

受限空间内电网重件搬运就位施工工法

1 前言

近年来，随着浙江电网用电负荷不断屡创新高，电力保供形势日益严峻。为深入践行“电等发展”重要嘱托，一项项电网重大工程相继开工，各电压等级变电站新建及改扩建工程施工任务持续增长。变电站重件设备主要包括 GIS 组合开关、电抗器等，是变电站运行的核心关键设备，通常一个变电站中就有 20 台左右的重件设备，搬运就位施工任务越来越重。由于变电站施工场地环境复杂，重件设备安装位置一般位于狭窄室内或邻近带电体下，导致大型专用吊装机械无法使用。目前，变电站重件设备的搬运就位主要以人力推拉为主，机械化水平低、作业人数多、劳动强度大、搬运效率低，严重影响变电站施工工期进度。

传统变电站重件设备搬运就位施工主要有滚杠、坦克轮和气垫搬运三种方式。需提前在室外搭设设备接坡平台，然后在接坡平台上布置好排架滚杠、搬运坦克轮或气垫，待设备吊装至平台上后，通过人力推拉或卷扬机牵引方式移位到设备安装基础，最后通过使用爪式液压千斤顶、撬棒方式使重件设备就位至基础平台上。其中滚杠、坦克轮搬运方式作业人数多，劳动强度大、搬运效率低，容易造成施工地面和设备的损伤；而气垫搬运通过铺设地膜，将重件设备放置在气垫模组上，再利用气垫模组在地膜上滑行移动实现搬运，在减轻劳动强度方面具有一定优势，但气垫搬运对地面的平整度要求非常高、施工机具多、准备调试时间长、还需外接大容量电源、仍需多人推动设备，

若一个或多个气垫模组漏气，重件设备有倾倒侧翻的风险。运用上述三种搬运施工方法进行搬运就位时，存在施工效率低、工人劳动强度大、作业人数多的问题，同时在人身和设备安全方面也存在一定风险，变电站重件设备的搬运就位施工已经成为制约变电站工程施工工期的关键因素。

针对上述问题，本单位通过技术攻关、工程实践，提出一种受限空间内电网重件搬运就位施工工法，相对于传统搬运施工方法能大幅减少作业人数、减轻劳动强度、降低施工成本、显著提升施工效率，在邻近带电体、狭窄室内等受限空间场景下的重件设备搬运施工中有极强的适用性，将变电站重件设备的搬运由人力推拉转变为电动搬运，极大提升了变电站重件设备搬运施工的机械化水平。



图 1.0.0-1 电网重件搬运套装室内搬运 GIS 设备施工现场

本工法关键技术，经中国电力建设企业协会关键技术成果评价（中电建协技评字[2023]第 0023 号）达到国际先进水平。经浙江省

科技信息研究院查新（查新报告：202433B2104641），在国内所检浙江省省级工法中未见报道。

受限空间内电网重件搬运就位施工工法，已申请并获授权发明专利 1 项、实用新型专利 3 项，分别为：一种用于受限空间电网重件设备搬运的电动牵引装置（专利号：ZL 2023 2 0350646.7）、一种电网 GIS 设备室内搬运的电动搬运装置（专利号：ZL 2021 2 2620584.0）、一种用于电网 GIS 设备室内搬运的顶升装置（专利号：ZL 2021 2 1866524.0）。

受限空间内电网重件搬运就位施工工法相关的已发表论文一篇《电网 GIS 设备电动搬运装置的研制与应用》，发表于《中国储运》2022 年 08 期。

与工法相关的技术成果获奖励 2 项，《提高 GIS 电抗器电网重件搬运效率》获中国电力建设企业协会 2023 年电力建设质量管理小组成果一等奖，《变电站关键重件设备整体搬运技术研究与应用》获 2022 年度全国能源化学地质系统优秀职工技术创新成果三等奖。

2 工法特点

2.1 工法关键技术

本工法使用的电网重件搬运套装包括电动牵引主机、交叉轴越障式坦克轮、磁吸式保险垫块、可调基座液压爪式千斤顶、无线遥控器等部件。

本工法电动牵引主机由可拆卸电池、大扭矩伺服电机、减速机构及控制系统组成。通过采用“同轴行星减速+轮边斜齿轮减速”方式，

在有限空间内将输出扭矩提升至 $1800\text{N} \cdot \text{m}$ ，能产生 1.2 吨推拉力，具备 20 吨重件设备搬运能力。通过无线遥控信号，实现无级调速，前进、后退、转向等精准控制。

本工法采用组件可分拆组合、差速转向、高效紧凑减速机构等技术，在保证强劲动力输出的同时大幅缩减设备自身重量与尺寸，整套设备十分轻巧，一台皮卡车两个人就能轻松完成进出场作业与重件设备搬运就位工作。

