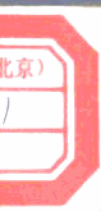


世界石油科技 发展趋势与展望

傅诚德 刘振武 主编



石油工业出版社



PDG

前 言

52458/14

新中国建立以来，特别是改革开放以来，我国陆上石油工业不仅在生产建设方面已跻身于世界产油大国的行列，而且在科学技术方面也创造了为国际石油界和国内科技界所瞩目的重大成就。“九五”期间，正处于新旧世纪之交，陆上石油工业也进入了一个新的发展时期，国内外新技术革命蓬勃发展，世界各大石油公司都在加紧调整自己的科技发展战略，努力占领前沿技术阵地，广泛应用最新科技成果增强自己的竞争实力以减少风险、提高效益。当前陆上石油工业面临的形势和任务十分艰巨，石油生产建设发展对科技进步的依赖程度比以往任何时候都更加迫切重要。无论从解决当前石油企业生产经营的困难，还是从陆上石油工业长远发展看，都需要紧紧依靠科学技术进步，充分发挥科技第一生产力的作用。为了使广大的领导干部、科技人员和石油职工及时了解和掌握国内外石油科技发展趋势和发展动向，以及各阶段主体技术对生产、经营活动的重大促进作用，根据中国石油天然气总公司领导同志的指示，由科技发展局牵头组织有关石油企事业单位的专家、教授共同编写了此书。全书分上、下两篇，上篇包括总论、石油地质勘探、地球物理勘探、测井、钻井工程、天然气勘探开发和油气勘探开发计算机应用；下篇包括油气田开发、地面工程、石油机械设备、炼油工程、天然气及轻烃综合利用、石油工业环境保护。

本书力求采用最新的资料，并要求史实、数据准确，但由于涉及的专业面广，不免有不妥之处，敬请读者指正。

目 录

上 篇

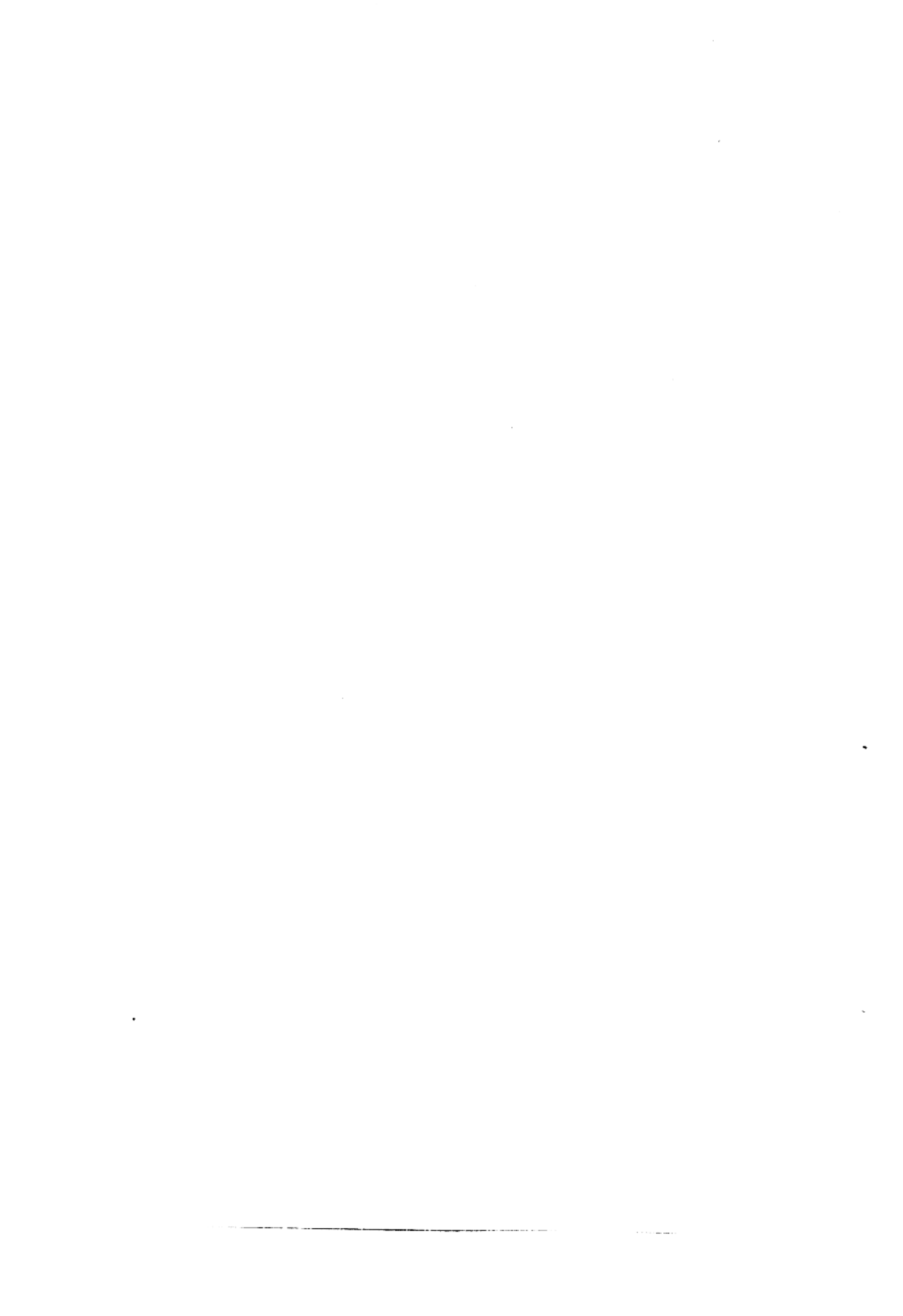
总论	(3)
一、世界石油科技发展趋势及对生产的推动作用	(3)
二、主体技术对推动经济发展起到决定性作用	(5)
三、美国 1996 年~2000 年亟待发展的重大技术	(10)
四、石油工业上下游主要专业学科国内外发展趋势及对比	(12)
石油地质勘探	(33)
一、石油地质理论发展态势	(33)
二、石油地质研究新技术和新方法	(40)
三、油气勘探工程技术和方法	(45)
参考文献	(49)
地球物理勘探	(53)
一、在用在研技术	(53)
二、试验研究技术	(65)
三、探索性课题	(68)
四、国内外物探技术对比	(69)
五、几点建议	(71)
石油地球物理测井	(73)
一、石油地球物理测井技术发展态势	(73)
二、石油地球物理测井技术发展水平评价	(79)
三、我国测井技术在中近期的优选方向	(86)
钻井工程	(88)
一、引言	(88)
二、90 年代国内外成熟的钻井新技术	(88)
三、国内外成长期的钻井技术	(90)
四、国内外正在研究和开发的钻井新技术	(91)
五、国内外钻井技术发展的特点、意义及对比	(93)
六、国内外钻井液技术对比分析	(94)
七、国内外录井技术发展概况	(95)
八、建议	(96)
参考文献	(96)
天然气勘探开发	(98)
一、国内外天然气勘探开发技术发展现状与对比	(98)
二、我国天然气勘探开发技术发展建议	(113)

