

NATURAL GAS
GEOLOGY
IN CHINA



中國天然氣地質

冯福闯 王庭斌 张士亚 张洪年
刘国璧 游秀玲 郜建军 等著

地 质 出 版 社

中国天然气地质

冯福闯 王庭斌 张士亚 张洪年
刘国璧 游秀玲 郇建军 等著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

这是一部有关分析中国天然气资源和地质环境的综合性科学专著。主要内容包括含气(油)盆地、地热条件、气源、含气储盖层系、典型气藏、气田、资源潜力和发展前景。这部专著是在80年代初到90年代初的国家重点科技攻关项目——天然气研究成果的基础上,撰写而成的。可以认为本书是对中国天然气地质的初步总结。

本书可供油气勘查工作者、有关的科研人员、院校师生等参阅。

图书在版编目(CIP)数据

中国天然气地质/冯福闯等著. —北京:地质出版社, 1995. 12
ISBN 7-116-01924-3

I. 中… II. 冯… III. 石油天然气地质-中国 IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第11770号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路29号)

责任编辑:张书麟 钱少华 李兴镛

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 ¹/₁₆印张: 23 字数: 560000

1995年12月北京第一版·1995年12月北京第一次印刷

印数: 1—1000册 定价: 35.00元

ISBN 7-116-01924-3

P·1493

目 录

序	(1)
绪 论 (中、英文)	(3)
第一篇 中国的沉积盆地和含气 (油) 盆地	(24)
第一章 沉积盆地形成演化的大地构造背景	(27)
第一节 中国及邻区地壳结构与盆地	(27)
第二节 前中生代构造体系与克拉通型盖层演化	(31)
第三节 中生代构造格局和盆地	(35)
第二章 含气 (油) 盆地的构造特征与分类	(51)
第一节 与特提斯构造有关的盆地	(51)
第二节 与西太平洋构造有关的盆地	(68)
第三章 中国含气 (油) 盆地的地热场	(83)
第一节 中国大陆、海域的区域地热场概况	(83)
第二节 盆地的热分类及代表性盆地的热分析	(87)
第四章 盆地·地热·气 (油)	(98)
第一节 “盆·热·烃”的理论模型	(98)
第二节 今地温与古地温	(99)
第三节 两个门限	(102)
第四节 气—油相态结构	(107)
第五节 盆地的冷热与油气关系	(108)
第五章 气盆、油盆、油-气盆	(110)
第二篇 中国的天然气和气源岩	(113)
第一章 天然气的类型和性质	(113)
第一节 中国天然气的分布	(113)
第二节 多源多阶段成气	(117)
第三节 天然气成因分类	(118)
第四节 各类天然气的性质	(124)
第五节 中国主要含油气盆地的天然气分析	(130)
第二章 气源岩类型和生气条件分析	(137)
第一节 气源岩的类型和分布	(137)
第二节 煤系气源岩	(138)
第三节 碳酸盐岩气源岩	(147)
第四节 湖相烃源岩	(158)
第五节 气源岩的演化特征和生烃潜力	(164)
第三篇 中国主要盆地储盖条件及含气系统特征	(168)
第一章 中国主要含气盆地储层特征	(168)
第一节 中国陆源碎屑岩储层分布概况及基本特征	(168)

第二节	中国碳酸盐岩储层分布概况及基本特征	(191)
第三节	中国非沉积岩类储层概况	(210)
第二章	中国主要含气盆地盖层特征	(213)
第一节	盖层封闭天然气能力的原理及评价方法	(213)
第二节	盖层封闭条件的实例分析	(223)
第三节	主要含气盆地天然气区域盖层的封闭效应	(228)
第四节	中国天然气保存条件概况	(232)
第五节	中国主要含气盆地天然气封盖条件综述	(235)
第三章	中国主要盆地含气系统特征	(237)
第一节	含气系统及含气组合的含义	(237)
第二节	中国主要盆地沉积特征及含气系统类型	(239)
第三节	含气系统特征概述	(241)
第四节	中国主要盆地(地区)各类含气系统的勘探前景	(253)
第四篇	中国天然气田(藏)的特征及成藏条件	(255)
第一章	天然气运移、成藏的机理	(255)
第一节	天然气藏是天然气聚集与散失动态历程的综合结果	(255)
第二节	天然气运移的相态及方式比石油广泛	(256)
第三节	天然气运移特征的探讨	(257)
第二章	气藏类型的划分及气田(藏)的基本特征	(260)
第一节	气藏类型划分	(260)
第二节	中国天然气田(藏)的基本特征	(263)
第三节	典型气田(藏)的地质特征	(270)
第三章	中国天然气成藏的地质环境	(283)
第五篇	天然气资源量预测	(291)
第一章	中国天然气资源概况	(291)
第一节	天然气资源在能源结构中的位置	(291)
第二节	以往各系统对我国天然气资源的估算情况	(292)
第三节	天然气资源量计算范围及方法原则	(293)
第二章	天然气资源量计算方法的探讨	(297)
第一节	热解模拟天然气发生率法(本文统一使用的方法)	(297)
第二节	生物气资源量计算方法探讨	(301)
第三节	计算碳酸盐岩气资源量储层体积法	(306)
第四节	煤层甲烷资源量计算方法	(310)
第五节	对数正态模拟法	(313)
第六节	生聚系数的确定	(317)
第三章	中国主要盆地天然气资源概况	(323)
第一节	天然气资源总量	(323)
第二节	天然气资源分布状况	(327)
第四章	对中国天然气资源勘探前景的分析	(338)
第一节	利用灰色系统理论预测天然气储产量的增长趋势	(338)
第二节	天然气勘探决策分析	(340)
结语		(349)

