

南京亚派科技股份有限公司  
NANJING APAITEK SCIENCE & TECHNOLOGY CO.,LTD.

地址 江苏省南京市江北新区新科四路 4-8 号  
总机 (025) 84179379  
网址 [www.apex-power.net](http://www.apex-power.net)  
邮箱 [info@apex-power.net](mailto:info@apex-power.net)

400-0818-200



扫码关注亚派科技



扫码关注亚派软件

轨道再生制动能量  
逆变回馈装置样本

南京亚派科技股份有限公司  
NANJING APAITEK SCIENCE & TECHNOLOGY CO.,LTD

# 目录

1	产品总览	03
2	工作原理	03
3	系统组成	03
4	关键技术	04
5	产品介绍	06
6	产品特点	07
7	技术参数	10
8	系统图	11
9	应用案例	13
10	产品资质	13

## 公司概况

南京亚派科技股份有限公司，简称“亚派科技”，公司总部坐落在江苏省南京市，是一家专注于电气安全及节能运维综合解决方案的专业公司。

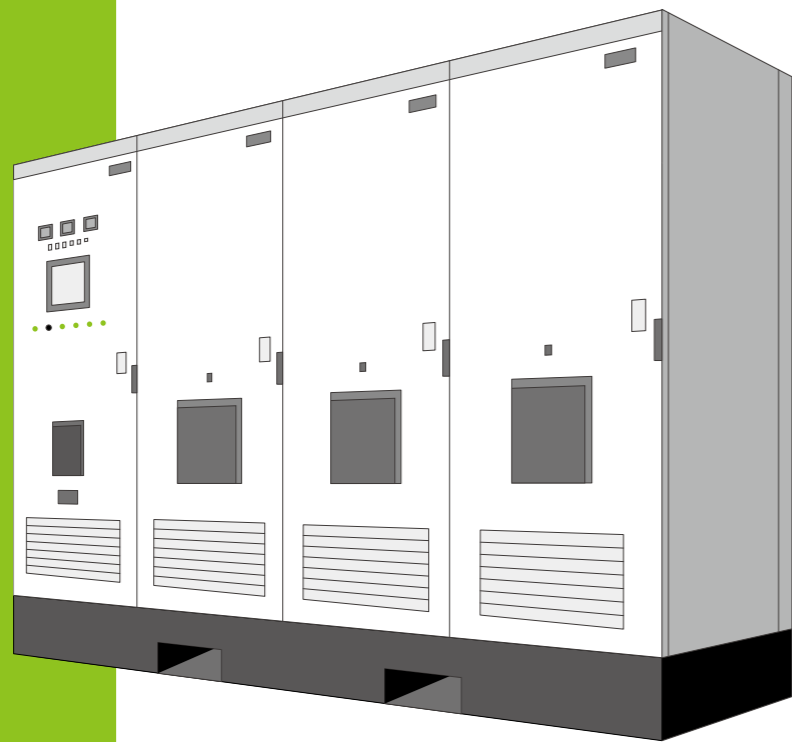
公司自 2004 年成立以来，经过多年的积累已经形成了研发、生产、销售及售后服务于一体的，专注于电气安全，电能质量及节能解决方案的专业公司，产品覆盖了“低压电器”、“电能质量”、“再生制动能量回馈”、“智能家居”、“运维平台”、“空调节能”六大类，主要应用集中在“建筑配电安全及能效管理”、“医院机电安全与节能运维”、“轨道交通系统性节能”、“电力系统智能配网综合运维”等领域，积累了商业地产、住宅、医疗卫生、轨道、国家电网等数千个客户。

亚派科技坚持对用电安全与节能技术的聚焦、核心产品的研发及技术转化，长期与国内外顶级高校及科研机构合作，获得了百余项国家专利技术和软件著作权，建立了省市级认证的企业及工程技术中心，并参与了多项国家标准与行业标准的制定。

