

面向山地杆塔基础的新型模块化竖井掘进机设计

黄欣¹ 赵昆渝¹ 周玲² 李刚¹ 蒋强²

1 重庆市送变电工程有限公司, 重庆 400050

2 重庆理工大学机械工程学院, 重庆 400050

[摘要] 针对高山地区, 运输装备无法到达, 只能采用索道运输物资条件下的输电线路的杆塔基础施工, 本论文提出一种集掘进与排渣功能的自动化模块掘进装备。论文通过深入剖析岩石破碎机理, 探讨杆塔基础沉井技术工艺流程与影响因素, 确定了结构设计参数与工艺参数, 并采用数字化的模块设计、几何运动分析。为输电线路杆塔基础机械化施工奠定的基础。

[关键词] 杆塔基础施工; 模块化; 沉井技术

DOI: 10.33142/ec.v6i1.7693

中图分类号: TD421.5

文献标识码: A

Design of a New Modular Shaft Boring Machine for Mountain Tower Foundation

HUANG Xin¹, ZHAO Kunyu¹, ZHOU Ling², LI Gang¹, JIANG Qiang²

1 Chongqing Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Chongqing, 400050, China

2 College of Mechanical Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing, 400050, China

Abstract: In view of the fact that the transportation equipment cannot reach the high mountain area and can only be used for the construction of the tower foundation of the transmission line under the condition of material transportation by cableway, this paper proposes an automatic modular tunneling equipment with the functions of tunneling and slag removal. Through in-depth analysis of rock breaking mechanism, this paper discusses the technical process and influencing factors of tower foundation sinking well, determines the structural design parameters and process parameters, and adopts digital module design and geometric motion analysis, which lays the foundation for the mechanized construction of transmission line tower foundation.

Keywords: tower foundation construction; modularization; open caisson technology

引言

杆塔基础作为输电线路的重要组成部分, 它的施工效率关乎整个线路的施工效率。由于电力运行线路走廊复杂, 遇到的地质条件、施工条件、施工场地千变万化, 杆塔基础施工方式也不同^[1]。现有的杆塔基础施工方式有旋挖钻机、回转钻机、挖孔桩掏挖基础施工, 自行式扩底掏挖钻机、岩石锚杆钻机设备施工等。但在某些特定区域, 比如偏远山地, 地质条件差, 交通条件差, 上述方法无法满足建设需求^[2]。人工机具成孔目前是我国山地杆塔基础主要施工方式, 由于市场炸药的限制, 人工掏挖基础施工效率低, 孔下作业安全风险大。因此, 山地机械化施工一直以来是推进输电线路全过程机械化施工的瓶颈^[3]。

本文为克服上述问题, 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模块化竖井掘进施工机械装备, 该设备是小型的模块化掘进装置, 体积小可通过索道运输方式到施工地点, 模块化方便组装提高施工效率。开挖直径为 1.6 m, 深度可达 20 m。相比传统施工方式更能提高工程建设质量及效率, 提升经济、环境和社会效益。

2 杆塔基础掘进工艺与参数

2.1 机械破岩机理

利用特定的机械工具在岩石表面施加载荷, 使岩石所受载荷超过其强度极限而破碎的破岩方式称为机械破岩方法。

掘进机的破岩方式主要为机械破岩, 破岩工具为截割头, 即通过截割头上的截齿与岩石发生相互作用来破碎岩石, 因此可通过分析单个截齿破岩过程来分析破岩工具的破岩机理。

截齿按照螺旋排列方式排布在掘进机截割头上, 当截割头截割煤岩时, 截齿齿尖首先与岩体接触, 在截割头体的转动和悬臂摆动的复合运动下, 将作用力经过接触传递到岩体表面。岩体在齿尖挤压作用下逐渐产生压应力、剪切应力以及拉伸应力等复杂应力场。当接触区域的应力超过煤岩体所能承受的极限值时, 煤岩体开始产生裂纹, 进一步形成岩屑^[4-7]。由于煤岩独特的非均质性质, 属于脆性物体, 其截割破碎过程可以分为岩体变形、岩体裂纹萌生、密实核形成和岩体崩落四个过程。见下图 1 所示:

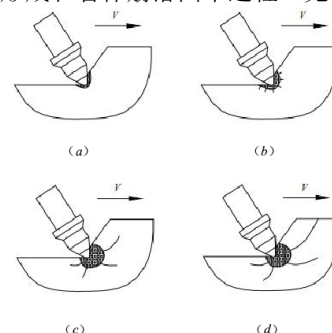


图 1 截齿破岩过程

在挤压作用下,密实核附近区域的岩体形成了复杂的应力场。当附近区域煤岩体某一处应力大于岩石的强度极限时,该处形成裂纹源,逐渐形成很多的微小裂纹。随着截齿截割力的进一步增大,若密实核形成却无法释放出去,对周围岩体的压力就会逐渐增大。诸多微小裂纹在逐渐增大的压力作用下沿着岩体能量最小的层理、节理方向扩展,逐渐形成一条主裂纹,进而导致大块煤岩的崩落。此时截齿所受到的载荷迅速降低,即完成一次截割过程^[8]。

