

ETG自检工具

EtherCAT标准一致性测试工具软件功能需求设计

一、总体目标与范围

核心目标：为设备制造商设计一个符合ETG官方标准的EtherCAT一致性测试工具软件，确保其产品能够通过权威认证并实现多厂商设备互操作性。

🎯 核心功能定位

- 标准对齐：**严格遵循《ETG.7010 EtherCAT一致性指南》（2025年中文版v1.2.3）和《ETG.7010 EtherCAT Conformance Guide》（英文版v1.2.4）的测试要求
- 工具兼容性：**与官方CTT（ET9400）测试工具形成互补，支持设备制造商在开发阶段进行预测试和持续验证
- 认证支持：**帮助制造商提前发现合规问题，降低官方认证失败风险，缩短产品上市周期

📊 测试范围覆盖

测试维度	具体内容	参考标准
协议一致性	ESI文件有效性、SII (EEPROM)完整性、状态机转换、设备标识、邮箱通信 (CoE/SoE)	ETG.5000系列规范
物理层规范	网口指示灯行为 (ETG.1300)、100Mbit全双工通信要求	ETG.7000.2参考文档
行业行规	CiA402驱动器行规循环同步模式、对象字典一致性	行业专用规范
安全协议	FSoE安全通信信道测试 (需额外授权，基于"黑色通道"原则，符合IEC 61508 SIL 3)	ET9403 FSoE测试工具要求

🔧 目标用户场景

- 设备开发阶段：**制造商在硬件设计完成后，使用该工具进行初步一致性验证
- 持续集成环境：**集成到CI/CD流水线中，实现自动化回归测试

3. 预认证准备：在提交官方EtherCAT测试中心（ETC）前，完成全面自检

● 系统环境要求

- **硬件平台：**标准Windows PC，配备100Mbit全双工网卡
- **软件依赖：**支持Wireshark等网络分析工具集成
- **文件输入：**必须支持ESI（EtherCAT Slave Information）文件解析和验证

关键约束：该工具作为辅助测试解决方案，不能替代ETG官方CTT工具，最终认证仍需通过授权测试中心完成。

二、标准与规范对齐

核心对齐文件：工具设计必须严格遵循ETG官方发布的最新标准规范体系，确保测试覆盖的权威性和准确性。

● 基础协议标准对齐

ETG.5000系列规范是EtherCAT协议的基础技术标准，工具必须完整支持以下关键要求：

测试维度	具体技术要求	测试验证点
通信基础	100BASE-TX物理层，100 Mbit/s全双工模式	网卡配置验证、数据传输速率测试
网络规模	最多65,535个逻辑从站地址	地址分配机制、寻址范围验证
数据通信	标准以太网帧封装，最大1486字节过程数据	帧结构解析、PDO数据完整性检查
实时同步	分布式时钟(DC)实现亚微秒级($\leq 1\mu s$)同步	时钟同步精度、抖动性能测试
设备要求	专用ESC从站控制器，端口延迟约1 μs	硬件响应时间、在线处理能力验证

● 一致性测试规范对齐

ETG.7010一致性指南（中文版v1.2.3，英文版v1.2.4）定义了测试的具体流程和方法：

- **测试环境要求：**标准Windows PC + 100Mbit全双工网卡
- **必备文件：**设备描述文件(ESI)的完整解析与验证能力
- **辅助工具集成：**Wireshark等网络分析工具的协同工作支持

- 测试内容覆盖：ESI有效性、SII(EEPROM)完整性、状态机行为、设备标识、邮箱通信等

物理层规范对齐

ETG.7000.2规范对物理层性能提出严格要求：

- **线缆规格**：推荐超5类及以上弹性交叉电缆(S-FTP)
- **传输距离**：节点间网线长度严格不超过100米
- **接线质量**：100%导通率，无短路、断路、错位和接触不良
- **指示灯规范**：ETG.1300定义的网口指示灯行为标准

行业行规对齐

对于特定应用领域的设备，需要额外对齐行业标准：

- **CiA402驱动器行规**：循环同步模式下的对象字典一致性
- **设备互操作性**：确保不同厂商设备在网络中的协同工作能力
- **功能配置文件**：针对特定设备类型的专用功能测试项

