

# 深盆地地质理论及应用

SHENPENQI DIZHILILUN JI YINGYONG

张金亮 常象春 编著

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 简 介

本书通过实验室模拟并结合对典型深盆气的深入解剖,提出了深盆气成藏的新观点,明确了深盆气藏形成的成藏机制、主控地质因素及成藏模式。运用深盆气地质理论对鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏、四川中西部上三叠统深盆气藏进行了研究,对楚雄盆地、准噶尔盆地和吐哈盆地深盆气形成的地质条件和分布规律进行了分析,阐述了深盆气藏的特征和形成条件,指出了中国深盆气的良好远景及有利勘探方向。

本书可供从事石油天然气勘探开发的地质、科研工作者,以及高等院校有关专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

深盆气地质理论及应用/张金亮,常象春编著.-北京:地质出版社,2002.11

ISBN 7-116-03678-4

. 深... . 张... 常... . 深盆气-油气藏-石油天然气地质 . P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 074016 号

---

责任编辑:陈军中 牟相欣

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂印刷

开 本:787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张:13.625

字 数:310千字

印 数:1—1000册

版 次:2002年11月北京第一版·第一次印刷

定 价:32.00元

ISBN 7-116-03678-4/P·2304

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

# 序

传统油气地质理论认为，天然气藏多分布于盆地构造高部位的圈闭中。天然气的勘探实践证明，位于构造高部位圈闭中的天然气储量是非常有限的，且有相当一部分圈闭不含油气。20世纪70年代，在北美许多盆地的向斜和构造的下倾部位发现了许多特大型天然气藏，Masters (1979) 称之为深盆地气藏，其特点是广泛分布于深盆地中，储量巨大，常具气水倒置特征。随着北美地区深盆地气藏勘探开发的深入，国外许多人对这种气藏的形成机理进行了探索，目前基本上认为深盆地气是一种“动态圈闭”气藏。按国外“动态圈闭”理论，在中国中西部大中型盆地则不可能找到大型深盆地气藏，因为这些盆地都是降温盆地，目前已基本不生气或生气微弱。由此可见，目前国外深盆地气藏的成藏机制存在许多理论问题没有解决，仅从地质条件的类比，难于有效地指导我国深盆地气藏的评价与勘探，只有发展我国自己的深盆地气地质理论，才能取得天然气勘探的重大突破。

由青岛海洋大学地球科学学院张金亮和山东科技大学地球科学学院常象春两位青年学者编著的《深盆地气地质理论及应用》向大家介绍了国外深盆地气藏有关情况和他们自己的新成果。他们在研究中瞄准国际研究前沿领域，首先根据模拟实验与典型深盆地气藏解剖结果，提出了深盆地气为优质烃源岩供气、近源聚集、易于保存的成藏新理论；明确了深盆地气藏形成的主控地质因素；建立了深盆地气藏评价方法；论证了深盆地气藏的形成并不需要供气-动平衡条件，在生气趋于停止的降温盆地中同样形成深盆地气藏。这不仅突破了国外深盆地气藏形成的“动态圈闭”理论，而且对传统石油地质学的油气藏形成理论提出了挑战，为油气勘探提供了新的概念。运用这种新的理论，作者对鄂尔多斯盆地上古生界、四川中西部上三叠统及楚雄盆地上三叠统深盆地气藏进行了研究，并对深盆地气资源潜力进行了评价，突破了油气勘探的“禁区”，拓宽了找气的领域。作者的研究成果为勘探开发决策和布置提供了新思路 and 科学依据。

本书为我国第一部深盆地气研究专著，其特色充分说明了编著者的科学态度和钻研精神，本书内容全面向读者展示了深盆地气地质的理论体系和实用的工作方法。这本书对我国从事非常规油气勘探开发的地质学家们具有十分重要的参考价值，是一本难得的好书，我向读者推荐。

深盆地气藏的勘探开发技术上还面临着许多难题，还有更艰难的工作要做。相信本书的出版，将会促进该领域的发展，对我国致密砂岩气的勘探开发起到重要的指导作用。



中国科学院院士  
2002年6月18日

# 前 言

油气作为一种不可再生资源，在国民经济中处于十分重要的战略地位。我国的老一代石油地质工作者顶着“中国贫油论”的压力艰苦奋斗，向全世界证明了中国有丰富的油气资源，还建立了陆相生油地质理论。我国原油产量从建国初期仅  $12 \times 10^4$  t，到 1978 年突破  $1 \times 10^8$  t，到 1997 年底达  $1.6 \times 10^8$  t。我国同时又是一个石油消费大国，随着国民经济的发展，对油气的需求越来越大，油气资源供不应求的局面越来越明显。目前我国石油年消耗量约为  $1.9 \times 10^8$  t，从 1993 年开始我国已成为一个石油净进口国。目前我国石油需求约 15% 靠进口，预计到 2020 年将有 40% 靠进口，供应缺口在逐渐增大。21 世纪初期如果供需矛盾得不到缓解，石油将成为制约国民经济发展的瓶颈之一。

随着我国含油气盆地勘探程度的提高，要解决油气问题很重要的一点是怎样去寻找油气，用什么样的理论作指导。根据我国的经济、技术和地质实际，油气勘探由浅层向深层发展，由构造或背斜控制转向岩性或向斜油气藏，但勘探成本也急剧增加。在新的阶段，必须重新考虑一些石油地质基本概念，重新认识被认为勘探程度很高的地区，重新评价已经被废弃的区带和层序。

近 20 年来，美国和加拿大在非常规油气田的研究和开发上取得了重大成就和巨大经济效益。在加拿大面积为  $98 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 的阿尔伯达盆地，探明的稠油储量为世界其他地区探明储量的 3 倍以上。特别是深盆地资源，远景储量达  $100 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> 以上，世界上绝无仅有。这些油气绝大部分储集在非背斜圈闭中，上倾方向是含水带，下倾方向是饱含气带。在学习国外勘探理论和技术的同时，对比我国油气勘探实际，有感于我国油气勘探思想应进一步开放，寻找大型油气田的步伐应加快，油气勘探思路要提到更重要地位。我国盆地所蕴藏的资源量巨大，很值得我们成藏机制角度进行解剖，总结油气成藏条件和富集特征，形成和补充新的油气成藏理论，指出有利的勘探方向。

《深盆地地质理论及应用》是在充分调研国外深盆地成藏理论和实践的基础上，对“九五”期间所完成的国家攻关项目，国家攀登项目和中国地质调查局地质调查项目中有关深盆地专题研究的总结和完善。通过建立实验室模拟新技术，并结合对典型深盆地成藏的深入解剖，提出并解决了国外深盆地研究中存在的一些不足，提出了深盆地成藏的新观点，明确了深盆地成藏形成的成藏机制、主控地质因素及成藏模式，运用这种新的观念对鄂尔多斯盆地上古生界深盆地成藏、四川中西部上三叠统深盆地成藏进行了研究，对楚雄盆地上三叠统深盆地成藏的地质条件和分布规律进行了分析。本书的基本观点认为，煤系源岩是深盆地的主力源岩，随着热演化油气不断在烃源岩中生成和聚集，聚气排水到一定程度时，便向相邻致密储层中注入；进入储层后，在驱动压差作用下，首先在近注入点的孔隙中聚集，然后再以有限或指状的前缘驱替自由水向前推移，也就是“先聚集，后运移”的成藏特点。与气源岩紧密相邻的致密储层处于“近水楼台先得月”的有利位置，单凭浮力在储层中无法克服界面阻力，而水压力也无法通过孤立孔隙水向下传递，非润湿相的气体

