

<<井壁稳定力学>>

图书基本信息

书名：<<井壁稳定力学>>

13位ISBN编号：9787030335296

10位ISBN编号：7030335295

出版时间：2012-3

出版时间：科学出版社

作者：金衍，陈勉 著

页数：215

字数：285000

版权说明：本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问：<http://www.tushu007.com>

## <<井壁稳定力学>>

### 内容概要

《中国石油大学（北京）学术专著系列：井壁稳定力学》从岩石力学的基本理论着手；系统地阐述了不同地层性质（如各向同性、各向异性）、不同变形特性（弹性、塑性、流变）和不同岩性的井壁围岩稳定力学的基本理论、基本原理，侧重介绍井壁围岩失稳的原因与力学模型，分析了井壁围岩失稳的影响因素，可为油气井井筒安全提供理论和技术支撑。

《中国石油大学（北京）学术专著系列：井壁稳定力学》可供高等院校、石油相关企业油气井工程、油气田开发工程、测井工程等专业师生、科技人员参考应用。

## <<井壁稳定力学>>

### 作者简介

金衍，男，汉族，1972年8月生于浙江省临海市。  
现任中国石油大学（北京）石油工程学院教授、博士生导师，油气井工程系副主任，中国岩石力学与工程学会深层岩石力学委员会副主任。  
主要从事石油工程岩石力学的教学和科研工作。  
获国家科学技术进步奖（二等）1项，省部级科技进步特等奖1项、一等奖2项，发表论文107篇，出版专著2部，获国家发明专利9项。

## &lt;&lt;井壁稳定力学&gt;&gt;

## 书籍目录

丛书序

序

前言

第1章 绪论

1.1 井壁稳定力学的定义

1.2 井壁稳定力学的研究现状

1.2.1 地层的失稳机理与控制方法

1.2.2 地层失稳的影响因素

1.2.3 地层失稳的研究方法

1.3 发展趋势

1.3.1 井壁稳定力学机理

1.3.2 井壁稳定预测

第2章 井壁围岩弹性状态的应力分布

2.1 非渗透井壁的井周围岩弹性应力

2.1.1 主地应力在井坐标系中的转换

2.1.2 井壁应力状态的弹性解

2.1.3 直井井壁应力状态

2.2 渗透井壁的井周围岩弹性应力（不考虑时间效应）

2.2.1 本构方程

2.2.2 井壁周围应力

2.2.3 径向流的井壁周围应力

第3章 各向同性线弹性地层的井壁稳定力学问题

3.1 基本概念

3.1.1 坍塌压力

3.1.2 破裂压力

3.2 直井壁坍塌与破裂

3.3 斜井壁坍塌与破裂

3.3.1 坍塌压力和破裂压力模型

3.3.2 坍塌和破裂的影响因素

3.3.3 井壁渗透性的影响

3.3.4 地层强度的影响

3.3.5 地应力 / 的影响

3.4 温度对井壁失稳的影响

3.4.1 井筒温度场变化引起的坍塌压力变化

3.4.2 一维两相流条件下井筒压力场

3.4.3 井筒温度压力变化的实例分析

第4章 各向异性线弹性的井壁稳定力学问题

4.1 井壁围岩各向异性与变形

4.1.1 弹性模量（各向异性比）对井壁应力的影响

4.1.2 水平地应力比对井壁应力的影响

4.1.3 井眼稳定性分析

4.2 井壁围岩强度各向异性与破坏

4.2.1 弱面的破坏条件

4.2.2 直井的破坏

4.2.3 水平井的破坏

## <<井壁稳定力学>>

4.2.4 斜井的破坏

第5章 井壁稳定力学的塑性问题

5.1 井周应力的理想弹塑性解

5.2 岩石软化问题

5.2.1 软泥岩的应力-应变曲线

5.2.2 应变软化问题求解方法

5.3 井壁围岩力学参数变化对其稳定性的影响

第6章 井壁稳定力学与化学耦合问题

6.1 泥页岩的矿物组成及结构特点

6.2 水在泥页岩中的传输机理

6.2.1 半透膜渗透压理论

6.2.2 总压力理论

6.3 泥页岩水化膨胀的强度特性

6.3.1 泥页岩中水活度的测定

6.3.2 不同压差、活度差条件下泥页岩强度的测定

6.3.3 地层强度动态变化模型

6.4 基于线弹性理论的水化泥页岩井壁稳定分析

6.4.1 水化泥页岩线性本构方程及参数确定

.....

