

非开挖导向强度分析及其在电力铺管设计中的应用

邱继东¹, 沈浩¹, 童红梅², 乌效鸣²

(1. 上海市电力公司市东供电公司, 上海 200120; 2. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:全面分析了非开挖铺管导向钻进轨迹设计的主要决定因素;合理地剖析了钻遇地层的性质及其它施工条件对导向强度的影响;提出导向强度的计算方法,更科学、准确地设计出导向孔轨迹,并应用到实际电力管道铺设导向孔三维轨迹设计中。

关键词:非开挖;导向强度;钻孔轨迹;弯曲曲率;试验

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)07-0066-03

Analysis on Trenchless Build-up Strength and the Application in the Design of Electric Power Pipe-laying/QIU Ji-dong¹, SHEN Hao¹, TONG Hong-mei², WU Xiao-ming² (1. Shanghai Municipal Electric Power Co., Ltd. East, Shanghai 200120, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: This paper roundly analyzed the main determinants of the trenchless pipe-laying in the track-oriented design, and reasonably analyzed the stratum properties and other construction conditions which impact on the build-up strength. Calculating method of build-up strength was put forward, which is more scientific and accurate in designing the pilot hole track, and could be applied in the three-dimensional track design for electric power pipe-laying.

Key words: trenchless technology; build-up strength; borehole track; bending curvature; test

0 引言

非开挖铺管水平定向钻进在入土段和出土段以及在钻遇到障碍物等情况时需要改变原有的直线轨迹来穿越地层。传统的导向孔轨迹设计由第一造斜段、直线段和第二造斜段组成。造斜弯曲段的曲率半径仅由欲铺设管的弯曲极限确定。由于它没有考虑施工段岩土性质和钻具性状对造斜弯曲的影响,因而确定出的轨迹与实际施工所能获得的轨迹往往难以相符。现场施工人员按照这种“理想化”但未兼顾施工能力的设计轨迹去操作,钻头常常会产生“跑线”现象,甚至导致施工验收不得通过。

本文提到的导向强度理论方法能结合现场地层和所用钻具性状来准确地预测钻头的走向。把它与传统的设计结合起来,可以设计出既满足管弯限制条件又更符合实际施工条件的导向钻孔的优化轨迹。

1 铺管孔弯曲的工程需求与限制

1.1 被铺管道自身弯曲限制条件^[1]

工程项目的施工目的是铺设管材,在轨迹设计中首先考虑到的便是管材的允许最小弯曲半径,为了易于铺管并且保证管材在使用中的安全性和长久

性,铺设管道的钻孔弯曲段应尽可能的缓慢过渡,即最小弯曲半径应尽可能大。最小弯曲半径可以根据相关文献中的公式计算或查表得到^[1]。

1.2 钻进时的造斜导向能力

非开挖施工的地下空间轨迹是存在一定弯曲的。钻具每顶进单位长度时在钻孔弯曲平面内方向角会发生改变,定义其为“导向强度”。它主要受地层性质、钻杆刚度、斜掌面积与斜焊角、顶进速度以及斜向水力参数的影响,一定条件下具有确定的数值。

1.3 对钻孔弯曲的施工需求

非开挖施工经常需要避开原有地下管线和其他地下障碍物,有时还受到钻机摆放场地的限制,这些情况下则往往需要有比较强的弯曲,也就是尽量小的弯曲半径。

2 对导向强度影响因素的分析

2.1 斜掌面积和斜焊角

钻具在顶进时能产生弯曲的根本原因在于导向钻头的斜焊掌面受到了地层的斜向反作用力。斜掌面积越大,反作用力越大即导向强度越大,但由于摩擦力的存在,斜焊角超过一定数值(约30°)后就会

收稿日期:2009-02-20; 改回日期:2009-05-12

作者简介:邱继东(1977-),男(汉族),上海人,上海市电力公司市东供电公司总工程师助理、工程师,电力系统自动化专业,硕士,从事电网规划及电网建设相关的技术及工程管理工作,上海市浦东新区浦东南路1671号7楼。

产生摩擦自锁而导致钻头无法发生斜向滑移。

2.2 钻杆刚度

钻杆刚度是抵抗弯曲的重要影响因素,其值越大导向强度越低。钻杆的刚度由钻杆材料的力学参数——弹性模量 E 和钻杆横截面的几何效应——惯性矩 I 来决定, I 又取决于钻杆的外径 D 和内径 d 。 E 和 I 越大,钻杆的刚度越大。

2.3 地层硬度

钻头走向发生改变的本质原因是由于力的作用方向和大小发生改变。钻机在顶进时,钻头周向的土层对钻头有一定的反作用力,所有作用力的合力最后决定了钻头的走向和钻入地层的力度,因此地层的物理性状很大程度上影响了导向强度的大小。力学理论分析、现场数据统计和实验室试验结果都证明:地层硬度越大,斜向反作用力就越大,造斜弯曲就越明显,因而导向强度就越大。

