

团 体 标 准

T/CASAS008—20XX

地铁再生制动能量回收系统技术规范

Technical Specification for Metro Regenerative

Braking Energy Recovery System

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟发布

目 录

| | |
|---------------|----|
| 前 言 | I |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 2 |
| 4 环境参数 | 3 |
| 5 技术要求 | 3 |
| 5.1 型号、供电 | 3 |
| 5.2 装置 | 6 |
| 6 系统要求 | 9 |
| 6.1 功能要求 | 9 |
| 6.2 性能要求 | 12 |
| 7 检验 | 14 |
| 7.1 总则 | 14 |
| 7.2 检验分类 | 14 |
| 7.3 试验方法 | 15 |
| 7.4 检验项目 | 18 |
| 8 标识、包装、运输与储存 | 21 |
| 8.1 标识 | 21 |
| 8.2 包装 | 21 |
| 8.3 起吊、移动 | 22 |
| 8.4 运输 | 22 |
| 8.5 储存 | 22 |
| 8.6 安装 | 22 |

前 言

随着地铁线路网的完善，地铁站间的距离缩短，行车密度加大，地铁车辆频繁的在加速与减速间切换，无形间造成了大量的能源消耗。本标准对地铁再生制动能量回收系统进行了技术参数的规范，有利于解决地铁车辆减速刹车时的能量快速转移及回收问题，并通过合理设计再生制动能量予车辆的加速启动，为国家节能减排工作做出贡献。

本标准由第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASAS）制定发布，版权归 CASA 所有，未经 CASA 许可不得随意复制；其他机构采用本标准的技术内容制定标准需经 CASA 允许；任何单位或个人引用本标准的内容需指明本标准的标准号。

到本标准正式发布为止，CASAS 未收到任何有关本标准涉及专利的报告。CASAS 不负责确认本标准的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本标准主要起草单位：

本标准主要起草人：

地铁再生制动能量回收系统技术规范

1 范围

本标准规定了地铁再生制动能量回收系统的环境要求、技术要求、系统要求、检验、及标识、包装、运输与储存。地铁再生制动能量回收系统的设计、制造、验收应参照本规范执行。

本标准适用于地铁再生制动能量回收系统的技术要求，其中，以双向直流变流器实现直流电流双向流动时的升压/降压变化功能、电池作为能量存储介质的系统。

注：由于碳化硅具有耐压高、通态电阻低、漏电流小、开关速度快、电流密度高、耐高温等优点，采用碳化硅器件后，相同功率下的效率、开关速度、耐高压特性都将增大；同功率下体积也将减小。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 311.1-2012 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则
- GB 50157-2013 地铁设计规范
- GB/T 1094.3-2017 电力变压器 第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙
- GB/T 2423.4-2008 电工电子产品环境试验第2部分：试验方法试验 Db： 交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 2900.1-2008 电工术语基本术语
- GB/T 2900.33-2004 电工术语电力电子技术
- GB/T 3859.1-2013 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器
- GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 10411-2005 城市轨道交通直流牵引供电系统
- GB/T 13422-2013 半导体变流器 电气试验方法
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 24338.6.-2009 轨道交通 电磁兼容 第5部分：地面供电装置和设备的发射与抗扰度
- GB/T 25122.1-2010 轨道交通 机车车辆用电力变流器 第1部分：特性和试验方法
- GB/T 25890.1-2010 轨道交通 地面装置直流开关设备 第1部分直流开关设备
- GB/T 31486-2015 电动汽车用动力蓄电池电性能要求及试验方法
- GB/T 36276-2018 电力储能用锂离子电池
- GB/T 36287-2018 城市轨道交通列车再生制动能量地面利用系统
- GB/T 36548-2018 电化学储能系统接入电网测试规范
- GB/T 36558-2018 电力系统电化学储能系统通用技术条件
- CJ/T 370-2011 城市轨道交通直流牵引供电整流机组技术条件

3 术语和定义

GB/T 36276-2018、GB/T 36287-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地铁再生制动能量回收系统 metro regenerative braking energy recovery system
MERS

将列车再生制动时注入直流牵引网中的多余制动能量存储到储能单元电池组中、需要时再将储能单元电池组中能量回馈出来供列车使用的能量处理系统。

3.2

双向直流变流器 bidirectional DC converter

一种直流/直流变流器，与电流方向和电压方向均可改变相联系，直流功率的流动有两个可能的方向。

3.3

电池模组 battery module

由电池单体采用串联、并联或串并联连接方式，且只有一对正负极输出端子的电池组合体，还宜包括外壳、管理与保护装置等部件。

3.4

储能单元 energy storage unit

由电池模组采用串联、并联或串并联连接方式，及与其 BMS 控制部分组成储能部件。

3.5

热失控扩散 thermal runaway diffusion

电池模组内的电池单体发生热失控后触发于其相邻或其他部位的电池单体发生热失控的现象。

3.6

电池管理系统 battery management system
BMS

监测电池的电压、电流、温度等参数信息，并对电池的状态进行管理和控制的装置。

3.7

效率 efficiency

回收电能效率与释放电能效率之积。

3.8

终止电压 termination voltage

在电池组放电条件下，由电池特性所规定的最低放电电压值。一般情况下，所设置最低电压值要比蓄电池组最低电压值稍高。

3.9

电池侧 battery side

指双向直流变流器连接电池的一侧。

3.10

电池荷电状态 **state of charge**

SOC

可指电池剩余容量。电池的剩余容量是与其完全充电状态的容量的比值，常用百分数表示，是控制与优化电池充放电的重要指标。

3.11

断续周期工作制 **intermittent periodic duty**

系统按一系列相同的工作周期运行，每一个周期包括一段恒定负载运行时间和一段待机时间。实例：工作 30s，停止 90s，总周期 120s。

4 环境参数

4.1 海拔

海拔高度不超过 1500m。

4.2 温度

工作温度：-30℃~+55℃。

存储温度：-10℃~+45℃。

4.3 相对湿度

日平均相对湿度：0~95%，无凝露。

5 技术要求

5.1 型号、供电

5.1.1 MERS 基本组成

MERS 电气系统回路主要配置由直流断路器、电抗器、隔离开关、双向直流变流器、接触器、储能单元（电池模组、电池管理装置 BMS）、测控系统等组成，具体如图 1 所示。