安全协议扩展对齐

FSoE(Safety over EtherCAT)需要单独的对齐要求：

- **安全机制**：基于"黑色通道"原则，符合IEC 61508 SIL 3等级
- **测试工具**：ET9403 FSoE一致性测试工具的集成接口
- **认证流程**：TÜV等认证机构的评估要求，需额外授权许可
- **安全容器**：帧计数器、CRC校验等完整性保护机制验证

工具定位与边界明确

作为官方CTT(ET9400)的**互补预测试工具**，设计时需要明确功能边界：

- **不能替代**最终的官方认证流程
- **目标场景**限定在开发阶段自检、CI/CD持续回归测试
- **测试深度**覆盖基本一致性要求，但无法替代全面的互操作性测试
- **认证标识**：工具通过测试仅表示具备提交ETC测试的基本条件

通过以上多维度标准对齐，确保测试工具能够准确反映设备在真实EtherCAT网络环境中的合规性表现，为设备制造商提供可靠的预测试保障。

三、功能架构设计

核心功能模块设计

基于EtherCAT一致性测试工具（CTT）的官方要求，本工具的功能架构围绕**协议验证、配置管理、性能测试**三大核心维度构建，形成分层式测试体系。

1. 协议一致性测试引擎

- **状态机验证模块**: 严格检查EtherCAT从站设备的状态转换流程（Init→Pre-Oper→Safe-Oper→Oper），确保符合ETG.7010规范要求
- **邮箱通信测试器**: 自动化测试CoE（CANopen over EtherCAT）和SoE（Sercos over EtherCAT）通信协议，验证邮箱数据交换的完整性和时序正确性
- **设备标识验证**: 检查从站设备的Vendor ID、Product Code等标识信息与ESI文件的一致性

2. 配置与文件管理子系统

- **ESI文件解析器**: 支持XML格式的EtherCAT从站信息文件解析，自动检测同步管理器配置、PDO映射等关键参数的合理性
- **SII/EEPROM编辑器**: 内置可视化编辑器，支持直接查看和修改从站设备的EEPROM内容，确保与硬件实际配置完全一致
- **对象字典验证工具**: 比对设备实际对象字典与ESI文件描述，检测数据类型、访问权限等参数的一致性

3. 性能与压力测试框架

- **分布式时钟同步测试**: 配合CU2508实时扩展硬件，验证从站设备的时钟同步精度，支持纳秒级同步性能评估
- **长期稳定性测试**: 可配置自动化测试序列，进行数小时至数天的连续运行测试，暴露设备在持续通信压力下的潜在问题
- **总线负载测试**: 模拟不同网络负载条件下的设备表现，检测高负载场景下的通信稳定性

测试流程自动化架构

分层测试执行引擎采用模块化设计，支持从基础协议测试到完整认证流程的全覆盖：

测试层级	测试内容	自动化程度
基础协议测试	状态机、邮箱通信、设备标识	全自动化执行
配置一致性测试	ESI有效性、SII完整性、对象字典	自动化+人工复核

行业规范测试	CiA402驱动器行规、循环同步模式	条件自动化（需特定配置）
安全协议测试	FSoE安全通信信道（需ET9403授权）	授权后自动化执行

测试结果管理模块：

- 详细日志记录：自动生成包含时间戳、测试项、通过/失败状态的完整测试日志
- 多格式导出：支持Excel、CSV等格式的测试报告导出，便于归档和数据分析
- 可视化仪表板：实时显示测试进度、通过率统计和错误分布情况

● 外部工具集成接口

1. 网络分析工具集成

- Wireshark兼容接口：**支持将测试过程中的网络数据包直接导出为PCAP格式，供Wireshark进行深度协议分析
- 实时数据监控：**在测试执行期间同步显示关键网络参数，如通信周期、错误计数器变化等

2. 开发环境对接

- TwinCAT集成模式：**提供与Beckhoff TwinCAT环境的接口，支持在开发环境中直接调用一致性测试功能
- CI/CD流水线集成：**通过命令行接口和API支持，便于将测试工具集成到持续集成系统中实现自动化回归测试