第7章 多孔介质的井壁稳定力学问题

第8章 盐膏岩蠕变问题

参考文献

## &lt;&lt;井壁稳定力学&gt;&gt;

## 章节摘录

第1章绪论 1.1 井壁稳定力学的定义 井壁稳定是钻井过程中通过钻井液密度、钻井液体系和钻井工艺三者的协同来确保井眼不坍塌、不破裂、不缩径。

井壁失稳主要是指钻井过程中井壁坍塌、井眼缩径和地层破裂。

从力学上看,其主要失稳机理为井壁围岩张性破裂和剪切破坏。

井壁稳定问题是钻井过程中经常遇到的复杂问题。

根据哈里伯顿公司的最新统计,全球每年花在井壁稳定问题上的开支不低于60亿美元。

井壁失稳问题的原因很多,包括天然和人为因素两个方面。

在天然因素方面:有地质构造类型和原始地应力,地层的岩性和产状,黏土矿物的类型,弱面的存在及其倾角,层面的胶结情况,地层强度,裂隙节理的发育,孔隙度,渗透率及孔隙中流体压力等。

在人为因素方面:有钻井液的性能(失水、黏度、密度),钻井液和泥页岩化学作用的强弱(水化膨胀),井眼周围钻井液侵入带的深度和范围,井眼裸露的时间,钻井液的环空返速对井壁的冲刷作用,循环波动压力和起下钻的抽吸压力,井眼轨迹的形状,钻柱对井壁的摩擦和碰撞等。

钻井过程中的井壁失稳是一个普遍性难题,受到各国科研人员的高度重视。

由于受石油钻井工程发展历史的影响,长期以来,研究的重点多集中于化学防塌方面。

在这方面,钻井液工作者进行了大量行之有效的工作,从化学的角度出发研制抑制泥页岩水化、膨胀和实现离子活度平衡的新型钻井液处理剂和配方,使井壁失稳现象大幅度减少,但是仍然解决不了水化程度弱、强度低的泥页岩、强地应力条件的山前构造、弱面地层和井斜及井斜方位引起的井壁失稳难题。

可见,解决井壁失稳仅通过使用优质钻井液是不够的,还需进行井壁稳定力学研究。

井壁稳定力学研究应从三个方面入手:井壁围岩岩石力学特征、地应力和井壁稳定力学模型研究。

岩石力学特征是基础,地应力是井壁失稳的根本诱因,合理的井壁稳定力学模型是解决井壁失稳的有效途径。

结合三个方面研究,掌握地应力状态和地层力学参数,采用合理的力学模型,获得能控制井壁失稳的钻井液密度范围,再配合使用优质钻井液,才能最大程度确保井壁稳定。

1.2 井壁稳定力学的研究现状 在过去几十年里,有关井壁稳定的研究主要在地层的失稳机理、控制方法、影响因素和研究方法等方面取得了显著进展。

这些研究深化了对井壁围岩地质特征、力学特性和工程性质的认识,从而增强了利用围岩和改造围岩的工程能力,促进井壁稳定力学机理和控制方法的发展。

1.2.1 地层的失稳机理与控制方法 1.2.1.1 敏感性页岩地层 在井眼钻开之前,地层岩石所受的地应力处于平衡状态。

当井眼形成后,被钻掉的那部分岩石应力转移至井壁围岩,钻井液为井壁提供支撑作用,应力重新分布。

这样就有可能发生岩石所受的剪应力大于岩石本身的强度而发生井壁失稳(应力诱导)。

页岩中存在层理面,井壁失稳可由层理弱面的剪切或拉伸破坏造成。

此外,由于页岩的低渗透性,在钻井过程中,岩石骨架的体积变化将引起孔隙压力增加,导致有效应力降低,使井壁更不稳定,提高钻井液密度可避免井壁失稳,但是,过分地提高钻井液密度,地层将会被压裂或(被动)剪切破坏。

此外,若地层岩石有预先存在的裂缝,如煤,钻井液滤液在过平衡条件下渗入裂缝,将造成地层沿裂缝破坏,其破坏特征是块状崩塌物。

综上所述,对力学稳定性起决定作用的因素是:地应力的大小和方位、材料的孔隙弹性和强度物性、层理面、天然裂缝、井眼轨迹、诱发孔隙压力和钻井液液柱压力。

此外,页岩的稳定性具有时间效应,这是由于页岩的细颗粒特性、低渗透性,但多属孔隙型,并由地层水所饱和。

研究发现页岩稳定的机理包括孔隙压力扩散、塑性、各向异性、毛细管效应、渗透性和物理化学交互作用。

## &lt;&lt;井壁稳定力学&gt;&gt;

提高井壁稳定的四个技术途径为：钻井液类型、钻井液密度、钻井液流变性和水力参数、钻井实践。

1.2.1.2 裂缝性地层 L.N.Germanovich认为原来就存在的裂缝在井周压应力集中作用下开始发育，与边界的相互作用使裂缝不稳定发展，最后使薄层岩石发生挠曲而分离出来。

