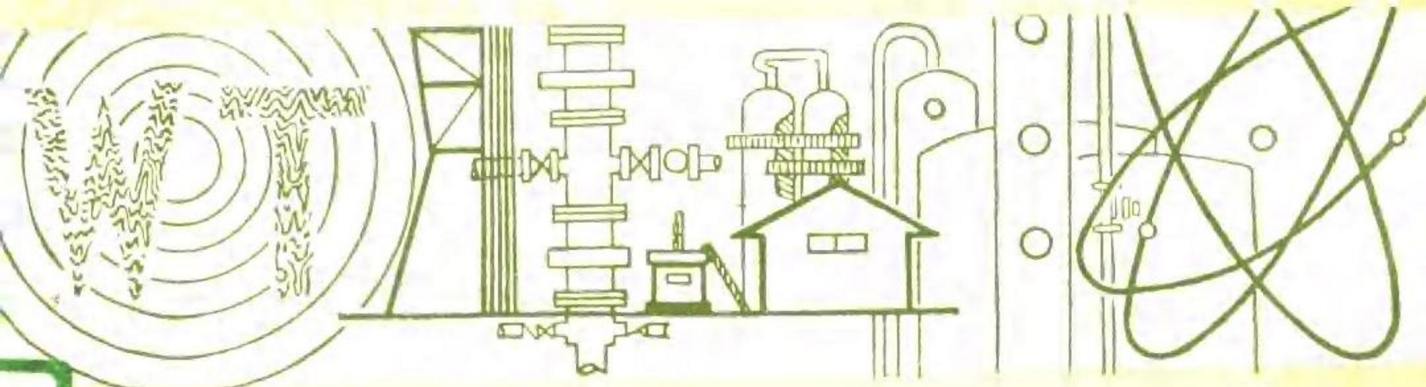


石油技工学校试用教材



修井工程

大庆石油管理局井下作业公司技工学校 吴志义 主编



修井工程

大庆石油管理局井下作业公司技工学校 吴志义 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

《修井工程》较系统地阐述了石油井修井工艺技术,包括:石油井概述、石油井维修、封隔器、井下分层管柱、油层水力压裂、油层酸处理、油层出水及处理、井下事故处理、试油(气)工艺、套管外漏串及处理、套管损坏及修理、石油井的综合处理与报废等内容。

修 井 工 程

大庆石油管理局井下作业公司技工学校·吴志义 主编

*

石油工业出版社出版发行
(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 $29\frac{1}{2}$ 印张 732 千字 印 1—8,000

1991 年 3 月北京第 1 版 1991 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0187-X / TE · 184

定价: 5.55 元

前 言

《修井工程》是根据石油工业部（84）油劳培字第 127 号文件的安排为石油技工学校编写的教材。

全书共十二章，各章的内容是按照部颁井下作业专业《修井工程教学大纲》要求进行修订的，适合于井下作业专业的教学需要。

这本教材是在试用的基础上由吴志义主编，梁思奎、李宝静等老师大力支持修订而成的，修订中吸取了编写协作学校提供的资料和修改意见。提供资料和意见的有：克拉玛依油田技工学校夏基福、辽河油田技工学校李亚洲、大港油田技工学校陈志刚、玉门石油技工学校修井教研组等。修订过程中还得到了石油工业部劳资司技工培训处、开发司、大港油田教育培训中心和大庆油田劳动人事培训部、采油技术服务公司、井下作业公司、井下技工学校等单位的大力支持。在此一并表示谢意。

