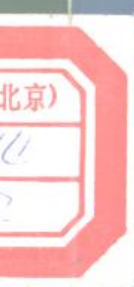


油气田地层特性 与钻井液技术

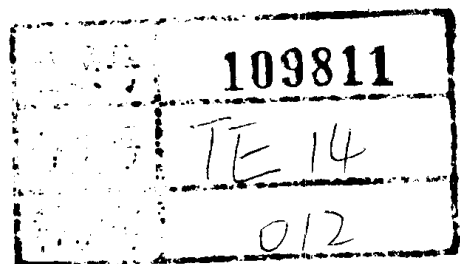
徐同台 主编



石油工业出版社



PETROLEUM INDUSTRY PRESS



油气田地层特性与钻井液技术

徐同台 主编



石油0112414



石油工业出版社

内 容 提 要

在对我国各含油气盆地几万块岩样进行矿物组分和扫描电镜分析的基础上,针对上述地区所经常发生的井下复杂情况,本书阐明了两者之间的关系,提出了与地层组构特性相匹配的钻井液类型、配方、性能及工程措施,制定了分区钻井液标准设计,这对各油气田提高钻井速度、减少井下复杂情况和事故、保护油气层等有极大的指导作用。

本书可供从事油气井钻井和钻井液研究人员、石油院校有关专业师生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

油气田地层特性与钻井液技术/徐同台主编.

北京:石油工业出版社,1998.8

ISBN 7-5021-2359-8

I. 油…

II. 徐…

III. ①含油气盆地-地层学②油气钻井-钻井泥浆

IV. TE254

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 18636 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 41½ 印张 1070 千字印 1—1000

1998 年 7 月北京第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2359-8/TE·1865

定价: 80.00 元

前言

地层造浆、井壁不稳定是钻井工程常遇到的技术难题，严重地影响钻井速度、质量、成本与环境保护；部分新探区还会因井壁不稳定而无法钻达目的层，延误勘探与开发的进度，影响其综合经济效益；部分地区因地层造浆严重，大量自造浆因对环境有不良影响而无法排放。六七十年代，我国各油田相继研究成功钙处理钻井液、三磺钻井液、盐水钻井液、氯化钾钻井液、饱和盐水钻井液等来对付不稳定地层，取得了较好的效果。但是，到了70年代末期与80年代初期，出现了新的情况，井壁不稳定日益加剧，严重影响钻井工程顺利进行。1979年我国各油田处理井下复杂情况与事故的时间已占钻井总时间的14.2%，部分地区所钻的井平均井径扩大率高达30%以上，严重地影响测井资料对油气层的正确解释与固井质量。

(1) 随着新区和深层勘探工作大规模开展，所钻遇地层更为复杂，井壁不稳定问题日益加剧，部分新区因井塌而无法钻达目的层，从而延误新的油气田的发现。例如1984年之前，中原油田文东地区所钻的11口井，由于钻进复杂盐膏层接连发生卡钻事故，没有一口井钻达目的层，不是报废，就是侧钻或提前完钻，11口井中就有10口井没有取得测井资料；大庆英台，吉林乾安、双阳、伊通，吐哈丘陵、鄯善与哈密，长庆西缘，百色花茶等地区钻遇孔隙异常压力、层理裂隙发育的泥页岩，因发生严重井塌而造成部分井报废；新疆三台与北三台，华北河西务、曹家务等地区钻遇以伊蒙无序间层为主的泥岩层时发生严重井塌，准噶尔盆地南缘、三台、北三台，塔里木盆地东秋里塔克、库车拗陷、巴楚地区等山前构造带，由于强地应力造成力学不平衡而引起井塌，接连报废井；河南周口、吐哈鄯善等地区因煤层坍塌而无法钻达目的层等。

(2) 70年代末期，为了准确解释油气层，对钻井液组分、电阻率提出更为严格的要求。测井要求钻进液的电阻率必须高于地层水电阻率四倍，不许用含钾离子处理剂，造成原有行之有效的稳定井壁的盐水钻井液、饱和盐水钻井液的使用受到严格的限制，而普通的淡水钻井液又难以解决复杂地层井壁稳定这一难题。

(3) 地质人员为发现油气层，依据油气层压力系数来确定裸眼井段钻井液密度，造成部分地区钻进油气层上部坍塌压力高的泥岩井段或油气层泥岩夹层时发生严重井塌，钻井液密度难以兼顾防塌与保护油气层的要求。

(4) 钻井新技术、新工具崛起（如喷射钻井、优化钻井、定向井、水平井、新型高效钻头）后，采用原有钻井液体系钻进，出现了该地区从没有出现过的各种井下复杂情况，例如起钻拔活塞、井塌、卡钻等，给钻井工作带来了极大的困难。

地层岩石矿物组分和理化性能的测定是分析钻井过程中所发生的各种井下复杂情况的原因、研究技术对策的基础。为了解决上述技术难题，科学地设计钻井液，优质高效实现勘探开发目的，满足环境保护对钻井液的要求，从1983年开始，按照原石油工业部领导的指示，依据科技司的安排，由原钻井工程司组织全国钻井液技术人员与地质实验室人员对我国各含油气盆地几万块岩样进行矿物组分与扫描电镜分析，对各个构造岩样进行理化性能测定，对已完钻井所发生的各种井下复杂情况进行收集，以上述资料为基础，综合研究各构造钻井过程可能发生的各种井下复杂情况及其原因，研究与地层组构特性相匹配的钻井液类型、配方、性能及工程技术措施，制定出分区块钻井液标准设计。通过现场应用，不断完善，到目前为止，全国各油气田均已完成分区块钻井液标准设计，并已全面推广应用。18年来，各油田与

