

## 一种单桅杆升降平台与绝缘斗连接方法的研究

薛靖祺 李 云 黄友平 朱鹏明 康跃华

云南电网有限责任公司红河个旧供电局, 云南 个旧 661000

[摘要] 在目前多种登高检修工具并存使用的情况下, 检修工作人员需来回搬运、装卸、贮存及使用前检查登高检修工具是否存在缺陷的各项繁琐工作, 进行现场检修时, 需再沿设备或者检修工具进行上、下攀爬劳动强度高, 一方面会对设备及人身安全产生重大威胁, 一方面浪费了大量的资金和人力物力。所以研发一种适合在变电站内使用, 具有自行走、电动升降、绝缘等功能, 既安全、通用, 又简单、易操作的绝缘登高检修设备, 代替原来繁多的检修登高工具, 提高作业效率、减轻作业强度、增强安全性, 消减库存、逐渐减少资金占用, 具有重大的现实意义。

[关键词] 升降平台; 绝缘斗; 连接方法; 单桅杆; 带电作业

DOI: 10.33142/hst.v6i4.9182

中图分类号: TM755

文献标识码: A

### Study on the Connection Method between a Single Mast Lifting Platform and an Insulated Bucket

XUE Jingqi, LI Yun, HUANG Youping, ZHU Pengming, KANG Yuehua

Honghe Gejiu Power Supply Bureau of Yunnan Power Supply Co., Ltd., Gejiu, Yunnan, 661000, China

**Abstract:** In the current situation where multiple types of climbing maintenance tools are used simultaneously, maintenance personnel need to carry out various tedious tasks such as back and forth transportation, loading and unloading, storage, and checking whether there are defects in the climbing maintenance tools before use. When conducting on-site maintenance, climbing up and down the equipment or maintenance tools requires high labor intensity, which can pose a significant threat to equipment and personal safety, on the other hand, it wastes a large amount of funds, manpower, and resources. Therefore, it is of great practical significance to develop an insulation climbing maintenance equipment that is suitable for use in substations and has functions such as self-propelled, electric lifting, and insulation, which is safe, universal, simple, and easy to operate, replacing the original variety of maintenance climbing tools, improving work efficiency, reducing work intensity, enhancing safety, reducing inventory, and gradually reducing capital occupation.

**Keywords:** lifting platform, insulated bucket; connection method; single mast; live working

### 引言

目前机械类的登高检修工具如高空作业车越来越受到现场检修人员的普遍欢迎, 不过, 高空作业车在现场使用时, 也存在很多问题, 如因为相间距离太小的限制无法作业; 因为临近设备带电而无法作业; 有些地方因为电缆沟, 石子路等情况无法到达设备旁边等。当在配网线路施工作业时, 一些特殊区域作业时如果需要使用高空作业车也比较困难。另外, 质量比较好的高空作业车动辄几十万甚至上百万的价格造成不仅一次性投入巨大, 而且后期维护、保养、维修的费用相当昂贵。而且, 目前还有一个很大的问题不容忽视, 那就是检修班组往往并不能直接调动高空作业车, 还需要上级部门进行协调, 给一些需要紧急抢修的工作带来难度。同时由于隶属于不同部门, 使现场的协同工作很难达成一致, 不符合“三集五大”要求的各部分协同高效运作的精神。而便携式绝缘单桅杆移动升降平台研发成功后将会直接配备给检修班组, 既有高空作业车的优点, 又会避免出现以上缺点, 堪称是一个完美的登高检修工具。

国内现和国外的情况差不多, 通常采用人力等电位检修或者使用登高工器具检修, 检修过程繁琐, 既消耗操作人员的体力, 安全也得不到保障, 现阶段 10KV 检修用得

