

桩基础掘进装备施工工艺分析与控制系统开发

雷 腾 谭 瑞

国网重庆市电力公司建设分公司, 重庆 401120

[摘要] 电网建设关系社会民生, 系统推进“六精四化”工作, 有助于促进产业竞争力, 而机械化是其进程中难度高、开展阻力大、技术融合度高的一项工作, 文中在前期完成的桩基础掘进装备样机基础上, 剖析结构组成及工作原理, 深入分析施工作业过程中的工作轨迹与工艺参数, 采用先进的模糊控制理论与 PID 算法相结合的控制技术, 开发出一套适用于多地质结构的控制系统, 实验表明, 此控制系统能满足种类桩基础条件的施工作业, 有助于为电力系统桩基础施工提供实际工程应用价值。

[关键词] 桩基础; 掘进装备; 控制系统; 模糊 PID

DOI: 10.33142/ec.v7i3.11432

中图分类号: TD26

文献标识码: A

Analysis of construction Technology and Development of Control System for Pile Foundation Excavation Equipment

LEI Teng, TAN Rui

Construction Branch of State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing, 401120, China

Abstract: The construction of the power grid is related to social livelihood, and the systematic promotion of the "six refinements and four modernizations" work can help promote industrial competitiveness. However, mechanization is a difficult, challenging, and highly integrated task in its process. Based on the prototype of pile foundation excavation equipment completed in the early stage, this article analyzes the structural composition and working principle, deeply analyzes the working trajectory and process parameters during the construction process, and adopts advanced fuzzy control theory and PID algorithm combined control technology to develop a control system suitable for multiple geological structures. Experiments show that this control system can meet the construction operation of various pile foundation conditions, which helps to provide practical engineering application value for the construction of power system pile foundations.

Keywords: pile foundation; excavation equipment; control system; fuzzy PID

引言

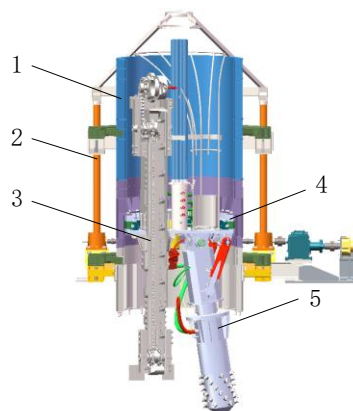
随着我国电网建设的高速发展, 传统的施工工艺施工人员劳动强度大、施工速度慢, 且易发生危及人身危险的安全事故; 人工成本和人力资源短缺带来的工程投资增加和工期的延长; 施工装备水平不高严重制约建设能力的进一步提升。为克服上述困难, 必须提高线路工程的机械化施工水平, 研发适合线路工程专业特点的施工机械装备, 推进线路全过程机械化施工, 这样既符合全寿命周期建设要求, 更能提高工程建设质量及效率, 提升经济、环境和社会效益。综上, 将竖井掘进技术应用于山地小直径的桩基础施工中能克服上述传统施工中的问题^[1]。

当前电网系统基建工程中的桩基础施工方式主要有旋挖钻机成孔、人工成孔、半机械化成孔方式。旋挖钻机成孔主要用于大型机械能够到达的区域, 而在输电线路中较多区域是不能使用大型机械, 因此目前在这些区域内, 基本采用人工成孔或半机械化成孔方式, 从而导致劳动强度大、安全风险较高、工程质量难控制、效率低等现象。本文拟对项目组开发的一种桩基础掘进装备进行施工工艺分析, 并设计一套适用于此装备的控制系统^[2]。

1 装备结构与工作原理

1.1 装备结构

开挖装置按功能和结构主要分为五大模块: 护壁支护模块、提升模块、出料模块、回转模块、铣挖模块。其主要结构如图 1 所示。



1—护壁支护模块; 2—提升模块; 3—出料模块; 4—回转模块; 5—铣挖模块

图 1 开挖装置结构示意图

1.2 工作原理

设备主要有摆动运动和回转运动组成,在铣挖过程中,主要包括完成运动轨迹^[3]。

(1) 沿掘进方向的开挖轨迹分析。在铣挖头开挖的过程中分为铣挖运动和进给运动的轨迹,如图 2(a)所示。其铣挖头绕自身轴旋转的同时也在沿铣挖臂轴线方向推进,因此铣挖头有的运动轨迹为圆弧螺旋线,如图 2(b)所示。

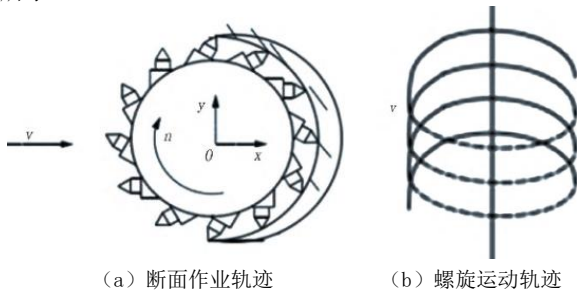


图2 作业轨迹分析

(2) 沿圆周摆动方向的开挖轨迹分析。当沿圆周方向摆动时,同时伴随着铣挖头自身的旋转,因此铣挖头的运动轨迹为沿圆周方向的圆弧螺旋线,图 3 为其中一段的圆周方向轨迹示意图。