CONTENTS

Preface	(1)
Contents	(3)
Introduction	
Part One Sedimentary Basins and Gas- (Oil-) Bearing Basins in China	(24)
Chapter One Tectonic Background of Sedimentary Basins' Formation and Evolution	(27)
Section One Crustal Structures and Basins in China and Adjacent Areas	(27)
Section Two Pre-Mesozoic Tectonic System and Evolution of Cratonic Cover	(31)
Section Three Meso-Cenozoic Structural Pattern and Basins	(35)
Chapter Two Structural Characteristics and Classification of Gas- (Oil-) Bearing Basins	(51)
Section One Basins Related to Tethyan Structures	(51)
Section Two Basins Related to West Pacific Structures	(68)
Chapter Three Geothermal Fields of Gas- (Oil-) Bearing Basins in China	(83)
Section One Regional Geothermal Fields Onshore and Offshore China	(83)
Section Two Basins' Thermal Classification and Thermal Analysis of Typical Basins	(87)
Chapter Four Basin, Geotherm and Gas (Oil)	(98)
Section One Theoretical "Basin-Geotherm-Hydrocarbon" Model	(98)
Section Two Present and Ancient Geotemperatures	(99)
Section Three Two Thresholds	(102)
Section Four Vertical Changes of Gas-Oil Phase Behavior	(107)
Section Five Relation between Oil and Gas and Cold and Hot Basins	(108)
Chapter Five Gas Basin, Oil Basin, and Oil and Gas Basin	(110)
Part Two Natural Gas and Gas Source Rocks in China	(113)
Chapter One Types and Properties of Natural Gas	(113)
Section One Distribution of Natural Gas in China	(113)
Section Two Multisource and Multistage Gas Generation	(117)
Section Three Genetic Classification of Natural Gas	(118)
Section Four Natural Gas Properties	(124)
Section Five Gas in Major Petroliferous Basins	(130)
Chapter Two Types of Gas Source Rocks and Analysis of Gas-generating Conditions	(137)
Section One Types and Distribution of Gas Source Rocks	(137)
Section Two Coal Measures Gas Source Rocks	(138)
Section Three Carbonate Gas Source Rocks	(147)
Section Four Lacustrine Hydrocarbon Source Rocks	(158)

Section Five	Evolutionary Characteristics of Gas Source Rocks and Their Hydrocarbon-Generating Potentials	(164)
Part Three	Reservoir and Seal Conditions and Their Combination Characteristics	
	in China's Major Basins	(168)
Chapter One	Reservoir Characteristics in China's Major Gas-Bearing Basins	(168)
Section One	Distribution and Basic Characteristics of Terrigenous Clastic Reservoir Rocks in China	(168)
Section Two	Distribution and Basic Characteristics of Carbonate Reservoir Rocks in China	(191)
Section Three	Non-Sedimentary-Rock Reservoirs in China	(210)
Chapter Two	Caprock Characteristics in China's Major Gas-Bearing Basins	(213)
Section One	Fundamentals and Evaluation Methods of Caprocks's Gas-Sealing Capabilities	(213)
Section Two	Case Study of Caprocks's Sealing Conditions	(223)
Section Three	Sealing Effect of Regional Caprocks in Major Gas-Bearing Basins	(228)
Section Four	General situation of Natural Gas Preservation Condition in China	(232)
Section Five	A Summary of Natural Gas Sealing Condition in China's Major Gas-Bearing Basins	(235)
Chapter Three	Characteristics of Gas-Bearing Systems in China's Major Basins	(237)
Section One	Implications of Gas-Bearing System and Reservoir-Seal Combination	(237)
Section Two	Depositional Characteristics and Types of Gas-Bearing Systems in China's Major Basins	(239)
Section Three	Characteristics of Gas-Bearing System	(241)
Section Four	Exploration Potentials of Various Gas-Bearing Systems in China's Major Basins (or Areas)	(253)
Part Four	Characteristics of Gas Fields (Reservoirs) and Their Forming Conditions	
		(255)
Chapter One	Natural Gas Migration and Reservoiring Mechanism	(255)
Section One	Gas Reservoir is the Dynamic and Integrative Results of Natural Gas Accumulation and Dissipation	(255)
Section Two	Natural Gas Has Wider Phase Behavior and Way of Migration than the Oil ...	(256)
Section Three	An Approach to Characteristics of Natural Gas Migration	(257)
Chapter Two	Gas Reservoir Types and Basic Characteristics of Gas Fields (Reservoirs)	(260)
Section One	Gas Reservoir Types	(260)
Section Two	Basic Characteristics of Gas Fields (Reservoirs) in China	(263)
Section Three	Geological Characteristics of Typical Gas Fields (Reservoirs)	(270)
Chapter Three	Geological Environment of Natural Gas Being Reservoiried	(283)
Part Five	Estimation of Natural Gas Resources	(291)
Chapter One	General Situation of Natural Gas Resources in China	(291)

