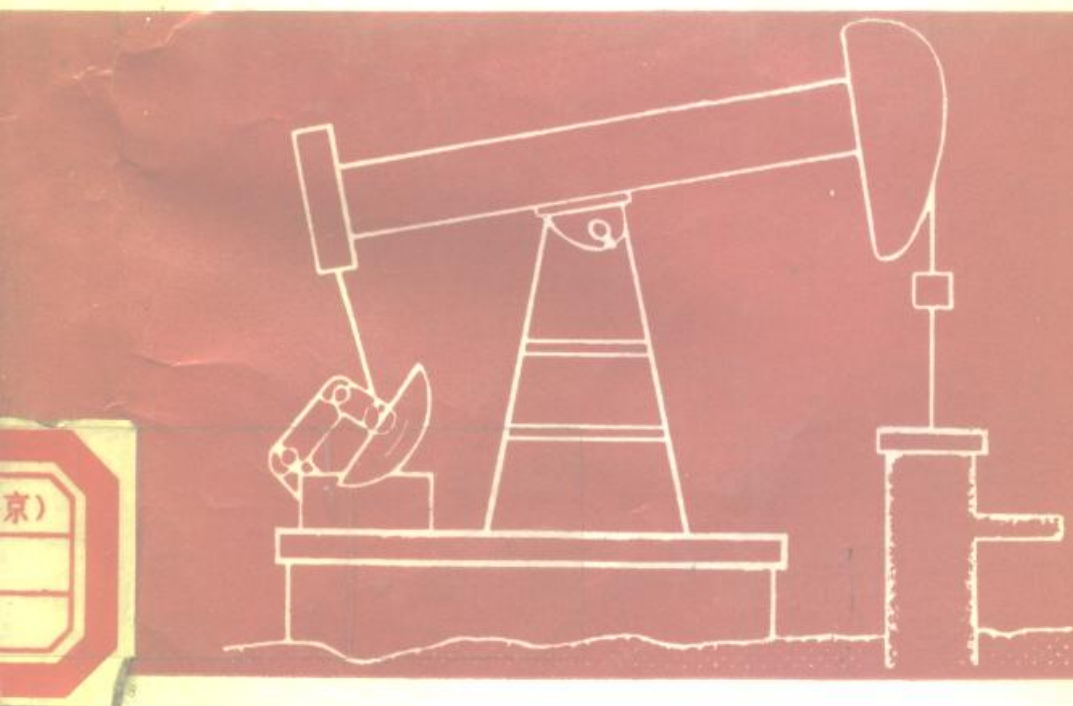


石油知识丛书

石油开采

潘景为 编著



石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书着重介绍了石油开采方面的基础知识及石油开采技术的发展。内容包括油田开发方案的编制、钻井、采油、各种采油工艺技术、油气集输技术以及提高油田采收率技术等,还简要地介绍了海上钻井技术。全书分为6章,配以必要的图幅,是一本普及石油开采知识的通俗读物。

石油知识丛书

石 油 开 采

潘景为 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)

北京门头沟妙峰山印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本47/8印张 103千字 印1—1,500

1992年3月北京第1版1992年8月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0750-9/TE·709

定价: 2.75元

编 者 的 话

我们伟大的祖国，有着丰富的石油、天然气资源，是世界上最早开采石油的国家之一。解放以后，我国积极开展石油勘探工作，相继发现了大庆、胜利、辽河等一批重要的油气田，使石油地质储量迅速增加。1978年我国原油产量突破了1亿吨的大关，为工农业发展做出了重大贡献。根据国家规划，到2000年工农业总产值要翻两番，要求原油、天然气产量要大幅度地增长，而且要大大提高天然气在石油工业中的比重。这一目标给我国的石油工作者提出了更高的要求。为提高广大石油职工的科学技术水平，也为向社会上关心石油工业的同志特别是广大青少年普及石油科学知识，中国石油学会科学普及教育委员会组织了一些专家编写了这套石油知识丛书，它将分四册陆续出版，分别为“我们与石油”、“石油勘探”、“石油开采”及“石油加工”。整套书将力求在保证科学性的基础上，以通俗易懂的语言和直观的图幅，深入浅出地介绍石油生产过程中的勘探、开发、加工、应用等基本知识、新技术及发展方向。

