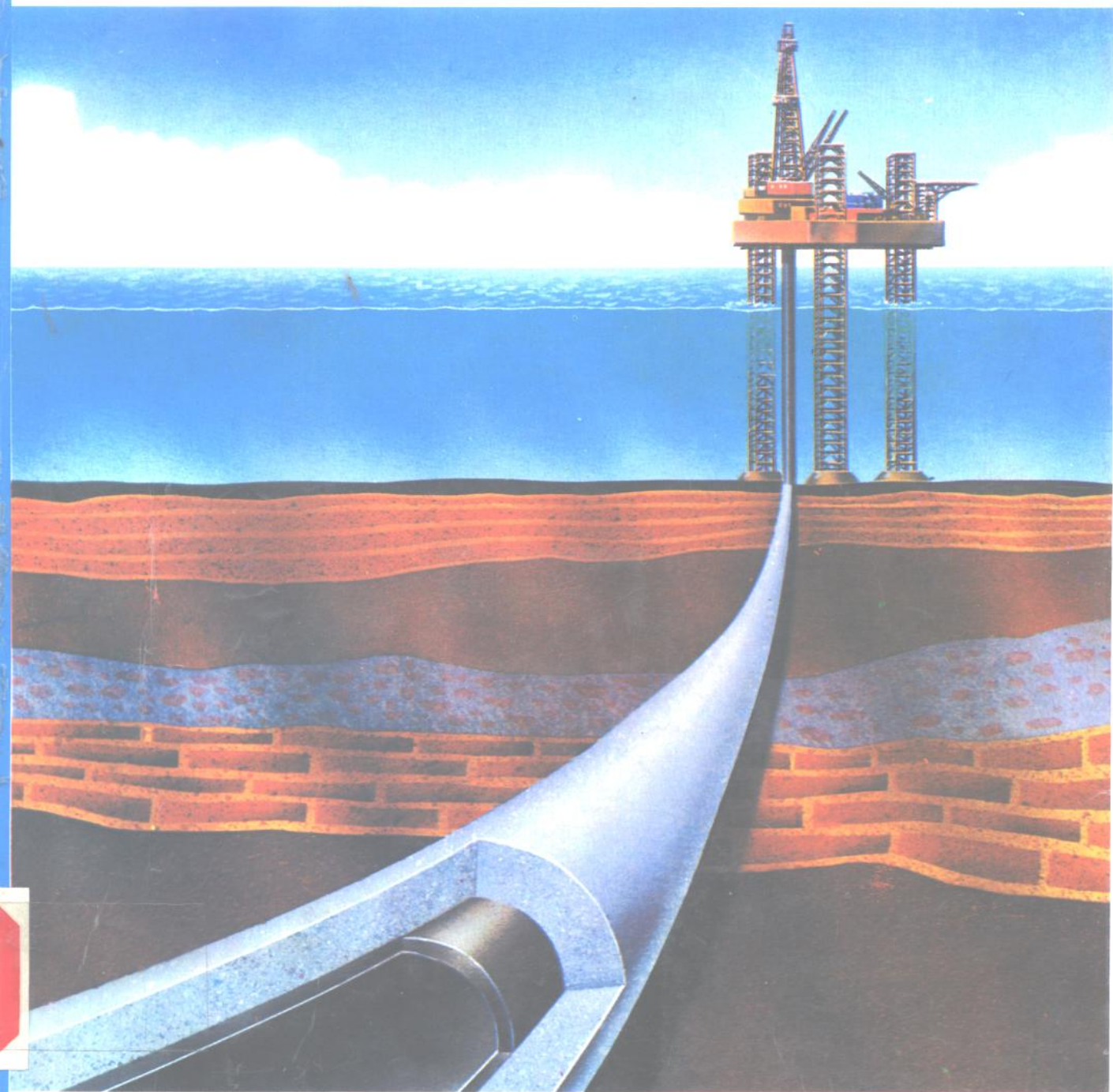




现代固井技术

刘大为 田锡君 廖润康 译



辽宁科学技术出版社

登录号	- 087134
分类号	TE256
种次号	004

现代固井技术

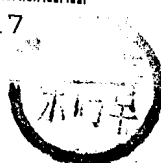
WELL CEMENTING

Erik B. Nelson 主编

刘大为 田锡君 廖润康 译



200395517



辽宁科学技术出版社出版

责任编辑：刘兴伟
封面设计：曹太文

现 代 固 井 技 术

刘大为 田锡君 廖润康 译
辽宁科学技术出版社出版、发行
(沈阳市和平区北一马路 108 号 邮政编码 110001)
辽宁有色矿产地质研究所印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：32 字数：710,000
1994 年 2 月第 1 版 1994 年 2 月第 1 次印刷

