

## 电力电容器现场维修更换装置

杨枝林, 李皓昀, 颜红艳, 莫国平, 王增文, 黄楚秋

(桂林电力电容器有限责任公司, 广西 桂林 541004)

**摘要:**本文介绍了一种用于变电站、换流站等场所电力电容器现场维修更换装置,通过对装置总体设计方案、具体的结构及现场使用的详细描述,明确了电容器更换装置结构及使用要求。应用证明:该装置能安全有效地更换电力电容器成套装置上的电容器,可较好地解决上述电力电容器成套装置的电容器维修问题和困难。

**关键词:**电容器更换装置; 维修; 提升机; 旋转翼; 卷扬机; 电力电容器

### Power Capacitor Replacement Device for Field Maintenance and Replacement

YANG Zhilin, LI Haoyun, YAN Hongyan, MO Guoping, WANG Zengwen, HUANG Chuqiu

(Guilin Power Capacitor Co., Ltd., Guangxi Guilin 541004, China)

**Abstract:** A kind of power capacitor maintenance and replacement device for substation and converter station is introduced in this paper. The structure and application requirement of the capacitor replacement device is defined through detailed description of the overall design planning, specific structure and and site application of the device. It is proved by the application that the device can replace the power capacitors on the power capacitor complete set device safely and effectively, can solve the maintenance problems and difficulties of the above mentioned power capacitor complete device.

**Keywords:** replacement device of the power capacitor; maintenance; hoister; rotary wing; winch; power capacitor

## 0 引言

由于受变电站、换流站场地的限制和成本控制等因素的制约,变电站中用于安装电力电容器成套装置的场地有限,电力电容器成套装置上电容器的安装也非常紧凑<sup>[1]</sup>。同时,电力电容器成套装置<sup>[2]</sup>与变电站周围的电气设备也靠得较近,当电力电容器成套装置上某台电容器损坏或失效而需要拆卸并安装新的电容器时,因电力电容器成套装置上的电容器位置较高,自身重量较大,操作空间不足,拆卸和安装往往较困难,多人的协同配合也难以完成。这不仅是一件劳动强度较大的工作,而且也存在安全隐患。一些电力企业和输变电单位也常使用吊车或升降车进行卸装更换。使用吊车作业主要问题在于现场周围设备和输电线路密集,吊车难以施展<sup>[3]</sup>,如果变电站不能为更换作业大范围停电,也使吊车作业非常危险,而且经常使用吊车作业也增加

了较多的成本。如果使用升降车可能会受到高度限制<sup>[4]</sup>,且电容器移出或装入电力电容器装置塔架的作业劳动强度也不小。

本文介绍了一种电力电容器现场维修更换装置(简称电容器更换装置,下同),能安全有效地卸装电力电容器成套装置上的电容器,可较好地解决上述电力电容器成套装置的电容器维修困难问题。

## 1 总体方案

电容器更换装置设计由固定架、旋转翼和电动卷扬机3部分组成,见图1,固定架与旋转翼通过铰链机构对接。

固定架主要由塔架固定机构、辅助受力组件和铰链机构配件组成,实现电容器更换装置在电力电容器装置塔架上的固定并支撑旋转翼活动。塔架固定机构将固定架与电力电容器装置塔架固定连接,以需要适应不同型钢的固定要求。辅助受力组

件将固定架与其他型钢相连,改善固定架的受力,并防止与固定架固定机构对接的单根型钢受力不足及变形<sup>[5]</sup>。铰链机构<sup>[6]</sup>配件与旋转翼对接,实现旋转翼 360° 旋转。

