

石油地质勘探技术培训教材

石油勘探 地下地质学

李德生
编著

石油工业出版社

070935

石油地质勘探技术培训教材

石油勘探地下地质学

李德生 编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面阐明石油勘探地下地质学的任务, 详尽说明收集资料的内容和技术, 以我国丰富的陆上油气田和国外海上油气田实例, 论述了采用包括计算机技术在内的各种新方法综合研究油气藏的分布规律, 实现油气田资源综合评价, 并介绍勘探阶段的综合成果——油气储量的计算方法, 最后概述系统工程方法在油气勘探中的应用。

本书可作为石油地质勘探技术干部进修培训的课本, 也可供有关教学和科研人员参考。

石油地质勘探技术培训教材

石油勘探地下地质学

李德生 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京燕华营印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 17³/₄印张 442千字 印1—2,500

1989年4月北京第1版 1989年4月北京第1次印刷

书号: 15037·2924 定价: 4.30元

ISBN 7-5021-0075-X/TE·75

前 言

《石油地质勘探技术培训教材》自1982年内部发行后,受到广大读者欢迎。当时共印一万套,很快就被读者全部订购。石油工业部石油勘探司和教材编委会陆续收到数百封来函、来电,给予较高评价,并迫切希望得到教材。根据读者要求和工作需要,经领导批准,石油勘探司决定,适当调整和加强编委会力量;在现有基础上,吸取各方面的有益意见,改进不足之处,补充新内容,删简修订,由石油工业出版社正式出版。

补充修订的原则是:

- 一、反映在石油地质理论上不断开拓新领域的进展情况;
- 二、反映当代石油地质勘探技术的新理论、新工艺、新方法;
- 三、列举国内外石油地质勘探技术的新成果;
- 四、满足现场工作者解决理论和方法问题的实际需要。

教材正式出版的宗旨是:

- 一、补充、更新现有石油地质技术干部的专业技术知识;
- 二、作为石油地质勘探技术干部进修培训的课本,同时也可作为教学、科研人员的参考丛书;
- 三、推动石油地质勘探事业的发展。

教材内容的选取,既照顾该学科的系统性和完整性,又保证它的先进性和实用性。这些书是编委会成员数十年工作、教学、科研经验的积累,也是石油地质勘探技术理论的结晶。希望能在发展我国石油地质勘探事业中起到应有的作用。

教材编委会的成员有:

郝石生(主编) 翁文波 陆邦干 胡朝元 李德生 陈发景 吴崇筠 王曰才 王鸿勋
张 恺 钱绍新 黄第藩 裘亦楠 应凤祥 刘和甫 陆克政 谭廷栋 尚作源 张一伟
贾振远 樵汉生 彭振南 沈修志 戴金星 戚厚发 陆基孟 赵激林 钟国森 曾文冲
欧阳健 何登春 朱恩灵 徐树宝 尚慧芸 李晋超 郭舜玲 陈丽华 缪 昕 成云芯
袁幼庸 王雪吾

教材编委会的学术顾问是阎敦实、翟光明、李国玉、查全衡同志。

北京石油勘探开发科学研究院、华东石油学院北京研究生部对教材编委会的工作给予了大力支持和帮助,谨致深切谢意。

编委会成员以业余撰写为主,加以时间仓促,水平有限,不足之处恳请读者批评指正。

石油工业部石油勘探司

1985年10月

序 言

石油勘探地下地质学属于应用科学。它运用地质学、地球物理学、地球化学、数学、油层物理学和油藏工程学等有关专业学科的原理和方法，来认识油气藏在地下的分布规律，指导探寻油气田的勘探活动。

新中国成立三十多年来，已发现和开采了许多油、气田，使我国原油年产量从1949年的十二万吨左右增长到近年的一亿多吨。我国自己的油、气田勘探实践活动，发展了我国的石油勘探地下地质学。本书参考了大量中国油、气田勘探开发的实际资料，可以部分地反映目前我国石油勘探地下地质学的水平。

本书可供我国石油地质工作者学习，对于从事石油勘探的教学和科研人员，亦具有一定的参考价值。

翁文波

1986年2月27日

目 录

前言

序言

第一章 概论	(1)
一、石油地质学的特点	(1)
二、历史的回顾	(1)
三、我国近代石油工业的发展	(3)
第二章 石油勘探地下地质学的任务	(5)
一、学科的专业分支	(5)
二、技术发展动向	(6)
第三章 钻井地质技术	(15)
一、确定井位	(15)
二、分井设计	(23)
三、资料收集	(30)
四、完井地质总结报告	(33)
第四章 钻井仪表和读数	(47)
一、钻井记录仪表	(47)
二、泥浆记录仪表	(51)
三、速度指示仪表	(54)
四、井斜测量仪表	(54)
五、综合录井车(房)	(56)
六、自动钻井控制仪表	(58)
七、各种记录图	(61)
第五章 井口录井技术	(63)
一、岩屑录井技术	(63)
二、砂样鉴定技术	(67)
三、岩屑录井草图的编绘	(74)
四、岩芯录井技术	(77)
五、岩芯切片和醋酸揭片技术	(87)
六、岩芯录井草图的编绘	(94)
七、碳酸盐岩潜山油藏的地质录井技术	(94)
第六章 地下地层和构造的解释	(105)
一、地层对比	(105)
二、各种地下地质图幅的编绘	(112)
三、用计算机对地下地质资料进行处理	(139)
第七章 油层评价研究	(155)