便在界面封堵下聚集成藏，因而油气藏初始状态是一种欠平衡状态，形成“气水倒置”的格局，也因此多具异常压力，可见深盆气藏的形成并不一定需要供气与散失的动态平衡。大家所熟悉的气水分异好的常规气藏是经过运动和改造形成的。可将沉积盆地看作一个大型化学反应器，其中沉积物和流体持续不断地与周围环境发生交换，发生有机无机反应，从而产生多种产物，由于盆地内化学反应程度的不均衡，油气生成和演化便处于不平衡状态。本书从理论和实践两方面深化了对深盆气成藏机制的认识，提出了适合我国地质特点的深盆气地质概念。

参加科研攻关及为本书的编写做过工作的主要人员有：张金功、徐国盛、王世谦、闵琪、毛凤鸣、侯建国、洪峰、王建、吕成远、刘孝汉、罗启后、袁正文、邱宗恬、蓝贵、王宝清、秦承志、苟汉成、陈跃昆、梁志刚、董悦、张晓玲、陈晓军、李秋实、金晓辉、秦敬、罗继红、张文华、张海波、林辉、司学强等。书中引用了部分合作者的内容和图件。本书内容在研究过程中曾得到中国石油勘探开发研究院戴金星院士、宋岩教授以及原中国石油天然气集团公司科技局石宝珩局长、傅诚德局长、关德范教授和罗治斌处长的大力支持和指导，得到了各参加单位领导的关心和帮助。本书的撰写，得到刘宝骥院士的热情鼓励和指导，还得到了青岛海洋大学地球科学学院李庆忠院士、赵庆礼教授、王修田教授、刘怀山教授、张维冈教授和薛荣俊教授以及山东科技大学王明镇教授、韩作振教授和谢俊博士的大力支持，在此一并致以衷心的感谢。

限于编者水平，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

张金亮

2002年5月

# 目 录

序	
前 言	
第一章 深盆地气藏的基本特征 .....	(1)
第一节 深盆地气藏的研究概况 .....	(1)
一、国外深盆地气藏研究概况 .....	(1)
二、国内深盆地气藏研究概况 .....	(2)
第二节 深盆地气藏的主要特征 .....	(3)
一、深盆地气藏位于向斜盆地轴部或构造下倾部位，分布规模巨大 .....	(4)
二、深盆地气藏埋深差别较大 .....	(6)
三、深盆地气藏气水关系倒置及气水特征 .....	(7)
四、深盆地气藏多具异常压力 .....	(11)
五、深盆地气储层多为致密砂岩，其间多发育富气的“甜点” .....	(15)
六、深盆地气源岩主要为含煤地层，气源充足 .....	(20)
七、深盆地气藏与常规气藏的关系 .....	(21)
第三节 深盆地气的勘探开发理论与技术 .....	(22)
一、深盆地气藏特殊的地质赋存条件 .....	(22)
二、深盆地气藏的勘探对策 .....	(22)
三、开发方式及技术 .....	(23)
第二章 深盆地气藏形成机理研究 .....	(24)
第一节 国外深盆地气藏形成机制 .....	(24)
一、“动态圈闭”理论 .....	(24)
二、气水倒置聚集的动力学机制 .....	(30)
三、存在的主要问题 .....	(33)
第二节 气水运移模拟实验 .....	(34)
一、排气机理模拟实验 .....	(34)
二、气体上浮的孔隙大小与渗透率界限模拟实验 .....	(35)
三、气驱水模拟实验 .....	(37)
第三节 深盆地气的成藏模式 .....	(41)
一、主控地质因素 .....	(41)
二、深盆地气藏形成的地质模式 .....	(43)
三、深盆地气藏的分布规律 .....	(44)
四、深盆地气运聚成藏机理新认识 .....	(45)
第三章 鄂尔多斯盆地上古生界深盆地气藏研究 .....	(47)
第一节 区域构造背景 .....	(47)
一、构造演化特征 .....	(47)

二、构造单元划分 .....	(48)
第二节 沉积相及演化 .....	(51)
一、地层发育特征 .....	(51)
二、沉积演化特征 .....	(51)
第三节 储层特征 .....	(60)
一、碎屑岩石学特征 .....	(60)
二、成岩矿物特征 .....	(60)
三、孔隙类型 .....	(61)
四、孔隙结构 .....	(64)
五、储层物性特征 .....	(64)
第四节 深盆气气源岩条件 .....	(66)
一、气源岩地球化学特征 .....	(66)
二、煤系气源岩油气生成 .....	(71)
第五节 深盆气藏的形成 .....	(74)
一、上古生界地层压力分布 .....	(74)
二、上古生界深盆气的运移聚集 .....	(78)
三、上古生界深盆气的成藏 .....	(81)
四、上古生界深盆气藏的改造与保存 .....	(84)
第六节 鄂尔多斯深盆气藏特征及潜力评价 .....	(85)
一、深盆气藏分布特征 .....	(85)
二、深盆气潜力评价 .....	(92)
第四章 四川盆地上三叠统深盆气研究 .....	(95)
第一节 区域地质背景 .....	(95)
一、构造发育概况 .....	(95)
二、地层发育概况 .....	(98)
第二节 沉积相及储层特征 .....	(100)
一、沉积相类型 .....	(100)
二、沉积相分布 .....	(103)
三、储层特征 .....	(107)
第三节 上三叠统深盆气气源岩条件 .....	(122)
一、烃源岩类型及分布 .....	(122)
二、烃源岩有机质丰度 .....	(123)
三、源岩有机质类型 .....	(126)
四、有机质热演化 .....	(127)
五、烃源岩的油气生成 .....	(127)
第四节 上三叠统深盆气藏的形成 .....	(133)
一、地层压力分布及其意义 .....	(133)
二、深盆气的运移与聚集 .....	(138)
三、深盆气藏的改造与保存 .....	(140)
第五节 深盆气藏特征及潜力评价 .....	(142)
一、深盆气藏分布特征 .....	(142)
二、潜力评价 .....	(148)

第五章 其它深盆地实例分析 .....	(150)
第一节 楚雄盆地上三叠统深盆地成藏条件 .....	(150)
一、地质背景 .....	(150)
二、深盆地源岩条件 .....	(151)
三、深盆气的储集条件 .....	(157)
四、深盆气的生成运移与聚集成藏 .....	(159)
五、深盆气的改造与分布预测 .....	(161)
第二节 准噶尔盆地深盆地成藏条件研究 .....	(164)
一、地质背景 .....	(164)
二、沉积储层特征 .....	(165)
三、深盆地源岩条件 .....	(166)
四、深盆气的生成运聚配置 .....	(169)
五、深盆地气的改造与保存条件 .....	(171)
第三节 吐哈盆地深盆地成藏条件研究 .....	(173)
一、构造特征 .....	(173)
二、中下侏罗统沉积储层特征 .....	(174)
三、深盆地源岩条件 .....	(178)
四、深盆地气聚集条件 .....	(179)
五、深盆地气的保存环境 .....	(180)
六、可能的深盆地气藏特征 .....	(182)
第四节 苏北盐城天然气成藏条件分析 .....	(183)
一、研究背景 .....	(183)
二、地质概况 .....	(183)
三、沉积储层特征 .....	(184)
四、天然气源岩地球化学剖析 .....	(189)
五、天然气成藏机理 .....	(196)
第六章 结论 .....	(201)
参考文献 .....	(206)