a) 直流断路器在 MERS 正常运行或有故障时都可安全断开与直流牵引网连接；

b) 隔离开关可实现双向直流变流器与直流牵引网正负极母线的隔离；

c) 直流电抗器完成对直流母线的滤波及限流功能；

d) 双向直流变流器实现直流电流的双向流动，实现直流电压升压或降压变换功能；

e) 接触器实现双向直流变流器与储能单元的隔断、保护功能；

f) 电池管理装置 BMS：监测电池的电压、电流、温度等参数信息，并对电池的状态进行管理和控制的装置；

g) 测控系统可实现对地铁再生制动能量回收系统运行时的测量、保护、控制、计量及能量管理，

以及对外通讯的功能。

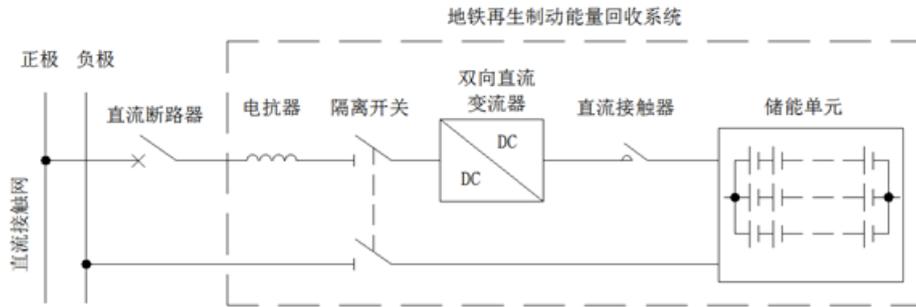


图 1 地铁再生制动能量回收系统电气系统回路图

5.1.2 设置应用

- a) 电压变化范围应满足直流牵引网电压变化范围要求，在此电压范围内运行稳定可靠。
- b) 具备先进完备的监控系统、BMS 电池管理系统、通信系统及先进优化的控制策略，具备友好的人机界面。
- c) 除具备当地监测、监控系统外，须留有远方监测、监控接口。
- d) MERS 出线通过直流柜与直流牵引网“T”接。

5.1.3 型号、型号含义

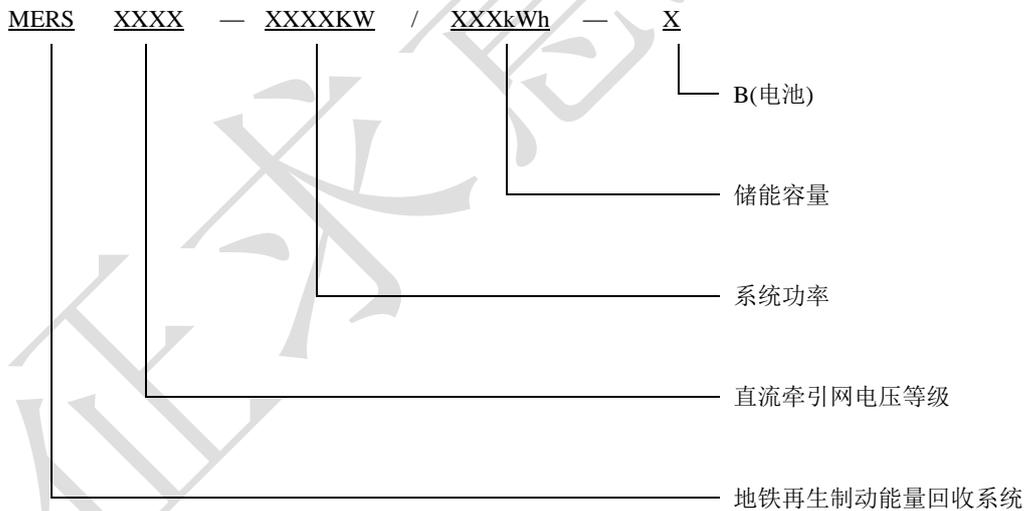


图 2 MERS 型号、型号含义

5.1.4 供电条件

5.1.4.1 直流电压

MERS 标称值分为 DC750V、DC1500V。

表 1 对应直流牵引网电压

| MERS 规格 | 直流牵引网电压 | | 备注 |
|---------|---------|---------|----------|
| | DC750V | DC1500V | |
| 750 | √ | — | “√”号对应规格 |
| 1500 | — | √ | |

5.1.4.2 直流电压范围值

表 2 直流电压范围值 (V)

| 最低值 | 标称值 | 最高值 |
|------|------|------|
| 500 | 750 | 900 |
| 1000 | 1500 | 1800 |

5.1.4.3 辅助电源

控制系统、保护系统、BMS、监控、检测等所需的辅助电源采用 DC220V；屏内照明、散热风机等所需的辅助电源采用 AC220V 电源。

5.1.5 柜体结构

5.1.5.1 柜体

柜体应独立柜型设计，配置电抗器、隔离开关、双向直流变流器、接触器、储能单元、监控系统系统等。各单面柜体尺寸不应大于：1200mm（宽）×1200mm（深）×2500mm（高），柜子正面应设有柜门，柜门的开启角度应大于 120°，且单面门的宽度不应超过 800mm。

