

中国石油天然气工业上游 技术政策研究报告

魏一鸣 方朝亮 李景明 延吉生 等编

“十五”国家重大科技攻关项目“中国大中型油(气)田勘探
开发关键技术研究”之课题
“我国石油天然气工业上游科技发展战略”研究成果

科学出版社

北京

内 容 简 介

本报告根据“十五”国家科技攻关重大项目“中国大中型油(气)田勘探开发关键技术研究”中设立的“我国石油天然气工业上游科技发展战略研究”课题的部分研究成果编写而成。从地质技术、勘探技术、钻井技术、开发技术、储运技术、煤层气技术、替代能源技术、海洋油气技术和海外油气开发技术等领域,系统地论述了石油天然气工业持续发展的社会需求及我国石油天然气工业可持续发展面临的机遇与挑战,全面地介绍了我国石油天然气工业上游技术的发展趋势和技术问题,提出了优先发展的技术领域,并讨论了一系列保障措施。

本报告有助于政府、企业和相关研究人员全面认识石油天然气工业上游技术的发展趋势,为科学决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国石油天然气工业上游技术政策研究报告/魏一鸣等编. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016669-8

I. 中… II. ①魏… III. ①石油工业-技术政策-研究报告-中国②天然气工业-技术政策-研究报告-中国 IV. F426.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 155446 号

责任编辑:李 锋 罗 吉 李久进/责任校对:朱光光

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 1 月第一次印刷 印张:12 3/4

印数:1—1 500 字数:286 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

中国石油天然气工业上游技术政策研究报告

学术指导

贾承造(院士) 苏义脑(院士) 韩大匡(院士)

编辑委员会

主 任 孙 洪

副主任 田保国 沈建忠

委 员 (按姓氏拼音排序)

陈宝万	陈 健	董 杰	董伟良	窦宏恩	窦立荣	范 英
方朝亮	方德巍	冯三利	巩学刚	关晓东	韩大匡	胡爱梅
胡丹丹	贾承造	焦建玲	李安定	李东旭	李 剑	李景明
李小地	李小军	林 建	刘兰翠	刘 旭	马家骥	马晓微
沈 伟	史 斗	宋东昱	苏义脑	田作基	汪海阁	王国力
王经荣	王 宇	魏一鸣	温鸿钧	吴 刚	徐鸣雨	徐伟宣
延吉生	余金海	张建民	张永刚	钟树德	周建平	周煜辉

前 言

21 世纪以来,世界的政治经济军事形势呈现出新的格局,我国的改革开放也进入了一个关键的时期,我国实现全面小康社会的目标对能源发展提出了更高的要求。在此形势下,我国石油天然气工业面临三大战略任务:第一,石油天然气作为重要的一级能源要为实现全面小康社会提供能源和化工原料,以拉动国家 GDP 总值翻两番达到 3.9 万亿美元的目标;第二,在美伊战争后,在世界针对油气资源进行日益激烈的经济竞争、政治斗争甚至发生石油军事战争的情况下,油气资源供应要确保我国能源安全的需要;第三,油气工业的发展面临生态环境带来的挑战。由于我国人口众多、资源相对缺少、需求快速增长、资金有限,期望同时实现这三大战略目标,将是一个十分艰巨而复杂的任务,依靠科技进步和制度创新是实现上述战略目标的有效途径,因此,制订石油天然气工业的科技发展战略是其中的关键。在“十五”国家科技攻关重大项目“中国大中型油(气)田勘探开发关键技术研究”中设立了“我国石油天然气工业上游科技发展战略”研究课题。课题组将“我国石油天然气工业上游技术政策研究”纳入为课题的研究内容之一,因此,本报告是在这一课题的部分研究成果的基础上编写而成的。

我们认为,我国石油天然气工业上游科技发展的指导思想是:树立和落实以人为本的全面、协调、可持续发展的科学发展观,注重基础,发展理论;通过科技创新,为实现我国经济平稳快速发展、社会全面进步、资源持续有效利用、环境不断改善的目标,走新型工业化道路,建设资源节约型的和谐社会,提供强有力的科技支撑和保障。

与此同时,我们还认为,我国石油天然气工业上游科技发展战略的总体目标是:为实现利用较少的油气和其他资源消耗达到 GDP 再翻两番的战略目标提供有力的科学技术支撑和政策保障;主要通过科技进步,自主创新,突破制约我国油气工业上游持续快速发展的技术瓶颈,实现油气资源的高效开发利用;通过加强科技创新体系建设,力争在某些关键技术和基础理论研究领域取得突破,形成具有中国特色的油气技术创新路线,带动油气工业上游及相关产业实现跨越式发展。

围绕我国石油天然气工业上游科技发展战略的指导思想和总体目标,我们在开展我国石油天然气工业上游技术政策研究中,坚持贯彻了以下原则:依托我国石油天然气工业上游科技发展战略的研究成果,既考虑油气资源的高效开发利用,又兼顾生态环境保护,既能指导未来五年本领域的技术发展,同时也应该具有一定的前瞻性(考虑到 2020 年),还要体现科技为产业发展服务的宗旨。

通过研究,我们提出我国石油天然气工业上游技术政策的总体思路是:以提高油气上游的勘探、钻井能力为优先,以保障油气高效开发为重点,以油气的安全供应和生态环境改善为前提,协调解决关键技术落后、开发效率低下和政策法规不完善三大问题;坚持自主创新与引进吸收相结合,突破油气工业上游发展的关键技术,加强集成创新能力,建立有中国特色的石油天然气科学技术体系;坚持近期目标与远期目标相结合,既要满足 2010 年以前油气上游技术发展的需要,又要考虑到 2010~2020 年实现油气工业上游可

持续发展的长远需求。

报告从总述、地质技术、勘探技术、钻井技术、开发技术、油气储运、煤层气技术、替代能源技术、海洋技术和海外油气开发技术十个方面,研究了我国石油天然气工业上游技术的发展趋势,提出了优先发展的技术选择,并讨论了一系列保障措施。

在课题研究 with 报告的编写过程中,尽管课题组的全体成员付出了艰苦的努力,但限于我们的知识修养和学术水平,本报告一定存在诸多缺陷与不足,甚至是错误,恳请同行学者不吝赐教!我们共同祝愿:我国石油天然气工业上游技术蓬勃发展,可持续创新能力不断提高,并将为保障国家的能源安全和实现全面小康社会做出新的贡献!

魏一鸣

2005 年 10 月 20 日

目 录

前言

第 1 章 油气资源可持续发展的社会需求	1
1.1 我国油气资源的供应能力	1
1.2 未来我国油气资源的需求预测	4
1.3 我国主要油气资源的保障程度	5
1.4 我国油气资源现状对油气工业上游技术提出新的挑战	7
第 2 章 我国油气工业可持续发展的主要制约因素	9
2.1 地质技术的主要制约因素	9
2.2 油气勘探技术面临的主要问题.....	11
2.3 钻井工程的主要特点与存在问题.....	14
2.4 油气开发技术面临的问题与挑战.....	18
2.5 油气储运业的发展与面临的形势.....	23
2.6 海洋油气的发展状况与技术挑战.....	26
2.7 煤层气产业与勘探开发状况.....	27
2.8 海外勘探与钻采状况.....	32
2.9 替代能源技术面临的主要问题.....	33
第 3 章 我国油气工业上游技术发展趋势及国内外技术现状	42
3.1 地质技术现状与趋势.....	42
3.2 勘探技术发展趋势.....	46
3.3 钻井技术的国际比较.....	50
3.4 国内外油气开发技术发展趋势.....	54
3.5 油气储运技术前沿	59
3.6 海洋油气勘探开发技术发展趋势.....	61
3.7 煤层气技术发展趋势.....	71
3.8 海外油气开发技术趋势.....	78
3.9 替代技术发展趋势.....	78
第 4 章 我国油气工业上游技术领域存在的 key 技术问题	86
4.1 地质技术领域的基础理论与关键技术.....	86
4.2 勘探技术领域的关键技术.....	89
4.3 钻井技术发展的实现途径.....	97
4.4 开发技术领域布局	101
4.5 油气储运关键技术	112
4.6 海洋油气技术布局	114
4.7 煤层气技术规划	119

4.8	海外油气勘探开发技术系列	120
4.9	替代能源领域的关键技术	122
第 5 章	油气工业上游技术领域政策选择.....	130
5.1	大力发展勘探开发基础理论研究,突破技术瓶颈.....	130
5.2	积极发展油气地质技术,提高油气藏勘探水平.....	132
5.3	大力发展地球物理技术,促进油气增储上产.....	135
5.4	大力发展钻井技术,保障勘探开发的顺利进行.....	138
5.5	大力发展油气田开发技术,保障“稳油兴气”战略.....	142
5.6	积极发展油气储运技术,保障储运系统安全.....	154
5.7	加快发展海洋油气工程技术,促进海洋资源利用.....	160
5.8	大力发展煤层气勘探开发技术,加快产业化步伐.....	165
5.9	发展海外油气战略技术,提高国际竞争力.....	167
5.10	大力发展油气替代技术,缓解油气供应压力	174
第 6 章	我国油气工业上游技术政策的保障措施.....	182
6.1	指导方针	182
6.2	战略目标	182
6.3	保障措施	184
致谢.....		193

第 1 章 油气资源可持续发展的社会需求

石油天然气资源（以下简称“油气资源”）作为一种不可或缺的基础能源和化工原料，在国民经济与人民生活中占据着重要的地位，被誉为“工业的血液”，同时，它也是一种战略物资，在国防和国家安全领域发挥着不可替代的作用。油气是一种地缘性很强的商品，在世界上的分布极不均匀，由于其主要的生产国和需求国相分离，油气便成为了国际贸易的重要商品。油气还是一种需求价格弹性比较小、与国际政治密切相关的特殊商品。所以，世界各国都把油气工业的发展放在一个特殊重要的地位，把油气工业的发展战略纳入到经济发展和国家安全的总体框架中进行研究。