油气勘探开发计算机应用.....	(118)
一、国外发展趋势.....	(118)
二、国内发展现状.....	(123)

下 篇

油气田开发.....	(129)
一、国内外石油开发科技发展战略及战术调查.....	(129)
二、科技生产力“生命周期”理论研究.....	(141)
三、国内陆上石油开发发展科技生产力规划设计建议.....	(149)
参考文献.....	(159)
地面工程.....	(160)
一、概述.....	(160)
二、关键技术发展态势.....	(163)
三、分析与建议.....	(183)
参考文献.....	(186)
石油机械装备.....	(187)
一、勘探装备.....	(187)
二、钻井装备.....	(188)
三、油田开发装备.....	(193)
炼油.....	(201)
一、我国炼油技术发展现状.....	(201)
二、我国炼油技术与国际先进水平比较.....	(202)
三、分析与展望.....	(206)
天然气及轻烃综合利用.....	(209)
一、天然气综合利用.....	(209)
二、轻烃的化工利用.....	(224)
石油工业环境保护.....	(228)
一、概述.....	(228)
二、油气田生产废水深度处理的新技术、新设备.....	(229)
三、油田含油污泥和其他固体废弃物的处理及其资源化.....	(231)
四、溢流处理技术.....	(235)
五、石油加工和石化废水处理的新设备、新技术.....	(236)
六、气体净化及废气治理.....	(238)
七、国内外技术的比较.....	(239)
八、建议.....	(239)

上 篇



总 论

中国石油天然气总公司科技发展局 傅诚德 刘振武

一、世界石油科技发展趋势及对生产的推动作用

在世界范围内,近代石油工业技术约开始于19世纪中叶,但直到本世纪20年代由于没有出现能使石油工业飞速发展的石油技术,这段时间内石油工业发展进展不大。

本世纪20~30年代,由于重力、地震折射波和地震反射波等早期地球物理勘探方法的出现和使用,同时微古生物学、沉积学、地层学和古地理学等均被引入石油地质,加上背斜理论的指导,使世界石油工业发展产生了一个飞跃,世界原油发现率出现两个高峰:第一个高峰是在1925~1930年,世界年均发现原油近200亿bbl(约27亿t);第二个高峰在1935~1940年,年均发现原油300亿bbl(约41亿t)。这20年期间主要在美国、中东和委内瑞拉等地获得重大发现:美国原油发现率出现的两个高峰,尤其是30年代的重大发现使美国石油工业进入一个辉煌的时期;中东地区发现了布尔甘(可采储量99.1亿t)和基尔库克(22.4亿t)等9个原油可采储量大于1亿t的大型油田;委内瑞拉发现6个可采储量大于1亿t的大型油田。

