

模块化微型桩钻机的研制及工程应用

马宁¹, 林峰², 江雷², 狄锡颖², 李欣², 张恒武², 宋青杰¹, 李欣伟¹

(1.北京三一智造科技有限公司, 北京 102202; 2.国网湖南省电力有限公司, 湖南长沙 410004)

摘要:目前,山区输电线路基础施工以人工挖孔工艺为主,存在施工效率低、安全风险高的问题,不能满足日趋严格的电力安全生产要求。文中根据20余年的旋挖钻机生产经验,结合山区地形复杂、运输困难、岩石抗压强度大等施工痛点,研制出重量轻、拆装简单、入岩能力强的山地模块化微型桩钻机,并根据山区“土薄,岩厚且硬”的地质特点,提出了相应的施工工艺,初步解决了实际的施工难题。所研发的山地模块化微型桩钻机,不仅提高了山区输电线路工程中基础施工的机械化程度,而且为山区电力线路工程施工提供了技术和工艺参考。

关键词:山区; 输电线路; 桩基础; 模块化; 微型钻机

中图分类号: TH 17 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2023)04-0044-04

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20230408

Development and Engineering Application of Modular Micro-pile Drilling Rig

MA Ning¹, LIN Feng², JIANG Lei², DI Xiyang², LI Xin², ZHANG Hengwu², SONG Qingjie¹, LI Xinwei¹

(1. Beijing Sany Intelligent Manufacturing Technology Co., Ltd., Beijing 102202, China;

2. State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd., Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: At present, the basic construction of transmission lines in mountainous areas is mainly based on manual hole digging technology, which has the problems of low construction efficiency and high safety risk, and cannot meet the increasingly strict requirements of power safety production. Based on the experiences in production of rotary drilling rigs more than 20 years, and combined with the construction pain points such as complex mountainous terrain, difficult transportation and high rock compressive strength, a modular micro-pile drilling rig with light weight, simple disassembly and assembly, and strong rock penetration ability is developed. Based on the geological characteristics of "thin soil, thick and hard rock" in mountainous areas, the corresponding construction methods for modular micro-pile drilling rig are proposed, which preliminarily solves the actual construction problems. The successful developed modular micro-pile drilling rig for mountainous areas not only improves the mechanization of foundation construction in mountainous transmission line project, but also provides a technical and construction method reference for power line engineering construction in mountainous areas.

Key words: mountainous area; transmission line; pile foundation; modularization; micro-drill

0 引言

“十四五”电网建设与发展规划强调,要加速建设特高压骨干输电网络,输电线路工程仍有较大发展前景。传统电力线路工程中的杆塔桩基础施工一直依靠人工挖孔作业,施工速度慢、安全风险高^[1],

基金项目:国网湖南省电力有限公司科技项目(5216A721003G)

因此对输电线路基础施工机械化的要求日益迫切。近年来,得益于电厂、变电站桩基工程中旋挖钻机的高效施工^[2-3],国内研究人员开始重视旋挖钻机在电力线路桩基础机械化施工中的应用前景研究^[4-5],尤其是DR125T型掏挖钻机、电建钻机等机械设备在输电线路基础施工中取得了良好应用效果^[6-9]。但针对山区地形复杂、硬岩地层较多等情况,上述机械设备存在整机重量大、运输不便、岩层

施工效率低等问题。

针对山区条件下输电线路基础的机械化施工难题,下面以设备重量轻、模块化拆装、入岩能力强为目标,结合岩石破碎装置开发、施工工艺研究等手段,研制出了新型山地模块化微型桩钻机,并在实际工程中取得了一定的施工效果。

1 输电线路基础工程发展趋势及机械化施工现状

1.1 输电线路基础工程发展趋势

输电线路工程桩基础施工受地形、地质和施工设备等条件的影响较大。在桩基础设计形式方面,输电线路工程桩基础在“微型桩、群桩”^[10-11]、桩型优化^[12]方面研究成果较多;在施工工艺方面,以岩石基础施工工艺、施工方案优化^[13]、桩身质量监测及控制^[14-15]研究为主;机械化施工方面,以小型施工机械和辅助设备研发^[16-17]为主,比如用水钻成孔方法在输电线路中岩石基础的应用、振动锤和全护筒在部分易坍塌地层中的施工应用等。而山区输电线路工程桩基础因在山腰或山顶施工,施工过程面临设备运输成本高、施工效率低、施工能力弱等诸多不利因素影响;因此桩型设计向“小桩、群桩”方向优化,在设备和工艺方面,小型、模块化施工设备研发^[16]和硬岩施工工艺创新是国内设备厂家和电力工程施工公司的研究方向。

