

岩相古地理与 页岩气地质调查

Lithofacies Paleogeography and
Geological Survey of Shale Gas

牟传龙 王秀平 王启宇 等/著



科学出版社

岩相古地理与页岩气地质调查

牟传龙 王秀平 王启宇 等 著

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书基于页岩气地质调查工作的研究与勘探现状和页岩气地质调查新资料,提出以岩相古地理研究和编图技术为重要基础和关键技术方法,对页岩气进行选区评价,以实现页岩气地质调查工作的任务目标。在对页岩气定义重新理解的基础上,全面系统分析影响页岩气富集的重要因素,总结认为“沉积环境是决定页岩气富集程度的根本因素”。在深入论述岩相古地理与页岩气富集关系的基础上,首次明确提出“岩相古地理研究与编图可为页岩气地质调查工作之指南”的重要认识。本书以川南及邻区志留系龙马溪组为例,首先通过详细的岩相古地理研究,确定富有机质泥页岩的空间展布特征,在此基础上,有效叠加矿物组成、有机碳含量、成熟度、厚度等页岩气选区评价参数,进一步确定页岩气的有利勘探区。最终将岩相古地理研究与编图技术方法升华为页岩气地质调查工作中的方法论和共识性的认识,以此抛砖引玉,以期对国内正在进行的规模化页岩气地质调查工作及进一步的勘探开发提供科学的指导和帮助。

本书是结合国内外页岩气地质调查工作现状及相关领域学者的研究成果和范例,在作者已有的科研和实践积累基础上编著而成。可供基础地质、矿产地质、石油天然气地质和煤田地质工作者参考,同时,对沉积、岩相古地理、地层和油气等领域的科研和教学人员具有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

岩相古地理与页岩气地质调查/牟传龙等著. —北京:科学出版社, 2017. 3
ISBN 978-7-03-051875-0

I. ①岩… II. ①牟 … III. ①岩相—古地理学—研究 ②油页岩—地质调查—研究 IV. ①P586 ②P618.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 035529 号

责任编辑:张 展 唐 梅/责任校对:韩雨舟

责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 3 月第一次印刷 印张:15

字数:350 千字

定价:148.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

本书作者

牟传龙 王秀平 王启宇

周恩恩 葛祥英 梁 薇 陈小炜

前 言

一直作为传统油气地质理论中勘探禁区的富有机质泥页岩，随着微—纳米级孔隙、非达西渗流等理论的创新以及水平井、多级水力压裂等技术的突破与工业化运用，最终实现了商业性的开采，谓之页岩气。页岩气是烃源岩中未被及时排出的“残留气”，以吸附气、游离气或溶解气形式存在，主要为生物成因气、热成因气或两者的混合。现今，页岩气不仅成为世界油气研究与勘探开发的热点领域，在天然气生产中发挥着越来越重要的作用，而且改变了世界的能源战略格局。其中的领路者是以美国为首的北美国家。

影响页岩气富集成藏最为关键的因素可总结为两点，一是页岩必须是能产生大量热成因气或生物成因气的烃源岩，本身必须具有充足的原位含气量；二是页岩必须有足够的有机质、基质孔隙。基本地质要素主要包括有机碳含量（TOC）、有机质类型及成熟度（Ro）、含气页岩厚度、矿物组分、储层特征、埋深和地层压力等，而页岩发育的基本物质基础要素，如有机碳含量、有机质类型及矿物组分等，实际上又均受沉积环境或沉积相的控制。已有研究表明，沉积环境不仅控制了泥页岩的厚度、分布面积和有机质含量等特征，沉积相还严重影响了沉积岩石类型及岩石矿物组成，而岩石类型以及矿物组成差异又决定了储层物性发育的特点，进而影响页岩气的成藏。所以，从本质上讲，决定页岩气富集程度的根本因素是沉积环境。