由于编者水平有限，教材一定存在不少缺点和错误，敬请提出批评指正，以便做进一步的修改。

编者

目 录

绪论	(1)
第一章 石油井概述	(3)
第一节 石油井的概念	(3)
一、石油井的作用	(3)
二、石油井的钻凿	(3)
三、石油井在修井工程上的分类	(6)
第二节 石油井的组成	(6)
一、井身结构	(7)
二、固井及其水泥环	(8)
第三节 石油井的完成	(9)
一、油井的完成方法	(9)
二、完井井口装置	(12)
三、石油井常用名词术语	(20)
第四节 石油井井口流程	(21)
一、热油和水套炉联合加热保温	(21)
二、井口附近加热保温和油气计量	(22)
第二章 石油井维修	(24)
第一节 压井工艺	(24)
一、压井的概念	(24)
二、压井液的选择	(24)
三、主要压井液——泥浆	(26)
四、压井方式的选择	(31)
五、压井作业施工	(32)
六、影响压井成败的因素	(33)
第二节 注水井喷水降压	(34)
一、喷水降压的作用	(34)
二、喷水降压工艺	(34)
三、喷水降压的技术措施	(35)
第三节 试 注	(35)
一、试注的目的和意义	(35)
二、试注工艺	(35)
第四节 清砂与防砂	(38)
一、油层出砂的原因	(38)
二、油层出砂的危害	(39)
三、清砂的工艺方法	(40)

四、防砂措施	(46)
第五节 作业清蜡	(52)
一、油井结蜡的危害和规律	(53)
二、清蜡方法	(54)
第六节 修井检泵	(56)
一、深井泵工作原理及类型	(56)
二、修井检泵	(58)
第七节 井口故障处理	(62)
一、井口故障的现象及原因	(62)
二、井口故障的修理方法	(63)
第三章 封隔器	(67)
第一节 概述	(67)
第二节 支撑式封隔器	(71)
一、Y111 型系列封隔器	(71)
二、Y111-115 型双管封隔器	(73)
三、支撑式封隔器坐封高度计算	(74)
第三节 卡瓦式封隔器	(75)
一、Y211 型封隔器 (系列)	(76)
二、Y211 型系列封隔器	(77)
三、Y211-114 型封隔器	(80)
第四节 水力扩张式封隔器	(82)
一、K344 型系列封隔器	(82)
二、K344-112 型封隔器	(82)
三、K344-115 型封隔器	(84)
第五节 水力压缩式封隔器	(86)
一、Y341-114 型封隔器	(86)
二、Y341 系列封隔器	(87)
三、Y344-115 型封隔器	(88)
第六节 水力机械式封隔器	(90)
第七节 其它类型封隔器	(91)
一、K341-140 型裸眼封隔器	(92)
二、K341-115 型封隔器	(93)
三、SC 桥塞式可钻封隔器	(94)
四、水泥封隔器	(95)
五、永久式封隔器	(96)
第四章 井下分层作业管柱	(99)
第一节 分层作业专用工具	(100)
一、井下分层配水工具	(101)
二、井下分层采油工具	(113)
三、井下分层修井作业工具	(121)

第二节 分层注水管柱	(131)
一、分层注水管柱的选择	(131)
二、分层配水管柱的组配	(131)
三、分层注水井的施工步骤	(134)
四、目前常用的分层注水管柱	(135)
第三节 分层采油管柱	(139)
一、自喷井采油管柱	(139)
二、非自喷井采油管柱	(141)
第四节 修井井下管柱	(143)
一、管材的有关性能与简要计算	(143)
二、压裂管柱	(150)
三、酸化管柱	(152)
四、化学堵水管柱	(153)
五、试油管柱	(155)
六、推荐处理井下事故管柱 (钻具组合)	(156)
第五章 油层水力压裂	(159)
第一节 油层压裂增产的原理	(159)
一、井筒周围压力分布与径向流	(159)
二、油层水力压裂的基本原理	(160)
三、油层压裂的作用及效果	(162)
第二节 压裂井 (层) 的选择	(163)
一、油层水力压裂选井选层的原则	(163)
二、油层水力压裂选层的方法	(164)
第三节 压裂工作介质与裂缝保持	(165)
一、压裂液的作用及性能要求	(165)
二、压裂液的种类	(167)
三、压裂液的选择	(168)
四、压裂裂缝的保持	(169)
五、支撑剂的类型	(170)
六、支撑剂的选择	(172)
第四节 压裂方式	(172)
一、合层压裂	(173)
二、单层选压	(174)
三、分层压裂 (多层)	(175)
四、限流法压裂工艺技术	(178)
第五节 压裂设备	(180)
一、压裂泵车	(180)
二、液-砂比例混合机	(189)
三、管汇车	(198)
四、压裂仪表车	(199)