最多的就是高空作业车, 可是高空作业车也是危险颇多, 整个高空作业车只有绝缘斗是绝缘的其他的都是金属, 维护不好会造成极大的安全隐患。

### 1 升降臂结构材料研究

材料结构强度满足升降需求, 伸降臂结构如图一所示, 每一个升降臂之间存在缝隙, 采用 POM (聚缩醛) 结晶性的工程塑料作为滑动块。POM 具有均衡的机械性质, 且具备优异的耐疲劳性、耐蠕变性、摩擦磨损特性和耐化学品性及良好的润滑性。

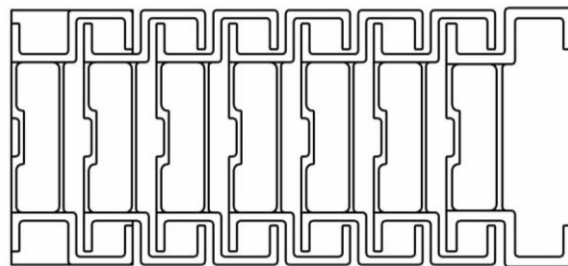


图 1 伸降臂结构

### 2 实践依据

轻质高强铝基复合材料升降臂及结构的研究, 本团队

依托“国网公司电工新材料联合实验室”“国网公司输变电用碳纳米管改性铝合金及应用技术攻关团队”及昆明飞翔材料技术有限公司团队等平台，曾牵头实施项目《环保型轻量化线路用的高强碳纳米管铝合金及应用》，并获国网科学技术进步二等奖、中国电力科技进步三等奖。目前掌握了适用于批量化制备碳纳米管改性铝合金的熔炼工艺，提出了流水化快速成型技术，首次开发出节能、环保、轻质高强的纳米碳合金金具，并实现工程应用。经科技查新和中国电机工程学会技术鉴定，该技术目前仅本团队实现，处于国际领先水平。

项目研究的关键和难点：

项目通过铝合金的配方强化、特种变形强化、处理强化、受力部位的局部强化等手段，制备出高强铝合金件；采用合理的升降结构减少升降阻力。

提出铝合金的全过程强化技术，解决铝合金材料配方强化、工艺强化和后处理强化工艺难题，形成电力铝合金部件的全过程强化路径。

升降臂的结构分析，解决升降臂形状以及滑动形式的难题。

升降方式的确定，绝缘升降方式的确定，伸降强度及升降疲劳强度的校核，液压系统的设计及选型。

绝缘斗连接及净绝缘距离的设定。

### 3 项目研究内容和实施方案

#### 3.1 项目的研究内容

包括铝合金材料配方设计、增强相分散工艺、加工成型技术；微观组织与宏观服役性能的定量关系；铝合金强化机制与性能调控技术手段；成形件的力学性能测试。

通过纳米改性、微合金化技术，研究铝合金的复合强化技术，提出材料性能提升的技术路径；开展高压绝缘操作杆工作头部用铝合金材料制备工艺研究，改善纳米颗粒与合金基体的润湿性及分散均匀性；对比分析不同种类的纳米增强颗粒对铝基复合材料的力学性能影响，选出最优的纳米相种类、结构；研究纳米颗粒的预处理、添加方式及添加量对合金的微观组织以及抗拉强度、屈服强度、断裂延伸率等力学参数的影响；研究纳米改性合金的热处理温度和时间对材料组织和性能的影响规律；通过试验比较，优选出最佳的合金成分，测试材料的抗拉强度、延伸率、磁导率、密度等。开展高强度铝合金型材的铸造工艺研究，通过调整熔炼工艺和浇铸工艺，实现合金中元素成分、杂质含量、铸锭晶粒大小的控制，表征与分析铝合金组织特征（晶粒大小、固体间化合物相的体积分数、溶质原子过饱和度和铸造缺陷）。

高强铝基复合材料加工成型技术研究，包括变形温度、压力大小、变形速率等因素对比分析，固体流变规律研究，以及缺陷控制措施。分析高压绝缘操作杆铝合金头部在实际生产过程中的荷载特性和应用场景，制定铝合金成型工艺；研究快速压力成型过程中变形温度、压力大小、变形

