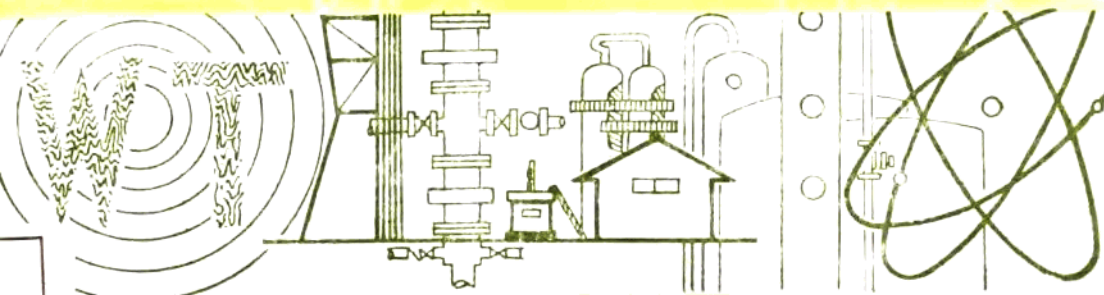




石油技工学校试用教材

采油工艺

玉门石油管理局技工学校 陈一 编



前 言

本书是根据石油部劳资司于1984年审定的石油技工学校井下作业专业“采油工艺教学大纲”编写的。初稿编完后，于1986年在玉门石油管理局技工学校的修井初中班和修井职工培训班试用了两学期，广泛征求了师生的意见后才修订成书。

在编写过程中，得到了大庆石油管理局技工学校、玉门石油管理局技工学校的领导和同志们的大力支持与帮助。大庆石油管理局技工学校张泰绣、大港石油管理局技工学校王万鑫、胜利石油开发技工学校张铭、河南石油勘探局技工学校王文富等，参加了1984年7月由石油部劳资司在大庆组织召开的本书的编写讨论会。王万鑫、张荣参加了1985年9月在玉门召开的本书的初稿审定会，提出了很多宝贵的建议，对以上的支持和帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

绪 论

石油不仅是一种重要的能源,而且是石油化工的基础原料,在国民经济中占有极其重要的地位。石油工业的发展,不但能促进工、农业的发展,而且能增强国防力量,促进科学技术和交通运输等事业的发展。因此,人们把石油喻为“工业的血液”。

随着科学技术的进步,炼油工业、石油化学工业得到了迅速的发展。除了把石油加工成汽油、煤油、柴油和润滑油之外,还把石油进一步加工成化学肥料、有机溶剂、塑料、合成纤维、合成橡胶等三千多种化工产品,使石油的应用范围不断扩大。

例如:以天然气或石油为原料生产的合成氨是重要的化学肥料,同时,合成氨又是生产硝酸、梯恩梯(TNT)和硝铵等炸药的重要原料。

利用石油制成的各种合成橡胶,具有耐油、耐温、耐寒等优点,是国防、交通不可缺少的物资。

利用石油制得的酒精、乙醛、醋酸、丙酮等都是生产农药、医药不可缺少的原料。以前采用粮食发酵生产酒精,制得一吨酒精,需要3~5吨粮食。现以石油为基础原料合成酒精,不仅可以降低成本而且节省了大量的粮食。一般生产10万吨合成酒精,就可节省40万吨粮食,相当于100万亩耕地一年所生产的粮食。这就有力地支援了农业,促进了人民生活的改善。

利用石油制得的聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯都是常见的塑料,除了广泛应用于各种工业之外,并可制成各种生活用品。

利用石油制成的涤纶(即的确凉)、锦纶(即尼龙)、腈纶等合成纤维都具有质轻、耐用、快干等优点。深受人民欢迎,丰富了人民的生活,提高了人民的生活水平。

总之,在目前人们的生产和生活中,石油的应用已经展现出广阔的前景,它必将起着愈来愈巨大的作用。

我国石油工业的发展有着悠久的历史,根据已经发现的史料证明,我国是世界上最早发现和利用石油及天然气的国家之一。

关于我国石油的最早记载,首先见之于东汉历史学家班固(公元32~92年)所著的《汉书》。在该书《地理志》中写道:“高奴有洧(音委)水可燃(古燃字)”。北魏郦道元(?~公元527年)在《水经注》中作了更为详细的记载:“高奴县有洧水,肥可燃。水上有肥,可接取用之。”这里所说的“肥”,即指石油,高奴县即现在的陕北延长一带。我国不仅对石油早有记载,而且在公元1286年以前就有了采油井。据《元一统志》(公元1286~1303年)记载:“延长县南迎河有凿开石油一井,其油可燃,……”。我国不仅是世界上发现石油最早的国家之一,也是应用石油最早的国家之一。在我国古代,石油主要用于照明、润滑、医药、防腐以及在战争中用于火攻等。据《元和郡县志》记载公元578年,酒泉人民用油烧毁突厥族攻城的武器,保全了酒泉城。

我国发现和利用天然气的历史更为悠久,早在《周易》(约公元前11世纪~前771年)一书中就有“泽中有火”的记载。我国四川最早利用天然气煮盐在世界上都是闻名的。晋

朝常璩（音渠）在《华阳国志》中就记载了秦始皇时代，四川临邛县郡（即今邛崃县）西南钻井开采天然气的情景：“有火井，夜时光映上照。”有时一口火井可烧盐锅七百口。

随着天然气煮盐，促进了我国钻井技术的迅速发展。公元前256~251年秦朝李冰为蜀守时就在四川广都掘凿成功采盐井。公元1835年在四川自流井钻的“兴海井”深度已达1001.4米。俄国在1848年，美国在1859年才相继钻成各自的第一口产油井。可见，我国钻井采技术的历史也是很悠久的。

但是，近百年来，由于帝国主义的侵略和掠夺，以及封建主义和官僚资本主义的长期统治，致使我国的石油工业和其他工业一样，没有得到应有的发展。从1904~1948年的45年中，全国只有几个小油田，石油累计产量还不到300万吨（包括台湾和人造原油），其中最高年产量仅320970吨。

