄂尔多斯盆地上三叠统延长组则是我国湖盆三角洲砂体储层发育的一个典型代表。

随着油气勘探开发的深入及新理论、新技术方法的不断提出与应用，常规砂岩储层研究逐步完善，而一种极具工业潜力和经济潜能的储层类型——致密砂岩储层也逐渐被人们所认识。自 20 世纪 70 年代以来，致密砂岩储层中油气储产量快速增长。致密砂岩油层中大约有  $30 \times 10^8$  t 的储量未能开采，其潜在的经济效益愈加引起石油地质学家所关注。近年来，世界上许多特大型、大型的油气田都相继进入高含水开发后期，但目前只有 40% ~ 50% 的采收率，砂岩储层中仍有很大比例的可驱动残余油，有待进一步开发。正因为如此，许多油气地质学家都已把注意力转移到储层的精细研究之中，尤其是致密砂岩储层的深入研究。

我国陆相含油气盆地致密砂岩储层较为发育，鄂尔多斯盆地上三叠统延长组就发育全国有名的低渗透致密砂岩储层，四川盆地西部上三叠统香溪群也发育典型的致密砂岩储层（须家河组平均孔隙度 4%，渗透率大多小于  $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ），但它们却能成为主要的油气产层，并不断有新的油气勘探突破。无论在我国东部老区还是西部新区，油气勘探对象愈来愈复杂、难度越来越大，隐蔽型油气藏比例显著增大，低渗透致密油气藏比例增加。因此，致密砂岩储层的研究，日益成为我国陆相沉积盆地油气勘探所面临的新的课题。

然而，许多地质因素的共同影响导致致密砂岩储层的发现和预测非常困难，即使是在现今的条件下，对于致密砂岩储层的经济评价依然存在许多限制。而由于砂岩储层的展布与物性条件既受到沉积环境的先天性控制，又经历了成岩作用的极大影响，因此对致密砂岩储集层预测与评价的研究一般主要从以下两个方面去展开。

第一是沉积与致密砂岩储层方面。沉积对致密砂岩储集层的形成有着先天性的影响，不同的沉积动力环境、物源供给条件、构造背景将导致储层岩石物质组分的差异，并对致密砂岩储层的结构、孔隙的最终形成产生深远的影响，细致的沉积岩石学研究可为此提供充分的证据。同时，应用层序地层学理论和方法通过对一系列层序界面所限制的、有成因联系的沉积岩石组合的展布研究，已经成为预测致密砂岩储层分布的极其有效的手段。

第二是成岩作用与致密砂岩储层方面。对于成岩作用对致密砂岩形成的影响关系，国内外地质学家做了大量工作。一般认为，机械压实作用和化学胶结作用在岩石原始沉积组分和结构的基础上，对致密砂岩储层的形成起到近乎决定性的作用，然而对许多致密砂岩

中所发育的次生孔隙的成因解释还有待深入具体地研究。在国外，以 Surdam 等（1987），Mac Gowan（1984）和 Meshri（1986）等为代表的学者们，从有机与无机相互作用，对储层成岩作用和次生孔隙的形成演化做了非常出色的研究工作；通过实验模拟较好地解释了长石的溶蚀机理和次生孔隙的形成，提出有机质演化过程中所释放的有机酸导致了大量长石的溶蚀，形成了较好的储集空间类型。Pittman 和 Larese（1991）对不同类型岩屑砂岩的压实模拟，揭示了不同地质条件下岩屑砂岩的压实过程和原生孔隙随压实过程而改变的历程。Bjørlykke（1992）对有机酸在次生孔隙形成中的作用也提出质疑，他发现在远离产生有机酸的烃源岩的浅部地层中，也发育有因长石溶解而形成的次生孔隙。在国内，朱永铭提出，四川盆地上三叠统香溪群砂岩原生孔隙减少的主要地质作用是胶结作用而非压实作用；朱国华（1985）研究证实鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组油气藏是由浊沸石溶解作用形成的次生孔隙油气藏；黄思静等对不同温度和压力条件下，乙酸有机溶液对长石砂岩中长石和钙质的溶蚀实验，揭示了 Na、K、Al、Si、Mg 元素的溶蚀迁移浓度；张哨楠（1997）通过储层地球化学和成岩作用研究指出，四川盆地上三叠统香溪群致密砂岩储层的形成除了压实作用的重要影响外，最主要的原因是石英的次生加大、大量自生粘土矿物的沉淀和晚期碳酸盐矿物的交代、胶结作用；黄思静等（2003）提出，鄂尔多斯盆地上三叠统延长组致密砂岩储层中次生孔隙的形成与印支期暴露时间间隔中大气水的溶解作用有关，而不是埋藏成岩过程中有机酸的溶解作用所致。

