

# 中国天然气资源

钱 凯 马新华 李景明 魏国齐 等著



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

## 前 言

为了庆祝建国 50 周年,中国石油天然气集团公司决定出版一批专著,《中国天然气资源》即是其中之一。50 年来,我国天然气工业成绩辉煌,目前已初具规模,起飞有望;但要效益为中心持续发展还是任重道远,急需早做筹谋。这就有必要使中国各界人士都来关心、并有依据关心中国的天然气工业,尤其是在国际天然气工业迅速发展的大环境中来考虑我国的情况就显得更为重要。

天然气将是 21 世纪举足轻重的优质能源。随着天然气勘探、开发、储运和利用技术的进步以及对环境问题的日渐关注,世界各国竞相发展天然气工业已成为当代进步的一大潮流。天然气工业从上游勘探开发到中游储运及下游市场利用,已形成一个有机体系,国际上的基本状况及总趋势大体可归纳为四点:①21 世纪将是天然气工业高速发展期。过去 15 年间,全球天然气需求增加了 46%,预计下个世纪中叶天然气供应量将首次超过石油。②亚洲太平洋地区将成为世界巨大的天然气进口市场。预计 2000 年要达到  $4700 \times 10^8 \text{m}^3$ , 平均年增长率为 6%,大大超过世界天然气需求量的平均增长率 2%~3%。而俄罗斯和中东地区拥有世界 2/3 以上的天然气储量和天然气生产潜力,将是世界大国分享国际天然气资源的主要目标。③洲际和国际间液化天然气链和长输管线的建设将构成环球天然气输气网络。④高新技术的推广和应用成为天然气工业当今与未来发展的推动力,并创造了一个新的经济增长点。因此,国际上对天然气资源和天然气工业发展趋势,不但科技人员关心,各国政治家、军事家、工业、经济界人士,从集团和各国自身利益出发无不非常关心。这在专业著述上也有明显反映,除涉及上述四大趋势涵盖的领域外,还涉及到天然气资源对国际关系的影响。

我国天然气工业的发展需从两方面看。一方面新中国成立 50 年来,特别是改革开放以后,取得了巨大成就。探明天然气地质储量已达  $2.7 \times 10^{12} \text{m}^3$  (统计数字未含台湾省),为建国前夕  $3.85 \times 10^8 \text{m}^3$  的 7000 余倍;改革开放以后发展速度进一步加快,“八五”以来探明天然气地质储量约为建国后前 40 年的总和,而到 1998 年,又提前三年完成“九五”原定计划。“八五”年增速度是前 40 年的 8 倍,而“九五”前三年又比“八五”同期翻了一番。我国天然气产量 1998 年达  $223 \times 10^8 \text{m}^3$ ,为建国前夕  $700 \times 10^4 \text{m}^3$  的 3000 余倍。管道建设已经有了良好的开端,四川盆地境内已形成环形管网,陕京管线供气量快速增加,西气东输正在酝酿之中,而下游利用已涉及化肥、发电、商业民用及汽车等各个方面,预计谨以常规天然气资源  $38 \times 10^{12} \text{m}^3$  为基础,我国天然气的高峰产量就可以达到  $(1100 \sim 1300) \times 10^8 \text{m}^3$ ,而目前只有  $223 \times 10^8 \text{m}^3$ ,可见我国天然气产量还有巨大的发展空间。如果再加上目前勘探开发上已经取得突破性进展、资源量达数十万亿立方米的煤层气和资源量可能更大的远景潜在资源水溶气、水合气,我国发展天然气工业是可以大有作为的。特别是随着国民经济的发展,人民生活水平的提高和环保意识的增强,使人们对洁净能源天然气普遍看好,市场日趋扩大。将我国天然气工业的这个现状与国际天然气发展历史和相关条件进行比较,可以看出我国天然气工业已初具规模,腾飞有望。

但另一方面我们也应看到,要在以效益为中心发展我国天然气工业自身的同时,为我国国民经济的持续发展做出应有贡献,还必须做出坚持不懈的巨大努力。因为论效益,必须

上、中、下游协调发展。当前我国天然气工业虽然形势大好，但目前状况还不足以充分体现以效益为中心的原则，从而也限制了天然气工业的快速发展。这主要是因为存在一系列不协调，主要表现是：①探明地质储量与资源量不协调，仅就常规资源来讲，目前探明率也只有6.7%；②开发与勘探不协调，我国目前天然气储采比平均为50:1，中国石油天然气集团公司达到68:1，而美国、加拿大大体都维持在12:1左右，这就等于我国有数十亿元勘探资金沉埋地下；③资源与市场不协调，资源主要在中西部，而市场主要在东部沿海经济发达区，其间没有足够规模经济输送渠道，导致西部气用不完，东部却用进口液化气；④消费结构不合理，比如国外合成氨原料75%用气，而中国75%用煤。所有这些事实说明，要使我国天然气资源充分发挥经济效益必须上、中、下游协调发展，也就是说上、中、下游协调发展是实现效益为中心的最佳选择。论持续发展，我们还有许多方面需做周到筹谋，并且要早做筹谋，因为要真正解决上、中、下游诸多环节的协调发展问题，必须首先解决更高层次的问题，如：①能源结构问题，也就是天然气在我国能源中的地位问题。在世界能源结构中，天然气占23.5%左右，发达国家荷兰占51%，俄罗斯占49%，预计全球2020年增加到29%，而中国目前只有2%，那么达到多少适合，主要由资源决定（如俄罗斯、加拿大、挪威）？还是主要由需求决定（如韩国、日本）？或者两者兼顾？能源结构发展过程时间表如何安排？②消费结构问题，也就是化工、发电、民用等各种用气量的比例问题。资源大国趋向于以发电为主，需求大国趋向于商业民用为主，如西欧占54%~41%，但总体看，发达国家商业民用基本饱和，而天然气发电、化工、天然气汽车却正在兴起。中国怎么办？各种因素影响如何确定？天然气主要流向如何确定？③天然气工业布局与最佳输送方案问题。是普遍撒开，还是集中解决一些经济发达区和大城市的用气问题；是以国内独立解决东部经济发达区的问题，还是国内为主、国外为辅来解决这个问题。这都是需投资数千亿元仍至上万亿元的大问题。如果从目前资源情况看，以国内为主，集中力量解决东部经济发达区大城市用气的问题，这些地区天然气在能源构成中的比重可以大幅度上升，达到完全解决空气的严重污染问题，投资也将小得多，在相当长的时间内将是可行的。但长远如何，如何向长远发展，也必须早有研究安排。④国内外资源的合理配比问题。中国周边国家集中了全球近一半以上的天然气资源，从互利互惠出发，是有可以利用的份额的，但是用多少？用何处的？时间安排如何？⑤市场价格体系与法规问题。所有上述问题都是事关大局的战略问题，对此国际上一般都要提前20~30a做出决策，因为20~30a是公认的巨额投资决策所需的最短年限。比如美国在90年代初就由能源部长责成石油委员会主席组织美国各方面高级领导专家近200人，用两年的时间研究提出了包括资源需求、储运管理等方面的系统报告，其战略适用时间为20~30a。东南亚国家联盟也在1993年前提出了2020年长期发展规划。