责任编辑：刘兴伟 版面设计：李 夏
封面设计：曹太文 责任校对：晓 君
插 图：田 为

印数：1—1000
ISBN 7—5381—2012—2/TE.8
定价：30.00 元

5960/15

译 者 的 话

本书是道威尔·斯伦贝谢公司 1990 年编写的一本新书,原书名为《WELL CEMENT-ING》。书中全面介绍了世界当代固井工艺技术。主要讨论了水泥特性及化学性质、水泥外加剂及其作用机理、水泥浆流变学、固井设计、水泥与地层的相互作用、特种水泥、高温水泥、泡沫水泥、注水泥设备及套管附件、固井技术、补注水泥技术、防气窜技术、水平井固井技术和固井施工评价技术等内容。既有理论分析又有实际应用举例,较全面地反映了道威尔·斯伦贝谢公司八十年代末斯的固井技术水平。

本书可供石油院校钻井师生、油田工程技术人员使用,也可供研究水泥的工作者和生产单位使用。

参加本书翻译的有刘大为(第一、二、十一和十六章),田锡君(序言,导言,第七、九、十三、十四、十五章,附录 A 和附录 B),廖润康(第四、五、六、八、十二章,附录 C),张增钰(第三章),胡苏宁和杜秀林(第十章)等同志。柴鑫、朱德一、倪荣福、林本初、耿广成和李宏等同志对全书译稿进行了校核。

刘大为、田锡君同志负责了本书的组织出版工作,田锡君同志在翻译书中插图及表格方面承担了全部工作。

译稿完成后,李葆青、程生祥、曹里民、武宝生和耿广成同志又作了最后的审定。

在本书的翻译过程中,得到了有关领导和专家的大力支持和协作,在此谨表谢意。本书得到了道威尔·斯伦贝谢公司 Eric B. Nelson、George Birch 等原作者的允许,在此一并致谢。

由于译者水平有限,难免存在许多缺点和错误,恳请读者批评指正。

译 者

一九九三年三月

Copyright 1990
Sohlumberger Education Service
5000 Gulf Freeway
Flouston, Texas, 77023

原著版权归属道威尔·斯伦
贝谢公司教育服务部,未经
许可不得翻译复印

辽宁科学技术出版社出版

序 言

Robert C. Smith

一、固井的目的

固井就是将水泥注入井壁与套管之间的环空中的过程。自 1903 年开始固井以来，固井的主要目的一直都是为了封隔井眼内的油、气和水层 (Smith, 1984)，例如将一个地层中的水气等流体与另一地层的油封隔开来。为了达到这一目的，在套管与水泥界面和水泥与井壁界面必须达到液压密封，同时要防止在水泥环中形成窜槽 (如图 1 所示)。由于这种要求，使得固井施工尤为重要。在井内达不到完全的层间封隔，油井就永远不能达到它的全部产能。因固井质量问题而进行的补注水泥作业可能会对产层造成无法挽救的伤害。除可能失去储量和降低产量之外，还将会延迟投产时间。还可能会出现其它问题，例如向产层注汽失去控制，或不能进行二次或三次采油等。

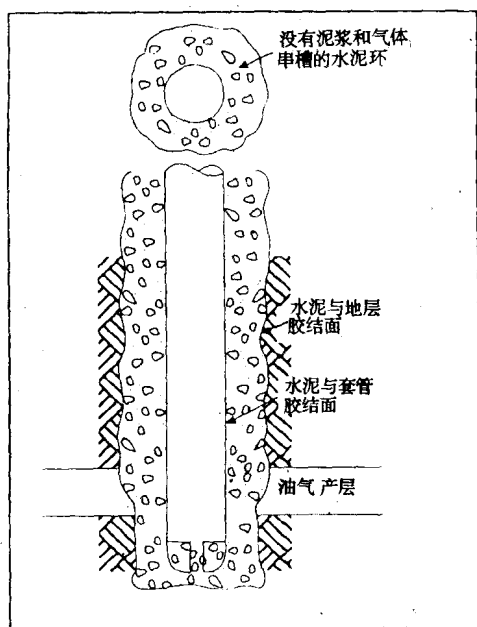


图 1 固井的目的。

二、基本注水泥过程

固井施工的基本过程是采用双胶塞法进行注水泥和顶替。这种方法早在 1910 年就已开始用于加利福尼亚州的浅井中 (Smith, 1987)。钻到预定井深后，起出钻具并下入套管至井底。此时用来在钻井中清洗岩屑的钻井液仍在井内。用水泥浆替出钻井液。这就是双塞法注水泥 (如图 2 所示)。在套管内注水泥时双塞用来隔离水泥以防止被泥浆污染。水泥浆由套管内泵入并从套管底部返到环空。通常水泥封固段很长，以便封隔井内地层流体，保护淡水层并防止套管腐蚀。当用泥浆和水将顶塞顶到阻流环或浮箍处地面压力升高时，注水泥过程

