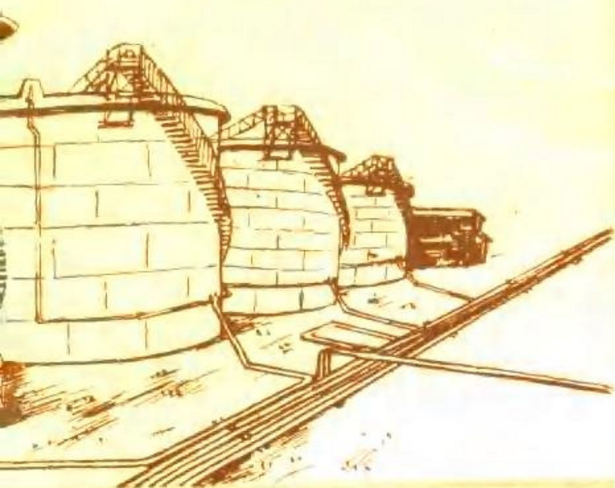
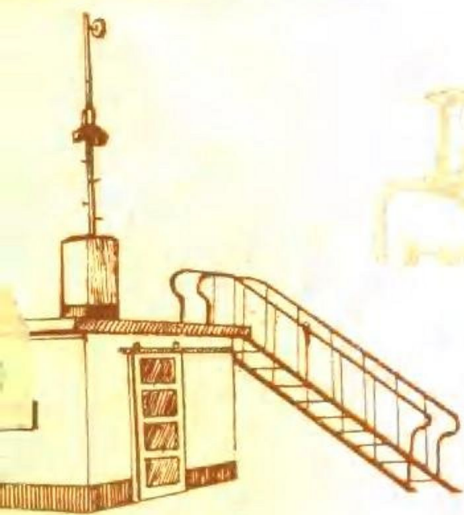


石油职工
继续学习丛书



油井维修

〔美〕 得克萨斯大学 编



石油工业出版社

TE358

63

石油职工继续学习丛书

油井维修

〔美〕得克萨斯大学 编

唐北星 周惟英 李继康 赵 钧 王殿凯 迟瑛琳 译

石油工业出版社

A923457

内 容 提 要

本书为国际钻井承包商协会发起，由美国得克萨斯大学主编的一本修井工人培训教材。本书共有十二章，内容包括石油地质、测井方法、完井方法、人工举升采油、修井设备、地层压力控制、各种修井作业（洗井、防砂、堵漏、封窜、套管修理、打捞等）及增产措施等，并有一章介绍修井作业的经济效果分析。本书以介绍具体操作为主，对安全操作、设备及工具的正确使用及维护保养作了较为详细的介绍，附有较多的照片及图表，大部分章后并附有复习题。

本书除了可供修井工人作为培训教材之用外，对从事这方面工作的管理人员及科技人员也有一定的参考价值。

本书第一、七、十、十二章由周惟英译，第二章由王殿凯译（陈景山校），第三、五、八章由唐北星译，第四、九章由李继康译，第六章由迟瑛琳译，第十一章由赵钧译，全书校订工作由唐北星担任。

PETROLEUM EXTENSION SERVICE
THE UNIVERSITY OF TEXAS
LESSONS IN WELL SERVICING AND WORKOVER
INTERNATIONAL ASSOCIATION OF
DRILLING CONTRACTORS

石油职工继续学习丛书

油 井 维 修

〔美〕得克萨斯大学 编
唐北星 周惟英 李继康 赵 钧 王殿凯 迟瑛琳 译

石油工业出版社出版发行
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
北京轻工出版社印刷厂排版
北京顺义燕华营印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 27³/₄ 印张 633 千字 印 1-2,000
1982年7月北京第1版 1982年7月北京第1次印刷
书号：15037·2196 定价：2.25元

出版说明

美国得克萨斯大学有关部门受美国石油学会和美国国际钻井承包商协会的委托，从六十年代起，陆续编写了一套为刚从事石油工作的人员学习的丛书，这套书经多次修订再版，已逐步完善，并日益受到石油工作者的重视。据我们目前的了解，这套丛书包括石油钻井、石油和天然气开采、油井的维护和大修、石油储运、海洋操作技术和基础知识方面的内容。这套丛书适于新工人自学，也可以作为培训技工的教材，有的内容则可作为初学者的入门指导。

我们现将拿到手的部分陆续翻译出版，并统称为《石油职工继续学习丛书》，以供我国石油工作者，特别是石油厂矿工人学习参考用。我们相信，随着我国石油工业的发展，以及与国际间石油技术交流活动的开展和新设备的不断引进，将这套丛书介绍给我国的石油工人，对我们的工作是有一定的益处的。

目 录

第一章 油井维修概论	(1)	第二节 有杆抽油装置	(177)
第一节 概述	(1)	第三节 气举	(201)
第二节 人工举升采油	(8)	第四节 水力活塞泵装置	(207)
第三节 修井设备	(11)	第五节 潜油离心泵装置	(212)
第四节 油井的维护	(14)	复习题	(215)
第五节 洗井和修井	(18)	第六章 修井设备	(217)
第六节 地层压力控制	(23)	第一节 概述	(217)
第七节 打捞作业	(27)	第二节 早期的修井作业设备	(217)
第八节 增产措施	(29)	第三节 卡车装修井机	(222)
第九节 维护和修理井的利润	(32)	第四节 自走式修井机	(229)
复习题	(34)	第五节 抽油杆的移运方法	(238)
第二章 石油地质及储集层	(36)	第六节 抽油杆紧扣	(238)
第一节 概述	(36)	第七节 辅助设备	(239)
第二节 地质学的基本概念	(36)	第八节 泥浆泵和泥浆池	(243)
第三节 地质概念的应用	(48)	第九节 修井机操作安全措施	(248)
第四节 石油聚集	(63)	第十节 移动式桅式井架的安全措施	(248)
第五节 石油储集层	(78)	第十一节 自走式修井机桅式井架检查程序表	(249)
第六节 产油井的特征	(86)	第七章 井的维护和修理	(252)
第七节 采气井的特性	(89)	第一节 有杆泵	(252)
复习题	(90)	第二节 抽油杆	(261)
第三章 测井方法	(92)	第三节 气举井	(275)
第一节 裸眼井测井	(95)	第四节 井下水力活塞泵	(279)
第二节 套管井测井	(121)	第五节 潜油泵	(280)
复习题	(131)	第六节 油管的损坏	(282)
第四章 完井方法	(133)	第七节 结垢和结蜡	(293)
第一节 概述	(133)	第八节 抽汲	(295)
第二节 完井方法的发展	(135)	第九节 采油封隔器	(300)
第三节 射孔	(136)	复习题	(309)
第四节 裸眼完井	(142)	第八章 洗井和修井方法	(310)
第五节 尾管完井	(143)	第一节 概述	(310)
第六节 套管射孔完井	(147)	第二节 完井和修井泥浆	(310)
第七节 钢丝作业完井设备	(159)	第三节 冲砂	(314)
第八节 油井诱喷	(169)	第四节 防砂措施	(316)
复习题	(172)	第五节 封堵	(318)
第五章 人工举升采油方法	(174)		
第一节 概述	(174)		