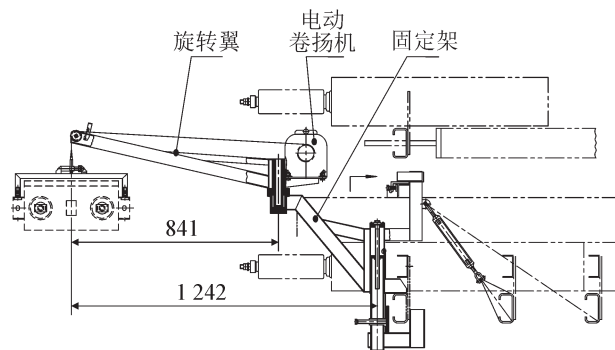


图1 电容器更换装置结构图  
Fig. 1 Structure diagram of capacitor replacement device

旋转翼主要由滑轮机构和铰链机构配件组成,是电容器更换装置的旋转长臂,实现吊绳的支撑、旋转定位功能。滑轮机构用于支撑并引导卷扬机钢丝绳。铰链机构配件用于与固定架对接,让旋转翼可以 360° 旋转。

卷扬机固定于旋转翼上,随旋转翼旋转,负责吊升拆装的电容器。

电容器拆装时,先将固定架与电力电容器装置塔架固定连接,然后将旋转翼安装在固定架上面,最后将电动卷扬机安装到旋转翼上。电容器更换装置利用卷扬机吊升电容器,通过旋转翼旋转路径将电容器移进出电力电力电容器装置塔架,实现电容器更换。

## 2 固定架设计

### 2.1 确定固定架的塔架固定机构

塔架固定机构需要适应 5# 角钢、6# 角钢、8# 角钢、12# C 型槽钢及单根型钢和两根型钢背靠组合等尺寸的安裝,设计采取竖直和水平两个方向固定的方式。塔架固定机构主要包括固定筒、活动筒、定位支撑管、压板、竖直固定螺杆和水平压紧螺栓。活动筒加焊型钢做成 L 结构<sup>[7]</sup>,以适应两个方向的固定要求。竖直方向通过调节垂直固定螺杆,利用定位支撑管与活动筒的水平部分压紧,水平方向通过调节水平压紧螺栓,利用压板与活动筒的竖直部分压紧。活动筒的导筒部分可采用方形管,可以导向并防转<sup>[8]</sup>,但由于配合要求较高,加工困难,采用圆管结构加防转杆组合可方便加工。

### 2.2 确定固定架的辅助受力组件

辅助受力组件包括辅助受力杆、螺旋扣和钢丝绳。辅助受力杆与固定架上部焊接连接<sup>[9]</sup>,用于与

电力电容器装置塔架上侧型钢连接,用以改善安装型钢的受力。由于大多数电力电容器装置塔架的上下侧型钢距离较小,辅助受力杆与固定架设计成固定连接,简化安装。针对最上侧电力电容器装置塔架无上侧型钢或者上下型钢距离较大的情况,在辅助受力杆上加设螺旋扣<sup>[10]</sup>及配套的钢丝绳<sup>[11]</sup>,将受力转换至后侧型钢,这样,其他层也能使用螺旋扣及配套的钢丝绳,可以提高装置的使用安全性能。固定架结构图见图 2。

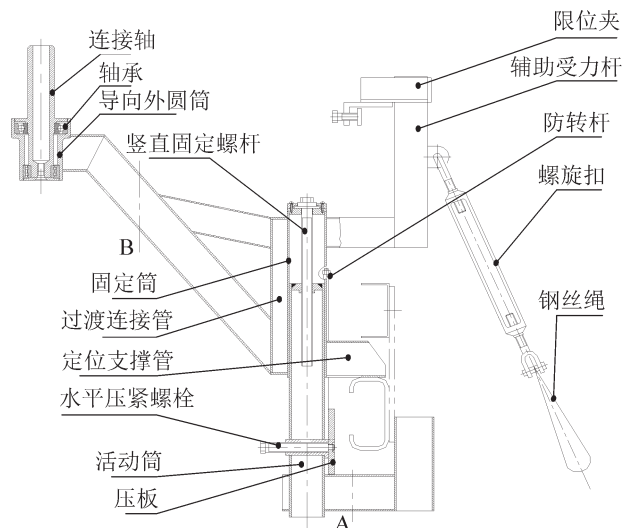


图2 固定架结构图  
Fig. 2 Structure diagram of fixing frame

### 2.3 确定固定架的限位夹

电容器更换装置受到侧向扭力时,辅助受力杆偏斜明显<sup>[12]</sup>,容易磨坏电力电容器装置塔架型钢浸锌层<sup>[13]</sup>,也会让操作人员担心结构的可靠性。因此,设计限位夹将辅助受力杆与电力电容器装置塔架型钢牢固固定,限制其相对偏移<sup>[14]</sup>。

