

应用于非开挖中减小扭矩的二糖有机物的室内研究

童红梅¹, 明磊²

(1. 中国地质大学(武汉)江城学院, 湖北 武汉 430200; 2. 中建三局工程总承包公司, 湖北 武汉 430064)

摘要:非开挖工程常会遇到的淤泥质高粘土土层, 施工中往往需要较大的剪切力才可以破坏土体, 因此常常会导致钻杆扭矩过大, 导向和扩孔难以进行, 造成施工困难, 延误工期等后果。针对此类地层, 通过室内试验研究和对分子结构的作用机理的分析, 介绍了一种应用到钻井液中能有效地解决该类地层中的高扭矩问题的常见二糖有机物, 并在实际工程中得到有效应用。

关键词:二糖有机物; 室内实验; 分子结构; 非开挖; 钻井液

中图分类号: P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)04-0061-03

Laboratory Study on Disaccharide Organic Compound Drilling Fluid to Reducing Drill Pipe Torque in Trenchless Engineering/TONG Hong-mei¹, MING Lei² (1. Jiangcheng College, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430200, China; 2. General Construction Company of CCTEB, Wuhan Hubei 430064, China)

Abstract: High viscosity silt soil strata have been often encountered in trenchless engineering. Great shear stress is needed to destroy the soil mass, thereupon many project accidents happened such as too large torque of drill pipe, difficult guided drilling and hole reaming with construction delay. In this paper, by the laboratory experimental study and the analysis on the mechanism molecular structure, a common disaccharide organic compound was introduced, which was applied in drilling fluid to effectively solve the high torque for drilling in viscosity silt soil strata.

Key words: disaccharide organic compound; laboratory experiment; molecular structure; trenchless; drilling fluid

0 引言

在非开挖钻进中常会遇到含水量较高的高粘度淤泥质土层, 此类地层的粘聚力大, 与钻具之间的摩擦系数较大, 常常会导致钻具扭矩过大, 阻碍施工, 甚至施工失败。如非开挖铺管实例——广州花都钻遇的红色粘土、广州佛山三水的白色陶土以及泰国高水位的饱和淤泥质粘土中都发生了扭矩过大, 钻进、扩孔、铺管困难等一系列工程问题。而单纯的从钻具和钻进工艺上改进难以解决扭矩过大的问题, 因此, 着手于降低孔内钻具与地层之间的摩擦阻力是处理此类事故的有效措施。糖类有机物添加剂的润滑抑制作用已在油田中应用卓有成效, 但将该类产品应用于非开挖工程中却鲜有实例, 将该类产品的此种特性应用到特殊非开挖地层中是解决此类工程的思路之一。结合非开挖的施工工艺, 通过针对性的室内试验和理论分析, 并通过实际工程应用验证了糖类添加剂对非开挖钻遇的高粘度淤泥质土层具有减小阻力和降低扭矩的作用。

1 扭矩的力学计算

在粘土层中钻进时, 非开挖的特殊工艺导致了此类工程中最常遇的问题是孔内憋压严重, 钻具与

孔壁的摩擦阻力大, 钻头泥包严重, 最终导致扭矩过大难以进行施工。钻具在孔内旋转时钻头或扩孔头都需要先将土体破坏才可以正常钻进, 而在非开挖钻进中主要是以通过压入破坏和剪切破坏两种力学方式来破坏土体完成钻进的。从各种施工工艺中的力学理论模型可以看出, 钻杆扭矩正比于钻具与土层间的摩擦系数。

1.1 导向钻进时的扭矩

导向钻进钻具在旋转过程中, 钻头主要是克服土体的抗剪强度来破坏土体。根据库仑定律, 一般粘土的抗剪强度 τ 的关系式为 $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$, 粘土的粘聚力越大所需的剪切力越大, 钻机要传递给钻头较大的周向力, 即较高的扭矩值才可破坏切削土体。同样在其他的施工工艺中也需要克服一定的地层应力才可以顺利施工。

