层序地层学基础
Basis of Sequence Stratigraphy

——2009年本科生

陈开远

Tel：010-82320506， E-mail：ddcky@163.com

层序地层学基础

一、发展历史概况

二、地震地层学基础

- 层序地层学的基础、来源与支撑学科

三、层序地层学基础

- 层序地层学的基本理论和关键性定义
- 钻井、地震资料的层序地层学解释方法

层序地层学有关著作（中文）

- 地震地层学解释基础，徐怀大等编，1990，中国地质大学出版社
- 层序地层学原理，徐怀大等译，1993，石油工业出版社
- 层序地层学，朱筱敏编，1997，石油大学出版社
- 层序地层学原理与应用，朱筱敏编，1998，石油工业出版社

层序地层学有关著作（英文）

- *Sea Level Changes-an Integrated Approach*, 1988, Wilgus, C.K. et al (ed.), SEPM No. 42
- *Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies*, 1990, Van Wagonar, J.C. et al. AAPG Methods in Exploration No7
- *Siliciclastic Sequence Stratigraphy - Recent Developments and Applications*, 1994, Weimer, P. et al(ed.). AAPG Memoir 58
- *Sequence Stratigraphy*, 1996, Emery, D., & K. Myers

层序地层学有关著作（英文）

- *High Resolution Sequence Stratigraphy: Innovations and Applications*, 1995, Howell J. A. & Aitken, J. F.(ed.). Geological Society Special Pub. No. 104

- *Sequence Stratigraphy-Concepts and Applications*, 1999, Posamentier, H. W. et al SEPM Special Pub.

- *Carbonate Sequence Stratigraphy*, 1994, Loucks,R.G. et al (ed.) AAPG Memoir 57

层序地层学基础

序：层序地层学发展历史概况

第一部分　地震地层学基础

- 层序地层学的基础、来源与支撑学科

第二部分　层序地层学基础

- 层序地层学的基本理论和关键性定义
- 钻井、地震资料的层序地层学解释方法

层序地层学基础

序：层序地层学发展历史概况

第一部分　地震地层学基础

- 层序地层学的基础、来源与支撑学科

第二部分　层序地层学基础

- 层序地层学的基本理论和关键性定义
- 钻井、地震资料的层序地层学解释方法


层序地层学的发展

地质学的诞生与地层学息息相关。地层学始终是地质学研究的第一性学科。**地球科学的四维体系就是由地层年代的测定和空间域的展布规律**来确定的。

因此，凡从事地质学的科研人员，无不涉及到占地球表面70％以上的呈层状产出的沉积岩、火山碎屑岩和部分变质岩。

层序地层学的诞生

- 近代地层学理论

对地层沉积作用真正的科学描述是来自以**Lyell (1835)**为代表的现代地层学家，他们从斯堪的那维亚滨岸滩砂**(beaches in costline of Scandinavia)** 的观察，发现大陆在缓慢地上升。

Lyell等人的研究首次*将海面升降变化与冰川活动联系起来*。

Suess的海面变化概念-最初的萌芽

二十世纪初，冰川消融理论已可较系统的说明全球的海面变化（eustatic sea-level）和全球一致的隆升作用（isostatic uplift），但其对沉积韵律的控制作用研究较少。

而Eduard Suess (1906)首次提出了‘全球海面变化（eustatic）’这一术语，他提出沉积单元的上超和退覆反映了全球海面变化(onlap and offlap of sedimentary units — global sea-level changes)，海面上升的源自盆地的沉降，沉积物的充填则造成海面的下降。

Suess的海面变化概念

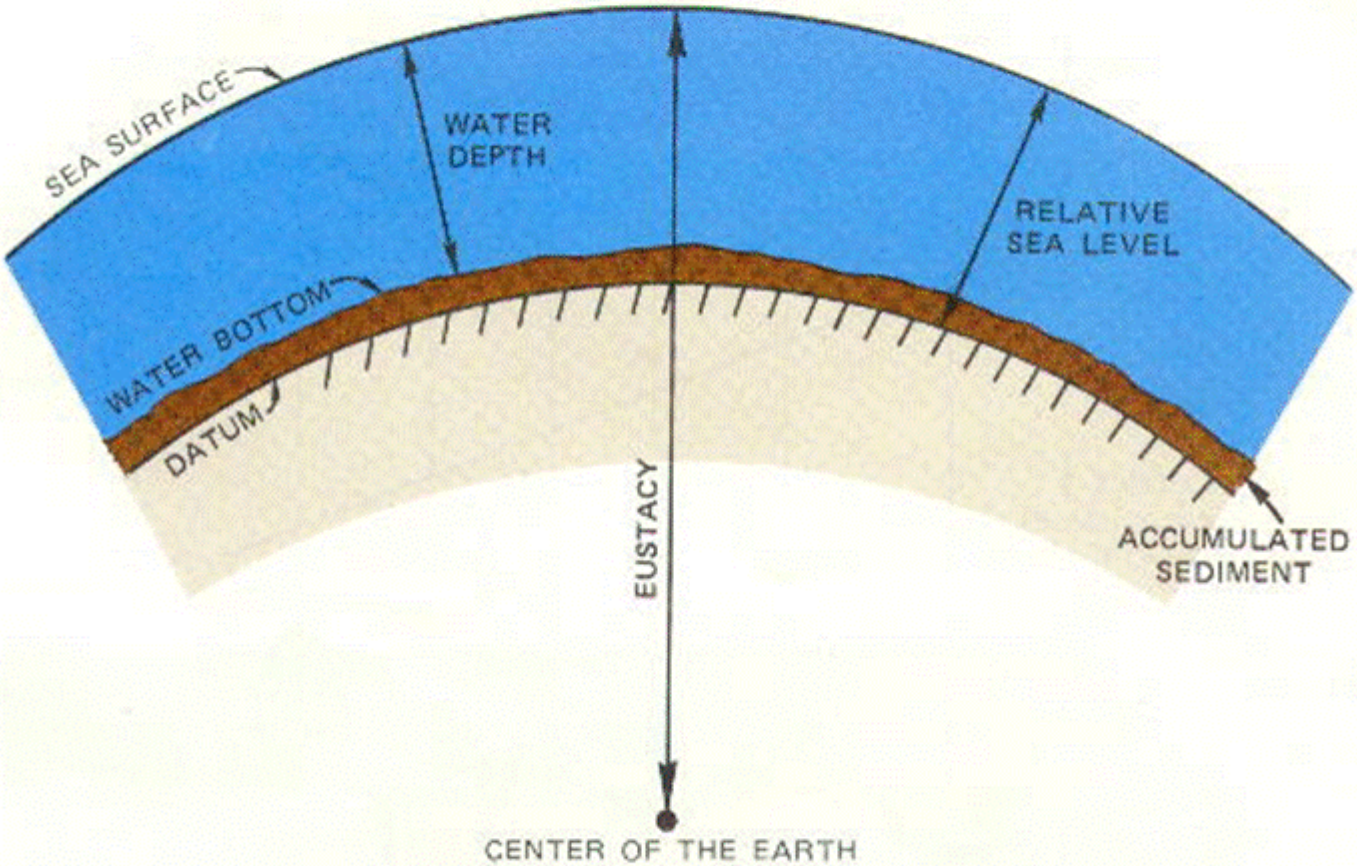


FIG. 8.—Eustacy, relative sea level, and water depth as a function of sea surface, water bottom, and datum position.

