

基于绿色可持续的电力物资多功能托盘设计与运营策略

叶润森 蔡威 吴臻言 马仲能

广东电网有限责任公司，广东广州，510000；

摘要：本文从绿色可持续发展设计理念出发，结合模块化结构优化与物联网技术，提出一种集高效运营、智能管理和环境友好为一体的电力物资多功能托盘系统解决方案，旨在解决传统托盘行业资源浪费、管理粗放及循环利用率低等问题。本文详细阐述了针对电网行业电柜等物资搬运需求设计的创新多功能托盘解决方案，以绿色可持续为核心理念，从问题分析、模块化设计到共享运营模式与管理策略的全面构建，旨在提升搬运效率、降低碳排放并增强供应链协同性，研究覆盖托盘全生命周期设计、共享经济模式应用及数字化管理平台构建，为物流行业可持续发展提供理论及实践参考。

关键词：绿色理念；多功能托盘；结构设计；运营策略

DOI：10.69979/3060-8767.25.08.002

引言

当前电网企业颁布的供应链改革指导文件明确提出：“提升供应链共享服务水平”、推动“单元化载具循环共用、提升工作效率，推动物流链降本增效”、“单元化物流器具标准化、绿色化以及带板运输”。在电网行业，由于电柜等物资具有体积较大、高等问题，使用传统的托盘在搬运过程中，容易出现倾倒问题，且电柜等物资内部元件较为敏感，普通托盘无法提供有效的防震加固功能。同时，市场上托盘规格繁多，缺乏统一标准，导致不同企业间托盘互换性差，难以实现高效循环共用，增加了多式联运中的装卸、换托成本和货物损坏风险。因此，设计一款适用于电力物资的多功能托盘显得尤为重要。

1 传统托盘在电柜等物资搬运中面临的问题

1.1 托盘设计与尺寸问题

电力物资的尺寸多样，如常见的低压配电柜等物资长度、宽度可达 950mm，高度可达 2200mm，重量可达 500 公斤，宽度和深度各异。而标准托盘尺寸相对固定，难以完全适配不同规格的电柜等物资，导致电柜等物资放置不稳，易在搬运过程中发生倾倒。同时，电柜等物资通常较为笨重，一些大型电柜等物资的重量可能超过普通托盘的设计承载能力，造成托盘变形或损坏，影响搬运安全。

1.2 供应链协同难的问题

在供应链运作中，托盘规格的不统一成为了制约协

同效率的关键因素。由于电力物资生产厂商、电网企业的自动化立体仓库以及传统平面仓库所使用的托盘尺寸各不相同，导致物资在运输、仓储等环节流转时，不得不反复拆垛、换盘，既消耗大量人力成本，又因频繁搬运增加货损风险。对供应链的整体稳定性和运作效率构成了严重威胁。因此，急需通过建立托盘共享运营机制，整合电网产业链上下游资源，实现托盘跨企业循环共用，结合智能调度算法优化调配路径，使托盘空置率降低，物流成本下降，显著缓解规格差异对供应链稳定性的冲击。

1.3 传统托盘在自动化立库中的稳定性问题

由于传统托盘多为木质或塑料材质，其承载能力和抗变形能力有限，搬运重型电柜等物资时易弯曲变形，影响电柜等物资平稳放置。在传输上架过程中，托盘稳定性不足可能导致电柜等物资晃动、偏移，甚至与设备碰撞，造成设备故障或电柜等物资损坏。此外，若托盘与搬运设备（如堆垛机、穿梭车）的兼容性不佳，如尺寸不匹配或重量分布不均，会导致设备抓取或放置托盘时出现偏差，进一步加剧电柜等物资的不稳定性，甚至引发滑落等安全事故。

1.4 搬运设备与托盘的适配问题

传统叉车的货叉升降高度有限，常见的液压搬运车最低点高度在 75mm-85mm 左右，而国标的托盘高度一般为 100mm，存在一定的高度差，导致叉车难以平稳地插入托盘底部，影响搬运效率。在搬运电柜等物资时，如果地面不平整，手动叉车很难滚动，甚至可能导致电柜

等物资倾倒。因此，还需在叉车滚动方向垫上木板等辅助工具，增加了操作的复杂性和时间成本。

1.5 搬运过程中的稳定性问题

在搬运过程中，电柜等物资容易在托盘上滑动或倾倒，尤其是在转弯或经过不平整路面时。虽然可采取用绳索固定等措施，但这增加了操作时间和人工成本。一些托盘在承载重物时容易变形或散架，无法为电柜等物资提供稳定的支撑，增加了搬运过程中的风险。

