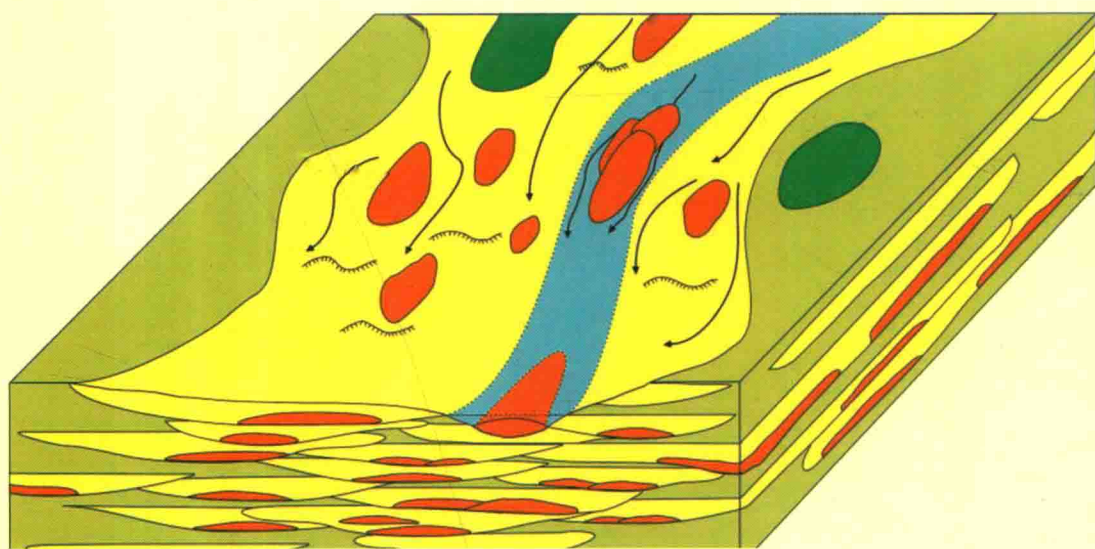


Development Characteristics and Technical Strategy for
Different Types of Natural Gas Reservoirs in China

中国不同类型天然气藏 开发规律与技术政策

贾爱林 主编



科学出版社

中国不同类型天然气藏 开发规律与技术政策

贾爱林 主编

科学出版社

内 容 简 介

“十一五”以来,我国天然气探明储量和产量呈现出快速发展的态势,天然气作为一种高效清洁能源,在我国能源结构中占据越来越重要的地位。目前中国石油天然气开发形成了长庆、四川、塔里木和青海四大气区的发展格局,低渗-致密砂岩气藏、碳酸盐岩气藏、异常高压气藏、高含硫气藏、火山岩气藏和疏松砂岩气藏六类气藏的探明储量和气层气产量占比均超过90%,是我国天然气开发的主体。本书分为九章,包括中国天然气工业开发概况、中国四大气区开发现状、天然气开发主要研究内容、低渗-致密砂岩气藏开发规律与技术政策、碳酸盐岩气藏开发规律与技术政策、异常高压气藏开发规律与技术政策、高含硫气藏开发规律与技术政策、火山岩气藏开发规律与技术政策,以及多层疏松砂岩气藏开发规律与技术政策,论述我国主要气藏类型的开发规律与技术政策。

本书可供从事天然气勘探开发的科研人员及高等石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国不同类型天然气藏开发规律与技术政策 / 贾爱林主编. —北京: 科学出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-03-054865-8

I. ①中… II. ①贾… III. ①采气-技术政策-研究-中国 IV. ①TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 254989 号

责任编辑: 王 运 李 静 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 10 月第一次印刷 印张: 29 1/2

字数: 700 000

定价: 298.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书编委会

主 编：贾爱林

编 委：何东博 位云生 郭建林 江同文 马力宁
李保柱 徐正顺 卢 涛 万玉金 闫海军

前 言

近年来,我国天然气工业发展迅速,天然气储量和产量都实现了快速增长。截至2016年年底,中国石油天然气集团公司(以下简称“中石油”)累计探明天然气地质储量达到 $9\times 10^{12}\text{m}^3$,天然气产量接近 $1000\times 10^8\text{m}^3$ 。天然气储量和产量增长的80%以上都来源于低渗-致密砂岩气藏、碳酸盐岩气藏、异常高压气藏、高含硫气藏、火山岩气藏和疏松砂岩气藏这六类复杂气藏。