初始的破坏稍稍移动了井眼边界，促使下一条裂缝扩展。

重复上述过程直至井眼形状的改变足以制止裂缝扩展的不稳定状态，这就是破坏的最终程度。

原来存在的裂缝尺寸越小，破坏程度就越大。

这提示我们在所讨论的破坏机理占优势的情况下，较少微裂缝岩体预期的破坏较大。

其优点在于从岩石断裂力学角度出发，提出裂缝性地层的井眼坍塌力学模型，从理论上来说是一种新的突破。

但对于工程实际来说，由于地层的预裂缝几何状态及井眼打开后裂缝的变化等无法准确估计，再则裂缝性岩石的力学参数从室内实验技术和测井解释都难以获得，所以从工程上说，特别对于裂缝性地层应从统计的观点出发来获得可靠的结果。

李鹭光认为破碎性高陡地层井壁失稳的机理可以概括为如下九种方式：（1）力学不稳定是高倾角破碎地层井壁失稳的根本原因，关键因素是地层倾角的大小、岩体破碎程度及外来流体侵入的程度。

（2）地层倾角越大，地层所受构造作用越强，两个水平主应力的大小和方向都呈现出非稳定场的特征，而且大小相差悬殊。

两个水平主应力差值越大，所受的剪切应力亦越大，井壁极易沿着弱结构面破坏，使维持井壁稳定的最小钻井液密度增加（即安全钻井液密度下限提高），从而使安全钻井液密度窗口变窄。

（3）地层裂缝越发育，破碎程度越大，岩体间胶结弱，弱结构面强度低（抗张、抗剪强度均低）。维持井壁稳定的坍塌压力大，安全钻井液密度下限增高，地层越破碎地层破裂压力越低，安全钻井液密度上限随之降低，安全钻井液密度窗口继续变窄。

（4）对裂缝发育且断层多的破碎性地层，当地层倾角大到一定程度时，由于安全钻井液密度下限逐渐升高，上限又逐渐降低，安全钻井液密度范围逐渐缩小，上限和下限将趋于重合，此时，理论上已不存在安全钻井液密度。

如果不采取有效的防塌措施，井壁失稳将无可避免。

（5）高倾角破碎地层，因其具有“碎、松、陡”等特点，其临界冲蚀指数低，井壁抗钻井液冲蚀的能力差，易出现“冲蚀失稳”。

同时，对井内压力波动敏感，在起下钻和开泵等过程中易出现“波动失稳”。

（6）达西滤失造成的“水力连通作用”引发井壁失稳。

（7）润湿造成的“毛细管扩张作用”引发井壁失稳。

（8）缝间充填物水化造成的“水楔作用”引发井壁失稳。

（9）破碎体本身水化膨胀造成的“推挤作用”引发井壁失稳。

1.2.1.3 流变地层（软泥岩、盐膏岩）软泥岩、盐膏岩地层在强地应力的作用下，发生蠕变流动，导致井眼缩径卡钻。

导致软泥岩、盐膏岩层钻井事故的原因有以下两个方面：从力学角度看，软泥岩、盐膏岩具有较强的流动性，高温使其流动性更加明显。

在地下井眼钻开之后，原地应力场的平衡遭到破坏，次生应力场的作用使软泥岩、盐膏岩地层向着井眼方向流动，直到出现新的平衡状态，这种沿径向的流动使井眼直径减小，造成缩径，这是盐岩层中卡钻的主要原因；从物理学角度看，盐岩易溶于水，对于大段软泥岩、盐膏岩来说，盐岩的溶解则导致井壁坍塌（较大块的砂、泥岩等脱离井壁），从而加大卡钻的可能性。

