

中国

陆上油气 开发技术

发展趋势

郭小哲 编著

石油工业出版社

中国陆上油气开发技术 发展趋势

郭小哲 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过对我国油气开发技术现状、需求、国际形势对比等方面的剖析,设计了超前储备技术评价的指标体系和方法,对高含水、致密、深层、稠油、非常规等 16 个类型油气藏的开发技术进行了调研,确定 62 项超前储备技术,制定 5 个发展目标,给出“十二五”优先发展的 43 项关键技术,提出了 9 项科技发展战略保障措施,并展望了 2020—2030 年期间陆上油气开发技术的 5 个特点。

本书可作为油气田开发工程的相关教学与研究参考资料,对从事科技管理与战略等方面研究的人员也具有一定参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国陆上油气开发技术发展趋势 / 郭小哲编著.
北京:石油工业出版社,2013.6
ISBN 978-7-5021-9572-4

I. 中…

II. 郭…

III. 油气田开发—技术发展—研究—中国

IV. TE3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 079285 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523537 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:17.5

字数:421 千字

定价:70.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

世界石油产量 65% 来自于陆上油田，天然气产量 70% 来自于陆上气田，自 1859 年现代石油工业诞生到 1947 年现代海洋石油工业诞生，陆上油气开发一直处于一枝独秀的地位，随着老油田的长期开发及探明程度的不断提高，陆上油气开发面临后备资源不足，新增资源多为低品质小断块油气藏，老油田开发技术难度加大成本增高，再加上 20 世纪 80 年代石油枯竭论的影响，海洋油气及陆上非常规油气迅速发展起来，使油气开发呈现出空前的多元化发展，进入 21 世纪，由于多元资源与技术的快速发展，世界石油工业也呈现出广阔的前景。但是，陆上油气的开发仍然处于最主要地位，如何解决陆上油气开发面临的科技难题显得更加重要。

中国陆上油气储量及产量占全国总量都约为 80%，历时 50 年勘探开发，陆上油气田高含水、低渗透、岩性、稠油等难开发储量在未来持续发展中所占比重将非常突出，高效、经济、节能、环保、安全和持续的高标准，加上主体换代的速度加快，陆上油气田勘探开发面临的技术瓶颈愈加严重，各层次的技术需求愈加紧迫，因此，进行超前储备技术研究及科技发展战略规划，未雨绸缪，为未来时期的油气稳定持续生产奠定基础。

本书通过国内外科技现状及趋势的对比分析，把握陆上油气田开发发展特点，筛选评价出超前储备技术，制定中长期的科技发展战略及对策，实现 4 个方面目标：(1) 进一步提高老油田的采收率，并继续增产稳产，降低生产成本，降低能耗，环保安全生产；(2) 对低品位储量实现高效经济规模开发，配套科技成果进一步提升，形成特殊油气藏开发制高点，提升我国油气开发科技竞争力；(3) 形成非常规油气资源的有效开发配套理论与技术，做好可燃冰、页岩油气、煤层气、水溶气等实质性开发利用的准备；(4) 融入现代科技元素，应用电磁学、光学、量子学、生物学、电子学等理论知识，开发油气科技的可视化、虚拟化、远程化、即时化、智能化等具有时代特征的高新技术。

通过研究形成以下主要结论：(1) 我国陆上油气开发面临高含水及低品质储量资源形势突出，认识油藏及提高采收率难度加大；(2) 非常规油气作为后续接替资源，其有效开发理论与技术需要突破，实现规模生产能力；(3) 超前储备技术应结合低碳节能、信息技术、声光电磁技术等，突出特色、保障持续发展；(4) 超前储备技术研究要重视产学研各有侧重的有机结合，实质性稳步推进；(5) 注重科技攻关与生产实际的结合，加快科技成果转化。

