

山区输电线路全过程机械化施工设计方案研究

杨 洋 鄢秀庆 刘翔云 李澄宇 李 力 李 陈

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川 成都 610021)

摘要: 输电线路全过程机械化施工主要工序包括物料运输、基础施工、组塔施工、架线施工、接地敷设等。受地形及交通影响,山区输电线路推进全过程机械化施工存在一定困难。结合川渝三通道 500 kV 线路工程特点,对山区全过程机械化施工方案进行研究,并对现场实施情况进行总结。针对主要工序、子工序提出了设计优化措施,为同类地区实施全过程机械化施工提供借鉴参考。

关键词: 山区;全过程机械化施工;设计方案

Abstract: The whole mechanized construction in transmission line has several main processes, including material transportation, foundation construction, tower installation, installation of overhead conductors and ground wires, grounding work and so on. Because of severe traffic condition in mountainous areas, it is difficult to promote the mechanized construction in whole process. Combined with the characteristics of the third - channel of 500 kV transmission line connected to Sichuan and Chongqing, the construction programs of whole process mechanized construction in mountainous areas are studied, and the implementation experiences in this project are summarized. The optimized measures of design are put forward for the main processes and sub - processes, which provides a reference for the whole process mechanized construction under similar condition.

Key words: mountainous areas; whole process mechanized construction; design program

中图分类号: TM75 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2017)05 - 0078 - 06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.019

0 引言

传统架空输电线路施工方案主要以人力为主,效率较低且施工安全风险大。近年来,随着设计方法的创新、装备研发的升级,在部分地形较好、交通便利地区已经具备全过程机械化施工的条件,并逐渐试行推广,成效显著^[1]。但对于山区而言,推广难度仍然较大。下面结合川渝第三通道 500 kV 线路工程(以下简称川渝工程)特点,对该工程山区全过程机械化施工设计方案进行了研究,并首次在四川山区 500 kV 线路工程中试行推广全过程机械化施工;总结了现场应用经验,并提出了可供参考的设计建议。

1 全过程机械化施工工序

根据国家电网《架空输电线路工程施工机械化率评价方法》^[2]规定,全过程机械化施工主要包含 5

大主工序和 11 个子工序,见表 1 所示。

表 1 全过程机械化施工工序划分表

主工序	子工序
物料小运	物料装卸、物料搬运、临时道路平整及修筑
基础施工	开挖或成孔、混凝土搅拌、混凝土浇筑
组塔施工	塔材吊装、紧固件紧固
架线施工	牵引绳展放、导地线展放
接地敷设	接地孔槽掘进

2 川渝工程设计方案研究

2.1 工程概况

川渝工程起于 500 kV 资阳变电站,止于拟建 500 kV 铜梁变电站站外搭接点,线路全长 164 km,按同塔双回路架设,分四川段和重庆段,长度分别为 120.5 km 和 43.5 km。根据施工图现场勘测,四川段丘陵占 70%、山地占 30%,丘陵地区塔位地形较好,交通便利,大多数塔位满足机械化施工条件。这里主要对川渝工程山区塔位进行研究。根据山区塔

表2 典型山区塔位交通情况列表

塔位号	N3019	N3035
塔位情况		
与主公路距离/高差(m)	320/70	250/90

位交通条件相对较差、临时道路修筑距离长、重型设备进场较为困难等特点,因地制宜地制定相应的机械化施工方案。工程典型山区塔位交通情况如表2所示。

2.2 机械化施工设计方案

根据机械化施工各工序要求,结合工程特点,制定设计方案如下。

2.2.1 物料小运

小运物料包含塔材、导地线、牵张设备、金具及基础材料等,物料特征及机械化方案如表3所示。

导地线、塔材、基础钢材、接地钢筋等重量较轻,对于靠近主公路且易于修筑临时道路的塔位,可采取自卸卡车或牵引车等小型机械进行转运。混凝土可采用商品混凝土利用罐车运输。以上运输方案需要临时道路满足相应的通行条件,结合组塔、基坑开

挖工序、设备的使用要求,临时道路的路基宽度要求见表4。

临时道路宽度为4 m时,基本可以满足各类机械的通行要求。同时考虑机械重量对地基承载力要求,需要对路面进行硬化处理使其达到一定的强度要求,如采用石子、石块铺路,其厚度为200~300 mm,既能保证后期长期使用,也能有效控制成本。