在中国，经过前期大约三个阶段特别是近 10 年来的研究与发展，页岩气藏的研究与勘探开发取得了一系列重大进展，尤为突出的是涪陵页岩气田的诞生。前期的初步调查及与美国页岩气成藏条件进行大量对比研究后发现，中国南方的扬子板块地区、中东部地区、西北地区及青藏地区都具有非常良好的页岩气勘探前景，特别是中国南方地区页岩气资源潜力巨大。现阶段，随着我国经济水平的迅速发展，对油气资源的需求加剧，油气供需矛盾突出。若我国的页岩气工业能够取得实质性、广泛性的突破，那么油气储量将有极大增长，从而缓解油气供需矛盾，进而优化能源结构。这也与我国正在进行的大规模页岩气地质调查工作的背景相符。针对我国页岩气的研究与勘探正处于起步并迅速发展阶段的现状，我国页岩气的地质调查工作应有三个重要任务：①弄清烃源岩的特征，如岩性特征、沉积环境、沉积微（岩）相类型及特征、有机质含量和矿物组成等；②明确烃源岩的时空分布规律，包括其厚度、埋深、精细的展布及面积等；③优选页岩气藏的远景区与有利区，进一步综合研究圈定勘探靶区，为页岩气的最终开发提供科学依据。如何实现这三个最为基本且又非常重要的目标？答案是岩相古地理研究与编图。

理论上讲，岩相古地理学是沉积地质学中的一个重要分支，对于研究油气在地质历史时期中的构造演化背景、构造作用控制下的沉积盆地属性和运移等具有重要的理论意义。

实践上,岩相古地理学指导着油气资源的研究、勘探开发、沉积层控矿产远景预测以及水资源勘查等,其相关编图方法技术能够初步揭示沉积与能源、矿产资源分布等的内在联系,是一种有效的找矿(油气)方法。页岩气的地质调查工作也不例外,沉积环境决定了有机质的含量和类型、矿物组成和含量、沉积厚度等页岩气基本地质要素的特征,以详细的构造背景研究为前提,在开展区域的精细沉积相研究的基础上,通过岩相古地理编图方法,可以明确烃源岩有利相带的时空分布,从而为页岩气勘探提供基础和方向。在进一步的页岩气选区评价中,结合精细的沉积相、成岩作用及成岩演化分析确定页岩气藏富集的关键影响因素,选择合适的参数界限做等值线图,并有效地叠合在岩相古地理图上,它们之间耦合良好的区域将是下一步勘探开发的重点地区。

近年来,前人在四川盆地东南部地区做了大量针对页岩气的研究工作,并在页岩气地质勘探方面发现了涪陵页岩气田和大量的页岩气显示。但总的来说,取得的进展和成果与该地区所具有的巨大潜力不相匹配,特别是在烃源岩沉积相精细研究、高精度岩相古地理编图及页岩气选区评价方法技术上等相关研究的广度和深度尚显不够,以岩相古地理研究与编图技术作为页岩气地质调查工作的指导理论和关键技术方法的运用尚未引起重视与关注。

2012~2014年,笔者承担了中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司委托的“四川盆地南部下组合页岩气成藏条件研究与选区评价”项目以及2013年伊始中国地质调查局成都地质调查中心的“四川盆地下古生界海相页岩气基础地质调查”二级项目。研究区相当于大地构造上的扬子内克拉通及其之上的隆后盆地。具体的研究任务是以沉积学及岩相古地理学理论为指导,以岩相古地理编图为关键技术方法,岩石矿物学—地球化学—岩相古地理—页岩气勘探目标评选为技术路线,开展对该地区页岩气区块的评价与优选研究。

通过对野外露头、钻井、地震剖面和室内综合分析的研究,运用沉积学、岩相古地理学的理论和编图方法,结合地球化学、构造地质学等知识,编制了烃源岩段沉积综合柱状图、页岩气综合柱状图、页岩气发育层组精细岩相古地理图、富有机质泥页岩有机碳含量平面分布图和富有机质泥页岩平均脆性矿物含量分布图、有利生烃潜力区分布图及有利勘探区分布图等图件;在页岩气烃源岩段地层划分对比、烃源岩精细沉积相及沉积环境、烃源岩段精细岩相古地理、烃源岩发育特征、沉积相对页岩气的影响及页岩气有利区等方面均取得了重要的进展及认识,形成了一套较系统的页岩气基础地质调查工作方法。以龙马溪组黑色岩系页岩气藏为例,初步研究认为其最有利的发育地区是深水陆棚相区,但进一步研究表明,并非所有的深水陆棚相区都是有利的页岩气藏发育地区。若在不考虑勘探开发成本,不计埋深的情况下,最为有利的地区往往是碳(硅)泥质深水陆棚相区,且黑色岩系的TOC通常大于2.0%,矿物组分中的碳酸盐矿物含量小于30%,成熟度 R_o 适中(2.0%~3.0%)。所以,在龙马溪组的页岩气地质调查过程中,笔者通过采用“在岩相古地理研究及编图的基础上,有效叠加体现页岩气发育的主要地质特征参数(综合分析优选),如有机质含量及类型、成熟度、矿物组分等,耦合古地理图与各页岩气评价参数等值线图,厘清岩性、物性、脆性等富有机质泥页岩特征及其相互之间的匹配关系”的方

