



油气储层地质学基础

Basis of Hydrocarbon Reservoir Geology

于兴河 教授 博士生导师

中国地质大学（北京）能源学院石油教研室

Tel: 82320109 或 82321857 (O)

Email: billyu@cugb.edu.cn





参考文献



1. 于兴河, 2009, 《油气储层地质学基础》, 石油工业出版社。
2. 陈恭洋. 2000. 碎屑岩油气储层随机建模. 北京: 地质出版社。
3. 戴启德, 黄玉杰. 2006. 油田开发地质学. 东营: 中国石油大学出版社。
4. 戴启德, 纪友亮. 1996. 油气储层地质学. 东营: 中国石油大学出版社。
5. 陈恭洋 著, 2000, 《碎屑岩油气储层随机建模》, 地质出版社。
6. 冯增昭. 1993. 沉积岩石学. 北京: 石油工业出版社。
7. 马永生, 等. 1999. 碳酸盐岩储层沉积学. 北京: 地质出版社。
8. Weber K J. 1986. How heterogeneity affects oil recovery. In: Reservoir characterization (Lake LW, Carrol HB, Eds) Academic Press.
9. Wilson J G. 1975. Carbonate facies in geologic history, Springer-Verlag New York.
10. Wright A E, Moseley F. 1975. Ice Ages: Ancient and Modern. Geol. J. Spec. Issue 6, 320p. Liverpool: Seal House Press.
11. Haldorsen H H. 1983. Reservoir characterization procedures for numerical simulation. University of Texas at Austin. PhD thesis.



参考文献



1. **Pettijohn F.J. et al., 1987, Sand and sandstones 2nd, Springer-Werlag, Berlin, Haidelberg, New York.**
2. **Walker R.G. and James N.P, 1992 Facies models: Response to Sea Level Change, Geological Association of Canada. IV. Series.**
3. **Simon W. Houlding, 1994, 3D Geoscience Modeling: Computer Techniques for Geological Characterization. Springer-Verlag**
4. **Reading H.G. (ed), 1996, Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy 3rd, Blackwell Scientific Publications.**
5. **Edward A. Beaumont and Norman H. Foster, 1999, Exploring For Oil and Gas Traps: Handbook of Petroleum Geology. Published by AAPG, Tulsa, Oklahoma.**
6. **Gerhard Einsele, 1992, 2000, Sedimentary Basins: evolution, facies, and sediment budget, Springer- Verlag Berlin Heidelberg.**
7. **Clayton V.Deutsch, 2002, Geostatistical Reservoir Modeling Oxford University Press**
8. **Roger M. Slatt, 2006, Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists, and engineers, handbook of petroleum exploration and production. University of Oklahoma.**



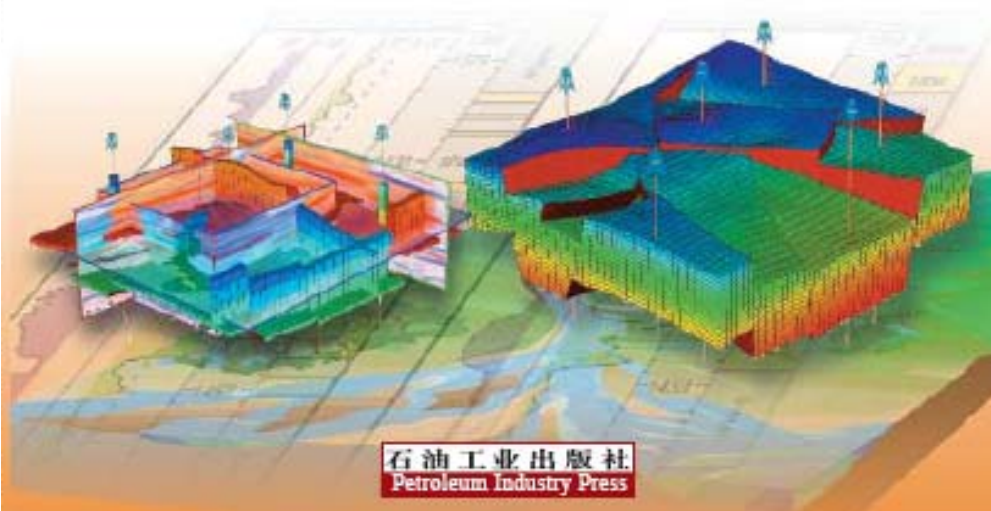
普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等院校石油天然气类规划教材

油气储层地质学基础

于兴河 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press



第一章 绪论

第一节 储层地质学的概念与研究内容

第二节 储层地质学研究的动态与趋势

第三节 国内外油气储层研究方向



第一章 绪论

全球的石油和天然气勘探实践表明，三大岩类中均发现有油气田，但99%以上的油气储量都储集在沉积岩中，其中又以碎屑岩和碳酸盐岩为主，我国90%以上的油气储量分布在碎屑岩地层之中。

第一节 储层地质学的概念与研究内容

一、定义及相关概念：

(一) 储层

“凡是能够储存并渗滤油气的岩层”均称为**油气储集层**，简称储层。当储层中含有工业价值的油气流时，人们通常称为油层、气层、或油气层。

两大要素：**孔隙度和渗透率**，前者控制“储能”；后者决定产能。它是油气勘探与开发的直接目的层。



第一节 储层地质学的概念与研究内容

(二) 储层地质学 (Reservoir Geology)

储层地质学又名油藏地质学，是指应用地质与地球物理、以及各种分析化验资料，研究和解释油气储集地质体的成因、演化及分布，描述并表征储层的主要特征（几何特性和物理特征）与信息，应用定性与定量方法来分析和评价储层不同层次的非均质在油气勘探与开发中的影响，采用先进的建模技术预测其空间展布的一门综合性应用学科。

因此，储层地质学是连接石油地质与油气田开发地质的一个重要桥梁，是在油气田勘探与开发长期实践中逐渐兴起并完善的一门综合性、实践性较强的前缘性学科。

(三) 储层表征(Reservoir Characterization)

“定量地确定储层的性质、识别其地质信息及空间变化的不确定性过程。”

