

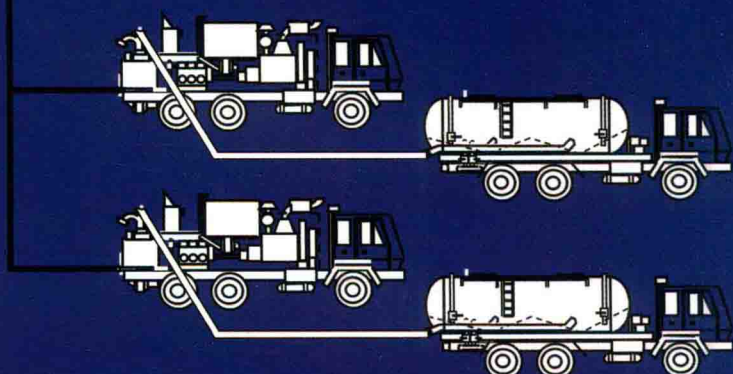
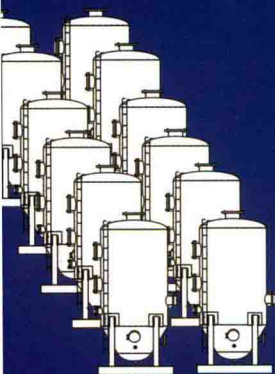


GUJING GONGYI JISHU

固井工艺技术

(修订版)

张明昌 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

固井工艺技术

(修订版)

张明昌 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书通过图文并茂的形式系统地介绍了固井技术的发展、套管柱与固井施工设计、注水泥工艺、固井工具附件、如何提高固井质量、复杂井固井技术、固井过程中复杂情况的预防与处理、挤水泥补救工艺、固井油气层保护、固井设备、油井水泥及外加剂、固井质量测井与评价技术、水泥试验仪器设备等内容,并结合实际内容列举了现场应用实例,使读者更容易理解和掌握。

本书编写内容全面、系统,非常适合固井、完井及钻井专业技术人员参考使用,更适合年轻技术人员阅读和学习。

图书在版编目(CIP)数据

固井工艺技术 /张明昌编著. —修订本. —北京:
中国石化出版社, 2016. 11
ISBN 978-7-5114-4299-4

I. ①固… II. ①张… III. ①固井-技术 IV.
①TE256

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 254336 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500
发行部电话:(010)59964526
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail:press@sinopec.com
北京柏力行彩印有限公司印刷
全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 41 印张 988 千字
2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
定价:128.00 元

再版说明

目前,国内还没有一本对固井工艺技术系统介绍的书籍,无法将固井工艺技术较全面地传授给年轻工程技术人员,使他们系统地掌握固井知识,为我国油气勘探开发服务,为国家石油事业做出贡献。

本书从2007年出版后经过两次再版,一些读者认为本书具有很好的实际应用价值,建议作者能随固井新技术的发展再扩充内容,更好地为现场人员和年轻技术人员提供学习和参考。同时作者本人也早有扩充本书内容的打算,多年前就开始收集资料。根据作者本人多年积累的固井现场经验、科研经验、科技成果、专利、新技术应用、施工案例,再结合国内、外固井新技术的发展进行了系统的组织和编写,经过3年的努力,形成了本书。

书中内容通过图文并茂的形式,系统地介绍了固井技术的发展、套管柱与固井施工设计、注水泥工艺、固井工具附件、如何提高固井质量、复杂井固井技术、固井过程中复杂情况的预防与处理、挤水泥补救工艺、固井油气层保护、固井设备、油井水泥及外加剂、固井质量测井与评价技术、水泥试验仪器设备等。一些固井新技术和专利技术是首次介绍;固井复杂情况预防与处理、各种挤水泥补救工艺是长期工作中的总结与提炼;复杂井固井技术涵盖了高温、高压、漏失、腐蚀、长封固段、非常规井等各种复杂情况下的固井工艺方法和技术;各种固井工具的工作原理、操作流程以及各种固井施工流程、挤水泥流程、堵漏流程等都通过图示的方式系统讲解,使读者容易理解和领会;本书结合实际内容列举了现场应用实例,读者能通过现场实例更容易理解和掌握。本书编写内容全面、系统,非常适合固井、完井及钻井专业技术人员参考使用,更适合年轻技术人员阅读和学习。

