

NATURAL GAS
GEOLOGICAL
THEORY AND PRACTICE OF CHINA

中国天然气地质
理论基础与实践

王涛 主编



石油工业出版社

中国天然气地质理论 基础与实践

王 涛 主编

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书着重总结了近 15 年来中国天然气地质的实践和研究成果。在有机成因气和无机成因气分类的基础上,突出了有机成因气的划分和研究。在论述中国天然气组分特征,碳、氢、氮和氦同位素组成及其特征,轻烃地球化学特征的前提下,建立了一套准确度高各类天然气鉴别标志和方法。同时对中国气源岩、天然气储盖层的类型、分布和特征作了深入研究,并通过综合研究天然气的运移机理、聚集和成藏机制规律,阐述了中国天然气的分布特征和大中型气田的形成条件,指出了中国天然气的良好远景及有利勘探方向。

本书对从事油气及能源地质和地球化学的研究、生产人员有重要的参考价值,也可作为有关院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

中国天然气地质理论基础与实践/王涛主编. - 北京:
石油工业出版社, 1997.7
ISBN 7-5021-1852-7

I. 中…

II. 王…

III. 石油天然气地质-中国

IV. P618.130.206.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 20360 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 18¹/₄ 印张 2 插页 456 千字 印 1—1000

1997 年 7 月北京第 1 版 1997 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1852-7/TE·1564

定价: 40.00 元

前 言

煤、石油和天然气是现代三大能源支柱。天然气是三大能源支柱中最洁净又最有发展潜力的一种能源，所以受到人们普遍欢迎和注目。天然气工业的发展晚于煤炭工业和石油工业，目前正处于蒸蒸日上的蓬勃发展时期。据 C. Marchetti (1979) 预测，天然气在能源中的高峰态势将于下世纪初到来，本书在其前夜出版，希望他能为促进高峰的早日到来尽一份力量。

中国是世界上发现和利用天然气最早的国家之一，有着光辉的成就。13 世纪初，中国开发了世界上第一个天然气田——自流井气田，在世界科技史上占有灿烂的一页。在近代时期，由于中国逐渐沦为半殖民半封建国家，油气工业与其它工业一样，遭到严重的阻碍和摧残，发展极其缓慢，处于落后状态。建国后，中国天然气工业获得迅速发展（除台湾省外）。迅速发展的主要标志是勘探上的“三增”和研究上的“两发展”。“三增”：一是气田、储量和产量大增，至 1994 年底发现气田、探明储量和年产天然气分别约是建国前的 39 倍、3147 倍和 2381 倍；二是发现气田的盆地猛增，从建国前仅有 1 个四川盆地增加至 10 个；三是发现大中型气田陡增，建国前未发现一个，而建国后发现 30 个。研究上的“两发展”：一是从事天然气的地质研究人员大发展，建国前，中国只有 48 人从事石油地质调查研究，而至“八五”期间从事天然气地质研究人员达 3500 多人；二是天然气成因理论的发展，指导天然气勘探理论从仅以油型气的“一元论”，发展为油型气和煤成气的“两元论”。本书是在勘探上“三增”和研究上“两发展”的基础上成书的。作者是一批长期从事天然气科技攻关和勘探的骨干，因此善于总结和综合升华，精辟地论述了中国天然气地质新发现、新规律和新理论。

王涛组织主要作者两次详细讨论了本书编写提纲。根据编写提纲，全书撰写分工为：绪论由王涛和戴金星执笔；第一章由徐永昌、傅家谟、沈平、陈军红和刘文汇执笔；第二章由程克明、刘德汉、刘文汇和戴金星执笔；第三章由应凤祥、陈丽华、赵徵林、孔金祥和陈章明执笔；第四章由郝石生、宋岩和黄志龙执笔；第五章由戴金星执笔，由戴金星对全书作了文字修饰、术语统一的初步统稿，王涛最后进行了全面统编、审订和定稿。

本书除参考正式出版文献外，还参阅了全国各油气田的大量内部资料和研究成果，在此深表感谢。

目 录

绪 论	(1)
一、概述	(1)
二、中国天然气勘探开发和研究简史	(1)
三、日益兴旺的新中国天然气工业	(5)
参考文献	(8)
第一章 天然气地球化学特征	(10)
第一节 天然气成因类型	(10)
一、有机成因气和无机成因气	(10)
二、有机成因气及其成因分类	(13)
第二节 有机成因气的主要类型及其特征	(15)
一、生物(细菌)成因气	(15)
二、生物—热催化过渡带气	(20)
三、油型气	(26)
四、煤成气	(33)
第三节 中国天然气组分特征	(36)
一、烃类气体各组分的分布特点	(37)
二、非烃类气体主要组分分布特点	(38)
第四节 碳、氢、氮和氦同位素地球化学	(43)
一、烷烃气碳同位素组成及其特征	(43)
二、二氧化碳的碳同位素组成及其特征	(49)
三、烷烃气的氢同位素组成及其特征	(51)
四、天然气中氮、氦同位素组成及其分布	(56)
第五节 轻烃地球化学	(65)
一、轻烃的组成与地球化学参数	(65)
二、轻烃地球化学参数的应用	(67)
第六节 各类天然气的鉴别	(73)
一、天然气成因类型判别标志	(73)
二、不同成因天然气综合判别	(76)
参考文献	(78)
第二章 天然气源岩	(81)
第一节 煤系气源岩分布及其有机岩石学特征	(81)
一、古生代、中生代和新生代含煤岩系	(81)
二、煤及煤系泥岩显微有机组分的划分与命名及其特征	(83)
第二节 煤及煤系泥岩的有机地球化学特征	(87)
一、煤及煤系泥岩的热解分析结果	(87)
二、煤及煤系泥岩有机质含量和可溶有机质的生物标志化合物特征	(90)

