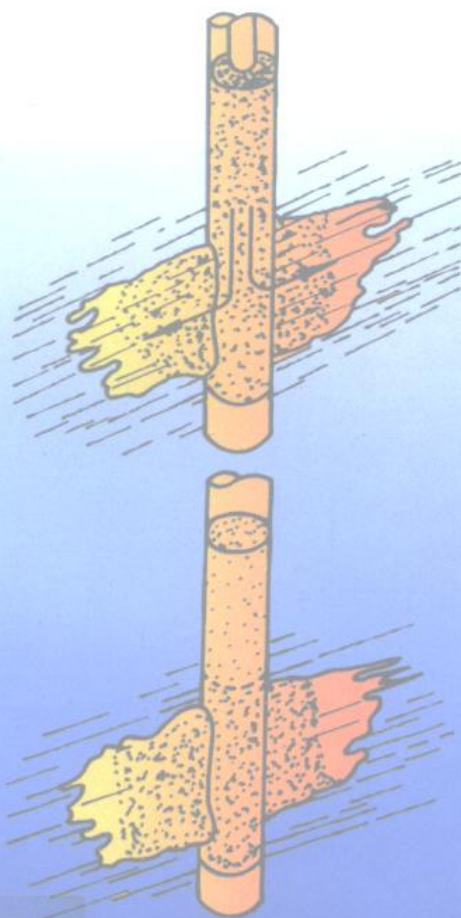


徐同台 刘玉杰 申 威 等编著

钻井工程

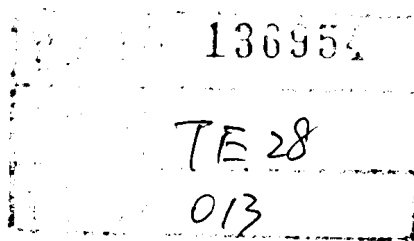
防漏堵漏技术



石油工业出版社

北京)

8



钻井工程防漏堵漏技术

徐同台 刘玉杰 申 威 等编著



石油大学0136698

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是我国第一本系统论述地层漏失及防漏堵漏技术的专著。它从理论上对漏失及防漏堵漏技术进行分析和研究,对漏失的岩石力学和流体力学因素、漏层性质及漏层位置判断的理论依据、堵漏机理及堵漏剂作用原理等理论问题和各种堵漏技术的理论根据进行了有益的探讨,对解决各类防漏堵漏问题有很好的指导作用和实用价值。

可供科研、生产部门的钻井、泥浆工作人员及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻井工程防漏堵漏技术 / 徐同台 等编著.
北京:石油工业出版社,1997.6
ISBN 7-5021-2007-6

I. 钻…
II. 徐…
III. 油气钻井—井漏—处理
IV. TE28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 05294 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
地矿部河北地勘局测绘院印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 22½ 印张 600 千字 印3001-4000
1997 年 6 月北京第 1 版 1998 年 5 月河北第 2 次印刷
ISBN 7-5021-2007-6/TE·1689
定价:40.00 元

序

井漏是石油天然气钻井、完井过程中普遍存在、经常遇见的麻烦问题,由它引起的井下复杂情况和由它诱发的其它各种井下恶性事故,对钻井、完井工程危害极大,一直是国内外石油工程界十分关注的问题。但由于其原因复杂、制约因素很多,使之成为国内外钻井、完井工程至今未能完全解决的重大技术难题。

由于井漏问题的复杂性,至今防止井漏和堵漏技术仍具有很强的针对性,堵漏技术仍以现场实践经验为主。我国石油钻井规模宏大,钻遇了世界上可能遇到的各种地层,经历了可能发生的各种类型的漏失情况,从中积累了丰富的防漏和堵漏经验。特别是最近十多年来,全国各大油田都把防漏堵漏作为重点来抓,进行了大量的研究工作,取得较大进展,研制和开发出几十种新型堵漏剂,并初步形成系列;建立了堵漏实验方法和装置,研制出各种堵漏工具,形成对付各类漏层的防漏堵漏配套工艺技术,比较好地防止和解决了所钻遇到的大多数地层漏失问题,达到了国际先进水平。

为了很好地总结我国在防漏堵漏技术方面所取得的成果,以进一步提高我国防漏堵漏技术的整体水平,中国石油天然气总公司钻井工程局、科技发展局、新技术推广中心等单位组织四川、大庆、中原、长庆、胜利、新疆、辽河、青海、吐哈、塔里木、江汉等油田工作技术人员,对国内外的防漏堵漏技术从理论到实践进行了系统总结,特别突出了各油田成功的经验和先进的技术,并尽力使之系统化、理论化,在此基础上完成此书。因此,本书不仅详尽地介绍了国外防漏堵漏技术的现状和发展趋势,而且系统地总结了我国各油田的成功经验,这是本书的一个鲜明特点。同时,本书资料来源广泛,几乎覆盖了我国的主要油田,因此本书所总结的各种防漏堵漏的系列配套技术,有很强的适用性和可操作性,从而使本书对于解决各类防漏堵漏问题有很好的指导作用和实用价值,这是本书的另一个特点。

本书是第一本系统论述地层漏失及防漏技术的专著,并从理论上对漏失及防漏堵漏技术进行分析和研究,对漏失的岩石力学和流体力学因素、漏层性质及漏层位置判断的理论依据、堵漏机理及堵漏剂作用原理等理论问题和各种堵漏技术的理论根据进行了有益的探讨,因而对防漏堵漏技术的发展有很好的理论参考价值。

可以预见,本书的出版必将对我国的钻井、完井技术的发展起到良好的推动作用。

罗平丑 97.4.