院校钻井液研究人员共同努力，无论新区还是老区，钻井过程所出现的各种喷、漏、卡、塌等井下复杂情况相继得到了解决，钻井速度大幅度提高，部分因井塌而无法钻达目的层的高难度地区块相继突破，发现了一批新的油气田。1996年全国处理井下复杂情况与事故的时间已降至5.92%，封固井段平均井径扩大率降到15%以下。随着人们对地层组构特性的认识进一步加深，钻井液新处理剂、新工艺技术研究成功，各油田分区块钻井液标准设计定会得到进一步完善与发展，更有利于提高勘探、开发、钻井的综合经济效益。

本书汇编了各油气田钻井液技术人员所研究的部分区块“地层矿物组分、理化性能与钻井液技术对策”的研究文章。全书地层矿物组分与理化性能数据部分由徐同台审核，报告文字部分由徐同台、潘世奎、周达常、洪培云、赵翰宝审核。本书编写与出版过程中得到中国石油天然气总公司科技局、钻井工程局、勘探局、各油田管理局（勘探局）、石油工业出版社，以及中国石油天然气总公司咨询中心李天相主任、罗平亚院士的支持与帮助，在此表示感谢。由于作者水平有限，难免有许多错误，请读者批评指正。

徐同台

1998年1月8日

目 录

井壁不稳定地层的分类与钻井液技术对策.....	(1)
大庆油田分区块地层矿物组分、理化性能及钻井液方案设计与应用.....	(7)
双阳、乾安等地区地层矿物组分、理化特性和钻井液技术研究	(15)
二连盆地阿南、哈南地区地层矿物组分和理化性能及钻井液技术的研究	(52)
辽河油田双台子地区地层矿物组分、理化性能及钻井液技术研究	(64)
冀东油田岩石矿物组分理化性能和钻井液技术研究	(92)
大港油田地层矿物组分和理化性能及钻井液技术研究.....	(137)
冀中拗陷河西务、岔河集、郑州、留西一大王庄、荆丘等地区地层矿物组分、理 化性能及钻井液技术研究.....	(184)
渤海油田泥页岩矿物组分、理化性能及钻井液技术研究.....	(214)
临盘地区地层矿物组分、理化性能及钻井液技术研究.....	(225)
中原油田地层矿物组分与理化性能分析.....	(248)
周口盆地地层矿物组分、理化性能与钻井液技术研究.....	(280)
江苏油田各地区泥页岩矿物组分、理化性能及钻井液技术研究.....	(300)
四川地区地层坍塌原因分析及防塌钻井液的研究与应用.....	(338)
马岭、安塞、西缘、靖边地区泥页岩理化性能及钻井液技术研究.....	(368)
酒西盆地地层矿物组分、理化性能与钻井液技术研究.....	(409)
柴达木尕斯油田地层矿物组分和理化特性及钻井液技术研究.....	(437)
鄯善弧形构造带泥页岩矿物组分、理化性能和钻井液技术研究与应用.....	(450)
新疆油田北三台等三个区块泥页岩矿物组分、理化性能及钻井液技术研究.....	(515)
塔里木地区地层岩石矿物组分和理化性能及钻井液技术研究.....	(548)
潭口地区地层矿物组分和理化性能及钻井液技术研究.....	(620)
百色盆地那读组地层矿物组分、理化性能与钻井液技术研究.....	(634)

井壁不稳定地层的分类与钻井液技术对策

徐同台^①

(中国石油天然气总公司勘探局)

井壁不稳定是钻井工程中常遇到的井下复杂情况之一,严重影响钻井速度、质量及成本;部分新探区还会因井壁不稳定而无法钻达目的层,延误勘探与开发的速度,影响其经济效益。为了获取在钻井工程中稳定井壁的主动权,从1979年开始对全国各含油气盆地发生井壁不稳定地层的几万块岩样的矿物组分、理化特性进行分析研究,并收集了几万口井钻井过程中所发生的井下复杂情况、钻井工程与钻井液技术措施。运用上述资料,对我国钻井工程中所发生井壁不稳定的原因与地层组构特征、钻井工程与钻井液技术措施之间的关系进行综合分析研究,提出了以井壁不稳定地层矿物组分与组构特征为主要依据的分类方法。经现场反复验证,八次修改完善,得出我国含油气盆地井壁不稳定地层可分为六大类八个亚类的看法,以此作为选择钻井液体系和制定相应的技术对策的依据。此项研究成果是我国井壁稳定技术研究逐步实现科学化、定量化的重要标志。下面简单介绍各类地层的组构特点、潜在的井下复杂情况、井壁不稳定发生原因及钻井液技术对策的要点。

一、胶结差的砂、砾、黄土层

(1) 地层组构特征:胶结差、未成岩的流砂层与砾石层,钻遇深度通常从0~1000m。

(2) 潜在的井下复杂情况:塌、漏。

(3) 井壁不稳定发生原因:胶结差。

(4) 钻井液技术对策:一般采用高粘切、高膨润土含量的膨润土浆或正电胶膨润土浆;对于大或特大砾石层,可适当提高钻井液密度和环空返速,以利于钻屑的携带。

(5) 典型区块:辽河油田明化镇组地层,东疆北三台与三台构造第四系地层,吐哈盆地第四系地层等。

二、层理裂隙不发育软的砂岩与泥岩互层

此类地层依据其膨胀性与分散性可将其分为三个亚类。

1. 易膨胀、强分散的砂岩与泥岩互层

(1) 地层组构特征:此类地层粘土矿物以蒙皂石、伊蒙无序间层为主,大多属于第三系或白垩系地层,成岩程度低,呈块状,处于早成岩期;分散性强,回收率大多小于20%;阳离子交换容量高,15~30mmol/100g_±;泥岩易膨胀,膨胀率高达20%~30%;砂岩渗透率高;绝大部分地层属于正常压力梯度,极个别地区此类地层出现异常压力梯度;岩石可钻性级别

