

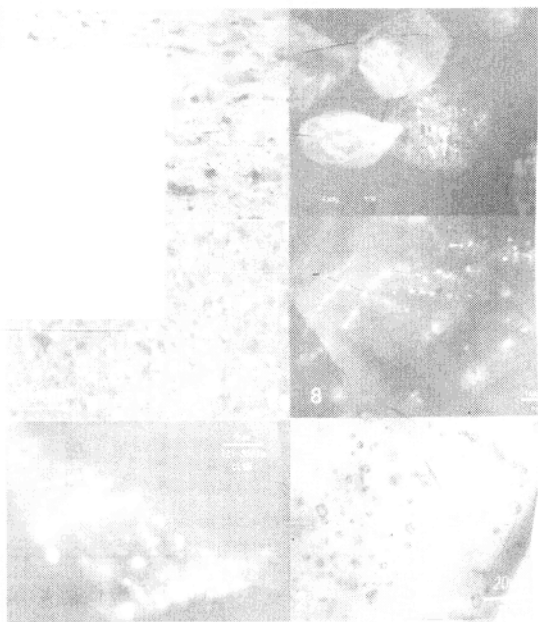
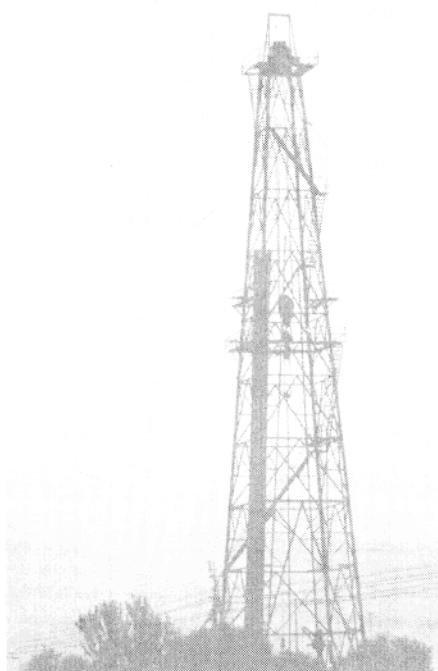
海相和煤系气源岩 地球化学特征与 天然气生成运移

刘德汉 耿安松 肖贤明
孙永革 盛国英 陈德玉 彭文世 著

海相和煤系气源岩地球化学特征与 天然气生成运移

刘德汉 耿安松 肖贤明

孙永革 盛国英 陈德玉 彭文世 著



广东科技出版社

· 广 州 ·

海相和煤系气源岩地球 化学特征与天然气生成运移

作者：刘德汉 耿安松 肖贤明
孙永革 盛国英 陈德玉 彭文世

图书在版编目 (CIP) 数据

海相和煤系气源岩地球化学特征与天然气生成运移/刘德汉等著. —广州: 广东科技出版社, 2004.12

ISBN 7-5359-3891-4

I. 海… II. 刘… III. ①海相-石油天然气地质-地球化学 ②煤系-石油天然气地质-地球化学 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 024843 号

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

E - mail: gdkjzbb@21cn.com

http: //www.gdstp.com.cn

经 销: 广东新华发行集团

排 版: 广东科电有限公司

印 刷: 广东信源彩色印刷有限公司

(广州市天河区高新技术工业园建工路 17 号 邮码: 510630)

规 格: 787mm×1092mm 1/16 印张 15.5 插页 6 字数 560 千

版 次: 2004 年 12 月第 1 版

2004 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 128.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

内 容 简 介

本书是以国家天然气科技攻关项目中的海相与煤系气源岩地球化学特征和天然气排烃运移机制两个专题的研究成果为基础,综合撰写的一本专著。比较系统地介绍了我国有利于形成大中型气田的海相碳酸盐岩、黑色页岩、陆相和海相交互相沉积的煤和煤系气源岩的有机地球化学特征和评价方法;用实验研究、高分辨固体核磁共振和傅里叶变换红外光谱等技术方法,探讨了各类干酪根、煤和沥青的生气机制;结合我国主要含气盆地的地质特征,综合论述了各类烃源岩的排烃运移机制和天然气二次运聚成藏的基本规律。