层序地层学发展历史

三大发展阶段

概念萌芽阶段 1949—1977	⟷	层序概念建立阶段
孕育阶段 1977—1988	⟷	地震地层学形成 和发展阶段
理论系统化阶段 1988年—现至	⟷	层序地层学 综合发展阶段

- Sloss、Krumbein和Dapples（1949）提出了“层序”的概念与标志
- Sloss（1963）等人将北美克拉通前寒武晚期至全新世地层划分成以区域不整合面为边界的六个“层序”
- 它为当今层序地层学的发展提供了重要的基本概念

概念萌芽阶段（1948－1977）层序概念建立阶段

层序地层学的发展史

- 五十年代的层序 (Sloss, 1949,1963)

1949年Sloss, Krumbein和Dapples在一次会议上首次同时提出了层序的概念，他们将“层序”定义为*以克拉通内部的大型不整合为边界的地层组合单元。*

Sloss出版了北美克拉通主要层序的对比剖面（1963,六个层序，Hag‘1987’年称其为超层序super sequences）。Sloss的观点被他在西北大学的研究生发扬光大，其中最著名的便是Peter. R. Vail。

层序地层学的发展史

- 五十年代的层序地层学 **(Wheeler, 1958)**

Harry Wheeler(1958)关于碎屑岩时间地层（Time-stratigraphy）的一系列经典论文，其中的许多概念目前还在使用。其中最为著名的是他1964年提出的基准面概念——分隔开沉积带和剥蚀带的物理面。

BASE LEVEL, which separates deposition zone from erosion zone (Wheeler, 1964)

层序地层学发展历史

三大发展阶段

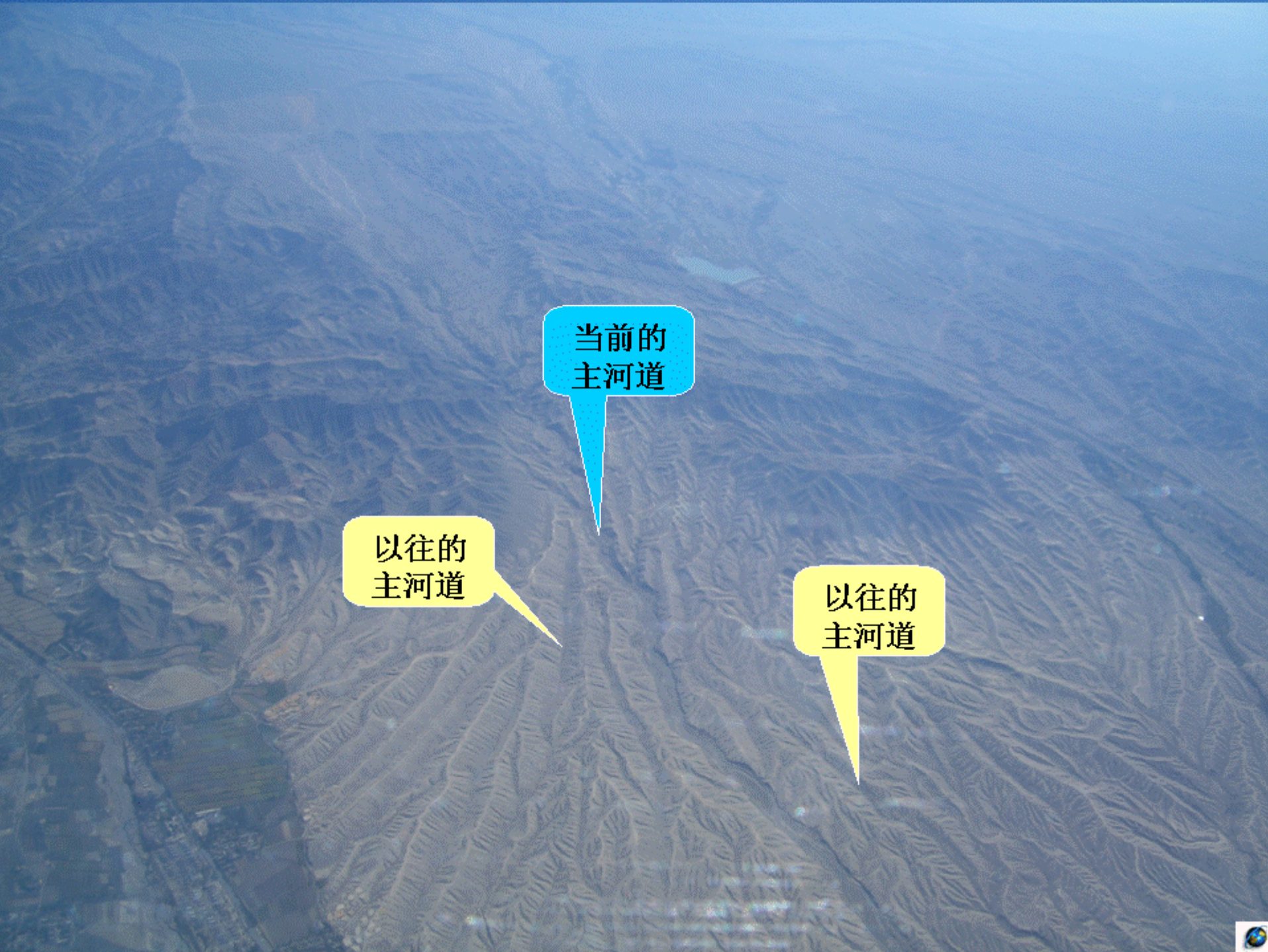
概念萌芽阶段 1949—1977	⟷	层序概念建立阶段
孕育阶段 1977—1988	⟷	地震地层学形成 和发展阶段
理论系统化阶段 1988年—现至	⟷	层序地层学 综合发展阶段