第三节 煤系源岩的生烃规律和模式	(95)
一、煤岩组成的生烃性能和生烃规律	(95)
二、煤化作用与煤成烃模式	(98)
第四节 碳酸盐源岩分布及其地球化学特征	(101)
一、主要盆地的碳酸盐岩气源岩	(102)
二、碳酸盐岩有机质的赋存形式及其地球化学特征	(104)
第五节 碳酸盐岩生烃机制及成烃模式	(112)
一、自然演化系列样品的石油地质背景	(112)
二、碳酸盐岩的生烃过程及成烃演化模式	(117)
第六节 高成熟及过成熟碳酸盐岩有机质丰度及生烃潜力的恢复	(118)
一、有机碳及生烃潜力的恢复方法及原理	(119)
二、 K_C 、 K_S 的计算步骤	(120)
三、有机碳丰度及生烃潜力恢复实例	(122)
第七节 生物气的源岩分布和潜力	(125)
一、柴达木盆地三湖生物气区	(126)
二、莺—琼盆地预测生物气区	(127)
三、浙江浅层生物气区	(127)
参考文献	(132)
第三章 天然气储盖层	(134)
第一节 储气层、盖层的分布概况	(134)
一、储气层、盖层的分布概况	(134)
二、天然气储层的特征、分类和评价	(135)
第二节 碎屑岩天然气储层	(145)
一、我国主要气田碎屑岩天然气储层概况	(145)
二、煤系天然气储层	(145)
三、东部深层天然气储层	(153)
四、碎屑岩风化壳天然气储层	(158)
第三节 碳酸盐岩天然气储层的类型特征及控制因素	(160)
一、四川盆地碳酸盐岩天然气储层	(160)
二、鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩及风化壳天然气储层	(168)
三、湖相碳酸盐岩天然气储层	(171)
第四节 特殊天然气储层	(173)
一、火山岩风化壳天然气储层	(173)
二、岩浆岩天然气储层	(174)
第五节 盖层及其对天然气藏条件的控制	(176)
一、封盖条件分析	(176)
二、盖层封盖条件演化史研究	(187)
参考文献	(189)
第四章 天然气成藏机制及典型模式	(190)
第一节 天然气的运移机理	(190)

一、扩散运移·····	(190)
二、渗流运移·····	(195)
三、脉冲式混相涌流·····	(201)
四、天然气运移地球化学·····	(206)
第二节 天然气的聚集及成藏机制·····	(212)
一、天然气运聚动平衡原理·····	(212)
二、天然气运聚动平衡模型·····	(212)
三、天然气聚集和保存条件的动态评价·····	(218)
第三节 典型气田的聚集条件、运聚动态平衡和成藏模式·····	(219)
一、琼东南盆地及崖 13—1 大气田基本地质特征·····	(219)
二、成藏条件及成藏模式·····	(220)
三、成藏史及运聚动平衡·····	(222)
四、大中型气田主要成藏模式·····	(227)
参考文献·····	(235)
第五章 中国天然气分布特征和大中型气田的形成条件·····	(236)
第一节 中国天然气及气藏的分布特征·····	(236)
一、气藏以烃类气藏为主、还有少量二氧化碳气藏和极少量硫化氢气藏·····	(236)
二、气藏的天然气成因类型繁多·····	(240)
三、气藏(田)纵横向分布不均性·····	(241)
四、大中型气田(藏)的储量占气层气总储量的大部分·····	(242)
五、煤成气占天然气储量和资源量的重要地位·····	(245)
六、无机成因的气藏(田)分布在中国的东部含油气盆地·····	(246)
第二节 中国的气聚集带、气聚集区和气聚集域·····	(247)
一、气聚集带的分类·····	(249)
二、我国的气聚集带、气聚集区和气聚集域·····	(250)
三、中国西部煤成气聚集域(中亚煤成气聚集域东部)·····	(250)
四、四川东部(川东)气聚集区·····	(256)
五、鄂尔多斯盆地天然气聚集带·····	(259)
六、柴达木盆地三湖生物气聚集区·····	(261)
第三节 中国大中型气田形成条件·····	(263)
一、生气中心及其周缘·····	(263)
二、成气区内与大型古隆起有关的圈闭·····	(266)
三、潜伏的低、中阶煤系中或与其关联的上、下大中型圈闭·····	(268)
四、成藏期晚的大中型圈闭·····	(271)
五、生气区内大面积孔隙型储层·····	(271)
六、异常压力封存箱上及箱间有利于形成大中型气田·····	(273)
第四节 中国天然气远景及勘探方向·····	(275)
一、远景·····	(275)
二、勘探方向·····	(276)
参考文献·····	(284)