法,逐步优选出四川盆地南部及邻区龙马溪组黑色岩系页岩气远景区和有利区;并通过进一步考虑地表条件和埋藏深度等影响因素的综合研究工作,可以圈定达到商业开发的勘探开发靶区要求。最终的勘探开发实践表明,以岩相古地理研究和编图作为关键的技术手段,能够带来页岩气地质调查工作的重大突破。并最终提出了“岩相古地理研究可作为页岩气地质调查之指南”的观点。

本专著结合笔者自身的工作经验和研究成果,将此方法升华为一种页岩气地质调查工作及勘探开发研究中的方法论和共识性的认识,并以四川盆地南部及邻区页岩气发育层系龙马溪组为例加以佐证,以此抛砖引玉,以期对国内正在进行的大规模页岩气地质调查工作及进一步的勘探开发提供科学的、可靠的和最为直接的指导和帮助。需要强调的是,针对页岩气的地质调查工作,我们强调的是以岩相古地理研究及其相关编图方法作为指导和关键技术方法,从宏观—微观—超微观不同尺度下,研究页岩气的形成、空间展布等特征,并结合影响页岩气富集因素的研究成果,综合研究其富集规律与选区优选等。

本书前言和结论由牟传龙主笔完成,王启宇和王秀平参与;第1章和第2章由牟传龙、王启宇和王秀平共同完成;第3章由牟传龙和王启宇主笔完成,王秀平参与;第4章由牟传龙、王秀平主笔完成,王启宇、周恳恳、梁薇、葛祥英和陈小炜等参与。

项目研究过程中,得到了中国石油化工股份有限公司勘探南方分公司郭旭升、魏志红、胡东风、黄庆球等专家的关心和帮助,并得到了中国地质调查局成都地质调查中心领导的大力支持。中国地质调查局成都地质调查中心刘宝珺院士、许效松研究员、余谦教授级高工给予了倾情的指导和帮助。陈超、侯乾和张建军三位博士,郑斌嵩、王远翀、孙小勇、谭志远、徐鹏辉、门欣、童琳等硕士研究生在项目研究及专著的编写过程中提供了无私的帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书参考和引用了所列参考文献的某些内容,其中部分文献由于年代久远无法查证其出处,谨向上述文献作者致以诚挚的谢意。

另外,综合研究与编图进行选区评价及优选的过程中肯定存在纰漏或者不足,本专著中编制的系列图件及提出的指导思想和方法技术可能对页岩气地质调查工作及进一步科研、勘探开发工作中的一些重要发现和新认识没能充分考虑、反映,在此笔者表示抱歉,同时希望各位专家、同行提出宝贵意见,望不吝指正。

作 者

2016. 10

Preface

As a kind of natural gas, shale gas is the type of “residual gas”, which was not discharged from the hydrocarbon source rocks in time. It exists in the form of absorbed gas, free gas or solution gas, mainly being biogas, thermogenic gas or the mixtures of both. Nowadays, shale gas is not merely turning into a hot field of oil-gas in the terms of the exploration and development, but also changing the world strategic pattern of energy. In China, significant progress was achieved in shale gas reservoir research and exploration after the earlier three stages, particularly in the recent 10 years. The emergence of Fuling shale gas field is especially prominent among the achievements. There is a favorable exploration prospect in many areas, such as Yangtze plate, which located in southern China, then central and eastern China, northwest of China, Tibetan Plateau. Particularly in the area of Yangtze plate, where has gigantic resource potential.