储层地质信息

①物理特性 (Property 属性) ——非均质性
Heterogeneities

②空间特性 (Geometry & Spatial) ——各向异性
Anisotropies

因此，储层表征目的是提供多个储层构形格架，即：建立具有上述两大信息的储层地质模型。



第一节 储层地质学的概念与研究内容

(四) 油藏描述

油藏描述是以沉积学、构造地质学和石油地质学的理论为指导，用地质、地震、测井及计算机手段，定性分析和定量描述油藏在三维空间中特征的一种综合研究方法。

阶段	勘探阶段		开发阶段	
	勘探早期	勘探中后期	开发早期	开发中后期
资料状况	一口发现井	评价井为基础	第一批开发井网	生产动态
研究目的	探明油气藏	评价油气藏	优化开发方案 提高开发效率	调整开发方案、加密 钻井、提高采收率
研究内容	利用地震信息，研究油气藏类型、储集体规模、油气层分布等	发挥多井综合评价的优势，对油气藏结构和参数的三维分布进行描述	利用已有的开发井网开展油层的精细划分与对比，沉积微相研究，进行综合测井解释与评价，分析储层的渗流地质特征	结合动态资料开展井间储层表征，分析流体属性参数变化的规律，预测剩余油的分布
最终成果	提交控制储量和提出评价井位，优化勘探部署	建立油藏概念模型，提交探明储量	建立静态地质模型	建立储层预测模型，提交加密钻井的井位与层位



第一节 储层地质学的概念与研究内容

(五) 异同点

油藏描述的重点：使用地球物理的技术方法对实际油藏各种地质特征的具体描述，其描述内容除了储层本身外，还包括流体的特征与油藏类型等，**目的**是建立油藏的静态模型，是确定性建模；

储层表征的重点：应用地质统计学的方法来定性研究和定量表征储层本身的两大地质特性。以储层两大特性的研究和成因解释为主，强调定量与形成的动态过程，以建立预测模型为**宗旨**，属于随机建模。



第一节 储层地质学的概念与研究内容

储层地质学研究的任务及领域

Task and Domain of Research on Reservoir Geology

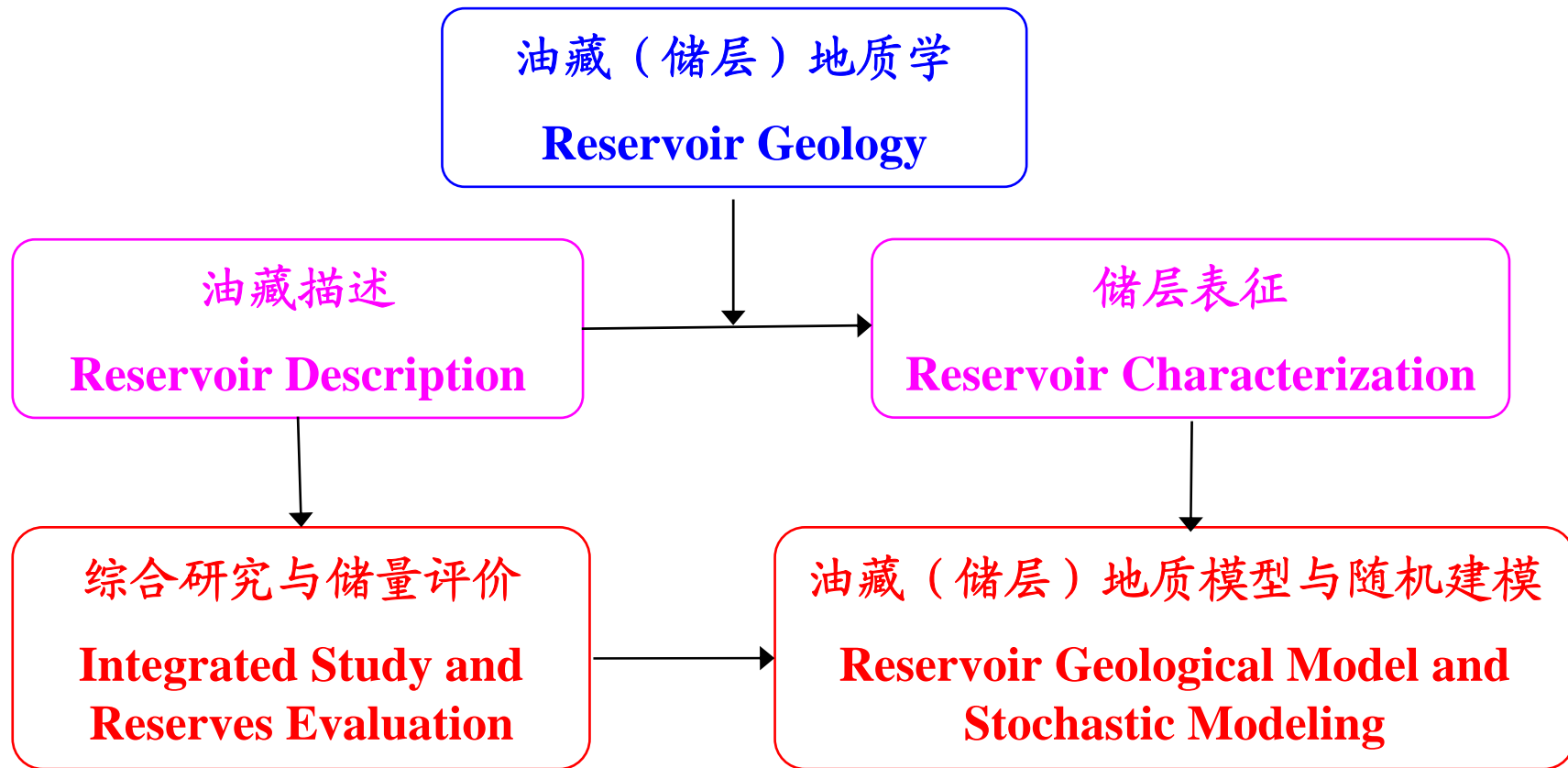


图 1-1 储层地质学、油藏描述及储层表征三者之间的相互关系



第一节 储层地质学的概念与研究内容

二、任务及目的

(一) 任务:

研究油气储层的宏观展布规律(各向异性)、储集空间的内部结构特点及其孔隙度与渗透率的分布特征(非均质性)。即建立储层的各种属性模型。

(二) 目的:

广义上: ①寻找和预测有利的储集相带; ②提高采收率; ③为储量计算服务。

狭义上: ①确定储层的有效范围与性质; ②加密井的布置; ③外延井的确定。

(三) 研究的中心问题

①储层的物理特性: 指储层内部的孔、渗、饱、电性、岩性及成岩现象等。

②储层的空间特性: 指储层(砂体)的几何形态及其在三度空间的变化规律。



第一节 储层地质学的概念与研究内容

(四) 相关学科

- ①石油地质学；②油层物理学；③沉积学；④油气田开发地质学；
⑤地球物理学；⑥数学地质；⑦计算机技术。

储层地质学的任务、内容及学科基础

任务	核心内容	学科基础
对储集体的外观形体与内部属性的空间展布进行预测	①物理特性—非均质性； ②几何特性—各向异性。	沉积岩石学、岩石学、古生物和古生态学、构造地质学、石油地质学、有机地球化学、油层物理学、层序地层学和地震地层学、矿场地球物理学、岩石力学、渗流力学、钻井工程和采油工程等。



