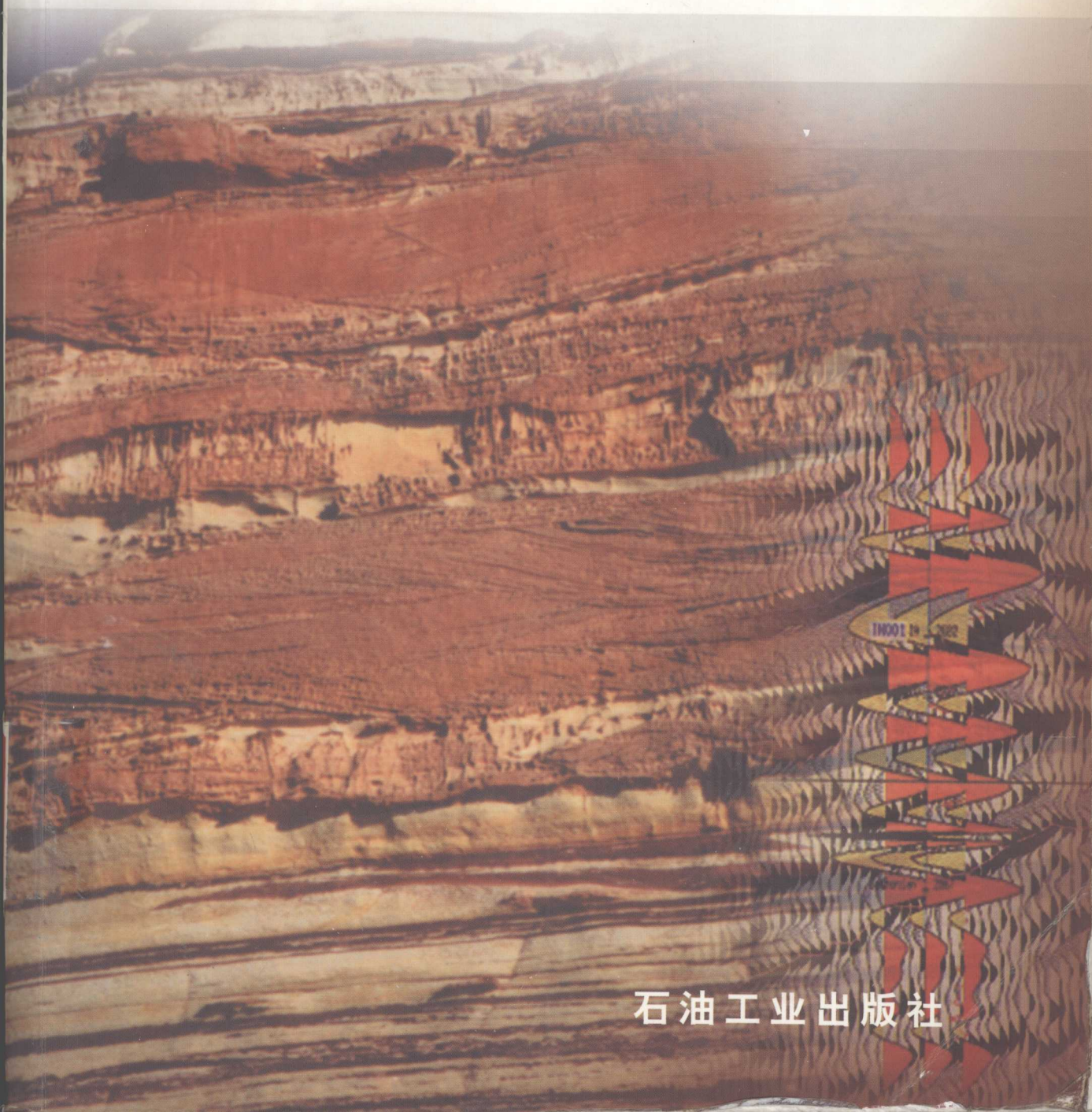


YOUQI CENGXU DICENG XUE

# 油气层序地层学

吴因业 顾家裕 编著



石油工业出版社

# 油 气 层 序 地 层 学

吴因业 顾家裕 编著

石 油 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

“层序地层学”是国际油气地质学界近十几年研究的热点之一。应用层序地层学研究含油气盆地是油气勘探中的新方法,也是识别和预测油气储层与油气藏的重要手段。本书分为两大部分,第一部分介绍层序地层学基本理论、术语和解释技术,包括含油气盆地层序地层格架的建立,体系域和准层序组的叠置关系研究,沉积体系类型与分布,储集体的展布规律,计算机工作站层序地层学解释与准层序建模技术以及隐蔽圈闭的油气藏勘探。第二部分主要介绍层序地层学技术在不同类型盆地如陆相裂谷盆地、含煤盆地和中国海相盆地的应用实例。

本书可供从事石油地质勘探与开发的科研人员及相关的大专院校师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

油气层序地层学/吴因业等编著.

北京:石油工业出版社,2002.6

ISBN 7-5021-3771-8

I. 油…

II. 吴…

III. 油气田—地层层序—研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第030301号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 16开本 30.25印张 4插页 771千字 印1—1500

2002年6月北京第1版 2002年6月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-3771-8/TE·2750

定价:70.00元

## 《油气层序地层学》编写小组

主 编：吴因业 顾家裕

成 员：(按姓氏笔画为序)：

王招明 申银民 孙玉善 刘 震 刘楼军

李维莲 吴因业 邵文斌 张建平 寿建峰

顾家裕 胡社荣 郭宏莉 郭彬程 祝厚勤

Cedric G.