1.6 防护措施不足的问题

电柜等物资内部元件较为敏感，搬运过程中的颠簸和振动可能对其造成损坏。但普通托盘无法提供有效的防震功能，需额外增加防震材料或采取其他防护措施。此外，托盘的防潮性能有限，无法有效防止电柜等物资受潮，尤其在潮湿环境中，可能会影响电柜等物资的性能和使用寿命。

1.7 托盘管理与追踪问题

在仓储和搬运过程中，托盘容易丢失或错发，增加了企业的运营成本。缺乏实时追踪手段，难以快速定位和找回丢失的托盘。还有部分传统的托盘管理方式主要依赖人工手动记录，容易出现信息记录错误或遗漏的情况，导致库存数据不准确，影响后续的管理和决策。

2 面向电柜等物资的多功能托盘设计

2.1 设计理念

①绿色可持续设计。采用可回收高分子复合材料或生物基塑料，对比传统木材碳排放降低 20% 以上。设计可快速拆解的模块化结构，便于维修与材料分类回收，并通过轻量化设计降低运输能耗。

②模块化结构设计。将托盘分为子托盘、母托盘和夹臂模组，每个模组可单独拆卸、单独使用，并支持定制化扩展模块（如侧栏加固、折叠结构）。

③人机工程学优化。优化抓握槽弧度（ R 角 $\geq 10\text{mm}$ ）与间距（双排槽间距 220mm ），减少腕部扭转角度（从 35° 降至 18° ），降低肌肉劳损率。双侧对称凹槽适配机械叉车与人工搬运场景。

④供应链协同。以“全链路标准化+智能互联”为核心，通过统一尺寸、承重及接口规范，结合模块化功能扩展与物联网追踪技术，构建覆盖电力物资生产、仓储、运输全场景的通用托盘体系，并配套循环共用网络，

实现托盘在供应链上下游无缝流转，彻底消除人工换盘成本，提升整体物流效率。

2.2 模块组成

本文所指多功能托盘由子托盘、母托盘和夹臂模组构成，子母托盘可分开使用。托盘结构如图 1、2 所示。

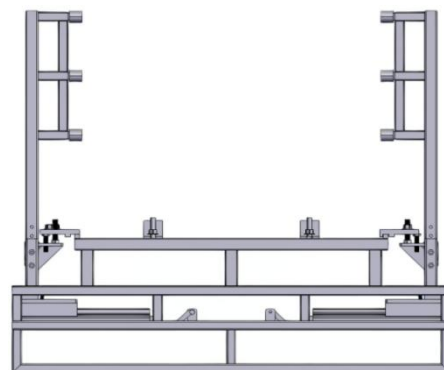


图 1 多功能托盘正面视图

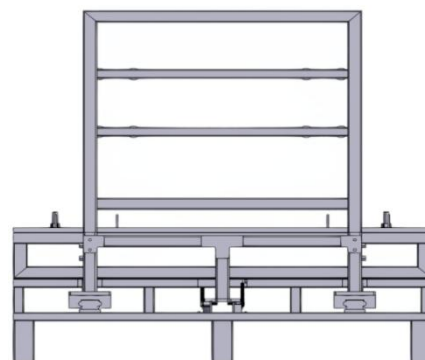


图 2 多功能托盘侧面视图

其结构和具体功能分别是：

①子托盘

子托盘采用单面设计，采用 Q235B 钢结构焊接框架，框架主梁采用 3mm 厚矩形钢管，标准尺寸为 $1200\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 150\text{mm}$ （ $\pm 2\text{mm}$ 公差），表面设置 4 个 M12 不锈钢螺栓及相应滑动凹槽，凹槽行程范围 $\pm 50\text{mm}$ 。供应商可使用 GB/T6170 标准角码和子托盘自带 304 不锈钢螺栓螺母将电柜等物资固定在子托盘上。框架底部焊接交叉加强筋，单点承重能力达 800kg ，表面经抛丸除锈后喷涂 $60\mu\text{m}$ 环氧防锈涂层，四角设有橡胶防撞护角。

②母托盘

母托盘为 Q345B 钢结构焊接框架，整体尺寸 $1480\text{mm} \times 1250\text{mm} \times 180\text{mm}$ ，适配普通仓库及自动化立库系统要求。其边缘设有深度 2mm 的菱形防滑纹路和 4 组符合 ISO2330 标准的叉车专用孔位，底部配置可拆卸防震胶垫（邵氏硬度 70 ± 5 ，更换周期 ≥ 3 年）。母托盘额定承载 2 吨设备，极限载荷 3.5 吨。框架内嵌符合 ISO/IEC