结束。然后关井候凝直至完井。

目前虽然钻井较深(30000ft,或更深),工艺技术取得了发展,固井方法也已改变,但双塞注水泥方法仍在使用。由于工艺技术的进步,使得固井成本也大幅度下降。下面我们将回顾一下在固井发展过程中所取得的进步以及固井方法的演变情况。

三、技术进步

步

1、水泥品种

早期可用于固井的水泥只有一到两种。随着钻井深度的增加,需要不同性能的水泥去适应。自1937年API标准化委员会成立以来,已研制并开发了更多更好的水泥(Smith, 1987年)。现今已有了八种不同级别的API水泥,每种水泥都有不同的性能(API, 1984)。

2、水泥外加剂

水泥外加剂在固井工艺的发展过程中起着重要的作用。为了适当地使用各种水泥而研制了多种外加剂以便调节水泥的主要性能,即:稠化时间、稠度、失水量、自由水和凝固时间等。因此,近来已开发了大量的水泥外加剂来调节水泥性能以满足不同的井眼条件。例

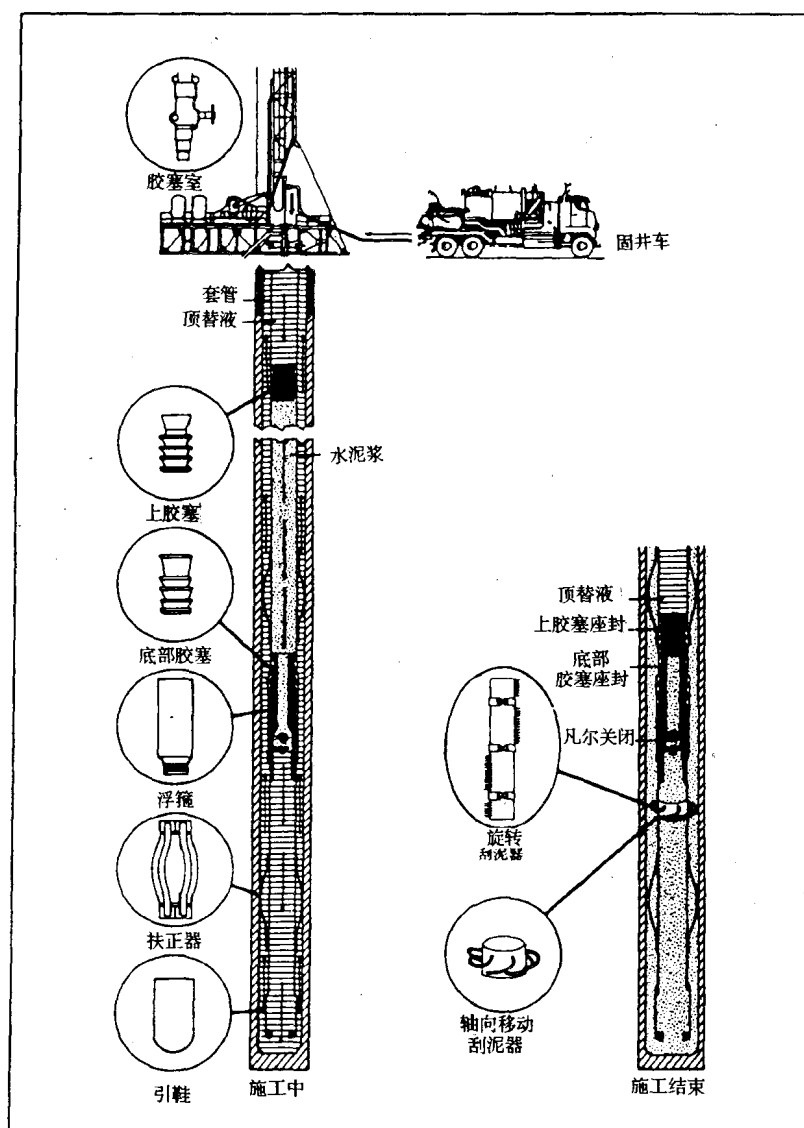


图2 常规固井作业

如木质素磺酸钙和其他缓凝剂，用来延长水泥浆的稠化时间，以便在深井中或井下高温条件下应用。

3、失水控制

在所有外加剂中，降失水剂是发展最显著的外加剂之一，它能使水泥浆保持适当的水灰比。这些外加剂早在 50 年代初次投入到 10000 到 12000ft 的深井中使用。为了使水泥浆保持可泵性，需要加入过量的水（超过水泥适当水化所需的水量）。在施工中，如果水泥浆在井内遇到渗透性地层，部分或全部多余的水很容易被挤出。失水会明显改变水泥浆的性能。例如，稠化时间会随失水量的增加而缩短。在深井中需要较长的泵送时间，必须预定水泥浆的稠化时间。水灰比在井下的任何变化都会明显地缩短稠化时间，因此会导致施工提前终止。如果水泥浆失水量过大，可能会导致“闪凝”。此时水泥浆不再可泵，施工将被提前终止。降失水剂的作用是束缚多余的水份并防止这些水从水泥浆中挤出（Shell 和 Wynne, 1958 年）。通常，当注水泥施工被提前终止时，需要补注水泥作业。

4、缩短候凝时间

