

ICS XX.XXX.XX
CCS X XX

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—XXXX

开关磁阻电驱非公路自卸车 节能再造技术规范

Technical specifications for energy-saving reconstruction of switched reluctance
electric drive off-road dump trucks

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中 国 工 业 节 能 与 清 洁 生 产 协 会 发 布

CIECCCPA

目 次

前言.....II

引言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....2

4 电驱节能再造适用性判定技术条件.....2

5 节能再造设计要求.....3

6 节能再造生产与调试要求.....11

7 试验方法.....13

8 检验规则.....17

9 合格判定.....18

10 标志、包装、运输和贮存.....18

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

引 言

在绿色低碳发展与美丽中国建设的驱动下，工程机械电动化已成为破解传统非道路机械污染难题的关键路径。我国重型工程机械与重卡长期依赖大功率柴油发动机，给生态环境带来较大影响。纯电动工程机械凭借零排放、低噪声、高能效的显著优势，从源头减少污染。供给侧的电池技术升级、电机控制系统优化及充电桩、换电站等配套设施日益完善，为电动化发展筑牢了技术与产业基础；需求侧环保政策的刚性约束，也持续催生市场对绿色工程机械的需求，双重动力推动着工程机械行业加速向电动化转型。

开关磁阻电机，结构坚固耐用且无永磁材料、无转子绕组，维护方便；同时具备优异的调控性能，四象限控制灵活，在宽转速、宽负载区间运行效率高，且相间耦合弱、相绕组独立供电，容错性与环境适应性强，更能以大起动转矩、小起动电流实现快速起动加速，且起动次数不受限制，适配矿山等道路的作业需求。本文件规范开关磁阻电驱非公路自卸车再造节能技术，可推动非公路自卸车电动化实施进程。

CIECCCPA

开关磁阻电驱非公路自卸车节能再造技术规范

1 范围

本文件规定了非公路柴油自卸车用开关磁阻电驱节能再造适用性判定技术条件，节能再造设计、生产与调试要求，试验方法，检验规则，合格判定，标志、包装、运输和贮存要求。

本文件适用于非公路柴油自卸车的开关磁阻电驱节能再造。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 12673 汽车主要尺寸测量方法

GB/T 14781 土方机械 液压转向系统 性能要求和试验方法

GB/T 18488 电动汽车用驱动电机系统

GB/T 19754 电动汽车 能量消耗率和续驶里程试验方法

GB/T 21152 制动储能系统 技术要求

GB/T 25606 道路车辆 车辆识别代号（VIN）

GB/T 29307 电动汽车驱动电机系统 热管理要求

GB 34660 道路车辆 电磁兼容性要求和试验方法

GB/T 34864 开关磁阻电动机通用技术条件

GB/T 35196 土方机械 非公路电传动矿用自卸车 技术条件

GB/T 35197 土方机械 非公路电传动矿用自卸车 试验方法

GB 38031 电动汽车用动力蓄电池安全要求

GB/T 38943.1 土方机械 使用电力驱动的机械及其相关零部件和系统的电安全 第1部分：一般要求

GB/T 42284 道路车辆 电动汽车驱动系统用电气及电子设备的环境条件和试验

GB/T 44254 电动土方机械 术语

GB/T 44257.1 电动土方机械用动力电池 第1部分：安全要求

GB/T 44257.2 电动土方机械用动力电池 第2部分：电性能要求

GB/T 45050 土方机械 纯电动非公路宽体自卸车 试验方法

GB/T 45051 土方机械 纯电动非公路矿用自卸车技术要求

GB/T 45054 土方机械 纯电动非公路矿用自卸车 试验方法

AQ 2027 安全验收评价导则

3 术语和定义

GB/T 38943.1和GB/T 44254界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

开关磁阻电机 **switched reluctance motor**

按最小磁阻原理工作的双凸极磁阻电机与电力电子开关电路相结合的机电一体化电机。

3.2

驱动电机系统 **drive motor system**

安装在电动车上，为车辆行驶提供驱动力、实现机械能与电能间相互转化的系统。

3.3

非公路电动自卸车 **off-road electric dump truck**

在非公路工况中作业，且驱动能量完全由电能提供，电机驱动自卸车。

3.4

开关磁阻电驱 **switched reluctance motor drive**

安装在电动车上的开关磁阻驱动电机、电机控制器及驱动单元。

3.5

输入输出特性 **input-output characteristics**

表征驱动电机、驱动电机控制器或驱动电机系统的转矩、转速、功率、效率、电压、电流等参数间的关系。

3.6

持续转矩 **continuous torque**

在规定的条件下，驱动电机系统能够长时间持续工作的最大机械转矩。

3.7

举升装置 **lifting device**

用于控制货箱举升的液压倾卸机构。

4 电驱节能再造适用性判定技术条件

4.1 基本条件

4.1.1 车辆应未发生过严重交通事故、火灾等影响安全性和可靠性的情况。

4.1.2 车辆底盘、车架、车厢及主要承载结构经磁粉或超声波检测后，不得存在影响节能再造安全性与可靠性的裂纹、变形或疲劳损伤。

4.2 技术条件

4.2.1 车辆车架、悬架、车厢、转向系统、制动系统等关键机构应满足再造后对强度和可靠性的要求。

4.2.2 传动系统（变速箱、传动轴、差速器）可根据再造方案予以保留、再造或拆除，原有布局应能满足电驱动总成的安装空间要求。

4.2.3 车桥轴荷及轮胎规格应满足电驱系统输出扭矩及车辆总质量的要求。

4.2.4 车辆驾驶室、电气系统应具备升级再造条件，具备仪表及控制接口的接入条件。

4.2.5 再造车辆应确保满足矿区运行安全要求。

4.3 电驱再造适应性条件

4.3.1 车辆布置空间应能满足电池系统、驱动电机及其控制器的安装、冷却、消防要求，且不影响车辆视野、安全和维修。

4.4 经济性与可维护性条件

4.4.1 再造经济性应优于报废新购方案。

4.4.2 再造后应具备可维护性，关键零部件应有明确的技术支持与备件保障。

5 节能再造设计

5.1 开关磁阻电驱系统

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 开关磁阻电机应符合 GB/T 18488 的要求，开关磁阻电机系统应空转灵活，无异常响声（如定转子相互摩擦、周期性的异响、轴承受损后的异响、微小异物卡滞在转动部位引起的异响等）或卡滞等现象。

