

煤型气地质综合研究 思路与方法

MEIXINGQI DIZHI ZONGHE YANJIU SILU YU FANGFA

时华星 宋明水 徐春华 宋国奇 等 编著

地质出版社

煤型气地质 综合研究思路与方法

时华星 宋明水 徐春华 宋国奇 等编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系统总结了煤型气地质研究方法和勘探技术, 主要介绍煤型气的分类、化学组成; 煤层形成的堆积环境, 沉积有机质相的类型及特征; 煤系地层的地球物理特征及处理方法; 煤型气产烃率模拟的基本方法; 天然气成因的鉴别方法, 最后介绍了煤型气的资源分类和计算方法等等。

本书可供从事煤型气地质勘探研究的人员及高等院校相关专业的师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

煤型气地质综合研究思路与方法/时华星等著. —北京: 地质出版社, 2004.6

ISBN 7-116-04118-4

I. 煤... II. 时... III. 煤层-地下气化煤气-采矿地质学-研究 IV. P618.110.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 052346 号

MEIXINGQI DIZHI ZONGHE YANJIU SILU YU FANGFA

责任编辑: 祁向雷 周乐耘

责任校对: 郭慧兰

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); (010) 82324577 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010) 82310759

印 刷: 北京中科印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm ¹/₁₆

印 张: 15.25

字 数: 371 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2004 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 40.00 元

ISBN 7-116-04118-4/P·2480

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

前 言

天然气的地质、地球化学研究表明,在世界上已探明的天然气储量中,相当大比例的天然气的形成与古生代以来的煤系地层密切相关,如西西伯利亚北部的特大型气田——乌连戈伊气田、荷兰的特大型气田——格罗宁根气田,前者与白垩系含煤岩系有关,后者的气源来自晚石炭世含煤地层。国内发现的长庆大气田、苏里格气田、东方 1—1 气田、东濮凹陷的文留气田和冀中凹陷的苏桥气田等也都与晚古生代以来的含煤地层有关。

现代煤成烃理论的发展可以追溯到 20 世纪 40 年代,德国学者首先提出煤系不仅能形成危害煤矿开采的瓦斯气,而且强调由煤系形成的气能够运移出来,并在储层中聚集形成常规气田,从而创立了煤成气地质理论。

我国从“六五”开始,对煤成气的研究和勘探给予了高度重视,经过“七五”及“八五”的科技攻关,总结并形成了系列煤成气地质研究方法和勘探技术。在煤型气和油型气理论的共同指导下,我国的天然气工业得到快速发展。

笔者多年从事煤型气的研究和勘探工作,工作中发现,目前煤型气研究成果较多,但均有不同的侧重点,缺少一部全面论述煤型气地质研究思路与方法的专著。于是萌发了对国内外的煤型气研究成果进行较为系统的总结的想法,并收集、整理和学习了很多的相关资料,也形成了一定的思路,但因理论水平和实践经验有限,迟迟未能下笔,在有关领导的鼓励和支持下,笔者终于在 2002 年初开始系统编写《煤型气地质综合研究思路与方法》一书,历时一年,完成了该书的编撰工作。

本书在吸收前人研究成果的基础上,结合笔者对煤型气研究的点滴认识,较为系统地总结了煤型气地质的基本理论和研究思路与方法。全书共分为十章:

第一章,简要介绍了煤型气在天然气资源中的重要性,重点介绍了煤型气的分类、煤型气研究的进展及其化学组成和特征。

第二章,介绍了煤层形成的堆积环境——泥炭沼泽的分类,形成煤层和煤系暗色泥岩的沉积环境及不同环境下形成的煤层的分布特点,重点介绍了潮湿气候条件下冲积扇和扇三角洲聚煤环境;简要论述了煤系地层的地震相、沉积有机相的类型及特征以及煤系等时地层格架的划分标志及不同体系域单元的煤层发育特点;最后介绍了含煤盆地的类型及煤系沉积的环境展布特点等。

