

《冷链物流车厢热工性能与碳排放关联评价规范》团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本标准由中国计量测试学会提出并归口，列入中国计量测试学会 2025 年度团体标准制定计划。标准由湖北省计量测试技术研究院牵头，联合冷链物流企业、冷藏车制造企业、制冷系统供应商、第三方检测机构及高校科研单位共同起草。

（二）起草单位及分工

湖北省计量测试技术研究院负责标准总体框架设计、热工性能测量方法、试验验证；参与的科研机构 and 高校负责碳排放核算方法、数据质量控制；其他参编单位负责工况调研、行业需求分析、征求意见处理。

二、标准制定背景、目的和意义

（一）行业背景

冷链物流是保障食品、药品等温敏商品质量安全的关键环节。近年来，我国冷链物流市场规模持续扩大，但冷链运输过程中的能源消耗与碳排放问题日益突出。据统计，冷链运输能耗占整个冷链物流链条能耗的 60% 以上，而车厢热工性能直接决定了制冷系统的运行负荷与能耗水平。

当前行业存在以下突出问题：

1. 碳排放核算边界不统一：现有核算方法多针对整车或企业层面，缺乏针对车厢围护结构热工性能与制冷系统碳排放的独立核算边界，导致不同车型、不同保温结构之间的碳排放数据不可比。

2. 热工性能与碳排放缺乏定量关联：GB/T 29753 等标准侧重冷藏车安全与结构性能，GB/T 40488 侧重隔热性能试验方法，但均未建立"热工性能→制冷负荷→能耗→碳排放"的完整量化链条，无法评价保温性能改善对碳减排的实际贡献。

3. 缺少可执行的检测评价方法：现行标准多停留在设备性能或运输要求层面，缺乏面向车厢级的、集热工性能测试、能耗计量、碳排放核算于一体的综合评价体系，数据采集与评价指标未形成统一规范。

4. "双碳"战略实施需求迫切：随着国家"双碳"目标推进，冷链物流企业、医药冷链承运商及生鲜电商平台亟需可量化的低碳评价工具，用于装备选型、碳足迹披露和绿色供应链认证。

（二）标准目的

本标准旨在建立一套适用于冷链物流车厢的、可测量、可验证、可比较的热工性能与碳排放关联评价技术体系，实现以下目标：

1. 统一车厢级碳排放核算边界，明确排除整车驱动系统燃料消耗、道路工况、货物生产及装卸过程排放，聚焦围护结构传热、门封泄漏、制冷能耗及制冷剂泄漏四大核心环节。

2. 建立热工性能参数（K 值、漏冷量、温升速率、开门恢复时间）与制冷运行能耗、碳排放之间的定量关联模型，实现"结构性能—能耗—碳排放"的可追溯评价。

3. 提出基于单位运输服务功能（ $t \cdot km$ ）的归一化碳排放指标，解决不同容积、不同载重、不同运输距离下车厢碳排放数据的可比性问题。

4. 规范检测方法、测点布置、仪器精度及数据质量要求，确保不同检测机构、不同时间、不同地点测试结果具有重复性和可比性。

（三）标准意义

本标准的实施将产生以下经济社会效益：

1. 支撑企业碳管理：为冷链物流企业提供车厢级碳排放核算基准，支撑碳盘查、碳披露及 ESG 报告编制。

2. 推动装备技术升级：通过热工性能与碳排放的关联评价，引导冷藏车制造企业优化车厢保温结构、门封设计及制冷系统匹配，推动轻量化、低导热、高气密性绿色装备研发。

3. 服务医药冷链合规：满足医药冷链运输对温控性能与碳足迹追溯的双重合规要求，支撑 GSP（药品经营质量管理规范）与碳中和目标的协同。

4. 促进绿色消费与认证：为低碳冷链装备认证、绿色物流评级提供技术依据，引导货主单位优先选用低碳车厢。

三、标准编制原则

（一）科学性原则

以传热学基本方程、制冷循环 COP 理论、能量守恒定律及 IPCC 温室气体核算体系为理论基础，构建"热工性能→热负荷→制冷能耗→碳排放"的完整物理链条。评价指标权重通过层次分析法与行业专家咨询相结合的方式确定。

