



# 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](mailto:billyu@cugb.edu.cn)

March 5, 2009





# 第三章 油气储层地质研究方法



第一节 沉积相的地质研究

第二节 储层的测井研究方法

第三节 储层的地震研究方法



# 第一节 沉积相的地质研究方法

## 一、储层的岩石学研究方法

- (一) 岩心描述
- (二) 实验室分析测试技术
- (三) 储层岩石学研究成果

## 二、储层划分和对比

- (一) 碎屑岩储层划分和对比
- (二) 碳酸盐岩储层划分和对比

## 三、沉积相的地质研究方法

- (一) 岩心沉积相标志研究
- (二) 单井剖面相分析
- (三) 连井剖面相/砂体对比
- (四) 平面相分析



# 第一节 沉积相的地质研究方法



储层沉积相研究是储层地质研究的重要内容，通常根据**露头与岩心描述**资料，分析地层岩性及储层油气储集条件，掌握储层层位及其在分布和发育状况，结合测井资料建立完整的单井与连井综合沉积相剖面，从而形成储层在研究区域内纵向上和横向上发育、分布的基本格架，并在沉积模式的指导下进行平面沉积相分布研究。

## 一、储层的岩石学研究方法

储层的岩石学特征包括**储层岩石的颜色、成分、结构、沉积构造以及沉积（微）相类型研究**等方面。研究主要借助露头与地质录井方面的资料，通过肉眼观察描述和实验室分析测试技术来进行储层岩石学特征描述研究。



# 第一节 沉积相的地质研究方法



## (一) 岩心描述

### 1、碎屑岩岩心描述

- ①定名。岩石定名 = 颜色 + 含油、气、水产状及特殊含有物 + 岩性
- ②颜色。
- ③岩心含油、气、水特征的描述。
- ④矿物成分。
- ⑤结构。
- ⑥构造。
- ⑦沉积旋回。
- ⑧生物化石及其他沉积特征。
- ⑨地层岩性接触关系。渐变接触、突变接触、冲刷面。
- ⑩素描图。



# 第一节 沉积相的地质研究方法

## 2、粘土岩岩心描述

由实验室进行生油指标及其物理、化学性质分析，为研究隔层、防止套管的损坏、钻井和采油工程提供资料。对粘土岩的描述与碎屑岩不同之处主要是粘土矿物特征具泥裂、雨痕、晶体印痕等。其它描述同碎屑岩。

## 3、碳酸盐岩岩心描述

碳酸盐岩储层具有双重孔隙特征，因此在描述时应特别看重型缝、溶洞的分布状态、开启程度、连通情况和含油气产状等。描述内容包括颜色、结构组分及化学性质、构造及其他沉积特征、含有物、含油程度、接触关系等。

## 4、岩浆岩岩心描述

包括颜色、矿物成分、结构、构造、特殊含有物油情况等内容。



# 第一节 沉积相的地质研究方法



## 5、变质岩岩心描述

变质岩定名根据原岩、主要变质矿物、结构、构造的特征进行分类定名，包括颜色含油级别、变质矿物、构造、岩石基本类型。变质岩应选样进行镜下鉴定。描述内容包括颜色、矿物成分、结构、构造、含有物、含油情况等。

## 6、蒸发岩岩心描述

蒸发岩包括石膏岩、硬石膏岩、岩盐、钾镁岩盐、芒硝-钙芒硝岩、硼酸岩盐等几种类型。蒸发岩定名包括颜色、岩性。定名时以含量大于50%的矿物命名，如石膏岩。含量小于50%时，参见其他岩石的定名。蒸发岩描述内容包括颜色、成分、构造、硬度化石等内容。



A: 2997.50 ~ 2997.75 m, 层位: J<sub>1</sub>s  
**描述:** 灰色中层状长石粗砂岩, 发育槽状交错层理, 局部见炭屑纹层  
**特殊现象:** 槽状交错层理

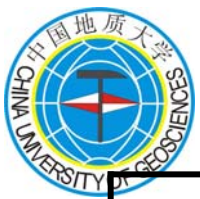


B: 2997.20 ~ 2997.40 m, 层位: J<sub>1</sub>s  
**描述:** 块状砂砾岩, 砾石磨圆好, 定向排列, 可见植物茎干化石  
**特殊现象:** 植物茎干化石



C: 2994.70 ~ 2995.12m, 层位: J<sub>1</sub>s  
**描述:** 青灰色薄层状岩屑中细砂岩, 下部发育槽状交错层理, 上部发育波状交错层理  
**特殊现象:** 槽状交错层理, 波状交错层理





# 岩心描述图版-I

HN15-17井 第1 ~ 4筒心



A: 2251.17 ~ 2251.26m

层位: II油组3-1小层

**描述:** 灰色中层状细砂岩, 上部见低角度下切型板状交错层理, 下部则为下截型板状交错层理, 显韵律。

**特殊现象:** 下切及下截型板状交错层理



B: 2282.84 ~ 2283m

层位: III油组1-3-2小层

**描述:** 浅灰色细砂岩, 显正韵律, 具下切型板状交错层理。

**特殊现象:** 下切型板状交错层理



C: 2295.84 ~ 2295.96m

层位: III油组2-2-1小层

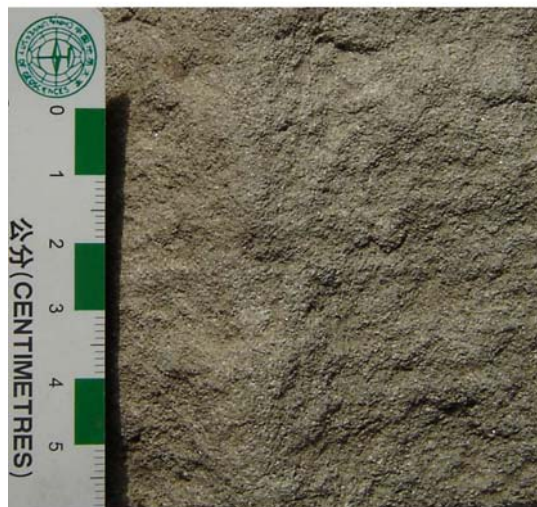
**描述:** 下部灰褐色中层状粉砂岩, 向上岩性突变为紫红色泥岩, 明显具有正韵律, 层理不明显。

**特殊现象:** 岩性突变、正韵律



# 岩心描述图版-II

## DF1-1-1井 第5 ~ 6 筒心



A: 2305.01 ~ 2305.16 m

层位: III油组2-3小层

**描述:** 灰黑色中厚层状细砂岩, 具槽状交错层理, 略显正韵律。

**特殊现象:** 槽状交错层理

B: 2346.71 ~ 2346.79 m

层位: III油组4-1-1小层

**描述:** 薄层状灰白色细砂岩, 具有多组下切型板状交错层理, 略显正韵律。

**特殊现象:** 多组下切型板状交错层理

C: 2350.08 ~ 2350.22 m

层位: III油组4-1-2小层

**描述:** 下部浅灰色细砂岩, 向上与泥质粉砂岩形成互层, 细砂岩具不明显正韵律, 含油; 粉砂岩具小型流水沙纹层理。

**特殊现象:** 流水沙纹层理

# 第一节 沉积相的地质研究方法

## (二) 实验室分析测试技术

研究储层分析测试技术被分为**常规分析**、**仪器分析**以及**配套和选择性分析**三类

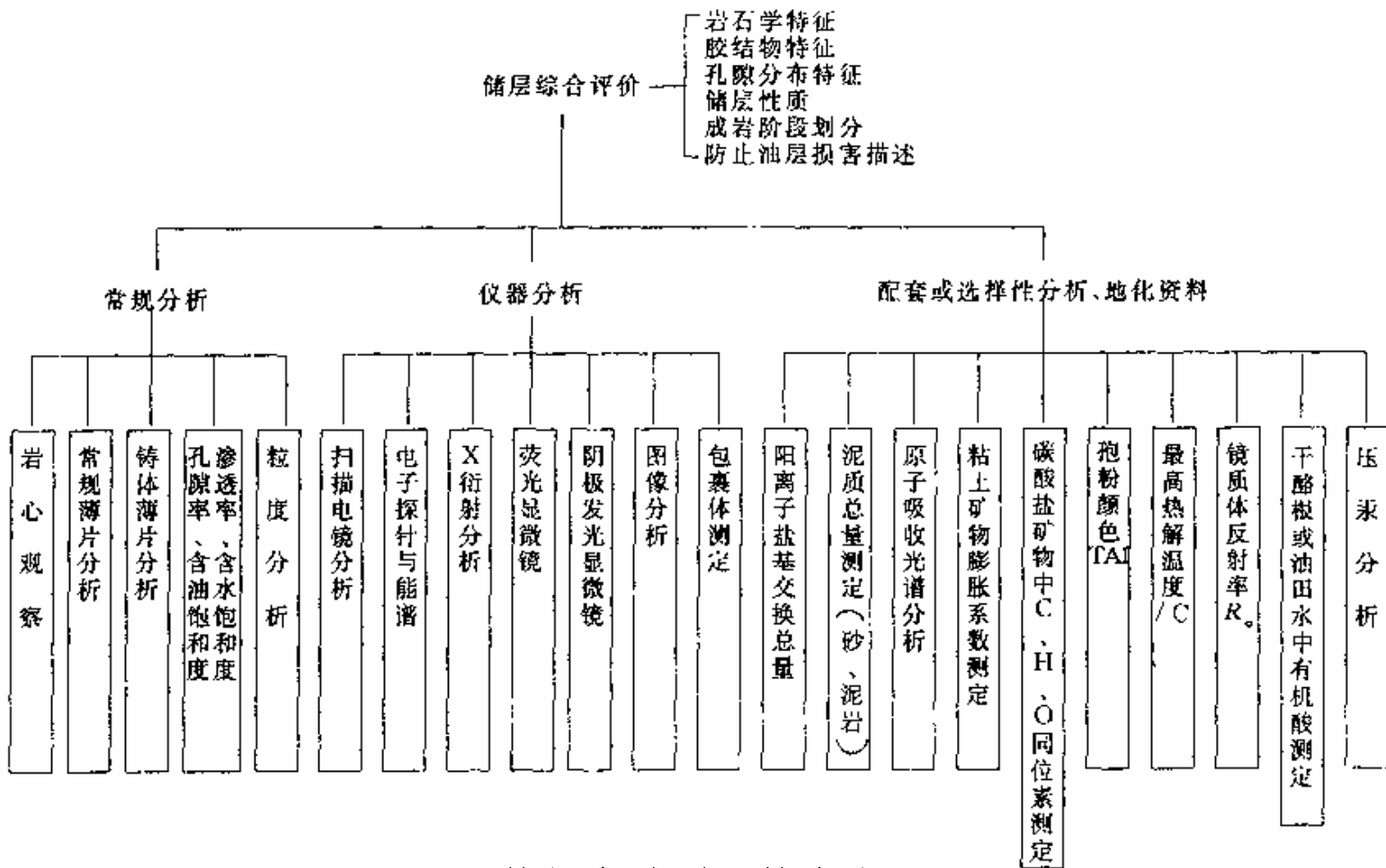


图3-1 储层实验测试技术方法图



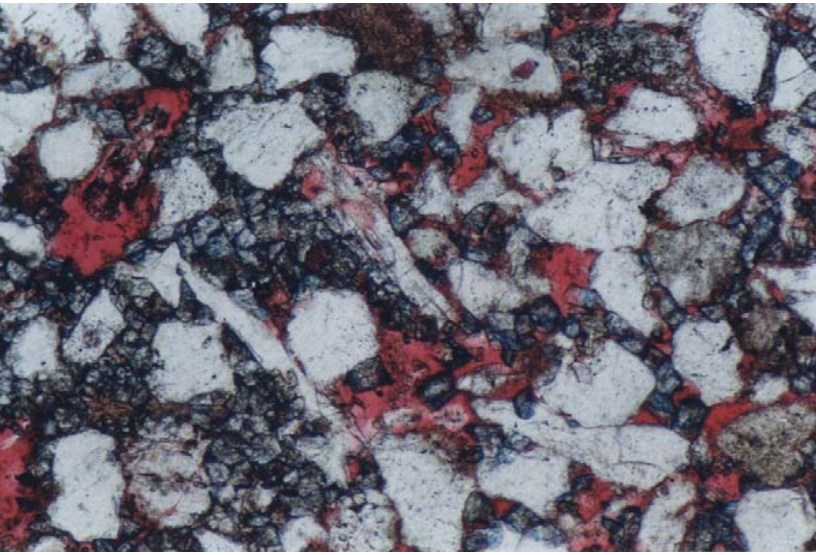
# 第一节 沉积相的地质研究方法



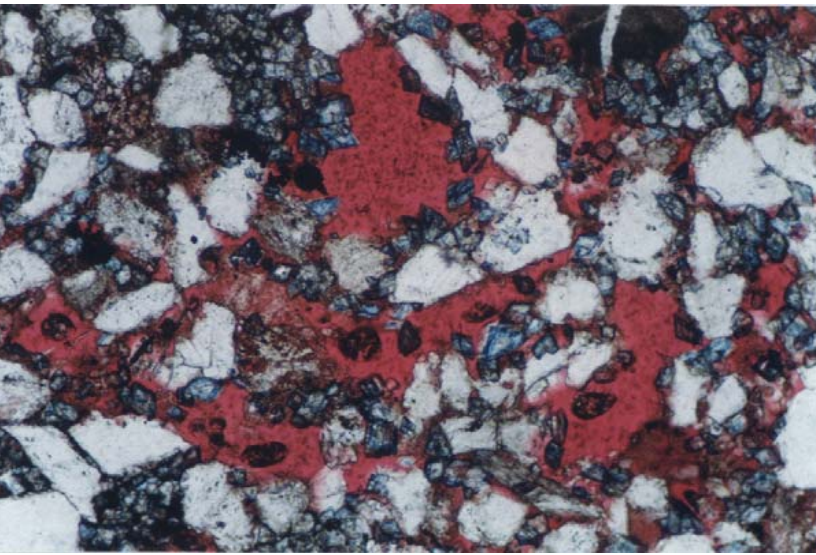
表3-1 常规储层物性参数测定方法

物性参数		方法
孔隙度	外表体积	浮力法
		水银泵法
	有效孔隙体积	饱和煤油法
		氦气法
颗粒体积	用颗粒密度求取	
渗透率	稳态法	
	非稳态法	
饱和度	蒸馏法	
	应用毛管压力资料计算	
粒度分析	筛析法	
	沉降法	
	薄片分析	
重矿物分析	分离法	

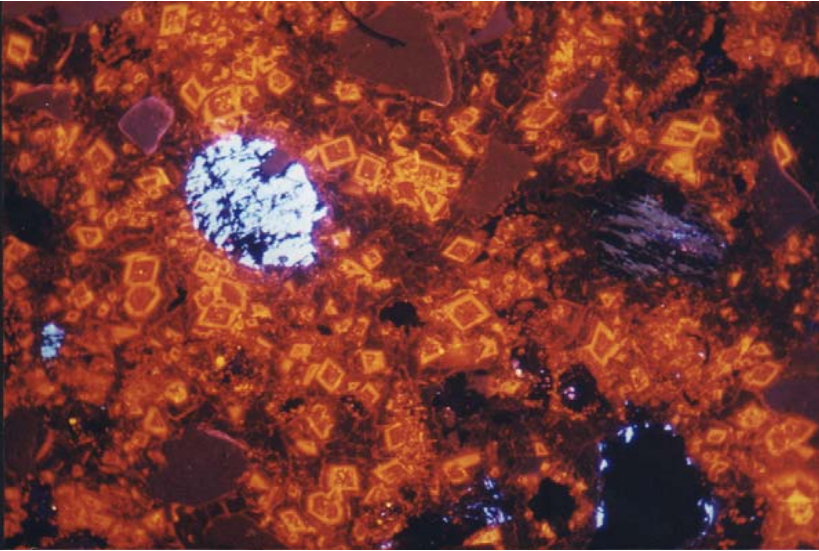
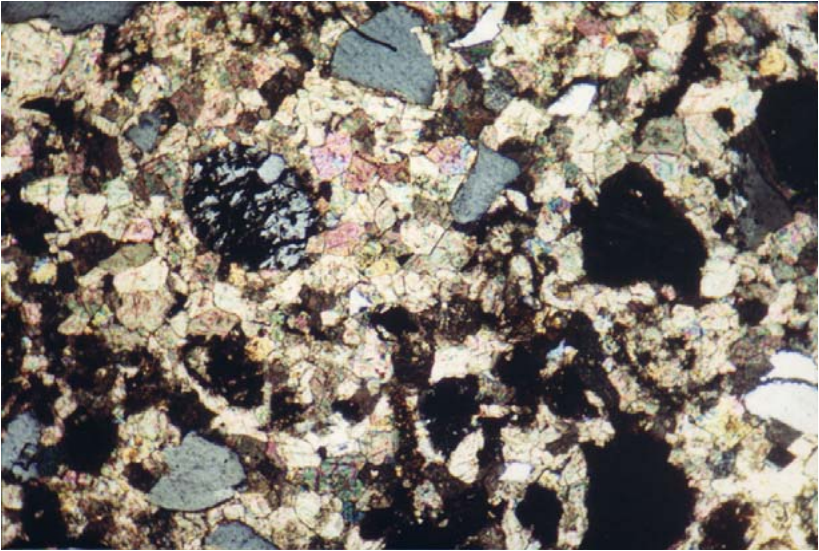
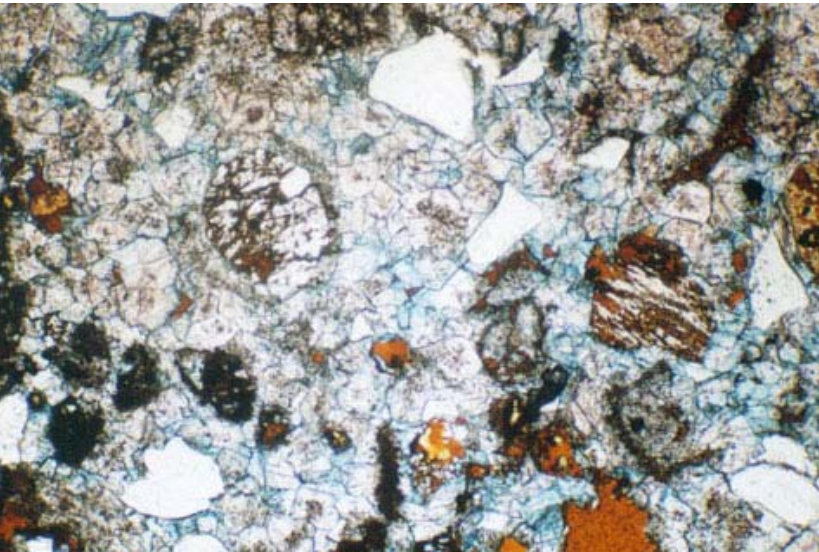
# 图版5-2 ( MSF18.5-III<sub>2</sub><sup>3</sup>铸体薄片 )

A																	<b>镜下特征:</b>		<b>深度: 2774.3m 样品号: 545</b>											
																	结构特征	粒径(mm): 最大 0.28/主要区间 0.25-0.1								胶结类型: 孔隙				
																		分选性: 好				磨圆: 次圆				石英加大: 个别				
																	碎屑组分 (%)	多晶石英	单晶石英	长石		火成岩		变质岩		沉积岩		其它		岩屑总量
斜长石	钾长石	火山岩	花岗岩	千枚岩	片岩	糜棱岩	泥岩	灰岩	帘石	云母																				
	3	82	/	9	5	/	/	/	/	/	/	<1	1	6	9															
填隙物 (%)	基质		胶结物						填隙物总量 (%)	孔隙类型																				
	泥质	高岭石	方解石	铁方解石	铁质	铁白云石	硅质	黄铁矿		粒间孔	粒间溶孔	粒内溶孔	颗粒溶孔	晶间孔	生屑内孔	铸模孔														
	2	/	13	/	1	5	<1	/	21	2.6	4	0.1	/	0.2	2	0.2														

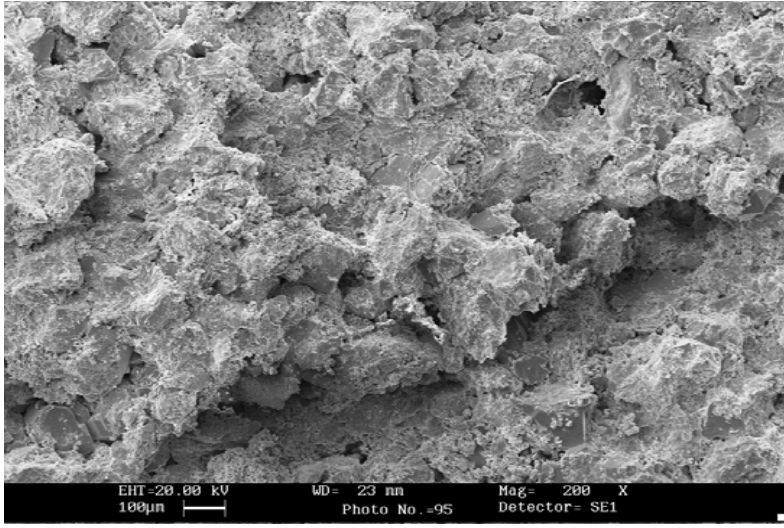
B																	<b>描述:</b>													
																	<p>A: 80倍, 单偏光 铁白云石多为零散分布, 交代颗粒。局部见较大的粒间溶孔。</p>													
																	<p>B: 80倍, 单偏光 同上。</p>													
<b>特征描述:</b>		<p>细砂含量<b>95%</b>, 碎屑近于等轴状, 无定向排列。此外含生屑(有孔虫) <b>4%</b>, 颗粒之间多为点接触, 一部分为漂浮状态, 白云石为自形粉晶, 常集中呈棒槌状, 不规则团块状分布, 铁白云石多为零散分布。孔隙孔径小, 连通性差, 分布亦不均匀。</p>																												

# 图版1-3 ( MSF18.5-III<sub>3</sub>阴极发光)

<p>A</p> 	<p>B</p> 
<p>C</p> 	<p>描述: 深度: 2780.3m 样品号: 569</p> <p>A: 40倍, 阴极发光 白云石具环带结构, 自形、半自形, 核部发橙红色光, 环部发桔黄色光, 含铁白云石发暗橙红色光, 见钾长石为核的表鲕, 同心层已被白云石化, 见长石白兰色、灰粉兰色光。在白云石、含铁白云石充填后, 长石有溶蚀现象发生。石英发暗棕色、暗紫色光, 基本无加大现象。</p> <p>B: 40倍, 正交偏光 含铁白云石和白云石发育处。</p> <p>C: 40倍, 单偏光 同上。</p>

# 图版12-4 ( MFS18.5-III<sub>1</sub><sup>1</sup>扫描电镜)

A: PY30-95 (2764.28m, 样品号505)