由此可见，关于致密砂岩储层形成的研究已经取得很大的进展。但是，一个地区或油田不同类型的成岩作用对致密砂岩储层影响的强弱仍是一个非常复杂的问题，也是制约致密砂岩储层预测与评价的一个重要方面，必须从其具体地质背景条件进行细致分析，并通过深入的岩石学、地球化学研究才能得出较好的解释。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组致密砂岩储层研究成果丰富，普遍认为岩石粒度较细、压实和胶结作用强烈是导致储层低孔低渗的主要地质因素。盆地中部安塞、靖边等地延长组砂岩浊沸石次生溶孔发育，对储层质量具有明显的改善作用；但是，在盆地东南部的富县等地，延长组砂岩浊沸石次生溶孔并非发育普遍，而且，尽管这些地区毗邻能够产生大量有机酸的生油凹陷，但储层岩石并未因此而发育有机酸溶蚀孔隙，储层物性也并未因此而有显著改善，特低孔渗储层的普遍存在成为导致该区延长组油气勘探进展缓慢的主要因素之一。因此，深入开展该区致密储层的形成与分布已是油气勘探取得突破的当务之急。

### 三、湖盆层序地层学与致密砂岩油气勘探

随着油气勘探开发的深入及新理论和新技术方法的不断提出与应用，构造油气藏勘探技术更为成熟，地层、岩性及其与构造复合的隐蔽油气藏、致密砂岩油气藏成为油气增储上产新的增长点，中国石油化工集团 2001 年新增储量中地层、岩性油藏储量达到 50.9% 以上，达  $1.02 \times 10^8$  t。如何对这些非常规油气藏进行卓有成效的勘探，如何对致密砂岩储层的分布进行预测与评价，已成为当今油气勘探面临的重要方向，同时也对新的理论和技术方法的应用提出了紧迫而又现实的要求。

---

朱永铭等，1988，川西坳陷（以东坡为主）上三叠统致密砂岩的岩石学特征（研究报告），成都地质学院。

黄思静等，1992，碎屑岩骨架组分和碳酸盐岩溶蚀成岩过程的实验模拟研究（研究报告），长庆石油管理局。

20世纪80年代以后蓬勃发展起来的层序地层学，正是一个综合了有关油气储层质量和分布的主要控制因素、并充分考虑了许多经济评价因素的新概念和新技术，它为油气勘探中烃源岩、储层、盖层的预测、圈定及描述提供了强有力的技术支撑，为非构造隐蔽油气藏的勘探开发提供了新的思路和技术保证，为陆相沉积盆地地层、岩性等复杂的隐蔽油气藏的勘探增添了新的手段，为相变频繁的湖盆致密砂岩油气勘探和开发指明了方向。

我国先后引进并创造性地应用和发展了经典层序地层学、成因层序地层学及高分辨率层序地层学理论和方法，形成了颇具中国特色的陆相层序地层学理论和研究方法，并在我国各主要含油气盆地油气勘探中进行了不同程度的应用研究，对油气生储盖组合的预测、储层分布范围的圈定和描述起到了重要作用。最近几年来，通过应用层序地层学理论和其他油气勘探技术，在大庆油田、辽河油田西斜坡的高升、曙光及双喜岭油田，东营凹陷陡坡带和缓坡带，东濮凹陷马寨柳屯环洼带，惠民凹陷临南洼陷带，高邮凹陷深凹带，潜江凹陷潜江组，金湖凹陷崔庄以西，百色盆地东部坳陷北部等地，新发现一批岩性、地层、构造岩性隐蔽性油气藏，尤其是济阳坳陷一批新的岩性隐蔽油气藏的发现，很大程度上得益于以“坡折带低位扇”为代表的层序地层模式的指导。这些成果，充分体现了层序地层学在隐蔽油气藏勘探中的良好应用前景。

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组作为一套内陆坳陷湖盆三角洲和湖泊相碎屑岩沉积，是一个以地层、岩性油气藏为主、砂岩致密、储层非均质性强、油水关系复杂、油气资源潜力巨大的重要油气目的层。在其自上而下的10个油层组中，长1、长2、长3、长6及长8油层组为区域性工业油层，油藏和油田分布基本上受到延长组生油凹陷的控制，主要集中于盆地中东部的北东向延伸的安塞、延河三角洲与南北向延伸的志丹、吴旗三角洲，三角洲砂体的发育决定了油藏或油田的分布范围和储产量的大小。

富县地区位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡一级构造单元东南，处于延长组富县三角洲与黄陵三角洲之间。自20世纪70年代在该区西侧发现了盆地石油会战以来的第一个延长组油田——直罗油田（主产层为长1、长2油层组）之后，尽管在牛武、直罗、张村驿等地重点对延长组长6油层组以上的浅部目的层进行了较多油气勘探工作，但并未能取得大的突破。1995年以来，中原油田在该区把勘探重点转向延长组长6油层组以下深层直至古生界，在延长组中新发现了丰富的油气显示，部分钻井初产获工业油流。但是，尽管该区紧邻延长组生油凹陷，油源充足，但总体上仍面临“井井见油，口口不流”、“三低一无”（低压、低产、低渗和无气）的尴尬困境。其主要原因在于，该区延长组沉积相横向变化频繁而垂向演化又具多旋回性，储层空间展布复杂且非均质性强，储层主要为低孔渗、小孔喉砂岩；加之本区延长组呈一平缓单斜（倾角小于 $1^\circ$ ，坡降比为 $6\sim 8\text{ m/km}$ ），而仅发育勘探难度大、隐蔽性强的岩性、地层型圈闭。因此，制约该区油气勘探的关键因素在于致密砂岩储层的形成与分布规律研究程度不高，运用层序地层学对湖盆致密砂岩储层的形成与分布研究已经显得极为迫切。