绪 论

中国天然气地质理论的形成和发展,是中国古老而又新兴天然气工业发展的产物,也是理论与生产实践密切结合的成果。

一、概述

1. 天然气的涵义

自然界中天然形成的气体谓之天然气。天然气绝大多数是在标准状态下呈气态的化合物和元素组成的混合体,在特殊情况下,才由单一气态组分组成。天然气中常见的气态化合物和元素有:烷烃气(C_{1-4})、二氧化碳、氮、硫化氢、汞蒸气等和稀有气体(氦、氖、氩、氪、氙)。目前,对天然气的涵义有两种认识:其一,广义的天然气包括自然界中的一切气体(Соколов, 1971),即包括气圈、水圈、岩石圈以至地幔和地核中的一切天然气;其二,狭义的天然气一般指以烷烃气为主(在少数情况下也有以二氧化碳或氮为主,极个别情况下有以硫化氢为主)的,在岩石圈、水圈以至地幔和地核中的天然气(戴金星等, 1992)。在中国古代的文献中,常称天然气为“火井”、“井火”、“煤气”、“阴气”、“毒气”、“火池”、“地火”、“圣灯”、“火龙”和“火泉”(戴金星, 1981)。

天然气地质学是研究狭义天然气的生成、成因、地球化学、同位素、运移、聚集、成藏、逸散、分布富集规律及其评价与地质作用有关的学科。

2. 天然气地质学的诞生

天然气和石油,特别是油型气和石油有密切的关系,这就决定了天然气地质学前身依附在石油地质学中;天然气和石油,特别是煤成气和石油又有许多不同的特征,这又决定了天然气地质学成为一门独立学科的必然趋势。天然气地质学从石油地质学中独立出来成为一门独立的学科,是在油气工业发展到一定阶段,即当天然气工业发展到相当阶段和天然气出现新理论两个基本条件得到满足的前提下产生的。1979年,俄罗斯 И. В. 维索茨基的《天然气地质学》的出版,可视为天然气地质学在世界上成为独立而成熟学科的标志。因为其一,本世纪40年代德国学者首先提出了煤成气理论(史训知等, 1985),并从50年代开始在西欧、中亚(主要在卡拉库姆盆地)和西西伯利亚盆地指导天然气评价和勘探取得重大成果和效益,从而突破了以往石油地质学中不把含煤盆地或层系作为天然气勘探目标及其研究对象的传统概念,开辟了煤成气勘探的新领域。由此,在理论上把指导天然气勘探从一元成气论(只有含油盆地腐泥型有机质才能形成天然气,可称为油型气论)发展为二元成气论(含煤盆地及其地层中腐殖型有机质也可形成天然气,可称之为煤成气论)的结果。其二,从本世纪50年代初至70年代末,世界油气工业有了很大发展,但天然气工业发展更为迅速,这从油气产量和储量相比便可一目了然;在此段时间内,天然气与石油产量和储量能量比从约1/3分别上升为约3/5和4/5,显示出天然气工业在能源构成中比重越来越大,天然气工业迅速崛起,为1979年世界天然气地质学的诞生创造了条件。

二、中国天然气勘探开发和研究简史

1. 中国是世界上发现和利用天然气最早的国家之一

在古代(从公元前1066年至鸦片战争前),中国天然气的发现、开采和应用有着光辉的

成就，在世界科技史上占有灿烂的一页。

公元前 1066—771 年西周初年成书的《易经》记述了“泽中有火”，即在水面上燃烧的自然现象。水面上燃烧起因可能有二，一是石油所致，二是天然气所致，而后者比前的可能性大得多。因为沼泽或湖底的沉积物是沼气（即生物气）形成的有利场所，同时气的燃点比油的低，故气苗比油苗易起火而形成“泽中有火”。

晋朝常璩在《华阳国志》论述了公元前 221—210 年秦始皇时代，在四川临邛（今邛崃县）天然气井壮观景象及用之煮盐的场面：“有火井，夜时光映上昭。民欲其光，以家火投之，顷许如雷声，火焰出，通耀数十里。以竹筒盛其光藏之，可曳行终日不灭也。井有二水，取井火煮之，一斛得五斗盐。”在西汉时期，著名文学家杨雄（公元前 53—公元 18 年）在其名篇《蜀都赋》中就有“火井”的记载，可见当时天然气在四川受到人们普遍注目。秦汉时期四川地区古代人民开采和利用天然气的状况，在四川邛崃县花牌坊（图 1）和成都西门外（图 2）出土的两块汉代画像砖中作了很好写照。据不完全统计，在古代文献中至少记载了四川盆地有 20 个县（以今县制）发现和利用了天然气（戴金星，1981），说明古代人民对四川盆地丰富的天然气资源已有所察觉。