2.4 顶进速度和水力喷射

土体蠕变和被破坏会在一定短时间内逐渐体现出来,斜向反力在顶进时也相应地有一个由高变低的瞬时过程。因此,在钻头前部土体还来不及蠕变和破坏时的斜向反力较大。所以,加快顶进速度可以提高造斜导向强度。

另外,钻头斜向喷嘴喷射钻井液也在一定程度上辅助造斜。流动性强的钻井液可以提供较强的水马力,从而加大导向强度。

3 导向强度计算模型

在上述定性分析的基础上(暂略顶进速度和水力喷射的影响),以力学解析方法为主建立了导向强度量化计算模型并通过反复验证得出公式如下:

$$B = \frac{7.2 \times 10^6 \sin\theta}{\pi} \sqrt{\frac{A\sigma(\cos\theta - f)}{\pi E(D^4 - d^4)}} \quad (1)$$

式中: B ——导向强度, $(^\circ)/m$; E ——钻杆弹性模量, MPa ; D ——钻杆外径, mm ; d ——钻杆内径, mm ; A ——斜掌面积 cm^2 ; θ ——斜焊角, $(^\circ)$; σ ——土的压入硬度, MPa ; f ——摩擦系数。

该公式为水平定向钻进铺管提供了一种计算造斜导向强度的方法。作为试算例子,当改变斜焊角和钻杆直径时,计算所得导向强度的变化情况如图 1 所示。计算所反映的规律均与工程实际吻合。从图中可以看出,导向钻头斜掌面的斜焊角设计在 25° 左右可以获得最有效的导向强度。

为了验证上述导向强度模型的正确性,运用物理相似原理模拟现场导向钻具受力和地层土质情

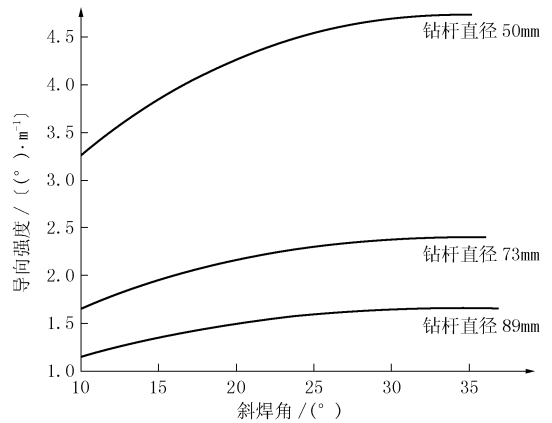


图 1 斜焊角和钻杆直径对导向强度的影响曲线

况,在实验室进行了一个缩小 20 倍的斜掌钻具的顶进模型实验(见图 2),获得一些导向强度与影响因素之间量化关系的实测数据。表 1 为其中的土层硬度与导向强度关系实验结果对比表。可以看出导向强度随土层变硬而增大。这也与式(1)计算结果所呈现的趋势一致。

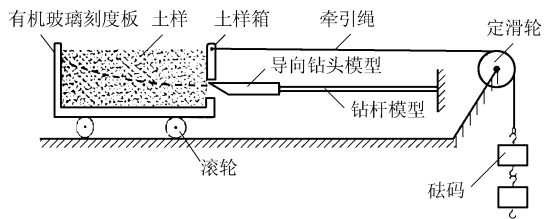


图 2 导向强度室内模拟试验原理图

表 1 土的硬度对导向强度影响实验数据表

土样硬度 / MPa	导向强度 / $[(^\circ) \cdot cm^{-1}]$	土样硬度 / MPa	导向强度 / $[(^\circ) \cdot cm^{-1}]$
0.18	1.36	0.90	2.81
0.54	1.42	1.02	2.93
0.75	2.33		

4 弯曲轨迹综合设计及应用

全面吸纳以上分析结果,就非开挖水平导向钻进轨迹弯曲进行综合设计,可以用下面的流程图(图 3)来表示。

对设计过程进行软件编程,以空间解析几何为基础,采用 Visual C++ 软件开发平台,运用 OpenGL 三维图形库技术^[2],在佳友市政建筑有限公司与中国地质大学(武汉)共同合作下,通过几年来的潜心研究开发出了“电力管道铺设导向孔三维轨迹设计系统”,其典型三维量化设计轨迹演示界面如图 4 所示。该软件系统已开始用于电力非开挖铺管工程。