以技术创新为基础，以客户需求为导向，专业专注地发展企业、服务客户是亚派科技的目标与追求。

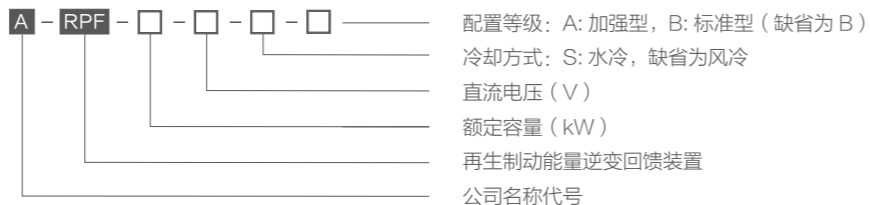
# A-RPF

## Regenerative Power Feedback Inverter Device



### 轨道再生制动能量逆变回馈装置

#### 订货号定义



以直流侧额定电压等级 1500V、装置额定容量 2500kW 的一体式标准型产品为例, 其规格型号为: A-RPF-2500-1500。



一体式



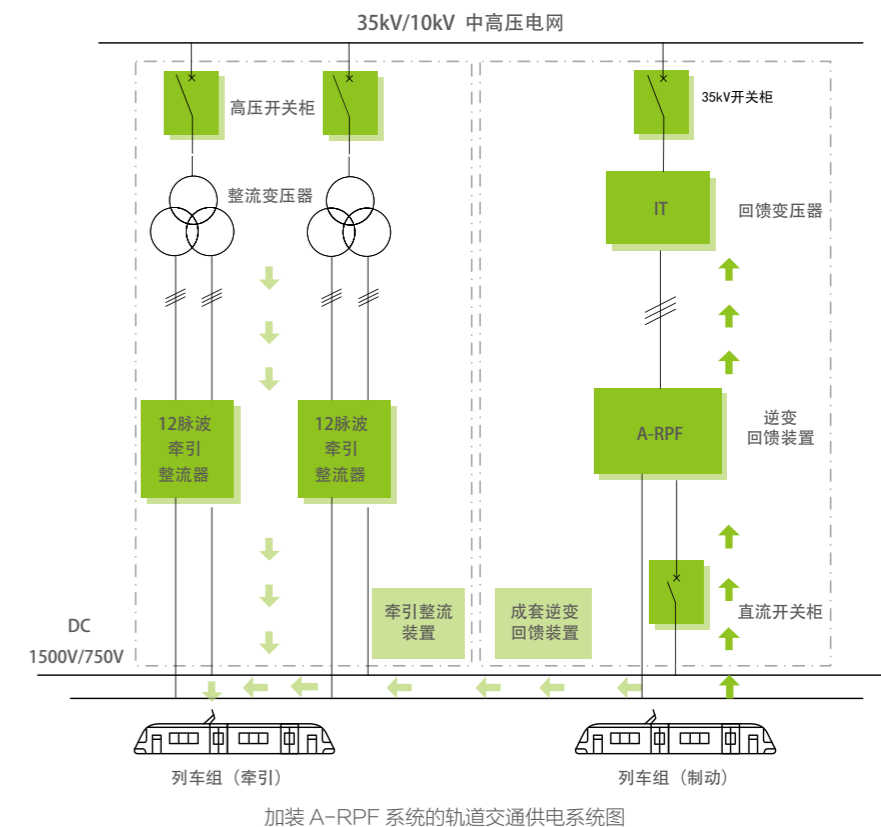
模块式

#### 产品总览

结构形式	输出功率范围	交流电压等级			直流电压等级		散热方式	
		35kV	10kV	0.4kV	1500V	750V	风冷	水冷
一体式	2M~3M	✓	✓		✓		✓	✓
模块式	1M~6M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

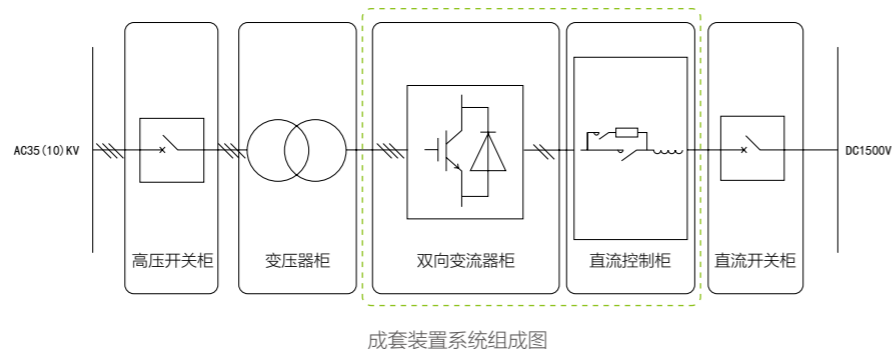
#### 工作原理

亚派科技轨道交通再生制动能量逆变回馈装置 (A-RPF) 采用逆变回馈到交流中低压电网的方案, 将再生制动能量回馈到 0.4kV、10kV 或 35kV 电网。A-RPF 根据各个传感器检测信号, 综合判断直流电网上是否有列车处于再生制动状态, 一旦确认列车处于再生制动状态且直流母线电压大于设定值时, 立刻启动能量吸收过程, 并且把机车制动时产生的能量回馈到电网, 当直流母线电压小于设定值时, 自动关闭能量吸收过程。



#### 系统组成

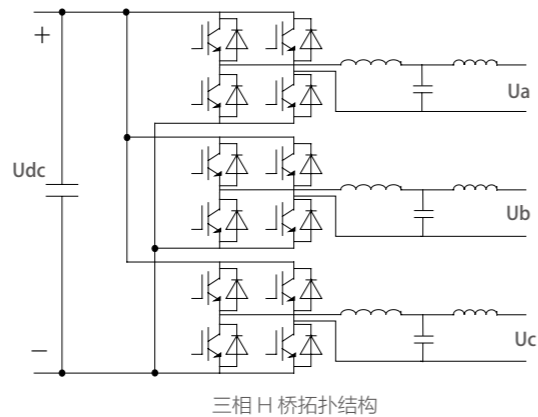
亚派科技城市轨道交通再生制动能量逆变回馈成套装置由直流开关柜、高压开关柜、A-RPF (包括双向变流器柜和直流控制柜)、变压器柜等组成, 如下图所示:



