

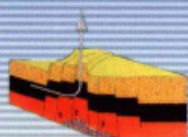


BEIBUWAN PENDI YITANTA DICENG ZUANJING JISHU

北部湾盆地 易坍塌地层钻井技术

谢玉洪 黄凯文 余洪骥 著

石油工业出版社



BEIBUWAN PENDI YITANTA DICENG ZUANJING JISHU

责任编辑：王金凤 封面设计：赛维钰 责任校对：黄京萍

ISBN 978-7-5021-6489-8



9 787502 164898 >

定价：138.00 元

北部湾盆地 易坍塌地层钻井技术

谢玉洪 黄凯文 余洪骥 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是对易坍塌地层石油钻井技术研究与应用的全局总结,研究内容包括易坍塌地层的坍塌机理、井壁稳定评价、绕障和限定安全钻入角井轨迹设计、井壁坍塌控制实时决策以及多尺度裂隙油基钻井液高效强封堵技术等。

本书可作为从事易坍塌地层石油钻井工程方面的技术人员及石油院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

北部湾盆地易坍塌地层钻井技术/谢玉洪,黄凯文,余洪骥著.
北京:石油工业出版社,2009. 11

ISBN 978 - 7 - 5021 - 6489 - 8

I. 北…

II. ①谢…②黄…③余…

III. 北部湾 - 构造盆地 - 油气钻井 - 技术

IV. TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 184800 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523537 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本:1/16 印张:26.5

字数:668 千字 印数:1—1000 册

定价:138.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

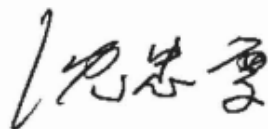
序

中国南海西部海域蕴藏着丰富的油气资源,是我国油气资源的重要接替区域。由于该海域的油气富集区地质构造复杂,构造应力大,断层裂缝发育,地层水敏性强,存在异常高温高压,钻井过程中塌、漏、喷、卡等钻井事故频繁发生,北部湾地区长期以来钻井复杂事故率一直高达40%~70%,是严重制约南海西部海域安全快速钻井的技术难题。

本著作以中海石油湛江分公司联合各大石油院校共同攻关成功解决南海西部海域世界性钻井技术难题的成果为素材,系统地介绍了克服北部湾地区钻井难题的五套综合技术:(1)区域地层裂缝、地层属性、地应力分布的高精度预测技术;(2)节理发育强水敏性泥页岩井壁稳定预测及控制技术;(3)以整体钻井复杂率最低为目标的钻井平台位置优选及定向井轨道优化设计技术;(4)适用于节理发育强水敏性泥页岩钻井的强抑制、强封堵钻井液技术;(5)提高复杂地层钻井效率的其他钻井配套技术。上述创新技术解决了北部湾地区节理裂缝发育强水敏性泥页岩地层的严重钻井阻卡坍塌问题,成功解决了该海域世界少见的钻井技术难题。

北部湾盆地易坍塌地层钻井技术是理论与实际密切结合成功解决复杂地质构造安全快速钻井技术难题的典范,大大提升了我国钻井工程领域的技术水平,丰富了井壁稳定预测及控制理论,具有重要的理论意义及使用价值。该著作对广大工程技术人员具有重要的参考指导意义。

中国工程院院士



2009年10月

前 言

《北部湾盆地易坍塌地层钻井技术》一书,是多年来多家相关技术公司和院校的专家们和学者们共同辛勤劳动的成果,是他们心血和汗水的结晶体,是研究—实践—再研究—再实践的成功典范。如果您在石油钻井工程中遇到易坍塌地层技术难题,或者您虽对易坍塌地层钻井技术有所了解,但仍希望更深入地了解这项技术,本书将尤其适合您!

笔者在众多专家和学者研究的基础上,综合了多年来对易坍塌地层钻井技术相关理论和方法的研究成果编撰而成。按照研究内容的系统性和逻辑关系,本书分为七章,各章相互联系,又相对独立。本书主要阐述了以下内容。

井壁失稳机理:复杂地质区域受不同地质年代区域地应力的影响,地层在纵向上存在不同方位的应力场,容易造成井壁失稳;受地质构造活动的影响,区域上形成一系列大断裂(断裂带),使得断裂构造带内岩石强度降低,低岩石强度地层也对井壁稳定构成威胁;不同地质年代区域地应力作用的结果,不但产生可识别的大断裂(断裂带),而且导致复杂地质区域地层中派生了大量微裂隙和地球物理探测不能识别的微断距断层。易坍塌地层的岩石矿物成分中非膨胀性黏土矿物,如伊利石、高岭石和绿泥石含量较多,容易碎裂分散。地应力复杂,断裂破碎带多、微裂隙发育、地层水敏性强,是导致钻井过程中井壁易垮塌,容易造成井下事故的主要原因。