5.1.5.2 外观要求

柜子外观应无变形、裂纹，表面应干燥、无外伤、无污物、排列整齐、连接可靠，表计在门上安装位置端正，表计正确，标志标识清晰、正确。

5.1.5.3 防护等级

柜体防护等级应不低于 IP30。

5.1.5.4 进出线方式

各柜的进出线方式宜采用电缆下进下出。如有特殊情况，由供需双方协商确定。

5.1.5.5 安装

屏柜安装须符合地铁设计规范 GB50157-2013 要求。

5.1.6 安装要求

5.1.6.1 安装地点

无强烈振动和冲击，无强电磁干扰，外磁场感应强度不得超过 0.5mT。

5.1.6.2 安装垂直倾斜度

≤5%。

5.1.6.3 使用地点

无爆炸危险介质，周围介质不含腐蚀金属和破坏绝缘的有害气体及导电介质。

5.1.7 振动

系统内设备应适用于轨道周边。设计应保证装置耐受车辆通行造成的影响，能耐受的冲击振动不应超出下列指标限制 10Hz 的正弦振动波：

——垂直方向加速度峰值 5m/s^2 ，持续时间 30s；

——水平方向加速度峰值 5m/s^2 ，持续时间 30s。

5.1.8 污秽等级

污秽等级为 PD2。

5.2 装置

5.2.1 双向直流变流器

5.2.1.1 配置

双向直流变流器应根据企业设计该产品功率大小要求进行配置。

双向直流变流器的配置可分别有硅基、碳化硅基 2 种方案。

5.2.1.2 硅基方案

由 IGBT 模块、驱动板、叠层母排、散热器、电容器组成的双向直流变流器。

5.2.1.3 碳化硅基方案

双向直流变流器碳化硅基方案的典型电路拓扑如图 3（双有源桥直流-直流变流器）。

相对于传统硅基方案，以碳化硅为代表的第三代半导体器件的应用，可以提升开关频率 10 倍以上，从而大幅度降低直流变换系统的体积及重量，并在效率上进一步提升 1%~2%。推荐的功率模块为：具有相关电压/电流等级的全碳化硅功率模块。