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

一、油气储层研究的地位与面临的挑战

(一) 从石油工业的技术发展历史来看

世界石油工业的发展经历了三次大的技术革命:

技术革命	第一次	第二次	第三次
作用	<p>钻井技术的改进:</p> <p>提高了钻进速度与深度,增加了发现新油气田的机遇。</p>	<p>地震勘探技术的革新: 从20世纪60年代的光点记录→70年代的模拟磁带记录发展到→80年代的数字磁带记录,尤其是90年代以来,三维地震和人机联作等高新解释技术的涌现,不仅使勘探领域由高勘探区扩大到低勘探区,而且直接利用地震资料预测储层的内部结构、储集性能,如20世纪末与21世纪初的三维地震与测井,从静态走向了真正的动态。</p>	<p>为储层表征与随机建模所进行的各种技术革新与创新。</p>



第二节 储层地质学研究的动态与趋势



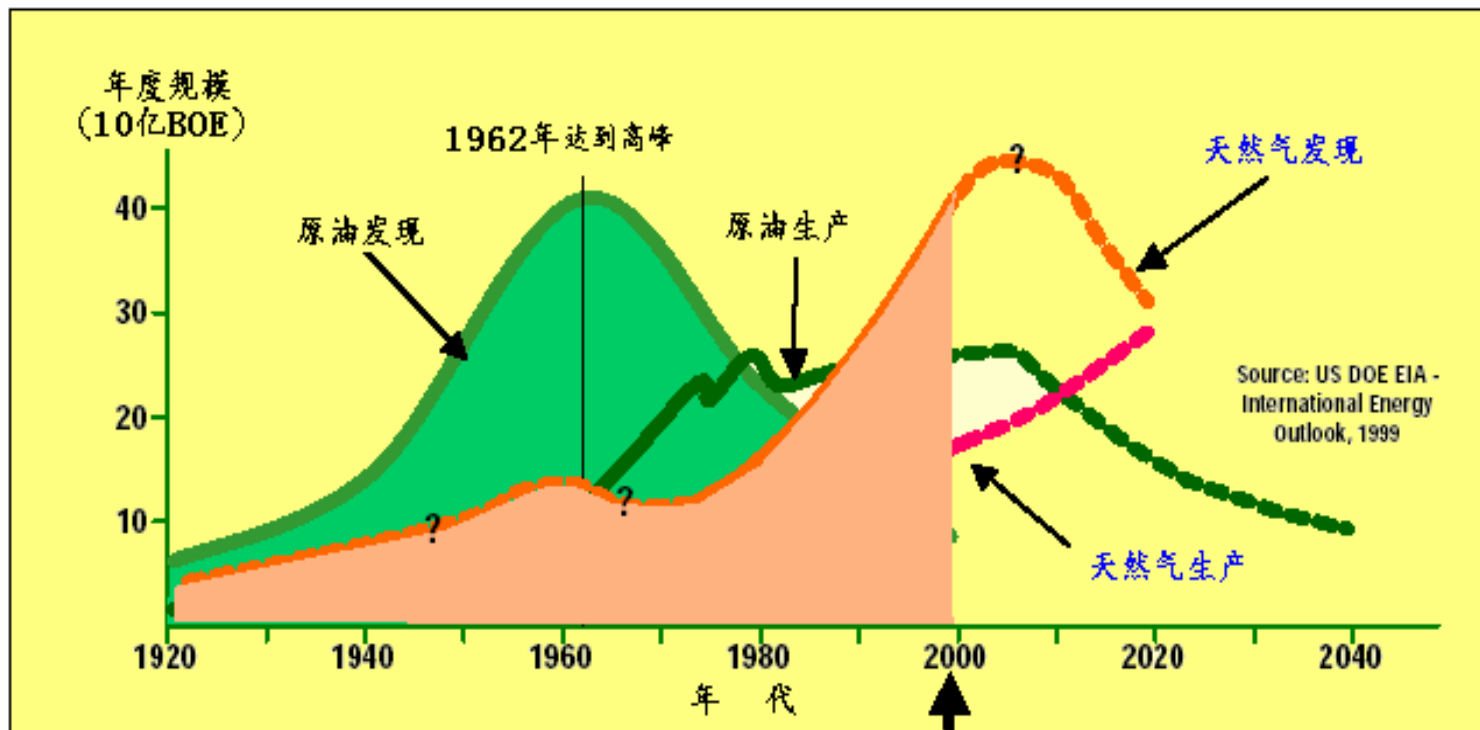
(二) 从石油和天然气的勘探现状来看

- 老区挖潜、新区细探，精细储层表征。
- 问题的两方面：一是勘探：寻找新的油气勘探领域和油田；
二是提高已开采油气的采收率与预测剩余油的分布。
- 前者的主要任务开拓新的找油思路与建立新的成油理论；
后者的主要任务是开发与利用新的方法技术。
- 前者是增加地质储量；后者是增储（可采储量）上产。
- 前者是寻找目标打评价井；后者是搞清储层的非均质性与剩余油分布，布置加密钻井和油田的扩边。

