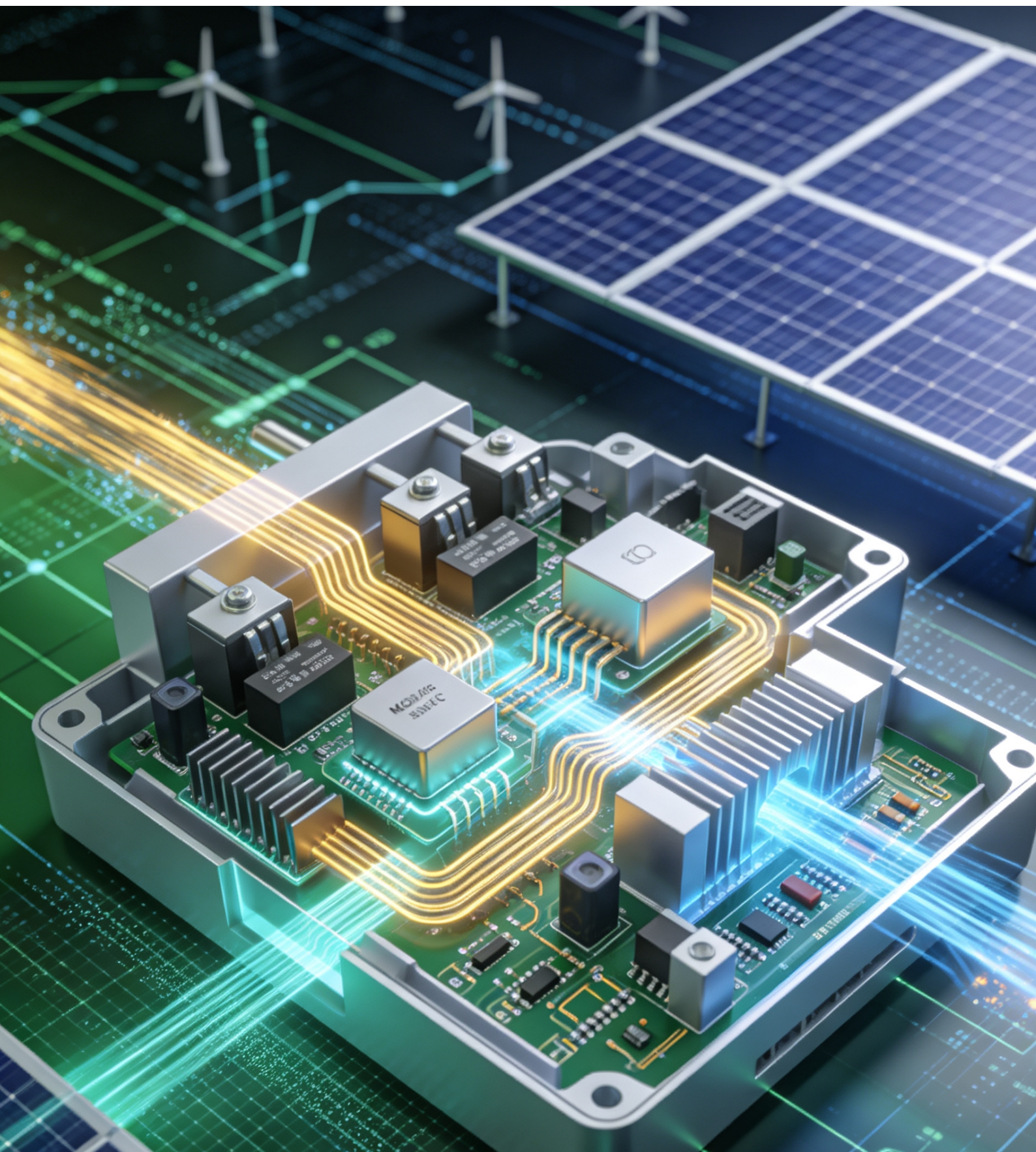


光伏关断器技术分析与解决方案

Photovoltaic power cut-off technology analysis and solutions



1. 简述



光伏关断器 (Rapid Shutdown Device, RSD) 本质上是安装在组件侧、组串侧或阵列相关位置的安全型模块级电子设备，它的核心任务不是做 MPPT 或升降压收益优化，而是在“允许运行”信号存在时允许组件正常输出，在失去保持信号、触发急停、交流掉电或系统进入紧急状态时，快速把相关导体电压降到法规要求的安全范围，对音特电子而言，研究关断器聚焦以下三个维度：