40~50年代有八项代表性技术得到了发展和应用。40年代首次应用电测方法定量评价油气层,对多油气岩层中石油流动与分布有了深入了解,发明了石油乳化剂钻井泥浆,在墨西哥湾建成了第一个海上平台。50年代用磁带记录地震信息和非炸药震源,蒸汽法开采稠油,发展了海上油田的深水钻井、完井技术,广泛应用了注水开发技术。上述技术的不断发展和改进,以及在世界各地的广泛使用不仅使中东和委内瑞拉等地的勘探成果不断扩大,而且使前苏联等地获得了重大发现,使世界原油发现在1945~1960年保持了较高的水平,年均原油发现率为240~400亿bbl(33~55亿t)。中东地区发现18个可采储量大于1亿t的大型油田;委内瑞拉发现8个;前苏联发现了伏尔加—乌拉尔大油气区。

由于油田注水技术在世界各地得以推广使用,使油田采收率普遍提高了15%~20%,大幅度地增加了世界原油可采储量。

60~70年代是石油技术迅速发展时期,新技术不断出现,老技术逐步改进,新成果越来越多。

在石油地质理论方面,60年代诞生的板块构造理论被誉为地球科学的一场革命,促进了构造地质学的发展。应用板块构造理论能指导研究含油气盆地的成因机制,开展油区岩相古地理研究,推动油气成因理论的研究和油气藏形成及分布的研究。根据板块构造理论可对全球沉积盆地进行分类,分析大油气田与沉积盆地类型之间的关系,对盆地的含油气性和潜力进行预测。例如,一些地质学家曾根据传统的石油生成理论和板块学说预言,大西洋的拉布拉多海域和纽芬兰的大陆架、北格陵兰和加拿大的北部诸岛屿、澳大利亚的西北大陆等海域、太平洋西部和南部海域,都可发现巨大油气田。以后几十年的勘探成果证实了这一点,如加拿大沿岸含油气区、南美沿岸含油气区、中非裂谷系含油气区、澳大利亚西北大陆架含

油气区等等都是在板块构造理论指导下发现的。

在地震勘探技术方面, 60 年代出现的叠加技术和数字记录仪是石油技术史上的一次革命, 同时数字计算机也进入了石油行业, 数字数据处理中心替代了原来的模拟回放中心, 通过数字处理扩大了动态范围和通用性, 使地震剖面更加清晰, 更象地质剖面。

钻井技术方面发展了喷射钻井、定向钻井和优选钻井技术, 发展了 PDC 钻头和泡沫水泥固井技术。

在油田开发方面, 大型水力压裂技术的出现和蒸汽吞吐开采方法的广泛使用, 扩大了世界非常规油气资源领域。大型大力压裂技术使原来认为无开采经济价值或无法开采的致密砂岩油气成为有价值的一类资源; 蒸汽吞吐开采技术提高了稠油采收率。

这个时期起步的海洋石油技术进一步推动了世界石油工业的发展。建成了海上系泊采油系统, 可以在 500m 深水钻井, 在 100m 水深建成钻采平台, 也可以说, 海洋石油工业的发展是科技进步的产物。由于海洋勘探开发技术的产生和发展, 在世界油气勘探开发活动中, 海洋石油工业显示出愈来愈重要的作用。从 60 年代开始, 相继发现几个大的海上油气区, 如北海、美国墨西哥湾和中东海上油气区, 另外澳大利亚南部海域、东南亚地区海域、南美海域和北极海域都形成一定规模的油气区, 到目前为止全世界已经发现 1600 个海上油气田, 其中 222 个油气田的最终可采储量在 6800 万 t 以上, 10 个储量超过 10 亿 t 的特大型气田, 探明可采石油储量 200 亿 t, 占世界石油总储量的 1/3, 80 年代末原油产量占世界总产量的 25%。

总之, 60~70 年代是石油技术迅速发展阶段, 也是石油工业飞速发展时期, 世界原油发现率保持较高的水平, 年均发现率 270~410 亿 bbl (37~56 亿 t); 中东、美国等地区的勘探成果继续扩大, 中东发现 20 多个亿吨级的大型油田; 美国发现阿拉斯加大油气区; 前苏联发现西西伯利亚特大油气区; 还有几个海上油气区都是这个时期的产物。

80 年代以来, 世界石油科技又上了一个新的台阶, 一些新理论, 新技术, 特别是由多学科交叉产生的综合技术投入工业应用, 有力地推动了生产的发展。地质勘探方面发展应用了板块理论、层序地层学、计算机模拟技术、图形可视化技术和计算机网络技术; 地球物理方面发展应用了 24 位数模转换遥测技术、并行机及交互处理技术、叠前三维深度偏移技术、多波多分量技术、地震分辨率的试验成果已达到 2s 反射、主频 20~150 周以上的水平; 成像测井技术已全面推广应用, 下井仪器实现了组合化。新技术的应用使勘探效益逐年提高, 勘探成果保持了上升趋势。油田开发方面由于并行计算技术的应用, 大大加快了数值模拟计算的速度和规模, 水平井开采技术和三次采油技术研究有了新的发展。钻井工程方面发展了分枝井、小曲率半径水平井、连续管钻井和自动化钻井 (已钻成 12000m 的超深井, 水平井的水平位移已起过 8000m)。地面建设与油气集输方面发展了混相输送技术、旋流分离技术和 SCADA 系统, 集输流程密闭率达到 100%, 原油集输损耗率为 0.3%~0.5%。