“石油开采”作为石油知识丛书之一，着重介绍了石油开采工艺技术，力图使读者了解石油开采是一项多专业综合性较强的技术，在许多方面还需要继续研究和探索。

在编写中编者参阅了较多的资料，为了准确地介绍一些新的科学技术知识，对引用的参考资料采用了原来的文字。尽管这样，由于编写水平所限，也难免有疏漏和不准确的地

方，文字上也会有不妥之处，恳切希望读者指正。

书中引用了国内许多石油科技工作者提供的资料和研究成果，因篇幅所限，只将其中一部分列于书后，在此谨向原编著者表示谢意。在本书编写与出版过程中，得到了中国石油学会科学普及教育委员会、石油工业出版社和大庆石油管理局勘探开发研究院等部门的大力支持和帮助，在此一并致谢。

编 者

1991.5

目 录

绪论.....	(1)
第一章 制定油田开发方案.....	(5)
一、油层的性质和分布状况.....	(5)
(一) 油层的性质.....	(6)
(二) 油层的分布状况.....	(8)
二、认识油层的手段和方法.....	(12)
(一) 钻井取心和录井.....	(12)
(二) 地球物理测井.....	(12)
(三) 试油.....	(15)
(四) 油层对比.....	(16)
三、计算油田的储油量.....	(17)
四、编制油田开发方案.....	(19)
(一) 合理布井.....	(19)
(二) 油田开采方式的选择.....	(21)
(三) 划分开发层系.....	(27)
第二章 开采石油的有力手段——钻井.....	(30)
一、钻井方法的发展过程.....	(31)
(一) 顿钻钻井方法.....	(33)
(二) 旋转钻钻井.....	(34)
(三) 井底动力旋转钻.....	(38)
(四) 新方法钻井.....	(40)
二、油井是怎样钻探的.....	(43)
(一) 钻前的准备工作.....	(43)
(二) 钻井工具的“尖兵”——钻头.....	(43)

(三) 钻井的血液——钻井液.....	(47)
(四) 钻井中传递动力的枢纽——钻柱.....	(50)
三、油井是怎样完井的.....	(53)
(一) 怎样固井.....	(53)
(二) 怎样射孔.....	(57)
(三) 诱导油流.....	(58)
四、海洋钻井.....	(59)
(一) 固定式钻井平台.....	(60)
(二) 自升式钻井平台.....	(61)
(三) 半潜式钻井平台.....	(62)
(四) 钻井船.....	(63)
第三章 打开地下石油宝库——采油	(65)
一、自喷采油.....	(67)
二、机械采油.....	(68)
(一) 抽油机采油.....	(68)
(二) 潜油电泵采油.....	(70)
(三) 水力活塞泵采油.....	(71)
(四) 气举采油.....	(71)
三、向油层内补充能量开采.....	(72)
四、采油井的管理.....	(73)
(一) 测量油、气产量.....	(74)
(二) 测量油井各种压力.....	(78)
(三) 取样分析.....	(79)
(四) 防蜡和清蜡.....	(80)
五、油田动态分析.....	(81)
(一) 油田动态分析所要解决的问题.....	(81)
(二) 油田动态分析的对象.....	(83)
(三) 油田动态分析应用的方法.....	(84)
第四章 提高油田开发效果的有力措施——采油工艺技术	

.....	(86)
一、分层注水.....	(87)
(二、分层采油.....	(90)
三、堵水和防砂.....	(93)
(一) 分层堵水.....	(93)
(二) 防砂.....	(94)
四、分层改造.....	(95)
(一) 油井酸化.....	(96)
(二) 油井压裂.....	(97)
五、稠油开采.....	(100)
六、油田开发部署的调整.....	(101)
(一) 层系井网的调整.....	(102)
(二) 注水方式的调整.....	(105)
第五章 油田上的“血管”——油气集输管线	(107)
一、油气集输的准备工作.....	(108)
(一) 油气分离.....	(108)
(二) 原油脱水.....	(111)
(三) 天然气脱水.....	(114)
二、油气集输的起始站——采油井场.....	(115)
三、油气集输管线.....	(117)
(一) 油气集输管线的作用.....	(117)
(二) 油气集输管线的建设.....	(118)
(三) 油气集输过程中的加热和保温.....	(120)
(四) 油气集输管线的防腐措施.....	(120)
四、储油库.....	(123)
五、长输管线及运输.....	(124)
第六章 挖掘油田潜力的有效途径——提高油田采收率技术	(128)
一、混相驱.....	(130)