第三章,介绍了煤系地层和煤层的追踪方法,包括煤层和煤系地层的地震反射特征、测井响应特征及电法勘探过程中的电性特征及处理方法等。

第四章,介绍了煤系烃源岩的分类、有机质的光学性质及鉴定方法、有机质生烃潜力评价以及二次生烃时的有机碳下限值等。

第五章,介绍了有机质堆积后的成煤作用类型、煤的热演化作用类型、影响因素及演化阶段的划分等;重点介绍了煤的二次演化作用及其迟滞效应。

第六章,介绍了煤型气产烃率模拟的基本方法及模拟条件的优选、不同显微组分和全

煤的产烃率、模拟产物及残余物的地球化学特点等；同时也简要介绍了利用计算法和岩石热解方法确定煤系烃源岩生气量的基本思路和方法，这两种方法主要应用于没有低成熟度煤样的地区，对于研究这类地区烃源岩的主生气期、计算煤型气资源量等具有重要意义。

第七章，介绍了天然气成因的鉴别方法，包括天然气组分组成、碳及氢同位素、苯、甲苯和甲基环己烷碳同位素、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值等方法。

第八章，简要介绍了形成大—中型气田储层的沉积环境及孔、渗等物性特征，重点介绍了煤系储层的类型、发育特点及煤系地层中有机酸对成岩演化的影响等。

第九章，介绍了煤层气的基本地质特征，包括煤层气的赋存状态、煤层含气量的影响因素、含气量的测定方法以及煤层气地质评价选区的主要研究内容及标准。

第十章，分别介绍了煤成气和煤层气的资源量分类和计算方法，重点介绍了煤成气资源量计算过程中排烃系数的两种确定方法，这在资源评价的历史上是一个飞跃，使排聚系数的确定有了理论依据；另外还介绍了煤层连续性的研究方法，这些方法在煤层气勘探、开发及资源量计算过程中也是十分重要的。

考虑到煤型气生成之后，经过一次运移和二次运移到达圈闭，其成藏条件与油型气基本一致。因此，本书对煤成气的盖层、圈闭及保存条件没有进行论述，可以参考《天然气地质学》的有关章节。

参加本书撰写工作的作者依次为：前言、第一章由时华星、彭木高编写，第二章由解习农、徐春华编写，第三章由邹文勇、裴磊、宋维奇编写，第四章由宋明水、彭木高编写，第五章、第六章由解习农、王欣辉编写，第七章由孔凡顺、宋广达编写，第八章由宋国奇、徐春华编写，第九章由宋明水、徐春华编写，第十章由徐春华、程守田编写。全书由徐春华统稿，时华星、宋明水审定。

由于笔者水平有限，加之资料收集不全，在某些方面可能总结的不够全面，书中笔者的一些观点和认识也不一定完全正确，敬请有关专家和读者斧正。

作者
2004年2月

目 录

第一章 天然气与煤型气	(1)
第一节 绪论	(1)
一、天然气在能源结构中的地位	(1)
二、煤型气在天然气资源中的重要性	(2)
第二节 煤型气研究现状	(4)
一、煤成气研究进展	(4)
二、煤层气研究进展	(6)
第三节 天然气及其类型	(7)
一、天然气的化学组成及物理性质	(7)
二、有机成因天然气类型	(10)
三、无机成因的天然气	(14)
四、天然气与石油性质的基本差别	(14)
第四节 煤型气的分类与化学特征	(15)
一、煤型气类型	(15)
二、煤型气的主要物理化学性质	(16)
第二章 煤及含煤岩系的沉积环境	(19)
第一节 成煤母质的堆积环境	(19)
一、沼泽与泥炭沼泽的概念及类型	(19)
二、泥炭沼泽的形成条件	(22)
三、从泥炭层到煤层的厚度缩减	(23)
四、成煤泥炭沼泽类型的重建	(23)
第二节 煤及煤系地层形成的沉积环境	(24)
一、冲积扇沉积与煤层的形成	(24)
二、扇三角洲沉积与煤层的形成	(28)
三、河流沉积与煤层的形成	(36)
四、三角洲沉积与煤层的形成	(39)
五、滨岸沉积与煤层的形成	(44)
第三节 含煤岩系的地震地层学研究	(48)
一、地震反射特征的地质意义	(48)
二、煤系地层的主要地震相类型	(49)
第四节 含煤岩系的沉积有机相研究	(52)
一、有机相的概念及划分指标	(52)
二、含煤岩系的沉积有机相	(53)