解放后，我国石油工业得到了突飞猛进的发展，取得了辉煌的成就。1978年原油产量突破亿吨，是解放前最高产量的312倍，而且年年增产，1986年原油产量达到13100万吨。

采油新工艺新技术也不断发展，仅就油田开采方面讲，已从一次采油，发展到三次采油。采用了分层注水、分层采油、分层测试、分层研究、分层改造和分层管理等工艺技术。研制成功了大型抽油机、高强度抽油杆以及泵径为70毫米以上的新型抽油泵。水力活塞泵、电动潜油泵等采油新工艺，深井酸化、压裂等修井新工艺，抽油井参数优选、防砂、防蜡、封串、堵水和井下测试等新技术，均已在全国推广应用，并取得了显著的经济效果。总之，建国三十多年来，祖国的石油工业和其他工业一样，到处呈现一派欣欣向荣的景象。

但是，由于我国的工业基础薄弱，就目前的石油生产情况与工业发达的国家相比，在科学技术水平上还有一定差距，广大石油职工正在继续努力，要在科学技术的各个方面达到和超过世界先进水平。

多年来的现场实践经验证明，采油、注水和井下作业有着密切的关系。因为要做好采油工作，就必须防止砂、蜡、水、气、稠油等对油井正常生产的影响。一旦生产出现不正常或发生事故，就必须及时采取修井措施，否则就会造成减产或关井。所以油田一投入开发，维修工作就得紧紧跟上。不仅如此，还必须及时采取酸化、压裂等增产增注措施，充分挖掘油层潜力，努力提高油层采收率，这些都是井下作业职工肩负的重任。为了使各项井下作业措施针对性强，效果好，井下作业职工还必须经常了解油层、地面和井筒中采油设备的情况，掌握采油、注水的基本工艺技术和常用的采油、注水设备及流程，懂得采油对各种井下作业措施的要求，这样才能有效地搞好井下作业工作。否则就容易返工，造成人力、物力和财力的浪费。

《采油工艺》是井下作业专业的必修课之一。通过本课程的学习，可以了解注水、采油、修井三者之间的密切关系，学会正确地开、关油、水井和正确地使用注、采设备，并会分析和处理井下作业施工中或油、水井生产过程中所发生的一般故障，保证油田生产正常进行。

由于《采油工艺》是一门与生产实践紧密结合的技术基础课，所以学习时必须理论联系实际，把理论知识和生产实践紧密地结合起来，这样才能在工作中灵活应用，保证油田生产正常进行，为发展祖国的石油工业做出更大的贡献。

目 录

绪论

第一章 自喷采油	(1)
第一节 钻井质量对采油和井下作业的影响	(1)
第二节 油藏能量的来源及驱动方式	(5)
第三节 油井自喷的基本原理	(7)
第四节 自喷井井场设备	(11)
第五节 井场流程	(32)
第六节 自喷井管理	(39)
第七节 自喷井生产分析	(52)
第二章 机械采油	(58)
第一节 机械采油阶段的生产特点	(58)
第二节 气举采油	(59)
第三节 无杆泵和有杆泵采油	(61)
第四节 有杆抽油泵	(64)
第五节 新系列有杆抽油泵	(86)
第六节 游梁式抽油机	(88)
第七节 无游梁式抽油机	(109)
第八节 抽油杆、抽油井井口装置	(113)
第九节 抽油井生产分析	(121)
第十节 抽油井管理	(137)
第三章 油田注水	(149)
第一节 概述	(149)
第二节 水源和水质	(150)
第三节 注入水处理工艺	(153)
第四节 注水流程及注入水计量	(158)
第五节 注水井管理	(162)
附录	(169)
附录一 常用工具与管路维修	(169)
附录二 压力表的故障分析与排除方法	(177)
附录三 防火、灭火知识	(179)

第一章 自喷采油

因为石油和天然气同固体矿藏不一样,它是通过油、气井开采出来的,注水和井下作业工作也都必须通过井筒才能进行。所以,钻井质量的好坏直接影响到采油、注水和井下作业工作。因此,应该知道一些钻井的基本知识。本章首先介绍石油钻机、钻井的目的、钻井过程以及钻井质量对采油和井下作业的影响,然后着重讲述油藏能量的来源及驱动方式、油井自喷的基本原理、自喷井井场设备、井场流程和自喷井的管理与分析等内容。

第一节 钻井质量对采油和井下作业的影响

一、石油钻井知识

通过井下作业地质的学习,我们知道油、气藏的埋藏深度一般都比较深,浅则几十米,深则几千米,欲把地下的油、气开采出来,就必须使用石油钻机钻穿油、气层,使油、气层和地面连通才能进行采油、注水和井下作业工作。

1. 石油钻机

石油钻机的种类较多,我国目前主要采用转盘旋转钻机。这种钻机主要由以下五个系统组成,如图1-1所示。

(1)动力系统 用于向钻机提供动力并把动力传递到各个工作系统中去,包括电动机、柴油机等驱动绞车、转盘、泥浆泵运转的钻井动力机械。

(2)旋转系统 是带动井内钻杆、钻铤、钻头 etc 等钻具旋转钻进并负载下井物悬重的一套机械设备,如绞车、转盘等。

(3)提升系统 是用于起下钻具、更换钻头、下套管等作业的机械设备,包括井架、天车、钢丝绳、游动滑车、大钩、滚筒等设备。

(4)控制系统 是操纵钻机运转和调节钻压的机械设备,如各种离合器和刹把等。

(5)循环系统 是为了清除在钻进过程中井内的岩屑,保证连续钻进的一套机械设备,如泥浆泵、水龙带、水龙头等。

除了以上五个系统的主要设备外,还配备有井口设备与井口工具、锅炉和发电设备等辅助装置。

2. 石油钻井的目的

石油钻井的目的较多,归纳起来主要有以下三个:

(1)了解地层变化情况,探明油、水边界和油田面积。

(2)录取第一性资料,为制定油、气田开发方案提供依据。如通过钻井可以进行岩屑录井、岩芯录井工作,利用钻成的井眼可以进行地球物理测井等工作。通过以上工作便能直接和间接取得油、气层的岩性、物性、电性和含油性等资料。这些资料都是制定油、气田开发方案和计算油、气田储量的重要地质资料。