“十一五”以来,根据我国新开发气藏类型与特点,中国石油天然气集团科技管理部及时部署了天然气开发技术攻关的相关项目。发现一类、攻关一类、形成一类配套技术的思路,不仅使我国近十年发现的特殊类型气藏都得到了成功开发,而且形成了以低渗-致密气藏低成本开发技术、高压-凝析气藏安全高效开发技术、疏松砂岩防砂治水与提高采收率技术、火山岩气藏有效开发技术等为代表的开发技术体系,极大地补充与完善了我国天然气开发技术系列,促进了我国天然气业务的快速发展,使我国迈入天然气生产大国的行列,为国民经济的持续发展与能源结构的改善作出了贡献。

本书在分别介绍六类不同类型复杂气藏概况的基础上,详细分析不同类型气藏的地质特征和开发特征,通过对不同类型气藏开发主体技术、开发模式、开发规律、关键开发指标的全面研究,系统集成这六类复杂天然气藏开发的关键技术与配套政策,进而为我国已发现气田的开发提供指导,以提高我国整体天然气开发水平,降低开发风险;同时为天然气工业的长期快速稳定发展进行技术储备。我国天然气藏类型丰富、复杂,开发难度大。本书所述六类气藏也必将有新的补充与完善。

本书是在中国石油天然气集团科技管理部的项目支持下完成的,也是对公司“十一五”“十二五”天然气开发攻关项目的总结,同时还得到了国家“十二五”天然气开发攻关项目的支持,在此表示感谢。同时感谢中石油勘探与生产公司、长庆油田公司、西南油气田公司、塔里木油田公司、青海油田等单位在项目与本书编写过程中给予的支持与帮助。在本书的编写过程中,气田开发所的冀光、甯波、程立华、孙贺东、刘晓华、钟世敏、唐海发等提供了大量的基础数据与资料,博士研究生罗超做了大量的基础研究与调研工作,罗娜在文字与校稿上付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

本书涉及内容广泛,书中定有不妥之处,请同行与读者不吝赐教。

目 录

前言

第一章 中国天然气工业开发概况	1
第一节 中国天然气开发简史	1
一、古、近代天然气开采简史	1
二、现代天然气开发简史	2
第二节 中国天然气工业发展的基础	5
一、天然气地质基础	6
二、天然气资源	7
三、天然气产量	8
四、天然气消费	9
第二章 中国四大气区开发现状	10
第一节 长庆气区	10
一、开发现状	11
二、储量现状及地质特点	12
三、长庆气区的地位	12
四、长庆气区的开发经验	13
第二节 塔里木气区	14
一、开发现状	14
二、储量现状及地质特征	15
三、塔里木气区地位	16
四、塔里木气区开发经验	17
第三节 西南气区	17
一、开发现状	18
二、储量现状地质特征	18
三、西南气区地位	20
四、西南气区开发经验	20
第四节 青海气区	21
一、开发现状	22
二、储量现状及地质特征	22
三、青海气区地位	23
四、青海气区开发经验	24
第五节 气藏开发中存在的问题	25

第三章 天然气开发主要研究内容	27
第一节 气藏开发分类评价	27
一、气藏开发分类特点	27
二、气藏分类方法	27
三、中国主要气藏开发分类	31
第二节 气藏开发阶段划分	35
一、气田开发过程分析	36
二、主要气田开发指标	36
三、主要类型气田解剖	39
四、气田开发阶段划分结果	43
第三节 气藏开发前期评价	44
一、前期评价的主要内容	45
二、气藏试采	46
三、开发先导试验	47
第四节 气田开发方案编制	48
一、气田开发原则与方针	48
二、气田开发方案主要内容	49
三、气田开发方案编制工作流程	51
第五节 气藏驱动方式	52
一、气藏驱动方式	52
二、决定气藏驱动方式的主要因素	53
三、科学认识气藏驱动类型是开发好气田的基础	54
第六节 气藏开发层系划分与组合	55
一、划分开发层系的意义	55
二、开发层系划分与组合的方式	55
三、划分开发层系的原则	56
第七节 井网部署	56
一、气田开发井网部署的特点	56
二、气藏开发井网部署的原则	57
三、井网密度、井网系统和布井步骤	59
第八节 气田合理产量	63
一、气井合理产量应遵循的原则	63
二、气井试井技术	64
三、气井产能的评价方法	66
四、气井合理产量确定方法	66
第四章 低渗致密砂岩气藏开发规律与技术政策	72
第一节 低渗致密砂岩气藏概述	72
一、低渗致密砂岩气藏内涵	72
二、开发低渗致密砂岩气藏的意义	73