(一) 高压注气·····	(130) >
(二) 注富气·····	(130) >
(三) 注溶剂·····	(130) >
(四) 注二氧化碳·····	(131) >
二、化学药剂驱·····	(132) >
(一) 注活性水·····	(132) >
(二) 注稠化水·····	(133) >
(三) 注乳状液·····	(133) >
(四) 注胶束溶液·····	(134) >
(五) 注泡沫·····	(134) >
(六) 注碱水·····	(135) >
三、热力驱·····	(135) >
(一) 注热水·····	(136) >
(二) 蒸汽驱·····	(136) >
(三) 蒸汽吞吐·····	(136) >
(四) 火烧油层·····	(136) >
四、微生物采油·····	(139) >
(一) 应用细菌采油的试验研究工作·····	(140) >
(二) 微生物的作用·····	(141) >
结束语·····	(144) >
参考文献·····	(146) >

绪 论

石油、天然气开采，是指在基本上探明油、气田储量和掌握了油、气藏地质特征以后，着手制定合理的开发方案，采用科学的开采技术和方法，经济、合理地把地下油、气资源最大限度地开采出来的全部工作。油、气勘探是一项探索性强、风险性大的事业。要找到油、气田，必须在正确的思想方法和科学的油、气地质理论指导下，通过多种手段，从地质学、地球物理学和地球化学等不同角度，对地表以下的地质情况进行综合性的探索和研究，指出可能存在油、气田的区域和部位，并通过钻井来加以验证。油气勘探过程是一个较长时间的对地下情况进行调查研究的过程，少则几年，多则十几年甚至几十年，即使已经找到油、气田并进入开发阶段，勘探工作仍然需要进一步深化。因此，当发现和找到了油、气田以后，就要十分珍惜勘探成果，应以最科学、最经济、最合理的技术和方法开发地下油、气资源，这同油、气勘探工作相比，同样是一项非常复杂的综合性很强的技术工作。

当前，世界上石油、天然气开采，经过长期的生产实践，已经形成了各种类型油、气田开发体系和一整套工艺技术。而且随着越来越多的油、气田投入大规模的工业开采，推动了油田开采工艺技术的迅速发展，成为一门高度综合性的科学技术。

石油是液体矿物，人们常称它为“工业的血液”。这种

矿物大都埋藏在地下几百米、甚至几千米。在地表一般来说是看不见，摸不着的，而且它不像固体矿物可以直接采掘。所以要开发好一个油、气田，首先要对油、气田做充分的调查研究，掌握油、气田地下地质资料，认识油气层的性质，还要了解石油、天然气储藏在什么样的岩层中，这些岩层的岩石性质是什么，又是如何分布的；在油层中究竟储藏着多少石油，将来用什么方法开采等。收集到以上这些基本资料，然后才可以运用这些资料编制油田开发方案。从世界上的一些大油田和我国的大庆、玉门、胜利、辽河等油田开发实践证明，资料占有得越充分，人们对油田地下的情况才能认识得更清楚，开发方案编制得才会越合理，油田才能开发得越好。假如把开发一个油田比作一次战役，要保证战役的胜利，就必须有一个正确的作战部署。要开发好一个油田，也就必须制定一个正确的开发方案。首先要以油田地质为基础，弄清油层的性质，并对油层进行分类排队，选定油田开采方式；还要考虑充分利用天然资源，确定如何保持油层能量的方法和技术措施；要根据国家计划的需要，结合油田的实际，选定合理的布井方式。以上就是油田开发方案的主要内容。

一个油田要开采几十年，上百年，所以，如何正确地实施油田开发方案，还需要一套科学的钻井方法和采油方法，以及一套科学的管理办法，随时了解和掌握地下油、气、水运动的状态和规律，要时时刻刻对油田开采动态进行监测和分析，从而根据油田开发生产实践，采取适合油田特点的有效的采油工艺技术，并不断进行调整，使之与变化了的油田生产实际情况相适应，力争保持长期稳产高产，从而实现开发方案中的各项指标和较高的经济效益。一个油田有几百、