未来 5~15 年，是我国国民经济和社会发展的重要时期。面对经济全球化步伐不断加快，世界油气资源竞争日趋激烈，科学技术飞速发展的新形势，制定和实施适应新形势需要的油气工业上游技术政策，明确今后一段时期我国油气工业上游技术发展的战略目标和重点，对于积极推动技术创新能力和产业技术水平的提高，促进我国油气工业上游领域的持续有效快速发展，从而为国民经济和社会发展奠定坚实的资源基础，具有重要的战略意义。

1.1 我国油气资源的供应能力

1.1.1 我国油气资源生产消费状况

自 1993 年以来，我国石油消费进入快速增长阶段，石油消费量年均增长 1347 万 t，年均递增 7%。2000 年以来石油消费增长进一步加快，年均增长 2150 万 t，年均递增 8.9%。2003 年我国原油总产量 1.693 亿 t，进口原油 1.283 亿 t，原油消费总量为 2.752 亿 t，已成为世界第二大石油消费国，如图 1.1 所示。

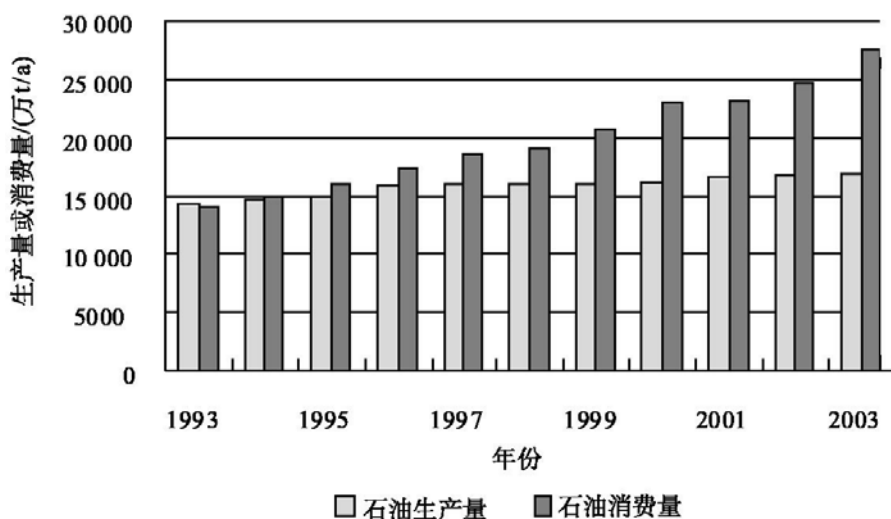


图 1.1 1993~2003 年我国石油的生产与消费量比较

从图 1.1 中可以看出, 1993~2003 年, 我国石油生产量没有显著的提高 (年均递增 1.65%), 而同期石油消费量却大幅度提高 (年均递增 7%)。1994 年开始, 我国油气的生产供给已经不能满足我国油气消费的需求, 而且两者之间的缺口越来越大。

1993~2003 年, 我国天然气的生产呈大幅度上升趋势, 年均增长 7.8%; 同期, 我国天然气的消费也呈逐步上升趋势 (年均增长 7.43%)。到目前为止, 我国的天然气生产基本可以满足国内经济生产、居民生活的需求, 但是, 随着我国经济的发展和环境问题的突出, 我国对天然气的需求将大幅度增加, 届时, 国内的生产能力将不能满足其需求, 如图 1.2 所示。

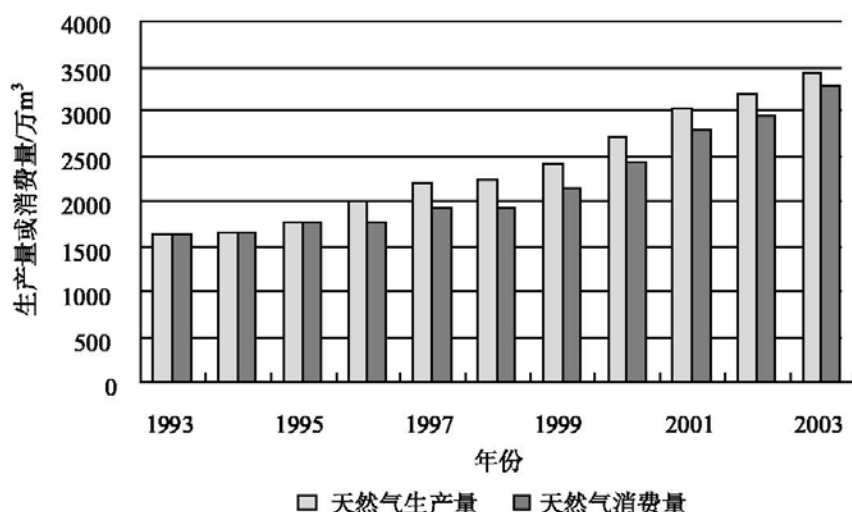


图 1.2 1993~2003 年我国天然气的生产与消费量比较 (不含香港地区)

油气资源属于不可再生资源, 而随着我国经济的快速发展, 我国未来经济生产、生活中对油气的消费需求越来越大, 如何解决油气资源的供需矛盾, 已经成为我国目前的首要问题。

1.1.2 油气资源供给的自然状况

1. 国内来源及分布状况

根据新一轮油气资源评价资料, 我国油气资源集中分布在松辽、渤海湾、鄂尔多斯、四川、塔里木、准噶尔、渤海、莺琼、东海、珠江口 10 个大型的含油气盆地中, 石油和天然气的地质资源量分别为 814 亿 t 和 37.79 万亿 m^3 , 油气地质资源总量分别占全国的 78.2% 和 80.4%。我国待发现的油气资源主要位于中西部的塔里木、准噶尔、鄂尔多斯和四川盆地, 东部的松辽、渤海湾盆地, 海域区的渤海、南海和东海盆地。

截至 2003 年年底, 我国累计探明石油地质储量 234.2 亿 t, 累计探明石油可采储量为 65 亿 t, 剩余石油可采储量位居世界第十二位; 中国累计天然气探明地质储量为 3.86 万亿 m^3 , 累计探明天然气可采储量为 2.46 万亿 m^3 , 剩余天然气可采储量为 2.08 万亿 m^3 , 位居世界第十五位。但是, 我国人口众多, 人均石油和天然气资源的拥有量分别仅占世界平均水平的 1/6 和 1/7。

2. 国外进口来源

1) 进口来源及进口量

1994 年开始，我国已经开始成为石油净进口国，并且进口量越来越大，进口来源也越来越趋于多元化。2003 年，我国石油进口总量达到 1.283 亿 t，中东、亚太、西非、原苏联是我国石油进口的主要来源地，进口量分别为 5180 万 t、3400 万 t、1570 万 t 和 1190 万 t，占我国总进口量的 88.4%，如图 1.3 所示。

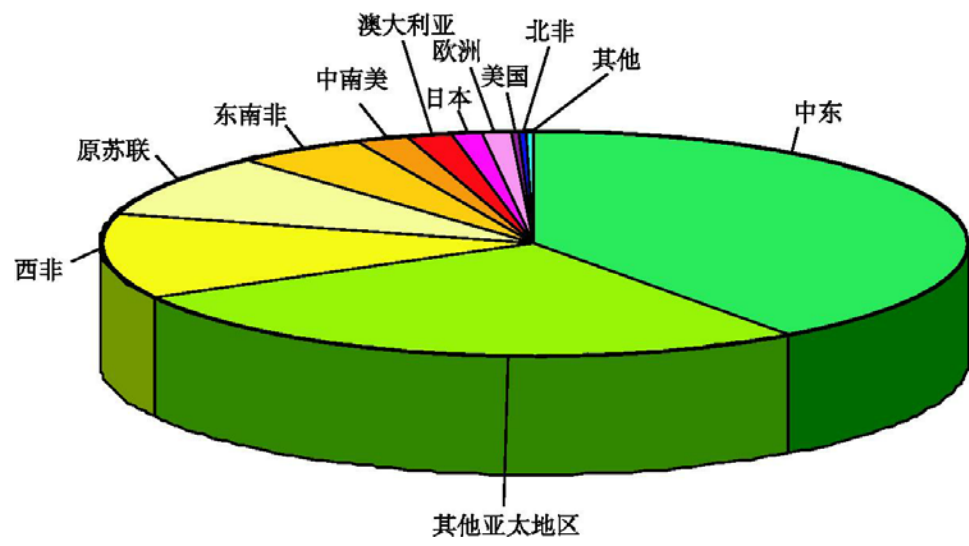


图 1.3 2003 年我国石油进口主要来源

2) 我国油气地缘政治状况

从我国能源地缘政治来看，我国东部及东南部面临着钓鱼岛—台湾岛—东沙群岛—南沙群岛—马六甲海峡沿海一线的“群岛锁链”封锁；我国在东北亚地区与俄罗斯的油气外交屡屡遭到日本的重重阻挠；美、英等国在阿富汗、中东、里海等地区的军事进入及经济政治利诱也给我我国向西部发展筑起了屏障；我国油气运输的南部“生命线”也控制在其他国家手内。总体来看，我国世界地缘政治已经处于四面被包围态势，如何突破包围或者反包围，以保证我国能源通道生命线的稳定和持续，已经成为国家安全的重要组成部分和紧迫问题。因此，制定科学的、协调的、稳定的全面小康社会能源战略具有极强的实际意义。

综上所述，由于石油天然气在我国能源战略中具有极为重要的地位，因此，在我国全面建设小康社会、加快现代化建设的进程中，我们必须高度重视和妥善解决油气资源的可持续发展问题。当前我国油气消费进入快速增长时期，油气资源短缺已成为经济社会发展的重要制约因素，必须抓紧制定和实施油气资源可持续发展战略。就此问题，温家宝总理曾做出以下指示：一要加强国内石油天然气勘探开发，保持国内原油持续稳产，加快天然气发展；二要充分利用国际国内两个市场、两种资源，积极发展多种形式的国际合作，建立经济、安全、稳定的油气供应渠道；三要加快科技进步，大力提高油气资源开发、加工和利用效率；四要坚持开发与节约并重、节约优先的方针，采取经济、法律和必要的行政手段，全面推进油气节约使用；五要积极发展新能源和可再生能源，大力开发石油替代产品，优化能源生产结构和消费结构；六是立足当前、放眼长

