

大中型气田 形成条件的 早期预测

DAZHONGXINGQITIANXING
CHENG TIAO JIAN DE ZAO QI YUCE

ZHANGHOUFU
SUNHONGJUN
LIWEILIAN
BIANZHU

张厚福 ●
孙红军 ●
李潍莲 ●
编著 ●

石油大学出版社

SHIYOU DAXUE CHUBANSHE ●

北京)

3v.1

5

书号	123774
分类号	P618.130.1
卷	935

大中型气田形成条件的早期预测

张厚福 孙红军 李潍莲 编著

52/12/19



石油0117483

石油大学出版社

大中型气田形成条件的早期预测

张厚福 孙红军 李潍莲 编著

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

山东电子工业印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 8.125 印张 208 千字

1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—600 册

ISBN 7-5636-0943-1/TE · 192

(精装) 28.00 元

定价:

(平装) 25.00 元

前 言

在新区或勘探程度较低地区,钻井较少,根据天然气的性质和天然气藏的特点,如何充分地应用地震信息预测大中型气田的形成条件,以便能用低成本、短时间找到气田,提高勘探效率,这是本书的重点科技攻关任务。完成这项研究将会对加速我国大中型气田的发现与勘探具有重要意义。

本书是在“八五”国家重点科技攻关项目《大中型天然气田形成条件、分布规律和勘探技术研究(85—102)》下属四级课题(85—102—02—02—06)研究成果基础上经加工总结上升而成。

在研究过程中,我们开辟了辽海东部凹陷、辽东湾、吉林伊通地堑三个碎屑岩区及鄂尔多斯盆地陕11井地区下古生界碳酸盐岩风化壳等四个试验区。为对大中型气田形成条件进行早期预测,开展了大量试验研究,首先完成了下列基础工作:

1. 查阅了国内外专著、文献150余份,系统比较了气田形成条件与油田、煤田的异同,探讨了大中型气田的形成条件特征,为研究早期预测技术奠定了天然气地质理论基础。

2. 在辽海东部凹陷、辽东湾、鄂尔多斯三个试验区,将约400km地震资料做了差分高分辨率处理;另在前两个陆相碎屑岩区还进行了相对速度波阻抗、绝对速度波阻抗等项特殊处理。

3. 在辽海东部凹陷、吉林伊通地堑通过精细速度谱解释,建立了变速度场,为预测圈闭、编制构造图提供了可靠的时-深转换技术。

4. 全面系统地分析和解释了10口井的录井、测井、油气测试及实验室分析等资料。

在完成上述基础工作后,围绕大中型气田的形成条件,研制或改进了下列早期预测技术,具有独自的特色:

- (1) 根据我国陆相沉积盆地的特点及应用研究成果,总结了陆相层序地层学的原理、方法及在油气勘探早期的应用。

- (2) 根据化学反应动力学,改进了TTI法,以地震资料为主,适用于不同类型有机质热解生烃反应速率差别甚大的真实情况,使热演化研究成果更切合实际。

- (3) 研制了差分高分辨率处理技术(与大港油田合作),在辽海东部凹陷、辽东湾、鄂尔多斯三个试验区处理后,视频率提高了5~15Hz,分辨率和信噪比均有显著改善,提高了地质解释能力。

- (4) 研制了碎屑岩区储层地震描述新技术,能对准层序(一般厚几十米)中砂层组厚度、泥质含量、孔隙度等参数进行定量描述,预测其在二维或三维空间的变化规律,所得结果与井下资料吻合较好。

- (5) 研制了碳酸盐岩风化壳形态、厚度及孔洞缝发育带的定量-半定量解释技术。根据研究成果钻探获显著经济效益。

- (6) 研制了应用地震信息提取区域盖层的深度、厚度、砂质含量及过剩压力等多参数综合评价法,能在勘探早期对新探区盖层的有关参数及综合封盖能力作出半定量评价。

- (7) 研究了在勘探早期,以地震资料为主,计算地层压力和水势、油势、气势等三势分析的配套技术,能在新探区指明盆地油、气运聚的有利方向和地区。这对新区有利勘探目标的选择

具有重要意义。

(8) 通过精细的速度谱解释,在辽海东部凹陷及伊通地堑一个构造带首次建立了三维变速度场,改变以往只用统一时-深转换尺的习惯,显著提高了根据地震资料编制构造图的精度,使解释圈闭的范围和深度更符合实际。