为了全面了解和把握国内外陆上油气田开发技术现状和发展趋势，本书对高含水油藏、致密油藏（低渗透）、岩性油气藏、碳酸盐岩油气藏、稠油油藏、深层油气藏、

页岩油藏、致密（低渗透）气藏、凝析气藏、高含硫气藏、产水气藏、高压气藏、煤层气、页岩气藏、水合物气藏、水溶气藏开发等 16 个方面进行了国内外资源发现现状、国内外技术水平和国内外差距的分析，及技术发展趋势和储备技术研究的调查。经分析研究，建立了包括油层物理和渗流力学理论体系在内的 17 项内容的技术模板，提炼出 199 项关键技术，通过筛选和评价，最终确定了超前储备技术 62 项，重点攻关技术 81 项，常规研究技术 30 项，选择研究技术 26 项。

在超前储备技术筛选评价的过程中，分析了我国陆上油气科技现状，包括 4 次科技突破历程、6 项世界领先技术及 7 项重大科技成就，提出了科技发展面临的 6 个机遇和 6 个挑战，归纳了国家油气业务发展战略的 6 个方面技术需求、4 个方面生产难题及 8 个方面的技术瓶颈，总结了国际陆上油气开发 6 个方向上的发展现状、3 个发展趋势及 5 个方向上的发展前沿，对比了我国与国际技术水平上的 9 个方面的差距，制定了超前储备技术的筛选评价原则，建立了筛选指标体系，设计了筛选评价方法和流程，评价了 199 项关键技术，获得了超前储备筛选结果。

基于以上内容，提出了 7 项技术发展战略，制定了 5 个方面的发展目标，给出了“十二五”优先发展的 43 项关键技术，设计了发展策略及发展路线图，之后，提出了包括 9 项内容的科技发展战略保障措施，并展望了 2020—2030 年期间陆上油气科技的 5 个方面特点。

本书从结构上共分为两篇，第一篇为综合篇，综合概况地论述我国陆上油气开发技术现状、技术需求及国内外优劣势对比、超前储备技术的评价、超前储备技术战略部署；第二篇为专项篇，对第一篇中所涉及的 16 个油气藏类型的总体概况（特别是强调其战略位置）、技术现状、开发技术存在问题、开发技术发展趋势及超前储备技术等 5 个方面进行详细介绍与总结。

在内容研究中，张璋、杨帆、刘翠翠三人对各类油气藏做了大量的专项调研与总结工作，提供了本书的资料基础，在此表示感谢；特别感谢中国石油大学（北京）何顺利教授的几次当面指导，提升了研究内容与实际尽可能相结合的基本思想；同时，也感谢顾岱鸿副教授、田冷博士的支持与帮助；此外，大量前人的已有工作，包括各种著作与文章，是形成本书的最直接的资料，无论提到的还是未提到的引用文献，在此都表示感谢。

最后，也请允许我表达歉意，本书的题目较大，综合性太强，涉及的专题技术很多，本人的知识水平与阅历毕竟很有限，因此，不详、不准确甚至错误之处在所难免，敬请批评指正。

目 录

第一篇 综合篇	1
1 我国陆上油气开发技术现状	1
1.1 技术突破历程	1
1.2 处于世界领先水平的配套技术	2
1.2.1 陆相石油地质理论	2
1.2.2 大型非均质砂岩油田的开发理论与开采技术	2
1.2.3 渤海湾盆地复式含油气区滚动勘探开发技术	2
1.2.4 砂岩油田综合注水配套理论与技术	2
1.2.5 高含水油田化学驱油理论与技术	3
1.2.6 致密(低渗透)油气藏开发理论与技术	3
1.3 重大科技成就	3
1.3.1 聚合物驱后化学驱提高采收率技术	3
1.3.2 水驱油藏剩余油富集区预测技术	3
1.3.3 复杂油藏开发技术	3
1.3.4 复杂气藏开发技术	4
1.3.5 复杂结构井开发技术	5
1.3.6 节能型高效采油工程技术	5
1.3.7 非常规油气资源开发技术	5
2 中国陆上油气田开发技术需求及国内外优劣势对比	7
2.1 中国陆上油气田开发技术发展面临的机遇和挑战	7
2.2 中国油气业务发展对技术的需求	8
2.2.1 中国油气业务发展战略技术需求	8
2.2.2 中国油气业务面临的生产难题及技术瓶颈	10
2.3 国际陆上油气开发技术形势	11
2.3.1 发展现状	11
2.3.2 发展趋势	14
2.3.3 发展前沿	14
2.4 中国与国际先进水平的优劣势对比	15
3 超前储备技术评价	17
3.1 超前储备技术实现目标	17
3.2 超前储备技术评价原则	17
3.3 超前储备技术评价方法	17
3.4 超前储备技术评价结果	18