前 言

井漏,是石油、天然气井钻井过程中普遍存在的井下复杂情况之一,其危害甚大。近10多年来,钻井、泥浆工作人员对防漏堵漏技术开展了大量的研究工作,取得了较大进展。研制成功30多种新型堵漏剂,开发了堵漏试验设备与堵漏工具,形成对付各类漏层的各种防漏、堵漏配套技术。为了及时总结研究成果,提高我国防漏堵漏技术水平,中国石油天然气总公司原钻井工程局、科技发展局、新技术推广中心、勘探局等单位,组织四川、大庆、中原、长庆、胜利、新疆、辽河、青海、吐哈、塔里木、江汉等油田工程技术人员,对国内外防漏堵漏工艺技术,从理论到实践,进行了系统的总结,并编写了此书。

本书由编委们组织各自油田泥浆工作人员,对本油田防漏堵漏技术研究成果和现场应用的工艺技术进行总结,提供了本书的原始资料,然后由编委负责整理归纳,结合国外资料编写本书各章。第一章由陈乐亮、徐同台编写,刘玉杰审定;第二章由徐同台、申威、樊洪海编写,陈乐亮审定;第三、四、六章由缪明富、申威编写,刘玉杰、康勇审定;第五、八章由申威、徐同台编写,刘玉杰审定;第七章由徐同台、樊洪海、陈勉、申威编写,何纶审定;第九章由张敬荣、何劲编写,徐同台、申威审定;第十章由郑祥玉、徐同台、樊庆隆编写,申威审定;第十一章由周晨表、徐惠峰编写,刘玉杰、康勇审定。全书最后由徐同台、潘世奎、陈乐亮、周大昌、缪明富、张运桥、王奎才共同审定。

由于本书涉及内容较多,加之我们水平有限、缺乏经验,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

本书在编写与出版过程中,得到了中国石油天然气总公司原钻井工程局、新技术推广中心、科技发展局、勘探局的领导和四川石油管理局钻井处与科技处、辽河石油勘探局钻井处、钻井一公司泥浆公司、石油工业出版社等单位的大力支持与帮助,在此表示感谢。

编者

1996. 01. 01

《钻井工程防漏堵漏技术》

编 委 会

主 任：徐同台

副主任：刘玉杰 申 威

委 员：(按姓氏笔画排列)

门廉魁 王奎才 王书琪 李国璋 张育慈 张运桥 张敬荣 张兴礼 陈其正
陈乐亮 何 劲 何 伦 肖德胜 肖映雪 郑祥玉 郑斯耕 周晨表 范坤模
康 勇 曹庆红 雷耀州 廖祥云 缪明富

为本书提供资料的单位和个人还有：(单位名按首字笔画排列，人名按姓氏笔画排列)