本工法的牵引主机与电动液压泵都自带锂电池，能满足一天连续高强度作业需求。牵引主机采用直径 13cm 大轮径驱动轮，驱动轮采用铝合金轮芯+聚氨酯轮冠制作，配合交叉轴越障式固定向坦克轮，可调基座液压爪式千斤顶、磁吸式保险垫块等辅助装置，能高效完成变电站重件设备在邻近带电体、狭窄空间等受限空间场景下的搬运与就位工作。

本工法为在应用中进一步保障搬运设备安全，采用防溜坡刹车技术，搬运装置在坡道驻车时，大扭矩伺服电机保持一定的制动力，防止设备因受重力导致的溜坡。在重件设备搬运过程中，通过安装在设备本体上的低延时无线视频监控和超声波雷达实时监控设备周围环境，确保无线遥控操作人员无视觉盲区，保障设备距离障碍物较近时能够报警提醒操作人员。通过安装在设备本体上的三维姿态传感器，能够保证操作人员实时监控设备倾斜角度和加速度值，防止设备在搬运移动中出现较大倾斜或承受较大冲击，保障设备内部精密部件的安全。



图 2.1.0-1 电网重件搬运套装

2.2 工法工艺特色

与传统滚杠、坦克轮、气垫搬运等施工方法对比，本工法有以下特点：

（1）机械化程度高。采用“动力电池+电机”方式提供动力，实现遥控操作电动搬运，投入人员少、搬运效率高。

（2）对场地要求低。动力强劲,越障能力强,有驻坡自动制动功能，对场地要求低，无需改造现有场地，且无需额外配合电源。

（3）装置轻便易搬。采用轻量化设计，动力电池可方便拆卸，最大单件重量仅 100kg，进出场简单，准备时间短。

（4）适用范围很广。适用于电网各类 GIS 设备、电抗器、开关柜等设备的室内搬运，具有很高的推广应用价值。

2.3 社会效益和经济效益特色

本工法通过提高搬运效率、缩短施工工期、减少作业人数，大幅

减少了搬运施工人工、机械成本的支出，经测算一个 220 千伏变电站应用本工法可节省直接施工成本 2 万元。应用本工法对变电站工程建设有着显著的社会效益与经济效益。

2.4 工法推广应用前景

截止 2024 年 3 月，本工法已在 500 千伏建德变、丽西变，220 千伏国清变、沙南变、三屿变、伍子变，110 千伏缪家变、正泰变等 30 多个变电站工程中应用，累计搬运 GIS、电抗器等电网重件设备 100 余台。本工法设备轻巧、操作简单、作业安全高效，历经多个变电站工程实践验证，实施状况平稳有效、应用效果显著、获得一线施工班组人员的一致好评。随着用电负荷的不断增长，电网建设规模的进一步扩大，可以预见本工法将在变电站重件设备搬运就位施工中有广阔的推广应用前景，具有很高的推广应用价值。

3 适用范围

3.0.1 适用于 20 吨以下变电站重件设备的搬运就位施工，例如 220 千伏变电站 GIS、电抗器设备。

3.0.2 变电站施工地面需要坚实、平整，地面承载力需满足搬运设备重量要求，最大越障高度 1.5cm，最大过坡角度 5 度。

3.0.3 在邻近带电体受限空间中作业时，在搬运过程中设备应与带电体保持符合规范要求的最小安全距离。

3.0.4 不得在极端天气（如六级及以上大风、雷暴、大雨等）情况下使用本工法。

4 工艺原理

本工法以“动力电池+大扭矩伺服电机”提供驱动力，创新性的利用“同轴行星减速+轮边斜齿轮减速”技术，在紧凑结构中将输出扭矩提升至 $1800\text{N} \cdot \text{m}$ ，能产生 1.2 吨推拉力，配合交叉轴越障式定向坦克轮，实现 20 吨重件设备的越障搬运能力。作业人员通过无线遥控，操作电动搬运装置无极调速、前进、后退、转向，简单高效地将重件设备搬运至基础，再配合可调基座液压爪式千斤顶将重件设备平稳落到基础上。