前 言

固井是钻井工程中的最后一道工序，固井的成功和固井质量的好坏直接影响到整个钻井工程的成败及油气井的生产寿命，固井完井方案和现场施工也对油气层保护具有很大的影响，因此固井工程是钻井工程中最关键的一道环节。近年来，国内外在固井工艺技术、固井工具、油井水泥及外加剂、水泥浆体系等方面做了大量研究，取得了长足进展，并在石油勘探开发中起到了显著作用。

编写本书的目的，是为油田钻井、固井工程技术人员提供一本实用技术参考书，也为石油院校和科研院所的石油工程专业的学生及技术人员提供一本技术参考资料。本书的内容主要为作者本人多年的现场经验积累和对多种复杂井、特殊工艺井处理方法的优化总结，同时结合了国内外固井新技术的发展，具有较强的实用性。由于本书内容是固井现场技术人员必须用到的知识，因此可作为固井工程技术人员以及钻井技术人员的作业指导书。

本书内容共分十三章，内容包括：第1章绪论，第2章套管柱与固井施工设计要点；第3章常用固井工艺；第4章固井工具附件。第5章如何提高固井质量；第6章复杂井固井技术；第7章固井过程中复杂情况的预防与处理；第8章挤水泥补救工艺及应用；第9章固井油气层保护技术；第10章固井设备；第11章油井水泥及外加剂；第12章固井质量测井与评价技术；第13章水泥浆试验仪器设备。

本书约98万字，其中第3章~第8章、第10章~第13章由张明昌编写；第1章、第2章和第9章由张然编写(约10万余字)。在本书编写过程中得到了中国石化石油工程研究院、胜利石油管理局渤海钻井固井公司、中国石油大学、中国石油工程重点实验室、中石化重点固井完井实验室等单位的大力支持和帮助。本书内容补充后由中国石化石油工程研究院固井高级工程师杨红旗、固井高级工程师陶谦、固井高级工程师刘学鹏、固井高级工程师刘建、中海油测井专家(教授级高级工程师)魏涛等进行了校对并提出修改建议。修改建议基本全部予以采纳。其中：杨红旗对第4章~第6章、第8章、第9章的内容进行了校对，并提出了

修改建议；陶谦对第1章~第3章、第7章、第10章的内容进行了校对，并提出了修改建议；刘学鹏对第11章的内容进行了校对，并提出了修改建议；刘建、刘学鹏对第13章的内容进行了校对，并提出了修改建议；魏涛对第12章的内容进行了校对，并提出了修改建议。杨红旗、刘学鹏、陶谦、魏涛、刘建、彭汉修帮助收集了部分资料。作者对以上单位和个人表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加上编写比较仓促，书中难免出现一些不妥甚至错误之处，欢迎读者批评指正。

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 固井的发展过程	(1)
1.2 固井在油气开发中的重要意义	(4)
1.3 固井的基本条件	(6)
第2章 套管柱与固井施工设计要点	(8)
2.1 各层套管的作用	(8)
2.2 套管柱设计应考虑的因素	(9)
2.3 套管柱强度设计方法	(10)
2.4 固井施工设计要点	(13)
2.5 固井施工设计实例	(18)
第3章 常用固井工艺	(42)
3.1 常规固井工艺	(42)
3.2 内插法固井工艺	(46)
3.3 尾管固井工艺	(48)
3.4 分级固井工艺	(55)
3.5 预应力固井工艺	(65)
3.6 外插法固井工艺	(68)
3.7 先注水泥后下套管固井工艺(延迟固井)	(69)
3.8 反注水泥固井工艺	(70)
3.9 平衡法固井工艺	(72)
3.10 环空灌注法固井工艺	(73)
3.11 选择式注水泥固井工艺	(74)
3.12 筛管顶部注水泥固井工艺	(76)
3.13 封隔器完井及水泥浆充填封隔器工艺	(78)
3.14 干井筒固井工艺	(81)
3.15 水下释放塞固井工艺	(83)