大庆石油管理局：樊庆隆

长庆石油勘探局：刘培忠 张建清 鱼献武 杨再生 杨呈德

中原石油勘探局：王 勤 王厚燕 代余武 李铭瑞 李成维 陈自凯 吴登民
杨振杰

中国海洋石油总公司技术服务公司泥浆公司：温力为

四川石油管理局：王仕水 李家龙 苏 坚 张沛元 周 明 周厚培 岳登进
林学文 高 强 蒋太华

辽河石油勘探局：任寿周 郑德荣 郝庆喜

吐哈石油勘探开发指挥部：王先文 许登程 刘天奎

江汉石油管理局：王学德 张敬儒 赵静眉

地矿部探矿工艺研究所：王君国

青海石油管理局

胜利石油管理局：张忠德 张美益

新疆石油管理局：李文林 汪世国 杨金荣

塔里木石油勘探开发指挥部：尹 达 朱金智 何 涛

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 井漏的定义及发生的条件.....	(1)
第二节 井漏的危害.....	(1)
第三节 我国防漏堵漏技术的发展.....	(4)
第二章 漏层的特征及漏失影响因素	(7)
第一节 漏失通道的形成.....	(7)
第二节 漏失通道的基本形态和分布规律	(13)
第三节 漏失的影响因素	(24)
第四节 漏失的分类	(31)
第三章 漏层性质的确定	(35)
第一节 漏层位置的确定	(35)
第二节 漏层压力的确定	(51)
第三节 漏失通道张开值的确定	(57)
第四节 漏失严重度的确定	(62)
第四章 堵漏评价试验装置	(70)
第一节 堵漏材料评价试验装置	(70)
第二节 井漏过程及封堵工艺模拟试验装置	(76)
第五章 堵漏材料	(88)
第一节 桥接堵漏材料	(88)
第二节 高失水堵漏材料.....	(104)
第三节 暂堵材料.....	(110)
第四节 化学堵漏材料.....	(125)
第五节 无机胶凝堵剂.....	(141)
第六章 堵漏工具	(147)
第一节 井下注入工具.....	(147)
第二节 漏层封隔工具.....	(156)
第三节 堵剂输送工具.....	(172)
第四节 井下混合工具.....	(176)
第五节 其它(多效能)工具.....	(186)
第七章 井漏的预防	(195)
第一节 设计合理的井身结构.....	(195)
第二节 降低井筒中泥浆动压力.....	(206)
第三节 提高地层承压能力.....	(209)
第八章 井漏的处理	(212)
第一节 调整泥浆性能与钻井措施.....	(212)
第二节 静止堵漏.....	(214)
第三节 桥接材料堵漏法.....	(217)

第四节	高失水浆液堵漏法·····	(220)
第五节	暂堵法·····	(228)
第六节	化学堵漏法·····	(232)
第七节	无机胶凝物质堵漏法·····	(239)
第八节	软硬塞堵漏法·····	(251)
第九节	复合堵漏法·····	(259)
第十节	强行钻进套管封隔漏层·····	(266)
第十一节	堵漏方法的优选·····	(270)
第九章	复杂井漏的处理·····	(274)
第一节	洞穴·····	(274)
第二节	水层漏失的处理·····	(279)
第三节	又喷又漏的处理·····	(284)
第四节	多压力层系井漏的处理·····	(291)
第五节	浅层异常低压地带钻井井漏的处理·····	(295)
第十章	调整井防漏堵漏技术·····	(299)
第一节	调整井地层压力和岩石特征的变化规律·····	(299)
第二节	调整井井漏原因及两个地层压力剖面的建立·····	(311)
第三节	调整井井漏预防技术·····	(317)
第四节	调整井堵漏技术·····	(323)
第十一章	固井工程的漏失问题·····	(328)
第一节	引言·····	(328)
第二节	漏失层的分类与特性·····	(328)
第三节	固井工程中的防漏准则及主要措施·····	(329)
第四节	固井工程中的防漏技术·····	(330)
第五节	各油田的固井防漏技术与典型井例·····	(338)
第六节	结论·····	(346)
参考文献	·····	(348)

第一章 绪 论

第一节 井漏的定义及发生的条件

一、定 义

井漏是一种在钻井过程中泥浆、水泥浆或其它工作液漏失到地层中的现象。严格地说,其定义应该是在钻井、固井、测试或修井等各种井下作业过程中,各种工作液(包括泥浆、水泥浆、完井液及其它液体等)在压差的作用下,流进地层(渗滤过滤液不计在内)的一种井下复杂情况,是钻井工程中最普遍最常见的技术难题之一。人们常称它为一种井下复杂情况,就是说它的发生多数不是人为造成的,不以人们的意志为转移。当然,这种说法也不够准确,因为内因是根据,而外因是条件,内因必须通过外因才起作用。假如遇到能够产生井漏的漏失通道,但采取了相应的有效措施,那么就有可能不会产生井漏,至少可以大大地降低漏失程度。其次,即使地层所存在的微细孔隙不致于产生井漏,但当其所采取的一些措施不适应于实际条件时(如压力超过地层的破裂压力),也会造成严重井漏。

二、发生井漏的必要条件

井漏的产生必须具备三个必要条件:其一是对地层存在着正压差,井筒工作液的压力大于地层孔隙、裂缝或溶洞中液体的压力(即地层孔隙压力),这样才有可能把工作液压入漏失通道。其二是地层中存在着漏失通道及较大的足够容纳液体的空间。若地层中不存在任何可以流入外来液体的各种通道如孔隙、裂缝等,那么外来工作液就无法流入地层中。只有当地层中有足够大的容纳液体的空间时,才有可能构成一定数量的漏失。其三是此通道的开口尺寸应大于外来工作液中固相的粒径。

总而言之,上述三个必备的产生井漏的条件都可能在钻井措施欠妥的情况下人为造成。因为不管什么类型的地层都有其强度极限,一旦外来压力超过其破裂压力时,都会将地层压裂而发生大量的泥浆漏失。因此,井漏可以发生在浅、中及深层中,亦可以在不同的地质年代如从第四系直到古生界中发生,而且在各类岩性的地层中都可能出现。而从钻井的角度看,长裸眼、多压力层系、复杂地层,特别是钻调整井时,井漏的问题显得更常见和更严重。假如在具有产生井漏的地层中钻井,但所采取的钻井工艺技术措施适当,那么也可以做到不发生井漏或者大大降低漏失程度。

第二节 井漏的危害

井漏是钻井过程中常见的井下复杂情况之一,它不仅会耗费钻井时间,损失泥浆,而且有可能引起卡钻、井喷、井塌等一系列复杂情况,甚至导致井眼报废,造成重大经济损失。井漏对