关键技术

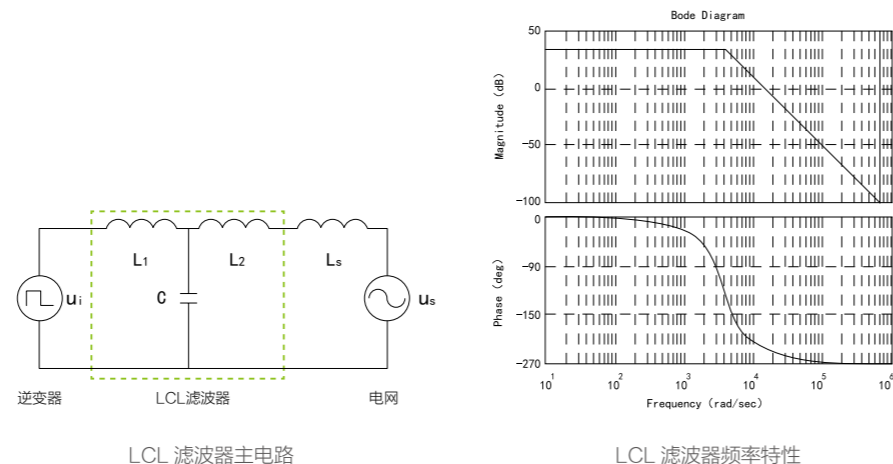
可靠的主电路拓扑

A-RPF 采用三相 H 桥变流器拓扑，变流器输出电平为三电平，输出电流谐波含量小；装置功率器件的实际开关频率相对较低，开关损耗小，装置效率高；输出相电压比传统三相桥拓扑高，装置容量更大；



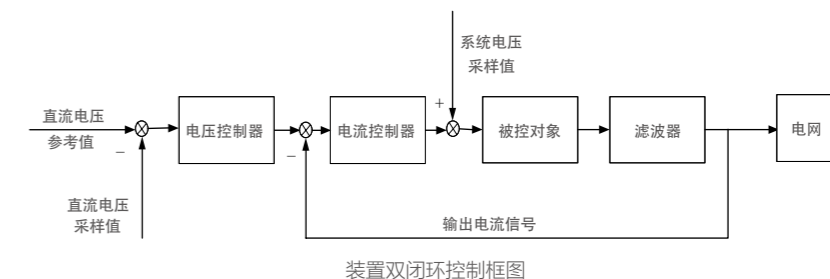
性能优异的滤波器

通常并网逆变器网侧使用 L 滤波或者 LC 滤波器，结构简单，但是电感体积大，且滤波效果不好，开关频率及其倍数的高次谐波大量流入电网；A-RPF 采用了 LCL 三阶输出滤波器可以更为有效地减少电流中的高次谐波成分，增强滤波效果；同时，滤波电感相对较小，减小了滤波器的体积；



稳定的双闭环控制策略

A-RPF 采用双闭环控制策略，外环电压环实现对直流侧电网电压的准确控制，内环电流环实现对并网电流的波形优化输出。电压外环采用比例积分调节器 (PI)，电流内环采用比例谐振调节器 (PR)，系统电压前馈的引入可以加快对电网电压扰动的响应速度。基于准确的模型设计调节器，同时兼顾系统稳定性、快速性和稳态精度。



高效的散热方式

A-RPF 根据不同的应用环境，可采用风冷或水冷两种散热方式。

风冷方案介绍

风冷方案采用离心风机 + 散热器组合方式，对柜内功率模块和其它发热元器件进行散热，其离心风机采用国际知名品牌，散热器方案根据功率模块发热量大小，有普通散热器和热管散热器两种可供选择。离心风机安装于柜体顶部，进风口位于柜体前后门板的下侧，通过离心风机的吸力，将柜内热量从柜体顶部排出，保障装置可靠运行。



风冷型 RPF



热管散热器外形图



离心风机外形图

水冷方案介绍

针对沙尘、盐雾等恶劣环境，以及对噪音比较敏感场合，亚派推出了水冷式 RPF，如左图所示。水冷散热系统集成在双向变流器柜内，主要包括水冷控制装置、水冷散热板、换热器、水泵、水箱等部分。水冷装置工作时，通过换热器将热量带出至柜外，保障装置可靠运行。换热器可选择布置在室外，如此可大大降低室内的发热量，同时可隔绝室外粉尘、盐雾、潮湿等环境。