（二）工程可操作性原则

所有指标均基于可实际测量的物理量：温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）、功率（W）、耗电量（kWh）、燃油量（L）、制冷剂充注量（kg）等。测试工况（环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 40%~70%、风速 $\leq 1.5\text{m/s}$ ）在常规检测实验室或受控场地均可实现，无需额外复杂实验系统。

（三）可重复与可比性原则

测试方法规定统一的工况条件（环境温度、设定温度、开门频率）、测点布置方式（外表面不少于 18 个测点、内部不少于 9 个三维测点）、采样频率（ $\leq 60\text{s}$ ）及稳定工况判定准则（连续 30min 温度波动 $\leq \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ），确保不同机构测试结果具有可比性。

（四）系统性原则

构建覆盖"热工性能—制冷负荷—能耗—碳排放"完整链条的评价体系，引入"碳响应系数"概念，量化热工性能改善对碳排放的边际影响。

（五）国际接轨原则

参考 ISO 14083:2023《运输链温室气体排放量化与报告》的核算边界划分方法，借鉴 ISO 14064、ISO 14067 的排放因子法原则，采用 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 作为统一功能单位，与国际碳足迹评价方法协调一致。

四、主要工作过程

（一）前期调研阶段

编制组对以下内容进行了系统调研：

1. 国内冷链运输装备能耗测试现状，重点分析 GB/T 29753、GB/T 40488 等标准的适用范围与技术缺口；
2. 欧盟冷链碳足迹方法（EN 16258、ISO 14083）及美国 EPA 冷链排放核算指南；
3. 典型冷链物流企业（医药、生鲜、冷冻食品）实际运营数据采集方式与痛点；
4. 第三方检测机构（计量院、质检中心、认证机构）现有测试能力与设备配置；
5. 新能源冷链车厢（纯电动冷藏车、氢燃料电池冷藏车）的技术特点与能耗结构。

调研结论：行业迫切需要一套独立于整车驱动系统、聚焦车厢围护结构与制冷系统的热工-碳排放评价方法。

（二）标准立项阶段

编制组完成《团体标准项目建议书》及标准草案，提交中国计量测试学会。经立项评审会审议，专家一致认为：该标准填补了冷链物流车厢级热工性能与碳排放关联评价的标准空白；技术路线清晰，具有明确的工程应用价值；建议重点关注新能源车厢的适用性、制冷剂泄漏检测方法及数据不确定度控制。标准正式获批立项。

（三）初稿起草阶段

编制组召开第一次工作会议，明确标准框架与分工。起草过程中重点解决了以下技术问题：

1. K值测量方法的选择：经对比分析，采用稳态热平衡法（通过测定维持热平衡所需制冷补偿量反推K值），而非热流计法或红外热像法，原因是该方法可直接关联制冷系统实际运行能耗，更符合工程评价需求。

2. 漏冷量与K值的区分：明确K值表征围护结构稳态传热能力，漏冷量则综合反映围护结构传热、门封泄漏及结构缺陷造成的总冷量损失，两者互补但不重复。

3. 制冷剂泄漏碳排放的简化处理：鉴于车厢级现场检测难以直接测量年泄漏率，采用“制冷剂充注量×年泄漏系数×GWP”的简化核算方法，并建议引用GB/T 9237或制造商提供的泄漏率数据。

（四）试验验证阶段

编制组选取典型车型开展验证测试：

A 型冷藏车（12m³，0℃）：验证 K 值重复性测试、漏冷量与能耗关联性； B 型冷冻车（18m³，-18℃）：验证温升速率测试、开门恢复时间测试； C 型新能源冷藏车（8m³，0℃）：验证电驱制冷系统能耗测量、电力碳排放核算。

关键验证结论： 1. K 值与单位容积能耗呈显著正相关（ $R^2 > 0.85$ ），验证了热工性能对能耗的决定性影响； 2. 高频开门工况（3min/8 次·h）下，开门恢复时间对单位运输碳排放的贡献率可达 15%~22%，证明开门恢复时间是评价配送工况碳排放的关键指标； 3. 采用单位运输服务功能（t·km）归一化后，不同车型的碳排放指标具有良好的区分度，可支撑分级评价。

五、标准主要技术内容说明

（一）范围（第 1 章）

明确标准适用于采用机械制冷的冷藏运输车厢、冷冻运输车厢、新能源冷链运输车厢、医药冷链运输车厢及生鲜食品冷链运输车厢。明确排除液氮/干冰非机械制冷系统、铁路冷链集装箱、海运冷藏集装箱及固定式冷库系统，确保评价边界聚焦于道路运输机械制冷车厢。