## 序

“层序地层学”是国际油气地质学界近十几年研究的热点之一。应用层序地层学研究含油气盆地是油气勘探中的新方法，也是识别和预测油气储层与油气藏重要的一个手段。层序地层学研究为油气勘探提供了沉积地质基础，可指导隐蔽圈闭的油气藏勘探。中国陆上石油工业发展顺利，陆续发现了许多大型油气田，诸如大庆油田、胜利油田、新疆油田、塔里木油田、长庆油气田、四川油气田等等。面对国家经济发展对能源的需求，迫切要求我们寻找后备资源，不断发现更多新的油气田。要使油气勘探获得新的突破，需要不断使用新理论和新技术。

《油气层序地层学》一书乃作者多年来从事含油气盆地层序地层学和沉积储层研究成果的升华和结晶。该书是在吴因业等编著的《含油气盆地层序解释技术与应用》基础上经过补充修订而成，表现在以下几方面：①对层序地层学的基本原理和术语作了进一步补充和修订，尽可能与国际接轨；②增补了层序地层学建模技术方面的内容；③增加了中国海相层序地层学应用和计算机工作站层序地层学解释与准层序建模的研究实例；④提出了中国特色的陆相层序地层学方法和技术。《油气层序地层学》对含油气沉积盆地的层序地层学理论与技术进行了深入总结、探讨，并且具有不同类型盆地如陆相裂谷盆地、含煤盆地和海相盆地的层序地层学应用实例，是一部理论与实际相结合的著作，必将对油气勘探领域的生产与实践产生指导作用，促进石油地质理论的发展，具有重要的学术意义和实用价值。

中国工程院院士

仇见平

## 前 言

《油气层序地层学》一书乃笔者十几年来从事国内外含油气盆地层序地层学和沉积储层的研究成果,结合志同道合者的学术认识,对含油气沉积盆地的层序地层学理论与技术进行了深入总结、探讨,并且具有不同类型盆地如陆相裂谷盆地、含煤盆地和海相碎屑岩盆地的层序地层学应用实例,试图集理论性、实用性和信息性为一体,对油气勘探领域的生产与实践进行指导,促进石油地质理论的发展。《油气层序地层学》一书是在吴因业等编著的《含油气盆地层序解释技术与应用》基础上经过补充修订而成,表现在以下几方面:①对层序地层学的基本原理和术语作了进一步补充和修订,尽可能与国际接轨;②增补了层序地层学建模技术方面的内容;③增加了中国海相层序地层学应用实例和计算机工作站层序地层学解释与准层序建模的研究实例;④提出了中国特色的陆相层序地层学研究方法和技术。

层序地层学研究是沉积学和石油地质学的重要组成部分,作为一种成功的全球性理论,取得了飞速发展,在成熟、非成熟盆地的资源勘探与开发实践中,正发挥着巨大的作用。层序地层学以及油气系统研究最终都是为油气勘探服务,层序地层学是一切的基础,包括油气的生成和运移与聚集。油气勘探储量和产量的增加,总是离不开新技术的突破和新思维的产生,层序地层学正是一种新思维,它使人们在构造圈闭勘探遭遇困难的情况下看见了一道曙光,帮助人们寻找隐蔽油气藏。

该书共分五篇二十六章,第一篇分七章,主要介绍油气层序地层学理论、术语和层序解释方法与技术。第二篇到第五篇主要介绍层序解释方法与技术在具体含油气盆地或研究区块中的应用实例,后四篇的章节内容主要包括层序地层格架与体系域、沉积体系和储集体分布、层序演化与层序的生储盖组合以及油气储层的预测与评价。

油气勘探理论和技术的进步是解决各种地质问题的基础,而人才的培养是使得科技理论成为现实的关键(胡见义,2001)。本书的主体内容已经自1998年以来分别在CNPC研究生部开设的《层序地层学》课程和Petrochina新技术培训中,给硕士研究生、博士生和部分研究人员及工程技术人员讲授。

全书由吴因业博士和顾家裕教授编著,胡社荣教授、张建平教授、寿建峰教授、刘震教授和Cedric G. 博士等参与了部分章节的编写工作,吴因业负责最后统稿。

本书的出版得到了胡见义院士、中国石油天然气股份有限公司贾承造总地质师和中国石油天然气集团公司方朝亮处长等的大力支持。中国石油勘探开发研究院沈平平院长、赵文智副院长等和相关油田公司孙龙德副总经理等在研究工作中给予极大帮助。中国科学院刘光鼎院士等给予很大鼓励。书中引用了部分前人的研究成果与图件,在此一并表示谢忱。

但愿本书的出版能对广大石油地质工作者尤其是从事层序地层学研究、油气储层沉积学研究及油气勘探的同仁有所裨益。由于笔者水平和经验所限,书中难免缺点错误,欢迎读者批评指正。