水冷型 RPF



水冷控制装置外形图



水冷换热器外形图

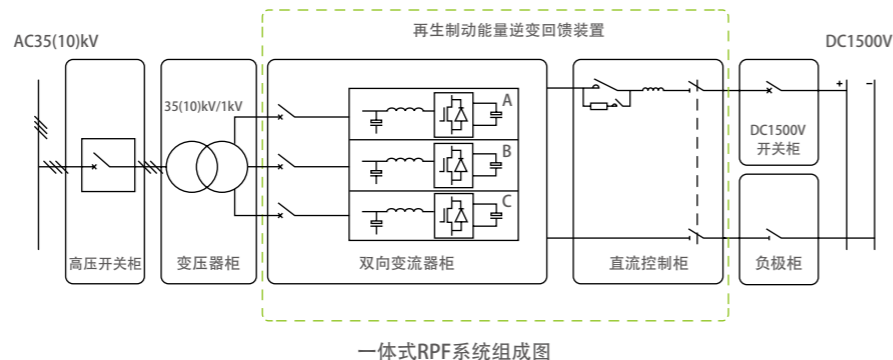
两种散热方式的对比

	风冷方案	水冷方案
系统复杂度	简单	复杂
环境适应性	中	强
装置噪音	较高	较低
成本	较低	较高
可维护性	简单	复杂
变流器体积	较大	较小

产品介绍

一体式 RPF 介绍

一体式 A-RPF 由一面直流控制柜和三面双向变流器柜组成，组成框图如下所示。



直流控制柜内有隔离开关、直流接触器、熔断器及测控保护装置，实现直流侧的接入、控制、保护及人机交互功能。双向变流器柜采用三个单相 H 桥变流器拓扑，柜内主要部件有 IGBT 功率单元、LCL 滤波器、低压断路器，IGBT 选用国际知名品牌牵引级 IGBT，通过 PWM 调制实现交直流电能的变换。

亚派科技轨道交通再生制动能量逆变回馈装置A-RPF实物照片如下图所示：



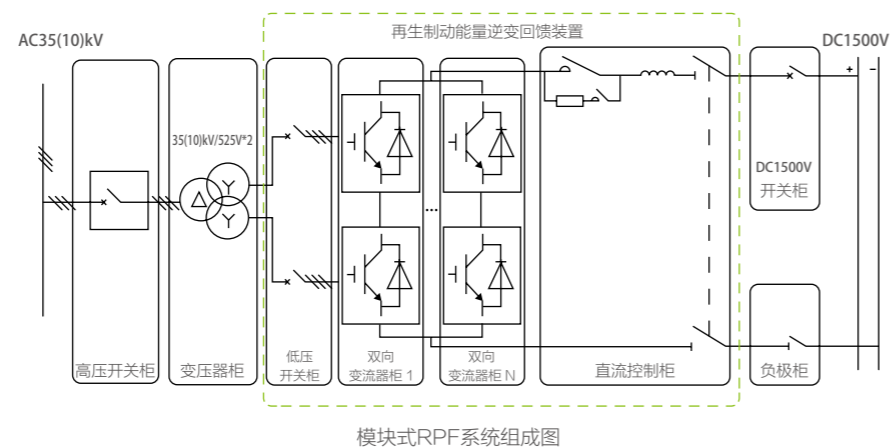
一体式 A-RPF 正面外观照片



一体式 A-RPF 正面内部照片

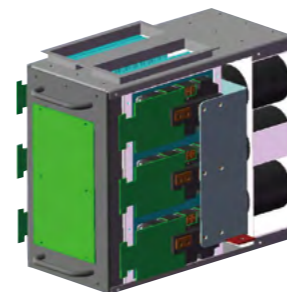
模块式 RPF 介绍

模块式 A-RPF 由一面直流控制柜和若干面双向变流器柜，以及低压开关柜（需要选配框架断路器时）组成，组成框图如下所示。

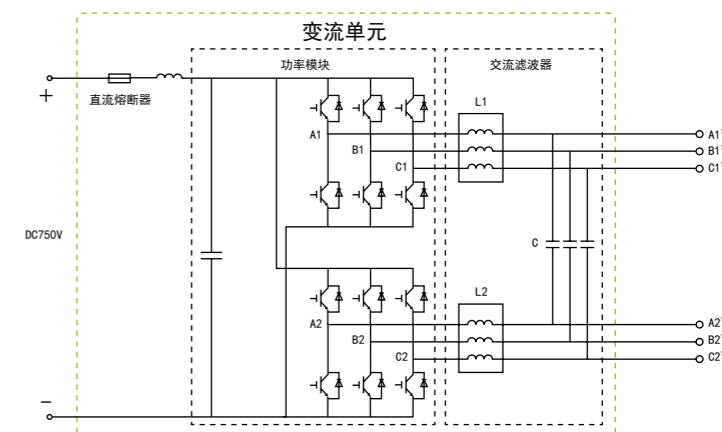


直流控制柜内有隔离开关、直流接触器、熔断器及测控保护装置，实现直流侧的接入、控制、保护及人机交互功能。双向变流器柜采用了模块化设计，单面柜功率 1000kW，可以通过多面双向变流器柜并柜实现扩容及并联冗余运行功能，从而提高设备可靠性，整机最大功率可达到 6000kW。每面双向变流器柜由 2 个 500kW 的变流单元组成，单个变流单元电路拓扑图如下所示。变流单元由直流熔断器、直流电抗、功率模块及交流滤波器组成。变流单元直流侧电压为 DC750V，交流侧额定电压为 AC525V，直流侧通过串联或并联可兼容 DC1500V 和 DC750V 电压等级。