受地形影响,对于部分临时道路修筑较为困难的塔位,采用索道进行材料的转运。索道系统包括承载系统、牵引系统、循环系统、材料装卸系统。轻型索道(见图1)运输重量一般控制在1 t以内,重型索道(见图2)运输重量可达5~6 t。

基础材料除采用索道运输外,还可以采用泵车进行混凝土转运(见图3)。泵送混凝土具有输送能力大、效率高、能连续作业、节省人力、节约施工成本和

表3 物料特征及机械化方案表

项目	特征	单件重量/t	机械化设备
导线	4×JL/GIA-630/45,每盘2.5 m×2 m	3.2	自卸卡车、牵引车
地线	OPGW-150,每盘2.5 m×2 m	2.4	自卸卡车、牵引车
塔材	最大肢宽250 mm,长度≤12 m	≤1.5	自卸卡车、牵引车、索道
基础材料	商品混凝土(或砂石、水泥)	/	混凝土罐车、泵车、索道
牵引机	尺寸4 550 mm×2 200 mm×2 500 mm	5.5	板车
张力机	尺寸4 700 mm×2 350 mm×3 000 mm	10.5	板车

表4 机械设备对于路基的尺寸要求

项目	特征	设备宽度/m	路基宽度/m
组塔	12 t汽车起重机	2.5	3.0
	90 t履带式起重机	3.5	4.0
基坑开挖	旋挖钻机扭矩200 kN·m	2.6~3.5	4.0
物料运输	自卸式卡车	2.5	3.0

修路成本等优点,目前大功率混凝土泵最大水平运距可达620 m,最大垂直输送高度已达300 m。输送管道一般是用钢管制成,管径通常有100 mm、125 mm、150 mm等几种,标准管长3 m,配套管有1 m、2 m,另配有90°、45°、30°、15°等不同角度的弯管,可满足工程使用要求。

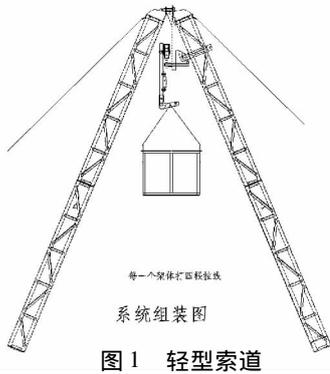


图1 轻型索道

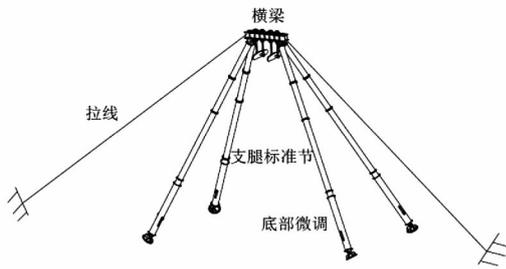


图2 重型索道

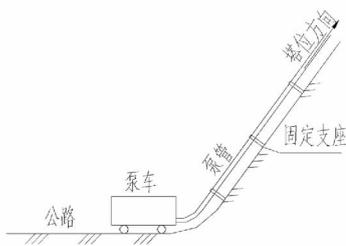


图3 泵送混凝土

2.2.2 基础施工

该工程地基主要以黏土、泥岩、粉砂岩及砂岩为主。根据地形地质情况,基础选型如表5所示。

表5 基础选型成果表^[3]

塔位地质情况	基础型式
粘土及岩石地基	挖孔基础、微型桩基础
岩石地基	岩石锚杆基础
河流阶地有水地基	直柱板式基础、灌注桩基础

1) 粘土及岩石地基

对于粘土及岩石地基,当交通情况较好时,挖孔基础可采用旋挖钻机进行基坑开挖。根据计算,本工程最大基础型号孔径为1.8 m,桩长7~15 m,选

择最大扭矩为200 kN·m左右的旋挖钻机可满足开挖要求。可采用的设备包括三一重工的SR200C,徐工机械的XR220D,国家电网《输电线路全过程机械化施工技术装备分册》^[4]的综合型,设备宽度为2.5~3.5 m。以上旋挖钻机均为履带式,对于部分塔位而言,当桩径不大于1.4 m时,可选择机动性更好的轮胎式旋挖钻机,其输出功率也可达80~100 kN·m,可降低对于临时道路的修筑要求。