1.2.1.4 强度各向异性地层 由于大多数沉积岩是各向异性的，所以在钻井工程中研究各向异性对强度的影响是非常重要的。

对于大倾角地层的平面各向异性，尤为重要是弱面，即地层中有一组低强度的薄弱面，在较小的钻井液柱压力下先于岩石本体破坏，常常引起人们意料之外的钻井复杂情况。

从微观结构上看，岩石是非均质的和各向异性的，一方面是由于岩石的成因，如颗粒大小不同有优势指向，具有不同胶结物，有层理等；另一方面是由于构造应力历史产生的，在变形过程中产生了裂缝、节理，但是若在所有方向上都视为各向异性，则材料的弹性常数太多，所以宏观上把岩石看作弹性

## &lt;&lt;井壁稳定力学&gt;&gt;

参数在同一层面各个方向上均相同，它们只在其垂直方向上有差别，即横观各向同性。

对于井壁稳定性力学分析，最重要的是要考虑弱面的影响。

目前对弱面模型的研究局限于弱面的走向与最小水平地应力方向一致这一特殊情况。

1.2.2 地层失稳的影响因素 1.2.2.1 构造地应力的影响 水平构造地应力的各向异性对坍塌压力和破裂压力有着显著的影响，水平地应力比值越大，坍塌压力和破裂压力的差值就越小，即安全钻井液密度窗口越窄，井壁失稳风险越大，当水平地应力比值达到一定程度时，坍塌压力和破裂压力几乎相等，甚至出现“负压力窗口”，导致无法安全钻进，由此可见，井壁的力学失稳主要诱因是强地应力的非均匀性。

1.2.2.2 井眼轨迹的影响 井斜角和井斜方位角对斜井的井壁稳定性有着显著的影响。

国内外大多采用孔隙弹性理论，考虑钻井液的渗流效应，建立了大斜度井的井壁稳定力学模型。

模型考虑了地应力的非均匀性、孔隙压力和井眼几何形状的影响，得出如下斜井稳定的一般性结论：上覆压力为中间主应力时，随着井斜角的增大，破裂压力值将增加，而坍塌压力值将减小，安全钻井液密度窗口变大。

这说明，在同样条件下，井斜角越大，钻井越安全，换句话说，只要直井是安全的，斜井和水平井也安全。

上覆压力为最大主应力时，随着井斜方位角的增大，破裂压力值将增大，坍塌压力值将减小，这说明，朝着最小地应力方向钻井较为安全，而最大地应力方位一般不利于钻井。

随着井斜角的增大，破裂压力值增大，而坍塌压力值虽有局部减小但总体是增大的。

这说明，如果钻井液密度对直井不安全，则对斜井和水平井也不一定安全。

大位移井的井眼方位要视三个主地应力状态而定，当垂向主地应力大于水平最大地应力且差值不大，或水平最大地应力为最大地应力时，最佳的井眼方位在水平最小地应力方向或近水平最小地应力方位，此时钻井所要求的钻井液密度最低。

但是，当垂向地应力比水平最大地应力大得多时，最佳井眼方位要具体分析。

1.2.2.3 钻井液造壁性的影响 钻井液的造壁性对井壁稳定有着显著的影响。

不同的钻井液性能在井壁上形成的泥饼性能差别显著，钻井液滤液在井壁上的渗透能力也不同，从而导致钻井液液柱压力的扩散程度不一样，钻井液液柱压力的扩散程度越好，井壁稳定性越差，当井壁完全渗透时，井壁稳定性最差。

根据计算，渗透系数为零时，井壁不渗透，井段井壁稳定性最高；渗透系数为1时，井壁全渗透，井段井壁稳定性最低，此时，坍塌压力接近或超过破裂压力，几乎不可能进行钻井作业。

因此，钻井时要求钻井液具有良好的造壁性能，在井壁形成薄而韧的泥饼。

1.2.2.4 地层强度的影响 地层强度包括地层的黏聚力、内摩擦角和抗拉强度，地层强度增大，坍塌压力降低，破裂压力增大，安全钻井液密度范围扩大，井壁稳定性就提高，钻井也越安全。