(9) 为了探索应用地震信息直接预测气藏,试验了 DIVA 和 AVO 两项技术,经改进的 DIVA 技术在鄂尔多斯、AVO 技术在辽东湾试用取得了初步成效,提出了两个寻找气田的钻探对象:前者在陕 11 井西北 200km^2 内圈出低速异常区,后来果然钻出了两口高产气井;后者指出辽东湾辽东凸起上的一个构造东下段上部储层集中段可能含气,值得钻探。综合生、储、盖、圈等条件及流体势的地震预测,指出了辽海东部凹陷寻找新油、气藏的有利部位。

在研究过程中,增辟鄂尔多斯试验区,完成了陕 11 井地区碳酸盐岩风化壳形态、厚度及孔洞缝发育带的地震预测试验研究;提供了三个寻找大中型气田的远景地区。

在完成这项攻关研究过程中,受到中国石油天然气总公司科技发展局及 85—102 办公室的戴金星院士和傅诚德、关德范、吴震权、戚厚发等教授的关怀与指导,辽河石油勘探局、长庆石油勘探局、渤海石油公司、吉林省石油管理局等单位给予了大力支持,大港石油管理局物探公司计算中心协助处理了地震资料,石油大学(北京)科研处和地球科学系也给予了许多指导及帮助,特别需要指出的是,在评审鉴定过程中,徐旺、张文昭和高耀斌等教授给予了有效的指导与支持,在此一并致以衷心谢意。

报告由张厚福、李潍莲和孙红军编著,最后由张厚福教授修改、统稿、审定。参加研究工作的尚有张万选教授、高先志副教授、刘镇江工程师,以及博士生池英柳、硕士生欧阳永林、魏志平、刘金诚、戴建春等。由于任务技术难度大、涉及面广、时间紧迫,难免存在缺点和错误,请不吝指正。

编 者

1996. 3.

目 录

第一章 大中型气田形成条件剖析	(1)
第一节 气田与油田、煤田形成条件的分析	(1)
第二节 大中型气田形成条件的特征	(3)
第二章 陆相层序地层学基础	(5)
第一节 层序地层学发展历史回顾	(5)
第二节 陆相层序地层学探讨	(5)
一、陆相层序发育的基本控制因素	(6)
二、关键定义	(6)
三、陆相盆地层序边界	(7)
第三节 陆相层序地层学研究方法	(8)
第四节 陆相层序地层学在油气勘探中的应用	(9)
第三章 烃源条件的地震预测——改进的 TTI 法	(10)
第一节 TTI 研究成熟度的原理及方法	(10)
一、TTI 研究成熟度的原理	(10)
二、TTI 法的改进	(11)
第二节 应用实例	(13)
一、生烃化学动力学参数 E 和 A 的确定	(13)
二、地层年龄的确定	(14)
三、埋藏史恢复	(14)
四、地温网的建立	(17)
五、TTI 值计算	(17)
六、TTI 成果分析	(17)
第四章 储集条件的地震预测	(20)
第一节 地震资料高分辨率处理	(20)
一、原理简介	(20)
二、处理内容及流程	(21)
三、效果分析	(21)
第二节 速度-岩性解释技术及其应用	(31)
一、基本原理及方法	(31)
二、应用及其效果	(32)
第三节 碎屑岩储层地震描述技术及其应用	(34)
一、基本原理及方法	(34)
二、应用实例	(41)
第四节 碳酸盐岩风化壳储集条件的地震预测	(47)
一、碳酸盐岩风化壳储层层位标定及解释	(47)
二、碳酸盐岩风化壳孔洞缝发育带研究及预测	(58)
第五章 盖层条件的地震预测	(65)

第一节 盖层封闭性能评价标准	(66)
一、盖层的微观评价标准	(66)
二、盖层的宏观评价标准	(66)
第二节 盖层条件地震预测的原理及方法	(67)
一、孔隙流体超压的地震预测	(67)
二、盖层厚度的地震预测	(68)
三、盖层砂质含量的地震预测	(69)
第三节 应用实例	(69)
一、盖层地震评价步骤	(69)
二、盖层超压分析	(70)
三、盖层深度分析	(74)
四、区域性盖层厚度分析	(75)
五、盖层综合评价	(75)
第六章 运聚特征的地震预测	(76)
第一节 天然气的运聚特征	(76)
一、天然气运移时间	(76)
二、天然气运移的主要方向	(76)
三、天然气运移的距离	(77)
第二节 流体势分析的原理和地震预测方法	(77)
一、流体势形成的机理与计算方法	(77)
二、地层压力的地震预测方法	(78)
第三节 应用实例	(78)
一、分析步骤	(79)
二、地层压力分析	(79)
三、流体势分析	(79)
第七章 圈闭条件的地震预测	(88)
第一节 建立变速度场预测构造圈闭	(88)
一、变速度场的意义	(88)
二、变速度场的建立	(88)
三、实现步骤	(89)
四、 V_0 、 β 图的应用	(90)
五、变速度场精度分析	(90)
第二节 应用地震信息预测地层圈闭	(95)
一、近岸水下扇上倾尖灭或透镜状砂砾岩体圈闭	(95)
二、浊积砂体上倾尖灭或透镜状圈闭	(95)
三、地层超覆圈闭	(97)
四、地层不整合遮挡圈闭	(97)
第八章 气藏地震预测试验	(99)
第一节 DIVA 预测试验	(99)
一、基本原理	(99)