18000-6C 标准的 RFID 芯片槽位，存储容量 512bit，两侧配备 $\pm 0.2\text{mm}$ 精度的机械定位装置，可与堆垛机输送系统无缝对接。内置 SHT35 数字式温湿度传感器，采用 IP67 防护等级的 ABS+PC 合金外壳，供电方式为 CR2450 纽扣电池（续航 ≥ 5 年）。监测数据本地存储容量 16MB，支持 LoRa/WiFi 双模传输，云端同步间隔默认 15 分钟可调。温度检测范围扩展至 $-40^{\circ}\text{C}\sim 125^{\circ}\text{C}$ ，工作湿度范围覆盖 10-90%RH 非冷凝环境。

③夹臂模组

夹臂模组采用 6061-T6 铝合金框架，置于母托盘上方，夹持行程 0-300mm 可调。直线导轨模组选用 HIWIN HGH15CA 级滚柱导轨，重复定位精度 $\pm 0.05\text{mm}$ 。自锁弹簧机构采用琴钢线绕制，预紧力 $200\text{N}\pm 5\%$ ，止退钩与棘齿条模组经渗氮处理，齿距 5mm，有效锁定角度 $\pm 3^{\circ}$ 。操作时人工施加推力即可完成夹持，夹臂接触面贴附 3mm 厚硅胶缓冲垫，夹持压力通过应变片实时监测（量程 0-500kg），确保电柜等物资运输过程中不发生位移。

2.3 技术实现与智能管理

①物联网技术整合。状态感知层集成 GPS+北斗双模定位、冲击传感器（监测跌落事件），数据传输层采用 NB-IoT 低功耗广域网，实现托盘位置与状态的实时回传，数据分析层，基于历史数据的维修预测算法，降低故障率。传感器配置矩阵如表 1 所示。

表 1 传感器配置矩阵

传感器类型	技术参数	功能定位
六轴惯性传感器	采样率 500Hz，检测范围 $\pm 16\text{g}$	跌落碰撞监测（阈值 $>5\text{g}$ ）
温湿度传感器	精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ （ $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ ）， $\pm 3\%\text{RH}$	冷链货品环境保障
压力分布传感器	256 点阵阵列，分辨率 $0.1\text{N}/\text{cm}^2$	载荷均衡性诊断
UWB 定位模块	通信带宽 1GHz，定位精度 $\pm 10\text{cm}$	室内仓库高精度追踪

②共享运营技术架构

采用 B/S 模式云平台，包含用户端 APP、运营管理后台及大数据看板。其核心功能包括动态计价模型和智能调度算法。动态计价模型基于使用时长、运输距离的浮动计费，智能调度算法可结合运力供需预测优化托盘区域调配。

3 多功能托盘共享运营模式构建与管理策略

3.1 多功能托盘共享运营模式

①技术驱动的智能运营体系

一是物联网与大数据深度整合。通过集成 GPS/北斗双模定位、温湿度传感器及冲击监测模块，实现托盘/车辆等资产的位置追踪与异常预警（如跌落、超载），降低运维成本。基于历史使用数据与 AI 算法预测需求热点，自动生成资源调配方案。利用设备磨损数据分析，设定阈值触发自动检修指令（如每使用 50 次强制保养），延长资产生命周期。

二是构建区块链赋能可信生态。构建跨企业联盟链，记录用户使用行为、设备维修记录等不可篡改数据，解决共享经济中的信任危机。

②可持续导向的闭环管理机制

一是打造绿色生命周期管理体系。采用模块化可拆卸结构（如托盘蜂窝承载层与智能层分离），使报废设备 90% 以上部件可回收再生。

二是实现政策协同创新。推动行业编码统一（如 ISO 18613 托盘标准），实现跨平台资产互通，降低系统对接成本。

③托盘共享运营具体实施策略

一是通过整合物联网、大数据与区块链技术实现全链路降本增效。结合电力物资流转特性，设计出“标准化托盘+智能调度+分级网点”的闭环运营方案，以标准化托盘为基础载体，部署嵌入式传感器实现温湿度、震动等数据实时采集，通过区块链技术构建去中心化租赁平台，连接供应商、物流商与仓库方形成协同网络。

二是动态定价机制，根据区域供需、使用时长自动调整租赁费用

三是智能调度系统，结合物资需求预测与托盘分布热力图，运用运筹优化算法生成跨区域调拨方案，实现全流程可视化追踪，通过 UWB 定位标签实现托盘从出厂到工地安装的全节点监控。