三、低渗致密砂岩气藏分布及特征	75
四、低渗致密砂岩气藏的储量和产量分布	78
五、低渗致密砂岩气藏开发历程	81
第二节 低渗致密砂岩气藏特征	82
一、地质特征	82
二、开发特征	86
三、储层致密化成因	88
四、有效储层综合评价	101
第三节 低渗致密砂岩气藏开发规律	103
一、气井生产特征	103
二、气藏开发方式	108
三、气藏开发规律	124
第四节 低渗致密砂岩气藏开发技术政策	126
一、气藏递减规律	126
二、气藏开发模式	128
三、合理工作制度	130
四、稳产接替方式	134
五、气藏稳产对策及展望	135
第五章 碳酸盐岩气藏开发规律与技术政策	143
第一节 碳酸盐岩气藏概述	143
一、碳酸盐岩气藏资源现状	143
二、碳酸盐岩气藏分类	144
第二节 碳酸盐岩气藏地质特征	146
一、缝洞型碳酸盐岩气藏地质特征	147
二、礁滩型碳酸盐岩气藏地质特征	152
三、岩溶风化壳型气藏地质特征	156
四、层状白云岩型气藏地质特征	161
第三节 碳酸盐岩气藏开发规律	166
一、缝洞型气藏开发规律	166
二、礁滩型碳酸盐岩油气藏开发特征	169
三、岩溶风化壳型碳酸盐岩气藏开发规律	174
四、层状白云岩型碳酸盐岩气藏开发规律	177
第四节 碳酸盐岩气藏开发技术政策	179
一、碳酸盐岩气藏各开发阶段特点	179
二、不同开发阶段影响因素分析	181
三、开发模式的优化和评价	186
四、碳酸盐岩气藏开发方式	189
五、碳酸盐岩气藏开发技术对策	197

第六章 异常高压气藏开发规律与技术政策	207
第一节 异常高压气藏概况	207
一、异常高压及其识别	207
二、异常高压成因	210
三、异常高压对气藏物性特征的影响	213
四、高压气藏开发特征	217
第二节 超深高压气藏储层地质特征	219
一、区域构造特征	219
二、地层特征	220
三、构造及断层特征	223
四、储层特征	225
五、气藏特征	232
第三节 超深高压气藏开发规律	235
一、压力变化规律	235
二、产能变化规律	240
三、边底水活动规律	247
第四节 超深高压气藏开发技术政策	254
一、安全生产预警体系	254
二、稳产风险因素分析	261
三、合理开发技术界限确定	264
四、防水控水对策	271
第七章 高含硫气藏开发规律与技术政策	274
第一节 高含硫气藏概述	274
一、高含硫气藏概况	274
二、高含硫气藏资源现状	275
三、高含硫气藏开发现状	279
四、高含硫气藏硫化氢来源及相关物性	283
五、四川盆地含硫化氢气藏分布特征	289
第二节 高含硫气藏地质特征	291
一、区域特征	292
二、构造特征	294
三、沉积特征	296
四、储层特征	302
五、气藏类型	304
第三节 高含硫气藏开发规律	304
一、硫化氢的腐蚀规律	304
二、元素硫沉积规律	307
三、天然气水合物形成规律	313
四、产能特征	315