(3) 开采油、气或注水、注气。通过各种勘探方法找到含油、气地质构造后, 要进行开采, 就必须从地面往地下含油、气地质构造上打生产井, 将生产层钻穿, 地下油、气才能够经过井眼开采出来。

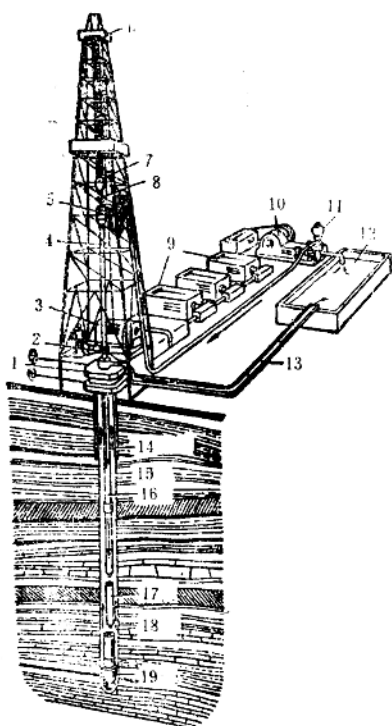


图 1-1 转盘旋转钻井示意图

1—防喷器, 2—转盘, 3—绞车, 4—方钻杆, 5—水龙头, 6—天车, 7—游动滑车, 8—大钩, 9—动力组, 10—泥浆泵, 11—空气包, 12—泥浆池, 13—泥浆槽, 14—表层套管, 15—井眼, 16—钻杆, 17—钻铤, 18—泥浆, 19—钻头

在油田开发过程中, 除了按照布井方案的要求打一定数量的生产井之外, 还要根据油田发展的需要打一些注水井或注气井, 以便向油层注入大量的高压水或高压气, 来推动油、气尽快地流到井眼里, 从而达到提高采油速度和油、气田最终采收率的目的。

3. 石油钻井的过程

整个钻井过程, 一般可以分为以下三个环节:

(1) 钻前准备 主要包括平整井场; 钻机迁装、井口装置和泥浆循环设备安装; 准备套管、钻杆、钻铤、钻头 etc 钻具和各种工具、用具及器材。

(2) 钻进 由动力系统驱动转盘转动, 从而带动方钻杆、钻杆、钻铤和钻头一同旋转。钻头在受压下旋转时, 使岩石破碎。同时, 通过循环泥浆保护井壁、润滑钻具、冷却钻头、冲洗井底、携带岩屑出井等, 以便维持正常钻进, 使井眼不断加深。

(3) 完井 主要包括电测、固井、射开油层、诱导油流及交井等工作。这些内容在《修井地质》和《修井工程》里已经作了介绍, 这里不再赘述。

二、钻井质量对采油和井下作业的影响

钻井质量的好坏, 直接影响到采油和井下作业工作。现将影响较大的问题简述如下:

1. 井斜的影响

1) 井斜的基本概念

从有利于钻井和生产的角度出发, 总希望都能钻成垂直井, 但是由于地质条件和钻井技术水平的限制, 到目前为止, 要钻成没有一点斜度的垂直井, 还是很难办到的。实际上一般井的井眼轴线, 都是一条不规则的扭曲的空间曲线。这条曲线的弯曲形状可以用它在垂直面和水平面上的投影来表示。一口井的井斜情况, 通常用井斜角、方位角、井斜变化率、方位变化率及井底水平位移等参数来衡量。

井斜角(α) 是指井眼轴线上某点切线与铅垂线之间的夹角。

方位角(θ) 是指井眼轴线上某点切线的水平投影与正北方向之间的夹角。该角以正北方向为始边, 顺时针转至终边为正, 如图1-2所示。

井斜变化率 是指单位井眼深度(一般取10米或100米)内井斜角的变化值。如四川石油管理局规定: 井斜变化率不得超过 $1.5^{\circ}/100$ 米。

方位变化率 是指单位井眼深度内方位角的变化值。如四川石油管理局规定: 方位变化率不超过 $45^{\circ}/100$ 米。

井底水平位移 是指井口和井底两点在水平面上投影的直线距离。

对直井偏斜限度的规定称为井斜标准。井斜标准不是固定不变的, 它随着不同地区地质条件的差异和钻井技术水平的高低而有所变化。如大庆油田规定: 生产井、注水井和资料井的最大井斜角不超过 3° , 井底水平位移不大于35米。四川石油管理局规定: 井深在1000米以内的井, 井斜角不超过 3° ; 1000~2000米深的井, 不超过 5° ; 2000~3000米深的井, 不超过 7° ; 深度超过3200米的井, 最大井斜角不超过 9° 。

2) 井斜对采油和井下作业的影响

(1) 为了合理地开发油田, 要求所钻井眼构成的地下井网应尽量与地面布井情况相符。如果井斜超过标准, 井眼的井底就会偏离预定位置, 使得各个井底之间的距离缩小或扩大, 这就打乱了地下井网的部署, 失去了设计井网应有的合理性, 降低油、气田的采收率。

(2) 由于井斜, 尽管钻井时达到了设计深度, 但是可能造成没有完全钻穿油、气层, 或根本没有钻达油、气层, 从而使得油井产量降低或根本不出油。

(3) 由于井斜, 在井眼弯曲度大的地方, 油流阻力增大, 容易结蜡, 形成井斜结蜡点。

(4) 井的斜度大, 井斜变化率大, 将直接增加井下分层作业和下多级封隔器的困难。

(5) 由于井斜和井斜变化率大, 形成“狗腿”状井眼, 在使用抽油泵抽油过程中, 加剧了抽油杆柱和油管的磨损, 容易造成断脱事故, 致使井下作业量增加。

(6) 当井内有落物时, 由于井斜过大, 会增加打捞工作的困难。

2. 泥浆的影响

钻井时所用泥浆性能的好坏, 不但直接影响到钻井工作的顺利进行, 而且对采油和井下作业也有很大的影响。例如:

(1) 当泥浆密度过大时, 在钻井过程中容易发生井漏, 降低钻进速度, 增加钻井成本, 堵塞油、气流通孔道, 甚至会压死油、气层。使本来具有自喷能力的油井, 也采不出油来。在实际生产中, 遇着泥浆污染严重的油井, 往往经过多次酸化、压裂解堵, 仍然不能获得理想的效果。

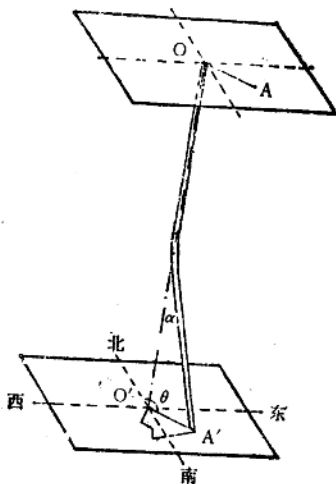


图 1-2 井斜角和方位角示意图

(2)当泥浆密度过小时,井内泥浆柱的压力小,使泥浆柱的回压不能平衡地层中油、气、水的压力。特别是在钻开疏松的高压油、气、水层时,最容易造成井喷事故。而且常常由于井喷,破坏了油层结构,引起大量出砂或冲垮油层,给采油、修井工作带来许多困难。有时甚至由于井喷而引起火灾,造成巨大的经济损失、人身事故或致使油井报废。

(3)当泥浆失水量过大时,泥浆中的一部分水分,在泥浆柱压力与油、气层压力之间所形成的压差作用下,渗透到油、气层岩石的孔隙里,使岩石胶结物膨胀,降低了油、气层的渗透率。实际生产中,往往在油、气井周围形成一个低渗透圈,增大了油、气流入井内的阻力。

3. 固井质量的影响

向井内下入一定尺寸的套管柱,并在其周围注以水泥浆把套管与井壁紧固起来的工作叫做固井。其主要目的是:封隔疏松、易漏、易塌等复杂地层和高压油、气、水层,防止坍塌、漏失和互相串通干扰,以保证顺利钻进和长期安全生产。如果固井质量不合格,就会带来许多严重后果。例如:

(1)因固井质量差,形成套管外水泥环串槽时,就会打乱开发层系,使分注分采,井下分层作业方案难以实施。

(2)当应该封隔的高压水层或气层没有封隔开时,就会严重影响开采层的生产,并给油、水井分析工作造成困难。

(3)当固井水泥浆的用量计算不准时,就会造成水泥浆上返高度不够,使应该封隔的地层层系没有封隔开;或用泥浆顶替水泥浆时,井底的水泥浆替不完,在油层部位的套管内凝结成水泥柱,给采油和修井工作都带来困难。

4. 射孔质量的影响

上述固井工作完成后,钻井工作并没有结束,因为油、气层还被套管和水泥环封固着。怎样让油、气从油层中流到井筒里来呢?目前普遍采用射孔的办法来射穿套管和水泥环,使油层中的油、气通过射开的孔眼流入井内。生产过程中的许多作业措施,也要通过射开的孔眼才能达到目的。因此射孔质量的好坏影响着采油和修井工作。例如:

(1)射孔深度的影响 根据油田勘探、开发的要求,实际射开油层的深度与设计射孔深度的误差一般不能超过 ± 10 厘米。如果射开深度误差太大,就会遗漏一些较薄的油、气层;或者误将不应该射开的高压水、气层射开,不但影响油井产量,而且还会造成油井过早水淹或气串。当严重影响采油时,就必须采取封堵措施,增大了修井工作量。

(2)射孔炮眼的影响 从有利于生产的角度出发,我们希望射成的炮眼都比较规矩,但在实际工作中,放炮射孔时常有震裂套管和水泥环的现象发生。如果震裂了,就会造成高低压油、气、水层互相串通。轻则影响油井产能的发挥,或使分注、分采、分层作业措施的效果不佳;重则就只有等修好之后,才能采取各种分层工艺措施进行开采。

(3)射孔发射率的影响 射孔发射率是指每炮爆炸弹数的百分比。在一般情况下,每炮一次下井弹数为20~120发,孔密为8~12孔/米。当发射率低或有的子弹虽然爆炸了,但未射穿套管或水泥环时,不仅会降低油井产能;还会影响酸化、压裂等增产增注措施的效果。

至于射孔以后,如何进行诱导油流等工作,将在《修井工程》试油工艺一章里介绍,这里不再赘述。

第二节 油藏能量的来源及驱动方式

一、油藏能量的来源

深埋地下的石油为什么能够从油层流到井筒里?甚至许多油层里的石油不仅可以流到井筒里,而且还能沿着很深的井筒喷到地面上来呢?这完全是由于油藏能量做功的结果。油藏能量的大小,在生产过程中通过油层压力表现出来,而油层压力的形成又是由多方面的因素决定的。为了给下一步的学习奠定基础,现将有关的基本概念和几种主要的油藏能量来源简述于下:

1. 边水压头

油藏的含油部分与含水部分的供水区之间,若存在着一定的高差,这就会产生边水压头。当油井开始采油以后,由于井内油液的不不断被采出,使得井底周围形成了低压区,即是井底周围的压力小于油层远处的压力。因而在井底与油层远处之间产生了压力差。油层中的石油就在这个压力差的作用下,源源不断地流到井筒里。如果供水区与含油区之间的高差较大,连通性较好,在边水供应充足的情况下,那么这种油藏的能量将主要来自边水压头。

2. 油层弹性力

岩石在地面看起来很坚硬,压缩性很小,但是,当其在深度为几百米至几千米的地下,由于承受着上覆岩层压力的影响,就具有相当大的弹性。

一般认为清水是不可压缩的,但事实并非如此。通过精密仪器测量,加压于水时,每增加一个大气压,一单位体积的水要比原先的体积缩小二万分之一至二万五千分之一。

而石油就具有更大的压缩性了,随着其含气饱和度的不同,能够被压缩的程度也不相同。实验证明:每增加一个大气压,石油的体积要比原先的体积缩小七百分之一至一千四百分之一。