我国天然气产储量高峰期将在2030年前后到来，就人均国民收入而言，将在下个世纪中叶达到中等发达国家水平。根据日本、韩国、泰国的经验，这也将是需求高峰期开始到来的时候，因此当前我国开展天然气工业发展战略研究并在不太长的时间内制定出中长期发展战略，对各方面做出周到筹谋已势在必行。

从国内外的上述情况，不难看出本书当是应运而生。中国天然气资源的开发利用，虽是天然气科技工作者义不容辞的责任，但又不是只靠少数科技人员能够完成的大事业，必须有各级领导的正确决策，又要有人民群众的参与，这样才能形成天然气开发利用的大市场，上、中、下游也才能协调发展，使中国天然气资源发挥最大效益。因此上述各方面人士对中国天然气资源及其开发利用需有一个了解，以后方能有所作为。这就要求有一本相应的

著作，其内容必须既能适应专家学者、技术人员，又能适应国家各级有关领导及广大群众要求，既要有科学性、先导性，又要有普及性，贴近现实，贴近生活，使读者感到有益有用、可读，据之可以有所作为。为此必须既论述天然气工业上游（勘探、开发）的科学技术问题，又必须论述中、下游的有关方面；既论述天然气专业学科，又涉及系统管理、发展战略等软科学内容。本书就是以此为最高目标而编著的。我国自新中国建立以来，特别是最近十年间，除《天然气工业》、《天然气地球科学》、《石油学报》、《石油与天然气地质》和《石油勘探与开发》等有关刊物经常刊出有关天然气资源的论文外，已有一系列天然气论著问世。如：《天然气地质学》（包茨等，1988）、《天然气地质学》（陈荣书等，1989）、《中国天然气地质学》（戴金星等，1996）、《天然气成因理论及应用》（徐永昌等，1994）、《中国天然气地质理论基础与实践》（王涛，1996）、《中国大中型天然气田形成条件与分布规律》（戴金星等，1997年）、《中国油区天然气》（钱凯等，1997）及《天然气地质学和地球化学论文集》（戴金星等，1998）。所有这些都具有重要学术价值并对天然气勘探开发有重要指导意义的论著。我们高度重视这些著作的精华并力求有所反映，同时我们也注意增加了适应 21 世纪中国天然气资源利用和上、中、下游一体化协调发展、适应新世纪资源开发利用形势、国家经济安全可持续发展需要的内容。

本书是一项集体劳动成果，由钱凯、马新华、李景明、魏国齐等著。具体分工如下：前言由钱凯执笔；第一章由王少昌、曾宪斌、李小军、钱凯执笔；第二章由马硕鹏、李剑、姚建军执笔；第三章由汪泽成、冉启贵、钱凯执笔；第四章由魏国齐、李亚红、魏伟、李剑、曾宪斌、钱凯执笔；第五章由张建博、王红岩、严启团执笔，第六章由王起京、马东坡、丁国生、马新华执笔；第七章由欧阳永林、李国平、蒋助生、万玉金、杜韞华、石强、单秀琴、张英执笔；第八章由陈孟晋、李东旭、李景明、邓攀执笔。最后由钱凯、魏国齐定稿。在本书编写和出版过程中还得到中国石油天然气集团公司科技发展部综合处刘炳义处长的大力支持，在此深表感谢！

作 者

1999 年 6 月 30 日

KALC-108

# 目 录

|                                                              |       |
|--------------------------------------------------------------|-------|
| 第一章 历史的回顾：中国天然气勘探开发与利用历程·····                                | (1)   |
| 第一节 建国前（1949 年以前）的回顾：辉煌的古代与迟滞的近代·····                        | (1)   |
| 第二节 建国后，头 30 年（1949 年—1978 年）：中国天然气工业的新生与发展·····             | (2)   |
| 第三节 改革开放 20 年（1979 年—1999 年）：中国天然气工业的飞跃与成就·····              | (6)   |
| 第二章 腾飞的基础：中国天然气工业现状·····                                     | (13)  |
| 第一节 勘探现状：成果丰硕，累计探明储量超过 $2.7 \times 10^{12} \text{m}^3$ ····· | (13)  |
| 第二节 天然气开发利用现状：开发成绩显著，利用状况良好·····                             | (16)  |
| 第三节 管道建设开始加速，前景令人鼓舞·····                                     | (18)  |
| 第三章 潜力与前景：中国天然气地质基础与资源预测·····                                | (20)  |
| 第一节 天然气地质基础·····                                             | (20)  |
| 第二节 天然气资源潜力·····                                             | (33)  |
| 第三节 天然气发展前景·····                                             | (37)  |
| 第四章 发现的指南：中国大中型气田分布规律·····                                   | (39)  |
| 第一节 大中型气田分布规律·····                                           | (39)  |
| 第二节 大中型气田分布预测·····                                           | (58)  |
| 第五章 超前的探索：中国非常规天然气资源·····                                    | (74)  |
| 第一节 煤层气·····                                                 | (74)  |
| 第二节 水溶气·····                                                 | (88)  |
| 第三节 天然气水合物·····                                              | (90)  |
| 第四节 深源气·····                                                 | (91)  |
| 第五节 二氧化碳气·····                                               | (93)  |
| 第六节 $\text{H}_2\text{S}$ 气·····                              | (95)  |
| 第七节 其他非常规天然气·····                                            | (95)  |
| 第六章 欲善其事，先利其器：中国天然气勘探与分析测试技术·····                            | (96)  |
| 第一节 地震勘探技术·····                                              | (96)  |
| 第二节 天然气层测井解释技术·····                                          | (108) |
| 第三节 天然气勘探实验技术·····                                           | (115) |
| 第七章 资源转化的关键：中国气田开发·····                                      | (128) |
| 第一节 开发历程及成就·····                                             | (128) |
| 第二节 天然气开发技术·····                                             | (134) |
| 第三节 中国天然气开发前景展望·····                                         | (153) |
| 第八章 要无近忧，需有远谋：中国天然气资源利用与发展战略·····                            | (158) |
| 第一节 社会进步与我国天然气资源利用·····                                      | (158) |
| 第二节 中国天然气消费现状·····                                           | (164) |

