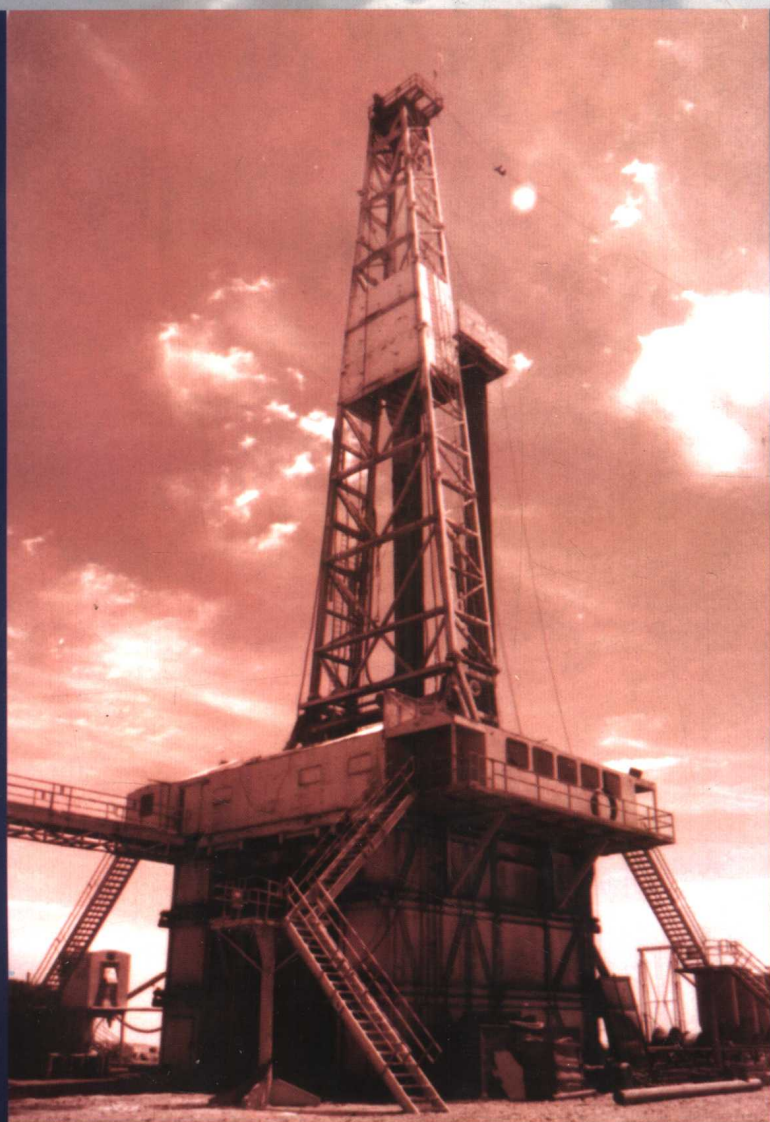


徐同台 崔茂荣 王允良 李健 主编

钻井工程 井壁稳定新技术



石油工业出版社

钻井工程井壁稳定新技术

徐同台 崔茂荣 王允良 李健 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

井壁不稳定是石油钻井过程中普遍存在的问题,由它引起的井下复杂情况和诱发的其它井下事故对钻井工程危害极大,一直是国内外石油钻井界十分关注的问题。本书详细介绍了我国陆上油田近10年来在井壁失稳与稳定机理、井壁稳定实验研究方法、新型井壁稳定剂、稳定井壁的钻井液新技术等方面的研究成果。

本书适应于钻井工程技术人员及从事钻井液研究的院校老师、研究人员和现场技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

钻井工程井壁稳定新技术/徐同台等主编.

北京:石油工业出版社,1999.9

ISBN 7-5021-2739-9

I. 钻…

II. 徐…

III. 油气钻井-井壁-固井-新技术

N. TE256

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 38288 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)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 47.5 印张 1210 千字 印 1—1000

1999 年 9 月北京第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2739-9/TE·2152

定价:90.00 元

序

井壁不稳定是石油钻井过程中普遍存在的问题,由它引起的井下复杂情况和诱发的其它井下事故对钻井工程危害极大,一直是国内外石油钻井界十分关注的问题。但由于其原因复杂,影响因素多,使之成为国内外钻井工程中至今未能完全解决的技术难题,是国内外钻井技术界一直坚持不懈努力攻关的重要内容。

我国石油钻井规模宏大,钻遇了各种可能遇到的地层,经历了可能发生的各种井壁不稳定问题,从而积累了丰富的现场经验,特别是自“七五”以来,在原中国石油天然气总公司钻井局、勘探局、科技局的组织之下对井壁稳定技术进行了系统攻关,取得重大进展,比较好地解决了可钻遇地层的井壁不稳定问题,形成了能有效解决我国绝大多数井壁不稳定问题的系列配套技术,达到了国际先进水平。

本书所收集的一百余篇论文和研究报告就是上述研究成果全面的总结。全书以井壁稳定技术的内在规律和研究思路为主线汇集了有关作用机理、实验研究和评价方法、专用处理剂、实用技术以及今后发展方向等方面的研究成果。涉及面宽、覆盖面广,基本包含了井壁稳定技术各方面的内容。其中在井壁稳定的岩石力学机理、泥页岩水化作用机理、煤层失稳的力学、化学因素等理论研究方面作了深入讨论,取得了达到国际先进水平,能指导井壁稳定技术发展的理论成果。在此基础上研究、开发的“井壁稳定研究方法”、“井壁稳定新的评价技术”,研制开发的各类“新型防塌剂”,建立的“井壁稳定钻井液新技术”等,不仅构成了新的“防止井壁不稳定钻井液系列配套技术”,而且其中每一篇文章都是一项成果和经验的总结,都是一项能解决相关问题,可以实际应用的实用新技术。因此本书不仅是近十年我国井壁稳定技术成果的全面总结,也是解决石油钻井各类井壁不稳定问题的指南。