三、煤的沉积有机相与煤岩类型	(54)
第五节 煤系地层的等时地层格架	(55)
一、煤系地层的层序界面	(56)
二、基准面变化与煤岩类型	(58)
第六节 不同类型盆地的聚煤模式	(58)
一、克拉通型含煤盆地的聚煤模式	(58)
二、大陆边缘型含煤盆地的聚煤模式	(59)
三、陆内拗陷型含煤盆地的聚煤模式	(60)
四、裂谷型含煤盆地的聚煤模式	(61)
五、四种含煤盆地主要沉积特征的对比	(62)
第三章 煤系地层的识别与追踪	(64)
第一节 煤系地层的地震反射特征与标定	(64)
一、煤层反射波的形成机理	(64)
二、煤系地层在地震剖面上的特征	(65)
第二节 煤层的测井响应	(66)
一、煤的视电阻率测井	(66)
二、声波测井	(68)
三、自然伽马测井	(68)
四、伽马 - 伽马测井	(69)
五、煤层测井解释实例	(69)
第三节 复杂地质体中煤系地层的电法识别	(70)
一、煤系地层的地球物理属性 (电阻率)	(70)
二、电法勘探 (MT 或 CEMP) 的资料处理	(71)
三、煤系地层提取的方法和技术	(78)
第四章 煤系地层中的有机质	(83)
第一节 煤系烃源岩及有机质赋存方式	(83)
一、烃源岩及煤系烃源岩的概念	(83)
二、沉积有机质赋存方式	(83)
三、煤层的划分标准及成因分类	(84)
第二节 有机质的光学和化学分类	(85)
一、有机质的光学分类	(85)
二、有机质的化学分类	(87)
第三节 煤及煤系泥岩的岩石学特征及鉴定	(90)
一、煤岩宏观组成	(90)
二、宏观煤岩类型	(91)
第四节 煤系有机质的显微组分及其特征	(91)
一、煤岩显微组分划分类型	(92)
二、富氢与贫氢显微组分的组成及特征	(96)
第五节 煤系烃源岩干酪根类型及特征	(97)

一、煤系烃源岩干酪根特征及分类依据	(97)
二、干酪根类型的划分	(99)
第六节 煤系有机质的生烃潜力评价	(107)
一、有机质丰度特征	(108)
二、煤系烃源岩的评价标准	(111)
第五章 煤系地层的热演化与二次生烃	(114)
第一节 成煤原始有机质与成煤作用	(114)
一、成煤原始有机质	(114)
二、成煤作用类型及特征	(115)
三、煤化作用过程中煤岩组成及结构的演化特点	(117)
第二节 煤系烃源岩的热演化作用类型及其影响因素	(118)
一、煤系烃源岩的热演化作用类型	(118)
二、含煤岩系深成热演化作用的影响因素	(122)
第三节 有机质成烃演化阶段及评价方法	(124)
一、有机质成烃演化阶段划分	(124)
二、烃源岩成熟度评价方法	(125)
第四节 煤系地层的二次生烃与迟滞效应	(128)
一、煤系地层的埋藏类型	(129)
二、二次生烃的迟滞效应	(130)
第六章 煤型气的生成与模拟	(137)
第一节 有机质转化的物理化学作用	(137)
一、生物化学作用	(137)
二、热降解作用	(139)
三、热裂解作用	(139)
第二节 煤型气模拟试验的产率及其影响因素	(140)
一、试验条件与试验结果对比	(140)
二、煤的全岩模拟试验与产气率	(143)
三、不同显微组分的模拟试验与产气率	(143)
四、煤型气产率的影响因素	(145)
第三节 煤系烃源岩热模拟的产物及其特征	(147)
一、不同演化阶段模拟的产物的产率变化特征	(147)
二、不同演化阶段模拟产物同位素的变化规律	(148)
三、模拟过程中残余物元素组成的变化	(149)
第四节 算法确定煤系烃源岩的生气量	(149)
一、利用煤的挥发分含量计算烃源岩甲烷生气量	(150)
二、煤岩显微组分法计算源岩生气量	(150)
第七章 煤成气的鉴别	(152)
第一节 煤成气的气体组分	(152)
一、煤成气中烃类气体的组分特征	(152)