吴因业\* 于北京2002年6月

---

\* 北京市910信箱(100083), wyy@petrochina.com.cn

# 目 录

## 第一篇 油气层序地层学理论与技术

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 第一章 油气勘探的新问题与新思维        | (1)   |
| 第一节 油气勘探与层序地层学          | (1)   |
| 第二节 中国陆相层序地层学基本特征       | (6)   |
| 第二章 海相层序地层学基本理论         | (15)  |
| 第一节 层序地层学发展历史           | (15)  |
| 第二节 层序地层学基本概念           | (20)  |
| 第三节 海相层序地层学基本原理         | (23)  |
| 第四节 基本研究内容              | (46)  |
| 第五节 层序地层学常用英文术语         | (54)  |
| 第三章 层序地层与油气系统           | (58)  |
| 第一节 层序地层格架单元的建立         | (58)  |
| 第二节 层序地层格架单元内的含油气系统事件   | (61)  |
| 第四章 层序地层学的地球物理研究方法      | (69)  |
| 第一节 测井层序分析技术            | (69)  |
| 第二节 地震层序分析技术            | (72)  |
| 第三节 地震数据体的处理与分析技术       | (83)  |
| 第五章 层序地层学的沉积地质研究方法      | (91)  |
| 第一节 露头高分辨率层序分析技术        | (91)  |
| 第二节 岩心高分辨率层序分析技术        | (92)  |
| 第三节 古生物遗迹化石分析技术         | (101) |
| 第四节 层序中的煤相有机相分析技术       | (112) |
| 第五节 计算机层序解释与处理          | (124) |
| 第六章 层序地层学在油气勘探开发中的应用    | (139) |
| 第一节 层序地层学的本质特征          | (139) |
| 第二节 层序和体系域与准层序边界        | (139) |
| 第三节 沉积相沉积体系的恢复          | (141) |
| 第四节 生储盖组合的预测与评价         | (143) |
| 第五节 有利储集体和隐蔽圈闭的预测与评价    | (144) |
| 第七章 中国特色的陆相层序地层学研究方法与技术 | (148) |
| 第一节 陆相层序地层学法则与研究流程      | (148) |
| 第二节 陆相层序边界的识别与层序框架      | (151) |
| 第三节 湖平面升降与湖盆体系域         | (156) |
| 第四节 陆相层序地层学研究主体内容与基本图件  | (160) |



## 第二篇 层序地层学应用：非洲 XX 白垩系陆相裂谷盆地

|                    |       |
|--------------------|-------|
| 第八章 区域地质背景         | (163) |
| 第一节 基本构造特征         | (163) |
| 第二节 古生物地层分布        | (165) |
| 第九章 层序地层格架         | (169) |
| 第一节 沉积层序特征         | (169) |
| 第二节 层序地层格架         | (178) |
| 第三节 地震相分析          | (179) |
| 第十章 沉积体系演化         | (187) |
| 第一节 层序 $SQ_1$ 沉积体系 | (187) |
| 第二节 层序 $SQ_2$ 沉积体系 | (196) |
| 第三节 层序 $SQ_3$ 沉积体系 | (199) |
| 第十一章 层序演化与生储盖      | (202) |
| 第一节 层序的生储盖组合预测与评价  | (202) |
| 第二节 储集体类型与分布       | (204) |
| 第三节 沉积中心与生油中心      | (205) |
| 第四节 层序演化与有利勘探方向    | (206) |

## 第三篇 层序地层学应用：中国西北侏罗系含煤盆地

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第十二章 区域地质背景                   | (208) |
| 第一节 西北地区侏罗系的地层分布              | (208) |
| 第二节 侏罗纪构造演化                   | (212) |
| 第十三章 层序边界及等时层序格架              | (216) |
| 第一节 新疆地区侏罗系盆地层序分析             | (216) |
| 第二节 西北青甘宁地区侏罗系沉积层序分析          | (218) |
| 第三节 陆相盆地层序与体系域的划分             | (221) |
| 第十四章 岩相古地理展布                  | (223) |
| 第一节 侏罗系沉积特征和沉积相类型             | (223) |
| 第二节 不同盆地群的岩相古地理               | (232) |
| 第三节 盆地沉积体系                    | (237) |
| 第十五章 西北侏罗系煤相分析                | (251) |
| 第一节 新疆地区侏罗系煤相分析               | (251) |
| 第二节 西北青甘宁侏罗系煤相分析              | (259) |
| 第三节 植物残体、孢粉及角质层分析             | (270) |
| 第四节 泥炭沼泽类型与沉积环境关系的初步讨论        | (274) |
| 第十六章 西北地区侏罗系储层特征、影响因素及有利区带的划分 | (276) |
| 第一节 储层特征                      | (276) |



|     |                           |       |
|-----|---------------------------|-------|
| 第二节 | 影响储层储集性因素分析·····          | (297) |
| 第三节 | 各盆地侏罗系储层综合对比及有利区带的分布····· | (300) |

#### 第四篇 层序地层学应用：准噶尔盆地东部侏罗系坳陷

|      |                                  |       |
|------|----------------------------------|-------|
| 第十七章 | 区域地质背景·····                      | (308) |
| 第一节  | 地层综述·····                        | (308) |
| 第二节  | 构造特征·····                        | (313) |
| 第三节  | 油气勘探简况·····                      | (314) |
| 第十八章 | 层序地层格架·····                      | (315) |
| 第一节  | 准噶尔盆地东部地区侏罗系层序边界的识别和层序格架的建立····· | (315) |
| 第二节  | 层序及其内部构成特征分析·····                | (320) |
| 第十九章 | 沉积特征及沉积体系·····                   | (325) |
| 第一节  | 沉积相判别标志·····                     | (325) |
| 第二节  | 沉积体系及其特征·····                    | (330) |
| 第三节  | 地震相特征·····                       | (334) |
| 第四节  | 岩相古地理特征·····                     | (336) |
| 第五节  | 沉积体系充填模式·····                    | (337) |
| 第二十章 | 侏罗系成藏条件分析·····                   | (338) |
| 第一节  | 准噶尔盆地东部地区生储盖特征·····              | (338) |
| 第二节  | 侏罗系油气藏类型及其分布规律·····              | (351) |
| 第三节  | 远景目标分析·····                      | (355) |

