COM 计算工具
操作手册

版本 v1.7.7

2026 年 08 月 14 日

基于 IEEE Std 802.3 Annex 93A/178A COM 计算引擎

目 录

第1章 软件概述 7

1.1 主要功能 7

1.2 COM 技术背景 7

1.3 核心指标说明 8

1.4 附加指标 8

1.5 适用场景 8

第2章 系统要求与安装 10

2.1 系统要求 10

2.2 Python 依赖 10

2.3 一键安装（推荐） 10

2.4 手动安装步骤 11

2.5 setup_env.bat 详细说明 11

第3章 软件授权 13

3.1 试用模式 13

3.2 查看 Host ID 13

3.3 激活基础授权 14

3.4 解除基础授权 14

3.5 状态栏授权信息 14

3.6 试用模式功能限制 14

3.7 SCPI 远程控制选件授权 15

第4章 界面总览 17

4.1 主窗口布局 17

4.2 菜单栏 17

4.3 右侧结果面板标签页 17

第5章 运行环境设置 19

5.1 打开设置 19

5.2 模式A：编译可执行文件（推荐） 19

5.3 模式B：完整 MATLAB 19

5.4 通用设置 20

5.5 保存设置 20

第6章 文件选择 21

6.1 选择配置文件 21

6.2 选择直通信道 S 参数文件 21

6.3 干扰源 S 参数文件面板 22

6.4 添加 FEXT / NEXT 文件 22

6.5 删除 / 清空文件 22

6.6 案例选择 22

第7章 参数覆盖 24

7.1 面板说明 24

7.2 编辑覆盖值 24

7.3 按钮操作 24

7.4 参数排序 25

7.5 运行时行为 25

7.6 可覆盖参数完整列表 25

第8章 运行 COM 计算 28

8.1 前置检查 28

8.2 开始运行 28

8.3 运行过程 28

8.4 完成检测 29

8.5 停止运行 29

8.6 验证失败处理 29

第9章 查看结果 30

9.1 摘要标签页 30

9.2 详细数据标签页 31

9.3 信道图标签页 33

9.4 报告标签页 35

9.5 运行日志标签页 37

第10章 干扰容限校准 39

10.1 校准原理 39

10.2 两条校准路径（务必先读） 39

10.3 启用校准模式 40

10.4 设置校准精度 40

10.5 运行校准 40

10.6 查看校准结果 41

第11章 配置管理 42

11.1 保存配置 42

11.2 加载配置 42

11.3 初始化 43

第12章 常见问题与故障排除 44

第13章 典型工作流程 46

13.1 基本 COM 计算流程 46

13.2 参数敏感度分析 46

13.3 干扰容限校准流程 47

13.4 批量多案例对比 47

第14章 模式对比与选择 48

第15章 SCPI 远程控制 49

15.1 概述 49

15.2 启动 SCPI 服务 50

15.3 IEEE 488.2 通用命令 51

15.4 SCPI 命令参考 52

15.5 使用示例 59

15.6 错误码参考 61

15.7 状态寄存器详解 61

15.8 典型自动化流程 62

第16章 VNA 网络分析仪 63

16.1 概述 63

16.2 连接仪器 63

16.3 快速设置 64

16.4 测量操作 64

16.5 SCPI 命令控制 65

16.6 SCPI 远程控制 VNA 65

16.7 VNA 控制二次开发 65

17. 在线更新 67

17.1 操作步骤 67

17.2 安全性 67

17.3 SCPI 远程更新 67

17.4 意见反馈 68

附录A Excel 配置文件结构 69

案例定义 69

关键参数说明 69

附录B 全部 SCPI 命令速查表 71

新增命令详细参考 81

VNA 网络分析仪命令 83

License 远程激活命令 (v1.3.1+) 85

第1章 软件概述

COM（Channel Operating Margin，信道操作余量）是 IEEE Std 802.3 标准中定义的一项关键指标，用于评估高速串行链路的信号完整性。COM 值综合考虑了信道插入损耗、回波损耗、串扰、均衡器性能等多种因素，是判断物理层链路是否满足标准要求的核心依据。

本工具是一个基于 PyQt6 的图形界面前端，用于调用 IEEE 802.3 COM 计算引擎（com_ieee8023_4p14p0.m, v4.14.0）。该引擎基于 IEEE Std 802.3 Annex 93A/178A 规范实现，支持多种速率标准的 COM 计算。

1.1 主要功能

- 图形界面配置 COM 计算参数，简化操作流程
- 支持两种运行模式：编译可执行文件（模式A）和完整 MATLAB（模式B）
- 参数覆盖：可在 GUI 中直接修改 Excel 配置中的关键参数，无需编辑 Excel
- S 参数信道图实时预览（SDD21 插入损耗 / SDD11 / SDD22 回波损耗）
- 自动解析 MATLAB 输出的 CSV 结果文件，展示详细计算数据
- COM 结果直观展示：PASS（绿色）/ FAIL（红色），28pt 大字体一目了然
- 支持多案例（Case）批量运行，状态栏显示进度
- 干扰容限校准功能（Sigma BBN / HP 校准），校准结果蓝色大字体显示
- 运行配置保存与加载（JSON 格式），方便重复测试
- PDF 报告导出，支持运行历史记录