# 第一章 深盆气藏的基本特征

## 第一节 深盆气藏的研究概况

### 一、国外深盆气藏研究概况

国外最早的深盆气藏发现可以追溯到 1883 年，加拿大太平洋铁路公司在 Medicine Hat 城市西部钻取地下水时钻遇到了现今著名的牛奶河 (Milk River) 气田，这是西加拿大盆地中一个大型的非伴生气藏，该页岩气藏具有低孔隙度、低渗透率的特点，其储量估计可达  $2183 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。在 19 世纪早期这些天然气仅限于地方性利用，直到 19 世纪 80 年代才引起了广泛的关注，如今牛奶河的“ A ”气藏占地  $6222 \text{ km}^2$ ，拥有产气井达 14000 口以上。1926 年在美国圣胡安 (San Juan) 盆地发现了分布于盆地中央 (向斜) 部位的特大型气田布兰科 (Blanco) 气田，可采地质储量可达  $7000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1970 年，在美国丹佛 (Denver) 盆地中央 (向斜) 部位发现了瓦腾伯格 (Wattenberg) 气田，可采地质储量为  $850 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1976 年，在加拿大阿尔伯达 (Alberta) 盆地西部深盆区 (深拗陷区) 北部发现了大型的埃尔姆沃斯 (Elmworth) 气田，之后不久又发现了霍德利 (Hoadley) 气田，这一地区可采地质储量可达  $6000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1976 年在美国大绿河盆地的深盆部位白垩系和第三系超压储层中发现了特大型天然气田，储量可达  $(28.3 \sim 113.2) \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。到目前为止，发现深盆气藏最集中的地区是加拿大西部和美国落基山地区。主要盆地有加拿大西部阿尔伯达 (Alberta) 盆地、美国西部圣胡安 (San Juan) 盆地、丹佛 (Denver) 盆地、大绿河 (Greater Green River) 盆地、尤因塔 (Uinta) 盆地、皮申斯 (Piceance) 盆地、拉顿 (Raton) 盆地、风河 (Wind River) 盆地和粉河 (Powder River) 盆地等；代表性气田有阿尔伯达盆地埃尔姆沃斯 (Elmworth)、牛奶河 (Milk River) 和霍德利 (Hoadley) 气田，圣胡安盆地布兰科 (Blanco) 气田，丹佛盆地瓦腾伯格 (Wattenberg) 气田等。

由于深盆气藏的巨大经济潜力，自 20 世纪 70 年代以来，美国和加拿大政府和各大石油公司对深盆气藏的研究给予了高度重视，并投入巨资进行理论、方法和技术的研究。加拿大亨特勘探公司总裁 J. A. Masters 于 1979 年首先对北美地区已发现的深盆气藏进行了系统的总结，并从理论高度提出了深盆气藏 (Deep basin gas trap) 这一天然气藏分布单元的概念。在 1984 年 Masters 主编出版了 AAPG 论文专集《深盆地气田实例研究——埃尔姆沃斯》，该文集对深盆气的成藏理论、勘探方法和开采技术进行了系统的论述。美国国家石油委员会 1980 年提出了一份关于“非常规气资源”的评价研究报告，对美国大陆内的盆地进行了评价，同时美国能源部 (DOE) 和天然气研究院 (主要是得克萨斯经济地质局) 专门立项支持了美国深盆气藏的研究。在 1986 年，C. W. Spencer 主编出版了 AAPG 专集《致密天然气储层地质学》，该文集对美国大陆内盆地深盆气藏的成藏理论、分布规

律和技术进行了论述。之后，对深盆气藏的研究一直没有停止，并主要集中在深盆气藏形成机理与分布规律方面。在1988年英国伦敦石油经济学家有限公司出版的《世界非常规石油与天然气》一书中，仍把深盆致密砂岩天然气作为一项重要的天然气资源（Perrodon, 1998）。据统计资料，美国的深盆气（致密砂岩气）地质储量预测值分布在 $5 \times 10^{12} \sim 23 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，美国石油储量委员会的近期预测值为 $6.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，而联邦地质调查所则为 $140 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。1994年钻、完井4164口，目前已有122240口井在开采这类天然气，主要分布于12个大型天然气盆地中，它们占美国天然气总生产井数的1/3（金之钧等，1997）。

## 二、国内深盆气藏研究概况

20世纪80年代初，在鄂尔多斯盆地天然气勘探的起步阶段，科技工作者学习、借鉴国外天然气勘探的理论和方法，曾经把盆地天然气成藏条件与阿尔伯达深盆气成藏条件做过对比，初次涉及了“深盆气”的成藏规律。其后的近10年时间，长庆石油勘探局天然气勘探从重大突破、找到大气区到探明大气田，勘探的重点是下古生界奥陶系风化壳。

1990年，中国石油天然气总公司情报研究所编译了《深盆地气田实例研究——埃尔姆沃斯》，推荐给各石油企业学习、借鉴。1993年，长庆石油勘探局勘探开发研究院开展了“国外深盆气藏形成机制及勘探开发技术”专题调研。1994年后，长庆大气田基本探明，投入全面开发后对提高储量丰度的要求越来越迫切，后续的接替区块也成为勘探的重点，这时，鄂尔多斯盆地天然气的勘探方针从以下古生界为主转移到上、下古生界兼探。

1995年10月，罗启后教授负责的国家“八五”重点科技攻关项目“四川盆地中西部三叠系重点含气层系天然气富集条件研究”通过评审验收，提出四川盆地上三叠统天然气具备深盆气的某些特征，并对其有利区进行了初步预测。

1996年1月，张金亮教授负责的国家“九五”重点科技攻关项目“中国中部深盆气成藏机制及潜力评价”项目（96 110 01 04）开始启动，下设3个二级专题，即鄂尔多斯盆地上古生界深盆气成藏机制及潜力评价、四川盆地上三叠统深盆气成藏机制及潜力评价及楚雄盆地上三叠统深盆气成藏机制及潜力评价，分别深入研究了上述3个盆地的深盆气成藏机制、气水分布特征和资源潜力评价。1996年4月5日，中国石油天然气总公司科技局组织有关专家对长庆石油勘探局“鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏形成的基本地质条件研究”项目进行论证，同意在总公司科技局立项开展专项研究。1997年3月25日~3月27日，总公司科技局组织总公司高级顾问王涛、中国科学院院士戴金星等16位专家在广州对该项目进行初步审查，并对鄂尔多斯上古生界能否形成深盆气进行专题研讨。专家的结论是鄂尔多斯上古生界具有与国外深盆气相似的特征；它也有自己的特色，具“满盆气”的特点，应该总结出具有鄂尔多斯特色的深盆气成藏模式，应用深盆气理论指导勘探实践。

1997年4月16日~4月18日，在西安举办了“深盆气藏学术讲座”，由深盆气研究专家、加拿大地质专家Gies主讲，包括总公司科技局、各大油田和有关高等院校的28位科研人员参加了研讨。我们通过与国内外专家交流，充分认识到，研究我国深盆气藏问题，不能简单地照搬和套用国外模式，只有发展我国自己的深盆气地质理论，才能取得天然气勘探的重大突破。