一、资料项目	(155)
二、录井资料研究	(156)
三、测井资料研究	(163)
四、油层对比与油层研究	(169)
第八章 我国陆上油田评价实例	(182)
一、老君庙油田	(182)
二、克拉玛依油田	(184)
三、大庆油田	(187)
四、胜坨油田	(193)
五、任丘油田	(192)
六、孤岛油田	(195)
七、北大港油田	(196)
八、辽河西斜坡油田	(198)
九、中原油田	(199)
第九章 海上油田评价实例	(201)
一、挪威埃科菲斯克油田	(201)
二、澳大利亚哈利布特油田	(203)
三、英国布伦特油田	(205)
第十章 油气储量计算	(209)
一、石油与天然气储量的命名和分类	(209)
二、美国的油气储量计算方法	(215)
三、中国的油气储量计算方法	(229)
四、海上油气田储量计算方法及实例	(245)
第十一章 石油勘探开发系统工程学	(253)
一、使用系统工程方法提高油气勘探开发工作的成效	(253)
二、早期预测油气藏范围	(261)
三、油田地质与油藏工程相结合	(263)
结束语	(272)
参考文献	(273)
附录	(275)
编后记	(276)

第一章 概 论

一、石油地质学的特点

迄今为止,人类的科学技术水平还不能用某种探测手段或采矿方法,直接找油、采油。油气资源是一种化石燃料矿产,它是在漫长的地质历史时期内有机质被堆积、埋藏、演化后形成的。石油和天然气都是流动的物质,现在我们发现的油气田,并不一定就是这些矿床生成的层位和位置。由于石油里溶有大量的天然气,并储藏在岩石的孔隙和裂缝中,因而排除了人类在地下直接采集这种液体燃料矿产的可能性。所以,对石油地质工作者来说,一方面要采用地质、地球物理和地球化学勘探的综合技术来摸索和探寻地下油气藏的确切位置;另一方面必须通过钻井的工艺技术,通过直径有限的钻孔取得少量直接的(岩芯、岩屑和流体)和大量间接的(地球物理测井、气测录井或测试)资料,进行钻井地质研究,提高各类井的成功率。在经过评价性钻探和详探工作之后,了解油气藏的地质构造和类型,含油气层的物理性质,地层流体(油、气、水)在地面条件下和油层条件下的性质,试油、试采和油层驱动能量,石油和天然气储量。根据这些资料制订出合理的油气田开发方案,以保证在完成开发井网的钻探和相应的矿区建设设施后获得较高的采收率。因此,石油勘探地下地质学是一门综合性的应用科学。要找到石油和天然气必须钻探井;要开采石油和天然气,更需钻大量开发井。地下地质技术贯穿在石油勘探和油气田开发的全过程。培养一支与钻、采队伍相适应的、既具有石油地质理论、又具有地下地质熟练技巧、并对观察和收集的各种资料具有综合分析能力的地质队伍,是我们石油地质勘探技术培训班的主要任务之一。

最近几年,我国石油工业每年要钻成各类井几千口,总进尺每年达千万米,钻井投资每年占石油工业总投资的40%。因此加强地下地质工作是明显提高经济效益的一项重要措施。

二、历史的回顾

我国早在公元前200年,就有文献记载发现了石油和天然气。《汉书》记载在陕西省北部延长地区发现了油苗。公元267年西晋《博物记》记载在甘肃酒泉发现了油苗。公元前三世纪在四川成都西南钻凿盐井的过程中,首先在临邛(今邛崃)发现了天然气。当时气井的直径约1.7米,井深10米左右。中国古代把天然气井形象地称为“火井”,利用天然气来加热卤水煮盐。1521年(明朝正德末年)在四川犍为一带用顿钻钻成了油井。到1815年,在四川自贡地区顿钻井井深度已达到800米,1840年达到1200米,钻开了三叠系嘉陵江组灰岩高压天然气层。随着钻井工艺的发展,我国在九百多年前就已经展开了钻井地质录井工作,用一种底部有皮凡尔的竹筒,称为扇泥筒,下入井中提捞泥浆和岩屑。有专职人员鉴别岩屑,划分地层。每口井建有“岩口簿”,是一种日志式的钻井地质记录。各井的岩口簿对岩层和标准层有统一命名。表1-1是清代剑州李榕著《自流井记》(1865年)中的“地中之岩”与现代地层名称和岩性命名对比。