速率等因素作用，以及模具结构设计对成品性能的影响，确定最佳的压力成型工艺；通过合理的设计锻压工序和模具结构，提高成型件的表面质量、减小机加工量；通过大变形量促进铝合金的晶粒细化，研究铝合金材料的变形过程以及组织流变规律；研究快速压力成型件的后处理工艺（组织均匀化、消除内应力、析出强化相）对其机械性能的影响；开展成型铝合金件的表面处理工艺研究以及破坏载荷试验。

#### 3.2 结构及系统的研究

针对铝合金型材弯曲强度及拉伸强度等性能因素确定升降结构，结构增加滑块润滑，减少升降过程中的摩擦及阻力，保护型材的完整性。

升降结构采用链轮设计，选用合适强度的链条及链轮作为传动机构，其结构强度、疲劳强度都应满足需求。

控制核心选用 51 系列单片机进行控制，通过开关量型号执行相应的动作，为了保证设备工作的安全性，控制部分极简化。

绝缘斗的连接方法研究

绝缘斗整体采用高分子复合绝缘材料，其强度应满足需求，结构采用的三角限位强度满足设计需求，其中安装位置净绝缘距离满足规范设计需求。

#### 3.3 项目的实施方案

##### 3.3.1 轻质高强铝基复合材料及成型工艺研究

进行轻质高强铝合金材料的配方研究，运用纳米改性、微合金化技术提升铝合金材料的机械性能，分析铝合金材料强度的影响因素，研究铝合金的制造缺陷形式及控制方法；开展轻质高强铝合金材料的塑性变形工艺研究，提出热处理强化制度，表征与分析铝合金材料的组织结构和增强相存在形态，以及其与材料性能的内在关系。

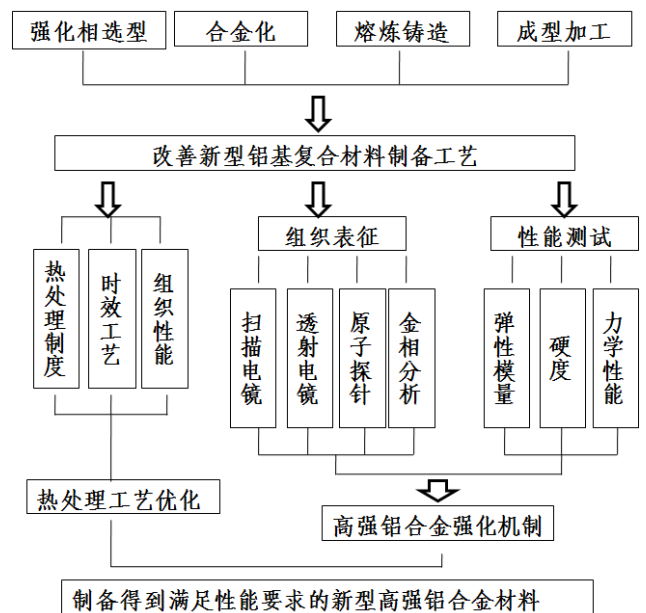


图 2 轻质高强铝基复合材料及成型工艺研究方案

### 3.4 铝合金件的快速压力成型工艺研究

通过锻压坯料的计算和模具设计,使固体沿型腔槽均匀流动,确保铝合金件结构的完整性。锻压坯料设计遵循等截面积原则,将锻压过程中各部分的变形视为平面变形来计算锻压坯料各部分的形状并将每个部分连接在一起构成完整的锻压坯料,最后考虑锻压载荷和坯料尺寸的协调性,采用 Deform-3D 软件模拟锻压成形过程,优化锻压坯料尺寸。根据工作件的结构复杂程度设计锻压工序,采用一步锻压成型或多步锻压成型。