2.2 掘进工艺流程

掘进机在竖井掘进中,主要是通过控制截割臂的摆动和伸缩进而控制截割头体的破岩工作。主要有(1)纵向掘进运动;(2)截割头纵向摆动;(3)回转台旋转。在实际破岩过程中,大致可分为沿断面的钻孔掘进、纵向摆动破岩。

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杆塔基础挖掘,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。

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条道路铣挖完毕;
- (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2所示。完成第一层铣挖。

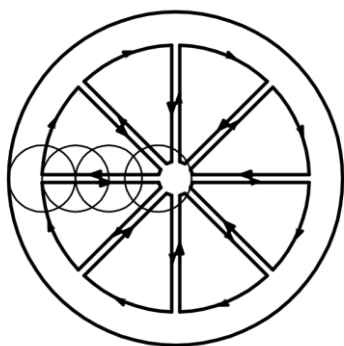


图2 铣挖工艺流程

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。

2.3 结构参数分析

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 $z = 7$ 。

3 装备结构与特性

3.1 模块化设计

掘进机由铣挖头、铣挖臂连接组件,伸缩缸,旋转平台,料斗提升机,渣桶,护臂,丝杠,滑块,夹臂等结构组成,如图3所示。

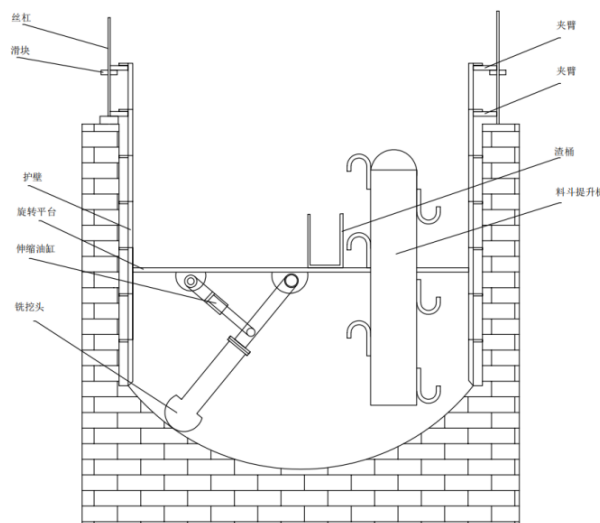


图3 掘进机示意图

由于山地运输不便及复杂的地质条件,为满足各种实际需求对掘进机进行模块化设计提高其适用性,降低结构复杂程度,方便运输及装配。掘进机结构主要分为四大模块:铣挖装置、出料装置、护壁支撑及提升装置、回转台装置。由这些模块装置组合成整个掘进设备,当面对不同作业情况或故障时这些部件可以更换,不影响整体设计,如图4所示。

(1) 铣挖装置：铣挖臂固定在旋转平台下方的连接柱上，能绕连接轴旋转；铣挖头连接在铣挖臂上，可以和铣挖臂一起旋转，有液压泵负责给铣挖头供油驱动铣挖头工作。负责破碎岩石。伸缩缸一头连接在旋转平台下方的另一个连接轴上，一头连接在铣挖臂连接组件上，当无杆腔供油时活塞杆伸出，驱动铣挖臂绕连接轴周向旋转，使铣挖头开始铣挖岩石。当有杆腔供油时，活塞杆收缩，使铣挖头回到开始的位置。

(2) 出料装置：料斗提升机固定在旋转平台上，主要负责将铣挖破碎后的岩石从基坑里面运输到渣桶里面。渣桶放置在旋转平台上方，主要放碎岩，当渣桶装满时由吊车提出到外面倒掉，并再次放回平台。

(3) 回转台装置：旋转平台带动铣挖臂连接组件，铣挖头，伸缩缸，渣桶水平旋转，带动铣挖头铣挖。

(4) 护壁支撑及提升装置：上夹臂固定在滑块所在的钢架上，当滑块沿丝杠下滑时，带动整个装置下行。当到达护臂的尽头时，下夹臂夹紧护臂。上夹臂张开，开始装新的护臂，由螺栓固定，上夹臂夹住新的护臂，下夹臂张开。