石油科技是世界科技的重要一支。世界石油工业的发展在 30 年间跨越了三个阶段 (图 1)。

70 年代是规模取胜时代。世界石油公司主要为高的石油价格所驱动, 当时的地质对象相对简单, 只要扩大生产规模, 铺开新的摊子, 就能获得效益, 取得发展。

80 年代以来是成本取胜时代。原油价格由顶峰的每桶 34 美元一路泻落, 在 80 年代和 90 年代早期, 石油公司降低成本才能存活, 而降低成本主要是通过削减人数和紧缩投资来实现的。比如 1982 年, 美国石油工业雇佣员工 70 多万人, 之后的 13 年, 员工总数连年下

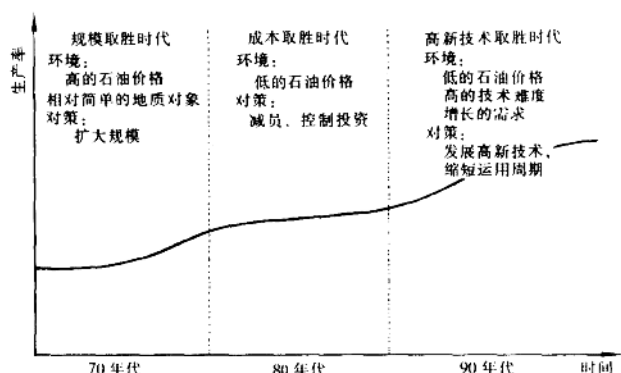


图1 国外石油公司近30年发展战略的变化

降了近60%直到降至1980年以前的水平。

90年代的今天进入了高新技术取胜时代。世界各石油公司的取胜与否已取决于驾驭新技术、缩短技术开发和应用周期、提高生产效率的能力。这是因为国际油价在能看得到的将来仍将维持低水平,而发现和生产剩余油气资源的技术难度日益加大,油气田发现的规模变小,储量的品质变差,新的发现大多位于环境恶劣地区,处于开发中后期油

田的稳产面临严峻挑战。另一方面,石油需求又有很大的潜力,石油公司具有很好的发展机遇,在低油价、少人头,更大的技术障碍和增长需求的环境下,规模取胜和成本取胜的战略已难以奏效,最根本的途径是高新技术。正如美国一家能源研究机构所述,谁能适应潮流,尽快占领高新技术前沿阵地,谁就能抢先“摘取挂得最低的苹果”。

二、主体技术对推动经济发展起到决定性作用

科学技术的发展经历了由量变到质变的跳跃发展过程(图2)。每一项技术的发展大体上都要经历4个阶段。第一是开发阶段即室内研究和新思路的构成阶段;第二是成长阶段,即室内实验、放大模拟试验、现场先导试验和工业性试验;第三是成熟阶段,即广泛应用,获得效益阶段;第四是衰退阶段,即技术老化,已不能解决新的问题,逐渐被下一代技术所替代。比如板块理论(图3)、含油气系统(图4)、盆地模拟技术(图5)、油气藏描述(图6)、层序地层学(图7)都有明显的周期。地震(图8)、测井(图9)技术大约10年一个周期,实现技术换代。表1、表2、表3分别为沉积—储层理论研究生油理论研究、成藏理论研究国内外发展水平对比。大庆油田的开发也是大约5~10年主体技术进行一次换代(图10)。

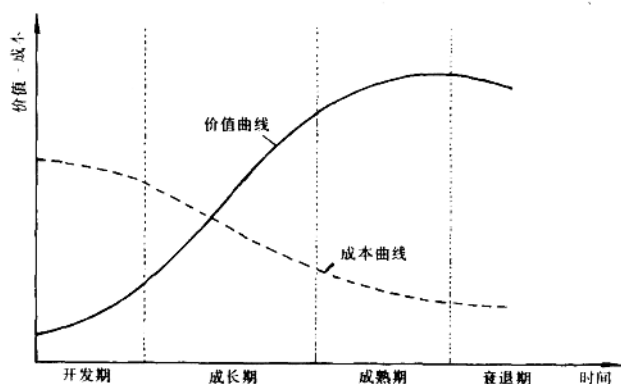


图2 技术生命周期理论

石油工业的上游技术发展从宏观效益上可分为三个发展阶段(图11)。石油工业上游的科技活动实际上是一个认识地质、油藏和改造地质、油藏客观实际的活

石油工业的上游技术发展从宏观效益上可分为三个发展阶段(图11)。

石油工业上游的科技活动实际上是一个认识地质、油藏和改造地质、油藏客观实际的活

动过程，而无论是勘探，还是开发，最基本的认识世界和改造世界的活动都是从采集信息、处理信息和解释运用信息开始的，从这一意义上讲，油田勘探、开发的实质是技术高度密集

表 1 沉积-储层理论研究国内外发展水平对比

发展阶段	形成阶段	成长阶段	成熟阶段	衰退阶段
国内	沉积	①测井沉积学； ②层序地层学	①断陷湖盆沉积模式； ②陆相岩相古地理研究； ③构造-岩相理论	
	储层	①特殊储层； ②低渗储层； ③次生孔隙带的横向预测； ④海相碳酸盐岩储层	①陆相碎屑岩储层； ②成岩作用研究； ③成岩演化模式； ④次生孔隙预测； ⑤煤系储层； ⑥陆相储层评价技术	
国外	沉积	①测井沉积学； ②陆相沉积理论	①层序地层学； ②海相沉积理论	
	储层	①成岩正演模型； ②特殊储层	①海相碳酸盐岩储层； ②层序地层学对储层的预测； ③低渗储层； ④成岩作用研究	