### 2.4 确定固定架的铰链机构配件

由于固定架与旋转翼两个部件是个组合结构,要方便拆装,两者配合间隙较大,导致简单的销孔结构铰链摩擦力较大,相互旋转不太灵活。因此,将结构设计成轴承组合铰链,在固定架与旋转翼之间增加轴承和连接轴过渡,轴承外圈与固定架形成过盈配合,轴承内圈与连接轴形成过盈配合,三者连在一起,不拆装,而连接轴与旋转翼孔形成间隙配合<sup>[15]</sup>,可以拆装。

## 3 旋转翼设计

旋转翼设计为斜边悬臂结构,悬臂的一端用圆筒作为铰链机构配件,利用内孔与固定架的连接轴连接。悬臂与圆筒间加焊过渡连接管防止焊接变形<sup>[16]</sup>影响圆筒与连接轴的对接。圆筒外侧焊接固定

板用于安装电动卷扬机<sup>[16]</sup>。在旋臂另一端设置滑轮机构,将电动卷扬机钢丝绳支撑到外侧并进行导向。滑轮机构还设置有 L 形板,能 90° 旋转并卡在滑轮轴上,弯钩部分与滑轮保证 2 mm 左右的间隙,防止钢丝绳脱出滑轮槽<sup>[17]</sup>。旋转翼结构图见图 3。

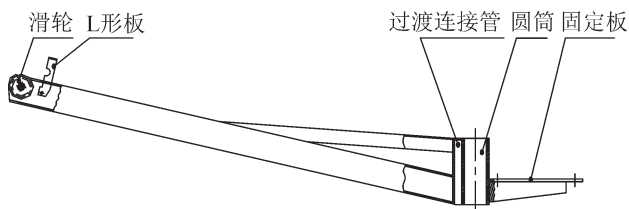


图3 旋转翼结构图  
Fig. 3 Structure diagram of rotary wing

## 4 电动卷扬机选择

电动卷扬机要求重量轻,便于携带及搬运,另一个要求就是速度低,易于操控。遍访了许多机型后发现,台湾产的小金刚电动卷扬机比较符合要求<sup>[18]</sup>。台湾小金刚 DU-500S 的自重为 19 kg,搬运较轻松。且其 7 m/min 的速度相对较低,方便吊升控制。

## 5 辅助工装设计

### 5.1 长杆套筒设计

由于电力电容器装置的紧凑结构特点,电容器更换装置及电容器的紧固件拆装都可能受到干涉不能方便触及,这就需要设计长杆套筒进行延伸予以解决。长杆套筒由加长杆和棘轮扳手<sup>[19]</sup>组成。加长杆就是一加长的套筒,中间为长杆,长杆的一端焊接方形套筒头焊接棘轮扳手,另一端焊接<sup>[20]</sup>六方套筒头连接螺栓头。为提高长杆套筒的统一性,电容器更换装置的螺栓设计成与电容器固定螺栓相同的 M12 规格。因此,套筒头的六角头规格采用 M12 螺栓对应 18° 套筒头。长杆套筒的长度则要考虑适用不同的场合进行适当调整。长杆套筒结构图见图 4。

