

团 体 标 准

T/CASA008—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

(委员会草案)

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	1
4 环境参数	3
5 技术要求	3
5.1 型号、供电	3
5.2 装置	5
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	25
8 标识、包装、运输与储存	26
8.1 标识	26
8.2 包装	27
8.3 起吊、移动	27
8.4 运输	27
8.5 储存	27
8.6 安装	28

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，地铁车辆在加速与减速间切换，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。

本规范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。

到本规范正式发布为止，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：深圳市虹鹏能源科技有限责任公司、四川长虹电源有限责任公司、香港应用科技研究院、深圳第三代半导体研究院、全球能源互联网研究院有限公司、西安特锐德智能充电科技有限公司。

本标准主要起草人：彭根、马俊、范世军、何明前、李朋飞、高子阳、王硕望、许丹婷、张俊杰、谢斌、黄传东、徐亚平、郭圣文、舒利中、叶怀宇、戴朝波、茹永刚。

地铁再生制动能量回收系统技术规范

1 范围

本规范规定了地铁再生制动能量回收系统（以下简称：**MERS**）、以蓄电池作为能量回收装置的设计、制造、试验及验收的技术标准和要求，**MERS** 的设计、制造、验收应参照本规范执行。

本规范适用于地铁再生制动能量回收系统中利用电池作为电能存储介质的系统。

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/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 50157-2013 地铁设计规范

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 24338.6-2018 轨道交通 电磁兼容 第5部分：地面供电设备和系统的发射与抗扰度

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

GB/T 32350.1-2015 轨道交通 绝缘配合 第1部分：基本要求 电工电子设备的电气间隙和爬电距离

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

一种直流变流器，其有功功率的流动有可以是双向的。

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 30 s, 停止 90 s, 总周期 120 s。

4 环境参数

4.1 海拔

海拔高度不超过 1500 m。

4.2 温度

工作温度: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

存储温度: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 相对湿度

日平均相对湿度: 0~95%, 无凝露。

4.4 环境要求

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 0.5 mT。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。

4.5 安装垂直斜度

$\leq 5\%$ 。

4.6 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 5 m/s^2 , 持续时间 30 s;