古代“岩口簿”中对标准层的描述为:“凡井诸岩不备见,惟黄姜、绿豆必有之”。在

表1-1 历史记载和现代地层名称、岩性对比

“自流井记” 分层岩性	现代四川钻井地质分层岩性		
	系	层	岩 性
红 岩 瓦 灰 岩 黄 姜 岩 ^①	下侏罗统 自流井群	马鞍山粘土 郭家坳砂岩 东岳庙灰岩	红色, 紫红色砂质页岩 (Jr ¹) 浅灰色砂岩 黄色结核钙质泥岩 (Jr ²)
草 白 岩 黄 砂 岩 草 皮 火 青 砂 岩 白 砂 岩 黄 水 煤 炭 岩 麻 蓆 岩	上三叠统 香溪群	二峨山砂岩 尖山子砂岩 大岩洞页岩	灰白色砂岩 (T ₃ x ⁴) 灰色砂岩夹灰黑色页岩 (T ₃ x ²) 灰白色砂岩 香溪群内盐土层 黑色页岩夹煤层 (T ₃ x ¹) 黑页岩
黑 烟 岩 绿 豆 岩 ^② 黑 水	下三叠统 嘉陵江组		灰黑色页岩 (Tc ¹) 硅钙硼石绿色页岩 石灰岩内盐土层

①目前钻井地质沿用的自流井群内标准层。

②嘉陵江组内目前沿用的区域性标准层。

剖面中也记录了水层及煤层层位, 确定了天然气层位。

我国古代技师对构造轴线和裂缝规律亦有粗浅的地质认识。自流井为一短轴背斜构造, 北翼倾角10~15度, 南翼倾角30~40度。古代技师拟定火井井位时, 已知道用肉眼观察地层产状, 选择产状平缓、构造的轴线部位处布井。1956年四川石油管理局自流井专题研究队, 在一部分古老的气井和卤水井内进行裸眼井段电测, 同时根据绿豆岩标准层绘制了构造图, 看出古代盛产天然气的井, 均集中在构造轴线附近。两翼钻的井极少。

在古代的“岩口簿”中还记载有“立缝见火……, 横缝见水”。对石灰岩储集层中裂缝连通分布的关系, 古人用“通腔”来说明。为了验证两井之间的裂缝是否连通, 用“粗糠和水”的检查方法, 从一口井灌入, 看糠从另一口井产出, 以判别裂缝的走向。

为了开采嘉陵江组内的岩盐层, 古代技师发明了“于四十余眼盐井中, 只从一、二井专司灌水”的方法, 用淡水溶解岩盐, 而在相邻的井中采出浓卤水。

试气工作, 测试天然气流量以煮盐的“锅口”数来统计。有经验的技师, 根据一定直径(8.9厘米)管子(铁皮圆筒)的火焰高度来估算出全井的日产气量。1955年自流井专题研究队用流量计测定盐锅燃气量, 制盐半公斤需烧天然气0.354立方米。古代一口盐锅用天然气作燃料熬盐, 每日每锅十五公斤, 所需火力合天然气流量为10.6立方米/日。据历代自贡地区产盐量的详细数据, 估算出分井、分年和累计的天然气产量。

这些是几百年前, 我国技师从长期生产实践中所摸索出来的一套地下地质工艺技术, 虽很原始, 但颇为实用。

英国人李约瑟(Joseph Needham)认为, “今天在勘探油田时所用的这种深钻技术, 肯定是中国人的发明, 因为我们有许多证据可以证明, 这种技术早在汉代(公元前一世纪到公元一世纪)就已经在四川加以应用。不仅如此, 他们长期以来所应用的方法, 同美国加利福尼亚州和宾夕法尼亚州在利用蒸汽动力以前所用的方法基本上相同。此外, 在古代的四川, 已经利用从钻孔中冒出来的天然气来蒸发抽出来的或从别处流来的盐水。一千年以来,

这种技术丝毫没有传入其他文化地区的迹象。后来在阿拉伯的书中，曾有一、二处提到过这件事。不久，欧洲就在公元十二世纪成功地钻了第一批自流井。钻这些井所用的方法是否就是古代中国人所用的方法，现在还很难完全肯定。因为据我们所知，在以前，其他任何地方都没有出现过这种深钻的方法，所以几乎可以肯定，欧洲当时所用的就是古代中国所用的方法。这种技术，西方落后于中国的大致时间约有十一个世纪。

以上的记载，说明我国早期的技师、工匠对地下石油地质曾经有过相当长期的实践，积累了丰富的经验，在历史上达到过较高的技术水平。后来由于政治上和经济上的原因，我国古代的工艺技术，在近三百多年内，没有得到应有的发展。旧中国石油工业基础薄弱，清末（1905年）开办延长石油官厂，用顿钻打井，每年产油量只有几百吨。1937~1941年在四川隆昌圣灯山、巴县石油沟进行钻探，发现了气田，未正式开采。1937年新疆开发乌苏独山子油田，每年可采油几千吨。1939年发现玉门老君庙油田后，每年可采油几万吨。1949年新中国成立时，全国原油年产量为12万吨。当时只有四千多名石油职工，十几位石油地质家。勘探设备只有地质锤和罗盘，三架重力仪、磁力仪，一套轻便地震仪，十几台钻机。

三、我国近代石油工业的发展

新中国成立后，在中国共产党领导下，石油工业获得了显著的发展。五十年代扩大了玉门油田的开发和四川气田的开发，发现了新疆克拉玛依大油田和青海冷湖油田。六十年代在我国东部平原地区发现和开发了黑龙江省大庆特大油田和吉林扶余油田，接着又在渤海湾盆地内发现了山东胜利大油田和天津大港油气田，在湖北勘探开发了江汉油田。七十年代继续