第六节 挤水泥	(320)	复习题	(394)
第七节 套管修补	(326)	第十一章 增产措施	(396)
第八节 侧钻	(328)	第一节 概述	(396)
第九节 加深钻井	(331)	第二节 水力压裂	(396)
复习题	(334)	第三节 酸化	(410)
第九章 地层压力控制	(335)	第四节 爆炸	(417)
第一节 概述	(335)	复习题	(422)
第二节 井的压力	(336)	第十二章 井维修的利润分析	(424)
第三节 井喷显示	(340)	第一节 概述	(424)
第四节 压住即将发生的井喷	(346)	第二节 矿区的收入和开采	
第五节 防喷设备	(354)	成本	(426)
第六节 防喷器的试验和训练	(362)	第三节 井的维护	(429)
第十章 打捞工具和打捞技术	(364)	第四节 经济限度	(429)
第一节 概述	(364)	第五节 修井	(430)
第二节 绳索作业	(365)	第六节 增产措施	(434)
第三节 打捞工具	(368)	第七节 加深钻井或封堵	(434)
第四节 卡点的确定	(381)	第八节 废井的封堵和处理	(437)
第五节 打捞卡住的油管	(384)	第九节 改变井的用途	(437)
第六节 打捞卡住的封隔器	(386)	第十节 修井成本的控制	(437)
第七节 打捞尾管	(391)	复习题	(438)

第一章 油井维修概论

第一节 概述

美国现在消耗的能源的四分之三是由石油和天然气提供的。在美国，每天差不多要消耗一千万桶原油、凝析油和 6 千万英尺³天然气，需要上千个油田才能满足要求。1970 年间，为满足对燃油、润滑油以及上千种日用石油产品原料不断增长的需求，需要开采 60 万口以上的油气井。同时，为了储气、处理废液和维持油层压力，还需要五万口辅助井。

由于井内的机械故障或油、气层的枯竭，几乎每一口生产井迟早都会丧失生产能力：废液处理井或注水井有时也需要进行修理。因此，需要雇用从事维护和修理工作的承包商，进行一些必要的修理工作以保持或改善井的生产能力。这些承包商拥有类似本书插图所示的可移动式设备，可以从事恢复井的正常生产所需的特殊作业。一种维修工作可能需要一台车装轻型绞车和两三名工人，以便操作抽子（一种类似活塞的装置，固定于缠绕在滚筒的钢丝绳上），使有自喷能力的井喷油。另一种维修工作可能需要带较高井架的大一些的设备，并由几个人组成的井队，以便从井内起出抽油杆（由螺纹连接起来的金属杆，几乎一直伸到井底），并修理抽油泵。再一种维修工作可能需要一台能力更大的绞车和井架，以便将油管起出。油管是由每根长约 30 英尺，带螺纹的管子连接起来的管柱，是原油或天然气从地下储层到地面的通道。这类设备几乎都是自走式的，其中有些设备的发动机输出功率达 600 马力，很多设备都装有 100 英尺高的、利用液压起升的井架。较大修井机的井队由四人组成，某些情况下，为倒班作业，需要雇用更多的井队工人。

一、钻井

钻机和钻井队的任务是开发油田。而维持井的生产能力则靠修井设备和修井队及承包商来完成。修井设备比钻机轻，因此移运性要比钻机好。

图 1-1 所示是一台典型的中深井钻

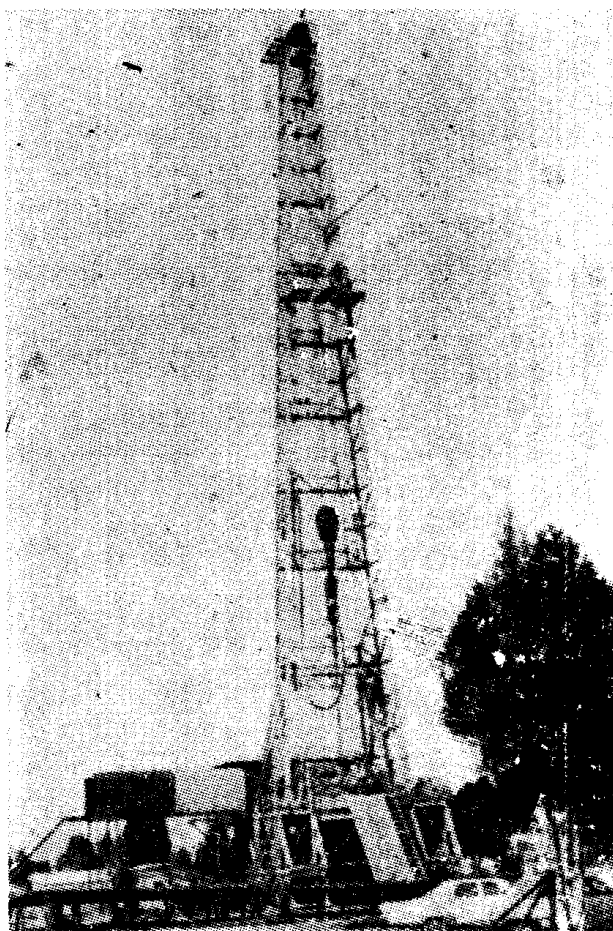


图 1-1 中深井钻机

机。在钻到生产层并下入套管形成井之后，剩余的生产准备工作可能继续使用钻机，也可能不用钻机。有时，将价钱较高的钻机搬往另一井位，而利用一台修井设备进行完井作业。

如井的储油气层压力充足，井就可以自喷。但很多井的压力不足以自喷，必须用专门的设备进行“人工举升”。需要进行人工举升时，通常是将钻机搬走，而利用修井设备将人工举升装置安装到井下，并同时进行其它的完井作业。

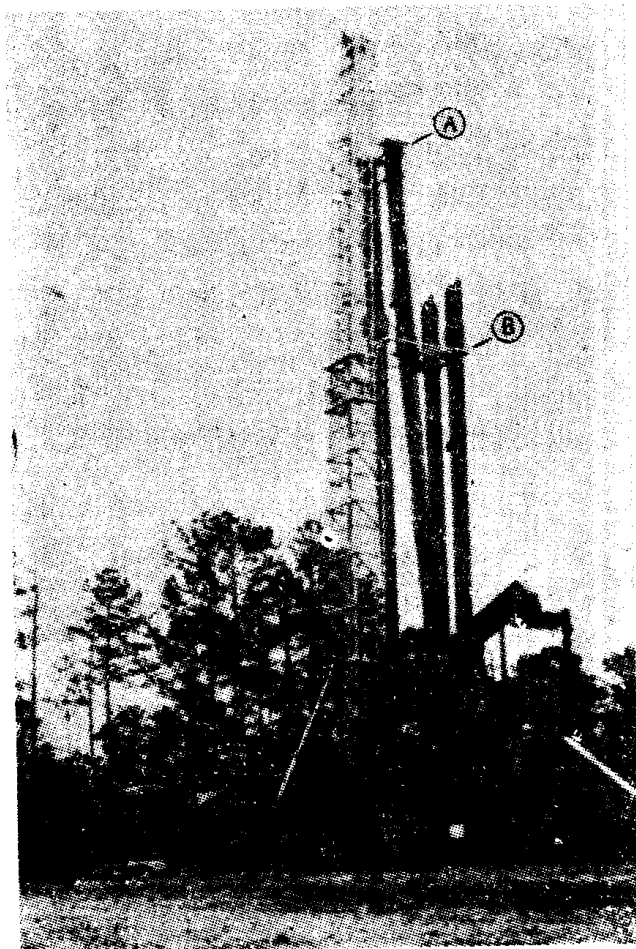


图 1-2 自走式修井设备。该设备正从井内起抽油杆和油管。75英尺长的抽油杆悬挂在管架(A)上，油管立靠在二层台(B)上

它液体通过油管打到井底，然后再从油管外面返回到地面上的罐内，从而完成循环。

四、地下储层

井口装置、罐和其它设备是油田的标志。而石油本身却是在很多年以前形成和聚积起来的。为开采石油，在地面设备和钻井工程方面需要巨大的投资。石油很少在粘土层或页岩内形成，而这些地层的面积却又非常广阔，可能有上百平方英里。当分散的石油通过孔隙地带进入一“圈闭”（此处可以聚积大量的油，而且往往周围是无孔隙而不可渗透的地层）时，就会聚积起来成为有商业价值的油田。图1-4所示是在一个由含油砂层上下的不可渗透层褶皱而形成的底部是水的油气圈闭。图1-5所示的是由于含油砂层