可以预见,本书的出版必将对我国的石油钻井工程技术的发展起到良好的促进作用。

罗平亚

1999年3月

前 言

近 20 年,我国石油工业进入了飞速发展的时期,先后在西部发现了塔里木、吐哈等一批新的油气田,在东部地区随着勘探和开发程度的深入,也均发现了新油区。勘探形势日新月异,鼓舞人心。但是由于当时我国勘探技术还不能完全满足形势发展的需要,尤其是在深井钻井、钻遇山前强地应力构造和大段泥页岩井段过程中井壁失稳问题表现尤为突出。

和国外同期研究与技术相比,还存在较大差距,主要表现在井壁稳定机理研究滞后,且不够深入全面,评价方法陈旧且不配套不完善,处理剂品种较少效果较差,与有效的防塌体系及配套工艺不完善,井壁稳定的力学研究及应用几乎是空白,极大地制约了当时的勘探开发速度。鉴于此,原中国石油天然气总公司钻井工程局、科技发展局等有关司局在“八五”、“九五”期间专门立项,组织全国各大油田和石油院、所千余名研究人员开展了“钻井过程中泥页岩井段井壁不稳定问题及对策研究”和“深井钻井液技术研究”、“强化稳定井壁技术研究”。各石油院校及直属研究院、所与各油田密切结合,针对各油田各构造的井壁不稳定问题,从机理入手,更加系统深入地分析了井壁失稳的本质原因,在此基础上开发出了稳定井壁的新型处理剂及相应体系,建立了新的评价方法,并经现场上千口井的试验及推广,取得了丰硕的成果,形成了具有我国特色的系统配套的井壁稳定新技术。

为了及时总结、推广“八五”期间和“九五”前半段井壁稳定研究中形成的新理论、新方法、新材料、新技术,进一步提高我国井壁稳定方面的整体技术水平,特组织出版此书,以供广大研究人员及现场工程技术人员参考、借鉴。

全书共分“绪论”、“井壁失稳与稳定机理”、“井壁稳定实验研究方法”、“新型井壁稳定剂”、“稳定井壁的钻井液新技术”5 部分,共收编研究文章 103 篇。书中内容由各油田、石油院校及研究院所的项目科研人员从其成果报告中精选而成,文章结合我国各油田的井壁稳定实际问题,从理论到实践进行了深入系统的阐述和总结。

编辑时我们尽量做到“全面、系统、完整、兼容”,突出“新”意,将研究中提出的新理论、新观点、新方法,应用中采用的新材料及新技术均予收录,集“百家”之长,保留原味,一方面让其真实反映出我国井壁稳定技术研究的现状和水平,另一方面也为科研人员提供百家争鸣的园地。编排时,我们对文章进行了分类,同时把每一部分中相同类型不同观点的文章放在一起,以便读者对比参考。为了让读者就某一问题继续作更深入的了解,我们在编排时不但署作者姓名,同时给出作者所在单位,以便读者能与原作者直接联系。

本书自 1996 年 10 月开始第一次组稿,1997 年 10 月又进行了第二次组稿,由于材料多又不够规范,为了高水平地真实反映出研究人员的成果,编审人员历时一年,先后进行了四次审校。参加审校的人员有:中国石油天然气总公司徐同台、大庆石油管理局王允良、西南石油学院崔茂荣、李健、蒲晓林、黄进军、邓明毅、邓小刚、梁大川、罗兴树、李艳、侯勤立等,在此表示衷心的感谢。全书最后由徐同台、崔茂荣、王允良、李健、郭建强共同审定。

本书在编汇与出版过程中,得到了原中国石油天然气总公司勘探局、钻井工程局、科技发展局、石油工业出版社等单位的大力支持与帮助,在此表示感谢。

由于本书涉及内容多而新,我们的水平有限,编审经验不足,不妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

1999 年 4 月

目 录

第一部分 绪论

我国钻井工程中井壁稳定技术研究新进展及今后发展方向..... (3)