#### 第五篇 层序地层学应用：塔里木盆地海相石炭系 MM 区块

|       |                                  |       |
|-------|----------------------------------|-------|
| 第二十一章 | 区域地质背景·····                      | (357) |
| 第一节   | 基本构造特征·····                      | (357) |
| 第二节   | 区域地层和构造层·····                    | (359) |
| 第三节   | 区域沉积特征·····                      | (364) |
| 第二十二章 | 层序地层格架·····                      | (367) |
| 第一节   | 东河砂岩及下石炭统沉积层序分析基础·····           | (367) |
| 第二节   | 测井层序分析·····                      | (382) |
| 第三节   | 地震层序分析·····                      | (390) |
| 第四节   | 层序地层格架·····                      | (395) |
| 第二十三章 | 沉积相与沉积层序演化·····                  | (397) |
| 第一节   | 高分辨率层序框架与准层序组·····               | (397) |
| 第二节   | SQ <sub>2</sub> 层序薄层砂体沉积相分析····· | (399) |
| 第三节   | SQ <sub>1</sub> 层序东河砂岩沉积相分析····· | (401) |
| 第四节   | MM 油田的砂体展布特征·····                | (401) |
| 第五节   | 体系域与沉积层序演化·····                  | (403) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| <b>第二十四章 东河砂岩和上部薄砂体储层特征</b> ..... | (408) |
| 第一节 单井储层基本特征.....                 | (408) |
| 第二节 成岩作用及成岩演化史.....               | (424) |
| 第三节 储层质量控制因素分析.....               | (428) |
| 第四节 储层综合评价.....                   | (430) |
| <b>第二十五章 准层序组建模技术</b> .....       | (439) |
| 第一节 准层序组建模的基本原理.....              | (439) |
| 第二节 建模技术的数据准备与运行.....             | (451) |
| 第三节 MM 区块模拟结果与讨论 .....            | (451) |
| <b>第二十六章 层序演化与油气储盖组合</b> .....    | (466) |
| 第一节 沉积层序与油气储盖组合.....              | (466) |
| 第二节 有利勘探区带.....                   | (468) |
| <b>参考文献</b> .....                 | (471) |
| <b>图版</b>                         |       |

# 第一篇 油气层序地层学理论与技术

中国是一个陆相油气资源十分丰富的国家。研究证明属陆相石油的烃源岩绝大多数为湖盆沉积。层序地层学研究可以对盆地建立层序地层格架,分析沉积体系类型与分布,查明储集体的展布规律,提高生油中心与储集体的预测能力和精度,为油气勘探方面提供沉积地质基础。中国陆相层序地层学基本特征表现为陆相湖盆层序成因中,构造控制二级层序,气候控制四级层序。湖盆体系域可以有5种:湖盆低位体系域、湖侵体系域、高位体系域、湖退体系域和冲积体系域。陆相湖盆沉积中心区域往往沉积很厚的湖盆凝缩段,为陆相生油提供物质基础。准层序组界面的识别与对比是应用层序地层学的关键。含煤盆地区域性分布的等时煤层可作为准层序组界面。陆相湖盆具有多种层序地层模式,如坳陷型盆地层序模式、断陷型盆地层序模式和含煤盆地层序模式。陆相层序地层学研究可以指导隐蔽圈闭中的地层岩性油气藏勘探。

## 第一章 油气勘探的新问题与新思维

### 第一节 油气勘探与层序地层学

油气形成于沉积盆地,沉积盆地的形成和演化受到地质时代、构造背景和热体系的影响。到了20世纪80年代和90年代,随着油价的暴涨和猛跌,世界油气勘探经历了一次次高潮和萧条,图1—1,表1—1。可是,油气的新发现总离不开新观念新思维的产生。

