

页岩气

知识读本



主 编 汪 民
副主编 李金发 叶建良



科学出版社

页岩气知识读本

主 编 汪 民

副主编 李金发 叶建良



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本读本首先对页岩气勘探开发中常用名词术语进行了规范性定义；追溯了国外（主要是美国）页岩气发展历程，阐述了美国页岩气勘探开发的法规政策，并结合中国页岩气勘探开发实践，分析了国内外页岩气生成富集理论研究进展和勘探开发技术现状。介绍了页岩气资源评价方法，对中美页岩气资源评价方法进行了对比，着重介绍了“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目选区评价方法，包括页岩气选区标准、关键参数获取方法和资源量计算方法等。根据页岩气理论研究和勘探开发工作需要，系统介绍了页岩气实验测试技术、页岩气地球化学勘查技术、页岩气地球物理勘查技术、页岩气钻井完井技术和页岩气压裂技术，简要分析了页岩气勘探开发可能产生的环境影响。

本读本适用于进行页岩气理论研究和勘探、开发工作的科技人员及管理人员，也可供有关科研院所科研人员和大专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

页岩气知识读本 / 汪民主编. -- 北京 : 科学出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-03-036122-6

I. ①页… II. ①汪… III. ①油页岩—油气勘探—问题解答 IV. ①P618.130.8-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第287612号

责任编辑：韩 鹏 / 责任校对：李 影

责任印制：钱玉芬 / 封面设计：王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

中煤地西安地图制印有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年12月第 一 版 开本：889×1194 1/16

2012年12月第一次印刷 印张：8 3/4

字数：280 000

定价：89.00

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前言

页岩气作为一种清洁非常规能源，得到一些发达国家的高度重视和大力发展。尤其是美国页岩气的开发利用，不仅改变了美国的能源结构，也改变了世界能源格局。2011年美国页岩气产量已达1720亿 m^3 ，占天然气总产量的28%，使美国天然气资源基本自给。

我国拥有丰富的页岩气资源，国土资源部油气资源战略研究中心对我国页岩气资源初步评价显示，中国陆域页岩气地质资源潜力为134万亿 m^3 ，可采资源潜力为25万亿 m^3 (不含青藏地区)，与美国相当。美国能源信息署评估我国页岩气可采资源为36万亿 m^3 ，约占世界总量的20%，位居首位。

党中央、国务院高度重视页岩气资源，国土资源部、科技部、国家发改委、国家能源局颁布了《页岩气发展规划（2011~2015）》。开发利用页岩气资源，已经成为提高我国能源保障能力、优化能源结构的重要举措。

我国页岩气勘查开采还处在试验阶段，缺乏成功的经验和案例，页岩气知识尚未普及。为方便广大油气工作者和社会公众更好地了解相关知识，中国地质调查局组织有关专家，在收集大量资料基础上，编写了《页岩气知识读本》，以问答的方式对有关问题进行了梳理。编写过程中参考了大量文献，由于时间仓促，未能一一注明。同时，由于编者水平有限，难免存在疏漏和差错，恳请读者批评指正。

目 录

前 言

第 1 章 概 述	001
1. 什么是天然气.....	001
2. 什么是常规天然气	001
3. 什么是非常规天然气	001
4. 什么是页岩气.....	002
5. 页岩类型有哪些	002
6. 什么是致密砂岩气	003
7. 什么是煤层气.....	003
8. 页岩气与常规天然气、煤层气、致密砂岩气的对比	004
第 2 章 国内外页岩气勘探开发进展	008
1. 美国页岩气发展历程	008
2. 美国主要产气页岩基本特点	011
3. 美国支持页岩气勘探开发的法规政策.....	012
4. 中国页岩气发展历程	013
5. 国内外页岩气生成富集理论研究进展.....	018
6. 国外页岩气实验测试技术现状	019
7. 我国页岩气实验测试技术存在的问题.....	019
8. 地球物理勘查技术现状.....	020
9. 钻完井技术现状	021