识别关断器与优化器在系统功能上的根本差异，建立关断器的工程实现拓扑分类

梳理 rapid shutdown 相关法规、互操作规范与系统认证要求

形成“输入保护—主开断—控制/通信—辅助供电—输出保护”的完整解决方案框架

2. 行业标准与外部约束

光伏关断器的标准体系与优化器明显不同，优化器更偏“电力变换设备+收益提升+监控”，而关断器更偏“快速关断法规+互操作通信+失效安全+屋顶消防与运维安全”

2.1 核心法规与规范

NEC690.12: 屋顶光伏 rapid shutdown 的法规驱动源，是关断器产品成立的底层市场基础

SunSpec Rapid Shutdown Communication Signal: 多厂商互操作的关键规范，核心是 transmitter (发射器) 与 receiver (接收器) 的通信关系

UL1741/PVRSS/PVRSE 相关体系: 决定北美市场中关断器、逆变器及系统级组合的合规路径

UL3741: 系统级 PV Hazard Control 路线，不等于单颗关断器器件标准，但会影响客户对“是否必须上模块级关断器”的判断

2.2 设计约束

关断器必须具备“失效安全 (fail-safe)”特征：失去允许信号时默认进入关断或限压状态

必须关注 keep-alive / PLC / 线路耦合信号的稳定性，否则会出现误关断、误动作或系统不可用

屋顶环境下新增连接器、线束和附加模块会显著增加长期失效率与热事件风险

器件与布局设计必须同时考虑高压直流开断、浪涌、EMI/EMC、热管理和长期户外可靠性

3. 行业痛点与客户痛点

3.1 与优化器不同的行业逻辑

光伏优化器的第一诉求是收益提升，光伏关断器的第一诉求是安全合规，关断器的痛点与优化器逻辑差异，必须围绕“法规、兼容、可靠性、误动作、安装与改造复杂度”展开

3.2 客户痛点

项目合规压力: 客户首先关心是否满足 NEC 690.12 是否与逆变器组合后构成可接受的 rapid shutdown 路径

兼容性压力: 安装商和系统集成商不希望被单一品牌锁死，希望关断器、发射器和逆变器具有更好的组合兼容性

安装与改造复杂度: 新增器件越多、接线越复杂、线槽管理越严格，现场实施成本越高

长期可靠性与误动作: 关断器不是只“关一次”，而是要在多年户外运行中保持稳定，不应因通信串扰或辅助电源异常而误触发

3.3 工程痛点

新增模块与连接器会增加失效点，连接器、线缆和接插件热事件风险上升

关断器需要处理高压直流开断与恢复，开断瞬态、电弧、浪涌和器件应力不可忽视

通信链路成为安全逻辑的一部分，因此通信口不再是“附属接口”，而是核心功能链路

系统级安全与器件级安全并不等价，单纯增加模块数并不自动等于更优方案

4. 系统结构与功能模块

关断器系统固定拆解成六层：

- ①主直流通路层
- ②输入/输出保护层
- ③控制与判决层
- ④通信/保持信号层
- ⑤辅助供电层
- ⑥机械封装与连接层

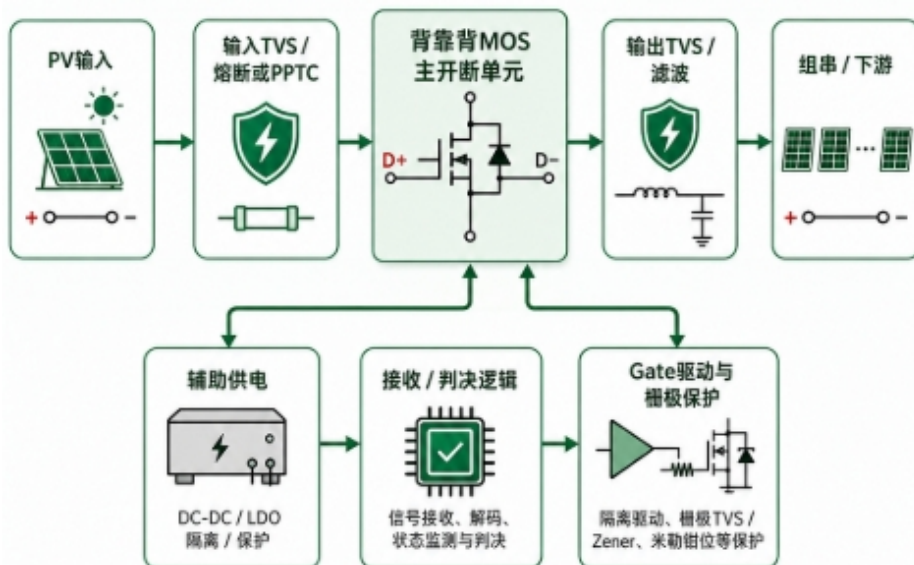


模块层	核心职责	关注重点
主直流通路层	正常导通、异常关断或限压	高压开断器件、MOS/继电器外围保护
输入/输出保护层	浪涌、ESD、异常过压抑制	TVS、吸收、PPTC
控制与判决层	判断是否收到允许运行信号	辅助电源保护、采样保护
通信/保持信号层	接收 keep-alive/PLC/控制信号	接口 ESD/TVS、共模抑制、滤波
辅助供电层	给接收、判决、驱动供电	5V/3.3V 轨保护、LDO/DC-DC 前端保护
机械封装与连接层	连接器、线束、灌封、散热、安装	连接可靠性、热设计、布线规范

5. 主流实现拓扑分析

5.1 固态背靠背 MOS 关断拓扑

核心思路是在主直流通路上使用背靠背 MOSFET 作为主开断器件，在 keep-alive 信号存在时维持导通，失去信号时快速关断，之所以采用背靠背，是因为单颗 MOS 自带体二极管，不能天然满足双向阻断需求