第二部分 井壁失稳与稳定机理

- 黄骅坳陷泥页岩组构特征、理化性能及其相互关系研究..... (21)
- 泥页岩组构特征与其理化性能及井壁稳定的关系研究 (74)
- 地应力的测定及分层地应力的计算 (94)
- 井壁坍塌压力和破裂压力的计算模型..... (104)
- 地层三个压力剖面的建立及其应用效果..... (113)
- 泥页岩井壁稳定的力学与化学耦合分析..... (129)
- 盐岩层钻井合理钻井液密度的计算方法..... (142)
- 用拉格朗日元法求解软泥岩井眼弹塑性变形..... (148)
- 节理破碎地层井壁稳定的离散元法分析..... (153)
- 大斜度井、水平井井壁稳定性分析 (161)
- 页岩在不同活度溶液中的膨胀规律..... (169)
- 活度与半透膜对泥页岩水化的影响..... (178)
- 水基流体中页岩的渗透水化..... (183)
- 钾离子稳定井壁机理的研讨..... (191)
- 钾盐抑制页岩水化作用的对比实验研究..... (200)
- 无机盐协同抑制泥页岩水化分散的探讨..... (204)
- 阳离子聚合物钻井液稳定井壁机理探讨..... (208)
- 硅酸盐稳定粘土作用机理研究..... (213)
- 混合金属氢氧化物防塌机理研究..... (217)
- 正电胶钻井液稳定井壁的机理..... (222)
- 沥青类钻井液处理剂防塌机理研究..... (229)
- 紊流状态下钻井液对井壁冲蚀作用的理论研究..... (237)
- 紊流状态下钻井液流体对井壁的粘性剪切力..... (241)
- 层流状态下钻井液流对井壁表面的剪切作用..... (246)
- 大庆长垣外围钻井过程井壁化学失稳的实验研究..... (250)
- 大港油田港东地区沙河街地层泥页岩井塌情况数理统计分析..... (258)
- 港东沙河街泥页岩坍塌机理的研究..... (261)
- 非泥页岩地层井壁不稳定原因及技术对策的研讨..... (266)
- 冀东油田玄武岩井段井壁不稳定的地质原因..... (280)
- 钻井液对玄武岩地层强度影响的实验研究..... (288)
- 冀东油田易塌玄武岩地层理化特征..... (293)
- 煤层特性和煤岩井壁失稳机理——煤岩学及煤化学研究..... (297)
- 煤系地层中泥页岩特性及其对煤层井壁稳定性的控制作用..... (303)
- 煤层特性和煤岩井壁失稳机理——煤岩孔隙结构研究..... (311)

煤层特性和煤岩井壁失稳机理——煤岩失稳的因素与对策·····	(318)
井壁稳定性研究及其在吐哈油田的应用·····	(324)
吐哈盆地泥页岩井段井壁失稳机理·····	(333)
巴楚地区上部地层缩径机理探讨·····	(339)
塔西南琼库恰克地区膏泥岩井壁稳定性研究·····	(343)
第三部分 井壁稳定实验研究方法	
泥页岩比表面积测定方法对比研究·····	(349)
泥页岩比表面积测定方法研究·····	(359)
泥页岩水敏性评价新方法——比亲水量法研究·····	(364)
YPM-01 型泥页岩膨胀模拟试验装置的研制及其应用·····	(369)
智能膨胀仪、WLZ 型膨胀仪与泥页岩膨胀动力学曲线的建立·····	(386)
泥页岩水化膨胀测定新方法·····	(394)
高温高压泥页岩膨胀仪及其应用研究·····	(399)
热滚分散试验评价方法改进实验研究·····	(404)
硬脆性泥页岩稳定性评价方法研究·····	(408)
三轴应力条件下井壁稳定性试验研究·····	(418)
高温高压防塌滤失仪的研制·····	(422)
用动态试验方法研究井壁化学稳定性·····	(427)
聚合物类泥页岩抑制剂评价方法·····	(435)
沥青类产品的室内评价·····	(438)
钻井液泥饼压缩性评价方法对比研究·····	(444)
钻井液泥饼强度的研究·····	(451)
泥饼抗剪强度研究·····	(459)
泥饼可压缩性的定量研究·····	(467)
泥饼流变模型的建立·····	(476)
用人工神经网络预测动态滤饼的厚度及渗透率·····	(480)
动态滤饼渗透性的影响因素研究·····	(484)
第四部分 新型井壁稳定剂	
阳离子粘土包被絮凝剂 SP- I 的研制及其应用·····	(491)
抗高温抗盐阳离子降滤失剂 CHSP- I 的合成及其应用·····	(497)
新型阳离子抗高温降滤失剂 CAP 的研制与室内评价·····	(502)
阳离子降粘剂 GN-1 的合成及其应用·····	(507)
二乙基二烯丙基氯化铵的制备·····	(512)
钻井液降粘剂 DSAA 的合成与评价·····	(516)
低荧光阳离子防塌剂 WFT-666 的合成与性能·····	(519)
新型固体防塌剂 WLD 的研制及其现场应用·····	(524)
JHS 防塌剂的研制与应用·····	(527)
成膜树脂型防塌剂 FGA 开发应用·····	(531)
钻井液防塌剂按作用方式的分类·····	(535)
KPC 页岩抑制剂作用机理的研究·····	(540)

第五部分 稳定井壁的钻井液新技术

港海 3-1 井坍塌压力的确定及在实际施工中的应用	(545)
冀东油田玄武岩井段安全钻井液密度窗口的确定	(552)
阳离子聚合物钻井液的研制与应用	(558)
新型防塌阳离子聚合物钻井液的研究与应用	(566)
阳离子聚合物正电胶钻井液研究与应用	(575)
增强抑制性、改善流变性的两性离子聚合物钻井液体系	(580)
两性离子聚合物高密度盐水钻井液的研究及应用	(587)
复合金属两性离子聚合物钻井液的研究及应用	(596)
K_2CO_3 、CaO 双磺防塌钻井液技术研究与应用	(608)
GWJ 防塌钻井液体系的研究与应用	(617)
大港油田硅腐钾无荧光防塌钻井液配方室内研究	(621)
硅钾基防塌钻井液在大港港东地区的应用	(629)
硅酸盐钻井液综述	(632)
钾铵基聚合物钻井液研究应用	(636)
无氯新钾基钻井液在准噶尔盆地东部地区的应用	(645)
新型防塌水基钻井液体系的研究	(650)
钻井液处理剂及体系对聚合醇 J LX 浊点的影响	(654)
聚合醇 J LX 在粘土上的吸附特性研究	(657)
大庆长垣外围稳定井壁钻井液体系及处理剂评价研究	(661)
川东地区泥页岩坍塌原因分析及防塌措施	(669)
川东硬脆性泥页岩防塌钻井液的优选	(673)
强抑制封堵性防塌钻井液研究及应用	(680)
吐哈盆地泥页岩井段井壁稳定钻井液技术对策及应用研究	(686)
东深一井大段煤层钻井液技术	(702)
新疆准噶尔盆地南缘地区稳定井壁的钻井液技术	(705)
新疆准噶尔盆地南缘地区钻井液技术的研究及应用	(710)
准噶尔盆地腹部地区井壁稳定问题及钻井液技术	(716)
巴楚地区复杂地质条件下深井钻井液技术研究	(720)
新疆塔西南山前构造深井防塌钻井液技术研究	(729)
塔里木石炭系盐膏层钻井液技术研究	(747)