——水平方向加速度峰值 5 m/s^2 , 持续时间 30 s。

4.7 污秽等级

污秽等级为 PD2。

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。

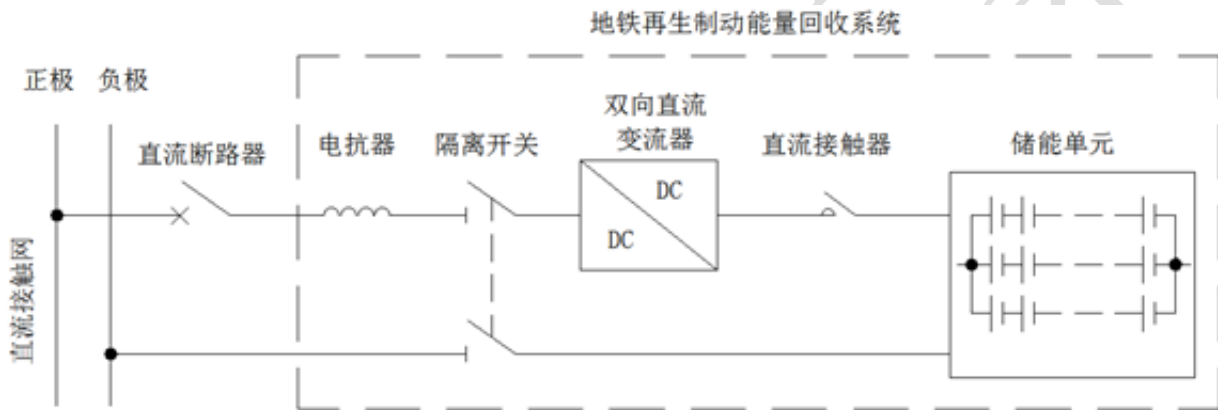


图 1 地铁再生制动能量回收系统电气系统回路图

5.1.2 型号、型号含义

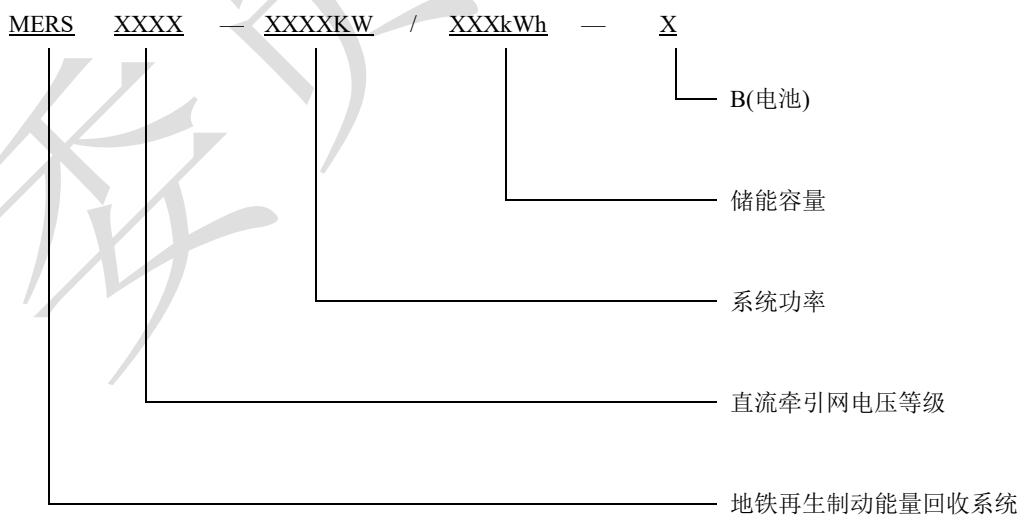


图 2 MERS 型号、型号含义

5.1.3 供电条件

5.1.3.1 直流电压

MERS 标称值分为 DC 750 V、DC 1500 V。

表 1 对应直流牵引网电压

MERS 规格	直流牵引网电压		备注
	DC750 V	DC1500 V	
750	√	—	“√”号对应规格
1500	—	√	

5.1.3.2 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

5.1.3.3 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 DC 220 V；屏内照明、散热风机等所需的辅助电源采用 AC 220 V 电源。

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。

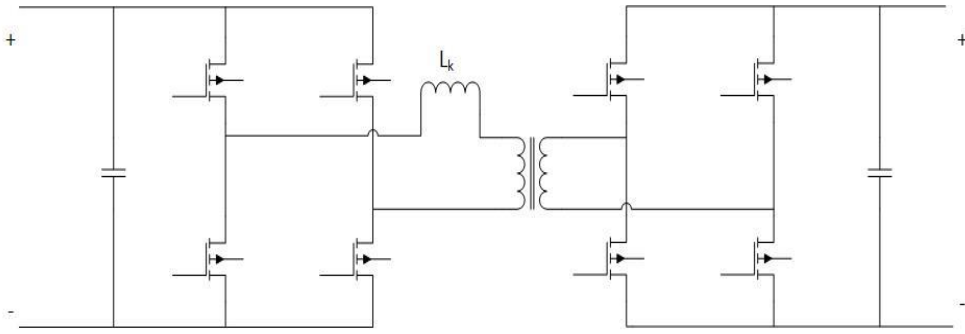


图 3 双向直流变流器碳化硅基典型电路拓扑图

注：由于碳化硅具有耐压高、通态电阻低、漏电流小、开关速度高、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

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 1.2 MW 功率时、配置 110 kWh 电量，额定电压 DC 920 V。
- 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 %。

5.2.2.6.3 低温能量保持与能量恢复能力

电池模组低温充放电性能应符合下列要求:

- a) 充电能量不小于初始充电能量的 65 %;
- b) 放电能量不小于初始充电能量的 60 %;
- c) 能量效率不小于 75 %。

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 90 min 或任一电池单体电压达到 0 V, 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 10 min, 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 1.2 m 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 $1000 \Omega/V$ 。

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 $1200 V$ 。

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 $1000 \Omega/V$ 。

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。

5.2.4 屏柜要求

参照电力系统低压配电用屏柜要求制造。独立成柜、安全性高；电缆下进下出，屏柜组合方便。

5.2.4.1 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：1200 mm（宽）×1200 mm（深）×2500 mm（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 800 mm。

