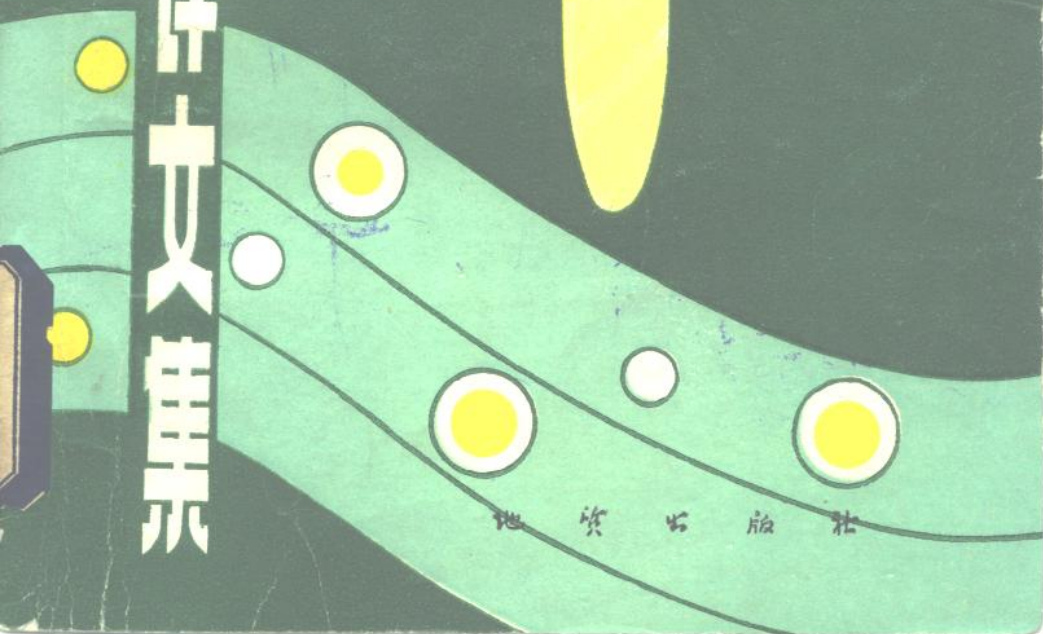


钻井液译文集



地质出版社

8613

钻井液译文集

吴隆杰 等译

杨学涵 等校

地质出版社

钻井液译文集

吴隆杰 等译

杨学涵 等校

*

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑 冯士安

地质出版社出版

(北京西四)

北京市西城区丰盛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $5^{5/16}$ 字数: 139,000
1982年6月北京第一版·1982年6月北京第一次印刷
印数1—2,280册·定价0.85元
统一书号: 15038·新773

前 言

钻井液在钻进工作中的重要作用，由于近代科学技术成果所能提供的条件，已远远超出了“钻井血液”的概念。钻井液选择是否合理，使用方法是否得当，不仅如通常认为的可以防止各种井内事故，减少非生产时间，而且能大幅度的提高机械效率并降低成本。

本译文集收集了美、加、苏、日、印等国近几年来有关钻井液方面的十篇新材料。这些材料系统地反应了国外当前从生产实践及理论研究方面的科学技术水平。从中提出的课题如：粘土物理化学性质及搬土品质评价；如何综合考虑选择钻井液；提高剪切稀释作用的生物聚合物泥浆；防漏失的低比重泡沫充气钻井液；抗高温的地热、深井用海泡石、凹凸棒石泥浆；泥页岩的水敏性抑制问题；以及一种新的流变模式——卡森模式等。这些课题正是我国钻探技术工作者近年来极为关注并在生产实践中进行研究和探索的一些问题。因此，译文集的出版，对我国当前的生产、科研、教学都具有相当的参考价值。