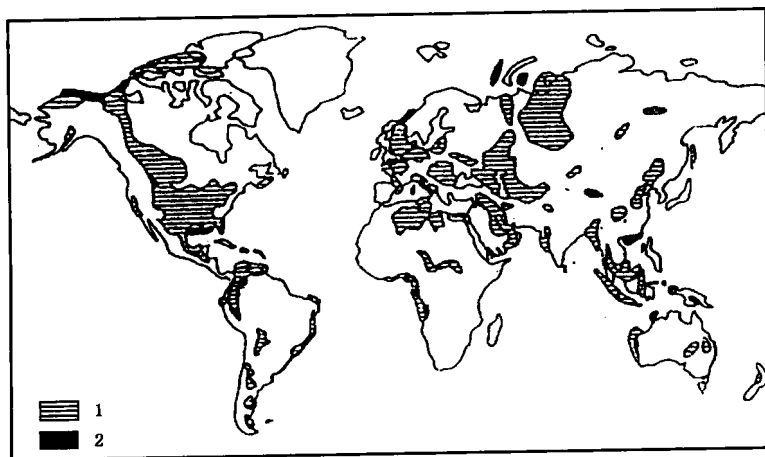


图1—1 世界大型含油气区分布图

1—1980年以前的发现;2—1980—1992年间获得的发现

表 1—1 1998 年世界石油剩余探明储量

| 国家或地区       | 石油储量<br>( $\times 10^4$ t) | 国家或地区        | 石油储量<br>( $\times 10^4$ t) | 国家或地区        | 石油储量<br>( $\times 10^4$ t) | 国家或地区        | 石油储量<br>( $\times 10^4$ t) |
|-------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|
| 世界总计        | 14112875.20                | 西班牙          | 190.95                     | 伊拉克          | 1534500.00                 | 纳米比亚         | 0.00                       |
| 亚太总计        | 586707.65                  | 土耳其          | 4326.61                    | 以色列          | 53.61                      | 尼日利亚         | 306900.00                  |
| 阿富汗         | 0.00                       | 英国           | 70803.47                   | 约旦           | 4.09                       | 卢旺达          | 0.00                       |
| 澳大利亚        | 39487.80                   | 东欧和独<br>联体总计 | 805483.83                  | 科威特          | 1282160.00                 | 索马里          | 0.00                       |
| 孟加拉国        | 144.79                     | 阿尔巴尼亚        | 2250.60                    | 中立区          | 68200.00                   | 南非           | 400.50                     |
| 文莱          | 18414.00                   | 阿塞拜疆         | 16067.92                   | 阿曼           | 72060.12                   | 苏丹           | 35.75.04                   |
| 中国          | 327360.00                  | 白俄罗斯         | 2700.72                    | 卡塔尔          | 50468.00                   | 坦桑尼亚         | 0.00                       |
| 中国台湾        | 54.56                      | 保加利亚         | 204.60                     | 哈伊马角         | 1364.00                    | 突尼斯          | 4195.12                    |
| 印度          | 54177.98                   | 克罗地亚         | 1352.65                    | 沙特阿拉伯        | 3532760.00                 | 西半球总计        | 2247784.50                 |
| 印度尼西亚       | 67923.24                   | 捷克           | 204.60                     | 沙迦           | 20460.00                   | 阿根廷          | 35752.87                   |
| 日本          | 820.98                     | 格鲁吉亚         | 477.40                     | 叙利亚          | 34100.00                   | 巴巴多斯         | 32.09                      |
| 马来西亚        | 53196.00                   | 匈牙利          | 1791.97                    | 也门           | 54560.00                   | 玻利维亚         | 1799.54                    |
| 缅甸          | 682.00                     | 哈萨克斯坦        | 73887.88                   | 非洲总计         | 1029029.55                 | 巴西           | 96928.51                   |
| 新西兰         | 1732.28                    | 吉尔吉斯斯坦       | 545.60                     | 阿尔及利亚        | 125488.00                  | 加拿大          | 67256.48                   |
| 巴基斯坦        | 2837.12                    | 立陶宛          | 162.68                     | 安哥拉          | 73819.68                   | 智利           | 2046.00                    |
| 巴布亚新<br>几内亚 | 4542.12                    | 波兰           | 1567.00                    | 贝宁           | 111.98                     | 哥伦比亚         | 35153.01                   |
| 菲律宾         | 3109.92                    | 罗马尼亚         | 19452.55                   | 喀麦隆          | 5456.00                    | 古巴           | 3866.94                    |
| 泰国          | 4040.85                    | 俄罗斯          | 662535.72                  | 刚果(前<br>扎伊尔) | 2550.68                    | 厄瓜多尔         | 28848.60                   |
| 越南          | 8184.00                    | 塞尔维亚         | 1057.10                    | 刚果共和国        | 20540.65                   | 墨西哥          | 652292.08                  |
| 西欧总计        | 255621.46                  | 斯洛伐克         | 122.76                     | 埃及           | 47740.00                   | 秘鲁           | 10549.18                   |
| 奥地利         | 1188.32                    | 塔吉克斯坦        | 163.68                     | 赤道几内亚        | 163.68                     | 苏里南          | 1009.36                    |
| 丹麦          | 12869.03                   | 土库曼斯坦        | 7447.44                    | 埃塞俄比亚        | 5.84                       | 特立尼达<br>和多巴哥 | 7283.76                    |
| 法国          | 1460.12                    | 乌克兰          | 5387.80                    | 加蓬           | 5.84                       | 美国           | 307527.44                  |
| 德国          | 5299.00                    | 乌兹别克斯坦       | 8102.16                    | 加纳           | 225.20                     | 委内瑞拉         | 990264.00                  |
| 希腊          | 136.40                     | 中东总计         | 9188548.22                 | 科特迪瓦         | 1364.00                    | 欧佩克总计        | 10918543.24                |
| 爱尔兰         | 0.00                       | 阿布扎比         | 1257608.00                 | 利比亚          | 402380.00                  | 意大利          | 8480.85                    |
| 荷兰          | 1715.86                    | 巴林           | 2182.40                    | 马达加斯加        | 0.00                       | 挪威           | 148850.86                  |
| 迪拜          | 54560.00                   | 伊朗           | 1223508.00                 | 摩洛哥          | 26.82                      | 莫桑比克         | 0.00                       |

与国外先进技术水平对比, 中国石油地质条件的复杂性, 产生了有中国特色的石油地质理论和技术, 如湖相沉积体系、陆相生油、源控理论、复式油气聚集理论等。盆地勘探技术逐步完善, 例如盆地模拟、圈闭描述、油藏描述和油气资源评价。勘探研究的核心依然以确定油气藏类型、分布、数量为主, 已经取得了许多重要进展。油气成因类型表现在煤成烃、深源无机成烃、多元成烃理论等, 油气分布表现在沉积盆地分析、区带圈闭评价、含油气系统、油气成藏理论等。