五、液氮车	(200)
第六节 压裂设计及参数确定	(201)
一、压裂地质设计	(202)
二、压裂施工设计	(202)
第七节 压裂施工工艺	(210)
一、压裂准备	(210)
二、压裂施工工序	(211)
第八节 深井超级压裂	(215)
一、深井压裂	(215)
二、超级压裂	(221)
第九节 压裂施工中的故障处理	(223)
一、压不开	(223)
二、憋不起压力	(224)
三、憋泵	(224)
四、封隔器坐不住及管外串通	(224)
五、总闸门关不严	(224)
六、刺漏故障(参见第二章第七节)	(224)
七、放压过猛造成井下事故	(224)
八、砂堵	(224)
九、砂卡	(225)
十、管柱断脱(参见第八章)	(225)
十一、油管上顶	(225)
第十节 压裂施工现场教学	(226)
一、目的	(226)
二、方法	(226)
第六章 油层酸处理	(228)
第一节 盐酸处理	(228)
一、盐酸处理原理	(228)
二、酸液及用量计算	(229)
三、施工工艺	(232)
四、技术安全措施	(233)
第二节 土酸处理	(234)
一、土酸处理原理及适应条件	(234)
二、土酸浓度及用量的确定	(234)
三、土酸处理工艺	(236)
第三节 其它酸处理方法	(237)
一、酸处理方法	(237)
二、酸液	(238)
三、“王水”处理	(242)
四、热酸处理	(244)

五、注水井酸处理不排液	(245)
第四节 影响酸处理效果的因素	(246)
一、酸液浓度	(246)
二、井底的清洁程度	(246)
三、注入压力	(246)
四、酸处理反应时间	(247)
五、酸处理添加剂对其效果的影响	(247)
第五节 注水井增注	(249)
一、杀菌增注	(249)
二、酸渣增注	(250)
三、压裂酸化增注提高注水井吸水能力	(250)
四、洗油剂-土酸选择性酸化增注工艺	(251)
第六节 油层酸处理新技术	(252)
一、乳化酸酸化工艺技术的应用	(252)
二、砂岩酸化新工艺	(254)
三、分层酸化	(256)
四、压裂酸化	(260)
第七章 油井出水及处理	(264)
第一节 油井出水及危害	(264)
一、油井出水现象	(264)
二、油井出水的危害	(264)
三、油井出水的原因	(264)
第二节 油井出水层位的判断	(266)
一、找水仪器测试法	(267)
二、测量井温法	(268)
三、流体电阻法	(268)
四、同位素法	(269)
第三节 油井出水的处理方法	(269)
一、选择堵水方法的原则	(270)
二、机械堵水方法	(270)
三、油井化学堵水方法	(271)
四、油井堵水效果评价标准	(286)
第八章 井下事故处理	(288)
第一节 名词与计算	(288)
一、常用名词术语	(288)
二、卡钻计算	(290)
三、中和点计算	(292)
第二节 处理前的调查	(292)
一、事故井的调查	(292)
二、井下探视调查	(293)