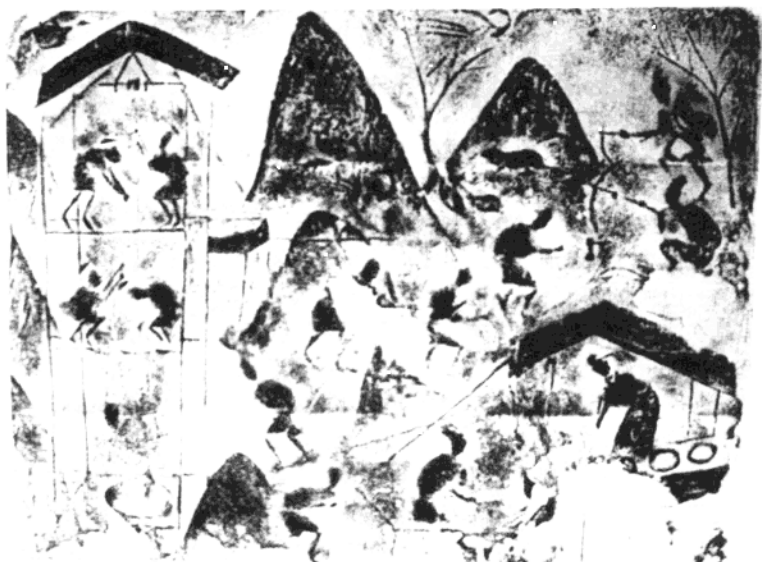


图 1 四川邛崃县汉代“火井”画像砖

在中国古代发现的天然气地域广阔。班固在《汉书·郊祀志》记载了“汉宣帝神爵元年（公元前 61 年）祠天封苑火井于鸿门”，同时又在《汉书·地理志》中“有天封苑火井词，火从地出”的描述。鸿门在今陕西省神木县西南，属鄂尔多斯盆地。天封苑是汉代军马场的名称。据张抗（1987）研究，班固所述鸿门的“火井”是煤成气。魏收著《魏书》记载山西省在“高祖太和八年（公元 234 年）五月戊寅，河内沁县泽自燃”。沈约在《宋书》中指出“晋穆帝升平三年（公元 359 年）二月，凉州（今甘肃武威县）城东池中有火；四年（公元

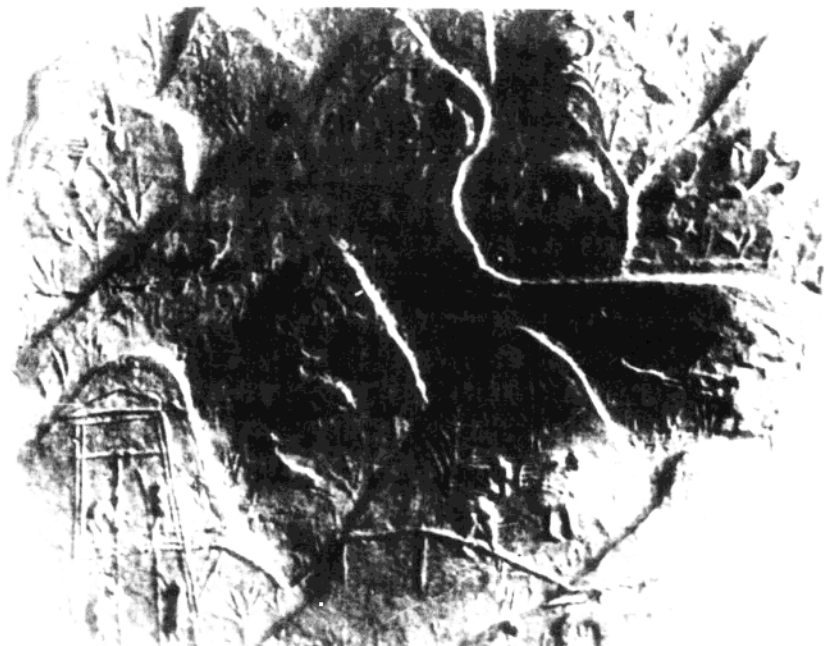


图2 四川成都汉代“火井”画像砖

360年),姑臧(今武威县),泽水中又有火”。欧阳修在《新五代史》记载“天祐九年(公元912年)冬,濬杨林江(今安徽和县境内)水中出火,可以燃。”《魏书》记述“孝昌二年(公元526年)夏,幽州道县(今河北省涞水县)地燃”。脱脱著《金史》中描述北京在大安二年(公元1210年)“十一月,京师民周修武宅前渠内火出,高二尺,焚其板桥”。明朱国桢著《涌幢小品》记载:“阿朱州(今云南自蒙县)有火井,烟夹水出,投以竹木则焚……”。刘恂著《岭表录异》描绘了“雍正癸卯(公元1723年)六月二十六日,赤山(今台湾省高雄县)边酉戌二时,红光烛天,地冲开二孔,黑泥水流出,四围草木,皆成煨烬”。在此,刘恂生动记述了赤山泥火山喷出大量天然气而燃烧的景象。中国古代不仅在陆地上发现了大量天然气,而且还发现东海上天然气燃烧现象。清叶廷春撰《上海县志》记载:明武宗正德七年(公元1512年)“冬十一月冬至,海上有火如列炬,西抵北蔡,且闻金革声。”施鸿保著《闽杂记》记录“……闽中近海(今福建中部的浅海)诸处夜望海波动荡若细火,天黑弥烂,以石遥掷之,水光飞溅如明珠倾水面,良久方灭阴火也”。据不完全统计(戴金星,1981),在古代中国文献中至少记载了中国19个省、市和自治区(北京、上海、天津、四川、陕西、河北、山西、安徽、浙江、福建、广东、广西、湖南、湖北、云南、甘肃、新疆、黑龙江和台湾)58个地区或县(今建制)发现了天然气。从天然气发现之早、天然气发现地域之广、天然气发现数量之多中国皆称著于世界。