5.2.4.2 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。

5.2.4.3 防护等级

柜体防护等级应不低于 IP30。

5.2.4.4 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。

5.2.4.5 柜体安装

屏柜布置、安装均依照牵引变电气设备安装规范要求实施。

6 系统要求

6.1 功能要求

6.1.1 回收功能

MERS 应能将列车产生的制动能量回收到储能单元中；列车出站需用电时可将储能单元中的电能能量释放出来供列车使用。

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, 并应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 30 d, 各数据项存储周期不小于 1 s, 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 MW、1.2 MW、2 MW。

6.2.1.2 过压保护值

- 直流标称电压 DC750 V 系统，系统过压保护值应不高于 1000 V；
- 直流标称电压 DC1500 V 系统，系统过压保护值应不高于 1800 V。

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。

6.2.1.3 电池侧电压范围值：

表 3 电池侧电压范围值

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

6.2.2 回收释电能门槛值

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 750 V/1500 V 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
DC750 V	空载电压+20 < U ≤ MERS 输出的最高电压值+30
DC1500 V	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 释电能门槛值

系统释电能时的启动门槛电压值应可调。对 750 V/1500 V 的两种电压制式，其释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	释电能门槛电压
DC750 V	U ≤ 空载电压-30
DC1500 V	U ≤ 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 绝缘、耐压

6.2.4.1 绝缘

参照国标 GB/T 32350.1-2015 要求中，表 A.5、表 A.6、表 A.7，对应系统电压设置带电体与带电体之间，带电体与柜体之间要求最小爬电距离。详见 GB/T 32350-2015 中第 6 条。

6.2.4.2 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 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/T 24338.6-2009 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-静止-充电，再以 $1I_1$ (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 $55\text{ }^\circ\text{C}\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ 下，以 $1I_1$ (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 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 低温下，以 $1I_1$ (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 100 min 内，残压应能低于 36 V，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

MERS 系统在试验时、分为两个部分进行；先期进行（1）电池模组、储能单元在系统组成前进行测试合格后安装进 MERS 系统；然后进行（2）MERS 系统测试依照条目进行。

表 6 MERS 测试顺序要求

试验项目条目	试验项目名称	备注
7.3.4	电池模组试验	MERS 系统测试前进行
7.3.5	储能单元试验	MERS 系统测试前进行
7.3.2	一般检查	
7.3.3	双向直流变流器试验	
7.3.6	系统试验	

7.3.1 一般检查

7.3.1.1 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。

7.3.1.2 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。

7.3.1.3 称重

用直接称重法称重，并记录重量。

7.3.1.4 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。

7.3.2 双向直流变流器试验

7.3.2.1 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/T 13422-2013 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。

7.3.2.2 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。

7.3.2.3 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。

7.3.2.4 效率测定

详见：7.3.5.1.2 条充/放电能效测试。

7.3.2.5 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。

7.3.2.8 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。

7.3.2.9 变流器过电测量

按 GB/T 13422-2013 中 5.1.11、5.1.12 条规定进行。。

7.3.2.10 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 13422-2013 中 5.1.17 条规定进行。

7.3.2.11 高低温试验

按 GB/T 13422-2013 中 5.1.9 条规定进行。

7.3.3 电池模组

7.3.3.1 外观

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.1 试验方法进行。

7.3.3.2 极性

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.2 试验方法进行。

7.3.3.3 外形尺寸和质量测量

按 GB/T 36276-2018 中 A.3.3 试验方法进行。

7.3.3.4 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%。

7.3.3.5 电池均衡试验

该试验的完成，与 7.3.3.7 条同时进行，试验方法详见表 7 电池均衡试验方法。

表 7 电池均衡试验方法

序号	试验内容	试验方法	备注
1	电池均衡度测试	(1) 温升试验前，HMI 显示电池单体电压	
		单体最大电压	
		单体最小电压	
		不均衡差值 < 140 mV (2800 mA×5%)	
		(2) 温升试验后，HMI 显示电池单体电压	
		单体最大电压	
		单体最小电压	
		不均衡差值 < 140 mV (2800 mA×5%)	