在 60 年代初，水泥浆设计技术取得了显著的进步，通过减少候凝时间而节省了大量的成本。早期的平均候凝时间为 10 天，在某些情况下长达 28 天。直到 1961 年，平均候凝时间仍达 24 小时。建井周期的成本是很高的。1961 年开发的一项新技术可使地面候凝时间缩短到 8 小时（Bearden 和 Lane, 1961）。支撑套管和进行下步施工所需要的水泥抗拉强度被定为 8psi。为了在尽可能短的时间内达到这一强度值需要使用适量的促凝剂。由于将候凝时间从 24 小时缩短到 8 小时，一家公司如果每年钻 45000 口井可节省建井周期 30000 天。在 80 年代高峰期，这家公司每年要钻 80000 口井，所节省的建井周期更多。

5、密度调节剂

根据使用过的 API 级水泥，纯水泥浆的密度一般为 14.8 到 16.4 lb/gal。在地层压力

较高的情况下，这一密度太低以致不能控制井内流体。而在地层压力较低情况下，需要低密度水泥以防止在注水泥施工期间发生井漏。目前已开发了很多外加剂以调节水泥浆的密度，满足对不同密度水泥浆的需要。图 3 中给出了最常用的密度调节剂系列（Smith, 1984）。添加重质材料可提高水泥密度。要降低密度时，有些外加剂可允许加入大量的水而降低水泥浆的密度，或者用轻质材料来降低密度。

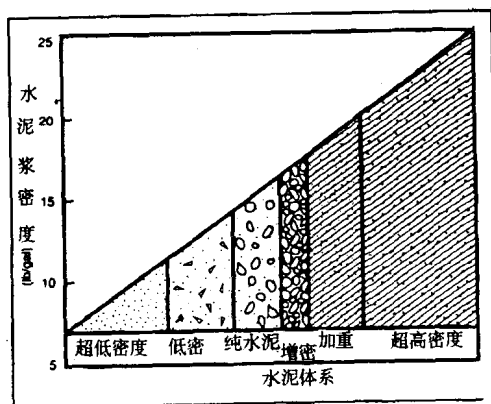


图 3 水泥浆密度与其所用的密度调节剂之间的关系。

6、测试仪器设备

1939 年，R. F. Farris 研制成功了高温高压稠化仪，它是用于水泥浆设计的最突出的测试仪器之一。这种仪器可以在模拟井下温度和压力的条件下，更准确地测定水泥浆的稠化时间。该仪器在 50 年后成为 API 规范 10

的部份标准。

7、注水泥后的流动

或许在深的高压气井注水泥技术方面，最重要的发展是注水泥作业后对气体流动的控制技术。如果不对水泥浆进行适当的设计，在候凝期间天然气将会侵入水泥基体并沿水泥界面流动。必须防止气体侵入水泥，否则将会导致地面环空压力过高、井涌、层间封隔差、投产后的产量低等问题。修补这些问题将会耗资很大。当水泥浆由液体转变成固体时，存在一个失重的过程，在这个过程中水泥不能传递静液压力，因此地层内的气体侵入井内。这一气侵机理已为人们所公认。此外，过多的失水、桥塞和微裂缝地层都可能导致气侵。