🛡 安全与权限管理

分层授权体系确保工具使用的合规性和安全性：

- 基础功能层：**包含标准EtherCAT协议测试，所有用户均可使用
- 高级功能层：**CiA402行规测试等需要相应权限解锁
- 安全测试层：**FSoE功能安全测试需额外获取ET9403授权许可

许可证管理机制：

- 年度订阅模式：与官方CTT工具保持一致，确保用户能够获得持续的功能更新和技术支持
- 离线激活支持：在无网络环境下的工业现场仍可正常使用核心测试功能

四、测试用例与覆盖率

测试用例设计依据与维度

核心标准文件：

- **ETG.7010 EtherCAT一致性指南**（中文版v1.2.3/英文版v1.2.4）作为官方核心指导文件
- **ETG7000.2规范**作为物理层测试的重要参考文档
- **ETG.5000系列规范**定义协议技术要求

强制测试维度：

- **协议一致性测试：**状态机转换 (Init→Pre-Oper→Safe-Oper→Oper)、邮箱通信 (CoE/SoE)、设备标识 (Vendor ID/Product Code)、ESI文件有效性、SII(EEPROM)完整性、对象字典一致性
- **物理层规范：**100BASE-TX全双工通信、网口指示灯行为 (ETG.1300)、线缆规格 (超5类S-FTP, ≤100m)
- **行业行规测试：**CiA402驱动器行规循环同步模式、对象字典一致性
- **安全协议测试：**FSoE安全通信信道 (黑色通道、SIL 3、帧计数器、CRC校验)

测试用例分层架构

测试层级	自动化程度	核心测试内容	工具支持
基础协议测试	全自动化	状态机、邮箱通信、设备标识	CTT标准功能
配置一致性测试	自动化+人工复核	ESI/SII验证、对象字典检查	CTT+EC-Engineer
行业规范测试	条件自动化	CiA402行规专项测试	CTT高级模块
安全协议测试	授权后自动化	FSoE信道完整性验证	ET9403扩展包

测试覆盖率保障机制

协议完整性覆盖：

- 基于ETG官方测试用例库，确保100%覆盖强制测试项
- 支持XML规则定义，可随规范版本动态更新测试用例
- 集成Mismatch Analyzer自动检测配置与实际硬件差异

边界条件测试：

- 异常网络状态模拟（数据丢包、通信超时）
- 极限负载压力测试（长期运行、高总线负载）
- 多设备混合组网互操作性验证

实时性专项测试：

- 分布式时钟同步精度测试（亚微秒级要求）
- 配合CU2508实时扩展硬件实现千兆实时测试
- 通信周期稳定性监控与jitter分析

覆盖率验证方法

自动化测试流水线：

- CI/CD集成：代码提交触发快速回归测试
- 分级测试机制：夜间构建执行全量测试，版本发布前进行压力测试
- 质量门禁：静态分析、动态监测、数字孪生对比

测试结果量化：

- 通过率统计：实时显示各测试维度通过比例
- 错误分布分析：可视化展示常见失败用例类型
- 历史趋势跟踪：对比不同版本测试覆盖率变化

测试边界声明

本工具作为**CTT (ET9400) 的互补预测试工具**，测试通过仅表示具备提交ETC官方认证的基本条件。**不能替代最终官方认证流程**，制造商仍需将设备送至授权EtherCAT测试中心进行最终合规性认证。

五、自动化与CI/CD集成

自动化测试执行引擎是本工具的核心架构基础，严格遵循ETG.7010标准定义的测试流程。基于分层测试策略，不同测试类型采用差异化的自动化程度：

- **基础协议测试**：实现实现全自动化执行，覆盖ESI有效性、SII一致性、状态机转换等核心协议要求
- **配置一致性测试**：采用自动化+人工复核模式，自动化完成基础配置验证，关键参数需工程师确认

- **行业规范测试**: 支持条件自动化，根据设备支持的行业行规（如CiA402）动态加载对应测试用例
- **FSoE安全测试**: 在获得ET9403授权后实现全自动化执行，严格遵循TÜV认证的安全测试流程
- CI/CD流水线集成接口**提供多种接入方式，确保与现有开发流程无缝衔接：