7.3.3.6 电池高低温度性能

- 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。

表 8 电池组高低温性能试验方法

试验内容	试验方法	备注
(1) 常温放电容量试验 (模组)	25℃室温下，模组先以 1C (40 A) 电流放电至放空，静置 30 min；然后 1C 倍率进行充电至系统充满，静置 30 min；以	

	1 C 倍率进行放电至系统放空, 计算放电容量	
	放电容量: $\geq 38\text{Ah}$ (额定容量 40 Ah 的 95 %)	
(2) 高温放电容量测试 (模组)	25 °C 室温下, 模组先以 1C 电流放电至放空, 静置 30 min; 然后 1 C 倍率进行充电至系统充满后, 在 40 °C \pm 2 °C 环境下放置 6 h; 以 1 C 倍率进行放电至系统放空, 计算放电容量。	
	放电容量: $\geq 38\text{Ah}$ (额定容量 40 Ah 的 95 %)	
(3) 低温放电容量测试 (模组)	25 °C 室温下, 模组先以 1C 电流放电至放空, 静置 30 min; 然后 1 C 倍率进行充电至系统充满后, 在 -0 °C \pm 2 °C 环境下放置 6 h; 以 1 C 倍率进行放电至系统放空, 计算放电容量。	
	放电容量: $\geq 28\text{Ah}$ (额定容量 40 Ah 的 70 %)	

7.3.3.7 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 %。

7.3.3.8 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。

7.3.3.9 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。

7.3.3.10 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。

7.3.3.11 安全性

7.3.3.11.1 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 1 h, 不应起火、不应爆炸

7.3.3.11.2 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 90 min 或任一电池单体电压达到 0V, 不应起火、不应爆炸。

7.3.3.11.3 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 10 min, 不应起火, 不应爆炸。

7.3.3.11.4 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 13 kN \pm 0.78 kN, 不应起火, 不应爆炸。

7.3.3.11.5 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 1.2 m 高度处自由跌落到水泥地面 1 次, 不应起火, 不应爆炸。

7.3.3.11.6 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 储能单元

7.3.4.1 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 2.85 V (单体最高工作电压为 2.7 V 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。

7.3.5 系统试验

7.3.5.1 循环冲放电试验

7.3.5.1.1 概述

MERS 系统在储能单元电压为 U_{min} 的前提下, 以最大充电电流向储能单元充电, 直到储能单元电压达到 U_{max} 为止; 然后以最大放电电流向直流输入侧释放电能, 直流电压降低到 U_{min} 为止。记录充放电电流, 时间和电压值。

7.3.5.1.2 充放电能效测试方式

表 9 充/放电控制柜效率试验方法

序号	试验内容	试验方法		备注
1	充/放电控制柜效率测试	短路电流	900 A	
		总损耗	8.8 kW	
		额定点（1.2 MW）效率	99.3 %	
采用短路等效法计算 DC/DC 充放电控制柜				

7.3.5.2 辅助及控制系统试验

a) 控制功能

- 1) 初始控制模式下，改变初始模式，后将系统重新上电，不进行任何操作，HMI 显示与开关一致；
- 2) 停止状态下，将系统处于停止状态，来回切换控制模式，HMI 显示与开关一致；
- 3) 运行状态下，将系统处于停止状态，来回切换控制模式，HMI 显示与开关一致。

b) 二次功耗

交流 220 V/直流 220 V 回路功耗

c) 辅助电源工作范围测试

- 1) 交流 220 V 时：176 V~264 V 内工作正常；
- 2) 直流 220 V 时：176 V~264 V 内工作正常。

7.3.5.3 保护功能试验

表 10 系统保护功能试验

序号	试验内容	试验方法	备注
1	柜门连锁保护	控制柜或变流柜有柜门打开将触发柜门打开报警并在 HMI 上显示；开机前，如果柜门打开，将禁止设备启动，无法进行软启动过程和主接触器闭合，并在 HMI 上显示报警；设备运行过程中（设备启动操作后），检测到柜门打开，将自动停机，同时报警，控制柜前面板告警灯亮。	
2	接触网过流保护	系统检测到输入电流超过相应保护定值，将触发接触网过流保护，变流器将停止工作，同时断开输入输出接触器，并在 HMI 上提示报警，控制柜前面板告警灯亮。	
3	接触网欠压或过压保护	系统检测到输入电压低于或高于相应保护定值，将触发接触网欠压或过压保护，变流器将停止工作，同时断开输入输出接触器，并在 HMI 上提示报警；停机状态检测	