10. 压裂技术发展现状	022
--------------------	-----

第3章 页岩气资源评价方法 026

1. 资源评价有关术语	026
2. 页岩气资源储量评价有哪些方法	027
3. 中美页岩气资源评价方法对比	029
4. “全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目采用的参数 ...	030
5. “全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目采用的计算方法	031
6. “全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目中资源潜力评价结果	032
7. 美国能源信息署是如何计算出中国页岩气可采资源为36万亿 m^3	032
8. 美国页岩气储量评价采用的标准体系	032
9. “全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目选区评价方法	033

第4章 页岩气实验测试技术 037

1. 实验测试技术主要名词、术语	037
2. 页岩气实验测试技术分类	040
3. 岩石薄片制作及鉴定	041
4. 扫描电镜	041
5. 电子探针分析	042
6. X射线衍射分析和黏土矿物测定	042
7. QEMSCAN矿物分析法	043
8. 岩石敏感性分析	043
9. 脉冲式岩石渗透率测试方法	044
10. 氦离子光束抛光制样技术	044

11. 背散射电子成像	045
12. 比表面积测定	046
13. 压汞和比表面联合测定微孔结构技术	046
14. 岩石力学参数测试	047
15. 岩石单轴/三轴抗压强度测试	047
16. 声发射	048
17. 岩石总有机碳含量测定	048
18. 岩石热解分析	049
19. 岩石氯仿沥青“A”含量测定	049
20. 镜质组体反射率测定	049
21. 干酪根制备	050
22. 干酪根元素分析	050
23. 干酪根显微组分及类型分析	050
24. 多组分显微荧光探针(FAMM)分析技术	051
25. 页岩气组分分析方法	052
26. 有机质稳定碳同位素分析	052
27. 泥页岩含水量测定	053
28. 页岩含气量测定方法	053
29. 常规油气地球化学分析测试项目及标准	055
第 5 章 页岩气地球化学勘查技术	061
1. 地球化学勘查在页岩气勘查中的作用	061
2. 烃类微渗漏理论	062
3. 页岩气地球化学勘查阶段划分	062
4. 页岩气地表地球化学勘查指标	062
5. 土壤和地下水烃类气体测量法	063
6. 土壤 ΔC 法	064

7. 碳同位素法.....	064
8. 汞量测量法.....	065
9. 放射性测量法.....	065
10. 水化学测量法.....	066
11. 微生物测量.....	066
12. 罐顶气轻烃录井.....	067

第6章 页岩气地球物理勘查技术..... 068

1. 常用页岩气地球物理勘查技术.....	068
2. 地球物理技术在页岩气勘探中的作用.....	069
3. 页岩气“甜点”地球物理预测技术.....	069
4. 页岩气地震资料解释.....	070
5. 地震勘探页岩气技术难点.....	070
6. 泥页岩岩石物理技术.....	071
7. 微地震在页岩气开发中的应用.....	072
8. 页岩气勘探常用的测井方法.....	073
9. 页岩气重磁电等非地震物探技术应用情况.....	075
10. 泥页岩与其他岩石的物性差异.....	076
11. 富有机质泥页岩与贫有机质泥页岩的物性的差异.....	078
12. 含气泥页岩与不含气泥页岩的物性区别.....	080

第7章 页岩气钻井完井技术..... 082

1. 术语.....	082
2. 水平井开采页岩气具有哪些优势.....	086
3. 页岩气水平井施工主要步骤.....	087
4. 页岩气水平井钻完井相关技术.....	087
5. 我国水平井钻完井技术存在哪些差距.....	088