本世纪天然气将会成为越来越重要的能源。天然气由烃类气体和非烃类气体组成。烃类气体主要指甲烷和重烃气 ( $C_2-4$ ); 非烃类气体常见的有  $CO_2$ 、 $N_2$ 、 $H_2S$  和 Ar、He 等稀有气体。煤成气是指由腐殖型有机质 (包括腐殖煤和分散的 III 型和 II<sub>B</sub> 型有机质) 形成的天然气。在自然界中, 不同类型的天然气组分不同, 这不仅受气源的影响, 也受气源岩的热演化程度、天然气在形成后经历的运移、聚集、成藏等作用的影响, 这一点对煤成气来讲也不例外。因而, 研究和分析煤成大中型气田天然气组分特征对于气源判识、探讨气藏成因及寻找煤成大中型气田都具有重要意义 (宋岩, 1998)。

层序地层学研究可以为上述方面提供沉积地质基础 (表 1—2)。层序地层学 (Sequence Stratigraphy) 研究的主要任务是从沉积盆地的地质特征出发, 以层序地层及沉积体系特征与分布研究为主线, 综合运用岩心、地震、测井和古生物资料, 对盆地进行层序单元的划分对比分析、沉积体系类型与分布规律分析和储集体类型、分布与沉积体系关系的分析, 查明骨架砂 (砾) 岩体三度空间的展布规律, 提高生油中心与储集体的预测能力和精度, 提炼出层序地层与沉积体系分布模式, 指导油气勘探目标的选择, 总结适合盆地勘探的层序地层与沉积体系的分析研究方法, 丰富石油地质理论。

表 1—2 层序地层学在不同油气勘探阶段的应用

| 勘探阶段                 | 主要任务             | 基础资料                                                | 主要目的                                                              | 评价目标                                              | 层序地层学应用                                          |
|----------------------|------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 普查<br>详查<br>预探<br>详探 | 研究地层层序构造类型       | 野外踏勘<br>重、磁、电资料<br>遥感地质解释<br>古地温<br>古生物地温<br>地球物理资料 | 划分盆地类型<br>划分盆地内二级单元<br>评价含油远景<br>评价有利烃源岩<br>评价生、储、盖组合<br>划分盆地油气系统 | 盆地二级单元<br>含油远景—否<br>是<br>油气系统<br>工业远景—否<br>是 钻探探井 | ①建立一级和二级层序格架<br>②预测密集段和生油岩区域<br>③不同三级层序段的分布与储盖组合 |
|                      | 研究圈闭群的地质相似性      | 地球物理资料<br>构造资料<br>地震资料                              | 圈闭形成的机制分析<br>构造样式及分布<br>构造形成和改造<br>构造与油气生成配套                      | 二级构造带<br>工业资源—否<br>是 钻探探井                         | ①三级层序与体系域平面制图<br>②落实与评价有利储集体                     |
|                      | 落实圈闭             | 地球物理资料解释<br>地震剖面特殊处理<br>多信息解释模式                     | 评价圈闭的可靠性<br>落实圈闭对油气的有效性                                           | 局部圈闭<br>工业储量—否<br>是 钻探探井                          |                                                  |
|                      | 取全各种资料<br>计算探明储量 | 地球物理井<br>流体资料<br>岩石物性资料                             | 油藏经济评价                                                            | 油气藏评价<br>经济价值—否                                   | 高分辨率层序分析预测油气藏                                    |
| 开发阶段                 | 小层对比             |                                                     |                                                                   | 井网部署                                              | 四级五级层序对比确定产层非均质性                                 |

油气系统 (Petroleum System) 提供了研究含油气盆地中与油气有关的各种要素的时空配置关系及其油气分布演化规律的新思路。Magoon 等 1994 年给油气系统所下定义为包含一

个有效烃源岩体和所有与之有关的油气以及油气聚集成藏所不可缺少的一切地质要素和过程的天然系统。

中国是一个陆相油气资源十分丰富的国家。研究证明属陆相石油的烃源岩绝大多数为湖盆沉积。早在 20 世纪 30—40 年代, 中国陆相沉积中就发现了老君庙、石油沟等一系列中、小型油气田, 50 年代末发现的特大型油田——大庆油田, 储层是白垩系陆相地层, 油源也来自白垩系陆相湖盆。80 年代又在吐鲁番盆地侏罗系中有了突破性的进展, 发现了一个相当大的含油气新领域, 属于陆相湖沼, 使煤系地层湖泊、三角洲和沼泽沉积研究得到进一步发展。

除了中国大陆在中新生代各历史时期发育与遍布不同规模的数百个陆相湖盆外, 世界其它国家也陆续发现大量的非海相含油气盆地, 为此各国地质工作者和石油勘探家都对湖盆十分重视。1998 年 4 月在西班牙阿利坎特市召开了由国际沉积学家协会 (IAS) 主办的第 15 届国际沉积学大会。在本届大会上, 涉及层序地层学及其应用的论文约有 50 多篇, 主要涉及将层序地层学的方法应用于实际, 在陆相湖盆沉积层序、海相浊积砂、沉积与构造关系等方面有所发展 (吴因业, 1998)。