地应力、地层微裂隙、地层属性及井壁稳定性预测方法:综合利用遥感、遥测、地质、地震、测井等相结合的区域地质和局部地质资料,破解不同地层断裂分布、地应力分布特征,井下裂隙、地层属性特征;建立三维钻井地质属性体,实现钻井实时工况在地质属性体的全方位可视化,根据对钻遇地层地质属性参数的监测、计算的成果,实时动态调整钻井参数。

“力学化学耦合”替代“力学、化学单独分析”:节理发育且强水敏性泥页岩井壁稳定的力学化学耦合计算模型的建立方法,从而实现了节理发育泥页岩井壁稳定周期的定量预测;提出了防止节理发育泥页岩井壁坍塌的最佳钻入角的新概念。

多尺度裂缝油基钻井液的高效强封堵技术:超微细刚性封堵剂、多软化点可变形封堵剂和成膜剂联合使用得以实现,利用成膜剂的膜结构特征特性,参与对微裂隙和节理的封堵及刚性颗粒间的微裂隙堵塞,达到提高封堵效果和地层承压能力。

以海洋丛式井组整体“钻井时间最短”取代了传统的“钻井进尺最短”设计准则和海洋丛式开发钻井平台位置优选的“井口位移法”和“等效钻进时间法”理论模型。根据“钻井时间最短”原则,创建绕障和限定安全钻入角的井眼轨迹设计模型,与三维钻井地质属性模型相结合,形成了以丛式开发井组整体钻井复杂率最低、整体钻井周期最短为目标的钻井平台位置优选及井轨迹优化设计方法。

本书的理论、方法和技术,在北部湾地区得到应用并取得良好效果。

在本课题研究及本书的编写过程中,中国海洋石油总公司(以下简称中海油)的专家和领

导给予充分的重视,多次给予重要指导和关心;湛江分公司林金成等领导给予大力支持与帮助。李嗣贵、董星亮、易平、徐立强、罗宇维、邓金根、管志川、张行云、罗向东、杨计海、吴厚培、张守仁等专家参与了课题研究和本书的编写工作,勘探开发部、钻井部等部门的专家们提出了相当好的建议;中海油田服务有限公司、中国石油大学(北京)、中国石油大学(华东)、中国地质大学(北京)、阿派斯科技(北京)有限公司、北京奥凯立科技发展有限责任公司、北京石大连创石油科技有限公司等在研究和实施方面做了大量深入的工作;历年来在该地区进行钻井作业并取得大量失败和成功的实践经验的钻井和地质工作者,提供了宝贵的基础资料。在此一并表示感谢。

由于本书涉及的业界领域广、内容新、现场实施环节多且复杂,加上笔者水平有限,存在疏漏难免,望读者、专家和同仁不吝赐教。

最后,本书能为同行解决类似问题提供启发,是我们最大的欣慰。

作者

2009年8月

目 录

1 问题的提出和井壁失稳研究现状	(1)
1.1 北部湾盆地涠西南凹陷钻遇易坍塌地层	(1)
1.2 国际国内对井壁失稳研究现状及技术发展趋势	(2)
1.2.1 国外研究状况	(2)
1.2.2 国内研究状况	(3)
1.3 涠西南凹陷井壁失稳初步分析	(3)
1.3.1 井壁失稳易发地层	(3)
1.3.2 井壁失稳典型井实例分析	(5)
1.3.3 解决井壁失稳问题思路	(9)
1.4 采用控制井壁失稳新技术(系统)钻遇坍塌地层效果良好	(13)
2 北部湾盆地涠西南凹陷地层井壁易坍塌机理	(14)
2.1 涠西南凹陷新生代地质构造运动及区域构造应力场演化史	(14)
2.1.1 南海地区区域地质背景	(14)
2.1.2 南海地区区域构造及应力场演化特征	(15)
2.1.3 断裂发育特征	(29)
2.1.4 北部湾盆地涠西南凹陷新生代地质构造运动及构造应力场演化小结	(39)
2.2 北部湾盆地涠西南凹陷新生代地层沉积发育史	(40)
2.2.1 古新世长流期	(40)
2.2.2 始新世流沙港期—渐新世涠洲期	(40)
2.2.3 新近纪(晚第三纪)	(42)
2.2.4 北部湾盆地涠西南凹陷地层沉积小结	(43)
2.3 涠二段和流二段矿物组成及其性质	(43)
2.3.1 涠二段和流二段矿物组成	(43)
2.3.2 涠洲组二段和流沙港组二段泥页岩地层物理化学性质	(45)
2.3.3 涠洲组二段和流沙港组二段井壁水化坍塌机理	(50)
2.4 北部湾盆地涠西南凹陷地层力学性质	(55)
2.4.1 北部湾盆地涠西南凹陷地层强度	(55)
2.4.2 北部湾盆地涠西南凹陷地层破裂压力	(62)
2.4.3 北部湾盆地涠西南凹陷地层坍塌压力	(63)
2.4.4 破裂压力和坍塌压力计算结果	(64)
2.4.5 北部湾盆地涠西南凹陷涠二段和流二段井壁力学失稳机理	(70)
2.5 层理性泥页岩井壁失稳机理	(74)