第四节 高含硫气藏开发技术对策·····	317
一、硫沉积预测及防治技术·····	317
二、天然气水合物防治技术·····	321
三、脱硫及硫磺回收技术·····	323
四、高含硫气藏开发技术政策·····	324
第八章 火山岩气藏开发规律与技术政策·····	334
第一节 火山岩气藏概述·····	334
一、火山岩气藏的概念·····	334
二、火山岩气藏分布·····	335
三、火山岩气藏开发现状·····	338
四、火山岩气藏开发基本特征·····	343
五、火山岩气藏开发面临的问题·····	348
第二节 火山岩气藏地质特征·····	349
一、区域地质概况·····	350
二、地层特征·····	352
三、岩性、岩相和物性特征·····	355
四、流体特征·····	364
第三节 火山岩气藏开发规律·····	365
一、气藏开发模式·····	365
二、产能特征·····	369
三、产水规律·····	381
第四节 火山岩气藏开发技术政策·····	391
一、技术政策参数筛选·····	391
二、开发方式·····	392
三、开发层系划分·····	393
四、开发井网·····	394
五、合理采气速度·····	397
六、气藏废弃条件与采收率·····	402
第九章 多层疏松砂岩气藏开发规律与技术政策·····	407
第一节 多层疏松砂岩气藏概况·····	407
一、疏松砂岩气藏分布·····	407
二、气藏开发面临的问题·····	408
三、多层疏松砂岩气藏的勘探开发历程·····	411
第二节 多层疏松砂岩气藏地质特征·····	412
一、地层特征·····	412
二、构造特征·····	413
三、沉积及成岩特征·····	416
四、储层特征·····	419
五、气水分布特征·····	428

第三节 多层疏松砂岩气藏开发规律	431
一、出水特征	431
二、出砂特征	441
三、整体开发特征	445
第四节 多层疏松砂岩气藏开发技术对策	447
一、整体治水	447
二、系统防砂	450
三、整体优化	450
参考文献	453

第一章 中国天然气工业开发概况

第一节 中国天然气开发简史

中国是世界上最早发现和利用天然气的国家之一。说起她的沧桑，既有先期和早期的荣耀，又有近代的落后，更有当代的奋起。中国天然气的发展史，是一部“U”字形的艰苦奋斗史。

一、古、近代天然气开采简史

中国天然气开采有着悠久的历史，很多古、近代的典籍对天然气的开采和利用进行了描述。

（一）天然气的先期发现

中国人早在 3000 多年前，就发现并开始利用石油和天然气。在遥远的古代中国发现油气苗的情形，曾被载入多种史书。西周时期（公元前 11 世纪～前 8 世纪）《易经》中记载“泽中有火”，指的就是天然气在水面燃烧的现象。公元前 200 多年的《山海经》记述：“……令丘之山。无草木，多火。”这些说的都是天然气逸散到地面之后，发生燃烧的现象。《汉书》《蜀都赋》等书、文记载着陕西和四川地区相继发现天然气。地处陕西神木西南的鸿门，挖掘水井时获得天然气并发生燃烧，被称为火井，是最早有记载的一口天然气井。这些火井就是中国对天然气的发现。在历朝历代的史书、地方志、奏章和私家著述中，关于天然气的记载表明，其在地理分布上遍及当今行政区域 20 多个省（市、区）。

（二）天然气的先期利用

天然气在不断被发现并日益增多的情况下，逐渐进入社会生产和人民生活之中。开采和使用天然气的历史可以追溯到公元前 3 世纪，据《四川盐政史》记载，早在战国时期的秦国，在四川等地就开始用天然气煮盐。东晋《华阳国志·蜀志》中写道：“临邛县，郡西南二百里。本有邛民。有火井，夜时光映山昭。民欲其火……井有二水，取井火煮之……，一斛水得五斗盐”，所描述的就是西南邛崃地区采气煮盐的生产画面。《晋书·志》记载：范阳国（今河北定兴一带）地燃，可以爨（烧火做饭）。至宋朝庆历年间，《蜀中广记》记载：“蜀始开筒井，用圆刃凿如碗大，深者数十丈。”公元 1637 年明朝宋应星撰《天工开物》，较详细记载了钻井采气、取气煮盐的作业流程。

(三) 天然气的先期开采技术

在漫长的发现和开发天然气的历史进程中,中国人民依靠自己的勤劳和智慧,创造了许多划时代的先进技术。诞生于宋代(公元960~1279年)的顿钻钻井技术,就是石油工业发展史上的一大创举。据《丹渊集》记载,四川南部的井研县人民,自北宋庆历年间(1041~1048年)以来,就在自流井气田用人力顿钻钻凿卓筒井。井眼中放置用竹子做的套管,吸取卤水煮盐。11世纪50年代至70年代,井研县用顿钻钻凿卓筒井已相当普及,富豪人家有一二十口井,次一点的也有七八口井,一家需雇佣工匠二三十人至四五十人。著名的英国科学家李约瑟在他所著《中国科学技术史》一书中说,这种凿井技术大约在12世纪前就已经传到西方各国。