5.1.1.2 开关磁阻电机的电安全应符合 GB/T 38943.1 的规定。

5.1.2 电机外观

5.1.2.1 开关磁阻电机系统外表面应无明显的破损、变形，涂覆层应无剥落。

5.1.2.2 若安装铭牌，开关磁阻电机系统铭牌安装应端正牢固，字迹清晰。

5.1.2.3 开关磁阻电机系统紧固件连接应无松脱。

5.1.2.4 开关磁阻电机与开关磁阻电机控制器应满足试验要求 7.1。

5.1.3 液冷系统回路密封性能

5.1.3.1 具有液冷系统的开关磁阻电机系统的冷却回路，应能承受不低于 200 kPa 的压力。

5.1.3.2 液冷系统回路密封性能应满足试验要求 7.2。

5.1.4 绝缘电阻

5.1.4.1 直流母线电压为 B 级电压的分体式开关磁阻电机系统，绝缘电阻应满足 GB/T 18488 附录 B 的要求。

5.1.4.2 直流母线电压为 B 级电压的集成式开关磁阻电机系统，直流端动力端子与外壳、直流动力端子与信号端子之间的绝缘电阻均不应小于 1 M Ω 。

5.1.4.3 开关磁阻电机绝缘电阻应满足试验要求 7.3。

5.1.5 耐电压

5.1.5.1 直流母线电压为 B 级电压的分体式开关磁阻电机系统，耐电压应满足 GB/T 18488 附录 B 的要求。

5.1.5.2 直流母线电压为 B 级电压的集成式开关磁阻电机系统，应满足试验要求 7.4。

5.1.6 超速

5.1.6.1 开关磁阻电机在功率大于 100 kW 时，允许的超速限值为 1.5 倍额定转速，同时限制转速不宜超过 1000 r/min，超速持续时间在车辆超车加速时小于等于 30 s。

5.1.6.2 开关磁阻电机超速性能应满足试验条件 7.5，试验后应满足 5.1 的要求。

5.1.7 输入输出特性

5.1.7.1 工作电压范围内开关磁阻电机系统应能输出持续转矩、持续功率、最高工作转速。

5.1.7.2 开关磁阻电机系统 30 min 持续转矩不应低于产品技术文件规定，且无报警或异常。

5.1.7.3 开关磁阻电机系统持续时间 30 s 的峰值功率不应低于产品技术文件规定，且无报警或异常。

5.1.7.4 非公路宽体自卸车及非公路矿用自卸车（非公路自卸车）的开关磁阻电机系统持续时间 10 s 的峰值功率不应低于产品技术文件规定，且无报警或异常。

5.1.7.5 开关磁阻电机系统最高工作转速不应低于产品技术文件规定，工作于该转速下允许的最大功率时，持续时间应满足 5.1.6 的规定，且无报警或异常。

5.1.7.6 开关磁阻电机输入电流为周期性方波脉冲，测试时应验证电流脉冲宽度与转子位置的同步性，偏差小于等于 5°电角度。

5.1.7.7 开关磁阻电机输入输出特性应满足试验要求 7.6。

5.1.8 开关磁阻电机系统效率

5.1.8.1 额定电压和转速下，开关磁阻电机系统的最高效率不应低于 85 %。

5.1.8.2 额定电压下，开关磁阻电机系统的高效工作区（效率不低于 85 %）占总工作区的百分比应满足产品技术文件规定。

5.1.8.3 开关磁阻电机系统效率应满足试验要求 7.7。

5.1.9 动力需求

5.1.9.1 开关磁阻电机起动转矩应大于等于 2 倍额定转矩。

5.1.9.2 额定转速下持续运行时，转矩波动应小于等于 10 %，转速偏差应小于等于 ± 2 %。

5.1.9.3 短时过载（15 s）时，在额定转速下，应输出峰值转矩，无停转或绕组过热。

5.1.10 动力爬坡度

5.1.10.1 需在 0.5 s 内从静止加速至大于等于 5 km/h（坡度小于等于 15 %），且无溜坡现象。

5.1.10.2 在大于等于 15 %坡度、额定载重下，持续爬坡速度应大于等于 8 km/h，且开关磁阻电机 300 s 内平均转矩不超过额定值，避免过热降额。

5.1.10.3 坡度从 5 %突变至 20 %时，速度波动小于等于 ± 2 km/h，响应时间小于等于 100 ms，适配工程机械复杂坡道工况。

5.1.10.4 开关磁阻电机在 50~200 r/min（对应车速 5~20 km/h）低速段效率大于等于 75 %，可长期维持陡坡低速爬坡而不过热。

5.1.10.5 爬坡测试必须联动开关磁阻电机专用控制器，通过转子位置检测器（精度 $\pm 1^\circ$ 电角度）实时调整定子相导通逻辑，确保不同坡度下转速波动小于等于 $\pm 5\%$ 。例如在12%坡度加速时，控制器按预设步数转速曲线切换导通相，避免转矩波动导致速度骤降。

5.1.10.6 当爬坡转矩超过2倍额定值时，控制器需在10ms内触发降速保转矩模式，降低转速不低于标准限值的80%，而非直接停机，适配重载爬坡应急场景。

5.1.10.7 在固定坡度下，从起动至稳定速度的耗时应小于等于2s，持续运行300s后的速度衰减率应小于等于5%。

5.1.10.8 模拟坡度从5%至20%至10%突变，响应时间应小于等于100ms，波动幅值应小于等于 ± 2 km/h。

5.1.10.9 在-40℃环境下，15%坡度起步速度应大于等于5 km/h，验证宽温域动力稳定性。

5.1.10.10 失效判定特殊规则：爬坡速度低于标准限值10%且持续5s以上；动态坡度切换时速度波动大于 ± 3 km/h；300s重载爬坡后，因绕组过热导致速度下降大于15%。

