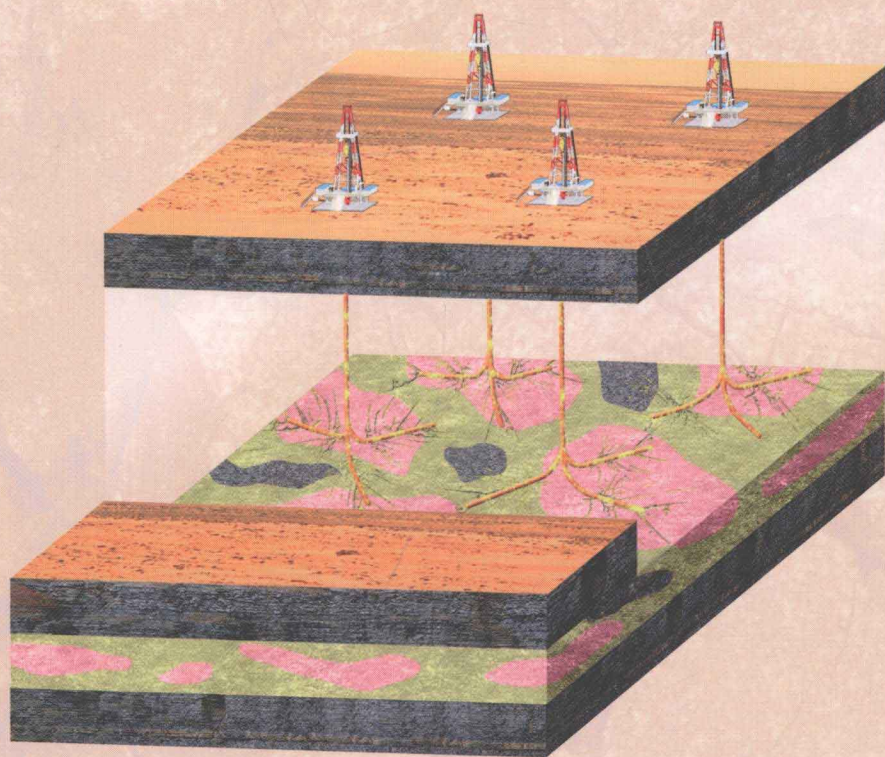


中国中低丰度天然气资源 大型化成藏理论与勘探开发技术

赵文智 王红军 曹 宏 何东博 等 著



科学出版社

中国中低丰度天然气资源 大型化成藏理论与勘探开发技术

赵文智 王红军 曹 宏 何东博等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为国家重点基础研究发展计划(“973”计划)“中低丰度天然气藏大面积成藏机理与有效开发的基础研究”项目(编号 2007CB2095)研究成果,由三篇组成:第一篇,中国中低丰度天然气资源大型化成藏的地质理论与资源分布,系统论述了中低丰度天然气藏群大型化成藏的机理和分布规律,初步构建了中低丰度天然气资源形成的地质理论;第二篇,中低丰度天然气藏地震识别理论、技术及应用,重点探讨了低孔渗、部分饱和气的介质中地震波传播规律,阐述了新的理论模型和针对性的气藏识别配套技术及应用实例;第三篇,中低丰度天然气藏有效开发基础理论与关键方法技术,重点介绍了“甜点富集区”客观描述、双(多)重孔隙介质非线性流动机制、开发模式和井网优化、水平井分段压裂与转向均匀酸化酸压储层改造方面的技术研究成果。

本书可供从事天然气勘探开发的科研人员、高校师生、油田生产部门的技术和管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国中低丰度天然气资源大型化成藏理论与勘探开发技术/赵文智等著.
—北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-037308-3

I. ①中… II. ①赵… III. ①气藏-形成-研究-中国②油气勘探-技术开发-中国 IV. ①P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 076205 号

责任编辑:王 运 韩 鹏 / 责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 5 月第一次印刷 印张:23

字数:550 000

定价:189.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

主要作者名单

赵文智	王红军	曹 宏	何东博	卞从胜
柳广弟	汪泽成	冉启全	杨贤友	巴 晶
熊春明	童 敏	徐安娜	孙明亮	徐兆辉
李永新	闫 林	赵长毅	王云鹏	王兆云
杨志芳	杨慧珠	王铜山	石玉梅	位云生
冀 光	丁云宏	徐右平	刘 炯	杨振周