1999年1月，中国石油天然气集团公司科技发展部受国家科技部委托组织专家对

“中国中部深盆地成藏机制及潜力评价”项目进行了验收评价，认为本课题通过模拟实验结合国内外深盆地地质资料综合分析，对深盆地成藏机制进行了深入的研究，提出了一些新的思路，对今后进一步研究和勘探深盆地具有指导意义，研究水平总体属于国内领先。1999年11月，由张金亮、常象春和张金功完成的“鄂尔多斯盆地上古生界深盆地成藏机制及潜力评价”通过专家评定，鉴定结果认为该专题对深盆地分布规律的评价在理论上得出了创新性的认识，在深盆地成藏机制研究方面应用了新的方法，因此在深盆气的资源评价与勘探上具有重要意义，成果达到国际先进水平。

目前国内公开发表有关深盆地研究的学术论文有10余篇，主要涉及文献综述和实例研究两个方面。国外研究综述主要有：介绍国外深盆地研究现状，描述国外深盆地地质特征（林壬子、张金亮，1996；姜振学等，2000；张金亮等，2000）；探讨深盆地资源量——储量评价预测方法（张金川等，2001）；初步探讨深盆地的勘探对策（金之钧等，1999）；对深盆地开发方式的建议（张金川等，2000）；深盆地运聚成藏机理及主控因素的新认识（张金亮等，2000；李明诚，2001）。在国内研究实例中主要是以鄂尔多斯盆地上古生界研究居多，相关论文达4篇，涉及到四川盆地上三叠统深盆地的论文有4篇，楚雄深盆地2篇，江苏盐城深盆地1篇。主要包括：介绍鄂尔多斯深盆地成藏条件、气水分布特征，油气运聚成藏机理及有利区预测（张金亮等，2000；闵琪等，2000；孙粉锦等，2001）；预测鄂尔多斯盆地深盆地高产区带及深层天然气勘探中的储层伤害（李振铎等，1998，1999）；评述川西坳陷深盆地成藏地质条件、深盆地的成藏及改造机理（宋岩等，2001；张金亮等，2000，2002；王金琪，2001）；苏北盐城凹陷深盆地的研究（钱基等，2001）；介绍楚雄上三叠统深盆地成藏地质条件、建立初始成藏与后期改造成藏机理，预测深盆地有利分布区（张金亮等，2000，2002）。

在深盆地研究过程中，我们发现，目前国外深盆地的成藏机制也存在许多问题，仅从地质条件的类比，难于有效地指导我国深盆地的评价与勘探。而且国内在深盆地研究中的一些概念尚不明确，对深盆地的认识尚欠完善。因此，我们深入系统地开展了深盆地成藏机制及评价方法方面的研究，并首先对北美地区典型深盆地进行详细解剖，结合模拟实验分析深盆地成藏机制及主控地质因素，结合天然气勘探开发实践建立了不同地质条件下的不同成藏机理，然后据此制定评价方法，形成了对我国深盆地进行评价的整体技术思路。

## 第二节 深盆地的主要特征

1979年，Masters将发育于构造下倾部位或中央向斜部位砂岩中的天然气藏称为深盆地气藏（Deep basin gas trap），这类砂岩气藏的典型特征是气的上倾方向具有分离的气水界面，而下倾方向没有分离的气水界面，饱含气层与饱含水层之间通过气水过渡带相接。继Masters（1979）之后，Gies（1983），Cant（1983），Rose（1984），Law（1985），Berkenpas（1991）等对深盆地的研究也基本沿用Masters（1979）的定义，并在成因机理和解释上有了一些发展，如Gies（1984）强调了渗透性和浮力对深盆地形成的影响，Cant（1983）强调了成岩遮挡的作用，Law等（1985）强调了深盆地形成过程中异常压力的转换。从前人对深盆地的定义来看，有两点是最基本的，即气藏位于构造下倾部位或盆地中央，

没有或缺乏底水，而气藏上倾部位无传统意义上的盖层，且含有水。但无论如何，有关深盆地气藏的定义都基于“位于构造下倾部位或盆地中央，而且气藏上倾部位含水”这样的内涵之上。

## 一、深盆地气藏位于向斜盆地轴部或构造下倾部位，分布规模巨大

美国和加拿大发现的深盆地气藏多分布于向斜盆地轴部或构造下倾部位，而这些盆地多属前陆盆地或山间盆地。这些盆地多紧靠物源区，碎屑沉积活跃，沉降快速，海陆交互环境的含煤地层发育，成岩作用又加快了致密储层的形成，因此特殊的构造沉积环境成为深盆地气形成的有利场所。按深盆地气藏发育的构造背景，可将其分为斜坡型、前渊型和深凹型(图 1 1)。

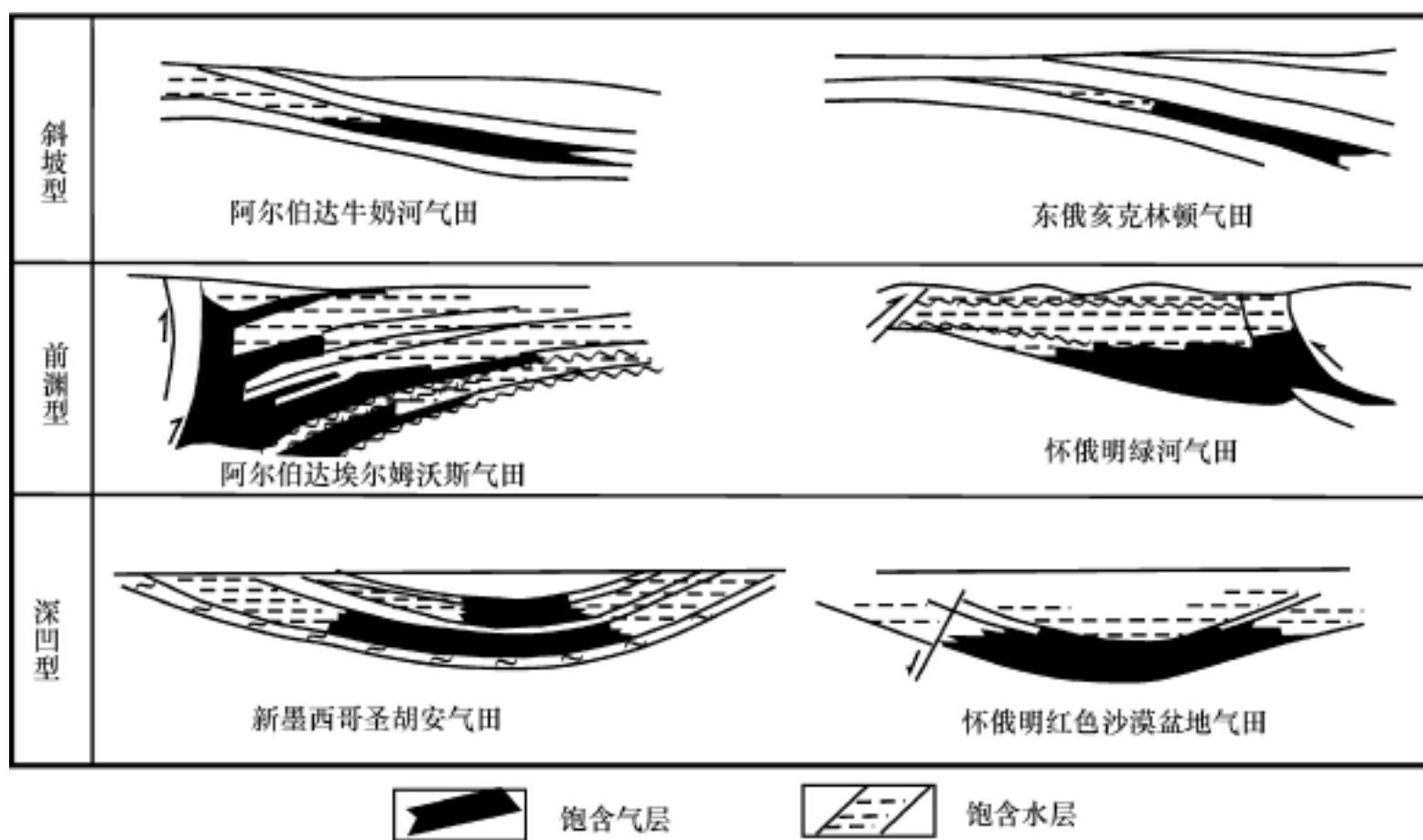


图 1 1 北美地区深盆地气藏分类图  
(引自钱基等，2001)