5.1.10.11 每2000运行小时复测“坡度-速度”特性曲线，重点检查转子位置检测器精度（偏差小于等于1°电角度），避免换相失准导致速度下降。

5.1.10.12 动力爬坡度应满足试验要求7.8。

5.1.11 电机控制精度

5.1.11.1 具有转速控制功能的开关磁阻电机系统，开关磁阻电机轴伸端转速10000 r/min以下时控制精度应在-50 r/min~50 r/min范围内，10000 r/min及以上时控制精度应在-0.5%~0.5%范围内。

5.1.11.2 具有转矩控制功能、峰值扭矩不大于500 N·m的开关磁阻电机系统，开关磁阻电机轴伸端转矩100 N·m以下时控制精度应在-5 N·m~5 N·m范围内，开关磁阻电机轴伸端转矩100 N·m及以上时控制精度应在-5%~5%范围内。

5.1.11.3 具有转矩控制功能、峰值扭矩大于500 N·m的开关磁阻电机系统，开关磁阻电机轴伸端转矩不大于五分之一峰值扭矩时控制精度应在峰值扭矩的-1%~1%范围内，开关磁阻电机轴伸端转矩大于五分之一峰值扭矩时控制精度应在-5%~5%范围内。

5.1.11.4 开关磁阻电机控制精度应满足试验要求7.9。

5.1.12 堵转转矩

5.1.12.1 具有堵转转矩控制要求的开关磁阻电机系统，持续时间不少于10s的堵转转矩不应低于产品技术文件规定，且无报警或异常。

5.1.12.2 开关磁阻电机堵转转矩应满足试验要求7.10。

5.1.13 馈电特性

5.1.13.1 开关磁阻电机系统运行于馈电状态，输入输出特性应满足5.7~5.9的要求。

5.1.14 电位均衡

5.1.14.1 直流母线电压为B级电压的开关磁阻电机系统中，可触及的导电部分与外壳接地点之间的电阻应不大于0.22 Ω ，以确保电位均衡和安全接地可靠性。

5.1.14.2 如有两个及以上接地点，应分别进行测量。分体式开关磁阻电机系统的开关磁阻电机及开关磁阻电机控制器应分别测量。

5.1.14.3 接地点应有接地标志。若无特定的接地点，应在有代表性且具有接地条件的位置设置接地标志。

5.1.14.4 开关磁阻电机电位均衡应满足试验要求 7.11。

5.1.15 保护功能

5.1.15.1 过压保护

当开关磁阻电机系统直流母线电压值大于或等于过压保护限值时，应按照产品技术文件规定的过压故障保护策略，触发故障保护功能，且在满足产品技术文件规定的条件下恢复输出能力。

5.1.15.2 欠压保护

当开关磁阻电机系统直流电压值小于或等于欠压保护限值时，应按照产品技术文件规定的欠压故障保护策略，触发故障保护功能，且在满足产品技术文件规定的条件下恢复输出能力。

5.1.15.3 过温保护

当开关磁阻电机系统采样点的温度值超过温度限值时，应按照产品技术文件规定的过温故障保护策略，触发对应故障保护功能，且在满足产品技术文件规定的条件下恢复输出能力。

5.1.15.4 超速故障保护

当开关磁阻电机运行速度超过系统超速故障保护限值时，应按照产品技术文件规定的超速故障保护策略，触发故障保护功能，且在满足产品技术文件规定的条件下恢复输出能力。

5.1.15.5 通信中断故障保护

对于有整车通信功能的开关磁阻电机系统，当开关磁阻电机系统通信连接中断时，应按照产品技术文件规定的通信中断故障保护策略，触发故障保护功能，且在满足产品技术文件规定的条件下恢复输出能力。

5.1.15.6 保护功能应满足试验要求 7.12。

5.1.16 适应性

5.1.16.1 环境适应性

5.1.16.1.1 直流母线电压为 B 级电压的开关磁阻电机系统应能承受-40℃、持续不少于 12 h 的低温贮存，其他电压等级的开关磁阻电机系统应能承受产品技术文件规定的低温贮存。

5.1.16.1.2 开关磁阻电机系统应能在 55℃的试验温度下，额定电压输出转矩、功率，2 h 持续工作，不应出现动力中断、限功率或过温报警故障，且应能承受 85℃、持续不少于 12 h 的高温贮存。

5.1.16.1.3 贮存结束后，保持箱内温度不变，箱内复测绝缘电阻应符合 5.1.4 的规定，并在额定电压下空载启动，启动后按照产品技术文件规定的转矩、转速运行 0.5 h，应无报警或异常。

5.1.16.1.4 恢复常态后，开关磁阻电机系统应能在额定电压下，在峰值转矩、峰值功率正常运行，持续时间 30 s。

5.1.16.1.5 环境适应性应能满足试验要求 7.13。

5.1.16.2 耐振动

5.1.16.2.1 在直流母线端不通电、冷却回路不通冷却液的状态下，开关磁阻电机系统应能承受扫频振动和随机振动，根据安装位置不同应能经受规定的 X、Y、Z 三个方向的随机振动试验。

5.1.16.2.2 车辆坐标系应按照 GB/T 12673 的规定执行。

5.1.16.2.3 进行试验应无信号传输中断等异常现象。

5.1.16.2.4 试验后，零部件应无损坏，紧固件应无松脱现象，复测绝缘电阻应符合 5.1.4 的规定，复测液冷回路密封性应符合 5.1.3 的规定；开关磁阻电机系统应能在额定电压下，在峰值转矩、峰值功率正常运行持续时间 30 s。