全书共六章,内容丰富,并附有10个彩色图版,80多张典型烃源岩样品的显微有机组分生烃、含烃、排烃的荧光、透光、反光照片和各种有机包裹体的显微照片。

本书可供有机地球化学、石油、天然气地质专业技术人员及高等院校相关专业师生参考。

前 言

天然气为我国大力勘探开发的优势能源,为了加速我国天然气的勘探开发,在“八五”国家重点攻关项目——大中型气田的地质基础研究课题中设立了85-102-04“海相与煤系气源岩的地球化学特征和生气规律”和85-102-03“天然气排烃运移机理与方法”两个一级专题。

在项目办公室和中国科学院资源环境与社会协调发展局的组织领导下,并在陕甘宁、新疆、四川、辽河、南海等地油气田勘探部门的协作与支持下,研究工作以专题攻关任务为目标,并结合天然气勘探评价中的实际问题进行了广泛研究。本书主要以上述两个专题的研究成果为基础,并补充了“九五”、“十五”期间,下古生界海相碳酸盐岩和黑色页岩生烃评价方面的部分照片资料综合编写而成。本书并作为徐永昌、傅家谟负责的天然气成因理论及大中型气田地质基础研究课题成果组织出版的系列丛书之一。

根据我国气源岩的时空展布和在形成大中型气田的作用,分别对下古生界高演化海相碳酸盐岩、黑色页岩和主要煤系气源岩的地球化学特征与天然气生成、运移、聚集进行了比较广泛的研究。分别在气源岩成烃作用、排烃机制、运聚规律、评价方法等方面取得了以下主要成果:

1. 在成烃机制方面,论述了地壳中天然气产出和聚集的多物质来源、多地质地球化学作用因素、多时期多阶段生烃运移的基本规律;探讨了干酪根生烃、储层沥青再生烃和包裹体生烃等的实际意义;在天然气运移聚集方面研究了生烃与排烃的依赖性、聚集与散失的相对性。

2. 在碳酸盐岩地层生烃性能评价中,重点剖析了鄂尔多斯盆地北部东段奥陶统碳酸盐-蒸发盐环境的生烃特征和塔里木盆地台地相、斜坡相、槽盆相碳酸盐岩建造的生烃性能。

鄂尔多斯盆地奥陶统碳酸盐-蒸发盐沉积环境存在分层卤水,水下蒸发盐沉积特征对有机质的聚集和保存比较有利,源岩有机碳含量可达0.1%~0.64%,一些层段存在明显的生烃现象。

塔里木盆地寒武-奥陶系盆地相和斜坡相碳酸盐岩生烃性能和生烃信息十分丰富,原生微细的有机包裹体、次生有机包裹体、各种沥青等均比较发育,是本区大中型油气田的重要源岩。

3. 我国海相碳酸盐岩地层具有不同的热演化生烃模式,鄂尔多斯盆地古生界烃源岩热演化程度的快速增高主要发生在印支-燕山期,下古生界奥陶系碳酸盐岩与上古生界在石炭-二迭煤系气源岩处于比较统一的热演化场,在不整合面上下热演化程度没有明显地跳跃,不整合面附近易形成下古生界奥陶系碳酸盐岩和上古生界煤系气源岩成因的混源型气藏。

塔里木盆地下古生界寒武-奥陶系源岩在加里东期热演化程度已进入主要生烃阶段、印支-燕山期以来的源岩存在持续生烃和迭加热演化生烃作用,不少钻孔剖面不整合面的上古生界地层和下古生界地层的热演化程度存在一定跳跃。

四川盆地下古生界源岩演化模式与塔里木盆地有些类似,但后期印支-燕山迭加热演化生气作用较强,是目前我国三大碳酸盐岩气源盆地中热演化程度最高的盆地。

4. 碳酸盐岩油气评价方法和指标方面,提出了用缝合线有机质、沥青、有机包裹体分布和含量作为碳酸盐岩油气评价的非常规方法,为有效地划分烃源岩、非烃源岩、储烃岩提供了很多直观信息。

建立了海相烃源岩显微有机组分的划分方案,论述了海相镜质体的成因和生烃性能、生烃阶段。海相镜质体反射率、沥青反射率、微粒体反射率以及它们与镜质体反射率的对比关系。实验结果表明:最大生油阶段相当于镜质体反射率 R_o :1%~1.3%;最大生气阶段相当于镜质体反射率 R_o :1.3%~1.7%。并对我国塔里木盆地寒武系、奥陶系、志留系黑色页岩和泥质烃源岩的生烃量作了预测。

