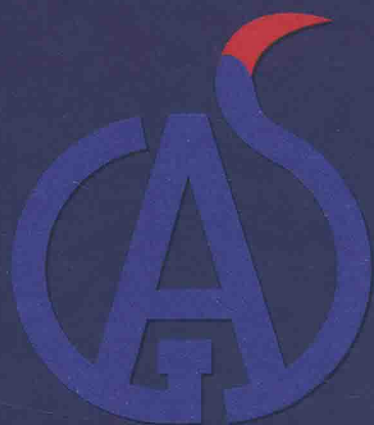


# 戴金星文集



天然气地质学——卷二



戴金星 / 著



科学出版社

# 戴金星文集



天然气地质学——卷二



戴金星 / 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

专著收录了戴金星院士从事天然气研究和勘探工作 50 多年来,在天然气地质研究方面公开发表的中文论文。内容包括煤成气含义、煤系生烃特征、煤成气资源评价、煤成气藏类型以及远景区预测、中国天然气地质理论进展、大中型气田形成主控因素、煤成气聚集域、无机成因气田及特征、非常规天然气及其勘探开发意义、世界典型煤成气田富集规律等,这些论述是戴金星院士从事天然气地质研究的结晶,为我国天然气工业的迅速发展做出了重要贡献。

本书可供从事石油天然气地球科学工作者、石油院校师生、油田现场生产部门的技术和管理人员阅读参考!

### 图书在版编目(CIP)数据

戴金星文集.2, 天然气地质学 / 戴金星著. —北京: 科学出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-03-046303-6

I. ①戴… II. ①戴… III. ①戴金星-文集②石油天然气地质-文集  
IV. ①P5-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 267627 号

责任编辑: 韦 沁 焦 健 / 责任校对: 赵桂芳

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

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>

北京利丰雅高长城印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 11 月第一次印刷 印张: 28 1/2

字数: 664 000

定价: 398.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



摄于二〇〇五年

# 前 言

《戴金星文集》在八旬耄耋之年筹备出版，初拟出六卷。今年交稿四卷，出版三卷，争取 2016 年出完六卷。今后若还有足量的论文发表，可望将出七卷或更多。

《戴金星文集》是至 2015 年底我与合作者共正式发表的 289 篇论文中，仅以我为第一作者或是执笔者的论文入选。前四卷均以油气论文，特别是天然气地质和地球化学的相关论文，一至三卷为中文，四卷为英文。

《戴金星文集》和 23 部专著，是我半个世纪科研工作的结晶。论文的主要研究方向是天然气地质和地球化学，核心是煤成气地质和地球化学，20 世纪 70 年代末，“煤成作用中形成的天然气和石油”（1979），“我国煤系地层含气性的初步研究”（1980）的论文开启了中国煤成气理论，被认为是“中国开始系统研究煤成烃的标志”，是“第一次系统阐述了中国煤成气理论的核心要点，是中国煤成气理论研究的里程碑”，“一般作为中国天然气地质学的开端”。煤成气理论强调煤系是全天候的良好气源岩，煤系成烃以气为主，以油为辅，使中国勘探天然气指导理论从油型气“一元论”，发展为油型气和煤成气“二元论”，开辟了煤成气勘探新领域，从而推进了中国天然气工业发生重大进展，使中国从贫气国迈进产气大国之列。1978 年煤成气理论产生之前，中国天然气探明地质储量仅为 2246 亿  $\text{m}^3$ ，其中煤成气储量占 9%；年产气量 137.4 亿  $\text{m}^3$ ，国人均享有天然气储量 235.8  $\text{m}^3$ ，国人年均用国产气 14.3  $\text{m}^3$ ，中国是贫气国。从 1979 年以“二元论”指导天然气勘探至 2014 年底，中国天然气探明地质储量总计 106430.7 亿  $\text{m}^3$ ，其中煤成气储量占 71%；年产量为 1345 亿  $\text{m}^3$ ，中国成为世界第六大产气国。国人均享有天然气地质储量 7768.6  $\text{m}^3$ ，国人年均用国产气 98.2  $\text{m}^3$ 。由此可见：从“一元论”转化为“二元论”指导天然气勘探，中国天然气工业主要指标发生了重大变化：“二元论”比“一元论”时天然气探明地质储量中，煤成气比例提高了 62%；国人均有天然气探明地质储量多了 7532.8  $\text{m}^3$ ，国人年均享有国产气多了 83.9  $\text{m}^3$ 。因此，煤成气是中国天然气工业近期大发展的主角。

鄂尔多斯盆地自 1907 年在中国大陆首先开始机械化油气勘探至 20 世纪 80 年代初，以“一元论”指导勘探，未将广泛分布的石炭—二叠系含煤地层作为气源岩，天然气勘探几乎无进展，盆地内只发现两个小气田（刘家庄和直罗），探明天然气地质储量仅为 11.7 亿  $\text{m}^3$ 。1980 年我指出该盆地“是煤成天然气聚集区，可能找到成群成带的煤成气田”，1983 年我国第一批国家重大科技攻关项目“煤成气的开发研究”启动后，长期在鄂尔多斯盆地勘探油气的杨俊杰、裴锡古、王少昌和张文正等对该盆地煤成气生气量、资源量、生气强度、成藏和有利地区作了大量研究，促使盆地从仅勘探油方向在 20 世纪 90 年以来转为油气兼探，从而使鄂尔多斯盆地天然气勘探开发迅速发展。至 2014 年底，发现天然气地质储量 34764 亿  $\text{m}^3$ ，为“一元论”时 2971 倍；年产气 425.8 亿  $\text{m}^3$ ，成为今天中国天

此为试读，需要完整PDF请访问：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)