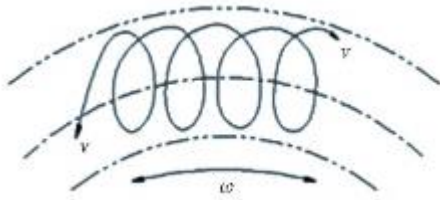


图3 圆周方向轨迹示意图

(3) 最终形成的开挖轮廓。通过截割滚筒自身的旋转并通过伸缩油缸将其移动到某一基准位置进行定位,以定位基准位置依次向外进行回转开挖,达到所需的开挖轮廓^[4]。

因此,要实现岩石的顺利开挖,主要工作部分有两个运动,一是回转平台的旋转运动;二是铣挖头的摆动运动。

①回转运动:轴承外圈与内齿圈通过螺栓固定在机架(护壁)上,在整个工作中保持不动;轴承内圈通过螺栓固定在回转平台上,小齿轮由马达驱动进行旋转,通过与内齿圈进行啮合产生作用力通过轴承内圈带动回转平台旋转。

②摆动运动:伸缩液压缸与工作臂各通过连接轴分别连接在回转平台下方,形成两个铰链,工作臂下方通过螺栓和铣挖头同轴连接,活塞杆一端连接着工作臂的另一端,通过液压控制带动工作臂和铣挖头进行摆动,由于活塞杆和路径的限制,铣挖头摆动大小为 9.2° 。

2 施工工艺

2.1 工艺流程

该小型竖井掘进机护壁直径为 1.6m,铣挖头半径为 240mm,由于体型小适用于小直径的桩基础挖掘,与传统

的回转铣挖方式不同,采用来回式的开挖方式更适用于该掘进装备^[5]。

主要工艺流程如下:

- (1) 铣挖头旋转切入岩石铣削基坑周边;
- (2) 当铣挖头达到额定压力后启动摆动缸,驱动截割头向基坑中心铣挖;
- (3) 当摆动缸工进到位后停止 5s 而后工退回原位,1 条轨迹铣挖完毕;
- (4) 旋转平台马达启动,驱动旋转平台旋转,使铣挖头沿周向旋转铣挖,旋转平台转动 40° 后,旋转平台工进到位,旋转马达停止工作。
- (5) 重复步骤 3、步骤 4 共 8 次,此时铣挖头旋转一周回到原位,形成一个周期如图 4 所示。完成第一层铣挖。

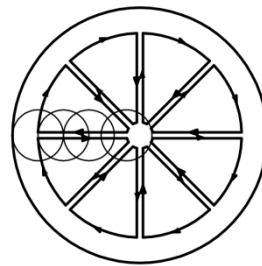


图4 铣挖工艺流程

当第一层铣挖完成后启动升降液压马达,驱动铣挖头向下铣挖,使平台开始下降,下降 250mm 后升降马达停止工作。再重复上述铣挖流程进行第 2 层的铣挖。多次循环作业,直至达到施工要求,该掘进机铣挖深度为 20~25m^[6]。

2.2 铣挖工艺参数

岩体在特定的情况下抵抗外力作用所能承受的最大应力值被称为强度。一般表示岩石强度的指标有 3 个,抗压强度、抗剪强度,和抗拉强度。而在工程领域将抗压强度作为表征煤岩硬度的指标。三者之间的关系如下:

$$\sigma_y : \sigma_j : \sigma_l = 1 : (0.1 \sim 0.4) : (0.03 \sim 0.1) \quad (1)$$

从式中可知, σ_y 大约是 σ_l 的 10 倍,大小关系为 $\sigma_y > \sigma_j > \sigma_l$, 因此,在矿井断面掘进过程中,应最大限度地利用剪切和拉伸破坏来进行岩石的破碎。从而可以减少掘进刀具的磨损,提高掘进效率。

截割厚度:

$$h_{\max} = \frac{1000v}{mn} \quad (2)$$

h ——截割厚度, mm; v ——掘进速度, m/min; n ——截割头转速, r/min; m ——同一条截线上的截齿数量。

根据经验公式,初步设定截割厚度 $h = 5\text{mm}$; 掘进速度 $v = 0.1\text{m/min}$; 截割头转速 $n = 50 \sim 60\text{r/min}$; 参与截割齿数 $z = 7$ 。

岩石抗压强度 (取 $\sigma_y = 80\text{MPa}$)

3 装备控制系统

模糊 PID 控制,即利用模糊逻辑并根据一定的模糊规

```

graph LR
    Input --> Sum((⊗))
    Sum -- E --> Fuzzy[模糊控制器]
    Sum -- E --> PID[PID 控制器]
    Sum -- E --> Transducer[测量变送器]
    Fuzzy -- "dE/dt" --> Fuzzy
    Fuzzy -- "Kp, Ki, Kd" --> PID
    PID --> Object[被控对象]
    Object -- Output --> Output
    Object --> Transducer
    Transducer --> Sum