3.16	膨胀管固井工艺	(86)
3.17	注水泥塞工艺	(89)
3.18	漂浮法下套管及固井工艺	(95)
3.19	泡沫水泥固井工艺	(98)
3.20	MTC 技术在固井中的应用	(103)
第 4 章 固井工具附件		(105)
4.1	常规固井套管工具附件	(105)
4.2	特殊固井套管工具附件	(122)
4.3	固井新工具的研发与应用实例	(173)
第 5 章 如何提高固井质量		(187)
5.1	保证套管正常下入	(187)
5.2	选择合适的水泥浆体系	(192)
5.3	提高水泥浆顶替效率	(196)
5.4	良好的水泥浆性能	(200)
5.5	防止油气水浸窜	(201)
5.6	减少水泥有效封固段长度	(204)
5.7	使用水泥外加剂	(204)
5.8	尽量提高水泥浆密度	(205)
5.9	给水泥浆增加物理能量	(205)
5.10	避免工程事故	(205)
5.11	其他重要措施	(205)
5.12	提高固井质量技术应用实例	(207)
第 6 章 复杂井固井技术		(222)
6.1	定向井、水平井固井	(222)
6.2	高压井固井	(225)
6.3	高温井固井	(230)
6.4	深井及超深井固井	(236)
6.5	长封固段井固井	(239)
6.6	漏失井固井	(241)
6.7	小井眼小间隙固井	(249)
6.8	糖葫芦井眼固井	(251)
6.9	气井固井	(252)

6.10	欠平衡井固井	(254)
6.11	分支井完井固井	(256)
6.12	高酸性腐蚀性气井固井	(265)
6.13	非常规油气井固井	(271)
6.14	复杂井固井应用实例	(277)
第7章	固井过程中复杂情况的预防与处理	(290)
7.1	下套管后无法建立循环	(290)
7.2	循环过程突然通道堵塞	(296)
7.3	固井过程中的事故处理	(299)
7.4	特殊工艺固井中的事故预防与处理	(311)
7.5	固井过程中复杂情况处理实例	(321)
第8章	挤水泥补救工艺及应用	(329)
8.1	工程事故井补救挤水泥工艺	(329)
8.2	工程漏失井挤水泥堵漏工艺	(340)
8.3	固井质量不合格井挤水泥补救工艺	(343)
8.4	挤水泥补救作业施工要点	(350)
8.5	固井工程事故井挤水泥补救实例	(352)
第9章	固井油气层保护技术	(367)
9.1	油气层保护技术的发展现状	(367)
9.2	各生产过程中可能造成的油气层损害	(373)
9.3	油气层损害的主要类型	(378)
9.4	水泥浆滤液对岩石渗透率的影响	(379)
9.5	固井过程中油气层保护的配套技术	(381)
9.6	结论	(397)
第10章	固井设备	(398)
10.1	概述	(398)
10.2	注水泥设备	(400)
10.3	散装水泥储存设备及密闭输送(下灰)系统	(440)
10.4	固井远距离下灰缓冲设备	(456)
10.5	固井水泥干混设备	(459)
10.6	散装水泥运输设备	(468)

10.7	固井施工参数测量记录显示设备	(474)
10.8	固井设备研发与应用实例	(479)
第 11 章	油井水泥及外加剂	(490)
11.1	油井水泥	(490)
11.2	油井水泥外加剂及外掺料	(512)
11.3	油井水泥外加剂研发与应用实例	(541)
第 12 章	固井质量测井与评价技术	(566)
12.1	国内外技术现状	(566)
12.2	固井质量测井技术	(568)
12.3	固井质量综合解释与固井质量评价	(591)
12.4	固井质量综合解释应考虑的因素	(607)
第 13 章	水泥浆试验仪器设备	(610)
13.1	搅拌机(器)	(610)
13.2	稠化仪	(612)
13.3	失水仪	(619)
13.4	强度仪	(621)
13.5	养护釜	(627)
13.6	水泥浆防气窜分析仪	(630)
13.7	水泥收缩/膨胀评价仪	(633)
13.8	冲洗液冲洗效果评价仪	(635)
13.9	水泥性能分析设备	(636)
参考文献		(646)