表 2 生油理论研究国内外发展水平对比

发展阶段	形成阶段	成长阶段	成熟阶段	衰退阶段
国内		①海相生油理论； ②煤成油理论； ③未熟-低熟油理论	①湖相有机质生油理论； ②煤成气理论； ③生物气理论	
国外	①未熟-低熟油理论； ②煤成油理论	①煤成气理论； ②湖相有机质生油理论	海相生油理论	

表 3 成藏理论研究国内外发展水平对比

发展阶段	形成阶段	成长阶段	成熟阶段	衰退阶段
国内	①含油气系统； ②二次运移流体与储层介质的相互作用； ③成藏动力学	①初次运移机理； ②油气藏保存与破坏； ③成藏过程综合评价； ④煤系成藏机理	①陆相源控论； ②陆相成藏综合分析； ③生物气成藏机理	
国外	①二次运移流体与储层介质的相互作用； ②油气藏保存与破坏； ③成藏过程综合评价； ④煤系成藏机理	①初次运移机理； ②含油气系统； ③成藏动力学	①油气运移理论； ②圈闭系统油气运聚机理	

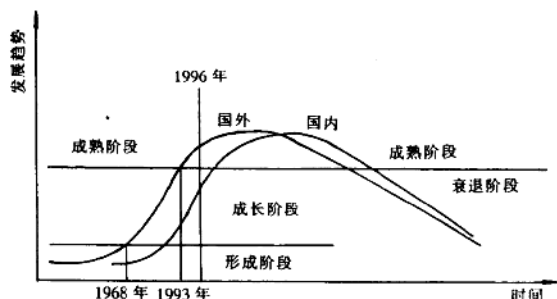


图3 板块构造理论与油气研究所处阶段的国内外对比

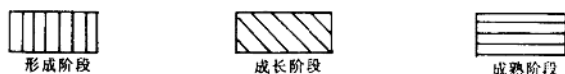
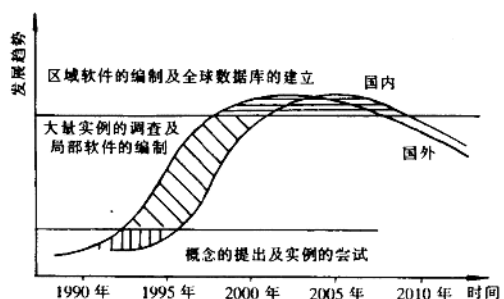


图4 含油气系统研究的国内外对比

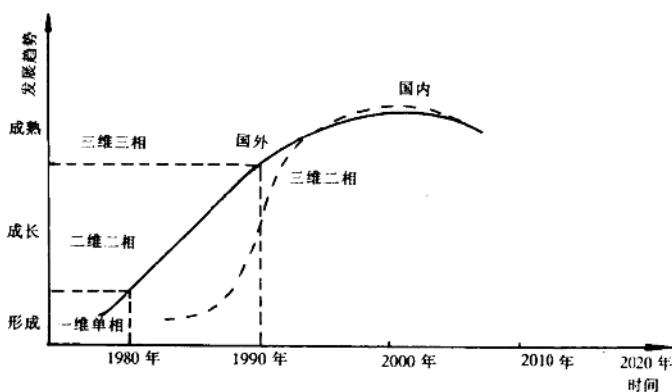


图5 国内外盆地模拟技术发展趋势

成为核心的，地质专家、地球物理学家和油藏工程师等组成多学科工作组，综合集成各种信

化的信息工程。油气储量是通过对地质信息的准确掌握而拥有的，油气产量是通过对油藏信息的及时监测控制而实现的。上游石油工业科技的发展始终是围绕着为勘探开发提供更好的信息采集、更科学的信息处理模型和方法、更合理的信息解释和优化控制而进行的。

石油工业上游科技的主体技术发展曾经出现了两次飞跃。第一次飞跃出现在50年代末期至60年代，以测井和2D地震为代表，其革命性的变化是计算机的引入将模拟信息的采集、处理、解释改变为数字信息的采集、处理、解释，由此而大大改善了对地下地质和油藏情况的解释。第一次飞跃到70年代进入高峰而转为平缓。在这之后，数字测井和二维地震技术仍在改进，而其科学实质已没什么变化。第二次飞跃是80年代早期的三维地震的引入，以3D油藏表征和模拟为这一时期主体技术的基本特点，从一开始3D地震的主要应用集中在对构造的更好的解释上，3D的技术还在改进之中，下个5年预计还会有重大进展，其重点将从主要集中在构造解释转向3D甚至4D的油藏表征和模拟上，这一转向是以数据的综合集