Section One	Position of Natural Gas in Our Energy Construction	(291)
Section Two	Previous Estimations of Our Natural Gas Resources	(292)
Section Three	Ranges and Methods of Natural Gas Resource Estimations	(293)
Chapter Two	An Approach to Calculation Methods of Natural Gas Resources ...	(297)
Section One	Pyrolysis Modelling of Gas Generation Yield	(297)
Section Two	An Approach to Biogas Resource Estimation	(301)
Section Three	Reservoir Volumetric Method of Estimating Gas Resources in Carbonate Rocks	(306)
Section Four	Estimation of Coal-Bed Methane Resources	(310)
Section Five	Lognormal Modelling	(313)
Section Six	Determination of Gas Accumulation-Generation Ratio	(317)
Chapter Three	Natural Gas Resources in China's Major Basins	(323)
Section One	Gross Natural Gas Resources	(323)
Section Two	Distribution of Natural Gas Resources	(327)
Chapter Four	Potential of Natural Gas Exploration in China	(338)
Section One	Growth Prediction of Gas Reserves and Production with Grey System	(338)
Section Two	Analysis of Gas Exploration Strategy	(340)
Concluding Remarks		(349)

序

在当今世界的能源中，以天然气工业发展最快。专家们普遍预测，在 21 世纪的能源构成中，天然气将会部分地取代石油和煤。21 世纪中叶将是以天然气为主的能源时代。

能源是世界各国国民经济建设发展的关键。在中国，能源紧张已成为制约国民经济发展的瓶颈。能源构成中，天然气工业显得更为落后，天然气仅占总能源的 3%。主要原因是天然气的勘探程度太低，对中国天然气地质特征和成矿规律的研究不够。

天然气在生成、运移、聚集和保存的地质条件上与石油有许多相似之处。但是，因为它的分子小，易于运移、扩散。它具有多源、多阶段生气和多类型储存的特点，因此天然气藏的形成有其特有的规律。在不能生成石油的源岩中可以生成丰富的天然气，在石油不能储存的岩石中可以产出有工业价值的天然气。

随着世界天然气工业的发展，美、俄等产气大国已经将天然气作为一个独立的矿种进行勘探工作，地质学家已经把天然气地质学作为地球科学里的一门独立学科开展研究工作。

为了发展中国的天然气工业，在第六个五年计划期间，国家计委将“煤成气开发研究”列入国家重点科技攻关项目。在第七个五年计划中，又进一步将“天然气（含煤成气）资源评价及勘探测试技术”列入国家重点科技攻关项目。地质矿产部、中国石油天然气总公司、中国海洋石油总公司、煤炭工业部、中国科学研究院共同组织了近千名科学工作者，对各类天然气藏的形成条件、富集规律、资源评价及勘探开发技术进行了比较系统的研究工作。通过科技攻关和勘探工作，中国的天然气工业有了令人瞩目的发展，1983—1992 年，10 年期间探明的天然气储量是 1949—1982 年 34 年的 2.4 倍，年均新增天然气探明储量是过去 34 年年均储量的 6.9 倍。这充分证明了邓小平同志关于“科学技术是第一生产力”论断的无比正确。

《中国天然气地质》一书的作者们是地质矿产部石油地质研究所的天然气地质学家，是“六五”、“七五”国家科技攻关——天然气项目的主要研究人员。10 年来，他们与各部门的地质学家共同工作，积累了与中国天然气地质特征有关的丰富的资料，建立了中国含煤-含油气盆地煤成气的地质理论、中国含气（油）盆地天然气地质特征的盆、热、气（油）理论，以及热控成岩、动态成藏、晚期成藏有利于形成大、中型气藏等理论及找矿思路。《中国天然气地质》一书就是他们对中国天然气地质特征研究成果的总结。全书共分五篇：第一篇，中国的沉积盆地和含气（油）盆地；第二篇，中国的天然气和气源岩；第三篇，中国主要盆地储盖条件及含气组合特征；第四篇，中国天然气田（藏）特征及成藏条件；第五篇，天然气资源量预测。全书以地球热力学理论和分析方法为指导思想，以盆地、热、气（油）作为联系各篇、章的纽带，从中国地质条件出发，在分析了丰富的实际资料的基础上，从不同领域总结了天然气地质的基本特点，指出了天然气的发展前景。

这本专著对于中国天然气地质特征及天然气资源分布规律的认识有了质的飞跃。它有力地说明了在具有多旋回构造发展历史的中国大陆，不仅蕴藏有丰富的石油资源，天然气

资源也是十分丰富的。相信这本专著的出版将有助于中国天然气工业的发展，也将为中国天然气地质科学的发展起到重要的促进作用。

关士聪 1995 年元月

绪 论

这是一部有关中国天然气地质的专著，专门分析研究中国陆上和海域与天然气矿产相关的区域地质、盆地、地热、气源、含气层系、储集层、气藏（田）、资源等方面的问题。

本书既包含有天然气地质学中一般所涉及的基础性理论和成矿规律，同时更强调从中国具体地质条件出发，在分析丰富的实际资料基础上，从中总结出具有中国这一地区性特色的地质成矿规律，目的是为了了解决中国境内的天然气矿产资源评价问题。