二、解释程序	(100)
三、应用实例	(103)
第二节 AVO 预测试验	(112)
一、基本原理	(112)
二、应用实例	(113)
结束语	(117)
参考文献	(118)

第一章 大中型气田形成条件剖析

天然气是一种洁净优质的能源物质,对一个国家而言,则是一种极为宝贵的资源,在国民经济上有着广阔的用途。在成因上,天然气与石油、煤等可燃矿产既有密切联系,又有显著区别;在成藏条件及勘探方法上,气田与油田、煤田之间,既有相似之处,又有各自不同的特点。因此,在探讨大中型气田形成条件的早期预测技术前,应该首先讨论大中型气田形成条件的特征。

第一节 气田与油田、煤田形成条件的分析

天然气与石油常常伴生,化学组成相似,均以碳氢化合物为主,但又有区别,因而在物理性质上也就存在明显差异(表 1-1)。天然气是单一气相的气态混合物,而石油则是以液相为主的气-液-固态混合物;与石油相比,天然气的分子量小、粘度小、扩散系数大、水中溶解度大。致使天然气活动能力强,运移速度和规模都比石油大得多,在成藏条件方面就会既相关、又不同。

表 1-1 天然气与石油理化性质的比较

理化性质	天 然 气	石 油
化学组成	烷烃以甲烷为主,常含重烃气(C_2-C_4),非烃气常见 N_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2S 、 H_2 及微量惰性气体	烷烃(C_5-C_{18})为主,常含环烷烃及芳烃,还有少量含 O、S、N 等杂元素化合物
分子量	<20	$>75\sim275$
相 态	单一气相	液相为主,气-液-固相混合
粘 度	$n\times10^{-2}\sim10^{-3}cP$	$n\sim n\times10cP$
密 度	小,易压缩与膨胀 $<0.225\sim0.25g/cm^3$	大 $0.625\sim0.9g/cm^3$
传波速率	小	大
扩散系数	大 $CH_4\ 2.12\times10^{-6}cm^2/s$	小 $n-C_{10}H_{22}\ 6.08\times10^{-6}cm^2/s$
水 溶 度 ($20^\circ C, 101325Pa$)	大 $0.033\sim0.047m^3/m^3$	难 溶
热 值	$8870\sim20000kcal/m^3$	$10000kcal/m^3$

煤也是一类沉积可燃有机矿产,在成因上与天然气有着密切关系,煤和含煤层系都可成为气源岩,生成大量煤型气。

此外,地壳深部、宇宙空间、无机盐类分解等尚可生成难以估量的无机成因气。

表 1-2 天然气与石油、煤生成条件的比较

生成条件		石 油	天 然 气	煤
原始物质		低等动、植物中的类脂化合物、蛋白质、碳水化合物为主	除生油原始物质均可生气外，高等植物和无机来源亦可生气	以高等植物为主
堆积条件		堆积于半闭塞或闭塞的浅海、三角洲及深水湖盆；有机质与细粒矿物质同时堆积	除生油、造煤环境可生油型气与煤型气外，还有宇宙空间、地壳深部及无机盐类分解，均可生成大量无机成因气	堆积于沼泽、内陆浅水湖盆及海洋盆地边缘；堆积时几乎没有矿物质参加
变化环境		乏氧的还原或强还原环境，有机质很快保存在软泥质不渗透层之下		氧气有限进入的弱还原环境，有机质保存在可渗透层之下
生成过程	成岩作用阶段	温度、压力不够，有机质未成熟，只能生成少量未熟油或低熟油	有机质可被细菌降解产生 CH_4 、 CO_2 和 H_2O ，即能生成低温甲烷	初期进行生物化学作用，随着水的消失，生物化学作用渐变为碳化作用，形成不同煤阶的煤炭
	后生作用阶段	在深约 1000~4000m，地温达 60~150℃ 时，在热催化作用下，有机质成熟生成大量石油	在生油、造煤同时，有机质也可生成烃类气体	
	变质作用阶段	在深逾 4000~5000m 后，温度超过 180~250℃，有机质达热变质，几乎不能生成石油	在超深条件下，地温和压力均超过临界条件，除残留有机质生成高温甲烷外，液态石油热裂解生成气态烃，采至地面为凝析油	