远，建立石油储备制度，完善多方面、系统性的石油保障和风险规避体系，维护国家石油安全。

1.1.3 油气资源供给的基本特征

概括起来，我国油气资源供给与需求的特征是：总量欠丰，人均不足，分布不均，质量较差。

1. 油气资源总量欠丰，人均资源严重不足

我国石油可采储量位居世界第十二位，天然气剩余可采储量位居世界第十五位，而我国人均石油剩余可采储量约为世界人均石油剩余可采储量的 8%，人均天然气剩余可采储量约为世界人均天然气剩余可采储量的 6%。

2. 油气资源的总体质量差，开采难度大

已发现的油气田中，除大庆、胜利等东部重要油田外，其他油气田单位面积储量普遍较小，低品位油气田占多数，而且埋藏较深、类型复杂，开采工艺技术要求高。剩余可采储量中，优质资源严重不足，低渗或特低渗油、稠油和埋深大于 3500 m 的油气田超过 50%，未来难开采的比重将增大。

3. 油气资源地理分布不均衡，主要集中在欠发达地区

陆上石油资源主要集中在东部的松辽盆地、渤海湾盆地和西部的鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地；陆上天然气资源主要集中在中部区、西部区和东部区。近海的石油资源主要集中在渤海海域、珠江口盆地、北部湾盆地；天然气资源主要集中在近海的南海北部、东海及渤海海域。因此，在经济落后地区油气资源相对丰富，而在经济发达地区，油气资源相对贫乏。

1.2 未来我国油气资源的需求预测

自改革开放以来，我国的经济保持了高速发展的势头，而能源强度则呈现出下降的趋势，虽然在下降的幅度上有些波动，但总的趋势是持续下降的。这一特点引起了国内外学术界和产业界的高度关注。我们通过将能源强度的变化分解为结构份额和效率份额，得出了能源强度的变化主要来源于效率份额的结论。能源强度反映的是能源的利用效率，其变化本质上是科学技术进步、管理水平提高和体制创新的结果，正是这些方面的进步带来了过去 20 年我国能源强度的大幅度下降。

石油天然气是重要的基础能源，是多个国民经济生产部门不可或缺的投入物资，与各部门的产出和国内生产总值（GDP）的增长有着内在的逻辑关系。我们应用能源投入产出模型对我国未来的经济发展进行了分析，在全面实现小康社会目标的前提下，研究了各种情景下能源需求量和能源强度的变化，是对我国能源需求和对石油天然气需求的有效预测。

在预测模型中主要考虑了技术进步、人口的变化、经济总量和人均收入的增长以及相应的生活模式的变化、城市化进程等因素的影响。预测的结果如下（图 1.4）。

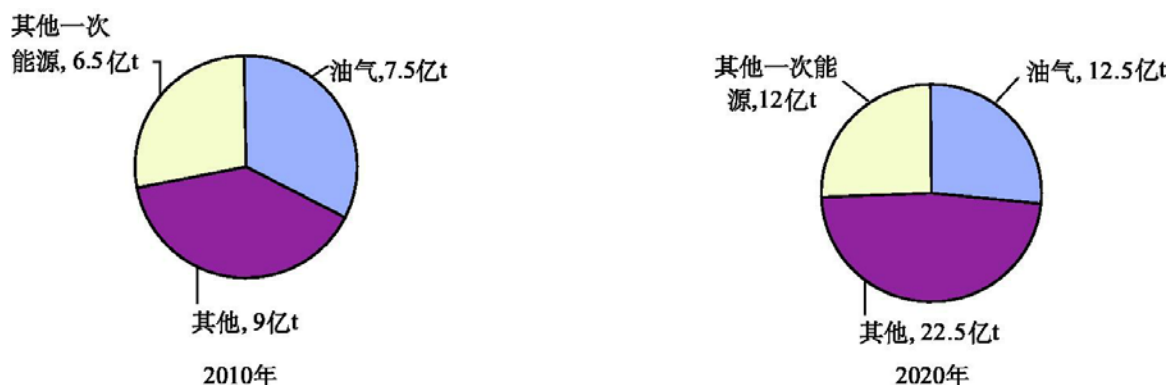


图 1.4 2010 年、2020 年我国能源需求预测

(1) 2010 年，我国的能源强度（油当量）为 1.07t/万元（1997 年不变价），能源需求总量为 22 亿~24 亿 t 油当量，其中一次能源需求量为 13 亿~15 亿 t 油当量，石油天然气需求量为 7 亿~8 亿 t 油当量。

(2) 2020 年，我国的能源强度（油当量）为 0.99t/万元（1997 年不变价），能源需求总量为 47 亿 t 油当量，其中一次能源需求量为 23 亿~26 亿 t 油当量，石油天然气需求量为 12 亿~13 亿 t 油当量。

预测结果及相应的灵敏度分析表明：对能源需求量影响较大的因素是人口因素和收入因素，特别是，对占能源消费主体的第二产业和第三产业的能源消费量；影响最大的因素只有收入因素，或者说是经济发展水平。所以，随着经济的发展和人民收入水平的提高，能源需求量的增长是必然趋势。控制人口可以在一定程度上抑制能源需求量增长的趋势。

对能源强度的变化影响最大的因素是技术进步，所以，未来的能源规划必须依靠科技进步。只有加快科技的发展才能降低能源强度，从而减缓能源需求总量的增长。

2010 年的能源强度的预测是 1.3667，比 1997 年的 1.7655 有所降低；对 2020 年的预测是 1.4162，又有所回升。我们知道，20 世纪的最后 20 年，伴随着经济的高速增长，我国的能源强度一直在大幅度地下降。但是，能源强度的下降是有限度的，而我国能源强度下降的谷底可能就会发生在未来的 20 年之内。所以，我们对未来能源需求量的增长决不可低估，实现小康社会的能源保障任务十分艰巨。

1.3 我国主要油气资源的保障程度

由于 2020 年以前，我国经济发展仍将处在快速上升阶段，GDP 增长速度将保持在 7% 以上；汽车工业和石化工业将加快发展；城镇人口将大幅上升；农村用油的比重将增加。在诸多因素控制下，预计 2020 年以前我国石油消费会保持较高的增长速度。

按照国务院的要求，到 2020 年国内要把石油消费量控制在 4.5 亿 t 以内。2003 年我国生产原油 1.7 亿 t，以大庆和胜利油田为代表的主力油田综合含水率已超过 88%，

可采储量采出程度达到 75%，已进入产量递减阶段。到 2020 年已开发老油田的产量还可以保持在 6000 万 t 左右。同时，通过加强新区勘探增加储量和加快难采储量的开发，到 2020 年新区产量预计可达到 1.2 亿~1.4 亿 t，这样全国原油产量将保持在 1.8 亿 t 左右；而我国对石油的需求量 4 亿~5 亿 t，可见，我国未来石油的短缺现象十分严重，缺口 2.2 亿~3.2 亿 t，原油产量只能保证需求的 36%~45%。

目前我国天然气工业正处于加快发展时期，预计 2005 年天然气消费量约为 600 亿 m³，国内天然气产量为 500 亿~550 亿 m³，缺口为 50 亿~100 亿 m³；预计 2010 年天然气消费量约为 1000 亿 m³，国内天然气产量为 800 亿~900 亿 m³，缺口为 100 亿~200 亿 m³；2020 年天然气消费量约为 2000 亿 m³，国内天然气产量为 1300 亿~1500 亿 m³，缺口为 500 亿~700 亿 m³。而且，21 世纪上半叶天然气在我国能源消费结构中的比重将继续快速增长，届时天然气在我国一次能源消费结构中的比重将达到 10%，天然气缺口的填补问题将更加严峻。

根据我国油气资源持续发展的总目标，我们可以得出我国 2020 年经济、社会与能源消费的指标值（表 1.1）。

表 1.1 实现我国油气资源持续发展的总目标（由葛家理教授提供）

指标	方案 1	方案 2	指标说明
我国 2020 年小康社会 GDP 量/万亿美元	3.9	3.9	是 2000 年 GDP 总量的 4 倍，相当于翻两番
人口总量/亿人	13	13	2000 年人口为 12.73 亿
人均 GDP/万美元	0.3	0.3	2002 年人均 950 美元
设计能源拉动强度/（t/10 ⁶ 美元）	400	281	相当于加拿大 2000 年水平
2020 年我国能源（标准油）需求/亿 t	16	11	分别比 2000 年增加 1.97 和 1.35
人均能源（标准油）消费/[t/(人·a)]	1.2	0.84	分别比 2000 年增加 1.92 和 1.34
人均油气消费当量/[t/(人·a)]	0.38~0.42	0.38~0.42	比 2000 年增加 2.45 倍
2020 年石油消费量/亿 t	4	4	分别占能源总消费的 25%和 36%
2020 年天然气消费量/亿 m ³	1000~1500	1000~1500	分别占能源总消费的 6.5%~9.4%和 9%~13.6%
2020 年自产量			
油/亿 t	2	2	
气/亿 m ³	1000	1000	
2020 年缺口量			
油/亿 t	2	2	
气/亿 m ³	0~500	0~500	

到 2020 年，我国石油需求的缺口将在 2.2 亿~3.2 亿 t，天然气需求的缺口为 500 亿~700 亿 m³。解决这一缺口的主要途径有两种：一是开展国际石油贸易，这是解决我国石油需求缺口的主要途径。我国应加快建立多元稳定的国际石油贸易网络，形成比较完善的国际石油贸易体系。二是参与海外石油勘探开发，提高获得权益油的能力。根据发展趋势，经过努力，2020 年我国海外权益油有可能达到 7000 万 t 以上。我国石油供应格局将由以国内为主逐步转变为以国外为主。2020 年我国石油对外依存度将达到 60%。

1.4 我国油气资源现状对油气工业上游技术提出新的挑战

进入 21 世纪,随着国民经济的持续快速发展,国家对油气的需求越来越大,油气供应和能源安全问题日益突出;世界石油科技发展迅猛,国际石油市场的竞争空前激烈;与此同时,社会对环境保护和开发利用替代能源的要求也越来越高。

这一系列的国内外环境的变化,使我国的油气工业上游技术领域面临着严峻的挑战。主要表现为:

1) 供需矛盾加剧,须大力发展油气上游技术以提高供应能力

可以预计,在未来 15 年内,我国国民经济将继续保持较快的增长速度。这无疑将进一步加剧国内油气的供需矛盾。根据有关预测,到 2020 年,我国石油的对外依存度将超过 60%。天然气的对外依存度将超过 50%。

油气的供需矛盾,已经成为制约我国国民经济和社会发展的瓶颈,直接关系到国家能源安全,关系到小康社会目标的实现和我国的可持续发展。作为国内油气供应的支柱产业,我国的油气工业上游领域在未来的 5~15 年内将面临前所未有的严峻挑战。

作为第一生产力,科技对我国石油工业发展的影响是巨大的。目前,科技进步对我国石油工业的贡献率已经超过了 50%。随着科技的不断发展,石油工业特别是上游勘探开发领域,对技术的依赖程度会越来越高,技术进步对石油工业的贡献率也将会越来越大。

因此,为了增强国内油气的自主供应能力,必须提高我国油气工业上游技术的创新能力和创新水平,为保持国内油气产量的稳产,保证国内油气的基础供应,缓解油气供需矛盾发挥应有的作用。

2) 世界石油工业的上游发展越来越依靠技术进步,对我国油气工业上游技术的发展提出了严峻挑战

石油工业是技术程度十分密集的产业,它的发展时刻离不开技术的进步。特别是近 10 年来,世界石油科技的发展进入了一个高新技术发展阶段,上游技术的发展更是异常迅速,研发、应用高新技术已经成为世界各大石油公司提高核心竞争力、谋求更大发展的主要手段。尤其是在降低勘探开发成本方面,技术进步发挥了无法替代的巨大作用。据统计,由于高新技术的推广应用,世界近 10 年油气平均勘探开发成本下降了 60%,而同期探明储量则增加了 60%。

经过几十年的发展,我国的油气上游技术已经取得了巨大的进步,解决了勘探开发中一系列技术难题,一些优势技术和特色技术处于国际领先水平。但是,与世界先进水平相比,我们的总体技术水平还比较落后,主体技术仍存在着较大的差距,直接影响了勘探开发成本的降低和效益的提高。如果没有技术上的重大突破,大幅度降低成本将难以实现。因此,我们必须进一步发展高新技术,实现油气上游技术领域的跨越式发展,通过技术进步促进油气上游业务的可持续发展。

3) 油气跨国经营战略的实施,对油气工业上游技术的发展提出了新的要求

据统计,我国石油资源的最终可采储量仅占世界石油可采储量的 3%左右,石油剩余可采储量丰度仅为世界平均值的 37%。随着我国石油需求的不断扩大和国内增储稳

产成本的逐步提高，积极利用国外油气资源、建立多元化的石油贸易体系、保证我国油气资源的长期稳定供应势在必行。为了更好地利用两个市场、两种资源，我国的石油公司将大踏步地进军海外。

多年来，我国的技术研发主要是针对国内业务需求来开展的。很多技术具有很强的区域性甚至是限制性，需要进行改进才能应用，同时还要发展一些新的技术。与国内相比，海外油气勘探开发的风险性更强，更注重快速收回投资。这就需要我们研发针对海外业务需求的技术。

一方面，我们应当研发、应用海外业务发展中的关键技术，依靠技术进步取得更大的效益；另一方面，我们还应当尽快缩小与世界先进水平之间的差距，使我们在激烈的国际竞争中处于比较主动和有利的地位，以便在更广阔的领域赢得更多的商机。

总之，我国的油气工业上游技术领域面临着经济与社会、国际与国内等方方面面的诸多问题。与此同时，油气上游技术领域的自身发展方面还面临着一系列具体的技术难题。这些技术难题，已经成为制约石油工业上游发展的关键问题。

第2章 我国油气工业可持续发展的主要制约因素

2.1 地质技术的主要制约因素

2.1.1 天然气勘探对象更趋于复杂

1. 勘探对象多分布于地面条件复杂的地区

鄂尔多斯、四川、塔里木、柴达木四大盆地是我国陆上未来寻找大型气田的主战场，但这里地面条件相当复杂，自然环境相当恶劣。

鄂尔多斯盆地地貌大致以古长城为界，以南为沟壑纵横的黄土高原，黄土厚度200~300m；以北为沙漠草原，地势相对平坦，其间分布活动沙丘和草滩。随勘探领域向东、向西、向南扩展，地震勘探难度大、交通相对不便的黄土塬地区将占重要地位。

四川盆地被龙泉山、华蓥山分割成3个自然景观不同的地区。龙泉山以西为川西平原，龙泉山、华蓥山之间为川中丘陵，华蓥山以东为谷岭相间的复杂地貌。未来寻找大气田的最有利地区为华蓥山以东的川东北地区，复杂的地面条件势必加大勘探的难度。

塔里木盆地腹部为被称为死亡之海的塔克拉玛干沙漠所覆盖，南北两个山前带为典型的山地地貌。库车坳陷、塔西南山前带是塔里木盆地未来寻找大气田的主要领域，复杂的地面条件加大了地震勘探的难度，同时加大了选择井位的难度。

柴达木盆地西部沟壑纵横、峭壁陡立、荒丘遍布，盆地东部盐沼广布、遍地盐碱，加之海拔2600~3200m，高寒缺氧，自然环境极为恶劣。

2. 勘探对象普遍具埋深大、物性差、圈闭条件复杂的特点

陆上主要含气盆地除柴达木盆地东部三湖地区、四川盆地川西侏罗系、塔里木巴楚地区主要勘探目的层埋深小于3000m外，寻找大气田重点勘探领域的四川盆地川东飞仙关鲕滩、四川盆地川西须家河组、塔里木盆地库车坳陷、塔里木盆地塔西南山前带、鄂尔多斯盆地上古生界、松辽盆地火山岩气藏、准噶尔盆地南缘等主要目的层的埋深均大于3000m。

储层物性较差是我国天然气储层的普遍特征。我国碎屑岩储层岩性复杂，岩石的结成熟度和矿物成熟度普遍较低，导致储层非均质性强。如鄂尔多斯上古生界砂岩储层主要以低孔、低渗为特征，一般需压裂改造后才能获得工业产能；四川盆地的侏罗系砂岩储层，埋深虽浅，但仍需压裂改造才能获得工业产能；塔里木盆地库车坳陷第三系、白垩系储层物性普遍较好，但部分埋深大的砂岩气藏（如大北2、迪那11等）也需要通过酸化提高产能。我国碳酸盐岩储层由于时代较老，多进入成岩作用晚期阶段，基质孔隙度和渗透率都较低，由于裂缝和溶孔的存在，对物性有所改善，但未能从根本上改变低孔、低渗的特征。

随勘探程度的提高，易于发现的简单构造圈闭越来越少，复杂类型的圈闭将成为主要钻探目标。如鄂尔多斯盆地圈闭类型主要为大面积岩性圈闭，准确识别难度大；四川盆地主要勘探对象为构造-地层、构造-岩性圈闭，受地面构造（高陡）的影响，准确识别的难度大；塔里木盆地库车坳陷及塔西南山前带，冲断构造发育，加之地面地形十分复杂，地下构造的识别和落实难度大。

3. 部分勘探对象属于早期突破、长期无重大发现的领域

塔里木盆地塔西南昆仑山山前带 1977 年发现柯克亚气田后，历经 20 多年，虽经不断勘探，但仍未在昆仑山山前带取得新的重要突破，表明塔西南地区昆仑山山前带虽具大气田的成藏条件，但勘探难度较大。可喜的是近期在喀什凹陷发现阿克莫木气藏，表明塔西南天山山前带也具备天然气成藏条件，但勘探难度也不能低估。

柴达木盆地北缘早在 20 世纪 50 年代末就发现了马海气田，历经 40 多年发现南八仙气田，近年对北缘大规模勘探，勘探效果不理想。

上述地区长期勘探无新的重要突破，原因是多方面的，但成藏条件复杂是勘探效果不甚理想的重要原因。上述地区天然气成藏条件良好，仍是未来天然气勘探的重要战场，但对勘探取得新突破的艰巨性应有充分的认识。

2.1.2 天然气地质理论有待进一步发展

1. 天然气成因理论

长期以来，我国仅以油型气理论（即一元论）指导天然气勘探；“六五”期间开展“煤成气开发研究”的科技攻关，发展为两元论，即油型气、煤型气理论；20 世纪 80 年代我国不少学者提出我国天然气成因分类，初步形成多元成气理论；戴金星于 1992 年在勘探新发现和前人研究基础上，对我国天然气成因类型进行了系统划分，使多元成气理论得以进一步发展。发展后的多元成气理论的突出特点是：①根据我国混源气藏较普遍的实际情况，把混合成因气作为一大类分出，对天然气勘探具有重要的理论和实际意义；②对有机成因气，根据母质类型和热成熟度进一步分为腐泥型（油型）生物气、腐殖型（煤型）生物气、油型热解气、煤型热解气、油型裂解气和煤型裂解气等 6 类，使有机成因气划分更加全面、系统；③总结出了成套的不同成因气的鉴别标志。目前，我国应开展碳酸盐岩成气机理及模拟研究、无机气成因研究。

2. 天然气成藏理论

由于天然气的易溶性、易散性和易挥发性等特点，其总散失量大，成藏期晚有利于天然气的聚集成藏和富集。近年在我国沉积盆地类型、演化与改造的基础地质研究中，晚期成藏理论得到了进一步深化和完善。在盆地演化和改造过程中，多期成烃、多期次的改造，必然导致油气发生多期次的生、运、聚、散。我国盆地不仅改造期次多，而且改造时代新，后期改造强烈。我国古生代以碳酸盐岩沉积为主体的盆地，一般都经过多期聚散、成藏的历史，由于其上部或上覆地层缺乏像北美、东欧等陆块那样分布广、有一定厚度的膏盐层，虽然曾发生过早期运聚成藏的过程，但难以保存下来。唯其在后期