3.5 超前储备技术明细	19
4 超前储备技术战略对策	46
4.1 战略主体思想	46
4.1.1 石油勘探开发理论需转变	46
4.1.2 勘探开发对象的阵地转移	46
4.1.3 油气勘探开发更加重视环保	46
4.1.4 高新技术综合渗透到油气勘探开发	46
4.1.5 石油科技向能源科技的过渡	47
4.1.6 多学科交叉的生产与管理成为趋势	47
4.1.7 石油科技发展模式更新	47
4.2 战略发展目标	47
4.3 关键技术群	48
4.4 发展路线图设计	49
4.5 战略保障措施	49
4.6 2020—2030 年发展远景展望	51
第二篇 专项篇	53
5 岩性油气藏	53
5.1 岩性油气藏总体概况	53
5.1.1 国外岩性油气藏	53
5.1.2 国内岩性油气藏	53
5.2 岩性油气藏开发技术现状	54
5.2.1 高分辨率层序地层学理论	54
5.2.2 高精度三维地震技术	56
5.2.3 三维 VSP 地震技术	56
5.2.4 地震相干体技术	58
5.2.5 叠前地震反演技术	59
5.2.6 三维可视化技术	60
5.2.7 沉积微相分析预测技术	60
5.2.8 岩性圈闭含油气检测技术	61
5.2.9 微轻子油气探测技术	61
5.2.10 单井注水吞吐技术	62
5.2.11 微生物吞吐技术	63
5.2.12 CO ₂ 单井吞吐技术	64
5.2.13 井下人工地震驱油技术	65
5.2.14 复杂结构井技术	66
5.2.15 立体井网优化技术	67
5.3 岩性油气藏开发技术存在的问题	67
5.4 岩性油气藏开发技术发展趋势	68
5.5 岩性油气藏开发超前储备技术	68

5.5.1	高密度三维地震技术·····	68
5.5.2	陆上可控源电磁勘探技术·····	69
5.5.3	自动地震勘探技术·····	70
5.5.4	地球系统集成模拟技术·····	70
6	深层油气藏·····	71
6.1	深层油气藏总体概况·····	71
6.1.1	国外深层油气藏·····	71
6.1.2	国内深层油气藏·····	71
6.2	深层油气藏开发技术现状·····	72
6.2.1	深层油气地质理论·····	72
6.2.2	储层描述技术·····	72
6.2.3	应用高性能多元醇钻井液保护深层油藏·····	73
6.2.4	超深层稠油井筒渗稀降黏技术·····	73
6.2.5	精细注水开发技术·····	74
6.2.6	深层低渗透油藏压裂改造技术·····	74
6.3	深层油气藏开发技术存在的问题·····	74
6.4	深层油气藏开发技术发展趋势·····	75
6.5	深层油气藏开发超前储备技术·····	76
6.5.1	储层天然裂缝识别及分布预测技术·····	76
6.5.2	变黏酸酸压技术·····	76
6.5.3	天然气吞吐开发技术·····	77
6.5.4	泡沫压裂技术·····	77
6.5.5	液体火药高能气体压裂技术·····	77
7	碳酸盐岩油气藏·····	79
7.1	碳酸盐岩油气藏总体概况·····	79
7.2	碳酸盐岩油气藏开发技术现状·····	80
7.2.1	碳酸盐岩储层特征·····	80
7.2.2	缝洞型储层精细成像技术·····	80
7.2.3	钻加密井·····	81
7.2.4	水平井定向射孔技术·····	81
7.2.5	复合射孔、超正压射孔与压裂联作技术·····	81
7.2.6	酸化技术·····	82
7.2.7	注氮气·····	82
7.2.8	注烃气·····	82
7.2.9	火烧油层·····	83
7.2.10	聚合物驱·····	83
7.3	碳酸盐岩油气藏开发存在的问题·····	83
7.4	碳酸盐岩油气藏开发技术发展趋势·····	84
7.5	碳酸盐岩油气藏开发超前储备技术·····	85

