

水平定向钻进铺管水平孔段软土孔壁 稳定性分析

李 斌 李巨龙 周玲玲

(中国矿业大学资源学院, 江苏徐州 221008)

【摘 要】 通过对水平钻孔孔壁弹塑性力学分析, 分析了水平钻孔软土段孔壁在土压力与泥浆压力的作用下受力状态, 提出了最优泥浆压力的概念, 给定向钻进铺管技术的施工可靠性提供了一定的理论依据。

【关键词】 水平定向钻进铺管技术; 稳定性; 泥浆压力; 塑性区; 最优泥浆压力

【中图分类号】 TU 473.2

Analysis of Hole Wall Stability in Horizontal Directional Drilling in Soft Soils Area

Li Bin Li Julong Zhou Lingling

(China University of Mining and Technology, Xuzhou Jiangsu 221008 China)

【Abstract】 By analyzing elastic-plastic state of horizontal soft soils hole wall, the stress state of the horizontal soft soils hole wall under the earth pressure and the lama pressure are both analyzed, and the conception of the best lama pressure is pointed out. This study can supply the reference in practice of horizontal directional drilling.

【Key words】 horizontal directional drilling (HDD); stabilization; lama pressure; plastically deforming area; the best lama pressure

0 引言

定向或导向钻进施工方法由于具有铺管精度高、施工周期短、成本低等显著优点而成为发展最快的一种非开挖技术。定向钻进铺管技术主要用于第四纪地层。众所周知, 第四纪土层主要由粘土、粉质粘土、粉土、砂土、碎石土、淤泥质土层等组成, 其特点是土层固结时间短、松散、强度低, 尤其在浅部穿越河流湖泊时, 往往能接触到流沙层及淤泥土层等不良地质土层, 这就涉及到孔壁稳定性问题。在长距离的铺管施工中, 钻孔穿越不同的土层, 会存在孔壁失稳和冒浆问题, 孔壁失稳将导致管线和钻具被埋, 给铺管工程造成不可弥补的损失。冒浆一方面会造成孔内不良的泥浆循环, 引起孔壁失稳, 发生卡钻等事故; 另一方面将造成河流和湖泊等水系的污染, 导致生态失衡。最终将会造成整个工程失败的严重后果。因此降低铺管施工风险, 提高铺管成功率, 对非开挖定向钻进铺管技术孔壁稳定性分析和研究是十分必要的^[1, 2]。

1 软土的力学性质特点

软土具有很低的力学强度, 饱和度高, 流变性强, 具有较高的侧压力系数 λ , 一般大于 0.6, 在施工中破坏的方式常以缩孔或上覆土体隆起的形式, 导致孔内泥浆的不良循环、泥浆压力的分布规律反常, 给整个孔壁稳定造成危害, 同时影响整个工程进度和施工质量, 甚至导致工程失败。

2 钻孔水平段的孔壁稳定性的弹塑性力学分析

在钻孔施工中, 由于地应力重新分布, 孔壁局部区域应力又可能超过土体弹性极限进入塑性状态, 处于塑性状态的土体在孔壁周围形成一个塑性圈, 塑性区以外的土体则处于弹性状态。针对软土的力学性质特点, 假定静止侧压力系数 $\lambda=1$ 时, 钻孔孔壁周围的土应力及变形的弹塑性解。由于侧压力系数 $\lambda=1$, 那么孔壁周围应力分布应是轴对称的, 塑性区是一等厚圆。计算简图见图 1。

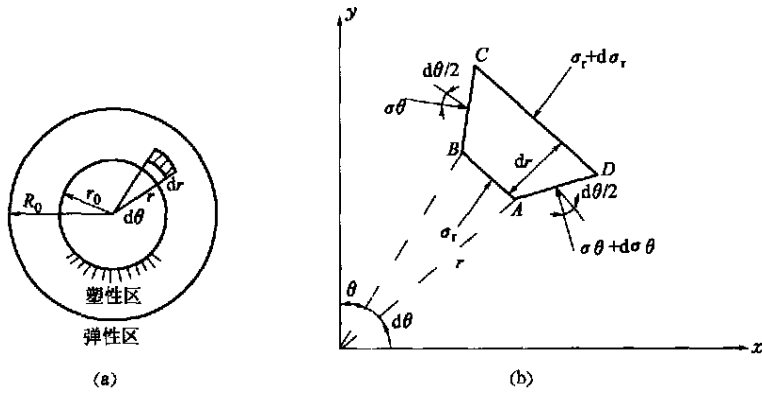


图 1 塑性区计算简图

2.1 塑性区应力的计算

对于轴对称问题, 当不考虑体力时, 平衡方程为:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (1)$$