In order to find the prospecting areas of shale gas, the main purpose of carrying out geological survey of shale gas is to find out the basic geologic features, sedimentary facies, and regularities of spatial-temporal distribution of hydrocarbon source rocks. The basic geologic features of “hydrocarbon source rocks” including the content and types of organic matter, the composition and content of minerals, the thickness and cover depth of the strata and so on, which are depended on sedimentary environment. Therefore, the sedimentary environment determines the basic geological element characteristics of shale gas. The lithofacies-paleogeography not only has important theoretical value toward the research of sedimentary basin properties, the oil-gas migration in each geological time, but also guides the exploration and development of oil-gas. Lithofacies-paleogeography is an effective method for oil-gas exploration, the mapping method and technology of it can reveal the inherent relationship of the sedimentary facies and energy distribution. By mapping the lithofacies-paleogeography, the spatial-temporal distribution of favorable sedimentary facies for hydrocarbon source rocks can be confirmed. Then, it can offer the basis and direction for the exploration of shale. As the conclusive guidance, mapping the lithofacies-paleogeography is a basic method and technology for achieving the goal task of geological survey of shale gas.

Taking Silurian Longmaxi Formation in Sichuan Basin and its adjacent areas as an example. Firstly, the spatial-temporal distribution of shales which were rich in organic

matter was confirmed from the detailed research of lithofacies-paleogeography. Then, by effectively superimposing the evaluation parameters of shale gas, the prediction of the favorable exploration and target areas could be delineated. In a word, the research and mapping of lithofacies-paleogeography as a basic method and key technology can offer a guide for geological survey of shale gas. In this monograph, we sublimated the method and technology into methodology and consensus, and we hope what we proposed in this book could be a guide and help to make some contributions to the large-scale geological survey and further exploration as well as development of shale gas.

目 录

第1章 引言	1
1.1 页岩气国内外研究现状	4
1.1.1 页岩气国外研究现状	5
1.1.2 页岩气国内研究现状	14
1.2 岩相古地理学研究现状	26
1.2.1 国外岩相古地理学的发展历史	26
1.2.2 国内岩相古地理学的研究现状	31
1.2.3 岩相古地地理学在页岩气工业中的应用现状	34
1.3 本章小结	39
第2章 页岩气富集影响因素分析	41
2.1 页岩气的定义	41
2.2 页岩气地质特征	42
2.3 页岩气富集影响因素	43
2.3.1 有机碳含量	44
2.3.2 有机质类型及成熟度	45
2.3.3 含气页岩厚度	47
2.3.4 矿物组分	47
2.3.5 储层特征	48
2.3.6 埋深和地层压力	49
2.3.7 保存条件	49
2.3.8 影响因素综合分析	50
2.4 本章小结	52

第3章 页岩气地质调查	53
3.1 页岩气地质调查工作的任务	53
3.2 页岩气地质调查工作的方法	54
3.2.1 沉积盆地与页岩气	55
3.2.2 沉积相(环境)与页岩气	58
3.2.3 岩相古地理与页岩气	63
3.2.4 具体的方法步骤	66
3.3 本章小结	69
第4章 实例——以川南及邻区志留系龙马溪组为例	70
4.1 区域地质概况	70
4.1.1 研究区位置	70
4.1.2 区域地质背景	71
4.1.3 地层划分对比	73
4.1.4 研究区下志留统龙马溪组地质背景	76
4.1.5 研究思路及技术方法	79
4.2 沉积特征及岩相古地理	81
4.2.1 岩石学特征	81
4.2.2 沉积相类型及沉积特征	84
4.2.3 沉积相对比	93
4.2.4 龙马溪组下段岩相古地理	97
4.2.5 本节小结	98
4.3 有机地球化学特征	99
4.3.1 有机质类型	99
4.3.2 黑色岩系的有机质丰度	104
4.3.3 黑色岩系的有机质成熟度	104
4.3.4 有机质最高热解峰温异常探讨	114
4.3.5 本节小结	114
4.4 岩石矿物组分特征及其对页岩气的影响	115

