

# 石油和天然气开采工艺技术措施

王 强 李东红 马军岭 米远征  
河南油田采油二厂 河南 南阳 473132

**摘 要：**本文围绕石油和天然气开采工艺技术措施展开论述。首先阐述了油气藏形成与分布、油气储层特性等基础理论。接着介绍了常规的自喷、机械、气举采油和采气技术。还探讨了提高采收率的注水、化学驱油和驱气、热力采油等技术措施。通过对这些技术的分析，为提高油气开采效率和采收率提供了全面的参考。

**关键词：**石油开采；天然气开采；工艺技术；提高采收率

引言：石油和天然气作为重要的能源资源，其开采工艺技术的优劣直接关系到能源供应和经济发展。随着油气资源的不断开发，常规开采技术逐渐面临挑战，提高采收率成为关键。因此，深入研究各种开采工艺技术措施具有重要意义。

## 1 石油和天然气开采的基础理论

### 1.1 油气藏形成与分布

油气藏的形成是一个复杂的地质过程，受到多种因素的综合影响。

油气藏的形成机制主要包括以下几个关键步骤：

(1) 先要有丰富的有机质来源，如海洋或湖泊中的浮游生物、藻类以及陆地植物等。这些有机质在特定的环境条件下，如缺氧、弱还原的沉积环境中逐渐堆积和保存。随着沉积物的不断堆积，有机质被深埋，并在高温、高压等条件下经历热演化，转化为石油和天然气。

(2) 油气藏的类型多种多样，常见的有构造油气藏、地层油气藏和岩性油气藏等。构造油气藏是由于地壳运动形成的褶皱、断层等构造使油气聚集而形成的。地层油气藏则是由于地层不整合、地层超覆等地质作用导致油气聚集。岩性油气藏是由于储集层岩性的变化或岩性的圈闭作用而形成的油气藏。(3) 在地下，油气藏的分布规律受到多种因素的控制。构造格局对油气藏的分布起着重要作用，例如在背斜构造的顶部往往是油气聚集的有利部位。沉积相带也会影响油气藏的分布，如在三角洲前缘、滨浅湖等有利沉积环境中容易形成油气藏。

### 1.2 油气储层特性

油气储层的物理性质、孔隙结构和渗透性等特征对开采有着至关重要的影响。

(1) 物理性质方面，储层的岩石类型、矿物组成、密度和硬度等都会影响开采方式和效果。例如，疏松的砂岩储层在开采过程中可能容易出砂，而坚硬的碳酸盐岩储层则需要更强的开采手段。(2) 孔隙结构是油气储

层的重要特征之一。孔隙的大小、形状、连通性等直接决定了油气的储存空间和流动能力。大孔隙和连通性好的孔隙结构有利于油气的产出，而小孔隙和连通性差的孔隙结构则会增加开采难度。(3) 渗透性反映了油气在储层中流动的难易程度。高渗透性的储层能够使油气更顺畅地流动，从而提高开采效率；低渗透性的储层则会限制油气的产出速度，需要采用特殊的增产措施，如压裂等技术来提高渗透性。

## 2 常规石油和天然气开采工艺技术

### 2.1 自喷采油和采气技术

#### 2.1.1 自喷采油技术

自喷采油法是依靠油藏自身的压力将石油从井底举升至井口的采油方法。这种方法适用于油层压力较高，能够满足原油从油层流至井底，并从井底举升至地面的条件。自喷井的地面设备简单、容易管理、产量较高，是最经济的采油方法之一。

自动喷井的工作流程通常包括以下几个关键步骤：

(1) 油层内的渗流过程：油层中，原油在压力差的作用下，从储油孔隙向井底流动。(2) 在竖井中发生流体流动：井底的流体受到地层压力和井筒内液柱压力的共同作用，沿着井筒向上移动。(3) 井口到分离器的环节：流体从井口流出后，通过地面管线进行水平或倾斜管流，输送至分离器。(4) 对于自喷井，当原油到达井口时，会通过节流装置（类似嘴流）进行控制和调节。

#### 2.1.2 采气技术

与自喷采油类似，采气技术也包括多种方法，其是根据气藏的地理特性、产地下水气井的技术情况以及经济成本的考虑。以下是一些常用的采气技术：(1) 排水采气法：这是一种常见的采气技术，主要用于排除井筒积水，以维持气井的正常生产。排水采气方法分为电气法和物理化学法二类，包括优选井内排水采气方法、气举排采气方法、电潜泵排采气方法等。(2) 泡沫排水