第一部分 绪 论

我国钻井工程中井壁稳定技术研究新进展及今后发展方向

徐同台

(中国石油天然气集团公司勘探局)

崔茂荣 李健

(西南石油学院)

长期以来,井壁稳定问题,尤其是泥页岩地层井眼稳定问题一直是我国钻井工程中经常遇到的井下复杂情况。特别是自80年代以来,随着勘探领域向新区扩展,钻遇地层日趋复杂,井壁不稳定问题日益严重,如松辽盆地的嫩江组、青山口组、泉头组;渤海湾沙河街组;江苏的阜宁组;吐哈、新疆、塔里木等油田的侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系的泥页岩与煤层;新疆、塔里木等油田山前构造带等地层坍塌及中原、青海、新疆、塔里木等油田盐膏层的缩径与坍塌。由于这些地区地层所造成的井壁不稳定,既影响钻井速度与测井、固井质量,又使部分地区无法钻达目的层,影响勘探开发目的的实现,为了对付井壁不稳定,多年来,钻井人员一直致力于井壁稳定技术的研究,特别是在“七五”、“八五”期间,采取多学科交叉协同攻关,以“泥页岩地层钻井过程中井壁不稳定原因及钻井液技术对策”为重点,开展了一系列项目的研究工作。经过十多年的努力,井壁稳定技术在机理研究、室内评价测试方法、钻井液处理剂、钻井液体系及技术对策等方面取得了新进展,使我国稳定井壁技术水平有了显著的进步。其发展水平基本上与国外研究同步,并在一些技术领域上有所创新,形成了自己的特色。但是也应看到,已取得的研究成果离根本解决井壁失稳问题还有一定的距离,研究工作仍不完善,还有待进一步深入。因此,本文力求对十多年来我国井壁稳定技术发展现状和取得的成果给予简要叙述(写作本文时参考了本书的大部分论文),并对今后发展方向进行探讨。

一、我国井壁稳定技术的研究状况及取得的主要研究成果

我国井壁稳定技术研究所采取的主要技术路线是分析和认识客体——泥页岩、坍塌地层,找出潜在坍塌机理和制定钻井液技术对策。研究内容包括了确定井壁不稳定地层矿物组成与组构特征、相关的理化性能、力学因素、力学与化学因素的共同作用等造成的井壁失稳机理,建立各种评价方法,提出针对性的技术对策。井壁稳定技术突出地体现了针对性和系统性,即针对不同类型地层、不同坍塌类型采取针对性的技术对策;开展综合性研究,运用系统工程的思路,综合考虑各方面因素,建立体系,制定实施方案。

下面就我国井壁稳定技术研究现状和取得的主要成果分别进行阐述。

1. 开展地层矿物组分与理化性能的研究

地层矿物组分与理化性能是研究井壁不稳定机理与技术对策的基础。70年代末期,各油田开始研究所钻遇的井壁不稳定地层的矿物组分与理化性能,80年代中期开始建立各区块纵向与横向地层矿物组分与理化性能剖面。取得的成果包括:

(1) 建立地层组构分析剖面

利用X射线衍射、扫描电镜、薄片分析、透射电镜等测试分析手段,并结合测井资料对

全国各油田三万多块岩样的地层矿物组分、矿物分布及层理、裂隙发育状况进行分析，初步建立了各区块地层组构剖面。“八五”期间，地层矿物组构特征（如矿物组分的分布、各种矿物排列方式、胶结物结构等）同泥页岩理化及其与井壁失稳的关系已成为研究热点。

(2) 建立地层理化性能分析方法与剖面

已建立和完善了岩石密度、阳离子交换容量、膨胀率、分散性（滚动试验法与CST法）、泥页岩稳定指数、比表面积、Eeta 电位、活度、可溶性盐类、胶体含量、岩石强度与硬度及地层压力（孔隙、坍塌、破裂）系数等分析方法，建立了“泥页岩地层理化性能测定”行业标准，并对各油田主要区块地层理化性能进行了分析，建立了剖面。

2. 井壁稳定机理的研究

井壁稳定问题包括钻井过程中的井壁坍塌或缩径（由于岩石的剪切破坏或塑性流动）和地层破裂或压裂（由于岩石的拉伸破裂）两种类型。处于地层深处的岩石，受有上覆地层压力、水平方向地应力及地层孔隙压力的作用；在井眼被钻开前，地下岩层处于应力平衡状态，当井眼被钻开后，井内钻井液液柱压力取代了所钻岩层原先对井壁的支撑，破坏了地层原有应力平衡，引起井眼周围应力重新分布。若井壁周围岩石所受应力超过岩石本身的强度，就会产生剪切破坏，脆性地层产生坍塌，引起塑性地层产生缩径，造成井壁不稳定。此外，当井眼被钻开后，一方面钻井液与井壁地层之间发生物理化学作用，另一方面钻井液滤液进入地层，引起地层孔隙压力增高，岩石强度降低，导致井壁不稳定。综上所述，井壁不稳定问题既有力学问题，也有化学问题，而化学问题最终也仍然反映到力学问题上。长期以来，我国主要从化学因素进行井壁稳定机理的研究，“八五”以来，各油田、院校不仅继续对井壁稳定化学因素进行更加深入的研究，而且开始从力学因素来研究井壁稳定机理，并将力学与化学因素结合起来进行研究，取得以下成果：