功率模块将 IGBT 模块、IGBT 驱动器、直流电容及散热器集成在一起，采用拔插设计，方便安装、拆卸和维护。



功率模块结构图



模块式 A-RPF 正面外观照片

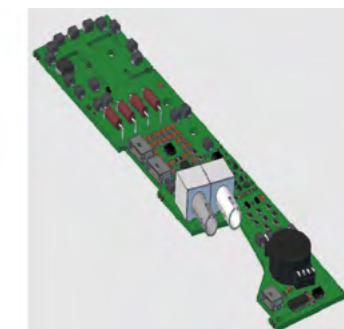


模块式 A-RPF 正面内部照片

产品特点

安全可靠

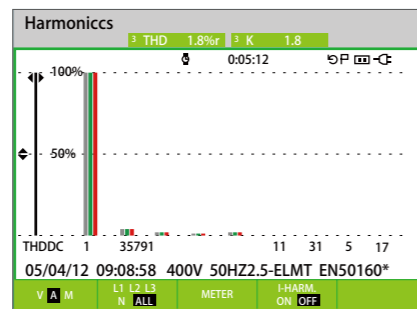
- 关键器件均采用原装进口，如 IGBT、驱动模块、断路器、传感器、冷却风机等；
- 所有控制电源均采用冗余设计，为控制系统提供双重供电保证；
- 成熟可靠的电力电子功率模块和控制平台，广泛用于城市轨道交通领域；
- 完善的自我检测、故障诊断（短路保护、掉电保护、过流保护、过温保护、相序保护等）、轻微故障自恢复功能。



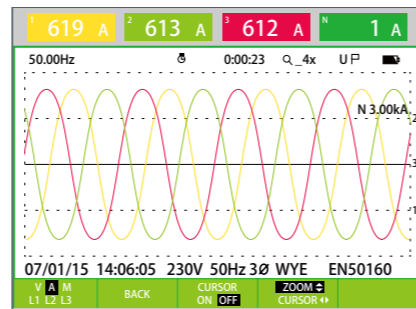
原装进口IGBT及驱动

性能优越

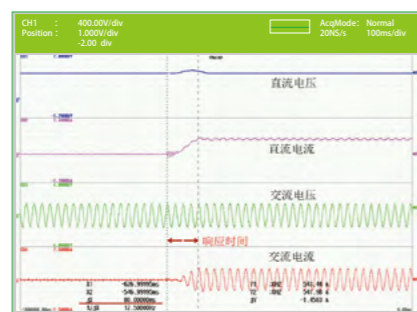
- 输出谐波小，电流谐波 THDi<2%，电压谐波 THDv<3%；
- 直流纹波小，直流电压纹波 <2%；
- 转换效率高，整机效率 >98%；
- 功率因数高，整机功率因数 >0.99；
- 响应时间快，响应时间 <200ms；
- 吸收能力强，整机最大容量达 6MW。



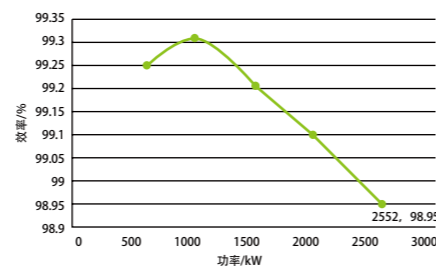
并网电流THD效果图



并网电流波形图



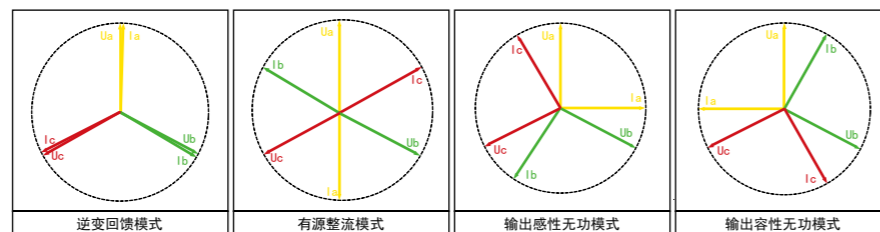
动态响应图



转换效率图

功能强大

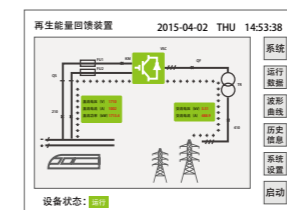
- 再生制动能量回馈功能，将列车制动能量直接回馈到电网，可与现有电阻制动配合使用，保证列车安全运行并实现最大效率节能；
- 有源整流功能，将电网整流后直接给列车提供电能，可与列车现有整流装置配合，提高列车供电电压的稳定性；
- 无功补偿功能，补偿轨道交通线路上的感性无功或容性无功，减轻已安装无功补偿装置的负担，提高电网功率因数；
- 根据现场需求，可灵活配置为不同功能模式。三种模式运行时电网电压、并网电流的相位关系如下图所示，图中  $U_a$ 、 $U_b$ 、 $U_c$  分别为电网的三相电压， $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  分别为 A-RPF 装置输出的并网电流。