序

能源发展事关国家安全大局，已成为当今国际地缘政治格局的重大焦点，备受各国高度关注。长期以来，全球以煤炭和石油为主体的能源消费结构，产生了大量的二氧化碳，对人类的生存环境造成巨大压力。天然气是比煤炭和石油更加清洁的化石能源，在一次能源消费结构中加大天然气的消费比例，无疑会对减少温室气体排放、改善人类生存环境产生重大影响。

和美国、俄罗斯等国相比，我国天然气工业起步较晚，天然气在一次能源消费结构中的比重很低。但是，我国是一个天然气资源相当丰富的国家，大规模开发利用天然气，从而减少对煤炭的依赖，不论对保证国家能源安全还是改善环境都具有重大意义。

我国天然气资源总量丰富，但资源品位总体偏差。中低丰度天然气资源比例偏高，超过70%，这类天然气资源的成藏分布规律相当特殊。因此，对上述气藏的成藏机理与形成分布特征开展探索研究，不仅从客观上预测了这类天然气资源的分布，而且把我国中低丰度天然气资源的成藏特征升华成理论认识，使该项成果具有重要的理论和应用价值。

非常高兴地看到，以赵文智教授为首席科学家的国家“973”计划天然气二期基础研究项目“中低丰度天然气藏大面积成藏机理与有效开发的基础研究”，组织了一批有创新能力的中青年专家学者，从2007年开始，历时五年，重点研究了我国中低丰度天然气资源形成分布与规模有效开发的基础理论问题，提出了一整套有关中低丰度天然气资源大型化成藏的地质新认识，创新开发了多项面对气水分异更复杂的气藏地震有效识别特色技术和低孔渗气藏规模有效开发的理论与配套技术等。这部专著就是在五年研究成果的基础上经过凝练提升而成，是对我国特殊地质条件下天然气成藏特征的深度剖析和归纳总结。在成藏机理与成藏特征方面，提出了一系列有独到见解的创新认识，读后给人以深刻启迪。在气藏地球物理识别方面，由于这类气藏的气水分异复杂、含气饱和度空间变化大，有效预测这类气藏和定量评价其中含气饱和度的空间变化是世界级难题。这项研究成果攻克了一系列岩石物理和复杂气藏有效识别方面的基础理论问题，研发出多项特色识别评价新技术。在低孔渗天然气藏有效开发方面，这项成果在渗流机理研究基础上，通过井网优化，优先开发“甜点”储层中的天然气储量，并带动周围致密储层中天然气储量的有效动用，成功解决了边际性很强的低丰度天然气储量规模动用问题，不仅增加了可动用储量，而且为今后大规模有效动用我国低品位天然气储量做了有益的探索 and 有效开发技术的准备。

这部天然气专著，是在前人理论上，对我国天然气地质理论的完善和发展，具有很高的学术价值，是一部可供相关科研人员和大专院校师生使用的参考书。相信这部专著的出版，一定会促进我国天然气资源的发现和中低丰度天然气储量的开发动用，特向读者推荐此书。

中国工程院院士

2012年7月9日

前 言

2007年7月,科技部启动了“973”基础研究项目“中低丰度天然气藏大面积成藏机理与有效开发的基础研究”,依托中国石油天然气集团公司,聘任中国石油勘探开发研究院赵文智教授为项目首席科学家,项目起止时间为2007年7月至2011年8月。中国石油勘探开发研究院、中国石油大学(北京)、清华大学、中国科学院广州地球化学研究所等8个单位近百位专家学者参与研究。

本项目重点研究三方面的科学问题:①中低丰度天然气藏成藏机理与分布规律,为天然气藏有效勘探发现提供理论基础;②双孔双相介质地震波场模拟与黏弹性波动方程地震波传播规律,为中低丰度天然气藏地震有效识别预测提供理论基础与有效识别技术;③有效储层构型、渗流规律与高效改造方法,为中低丰度天然气藏有效开发提供理论基础与实用有效技术。