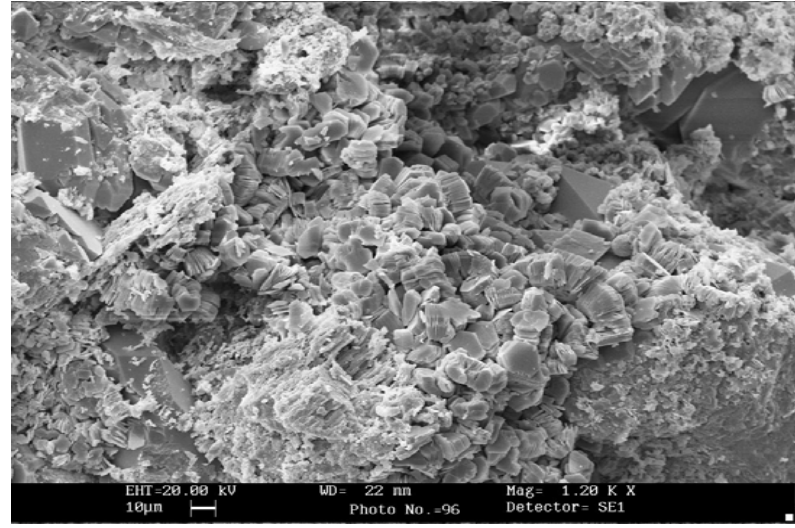
A:  
全貌, 粒  
间孔隙30  
~  
60 µ m。

B:  
粒间高岭  
石胶结  
物。

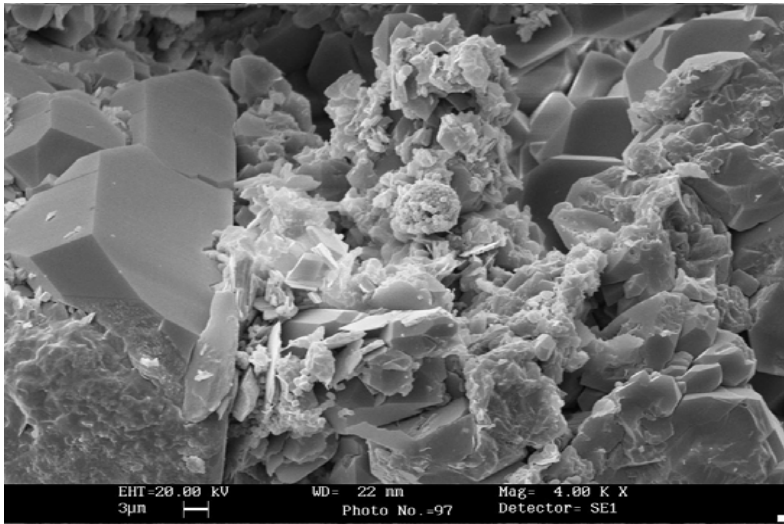
C:  
石英表面  
溶蚀坑内  
黄铁矿及  
片状伊利  
石充填。

D:  
粒间高岭  
石与铁白  
云石晶  
体。

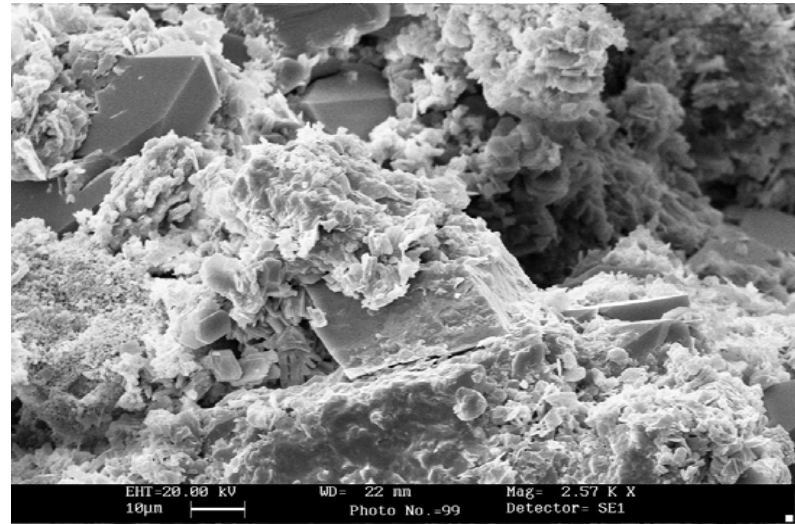
B: PY30-96 (2764.28m, 样品号505)



C: PY30-97 (2764.28m, 样品号505)



D: PY30-99 (2764.28m, 样品号505)





# 第一节 沉积相的地质研究方法



## (三) 储层岩石学研究成果

对储层的地质研究方法常常要综合各方面资料，采用综合分析的方法，不同类型的储层研究成果不同，主要成果如下：

- **岩心素描记录**（按井号分别装订） 取心段内岩心柱状剖面图；
- **岩石三角形分类图**，包括成分分类与结构分类两种；
- **岩心照相册**（按井或按岩性及储集特征分别装册）；
- **显微照相册**（普通显微片、阴极发光片、铸体片、荧光片分别装册）；
- **岩矿薄片鉴定原始记录**（附单井小结）；
- **粒度参数、概率图、C—M图、散点图**等原始数据、图件及文字小结；
- **其他测试鉴定资料及图表**、数据分类装册并附文字说明；

单井储层岩性、电性综合解释剖面图，并对单井剖面的储层岩性进行综述。







# 第一节 沉积相的地质研究方法

## 二、储层划分和对比

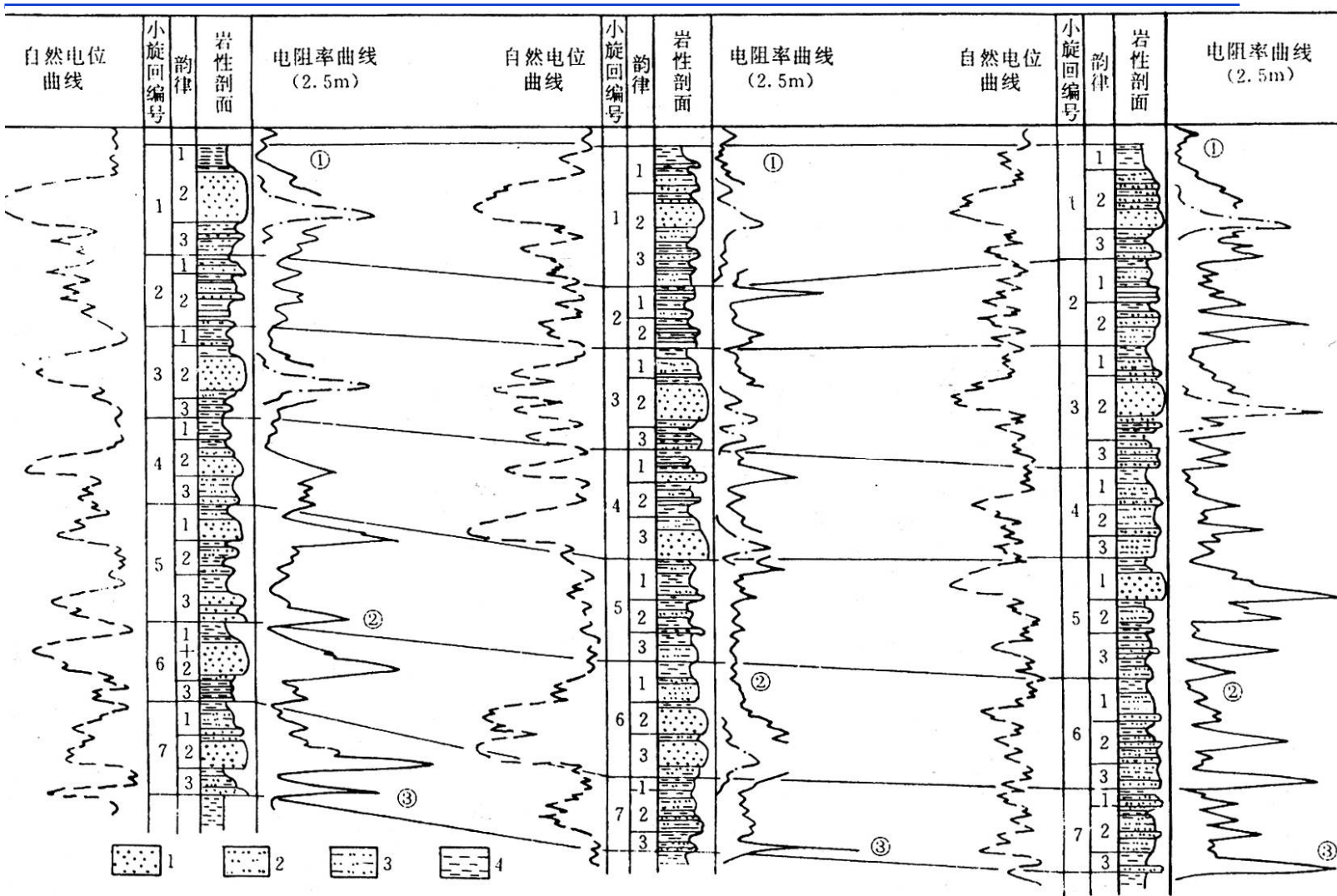


图3-2 油层组与砂层组对比示意图  
1-砂岩；2-粉砂岩；3-泥质粉砂岩；4-泥岩



# 第一节 沉积相的地质研究方法



## (二) 碳酸盐岩储层划分和对比

### 1、储集单元的划分

储集单元的划分在单井剖面上应考虑两条原则：

- ①有储、产、盖、底层的岩性组合。
- ②有独立的水动力系统。

### 2、储集单元的对比

碳酸盐岩储集单元的对比方法与碎屑岩油层对比方法基本一致，分为以下几步：

- ①建立油气田的标准剖面，
- ②以标准层或油气层顶或底界面作为水平基线
- ③划分各井的储集单元。

④用对比线将相应的储集单元及底层连接起来，逐井进行储、盖、底层的对比，指出它们的变化规律。



# 第一节 沉积相的地质研究方法



## 3、储集单元中的产层的细分和对比

**产层**是指储集单元中具有产出工业性油气流能力的层段。它是储集单元中的高渗透层段。

产层对比的方法与储集单元的对比相同，考虑的**原则**如下：

(1) **在标准层控制下**，岩性相同的层段逐井逐层地连接对比线。具有产能的小层相当于1个产层组，一般厚度为40~60m。

(2) **各井层位相当**，即使岩性不同或渗透层段出现的部位不同，若有试采资料证明两井相连通，也可以连对比线。若两井不连通，只能将两井之间暂作尖灭或断层处理，待进一步取得资料之后，予以修正补充。



# 第一节 沉积相的地质研究方法

## 三、沉积相的地质研究方法

### (一) 岩心沉积相标志研究

表3-3 不同岩心沉积相标志在储层研究中的作用

岩心沉积相→  
研究单井相分  
析→连井剖面  
相对比→平面  
相分析

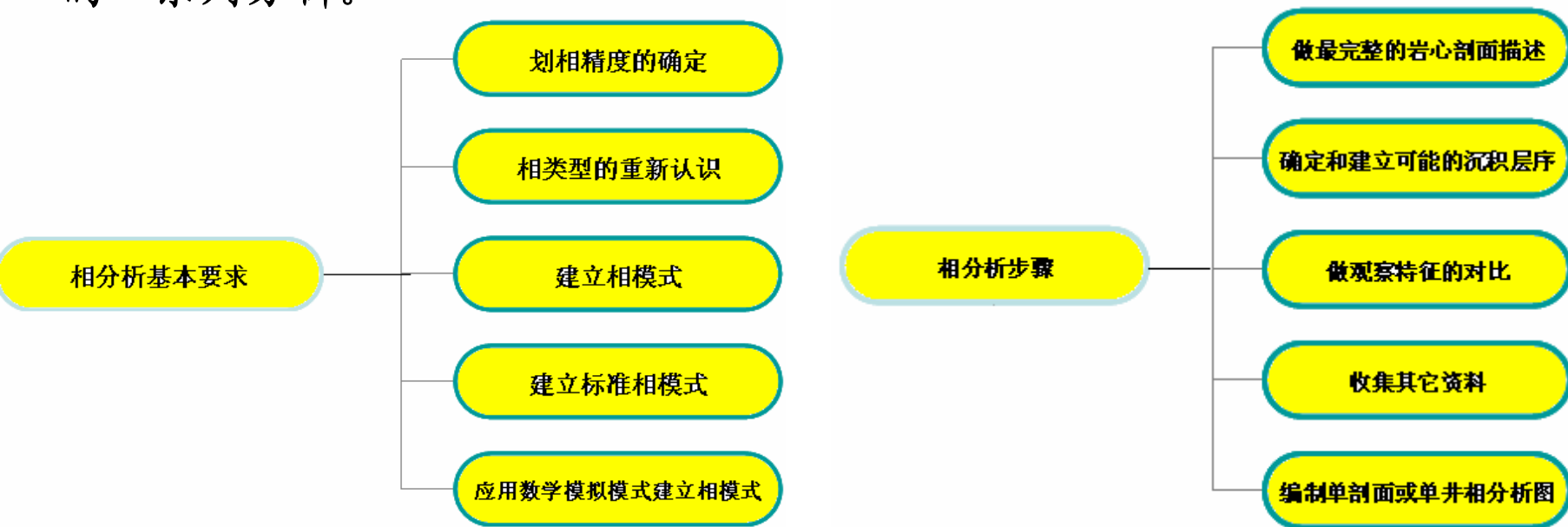
沉积相标志		作用
岩性标志	颜色	恢复古沉积环境水介质氧化还原程度 红色：氧化环境 绿色：弱氧化环境 灰色：弱还原环境 灰黑色：还原环境
	岩石类型	判别各类岩石成因类型
	自生矿物	锰结核：海洋底环境 海绿石：浅海陆棚环境； 自生磷灰石或隐晶质胶磷矿：海相标志 自生长石和自生沸石：湖相标志； 天青石、莹石和重晶石：咸化泻湖标志。
	碎屑颗粒结构与沉积构造	判别沉积相类型
古生物标志		利用有孔虫，介形虫、软体动物、藻类，海绿石划分海相、陆相或过渡相
地球化学标志	微量元素	利用微量元素硼，Sr/Ba、Sr/Ca、Th/U、Mn/Fe 划分海相、陆相或过渡相
	稳定元素	根据 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值区分海相、陆相、过渡相地层 根据 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 恢复古海洋温度和古气候变化



# 第一节 沉积相的地质研究方法

## (二) 单井剖面相分析

单井剖面相分析是根据所研究地层的露头和岩心剖面，以单井为对象，通过观察、描述岩石的**矿物成分、结构、沉积构造以及古生物等**一系列特征，建立垂向层序，分析形成因素，了解邻相的相互关系，利用相模式与分析剖面的垂向层序进行对比分析，确定沉积相类型，最后绘出单井剖面相分析图的一系列分析。





# 第一节 沉积相的地质研究方法



## 1、划相精度

油区碎屑岩沉积相可划分为相组、相、亚相、微相、细分微相或五级相（根据砂泥百分比对一个砂体微相细分）。

- 预探阶段一般划分到相组至相；
- 详探阶段应划分到相至亚相，部分划分到微相；
- 开发阶段应划分到微相至五级相；
- 不同类型井有不同要求，如科学试验井至少应划分到亚相至微相。

## 2、相类型

随着沉积学的发展，新的相类型不断为人们所识别。即使过去已划的相类型，根据新的相标志也有重新认识的必要。

例如陆源碎屑湖泊相中除正常的滨湖、浅湖、半深湖、深湖亚相和三角洲亚相，还陆续确定出扇三角洲、近岸水下扇、非扇重力流水道以及风暴沉积等相类型。



# 第一节 沉积相的地质研究方法

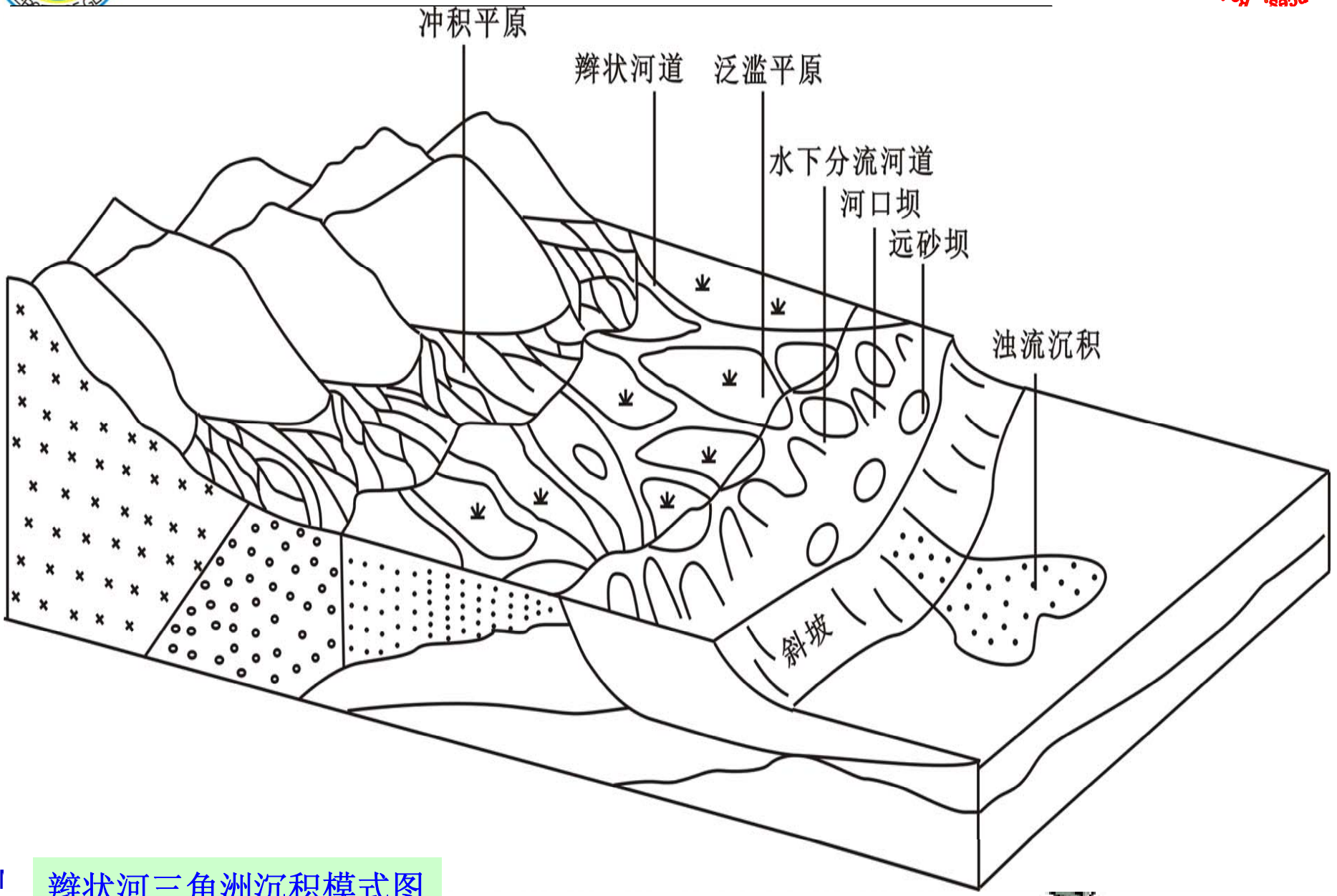
## 3、相模式

- 相模式是指对某一类或某一沉积相组合的全面概括。
- 相模式的建立和使用是当前沉积地质学中最活跃的研究领域，目前较为典型的相模式有冲积扇、辫状河、曲流河、三角洲、扇三角洲、滨岸沉积、风暴沉积、近岸水下扇、湖底扇等。
- 主要有**静态相模式**（图3-4）和**动态相模式**（图3-5、图3-6）。
- 开发储层沉积学所建立的储层地质模式包括**地质模式**（其中又有沉积模式、成岩模式、构造模式和地球化学模式）、**渗流层模式**和**流动单元模式**。