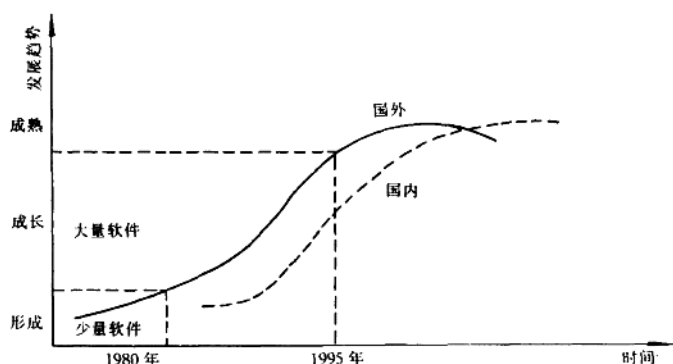


图6 国内外油气藏描述技术发展趋势

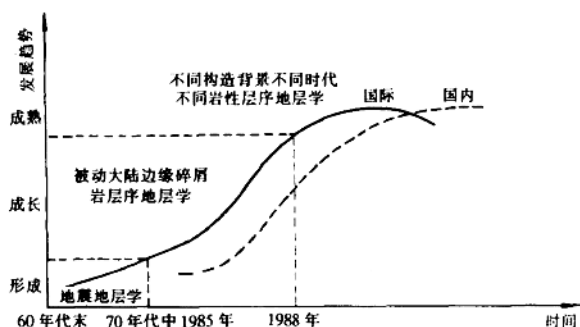


图7 国内外层序地层学发展趋势

息，尝试监测监控流体运动、油气水界面等来提高采收率。第三次飞跃正在开始。国外将这次飞跃称为 I^2 主体技术， I^2 是指在整个企业中通过发展和采用各种先进技术，做到“信息化乘以综合集成”。多年来，石油工业采用信息和集成技术，但大多是在各个专业自己的圈子里，有的只是把工作自动化，实质上并没有发挥大幅度提高效益的作用。

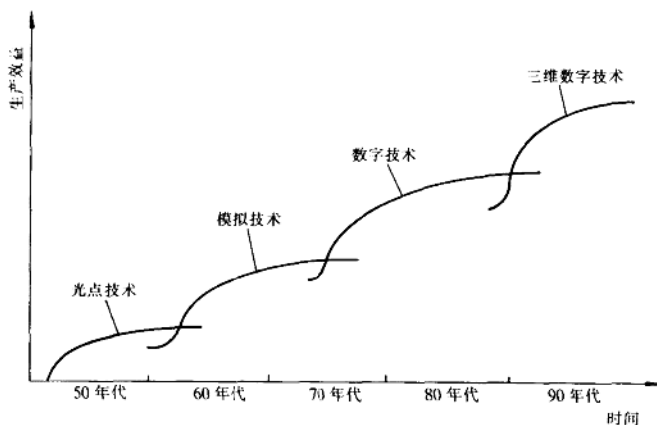


图8 物探主要技术发展趋势

信息化是非常必要的，但仅是信息化并不足以显著提高生产率。从另一角度来说，信息集成需要新的工作方式。信息集成意味着从企业组织各个部分，同时综合原始数据和信息，将不同人员的知识、技能和思想有机地集成起来，在较少的时间内做出更好的决策，能做到这一点的企业则可称之为 I^2 企业。 I^2 企业将是跨世纪的最具竞争力的企业。