目前有几种成功地控制气侵的方法。如图4所示，每种方法都各有其优点。通常将几种方法结合在一起使用，效果最好。在选择最佳控制气侵的方法时，必须要考虑各种井眼条件，如地层压力、渗透率、气体流量、井底温度、井眼几何形状、井斜、水泥返高和地层破裂压力等。

8、固井前的井眼准备和调节

在制订计划和钻井判断过程中，最重要的是确定井眼状况是否可以进行了固井施工。图5中给出了理想的固井条件。施工人员在制订计划时必须首先要掌握这些情况。为了达到可固的井眼条件，可能导致钻井时间和泥浆成本的增加，但这是必要的。因为修补固井施工

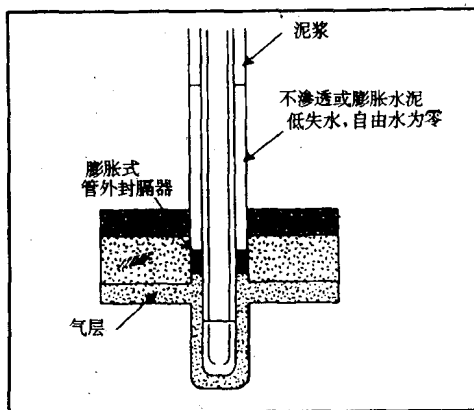


图4 固井后防止水、气流动的方法

缺陷所花费的成本要远远超过节省的钻井成本。

适当地调节泥浆性能可提高注水泥期间泥浆的顶替效率（Clark 等人，1973年）。在套管下入井眼后，为了适当地调节泥浆性能和清洗井眼有时可能需要24小时。因此所消耗的时间很长，但这是固井施工的一个必不可少的工序。套管的扶正和在循环泥浆或注水泥期间活动套管一样，都会提高固井施工的成功率。套管的旋转和往复活动或二者共用对提高固井质量都是有益的。

9、注水泥施工和监测

近来，注水泥施工技术发展很快。这是过去10年努力的结果。在此期间，用于监测施工参数的许多仪器和技术得到了很大发展

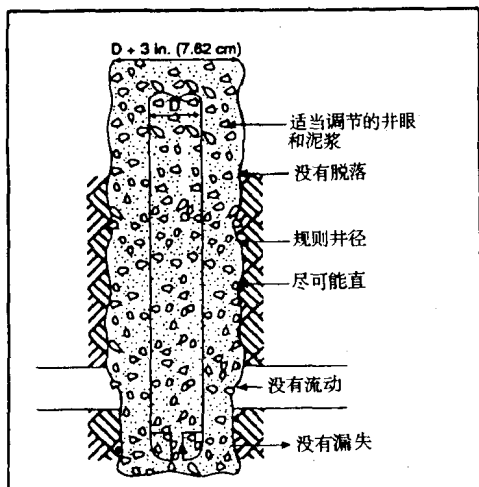


图5 理想固结的井眼

(Smith, 1982)。因而这就使得施工人员能够及时地掌握施工情况，并根据需要改变施工措施以提高施工的成功率。记录的数据通常包括泵入排量、环空返出排量、井口压力、泵入和返出的流体密度（用放射性仪器和其它仪器）、累积泵入量，累积返出量和上下活动套管时大钩负荷等（Smith, 1984）。为了使施工人员能够及时地做出判断，可使用中心监测车，如便携式电子数据记录仪等（Smith, 1984 年）。

10、其它进步

由于导言篇幅有限，不能一一细述近些年来所取得的技术进步。在本书中将对所有的技术进步情况进行介绍，我认为，只有采用适当的工艺技术，使固井成功率达到 90% 就足够了。这项工艺在我们上述没有讨论的其它领域，如水泥浆设计（Smith, 1987）、散装材料的混拌（Pace 等人，1984）、水泥浆混配、套管附件和质量控制（Clark 和 Cartev, 1973）等领域是可行的。每个领域都需要特别的注意并存在着很多挑战 and 机遇。

导 言

Erik B. Nelson

油井注水泥工艺是一门由多学科组成的科学，它包括化学、地质、物理、石油、机械和电工学。每一门学科对实现层间封隔这一固井目的都是很重要的。通过这本书，作者期望能为读者提供一部最新的综合性参考资料，帮助广大读者更好地将这些学科应用于固井施工。

本书主要由四个部分组成。第一部分是应用油藏工程理论来说明固井质量对油井性能的影响（第一章）；第二部分介绍在固井设计阶段所需要考虑的因素（第二到第十一章）；第三部分将介绍固井施工的各种情况（第十二到第十五章）；第四部分为注水泥施工评价。