6. 井底随钻测量仪器可获取的钻井参数.....	089
7. MWD、WL-MWD、MP-MWD、EM-MWD、LWD之间有哪些 功能性的区别.....	090
8. 我国电磁波随钻测井(仪器)开发现状	091
9. 地质导向钻井技术应用于页岩气钻井具有哪些优势	092
10. 国外地质导向钻井技术现状	092
11. 我国地质导向钻井技术开发现状	093
12. 常用孔底动力钻具的功能性区别	094
13. 旋转导向钻井技术用于页岩气水平井钻进可取得哪些良好效果	096
14. 国外典型的旋转导向钻井工具	096
15. 国产旋转导向钻井工具研究现状	098
16. 页岩气开发为何采用欠平衡钻井技术.....	098
17. 我国欠平衡钻井技术进展.....	098
18. 旋转磁中靶导向技术	099
19. 页岩气水平井钻井液选取的特殊性.....	100
20. 页岩气固井水泥的要求.....	101
21. 随钻成像测井技术在页岩气井中的作用	101
22. 页岩气井的完井方式	102
第 8 章 页岩气压裂技术	104
1. 页岩气压裂常用名词与术语	104
2. 为什么要对页岩气储层实施压裂改造.....	105
3. 页岩气储层压裂改造特点.....	105
4. 影响页岩气储层压裂改造效果的关键地质因素.....	106
5. 国外页岩气储层压裂改造关键技术.....	107
6. 页岩气水力压裂模拟技术.....	107
7. 定向射孔的目的	108

8. 重复压裂和同步压裂作用.....	108
9. 国外水平井分段压裂主体技术.....	108
10. 页岩气压裂液体系及其特点.....	110
11. 高强低密度支撑剂的作用与特点.....	111
12. 页岩气压裂裂缝监测.....	111
13. 微地震监测.....	111
14. 国内页岩气压裂存在的主要技术难题.....	112

第9章 页岩气勘探开发环境影响问题..... 114

1. 页岩气勘探开发对环境的主要影响.....	114
2. 美国页岩气勘探开发环境影响问题的监管措施.....	114
3. 美国页岩气勘探开发污染防治政策.....	115
4. 美国密歇根州页岩气勘探开发环境保护技术措施.....	115
5. 我国页岩气勘探开发环境影响评价监管现状.....	116
6. 我国页岩气勘探开发中的环境污染防治措施.....	116
7. 页岩气影响地下水环境、土壤环境和大气环境的途径.....	118
8. 美国页岩气勘探开发中水资源重复利用方法.....	118
9. 目前所知的压裂液组成及其危害有哪些.....	119
10. 页岩气勘探开发环境影响评价的难点与关键技术.....	120
11. 页岩气勘探开发环境影响监测.....	120
12. 我国页岩气勘探开发环境影响科技攻关的主要方向.....	121

主要参考文献..... 122

页岩气常用术语中英文对照..... 124

第1章 概述

1. 什么是天然气

广义来说，天然气是指自然界中天然存在的一切气体，包括大气圈、水圈、生物圈和岩石圈中各种自然过程形成的气体。而常用的“天然气”定义，是从能量角度出发的狭义定义，是指天然蕴藏于地层中的烃类和非烃类气体的混合物。天然气包括常规天然气和非常规天然气两类。

2. 什么是常规天然气

能够用传统的油气地质理论解释，并能够用常规技术手段开采的天然气，称为常规天然气。常规天然气一般赋存于圈闭内物性较好的储层中，不经过改造就能开发、生产、利用。

3. 什么是非常规天然气

非常规天然气是指那些难以用传统油气地质理论解释，不能用常规技术手段开采的天然气。储层普遍具有低孔、低渗、连续成藏的特点，必须进行储层改造才能开采。非常规天然气主要有：页岩气、煤层气、致密砂岩气、天然气水合物等（图1.1）。

