

长距离管道顶管下无粘土浆液研究

隆威,傅斌,纪鹏,黄长溪

(中南大学地球科学与信息物理学院,湖南长沙410083)

摘要:在长距离管道顶管施工过程中,尤其是碰见复杂地层如砂卵石层的情况下,为解决在顶管施工中极易造成地层垮塌埋管、顶管阻力急剧增加导致顶管失败的难题,开展了以植物胶和聚合物为主要原料的无粘土浆液的润滑减阻护壁性能研究,最后采用正交实验得到一种适用于长距离管道顶管工程的无粘土浆液的最优配方。

关键词:润滑减阻;长距离管道;顶管施工;植物胶;聚合物;无粘土浆液

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)05-0068-03

Study on Clay-free Slurry Used for Long-distance Pipeline Jacking/LONG Wei, FU Bin, JI Peng, HUANG Chang-xi
(School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: In the process of long-distance pipeline jacking, especially while encountering complex stratum such as sand and gravel layer, aimed at the problems of strata collapse or jacking failure caused by excessive increase of pipe jacking resistance, a study on the clay-free slurry's lubricating and resistance-reducing wall-protecting properties has been carried out with plant gum and polymer as its main materials. Finally, an optimum formula of clay-free slurry is obtained for long-distance pipeline jacking engineering by orthogonal experiment.

Key words: lubricating and resistance-reducing; long-distance pipeline; pipe jacking; plant gum; polymer; clay-free slurry

在长距离管道顶管施工过程中,尤其是碰见复杂地层如砂卵石层时,由于浆液长距离输送压力损失大,且砂卵石层大多处于饱和状态,地层极不稳定,顶管施工时极易造成地层垮塌埋管,顶管阻力急剧增加导致顶管失败,这样的结果将对工程造成极大的影响。

本试验就是研究一种无粘土浆液配方,以达到最好的润滑减阻护壁效果。通过理论分析和试验研究确定了无粘土浆液的组分,并通过正交试验,分析得出无粘土浆液组分的相互影响关系,配制出适合顶管用的无粘土浆液,从而为解决长距离顶管尤其是砂卵石层施工难题提供了成功的可能性。

1 无粘土浆液润滑减阻护壁性能的理论研究

1.1 无粘土浆液长距离输送紊流减阻性能

由动量交换等理论可知^[1~3],紊流总摩擦力等于粘性摩擦力与附加切应力之和。浆液中的聚合物分子链和分子线团减少了微小漩涡的数量,抑制了小漩涡的扩展,使边界层中的涡流得到控制,减少了边界层内和边界层外的脉冲速度(横向脉冲速度),从而减少了紊流附加切应力,也就是减小了摩阻损失。另外,聚合物分子还可以用其他方式消散漩涡。

聚合物分子和分子线团吸收的能量,一部分通过粘性耗散消耗掉,另一部分传给了边壁,还有一部分将横向脉动的能量转变为纵向脉动的能量。

试验证明^[4],高分子聚丙烯酰胺、植物胶等都具有良好的紊流减阻性能,而且分子量越大,减阻率越高。根据相关试验数据,减阻只能在紊流条件下降低摩阻,一旦流体进入层流状态就不会减阻,并有可能增加摩阻。

1.2 无粘土浆液润滑减阻性能

植物胶浆液通过复合方式加入合成高分子聚合物后,由于高分子聚合物独特流变特性的影响,使植物胶流型流态发生很大改变,润滑减阻作用大大增强。水利电力部成都勘测设计院1985年所做《植物胶冲洗液研究报告》(水利水电攻关成果,标号15-12)表明,2%的纯植物胶冲洗液的润滑系数为0.245,降低水的润滑系数为27.94%,这样的润滑效果是相当显著的。将这样的润滑效果应用到顶管工程,将大大的减小顶管过程产生的摩擦阻力。

1.3 无粘土浆液润滑护壁性能^[5]

