

便携式电容单元提升装置研制

蓝翔威 曾令诚 高 锋 林悦德 汤宇奇 梁伟杰 廖震杰

(广东电网有限责任公司中山供电局)

摘要：针对框架式电容更换工作效率低、人机功效差、作业风险高的现状，通过分析电容器单元更换场景，研制一种便携式电容单元升降装置，适用于在空间狭小、地面不平整的工作现场。本装置进行现场测试，测试结果表明该装置能够有效解决上述现状问题，可有效提升工作效率，降低作业风险，保障框架式电容单元更换作业的人身、设备安全。

关键词：框架式电容；更换装置；便携

0 引言

电容在电力系统中发挥着重要的作用，能够提高电力系统效率、稳定电压和提高系统运行稳定性^[1]。变电站框架式电容器组在长期运行过程中，易发生个别电容单元渗漏油、试验不合格等缺陷而退出运行，此时需更换新的电容单元方可满足变电站无功功率的需求^[2]。

因空间狭小，以往换单只电容单元要采用人工搬运的方式进行，存在工作效率低，人机功效差，人员容易受伤，作业风险高等问题。为解决上述问题，本文首先分析更换电容器的作业环境，在此基础上，以某站空间狭小、地面不平整及高楼层的 35kV 及以下电压等级框架式电容单元为研究对象，研制一种便携式电容单元升降装置，实现上下电动提升/下降作业，可有效提升工作效率，降低作业风险，保障框架式电容单元更换作业的人身、设备安全。

1 电容更换现场环境分析

1.1 电容更换现场情况

框架式电容器组一般通过上下两层串并联的电容单元组合而成，上层电容单元离地面的距离约在 2~3m 之间，当更换上层电容单元时，需先将旧电容单元从上层框架中拆除并下降传递至地面，再将新的电容单元提升传递至上层框架上固定安装，在此过程中至少需要四人配合，两人在上层框架上，两人在地面配合。现场图如图 1 所示。



图 1 更换电容现场图

1.2 现场作业风险分析

由于上层电容单元离地面约 2~3m，单只电容单元重量约 90kg，现场作业空间狭小，检修人员可活动的范围有限，上方人员需要在高空进行操作，下方人员通过手动拽拉绑绳进行提升或下降，易发生砸伤、高空坠落、设备损坏等作业风险。

1.3 现有吊装设备情况分析

小型吊机、提升机等无法适用空间狭小且地面不平整的环境下作业，框架式电容器组空间狭小，电容构架与围网最小距离约 50cm，户外电容器组地面铺有砾石，高低不平，因受停电范围影响，同时也无法扩展空间进行作业。

部分室内电容器组安装在站内 2 楼以上，因此现有重型提升装置无法适应空间狭小、地面不平、高楼层等环境下作业。

本文所提出的一种便携式电容单元升降装置主要解决了电容更换在空间狭小、地面不平整的工作现场，存在工作效率低，人机功效差，人员容易受伤，作业风险高等问题，该装置可适用于户外及户内框架式电容单元更换。

2 便携式电容单元升降装置结构与关键技术

2.1 便携式电容单元升降装置结构设计

如图 2 所示，便携式电容单元升降装置主要由电动驱动模块、升降承台、导轨模块、可调节底座、保护模块等组成，具体设计如下。



图 2 便携式电容单元升降装置图

2.1.1 电动驱动模块设计

该模块包括电机、固定支架、钢丝绳、传动机构及控制回路等部件。

将电机安装在底部支架上。通过钢丝绳及滑轮模块实现升降承台的上升与下降，同时电机功率选型应满足提升 / 下降单只电容单元重量（90kg）需求且有一定的裕度，转速满足现场安全需求（不超过 12m/min），不宜过快。通过控制模块控制电机的正反转实现电容单元的提升及下降。

根据电机功率计算公式：

$$P = F \times v \div 60 \div \eta \quad (1)$$

式中， P 为功率，W； F 为牵引力，N； v 为速度，m/min； η 为传动机械的效率，一般取 0.8 左右。在匀速运行时，牵引力 F 等于电容单元的重力加钢丝绳的摩擦力。

