

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.04.042

一种分体式四轮多功能牵引设备设计*

李和森¹,白皓伟²,汪新伟²,郭斌¹,许彬焱¹,任振阳¹

(1.甘肃诚信电力科技有限责任公司,甘肃兰州 730050; 2.甘肃送变电工程有限公司,甘肃兰州 730050)

摘要:输电线路立塔工序中,大型铁塔多采用落地双摇臂抱杆组立,在这种情况下,需对4根牵引绳进行卷扬控制。文章提出了一种集成了四组牵引轮的分体式液压多功能牵引设备设计方案,可完成对4根钢丝绳的牵引控制以配合落地双摇臂抱杆进行输电线路组塔施工。基于四轮多功能牵引技术原理,对各系统设计重点进行论述,并经特高压输电线路组塔现场应用试验,验证了设备性能满足抱杆作业过程中对动力装置的各项要求,有效提高了施工效率。

关键词:牵引设备;双摇臂抱杆;分体式;四轮;远程控制

中图分类号:TM754

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2024)04-0157-03

Design of A Split Four-Wheel Multifunctional Traction Equipment

LI He-sen¹, BAI Hao-wei², WANG Xin-wei², GUO Bin¹, XU Bin-yao¹, REN Zhen-yang¹

(1. Gansu Chengxin Electric Power Technology Co., Ltd, Lanzhou 730050, Gansu, China;

2. Gansu Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd, Lanzhou 730050, Gansu, China)

Abstract: In the tower assembly process of transmission lines, large towers are mostly assembled with floor-to-ceiling double rocker arms, and in this case, four traction ropes need to be winch controlled. In this paper, a design scheme for hydraulic multi-functional traction equipment integrating four groups of traction wheels and adopting a split structure is proposed, which can complete the traction control of four wire ropes, and cooperate with the landing double rocker arm pole to carry out the construction of transmission line towers. Based on the principle of four-wheel multi-functional traction technology, the key points of the design of each system are discussed, and it is verified through the field application test of UHV transmission line tower that performance of the equipment meets the requirements of the power unit in the pole holding operation process, and it effectively improves the construction efficiency.

Key words: traction equipment; tower assembly; double rocker arm holding pole; split type; four wheels; remote control; synchronization

0 引言

输电线路立塔工序中,落地双摇臂抱杆已成为特高压钢管塔的常规组塔方式。经过多个工程实践证明,落地双摇臂抱杆在交通较好、地势较平的平原地带使用具有显著的优越性^[1]。其在使用时,需要对4根牵引绳进行卷扬控制,其中2根牵引绳用于重物的起吊或下降,另外2根牵引绳用于两个摇臂的变幅控制。目前,施工现场主要采用四台绞磨或卷扬机协同作业来完成卷扬控制,这不仅需要大量的操作人员通过单人单机、人不离机的方式来操作,而且操作人员彼此之间需要很好的协调配合。现场绞磨操作人员数量多、人机距离近,危险性较大,4台设备同步控制难。针对目前该类设备在抱杆施工过程中存在的以上问题,研究能够控制4根钢丝绳的牵引装置十分重要。笔者在四轮多功能牵引设备技术原理阐述的基础上,对设备各系统架构进行了详细的论证,并通过特高压输电线路组塔现场应用,验证了所设计设备的

性能能够满足抱杆作业过程中对动力装置的各项要求,能够有效提高施工效率。

1 方案制定及设计重点

分体式四轮多功能牵引设备采用分体式结构设计,以一台柴油机为动力源驱动液压泵组。主回路液压泵将液压油经液压管路传送到多路阀,液压油经多路阀调控后到达主马达并驱动4组牵引轮,缠绕在牵引轮上的钢丝绳因摩擦力随之旋转,从而产生牵引力,进行对4根钢丝绳进行卷扬控制;辅助回路液压泵将液压油经液压管路传送到插装阀组,液压油经插装阀组上的电磁铁调控后到达尾架部分,驱动4组卷线、摆线马达工作,实现钢丝绳的卷线、摆线功能。控制系统采用控制器作为控制核心,配合控制软件,实现对设备的高自动化、高可靠性和全数字化集中显示和控制。