二、煤成气中非烃类气体的组成特点	(154)
第二节 煤成气的稳定同位素特征	(156)
一、煤成气的稳定同位素基本特征	(156)
二、稳定碳同位素在煤成气鉴别中的应用	(158)
三、利用 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值鉴别煤成气	(171)
四、利用 C_7 系统三角图鉴别煤成气	(172)
第八章 煤系储层基本特征及评价	(174)
第一节 储层类型及特征	(174)
一、沉积环境与储层的岩石类型	(174)
二、大—中型气田的储层物性参数特征	(176)
第二节 煤系储层孔隙类型及次生孔隙的形成机理	(178)
一、孔隙类型及特征	(178)
二、煤系储层次生孔隙的形成机理	(179)
三、煤系有机质对储层发育的影响	(180)
第九章 煤层气地质特征	(182)
第一节 煤层气的赋存状态	(182)
一、吸附气及其含量的影响因素	(182)
二、游离气及其含量的影响因素	(184)
三、水溶气及其含量的影响因素	(189)
第二节 煤层气含量的控制因素	(190)
一、煤岩类型和煤岩组分	(191)
二、煤的变质程度	(191)
三、煤层承受的压力	(192)
四、煤层的埋深和煤阶	(193)
五、煤层的顶、底板岩性	(195)
六、火山活动对煤层含气量的影响	(195)
七、含煤岩系的地质年代	(195)
八、煤层所处的构造位置	(195)
九、地下水的活动	(196)
第三节 煤层含气量的测定方法	(196)
一、解吸法	(196)
二、吸附等温线法	(200)
三、图解法	(201)
四、估算法	(202)
五、测井曲线推测法	(202)
第四节 煤层气地质选区评价	(203)
一、煤系地层沉积环境	(203)
二、构造地质条件	(204)
三、煤层的孔隙性	(205)

四、煤层的渗透性·····	(206)
五、火成岩发育特征研究·····	(208)
六、煤层气的含气性与含气饱和度·····	(208)
七、构造应力场的研究·····	(209)
八、煤层气勘探选区评价·····	(209)
第十章 煤型气资源量的计算·····	(211)
第一节 煤成气资源量的分类与计算·····	(211)
一、煤成气资源分类和分级·····	(211)
二、盆地模拟法煤成气资源量计算·····	(212)
第二节 煤层气资源量和储量的划分与计算·····	(217)
一、煤层气资源量和储量的划分·····	(217)
二、煤层气的储量计算方法·····	(218)
三、煤层气资源量计算参数·····	(218)
后记·····	(224)
参考文献·····	(225)