(1) 化学因素井壁稳定机理的研究

80年代以来，为了寻求稳定井壁的技术，我国钻井液技术人员从物理—化学因素入手，对井壁稳定机理进行了大量研究工作，取得的主要进展有：

1) 泥页岩水化膨胀和分散特性的研究：

①泥页岩粘土矿物组分与理化性能之间关系的研究。石油勘探开发科学研究院、承德石油高等专科学校、西南石油学院等单位，通过对我国各油田不同地质年代、不同井深的几千块泥页岩中所含的粘土矿物蒙皂石、伊利石、绿泥石、高岭石、伊蒙无序或有序间层、绿蒙间层等晶态粘土矿物、非晶态粘土矿物与非粘土矿物的种类、相对含量与绝对含量进行分析，对泥页岩的密度、阳离子交换容量、分散性能、膨胀性能、活度、可溶性盐的含量、定向度等理化性能与组构特征进行了测定，系统地研究了泥页岩中各种矿物组分与理化性能和组构特征之间的关系，为研究新区所钻遇井壁不稳定地层的坍塌机理及技术对策奠定了基础。此外，石油大学尝试运用人工神经网络，采用泥页岩理化性能来预测泥页岩中的粘土矿物种类，已见初步成效。

②温度和压力对泥页岩水化膨胀性能的影响。通常研究泥页岩水化膨胀性能大都是在常温常压下进行的。石油大学使用HTHP—1型高温高压膨胀仪，对膨润土水化膨胀特性进行了研究，得出了以下看法：膨润土水化膨胀速率和膨胀量随着温度增高而明显地提高，尤其当温度超过120℃时，膨胀曲线形状有较大的变化；而膨润土的膨胀程度随着压力的增高而明显下降。因此在制定稳定井壁技术对策时，应当充分考虑温度和压力对地层水化膨胀的影响。

③用离子释放法研究泥页岩水化过程。石油大学、大庆油田等单位，通过对泥页岩水化

过程中离子释放规律的研究,发现泥页岩水化在10~24h 范围内出现钠离子突然释放现象,此时表现出泥页岩回收率明显下降。阳离子释放总量及钠离子释放量所占的比例越高,泥页岩越易分散,就越易引起井塌。

④泥页岩动态水化过程的研究。“八五”期间,人们开始对泥页岩水化的时间效应,即泥页岩水化的动力学过程对井壁失稳的影响进行研究。如大庆油田采用X衍射仪对各种泥页岩动态水化过程进行研究,获得了泥页岩吸水后晶层间距随时间变化规律;发现膨润土吸水后,晶层间距很快从12.63 Å扩展到48 Å;而以伊利石为主的泥页岩,粘土矿物的晶层间距基本上不发生变化。

⑤pH 值对泥页岩水化膨胀、分散的影响。通过大量研究进一步证实了氢氧根明显促进泥页岩中粘土水化分散。当水溶液中pH 值低于9 时,pH 值对泥页岩水化影响不大;pH 值继续增加,泥页岩水化膨胀加剧,促使泥页岩坍塌。

⑥活度与半透膜对泥页岩水化的影响。半透膜对泥页岩水化的影响,一直是理论研究中有争议的问题。石油勘探开发科学研究院、石油大学等单位进行此项研究得出由钻井液向泥页岩驱动水的动力之一是钻井液与泥页岩的水化学势之差,影响它的主要因素是钻井液压力与孔隙压力之差及钻井液水活度与泥页岩水活度之比。只有存在较高效率的半透膜时,钻井液与泥页岩的水活度差才能在较长时间内控制水的迁移。对于泥页岩是否存在半透膜有不同看法,部分人认为受到较强压实作用的泥页岩或孔隙低的泥页岩,其自身可以起到半透膜作用,但可能在几十小时或几十分钟内就消失,但可通过加入特种处理剂来提高泥页岩的膜效率;另一部分人认为泥页岩本身可作为一种半透膜,但它是一种非理想的半透膜,其效率不是100%,可用反映系数来表征膜的理想性,亦称作膜效率。油基钻井液具有较理想的膜效率,水基钻井液可通过加入无机盐降低活度,来减缓泥页岩水化膨胀。

2) 各种防塌处理剂稳定井壁机理的研究:

①钾离子防塌机理的研究。采用X衍射仪、原子吸收光谱仪等仪器来研究钾离子防塌机理。发现钾离子与泥页岩相互作用存在两种方式,一是离子交换,另一种是晶格固定。这一研究结果同传统的认识是一致的,但是近来的研究发现不同类别泥页岩,钾离子作用方式不相同。而且随pH 值的增高,混入钙、钠等阳离子浓度的增加,会阻碍钾离子对泥页岩的固定作用。

②硅离子防塌机理的研究。江汉石油学院、石油大学、辽河油田等单位研究表明,钻井液中加入有机硅防塌剂,有机硅在泥页岩表面迅速展开,形成薄膜,在一定温度下,有机硅中的一Si—OH 基易和粘土表面的一Si—OH 基缩合脱水形成—Si—O—Si 键,在粘土表面形成一种很强的化学吸附作用,同时有机硅中的有机基团有憎水作用,使粘土表面发生润湿反转,从而使泥页岩的水化得到控制。