对于旋挖钻机难以进场的粘土及岩石地基塔位,推荐采用微型桩基础(见图4)。单个微型桩的直径一般为200~400 mm,由多个单桩组成群桩基础共同承力。相较于大直径桩,单位体积的微型桩表面积大,节约工程费用在5%~10%,且布桩方式非常灵活。由于孔径小,微型桩成孔可以采用工程勘察钻机、锚固钻机机械,这些施工机械体型较小,拆卸后便于装运,适用于本工程交通不便的塔位。

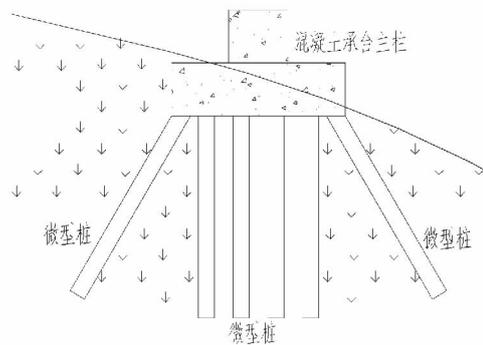


图4 微型桩基础

2) 岩石地基

在岩石地基上还可采用岩石锚杆基础。目前国内使用的岩石锚桩钻机主要有液压锚桩钻机、气动锚桩钻机、履带式锚杆钻机3大类,3类钻机都可以进行气动钻进。线路施工一般采用液压山地钻机,该钻机采用潜孔锤钻进工艺,具有钻进效率高、设备轻便、可拆卸性能强等特点,拆卸后单件重量不超过85 kg,操作简单,比较适合困难地区钻进施工要求。为使锚杆与周围岩体形成整体,注浆方式一般采用高压注浆,注浆压力为5 MPa左右。这样不仅对锚桩桩身的缺陷进行了加固,还对破碎岩层进行了加固,注浆泵重量为75 kg,2~3人即可抬动上山,机动性强。

3) 河流阶地有水地基

对于河流阶地有水地基推荐采用直柱板式基础或灌注桩基础。由于塔位交通情况一般良好且地形平坦,直柱板式基础可采用挖掘机开挖,灌注桩则可

采用回旋钻机进行开挖,机械化程度高。

2.2.3 组塔施工

1) 铁塔组立

本工程多数塔位全高小于100 m,铁塔单段或单片的重量都在12 t以下,可采用起重机和悬浮抱杆进行组塔施工。

交通条件较好的塔位,对于高度30 m以下的部分,采用汽车起重机进行铁塔组装,如三一重木STC120C起重机,其特点是移动灵活、整机重量轻,但额定起重量较小,起重高度不高。高度为30~70 m的铁塔,采用履带式起重机,如SCC900E起重机,履带起重机具有轮胎式起重机所无法达到的臂长、起重力矩、作业幅度、带载行驶能力及适应恶劣地面的能力等优势。高度大于70 m的铁塔,若采用更高吨位的履带式起重机或者全地面起重机,将大大增加运输成本,对于道路的要求也更高,因此可采用经济性更好的悬浮抱杆和起重机配合使用方案。

对于临时道路修筑困难的塔位,可结合索道运输,采用悬浮抱杆的方式进行组塔。落地式塔机组塔目前仅应用于特高压工程,在本工程中应用时经济性较差,因此不建议采用。

2) 紧固件紧固

吊装完成后及时紧固就位处螺栓,螺栓紧固全部采用定扭矩电动扳手。

2.2.4 牵引绳、导地线展放

在架线工序中,目前普遍采用张力放线,其机械化程度较高。首先由无人机或飞艇牵引初级导引绳,再用小牵引机收卷导引绳,逐渐将放线区段内的导引绳更替为牵引绳,最后由主牵引机收卷牵引绳,逐步将放线区段内的牵引绳更换为导地线。

2.2.5 接地孔槽掘进

根据线路沿线土壤电阻率的不同和现场地形地貌的限制,分别采用方形框加水平射线型式、方形框加垂直接地型式的接地装置。接地装置一般采用小型链式挖沟机、反铲挖掘机进行开挖,施工效率高,且场地要求不高。这些机械为常用农用具,方便租赁、施工,可实施性强,但开挖土方量大,对现场环境破坏比较严重。

采用水平定向钻机可避免大面积开挖的弊端。该装置主要由动力系统、控向系统、钻机系统组成;由动力系统向钻机系统提供动力,在控向系统的引导及泥浆系统的协助下,钻具选取合适入土角度钻

进地下土层(见图5),并沿预先设计的控向轨迹钻进导向孔,完成钻孔后,通过将接地装置绑扎在钻具上后回牵(见图6)并完成敷设(垂直接地型式不需回牵),以达到最小开挖地表的施工效果。