 - **CLI命令行接口**: 支持参数化调用，可集成到Jenkins、GitLab CI等主流持续集成平台
 - **RESTful API**: 提供标准化Web服务接口，便于与自定义开发平台集成
 - **TwinCAT集成模式**: 针对倍福开发环境提供专用插件，支持在TwinCAT IDE内直接触发测试

分级测试流水线根据开发阶段设置不同的测试强度和频率：

触发条件	测试范围	执行频率	质量门禁
代码提交	快速回归测试（核心协议）	每次提交	基础通过率 $\geq 95\%$
夜间构建	全量测试（含配置一致性）	每日定时	关键项100%通过
版本发布	压力测试+长期稳定性	版本发布前	历史趋势对比分析

测试结果自动化处理系统提供完整的质量监控能力：

- **通过率统计**: 实时计算各测试维度的通过率，生成可视化质量报告
- **错误分布分析**: 自动识别高频错误类型，辅助问题定位优先级排序
- **历史趋势对比**: 与过往测试结果进行对比分析，识别质量退化趋势

环境兼容性保障确保自动化测试在工业现场的稳定运行：

- **离线激活机制**: 支持无外网环境下的核心测试功能执行
- **硬件环境适配**: 标准Windows PC + 100Mbit全双工网卡的固定测试环境
- **Wireshark协同**: 自动化导出PCAP文件，支持与网络分析工具深度集成

许可证管理集成的三层授权体系确保自动化流程的合规性：

- 基础功能层支持通用自动化测试
- 高级功能需要相应权限授权
- FSoE安全测试严格依赖ET9403官方授权

该自动化集成架构使设备制造商能够在开发全周期中持续验证EtherCAT一致性，显著提升测试效率并降低认证风险。

六、易用性与用户体验

用户界面设计应围绕设备制造商工程师的典型工作流程展开，将复杂的协议测试任务转化为直观的可视化操作。基于现有主流工具的经验，界面架构需支持从设备配置到测试执行的完整闭环。

界面架构与工作流集成

集中式仪表板设计

- **实时状态监控**：主界面显示网络拓扑图、主站/从站连接状态、当前测试进度及通过率饼图
- **一键式测试启动**：支持拖拽ESI文件后自动识别设备类型，推荐对应的测试套件（基础协议/CiA402行规/FSoE安全）
- **多任务并行管理**：允许同时开启多个测试会话，分别监控不同设备或测试阶段的进度

配置管理可视化

- **ESI文件解析器**：上传设备ESI文件后自动生成设备对象字典树状图，支持点击查看详细参数
- **SII/EEPROM编辑器**：提供表格和十六进制双视图编辑模式，修改后自动校验数据有效性
- **差异对比工具**：高亮显示设备实际配置与ESI描述文件的不一致项，建议修正方案

测试执行与交互优化

渐进式测试引导

- **智能测试序列**：根据设备类型自动排序测试用例（先基础协议后高级功能）
- **可中断执行**：允许暂停测试过程，查看中间结果后选择继续或重新开始
- **实时反馈机制**：测试过程中实时显示通信报文统计、错误计数器变化、分布式时钟同步曲线

诊断信息可视化

- **错误定位辅助**：测试失败时自动关联到协议规范条款，显示预期与实际行为对比
- **网络数据包分析**：集成Wireshark核心功能，点击测试项可直接查看对应的网络抓包数据
- **历史趋势对比**：将当前测试结果与过往测试数据并置显示，突出改进或退化区域

多模式访问支持

Web远程操作界面

- **浏览器无障碍访问**：基于Web技术实现完整功能，支持Chrome/Edge等主流浏览器

- **移动端适配**: 针对平板设备优化触控操作，支持现场调试时的便携使用
- **远程协作支持**: 多用户同时查看测试进度，支持添加注释和标记问题点

命令行接口(CLI)集成

- **自动化脚本支持**: `ecat-test --device slave.xml --profile cia402 --report json`
- **批量处理能力**: 支持读取测试脚本文件，顺序执行多个设备的回归测试
- **CI/CD友好输出**: 提供机器可读的测试结果格式 (JSON/XML)，便于集成到构建流水线