第二节 储层地质学研究的动态与趋势

世界油气勘探开发趋势

- 原油生产的重要性超过勘探
- 天然气生产是必然趋势，无论是勘探还是开发





第二节 储层地质学研究的动态与趋势

(三) 从挖掘新的储量所面临的挑战

一是必须更精确地描述储层特征，按油藏规模描述砂体的连续性、储层物性的空间分布及岩石内部微观特征等。

二是改善或提高认识储层非均质性的手段，包括储层的静态和动态特征。

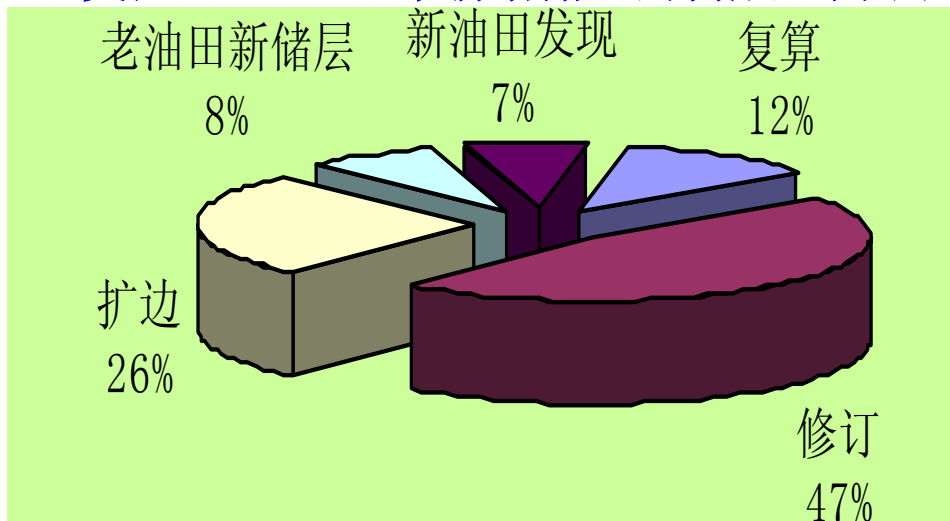
而解决这些问题的方法就是开展储层表征及建模研究。

(四) 油气田开发与扩边所面临的挑战

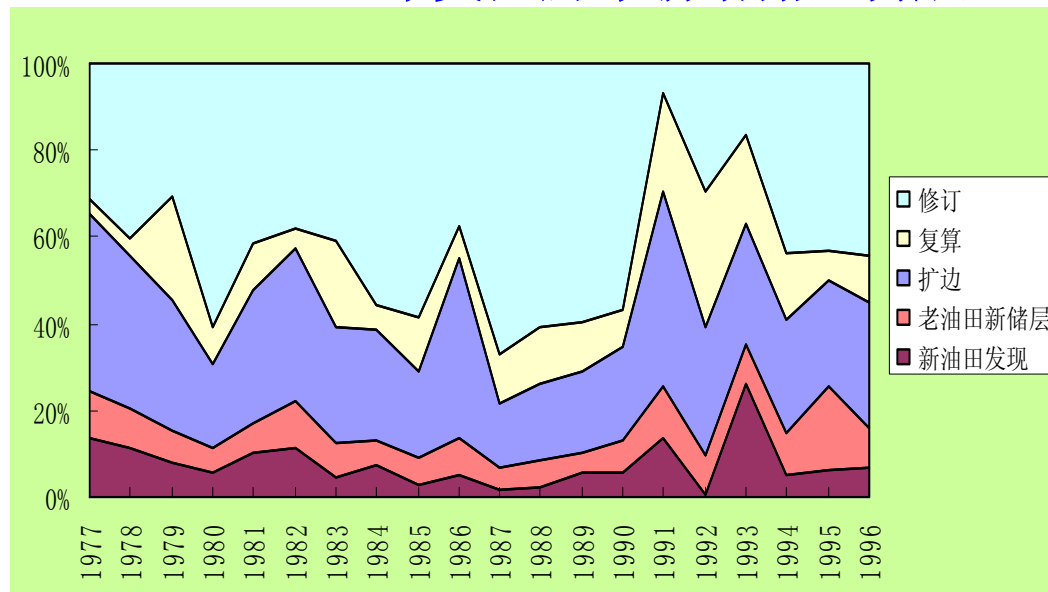
目前我国70~80%以上的油田已进入了高含水期的开采阶段，地下油气水的分布极为复杂；各种非均质性隔挡使剩余油呈分散状分布。进行精细的定量储层描述或储层表征研究，是解决这一问题的重要途径。

第二节 储层地质学研究的动态与趋势

美国1977-1996年新增储量的构成比例(%)



1977~1996年美国历年新增储量构成

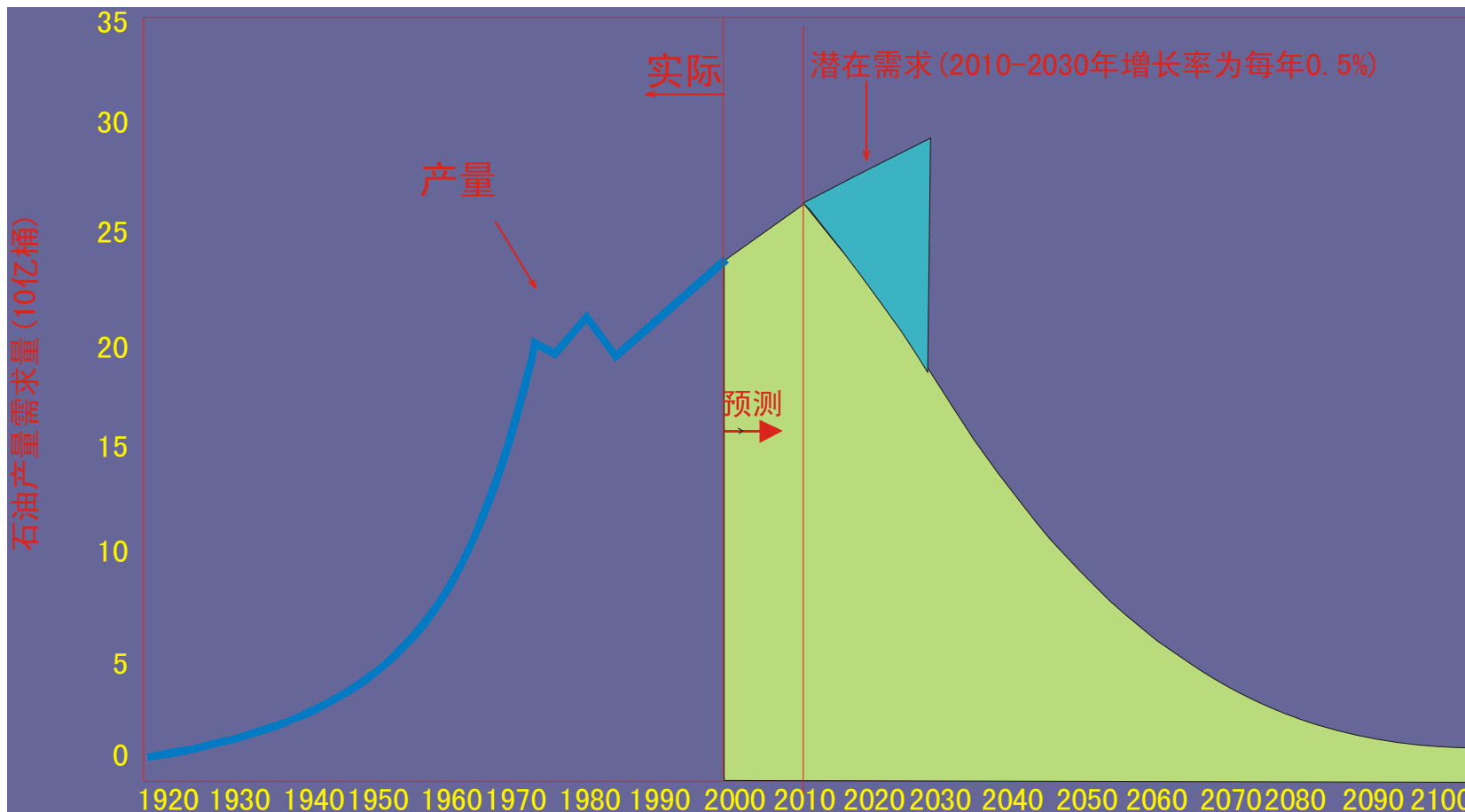




第二节 储层地质学研究的动态与趋势



世界石油产量与需求预测



1992~2000年的年需求增长量1.3%，2000~2010年的需求增长量为10%



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

(五) 从学科发展的地位来看

- 盆地分析 / 盆地模拟 (**Basin Analysis / Basin Simulation**)
- 地震 / 层序地层学 (**Seismic / Sequence Stratigraphy**)
- 储层表征 / 油藏描述 (**Reservoir Characterization / Reservoir Description**)