层序地层学研究是沉积学的重要组成部分, 作为一种成功的全球性理论, 取得了飞速发展, 在成熟、非成熟盆地的资源勘探与开发实践中, 正发挥着巨大的作用。从盆地分析到圈闭的成因解释, 从油藏描述、数值模拟到后续动态模拟, 从勘探开发各个阶段的软件开发到油藏管理, 都直接或间接地应用到层序地层学的理论、方法或研究成果, 甚至还以已知油气藏与层序地层的关系为基础研制层序地层与成藏模式, 指导新区的勘探开发。层序地层学以及油气系统研究最终都为油气勘探服务, 层序地层学是一切的基础, 包括油气的生成和运移与聚集。

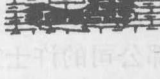
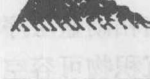
当今, 石油的有机生成理论已经普遍认同, 但依然存在几种不同的认识: ①植物学说 (Phytogenetic Theory), 包括海生植物学说 (Hunt, 1863) 和陆生植物学说 (Craig, 1921); ②动物学说 (Animal Theory) (格费尔, 1908); ③腐泥学说 (Sapropelite Theory); ④中国陆相成油理论 (胡见义和黄第藩, 1986)。所有这些石油的有机生成理论都离不开盆地的沉积物。因此, 以盆地沉积物为研究对象的沉积学和层序地层学显得尤为重要。

油气勘探储量和产量的增加, 总是离不开新技术的突破和新思维的产生, 层序地层学正是一种新思维, 它使人们在构造圈闭勘探遭遇困难的情况下看见了一道曙光, 以隐蔽圈闭勘探尤其是地层岩性油气藏勘探 (表 1—3, 沈守文等, 2000 年 1 月石油学报) 的屡屡成功告诉人们: 层序地层学理论和技术不容忽视。

表 1—3 隐蔽油气藏分类

| 类 型     |              | 实 例                 | 模 式 图                                                                                 |
|---------|--------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 古构造油气藏  |              | (美) 普鲁德霍湾           |  |
| 隐状构造油气藏 | 逆掩带下的隐伏构造油气藏 | (加) 瓦特顿气田、<br>酒西老君庙 |  |
|         | 向斜下的隐伏构造油气藏  | 川东张家场、<br>川东亭子铺     |  |

续表

| 类 型       |            | 实 例                             | 模 式 图                                                                                 |
|-----------|------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 向斜油气藏     | 向斜倒装型气藏    | (美) 圣胡安盆地<br>梅萨维达气藏             |    |
|           | 向斜油藏       | (美) 费吉尼亚州格<br>列飞斯维尔油藏           |    |
| 裂缝性油气藏    | 向斜裂缝性油气藏   | 川南云锦向斜                          |    |
|           | 特殊岩性裂缝性油气藏 | 松辽英 12 井、<br>(美) 泥盆系页岩          |    |
| 水动力圈闭油气藏  |            | 酒西单北、(俄) 巴尔科莫兹                  |    |
| 岩性油气藏     | 岩性上倾尖灭油气藏  | 泌阳双河、辽西高升、<br>东濮濮城              |    |
|           | 岩性透镜体油气藏   | 东营牛庄 (牛 1 井)、<br>松辽徐家围子         |    |
|           | 古河道砂岩油气藏   | 东营梁家楼、(美) 苏门答腊、<br>南谢列斯、(加) 梅迪辛 |  |
|           | 生物礁油气藏     | (利比亚) 因蒂萨尔、鄂西<br>建南、(俄) 旧赞科夫    |  |
|           | 物性封闭油气藏    | (美) 特伦顿灰岩                       |  |
| 地层油气藏     | 地层超覆油气藏    | 东营单家寺、辽河齐家                      |  |
|           | 不整合遮挡油气藏   | 辽西曙光、东营金家、<br>(利比亚) 梅斯拉         |  |
|           | 古潜山油气藏     | (利比亚) 萨利尔、任丘油田、<br>鸭儿峡          |  |
| 易伤害低渗透油气藏 |            | 准噶尔三台、鄂尔多斯安塞                    |  |



## 第二节 中国陆相层序地层学基本特征

国外层序地层学研究表现为 3 大学术流派：EXXON 经典层序地层学——Peter Vail 等；成因层序地层学——Galloway 等；海进海退层序地层学——Embry 等。总体上研究较深入、模式较成熟、海相研究有特色（图 1—2）。