4.4.1	矿物组分类型及特征	115
4.4.2	矿物岩石类型划分	117
4.4.3	脆性矿物的分布特征	118
4.4.4	黏土矿物特征	120
4.4.5	矿物组分对页岩气的影响	123
4.4.6	本节小结	145
4.5	储集空间及物性特征	146
4.5.1	储层物性特征	146
4.5.2	储集空间类型	147
4.5.3	储集空间发育特征影响因素分析	154
4.5.4	本节小结	156
4.6	成岩作用研究	157
4.6.1	成岩作用类型及成岩矿物	157
4.6.2	成岩序列	162
4.6.3	成岩作用对页岩气的影响	167
4.6.4	本节小结	169
4.7	沉积相对页岩气的影响	170
4.7.1	岩相与页岩气地质条件的关系	171
4.7.2	沉积环境与页岩气地质条件的关系	175
4.7.3	沉积相对页岩气有利区的划分	179
4.7.4	本节小结	180
4.8	页岩气选区评价	180
4.8.1	页岩气选区评价指标	181
4.8.2	川南及邻区志留系龙马溪组黑色岩系页岩气选区评价	184
4.8.3	本节小结	190
4.9	本章小节	191
结 论		192
参考文献		195

Contents

Chapter 1: Introduction	1
1.1 Research status of shale gas at home and abroad	4
1.1.1 Research status of shale gas abroad	5
1.1.2 Domestic research status of shale gas	14
1.2 Research status of lithofacies-paleogeography	26
1.2.1 History of lithofacies-paleogeography abroad	26
1.2.2 Domestic research status of lithofacies-paleogeography	31
1.2.3 Application status of the lithofacies-paleogeography in shale gas industry	34
1.3 Summary of this chapter	39
Chapter 2: Analysis of influencing factors of shale gas enrichment	41
2.1 Definition of shale gas	41
2.2 Geological characteristics of shale gas	42
2.3 Influencing factors of shale gas enrichment	43
2.3.1 Organic carbon content	44
2.3.2 Type and maturity of the organic matter	45
2.3.3 Thickness of the gas-bearing shale	47
2.3.4 Mineral composition	47
2.3.5 Reservoir property	48
2.3.6 Burial depth and formation pressure	49
2.3.7 Preservation conditions	49
2.3.8 Comprehensive analysis of influencing factors	50
2.4 Summary of this chapter	52
Chapter 3: Geological survey for shale gas	53
3.1 Tasks of the geological survey for shale gas	53
3.2 Methods of the geological survey for shale gas	54
3.2.1 Sedimentary basin and shale gas	55

3.2.2	Sedimentary facies (environment) and shale gas	58
3.2.3	Lithofacies-paleogeography and shale gas	63
3.2.4	Method and procedure of the geological survey for shale gas	66
3.3	Summary of this chapter	69
Chapter 4: Example —— taking Longmaxi Formation from southern Sichuan Basin and it's adjacent area for example		70
4.1	Regional geological setting	70
4.1.1	Location	70
4.1.2	Tectonics setting	71
4.1.3	Classification and correlation of stratigraphy	73
4.1.4	Geological background of the lower Silurian Longmaxi Formationin ...	76
4.1.5	Research ideas and methods	79
4.2	Sedimentary characteristics and lithofacies-paleogeography	81
4.2.1	Petrologic feature	81
4.2.2	Sedimentary facies and sedimentary characteristics	84
4.2.3	Contradistinction of sedimentay facies	93
4.2.4	Lithofacies-paleogeography of the lower Longmaxi Formation	97
4.2.5	Summary of this section	98
4.3	Organic geochemical characteristics	99
4.3.1	Organic matter type	99
4.3.2	TOC of the black rock series	104
4.3.3	Maturity of the black rock series	104
4.3.4	Discussion of the abnormal Tmax of organic matter	114
4.3.5	Summary of this section	114
4.4	Mineral composition and the effect on shale gas	115
4.4.1	Type and characteristics of minerals	115
4.4.2	Division of rock types by minerals	117
4.4.3	Distribution characteristics of the brittle mineral	118
4.4.4	Clay minerals characteristics	120
4.4.5	Influence of mineral composition on shale gas	123
4.4.6	Summary of this section	145
4.5	Reservoir space and physical properties	146
4.5.1	Physical properties of reservoir	146
4.5.2	Types of reservoir space	147