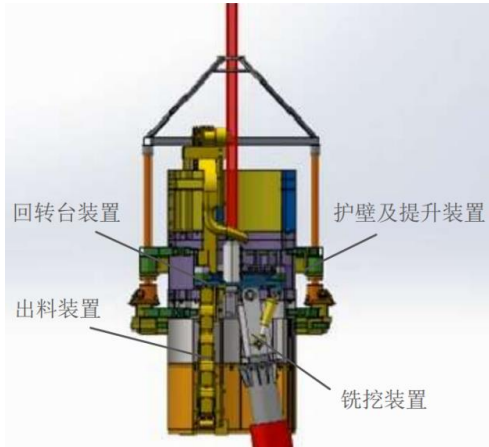


图4 模块化装置

3.2 结构几何运动分析

根据掘进机实际工作过程中的运动状态，建立如图5所示的运动简化模型。铣挖臂的工况角度由伸缩油缸活塞杆的伸出和收回控制。

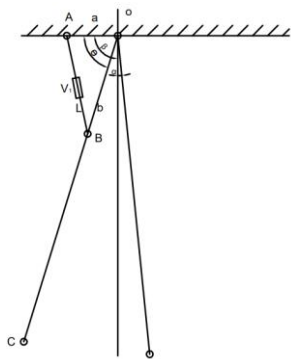


图5 运动简化模型

其中OA为固定件长度为 a , mm; OB为摆动臂长度为 b , mm; BC为铣挖头部; v_1 为油缸伸缩的速度方向; θ 为摆动臂OB与固定件OA之间的夹角, ($^\circ$); β 为截割臂垂直工况下与回转台的夹角, $\beta = 90^\circ$ 。

由图可得：

$$\theta_{min} = \cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l^2}{2ab} \quad (3)$$

$$\theta_{min} = \alpha_{min} + \beta \quad (4)$$

$$\alpha_{min} = \cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l^2}{2ab} - \beta \quad (5)$$

$$\alpha_{max} = \cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l_{max}^2}{2ab} - \beta \quad (6)$$

以O为原点，竖直向下的轴为界限，当截割臂依靠油缸收缩向轴左侧摆动时的工况可得：

$$\alpha \in \left[\cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l^2}{2ab} - \beta, \cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l_{max}^2}{2ab} - \beta \right] \quad (7)$$

以O为原点，竖直向下的轴为界限，当截割臂依靠油缸伸缩向轴右侧摆动时的工况可得：

$$\alpha \in \left[0, \cos^{-1} \frac{a^2 + b^2 - l_{max}^2}{2ab} - \beta \right] \quad (8)$$

为分析掘进机运动状态，共有一下三种不同工况：截割臂在竖直情况下工作，截割臂在轴左侧状态工作以及截割臂在轴右侧状态下工作如表1所示。

表1 不同工况下的运动简图

a) 截割臂在竖直情况下运动简图	b) 截割臂在轴左侧时工况运动简图	c) 截割臂在轴右侧时工况运动简图

4 结论

本文介绍了一种新型适用于山地杆塔基础挖掘的机械装置。研究了掘进机机械破岩机理，进行了掘进工艺流程设计，总结了掘进机基本参数，介绍了该掘进装置的模块化设计，通过运动简图对其进行几何运动分析。在设备掘进过程中，铣挖方式与排渣相结合的自动化作业可大大提高施工效率，整机的轻量化设计、模块化也可大大提高作业效率，从而降低设备制造以及施工成本。因此，山地杆塔基础机械化施工将逐步替代原有的施工方式。

[参考文献]

[1] 郑卫峰, 张天光, 陈大斌, 等. 我国输电线路基础工程现

状与研究新进展[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(2): 22-23.

[2] 刘倩倩. 输电线路全过程机械化基础设计与施工研究[J]. 中国新技术新产品, 2018(14): 86-87.

[3] 樊荣. 山地输电线路微型杆塔基础施工机具的研究[J]. 科学技术创新, 2021(18): 59-61.

[4] 陶驰东. 采掘机械[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.

[5] 姚宝恒. 镐形截齿破煤机理研究[D]. 辽宁: 辽宁工程技术大学, 2000.

[6] 胡德礼, 伍维根, 靳海水. 采煤机截割破碎理论的相似模拟研究[J]. 煤炭学报, 1992(3): 56-64.

[7] 马泽民. 采煤机截齿截割破岩能力分析研究[J]. 煤炭科技, 2017(2): 18-19.

[8] 温璇. 掘进机不同工况下截割头破岩的仿真研究[D]. 山西: 太原科技大学, 2019.

作者简介: 周玲 (1983. 3-), 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事机械结构设计、动态特性分析等方面的学习与研究。