2.5.1	层理性地层井眼力学破坏	(75)
2.5.2	层理性泥页岩地层钻井液滤液渗滤型破坏	(76)
2.6	时间和裂缝对井壁坍塌的影响	(79)
2.7	构造应力对井壁坍塌的影响	(82)
2.8	钻井液性能对井壁极易坍塌的影响	(86)
2.9	钻井设计和工艺对井壁坍塌的影响	(86)
2.10	涪西南凹陷涪二段和流二段易坍塌机理小结	(87)
3	钻井地质模型建立	(88)
3.1	现今构造应力场描述	(88)
3.1.1	弹—塑性增量法数值模拟	(89)
3.1.2	地质模型的建立	(91)
3.2	易坍塌地层裂缝分布描述	(116)
3.2.1	地震相干裂缝的识别与解释	(116)
3.2.2	地层构造成因裂缝预测	(124)
3.2.3	地震相干裂缝与地层构造成因裂缝同一性分析	(135)
3.2.4	预测裂缝地质含义及应用条件	(136)
3.3	三维钻井地质模型建立	(137)
3.3.1	资料准备	(138)
3.3.2	三维地质模型的建立	(147)
3.3.3	三维钻井属性地质模型的建立	(162)
3.4	钻井地质模型的检验与修正	(173)
3.5	三维钻井地质模型应用	(175)
4	钻井工程随钻监测	(176)
4.1	地层孔隙压力随钻监测	(176)
4.1.1	声波时差法计算地层孔隙压力原理	(176)
4.1.2	地层孔隙压力梯度计算	(177)
4.1.3	自动地层孔隙压力计算软件	(179)
4.2	井壁稳定性随钻监测	(179)
4.2.1	监测软件简介	(179)
4.2.2	实时监测的实现	(183)
4.3	钻井井下压力波动监测	(186)
4.3.1	钻井液流变模式及其选用	(186)
4.3.2	井底压力变化计算模型	(189)
4.3.3	井底压力计算软件	(200)
5	钻井工程设计优化	(205)
5.1	井眼轨道优化设计方法	(205)
5.1.1	躲避井壁易坍塌区的井眼轨道优化设计方法	(205)

5.1.2	穿越井壁易坍塌区的井眼轨迹优化设计方法	(207)
5.2	摩阻扭矩计算及分析方法	(219)
5.2.1	摩阻扭矩计算方法	(219)
5.2.2	摩阻扭矩分析程序	(224)
5.2.3	摩阻扭矩实例分析	(225)
5.3	钻井平台位置优选方法	(233)
5.3.1	平台选址问题的数学描述及优选指标	(233)
5.3.2	平台位置优选模型的建立	(235)
5.3.3	平台位置优选模型的求解方法	(239)
5.3.4	平台位置优选程序	(244)
5.3.5	钻井平台位置优选实例	(244)
5.3.6	平台位置优选问题讨论	(252)
5.4	定向井井身结构设计优化	(253)
5.4.1	套管与钻头尺寸的选择	(253)
5.4.2	套管柱入井摩阻分析	(258)
5.4.3	下套管波动压力计算	(259)
5.4.4	井身结构设计程序	(264)
5.5	定向井水力参数设计方法	(265)
5.5.1	常用的钻井液流变模式	(265)
5.5.2	循环压耗计算方法	(267)
5.5.3	斜井井眼岩屑浓度计算及井眼清洁分析	(272)
5.5.4	定向井水力参数设计	(278)
5.5.5	计算实例及分析	(282)
5.5.6	水力参数设计程序	(288)
5.6	钻进趋势预测及底部钻具组合(BHA)设计优化	(289)
5.6.1	BHA 力学特性分析方法	(289)
5.6.2	钻头与地层相互作用模型	(294)
5.6.3	钻进趋势预测方法的建立	(298)
5.6.4	BHA 钻进趋势预测及工具优选程序	(299)
5.6.5	实例数据分析	(299)
5.7	岩石可钻性评估与钻头选型研究	(308)
5.7.1	地层岩石“可钻性”评估方法	(308)
5.7.2	涪洲组至流沙港组岩石可钻性评估结果	(317)
5.7.3	涪西南凹陷油田群钻头选型推荐	(321)
6	钻井液优化	(323)
6.1	钻井液的技术要求	(323)
6.2	钻井液体系评选	(324)

