

郎东升 金成志 郭冀义 著  
王国民 曲永宝 郭树生

# 储层流体的热解 及气相色谱评价技术



PETROLEUM INDUSTRY PRESS

石油工业出版社

P618.13-53

059728

006



要 藏  
馆藏特  
集第11



35

馆藏文

# 中国油气储层研究论文集

中国石油天然气总公司科技发展局 编

5403/02



200315328

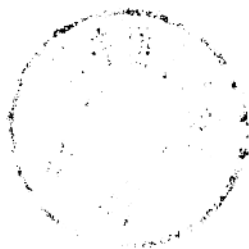


石 油 工 业 出 版 社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本论文集汇集了中国石油天然气总公司科技局主持的“中国油气储层评价”研究课题在“七·五”期间取得的主要成果。内容涉及陆相沉积盆地碎屑岩和碳酸盐岩储层的沉积模式和非均质性,不同地质背景下沉积的储层成岩和孔隙演化规律。研究工作包括:露头调查,地下地质微相分析、实验室测试分析、地震横向预测、测井应用、计算机技术和地质统计建立储层地质模型等近代新方法。论文提供了有利带预测、早期储层评价、开发储层评价和敏感性评价等各勘探开发阶段的大量实例,以及部分新技术新方法和理论探索的成果。可供石油勘探开发战线上从事储层评价和综合研究人员参考使用。



中国油气储层研究论文集

中国石油天然气总公司科技发展局 编

石油工业出版社出版

(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 34印张 855千字 印1—1,000

1993年2月北京第1版 1993年2月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0729-0/TE·689

定价: 20.00元

## 编委会名单

**主 任：**石宝珩

**副主任：**裘亦楠 应凤祥 薛叔浩 袁秉衡

**委 员：**朱国华 邢顺沚 李秉智 李应暹

刘振武 吴涛 陈丽华 周自立

蔺毓秀 (按姓氏笔划排列)

## 前 言

石油的生成与储集一直是石油地质学中的两大核心问题。研究生油层是为了确定一个地区的油气潜量,研究储集层是为了直接寻找和开发油气资源。

近年来随着分析测试手段的提高以及对油气生成本质的认识加深,对于生油问题的研究有了很大进展。

同样,对于储层研究也有了很大进展,如在沉积相研究的基础上对于储集结构的研究、对于成岩作用及成岩变化、原生与次生孔隙的成因机制的探讨等都获得了新的认识。但是随着油气勘探和油气田开发工作的深入,难度愈来愈大。对于直接储存油气的储层研究和认识,提出了愈来愈高的要求。

在“六·五”期间“全国油气资源评价研究”即将结束的时候,根据当时石油工业部领导的要求,史训知同志提出了要将“储层评价”作为石油系统“七五”科技攻关的重点。

1985年11月在昆明召开的“石油工业部岩矿工作会议”上,确定了将“中国陆相储层特征及其评价”作为“七五”期间部级科技攻关重点项目。根据油田生产需要提出的重点是:储层岩石学特征,低渗透储层以及非沉积储层研究。

为了加深对储层研究,1986年末至1987年初多次召开会议,研究编写“中国油气储层研究大纲”。史训知同志提出,储层评价研究不同于油气资源评价研究,要出理论,出技术、出方法。从中国实际出发,搞出中国特色来。研究工作要勘探与开发结合,沉积与物性研究结合,宏观与微观结合,描述与机理研究结合。储层研究应包括储层类型、特征、成因、分布演化、测试技术、预测与评价方法等七个方面。

1987年6月李天相副部长传达王涛部长的意见,储层评价要系统地进行分区研究,并且进行相应的工艺配套研究。

1987年7月石油工业部科技司下发了“加强储层研究的通知”,转发了由裘亦楠同志主持起草的“我国陆相盆地油气储集层研究大纲”。同时把储层评价研究列为继“全国油气资源评价研究”之后“七五”期间部级重点研究项目,并要求储层评价研究要紧密结合勘探、开发生产需要,要进行区域储层评价研究和油田(油藏)储层评价研究。

1987年10月在石油工业部岩矿学科协调组第二次会议上,根据李天相副部长的建议提出了“急需编制一套我国油气区储集层岩石学图版”。会后逐一落实了这一计划。

在进行了大量准备和研究工作的基础上,1988年6月在中原油田召开了“全国第一次储层研究工作会议。”会议不仅交流了近几年储层研究成果,而且研究落实了“七五”研究课题。一致认为,从我国石油地质特点出发,系统研究总结和建立陆相沉积储层地质学,将是对石油地质学的一个重大贡献。同时,油气勘探、开发生产中许多问题也急需储层评价研究去解决。因此,将储层评价研究作为一个系统工程,将勘探与开发、宏观与微观、基础研究与工程工艺相结合,并协同地质、物探、测井、油藏工程等专业共同攻关,有利于提高研究水平,提高效率,更好地为勘探、开发服务,解决生产实际问题。