70年代的地震地层学(Vail)

P.R.Vail及其同事提出的***地震地层学***是层序地层学发展的又一个里程碑。他们根据Carter和Exxon 石油公司的工作经验而编写的*Seismic Stratigraphy* (1977)是世界上引用最多的层序地层学文献。在该文献中，*首次提出了真正的沉积层序概念——有成因联系的地层单元*，Vail等人还提出地震层序地层学的概念并从地震剖面中导出海平面变化曲线。

- P.R.Vail（1977）等人编著的《地震地层学》为标志
- 全球海平面变化具有相对一致性，海平面变化控制了层序发育的观点应用地震资料及钻测井资料预测和确定盆地地层结构、沉积相类型和区域分布
- 地球科学产生了一次重大的飞跃

孕育阶段（1977－1988）－地震地层学形成和发展


当前的
主河道
以往的
主河道
以往的
主河道

80年代早中期的层序地层学

对于现代层序地层学的形成，Exxon 公司生产研究部(group)有过一系列重要的贡献

将层序地层学概念应用于测井和地面露头剖面
Application of sequence concepts to well-log and outcrop sections

论证了硅质碎屑岩和碳酸盐岩沉积体系的模型
Testing of working models in siliciclastic and carbonate systems

提出三种准层序叠加模式（**Stacking patterns**）

80年代早中期的层序地层学

提出密集段的概念（Condensed Section implications）

Jervey(1988)建立硅质碎屑岩的理论沉积模型，提出了可容纳空间的概念。
Early theoratical models in siliciclastics and the concept of *accommodation space*

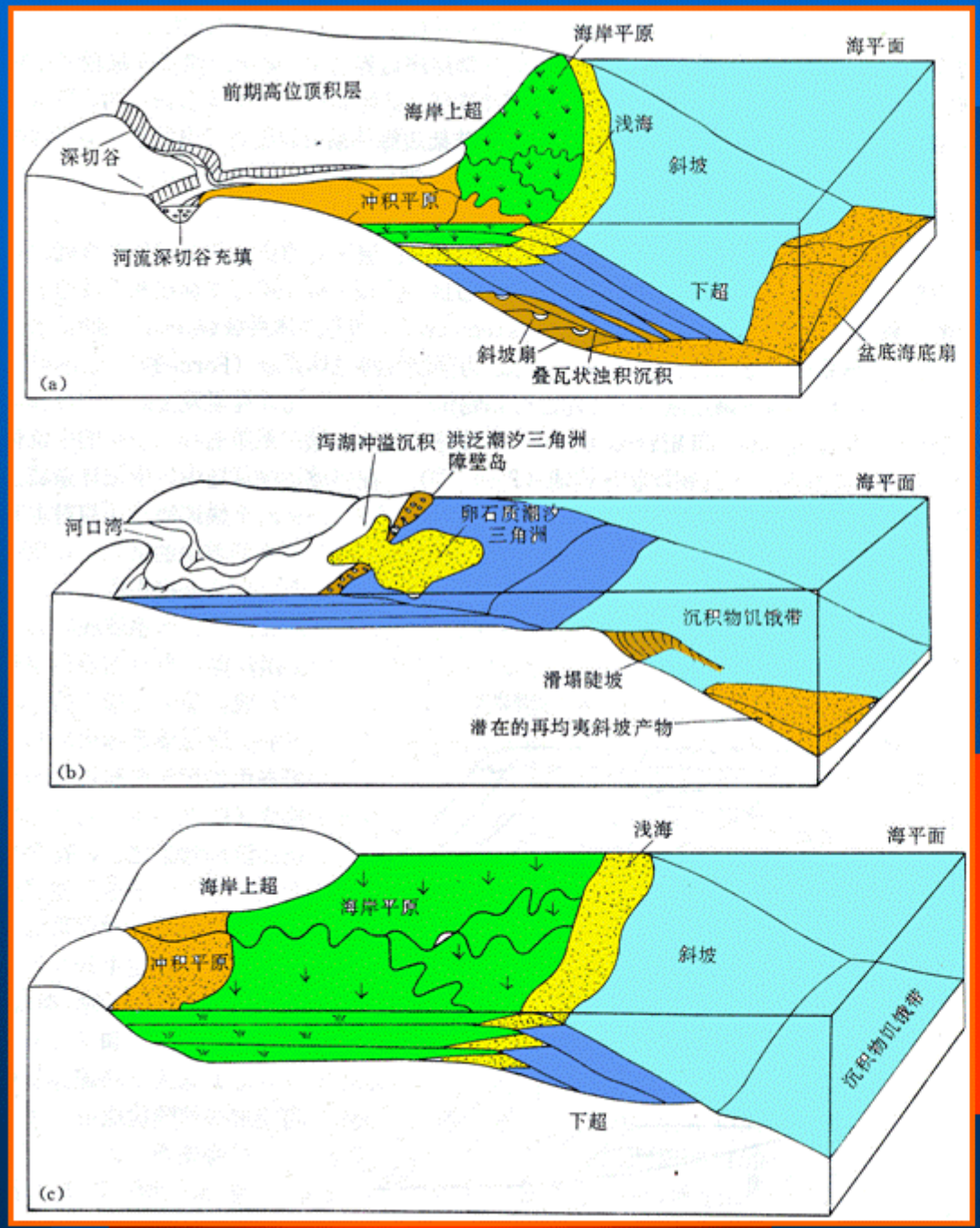
Hag等人(1987)编制出第二代全球海面变化曲线
Relative Sea-Level Cycle Chart.