中国古代天然气的开采利用在四川盆地时间长远、成果斐然,最典型的表征是在自流井

气田。在 11 世纪至 15 世纪，四川盆地已开始大规模用天然气煎盐（胡砺善，1957）。大规模天然气开采首先有赖于钻凿井，1129 年，在当时四川地区有 30 个州进行钻凿井（申力生，1980），可见当时四川地区开发天然气地域之广。中国开发了世界上第一个天然气田——自流井气田（游气，1977；申力生，1980，Meyerhoff，1970），在汉朝就发现了自流井天然气。自流井气田的开发可分三个阶段，公元 13 世纪以前，从钻凿盐井以采盐为主。在唐、宋期间，在自流井构造上已钻凿了近百口盐井，井深三四百尺。从 13 世纪到 18 世纪末，自流井构造浅气层得到了大规模的开发，利用天然气煮盐。19 世纪初开始进行深层气开发，1835 年采用“卓筒井”（顿钻小口井）技术（图 3），钻成了世界上第一口超过千米（1001.4m）的深井（兴海井），日产气为 $5000\sim 8000\text{m}^3$ ，开始了深层气的开发。1840 年后，在井深 1200m 的磨子井又钻遇了深层高产气井，日产气为 $20\times 10^4\text{m}^3$ ，当时称为“火王井”。1850 年左右，自流井气田已有 10 余口采气井，年采气近 $1\times 10^8\text{m}^3$ 。据测算，自流井气田到 1949 年底，经历了三百余年采气历史，累计生产天然气约 $300\times 10^8\text{m}^3$ 。自流井气田是中国也是世界上开发的第一个气田，它的开发可视为中国天然气开发史的初始阶段。

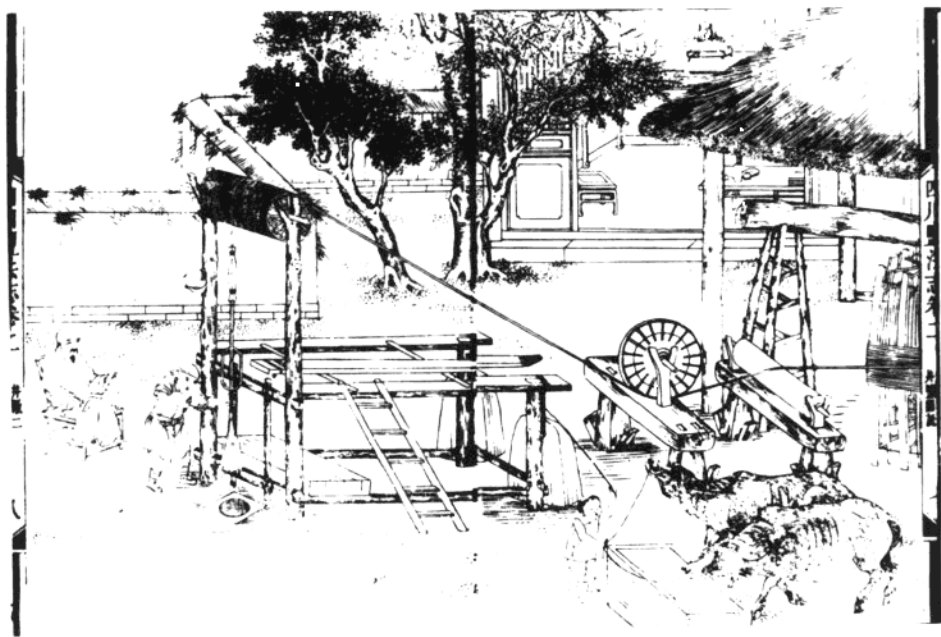


图 3 四川卓筒井钻井图（据丁宝桢，清光绪八年—1882 年）

2. 中国近代天然气工业简况

从鸦片战争起到中华人民共和国成立的近代时期内，中国逐渐沦为半殖民地半封建国家，中国油气工业与其它工业一样，遭到严重的阻碍和摧残，发展极其缓慢，处于落后状态。

在中国近代时期，从事油气地质勘探的人员极有限，据中国石油公司 1949 年统计，地

质勘探人员包括石油物探人员共 48 人,这些人主要从事石油地质调查研究,没有专业的天然气地质人员。进行过天然气地质勘查的地区仅有四川巴县石油沟和隆昌圣灯山(申力生,1988)。据《川盐纪要》记载,清朝末年,在四川的蓬溪、遂宁、西充、盐亭、中江、自流井、贡井等地,使用老式顿钻钻成而仍在正常生产的火井有 746 口,其分布如表 1。从 1878—1949 年,仅在台湾、陕西、四川、新疆和甘肃省一些地方进行新式钻井约 134 口,进尺共约 64000m。由上可知,中国近代从事油气地质勘探人员极少,钻井工作量极少,要发展油气工业是极度困难的。

表 1 清朝末年四川地区天然气井分布状况(据申力生,1988)

地 区	火井口数
蓬溪(蓬溪、遂宁)	8
西盐(西充、盐亭)	239
中江	300
富荣(自流井、贡井)	199
合 计	746

从中国采用近代工艺技术进行油气勘探的 1878 年(光绪四年)至建国前夕,在中国仅发现 6 个气田;1913 年、1934 年和 1937 年在台湾分别发现了锦水气田、竹东气田和牛山气田、六重溪气田;1939 年 11 月四川巴县石油沟巴 1 井在井深 1100m 以下三叠系石灰岩产气 $14150\text{m}^3/\text{d}$,成为石油沟气田的发现井;1943 年 12 月在四川隆昌发现圣灯山气田,发现井产气 $14 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。中国近代时期投入开发气田 7 个(自流井、锦水、竹东、牛山、六重溪、石油沟和圣灯山),共计采气 $11.7217 \times 10^8\text{m}^3$ (申力生,1988)。由上可见,至建国前夕中国发现气田仅有 7 个(其中 4 个在台湾),年产气仅 $700 \times 10^4\text{m}^3$ (除台湾省外),天然气探明储量为 $3.85 \times 10^8\text{m}^3$ 。