通过数值模拟对锻压件可能产生的缺陷进行预测,分析缺陷产生的过程和原因和工艺方法,并据此对成型工艺和模具进行改进。根据绝缘操作杆铝合金工作部位的结构特点和成型难点,重点研究压力成型工艺与模具设计。对等温锻压过程进行速度场、温度场、应力应变场多场模拟,分析压力成型过程中铝合金的变形规律,对过烧、折叠、流线紊乱等缺陷进行分析和研究,开展压力成型过程中变形最剧烈、复杂的部位取截面的截面速度、温度、应力场分析。并且对等温锻压过程中各工序铝合金材料晶粒度变化规律进行分析,预测成型过程中粗晶缺陷产生的部位和原因。对比等温锻压和非等温锻压试件的晶粒度分布情况,分析等温锻压对于改善粗晶缺陷所起到的作用。

采用空气锤制备预制坯,采用数控电动螺旋压力机进行铝合金部件的压力成型,研究成型压力、温度、速度等参数对锻压成品破坏载荷的影响,验证仿真得到工艺方案的可靠性;观察锻压件流线,分析不同部位组织与晶粒大小,试验锻压工艺的可行性,确定合理的成形方法与成形条件,验证等温锻压对调控变形组织性能的强化作用。

### 3.5 铝合金成型件的热处理工艺与性能测试分析

合理选择热处理工艺参数和淬火介质,制定合适的工艺规程、研究热处理制度、时效工艺参数,以及强化相、合金元素等对增强铝基复合材料综合性能的影响,建立高强铝合金材料的热处理工艺体系。

试验地点为南瑞集团有限公司、国网浙江省电力有限公司(浙江华电器材检测研究所有限公司),将完成轻质高强铝基复合材料及成型工艺研究,解决增强相的分散及其与铝合金间的界面结合难题,掌握轻质高强铝基复合材料制备技术,建立新型铝合金组织成分、加工工艺与性能调控之间的理论依据,实现铝基复合材料抗拉强度超过 500 MPa,硬度 $\geq 90$  HB,弹性模量 $\geq 90$  GPa,形成铝复合材料的冶炼、压力成型工艺文件。

### 3.6 升降结构的研究

型材的结构和形状取决于下面几个因素:(1)型材上作用力的大小及其分布情况;(2)型材上零件的位置、配合性质及其联接固定的方法;(3)型材承的类型、尺寸和位置;(4)型材的加工方法、装配方法以及其他特殊要求。可见影响型材的结构与尺寸的因素很多,设计型材时

要全面综合地考虑各种因素。

要求:①型材和型材上零件要有准确的工作位置;②型材上零件应有可靠的相对固定;③型材应具有良好的制造工艺性和安装工艺性等;④形状和尺寸应有利于避免应力集中。

一般而言,型材的强度是否满足要求只需对危险截面进行校核即可,而型材的危险截面多发生在当量弯矩最大或当量弯矩较大且型材的截面较小处。根据型材的结构尺寸和当量弯矩可知,该材料尺寸都一样,截面处弯矩相同,且截面尺寸相同。

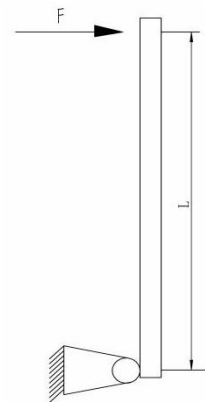


图3 型材受力分析图

最大弯曲应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma] \quad (1)$$

式中 $[\sigma]$ 为材料的需用应力, $M_{\max}$ 为所受的最大弯矩。 $W_z$ 为危险面横截面积。

通过计算 $[\sigma_{\max}] = 144 \text{ MPa} \leq [\sigma]$ ,根据计算及受力分析得出该材料满足设计需求。

通过整体及局部受力分析,升降臂强度要求满足设计需求,其中升降臂之间带有滑动润滑滑块,限定位置,升降臂上升及下降通过链轮及链条带动,链条及链轮的设计参数为:

①选定链条节距及小链轮齿数

根据负载类型查表确定工作情况系数  $K_A=1$ ,根据单列链条查表确定多列修正系数  $K_p=1$ 。功率修正值为

$$P_0 = \frac{PK_A}{K_p} = 25 \text{ KW} \quad (2)$$

根据小链轮转速、功率修正值查表所示的滚子链条功率曲线图,确认应选定 CHE200 链条,小链轮齿数应为 17T 与 19T 之间,选择 17T,即小链轮齿数  $Z=24$ 。根据链条样本资料得出链条节距  $p=22.7 \text{ mm}$ 。

根据链条速度,可以按一般情况下的设计选型步骤进行选型。

### ②计算链条理论节数

将计算出的理论节数调整为一个偶数,所以确定链条节数为 68 节。

### ③计算实际中心距

根据链条实际节数对应的实际中心距为 805mm

### ④确定链条链轮型号

查阅 MISUMI 公司的样本资料,选择材料为普通碳素钢的链条链轮,根据安装结构,小链轮安装轴孔径为 16,大链轮安装轴孔径为 30。根据选定的链条链轮参数,按制造商的命名方法确定链条链轮的具体型号规格为

链条: CHE20-68;

小链轮: SP40B14-N-16; 大链轮: SP40B40-N-30。

### ⑤校核链条最大张力

输送装置为低速传动,故链条主要承受静载荷升降臂自重 60Kg, 承重 220Kg 运行阻力为:

$$F=mg \cdot S=280 \times 9.8 \times 2=5488\text{N}$$

单边链条受力为:

$$F=5488/2=2.74\text{KN}$$

式中:  $m=60+220\text{kg}=280\text{kg}$  可知 08A 单链抗拉强度  $F < F = 13.8\text{KN}$

故满足使用要求

最上一级为绝缘材质,需要保证绝缘强度,故最上一级采用绝缘绳作为动力传动机构,由于升降为整体升降,故需要保证净绝缘距离需要满足设计要求,需要增设保证净绝缘距离的标识。

### 3.7 绝缘斗连接方式的研究

绝缘斗采用符合安全规定的规范进行设计,所留空间应满足一个人的工作空间需求,护栏高度满足《电力安全工器具管理规定》的要求。安装方式采用插接的形式,插接板采用固体材料制作,保证足够的安全系数,站立板采用固体框架,使用三角支撑增加稳固性。

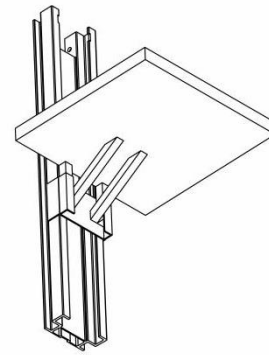


图 4 绝缘斗连接方式

## 4 成果形式

装置或系统

高模量铝合金材料抗拉强度不低于 500MPa, 硬度  $\geq 90\text{HB}$ , 弹性模量  $\geq 90\text{GPa}$ ;

带电作业绝缘平台一套, 功能及参数满足使用要求;

其他各项性能符合标准 DLT 1995—2019 变电站换流站带电作业用绝缘平台要求。

### [参考文献]

[1]邢启风. 单桅杆单滑轮组起吊井架的设计思路与分析[J]. 安装, 2015(9): 23-24.

[2]王学勤. 单桅杆钻塔的稳定计算[J]. 科技与企业, 2012(7): 325.

作者简介: 薛靖祺(1984.12—), 男, 云南大学; 法律事务, 助理工程师; 李云(1985.4—), 男, 云南民族大学; 电气自动化技术, 助理工程师; 黄友平, 男, (1995.2—), 昆明理工大学; 电气工程及其自动化, 助理工程师; 朱鹏明, 男, (1987.10—), 昆明理工大学; 电气工程及其自动化, 助理工程师; 康跃华, 男, (1983.12—), 云南大学; 法律事务, 助理工程师。