		到系统欠压或过压将禁止系统开机操作。欠压或过压保护点定值可在控制柜前面板 HMI 上设定，控制柜前面板告警灯亮。接触网欠压或过压保护为软件保护，定值可在 HMI 上设置。	
4	电池侧充放电过流保护	设备运行过程中，系统检测到变流器输出电流超过定值，即触发充放电过流保护，变流器将停止工作，同时断开输入输出接触器，并在 HMI 上提示报警，控制柜前面板告警灯亮。软件保护定值可通过 HMI 设定。	
5	电池柜过压保护	电池柜过压保护通过检测变流器输出电压是否超过定值实现，触发保护后立即停机，并在 HMI 上报电池柜过压保护动作告警，控制柜前面板告警灯亮。	
6	IGBT 故障保护	当发生变流器输出短路或者 IGBT 驱动器欠压，IGBT 模块过流等异常情况将触发 IGBT 故障保护。异常发生变流模块故障后驱动光纤将立刻关闭，断开输入输出接触器，并在 HMI 上提示 IGBT 故障告警，控制柜前面板故障灯亮。	
7	控制电源异常保护	控制电源异常主要检测控制用电源 15V 的电压变化，该电压超出合理范围将引起电流电压传感器工作异常，IGBT 驱动器欠压。该信号直接在控制板上构成 AD 输入直接送到 DSP。当 15V 电压超出±5%波动范围，即触发控制电源异常保护动作，变流器停止工作，输入输出接触器断开，HMI 上提示控制电源异常保护动作告警，控制柜前面板告警灯亮。	
8	框架泄漏保护	框架泄露保护通过检测对地漏电流实现，当系统检测到漏电流高于设定保护值，将触发框架泄漏保护，系统停机，输入输出接触器断开，HMI 上提示框架泄漏保护动作告警，控制柜前面板告警灯亮。该保护为软件保护，定值可在 HMI 设定。	
9	通讯异常保护	系统通讯异常保护包括监控板到控制板的 485 通讯异常，监控板到电池柜的通讯异常。两者之一发生时，保护动作，系统停机，并在 HMI 报故障，控制柜前面板告警灯亮。	
10	电池柜异常保护	系统运行过程中，电池柜 BMS 检测到系统内各模组出现超温，超压，通讯中断等异常情况将触发系统电池柜异常保护，系统停机并在 HMI 报故障，控制柜前面板告警灯亮。	
11	电抗器超温保护	系统上电后，系统检测到输入输出电抗器中任意一个	

		160℃超温温度开关动作将触发系统电抗器超温保护，系统停机，同时 HMI 显示对应告警，控制柜前面板告警灯亮。	
12	接触器故障保护	接触器故障包括 6 个接触器故障状态诊断。任一状态系统监测到反馈与指令相矛盾将触发对应接触器故障报警和保护。运行状态触发保护将立即停机。	
13	熔断器故障保护	系统可通过辅助触点状态判定主回路上各熔断器是否发生熔断。如监测到熔断动作，将触发对应熔断器故障保护，系统停机，同时 HMI 显示对应告警，控制柜前面板故障灯亮。	
14	软启动故障保护	开机过程中正常软启动时间 12 秒以内完成，如未成功将触发软启动故障，系统不再尝试启动，同时 HMI 屏上提示软启动故障报警，控制柜前面板告警灯亮。	