然气最大储量、最大产量的盆地,储量和产量中90%以上为煤成气。

1983~1998年我4次参加国家天然气科技攻关项目并任项目长或副项目长,领导天然气研究、勘探评价和预测,取得丰硕研究成果,为推进我国天然气工业迅速发展添砖加瓦。由此,1987年“中国煤成气的开发研究”、1997年“大中型气田形成条件、分布规律和勘探技术研究”先后两次获国家科技进步一等奖,2010年“中国天然气成因及鉴别”获国家自然科学二等奖,以上三项奖我均为第一贡献者。2001年获何梁何利科学与技术进步奖。

《戴金星文集》以专业学科分卷,除卷一前几篇论文外,各卷论文均以发表年次先后排序。论文先后跨越近半个世纪,由于出版时间不同、杂志不同,参考文献仍保持原文格式,但所有图件力争改为彩图。有的论文中有少许排印错字,甚至个别丢段、图号错误,均作改正。

秦胜飞、胡国艺、米敬奎、杨春、倪云燕、陶小晚、黄士鹏、廖凤蓉、龚德瑜、于聪、房忱琛、刘丹、冯子齐、彭威龙、韩文学博士后、博士参与了文字和彩图校对,在此深表感谢。

我的夫人夏映荷,在文集编辑和出版中,在工作上积极支持和生活上无微不至的照顾,非常感谢。

中国石油勘探开发研究院赵文智院长在出版经费上予以大力支持,十分感谢。

著 者

2015年11月22日

# 目 录

## 前言

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 中国天然气资源及前景分析 .....                 | 1   |
| 为我国 2005 年产 500 亿立方米天然气而努力 .....   | 16  |
| 中国天然气勘探开发的若干问题 .....               | 17  |
| 油气地质学的若干问题 .....                   | 32  |
| 无机成因油气论和无机成因的气田 (藏) 概略 .....       | 43  |
| 中国西部煤成气资源及其大气田 .....               | 53  |
| 加速寻找我国大中型气田 .....                  | 67  |
| 寻找大中型气田与加速发展天然气工业之浅见 .....         | 71  |
| 加强中国西北地区天然气的研究和勘探开发 .....          | 76  |
| 美国天然气工业概况 .....                    | 80  |
| 天然气地质学研究促进了中国天然气储量的大幅度增长 .....     | 90  |
| 加强天然气地质学研究 勘探更多大气田 .....           | 105 |
| 晚期成藏对大气田形成的重大作用 .....              | 121 |
| 华北陆块南部寒武统海相泥质烃源岩的发现对天然气勘探的意义 ..... | 133 |
| 威远气田成藏期及气源 .....                   | 144 |
| 科学安全勘探开发高硫化氢天然气田的建议 .....          | 155 |
| 油气与中国 .....                        | 161 |
| 松辽盆地深层气勘探和研究 .....                 | 178 |
| 中国从贫气国正迈向产气大国 .....                | 197 |
| 中国天然气工业发展趋势和天然气地质学理论重要进展 .....     | 204 |
| 勘探的盛世 研究的丰年 .....                  | 228 |
| 非生物天然气资源的特征与前景 .....               | 232 |
| 关于继续加强我国煤成气勘探与研究的建议 .....          | 240 |
| 中国天然气勘探及其地质学理论的主要新进展 .....         | 244 |
| 中国大气田形成条件和主控因素 .....               | 253 |
| 中国煤成气潜在区 .....                     | 272 |
| 中国天然气地质与地球化学研究对天然气工业的重要意义 .....    | 280 |
| 煤成气是中国天然气工业的主角 .....               | 299 |
| 油气藏形成机制与开发研究 .....                 | 309 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 中国煤成气研究 30 年来勘探的重大进展 ..... | 322 |
| 中国东部天然气分布特征 .....          | 343 |
| 中国天然气勘探开发 60 年的重大进展 .....  | 369 |
| 中国致密砂岩气及在勘探开发上的重要意义 .....  | 381 |
| 煤成气研究对中国天然气工业发展的重要意义 ..... | 393 |
| 中国大气田的地质和地球化学若干特征 .....    | 419 |
| 2000 年以来中国大气田勘探开发特征 .....  | 438 |



# 中国天然气资源及前景分析\*

## ——兼论“西气东输”的储量保证

中国是世界上最早发现和利用天然气的国家之一，并在公元 13 世纪就开发了世界上第一个气田——自流井气田<sup>[1,2]</sup>。但是天然气现代化的研究、勘探和开发则比较滞后，仅近 20 年才整体启动。因此，中国天然气资源潜力大，储量发现率低，发展天然气工业的前景良好。

### 一、天然气储量现状及其特征

储量是发展天然气工业的基础。尽管中国现代化的天然气研究和勘探启动较晚，但是近 20 年来国家给予了高度的重视，连续 4 次开展天然气的重点科技攻关项目，在理论和人才上为天然气勘探准备条件，同时近 10 年来又加强了天然气勘探。所以，近期中国天然气勘探持续出现大好形势，探明储量大幅度增长，为中国天然气工业的快速发展提供了储量的基础。

截止 1999 年年底，中国（未统计台湾省，下同）探明天然气（仅指气层气，下同）地质储量总计为 20635 亿  $\text{m}^3$ ，其中煤成气为 11174 亿  $\text{m}^3$ ，占 54%；油型气为 9461 亿  $\text{m}^3$ ，占 46%。可采储量为 13049 亿  $\text{m}^3$ ，历年累计采出 2836 亿  $\text{m}^3$ ，剩余可采储量为 10213 亿  $\text{m}^3$ 。如果把油田溶解气的可采储量 3462 亿  $\text{m}^3$  计算在内，中国 1999 年年底整个天然气可采储量为 16511 亿  $\text{m}^3$ 。由于溶解气是随石油开采产出，从属于石油的储量，一般天然气储量不将其包括在内。