二、井的维护

图 1-2 所示为一修井设备，其上有起抽油杆的绞车；更换泵或修理抽油杆时，常常要从井内起出抽油杆。负荷能力较大的这种设备还可以用来起油管。通常，修井设备配备有工具和专用设备，以适用于不同尺寸的抽油杆和油管。如图 1-2 所示，从井内起出的抽油杆应竖直地悬挂起来，而油管则应立靠在井架内。井的维护这个术语是指对于已经生产一定时间的井，为保持生产能力所需要的作业，即安装人工举升装置，修理油管柱以及检查其它的井下设备等。

三、井的修理

图 1-3 所示的修井机用于范围更广的修井作业。修井这个词是油田用的一个术语，指改变井的生产层段或清洗井等恢复井的生产能力的作业。从很多方面看，修井机就是小型的钻机。它的井架里也有靠放管子的二层台，也有使井内管柱旋转的设备以及高压泵。高压泵用来循环内的液体，即靠泵压将水或其

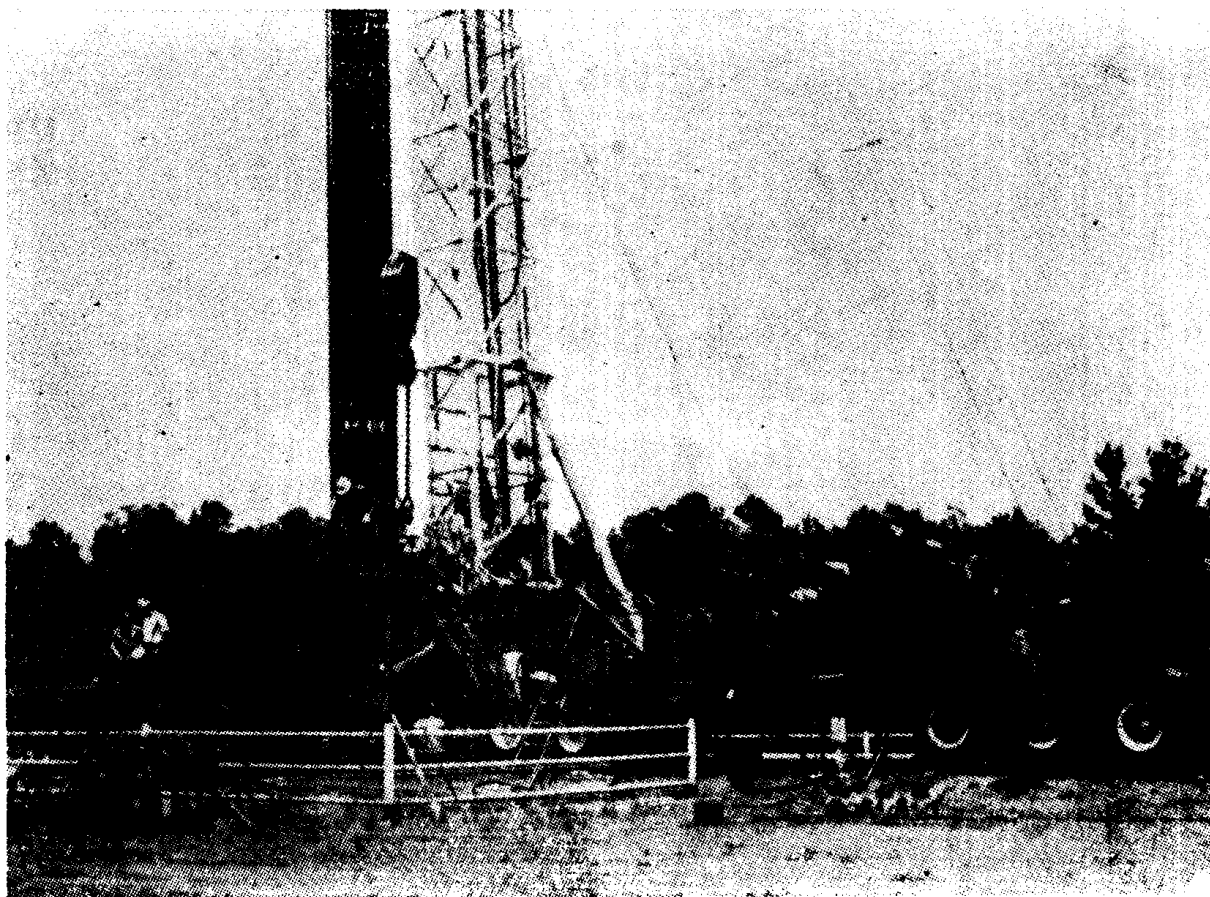


图 1-3 自走式修井机

顶着上部不可渗透地层产生尖灭而形成的圈闭。还有其它使流动的油气聚积起来的圈闭，可以肯定地说，地下油气都聚积在带孔隙的岩石内，因而形成可以开采的储层。

五、储层的导流

钻好井，下完套管并做好其它采油准备工作后，还有一个问题，即油是否会流入井内。估计一口油井的开采面积约40英亩多一些，而许多气井的开采面积可达320英亩以上。就像从罐底泵入水可以使罐内的油上升并溢出那样，如果储层底下的水的压力充足，水则会使油“浮”起来。如罐顶是盖住的，在油上面注入高压气体，则气体就会往下推油面，油即会沿一根插在罐底部的管子上升。某些油层具有的第三种推动力是重力；很明显，如打开罐底部的阀，油就会流出。