式中: σ_r 为径向应力; σ_θ 为环向应力; r 为塑性区一点至钻孔轴心的距离。

在塑性区还应满足塑性条件, 这里采用摩尔-库仑准则作为塑性条件^[3], 式为:

$$\frac{\sigma_r^p + c \cot \varphi}{\sigma_\theta^p + c \cot \varphi} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (2)$$

角标 p 表示塑性区应力分量。

式中: c 为土的粘聚力, kPa; φ 为内摩擦角, ($^\circ$); σ_r^p 为塑性区径向应力, kPa; σ_θ^p 为塑性区环向应力, kPa。

联立解式(1)

$$\ln(\sigma_r^p + c \cot \varphi) = \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \ln r + C \quad (3)$$

式中: C 为积分常数, 其他字母意义同上。

边界条件为 $\sigma_r^p = p_i$ 解积分常数 C

$$C = \ln(p_i + c \cot \varphi) - \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \ln r_0 \quad (4)$$

则可求出 σ_r^p 及 σ_θ^p

$$\sigma_r^p = (p_i + c \cot \varphi) \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - c \cot \varphi \quad (5)$$

$$\sigma_\theta^p = (p_i + c \cot \varphi) \left(\frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} \right) \left(\frac{r}{r_0} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}} - c \cot \varphi \quad (6)$$

式中: r_0 为钻孔半径, m; r 为塑性区一点至钻孔轴心距离, m; p_i 为泥浆压力, kPa。

上式可看出, 塑性应力与上覆土层的自重应力无关, 与泥浆压力有关及土的物理力学性质有关。

2.2 塑性区半径的确定

塑性半径的确定需应用塑性区与弹性区交界的协调条件, 见图 2。

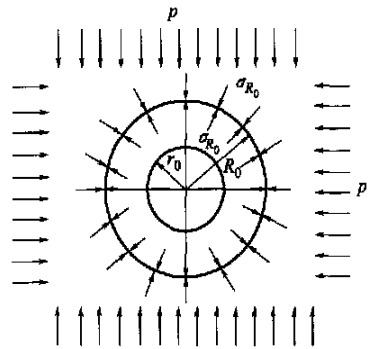


图 2 塑性区半径计算图

在交界处, 弹性区径向应力等于塑性区径向应力, 环向应力也是如此, 用表达式表示:

$$\sigma_r^e = \sigma_r^p = \sigma_{R_0} \quad (7)$$

$$\sigma_\theta^e = \sigma_\theta^p \quad (8)$$

式中上角 e 表示弹性区应力分量。利用这两个条件, 在弹塑性界面上存在:

$$\sigma_r^e + \sigma_\theta^e = 2p \quad (9)$$

$$\sigma_r^p + \sigma_\theta^p = 2p \quad (10)$$

式中: p 为静止上覆土应力, kPa。

代入塑性条件整理后将 $r = R_0$ 则可得出芬纳公式^[4]:

$$R_0 = r_0 \left[\frac{(p + c \cot \varphi)(1 - \sin \varphi)}{p_i + c \cot \varphi} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi}{2 \sin \varphi}} \quad (11)$$