表 1-4 当前国内外油气勘探系统研究水平与重点的对比

项目	目的	国外	国内	比较
成盆系统	盆地资源评价	从全球板块构造的演化来分析含油盆地的形成时间(定时)和所处古纬度的位置(定位)来评价盆地的油气资源潜力	以盆地油气生成、运移、聚集的基本地质单元,多年仅限于研究盆地内的建造与改造	缺乏全球板块演化观,理论难于创新
成烃系统	源岩的定时、定位及定量	海相生油理论成熟,分析测试全面,技术先进	以陆相为主,理论成熟,分析测试不全,技术引进	跟随性思维,有所创新
成藏系统	油藏的定时、定位及定量	重在流体和成藏机理,含油气系统、封存箱与异常压力带的研究成熟	成藏要素分析为主,机理分析较少,含油气系统、封存箱与异常压力带的研究有所重视	跟随性思维,临摹性研究;有待创新



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

1、盆地分析 / 盆地模拟

盆地分析主要是分析形成盆地三史：构造演化史、热史及沉积埋藏史；而模拟则主要是模拟油气的五大过程：即生、运、聚、排、散。其目的有三：①有利勘探区带预测；②勘探目标选择；③综合含油气系统分析。前者为基础，后者为内容。

2、地震 / 层序地层学研究

地震地层学则是研究的基础，层序地层学为内容。其目的有四：①确定等时地层格架；②分析沉积体系域的时、空分布规律及配置；③预测沉积体的空间展布；④为盆地模拟和储层建模服务。

3、储层表征 / 油藏描述

目的为：①了解与定量描述储层的各向异性和非均质性；②为提高采收率和开发方案服务；③确定加密钻井和外延井。



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

(六) 从我国油气工业战略与发展需求来看

由于我国工业发展与经济建设对石油和天然气的急需，致使我国目前石油和天然气工业的战略方针已较前一段时期（80年代早期）发生了重大变化：总体方针是：①“开发西部、稳住东部”；②“以经济效益为中心”开展石油和天然气的勘探与开发；③研究重点“勘探与开发并举”、“从浅层走向深层”、“从浅海走向深海”、“从国内走向国际”。

由此可见，在今后10~20年中我国的石油地质研究中心将是：

- ①以增储（主要是可采储量）上产为目的；
- ②大力开展二次或三次采油；
- ③寻找深层或隐蔽油气藏；
- ④以油气储层表征为中心的定量静态模型和预测模型的建立



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

(一) 储层地质学的形成与发展阶段 (1966 ~ 1983)

- 1、油藏描述的提出与形成
- 2、储层沉积学的形成
- 3、储层非均质概念的形成
- 4、地质统计学的引入形成随机建模技术

(二) 储层表征的形成与发展阶段 (1984 ~ 1995)

- 1、流动单元的提出
- 2、储层表征的形成
- 3、储层非均质的专业化
- 4、随机建模方法与软件



第二节 储层地质学研究的动态与趋势

(三) 储层地质学展望

- 1、有利储集相带的准确预测；
- 2、储层的井间预测和外推；
- 3、钻井、采油、作业、注水等过程中的油层保护；
- 4、低渗透层的改造；
- 5、开发过程中动态监测技术；
- 6、剩余油分布的预测
- 7、提高采收率方法的筛选等等。