7.3.5.4 绝缘性能试验

7.3.5.4.1 系统绝缘试验方法

表 11 系统绝缘试验方法

序号	试验内容	试验方法	备注
1	绝缘电阻测量	A 电路与 B、C、D 电路之间（1000 V 兆欧表：≥10 MΩ）	
		B 电路与 C、D 电路之间（500 V 兆欧表：≥10 MΩ）	
		C 电路与 D 电路之间（500 V 兆欧表：≥10 MΩ）	
2	工频耐压试验	A 电路与 B、C、D 电路之间施加 6900 Vr.m.s., 50 Hz 试验电压，历时 1 min，应无击穿或闪络现象。	
		B 电路与 C、D 电路之间施加 2000 Vr.m.s., 50 Hz 试验电压，持续时间 1 min，应无击穿或闪络现象。	
		C 电路与 D 电路之间施加 2000 Vr.m.s., 50 Hz 试验电压，持续时间 1 min，应无击穿或闪络现象。	
3	雷电冲击耐压试验	装置直流母排间与柜体间应能承受全波 18 kV（1.2/50 μs，峰值）的冲击电压，正负极各 3 次，无击穿或闪络现象。	
		直流母排回路与柜体间应能承受全波 18 kV（1.2/50 μs，峰值）的冲击电压，正负极各 3 次，无击穿或闪络现象。	
<p>试验前处理：</p> <p>拆除变流器模块，闭合隔离开关，将一次主回路正负极短接，主回路未接通的部分用导线连通，输入/输出端短接构成 A 回路；短接控制电源 DC 220 V，正负极回路构成 B 回路；短接辅助电源 AC 220 V 回路构成 C 回路；柜体构</p>			