第三节 井下落物事故处理	(299)
一、井下落物事故的类型	(299)
二、井下落物事故的处理	(300)
三、套管内落物的预防	(308)
第四节 卡钻事故处理	(308)
一、砂卡的处理	(308)
二、落物卡钻事故的解除	(314)
三、水泥卡钻的处理	(314)
四、解除套管卡钻事故	(315)
第五节 处理井下事故辅助工具	(316)
一、安全接头	(316)
二、震荡器	(316)
三、波温 J 型机械旋转振击器	(319)
四、常用钻杆及钻杆接头	(320)
五、指重表	(328)
第九章 试油 (气) 工艺	(332)
第一节 概述	(332)
第二节 自喷井试油工艺	(333)
一、水泥塞试油	(333)
二、封隔器试油	(339)
三、压裂、酸化试油	(341)
四、找气、试气	(342)
第三节 低压井试油工艺	(342)
一、抽汲诱喷	(342)
二、气举诱喷	(345)
三、提捞	(346)
第四节 中途测试	(347)
一、地层测验器测试	(347)
二、常规支撑式测试工具及测试工艺	(351)
第十章 套管外漏串及处理	(357)
第一节 套管外漏串危害及原因	(357)
第二节 找串工艺	(358)
一、声幅测井找串	(358)
二、放射性同位素找串	(359)
三、封隔器找串	(361)
第三节 封堵串槽的方法	(363)
一、循环法封串	(363)
二、挤入法封串	(364)
三、循环挤入法封串	(366)
四、填料水泥浆封串	(366)

五、封堵串槽时对水泥浆的要求	(367)
第四节 油井水泥及挤注水泥浆工艺	(368)
一、油井水泥	(368)
二、注水泥	(371)
三、挤水泥	(376)
四、注水泥塞	(382)
第十一章 套管损坏及修理	(389)
第一节 套管损坏现象及原因	(389)
一、套管损坏现象及判断	(389)
二、套管损坏的类型	(389)
三、套管柱承受的外载及其强度	(392)
四、套管损坏原因分析	(393)
第二节 套管损坏的修理	(394)
一、套管变形的修理	(394)
二、套管断错的修理	(397)
三、套管破裂的修理	(399)
四、套管补贴技术	(402)
第三节 取套技术	(404)
一、取套井的取套	(404)
二、修井取套	(406)
第四节 套管的爆炸	(415)
一、爆炸筒的结构及类型	(415)
二、爆炸	(416)
第十二章 石油井综合处理与报废	(418)
第一节 水力喷砂技术	(418)
一、水力喷砂的原理	(419)
二、水力喷砂工作参数的选择	(419)
三、施工工艺	(424)
第二节 套管内侧钻	(428)
一、套管内侧钻的概念	(428)
二、侧钻与侧钻固井工具	(429)
三、套管内侧钻方式的选择	(431)
四、套管内侧钻施工工艺	(432)
第三节 回采油层	(438)
一、回采生产层	(439)
二、油层射(补)孔	(440)
三、回采油层卡钻处理	(445)
第四节 石油井报废	(450)
一、促使油(水)井报废的原因	(451)
二、油(水)井报废工作的目的	(451)

三、对报废井的要求	(452)
四、报废试验	(452)
五、石油井报废的条件	(453)
六、石油井报废的程序	(453)
七、综合报废井实例	(453)
附录 法定计量单位换算表	(457)

绪 论

修井工程是油田开采工艺技术的重要组成部分，是开发石油和天然气的一项主要技术手段。随着世界油、气田开发与工艺技术的进步，修井工程也逐步地发展和完善起来。

石油与天然气是通过油井开采出来的。然而在长时间的开采过程中，由于地质、工程和人为因素的影响，油井会出现不同程度、不同类型的问题与故障。如果这些故障得不到及时处理，不仅影响石油与天然气的开采，还将影响到油田的最终采收率，降低油田开发经济效益。因此，必须对产生故障的石油井采取恰当的维修措施，排除故障。这样就提出了修井的概念和任务。

随着采油工艺技术的进步与发展，修井的概念和内容亦在不断地更新。苏联伏·莫·穆拉维尧夫在40年代所著《采油工程》一书中说，“所谓油井大修，通常是指：1.有关打捞落井机具或其它物件的工作；2.有关修复套管（如挤坏、折断）的工作；3.有关封闭出水层的工作（隔水修理工作）；4.有关油井改采上部采油层的工作（回采上层）。”到本世纪60、70年代，分层采油工艺技术和分层改造措施在油田开发中的作用则越来越重要。目前，国内外大多数有关著述认为：一切为使石油井处于良好状态与保持正常工作的维护和修理作业和一系列增产、增注技术改造措施，以及为了达到某种特殊工程技术目的所采取的特殊手段等，均可称为井下作业修井工作。用一句话来概括即为：一切处理井下故障保证油井正常生产，以及维护油井所采取的一切手段措施，统称为修井。