本译文集的内容涉及的面比较广，资料、数据比较丰富，也很具体，可供从事这方面工作的科技人员阅读，也可供院校师生参考。

由于编者水平所限，书中缺点错误，希读者指正。

编者1981.7。

目 录

粘土矿物在油田中的应用	〔印度〕	(1)
钻进用搬土品质的评价方法	〔日〕	(20)
选择钻井液时,应考虑些什么?	〔美〕	(24)
生物聚合物低固相泥浆	〔美〕	(48)
气体介质和充气钻井液	〔苏〕	(73)
热深井钻探使用的海泡石泥浆	〔美〕	(92)
井眼的不稳定性	〔美〕	(105)
水吸附引起的页岩变化	〔美〕	(132)
一种新的流变模式——卡森模式	〔美〕	(146)
地热井用泥浆	〔日〕	 (159)

粘土矿物在油田中的应用

〔印度〕 P·R·辛哈 (Sinha)

一、粘土矿物

在钻井泥浆中通常存在三种类型的粘土矿物：蒙脱石、伊利石、高岭石，同时也包括它们的混合层矿物。这些矿物不仅在地表土壤中常见，而且在地层页岩中也常见。其它粘土矿物如凹凸棒石、蛭石和缘泥石比较少见。

具备粘土矿物水化特性方面的知识对了解钻井泥浆及其同井内页岩，砂质页岩相互作用的各种现象是十分重要。对不同类型粘土矿物曾进行了大量的工作，但我们在这方面的知识仍感到贫乏。上述三种粘土矿物颗粒的片状结构和表面特性影响它们同水的作用。在多数体系中，这些晶片互相平行，相互作用是在间距细小的大表面之间进行。

（一）粘土的水化

在固体粘土矿物水化的第一阶段，水是以连续单分子层的形式吸附在表面上。由于水化作用，蒙脱石就分离成单位晶层，相反，其它两种粘土矿物就分离成由一个单位晶层以上组成的晶层。水化能的产生部分地可能是由于内层阳离子的水化，部分地是由于水分子与硅氧四面体的氧形成氢键。据估计，当晶片聚集在一起，去掉最后几个水分子层所需的净能量可达 $50 \sim 100$ 尔格/厘米²。这一能量十分大，去掉一个单分子水层相应的压力为 $50 \sim 100 / (2.5 \times 10^{-8})$ 达因/厘米²，

或 2000 ~ 4000 公斤/厘米²，（ 2.5×10^{-8} 为一个水分子层的厚度，范奥尔芬 1963 年）。奇林格和奈特在 1960 年指出，压力在 14,000 公斤/厘米²以下时，随压力的增加，粘土矿物的含水量会继续减少，研究了整个压力范围得出，蒙脱石含水量最高，其次是伊利石、高岭石，实验数据如表 1。

含水量% (干量)

表 1

压力(公斤/厘米)	蒙 脱 石	伊 利 石	高 岭 石
270	39	19	13
700	32	15	10
1400	26	13	8.5

因此，即使在少见的 7500 米深的石油井中，一般情况下，每米为 0.23 公斤/厘米²的上部地层压力还达不到足以挤压出粘土矿物颗粒间存在的最外吸附的单分子水层的压力值，在个别情况下对蒙脱石的单位晶层更是这样。相反，在表面水化的第一阶段粘土膨胀力 (Lifting Power) 是巨大的。

当晶片间的距离超过 4 个水分子层，即 10Å 时，晶片双电层的斥力比表面水化力显得更重要。假若在这一阶段允许粘土吸附水，则产生膨胀压力，通常称为渗透压，并可以认为是由于离子包围粘土颗粒引起的。在含水体系中，离子强度越大，渗透压越大。因此，当粘土遇水时，粘土水化也大。当含电介质的水。具有大于粘土内部的渗透压时，粘土的去水化作用将占一定的地位，直到达到平衡为止，或者，有限情况下，直到表面水化能成为主要的为止。实际上这一论点亦适用于溶解在内部或外部的含水体系的非电解质。

很多研究者曾研究过粘土矿物表面上吸水的性质，但是有明显不同的看法；然而比较一致的看法是，吸附呈结构状态时，被吸附的水可能像冰，而不像液态水。随距粘土颗粒表面距离的增大，水分子有秩序的排列逐步降低。对蒙脱石来说，其距离为几个分子厚，其它两种矿物其距离为 2 ~ 3 个分子厚时，有秩序的