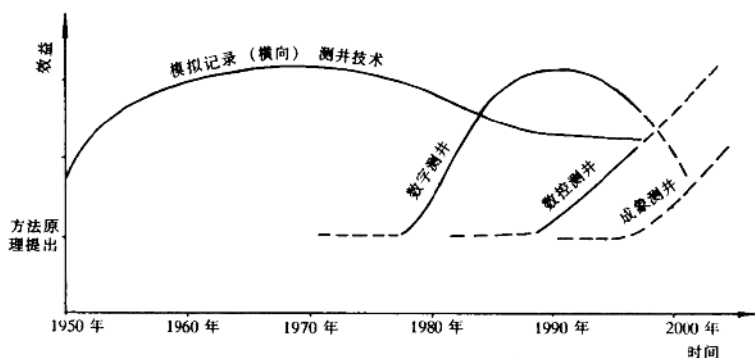


图 9 测井主体技术发展趋势

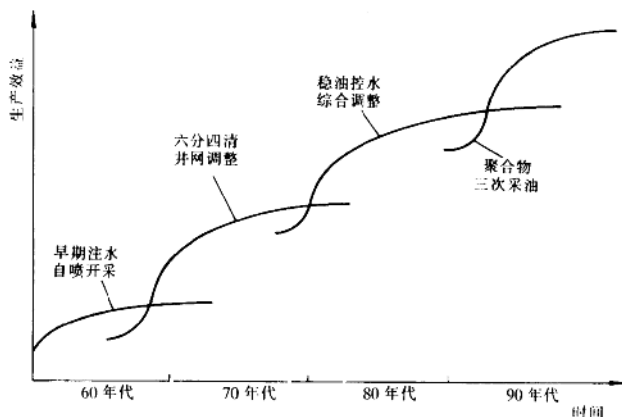


图 10 大庆油田主要开采技术发展趋势

国外提出了油公司实现 I^2 技术的四个基本步骤：第一，数据集成，即标准化、数字化的数据集成，这个层面的集成是机械式的，但这种集成是最基础的。只要考虑一下地震、测井的历史数据和每年都在以几何级数增长的新的数据量，就可以得出该集成所面临的技术挑战。第二，专业集成，国际石油公司的日益兴起的多学科工作组方式就是这种集成的表现。第三，部门集成，是更高层次、更大范围的跨部门、跨多学科的工作组方式的集成，如勘探部门油藏描述、油藏部门油藏表征、钻井部门钻井工程及装备部门装备计划集成。这种集成不是指各部门简单地在一个大办公室里工作，而是能在合理的分工下，打破部门界限，有机地共同运用新技术和共享信息成果；第四，企业集成，在市场竞争日趋激烈和技术飞速发展的今天，具有远见的石油公司，已在着手实现作为企业一个整体的集成，这种集成从时间上贯穿于油田生命周期的全过程，从层面上纵向、横向跨越管理、操作和不同部门，将技术和管理融为一体，对企业的资源实行优化配置，运用和发展新技术，采集、处理和解释信息，科学地、更迅速地做出优化决策，由此来实现效益的大幅度的增长。

上述步骤只有实现前面的，才有可能实现后面的，据估计，到本世纪末，75%的石油公司可以实现步骤一，50%可以达到步骤二，大约 30% 可以实现步骤三，而只有不到 20% 的油公司有可能达到第四步。以上步骤的实现，概念上是容易理解的，但操作起来的难度是非常之高的。国外有些公司，甚至把实现 I^2 技术战略和企业自身的重组结合起来，因为新

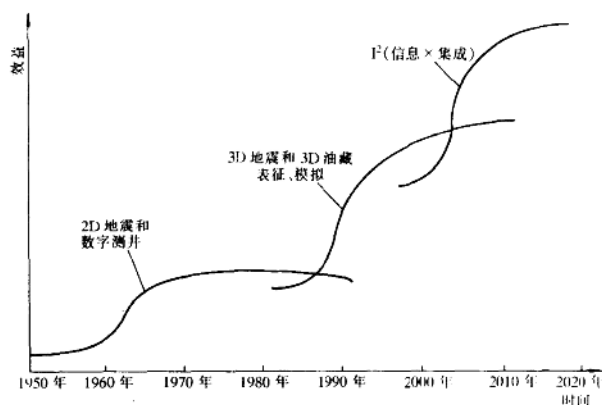


图 11 上游石油工业科技发展总体趋势

者认为，石油上游行业中，无效或低效的决策过程可占到整个决策的 15%~50%，平均 25%~30%，因而决策消肿有着两方面的重要意义，一方面是减少无效投入，另一方面是增大有效投入。而决策消肿的关键是发展高新技术。企业实现信息综合集成的 I^2 技术将给企业管理和决策的科学化提供新的技术支持。

I^2 技术的发展态势及思路值得我们高度重视。我们目前的技术素质、人员素质、装备水平离这种综合集成的要求相差很大，但将企业作为一个整体看待，实行技术的综合集成，适应国际油公司技术发展的总体趋势，对于增强中国石油天然气总公司在国际油公司中的地位 and 竞争力，显然是很重要的。

三、美国 1996 年~2000 年亟待发展的重大技术

1995 年，美国国家石油委员会 (NPC) 以“石油天然气工业对研究、开发和示范（简称 RD&D）的需求”为题组织了一项大型调查。共有 89 家公司对这次调查作了响应，其中大油气公司 17 家；其他综合油气公司 12 家；独立石油公司 40 家；服务公司 20 家。

响应调查的油气公司共拥有美国石油储量总炼油能力的 60%。确立了 11 个领域内的 250 项技术。11 个领域是：勘探、开发、钻井与完井、采油、海上深水钻探、北极区油气活动、石油加工与炼制、天然气加工、天然气采集、天然气储存以及环境与监控。

根据对石油工业的影响及其在短期内（1999 年底以前）商业化的可能性其中有 35 项技术（表 4）处于最优地位。这中间的绝大多数技术都非常可能在 2000 年前实现商业化生产。调查还表明，对其中某些技术进行研究、开发和示范的需求将持续到 2005 年。

一代的技术启动着新的企业重组，而只有企业进行适应新技术的改革，才能实现企业主体技术的换代，从这个意义上讲，新一代的技术比以往任何时候都更加要求把技术、管理、变革结合起来。 I^2 技术还可以提高领导者决策的科学性和准确性。

在即将进入新世纪的今天，国际石油公司逐渐摒弃规模制胜战略和成本制胜战略，而开始采用高新技术制胜战略。在前两个战略时代，石油公司通过人头消肿和投资消肿来提高效益，这种对策到目前已经用到了头，那么在进入技术制胜战略时代，还能消什么肿来提高效益呢？国外油公司提出了“决策消肿”的新概念。通过对部分高层石油公司管理者的调查，这些管理