1.3.1 植物胶胶粒堵塞与胶膜隔水

植物胶分子经过适度的链接后,胶粒直径增大,在一定的压差作用下,浆液失水。同时,胶粒逐步充

收稿日期:2011-12-08;修回日期:2012-03-29

作者简介:隆威(1962-),男(汉族),重庆丰都人,中南大学地球科学与信息物理学院副院长、教授,探矿工程专业,从事探矿工程专业教学、科研、设计及施工管理工作,湖南省长沙市;傅斌(1986-),男(汉族),江西抚州人,中南大学地球科学与信息物理学院硕士,地质工程专业,从事岩土及地质方面的研究工作,湖南省长沙市中南大学本部桃A635, fubin5@163.com。

填堵塞井壁孔隙,增大渗失阻力。此外,链接反应生成的网状结构,在压差作用下迅速在孔壁表面形成一层结构网胶膜,不同粒度的胶粒紧密的充填于结构网孔隙中,使得胶膜更加致密,增强其隔水性,提高了胶膜(相当于浆液的泥皮)的渗水阻力,具有降失水功能。

1.3.2 减少自由水含量

由于植物胶分子富含亲水基,因此在分子链上吸附了大量的自由水分子,从而减少了浆液的自由水含量,根据 PyT 公式:

$$B = \sqrt{2F^2 c p t / (\gamma s \delta)} \quad (1)$$

式中: B ——失水量; F ——过滤面积; p ——压差; c ——自由水含量; t ——失水时间; γ ——悬浮液粘度; γ ——悬浮液重度; s ——干沉积层浓度; δ ——沉积层阻力。

由式(1)可知,当过滤面积 F 、压力差 p 、失水时间 t 、干沉积层浓度 s 以及沉积层阻力 δ 等 5 个试验条件保持不变,不同分子溶液在相同重度 γ 的情况下,当自由水含量 c 变小时,浆液的失水量也相应降低。

1.3.3 提高孔壁稳定性

植物胶分子在岩土表面上发生多点吸附,横向封闭岩土的微裂缝,在岩土表面上形成一层隔水性较好而且薄而韧的高分子聚合物胶膜,能保持岩土的胶结强度,使其不分散掉块,阻止浆液失水。因为植物胶分子与岩土表面吸附牢靠,不易被浆液循环所破坏,所以极大的减少动失水量,防止孔壁岩土水化膨胀,从而提高孔壁的稳定性。

2 原料及配合比设计

根据上面分析,本试验采用的无粘土浆液属于假塑性流体^[6,7],它的主要配制原料为天然植物胶和聚合物植物。

2.1 无粘土浆液原材料的选取

试验采用的原材料选用 SH 型植物胶和 PAM-3 型聚丙烯酰胺,其分子量为 900~1200 万。

2.2 PAM-3 掺量对无粘土浆液润滑减阻护壁性能影响

PAM-3 掺量对无粘土浆液流变性能、失水和造壁性、润滑性的影响见表 1。

表 1 植物胶 + PAM-3 浆液性能参数

基浆配方			流变性能							失水和造壁性		润滑性
SH 胶 /%	NaOH /%	PAM-3 含量 /%	漏斗粘度 /s	塑性粘度 / (mPa·s)	动切力 /mPa	表观粘度 / (mPa·s)	流性指数	稠度指数	失水量 /mL	泥皮厚度 /mm	(粘附系数)	
3	3	0	51	10	5	12.5	0.737	0.77	10.2	0.20	无法测得,粘附接近 0	
3	3	0.3	82	12	18	21.0	0.485	7.30	8.5	0.15	无法测得,粘附接近 0	
3	3	0.6	183	19	27	32.5	0.499	10.30	7.5	0.20	无法测得,粘附接近 0	
3	3	0.9	>600	22	37	40.5	0.457	17.20	6.4	0.25	无法测得,粘附接近 0	

注: NaOH 用来调节浆液的 pH 值(下同),只要使浆液的 pH 值为 8~10 即可。

由表 1 可以看出:

(1) 浆液中加入 PAM-3,随着加量的增加浆液的漏斗粘度、塑性粘度、动切力、表观粘度、稠度指数都呈指数增大趋势;浆液中加入 PAM-3 后原浆液的流性指数顿时变小,但随着加量的增加,流性指数的变化不大。因此,PAM-3 对浆液增粘以及其他流变性能改良效果比较明显。

(2) PAM-3 可以有效的降低浆液的失水量,随着加量的增加,失水量的变化越来越小;而它对泥皮厚度的影响很小。

(3) 植物胶本来就具有良好的润滑性,加入 PAM-3 除提高浆液的其他性能,也可相应提高浆液的润滑性。

综合上述,PAM-3 掺量对无粘土浆液流变性能、失水和造壁性能和润滑性能的试验分析知:PAM-3 对浆液具有增粘、降低浆液失水量和提高浆液

润滑性的综合效果。

2.3 无粘土浆液配合比设计

根据顶管工程施工特点和技术要求,试验从浆液润滑性、紊流减阻性、护壁性等性能研究出发,分别采用不同掺量的植物胶、聚丙烯酰胺进行正交试验,对浆液各组分的最优掺量进行研究,最终通过多组试验得出无粘土浆液的优化配方,测试其各项性能指标,配制出能够满足实际工程要求的无粘土浆液。

通过综合分析得出无粘土浆液中植物胶 SH(A)和聚丙烯酰胺 PAM-3(B)的最佳掺量,现设定 A 的水平值为 1%、2%、3%;B 的水平值为 0.3%、0.6%、0.9%。选择 $L_9(3^2)$ 正交表,进行正交试验,得出浆液优化配比的参考掺量(表 2)。

根据极差分析,失水量最佳组合是 A_3B_3 ,泥皮厚度最佳组合是随意组合,粘附系数最佳组合是随意组合,流动度最佳组合是 B_1A_1 ,漏斗粘度最佳组

表2 浆液性能指标的结果和因素分析

序号	A (SH)	B (PAM-3)	失水量 /mL	泥皮 厚度 /mm	粘附系数	流动度	漏斗 粘度 /s
1	1	1	11.0	0.2	无法测得	230	39
2	1	2	9.8	0.2	无法测得	210	85
3	1	3	8.0	0.2	无法测得	185	320
4	2	1	8.2	0.2	无法测得	195	60
5	2	2	7.5	0.2	无法测得	175	139
6	2	3	7.2	0.2	无法测得	165	560
7	3	1	9.2	0.2	无法测得	200	82
8	3	2	6.4	0.2	无法测得	170	183
9	3	3	6.0	0.2	无法测得	140	>600
失水量极差分析							
	K ₁	9.60	9.13	组分 A 影响最大, 掺量越大越好; 组分 B 影响较大, 掺量取大值合适; 最佳组合: A ₃ B ₃			
	K ₂	7.87	8.47				
	K ₃	7.20	7.07				
	R	2.40	2.07				
泥皮厚度极差分析							
	K ₁	0.20	0.20	组分 A 和组分 B 对泥皮厚度几乎没有影响; 最佳组合: 随意组合			
	K ₂	0.20	0.20				
	K ₃	0.20	0.20				
	R	0.00	0.00				
粘附系数极差分析							
	K ₁	0.00	0.00	组分 A 和组分 B 对粘附系数几乎没有影响; 最佳组合: 随意组合			
	K ₂	0.00	0.00				
	K ₃	0.00	0.00				
	R	0.00	0.00				
流动度极差分析							
	K ₁	208.33	208.33	组分 A 影响较大, 掺量取小值合适; 组分 B 影响最大, 掺量越小越好; 最佳组合: B ₁ A ₁			
	K ₂	178.33	185.00				
	K ₃	170.00	163.33				
	R	38.33	45.00				
漏斗粘度极差分析							
	K ₁	148.00	60.33	组分 A 影响较大, 掺量取小值合适; 组分 B 影响最大, 掺量越小越好; 最佳组合: B ₁ A ₁			
	K ₂	253.00	135.67				
	K ₃	288.33	493.33				
	R	140.33	433.00				