6.2.1	本区曾使用过的各类钻井液体系回顾	(324)
6.2.2	易塌地层使用钻井液和新材料调研	(333)
6.2.3	涪西南凹陷专用防塌 MB 和 SMB 钻井液体系	(362)
6.3	完井液研制及对储层保护性能评价	(382)
6.3.1	钻井完井液基本配方及室内评价	(382)
6.3.2	钻井完井液动态损害评价	(385)
6.3.3	单一射孔液动态损害评价	(392)
6.3.4	顺序工作液动态损害评价	(392)
6.3.5	系列工作液间的配伍性研究	(393)
7	钻井工艺优化	(396)
7.1	最佳钻入角的确定	(396)
7.2	钻速和钻井液循环速度优化	(403)
7.2.1	快速钻过涪洲组二段应注意的环节	(403)
7.2.2	控制流沙港组二段的钻速应注意的环节	(404)
7.3	随时掌控调整好钻井液	(404)
7.4	平稳的操作	(405)
7.5	倒划眼扶正器的使用	(405)
7.6	快速套管下入	(405)
7.7	录井随钻分析	(406)
7.8	异常情况处置	(406)
7.8.1	卡钻	(406)
7.8.2	螺杆钻具异常	(406)
7.8.3	旋转导向工具异常	(407)
7.8.4	井漏	(407)
7.8.5	断钻具	(407)
7.8.6	井壁坍塌	(407)
7.8.7	MWD 或 LWD 异常	(408)
7.8.8	异常情况处理程序	(408)
结束语		(409)
参考文献		(410)

1 问题的提出和井壁失稳研究现状

1.1 北部湾盆地涠西南凹陷钻遇易坍塌地层

钻井是石油勘探开发的必需手段,安全高效的钻井作业对提高整个勘探开发项目经济效益作用之重要是不言而喻的。油气藏存在的多样性,不同性质地层的组合,复杂的区域和局部构造格局等,使得钻井作业安全受到极大的挑战。

在北部湾盆地涠西南凹陷钻井作业过程中,钻遇了易坍塌地层,事故频发,造成井下钻井事故率高,钻井费用大幅上升,增加了石油勘探开发成本,严重制约了该地区的石油勘探开发进程。据统计,20 世纪 80 年代与法国道达尔公司合作开发的涠洲 10-3 油田,因井壁失稳而造成的井眼事故率高达 72.73%;20 世纪末开发的涠洲 12-1 油田,因井壁失稳造成的井眼事故率高达 62.5%(见表 1-1)。

2003 年 12 月钻探的 WZ12-1-A17B 井,原计划钻井作业时间 33 天,钻井预算费用 3000 万元(人民币,下同);由于钻井过程当中井壁坍塌严重,导致两次卡钻而侧钻,实际钻井作业时间 118 天,直接经济损失 6000 多万元。

表 1-1 涠西南凹陷油田群已钻井的井壁失稳情况统计

区 块	井漏 (井次)	卡钻 (井次)	严重阻卡 (井次)	电测仪器 遇卡(井次)	卡套管/ 尾管(井次)	其他 (井次)	事故地层	备 注
涠洲 10-3	2	14	3	2	1	1	涠洲组泥岩,流沙港 组泥、页岩	卡钻:5 次解 卡成功
涠洲 11-4	2	5	5	1	—	—	角尾组泥岩,流沙港 组泥、页岩	卡钻:3 次解 卡成功
涠洲 12-1 及 涠洲 12-1N	4	9	14	3	6	—	涠洲组泥岩,流沙港 组泥页岩,石炭系风 化壳	卡钻:4 次解 卡成功
其他区块	6	1	4	4	1	1	涠洲组泥岩,流沙港 组泥、页岩,石炭系 风化壳	卡钻:1 次解 卡成功
合计	14	29	26	10	8	2	—	—

多年来,在多家技术公司共同努力下,经过研究—实践—再研究—再实践,在如何应对井壁稳定性研究方面取得了重大进展,使得该地区井下事故率大幅降低,在 2003 年完成的涠洲 12-1N 油田一期工程井下事故率已降至 40%。但仍然未能从根本上解决北部湾盆地涠西南凹陷井壁失稳问题。

1.2 国际国内对井壁失稳研究现状及技术发展趋势

1.2.1 国外研究状况

井壁失稳一般是指钻井过程中井壁的张性破坏(井漏)和剪切破坏(井塌)问题,是钻井工程中经常遇到的井下复杂情况之一,具体表现为井眼缩径、坍塌、井漏、卡钻等事故。井壁失稳问题具有普遍性,尤其是在诸如高陡构造、泥页岩或石膏岩地层、欠压实地层,往往给油气井钻井工程造成巨大经济损失。据有关资料统计,全世界石油钻井工程中仅因井壁失稳所造成的经济损失每年高达数亿美元。所以世界上各大石油公司都把控制井壁稳定技术作为重点课题进行研究。

