

对非开挖钻孔缩径抱管问题的分析探讨

李晓芬, 乌效鸣, 王 海, 向天昌

(中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:水平定向钻进非开挖铺管的回拖阻力异常增大往往是钻孔缩径抱管所造成。分析了影响缩径抱管应力的因素;主要是孔内泥浆压力与地应力之差、土层的弹性模量、蠕变性、时间和泥浆失水量;籍此建立了“零失水”状况下计算抱管应力的经验公式,并对泥浆失水造成的影响做了探讨;从综合控制孔内泥浆压力、采用强降失水泥浆体系、紧凑施工作业时间、提高泥浆的润滑性等方面提出了降低抱管阻力的措施。

关键词:非开挖;钻孔;地应力;缩径;抱管;降失水泥浆;润滑性

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)02-0063-03

Analysis and Discussion on Pipe-holding by Diameter-reducing in Trenchless Borehole/LI Xiao-fen, WU Xiao-ming, WANG Hai, XIANG Tian-chang (China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The paper analyzed the factors affecting stress of pipe-holding by diameter-reducing. They were mainly the difference between pressure of in-hole drilling mud and geostress, elastic modulus of soil layer, creepage, time and slurry filtrating amount. Experience formula was established to calculate the pipe-holding stress under ‘zero filtrate’, and countermeasures were put forward to reduce the pipe-holding resistance.

Key words: trenchless; borehole; geostress; diameter-reducing; pipe-holding; filtrate-reducing slurry; lubricity

1 问题的提出

定向钻进非开挖铺管(尤其是长距离时)经常会遇到回拖管道阻力异常增大的情况,往往造成地面设备能力不够或拉坏地下管道或钻具。其中重要原因之一就是钻孔缩径导致抱管应力大幅度增加。所以,深入分析探讨影响钻孔缩径的因素,得到抱管应力的计算方法,为非开挖工程提供相应设计依据,为其施工操作提供有关控制措施,从而尽可能降低因缩径抱管而导致的回拖阻力,是非常需要的。

钻孔缩径抱管主要产生于 2 方面的原因:一是孔内泥浆压力不足以抗衡地层对钻孔孔壁的压力而形成土体向孔内的挤缩;二是泥浆的“失水”导致近孔壁地层的“软化”。两者之间有着相互关联,表现为后者进一步加大了前者的挤缩程度。

结合非开挖工程所处的环境特点,对钻孔缩径抱管问题,在理论分析时先做如下假设和限定:(1)钻孔地层为粘土或粘土和砂砾混合的连续体;(2)孔壁可表现为多孔渗透介质;(3)孔管深度处的地应力近似视为各向相同;(4)为能把问题讨论清楚,先暂不计失水,即在“零失水”的条件下探讨缩径抱管影响因素,然后再补充分析失水的影响。

2 “零失水”时的缩径抱管应力

取钻孔横截面的地层剖面如图 1 所示。水平定向钻进铺管的末级扩孔孔径略大于所铺管道的直径,在孔壁与管道之间形成暂时的偏心环状间隙。若孔内泥浆压力 P_w 小于孔深处的地应力 σ_0 , 孔壁有可能在较短的时间内蠕变缩挤到管道上,并随时间 t 的增加而不断增加抱管应力 σ 。水平回拖管道时的主要阻力之一是由抱管应力、抱管面积与管壁/地层之间的摩擦系数相乘而形成的摩擦力。抱管应力作为函数,其值的大小取决于地应力与孔内泥浆压力之差、时间、地层的软/硬程度和蠕变性。

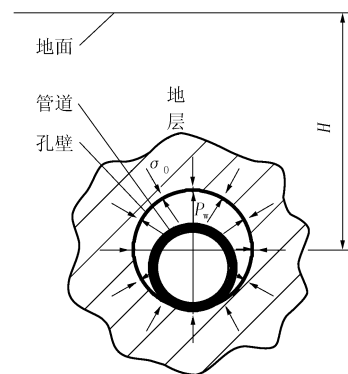


图 1 钻孔缩径受力示意图

收稿日期:2007-10-10

作者简介:李晓芬(1982-),女(汉族),湖北北京山人,中国地质大学(武汉)硕士在读,钻井工程专业,研究方向为钻井液技术,湖北省武汉市中国地质大学硕 1200532 班,lytk@163.com。

地应力与孔内泥浆压力之间的差值将明显影响缩径抱管应力的大小。差值越大,泥浆欠平衡越严重,缩径抱管程度就越厉害。

地层的软/硬程度可以用弹性模量 E 来表达,它是对一定应力下应变大小的衡量。一般,土层越硬其弹性模量越大,引起的钻孔缩径量越小;反之,土层越软钻孔缩径量就越大。

抱管应力的增加速度,很大程度取决于地层的蠕变性。蠕变性可以通过蠕变指数 τ 来反映。 τ 越大,缩径抱管速度就越快。从内因上讲,地层蠕变快慢主要取决于土质材料的基质应力传播速度、空隙性和微粒的排列方式。