#### 四、研究思路与编写分工

本书综合运用现代沉积学、经典层序地层学、储层沉积学、储层地质学、微量元素地球化学及地质统计学，在前人工作的基础上，综合利用钻井岩心、测井、露头剖面等资料，从分析岩相、测井相及沉积微相的垂向演化序列入手，结合地球化学测试分析成果，

对内陆拗陷湖盆延长组层序地层形成、演化及其受控因素进行了细致研究，并重视分析物源方向和供给条件、湖平面变化对延长组层序地层的形成与演化的控制关系；进一步揭示本区延长组三角洲储集砂体平面展布样式、垂向叠置方式、形态及规模大小；并通过多种微观分析手段进行了细致的成岩作用与孔隙成因、演化分析，对致密砂岩储层的形成与分布进行了深入研究；综合储层孔隙结构特征和物性条件分析，进行了延长组致密砂岩储层评价；并通过层序地层格架内生储盖及其组合的分布关系研究，进行了油气藏模式的综合分析，最终进行了本区有利油气勘探目标区的预测与评价（图 0 1）。

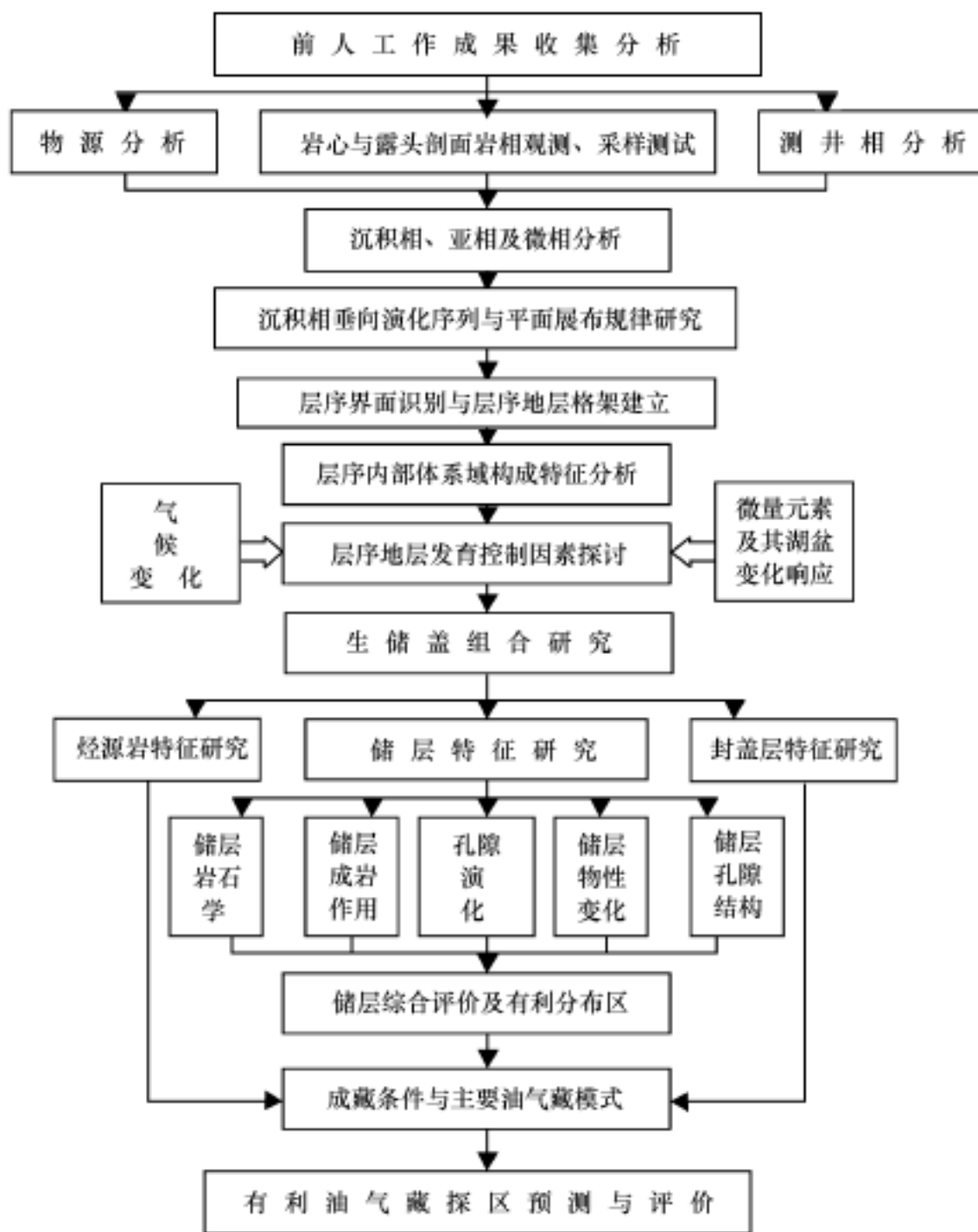


图 0 1 “湖盆致密砂岩储层层序地层与油气勘探”总体研究思路及流程框架图

通过研究，取得了以下 6 个方面的研究进展。

1) 在富县地区首次应用陆相层序地层学理论，对延长组湖泊三角洲沉积进行了系统的层序地层划分与对比分析；并建立层序地层格架，分析了层序地层内储层沉积相与砂体的展布规律，探讨了内陆拗陷湖盆层序地层发育演化的控制因素，从而丰富了内陆拗陷湖盆层序地层学的研究内容。