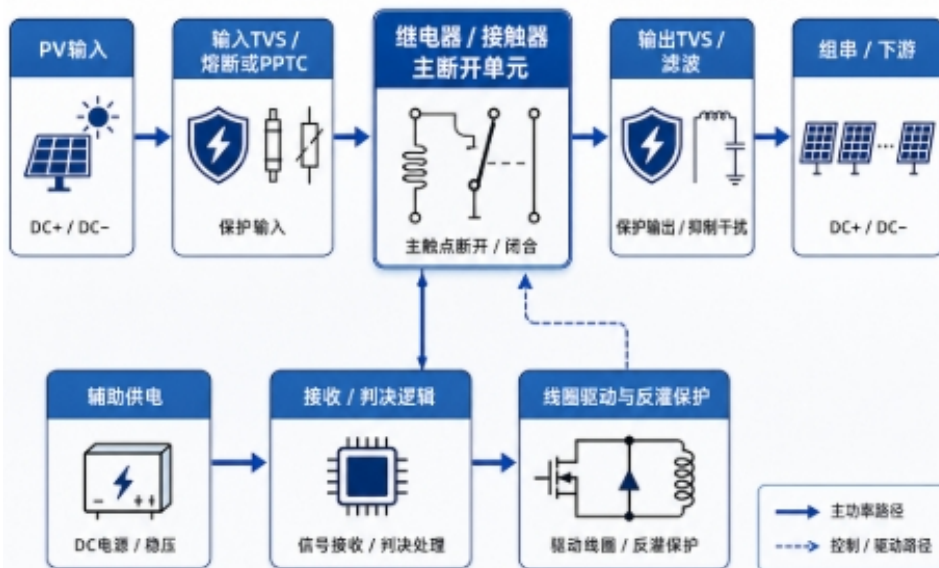
适用场景：组件级关断器、小型化、无机械触点方案

优势：响应快、寿命长、易于灌封模块化

难点：高压直流开断 $R_{ds(on)}$ 与热管理、栅极误导通、 dv/dt 与 EMI

5.2 继电器/接触器式关断拓扑

该路径以继电器或接触器承担主断开任务，正常时闭合导通，异常时断开，其优点是“物理断开”更直观，某些客户对机械隔离的安全感更强



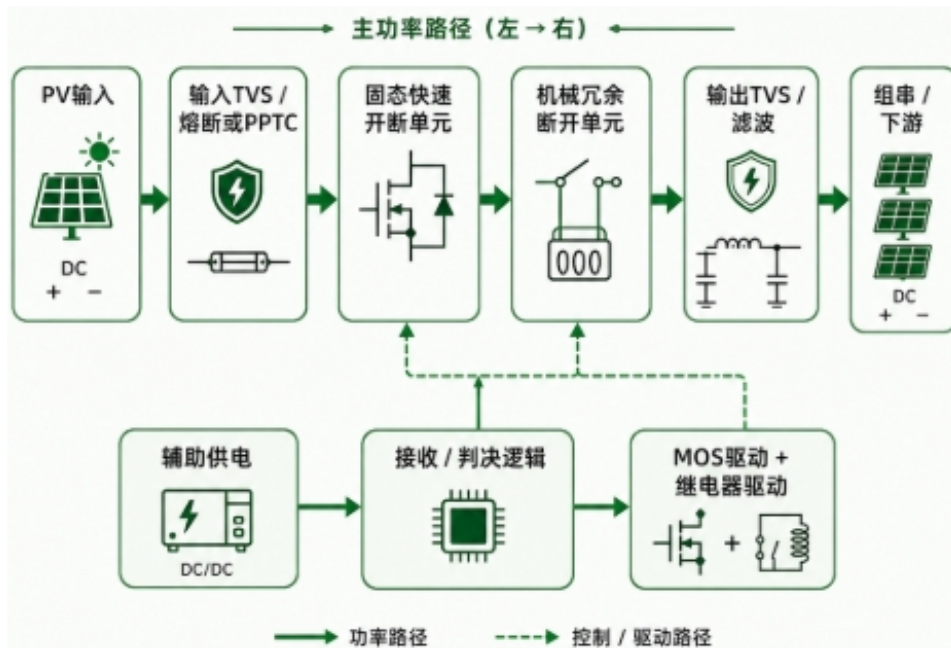
适用场景：更看重物理断开可感知性、组串级或体积约束较低场景

优势：断开状态直观、某些场景下漏电流解释更容易

难点：机械寿命、线圈功耗、触点烧蚀、体积和户外可靠性

5.3 混合式关断拓扑 (MOS+ 继电器)

混合式方案通常用固态器件承担快速响应与部分控制逻辑，用继电器/机械件承担最终断开或冗余安全。这类方案更偏向高可靠性与冗余安全设计



适用场景：高可靠性、安全冗余需求较高的系统

优势：兼顾响应速度、失效安全和物理隔离

难点：器件数更多、控制复杂度更高、成本更高

5.4 三类拓扑对比

维度	背靠背 MOS	继电器/接触器	混合式
结构复杂度	中	中	高
响应速度	很高	中	高
物理断开可见性	低	高	高
器件数	中	中	多
EMI 风险	中高	中	高
热设计压力	高	中	高
长期磨损风险	低	高 (触点)	中