表1-2 历年我国油气产量

年 份	年产油量 吨	年产气量 亿立方米	年 份	年产油量 吨	年产气量 亿立方米
1949年前累计	2 953 745	160	1967	13 87 6557	19
1949	120 901	0.1	1968	15 992 363	20
1950	200 416	0.1	1969	21 747 087	28
1951	305 668		1970	30 646 479	41
1952	435 559		1971	39 414 772	54
1953	622 257	0.1	1972	45 671 633	66
1954	788 913	0.5	1973	53 613 621	78
1955	966 096	0.6	1974	64 850 289	94
1956	1 162 987	0.7	1975	77 058 927	114
1957	1 457 824	1.3	1976	87 155 865	123
1958	2 264 954	1.9	1977	93 637 585	136
1959	3 733 674	4	1978	104 049 161	151
1960	5 212 684	11	1979	106 149 028	157
1961	5 313 576	16	1980	105 941 457	142
1962	5 745 734	14	1981	101 219 417	127
1963	6 477 815	12	1982	102 121 965	128
1964	8 471 072	13	1983	106 065 915	121
1965	11 314 740	16	1984	114 605 000	123
1966	14 541 668	18	1985	124 880 000	128
			1986	130 630 000	134

在渤海湾盆地扩大勘探成果，发现辽宁下辽河大油田，华北任丘大油田和河南南阳油田，中原大油气田，陕北延长油田的开发亦不断扩大面积并在甘肃东部地区开发了长庆油田。八十年代初在内蒙古发现了二连盆地油田。根据中央对外合作勘探开发近海石油资源的方针，我国近海大陆架的石油普查勘探和钻探作业已在渤海、南黄海、东海、珠江口、北部湾和莺歌海等六个海域全面展开，并已在许多构造上发现了高产油气流。对西部四大盆地（准噶尔、塔里木、柴达木、河西走廊）和南方滇、黔、桂海相碳酸盐岩分布区的石油普查勘探工作亦在稳步进展。由于克—乌大断裂逆掩断层推覆体内发现了新的含油层系，克拉玛依油田的勘探开发工作亦在重新活跃起来。

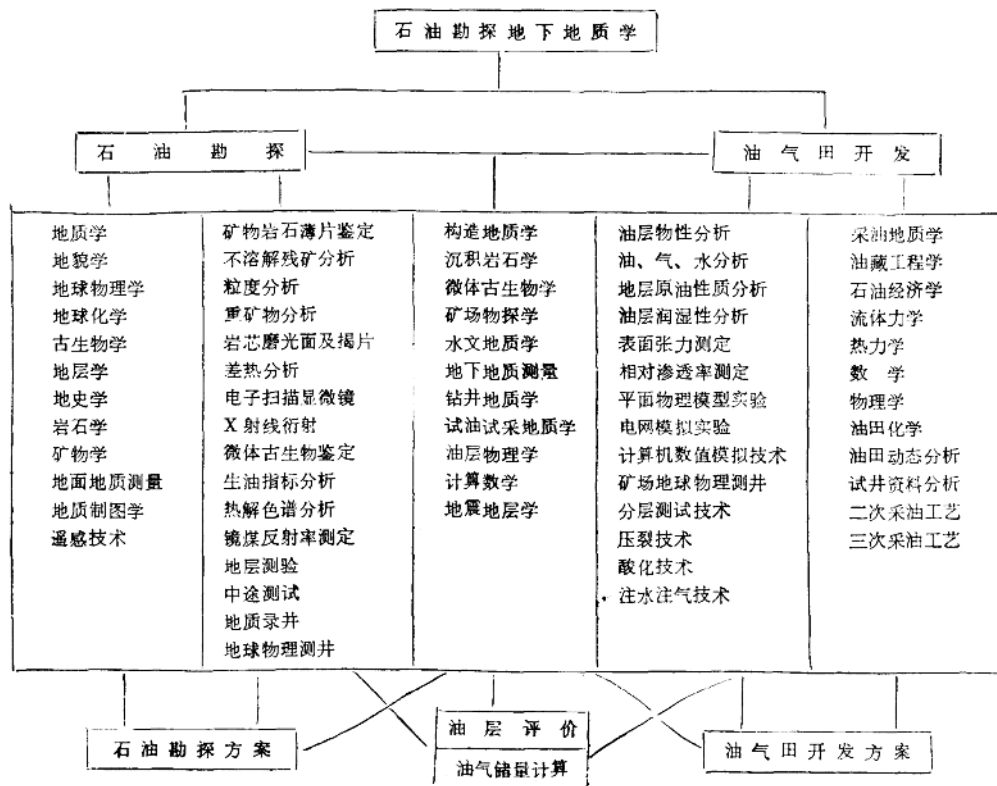
目前全国已投入开发的油气田共238个，其中油田160个，气田78个。历年来我国油气产量见表1-2。