# 第一节 沉积相的地质研究方法

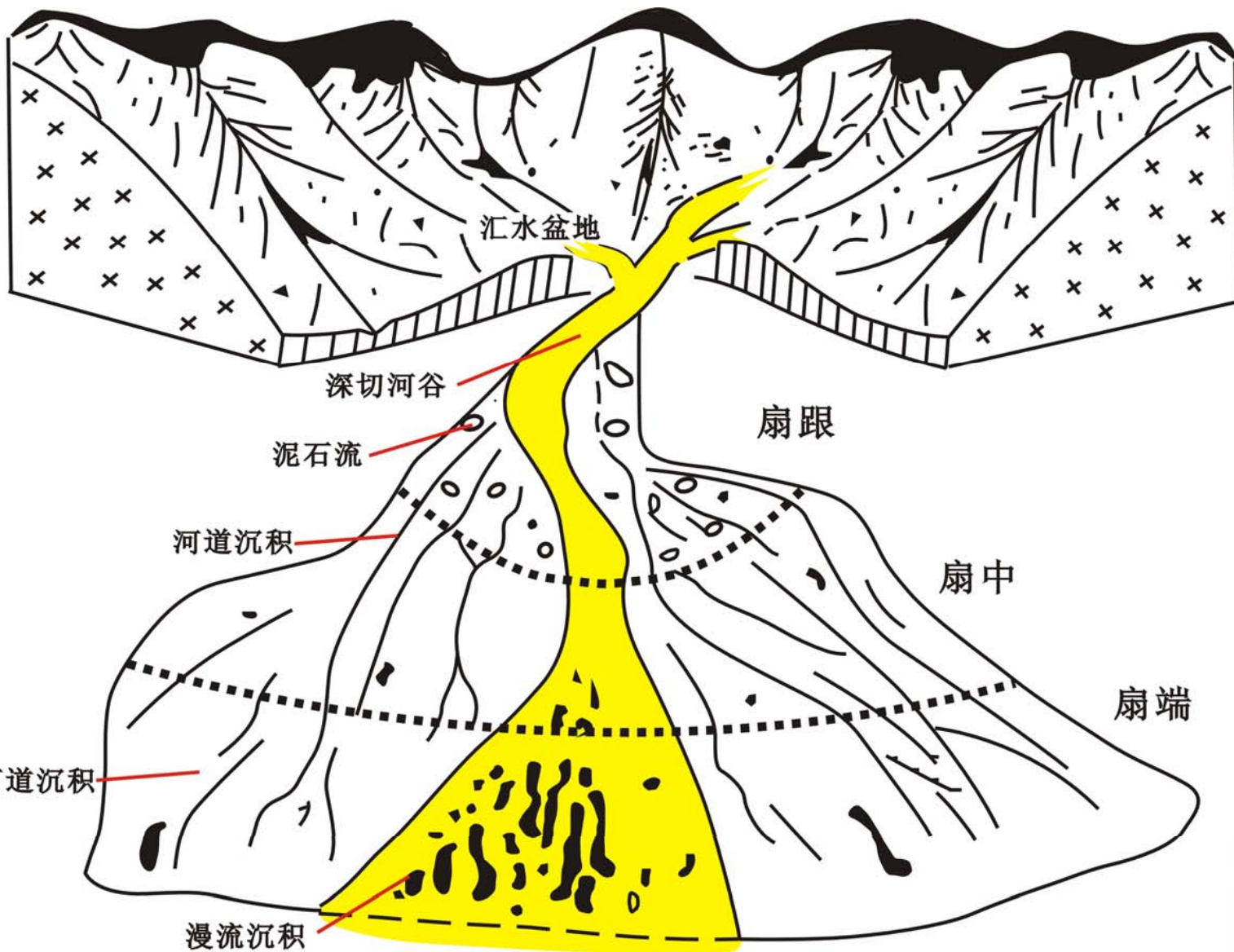


1 辫状河三角洲沉积模式图



# 第一节 沉积相的地质研究方法

China University of Geosciences, Beijing  
Bill Yu



# 第一节 沉积相的地质研究方法

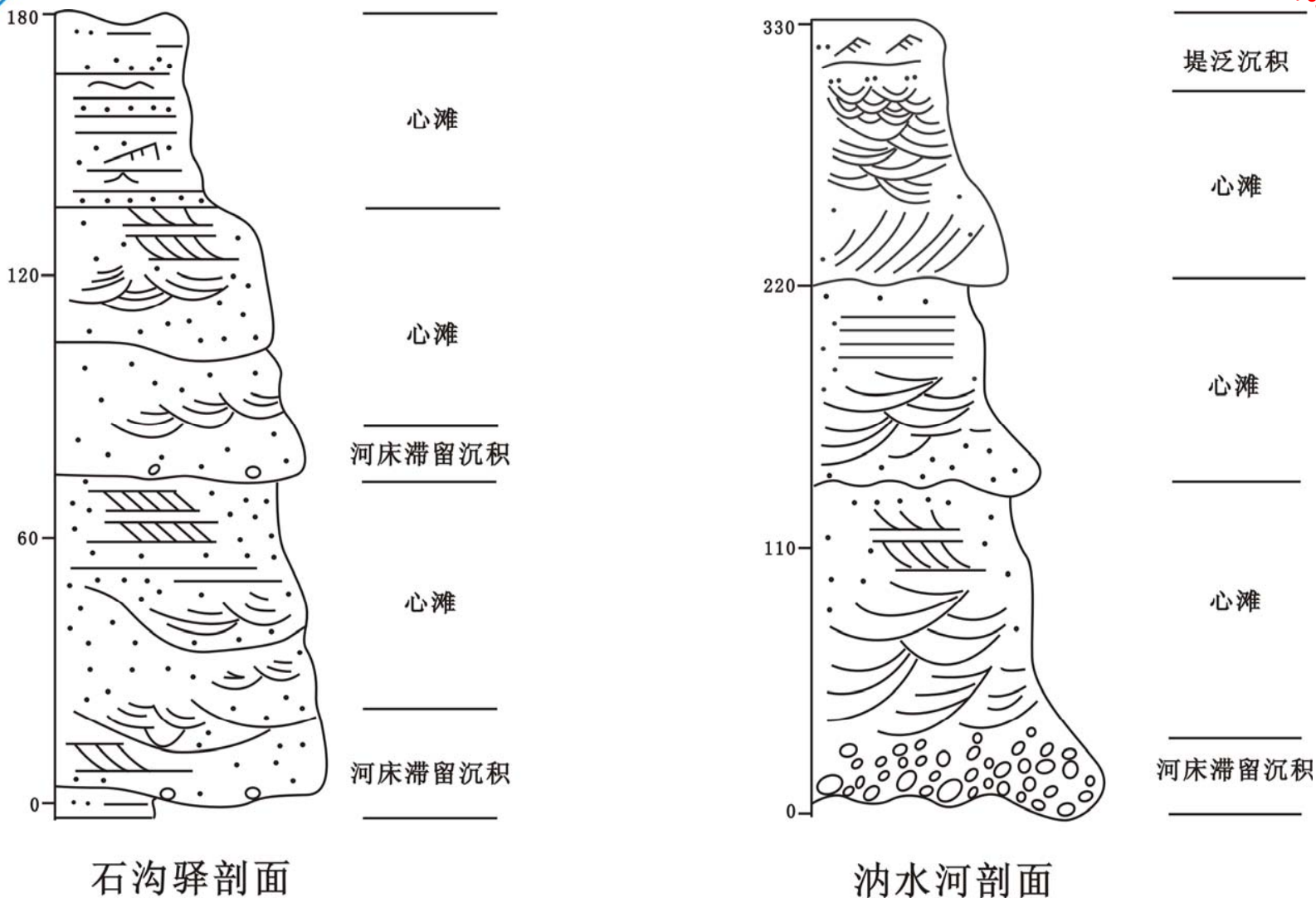


图3-5 鄂尔多斯盆地辫状河沉积层序动态模式

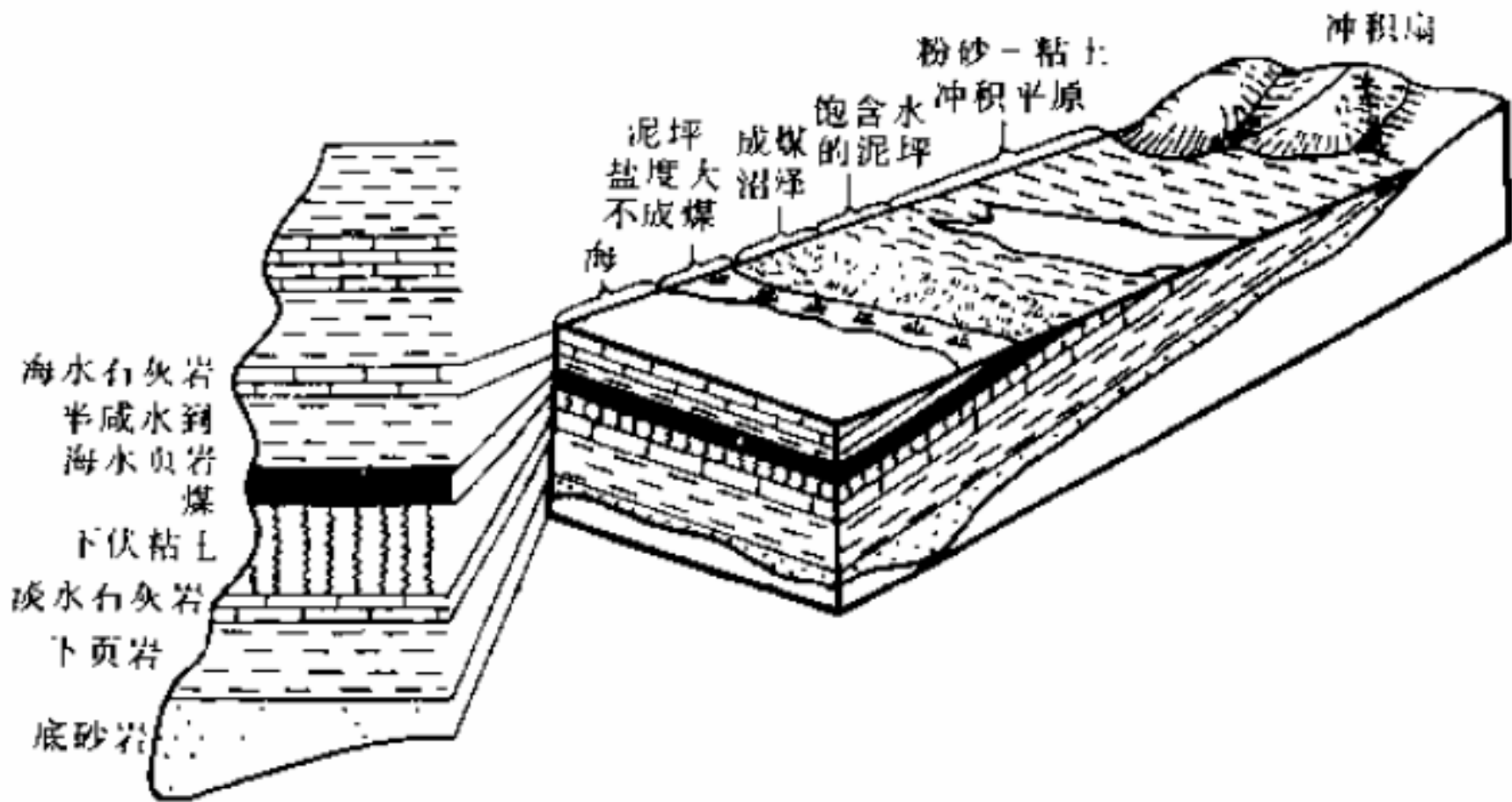


图3-6 静态相模式 (右) 与动态相模式 (左, 剖面相序) 关系图

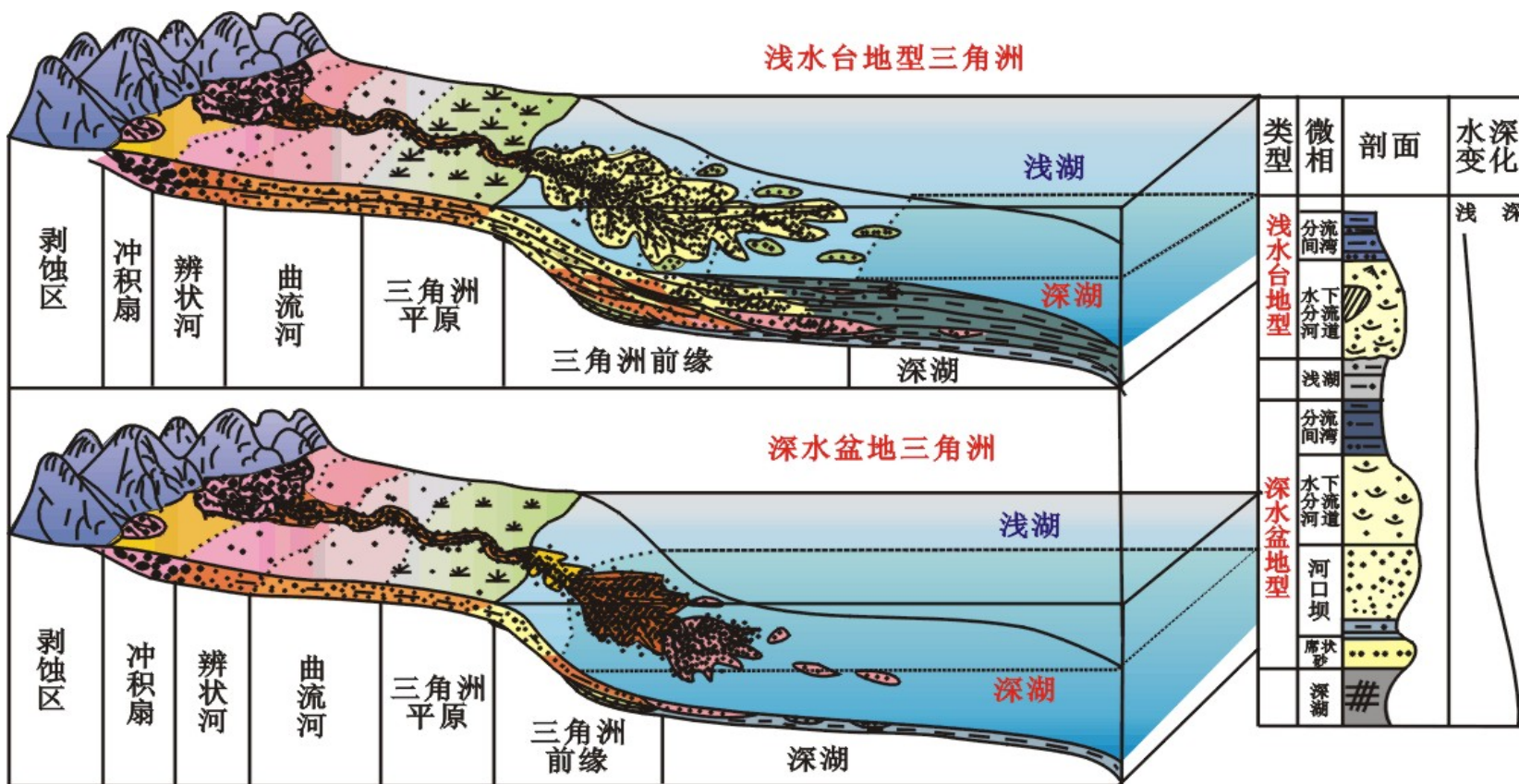


图3-6 曲流河三角洲沉积模式 (李文厚等, 2001)  
静态相模式 (左) 与动态相模式 (右, 剖面相序) 关系图



# 第一节 沉积相的地质研究方法



## 4、标准相模式

标准相模式是在对比研究现代和古代沉积环境和沉积作用基础上建立起来的，在相分析中可以起到下述四方面作用（Walker, 1976; 于兴河, 2002）：

- (1) 在对比中起一个标准作用；
- (2) 在观察中起到提纲与指导的作用；
- (3) 在新区起到预测的作用；
- (4) 在对所代表的沉积环境和体系的水动力进行解释时，起到一个基础作用。



# 第一节 沉积相的地质研究方法



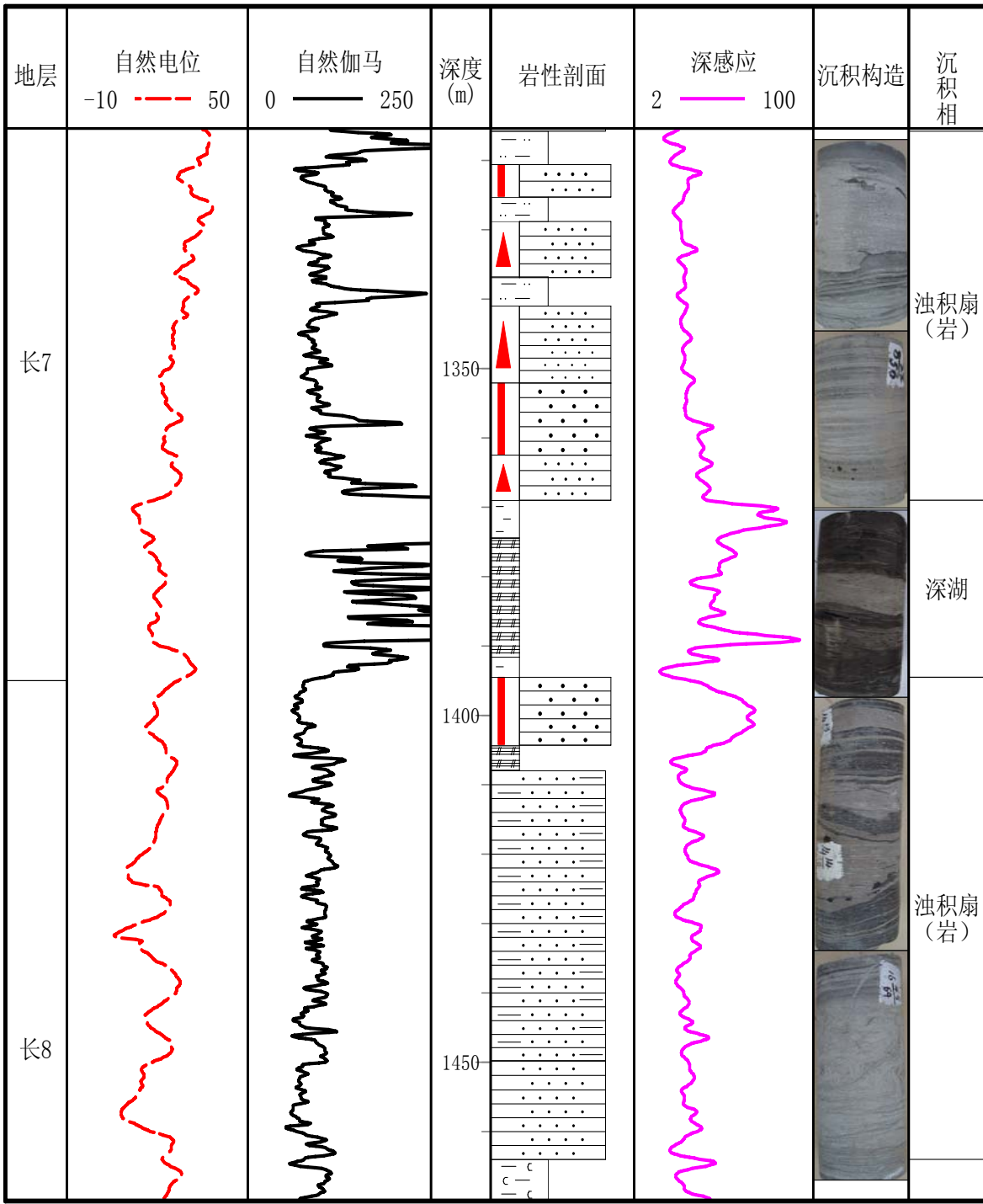
## 5、数学模拟模式

是指应用概率统计学中的马尔柯夫链、矩阵分析所建立的相层序（动态相模式）和静态相模式。建立步骤是：

- 根据剖面岩相分析建立关系图；
- 根据实际考察的岩层变化和假设的随机排列的数学矩阵相比较，建立相适应的数学矩阵；
- 马尔科夫链分析，应用数学模拟方法将一个十分复杂、又具明显的随机层序的地方性沉积序列，归纳或提炼出一个近于符合实际的相组合和相层序（Walker, 1984; Reading, 1978, 1986），最终建立一个以数字为代表的相模式（图3-8）。



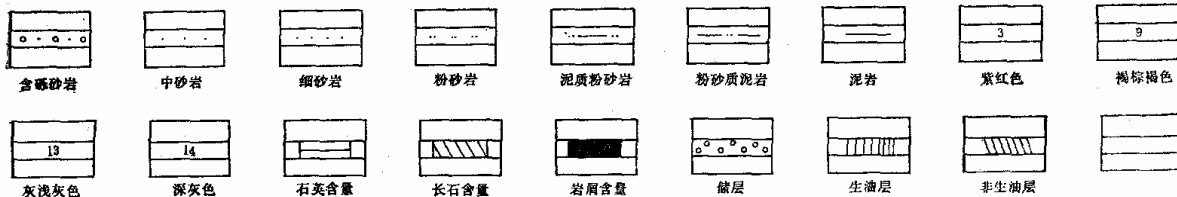
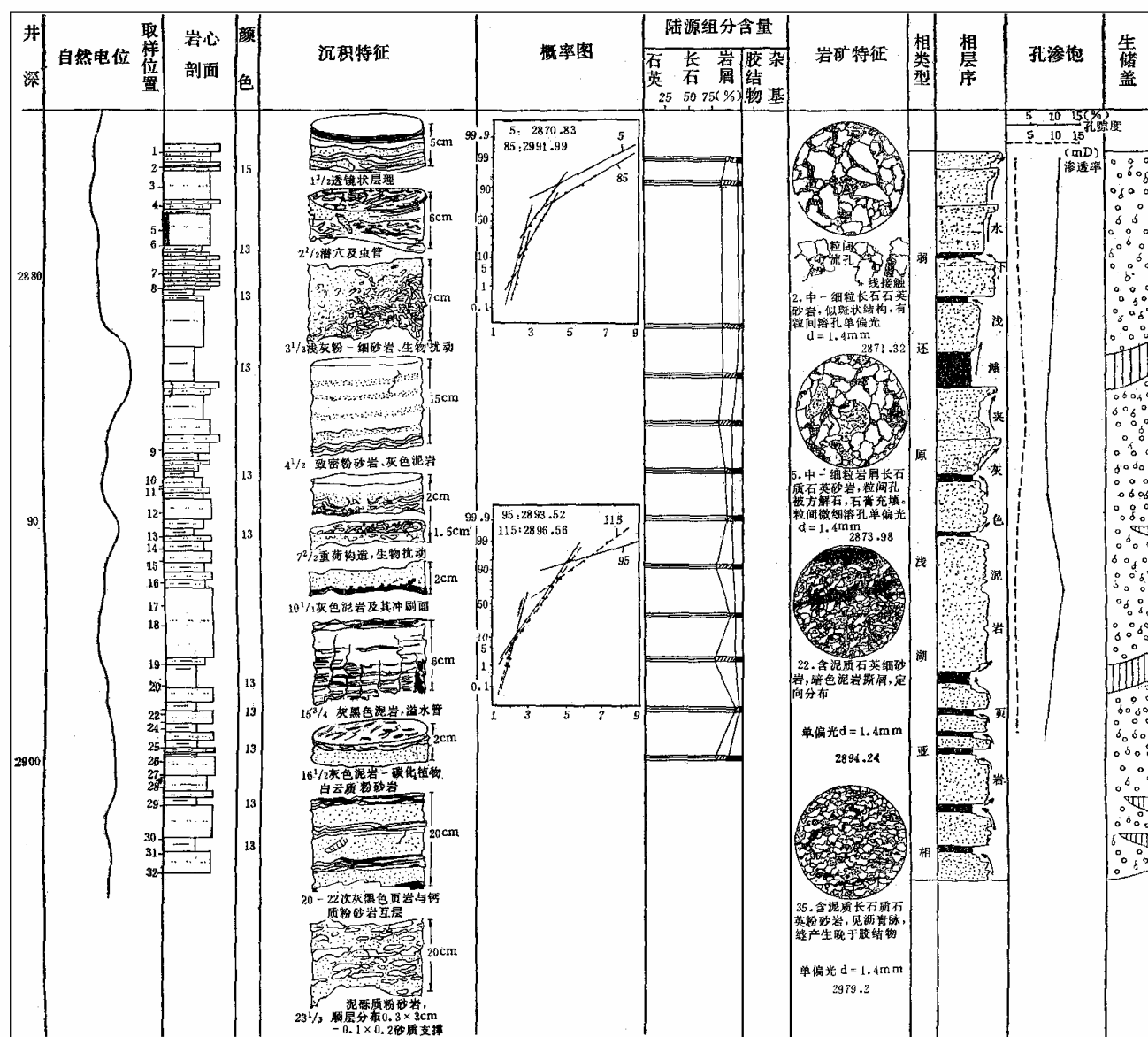
# 岩相柱状剖面图







文留地区某井沙四段单井相分析剖面图



## (三) 连井剖面对比

连井剖面对比分析主要表示同一时期不同地区沉积相的变化。基础工作是地层划分、对比及单井剖面对比分析，主要成果是编制剖面对比相分析图。

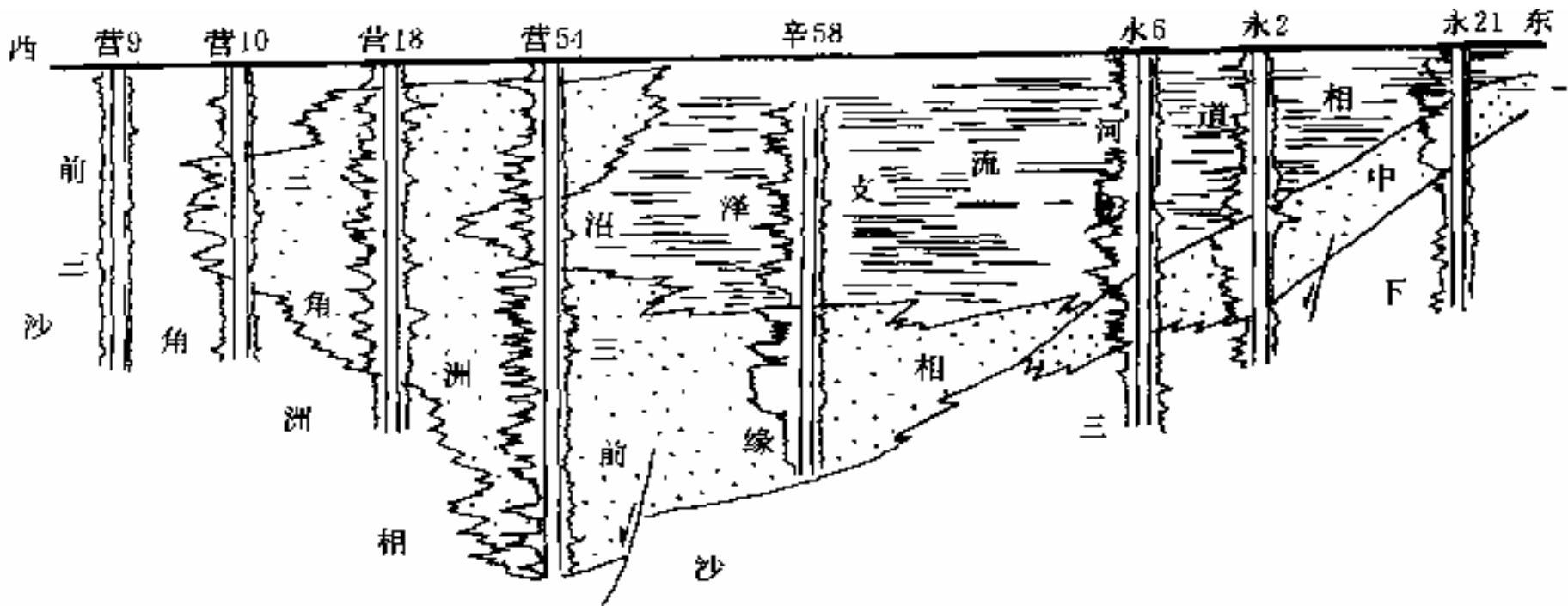


图 3-12 东营凹陷沙三上亚段三角洲沉积相剖面对比图（据裘怿楠等，1994）

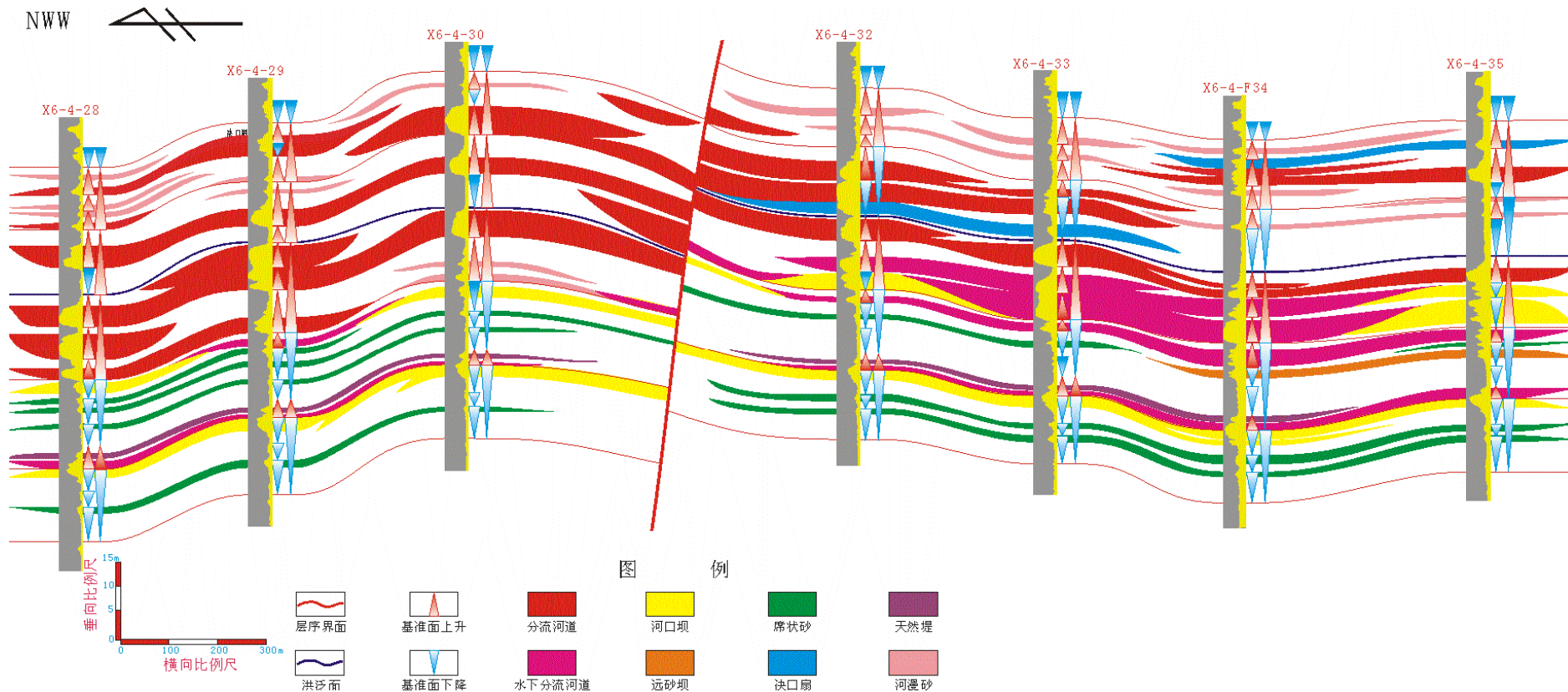


图 3-13 大庆油田杏树岗地区沉积微相对比剖面图



## 第二节 储层的测井研究方法

### 一、利用常规测井资料研究储层

- (一) 岩性研究
- (二) 储层物理特性研究
- (三) 测井沉积相分析

### 二、利用特殊测井资料研究储层

- (一) 地层倾角测井
- (二) 成像测井

### 三、利用监测测井资料在研究储层

- (一) 产出剖面
- (二) 注入剖面
- (三) 水淹层研究
- (四) 产层剩余油研究



## 第二节 储层的测井研究方法

测井是依据声、电、核、磁等各种物理学原理来研究储层特性的一种应用地球物理技术。

在储层研究当中选用测井资料标准为：

- ① 能反映油层的岩性、物性、电性、含油性特征；
- ② 能反映油层岩性组合的旋回特征；
- ③ 能反映岩性上各标准层特征；
- ④ 能反映各类岩层的分界面；
- ⑤ 测井技术成熟，能够大量获取，测井精度高。