研究目标是:建立中低丰度天然气藏形成与分布的地质理论基础,有效拓展勘探领域;研究中低丰度气藏地震波传播机理与规律,研发地震有效识别新技术,提高气藏特别是气水分异度较差的低丰度气藏的发现成功率,有效增加天然气储量;揭示非均质大型复合储集体分布与气藏非线性渗流规律,有效改善低品位气藏开发的经济性,较大规模开发动用低效储量,增加天然气产量。通过基础理论和方法技术创新,推动我国天然气地质学发展,实现对我国中低丰度天然气藏的大规模勘探、发现与开发利用,推动天然气储量与产量快速发展。

项目以四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔里木盆地、松辽盆地、准噶尔盆地为重点研究区,开展了大量文献调研、野外地质调查、物理模拟实验、样品测试、气藏解剖、地震资料处理、测井资料处理、现场工程技术试验等基础工作,圆满完成项目任务计划,达到了预期目标。

研究发现,中低丰度天然气藏不仅在气藏外观形态上与高丰度常规天然气藏有明显不同,而且在气藏形成条件、生储盖组合特征、天然气生排运聚过程、气藏保存条件等方面都有特殊性,用“中低丰度天然气藏大面积成藏”这样的概念不足以全面反映其地质成因与分布上的特点。因此,在项目进入总结阶段,参与研究的首席及科学家团体认识到,中低丰度天然气藏群是一类分布于低孔渗碎屑岩、碳酸盐岩和火山岩储层中的天然气资源,包含常规气与非常规气两类资源。用“中低丰度天然气资源大型化成藏”来表述其成藏和规模分布方面的特征更恰当。这类资源是中国天然气资源的主体,对其成藏规律的总结,是对中国天然气地质理论的重要补充和完善。

通过五年研究,该项目提出了一整套有关中低丰度天然气资源大型化成藏的地质认识、地震有效识别和规模有效开发的理论与配套技术,也是对中国天然气勘探开发理论

和技术的完善和发展,理论和技术自2007年起已在鄂尔多斯和四川等重点气区规模应用,取得了显著应用成效。

1. 提出三项基础理论新认识

(1) 提出中低丰度天然气资源大型化成藏的地质理论认识。理论内涵包括:①成藏要素的大型化发育与横向规模变化,是气藏群大型化成藏的物质基础,决定了资源分布的规模性;②薄饼式和集群式成藏是气藏群大型化成藏的主要样式,决定了资源分布的区域性;③液态烃气源灶在高-过成熟阶段规模裂解生气与煤系气源灶在后期抬升阶段规模排气,是气藏群大型化成藏的主要气源输入,决定了成藏的晚期性;④体积流与扩散流充注是大型化成藏的主要机制,保证了天然气注入的充分性;⑤气藏群大型化成藏分布具有近源性、成藏组合有规模性、成藏类型有单一性、成藏时机有晚期性。新认识丰富发展了中国天然气地质学理论,扩大了勘探深度和范围,为客观评价我国中低丰度天然气资源总量和分布、推动有效发现大气田提供了理论基础。

(2) 提出了中低丰度天然气藏地震有效识别理论。理论内涵包括:①揭示了非均匀介质地震波传播规律,为中低饱和度复杂气藏有效预测提供了理论基础;②建立了地震最大弛豫饱和度模型,揭示了含气饱和度、纵波速度和储层物性的关系,实现了气藏识别从定性向定量发展;③建立了反射系数频散统一方程,为中低丰度天然气藏叠前地震预测提供了新途径。

(3) 提出了面向中低丰度天然气储量规模有效动用的开发地质理论新认识。理论内涵包括:①研发出面向三类“甜点富集区”客观描述的地质方法,可有效指导相对高产井部署,实现低品位天然气储量规模效益开发;②揭示面向双(多)重孔隙介质、复杂天然气藏的非线性渗流机制,为可动用储量和产能评价提供了理论基础;③总结建立了面向低孔渗、复杂天然气藏的开发模式,可有效指导气藏开发方案的编制和产能建设的实施。