现场施工中经常把修井作业分成维修与大修两个等级，以便于掌握修井的性质与难度。但是，这种分级也没有十分严格与统一的标准，尚需在实践中进一步加以完善。目前一般的习惯作法是：凡属于处理套管、超越套管（处理套管外水泥环，封串及侧钻）的修理与工艺措施、复杂的井下事故打捞、严重的解卡事故处理，以及为了某种特殊目的所进行的特殊作业等统称为大修修井，习惯称为大修；其他为使石油井处于良好状况及正常生产的一切修理工作和简单故障处理等，统称为石油井维修修井，习惯称为维修。

修井工作有着重要的意义。这是因为：第一，从充分利用地下资源、发掘能源的角度来看，修井工作必不可少。修井，作业不仅使得开发井能够正常生产，而且通过采取增产增注措施能从地下采出更多的石油与天然气。第二，对石油井出现的故障或事故及时地进行修理、恢复生产，对于提高油井利用率与减少生产费用都是有好处的。一般说来，修理一般的故事井总比钻凿一口新井化费较少的时间与费用。第三，从油田发展和修井工作量逐年增加的情况来看，只钻新井不重视修井不行。例如，我国大庆、胜利、辽河、中原、华北和新疆等几个主要油田的修井工作量每年都在增加，年修井量总计达几千井次之多。

油田地下情况千差万别，在开采过程中油层（井）变化又各有所异，故每项修井作业也各不相同。修井方法目前主要有以下几种：第一，起下作业修井。包括更换井下管柱及调整开发方案；起泵下泵；打捞落物；处理井下卡钻事故等。第二，液体循环冲洗作业。包括地层排液、热洗热注、水力冲砂、循环泥浆（或压井液、压井）；挤注水泥等。第三，旋转钻凿作业。包括对扣打捞；倒扣处理；钻砂堵或清除积盐；扩孔；重钻或侧钻；套铣；研磨等。第四，套管修理。包括取换套管；整形套管；套管漏损的处理；套管补贴与修井取套

等。第五，补孔及改采油层。包括油层补孔；回采上部生产层或回采下部生产层。第六，井下爆炸。包括：提高油层渗透率；套管爆炸成型；恢复套管；套管爆炸切割等。第七，油层强制改造作业及增产措施，如大型压裂、酸化等。

修井工艺技术和其它各门科学技术的发展一样，是从生产实际需要出发，逐步形成和发展起来的。修井工艺技术又是一门多基础理论的综合性的科学技术，与机械、数学、力学、水力学等许多学科都有内在的联系。因此，一定要注意学好各门基础理论课程，并密切结合现场实习学习这门科学，争取今后在工作中为加速我国石油工业发展的步伐，实现四个现代化做出更大的贡献。

第一章 石油井概述

石油和天然气是埋藏在地下的宝贵矿产资源，为寻找和开采这些资源，需要钻凿许多地面通往地下油（气）层的岩石通道。凡属进行石油勘探、索取油（气）层地质资料和开采石油、天然气所钻凿的岩石通道，统称为石油井。

为使石油井在油田开发过程中充分发挥作用，取得较好的经济效益，必须十分重视石油井的维护与修理。了解和掌握石油井的钻凿、石油井的完成、井身结构、井的质量等方面的理论知识和工艺技术，对于开发好油（气）田，充分利用油气资源有着极为重要的意义。