第三节 中国天然气消费利用需求预测..... (167)

第四节 中国天然气工业发展战略和布局设想..... (184)

参考文献..... (193)

# 第一章 历史的回顾：中国天然气 勘探开发与利用历程

火的使用和能源的变更是人类文明发展的重要标志。燧人氏钻木取火被当作一件划时代的大事，记录在中国远古的历史上；普鲁米修斯窃取天上火种到人间，虽是一种神话却也在西方留下永恒的记载。火之所以如此在东西方都被奉若神明，在于它确实人类与一切动物之间划上了一条不可逾越的界限，人类从此开始熟食，火成为人类文明的专利。在以后人类发展的漫长岁月中，由火引发的能源利用更使人类文明的发展不断加速，随着能源结构的变更，取得的成就日益辉煌。以薪炭为主要能源的时代，核心是解决人类温饱问题。19世纪以蒸汽机为代表的工业革命以煤炭为主要能源，现代工业化社会的主宰能源则是石油，而目前环保、安全、运输、需求量、蕴藏量、储量增长及经济上的诸多因素则使人们普遍认为，人类会有高度文明的21世纪将是第三大化石能源——天然气的世纪。在薪炭、煤炭、石油的开发利用上，中国都有值得骄傲的伟大贡献。天然气如何？我们的回答是，天然气开发利用有着与中华民族历史一样的兴旺发展，也将会有同样辉煌的未来。古代，我国是世界上利用天然气最早且卓有成效的国家。近代由于列强的侵略，中国沦为半封建半殖民地社会，天然气开发利用迟滞落后，新中国成立后，中国天然气工业逐渐得到恢复发展，常规天然气的开发利用现已进入加速发展时期，非常规天然气探索已初见成效。预计21世纪将是中国天然气工业腾飞的世纪。

## 第一节 建国前（1949年以前）的回顾： 辉煌的古代与迟滞的近代

### 一、辉煌的古代：我国是发现和利用天然气最早的国家之一

世界上有关天然气的记载，可以追溯到很久远以前。欧洲人曾把燃烧的气体称作“长明火”，希腊人在公元前400年曾建造“火教神庙”，但只是为了纪念神奇的喷火怪物而未涉及认识和利用。

中国关于天然气的记载，至少在3000年以前。早在公元前1122—770年，《易经》中就有关于“泽中有火”的记载，并有“火欲上，而泽欲下”之说，已涉及到天然气的运移问题。关于火井的记载则始于临邛。

临邛，今四川邛崃。汉杨雄《蜀王本纪》、晋张华《博物志》、东晋常璩《华阳国志·蜀志》都有“临邛有火井”的记载与描述。

我国天然气的利用是从煮卤熬盐开始的。

1950年四川成都出土的东汉画像砖中，有一幅“煮盐像”，生动地描绘出我国东汉时期利用天然气熬盐的情景。17世纪的《天工开物》也对煮盐作了详细描述。

特别是在北宋期间发展起来的“卓筒井”技术，不仅使天然气的开发利用成为可能，也在300多年前就开创了现代钻井技术的先河。这一成就至今仍令西方有关人士赞叹。

自流井构造的开发是从钻凿盐井开始的。唐、宋期间，在自流井构造上已钻凿了近百口

盐井，井深达三四百尺。公元 1600 年前后，自流井构造浅气层得到了大规模的开发，利用天然气进行煮盐。1835 年采用“卓筒井”技术，钻成了世界上第 1 口超过千米（兴海井）（达 1001.4m）的深井，日产气  $5000 \sim 8000\text{m}^3$ ，开始了深层气的开发。1840 年后，在磨子井又钻遇了深层高产气井，日产气约  $20 \times 10^4\text{m}^3$ ，当时称为“火王井”，1850 年左右，自流井气田已有 10 余口采气井，年采气量近  $1 \times 10^8\text{m}^3$ 。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  $300 \times 10^8\text{m}^3$ ，此足以证明，四川地区蕴藏着丰富的天然气资源。自流井气田是我国也是世界上开发的第一个气田，它可视为中国天然气开发的初始阶段。也是我国当时领先世界的辉煌成就的记录。

## 二、迟滞落后的近代：半封建半殖民地时代扼杀了中国天然气的开发利用

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，中国油气工业遭到严重的阻碍和摧残，而且受“中国贫油论”思想的束缚，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）。

本世纪 20 年代以来，我国学者赵亚曾、黄汲清、谭锡畴、李春昱、陆贯一、潘钟祥等先后到四川进行油气地质调查。1936 年，国民党政府资源委员会四川油矿勘探处成立。次年 11 月，在巴县石油沟钻了一口探井，直到 1939 年用两年时间钻达 1402m 完钻，并获得工业气流，此后，直到 1949 年，在四川共钻 60 口探井，平均井深不足千米，仅在石油沟和圣灯山获得低产气井。因此，我国近代天然气工业没有获得重大进展。

这一阶段仅在石油地质理论上有了初步认识，关于四川钻探目的层的问题，黄汲清认为“深层二叠、三叠系为海相沉积，可能有生油层和含油层存在，而且也为露头的油苗所证实”，积极主张钻探深层。谢家荣提出“行列背斜”的概念，并且建议钻探“低背斜”。

总之，建国前由于国家贫困，科学技术发展缓慢，从事油气地质勘探人员极少，钻井工作量也极少。指导油气勘探开发的石油地质理论有初步的发展，但对天然气地质的认识依附于石油地质学，难于指导油气勘探，下游利用极度困难。因此，这一阶段中国谈不上有真正的现代天然气工业。

## 第二节 建国后，头 30 年（1949 年—1978 年）： 中国天然气工业的新生与发展

中国真正的现代天然气工业开始于新中国的成立。这一阶段初期囿于人们对油气综合研究水平及认识程度不够，石油和天然气在相当长的时期内都被人们看成孪生姐妹，仅将天然气作为成油过程的伴生物。加上天然气在勘探、开发等技术环节上较石油困难，因此，早期天然气藏（田）的发现，仅仅是找油过程中的副产品，在中国的情况亦不例外。

该期天然气工业的新生与发展体现在两个方面，一是在找油为主获得伴生气储量增长的同时发现了一些中小气田，这主要是在松辽、渤海湾等含油气盆地，因为这些中小气田的发现，盆地的勘探方针也逐渐变为以找油为主，兼探天然气，个别地区甚至改为油气并举。增加了勘探天然气的工作量，促进了油区天然气储量的增长。二是在含气为主的盆地，专探工