用解析方法理论求解抱管应力需要运用粘弹性力学建模(这里暂略)。在此,根据以上分析和相关的工程经验数据建立近似计算抱管应力的公式如下:

$$\sigma = [(\sigma_0 - P_w) / e^{0.005E}] [1 - (1/e^{\tau t})] \quad (1)$$

式中: σ_0 ——地应力,可以采用 $\sigma = \gamma H$ 计算得到,MPa; γ ——上覆土体的平均重度, kN/m^3 ; H ——地面到钻孔中心轴的垂直深度, m ; t ——时间, h , 起始点为缩径刚达到管壁; P_w ——孔内泥浆压力, MPa; E ——地层弹性模量, MPa; τ ——蠕变指数(无量纲)。

用典型工程数据进行试算,其结果有代表性地示于图2。可以看出所得出的抱管应力的变化规律符合上述对多影响因素的分析。

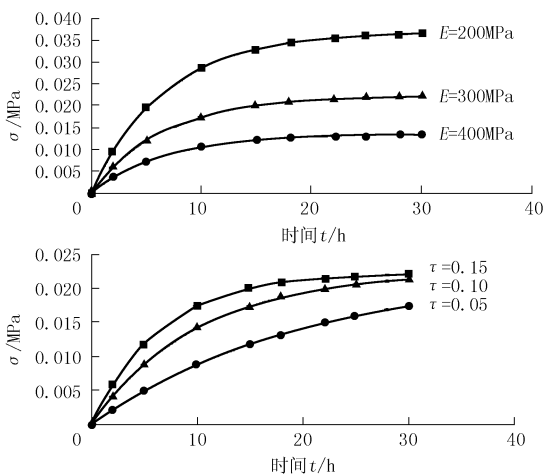


图2 不同 E 、 τ 条件下 σ 随时间 t 变化曲线

3 泥浆失水对缩径的影响

如果孔内泥浆压力大于地层流体压力(超平衡),孔内泥浆尤其是其中的自由水就可能通过孔壁向地层中渗漏扩散。水份侵入地层,稀释了土颗

粒之间的粘结物,削弱了粘结力,软化了地层,使土的弹性模量降低,导致缩径量增加。特别对于富含膨润土的水敏性地层,失水还会进一步造成土层的渗透水化、吸水膨胀,使钻孔内鼓缩径程度更加加剧。失水量越大,钻孔周围地层受影响的区域就越广,软化、蠕变、缩挤钻孔的程度就越高。因此,尽量降低泥浆失水量 V_f 是减少钻孔缩径抱管应力的关键技术要点之一。

应用达西渗透定律,结合钻孔实际环境,推导出的泥浆失水量的计算公式^[1]如下:

$$V_f = A \sqrt{2K[(C_c/C_m) - 1] \Delta P t / \mu} \quad (2)$$

式中: K ——孔壁的渗透率, m^2 ; A ——渗滤面积, m^2 ; ΔP ——压差, $\Delta P = \sigma_0 - P_w$, Pa; μ ——滤液粘度, Pa·s; t ——渗滤时间, h ; C_c ——泥皮中固体颗粒的体积百分数; C_m ——泥浆中固体颗粒的体积百分数。

值得重点提出的是泥皮中固体颗粒的体积百分数 C_c ,它是决定泥浆降失水质量的内在基因。通过对造浆材料的科学配方,形成孔壁上致密的低固相颗粒含量的防渗隔膜即优质泥皮,则体现为较低的 C_c 值,可以显著降低失水量。

从公式(2)并结合钻井液的工程实际进行分析,还可以看出,要降低泥浆失水量还应该提高泥浆滤液的粘度,减小孔内与地层孔隙间的液压差,缩短钻孔铺管时间。

有了向地层渗滤的失水量,就能在已知地层孔隙度的前提下计算出受失水软化地层的体积和区域。再将这影响区域的土层弹性模量做出降低调整计算,就可以进一步完善式(1)。

但是,土层弹性模量降低的计算模型是由复杂因素构成的力学系统,其中土性及其参数变化范围颇大,适应不同土质的这方面的模型公式还有待于研究完善。目前,可通过对具体土样的力学和物理实验来获得弹性模量的变化情况。

4 降低抱管阻力的技术措施

根据上述探讨分析,进一步可将降低抱管阻力的技术措施归纳如下。

4.1 综合控制孔内泥浆压力

既要防止欠平衡造成内撑压力不足而缩径,又要防止超平衡失水造成地层软化而缩径,孔内泥浆的压力应该控制在与孔深处的地应力相平衡的数值。客观上讲,这是很难做到的。但可以通过综合分析、合理设计和严谨的施工操作,尽量使不平衡程度减小。