由于深盆地气藏的形成不需要传统意义上的构造圈闭，而且保持气水倒置特征，所以要求有区域性的地层倾斜。按照 Price (1994) 的含油气盆地分类，北美地区深盆地气藏发育的盆地主要为不对称克拉通盆地和前陆盆地，前者如圣胡安、丹佛和大绿河盆地，后者如阿尔伯达盆地。北美地区深盆气的分布特征表明，深盆地气藏可以发育在相对稳定的构造背景下，也可以发育在后期改造比较强烈的构造环境中。

阿尔伯达盆地深盆区自早白垩世以来便开始发育，早期的科迪勒拉造山带被推覆到这个前渊盆地的西部边缘上，从而产生了一个最大的沉降区——深盆 (Eisbacher 等，1974)。在盆地西部，上升的科迪勒拉带是早白垩世陆源碎屑的主要物源区。总体而言，盆地的沉降速度向南西沿倾向增大。尽管在早第三纪拉腊米造山运动使本区抬升，但并未影响西部

较低的构造格局。

圣胡安盆地白垩纪以来也表现为北厚南薄的古构造格局。自第三纪以来经历了3次大的构造抬升，但整体构造格局没有太大的变化。盆地面积约51800 km<sup>2</sup>，为一不对称状向斜盆地，向斜轴沿北西南东向延伸，并接近于盆地的东北部边界，故以向斜轴为界，东北翼陡峭，西南翼平缓，中部宽缓平坦。盆地内除了较新地层轻微褶皱以外，构造简单。圣胡安盆地地层沉积从寒武纪至第四纪，历经数次海进—海退作用影响，形成了最厚达4572 m的地层层系。在第三纪时，海水最终全部从该区退出，形成了广布的陆相河湖沼泽沉积地层，同时伴有强烈的构造作用，部分地区发生隆起和岩浆侵入。除三叠系和新生界为陆相碎屑岩沉积地层外，其余地层均以海相或海陆过渡相为主。作为该盆地天然气主要储层之一的白垩系（只发育上白垩统）主要由互层状海相砂页岩组成，厚度达1200~1600 m，沉积物粗细的有序变化构成了一个完整的海进海退旋回。上白垩统下部的Dakota组砂岩厚26~76 m，储气砂岩平均孔隙度7%，渗透率 $0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，产层厚度18 m，几乎在盆地各处都产气，拥有 $198.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的天然气可采储量；上白垩统中部的Mesaverde群包括了Point Lookout组、Menefee组和Cliff House组3套致密砂岩储层，最大地层厚度达到240 m，储气层平均孔隙度10%，渗透率 $1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，产层厚度24.4 m，平面长约110 km，宽60 km，占有 $311.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ 的可采天然气储量；上白垩统上部的地层同样是有利的深盆气储层，Pictuered Cliff砂岩组储层平均厚度24 m，含有巨大的可采天然气储量。

瓦腾伯格气田位于丹佛北部的盆地向斜轴部，J砂岩（也称Muddy砂岩）是瓦腾伯格气田的主要产层。J砂岩在早白垩世尼奥拉拉组沉积期末表现为相对隆起。隆起区地层厚度小于229 m，而向南向北分别变厚，最大超过274 m。但今构造图却表现为向斜。“J”砂岩埋深2300~2600 m，分布面积2400 km<sup>2</sup>，砂层厚度范围为23~46 m，纯产气层厚度3~15 m，据估计其中含有天然气储量 $3.68 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。该套储层为致密状，孔隙度介于8%~12%之间，渗透率为 $(0.05 \sim 0.005) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，“J”砂岩由Fort Collins段和Horsetooth段所构成，下伏的Fort Collins段砂岩为细至细粒状，为快速海退时的三角洲前缘、滨岸和海相砂坝砂岩。厚度为0~24.4 m，上覆为Horsetooth段砂岩由细至中粒的砂岩构成，分选度较高，为砂岩、粉砂岩和页岩的互层，为河流相沉积砂体，厚度变化为6~43 m。“J”砂岩中的这两个砂层段均产天然气，但主要的产气砂层仍是Fort Collins段。据估算，“J”砂岩的最终油气可采储量为 $37 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 天然气和3000万桶凝析油（1桶=119.24 L）。

目前所发现的深盆气藏的分布规模巨大，多数超过1万 km<sup>2</sup>。阿尔伯达盆地深盆气藏面积达67600 km<sup>2</sup>（图1 2），已探明天然气储量 $1.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，预测深盆气资源量达 $100 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。大绿河盆地深盆气藏面积约21250 km<sup>2</sup>，地质储量 $1.27 \times 10^{12} \text{ m}^3$ （图1 3）。圣胡安盆地深盆气藏面积9325 km<sup>2</sup>，地质储量 $0.91 \times 10^{12} \text{ m}^3$ （图1 4）。美国的圣胡安盆地、丹佛盆地、大绿河盆地、尤因塔盆地、皮申斯盆地、拉顿盆地等12个大型盆地中深盆气产量占到非常规天然气产量的69%。落基山地区盆地是美国深盆气藏开发的最成熟和最核心地区，1994年已在该地区发现深盆气证实储量 $5346.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，钻、完井1307口，使总生产井数达到19020口，当年产气量达到 $274.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。除圣胡安和丹佛盆地以外，在该地区目前已形成深盆气藏主要产能的盆地尚有大绿河盆地和尤因塔盆地等。其他有巨大潜力的盆地如风河、皮申斯等盆地的深盆气藏正待进一步扩大开发。