排列会消失。

当干粘土与水接触时，它会吸附大量的水，虽然这一过程很慢。蒙脱石吸水比其它两种矿物多。再者，矿物相同时，可交换阳离子明显地影响水的吸附，钙土比钠土吸水少得多。

（二）阳离子交换

阳离子交换在粘土矿物的电化学性质和胶体特性中起着重要的作用。在不同的矿物当中，阳离子交换容量不仅不同，而且在相同矿物中其来源不同，阳离子交换容量也不同。另外虽有例外，可以把交换容量看作是常数，个别情况下它是可逆的。可逆现象是存在的，当粘土矿物又与另一种电解质接触时，阳离子交换会产生，并逐步建立新的平衡。两种阳离子之间的交换同它们的相对键能和在液相、粘土相中的浓度有关。查特吉和马歇尔（1950年）曾经测定过不同粘土的阳离子的键能。很早以前米克赫吉等（1937年）就作过研究，并指出：（i）对于特殊的矿物来说，阳离子的键能随阳离子饱和度而变化；（ii）不同的阳离子的键能遵循着一定的规律，但也存在着无规律的；（iii）粘土矿物不同，键能也不同。米特拉（1942年）的另一个重要观测是，在有盐存在的碱性介质中比只单独有碱性介质中，粘土上的可交换性 H^+ 更容易被离解。

由于粘土的分散，岩屑中碳酸盐及盐的溶解，以及有时水的侵入，使钻井泥浆是一不断变化的体系。平衡受到破坏，结果使得原有的和从岩屑中来的粘土矿物的各种阳离子的饱和性继续变化，其周围的电解质也相应变化。

一般说来，在地层中的粘土所得到的 Na^+ 是一种主要的可交换性阳离子， H^+ 是次要的可交换性阳离子。如前所述，用 $NaOH$ 中和时， H^+ 不完全离解，若加入任何一种盐，可进一步使 H^+ 离解和pH值下降。 Ca^{2+} 比 Na^+ 或 H^+ 具有较强的键能，当 Ca^{2+} 加入泥浆体系中，很快地要被岩屑吸附，因此在钙处理泥浆中补充钙是必要的。同样的现象亦发生在用重晶石增加泥浆比重的加重泥浆中，但是由于重晶石溶解性小，这一过程进行得很慢。

（三）阴离子交换

1942年蒂森用电子显微镜研究了负胶体金只吸附在高岭石晶片的边上，相反，正胶体金吸附在面上，从而证明了高岭石晶片的边角上存在正电荷，面上存在负电荷。但是，不像由负电荷引起的阳离子那样，由正电荷引起的阴离子交换不很明显地观察出。吉恩和鲁宾斯（1947）发现，高岭土吸附磷酸盐，并同砷酸盐交换。1956年辛哈证实了高岭石和其它粘土矿物吸附磷酸盐，但是未发现与硫酸盐或铬酸盐有这样的吸附。高岭石吸附磷酸盐为3~4毫克当量/100克，壤土的吸附量稍高于此值。

二、粘土悬浮液的胶体化学性质

为了配制泥浆，不管粘土矿物组成，可以使用当地适用的任何一种好土。若不行，可在当地土中加入壤土或全部使用壤土。粘土悬浮液的胶体特性可以调整钻井泥浆的很多功用。在原浆中只含一种或不足一种粘土矿物，但是在钻进时，从岩屑中的粘土、碳酸盐，盐类会分散在泥浆中，粘土矿物成分会起变化，电介质的性质和浓度也会改变。显然，这一体系的特性是十分复杂。因此，为了方便起见，讨论只限于同一种矿物悬浮液和一种类型的电解质。

含少量粘土的完全分散的粘土悬浮液属牛顿流体，即在未达到紊流时剪切应力—剪切速率表示为直线关系。当粘土含量增加，悬浮液变成非牛顿流体，并属于具有屈服值、塑性粘度、触变性的宾汉塑性流体。