在序言中，Robert C. Smith 认为“固井作业是一口井整个施工过程中最重要的组成部分。”的确，根据实践经验，人们几乎普遍认为没有任何因素比固井质量对油井产能的影响更大。然而在油藏工程方面有关层间封隔内容的著作出版数量却很少。在第一章中应用油藏工程理论推导出理论层间封隔指数（IZI），用它可以计算水泥环所允许的最大渗透率（基体和界面）。后来，层间封隔指数概念被应用于常规油井情况，结果更进一步说明完整的水泥环是至关重要的。

从第二章开始涉及本书的中心内容——波特兰水泥。这种材料的化学和物理性质以及使用性能对工艺的各个方面都是至关重要的。本章介绍了波特兰水泥的生产、化学成分、水化过程的化学反应及其分级。

波特兰水泥在固井过程中所处的条件远不同于其发明者所预期的条件。水泥体系必须通过设计使其能够在低于冰点温度的永冻层和在高于 538℃ 的某些热采井中泵送。固井施工后，水泥体系必须在整个油井寿命期间保持其完整性和提供层间封隔。只有通过发展外加剂才能使波特兰水泥满足不同条件油井固井的需要。有关油井水泥外加剂的种类将在第三章讨论。

在第四章中讨论了油井水泥浆的流变性。回顾了有关的流变模式和概念之后，又具体讨论了带有悬浮颗粒的流体。为了将钻井液从环空中有效地顶替出来，必须优化水泥浆的流变性。适当的水泥浆设计取决于很多参数，如井眼形状、套管附件、地层的完整性、钻井液性能、隔离液和冲洗液的存在和混配条件等。自 1940 年以来，已出版了大量关于泥浆

顶替的理论的经验论著，直到现在这一题目仍然存在争议。在第五章中回顾了到目前为止所做的工作，通过对相反的观点进行对比，筛选出一些能够被油田工作人员所接受的泥浆顶替方法。水泥体系与其所接触的地层之间的相互作用是非常重要的。这种相互作用包括三个主要方面：失水、地层损害和井漏。由于失水控制不当常常导致固井和补注水泥失效，这一点已为人们普遍承认。此外，水泥浆侵入地层的滤液会损害产层。在第六章讨论了静态和动态的失水过程。水泥滤饼在地层表面的形成以及前期泥饼对失水过程的影响。回顾了防漏堵漏的方法。井漏问题最好是在开始固井前处理好。为此，在本章中还介绍了在钻井期间的堵漏方法。

在固井工艺取得发展的同时，为解决特殊问题的特种水泥体系也得到了发展。在第七章介绍了专门用于解决水泥浆回落、井塌、微环隙、盐层、永冻层和腐蚀性井眼环境等问题的水泥技术，说明了这些水泥体系的各种成分（其中一些不含波特兰水泥）并提供了性能数据。

多年来，环空气窜一直是人们最关注的问题，也是有争议的问题。在第八章中介绍了有关的详细内容。这种复杂的现象在钻井和完井过程中都可能会出现。作为石油工业最困难的问题之一，它早已为人们所重视。在这一章讨论了气窜的原因和后果，并描述了理论和经验模式。此外还讨论了预防和解决气窜问题的方法。

在高温高压下，油井水泥的物理和化学性能会发生明显的变化；因此水泥体系设计必须采取专用方法，以便在所谓“高温井”的寿命期内适当地保护套管和有效地封隔地层。此外，必须考虑腐蚀性地层和疏松地层的存在。高温固井主要有三种井型，即深的油气井、地热井和热采井（蒸汽驱和火驱）。在第九章中，分别讨论了每种情况，因为每种情况的水泥体系设计参数明显不同。此外还介绍了高温水泥的化学性质并提供了常规体系的长期性能。

适当地配制水泥浆和固井施工依赖于电力和机械设备的应用。第十章专门介绍了注水泥设备和套管附件。在井深日趋加深、条件日趋恶劣的情况下，固井工艺变得越来越复杂，设备也变得更实用、性能更为可靠。首先，深入讨论了有关散装水泥的储运、混拌和泵送等各种设备。此外，讨论了在陆地和海上进行固井施工的特别注意事项。本章的第二部分广泛深入地讨论了浮箍浮鞋、注水泥胶囊、分级注水泥工具、扶正器和刮泥器等套管附件，并介绍了使用方法。讨论中引用了一系列的插图进行说明。

第二到十章中说明了在设计水泥体系或选择适当注水泥设备时所必须考虑的因素。采用高级的计算机程序进行大多数施工设计是可行的；但是，这并不能减少对简单工程常识的需要。在第十一章中讨论了有关工程技术人员系统性地制订最佳施工方案的分类法，并给出了施工设计步骤举例。