国外众多学者自 20 世纪 40 年代以来就为解决与井壁稳定性有关的岩石力学问题做了大量的研究工作,这些研究最初是将力学和化学两方面的问题分开进行研究,并着重于理论上的定性分析。从 70 年代开始,斯伦贝谢测井公司利用测井资料解释地层的力学问题,先后提供了岩石力学性质测井(MECHPRO),力学稳定性测井(MSL)和井眼力学问题系统(IMPACT)等技术。80 年代以来,特别是近年来随着水平井和大位移井的发展,这一领域的研究更为受到重视。英荷壳牌石油公司、美国得克萨斯大学和挪威地质技术研究所的研究工作都取得了很好的结果,已达到量化阶段,并开始在现场试用。

但是,井壁稳定问题十分复杂。井眼稳定不仅取决于岩石力学方面的原因,而且取决于井内流体与井壁之间的化学作用。统计表明,井壁失稳多发生在泥页岩层段的原因,就是由于泥页岩地层是由片状黏土颗粒经沉积压实、脱水而形成的岩体,层理发育,富含天然裂缝、节理,遇水极易水化膨胀,强度低,各向异性强,所以成为钻井过程中主要不稳定地层。北部湾盆地涠西南凹陷油田群涠洲组二段及流沙港组二段泥页岩地层具有非常典型的上述泥页岩特征,其钻井过程中的坍塌、缩径是造成北部湾盆地涠西南凹陷油田群钻井复杂情况的根本原因。

从已有文献及国内外井壁失稳的案例分析,涠西南凹陷油田群,尤其是涠洲 12-1N 油田,可列为国际钻井界钻井作业中井壁坍塌最为严重的地区之一。1999 年美国 ARCO 公司在印度尼西亚巴厘岛钻井,遇到井壁垮塌问题,井下事故频繁,不得不多次进行侧钻,与涠洲 12-1N 油田的开发钻井情形极为相仿。后来通过利用钻井中“各向异性”原理,制定了以平台为中心的各种钻井方位、各种钻入角条件下的钻井液密度值,计算了井眼钻开地层后维持井壁稳定的浸泡天数,较顺利地完成了钻井计划。改进后实施的钻井方案大幅提高了综合效益,钻井成本减少 13%,钻井周期缩短 23%,且没有像前期钻井那样进行事故侧钻。2002 年 BP 公司在墨西哥湾钻井也遇到井壁不稳定问题,其井壁垮塌时返出的碎块,与涠洲 12-1N 油田开发钻井也十分相似。钻井期间埋了 1 次钻具并进行了侧钻,先后钻了 2 个井眼,效果均不理想。后来经过研究,发现这一油田钻井中钻入角不一样,垮塌程度不一样,且不同钻入角下,垮塌岩石形状不同,有“平面形”和“棱角形”两种,这也与涠洲 12-1N 油田开发钻井相似。最后综合分析了地质、测井(包括成像测井)、地震、录井、岩心等资料,完善了作业方案,解决了井壁失稳问题。

总而言之,针对井壁失稳问题主要从力学和化学两个方面入手研究,力学研究主要以线弹

性连续介质理论研究井壁周围的应力状态,然后根据某种强度准则确定出防止井壁坍塌的理论破裂压力和坍塌压力。化学方面的研究主要体现在防塌钻井液处理剂和使用油基钻井液体系上,其主要机理表现为以下两点:其一是阻止钻井液中的水进入井壁,防止泥页岩水化膨胀;其二是阻止井内流体压力与地层孔隙压力沟通,防止近井壁孔隙压力局部升高。井内钻井液对泥页岩的化学作用,最终可以归结到对井壁岩石力学性能参数、强度参数以及近井壁应力状态的改变。泥页岩吸水一方面改变井壁岩石的力学性能,使岩石强度降低;另一方面产生水化膨胀,如果这种膨胀受到约束便会产生膨胀压力,从而改变近井壁的应力状态。然而,在过去的几十年中,虽然对泥页岩井壁稳定性的化学和力学作用已作了大量研究,取得了较大成功和进步,但泥页岩井壁失稳问题始终没有彻底解决。复杂井钻井事故率的世界平均水平保持在20%左右。