^① 此项研究工作在各油田“地层矿物组分、理化特性及钻井液技术对策的研究”工作基础上,由作者与各油田钻井液技术人员共同进行综合研究与现场验证而完成的,门廉魁参加了组织各油田进行地层矿物组分分析的工作。

低, 小于 1~3 级。

(2) 潜在井下复杂情况: 造浆性强, 地层自造浆密度高, 切力大, 含砂量高; 钻井过程中易缩径, 起钻遇卡拔活塞, 灌不进钻井液, 处理不当易发生卡钻、井塌、下钻遇阻、划眼、憋泵、井漏; 阻卡井段固定, 以 700~1500m 井段最为严重。

(3) 井壁不稳定发生原因: 泥岩中伊蒙无序间层吸水膨胀、分散、缩径; 高渗透砂岩形成厚泥饼; 钻速高, 环空钻屑浓度过高。

(4) 钻井液技术对策: 采用强包被的聚丙烯酸盐聚合物、两性离子聚合物、阳离子聚合物、正电胶阳离子聚合物、正电胶等类型钻井液; 对于直径等于或小于 244mm 的井眼, 应采用低密度、低粘、低切钻井液, 提高返速, 使环空钻井液处于紊流; 对于直径等于或大于 311mm 的井眼, 在保证钻屑携带前提下, 应尽可能降低粘切, 提高钻井液的抑制性与返速, 降低滤失量, 改善泥饼质量; 控制环空钻屑浓度, 搞好固控。

(5) 典型区块: 东部各油田明化镇组地层等。

2. 不易膨胀, 强分散的砂岩与泥岩互层

(1) 地层组构特征: 粘土矿物以伊利石、绿泥石为主; 成岩程度低, 呈块状; 大多属于第三系、白垩系地层; 分散性强, 回收率小于 10%; 阳离子交换容量高 ($18\sim 26\text{mmol}/100\text{g}_{\pm}$); 泥岩不易膨胀, 膨胀率低 ($7\%\sim 12\%$); 地层压力梯度正常; 可钻性级别低 (小于 1~3 级); 部分地区地层水矿化度高。

(2) 潜在井下复杂情况: 易造浆, 自造浆膨润土含量低, 膨润土与钻屑比值可高达 1:(5~10); 砂岩或粉砂岩井段易缩径; 起钻经常遇卡, 阻卡发生在新钻开井段, 一般距井底 15~150m 处, 没有固定卡点, 遇卡时能灌进钻井液; 一旦发生卡钻, 能恢复循环, 泡解卡剂加震击器均能解卡。

(3) 井壁不稳定原因: 此类地层以砂岩、粉砂岩为主, 易分散, 渗透性好, 极易形成虚厚泥饼, 摩擦系数高, 故易发生压差卡钻事故; 个别层段机械钻速过高, 造成环空钻屑浓度过大; 环空返速低, 井眼净化不好。

(4) 钻井液技术对策: 采用强包被聚丙烯酸盐聚合物、聚磺、正电胶等类钻井液, 抑制钻屑分散, 控制低密度; 钻井过程中补充优质预水化膨润土浆、降滤失剂、磺化沥青及润滑剂, 在高渗透砂岩地层快速形成低渗透的内泥饼, 并使外泥饼薄而润滑性能好; 在可能条件下, 尽可能提高环空返速, 形成紊流; 控制环空钻屑浓度不要过高; 加强固控, 使用离心机, 降低含砂量。

(5) 典型区块: 塔里木轮南等构造中的第三系与白垩系地层, 塔西南群库恰克构造第三系地层等。

3. 中等分散砂岩与泥岩互层

(1) 地层组构特征: 粘土矿物以伊利石、高岭石、绿泥石为主, 并含伊蒙有序间层, 个别地区含有少量伊蒙无序间层; 已成岩, 属于晚成岩 A 期; 大多数为侏罗系、三叠系地层; 中等分散, 回收率 50%~80%; 阳离子交换容量低 ($3\sim 8\text{mmol}/100\text{g}_{\pm}$); 正常压力梯度; 个别地区砂层渗透性好。

(2) 潜在井下复杂情况: 清水钻进一般超过 3 日会发生井塌; 含伊蒙无序间层的泥岩, 如采用清水或全絮凝聚合物钻井液, 极易发生井塌; 对于砂岩发育的地层, 如用高粘切钻井液钻进, 当环空返速低时, 起钻在新钻井井段易与不易膨胀、强分散的砂岩与泥岩类地层一样发生阻卡。

(3) 井壁不稳定发生原因：清水浸泡时间过长会引起伊蒙间层水化膨胀，造成泥岩坍塌；砂岩井段发生阻卡原因与不易膨胀、强分散的砂岩与泥岩类相同。

(4) 钻井液技术对策：对于存在伊蒙有序间层地层采用抑制性全絮凝聚合物钻井液（聚合物可依据地层特点选用阴离子、两性离子或阳离子聚合物）；对于存在伊蒙无序间层的地层采用低膨润土含量聚合物钻井液、两性离子聚合物钻井液。

(5) 典型区块：四川侏罗系地层，长庆油田安塞、樊家川、靖边上部地层等。

三、层理裂隙发育的泥页岩

(1) 地层组构特征。此类地层层理发育，大多数塌层均存在异常孔隙压力，处于从伊蒙无序间层向伊蒙有序间层或伊蒙有序间层向伊利石过渡带、生油层或处于强地应力控制构造运动作用激烈的地带；其地质年代从第三系至志留系；已成岩，成岩期从早成岩 B 期至晚成岩 A、B、C 期；岩石从软至硬，岩石可钻性 3~8 级。此类地层依据其理化性能又可将其分为三个亚类：

① 易膨胀、强分散泥岩。此类泥岩以蒙皂石或伊蒙无序间层为主，其相对含量为 30%~95%；易膨胀，膨胀率 20%~30%；分散性能与地质年代和井深有关，对于东部第三系地层，通常井深小于 2600m 泥岩，属于强分散，回收率小于 10%；阳离子交换容量中至高，一般 12~22mmol/100g_±。