7.5.1	多分支水平井技术·····	85
7.5.2	欠平衡钻井技术·····	86
7.5.3	乳化酸压工艺技术·····	86
7.5.4	二氧化碳驱油·····	86
7.5.5	微生物驱油·····	87
7.5.6	纤维增强转向酸化技术·····	87
8	高含水油藏·····	89
8.1	高含水油藏总体概况·····	89
8.2	高含水油藏开发技术现状·····	89
8.2.1	油藏精细描述技术·····	90
8.2.2	大孔道识别技术·····	92
8.2.3	深度调剖技术·····	93
8.2.4	复杂结构井采油技术·····	97
8.2.5	聚合物驱油技术·····	97
8.2.6	化学复合驱油技术·····	99
8.2.7	注气提高采收率技术·····	100
8.2.8	分子沉积膜驱油技术·····	102
8.2.9	井间地震技术·····	102
8.2.10	4D 地震技术·····	103
8.3	高含水油藏开发技术存在问题·····	104
8.4	高含水油藏开发技术发展趋势·····	106
8.5	高含水油藏开发超前储备技术·····	108
8.5.1	微生物驱油技术·····	108
8.5.2	泡沫复合驱油技术·····	109
8.5.3	轻质油注空气提高采收率技术·····	110
8.5.4	井下油水分离技术·····	110
8.5.5	纳米传感器技术·····	112
8.5.6	极大触及储层井 (ERC) 技术·····	113
8.5.7	水平井分支流入量灵巧控制技术·····	113
8.5.8	油田全智能化自控开发技术·····	114
8.5.9	储层千兆级网格模拟技术·····	114
8.5.10	智能流体变性技术·····	114
8.5.11	仿生井技术·····	115
8.5.12	光谱—纳米探测死油技术·····	115
8.5.13	微地震监测技术·····	116
8.5.14	井间电磁成像技术·····	118
8.5.15	高含水稀油热力采油技术·····	119
8.5.16	油藏全景虚拟现实仿真技术·····	120
8.5.17	智能完井技术·····	121

9	致密（低渗透）油藏	124
9.1	致密（低渗透）油藏概况	124
9.2	致密（低渗透）油藏开发技术应用现状	125
9.2.1	低渗透油气藏开发地质理论	125
9.2.2	启动压力梯度	125
9.2.3	油藏描述技术和优选富集区	126
9.2.4	欠平衡压力钻井技术	127
9.2.5	水平井及多分支井技术	129
9.2.6	水力压裂技术	130
9.2.7	水平井压裂技术	130
9.2.8	井网加密技术	131
9.2.9	早期注水保持地层压力	132
9.2.10	注气提高采收率技术	132
9.3	致密（低渗透）油藏开发存在的主要问题	132
9.4	致密（低渗透）油藏开发技术发展趋势	133
9.5	致密（低渗透）油藏开发超前储备技术	134
9.5.1	低渗透储层优质储集体预测技术	134
9.5.2	微观孔隙结构分析技术	134
9.5.3	CO ₂ 泡沫压裂技术	135
9.5.4	小井眼钻井技术	135
9.5.5	超前注水技术	136
9.5.6	层内爆炸增产技术	136
9.5.7	微生物采油技术	137
9.5.8	四维地震储层动态监测技术	137
9.5.9	智能蛇形钻井技术	138
9.5.10	连续油管分层压裂技术	138
9.5.11	水平井不动管柱水力喷射分段压裂技术	139
10	稠油油藏	140
10.1	稠油油藏总体概况	140
10.2	稠油油藏开发技术现状	140
10.2.1	渗流特征	141
10.2.2	蒸汽吞吐	141
10.2.3	蒸汽驱	142
10.2.4	稠油火烧油层技术	143
10.2.5	稠油热水驱技术	146
10.2.6	乳化降黏稠油开采技术	146
10.2.7	复合法稠油开采技术	147
10.2.8	其他方法稠油开采技术	147
10.3	稠油油藏开发存在的问题	150