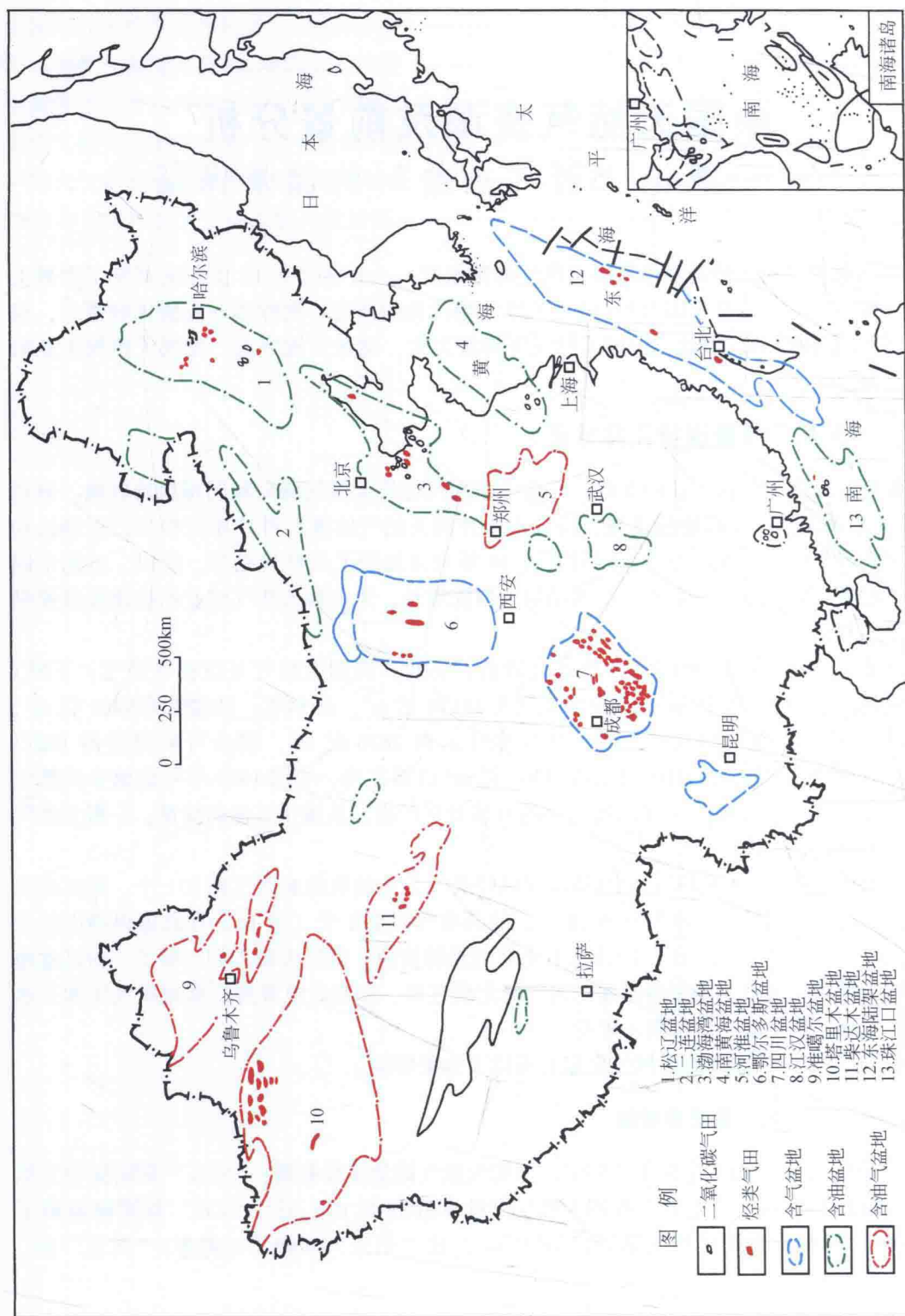
到 1999 年底，中国 14 个盆地共发现以烃类气为主的有机成因气田 171 个，同时还发现以二氧化碳为主的无机成因气田 21 个，故共有气田 192 个（图 1）。在此值得指出的是二氧化碳含量达 95% 以上的气田也具有重要的经济价值，但过去被人们忽略了。松辽盆地万金塔二氧化碳气田、渤海湾盆地花沟二氧化碳气田、苏北盆地黄桥二氧化碳气田和三水盆地沙头圩二氧化碳气田已投入开发。

近 20 年来中国发现的天然气储量具有以下主要特征。

#### 1. 天然气探明储量明显增加

从 1981 年至今的 4 个五年计划中，探明天然气储量连续翻番：“六五”期间探明天然气储量为 1345 亿  $\text{m}^3$ ，“七五”探明天然气储量为 3082 亿  $\text{m}^3$ ，比“六五”探明储量翻了一番多；“八五”探明天然气储量 6970 亿  $\text{m}^3$ ，比“七五”又翻了一番多；“九五”前

\* 原载于《石油与天然气地质》，2001，第 22 卷，第 1 期，作者还有夏新宇、卫延召。由于原文篇幅长，该刊出版时作了删节，现按原文出版。



四年探明天然气储量 6621 亿  $\text{m}^3$  (图 2), 预计 2000 年全国探明天然气储量为 3500 亿  $\text{m}^3$  (克拉 2 大气田已探明 2506 亿  $\text{m}^3$ ), 故“九五”新增天然气探明储量超过 10000 亿  $\text{m}^3$ , 在“八五”探明天然气基数增大的情况下, 也翻了将近一番。1999 年累计探明储量是 1980 年的 7.9 倍, 迅速增长的天然气储量为中国天然气工业快速发展提供了基础。