1.2 扩孔时的扭矩

1.2.1 挤压式钻头扩孔扭矩

当用挤压式钻头扩孔时, 轴压作用于钻头上, 钻头与土体接触产生环向摩擦力, 轴压一定时, 不同粘聚力土体产生的摩擦力不同; 扭矩为摩擦力与钻头半径的乘积, 则钻头的直径和钻头的锥度也影响到扩孔扭矩值; 此外, 扩孔级配相差越大, 须破坏的土

收稿日期: 2011-01-09

作者简介: 童红梅(1984-), 女(汉族), 湖北武汉人, 中国地质大学(武汉)江城学院, 地质工程专业, 硕士, 从事勘察工程的教学和研究工作, 湖北省武汉市, thm0207@163.com。

体环越厚,所需的扭矩值也越大。根据所建立的力学模型得到挤压式扩孔钻头扭矩计算公式为:

$$M = \int_0^l fP_i(l-x) \sin\alpha \tan\alpha dx = \frac{P_i f R^2 \cos\alpha}{8}$$

式中: P ——轴向压力,kN; f ——摩擦系数; R ——钻头直径,mm; l ——管道长度,m。

1.2.2 切削式钻头扩孔扭矩

切削式钻头在切削土体时,主要是依靠钻杆与钻头体的扭矩作用进行土体切削。根据扩孔现场的实际情况,建立切削式钻头破坏土体的力学模型所得公式为:

$$M = \int_{\text{rcota}}^{\text{Rcot}\alpha} \frac{2fP \sin\alpha \tan^3 \alpha}{R^2 - r^2} x^2 dx = \frac{2fP(R^3 - r^3) \sin\alpha}{3(R^2 - r^2)}$$

式中: P ——轴向压力,kN; f ——摩擦系数; R ——钻头直径,mm; r ——上一级扩孔直径,mm; l ——管道长度,m。

1.2.3 铺管阻力

铺设管道时,在回拖过程中管道会受到不同介质施加的阻力。钻孔内的泥浆以及管道自身的重力作用会对孔壁产生压力从而在回拖力的作用下产生摩擦阻力;再则由于钻孔的轨迹都存在一定的弯曲,管道在通过孔道时产生弯曲,受到由弯曲产生的阻力。由这两项阻力最后组成了管道回拖的总阻力。

重力作用下的回拖阻力为:

$$F' = n f F = \frac{n \pi g l f}{4} [d^2 \rho_1 - (d - \delta) \delta \rho_2]$$

弯曲引起的回拖阻力为:

$$F'' = n f N = n f P = \frac{8 n f E I}{\rho \theta \text{ctg} \theta (\rho + D - d)}$$

则总的回拖阻力即为: $F = F' + F''$

式中: P ——轴向压力,kN; f ——摩擦系数; ρ_1 ——泥浆的密度, kg/m^3 ; ρ_2 ——管材的密度, kg/m^3 ; δ ——管道壁厚,m; θ ——孔径的弯曲角,rad; ρ ——孔径的弯曲半径,m; n ——所铺设的管道数; g ——重力加速度,取9.8; l ——管道长度,m; E ——管道的弹性模量,MPa; I ——管道的极惯性矩, m^4 ; D ——孔径,m; d ——管道外径,m。

2 蔗糖在钻井液中的作用机理^[1-3]

蔗糖 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 是葡萄糖和果糖按 a-1,2' 键结合的非还原性的双糖,它是一种非离子表面活性剂。其结构特点及内在独特的化学性质如下:

(1) 8 个羟基,3 个伯羟基,位于碳原子 C6、C1' 和 C6' 上,其余 5 个为仲羟基,在碳原子 C2、C3、C4、C3'、C4' 上,均为亲水基。各羟基的化学反应活性顺序为 $\text{C}\equiv\text{C6}' > \text{C4} > \text{C1}' >$ 其他种羟基。由 2 个单糖