综上所述，天然气在成因上比石油和煤更为广泛，由表 1-2 说明。不仅生油、造煤的原始物质及环境同样可以适于分别生成油型气与煤型气，而且与地核或地幔活动有关的深源气、宇宙空间放射性化学反应等生成的宇宙气、无机盐类热分解形成的二氧化碳气等等，均可提供源源不断的无机成因气。从有机质热演化阶段而论，需达到成熟门限进入生油窗才会大量生油。达到特定的碳化作用阶段才能形成各种煤阶的煤，而天然气的生成则贯穿于有机质热演化的全过程，只不过在不同阶段生成的天然气类型有所差异罢了。所以，不论从空间上抑或时间上，天然气生成都比石油和煤广泛、迅速、容易得多。

但是，就成藏条件而言，天然气生成快、散失亦快，生成多、散失亦多，欲形成天然气藏，必然是生成—聚集—散失平衡的结果，要求封盖条件更加严格（表 1-3）。因此，气田与油田、煤田相比，气田要求储集层和圈闭条件不如油田严格，但却必须具备良好的封盖条件；煤田恰恰相反，在煤层上下需要能渗水的顶、底板，才有助于从生物化学作用转变为碳化作用。

综合表 1-2 和 1-3 可知：从气田形成条件分析，气源很广，包括生油和造煤的有机质类型在内，I、II、III、IV 型有机质均可生气，而且还有大量无机成因气的来源；烃源岩排烃系数，对气来讲一般大于 70%，最大可达 80%~90%，比石油大得多。储集条件和圈闭条件，气藏要求亦宽，除能储油的岩层可储气外，渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的低渗储层和致密储层，不宜储油

但可储气;对圈闭条件要求也不同,当水压梯度介于 0.005~0.01 时,储油圈闭要求岩层最小

表 1-3 气田与油田、煤田形成条件的比较

成藏条件	油 田	气 田	煤 田
烃源条件 烃源岩 排烃系数	I + II _A 型,暗色泥岩 10%~20%,最大 40%~50%	I + II + III 型,暗色泥岩 IV 型,煤层 >70%,最大 80%~90%	IV 型,煤层
储集条件	$K > 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 储油层 $K < 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 非储油层	$K > 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 常规储气层 $K = (10 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 低渗储气层 $K = (1 \sim 0.1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 致密储气层	不需
盖层条件 盖岩类型 孔 径	泥质岩、蒸发岩、致密灰岩 $5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-4} \text{cm}$	同左,强调毛细管力封闭、压力封闭 $< 5 \times 10^{-6} \text{cm}$	不需 但要求能渗水的 顶、底板
聚集条件 水压梯度 0.005~0.01 时, 圈闭要求岩层最小 角 聚集系数	$> 1^\circ \sim 2^\circ 30'$ 20%~50%	$< 0^\circ 30'$ 0.5%~2%	不需

倾角必须大于 $1^\circ \sim 2^\circ 30'$,而天然气聚集要求岩层倾角小于 $0^\circ 30'$ 即可,即在很平缓的地层中都可能形成气藏。尽管从烃源、储集、圈闭等条件看,气藏形成都不及油藏严格,但是,从天然气的性质而论,活动能力比石油大得多,极易散失,其聚集系数平均约为 0.5%~2%,有的学者认为只有 1%~2%^[12];由此可见,对气藏形成而言,封盖条件要求特别严格,盖岩孔径必须小于 $5 \times 10^{-6} \text{cm}$,才能封闭好天然气,形成气田;而且要求后期构造环境比较稳定,才不致造成气藏破坏和散失。所以天然气生成多、散失亦多,欲形成大中型气田必须具备有利的成藏条件和构造环境。

第二节 大中型气田形成条件的特征

大中型气田的划分标准,国内外尚无定论。博览众议,结合我国天然气地质特征,初步建议划分如下:天然气可采储量大于 $10000 \times 10^8 \text{m}^3$ 属特大型气田,大于 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 属大型气田,大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 属中型气田,小于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$ 属小型气田。据此,可将靖边、崖 13-1 视为大型气田,威远、卧龙河、磨溪、柯克亚、文留、中坝、兴隆台、板桥、苏桥、锦州 20-2、汪家屯等列为中型气田。近几年来,在塔里木、准噶尔、吐哈等西北大型盆地及东南沿海诸盆地均有重要的天然气发现,从天然气地质条件分析,找到大中型气田的前景甚佳。