## 2. 煤成气探明储量的比例不断增长

世界上传统石油地质学认为油气是由地史上海洋和湖泊里的低等生物演变形成的, 这样的气叫油型气。而 20 世纪 40 年代在德国、继之 60 年代和 70 年代在苏联、澳大利亚和中国, 一些学者认为沼泽和滨海的高等植物形成的煤系是好的生气岩系<sup>[3-6]</sup>, 形成的天然气叫做煤成气, 煤成气可以运移出来聚集为气田。传统石油地质学者只用油型气观点来指导天然气勘探, 没有看到煤系成气的巨大潜力和前景, 使得天然气勘探区域比较局限; 而煤成气的倡导者认为除了可以继续采用油型气理论来指导勘探天然气外, 还强调煤系发育的盆地也是天然气勘探有利地区, 扩大了天然气勘探区域和领域, 从而使指导勘探的天然气成因理论从“一元论”(油型气成气理论)走向“二元论”(油型气成气论加煤成气成气论)。中国煤成气理论在 1979 年出现<sup>[4]</sup>, 其后天然气勘探指导理论从“一元论”走向“二元论”, 促进了中国天然气勘探大好形势的形成, 促进了中国天然气工业的发展<sup>[7]</sup>。

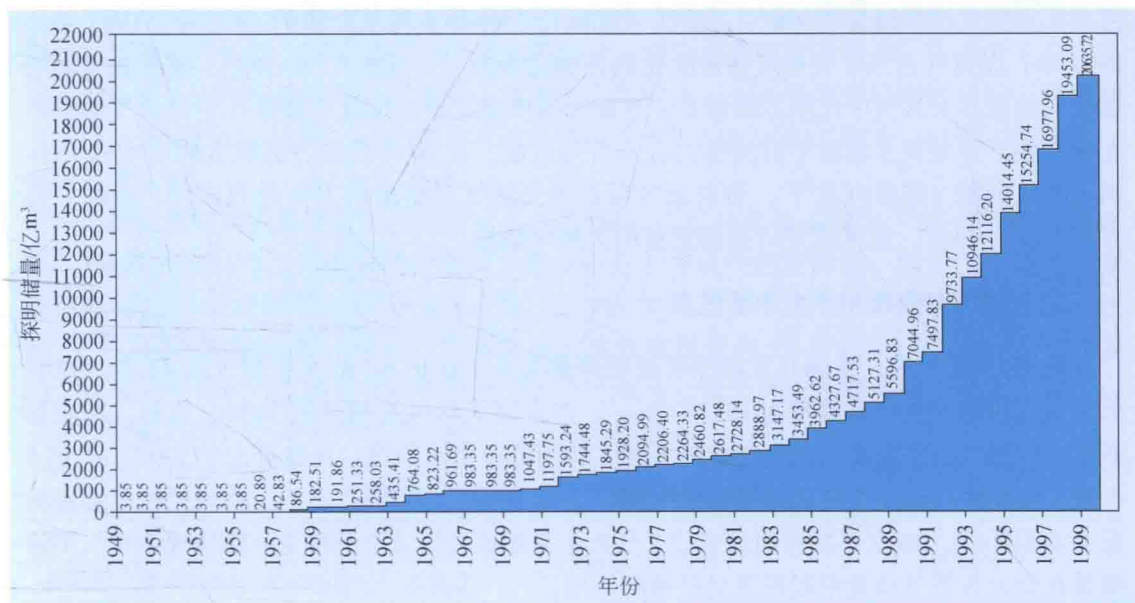


图 2 中国天然气历年储量累计图

从 1949 至 1978 年中国仅用“一元论”进行天然气勘探, 避开在煤系有利区中勘探, 此 30 年间仅探明天然气储量 2284 亿  $\text{m}^3$  (图 2), 平均每年探明储量为 76 亿  $\text{m}^3$ ; 从 1980 到 1999 年的 20 年间, 以“二元论”指导中国天然气勘探, 共探明天然气 18193 亿  $\text{m}^3$ , 平均每年探明储量为 910 亿  $\text{m}^3$ 。“二元论”指导天然气勘探期间, 年均探明储量是“一元论”指导期间的 11 倍。探明储量增长的同时, 天然气累计探明储量中煤成气的比例也不断增长, 二者呈正相关关系 (图 3)。例如, 在“一元论”指导勘探的 1978 年, 煤成气只



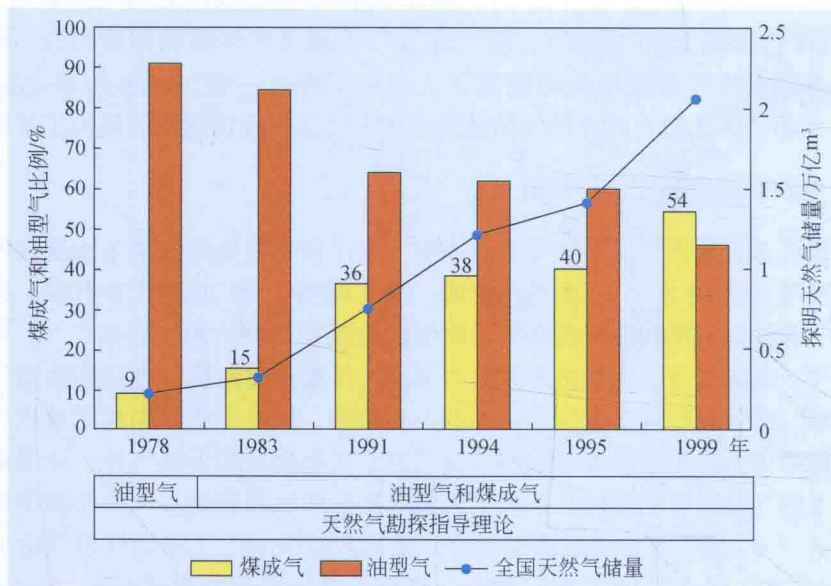


图3 中国各时期煤成气和油型气比例及储量关系图

占当年天然气探明储量的9%<sup>[7]</sup>,而在“二元论”指导天然气勘探的1991年、1995年和1999年,煤成气占当年天然气储量的比例分别为36%<sup>[8]</sup>、40%<sup>[9]</sup>和54%,这些数据表明煤成气储量在天然气中比例不断增长。苏联和俄罗斯正是以煤成气储量作为天然气储量的主要支柱,并发展了称雄于世的强大的天然气工业。在70年代末,苏联大约有65%的探明天然气资源与煤系有关<sup>[10]</sup>,目前俄罗斯全国天然气总储量约75%是煤成气。目前中国煤成气仅占54%,意味着还可探明更多的天然气储量。