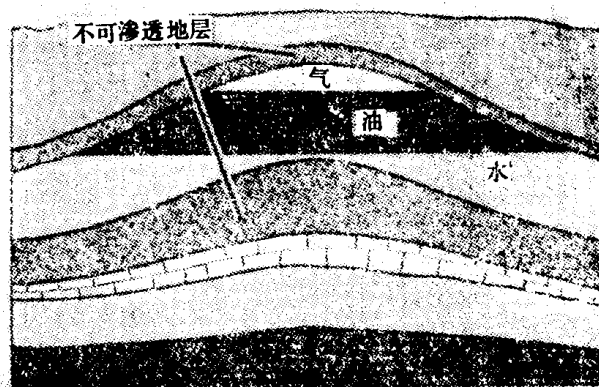


图1-4 背斜或穹窿状含油构造

通常，使储层内的油气流入井内的最重要的驱动力是水驱。如果油气的产量不超过进入储层的水量，则可保持储层压力，油井可以不断地自喷，直到大部分油气耗尽为

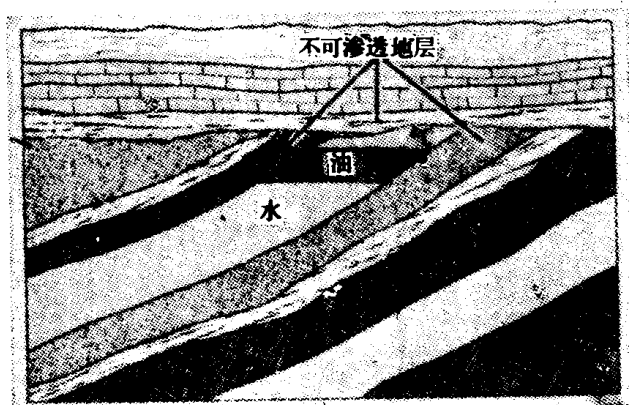


图 1-5 地层圈闭

止。图1-6所示为水驱开采方式。这种驱动方式效率最高，采收率也最高。如图所示，这类井的修理工作往往是堵水和在套管上较高的部位重新射孔，以采得套管周围的油。

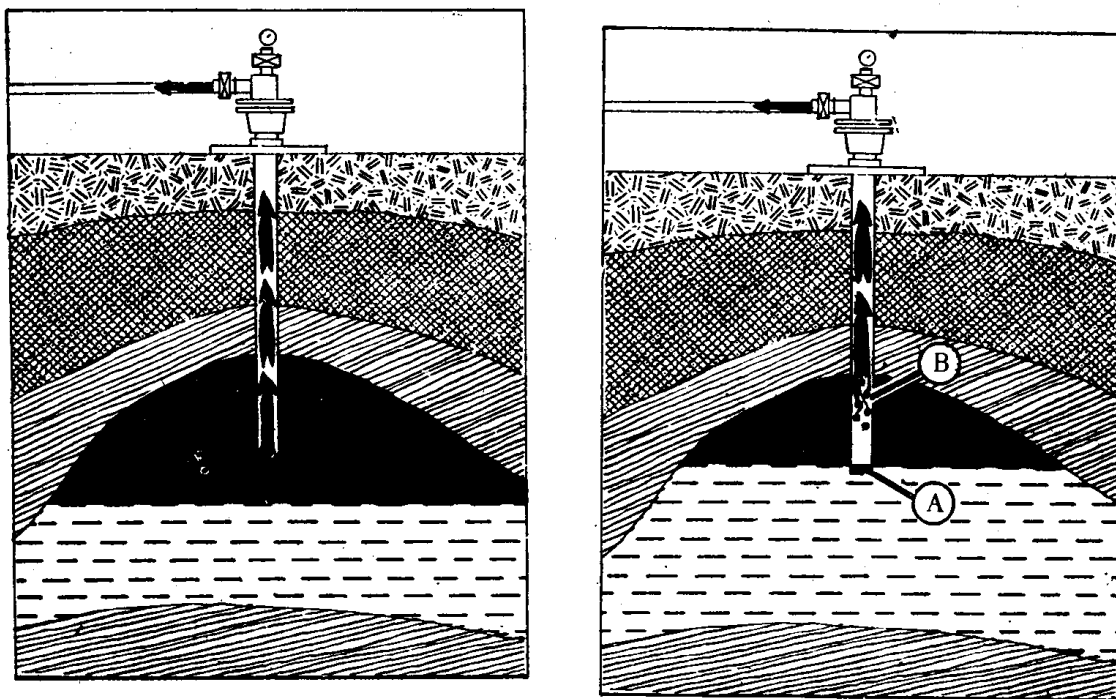


图 1-6 水驱储油层

左图为早期采油阶段，只要维持油下面水的压力，油就会不断地从井内喷出。但随着油不断喷出，油和水界面逐渐上升。右图表示水已到达油井套管的下端。套管周围的油无法采出，只有水能进入井内。通过修井作业已在井内打上一水泥基(A)，并在套管较高处重新射孔(B)，上部的油便流入井内。

另一种重要的驱动力是气体的膨胀。地下储层内的气体和液体压力随深度而升高。有时，天然气与原油是分开的，但大多数情况下，天然气都象帽子一样位于石油的上面。图1-7所示为“气顶”驱动方式。随着石油被采出，油面下降，气顶内的气体则膨胀，因而其压力下降。“溶解气”是指与油同时采出的气体，这种气体溶解在原油中，就象汽水中的二氧化碳气体。一旦将压力释放，气体就会从原油中逸出。如果压力降得非常低，井就不出油了，而且会形成图1-8所示的气顶。这类气体膨胀驱油井的维护工作常常是装设人工举升设备，以将原油举升到地面，图为储层压力已降到不能自喷的程度。

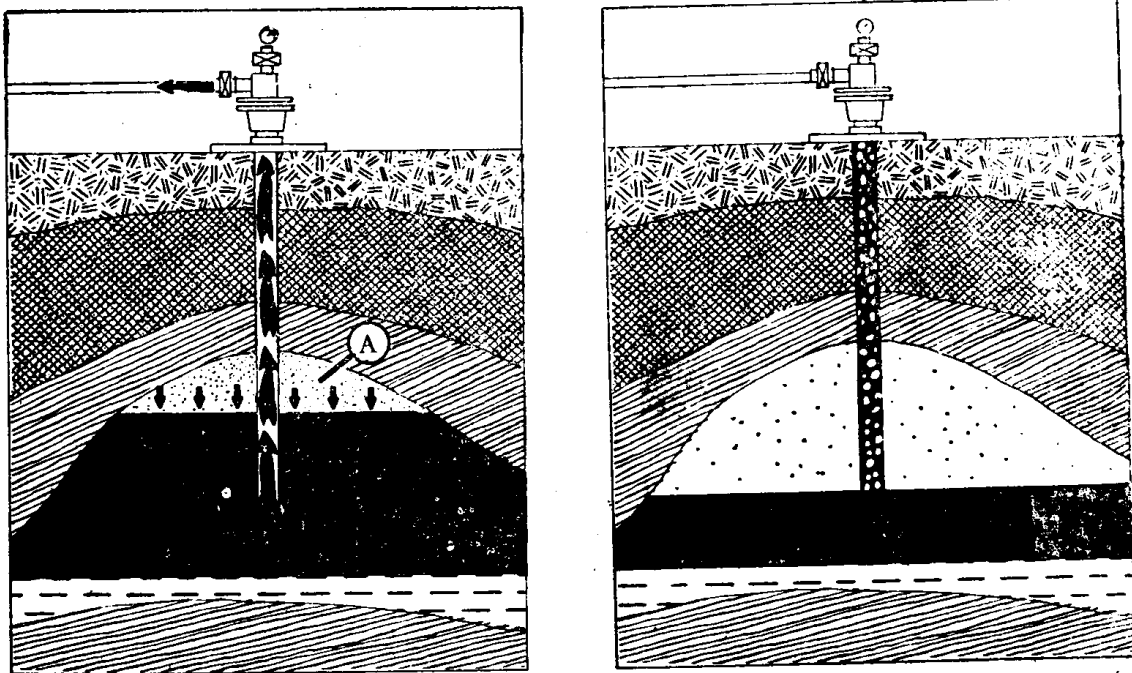


图 1-7 气体膨胀驱动的油层

左图表示靠油气界面以上的气顶膨胀而驱油。注意油井内管柱下到油层内相当低的位置。气体压力将油驱入井内，并使油沿套管上升到地面。右图表示油层接近枯竭阶段。油层内大部分油已采出，气顶扩大了。这种井所产的油中含过量的天然气