根据上述气田成藏条件分析,结合国内外大中型气田的勘探经验,初步概括大中型气田的形成条件如下:

(1) 沉积岩体积大的含油气盆地或含煤盆地,烃源岩系发育,各类有机质 I、II、III、IV 型均可成为生气母质,不同热演化阶段可形成生物气、热解气或裂解气,生成强度超过 $10 \sim 60 \times$

$10^8\text{m}^3/\text{km}^2$,油型气或煤型气气源充沛。

(2) 天然气易生成但也易散失,生气高峰出现的地质时代越新,气藏形成与保存的条件才越佳。

(3) 有效的大型储集体和大型圈闭,由表 1-3 可知气藏形成对储集和圈闭条件的要求不如油藏严格,但欲形成大中型气田必须具备足够大的容气空间,因此要求储层厚度较大、物性较好,孔隙度大于 15%,渗透率大于 $5\times 10^{-3}\mu\text{m}$,圈闭闭合面积与幅度均较大。

(4) 良好的封盖条件对大中型气田形成与保存至关重要,要有足够厚的区域盖层和良好的直接盖层,尤其是毛细管力封闭和超压封闭性能好。

(5) 断层及不整合面既可成为天然气运移通道,又可成为聚集场所,要具体分析,常为大中型气田形成提供优越条件,也有助于深源无机成因气的运移和聚集。

(6) 良好的保存环境。气田形成后所处构造环境比较稳定,未经受强烈的构造变动,抬升、断裂、岩浆等活动均不致破坏气藏。

综上可知,大中型气田的形成与保存,必须具备良好的气源、储集、封盖、圈闭、保存等条件及其合理配置。在盆地勘探早期,如何能用地震信息加以预测,正是下文将要详细探讨的课题。

第二章 陆相层序地层学基础

第一节 层序地层学发展历史回顾

层序地层学是近 20 年来,由于地层学、沉积学、石油地质学、构造地质学、地球物理学等学科相互渗透而迅速发展起来的一门新兴地学分支。它主要研究层序的成因机制、时空演化及分布规律,为探讨石油、天然气及相关沉积矿产的形成和分布奠定基础。

对层序地层学基本原理和概念的认识地质学家们并不陌生,Barrell(1917)、Wanless、Weller(1932)、Sloss(1963)等对幕式演化特征和盆地充填均有所论述,但层序地层学这个全新思维的形成却开始于本世纪 70 年代高质量反射地震资料的出现之后,其中的两个重要标志是地震地层学的兴起和“沉积幕”概念的形成。

地震地层学(Mitchum *et al.*, 1977)的主要进展包括:① 提出了研究海平面变化的系统方法;② 建立了一整套利用地震反射资料进行地层学解释的研究技术,并在世界各地取得了成功的应用;③ 建立了被动大陆边缘盆地的地层分布模式;④ 提出了层序地层学目前使用的一些重要概念(如层序、体系域等)。

沉积幕(Frazier, 1974)是许多相序列的复合体,它们来源于共同的物源区,且在相对基准面稳定期或大地构造稳定期沉积的。其中的每个相序列记录着开始时的进积、准同期的垂向加积和最终的海侵。利用沉积幕及其分界层范围和性质确定盆地充填的沉积构型(Depositional Architecture),进而确定所包含的地层叠置方式(垂向加积、进积和退积)与骨架砂体的几何形态,为主要沉积体系及其共生相的早期预测奠定基础。沉积幕模式被成功地应用于墨西哥湾西北部第四系沉积研究中。

地震地层学后来演化成为沉积层序地层学(Van Wagoner *et al.*, 1988),而“沉积幕”则为成因地层层序理论(Galloway, 1989)的形成提供了概念基础。它们成为目前层序地层学的主要分支。

层序地层学被誉为“地质学中的一场革命”(Brown, 1990; Vail, 1991),迅速波及到几乎所有与沉积岩有关的地学分支学科,取得了丰硕的研究成果。

第二节 陆相层序地层学探讨

我国的层序地层学研究始于 90 年代初,目前已在陆相含油气盆地取得了一些研究进展,但仍处于探索阶段,主要存在以下问题:

(1) 对层序的概念认识不同,层序划分标准没有完全统一。有些人认为层序划分即是寻找不整合面,见到不整合面就划分出一套层序,没有级别之分;