1.2.2 国内研究状况

对于井壁失稳问题,特别是硬脆性泥页岩导致的井壁失稳问题,国内学者将岩石力学理论用于钻井井壁稳定方面的研究起步相对较晚。20世纪80年代初期,岩石力学的研究主要用于描述地层蠕变对套管产生的破坏作用,到90年代,在井壁稳定方面的研究有了较大的进展,黄荣樽等人对大斜度井和水平井井壁力学稳定性问题作了深入的研究,其井壁稳定性模型在Adnoy模型的基础上又附加了井壁渗透性因素和考虑了两个水平地应力不相等的情况,并指出井壁渗透性对坍塌压力的计算影响不大,但对计算破裂压力有较大的影响。国内学者还应用损伤力学理论,从岩体节理的变形能力出发,建立了硬脆性泥页岩(含节理裂隙)的本构方程;又以实验数据为基础,用固体力学方法建立了膨胀性泥页岩水化的本构方程,根据损伤和水化膨胀的特性,建立了有限元计算模型和相应的计算程序,结合摩尔—库仑(Mohr - coulomb)准则,给出了确定井壁稳定所需钻井液密度值的新方法。中国石油大学岩石力学研究组集中力量开展了对泥页岩井壁坍塌的力学、化学耦合方面的研究。总之,井壁稳定问题的理论研究已发展到了较高的水平,并正在向现场实用阶段过渡。

值得一提的是,中国石油天然气集团公司组织国内19个石油管理局及一个研究院,历时8年,分析岩样2万多块,完成了《钻进地层和油层岩石矿物组成和理化性能的研究及分区分层钻井液标准化设计的研究》一文。建立了地层矿物组分分析项目与分析方法标准,为井壁稳定性研究和技术发展奠定了良好的基础。

但若采用《钻进地层和油层岩石矿物组成和理化性能的研究及分区分层钻井液标准化设计的研究》一文推荐的不同方法对泥页岩稳定性进行评价时,所得的结论并不一致,甚至会得出相反的结论。因此井壁稳定性的评价及试验数据处理仍需进一步研究和探讨。