第1章 绪 论

1.1 固井的发展过程

1.1.1 世界油气井固井技术的发展过程

1.1.1.1 第一次使用水泥浆封堵井内水层

世界石油工业的发展是从美国、英国等西方国家开始的，美国石油工业通常是以 1859 年洛克井的钻进为起点，直到 1903 年才在加利福尼亚洛木波斯油田使用水泥浆封堵井内油层上部的水层。据说他们使用的方法是：法兰克福联合石油公司把 50 袋纯硅酸盐水泥与水混合好后，用捞砂筒送到井内，28d 以后把井眼内的水泥钻掉，再钻开下部的油层后完井，这样水层就被有效封堵(图 1-1)。于是这种方法成为一种有效、可行的方法，不久该方法在加利福尼亚州具有同样情况的井中得到推广应用。后来发展成为早期的套管注水泥固井(图 1-2)。

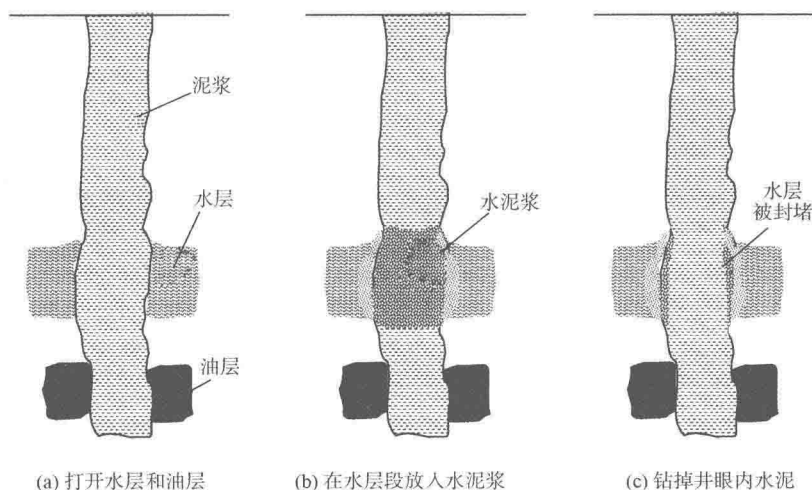


图 1-1 1903 年加利福尼亚洛木波斯油田使用水泥浆封堵水层示意图

1.1.1.2 第一次提出了双塞固井法

经过早期的捞砂筒固井法及简单的套管固井法的慢慢使用，人们不断总结经验，对固井方法不断完善，1910 年 A. A. 贝尔金斯(A. A. Perkins)在加利福尼亚油田提出了双塞固井法(图 1-3)，并申报了专利，从此代替了早期的捞砂筒固井法及简单的套管固井法。近代固井技术也就由此产生。那时的隔离塞是用生铁做的，其上装有皮板，用以刮掉套管内壁上的钻井液，固井泵是蒸汽泵，当蒸汽泵把套管内的钻井液替净时，塞子被承托环阻挡，导致注