2. 创新研发了十项特色技术和两大类新产品

十项创新技术是:①六项中低丰度天然气藏有效识别与评价技术,包括:a. 声波阻抗梯度法气层检测技术;b. PGT含气饱和度预测技术;c. 单程声波方程法密度反演技术;d. 单孔介质白云岩储层定量预测技术;e. 指数泊松比流体因子技术;f. AIS含气饱和度预测技术。②中低丰度天然气藏规模有效开发三项特色技术和一项配套技术,包括:a. 中低丰度天然气藏复杂储层预测技术;b. “甜点富集区”开发井网优化技术;c. 中低丰度天然气藏高效改造技术;d. 中低丰度天然气藏开发优化配套技术。

自主研发了两大类中低丰度天然气藏高效改造新产品,打破了国外技术垄断:①水平井喷砂分段压裂工具和配套压裂液材料;②适合不同储层温度的系列自转向酸液添加剂。

3. 取得五方面应用效果

(1) 重新评价了我国陆上重点盆地中低丰度天然气可采资源总量为9万亿~14万

亿 m^3 ，较全国第三轮资源评价净增加 5 万亿~8 万亿 m^3 ，推动扩大了勘探领域；评价出 34 个有利勘探区带，指出了今后该类资源发现的重点目标区。指导发现四川盆地须家河组一、三、五段新层系，推动新增控制、预测储量 1207 亿 m^3 。

(2) 中低丰度天然气藏地震有效识别技术在四川盆地致密砂岩气藏和超深层碳酸盐岩气藏识别与评价中应用，有效推动了探明储量增长，新增探明储量 1500 亿 m^3 ；指导了开发井位部署，钻井成功率大幅度提高，开发井成功率超过 91%。低孔渗碎屑岩和碳酸盐岩领域是我国未来天然气勘探和储量增长的主要领域，该项新技术未来在四川、塔里木、鄂尔多斯等盆地天然气扩大勘探和气田开发中具有广阔的推广应用前景。

(3) 中低丰度天然气藏规模有效开发技术系列已在鄂尔多斯盆地苏里格气田应用，编制了高效布井技术试验方案、密井网试验方案、水平井试验方案，为苏里格气田实现规模有效开发发挥了重要的技术支撑作用。采收率由 20% 提高到 30% 以上，增加天然气可采储量 2500 亿 m^3 以上；直井单井最终累计产量提高 8%，亿 m^3 产能建设钻井数下降 7%；技术成果应用于苏里格气田 230 亿 m^3 开发方案，可多延长稳产期 7 年以上。截至 2010 年年底，苏里格气田已建成年生产能力 135 亿 m^3 ，年产量突破 100 亿 m^3 大关，成为我国天然气产能规模最大的气田。预计“十二五”期间苏里格气田年产量规模可达到 230 亿 m^3 ，该项新技术对保证“十二五”目标和长庆油田油气当量上产 5000 万 t 目标实现具有良好的应用前景。

(4) 火山岩气藏有效开发技术系列在大庆、吉林、新疆地区应用，首次编制了火山岩气田的开发方案，已建产能 33.6 亿 m^3 (268 万 t 油当量)，可获年产值 41.33 亿元。截至 2010 年年底，火山岩气藏已累计产天然气 49.4 亿 m^3 ，获产值 60.7 亿元。根据评价，我国火山岩中石油资源量 37.6 亿 t，天然气资源量 3.85 万亿 m^3 ，技术对未来新发现火山岩储量的有效开发动用具有良好的应用前景。

(5) 中低丰度天然气藏高效改造新技术共应用 20 口井，已投产 15 口井，日产量 5.6 万 m^3 ，较同一气田直井增产 3 倍以上，累计增气 6229 万 m^3 ，经济效益 0.26 亿元，三年后效益预计 1.44 亿元。

本书全面总结了国家“973”计划天然气基础研究二期项目研究成果，全书分三篇：第一篇重点介绍了中国中低丰度天然气资源大型化成藏的地质理论与资源分布，主要编写人员有赵文智、王红军、汪泽成、柳广弟、卞从胜、徐安娜、徐兆辉、孙明亮、赵长毅、王云鹏、王兆云、李永新、王铜山等；第二篇重点介绍了中低丰度天然气藏地震识别理论、技术及应用，赵文智编写本篇引言，确定主要章节安排，主要编写人员有曹宏、巴晶、杨志芳、杨慧珠、石玉梅、徐右平、刘炯等；第三篇重点介绍了中低丰度天然气藏有效开发基础理论与关键方法技术，赵文智编写本篇引言，确定主要章节安排，主要编写人员有何东博、冉启全、杨贤友、熊春明、童敏、丁云宏、闫林、位云生、冀光、杨振周等。