## 第二节 储层的测井研究方法



表 3-5 不同测井曲线在油气储层研究中的作用（据于兴河，2002）

测井系列	直接作用	间接的辅助作用
自然电位 (SP)	计算地层水电阻率 及指示渗透性	估算泥质含量， 指示相及地层对比
自然伽玛 (GR)	定量计算泥质含量 及地层对比	指示相、岩性 以及矿物识别和不整合识别
声波 (AC)	定量计算孔隙度、地震层速度及声阻抗	地层对比，岩性识别，生油层评价， 岩石结构分析，裂缝识别，压实程度和异常压力分析
密度 (DEN)	计算孔隙度，间接地计算烃密度， 以及波阻抗	岩性识别，矿物识别，生油层评价， 地层异常压力带识别
中子 (CNL)	计算岩层的孔隙度	气层、岩性及火山岩识别
电阻率 / 感应	计算流体饱和度， 岩性识别	岩石结构分析，地层对比，相分析与识别， 压实作用分析与超压带识别，生油层识别



## 第二节 储层的测井研究方法

### 一、利用常规测井资料研究储层

#### (一) 岩性研究

测井方法	自然电位 (SP)	电阻率 (RT)	自然伽马 (GR)	声波时差 ( $\Delta t$ )	高分辨率 地层倾角 (HDT)	自然伽马 能谱 (NGS)	体积密度 (DEN)	中子密度 (Pe)
矿物成分	弱	中	中	中	弱	强	强	强
结构	中	强	中	强	中	弱	中	弱
构造	中	中	弱	弱	强	弱	弱	弱
流体	强	强	弱	中	弱	弱	强	弱

表 3-7 反映岩性特征的测井曲线

曲线名称	岩性划分方法原理
自然电位	根据离子在岩石中的扩散吸附作用与岩性的关系，可以划分出泥岩、砂岩、泥质灰岩
自然伽马	根据测量的地层放射性强度，计算地层中泥质含量的变化
自然伽马能谱	根据测量地层中的不同放射性元素的射线谱，识别岩性
声波及声波全波列	根据声速及横波时差与纵波时差的比值确定岩性
补偿中子、地层密度	根据中子与密度交会图识别岩性
岩性密度	根据有效光电截面吸收指数识别岩性



## 第二节 储层的测井研究方法

### (二) 储层物理特性研究

表 3-9 各种岩性的常规测井特征 (据戴启德, 2006)

岩性	声波时差 $\mu s \cdot m$	体积密度 $g/cm^3$	中子孔隙度 %	中子伽马	自然伽马	自然电位	微电极	电阻率	井径
泥岩	> 300	2.2 ~ 2.65	高值	低值	高值	基值	低、平值	低值	大于钻头
煤	350 ~ 450	1.3 ~ 1.5	$\phi_{SNP} > 40$ $\phi_{CNI} > 70$	低值	低值	异常不明显或 很大正异常 (无烟煤)	高值 或低值	高值 无烟煤 最低	接近钻头
砂岩	250 ~ 380	2.1 ~ 2.5	中等	中等	低值	明显异常	中等 明显正差异	低到中等	略小于 钻头
生物灰岩	200 ~ 300	比砂岩略高	较低	较高	比砂岩 还低	明显异常	较高 明显正差异	较高	略小于 钻头
石灰岩	265 ~ 250	2.4 ~ 2.7	低值	高值	比砂岩 还低	大片异常	高值锯齿状 正负差异	高值	小于或 等于钻头
白云岩	155 ~ 250	2.5 ~ 2.85	低值	高值	比砂岩 还低	大片异常	高值锯齿状 正负差异	高值	小于或 等于钻头
硬石膏	约 164	约 3.0	接近于 0	高值	最低	基值	高值	高值	接近钻头
石膏	约 171	约 2.3	约 50	低值	最低	基值	高值	高值	接近钻头
盐岩	约 220	约 2.1	接近于 0	高值	最低, 钾盐最高	基值	极低	高值	大于钻头





## 第二节 储层的测井研究方法

### (三) 测井相分析

测井相 (Log facies/ electro facies)

目前应用常规测井资料进行测井相分析主要包括以下几种方法:

(1) 应用SP和GR, 有时也配合Rt, 分析碎屑岩储层测井曲线的组合形态、幅度、顶底接触关系、光滑程度、齿中线等基本要素, 区分岩性及其垂向变化。

(2) 采用数理统计的方法建立碳酸盐岩测井沉积相模式。

(3) 利用梯形图或星形图 (蛛网图) 进行相分析。



# 第二节 储层的测井研究方法



## (三) 测井相分析

1、利用测井曲线**幅度、形态、接触关系、组合关系**等进行相分析

1	幅变	$\leftarrow x$   $h$ $\frac{x/h < 1$ 低幅   $1 < x/h < 2$ 中幅   $x/h > 2$ 高幅									
2	形态	钟形	马斗形	箱形	对称齿形	反向齿形	正向齿形	指形	漏斗形箱形	箱形钟形	
3	顶底接触关系	突变式		渐变式							
		顶		加速(上凸)	线性	减退(上凹)	底				
4	光滑程度	光滑			微齿		齿化				
5	齿中线	收敛式			水平			下倾			上倾
6	幅变组合包线类型	后积式(水进式)	加速	均匀	减速	加积式					
		前积式									
7	形态组合方式	齿形	箱形—钟形	漏斗形—箱形	指形—漏斗形	箱形—钟形—漏斗形	齿形—箱形—钟形—漏斗形				



# 第二节 储层的测井研究方法



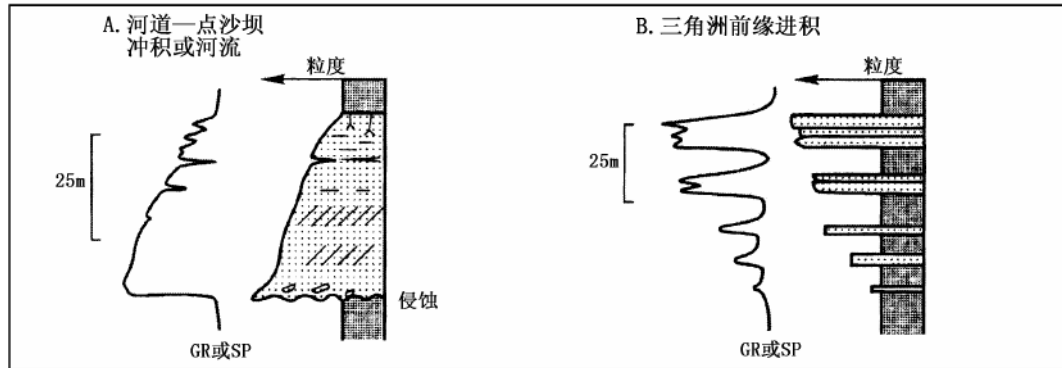
## (三) 测井相分析

沉积环境	冲积扇		河流		三角洲			滩坝			水下冲积扇			重力流								
	扇根	扇中	扇端	网状河	蛇曲河	分支河道	河口坝	前缘砂	滩砂	坝主体	坝内翼	扇根	扇中	扇端	重力流水道	浊积岩	中心相	前缘相	根部相	中心相	边缘相	
标志																						
曲线形态 (实例)																						
单齿模式																						
纵向组合模式	幅度减小正韵律	席状砂		扇端		点沙坝		三角洲平原		堡坝外侧		开阔湖		席状砂		扇端		湖盆		深水相		
	幅度不变	网状河		扇中		堤滩		分支河道		堡坝主体		沙坝		河道末端		扇中前缘		前缘相		深水重力流水道		
	幅度加大反韵律	主河道 泥石流 (后积式)		扇根		河道沙坝		河口坝		堡坝内侧		封闭湖		网状河		扇中		中心相		水下漫滩		
地质标志	背景	山麓陡坡		丘陵—平原		缓坡—水下		浅水区		陡坡、浅水		浅水—深水区		陡坡、深水								
	砂	粗砾—细砂		砂、砾—粉砂		中砂—粉砂		含砾砂—细砂、粉砂		粗砾—粉砂		细砂—粉砂		砂砾—粉砂								
	泥	红色		红色—杂色		灰绿—灰黑		灰绿—浅灰		浅红、灰绿—灰		灰—深灰		深灰								
	环境标志	氧化环境		氧化环境		弱氧化到弱还原 有碳质页岩、鲕粒灰岩伴生		弱还原 有鲕粒、生物灰岩层		弱还原扇根 有鲕粒、波状交错层理		还原环境(弱—强) 浅水背景、有鲕、生物灰岩		还原环境 围岩为深水质纯泥岩								

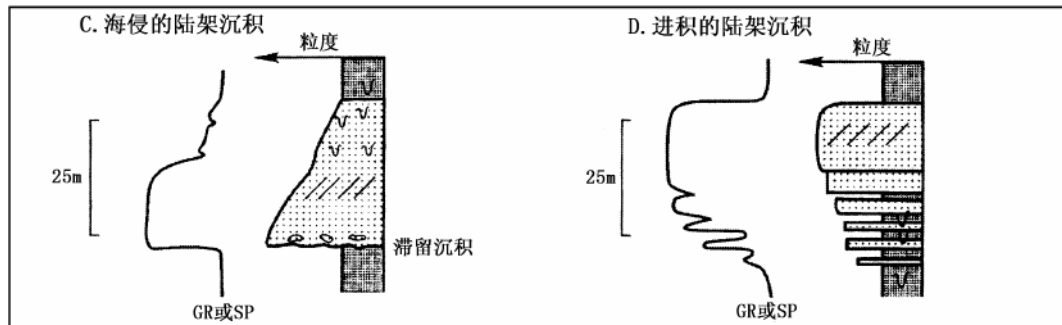
# 第二节 储层的测井研究方法

## (三) 测井相分析

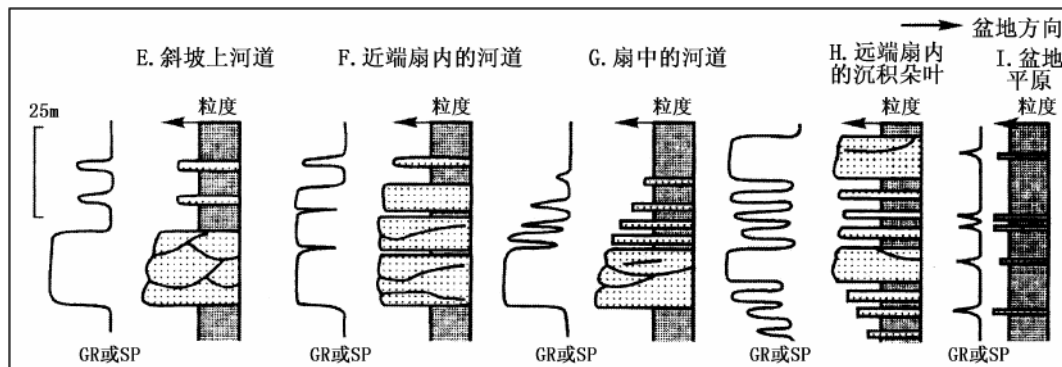
三角洲—河流环境



海相环境



深海环境

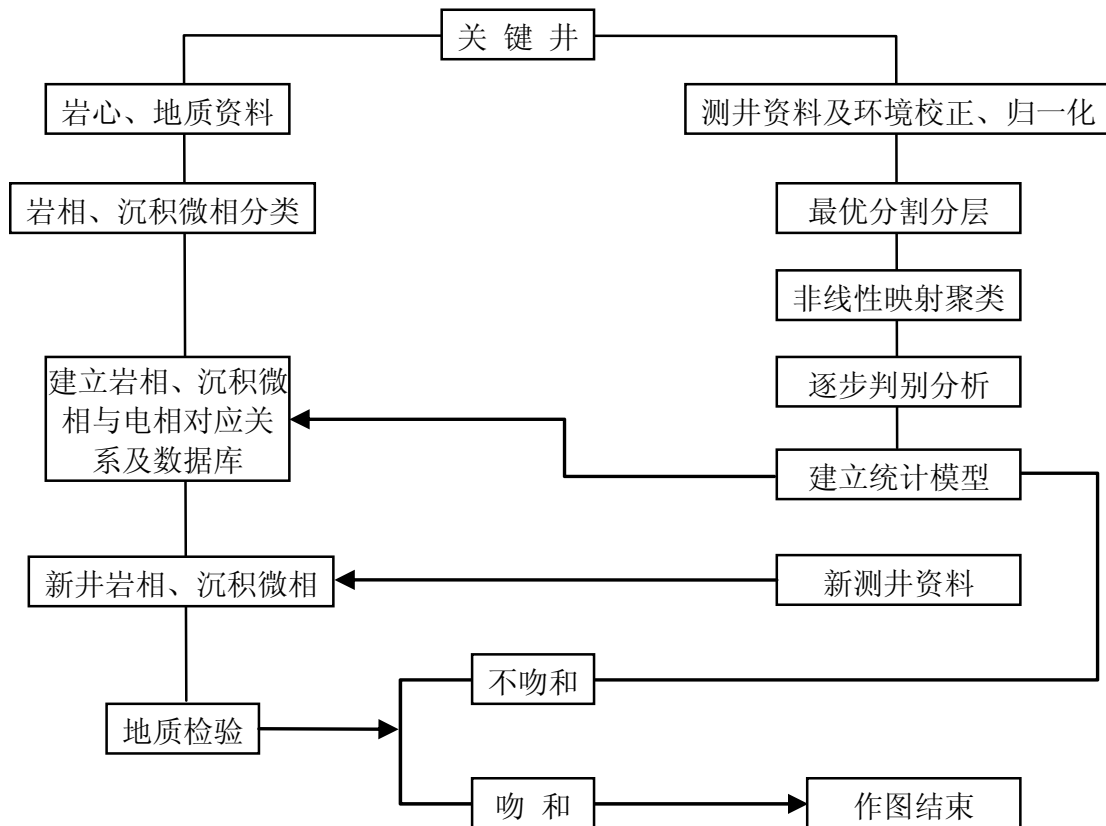




## 第二节 储层的测井研究方法

### 2、利用数理统计方法建立碳酸盐岩储层沉积相模型

它主要是根据岩性、岩相等岩石矿物组成及物理性质差别来判断，所以测井沉积相模式多采用数理统计方法来建立。主要采用的方法有：**主因子分析、模糊聚类、最佳有序分割、非线性映射以及人工神经网络**等方法。





### (三) 测井相分析

#### 3、自动识别测井相

深度及环境校正 → 自动分层 → 主成分分析 → 聚类分析 → 岩相—电相库 → 判别分析

#### 4、测井相研究的步骤

- 1) 选择关键井
- 2) 建立测井相图版
- 3) 编制沉积微相图

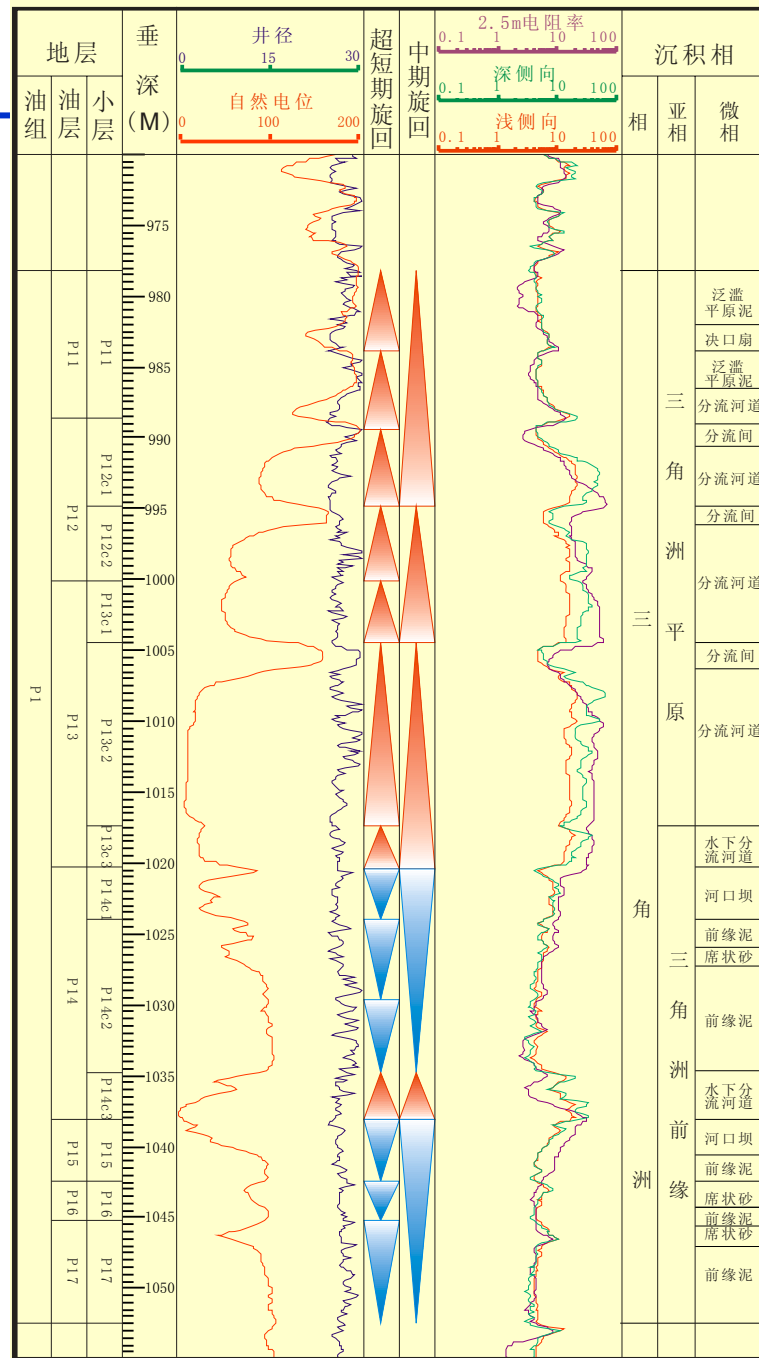




表 大庆杏树岗油田杏 6—8 井区测井相模版



曲线类型		自然电位曲线形态	旋回	岩性特征	描述	沉积环境解释	代表井	
基础测井相	箱形	锯齿状				顶部均为突变接触，通常由多个向上逐渐变细的正粒序组成，反映了水动力条件频繁交替的沉积特征	分流河道	X6-40-628
		光滑				砂体顶部、底部与泥岩呈突变接触，反映了稳定的水动力条件和充足的物源供应	分流河道	X7-1-J33
	钟形				底部为突变接触，顶部渐变接触，具正粒序结构，反映了水动力逐渐减弱的沉积特征	分流河道	X6-4-30	
	指形				砂岩与上下泥岩均呈突变接触，厚度薄	漫溢砂、天然堤、席状砂	X6-40-628	
	漏斗形				顶部突变接触，底部渐变趋势，上部的幅度高，下部低幅度，有时候出现锯齿状	决口扇、河口坝、远砂坝	X7-3-138	
组合测井相	箱形和指形组合				上部为箱形，下部为指形，反映水动力条件逐渐增强，物源供给逐渐增多；反之亦然	分流河道、漫溢砂	X6-4-29	
	箱形和钟形组合				上部为钟形，下部为箱形，也有齿化现象，反映水动力条件逐渐减弱，有齿化的时候表明水体的变化频繁	分流河道	X6-4-32	
	箱形和漏斗形组合				上部为箱形，下部为漏斗形，锯齿现象中等，表明水体能量向上逐渐增强	分流河道、决口扇、砂坝	X6-4-28	
	钟形和漏斗形组合				上部为钟形，下部为漏斗型，表明水体向上逐渐增强后又逐步减弱	决口扇、天然堤、席状砂	X7-31-641	



鄂尔多斯盆地麻黄山山西区块测井相模板

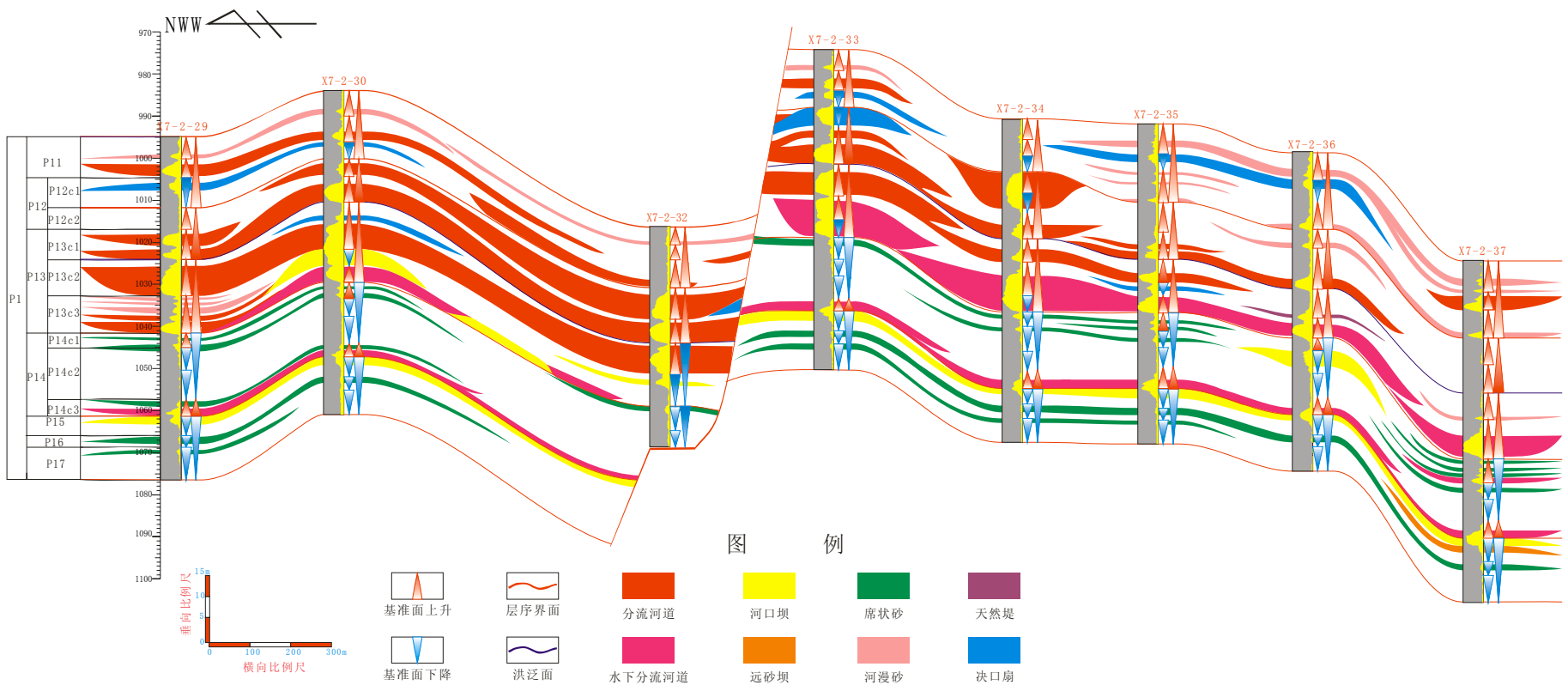
曲线类型	曲线形态	旋回	岩性特征	渗透率	孔隙度	描述	沉积相	代表井
	箱形 指形 和钟形					底部为箱形顶部为钟形	多期水下分流河道叠置	ND15
	漏斗形和钟形					从下向上水动力增强又减弱，水体较为动荡	水下分流河道和河口坝组合	ND23
	漏斗形和箱形					从下向上水动力增强，物源供应增加，水体较为动荡	水下分流河道和河口坝组合	ND17-4
	漏斗形和漏斗形					多期反韵律叠加，代表强烈的进积作用	多期河口坝相互叠置	ND5
	钟形和漏斗形					从下向上水动力先减弱后又增强	河口坝和 <u>水下分流河道</u> 组合	ND23
	指形和指形					水动力条件相对较弱或水体变化较快。	多期席状砂	ND109