合是 B₁A₁, 综合考滤失水量和漏斗粘度, 确定所研究浆液各组分参考掺量推荐值为: 植物胶为 A₂ (2%), PAM-3 为 B₂ (0.6%)。

最优化配方为: 2% SH 植物胶 + 3% NaOH + 0.6% PAM-3。其各项性能: 漏斗粘度 139 s; 失水

(上接第 67 页)

实际情况, 选定送桩设备, 制定具体施工方案, 按既定的施工次序进行施工, 以免对周边环境产生破坏。市区施工大多选定静压送桩, 该方法施工过程中振动及噪声小, 对周边生活环境污染小。

(5) 静压送桩是均匀的加载, 无冲击和反射应力波, 应力小且易控制, 可安全、准确地将桩送至设计位置, 保证了桩身质量。故此静压送桩的桩基础, 桩身完整性检测出的缺陷很少, 一般为轻微缺陷 (出现在接桩的焊接部位)。

(6) 在廊坊市区选用 PHC (400、500 型) 管桩基础, 采用静压法送桩是可行的, 对周边环境污染小,

量 7.5 mL; 泥皮厚度 0.2 mm; 流动度 175 mm; 粘附系数 n 无法测得, 接近为 0。

3 结论

本文从满足实际工程需要出发, 从润滑减阻护壁性能方面进行了理论分析, 重点通过室内试验对无粘土浆液进行了试验性研究及性能评价, 确定了长距离管道顶管用浆液的最优配方。

本文的主要成果如下:

(1) 无粘土浆液具有良好的紊流减阻、润滑减阻和护壁的特性, 这些特性为复杂地层顶管工作的顺利进行提供了有力的保障;

(2) PAM-3 对浆液具有增粘、降低浆液失水量和提高浆液润滑性的综合效果;

(3) 通过室内试验分析确定了无粘土浆液的最优配方, 它的最优配方为: 2% SH 植物胶 + 3% NaOH + 0.6% PAM-3;

(4) 浆液配方及性能是在室内试验基础上得出的, 在现场应用时, 应根据不同环境和条件予以修正。

参考文献:

- [1] 周亨达. 工程流体力学[M]. 北京: 北京钢铁学院出版社, 1980.
- [2] G. W. 戈威尔, K. 阿济兹, 权中舆, 等. 复杂混合物在管道中的流动(上册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.
- [3] 郑洽徐, 鲁钟琪, 等. 流体力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.
- [4] Anagnostou, G., Kovari, K. Face stability in slurry and EPB shield tunneling[J]. Tunnels and Tunneling, 1996, 28(12): 27-29.
- [5] 孙涛. 新型植物胶冲洗液的开发与应用[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2004.
- [6] 牛文林, 陈礼仪. 植物胶无粘土浆液的流变性研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(1): 44-46.
- [7] 魏纲, 徐日庆, 等. 顶管施工中注浆减摩作用机理的研究[J]. 岩土力学, 2004, (6): 930-931.

其施工质量能得到有效控制, 已为一些案例证实, 因此 PHC 管桩基础也不失为市区地基处理的一种新的可行的基础处理方案。

参考文献:

- [1] GB 13476-2009, 先张法预应力混凝土管桩[S].
- [2] 周红军. CFG 桩复合地基在河北廊坊地区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 55-57.
- [3] 王德强, 王行军, 宫进忠. 廊坊市规划区饱和砂土液化的危害及防治措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(4): 62-64.
- [4] DGJ 32/TJ 109-2010, 预应力混凝土管桩基础技术规程[S].
- [5] GB 50202-2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [6] JGJ 106-2003, 建筑基桩检测技术规范[S].
- [7] JGJ 94-2008, 建筑桩基技术规范[S].