采气法：此为一种凭借地面装置通过向井中加入泡沫助采剂，以降低井中宫腔积液的表、面张力，使之保持在低表面张力和高表面黏度的情况，同时利用井内自身产生的空气和引入外界的燃料（天然气或者液氮）产生泡沫，进而排出井内积液的技术。（3）柱塞式气举排水采气技术：这是一门用于气井见水初期的排水采气技术，通过使插杆成为与空气、液体连接的机械截面，并借助气井自身的空气压强，用一个循环的方法使插杆在燃料管道上、下滑动，进而降低液面的回落，从而大大地提高了间歇气举升的效能。

## 2.2 机械采油和采气技术

抽油机是油田广泛应用的机械采油设备，主要由动力机、减速器、曲柄连杆机构、驴头、悬绳器、支架、底座等组成。依据是否存在游梁，抽油机能够划分成游梁式抽油机与无游梁式抽油机。

游梁式抽油泵的基本运转机理是：利用动力机的空气动力，通过减速剂将动力机的高速转动，转变为抽油机曲臂的低速旋转，然后再利用曲臂上连杆机构的旋转动作，变换成抽油机驴头的上下往复运动，由悬绳器机构总成牵引深水井泵的运行。

游梁式抽油泵，根据平衡形式的不同可以分成游梁平衡型、曲臂平衡型、复合平衡型、气动平衡型等。根据构造形式的不同，可分成常规型游梁式抽油机、前置型游梁式抽油机、异相型游梁式抽油机、以及双驴头型游梁式抽油机。

无游梁式抽油机，主要包括弹链抽油机和钢绳抽油机。弹链抽油泵采用的是曲臂滑快机，其工作机理是由动力机供给动能，通过减速剂使动力机的高速旋转改变为弹链的低速旋转，采用特殊链节结构和主轴销滑块机构的回转运动，变为抽油机往返架的上下往复运动，由绕过天车轮的悬绳器系统总成驱动深水井油泵运行。钢绳抽油泵则是采用电子控制系统直接由控制的电动机带动滚筒正逆旋转，由绕过滚轮的悬绳器系统总成驱动深水井泵运行。

螺杆泵是一类大容积型转子泵，根据蜗杆级数分成单螺杆泵、双螺杆泵和三螺杆泵等。他的工作原理是，当主动螺杆旋转时，它会带动与之配合的从动螺杆一起旋转。随着主动螺杆的旋转，吸液室的容积逐渐增加，压力降低，液体在压差的作用下被吸入吸液室。当吸液室的容积增加到最大时，形成一个封闭的空间，液体在这个封闭的空间内沿着轴向持续移动，直到到达排液室。在排液室，螺杆的啮合空间容积逐渐减少，从而将液体排出。

螺杆泵的结构简单，工作安全可靠，维护方便，出液连续均匀，压力稳定，噪声和振动小，具有自吸能力等优点。但是，螺杆的加工相对困难。它适用于输送润滑油、燃油、各类油品和高分子聚合物等黏稠液体，也可以用于输送高粘度介质、含有颗粒或杂质的介质。

## 2.3 气举采油和采气技术

### 2.3.1 气举采油的工作流程：

气举式采油方法是通过向地面输入高压气，使井筒内的液面举升至地面。首先，压力气体经过气举阀后流入油管，并在燃料管内和液体搅拌，以减小气体混合物的压力，由此形成了向上的挤压。同时由于空气的持续流入和液面的被挤压，使竖井中产生气固混合物的空气不断运动。

适用情况：适用于深井、高含水油井、出砂严重以及稠油油井等。它在一些油田开发后期，当其他采油方式效果不佳时，能发挥较好作用。

### 2.3.2 气举采气的工作流程：

地面的高压气体经压缩机压缩后，通过注气管线注入气井的环形空间。气体会沿着环空逐渐上升，在上升过程中，气体压力逐渐降低，体积逐渐膨胀，从而将井筒内的积液举升排出井口。

适用情况：常用于气藏开发后期，井底积液较多，导致气井产量下降的情况。它对于一些低压、低产气井以及积液问题突出的气井较为适用，可以有效恢复气井的产能，提高天然气采收率。同时，对于一些复杂地质条件下的气藏，气举采气也可能是一种有效的开采手段。例如在一些渗透率较低、储层非均质性较强的气藏中，气举采气可以改善气井的生产状况。

## 3 提高石油和天然气采收率的技术措施

### 3.1 注水开发技术

注水开发技术是油田开发中常用的一种提高采收率的方法。其基本原理是通过向油层注入水来补充油层能量，维持或提高油层压力，从而推动原油流向生产井，增加原油的采出量。注水方式的选择取决于油田的具体地质条件和开发要求。常见的注水方式包括油套分注技术、双管分注技术和单管封隔器与配水器多层段注水技术等。不同的注水方式有不同的特点和适用范围。例如，双管分注技术可以进行两层分注，并保证注水量的合理性，而单管封隔器与配水器多层段注水技术则适用于需要精细控制每层注水量的情况。