由此可知,油层部分的岩石和油、气、水流体都是处在压缩状态下的。当油井生产时若边水不能及时补充能量,随着油、气不断喷出,油层压力就会随之下降,从而引起含油岩层和其中的流体产生弹性膨胀,挤压油层孔隙中的石油流向压力较低的井底,所以油层弹性力也是重要的驱油动力。但是油层弹性力只有在高压低饱和油田的开发初期,才具有较大的意义,因为这时油层压力下降不多,还没有引起石油中的溶解气逸出,而只是引起油层岩石和油、水液体的弹性膨胀。随着地下油、气的采出,油层压力继续下降,在弹性能量释放完毕后,油藏的驱油动力也就随着转化为其它能量。

3. 溶解气的膨胀力

如果油藏处于封闭状态,没有外来能量补充,或者虽有供水区存在,但供水区与含油区连通性较差,供水量不足,不能及时弥补采油过程中所消耗的油层能量,随着油、气采出量的增加,油层压力就不断下降,开始时消耗油层的弹性能量,当弹性能量释放完毕,油层压力降低到低于饱和压力时,原来溶解在石油中的天然气就开始分离出来,形成气泡。随着油层压力的继续降低,从石油中分离出来的气体也愈来愈多,同时分离出来的气体体积不断膨胀,携带并驱动油层中的石油流向压力较低的井底。

4. 气顶压缩气体的膨胀力

有的油藏存在着气顶，是油层里的石油溶解气量达到饱和以后，多余的天然气聚集在油藏顶部而形成的。气顶里的气体处于压缩状态，当油井生产时所产生的压力降传递到气顶以后，气顶中的气体便开始膨胀，驱动油层里的石油流向井底。如果气顶的体积较大，气顶气体所储存的能量，也是采油时的重要能量来源之一。

5. 重力

当油田到了开发的末期时，其它驱油入井的能量都已消耗完，石油只能靠本身所具有的重力从油层的高处流向低处进入井底。

以上列举了五种驱油能量，但是对于某一个大油藏来讲，并不是几种驱油能量都同时

起着同样大小的作用，而是在油田开发的不同阶段，其中只有一种能量起着主导的、决定的作用，其它几种能量则处于次要的从属的地位。

二、驱 动 方 式

在生产过程中，主要依靠哪一种能量来驱油入井，就称为哪种驱动方式或者叫做哪种驱动类型。例如：某油藏的油层倾角较小，油、气聚集在油藏的较高部位，四周为边水所环绕，而且边水的供应又很充足，并有边水露头存在，象这样主要依靠边水的能量来驱油入井的油藏就称为边水驱动油藏。或者把这种油藏的驱动方式叫做边水驱动方式。在石油生产现场，通常把边水驱动方式、底水驱动方式和注入水驱动方式统称为水压驱动方式，如图 1-3 所示。除此之外，还根据起主导作用的驱油能量，把油藏的驱动方式划分为弹性水压驱动、溶解气驱动、气顶气驱动和重力驱动等。