就中国而言，80年代前，是以找油为主，找气为辅；找油在前，找气在后。这种地质找矿程序，致使中国天然气地质科学的研究、勘探和天然气工业的发展等方面滞后于同时期的石油地质学、石油矿产开发进程。

全球范围内大致也存在着类似情况。总体概况是国外对天然气的勘探、开发、研究的进程也略晚于石油矿产的开发、研究。中国除四川盆地开发天然气矿产历史较早外，就全国而言，将天然气做为一种独立矿种，开展系统的专项科研、勘探活动始于80年代初期，至今仅有十多年的历史。

为了加强对天然气矿产的开发利用，改变天然气工业的落后局面，从80年代开始，国家将天然气资源的研究列入重点科研计划之内。首先从研究煤成气开始，逐步扩展到全部天然气矿产资源的研究，同时也加强了天然气专项普查勘探工作。天然气矿产攻关研究是一项国家级的巨大科研计划，参与这项科研计划的有地质矿产部、原石油工业部、煤炭工业部、中国科学院、地质院校等部门和单位的数以千计的科学工作者。通过10年攻关，在各个相关科技领域内，取得了相当大的进展，先后扩大了找气领域，发现了一批天然气田，加快了储量增长速度，使落后的局面有所改善。科研工作促进了勘探、开发，同时勘探也为科研提供了丰富的资料。虽然这项计划目前仍在继续执行中，但从现在掌握的大量基础性材料，已初步具备了总结中国天然气地质基本特征，估价天然气资源潜力及宏观分布的条件。

地质矿产部石油地质研究所从建所以来就非常重视对天然气资源的研究，是国家重点科技攻关项目——天然气资源研究计划的主持和执行单位之一。石油地质研究所主要承担全国天然气资源的综合研究，目前已积累了丰富的基础性资料，并有一批实践经验丰富、具有较高理论水平的地学专家参与此项研究工作。

本专著是以“六五”和“七五”天然气科研计划所提交的研究成果，主要以1990年完成的“天然气（含煤成气）资源评价”为基础，并综合了1990年以后的成果撰写而成的。

本专著由五个部分组成：盆地篇、天然气与气源岩篇、含气层系储盖层篇、气藏篇和资源篇。本书以地球热力学理论和分析方法为指导，以“盆地、地热、气（油）”作为联系各个篇章的纽带，但每篇又具有相对的独立性。

为了使读者阅读方便，了解全书的梗概，现以提要的方式将几个有代表性的论点介绍如下：

一、沉积盆地的地球动力学与热体制分析

盆地是油气资源赋存的基本地质单元，历来是石油地质界的重点研究项目。本文侧重研究制约天然气资源分布的宏观地质因素，首先从分析盆地入手，从不同的角度对盆地的热体制，盆地构造及地球动力学，盆地的煤—气转化和共生，盆地的油气资源分类，盆地——地热——油气的成因联系进行分析。

1. 盆地的热体制（地热场）分析

一个地区的地热场是伴随地质历史中的热事件和构造事件而改变其分布状态的。中国境内热体制和构造格局大致反映了晚中生代以来的热构造特征。总的格局是新生代陆缘活动带是热构造活动最活跃的地带，大陆本部和中生代以前的构造带热构造活动相对平静。

以大地热流值和地热梯度两个因素作为盆地热分类的标准，将中国境内盆地划分为三类：①热盆类，即第三纪和晚中生代裂谷断陷盆地；②低热盆（冷盆）类，以西部压性前陆盆地为代表；③中热盆类，即介于热盆和冷盆之间的各类晚中生代以前的盆地。

2. 盆地的构造及地球动力学分析

从地球热力学和地球动力学观点出发，将中国境内的盆地分为两大类：一类是挤压性的冷的一中热的盆地，它们的形成和发展与特提斯构造体系的演化和关闭关系密切，这类盆地称为“特提斯盆地类”；另一类是热的、张性结构的盆地，它们的形成演化与晚中生代以来的大陆地壳伸展有关，受太平洋板块和欧亚板块之间的相互作用的影响，称之为“环太平洋盆地类”，这类盆地最突出的特征是晚中生代热构造活动强烈而频繁。

第一类压性盆地以前陆盆地为代表，它们的形成、演化与造山带挤压碰撞关系密切，其次还有造山带内的小盆地、长期处于稳定的克拉通盆地和古生代克拉通经过中生代强烈改造的克拉通隆褶带。