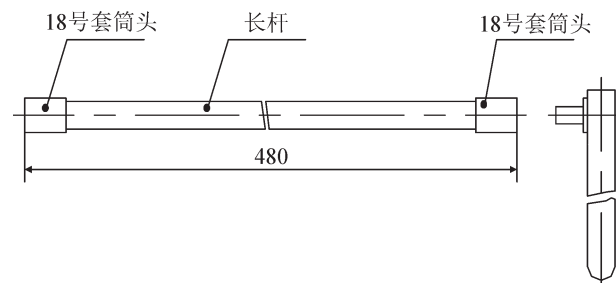


图4 长杆套筒结构图  
Fig. 4 Structure drawing of long rod sleeve

### 5.2 吊杆设计

电动卷扬机钢丝绳的吊钩尺寸较大,无法直接起吊电容器吊攀孔,而且占用空间较大。另外,一侧吊攀孔起吊不平衡,电容器也难以甚至无法移出电力电容器装置塔架。因此,设计吊杆替换电动卷扬机吊钩直接与电容器吊攀对接,对接方便且连接也可靠,这也符合吊杆吊具安全设计要求<sup>[21]</sup>。吊杆结构图见图 5。

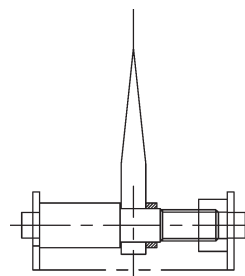


图5 吊杆结构图  
Fig. 5 Structure diagram of steeve

### 5.3 平卧辅助吊具设计

平卧安装的电容器与型钢的吊攀固定板间隙一般较小,因干涉,无法使用吊杆先连接一侧吊攀,然后翻转成侧卧方向,像侧卧安装的电容器一样起吊。同时,为避免电容器移出时与其他电容器出现干涉,更宜采用水平起吊方式。该平卧辅助吊具可调起吊重心,通过杆件结构将 4 个吊攀一起对接,实现水平起吊。平卧辅助吊具结构图见图 6。

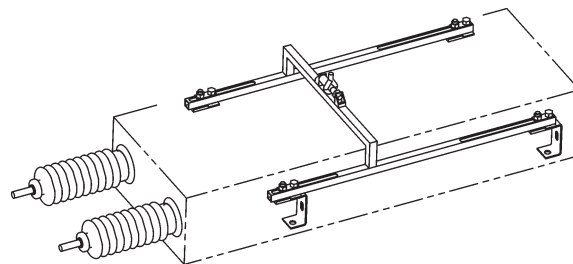


图6 平卧辅助吊具结构图  
Fig. 6 Structure diagram of horizontal auxiliary spreader

平卧辅助吊具与吊杆的对接方式设计成与侧卧电容器一样,可两种方式方便通用。但需要先在地面上利用待更换电容器确定好吊攀固定块的位置,使吊起的电容器处于水平状态<sup>[22]</sup>。使用时与待换电容器单元 4 个吊攀对接即可,后续起吊同一型号的电容器时则务须调整,操作便利。