四是配套建立分级运维体系，在区域仓、周转仓等部署网点，建立托盘回收机制，结合 AI 客服与智能工单系统，将异常响应时效压缩。该模式显著减少各环节的换托作业量，降低物流包装成本，为电力物资供应链智能化升级提供可复制的经验。

3.2 多功能托盘管理策略

①全生命周期精益化管理策略

一是做好设计阶段风险管控。针对托盘结构弱点（如蜂窝承载层断裂、传感器脱落）建立失效模式库，

通过权重评分确定优先改进项。制定《共享托盘环保设计规范》，明确材料回收率 $\geq 95\%$ 、能耗强度 $\leq 0.15\text{kWh}/\text{次}$ 等硬性指标。

二是做好运营阶段动态追踪。构建联盟链记录托盘流转路径、维修记录及碳排放数据，确保数据不可篡改，利用该技术实现供应链碳足迹透明化。基于物联网传感器数据（如累计承重次数、表面磨损度）构建贝叶斯预测模型，精准触发检修指令，降低突发故障率。

三是报废阶段资源循环。建立分级网络，采用VRP算法规划最优回收路径，降低运输成本。开发基于机器视觉的托盘状态分级系统（A级复用、B级拆解、C级再生），提高残值判定准确率。

②建立多方协同治理机制

一是建立政企合作机制。推动地方政府将多功能共享纳入企业碳账户积分体系，每吨·公里减排量可兑换税收优惠（深圳已试点应用）。

二是构建跨行业联盟。借鉴GS1全球标准体系，开发适用于托盘共享的EPCIS事件数据格式，实现跨系统流转可视。

③管理标准体系构建

参照ISO 14067建立托盘全生命周期碳排放因子库，涵盖原材料生产（如HDPE粒子加工）、运输（3.5吨货车百公里油耗）等15类活动数据。制定《托盘共享服务安全操作指南》，规定叉车装载角度（ $< 5^\circ$ 倾斜）、堆叠层数（塑料托盘 ≤ 5 层）等操作规范。

④建立全流程安全管理制度

一是建立健全电柜等物资储存安全管理制度，涵盖消防、防雷、电气安全等方面。例如，配置灭火器、烟感报警器等消防设施，定期检查维护，确保功能正常。

二是制定巡检计划，定期检查电柜等物资外观、连接线缆、指示灯等，及时发现并处理潜在故障。同时，定期对电柜等物资进行维护保养，如清洁、紧固螺丝、检查电池状态等。

三是部署智能监测系统，实时采集电柜等物资的电流、电压、功率等参数，以及温度、湿度等环境数据。

通过数据分析，实现对电柜等物资运行状态的实时掌握，为优化调整提供依据。

4 总结

探讨了针对电网行业中电柜等物资搬运的需求，设计一种基于绿色可持续理念的多功能托盘解决方案。本文首先分析了传统托盘在电柜等物资搬运中存在的六大问题，然后详细介绍了多功能托盘的设计理念、具体模块组成，以及技术支持。在运营模式方面，提出技术驱动的运营体系、可持续导向机制、风险管理策略包括动态风险评估和全生命周期精益化管理；同时强调标准体系建设和全流程安全制度的重要性。最后，本文提出共享运营模式及其管理策略，旨在提升供应链效率、减少碳排放和增强搬运安全性。

参考文献

- [1] 王艳菊, 陆佳平. 基于ANSYS的木托盘弯曲承载特性分析及试验验证[J]. 包装工程, 201233(17): 23-26.
- [2] 李杨, 李光. 基于Solid Works的木托盘结构有限元分析及优化设计[J]. 包装工程, 201132(19): 1-4.
- [3] 高雪, 孙伟, 周俊丽等. 基于ANSYS Workbench的塑料木托盘支撑结构分析[J]. 中国包装, 2020, 40(11): 16-21.
- [4] 潘益明, 于兰峰, 韩露男, 等. 移动式架车机伸缩托头-托盘接触的有限元分析[J]. 工程设计学报, 2019, 26(3): 315-320, 363.
- [5] 徐欣. 优化包装结构 寻找可再生新材料[J]. 印刷技术, 2016(06): 17-18.

课题项目：本文系广东电网有限公司广州供电局供应链服务中心委托项目“测试加工一款适用于电力设备的多功能物流套件”（编号：030100KZ24080195）的阶段性研究成果。

作者简介：叶润森（1988-），男，汉族，湖北荆门人，硕士，工程师，研究方向：电网供应链全流程的数字化、智能化。