② 易膨胀、中等至弱分散泥页岩。此类泥页岩大多数以伊蒙有序间层（25%~55%）、伊利石（35%~72%）为主，少数地区深井段仍以伊蒙无序间层为主；中至弱分散，回收率一般 40%~90%；易膨胀，膨胀率 20%~30%；阳离子交换容量中至低，一般 2~12mmol/100g_±；处于深层强地应力作用下的泥页岩，往往裂隙发育，塌块大。

③ 弱膨胀、弱分散泥页岩。此类泥页岩以伊利石为主，不含或含少量伊蒙有序间层（间层中含蒙皂石 20%左右）；不易分散，回收率 90%~99%；不易膨胀，膨胀率 7%~10%；阳离子交换容量低 1~8mmol/100g_±；部分地区此类地层层理发育，深层泥页岩往往处于强地应力作用下，裂隙发育，塌块大。

(2) 潜在井下复杂情况：井塌、卡钻、井漏。

(3) 井壁不稳定发生原因：钻井液密度偏低，不能平衡因泥页岩异常孔隙压力与强地应力引起的高坍塌压力；裸眼井段长，上部存在强水化膨胀缩径的泥岩层，若钻井液与工程技术措施与地层不配伍，钻井过程中造成缩径，起钻阻卡产生抽吸，对下部地层形成负压差，引起井塌；钻井液滤液进入泥页岩，引起地层吸水膨胀，强度下降，并产生高的膨胀压力，引起井壁附近泥页岩产生裂缝，造成井塌；组成泥页岩的不同粘土矿物水化时所产生的膨胀量与膨胀压力不相同，在地层内部形成内应力，加剧泥页岩破裂；泥页岩中的层理与裂隙（钻井液滤液侵入的通道）是发生井塌的祸根，井塌的严重程度取决于泥岩层理、裂隙发育程度；环空钻井液返速过高，形成紊流冲刷井壁；不合理钻井工程措施，如起下钻过快形成过高的抽吸压力，环空返速过高，冲刷井壁等。

(4) 钻井液技术对策：

① 依据地层孔隙压力、地应力、岩石力学性能，选用合理的钻井液密度，使其高于地层坍塌压力当量密度是防止井壁坍塌的先决条件；

② 采用沥青类产品、植物油渣、磺化酚醛树脂、褐煤类等处理剂，封堵层理、裂隙，阻止钻井液滤液进入地层，此类处理剂加量随泥岩层理、裂隙发育程度加剧而增加；

③降低高温高压滤失量与泥饼渗透性，控制钻井液 pH 值应低于 9；

④依据坍塌层矿物组分与理化性能选用钻井液类型。对于易膨胀、强分散泥岩亚类，选用既能有效抑制泥岩水化分散，又能抑制膨胀，并能有效封堵的钻井液，如氯化钾聚合物钻井液、氯化钾腐钾钻井液及其它钾基钻井液、聚磺钻井液、钾铵基聚磺钻井液、两性离子聚磺钻井液、阳离子聚磺钻井液、正电胶钻井液、有机硅钻井液等；对于易膨胀、中等至弱分散泥页岩亚类，先用强抑制、强封堵的钻井液，如聚磺钻井液、两性离子聚磺钻井液、阳离子聚磺钻井液、正电胶阳离子聚合物钻井液、钾铵基聚磺钻井液、正电胶钻井液、钾石灰钻井液、有机硅钻井液等，如地层水矿化度高，可用氯化钾适当提高钻井液的矿化度；对弱膨胀、弱分散泥页岩亚类，选用强封堵钻井液，如三磺钻井液、硅酸钾聚磺钻井液、钾铵基聚磺钻井液，两性离子聚磺钻井液，若地层水矿化度高，可用氯化钾适当提高钻井液矿化度，若地层裂隙极发育，塌块大，应适当提高钻井液的粘切，及时带出塌块。

⑤选用合适的泵量与环空返速，既确保钻屑的携带，又使钻井液在环空处于层流状态，减少钻井液对井壁的冲刷。

(5) 典型区块易膨胀、强分散泥岩类：大港油田及华北河西务构造沙河街组，东疆三台与北三台构造等；易膨胀、中等至弱分散泥页岩类：胜利、辽河、华北等油田沙三组，江苏油田阜宁组与戴南组，吉林油田嫩二、一组，二连的腾格尔组，塔里木的侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系等；弱膨胀、弱分散泥页岩类：大庆的青山口组、泉头组，长庆西缘的石千峰、石盒子组，酒西盆地的三叠系、二叠系等。

四、含盐膏地层

此类地层按岩性可分为两个亚类。

1. 厚纯盐膏层

(1) 地层组构特征：此类地层是厚纯盐层，单层厚度较大，一般从几米至几十米，总厚度从几十米至 1900m；盐间夹层为不易发生坍塌的白云岩、石灰岩及层理裂隙不发育不易坍塌的硬泥岩等；粘土矿物分为两类，一类以伊利石为主（93%~99%），含少量绿泥石（1%~7%）；另一类以伊利石（42%~59%）与伊蒙有序间层（21%~47%）为主。泥页岩阳离子交换容量低（3~10mmol/100g_±），中等分散，回收率大于 20%（回收率与泥页岩中是否含盐有关，含盐泥页岩的回收率低，不含盐回收率高）。易膨胀，膨胀率 26%~30%，膨胀率与泥岩中含盐量和含水量有关。

(2) 潜在井下复杂情况：钻井液粘度、切力、滤失量增大，中深井段盐层井径扩大，夹层井径接近钻头直径；钻至深层时，易发生缩径，起下钻易发生阻卡与卡钻；固井质量差，易挤毁套管。