明代(1368~1620年)中叶以后,由于浅层的卤水开始枯竭,浅层天然气不足以煮盐,迫使人们向深部钻井。到明代万历年间(1573~1620年),埋藏在深部的天然气田才被发现。在这一过程中,顿钻钻井技术取得重大进步。主要表现为:钻井过程趋于程序化;选用固井新材料,以增强套管柱的力量,有效地保护井壁;处理井下事故能力提高,创造了新的打捞工具及淘井工具。到了清代道光年间(1821~1850年),顿钻钻井技术逐步完善,在凿井工匠中开始划分山匠、锥工、辊工等工种;钻井过程中进行录井深度超过千米,产气量大增,时有钻遇高压气层。1840年钻成的磨子井,井深1200m,发生强烈井喷,燃烧的火光远达30km以外可见,投产后日产天然气约 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$,是当时世界上最深的井。这时自流井气田的天然气年产量达 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上。而这一时期,欧美等国家钻井工艺才刚刚起步。

随着钻井技术的进步和自流井气田的开发,明清时期人们对天然气的地质认识也有一定的发展,如用“相山”“看龙脉”的办法选择定井位;“草拾土嗅之”的办法找矿。19世纪中叶,已开始建立气田的地层系统,并进行地层分类对比工作。

由此可以看出,我国古、近代的天然气开发过程中我国劳动人民发挥了聪明才智,形成了一套系统的行之有效的天然气的勘探开发方法,这不仅在当时是一项令人惊叹的工程,今天看来,仍然闪烁着智慧的光芒。

1878年,清政府在我国台湾省苗栗地区,设立了近代第一个石油工业官办管理机构,并于1904年发现了天然气田。1936年国民政府建立了四川石油勘探处,次年10月钻巴1井,单井日产 $1.415 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;随后又钻了隆2井等5口井,共探明天然气储量 $3.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。全国投入开发的气田主要分布在四川、台湾等地,至1949年累计产气 $11.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

二、现代天然气开发简史

1949年10月1日新中国成立,开始了中国现代天然气工业发展的新时期。尽管当时中国大陆已在四川发现了自流井、石油沟和圣灯山气田,在台湾省有锦水、竹东、牛山和六重溪气田,但这7个都是小气田,产量很少,1949年全国天然气产量仅为 $1117 \times 10^4 \text{ m}^3$,当年全国只有8台钻机,全国用油十分紧缺,天然气勘探开发几乎空白(戴金星等,2010)。新中国成立60多年以来,中国天然气勘探开发从一穷二白走向快速发展的道路;探明天然气地质储量从微不足道到跻身于世界前列;天然气年产量从微乎其微跃升为世界第六,为中国低碳经济作出了重大贡献。新中国的成立,标志着中国现代天然气工业进入了发展新时期。

根据不同时期经济发展的需求及地位,我国天然气工业发展可以划分为起步、稳步发展及快速发展3个阶段。

(一) 天然气工业起步阶段 (1949 ~ 1987 年)

(1) 1949 ~ 1960 年为天然气开采恢复和小规模生产阶段。新中国成立初期,百废待兴,天然气工业技术力量薄弱,基础设施单一,该阶段主要是油气普查。1949 年以前我国没有进行过系统的天然气勘探,但新中国成立后,随着勘探工作的系统展开,仅在 1950 ~ 1960 年,四川盆地就发现了 10 个气田。1949 年,中国天然气探明地质储量仅为 $3.85 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气产量仅 $0.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。至 1960 年,全国探明气田 12 个,探明天然气地质储量 $311 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 1-1、图 1-2)。