③聚合物稳定井壁机理的研究。西南石油学院、石油勘探开发研究院、石油大学等单位,通过大量试验对聚丙烯酸盐类聚合物稳定井壁的作用机理进行研究,用透射电镜证实聚合物的包被作用,并系统地研究聚合物类型、分子量、组构、官能团等因素对稳定井壁效果的影响。根据研究结果,研制新型聚合物如钾、铵基聚丙烯酸盐、两性离子聚合物、阳离子聚合物等,并对其稳定井壁的微观机理进行了深入的研究。

④沥青类产品稳定井壁机理的研究。尽管沥青类产品一直是防塌钻井液体系中不可缺少的重要处理剂,但对其稳定井壁机理远没有认识清楚。“八五”期间江汉石油学院、大庆油田等单位,采用高温高压失水仪、高温高压岩心滤失仪、泥饼强度测试仪、岩心粘结力测定仪

等仪器，对沥青类产品稳定井壁机理开展了研究。通过研究发现不同类型沥青产品稳定井壁机理有所不同。沥青粉主要作用是靠在一定温度与压差下发生变形，来封堵地层层理与裂隙，提高对裂缝的粘结力，在井壁形成良好的内、外泥饼，且外泥饼可与地层之间形成一层致密的保护膜，使外泥饼难以冲刷掉，阻止水进入地层，起到稳定井壁作用。磺化沥青防塌机理既有化学作用又有物理作用，处理剂中溶于水的阴离子基团，主要起降滤失作用，并吸附在泥页岩裂缝边缘处阻止地层进一步水化；在压差作用下，其油溶物与沥青粉一样起封堵作用。值得注意的是沥青类产品的软化点及使用时的温度与压差直接影响其效果；在产品软化点以内，随着使用温度的增高，稳定井壁效果增强；当温度超过沥青的软化点时，沥青变成流体，在压差作用下进入裂缝深处，失去封堵作用。因此，使用时应根据坍塌层的温度来选择合适软化点的沥青类产品。

(2) 力学因素稳定井壁机理的研究

石油大学根据地质力学理论、多孔弹性介质力学理论、岩石力学及声学理论，对井壁围岩的受力状态，地应力的测量技术，岩石强度的测定方法，以及泥页岩水化应力及其分布的确定、相应计算方法等进行了系统的研究和分析。在此基础上，从力学因素对井壁稳定机理进行研究，取得了以下成果：

1) 形成了一套完善的室内声发射凯塞尔试验与现场水力压裂试验相结合的地应力测试技术。并针对不同构造区域的地质构造运动特点，建立了分层地应力计算模型，结合测井资料的解释及处理，可求出全井段各地层的三个主应力。

2) 形成一套岩石强度参数的测定技术。建立了利用人造泥页岩岩心或露头岩心，通过强度对比试验及测井资料解释来确定泥页岩强度参数的新方法。

3) 通过大量室内岩石动、静弹性参数及强度参数的同步测试，建立了泥页岩动、静弹性参数间的相关关系，以及泥页岩强度参数与其声波速度，泥质含量及密度之间的相关关系。形成了一套利用测井资料求算泥页岩弹性参数及强度参数的新技术。

4) 利用多孔弹性介质力学理论，对井壁围岩的受力状态进行了分析计算，并结合岩石破坏准则，推导了地层坍塌压力、破裂压力的计算模型。在模型中综合考虑了地层渗透、岩石非线性变形性质、井斜角、方位角等对井壁受力状态的影响。

5) 建立了“井壁稳定力学系统分析系统”程序，可利用测井资料或输入相关的参数即可给出整个井深范围内不同井径扩大率条件下的地层坍塌压力与破裂压力剖面及地应力、动、静弹性参数等数值。该系统在塔里木、克拉玛依、吐哈、大港、二连及南海等油田十几个构造得到应用。为上述地区合理钻井液密度的确定及井身结构的设计提供了理论依据。

6) 研究盐层和含盐软泥页岩的塑性变形与温度、井深、封闭压力、压差、地应力、时间、岩盐层厚度及岩盐组分等因素之间的关系，建立了盐岩和含盐软泥页岩粘塑性流变的本构方程，绘制了控制盐岩收缩率的钻井液密度图版，为顺利钻进盐岩和含盐软泥页岩提供依据。

7) 对破碎煤层井壁的稳定性的稳定性，用二维离散方法进行了分析，初步得出了合理钻井液密度范围。

(3) 采用化学因素与力学因素耦合来研究井壁稳定机理

研究钻井液与泥页岩作用后所产生的水化应力和孔隙压力的变化，井壁泥页岩的吸附水状况及其对围岩的应力分布、弹性模量和强度参数的影响。通过试验建立了泥页岩吸水后，井壁周围的含水量分布规律，以及吸水后泥页岩产生的膨胀应变的本构方程和泥页岩强度与其含水量间的相关关系。并据此对泥页岩吸水产生的水化应力进行了计算，得出了钻井液类型、

钻井周期对泥页岩井壁坍塌或缩径的影响规律；并探索水化作用下保持泥页岩井壁稳定的钻井液密度的计算方法

(4) 钻井液流变性与井壁稳定性之间关系的研究

西南石油学院对钻井液流变性与井壁稳定性之间的关系进行了研究。认为钻井液对井壁的剪切冲蚀作用，主要表现为粘性流体对井壁的剪切作用和固相质点对井壁的冲击作用。层流状态下粘性液流的剪切作用占主导，紊流状态下固相粒子对井壁的冲击力占主导地位。钻井液对井壁的剪切冲蚀作用可用冲蚀指数来衡量，紊流状态下冲蚀指数反映的单位时间内固相粒子对单位表面井壁冲击力的大小，层流状态下冲蚀指数反映的粘性流体对井壁剪切应力大小。冲蚀指数不仅与钻井液的泵量、密度、环空尺寸和钻井液的流变参数有关，而且还与地层特性、水化分散性有关；可根据冲蚀指数高低推测井径扩大率的大小；此指数越大，井径扩大率越大。对任何地层都存在上临界冲蚀指数，此值可用来指导钻井液流变参数的调控，减少钻井液液流对井壁的冲蚀。