5.1.16.2.5 对于被测样品存在多个方向或方向不明确时，应按照均方根（RMS）最大的方向条件进行试验。

5.1.16.2.6 对于安装位置未知或未包含的开关磁阻电机系统，应按照车型选择 RMS 最大的条件进行试验。

5.1.16.2.7 开关磁阻电机耐振动性能应满足试验要求 7.14。

5.1.16.3 耐久试验

5.1.16.3.1 开关磁阻电机耐久性应满足试验要求 7.15。

5.1.16.3.2 在不通电、不通冷却液的状态下，开关磁阻电机系统应能承受单次循环 300 min，共 5 次的湿热循环。

5.1.16.3.3 进行试验后，应无明显的外表质量变坏及锈蚀现象，箱内复测绝缘电阻应符合 5.1.4 的规定。

5.1.16.3.4 在直流母线端不通电、冷却回路不通冷却液的状态下，安装在车身或车架上刚性点的开关磁阻电机系统应能承受如下机械冲击：

- a) 冲击波形：半正弦波。
- b) 加速度值：500 m/s²。
- c) 测试方向：±Z。
- d) 脉冲时间：6 ms。
- e) 冲击次数：正、负方向各 10 次。

5.1.16.3.5 安装在其他位置的开关磁阻电机系统应按照产品技术文件规定进行机械冲击试验。

5.1.16.3.6 恢复常态后，开关磁阻电机系统应能在额定电压下，在峰值转矩、峰值功率正常运行，持续时间 30 s。

5.1.16.4 防水、防尘

5.1.16.4.1 开关磁阻电机系统防尘、防水等级应根据整车空载时的布置高度而定，要求如下：

- 1) 若开关磁阻电机系统下表面距地面高度小于 300 mm，电机系统防尘、防水应满足 GB/T 4208 中 IP67 或更高等级的防护要求；
- 2) 若开关磁阻电机系统下表面距地面高度不小于 300 mm，且部件下方无遮拦，高压部件应满足 GB/T 4208 中 IP55 或更高等级的防护要求；

- 3) 若开关磁阻电机系统下表面距地面高度不小于 300 mm, 且部件下方有遮拦, 高压部件应满足 GB/T 4208 中 IP54 或更高等级的防护要求。

5.1.16.4.2 车辆坐标系按照 GB/T 12673 的规定执行。

5.1.16.4.3 开关磁阻电机防水防尘性能应满足试验要求 7.16。

5.1.16.5 盐雾

5.1.16.5.1 开关磁阻电机抗盐雾能力应满足试验要求 7.17。

5.1.16.5.2 进行试验后, 开关磁阻电机系统外观检查应符合 5.1.2 的要求。

5.1.16.5.3 复测绝缘电阻应符合 5.1.4 的规定, 复测液冷回路密封性应符合 5.1.3 的规定。

5.1.16.5.4 恢复常态后, 开关磁阻电机系统应能在额定电压下, 在峰值转矩、峰值功率正常运行, 持续时间 30 s。

5.1.16.6 冰水冲击

5.1.16.6.1 开关磁阻电机冰水冲击试验应满足试验要求 7.18。

5.1.16.6.2 在直流母线端不通电、冷却回路不通冷却液的状态下, 开关磁阻电机系统应能承受 GB/T 42284.4 中 5.3.2 和 5.3.3 规定的冰水冲击试验, 其中, 溅水试验次数 10 次, 浸水试验 1 次, T 选择 85 °C。

5.1.16.6.3 若开关磁阻电机系统下表面距地面高度不小于 300 mm, 可不进行 GB/T 42284.4 中 5.3.3 浸没试验。

5.1.16.7 电磁兼容性能

5.1.16.7.1 辐射发射限值应符合 GB 34660 的要求。

5.1.16.7.2 辐射抗干扰度应符合 GB 34660 大电流注入法和电流暗室波法的要求。

5.1.16.7.3 电源线瞬态传导抗扰度应符合 GB 34660 的要求, 其中脉冲 4 仅适用于使用 12 V 或 24 V 电源启动发动机的混合动力汽车用开关磁阻电机系统。

5.1.16.7.4 开关磁阻电机系统电磁兼容性试验应满足试验要求 7.19。

5.2 辅助装置

5.2.1 矿用自卸车的举升性能应符合 GB/T 35197 的规定。

5.2.2 举升性能

5.2.2.1 车厢举升、下降应平稳, 不应有窜动、冲撞和卡滞现象。在行驶过程中不应出现车厢自动举升现象。

5.2.2.2 举升系统在额定有效载荷下处于举升状态时, 停留 5 min, 厢体的自落不应超过 1.5 °。

5.2.2.3 举升系统在额定有效载荷下举升 3000 次, 系统各部件不应出现任何损坏。

5.2.2.4 动力源失效后, 举升操作机构应能操作举升阀使车厢靠自重回落。

5.2.2.5 额定有效载荷小于 100 t 的自卸车空载举升至最大倾角的时间不应超过 15 s, 从最大倾角下降到与车架贴合的时间不应超过 13 s, 100 t 以上的自卸车空载举升至最大倾角的时间不应超过 22 s, 从最大举升角下降到与车架贴合的时间不应超过 15 s。

5.2.2.6 自卸车满载时车厢举升。驱动电机以额定转速运转时, 车厢举升至最大倾角的时间不应大于表 1 的规定。

表 1 举升时间

额定有效载荷 /t	举升时间 /s
≤50	16
50~100	18
100~150	22
150~200	25
200~300	30
300~400	35

5.2.3 辅助装置应满足试验要求 7.20。

5.3 转向系统

5.3.1 转向系统应实现实时全程液动力（辅助）转向，操纵轻便，灵敏可靠，行驶中无沉重、抖动或卡滞现象，非公路自卸车满载低速行驶，在 10 s 内将方向盘从一极限位置转向另一极限位置，方向盘的操纵力不应大于 115 N，应符合 GB/T 35196 的规定。

5.3.2 非公路自卸车满载在平坦的路面上以 10 km/h 车速行驶时，手离方向盘通过 10 m 路段，其轮迹偏离直线轨迹的距离不应大于 0.5 倍轮胎宽度，应符合 GB/T 35196 的规定。

5.3.3 左右转向时操纵方向盘的力应基本一致，左右方向转向力之差不应大于 20 %，应符合 GB/T 35196 的规定。

5.3.4 非公路自卸车应设有应急转向装置，在动力源失效后，应急转向至少应提供车轮从左到右或从右到左完整的两个转向循环，转向系统为全液力转向系统，其性能应符合 GB/T 14781 的规定。