泥浆体系中存在两种反相的力，一种范德华力—颗粒间的引力；一种是由双电层引起的斥力。假设存在第三种力，即带正电荷的边，角同带负电荷的面之间的引力。这些大小不等的粘土矿物颗粒能面-面（ FF ），边-边（ EE ），边-面（ EF ）联结。联结是受上述三种力支配，胶体的絮凝是由前两种力引起。1963年诺里什和劳舍尔-科洛姆的X-射线衍射研究和1962年范奥尔芬

对搬运颗粒间力的研究证实, EF 联结的存在, 并导致膨润土颗粒平行面与垂直面发生交联。 FF 联结导致粘度降低, 相反 EF 和 EE 联结使得结构形成, 并具有屈服应力和触变性。粘土矿物的性质和浓度, 电解质和其它矿物的存在可确定其实际的排列情况。蒙脱石晶片的面具有强的负电荷, 边具有正电荷, 这种 EF 联结有利于通过 EE 和 EF 联结形成连续的链状结构。高岭石的晶片边、面各自具有弱的正电荷和负电荷, 只有在粘土含量高的情况下, EF 或任何其它联结才能实现。当没有其它电解质存在时, 粘土形成连续结构时的浓度与它所带的电荷, 水化特性和可交换性阳离子有关。表 2 和图 1、2 列出搬运土和其它高岭土的浓度同粘度变化的关系。

浓度对粘土矿物悬浮液流变性的影响

表 2

粘土矿物类型	浓度 (%重量)	屈服值 (达因/厘米 ²)	塑性粘度 (厘泊)
蒙脱土	1	1	1.1
	2	5	1.2
	4	18	3.2
	6	50	4.0
	8	103	4.3
	10	199	5.3
	12	304	7.2
高岭土	2.5	0	1
	5	2.5	2.6
	10	17	5.5
	15	43	6
	20	86	8
	25	180	7
	30	330	7

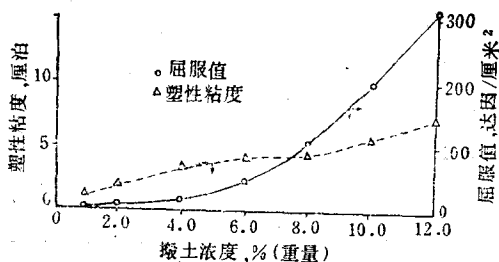


图 1 浓度对膨土悬浮体流变性的影响

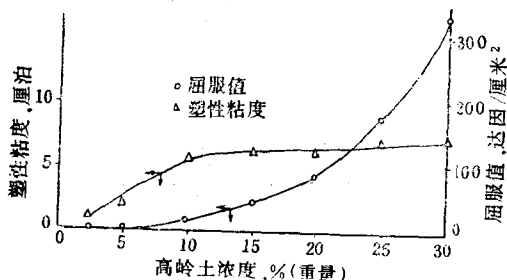


图 2 浓度对高岭土悬浮体流变性的影响

上述两种试样是市售不纯的，就是这样也可以看出，要得到相似的屈服值，高岭土的浓度（加入量）约为 膨土的两倍半。1966 年兰斯顿用两种高岭土试样作试验指出，纯高岭土得到很低的屈服值。这些数据列于表 3

高岭土的流变性能

表 3

高岭土试样类型	浓度 (% 重量)	屈服值(达因/厘米 ²)	塑性粘度(厘泊)
收到的一般样品	5	18.9	3.5
	10	103	6.8
	20	473	20.3
	35	3310	52.5
纯化后的样品	5	0.8	1.0
	10	1.3	1.4
	20	10.4	2.1
	30	50	5.7

巴德里斯壤土的屈服值和粘度

表 4

NaOH 加量, (毫克当量/100克土)	pH	屈服值(达因/厘米)	粘度(厘泊)
0	2.9	3	1.67
15	4.1	5	1.67
30	5.1	16	2.78
45	5.6	20	3.13
60	7.7	4	2.50
90	10.3	0	2.08
120	10.8	3	2.08
150	10.9	30	2.10