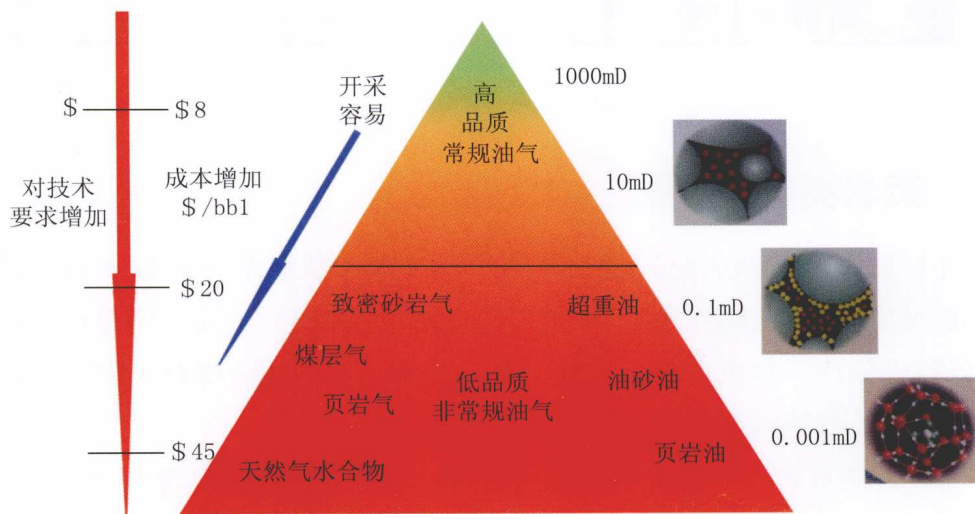


图1.1 常规和非常规油气关系图

1bb1=42gal=159dm³, 1mD=0.9869×10⁻³μm

4. 什么是页岩气

页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层中，以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气，成分以甲烷为主。

页岩气的主要特点：页岩气以热解或生物成因为主，主要以吸附状态和游离状态两种形式存在于页岩孔隙、裂隙中（图1.2）。页岩气藏具有自生自储、无气水界面、大面积连续成藏、低孔、低渗等特征，必须采用先进的储层改造工艺才能实现页岩气的商业性开发。

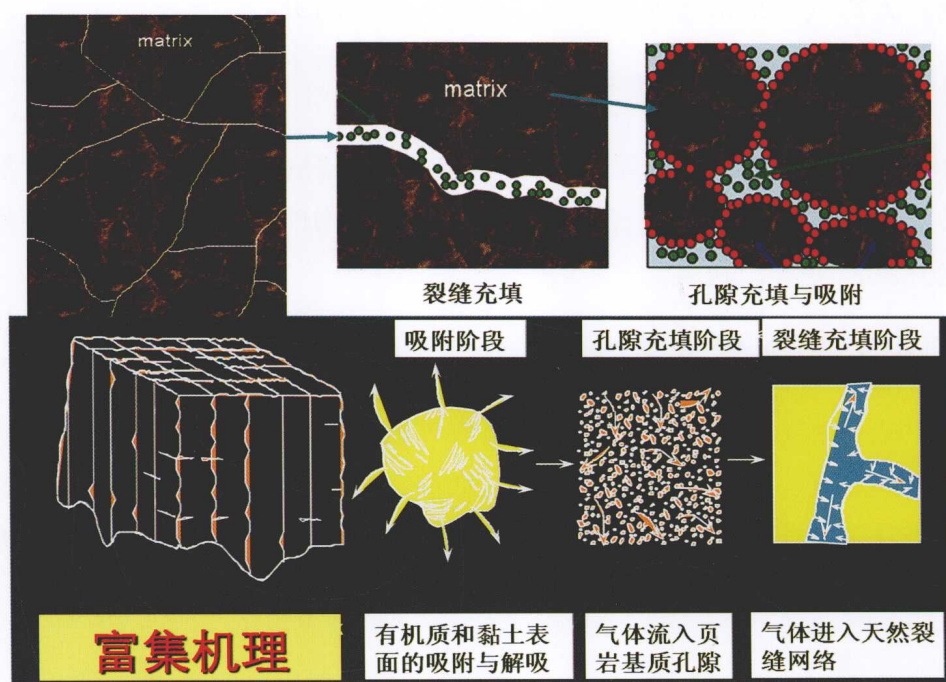


图1.2 页岩气富集示意图

5. 页岩类型有哪些

(1) 页岩：一种成分较复杂具薄页状或薄片状层节理的黏土岩，是弱固结的黏土经较强的压固作用、脱水作用、重结晶作用后形成。用锤打击时，很容易分裂成薄片。颜色多种，有绿、黄、红等。它的成分除黏土矿物外，尚混入有石英、长石等碎屑矿物及其他化学物质。