作得到迅速发展,甚至促进了含油气盆地天然气的勘探与开发。

这一时期以四川天然气勘探开发作为全国天然气的勘探开发基地,利用现有地质认识和勘探技术,辐射全国重点含气盆地,先后在四川、鄂尔多斯、柴达木、准噶尔、吐哈等盆地和台湾地区开展了油气勘探工作(图1—1),并取得了天然气勘探的初步成果。

### 一、四川盆地天然气勘探开发持续发展

四川盆地比较正规的天然气勘探工作是从1953年开始的。原地质部、石油工业部都组织了专门的勘探力量开展工作。

#### 1. 勘探技术革新、钻探川东南二叠、三叠系初见成效

勘探技术的正规化和科学化,以及勘探工作量的成倍增加,使得川中、川东南地区二叠、三叠系获工业气流。建国前,油气勘探主要以地面地质调查为主,结合地质图的编制,进行综合研究。建国后,重磁力勘测技术、地面电法勘探技术、光点记录地震仪等技术的应用,改善了地面及地下地质资料的品质,为全面认识盆地地层分布、区域构造含油气条件打下了基础。1956年起,勘探重点转向盆地内部的川中及川东、川南地区。先后在圣灯山和石油沟构造钻获三叠系高产气流,发现了川东南三叠系气区。从1958年至1961年,继续川东南的天然气勘探,除在邓井关等7个构造钻获三叠系气流外,又在纳溪等4个构造二叠系中钻获工业气流。

#### 2. 完善裂缝性气藏勘探开发技术,四川天然气工业稳步发展

随着科学技术的发展和改进,人们对裂缝性油气藏的认识不断深化。在此阶段,经过川中会战、圣灯山气田综合勘探、中梁山坑道调查以及“十快”、“十细”的钻井工作方法(①预告地层及油气水层细;②判断憋、跳钻时加快及放空细;③测量钻井液性能细;④观察钻井液出口及池内液面变化细;⑤鉴别砂样、岩心及识别其中充填矿物的含量、晶形、透明度细;⑥掌握气测、荧光度变化细;⑦收集辨别油、气、水样细;⑧记录测试资料细;⑨收集增产措施资料细;⑩综合分析研究细。)和“一占三沿”(打第一批初探井的井位,必须占高点、沿长轴、沿扭曲、沿断层)井位部署原则等一整套对付裂缝性气藏技术措施的形成,打开了油气勘探的新局面,致使勘探工作年年有进步,岁岁有发现,不断持续发展。

党和国家领导人对四川的油气勘探十分重视。1957年,朱德副主席视察四川时提出“加倍努力,探出石油”。1958年1月和3月,邓小平副总理、毛主席分别视察了黄瓜山和圣灯山气田,给予四川石油职工很多勉励,使职工受到很大鼓舞。

在此期间勘探成效比较显著,表现在:经历了川中石油勘探会战,基本搞清了大安寨( $J_1^4$ )、凉高山( $J_1^5$ )油层的特点、分布规律及控制因素;对川东南二叠、三叠系气藏的特征与分布有了进一步认识,并重点解剖了圣灯山气田,取得了经验,指导了其他气田的勘探;威远发现震旦系气藏,开拓了勘探新领域。特别应指出的是加深了对裂缝性气藏的认识,1965年四川石油会战领导小组召开的技术座谈会,总结出碳酸盐岩裂缝性气藏“一占三沿”的井位部署原则等勘探方法,意义深远。

#### 3. 天然气开发利用加快,四川建成天然气生产基地

由于1965年“开气找油”勘探会战后相继结出硕果,四川盆地的油气勘探成效显著,川东南二叠、三叠系进一步取得成果,特别值得一提的是卧龙河气田相继发现香溪群( $Th$ )、雷一段( $Tr^1$ )、嘉四<sup>3</sup>层( $Tc_3^4$ )、嘉三段( $Tc^3$ )、长兴组( $P_2^3$ )等气藏。证实川东南二叠、三叠系具有产层多的特点。探井的部署原则也从“一占三沿”发展成“三占三沿”,即占高点、占鞍部、占断块、沿长轴、沿扭曲(鼻子)、沿陡带,对油气勘探具有一定指导