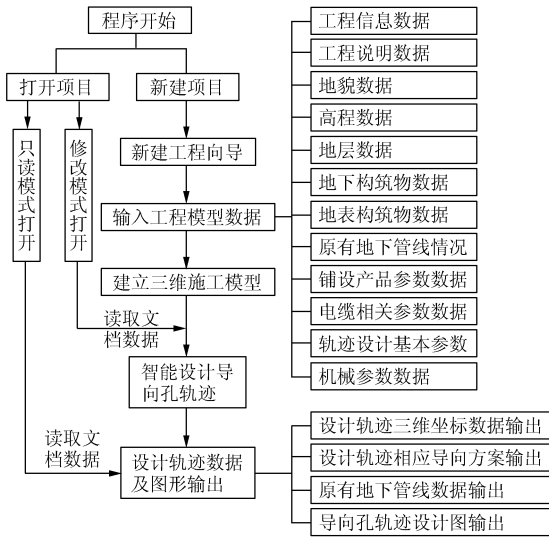


图3 设计流程图

5 工程实例

“中国工商银行股份有限公司上海市分行 10 kV 供电工程”的非开挖铺管工程,在浦东云桥路铺设 $\text{Ø}180 \text{ mm} \times 70 \text{ m} \times 4 \text{ 孔 M-PP}$ 管。根据现场环境及建设方要求,本次钻进轨迹设计兼顾对地下管线的避让,作如下设计:入土角 -20° ,出土角 20° ,最大穿越深度 7.5 m ,路径总长 70 m 。

根据土性、钻进参数等数据进行了导向强度计算,并依此设计出理论轨迹(见图5实线);施工中按照设计轨迹进行了有效的导向控制,获得了令人满意的实际导向孔轨迹(见图5虚线)。

该工程表明,结合导向强度理论所设计的轨迹线能符合现场的实际情况,准确地预测并指导现场施工的地下轨迹走向,避免了工程事故的发生。

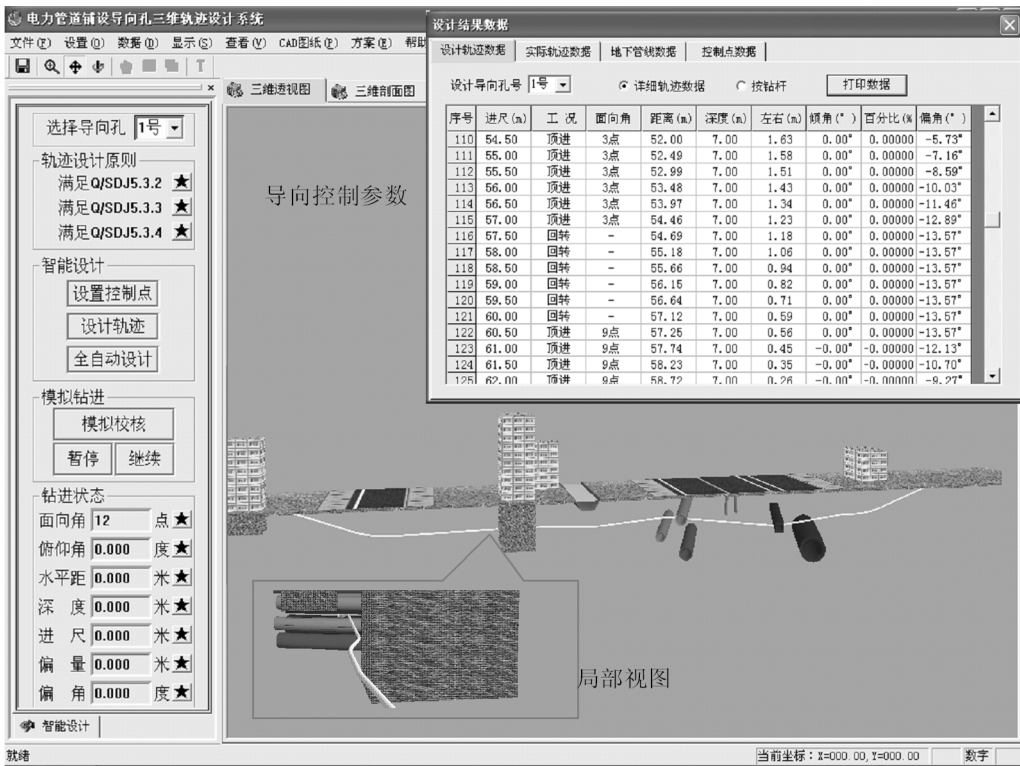


图4 导向孔轨迹设计界面

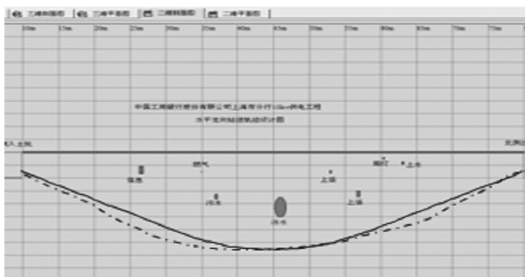


图5 设计轨迹与实际竣工轨迹对比

参考文献:

- [1] 乌效鸣,胡郁乐,李粮纲,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] 费广正,乔林. Visual C++ 6.0 高级编程技术 (OpenGL 篇) [M]. 北京:中国铁道出版社,2000.

欢迎投稿, 欢迎订阅!