油气勘探、钻井和开发作业所带来的危害,可以归纳为以下几方面。

一、井漏延误钻井作业时间,延长钻井周期

在钻井中发生井漏,当其漏速达到一定程度时,就不能继续维持正常钻井,必须停钻进行处理。即使采用最简易的静止堵漏法或桥塞堵漏法,也得花费相当长的时间才能解决。若钻遇洞穴、大裂缝、破裂带等,则常常费时数月之久,有时可能由于井内液面下降,液柱压力降低,而造成两种较为复杂的事故:其一是当井内液压降低到压不住油气水层时就会引起井喷;其二是液压下降,减少了对井壁的侧压力,常常会在易塌地层引发严重的井塌事故。上述情况会对勘探开发造成极大的经济损失。根据资料介绍,各国每年由于井漏耗费的材料、损失的钻机日及报废油井的经济损失巨大。前苏联石油部的统计指出,所属各生产联合公司每年处理井漏的时间占总钻井时间的4%~10%,尤其在乌拉尔—伏尔加、中亚细亚等地区,在处理井下复杂情况所花费的时间和费用中,对付井漏占了70%以上。在古比雪夫石油联合企业,1988年堵漏耗时达917日,占钻井总时间的6.4%,费用占60%。我国各个油田钻井过程中亦普遍存在井漏。表1—1列举1990年油气田钻井过程中所发生的井漏情况,共发生井漏853次,损失时间7万小时以上,处理井漏耗费时间占钻井总时间的0.5%~3%,1989年四川石油管理局高达7.6%。

表1—1 1990年陆上部分油田井漏发生情况

油田	井漏次数	损失时间,h	占钻井总时间,%
大 庆	225	8872	3.3
吉 林	12	1345	0.75
辽 河	49	7848	1.29
大 港	13	2272	0.51
华 北	15	5845	2.42
胜 利	38	5429	0.58
江 苏	2	448	1.18
江 汉	2	121	0.12
中 原	95	15694	2.07
四 川	266	15883	3.02
长 庆	37	1098	0.78
新 疆	96	4579	1.18
滇黔桂	3	415	0.89
总 计	853	69849	

二、井漏直接造成巨大的物资损失

钻井或完井过程中发生井漏后,处理井漏直接的物资损失巨大,包括以下几方面。

(一)损失大量泥浆

由于发生井漏,为了恢复循环必须补充泥浆,其数量视漏失程度而定,一口井少则几十立

方米,多则上千立方米。中原油田 1990 年漏失泥浆量高达 14480m^3 ;四川石油管理局川东钻探公司 1988 年漏失泥浆 16266m^3 。

(二)消耗大量堵漏材料

堵漏必然消耗大量堵漏材料,1988 年全国消耗堵漏材料 11159t (不包括水泥),其中桥接材料 10408t ,高失水堵漏材料 190t ,单向压力封闭剂 562t 。

(三)配合堵漏措施需消耗许多辅助材料

例如进行堵漏时机械配件、油料及运送堵漏材料的车辆运输费等。

三、储层漏失会损害产能

凡是储层渗透孔隙直径或裂缝开口尺寸大于泥浆中的固相颗粒(包括粘土、加重剂、处理剂及细钻屑)的直径者,都有可能在压差作用下造成储层井漏,这些微细颗粒会在储层的油气通道较窄小的喉道处堆集,而把部分流通孔道堵死或沉积在孔道壁上面使通道变小,减少油气流量。况且,这些固相堵塞物常常在试油或采油时所产生的反压差作用下亦不能被排出,造成永久性堵塞。在裂缝性或高渗透的油气层中,这种情况较为常见,影响较大。

四、干扰地质录井工作

对由泥浆带出的砂样进行分析,鉴别岩性,分清层位,辨认油气,是地质录井中的重要手段之一。若发生井漏,就会造成录井工作中断,尤其遇到大漏地层,泥浆基本不返出地面,甚至把钻出的砂样全部漏入地层,取不到应得的砂样,若钻遇的正好是含油气地层,那么就会影响对油气层资料的分析。

五、井漏干扰泥浆性能的正常维护处理

钻井中一旦发生井漏,至少需要补充新浆,这就会使原来符合钻井要求的泥浆性能发生变化。因此,不但增加了维护泥浆的工作量,而且难以保持良好而稳定的性能。处理井漏需消耗大量的桥接材料、凝胶物质、水泥及化学剂等,往往会对泥浆性能造成破坏,进而需要使用大量化学剂进行处理,以恢复正常的泥浆性能。这一切都给钻井泥浆的维护处理带来极大的麻烦,消耗更多的处理剂。

六、井漏会引起井下复杂情况

钻井过程中发生井漏,井内液面下降,泥浆柱压力降低,可能会出现两种较为严重的事故:一是井喷,二是卡钻。这二种事故都会造成重大损失。

总之,井漏对勘探开发工作会造成极大的影响及巨大的经济损失。然而,任何事物都有两方面,在储、漏同层的情况下,一旦发现井漏,就预示着重油气层的出现,这在裂缝性灰岩储层中较为常见。根据四川近百口井的统计分析,在构造顶部及长轴上裂缝发育部位钻的井约有 90% 发生过井漏,而这些井属于“漏、储同层”者就占 80%,其中 20 多口高产井就有 16 口井发生过井漏,而其中有 5 口高产气井的漏失量均高达万立方米以上。故在预计的储层段钻井时,