这些问题的解决都是以储层为研究对象，以储层评价为基础，以有利储层预测为目的。

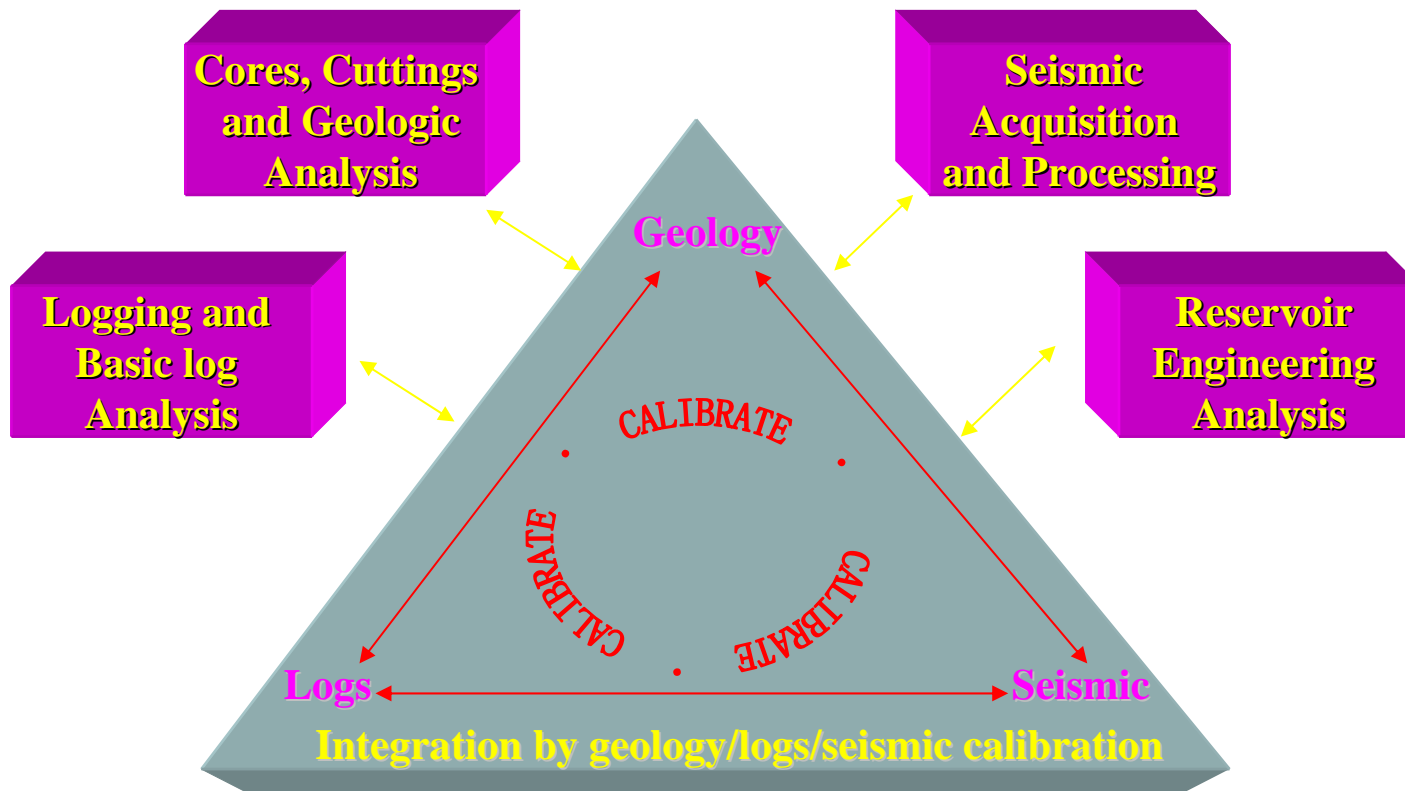


第二节 储层地质学研究的动态与趋势

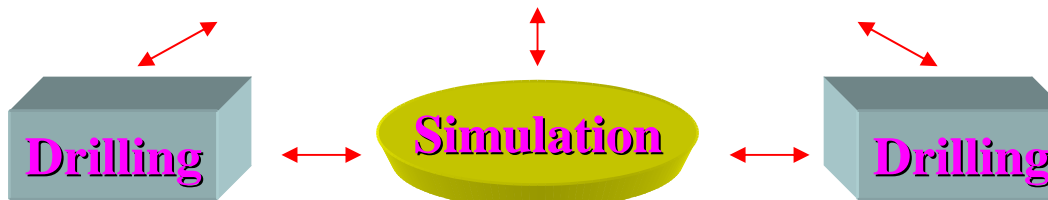
- 1、层次上：（宏观向微观发展）
- 2、方法上：（定性向定量发展）
- 3、目的上：（理论向应用发展）
- 4、形式上：（静态向动态发展）
- 5、学科上：（单一向综合发展）
- 6、手段上：（手工向电脑发展）
- 7、领域上：（地区向全球发展）
- 8、体制上：（独立向分享发展）

第三节 国内外油气储层研究方向

The Integrated Field Study of Reservoir Characterization



[Using and calibrating all sources of information ensures the highest possible accuracy]





第三节 国内外油气储层研究方向

国内外油气勘探系统研究水平与重点的对比

项目	目的	国外	国内	比较
成盆系统	盆地资源评价	从全球板块构造的演化来分析含油盆地的形成时间（定时）和所处古纬度的位置（定位）来评价盆地的油气资源潜力。	以盆地油气生成、运移、聚集的基本地质单元，多年仅限于研究盆地内的建造与改造。	缺乏全球板块演化观，理论难于创新。
成烃系统	源岩的定时、定位及定量	以海生油，理论成熟，分析测试全面，技术先进	以陆相为主，理论成熟，分析测试不全，技术引进	跟随性思维，有所创新
成藏系统	油藏的定时、定位及定量	重在流体和成藏机理，含油气系统、封存箱与异常压力带的研究成熟	成藏要素分析为主，机理分析较少，含油气系统、封存箱与异常压力带的研究有所重视	跟随性思维，临摹性研究；有待创新

造成这些现象的主要原因：

产、学、研结合不够紧密；
 知识产权保护与共享不足；
 科学与项目研究长期混论；
 特色与创新意思有待加强。



第三节 国内外油气储层研究方向

常见的储层模拟或随机建模（Stochastic Modelling）方法主要有：

- 转带法（Truning Bands Method）；
- 布尔模拟（Boolean Simulation）；
- 示性点过程模拟（Marked Point Process Simulation）；
- 增强截断高斯法与（Enhance Truncated Guass）；
- 序贯高斯模拟法（Sequential Guass Simulation）；
- 序贯指示模拟法（Sequential Indicator Simulation）；
- 分形几何法（Fractal Geometry）；
- 模拟退火法(Simulated Annealing)。



第三节 国内外油气储层研究方向

手段上：各种模拟方法与软件的不断涌现

微机上的软件有：

Petrel

RMS

Geostat

Gridstat

S.M.A.R.T

FastTracker

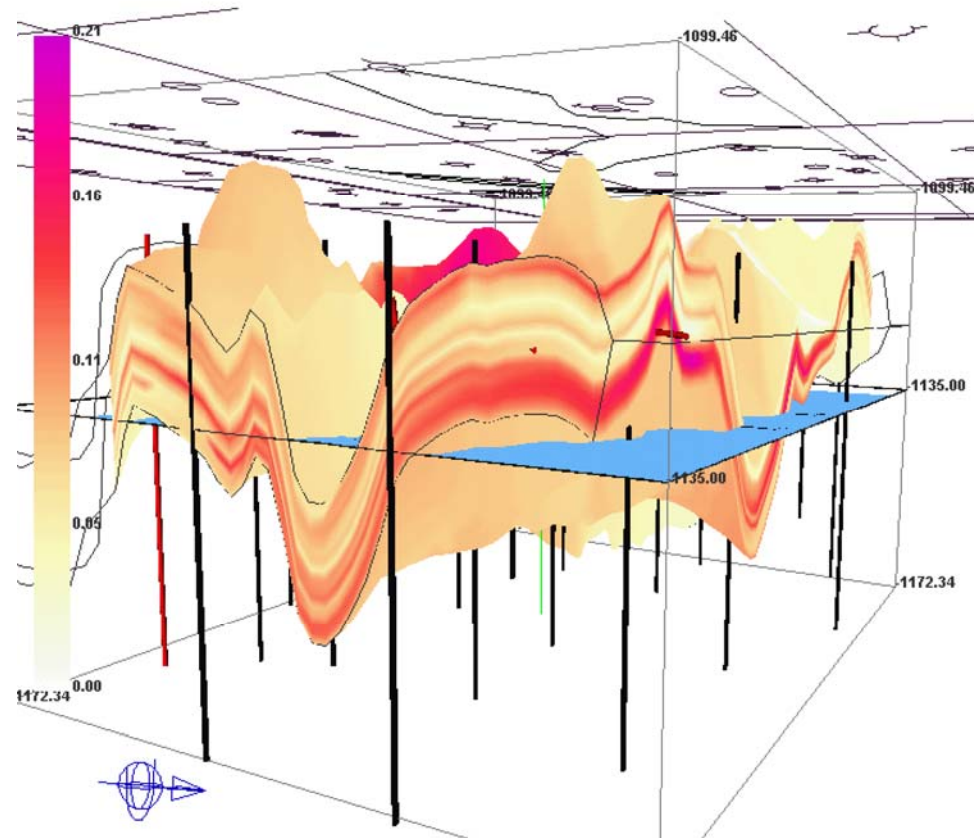
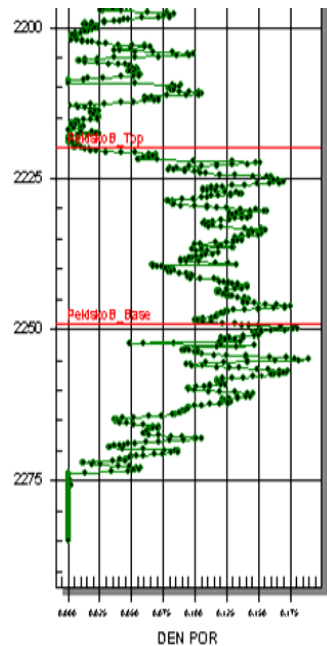