5. 对比分析了我国石炭-二叠系、三叠系、侏罗系和第三系煤系烃源岩的地质地球化学特征、生烃性能、生烃模式及资源前景。煤系烃源岩是我国西北、华北、东部和南部海域寻找大中型气田的重要源岩。并且用煤岩学和 PY-GC 相结合的方法作为煤成烃评价的指标。

6. 比较系统地研究了我国各时代含煤岩系可溶有机质和热解产物的生物标志化合物特征,为油气源的判识对比提供依据。研究结果表明:一般第三系煤高碳数正烷、正烯烃及类异戊二稀烃含量相对较高,酚类及杂环化合物含量相对较低,富含奥利烷、乌散烷、羽扇烷骨架的陆源三萜类及其芳构化产物,反映了第三系成煤植物的重要特征;比较特殊的达玛树脂化合物为南海地区第三纪热带-亚热带植物煤成烃的重要标志;富含基质镜质体的侏罗系煤热解产物含有较高的酚和芳环化合物;新疆侏罗系煤系地层的油气源岩明显富集 β -胡萝卜烷和 γ -胡萝卜烷,甾烷类化合物含量也较其他煤系地层相对富集。各时代、各地区的煤系源岩可溶有机质的生物标志化合物组成,既表现了很多共性,又存在各自的特性。

7. 近代用固体有机质的高分辨 NMR 技术和 FT-IR 导数谱,有效地研究了煤、干酪根、沥青的组成结构与生烃性能和生烃机制的关系。分析结果表明:样品中 ^{13}C 结构参数 f_{a1} (脂肪碳)含量的多少是决定有机质产烃潜力的主要参数,样品的生油性能进一步取决于 f_{a1} (脂肪链碳-甲基、 α 亚甲基和次甲基)的含量。煤热演化中 NMR 结构参数的变化和流动相的出现揭示了煤成烃产出与排烃的重要信息。泥炭藓煤液态烃排出始于 R_o 0.60%;树皮煤的液态烃排出始于 R_o 0.77%;一般原煤的最大排烃阶段在 R_o 1%左右。

8. 应用共聚焦激光扫描显微镜(CLSM)揭示了好的碳酸盐岩烃源岩存在较多 $1\mu m$ 左右的微有机包裹体;吐哈盆地等煤岩组分的基质镜质体中存在较多微米级-亚微米级的类脂体和煤层排烃运移的多种微网络体系。

9. 应用矿物流体包裹体研究方法,剖析了川东石炭系碳酸盐岩、莺-琼盆地第三系泥砂碎屑岩天然气运聚期次、相态、深度和温度、盐度、压力等成烃、成藏的地球化学条件。川东石炭系气藏和崖 13-1 气藏存在两期烃类运聚的重要现象,早期以液态相运移为主,运移地层

的流体温度在 130~150℃ 和 140~150℃，晚期运移以气态烃为主，运移地层流体温度为 170~200℃ 和 170~186℃。进入崖 13-1 气藏的流体具有高温、高压、低密度等地球化学条件。

10. 利用实验模拟与含气盆地剖析相结合的方法，探讨了碳酸盐岩与泥质气源岩排烃机理、排烃动力、排烃相态等方面的差异。泥质岩在成岩演化中的压实作用、有机质裂解产烃作用、蒙脱石转变为伊利石的脱水作用、渗析作用、水热增压作用等是排烃中的重要动力；碳酸盐源岩烃类的排烃动力主要包括以下两方面：一是各种生烃增压在源岩积蓄的内能；二是各外力作用产生的裂解与缝洞，促使碳酸盐源岩中积蓄的内压的释放而实现排烃运移。

11. 比较系统地探讨了天然气二次运移动力、通道、方向、相态等各种地质地球化学因素，并结合我国各类含气盆地的地层、岩性和构造特征，阐述了鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、四川盆地、吐哈盆地、莺-琼盆地等若干地区天然气二次运移聚集的规律，总结了张性含气盆地、挤压性含气盆地、克拉通台地含气盆地等天然气二次运移的特点，提出了天然气二次盆地模式，根据我国含气盆地的地质构造特点，把天然气二次运移模式划分为八种类型。