装置工作模式示意图

人机交互友好

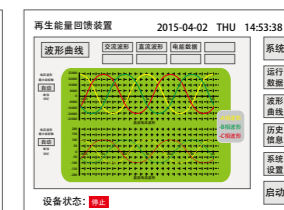
- 大尺寸触摸屏，LCD 炫彩液晶面板，触摸按键操作，美观大方；
- 界面内容丰富生动，通过动画实时监测产品所有开关量状态及设备运行工况；
- 实时显示设备交直流侧数据、IGBT 温度值等数据；
- 多达 500 条的事件记录，不仅可在线查看，且可导出保存，为系统智能化分析提供大数据；
- 持续记录并显示交流、直流侧的电压、电流波形曲线，方便用户直观体验设备工作过程及运行效果；
- 记录存储每一次回馈电能数据，并逐天逐月逐年累加，可保存多达数十年的馈能数据，同时用户可方便查看其中任一时段（天/月/年）数据。



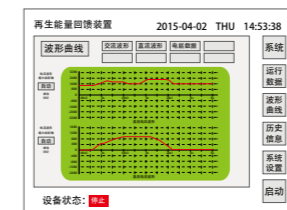
系统状态显示图



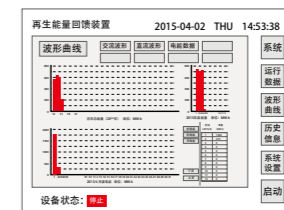
装置数据显示图



交流电压电流波形图



直流电压电流波形图



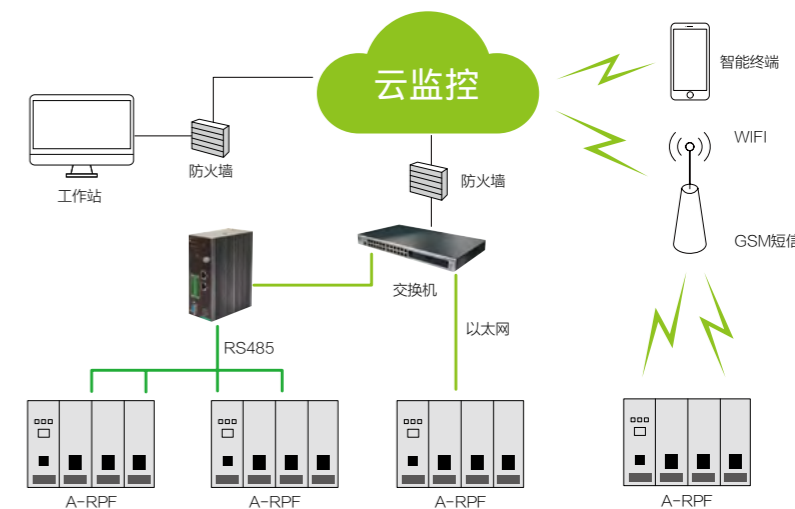
电能数据显示图



历史事件显示图

智能化监控

- 提供多样化通讯接口（以太网、485、wifi 等），支持多种国际标准通讯协议，实现有线、无线网络的数据交换及远程监控；
- 与公司智能化能源管理平台无缝连接，实现列车牵引供电系统的运行数据监测、分析、诊断、优化。