5.3.5 转向系统应满足试验要求 7.21。

5.4 制动系统

5.4.1 非公路自卸车应包括但不限于行车制动系统、驻车制动系统、辅助制动系统和电制动系统等制动装置，任何一套系统失效不应影响其他系统的功能，应符合 GB/T 35196 的规定，并应满足试验要求 7.22。

5.4.2 行车制动系统

行车制动应保证驾驶员在行车过程中能控制车辆安全、有效地减速和停车。行车制动应可控，且应保证驾驶员在座位上双手无需离开方向盘（或方向把）就能实现制动。行车制动性能应符合 AQ 2027 的规定。

5.4.3 驻车制动系统

5.4.3.1 驻车制动应能使非公路自卸车即使在没有驾驶员的情况下，也能停在上、下坡道上。驾驶员必须在座位上就可以实现驻车制动。在满载状态下，驻车制动装置应能保证非公路自卸车在坡度为 15 %、轮胎与路面间的附着系数不小于 0.7 的坡道上正反两个方向保持固定不动，其时间不应少于 5 分钟。驻车制动性能应符合 AQ 2027 的规定。

5.4.3.2 驻车制动性能应与储能的消耗及任何种类的渗漏无关，应符合 GB/T 35196 中 4.4.3.2 的规定。

5.4.3.3 制动储能系统应符合 GB/T 21152 的要求。

5.4.4 辅助制动系统

辅助制动应能在长坡下行或连续制动工况下有效分担行车制动负荷，防止制动衰退，其性能应符合

GB/T 35196 的规定。

5.4.5 电制动系统

电制动系统应具备制动力度可调节功能，能够根据车辆运行工况合理分配机械制动与电制动的比例，减轻机械制动磨损。同时应具备能量回收功能，其动力回收效率和安全性应符合 GB/T 19754 规定。

5.5 热管理系统

5.5.1 热管理系统应能在各种工况下对电池、电机及电控系统进行有效温度调节，保证其在规定温度范围内安全运行。系统应具备加热、冷却、保温及温度均衡功能。如果配备了加热系统，其性能要求应符合表 2 中的温差和温升速率要求，或符合制造商提供的技术说明文件。冷却性能要求应符合表 3 的规定。低温环境和高温环境的温差和温降/温升速率应符合表 4 的要求，或符合制造商提供的技术说明文件。

表 2 加热性能要求

加热系统类型	最大温差 °C	温升速率 °C/h
PTC加热（风冷系统）	≤15	≥20
PTC加热（液冷系统）	≤10	≥20
PTC加热（混合式冷却系统）	≤10	≥20
电加热膜（风冷系统）	≤15	≥20
电加热膜（液冷系统）	≤15	≥20
电加热膜（直冷系统）	≤15	≥20
电加热膜（混合式冷却系统）	≤15	≥20

表 3 冷却性能要求

冷却系统类型	最高温度 °C	最大温差 °C
强制风冷系统	不超过制造商规定的最高温度	≤10
液冷系统		≤7
直冷系统		≤8
混合式冷却系统		≤6

表 4 保温性能要求

项目	最大温差 °C	温降/温升速率 °C/h
低温环境保温性能	≤15	≤6
高温环境保温性能	≤15	≤5

5.5.2 系统应具备故障检测与报警功能，防止过温或过冷导致的性能衰减与安全隐患。

5.5.3 热管理系统应满足试验要求 7.23。

5.6 电池系统

5.6.1 电池性能应符合 GB/T 44257.2 的规定、热安全、机械安全和电气安全应符合 GB/T 44257.1 的规定。

5.6.2 电池管理系统应具备单体电压监测、SOC/SOH 估算、均衡管理、过压欠压保护、过流保护及绝缘检测功能；

5.6.3 电池在满载工况下应能保证车辆续航能力满足设计要求；

5.6.4 电池系统应满足试验要求 7.24。

5.7 电控系统

5.7.1 整车控制器应能实现对动力系统、制动系统、电池系统及热管理系统的协调控制；

5.7.2 电控系统应具备自诊断与故障报警功能，能在发生故障时进入安全模式。

5.8 产品可靠性

非公路自卸车的可靠性应符合 GB/T 35196 的规定。

6 节能再造生产与调试要求

6.1 装配过程

6.1.1 一般要求

6.1.1.1 装配过程中要求对象应为关键工序和各工序装配质量。

6.1.1.2 装配过程中依据应为工艺规程、作业指导书、检验标准、图纸。

6.1.2 电池安装

6.1.2.1 电池的型号、规格应与设计要求一致。

6.1.2.2 电池外壳应无裂缝、破损、鼓包等影响电池性能与安全的缺陷，表面应平整、光滑，无明显划痕与磕碰痕迹。

6.1.2.3 使用电池固定支架，并通过螺栓牢固地固定在非公路自卸车的大梁或指定位置，确保电池在车辆行驶过程中不会发生位移、晃动。固定支架的材质、结构应满足电池固定与安全防护的要求。螺栓规格需与设计相符，拧紧力矩应达到规定值。

6.1.2.4 电池连接线缆规格应满足电池充放电电流的承载要求，长度合适，连接紧密、可靠，无松动、氧化现象，线缆的走向合理，线缆的绝缘层应无破损、老化、龟裂等问题，绝缘电阻应大于规定值。