会议商定按不同勘探、开发阶段,研究和建立五种储层评价研究技术方法及规范要求。这就是,探井单井储层评价,区域储层评价,开发储层评价,储层敏感性评价以及储层动态

评价。同时决定出版五套岩石图册，即碎屑岩储层、岩浆变质岩储层、阴极发光荧光自生矿物、碳酸盐岩、沉积构造图册。

在向中国石油天然气总公司主要领导汇报第一次储层工作会议时，领导指出，储层评价工作会使石油开发带来一次革命，要把地震、地质、钻井工艺、采油工艺、注水、压裂酸化等都组织起来，真正把地下储层能量都释放出来。

1989年初，为了准备“八五”期间的工作又重新修改编制了“中国油气储层研究大纲”。确定了中国油气储层研究的总目标是：总结具有我国特色的陆相含油气盆地储层的沉积规律，成岩规律，储集体几何学和宏观、微观非均质特征。在陆相储层沉积学上达到世界领先地位。发展和完善一套评价陆相储层的地震、测井、试井测试技术和沉积地质实验方法，力争在主要技术上达到80年代初的国际先进水平。建立一套研究储层敏感性的试验技术，提出一套针对我国陆相储层特征的相应的保护和改造措施方法，达到生产上既经济又有效的应用水平。同时，开展海相碳酸盐岩及火成岩等各种类型储层的研究。

同时确定了整个研究分两个阶段进行，1990年前为第一阶段，“八五”为第二阶段。第一阶段重点为近期和“八五”初期勘探开发生产中急需解决的技术问题的攻关；各阶段储层评价技术方法的规范化，已有成果的总结，特别是研究程度较深的现有各类储层特征的总结图册化；同时开展基础研究及重点实验室的筹建。

按着储层研究大纲，两年来组织了27个单位，约500名科技人员，从事62个科研项目的攻关，已圆满地完成了第一阶段的任务，提交了一批储层研究成果。主要是五种储层评价技术，以及以总结为主的分区分专业的一批论文，还有一套岩石图册的初稿，一套各类储层特征卡片等。尽管成果是初步的，但代表了我国80年代储层研究水平。将其中一部分公开出版，是完全必要的，它既是对过去成果的总结，也是对未来开拓的启迪。

我想，中国油气储层评价研究要注意两个问题：

第一、要有中国特色。特别是陆相沉积盆地非均质性严重的碎屑岩储层的研究是很有特色的。

第二、要有实用性。研究课题来自生产，成果又要在实践中检验。储层是勘探的对象，也是油田开发的对象，对储层的研究一定要贯穿于勘探开发以至三次采油的全过程。为了更最大限度地挖掘和发挥所有储层能量，要将地质研究与工程研究结合，要有相应的工艺技术与之相配套。

第三、要有理论性。建立“中国油气储层地质学”，为世界石油地质学的研究作出贡献。

储层研究已迈出了一大步，取得了一批成果。在陆相盆地找油的同时，我们在海相地层的找油工作已有了重大突破。为此，发展陆相储层，也要研究海相储层。

研究储层，认识储层，寻找储层、改造储层，充分发挥储层能量，这就是储层评价研究的最终目的和目标。

石宝珩  
1990.1.9

# 目 录

## 前言

|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 储层地质模型 .....                                   | 裘亦楠 (1)    |
| 我国陆相储层成因类型研究进展 .....                           | 薛叔浩 (8)    |
| 我国陆相碎屑岩中的自生矿物 .....                            | 应凤祥 (17)   |
| 地震储层研究的现状及今后的发展 .....                          | 袁秉衡 (31)   |
| 酒西盆地地下白垩统储层特征 .....                            | 王义才等 (42)  |
| ✓ 四川威远震旦系气藏生储特征及其动态变化 .....                    | 孔金祥 (56)   |
| 塔里木盆地西南缘震旦系至二叠系储层特征及成岩作用 .....                 | 曹耀华 (67)   |
| 柴达木盆地西缘油砂山剖面上新统底部储层沉积相初步研究 .....               | 刘怀波等 (77)  |
| 沉积体系数值模拟 .....                                 | 周书欣等 (88)  |
| 轮南地区三叠系地震储层研究 .....                            | 王智治等 (98)  |
| 二连盆地阿尔善油田地震勘探实例 .....                          | 辛连发等 (112) |
| 松辽盆地白垩系陆相富长石砂岩储集层特征及评价 .....                   | 邢顺注等 (122) |
| 江汉盆地潜江凹陷和沔阳凹陷新沟嘴组下段砂岩中次生孔隙成因探讨 .....           | 黄克难 (150)  |
| 浙西—皖南地区下古生界碳酸盐岩成岩作用及储集条件研究 .....               | 陈学时 (157)  |
| 小集油田(枣Ⅱ、Ⅲ油组)储层孔隙结构特征及评价研究 .....                | 桑鹤林等 (171) |
| 下二门油田储层孔隙结构特征及孔隙演化史研究 .....                    | 赵跃华 (208)  |
| 四川鄂西上二叠统生物礁白云石化的地球化学特征 .....                   | 强子同等 (217) |
| 新疆克拉玛依地区沸石类矿物特征及分布规律 .....                     | 孙玉善等 (230) |
| 辽河断陷盆地扇三角洲储层成岩作用与孔隙结构研究 .....                  | 王玉琨等 (243) |
| 辽河断陷扇三角洲储层沉积特征和非均质模式 .....                     | 盛和宜 (273)  |
| 泌阳凹陷核桃园组储层特征及评价 .....                          | 邱荣华等 (292) |
| 陕甘宁盆地南部上三叠统延长组低渗砂岩储层评价 .....                   | 谢庆邦等 (313) |
| 双河油田核三段IV <sub>1-4</sub> 油藏储层非均质性与水淹特征研究 ..... | 陈子琪等 (333) |
| 储层敏感性评价及其在准噶尔盆地东部油气勘探开发中的应用 .....              | 刘振武等 (349) |
| 砂岩油田三维地质模型 DYDM 系统 .....                       | 姜德全等 (361) |
| 曲流河砂体渗透率的非均质性与定量预测 .....                       | 温道明等 (369) |
| 厚层砂岩测井相分析与非均质渗透率预测 .....                       | 陈佩珍等 (381) |
| 低渗透块状砂岩油藏模式分析——玉门老君庙油田 M 油藏 .....              | 杨秀森等 (395) |
| 百色盆地田东坳陷第三系砂岩储层研究 .....                        | 方少仙等 (405) |
| 济阳坳陷储层研究新进展 .....                              | 钱 凯等 (426) |
| 青海省柴达木盆地茫崖凹陷下第三系非常规油气藏储层特征 .....               | 李建青 (440)  |
| 储层地震学研究及应用的现状和进展 .....                         | 刘雯林 (449)  |
| 内蒙二连盆地中生代储层特征及地质模式 .....                       | 赵激林 (463)  |
| 储层实验测试技术 .....                                 | 陈丽华 (479)  |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| 塔里木轮南三井储层敏感性评价 .....   | 朱 斌 (500) |
| 稳定同位素研究在储层分析中的进展 ..... | 王大锐 (526) |