组成,其中葡萄糖属 α -构型,组分限于正常氧六环型(吡喃环);果糖属 β -构型,组分限于异状氧五环型(呋喃环)。

(2) 分子极不稳定,在一定条件下极易发生各种化学反应,易受酸或酶水解,其分解速度可由 pH 值和温度来决定。可通过普通的有机化学手段,产生一系列的降解和合成反应,包括转化、氧化、氢化、酸降解、碱降解、酯化、醚化、卤化、缩合、异构化。具有醇的某些典型反应。

(3) 羟基的反应活性,受其所在结构空间位置、反应物性质及反应条件所制约。羟基转为水分子的反应力较小,在水中产生各种衍生物较困难,仅能限于有机溶剂中进行。

(4) Long 曾提出蔗糖在液态时,唯一可为糖厂自身生产用作某些机械如旋转泵和搅拌装置的滑润剂。

(5) 溶于泥浆中通过结构中的羟基与粘土表面的羟基形成氢键而吸附在粘土表面,形成扩散双电层,提高粘土颗粒表面的负电性并增加水化层厚度,将粘土颗粒形成的结构拆散,使自由水从网络包裹中释放出来,增大浆体流动性,可提高钻井液的固相容量,起降低粘度和切力的作用。

(6) 能优先吸附在粘土矿物表面,层层覆盖在粘土矿物表面的分子之间形成紧密结构,能够有效避免或减少粘土矿物的水化膨胀和分散,使其具有抑制性。

3 钻井液室内试验性能评价

为了确定不同体系和不同主剂含量下的钻井液性能,分别进行了流变性、润滑性、膨胀量、粒度分析试验。试验用的材料均来自工作实验室,蔗糖取自常用的食用糖。基浆为预水化 24 h 后的含 6% 膨润土的浆液。

3.1 流变性评价

样品的组成及基本性能参数见表 1,由表 1 可以看出,加入蔗糖后都可以改变浆液的流变性能、稠度、极限高剪粘度,降低失水。但是对预水化膨润土浆和加有添加剂的浆液,所起作用效果是不同的。对预水化膨润土浆其可作为降粘剂,减小流动阻力,加快钻速,改善剪切稀释性;而在 CMC 体系中,加入蔗糖对粘度的影响不大,降低了动/静切力。并且对不同的体系,性能出现峰值的加量是不一样的,在有机添加剂体系中其作用效果更明显,加量峰值更靠后。

3.2 润滑性评价

试验研究考察了蔗糖钻井液体系的润滑性能,采用 EP-2 极压润滑仪测试浆液的润滑系数进行

表 1 样品的组成及基本性能

样品编号	样品组成	AV/(mPa·s)	PV/(mPa·s)	YP/Pa	Ø6/Ø3	τ''/τ'	n	k/(Pa·s ⁿ)	η /(mPa·s)	FL/mL
1	基浆	15.5	10	5.6	5/4.5	2.1/2.6	0.56	0.47	5.90	28
2	基浆+5%白糖	11.5	6	5.6	6/5.4	2.1/3.2	0.43	0.77	2.76	26
3	基浆+10%白糖	11.75	6.5	5.4	6/5.5	3.2/3.6	0.47	0.65	3.35	26
4	基浆+2% CMC-LV	18	12	6.1	4/3.5	1.8/2.8	0.58	0.48	8.19	12
5	基浆+2% CMC-LV+5%白糖	18.75	14.5	4.3	2.5/2	1.2/2.4	0.71	0.24	11.25	11
6	基浆+2% CMC-LV+10%白糖	19	15	4.1	2.5/2	1.2/1.5	0.72	0.21	11.58	10

润滑性能评价,测量结果见表 2。试验结果表明,蔗糖具有良好的润滑性能,并且润滑系数降低的幅度随着其加量的增加而增加。

表 2 样品的润滑性能

样品编号	润滑系数	润滑系数降低率/%
1	0.377	
2	0.347	7.96
3	0.317	15.92
4	0.475	
5	0.369	22.3
6	0.322	32.2

注:2,3 号样品与 1 号对比,5,6 号样品与 4 号对比。

3.3 膨胀性评价

常温条件下在实验室进行了各浆液的膨胀性试验,土样采用实验室提供的膨润土烘干后自然堆置于仪器容器内。实验结果见图 1,从图 1 易见,加入蔗糖后浆液具有有效的抑制性。尤其是在基浆中,其抑制效果尤为显著。