### 3. 天然气储量集中于大中型气田

截止1999年底,中国共发现探明地质储量大于100亿m<sup>3</sup>的大中型气田47个,这些大中型气田的天然气总储量为15171亿m<sup>3</sup>,占全国天然气总储量的74%。因此,勘探与开发大中型气田是发展天然气工业的关键。特别值得指出的是,在储量大于500亿m<sup>3</sup>的6个最大气田中,前4个气田均是煤成气田<sup>[11]</sup>,总储量为5000亿m<sup>3</sup>,占全国天然气储量的近1/4(图4)。2000年新探明的克拉2气田也是煤成气田。由此可见,煤成大中型气田的储量在全国天然气储量中起着举足轻重的作用。

## 二、资源前景

### 1. 认识资源量更加深入

天然气资源量取决于以下三类参数:

- ① 气源岩的分布面积、厚度和有机质含量;
- ② 单位质量有机质能够转化成天然气的数量;
- ③ 天然气从离开气源岩到形成现今的天然气藏,其聚集程度,即聚集系数。

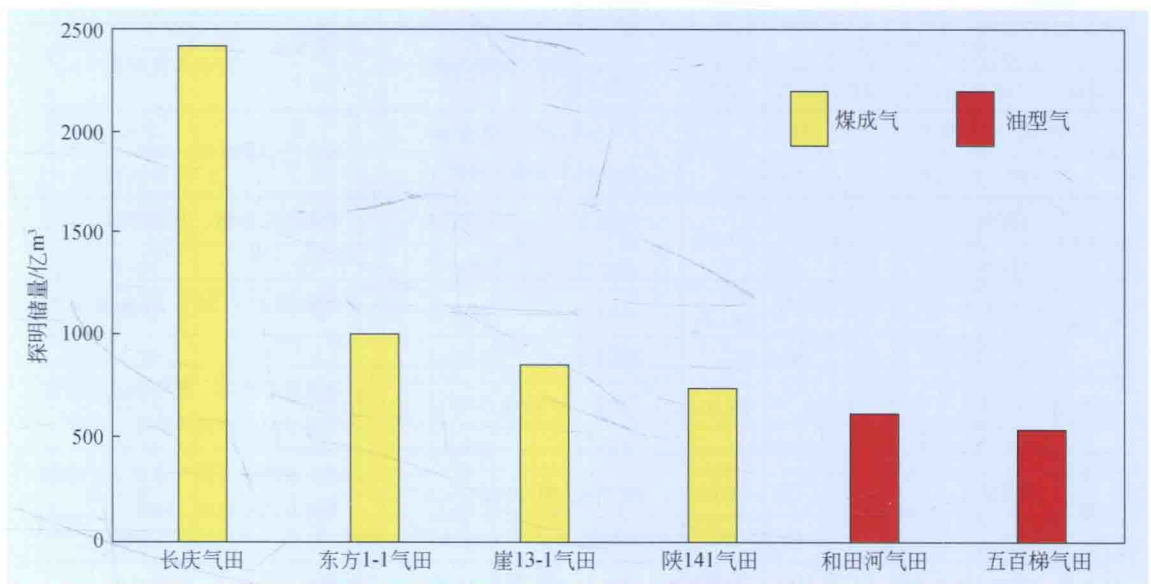


图4 中国储量在 500 亿 m<sup>3</sup> 以上大气田的气类型图 (1999 年年底)

天然气资源量的多寡意味着发展天然气工业的“家底”是否雄厚，是制定天然气工业规划决策的重要依据。资源量是一个客观的数量，评价结果的准确与否，取决于人们对上述三类参数认识的准确程度。其中对上述①类参数的认识主要受勘探程度的影响，勘探程度越深，认识越接近实际；而②类和③类参数虽然也受勘探实践的影响，但更主要取决于理论上的认识。

中国天然气的资源评价工作始于“六五”国家重点科技攻关项目“煤成气的开发研究”，当时开始以“二元论”指导勘探，重点研究了煤成气的资源量，例如关士聪等、戴金星等以及原煤炭部等单位分别于 1981 ~ 1986 年先后 9 次对煤成气资源量进行了预测<sup>[12~14]</sup>。另外胡朝元等（1983）预测全国天然气资源量为 15 万亿 ~ 17 万亿 m<sup>3</sup><sup>[15]</sup>（表 1）。这期间中国天然气资源评价和预测工作处于起步阶段，评价预测多属于个人性质，由于掌握资料有限，所得到的结果一般只是粗略的推断。

表 1 中国历次天然气资源量评价数据

| 天然气资源量/万亿 m <sup>3</sup> |       |       |         | 占全国沉积岩面积                         | 资料来源                      |
|--------------------------|-------|-------|---------|----------------------------------|---------------------------|
| 煤成气                      | 陆相油型气 | 海相油型气 | 总量      |                                  |                           |
| 5.4                      |       |       |         |                                  | 关士聪等，1981 <sup>[12]</sup> |
| 5.97 ~ 6.9               |       |       |         |                                  | 戴金星等，1981 <sup>[13]</sup> |
| 6 ~ 7                    |       |       |         |                                  | 王开宇，1981 <sup>[14]</sup>  |
| 13                       |       |       |         |                                  | 原煤炭部地质局，1982              |
| 8 ~ 10                   |       |       | 15 ~ 17 |                                  | 胡朝元，1983 <sup>[15]</sup>  |
| >19                      |       |       |         |                                  | 原地质矿产部石油地质研究所             |
| >16                      |       |       |         |                                  | 戴金星，1984                  |
| 11.3                     |       |       |         | 11 个主要含煤盆地 104 万 km <sup>2</sup> | 原石油工业部石油勘探开发研究院           |
| 5.8                      |       |       |         | 9 个主要含煤盆地                        | 原地质矿产部石油地质研究所             |