1.3 涪西南凹陷井壁失稳初步分析

为什么在涪西南凹陷钻井,井下事故那么多?要查明产生事故的原因,找到解决问题的办法,首先就要从事故分析做起,从失败中探寻成功之路。

1.3.1 井壁失稳易发地层

涪西南凹陷地层层序如图1-1所示。

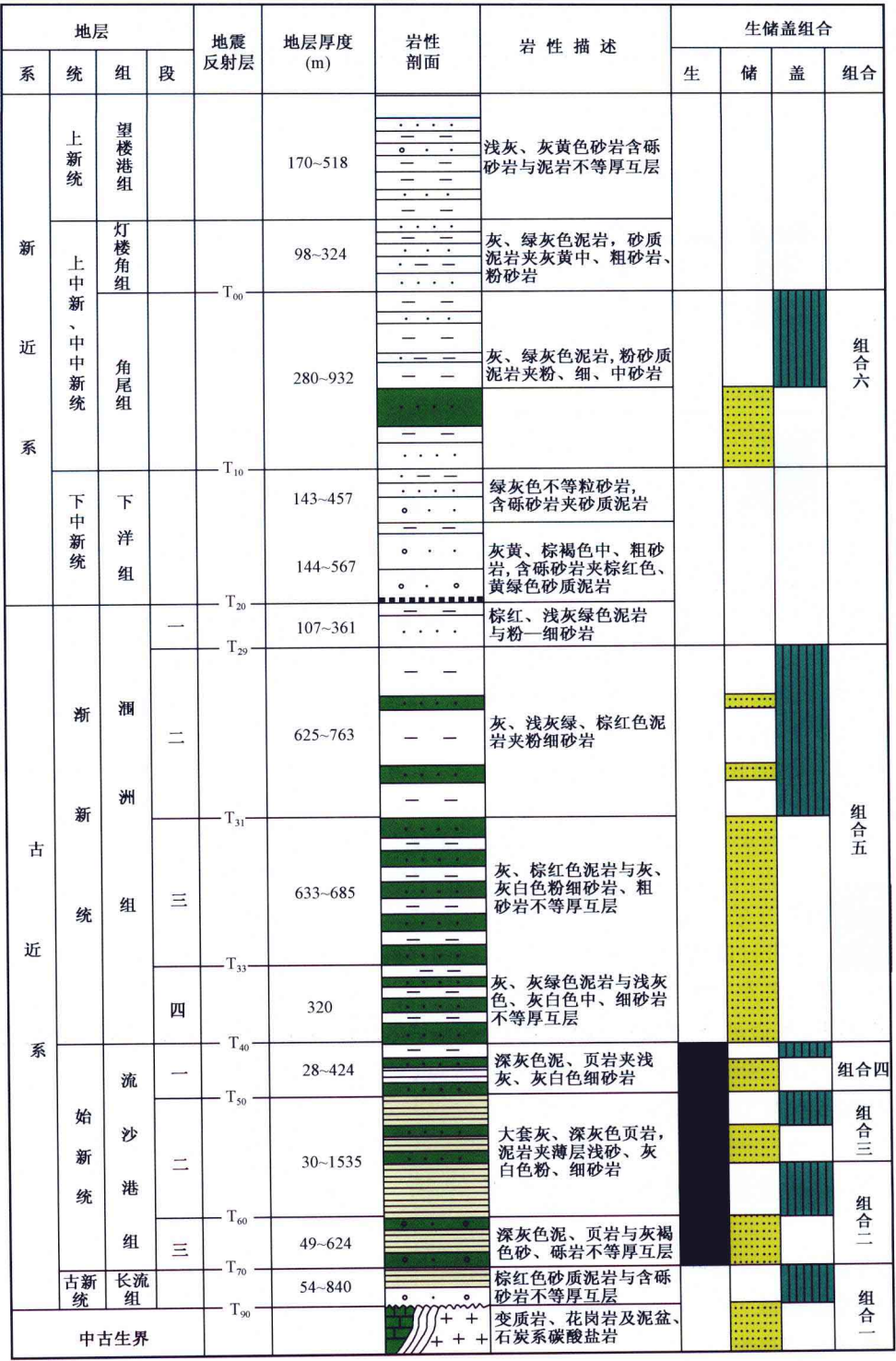


图 1-1 北部湾盆地涠西南凹陷地层综合柱状图

井壁失稳主要发生在涠洲组二段和流沙港组二段大段泥页岩地层。涠洲组二段上部为暗色泥岩、下部为杂色泥岩,其间夹薄粉细砂岩,特别是三段和四段砂岩增加,粒度变粗,甚至为砂砾岩。流沙港组二段为褐色、深灰色或黑色页岩和泥岩,底部为褐色沥青质油页岩。

涠洲组二段和流沙港组二段易坍塌地层分布区域和其沉积相相关,如图 1-2 所示。

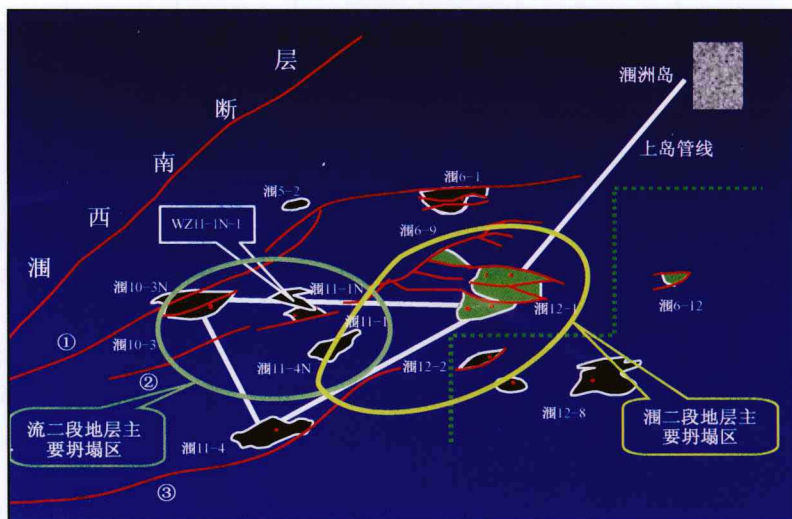


图 1-2 涠西南凹陷涠洲组二段和流沙港组二段易坍塌地层分布区示意图

1.3.2 井壁失稳典型井实例分析

1.3.2.1 井壁失稳钻井事故典型实例

(1) WZ10-3-7c 井(1990 年 11 月 4 日—1991 年 1 月 14 日;1991 年 5 月 30 日—6 月 13 日)。

① 基本情况。

该井为涠洲 10-3 油田 A 基板 7 井磨 13%in 套管后开窗侧钻的一口定向注水井,层位为流沙港组 L_{3-3} 油层。

事故段地层及岩性:流沙港组一段(L_1)(1759 ~ 1898m)上部泥岩、下部页岩;流沙港组二段(L_2)(1898 ~ 2401m)页岩;流沙港组三段(L_3)(2401 ~ 2812m), L_{3-1} 上部页岩夹粉砂岩、下部泥岩与细砂岩互层, L_{3-2} 细砂岩,含砾石与泥岩不等厚互层, L_{3-3} 含砾砂岩,夹薄层泥岩, L_{3-4} 上部泥岩,夹薄层含砾砂岩,下部为厚层状含砾砂岩, L_{3-5} 砂质泥岩,夹薄层含砾砂岩。