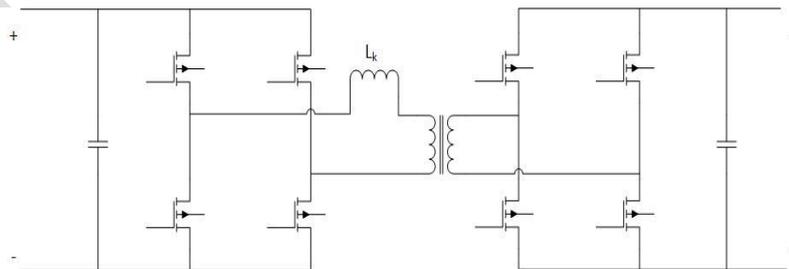


图 3 双向直流变流器碳化硅基典型电路拓扑图

5.2.1.4 双向直流变流器效率

额定负荷时充电效率应大于 95%，放电效率应大于 95%。

5.2.2 电池模组

5.2.2.1 外观

电池模组外观不得有变形及裂纹，表面干燥、无外伤，且排列整齐、联接可靠、标志清晰等。

5.2.2.2 极性

电池模组端子极性标识应正确、清晰。

5.2.2.3 外形尺寸及质量

电池模组外形尺寸及质量应符合企业提供的产品技术条件。

5.2.2.4 容量配置、电压配置

a) 储能单元配置（典型值）：系统 1.2MW 功率时、配置 110kWh 电量，额定电压 920VDC。

b) 其它系统功率配置：依照系统功率、系统连接拓扑，对应双向直流变流器功率的拓扑结构相匹配，尽量减少电池模组个数。

5.2.2.5 电池模组循环性能

循环性能应符合下列要求：

a) 循环次数达到 1000 次时，充电能量保持率不小于 80%；

b) 循环次数达到 1000 次时，放电能量保持率不小于 80%。

5.2.2.6 能量保持与能量恢复能力

5.2.2.6.1 室温能量保持与能量恢复能力

电池模组室温能量保持与能量恢复能力应符合下列要求：

a) 能量保持率不小于 90%；

b) 充电能量恢复率不小于 92%；

c) 放电能量恢复率不小于 92%。

5.2.2.6.2 高温能量保持与能量恢复能力

电池模组高温能量保持与能量恢复能力应符合下列要求：

a) 能量保持率不小于 90%；

b) 充电能量恢复率不小于 92%；

c) 放电能量恢复率不小于 92%。

5.2.2.7 储存性能

电池模组储存性能应符合下列要求：

- a) 充电能量恢复率不小于 90%;
- b) 放电能量恢复率不小于 90%。

5.2.2.8 安全性

5.2.2.8.1 过充电

将电池模组充电至任一电池单体电压达到电池单体充电终止电压的 1.5 倍或时间达到 1h, 不应起火、爆炸。

5.2.2.8.2 过放电

将电池模组放电至时间达到 90min 或任一电池单体电压达到 0V, 不应起火、爆炸。

5.2.2.8.3 短路

将电池模组正、负极经外部短路 10min, 不应起火, 不应爆炸。

5.2.2.8.4 挤压

将电池模组挤压至变形量达到 30%或挤压力达到 $13\text{kN} \pm 0.78\text{kN}$, 不应起火, 不应爆炸。

5.2.2.8.5 跌落

将电池模组的正极或负极端子朝下从 1.2m 高度处自由跌落到水泥地面 1 次, 不应起火, 不应爆炸。

5.2.2.8.6 热失控扩散

将电池模组中特定位置的电池单体触发达到热失控的判定条件, 不应起火, 不应爆炸, 不应发生热失控扩散。

5.2.2.8.7 绝缘性能

按标称电压计算, 电池模组正极与外部裸露可导电部分之间, 电池模组负极与外部裸露可导电部分之间的绝缘电阻均不应小于 $6000 \Omega/V$ 。

5.2.2.8.8 耐压性能

在电池模组正极与外部裸露可导电部分之间, 电池模组负极与外部裸露可导电部分之间施加相应的电压, 不应发生击穿或闪络现象。

5.2.3 储能单元

储能单元应根据地铁再生制动能量回收系统要求配置相应的容量、接入电压等级。须考虑到双向直流变流器性能, 电池特性和要求及设备短路电流耐受能力进行设计。连接拓扑应与双向直流变流器的拓扑结构相匹配, 尽量减少电池模组串并联个数。

5.2.3.1 外观

设备、零部件及辅助设施外观应无变形及裂纹, 表面应干燥、无内伤、无污物、排列整齐、连接可

靠，且标识清晰、正确。

5.2.3.2 电池侧电压配置

电池侧电压应根据电池特性、耐压水平、绝缘性能确定，不宜高于 1200V。

5.2.3.3 初始化充放电能量

初始化充放电能量应符合下列要求：

- a) 初始充电能量不小于额定充电能量；
- b) 初始放电能量不小于额定放电能量；
- c) 能量效率不小于 92%。

5.2.3.4 绝缘性能

按标称电压计算，电池组串正极与外部裸露可导电部分之间，电池组串负极与外部裸露可导电部分之间的绝缘电阻均不应小于 $6000 \Omega/V$ 。

5.2.3.5 耐压性能

在电池组串正极与外部裸露可导电部分之间、电池组串负极与外部裸露可导电部分之间施加相应的电压，不应发生击穿或闪络的现象。

5.2.3.6 电池管理装置

5.2.3.6.1 一般要求

- a) 电池管理系统的拓扑配置应与双向直流变流器的拓扑、电池的成组方式相匹配与协调，并对电池运行状态进行优化控制及全面管理；
- b) 电池管理系统各功能具体实现层级由电池管理系统的拓扑配置情况决定，宜分层就地实现；
- c) 还应具备对时、时间记录、存储、故障录波、显示等功能。

5.2.3.6.2 与电池组成的子系统

电池组输出端口，配置断路器（接触器）、熔断器（带熔断报警触点）。

5.2.3.6.3 其它要求

储能单元应配置均衡电路、超压报警电路，同时应设置放电装置接口供检修使用。

6 系统要求

6.1 功能要求

6.1.1 地铁再生制动能量回收系统

6.1.1.1 回收/释放电能

MERS 应能将列车制动时注入直流牵引网中的多余制动能量回收到储能单元中，需要时再将储能单元中的能量释放出来供列车使用。

6.1.1.2 稳定网压

在回收、释放电能的过程中，直流牵引网电压能够保持预先设定值，从而保证列车安全运行。

6.1.2 双向直流变流器

- a) 双向直流变流器要求应与储能单元需求相匹配，应具备“能量”双向流动功能、待机功能。
- b) 快速响应功能；
- c) 过压保护、超温保护功能。

6.1.3 控制系统

6.1.3.1 主要功能

- a) 可分别采集直流牵引网侧、直流侧电压、电流等模拟量和装置正常运行、告警故障等开关量信息；
- b) 应能接收电池管理系统上送的电池电压、温度、计算电量等模拟量和故障告警等开关量保护、联合控制所需信息；
- c) 应能完成装置运行状态的切换及控制逻辑，且应包括功率变换系统的启停、控制方式的切换、运行状态的转换；
- d) 应具备保护功能，确保各种故障情况下的系统和设备安全。所保护的内容及配置见 6.1.5、6.1.6 条目的规定；
- e) 支持 IEC61850、CAN 或 Modbus TCP/IP 通信，并能配合控制系统及电池管理装置完成地铁再生制动能量回收系统的监控及保护。

6.1.3.2 通信

系统监控具备标准的数据通信接口；其通信协议具备通用性、安全性、稳定性和开放性。

- a) 应能实现开关状态、故障信号的遥信；电流、电压和电能等数据的遥测功能；
- b) 应能将系统故障信息上传变电所综合自动化系统，并需带有时标，同时具有与综合自动化系统进行时钟同步功能，对时方式为软件对时。

如有特殊要求，供需双方协商确定。

6.1.3.3 数据采集、事件记录及存储显示功能

系统应具有数据采集功能，采集的信息应能至少包括但不限于电池侧，直流牵引网侧直流电压、直流电流；电池侧直流电压、直流电流，专供的交流/直流电压、电流，以及回收释放电能量等参数。

所有信息通过数据采集系统处理后，保存在本地装置中，存储时间大于 30d，各数据项存储周期不小于 1s，可实现 USB 等传输方式转存。

6.1.4 待机功能

系统具备热待机功能，在系统回收释放电能的工作中，部分时间段无需工作，系统在此过程中应保持热待机状态，实时监测启动条件，以便系统能够在下一周期快速响应。

6.1.5 系统具备以下保护功能：

- 直流牵引网欠压/过压保护；
- 电池测充放电电流过流保护；
- 柜门联锁保护；
- 电池柜过压保护；
- 电池柜异常保护；
- IGBT 故障保护；
- 控制电源异常保护；
- 通讯异常保护；
- 断路器故障保护；
- 框架泄露保护；
- 电抗器超温保护；
- 接触器故障保护；
- 熔断器故障保护；
- 软起动故障保护。