三、日益兴旺的新中国天然气工业

建国后,中国天然气工业获得迅速发展。迅速发展的主要标志一是气田、储量和产量大增;二是发现气田盆地猛增;三是大中型气田陡增;四是天然气地质研究队伍空前发展;五是天然气成因理论的新发展。

至 1994 年底,中国(除台湾省外,下同)发现气田 116 个、探明天然气储量约 $12116 \times 10^8\text{m}^3$ 、年产天然气 $166.7 \times 10^8\text{m}^3$ 。发现气田、探明储量和年产天然气分别是建国前夕的约 39 倍、3147 倍和 2381 倍。虽然气田、储量和产量有了大幅度增长,但还不能满足国民经济发展的需要,今后还需大力增加。

建国前,中国仅在四川盆地发现了气田,目前已在四川、鄂尔多斯、塔里木、吐哈、柴达木、渤海湾、松辽、琼东南、莺歌海和东海等 10 个盆地发现气田。产气层系从建国前仅为一个(三叠系)增加到 12 个(第四系、第三系、白垩系、侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系、志留系、奥陶系、寒武系、震旦系和前震旦系),气田和气层系在纵横向上不断扩大。

建国前,中国没有发现储量大于 $100 \times 10^8\text{m}^3$ 以上的大中型气田,建国后至 1994 年底,中国发现了 30 个大中型气田(图 4),其中包括鄂尔多斯盆地中部气田(图 5)和琼东南盆地崖 13—1 气田两个大型气田。大中型气田的投产将大大提高中国天然气产量,例如 1996 年元旦投产的崖 13—1 气田(图 6)年产可达 $34 \times 10^8\text{m}^3$,将使 1996 年中国气产量比 1995 年增加 20%。