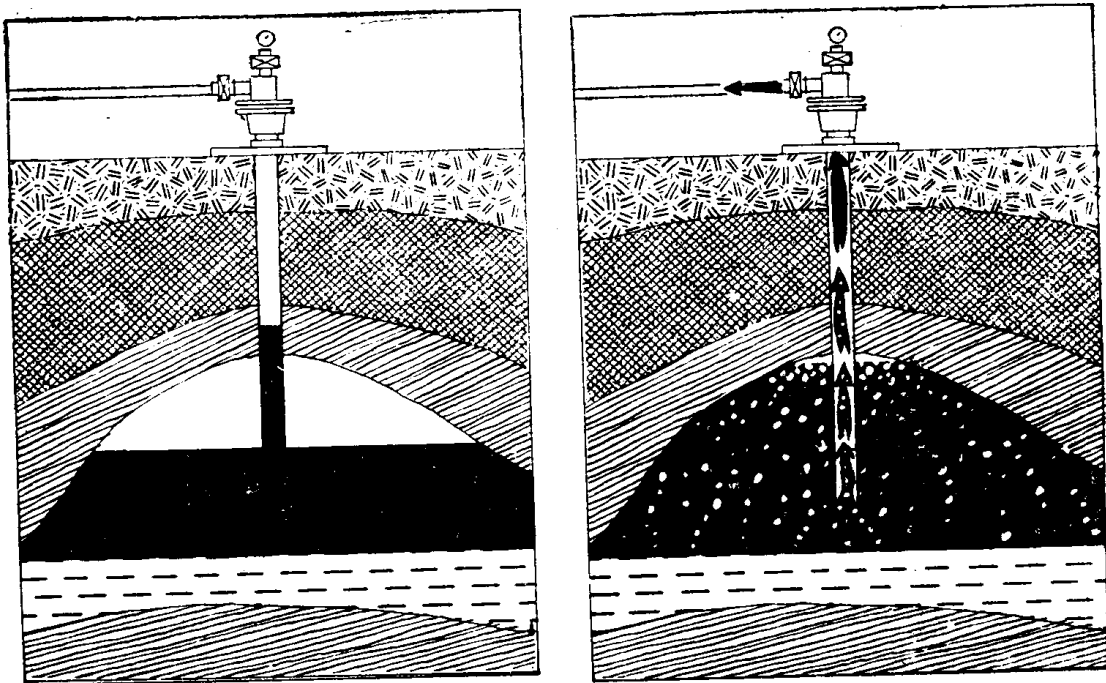


图 1-8 油层内的溶解气

右图表示随着离原油被采出，油压下降，溶解于原油内的气体就从油中分离出来。左图表示所有溶解于油内的气体全部分离出来，并在油的上部形成一气顶。注意左图中的水面与右图的一样高，这说明水完全没有驱动力。由于气体压力衰竭，又没有水驱动力，因此，虽然井内的管柱下在油水界面以上，油仍不能自流

第三种驱动类型是重力流动，只有很少的储层是靠这种驱动力来生产的，这是效果最差的驱动类型。如采用重力驱油法，随着油面的下降，必须逐渐把泵下至储层以下的位置。重力驱油不涉及水的问题，因此可以采出油层底部的油。

通常，在同一储层内同时存在着水驱和气体膨胀两种驱动力。

石油工程师和负责人必须根据他们的知识和经验确定哪种驱动方式是主要的，以及当井内压力降低、盐水量增加时，采用哪一种维修方法最好。

六、井的生产准备

典型的油气井需要三种同心管柱，即导管、表层套管和油层套管。图1-9所示是导管，通常也由水泥固定，但有时也由打桩机固定。导管的作用是防止井眼周围的地面坍塌，以免削弱钻机的基础。如表层比较软，导管长度可达100英尺以上。不过，一般不超过20英尺。图1-10所示为水泥固定的表层套管。表层套管的作用是保护淡水层和防止疏松的页岩、砂子和砾石坍塌进入井眼。同时也是防止井内流体流失的一种手段。表层套管的下入深度从500~5000英尺不等。图1-11所示为普通井的最后一层套管，即油层套管。如图所示，通常，套管应下到生产层下面，但有时只下到接近生产层的地方，或刚好下到生产层顶部。在一口生产井的最后下入的管柱通常是油管。油管自由地悬挂在套管头处。由于油管的直径小，生产效率比套管高；可以使完井作业更安全；而且，发现堵塞或损坏时，还可以从井内起出。在油管外装上封隔器还可以封住油管与套管之间的环形空间，从而防止井内流体进入套管。

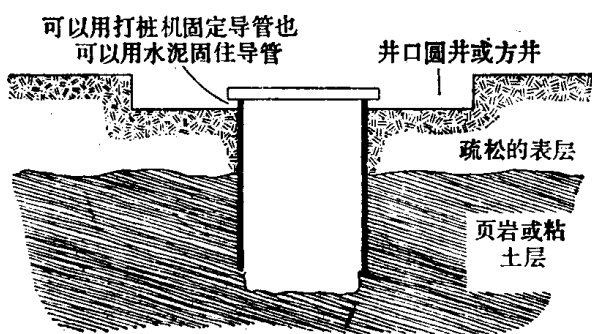


图 1-9 导管

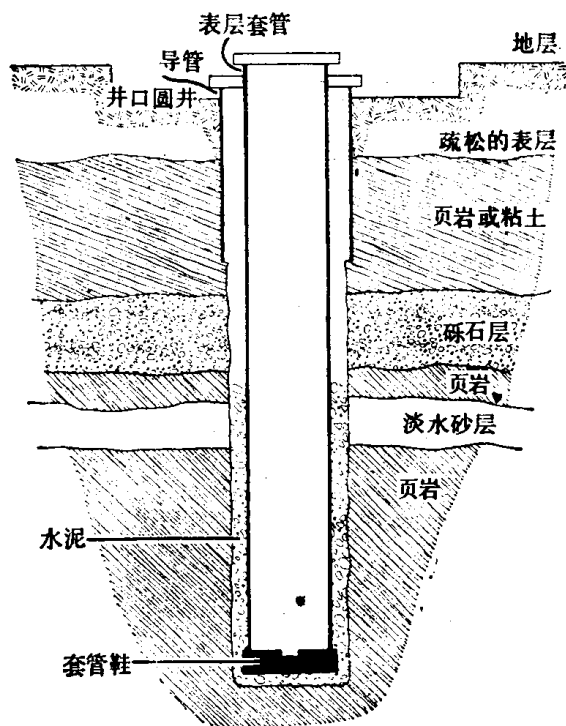


图 1-10 表层套管

图1-12所示为一般的井身结构，由图可见油层套管穿过了一层或几层含油砂层（有时可能有几个生产层），套管上已射孔（即在套管壁上穿孔），因而生产层内的油或气可以流入井内；油管已下入井内，一个封隔器封住了套管和油管间的空间。为使封隔器