在各种不同的驱动方式下，其油藏的生产特点为：

(1) 水压驱动油藏的生产特点是油层压力、产量和油气比

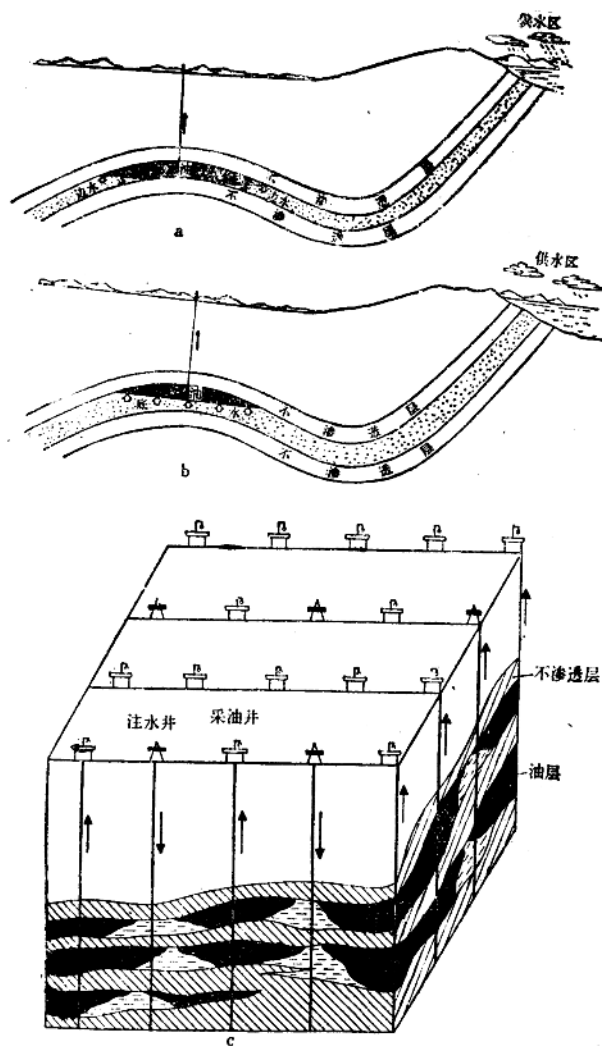


图 1-3 水压驱动方式示意图

a—边水驱动方式；b—底水驱动方式；c—注入水驱动方式

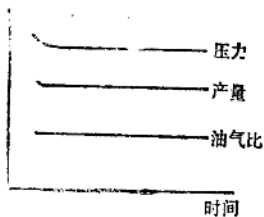


图 1-4 水压驱动生产特征曲线示意图

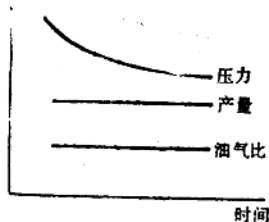


图 1-5 弹性水压驱动生产特征曲线示意图

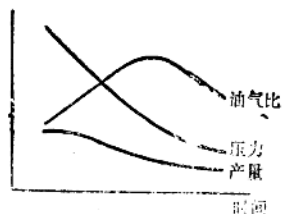


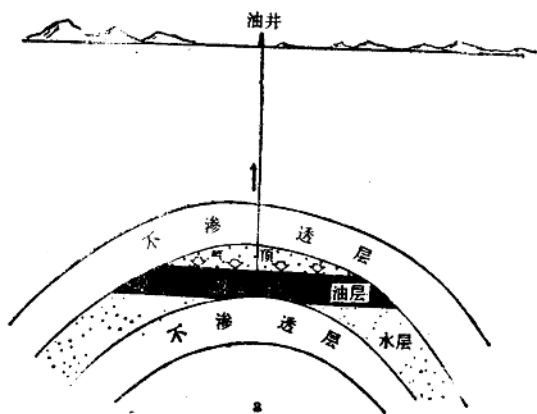
图 1-6 溶解气驱动生产特征曲线示意图

基本保持稳定,如图1-4所示。当这种油藏具备了供给的水量和采出的油量相等的条件时,其油层压力、产量和油气比将始终保持不变。具备了这种理想条件的油藏就称为刚性水压驱动油藏。

(2)弹性水压驱动油藏的生产特点是当保持采液量不变时,油层压力逐渐下降,油气比不变,如图1-5所示。

(3)溶解气驱动油藏的生产特点是油层压力不断下降,油气比迅速上升,当石油中的气体大量逸出以后,油气比又急剧下降,产量在开发初期的极短时间内比较稳定,然后很快转为下降,如图1-6所示。

(4)气顶气驱动油藏的生产特点是产量比较稳定,压力逐渐下降,油气比逐渐上升。但是,当气顶气突入生产井之后,油气比就急剧上升,如图1-7所示。



(5)重力驱动油藏的生产特点是油层压力、产量和油气比都很低,而且缓慢下降。这种油藏已失去了大规模工业开采的价值。

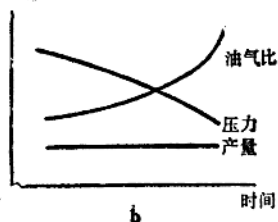


图 1-7 气顶气驱动方式及其生产特征曲线示意图

a—气顶气驱动方式; b—气顶气驱动生产特征曲线示意图

第三节 油井自喷的基本原理

欲知道油井自喷的基本原理,首先应该了解自喷采油的过程,自喷能量的来源和能量的消耗以及油气混合物在井筒中的流态等问题。所以,本节从自喷采油的过程讲起。

一、自喷采油的过程

在油田的自喷开采过程中,油藏内的油气混合物,要经过互相衔接在一起的三段路程。即从供油边界流到井底,再从井底喷到井口,接着沿集油管道流到集油站。这三段路程实际上是一个整体油流通道,也就是自喷井的油气生产流程。为了给讲述油井自喷原理打好基础,所以着重说明自喷井生产流程中的前面两个生产过程。

1. 油气混合物径向渗流过程

在这一过程里,油气从供油边界流到井底。油气通过岩石的连通孔道流动,虽然流经的孔道复杂曲折,但从总体上看,其流动特征还是以水平方向为主。当油井处于生产状态时,油层中的油气便从油井的四周成辐射状态向井底集中。如果把一口油井的井底当作圆心,那么油气就沿着半径的方向向圆心渗流,即“径向渗流”。在这一过程中,油气流动将受到很多阻力。例如:

(1) 由于油层中的岩石颗粒大小不等,形状各异,构成了错综复杂的微小孔隙。当油气流体在油藏能量作用下,通过这些微小孔隙时,流体与岩石孔隙表面之间将产生很大的摩擦阻力。这一阻力的大小主要通过油层渗透率的大小反映出来,油层渗透率越高,油流阻力越小,在油气流入井内的渗流过程中所消耗的能量也就越少;反之,油层渗透率越低,油流阻力越大,在油气流入井内的渗流过程中所消耗的能量也就越多。

(2) 由于液体流动时,要受到液体本身内部的摩擦阻力影响,这种阻力通过液体粘度大小反映出来。天然石油的粘度差别很大,一般在3~100厘泊($1\text{cP}=1\times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$,以下同)之间,有的甚至可以达到几千厘泊以上。粘度大的石油,其流动阻力就大,在流动过程中所消耗的能量也就多。

(3) 流动阻力的大小和流体所通过的横断面积大小及距离井底的远近有关。流体距离生产井底越远,在流动过程中所通过的横断面积越小,受到的阻力就越大,消耗的能量也就越多。

以上所说的这些阻力,统称为油层的渗滤阻力。所以油气向井内流动的过程,也就是油层压力不断克服渗滤阻力的过程。通常把克服渗滤阻力而损失的这一部分压力叫做生产压差或采油压差。在实际生产中采用下式计算。

$$\Delta p_{\text{生产}} = p_{\text{静}} - p_{\text{流}}$$

式中 $\Delta p_{\text{生产}}$ ——生产压差,帕 ($1\text{at}=9.80665\times 10^4\text{Pa}$,以下同);

$p_{\text{静}}$ ——油层静止压力(或叫油层压力、地层压力)。是在关井后,井底压力回升,待压力恢复到稳定时测得的油层中部压力,帕;

$p_{\text{流}}$ ——流动压力(或叫井底压力)。是油井在正常生产时测得的油层中部压力,帕。

2. 油气混合物在垂直管道中的流动过程

在这一过程里,油气从井底通过油管或套管喷到井口。其流动特征以垂直方向为主,因此这一流动过程应属于“垂直管道流动”。油气混合液体能够在垂直的油、套管里上升,主要有以下两方面的能量在起作用,其能量来源及消耗过程如下。

1) 井底油流所具有的静水压头能量及其在自喷过程中的消耗

油层压力在上面所讲的径向渗流过程里克服了渗滤阻力,使油气流入井底以后,还有

相当多的剩余能量，从流动压力的高低上反映出来，所以说流动压力就是推动原油沿井筒上升的动力。如果某井是单纯依靠流动压力所具有的静水压头而自喷的，那么，该井必须具备下列两个条件：