设定：

$$F = mg = 90\text{kg} \times 9.8\text{kg} / \text{N} = 882\text{N} \quad (2)$$

$$V = 12\text{m} / \text{min} \quad (3)$$

求得：

$$P = 882 \times 12 \div 60 \div 0.8 = 220.5\text{W} \quad (4)$$

根据电机扭矩计算公式：

$$T = 9550 \times P / n \quad (5)$$

计算得出：

$$T = 9550 \times P / n = 9550 \times 220.5 / 3000 = 701.92 \quad (6)$$

式中， P 为电机的功率，kW； n 为电机的转速，r/min，取 3000r/min。

由计算可得，选用 300W 交流异步电机符合要求。

2.1.2 升降承台设计

考虑到现场环境狭窄，最小的空间仅为 55cm×75cm，而电容的底部尺寸在 35cm×50cm 左右，因此设计升降承台尺寸为 50cm×60cm，底部焊

有 30mm 的方钢作为底筋支撑。该承台可至少搭载一只不同型号不同厂家的电容单元。通过导向滑轮与导轨组合实现在导轨上往复运动，将搭载的电容单元提升或下降至指定位置，该平台四周设置有围栏及挂钩部件，底部卡住电容，同时中部能够使用绑绳固定电容单元。

2.1.3 导轨模块设计

导轨模块分承重支柱和升降导轨两部分，由左右两根承重支柱加左右两根导轨组成，将升降承台通过导向滑轮现场组装至导轨上，实现升降承台在导轨上升降运动^[3]。导轨长度可调节（最高可调至 3.5m），现场作业时根据框架式电容器组高度进行实际调整。在每根导轨上设计有上下两个活动卡扣装置，通过该卡扣，可将导轨与电容器组上的框架进行上下卡扣固定。

导轨模块分承重支柱和升降导轨两部分，导轨材质选择方面，有铁质、铜质和铝合金。

从承重支柱的功能出发，承重支柱需要实现承受电容、升降承台、滑轮、钢丝绳等重量，预计需要承重 100kg 的重量，同时考虑需要现场携带、组装方便，需要选择的材质既符合承重的同时自身重量轻。

铜质材质偏软且密度大、价格高，铝合金材质适合做高精度的导轨材料，重量轻但由于自身密度较低，载重力没有钢质材料好。因此钢质材料优先选择。

在钢质材料里，有槽钢和方钢两种选择。槽钢是指截面形状为凹槽形的长条钢材，是一种应用普遍的结构用钢。方钢是指横截面呈正方形的长形钢条，分为实心 and 空心两种。

空心方钢具有重量轻、加工简便、节约、容易使用等优点，60mm 的空心方钢自重更轻，载重能力更强^[4]，因此选择 60mm 的空心方钢作为承重支柱。

升降导轨更多的是考虑轻便和组装方便，铝合金

材质更优，因此选择 40mm 的凹槽形铝合金作为升降导轨。

导轨的活动卡扣能够沿着导轨上下移动，配合不同的电容器框架高度，通过可伸缩的横臂与电容器的框架连接，鉴于框架不同的构成部位，有 60mm 的角钢、40mm 的槽钢、60mm 的槽钢、50mm 角钢等，为了能够与各种尺寸框架形成紧密的可靠连接，通过一种抱夹式的夹子使用螺纹紧固的方式实现。

2.1.4 可调节底座设计

由两根长度可调的支撑杆与斜撑组成，一端安装在电动驱动模块底部，另一端支撑在不平整地面上，通过左右调整长度，实现装置的整体在同一水平面上。为保证底座的牢固可靠，还设计有可调节的斜撑。

2.1.5 控制模块设计

电动驱动模块选用通奇思 TONKEYS 型号为 TKS-M2A 的模块，输出功率为 300W，功能为点动操作，有正转信号时，电机正转，有反转信号时，电机反转；无正转反转信号时，电机停止；操作把手设计有上 / 下按钮，输出正 / 反信号，操作人员手动按压上 / 下按钮实现电机正反转而使升降承台上下升降运动，同时还设计有急停按钮，接驱动模块常闭节点，按压式断开节点，用于上下按钮粘连时，通过急停按钮切除控制电源。

2.1.6 保护模块设计

在导轨顶部 / 底部加装限位行程开关，顶部 / 底部到位后，限位行程开关常闭节点断开，在驱动模块中切断电机信号。电机加装手摇齿轮机构，可以在确保电机损坏或回路故障时，能手动下降高处设备，同时加装插销限位锁紧，升降承台载重到达指定位置且电机停机后锁紧，防止升降承台在重力作用下，自由下滑而伤人；电动驱动模块设计有电机过载保护，重物过重时，电机停转，防止电机损坏。