1.2 输电线路基础工程机械化施工现状

2008年,国家电网直流建设分公司与北京送变电公司联合研制了DR125T型掏挖钻机^[6],并在 ± 800 kV向上直流特高压工程中投入应用,应用效果良好,体现了非常高的施工效率和安全性。但是该钻机仅在直径1.5 m以上的掏挖基础上应用时技术经济性比较好,且存在自重较大、现场移运困难、临时占地量大等缺点。

2014年,国网冀北电力有限公司研究出轻型化、组合式的掏挖基础开挖设备^[7],适用于1000 mm及以下直径、人工掏挖难以实现、大型设备无法通行或距离交通道路较远地区的线路工程桩基础施工。该钻机主结构采用组合式、外设动力及操控装置;单件质量小于300 kg,便于组装及拆卸;并考虑基础节能的设计,掏挖钻机的最大钻孔直径为1000 mm,最大钻孔深度为8.5 m。该钻机提高了掏挖基础施工

效率,降低了施工成本,保证了施工质量及安全性;但设备掏挖深度小,难以满足施工需求。

2021年,国网湖南省电力有限公司与泰信机械联合研制生产了电建桩机专用设备KR50D^[9],适应于电力杆塔桩基础施工。该设备具备整机重量轻、整体运输、爬坡能力强、重心低、稳定性高等特点,且下车履带可伸缩,方便窄路通过;采用组合钻入岩、加强型结构,取得了较好的效果。但该设备仅满足平地、丘陵、部分山地地形施工,整机未进行模块化设计,无法进行高山施工情况下的索道运输,且硬岩地层施工能力十分有限。

2 山地模块化微型桩钻机

所研制的模块化微型桩钻机重量轻且具有硬岩破碎能力,能够满足高山地区输电线路工程所面临的索道运输、破碎硬岩工况,对高山地区输电线路工程机械化施工意义重大。

2.1 设备组成及参数

山地模块化微型桩钻机整机由五大模块组成,如图1所示,分别为桅杆动力、钻杆、驾驶室、底盘、配重,且各部分质量均低于2 t,满足山区电力施工中型索道的运输能力。采用的三一重机事业部技术

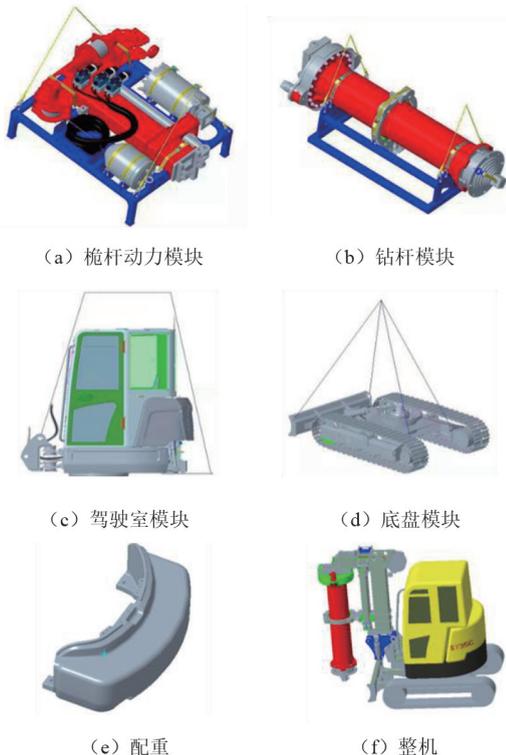


图1 山地模块化微型钻机结构组成

表 1 山地微型桩钻机与其他钻机性能对比

对比角度	山地微型桩钻机	DR125T 型掏挖钻机	轻量化、组合式掏挖钻机 ^①	KR50D 电建桩机
山地运输适用性	分体式运输,适用性更强	整体运输、山区适用性差	分体式运输,适用性强	整体运输
地层适用性	满足中风化以下的硬岩地层施工,适用性更广	扭矩 150 kN·m,有一定中风化硬岩施工能力	原状土、强风化岩石地质	仅适用于土层、全风化地层、软岩
山地地形施工便利性	针对山地地形开发	平地、丘陵全地形	平原、丘陵及山区	满足平地、丘陵全地形,以及部分山地地形施工
整机质量	6.88 t	29.00 t	约为 2.92 t,单构件最大质量 300 kg	配置不同,分别为 6.1 t、6.5 t、7.0 t
施工孔径、钻深	0.3~0.6 m 群桩 钻深 12.0 m	最大孔径 2.0 m 最大钻深 11.5 m	最大孔径 1.0 m 最大钻深 8.5 m	孔径最大 1.2 m 钻深 12.0 m