2) 初次应用泥岩常量和微量元素半定量的地球化学方法, 结合沉积学分析, 探讨了微量元素含量及其比值在剖面上的变化对富县地区延长期湖泊水体性质、湖平面升降及气候演变的响应, 认为湖平面升降、气候演变对层序地层的发育有着直观而又重要的影响。

3) 运用重矿物、古水流方向及沉积相展布等分析方法, 综合分析了晚三叠世延长期富县地区沉积物源方向及其供给变化, 探讨了它们对本区延长组层序地层和沉积相发育与展布的控制关系。

4) 全面研究了富县地区延长组主要油层组的储层岩石成因类型、成岩孔隙演化规律、孔隙类型与孔隙结构特征、储层物性及其分布特征, 尤其是深入分析了延长组低孔渗致密砂岩储层的成因。分析认为, 沉积相、成岩作用、较弱的构造破裂作用是控制或影响该区延长组压实胶结型低孔渗致密储层形成的主要地质因素。

5) 通过系统的储层评价得出, 受层序地层、沉积相及成岩作用的控制, 长 8、长 6、长 2 油层组是富县地区延长组 3 套主要储集层, 其中长 2 油层组储层最发育, 长 6 次之, 长 8 相对较差。富县牛武一带 F30 ZF3 ZF4 ZF2 井区与直罗—张村驿 F2 ZF22 ZF26 井区是该区的两个有利储层分布区, 具有储层沉积微相有利、储层砂岩富集、厚度较大、物性相对较好的特点。

6) 结合生储盖特征及其组合、成藏条件及主要成藏模式的综合分析得出, 区内主要发育受三角洲前缘和平原分流河道及前缘河口砂坝砂体控制的岩性油气藏, F30 ZF3 ZF4 ZF2 井区与 F2 ZF22 ZF26 井区具有毗邻生油凹陷、油源充足、储集条件较好、油气显示丰富、封闭条件较佳等有利条件, 是两个有利的油气勘探区块。

本书共分正文 7 章及前言、结语共 9 个部分。其中前言、第一章和结语由谢渊、王剑、刘家铎、罗建宁、张哨楠编写, 第二章、第三章由谢渊、谢正温、李静群编写, 第四章至第七章由谢渊、王生朗、李春玉、王剑、刘家铎、罗建宁、张哨楠编写。全文由谢渊统稿, 最后由王剑、刘家铎和罗建宁审定。

本书的编写, 承蒙刘宝骥院士的指导; 得到成都地质矿产研究所的大力支持, 以及朱忠发、闵际坤、吴剑、李明辉等同志的热情帮助; 得到中原石油勘探局勘探开发研究院及陕北研究室刘绍光、吕小理、刘新刚、王鑫峰、杨丽英、樊孝峰、邓君和科技管理科、岩心室及分析化验中心等部门的支持; 得到成都理工大学郑荣才、田景春、陈洪德、黄思静教授及研究生处、沉积所、石油系、图书馆等部门的宝贵指导和帮助; 得到了陕西省区调院野外工作的有力的支持; 得到了黄飞、彭真明、安鸿伟、顾乔元、徐峰、孟万斌、伍新和、李琦、刘春惠、杜江、冯凯、彭军、侯中健、张学庆、彭陪好等同志的帮助。

在此谨致以最衷心地感谢!

# 目 录

前 言	
第一章 湖盆层序地层学研究现状与前景	(1)
第一节 层序地层学的形成与发展	(1)
一、层序地层学发展阶段	(1)
二、层序地层学研究进展	(2)
第二节 湖盆层序地层学研究现状与挑战	(5)
一、湖盆层序地层学研究现状	(5)
二、湖盆层序地层学面临的挑战	(6)
第二章 鄂尔多斯盆地东南部三叠系延长组油气勘探概况	(12)
第一节 鄂尔多斯盆地三叠系延长组油气勘探现状	(12)
一、延长组油气勘探历程	(12)
二、延长组油气地质特征	(13)
三、延长组油气勘探进展	(19)
第二节 富县地区延长组油气勘探前景	(21)
第三章 富县地区地质概况	(22)
第一节 盆地构造与沉积演化	(22)
一、早古生代克拉通拗陷早期海相沉积阶段	(22)
二、晚古生代—中三叠世大型克拉通内拗陷晚期沉积阶段	(22)
三、晚三叠世—早白垩世陆内挤压前渊盆地陆相沉积阶段	(24)
四、新生代拉张断陷干旱陆相沉积阶段	(25)
第二节 富县地区地质概况	(25)
一、地理概况	(25)
二、构造特征	(25)
三、地层特征	(25)
第四章 富县地区延长组储层沉积相研究	(30)
第一节 沉积相类型及特征	(30)
一、岩相类型	(30)
二、测井相类型及其对沉积相的响应	(31)
三、沉积相类型	(33)
第二节 延长组重点油层组沉积亚相空间展布与砂体成因	(41)
一、长 8 油层组	(42)
二、长 6 油层组	(42)
三、长 2 油层组	(45)