第一节 石油井的概念

一、石油井的作用

石油井在油田生产上的作用主要有以下几个方面：

- ① 获取石油勘探所需要的地质资料，发现和评价油、气田。
- ② 开采地下油、气层中的石油和天然气。
- ③ 检查注水开发油田水线推进情况，检查注水开发效果。
- ④ 改造油层。
- ⑤ 进行油层（井）的测试。
- ⑥ 通过某些生产井与报废井往地层里注水、注气。

二、石油井的钻凿

应用钻井机械设备朝地下岩层钻凿孔眼，并采用一定的工艺技术措施与方法使之构成地面到地下油（气）层通道的工艺过程叫作钻井。

钻凿石油井，目前主要是应用以内燃机或电动机为动力，带动钻井设备与井下钻具钻凿岩石的各种类型的钻机。图 1-1 为石油钻井示意图。

钻凿一口石油井的工艺过程，主要由钻前准备、钻进和完钻三个阶段组成。钻前准备包括修筑公路、平整井场、搬迁和安装钻机设备等，目的是完成开钻前的一切准备工作。钻进包括开动钻机、驱动钻具破碎地层岩石、循环钻井液冲洗清理井底、加深进尺、钻取岩芯及地质录井等，这是石油钻井的主要工艺过程。当钻机钻达设计井深时，钻进工作即告结束。此时井眼内充满泥浆，并有泥饼保护井壁使之不易坍塌，这样的井眼叫作裸眼井，如图 1-2 所示。

裸眼井的顶部叫作井口，底部叫井底。井眼直径的大小叫井径，井眼四周的侧壁叫井壁，井身某一段叫井段，整个井筒叫井身。旋转钻井时，带动井下钻具旋转的转盘中间用来卡住方钻杆的部件称为方补心。方补心顶面是计算井深的起点，从转盘方补心顶面到井底的距离叫完钻井深。石油井的完钻井深是依据所钻井的目的确定的。例如，油田开发井的完钻井深应能保证钻全部油层；钻油田基准井的目的是了解地质构造、绘制沉积岩剖面、对比地层，因此完钻井深必须钻遇基岩。在正常的情况下，每口井都必须钻达设计完钻井深。完井包括测井、固井、射孔、试油等内容，其任务主要是加固完善井壁、完成井身结构、射开