几千甚至上万口生产井，为了把各个油井生产出来的原油集中起来，又安全迅速地输送出去，还需要一套先进的油气集输工艺技术，以便把生产出来的原油输送到炼油厂、化工厂及其他需要的地方。如果油田在海上，还必须有一套适合海洋特点的海上钻井、海上采油、海上作业以及海洋油气集输工艺技术。

一个油田的开采技术水平的高低和经济效益的好坏，常用采收率作为衡量的指标，它是指从油层中开采出来的总采油量与开采地区地下地质储量的百分比。一个油田采出的油占地下地质储量的百分比越高，采收率也就越高。根据有关资料统计，世界上已开发的油田采收率，高的可达70%左右，低的只有8%左右。20世纪70年代世界各国油田平均采收率在30%~40%之间，也就是说还有一半以上的石油滞留在地下没有开采出来。这么多的石油是一个巨大的资源宝库，因此，长期以来如何提高油田采收率，就成为油田开发的重要技术问题了。

总之，油田开发的过程，是一个多专业、多学科、多工种，各种工艺技术相互配合，不断完善发展的过程。油田开发的全过程可以概括为八个方面：1.对油田地下情况进行调查研究；2.编制油田开发方案；3.钻井；4.采油井场建设；5.地面油气集输设施建设；6.油田开采动态监测分析；7.调整方案；8.搞好提高油田采收率工作。以上各项工作可以同时进行，也可以交叉进行。

解放以后，我国石油工业经过几十年的努力，已经成为用现代技术装备起来的专业配套的能源生产部门，我国从一个“贫油国”发展成为产油大国，跻身于世界产油国之林，这为我国石油开采技术的发展开辟了广阔的前景。50年代，

我国油田开发处于探索阶段。60年代，在大庆油田开发过程中，根据我国计划经济要求，总结国内外油田开发的经验，逐步形成了油、气田开发方针。这条方针是，油、气田开发要适应国民经济发展的需要，保持一定的高产、稳产期，并力求取得较高的最终采收率和较好的经济效益。

1978年党的十一届三中全会以后，根据国民经济“调整、改革、整顿、提高”的方针，以大庆油田开发经验为主，结合70年代碳酸盐岩油田、断块油田、低渗透油田开发的经验，制定了油田开发的基本技术政策。1985年，根据部分油田进入高含水采油期的新情况，以及采油工艺技术的改善和提高，又补充制定了油田开发若干技术政策，对不同类型油田稳产年限提出了明确的要求。这些方针、政策的贯彻和各项规定的实施，进一步促进了我国油田开发科学化、现代化的进程。当前，已经形成适合我国油、气田特点的开发理论和一整套开发不同类型油、气田的技术，对油田保持长期稳定高产，促进石油产量持续增长，起了重要的作用，取得了显著的效果。

本书将分6章重点介绍石油开采方面的基础知识，以及石油、天然气开采工艺技术的现状和发展。

第一章 制定油田开发方案

制定油田开发方案是石油、天然气开发的首要工作，它和建筑高楼大厦的总体设计一样重要。这个方案不但要体现各田开发的技术方针和政策，而且要为合理的开发油田提出有效的技术措施和方法。油田开发方案的主要内容是掌握油田地下的地质资料，认识油层的性质和油层的分布状况，对油类油层做出评价；计算油田石油的储藏量，选择和确定油田的开采方式；根据油田的实际情况和国家计划的要求，划分开发层系，选择注水方式和井网部署，以及合理的采油工作制度，等等。所以，要开发好一个油田，首先要做大量的调查研究工作，充分占有油田地下资料。这与军事上作战一样，必须对敌情做详细侦察后才能搞好作战部署。同样，开发油田也是这样，发现和找到了油田并不等于全部认识了油田，还必须进一步调查储藏石油的岩层有什么特性，这些储油的岩层在地下是怎样分布的，油层里到底储藏了多少石油，将来开发的规模究竟有多大，等等。只有把这些情况弄清楚了，才可以制定出合理的开发方案，使油田开发取得好的效果。