# 储层地质模型

裘亦楠

(石油勘探开发科学研究院)

**摘要** 由于油藏数值模拟和计算机技术的飞速发展,建立定量的储层地质模型已成为当前油藏描述所追求的核心内容。油田各个开发阶段所遇到的问题不同,要求建立的地质模型也有所不同。当前流行的储层地质模型有三大类,即:概念模型,多应用于评价和开发设计阶段;静态模型,应用于开发实施及早中期开发阶段;预测模型,应用于二次采油开发后期及三次采油阶段。发展储层地质模型,提高其精细程度有赖于地质、沉积、地震、测井、油井测试、地质设计及计算机技术等学科、多专业的综合攻关。

## 一、引言

1990年在英国召开的第13届国际沉积学大会中第一个技术讨论题目(AI)就是“储层沉积学和建立地质模型”(Reservoir Sedimentology and geological modelling)。这标志着13届大会比之过去历届大会出现了一个重大的改变,即把应用沉积学放在首位,放在理论沉积学的前面;在应用领域中又把储层沉积学列为第一,并且直接讨论建立储层地质模型的问题。建立储层地质模型已属于石油开发地质学的研究范畴,是当前“油藏描述”(Reservoir Description)中的热门和重点。确实,1991年将要召开的第13届世界石油大会已经把“油藏描述”列为一个小组讨论题目,而重点内容是如何建立定量的地质模型。两个不同学术领域的世界性最高级学术会议不约而同地把这一问题列为技术讨论的重点题目,特别是一向偏重于沉积学本身理论发展的沉积大会,一反常态出现这么大的转变,足可看出建立储层地质模型的重要性。

## 二、建立定量的储层地质模型是当前油藏描述所追求的核心内容

近代的油藏开发管理一般包括六个内容:

- ①资料收集 (Data acquisition);
- ②油藏描述 (Reservoir description);
- ③驱替机理 (Displacement mechanism);
- ④油藏模拟 (Reservoir simulation);
- ⑤动态预测 (Behavior Prediction);
- ⑥开发战略 (Development strategy)。

主要目标就是通过改善资料收集系统,提高资料质量和数量,搞好油藏描述;通过各种驱替机理的研究,包括搞清应用于二、三次采油的各种注入剂驱替原油的机理,然后用油藏

数值模拟技术对油藏的开发过程进行模拟和预测,分析已经历的过程的合理性以及预测各种措施下可能出现的开采动态和效果,最后根据这些分析和预测作出近期和长远的开发战略决策。

可以看出,要完整地科学地实现这一管理过程,其中最重要、最核心的手段和技术就是“油藏描述”和“油藏模拟”。

随着计算机技术的飞速发展,油藏数值模拟技术在近 20 年内发展很快,除了最普遍应用的三维三相黑油模型已相当完善以外,热驱、化学驱、混相驱,以及各种改善注水驱油机理都可以通过数学模型比较符合实际地加以模拟。因此早在 1982 年的第 11 届世界石油大会上就得出了这样的结论:数值模拟中的数学、物理、化学问题和计算技术问题,很快即将圆满的解决,而比较符合实际的油藏描述,则将是长远、甚至是再一代人的努力目标。

当前石油开发界面临的正是如何提高油藏描述水平的问题。数值模拟精度虽高,而提供的油藏地质模型却误差很大,当然不可能得出正确的开采动态预测。“进去的是垃圾,出来的仍是垃圾”,就是对这一问题的写照。油藏数值模拟技术发展愈快,必然对油藏地质模型的要求更高。