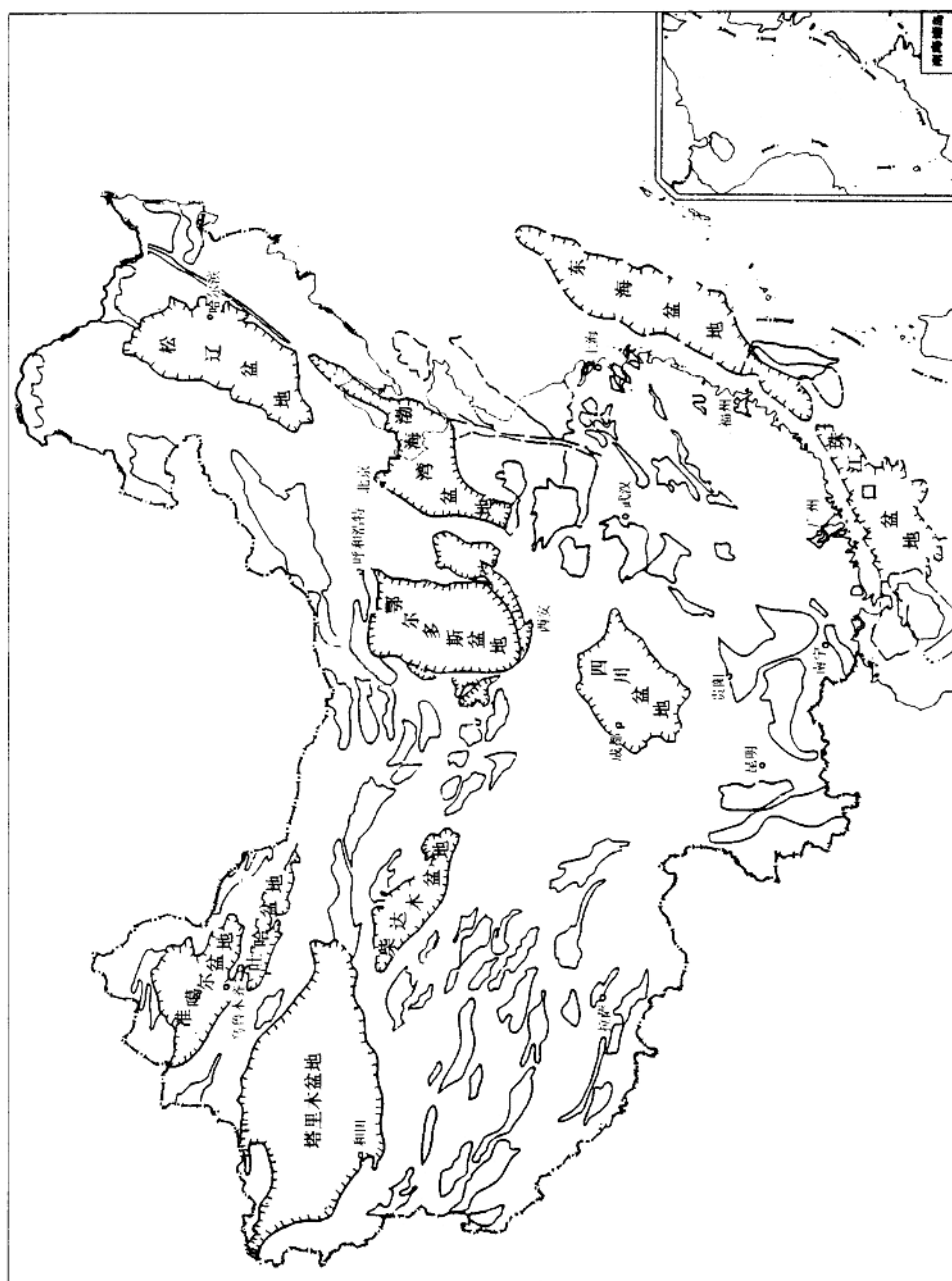


图 1—1 中国主要含油气盆地分布示意图

意义。

1971 年地质部又在川西北发现中坝气田，使该区须家河组 ( $T_3x$ ) 为目的层的勘探得以在面上推开。

1975 年开始的天然气  $300 \times 10^8 m^3$  规划部署和 13 个重点气田的勘探，更进一步把勘探工作推向一个新的高潮。天然气年产量 1975 年为  $39.31 \times 10^8 m^3$ ；原油产量为  $7.678 \times 10^4 t$ 。通往重庆、成都等地的输气干线提高了供气能力，使四川盆地初步建设成为一个天然气生产基地（图 1—2）。

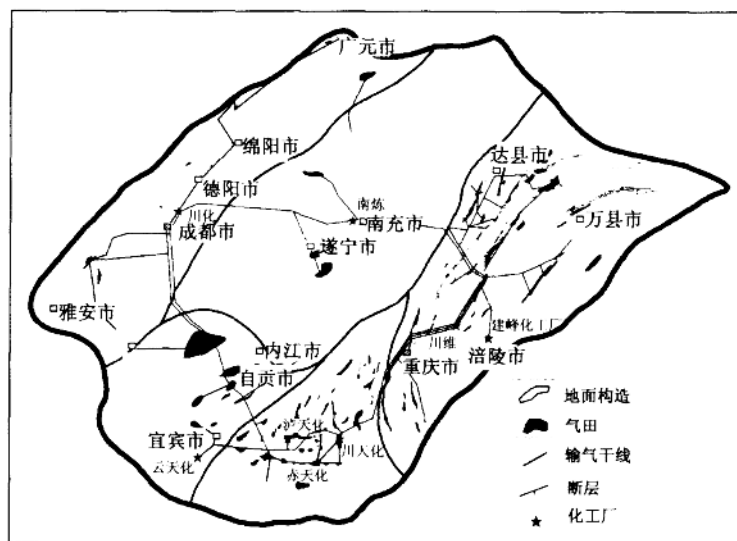


图 1—2 四川盆地气田与管线位置图

## 二、其他盆地天然气勘探开发初见成效

在四川盆地天然气勘探开发认识的基础上，中国的天然气勘探，伴随着石油勘探的历程，先后在其他主要含油气盆地展开。当时指导油气勘探的理论是背斜理论，勘探目标选定的依据主要是区域地质调查时勾描出的地面背斜及参考油气苗等信息而确定钻探目标，故这时在各盆地天然气勘探仍处于探索和发现阶段。

### 1. 柴达木盆地

柴达木盆地石油地质勘探全面展开始于 1954 年燃料工业部西北石油管理局在西安召开的第五届全国石油勘探会议，会议决定：根据 1947 年关左蜀、周宗浚等人的地质普查资料，对柴达木盆地开展石油地质勘探工作。

1964 年，凭借有限的勘探力量，在柴达木盆地东部的涩北、鸭湖、达布逊等地布井钻探，发现了涩北一号气田。

后由于盆地东部大型钾盐矿的发现，为解决利用钾盐生产化肥的燃料问题，根据上述要求，进一步查清东部地区的天然气储量。1975 年发现了涩北二号气田。1976 年初步计算了涩北一号、涩北二号和驼峰山三个构造的含气面积和天然气储量，首次在我国第四纪地层中找到了天然气田，肯定了柴达木盆地东部为一个“第四纪含天然气区”的结论。

### 2. 鄂尔多斯盆地

在 1950 年 4 月第一次全国石油会议上的把勘探工作重点放在西北地区的方针指导下，

开展了陕北地区地面地质调查和地球物理勘探工作。由于鄂尔多斯盆地初期以找油为主,故这一时期天然气勘探成效甚微。只在1964年吴19井见到天然气;1969年5月,刘家庄构造的刘庆1井于石炭—二叠系获得日产天然气 $57864\text{m}^3$ 。

但是这一时期的区域地质调查,石油天然气成藏地质条件的认识有了很大进步,提出了“上地台中部”的指导思想。并在黄土地震方法、钻井试油工艺和测井解释技术上有了很大突破。这些地质认识上的丰富和勘探技术的准备,为后来上下古生界天然气田的发现,最终探明长庆大气田打下了理论和技术基础。

### 3. 准噶尔盆地

1951年中苏石油股份公司成立以后,在准噶尔盆地开始了正规的油气勘探工作。经过几年的摸索,油气勘探逐步向盆地腹地和构造平缓地区拓展。由于成功地运用了综合勘探(地质、地球物理、钻井等)方法,1955年发现了克拉玛依油区。它的发现,拓宽了找油思想,坚定了在平坦地区找油的信心。

### 4. 吐哈盆地

勘探始于1954年,1958年预探井胜4井喷出大量原油和天然气,发现了胜金口油田,从而揭开了老区钻探构造油气藏的序幕。

### 5. 台湾地区

台湾油气勘探取得突破,并经历了天然气产量高峰时期。台湾石油勘探和开发是我国最早的省分之一。由在苗栗设立的台湾油矿勘探处管理。在50年代,主要从事地面地质调查和少量的地球物理勘探及浅钻探工作。1954年1月,台南县竹头崎8号井钻探成功,改变了部分人士对台湾油气田消极的看法。但限于经费,油气勘探无太大的发展。