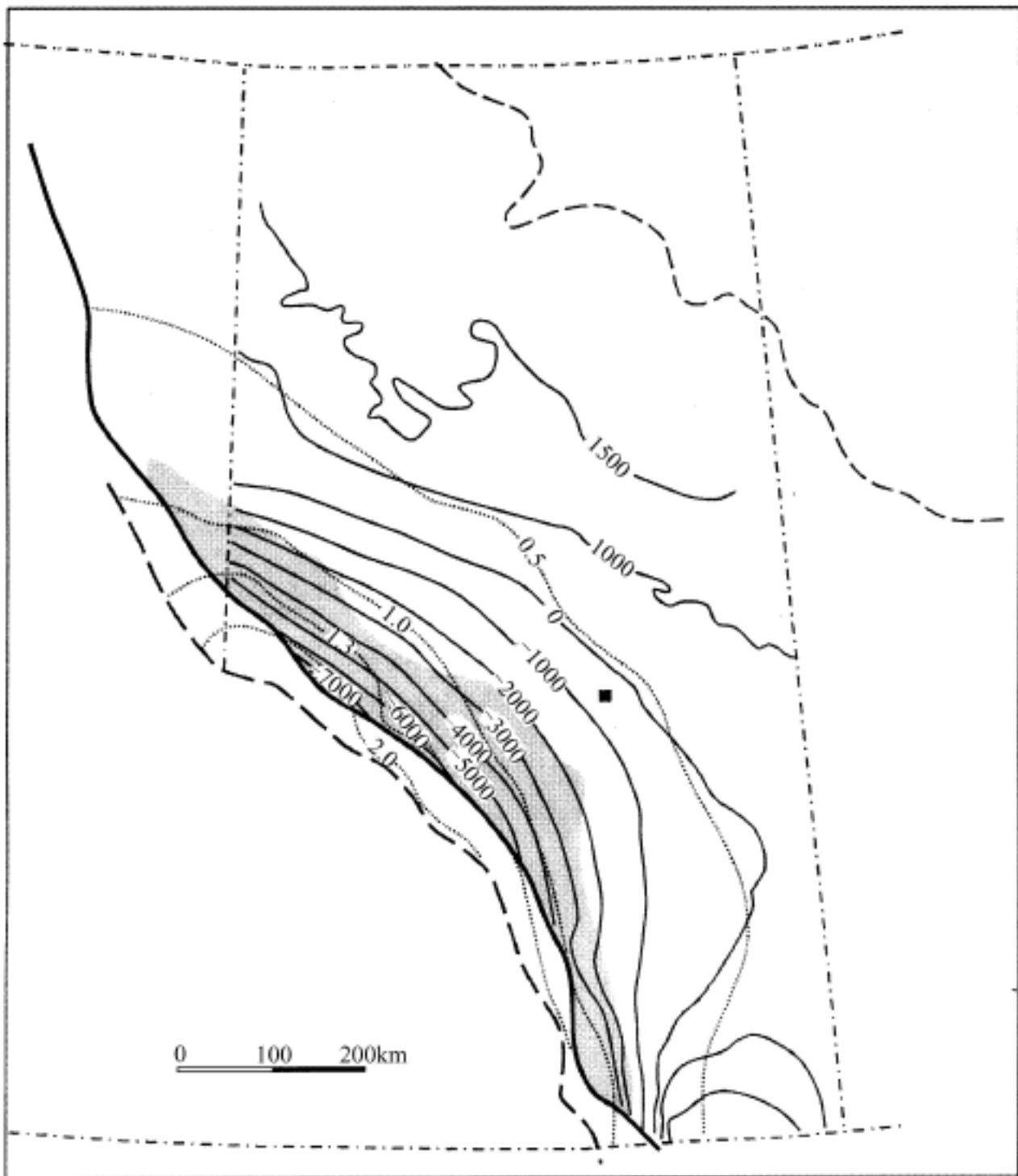


图 1 2 阿尔伯达深盆气藏的平面分布特征

(阴影部分为含气范围; 构造线为下白垩统顶面, 单位 ft, 1ft = 0.3048 m。据 Masters, 1984)

虚线  $R_0$  (%) , 实线构造线

## 二、深盆气藏埋深差别较大

深盆气藏位于向斜盆地轴部或拗陷深处, 深盆气分布区称深盆区, 但深盆区埋藏深度差别很大, 从百米到几千米不等。字面理解容易被误认为是聚集于盆地深部, 但深盆气藏与深层气藏是两个不同的概念。在国外深层油气指埋深在 4000 m 以下的油气资源, 在我国特指现今勘探层位以下的油气资源, 深度上主要指埋深在 3500 m 以下, 以及目前埋深虽不大, 但热演化程度比较高的古生代海相碳酸盐岩源岩生成的油气资源。深盆气藏在成分意义上并非指一种特殊的天然气, 与常规气藏天然气没有任何差别, 在分布意义上也不是指赋存于盆地深部的深层气藏, 它重点体现的是特殊的成藏地质条件下, 基于特殊的成藏机制和分布规律的气藏形式。事实上深盆气的埋深并不要求很大, 它只与盆地中构造上的深凹陷相关, 与气藏埋藏深度之间不

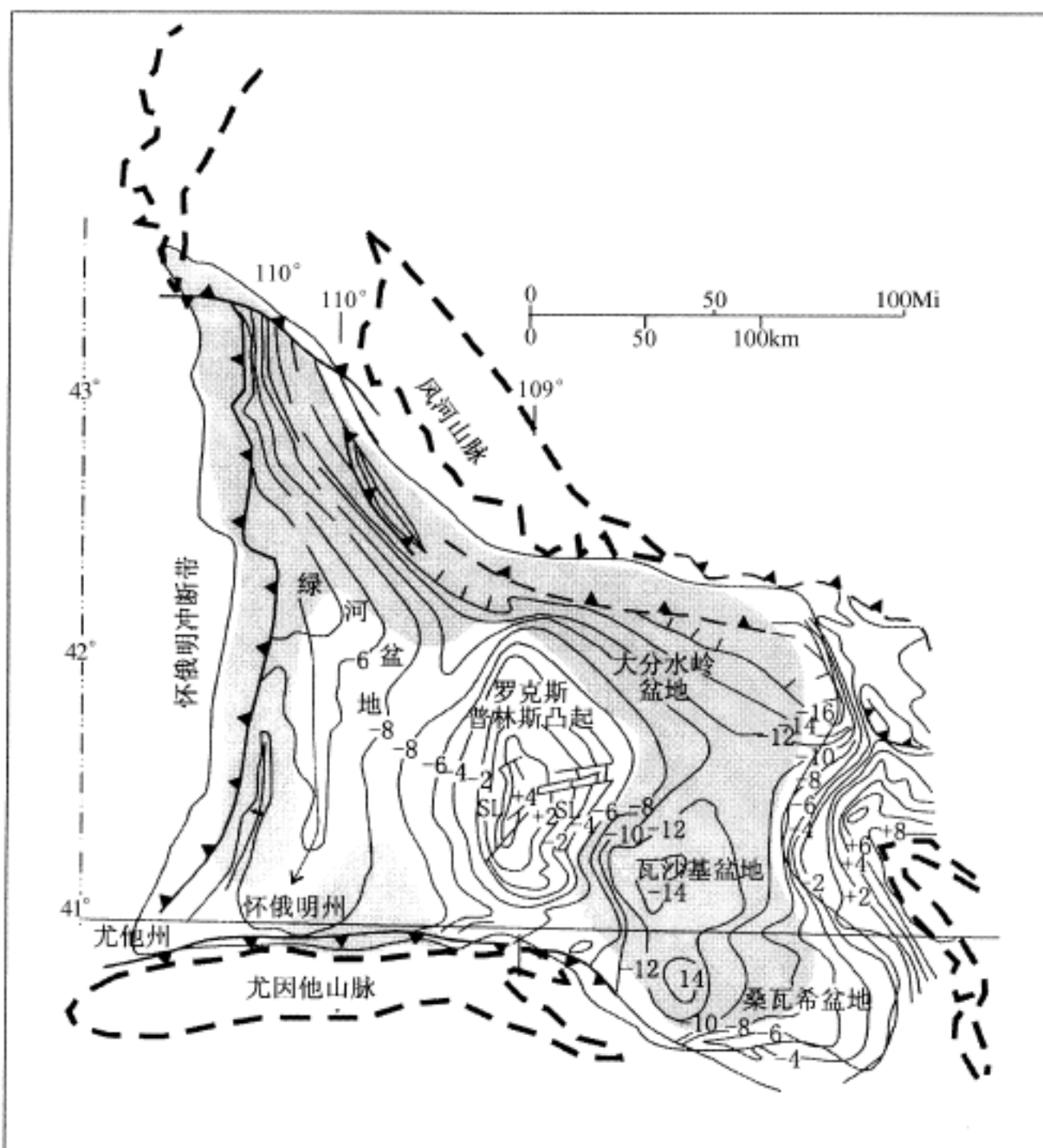


图 13 大绿河盆地构造和高压含气区平面分布特征

(阴影部分为含气范围；构造线为下白垩统 Dakota 砂岩顶部，单位 ft，1ft = 0.3048 m。据 Spencer, 1987, 修改)