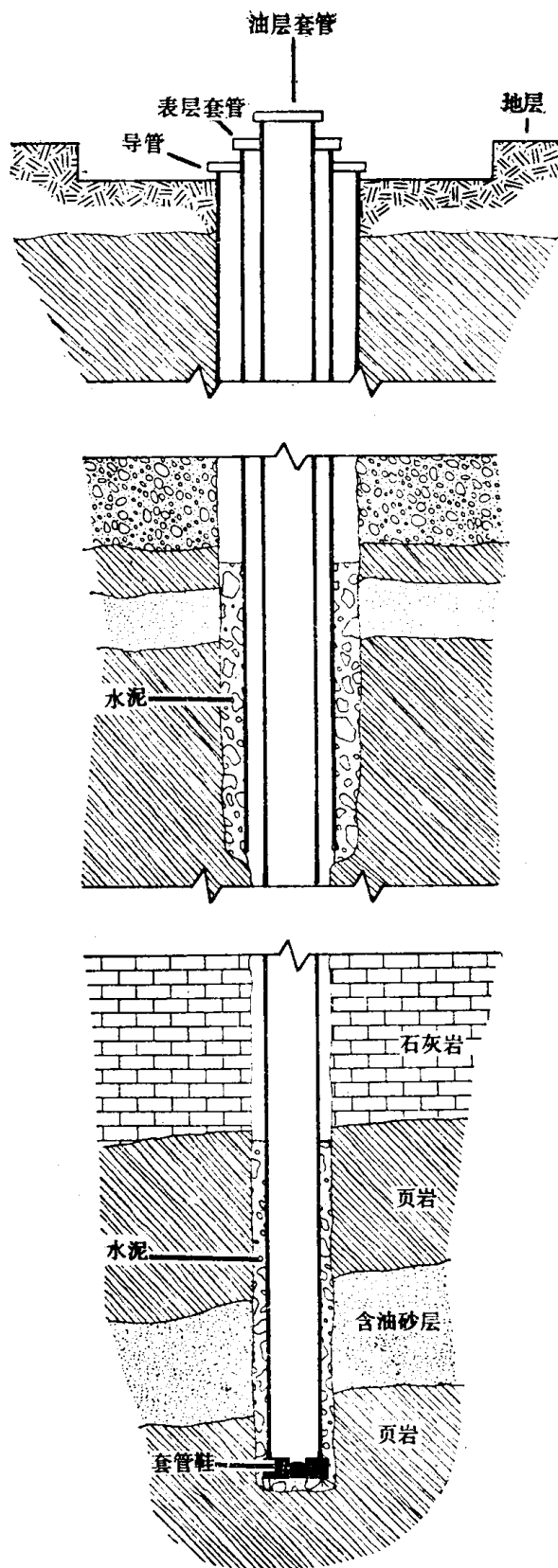


图 1-11 油层套管

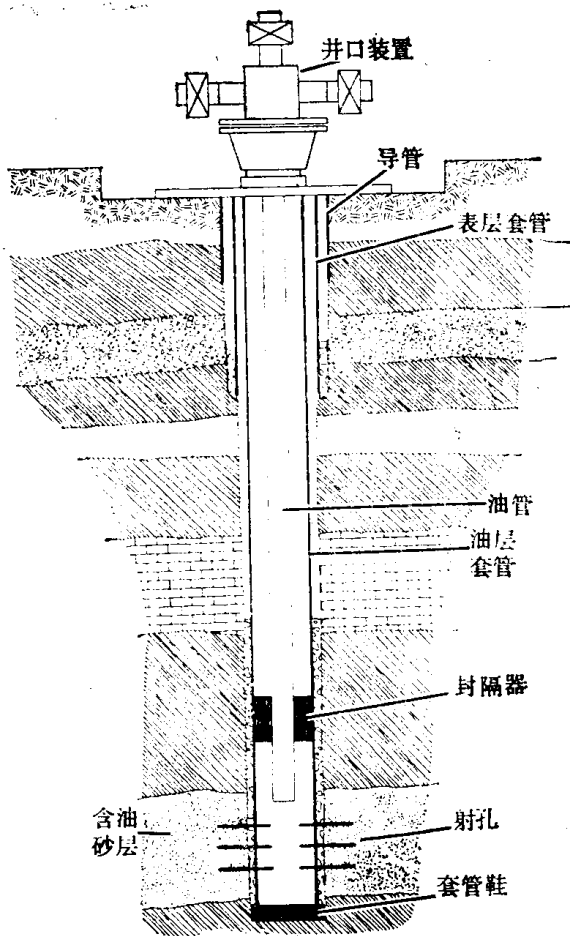


图 1-12 自喷井内的套管、油管和封隔器的布置

坐封，通常是在封隔器上施加油管的部分重量。封隔器上的摩擦件可以防止封隔器滑入井内。

还有一些其它的生产井井身结构。如用尾管完井，套管就刚好下到生产层上面，然后钻开生产层，再下入一根直径较小的管子，并用水泥围住。随后，象第一种情况一样，进行射孔作业。这根直径较小的管子称为“尾管”。有时，在生产层处下入一根带孔或槽的尾管，不用固水泥。这样，油便可以通过尾管上的孔、槽或绕在尾管上的特殊钢丝等通道流入井内，而砂子却不能通过。

七、修井机的应用

可移动的修井设备约一半的工作是井的维修作业，包括：

1. 更换有杆泵。
2. 修理断裂的抽油杆。
3. 更换和修理油管。
4. 更换和修理封隔器。

应该注意到，大多数修井工作的对象都是机械设备或机械装置，因为这些设备和装置在运转过程中都会磨损。由于正常磨损、老化和设备在井下所处的恶劣条件等，会造成这些设备的损坏。井下泵、抽油杆和其它人工举升设备都有随着使用而磨损的运动件。由于泵的往复运动，油管会受到运动杆件的摩擦，而且由于泵的往复运动，除非将它固定，否则还会在井内跳动。井内的运动设备和静止设备都容易受腐蚀、氧化和结蜡。

修井设备的其它用途包括完井、洗井和修井。进行这些作业需要了解有关除砂程序、防砂方法、堵封和挤水泥、修理套管、侧钻和加深井眼以及其它修井作业的知识。修井作业还包括对已下过套管的井测井、射孔和特殊的绳索完井技术。

第二节 人工举升采油

通常在第一次完井后，井内流体靠储层本身的能量可以自喷一定时间。但大部分井在它们的经济寿命期间，都需要人工举升，以便补充储层的能量，从而获得最高的采收率，使开采者获得最大利润。但水驱能力强的油井例外，它们可以一直自喷，直到井内喷出的完全是盐水为止。如果是带气顶的储层，这类井也用不着人工举升。但经验表明，在到达井的生产寿命的经济限度之前，往往还需要人工举升。人工举升系统包括：①有杆泵、②气举、③水力活塞泵、④离心泵。

一、有杆泵

有杆泵是一种最普通的人工举升设备。在美国，有杆泵占所有人工举升装置的百分之八十。它的优点是简单而易于观察。与别的人工举升方法比较，操作者能很方便地观察井下发生的情况。图1-13所示为一台普通游梁式抽油机的基本结构和外貌，以及有杆泵的井下设备。单井矿区或井距很远的矿区都可以采用有杆泵，因为每口井的装置自成体系。因为不需要高压液体或气体，有杆泵系统比较安全。将来，有杆泵也是成本最低的抽油系统。其缺点之一是随着井深的增加，泵效下降得很快，而且在到达一定深度时，最终会抽不上油来，因为此时抽油杆本身的伸长已经等于或大于抽油机的冲程长度了。另外，有杆泵对气体的干扰相当敏感。有杆泵的维护工作是由修井队利用修井设备进行换泵、换抽油杆、换磨损的油管等作业。