值得注意的是,当浓度高屈服值也高时,塑性粘度低。米克尔吉等人(1943年)研究了浓度和pH值对水化壤土的粘度的影响。随pH值的增加,屈服值和塑性粘度增加,在等当点之前经过最大值,然后下降,随碱性更大时,最后又再上升。泥浆的pH值对调整流变性十分重要。pH值对前面的壤土样品的影响如表4和图所示。

泥浆pH值的变化范围很大,从7到11,实际要维持的pH值由下面因素决定;泥浆的稳定性;泥浆同岩石的作用;岩屑的分散等。

触变性是十分复杂的一种现象;改变触变性形成的自由能是这样小,以致于条件的变化

能导致触变性。根据两种条件下屈服值的差值就可测得触变性,即(i)体系保持静止;(ii)搅拌后静止。搅拌时屈服值减小表明某些结构受到破坏。在静止态状下结构又恢复是由于布朗运动使

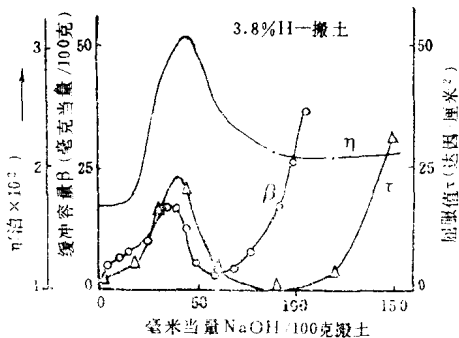


图3 NaOH对壤土悬浮液的屈服值、粘度和缓冲容量的影响

得粘土颗粒处于适当的位置。在各种不同条件下膨润土悬浮液触变性的形成是十分普遍的现象，但对其它两种粘土矿物体系就不是这样。

(一) 盐的影响

搬土悬浮液的含盐量 (NaCl 或 CaCl_2 增加时，可观察到有趣的现象。表 5、图 4 和图 5 列出试验结果。可以看出，随 NaCl 加量增大，屈服值先上升然后下降，在 NaCl 浓度高得多时，又重新

盐对搬土流变性的影响 (8% 搬土, pH7.5)

表 5

盐的类型	加入量 (克/100cc)	屈服值 (达因/厘米 ²)	塑性粘度 (厘泊)
NaCl	0	108	4
	0.25	113	4.5
	0.5	100	5
	0.75	98	4.5
	1.0	93	4.5
	2.0	86	5
	5.0	84	6.5
	10.0	180	7
	15.0	126	7.5
	20.0	144	7.5
CaCl ₂	0	108	4
	0.025	130	5
	0.05	70	4.5
	0.1	48	5
	0.2	36	5
	0.3	32	5
	0.5	31	4.8
	1.0	28	4.2
	1.5	22	4
	2.0	18	4.2

上升；但是随浓度的增加塑性粘度增加缓慢。随 NaCl 加量增大，在两边的双电层（即面和边的）逐步被压缩。因此，面-面，边

-边之间的斥力逐渐减小,颗粒可能靠近,范德华引力增大;随着颗粒间距离减小,范德华引力急剧上升。最初,由于电荷减少,边和面之间的引力减少,但是由于颗粒间距离减小,引力又再次增加。屈服值的变化说明了这一点。

随 CaCl_2 加量的增大,屈服值增大,然后连续不断减小,不再增大,但塑性粘度实际上保持一样。

Ca^{2+} 离子是二价的,

比 Na^+ 离子更有效。换句话说,如 1949 年马歇尔研究高岭石指出,对相同厚度的双电层来说, Ca^{2+} 离子的浓度比 Na^+ 离子低很多。试验数据列入下表 6

表 6

双电层厚度 (Å)	盐的浓度 (微摩尔/升)	
	NaCl	CaCl_2
30	11	1.2
20	20	2.5

加入 CaCl_2 亦发生阳离子交换,最初被 Na^+ 离子饱和的坭土逐步被 Ca^{2+} 离子饱和。1961 年布莱克莫尔和米莱尔根据 X-衍射线研究得出, Ca 坭土呈束状或细长纺垂体 (tactoid), 每个平均大约