第五章 富县地区延长组层序地层分析 .....	(46)
第一节 陆相层序地层学研究思路与方法概述 .....	(46)
第二节 层序各类界面及其构成单元的识别 .....	(46)
一、层序界面的识别 .....	(46)
二、准层序与准层序组边界、类型与识别 .....	(48)
三、初次湖泛面的识别 .....	(49)
四、最大湖泛面的识别 .....	(53)
五、沉积体系域的识别、划分及特征 .....	(53)
第三节 延长组层序地层划分与对比 .....	(54)
一、鄂尔多斯盆地延长组层序地层划分研究现状 .....	(54)
二、富县地区延长组层序划分及层序地层格架 .....	(55)
第四节 延长组层序地层特征 .....	(56)
第五节 层序地层控制因素分析 .....	(58)
一、构造升降的控制作用 .....	(60)
二、气候变化的控制作用 .....	(60)
三、沉积物源条件的控制作用 .....	(61)
四、相对湖平面变化的控制作用 .....	(66)
第六章 富县地区延长组储层特征与评价 .....	(71)
第一节 储层岩石学特征及其分布 .....	(71)
一、储层岩石学特征 .....	(71)
二、储集岩分布特征 .....	(72)
第二节 储层成岩作用与成岩阶段 .....	(75)
一、主要成岩作用类型及其特征 .....	(75)
二、成岩阶段划分 .....	(82)
第三节 储层孔隙类型与孔隙结构 .....	(83)
一、主要孔隙类型 .....	(83)
二、孔隙结构特征 .....	(85)
第四节 储层物性特征 .....	(89)
一、重点油层组储层物性特征 .....	(89)
二、孔渗与孔隙结构特征参数的关系 .....	(93)
第五节 储层控制因素分析 .....	(95)
一、沉积相与储层 .....	(95)
二、成岩作用对储层孔隙演化和储集性的影响 .....	(98)
三、裂缝作用对储层的影响 .....	(102)
第六节 储层评价 .....	(103)
一、储层评价方案 .....	(103)
二、各类储层评价 .....	(103)
三、重点油层组储层评价 .....	(105)
第七章 层序地层与油气勘探 .....	(108)

第一节 层序地层与烃源岩和盖层.....	(108)
一、层序地层与烃源岩 .....	(108)
二、层序地层与盖层 .....	(115)
第二节 层序地层与有利储层分布.....	(116)
一、层序地层与储层 .....	(116)
二、有利储层分布区 .....	(122)
第三节 层序地层与生储盖组合及成藏模式.....	(124)
一、层序地层与生储盖组合.....	(124)
二、主要成藏模式及其特征.....	(127)
第四节 有利油气勘探区带预测与评价.....	(131)
一、有利油气勘探区 .....	(131)
二、有利油气勘探区 .....	(132)
结 语.....	(134)
主要参考文献.....	(136)
图版说明及图版.....	(141)

# 第一章 湖盆层序地层学研究现状与前景

## 第一节 层序地层学的形成与发展

### 一、层序地层学发展阶段

20 多年来，地学领域所取得的意义重大的革命性进展之一，就是层序地层学的蓬勃兴起和广泛应用。层序地层学在对各种不同的盆地和构造位置中的相和环境变化的预测效果，以及对地层解释等许多方面的积极影响程度，不亚于板块构造对构造地质的影响。不仅如此，它还为油气勘探中烃源岩、盖层、油气储层的预测、圈定及描述提供了强有力的技术支撑。

层序地层学，是研究一系列以侵蚀不整合面或无沉积作用面及与之可对比的整合面为界的，具旋回性的，成因上有联系的，并可置于年代地层格架内的沉积岩层关系的一门地层学分支学科。它通过综合分析地震、岩心、测井、古生物及地球化学等资料，进行沉积盆地不同级序沉积地层单元的划分与等时性对比，建立层序地层格架，在整体统一的格架中研究沉积体系、沉积相的时空展布，重塑盆地沉积充填演化史，预测生储盖组合及地层、岩性油气圈闭的空间分布。它作为一种非常有效的理论和方法，已被广泛应用于沉积地层分析和油气勘探开发等许多领域。回顾它的发展历程，大致可分为 3 个阶段。

#### 1. 层序地层学萌芽阶段 (1948 ~ 1977)

最早在 1948 年美国地质学会举办的沉积相研讨会上，Sloss, Krumbein 及 Dapples 等就提出了“层序”这个新概念，认为“层序”是“一种以不整合面为边界的地质单位”。然而直到 20 世纪 70 年代，“层序”这一概念仍未得到普遍认可和应用，只是 1963 年 Sloss 在北美克拉通晚寒武世至全新世地层研究中，率先应用“层序”进行了地层划分，其后也仅有他的学生接受和应用了这一概念，并主要限于根据地表露头所见的区域不整合面对克拉通盆地进行地层层序划分。但这些研究为当今层序地层学的发展奠定了概念基础。正如 Vail 首次对层序地层学进行系统总结时所讲的那样，一些对今天的大学生是不言而喻的概念，在当时却遭到人们的嘲笑与反对；而也正是人们不轻易接受“层序”的这段历史，标志着诸如盆地构造沉降、海平面变化及沉积供给等这些重要的层序地层学概念从萌芽至逐渐建立并融入到地层综合解释的过程。