## 第二节 储层的测井研究方法

### (四) 连井沉积相分析

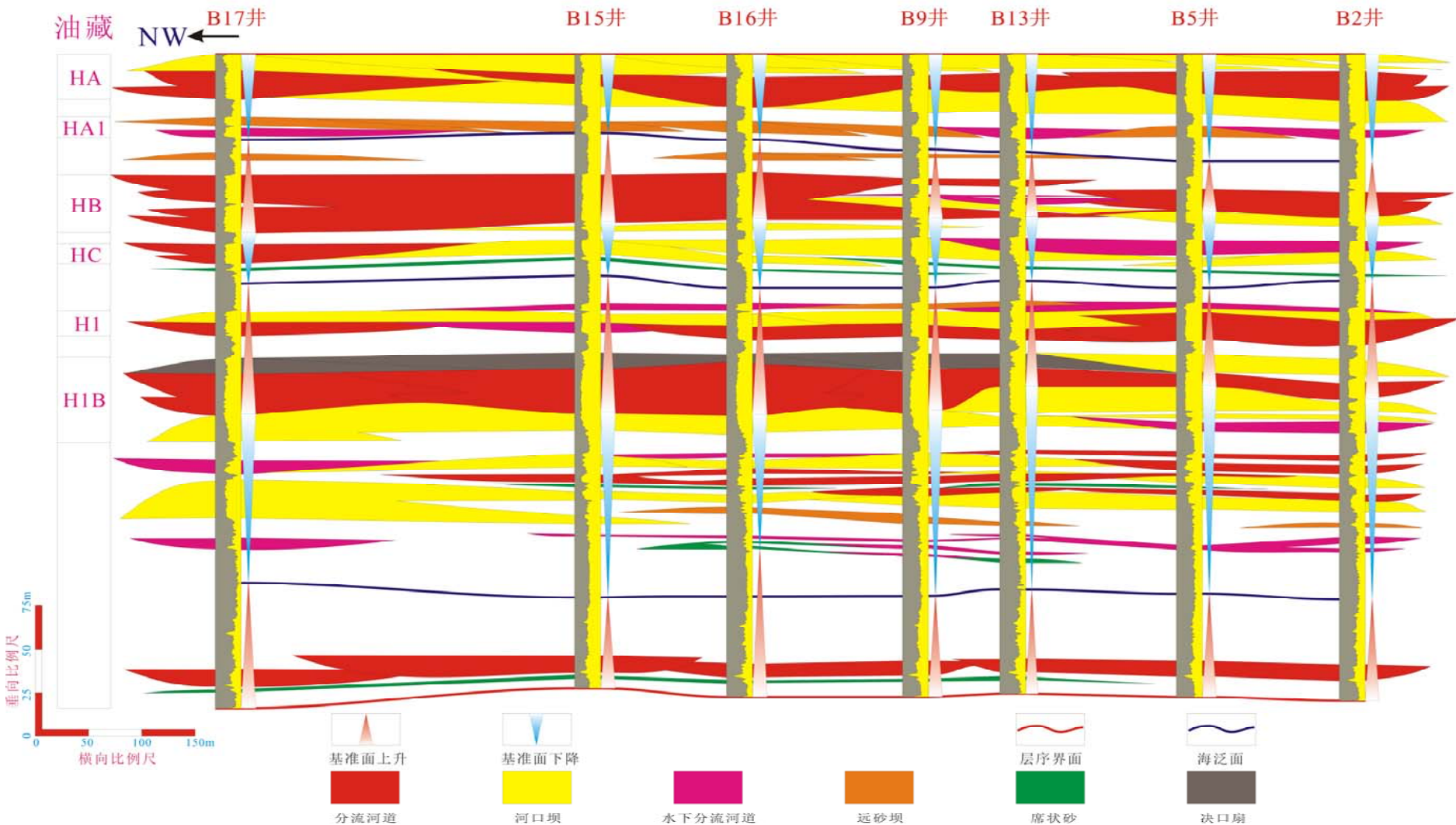
杏56区块X7-2-29-X7-2-37井葡一油层组沉积微相连井对比图





## 第二节 储层的测井研究方法

珠江口盆地（东部）西江30-2油田  
I油组沉积微相连井剖面对比及砂体空间叠置图





# 第二节 储层的测井研究方法

## (五) 平面相分析

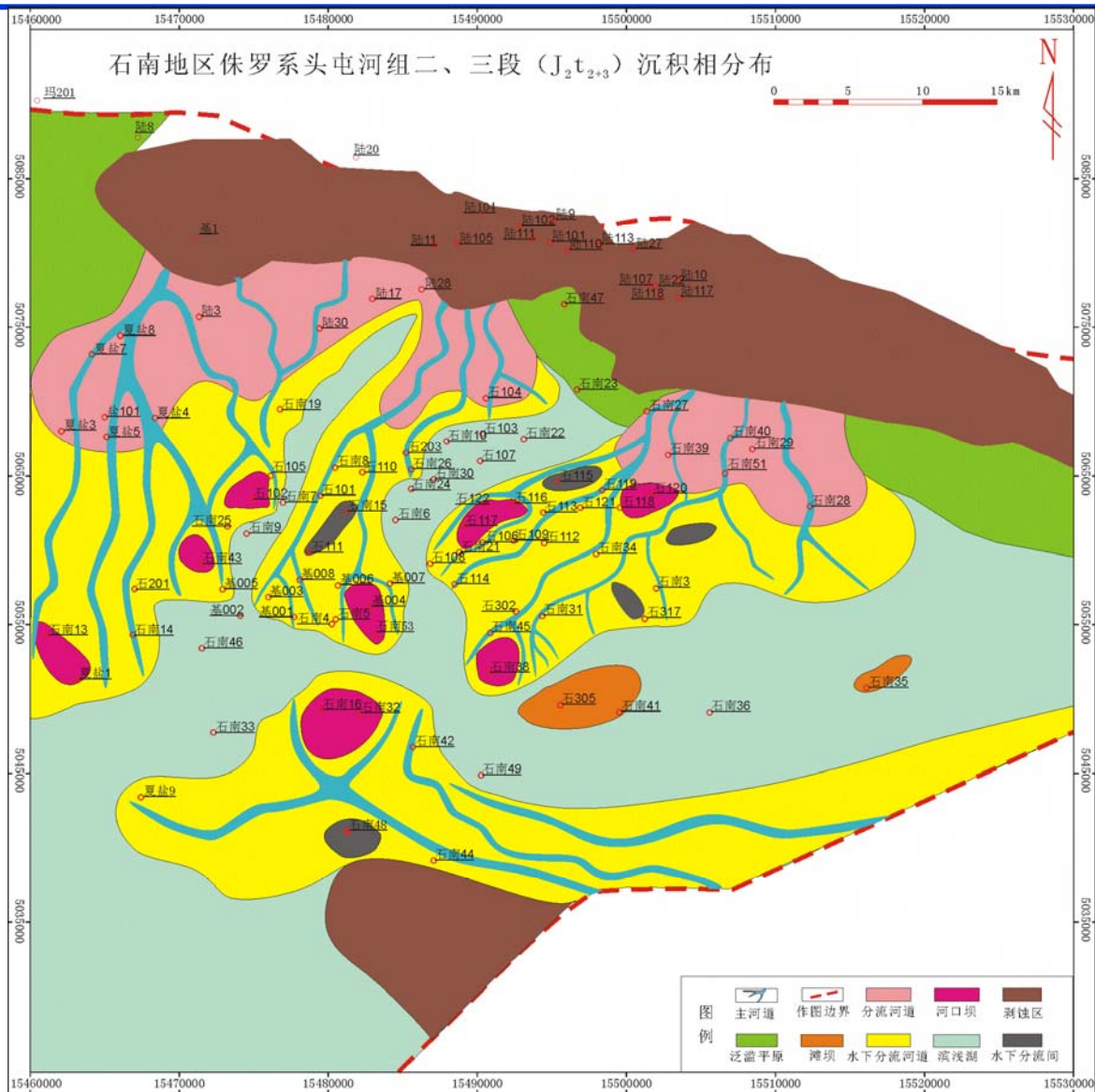
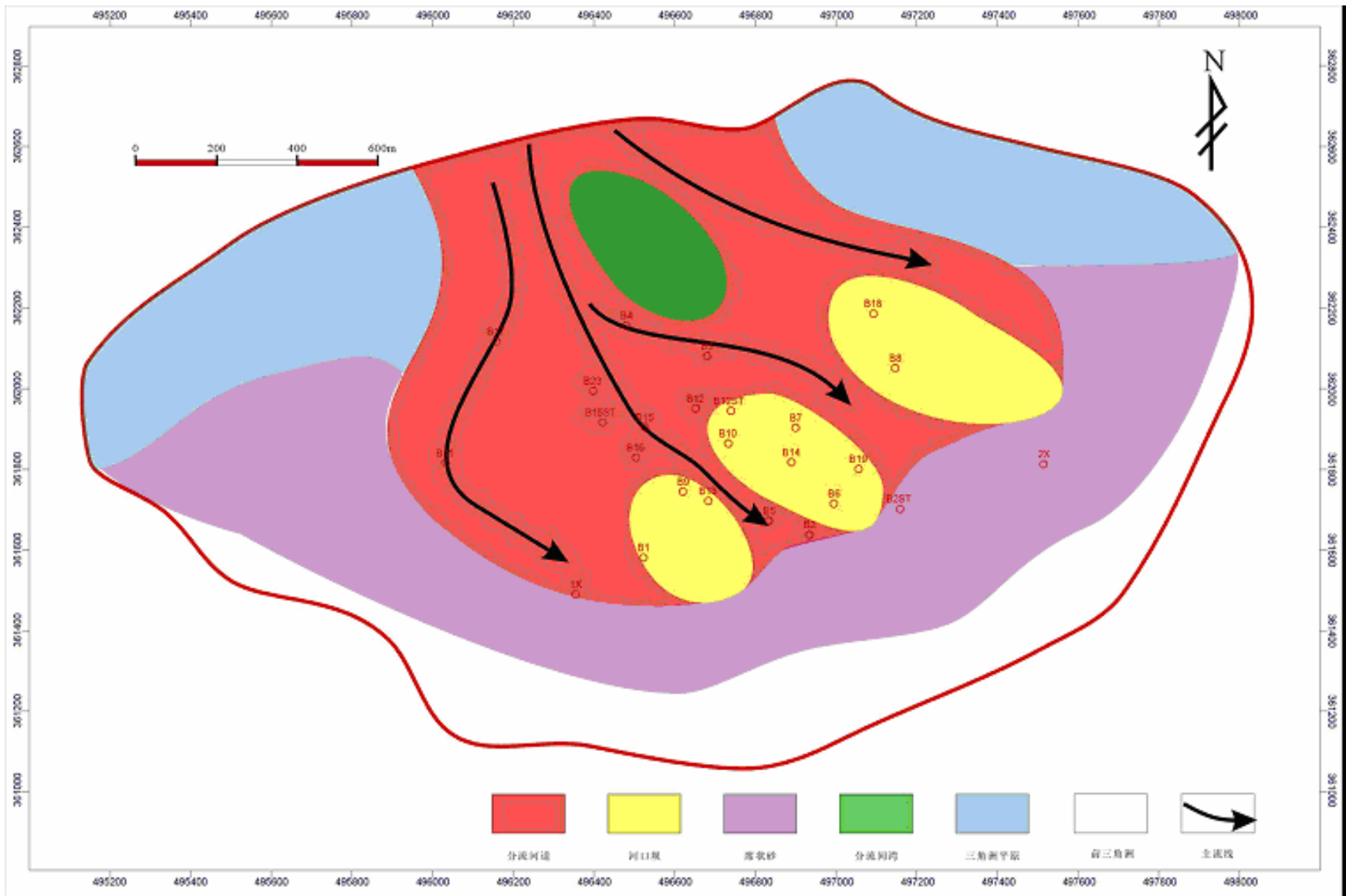


图3-14 准噶尔盆地石南地区沉积微相平面图



## 第二节 储层的测井研究方法



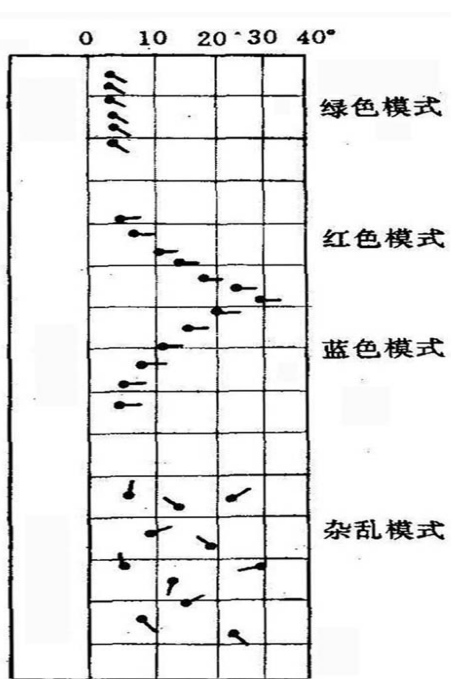
## 第二节 储层的测井研究方法


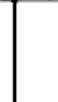


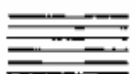

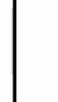




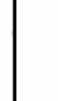








### 二、利用特殊测井资料研究储层

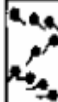
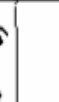



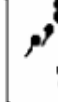




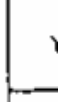



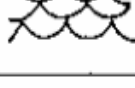

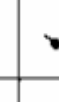
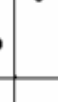






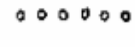
#### (一) 地层倾角测井

地层倾角测井主要测量地层的倾角和倾斜方位角。

#### 1、沉积构造测井分析



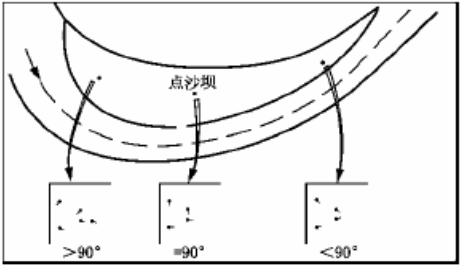
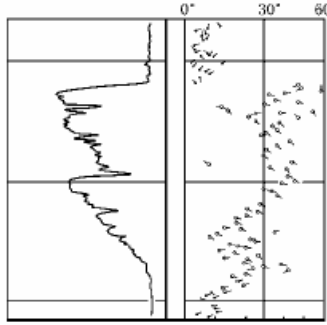
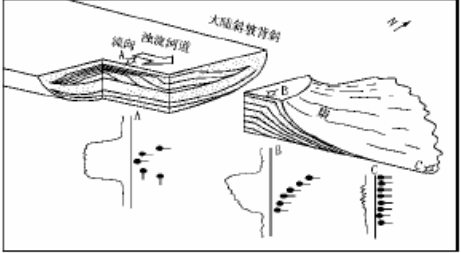
倾角矢量图, (°)				层理剖面	层理类型
10	20	30	40		
					水平或平行层理
					波状层理
					单斜层理
					前积波状层理

倾角矢量图, (°)				层理剖面	层理类型
10	20	30	40		
					波状交错层理
					交错层理
					槽状层理
					块状不显层理
					递变层理

## 第二节 储层的测井研究方法

### 2、几种典型沉积相在地层倾角测井中的特征反映

表 3-11 几种典型沉积相在地层倾角测井中的响应特征 (据于兴河, 2002, 修改)

沉积相	地层倾角测井响应特征	典型模式图 (据马正, 1994)
曲流河点沙坝	内部为蓝模式, 上部为红模式, 其倾向特征与井所在部位有关点沙坝近上游处红、蓝方位角相差大于 $90^\circ$ , 中段 $90^\circ$ , 尾端相差小于 $90^\circ$	
三角洲河口坝	一般为蓝模式, 顶部矢量分散。在砂层内部, 由多个蓝模式组合而成当倾角大于 $10^\circ$ , 说明堆积作用为主, 水动力能量弱; 倾角小于 $10^\circ$ , 水体动力强在前缘砂背景上红模式矢量	
浊积水道	浊流供应水道下部为红模式, 上部为蓝模式, 蓝模式倾向指向水流方向, 红蓝方位相差 $90^\circ$ , 中扇水道出口处, 为蓝模式矢量外扇席状砂具加积特征, 成低角度绿模式矢量	



## 第二节 储层的测井研究方法

### (二) 成像测井

成像测井是20世纪80年代中后期到90年代初期陆续走向商业化的测井技术，主要包括**声、电成像**两大类，以扫描或阵列的方式，测量岩石的某个物理量（如电阻率、声阻抗等）形成井剖面的二维或三维数字图像，间接显示出裂缝、层理、孔洞等地质现象。

电成像的图像颜色的分类由浅—深采用RGB 0~16颜色编码。形态分类可分为**块状、条带状、线状、斑状**等。

- **浅颜色**在微电阻率扫描成像图上表示为高阻层；
- **深颜色**在微电阻率扫描成像图上表示为低阻层；杂色表示非均质地层。

根据成像图的颜色、深浅及图案特征，一般可分为10种模式（表3-12），不同的模式具有不同的地质解释。



表 3-12 成像测井地质解释特征模式分类 (据Schlumberger)

China University of Geosciences, Beijing  
Bill Yu

成像测井模式		成像图象特征	地质成因解释
块、段状模式	亮段		致密砂岩、钙质砂岩致密火成岩、致密碳酸岩盐等 高阻高密度地层段
	暗段		泥岩、多孔缝碳酸盐岩、多孔缝火成岩等相对疏松的 低阻低密度段
	亮暗段截切		相对低阻低密度段与高阻高密度段截切, 可能有断层 等突变接触
条带状模式	连续的明暗条带		砂泥岩互层、条带状碳酸盐岩、泥质条带灰岩
	不连续的明暗条带		砂岩成分非均质变化
线状模式	单一亮线		充填高阻高密度物质的裂缝、缝合线、断层面等, 不整合面、冲刷面
	单一暗线		高导裂缝, 由相对低阻、低密度物质构成的线状 地质现象
	组合线状		岩层面、层理、火成岩流线构造等
	断续线状		断续状层理及其它非连续成因事件
斑状模式	暗斑		孔洞, 低阻物质充填的孔洞。低阻砾石、结核、黄铁矿 等斑块, 岩石透镜体、断层角砾等
	亮斑		高阻物质充填的孔洞, 高阻砾石、化石、结核等
杂乱模式	杂乱		变形、扰动、滑塌等地质现象
递变模式	色级逐渐递变		递变层理及密度递变层
对称沟槽模式	竖形对称条带		椭圆井眼崩落 (CBLL 多见)
空白模式	无图像		测井仪器失控, 工作不正常或遇卡
规则条纹模式	斜列等距		钻具刮削痕
不规则条纹模式	不规则		测井仪器扰动异常图像





## 第二节 储层的测井研究方法

### 1、分析岩性及岩石内部结构

表 3-13 成像测井岩性识别特征表

岩性名称	成像特征
泥岩	电成像图上显示为黑色特征，常见水平层理、块状层理及生物扰动构造。
粉砂岩	微电阻率成像静态图像多为褐色，含钙高时为黄色。粉砂岩主要有两种产出状态，一种为纹层状，另一种为条带状或薄层状，水平层理发育，较厚粉砂岩中可见块状层理。
砂岩	在成像图上，砂岩显示为浅色甚至白色微小的点状特征。胶结物不同，在图像上的颜色深浅不同，快速沉积或重力流沉积常显示为块状特征，在牵引流下形成的砂岩多发育交错层理。
砾岩	在成像图上为不规则的高阻白色（砾岩）与不规则的低阻（胶结物和充填物）特征相混杂，成像资料可反映砾石的分选磨圆情况及砾石的排列规律，进而可推断沉积特征。
藻灰岩	成像图中显示为拱丘状、絮状和云朵状，个别表现为粗粒状，电阻率较高，层理不明显或无层理，边缘较乱，图像呈亮黄色灰白色，图像上呈现藻类的浸润生长特征。
灰岩	图像中电阻率值高，颜色呈灰白色亮白色显示，且边界清楚，指示灰岩特征。

## 第二节 储层的测井研究方法

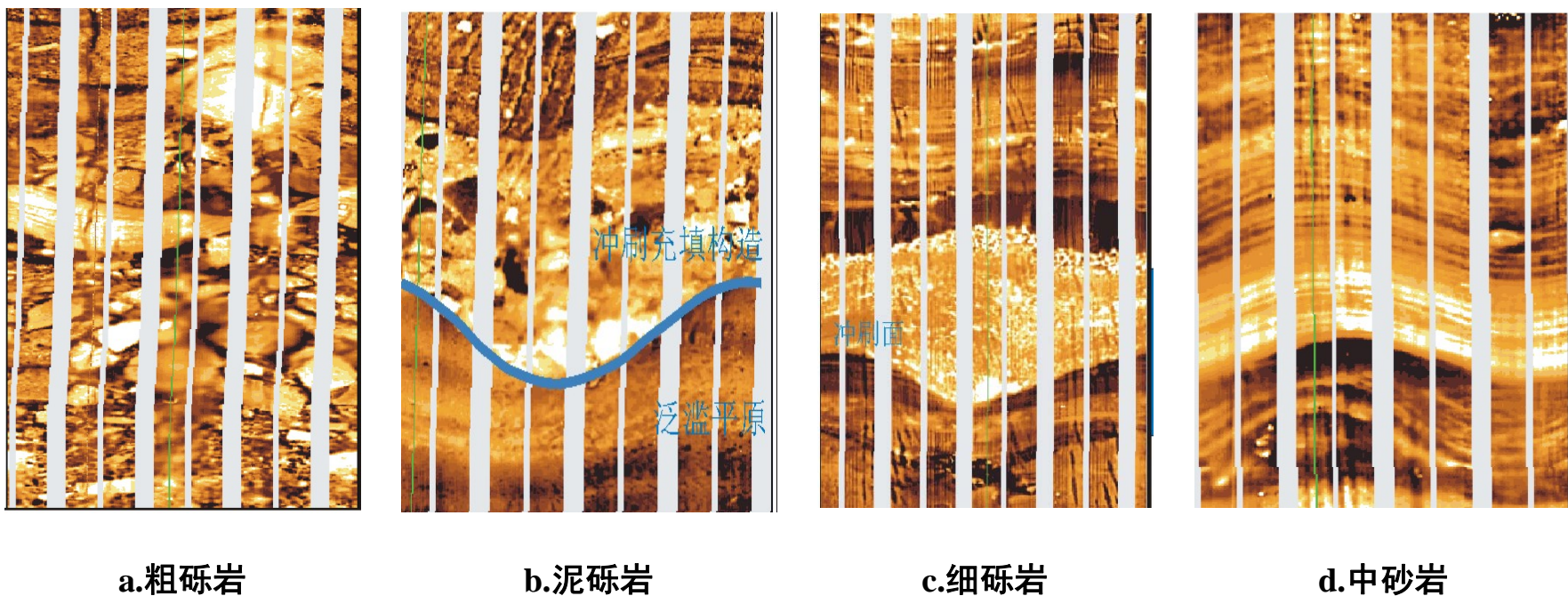


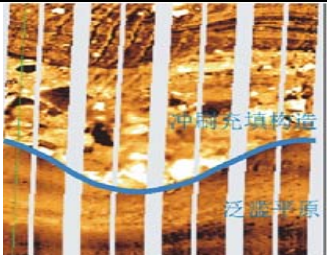
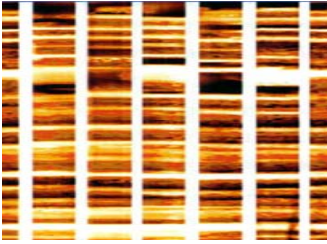
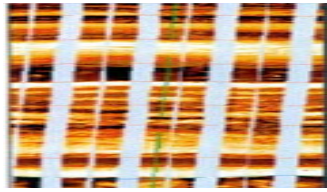
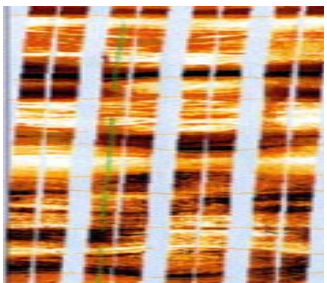
图 3-25 不同类型碎屑岩的成像特征（据 Schlumberger）