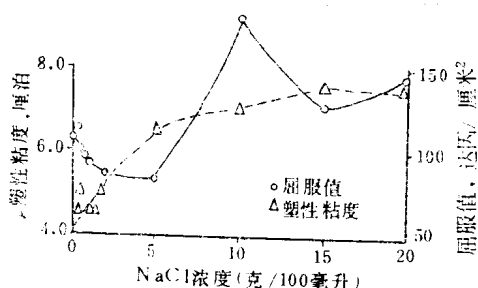


图 4 NaCl 对 8% 坭土悬浮液流变性的影响

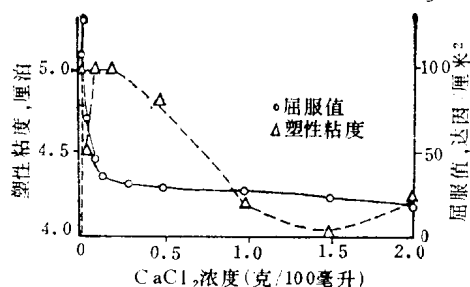


图 5 CaCl_2 对坭土悬浮液流变性的影响

4.5个晶片。经流变性和沉降法研究,1962年范奥尔芬发现,每个束平均为3.8~4.0个晶片。在这种状态下,EF联结减少,导致结构破坏,屈服值降低。这种堆积使体系不稳定得到发展,即 Ca^{2+} 在高浓度下发生絮凝。形成细长纺锤体不只限于Ca体系。艾尔莫尔和奎尔克(1962年)提出的论点是,在一定范围内晶片是在平行方向上定向,在另一范围内晶片是杂乱无章的分布。

这样,用盐处理粘土悬浮液时,有四种因素起作用:(i)阳离子交换,一种阳离子浓度减小,离解出的阳离子浓度增大;(ii)压缩双电层,使得颗粒间斥力减小;(iii)范德华引力增大;(iv)边、面之间的引力发生变化。显而易见,这些因素的相互作用是十分复杂的,不可能完全解释清楚。常用的钻井泥浆中加入普通的盐看得出泥浆流变性发生变化。曾经研究过另外的盐对膨土以及其它粘土的影响。虽然上述简单机理在所有情形下都适用,但对所有现象的完整科学分析还不适用。

当一价和二价的两种盐同时加到体系中时,情况就更为复杂了。1966年谢恩伯尔克和肯珀的电导性研究发现,计算出的 Ca^{2+} 离子对蒙脱石内表面的亲和力是外表面的1.5~3倍,这与在平衡溶解状态下 Ca^{2+} 离子的浓度有关。这样,在 Ca^{2+} 和 Na^+ 两种阳离子体系中,内表面上的 Ca^{2+} 离子比外表面上的多,相反内表面的 Na^+ 离子则比外表面多。这一原则适用于Ca处理或石灰泥浆,在这一体系中 Ca^{2+} 离子有助于形成细长纺锤体, Na^+ 离子有助于维持扩散双电层,换句话说,稳定悬浮液。显而易见, Ca^{2+} 与 Na^+ 的比率可以用来调整这种泥浆体系的流变性能。尽管大量的NaCl加到膨土悬浮液中,粘土晶片的堆积不会导致晶片之间的水分子层消失,因而悬浮液的稳定性也不会完全丧失。事实上,在分散剂和聚电介质的协助作用下,体系能恢复和维持。然而,当膨土粉在盐溶液中分散时,情况变得不同了。渗透水化是相反的,随着表面水化膨土单独分散很少。这样。在适度强的盐溶液中,配制稳定的膨土悬浮液是很困难。因此,为了用海水或盐水配制钻井泥浆,首先应将膨土分散在淡水