10.4	稠油油藏开发技术发展趋势	150
10.5	稠油油藏开发超前储备技术	151
10.5.1	出砂冷采	151
10.5.2	蒸汽辅助重力泄油技术	154
10.5.3	水平井注气体溶剂萃取技术	155
10.5.4	溶剂萃取蒸汽辅助技术	156
10.5.5	重力辅助火烧油层技术	156
10.5.6	水平裂缝辅助蒸汽驱技术	157
10.5.7	CO ₂ 吞吐稠油开采技术	157
10.5.8	稠油声波采油	158
11	页岩油藏	161
11.1	页岩油藏开发总体概况	161
11.1.1	国外页岩油开发总体概况	161
11.1.2	国内页岩油开发总体概况	163
11.2	页岩油藏开发技术现状	163
11.2.1	地面干馏技术	163
11.2.2	抚顺式干馏炉	164
11.2.3	流化床式干馏炉	164
11.3	页岩油藏开发技术存在的问题	165
11.4	页岩油藏开发技术发展趋势	165
11.5	页岩油藏开发超前储备技术	165
11.5.1	地下转化工艺技术	165
11.5.2	射频 / 临界流 (RF/CF) 开采技术	166
11.5.3	电压裂工艺	167
11.5.4	地热燃料电池	167
11.5.5	ATP (Alberta Taciuk Process) 干馏工艺	167
12	低渗透气藏	169
12.1	低渗透气藏总体概况	169
12.2	低渗透气藏开发技术现状	169
12.2.1	低渗透气藏储层综合表征技术	169
12.2.2	低渗透气藏渗流机理研究	170
12.2.3	水平井、大斜度井技术	170
12.2.4	欠平衡钻井技术	171
12.2.5	低渗透气层压裂改造技术	171
12.3	低渗透气藏开发技术存在的问题	171
12.4	低渗透气藏开发技术发展趋势	173
12.5	低渗透气藏开发超前储备技术	173
12.5.1	气藏精细描述技术	174
12.5.2	小井眼技术	174

12.5.3	水平井技术	174
12.5.4	水力喷射分段压裂技术	175
12.5.5	地震振动采气技术	175
12.5.6	高低压分输技术	175
12.5.7	CO ₂ 泡沫压裂	176
13	产水气藏	177
13.1	产水气藏总体概况	177
13.2	产水气藏开发技术现状	177
13.2.1	优选管柱排水采气工艺技术	178
13.2.2	泡沫排水采气工艺技术	179
13.2.3	气举排水采气工艺技术	180
13.2.4	机抽排水采气工艺技术	181
13.2.5	电潜泵排水采气工艺技术	181
13.2.6	射流泵排水采气工艺	182
13.2.7	复合排水采气工艺技术	182
13.2.8	柱塞气举排水采气	182
13.2.9	单管球塞连续气举排水采气工艺技术	183
13.2.10	深抽排水采气工艺技术	183
13.2.11	天然气连续循环工艺技术	183
13.2.12	聚合物控水采气工艺技术	184
13.2.13	同心毛细管工艺技术	184
13.2.14	连续油管深井排水采气工艺技术	184
13.2.15	气体加速泵排水采气工艺技术	185
13.2.16	分体式柱塞气举排水采气工艺技术	185
13.2.17	井间互联井筒激动排液复产工艺技术	186
13.2.18	气藏排水采气技术	186
13.3	产水气藏开发技术存在的问题	187
13.4	产水气藏开发技术发展趋势	187
13.5	产水气藏开发超前储备技术	188
13.5.1	超声波排水采气技术	188
13.5.2	井下气液分离同井回注技术	188
13.5.3	井下排水采气工艺技术	190
14	凝析气藏	191
14.1	凝析气藏总体概况	191
14.1.1	国外凝析气藏开发总体概况	191
14.1.2	国内凝析气藏开发总体概况	192
14.2	凝析气藏开发技术现状	192
14.2.1	凝析气藏相态理论	192
14.2.2	凝析气藏渗流机理	194