一、油层的性质和分布状况

油层究竟有哪些特性呢？首先要弄清楚什么是油层。石油深埋在地下，是一种液体矿床。人们不禁要问，石油在地下是像“石油河”呢？还是“石油海”呢？都不是的。石油

储藏在地下具有孔隙、裂缝或孔洞的岩石中，储藏石油的岩层就是油层。

(一) 油层的性质

油层的性质和储存石油的岩石有着密切的关系。岩石的种类非常繁多，已经被人们认识的就有100多种，如花岗岩、石灰岩、砂岩、泥岩、页岩、大理岩、白云岩等。并不是所有的岩石都能成为油层，能够形成油层的岩石需要具备两个条件，一是要有孔隙、裂缝或孔洞等，让石油有储存的地方；二是孔隙之间、裂缝之间或是孔洞之间能够互相连通，构成石油流动的通道。当前，世界上常见的油层种类很多，主要的有砂岩油层、砾岩油层、泥岩裂缝油层、碳酸盐岩油层、基岩油层、火山岩油层。像我国黑龙江省的大庆油田、山东的胜利油田、辽宁的辽河油田等都是砂岩油层，新疆克拉玛依油田是以砾岩油层为主的油层。油层的类型很多，这里以砂岩油层为主介绍它的特性，主要有这样几个方面：即油层孔隙度、含油饱和度、渗透率和有效厚度，这些都是油层的物理性质，通常把它们叫做油层的“物理参数”，可以用数字来表示。这些数据是油田计算储量、制定油田开发方案和掌握油田动态的基本数据。

1. 油层孔隙度

油层中的岩石是由大小不一的岩石颗粒（矿物颗粒）胶结而成的。在被胶结的颗粒之间，存在着微细的孔隙，如同我们常见的建筑上用的砖一样。假如一块砖在通常情况下有3公斤重，那么把这块砖放在水中浸泡以后，再去称它就可能成为5公斤，其中有2公斤的水浸入到了砖的孔隙中。与这个道理一样，石油一般就储存在油层岩石的孔隙里。为了计算油层的储油能力的大小，人们把油层岩石中孔隙的总体

积占油层岩石总体积的比值叫做孔隙度。用百分数表示，即：

$$\text{孔隙度} = \frac{\text{孔隙总体积}}{\text{岩石总体积}} \times 100\%$$

油层的孔隙度可以用实验的方法求得。孔隙度大，说明岩石颗粒之间的容积大，储存石油的场所就大；孔隙度小，油层岩石颗粒之间的容积小，储存石油的场所就小。

2. 油层渗透率

在油层中，除了具有能储存石油的孔隙，还必须具有石油能在孔隙之间流动的通道，才能在压力的推动下使石油从油层中流向油井。石油在油层互相连通的孔隙中，在一定的压力推动下，产生渗透流动，这种允许石油液体渗透的性质，也就是石油通过孔隙的难易程度，就叫做油层的渗透率。我们经常见到这样一种现象，当下过雨以后，砂地上的水很快渗入砂内，地表面不存水，而泥土地上的水很长时间还残留在地面，容易形成积水。这是因为砂地具有比较大的孔隙，并且孔隙互相连通，也就是渗透性好，而泥土地孔隙小，孔隙之间连通也不如砂地，渗透性就差。油层也是如此，为了说明油层的渗透能力，一般用渗透率来表示。油层的渗透率是不均匀的，不同的油田，不同的油层，渗透率有高有低，即使在同一油层内，也可能有很大的变化。

3. 油层含油饱和度

油层的孔隙里是不是都盛满了石油呢？不是的，一般来说，孔隙里含有油、气和水。人们把油层孔隙里的含油体积与孔隙体积的比值，叫做油层的含油饱和度。这个数值越高，说明油层中的含油越多。这个参数也是计算油田储量的重要数据。

油层的含油饱和度，可以通过直接钻井取心得出。但是，在取岩心时一定要采取得当措施，尽可能保持岩心在地下的原始状态（也就是保持地下高温高压条件下的含油、气、水的比例），避免由外界干扰而失真，从而确保含油饱和度测定的准确性。通常是采用油基钻井液取心，也可以用实验室的方法求得。

4. 油层有效厚度

砂岩油田的油层往往有几层，几十层。每一层的厚度大小是不同的。有的油层厚达十几米，甚至几十米；有的油层可能薄到几厘米，还有的油层含油性质差，厚度也小，不具有工业开采价值。所以为了准确地计算油层的储量，将油层的总厚度去掉这部分无工业开采价值油层的厚度，所剩下来的厚度，称为油层的有效厚度。油层的有效厚度是评价油层好坏，计算油田储量的重要参数。