第二章 石油勘探地下地质学的任务

一、学科的专业分支

石油勘探地下地质学是应用地质学的一个分支学科。这是一门在大量实践基础上发展起来的科学,根据石油地质的推论和建议,世界上每年要花费巨大的资金。钻凿几万口探井和开发井。每一口井的前提和结论对石油地质工作都是一次严格的检验。这种实践和认识的过程,一直在向前发展。但是由于地质学所研究的对象,其时间延续极长(经常以百万年作为单位),岩石的类型和经历的变动很多,范围和体积又很大,不象其他可以进行严格的重复性试验的科学那样,在相同的条件下可以再现,所以各种专业分支发展得愈多,愈快,石油勘探地下地质学所采用的综合方法和推理研究日益显示其重要性(表2-1)。

表2-1 石油勘探地下地质学与各专业分支的关系



近年来由于海上油气田勘探开发需要的投资大、成本高,石油勘探地下地质工作的重要性更加突出。

二、技术发展动向

我国含油气盆地的勘探程度尚较低,勘探的技术工艺尚未达到应有的水平。因此要针对每个油区的特点,发展地质新技术,物探新技术,钻井、测试新技术、测井新技术、开采油气田新技术和海洋开发油气新技术等,使我国的油气资源更快地被发现,更有成效地被开发利用。

1. 地质、物探技术发展动向

六十年代以前我们在西北和西南地区勘探含油气构造时,主要根据地面油气苗、地貌、地层倾角和构造产状确定井位。六十年代转战到东部覆盖地区勘探时,开始应用物探技术寻找构造圈闭。每个含油气盆地,背斜圈闭只聚集了一部分油气,其他相当一部分油气是聚集在非背斜圈闭内。因此随着勘探程度的提高,当一个盆地内新的构造圈闭难于发现时,往往有大量隐蔽圈闭要用物探资料、地层古生物和地下地质等综合勘探技术来发现,其中还可能有大型非背斜圈闭出现。

自七十年代以来,数字地震和数字测井技术有了很大的发展。石油工业部现有物探队近300个,其中地震队268个,重磁力队、电法队30个。地震队全部使用数字地震仪,地震资料全部实现了数字处理。对东部地区断陷—坳陷盆地的复杂地质结构由浅到深提供了许多新的认识。并从构造勘探逐步转向寻找各种复杂隐蔽的圈闭及地层岩性油藏。对构造十分复杂地区开展了三维地震试验工作,用自己的软件处理,初步掌握了三维技术。对地面条件比较困难的沙漠、戈壁、草原、山地和海滩亦加强了地球物理勘探。在东部开辟了二连、海拉尔、开鲁等盆地的物探普查工作。西部地区加强了塔里木、准噶尔、柴达木等大型盆地的物探工作,并开始大沙漠区的地震概查,还开辟了吐鲁番盆地、河西走廊和河套地堑等地区的地震普查工作。

1978年以来,资料解释开始注意向现代化物探解释和早期油气资源评价方面努力。解释工作内容除了传统的对比、定层、闭合技术外,又注意了地震反射波的振幅、频率、极性、丰度、结构、层速度和反射的连续性。提供的地质成果除查明构造外,并结合钻井、测井、重磁力等资料,进行地震相划分,作出沉积相、岩性的推断。对认识盆地演化史、沉积史,研究油气生成、运移、聚集条件,开展油气资源预测,提出评价意见等,都有新的提高。

测井工作是石油勘探地下地质学不可缺少的手段之一。我国石油工业应用测井技术已有四十多年历史,1942年在玉门油田用自制的半自动电测仪测得第一条电测曲线,为顺利钻开和开采L油层提供了资料。五十年代,我国引进苏联测井仪器。1958年自制的国产多线电测仪和放射性测井仪等投入了生产,为六十年代初期大庆油田的勘探和开发设计,提供了油层评价方面的重要数据资料。六十年代中、后期,又试制成功了侧向测井仪、声速、声幅测井仪。七十年代初期又试制成功了全自动连续色谱气测仪,切割式电动取芯器、电缆式地层测试器、双发双收声速仪、双侧向测井仪和补偿密度测井仪等。测井系列不断完善。七十年代后期我国引进了十套美国特莱赛公司的测井仪器。八十年代开始正在逐步引进法国斯伦贝尔公司的测井技术。测井信息不断增多,并日益向定量解释的数字测井技术方向发展。在全面实现数字化的基础上,应用电子计算机对数字磁带测井信息进行全面处理解释:由单井评价发展到多井分析;由油气水层解释发展到地质研究、储量计算和产能分析预测;应用高分辨率地层倾角测井信息研究构造、岩相和沉积环境;应用自然伽马能谱测井信息研究生油;应用

岩性-密度测井信息研究复杂岩性矿物组成；应用声波和密度测井信息合成垂直地质剖面，估算异常地层压力，应用数字测井信息研究地热。不断扩大测井信息的地质应用范围是当前测井技术的一个重要特点。