6.1.2.5 高压配电单元连接部位应紧密，无松动，安装位置便于操作和维护，有预留足够的散热空间。

6.1.3 电机及控制器安装

6.1.3.1 电机应与设计匹配，外观无损伤、变形，电机轴转动灵活，无卡滞现象。

6.1.3.2 电机安装位置应准确，与车架或底盘连接牢固，连接螺栓力矩符合要求，电机与负载轴的同轴度偏差不超过设计值。

6.1.3.3 电机控制器安装应牢固，散热良好，周边无遮挡，通风口通畅；与电机、电池等连接线路正确无误，标识清晰。

6.1.3.4 控制器线路应按设计图纸进行连接，确保各接口对应准确，无错接、漏接现象。线路连接应牢固，连接处应无松动、虚接。

6.1.4 高低压线束布置与防护检验

6.1.4.1 高低压各类线束应布线整齐，捆扎牢固，避免交叉和凌乱。

6.1.4.2 高低压线束应有适当的防护措施，防止磨损、挤压和腐蚀。

6.1.4.3 电气线路与机械部件、液压管路等应无干涉现象。

6.1.5 大梁及底盘安装

6.1.5.1 大梁及底盘应无额外变形、损伤，表面防腐涂层无剥落、划伤。

6.1.5.2 用于安装电气设备、管路等的新增支架、孔洞位置、尺寸应符合设计要求，焊接牢固，焊缝均匀。

6.1.5.3 车桥安装位置应符合设计要求。

6.1.5.4 悬架系统各部件的型号、规格与设计应一致，钢板弹簧应安装平整，无错位、扭曲现象，钢板弹簧的片数、长度、厚度等应符合设计要求。

6.1.5.5 车桥与大梁，悬架系统与大梁等底盘各部件应连接牢固，螺栓拧紧力矩应符合标准，有可靠防松措施。

6.1.6 制动部件安装

6.1.6.1 制动管路、制动气室或制动卡钳等各部件型号、规格与设计应相符，外观无损坏、变形。

6.1.6.2 制动管路应安装整齐、牢固，走向合理，无扭曲、干涉现象，管路接头连接紧密，密封性符合设计要求，无泄漏。

6.1.6.3 空压机外壳应无任何可能影响其性能和安全的物理损伤。接口应无变形、损坏，确保连接紧密。油漆涂层应均匀，无剥落、起泡、生锈等现象，以保证良好的防腐性能。

6.1.6.4 制动气室或制动卡钳应通过螺栓等连接件与车桥或车架固定。制动卡钳与制动盘之间的间隙应均匀，并在规定范围内。

6.1.6.5 驻车制动装置应安装正确，操作灵活，轻便，制动力可靠，无卡滞现象。在空载状态下，车辆停放在有一定坡度的坡道上，驻车制动应能使车辆保持静止，不发生滑动。

6.1.7 热管理设备安装检验

6.1.7.1 部件的规格和型号应与设计文件相符。部件表面应无影响其性能和安全的物理损伤。散热器翅片应无明显弯折、破损，保证良好的散热面积；水冷机组、电子水泵、空调压缩机等外壳应无裂缝、变形；膨胀水箱应无渗漏痕迹。

6.1.7.2 各部件应严格按照设计要求安装在指定位置，部件之间应保持足够的空间，便于维护、检修以及介质的流通。

6.1.7.3 冷却液加注量应符合要求

6.1.7.4 冷却水管路和制冷剂管路的连接部位密封性可靠，管路走向应合理正确，避免与其他部件干涉，有适当的固定措施。

6.1.7.5 管路系统在装配完成后应进行流量与压力检查，确保管路通畅、密封可靠，不得有渗漏、堵塞或异常振动。

6.1.8 转向系统与电控设备检验

6.1.8.1 电动转向泵、应急转向泵的各类线束布线应整齐，捆扎牢固，避免交叉和凌乱。

6.1.8.2 VCU、TCU、多合一控制器等电控设备的规格和型号应与设计文件一致。设备铭牌应清晰标注关键规格参数，电控设备的安装位置便于散热、操作和维护。

6.1.8.3 电控设备应具有可靠的接地连接，接地电阻在合格范围内，以保证设备的电气安全，防止静电积累和电气故障。

6.2 调试过程

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 调试对象应为完成全部装配工序，准备调试出厂的非公路自卸车。

6.2.1.2 调试工作应依据整车技术规范、产品验收标准及相关国家/行业标准执行，包括但不限于以下主要标准：

GB/T 35196 《土方机械 非公路电传动矿用自卸车 技术条件》

GB/T 35197 《土方机械 非公路电传动矿用自卸车 试验方法》

GB/T 45051 《土方机械 纯电动非公路矿用自卸车技术要求》

GB/T 45054 《土方机械 纯电动非公路矿用自卸车 试验方法》

GB/T 18488 《电动汽车用驱动电机系统》

GB 38031 《电动汽车用动力蓄电池安全要求》

GB 34660 《道路车辆 电磁兼容性要求和试验方法》

6.2.1.3 调试方式：静态检查 + 动态测试（空载/负载）。

6.2.2 电池系统调试

6.2.2.1 在电池系统调试前，应确认电池模块和系统装配完整，外观无破损、渗漏、鼓包等异常情况。所有连接端子应牢固可靠，绝缘防护措施完善，并通过绝缘电阻测试，确保绝缘电阻满足安全标准。电池管理系统的软件版本和参数配置应符合调试方案要求。

6.2.2.2 通电与功能检查调试时应按照操作规程逐步上电，验证各保护回路功能是否正常。电池管理系统与整车控制器、充电机及热管理系统的通信应稳定可靠。系统电压、电流及荷电状态显示应与实际测量值一致，单体电压均衡功能应正常，电压差异应控制在允许范围内。

6.2.2.3 电池系统应通过测试验证过压、欠压、过流、短路和过温等保护功能，确保触发条件与执行效果符合设计要求。高压互锁功能应灵敏可靠，绝缘监测装置应能及时报警，保证在异常情况下系统能立即进入安全状态。

6.2.2.4 电池系统应进行恒流恒压充电和额定功率放电测试，以验证其充放电性能。应在不同荷电状态下进行多次循环试验，确认系统稳定性。充电接口应符合标准规范，确保快充和慢充模式下均能正常工作。

6.2.2.5 调试过程中应验证电池冷却系统的功能，在不同工况下能有效控制电池温度，保证温度分布均匀。温度传感器采集应准确，温差控制在允许范围内。必要时应在高低温环境下进行通电试验，检验系统在极端条件下的运行可靠性。

6.2.2.6 电池系统调试应全程记录电压、电流、温度曲线、SOC 变化及保护动作等数据。所有异常现象应形成问题清单，进行原因分析与整改。调试完成后，应由质量部门和技术部门联合确认，并出具电池系统调试报告。