一旦出现井漏,就预示着油气层的出现。因此,在钻井中发生漏失必须很好地加以分析和判断,以免造成人为的失误。

第三节 我国防漏堵漏技术的发展

我国油气田钻井过程中均不同程度地存在着井漏,特别是钻灰岩裂缝性地层时井漏更为严重。80年代初中期,我国部分油田进入注水开发期,为了调整井网,需要钻一大批调整井,井漏成为钻调整井过程中最为严重的复杂情况。从表1-2数据可以看出,我国堵漏剂用量(不包括水泥)到1987年增至7948t,1989年高达11159t。随着堵漏技术的进步,单向压力封闭剂研究成功,自1990年以后堵漏剂用量开始下降。近十几年来,我国防漏堵漏技术有了较大的发展,初步形成一整套防漏堵漏的理论和现场应用技术。

表1-2 我国堵漏剂消耗量

消耗量, t 类别 \ 年号	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
桥接堵漏材料	488	791	1380	1975	7783.5	5109.5	10408	4489.4	4422.1	4765.7	6578.9
高失水堵漏材料				76.5	73.3	51	189.6	319.3	716	822.5	149.5
单向压力封闭剂					76	277.1	561.7	2485.1	2747.1	2361.4	1143.4
化学堵漏材料				35	15.4	10.3				34	
总 计	488	791	1380	2086.5	7948.2	5447.9	11159.3	7293.8	7885.2	7983.6	7871.3

一、我国防漏堵漏技术发展的特点

从总体上来说,目前我国的防漏堵漏技术的发展有这样几个特点:

(一)大力发展堵漏剂和相应的工艺技术

在常规水泥堵漏和桥接材料堵漏的基础上,发展了一些特殊水泥、新型复合桥接堵漏剂、高失水堵漏剂、暂堵剂、化学堵漏剂、单向压力封闭剂等几大类数十种堵漏材料,初步形成了一套处理各类井漏的工艺技术。

(二)开始重视对井漏的预防

在长期同井漏作斗争的过程中,人们认识到处理井漏的最好手段是预防。因此,人们越来越重视对井漏的预防,从设计合理的井身结构,到平衡压力钻井,从泥浆体系选择和性能的控制到合理的钻井工艺措施选择,开展了多方面的探索和研究,初步形成了一套预防井漏的方法。

(三)漏层地质特性、漏失机理和漏层测试手段的研究开始起步

80年代后期,各油田相继开展了漏层地质特性、漏失机理和漏层测试手段的研究,初步形成了一套包括漏失的原因、漏层的性质、漏失的影响因素及分类等几大部分在内的理论,迈出了钻井井漏理论研究坚实的一步。但由于我国对于井漏研究的手段尚不完善,缺乏真实可靠的仿真模拟试验条件,研究中所获取的资料绝大部分来源于实践,因此存在着较大的局限性,深度也不够,还有待于进一步完善和深化。

(四)堵漏试验设备及工具的研究已经展开

近年来,许多油田针对各自的特点,先后研究了堵漏试验设备并应用于堵漏研究,其中以四川、大庆、中原、辽河、长庆及地矿部探矿工艺研究所的试验设备都较具特点。地质矿产部还将其与计算机结合进行数据处理,收到了较好效果。堵漏工具的研究由地质矿产部先行一步,先后研制了袋式堵漏工具、裸眼遮隔管和堵剂注入工具,在实践中收到较好的效果。

世界防漏堵漏技术发展的必然趋势是:以预防为主,避免人为造成的井漏;以聚合物为主的各种新型化学堵剂会日益增多,堵漏工具将进一步发展,堵漏基础理论研究将进一步加强;有关堵漏方面的计算机专家系统会陆续问世,并用于科学地分析井漏问题,选择最佳堵漏剂和处理方案,以及堵漏成本控制等。

我国的防漏堵漏技术与世界先进国家相比,尚存在一定差距。为进一步加强我国钻井防漏堵漏技术的研究和发展,有必要充实和加强有关专门研究机构的技术力量,增添和更新必要的实验设备,重点研究堵漏机理、井漏预防措施、井漏监测和漏层性质确定方法以及各种类型井漏的成套处理工艺技术,不断总结和积累我们自己的成熟的现场实践经验,使之完善和进一步推广。