注①:轻量化、组合式掏挖钻机为国网冀北电力有限公司与北京送变电公司研制的轻量化钻机^[7]。

成熟的挖掘机底盘,重心低、稳定性高;各模块之间多采用销轴式连接,便于拆分和装配。

设备施工时,底盘、驾驶室、配重和桅杆动力模块始终固定连接,钻杆模块、钻具和破碎锤装置则根据实际施工进行选择。在土层中施工,选择钻杆模块和钻具;在硬岩地层施工,则需要切换至硬岩破碎锤装置。

山区索道运输在输电线路建设中应用广泛。山地模块化微型钻机利用索道机构,通过门架葫芦实现快速拆卸和安装。山地模块化微型钻机整机质量为 6.88 t,各模块质量低于 2 t,整机尺寸为 3700 mm×1720 mm×2800 mm(长×宽×高),最大爬坡角度为 25°,能够在不碾压破坏山区道路的情形下行驶转场。山地模块化微型钻机拆装过程如图 2 所示。首先,当运输或自行行驶至山脚时,利用汽车吊进行拆分;然后,利用中、重型索道,按照底盘、驾驶室、桅杆动力等模块运输顺序,运输至山顶或山腰;最后,依托索道门架葫芦的升降,实现快速的拼装和拆卸。

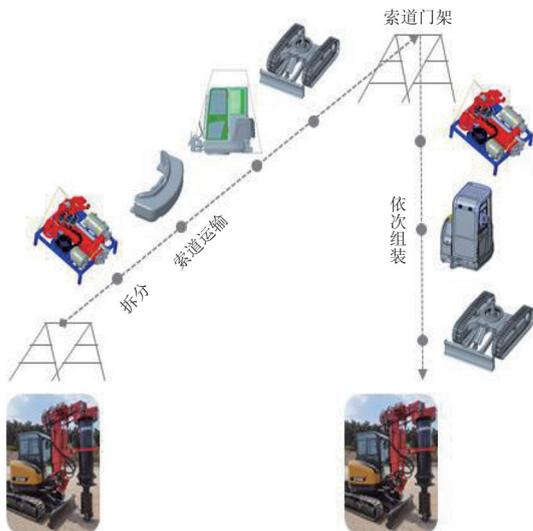


图 2 山地模块化微型钻机拆装示意

受钻机尺寸的影响,山地模块化微型桩钻机的发动机、主泵、主阀部件集成在驾驶室模块中,行走马达和回转马达集成在底盘模块中,其整机工作状态最大高度为 3880 mm,回转半径为 2000 mm,最大爬坡角度为 25°,其他技术参数如表 2 所示。经过土层施工测试,该钻机可以满足山区常规土层施工的性能要求。

表 2 山地模块化微型钻机技术参数表

项目	参数
动力头最大输出力矩/(kN·m)	10
最大转孔直径/mm	400~600
最大钻孔深度/m	10~12
最大加压力/t	2
主卷扬最大提升力/t	2
副卷扬最大提升力/t	1
转速/(r·min ⁻¹)	25~45
工作状态最大高度/mm	3880
运输状态高度/mm	2800
运输状态宽度/mm	1720
运输状态长度/mm	3700
整机质量/t	6.88

2.2 硬岩破碎锤装置和施工工艺

硬岩施工效率低是山区输电线路桩基础的施工痛点,山地模块化微型钻机结合冲击碎岩装置原理,设计了破碎锤挂载装置,当土层施工过渡为岩层施工时,模块化微型钻机通过门架葫芦,拆卸钻杆模块和钻具,快速切换为破碎锤装置。破碎锤装置由过渡法兰、对接法兰、送气回转器、钻杆、冲击器、潜孔锤、空压机等组成,如图 3 所示。

根据实际施工需求,结合钻机性能参数、破碎锤参数,在桩径 600 mm 的桩孔中论证了梅花孔分布形式、直径、孔距,及其对 600 mm 直径的牙轮筒钻环切效率等影响。山地模块化微型钻机硬岩地层施