S.M.A.R.T. Database

- **Logs (GR, Porosity, Permeability,
So Saturation, Perforations, etc.)**
- **Tops**
- **Seismic**
- **Geographic Information System (GIS)**
- **Well Trajectories**

S.M.A.R.T. Uses Log Data

01-01-001-01W1	
Depth	PhiE
~A	
2220.0	0.195
2220.2	0.168
2220.4	0.143
2220.6	0.067
2220.8	0.053
2221.0	0.033
2221.2	0.000
2221.4	0.005
2221.6	0.031
2221.8	0.021

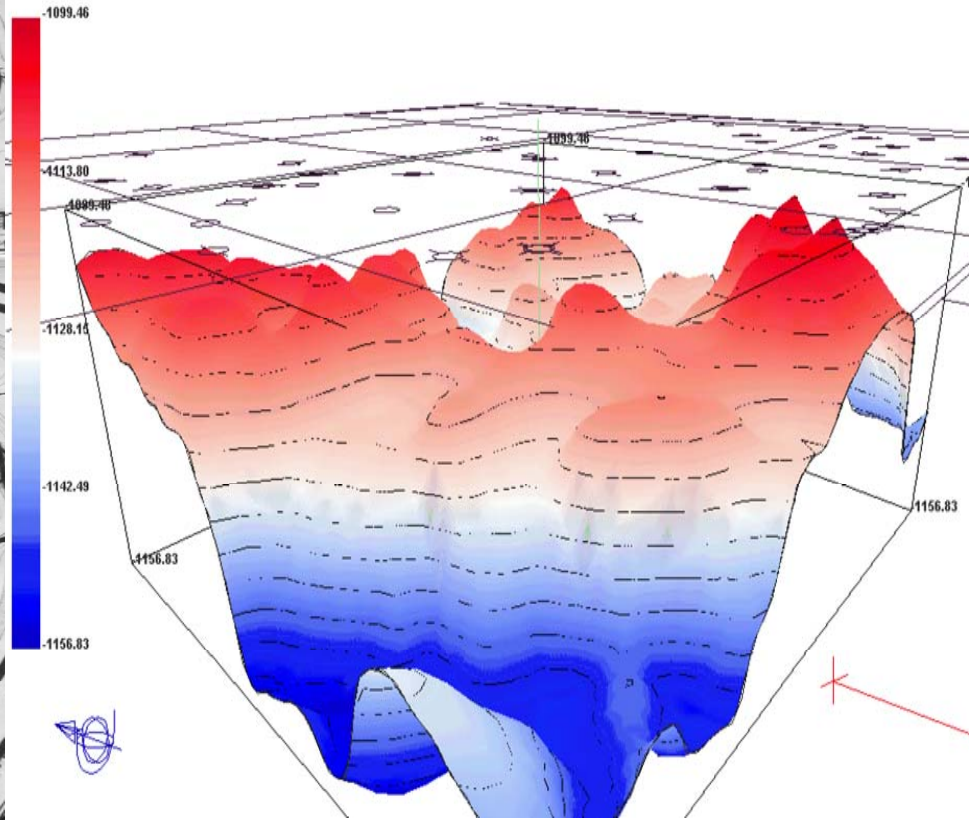
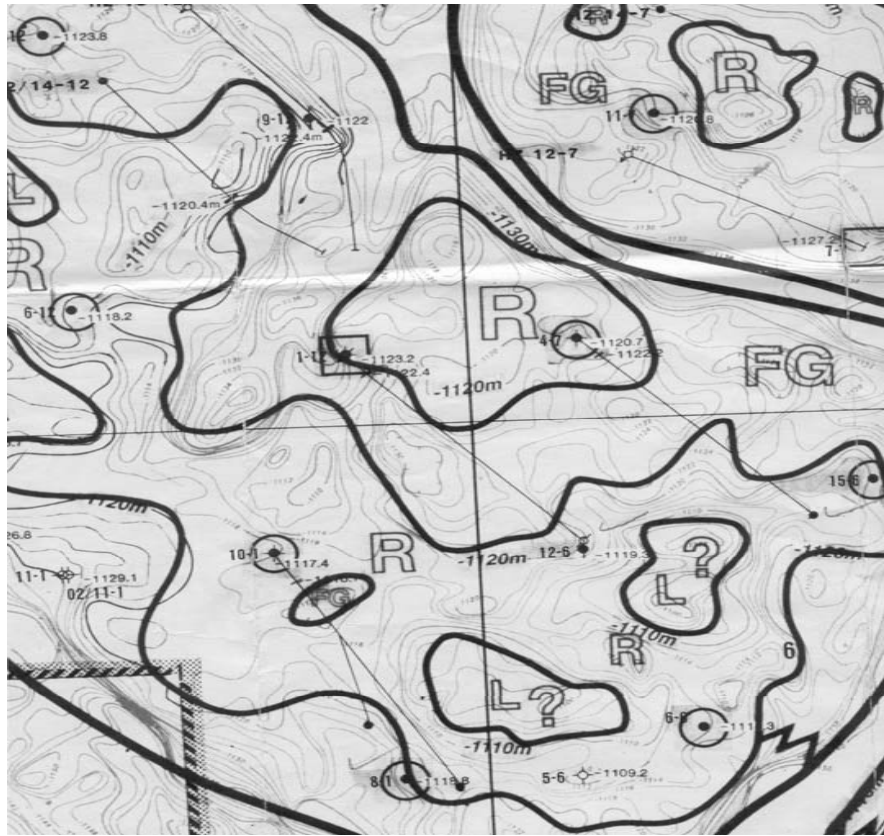


Input Porosity Log



Good Porosity

S.M.A.R.T. Uses Seismic Results



Seismic Results



3-D Structure Map



Structure Top



FastTracker

- 基于象元的随机模拟(三种函数共同拟合一种变异函数)
 - (SIS with Trend) 计算150万个网格单元/每分钟。
 - (SGS) 计算250万个网格单元/每分钟。
 - 井间的连通体积计算。
 - 有效的流体体积计算。
 - 从模型中提取拟(伪)测井曲线。
 - 油水界面分析, 有效体积计算。