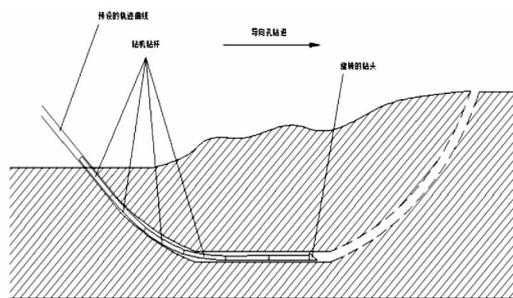


图5 钻进导向示意图

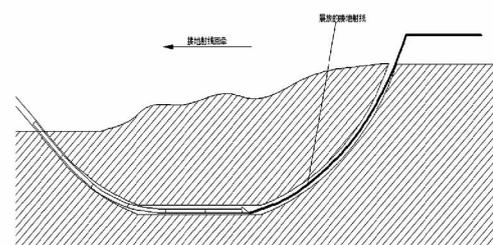


图6 回牵接地装置示意图

3 设计方案总结

本工程山区全过程机械化施工方案总结见表6。

机械化施工主要受交通条件影响,交通情况好时,机械化程度非常高;交通情况差时,可采取措施提高机械化比例,如运输时采用索道、采用岩石锚杆基础和微型桩基础等。

全过程机械化施工在川渝工程实施以来,建设效率大大提高,且有效降低了施工风险,具有良好的社会效益和经济效益。以基础施工为例,开挖时间比较见表7所示,综合造价比较见表8所示。

基础采用机械化施工后,开挖时间可节约90%,费用节约4%,效率大大提高且具有明显的经济效益。机械化施工的区段越连续,这种经济效益将越加明显。

4 存在问题及优化建议

川渝工程在采用机械化施工后,建设效率得到了有效提高,施工质量和安全也得到了保证,但也存在可改进之处。如基础开挖、接地槽开挖采用机械

表6 全过程机械化施工总结表

工序	子工序	交通情况	设备选型	机械化程度	备注
道路修筑		√	挖掘机、装载机	高	
		×	/	/	
物料小运		√	卡车、牵引车、板车	高	
	物料搬运	×	标准索道	高	
基础施工		×	人力运输	低	标准索道不适用时
		√	旋挖钻机、回旋钻机、挖掘机	高	
	开挖	×	锚杆钻机	高	
		×	人力	低	地形地质较差 锚杆基础不适用时
	浇筑	√	罐车到塔位	高	
组塔施工		×	泵车甬管转运	高	
		×	现场搅拌	高	
	塔材吊装	√	起重机	高	
		×	悬浮抱杆	高	
架线施工	紧固件紧固	/	电动扳手	高	
	牵引绳、导地线展放	/	无人机、飞艇	高	
接地敷设	接地槽掘进	√	挖沟机、水平定向钻	高	
		×	人工开凿	低	

备注: 临时道路易于修筑, 设备进场方便用√表示; 临时道路修筑困难用×表示。

化后虽然优势明显, 但是受交通等因素影响, 机械化率仍然较低, 不到50%, 而其他工序机械化率都达到了80%~100%。经分析, 其主要影响因素有以下几点:

1) 适用于小型设备开挖的基础型式种类较少, 目前仅有岩石锚杆基础, 且使用条件较为苛刻, 使用率不高;

2) 依赖旋挖钻机等重型设备开挖的基础类型种类虽然多, 但交通条件要求高, 一旦塔位远离公路, 则实施难度较大;

表7 基础开挖时间比较

方案	人工开挖	机械开挖	
钻进速度米 /(m·h ⁻¹)	土层	0.2	10
	强风化层	0.1	5
	中风化层	0.05	2
开挖时间(天/基)	15	1.4	
开挖时间比例	1	0.09	

注: ①基础直径1.4m, 长度10m, 外露1.0m, 土层2.0m, 强风化3.0m, 中风化4.0m。

②人工开挖方案为4人同时开挖, 4人提土; 机械开挖方案为采用1台旋挖机, 2人操作, 1人辅助。

表8 基础综合造价比较^①

方案	人工开挖	机械开挖
基础混凝土/m ³	83.9	66.9
混凝土费用/元	187 856	46 830 ^②
钢筋/t	6.74	6.04
钢筋费用 ^③ /元	667	17 516
设备使用费用 ^④ /元	0	82 267
临时道路费用/元	0	15 000 ^⑤
其他费用 ^⑥ /元	0	20 000
合计费用/元	188 523	181 613
综合造价比例	1	0.96