（二）术语和定义（第3章）

定义8个核心术语，其中"冷链物流车厢""热工性能""总传热系数（K值）""漏冷量""温升速率""开门恢复时间"为热工性能领域术语；"单位货物碳排放""制冷系统运行碳排放"为碳排放领域术语。术语定义与 GB/T 29753、ISO 14083 等标准协调一致。

（三）评价边界与总体要求（第4章）

评价边界包括：车厢围护结构传热；车门开启及密封泄漏造成的冷量损失；制冷系统维持设定温度所产生的能源消耗；制冷剂泄漏产生的温室气体排放。

评价边界明确排除：车辆驱动系统燃料消耗（避免与整车能耗混淆）；道路运行工况影响（聚焦车厢本体性能）；货物生产及装卸过程排放（聚焦运输环节）；固定冷库环节排放（聚焦移动运输装备）。

（四）热工性能参数测量方法（第6章）

1. 总传热系数（K值）测量（6.1）：采用稳态热平衡法，在环境温度 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、内部设定温度 0°C 或 -18°C 条件下，通过测定维持温度平衡所需热补偿量计算K值。测点布置要求：外部每个面不少于3个测点，共不少于18个；内部前部、中部、后部按上层、中层、下层三维布置，不少于9个测点。稳定工况判定准则：连续30min内内部平均温度波动不

超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。同一车辆重复测试3次，最大偏差不超过5%，取算术平均值。

2. 漏冷量测量（6.2）：在稳态运行条件下，通过测定制冷系统平均输入功率与制冷效率系数计算漏冷量。明确制冷效率系数 η 应根据制冷机组标定COP确定。

3. 温升速率测量（6.3）：评价车厢停止制冷后维持低温环境的能力。测试时间不少于2h，每分钟记录一次内部平均温度。

4. 开门恢复时间测量（6.4）：针对城市配送实际工况，设置低频（1min/1次·h）、中频（2min/4次·h）、高频（3min/8次·h）三种开门工况。恢复完成判定：内部平均温度恢复至设定温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内并持续稳定5min以上。

（五）制冷运行能耗测量方法（第7章）

区分电驱制冷系统与柴油驱制冷系统：电驱系统测量累计耗电量、压缩机运行时间、风机运行时间、平均输入功率，测量周期 $\geq 4\text{h}$ ；柴油驱系统采用质量流量计或容积计量法测量燃油消耗量，误差不超过 $\pm 2\%$ 。

提出单位容积能耗 $[\text{kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})]$ 和单位货物运输能耗 $[\text{kWh}/(\text{t} \cdot \text{km})]$ 两个归一化指标，解决不同车型、不同载重下的能耗可比性问题。

（六）碳排放核算方法（第8章）

构建三级核算体系：

1. 能源消耗排放：电力碳排放=耗电量×电网排放因子（EFe）；燃油碳排放=燃油消耗量×低位发热量（NCV）×排放因子（EFf）。

2. 制冷剂泄漏碳排放：制冷剂泄漏量×全球变暖潜值（GWP），建议采用 IPCC AR6 数据。

3. 总碳排放与单位货物碳排放强度：总碳排放 $C_t = C_e + C_f + C_r$ ；单位货物碳排放强度 $C_I = C_t / (M \times D)$ ，单位为 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 。

核算边界明确排除整车驱动燃料消耗和货物生产过程排放，确保与 ISO 14083:2023 的运输链核算方法协调。

（七）热工性能与碳排放关联评价方法（第 9 章）

评价指标体系涵盖 6 项核心指标：K 值（权重 0.30）、漏冷量（0.20）、温升速率（0.15）、开门恢复时间（0.10）、单位运输能耗（0.10）、单位货物碳排放（0.15）。

综合评价模型采用加权线性综合评价法： $S = \sum(w_i \times x_i)$ ，其中 x_i 为指标归一化值。归一化方法建议采用极差标准化或行业基准值对标法。