系统自身发生严重故障时，断开与直流牵引网联接的断路器，与直流牵引网完全隔离断开。

6.1.6 安全联锁功能：

- 应能将故障信息上传给主站综合自动化系统；
- 自身发生严重故障时，应主动分断对应的断路器脱离直流牵引网；
- 各组成设备，子系统之间应设置联锁、联跳、闭锁及安全电压检测；
- 辅助电源失电或综合故障信号应有硬接点输出，应至少提供一对用于跳闸的接点；
- 应提供外部故障联跳接点，用于系统外其他设备（或部位）发生严重故障时，联跳系统。

6.1.7 电池管理功能要求：

- a) 测量功能；
- b) 计算功能；
- c) 信息交互功能；
- d) 故障诊断功能；
- e) 电池的保护功能。

6.1.8 调试功能

在仅提供二次电源的情况下，应能通过控制设备实现系统模拟投入，退出及待机等运行状态。

6.1.9 计量功能

需设置可对回收释放电能进行计量的装置。

6.1.10 配合车辆应用

地铁再生制动能量回收系统不应影响列车正常制动工作，如车辆配置有车载电阻制动系统，应考虑与车辆车载电阻制动系统的配合。

6.1.11 扩展功能

可配置逆变器装置经 DC/AC 逆变上网，可供车站用电。

6.2 性能要求

6.2.1 一般性能要求

系统的性能指标在其额定状态下标定，特殊要求另行协商确定。

6.2.1.1 额定持续功率

系统额定持续功率典型值为：1.2MW。

6.2.1.2 额定断续周期峰值功率

额定断续周期峰值功率应根据列车制动功率及相关经济性原则确定，典型值宜为 1.5MW、2MW、3MW。

6.2.1.3 过压保护值

直流标称电压 DC750V 系统，系统过压保护值应不高于 1000V；

直流标称电压 DC1500V 系统，系统过压保护值应不高于 1800V。

具有过压保护值应根据实际线路情况，由供需双方协商确定。

6.2.1.4 电池侧电压范围值：

表 3 电池侧电压范围值

| 项目名称 | 750V | 1500V | 备注 |
|---------|----------|-----------|----|
| 电池侧电压范围 | 350~550V | 660~1100V | |

6.2.2 回收释放电能门槛值

6.2.2.1 回收电能门槛值

系统回收电能时的启动门槛电压值应可调。对 750V/1500V 的两种电压制式，其回收电能时的启动门槛电压 U 的可调节范围应满足表 4 规定。

表 4 门槛电压范围

| 标称电压 | 回收电能门槛电压 |
|---------|----------------------------|
| DC750V | 空载电压+20<U≤MERS 输出的最高电压值+30 |
| DC1500V | 空载电压+20<U≤MERS 输出的最高电压值+30 |

注：电压单位：V，具体数据应根据实际线路情况，由供需双方协商确定。

6.2.2.2 释放电能门槛值

系统释放电能时的启动门槛电压值应可调。对 750V/1500V 的两种电压制式，其释放电能时的启动门槛电压 U 的可调节范围应满足表 5 规定。

表 5 门槛电压范围

| 标称电压 | 释放电能门槛电压 |
|---------|---------------------------|
| DC750V | $U \leq \text{空载电压} - 30$ |
| DC1500V | $U \leq \text{空载电压} - 30$ |

注：电压单位：V，具体数据应根据实际线路情况，由供需双方协商确定。

6.2.3 电压电流均衡度要求

双向直流变流器采用多模块工作时，多模块间的电流均流衡度不超过 0.5%；双向直流变流器串联时，多模块间的均压不平衡度不超过 2%。

6.2.4 耐压

各组成设备额定工频耐受试验电压和额定冲击耐受试验电压应符合 GB/T 25122.1—2010 标准要求进行。

注：耐受电压试验可能损坏功率模块，可不对双向直流变流器功率模块部分进行耐受电压试验。

6.2.5 噪声要求

各设备运行时的总噪声应 $< 80\text{dB}$ ，具体指标由供需双方协商确定。

6.2.6 系统效率

系统在额定负荷工作时，效率不应小于 95%。

6.2.7 电磁兼容性

系统控制保护部件电磁兼容应符合 GB/T24338.6-2009 的要求，试验性能判定等级不应低于 C 级，且不应影响轨道信号的传输。

6.2.8 运行温升

6.2.8.1 温升

在额定工况下，双向直流变流器各部分的温升应符合 GB/T 21413.1—2008 中各部分规定的温升限值。

6.2.8.2 电池温度性能

a) 常温倍率充电性能

在常温下，按 GB/T 31486-2015 中 6.3.7 条进行放电-静置-充电，再以 1I1 (A) 电流进行放电至电池电压达到放电终止电压，计算放电容量。

b) 高温放电容量

在高温下，按 GB/T 31486-2015 中 6.3.9 条进行充电-搁置，电池模组在 $55^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 下，以 1I1 (A) 电流放电至任一单体电池电压达到室温放电终止电压，计算放电容量。

c) 低温容量

在低温下，按 GB/T 31486-2015 中 6.3.8 条进行充电-搁置，电池在-20℃低温下，以 1I1 (A) 电流放电至任一单体电池电压达到企业提供的放电终止电压，计算放电容量。