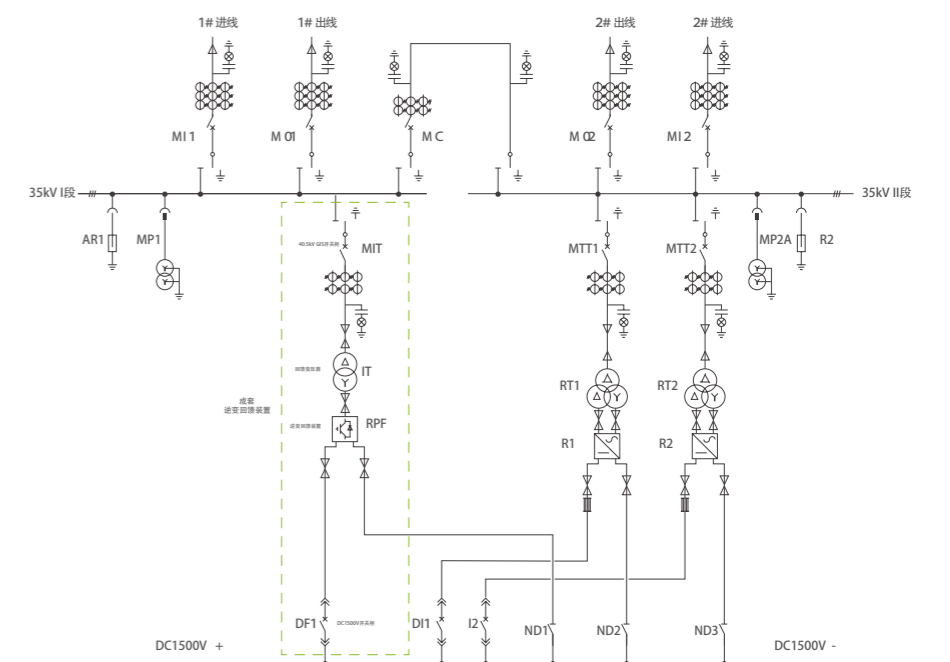


智能化监控示意图

技术参数

项目	性能 / 参数	一体式	模块式	
使用环境	工作温度	-25℃ ~+45℃		
	存储温度	-40℃ ~+60℃		
	相对湿度	≤ 95%，无凝露		
	海拔高度	≤ 2000m (超出海拔高度, 2000-4000m 之间, 根据国际 GB/T3859.2 每增加 100m, 功率降低 1%)		
技术参数	交流额定电压	中压 10kV~35kV/ 低压 0.4kV (-20%~+15%)		
	交流额定频率	50/60Hz, ± 5% 自适应		
	电流畸变率 (iTHD)	<2%		
	电压畸变率 (vTHD)	<3%		
	直流侧电压范围	1000V~2000V (额定 DC1500V), 500V~1000V (额定 750V)		
	直流稳压精度误差	<1%		
	直流电压纹波	≤ 2%		
	设备容量	2MW~3MW	1MW~6MW	
	响应时间	≤ 200ms		
	装置损耗	≤ 2%		
	噪音	≤ 75dB		
	功率因数	额定容量内, 功率因数 ≥ 0.99, 无功补偿模式时功率因数可设定		
	防护等级	IP30 (其他防护等级可定制)		
	散热方式	强迫风冷或水冷		
	装置尺寸 (L*W*H) (不含低压开关柜)	2MW:2600*1200*2400 (mm) 3MW:3200*1200*2400 (mm)	1MW:1200*1200*2400 (mm) 2MW:1800*1200*2400 (mm) 3MW:2400*1200*2400 (mm) 4MW:3000*1200*2400 (mm) 5MW:3600*1200*2400 (mm) 6MW:4200*1200*2400 (mm)	
可靠性参数	保护功能	直流过流、过压、欠压、交流过压、过流、欠压、IGBT 散热器过温、风机过温、通信故障、IGBT 短路保护、框架泄漏保护、开关联锁保护、带电开门保护、开关故障, 具有轻微故障自恢复功能。		
	紧急停机功能	有		
	控制电源冗余	控制器电源双路备份		
	EMC 电磁兼容	符合国标 GB/T 24338.6-2009 要求		
可扩展性	可扩展功能	兼具 PWM 牵引整流功能、无功补偿功能		
可管理性	通讯方式	RS485、以太网、GPRS、短信猫、wifi		
	人机界面	大尺寸触摸屏, LCD 炫彩液晶面板, 触摸按键操作, 系统波形、频谱、运行状态、历史数据等多参数显示; 中文 / 英文可选;		
	表计指示	整机面板直接嵌入电压、电流、电能指示表, 显示直观		

系统图



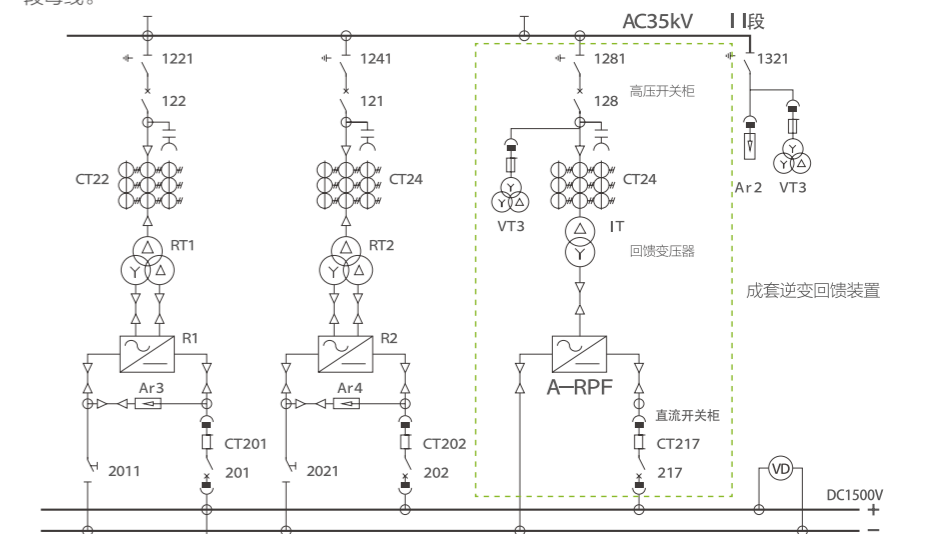
应用案例

轨道线路及设备安装

南京地铁 S8 号线全线列车采用四节编组, 该线路在工作日的高峰期 (6:40-8:30 和 17:50-19:40) 发车间隔为 5 分 48 秒, 其余时段发车间隔为 8 分 42 秒, 而在节假日的发车间隔为 9 分 40 秒。列车配备有车载制动电阻, 电阻启动及控制电压为 1800V。