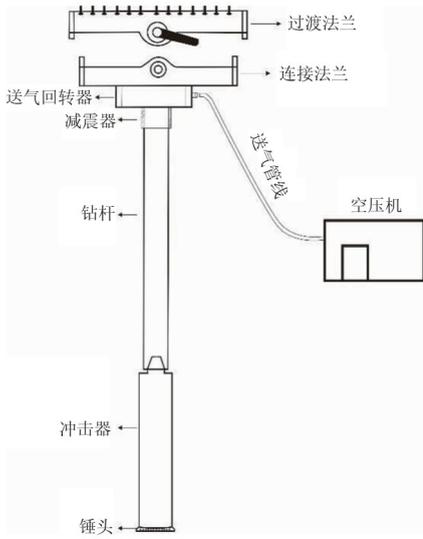


图3 山地模块化微型钻机硬岩破碎锤装置

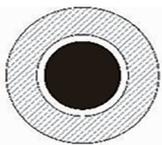
施工工艺如图4所示。对150 mm梅花孔、200 mm梅花孔、305 mm单孔对比分析,如表3所示。考虑到梅花孔施工易发生串孔且定位难,最终选择305 mm破碎锤单孔施工,施工工艺如下:

1) 在600 mm桩孔中,先使用305 mm破碎锤施工,配合空压机清渣,形成中心孔。

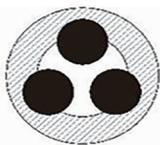
2) 利用牙轮筒钻进行环切破碎。前述305 mm破碎锤施工后,一方面在成孔时将孔周岩石形成微小裂隙破坏,有利于600 mm压裂筒钻施工时破碎岩石;另一方面,除去牙轮环切槽宽度,仅剩余30 mm的环状区域,总体上更有利于600 mm牙轮筒钻进行施工,提高施工效率。

表3 600 mm桩径3种梅花孔施工方案的关键参数对比

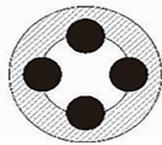
孔直径/ mm	孔数量/ 个	孔间距/ mm	距孔壁 距离/mm	牙轮环切 槽宽/mm	优缺点对比
150	4	90.5	55	120	定位难、孔数多、 效率低
200	3	59.8	50	120	孔距小、易串孔
305	1	—	150	120	存在动力不足 风险



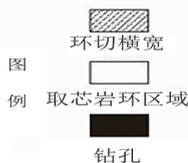
(a) 300 mm直径梅花孔形



(b) 200 mm直径梅花孔形式



(c) 150 mm直径梅花孔形式



图例 取芯岩环区域 钻孔

图4 山地模块化微型钻机硬岩地层施工工艺

3 山地模块化钻机工程应用

所研发的山地模块化微型桩钻机已完成土层中的现场测试,并在试验场地完成了硬岩施工测试。

2022年1月,山地模块化微型桩钻机在湖南省娄底市新化县完成了土层中的施工验证,现场照片如图5所示。该处地层0~4 m为残积土,4 m以下为中风化岩石。在残积土、全风化地层中,桩径600 mm情况下,山地模块化钻机利用体开斗施工,成孔时间32 min。机器组装快速、运转灵活、施工顺利;成孔质量好,无斜孔。相较文献[9]中土层人工掏挖成孔约1.5~2.0 m/h的速度,山地模块化钻机不仅降低了施工风险,而且极大地提高了施工效率,取得了较好效果。针对破碎锤装置的测试,试验过程中采用试验台固定的形式,对抗压强度为20~30 MPa的红砂岩,选择305 mm成孔直径进行施工,综合钻进速度约1.2 m/h。



(a) 山地模块化微型钻机施工现场 (b) 施工时所使用的体开斗钻具



(c) 施工桩孔的质量

图5 山地模块化微型钻机现场验证

4 结论

所研发的山地模块化微型钻机以其模块化运输、重量轻、施工灵活等特点,符合山区地形中输电线路工程的机械化施工需求,尤其是土层验证中取

(下转第74页)

- [15] 方堡垒.智能变电站二次系统检修维护新方法研究[D].济南:山东大学,2018.
- [16] 中国南方电网有限责任公司生产技术部.500 kV 并联电抗器(含中性点电抗)技术规范:Q/CSG 1101004—2013[S].北京:中国电力出版社,2012.
- [17] 周宗川.投退高压电抗器对系统电压产生的影响[J].宁夏电力,2009(4):16-19.