(2) 对层序演化特征研究不够深入,片面照搬国外被动大陆边缘盆地的层序演化模式,有些观点不适合于陆相盆地的实际充填过程;

(3) 陆相层序的发育与海相层序存在显著差异,但很容易从海平面变化联想到湖平面变

化,错误地将海平面变化与层序地层学看成了同义语(Shanley,1994),而未深入探讨陆相湖盆层序发育的基本控制因素;

(4) 由于我国东部、西部以及中部含油气盆地构造演化特征的差异,必然导致沉积层序的不同,在没有系统陆相盆地层序地层学理论指导下的研究成果显然难以对比。

以下是我们在渤海湾盆地、陕甘宁盆地和三塘湖盆地等研究基础上建立起来的陆相层序地层学的基本格架,希望能较好地适用于各盆地的实际情况。

一、陆相层序发育的基本控制因素

国外层序地层学提出的层序发育的四个基本控制因素是:

- 海平面变化
- 构造沉降
- 沉积物供给
- 气候条件

应用于陆相盆地研究中,上述控制因素的相对作用会发生变化,如图 2-1 所示,向陆地方向,海平面变化的影响逐渐消失,而其他控制因素的作用则相对增加,陆相地层格架成为构造沉降、沉积物供给和气候条件等因素的函数,而湖平面变化只是前述因素的综合表现形式,不是控制陆相湖盆层序发育的基本控制因素。事实上,许多陆相层序中可能表现为冲积扇-河流-泛滥平原体系,它们显然与湖平面变化关系甚微。

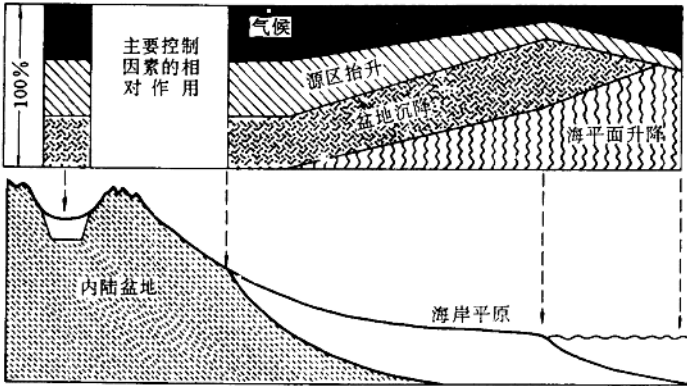


图 2-1 影响层序发育的基本控制因素示意图(Shanley,1994)

根据我们对我国部分拉张型、过渡型及挤压型盆地的研究成果表明:

(1) 构造沉降作用引起沉积物可容空间的变化是控制陆相层序发育的根本因素,一套完整陆相层序受二级构造旋回控制。

(2) 沉积物供给和气候变化也是陆相层序形成的重要条件,它们直接影响沉积体系发育特征、植被面貌、湖盆延续时间和准层序(组)的叠置方式。

(3) 盆地沉降速率与沉积速率的关系控制了地层叠置型式,即控制了准层序(组)的类型。

二、关键定义

对下面关键定义,首先论述国外层序地层学原定义,然后按陆相盆地的实际情况加以说明。

(1) 层序(Sequence) 是一套相对整合的、成因上有联系的地层单元,其顶底以不整合面和可以与之对比的整合面为界(Mitchum,1977)。层序内部由准层序(组)组成。

陆相层序相当于盆地中一个二级构造旋回过程所形成的完整地层单元。该定义经过渤海湾盆地、陕甘宁盆地等地区的实际应用,证明可以适用于该区的实际特点,并能进行区域对比。

(2) 准层序(Parasequence) 是以海泛面和与之可以对比的面为界的成因上有联系的、相对整一的岩层(组)(Van Wagoner,1985)。

陆相层序中准层序是地层剖面上向上变粗或变细的一套韵律组合。

(3) 准层序组(Parasequence set) 是一套成因上有联系的准层序,是以大的海泛面和可与之对比的面为界的独特的叠置方式(Van Wagoner,1985)。