在地质勘探和物探技术方面和世界水平相比，我们还存在着不少差距。一是工作效率低，1982年石油部系统陆上地震队平均队年完成255公里测线，队年效率只及美国的 $1/3 \sim 1/4$ （七十年代后期，美国地震队平均队年完成600~700公里测线）；二是新仪器、新技术的研究工作薄弱，实现技术的“国产化”进展较慢；三是以地震技术为主，加强物探资料（包括地震、重力、磁力、电法）、测井资料、地质资料的综合应用研究尚不够，国外三维地震在海洋石油详探评价工作阶段已广泛应用，地震地层学除了区域地震地层学、定性地震地层学外，还较多地用高分辨率地震方法进行定量地震地层学解释，合成声波测井法与亮点法结合寻找地层圈闭，预测天然气存在和描绘含油层的分布范围等工作已广泛展开，计算机辅助解释如人机联作、终端、模型计算等已是常规工作，测井资料已全部数字测井化，可获得六十多种测井信息，这些对及时指导勘探，减少盲目性，成倍地增加地质效果与经济效益，日益显示其重要性。

2. 钻井、测试技术发展动向

我国是钻井、测试技术发展最早的国家。但近代的钻井、测试技术比不上发达国家。在钻井速度方面：美国1982年动用钻机3105台，钻井86933口，平均井深1432米，平均队年进尺40098米；苏联1979年动用钻机1084台，钻井6890口，平均井深2079米，平均队年进尺12291米；而我国1982年动用钻机677台，完井3884口，平均井深1830米，平均队年进尺9952米。我们平均井深虽比美国多400米，但队年进尺只是美国的24.8%；与苏联相比，平均井深少250米，但队年进尺为苏联的81%。美国路易斯安娜州平均井深2048米，全年钻井5441口，平均队年进尺为32433米，为我国3.26倍。美国钻成一口4500~5000米的井只需3~5个月，而我国平均需要14个月左右。苏联最深的井已达到13000多米，我国最深的井（四川关基井）为7175米。

在定向井、丛式井方面的差距也很大，美国Pool公司在墨西哥湾一个平台上，用三维法设计96口丛式井，目前已完钻22口井。美国的丛式井一个平台最大可控制面积30~50平方公里。澳大利亚一口定向井最大水平距离达4523米。美国Esso公司在加拿大Norman地区钻的一口定向斜井垂直井深489米，水平距离可达1407米，垂直深度与水平距离的比值达1:2.88。而我国目前陆地上一个平台最多只钻4口井，控制面积仅一平方公里，最大水平距离1010米（四川中坝47井）。我国海上二座平台每台设计28口丛式井，目前已完钻投产，每个平台控制油层面积为5.5平方公里，最大水平距离1600米（埕北油田A、B平台）。

先进的科学钻井法，使各种参数和设计已从定性分析发展到定量用电子计算机运算。录井资料基本上用先进仪器自动打字记录，数据齐全可靠，指导钻井设计和操作。根据岩石可钻性的数据选择钻头类型，根据地层矿物成分选择泥浆类型。根据地层孔隙压力及破裂压力确定套管程序和泥浆比重。在保护油层和录取地质资料上，已采用密闭取芯，压力取芯和超低比重泥浆（即泡沫泥浆），并开始推广随钻测井技术（MWD），井眼泥浆未侵入地层前取得测井资料 and 解释数据。

测试技术包括测定产层压力、温度、产层流体性质和产率，确定产层计算储量的参数和油藏边界。先进的工艺技术手段包括钻杆测试（DST），电缆地层测试（RFT）和系统试油，酸化压裂工艺措施等，我国目前已开始逐步推广。

3. 油气田开发、开采技术发展动向

美国历年累计共钻井288万口,发现各种类型的油气藏共3万个。目前共有生产井约54万口,年产原油4.3亿吨,年产天然气5675亿立方米。

我国历年累计仅钻井6万多口,目前共有投入开发的油田160个,气田78个,共有生产井和注水井约3万多口。因此我国提高油、气产量和获得更高采收率的潜力都很大。

我国油气田的开发、开采工作,经过三十多年来对陆上油气田各种储集层(包括砂岩、砾岩、石灰岩、白云岩、火山岩和变质岩)、各种深度(自井深数百米至四千米)和各种油气圈闭类型(包括构造圈闭、地层圈闭、混合圈闭和古潜山圈闭)油气藏的开发实践,已取得一定的经验。当前在已投产的油田中注水储量占开发储量的90%,由注水而采出的油量占总产油量的93%。在世界各主要产油国家中这个比例是高的。大庆油田在内部切割注水开发原则下不断改进注水开发调整工作,提高储量动用程度,在年产原油五千万吨的水平上已经连续稳产八年。其他油田的开发工作亦各具特色。有一批开发区,经过开发系统的调整,开采方式的改变和一系列井下作业增产措施的实施,开发效果得到改善。目前我国各油气田面临的任务是进一步提高油气田的开发水平,在深入细致地研究动态特征的基础上,结合油藏模拟研究,采取合理的开发措施,进一步提高注水开发采收率,并将现用的注水开发方法逐步与三次采油方法衔接,力争取得油气田开发最佳的技术经济效果和最大的采收率。