14.2.3	凝析液伤害机理研究	195
14.2.4	凝析气藏试井及产能预测技术	197
14.2.5	凝析气藏开发方式	199
14.2.6	解除凝析堵塞和水锁主要技术方法	200
14.3	凝析气藏开发技术存在的问题	201
14.4	凝析气藏开发技术发展趋势	202
14.5	凝析气藏开发超前储备技术	202
14.5.1	凝析气藏注水开发技术	202
14.5.2	多相流体取样技术	202
15	高压气藏	203
15.1	高压气藏总体概况	203
15.2	高压气藏开发技术现状	203
15.2.1	高压气藏储层特征	203
15.2.2	高压目的气层钻进技术	204
15.2.3	不动管柱分层压裂工艺	204
15.2.4	高温高压阀门密封技术	204
15.2.5	远程平衡液动直接开井技术	204
15.3	高压气藏开发技术存在的问题	205
15.4	高压气藏开发技术发展趋势	206
15.4.1	发展高压气藏描述技术	206
15.4.2	探索集成南方地区高速优质钻井技术	206
15.5	高压气藏开发超前储备技术	207
16	含硫气藏	208
16.1	含硫气藏开发总体概况	208
16.1.1	国外含硫气藏开发总体概况	208
16.1.2	国内含硫气藏开发总体概况	208
16.2	含硫气藏开发技术现状	209
16.2.1	含硫气藏元素硫沉积理论	209
16.2.2	含硫气藏相态理论	211
16.2.3	含硫气藏硫沉积预测及解堵技术	211
16.2.4	含硫气藏渗流机理及数值模拟技术	212
16.2.5	含硫气藏腐蚀机理及防治技术	213
16.2.6	水合物防治技术	213
16.2.7	含硫气藏试井技术	213
16.2.8	含硫气藏储层酸压改造技术	213
16.2.9	含硫气藏大斜度井、水平井开采技术	214
16.2.10	含硫气井完井技术	214
16.3	含硫气藏开发技术存在的问题	214
16.4	含硫气藏开发技术发展趋势	215

16.5	含硫气藏开发超前储备技术	216
17	煤层气藏	218
17.1	煤层气藏总体概况	218
17.1.1	国外煤层气开发总体概况	218
17.1.2	国内煤层气开发总体概况	219
17.2	煤层气藏开发技术现状	220
17.2.1	渗流特征	220
17.2.2	煤层气水力压裂改造技术	222
17.2.3	煤层气多元气体驱替技术	223
17.2.4	煤层气定向羽状水平钻井技术	224
17.3	煤层气藏开发技术存在的问题	225
17.4	煤层气藏开发技术发展趋势	226
17.5	煤层气藏开发超前储备技术	227
17.5.1	煤层气水力压裂技术	227
17.5.2	煤层气二氧化碳压裂技术	227
17.5.3	注气开采	228
17.5.4	煤层气定向羽状水平钻井技术	228
18	页岩气藏	229
18.1	页岩气藏总体概况	229
18.1.1	国外页岩气藏	229
18.1.2	国内页岩气藏	229
18.2	页岩气藏开发技术现状	231
18.2.1	页岩气成藏机理	231
18.2.2	页岩气水平井技术	232
18.2.3	页岩气水力压裂技术	233
18.2.4	页岩气水平井分段压裂技术	233
18.2.5	页岩气重复压裂技术	234
18.2.6	页岩气同步压裂技术	234
18.2.7	页岩气裂缝综合监测技术	234
18.3	页岩气藏开发技术存在的问题	235
18.4	页岩气藏开发技术发展趋势	236
18.5	页岩气藏开发超前储备技术	236
18.5.1	页岩气水平井技术	236
18.5.2	页岩气藏压裂技术	236
19	水合物气藏	237
19.1	水合物气藏总体概况	237
19.1.1	国外水合物气藏开发总体概况	237
19.1.2	国内水合物气藏开发总体概况	238
19.2	水合物气藏开发技术现状	240