第二类张性盆地以裂谷和裂陷盆地为代表，前者与地壳深部热构造活动有关，后者与走滑、扭动有关，是处于近大陆边缘的盆地。这类盆地有小洋盆、被动边缘盆地和弧后盆地等。

3. 按油气资源分类的盆地

综观全球，油气资源的分布是不均匀的。有的盆地以含气为主，有的盆地以含油为主，有的盆地油、气两者比例相近。作者以油气预测资源量分布比例做为油气盆地分解的基础。

（1）气盆：是指气资源量超过 70%，油资源量小于 30% 的盆地。它们具有如下特征：①古生界海相碳酸盐岩层占优势，而且是气源岩演化程度较高的盆地（地区），如四川盆地、鄂尔多斯盆地、南方碳酸盐岩区；②含煤岩系发育或占很大优势的盆地，如东海盆地、鄂尔多斯盆地、楚雄盆地；③主力烃源岩演化程度高，或未成熟层系占优势的盆地，如琼东南盆地、莺歌海盆地；④部分前陆盆地、克拉通盆地和近陆缘热的张性盆地。

（2）油盆：是指油的资源量超过 70%，气资源量小于 30% 的盆地，以晚中生代及新生代拉张盆地为主，少部分为压性前陆盆地。如松辽、渤海湾、南襄、江汉、北部湾、珠江口、柴达木、酒西等盆地。

（3）油-气盆地：油和气资源比例大致相近，如塔里木盆地、准噶尔盆地。

二、煤成气地质与煤-气共生理论

“六五”期间开始研究中国的煤成气，“七五”期间在天然气攻关项目中继续加强了煤成气的研究，现已初步建立起中国的煤成气地质科学的雏型。石油地质研究所从一开始就

明确了攻关目标,采取以煤地质学理论和方法与石油天然气地质理论和方法相结合的基本研究思路。实践证明这种思路的效果是良好的。

1. “含煤-含气盆地”(1985)概念的核心问题是分析从含煤盆地发展成含气(油)盆地的条件和途径。煤盆地属于煤地质研究范畴,而含气(油)盆地则是石油天然气地质学基本研究内容。两类成矿体系——沉积固体矿床与流体矿床,必须在适当的条件下方能发生转化。这一概念的形成充分体现了两种成矿规律、两种学科的交叉和重叠。近年来已进一步从理论到勘探都证明煤和气,甚至煤、油、气往往能共生于同一盆地之内。

2. 并非所有煤盆、煤系均可生气、生油,只有一小部分煤盆、煤系能够形成有工业价值的含气(油)盆地。首先必须判断是哪一种煤盆,在什么环境下形成的煤系才有较好的成气(油)条件。经过“七五”深化研究,得出了如下认识:东部晚中生代—第三纪裂谷型(含其它拉张断陷)煤盆、煤系成烃潜力最好。因为这类盆地具有形成厚大的深覆水湖沼相和欠补偿湖相沉积的条件,富含陆源有机质,富烃组分含量较高,包括无结构镜质组、凝胶化程度较高的有机质。这些组分生气量较高,而且在成熟阶段尚可生成适量的轻质油。近年来在这类盆地中,如松辽盆地的下白垩统,渤海湾、东海、南海诸盆的下第三系的属于裂谷型含煤沉积和亚煤系中,发现了一系列煤成气田,其中以凝析气田、油气田占有相当大的比重。晚古生代克拉通型煤系,厚度薄、含煤系数高,煤层和泥质岩是主要的气源岩;凝胶化指数(GI)和结构保存指数(TPI)较高,但略低于裂谷型煤系。近年来在鄂尔多斯盆地的C—P煤系和碳酸盐岩风化壳中发现了相当可观的主要源于煤系的煤成气。华北地区是中国克拉通型煤层甲烷最集中的地区。前陆型煤系,川西的上三叠统煤系,塔里木、准噶尔盆地的侏罗系煤系,以浅沼煤系、粗碎屑沉积占优势,富烃有机组分不大发育,凝胶化指数、结构保存指数均不及前两类煤系。预计成气成油潜力不如前两类好。

3. 应用煤岩组分分析方法、地球化学分析方法和各类有机组分的生烃量首次对中国各个时代煤系中的煤层和泥质岩类进行分类,作为评价煤系生烃潜力的依据,这是一种新的颇具特色的分类方法。

三、“盆·热·烃”理论及地质模式

“盆·热·烃”,从盆地、地热、油气三者的成因联系阐明如何从普通的沉积盆地发展成含油、气盆地。盆地内部的构造作用、热作用和有机质演化基本上是同步进行的。以某一层系为准,随着盆地持续的构造沉降,该层系的地温不断增高,促使沉积层中的有机质,从不成熟→成熟→过成熟的程序连续演化。根据含油气理论,盆地上部为未成熟层次,具有生物气的生成环境;中部为成熟层次,具有液态烃形成的热条件;下部为高过熟层次,具有气态烃生成环境。

油气生成是一个复杂的地质过程,须有诸多因素的适当配置。其中,最重要的因素有两个,即物质和地质作用。前者是基础,包含一系列地质实体,如沉积物、有机质、储集层、圈闭构造等等;后者是条件,最关键的是热条件。热是出现生命的前提,有机质必须依赖热作用,方可分解为不同相态的烃类。地热是联系盆地与油气之间的纽带,它在含油气盆地整个发展过程中贯彻始终,是最活跃的地质作用。作者创建的“盆·热·烃”理论很好地阐明了盆地是通过什么途径来制约油气的形成,因而具有普遍性,可适用于一切油气盆地。