作者简介:

孙健杰(1996),男,硕士,从事继电保护工作;

表明哲(1985),男,高级工程师,国网四川省电力公司研究生工作站企业导师,研究方向为电力系统继电保护及信号处理在电力系统中的应用;

殷攀程(1990),男,硕士,工程师,从事继电保护工作;

张 治(1976),男,工程师,从事继电保护及变电运行维护工作;

陈 翔(1991),男,硕士,工程师,从事变电运行维护工作。

(收稿日期:2022-11-10)

(上接第 47 页)

得了较好的效果。在下一步的研发和施工验证中,应更注重瓶颈问题的解决,比如硬岩施工效率低;还需要在钻机性能、破碎锤参数、地质抗压强度三者之中找到平衡点。随着模块化微型钻机破碎锤的不断开发、测试和应用,山地模块化微型钻机将以适用范围更广、施工能力更强的优势,进一步提高山区输电线路工程的机械化程度。

参考文献

- [1] 刘哲.送变电土建工程机械化施工及应用研究[D].保定:华北电力大学,2015.
- [2] 张战战.旋控式全护筒钻孔灌注桩在电厂建设中的应用[J].电力科学与工程,2004(4):66-67.
- [3] 许琛,张志伟,王文鹏,等.全护筒跟进旋挖钻进工艺在镇江电厂二期工程的应用[C]//中国电机工程学会电力土建专业委员会“加入 WTO 与中国电力土建技术发展”学术交流会.北京:中国电机工程学会,2003.
- [4] 吴立春,李华伟,洪辉.某电厂湿陷性黄土地基处理方法的对比试验[J].工程勘察,2006(S1):220-225.
- [5] 葛海明,郭纪中.旋挖式钻孔灌注桩在张家港电厂中的应用[J].工程勘察,2006(S1):144-148.
- [6] 秦庆芝,朱艳君,高学彬,等.掏挖基础机械成孔设备研制及其工程应用[J].电力建设,2010(11):47-49.
- [7] 袁敬中,郎福堂,罗毅,等.线路工程掏挖基础组合式成孔机械研究及应用[J].中国电业(技术版),2014(9):54-56.
- [8] 鲁俊荣,宋念达,宋丹,等.特高压淮南—上海输变电工程新施工技术的应用[J].江苏电机工程,2014,33(1):60-62.
- [9] 瞿宗新.山区输电线路机械化施工方案研究[J].通讯世界,2021(3):176-177.
- [10] 沈伟,古银城,周战,等.浙江金华±800 kV 换流站桩基方案的探讨[C]//中国电力规划设计协会送变电设计交流会暨送变电专家委员会 2015 年工作会议.石家庄:中国电力规划设计协会,2015:152-156.

- [11] 陈锦,吴长霖.750 kV 线路掏挖基础利用旋挖钻机成孔方法[J].通讯世界,2015(23):169-170.
- [12] 钟维军.山地机械化施工基础型式设计方案研究[J].电力勘测设计,2015(S2):330-334.
- [13] 张爱虎,苏小青,李峰.110 kV 输电线路机械化施工方案的深化应用[J].江西电力,2018,42(2):29-32.
- [14] 徐用超.输电线路岩石基础开挖方法的比较[J].建筑工程技术与设计,2017(20):1445-1446.
- [15] 方月舵,郑卫锋,叶超,等.输电线路岩石嵌固基础选型及施工技术研究[J].电力勘测设计,2017(5):10-14.
- [16] 袁茂书.液压振动锤在电力工程旋挖成孔灌注桩施工中的应用[J].科技创新导报,2017,14(18):85-86.
- [17] 高歌,高宽红,陆烨.旋挖钻机在架空输电线路工程中的应用研究[J].科技与创新,2018(1):39-40.
- [18] 陈万兵,杨增明,马耀华.输电线路桩孔基础机械开挖施工技术[J].大科技,2016(4):46-47.

作者简介:

马 宁(1982),男,博士,高级工程师,研究方向为桩基施工机械及工法;

林 峰(1970),男,正高级工程师,研究方向为输变电工程项目管理;

江 雷(1982),男,高级工程师,研究方向为输变电工程机械化施工创新应用;

狄锡颖(1985),男,高级工程师,研究方向为输电线路工程施工技术及项目管理;

李 欣(1988),男,硕士,高级工程师,研究方向为输电线路工程施工技术及项目管理;

张恒武(1967),男,高级工程师,研究方向为输变电工程机械化施工创新应用;

宋青杰(1991),男,硕士,工程师,研究方向为地下空间工程机械设计;

李欣伟(1985),男,硕士,工程师,研究方向为桩基施工工法。

(收稿日期:2022-09-13)