4.5.3	Influence factors for reservoir space	154
4.5.4	Summary of this section	156
4.6	Diagenesis	157
4.6.1	Diagenesis and diagenetic minerals	157
4.6.2	Diagenetic sequence	162
4.6.3	Influence of diagenesis on shale gas	167
4.6.4	Summary of this section	169
4.7	Influence of sedimentary facies on shale gas	170
4.7.1	Relationship between facies and geological condition of shale gas	171
4.7.2	Relationship between sedimentary environment and geological condition of shale gas	175
4.7.3	Evaluation of shale gas by sedimentary facies	179
4.7.4	Summary of this section	180
4.8	Evaluation of target selection for shale gas	180
4.8.1	Evaluation index of shale gas	181
4.8.2	Shale gas evaluation of Silurian Longmaxi Formation in Sichuan Basin and its adjacent area	184
4.8.3	Summary of this section	190
4.9	Summary of this chapter	191
Conclusion		192
References		195

第 1 章 引 言

页岩气是非常规天然气资源的重要类型之一（叶军和曾华胜，2008）。近年来，随着社会对清洁能源需求的不断扩大、天然气价格的不断上涨、对页岩气成藏条件认识的不断深化、钻井工艺的不断进步，页岩气勘探开发正由北美向全球扩展（杜金虎等，2011）。页岩气在非常规天然气中异军突起，成为全球非常规油气资源勘探开发的新亮点，加快页岩气资源勘探开发，已经成为世界页岩气资源大国的共同选择（杜金虎等，2011）。中国也不例外，随着非常规油气勘探、开发的日益加强，正在页岩气前期工作基础上进一步开展大规模的页岩气基础地质调查工作。

与美国、加拿大页岩气发育层系相对集中、页岩气资源类型相对单一等特征不同的是，中国的页岩气发育层系较多，寒武系、奥陶系、志留系、石炭系、二叠系、侏罗系等各地质历史时期都有分布；页岩气资源类型多，海相、海陆过渡相及陆相类型都有。经过“十一五”及“十二五”的概略地质调查，初步估计中国海相烃源岩沉积分布面积多达 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，海陆过渡相烃源岩沉积面积超过 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，陆相烃源岩沉积面积约 $280 \times 10^4 \text{ km}^2$ （张大伟，2011）。当然，随着页岩气地质调查的进一步开展，相关理论的进一步确认与认识，以及相关技术的进步，实际上中国的烃源岩沉积面积有可能减少，特别是优质烃源岩的沉积面积。另外，从地域分布情况看，优质海相烃源岩主要分布在中国南方，其中又以扬子地块特别是中上扬子地区为主（刘成林等，2004a；李玉喜等，2009），烃源岩岩性多为硅质页岩、黑色页岩、钙质页岩和砂质页岩，优质烃源岩尤以前两者为主，该地区也是现阶段我国页岩气地质调查及勘探开发的备选和前沿地区（龙鹏宇等，2009）。而海陆过渡相的烃源岩主要分布在中国南方、华北地区以及西北的准噶尔等地区，分布虽相对分散，但资源量、资源潜力较大。烃源岩岩性多为硅质页岩、含煤黑色页岩、含煤钙质、粉砂质页岩等，是国内正在得到重视和关注的重要页岩气资源类型。陆相烃源岩的分布与海陆过渡相类型相似，在中国三大板块范围内都有分布，但是作为页岩气资源研究且取得较好成果的以中国南方的侏罗系为首，其次是华北地区的中新生界地层，以及准噶尔盆地及青藏高原的少量烃源岩层系。主要的岩性为一套湖相的黑色页岩、钙质、粉砂质页岩等。可以看出我国页岩气具有资源类型多、分布广、潜力大等特征。