(2) 钙质页岩：一种富含 CaCO_3 的页岩，滴稀盐酸起泡，但岩石的 CaCO_3 含量不超过25%，若超过25%即成为泥灰岩。常见于陆相红色地层及海相钙泥质岩系中。



(3) 铁质页岩：一种含少量铁的氧化物、氢氧化物、碳酸盐（菱铁矿）及铁的硅酸盐（鲕绿泥石、鳞绿泥石）的页岩。常呈红色或灰绿色。产于红层、煤系地层及海相砂泥质岩系中。

(4) 硅质页岩：一种富含游离 SiO_2 的页岩。若岩石中游离 SiO_2 含量增高，即向生物化学成因的硅质岩过渡。它比普通页岩硬度大，常与铁质岩、锰质岩、磷质岩及燧石等共生。成因有生物的、火山的及化学的。

(5) 黑色页岩：一种富含有机质及分散状黄铁矿的页岩。外貌与炭质页岩相似，但不污手。厚度大时，可成为良好的生油岩系，它是一种循环极差的停滞水环境（如深湖、深海、淡化潟湖等）的沉积产物。

(6) 炭质页岩：一种含大量分散的炭化有机质的页岩。能污手，但含灰分高，故不易燃烧。常形成于湖泊、沼泽环境，与煤层共生。

(7) 油页岩：一种棕色至黑色纹层状页岩。含液态及气态的碳氢化合物，含油率一般为4%~20%，最高可达30%，质轻，具油腻感，用指甲刻划时，划痕呈暗褐色；用小刀沿层面切削时，常呈刨花状薄片；用火柴燃点时冒烟，具油味。据以上特征可区别于炭质页岩。油页岩主要是低等生物遗体及黏土物质在闭塞海湾或湖泊环境中共同埋藏后，在还原条件下转化形成。

6. 什么是致密砂岩气

致密砂岩气简称致密气。一般指赋存于孔隙度低($<10\%$)、渗透率低($<0.5\text{mD}$ 或 $<0.1\text{mD}$)砂岩储层中的天然气，一般含气饱和度低($<60\%$)、含水饱和度高($>40\%$)。致密砂岩气一般归为非常规天然气，但当埋藏较浅、开采条件较好时也可做为常规天然气开发。

与常规天然气藏相比，致密砂岩气藏具有以下重要特征：

(1) 低孔渗性。国内一般将致密砂岩气的储层物性条件界定为孔隙度小于10%。

(2) 具地层压力异常。原生致密砂岩气藏都属超高压，由于盆地后期抬升运动，气藏会逐步变为常压或负压。

(3) 气水关系复杂。油、气、水的重力分异不明显。

7. 什么是煤层气

煤层气，是指赋存在煤层中以甲烷为主要成分，以吸附在煤基质颗粒表面为主，部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体，是煤的伴生矿产资



源，属非常规天然气。

煤层气属于自生自储式，煤层既是气源岩，又是储集岩。煤层气主要以吸附态赋存于煤孔隙中（70%~95%），少量以游离状态自由地存在于割理和其他裂缝或孔隙中（10%~20%），极少量以溶解态存在于煤层内的地下水中。煤层气特有的产出机理：排水—降压—解吸—采气，煤层气井通过排水来降低储层压力，使得甲烷分子从煤基质表面解吸，进而在浓度差的作用下由基质中的微孔隙扩散到割理中，然后在割理系统中运移，最后在流体势的作用下流向生产井筒。