续表

| 天然气资源量/万亿 m <sup>3</sup> |                 |                |       | 占全国沉积岩面积              | 资料来源                           |
|--------------------------|-----------------|----------------|-------|-----------------------|--------------------------------|
| 煤成气                      | 陆相油型气           | 海相油型气          | 总量    |                       |                                |
| 4.8~6.5                  |                 |                |       | 7 个大型含煤盆地<br>6 个含煤盆地群 | 田在艺、戚厚发, 1986                  |
| 10.8                     | 12.33           | 10.31          | 33.54 |                       | 原石油工业部、中国海洋石油总公司, 1987         |
| 5 (陆上)                   | 4.8~10<br>(伴生气) | 11~20<br>(古生界) | 25~41 |                       | 原地质矿产部石油地质研究所, 1987            |
| 13.07                    | 7.76<br>(伴生气)   | 14.54          | 38.03 | 67%                   | 原地质矿产部、原中国石油天然气总公司、中国科学院, 1990 |
| 8.8<br>(陆上)              | 21.11<br>(陆上)   |                | 38.04 | 51.81%                | 原中国石油天然气总公司、中国海洋石油总公司, 1994    |
| >17.26<br>(陆上)           |                 |                | 50.60 | 51.81%                | 本文                             |

20 世纪 80 年代以来, 特别是进入 90 年代, 中国天然气勘探逐渐进入高潮, 不但在勘探实践上积累了大量基础资料, 而且在理论上对天然气的形成、运移和聚集的认识也逐渐深入, 因此对天然气资源量的认识越来越接近实际。80 年代后期开始, 国内进行了 4 次有组织的、大规模的资源评价, 准备工作充分、研究时间长, 所取得的成果可信程度大大提高。其中, 1987 年原石油工业部和中国海洋石油总公司组织进行了国内第一次大规模的油气资源评价 (“一次资评”), 当时计算的中国天然气资源量为 33.54 万亿 m<sup>3</sup>。1994 年原中国石油天然气总公司和中国海洋石油总公司进行的资源评价 (“二次资评”), 天然气资源量为 38.04 万亿 m<sup>3</sup> (表 2)。

第二次资源评价至今已逾 6 年, 现在的认识同那时相比又有很大发展。一些主要盆地重新进行了油气资源评价, 其结果与第二次资源评价的对比见表 2。

表 2 中国主要含油气盆地最新天然气资源量评价结果及其与第二次资源评价结果对比

| 盆地       | 盆地面积<br>/万 km <sup>2</sup> | 资源量/万亿 m <sup>3</sup> |        | 增减/万亿 m <sup>3</sup> | 资料来源                    |
|----------|----------------------------|-----------------------|--------|----------------------|-------------------------|
|          |                            | 二次资评                  | 最新研究   |                      |                         |
| 松辽       | 25.54                      | 0.8756                | 1.7711 | 0.8955               | 关德师等, 2000 <sup>①</sup> |
| 渤海湾 (陆上) | 14.45                      | 2.1181                | 3.4219 | 1.3038               | 牛嘉玉等, 2000 <sup>②</sup> |
| 鄂尔多斯     | 37                         | 4.1797                | 8.3894 | 4.2097               | 刘新社等, 1999 <sup>③</sup> |
| 四川       | 19                         | 7.3575                | 7.3575 | 0                    | 二次资评                    |
| 准噶尔      | 13                         | 1.2289                | 2.0927 | 0.8638               | 新疆局内部资料                 |
| 吐哈       | 5.35                       | 0.3650                | 0.4702 | 0.1052               | 袁明生等, 1999 <sup>④</sup> |
| 塔里木      | 台盆区                        | 7.9535                | 1.8700 | -5.0056              | 庞雄奇等, 2000 <sup>⑤</sup> |
|          | 塔西南                        |                       | 1.0779 |                      | 王国林等, 2000 <sup>⑥</sup> |
|          | 库车                         |                       | 2.3590 | 1.9229               | 柳少波等, 2000 <sup>⑦</sup> |

续表

| 盆地   | 盆地面积<br>/万 km <sup>2</sup> | 资源量/万亿 m <sup>3</sup> |        | 增减/万亿 m <sup>3</sup> | 资料来源                      |
|------|----------------------------|-----------------------|--------|----------------------|---------------------------|
|      |                            | 二次资评                  | 最新研究   |                      |                           |
| 柴达木  | 12.1                       | 0.2937                | 2.8722 | 2.5785               | 庞雄奇等, 2000 <sup>⑧</sup>   |
| 渤海海域 | 5.55                       | 0.2881                | 1.2200 | 0.9319               | 杨甲明, 2000 <sup>[16]</sup> |
| 南黄海  | 6.3945                     | 0.0798                | 0.0798 | 0                    | 二次资评                      |
| 东海   | 25                         | 2.4803                | 2.4803 | 0                    | 二次资评                      |
| 北部湾  | 1.98                       | 0.1476                | 0.1476 | 0                    | 二次资评                      |
| 琼东南  | 3.4                        | 1.6253                | 3.5700 | 1.9446               | 杨甲明, 2000 <sup>[16]</sup> |
| 珠江口  | 17.782                     | 1.2987                | 1.2987 | 0                    | 二次资评                      |
| 莺歌海  | 7.3654                     | 2.2390                | 5.0500 | 2.8110               | 杨甲明, 2000 <sup>[16]</sup> |
| 其他   |                            | 5.0728                | 5.0728 | 0                    | 二次资评                      |
| 全国   |                            | 38.04                 | 50.60  | 12.56                |                           |

