

文章编号:1671-6833(2011)04-0047-05

定向钻进过程的智能化控制技术研究与应用

郭 兵^{1,2}, 黄家骏²

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 新乡学院 建筑工程系, 河南 新乡 453003)

摘 要:在非开挖地下管线定向钻进过程中,优选钻头的钻进参数是实现钻进自动化与智能化的关键问题。通过对工程所在地基本地质条件、已有地下管线种类及分布特征的研究建立起定向钻进智能控制知识信息库,可以为钻机的智能钻进提供知识、逻辑、数据参数等数字化基础信息,引导钻机在具体的土层特征、钻进深度、钻进角度、钻速、推力、扭矩、钻进液状态等参数控制下,实现非开挖地下挖管线定向钻进的计算机智能化控制,有效规避施工风险,提高非开挖智能化定向钻进技术的经济效益和社会效益。

关键词:定向; 钻进; 智能化; 控制; 参数; 信息化

中图分类号: TU990.3 **文献标志码:** B

0 引言

智能化定向钻进技术是由多种高新技术交叉融合的一种先进的非开挖定向钻进技术手段,目前仅国外几个定向钻导向仪配套厂家如美国DCI公司、英国雷迪公司等,在钻头导向控制、姿态控制等方面拥有较为成熟的技术和设备^[1]。施工中能够通过各种传感器以无线通信方式将相关信息传回地面监视人员的手持仪表和控制台显示器上,使操作者及时掌握钻进的工作状况。近十年来,我国的非开挖定向钻进技术取得迅速的发展,但在定向钻进智能化控制方面与国外先进技术之间仍有较大差距。在智能化控制的知识库建设不太完善的情况下,我们在郑州市金水路与太行路交叉口电力电缆铺设工程中采取以钻机程序控制系统为主导,当水平钻机无法达到预定钻进目标或出现控制程序中没有涉及到的特殊情况时选择采取适当的人工干预措施,紧急情况下经会商采用网络在线干预的手段,根据现实情况的严重性等级,分别向钻进设备发出警告、建议、紧急停机等指令,为定向钻进技术的智能化控制探索出了一条切实可行的道路。

1 非开挖定向钻进技术智能化控制的技术难点

在城市地下管线非开挖定向钻进施工过程中,由于旧有管线的种类、用途、埋深、管道材质及安全防护标准各不相同,施工地域的基础地理信息和地下障碍物情况不明等因素,给定向钻进技术的智能化控制带来了诸多的技术难点^[2],特别是在钻进知识信息库的建立方面缺乏相关数据以及统一的标准和细则,直接影响到非开挖定向钻进实施过程中智能化控制系统的参数难以确定。主要表现在以下几个方面。

1.1 非开挖管道设计及施工规范的种类繁杂,缺乏统一

目前我国现行的管道设计及施工规范已达100多种。由于单项规范本身仍处于不断的完善阶段,多变性的特征和不同行业的特殊要求使得智能控制知识信息库在建立过程中难以对施工主体的量化指标如主干道、广场、河流沟渠等相关信息进行统一规范的判断和描述,只能根据规范之间的优先权等级、规范及条款的适用范围、重要性分类、工程所在地震区分类、规定的严重程度及量化细则等建立起基础的知识信息数据库。

收稿日期:2011-02-20;修订日期:2011-04-05

基金项目:河南省2010年科技攻关计划资助项目(102102210551)。

作者简介:郭兵(1967-),女,蒙古族,河南获嘉人,新乡学院副教授,武汉理工大学博士生,主要从事土木工程专业的教学与研究。

1.2 已铺设管线及地下障碍物信息不明确,不完整

过去已经铺设的管道中,有许多是没有图纸归档或是归档图纸与实际竣工结果不符,并且存档部分都是普通蓝图而非现代信息社会需要的电子文档或电子图纸,给计算机的识别、分析、调用、查询等带来了很大麻烦,尤其是一些地下石块、建筑垃圾、不明古石墓、防空洞等都严重影响着智能化钻进的顺利进行。

1.3 定向钻进智能控制知识库及误差智能纠正知识库基础资料贫乏

传统的人工钻进对土层力学特性、钻具形成力学特性、钻进液特性、钻进轨迹等参数的确定,很大程度上取决于操作者的经验及设备条件,具有浓厚的个人色彩和单机色彩。建立智能操作知识库的科学性和准确性不高^[3],使得编制非开挖定向钻进技术的智能规划软件、控制软件所需要的基础资料积累不足。

1.4 非开挖定向钻进技术的智能规划软件、控制软件所需要的基础资料积累不足

编制智能规划软件、控制软件需要详尽、规范的管道设计、施工规范及精确全面的已铺设地下管线及障碍物的资料;全面精细的如何运用钻进操作指令的知识库,以及精确全面的如何控制钻进误差的知识库。但这些都是不全面、不够精确的,给软件的编制带来了很大的困难。