## 6 装置使用方法

### 6.1 电容器更换装置安装

1) 先把固定架的辅助受力杆卡住待更换电容器侧边间隙的上侧型钢上,再将固定架的定位支撑

管卡在下侧型钢,用棘轮扳手先后旋紧垂直固定螺杆和水平压紧螺栓,将固定架在电力电容器装置塔架上固定。安装后侧钢丝绳及螺旋扣旋紧,并调节螺旋扣旋紧。

2)将旋转翼与固定架对接,再将电动卷扬机固定在旋转翼上,然后接好电动卷扬机的电源和控制线,并扣好电源线和控制线的防脱装置。

3)把旋转翼转动至电力电容器装置塔架侧,将钢丝绳套入滑轮,卡好 L 形板,最后把旋转翼旋转至工作位置。

装置安装示意图见图 7,吊杆与吊攀联接图见图 8。

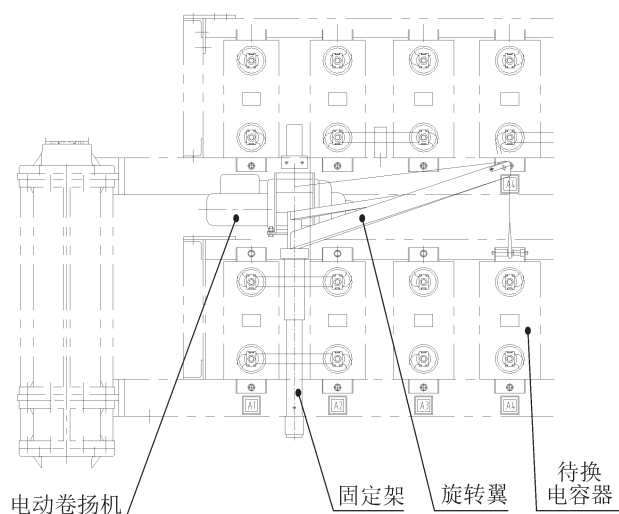


图7 装置安装示意图  
Fig. 7 Installation diagram of device

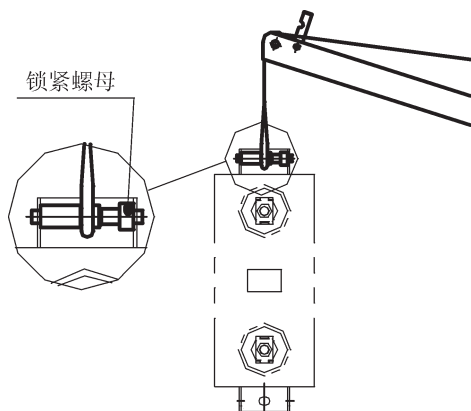


图8 吊杆与吊攀联接图(侧卧安装结构)  
Fig. 8 Connection diagram of steeve and hanging climb (lateral installation structure)

## 6.2 电容器更换装置拆卸电容器

1)将套管上的电缆线取下,如有其他可能干涉的电缆线也一并拆卸。

2)利用长杆套筒将电容器上侧吊攀的固定螺栓卸下。

3)转动旋转翼到吊攀位置,将电动卷扬机吊绳上的吊杆下降并套入电容器上侧吊攀的两侧圆孔(该处电力电容器装置为侧卧安装结构,如为平卧安装结构则需要平卧辅助吊具辅助),往外旋动锁紧螺母,将吊杆与吊攀联接。

4)控制电动卷扬机将吊绳拉紧,再利用长杆套筒将电容器下侧吊攀的固定螺栓卸下。

5)控制电动卷扬机将电容器慢慢起吊并配合转动旋转翼将电力电容器移出电力电容器装置塔架。

电容器更换装置安装电容器按拆卸逆操作进行。

## 7 工程应用

根据客户合同需求,电容器更换装置作为配套工具已应用于要求配套电容器更换工具的云南 500 kV 通宝串补站、1 000 kV 特高压晋东南扩建工程、榆横~潍坊 1 000 kV 特高压交流输变电工程晋中 1 000 kV 变电站新建工程和浙北-福州 1 000 kV 特高压交流输变电工程等。通过不断的改进,为客户了提供结构简洁,操作方便,安全可靠的专用电容器更换工具。该电容器更换装置也作为售后专用工具,为售后服务良好提供支持。电容器更换装置应用于某市  $\pm 800$  kV 换流站检修图见图 9。



图9 电容器更换装置应用某市  $\pm 800$  kV 换流站检修  
Fig. 9 Application of capacitor replacement device for maintenance of Shenzhen  $\pm 800$  kV Dongfang converter station

## 8 结语

经过第 1 代固定式<sup>[23]</sup>、第 2 代旋转式、第 3 代侧

卧<sup>[24]</sup>式等多次迭代,在实践基础上持续改进,电容器更换装置已能适应各型号电力电容器装置中电容器单元更换,通用性强。安装过程无需吊车、升降车辅助,几个操作人员即可顺利安装,完成电容器拆装。方便应用于现场周围设备和输电线路密集,吊车难以施展,且变电站又不能为此操作大范围停电场合,解决了困扰已久的电容器更换难题。如果将装置部件进行轻量化优化,采用密度更小的铝合金<sup>[25]</sup>等新型材料,可以进一步减轻重量,使用将更为方便、工作强度更低。该装置也获得了专利授权,具有自主知识产权,受国家专利保护<sup>[24]</sup>。