与世界上先进的开发、开采技术相比,我们主要有以下六个方面的差距:(1)油藏工程、数字模拟技术日益发展和完善,大型油田和比较复杂的油田采用比较复杂的三维模型,研究气或水锥进时,可以使用二维模型,研究加密井网时可以使用网格更细的模型。(2)储集层研究更加深入,油藏描述目前已从宏观方面向微观方面发展。岩芯分析和测井资料仍然是重要的基础和手段。随着数字测井技术的发展对油层参数如孔隙度和饱和度的解释已达到分米厚度级;自然伽马能谱测井的出现对判别自生矿物研究成岩作用提供了新途径;倾角测井技术已广泛用于研究古沉积环境,识别沉积相。(3)提高采收率的新技术(EOR)已广泛在油田上应用。目前主要是热驱、混相气驱和化学驱。热驱法特别是蒸汽吞吐和蒸汽驱已是成功的方法。世界各地用热驱法采出油量达每天50万桶。(其中美国占30万桶/日)。加拿大和委内瑞拉等国的重质油区都已完成了蒸汽吞吐的矿场先导性试验,正在设计工业规模的开采方案。油层燃烧法在罗马尼亚得到发展,已有三个油田和十三个矿场正在进行油层燃烧法开采。每年采油量约40万吨。注CO₂混相气驱法在美国克利斯耐得油田进行较大规模的矿场试验,目前在美国仍处于热潮,1982年用这一方法获得的油量为每日22000桶。化学驱法近年来发展较慢,研究廉价的活性剂和聚合物仍然是推广此法的关键。美国目前用化学驱法采出油量每日约4000桶。(4)注气技术重新引起了重视,在油质较轻的超高压油田,注气方法可以得到良好的效果,在亲水油藏中有束缚水存在时,倾斜油藏在重力作用下气驱油可以达到很低的剩余油饱和度。在已注水的油田内,水驱后残留在油层上部的油可以通过气驱继续排替。(5)对低渗透率油气层的增产已逐步具备有效措施。目前最有效的增产方法仍然是水力压裂。对于碳酸盐类储层加酸压裂更有效。为了使酸液在地层中延伸得更远,出现了多种乳化酸和胶化酸,还出现了泡沫酸。对低渗透层(特别是气层)使用巨型压裂极为成功。已经有了许多直接测量裂缝方位的方法。压裂液的配制可适应各种不同油气层的需要,对低压油层使用泡沫压裂液。用铝矾土和烧结氧化铝作为高强度的裂缝内的支撑剂,以代替普通的石英砂。(6)提高排量以适应注水油田开发后期含水比增长的需要是一个

很重要的措施。在解决各种机械抽油的泵设备的同时，还需研究合理的工艺以延长油井的免修期，国外在自喷开采期与机械抽油期之间，广泛应用气举法采油。

4. 海洋油气田勘探开发技术发展动向

近四十多年来海上石油勘探开发作业正在世界范围内蓬勃开展。据1979年统计，世界近海海底已探明的石油可采储量约为220亿吨，占当年世界石油探明总可采储量的24%；近海海底已探明的天然气可采储量为17万亿立方米，占当年世界天然气探明总可采储量的23%。

美国最早于1896年在加利福尼亚海滩钻井采油，以后转到墨西哥湾沿岸浅海区大量开发石油。苏联于1925年开始在巴库里海近岸钻井采油。近代化的全钢式钻井和采油平台创始于四十年代。以后由于中东波斯湾、西非尼日利亚、东南亚印尼和马来西亚、文莱等海上油气田在五十年代相继发现而进入活跃时期。六十年代，欧洲北海油田发现大量石油和天然气，由于北海海水深，风速大，海浪高等自然条件困难，海上油气田勘探开发的工艺技术亦相应进入一个新的发展阶段。海洋地球物理勘探广泛发展，以数字地震法测量为主，配合航空磁测法、船上磁测法和海底重力法勘探有利的含油气构造。自升式钻井平台适宜于在水深100米以内的海域钻井。半潜式钻井平台适宜于在水深300米以内的海域钻井。具备先进动力定位系统的钻井船，工作水深可达2400米。丛式定向钻井、多井筒完井技术已被广泛采用，并出现了海底完井技术。例如位于北海挪威海域的斯塔福约得油田A平台采用混凝土底座和钢结构平台，水深145.3米，从海底到平台顶端总高254.1米，全部结构物的重量达65万吨，设计钻井32口，（油井20口，注水井8口，注气井4口）井深2407~2834米，平台设计日产油量40000吨，年产油量1500万吨。位于北海英国海域的马格纳斯油田，海水平均深度187米，最深处达200米，7口评价井采用海底井口完井法，另在油田中部建一座钻采平台，为一座庞大而复杂的全钢结构物，高达300米，总重量75000吨，设计钻15口生产井和7口注水井，日产油量15900吨，年产油能力为500万吨。最近，国外海上油田的开发继续向水深超过300米的领域发展。已经出现有适于450米水深的固定平台和张力腿平台以及带储油装置的平台等，并进行深水输油管道设计和横跨地中海的洲际管道工程。

我国自1963年开始在海南岛西南的莺歌海进行海上地球物理测量和钻井。1967年在渤海湾钻海1井获得工业油流；1977年在北部湾钻湾1井获得工业油流；1979年在莺歌海钻湾9井获得工业油流；同年在珠江口钻珠5井获得工业油流；1983年在东海钻平湖1井获得工业油气流。目前中国近海大陆架海底石油资源的勘探和开发工作已在渤海、南黄海、东海、珠江口、北部湾和莺歌海等六个海域全面展开。展望二〇〇〇年时，我国将有数十个海上油气田投入开发，将具有相当规模的生产水平。根据中央对外合作勘探开发近海石油的方针，有效地、合理地利用外国石油公司的资金和技术，将使我国海洋油田勘探开发的技术水平较快地向世界先进水平接近。