(1) 井底的流动压力必须大于井筒内液柱的压力。即

$$p_{\text{流}} > \frac{H_{\text{油}} d}{10}$$

式中 $H_{\text{油}}$ ——油层中部深度，米；

d ——井内油气混合物的相对密度；

10——10米高水柱产生的压强相当于一个工程大气压。

(2) 井口压力必须大于原油的饱和压力，溶解在原油中的气体才不会分离出来。也只有上述两个条件都同时具备的情况下，油井单纯依靠流动压力的能量进行自喷，才能实现。

在上述情况下，如果油井能处于稳定自喷状态。那么，从油层中渗流到井底的液量应等于从井底被举升到地面上来的液量。其井底的流动压力 ($p_{\text{流}}$) 就应和井口回压 ($p_{\text{井口}}$)、井筒内的液柱压力 ($p_{\text{液}}$) 以及克服液体由井底上升到井口的过程中与油管内壁产生的摩擦损失所消耗的能量 ($p_{\text{摩}}$) 相平衡。即

$$p_{\text{流}} = p_{\text{井口}} + p_{\text{液}} + p_{\text{摩}}$$

2) 气体膨胀能量及其在自喷过程中的消耗

根据气体的来源不同，油气混合物从井底上升到井口的过程中，气体的膨胀能量有以下两种：

(1) 随同油流进入井底的自由气的膨胀能量。油流在井内上升过程中，要克服各种阻力而消耗能量，因此压力就要随着油流上升高度的增加而逐渐降低，自由气的体积也就要随着压力的下降而膨胀，同时释放出举油上升的能量。

(2) 从原油中分离出来的溶解气的膨胀能量。原油在井内上升过程中，其井筒内的压力要随着举升高度的增加而降低，当压力降低到原油的饱和压力时，溶解在油中的溶解气就要开始分离出来，分离出来的溶解气体积，也要随着压力的降低而膨胀，并释放出举油上升的能量。

气体的体积膨胀之所以能够举油上升，主要有两种作用：一种是气体膨胀的能量直接作用于液体上，垂直地顶推液体上升；另一种是油气混合物在上升过程中，气体和液体之间产生了摩擦，因为气体的密度比液体密度小，气体上升的速度比液体上升的速度大，所以，气体能够依靠摩擦作用携带液体上升。但是，气体举升液体时，所消耗的能量比较大，因为除了消耗于实际举液出井的能量外，还由于气、液两相流动时，气体与液体产生相对运动，造成了额外的“滑脱损失”。同时，还增加了气体与液体之间的摩擦阻力和气液混合物与油管壁之间的摩擦阻力。所以，气、液两相流动时所受到的阻力，要比单相流动时大得多。

上述油井自喷的两个过程和动力克服阻力的情况，如图1-8所示。

二、油气混合物在井筒中的流动形态

由于混气液体在油管中的两相流动情况比较复杂，在不同的井段，其流动形态（简称

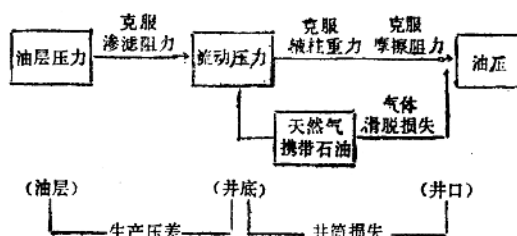


图 1-8 油井自喷过程示意图

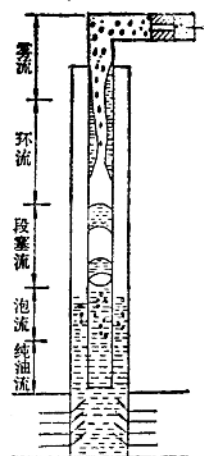


图 1-9 油气在井筒中的流动状态图

流态)不同,所受到的阻力大小不同,能量的消耗情况也不同。为了进一步说明以上这些复杂情况,这里介绍一下油气混合物在井筒中的流动形态。

通过大量实验证明,油气混合物在井筒中的流动形态,从井底至井口大致可分为以下五种,如图1-9所示。

(1)纯油流 这种流态位于靠近井底的井段,必须是在井底压力高于饱和压力,气体全部溶解在石油之中,油流呈单相流动的情况之下才有可能出现。在此井段的油流速度较低,摩擦阻力较小。

(2)泡流 此段井筒压力稍低于饱和压力,只有少部分溶解气从原油中分离出来,形成小气泡存在于油流中。由于气、液密度差异,气体上升的速度大于液体上升的速度,于是气、液两相运动开始形成,油为连续相,气为非连续相。在此井段,气泡很小,小气泡容易从油中滑脱而自行上移,几乎起不到举升原油的作用,于是产生了较大的滑脱损失。但由于流速不大,所以摩擦阻力仍然很小。

(3)段塞流 随着油流上升,压力逐渐下降,使得井筒中的压力比饱和压力低得更多。不但溶解气从油中大量分离出来,而且气泡不断膨胀增大,许多小气泡合并成了大气泡,进而由大气泡形成了气柱,于是在井筒内便出现了一段油、一段气的柱塞状态。这时气柱就象一个不精密的活塞一样,快速推举原油上升,使气体的膨胀能量在此井段得以充分地发挥。虽然这个“气体活塞”不精密,有少部分液体沿管壁下滑,但滑脱现象不严重,滑脱损失很小。

(4)环流 随着井筒压力进一步降低,从油中分离出来的溶解气也越来越多,而且气体体积更加膨胀增大,使得气柱不断加长,直至从油管中心突破,形成中心为连续气流,管壁为液流的环流状态。在此井段,气流上升速度增大,油、气之间的摩擦阻力增加,气体携带石油上升的作用得以充分发挥。

(5)雾流 随着井筒中的气体大量增加,气体全部占据了这段井筒容积,形成连续的气相,而原油则变成了小油滴分散在气体之中,形成分散相。因而,此段井筒内的油气混合物,全部变成了雾流状态。气体以很高的流速携带着小油滴上升,直至喷出井口。由于