CONTENTS

Chapter 1 Natural Gas and Coal – related Gas	(1)
Section 1 Introduction	(1)
1. The role of natural gas in resource constitution	(1)
2. The importance of coal – related gas in natural gas resource	(2)
Section 2 The studied situation of coal – related gas	(4)
1. The progression of coal – derived gas	(4)
2. The progression of coal – seam gas	(6)
Section 3 Characteristics and classification of natural gas	(7)
1. The chemical composition and physical characteristics of natural gas	(7)
2. Organic genetic types of natural gas	(10)
3. Anorganic genetic types of natural gas	(14)
4. The basic characteristic difference between natural gas and petroleum	(14)
Section 4 The classification and chemical feature of coal – related gas	(15)
1. Coal – related gas types	(15)
2. Main physical – chemical characteristics of coal – related gas	(16)
Chapter 2 The Sedimentary Environment of Coal and Coalbearing Series	(19)
Section 1 The parent material in accumulation environment	(19)
1. The concept and types of marsh and turf marsh	(19)
2. The forming condition of turf marsh	(22)
3. The thick decrease from turf – seam to coal – seam	(23)
4. The type re – construction of coal – forming turf marsh	(23)
Section 2 The sedimentary environment of coal and coalbearing formation	(24)
1. The formation of alluvial fan and coal – seam	(24)
2. The formation of fan delta and coal – seam	(28)
3. The formation of fluvial deposition and coal – seam	(36)
4. The formation of delta and coal – seam	(39)
5. The formation of shoreline deposition and coal – seam	(44)
Section 3 Seismic stratigraphy of coalbearing series	(48)
1. The geologic meaning of seismic reflective feature	(48)
2. Main seismic facies types of coal measure strata	(49)
Section 4 Organic facies of coalbearing series	(52)
1. The concept of organic facies and division index	(52)
2. Organic facies of coalbearing series	(53)
3. Coal organic facies and coal types	(54)

Section 5	Isochronous stratigraphic frameworks of coal measure strata	(55)
1.	The sequence boundary of coal measure strata	(56)
2.	The deleveling and coal types	(58)
Section 6	Coal accumulation models of basin	(58)
1.	The coal accumulation model in craton coal – bearing basin	(58)
2.	The coal accumulation model in continental margin coal – bearing basin	(59)
3.	The coal accumulation model in intracontinent depression coal – bearing basin	(60)
4.	The coal accumulation model in rift coal – bearing basin	(61)
5.	The correlation of main sedimentary features among four coal – bearing basins	(62)
Chapter 3	The Identifying and Tracking of Coal Measure Strata	(64)
Section 1	Seismic reflective features and calibration of coal measure strata	(64)
1.	The forming mechanism of coal – seam reflection	(64)
2.	Features of coal measure strata on seismic sections	(65)
Section 2	Logging responses of coal – seam	(66)
1.	Coal apparent resistivity logging	(66)
2.	Acoustic logging	(68)
3.	Spontaneous gamma logging	(68)
4.	Gamma – gamma logging	(69)
5.	Interpreted examples of coal – seam logging	(69)
Section 3	The electrical identification of coal measure strata	(70)
1.	Geophysical attributes of coal measure strata	(70)
2.	The data procession of electrical survey	(71)
3.	Methods and techniques of selecting coal measure strata	(78)
Chapter 4	The Organic Matter in Coal Measure Strata	(83)
Section 1	The coal source rock and occurrence pattern of organic matter	(83)
1.	The concept of source rock and coal source rock	(83)
2.	The occurrence pattern of organic matter	(83)
3.	The division criterion and genetic classification of coal – seam	(84)
Section 2	The optical and chemical classification of organic matter	(85)
1.	The optical classification of organic matter	(85)
2.	The chemical classification of organic matter	(87)
Section 3	The petrologic feature and identification of coal and coal mudstone	(90)
1.	Macro ingredient composition	(90)
2.	Macro ingredient types	(91)
Section 4	The maceral and feature of coal organic matter	(91)
1.	Maceral types of ingredient	(92)
2.	Compositions and features of hydrogen – prone and hydrogen – poor maceral	(96)
Section 5	Kerogen types and features of coal source rock	(97)
1.	Kerogen features and classification basis of coal source rock	(97)