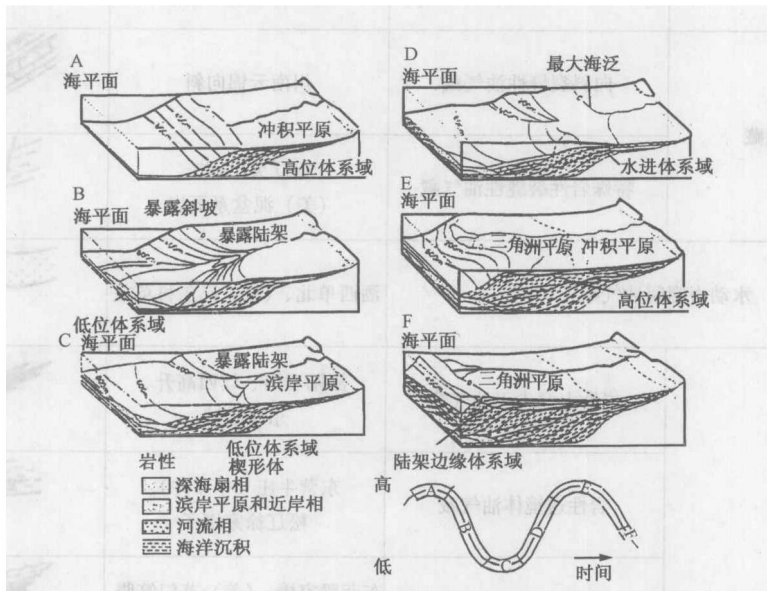


图 1—2 层序地层学体系域与海平面变化曲线关系图

中国陆相层序地层学研究现状表现为流派众多，各有各的理解：北京石油勘探院的顾家裕和吴因业，通过研究建立了塔里木陆相层序模式和吐哈湖盆层序及湖盆沉积学的体系域模式；石油大学（北京）的刘震等，重点研究了地震地层学的层序分析；中国海洋石油集团广州东部公司的许士策等，研究了二级构造层序和地震时频分析的层序地层学；中国地质大学的李思田，研究了盆地充填与构造层序；中国地质大学的徐怀大和邓宏文，研究了高分辨率地震层序和基准面分析层序；石油大学（华东）的纪有亮和姜在兴，研究了岩心分析的高分辨率层序；中国科学院地质与地球物理研究所的刘光鼎和李忠等，研究了构造分析和成岩作用界面分析的层序地层学。总体上研究较肤浅，模式推广难度大，陆相层序地层学较有特色。

### 一、陆相湖盆层序成因

陆相湖盆层序成因分析十分重要，构造控制二级层序，气候控制四级层序。在陆相盆地中，沉积物可容空间的变化与海平面升降没有内在直接联系，也不受湖平面这一单一因素控制。沉积物可容空间可以发育在盆地内部，也可以在湖岸线附近的盆地边缘，还可以在远离盆地的冲积物沉积区。

根据 Vail (1991) 的划分，二级构造事件的地层表现相当于二级层序，时间跨度为 3~50Ma。二级层序是陆相盆地中普遍存在的易于识别的层序（图 1—3），分布稳定。层序边

界是区域不整合，可以建立可行和可信的等时层序地层格架。三级层序由于没有海相中那种稳定的水平面变化，界面难以识别和对比，全盆地分布也不够稳定。因此，在二级层序基础上，可以直接划分体系域。

以南海恩平凹陷下第三系为例（图1—4），划分4个二级层序，每个层序时间约7~9Ma；济阳凹陷下第三系划分3个二级层序；东濮凹陷下第三系划分2个二级层序。

除构造事件外，湖相沉积对气候变化非常敏感，因此在划分二级层序和体系域

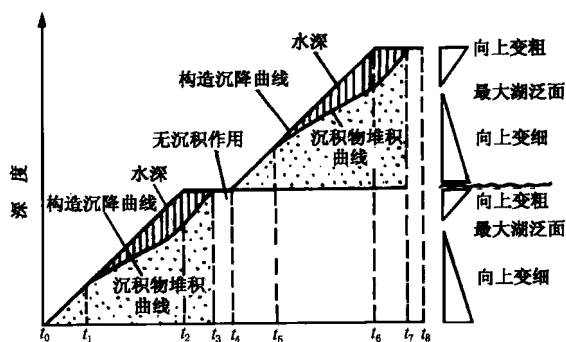


图1—3 拉张背景下构造运动轨迹与层序内部构成的关系（据解习农，1996）

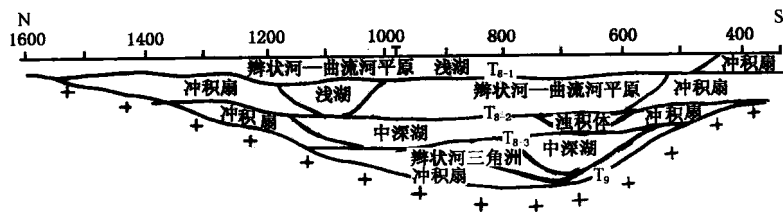


图1—4 层序地层格架及沉积体系

基础上，可以开展四级层序研究。

## 二、湖盆体系域

湖盆体系域有 LST、TST、HST、RST、AST 5 种。对于湖盆而言，笔者认为应分为两种情况考虑。一种为针对一定地质时间内湖盆附近的层序和体系域叠置情况，具有湖盆低位体系域（LST——Lacustrine lowstand system tract）、湖盆湖侵体系域（TST——Lacustrine transgressive system tract）、湖盆高位体系域（HST——Lacustrine highstand system tract）、湖盆湖退体系域（RST——Lacustrine regressive system tract）（吴因业，1996）。每一种体系域都是几种主要沉积体系的组合。RST 实质上是以三角洲进积复合体为主的，包括辫状三角洲、扇三角洲和正常三角洲。HST 主要是高位沼泽体系和漫滩体系。TST 主要是湖滩砂体系、水进三角洲和滨浅湖体系。LST 主要是河流—三角洲体系以及盆底充填体系。湖盆的扩张与萎缩导致湖侵体系域和湖退体系域十分发育。

另一种则为远离湖盆的层序和体系域分布情况。这种情况下沉积层序的形成与湖面升降变化无关或基本无关，而主要受沉积物供给、气候、地形等因素影响，可以称之为冲积体系域（AST——Alluvial system tract）。这种体系域主要由冲积扇沉积体系和河流沉积体系组成。

## 三、湖盆凝缩面（CS）与沉积中心

湖盆凝缩面（CS）研究与沉积中心研究相结合，为陆相生油研究提供地质基础。

水文地质将湖盆划分为两种类型，即闭流湖盆和敞流湖盆（据纪友亮，1997）。闭流湖盆是注入湖盆的水量小于蒸发量和地下渗流量之和，湖平面的位置常低于盆地最低溢出口的