

电动商用车车载换电系统互换性及安全性 标准化研究

一、研究背景及概述

电动重卡具备多种能源补充途径，其中重卡换电技术以其快速补能、延长电池寿命、提高安全性和经济性的特点而备受关注。相较于传统的充电方式，重卡换电仅需短短 5 分钟，即可完成电池更替，显著缩短了补充能源的时间，有效提升了运输运营的灵活性。此外，换电重卡的电池容量相对较小，不仅减轻了电池及车辆的整体重量，增加了有效的货运负载，同时也对电池寿命产生积极影响，从而提高了运营成本效益。因此，重卡换电技术成功地克服了传统充电方式存在的时间长、续航里程短、载货能力差等弊端，显著提升了电动重卡的运营效率。在专线运输、支线短途、港口和矿山运输等特殊场景下，其优越性能更为显著。

然而，目前电动重卡的发展仍受到多个方面的制约，主要包括基础设施建设、行业标准不统一缺乏互换性、技术问题、成本问题以及市场认可度等因素。其中，互换性问题是—个尤为突出的挑战。在互换性方面，国内重卡换电领域缺乏统一的标准和规范。由于不同厂家生产的重卡和换电设备可能存在兼容性差异，用户在购买和使用时面临较大的不确定性。这不仅增加了采购的难度，也使得整个系统的互通性

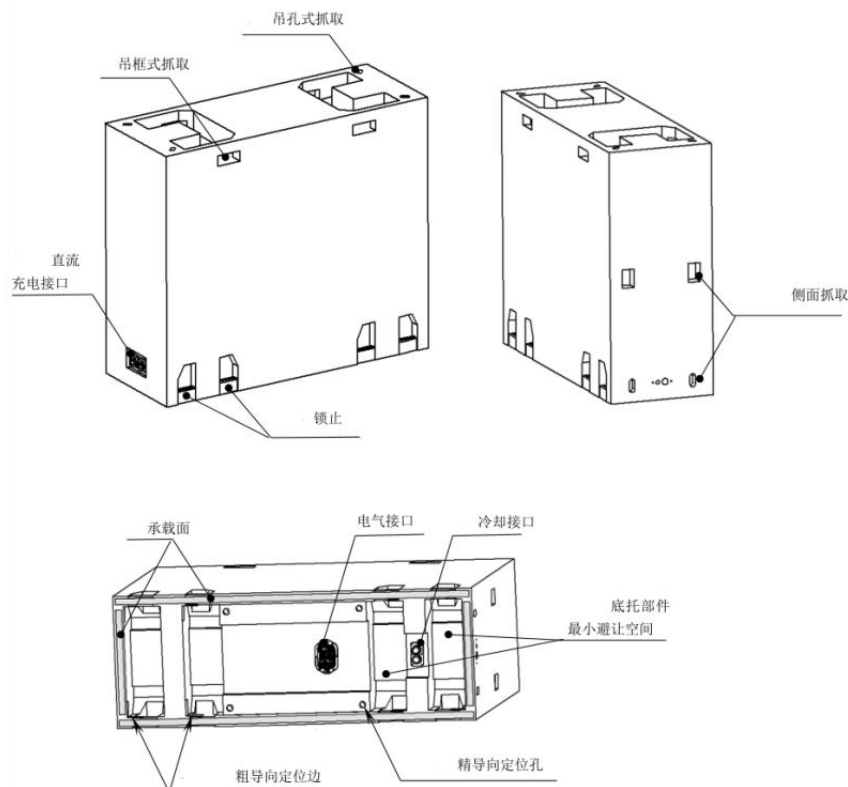
受到限制。为了解决这一问题，需要加强行业内的标准化工作，确保各个厂家生产的电动重卡和换电设备能够遵循相同的规范。通过建立统一的行业标准，用户可以更加方便地进行选择和搭配，提高了整个系统的可用性和灵活性。在未来的发展中，应注重协同合作，促使不同厂家共同制定互换性的标准和解决方案，为电动重卡的推广提供更加稳固的基础。通过统一标准、技术创新以及市场推广，可以逐步克服互换性带来的障碍，推动电动重卡在市场上取得更大的成功。

基于以上背景，课题完成了国内外电动商用车换电市场发展研究；电动商用车换电互换性及安全性研究；电动商用车换电关键零部件评价方法研究。在上述成果的基础上，依托“全国首批新能源汽车换电模式(重卡特色类)应用试点城市”，率先推动发布了基于即将发布的“QC/T1201《电动商用车车载换电系统互换性》”的5项地方标准以及3项换电式重卡换电站系列地方标准。