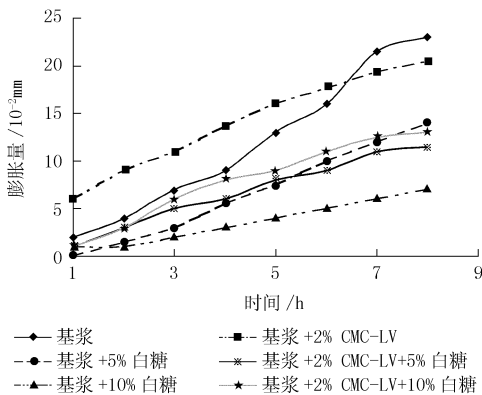


图 1 样品膨胀性试验图

3.4 粒度分散性

实验采用的是 Rise-2006 型激光粒度分析仪,测试的主要数据列于表 3。从测量数据发现加入蔗糖后浆液中粒度更加分散,颗粒分布范围更大,比表面积增大。说明蔗糖具有分散浆液中膨润土颗粒的作用。这是由于膨润土的阳离子交换容量增大的原因。粘土颗粒保持较小的粒度并有合理的粒度分布还可降低滤失量^[4]。

基浆粒度分析显示,颗粒分布比较集中,主要

表 3 样品粒度分析数据

项目	分布范围	D ₁₀ /μm	D ₅₀ /μm	D ₉₀ /μm	D _{av} /μm	S/V (m ² /cm ³)
1	5.356 ~ 999.930	25.663	506.713	715.743	426.562	0.017
2	1.986 ~ 95.909	8.955	20.058	34.805	21.335	0.337
3	2.174 ~ 104.959	10.074	21.793	38.105	23.358	0.308
4	0.469 ~ 42.603	1.384	3.586	12.068	5.358	1.344
5	0.562 ~ 73.179	2.064	7.773	19.751	9.757	0.738
6	0.615 ~ 66.869	2.069	8.563	20.635	10.282	0.700

在微粒与粗粒区,中间 125.70 ~ 309.68 μm 粒度区存在空缺。

4 实际应用

上海某 Ø200 mm PE 通信管道铺设工程,拟铺设管道地层主要为黑色胶粘土,全长 230 m。在导向钻进时,钻机表盘显示扭矩过大,进尺困难。泵注常规泥浆,问题没有太大的改善,几乎没有降低钻杆扭矩。回抽钻杆,卸除钻头,空钻钻杆时,扭矩仍然很大。从取出的黑色胶粘土的性状看其粘聚力很大,含水量很高,会造成较大的摩阻,孔内浆液放排较慢,孔内憋压。现场试验表明,黑色胶粘土含水量趋于饱和,不会吸水膨胀。因此可以断定高扭矩主要是由钻具与孔壁接触段的摩擦产生的,而非缩径抱杆造成。在现场基浆内以 1 m³ 加入 0.3 kg 的二糖添加剂,充分搅拌后泵注到钻孔内,再次启动钻机。通过观察仪表发现开始转动钻具时,扭矩仍然偏大,孔口返浆后扭矩值有了明显的降低,钻杆顺利向前钻进。在后续的扩孔中同一级配的钻头反复进行扩孔操作时,亦出现了扭矩偏大的问题,采取相同泥浆处理措施后,扩孔得以顺利完成。为防止再次出现扭矩过大的问题,在后续的扩孔和铺管中继续使用该体系钻井液,避免了问题的再次出现,顺利完成了施工。

参考文献:

- [1] 谭东. 蔗糖的化工利用[J]. 广西化工,1993,(3).
- [2] L. Long. Sugar and Sugar By-Product in the Plastics Industry Rept NO. 1[Z]. New York: Sugar Research Foundation Inc,1945.
- [3] 陈树功. 蔗糖工业化学[M]. 广东广州:华南理工大学科学丛书,1994.
- [4] 赵福麟. 油田化学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2007.