注: ①关德师、迟元林、王家春等, 东北地区深层石油地质综合研究, 石油勘探开发科学研究院, 2000; ②牛嘉玉、王玉满、崔文青等, 渤海湾盆地深层油气资源评价, 石油勘探开发科学研究院, 2000; ③刘新社、付金华、席胜利等, 鄂尔多斯盆地上古生界盆地模拟及资源潜力研究, 长庆油田公司, 1999; ④袁明生、张士焕、张代生等, 吐哈盆地侏罗系综合评价及勘探目标选择, 吐哈石油勘探开发研究院, 2000; ⑤庞雄奇、罗东坤, 塔里木盆地满加尔凹陷及周缘油气资源、经济评价, 石油大学, 2000; ⑥王国林、肖中尧, 塔里木盆地西南拗陷区盆地分析及油气资源评价, 塔里木油田公司, 2000; ⑦柳少波、董大忠、丁文龙等, 库车拗陷油气资源经济评价及方法研究, 石油勘探开发科学研究院, 2000; ⑧庞雄奇、周瑞年、金之钧等, 柴达木盆地天然气资源评价与有利勘探区评价, 石油大学, 2000。

从表2可以看出, 重新进行资源评价的主要含油气盆地, 最新认识的资源量几乎都比二次资源评价结果有了不同幅度的增加, 最显著的是鄂尔多斯盆地, 资源量最新评价结果增加了4万亿m<sup>3</sup>多; 柴达木盆地、琼东南盆地和莺歌海盆地各增加了2万亿m<sup>3</sup>左右; 松辽盆地、渤海湾盆地(陆上)、准噶尔盆地和渤海海域也各增加了约1万亿m<sup>3</sup>(图5)。重新评价结果减少了的只有塔里木盆地, 评价结果减少的区域是“台盆区”碳酸盐岩分布区, 而北部库车拗陷则有大幅度的增加。应当指出, 无论是增加还是减少, 最新评价的资源量更接近于实际的认识。以下几方面的认识导致了资源量评价结果的变化。

### 1) 对含煤地层生烃特征的认识逐渐加深

第二次资源评价时一度认为煤系在成熟度较低时以形成石油为主, 导致天然气资源量评价结果偏低。后来的研究表明, 中国主要盆地的含煤地层不论在何种演化程度, 均以生成天然气为主, 只在个别情况下才能够形成油藏<sup>[17]</sup>。例如库车拗陷, 第二次资源评价时认为天然气资源量只有0.4361万亿m<sup>3</sup>, 还不及现在的探明和预测储量。而最新评价结果天然气资源量为2.36万亿m<sup>3</sup>, 比二次资源评价结果增加了4倍有余。

### 2) 对一些盆地气源岩分布面积的认识更加准确

例如随着勘探程度的深入, 柴达木盆地新发现了分布面积为2000km<sup>2</sup>、厚度为600m的优质气源岩; 第三系和第四系烃源岩的面积也有所扩大, 因此, 天然气资源量评价结果大幅度增加。

### 3) 对一些地区烃源岩厚度的认识更加准确

例如松辽盆地, 最新研究发现下白垩统登娄库组也具有生烃能力, 并且认识到原来评

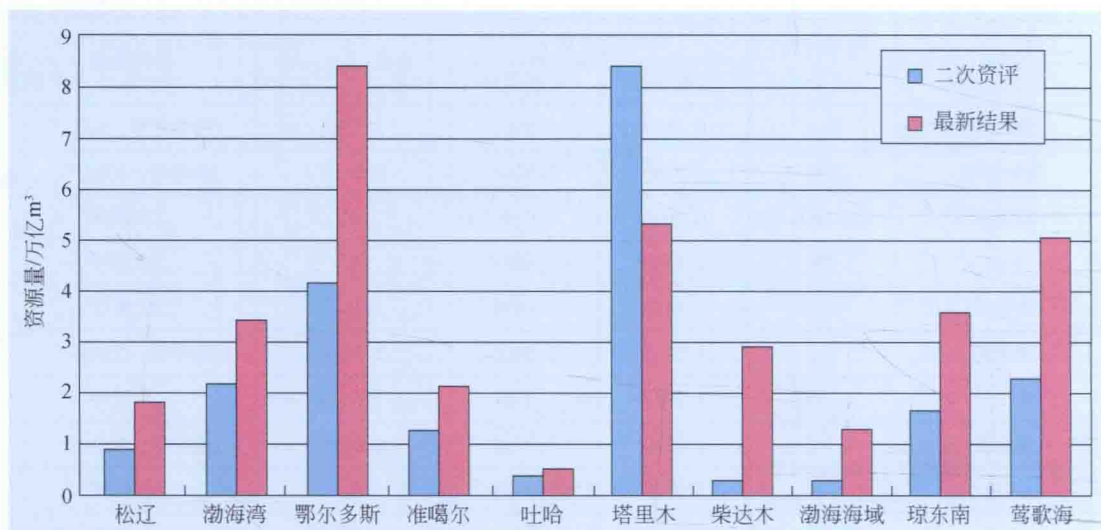


图5 中国主要含气盆地最新资源评价与二次资源评价结果对比

价的一些烃源岩层系在拗陷中部厚度很大,因此资源量的最新评价结果比二次资源评价明显地加。

#### 4) 聚集系数更加合理

一个盆地天然气的聚集系数一般通过与地质背景相似、勘探程度较高的盆地对比而来,其结果难免不够精确。鄂尔多斯盆地是中国构造最稳定的盆地,但在二次资源评价时聚集系数不到1%。而近几年的研究表明,该盆地的上古生界含气层位具有大面积普遍含气的特点,盆地中部聚集系数可以取到2.0%~2.7%。