油藏地质模型的核心是储层地质模型,也是难度最大的部分。油藏数值模拟要求得到一个把储层各项物理参数在三维空间的分布定量地描述出来的地质模型。实际数值模拟工作中总是要把储层网块化,以各个网块赋以各自的参数值来反映储层参数的三维空间变化。因此现代油藏描述中建立储层地质模型,也丢弃了传统的以等值图反映储层参数的办法,同样把储层网块化(或二维,或三维皆同),设法得出每个网块上的参数值(如孔隙度、渗透率等),即建成三维的定量的储层地质模型。这样,网块的尺寸愈小标志着模型愈细,每个网块上参数值与实际误差愈小,标志着模型的精度愈高。当然这两者是相互联系的,大尺寸网块的参数内插或预测比较容易,精度容易提高。相反,建立小尺寸网块的储层模型,难度就大。

影响流体在储层内流动的储层参数很多,如渗透率、孔隙度、饱和度、毛管压力、润湿性、层内不渗透薄夹层的分布等等。各种参数在储层内变化程度(非均质程度)也不相同。现阶段实际工作中,一般以渗透率作为主要对象来建立储层地质模型,即追求作出渗透率在储层内三维空间上变化的描述为主要目标。这是因为一般来说,渗透率影响流体流动最直接,而且变异程度也最大;其他参数变异程度则相对较小,而且可以通过与渗透率建立相对关系来求得和表征。

综上所述,不难看出,现阶段建立储层地质模型是以建立储层内渗透率的三维空间定量分布为主攻目标。

### 三、不同类型的储层地质模型服务于不同的油藏开发研究任务

一个油藏(油田)的开发,从发现到开采结束,总是要经历一些不同的开发阶段。不同的开发阶段,所进行的工作量不同,对油藏所取得的资料信息和认识程度不同,当时所要解决的开发任务,即研究的问题也不相同,所有这些总是随着油藏开采程度的提高,由浅入深地逐步地向前推进的。因此,不同开发阶段所要求建立的储层地质模型也就有相应的不同。总的来说,随着油田开发阶段的推移,油藏开采程度的提高,对储层地质模型的要求也是由

粗到细，由简到精。

当前油藏描述中流行的储层地质模型可以分为三大类，即概念模型（Conceptual model），静态模型（Static model）和预测模型（Predictable model）。体现了不同开发阶段不同开发研究任务所要求的、不同精细程度的储层地质模型。

### （一） 概念模型

针对某一种沉积类型或成因类型的储层，把它代表性的储层特征（非均质性、连续性等）抽象出来，加以典型化和概念化，建立一个对这类储层在研究地区（油田）内具有普遍代表意义的储层地质模型，这就是所谓的概念模型。由此可见，概念模型并不是一个或一套具体储层的地质模型，但它却是代表某一地区（油田）某一类储层的基本面貌。

概念模型广泛应用于一个油田的开发早期。从油田发现开始，到油田评价阶段和开发设计阶段，主要应用储层概念模型研究各种开发战略问题。这时油田仅有少数大井距的探井和评价井；实际上在海上和边远地区的油田，往往只有几口探井和评价井，就要对开发可行性作出评价，并编制出第一阶段的开发设计。资料条件的限制，不可能对储层作出全油藏的详细描述。开发地质工作者主要应用少数探井中取得的各种录井、测井和试井等资料，结合地震解释，研究储层的沉积、成岩、构造作用史及其对储层性质的影响，从成因上搞清储层属于什么沉积类型，处于什么成岩阶段，借鉴理论上的沉积模式、成岩模式和邻区同类沉积储层的实际模型，建立起所研究储层的概念模型。模型可能与将来开发井网钻成后所认识的每一个储层（如碎屑岩储层的每一个砂体）都不完全相同，但对这类储层影响流体流动的主要特性应该得到基本反映。如所描述的储层属于河流砂体，则其层内渗透率变化属正韵律性，最高渗透率段一般处于什么数值范围，非均质程度多大，层内不连续薄泥质隔层的分布频率和大小的概率，砂体侧向宽度的可能范围，砂体之间的连通程度可能多大等决定开发效果的主要储层特性，应该有个基本的估计。对每项参数的估计允许有一定范围的误差，假如对每项参数的估计可能存在较大的误差，则应在数值模拟中进行敏感性分析，在开发战略决策时要充分考虑其影响。

由此可见，概念模型一般应依靠储层沉积学为基本手段，尽可能直接利用岩心资料来建立。避免依赖测井解释等间接资料，因为在油藏早期评价阶段，测井定量解释精度不可能很高。

这样的概念模型在开发可行性和开发设计研究阶段是非常重要的。通过油藏数值模拟可以进行各项开发战略的指导性的决策研究。如投入开发的技术经济可行性，优选开发方式和层系井网，估计各阶段采收率，预见开采过程中可能出现的主要问题等等。对于投入开发前必须正确决策的战略问题，都需要用概念模型加以研究。