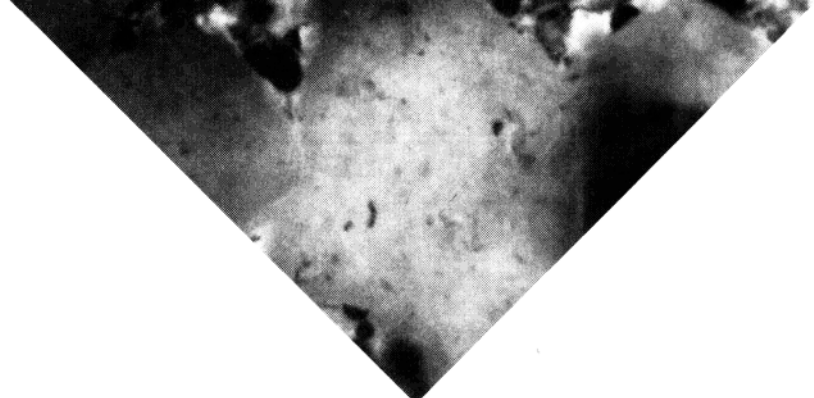
12. 应用天然气运移模型和扩散运移模型，进行了以鄂尔多斯盆地为例的天然气运移聚集的数值模拟，阐明了鄂尔多斯盆地下古生界和上古生界天然气的运移聚集规律。

全书共六章，对上述成果逐一进行了介绍和论述。各章节执笔人员如下：前言：刘德汉；第一章：刘德汉；第二章：肖贤明；第三章：孙永革、盛国英、肖贤明；第四章：陈德玉、彭文世；第五章：肖贤明；第六章：耿安松。全书由刘德汉、卢家烂、秦艳审阅定稿；申家贵、黄海云、胡云霞参与文字打印和编辑；甘华军、徐世平、荆永斌、廖玉宏分别清绘各章图件。

目 录

第一章 海相碳酸盐岩的地球化学特征和生气规律	1
第一节 鄂尔多斯盆地北部东段下奥陶统蒸发岩沉积环境和生烃条件	3
第二节 塔里木盆地古生界海相碳酸盐岩生烃性能和生烃规律	29
第三节 四川盆地海相及湖相碳酸盐岩烃源岩基本特征	42
第四节 碳酸盐烃源岩常规与非常规评价方法	46
第五节 碳酸盐岩生烃问题讨论	52
参考文献	55
第二章 海相黑色页岩的生气规律与评价方法	57
第一节 早古生代海相泥质烃源岩生烃母质显微岩石学特征	61
第二节 早古生代海相烃源岩中几种显微组分成烃规律	66
第三节 早古生代海相泥质烃源岩的评价方法	70
第四节 塔里木盆地早古生界泥质烃源岩综合评价与油气资源量预测	76
参考文献	85
第三章 我国主要聚煤期含煤岩系地球化学特征及成烃条件对比研究	87
第一节 我国煤系源岩时空分布	89
第二节 煤系源岩生烃评价与成烃演化模式	91
第三节 我国主要聚煤期煤成烃形成的地质-地球化学条件	97
第四节 煤系埋藏史与煤成烃	115
第五节 生、储、盖匹配关系	121
第六节 我国典型煤成烃盆地剖析	126
参考文献	135
第四章 干酪根、煤、沥青生气机制的固态高分辨核磁共振与红外光谱研究 ...	137
第一节 煤的固体高分辨 ^1H 、 ^{13}C NMR 研究	141
第二节 不同地质时代天然固体沥青的高分辨 ^{13}C NMR 谱研究	153
第三节 干酪根的 ^{13}C NMR 谱及其应用	155
第四节 固体有机质的傅里叶变换红外光谱研究	161
参考文献	173
第五章 气源岩与大中型气田	175
第一节 大中型气田形成的气源岩条件	177
第二节 有利区块预测——以塔里木盆地为例	183

第三节 小结	186
参考文献	187
第六章 天然气运移机理	188
第一节 天然气运移的有机包裹体信息	191
第二节 天然气排烃模拟实验	204
第三节 烃源岩排烃机理探讨	216
第四节 天然气二次运移	218
第五节 小结	236
参考文献	238
图版及图版说明	239



第一章

海相碳酸盐岩的地球化学 特征和生气规律

目前世界上约有 40% 的大油气田与碳酸盐岩地层有关,碳酸盐岩不仅是很多大油气田的重要储层,而且也是大油气田的主要源岩,例如波斯湾盆地石油储量巨大的沙特阿拉伯南部的大油田的产层主要为侏罗系碳酸盐岩,而且油源岩也主要是侏罗系卡洛夫-牛津统薄纹层状和球粒状碳酸盐岩,在富有机质薄纹层状中有机碳含量达 3%~5%;委内瑞拉马拉开波盆地有厚近百米的含沥青灰岩;墨西哥、伊朗、伊拉克的白垩系和第三系碳酸盐岩地层中的大油田,美国宾夕法尼亚系和二叠系碳酸盐岩地层中的大油田都是世界上有名的。