钻进时,孔内泥浆压力由泥浆自重静压力和泵循环动压力叠加。尤其对于非开挖这种浅层水平钻进来说,泵循环动压力沿钻孔轨迹几乎呈斜直线变化(见图 3),而地层应力几乎不变(垂直钻井随孔深呈递增规律改变)。也就是说只能在沿钻孔长度的若干点上使泥浆压力达到平衡,而其余位置不是欠平衡就是超平衡。所以,应该更注意减小循环动损失即减小直线的斜率。为此,可以通过适当降低泥浆粘度和切力、适当减小泵量(钻速同步减小)和适当增大前后两级钻孔直径差来实现。

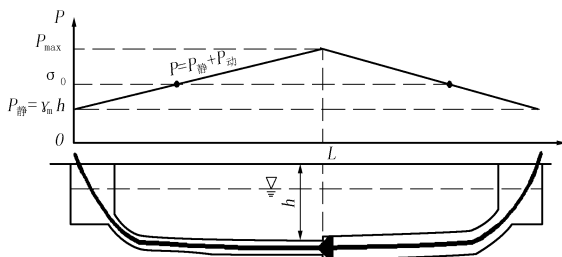


图 3 钻孔内泥浆循环动压力分布示意图

泥浆的静压力主要靠调整泥浆重度来控制。一般应略小于平衡地应力所需的重度,以备再叠加循环动压力。孔口盛浆坑是维持压力平衡的必需,通过它才能保持孔内泥浆具有一定的基本静水头。

此外,在快速拉、推钻具时还会造成“活塞效应”,所形成的压力激动也不容忽视。施工操作时要控制拉、推速度,避免过快。

4.2 采用强降失水泥浆体系

严格控制泥浆向地层中失水的一项关键技术是使用强降失水的泥浆体系。

首先要选择优质配浆粘土——富含蒙脱石矿物的土,又称膨润土。这种粘土由于晶胞间联系弱,可交换的阳离子数目多(其阳离子交换容量高达 80 ~ 150),故水分子易进入晶胞之间,粘土易水化膨胀,分散性好;同时,因可以吸引较多的阳离子,故“活性”大,接受处理的能力强,包被的水化膜多,是优质的降失水造浆粘土。

同时,还应在泥浆中添加适量的强降失水剂。分子量适中(几万到几百万)的具有众多亲水/亲土基团的有机降失水剂能够将大量的自由水束缚在粘土颗粒表面,在孔壁上形成致密的、渗透性很小的薄泥皮,大大降低失水量。常用的降失水剂有中粘的

Na - CMC、改性淀粉 DFD、磺甲基酚醛树脂 SMP-、水解聚丙烯腈 HPAN、植物胶 LG 等。一些大分子量的聚合物处理剂在主要起提粘作用的同时,也兼有一定的降失水作用。

再者,还可通过提高泥浆滤液粘度、减小渗透速率来降低失水。但综合考虑到孔内沿程阻力等因素,泥浆粘度也不能过高,合适粘度的选择也是影响失水的一个因素。常用的增粘剂有大分子量的聚丙烯酰胺等。

4.3 施工作业要紧凑连续,尽量缩短孔壁暴露时间

由于压力失衡和失水软化造成的缩径程度是随时间增加而递增的,所以非开挖工程应该以快速、紧凑、连续完成施工为原则,尽量抢在地层蠕变、泥浆失水而引起缩径抱管明显增大之前铺设完管道。优化设计现场操作程序、做好各工序的高效衔接是非常必要的。为此,施工前还应做好备件、维修准备工作,一旦在用设备等发生故障,应在尽可能短的时间内修复。另外,泵循环排渣要尽量维持,避免钻渣和孔壁坍塌土聚集而引起孔内泥浆阻断,造成泥浆平衡压力无法传递到被阻断孔段而使其缩径抱管应力加剧。

4.4 提高泥浆润滑性

作为降低抱管引起拖管摩擦阻力增大的辅助措施,提高泥浆的润滑性也是非开挖铺管的一个技术特色。当抱管应力一定时,要减小管道与孔壁之间的摩擦阻力,主要靠降低二者接触面的摩擦系数来实现。通过配制使用高润滑性泥浆可以得到明显的拉管减阻效果。例如用于非开挖铺管的 LG 润滑性泥浆(润滑系数为 0.18),与普通 CMC 泥浆比较,可使土层与钢管之间的摩擦系数减少约 50%。它在一些较大型非开挖穿越铺管工程中应用,可靠地降低了拉管力。

参考文献:

- [1] 乌效鸣,胡郁乐,等. 导向钻进与非开挖铺管技术[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [2] (美) R. M. 克里斯坦森. 郝松林,老亮译. 粘弹性力学引论[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [3] 罗健生,鄢捷年. 页岩水化对其力学性质和井壁稳定性的影响[J]. 石油钻采工艺,1999,21(2):7~13.