2 定向钻进技术智能化控制系统的建立实施方案

针对前述技术难点,本着既要尊重城市管道建设的历史现实,又要实现未来城市发展管道建设信息化、智能化的发展道路,我们在非开挖定向钻进技术智能化控制系统的建立过程中提出以下实施方案:

2.1 尽可能全面地收集管道设计与施工的规范,并使之公开化

充分利用互联网的优势,在可以施加影响的情况下,编制智能规划软件、控制软件过程中尽量使规范的描述规则化。同时为不断出台实施的新规范保留一定的空白位置,充分考虑发展的要求。

2.2 以城市综合地理信息系统(GIS)为基础,建立城市地下管线的信息系统和管道工程竣工电子图纸档案

将城市综合地理信息系统(GIS)中,本工程所在区域内的信息内容全面下载,使用智能规划

软件进行处理。对于已竣工的地下管道图纸加速其向电子图纸档案的转化,参照地下管道图纸的整理方法,完善城市地下信息。并将各单项管道工程信息整理成综合性的城市地下管道立体三维网络图^[4]。同时把地质勘察报告里面的土层分布情况、土层力学特性等地质信息补充进城市地下管线的信息系统和管道工程竣工电子图纸档案里面,使信息更加丰富、全面。对于不能满足设计与施工的资料,则通过使用地质钻探、管线探测仪、探地雷达等手段以获取全面的工程信息。编制符合GIS标准要求的电子版的、智能网页型的《岩土工程勘察报告》、《地下金属管线探测报告》及《探地雷达工程探测报告》。

2.3 在定向钻进施工过程中建立钻进智能控制知识库和钻进误差智能纠正知识库

首先,根据土层力学特性、钻具形成力学特性、钻进液特性、钻进轨迹等,进行理论推导,计算出钻进过程中的操作指令以及钻进参数的大小。再根据经验丰富的司钻手、泥浆师^[5]的经验对参数进行修改,建立初步的钻进智能控制知识库。在实际施工钻进过程中,由计算机随时抽样采集钻机操作指令、参数大小、控制效果等数据信息,应用自学习、自适应智能软件总结控制指令、参数大小等与钻进效果的关系,并把这些知识补充到钻进智能控制知识库。随着相关数据的不断发展进化,逐步建立起准确、全面的钻进智能控制知识库和钻进误差智能纠正知识库。

2.4 在定向钻进进程中编制完善可以人工干预的智能规划软件、智能控制软件

施工前期的准备过程中,要按照相关规范编制智能规划软件和智能控制软件,并使其具有人工干预的功能。特别是在钻进智能控制知识库、钻进误差智能纠正知识库还不完善的时候,这个措施更是必不可少。工程在运行初期,人工干预的次数较多,随着知识库的不断完善,人工干预的次数将不断减少。

3 定向钻进技术智能化控制系统中需要控制的主要参数

在定向钻进技术的智能化施工过程中主要的控制参数有以下几项:

3.1 推力

实际操作中推力大小应根据工程信息库中土体的特性和转向角度、钻进土层的压缩系数、内聚力、内摩擦角等地质信息为主要依据进行控制。

3.2 拉力

在扩孔及拖管阶段,拉力的控制直接影响着施工的速度。

3.3 扭矩

依据智能传感器^[6]传来的回扩器或挤扩器端头的瞬时摩擦阻力峰值,回扩器、挤扩器连同钻杆的振动及摆动频率图谱等信号由软件来判断。

3.4 钻进方向角度

在钻进过程中,使用智能传感器随时探测钻头的位置和角度。当钻进轨迹与设计轨迹一致或者在允许的误差之内时则继续保持当前的钻进状态;当钻进轨迹超出设计轨迹允许的误差时,程序启动造斜转向指令序列模块以控制钻进的方向和角度。

3.5 钻井液流量

以钻头体温度传感器、工程地质信息库、回扩器及挤扩器周围的压力传感器、钻头体的流量传感器等智能传感器及信息库提供的相关数据控制钻井液流量,可以有效保证钻进效果。

4 智能控制软件的编制

4.1 智能控制软件的基础信息组成

在具体施工过程中,水平定向钻机在智能控制软件的控制下,基本上可以摆脱对人工操作指令的依赖,能够自动监视自身的运行状态,并根据智能传感器反馈的数据自行调整自身的技术参数,系统采集的所有信息由智能控制软件综合分析和判断,向钻机发送指令,有效控制或调节微型钻机的钻进参数^[7]。编制非开挖定向钻进技术智能控制系统软件时应包括以下几个模块。