(3) 井壁不稳定发生原因：因盐溶引起钻井液性能变坏，中深井段井径扩大；因盐重结晶引起起下钻阻卡；深井段因盐层塑性流动造成缩径，引起起下钻阻卡或卡钻，卡钻一般情况可泡淡水胶液溶解盐而解卡，下钻遇阻时，千万不要硬压，严防卡死。

(4) 钻井液技术对策：对于中深井段盐层总厚度不到 100m 的井，可采用适当钻井液密度的欠饱和盐水钻井液，使盐溶解而引起井径扩大率与盐岩因塑性变形而引起缩径率相接近，严防缩径。对于厚盐层采用饱和盐水钻井液钻进；浅井段补充盐水胶液，防止盐溶引起井径扩大；在中深井段适当补充淡水胶液，使盐溶解引起的井径扩大值与盐塑性变形引起的缩径值相接近。深井段，必须依据井深、井温与盐岩类别来确定钻井液密度，控制盐岩因塑性变形

而引起缩径，并使用盐抑制剂抑制盐重结晶。

(5) 典型区块：江汉油田的潜江组，四川川中等。

2. 盐、膏、泥复合地层

(1) 地层组构特征：此类地层盐、膏、泥相间，互层多且薄，岩性变化大，并含盐膏软泥岩、碎泥与盐结合物及以盐为胶结物的角砾岩等；泥岩层理、裂隙发育，软泥岩含水高；泥岩中粘土矿物可分为二类，一类以伊利石为主（75%~90%），并含绿泥石（10%~25%），另一类以伊利石为主（43%~100%），并含伊蒙有序间层、高岭石、绿泥石；阳离子交换容量低（1~10mmol/100g_±），中等至弱分散，含盐膏泥岩的回收率14%~90%，其回收率随含盐量增加而下降；膨胀率4%~26%，膨胀率与泥页岩中含盐量及含水量有关，含盐量高的泥岩初始膨胀率高，随着测量过程中泥页岩中盐的溶解，可能出现负的膨胀率；泥页岩大多孔隙压力异常，部分地区的盐、膏、泥页岩处于强地应力作用下。

(2) 潜在井下复杂情况：钻井液粘度、切力、滤失量增大；极易发生缩径或井塌卡钻；测井遇阻卡；固井质量差，易挤毁套管。

(3) 井壁不稳定发生原因：因盐溶解引起井塌，严重时造成卡钻；因盐或含盐膏软泥岩塑性变形引起缩径卡钻；因无水石膏吸水膨胀引起缩径卡钻；因层理与裂隙发育泥页岩水化而造成坍塌；强地应力地区，如所使用的钻井液密度过低，引起盐岩与软泥岩缩径，造成卡钻。

(4) 钻井液技术对策：根据井深、井温、地应力、所钻盐与含盐软泥岩类别选择合理的钻井液密度，防止塑性变形，控制缩径；采用抑制性强的饱和盐水钻井液、油包水钻井液，防止盐溶引起井塌，并保持钻井液性能稳定（对含有大量石膏的地层，可在钻井液中加入硫酸钠或硫酸铵，采用等离子效应控制石膏的溶解）；饱和盐水钻井液中应加入沥青类与磺化酚醛树脂类产品，封堵泥岩层理、裂隙，降低HTHP滤失量，防止井塌；选用合理环空返速与钻井液流参数，既保证钻屑的携带，又要保证环空处于层流，减少对井壁冲蚀；保持钻井液良好的流变性与润滑性，防止压差卡钻。

(5) 典型区块：中原油田文东构造，青海狮子沟构造，塔里木南喀、东秋里塔克构造等。

五、裂隙发育的特种岩性地层

(1) 地层组构特征：此类地层裂隙发育，破碎；大多为特种岩性地层，如煤层、玄武岩、辉绿岩、火成岩等；玄武岩中所含的粘土矿物往往是伊蒙无序间层或蒙皂石，其相对含量高达90%~100%，煤层中所夹的泥岩中所含粘土矿物大多是高岭石（30%~80%），辉绿岩中泥岩夹层中粘土矿物以伊利石为主，并含伊蒙有序间层；部分地区此类地层处于强地应力作用下，坍塌压力高。

(2) 潜在井下复杂情况：井塌、卡钻或井漏。

(3) 井壁不稳定发生原因：因地层裂隙发育、破碎，极易坍塌，塌块较大，特别的厚煤层，煤脆性大，一钻开就会发生坍塌；煤层坍塌会引起夹层泥页岩失去支撑而发生坍塌；地层中的伊蒙无序间层或蒙皂石水化膨胀引起坍塌；钻井液密度偏低，不能平衡地层坍塌压力，造成此类地层力学不稳定。

(4) 钻井液技术对策：依据地层坍塌压力确定钻井液密度，保持井壁力学稳定；根据夹层粘土矿物按第三类选择钻井液类型，最好选用强抑制性的钾铵基、两性离子、阳离子聚磺钻井液或正电胶钻井液；钻井液中加足封堵剂与降滤失剂，封堵裂隙，巩固井壁；可能情况

下，提高返速与钻井液粘切，既保证带出大塌块，又使环空钻井液保持层流，减少对井壁的冲蚀；钻厚煤层必须控制钻速，每钻 0.2m 划一次眼。

(5) 典型区块：河南周口盆地，塔里木塔中 18 井区，华北采育构造，冀东油田、吐哈油田等。

六、强地应力作用下的深层硬脆性地层

(1) 地层组构特征：此类地层处于强地应力作用下的深部地层；各种岩性都有，如泥岩、砂岩、粉砂岩、泥质砂岩、泥质粉砂岩、灰岩等；粘土矿物以伊利石、伊蒙有序间层为主；不易分散，回收率大于 80%；不易膨胀；岩石可钻性大于六级，硬度高。