2. The types of kerogen	(99)
Section 6 The hydrocarbon potential of coal organic matter	(107)
1. The abundance of organic matter	(108)
2. The evaluation criterion of coal source rock	(111)
Chapter 5 The Thermal Evolution and Secondary Hydrocarbon Generation	(114)
Section 1 Original organic matter of coal – forming and incoation	(114)
1. Original organic matter of coal – forming	(114)
2. The characteristics and types of incoation	(115)
3. The evolutionary characteristics of ingredient composition and construction in coalification	(117)
Section 2 Thermo – evolutionary types and influential factors	(118)
1. Thermo – evolutionary types of coal source rock	(118)
2. Influential factors of hypogenic thermo – evolution	(122)
Section 3 Evolution phases and evaluation methods of hydrocarbon – forming of organic matter	(124)
1. The evolution phase division of hydrocarbon – forming of organic matter	(124)
2. The evaluation method of source rock maturity	(125)
Section 4 Secondary hydrocarbon generation and lag effect of coal measure strata	(128)
1. Buried types of coal measure strata	(129)
2. Lag effects of secondary hydrocarbon generation	(130)
Chapter 6 The Generation and Simulation of Coal – related Gas	(137)
Section 1 Physical – chemical actions of organic matter conversion	(137)
1. Biochemistry	(137)
2. Thermal degradation	(139)
3. Thermal racking	(139)
Section 2 The productivity and influential factors of coal – related gas modeling	(140)
1. Correlation to test condition and test result	(140)
2. Whole rock modeling of coal and gas productivity	(143)
3. Modeling of different macerals and gas productivity	(143)
4. Influential factors of coal – related gas productivity	(145)
Section 3 Thermo – modeling products and features of coal source rock	(147)
1. Productivity changes of modeling products in different evolutionary phases	(147)
2. Isotope changes of modeling products in different evolutionary phases	(148)
3. Changes of residual element compositions in modeling process	(149)
Section 4 Confirming gas – generative production of coal source rock by calculus	(149)
1. Calculating methane production of source rock by coal volatile content	(150)
2. Calculating gas – generative production by coal maceral	(150)
Chapter 7 The Discrimination of Coal – derived Gas	(152)
Section 1 Components of coal – derived gas	(152)

1. Hydrocarbon in coal – derived gas	(152)
2. Non – hydrocarbon in coal – derived gas	(154)
Section 2 Stable isotope features of coal – derived gas	(156)
1. Basic stable isotope features of coal – derived gas	(156)
2. Uses of stable carbon isotope in the discrimination of coal – derived gas	(158)
3. The discrimination of coal – derived gas by ratio of $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	(171)
4. The discrimination of coal – derived gas by C_7 triangular diagram	(172)
Chapter 8 The Basic Feature and Evaluation of Coal Reservoir	(174)
Section 1 The types and features of reservoir	(174)
1. Sedimentary environments and rock types of reservoir	(174)
2. Reservoir physical parameters in large – middle gasfields	(176)
Section 2 Pore types in coal reservoirs and forming mechanisms of secondary pores	(178)
1. Pore types and features	(178)
2. Forming mechanisms of secondary pores in coal reservoir	(179)
3. The influence of coal organic matter to reservoir development	(180)
Chapter 9 The Geologic Feature of Coal – seam Gas	(182)
Section 1 Occurrence regimes of coal – seam gas	(182)
1. Influential factors of absorbed gas and content	(182)
2. Influential factors of free gas and content	(184)
3. Influential factors of water – soluble gas and content	(189)
Section 2 Controlling factors of coal – seam gas content	(190)
1. Coal types and macerals	(191)
2. Coal metamorphic degrees	(191)
3. The bearing pressure of coal – seam	(192)
4. The buried – depth of coal – seam and coal rank	(193)
5. The lithology of top and bottom coal – seam	(195)
6. Volcanic activities	(195)
7. Geologic times of coal – bearing series	(195)
8. Structural locations of coal – seam	(195)
9. Activity of underground water	(196)
Section 3 Measuring methods of gas – bearing content in coal – seam	(196)
1. The desorption method	(196)
2. The adsorbed isotherm method	(200)
3. The graphic method	(201)
4. The approximation method	(202)
5. The speculation method by logging	(202)
Section 4 The selected geologic evaluation of coal – seam gas	(203)
1. The sedimentary environment of coal measure strata	(203)
2. The tectonic geologic condition	(204)