油层等。经过上述三个工艺阶段，一口石油井便钻凿成功。

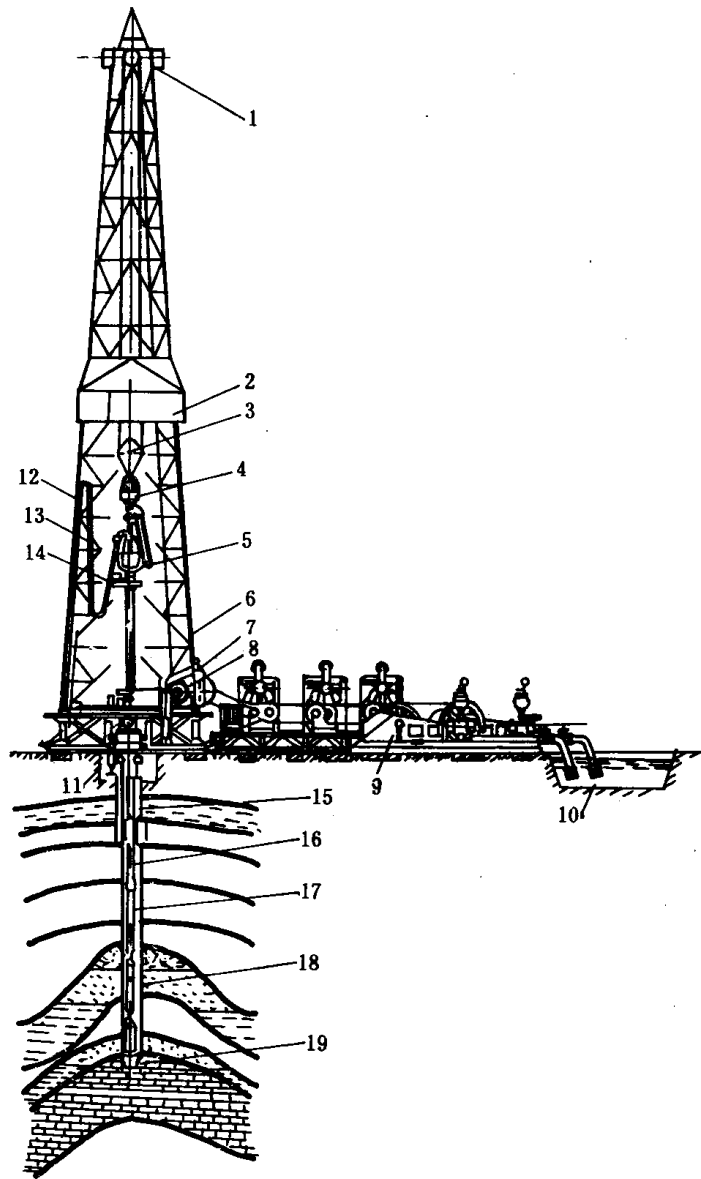


图 1-1 石油钻井示意图

- 1—天车；2—二层平台；3—游车；4—大钩；5—水龙头；6—井架；7—绞车；8—刹车；
9—钻井泵；10—泥浆槽；11—井口装置；12—立管；13—水龙带；14—旋转短节；15—表层套管；
16—钻杆；17—井壁；18—钻铤；19—钻头

石油钻井历史悠久，经历了由笨重的人力或畜力为动力的顿钻钻井、机械旋转钻井到用现代工艺技术设备钻井的发展过程。图 1-3 为我国古代钻井示意图。早在两千多年以前，我国劳动人民就曾利用钻井方法开采地下矿产资源。明朝（1521 年）在四川嘉州地区钻成一口深 1000 米左右的抽水井，比美国和苏联自称的所谓“世界第一口井”早 300 多年。最早的顿钻钻井效率低，消耗大，钻井深度受到限制。以后，在长期的生产实践中又出现了用机械动力带动的顿钻钻井（图 1-4）、用机械动力与电力带动的旋转钻井（图 1-1），加快了钻井速度，钻井深度也大大加深。随着生产的发展和现代科学技术的进步，石油钻井设备和工