我国碳酸盐岩地层分布约有 300 万 km^2 ,主要发育在西北塔里木盆地,华北鄂尔多斯盆地,西南地区的四川盆地等。古生界-中-上元古界地层,已在塔里木盆地奥陶系、四川盆地震旦系、石炭系和三叠系碳酸岩盐地层中发现了大油田和大气田。但是与国外碳酸岩盐大油田相比,我国碳酸盐岩地层产出的特点是时代老,热演化成度高,有机碳含量普遍较低。因此有关碳酸盐岩油气藏的成因,生、排烃机制,运聚规律,评价方法和指标等均存在不同的认识。需要进一步研究的问题,涉及我国有利于生油碳酸岩盐沉积相带和展布特征;碳酸盐岩沉积、成岩演化中有机质的赋存形式和变化规律;碳酸盐岩热演化阶段与油气生成运移模式;特别是高演化碳酸盐岩烃源岩的评价方法和有机质丰度指标等,油气地质中的很多理论与实际问题。本章主要应用有机岩石学与有机地球化学相结合的方法,重点研究了鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、四川盆地,碳酸盐地层的综合地球化学剖面等,对比分析有利于形成大中型气田的地质地球化学条件和高演化碳酸岩盐的常规与非常规评价方法。

第一节

鄂尔多斯盆地北部东段下奥陶统 蒸发岩沉积环境和生烃条件

鄂尔多斯盆地是我国陆地上面积仅次于塔里木盆地的大型油气盆地,不仅三叠系、侏罗系为本区的重要含油岩系,石炭-二叠系为重要的煤系气源岩,而且在下古生界奥陶系不整合面附近发现了分布范围很广的碳酸盐岩风化壳储层中的大气田。该气田的气源成因,存在上古生界煤系气源、下古生界碳酸盐岩气源岩、上古生界煤系气源岩和下古生界碳酸盐岩气源岩的混源成因等多种认识。因此,如何认识与评价鄂尔多斯盆地地下古生界碳酸盐岩,特别是盆地东部比较发育的下奥陶统泻湖-盐湖相的盐-膏-云岩的生烃能力和对气藏的贡献,已成为天然气勘探、评价的重要理论和实际问题。本项研究主要与地矿部华北石油局第三石油普查大队合作,以鄂 1,2,4,5,6,7 和中参 1 井等下奥陶统 $O_1Xm_1 - O_1Sm_3$ 钻孔岩芯组合成综合地球

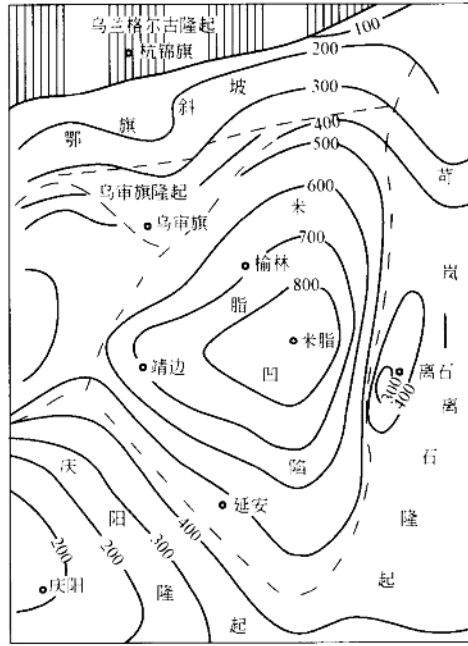


图 1-1 鄂尔多斯盆地北部东段马家沟组古构造分区略图

一、马家沟组蒸发岩沉积环境特征

鄂尔多斯盆地在怀远运动末期,差异沉降作用比较明显,盆地北部东段形成了较大的米脂凹陷,发育了马家沟组泻湖-盐湖相蒸发岩沉积,由于盆地局部抬升与下降波动比较频繁,在多次海进-海退层序中发育了多套浅海碳酸盐岩-蒸发岩沉积。经加里东运动中晚期的广泛抬升运动,结束了本区下古生界的沉积历史并使下奥陶统顶部碳酸盐岩地层经受长期风化剥蚀。