分体式多功能牵引设备研究关键点主要包括结构设计、液压系统设计、液压系统布局及液力分配、产

* 收稿日期:2023-12-19

作者简介:李和森(1998-),男,甘肃渭源人,助理工程师,主要从事工程装备设计制造方面的研究工作。

品的轻量化和小型化。由于野外作业地形复杂、交通不便,所以产品尺寸和质量越小越好。

2 设计内容

2.1 目标参数

两种工况下,单轮工作时的设计参数如表1所列。

表1 单轮设计参数

项 目	值
最大牵引力/kN	30
最大牵引力对应速度/(m/min)	15
最大牵引力速度/kN	15
最大牵引力速度对应牵引力/(m/min)	55

由柴油机做动力源,通过液压传动系统驱动牵引轮旋转。使用压力、温度、转速等各类传感器采集设备工作参数,配合可编程控制器平台,由显示器对设备各种参数进行实时数字化集中显示,完成整机主要信号数字化采集显示,并使用基于CAN总线的远控箱进行远程控制。

设备包含4组牵引轮,各分体单元重量、尺寸满足2T索道运输要求;各分体单元可通过人工搬运、转移,方便作业人员布场。

2.2 结构、传动及控制系统

2.2.1 结构布局

分体式多功能牵引设备整机包含1个远程控制箱、1个动力中心和2个执行完全相同的单元。

设备选用基于CAN总线的数据通讯方式。CAN总线广泛应用于高散控制领域中的过程监测和控制,用以解决控制与测试之间的可靠和实时数据交换,技术成熟可靠。采用双绞线通信时,通信距离40m时,速率为1Mb/s,通信距离10km时,通信速率为50Kb/s,节点数可达110个^[2],可保证控制电缆长度在150m内均可有效控制设备。

动力中心部分主要包括机架、本机电气控制箱、柴油机、泵组、控制阀组、液压油箱、散热器、蓄电池组和其他附件,动力中心结构如图1所示。柴油机作为动力源,采用液压传动方式,柴油机安装于机架上,泵组与柴油机连接,柴油机油箱为柴油机提供能源供给。

为保证设备功率,对柴油机功率进行计算校核,如式(1)、(2)所列。

$$P_{\text{牵}} = FV \quad (1)$$

$$P_{\text{发}} = \frac{P_{\text{牵}}}{\eta_{\text{卷}} \times \eta_{\text{齿}} \times \eta_{\text{减}} \times \eta_{\text{泵}} \times \eta_{\text{马}}} \quad (2)$$

式中: $P_{\text{牵}}$ 为柴油机所需功率,W; $P_{\text{发}}$ 为发动机功率,W; F 为牵引力,N; V 为牵引速度,m/s; $\eta_{\text{卷}}$ 为牵引轮

效率,取95%; $\eta_{\text{齿}}$ 为齿轮效率,取97%; $\eta_{\text{减}}$ 为减速机效率,取95%; $\eta_{\text{泵}}$ 为液压泵效率,取95%; $\eta_{\text{马}}$ 为液压马达效率,取95%。

根据式(1)、(2),结合表1最大牵引力和最大牵引速度两种工况,计算单牵引轮工作时两种工况下发动机所需功率为:单轮最大牵引力工况下 $P_{\text{发}} = 9.5$ kW;单轮最大牵引速度工况下 $P_{\text{发}} = 17.4$ kW。

同时,牵引两根钢丝绳时需要驱动两组牵引轮。根据计算结果,则主回路最大功率为35kW。考虑到辅助回路和市场现有柴油发动机产品,确定发动机为水冷式45kW柴油发动机。