第十二章介绍了固井技术。它给出了有关固井名词术语的说明、套管柱分类和有关每种管柱固结的特殊问题。同时还包括大直径套管注水泥、分级注水泥和衬管注水泥等技术。

第十三章介绍了补注水泥技术——挤水泥和打水泥塞。在介绍了挤水泥的理论基础之后，又讨论了挤注技术（包括低压和高压挤水泥、关井挤水泥和分段加压挤水泥）。在本章中还给出了有关水泥浆的设计和配制方法。最后，讨论了用以解决各种问题的挤水泥技术应用和有关的错误观念。在打水泥塞一节中，包括打水泥塞的原因、注入技术、施工设计

要考虑的因素和施工评价。

泡沫水泥是一种以氮气和空气作为密度调节介质的水泥体系。通过充入氮气或空气来降低水泥浆的密度,这种水泥体系的物理性能远远优于用常规方法配制的水泥体系。近年来,由于现场配制泡沫水泥体系的工艺水平有了很大提高,该项技术已不是什么难事,在第十四章中全面讨论了泡沫水泥工艺。首先介绍了泡沫水泥的热力学和物理化学基础,同时讨论了泡沫流变性;其次介绍了泡沫水泥的施工设计,包括室内测试,施工计划和有关工程事项。第三步介绍了泡沫水泥的施工过程和在安全方面所应考虑的因素、现场装备以及混配步骤。最后介绍了适合于泡沫水泥的现场应用条件,包括过去应用情况。

第十五章讨论了水平井固井技术。目前很多水平井可采用不注水泥的完井方法。然而当需要注水泥时,这类施工是要求最严格的工程之一。本章介绍了水平井的分类,水平井开采油藏工程的合理性、水平井所适应的油藏类型和完井步骤。在水平井眼中,泥浆顶替是极为困难的。本章介绍了室内模拟水平井眼泥浆顶替的试验方法,用以确定效果最佳的顶替方法。此外还给出了有关泥浆性能、套管活动及扶正、冲洗液与隔离液的使用以及水泥浆性能等方面的指标。

施工完成后,要对固井质量进行检测以便确定是否达到了预定目标。第十六章系统地介绍了目前可行的固井质量评价技术,包括液压和测试温度、核能、噪声、超声波等无破坏性测井方法。对每种测井技术的理论基础进行了讨论,并介绍了各种测井仪器以及测井结果的解释方法。对每种解释方法的讨论都有插图说明。

书中包括三个附录用以补充正文。附录 A 是油井注水泥通用的流变学公式摘要,是以表格形式给出的。附录 B 讨论了试验室测试水泥的步骤和常用仪器。附录 C 介绍了水泥浆设计、固井、补注水泥和泡沫水泥施工等方面的常用计算方法。现在的大多数计算都是由计算机进行的。附录中给出了计算资料,以便供读者参考。

正如前面所说,本书旨在向读者提供有关固井方面的最新技术资料。由于本书是于 1988 年 3 月开始编写的,固井技术在很多方面继续以很快的步伐向前发展;因此,我们不得不连续修订和不断改进各章节直至出版。在此期间得到了石油工业各界的大力支持,使本书内容更为充实。

目 录

序言

导言

第一章 完井作业中固井的意义	1
第1节 引言	1
第2节 封隔地层	1
第3节 水泥与套管胶结及水力压裂	6
第4节 结论	7
第二章 波特兰水泥特性及化学性质	8
第1节 引言	8
第2节 化学符号	8
第3节 波特兰水泥的制造	9
第4节 水泥的水化作用	13
第5节 波特兰水泥的水化——多组份体系	17
第6节 波特兰水泥的分类	22
第三章 水泥添加剂及反应机理	26
第1节 引言	26
第2节 添加剂特性的可变性	26
第3节 速凝剂	28
第4节 缓凝剂	31
第5节 填充剂	35
第6节 加重剂	46
第7节 分散剂	47
第8节 降失水剂	54
第9节 堵漏剂	62
第10节 其它水泥添加剂	62
第11节 结论	64