据钻孔岩芯剖面和地表剖面观察,本区马家沟组沉积体系由凹陷中部向边缘具有盐岩-膏岩-膏云岩-云灰岩的相变规律,剖面中未见红层和十分干旱氧化环境的标志,表现了近海盐湖盆地存在分层卤水与水下蒸发盐沉积的特征,在海退时期受水下隆起阻隔作用,盆地中海水蒸发量大于补给量,造成海水盐度和密度增加,高盐度的浓缩海水密度较大,在重力作用下,向水体下部和盆地凹陷深处流动,形成上、中、下盐度和密度不同的分层。

上部稀释层,主要为半盐水-咸水层,大部分位于波基面上,适宜半咸水生物繁殖,有较高的有机物产率,此层厚度受蒸发作用和淡水或低盐度海水注入量的多少控制。

中部盐跃层,比上部水体盐度大,本层受风浪扰动很小,含氧量低,浮游生物的繁殖受到抑制,水体中的生物以嗜盐、厌氧细菌为主。

下部卤水层,主要为密度大的饱和盐水层,是各种盐类矿物结晶沉淀的物源层,也是沉淀盐类矿物质的保护层。

据钻孔综合地球化学剖面观察,下奥陶统马家沟组存在四个成盐组合,六个聚盐(膏)段,各聚盐(膏)段之间为正常浅海云灰沉积岩。在剖面上成盐旋回可以划分为 A、B、C、D 四期(表 1-1 和图 1-1、图 1-2)。

地层划分			盐湖发育期		沉积旋回	沉积相带划分及样品分布	
组	段	长庆分层	成盐期	聚盐期		潮间云灰坪	泻湖-盐湖
C t-C b						0-5 0-14 B-5 B-19	
上 马 家 沟 组	O Sm	马五-马五	D	f'		B-23 B-24 B-30 B-12 0-26 0-27 0-22	
	O Sm	马五				0-23	93-0-1
	O Sm	马五	E	e		0-6 0-15 B-6 B-7	93-0-2 0-3
	O Sm	马五				0-30	
	O Sm	马五					
	O Sm	马五	C	d'		B-25 B-31	
	O Sm	马五				0-16 B-14	
O Sm	马五						
O Xm	马四				0-17 0-2/0-31 0-24 B-26 B-32 B-15	0-7	
下 马 家 沟 组	O Xm	马三	B	b		0-29 0-34 B-27 B-33 B-34	0-9 C-9 C-10 B-9 B-10 B-16
	O Xm	马二				0-18	0-12 B-8 B-11a B-11b B-20
	O Xm	马一	A	a			B-11b.c.d B-17 B-21.22
治理-壳甲山	O Y O L						

图 1-2 鄂尔多斯盆地马家沟组成盐组合及取样层位图

A 期($O_1 X m_1$)为马家沟组差异沉降最强烈和米脂凹陷的主要成凹期,持续时间相对较短,沉积厚度变化较大,中心厚,向边缘逐渐减薄或减灭超覆沉积。A 期差异沉降末有一短暂的抬升,泻湖-盐湖范围变小,仅在凹陷中心的榆 9 井、镇川 1 井地区发育较薄的蒸发岩沉积。

B 期($O_1 X m_2 - O_1 X m_3$)是蒸发作用强烈,蒸发岩分布范围最广的时期,形成了区内最大的泻湖-盐湖沉积。蒸发岩在凹陷中心厚度大,层数多,以盐岩沉积为主,向凹陷边缘减薄,层数减少,逐渐过渡为膏岩,云质膏岩沉积。本期末的海退结束了区内下马家沟组的沉积。

C 期($O_1 S m_1 - O_1 S m_3$)在下马家沟组沉积之后,随着盆地整体下沉,发生了区内马家沟期最大规模的海进,沉积了上马家沟组第一段巨厚的浅海台地相云斑灰岩。大规模海进结束后,发生了持续时间最长的海退,发育了较厚的蒸发岩系。C 期包含三个聚盐(膏)段,表明在大规模海退过程中存在小规模的海进。本期蒸发岩的分布范围较 B 期小,显示出随沉积补偿作用的加强,沉降作用弱,泻湖-盐湖环境开始缩小。