2.3 最优泥浆压力的确定

从式(11)中可以看出, 塑性半径随着泥浆压力的增大减小, 这就是说增加泥浆压力可以减小软土孔壁的缩孔; 泥浆压力达到一定值时, 钻孔孔壁处于

全弹性状态,此时泥浆压力为最优泥浆压力。

$$p_i = p(1 - \sin \varphi) - c \cos \varphi \quad (12)$$

从式(12)中可以看出钻孔越深对钻孔的稳定越不利,维持孔壁稳定需要的泥浆压力越大;土的 c 、 φ 值越大对钻孔的稳定越有利,维持孔壁稳定所需的泥浆压力越小。最优泥浆压力数值的选择与孔径大小无关。在定向钻进铺管施工中,只要满足软粘土孔壁稳定,那么对粘性土地层来说,整个孔壁应是稳定的,所以,最优泥浆压力的确定具有重要的实践意义。

3 算例

给定这样两组淤泥质软土的力学指标,见表1。

表1 土的力学指标

$\varphi/(\circ)$	σ/kPa	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	侧压力系数	钻孔深度/m
6	10	16	0.6	20.0
8	12	17.2	0.7	10.0

把表中数值代入式(12)可知,若使它们稳定,使它们的塑性区为0时的泥浆压力见表2。

表2 计算结果

p_1^1/kPa	p_1^2/kPa
276.7	136.2

4 结论

上覆土层的压力、土的基本力学性质和泥浆压力是影响水平钻孔软土稳定的基本力学因素,孔壁是否稳定,取决于它们的综合影响。在实践中,人们无法改变土的物理力学性质,但通过对泥浆压力的调整可以达到稳定孔壁的要求。泥浆压力存在着最优的选择。当泥浆压力小于最优选择时,由于软土具有较强的流变性,钻孔将失去稳定,产生缩孔破坏,形成扩孔不见孔的不利局面;当泥浆压力远大于最优选择值时,上覆土层无硬土层时,则孔壁的可能破坏形式为上覆土体的隆起破坏。

参 考 文 献

- 1 叶建良,蒋国盛.非开挖铺设地下管线施工技术与实践.北京:中国地质大学出版社,2000.51~53
- 2 何章宜.我国非开挖行业之现状.非开挖技术,2003(4~5):1~3
- 3 刘成宇.土力学.北京:中国铁道出版社,2000.59~62
- 4 于学颢.地下工程围岩稳定分析.北京:煤炭工业出版社,1983.136~140

收稿日期:2005-01-06

第24届土工测试学术研讨会通知

The 24th China National Symposium On Geotechnical Testing 2005年10月 北京

土工测试技术是岩土工程科学技术进步的基石,是提高工程建设水平的重要手段。为促进学术交流,第24届全国土工测试学术研讨会拟定于2005年10月26—28日在北京召开。会议由中国土木工程学会土力学及岩土工程分会土工测试专业委员会、中国水利学会岩土工程专业委员会土工测试专门委员会和土工离心机分委员会联合主办。本次研讨会将主要围绕以下专题进行学术交流,并特邀国内知名学者作学术报告,会议期间还将举行土工离心机分委员会换届选举。

本次会议由中国水科院承办,清华大学和中国建研院协办。

研讨专题:室内土工测试技术;原位土工测试技术及观测技术;土工离心模拟试验技术;土工测试新技术与新设备;环境岩土工程测试技术。

征 文: 欢迎全国(包括港澳台地区)各界从事土工测试的技术人员、科研人员踊跃投稿。请于2005年4月30日前提交论文;2005年5月30日前将返回论文录用通知;2005年6月30日前提交修改后的论文。论文要求尚未在其它公开出版物上发表,会议将正式出版论文集。文稿请注明作者姓名、单位、地址、邮政编码、联系电话和电子信箱,附打印稿两份,并将论文电子版按照要求的打印格式发送至组委会电子信箱 nsgt@iwhr.com。

展 览: 会议期间将举办各类室内土工测试仪器、原位测试设备、观测仪器、传感器及与土工测试相关的新设备和新技术的展览会,欢迎相关公司和单位踊跃参加。

有关会议最新消息和详细信息请登录 www.geoeng.iwhr.com

组委会地址:北京车公庄西路20号 中国水利水电科学研究院岩土所 邮政编码:100044

联系人:蔡虹 侯瑜京 电 话:010-6878 6220/6202; 传 真:010-68438317