(2) 潜在井下复杂情况：井塌、卡钻。

(3) 井壁不稳定发生原因：钻井液密度低，不足以平衡地应力，造成力学不稳定；钻井液密度过高，超过地层破裂压力，造成地层破碎坍塌；伊蒙有序间层粘土矿物水化膨胀等。

(4) 钻井液技术对策：依据地层力学性能、孔隙压力、地应力来确定地层坍塌压力与破裂压力，选用合适的钻井液密度，既不低于地层坍塌压力系数，又不超过地层破裂压力系数；提高钻井液封堵能力，降低钻井液 HTHP 滤失量与渗透滤失量，改善泥饼质量与封堵效能；适当提高钻井液的抑制性；选用流变性合适（深井段要保持钻井液在高温、高压下的流变性），既保证钻屑携带，又要在环空呈层流状态，减少对井壁的冲蚀。

(5) 典型区块：南疆柯克亚下第三系地层，巴楚地区志留系、泥盆系地层。

此项工作是在各油田“地层矿物组分、理化特性及钻井液技术对策的研究”工作基础上进行的，门廉魁同志参加了组织各油田进行地层矿物组分分析工作。此项工作是根据中国石油天然气总公司咨询中心李天相主任、钻井工程局、科技局领导的指示进行的，并自始至终得到他们及全国各油田与院校钻井液工作人员的支持与帮助，在此表示感谢。

大庆油田分区块地层矿物组分、理化性能 及钻井液方案设计与应用

郑祥玉 蔡永茂 赵玉娟 顾永福^①
(大庆石油管理局)

为保证大庆油田钻井的顺利进行,分析油田各个区块的粘土矿物组分和理化性能是十分必要的,为此,从1987年开始对英台、朝阳沟、杏南、南1—3区、升平(榆树林)、宾北等区块地层的粘土矿物组分进行了分析,对其理化性能进行了测定。整个研究工作延续了近十年,研究工作主要包括:

- (1) 大庆油田分区块岩石矿物组分分析及理化性能测定;
- (2) 分区块钻井液方案设计及现场应用。

一、大庆油田分区块岩石矿物组分分析和理化性能测定

1. 地层粘土矿物分析

用X衍射分析,可以全面了解粘土矿物组成和含量,表1~表6为各个主要区块的粘土矿物的主要成分和含量。

表 1 大庆英台地区粘土矿物分析数据

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量,%						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率,%	120℃16h 回收率,%	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
英 15	K _{1n5} 底	1105	26	37	0	36	0	0	21.3	29.8	5.6	47.6	4258
15	K _{1n4}	1298	0	90	0	10	0	0	15.5	33.4	96.6	34.4	2434
英 15	K _{1n3}	1420	0	62	0	0	18	22	20.4	38.6	98.0	33.6	794
英 12	K _{1n2}	1715	0	66	0	16	16	0	11.5	9.6	97.7	37.2	1214
英 12	K _{1n1}	1770	0	88	0	5	7	0	12.5	10.5	96.7	0 有形	1110
英 10	K _{1y2+3}	1840	0	59	0	0	24	17	8.7	9.3	97.0	0 有形	1037
英 10	K _{1y1}	1950	0	78	0	0	0	14	9.6	10.1	94.0	57.4	1213
英 12	K _{1q2+3}	1830	0	78	0	0	0	22	8.4	22.7	93.4	0 严重	2042
英 12	K _{1q1}	1846	0	87	0	13	0	0	11.5	9.8	92.5	0 有形	1105
英 10	K _{1q4}		0	95	0	5	0	0	7.8	9.6	97.9	56.8	1087

① 参加本项目研究的还有李正印、金秋颖、郑涛、邢少华。

表 2 大庆朝阳沟地区粘土矿物分析数据

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量, %						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率, %	120℃16h 回收率, %	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
朝 2	K _{1n1}	500	34	66	0	0	0	0	21.9	35.1	10.5	48.4	2399
朝 49	K _{1y2+3}	700	0	89	0	0	11	0	20.1	35.8	11.2	50.2	2078
朝 49	K _{1y1}	750	10	90	0	0	0	0	20.4	36.7	3.9	14	6031
朝 2	K _{1q2+3}	800	0	66	0	0	11	23	15.8	38.7	47.8	0	2448
朝 43	K _{1q1}	900	0	87	0	0	13	0	12.9	33.2	90.3	30.5	1040
朝 49	K _{1q4}	1000	0	65	0	0	12	23	18.9	31.9	70.8	25.8	2143
朝 68	K _{1q3}	1050	0	59	0	0	11	30	17.8	32.3	57.8	46.6	2231

表 3 大庆升平地区粘土矿物分析数据 (包括榆树林地区)

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量, %						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率, %	120℃16h 回收率, %	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
扶 42—54	K _{1n5}	500	54	46	0	0	0	0	19.5	23.67	7.6	0	1686.7
扶 42—54	K _{1n4}	700	30	70	0	0	0	0	16.0	28.44	9.8	0	3380.7
扶 42—53	K _{1n3}	800-803	7	61	0	0	0	32	12.66	10.11	20.93	0	3261.0
树 105	K _{1n2}	874	84	5	11	0	0	0	14.5	18.40	17.90	56.14	6820.7
树 105	K _{1n2}	1030	37	37	26	0	0	0	15.25	24.40	7.79	57.08	4052.1
树 105	K _{1n2} 底	1049	29	57	14	0	0	0	13.75	19.20	16.17	61.60	4209.0
徐 11	K _{1n1}	1389	23	62	14	0	0	0	11.78	32.20	62.37	0	2886.9
徐 11	K _{1y2+3}	1395	0	81	12	0	7	0	11.55	33.70	58.44	0	2652.3
树 105	K _{1y1}	1464	0	79	0	0	5	16	12.60	20.20	37.10	0	4865.7
升 63	K _{1q2+3}	1462	0	76	2	0	7	25	6.84	17.32	38.51	0	2036.0
树 105	K _{1q1}	1933	0	77	23	0	0	0	6.84	15.20	93.4	0	301.8
树 105	K _{1q4}	1944	0	85	7	0	7	0	8.77	23.20	73.94	0	1531.6
树 105	K _{1q3}	2103	0	86	6	0	8	0	7.87	23.60	71.55	0	895.6