四、多源多阶段生气理论

源岩类型在很大程度上可决定气和油的生成比例。几乎所有含有机质岩类均可生成天然气。腐殖型、腐泥型、混合型有机质，海相、湖相、湖沼相等均能生气。气源比油源广泛得多，因此，气是多源的，相对而言，油是少源的。

成气是多阶段的，成油是单一阶段的。有机岩类及含有机质层系的成熟程度是气和油分离的主要因素。中演化阶段腐泥Ⅰ、Ⅱ型主要生油、少量生气；腐殖Ⅲ型和腐泥腐殖型（Ⅲ—Ⅱ）油气兼生，或以气为主，少量成油。在有机质的全部历史中只能有一个生油高峰，即生油窗；而天然气则至少有两个高峰期，甚至在各个发展阶段均能生气。

因此，天然气气源广泛，易于生成，但不易于保存，这是天然气最主要的特点之一。

在多源多阶段成气理论的指导下，取得了如下研究成果：将天然气分为腐泥型热成气、腐殖型热成气和腐泥型生物气、腐殖型生物气四类及若干亚类；建立了判识各类天然气的 $\delta^{13}\text{C}_1-\delta^{13}\text{C}_2$ 和 $\text{C}_1/\text{C}_{1-5}-\delta^{13}\text{C}_1$ 天然气类型图，并以此为主要依据对中国主要含油气盆地的天然气进行了分析；在气源岩研究中对含煤岩系、以碳酸盐岩为主的海相岩系和湖相碎屑岩系的烃源岩特征及生气条件进行了较深入的探讨；以有机岩石学的方法为主研究了有机相及其分布规律，分析了盆地类型和沉积环境对烃源岩有机质组成和生气能力的影响；综合了大量模拟生气实验的资料，对各类干酪根的演化生烃特征和生烃量进行了研究，将生烃过程划分为生物气生成阶段、贫烃气阶段、主要生油阶段、主要生气阶段和残余生气阶段。此外，根据“盆·热·烃”的理论还探讨了各类气源的生气作用与盆地地热条件的关系。

五、热控成岩作用与含气层系的储集、封盖性能

沉积物自沉积后就随着沉积盆地的演化而开始了成岩作用的进程，沉积层从高孔渗向低、超低孔渗演变，原生孔隙逐渐被次生孔隙取代。

据对世界油气田的统计，次生孔隙在油气储集中占有重要地位，是油气储集的主要空间。

次生孔隙的形成与变化受多种地质因素影响，这些地质因素与有机质演化一样，与热作用有一定的联系，因此可以简单地把时间、温度与压力、物理、化学作用一起看作是成岩作用的重要因素。随着埋深加大，压力影响逐渐变小，热作用就更为突出了。

沉积物热作用的热源来自地球深部地幔与地壳热源场，以及与之相应的有机质的热演化。地热宏观地控制着盆地（地区）成岩作用的速率、成岩作用阶段的深度及成岩作用的特征，影响次生孔隙发育的程度和深度。热作用则对盆地（地区）成岩作用及次生孔隙的发育程度有更直接的影响。

以碎屑岩储层为例，各盆地成岩作用的速率、常规储层深度界面、次生孔隙发育特点与盆地地温场特征有很好的对应关系。在中国东部中、新生代高地温场的热盆，从常规储层向非常规储层转化的深度界面在2—3.5km，而我国中、西部中、低地温场的中温盆和冷盆，这一界面深度是热盆类深度的2—3倍，塔里木盆地在6km以下。以同一成岩阶段为例，在中成岩Ⅱ阶段，热盆的次生孔隙带明显浅于、薄于冷盆。塔里木盆地中成岩Ⅱ阶段，厚度约为2200m，深度在5—7km；东部热盆的中成岩Ⅱ阶段的厚度只有400—800m，深度为2.5—3.5km，前者为后者的2—3倍。这表明从热盆到冷盆成岩作用的速率显著变缓，次生孔隙发育带厚度加大，深度拓宽的规律表明了影响成岩作用及次生孔隙发育的多种地质因素中盆地的热史、盆地类型及盆地的演化历史是宏观控制成岩作用及次生孔隙发育演化

的主要因素。因此，以盆地类型—发展历史—热场特征为主线研究盆地（地区）由浅部向深部区域性的成岩孔隙带的有序分布规律，这就是热控成岩作用研究的基本思路。

我们提出热控成岩作用的论点，并不是否定其它地质作用在成岩作用及次生孔隙发展中的作用，而是提醒人们注意热作用是影响成岩作用诸种地质作用中最活跃的因素，是深入研究成岩作用和次生孔隙发展历史不可忽视的地质作用。

中国碳酸盐岩储层以中、古生代为主，它们都经历了漫长而复杂的成岩演化历史，现今储层面貌与原始情况相比面貌全非，成岩作用及孔隙演化的物理、化学作用主要是白云化作用、溶解作用及构造破裂作用。这3种成岩作用并非孤立存在，与碎屑岩一样，受控于宏观地质环境，都与热作用关系密切，它们在统一的区域地质环境中相互促进与制约，成为一个有机联系的成岩作用场。由此决定了我们研究中国碳酸盐岩储层的理论和方法：密切结合盆地区域构造发展及热演化历史，强调区域不整合、沉积间断面和构造应力对碳酸盐岩储层储集条件改善的重要性。