改造中、在适宜条件下二次成藏或形成次生气藏，最终的成藏时代仍然较晚。已有的研究表明，我国许多盆地现今的构造特征和总面貌，在第四纪甚至于更新世中晚期才形成。油气，特别是活动性强的天然气，晚期或超晚期成藏普遍存在于我国新生代和中、古生代含油气盆地中，天然气晚期成藏可能是我国天然气聚集的一个突出的特色。近年结合勘探实践，在高陡构造成藏模式建立（四川、塔里木）、岩性气藏成藏模式建立（四川鲊滩、鄂尔多斯下古生界碳酸盐岩和上古生界砂岩）、生物气成藏模式的建立方面取得一定进展，有效指导了勘探目标的选择。我国应该继续深入研究天然气的多期动态聚散过程、成藏机理、赋存条件和主控因素，特别要重视晚期（喜山期）次生气藏的研究，全面建立起我国天然气藏成藏模式。

3. 天然气分布及资源评价理论

已开展了第二轮全国性油气资源评价，近年三大石油公司也开展了所属探区的油气资源评价。但近年的评价局限在所属探区，全国性的天然气资源评价势在必行，以便对我国天然气资源的多少有一个更清晰的概念。

2.1.3 天然气勘探技术有待进一步提高

我国天然气勘探对象主要有 4 个特点：①勘探目的层埋藏深度大；②地面条件复杂（沙漠、黄土塬、山地、盐沼、海洋）；③储层分布及物性横向变化大；④地下构造复杂。由于上述特点，要求地震勘探技术的发展必须满足深层构造和复杂构造的准确识别，满足复杂地面条件地震资料的有效采集和处理，满足储层预测和气藏描述，满足烃类检测等方面的要求；要求测井技术的发展必须满足非均质及低孔渗气层识别，满足低孔渗储层物性参数的提取，满足复杂构造地区地层有关参数提取等方面的要求；要求钻井完井技术的发展必须满足深井及超深井成功钻探，满足复杂构造及塑性地层成功钻探，满足低孔渗气层的保护与发现等方面的要求；要求压裂酸化技术的发展必须满足致密储集体、复杂岩性体、低孔渗薄互层段等提高产能的要求。

在未来的天然气勘探中，先进、实用、有效的勘探技术将发挥重大作用，开发、引进和应用先进、实用、有效的勘探技术是提高勘探效益的有效手段。

2.2 油气勘探技术面临的主要问题

2.2.1 油气勘探现状和趋势

半个多世纪以来，我国油气矿产资源勘探开发取得了显著的成就，原油产量从新中国成立初期的年产量 12 万 t 增长到 2003 年的 1.7 亿 t，为国民经济和社会发展做出了重要的贡献。随着国民经济的持续发展，国内石油的供需矛盾渐显突出，油气产量的增长远远滞后于我国国民经济的发展速度。如何针对不同地区勘探面临的问题，研发相应的勘探技术，促使勘探的突破，保障长期稳定的油气供给，对全面建设小康社会以及 2020 年以后我国经济的可持续发展具有非常重要的战略意义。

我国陆地和海洋大陆架共发育 28 个中新生界沉积盆地和 3 个古生界分布区，沉积岩面积达到 449 万 km^2 ，油气资源总量比较丰富，但是分布不均，主要集中在大型的含油气盆地中，主要问题是后备石油可采储量不足，供给矛盾突出。

在油气勘探方面经过 50 年的油气勘探，已在陆上和海域建立了大庆、胜利、辽河、长庆、渤海等 12 个油气工业基地。但是，随着我国国民经济的可持续发展，对油气的需求将呈现上升的趋势。自 1994 年我国成为石油净进口国后，2004 年我国的原油进口量将突破亿吨大关。与国外的富油气国家相比，我国的含油气盆地面积小，后备资源不足，油气勘探的进程难以满足国民经济的需要。

在东部老油区，随着松辽盆地大庆油田背斜油气藏和渤海湾盆地复式油气藏的勘探开发，东部成熟地区油气的勘探已进入隐蔽油气藏、地层油气藏和深层油气勘探阶段。这类油气藏的油气储量巨大，但是勘探的难度也很大。

在中西部地区，未来油气勘探的主力战场为塔里木、准噶尔、鄂尔多斯和四川盆地等。勘探的领域包括大面积低孔渗油气藏、前陆盆地、大型叠合盆地和海相碳酸盐岩分布区。

南方海相残留盆地勘探面积较大，石油地质条件极其复杂。除四川盆地外尚未取得油气勘探的重大突破，需要进行理论和技术创新，进一步深化海相碳酸盐岩烃源岩评价、有效生储盖、运聚保条件研究，建立南方海相油气成烃、成藏演化的地质理论、资源评价方法及相应的地震、地球物理测井配套勘探技术，为实现南方突破做准备。

“走出战略”是我国针对国内油气资源状况和国民经济对油气的需求提出的一项重大而正确的油气发展战略。虽然我国已从苏丹等国取得了油气的重大突破，每年可以获得千万吨的权益油，但是这离我国对油气的需求还相差甚远。近 10 年来，跨国石油公司在深海油气勘探相继发现了一系列大型油田，相比之下我国在这一领域的勘探技术明显不足。

可见，我国的油气勘探形势是严峻的，未来油气勘探将趋向于复杂类型油气藏和复杂地质、地貌地区。

2.2.2 油气勘探技术面临的主要问题

21 世纪初期，我国陆上油气勘探的重点地区将是塔里木、准噶尔、松辽、渤海湾、鄂尔多斯、四川、柴达木和吐哈大中型含油气盆地，勘探的地区和领域为前陆盆地、海相碳酸盐岩、滩海、深层、隐蔽油气藏和低孔渗致密油气藏。21 世纪的中后期，随着常规油气资源的逐渐消耗、油气价格的上升和技术的革新，国内油气的勘探领域可能逐渐向非常规的油气领域转移。根据 21 世纪初期我国陆上油气勘探的重点地区和勘探领域的估计，我国油气勘探面临的重大科学问题及对勘探技术的需求可概括为如下几点：

1. 东部成熟地区油气勘探

东部成熟地区主要包括松辽和渤海湾盆地，由于油气探明度和开采程度较高，目前面临的问题是勘探难度越来越大，未来的勘探领域是隐蔽性油气藏、滩海和深层古潜山油气勘探。待解决的问题是地层隐蔽性油气藏勘探技术、薄互层油气藏的评价和识别、

高含水剩余油分布规律，古潜山非均质性岩溶形成和识别，深层和滩海地区高精度地震勘探技术等。

针对以上问题，迫切需要针对隐蔽油气藏、薄互层油气藏、滩海、深层系、古潜山油气藏进行深入的研究，通过地质-测井-地震等综合技术，解决复杂断块构造圈闭，河道砂、低位扇等岩性圈闭的识别及深层潜山油气藏评价；通过研究大地衰减、激发能量及噪声等问题，提高深层地震勘探的成像质量和分辨率。

为加速东部油区油气藏的勘探、查明剩余油分布及提高采收率，需要测井技术提供反映油藏储层流体性质、岩性、孔隙度、渗透率、有效厚度和泥质含量等资料，与地震结合的测井约束地震反演进行岩性解释技术以及深层复杂地层条件下的测井评价技术。

2. 中西部复杂和黄土塬地区油气勘探

我国陆地 8 个大型含油气盆地有 6 个盆地分布在中西部地区。中西部地区是我国陆地未来油气勘探的重点地区，目前已在塔里木、准噶尔、鄂尔多斯、四川、柴达木和吐哈相继建立了石油天然气工业基地。然而，随着勘探的深入，中西部地区的油气勘探难度越来越大，勘探的地区和领域趋向于更为恶劣的环境。

对于西部复杂地貌、黄土塬、深层系激发接受条件恶劣，地震采集不过关，检波器与地层的耦合条件使得信号接收受到很大影响。油气勘探在加强油气成藏机理、构造演化模式等方面深入研究的同时，待解决的问题包括恶劣环境复杂地表静校正、山前推覆逆冲构造成像、深层巨厚膏盐层下低幅度构造成像、碳酸盐岩孔洞和裂缝型储层预测等。因此，该领域对地球物理勘探的需求主要为地震波在山前逆掩推覆高陡构造、大深度低幅度构造、复杂断块构造和古潜山等复杂勘探地区的传播规律以及各类地表条件下的激发技术及接受技术。

测井技术需要提供相应的解释技术和评价技术，尤其要提供针对超深、高温及高压条件下碳酸盐岩和复杂储层、缝洞型储层的测井技术系列。

3. 海相碳酸盐岩油气勘探

海相碳酸盐岩是我国油气勘探的重要领域之一。目前我国已在塔里木、四川和鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩的油气勘探取得了较大的突破，在南方海相碳酸盐岩油气的勘探除四川盆地外的其他盆地尚未获得油气重大突破。中国碳酸盐岩油气勘探有别于国外，勘探的难度较大。该领域面临的问题主要为碳酸盐岩成藏机理和优质储层预测问题。这些问题包括低丰度有机质、高演化程度有效烃源岩确定，海相烃源岩资源潜力评价，碳酸盐岩优质储层的预测方法和评价技术。

除中西部海相碳酸盐岩油气勘探对地球物理勘探和地球物理测井的需求外，海相碳酸盐岩油气勘探对地震和测井的需求也十分迫切。目前在地质认识和勘探实践中急需解决的主要问题有山地复杂地表地震采集及静校正，山地复杂干扰去除以及地下高陡构造、复杂构造带成像、低信噪比地震技术和裂缝发育区全三维地震技术等。海相盆地碳酸盐岩油气藏勘探的测井技术要重点解决致密碳酸盐层中裂缝判识及复杂气水关系。

4. 天然气勘探

“六五”至“九五”期间，我国连续进行了4届国家天然气攻关项目。在天然气成藏理论方面，先后提出“动态平衡理论”、“晚期成藏理论”、“盆、热、烃理论”、“封存箱理论”、“多源、多阶段、多运移相态天然气成藏理论”、“多源复合、主源定型、多阶连续、主阶定名”和“煤成气理论”，其中“煤成气理论”和“晚期成藏理论”的提出有效地指导了我国的天然气勘探进程。克拉2气田的发现促使了“西气东输”工程的启动。为了保障“西气东输”工程天然气资源供给，需要在中西部地区的大中型盆地和管道沿线领域发现新的大中型气田。然而，我国天然气勘探的领域趋向于地表复杂、环境恶劣，勘探的对象为低孔渗非均质的碎屑岩和碳酸盐岩，勘探难度越来越大，风险随之增高。因此，需要针对重点地区和领域研发相应的技术，指导天然气的勘探。