结果呈现与报告生成

多层次报告系统

- **实时测试看板**: 动态更新通过率、失败项统计、性能指标趋势图
- **详细测试报告**: 包含每个测试项的输入条件、预期结果、实际结果、协议条款引用
- **导出格式多样**: 支持PDF (正式文档)、Excel (数据分析)、HTML (交互式查看)

问题追踪集成

- **一键问题记录**: 失败测试项可直接生成JIRA/GitLab Issue模板
- **修复验证流程**: 关联代码提交与测试结果，标记已修复的回归问题
- **知识库构建**: 常见错误模式自动归类，积累企业内部诊断经验

安装与首次使用体验

简化部署流程

- **一键安装包**: 包含所有依赖库 (.NET Framework、Wireshark组件)，避免手动环境配置
- **硬件自动检测**: 启动时扫描网络适配器，验证100Mbit全双工支持状态
- **许可证引导激活**: 清晰提示不同功能模块的授权要求，提供离线激活指南

上手引导系统

- **交互式教程**: 首次使用时逐步引导完成第一个设备的完整测试流程
- **示例项目库**: 提供典型设备 (IO模块、驱动器、传感器) 的测试案例参考
- **上下文帮助**: 每个配置参数旁显示问号图标，点击查看协议规范说明

通过上述设计，工具将显著降低EtherCAT一致性测试的技术门槛，使设备制造商能够将更多精力投入到产品功能优化而非协议调试上。

七、成本控制与许可证管理

许可证定价策略与差异化定位

基于三层授权架构的**成本分级控制**策略已在工具设计中明确体现：

- **基础功能层免费授权**：覆盖标准EtherCAT协议测试（ESI/SII验证、状态机、邮箱通信等），与官方CTT工具形成差异化定位
- **高级功能层订阅模式**：针对CiA402等行规测试采用年度订阅，价格显著低于官方CTT工具
- **FSoE安全测试层**：需额外购买ET9403扩展包授权，但作为预测试工具定位，避免制造商重复投入官方认证费用

成本控制工具与使用统计

许可证使用监控系统集成到CI/CD流水线中：

- 通过CLI/API实时统计并发用户数、功能模块使用频率
- 提供许可证利用率报告，帮助制造商优化测试资源分配
- 支持离线激活机制，降低无外网工业现场的部署成本

升级路径与追加授权成本

模块化升级方案确保成本可控：

- 从基础层到高级层：支持按需追加授权，避免一次性过高投入
- FSoE扩展包：可作为独立模块购买，仅在需要安全认证时激活
- 年度订阅模式：与官方CTT工具保持一致，但提供更具竞争力的价格策略

自动化对成本的直接影响

CI/CD集成带来的**长期成本优势**：

- 自动化测试减少人工干预，降低重复测试的人力成本
- 分级测试流水线（代码提交→夜间构建→版本发布）优化资源利用率
- 早期问题发现避免后期修改的高成本重构

成本效益分析建议

制造商应根据**产品开发阶段**选择适当的许可证级别：

- **开发阶段**：基础功能层即可满足预测试需求
- **持续集成阶段**：建议升级到高级功能层以实现自动化测试
- **预认证准备**：评估FSoE扩展包的必要性，避免过度投资

该工具作为CTT的**互补预测试解决方案**，通过合理的许可证管理和成本控制策略，帮助制造商在保证测试质量的同时优化总体投入。

八、诊断与问题定位

🔍 诊断数据源与实时监控

基于EtherCAT一致性测试工具（CTT）的自动化测试框架，诊断系统需从多个维度捕获关键数据：

- **协议层数据流**：实时监控EtherCAT帧传输状态，包括通信周期稳定性、分布式时钟同步曲线（精度需 $\leqslant 1\mu s$ ）、错误计数器（如RX/TX错误、链路丢失计数）
- **设备配置验证**：通过ESI文件解析器比对设备标识（Vendor ID/Product Code）、对象字典结构及PDO映射关系，自动标记与ETG.7010规范不符的配置项
- **物理层指标**：集成100BASE-TX物理层测试功能，监测信号完整性、端口指示灯行为（ETG.1300规范）