第四章 水泥浆流变学	66
第1节 引言	66
第2节 流变学原理	66
第3节 试验设备和实验过程	73
第4节 数据分析和流变模型	84
第5节 与时间相关的水泥浆流变性	93
第6节 水泥浆在井眼中的流动特性	95
第7节 结论	107
第五章 泥浆顶替	110
第1节 引言	110
第2节 顶替效率	111
第3节 井眼准备	113
第4节 顶替泥浆	122
第5节 冲洗液和隔离液	138
第6节 水泥浆的混配	140
第7节 结论	149
第六章 水泥浆与地层间的相互作用	152
第1节 引言——水泥浆失水	152
第2节 动失水	153
第3节 静失水	156
第4节 静失水与动失水对比	158
第5节 补注水泥施工中水泥浆的失水	158
第6节 地层损害	159
第7节 结论——水泥浆失水	159
第8节 引言——井漏	160
第9节 井漏的后果	160
第10节 漏失层的分类	161
第11节 随钻井漏	162
第12节 注水泥期间发生井漏	168
第13节 结论——井漏	170
第七章 特种水泥体系	172
第1节 引言	172
第2节 触变性水泥	172

第3节 膨胀水泥体系.....	175
第4节 防冻水泥.....	177
第5节 含盐水泥体系.....	179
第6节 改性乳胶水泥体系.....	182
第7节 耐腐蚀水泥体系.....	184
第8节 水泥质钻井液.....	186
第八章 防止环空气窜	187
第1节 定义和术语.....	187
第2节 发生气窜的主要后果.....	187
第3节 气窜的物理过程.....	187
第4节 气窜试验.....	198
第5节 控制气窜的方法.....	200
第6节 气窜的预测.....	205
第7节 结论.....	208
第九章 高温水泥	109
第1节 引言.....	209
第2节 波特兰水泥高温化学性质.....	209
第3节 J级水泥	211
第4节 硅——石灰水泥体系.....	211
第5节 高铝水泥.....	211
第6节 深油气井.....	212
第7节 地热井固井.....	216
第8节 热采井.....	221
第9节 结论.....	225
第十章 注水泥设备及套管附件	227
第1节 固井材料.....	227
第2节 基本设备.....	228
第3节 注水泥装备	243
第4节 套管附件简介.....	247
第5节 套管附件.....	248
第6节 补注水泥工具.....	273
第十一章 固井施工设计	281
第1节 引言.....	281

第2节	问题的分析	281
第3节	水泥浆的选择	283
第4节	顶替机理	288
第5节	井下安全及井控	289
第6节	计算机模拟装置	290
第7节	施工设计程序实例	290
第8节	施工准备	297
第十二章	固井技术	300
第1节	引言	300
第2节	套管柱的分类	300
第3节	注水泥过程	306
第4节	尾管	315
第5节	海上作业特殊技术	322
第6节	固井作业中应注意的事项	324
第十三章	补注水泥技术	330
第1节	引言——挤水泥	330
第2节	挤水泥理论	331
第3节	挤水泥施工技术	335
第4节	试挤	339
第5节	水泥浆的设计与配制	340
第6节	挤水泥施工的基本步骤	342
第7节	挤水泥的应用	343
第8节	挤水泥施工评价	348
第9节	挤水泥失败的原因分析	349
第10节	结论——挤水泥	351
第11节	引言——打水泥塞	352
第12节	打水泥塞施工技术	354
第13节	施工设计要考虑的因素	356
第14节	施工评价、失败的原因分析	358
第15节	结论——打水泥塞	359
第十四章	泡沫水泥	360
第1节	引言	360
第2节	理论	361
第3节	设计	367

第 4 节 施工与评价·····	373
第 5 节 现场应用与实例·····	376
第 6 节 结论·····	379
第十五章 水平井固井技术·····	380
第 1 节 引言·····	380
第 2 节 水平井分类·····	380
第 3 节 水平井的应用·····	383
第 4 节 完井方法·····	387
第 5 节 泥浆顶替·····	388
第 6 节 水泥浆性能·····	395
第 7 节 小结——水平井固井的关键问题·····	396
第十六章 固井施工评价·····	397
第 1 节 引言·····	397
第 2 节 水力测试·····	397
第 3 节 温度测井、核测井及噪声测井·····	398
第 4 节 声波测井·····	401
附录·····	448
A 流变学公式摘要·····	448
B 固井实验室内试验、评价及分析·····	453
B—1 引言·····	453
B—2 样品的配制·····	453
B—3 常规水泥浆的性能评价·····	454
B—4 隔离液和化学冲洗液的性能评价·····	465
B—5 水泥特性评价及组分分析·····	466
B—6 小结·····	468
C 固井计算·····	470
C—1 引言·····	470
C—2 水泥浆性能·····	470
C—3 固井计算·····	476
C—4 打水水泥塞·····	482
C—5 挤水泥·····	484
C—6 泡沫水泥计算·····	486
D 本书所用常用许用单位和非许用单位换算表·····	491