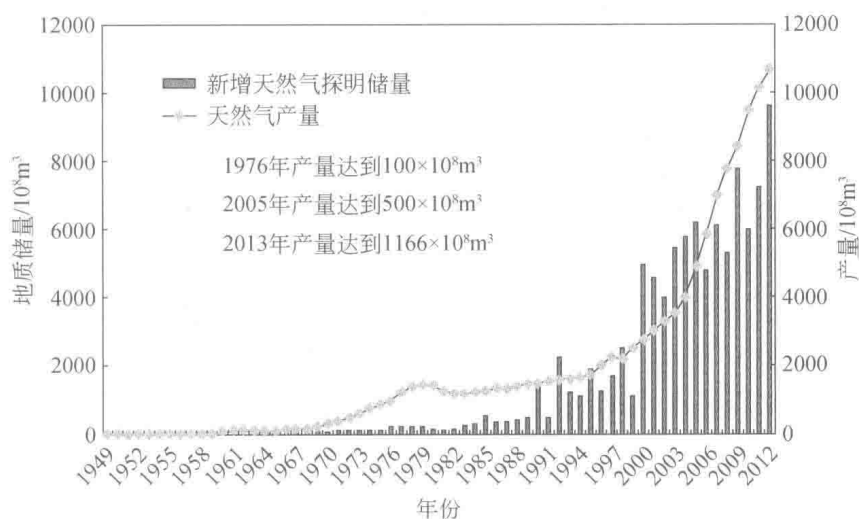


图 1-1 中国历年天然气探明地质储量

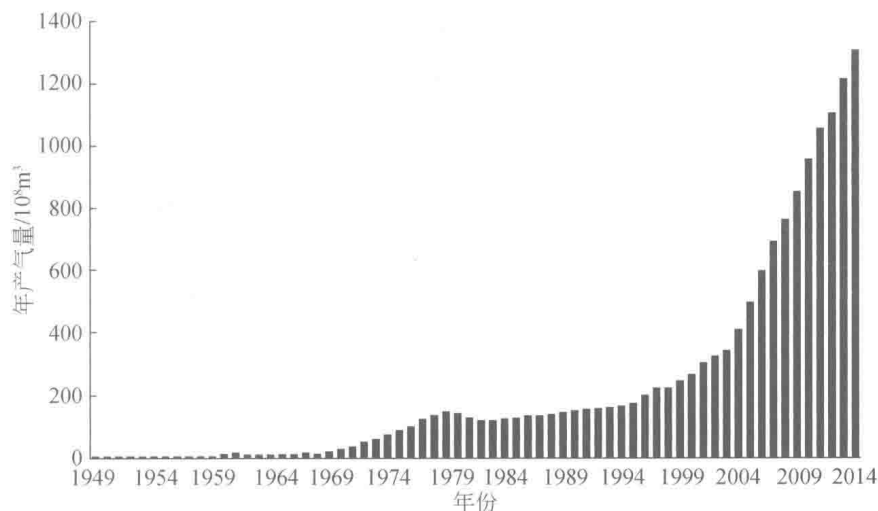


图 1-2 中国历年天然气产量

(2) 1960~1987年,天然气勘探开发工作集中展开于川南、川东及川西南地区,整体解剖二叠系、三叠系和石炭系碳酸盐岩裂缝圈闭气藏。1961年天然气产量仍然较低,为 $14.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,1963年威远气田在震旦系灯影组获得工业气流,初步探明天然气地质储量 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$;1968年全国天然气产量为 $14.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,以气层气为主。1979年天然气产量为 $145.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图1-2),成为中国天然气产量的一个高峰(戴金星等,2010)。1987年在四川建成全长297.8km的输气干线,是国内最长管径为120mm的输气管道。

这些气田的开发经验,以及第一条天然气管网的铺设为天然气稳步发展阶段的到来初步奠定了基础。

(二) 天然气工业稳步发展阶段(1987~1997年)

长期以来,除四川外,天然气处于从属于石油的地位,勘探投资少,严重影响了天然气工业的发展。1987年,一方面,国家提出了“油气并举”的勘探开发方针,改变了天然气以往从属于石油的地位,并制定了“以气养气”政策,促进了天然气工业的新发展。另一方面,1987年国家还实行了天然气商品产量包干政策,“以气养气”,包干的气量由国家定价,超产的气量由市场议价,从而增加企业收入,调动了生产积极性。“七五”(1985~1990年)期间,与“六五”期间情况相比,探明天然气储量增长了1.2倍,净增天然气产量 $28 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。“八五”期间探明的天然气储量是40年前探明储量的总和。在政策的促进下,1988年我国迎来了天然气勘探开发的春天,除四川盆地外,逐步形成了环渤海地区、塔里木盆地、柴达木盆地、鄂尔多斯盆地、吐哈盆地、松辽盆地、中原地区、辽东湾海域、东海海域、南海莺歌海-琼东南盆地等重点找气地区。