2401.0m 钻遇断裂,断距 86.5m。

② 井下复杂情况和井下事故及处理过程。

井塌卡钻 1:1990 年 11 月 18—21 日,自 550m 段开窗采用阳离子聚合物钻井液体系(表 1-2)侧钻 311.15mm 井眼至 2510m。避台风后 11 月 18 日(钻井液浸泡遇阻井段近 7 天)下钻通井至 2157m 遇阻。接方钻杆循环 1.25h 后环空突然被堵,泵压升高 0.98MPa 后地层发生漏失并造成卡钻,上下活动钻具 4h 后解卡(震击器工作)。

表 1-2 WZ10-3-7C 井卡钻前后的阳离子聚合物体系钻井液性能

井眼 (mm)	密度 (g/cm ³)	黏度 (mPa·s)	失水 (mL)	泥饼 (mm)	pH 值	含砂/固相 (%)	碱度 P _f /M _f	滤液 Cl ⁻ (mg/L)	10s 时初 切力 (Pa)	10min 时终 切力 (Pa)
311.2	1.12~1.32	42~72	1.6~4.8	0.5	8.5~10	0.1~0.9/ 4~14	0.18~0.75	1.7~2.2	1~2	7~50
215.9	1.27~1.29	63~72	2.4~4.8	0.5	8.5~9.5	0.1~0.25/ 12~14	0.12~0.42	1.8~2.5	4~31	10~50

循环处理钻井液后继续下钻至 2169m, 遇阻并试图下压及划眼通过, 无效。上提遇卡, 过提后解卡。加大钻头喷嘴后再次下钻通井, 在 1986m 遇阻, 划眼至 2165m, 发生卡阻, 上下活动后钻具自由。

调整钻具组合后又下钻至 1856m, 循环处理钻井液, 下钻至 1865m 遇阻。划眼通过多个阻点后至 2165m, 再次遇阻。循环并活动下放至 2177m, 钻具被卡, 加大排量循环并提放后解卡(震击器工作)。井壁坍塌严重, 被迫废弃已钻井眼注水泥塞侧钻。

卡钻 2: 1990 年 11 月 26 日—11 月 30 日从 1687m 第一次侧钻 311.15mm 井眼至 1742.43m, 接单根卡钻, 保持循环, 活动钻柱无效, 泡柴油解卡剂, 无效, 钻柱于 96m 处拉断, 下 203mm 捞筒捞获, 于 1382.5m 连续 7 次切割钻具未成功, 通过切点建立循环并活动钻具, 上提 90tf^①, 钻柱在切点位置被拉断, 起钻。

卡钻 3: 1990 年 12 月 6 日—12 月 9 日打水泥塞, 自 727m 第二次侧钻 311.15mm 井眼至 1722m, 接单根时钻具被卡, 保持循环, 活动 40~110tf、泡柴油解卡剂均无效, 于卡点 1505m 实施一次爆破松扣, 未成功; 二次爆破并施加反扭矩, 从炸点扭断钻具, 起钻。

卡钻 4: 1991 年 1 月 10 日—1991 年 1 月 13 日打水泥塞, 自 751m 第三次侧钻 311.15mm 井眼, 顺利至 2457m, 下 244.5mm 套管并固井; 继续钻 215.9mm 井眼至 2699m, 接单根时钻具被卡, 保持循环, 活动 30~145tf、泡柴油及解卡剂均无效, 第三次于 2512m 爆炸松扣成功, 倒开钻柱; 于 2512~2399m 打水泥塞, 暂停作业, 钻井平台撤离。

后续作业: 1991 年 6 月 5—20 日换渤海 4 号钻井平台, 自 2475m 第四次侧钻, (8½in 井眼第一次侧钻), 采用 PolyPlus 钻井液体系(表 1-3)钻进至 2670m 以下, 起下钻均阻卡, 处理钻井液, 频繁划眼拉刮井壁。

表 1-3 WZ10-3-7C 井卡电测仪器及套管前后的 PolyPlus 体系钻井液性能

深度 (m)	密度 (g/cm ³)	漏斗黏 度(s)	失水 (mL)	泥饼 (mm)	pH 值	φ ₆₀₀	φ ₃₀₀	塑性 黏度 (mPa·s)	屈服 值 (Pa)	含砂 /固相	碱度 P _f /M _f	滤液 Cl ⁻ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	10min 终切力 (Pa)	10s 初切力 (Pa)
2670	1.31	63	4.2	1	9	101	68	33	35	Tr/12	0.1/0.7	13000	360	7	14
2718	1.31	60	3.6	1	9	100	70	30	40	Tr/12	0.1/0.9	13500	400	6	13
2812	1.31	59	3.6	1	9	98	68	30	38	Tr/12	0.1/0.9	13000	320	7	14

1991 年 6 月 13 日至 2812m 完钻; 完井电测仪器上提至 2748m 遇卡(钻井液浸泡约 2 天), 打捞成功; 下 177.8mm 尾管差 7m 到位卡死, 就地固井。

① 1tf=9.8kN。