6.2.9 直流电压纹波

在功率范围内，其直流侧输出的直流电压纹波应不大于 3%。

6.2.10 热待机状态下的能耗

在热待机状态下，MERS 的能耗应低于其额定持续功率的 0.5%。

6.2.11 绝缘安装和接地

柜体应绝缘安装，并设置独立的框架泄露保护装置，柜体通过框架保护的电流元件接地，并与变电所内的其它直流设备共用同一接地装置。

6.2.12 通信

- a) 对应显示双向直流变流器在各种状态下的相关信息；
- b) 显示计费管理系统输出相关信息；
- c) 结合 BMS 系统管理，显示储能电池相关信息及 SOC、SOH 信息；
- d) 可校准内部时钟时间；
- e) 可通过人机界面设置相关参数。

6.2.13 防火及安全

各部件应具有良好的防火性能，所选用的材料应最大限度地防止火灾发生。应采用非延燃性材料和防火材料，不应使用燃烧后产生足以影响人体健康和对环境有害的毒气材料，所使用的电线和电缆应是低烟无卤阻燃或低烟无卤耐火电缆。

高压电气设备应具有人身安全防火措施和警示标识，具有储能元件的电路应能通过固定放电电阻或其他特定设备进行能量释放，在 100min 内，残压应能低于 36V，以保证维修人员的人身安全。

具体放电时间可由供需双方协商确定。

7 检验

7.1 总则

各设备试验应在与实际工况相等效的条件下，或在能保证设备性能可满足使用条件的情况下进行。

MERS 系统各设备内配套的部件：如半导体器件、电抗器、电容、接触器、断路器、风机、隔离开关、传感器等，在安装前应通过出厂检验；若这些器件已附有按相应技术标准通过出厂检验的合格证，则在组装后可进行与 MERS 有关的功能试验和操作试验。

检验准则均须依照国标要求执行，可参照 GB/T 36287-2018，GB/T 13422-2013 等。

7.2 检验分类

MERS 系统的检验分为型式试验，出厂检验、现场检验。

7.2.1 型式试验

设备属于下列情况者应进行型式试验：

- a) 新研制或转产的 MERS 产品；
- b) 当设计、工艺、材料、主要元器件改变而影响到 MERS 产品的性能时；
- c) 长期停产恢复生产时；
- d) 在正常生产情况下，每五年进行一次型式试验。

7.2.2 出厂试验

出厂设备应逐台进行出厂试验，试验合格后方可给予出厂试验合格证。

7.2.3 现场检验

产品在使用现场完成安装后，需要进行现场检验，现场检验项目及标准供需双方协商确定。

7.3 试验方法

7.3.1 概述

测试样品的分析面同样应进行化学腐蚀抛光或者效果更好的化学机械抛光，使其平坦光滑，且样品尺寸应适合放入样品架内。

7.3.2 一般检查

7.3.2.1 外观检查

对照相关图纸对各设备进行外观检查，主要检查内容如下：

- a) 检查各归体外表面油漆及电镀应均匀光亮，紧固件应牢固；
- b) 柜内所有元件、器件的规格型号以及安装位置和方法与图纸相符；
- c) 导线、导线颜色、指示灯、按钮、行线槽、喷涂等；
- d) 确认端子号、号牌号、装置名称与装配图、接线图相符；
- e) 确认柜内各接线应正确，无松动和错接现象，所有电缆、电线的规格应符合要求；
- f) 确认柜内没有异物及杂物；
- g) 确认门及门锁的开闭情况，操作应顺畅。

7.3.2.2 尺寸和公差检查

对产品的外形及安装尺寸与公差进行检查，选取用于检验的所有尺寸应在规定的公差范围之内。

7.3.2.3 称重

用直接称重法称重，并记录重量。

7.3.2.4 标志检查

检查柜名称、铭牌、标示牌，安装或贴装位置应清晰、醒目。

7.3.3 双向直流变流器试验

7.3.3.1 绝缘耐压试验

通常情况下，使用交流工频电压进行试验，按 GB/T13422-2013 中 5.1.2 进行。

注：耐受电压实验可能损坏模块，可不对变流器功率模块部分进行耐受电压试验。

7.3.3.2 轻载试验（功能试验）

在满足验证变流器功能要求的负载下进行，按 GB/T 13422-2013 中 5.1.4 进行。

7.3.3.3 负载试验

应在持续运行额定条件及断续周期工作制额定条件下分别进行，试验时应使用实际负载或等效负载。可按 GB/T 13422-2013 中 5.1.8 进行。

7.3.3.4 效率测定

在持续运行额定条件下直接测量输入和输出功率来确定，若采取试验的方案确定时，按 GB/T 13422-2013 的规定进行。

7.3.3.5 辅助装置检查

应检查（如接触器、风机、人机界面、其它电气元件等）辅助装置的功能，如可行，检查结合轻载试验进行。按 GB/T 3859.1-2013 中 7.5.1 的要求进行。

7.3.3.6 控制设备性能检查

按 GB/T 3859.1-2013 中 7.5.2 的要求进行。

7.3.3.7 保护装置检查

按 GB/T 3859.1-2013 中 7.5.3 的规定进行。检查应在系统内设备各部件不超过额定值冲击的条件下进行。

7.3.3.8 电压电流均衡度测量

- a) 变流器采用多模块并联时，测量多模块间的电流均衡度，按 GB/T 13422-2013 中 5.1.6 的要求进行；
- b) 变流器采用多模块串联时，测量多模块间的电压均衡度，按 GB/T 13422-2013 中 5.1.5 的要求进行；
- c) 本试验可结合负载试验进行。