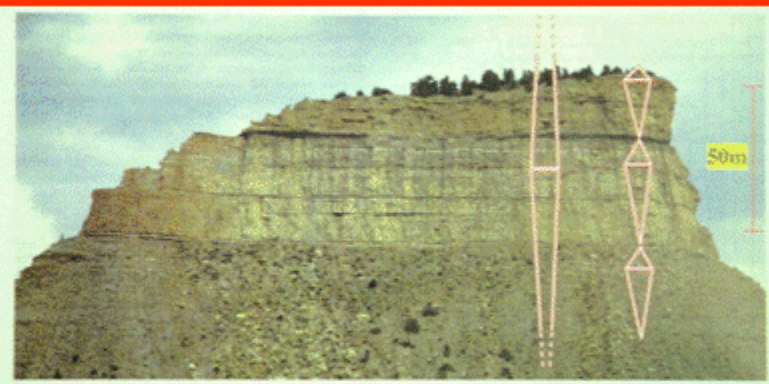


层序地层学研究

层序地层＋旋回分析

基本理论＋实用技术






形成了新的学科——
层序地层学

层序地层学发展历史

三大发展阶段

概念萌芽阶段 1949—1977	⟷	层序概念建立阶段
孕育阶段 1977—1988	⟷	地震地层学形成 和发展阶段
理论系统化阶段 1988年—现至	⟷	层序地层学 综合发展阶段

- 以P.R.Vail（1988）等人编著的《海平面变化综合分析》以及Sangree, Wagoner和Mitchum等人的层序地层学文献的发表为标志。
- 1989年，随着可容空间概念的建立，层序地层学的理论和方法趋于成熟、实用，
- 高分辨率层序地层学（Cross）、成因地层学（Galloway）等学派；
- 层序地层学开始深入到油气勘探开发的各个阶段。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发到油藏管理
- 给沉积学和地层学研究带来了革命性的飞跃

理论系统化阶段（1988年至今）——层序地层学综合发展阶段

80年代的层序地层学

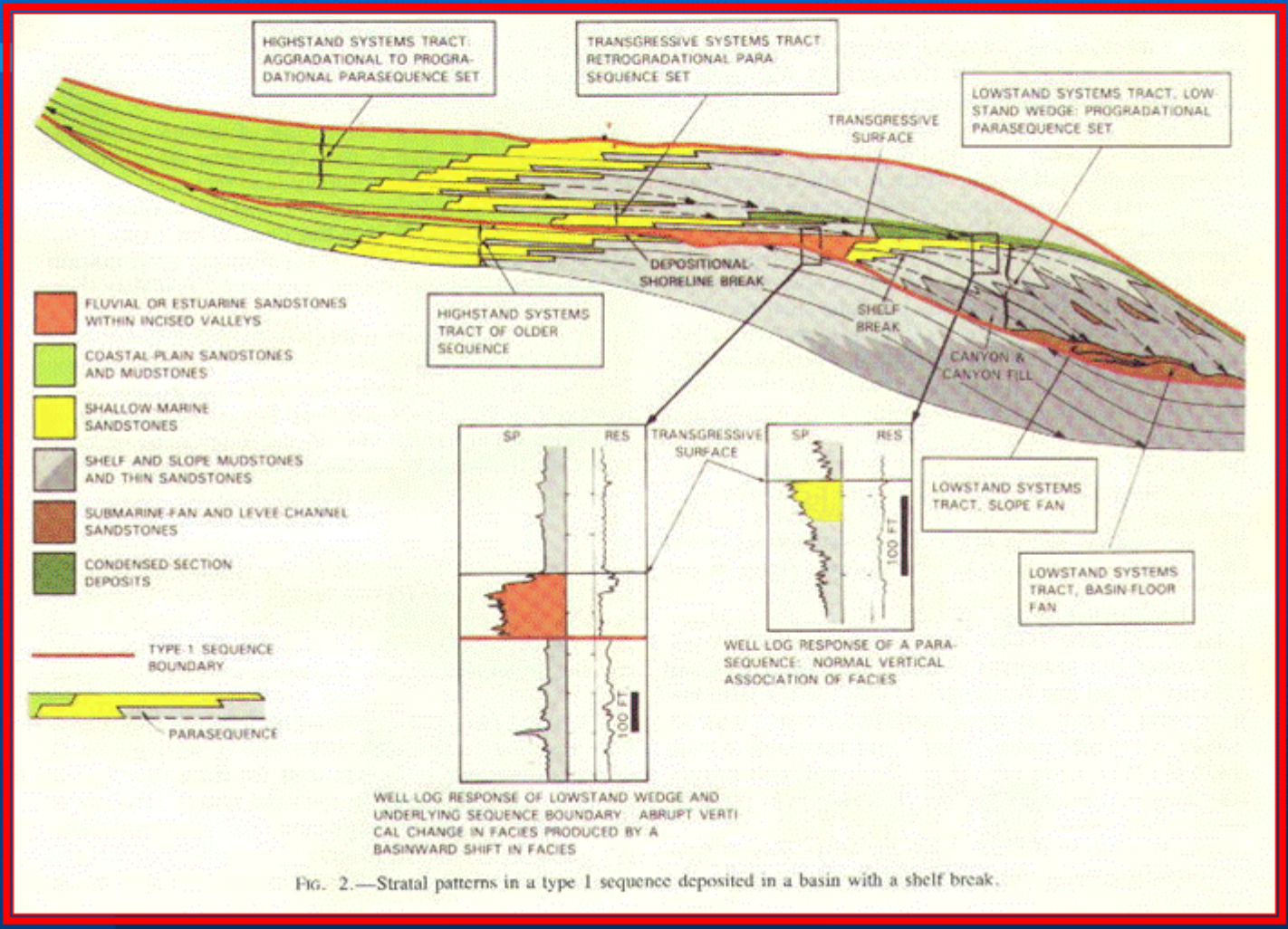


FIG. 2.—Stratal patterns in a type 1 sequence deposited in a basin with a shelf break.

1980年　“地震地层学”—（徐怀大，牛毓荃等）

1983年　地震地层学正式列入中国的高校教学计划

1988年　结合我国油气勘探实践，“陆相断陷盆地区域地震地层学研究”问世（张万选等）

1990年　“应用层序地层学”出版（张宏逵等）

1993年　《层序地层学原理——海平面变化分析》出版（徐怀大等，1993）

1995年　T. A. Cross的高分辨率层序地层学引人中国，并使之迅速传播和应用（邓宏文等）

1997年　中国石油学会组织“层序地层学及其在油气勘探开发中的应用”专业会议，标志了我国层序地层学的研究已进入一个全面发展的新时期（顾家裕、邓宏文）。

中国层序地层学研究大事记

层序地层学是地震地层学的最新发展及其理论的更新——层序地层学的发展可以追溯到40多年前，但是成为独立的一门学科形成于80年代后期。地震地层学问世以后，在地学界引起了一场激烈的争论，众说纷法，毁誉参半。其中以A．D．Maill（1986）反对的最为强烈。矛盾的焦点是缺乏支持性资料，因为这些资料私人公司不允许公开发表，详细程度更高的白垩纪海平面升降曲线也未出版。