下面以一个实际的例子来进一步说明概念模型的重要意义。

我国南海某油田通过三口探井证实后，开始进行了开发可行性研究。该油藏为厚层砂岩块状底水油藏，底水锥进速度成为开发可行性决策的一个关键问题。建立储层概念模型中，层内不连续的薄层泥质夹层的分布频率便成为头等重要的参数。开始，根据两口探井所得到的资料，建立了两个储层概念模型，主要差别是层内隔层数不同。经过数值模拟预测开采动态和经济评价，发现隔层数目多的模型，得出了投入开发经济可行的结论；而另一隔层数目较少的模型计算结果说明这一油田属于边际油田。两种结论有质的差别，促使开发地质、油藏工程人员把研究焦点又集中到了那一个概念模型具有更大的代表性。最后该油田通过了投入开发的论证。但这一实例充分说明了正确建立储层概念模型的重要意义及其在早期开发决

策中的重要作用。

储层概念模型不仅在资料较少的油田开发早期是必不可少的手段，而且在油田开发中后期，即整个开发全过程中，仍有其重要的实用意义。如我国胜坨油田投入注水开发多年以后，油田的开发地质、油藏工程技术人员根据沙二段上下油组储层分别属于河流砂体和三角洲河口坝砂体的实际情况，建立了分别代表上下油组的两个储层概念模型：上油组为亲油的正韵律储层，下油组为亲水的反韵律储层，通过数值模拟揭示了这两类砂体在注水开发中，砂体内油水运动的本质的差别。既揭示了水驱油的机理，又为全油田的开发调整战略决策提供了重要依据。由此可见，储层概念模型的合理选择和正确建立，可以收到事半功倍的重大效果。

至于在各种油藏数值模拟中，应用储层概念模型，研究不同类型储层的拟相渗透率曲线，则早已在实际工作中成为常规的手段。

## （二）静态模型

针对某一具体油田（或开发区）一个（或一套）储层，将其储层特征在三维空间的变化和分布如实地加以描述而建立的地质模型，即谓该油田该储层的静态模型。

对储层进行全油藏的如实描述，一般需要较密的井网，即开发井网钻成以后才有条件进行。主要为油田开发方案实施（即注采井别的确定，射孔方案实施等）、日常油田开发动态分析和作业施工、配产配注方案和局部调整服务。

60年代以来，我国各油田投入开发以后都要建立这样的静态模型。即各种小层平面图、油层剖面图和栅状图。有二维显示的，也有三维显示的，个别油田还做出实体模型以更直观地显现储层。这些储层静态模型在我国注水开发实践中起到了很好的和必不可少的作用。

80年代以来，国外利用计算机技术，逐步发展出一种依靠计算机存储和显示的三维静态模型。即把储层网块化后，把各网块参数按三维空间分布位置存入计算机内，这样就可以任意切片和切剖面，显示不同层位不同剖面的储层模型，以及进行其他各种运算和分析，更重要的是可以直接与油藏数值模拟连接。美国埃克森用该公司“Geoset”软件为大庆油田西二断块萨葡油层所建立的静态模型，就是一例（大庆油田内部资料）。

该模型把西二断块储层以X、Y、Z分别为 $50 \times 50 \times 0.2\text{m}$ 的尺寸网块细分，共用500多万个网块，有效网块也多达200多万。用井点测井解释的孔隙度、渗透率值内插得出每个网块的参数值，存入计算机建立了西二断块萨葡油层的整体的三维定量的静态模型。由于应用计算机处理，在确定砂体尖灭位置和内插参数值时，可以比传统勾绘等值图的方法考虑更多的条件和进行较为复杂的处理。但是这类模型仍然不追求井间参数的内插精度，只是把现有井网所揭示出的储层面貌描述出来。

这类静态模型在我国注水开发实践中已得到广泛应用，从采油井的日常管理到油田的大小调整措施，都说明这是必不可少的地质基础。

## （三）预测模型

预测模型的提出，本身就是油田开发深入发展的结果。注水技术的广泛应用和不断提高，使油田采收率可以提高到35—40%左右，但仍有大量石油资源残留在地下没有采出来。进一步提高采收率的各种新技术、新方法，自然应运而生，这些都泛称“三次采油”或“强化石油开采”方法，近20年来有了很大进展。但至今除热采重油外，都没有达到普遍工业性应用的水平。原因是多种的，其中有一重要因素是储层描述水平满足不了三次采油的要

求。通过大量的矿场先导性试验，经常发生这样的现象：一个方法或一种注入剂在室内实验和模拟计算中，肯定有较好的技术经济效果，但在现场实际试验中都失败了。多次的失败，使人们意识到失败的关键原因是室内实验和模拟时对储层（油藏）不是估计过于简单就是有一些关键地质因素没有估计到。如三次采油的基础是确切了解注水后的残余油分布，而残余油分布对储层参数的空间分布敏感性极强，一个错误的或精度不高的储层参数分布（如渗透率）模型，通过数值模拟研究只能得出错误的或精度不高的残余油分布图，以此作出的三次采油决策肯定也会出现问题。同样，一些储层特性及其细微的变化，对三次采油的注入剂及驱扫效率的敏感性远大于对注水效率的敏感性，如孔隙结构，孔隙间粘土基质，层内不稳定薄泥质夹层等。加拿大金穗油田碳酸盐岩块状储层中由于几个层内薄层不渗透隔层的存在，使混相驱段塞被阻失去了作用。油田开发实践促使开发地质工作者开始考虑，能否建立精度更高的储层地质模型？能否在常规开发井网（一般井距属百米级）条件下把井间（即资料控制点之间）的储层参数变化及其绝对值预测出来，即建立正确描述井间数十米级或甚至数米级规模的储层参数变化的地质模型，这就是 80 年代后期提出预测模型的生产依据。