### 参考文献

- [1] 廖斌,梁晨. UHVDC用悬吊式直流滤波电容器组的研制[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37(1): 14-19.  
LIAO Bin, LIANG Chen. Development on suspension DC filter capacitor bank for UHVDC transmission[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016, 37(1): 14-19.
- [2] 宋森. 并联电容器装置技术及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [3] 起重机机械安全规程: GB 6067. 1—2010 [S]. 2010.  
Safety rules for lifting appliances: GB 6067. 1—2010 [S]. 2010.
- [4] 施工升降机: GB/T 10054—2005 [S].  
Builder's hoist: GB/T 10054—2005 [S].
- [5] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 第7版. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 张春林. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] 钱利霞, 雷步忠, 武淑君. 起重机的典型金属结构处理及焊缝应用[J]. 焊接技术, 2009, 38(2): 32-34.  
QIAN Lixia, LEI Buzhong, WU Shujun. Application of typical metal structure processing and weld in crane[J]. Welding Technology, 2009, 38(2): 32-34.
- [8] 陈志华. 钢结构原理与设计[M]. 天津: 天津大学出版社, 2011.
- [9] 邢勇. 金属熔焊原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [10] 索具螺旋扣: CB/T 3818-2013 [S]. 2013.  
Turnbuckle for rigging: CB/T 3818—2013 [S]. 2013.
- [11] 钢丝绳通用技术条件: GB/T 20118—2017 [S]. 2017.  
Steel wire ropes for general purposes: GB/T 20118—2017 [S]. 2017.
- [12] 刘鸿文, 吕荣坤. 材料力学实验[M]. 第4版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [13] 卢锦堂, 许乔瑜, 孔纲. 热浸镀技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [14] 于辉, 崔岩. 结构设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2009.
- [15] 邢闽芳. 互换性与技术测量[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [16] 李亚江, 王娟. 焊接疑难问题分析与对策[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [17] 建筑卷扬机: GB/T 1955—2008 [S]. 2008.  
Construction winch: GB/T 1955—2008 [S]. 2008.
- [18] 钢丝绳电动葫芦 第一部分: 型式与基本参数、技术条件: JB/T 9008. 1—2004 [S]. 2004.  
Electric wire rope hoists—Part 1: Types and basic parameter specification: JB/T 9008. 1—2004 [S]. 2004.
- [19] 棘轮扳手: QB/T 4619—2013 [S]. 2013.  
Ratcheting wrenches: QB/T 4619—2013 [S]. 2013.
- [20] 李春范. 不锈钢焊接机及焊接材料实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [21] 施工升降机安全规程: GB: 10055—2007 [S]. 2007.  
Safety code builder's hoist: GB: 10055—2007 [S]. 2007.
- [22] 莫国平, 唐旺先, 梁琮, 等.  $\pm 800$  kV 特高压悬吊式直流滤波电容器装置安装工艺研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2017, 38(2): 1-5.  
MO Guoping, TANG Wangxian, LIANG Cong, et al. Study on installation process of  $\pm 800$  kV UHV suspension DC filter capacitor device[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2017, 38(2): 1-5.
- [23] 唐旺先. 电力电容器更换装置: ZL201210116743. 6 [P]. 2012-07-07.
- [24] 唐旺先. 侧卧式电力电容器更换装置: ZL201520034612. 2 [P]. 2015-06-16.
- [25] 刘天模, 徐幸梓. 工程材料[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

### 作者简介:

杨枝林(1983—), 男, 工程师, 从事电力电容器制造工艺的研究与设计工作。E-mail: 1975193367@qq.com。

李皓昀(1987—), 男, 助理工程师, 从事电力电容器制造工艺的研究与设计工作。

颜红艳(1987—), 女, 助理工程师, 从事电力电容器制造工艺的研究与设计工作。

莫国平(1972—), 男, 高级工程师, 从事电力电容器制造工艺的研究与设计工作。

王增文(1967—), 男, 高级工程师, 从事电力电容器技术与设计工作。

黄楚秋(1963—), 男, 高级工程师, 从事电力电容器技术与管理工作。