二、研究内容

（一）互换性影响因素分析

电动重卡互换性是一个关系到电动重卡可持续发展的关键问题，而该互换性的实现受到多个重要因素的直接影响，如换电电气接口、冷却接口、换电机构、换电电池及通讯协议。



（二）互换性标准化方案

3.1 换电电气接口标准方案

制定一套统一的电气接口标准，以确保不同制造商的电动卡车和电池能够互相兼容。换电接口标准化方案包含以下方面：

3.1.1 换电系统的电气连接应满足功率传输、信息交互和安全防护的基本功能需求。

3.1.2 高压电气连接的主功率端子，额定工作电压应不低于 1500 V，单端子持续最大电流应不低于 300A。

3.1.3 换电电气接口应具有保护接地，且不小于主功率端子截面积的 1/2。

3.1.4 高压电气连接应具有 360° 环形屏蔽层，减少电气接口处电磁发射和电磁抗干扰能力。

3.1.5 换电电气接口应具有低压辅助电源接口，且额定工作电压不低于 30 V，额定载流量不低于 15A。

3.1.6 换电电气接口应具有用于激活电池管理系统的连接信号。

3.1.7 换电电气接口应至少具有 2 路 CAN 信号，分别为充电 CAN，动力 CAN，依据需求可拓展诊断 CAN 等。

- 3.1.8 换电电气接口应具有连接状态反馈信号、功率端子温度检测信号。
- 换电电气接口应具有导向结构，确保其连接器准确、可靠连接。
- 3.1.9 换电锁止机构应具有锁止状态反馈信号。每个锁止机构应至少有两种状态反馈，分别为锁止状态、松脱状态，且应采用低有效为松脱状态。若换电机构的锁止装置有多个，应分别检测其锁止状态，以确保换电车辆安全性。
- 3.1.10 换电控制器负责检测锁止机构状态，并在动力 CAN 总线上反馈，以便于车辆控制器或换电站控制系统读取状态。
- 3.1.11 换电电气接口宜预留 1 路高压供电，用于电池冷却机组配电。
- 3.1.12 换电电气接口中低压信号宜预留激活水冷机组信号。
- 3.1.13 换电电气接口中低压信号应预留有可扩展针，便于其兼容性和可拓展性。

3.2 换电冷却接口标准

制定与电动卡车冷却系统兼容的冷却接口标准，确保在电池互换过程中能够有效地控制温度。标准应考虑到不同电池和车型的冷却需求，以确保冷却系统的高效性和可靠性。换电冷却接口标准包括以下方面：

3.2.1 流量

换电冷却接口额定流量不应小于 50L/min。

3.2.2 冷却介质

冷却介质应使用冰点为-45℃的乙二醇水溶液。

3.2.3 弹簧力

基于相互作用中的弹簧力值，冷却接口需要满足表1弹簧力要求。

表 1：冷却接口弹簧力

位置	内部阀芯完全开启力	Z 向浮动弹簧启动力
冷却接口电池端	≥80 N	——
冷却接口车端	≥90 N	400 N±50 N

3.2.4 导向浮动

冷却接口应具备对准导入功能，耦合时应自动修正位置偏移。接头轴向应能修正不小于 3°

的角度偏差。接头轴向的法向面任意方向应能修正不小于 8mm 的位置偏差。

冷却接口车端应具备浮动跟随机构，冷却接口电池端从车端脱离时，应自动

恢复到原始位置，复位偏差不大于 1mm。

浮动跟随机构轴向的法向面任意方向应能跟随不小于 8mm 的位置偏移。

浮动跟随机构轴向双方向应能跟随不小于 6mm 的位置偏移。

3.2.5 气密性

在3.5 bar气压下，冷却接口电池端和车端单体泄漏量不超过0.5mL/min，电
池端和车端组合后的泄漏量不超过0.5mL/min。

3.2.6 使用寿命

冷却接口插拔寿命不应低于10 000次。

3.2.7 插拔泄漏量

插拔过程中冷却液泄漏量不应大于0.5mL/次。

3.2.8 流阻

冷却接口电池端和车端组合后的流量压降值应满足表2要求。

表 2：流阻

流量（L/min）	30	40	50	60	70
压降 （kPa）	≤11	≤15	≤20	≤26	≤36

3.2.9 耐盐雾腐蚀

试验后冷却接口表面和内腔无可见锈蚀。

3.2.10 耐振动冲击

试验后冷却接口导向浮动与气密性分别符合导向浮动和气密性的要求。

3.3 换电机构标准

换电站机构的标准，包括机械结构和设备设计，以确保适应不同型号和规格的电动卡车。标准化的机构设计有助于提高互换过程的稳定性和安全性，同时简化电池装卸的操作流程，降低人为错误的风险。