#### 2. 地震地层学成熟、层序地层学形成及发展阶段 (1977 ~ 1988)

20 世纪 70 年代末，《地震地层学》(Vail 等, 1977) 和《地震地层学在油气勘探中的应用》(Payton 等, 1977) 等著作的出版，标志着地震地层学已进入发展成熟期。直到 80

---

主要据 2001 年在武汉召开的“第二届全国沉积学大会”上，顾家裕教授报告的有关资料整理。

年代末的这一时期，地震地层学进一步完善和发展了层序的概念，明确层序是以不整合面及其与之可对比的整合面为边界，在成因上有联系的具有旋回结构的，并可置于年代地层框架的一套沉积地层；建立了一套主要依据地震资料进行层序分析的技术系统和方法体系 (Vail 等, 1977)；提出了利用地震反射界面上超点的迁移幅度研究海平面变化的方法 (Vail 等, 1977)，阐明了全球海平面变化具有相对一致性和海平面变化控制层序发育的观点；应用地震、钻测井资料确定和预测盆地地层结构、沉积相类型及其区域分布，建立了被动大陆边缘盆地地层分布模式，为此后建立具有成因意义的层序演化模式 (Posamentier 等, 1988; Galloway, 1989) 奠定了基础。因此，这一阶段对层序地层学的发展极其重要 (Van Wagoner 等, 1990)。

### 3. 层序地层学理论系统化与综合化发展阶段 (1988 年至今)

《海平面变化综合分析》(Vail, 1988)、《层序地层学工作手册》、《层序地层学基础》(Sangree 和 Vail, 1988)、SEPM 《层序地层学特刊》(Van Wagoner 等, 1988)，以及 Mitchum 等 (1991) 有关层序地层学著作的问世，标志着层序地层学进入了全面发展的新阶段。

1988 年，经典层序地层学理论体系宣告形成 (Posamentier 等, 1988)。它发展了沉积学中的层序、体系域等概念 (Mitchum, 1977; Brown 等, 1977)，并分别以初次海泛面和最大海泛面把一个完整的层序划分为 3 个体系域，详细定义了层序与层序类型、层序界面及类型、沉积体系域、初始和最大海泛面、层序级别、准层序和准层序组以及凝缩层和可容纳空间等一系列相关概念，突出地强调海平面升降变化的全球性和周期性，同时还强调构造沉降、全球海平面升降、沉积物供给速率及气候等 4 个基本变量对地层单元的几何形态与岩相组合的控制作用。

1989 年，出现了以 Galloway 为代表的成因层序地层学新学派。它以最大水进面（海泛面或湖泛面）泥岩沉积作为层序边界，强调在海平面或湖平面从下降到上升所完成的进积退积加积作用过程，形成一个完整的成因地层单元，层序内部具有向上变粗再变细的演化序列。由于最大水进面处的泥岩沉积在钻井岩心和露头剖面上易于识别，在测井剖面上有特征的响应，在区域上展布稳定，厚度薄并具极好的等时性，因而成因层序地层学被广大油气地质工作者较容易地应用于科研与生产实践中。

到 1994 年，Cross 等提出了高分辨率层序地层学这一新理论。它以全新的思路和技术方法，根据基准面旋回原理和可容空间变化原理，揭示基准面旋回层序与沉积动力学和地层响应过程的关系，研究相对应的沉积相演化序列，预测有利储集砂体的产出位置和发育情况。它强调基准面升降旋回取决于海（湖）平面变化、构造沉降、沉积负荷、沉积通量及沉积地形等综合因素，在一个基准面升降过程中形成的沉积充填序列即为一个差异层序单元，而层序界面对应于基准面下降到最低点的位置，既可位于沉积界面之上（相关整合面），也可位于沉积界面之下（不整合面或冲刷面），基准面旋回层序级次取决于地层基准面旋回周期的长短。该理论较好地解决了陆相盆地沉积层序对比分析的一些难题。

上述三大主要理论体系各放异彩，基本上代表了这一阶段层序地层学的突出进展，也代表了层序地层学进入到全面蓬勃发展、真正广泛应用的一个辉煌时期。

## 二、层序地层学研究进展

层序地层学研究取得的进展，主要集中于从 1988 年以来的第三发展阶段。此间，层

序地层学真正成为了地学一大亮点和热点，并取得了多方面、多层次的巨大进展。

### 1. 学派纷呈

从传统层序地层学发展到经典层序地层学、成因层序地层学、高分辨率层序地层学，三大主要理论体系齐放异彩，并成为层序地层学的三大主要流派和支柱技术体系。现在，还出现了不少新的层序地层学概念和发展方向。主要有：

1) 高频率层序地层学 (Van Wagoner 等, 1990)。其主要研究相当于 Miall 等 (1991) 和 Posamentier (1992) 划分的四至六级高频旋回层序的层序地层学。它不同于高分辨率层序地层学 (Posamentier, 1992; Cross, 1994)。高分辨率强调的是不同级次的基准面层序旋回的等时对比的高分辨率、高精度；而高频层序旋回是周期为米兰科维奇驱动的气候变化和短周期海平面的产物，大量发育于多数为自旋回的碳酸盐岩中，它具有局部或区域对比意义，如巴哈马群岛新近系泥灰岩、灰岩交互的进积型碳酸盐岩高频旋回的主要控制机制就是轨道岁差/旋回。