(1) 智能规划模块

包括各种设计规范信息、施工规范信息、规划算法等。

(2) 钻机智能操作模块

包括各种操作指令序列、钻机实时工作参数信息、指令选择的逻辑架构和效果记录、操作经验总结算法等。

(3) 钻机自检自维护模块

包括各种智能仪表信息,钻机状况评估的智能逻辑推理算法,自维护算法及指令等。

(4) 施工总结模块

包括各种竣工信息汇总及上传,钻机施工经验的汇总算法,自维护算法及指令等^[5]。

(5) 人工紧急干预及网络在线干预系统

包括钻机运行稳定性的评估、钻机风险施工

级别的评估、紧急干预指令序列等。

智能控制的工作流程如图1所示。

5 应用实例

图2为郑州市金水路与太行路交叉口电力电缆铺设工程的轨迹图是由软件设计得到,其轨迹设计的控制原则是:

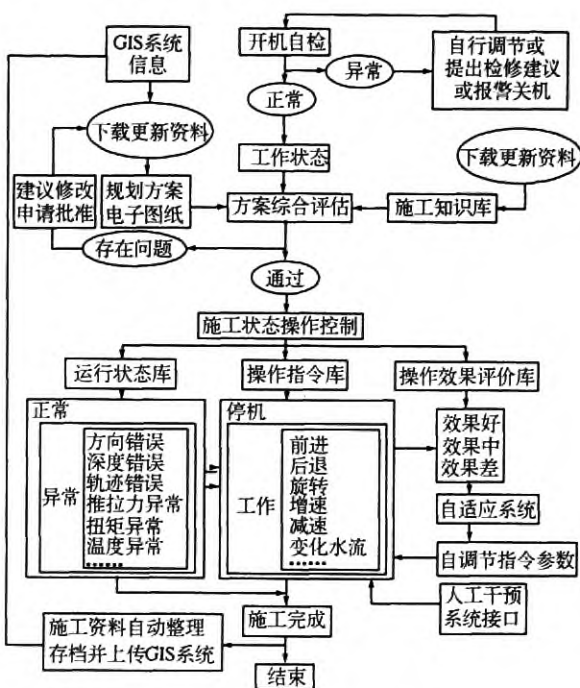


图1 定向钻进智能控制系统工作流程

Fig.1 Directional Drilling intelligent control system work flow

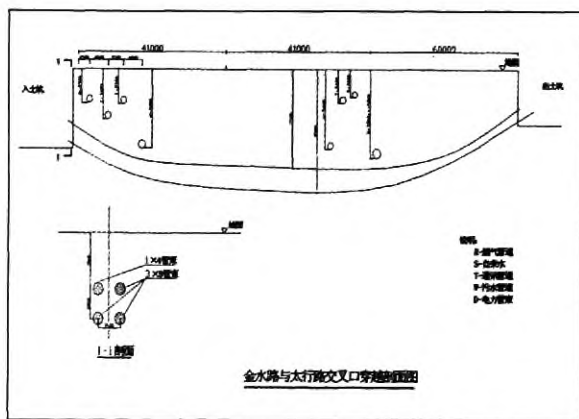


图2 郑州市金水路与太行路交叉口

电力电缆铺设工程的轨迹图

Fig.2 Zhengzhou City, intersection of the Taihang road and Jinshui road Power cable laying of project trajectories

(1) 轨迹的起点和终点固定;

(2) 轨迹的深度以较浅为宜,但应满足各规

范所要求的与其它管线的位置关系;

(3)在无法全部满足各种规范的要求时,以违反最少或经济效益最高为佳;

(4)该设计轨迹必须在钻机的工作能力之内;

(5)该设计轨迹在工程施工人员的控制能力之内.

5.1 基础钻进数据

本项目钻进过程基础数据为:粉质黏土土层、饱和状态下、可塑~软塑、凝聚力 23 kPa、内摩擦角 7° 、钻头位置向下方偏移 200 mm、钻头直线与轨迹切线夹角为 $1^\circ 23'$.

5.2 操作指令的选择

首先,由各信息探测系统搜集钻机所处的状态.选取控制命令时,查询与该状态相对应的经验数据,依次搜索并逐个进入数据库的钻进状态区域、粉质黏土土层经验数据库区域、饱和状态下数据库的分区、可塑~软塑状态数据库的分区、凝聚力为 20~25 kPa 区间数据库分区、内摩擦角 $5^\circ \sim 10^\circ$ 区间数据库分区、钻头位置向下方偏移 150~200 mm 区间数据库分区、钻头直线与轨迹切线夹角为 $1^\circ \sim 1^\circ 30'$ 区间数据库分区.在数据库的这个区间内,改变钻进方向的控向经验数据如表 1 所示.