台湾油气勘探与开发快速发展始于60年代初,由于受锦水38井深部勘探成功的鼓舞,台湾油矿勘探处开始扩大探油工作。表现在探井范围扩大;探井深度不断增加,逐渐钻探了5400m以上的深井,具备定向侧钻技术等。并于1972年12月成立海域石油勘探处。同时注意引进新技术,为了不断提高探采水平,有关当局一方面不断派人出去学习,一方面不惜重金聘请专家为台湾担任技术顾问。

目前台湾油气田有锦水深部气田、磺坑油气田、铁砧山气田、崎顶气田、宝山油气田、青草湖气田、白沙屯气田、永和山气田、新营气田、八掌溪气田和长康油气田,但均属中小型油气田。

台湾40年来天然气产量增加很多,至1977年达到最高峰,这年天然气年产量达 $19.9 \times 10^8\text{m}^3$ 。目前,天然气产量逐年递减。1990年天然气产量为 $11.55 \times 10^8\text{m}^3$ 。

## 第三节 改革开放20年(1979年—1999年): 中国天然气工业的飞跃与成就

众所周知,1978年十一届三中全会以后,中国开始了经济体制改革,中国由此而走上了一条经济高速发展的道路。中国天然气工业同样日趋兴旺,天然气勘探开发理论技术逐步进入了国际先进行列,发现的气田数量、储量及天然气产量进入巨大增长为标志的飞跃发展期,成就卓著。

### 一、天然气勘探开发理论技术攻关促进天然气工业加速发展

国家在四个五年计划期间连续组织天然气勘探开发的理论技术攻关,促进了天然气勘探

开发队伍的逐渐壮大,天然气地质理论和应用技术在中国高速发展,有力地指导了勘探。

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<sup>①</sup>。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),使中国开辟了新的天然气勘探领域。同时由于国家对发展现代油气勘探开发理论技术给予高度重视和广大科技人员的努力,使中国的天然气勘探开发理论迅速接近并终于进入国际先进行列,从而大大促进了天然气储量的迅速增长。

#### 1. 一元成气论和中国天然气工业

本世纪80年代之前,中国油气地质科技工作者认为天然气是由腐泥型烃源岩形成的,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年—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引进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、煤炭部和中国科学院领导的重视和支持。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,目标主要在碳酸盐岩地层中。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1998年底),全国总共探明气 $26455.14 \times 10^8 \text{m}^3$ ,平均年探明气 $1322.76 \times 10^8 \text{m}^3$ 。分别为一元成气论期间的约9.2倍和15.6倍。二元成气论指导找气期间探明气储量大幅度提高,主要与煤成气探明储量大比例增加有关。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

<sup>①</sup> 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年,大中型天然气田形成条件、分布规律和勘探技术研究。

年发现 1 个大中型气田。

“六五”、“七五”期间石油系统（原中国石油天然气总公司与中国海洋石油总公司）参与了“油气地质理论和勘探测试技术”项目的攻关。在天然气资源评价的攻关中，系统地研究了我国 38 个主要含油气盆地 99 个层系有机质丰度和类型及生烃潜力，总结了可获得工业油气流的下限，提出了生物标记物定量组合判别生源构成及三种煤相，从而指出了我国储气的良好前景。通过地质模型实验，获得了目前我国三大岩类（碎屑岩、碳酸盐岩、可燃有机岩）系列比较完整的油、气产率参数，丰富了油气生成理论。“七五”期间，由于对我国主要油气盆地逐个进行了整体分析，总结了不同盆地天然气分布规律及聚集控制因素，指出了大陆架盆地、中部克拉通盆地和西部地带是我国大中型气田的有利地区。与此同时，对已找到的 16 个中型气田和 20 多个典型气田进行了深入解剖，总结出控制我国天然气藏形成和富集的八项基本地质因素，指出了我国勘探大、中型气田的有利地区是塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、东海与南海等，为今后寻找大中型气田的勘探部署以及确定“八五”期间攻关目标提供了依据。“七五”期间，由于紧密结合天然气勘探开发进行科技攻关，获得了明显效益。“六五”期间新增天然气探明储量达到历史上的最高记录。“七五”期间新增天然气探明储量又比“六五”翻了一番。截止 1990 年底我国发现的 16 个大于  $100 \times 10^8 \text{m}^3$  的中型气田中，有 8 个是在“七五”期间发现的。特别是鄂尔多斯盆地在连续获得日产  $10 \times 10^4 \text{m}^3$  以上的多口气井以后，已控制了近千平方公里的含气区，钻探结果表明，为大面积、中低产整装大气田。在已获得工业气流范围内，“七五”期间已拿下  $700 \text{km}^2$  的气层探明储量，是国内陆上最大的气田，已具备开采的资源条件。

### 3. “八五”以来，我国天然气科技攻关研究理论与技术并重，取得了一系列重大的进展

对四川盆地川东地区高陡背斜带地腹构造的正确识别和石炭系在全区厚度变化、尖灭和缺失的圈定技术的突破，由之建立了石炭系成藏富集规律，因而在“八五”期间得以在川东探明了 4 个大、中型气田，其中包括我国陆上第二大气田——五百梯气田。对四川盆地川西地区致密砂岩建立了以水溶相运移为主、适时古隆起上聚集的成藏模式，并以此为指导，发现和探明了新场中型气田，结束了在致密砂岩中只能找低产气藏的局面。根据油气地质学、岩石学、矿物学、岩溶学、地球化学和地球物理多学科相互交叉综合研究，确立了鄂尔多斯盆地中部奥陶系碳酸盐岩风化壳气藏的成藏规律，以此为指导，探明了我国第一个大气田即中部气田；莺歌海盆地由于右旋剪切产生一些近南北向的张扭断裂，诱发了高温高压包内塑性泥岩的底辟活动，随之高温高压包释放能量，形成大量流体上窜的底辟，并伴生与底辟有关的圈闭；深部高温流使浅部未熟烃源岩强化成气和深部气携运至浅部的底辟形成天然气成藏，由这种富集作用指导，在莺歌海盆地发现了东方 1—1 气田等 2 个大、中型气田。“七五”和“八五”期间，我国天然气科技攻关者多次指出勘探中亚煤成气聚集域东部的重大作用和意义。中亚煤成气聚集域是指中亚地区从里海之东的孟什拉克盆地经卡拉库姆盆地、阿富汗—塔吉克盆地、费尔干纳盆地至我国塔里木盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地和三塘湖盆地与下、中侏罗统煤系源岩成气有关的盆地群，该域在我国之西的部分，于 1986 年之前已发现大批与下、中侏罗统煤系有关的煤成气气田。这些超前研究促使我国对与下、中侏罗统煤成气（烃）有关的勘探进入高潮，并取得了重大的经济效益。东海盆地西湖凹陷大、中型气田形成条件的研究，促进了宝云亭中型气田的发现探明和春晓含气构造的发现。完成了目前国内外最完善、最系统的气聚集带的分类，完成了我国第一次气聚集带、气聚集区和气聚集域的研究和划分，对我国四川、鄂尔多斯、莺歌海、松辽和渤海湾等 13 个含油气盆地划分