3. The porous ability of coal – seam	(205)
4. The permeable ability of coal – seam	(206)
5. The igneous rock development feature	(208)
6. The gas – bearing character and saturation of coal – seam gas	(208)
7. The tectonic stress field	(209)
8. The selected evaluation in coal – seam gas exploration	(209)
Chapter 10 The Calculation of Coal – related Gas Resource	(211)
Section 1 The classification and calculation of coal – derived gas resource	(211)
1. The classification and gradation of coal – derived gas resource	(211)
2. The calculation of coal – derived gas resource by basin simulation	(212)
Section 2 The classification and calculation of coal – seam gas resource and reserve	(217)
1. The classification of coal – seam gas resource and reserve	(217)
2. The calculation methods of coal – seam gas reserve	(218)
3. The calculation parameters of coal – seam gas resource	(218)
Postscript	(224)
References	(225)

第一章 天然气与煤型气

第一节 绪 论

天然气是指一切天然生成的气体，根据成因可分为有机成因气、无机成因气和混合成因气。根据生成天然气的母质类型，可以把有机成因天然气划分为油型气和煤型气两种类型。油型气是指沉积地层中的腐泥型有机质在热演化作用过程中伴随石油的形成过程而生成的天然气；煤型气是指煤系地层中腐殖型有机质在煤化作用过程中形成的天然气，包括煤层气 (coal-seam gas) 和煤成气 (coal-derived gas)。煤层气是指煤化作用过程中形成的、目前仍然吸附在地下煤层中的天然气；煤成气是指煤化作用过程中形成的、经过初次和二次运移、聚集成藏后，目前仍然储存在地下圈闭中的天然气。

一、天然气在能源结构中的地位

煤炭、石油、天然气和核能是世界能源结构中的四大支柱，在当今这四大能源支柱中，石油占 38% ~ 40%，煤炭占 25% ~ 30%，天然气占 20% ~ 22%，核能占 8% ~ 17%。相比之下，作为优质、洁净的工业燃料、民用燃料以及化工原料的天然气资源的探明程度和综合利用程度仍然很低。

从 1960 年起，天然气储量和产量呈逐年快速增长的趋势，其年增长率超过了石油资源，特别是近 30 年得到了迅猛发展。从发展趋势来看 (Marchetti C, 1979)，21 世纪前 25 年的天然气资源将有更大的增长，在能源结构中将有更重要的地位 (图 1-1)，并将逐渐取代石油而成为头等重要的能源，这种发展趋势已成为国内外许多经济专家与石油地质学家的共识。因此，从 20 世纪 80 年代起，各国普遍加强了天然气的勘探与开发。

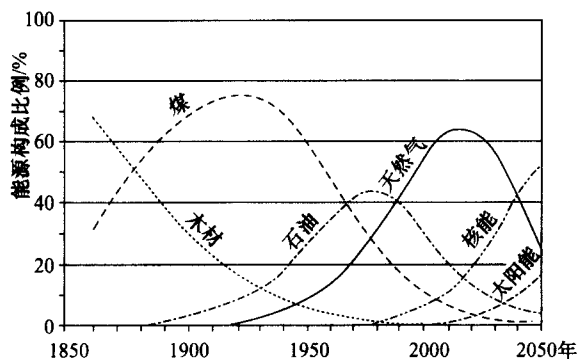


图 1-1 世界主要能源增长趋势预测图

(据 Marchetti C, 1979)