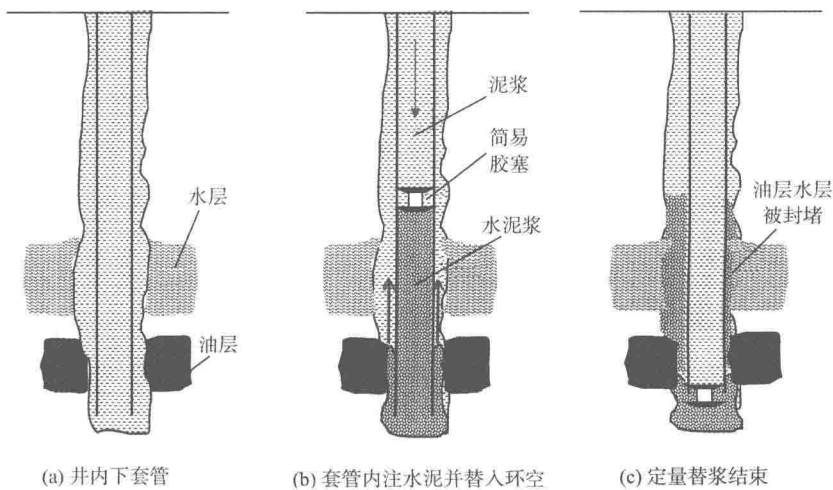


图 1-2 早期的套管注水泥示意图

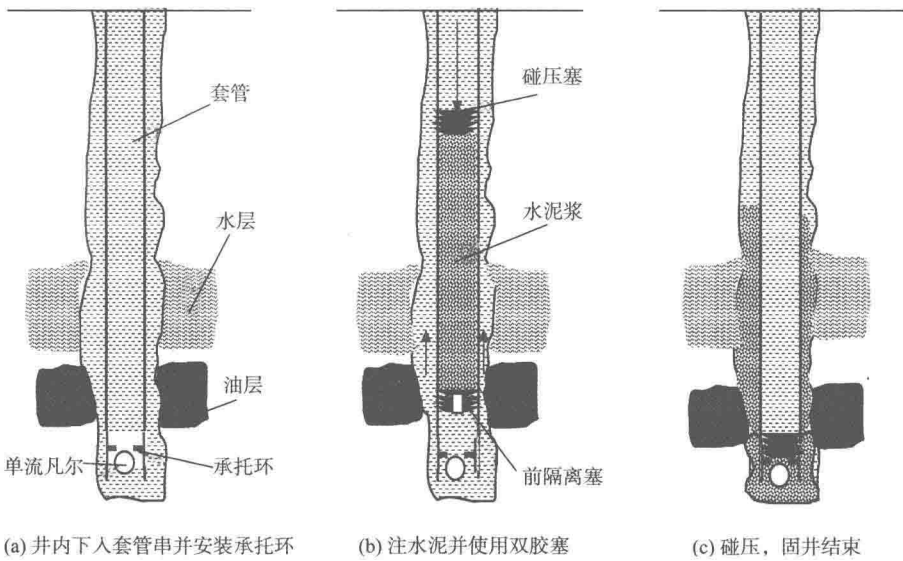


图 1-3 贝尔金斯双塞固井法示意图

入压力上升，从而使蒸汽泵停止工作。贝尔金斯专利的特点是：使用两个塞子，一个前隔离塞，一个后隔离塞(碰压塞)。

1.1.1.3 第一个专业化固井公司的成立

早期的固井施工都是由钻井队自己施工的(图 1-4)，固井设备也是以钻井设备为主，1919 年哈里伯顿(Halliburton)在俄克拉荷马州成立了新方法油井固井公司，这标志着固井走出了专业化公司的第一步。

1.1.1.4 固井技术发展

早期的固井水泥及水泥添加剂的种类很少，直到 1930 年，只有一种水泥用于固井，没有任何外加剂；到 1940 年，已发展 2 种水泥和 3 种外加剂；经过 25 年以后，到 1965 年已有 8 个级别的 API 水泥和 38 种外加剂用于固井；到 1975 年，虽然常用的 API 水泥已减少到

4 个级别,但外加剂却增加到 44 种。

早期的固井都是以袋装水泥经过现场人工破袋进行固井施工的,破袋速度慢、劳动强度大、水泥供应速度不均匀,很不适合高质量固井和大水泥量固井,更不能完成水泥外加剂与水泥干混,后来发展了散装水泥系统,从散装水泥的拉运、储存、混拌和现场下灰,形成了全密闭过程。

我国是 20 世纪 70 年代开始研制生产散装水泥系统的,先是研究生产了散装水泥的拉运和储存及下灰设备,主要是气动运灰车、气动下灰罐车和气动储灰罐;80 年代后期最早在胜利油田又研制开发了散装水泥混拌设备。目前,我国散装水泥系统在固井中的应用已达到国际先进水平。



图 1-4 早期的固井施工现场

早期的固井泵是以蒸汽双缸泵(1921~1947 年)为主,后来逐渐发展成为动力驱动双缸泵(1939~1955 年)、立式双缸双作用泵(1939~1954 年)和三缸柱塞泵(1947~现在)。早期的混浆设备是漏斗混合器,后来发展成为龙卷风混合器、多喷嘴混合器和高能混合器。总之,固井设备不断向轻便性、高功率、高泵压、高造浆能力、高安全性、数据自动采集和自动化控制方向发展。

早期的固井也几乎没有固井附件,自美国贝尔金斯发明隔离塞以来,才开始有了固井附件,人们为了实现多种固井工艺方法、提高固井质量和保证施工安全,不断研究开发多种固井附件,目前已有碰压塞、隔离塞、扶正器、泥饼刷、套管外封隔器、分级箍、水泥头、浮箍、浮鞋、套管予应力地锚、旋流器、旋流短节、尾管悬挂器、漂浮接箍等 20 多个种类的 100 多种型号及尺寸的固井工具附件,并且每个种类均已系列化,为解决各种复杂井的固井施工提供了保证。