对P．R．Vail的海平面升降曲线的批评集中在：（1）局部和区域性沉降缺乏适当的校正；（2）某些重大事件发生的时间是否具有同时性；（3）没有采用最新的地质年表。在借鉴他人建设性意见的基础上，P．R.Vail与 B．U．Haq、J．Hardenbol、M．T．Jervey、 H．W．Posamentier、 R．J．Weimer及Van Wagoner等学者致力于露头、测井、岩心、海洋地质及地震资料的综合研究，力求使原有的理论更为完善。

早在 70年代后期， Mac Jervey就在数学上模拟了和定量表示了产生全球旅回曲线的海平面升降、构造沉降和沉积物供应速度之间的关系。EXXON公司的科研人员吸收了这项成果并给予很高的评价，同时发表了以前的成果，弥补了1977年出版物的不足，地震地层学的理论逐渐被接受。

1987年，Vail等在美国AAPG和Science刊物上推出了第2代海平面升降曲线，特点是曲线呈圆滑的波状，每个周期顶底标明了不整合的性质，层序界面位于海平面升降曲线每个周期的下降（F）拐点上，上升（R）拐点稍后的某个位置处为最大海泛面，划分了海平面升降周期的级次，引起了更多的古生物地层学、年代地层学和磁性地层学的资料，并且提出了新的地层学科，即层序地层学。

由此，地震地层学发展到一个崭新阶段。同年，J. B. Sangree和P．R．Vail的“层序地层学基础和关键性定义”推出，其中论述了该学科的基本理论、概念、术语、工作方法、解释步骤及部分实例，层序地层学逐步推广开来。

另一方面，反射地震勘探的仪器设备，已经由光点记录（20dB）、模拟磁带记录（45dB）、二进制数字磁带记录（90dB）发展到瞬时浮点数字磁带记录（120dB），极大地提高了数据采集的动态范围。利用电子计算机技术对反射地震信息的处理，包括反褶积在内的各种数字滤波，可以无畸变地显示地下地层的反射波信息，从而以类似于医学上X光透射和CT切片技术那样，能够直接观察地下几千米的地层、构造和岩性变化。同时地震波的研究也从运动学跨入动力学范畴，除了波速以外，还可以利用弹性波传播的频率、振幅、相位、连续性、波形等多种动力学参数综合分析地震相，进而认识沉积相，判断沉积环境。在结合露头、测井和岩心资料的基础上．建立年代地层格架、海平面升降曲线和油气成藏模型。在这种背景下，层序地层学脱颖而出（刘光鼎，1992）。

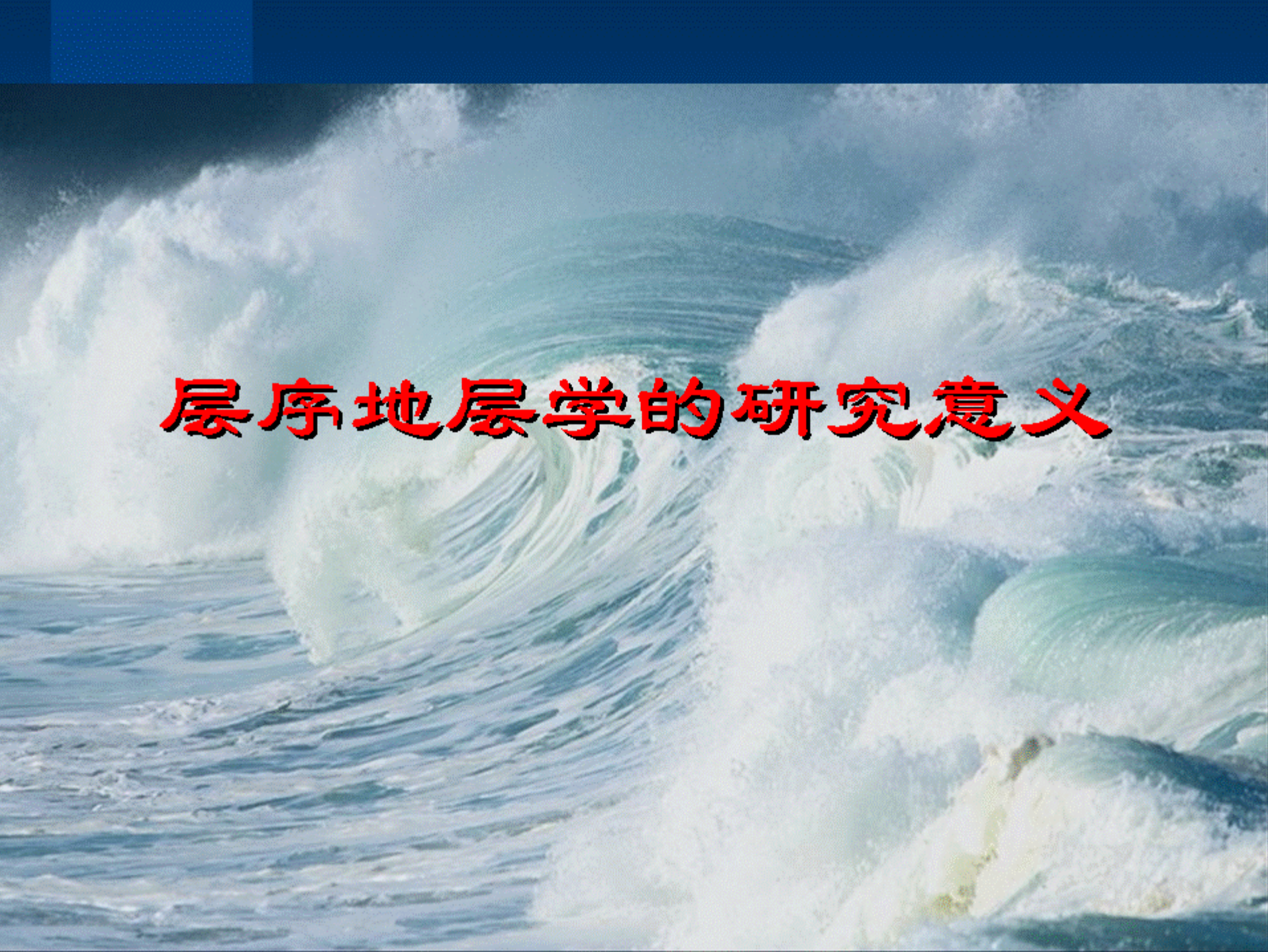
进入80年代后，油气勘探程度迅速提高，油气开采环境日益复杂，寻找构造圈闭已成为过去，代之而起的是开发隐蔽油气藏（地层岩性油气藏），地震地层学的另一分支—油藏描述也越来越受到重视。