音特保护器件机会	高	高	很高

6. 关键保护电路与解决

从“输入保护、主开关保护、通信保护、辅助电源保护、输出保护”五个维度展开

位置	主要风险	建议保护电路	音特可切入器件
组件输入端	浪涌、雷击感应、热插拔、异常接线	TVS+熔断/PPTC+输入滤波	高压 TVS、PPTC
主开关单元 (MOS)	栅极过压、误导通、dv/dt、瞬态过冲	Gate 电阻+TVS/Zener +吸收网络	SMBJ18CA / SMAJ18CA / SMBJ1505CA 类
主开关单元 (继电器)	线圈反灌、触点烧蚀、断开瞬态	反灌保护+触点吸收+TVS	TVS、二极管、吸收网络
通信/接收接口	ESD、串扰、误动作、长线干扰	ESD/TVS +共模抑制+滤波	ESD、TVS、共模电感
辅助电源	过压、掉电、插拔、浪涌	5V/3.3V 轨保护 +DC-DC/LDO 前端保护	SMBJ6.0CA、ESD3V3D3B、ESD5V0D3B
输出端	组串侧浪涌、恢复过程异常瞬态	输出 TVS+输出滤波	高压 TVS、滤波器件

7. MOS 栅极保护专项建议

7.1 普通 SiMOS 栅极保护

普通 Si 基 MOS，栅极保护可优先考虑 18V 档 TVS，100A 以上的主开关场景，优先采用 SMBJ18CA（600W 级）作为栅极钳位保护，100A 以下的主开关场景，优先采用 SMAJ18CA 作为栅极钳位保护