全书由赵文智统一定稿，王红军、曹宏、何东博、卞从胜、杨贤友、巴晶、童敏、徐安娜、闫林、李永新和徐兆辉参加统稿。

本项目研究得到了科技部与中国石油天然气集团公司科技管理部的大力扶持，项目

承担单位中国石油勘探开发研究院、中国石油大学（北京）、清华大学、中国科学院广州地球化学研究所等给予了全方位的支持，参加研究的近百位科技人员付出了艰苦的劳动，项目跟踪专家组给予了严格的技术把关和指导，为项目顺利完成并取得理论、技术的创新性进展，以及成果应用取得显著经济效益等作出了重要贡献，在此一并表示衷心的感谢！

特别感谢中国石油勘探开发研究院领导、科研处对本专著出版给予的大力支持和帮助，感谢中国石油勘探开发研究院石油地质研究所领导给予的人力及经费支持！

目 录

序 前言

第一篇 中国中低丰度天然气资源大型化 成藏的地质理论与资源分布

第一章 中国天然气资源类型与地质特征	3
第一节 中国天然气资源类型	5
第二节 中低丰度天然气资源的地位	9
第三节 中低丰度天然气资源的形成条件与分布特征	15
第四节 小结	30
第二章 中低丰度天然气资源大型化成藏的烃源基础	31
第一节 大型化成藏的主要气源灶类型	31
第二节 煤系气源灶的演化与生排气潜力	42
第三节 海相克拉通盆地气源灶的演化与生、排气潜力	52
第四节 小结	67
第三章 中低丰度天然气资源大型化成藏的储集体与生储盖组合特征	69
第一节 中低丰度天然气藏形成的储集体特征	69
第二节 碎屑岩储集体大型化发育的地质基础	75
第三节 碎屑岩储集体大型化发育的地质特征	83
第四节 碳酸盐岩储集体大型化发育的基本特征	89
第五节 中低丰度天然气藏形成的有利生储盖组合类型	95
第六节 对中低丰度气藏群边界的讨论	100
第七节 小结	101
第四章 中低丰度天然气资源大型化成藏机理	103
第一节 天然气运移充注的基本方式	103
第二节 非均质储集体中“甜点”富气机理	112
第三节 中低丰度气藏群大型化成藏的主要机理	116
第四节 小结	129
第五章 中低丰度天然气资源的分布与潜力评价	130
第一节 中低丰度天然气资源的分布特征	130
第二节 重点盆地天然气资源潜力	135
第三节 中国陆上重点地区中低丰度天然气资源概算	156
第四节 小结	157

第二篇 中低丰度天然气藏地震识别 理论、技术及应用

第六章 中低丰度天然气藏特点与地震识别难点	161
第一节 国内外研究现状	161
第二节 存在的问题	164
第三节 中低丰度气藏地震识别难点	164
第四节 中低丰度气藏地震识别的关键是预测含气饱和度	167
第五节 小结	168
第七章 中低丰度天然气藏地震识别理论基础	170
第一节 地震波理论基础	170
第二节 双重孔隙介质地震波传播方程	174
第三节 非均匀介质 Biot-Rayleigh 理论	184
第四节 最大弛豫饱和度模型	191
第五节 反射系数频散	197
第六节 小结	203
第八章 中低丰度天然气藏地震有效识别技术	205
第一节 延拓法单程声波方程密度反演及储层孔隙度估计	205
第二节 复杂结构孔隙性碳酸盐岩储层物性预测技术	211
第三节 声波阻抗梯度 (AIG) 气藏识别技术	216
第四节 指数泊松比流体因子气层识别技术	220
第五节 PGT 含气饱和度地震预测技术	221
第六节 基于地震数据的 AIS 模板含气饱和度地震预测技术	227
第七节 小结	232
第九章 中低丰度天然气藏地震识别实例	234
第一节 四川盆地大川中须家河组致密砂岩气藏识别	234
第二节 龙岗超深层碳酸盐岩礁滩气藏地震识别	241
第三节 小结	244