为了进一步提高注水开发技术的效率，需要采取一些优化策略。例如，在油田开发初期采用早期注水，即地层压力还没降到饱和压力之前及时注水，使地层压

力始终保持在饱和压力之上，这样可以保持油田产量的稳产。而在油田开发后期，选择合适的注水时机和方式，如晚期注水或中期注水，可以有效地提高采收率。此外，注水开发技术的优化还涉及注水系统的配置和管理。注水站是油田注水系统的核心部分，负责将净化处理后的水升压并输送至配水间。

### 3.2 化学驱油和驱气技术

化学驱油和驱气技术是提高石油和天然气采收率的重要手段之一。这种技术通过向油藏加入一定的化学药剂，来改变流体参数与岩石之间的物化性质，进而增加采收率。以下是化学驱油和驱气技术的一些关键方法及其原理。

#### 3.2.1 化学驱油

化学驱油技术主要分为高分子驱、表面活性剂驱、强碱驱技术等。在注入水中时添加水溶性高分子材料或多聚体，可以提高在水中的黏度，从而减少在水中的渗透性，同时降低水流速比 $M$ ，从而增加波及系数。此外还可降低粘度指进，从而有限度的增加了驱油质量。在注入水中加入表面活性剂（清淨剂），通过改变界面张力进行改造，使超声波振动以压电方式传递到储层岩石，从而使油滴分离。在注入水中时添加酸，与石油中的有机酸含量反应，产生表面活性剂，从而减少了油水界面张力，生成乳状液体和增强对岩石润湿，从而增加波及系数和驱油的效果。

#### 3.2.2 驱气技术

驱气技术主要借助注入气体的方式来提升石油的采收率，常见的注入气体包括二氧化碳（ $CO_2$ ）、氮气（ $N_2$ ）以及天然气。 $CO_2$ 驱油技术指的是以 $CO_2$ 作为驱油介质来提高石油采收率的一项技术。 $CO_2$ 驱油技术所适用的油藏参数范围较广，在能够达成混相的状况下， $CO_2$ 具备极高的驱替效率，能够极大程度地增强油井的生产能力。气体在高压作用下被注入井中，以此促使石油上浮至井口。这是因为气体在一定程度上溶解于油中，进而降低了油的粘度。

### 3.3 热力采油技术

热力采油技术是一种通过利用热能来降低原油粘度，增加原油流动性，或者使不流动的油变成可流动油的技术。它主要应用于稠油油藏的开采，因为稠油的黏度高，流动的阻力大，导致开采的难度增加。热力采油技术可以通过两种方式实现：一是通过热载体的循环，

而达到开采的效率；二是对井下储层的热处理，使油层的环境温度增加，提高油井产能的方式。

#### 3.3.1 蒸汽吞吐的运作机制

蒸汽吞吐是一种热力采油技术，主要通过向油层注入高温高压的蒸汽，使得地层中的原油温度升高，从而降低原油粘度，解除地层堵塞，产生大量气体，利用气体膨胀力将油驱出。

工艺步骤：先将蒸汽注入生产井中；然后经历一个短暂的关井期；最后，油井开始生产。

#### 3.3.2 蒸汽驱油的基本原理

蒸汽驱油是一种提高石油采收率的技术，其基本原理主要包括以下几个方面：

（1）高温蒸汽的注入会使油藏温度升高。这能降低原油的粘度，使其流动性大大增强，从而更容易被采出。（2）蒸汽的注入增加了油藏的压力，为原油的流动提供了动力，推动原油向生产井移动。（3）蒸汽还能与原油发生热交换，使原油体积膨胀，占据更多的孔隙空间，从而挤出更多的原油。同时蒸汽的注入还可以改善油藏的润湿性，使原本吸附在岩石表面的原油更容易脱离，提高采收率。

#### 3.3.3 蒸汽驱油的关键实施点

蒸汽驱油法通常在10%~20%的最终采收率范围内使用。它是稠油油藏经过蒸汽吞吐开采后，进一步提高原油采收率的主要热采阶段。蒸汽吞吐采收率一般在10%到20%，而蒸汽驱的最终采收率一般可达50%~60%。这项技术在国外已经得到广泛应用。

### 结语

综上所述，石油和天然气开采工艺技术措施不断发展和完善。从基础理论到常规技术再到提高采收率技术，都在为实现油气资源的高效开采而努力。未来，随着技术创新和对油气藏认识的深入，将有更先进、高效、环保的开采技术出现，推动油气产业的可持续发展。

### 参考文献

- [1]魏春玲,李放.石油、天然气开采技术在微生物种群中的应用研究.油气储运,2020.39(3),272-276.
- [2]张伯良.油气开采工艺技术措施以及控制实验研究.石油化工,2021.50(5),13-17.
- [3]王大伟,刘鹏,王建.油田油气开采技术及工艺措施综合优化与应用研究.石油勘探与开发2022.49(4),489-495.