此机电气控制箱内配备有控制器,控制器具备3个独立的CAN接口,分别和柴油机的ECU、远程控制箱的总线接口、外部数据采集模块相联结,以实现实时的数据通讯。设备上安装的传感器通过控制器的输入端采集参数,控制器的输出口联结电磁铁和继电器等模块,实现基于控制器平台的自动化控制。远控接口用于动力中心和远程控制箱的电气联结,液压快速接头用于动力中心和执行单元的液压联结。抱杆角度传感器等外部数据采集模块采集的数据通过基于LORA协议的无线方式传输至控制器。LORA技术在工业设备无线状态监测领域已经大量应用,性能优良可靠^[2],其传输距离超过2km,功耗较低,完全满足抱杆高空检测的需求。动力中心机架下部配置了小轮胎,用于动力中心的移动。

每个执行单元由牵引设备机构、尾架机构两部分组成,两部分运输和吊装时相互独立,使用时通过连杆和液压胶管完成机械和液压系统连接,执行单元结构如图2所示。牵引设备机构包括牵引轮、主马达、减速机、平衡阀组等,平衡阀组叠加安装在主马达油口处。尾架机构包括尾架机架、线盘、卷线马达、摆线马达、光杠摆线器、绳盘顶升装置(双钩)。

执行单元配置了锚固点、吊点,用于执行单元的锚固和装车运输时的起吊;牵引设备机架下部配置了可升降的滚轮,用于执行单元的移动。



图1 动力中心

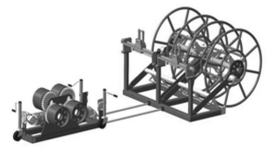


图2 执行单元

为保证设备的最大负荷,对机械结构件进行了机械强度的校核,在保证绞磨具有足够的强度的同时,尽可能减小体积和质量。

2.2.2 液压传动系统

根据分体式多功能牵引设备的实际工作状况,通过精确地计算,确定了液压系统的各个参数,以计算参数选择体积小、质量轻、质量稳定、密封性好的液压系统元件。在此基础上,对液压阀块、管路结构进行重新设计,以保证液压系统的安全性、可靠性、简洁性、美观性。

液压系统包括主系统、辅助系统和散热系统。其中主系统为牵引系统,回路采用恒功率、负载敏感的多路阀系统;辅助系统为尾架系统,回路采用螺纹插装阀组系统进行集成。

牵引系统由主泵提供动力,并由多路阀进行控制。多路阀采用电比例阀控形式,共4个工作联,每个工作联对应一组牵引轮。根据控制电流的改变来调节通过的液压流量,进而控制牵引轮的速度,且通过的流量和马达负载无关,以保证负载变化时牵引速度保持稳定。主驱动回路液压管路上安装有压力传感器,用于采集主回路压力。平衡阀组集成在主马达牵引侧油口,可以控制系统压力的波动,使系统能够正常运行^[3]。在主马达承受负向(重物下落方向)负载时,松开制动器不会出现失速下落的情况,通过此安装方式,在起吊重物时即使液压管爆裂,也不会导致安全风险,从而提高了系统的可靠性和安全性。

辅助系统由辅泵提供动力,它可以驱动尾架马达旋转,实现卷线功能;同时可驱动摆线马达旋转,实现排线功能。控制功能由集成在插装阀组上的电磁换向阀来实现,插装阀组上装有压力传感器,用于采集辅助回路压力信息。

散热系统由温度传感器、散热器和散热器马达及其控制系统组成。散热器装有散热器马达,散热器马达采用直流电动机型式,可根据温度传感器测得的液压油温度自动工作和停止。散热器开启温度为45℃,关闭温度为30℃,可确保液压系统油温始终处于合理范围。