二、我国防漏堵漏技术发展的历程

从我国防漏堵漏技术发展的历程来看,大致可划分为三个阶段。

(一)见漏就堵、以堵为主,堵漏效率较低的初始阶段

70年代以前均属这个阶段。在油气田勘探开发初期,一方面对地质情况不熟悉,不知漏层在什么井段出现,因此在钻井中出现井漏往往是无准备的遭遇战,井漏一旦发生,工作十分被动。另一方面,这个时期泥浆技术也比较落后,大量使用细分散和粗分散泥浆,不能满足勘探开发的需要。泥浆工作面临的问题是泥浆类型单一,处理剂品种少、数量不足,泥浆固相含量高、自然密度高并难以控制,因而一旦发生井漏,处理起来十分被动。在这个阶段,处理井漏采取的办法是见漏就堵,以采用稠泥浆加桥接物质(锯末、云母、稻草、泥球等)和打水泥塞等方法为主。由于一些井的井身结构不合理,加上泥浆质量差,堵漏材料和方法单一,其结果使许多井越堵越复杂,甚至发生事故,因堵漏不成功而报废或提前完钻的也屡见不鲜。这段时期防漏堵漏工艺的主要特点是:

(1)普遍采用固相含量高、自然密度大的泥浆打钻,钻穿漏层时十之八九均发生严重井漏。因此,漏失机率高,漏失量大。

(2)堵漏方法和堵漏材料单一。以稠浆和注水泥堵漏为主要方法,几乎没有什么专门的堵漏材料,稻草、棕绳、泥球、碎砖、破麻袋等都可用于堵漏,方法简单,成功率较低。

(3)堵漏工艺技术极不完善,常常因堵漏加剧井下复杂情况,给正常钻井和完井带来极大困难。

(二)以堵为主、堵防结合,防漏堵漏技术的发展阶段

80年代是我国防漏堵漏工艺技术的发展时期。在这个时期,泥浆技术有了较大发展,由粗分散体系逐步向聚合物泥浆体系转化。桥接堵漏材料的研究和应用,拉开了这个发展阶段的序幕,各种新型堵漏剂应运而生,在实践中总结出了一整套处理各种类型井漏的工艺技术;初步开展了堵漏模拟试验装置和漏失机理的研究,逐步掌握了各种漏失地区的漏层特点和漏失规律。提出了以防为主、堵防结合的战略指导思想,扭转了油气田防漏堵漏工作的被动局面,为防

漏堵漏技术的进一步发展奠定了基础。这个时期防漏堵漏工作的主要特点是：

(1)针对不同漏失井的情况,选用合理的井身结构,避免了上部地层在钻穿漏层时井下复杂情况和事故的发生,为堵漏工作提供了良好的井下环境;

(2)以控制合理的泥浆密度平衡钻穿漏层技术,有效地降低了漏失发生率;

(3)研究和开发了桥接堵漏材料、化学堵剂、高失水堵漏剂、单向压力封闭剂及各种堵漏稠浆等多方面的新型堵漏材料,为对付各类型井漏提供了有力武器;

(4)各种堵漏方法和堵漏工艺日趋成熟,堵漏成功率明显提高,在此基础上总结出了我国处理井漏的工艺技术和工艺措施;

(5)提出了以防为主、堵防结合的指导思想,防漏工作初见成效。

(三)以防为主、堵防结合,防漏堵漏工作进入科学发展阶段

90年代以来,人们更加重视对井漏预防的研究,确立了以防为主、堵防结合的战略指导思想。各油田技术人员对漏失层特征、分类、漏失影响因素、地层孔隙压力、破裂压力、漏失压力等进行了深入的研究;在此基础上预测了本地区可能发生漏失的层位、漏失条件及漏失性质;通过设计合理井身结构、泥浆密度、类型、配方、性能及钻井工程技术措施,有效地预防了井漏的发生。与此同时,又注重了堵漏材料的规范化、商品化,单一的桥接堵漏材料转化成了复合堵漏材料,提高了堵漏效率;注重了油气层保护,开发出了酸溶性高失水暂堵剂、单向压力封闭剂、酸溶性水泥等一系列具有储层保护作用的堵漏剂;注重了对井漏的理论研究,对堵漏试验设备、堵漏工具的研究。开展这些项目,必将进一步推动我国防漏堵漏工艺技术的发展。

第二章 漏层的特征及漏失影响因素

为了提高防漏、堵漏工艺技术的科学性、针对性、可行性与先进性,必须搞清漏层特征,研究漏失影响因素及漏层分类。

钻井与完井过程中,井漏可以发生在任何地质年代形成的地层中,从第四系直至元古界的各种岩性地层中,如粘土岩、砂砾岩、碳酸盐岩、岩浆岩和变质岩等。研究漏失层特征,必须搞清上述漏失层中的漏失通道如何形成,其基本形态和分布规律。

第一节 漏失通道的形成

漏失通道按其形成原因可分为两大类,一类是自然漏失通道,另一类是人为漏失通道。

一、自然漏失通道

不同岩性的地层形成漏失通道的机理并不相同,下面按岩性分别加以阐述。

(一)粘土岩

粘土岩包括泥岩、页岩和黄土等。一般来说,泥、页岩发生井漏的可能性较小。但其中一些较硬脆古老地层的泥、页岩,受地壳运动出露在地表或浅层,因构造运动而破碎形成裂缝、风化作用形成溶孔或其它层间疏松形成漏失通道,易发生井漏。