6.2.3 电机及控制器调试

6.2.3.1 电机应能平稳启动，无明显的冲击或抖动。启动过程中，电机转速应逐渐上升至空载转速，无停滞或突跳现象。

6.2.3.2 电机输出扭矩、转速、电压、电流、功率、温度应符合设计指标。

6.2.3.3 电机控制器的过流、过压、过热等保护功能应符合设计指标。

6.2.3.4 电机控制器与电池管理系统、整车控制器等通信应正常，数据交互准确、及时，无数据丢失或错误。

6.2.3.5 制动踏板行程应符合设计要求。

6.2.3.6 制动过程中车辆应无跑偏现象，制动稳定性良好且应符合制动距离要求。

6.2.3.7 从踩下制动踏板到产生制动力的时间应符合设计要求。

6.2.3.8 空压机应使用无异常。

6.2.3.9 在制动过程中，应对电制动能量回收系统进行测试。能量回收装置应在满足制动安全性和稳定性的前提下，能够实现有效的制动能量回收。能量回收效率应符合设计指标，回收过程应平稳，不得对车辆制动性能产生负面影响。

6.2.3.10 驻车制动后，车辆在空载和满载状态下，分别停放在坡道上，应无滑动现象。

6.2.4 热管理系统调试

6.2.4.1 电机和控制器在正常运行时，其温度应控制在工作温度范围内，电池组的温度应保持在 25-40℃左右，确保电池的性能和寿命。冷却系统在额定负载下，应能将电机、控制器等部件的温度控制在合理范围内。

6.2.4.2 在低温环境条件下，应对电池组进行加热调试，保证其工作温度能维持在 25-40℃范围内。加热系统应具备快速升温能力，确保车辆在启动和运行初期电池能保持良好性能。对于电机和控制器，应以散热为主，加热功能主要作用于电池系统。

6.2.4.3 热管理系统应根据预设的温度阈值和控制策略，准确地控制冷却风扇、加热元件等设备的启停和运行状态。热管理系统在不同工况下，应能自动调整热管理策略，确保各部件的温度始终处于合理范围。

6.2.4.4 管路在使用时，管路表面应无明显渗漏现象。

6.2.5 安全性调试

6.2.5.1 整车电控系统应接地保护，以确保电气安全。

6.2.5.2 电池过温、电机过载、制动系统故障等各种故障情况，整车控制系统应能及时发出报警信号，并采取相应的保护措施。

6.2.6 其他功能调试

6.2.6.1 液压油的油位应在正常范围内，油质应良好，无杂质、水分或乳化现象。液压油管路连接应牢固，无渗漏现象。液压泵的输出压力应稳定在规定值内。举升操作、举升速度、举升高度符合设计要求。

6.2.6.2 多合一控制器的电源输入输出、绝缘性能应符合要求。应验证通信协议的一致性，数据格式、传输速率、通信周期等应符合规定的协议标准。

6.2.6.3 转向部件的连接应牢固，无松动，电动转向泵、应急转向泵的使用无异常。

6.2.6.4 仪表盘上的各种仪表（如车速表、电量表、压力表等）应显示准确；故障报警灯应能正常工作，在车辆出现故障时能及时发出报警信号。

6.2.6.5 大灯、转向灯、刹车灯等灯光应工作正常，喇叭、警示灯等信号装置应功能正常。

6.3 生产安全

6.3.1 所有参与检验人员（尤其涉及高压系统）应接受严格的高压电气安全培训，考核合格。

6.3.2 进行高压系统检验前，应执行“上锁挂牌”程序，确认整车已下电，高压母线电压降至安全电压以下。

6.3.3 应配备个人防护用品（绝缘手套、绝缘鞋、防护眼镜、安全帽等）并正确使用。

6.3.4 高压检验区域应有明显警示标识，非授权人员禁止进入。

7 试验方法

7.1 电机外观

电机外观试验方法应按 GB/T 34864 执行。

7.2 液冷系统回路密封性能

液冷系统回路密封性能应按 GB/T 18488 执行。

7.3 绝缘电阻

绝缘电阻试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.4 耐电压

耐电压试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.5 开关磁阻电机超速

开关磁阻电机超速试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.6 开关磁阻电机输入输出特性

开关磁阻电机输入输出特性试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.7 开关磁阻电机系统效率

开关磁阻电机系统效率试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.8 动力爬坡度

动力爬坡度试验方法应按 GB/T 45054 执行。

7.9 开关磁阻电机控制精度

开关磁阻电机控制精度试验方法应按 GB/T 34864 执行。

7.10 开关磁阻电机堵转转矩

开关磁阻电机堵转转矩试验方法应按 GB/T 34864 执行。

7.11 开关磁阻电机电位均衡

开关磁阻电机电位均衡试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.12 保护功能

保护功能试验方法应按 GB/T 45051 执行。

7.13 开关磁阻电机适应性

先经-40℃低温启动（2小时，绝缘电阻 $\geq 10\text{ M}\Omega$ ）、+55℃高温运行（4小时，绕组温升 $\leq 155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）及

-40~85℃快速温变（10次循环）验证温度耐受性；再通过40℃/93%RH恒定湿热（48小时）、交变湿热（5次循环）测试耐湿性；随后进行10-2000 Hz正弦振动（3 g，三向各2小时）、随机振动（12小时）验证机械稳定性。若有特殊要求，高温工作试验温度宜按表5规定的环境箱温度范围选择，并按用户与制造商协商确定的试验要求追加试验。

表 5 高温工作试验温度

产品的安装部位	环境箱温度 ℃
电机上	125, 105
车身或车架上	85, 65
其他位置	65, 55

注：表中同一位置环境箱温度较低者为下限温度，较高者为推荐温度。

7.14 开关磁阻电机耐振动

开关磁阻电机耐振动试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.15 开关磁阻电机耐久

开关磁阻电机耐久试验方法应按 GB/T 29307 执行。

7.16 开关磁阻电机防水、防尘

开关磁阻电机防水、防尘试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.17 开关磁阻电机抗盐雾

开关磁阻电机抗盐雾试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.18 开关磁阻电机冰水冲击

开关磁阻电机冰水冲击试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.19 开关磁阻电机系统电磁兼容性