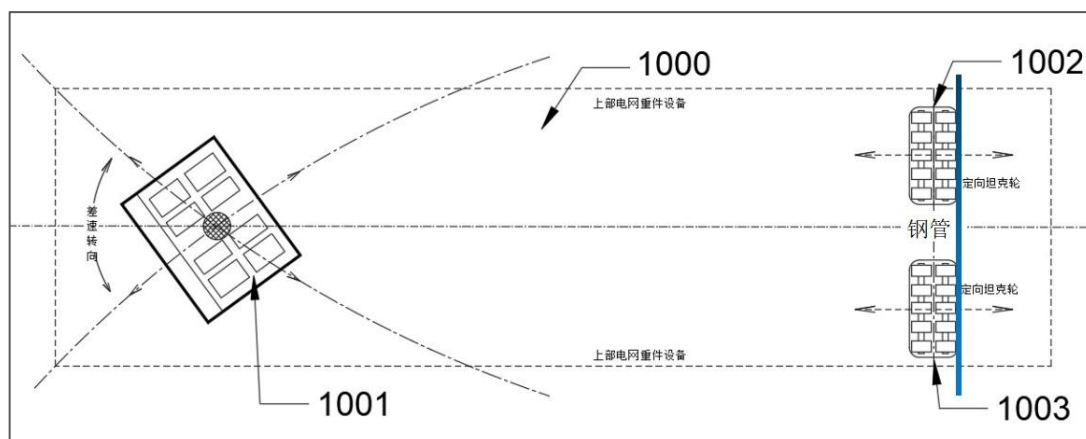


图 4.0.0-1 电动牵引主机与越障式坦克轮搬运布置示意图

5 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

受限空间内电网重件搬运装置施工工艺流程如图 5.1.0-1 所示。

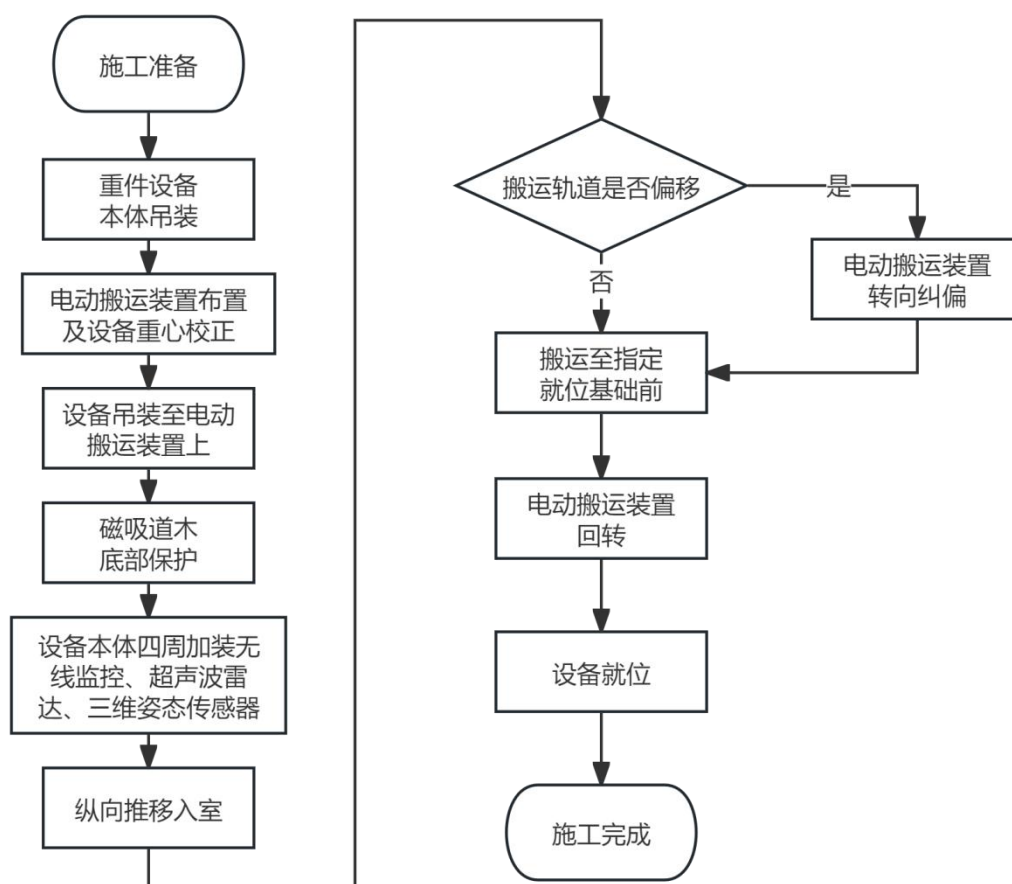


图 5.1.0-1 受限空间内电网重件搬运装置施工工艺流程图

5.2 操作要点

5.2.1 施工总体布置

在电网重件设备建设安装施工或设备检修时，受多层建筑楼面板承重制约与狭小作业空间限制，且地面接地扁铁、预埋件凸出，坑洞密布，现场施工布置如图 5.2.1-1 所示。电网重件设备要从入室大门外卸货并搬运至室内接地扁铁即就位基础处。