1.1.2 我国油气井固井的发展过程

我国油气井固井的发展是从 20 世纪 50 年代开始的,最早发展于玉门油田、克拉玛依油田、大庆油田和胜利油田。早期没有专门的固井公司,50 年代末才相继成立了固井专业队伍(固井大队)。以胜利油田为例,1961 年 8 月,为了加快华北地区石油勘探步伐,华北石油勘探处和华东石油勘探局合并,固井队从当时华北石油勘探处固井试油联队中剥离并成立固井队,在接收玉门调来的一批技术骨干后形成拥有 30 多人规模的固井队,这即为胜利固井队伍的前身。建队初期,固井设备十分简陋,队内仅拥有 6 部水泥车,其中华北石油勘探处 2 部(一部亚斯、一部玛斯),华东石油勘探局 2 部,以及从银川石油勘探局调来的 2 部水泥车(一部旧玛斯水泥车,一部斯可达水泥车)。当时配备的机修工具仅为 2 台老虎钳。1964 年在钻井工程处成立了固井队,1965 年 12 月从大庆调入 10 台水泥车后成立钻井指挥部固井大队。当时,我国石油工业处于发展初期,走向苏联“老大哥”学习的路线,而当时苏联的钻井和固井技术也较为落后。我国的固井技术基本在参考苏联技术模式摸索着发展。

当时使用的套管全部从苏联进口,采用苏联 ГОСТ—632—64 标准圆锥丝扣连接方式,分为 Д、К、Е、Л、М、Р 共 6 个级别,15 个不同规格的套管,并形成包括曲率、尺寸误差、加工精度、丝扣误差等技术检验要求。由于当时套管质量较差,形成了串连试压、水浸聚焦探伤、外观检查等检验方法和手段,建立了具有规模检测能力的套管场,这个做法在当时取得了良好的效果。

在油井水泥方面,由于胜利油田临近淄博的山东铝厂三分厂,当时在建材部管庄水泥研究所的技术支持下,在该厂生产普通水泥的基础上,每年给油田批量生产 75℃ 油井水泥。当时除 75℃ 油井水泥外,深井用的油井水泥还有两个品种,一个是四川嘉华水泥厂生产的 95℃ 油井水泥,另一个是苏州立新水泥厂生产的 120℃ 油井水泥。

当时的水泥化验设备也很简陋,采用苏联固井水泥浆试验标准,使用国产静态化验测试仪器,通过设定水灰比、现场取水样和钻井液,在设定水泥浆密度后,采用手工搅拌方式搅拌后,上水浴锅进行养护,养护期间要不断地检测初凝和终凝,并相应完成养护 48 小时抗折强度的检验。对难度大的固井施工,需要将从现场取回的钻井液样品,分别按不同比例和水泥浆混合搅拌,测试受钻井液污染后的水泥浆试验数据。调整水泥浆性能的外加剂品种也较少,结合当时现场使用钙基钻井液的条件,在表层固井中使用无水 CaCl_2 作促凝早强剂,一般使用剂量在 2% 左右。缓凝剂有单宁酸、烤胶、褐煤等。以后随着 KCl 和聚丙烯酰胺钻井液的使用,又相应开发了铁铬盐、磺化丹宁和 CMC 等外加剂。

套管设计采用等强度设计方法,即按照选用套管抗挤毁强度,计算出满足抗挤安全系数 ≥ 1.25 后,自下而上进行设计,再根据满足抗丝扣滑脱的负荷,依照抗拉安全系数 ≥ 1.8 进行自上而下的校核。由于上部套管的抗拉负荷最大,安全系数通常难以达到要求,选择同尺寸提高一个钢级或壁厚来满足,形成一个中间壁薄、两端壁厚的套管排列次序。水泥浆量根据测井提供的平均井径,按不同地区、不同井眼尺寸、水泥塞高度、封固段长度进行计算,并按照总量的 10% ~ 20% 计算附加量。现场施工采用人工配浆的落后方法,注水泥是“人海战术”或称“杀猪式”固井。固井理论的资料、书籍也非常匮乏,当时仅有郝俊芳教授翻译的苏联的《固井工程》一书;北京石油学院苏联专家盖维年编写的《钻井工程》讲义;建材工业出版社出版的《胶凝物质工艺学》及周万江编写的《油井水泥》。文献资料很少,根本不能满足生产需要。当时的固井工程技术人员面对实际困难,不断探索、不断研究,克服了种种困难,在固井装备与固井技术方面做了大量工作,使固井装备和固井技术有了长足发展。在固井设备及固井工具附件研制方面做了大量卓有成效的工作,主要有气动灰罐车、固井管汇车、供水车、中功率和大功率水泥车以及各种固井新工具附件的研制;在固井技术方面主要在提高水泥浆顶替效率方法研究、新固井工艺技术研究、水泥浆体系研究、固井外加剂开发等方面开展了大量工作;通过科技攻关及产业化应用,解决了油田多项固井难题,各项成果都广泛应用到了固井生产中,取得了良好的经济效益和社会效益。