二、气举

连续气举是石油工业中第二种最普遍的人工举升方法。在美国，气举系统约占全部人工举升系统的百分之十。图1-14所示为气举系统的主要组成部分。连续气举的特点是排量大，还是唯一利用储层内气体能量的人工举升方法。实质上，连续气举就是人为地增大油气比的自喷井。间歇气举虽然常常同连续气举列为一类，但却是绝然不同的另一种人工举升方法。在间歇气举的井内，油和气相间地从井内以段塞形式喷出。每举升一

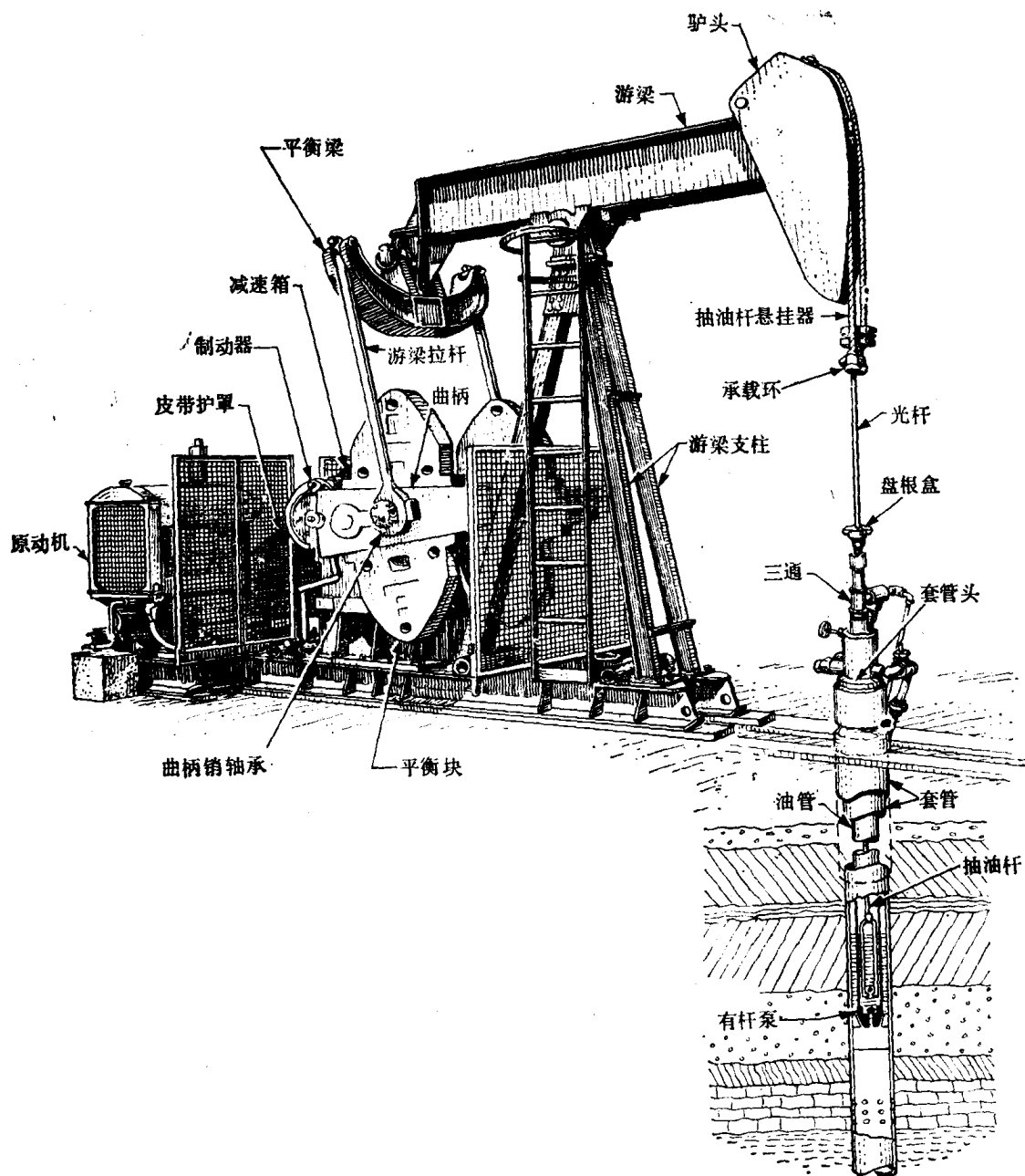


图 1-13 有杆泵抽油系统

段液体之后，便停止注气，直到井内积聚足够形成另一段塞的液量。间歇气举的特点是排量较小。

三、水力活塞泵

水力活塞泵是一种特殊的人工举升装置。在美国，这种举升方法约占有所有人工举升方法的百分之五。图1-15为水利活塞泵系统的一般布置图。水力活塞泵的最大优点是排量大，可用于深井。目前所用的水力活塞泵装置，几乎都是自由型泵。这种泵的特点是，换泵或维修泵时，不需要起油管。