2.2 便携式电容单元升降装置关键技术

模块化设计，可自行拆装组合，携带方便：电动驱动模块、升降承台、导轨模块、可调节底座模块独立设计，检修人员可在作业现场自行拆装组合，方便检修人员搬运。

采用长度可调式导轨，实现不同高度电容单元的提升 / 下降：35kV 及以下电压等级框架式电容器组框架层高各不相同，本装置采用长度可调式导轨，可根据不同高度自行调节，适用于 35kV 及以下电压等级框架式电容器组电容单元的提升 / 下降作业。

采用可调节底座，实现户外不平整地面的提升 / 下降作业：户外框架式电容器组基础地面上均铺设大量砾石，导致基础地面不平整，采用可调节底座，可通过调节底座两边长度自适应不平整地面，使两根导轨受力均匀。

采用活动卡扣设计，实现电容单元在空间狭小范围内上下运动：本装置的两根导轨设计有上下两个活动卡扣，利用电容器组框架的牢固稳定性，通过该上下两个活动卡扣将导轨固定于电容器组框架上，使升降承台在导轨上升降运动，实现狭小空间范围内电容单元的提升 / 下降作业。同时，下端活动卡扣长度可调，若活动空间足够大，不仅能保证导轨在垂直方向上铺设，还可使其在一定的倾斜角度方向上铺设，使得本装置的适用性更强。

导轨设计固定防线，保证导轨固定平稳：本装置两根导轨第一道固定防线是导轨上部通过活动卡扣与电容器组框架的上部连接；第二道固定防线是导轨的底部与电容器组框架的底部连接；第三道固定防线是导轨的下部可调节底座支撑地面。通过三道固定防线，可保证导轨固定平稳，确保了电容单元上下提升作业的安全。

采用多层保护设计，确保装置安全稳定运行：本装置设计有电机断电手动下降保护、顶部到位限位

保护、电机停电防下滑保护、电机过载保护，可确保本装置的安全稳定运行。

3 应用实例

3.1 应用实例

该便携式电容单元升降装置研制成功后，分别在 500kV 变电站、110kV 变电站多次使用，利用该装置完成电容器单元更换的缺陷处理，平均用时 2h。

现场检修方便，使用该装置仅需带上一套存储箱，两人搬运即可。通过对检修人员的简单培训，能实现快速组装，组装时间不超过 10min。而原来的电容更换则需要最少四个人现场工作，同时容易造成人员受伤。

3.2 效果评价

效率提升：该装置在实际应用中展现出显著的效率提升。通过简化更换流程，平均用时从原来的多人多小时操作缩短至 2h，极大提高了工作效率。

操作简便性：使用该装置仅需两人搬运一套存储箱，通过简单的培训即可实现快速组装，组装时间不超过 10min。这大大降低了对操作人员的技能要求，使得更多的工作人员能够快速上手，提高了工作的灵活性和适应性。

安全性增强：传统的电容更换工作需要至少四人现场操作，且存在一定的安全风险。而该装置的使用减少了现场工作人员数量，降低了人员受伤的风险，提高了作业的安全性。

推广应用前景：考虑到该装置的高效性、简便性和安全性，它具有很好的推广应用前景。在更多的变电站和电力系统中使用该装置，可以有效提升整个电力行业的维护效率和安全性。

综上所述，该便携式电容单元升降装置的研制成功并投入使用，对于提升电力系统的维护效率、降低作业风险、减少经济损失以及推动行业技术进步都具

PRODUCT AND TECHNIC

|| 产品与技术 ||

有重要的意义。未来，随着技术的不断优化和应用的深入，该装置有望在更广泛的领域发挥更大的作用。

4 结束语

针对框架式电容消缺更换的检修难题，研制一种便携式电容单元升降装置，能满足空间狭小、地面不平整及高楼层工作场景需求，该装置性能可靠、轻便易用，容易拆装和搬运，现场测试证明，能够有效解决上述现状问题，可有效提升检修工作效率，降低作业风险，保障框架式电容单元更换作业的人身、设备安全。

参考文献

- [1] 王浩春. 变电站电容补偿装置的探讨 [J]. 内蒙古科技与经济, 2009 (22): 105-107.
- [2] 西安日立能源电力电容器有限公司. 高压并联电容器装置用户手册 [A]. 2023.
- [3] 罗毅, 陈晓东, 冯开达, 等. 一种电容更换辅助装置: CN207090935U[P]. 2018-03-13.
- [4] 周杰, 龚先鹤, 朱冬凯, 等. 10kV 中置柜断路器手车简易升降装置的研制 [C]. 浙江省电力学会 2017 年度优秀论文集, 2017: 121-127.

(收稿日期: 2024-06-05)