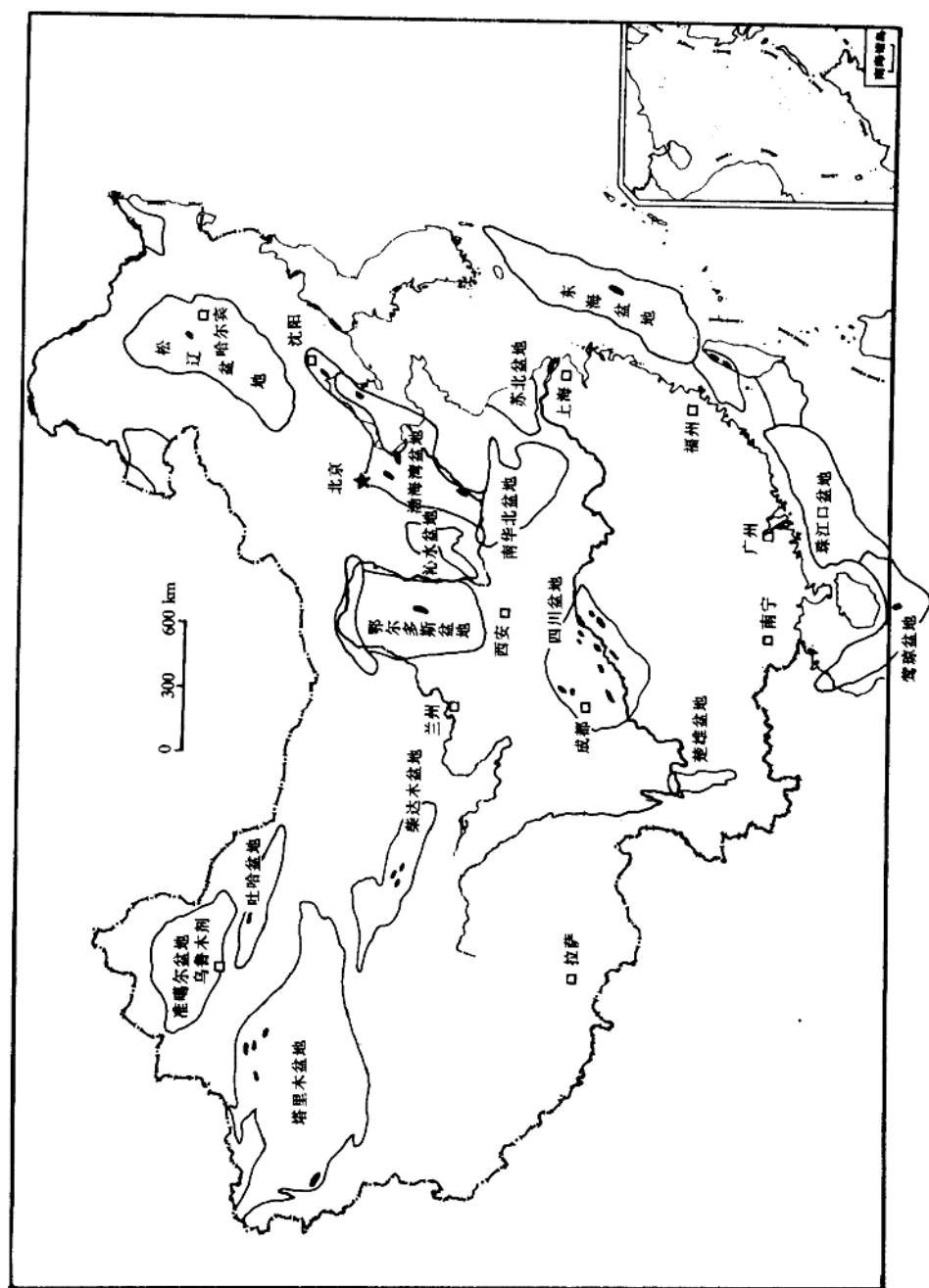


图 4 中国大中型气田分布图

建国前,中国只有48人从事石油地质调查研究,没有专业的天然气地质研究人员。建国后中国天然气地质队伍空前发展。仅根据从事国家天然气科技攻关天然气地质研究人员统计:“六五”和“七五”期间分别为800余人和1400余人,“八五”期间多达3509人^①。不断壮大的天然气地质研究队伍,在天然气评价、选区和研究上完成了大量工作,首要任务是完成了中国天然气资源评价。建国前中国没有一本天然气地质专著或专集,至1995年中国出版的天然气地质专著达28部,其中包括天然气地质学专著4部。中国天然气地质研究成果丰富和发展了世界天然气地质理论,同时指导了中国天然气勘探,加速了天然气工业的发展。

中国近代和建国后至80年代之前,主要以单一的油型气理论阐述天然气成因,指导天然气勘探。天然气成因理论的局限性和片面性,即仅以油型气的一元成气论研究和指导天然气勘探,使中国失去了含煤盆地和含煤地层广大的找气有利地区和目的层。70年代末煤成气理论在中国的建立(戴金星,1979),使中国开辟了一个新的天然气勘探领域,天然气成因得到完善和发展,从而大大促进了天然气储量的迅速增长,使中国近期天然气勘探比石油勘探取得更好效益。

1. 一元成气论和中国天然气工业

本世纪80年代之前,中国油气地质者认为天然气是由腐泥型源岩形成的,即天然气是海相碳酸盐岩和泥页岩及湖相泥页岩的产物,称之为油型气。同时,以此一元成气论来指导天然气勘探,没有看到煤系和亚煤系成气的巨大潜力和前景,不把含煤地层作为成气源岩和目的层。因此,天然气勘探进展慢、探明天然气储量不多。从1950—1980年只探明天然气储量约 $2883 \times 10^8 \text{m}^3$,平均每年只有约 $85 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

2. 二元成气论促进了中国天然气工业的发展

1979年戴金星在中国首先提出煤系和亚煤系是良好气源岩,并指出四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地和塔里木盆地等是勘探煤成气的有利地区。使中国研究天然气成因和指导天然气勘探从一元论,即仅为油型成气论,走向二元成气论,即油型成气论和煤型成气论。煤成气理论一出现,就受到国家、石油部、地质部和煤炭部领导的重视和支持。1983年国家计委把“煤成气的开发研究”列为“六五”国家重点科技攻关项目,加速了理论和生产的结合,大大加强了中国天然气的研究和勘探。过去,从一元成气论出发,中国天然气地质研究与勘探主要集中在四川盆地,目标主要在碳酸盐地层中。从80年代以二元成气论指导中国天然气勘探后,勘探领域扩大,天然气勘探成果日益显著,天然气探明储量大幅度增加。在一元成气论指导找气期间,全国总共探明气约 $2883 \times 10^8 \text{m}^3$,平均年探明气约 $85 \times 10^8 \text{m}^3$;以二元成气论指导找气期间(至1994年底),全国总共探明气约 $9198 \times 10^8 \text{m}^3$,平均年探明气约 $541 \times 10^8 \text{m}^3$ (图7)。分别为一元成气论期间的约3.2倍和6.4倍。从图7可知,二元成气论指导找气期间探明气储量大幅提高,主要与煤成气探明储量按比例增加有关。如1978年时煤成气探明储量只占全国储量的9%,但至1994年则上升为38%。大中型气田发现速率加快。在建国后一元成气论指导找气期间,中国仅发现6个中型气田,平均约5年发现1个中型气田,二元成气论指导找气期间发现大中型气田24个,平均约1年发现1个大中型气田。

① 中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院,地质矿产部石油地质研究所等,1995,大中型天然气田形成条件、分布规律和勘探技术研究。