由此可见，预测模型是对控制点间及以外地区的储层参数能作一定精度的内插或外推的预测。实质上是比静态模型精度更高的储层模型，为研究开发后期剩余油分布和三次采油提高采收率服务。应该说这是目前正在攻关的模型。

当前世界上一些大石油公司和研究院、高等学校，都在开展这一课题的攻关，尽管名称术语有所不同，追求的都是同一目标。从现已报导的一些动向看，其技术思路主要从两个方面入手。

一是沉积学加地质统计（Geostatistics）。利用出露较完整的野外露头，在详细的沉积学研究基础上，对一定沉积类型的储层砂体，进行网块式密集取样，测量储层参数，取样密度高达 5×5 英尺或甚至局部密至 1×1 英尺。把这一沉积类型砂体内部储层参数的三维空间分布，如实地直接揭示出来，并且与微小的沉积单元（岩石相、能量单元等）建立对比关系，然后推导出一种能反映这类砂体参数变化的地质统计方法。这样就可以应用这种地质统计方法（或统计模型），去预测地下同类沉积砂体储层的参数分布。法国石油研究院和美国能源部研究院都在进行这方面的研究，他们都选择油田实际储层在盆地边缘出露的露头上进行解剖，然后用于建立油田地下埋藏部分储层的预测模型。鉴于不同沉积类型砂体具有完全不同的内部储层参数变化规律，针对某一沉积类型砂体建立的地质统计法，只能适用于本类砂体的储层。如法国研究院提出的“地质统计软件”，他们声称适用于河流—三角洲砂体；美国能源部研究院搞的是滩脊砂（个人交流）。各种沉积类型砂体都必须去建立自己的预测方法，这将是非常繁杂的工作。追求一种通用的预测方法，也是一些研究工作者的目标，但要达到这一目标也是非常困难的。

另一种正在探索的途径是利用地震技术。除了常规的地震地层学方法，目前寄予较大希望的是井间地震（Cross-well seismic surveys）。这方面本文集中有关专题介绍，这里不再赘述。

#### （四）我国目前现状及今后研究方向

以 1960 年大庆油田投入开发为里程碑，我国石油工业，包括相应的科学技术研究，走上了自力更生，主要依靠自己的力量发展的道路。由于我国极大多数油田采用注水保持长期稳定高产的开发方针，所以对储层描述工作给予了高度的重视。60 年代大庆油田的小层对比和油砂体研究技术，不仅为大庆油田的长期稳定高产奠定了坚实的基础，而且在科学技术

水平上已处在当时世界前列。80年代开放以后,国外石油工程人员接触这一成果时,仍然无不表示钦佩。70年代初,储层沉积学研究同样在大庆油田首先开展,总结了湖盆大型河流—三角洲砂体储层的非均质模式,对大庆油田中期注水开发调整起到了重要的作用。1977年江汉油田地质会议后,储层沉积学研究很快在全国各油田普遍开展起来,成为新油田开发设计和老油田开发调整的常规手段。在这一期间,储层概念模型已得到广泛应用,但几乎全为二维的剖面模型或平面模型。初级的静态模型——即以油层剖面图和平面图表示的储层描述,也普遍得到应用。1962年大庆萨尔图油田南一区 and 北一区试验了按油砂体布置不规则面积注水井网,实质上是试图建立储层预测模型的尝试。但由于当时应用传统的地质作图方法,而对于相变剧烈的陆相碎屑岩储层,这些方法显然是不可能建立预测模型的。实践证明,这一工作是失败了。

我国开展现代油藏描述工作应是1985年以后。第一次提出的三维定量网块化储层概念模型,是1985年石油勘探开发科学研究院一个研究小组对我国陆相沉积盆地内六种河流砂体储层的总结<sup>(4)</sup>。此后,在胜利、河南、辽河、吉林等油田都在新油田开发和老油田调整中应用了定量的概念模型。十多年来,我国储层沉积工作者,丰富了陆相湖盆碎屑岩储层沉积模式和非均质模式的知识,为建立储层概念模型奠定了重要的基础。应该说,对于在我国占有绝对优势的陆相碎屑岩储层,建立概念模型的沉积学基础已基本成熟。

1986年油藏描述被列为“七·五”国家攻关项目。综合应用地质、测井、地震和试井资料,应用计算机描述储层,在胜利牛庄、江汉潭口地区及河南井楼油田都取得了成功。这一技术的推广将会使我国储层描述技术大大前进一步。与此同时,大庆油田与中科院合作,研制成功建立静态模型的参数输入、处理和输出显示的软件,类似于前述埃克森公司的“Geoset”软件。然而这些技术基本仍都属于多井描述建立静态模型范畴,除了对砂体连续性有一定的预测功能外,对于储层参数仍限于静态描述,无预测功能。