成 D 回路。

7.3.5.4.2 绝缘试验电气联接图

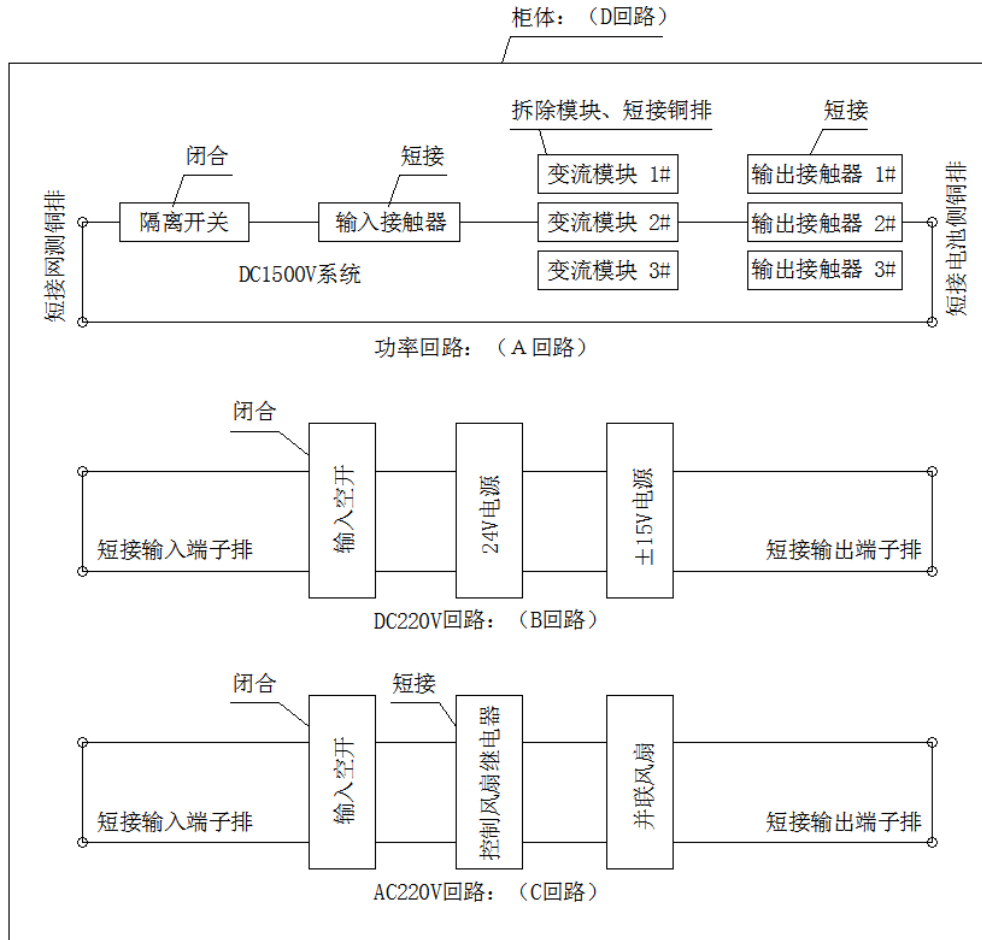


图5 绝缘试验电气联接图示

7.3.5.5 温升试验

表13 系统运行温升试验方法

序号	试验内容	试验方法		备注
1	温升试验	运行时间	240 min	
		环境温度	-5 °C~40 °C	
		出风口温度	<40 °C	
		散热器温度	<40 °C	
		箱体内部温度	<40 °C	
		电池(最高)温度:	<45 °C	
		电网侧电抗器温度	<90 °C	
		电池侧电抗器温度	<90 °C	

		铜排温度	<60 ℃	
		电容温度	<60 ℃	
		断路器温度	<60 ℃	
注：系统以 1.2 MW 满功率运行，以充电 20 s，静置 30 s，放电 20 s，静置 90 s 循环充放电，直至系统温度稳定（1 小时内温升不超过 2 k）。				

7.3.5.6 IP 防护等级试验

表 15 IP 防护等级试验方法

序号	试验内容	试验方法	备注
1	IP 防护等级试验	(1) IP3X	
		设备能防止直径 ≥ 2.5 mm 的固体外物进入，对人的手指有防护。	
		(2) IPX1	
		垂直方向滴水无有害影响	

7.3.5.7 噪声测试

表 16 噪声测试方法

序号	试验内容	试验方法	备注
1	噪声测试	背景噪声	
		最大点噪声： < 80 dB (A)	
注：系统满功率运行，围绕柜体 1 m 处一周测量噪声。			

7.3.5.8 电磁兼容

表 17 电磁兼容测试方法

序号	试验内容	试验方法	备注
1	电磁兼容试验	对控制系统进行 EMC 试验，静电，浪涌抗扰度，工频磁场抗扰度，电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验，脉冲群干扰测试。主要测试模块包括人机接口屏，系统主控板，系统通讯接口板，DC 220 V 转 DC 24 V 辅助电源，DC 220 V 转 DC ± 15 V 辅助电源。	检验标准：储能系统控制电路需符合《GB/T 24338.6-2009 轨道交通 电磁兼容 第 5 部分：地面供电装置设备的发射与抗扰度（IEC62236-5：2003，IDT）》相关要求。

7.4 检验项目

表 18 MERS 系统检验项目

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	一般性检查	√	√	√	5.2.4	7.3.1
2	循环及充/放电试验	√	√	√	5.1.1/6.1.1	7.3.5.1
3	辅助及控制系统测试	√	√	√	5.1.3.3/6.1.3	7.3.5.2
4	保护功能试验	√	√	—	6.1.2/6.1.5	7.3.5.3/
5	绝缘性能试验	√	√	—	6.2.4	7.3.5.4
6	温升试验	√	√	—	6.2.8	7.3.2.10
7	双向直流变流器电压电流均衡试验	√	√	—	6.2.3	7.3.2.8
8	IP 防护等级试验	√	√	—	5.2.4.3	7.3.5.6
9	噪声测试	√	—	—	6.2.5	7.3.5.7
10	电磁兼容	√	—	—	6.2.7	7.3.5.8

注：“√”表示为必做的试验项目，“—”表示为不做的试验项目。

表 19 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	√	√	—	5.2.2.3	7.3.3.3
4	电池模组循环性能试验	√	√	—	5.2.2.5	7.3.4.4
5	过充电试验	√	—	—	5.2.2.8.1	7.3.3.11.1
6	过放电试验	√	—	—	5.2.2.8.2	7.3.3.11.2
7	短路试验	√	—	—	5.2.2.8.3	7.3.3.11.3
8	挤压试验	√	—	—	5.2.2.8.4	7.3.3.11.4
9	跌落试验	√	—	—	5.2.2.8.5	7.3.3.11.5

10	热失控扩散试验	√	—	—	5.2.2.8.6	7.3.3.11.6
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
14	高低温试验	√	—	—	5.2.2.6	7.3.3.6

注：“√”表示为必做的试验项目，“—”表示为不做的试验项目。

表 20 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

注：“√”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。

第三代半导体产业技术创新战略联盟