表 4 大庆杏南地区粘土矿物分析数据

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量, %						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率, %	120℃16h 回收率, %	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
杏 73—146	K _{1n4}		42	22	0	36	0	0	26.56	28.6	2.3	54.2	2061.1
杏 73—146	K _{1n3}		52	31	0	13	4	0	28.4	29.6	4.1	70.74	5185.4
杏 73—146	K _{1n2}		22	69	0	6	3	0	23.2	23.3	7.0	60.9	4411.2
杏 157	K _{1n1}		8	92	0	0	0	0	29.9	27.4	35.6	0	669.8
杏 157	K _{1y2+3}		0	75	0	0	9	16	18.8	16.5	7.6	0	868.7
杏 157	K _{1y1}		0	87	0	0	4	9	16.1	20.2	4.0	0	837.0
杏 186	G		0	72	0	0	4	24	8.8	31.4	47.4	0	269.1

注: G 表示高台子油层组。

表 5 大庆南 1-3 区粘土矿物分析数据

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量, %						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率, %	120℃16h 回收率, %	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
S1—J3—35	K ₁ n ₅ 底	711~720	5	65	0	33	0	0	9.8	19.2	3.6	0	
S1—J3—35	K ₁ y ₂₊₃	732.72~738	30	63	0	7	0	0	7.7	21.8	0.3	0	1261
S1—J3—35	K ₁ y ₁	732.35~765	0	84	0	5	11	0	7.4	20.3	22.3	0	1671
S1—5—J31	G	905~908	0	65	0	9	17	8	14.8	23.7	4.8	0	1246

注: G 表示指台子油层组。

表 6 大庆宾北地区粘土矿物分析数据

井号	层位	井深 m	粘土矿物相对含量, %						阳离子交换 容量, mg/l	24h 膨胀率, %	120℃16h 回收率, %	SSI 指数	CST, s
			S	I	C	K	S/I	S/C					
鱼 3	K ₁ n ₁ 底	1315.72	5	58	0	0	9	28	19.06	46.9	37.51	0	774
鱼 3	K ₁ y ₂₊₃	1325.87	2	69	0	9	6	14	22.22	31.6	7.47	0	1042.4
鱼 3	K ₁ y ₁	1380.22	0	91	0	2	7	0	14.71	21.7	3.09	0	552.0
鱼 2	K ₁ q ₂₊₃	1215.70	0	53	9	4	14	29	11.4	23.9	7.64	0	881.3
鱼 3	K ₁ q ₁	1802.99	0	27	0	15	6	53	12.3	45.4	33.66	0	324.7
鱼 3	K ₁ q ₄	1816.40	0	80	0	11	10	0	18.26	76.2	27.57	0	392.0
鱼 2	K ₁ q ₃	1895.86	13	19	0	10	0	58	16.3	65.8	33.84	0	290.4
鱼 2	K ₁ q ₂	1905.80	7	48	0	0	0	44.5	18.27	56.0	20.52	0	321.3

2. 地层粘土矿物理化性能测定

1) 地层粘土矿物膨胀率的测定

采用仿瓦氏膨胀仪, 在常温和常压下测定粘土矿物在各种液体当中的膨胀率, 结果见表 1~表 6。

2) 地层粘土矿物稳定指数测定

采用美国的页岩稳定指数实验仪评价粘土矿物的综合稳定性, 结果见表 1~表 6。

3) 地层粘土矿物 CST 测定

采用 CST 测定仪测定泥页岩的毛细管吸收时间, 评价泥页岩本身吸收水分化能力大小, 反映泥页岩稳定性的一个方面, 结果见表 1~表 6。

4) 地层粘土矿物阳离子交换容量测定

泥页岩阳离子交换容量测定主要用于评价粘土水化活性的高低, 用于粘土膨胀性的评价和不稳定的原因分析, 见表 1~表 6。

3. 分析和测定结果及认识

1) 英台地区

(1) 该地区地层纵向上埋藏很深, K₁n₅ 段埋深已达 1100 多米, K₁n₅ 段以前井段含有一定量的蒙皂石粘土矿物, 阳离子交换容量虽不高, 但岩屑回收率很低, 是典型的易水化分散的地层。

(2) K₁n₅ 段以下地层, 蒙皂石粘土矿物基本消失, 伊利石粘土矿物含量随井深增加而增多, 自 K₁n₁ 至 K₁q₁ 段地层, 随井深增加, 岩石硬度逐渐增加, 阳离子交换容量很低, 岩屑回收率很高, 水化膨胀性很差, 具有典型的非水化膨胀特征。但 SSI 实验表明, 岩心在钻井液中

易变形坍塌。在电子显微镜下对此层段进行岩心观察发现, 此段地层层理特别发育, 并有许多微裂缝, 将岩心放入钻井液中, 很快会分散、裂解, 是典型的水化分散型硬脆性粘土矿物地层, 具有不稳定性。

2) 朝阳沟地区

(1) 该地区地层纵向埋藏较浅, K_1n_1 底部只有 500m, 含有一定量的易水化膨胀的蒙皂石粘土矿物, 阳离子交换容量相对较高, 24h 膨胀率较高, 岩屑回收率较低, 具有较强水化膨胀特性。

(2) K_1n_1 段地层以下井段, 蒙皂石粘土矿物逐渐消失, 伊利石粘土矿物逐渐增多, 夹含一定量伊/蒙有序间层和蒙/绿间层粘土矿物, 各项理化性能测定表明, 此段粘土矿物有较明显的水化分散能力。地层的层理也较发育, 具有一定的不稳定性。