## 第二节 储层的测井研究方法

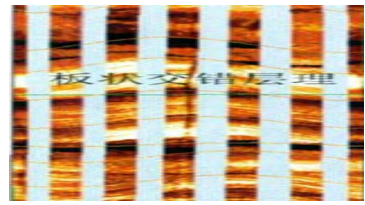
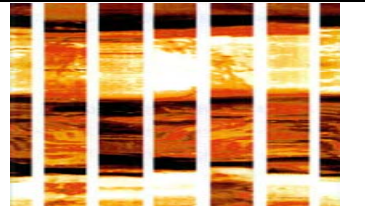
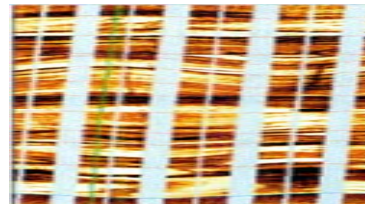
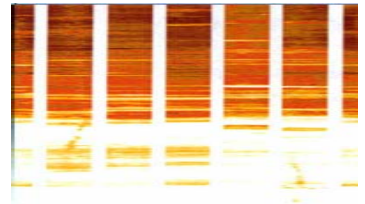
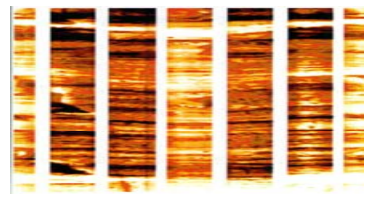
### 2、识别沉积构造、沉积韵律，研究沉积环境

表 3-14 不同沉积构造在成像测井上的响应（据欧阳建，1999，整理）

序号	沉积构造	FM I测井响应	成像特征
1	冲刷面	图像上有一个凹凸不平起伏的界面，冲刷面上暗色泥砾呈扁平状略显定向排列。	
2	平行层理	成像图上表现为一组与层面基本平行的正弦曲线，正弦曲线的产状基本一致，当构造倾角为零时，表现为一组水平线条。倾角矢量图上表现为绿模式	
3	波状层理	成像图上表现为一组总体上与层面基本平行的正弦曲线，正弦曲线之间近于平行，幅度差别不大，但方位变化多端	
4	槽状交错层理	图像上由一套不同角度的正弦曲线显示的层系界面，两层系界面间上弧形的截切纹层，为明暗相间的条纹组成，其厚度规模随岩心上的规模而变	



## 第二节 储层的测井研究方法

5	板状交错层理	图像往往识别出几个平直的层系界面， 每个层系内纹层显示底部收敛顶部截切的明暗条纹	
6	包卷层理	图像中，可明显看出纹层扭曲成圆形、 半圆形、椭圆形或不规则的似有圆形的物征	
7	楔状交错层理	成像图上表现为几组与层面斜交的正弦曲线， 组内曲线产状基本一致，幅度逐渐变化， 各组间正弦曲线产状不同	
8	递变层理	粗岩性（如砾岩）在图像上表现为亮色，细岩性（如 泥岩）表现为暗色总体呈现由亮色至暗色的颜色递变	
9	韵律层理	由砂泥岩间互形成的韵律层在图像上表现为平行的 明暗条纹	

## 第二节 储层的测井研究方法

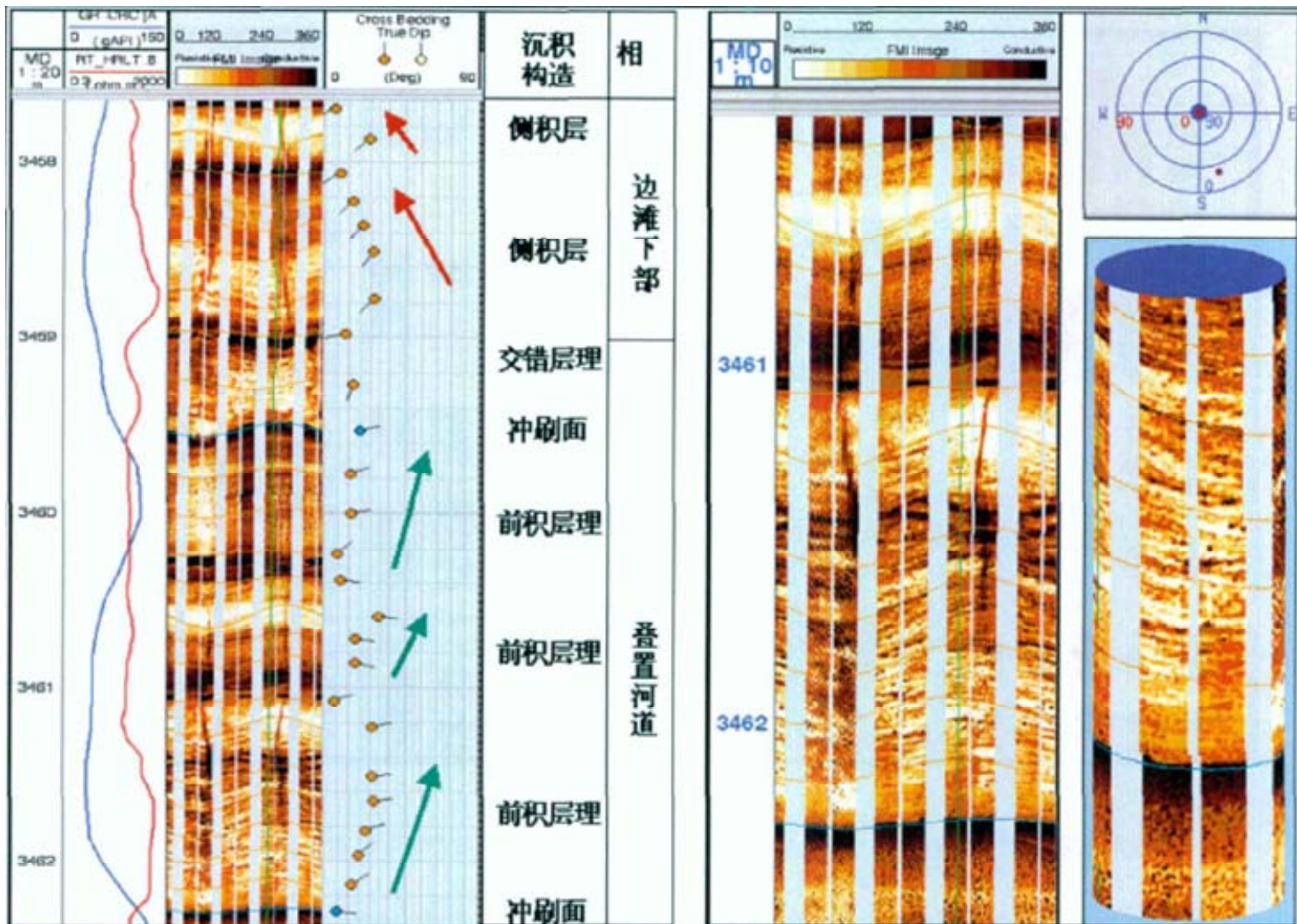
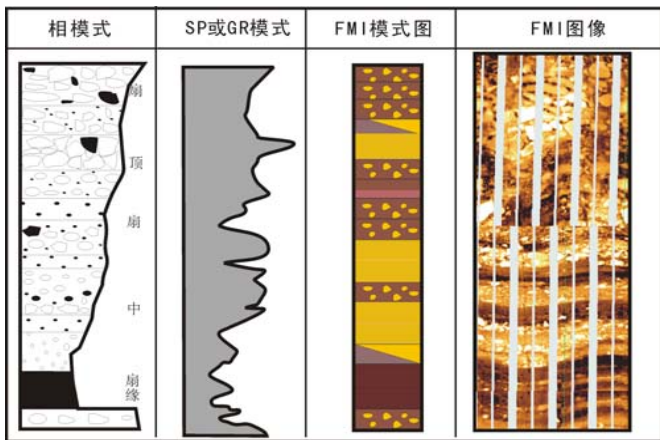


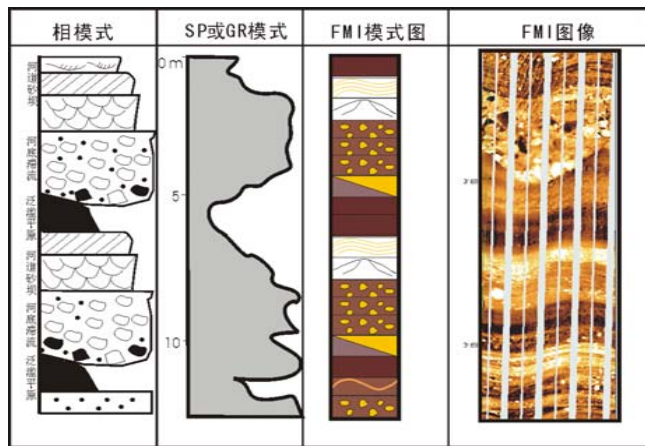
图 3-26 苏 21 井沉积微相图

# 第二节 储层的测井研究方法

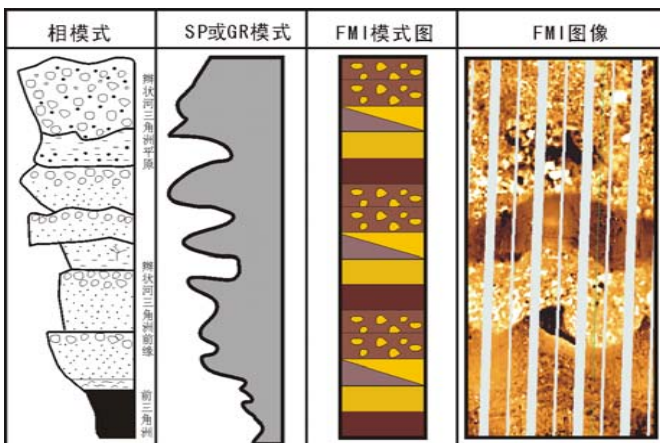
## 3、沉积相成像测井模式分析



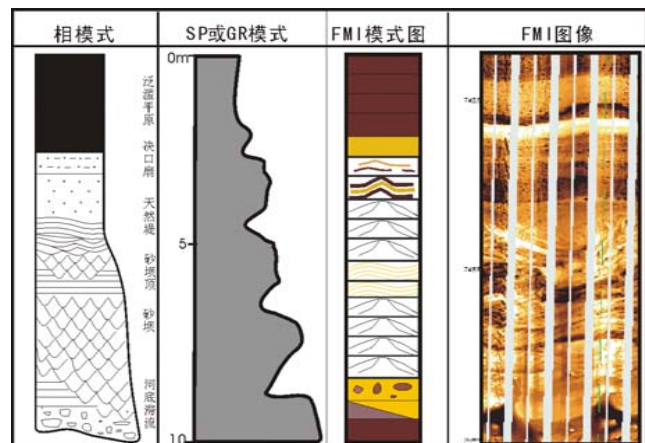
a. 洪积扇模式



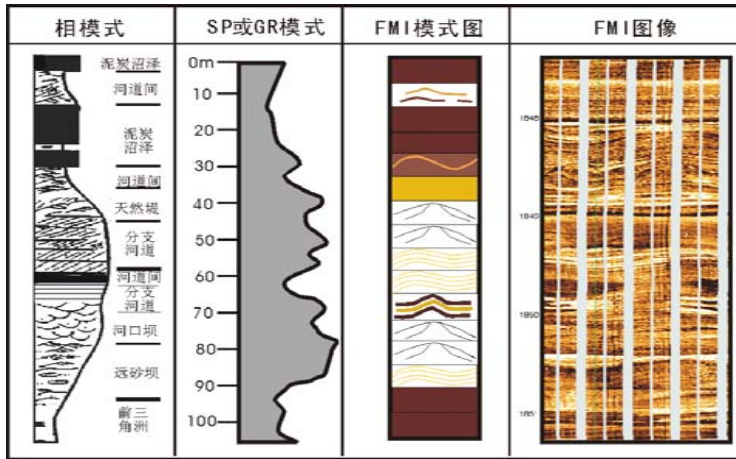
b. 辫状河模式



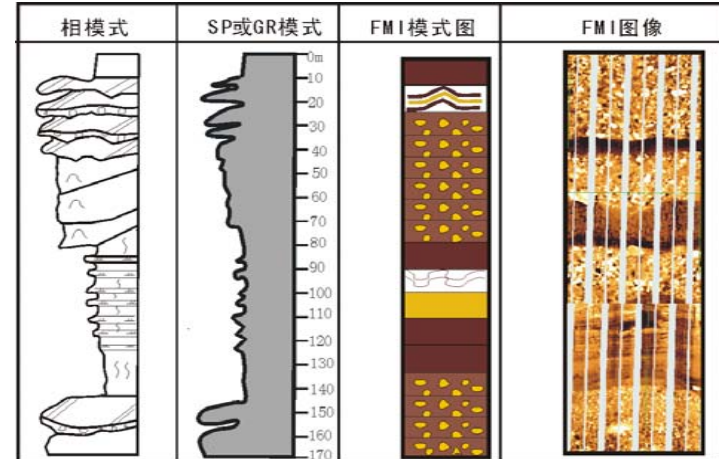
c. 辫状河三角洲模式



d. 曲流河模式



e. 曲流河三角洲模式

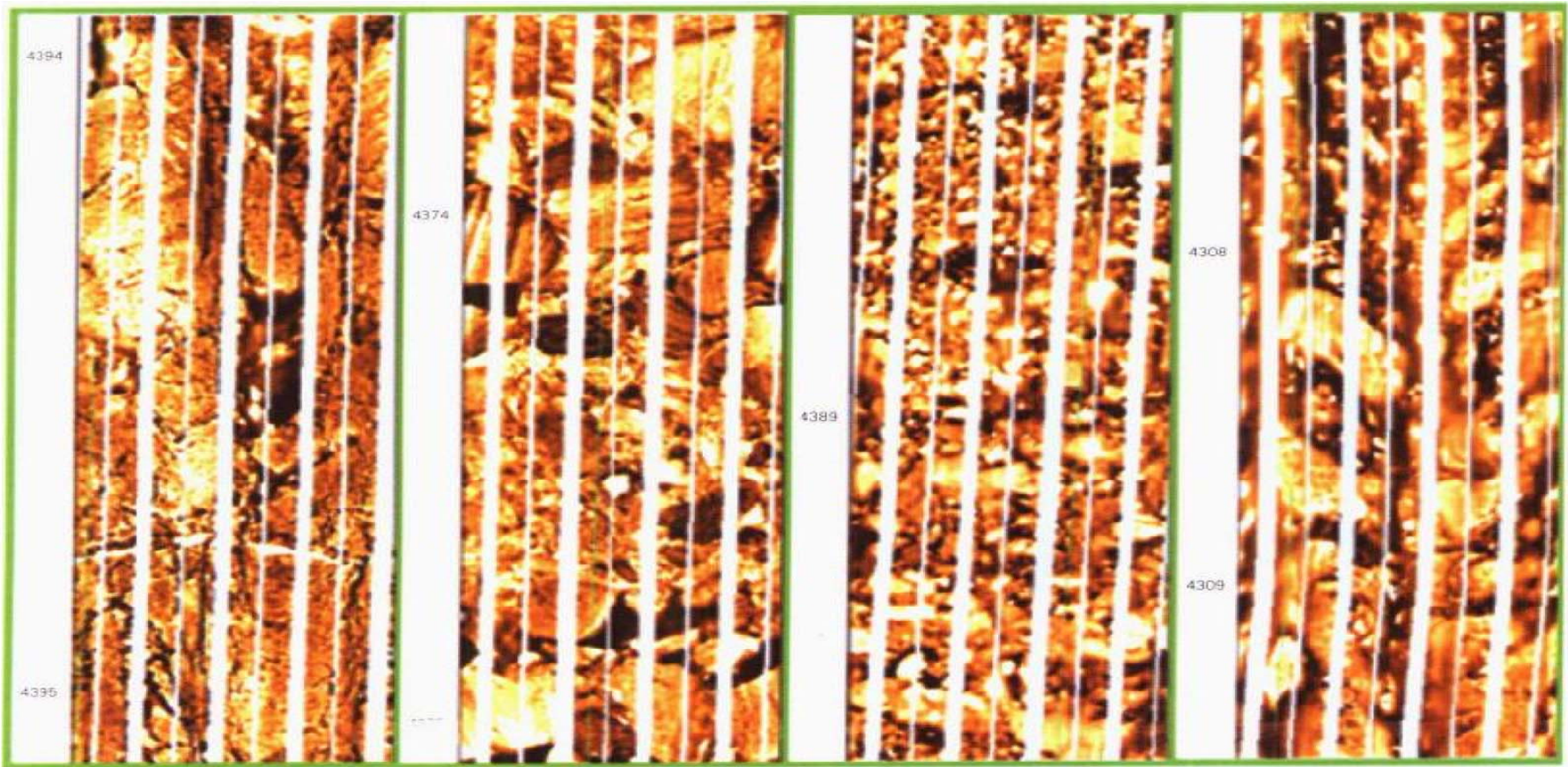


g. 扇三角洲模式

图 3-27 碎屑岩主要沉积环境的成像测井模式

## 第二节 储层的测井研究方法

### 4、复杂岩性储层成像测井评价



a: 熔岩

b: 集块岩

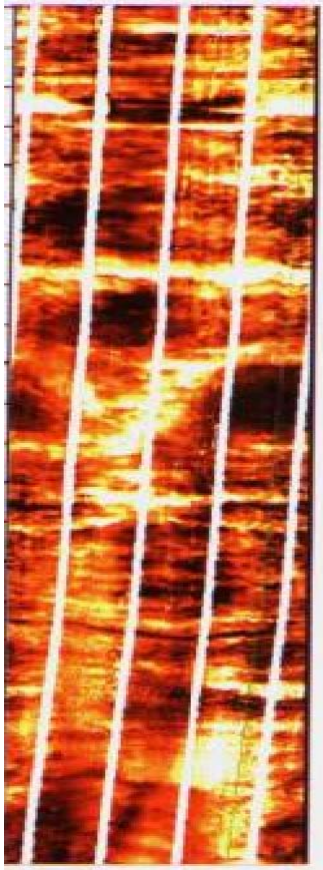
c: 火山角砾岩

d: 角砾熔岩

图 3-28 成像测井火成岩岩性识别（引自陆大卫，2001，整理）



## 第二节 储层的测井研究方法



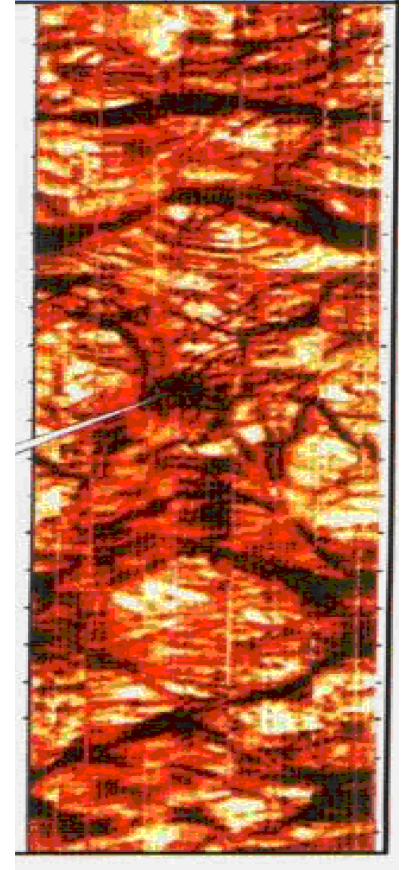
a: 溶蚀孔洞



b: 高角度缝



c: 低角度缝



d: 网状缝

3-29 成像图上的溶孔以及不同裂缝的产状 (引自陆大卫, 2001, 整理)



## 第二节 储层的测井研究方法

### 三、利用监测测井资料在研究储层动态

表 3-15 开发测井系列及应用

测井系列		测井项目	测量对象	目的
生产动态测井	产出剖面	井温测井、流量测井、流体密度测井、压力测井、持水率测井等	井内流体	划分井筒注入剖面和产出剖面，评价地层的吸入或产出特性，找出射开层的水淹段和水源，研究油井产状和油层动态
	注入剖面	同位素测井、流量测井、氧活化测井、示踪测井等		
产层评价测井		自然电位测井、声波测井、电阻率测井、中子寿命测井、过套管电阻率测井、碳氧比测井、介电测井、电磁波传播测井、井间测井等	油气产层	划分水淹层，监视水油和油气界面的浮动，确定地层压力和温度，评价地层含油或含气饱和度的变化情况
工程技术测井		声幅测井、变密度测井，扇区水泥胶结测井、超声成像测井、噪声测井、磁测井、井径测井等	井身结构	检查水泥胶结质量，监视套管技术状况，确定井下水动力的完整性，评价酸化、压裂、封堵等地层作业效果



## 第二节 储层的测井研究方法



### (一) 产出剖面

产出剖面也称为油、气、水生产流动剖面。在采油井正常生产的条件下，测量各生产层段沿井深纵向的流体产出量、含水率、流体密度等参数分布，以判断储层剖面产出**流体性质和数量**的测井，称为产出剖面测井。

## 第二节 储层的测井研究方法

### (二) 注入剖面

注水剖面又称为吸水剖面、注入剖面、吸入剖面。

注水剖面是指注水井在一定的注入压力和注水量的条件下，各射开油层井段吸水量的剖面分布情况。吸水剖面反映油层剖面的吸水能力变化和吸水层位或吸水厚度的分布。吸水剖面测试一般采用放射性同位素进行示踪测井。