近十年来，国内自开展初步的页岩气地质调查及针对重点地区的页岩气深入勘探及开发以来，许多的地质工作者进行了大量的、初步系列化的相关研究工作（张金川等，2003，2004，2008a，2008b；刘成林等，2004；赵群等，2008；叶军和曾华胜，2008；邹才能等，2009；龙鹏宇等，2009；李登华等，2009；程克明，2009；王社教，2009；王兰生，2009；王世谦，2009；张林晔等，2008）；2005~2009年，以中生代含油气盆地烃源

岩层位作为研究对象,初步分析了其页岩气地质条件,并在研究盆地内和出露区古生界烃源岩分布规律的基础上,分析了相关层位的页岩气资源前景;进一步与美国的页岩气发育层系的地质特征进行了对比,在其研究基础上,重点分析了上扬子地区页岩气资源前景,初步优选了远景区。“十二五”期间,是我国页岩地质调查与研究取得重要突破的阶段,不仅根据我国页岩气发育的基本地质特点,分层次在全国范围内有重点地开展了页岩气资源战略调查,还启动了全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选等(张金川等,2009,2010,2012;邹才能等,2009,2010,2013;陈波等,2009a,2009b;潘仁芳和黄晓松,2009;李建忠等,2009;王兰生等,2009;黄籍中,2009b;徐士林和包书景,2009;李桂范和赵鹏大,2009;李玉喜等,2009;聂海宽等,2009a,2011b,2012;蒋裕强等,2010;张大伟,2011;杜金虎等,2011;曾祥亮等,2011;陈波等,2011;付小东等,2011;何金先等,2011;梁超等,2012;张春明等,2012,2013a,2013b;张涛等,2013;吴馨等,2013;王阳等,2013a,2013b;郑和荣等,2013;李海等,2014;李委员等,2015;王志刚等,2015;焦方正等,2015;张维生等,2015)。可喜的是,在其地质调查与有利区优选的基础上取得了我国页岩气勘探开发的工业性突破,建立了我国第一个大型页岩气田——涪陵页岩气田。更可喜的是,2016年更多的前景区取得了实质性的勘探突破,进入了工业化、准工业化建立、生产等阶段。

我国页岩气勘探开发取得的研究进展及工业性突破固然可喜,但是,在这个过程中,我们看到更多的是不足,限于页岩气地质调查程度整体性偏低以及相关地质调查工作指导思想和关键技术方法的缺乏,实际上页岩气地质调查取得的成果与我国页岩气具有资源类型多、分布广、潜力大(张大伟,2011)等特点的身份不符。众所周知,页岩气藏从发现到最终实现工业性、商业性的开发,不仅得益于油气地质理论的发展与新认识,如微—纳米级孔隙、非达西渗流理论的创新,也得益于工业技术的突破与进步,如水平井开发技术及多级水力压裂技术。同样,开展大规模的页岩气基础地质调查工作也需要有相应的地质学科知识及理论的指导和关键技术方法的运用。

实际上,我国对页岩气发育的区域地质背景及相关基本地质特征的研究,如:泥页岩的空间展布、沉积—成岩、储层特征、富集成藏(有机质类型、有机碳含量、热演化程度、岩石类型和矿物组分等综合条件特征)、评价优选等一系列研究还处于相对滞后阶段,页岩气地质调查工作程度整体偏低,造成的结果就是除四川盆地的涪陵等极少数地区外,大部分地区尚无页岩气勘探开发的重大突破。同时,随着页岩气地质调查工作的深入,研究和勘探程度的不断提高,越来越多的关键地质问题和关键技术方法已不能跟上生产发展速度的需求,集中的问题总结起来主要有:大量的页岩气相关研究虽然取得了一系列的研究成果,但这些研究大多是针对某些地区或地层分区的局部研究,依然缺乏对整个页岩气藏发育层系的发育特征、富集规律、空间展布规律的了解;以烃源岩为对象进行沉积体系、层序地层和岩相古地理研究还缺乏系统性;作为烃源岩且同时作为储集体的富有机质泥页岩的纵横向时空分布特征的研究还不够系统、深入,需要运用具有基础性、可操作性的关键研究方法和手段进一步深化;沉积、成岩过程对页岩气的形成机理尚未完全弄清,尤其是页岩气储层的成岩矿物、成岩作用、成岩演化和孔隙演化等方面的研究程度很低;