第三篇 中低丰度天然气藏有效开发基础理论 与关键方法技术

第十章 中低丰度碎屑岩气藏开发特征与技术对策	247
第一节 中低丰度碎屑岩气藏有效开发面临的主要问题	247
第二节 中低丰度碎屑岩气藏“甜点富集区”描述	250
第三节 中低丰度碎屑岩气藏非线性渗流特征	255
第四节 中低丰度碎屑岩气藏开发模式	257
第五节 中低丰度碎屑岩气藏规模有效开发技术	258
第六节 中低丰度碎屑岩气藏有效开发技术的应用	271
第七节 小结	274

第十一章 火山岩气藏有效开发理论及配套技术..... 275

 第一节 火山岩气藏开发面临的主要问题及技术对策..... 275

 第二节 火山岩气藏有效开发基础理论..... 279

 第三节 火山岩气藏储量高效开发技术..... 292

 第四节 火山岩气藏有效开发基础理论和关键技术的应用..... 306

 第五节 小结..... 308

第十二章 中低丰度气藏水平井高效改造基础方法与技术..... 309

 第一节 中低丰度气藏水平井高效改造面临的主要问题与对策..... 309

 第二节 中低丰度气藏水平井高效改造技术基础..... 314

 第三节 中低丰度气藏水平井高效改造技术与应用..... 333

 第四节 小结..... 339

参考文献..... 341

第一篇

中国中低丰度天然气资源大型化成藏的 地质理论与资源分布

- ◎第一章 中国天然气资源类型与地质特征
- ◎第二章 中低丰度天然气资源大型化成藏的烃源基础
- ◎第三章 中低丰度天然气资源大型化成藏的储集体与
生储盖组合特征
- ◎第四章 中低丰度天然气资源大型化成藏机理
- ◎第五章 中低丰度天然气资源的分布与潜力评价

我国天然气工业已进入快速发展时期。加强天然气地质基础研究，对客观评价天然气资源潜力、有效发现大气田和增加天然气储量等，都具有重要指导意义。20 世纪后二十年，通过大中型天然气田攻关研究，建立了以煤成气理论为核心的中国天然气地质理论，有效推动了我国天然气工业的起步。21 世纪初前五年，以“973”项目“高效天然气藏形成分布与凝析、低效气藏经济开发的基础研究”（2001CB2091）为依托，针对中国天然气地质条件的特殊性，建立了以高效气源灶形成及控藏作用、天然气高效成藏过程的定量评价方法、深部优质储层形成与保持机理，以及高效天然气资源评价方法为核心的中国天然气高效成藏地质理论。理论的提出已有效推动了一批高效大气田的发现。同时指出，中低丰度天然气资源是我国天然气勘探开发的主体。实现其大规模发现和有效开发利用，对确保我国天然气工业长期快速发展具有更现实的意义。为此，自 2007 年开始，科技部启动了“973”项目“中低丰度天然气藏大面积成藏机理与有效开发的基础研究”（2007CB2095），开展了中低丰度天然气资源形成条件研究，从气源灶大型化、储集体大型化、成藏组合大型化以及成藏过程的多样化等方面，系统阐述了中低丰度天然气藏群大型化成藏的机理和条件，初步构建了中低丰度天然气资源形成的地质理论。以此为指导，重新评价了鄂尔多斯、四川、塔里木等主要含气盆地的中低丰度天然气资源总量，优选出了一批有利勘探区带，在推动这些地区天然气勘探并发现新储量中，发挥了重要指导作用。