存在直接联系,而且深盆气藏的分布也相当多样,有较为分散型的,也有较为集中型的。如阿尔伯达盆地牛奶河深盆气藏埋深在浅处不足 300 m,最大埋深也在几百米范围内,埃尔姆沃斯深盆气藏深度为 914 ~ 3000 m。大绿河盆地的深盆气分布为 2400 ~ 6100 m,圣胡安盆地布兰科气田埋深为 1600 ~ 2100 m,而丹佛盆地瓦腾伯格气田埋深介于 2300 ~ 2600 m。

### 三、深盆气藏气水关系倒置及气水特征

气水倒置是深盆气藏的重要标志之一。深盆气藏表现为在同一储层中在构造的上倾方向为饱和水层,下倾方向为饱和气层,气与水之间存在气水过渡带,气水边界不受构造等高线控制。气水过渡带的位置分布及规模大小受储层岩相及物性条件变化影响,饱和气层除了向构造上倾方向渐变为饱和水层外,无底水和边水存在。

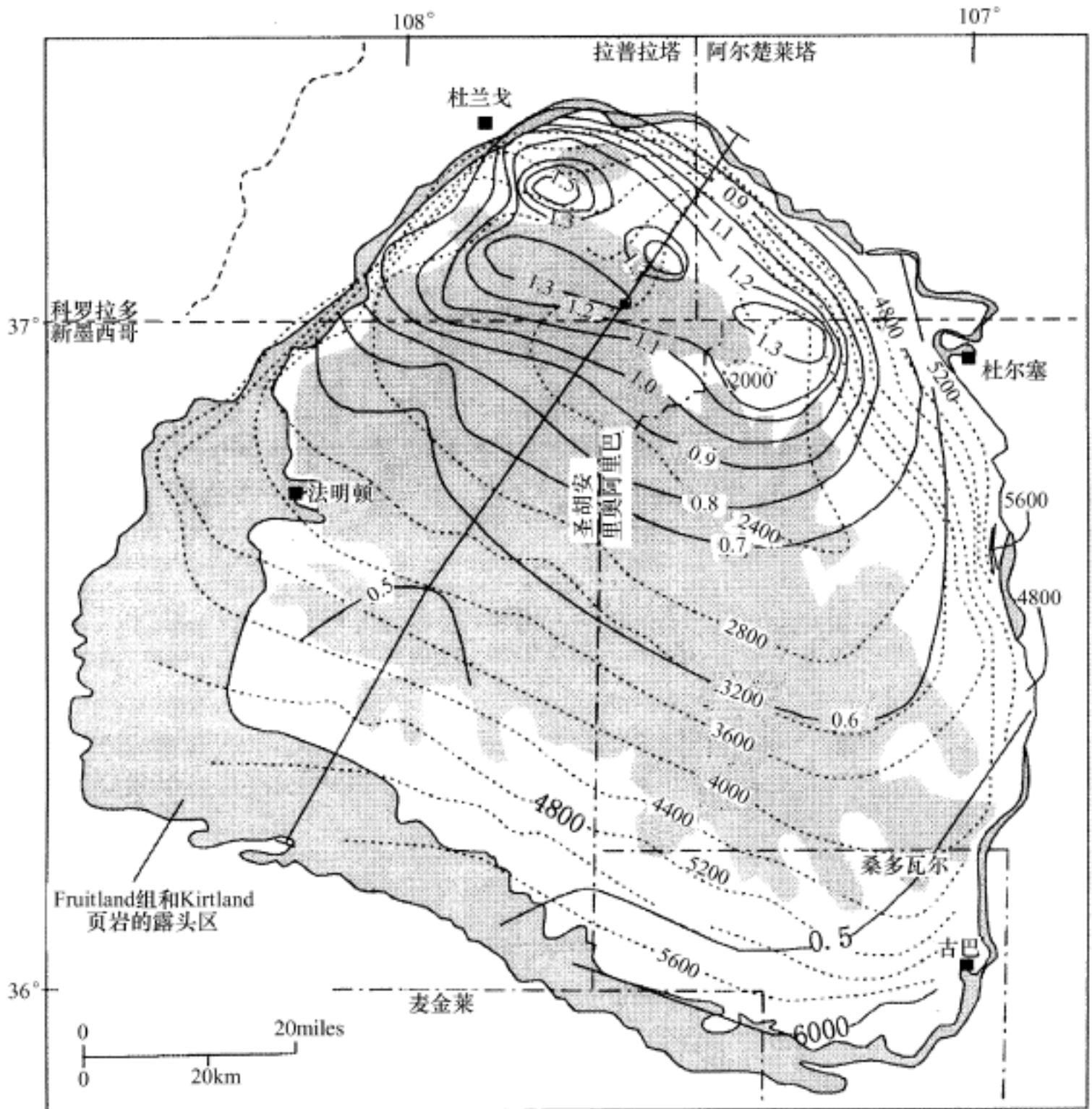


图 14 圣胡安盆地构造、源岩成熟度 ( $R_m$  (%)) 和深盆气藏平面分布特征

(阴影区为含气范围; 构造线(虚)为上白垩统 Lewis 页岩的 Huerfano bentonite 层顶面, 单位 ft, 1ft = 0.3048 m。

图据 Law 修改, 1992)

阿尔伯达盆地西侧深盆中分布有巨大的天然气资源, 主要含气储层是下白垩统致密砂岩, 在构造下倾方向上, 储层物性较差, 为饱和气; 在构造上倾方向上, 储层物性变好, 但饱和水 (图 15)。气层段和水层段之间没有岩性或构造阻隔, 仅表现为气、水含量百分比的逐渐过渡。气水过渡带的平面宽度在 10 km 左右, 深度范围一般在 760 ~ 1370 m 之间。深盆区整个中生界从大约 1000 m 以下全部为含气层, 天然气蕴藏于最大厚度达 3000 m 的狭长状楔形地层体内, 随着楔状体的向东减薄尖灭, 含气饱和度不断减小, 当含水饱和度达到 65% 时, 天然气相对渗透率接近于零, 此时不具备工业开采价值。在饱和气层内, 虽然有时产气量较小而不具备开采价值, 但也从没有出现过干井或产水井, 地层水全部为孤立孔隙水或吸附于连通孔隙壁上的束缚水。至西北端, 当整个砂岩相变为页岩相时, 含气楔状体逐渐消失, 储层上覆的区域盖层也在深盆区明显加厚。