因此，就更需要提供高分辨率的地层资料，布置三维地震测网，定量评价储层特性，高频层序已应用于油气勘探开发，可以说层序地层学的发展是能源生产的迫切需要。

中国的层序地层学高潮

国内的层序地层学研究始于1989年，基本与国际同步，但由于地震地层学的滥用阴影，起初并不顺利。只是在九十年代中期以后，层序地层学才在国内得到很大的发展。

对中国石油地质学家来说，核心问题是研究非海相层序地层学和断陷盆地的层序地层学研究方法与层序地层模式。


层序地层学的研究意义

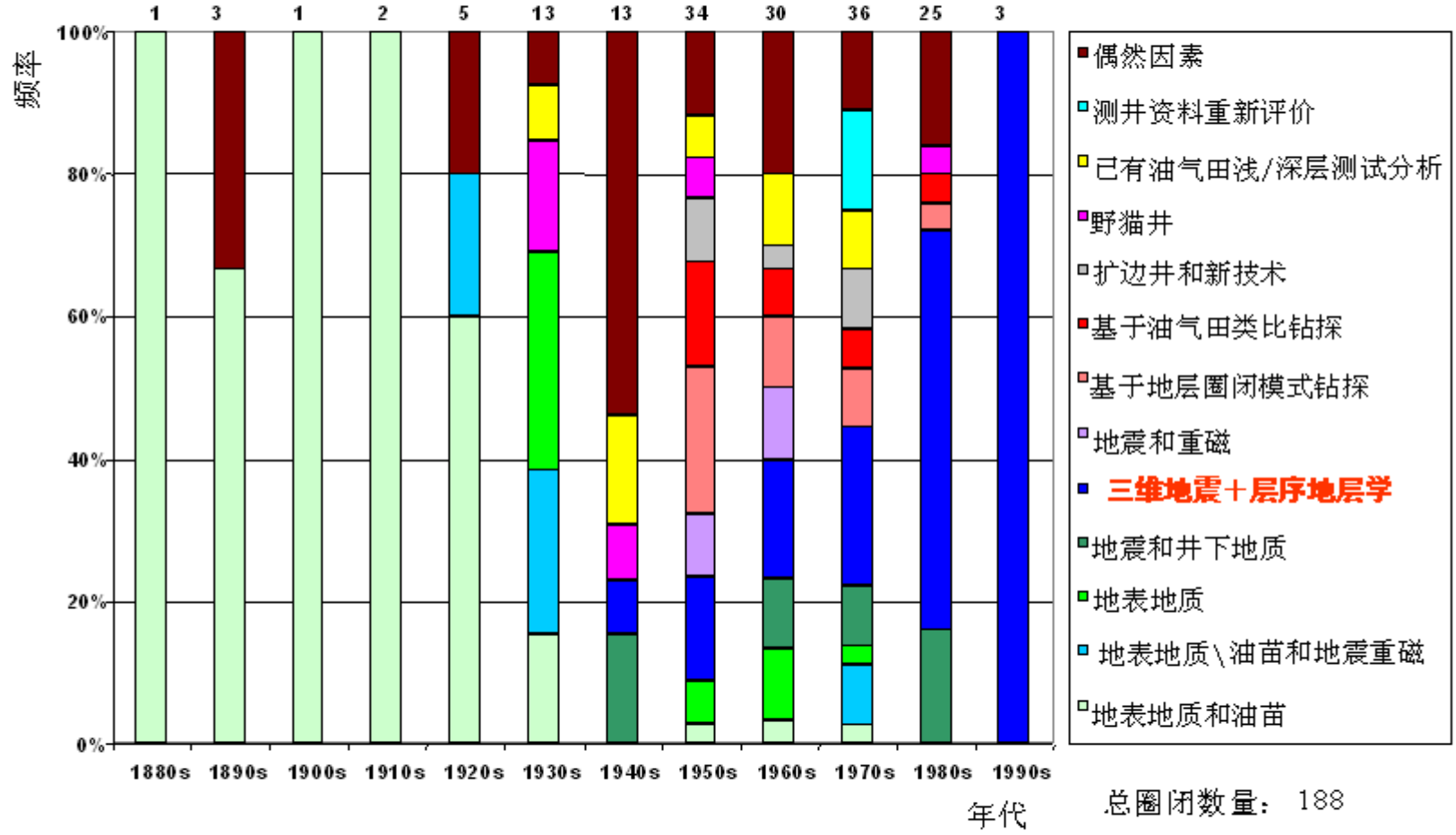
油气地质勘探现状

岩性地层油气藏在中油股份的剩余石油资源中占42%

领域	石油（亿吨）			天然气（亿立方米）		
	总资源量	探明储量	剩余资源	总资源量	探明储量	剩余资源
岩性地层油气藏	129	35	94	35511	6618	28893
前陆盆地	67	26	41	76689	6710	69979
中下部组合	34	7	27	37868	6427	31441