1988年11月在塔里木盆地塔北隆起发现了吉拉克凝析气藏;1989年2月7日在鄂尔多斯盆地中央古隆起东北斜坡陕参1井发现了下古生界奥陶系靖边大气田;1989年11月继涩北一号、二号气田和驼峰山气田、台吉乃尔含气构造后,在柴达木盆地台南6井发现了台南气田;1989年天东1井发现了五百梯石炭系地层-构造复合圈闭大气田;南海莺歌海-琼东南盆地于20世纪90年代又相继发现了东方1-1气田、乐东22-1气田和乐东15-1气田;1992年四川铁山构造钻的铁山11井在下三叠统飞仙关组获高产工业气流($111.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$),在1995~2000年相继在四川川东北发现了渡口河、铁山坡、罗家寨飞仙关鲕粒整装气田。1994年11月16日,崖城—香港海底输气管线建成,全长787km,直径711mm,管道埋深109m,设计输气能力 $29 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,建设成本11.3亿美元。1996年5月崖城—三亚海底输气管线建成,全长91km,直径355mm,设计输气能力 $5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

总体而言,该阶段我国气层气和油田溶解气产量都有较大幅度增长,除四川盆地外,长庆、新疆、中原等油气区的气层气投入开发,1995年全国天然气产量达 $174 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气产量平均增长 $9.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ (袁士义,2005)。该阶段我国天然气的开发起步于石油工业部“油气并举”的勘探开发方针和国家“以气养气”的国家政策,勘探开发范围从四川盆地走向了全国大部分陆地和部分海域沉积盆地,初步建成了区域性天然气输气管线,为我国天然气的快速发展阶段的到来奠定了坚实的基础。

(三) 天然气工业快速发展阶段 (1997 年至今)

该阶段以陕京管线建成为起点,天然气管网建设开始由油气区向外延伸,这是天然气工业发展的又一个重大转折。气田开发在很大程度上受控于市场,我国天然气产地大都远离经济发达地区,长输管线建设的成功标志着我国天然气工业加速发展的开始,全国、油气区和气田通过管网相连,形成一个庞大的供气系统,可以实现同一大油气区内成组气田和天然气区间的优化开发。该阶段跨省的长输管线启动或者建成、液化天然气工程启动、非常规天然气开始研究和勘探,我国开始频繁与国外政府和公司谈判天然气问题,天然气西北、西南、东北、海上四大进口通道初步形成,国内天然气累积探明储量和年产气量屡创新高,标志着我国天然气进入大发展阶段。

“十一五”期间我国年均探明天然气地质储量 $5258 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均探明天然气地质储量“十一五”是“九五”的 6.2 倍,天然气产量也快速上升,到 2004 年我国天然气产量达 $409.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, 同比“九五”期间增长 146%。近年来我国天然气地质储量逐年增长,如 2003~2008 年近 6 年年平均天然气探明储量为 $5105 \times 10^8 \text{ m}^3$, 相当于 1949~1988 年 40 年全国累计探明天然气储量。2014 年,在天然气勘探方面,我国天然气新增探明地质储量超过 $5000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。同时国内天然气产量稳步增长,2014 年国产常规气量为 $1250 \times 10^8 \text{ m}^3$, 较 2013 年增长 $78 \times 10^8 \text{ m}^3$, 同比增长 6.1%。截至 2014 年,该阶段天然气平均增长率 11.1%。2014 年我国天然气生产仍以长庆气区、川渝气区、塔里木气区及海洋气区四大气区为主。天然气管网等基础设施建设继续保持强劲的增长势头,年新增管道长度超过 5000km。由此可以看出,无论在储量还是产量方面,我国天然气呈现快速发展趋势。同时页岩气、煤层气等非常规气的快速发展也是这一阶段我国天然气发展的特征。