预测模型正处于开始攻关阶段。一些高等院校组织了沉积和数学工作者的协同研究小组,开展了野外露头调查。首批工作目标是河流砂体,因为我国进入开发后期的主力大油田都是以河流—三角洲砂体为主要储层,其中三角洲前缘砂体注水开发效果较好,预测较易,而河流砂体储层非均质严重,开发效果较差,预测也较难,攻克河流砂体储层的预测模型,对我国油田开发有较大的现实意义。

目前我国石油工业面临着一些重大变化。其一,仍然担负着主要产油量的主力老油田,都进入了高含水期开采,如何进一步挖掘潜力,减缓递减,提高采收率,关键问题是要细致地搞清剩余油分布状况,因此迫切需要能预测井间参数的较高精度的储层模型。其二,扩大后备储量的主战场逐步西移到边缘地区,自然地理条件非常复杂,探井成本大幅度提高。如何提高储层早期评价精度,提高探井地质效率,以较少探井和评价井准备即可投入开发,已成为加速西部新区勘探,提高技术经济效益的关键。其三,东部勘探成熟区进一步增加石油储量,面临的主要对象将是勘探开发难度较大的、隐蔽的复杂类型油藏,提高这类油藏的评价和预测技术,将会使大量边际油田转变为有经济价值的开发对象。考虑到这些新的情况,我国今后有关储层地质模型的研究方向应是:

(1) 进一步丰富和完善各类概念模型。总结大量的、配套的、适合我国石油地质特点的储层概念模型,是提高新区储层早期评价精度的基础。

碎屑岩储层要求完善配套。沉积类型上要侧重陆相沉积盆地中的粗碎屑岩家族,即冲积扇、扇三角洲及水下浊积扇等扇体沉积,以及一些特殊沉积类型,如风成砂及风暴砂等。方

法上要侧重总结一维剖面上能够识别的预测标志。

碳酸盐岩储层将是一个特别需要加强的新的领域。它将是我国西部和南方的后备战场的主要目的层。我国碳酸盐岩储层油藏还开发不多，而以气藏为主。有比较完善总结的碳酸盐岩储层，油藏方面仅有任丘式模型。气藏方面则比较丰富，如震旦系阳新统式，太原系式，三叠系式等。今后要油、气藏并重，完善气藏的概念模型，通过适当转化使之能服务于油藏的早期评价。由于碳酸盐岩储层储集空间的特殊性，建立储层概念模型时，更要综合沉积、成岩和构造作用，而目前最为薄弱的环节也正是对构造裂缝的预测。碳酸盐岩裂缝系统复杂，而它们在储集空间中占主导地位，因此建立这类储层模型（如桩西式）将是今后的重点。

(2) 完善和普及静态模型的计算机处理技术。目前在我国绝大部分油田的实际工作中，还是依靠手工，即传统的地质方法来建立储层静态模型。单井数字处理及绘制一些地质图件虽已普及，但应用计算机进行多井描述形成一个油藏的储层地质模型，还处在攻关阶段。今后重点应加强计算机软件的研究，发动更多单位来研制这类软件，积极推广大庆已有的软件，在应用中不断提高完善。同时与发展储层数据库配合，没有完善的数据库支持，建立静态模型将是无本之木。

(3) 加强预测模型的研究。加速预测模型的研究，是把起点放在当前国际水平前缘的重要方面。再者，我国以陆相沉积储层为主，国外建立的模型不可能完全适合我国的储层。全世界公认，陆相沉积的石油地质规律应由中国为主来总结。同样，陆相沉积储层的预测模型必须依靠我们自己的力量来建立。

我国有很好的试验基地，一些注水开发的多油层大油田，井网密度已达到 100—200m 井距，而且有大量的小井距（几十米）试验区，和很多同井场的成对井，成组井。并且积累了几十年的静动态资料，其中分层测试数据之多，也是世界上其他油田所难做到的，这为我们研究预测模型创造了良好条件。

我国在这方面遇到的困难是：开发时间长、资料丰富的油田主要在东部，而出露良好的露头却在西部。通过西部地区露头工作，指导东部油田，给储层沉积工作者增加了很多困难。比较沉积学、作用沉积学的深入研究和应用，将是解决这一困难的重要途径之一。我们坚信，在我国广大储层工作者的努力下，将会把我国储层地质模型的研究和应用，推进到一个更高的新的水平！

# 我国陆相储层成因类型研究进展

薛叔浩

(北京石油勘探开发科学研究院)

**摘要** 本文主要针对我国各油区近年来对陆相碎屑岩储层成因类型的研究进展,从四个方面作简要的介绍和评述。指出了在不同构造环境下的沉积盆地,地形的发育上有不同的特点,因而在储层类型的分布规模上也有明显的差异,在不同类型盆地和盆地不同演化阶段有其主要的油气储层类型。本文着重介绍冲(洪)积相砂体及河流相砂体。河流相砂体按其河型,进一步划分为6种砂体进行论述。对湖沉积相砂体类型、分布规律及含油性作了详细介绍。并且分别论述了潮湿带坳陷盆地、潮湿带和过渡带断陷盆地、干旱带坳陷盆地和干旱带断陷盆地的特点。文中还探讨了储层研究的发展方向。