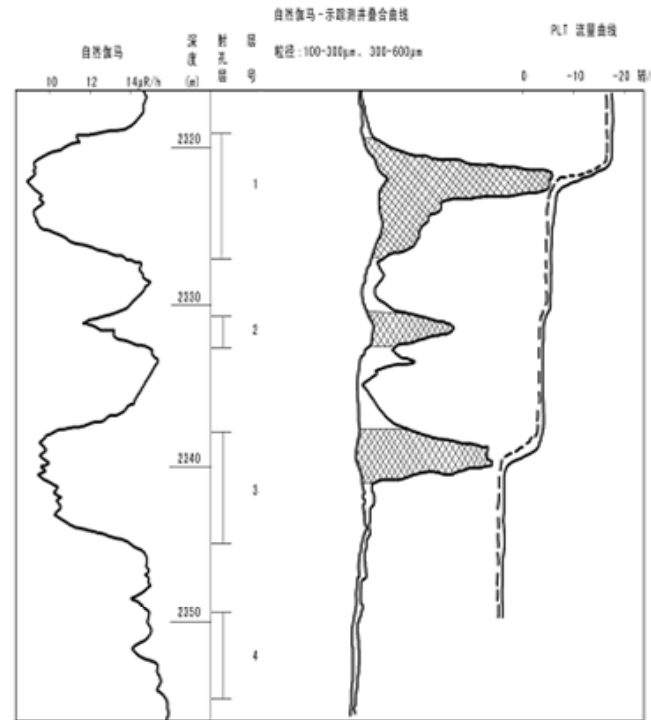


图 3-33 注入剖面测井识别大孔道储层

1 号层为吸水能力强的大孔道地层；3 号层为吸水能力较弱的大孔道地层

## 第二节 储层的测井研究方法

### (三) 水淹层研究

研究水淹层的测井资料包括：SP、AC/DT、ML、GR、激发极化电位测井等。识别水淹层特征的主要方法包括：

(1) SP基线偏移法： (2) AC/DT对比分析： (3) ML测井： (4) GR测井：  
水淹程度：强水淹、中等水淹、弱水淹、未水淹几个级别。

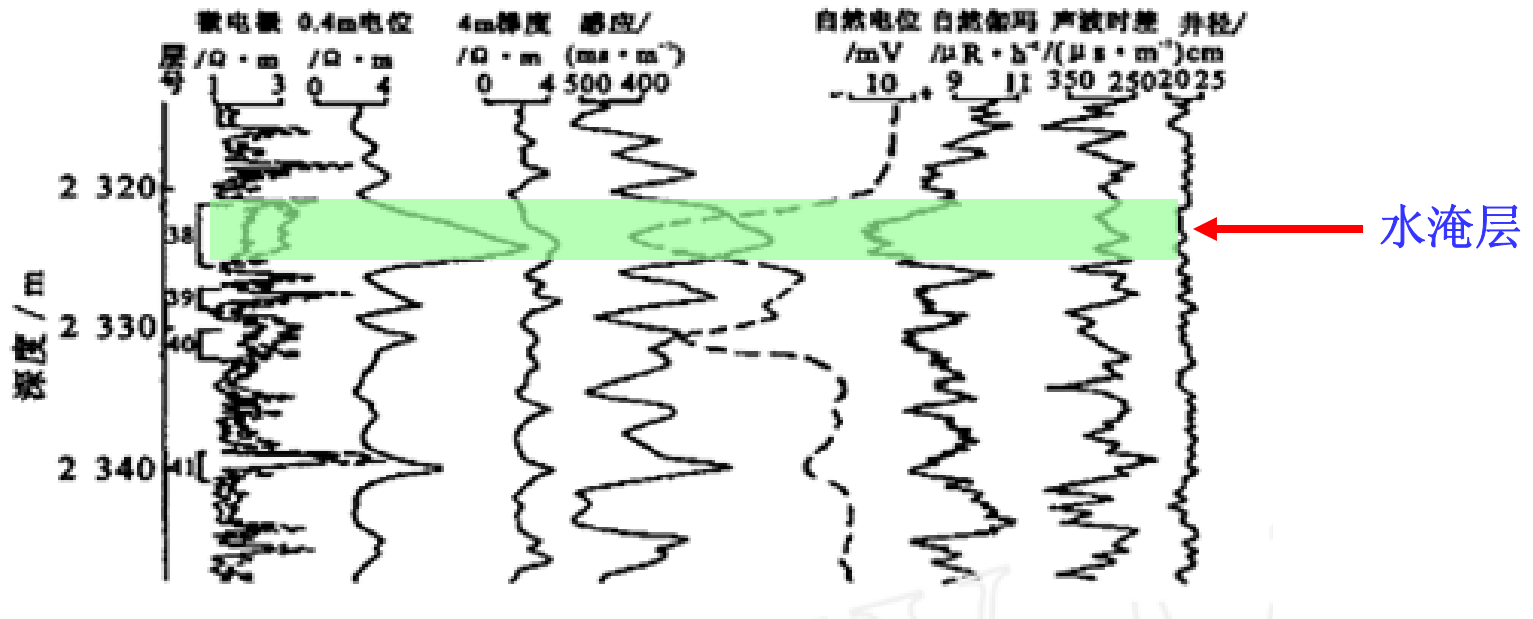


图 3-34 自然电位曲线基线偏移显示水淹程度 (引自宋子齐, 2003)

自然电位曲线基线偏移表明 38 号层为水淹层



## 第二节 储层的测井研究方法



### (四) 产层剩余油研究

直接检测剩余油的测井方法近年发展较快，主要有**碳氧比能谱测井、碳氢比能谱测井、相位介电测井、示踪剂测井和硼中子测一注一测技术、过套管电阻率测井等。**

剩余油的剖面分布可以根据一下资料来判定油层剖面动用情况和动用程度：

- 注水井吸水剖面测试资料
- 采油井出液剖面测试资料
- 水淹层测井解释资料
- 剩余油测井资料



## 第三节 储层的地震研究方法

- 一、储层横向预测的地震技术
- 二、地震相分析
  - (一) 地震相标志的基本类型
  - (二) 地震相单元的外形特征
  - (三) 典型地震相实例
- 三、地震相分析的特点与思路
- 四、地震资料储层参数研究
  - (一) 利用地震速度预测储层孔隙度
  - (二) 利用密度预测储层孔隙度
  - (三) 利用波阻抗预测储层孔隙度



## 第三节 储层的地震研究方法



地震勘探应用于储层研究的过程就是利用人工激发的地震波在地下地层中的传播、反射、折射，由地面仪器接收，并根据地震波传播的运动学特征和动力学特征来研究接受到的地震数据认识地下地质规律的过程。

### 一、储层横向预测的地震技术

(一) 波阻抗反演法 (合成声波测井法)

(二) 波形振幅分析法

(三) 三维地震技术

(四) VSP技术

(五) 一维和二维地震模型技术

(六) 频率分析技术





## 第三节 储层的地震研究方法



### 二、地震相分析

地震相主要参数包括

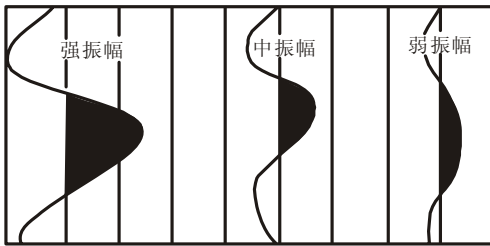
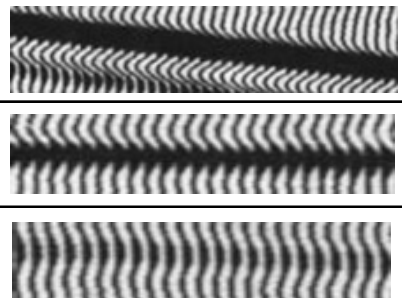
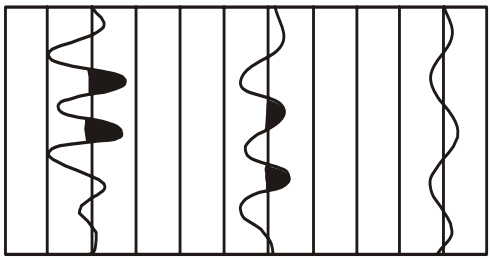
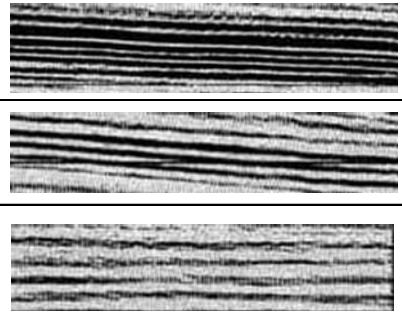
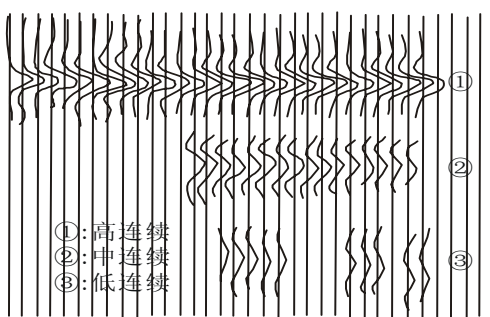
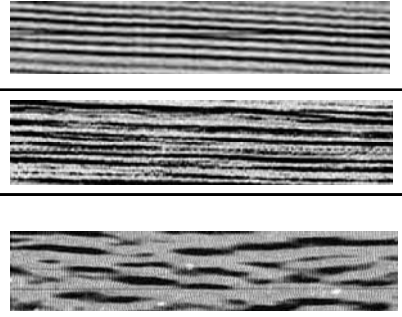
- 内部反射结构
- 外部几何形态
- 反射振幅
- 反射频率
- 反射连续性

表 3-16 用于地震地层学中的地震反射参数及其地质意义（引自徐怀大，1990）

地震相参数	地质解释
内部反射结构	层理模式、沉积过程、侵蚀和古地形流体接触面
反射连续性	地层层理连续性、沉积过程
反射振幅	速度—密度差、地层岩性连续性、地层间距、流体成分
反射频率	地层厚度、沉积环境能量变化、流体成分
层速度	岩性估计、孔隙度的估计、流体成分
地震相单元的外形和平面分布关系	总的沉积环境、沉积物来源、地质背景

# 第三节 储层的地震研究方法

表 3-17 地震相单元反射参数分类表 (据于兴河, 2002)

反射参数	地质意义	分类	分类标准	分类模式	实例
振幅	反映反射系数大小	强	振幅超过 1 个地震道		
		中	振幅在 2 个地震道之间		
		弱	振幅小于 1/3 地震道间距		
视频率	反映相邻反射界面间距大小	高	相邻同相轴紧密排列		
		中	相邻同相轴间距中等		
		低	相邻同相轴间距稀疏		
连续性	反映界面间距横向上的稳定程度	高	连续长度大于叠加段		
		中	连续长度接近 1/2 叠加段		
		低	连续长度小于 1/3 叠加段		



# 第三节 储层的地震研究方法



表 4-23 地震内部反射构造分类及其特征

内部反射构造	特点	沉积作用	模式图解	实例
平行或亚平行形	同相轴平行或亚平行	均匀垂向加积		
波形	同相轴波状起伏	不均匀垂向加积		
发散形	同相轴距向一方逐渐减小	负载沉降		
前积形	同相轴相对倾斜并朝一方加积	侧向加积		
乱岗形	形态不规则、连续性很差	弱水流沉积		
双向下超形	底平顶凸	顺流加积		
眼球形	双向外凸	不均匀沉积		

(一) 地震相标志的基本类型

表 4-24 前积反射构造对比

前积反射构造	前积层	顶积层	底积层	水平面变化	坡度	形成环境
S形	✓	✓	✓	相对上升	—	大陆坡和泥质丰富的三角洲
顶超形	✓	×	✓	相对静止	—	泥质丰富的三角洲
下超形	✓	✓	×	相对上升	—	冲积扇、陡崖浊积扇和扇三角洲
斜交形	✓	×	×	相对静止	大	三角洲或扇三角洲
叠瓦形	✓	×	×	相对静止	小	浪控三角洲、坳陷湖盆三角洲

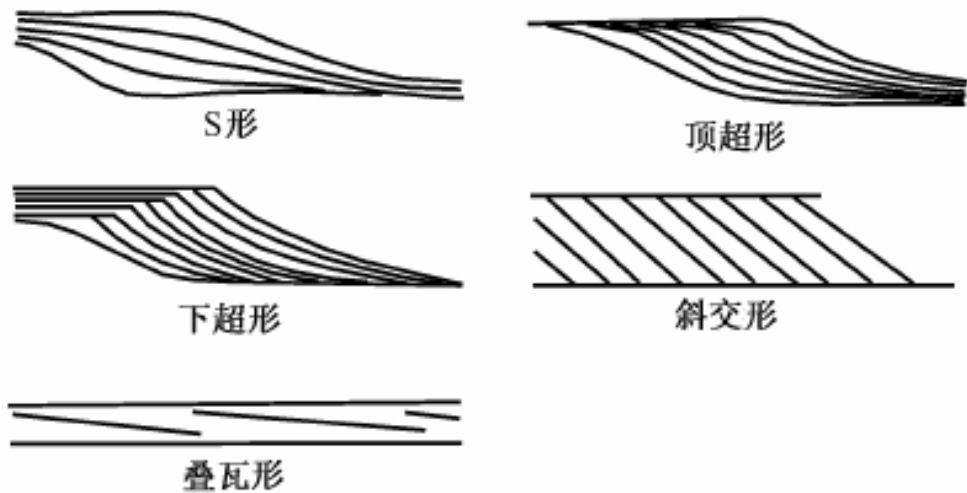


图 4-51 前积构造地震解释模式

(据 Berg, 1977, 修改)

## 第三节 储层的地震研究方法

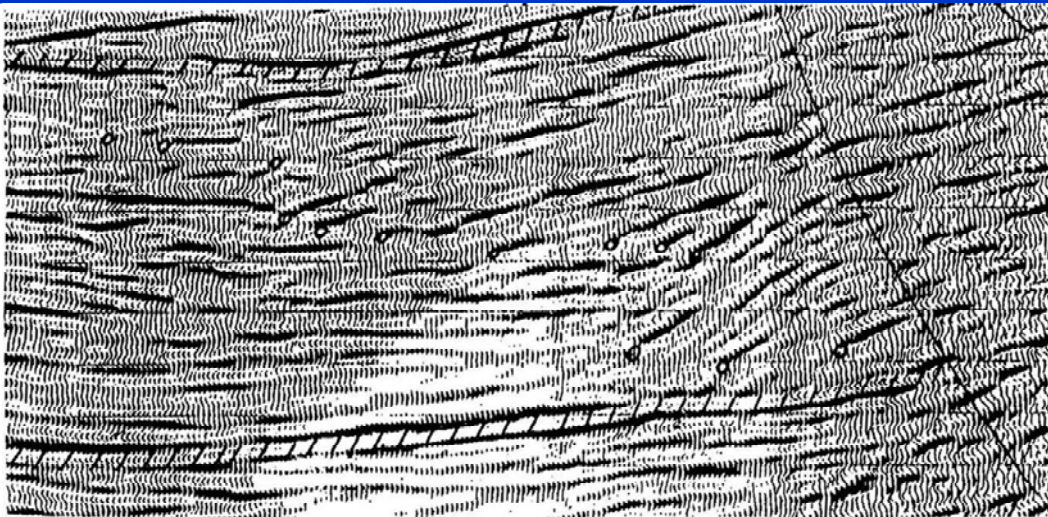


图 3-36 帚状前积相实例

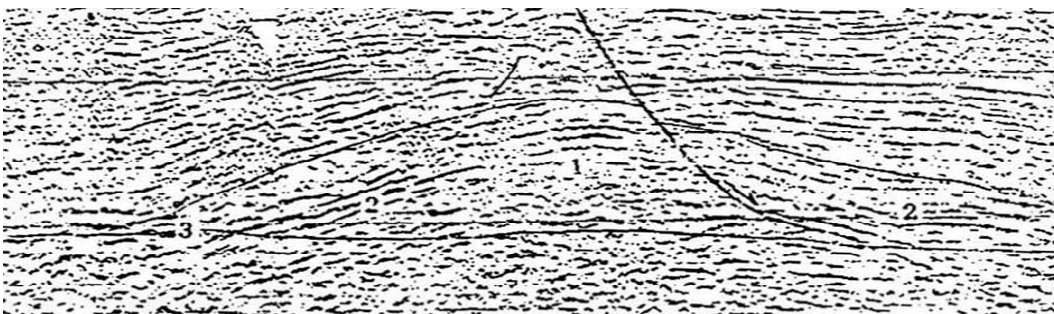


图 3-37 丘状地震相实例

### 第三节 储层的地震研究方法

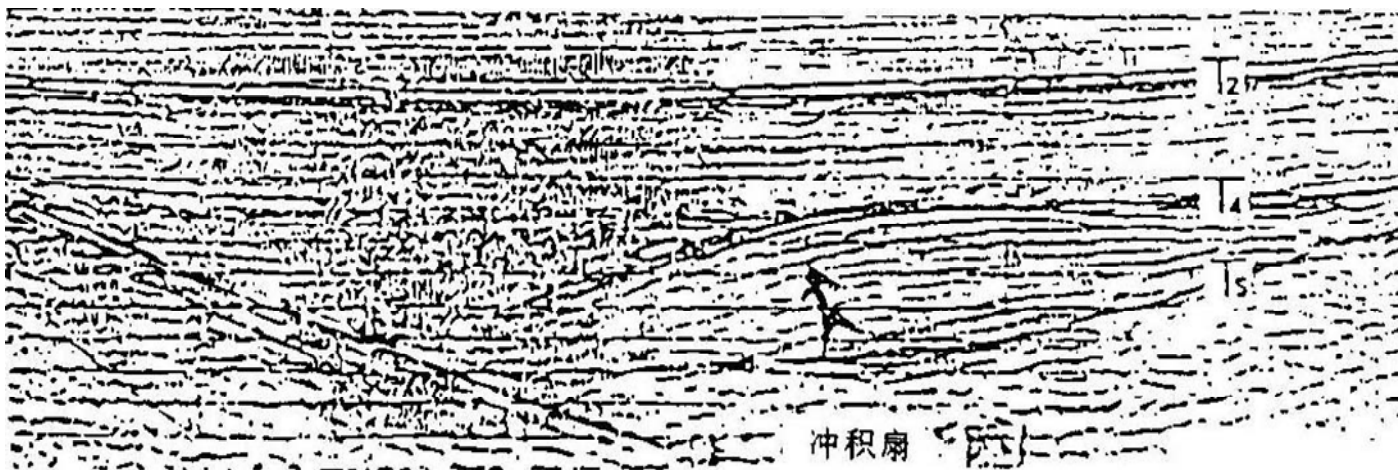


图 3-38 透镜状地震相实例

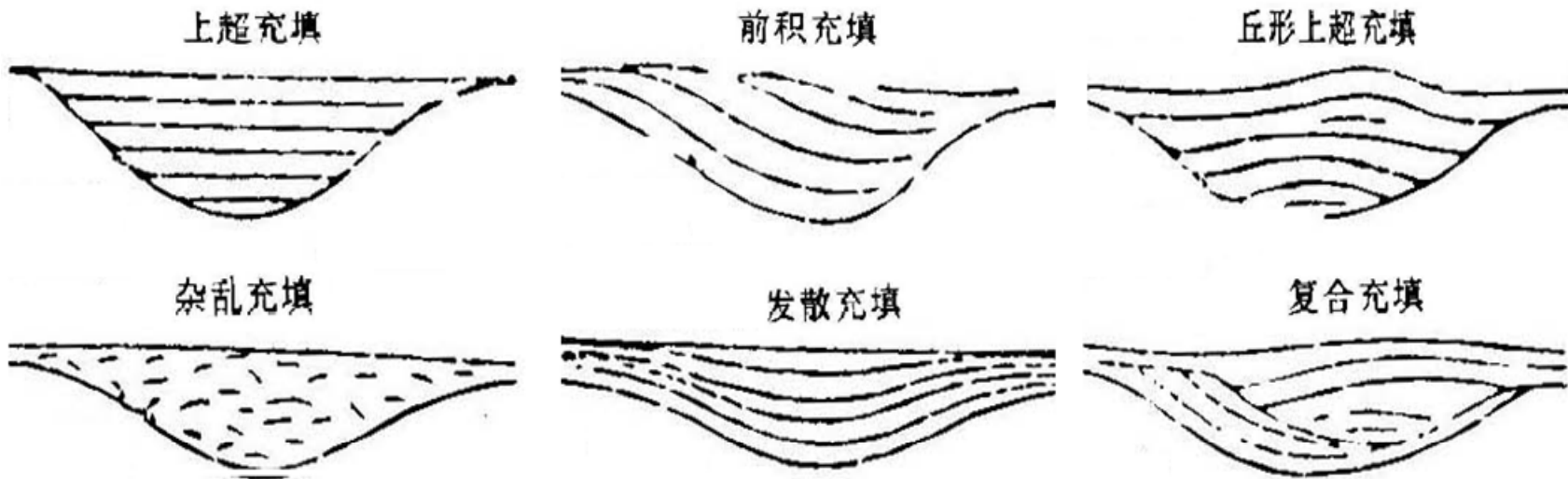


图 3-39 充填地震相的类型 (据 Mitchum 等, 1977)