（二）油层的分布状况

油层在地下是如何分布的呢？这个问题对于评价油层进行油田开发设计、编制油田开发方案同样是一个重要的方面。

砂岩油层在地下是不是人们想象的那样，一层一层的均匀整齐的分布着呢？不是的。从我国东部几个油田如大庆油田、胜利油田、辽河油田、大港油田的油层在地下的分布实际资料来看，深埋在地下几百米，上千米深的油层是由很多不规则的砂体组成。假如把地下的油层搬到地表上来，沿着油层横向上进行追索，就可以看到，在一个油层中，它们的横向变化是很大的，一段是砂岩，一段是泥岩，有时看到是泥岩包着砂岩，或是砂岩中包着泥岩。也就是说，在某一层内，不是单纯的砂岩或泥岩，而是既有砂岩，又有泥岩。

砂岩的部分叫做砂体，把含油的砂体叫“油砂体”。

油砂体的形态是千奇百怪的，它在地下的分布也是多种多样的，这还要从它的形成谈起。

地球表面有山川、江湖和海洋，由于河流的侵蚀、搬运和沉积作用，经过漫长的地质历史时期，在多少万年以前，砂体就在河流、湖泊或海洋的不同地区逐渐沉积形成。在不同沉积条件下形成的油砂体，形态是复杂多样的。从平面上看，砂体的形态有长条状、手掌状以及其它不规则形态；单个砂体最大面积可达几百平方公里，最小的还不到一平方公里。储油性好的，渗透率高的砂体与储油性不好，渗透率低

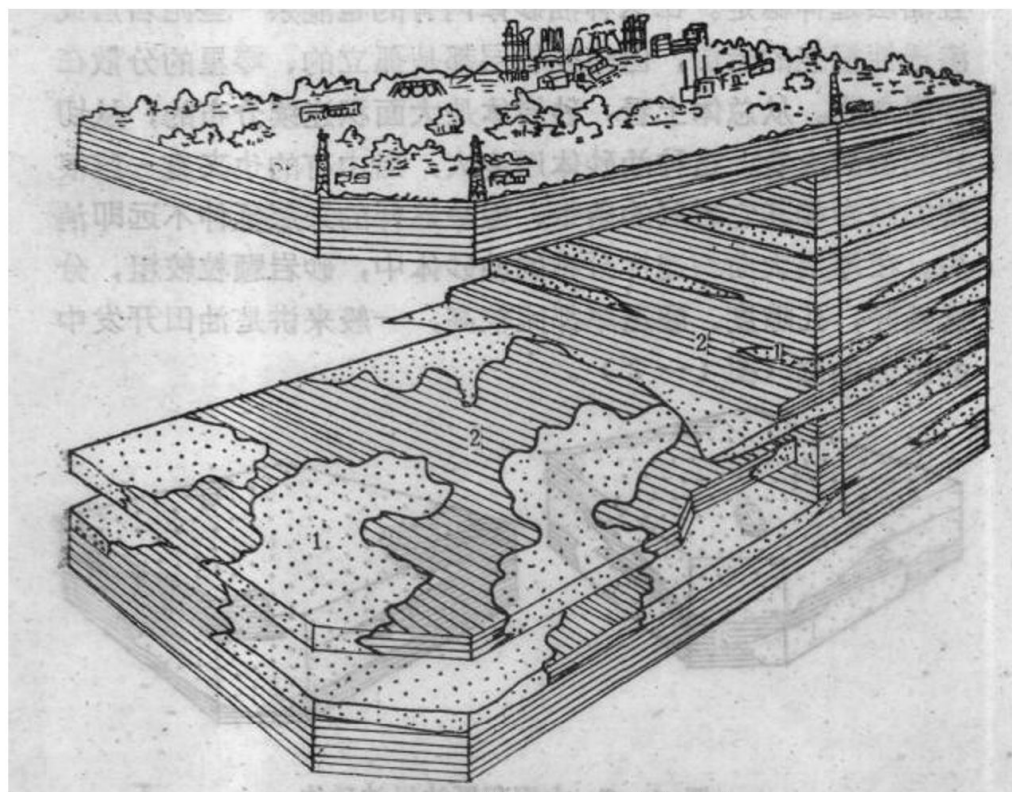


图 1—1 不同形态油砂体分布示意图

1—油砂体，2—非渗透层