尤其要提出的是，地层强度对浅井井壁稳定性有着显著的影响，如果浅部地层强度太低，就要求大幅度提高钻井液密度来满足井壁稳定。

1.2.2.5 垮塌几何形态的影响 随着钻井设备、定向井控制系统和钻井液体系技术的进步，以及对油藏特征掌握程度的加深，大斜度井、水平井钻井的数量日益增加。

在常规地应力（ $v > H > h$ ）的情况下不断碰到井壁失稳和出砂问题。

通常水平井设计的指导原则是井眼方位平行于最小水平地应力，这样有助于减小井眼轴向与垂向的主应力差，井周的应力集中程度达到最小。

上述指导原则是基于努力降低井眼压力来维持零坍塌（zerobreakout）。

井壁稳定研究表明：稳定的垮塌井眼是由应力转移造成的，应力集中从裸眼垮塌起始端转至垮塌区域的顶端，并产生准静水压力状态。

因此，垮塌后的井眼应该比圆形井眼稳定。

近年来利用垮塌后的几何形态来增强隧道稳定性的实验研究表明，在相同的地应力条件下，垮塌后的几何形态比圆形具有更高的开挖强度。

但在某些地层，井壁垮塌后相邻地层的强度有弱化趋势，在这种情况下，较低的钻井液密度反而加剧了井壁失稳。



## &lt;&lt;井壁稳定力学&gt;&gt;

1.2.2.6 钻柱振动的影响 井眼的稳定性（井眼扩大）与钻柱的振动有明显的联系，高强度地层（如火成岩井壁）失稳的原因是钻柱振动过于剧烈，钻柱撞井壁，在井壁处形成裂缝，从而导致钻井液侵入，引起井壁岩块剥落。

利用能量法对由钻柱振动产生的失稳进行定性分析，对井壁的撞击力利用牛顿第二定律计算，再根据动量守恒，可估算出钻柱将多少动能传递给井壁岩石，使井壁岩石内能显著增加，促使裂缝的发育。解决的方法：利用“非侵入型”钻井液，封堵裂缝，阻止钻井液侵入，从而降低井壁失稳，同时最大限度地减少钻柱振动。

1.2.3 地层失稳的研究方法 1.2.3.1 弹塑性力学理论方法 井壁围岩材料受井周应力作用以后产生变形，从变形开始到失稳破坏一般要经历两个阶段，即弹性变形阶段和塑性变形阶段。

利用弹塑性力学理论，研究井壁围岩受到外界应力、温度变化及边界约束变动等作用时，井壁围岩弹塑性变形、破坏和应力状态的方法叫做井壁失稳弹塑性力学理论方法。

井壁围岩弹塑性变形受控于井周应力状态和围岩材料性质。

井周应力状态的形成与变化取决于原始三维地应力状态、井内和地层流体的压力差、岩石的物理化学性质、井眼的几何形状及完善程度；同时，井周应力的变化反作用于岩石材料本身，导致岩石力学性质、材料屈服和破坏模式发生变化。

根据井壁围岩材料特性的不同，有的弹性阶段较明显，如硬脆性泥页岩、低强度砂岩，往往弹性阶段后紧跟着就破坏。

有的则弹性阶段很不明显，变形一开始就伴随着塑性变形，弹塑性变形总是耦合产生，如软泥岩和盐膏岩。

大部分都呈现明显的弹性变形阶段和塑性变形阶段，如膨胀性泥岩。

此外，采用适合地层围岩特性的本构关系和井壁稳定力学模型也是弹塑性力学研究方法的重点。

对于脆性泥页岩、低强度砂岩，一般采用线弹性模型，而对于易发生塑性变形的软泥岩、盐膏岩地层，目前国内外学者就岩石塑性本构关系模型进行了详细深入的研究，有理想塑性模型、硬化模型和软化模型等各种不同理论，还有考虑岩石的弹性参数随塑性变形变化的弹塑性耦合模型以及岩石塑性理论的非联合流动法则弹塑性模型等。

它们各有一定的优点和不足。

若把这些计算模型应用于井眼稳定计算，这些模型都需要通过实验确定许多重要的参数，而且实验的工作量是十分巨大的，这也给实际应用带来许多不便。

一般来讲，计算模型越简单，所需实验确定的参数越少，应用也越方便，另一方面也不能精确描述岩石的弹塑性变形规律；计算模型越复杂，所需实验确定的参数也越多，应用也不方便，……

## <<井壁稳定力学>>

### 编辑推荐

《井壁稳定力学》编辑推荐：近年来国内外在井壁稳定力学方面的研究已有了很大的发展，井壁稳定力学在石油工程中的应用越来越广泛，但目前系统阐述这些新发展的合适的教材与参考书却十分缺乏。

《井壁稳定力学》旨在使读者在学习过岩石力学的基础上，能掌握井壁失稳的基本力学理论及在钻井工程中的应用。

《井壁稳定力学》可供高等院校、石油相关企业油气井工程、油气田开发工程、测井工程等专业师生、科技人员参考应用。

<<井壁稳定力学>>

版权说明

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

更多资源请访问:<http://www.tushu007.com>