2) 生物层序地层学 (殷鸿福等, 1997)。它将层序地层学与生物地层学紧密结合，通过生物带“顶”、“底”相对位置，更精确地确定层序年龄、划分对比层序和恢复层序沉积环境。

3) 成岩层序地层学。它是把成岩作用和孔隙演化与海平面变化相联系的产物，它强调成岩微观资料在层序形成演化研究中的重要意义，因为成岩事件和成岩现象在层序界面的特征表现在一定程度上响应了沉积时期的海平面变化、构造抬升、气候变化等信息，因而能够为层序研究提供更有用的微观信息。如在挪威海域埋深很大 (大于 5000 m) 的早中侏罗世地层中，受层序地层的控制，进积作用期海水与淡水混合带向海方向迁移，而不太可能渗入滨海相砂岩形成高孔隙度储层；而在强烈加积作用时期，海水与大气淡水混合强烈并使滨海相砂岩发生较强的绿泥石沉淀作用，形成厚厚的绿泥石包壳而阻止后期硅质胶结作用的发生，从而局部发育高孔隙度 (>30%) 的优质储层。

此外，还涌现出了露头层序地层学、测井层序地层学、化学层序地层学、应用层序地层学以及层序充填动力学等新概念。

这些新的层序地层学概念的大量涌现，无一不是层序地层学引起人们广泛兴趣、百家争鸣的结果，无疑是它特有的魅力的具体体现，是人们倾注大量思索和实践的最好表白。

### 2. 研究对象与理论模式拓广

从被动大陆边缘盆地拓展到活动大陆边缘盆地 (包括造山带沉积盆地)、克拉通内陆拗陷盆地、裂谷盆地、断陷盆地等，从海相盆地拓展到陆相盆地，从滨浅海相硅质碎屑岩沉积拓展到海相碳酸盐岩沉积及海陆混合沉积，甚至发展到冰川沉积的层序地层学研究，层序地层学研究领域不断拓展。如 Davila 和 Roberto 对巴西潘雪拉盆地冰蚀谷充填的拉伯砂岩，对威斯特伐利亚阶 (C<sub>2</sub>) / 斯蒂芬阶 (C<sub>3</sub>) 进行层序地层学研究认为，冰积区的层序地层概念模型不同于一般的被动边缘盆地，主要区别在于冰积区海侵期具有很高的沉积供给和前积速率，而盆地中的主要退积作用和细粒物质沉积远离冰川中心。Camana 等对阿尔卑斯、撒丁岛、比利牛斯山脉、西班牙、瑞典和中国不同地质构造背景元古宙到中生代的硅化萤石、重晶石、含硫化物岩层硅化和矿化碳酸盐岩宿主岩层进行了层序地层研究。

相应地，层序地层模式的建立也取得很大发展，从最初被动大陆边缘层序地层模式的

建立发展到适合不同构造沉积背景盆地、不同类型沉积的层序地层模式。

### 3. 研究手段多样化

从最初主要依靠地震、钻井资料，发展到地震、钻井、测井、露头剖面、古生物组合及古生态、地球化学、成岩演化、磁性地层以及现代计算机技术等多种手段综合应用，研究手段越来越多样化，并开始实现宏观地质调查与微观测试分析、定性描述与定量刻画模拟的充分结合，更加强调多学科的交叉渗透与整合发展。如利用地面穿透雷达（GPR）对巴西潘雪拉盆地 Vila Velha 砂岩中冰川河道舌形体进行三级沉积层序海侵体系域的内部组成分析和三维几何形态的描述；利用深度分辨率相当于 10 m 的三维地震图像和测井资料进行四级高频层序体系域、层序边界和层序的识别与编图；用定量化的 FMI 图像测井资料校正高分辨率层序地层图，标定不同等级的沉积旋回，得出海侵期沉积较细、储层不发育，仅在海侵旋回的白云岩化部分发育高渗透储层，而海退期沉积物较粗、发育高孔渗透储层，尤其是海退的淋溶带发育高渗透储层；用碳酸盐岩碳、氧、锶稳定同位素定量测试手段（李儒峰；郑荣才等，1997；谢渊等，2002）研究海相层序地层的形成演化，揭示稳定同位素组成变化与海平面升降、层序形成演化的关系。

### 4. 研究精度极大提高

从最先主要研究三级层序，发展到对包括四至六级高频层序在内的多级别层序地层的研究，并以高分辨率地震、测井和精细露头层序地层学分析、高新测年技术等为依托，研究高频沉积旋回的成因与控制因素，对沉积演化史的刻画与层序地层的垂向演化及空间展布形态和样式的模拟再现更趋深刻与真实。如保加利亚东北部 Cape Kaliacra 剖面萨尔马特阶 11 m 厚，由 6 个风暴层（碳酸盐岩风暴层）与微晶灰岩交互沉积的高频层序旋回，每个风暴层沉积从一个侵蚀面开始，侵蚀面上由风暴流高峰期块状滞留沉积组成（灰质砾石），向上很快变为风暴回流的最后阶段砂粒级鲕粒灰岩（交错层理），风暴层上部由正常气候下海侵时期的微晶灰岩退积层序盖住；德国三叠纪干盐湖米级的砂岩碳酸盐岩页岩韵律旋回性沉积所反映的海侵海退或更好地解释气候潮湿干旱变化形成的沉积旋回是受 1 万年的米兰科维奇气候周期性变化的控制。