陆相层序中准层序组可能由多套准层序组成,其内部准层序的叠置方式为进积式、退积式或加积式,它们在层序中是可以预测的(图 2-2)。

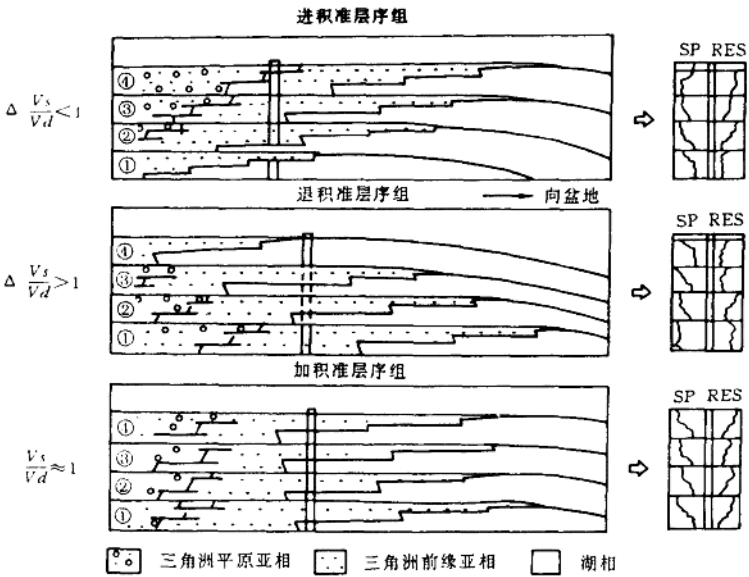


图 2-2 准层序组类型、特征示意图

①—④准层序 SP 自然电位 RES 电阻率 V_s 沉降速度 V_d 沉积速率

(4) 体系域(System Tract) 是一系列同期沉积体系的组合(Brown & Fisher,1977),每个体系域是根据界面类型、在层序中所处的位置以及内部准层序叠置方式客观地加以定义。

陆相层序中的体系域解释为与盆地不同沉降阶段相对应的沉积体系的组合。我国中生代典型陆相湖盆的发育多经历初期沉降、剧烈下陷、缓慢沉降、后期萎缩四个阶段,分别发育低位体系域、水进体系域、水退体系域和填积体系域。不同层序因构造演化等条件的差异可能缺少若干体系域类型。

三、陆相盆地层序边界

陆相盆地的层序边界包括不整合面、沉积间断面、湖侵面、古土壤层面和区域煤层(系)等,它们是各级陆相层序划分的基础。

(1) 不整合面 广义上讲,不整合面包括沉积间断面、湖侵面等。用于陆相层序边界的不整合面定义为构造成因的、上下地层产状有一定差异的不连续面。不整合面代表着盆地构造抬

升过程中较长时间的地层间断,下伏地层可能存在剥蚀记录,通常是两套层序之间的边界。

(2) 沉积间断面 是指由无沉积作用形成的地层不连续面,沉积间断时间一般较短,上下地层产状相同。这种界面多作为准层序(组)的边界。

由于碎屑沉积作用的时-空不连续性,陆相盆地中沉积间断面随处可见。并非所有沉积间断面都能够被鉴别,但那些较明显的如沉积体系变迁、地区性不均衡沉降所造成的沉积间断面的识别对于层序划分更具有实际意义。

(3) 湖侵面 陆相层序中能够识别两种典型的湖侵面:初始湖侵面和最大湖泛面。初始湖侵面是盆地开始剧烈下陷、湖盆迅速扩大形成的界面,其上为湖侵沉积物,地震反射剖面上可见典型上超特征。初始湖侵面是划分低位体系域与水进体系域的界面。

最大湖泛面是湖盆面积达到最大时,由于构造振荡或沉积物充填等因素湖盆开始缩小时形成的界面。对于沉积中心,该时期湖水最深,可能形成类似海相密集段沉积物的暗色泥岩。最大湖泛面是划分水进体系域与水退体系域的界面,其下多为浅湖-半深湖-深湖沉积,其上则多见三角洲进积层序。

(4) 古土壤层面 是指后期沉积物埋藏之前由于受到不同程度土壤化作用而形成的层面。它的形成和发育程度主要受古气候、植被类型、构造活动稳定时间等因素控制。古土壤层面多出现在一套层序发育的后期,是湖盆萎缩后以河流-泛滥平原为特征的填积体系域的良好证据。

(5) 区域煤层 煤或泥炭沉积作用与碎屑沉积作用不是同时期发生的,即在沼泽发育时,没有区域碎屑物质的供给(Ma Cabé,1984)。区域性分布煤层的出现代表着其与下伏和上覆沉积物之间明显的沉积间断,是一种既特殊又容易识别的层序边界。