19.2.1	水合物气藏渗流特征	240
19.2.2	水合物气藏热开采法	241
19.2.3	水合物气藏添加化学试剂开采法	242
19.2.4	水合物气藏减压开采法	242
19.2.5	水合物气藏核辐射降解开采法	242
19.2.6	水合物气藏注 CO ₂ 置换开采法	242
19.2.7	水合物气藏固态开采法 (水力提升法)	243
19.2.8	天然气水合物抑制剂	243
19.3	水合物气藏开发技术存在的问题	245
19.4	水合物气藏开发技术发展趋势	246
19.5	水合物气藏超前储备技术	246
20	水溶气藏	247
20.1	水溶气藏总体概况	247
20.1.1	国外水溶气气藏开发总体概况	247
20.1.2	国内水溶气气藏开发总体概况	247
20.2	水溶气藏开发技术现状	248
20.2.1	水溶气基础理论研究	248
20.2.2	开采方法	249
20.3	水溶气藏开发技术存在的问题	250
20.4	水溶气藏开发技术发展趋势	250
20.5	水溶气藏超前储备技术	250
	参考文献	251

第一篇 综合篇

1 我国陆上油气开发技术现状

1.1 技术突破历程

中国自 1959 年发现大庆油田以来，油气产量由 1949 年的 $12 \times 10^4 \text{t}$ 达到了 2010 年的 $1.9 \times 10^8 \text{t}$ ，由贫油国上升到世界第四大石油生产国，即便是自 20 世纪六七十年代发展起来的海洋石油比重越来越大，但陆上油气储量及产量占全国总量都约为 80%，而且，在未来的发展中，陆上油气田高含水、低渗透、岩性、稠油等难开发储量仍将在未来持续发展中占有较大比重。