中配制泥浆，用分散剂处理，再将盐水或海水加到泥浆中。

为了用盐水配制泥浆，经常使用凹凸棒土。1958年迈克尔斯发现，凹凸棒土是一种分散性最高的粘土，像是一种胶态电解质，它的水化亦很高。这些因素使得双电层的重要性减小。结果，盐对凹凸棒土悬浮液的稳定性影响不大。事实上用饱和盐水也能配制出稳定的凹凸棒土悬浮液。

由颗粒间相互联结形成结构而产生触变性时，增加或减少结构形成的处理会使触变性增大或减小。在粘土矿物的性质和浓度、pH值、盐的性质和浓度、温度发生变化的情况下触变性会发生变化。可以预料，较高浓度的粘土和盐会产生触变性，后者的触变性出现在絮凝之前。

在钻井泥浆中，起钻换钻头时，触变性有助于悬浮岩屑；为了避免起下钻产生压力激动，应避免较高的触变性。压力激动还会引起坍塌和其它危险情况。

（二）分散剂或稀释剂的影响

如前所述，，钻进过程中泥浆是连续变化的，很多情况下这一变化引起粘度增大。为了降低粘度，使用各种分散剂或稀释剂，如六偏磷酸盐、聚磷酸盐、单宁、木素磺酸盐、褐煤等。虽然这些化合物化学上是独立的、没有联系的，但它们都有一共同性质，即有3~4个负电性或阴离子基团。这些负电性基团不仅能中和粘土矿物颗粒边上的正电荷，而且能用本身过剩的负电荷使颗粒边上带负电荷。几个研究者（迈克尔斯1958年；诺里什和劳舍尔—科洛姆1963年）证实了聚磷酸盐的吸附。1964年马歇尔用电子显微镜研究高岭土同负胶体金作用，得到了吸附位置最清晰的证据。最初，用少量聚磷酸盐处理高岭土，然后用负胶体金处理时，胶体金不被高岭土吸附。这确实证明由于吸附聚磷酸盐粘土颗粒的边变成带负电的。

这样，稀释剂的吸附使粘土颗粒的边带负电荷；因而斥力代替了颗粒边-面之间的吸引力，结果粘土颗粒的空间结构图形遭到破坏。因此，主要由空间结构图形引起的屈服值降低。流变性

数据列于表 7、图 6。

这些影响不仅从单一的坭土悬浮液观察到，而且从盐处理过的坭土悬浮液中也观察到（见表）。稀释剂对塑性粘度几乎没有影响，一般说来塑性粘度是分散状态下的固相总体积的函

分散剂对坭土悬浮液流变性的影响

表 7

悬浮液类型	分散剂(茅草类), %	屈服值, 达因/厘米 ²	塑性粘度, 厘泊
4% 坭土悬浮液	0	240	8
	0.05	163	10
	0.1	96	10
	0.15	74	10
	0.2	67	10
	0.3	57	10
7% 坭土悬浮液 + 15% NaCl	0	250	6
	0.05	147	5
	0.1	76	5
	0.2	29	5
	0.3	14	5
	0.5	10	5

数。钻井泥浆受盐、碳酸钙、石膏或其它盐水(井内的)污染时，分散剂有类似影响。为防止 Ca^{2+} 离子成为粘土颗粒上部分的或全部的可交换阳离子，可以加入常用的(钠化合物)稀释剂，以 Na^+ 交换 Ca^{2+} ，使 Ca^{2+} 进入溶液，然后 Ca^{2+} 同分散剂形成络合物，用这种方法可将 Ca^{2+} 从粘土矿物颗粒上除去，亦有助于降低泥浆粘度。

钻井时，得到的岩屑尺寸从几毫米到粘土颗粒大小。较大的岩屑经振动筛和地面设备清除，但较小的岩屑进一步破碎成粘土颗粒，并重复循环。这些粘土颗粒大多是钻进页岩或砂岩的粘土矿物。泥浆的 pH 值较高和有分散剂存在时，容易使粘土分散。钻进浅井或深井的浅井段时，常利用上述现象的优点配制新泥浆或增加泥浆的储备。加入 NaOH 、分散剂和水的用量要能使粘土分