根据这一思路，在总结中国碳酸盐岩储层特征的基础上，建立了五种碳酸盐岩孔（空）隙演化模式。其中以模式C——溶孔型滩相、藻坪相灰岩、白云岩储层和模式D——古风化溶蚀型白云岩、灰岩储层最为重要，分布也最广。

成岩作用的演化历史就是一部孔隙的演化历史，是原生孔隙不断消失，次生孔隙不断形成和演化的历史。在这个演化历史中，盆地的热场、盆地的构造演化及沉降速率将是我们评价与研究成岩作用及储集条件的重要的地质因素。

有效的盖层是天然气聚集成藏的重要条件，“七五”期间盖层研究已由定性研究逐步向定量、半定量研究方向发展。盖层的封闭能力是相对的，天然气保存是受多种因素控制的。我们的研究方法和主要思路是通过宏观与微观、气藏研究与实验室样品分析相结合，强调含气层与盖层之间的压力差，运用动态平衡观点对一些有代表性的气藏进行典型分析，已取得了初步成效。

六、天然气的动态成藏及晚期成藏有利于形成大、中型气藏

天然气藏的形成是天然气聚集与散失动态历程的综合结果。因为天然气具有易于运移、易于扩散的特性，它可以在石油不能储存的空间富集成藏，也可以在石油不被破坏的地质环境下散失殆尽，使气藏形成的动态历程更为复杂。为了阐明气藏形成中动态的特点，我们将气藏的形成划分为成藏的早期、中期和晚期阶段。

在成藏的早期阶段，气源岩有机质的生气量不断增加，使天然气的聚集量大于散失量，此时气藏逐渐形成，气藏的富集程度不断增加，这是气藏形成早期阶段（生长期）的动态和不平衡的主要特点。

在成藏的中期阶段，由于气源岩有机质生烃的高峰期已过，天然气的补给量可能与散失量相近，此时气藏处于动态的平衡状态，聚集量的增减变化较小。

在成藏的晚期阶段，气源的补给明显减小，多次的构造变动使天然气的散失量明显增加，随着地质时间的推移，最终导致气藏的破坏与枯竭，此时气藏的动态和不平衡的特点与早期阶段的内涵和性质完全不同。

因此，从动态的地质演化历史的观点分析，现今的气藏都经历了复杂的聚集与散失历程。在气藏形成的动态历程中，聚集与散失之间，平衡是暂时的，而不平衡则是主要的。在成藏的不同阶段由不平衡—平衡—不平衡的动态历程中，要使天然气聚集成藏并被保存下

来,需要具备下列基本条件:

1. 适时的供储关系;
2. 必要的聚集空间与保存条件;
3. 总聚集量必须大于总散失量。

天然气运移的相态及方式比石油复杂,不同有机质类型运移方式不同,有机质不同演化阶段运移相态及方式也不同,天然气成藏普遍具有多源、多阶段和多成因类型的特点,结合中国的地质特点,将天然气成藏的运移聚集型式划分为跨储式、近储式、内储式和自储式。中国的盆地地质结构比较复杂,多数气藏的形成以一种运聚型式为主,其它方式为辅。

中国的大、中型气田半数以上的主要生气期是第三纪,琼东南盆地的崖13-1气田的储量近千亿 m^3 ,气源层是在第三纪晚期—第四纪早期才进入成熟门限,生气高峰期和聚集成藏发生在第四纪晚近时期,推测目前仍在继续供气。它说明了只要地质条件具备,在较短的地质时间里就可以形成一个大气田,也说明了晚期生气、晚期成藏对于气藏形成的重要意义。

晚期生气、晚期聚集成藏的气田,其最大优点是聚集成藏的时间短,气藏形成后的保存持续时间更短,在一般情况下,这些气藏的散失量远小于聚集量,因此,在同样的地质条件下更有利于聚集形成丰富的天然气藏。

当然,不能认为所有晚期成藏的气田都能形成规模较大的气田,因为气藏的规模还取决于圈闭的大小、有机质丰度、储盖条件等多种因素。

生气高峰期早于第三纪的盆地(地带)也可以形成较大的气田,但要具备以下地质条件:位于适时的古隆起区及古构造;圈闭幅度比较大,聚气面积广;有丰富的气源和良好的储盖组合;特别是要有较好的封闭保存条件,最大限度地减少散失量。

综上所述,我们把天然气动态成藏及晚期成藏的论点用聚集量与时间两大要素加以概括:聚集量是生烃量、排烃运移量、聚集与散失量的综合,它体现了气藏的丰度。时间包括从生烃到聚集成藏的时间以及气藏形成后持续保存的时间,它体现了气藏的形成阶段。两个因素互为因果关系,是影响气藏形成诸种地质因素定量化的体现。一般说来,成藏持续时间短,持续保存时间短,天然气聚集成藏的速度快,散失量可能较少,则易于形成储量丰度较大的气藏;反之,成藏持续的时间长,持续保存的时间长,天然气聚集成藏的速度慢,天然气的散失量可能较大,则比较难以形成储量丰度较大的气藏。