D 期($O_1 S m_4 - O_1 S m_5$)是本区分布范围最小的成盐组合。蒸发岩仅在榆 9 井附近比较发育,但厚度较薄。 $O_1 S m_5$ 沉降之后,研究区泻湖-盐湖环境消失,转为潮间云灰坪-潮上泥云坪沉积。

横向上马家沟组蒸发岩环境具有明显的岩相分带性,在凹陷中部是受古陆及水下隆起所

围限,形成半闭塞的泻湖-盐湖相沉积并向凹陷边缘逐渐过渡为潮间云灰坪相的沉积。地形上泻湖-盐湖相是一个凹陷。海进时受水下隆起与广海连通,属浅海环境,沉积了正常浅海台地碳酸盐岩,海退时,水下隆起露出水面,阻隔了海水向凹陷补给发育成泻湖,随着蒸发作用的加强而发展为盐湖,沉积了较厚的蒸发岩系。图1-3可见,泻湖-盐湖沉积剖面中部主要为盐岩,单层厚度大,质纯,剖面上含硬石膏比例很小,夹很薄的云灰岩。由中部向外,盐岩减少,单层厚度变薄,白云岩,云质膏岩层增多,剖面上出现较明显的盐岩-膏岩-膏云岩、云质膏岩为特征(表1-1)。

潮间云灰坪-潮上泥云坪相,在泻湖-盐湖近陆一侧为宽缓的云灰坪-泥云坪沉积,而向水下隆起一侧表现为云灰斜坡的沉积(图1-3),与泻湖-盐湖相呈指状交叉的相变带,岩性以白云岩为主,斜坡带为白云岩、灰岩的互层。沉积层序的底部为陆源砂,是古陆风化的产物,下部以泥白云岩为主;上部为白云岩、灰质白云岩,不含膏岩和盐岩,主要为中-薄层状灰云岩,常夹水平纹层的薄纹层,含少量介形、腹足类生物化石或碎片。

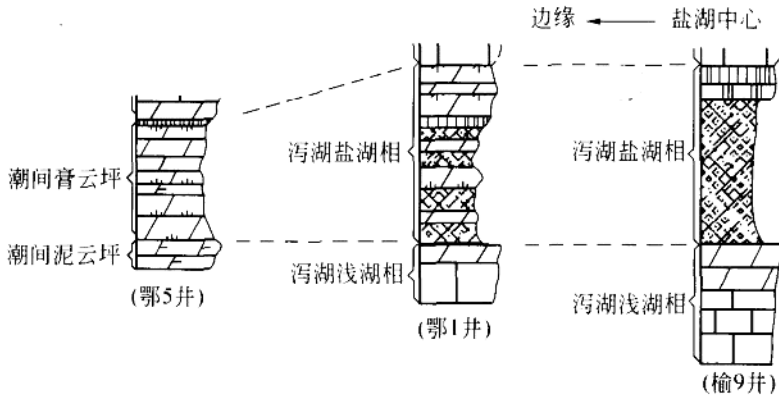


图1-3 泻湖-盐湖环境岩石类型横向分异(O₁S_m₃)

二、马家沟组烃源岩生烃条件

鄂尔多斯盆地北部下古生界的岩相古地形地貌,大致划分为两部分:东部为米脂泻湖-盐湖环境,西部为昂苏庙浅海台地潮下低能环境,中间由乌审旗隆起和庆阳隆起北延部分分隔。烃源岩为低能环境下形成富含有机质的泥晶灰岩及成岩白云岩、泥质白云岩,一般有机碳含量为0.1%~0.2%(个别可达0.3%左右),主要为泻湖-盐湖环境中形成的白云岩,灰岩、含泥云岩、膏质白云岩等,有机碳含量变化较大,分析样品中榆9井O₁S_m₅含泥白云岩有机碳含量高达0.64%。在盐-膏岩中的黑色泥质夹层中有机质特别富集。烃源岩厚度在中部乌审旗隆起地区相对较薄,一般100~200m,西侧凹陷和东侧泻湖-盐湖可厚达500m左右,向乌兰格古陆逐渐减薄至减灭。研究样品主要为北部东段的碳酸盐岩-蒸发岩。

源岩生烃性能的研究与评价主要包含两方面:一是用有机地球化学方法分析测定岩石中有机质的丰度、类型和演化程度;二是用有机岩石学方法观测地层和矿物岩石中烃类生成、运