推荐组合：Gate 串联电阻+ 18V TVS（SMBJ18CA 或 SMAJ18CA）+必要时 RC 吸收网络

7.2 SiC MOS 栅极保护

SiC MOS 建议按+15V/-5V 栅极驱动边界来理解保护需求，可优先采用 SMBJ1505CA 类方案，对应一侧 15V、一侧 5V 的栅极保护思路，推荐基础组合 Gate 串联电阻+SMBJ1505CA 类器件+驱动回路就近去耦+必要时吸收网络

7.3 应用提醒

栅极保护器件应尽量靠近主开关器件布置，减少寄生电感对钳位效果的破坏，若系统 dv/dt 很高，应同时检查栅极回路布局、Kelvin 源极引用和驱动回路地弹噪声问题，不能只靠加 TVS 解决,建议把 Si MOS 栅极保护和 SiC MOS 栅极保护结合实际评估

8. 对应音特器件及解决

应用位置	风险/目的	规则库参考型号	适用说明
关断器通信 RS485	ESD、浪涌、共模干扰、长线感应	ESDSM712 CML3225A-510T PPTC SMD1812-010-60V	最适合先形成标准通信保护样机组合
5V 逻辑电源轨	低压轨静电、插拔与瞬态冲击	ESD5V0D3B SMBJ6.0CA	适合调试口、逻辑 5V 小支路、电源入口小支路
3.3V 控制电源轨	低压轨尖峰与 MCU/判决芯片保护	ESD3V3D3B	适合 MCU、采样、低压逻辑供电保护
24V 辅助支路/线圈驱动供电	浪涌、EFT、反接、母线扰动	SMDJ24CA, 1.5KE35CA	适合继电器线圈支路、控制辅助 24V 供电支路
高压输入/输出端保护	户外浪涌、雷击感应、异常过压	NR5.0SMDJ75CA (48V 类参考) SMCJ58CA/5.0SMDJ58CA (高能量类参考)	适合作为高压端外围保护第一轮方向
PLC/keep-alive/监控接口	接口静电、串扰、共模耦合	NRESDLLC5V0D25B ESDSRVLC05-4 共模电感按链路筛选	适合低电容、小信号、多线接口防护
普通 Si MOS 栅极保护	栅极过压、误触发、驱动异常	100A 以上: SMBJ18CA, 100A 以下: SMAJ18CA	适合背靠背 MOS 或固态级开断单元外围保护
SiC MOS 栅极保护	SiC 栅极正负向钳位保护	SMBJ1505CA 类方案	适合更高压、更高速度开断场景
继电器线圈反灌保护	线圈失电瞬态与驱动回扫	保护二极管/TVS 组合	适合继电器式关断器
触点吸收网络	断开瞬态、触点烧蚀、EMI	RC 吸收/TVS 组合	适合继电器和混合式关断器



公司总部(华东地区)

中国上海市松江区广富林东路 199 号启迪漕河泾(中山)科技园水木园 9 幢 4 层

Floor 4, No.9 Building, Tus-Caohejing (Zhongshan) Science Park No.199, East Guangfulin Road Songjiang District, Shanghai, China

Tel: +86-21-22817269

Fax: +86-21-67689607

Email: sales@yint.com.cn



工厂地址

安徽省芜湖市湾沚区科创二路 17 号

No.17 Kechuang 2nd Road, Wanzhi District, Wuhu, Anhui Province, China



华北地区

北京市昌平区黄平路 19 号院龙旗广场 D 座 10 层 1001 室

Room 1001, 10/F, Building D, No. 19 Longqi Plaza, Huangping Road, Changping District, Beijing

Tel: 013661308320

Fax: 010-63364844

Email: sales@yint.com.cn



西南地区

重庆市南岸区同景路 5 号同景国际广场 A2 栋 23-1

Room 23-1, Building A2, Tongjing International Plaza, No.5 Tongjing Road, Chayuan Area, Nanan District, Chongqing

Tel: 023-62948995 ; 13101384835

Fax: 023-62937530

Email: cq@yint.com.cn



Office in Poland

ul. Rdestowa 53d, 81-577 Gdynia, Poland

Tel: +48 58 622-89-00

E-mail: maritex@maritex.com.pl

aktywne@maritex.com.pl