以上就是我们提出的天然气动态成藏的论点(没有延用动平衡成藏概念),以及强调晚期成藏重要性的论点。

七、中国天然气资源和资源分布格局

10年来先后进行过两轮天然气资源量计算:1985年对9个大型盆地的煤成气资源进行预测,煤成气6万亿 m^3 ,煤成油23—33亿t;1990年采用统一原则和方法——气发生率法,对全国30多个盆地和12个海相沉积岩区块的四类气(煤成气、碳酸盐岩气、湖相腐泥伴生气及高熟—过熟气、生物气)分别进行了资源量计算。

四类天然气总资源量为38.03万亿 m^3 ,煤成甲烷16.46万亿 m^3 ,其中深埋1km以上的6.4万亿 m^3 。从各个盆地中选择了27个有找气价值的富气区块,获得圈闭资源量6.88万亿 m^3 。

1. 四类天然气所占比例:碳酸盐岩气占38.24%,煤成气占34.35%(不包括煤成甲

烷), 油田伴生气及其高熟—过熟气占 24.41%, 生物气占 7%。

2. 天然气资源的地理分布: 海域气区占 24.55%, 中部气区占 27.31%, 西北油气区占 29.97%, 松辽—渤海湾油区内的气资源占全国总气量的 18.17%。

3. 气资源大于 1 万亿 m^3 的盆地共有 10 个, 分别为塔里木、四川、东海、鄂尔多斯、琼东南、准噶尔、南方碳酸盐岩区、渤海湾、松辽、台西南等盆地, 占总资源量的 90.09%。

4. 气资源分布层系: 下第三系占 26.79%, 下古生界和震旦系占 27.18%, 石炭系、二叠系占 25.68%, 三叠系、侏罗系占 7.54%, 白垩系为 6.05%, 上第三系—第四系占 6.76%。

八、关于中国天然气勘探、开发的基本思路

在制定中国今后天然气发展规划时, 天然气资源状况和地质条件应该是主要依据, 同时还须考虑 勘探技术、经济地理、开发利用等条件。在综合分析以上诸种因素的基础上, 作者提出“大、中、小(型)并举, 长、中、近(期)兼顾”找气的基本方针。

中国天然气的发展方向, 究竟应该立足于找多大规模的气田? 这并非是一个简单的规模问题, 实质上是走什么发展天然气道路问题。一种是依靠发现大型气田采取高速度发展的模式; 另一种是依靠数量众多的中、小型气田, 积少成多的发展模式。一个地区、一个国家的气资源分布格局, 规模大小是不以人们的主观意志为转移的, 而是取决于该区的地质环境和资源状况。因此, 必须立足于中国的具体地质环境, 客观地、实事求是地进行资源分析预测, 在此基础上制定的勘探方案才能更接近于实际, 符合中国国情。中国的地质环境既不同于西伯利亚地台, 也不同于北美地台。相对而言, 中国的地质环境要复杂得多, 天然气比石油需要有更稳定更简单的地质结构, 复杂的地质环境必然会导致气聚集的多样性和分散性。

大、中、小(型)的另一含义是: 对于不同类型的盆地找气应该有不同的要求, 如塔里木、琼东南、东海等盆地, 一是有形成大中型气田的客观条件, 二是只有在这里找到大、中型气田, 方能达到开发条件; 松辽、渤海湾、鄂尔多斯、四川等盆地找气目标应是大、中、小型均可, 对其要求显然与边远地区和海域不同。因地制宜, 各有不同要求, 是合理的、可行的。

“长、中、近(期)兼顾”强调要有轻重缓急之分, 须根据各地区的地质的、经济的、地理的、所处勘探阶段和开发利用时间的不同, 在时间上有不同的计划安排。近期指“八五”期间, 中期指“九五”期间, 长期指下一世纪初。

西北油气区, 主要指塔里木、准噶尔、柴达木三个盆地, 前两个盆地均有形成大型级气田的地质条件, 气资源雄厚, 但由于处于边远地区, 各种条件均差, 且气层一般埋深很大, 目前尚处于勘探早期阶段, 显然, 本世纪内难以大规模利用, 可列为重点勘探区之一。

近海气区, 以琼东南、莺歌海、东海成气条件最好, 有充分的资料说明, 这里形成大中型气田的可能性很大。

海域诸盆和西北诸盆均须立足于找大型气田, 否则, 难以开发利用。总体上讲均属于下个世纪方能大规模开发利用, 但海域的条件比西北边远区似乎要好一些, 搞得好, 效果好些、速度可能快些。

中部气区, 主要是四川、鄂尔多斯和楚雄等盆地。川、鄂两盆是中国已发现的最主要的气盆, 它们的天然气地质条件和资源潜力稍逊于塔里木和海域诸盆, 已发现的气田以中小型为主, 个别接近于大型气田(国际标准)。因此, 以“大、中、小型并举”较为合适。