其中后背式换电的车载换电系统在整车上的布置形式如图所示：

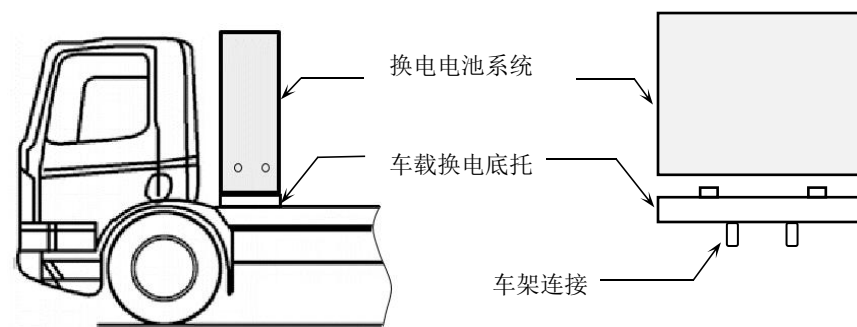


图 3：后背式换电结构示意图

换电电池系统的换电机构主要由抓取接口、承载面、导向定位、锁止等机械接口，以及电气接口、冷却接口组成。

3.3.1 换电电池系统内宜有分层的电池容纳空间。

3.3.2 换电电池系统内宜有电池系统附件容纳空间。

3.3.3 换电电池系统底部应有车载换电底托部件避让空间

3.3.4 换电电池系统的机械接口未注尺寸偏差，对于金属切削加工或一般冲压加工的尺寸应符合 GB/T 1804-m 的规定，对于焊接结构的尺寸应符合 GB/T 19804-A 的规定。

3.3.5 换电电池系统的直流充电接口应设置在换电电池系统左侧（驾驶员侧）

3.3.6 导向定位：换电机构应具有粗导向定位和精导向定位功能，粗导向定位完成后应使精导向孔和销处于定位作用范围内，精导向定位完成后应使电气接口和冷却接口的导向定位装置处于定位作用范围内。粗导向定位边与底托粗导向定位面的间隙应不小于 10 mm。

3.4 换电电池系统标准

与电动卡车和电池系统相适应的电池系统标准，包括电池固定和支撑结构，以及相关的安全控制系统，以确保电池在互换过程中能够安全、迅速地连接和脱离，减少因电池系统不匹配而引发的潜在问题。对于换电电池系统的要求包括以下部分：

3.4.1 换电电池系统电压范围宜为 480 V~750 V 。

3.4.2 换电电池系统换电接触面平面度宜不大于 2 mm。

3.4.3 换电电池系统结构强度应能满足全生命周期内换电使用需求。

3.5 车辆与电池系统通信标准

指定通信协议标准，确保电动卡车和电池系统之间的有效信息交流，包括通讯逻辑、数据传输速率、信息格式和安全协议等方面的规范，以保障互换过程中的实时监控和控制。标准化通信协议有助于提高互换系统的智能化水平，增强车辆和电池系统之间的协同作业能力。标准包括以下方面：

3.5.1 BMS 激活后，应在规定时间（由 BMS 硬件决定）内完成自检，并发出第一帧有效报文。

3.5.2 BMS 在收到下电命令后，应在规定时间（由 BMS 硬件决定）内停发报文并完成休眠。

3.5.3 正电流值代表放电，负电流值代表充电。

3.5.4 终端电阻 R 阻值为 $120\ \Omega$ ，容差不应超过 $\pm 5\%$ 。

3.5.5 BMS 宜支持 KeyON、充电唤醒、网络管理报文唤醒等。

3.5.6 车辆与 BMS 的网络拓扑宜符合以下的两种架构之一：

3.5.6.1 BMS 至少支持 3 路 CAN，定义应符合 DB5115/T 换电式重卡车载换电系统互换性要求；

3.5.6.2 BMS 的充电 CAN 应符合 GB/T 27930 的要求

3.5.7 高压设置：高压主正、主负、预充、充电正、充电负继电器应在换电电池系统内部，由 BMS 负责控制及检测主正、主负、预充、充电正、充电负继电器状态及故障状态。换电接口功率端子应具有温度检测功能。换电接口功率端子的温度检测应由换电电池系统负责检测，车辆充电插座的温度检测应由车辆负责检测采集，并将功率端子的温度值发送至车辆动力 CAN。换电电池系统和车辆控制器均从动力 CAN 线上获取功率端子温度。