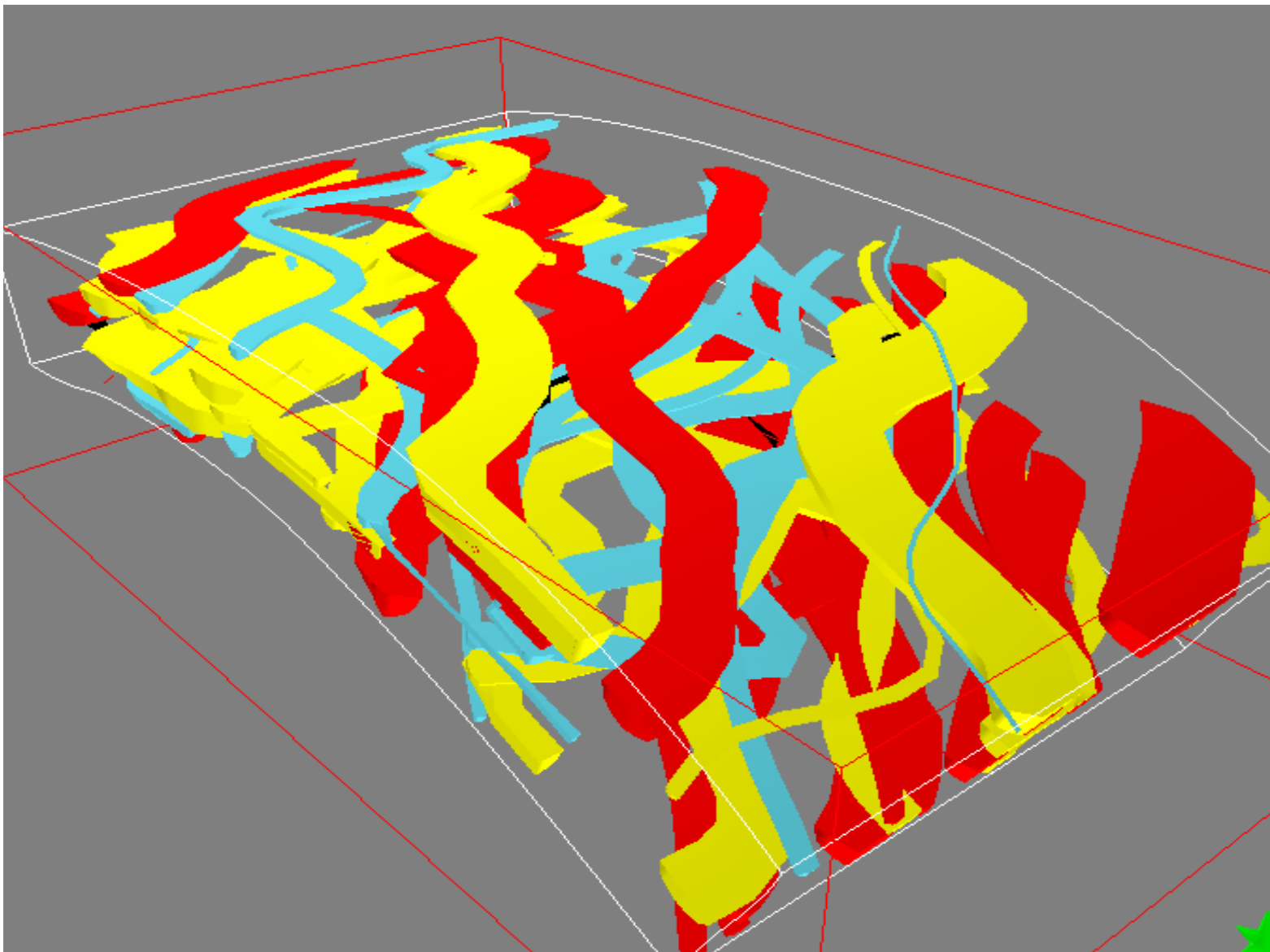


--确定性和随机目标模拟

确定性和随机目标模型常常应用于河流相和三角洲相地区的储层建模。*FastTracker*可以根据地震属性或其它图件解释河道和地质体。在目标模型中建立精细的角点网格，利用模拟退火的方法模拟地质体的岩相属性，针对现有的岩相在空间上的分布，引导储层属性模型的建立。



表征河流的形态、交织与属性





FastTracker

用Monte Carlo法进行风险评估

*FastTracker*通过Monte Carlo的风险评估方法，可利用整个建模过程中的任意点的数据对储层模型进行敏感性测试、分析油气的不确定性分布，综合分析岩性、物性、含油性等参数确定储层有利分布区，提高模型建立的精度，降低钻井风险。



FastTracker

模型粗化(网格粗化)

- 具有非常有效的方法为油藏数值模拟提供网格粗化的储层属性模型，并保持原有储层模型的非均质性。在渗透率模型粗化时，充分考虑到了流体压力和油水边界等条件。
- 模型粗化的结果可以直接输出Eclipse、VIP和CMG的标准格式以及ASCII格式。



当前油气储层攻关的热点问题

- 砂体内部建筑结构或构形特征分析 (Internal architecture)
 - 1) 确定流体流动单元 (Fluid flow units)
 - 2) 分析不连续薄层的展布及规律 (Discontinuous barriers)
 - 3) 各级界面的划分 (Bounding surface or Boundaries)
 - 4) 纹层的识别 (Laminae)
- 井间储层物性预测 (Interwell prediction)
 - 1) 孔隙度
 - 2) 渗透率
 - 3) 饱和度
- 砂体或储层连续性的确定 (Reservoir continuity)
 - 1) 成因单元几何尺寸的确定与测量 (Geometry & Size)
 - 2) 砂体连续程度的分析 (Connectedness)
- 有利孔隙带分布的预测
 - 1) 孔隙的分带性 (Porosity zonation)
 - 2) 低渗透带的预测
 - 3) 深层次生孔隙的发育机理



当前油气储层攻关的热点问题

- 储层的伤害与保护

- 1) 敏感性分析

- 2) 储层流体-相互作用

- 裂缝与原地应力分析

- 1) 裂缝地层学 (**Fracture Stratigraphy**)

- 2) 裂缝间距 (**Spacing**)



思考题

- 1、什么是储层地质学？它研究的核心内容是什么？
- 2、储层地质学是如何兴起的？
- 3、储层地质学未来的发展趋势如何？
- 4、试述储层地质学与油藏描述、储层表征的关系。
- 5、储层地质学当前所面临的难点问题有哪些？