2.2.3 控制系统

控制系统包括本机和远程两部分,对应本机电气控制箱和远程控制箱。

基于可编程控制器开发的控制系统,可实现基于CAN总线和各传感器以及柴油机之间的通讯及控制。通过可编程控制器的软件编写可实现对整个设备的控制和监测。

本机电气控制箱安装在动力中心上,配置有1块可编程控制器、急停开关、电源开关、远控接口以及无线接收模块。钥匙开关用于控制系统的电源开关,钥匙开关处于开启状态时,控制系统的通断电通过远程

控制箱上的电源开关来实现。在紧急情况下按下急停开关,设备将自动置于停止作业的安全状态。接收模块通过CAN总线接入本机电气控制系统,通过LORA方式可接收例如角度传感器的无线信号。抱杆信号的接入可在设备进行抱杆组立铁塔作业时实时计算和显示抱杆的偏载情况,当出现偏载时弹窗报警并自动保护。显示器抱杆监测状态如图3所示。

远程控制箱采用便携式手提拉杆箱形式,其包括控制面板、1块可编程控制器、1块彩色显示器和远控接口。通过1根控制电缆与动力中心联结,实现与动力中心实时数据通讯,并使操作人员实现对设备的远程操作、控制和监控。

设备工作的主要参数通过传感器完成信号采集,并全部输送到动力中心的控制器。远控箱控制面板的所有控制信号进入远控箱控制器。远控箱通过控制电缆与动力中心连接,可实现数据交换及设备运行控制。通过远控箱控制动力中心,进而实现对整机的控制。设备所有控制操作均在远控箱进行,动力中心除急停开关、电源开关外不预留其他控制元件。

为最大限度简化设备,电气系统、控制系统的相关线路、元器件只在远控箱和动力中心配置,执行单元不安装任何电气线路和元件。

3 应用试验

在湖北省麻城市木子店镇的白鹤滩-浙江±800 kV高压直流输电工程鄂9标段,设备配合落地双摇臂抱杆进行了第5940号铁塔组立,现场应用情况如图4所示。5940号铁塔为直线塔,位于山顶,塔高90.5 m,现场使用 $\phi 13$ mm钢丝绳,直径1.2 m标准绳盘。

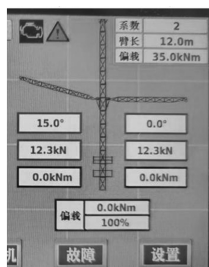


图3 显示器抱杆监测状态 图4 现场应用照片

经过实地试用,设备各项功能运行正常,满足双摇臂抱杆工作时4根钢丝绳的控制需求,现场实际作业时,起吊工况部分作业参数如表2所列。

设备性能参数达到了理论设计要求。通过远控箱进行远程控制的方式,实现了人机分离的设备控制,避免了操作人员在施工现场30℃左右的高温下暴晒,极大地改善了作业环境。

(下转第164页)

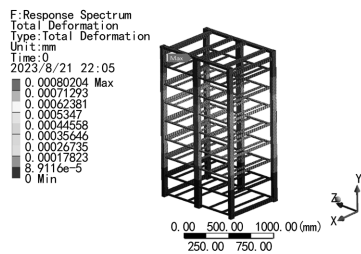


图 10 电池簇框架 X 轴水平地震变形量云图

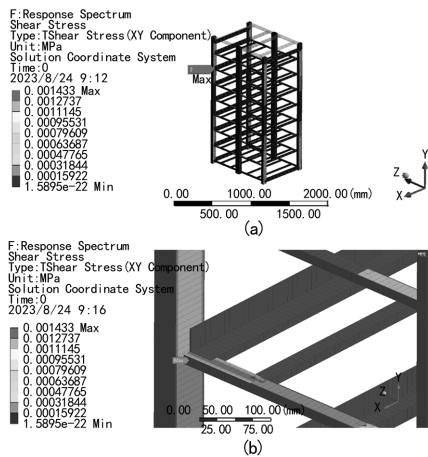


图 11 电池簇框架 X 轴水平地震等效应力云图

根据计算结果,对比《GB 50011-2010 建筑抗震设计规范》及《GB 50260-2013 电力设施抗震设计规范》可知,电池舱和电池架在地震波激励下的位移量均小于国标抗震设防烈度 7 度变形和应力限值,抗震结构安全可靠,可以满足项目所在地的实际需求。