天然气勘探待解决的地质综合勘探技术问题包括：大面积低孔渗气藏成因机理和高富气区天然气预测，致密碎屑岩裂隙识别与预测，深层高压、孔隙发育段预测评价技术，高温高压气藏勘探技术。在地球物理方面，天然气勘探需要解决的技术包括：复杂油气藏的岩石电磁场、声场、核物理场及核磁共振的测井响应理论及实验模拟方法；非确定性测井曲线反演理论；低孔、低渗气藏探测，解释新方法；不同地区和领域天然气勘探地震采集、处理和综合解释技术。

5. 非常规油气勘探

非常规油气包括重油、沥青砂、深盆气、煤层气和天然气水合物。这些非常规油气的资源量十分巨大，如美国的沥青砂可供该国消费2万年以上，天然气水合物可供美国消费3万年以上。近年来，各国研究者对这些非常规油气资源的研究和勘探投入了巨大的工作量。随着常规油气资源的逐渐消耗、油气价格的上升和技术的革新，这些非常规的油气资源将最终达到商业开采价值。然而在这一领域我国的研究步伐和勘探技术明显滞后，需要形成相应的资源评价技术、地球物理勘探技术、地球物理测井技术和综合勘探技术对这类非常规油气的勘探提供支撑。

总之，不论是我国东部的成熟油气勘探还是中西部油气的勘探，勘探的目标越来越复杂，对地球物理勘探和地球物理测井的科技需求十分迫切，这些技术包括适应山地、沙漠、戈壁、水网、黄土塬等复杂地表的地震采集技术及相应的噪声消除和静校正等处理技术，不断提高分辨率的地震勘探技术，复杂构造高精度成像技术，强非均质性储层的有效地球物理综合预测技术，油气藏综合地球物理精细描述、模拟技术和深层地震技术等。

2.3 钻井工程的主要特点与存在问题

2.3.1 石油钻井工程

石油钻井工程是利用机械设备从地面开始钻孔穿过多套地层到达预定目的层（油气层或可能油气层）的地下井位，形成几百米到上万米地下油气采出的稳定通道，并在钻

井过程中及井眼钻成后采集勘探开发和钻井所需信息的石油工业的一项专业工程。

1. 钻井工程是实现油气勘探和油气田开发目的的基本途径

首先，一个地质构造是否存在油气层，如存在，有几层，以及各层的产量和油气的物理化学性质，都要靠钻探井来证实和求得。要建设一个油田，如果不先钻成一批开发井，则难以确定采油方式及建设规模。故人们常用“有油没油，要问钻头”、“钻头不到，油气不冒”的话来说明钻井对勘探开发的重要作用。

其次，由于钻井技术的发展，钻井与勘探开发的关系已不仅是为其服务，而且还起到促进作用。例如，利用水平井来开发油气田，可以实现少井高产和提高采收率；利用大位移井勘探和开发滩海油气田，可实现海油陆探、陆采，缩短勘探和开发周期，节约资金；一口直井探井如果井位已超过油气边界，可利用原井眼侧钻重新钻探；利用丛式井开发油气田，可节省大量土地，减少环境污染，减少能源消耗，减少资源消耗，并有利于采油的集中管理。

2. 钻井工程是油气勘探和油气田开发两大系统工程中的主体工程

整个石油工业上游有三大支柱，即勘探、开发和钻井。钻井是勘探、开发两大系统工程中的主体工程。不钻井就谈不上录井、测井、试井、采油和修井，更没有依据进行油田的地面建设。人们常说的“钻井是龙头”这句话确切地表明了钻井工程的重要作用。

3. 钻井工程是石油工业各专业工程中资金投入最大的专业工程

根据国内外多年统计，钻井工程的投入占整个勘探和开发总投入的 50% 以上。这是一个稳定的比例，说明这是客观的要求。能否充分发挥钻井工程投入这一大块资金的作用，对石油企业的整体经济效益有重大影响。

4. 钻井工程是一项高风险、高难度、高技术工程

钻井工程的高风险首先来自所钻地层的隐蔽性和不同程度的不确定性，所以在钻井过程中极易引发各种井下事故和复杂问题，如井喷、井漏、井塌和卡钻等，其中井喷失控常常造成人亡机毁、破坏储层、严重污染环境的后果，是一种灾难性的事故。其次来自严酷的钻井作业环境，如高原的高寒缺氧、沙漠的风尘蔽天、海洋的孤寂单调等，以及无论刮风下雨都要 24h 连续野外露天作业，这种环境会对人的生理和心理产生有害的影响。所以要十分重视钻井工程中的健康、安全、环境工作。上述所有困难、风险和复杂性就决定了钻井工程的技术难度大，必须通过发展高新技术才能使诸多困难和风险逐步得到解决和克服。

2.3.2 大型国有企业科技体制上的问题

科技体制的状况是由国有企业整体的体制状况决定的，国有企业体制上的共同问题是导致科技体制问题的根源。国有大型企业至今政企分开很不彻底，依然保留了部分行

政管理的职能，基本上保留了行政管理的体制。这就产生了国有企业企业利益的长期性和行政管理体制约束下的管理行为短期化的突出矛盾。体现在科技体制上有以下问题：

(1) 受制于行政管理体制的干部考核制度，造成科技投资周期的短期化。

(2) 大型国有企业管理目标多元化。大型国有企业除了追求企业利润的目标外，还兼有稳定社会等其他企业目标，社会责任较多，不能建立起正常合理的人员淘汰机制。

(3) 行政管理体制下科技投资的审批制导致投资分散，进而导致科技成果产权不清晰，给科研成果的产业化造成困难。

(4) 国有企业的管理者由于受管理体制、企业多目标和多责任的约束，通常采取避险的管理取向，对有较大风险的高新技术研发项目，一些科技投资部门往往尽可能采取回避的态度。

2.3.3 石油钻井行业当前面临的主要问题

我国石油钻井行业归属于国家三大石油公司，大型国有企业上述科技体制上的弊端，与三大国家石油公司在重组上市和一分为二（即油公司部分和存续部分）的前进过程中所引发的一些新的问题交织在一起，造成钻井行业在钻井技术发展上面临以下突出问题：

(1) 集团（总）公司一级专门从事钻井工程重大技术进步研究、应用基础理论和战略性研究的科研院所机构严重萎缩，人才流失；

(2) 研究项目的设置分散重复，有限的资金往往不能集中到对钻井技术发展起重要作用的关键技术上来；

(3) 具有自主产权的钻井高新技术研发项目很难得到合理的关注和投资；

(4) 现有的人事管理体制，使研究机构很难建立起有效的人员淘汰机制、流动机制，研究机构缺少活力；

(5) 由于企业的短期行为，基础性、关键性钻井技术难题的研究缺少连续性，影响了技术创新；

(6) 钻井研究机构很难以技术创新为主要目标，而是以养活自己、创收为目标；

(7) 研究机构的层次设置不清，集团公司一级的研究机构和油田一级的研究机构在研究项目的设置上有很多重复。

以上问题最终导致了钻井行业整体上的技术进步减慢，自主创新能力下降，与国际钻井先进技术的差距逐渐拉大，其差距从 20 世纪 90 年代中后期大约 5~10 年，拉大到目前的 10~15 年，直接影响了我国整个钻井行业科技的发展和生产力的提高。

目前国际钻井技术在快速发展，特别是我国加入了世界贸易组织（WTO）后，石油企业面临更加巨大的国际竞争压力，石油钻井科技进步速度放慢不仅直接影响到企业的竞争能力，也严重影响到企业未来的可持续发展。

2.3.4 钻井工程技术领域面临的形势

综上所述，我国石油工业的发展对策是：国内要加快油气勘探开发与建设步伐，做

到“稳油增气”；同时要参与世界能源资源的合作与开发，要实施国内外“两种资源，两个市场”的战略。这个战略就决定了石油钻井工程技术面临如下形势。

1. 东部地区

东部地区是我国主要产油区，是“稳油”的主要对象，但东部地区绝大部分油田已过了产量高峰期。东部地区“稳油”需要通过以下 3 个途径：①老油田挖潜；②难动用储量（低压、低渗、低丰度的储量）的开发；③在深部和边缘找新的储量。

东部地区目前的剩余储量中，低压、低渗、低丰度的储量占 50% 以上，用常规技术动用这部分储量不易取得经济效益，故称为难动用储量。研究开发使“三低”油田具有经济效益，这是东部稳油的需求，而提高钻井技术水平则是发现油层、使难动用储量的开发具有经济效益和提高油田采收率的重要手段之一。

2. 中、西部地区

中、西部地区是我国油气产量第一接替区，中、西部地区钻井工程面临以下挑战：

(1) 天然气资源集中于中、西部，是“增气”的主要对象，钻气井的工作量会增大，天然气中常会有高浓度硫化氢等有害气体；

(2) 较多油气层埋藏深（超过 4500m），深井钻井工作量增大，且深井钻井的技术难度大（多套地层压力系统，高温、高压、深部钻速大幅度下降等）；

(3) 地面环境恶劣，如高原、沙漠、山地等，对人和施工增加了难度。

中、西部地区普遍存在复杂深井钻井速度慢、钻井周期长、钻井成本高的问题，已经成为中、西部地区油气快速发展的制约因素。所以发展适应地面恶劣环境和地下复杂情况的深井，特别是深气井的钻井技术，是中部和西部地区钻井的关键。

3. 海洋

海洋是我国油气产量的第二接替区。我国有海洋国土面积约 300 万 km^2 。属于大陆架延伸区域的陆棚海面积约 130 万 km^2 。我国东海和南海都有大面积的深水海区。截至 2002 年年底，我国海上正在生产的油气田有 26 个，其中合作油气田 15 个，自营油气田 11 个，大都为 100m 水深以内的区域。2002 年中国海洋石油总公司生产原油已达到 2662.38 万 t，天然气 54.51 亿 m^3 ，其中境外生产原油 515.56 万 t、天然气 12.37 亿 m^3 。1965~2000 年，累计在海上钻井 1468 口，其中合作井 644 口。