注: ①基础总费用包含混凝土、钢筋、设备使用、临时道路及其他项目共计5项费用。

②费用计列时, 机械开挖采用商品混凝土, 单价为700元/m³。

③人工挖孔方案钢筋价格已计入混凝土综合单价, 表中费用仅为运输费用。

④旋挖钻机按40万/每台月计价(连机带3人, 含进退场费用, 焊机使用费、焊条等辅助材料), 基础按开挖时间2天折算租赁费用; 设备使用费还包括: 钻齿购置费21 600元, 油费19 000元, 发电机台班费7 500元, 装、卸车时吊车台班费7 500元。

⑤临时道路长度按150m计算, 道路维修及拆除按10万/km计费。

⑥其他费用包括占地补偿、建渣处理等费用。

3) 接地槽开挖主要依赖挖沟机或定向钻机,对交通条件要求高。

为提高基础开挖及接地开挖的机械化率,充分发挥全过程机械化施工的优势,针对以上问题,提出了几点优化建议:

1) 创新基础设计,推广小型设备能够实施的基础方案,如岩石锚杆基础、微型桩等,提高基础机械化施工的可行性;

2) 对于新型小型化、专业化、节能环保、功能集成的设备,应积极引用,并制定相应设计方案,减少对大型设备的依赖;

3) 接地设计宜采用垂直敷设的方式,采用手持钻机进行机械化作业;

4) 当基础底部在风化岩层内时,不宜设置扩大头,可以采用加大基础埋深以满足承载力要求,从而提高旋挖钻机的使用效率和减少易损件的损耗;

5) 基础设计时尽量采用小桩径的基础型号,且桩径种类不宜过多,减少施工设备的投入。

5 结 语

全过程机械化施工具有安全可靠、经济合理、实施高效等优点。随着生产装备的不断更新,将逐渐

(上接第38页)

区采用经济性较好且具备制造条件的 JLHA4/G2A-1250/100 钢芯中强度铝合金绞线。

将大截面钢芯中强度铝合金铝绞线应用于特高压直流输电线路的重冰区中,可大量降低单位电能损耗,提高电能的利用效率,降低输电“线损”指标,且年费用低,经济效益较好,具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.

[2] 袁清云. 特高压直流输电技术现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术 2005 29(14): 1-3.

[3] 汪秀丽. 特高压输电技术的发展[J]. 水利电力科技,

克服大型机械进场困难的问题,在以后的工程中得到越来越多的推广。工程设计单位应充分发挥龙头引领作用,在确保工程满足安全、适用、耐久功能性要求的前提下,创新设计理念和办法,适应全过程机械化施工要求,进一步提升工程综合效益,实现施工由劳动密集型向装备密集型转变,提升工程施工安全水平。

参考文献

[1] 王圣兵. 浅谈高压输电线路全过程机械化施工技术[J]. 低碳世界 2016(6): 63-64.

[2] 赵飞等编著. 架空输电线路工程施工机械化率评价方法[M]. 北京: 中国电力出版社 2016.

[3] 丁广鑫, 蔡敬东, 李正, 等编著. 输电线路全过程机械化施工技术设计分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

[4] 丁广鑫, 蔡敬东, 李正, 等编著. 输电线路全过程机械化施工技术装备分册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

作者简介:

杨 洋(1974), 本科、高级工程师, 长期从事输电线路设计工作。

(收稿日期: 2017-06-27)

2006 32(2): 6-16.

[4] 丁广鑫, 孙竹森, 张强, 等. 节能导线在输电线路中的应用分析[J]. 电网技术 2012 36(8): 25-30.

[5] 中国电机工程学会城市供电专委会. DL/T 686-1999 电力网电能损耗计算导则[S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.

[6] 黄彭, 莫娟, 万建成, 等. 架空输电线路节能导线应用技术经济分析[J]. 中国电力 2013 46(7): 153-157.

作者简介:

易海蓉(1981) 本科, 从事高压输电线路设计工作;
王婷婷(1985) 硕士, 从事高压输电线路设计工作;
李育兵(1980) 硕士, 从事高压输电线路设计工作;
梁 明(1973) 本科, 从事高压输电线路设计工作。

(收稿日期: 2017-08-09)