(3) 取心发现, 该地区青山口组地层普遍存在平行、垂直、斜交裂缝, 缝宽 0.5~3mm, 最宽可达 5~10mm, 长 30~40cm, 最长达 160cm。

3) 升平(榆树林)地区

(1) 该地区地层纵向埋深较深, 直至 n_1 段底 (1400m) 均含有较多的粘土矿物, 阳离子交换容量、24h 膨胀率相对较高, 岩屑回收率较低, SSI 实验表明, 岩心在钻井液中很易变形坍塌, 证明这一井段泥岩易水化和分散。

(2) K_1n_1 段底至 $K_1q_1^n$ 段井段, 虽然蒙皂石粘土矿物已消失, 但含有一定量的蒙/伊有序间层和蒙/绿间层粘土矿物, 仍然表现出一定的水化膨胀和水化分散特征。

(3) $K_1q_1^n$ 段以下地层井段主要粘土矿物是伊利石, 夹含一定量的高岭石, 理化性能实验表明, 具有非水化膨胀和非水化分散性, 相对稳定。

4) 杏南地区

(1) 该地区 K_1n_1 段以前井段多含蒙皂石, 阳离子交换容量和 24h 膨胀率均高, 岩屑回收率很低, 是典型的水化膨胀型粘土矿物。

(2) K_1n_1 段以下地层蒙皂石含量消失, 各项理化性能测定表明地层中的粘土矿物水化性能减弱。但地层中含有一定量的蒙/伊有序间层和蒙/绿间层粘土矿物, 有一定的水化分散和膨胀能力;

(3) K_1y_1 以下地层层理发育, 岩心在钻井液中浸泡也较易变形坍塌, 是不稳定的井段。

5) 南 1—3 区

(1) 该地区地层纵向上粘土矿物分布与杏南地区相似, 稍有不同的是, 本地区地层中蒙皂石粘土矿物比杏南地区消失较晚, 在 K_1n_1 至 K_1y_{2+3} 井段还有少量分布, 理化实验表明尚有一定的水化分散性。

(2) K_1y_1 段以下地层中蒙皂石粘土矿物已基本消失, 但仍含有一定量的蒙/伊有序间层和蒙/绿间层粘土矿物, 具有较弱的水化特性。岩心在电子显微镜下观察, 发现较多的裂缝。如 S_1-J_3-35 井在井深 750m 的岩心中就发现 21 条纵向裂缝, 最宽的裂缝宽达 5mm, 是易发生井漏的地区。

6) 宾北地区

(1) 该地区地层纵向上蒙皂石、伊利石以及蒙/伊有序间层和蒙/绿间层粘土矿物分布都比较均匀, 理化性能测定表明自上至下井段粘土矿物均具有一定的水化分散能力。

(2) K_1y_1 以下地层经取心发现层理较发育, 具有微裂缝, 有一定的不稳定性。

二、大庆油田分区块钻井液方案设计及现场应用

根据地层粘土矿物组分分析和化学失稳机理研究,为各区块优选和推荐了防塌钻井液体系,见表7~表12。

1. 英台地区

本地区自60年代开始钻井以来,青山口组井塌问题就一直是影响该地区钻井速度和钻井质量以及勘探开发效果的主要因素。通过本项目试验认识到:本地区青山口组地层的层理发育,具有较多的微裂缝,钻井时经常发生周期性井壁剥落、坍塌,井径变化剧烈。经钻井液评选实验,确定采用上部井段抑制造浆,下部井段封堵防塌的两段钻井液设计方案。

表7 英台地区钻井液方案设计

地区	井段	钻井液配方	钻井液类型	粘度 s	滤失量 ml	切力, Pa		pH	塑性 粘度 mPa·s	动切 力 Pa	HTHP 滤失量 (100℃, 3.5MPa) ml
						10s	10min				
英台地区	造浆井段	4%土 + 0.2% KPA + 0.6% KHm + 0.2% NPAN	抑制型聚合物钻井液	52	7.5	2.1	6.5	8.5	14	10.5	
	易塌井段	7%土 + 0.2% KPA + 0.05% HPAM + 0.1% KOH + 2%磺化沥青 + KHm 水维护	封堵型聚合物钻井液	40.5	7.5	2.5	12.0	9.5	19	2.8	12

表8 朝阳沟地区钻井液方案设计

地区	井段	钻井液配方	钻井液类型	粘度 s	滤失量 ml	切力, Pa		pH	塑性 粘度 mPa·s	动切 力 Pa	HTHP 滤失量 (100℃, 3.5MPa) ml
						10s	10min				
朝阳沟地区	全井段	4%土 + 0.2% KPA + 0.1% HPAM + 0.2% NPAN, KHm 水维护	抑制型聚合物钻井液	32.1	10.0	2	3	8.5	15	3	18

表9 升平和榆树林地区钻井液方案设计

地区	井段	钻井液配方	钻井液类型	粘度 s	滤失量 ml	切力, Pa		pH	塑性 粘度 mPa·s	动切 力 Pa	HTHP 滤失量 (100℃, 3.5MPa) ml
						10s	10min				
升平地区	全井段	4%土 + 0.2% KPA + 0.2% HPAM	抑制型聚合物钻井液	53	9	1.75	5.5	8.5	15	10	15
榆树林地区	全井段	1. 原浆 + 0.1% ~ 0.2%FA - 367 + XY - 27 + 0.5%HUC + 1% FT - 1 + 0.2% SMT 2. 原浆 + 0.1% ~ 0.2%FA - 578 + xy - 38 + 0.5%HUC + 1% FJ - 1 + 0.2% SMT	抑制型复合离子钻井液	35	5.0	1.5	4.0		9.0	8.0	15