### 5. 生产应用要求提高及领域拓宽

层序地层学研究初期主要是为沉积盆地分析、储集体烃源岩盖层发育与分布的宏观预测等提供指导，现今已发展到为精细油藏描述、储集小层识别与对比，次生孔隙发育带预测、储层宏观微观非均质性描述、岩性地层型隐蔽油气藏的勘探，甚至油田开发动态模拟等多个领域服务；从服务于油气勘探程度低的地区发展到为勘探程度高的油气开发区甚至油气老区的促产挖潜提供技术支持。从最初主要为油气勘探服务发展到服务于煤田、油气以及其他矿产的资源评价、勘探开发等多个方面。

此外，还有学者对黑色页岩是海（湖）侵沉积的经典结论提出了疑义，认为湖泊相黑色页岩更有可能记录的是碎屑湖泊中低水位期间的沉积。因为根据包括瑞典下白垩统在内的全世界湖泊相黑色页岩的描述，有一个共同的特点：它们均直接与含盐和低水深环境相联系，沉积中发育泥裂、蒸发岩、白云岩、燧石、叠层石，具碳酸盐岩氧同位素正偏移以及高盐度的生物地球化学标志。气候变干旱也同时减少了碎屑溶解的供给和底水的通风换气性，从而有利于有机质的聚集和保存。因此，气候变化所决定的底水氧化作用强度和底水/沉积物的注入情况的变化，是控制湖泊小级别沉积旋回的主要因素，有机质的沉积

是介于碎屑沉积作用和化学沉积作用之间的一种地质作用。

综上所述，20多年来层序地层学理论的巨大发展及其在国内外油气勘探和地质研究等领域中的广泛而又有效的应用表明，它在许多方面明显优越于其他分支的地层学科：沉积解释比其他地层学更加符合客观地质实际；对生、储、盖层的时空展布具有更强的预测性和更高的预测精度；更有助于在油气勘探成熟的盆地和新的油气勘探盆地中发现新的油层；能帮助更为准确地计算盆地油气资源量和发现常规解释所遗漏的隐蔽油气圈闭及含油气远景区。正是由于层序地层学具有这些优越性，铸就了它旺盛的生命力，使它已经和正在并即将给地层学、沉积学及油气勘探等带来更具革命性的飞跃和发展。

## 第二节 湖盆层序地层学研究现状与挑战

### 一、湖盆层序地层学研究现状

陆相湖盆层序地层研究作为层序地层学的一个主要方面，自20世纪90年代以来，就成为了源于海相沉积研究发展起来的层序地层学发展史上的一大亮点。

陆相湖盆与海相盆地相比，存在诸多的差异：湖盆具有物源多且近、沉降中心多且迁移性强、相带窄且变化快、水域面积小且变化大等特点（Shanley等，1994）。除近海湖盆偶有“海泛”作用外，尚无资料表明湖盆中湖平面变化与全球海平面变化有任何关系（薛良清，1990），因此，一般湖盆的湖平面变化基本上不受全球海平面变化的影响。湖平面变化具有周期性和幕次性两种变化，其中湖平面的周期性变化与气候和季节的周期性变化有关，而幕式变化则主要由构造运动所致（解习农等，1996）。湖盆规模小，内部构造分异大，沉积及沉降速率差别明显，增加了沉积层序的复杂性和多样性。断陷湖盆层序的形成与演化主要受控于区域性构造事件或幕式构造旋回，复杂的构造格局和幕式构造作用导致层序样式的多样性和层序构成的复杂性（解习农等，1996）。

正因为二者存在这些差异，所以人们最初怀疑，从研究浅海相盆地发展起来的传统层序地层学理论，能适用于陆相盆地吗？

对此，近些年来国内外许多学者都作过努力探索。1991年在美国举行的NUNA会议，对层序地层学在陆相地层中的应用进行了专门探讨，认为经典的层序地层学原理和概念能有效地应用于陆相地层研究中；只要清楚而深刻地认识到层序地层原始模式是一种综合性概念，层序地层是受多种因素不同程度地影响、控制的叠加效应的产物，那么经典的层序地层学原理和概念就可以应用于不同构造沉积背景的地层划分对比与油气勘探预测之中。许多学者也认为，由于湖平面的变化对湖盆沉积作用的基本控制与相对海平面变化对浅海地层的控制极为相似（Shanley等，1994），因此尽管湖相层序地层单元厚度比相应的海相单元薄，但源于浅海沉积发展起来的层序地层学的基本原理和方法能容易地用于湖泊沉积研究（薛良清，1990）；而且湖盆构造运动的阶段性与气候变化的周期性在一定范围内的一致性也为层序的等时对比创造了可能，只不过陆相盆地层序地层的形成、发展、演化更多地受到构造、气候的影响（Miall，1986；Shanley等，1994；Aitken et al.，1995）。

目前，国内外均已大规模地运用传统层序地层学理论和方法，开展了陆相层序地层学研究；同时，成因层序地层学和高分辨率层序地层学在陆相沉积研究中也得到了广泛应