(5) 煤层井壁不稳定机理的研究

随着勘探领域的扩大，部分地区钻井过程中时常钻遇煤系地层，研究煤层的井壁失稳机理和技术对策是井壁稳定技术的新内容。西南石油学院、吐哈油田等单位通过研究发现煤层的井壁不稳定机理与泥页岩井壁失稳机理不完全相同。其失稳机理主要表现在以下几个方面：

1) 物理因素：煤层呈条带状，线状（树枝状），节理微裂缝发育，胶结疏松，脆性大。当钻开煤层时，钻井液滤液沿裂缝进入，降低了煤层之间的胶结力，在外力作用下易发生破裂，造成坍塌。

2) 化学因素：煤层节理、微裂缝发育，毛细管效应突出；比表面大，易吸附水，促使煤中 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子释放，而且水化作用极易沿间层粘土矿物膨胀层间富 Na^+ 、 Ca^{2+} 裂缝进行，造成突发性剥落坍塌。当钻井液pH值过高时， OH^- 与层面负电荷较高的氧原子可以形成强裂的氢键作用，增强层间水化作用；此外， OH^- 与粘土矿物晶体断面处的不饱和铝离子发生作用，导致边缘区负电荷增加，促使水化作用深入扩展， OH^- 也可与伊利石四面体中的铝离子产生较强的作用；高pH值还会促使煤中腐殖酸溶解，同样也会促使煤层坍塌。煤层中含有各种粘土矿物，造成水化极不均匀，导致煤层局部强度下降，造成坍塌；高温加剧煤层的水化作用，加剧煤层的坍塌。

3) 力学因素：节理与裂缝发育的煤层，受高压射流的作用，极易破碎。因此，钻进煤层时，喷射速度过高或起下钻速度过快等因素都会造成坍塌。此外，如钻井液密度过低，不能平衡煤层的坍塌压力，同样会造成坍塌，特别是当煤层处于强地应力作用下。

4) 机械因素：钻井过程中，由于机械震动、摩擦、钻头切削等作用，会促使煤层沿断口破碎，并产生出次生裂缝，加剧煤层坍塌。

此外，夹层水化和瓦斯突出也是煤层坍塌的主要因素之一。

3. 建立井壁稳定室内评价试验方法

准确地评价井壁地层与钻井液接触时所发生的化学与力学性能变化是正确制定钻井技术对策和建立钻井液体系的关键。80年代以来，在借鉴国外普遍采用的室内评价方法基础上，有针对性地建立和完善了稳定井壁室内评价方法。

(1) 膨胀性试验

1) 常温常压膨胀性试验。采用粘土吸湿容积计（Ensulin膨胀仪）或NP—01型泥页岩膨胀测试仪测定地层的膨胀率。

2) 高温高压膨胀试验。研制成功能够在高温高压条件下测定泥页岩膨胀性的 YPM—01 型高温高压泥页岩膨胀模拟试验装置 (最高测试温度 180℃、最高测试压力 10MPa) 和 HTHP—1 型高温高压泥页岩膨胀仪 (测试温度从室温~120℃、常压~3.5MPa)。

(2) 分散性能试验

泥页岩滚动试验是目前评价泥页岩分散性最常用的一种方法。此法用来评价易分散的泥页岩, 在可溶性盐类水溶液中的分散性能效果较好; 而用来评价粘度高的液体、钻井液、硬脆性泥页岩, 往往不能满足要求。为此, 针对此方法存在问题进行了以下改进: 一种方法是专门设计了一个放在老化罐中的搅拌器, 使岩屑在滚动过程中保持悬浮状态, 减少流体粘度对岩屑分散性的影响; 另一种方法是在老化罐中嵌入一矩形带孔的不锈钢框架, 其框架外形尺寸与老化罐内径形成紧密配合, 并使用十个直径 14~16mm 的玻璃珠, 减小流体或试液粘度的影响, 此法可用来评价弱分散泥页岩的分散性, 提高评价泥页岩分散性的准确性。此外, 对岩样的制备方法 & 保存条件对回收率的影响进行试验, 从而得出进行回收率试验时, 岩样的含水量对回收率有较大的影响; 因而试验时, 应尽可能保持岩样所含的原生水, 消除因含水量变化而带来的实验误差。

(3) 改进的泥页岩稳定指数法

在美国贝劳德公司泥页岩稳定指数法与前苏联采用的泥页岩综合性稳定指数 (C) 法的基础上, 采用针入度仪测定有关参数, 综合泥页岩的屈服强度、平衡线膨胀率和平均线膨胀速率, 推导出了用泥页岩稳定指数和泥页岩相对稳定指数作为泥页岩稳定性评价指标, 可用它来评价各种钻井液处理剂和各种钻井液稳定泥页岩的效果。

(4) 建立了评价泥饼质量的方法

众所周知, 改善和提高钻井液泥饼质量有助于稳定井壁。因此如何准确地、定量地评价泥饼质量, 一直是井壁稳定研究的重要内容。泥饼质量主要包括泥饼强度、抗剪抗冲蚀能力、可压缩性、泥饼厚度等几个方面。