```

上图中,系统的输入是控制变量的偏差和偏差的变化率,输出变量为 k_p , k_i , k_d 。模糊控制器里面是模糊控制规则,根据模糊规则实时改变PID参数中的 K_p 、 K_i 、 K_d 的值,从而实现PID参数的自整定,使得被控对象具有更好的性能。设定PID控制器的参数初始值 k_p , k_i , k_d 可得:

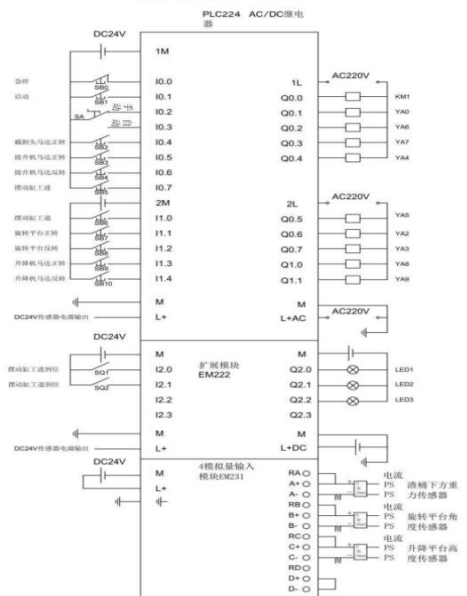
$$K_i = \Delta K_i + k_i \quad (7)$$

$$K_d = \Delta K_d + k_d \quad (8)$$

4 PLC 控制系统设计

根据设计的液压系统,设计和开发一套掘进机动作控制,传感器检测和人机交互功能的程序。控制系统软件包括主程序、数据采集、状态监测、截割、人机界面等程序设计,可以实现掘进机系统数据采集、截割刀具姿态测量、数据储存等功能。图7为I/O口分配表,电气原理图,图8为控制系统操作界面。

输入信号和地址		输出信号和地址		
地址	元件	地址	元件	功能
I0.0		Q0.0	YA6	铁枕头马达正转
I0.1		Q0.1	YA7	铁枕头马达反转
I0.2		Q0.2	YA8	摆动缸正进
I0.3		Q0.3	YA9	摆动缸后退
I0.4		Q0.4	YA4	旋转平台正转
I0.5		Q0.5	YA5	旋转平台反转
I0.6		Q0.6	YA2	支护筒下压
I0.7		Q0.7	YA3	支护筒上升
I1.0		Q1.0	YA0	出渣机正转
I1.1	SB0	Q1.1	YA1	出渣机反转
I1.2	SB1	Q1.2	LED1	自动
I1.3	SB2	Q1.3	LED2	手动
I1.4	SB3	Q1.4	LED3	铁枕头运行灯
I1.5	SB4	Q1.5	LED4	铁枕头摆动灯
I1.6		Q1.6	LED5	平台旋转灯
I1.7	SA1	Q1.7	LED6	升降运行灯
I2.0		Q8.0	LED7	出渣运行灯
I2.1	SA2	Q8.1	LED8	支护筒装入提示灯
I2.2		Q8.2	LED9	提渣提示灯
I2.3	SA3			
I2.4				
I2.5	SA4			
I2.6	SB5			
I2.7				
I2.8	SA5	AQW48		比例阀(摆动缸)
I2.9		AQW50		比例阀(旋转平台)
I3.0		AQW52		比例阀(提升机)
I3.1	SB6	AQW54		比例阀(升降)
AIW32				
AIW34				



113

此系统通过现场试验,与所设计的液压系统相结合,输入相应的参数与控制指令,掘进装置能顺利完成一系列支撑和掘进动作,同时通过实时传感器收集数据确保系统安全运行。试验现场如图9所示。



图9 试验现场

5 结论

本文通过对项目研制的桩基础掘进装备的工作原理,详细分析了其在工程施工作业中运动轨迹的规划,再设计了一套机电液控制系统,并在现场进行实验,结果表明所确定的工艺轨迹与设计的控制系统能满足要求,并取得良好的效果,为项目顺利推进奠定基础,也为山地桩基础施工提供更多的作业方式。

[参考文献]

- [1]潘康,朱克亮,黄成云,等.送电线路旋桩机研制及应用[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2020,25(1):53-56.
 - [2]梁起源.旋挖钻机液压与电控系统设计[D].山西:太原理工大学,2020.
 - [3]何善能.桩基础施工技术现状及发展方向[J].建筑技术开发,2021,48(9):11-12.
 - [4]徐思家.旋挖钻机自动化控制系统关键技术研究与应用[D].江苏:中国矿业大学,2020.
 - [5]樊荣.山地输电线路微型桩基础施工机具的研究[J].科学技术创新,2021(18):59-61.
 - [6]Anonymous.Leica Geosystems Introduces Rig Solutions for Pile Drivers, Drill Rigs[J].Rock Products,2020,123(6):32-33.
- 作者简介:雷腾(1991.1—),硕士研究生,工程师,电网建设,成果:作为主要人员参与的金山500千伏变电站新建工程获“中国建筑工程鲁班奖”,明月山500千伏变电站新建工程获“国网公司输变电优质工程金奖”。