气流速度很大，所以摩擦损失也很大。

上述五种流态，并不是在所有的自喷井中都能够出现，只有在油气比很高，而井筒压力不很高的自喷井中，才有可能出现；在油气比较低，流压较高的自喷井中，通常只能出现纯油流和泡流两种流态；在一般的自喷井中，出现得最多的是纯油流、泡流和段塞流三种流态。我们经常可在自喷井井口听到“刺、刺、刺……”出气的声音以后，接着就是“哗、哗、哗……”出油的声音，以后又是这两种声音的不断循环，这就证明了该井井口正处在段塞流的流动状态。

三、油井自喷的基本原理

前面讲述了自喷采油的过程，油井自喷的能量来源和能量的消耗以及油气混合物在自喷井井筒中的各种流态变化等知识。至此，我们对油井自喷的原因和混气液流在自喷过程中所受到的各种阻力，已经有所了解。而且知道了混气液体在井筒中的流动情况很复杂，流动速度和流动状态在不断变化，混气液体要克服各种阻力而流动和上升，所受到的影响因素也很多。因此，尽管国内外不少研究人员，在近几十年内围绕着如何减少自喷能量的消耗，如何提高举油效率，如何预测自喷井生产变化情况等问题，对混气液体的垂直管流机理加强了研究，做了大量的实验和分析计算工作。但是，直到目前为止，关于自喷采油的机理和许多实际问题都还未弄清楚，正处在研究之中，还没有形成一套完整的理论。

为了便于初学者学习，在此简要地将油井自喷的基本原理归纳如下。

油井自喷的主要动力是油层压力。油层中的原油依靠消耗一部分油层压力来克服渗透阻力后流入井内。流入井内的原油又在流动压力的推举下沿井筒向上运动，在上升过程中压力不断降低，当压力降低到原油的饱和压力点时，溶解在原油中的天然气开始分离出来。并随着井筒压力越来越降低，分离出来的溶解气也越来越多，这些气体随着油流向上运动，逐渐聚集膨胀，推顶和携带原油上升。所以，井底原油能够在井筒中向上运动，一是依靠流动压力所具有的静水压头能量推举原油上升；二是依靠天然气的膨胀能量推顶和携带原油上升。由于以上这些能量，克服了井筒中的液柱重力、摩擦损失和滑脱损失等，才使得原油从井底喷到了地面。

第四节 自喷井井场设备

自喷井井场设备主要包括井口装置、油气分离器、加热炉和储油罐等。下面分别介绍这些设备的作用、结构、原理、性能、规范和操作时的注意事项。

一、自喷井井口装置

自喷井井口装置，在石油矿场上统称为采油树。有的人又把采气井上的井口装置叫做采气树。实际一般都是由套管头、油管头和采油树三大部分组成。

1. 套管头

套管头是组成井口装置的最下面的部分。其作用是连接井内的各层套管，密封各层套管的环形空间。连接两层套管的套管头的结构及连接方法如图1-10所示。表层套管用套管法兰与套管头下法兰连接，油层套管用丝扣与套管头内丝扣连接。

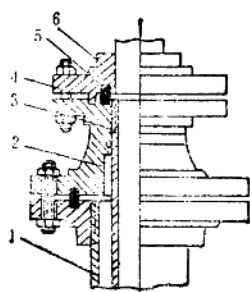


图 1-10 套管头示意图

- 1—表层套管；2—套管头；
3—油层套管；4—公母扣；5—钢圈；
6—套管四通下法兰

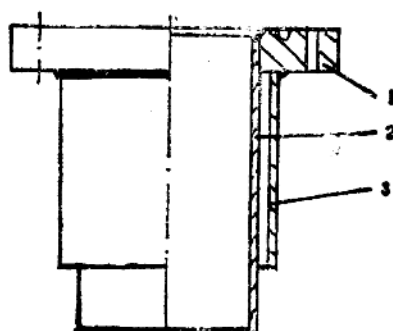


图 1-11 用法兰连接双层套管示意图

- 1—法兰盘；2—油层套管；
3—表层套管

近几年来，有的油井已不用套管头了，而是将表层套管和油层套管直接焊在一个套管法兰盘上（不下表层套管的井，只需把油层套管焊在套管法兰盘上即可），然后再用双头螺栓将套管法兰和套管三通或四通的下法兰连接起来，在这两个法兰之间用钢圈密封，如图1-11所示。

在只下一层油层套管的井上，除上述方法外，还可在油层套管上端连接一个套管接箍和一根套管短节，再用丝扣将套管三通或四通和套管短节连接在一起，如图1-12所示。

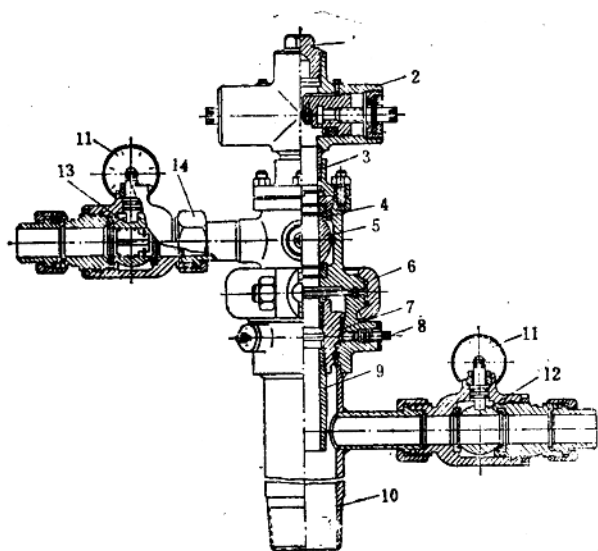


图 1-12 庆150型井口装置图

- 1—丝堵；2—清蜡闸门；3—连接法兰；4—密封圈；5—球阀（总闸门）；
6—卡箍；7—油管悬挂器；8—顶丝；9—油管挂短节；10—套管连接短节；
11—压力表；12—球阀（套管闸门）；13—球阀（油管闸门）；14—油壬