4 结语

文章以某项目储能系统电池舱设计为研究对象,分别对项目总体布置设计、集装箱内外热计算以及集

装箱结构和电池架结构的静载分析、抗震响应谱分析进行了计算说明。在满足功能的前提下,对结构进行了可靠性验证,使之能够满足项目实际的运营需求,鉴于当前集装箱储能系统还处于发展初期,行业内对储能系统的散热、抗震研究尚未形成国内统一标准,故该研究对实际的储能系统项目的实际落地应用具有现实意义。未来,随着储能产业的持续完善,集装箱储能系统将向标准化、低成本化、批量化发展,将大大提高储能的易用性和稳定性,届时,新能源产业将实现真正意义上的能源变革。

参考文献:

- [1] 游 封,钱燕婷,梁 嘉,等.MW 级集装箱式电池储能系统研究[J].电源技术,2017(11):1657-1659.
- [2] GB 50016-2014.建筑设计防火规范[S].
- [3] GB 55036-2022.消防设施通用规范[S].
- [4] GB 55037-2022.建筑防火通用规范[S].
- [5] 李东风.220 kWh 储能电池柜消防防护系统设计[J].自动化应用,2022(4):170-172.
- [6] 王志伟,张子峰,尹邵文,等.集装箱储能系统降能耗技术[J].储能科学与技术,2020(9):1872-1877.
- [7] 余 勇,年 珩.电池储能系统集成技术与应用[M].北京:机械工业出版社,2021.
- [8] T/CCIASD 10005-2023.集装箱结构有限元分析指南[S].
- [9] GB/T 5338.集装箱技术要求和试验方法[S].
- [10] 卢东辉,周力民,姚 宁,等.储能集装箱的静力及抗震仿真研究[J].电子世界,2022(2):133-135.
- [11] GB 50011-2010.建筑抗震设计规范[S].
- [12] 汤 晖.ANSYS Workbench 结构有限元分析详解[M].北京:清华大学出版社,2023.
- [13] 张子峰,王 林,陈东红,等.集装箱储能系统散热及抗震性研究[J].储能科学与技术,2013,2(6):642-648.

(上接第 159 页)

表 2 起吊工况实际作业参数

参 数	数 值		参 数	数 值	
	1 轮	2 轮		1 轮	2 轮
牵引力/kN	18	15	液压油温度/℃	42	/
压力/bar	49	40	主泵压力/bar	48	/
辅助压力/bar	116	111	机油温度/℃	/	79
发动机转速/(r/min)	1 042	/	水温/℃	/	70

4 结语

文中设计了一种分体式四轮多功能牵引设备,通过集中控制 4 组牵引轮实现了对 4 根钢丝绳的卷扬控制。使用基于 CAN 总线的可编程控制器、显示器和大量传感器,完成了设备参数的数字化采集和集中

显示。通过控制软件开发,搭建了数字化的控制系统。所设计的样机进行了实际工程应用,可完成作业控制、参数显示、安全保护、与抱杆协同作业等各项功能,结果达到了设计目标。该设备相比传统立塔所使用的机动绞磨有了本质提升,这对于输电线路施工装备的自动化、智能化发展有积极意义。

参考文献:

- [1] 卫亮昆.浅析 1000 断面落地双摇臂抱杆在特高压多端直流线路中的应用[J].电力设备管理,2020(6):200-202.
- [2] 赵 贺,孙榕泽.基于 LoRa 技术的机械设备监测终端设计[J].自动化应用,2022(8):46-49.
- [3] 张万年,陈正立,李志鹏,等.液压平衡阀流动特性[J].化学工程与装备,2022(7):197-200.