## 一、引言

目前我国原油绝大部分产自中生界,或与中生代的陆相沉积有关的地层。储层类型多种多样,有陆相碎屑岩储层、陆相碳酸盐岩储层、海相碳酸盐岩储层、海相碎屑岩储层、火山岩储层及混合花岗岩、花岗片麻岩储层等。随着油气勘探开发的进展,对各类油气储层的研究不断深入,并促进了油气勘探开发效益的提高。

塔里木盆地塔中1号井奥陶系油气层的发现,打开了我国油气勘探的新篇章,也为针对以海相沉积层为油源层,以海相碳酸盐和海屑岩为主的储层研究提出了新的研究任务。

本文主要针对我国各油区近年来对陆相碎屑岩储层成因类型的研究进展作简要的介绍和评述。

## 二、陆相储层类型的分布

陆相沉积盆地碎屑岩储层成因类型、规模、几何形态和分布规律受物源区地形、盆地内部地形和水动力条件、气候带和构造活动性多因素的控制。

从盆地周边物源区至盆地内部深湖区发育了复杂的多级地形。第一级地形是盆地周边的山系,是盆地外部主要物源区。第二级地形是盆地边缘的山前斜坡区及盆地内部的高地—隆起带,当盆地整体沉降时,该区接受沉积,抬升时,为盆地内部剥蚀区。第三级地形是盆地内部的高地(凸起),在湖盆发展早期是湖中岛,在湖盆扩张期成为水下隆起。第四级地形是湖滨平原及滨浅湖区。第五级地形是深湖区。

在不同的构造环境下的沉积盆地,上述地形的发育具有不同的特点,因而在储层类型及分布规律上也有明显差异。以整体稳定升降为特征的大型坳陷盆地,地形开阔而平缓,从第一级地形的边缘至第五级地形,大致可以发育七种不同储层成因类型带,即冲积扇群带、辫状河冲积平原带、曲流河冲积平原带、三角洲分流平原带、三角洲前缘带、前三角洲浊积砂



体带和深湖薄层席状浊积砂体带。

以强烈差异升降为特征的断陷盆地，受多级断裂系统控制，地形变化急剧，坡降大，山高水深，沟道发育，以发育各种类型的粗碎屑岩储层为特征。在其陡坡带，毗邻山系或高地，常发育冲积扇，扇三角洲或近岸水下扇，在其缓坡带可以发育由辫状河形成的三角洲，在其轴向部位可以发育由低弯曲度河流形成的三角洲。在深水区常发育浊积岩砂体，在湖湾区常形成沿岸滩坝砂体。

在盆地发育的不同演化阶段，湖盆的扩张与收缩、沉降与充填发生节奏性的变化，故在不同沉积阶段储层成因类型也有着规律性的变化。在沉积盆地演化早期以冲积扇、河流及滨浅湖砂体为主。在盆地演化中期的扩张阶段，当盆地发生强烈深陷时，常发育近岸水下扇、深水浊积扇及水下沟道沉积，当盆地处于相对缓慢而稳定沉降时，常发育滩坝和生物礁沉积。在盆地演化中期的相对收缩阶段发育一般河流三角洲，辫状河三角洲和扇三角洲砂体。在沉积盆地演化后期则发育河流三角洲砂体及大面积的河流冲积平原砂体。

总之，在不同类型盆地和盆地的不同演化阶段有其主要的油气储层类型（表1，以“+”号的多少表明各类油气储层的相对比例）。应当指出，有的盆地由于勘探程度和研究程度的

表1 我国中生代主要含油气盆地陆相储层类型分布

| 盆地 \ 储层类型 | 冲(洪)积扇 | 河流  | 三角洲 | 扇三角洲 | 近岸水下扇 | 滩坝  | 碳酸盐 | 深水扇 | 风暴沉积 |
|-----------|--------|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|------|
| 松辽盆地      |        | +++ | +++ | ++   |       | +   |     |     |      |
| 二连盆地      |        |     |     | +++  | +++   | +   |     |     | +    |
| 渤海湾盆地     | +      | +++ | +++ | +++  | +++   | ++  | ++  | ++  | +    |
| 苏北盆地      |        | ++  | +++ | ++   | ++    | +++ | ++  | +   | +    |
| 南襄盆地      |        |     | ++  | ++   | +++   |     | +   |     |      |
| 江汉盆地      |        |     | ++  | ++   |       | +++ |     | +   |      |
| 四川盆地      |        |     | ++  | ++   |       |     | ++  |     |      |
| 百色盆地      |        |     |     | ++   | ++    | ++  |     |     | 。    |
| 陕甘宁盆地     |        | +++ | +++ | ++   | ++    |     |     |     |      |
| 酒西盆地      |        | +++ | ++  | ++   | ++    |     |     |     |      |
| 柴达木盆地     | ++     | ++  | ++  |      |       |     | +   |     |      |
| 吐鲁番盆地     |        |     | ++  |      |       |     |     |     |      |
| 准噶尔盆地     | +++    | ++  | ++  |      |       |     |     |     |      |
| 塔里木盆地     | ++     | ++  | +++ | +++  |       | ++  |     |     |      |
| 沿海大陆      |        |     | ++  | ++   | ++    | ++  | ++  | ++  |      |
| 柴诺盆地      |        |     |     |      |       |     |     |     |      |