8. 页岩气与常规天然气、煤层气、致密砂岩气的对比

生成条件相同。页岩气成藏的生烃条件及过程与常规天然气藏类同，泥页岩的有机质丰度、有机质类型和热演化特征决定了其生烃能力和时间。

运移模式不同。页岩气成藏体现出无运移或短距离运移的特征，泥页岩中的裂缝和微孔隙成了主要的运移通道；而常规天然气成藏除了烃类气体在泥页岩中的初次运移以外，还需通过断裂、孔隙等输导系统二次运移进入储集层中。

储集层和储集空间不同。常规天然气储集于碎屑岩或碳酸盐岩的孔隙、裂缝、溶孔、溶洞中；页岩气主要储集于泥页岩层系黏土矿物和有机质表面、微孔隙中（图1.3）。

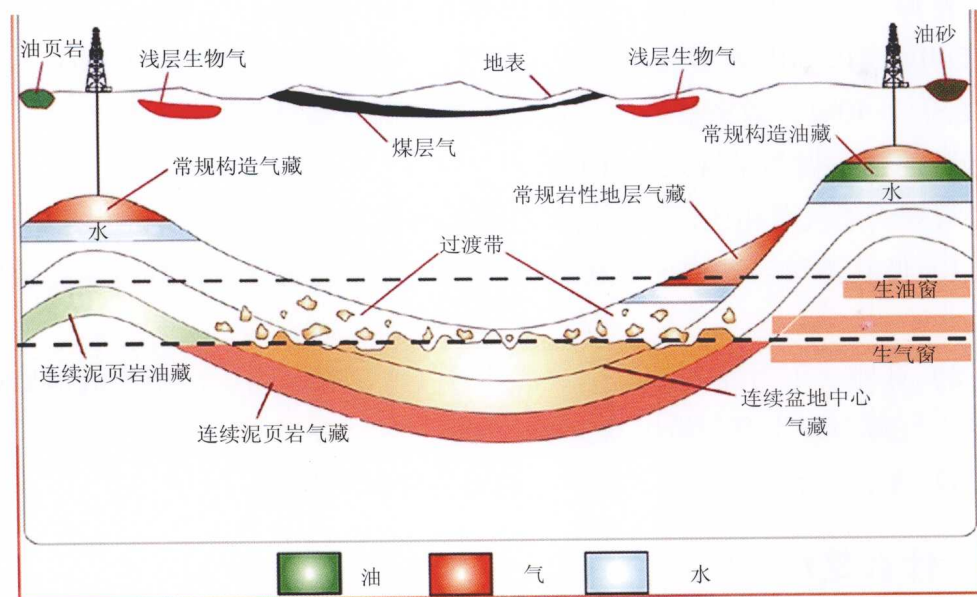


图1.3 页岩气藏与其他类型气藏关系示意图（据Schenk和Pollastro, 2001修改）



赋存方式存在差异。常规天然气以游离赋存为主，页岩气以吸附和游离赋存方式为主。

成藏条件不同。常规天然气需生、储、盖组合；页岩气属于自生自储，连续成藏。页岩气的成藏过程和成藏机理与煤层气极其相似，吸附气成藏机理、活塞式气水排驱成藏机理和置换式运聚成藏机理在页岩气的成藏过程中均有体现，进行页岩气的勘探开发研究，可以在基础地质条件研究的基础上，借助煤层气的研究手段，解释页岩气成藏的特点及规律。