表 1 钻进方向的控向经验数据

Tab. 1 Drilling direction control to the empirical data

经验次数	钻头方向角/点	推进力/kN	推进距离/mm	纠偏距离/mm	误差/mm
235	12	70	1 000	150	50
458	12	80	1 000	154	46
536	12	90	1 000	160	40
123	12	100	1 000	166	34
52	12	110	1 000	170	30
15	12	120	1 000	187	13
12	12	130	1 000	198	2
8	12	140	1 000	210	-10
4	12	150	1 000	230	-30

根据以上数据,可以选择钻进控制效果最佳的控向指令序列,即第 7 组控向操作指令序列:

钻头方向角 12 点、推进力 130 kN、推进距离 1 000 mm.

6 成果分析

通过本项目的实施,初步取得了以下成果:

6.1 建立了工程信息、地质信息库

利用该信息库,可以使智能化控制系统设计的钻进轨迹得到有效保证,避免了与其它已有管线及障碍物等的冲突,并且可以规划钻机在不同土层位置所采取的钻进参数.同时,统一格式的信息库可以方便各种信息(如已知的管道和地质信息、补充的地质勘察信息、补充的管线探测信息等)之间的传递、交换、处理.

6.2 建立了钻进智能控制知识库

利用该知识库,可以确定在具体的土层、角度、钻速、推力、扭矩、钻进液状态等条件下,钻机在预定的钻进轨迹下所采取的钻进参数.为钻机的智能控制提供了知识、逻辑、数据参数等数字化的基础,是实现钻机智能化控制的宝贵资料.

6.3 提高施工效率,经济效益和社会效益明显

智能化非开挖定向钻进技术可以使管道铺设工程成功率大幅提高,同时还能够最大限度地降低安全事故,保证钻机的平稳运行,在本项目应用实施过程中,既实现了施工效益的最大化,又为将来的其他管线施工建立了基础的数据信息库,具有明显的经济效益和社会效益.

参考文献:

- [1] 赵丁选,杨力夫,李锁云,等.国内外非开挖定向钻机及其智能控制技术[J].吉林大学学报:工学版,2005,35(1):44-48.
- [2] 唐筱婵,裴世建.非开挖地下管线探测方法的探讨[J].工程地球物理学报,2009,6(S1):77-79.
- [3] 乌效鸣.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.
- [4] 李玉榕.信息融合与智能处理的研究[D].杭州:浙江大学,2001.
- [5] 侯凤辰.非开挖导向钻进施工控制要点与人员素质要求[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2009,(增刊):331-333.
- [6] 王军,胡建元,黄心汉.智能控制中的多传感器继承与数据融合[C].中国控制与决策学术年会论文集.1997:478-482.
- [7] 中华人民共和国建设部.(CJJ61-03)城市地下管线探测技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

Research and Application of Intelligent Control in the Process of Directional Drilling

GUO Bing^{1,2}, HUANG Jia-jun²

(1. Civil Engineering and Architecture Department, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Civil Engineering Department, Xinxiang College, Xinxiang 453003, China)

Abstract: In the process of directional drilling of underground pipeline, optimizing the drilling parameters of a bit is the key issues to achieve drilling automation and intelligentization. A data base should be first established, based on the study of the engineering location's geological conditions, the underground pipeline types and distribution. It can provide different types of basic digital data, like knowledge, logic and number parameters. Under the control of actual soil characteristics, drilling depth, angles, speed, pushing force and the state of drilling liquid, risks of construction can be effectively avoided and the economic and social benefits of underground pipeline directional drilling can be dramatically raised.

Key words: directional, drilling, intelligentization, control, parameter, informatization

(上接第29页)

of fundamental solutions[J]. Computational Mechanics, 2006, 37: 445 - 454.

[8] 陆毅中. 工程断裂力学[M]. 西安: 西安交通大学

出版社, 1987.

[9] TADA H, PARIS P C, IRWIN G. The stress analysis of cracks handbook [M]. Paris Production Inc, 1985.

Calculation of Stress Intensity Factor by Hybrid Finite Element Method Based on Fundamental Solutions Kernels

ZHENG Guan-yu¹, WANG Hui²

(1. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. School of civil Engineering and Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: Stress intensity factor is usually used to represent the stress singularity at tips of cracks embedded in engineering structures. With the displacement extrapolation method, the element-boundary integration-based hybrid finite element model is developed in the paper to determine the stress intensity factor for I-type cracks. In the hybrid formulation, the combination of fundamental solutions is used to approximate the element interior displacement and stress fields, while the conventional shape functions are employed to construct the element frame displacement fields. These two independent fields are linked by the hybrid functional and the element domain integral in the functional is converted to element boundary integral. Numerical examples show that the proposed hybrid method has good accuracy and can be used to analyze the crack problems.

Key words: fracture mechanics; stress intensity factor; fundamental solution; hybrid finite element method