第三节 陆相层序地层学研究方法

由于陆相层序岩性、岩相、厚度的变化显著,陆相层序地层学的研究方法必须强调多学科联合、多信息综合、点线面结合的立体式综合研究。

(1) 单井层序分析 利用录井、岩心、测井、分析化验、古生物、地球化学等资料,综合分析单井纵向上层序演化特征,如剖面相序、层序分级、体系域发育、古水深变化、沉积微相分析、生、储、盖组合预测等。单井层序分析是进一步进行剖面及平面层序分析的基础。

(2) 剖面层序分析 根据单井层序分析结果和区域地质背景等资料,在选偏地震剖面上进行层序边界识别、地震层序划分、地震相分析、沉积相分析等成套工作。地震反射终端、几何外形、反射结构、振幅、相位、频率、连续性、地震层速度等参数是进行剖面层序分析的直接证据。剖面层序分析的研究对象主要是层序和准层序组。

(3) 平面层序分析 在上述单井和多条地震测线研究的基础上,以层序演化的动态模式和沉积学基本原理为依据,对具体层序单元(如准层序组)在平面上的地震相展布、沉积相发育、层序厚度变化等进行描述,总结沉积体系类型、特征及其分布,阐明物源方向,预测有利生、储相带和储集体的展布特征。

(4) 层序地层精细研究 根据测井、高分辨率选偏剖面等资料反演得到的精细速度剖面、岩性剖面、孔隙度剖面等成果使深入研究小级别层序(如准层序)的特征、目标砂体的分布、储集性质等成为可能。这些具有量化概念的成果使层序地层学可以更好地服务于油气勘探开发的实际工作。

(5) 层序地层学综合评价 在上述工作的基础上,结合区域构造、地层对比、古生物分析、地化特征等相关研究成果,对工区范围内有利的生、储相带、目标勘探地区和层位进行评价。

研究流程参见图 2-3。

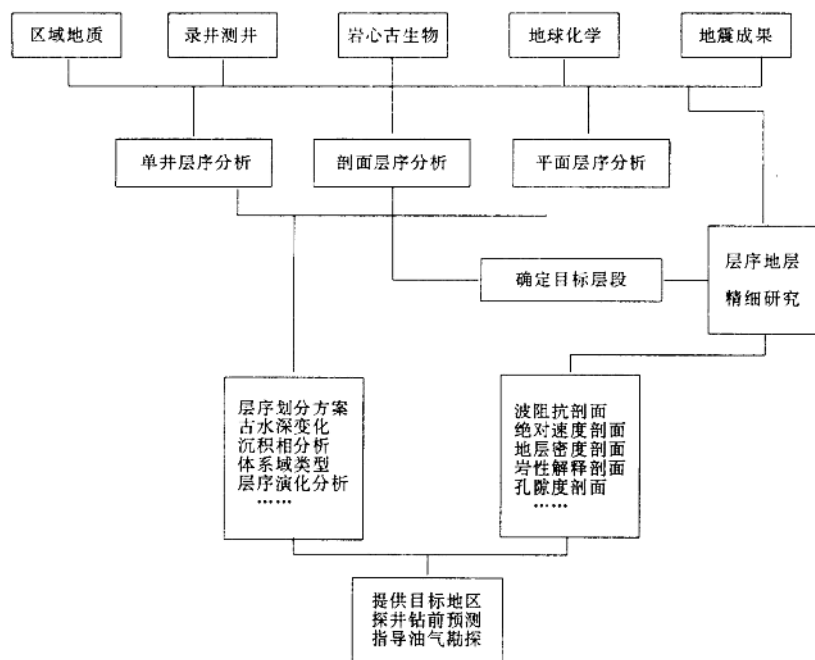


图 2-3 陆相层序地层学研究流程示意图

第四节 陆相层序地层学在油气勘探中的应用

陆相层序地层学的基本原理和研究方法可以对目标地区的层序地层发育、体系域类型和特征、有利砂体的展布等作出定性-定量解释,它们对油气勘探有着良好的指导作用。

(1) 一套层序本身可以划分为若干完整的生、储、盖组合,它们在层序中的位置和特征是可以预测的。

(2) 水进体系域中后期-水退体系域早期发育的深湖-半深湖相泥岩具有良好的生油气潜力;高位沼泽和低位沼泽期发育的煤层具有良好的生气能力。

(3) 水退体系域广布的(扇)三角洲砂体、滩坝砂体是最有利的储集体;水进体系域发育的浊积扇、近岸水下扇,低位体系域发育的冲积扇,填积体系域发育的河道砂体等均为有利储集体。

(4) 水退体系域各套进积准层序组底部的湖侵泥岩、水进体系域各套退积准层序组顶部的深湖相暗色泥岩皆可作为良好区域性盖层。