中深井段和深井段泥岩因成岩作用(脱水收缩)、异常高压和构造运动均能形成裂缝,但这类裂缝长度短,宽度小,最大宽度 0.5mm 左右,一般为 0.05~0.1mm。一般不易形成漏失通道,但个别情况下,如裂缝发育宽度大,亦有可能形成漏失通道。

黄土是粘土岩中较特殊的一种,它是第四系陆相沉积物,其主要成分是粉砂和粘土。陇东地区黄土的形成主要是盆地四周的沉积作用。沉积物来源于盆地周围高地,形成不同地点的残积、坡积以及部分风积的沉积物。在沉积过程中,由于自然地理条件和气候条件(由较湿热变成旱热)的改变,可能存在多次的沉积间断时间。由于这种间断沉积作用,使黄土不论从颜色上还是从成份上都出现了数层或数十层的沉积层,层间还夹杂有砂砾石或钙质结核等,其胶结物多为石膏、碳酸钙等盐类,耐水性差,当湿度增加时,强度显著降低。黄土层具有多孔性和多洞性,节理发育,结构疏松,渗透性等特点。黄土孔隙度高达 40%~50%,有大量根管和垂直方向的孔洞,其垂直方向的渗透性与水平方向的渗透性差异很大,其垂直方向的渗透系数比水平方向的渗透系数大 4.5~37.5 倍,垂直节理有时延伸到地面,构成漏失通道,钻进时泥浆从井中漏至地面。此外,黄土的大孔隙结构,当流体进入黄土后,降低了土粒间的粘结力,使结构变形,产生集中渗流,形成很多地下空洞和暗流隧道,进而演变成洞穴,构成了特殊漏失通道,使井漏更趋严重。通常刚钻开黄土层发生井漏时,泥浆还能返出,但越漏越严重,直至有进无出。

(二)砂、砾岩

砂、砾岩漏失通道按其成因主要可分为三类。

1. 浅层、中深井段未胶结或胶结差的未成岩的砂、砾层

这类地层由砂粒或砾石构成,由于未胶结或胶结差,因而孔隙度大(大于 50%),孔隙连通

性好,渗透率高达 $10\mu\text{m}^2$ 以上,构成孔隙性漏失通道,钻进这类地层极易发生漏失。例如东疆三台、北三台、吐哈盆地表层砾石层,辽河油田浅层流砂层、馆陶组砾石层等。

2. 中、高渗透砂、砾岩层

孔隙是此类地层主要漏失通道。砂、砾岩孔隙按其成因可分为原生孔隙、次生孔隙和混合孔隙等三类。

(1)原生孔隙:包括机械压实残留的孔隙、胶结物胶结后残余的孔隙和自生矿物结晶后产生的晶间孔隙。

砂、砾石沉积后,其原始孔隙度达 $40\%\sim 50\%$,随埋深的增加,在机械压实作用下,改变了原始沉积的颗粒排列方式,砂、砾等碎屑颗粒分别由呈现游离状(极弱压实)→点接触状(轻微压实)→线接触状(中等压实)→镶嵌接触状(强压实),孔隙度与渗透率不断下降。当机械压实到一定程度时,机械压实对孔隙度与渗透率的影响明显减少,而胶结作用的影响逐渐增大。

胶结作用种类很多,包括自生粘土矿物的胶结作用、早期碳酸盐矿物胶结作用、硅质胶结作用、黄铁矿胶结作用等。

此外,对原生孔隙产生影响的还有重结晶作用、蚀变作用和交代作用等。

(2)次生孔隙:包括粒间溶孔、铸模孔、生物碎屑溶孔、填隙物溶孔、收缩孔、印模孔、粒内孔和微裂缝等。

次生孔隙的形成主要处于两个阶段:

①晚成岩阶段溶解和溶蚀作用形成次生孔隙。

此阶段泥质中有机质脱羧基作用产生 CO_2 和蒙脱石释放的层间水进入孔隙形成酸性水,破坏了原孔隙水矿物之间的化学平衡,对砂、砾岩层颗粒和填隙物的易溶组分进行溶解、溶蚀作用,形成次生孔隙。此外,成岩过程,砂、砾岩中粘土矿物蒙脱石脱水收缩也形成孔隙与微裂缝。

②风化—表生成岩作用形成的次生孔隙。

沉积物固结和埋藏后,因构造抬升而暴露或接近地表,受到大气淡水的淋滤、溶解作用,其外部因素有游离氧、二氧化碳、大气降水及微生物等,形成次生孔隙。

(3)混合型孔隙:在原生孔隙存在的前提下发育了次生孔隙,包括下述孔隙:

①粒间扩大孔:在原生孔隙基础上溶蚀形成的孔隙;

②超大孔隙:在原生孔隙的基础上,颗粒全部被溶;

③微孔隙:骨架颗粒和填隙物中的微裂缝。

3. 中深井段、深井段经成岩作用低孔、低渗的砂、砾岩层

这类地层因成岩压实作用,其孔隙度、渗透率均较低,一般不易发生井漏。如东疆火烧山油田二叠系砂岩的基质孔隙度为 13.38% ,基质渗透率仅 $4.72\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,不可能构成漏失通道。但部分地区砂岩层因受构造变形作用,在构造应力作用下产生破裂形成构造裂缝,此类裂缝尽管所占孔隙度极低,如火烧山二叠系砂岩裂缝孔隙度仅为 0.18% ,但渗透性高,构成漏失通道,钻井过程引起严重井漏。