开关磁阻电机系统电磁兼容性试验方法应按 GB/T 18488 执行。

7.20 辅助装置

辅助装置试验应按 GB/T 45050 执行。

7.21 转向系统

转向系统试验应按 GB/T 45050 执行。

7.22 制动系统

制动系统试验应按 GB/T 45050 执行。

7.23 热管理系统

7.23.1 一般条件

7.23.1.1 试验环境条件

- a) 环境温度：25±2℃；
- b) 相对湿度：10%~90%；
- c) 压强：86 kPa~106 kPa。

7.23.1.2 试验样品需包括必要的操作文件，以及和试验设备相连所需的必要接口部件，试验对象应包括所设计车型的全套热管理系统以及热管理对象，制造商需要提供系统的安全工作限值等。

7.23.1.3 电池、电机和电控液冷系统的冷却液分别采用与电池系统、电机和电控系统所搭载车型一致的冷却液，如无法满足要求则选择乙二醇和水体积百分数各占 50 % 的混合溶液。

7.23.1.4 测试过程中的充放电倍率大小，充放电方法和充放电截止条件由制造商提供。

7.23.2 试验仪器及仪表的准确度

传感器准确度不低于以下要求：

- a) 温度测量装置： $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 电压测量装置： $\pm 0.5\text{ \%FS}$ 。

7.24 电池系统

电池系统试验应按 GB 38031 执行。

8 检验规则

8.1 出厂检验

每辆非公路自卸车应经制造商质检部门检验合格，并附有产品合格证方准许出厂。出厂检验项目见表 6。

表 6 检验项目

序号	试验项目	检测试验内容	出厂检验项目	型式检验项目
1	整车外观及主要参数	整车外廓尺寸、轮距和轴距的测定	—	Δ
2		整车质量和轴荷分配的测定	—	Δ
3		涂装外观质量	Δ	Δ
4		液压系统油液固体颗粒污染等级	—	Δ
5		车厢容量	—	Δ
6	性能	电机外观试验	—	Δ
7		液冷系统回路密封性能试验	—	Δ
8		绝缘电阻试验	—	Δ
9		耐电压（直流耐压）试验	—	Δ
10		开关磁阻电机超速试验	—	Δ
11		开关磁阻电机系统效率试验	—	Δ
12		开关磁阻电机输入/输出特性试验	—	Δ
13		开关磁阻电机动力需求试验	—	Δ
14		动力爬坡度试验	—	Δ
15		开关磁阻电机控制精度试验	—	Δ
16		开关磁阻电机堵转转矩试验	—	Δ
17		开关磁阻电机电位均衡试验	—	Δ
18		保护功能试验	—	Δ
19		适应性试验	—	Δ
20		开关磁阻电机耐振动试验	—	Δ
21		开关磁阻电机耐久试验	—	Δ
22		开关磁阻电机防水/防尘（IP）试验	—	Δ
23		开关磁阻电机抗盐雾试验	—	Δ
24		开关磁阻电机冰水冲击试验	—	Δ
25		开关磁阻电机电磁兼容（EMC）性能试验	—	Δ
26		辅助装置试验	—	Δ
27		转向系统试验	—	Δ
28		制动系统试验	—	Δ
29		热管理系统试验	—	Δ

序号	试验项目	检测试验内容	出厂检验项目	型式检验项目
30	安全	电池系统试验	—	△
31		电控系统试验	—	△
32		安全标签	△	△
33		照明、信号和标志灯及反射器	△	△
34		司机视野	—	△
35		行车声响报警	△	△
36		急停功能	△	△
37		稳定性	—	△
38		阻燃	—	△
39		司机位置发射声压级	—	△
40		整机绝缘电阻	—	△
41		绝缘电阻监测	—	△
42		电位均衡	—	△
43		防水性能	—	△
44		高压标记	△	△
45		电线、电缆及电气接插口防护等级	—	△
46		动力电池和/或换电安全要求	—	△

注：“—”表示不做检验，“△”表示检验项目。

8.2 型式检验

- 8.2.1.1 非公路自卸车应进行型式检验。
- 8.2.1.2 应在同一批产品中随机抽样车进行型式检验。
- 8.2.1.3 型式检验项目全部合格则判定为合格。

9 合格判定

- 9.1 出厂检验项目应全部符合本标准的要求。检验结果如有一项不合格，则该车辆判定为出厂检验不合格，不得出厂；经整改复检合格后，方可出厂。
- 9.2 型式检验项目应全部符合本标准的技术要求。若所有检验项目结果均符合规定，判定该车型式检验合格；若其中任一主要性能指标或安全项目不符合要求，则判定为型式检验不合格。对一般项目存在偏差的，可在整改验证合格后判定为合格。

10 标志、包装、运输和贮存

10.1 产品标牌应至少包括下列内容：

- 产品名称和型号；
- 制造商的名称；
- 出厂编号或产品识别代码（PIN），产品识别代码按 GB/T 25606 的规定；
- 制造年份；
- 工作质量，单位为千克（kg）；
- 电机的型号、额定功率及额定电压。

10.2 非公路自卸车出厂时，随机文件应至少包括：

- 产品合格证明书；

—随机工具、易损件、附件、备件的目录。

10.3 运输应符合下列规定：

—整机解体前应将液压油、冷却液排空；

—整机解体前应按轮胎制造商规定调整轮胎充气压力；

—整机解体前应按动力电池制造商规定释放动力电池电能，并切断动力电池与车身相连的电路；

—整机发运前应解体成若干单元，每一运输单元符合运输部门的规定。

10.4 包装应符合 GB/T 35196 中 7.5 的规定。

10.5 电动自卸车长期贮存时，动力电池电量应符合电池制造商规定，贮存时间每超过 60 d，应按整机说明书进行一次充放电维护。断开手动维修开关，并按 GB/T 35196 中 7.6 的规定进行贮存。