5. 石油勘探理论水平的提高

石油勘探地下地质学研究油气生成、运移、聚集规律，油气藏的形成与分布规律，储集层的沉积模式及其岩石物理性质，是一门综合性很强的应用科学。随着对油气能源的需求与世界范围内大规模的石油勘探和开发实践，近代石油勘探理论水平的提高包括以下十个方面：

1) 勘探新领域、新概念

世界上大约有600个有希望的含油气盆地，其中160个盆地盛产石油和天然气，属于高勘探程度；240个盆地属中等勘探程度和部分进行过勘探工作；其余200个盆地仅进行过少量勘

探工作或尚未进行勘探工作。

(1) 对于高勘探程度地区着重讨论“老区重新评价和老区的重新勘探工作”。其一是强调应用地层及岩相古地理方法在老区寻找非背斜型油气圈闭。如美国俄克拉荷马州和苏联乌拉尔—伏尔加油气区,非构造油气藏数量约为构造油气藏数量的3.5倍,其规模以中小型油气田为主,也能形成大型油气田。其二是强调不整合面对油气聚集的重要意义。在拉张型的含油气盆地内,不整合面下的倾斜断块—潜山油气藏在北海盆地,利比亚锡尔特盆地和中国渤海湾盆地,已成为一种重要的地层—构造混合圈闭类型。其三是在复杂的逆掩断层带找油找气有了突破。如美国西部落基山脉发育有一系列低角度断面向西倾,变形的古生界及前寒武系向东逆冲推复到中生界之上。在怀俄明州已找到19个油气田,储集层为三叠—侏罗系的纳吉特砂岩,圈闭都分布在逆掩断层上盘的背斜圈闭中。美国东部的阿巴拉契盆地开采石油和天然气已有一百多年历史,但直到最近几年美国地质局的几位地质家和地球物理家提出,规模巨大的逆掩断层带将前寒武纪兰岭和山麓带向西推移达160公里,其下伏地层为阿巴拉契盆地东坡的古生代沉积区,仍为勘探油气的有利地区。近年来已在下伏的志留系和泥盆系砂岩中产气。美国西部和东部这二条绵延数千公里的逆掩断层带将成为将来美国的新的油、气产区。我国新疆沿克拉玛依—乌尔禾逆掩断层推复体上下盘已在石炭系内产油,正在引起我国石油地质工作者对我国西部一系列逆掩断层带重新评价和重新勘探的关注。

(2) 新区勘探范围越来越广,不断取得重大的勘探成果。从阿尔及利亚、利比亚到埃及的西奈半岛,中东地区的二叠纪哈夫地层已经获得高产气流,因此中东地区的深层勘探极有前景。加拿大的拉布拉多沿岸,博福特海地区和麦阿努尔三角洲地区都在开展石油勘探工作,苏联西西伯利亚和北冰洋地区的喀拉海、拉普捷夫海和东西伯利亚海是含油气极有利地区,挪威亦在北部大陆架斯匹次卑尔根岛附近海域进行物探和钻井工作。阿拉斯加北坡的大陆架亦已开始工作。尽管高寒条件不利,但由于水浅,面积广,认为北冰洋地区具有很大的油气前景。亚洲—太平洋亦是目前勘探活跃的地区,包括澳大利亚海上大陆架,印度尼西亚西北爪哇盆地,泰国湾,印度孟买近海盆地,中国沿海大陆架,马来西亚盆地,新西兰北岛和南岛东部沿海等。南美北部加勒比海大陆架,阿根廷麦哲伦盆地,特别是墨西哥雷佛尔玛—坎佩切湾油田自七十年代以来共发现四十个高产油田,储集层为上侏罗统、白垩系石灰岩、白云岩(陆上)和下第三系底部角砾岩(海域),探明可采储量达64.2亿吨,其发展速度极快,勘探成效极高。

2) 油气储量的增长

根据美国地质局的统计和预测:1983年1月1日,全世界累计采出原油约640亿吨,已探明的剩余可采储量约1030亿吨。用概率法估算的未被发现的可采储量为460~2020亿吨,中值为790亿吨。世界最终潜在采油量可望达到2460亿吨。在2030年以前,保持目前原油的开采速度和供需关系,从资源条件来讲是可能的。

1983年1月1日,全世界累计采出天然气371800亿立方米,已探明的剩余天然气储量约为903300亿立方米,远景储量预测为1438800亿立方米。世界天然气总资源量约为271万亿立方米。按目前每年消费天然气15800亿立方米计算,已探明的天然气储量可维持到2040年,总资源量可维持到2131年,比原油资源的情况为好。

3) 高比重稠油资源的利用。

过去在世界原油储量统计中,比重大于0.95的都未列入。在委内瑞拉、加拿大、美国、苏联、中国和亚澳地区都有大量浅层稠油和高比重原油存在,资源量很大,近年来正在进行