艺技术也日趋现代化。图 1-5 为全液压钻机。全液压钻机的出现，使钻井工艺技术提高到一个新的水平。全液压钻机自动化程度很高，只需二人就能完成全部钻井操作。

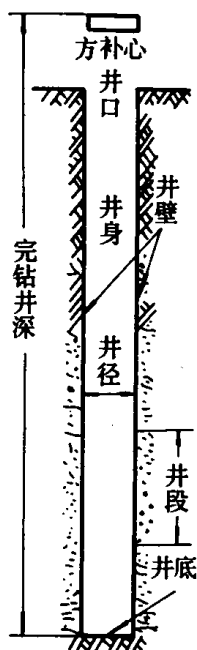


图 1-2 裸眼井示意图

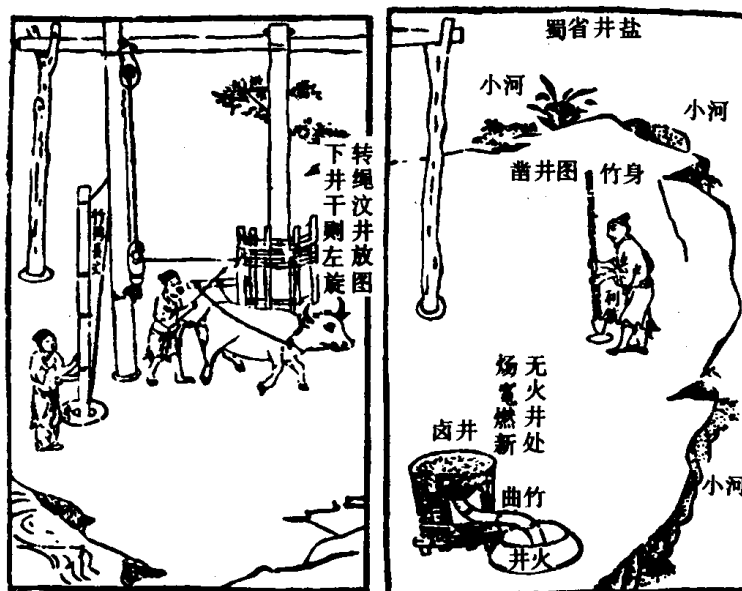


图 1-3 我国古代钻井方法示意图

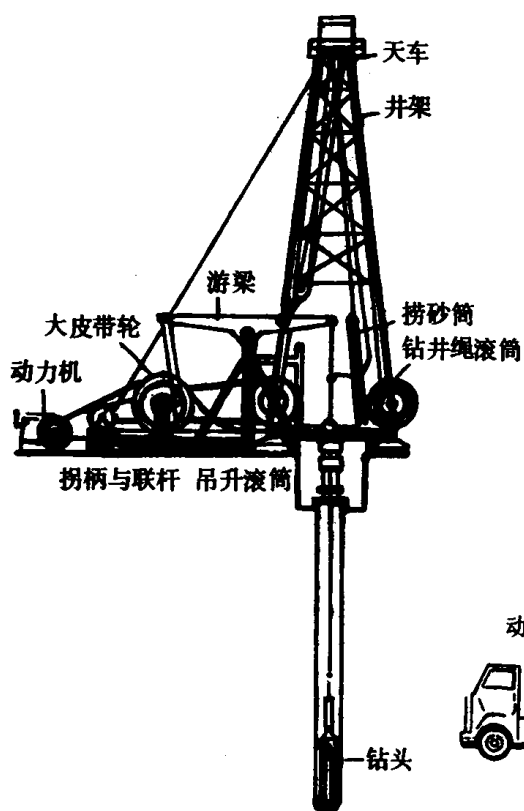


图 1-4 顿钻钻井方法示意图

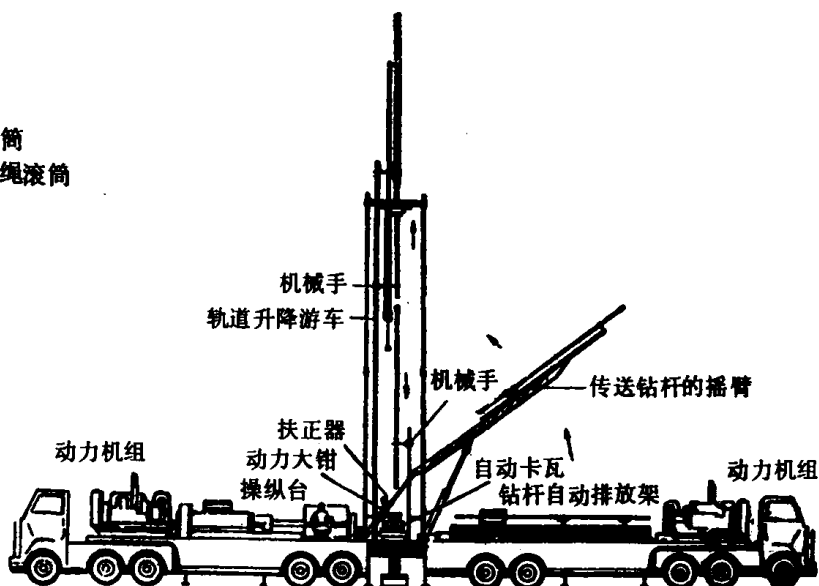


图 1-5 液压钻机钻井示意图

当前在世界钻井行业中，应用最多的还是旋转钻井方法。旋转钻井所钻井深已经达到 9000 米以上。但是，由于旋转钻井受到设备、钻具等多种因素限制，难以满足向地层深部