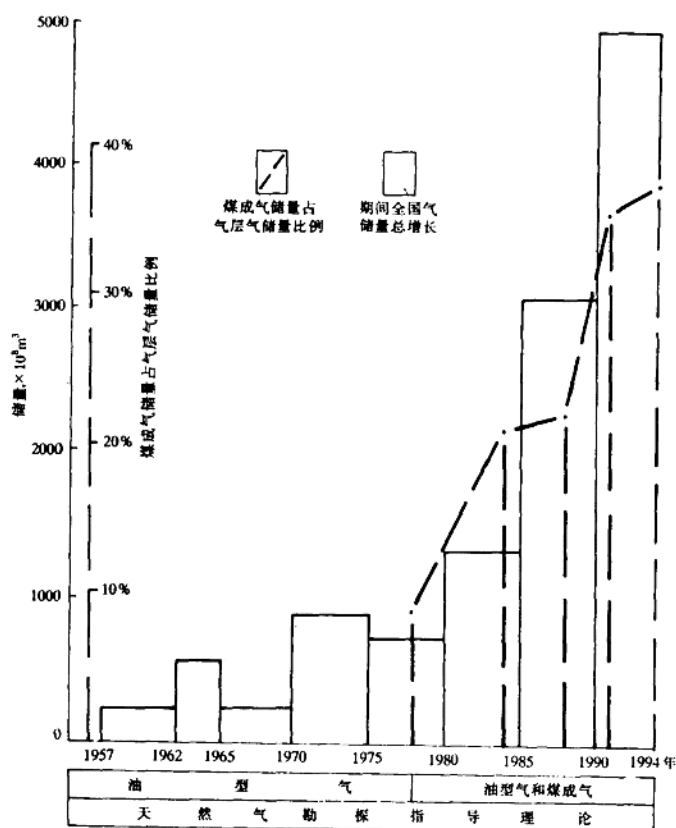


图7 中国成气论与天然气储量增长的关系

中国天然气工业既古老又年轻。中国是世界上发现、开发和利用天然气最早的国家之一，有过光辉的成绩，在世界科技史上占有灿烂的一页。但在近代中国天然气工业发展却滞后了，建国后，特别是从80年代以来，中国天然气储量虽然有较大幅度增长，但天然气年产量仍然很低，仅占世界第20位，天然气只占国内能源构成的2%左右，远满足不了国民经济的需要。中国天然气资源十分丰富，目前探明率也只有3.9%左右。因此，今后还要大力加强天然气研究和勘探开发工作，使天然气工业在不太长的历史时期内有一个较大的发展。

参考文献

- 戴金星. 1979. 成煤作用中形成的天然气和石油. 石油勘探与开发, (3), 1~8
- 戴金星. 1981. 我国古代发现石油和天然气的地理分布. 石油与天然气地质, 2 (3), 292~298
- 戴金星, 裴锡古, 戚厚发主编. 1992. 中国天然气地质学 (卷一). 北京: 石油工业出版社
- 胡砺善. 1957. 四川盆地自流井构造天然气开采的研究. 北京: 石油工业出版社
- 申力生主编. 1980. 中国石油工业发展史 (第一卷). 北京: 石油工业出版社. 56~57, 103
- 申力生主编. 1988. 中国石油工业发展史 (第二卷). 北京: 石油工业出版社. 48, 62, 118, 132, 300

- 史训知, 戴金星, 王则民, 朱家蔚, 刘家琪. 1985. 联邦德国煤成气的甲烷碳同位素研究和对我们的启示. 天然气工业, 5 (2), 1~9
- 游气. 1977. 新中国的新兴工业. 香港: 经济导报社出版
- 张抗. 1987. 神木天封苑火井词气苗是我国最早发现的煤型气. 天然气工业, 7 (4), 26
- Meyerhoff, A.A. 1970. Developments in Mainland China. AAPG, 54 (8), 1949~1969
- Соколов В. А. 1971. Геология природных газов. М. Недр

第一章 天然气地球化学特征

天然气地球化学主要研究地壳中气体的形成、演化、运移、聚集成藏及破坏的地球化学作用过程。具体内容包括：有机来源天然气的母质类型、沉积环境、演化成气过程、成气机制、富集规律和分布特征，天然气组分及其同位素组成以及它们对天然气形成过程的指示作用和不同成因类型天然气的综合判识。无机成因气（包括地球原始捕获的大气甲烷以及岩石矿物在地球演化过程中的成气作用）的探索，曾是 80 年代科学前沿探索的热点之一。研究表明，无机成因甲烷在地球中分布是广泛的，其总储量也是巨大的，但能否聚集为工业性资源则分歧较大。

第一节 天然气成因类型

本节以形成天然气的物质来源、形成机制、成气主导外生营力的特征等来讨论以烃类气体为主体的天然气成因分类。

一、有机成因气和无机成因气

自然界的物质根据其来源是否与生命物质有关而被分为有机和无机两大类。从形成天然气的基本物质着眼，也可将天然气划分为有机成因与无机成因两大类。

80 年代末，学术界倾向于将有机成因气命名为生物成因气（Schoell, 1988），它是指分散或集中的有机质在沉积岩成岩过程中通过细菌作用、化学作用和物理作用形成的气体，这是天然气地质学研究的主要对象。

无机成因气亦称非生物成因气，主要指行星形成时即已存在并捕获于地幔的原生甲烷和岩石高温高压下经费-托反应形成的烃类气，以及岩石无机化学反应过程中形成的非烃气体。

1. 有机成因的两大亚类——油型气和煤成气

有机成因气是目前发现的绝大多数具有工业价值烃类气藏的主要来源。因此，对这一类型进行了较深入的研究和详细的类型划分。根据元素组成和显微组分组成，可将原始有机质及其干酪根划分为腐泥型（Ⅰ型）、腐殖型（Ⅲ型）及其过渡类型——腐殖-腐泥型（Ⅱ_Ⅰ型）和腐泥-腐殖型（Ⅱ_Ⅲ型）。考虑到分类原则的高度概括性，根据成气母质的特点，将有机成因气划分为两大亚类——油型气和煤成气（详见本章第二节）。

2. 无机成因气

油气形成无机论是油气成因长期存在的一个学派，或者是一种重要的学术观点。19 世纪以来，不少学者致力于此领域的研究〔M. Berthelot（1866），A. Biasson（1871），D. L. Mendeleev（1877—1897）〕。本世纪 50 年代以来，前苏联学者 Кургяцев 是无机成油学派的代表人物。本世纪 80 年代初，美国康奈尔大学天文学家 Gold（1980, 1982）提出了世界天然气资源主要为非生物成因的观点。

无机成因气主要讨论地幔中原始成因的烃类气体，以 Gold 为代表（1980, 1982）认为地球深部存在大量以甲烷为主的烃类气体，气态烃的矿藏主要与这种非生物成因的甲烷有