但是目前我国海洋钻井的区域仅在水深 100m 范围以内，超过 100m 水深的更大海域国内钻井技术还上不去。越南请西方钻井公司技术服务在西沙群岛海域（水深 600m）开发油田，目前已拿走可观的石油和天然气。因此发展我国深水钻井技术是海洋钻井的必由之路。

4. 国外市场

自 20 世纪 90 年代中期，我国钻井开始走出国门，通过不断改进钻井装备，建立与国际接轨的各种管理制度等，不断提高在国际钻井市场的竞争力，到 2003 年，已有 100 多台钻机在国外工作。在国外钻井市场中，不但要进入我国已取得石油开采权地区

的钻井市场，还要扩大到其他地区。前者已基本做到，后者还有难度。主要是我国钻井工程在装备、技术、管理和人才的竞争力上还不如发达国家，其中主要是钻井高新技术的竞争能力还不够强。

2.4 油气开发技术面临的问题与挑战

2.4.1 油气田开发行业的特点

1. 油气田开发是高投入、高风险、高效益的行业

油气田开采业在石油工业整个产业链中处于上游，具有高投入、高风险、高效益的特点，油气田开采需要有坚实的储量基础。由于地质条件的复杂性和不确定性，在油气资源储量勘探过程中充满着风险，预探的成功率一般只能达到 45%，大多数探井可能毫无所获，风险很大。因此，综合平均下来，我国每探明 1 亿 t 石油储量大体需要 20 亿元。这 1 亿 t 储量可以建成 100 万 t（低渗透油藏）到 200 万 t（中高渗透油藏）产能，而每建 100 万 t 产能平均下来又需要约 20 多亿元，在开发决策上的重大失误，往往会造成若干亿元的损失。而沙漠、戈壁、深海、高压、有毒气体等恶劣环境和复杂条件则会带来更大的风险。因此，油田开发需要巨额的投资，又充满了风险，但其效益正如上述却是十分巨大的。可见油气田开发不仅向国家提供大量不可缺少的石油、天然气产品，而且是整个石油工业产业值中最主要的盈利来源。

2. 油气田开发是复杂的系统工程，需要进行多学科综合和协同

油气田开发本身又是一个技术要求高，需要应用多种学科的综合性产业，是一个十分复杂的系统工程。它以地质研究为基础，需要积极发展和充分运用地震技术、测井技术、钻井工程、油藏工程、采油工程、地面集输等工程技术，并通过经济分析，进行系统的综合优化。因此，在油气田开发的全过程中，需要组织包括以上各种专业人员在内的多学科工作团队，综合各种原始数据和资料，掌握油田开发过程的推移和变化，集成和运用先进的科学技术，通过各学科的紧密协作，进行综合分析和研究，做出经济、合理的开发决策。

3. 油气田开发具有多类型、分阶段的特点

由于油气田储层特征和油气性质等地质条件的不同，我国油藏具有多种类型，需要有针对性地采取不同的开发对策和工艺技术。

一个油田或气田，从打出第一口发现井出油开始，经历探边、评价、落实储量，确定开发方案、投产、开发调整直到最终废弃，具有十分漫长的生命周期。我国玉门老君庙油田从 1939 年发现至今，历经 60 余年，虽然现在进入开发后期，但仍在正常生产。

我国绝大多数油田都采取早期注水的开发方式。注水开发实践表明，注水以后，油田内部各油层、各部位储量动用状况出现差异，随着含水的上升，油田内油水不断重新分布，这种储量动用状况的差异性也在不断变化，呈现出不同的矛盾和动态特征，形成开发过程的阶段性。一般注水开发油田随着含水和产量的变化，常分成无水期、低含水

期、中含水期、高含水初期、高含水后期、特高含水期等各个开发阶段。因此，油田的合理开发，就需要预测油田动态变化状况，及时采取相应的开发对策和技术措施，保障油气田生产的持续发展。

2.4.2 我国油气田开发的基本地质背景和技术发展状况

1. 我国油气田的储层以陆相碎屑岩沉积为主要特征

我国含油气地层分布广泛，从古生界到新生界都有分布。尤其中、新生代地层储量最为丰富，已发现的油田多数集中在陆上东部地区。近年来西部地区及浅海大陆架发展很快，开发了一批重要油气田，特别是气田，主要分布在西部。

从地质的角度看，储层主要是内陆河流-三角洲或冲积扇-扇三角洲的碎屑岩沉积。这类储层的油气田储量约占已开发储量的 90%，其地质特征为：

(1) 由于内陆盆地面积相对较小，物源近，相变频繁，因此砂体规模小，分布零散，平面上连通差，而且颗粒分选差，孔隙结构复杂，非均质严重。

(2) 由于湖盆内频繁的水进水退，河流-三角洲沉积呈明显的多旋回性，油田纵向上油层多，有的多达数十层甚至百余层，层间差异很大。

(3) 油层内部纵向上非均质也很严重，各层段间物性相差很大。特别是储层中占多数的河道砂体，渗透率呈上部低、下部高的正韵律分布特征，注入水易从下部发生窜流。

(4) 东部渤海湾地区断层极为发育，油田被切割成许多大小不等的断块。多数断块的含油面积小于 1km^2 ，不同断块的几何形状、油层特性、油气富集程度、油气和油水分布、天然能量等都有很大差别，地质条件更为复杂。

(5) 由于陆相湖盆中生油母质腐殖质较多，形成石蜡基原油，含蜡量高，黏度大，一般约为 $10\sim 50\text{MPa}\cdot\text{s}$ ，属中质油。也有一批油田为重质稠油，甚至特稠油和超稠油。在西部地区，还有不少轻质挥发油藏和凝析油气藏。

(6) 由于砂体零散，连通差，油田的边水供给受到限制，天然能量不足，很少具备天然水驱的条件，需要注水补充能量。

2. 我国油气田的主要类型及相应技术系列

在这种复杂的地质背景下，我国油气田的类型很多，最主要的有中高渗透多层砂岩油气田、复杂断块油气田、低渗透砂岩油气田、稠油油田以及轻质油和凝析油气田，还有少量砾岩、碳酸盐岩、火山岩油气田等。

50 多年来，我国油气开发经历了学习原苏联、自力更生和改革开放、吸取西方先进技术等阶段，针对复杂的陆相地质条件和各种主要的油田类型，积累了丰富的油田勘探开发经验，形成和发展了具有特色的、比较完整的技术系列，已达到了相当高的水平，有的在国际上已处于领先的地位。主要的技术系列包括：

1) 早期分层注水、分阶段逐步综合调整的技术

早期分层注水、分阶段逐步综合调整的技术系列，是具有我国特色、应用广泛的开发技术。针对我国陆相油田非均质严重、层系多的特点，我国以大庆油田为代表，提出、发展和应用了早期分层注水、分阶段逐步综合调整的系列技术。大庆油田创造了年产 5000

万 t 以上稳产 27 年的世界先进水平。这套技术在全国普遍推广以后,注水开发油田的产量约占全国总产量的 85% 以上,对于我国石油产量的持续增长,起了关键性的作用。

2) 三次采油技术中化学驱提高原油采收率技术

三次采油技术中化学驱提高原油采收率技术符合我国国情,已大规模应用,处于世界领先地位。我国普遍采用的注水技术,平均原油采收率只有约 32.2%,在已开发的油藏中还有 2/3 的原油滞留在地下采不出来,需要用其他各种三次采油的新方法提高原油采收率。据全国先后二次提高采收率潜力评价结果,都表明聚合物驱和碱/表面活性剂/聚合物三元复合驱等化学驱油技术在各种提高采收率技术中符合我国国情,潜力也最大,可增加可采储量中具有经济效益的 5 亿 t 左右。

经过近 20 年的攻关,已掌握了聚合物筛选评价,数值模拟预测,井网、注入方式和注入量的优化,强化射孔,调剖和防窜处理,注入工艺,动态监测,效果评价等较为完整的配套技术。全国聚丙烯酰胺的年生产能力已达 15 万~18 万 t,分散和注入设备也已国产化。目前,聚合物驱已在大庆油田大规模推广,达到年产油 1000 万 t 的规模,提高原油采收率幅度在 10% 以上,已获得巨大的经济效益;胜利油田推广聚合物驱也已达到年产油 300 万 t 的规模;其他如大港、辽河、河南等油田也进行了规模不等的现场试验,也都取得了较好效果。

三元化学复合驱提高原油采收率的幅度大,但机理复杂,目前已在表面活性剂研制、驱油机理、配方优选、数值模拟预测、注入装置研制、矿场试验方案设计和动态监测等方面取得了重大进展。在大庆、胜利、新疆油田进行的三元复合驱小井距先导性试验和正常井距的矿场试验,技术上都取得了良好的效果,提高采收率的幅度在 15%~20%。

对其他提高原油采收率的新技术,如微生物采油、注气等也都进行了研究,进行了程度不同的现场试验,取得了一定的效果。

3) 滚动勘探开发技术有效地开发了复杂断块油藏

针对渤海湾地区的复杂断块油藏,采取了“地震先行、整体解剖、重点突破、跟井对比、及时调整、分批完善注采井网和逐步滚动推进”的滚动勘探开发程序和高分辨率三维地震、井震约束反演等一系列技术,有效地开发了这类油藏。

4) 低渗透油田注水开发基本形成了有效的配套技术

我国低渗透油探明储量有 63 亿 t,约占探明总储量的 28%。在近 5 年探明储量中低渗透油储量的比重已增至 50%~60%。低渗透油藏由于孔隙结构复杂、喉道狭窄、非均质性更为严重,开采时自然产能低,经济效益差。即使在复杂和困难的条件下,我国在长期实践中也已形成了一套富集区带优选、裂缝系统预测和识别、超前注水、开发压裂、井网井距优化、精细过滤、深穿透射孔、简化集输流程等配套技术。运用这套技术,我国低渗透油田的产量 2003 年已达到 2600 万 t 余,一大批特低渗透和裂缝性低渗透油田也得到了有效开发,标志着我国低渗透油田的开发达到了高水平。