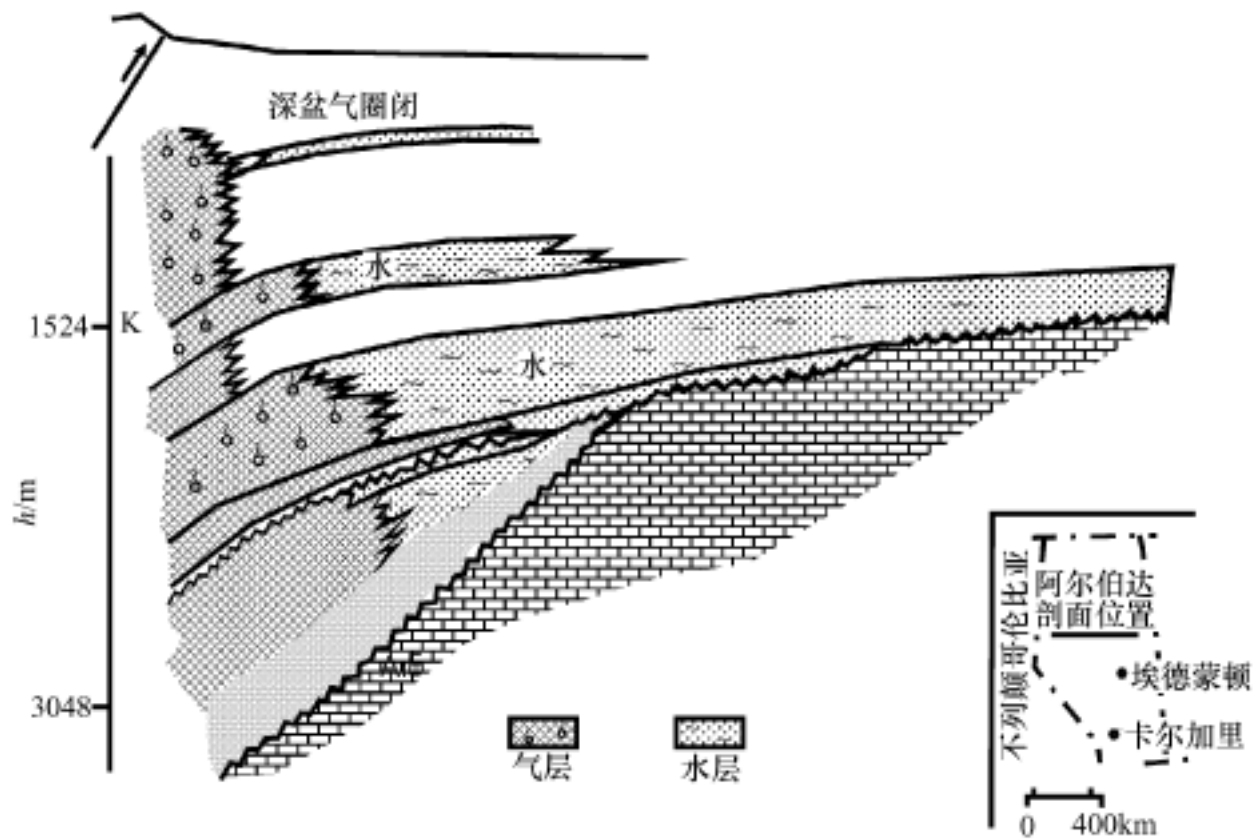


图 1 5 阿尔伯达盆地深盆气藏地质剖面图  
(据 Masters, 1979)

阿尔伯达盆地牛奶河气田北部下倾方向的含气粉砂岩向南经过约 16 km 的气水过渡带进入上倾含水层 (图 1 6)。下倾气层的孔隙度为 10% ~ 18%，渗透率低于  $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

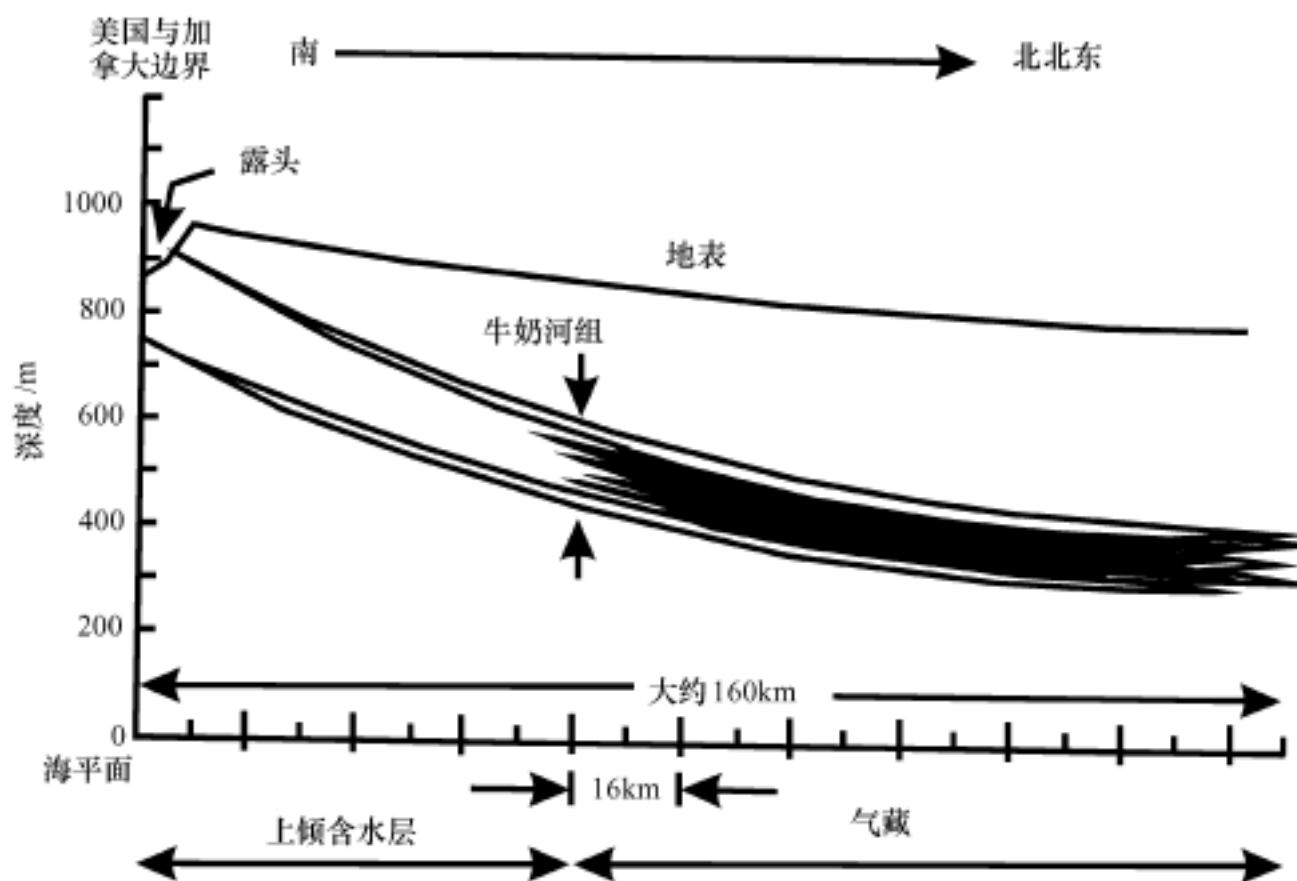


图 1 6 牛奶河气田气水分布剖面图  
(据 Berkenpas, 1991)  
黑色代表含气层