在编制说明中提出“碳响应系数 β ”概念，用于表征单位 K 值降低或单位漏冷量减少所带来的碳排放边际改善量，支撑装备技术升级的经济性分析。

六、与现行法律、法规、标准的关系

（一）与法律法规的关系

本标准符合《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》（国标委联〔2019〕1号）及《中国计量测试学会团体标准管理办法（试行）》的要求。标准内容不涉及强制性技术指标，为推荐性团体标准，供行业自愿采用。

（二）与现行国家标准、行业标准的关系

本标准与 GB/T 1.1—2020（标准化工作导则）、GB/T 29753（道路运输食品与生物制品冷藏车安全要求及试验方法）、GB/T 40488（冷藏车、冷藏集装箱隔热性能及气密性试验方法）、ISO 14083:2023（运输链温室气体排放量化与报告）等标准协调一致，无交叉重复，技术要求严于推荐性标准相关技术要求，填补了冷链物流车厢热工性能与碳排放关联评价领域的标准空白。

七、采用国际标准的程度

本标准未等同采用某一特定国际标准，但在以下方面参考并吸收了国际先进标准的方法论：

1. 核算边界划分：参考 ISO 14083:2023，明确排除整车驱动能耗，聚焦车厢围护结构与制冷系统。

2. 碳排放核算方法：采用 IPCC《国家温室气体清单指南》的排放因子法，电力排放因子、燃油低位发热量及排放因

子、制冷剂 GWP 值均与 IPCC 第六次评估报告 (AR6) 保持一致。

3. 功能单位选择：参考 ISO 14067，采用 $\text{kgCO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$ 作为单位运输服务功能单位，实现不同规模运输活动的可比性。

4. 热工性能测试：参考欧盟 EN 16258，但测试工况和测点布置根据我国冷链运输特点进行了本土化调整。

八、重大意见分歧的处理

(一) 关于核算边界是否包含整车驱动能耗

分歧：部分企业代表建议将整车驱动燃料消耗纳入核算边界，以评价“从油井到车轮”的完整碳足迹。

处理依据与结果：经编制组与专家讨论，依据 ISO 14083:2023 的运输链分层核算原则，车厢热工性能与驱动系统能耗属于两个独立物理过程，驱动能耗主要受车辆动力链、道路工况、驾驶行为影响，与车厢保温性能无直接物理关联。若纳入驱动能耗，将掩盖车厢结构优化对碳减排的真实贡献，导致评价结果不可归因。

结论：维持 4.1 条评价边界，明确排除车辆驱动系统燃料消耗，但建议在标准实施配套指南中说明整车碳排放核算应参考其他标准（如 GB/T 51366）。

（二）关于是否建立装载率修正机制

分歧：部分物流企业提出，实际运营中空载、半载、满载对单位货物碳排放影响巨大，建议引入装载率修正系数。

处理依据与结果：经试验验证，单位货物碳排放强度 $CI = Ct/(M \times D)$ 已隐含装载率影响（ M 为实际货物质量），若引入额外修正系数，将导致同一车厢在不同装载率下出现多个评价结果，削弱标准的可比性。

结论：不单独设立装载率修正系数，但在第 8.6 条及附录 A 中要求检测报告注明实际装载率，并在标准宣贯材料中解释装载率对 CI 值的影响规律。

（三）关于新能源车厢的适用性

分歧：部分制造商认为新能源冷链车（纯电动、氢燃料）的制冷系统能耗来源与传统柴油车差异较大，建议单独成章。

处理依据与结果：经技术论证，无论制冷系统动力来源为何（电池、柴油机、氢燃料电池），其热工性能评价（ K 值、漏冷量等）和碳排放核算逻辑（能源消耗 \times 排放因子）具有统一性。差异仅体现在排放因子的取值（电网排放因子、氢能排放因子）。

结论：维持统一框架，在第 7.1 条电驱制冷系统中明确“包括动力电池供电与外部充电模式”，在第 8.2 条要求根据实际电力来源选择相应排放因子。

九、专利处置情况说明

本标准在起草过程中，编制组对可能涉及的专利进行了检索与识别。经核查，标准中的测试方法（稳态热平衡法、温度测点布置方案）、计算公式（K值计算、碳排放核算）均为公开的热力学与温室气体核算通用方法，不涉及特定专利。

声明：本标准的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。若标准实施过程中发现涉及专利，将按照 GB/Z 43194—2023《团体标准涉及专利处置指南》及《中国计量测试学会团体标准管理办法》的规定处理。

标准起草小组

2026年5月