1) 建立了用泥饼的干湿重比与泥饼的固相体积分数值来衡量聚合物钻井液泥饼质量的方法。

2) 泥饼抗剪能力测定法。研制了常温常压与高温高压动态泥饼剪切强度仪, 建立了泥饼抗剪切能力测定方法, 测定泥饼抗剪切强度, 用来评价泥饼质量。

3) 泥饼压缩性评价方法。泥饼可压缩性是由弹性变形与塑性变形共同作用的结果, 它是衡量泥饼质量的重要指标, 可采用泥饼渗透率法、泥饼针入度法、两次失水法等方法进行评价。同时确定常温静、动态和高温静、动态下泥饼可压缩性及其变化规律。上述方法以两次失水法最简单。

4) 泥饼强度的测定。研制了 JHNC 泥饼强度冲刷仪, 用来测定泥饼强度。用它来研究泥饼强度与钻井液固相含量、类型、流变性、泥饼渗透性及处理剂作用之间的关系。

(5) 沥青类产品防塌效果评价

如何评价沥青类产品的防塌效果, 一直是个难题。近几年以来, 各院校与油田已逐步摸索出使用高温高压失水仪与 JHDS 高温高压动失水仪, 运用填砂、岩心、人造岩心或没有胶结岩块来评价沥青类产品封堵效果的评价方法。

(6) 泥页岩抑制剂抑制能力评价程序

采用自制的膨润土压片, 测定其在各种处理剂溶液中及各种钻井液中的回收率与膨胀率, 来评价泥页岩抑制剂的抑制效果, 建立了评价标准程序。

(7) 动态防塌试验法

使用 JHDS 高温高压动失水仪, 模拟井下条件 (压差、温度和速梯) 评定各种处理剂和钻井液稳定井壁的效果。

(8) 三轴应力泥页岩稳定性试验仪

研制出常温常压三轴应力稳定性试验仪与高温高压三轴应力防塌试验仪。模拟井下条件 (压差、围压、温度和速梯), 进行泥页岩稳定性试验, 评定各种处理剂和钻井液稳定井壁的效果。

4. 稳定井壁技术对策的研究

稳定井壁技术对策应充分体现针对性、系统性与有效性。在充分认识地层失稳机理基础上, 采用系统的观点和思路, 突出重点解决的问题, 制定出稳定井壁的技术对策。我国钻井技术人员经长期的努力, 稳定井壁技术取得了很大的进展, 现将其归纳于以下几个方面:

(1) 合理的钻井液密度的研究

利用力学因素稳定井壁机理研究成果, 依据所钻地层地应力、孔隙压力、坍塌压力、破裂压力来确定合理的钻井液密度, 保持地层的力学平衡, 防止地层坍塌与塑性变形; 在确定地层坍塌压力时, 应考虑钻井液滤液对地层水化作用、应力分布、孔隙压力、岩石力学性能的影响。此外, 还应考虑钻井液造壁性影响钻井液液柱压力对井壁 (尤其是裂隙发育或破碎地层) 支撑作用的效果。

(2) 防塌处理剂的研究

80 年代我国防塌处理剂以极快速度发展。80 年代初期, 我国防塌剂以无机盐为主, 占总用量 83.4%; 到 90 年代, 沥青类、聚合物类、腐殖酸类等类防塌剂产品的用量增为 62.2%, 而无机盐类用量降为 37.4%; 目前我国已有防塌处理剂 114 种。下面简单介绍我国目前各类防塌处理剂的状况:

1) 无机盐: 60 年代主要使用石灰、石膏与氯化钙等; 70 年代使用氯化钠、氯化钾、硫酸铵等; 80 年代, 为了提高钻井液的电阻率, 又开发了磷酸钾、醋酸钾、硅酸钾、硅酸钾钠等; 90 年代, 为了抑制石膏的溶解, 选用硫酸钠。

2) 聚合物类: 70 年代开始使用高分子量的聚丙烯酰胺作为包被剂。为了提高其包被与抑制性能, 80 与 90 年代又研制成功聚丙烯酸钙 CPA, 聚丙烯酸钾 KPAM、FPK、PMNK 等, 两性离子聚合物 FA367、FA368 等, 阳离子聚丙烯酰胺, 阳离子聚合物 SP—2, 低分子量的阳离子 NW—1、ZCO—1、ZCO—2、PTA、CSW—1, 硅稳定剂, 有机硅阳离子聚丙烯酸盐类井壁稳定剂 JHS 等。

3) 沥青类: 以沥青粉与磺化沥青为主。为了提高其封堵与抑制效能, 又研制成功沥青类与各种有机化合物的缩合物, 如磺化沥青与腐殖酸钾缩合物 KAHM、磺化沥青与腐殖酸钠的缩合物 FT342、磺化沥青与树脂类缩合物 K21、KPC 等。为了降低荧光级别, 研制了低荧光沥青类产品。

4) 腐殖酸类: 腐殖酸钾盐、高价盐及有机硅化合物等被用作防塌剂, 如腐殖酸钾、硝基腐殖酸钾、硝化磺化腐殖酸钾、有机硅腐殖酸钾、腐殖酸硅铝、腐殖酸铝、腐殖酸钾铝等。

5) 树脂与腐殖酸缩合物类: 磺化酚醛树脂与腐殖酸钾缩合物, 磺化酚醛树脂与阳离子腐殖酸类产品的缩合物等。

6) 醇类: 我国从 1993 年开始研究多元醇、聚醚作为防塌剂, 现已在现场进行了试验。

(3) 防塌钻井液的研究