页岩气与常规天然气、致密砂岩气、煤层气对比见表1.1。

表1.1 常规天然气与非常规天然气对比表

对比项目	常规天然气	页岩气	煤层气	致密砂岩气
界定	浮力作用下, 聚集于储层顶部的天然气	主要以吸附和游离态聚集于泥/页岩系中的天然气	主要以吸附状态聚集于煤层系地层中的天然气	不受部分不受浮力作用控制, 以游离相聚集于致密储层中的天然气
气源 (成因)	多样化	生物气或热成熟气	生物气或热成熟气	热成熟气为主
储层介质	孔隙性砂岩、裂缝性碳酸盐岩等	页/泥岩及其间的砂质夹层	煤层及其中的碎屑夹层	致密储层及其间的泥、煤质夹层
主要成分	甲烷为主, 乙烷、丙烷等含量变化较大	甲烷为主, 少量乙烷、丙烷	甲烷为主	甲烷为主, 乙烷、丙烷等含量变化较大
赋存状态	各种圈闭的顶部高点, 不考虑吸附影响因素	20%~80%为吸附, 其余为游离和水溶	85%以上为吸附, 其余为游离和水溶气	吸附气量小于20%, 砂岩底部含气, 气水倒置
埋深	埋深有深有浅, 一般大于1500m	埋深有深有浅	一般小于1500m	一般小于1500m
成藏时间	圈闭形成和天然气开始运移之后	天然气开始生成之后	煤层气开始生成之后	致密储层形成和天然气大量生成之后
成藏特点	生、储、盖合理组合	自生、自储、自保	自生、自储、自保	生、储、盖合理组合
成藏动力	浮力、毛细管力、水动力	生气膨胀力、毛细管力、静水压力、水动力等	生气膨胀力、毛细管力、静水压力、水动力等	生气膨胀力、毛细管力、静水压力、水动力等
运聚特点	二次运移成藏	初次运移为主	初次运移成藏	初次—二次运移成藏
储层结构及条件	多为单孔隙结构, 双孔隙结构 低渗: K 为0.1~50mD 中渗: K 为50~300mD 高渗: K >300mD	纳米级孔隙 低孔、低渗特征 Φ 为4%~6% K <0.001mD	双重孔隙结构 (基质和割理系统) Φ 为1%~5% K 为0.01~5mD	微孔隙 Φ <10% K <0.5mD或<0.1mD
主控地质因素	气源、输导、圈闭等	成分、成熟度、裂缝等	煤阶、成分、埋深等	气源、储层、源储关系等

续表

对比项目	常规天然气	页岩气	煤层气	致密砂岩气
分布特点	构造较高部位的多种圈闭	盆地古沉降-沉积中心及斜坡	具有生气能力的煤岩内部	盆地斜坡、构造深部位及向斜中心
勘探开发模式	滚动勘探开发或先勘探后开发	滚动勘探开发	滚动勘探开发	滚动勘探开发
开采范围	在圈闭范围内	大面积连片开采	大面积连片开采	大面积连片开采
成藏及勘探有利区	正向构造(圈闭)的高部位	3000m以浅的页岩裂缝带	3000m以浅的煤岩成熟区、高渗带	紧邻烃源岩储层中的“甜点”
井距	井距大,可采用单井,一般用少量生产井开采	必须采用井网,井的数量较多	必须采用井网,井的数量较多	必须采用井网,井的数量较多
储层压力	超压或常压	欠压或常压	欠压或常压	欠压或常压
产出机理	气体在自然压力下向井筒渗流,并服从达西定律;在近井地带可出现紊流	大规模压裂产气,早期以大孔隙和裂缝中游离气的达西流为主,稳定期以基质孔隙内的游离气和吸附气解吸-扩散-渗流为主	通过排水降压,气体在压力下降后解吸,在微孔中扩散,然后经裂隙渗流到井筒	压裂后气体经过致密基块-天然裂缝-水力裂缝-井筒的跨尺度、多种传质等复杂过程,气体流动包括扩散和渗流
初期单井产量	高	低	低	低
增产措施	一般不需要	一定需要	一定需要	一定需要
开采工艺技术	较简单常规工艺技术	主要有水平井+多段压裂技术、清水压裂技术、同步压裂技术等	裸眼完井技术,定向羽状水平井,水力压裂、排水采气工艺技术等	较复杂必需压裂
生产特点	采收率高,初始产气量大,随时间而降低,无水或很少水产出,气/水随时间而减少	采收率低,生产周期长,无水或很少水产出,气产量随时间增加,直至达最大值,然后下降	采收率低,气产量随时间增加,直至达最大值,然后下降,气/水随时间而增大	早期高产,一段时间后供气明显不足,压力急剧降低,稳产困难