上述最新的评价结果均为这几年的勘探进展所证实。例如,鄂尔多斯盆地1988~1995年的天然气勘探集中于下古生界碳酸盐岩,但实际上,下古生界的天然气也主要是上古生界煤系形成的<sup>[18]</sup>,因此上古生界砂岩中天然气的资源量更为可观。2000年苏6井上古生界一个气层的无阻流量达到日产120万m<sup>3</sup>,可以和下古生界碳酸盐岩产层的高产井相媲美。又如,库车拗陷今年克拉2大气田储量达到2506亿m<sup>3</sup>,完全证实了库车拗陷是一个富含天然气的地区。

相比之下,塔里木盆地和鄂尔多斯盆地下古生界碳酸盐岩层系的天然气资源量评价结果有明显地减少。

总之,根据目前的认识,中国常规天然气的资源量是50万亿m<sup>3</sup>以上(表2)。

国外进行资源评价时一般采用“可采”资源量这一名词。为了和世界油气资源量及储量研究接轨,中国石油天然气集团公司、中国海洋石油总公司、地质矿产部和中国能源研究会的有关专家于1996年研究提出中国常规天然气最终可采资源量为10万亿m<sup>3</sup>。其基数是二次资源评价的38万亿m<sup>3</sup>,二者比例为26.3%。考虑到本文研究得到的50.6万亿m<sup>3</sup>资源量,按照上述比例,中国常规天然气可采资源量可以达到13.3万亿m<sup>3</sup>(表3)。



表3 世界主要产油气国家和地区天然气可采资源量和探明程度

| 国家    | 可采资源量<br>/万亿 m <sup>3</sup> | 累计探明<br>可采含量<br>/万亿 m <sup>3</sup> | 1999 年产量<br>/亿 m <sup>3</sup> | 沉积岩面积<br>/万 m <sup>3</sup> | 可采资源量/<br>沉积岩面积<br>/万 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ) | 探明可采含量/<br>沉积岩面积<br>/万 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ) | 探明可采含量/<br>可采资源量 |
|-------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------|
| 独联体   | 107.24                      | 76.56                              | 0.6996                        | 1400                       | 766.0                                                    | 546.8                                                     | 71.4%            |
| 美国    | 40.43                       | 32.43                              | 0.5602                        | 803                        | 503.5                                                    | 403.9                                                     | 80.2%            |
| 伊朗    | 35.37                       | 23.70                              | 0.0312                        | 100                        | 3537.0                                                   | 2369.7                                                    | 67.0%            |
| 加拿大   | 13.75                       | 5.58                               | 0.1912                        | 538                        | 255.6                                                    | 103.8                                                     | 40.6%            |
| 沙特阿拉伯 | 13.673                      | 6.34                               | 0.0317                        | 150                        | 875.3                                                    | 422.4                                                     | 48.3%            |
| 中国    | 13.32                       | 1.30                               | 0.0243                        | 660                        | 211.6                                                    | 19.8                                                      | 9.8%             |

## 2. 资源探明率低

1999 年年底中国共探明天然气可采储量 1.30 万亿 m<sup>3</sup>，仅占可采资源量 13.3 万亿 m<sup>3</sup> 的 9.8%，资源探明率极低（表 3）。相比之下，可采资源量的探明率如果能够达到独联体、美国和加拿大的程度，则可采储量将分别达到 9.7 万亿 m<sup>3</sup>、11.2 万亿 m<sup>3</sup> 和 5.7 万亿 m<sup>3</sup>。若根据沉积岩分布面积来计算，除中国之外表 3 中的几个国家和地区中探明可采储量与沉积岩面积比值最低的是加拿大，仍达到 103.8 万 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>。其沉积岩面积是 538 万 km<sup>2</sup>；如果达到加拿大的探明程度，则中国天然气探明可采储量可以达到 5.58 万亿 m<sup>3</sup>，探明率达到 41.9%。同上述国家和地区的发展程度相比，中国还有超过目前探明储量 3.3~7.6 倍的可采储量未被探明。需要强调的是，中国天然气资源目前探明率低，并非由于资源量预测过高，而是由于天然气的大规模勘探和研究起步较晚以及地质条件相对复杂。

## 3. 资源前景好、生产潜力大

中国 1999 年天然气产量为 243 亿 m<sup>3</sup>，与俄罗斯、美国、加拿大等天然气生产大国相比，产量还很低。之所以如此，一方面是前些年天然气的可采储量还比较低，另一方面是下游利用有限。但是近几年中国天然气可采储量已经有了可观的增长，目前的产量完全可以大幅度提高。不仅如此，上述分析的中国天然气资源前景说明中国完全可以发展为天然气生产大国。

目前世界上有 7 个国家和地区的天然气年产量超过 500 亿 m<sup>3</sup>，其中 4 个超过 1000 亿 m<sup>3</sup>。除了大量打井的美国和集中开发大气田的英国，其他国家和地区的情况说明，一个国家天然气的可采储量超过 1.5 万亿 m<sup>3</sup> 就可以保证年产天然气 500 亿 m<sup>3</sup>，而可采储量超过 2.7 万亿 m<sup>3</sup> 就可以保证年产天然气 1000 亿 m<sup>3</sup>（表 4）。中国 1999 年天然气剩余可采储量为 1.0213 万亿 m<sup>3</sup>，已经与年产 500 亿 m<sup>3</sup> 的储量保证相接近；而如果探明率达到上文分析的加拿大的程度（探明可采储量达到 2.7 万亿 m<sup>3</sup> 以上），则年产量 1000 亿 m<sup>3</sup> 可以确保无虞。这一方面说明中国年产 500 亿 m<sup>3</sup> 天然气在近期完全有储量保证，另一方面也说明成为年产 1000 亿 m<sup>3</sup> 的天然气生产大国也完全有资源保证，当然前提是需要进行艰苦细致的研究和勘探工作。戴金星曾预测 2005 年中国天然气产量可达 500 亿 m<sup>3</sup>，2015 年可达 1000 亿 m<sup>3</sup><sup>[19]</sup>，从而成为天然气大国。