🛠️ 多级诊断工具链集成

构建分层诊断体系，实现从协议层到应用层的全覆盖问题定位：

诊断层级	核心工具	关键功能
协议分析	Wireshark兼容接口	关联测试失败项与网络抓包数据，支持PCAP文件导出与协议解码
配置诊断	SII/EEPROM编辑器	可视化十六进制/表格视图，高亮ESI文件与设备实际配置的差异
实时性能	分布式时钟测试模块	配合CU2508硬件测量时钟同步精度，生成抖动分析报告
安全协议	FSoE测试引擎（需ET9403授权）	验证安全通信信道完整性，符合IEC 61508 SIL 3要求

📊 智能诊断与可视化呈现

通过数据驱动的方式提升问题定位效率：

- **错误关联分析**: 自动将测试失败项关联至ETG规范具体条款（如ETG.7010章节引用），并推荐修复方案
- **拓扑可视化**: 实时显示网络拓扑图，动态标记异常节点及其影响范围
- **趋势对比仪表板**: 并置显示当前测试结果与历史数据，突出性能退化趋势（如同步精度偏移、错误率上升）

🔗 外部系统集成接口

支持与开发流程和第三方工具的深度集成：

- **CLI/API接口**: 支持参数化调用（如`--device slave.xml --profile cia402`），输出JSON/XML格式结构化结果
- **CI/CD流水线集成**: 自动触发质量门禁（如基础通过率 $\geq 95\%$ ），实时统计错误分布并生成JIRA/GitLab Issue模板
- **TwinCAT插件**: 在Beckhoff开发环境中直接调用诊断功能，实现代码级问题定位

⚠ 诊断边界与权限约束

明确诊断能力的适用范围和限制条件：

- **预认证定位**: 诊断结果仅作为官方CTT（ET9400）认证的参考，不能替代ETC最终认证
- **功能分级授权**: 基础协议诊断免费开放；CiA402行规诊断需订阅；FSoE诊断需ET9403授权
- **数据导出限制**: 测试日志支持Excel/CSV导出，但涉及安全协议的原始数据受出口管制

通过上述诊断体系，设备制造商可在开发周期早期快速定位协议实现问题，显著降低后期认证失败风险。

九、安全与FSoE扩展

🛡 FSoE安全测试的强制性与架构基础

根据ETG官方规范，FSoE（Safety over EtherCAT）已成为**ETG.7010一致性指南**

(v1.2.3/1.2.4) 的强制测试维度。本工具通过**ET9403 FSoE扩展包**实现安全测试功能，该扩展包需独立购买授权后激活。

安全测试架构核心要求：

- **安全等级**: 符合IEC 61508 SIL 3等级标准
- **通信机制**: 基于"黑色通道"原则，利用标准EtherCAT网络传输安全数据
- **完整性保护**: 强制验证帧计数器、CRC校验等安全容器机制
- **设备角色**: 支持主站设备的安全功能测试，兼容同时作为主站和从站的"多面手"设备配置

FSoE测试功能实现方案

本工具已在前置架构中预留完整接口，FSoE测试将作为高级功能层集成到现有测试框架中。

测试执行流程：

1. 授权验证：用户激活ET9403许可证后，安全测试选项自动在界面启用
2. 自动检测：工具解析ESI文件时，自动识别FSoE相关参数并推荐对应测试套件
3. 分层测试：
 - 基础协议验证：复用现有EtherCAT协议测试框架（状态机、邮箱通信等）
 - 安全专项测试：执行TÜV认证的专用FSoE测试用例，包括错误注入、看门狗行为等
4. 结果关联：测试失败项可一键生成JIRA/GitLab Issue，关联代码提交进行修复验证

关键技术特性：

- 黑色通道验证：测试安全数据在标准网络传输中的完整性保护机制
- 时序精度测试：复用CU2508实时硬件进行分布式时钟同步验证（≤1μs精度）
- 边界条件覆盖：通过现有压力测试框架扩展异常网络状态、极限负载等场景