构造裂缝可分为区域构造裂缝和局部构造裂缝两类。区域构造裂缝是指其形成受区域构造应力场直接控制的裂缝,其方位变化较小,产状较陡,常与层面垂直或近垂直,例如吐哈盆地丘陵油田在褶皱之前形成的两组正交裂缝。局部构造裂缝一般是指其形成与局部构造事件相伴生或受局部构造应力场控制的裂缝。局部构造裂缝又可分为与断层构造有关的裂缝,与褶皱构造有关的裂缝,以及与其它构造(如刺穿构造等)有关的裂缝。与断层构造有关的裂缝包括与

断层平行或近平行的裂缝。与断层共轭的剪切缝以及与断层呈大角度相交的张性缝。例如火烧山油田东部发育一条近南北向的火东逆断层,由此断层影响裂缝带宽度约 500m 左右,与褶皱构造有关的裂缝是指在岩石产生和形成褶皱过程中,由局部应力场控制的裂缝,包括平面共轭剪裂缝,剖面共轭剪裂缝,横张裂缝,纵张裂缝及层内剪切裂缝。火烧山油田在印支期和燕山早期所形成的大多数构造裂缝即属此例。

(三)碳酸盐岩

碳酸盐岩主要是由方解石和白云石等碳酸盐矿物组成的沉积岩,石灰岩和白云岩是碳酸盐岩的最主要岩石类型。

碳酸盐沉积颗粒所形成的原生孔隙和成岩作用与构造运动作用所形成的溶孔、溶洞、裂缝,构成了碳酸盐岩的主要漏失通道。

1. 原生孔隙

碳酸盐岩的沉积颗粒包括内碎屑、鲕粒、藻粒、球粒、生物碎屑、陆源碎屑等。由这些颗粒沉积而成粒间孔隙、粒内孔、生物的体腔孔、生物骨架孔及遮蔽孔等形成碳酸盐岩的原生孔隙。在成岩过程中,由于世代胶结、充填、压实、压溶、膏化、热液、重结晶、硅化等作用,使孔隙度不断下降。

2. 成岩作用形成孔、洞、缝

(1)白云石化:在石灰岩中发生交代作用,方解石变为白云石。白云石化一方面使晶间孔溶蚀扩大,形成多孔、晶粒粗大、零乱状的“砂糖状”白云岩;另一方面方解石变为白云岩后,体积收缩 12%~13%,生成裂缝。白云石化主要发生在同生成岩阶段,在早成岩阶段、晚成岩阶段和表生成岩阶段亦出现白云石化作用。

(2)岩溶:碳酸盐沉积物在同生成岩阶段,由于大气淡水与海水混合作用,形成粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、晶间溶孔。沉积物在早成岩阶段被固化后,若暴露在大气环境中,易发生溶蚀作用,并具有以下特点:空隙周围无充填物,形态不规则,有时与微缝相连通,溶蚀作用沿粗结构中易溶盐类进行,可形成较均匀的顺层分布的溶孔层,溶孔分布稳定,较严格地受岩性控制。

(3)干裂:同生和早成岩阶段,由于海水退出或泻湖干涸,沉积物暴露形成干裂缝。

(4)古岩溶:指在地质发展过程中,地下水与可溶性岩石相互作用及其一系列地质现象的总和。古岩溶可分为溶洞、溶孔、溶缝,构成碳酸盐岩的主要漏失通道。根据古岩溶的形成机理以及岩石矿物学特征,将其分为层间岩溶、风化壳岩溶、缝洞系岩溶等三类。层间岩溶指成岩早期碳酸盐暴露地表受大气淡水淋滤形成岩溶;风化壳岩溶指构造运动作用下使碳酸盐岩抬升遭受风化淋滤形成岩溶;缝洞系岩溶是指在埋藏成岩压实排出的压实水作用下形成的岩溶。层间岩溶是风化壳古岩溶发育的地质基础,风化壳古岩溶加剧了层间岩溶的改造。晚成岩期有机质热分解脱羧基产生 CO_2 ,形成具有溶解能力的酸性水,导致溶蚀作用,使孔隙度增加。

(5)成岩裂缝:成岩作用过程中,在上覆岩层静压作用下,碳酸盐岩收缩破裂和岩层中流体增压所形成的裂缝。

(6)重结晶作用:如碳酸盐晶粒变粗,孔隙与喉道增大且变得规则简单,则重结晶作用增加了此层的有效空隙。

(7)硅化作用:硅化作用增强碳酸盐岩脆性,在构造应力作用下,易产生构造裂缝。

3. 构造运动形成构造裂缝

在地壳构造运动作用下,地层产生倾斜、褶皱、断裂和岩浆活动,使古老碳酸盐岩形成构造