中国石油工业是伴随着油气勘探开发的基础理论与先进技术突破而快速发展起来的，总结科技发展可归结为 4 次较大的突破（图 1.1）。

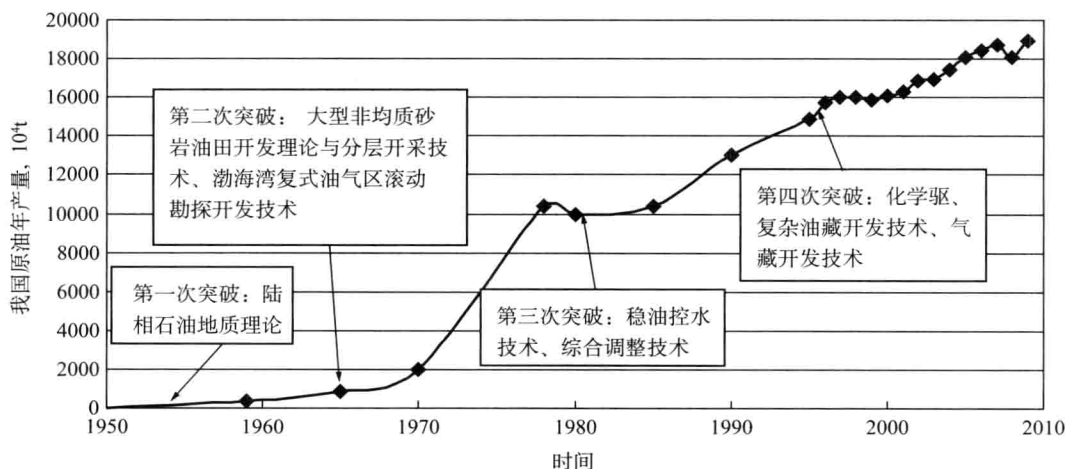


图 1.1 油气勘探开发科技对中国石油工业的推动作用

第一次突破是中国创建和发展的陆相石油地质理论，基于此理论中国在 20 世纪六七十年代先后发现大庆、胜利、大港、辽河、华北、中原等一批大型陆上油气田，为中国实现石油产量突破奠定了基础。

第二次突破有两大技术的突破，即“大型非均质砂岩油田开发理论与分层开采技术”和“渤海湾复式油气区滚动勘探开发技术”。前者实现了大庆油田的高产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 目标，后者确保了渤海湾大油田的高产开发。

第三次突破是针对大油田的高含水、难开采问题,其突破技术是稳油控水技术和综合调整技术。这使大庆油田在年产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 的水平上长期稳产,并以大庆为龙头,带动了许多高含水油田的持续稳产。

第四次突破集中体现在化学驱和气藏开发两个方面。1996 年聚合物驱在大庆油田规模化推广,一直到 2006 年转变为三元复合驱技术,使大庆油田稳产 $5000 \times 10^4 \text{t}$ 时间达到 27 年,并且为继续保持高产稳产做出贡献;进入 21 世纪后,随着气藏勘探开发技术的突破,天然气产量由 2000 年的 $250 \times 10^8 \text{m}^3$ 快速上升为 2010 年的近 $900 \times 10^8 \text{m}^3$,为由石油时代向油气综合战略时代稳步转变奠定了基础。

1.2 处于世界领先水平的配套技术

由陆上油气勘探开发突破历程,至 2010 年我国已经形成 6 项配套技术处于世界领先水平。

1.2.1 陆相石油地质理论

包括陆相沉积盆地形成机制及含油气区和盆地分类理论;陆相湖盆沉积理论;陆相盆地油气藏形成和复式油气聚集理论;陆相沉积地球化学和生油理论、低熟油理论、煤与煤系地层成烃理论等。形成了与世界海相生油及油气藏形成理论并列的石油地质理论体系,有效地指导了我国的油气资源勘探开发。

1.2.2 大型非均质砂岩油田的开发理论与开采技术

陆相沉积是我国陆上油气田的基本成因,在多年的开发实践中,形成了以细分沉积相为主要内容的陆相湖盆沉积理论、储层孔隙结构与评价方法、非均质油层水驱油机理与层内多相流体渗流理论,以及油层压力与能量平衡理论等。针对陆相油气田含油层系多,储层变化大,层间、层内和单层平面展布上孔隙结构存在很大差异,以及原油黏度、含蜡和凝固点偏高,油田原始地层压力低、天然能量小等特点,提出了早期、内部注水,分层开采等开发模式。

1.2.3 渤海湾盆地复式含油气区滚动勘探开发技术

渤海湾盆地复杂断块体油藏以多断陷、多断块、多含油层系和多种油气藏类型为基本特征,成为一个复式含油气盆地。在勘探开发的实践中,形成了滚动勘探开发理论与技术,对复杂断块油藏有很强的针对性和适应性,运用高分辨率地震勘探查明主要断层和构造断裂带的形态,采用油藏描述技术进行油藏早期评价,结合开发井网的设计布置详探井,不断深化对其地层特征的认识,在此基础上进行调整,逐步形成开发系统。

1.2.4 砂岩油田综合注水配套理论与技术

在陆上油田快速增产的过程中,针对砂岩油藏的高度非均质、低渗透、孔隙结构复杂、流体成分多样等特点,我国形成了以早期注水、分层开采、加密调整、化学驱等为主导的