1.2 固井在油气开发中的重要意义

1.2.1 固井的概念

固井是每开次钻井工程的最后一次作业,是衔接钻井和采油的关键工程,固井就是用合

适的设备、工艺及固井工作液将井内下入的套管串与地层或外层套管之间的环形空间进行有效封固。常用的固井方法有注水泥固井及 MTC 固井。注水泥固井就是利用注水泥设备采用某种工艺在下入套管的井眼中对套管外某段环空(或整个环空)注水泥,使套管和地层或外层套管之间的环形空间得到有效封固(图 1-5); MTC 固井就是利用碱激活方法将钻井液转变成像水泥浆一样可固化的凝胶,使套管和地层或外层套管之间的环形空间得到有效封固。

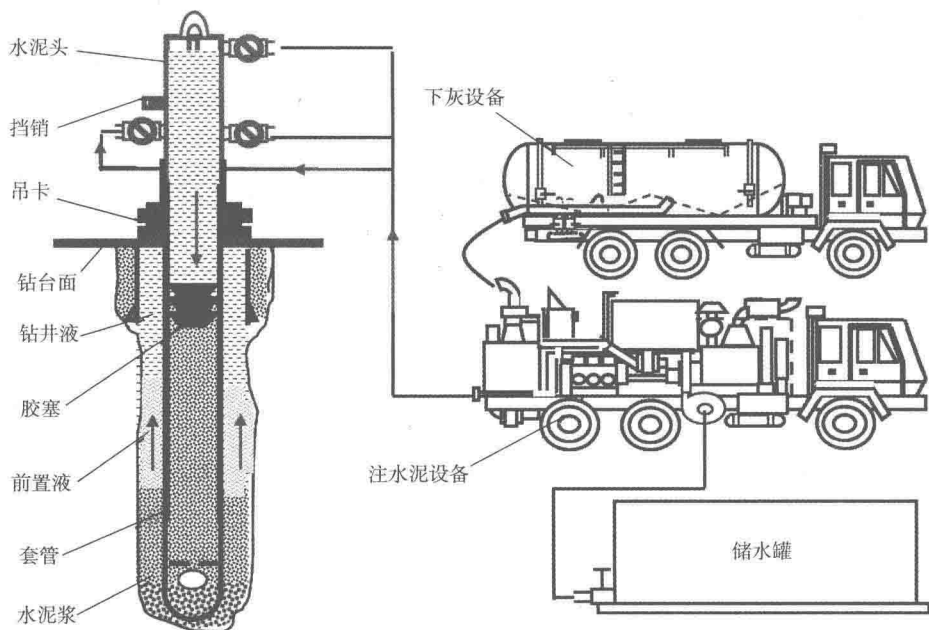


图 1-5 常规注水泥固井工艺流程示意图

1.2.2 固井的意义

油气井固井的目的是：封隔疏松、易塌、易漏、高压等地层；封隔油、气、水层，防止互窜；安装井口、控制油气流，以利于钻进和生产；除此之外，固井还有助于防止套管腐蚀、通过水泥浆的快速凝固阻止井喷、减少钻下部井段时套管所受的冲击载荷、悬挂套管、长期生产过程对套管的保护等。对固井质量的基本要求：固井施工后，要在套管与井壁或外层套管之间形成一个完整的水泥环，使套管与水泥、水泥与井壁或外层套管形成良好的胶结，保证油气水层互不窜通，达到有效封隔的目的。固井的重要性：固井是钻井过程的最后一个环节，是一口井的关键性工程，固井的成败，不仅关系到一口井的前期钻井工程的成败，而且固井质量的好坏也会对油井的后期生产产生较大影响。一口油气井设计生产周期通常为十几年，甚至几十年，若固井质量不好，不仅对后续的钻进(对技术套管而言)、试油带来困难，而且对油井的生产寿命影响极大。因此，必须贯彻“油井百年大计，固井质量第一”的方针，搞好固井工作。