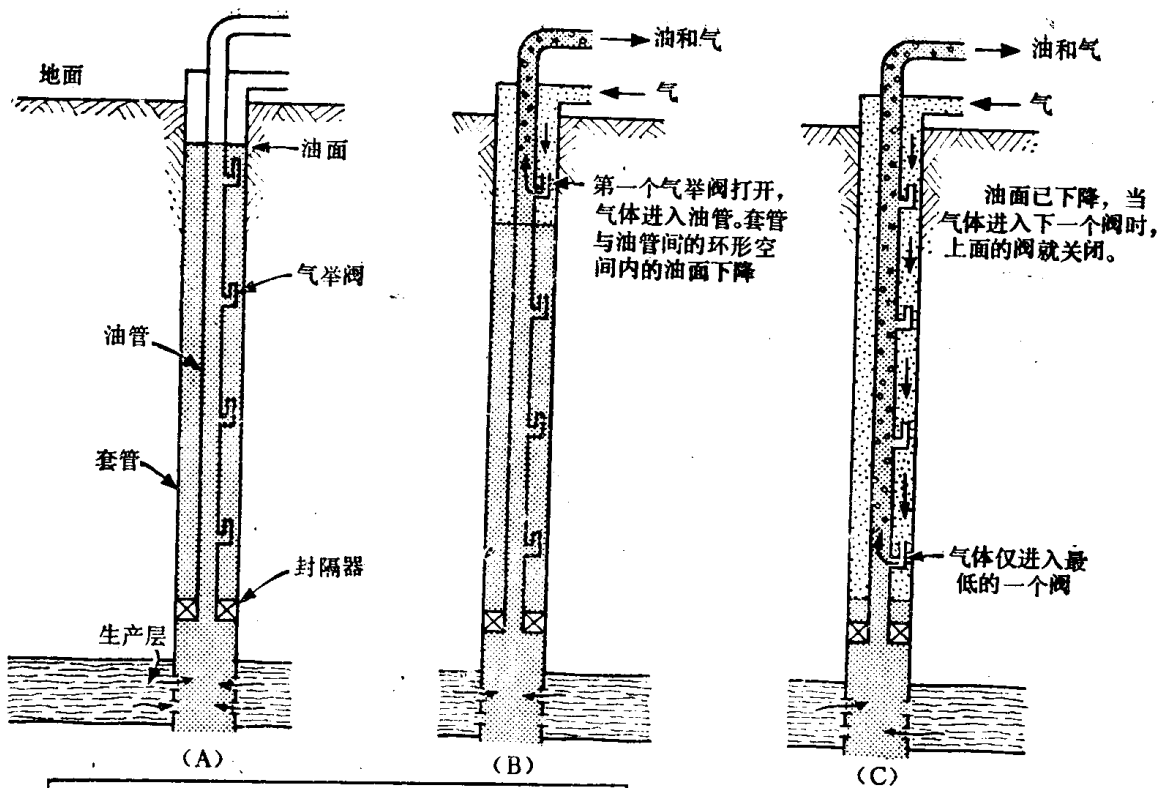


图 1-14 气举原理

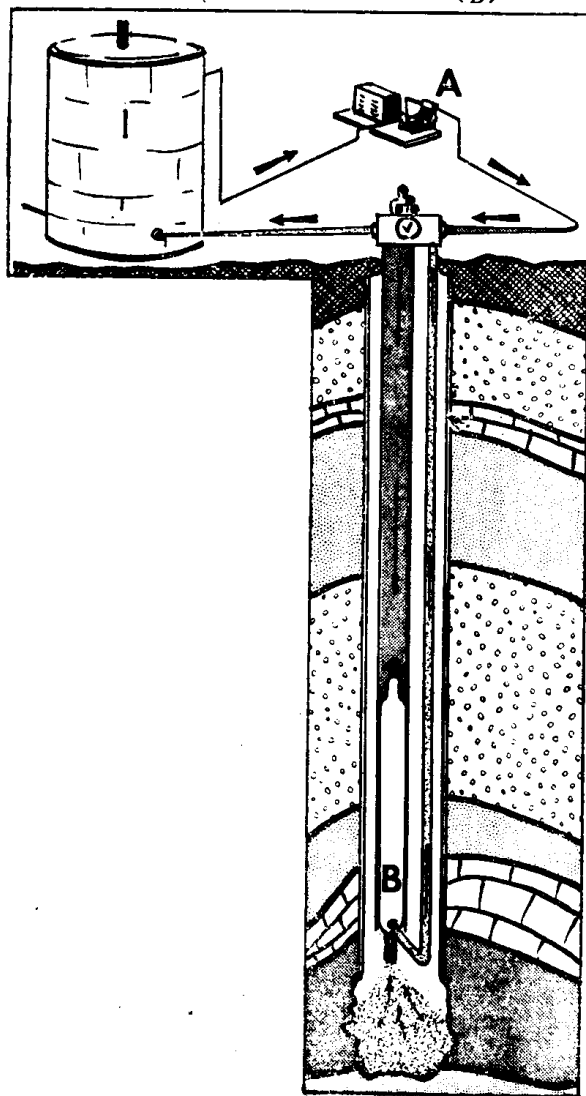


图 1-15 井内的水力活塞泵系统

这是一种利用高压原油作动力的人工举升方式, 通过地面泵 (A) 将原油泵入油管, 直到井底, 以便驱动井底马达。然后, 马达再带动泵 (B), 由泵将油举升到地面。从马达处排出的乏动力油随着泵举升的油流返回地面

四、潜油离心泵

1970年间,在美国,潜油离心泵在人工举升装置中所占的比例不到5%。这是一种浅井大排量装置,适用于单井或非常分散而自成体系的井。图1-16所示为潜油离心泵系统的基本组成部分。维修时,需要起出油管。多年来的经验表明,电缆给作业带来很多操作上的问题。

第三节 修井设备

早期可移动式绞车是装在拖拉机上开往各井位的,与固定在每个井架上的起升滑轮组相比,这是个相当大的改进。早期可移动式绞车适用于比较浅的井,而且工作范围局限在几英里以内。其工作能力也仅限于从井内起出抽油杆或油管。其它负荷更大的修井作业就需要由一台以蒸汽机为动力的修井机才能完成。

到1935年,出现了有时可以用天然气作燃料的大型汽油机,并开始用这种发动机组装配修井机。

从前,每口井上都有一套井架、动力装置和绞车。而现在,每口井上仅有井口装置或抽油系统。这是一个逐步演变的过程:最早是用钢结构井架代替了木制井架;后来又发现,在钻机搬家时,可以将井架去掉。为便于在没有井架和起升设备的井上作业,现已设计出利用液压将井架起升至竖直位置并伸至全长的轻便井架。带这种轻便井架的设备,可以在几小时内完成搬家、安装等准备工作。其中有的承载能力可达250000磅以上,并配备有液压工具。此外,还为海上油气井制造了专用设备。

一、抽汲设备

对于很多井来说,所需的第一项维护作业就是抽汲。有时,钻机还没搬走,就需要抽汲。抽汲时,需要一台车装绞车,其滚筒上缠着10000英尺以上、直径为9/16英寸的钢丝绳,利用钢丝绳通过井架将抽子下入井内。大多数抽汲装置上都有一个矮的轻便井架,因而,无论井位上有没有井架都可以进行抽汲。图1-17所示就是这样的一台车装抽

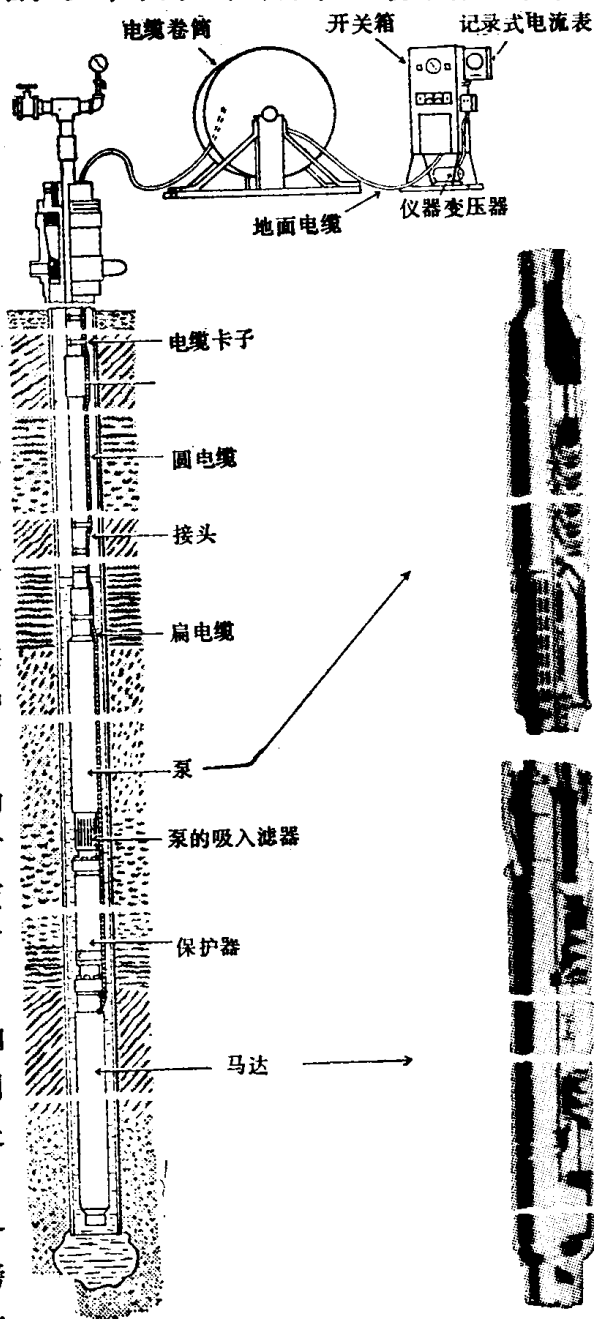


图 1-16 潜油离心泵