我司能馈装置安装在南京地铁 S8 号线长芦站, 其一次接线如图 2 所示, 装置的规格为 A-RPF-2500-1500, 其直流额定电压 1500V, 交流额定电压 35kV, 峰值功率 2.5MW (30s/120s 间歇工作制), 连续运行功率 2MW。能馈装置启动电压阈值设置为 1750V, 小于电阻启动值保证优先吸收再生电能。

能馈装置直流侧通过直流开关柜接入站内 DC1500V 母线, 交流侧通过交流开关柜接入于 35kV II 段母线。



系统一次接入图



逆变回馈装置现场图



回馈变压器现场图



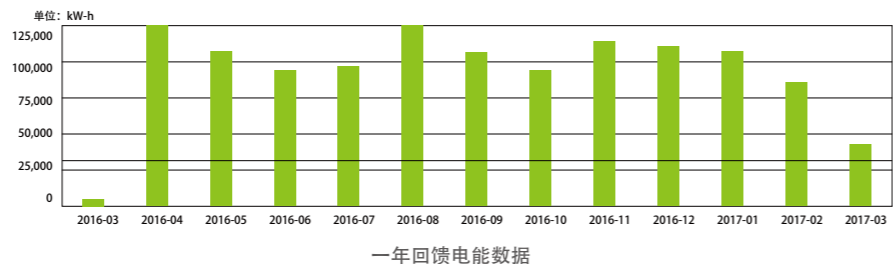
用户运行证明

设备运行

能馈装置的节能效果受到很多运行因素的影响，如列车编组数量、发车间隔时间、列车运行图、载容量、车载制动电阻启动电压等等，以下对亚派科技能馈装置的运行因素及节能效果进行说明。

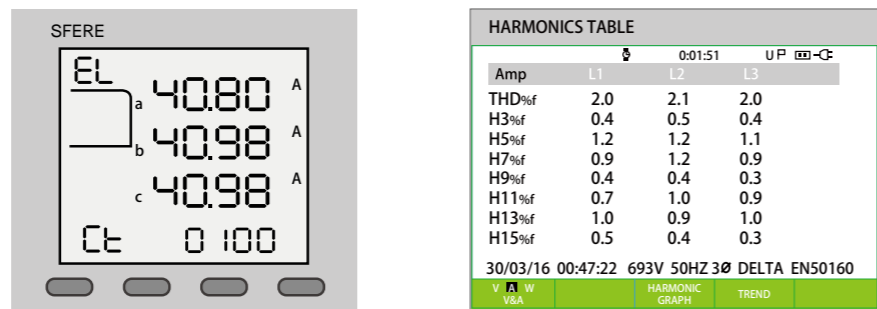
节能情况分析

下图为装置运行一年时间装置的节能数据统计图，可见装置日平均回馈电能超过 3000 度，月平均回馈电能 10 万度左右，全年累计回馈电能超过 120 万度，节约电费超过 100 万元(每度电 0.85 元计)。

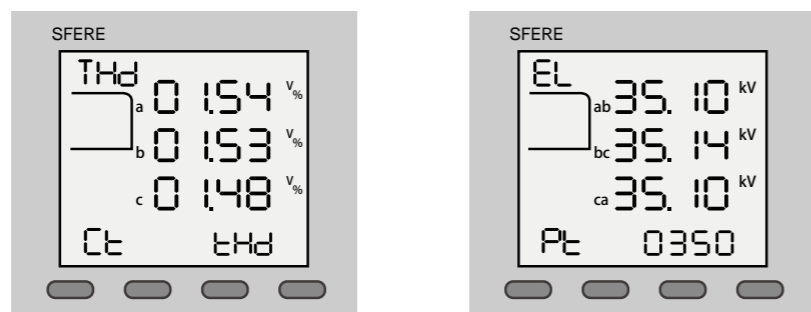


电能质量分析

能馈装置额定功率输出时，能馈装置的并网电流 THD 均在 2% 左右，并网电压的 THD 均在 1.5% 左右。因此，能馈装置的并网运行时的谐波含量较低，对电网基本不会产生谐波电压或电流污染。



额定功率输出时的35kV侧并网电流及谐波频谱数据



额定功率输出时35kV侧电压及电压谐波含量数据

工程业绩

时间	项目名称
2015 年	南京地铁 S8 号线 (宁天城际)
2017 年	厦门轨道交通 2 号线
2018 年	北京轨道交通八通线二期 (南延) 工程
2018 年	广东佛山 3 号线
2018 年	贵阳轨道交通 2 号线一期工程
2019 年	成都轨道交通 9 号线一期工程
2019 年	深圳地铁 8 号线
2019 年	厦门轨道交通 3 号线
2020 年	绍兴地铁 1 号线
2020 年	郑州机场至许昌市域铁路工程 (郑州段)
2020 年	深圳地铁 20 号线
2021 年	郑州地铁 10 号线
2021 年	北京地铁 3 号线

产品资质



知识产权



检测报告



荣誉证书