出2个气聚集域、9个气聚集区和91个气聚集带,为我国天然气勘探指出和准备了一批有利区带。首次划分和研究了我国主要盆地含气系统及成藏组合,即对我国四川、鄂尔多斯和莺歌海等12个主要含油气盆地划分出18个含气系统和36个成藏组合。“多源复合”天然气成因模式的提出,丰富了天然气成因理论。总结了大、中型气田形成的主要控制因素,据此,在四川、鄂尔多斯、塔里木、柴达木、准噶尔、渤海湾、松辽、莺—琼和东海等9个盆地选择出35个有利于发现大、中型气田的构造带或目标,为确保“九五”期间实现天然气储量大幅度增长提供了科学依据和方向。煤层气地质评价开发工艺取得了突破性进展,在鄂尔多斯盆地东缘柳林地区及山西沁水盆地石炭—二叠系煤层气开发工艺攻关与方法试验获得了重大进展。研究建立了一套识别天然气的物、化探技术方法,除去地质、地球物理、地球化学等领域的攻关外,在钻井技术、油气层改造方面也取得了相应的可喜进展。这些进步的综合运用大大提高了天然气勘探效益。

“八五”期间天然气科技攻关高水平的研究成果,为天然气勘探提供了科学依据和有利地区,使我国天然气勘探进入了飞跃期:“八五”期间探明的气层气储量相当于建国后至“八五”前42年探明气层气的总储量,即“八五”攻关期间年探明天然气储量是以前年平均探明储量的8倍;“八五”期间发现大、中型气田15个,其中包括我国最大的气田即中部气田,“八五”期间发现大、中型气田的速度是以前年平均发现大、中型气田速度的7倍。而“九五”前三年发现大气田的规模与储量又远远超过“八五”,也超额完成了整个“九五”期间的计划。

“九五”前三年科技攻关深入研究了大中型气田分布与气源丰度的相关关系;应用“碰撞造山带”与“大地构造相”的理论进行重点含气盆地类型划分;运用陆相层序地层的分析理论,开展了各重点含气盆地储层研究,提出洪泛面上下是有利于大中型气田发育的时期或层段。并综合研究大中型气田的成藏特征,利用油气系统的概念分析了大中型气田的分布规律,同时在气层地震预测、测井识别和酸化压裂改造等技术手段又比“八五”提高了一步,这是“九五”前三年勘探开发取得卓著成就的重要保证。目前,“九五”后二年科技攻关正在进行,继续开展我国天然气分布规律的深入研究。

## 二、各主要含油气盆地天然气勘探开发蒸蒸日上

在以油型气和煤型气理论的指导下,在党和国家有关部门的具体管理下,全国各主要含气盆地天然气勘探进入一个崭新时期。

1. 四川盆地天然气工业继续发展,稳步而深入地开展全盆地天然气勘探工作,取得了巨大成绩

四川盆地在深入研究和稳步勘探开发川中、川东南、川西北油气田的同时,1977年川东相国寺相18井中石炭统黄龙组( $C_2$ )气藏的发现,扭转了川东供气的被动局面。继而上二叠统生物礁气藏和下三叠统鲕滩气藏的发现,使川东地区成为勘探重点地区。地震勘探质量的提高,钻探力量的进一步增强,大大提高了勘探成效。老气田二次勘探、高陡背斜钻探以及背斜圈闭以外寻找新裂缝系统等方面都取得了一定突破。目前(截止1998年2月)四川盆地探明气层气为 $5589.09 \times 10^8 m^3$ ,溶解气为 $111.52 \times 10^8 m^3$ ,是中国探明气层气储量最大的盆地。

2. 鄂尔多斯盆地发现了陆上最大的天然气田,形成了天然气开发利用的储备基地

经过“六五”、“七五”天然气科技攻关及勘探实践,基本明确了鄂尔多斯盆地古生界成气地质条件,勘探布局日趋合理,主攻靶区逐渐明确,盆地中部以其有利的成藏条件逐渐明

确为天然气重点勘探战场。1989年陕参1和榆3井两口发现井双双告捷，分别获得日产 $28 \times 10^4 \text{m}^3$ 和 $13 \times 10^4 \text{m}^3$ 的工业气流，接着陕5、陕6、林1、林2等评价井相继出气。“八五”期间，以探气三大系统工程（含气圈闭、气藏评价、产能评价）组织勘探工作，以较快速度，基本探明了鄂尔多斯盆地中部大气田。中部大气田位于陕西省靖边—志丹—安塞一带，向北延伸至内蒙古自治区的乌审旗，是我国迄今发现的最大气田（图1—3），在世界排名列第85位。目前，鄂尔多斯盆地探明气层气 $2926.11 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气 $308 \times 10^8 \text{m}^3$ 。探明气层气储量位居全国第2位。