3.5.8 电池上传的基本信息应至少包括电池单体电压，单体温度，电池总电压，电流，SOC、能量估算、绝缘检测，电池热失效、电池类型、电池编码、BMS 软硬件版本信息等。

3.5.9 车辆有行车及充电需求时，整车控制器应收到唤醒信号，引导 BMS 上下电，控制策略应符合如下要求：

3.5.10 高压上下电控制：

3.5.10.1 上电策略：BMS 被唤醒后，上报自检状态，在整车无限制上高压故障的条件下，收到整车控制器上高压指令，依次闭合主负继电器，预充继电器，检

测预充电过程完成后闭合主正继电器，延时断开预充继电器。BMS 完成上电后，将上电完成状态和继电器状态反馈给整车控制器。

3.5.10.2 下电策略：BMS 在收到整车控制器发出的下高压指令后，检测整车母线电流小于 10A，依次断开主正继电器和主负继电器并上报继电器状态。整车高压泄放完成后，BMS 接收整车控制器的下低压指令或唤醒源消失持续 10s，则进行部件存档并反馈状态信息，最后进入休眠状态。

3.5.10.3 紧急下电：BMS 检测到极限过压、极限欠压、极限过温、火灾报警故障信息，应实现紧急下电。

3.5.11 充电功能

充电应符合 GB/T 27930、GB/T 18487.1、GB/T 20234.1 和 GB/T 20234.3 的要求，充电流程宜符合附录 A 的要求。

充电策略应符合如下规定：

插入充电枪有效,唤醒整车各控制器；

BMS 检测到快充充电枪有效后发出充电连接信号；

BMS 对硬件自身状态等进行自检，上电唤醒后 BMS 自检完成无故障发送自检正常状态；自检失败进入 Fault 模式，上报自检故障、故障等级、故障码及最大允许充、放电电流；

BMS 检测粘连状态确定继电器状态：

若检测到负极、正极继电器或者加热继电器粘连，BMS 发送继电器触点粘连故障，BMS 上报故障等级、故障码及按照故障阈值表处理，进入 Error 状态；

若继电器无粘连故障，等待执行步骤 e)；

若正极、负极继电器无粘连故障，且接收到整车端发送的上高压请求，BMS 闭合总负、总正继电器；

等待整车控制器发送允许充电指令，接收到整车发送允许充电后，BMS 闭合快充继电器；

BMS 高压继电器闭合完毕，进入“准备就绪”模式，等待 BMS 与充电桩交互完毕，进入充电。

3.5.12 热管理控制

换电系统互换时宜优先考虑热管理系统形式的一致性。

3.5.13 故障上报及处理

BMS 应实时监测电池管理系统是否存在故障，并将故障等级上报整车，整车控制器根据上报故障执行相应的故障处理策略。

故障定义应符合如下要求：

故障等级定义为 1 级故障，2 级故障，3 级故障，其中 1 级<2 级<3 级，3 级为最高故障；

不同故障等级对应的整车处理策略：

1 级故障：影响用户体验，仪表提示或不进行处理；

2 级故障：影响整车性能，如限扭矩、限功率处理；

3 级故障：车辆功能丧失或存在安全隐患，如高压下电。

3.5.14 诊断刷写

BMS 宜支持 UDS 诊断及本地、远程软件刷写，宜符合 ISO 14229-1、ISO 14229-3 和 ISO 15765-4-2016 的要求。

诊断刷写应符合如下要求：

UDS 诊断宜参照 ISO 15765-4-2016 中 10.3.2 及 10.5.3 的要求：

BMS 的诊断地址定义为 D1h；

物理寻址：0x18DAD1F1；

功能寻址：0x18DB33F1；

诊断响应：0x18DAF1D1。

软件升级及更新（远程、诊断仪），刷写流程宜参照标准 ISO 14229-1、ISO 14229-3 的要求。

通过制定这一套全面的电动重卡互换性标准化方案，可以为整个行业提供统一的指导原则，促进互换技术的广泛应用，从而推动电动重卡的互换性得到更为广泛和可持续的实现。