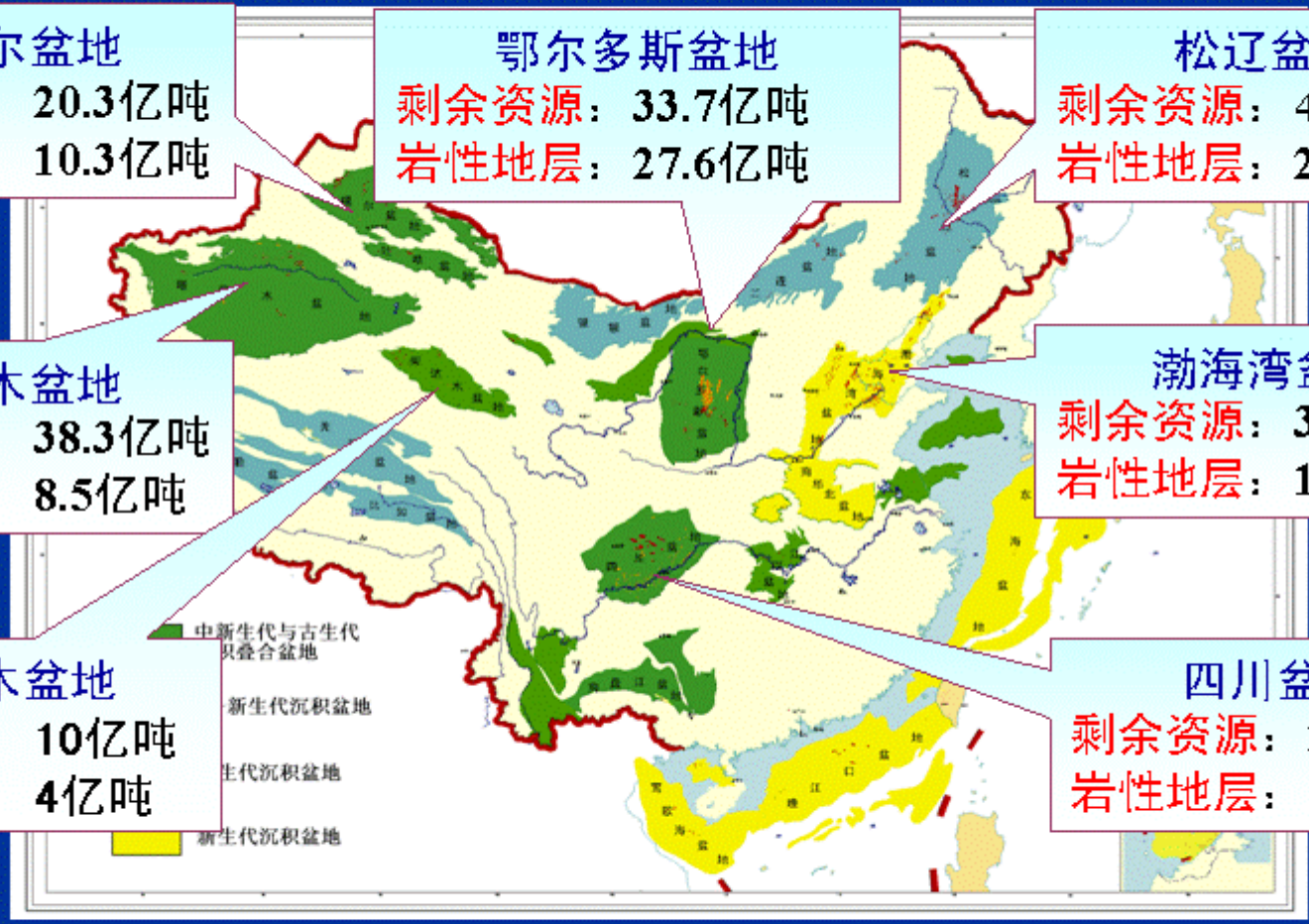
中油总石油地质资源372亿吨，探明147亿吨，剩余226亿吨，天然气地质资源18.2万亿方，探明2.6万亿方，剩余15.6万亿方

油气地质勘探现状



三维地震＋层序地层学已成为国外岩性地层油气藏的主导技术

油气地质勘探现状



准噶尔盆地
剩余资源：20.3亿吨
岩性地层：10.3亿吨

鄂尔多斯盆地
剩余资源：33.7亿吨
岩性地层：27.6亿吨

松辽盆地
剩余资源：41.3亿吨
岩性地层：26.6亿吨

塔里木盆地
剩余资源：38.3亿吨
岩性地层：8.5亿吨

渤海湾盆地
剩余资源：32.7亿吨
岩性地层：12.7亿吨

柴达木盆地
剩余资源：10亿吨
岩性地层：4亿吨

四川盆地
剩余资源：2.9 亿吨
岩性地层：1.6 亿吨

七大盆地剩余石油资源总量179.2亿吨，
岩性地层91.3亿吨，占51%

油气地质勘探现状

技术问题

岩性油地层油气藏勘探的主要技术环节有：

①寻找岩性地层圈闭：层序地层学技术

②预测高渗储层：层序约束储层反演技术

③油气层保护：优质泥浆体系与近（欠）平衡钻井技术

④低渗透油气层高产：特殊的压裂技术


应地层岩性油气藏之运而生的
层序地层学

J．B．Sangree等（1990）认为：“层序地层学主要用于识别和详细研究地层圈闭的含油气远景。在应用层序地层学以后，一些颇具特色的勘探前景已经出现。”AAPG、SEPM和IAS均认为层序地层学是90年代石油地质学、地球物理学、沉积学和地层学发展的重大方向。

ESGC（1988）已经将“层序地层学和全球海平面变化”正式列入“全球沉积地质计划”（GSGP），此项国际性研究已通过联合国在各国实施。1995—2000年在美国召开的AAPG年会上，高分辨率层序地层和储层地质研究是最重要的议题。

“层序地层学改变了分析世界地层记录的基本原则。因此，它可能是地质学中的一次革命，它开创了了解地球历史的一个新阶段”（P．R．Vail，199）。

“地震地层学引起了地层分析中的一场革命，其意义之深远不亚于板块构造引起的革命。结果，几乎所有涉及沉积岩的学科都要被重新研究和重新受到重视，大量问题正在涌现。……它是把科学由定性领域转到定量领域的推动力，……使地层学这一学科将更有预测性和定量性”（T．A．Cross和M．A．Lessenger，1986）。

“地层学目前正在进行一场革命。一个世界范围的旋回式层序和沉积体系域的评价……，正在大学和跨国石油公司中进行”（L．F．Brown，Jr，1990）。

层序地层学

概念在沉积岩上的应用有可能提供一个完整统一的地层学概念，

就象

板块构造

曾经提供了一个完整统一的构造概念

一样，

层序地层学改变了分析世界地层记录的基本原则。

因此，它可能

是地质学中的一次革命，

它开创了了解地球历史的一个新阶段。

——P. R. Vail

层序地层学理论的发展历史

1995年， 层序地层学在非海相盆地得到全面推广应用 (徐怀大、邓宏文等)

1990年， Van Wagonar等提出高分辨率层序地层学，完善“准层序”概念

1988年， Posamentier等，层序地层学问世(SEPM SNo42)，层序地层学的定义与术语，提出“可容纳空间”的概念(Jervey,1988)