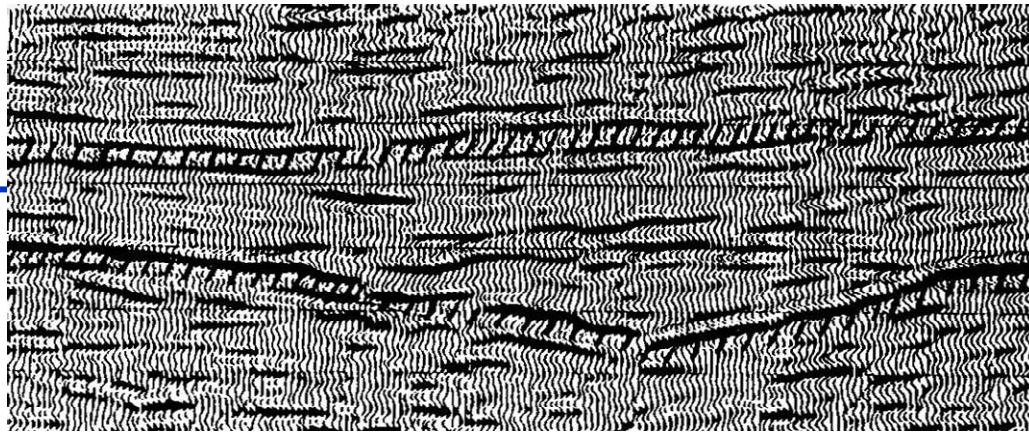


图 3-40 充填地震相实例

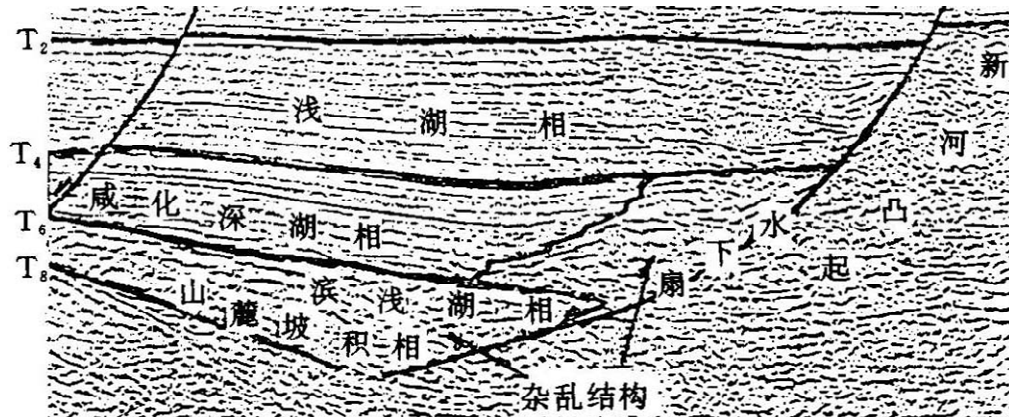


图 3-41 杂乱—空白地震相实例

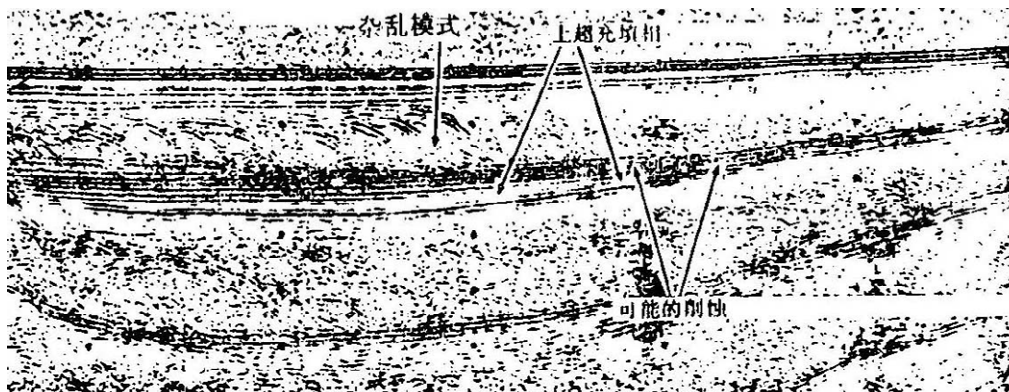


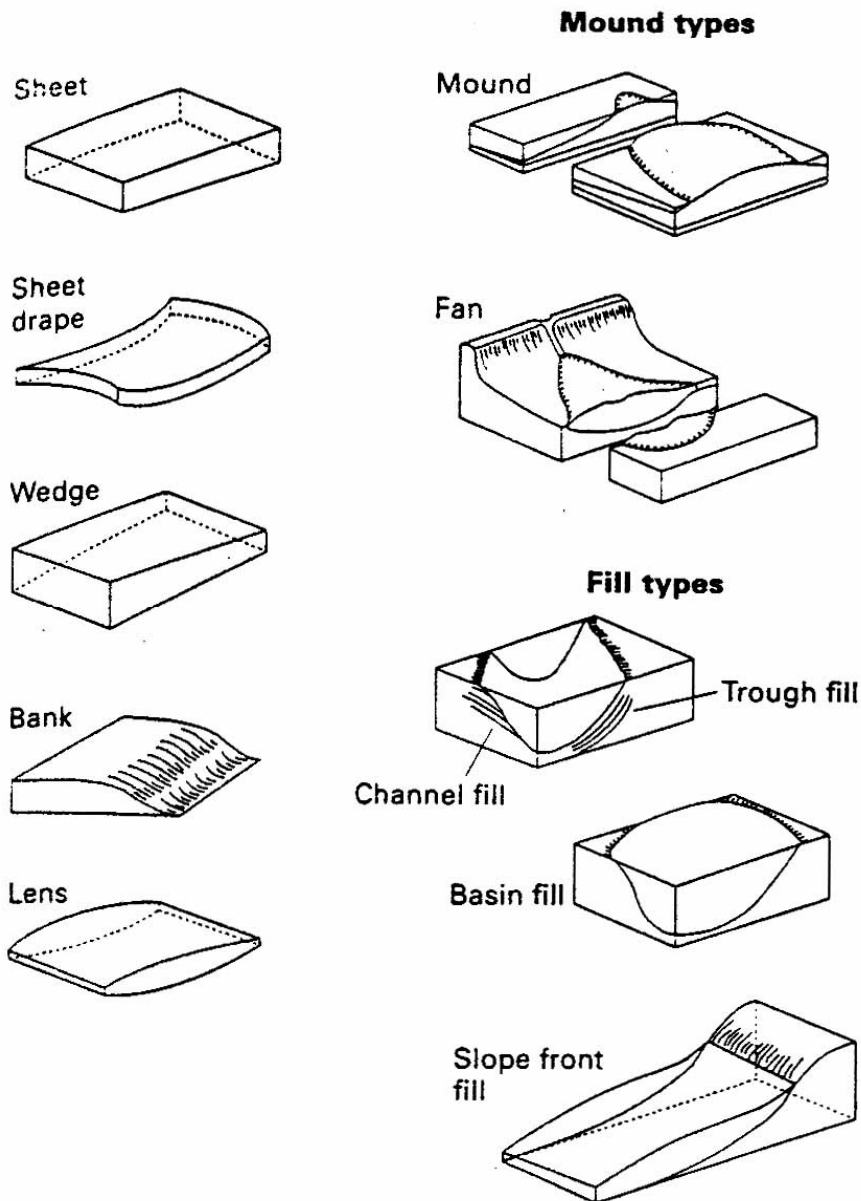
图 3-42 空白地震相实例

## (二) 地震相单元的外形特征

常见的地震相单元外形有八种类型，它也属于几何地震学的范畴。

- 1、席状
- 2、披覆状
- 3、楔状
- 4、锥状
- 5、扇状
- 6、丘状外形
- 7、条带状外形
- 8、透镜状外形

在火山岩储层中，地震相单元的外形可呈现板状、蘑菇状、乱丘状、宝塔状。





## (三) 典型地震相实例

表 3-20 沉积体系地球物理响应识别标志实例

### 一、碎屑岩储层

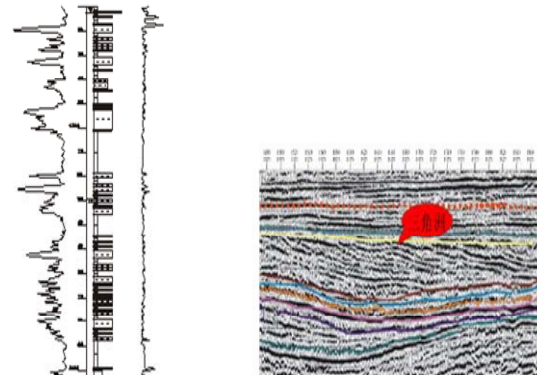
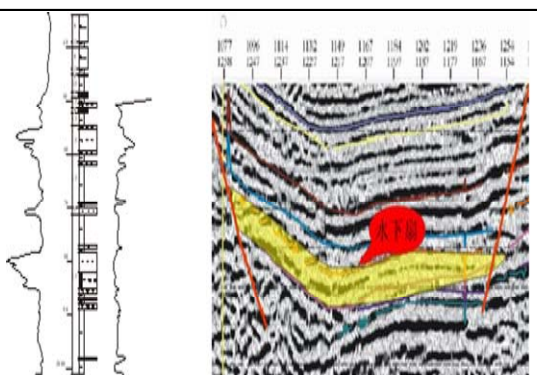
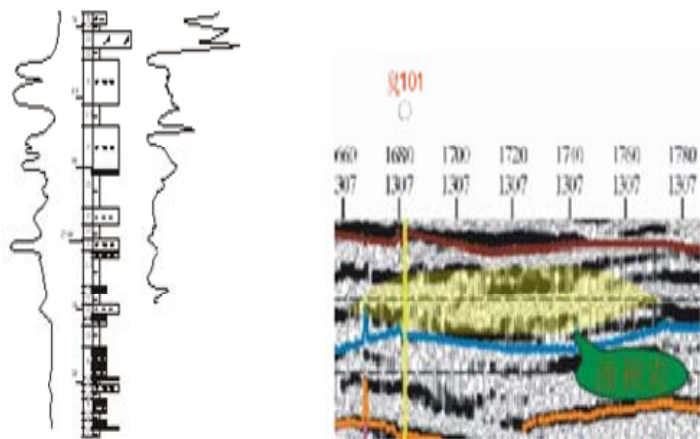
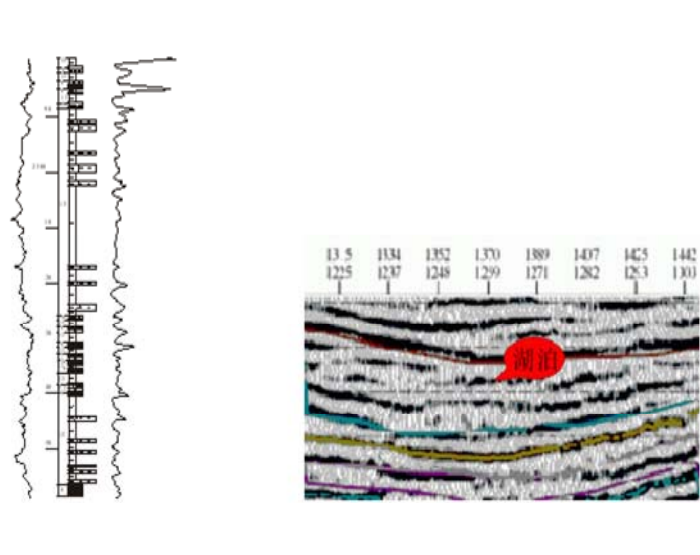
沉积类型	地震反射特征	测井响应特征	图例
三角洲体系	规模较大时三角洲前缘相多表现为中振幅、中等连续的 S 形前积反射结构。规模较小时三角洲前缘相多表现为楔形前积反射结构。当地形较平缓，三角洲进积作用不明显时，三角洲平原相向前缘相的过渡可以通过一组反射振幅由弱向中强振幅的变化识别出来。	三角洲平原亚相测井曲线呈微齿中-低幅的箱形和圣诞树形，并以圣诞树形为主；三角洲前缘亚相测井曲线呈低幅漏斗形、指形。	
水下扇体系	地震相呈短楔形、内部空白-杂乱反射或丘形杂乱反射地震相。	测井曲线为大套的齿形曲线组合，幅度中到高值，在齿形叠置时形成箱形、钟形和漏斗形的包络线，视电阻率为一套低平的背景上出现箱形、齿形组合。	

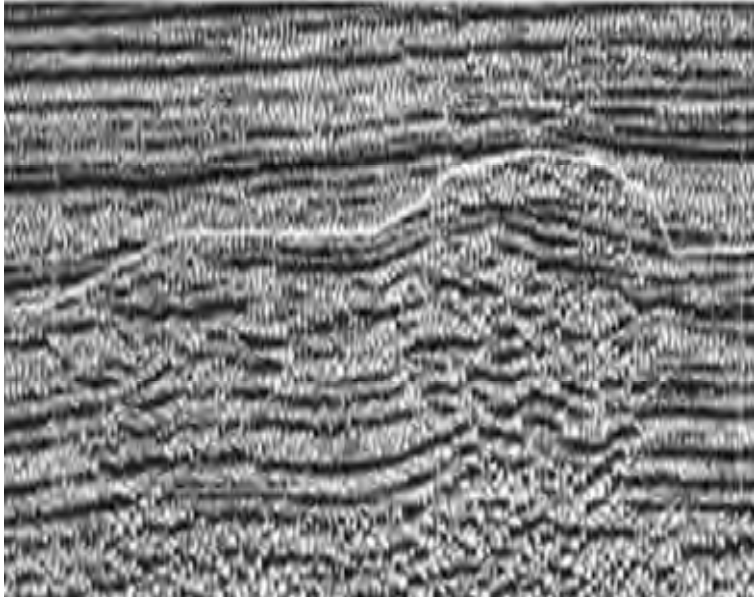
表3-20 沉积体系地球物理响应识别标志实例

沉积类型	地震反射特征	测井响应特征	图例
<p>浊积扇体系</p>	<p>地震相呈丘状、以及弱振幅、连续性差的蠕虫状反射结构</p>	<p>浊积扇体系测井曲线呈低-中幅尖齿状、指状特征（薄层）或箱形（厚层）</p>	
<p>湖泊体系</p>	<p>滨浅湖亚相地震相为中（低）连续中振幅席状相。 地震相为亚平行-弱振幅欠连续或空白反射地震相，油页岩发育时具强振幅、连续、平行反射特征。</p>	<p>滨浅湖亚相的自然电位曲线呈低幅的（也有高幅）指形、钟形、少量箱形组合，视电阻率曲线为中幅的锯齿状组合。半深湖-深湖亚相测井曲线为大套低幅度平滑曲线。</p>	

## 2、火山岩储层

根据火山岩的反射特征，火山岩的识别可分为对火山口(火山锥)的识别、有沉积岩夹层火山岩的识别及无沉积岩夹层火山岩的识别。

表 3-21 火山岩的反射特征 (据陈业全等, 2004, 修改)

	强振幅丘形反射特征	图例
层面	强振幅水平反射, 横向振幅递变, 相位局部错动	
	成板状中强振幅连续反射	
内部	空白、杂乱发射、断续强振幅反射	
	强振幅低频亚平行, 准透镜状反射	
	强振幅低频连续平行反射, 发育层理结构	
	强振幅波状反射	
	中振幅斜交反射	



## 第三节 储层的地震研究方法

### 三、地震相分析的特点与思路

地震相单元外形划分一级地震相单元 → 反射构造划分二级地震相单元 → 反射结构划分三级地震相单元。命名：地震相单元外形+地震反射构造+地震反射结构（视振幅、视频率、连续性）

地震相的划分与表示方法一览表

层序顶、底接触关系 ntact relationship of Sequence top or Bottom				几何参数 Geometric Parameter				物理参数 Physical Paramet
顶部接触 Top Contact	TC	底部接触 Bottom Contact	BC	外部几何形态 External Geometric shape	OC	内部反射结构 Internal Reflector Configuration	RS	振幅、连续性、频 Amplitude Continu Frequency
平行 Parallel	P	平行 Parallel	P	席状 Sheet	S	平行、亚平行 Parallel	P	H—强 M—中 L—弱
顶超 Top lap	T	上超 On lap	O	席状披盖 Drape	D	发散形 Divergence	D	
削截 Truncation	Tr	下超 Downlap	D	楔状 Wedge	W	前积 Foreset	F	G—好 M—中 B—差
表示方法：如地震相单元编码为： P—D/WF—MMM， 表示地震相特征是： P—顶界面平行接触， D—底界面为下超； WF—楔状前积反射结构， MMM—中振幅、中连续、中频率。				透镜状 Lens	L	波形 Wavy	W	
				丘状 Mound	M	杂乱形 disorder	Ds	H—高 M—中 L—低
				帚状 Coremiform	C	空白 Blank	B	
				锥状 Taper	T	下凹形 Concav	C	



## 第三节 储层的地震研究方法



### 1、地震相分析的特点：多解性

地震相是沉积体外形、岩层叠置型式以及岩性差异在空间组合的综合反映，它们分别与地震相单元的外形、地震反射构造和地震反射结构相对应。

### 2、地震相分析的思路

盆地充填模式为指导，钻井资料为控制，沉积体系识别为重点，时、空演化与分布为核心。

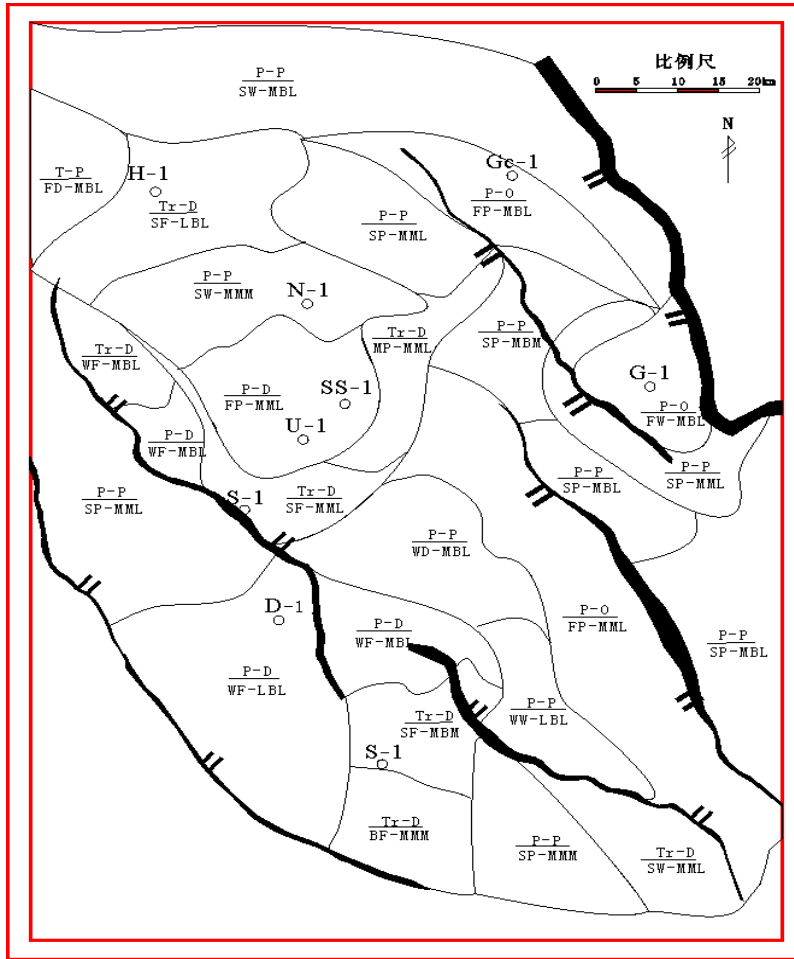


图4-45 某坳陷某组S2层序地震相平面图

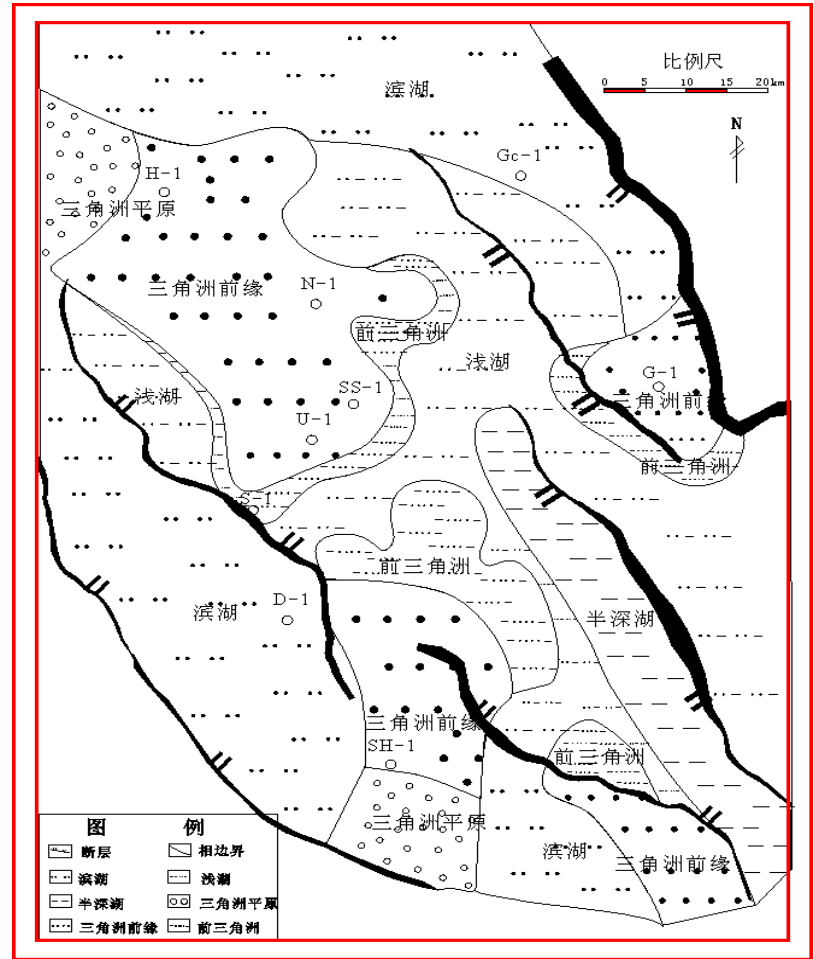


图4-46 某坳陷某组S2层序沉积相平面图



### 四、地震资料储层参数研究

#### (一) 利用地震速度预测储层孔隙度

##### 1. 用 Wyllie 经验公式法求孔隙度

Wyllie 等 (1958) 提出了波速与孔隙度的经验公式:  $\frac{1}{V_p} = \frac{\phi}{V_f} + \frac{1-\phi}{V_{pm}}$  (式 3-18);

其中  $V_p$ 、 $V_f$ 、 $V_{pm}$  分别表示岩石、流体及岩石骨架的 P 波速度;  $\phi$  表示孔隙度; Wyllie 公式源自饱和度的固结良好的纯砂岩, 因此在实际应用中往往由于泥质含量、流体性质与岩石的固结程度等因素导致计算误差较大, 因而常用一些变换的经验公式, 如考虑压差的公式:

$$\frac{1}{V_p} = \frac{c\phi}{V_f} + \frac{1-c\phi}{V_{pm}} \quad (\text{式 3-19}), \text{ 其中 } c \text{ 表示压差调整系数;}$$



## 第三节 储层的地震研究方法

### 2、用 Wyllie 公式导出的时间平均方程求孔隙度

Wyllie 公式提供了地震波速与孔隙度的关系，通过变换可得孔隙度与声波传播时间的关系：

$$\phi = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} - V_{ah} \frac{\Delta t_{ah} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (\text{式 3-24});$$

其中  $\Delta t$  为岩石饱和液体时的声波传播时间； $V_{ah}$  为页岩的体积百分比（或泥质含量），%； $\Delta t_{ah}$  为页岩的旅行时间； $\Delta t_{ma}$  为骨架物质声波传播时间； $\Delta t_f$  为流体的声波传播时间。

#### 1) 泥质校正

当泥质以孔间充填物或胶结物形式存在于岩层中时，孔隙度可用如下公式计算：

$$\phi = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} - V_{ah} \quad (\text{式 3-25}); \quad \text{即令 } \Delta t_{ah} = \Delta t_f。$$

#### 2) 压实校正

未充分考虑岩石压实与固结程度，会使孔隙度计算值偏大，这使需做压实校正，校正后孔隙度计算可用如下公式： $\phi' = \phi / C_p$ （式 3-26）， $\phi'$  为压实校正后孔隙度， $C_p$  为压实校正系数。

#### 3) 流体校正

由于 Wyllie 公式源自饱和水的岩层模型，若岩石中含有油气时，时差将增大，层速度会降低，孔隙度也会变大，因此需做流体校正。目前流行校正采用经验系数法，一般气层流体校正系数为 0.7，油层的校正系数用 0.8-0.7。





## 第三节 储层的地震研究方法

### 3、用横波与纵波速度预测孔隙度

Han 和 Nur (1986) 在 40MPa 和 1MPa 孔隙压力条件下, 纯砂岩速度和岩石孔隙度的以经验公式为:

$$V_p = 6.08 - 8.6\phi \quad (\text{式 3-31}), \quad V_p \text{ 为纵波速度, km/s}$$

$$V_s = 4.06 - 6.28\phi \quad (\text{式 3-32}), \quad V_s \text{ 为纵波速度, km/s.}$$

而通过联合使用纵、横波速度也可估算孔隙度, 朱广生 (1991) 总结 Tossaya、Castagna 等人的资料提出如下孔隙度计算公式:

$$\phi = m_1 + m_2 V_p + m_3 V_s \quad (\text{式 3-33})$$

$$\text{其中: } m_1 = \frac{a_1 b_3 - b_1 a_3}{a_2 b_3 - b_2 a_3} \quad (\text{式 3-34}); \quad m_2 = \frac{-b}{a_2 b_3 - b_2 a_3} \quad (\text{式 3-35}); \quad m_3 = \frac{-a_3}{a_2 b_3 - b_2 a_3}$$

(式 3-36)。

$V_p$  表示纵波速度,  $V_s$  表示横波速度;  $a_i$ 、 $b_i$  为大于零的常数 ( $i=1, 2, 3$ )。实际预测孔隙度时, 根据测井资料, 用回归方法确定系数  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ , 分层建立经验公式, 然后根据  $V_p$ 、 $V_s$  值计算孔隙度。



## 第三节 储层的地震研究方法

### (二) 利用密度预测储层孔隙度

密度与孔隙度一般也呈线性关系。由于岩石密度受含气影响较小，因此气层的孔隙度最好用密

度计算。根据密度平均方程： $\rho = (1 - \phi)\rho_m + \phi\rho_f$  (式 3-37)；

导出计算孔隙度的公式如下： $\phi = \frac{(\rho - \rho_m)}{\rho_f - \rho_m}$  (式 3-38)；

式中， $\rho$  为观测密度； $\rho_m$  为岩石基质密度， $\rho_f$  为所含流体密度。一般砂岩  $\rho_m = 2.65 \text{ g/m}^3$ ，石灰岩  $\rho_m = 2.71 \text{ g/m}^3$ ，白云岩  $\rho_m = 2.87 \text{ g/m}^3$ ；水  $\rho_f = 1.07 \text{ g/m}^3$ ，油  $\rho_f = 0.85 \text{ g/m}^3$ ，气  $\rho_f = 0.00072 \text{ g/m}^3$ 。

利用密度计算孔隙度与时间平均方程类似，遇到含泥质的情况，也需要进行泥岩校正，具有泥

岩校正的密度平均方程为： $\rho = (1 - \phi - M)\rho_m + L\rho_f + M\rho_{sh}$  (式 3-39)；

由此导出的孔隙度计算公式为： $\phi = \frac{(\rho - \rho_m)}{\rho_f - \rho_m} - M \frac{\rho_{sh} - \rho_m}{\rho_f - \rho_m}$  (式 3-40)；

### 三) 利用波阻抗预测储层孔隙度

式中， $\rho_{sh}$  根据密度测井求取，西方公司给出的  $\rho_{sh} = 2.6 \text{ g/m}^3$ 。



# 思考题

- 1、岩心中沉积相标志包括哪些方面？
- 2、简述单井剖面相与连井相对比的步骤与应注意的主要问题有哪些？
- 3、应用常规测井曲线进行相分析时主要根据曲线的特征有哪些？
- 4、简述成像测井和倾角测井在储层沉积相分析中的作用。
- 5、储集体主要包括哪些测井相与地震相类型？
- 6、试述碎屑岩储层对比的方法与步骤。
- 7、用测井资料进行储层研究的主要研究内容有哪些？
- 8、地震资料储层预测的方法与储层参数计算的方法有哪些？
- 9、试述储层四性研究的内容与方法。