第一章 中国天然气资源类型与地质特征

不论在中国还是在世界范围，天然气资源的勘探程度和采出利用程度，与石油资源相比都相对较低，未来具有更大的发展潜力和前景。由于天然气的物质来源更具多样性，天然气资源赋存环境更宽泛。总体上看，天然气资源十分丰富。按照资源品质和开发难易程度，天然气资源可分为常规天然气和非常规天然气资源两大类。常规天然气是指气藏的形成遵从经典的地质理论，即天然气从气源灶（岩）排出以后，在浮力作用下，经过运载层输配，在局部良好圈闭中发生了从分散到富集的过程，气藏的聚集需要盖层和圈闭的良好遮挡，具有较明显的气水界面。非常规天然气资源是指天然气的聚集过程不遵从经典的地质理论，并非在浮力作用下经过输导层输送，发生由分散到聚集的过程，而主要是靠气源灶和储集层之间强大的压力差或气体浓度差而发生体积式转移。天然气的聚集更多地依靠毛细管力的“束缚”和“阻挡”，没有明显的气水分异界面，也没有明显的气藏边界。中国陆上多发育海相、海陆过渡相和陆相多层系叠合沉积盆地，其中的陆相和海陆过渡相沉积层序中，碎屑岩沉积体系由于物源多、流程短，沉积相带变化快，储集体内部物性变化大，且非均质性强，往往是常规储层与非常规储层交互共生。这种储层特征决定我国含气盆地中，很多天然气藏形成于中低孔、低渗储层中，同时受原始沉积环境和成岩作用的双重影响，发育一系列物性相对较好的地区，俗称“甜点”。在储层特征上，具有常规与非常规储层共生的特点。据此，将这类由常规天然气藏与非常规天然气藏混合成藏构成的天然气资源，定义为中低丰度天然气资源。中低丰度天然气资源有三个特征：①构成天然气藏的储集体物性和储层结构特征处于常规储层和非常规储层的过渡区，具明显的过渡性（图 1.1）；②天然气聚集存在两种成藏机制，即常规气藏主要通过达西流流动，以体积流方式成藏，部分气藏具有明显的气水分异；非常规气（主要是致密砂岩气）主要通过非达西流动，以扩散流方式成藏，成藏机制具有双重性；③资源构成具有过渡性。以储层地下渗透率 $<0.1\text{mD}$ ^①、地面渗透率 $<1\text{mD}$ 为标准，统计我国陆上已发现的中低丰度（亦称低渗透）气藏，常规气占 35%左右，非常规气占 65%左右（表 1.1）。

表 1.1 中国主要中低丰度气田储量构成一览表

序号	气田名称	面积/ km^2	地质储量 / 10^8m^3	储量丰度 / $(10^8\text{m}^3/\text{km}^2)$	储量丰度 类型	储层物性		非常规储量 比例/%
						孔隙度/%	渗透率/ mD	
1	塔中 I 号	478.1	2376	3.1	中	3~6	3.5~12	0

① $1\text{mD}=10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

续表

序号	气田名称	面积/km ²	地质储量 /10 ⁸ m ³	储量丰度 /(10 ⁸ m ³ /km ²)	储量丰度 类型	储层物性		非常规储量 比例/%
						孔隙度/%	渗透率/mD	
2	罗家寨	125	797.4	4.8	中	5~11	1~56	0
3	和田河	143.4	616.9	3.1	中	2~7.9	2.5~27	0
4	东方 1-1	336.1	951.2	1.9	低	22~31	3~200	0
5	大北 1	50.8	587	7.2	中	5~9	5~15	0
6	徐深	285.1	2217.6	3.7	中	4~11	0.1~1	95
7	长岭 I 号	54	706.3	7.2	中	4~9	0.1~1	96
8	威远	100	408.6	1.5	低	2~4	0.01~1	94
9	靖边	6693.7	4700	0.4	特低	4~9	0.01~5	79
10	新场	161.2	2045.2	5.5	中	3~8	0.1~4	52
11	大天池	274.6	1067.6	2.7	中	3~7	0.01~7	83
12	大牛地	1457.7	3745.3	1.2	低	5~11	0.001~100	80
13	合川	1058	2299.4	1	低	7~10	0.001~50	83
14	广安	578.9	1355.6	1.1	低	6~13	0.001~10	81
15	苏里格	6356.8	8715.3	0.7	特低	7~11	0.01~100	75
16	榆林	1715.8	1807.5	0.7	特低	5~11	0.01~100	62
17	乌审旗	872.5	1012.1	0.6	特低	3.5~14	0.01~100	70
合计			35409					65.5