7.3.3.9 电磁兼容性试验

变流器控制设备的电磁兼容性试验可按 GB/T 24338.6-2009 进行。

7.3.3.10 高低温试验

按 GB/T 2423.2-2008 和 GB/T 2423.1-2008 的要求进行，若装置采用强迫通风，则按装置实际运行情况考虑通风。

7.3.2.11 交变湿热试验

按 GB/T 2423.4-2008 进行。

7.3.4 电池模组

7.3.4.1 外观

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.1 试验方法进行。

7.3.4.2 极性

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.2 试验方法进行。

7.3.4.3 外形尺寸和质量测量

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.3 试验方法进行。

7.3.4.4 电池模组循环性能

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.12.2 试验方法，电池模组循环性能符合下列要求：

- a) 循环次数达到 1000 次时，充电能量保持率不应小于 80%；
- b) 循环次数达到 1000 次时，放电能量保持率不应小于 80%。

7.3.4.5 安全性

7.3.4.5.1 过充电

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.14 试验方法，将电池模组充电至任一电池单体电压达到电池单体充电，终止电压的 1.5 倍或时间达到 1h，不应起火、不应爆炸

7.3.4.5.2 过放电

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.14 试验方法，将电池模组放电至时间达到 90min 或任一电池单体电压达到 0V，不应起火、不应爆炸。

7.3.4.5.3 短路

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.15 试验方法，将电池模组正、负极经外部短路 10min，不应起火，不应爆炸。

7.3.4.5.4 挤压

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.16 试验方法，将电池模组挤压至变形量达到 30%或挤压力达到 13kN ±0.78kN，不应起火，不应爆炸。

7.3.4.5.5 跌落

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.17 试验方法，将电池模组的正极或负极端子朝下从 1.2m 高度处自由跌落到水泥地面 1 次，不应起火，不应爆炸。

7.3.4.5.6 热失控扩散

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.19 试验方法，将电池模组中特定位置的电池单体触发达到热失控的判定条件，不应起火，不应爆炸，不应发生热失控扩散。

7.3.4.6 电池温度性能

- a) 室温倍率充电性能：按 GB/T 31486-2015 中 6.3.7 条进行；
- b) 高温放电容量：按 GB/T 31486-2015 中 6.3.9 条进行；
- c) 低温放电容量：按 GB/T 31486-2015 中 6.3.8 条进行。

7.3.4.7 能量保持与能量恢复能力

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.8.2 试验方法，电池模组室温和高温能量保持与能量恢复能力符合下列要求：

- a) 能量保持率不应小于 90%；
- b) 充电能量恢复率不应小于 92%；
- c) 放电能量恢复率不应小于 92%。

7.3.4.8 绝缘性能

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.10 试验方法，按标称电压计算，电池模组正极与外部裸露可导电部分之间，电池模组负极与外部裸露可导电部分之间的绝缘电阻均不应小于 1000 Ω/V。

7.3.4.9 耐压性能

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.11 试验方法，在电池模组正极与外部裸露可导电部分之间，电池模组负极与外部裸露可导电部分之间施加相应的电压，不应发生击穿或闪络现象。

7.3.4.10 储能试验

MERS 以正常工作范围内存储电能，然后将储能机组置于停机工况若干时间，或夜晚停止工作后、至第二天工作开始时，测量储能电池 SOC 应不低于 30%。按 GB/T 36287-2018 中 8.3.3.2 条进行。

7.3.5 储能单元

7.3.5.1 外观试验

按 GB/T 36276-2018 中 A.4.1 试验方法进行。

7.3.4.2 初始充放电能量试验

按 GB/T 36276-2018 中 A.4.2 试验方法进行。

7.3.4.3 均衡实验

在系统工作电压范围内，按额定工作电流对储能电源进行充电，储能模组电压不平衡度不大于 1.1（储能模组电压与模组平均电压之比），电池单体电压最高不超过 2.85V（单体最高工作电压为 2.7V 时）。

7.3.4.4 绝缘性能试验

按 GB/T 36276-2018 中 A.4.3 试验方法进行。

7.3.4.5 耐压性能试验

按 GB/T 36276-2018 中 A.4.4 试验方法进行。

7.4 检验项目

表 6 MERS 系统检验项目

| 序号 | 检验项目 | 检验分类 | 技术要求对 | 检验方法 |
|----|------|------|-------|------|
|----|------|------|-------|------|

| | | 型式检验 | 出厂检验 | 现场检验 | 应的章条 | 对应的章条 |
|----|-------------|------|------|------|---|----------|
| 1 | 一般性检查 | √ | √ | √ | 5.1.5 | 7.3.1 |
| 2 | 轻载试验（功能试验） | √ | √ | √ | 6.1.1/6.2.2 | 7.3.2.2 |
| 3 | 效率测定 | √ | — | — | 5.2.1.4 | 7.3.2.4 |
| 4 | 负载试验 | √ | √ | √ | 6.1.1/6.1.3.3 /6.1.4/6.1.10 | 7.3.2.3 |
| 5 | 能量保持与能量恢复能力 | √ | — | — | 5.2.2.6 | 7.3.3.7 |
| 6 | 辅助装置检查 | √ | √ | — | 5.1.4.3/6.2.13 | 7.3.2.5 |
| 7 | 控制设备性能检查 | √ | √ | — | 6.1.3.2/6.1.3.3 /6.1.8/6.1.9 | 7.3.2.6 |
| 8 | 保护装置检查 | √ | √ | — | 5.2.3.6.3/6.1.2/6.1.5 /6.1.6/6.2.1.3 | 7.3.2.7 |
| 9 | 电压电流均衡度测量 | √ | √ | — | 6.2.3 | 7.3.2.8 |
| 10 | 电磁兼容性试验 | √ | — | — | 6.2.7 | 7.3.2.9 |
| 11 | 高低温试验 | √ | — | — | 4.2 | 7.3.2.9 |
| 12 | 交变湿热试验 | √ | — | — | 4.3 | 7.3.2.11 |