1987年，Haq等，“层序地层学”名词的提出，《科学》杂志——三叠纪以来的海平面变化

1985年，Posamentier等，层序及沉积体系域立体模式图，Van Wagoner的，“准层序” 定义，《海平面变化控制的沉积相分布》

1977年，P.R.Vail等，《地震地层学》

1958年，基准面(Wheeler)的概念

1949年，Sloss等，“层序”概念

层序地层学与相关学科的区别

沉积学（岩相古地理）：根据搬运介质或沉积介质能量的变化，分析沉积相、沉积构造等沉积特征的形成机制，建立相模式，主要适合于研究小规模地层单元。

层序地层学：来源于地震地层学，它根据可容纳空间的演变来解释层序地层单元，强调界面对沉积单元的控制作用。适合于研究有成因联系的地层序列。

层序地层学

巨层序 超层序 层序 准层序组 准层序 层组 层 纹层组 纹层

盆地分析(构造地层学)　　沉积学

地震勘探、测井、地化等勘察技术——手段

层序地层学与相关学科的区别

盆地分析（构造地层学）：根据盆地与地层的变动与改造特征，分析盆地发育及其对沉积相、沉积地层的构造特征的控制作用，建立构造（地层）样式，适合于研究比较大规模的地层单元。

层序地层学：来源于地震地层学，它根据可容纳空间的演变来解释层序地层单元，强调界面对沉积单元的控制作用。适合于研究有成因联系的地层序列。

层序地层学

巨层序 超层序 层序 准层序组 准层序 层组 层 纹层组 纹层

盆地分析(构造地层学)　　沉积学

地震勘探、测井、地化等勘察技术——手段

层序地层学与相关学科的区别

地震勘探、测井等：一系列的油气及其它矿产的勘探技术与方法。根据其提供的资料，可有效地识别地层、层序的层序地层特征，进而进行有效的层序地层学研究，它们是层序地层学的重要基础手段与工具。

层序地层学：来源于地震地层学，它根据可容纳空间的演变来解释层序地层单元，强调界面对沉积单元的控制作用。适合于研究有成因联系的地层序列。

层序地层学

巨层序 超层序 层序 准层序组 准层序 层组 层 纹层组 纹层

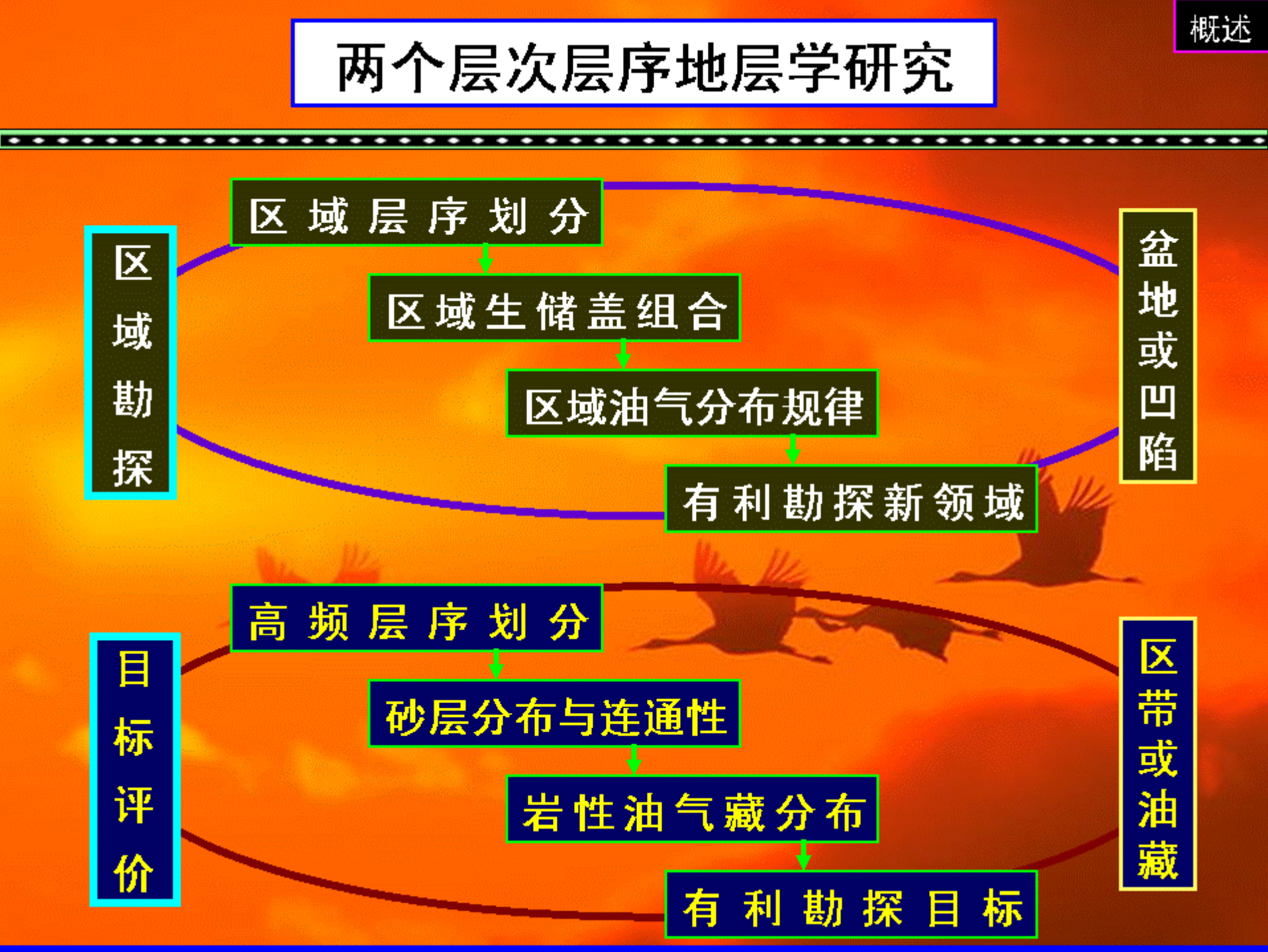
盆地分析(构造地层学)　　沉积学

地震勘探、测井、地化等勘察技术——手段

层序地层学主要研究内容

研究领域	主要研究内容
沉积背景	盆地类型及性质、盆地结构及古地形特征、盆地构造演化史和盆地沉积物类型。
层序分析	地震、钻测井和露头资料的层序划分与对比，层序年代标定，建立等时年代地层格架，确定层序周期与级别，分析层序时频特征，分析层序成因机理，确定层序的主控因素。
层序构型分析	确定体系域类型，分析各体系域的分布，分析地震相、沉积相的特征，判断古水流体系，确定准层序的叠置样式，建立地层层序模式，并进行计算机层序模拟。
预测有利成藏区带	研究和评价烃源岩、储集层和盖层的分布，分析有利成藏条件及各体系域生储盖圈运保条件，预测成藏规律和有利勘探区，提出勘探部署意见。

两个层次层序地层学研究



本章学习结束，请继续！

陈开远

Tel：010-82320506， E-mail：ddcky@163.com