中国作为世界上最大的发展中国家,在四大能源支柱中,煤炭约占 75%,天然气仅占 2%,天然气的探明程度和综合利用水平与世界先进水平相比还有相当大的差距,正因为如此,其发展潜力巨大。1994 年,中国石油天然气总公司和中国海洋石油总公司根据当时的勘探程度和研究状况,预测我国常规天然气资源量为 $38 \times 10^{12} \text{m}^3$,不包括致密砂岩气、煤层气、水溶气和第四系浅层天然气等非常规天然气资源量,但根据有关专家分析,这部分天然气的总量可能超过常规天然气的资源量。近十余年来,我国的天然气勘探得到了迅猛发展,成为天然气工业发展史上取得成效最好的时期。“陕气入京”和“西气东输”两大天然气系统工程启动,从另一个侧面证明了天然气在我国国民经济发展过程中的地位已日益重要。

二、煤型气在天然气资源中的重要性

近 40 年来,天然气资源的快速增长,主要是煤成气田的发现与开发的结果。煤成气作为天然气的一种重要组成类型,具有重要的地位和广阔的勘探前景。国内外近十几年来对煤成气的勘探和研究表明,大部分天然气来自于煤系地层,而特大型—大型天然气田也主要与煤系地层有关。在世界已探明的天然气储量中,相当大比例的天然气的形成与古生代以来的煤系地层密切相关,如前苏联西西伯利亚北部的特大型气田——乌连戈伊气田、荷兰的特大型气田——格罗宁根气田,前者与白垩系含煤岩系有关,后者的气源主要来自晚石炭世含煤地层。国内发现的鄂尔多斯盆地长庆大气田、苏里格气田、东濮凹陷的文留气田、塔里木盆地克拉 2 气田、莺琼盆地崖 13-1 气田和东方 1-1 气田等也与晚古生代以来的含煤地层有关(关德师、张文正,1986;许化政,1987;夏新宇等,2002)。

据粗略估计,在世界上已探明的天然气藏中,煤成气储量所占的比例超过 40% ~ 50% (有的专家估计为 70% ~ 80%)。通过对世界上天然气储量大于 $10 \times 10^{12} \text{m}^3$ 的 26 个特大型气田的天然气成因研究,发现其中有 16 个是煤成气田,占特大型气田总数的 61.5% (哈尔布特,1970)。这 16 个煤成气田的探明储量占 26 个特大型气田总储量的 72.2%。根据储量大小排列,世界上前 5 名的特大型气田依次为乌连戈伊气田、尤比列伊气田、格罗宁根气田、北极气田和扎波里昂气田,以上气田均为煤成气田。

显而易见,全球发育众多的含煤盆地、纵向广布的含煤地层和丰富的煤炭资源为煤成气的生成和聚集提供了雄厚的物质基础。由此表明:世界含能源盆地中的煤成气资源十分丰富。因而,对含煤盆地成藏条件的研究也越来越受到石油勘探家们的重视。

近 40 年来,由于对煤成气田的勘探与开发,使一些国家的天然气产量不断增加,并逐步改善了能源结构。如苏联 1955 年天然气产量仅 $90 \times 10^8 \text{m}^3$,后因勘探开发了西西伯利亚等 7 个含煤成气盆地,使得天然气产量自 1960 年的 $453 \times 10^8 \text{m}^3$ 增至 1980 年的 $4350 \times 10^8 \text{m}^3$,在短短 25 年间,使得年产量增长了近 48 倍,其天然气在能源结中的比例迅速增长。由于格罗宁根煤成气田的勘探与开发,荷兰由能源进口国一跃而成为能源输出国。

在 20 世纪 80 年代以前,我国仅以油型气地质理论为指导,还没有把煤型气作为主要的能源进行勘探和研究,导致天然气勘探避开了具有良好含气远景的含煤盆地和含煤地层。因此,在天然气勘探领域方面,中国共发现了 6 个大—中型气田(即可采储量大于 $100 \times 10^8 \text{m}^3$,戴金星等,1996),探明天然气地质储量仅为 $1475.5 \times 10^8 \text{m}^3$,其中大—中型煤成气田 2 个,探明天然气储量仅占探明总储量的 9%,特别是没有发现高产大气田。但