安全数据管理与出口管制

报告生成限制：

- FSoE测试原始数据受出口管制限制，工具提供受控的数据输出选项
- 标准报告格式（PDF/Excel/HTML）支持安全协议验证结果摘要，但详细协议数据需授权访问
- 所有安全相关测试记录在本地加密存储，支持审计追踪

诊断与可视化：

- 集成Wireshark兼容接口（PCAP导出），用于深度协议分析
- 实时拓扑图高亮安全通信链路状态
- 错误信息直接关联ETG规范条款，提供上下文帮助说明

认证准备与合规性

本工具作为**CTT（ET9400）的互补预测试工具**，FSoE测试通过仅表示设备具备提交官方认证的基本条件。

官方认证流程对接：

- 内部预测试：制造商使用本工具完成自检，确保基础功能符合要求

- **正式认证：**设备仍需送至德国纽伦堡EtherCAT测试中心（ETC），由TÜV等认证机构完成最终评估
- **认证支持：**测试报告结构化输出，便于准备官方认证申请材料

成本控制机制：

- FSoE测试功能采用**模块化授权体系**，需单独购买ET9403扩展包
- 支持离线激活，满足企业安全环境部署需求
- 使用统计和并发监控与基础许可证体系一致，实现统一管理

通过此扩展方案，设备制造商可在开发早期阶段系统验证FSoE合规性，显著降低后期认证风险和时间成本。

十、部署与维护

硬件与软件环境要求

- **硬件平台：**必须采用标准 Windows PC，并配备符合 ETG.7010 规范的 100 Mbit/s 全双工网卡
- **网络环境：**节点间网线长度需≤100米，使用超5类 S-FTP 屏蔽线缆，确保100%导通率（ETG.7000.2要求）
- **软件依赖：**一键安装包已内置 .NET Framework 和 Wireshark 网络分析组件，确保开箱即用

多形态部署方案

单机桌面部署

- 提供图形化一键安装向导，首次启动自动检测网卡配置与许可证状态
- 支持拖拽式 ESI 文件导入，自动生成对象字典树状图并校验 EEPROM 一致性

CI/CD流水线集成

- CLI命令行工具支持 `ecat-test --device slave.xml --profile cia402 --report json` 格式
- 可直接嵌入 Jenkins/GitLab CI 流水线，实现夜间构建全量测试和版本发布前压力测试

Web远程访问模式

- 基于浏览器即可访问完整测试功能，特别适合平板电脑现场调试
- 实时拓扑发现功能，启动时自动扫描网络并显示主/从站连接状态

维护与升级机制

测试用例动态更新

- 基于XML规则定义的测试用例支持热更新，可随ETG规范版本自动同步
- 保留历史版本测试用例与配置快照，支持快速回退机制

许可证管理

- 提供离线/在线双模式激活向导，实时提示各功能模块授权状态
- CLI/API接口可统计并发用户数和模块使用频率，生成许可证利用率报告

升级路径设计

- 基础功能层→高级功能层：在线追加订阅即可激活，无需重新安装
- FSOE扩展包（ET9403）作为独立模块，随需激活，支持模块化升级

故障诊断与支持

自动化问题记录

- 测试失败项自动生成JIRA/GitLab Issue模板，包含详细错误上下文
- 所有测试操作自动生成带时间戳的详细日志，支持审计追踪

诊断数据导出

- 支持标准报告格式（PDF/Excel/HTML）导出
- 网络抓包数据保存为PCAP格式，可直接用Wireshark进行深度协议分析

安全与权限控制

数据出口管制

- FSOE相关原始数据受控输出，仅授权用户可访问详细协议数据
- 安全日志本地加密存储，符合IEC 61508 SIL 3安全等级要求

功能权限分级

- 基础协议诊断功能免费开放使用
- CiA402行规测试和FSOE安全诊断需对应授权许可证

使用限制说明

功能边界明确

- 本工具仅作为官方认证前的自检工具，不能替代ETG官方CTT认证流程
- 通过本工具测试仅表示具备提交ETC认证的基本条件

硬件依赖强制

- 必须满足100 Mbit全双工网卡及线缆规范要求，否则测试结果视为无效
- 网络环境不达标时自动提示测试条件不符合规范要求