5) 热力开采技术的应用使我国稠油产量居世界第四位

我国稠油资源比较丰富,资源量近 200 亿 t。截至 2002 年年底,累计探明地质储量 18.4 亿 t。20 世纪 80 年代初开始进行蒸汽吞吐开采,逐步形成了井深可达 1600m 的蒸汽吞吐开采的配套技术,包括隔热油管、套管保护、多层分注、化学防窜以及物理模拟、数值模拟等一系列技术。浅层蒸汽驱油已过关,中深层蒸汽驱和超稠油开发也已取

得突破性进展。截至 2002 年年底，应用热力开采技术已累计动用地质储量 12.6 亿 t，当年产量 1267t，使我国成为世界第四大稠油生产国。

6) 掌握了天然气开采的配套技术，天然气产量迅速增长

我国气田开发技术在四川、长庆、塔里木、海上等气区开发实践中已得到很大发展，形成了天然气开发的配套技术，包括气井优化部署、裂缝性碳酸盐岩气田储量测算、气井测试、大型酸化压裂、排水采气、中低含硫气体的防腐和脱硫，以及凝析气田的循环注气等技术。应用这些技术，近年来天然气产量增长很快，从 1996~2003 年，天然气年产量由 201 亿 m^3 上升到了 341 亿 m^3 。随着“西气东输”工程即将竣工，天然气产量将进一步快速增长。

这一整套以开发陆相油气田为特色的技术系列的应用，提高了我国油气田开发的水平，为我国油气开采业的持续发展奠定了坚实的技术基础。

2.4.3 面临的问题和挑战

展望新世纪，我国油气开采业将面临各种新的挑战。这些挑战对石油科技提出了更高的新要求。

1. 国内外经济大环境重大变化所带来的挑战

(1) 我国经济体制正在向社会主义市场经济的方向转变，要求油气开发必须以经济效益为中心，必将使其从发展战略、经营管理机制以至技术政策等方面发生了根本性的变化。

(2) 在经济全球化大环境下世界上各大石油公司强强联合，发生了历史上从未有过的大规模兼并、重组，形成了埃克森美孚等六大石油巨头，竞争实力进一步大大增强。我国油公司要在更加严酷的国际竞争中图发展，必须加强技术创新和经营管理，迅速提升自己的国际竞争力。

(3) “入世”、“上市”促使我国石油企业进一步市场化和国际化，一方面将有利于吸取国外先进技术和管理经验，平等地享受世贸成员国的权利，利于石油企业“走出去”，实施跨国发展战略；另一方面“上市”后大大增加了石油企业降低成本的压力，还必须兑现我们“入世”后在短期内全面开放我国石油石化市场的承诺，导致在国内也同样面临国际石油巨头的激烈竞争。因此，通过技术创新降低成本、提高质量、增强竞争实力的要求更为迫切。

(4) 影响国际油价的因素错综复杂，油价起伏变幻莫测，今后仍然难以排除油价大幅度下跌或攀升的突发事件，应该未雨绸缪，提前采取各种举措，包括有关的技术准备，尽量减少油价的震荡对石油工业甚至国民经济的冲击。

2. 油气资源发展及满足国家需求所带来的挑战

1) 随着国民经济的高速发展，石油需求量将越来越大，石油开采和供应面临十分严峻的挑战

从需求方面来看，由于改革开放以来国民经济每年以 7% 的高速度发展，对石油的

需求迅速增加,到2003年达到了2.7亿t的规模;而石油的生产量虽然逐年有所增加,但当年产量只能增至1.7亿t,进口量已近1亿t的历史最高水平,对外依存度达37%。今后,随着我国向全面建设小康社会的宏伟目标前进,预计国民经济仍将以7%左右的速度发展。即使大力节约石油、提高利用效率,今后石油需求量仍将大幅度增长,石油的开采和供应已面临巨大的压力。

至于今后石油供应方面的基本态势,可做以下简要分析:

(1) 石油资源和储量是油田开发的基础。总体来看,我国石油资源总量比较丰富,勘探上还有较大潜力,但人均占有资源严重不足。据油气资源评价结果,预测我国石油可采资源量为150亿t左右。在世界103个产油国中,据统计,世界人均占有石油可采资源68t,而我国仅为12t,相当于世界平均水平的1/6。人均剩余可采储量则更少,仅相当于世界平均水平的1/12。

因此,虽然目前我国石油可采资源探明率仅43%,勘探上还处于中等成熟阶段,尚有大量待发现石油资源,探明储量仍可在高基值的水平上稳步增长。据测算,我国未来15~20年平均每年可新增探明地质储量7亿~9亿t、可采储量1.4亿~1.8亿t。而且仍有可能发现一批大中型油田,但由于受到资源条件的限制,难以再有更大幅度的增长,而且随着勘探程度的深入,勘探工作逐渐向地层岩性、前陆盆地山前冲断带或克拉通边缘凹陷、海相碳酸盐岩、渤海湾海域等新领域发展,还多处于沙漠、戈壁、山地、黄土塬、海洋等地面条件复杂地区。这些勘探目标的复杂地质和地貌条件,不仅加大了勘探难度,而且新增石油储量品位下降,低渗、特低渗、超稠油储量所占比重加大,对今后新油田的开发也带来了新的挑战和难度。

(2) 经过50多年的开采,已开发油田总体上已进入高含水、高采出程度的阶段。据统计,全国石油田可采储量采出程度已达到72.3%,综合含水高达84.1%,其中含水高于80%的油田,可采储量占总量的68.7%;可采储量已采出60%以上的油田,其可采储量占总量的82.4%。由此可见,主要老油田已进入开发后期,产量发生递减,就连稳产5000万t以上已达27年的大庆油田,2003年已开始降至5000万t以下,需要依靠技术进步,调整挖潜,提高采收率,以减缓老油田的递减。

(3) 由于资源的限制,以及老油田不可逆转的递减,据预测,如以2002年的原油产量1.67亿t作为基数,那么到2020年这些产量将递减到只有5700万t。因此即使今后大力加强新区勘探和老区挖潜,今后国内原油产量也只能稳中有增,难以满足国民经济对石油日益增长的需求,石油进口量和对外依存度将继续以较大幅度增长,石油安全问题将日益突出。

2) 我国天然气资源比较丰富,已具备大发展的条件,但到2010年前后也可能出现供不应求的矛盾,需要部分进口

天然气是一种清洁能源,它的广泛使用对于改善我国能源结构和大气环境,缓解石油供需矛盾,实现国民经济可持续发展都具有重要的意义。

我国天然气资源比较丰富。据油气资源评价结果,预测我国天然气可采资源为14万亿 m^3 左右。截至2003年年底,已累计探明天然气可采储量2.8万亿 m^3 ,还处于勘探早期阶段,发展潜力很大。

2003年年底,我国天然气剩余可采储量2.2万亿 m^3 ,储采比高达65:1,说明我

国天然气的生产已具备了高速增长的资源条件。

据测算,我国人均可采资源只有 1.1 万 m^3 左右,仅相当于世界平均水平的 $1/6$;因此长期来看,供需仍将出现缺口。所以预计到 2010 年前后,天然气就有可能也需要部分从国外进口。

综上所述,我国油气资源虽然总量比较丰富,但人均数量严重不足,原油后备储量接替紧张,已难以大幅度增长。随着国民经济的持续快速增长,石油供需缺口将越来越严重,石油安全问题已日益突出。天然气近期已具备高速增长的资源条件,可以部分减轻石油供需矛盾,但到 2010 年前后,也同样可能出现供不应求的局面。因此,在新世纪油气田开发已面临非常严峻的挑战。面对这些严峻的挑战,核心问题是如何为国家尽可能持续地供应更多的石油和天然气,这已成为我国油气田开发界的迫切任务。

2.5 油气储运业的发展与面临的形势

2.5.1 油气储运业的发展过程

1. 发展历史

油气储运行业的发展历程也是人们逐渐认识其重要性的过程。追根溯源,我国应是最早建设输送管道的国家,早在公元 221~263 年的蜀汉时期,我国四川、重庆地区就有采用楠竹管道输送卤水来制盐的技术,17 世纪就有用楠竹管道输气的设备。1859 年 8 月美国打出了第一口油井,1865 年 10 月修建了第一条管径 50mm、长 9756m 的管道,把原油从油田输送到火车站。但真正的油气储运业是从 20 世纪初美国大量敷设金属管道用来输送石油、石油产品以及天然气才开始的。20 世纪 20 年代随着金属焊接工艺的极大改善,进一步刺激了以管道输送为标志的油气储运业的发展。管道输送技术的第一次飞跃是在第二次世界大战期间,由于德国潜艇对油轮的袭击严重威胁了美国的油料供应,美国于 1942 年初开始,仅用一年多的时间就紧急建成了一条全长 2018km,管径分别为 600mm(当时最大的)和 500mm 的原油管道,保障了原油的供应。半年之后又投用了一条长 2373km、管径为 500mm 的成品油管道,对保证盟国的战争胜利起了重要作用。第二次世界大战后,油气储运业伴随全球油气资源供求新格局的形成得到空前的发展,直至今日。

油气储运业在总体上是以管道运输和油气储存两大领域的综合发展为标志的,因而管道工业和油气储存两方面直接影响并制约着油气储运业的发展。

迄今为止,管道在世界上已有 130 多年的历史,尤其在第二次世界大战后期,随着工业的快速发展,各国对能源的需求日益增长,带动了油气运输业的蓬勃发展。据统计,第二次世界大战后 50 年全世界总计建成了 166 万 km 的油气输送管道,其中美国就占 47%。20 世纪 50 年代中期到 60 年代末期,美国管道建设达到高峰,其中最高峰的 1960 年美国就建成了 22 600km 的输气管道,大大推动了世界油气管道的建设;70 年代初至 80 年代中期,管道建设的发展尤为迅猛,其中 1981 年全世界总共敷设了 62 000km 的油气管道,如美国横贯阿拉斯加原油管道、原苏联通向东欧诸国的“友谊”输油管道以及阿尔及利亚至意大利输气管道等世界著名管道工程都是在这期间先后完