该阶段,我国天然气生产快速发展,天然气工业体系逐步完善。从天然气工业发展看,2014 年我国在世界天然气探明可采储量的排名从 2000 年的第 19 位升至 13 位,天然气产量的排名从 2000 年的 16 位升至第 6 位,达到 $1308 \times 10^8 \text{ m}^3$ (含常规气、非常规气),天然气消费量的排名居世界第 3 位,达到 $1816 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。随着天然气成藏理论认识和勘探开发技术的进步和发展,预计相当长时期内我国天然气工业仍将保持快速发展的态势。据 IEA 2012 年的预测,我国天然气开发前景广阔,2025 年我国天然气产量将突破 $2000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 达到 $2170 \times 10^8 \text{ m}^3$; 2035 年将突破 $3000 \times 10^8 \text{ m}^3$, 达到 $3180 \times 10^8 \text{ m}^3$ (贾承造等, 2014)。

第二节 中国天然气工业发展的基础

有专家指出,2005~2030 年是中国天然气消费市场的发展期,年均增长量与美国天然气快速增长期(1945~1970 年)相当,而年均增长速度甚至快于美国那一时期。一方面,中国天然气工业的快速发展离不开数量众多的陆上和海上沉积盆地,离不开丰富的常规天然气和非常规天然气资源,这些天然气资源是我国天然气工业发展的基石。另一方面,国家经济的更高质量增长、国内天然气管网里程的持续增加和天然气市场的逐渐扩大也为我国天然气工业的持续发展提供了好的外部环境。

一、天然气地质基础

沉积盆地是天然气资源得以生成和赖以保存的基础,是大地构造演化的产物。对我国天然气聚集影响较大的大地构造演化阶段包括加里东期、海西-印支期及燕山-喜马拉雅期。这几期大地构造运动造就、保存至现今仍有一定规模的沉积盆地共有 373 个,总面积 $670 \times 10^4 \text{ km}^2$ (戴金星等, 1997) (其中陆上盆地 354 个,面积 $480 \times 10^4 \text{ km}^2$,海域盆地 19 个,面积 $190 \times 10^4 \text{ km}^2$),其中面积最大的是塔里木盆地,达 $56 \times 10^4 \text{ km}^2$,面积为 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上的盆地共有 10 个,为中国奠定了形成丰富天然气资源的良好地质基础。

(一) 中国主要含气盆地类型及特征

中国大陆板块经历了五次大的历史演化阶段,形成了多期多类含气盆地。其中,克拉通盆地、前陆盆地、山间和山前拗陷盆地和陆内裂谷盆地是重要的含气盆地类型。

1. 克拉通盆地

克拉通盆地位于陆壳或刚性岩石圈之上,与中生代巨型缝合线无关。克拉通盆地包括形成于克拉通周边环境的克拉通边缘和克拉通内部的克拉通拗陷盆地。晋宁运动之后,中国大陆形成了扬子台地、华北台地和塔里木台地。古生代三大盆地均表现出克拉通盆地相对稳定的特性,即台地内部构造变形微弱,沉积稳定,周缘具有一定的活动性,周缘沉积厚度大于内部沉积厚度。

2. 前陆盆地

沿用 Dickinson (1974) 和 Beaumont (1981) 的定义方法,在褶皱冲断层带与被冲断层逆掩的克拉通之间发育的大型沉积盆地称为前陆盆地。前陆盆地是挤压型构造背景下的主要含油气盆地。前陆盆地是世界上油气最丰富和大气田分布最多的一种盆地类型,也是世界上最早进行勘探发现油气田的盆地类型,世界上大油气田中有 46% 是在前陆盆地内。中国中西部中生代的前陆盆地主要有四川盆地、鄂尔多斯盆地和塔里木盆地。

3. 山间和山前拗陷盆地

中国西部特提斯-喜马拉雅构造域沉积盆地除前陆盆地之外,还存在山间和山前拗陷盆地,如准噶尔盆地、吐哈盆地、柴达木盆地。以沉积各种类型的碎屑岩体为主,时有火山碎屑沉积。

4. 陆内裂谷盆地

在拉张背景下的东部新生代断陷盆地,沿断裂带有多期基性火山岩喷发,在沉积上的突发特征是沉积幅度大,堆积速度快,在强烈的拉张深陷期,常表现出持续的非补偿深水环境,形成厚层暗色泥岩,有些断陷盆地多期断块活动的结果发育多套暗色泥岩,生油岩体积大。盆地的不断沉降有利于有机质向烃类转化,其油气潜力较大。沉积体系的分布主要受控于构造活动、古地形及古气候。一般来说,对某一个断陷湖是以湖相沉积为中心,在陡坡发