1.2.3 固井技术的发展现状

随着石油工业的不断发展，钻井、勘探、开发的水平不断提高，固井技术的发展基本上与钻井技术保持同步，从最初的单级固井到现在的多级固井；从最初几百米深的浅井固井到

现在数千米甚至上万米深的超深井固井；从最初固井的简单计算到固井软件的开发，从最初的固井仅为封固地层满足生产需求发展到今天的固井保护油气层；从最初的纯水泥浆固井到现在的 MTC 技术、替代水泥胶凝材料固井技术；固井的概念和方法已被大大拓展。固井技术的发展主要包括：固井工艺、固井设备、固井水泥浆体系、固井外加剂、固井工具附件、固井软件等的发展，并针对复杂井形成了配套技术，现在的固井技术不但能解决漏失井、高压井、长封固段井、大位移井、水平井、小间隙井、盐膏层井等复杂井的固井，同时把固井的作用扩大到不仅是为了能够达到生产要求，还要实现油气层保护和增产增效。随着勘探开发区块地质条件复杂程度增加，钻井及开发新技术的不断发展，对固井技术的要求也越来越高，固井既是一门涉及多学科的综合学科，又是一门专业性很强的高风险技术，固井技术的发展与进步，需要相关科研技术人员不断地创新，使固井技术发展不断处于世界领先水平。

1.3 固井的基本条件

1.3.1 固井的压力条件

通过套管注水泥固井时，液柱压力必须满足两个要求：①应大于地层孔隙压力，以控制地层空隙中的油、气、水不会进入环空，影响固井质量或固井时发生溢流；②应小于地层破裂压力（对于高渗地层或破碎地层，应小于漏失压力），防止压破地层发生漏失，导致固井水泥低返。因此，套管注水泥固井井下压力必须满足以下条件（图1-6），即：

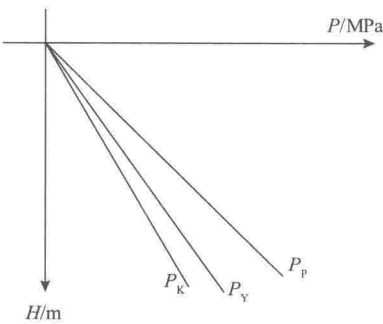


图 1-6 固井施工中液柱压力、破裂压力、孔隙压力之间的关系图

$$P_p > P_y > P_k$$
式中 P_p ——地层破裂压力，MPa；
 P_y ——液柱压力，指动态液柱对地层的压力（静态时为静液柱压力），MPa；
 P_k ——地层孔隙压力，MPa。

1.3.2 固井的井眼条件

由于从套管内通过井底向套管外环空注水泥，在水泥浆的流动过程中，会受到钻井液、地层水、地层油气、井壁稳定、地层渗透性、井底沉砂、井眼形状等因素的影响，因此要想将套管顺利下入井内，将水泥浆顺利泵送到预定位置，并且保证固井质量，井眼必须满足如下条件：

- (1)满足下套管和固井施工的基本条件：
- ①油气水不溢流；
 - ②井下不漏失；
 - ③井壁不垮塌掉块；
 - ④井斜变化曲率小于套管允许曲率；
 - ⑤井底清洁（无岩屑、砂子）。

(2) 保证固井质量基本条件:

- ① 套管居中, 居中度大于 67% ;
- ② 环空间隙大于 19mm, 并且小于 50mm ;
- ③ 水泥浆密度大于钻井液密度, 密度差大于 0.12g/cm^3 ;
- ④ 油水上窜速度小于 10m/h, 气体上窜速度小于 15m/h ;
- ⑤ 井径扩大率小于 10% , 且井眼相对规则, 井径变化率小, 无明显糖葫芦井眼或大肚子井眼现象。