说明：“√”表示为必做的试验项目，“—”表示为不做的试验项目。

表 7 电池模组试验

| 序号 | 检验项目 | 检验分类 | | | 技术要求对 应的章条 | 检验方法 对应的章条 |
|----|---------|------|------|------|---------------|---------------|
| | | 型式检验 | 出厂检验 | 现场检验 | | |
| 1 | 外观 | √ | √ | √ | 5.2.2.1 | 7.3.3.1 |
| 2 | 极性 | √ | √ | √ | 5.2.2.2 | 7.3.3.2 |
| 3 | 外形尺寸及质量 | √ | √ | — | 5.2.3.3 | 7.3.3.3 |

| | | | | | | |
|---------------------------------|------------|---|---|---|-----------|-----------|
| 4 | 电池模组循环性能试验 | √ | √ | — | 5.2.2.5 | 7.3.3.4 |
| 5 | 过充电试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.1 | 7.3.3.5.1 |
| 6 | 过放电试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.2 | 7.3.3.5.2 |
| 7 | 短路试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.3 | 7.3.3.5.3 |
| 8 | 挤压试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.4 | 7.3.3.5.4 |
| 9 | 跌落试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.5 | 7.3.3.5.5 |
| 10 | 热失控扩散试验 | √ | — | — | 5.2.2.8.6 | 7.3.3.5.6 |
| 11 | 绝缘性能试验 | √ | √ | — | 5.2.2.8.7 | 7.3.3.8 |
| 12 | 耐压性能试验 | √ | √ | — | 5.2.2.8.8 | 7.3.3.9 |
| 13 | 储存性能试验 | √ | √ | — | 5.2.2.7 | 7.3.3.10 |
| 说明：“√”表示为必做的试验项目，“—”表示为不做的试验项目。 | | | | | | |

表8 储能单元试验

| 序号 | 检验项目 | 检验分类 | | | 技术要求对应的章条 | 检验方法对应的章条 |
|---------------------------------|-----------|------|------|------|-----------|-----------|
| | | 型式检验 | 出厂检验 | 现场检验 | | |
| 1 | 外观 | √ | √ | √ | 5.2.3.1 | 7.3.4.1 |
| 2 | 初始充放电能量试验 | √ | √ | — | 5.2.3.3 | 7.3.4.2 |
| 3 | 绝缘性能试验 | √ | √ | — | 5.2.3.4 | 7.3.4.4 |
| 4 | 耐压性能试验 | √ | — | — | 5.2.3.5 | 7.3.4.5 |
| 说明：“√”表示为必做的试验项目，“—”表示为不做的试验项目。 | | | | | | |

8 标识、包装、运输与储存

8.1 标识

8.1.1 铭牌

系统应设有铭牌、并安装在明显的位置，铭牌上应有以下内容：

- a) 设备名称；
- b) 规格型号；
- c) 技术参数；
- d) 额定电压；
- e) 额定电流；
- f) 质量，kg；
- g) 出厂编号；
- h) 制造年月；
- i) 制造厂名称。

8.1.2 标识要求

系统柜上的各种开关、仪表、信号灯、动力母线、控制母线等，应有相应的文字符号作为标志，并与接线图上的文字符号一致，要求字迹清晰易辨、不褪色、不脱落、布置均匀、便于观察。

8.2 包装

8.2.1 包装要求

设备制造完成并通过实验后应及时包装，否则应得到切实的保护。其包装应符合 GB/T13384-2008 机电产品包装通用的技术条件的规定，并有以下标识：

- a) 设备名称；
- b) 小心轻放；
- c) 防雨；
- d) 重量；
- e) 起吊位置。

8.2.2 直流电源设备的装箱资料应有：

- a) 装箱清单；
- b) 出厂试验报告；
- c) 合格证；
- d) 电气原理图和接线图；
- e) 安装使用说明书；
- f) 随机附件及备件清单；
- g) 蓄电池组安装图。

8.3 起吊、移动

合同设备须具有能承受其总重量的基座和起吊点，须具备吊车安装和叉车安装能力。应在设备包装箱外壳和机壳上（临时指示性图标）标明重心位置。

8.4 运输

- 设备在运输时应符合铁路、公路及海运部门的有关规定；
- 设备的运输应保证其外壳不受任何损伤，内部元件不能发生位移且应保证内部元件性能完好；
- 所有部件经妥善包装或装箱后，在运输过程中尚应采取其它防护措施，以免散失损坏或被盗；
- 设备在运输中不允许有任何破坏性碰撞、震动、倾斜和磨损，底部需加缓冲垫防震，同时，还应采取适当措施以鉴别设备在运输途中是否发生过严重的震动和倾斜；
- 随产品提供的技术资料应完整无缺；
- 采用直运方式将设备运往项目现场，严禁采用倒运、配货、托运等方式运送设备。

8.5 储存

设备在贮存期间，应放在空气流通、温度在 $-10^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 之间，月平均相对湿度不大于 90%，无腐蚀性和爆炸气体的仓库内，在贮存期间不应淋雨、曝晒、凝露和霜冻。与设备成套的蓄电池贮存应符合其产品技术条件规定。

8.6 安装

负责现场交付完整、成套的设备；提供基础设计要求；并配合协助完成设备安装、接地和接地电阻的测量，设备接地应符合 GB/T 10411-2005 地铁直流牵引供电系统要求。

设备的安装底座应提供地脚螺栓固定或焊接固定两种固定方案；应提供项目产品的精确安装图纸；应提供合同设备要求的接地形式。

征求意见稿