图 5.2.1-1 电网重件设备室内布置图

5.2.2 施工准备

施工作业组应提前对室内重件搬运现场进行勘查，根据现场实际情况即设备重量、尺寸及现场施工条件拟定设备搬运路线，判断室外搭设的设备接坡平台是否平整稳固，设备搬运道路上是否有障碍物未清除，室内地面接地扁铁、预埋件凸出情况是否满足装置过坡要求，如不满足要求，应联系建设单位、施工单位采取相应有效的整改措施。同时掌握重件设备的到货时间，在设备到场前准备好搬运所需的工器具。

待重件设备到货时，详细地测量并掌握重件设备的外观尺寸、吨位、重心位置及设备就位方位。此外还需对搬运道路进行检查，对搬运道路上突出地面的线管进行割平，若室内地面接地扁铁凸出明显或

接坡处高差较大，采用橡胶垫在接头处进行相应铺设，对地面坑洞且无法避开采用 7075 航空铝板进行铺设。



图 5.2.2-1 搬运现场地面坑洞铺设

重件设备吊装前，将 1 台主牵引机与 2 只越障坦克轮在入户平台上呈“品”字型布置，通常电动牵引主机布置在外侧，坦克轮在内侧。两只越障坦克轮用钢管串起，越障坦克轮上方铺橡皮垫用以防滑。布置图如图 5.2.2-2 所示。



图 5.2.2-2 重件设备吊装前电动搬运装置布置

5.2.3 重件设备本体吊装

重件设备吊装前，要提前确定好重件设备的前后端方向，以避免设备搬运入室后空间受限设备方位转向的不便。根据设备底梁结构，将 2 台越障坦克轮分别移到重件设备前端侧梁上，使越障坦克轮中间轮子位置处于重件设备侧梁中心正下方。将主牵引机的转盘移到重件设备后端的横梁中点下方，使转盘上的限位螺栓紧靠横梁一侧，防止推移过程中滑出。主牵引机与越障坦克轮纵向位置应在重件设备重心两侧大致对称分布，主牵引机至少需承载 30% 的重量，避免搬运过程中驱动轮打滑。

待设备平稳落在电动搬运装置上，在重件设备底梁四周吸附上磁吸道木用于保险措施，防止在搬运过程中意外倾倒造成设备损坏。经

检查确认设备底梁受力情况、搬运装置承载无误后，摘除吊索具。



图 5.2.3-1 重件设备吊装至电动搬运平台

在设备本体四周安装低延时无线视频监控和超声波雷达实时监控设备周围环境，确保无线遥控操作人员无视觉盲区，保障设备距离障碍物较近时能够报警提醒操作人员。在设备本体上安装三维姿态传感器，能够保证操作人员实时监控设备倾斜角度和加速度值，防止设备在搬运移动中出现较大倾斜或承受较大冲击，保障设备内部精密部件的安全。



图 5.2.3-2 超声波雷达及低延时视频监控

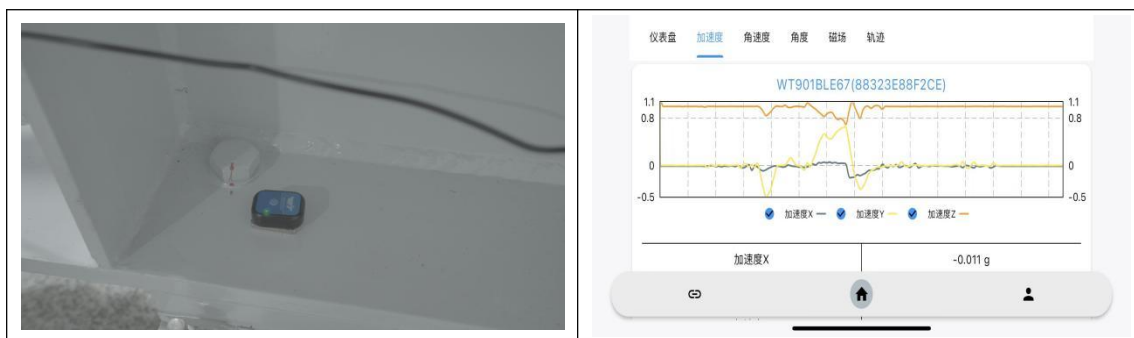


图 5.2.3-3 三维姿态传感器监控设备状态

5.2.4 重件设备纵向推移入室

操作负责人操作无线遥控控制电动搬运装置保持匀速缓缓行驶，在设备纵向推移入室过程中，应仔细观察设备与门框、墙壁、坑洞等并保持安全距离，进入室内后应按规划好的行进路线，按半挂车倒车原理，适时调整主牵机方向，多次转向纠偏，直至设备就位基础前预定位置。



图 5.2.4-1 操作人员进行重件设备搬运

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/545102131312011341>