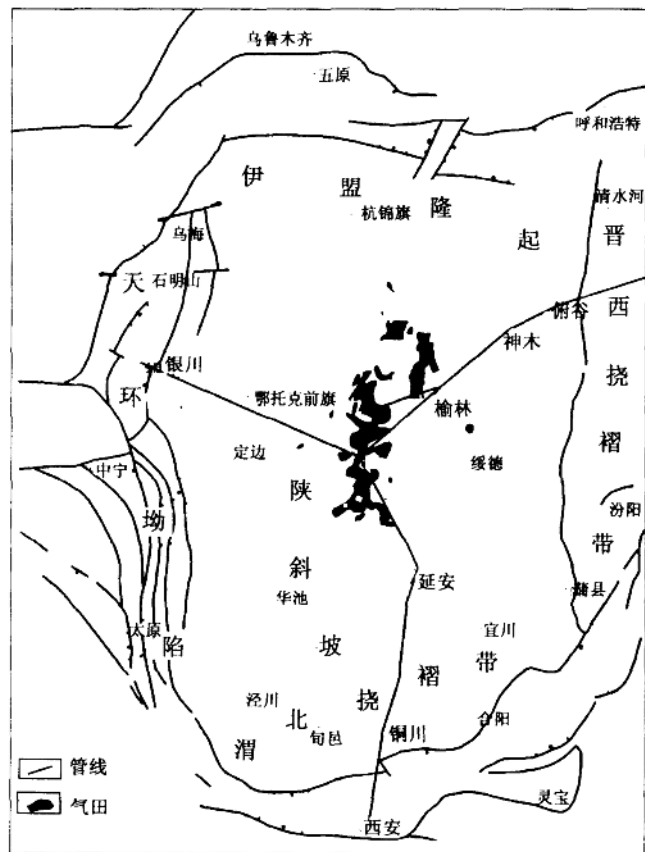


图1—3 鄂尔多斯盆地气田与管线位置图

3. 塔里木盆地天然气勘探开发方兴未艾，是中国天然气勘探最具潜力的盆地之一

塔里木盆地油气勘探的发展可归结为：综合认识的提高，使三次主攻目的层转移，带来了三次勘探新发现和储量增长高峰。

1989年4月10日，经国务院批准，原中国石油天然气总公司在库车勒正式宣布成立塔里木石油勘探开发指挥部，负责组织塔里木石油会战。

1989—1990年，塔指依据前期地质调查和地震资料的综合研究，以构造有利圈闭为目标，主攻奥陶系碳酸盐岩，取得主要成果为发现和探明了轮南三叠、侏罗系亿吨级油气田；发现了面积为 $2450 \text{km}^2$ 的轮南大型含油气潜山；而且塔中1号潜山奥陶系白云岩获得突破。但随后钻探奥陶系的一批井相继失利，迫使地质家思考勘探目的层转移的问题。

1991—1992年，塔指从塔北东河塘石炭系“东河砂岩”油田

的发现，启示研究勘探目的层转移到石炭系。发现了塔中4储量为 $8100 \times 10^4 \text{t}$ 的油气田。

1993—1994年，从塔北隆起钻探第三系的预探井成功率高达88%得到启示，勘探目的层从石炭系转移到第三—白垩系，结果发现了 $8100 \times 10^4 \text{t}$ 探明储量的牙哈大型凝析油气田。

1995—1997年，重新开展区域地质勘探工作，大大加深了对盆地的认识，促进了对寻找大油气田的思考。特别是区域展开的结果：①在盆地中、西部发现了 $O_2+3$ 和 $E_1$ 两套优质生油气层；②发现了 $E_{2-3}$ 、 $C_2$ 和 $E$ 三套盐膏层优质盖层；③在巴楚隆起、塘古孜巴斯凹陷和塔北牙哈潜山，都发现了 $E-O$ 碳酸盐岩的优质储层；④在库车拗陷第三系浅层发现大宛齐小油藏，油源来自深部 $T-J$ ；⑤拗陷中的探井几乎未见任何显示，从而在1996年底勘探

技术座谈会上达成了共识：在平面上，台盆地区油气集中在三大隆起；在剖面上，应当逼近主力油气源层，在台盆区寒武—奥陶系碳酸盐岩和前陆区侏罗—三叠系中寻找大型原生油气藏。

从塔里木盆地天然气勘探历程看，认真分析成功和失败的勘探实例，加深综合地质认识，提出符合地质规律的勘探思想是非常重要的。截止 1998 年年底，塔里木盆地探明气层气  $2207.37 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气  $353.53 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

#### 4. 开放政策的落实带来了海上大气田的发现

在中国共产党十一届三中全会确定“对外开放政策”后，为了利用外国资金和技术，我国天然气工业积极寻求国外合作伙伴，先后在陆上和海域各主要盆地进行油气勘探的风险合作招标、投标及实施工作，比较突出地表现在海域（含浅海）油气合作勘探与开发上。而且原中国石油天然气总公司专门成立了天然气公司组织和管理天然气科研和生产工作。

1979 年至今是我国开展对外合作勘探阶段。

1982 年 9 月 19 日，中国海洋石油总公司与阿科（ARCO）中国有限公司和圣太菲矿业（亚洲）有限公司在北京签订了“在中国南海莺歌海盆地部分海域合作进行石油和天然气的勘探开发和生产合同”。

1980 年 5 月 29 日，与日本、法国两家石油公司分别签定了在渤海进行合作勘探开发石油的合同。

1979 年 3 月，中国海洋石油总公司与外国 12 家石油公司签订了南海北部大陆架  $32 \times 10^4 \text{km}^2$  海域面积的地球物理勘探协议。

1979 年 6 月，与外国石油公司正式签订在珠江口盆地北纬  $17^\circ 00' \sim 23^\circ 30'$ 、东经  $110^\circ 30' \sim 118^\circ 00'$  之间的总面积为  $283000 \text{km}^2$  范围内进行海上地球物理勘探协议书，授权五家石油公司（MOBIL, EXXON, CHEVRON, TEXACO 和 PHILLIPS）作为四个作业区（阳江、广州、海丰和汕头）的作业者，负责各区的野外采集和资料处理与解释工作。

通过和外国企业合作勘探，天然气勘探开发的资金和技术得以落实。地震勘探方面采用高次覆盖（48~60）技术、三维技术及高精度的定位导航系统，提高了处理、解释质量，因此为钻探提供的构造形态有较高精度。

钻井试油方面采用大井眼多层套管程序、低固相聚合物优质轻泥浆、高压异常检测技术、“TDC”联机装置综合录井技术、重复地层测试（“RFT”或“MFT”）技术、数字化组合系列、“DST”钻杆测试技术。采用了这些先进技术及高精度仪器后，能及时发现油气显示，有油气能顺利测试出来。

1983 年 6 月，发现崖 13—1 大气田，至今已探明  $884.96 \times 10^8 \text{m}^3$ 。进入 90 年代，相继探明 LD22—1、乐东 15—1、东方 1—1、平湖、东海宝云亭等一批大中型气田，使海域天然气勘探显现一片生机。

截止到 1998 年 2 月，渤海探明气层气  $252.46 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气  $288.45 \times 10^8 \text{m}^3$ ；东海探明气层气  $301.85 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气  $13.01 \times 10^8 \text{m}^3$ ；琼东南探明气层气  $884.96 \times 10^8 \text{m}^3$ ；莺歌海探明气层气  $1606.64 \times 10^8 \text{m}^3$ 。海域合计探明气层气  $3045.91 \times 10^8 \text{m}^3$ ，溶解气  $301.46 \times 10^8 \text{m}^3$ ，取得了巨大的勘探成果。发现了 3 个大型天然气田，13 个中型天然气田。

#### 5. 其他盆地天然气勘探成绩喜人，形成了天然气勘探开发的战备接替地区

目前，在天然气地质理论的逐步完善和勘探开发技术的不断改进下，除四川、鄂尔多斯、塔里木、琼东南等盆地获得天然气勘探的重大突破外，其他盆地，如准噶尔、柴达木、