表 4 20 世纪末 ~ 21 世纪初石油工业优先需求的 35 项技术 (陆上 26 项)

领 域	技 术 需 求	作出响应的企业数
勘探	高分辨率地震数据成像	51
	先进的地震采集技术	46
开发	计算机三维地质模型	45
	开发地震应用技术	43
	过套管测井技术	50
	渗透率测井技术	46
	先进的压裂技术	49
钻井与完井	油井产能	47
	强化增产技术	53
采油	近井增产技术	49
	新的定向钻井技术	43
	先进的天然气回收技术	39
	延伸钻井采油技术	20
海洋深水	出油管线	12
	油量计量技术	13
	水下设备	15
	立管	14
	钻井技术	20
	修井技术	11
	水合物预防技术	11
	多级泵	11
	开发技术	7
北极地区	钻井技术	10
	选择性好寿命长的催化剂	22
石油加工与炼制	工厂与工艺的可靠性	19
	工艺过程的能源效率	21
	设备的能源效率	19
	分离技术	14
	炼制重质原料油的新方法	10
	新烃燃料组分的性能特征	10
	新烃燃料组分的环境特征	14
	压缩技术	30
天然气集输	气藏管理	11
	死库容最小化技术	9
环境与监测		

四、石油工业上下游主要专业学科国内外发展趋势及对比

“八五”期间,世界石油科技上了一个新的台阶,一些新理论,新技术,特别是由多学科交叉产生的综合技术投入工业应用,有力地推动了生产的发展。地质勘探方面发展应用了板块理论、层序地层学、计算机模拟技术、图形可视化技术和计算机网络技术;地球物理方面发展应用了24位数模转换遥测技术、并行机及交互处理技术、叠前三维深度偏移技术、多波多分量技术。地震分辨率的试验成果已达到2s反射、主频20~150周以上的水平;成象测井技术已全面推广应用,下井仪器实现了组合化。新技术的应用使勘探效益逐年提高,勘探成果保持了上升趋势;油田开发方面由于并行计算技术的应用,大大加快了数值模拟计算的速度和规模,水平井开采技术和三次采油技术研究有了新的发展;钻井工程方面发展了分枝井、小曲率半径水平井、连续管钻井和自动化钻井,已钻成12000m的超深井;地面建设与油气集输方面发展了混相输送技术、旋流分离技术和SCADA系统。集输流程密闭率达到100%,原油集输损耗率为0.3%~0.5%。无铅汽油达到100%,CE级柴油机油已占50%,溶剂油品种多达700多个。石油科技上下游主体技术的国内外对比表明(表5),我们的多数主体技术仍然与国外存在5~10年差距。

表5 国内外石油工业上下游主要专业学科发展趋势及对比表

领 域	大 专 业	系统专业
油气勘探	油气地质理论	成盆系统; 成烃系统; 成藏系统
	油气地质研究方法与技术	资源评价; 烃源岩与储层评价; 实验方法
	油气勘探工程技术	地震勘探; 测井; 钻井; 测试
油气田开发	油气田开发应用基础理论	开发地质; 油藏工程; 采油工程
	油气田开发应用技术	注水开发; 低渗透油藏开发; 稠油开采; 气藏开发; 油藏描述; 数值模拟; 压裂; 水平井采油; 物理化学采油
	地面工程	地面工程
	炼油	炼油
石油天然气加工与利用	天然气化工	天然气化工
	轻烃利用	轻烃利用

(一) 油气勘探

1. 油气地质理论

油气地质理论主要由成盆系统、成烃系统、成藏系统三部分组成,成藏系统是核心理

表6 石油地质勘探理论国内外发展水平对比

年代	50年代	60年代	70年代	80年代	90年代	21世纪展望
应用	槽台说(固定论); 生物地层学; 背斜说找油	板块构造学; 磁性地层学; 沉积体系理论	板块构造学; 地震地层学; 分子地球化学; 干酪根热降解生油理论; 年代地层学	盆地分析模拟; 层序地层学; 盆地定量有机地球化学; 储层预测技术; 以五项计算机技术为基础的勘探评价系统	含油气系统理论; 高分辨率层序地层学; 盆地分析模拟; 储层预测技术; 以五项计算机技术为基础的勘探评价系统; 多学科(数据库)综合	全球地球科学数据库与综合研究系统; 四维地质模拟
研究				多学科(数据库)综合; 含油气系统理论	石油勘探开发软件平台; 全息地层学	
应用	槽台说(固定论); 背斜说找油陆相生油理论	地质力学; 槽台说(固定论); 背斜说找油陆相生油理论	地质力学; 块断构造学; 地洼说; 古潜山找油; 复式油气聚集理论	板块构造学; 地震地层学; 干酪根热降解生油理论; 滚动勘探开发; 煤成气理论	板块构造学; 盆地模拟、圈闭分析评价技术、 油气描述技术; 层序地层学; 储层预测技术; 煤成气理论; 低熟油理论	高分辨率层序地层学; 多学科工作组; 四维地质模拟; 盆地定量有机地球化学
研究				盆地分析模拟; 油气资源评价	以五项计算机技术为基础的勘探评价系统; 含油气系统理论; 油气藏定量模式	