1.2 COM 技术背景

COM 是一种基于统计方法的信道性能评估指标，定义于 IEEE Std 802.3 Annex 93A（100GBASE-KR4/CR4）和 Annex 178A（200GBASE/400GBASE 等）中。其核心思想是：在给定的信道特性和收发器参数下，通过计算信号幅度与各噪声分量的比值，评估链路的误码率（BER）是否满足标准要求。

COM 的计算过程涉及以下关键步骤：

- 信道特性提取：从 S 参数文件中提取差分插入损耗（SDD21）、回波损耗（SDD11/SDD22）和串扰（FEXT/NEXT）特性。
- 均衡器优化：自动搜索最佳的 CTLE（连续时间线性均衡器）和 DFE（判决反馈均衡器）设置，以最大化 COM 值。
- 噪声预算：计算各噪声分量（ISI 残余、串扰、随机噪声、反射噪声等），并统计总噪声功率。

- COM 计算：$COM = 20 \cdot \log_{10}(A_s / A_{ni})$，其中 A_s 为信号幅度，A_{ni} 为等效噪声幅度。COM ≥ 门限值时判定为 PASS。

1.3 核心指标说明

指标	全称	单位	含义与判定
COM	Channel Operating Margin	dB	信道操作余量。COM ≥ 0 dB（或自定义门限）为 PASS；值越大信号质量越好，余量越充裕
ERL	Effective Return Loss	dB	有效回波损耗。综合评估信道回波对信号质量的影响，值越大表示回波越小、信道质量越好
VEO	Vertical Eye Opening	mV	垂直眼图张开度。均衡后的眼图垂直高度，反映信号的幅度裕量
VEC	Vertical Eye Closure	dB	垂直眼图闭合度。衡量信道对眼图的损害程度
A_s	Signal Amplitude	mV	均衡后的信号幅度。COM 计算的分子部分
DER	Detector Error Ratio		检测器误码率。在 COM 门限下的等效误码率

1.4 附加指标

除核心指标外，软件还从计算过程中提取以下附加信息：

指标	说明	单位
Die-to-Die IL	芯片间插入损耗（在奈奎斯特频率处）	dB
因果性修正	S 参数因果性修正量（Causality Correction）	dB
截断比	时域截断比（Truncation Ratio）	dB
TP0 AC RMS	测试点 0 处的 AC RMS 电压	mV
未均衡脉冲峰值	均衡前的脉冲响应峰值	mV
σ_{hp} / σ_{bn}	校准噪声值（干扰容限校准结果）	mV
运行时间	单案例计算耗时	min

1.5 适用场景

本工具适用于以下典型应用场景：

- 连接器/线缆评估：评估新设计的连接器或线缆是否满足目标速率的 COM 要求
- PCB 信道设计验证：验证 PCB 走线设计在目标标准下的信号完整性
- 系统级合规性测试：对完整链路（TX → 信道 → RX）进行 IEEE 标准合规性验证
- 参数敏感度分析：通过参数覆盖功能，快速评估不同参数设置对 COM 的影响
- 干扰容限校准：确定信道的噪声容限参数，用于接收端合规性测试
- 多案例对比：批量运行不同封装配置（如不同 trace 长度）并对比结果

第2章 系统要求与安装

2.1 系统要求

项目	要求
操作系统	Windows 10 / 11（64 位）
Python	必须 3.14（不支持更高或更低版本）
模式A 依赖	MATLAB Runtime 必须 R2024a（不支持其他版本）
模式B 依赖	完整 MATLAB 安装（推荐 R2024a）
磁盘空间	约 500 MB（含 MATLAB Runtime）

2.2 Python 依赖

包名	版本	用途
PyQt6	≥ 6.6.0	GUI 框架
openpyxl	≥ 3.1.0	读写 Excel 配置文件
scikit-rf	≥ 0.31.0	S 参数处理与信道图绘制
matplotlib	≥ 3.7.0	图表绘制（scikit-rf 依赖）

注意：版本严格要求：Python 必须为 3.14，MATLAB Runtime（模式A）必须为 R2024a。使用其他版本将导致软件无法正常运行或出现兼容性错误。

2.3 一键安装（推荐）

软件附带 setup_env.bat 一键环境配置脚本，可自动完成所有安装步骤。双击运行即可。

```
setup_env.bat
```

该脚本将自动执行以下操作：

- 检测 Python 3.14：通过 py launcher、PATH、常见安装路径三种方式检测。如未找到，自动从镜像源下载并安装 Python 3.14.3（64 位）。
- 检测 MATLAB Runtime R2024a：通过注册表和常见安装路径检测。如未找到，自动下载（约 4 GB）并静默安装（需管理员权限）。
- 安装 pip 依赖：运行 runfirst.py 脚本，自动安装 PyQt6、openpyxl、scikit-rf 等所需 Python 包。

> 提示：setup_env.bat 支持 10 个全球镜像节点（全球 CDN、中国、日本、韩国、德国、英国、澳大利亚、印度、法国、主站）自动探测最快源，MCR 下载支持 BITS 断点续传。如果网络环境受限，也可手动安装后再运行脚本。

2.3.1 打包目录结构

安装完成后，软件的目录结构如下：

```
COM_Tool_dist/
|-- setup_env.bat            (install MCR + launch)
+-- COM_Tool/
    |-- COM_Tool.exe
    |-- demo/              (■■■■ + S ■■)
    |-- resources/           (Excel / S-params / icons)
    +-- _internal/           (runtime deps)
        +-- help/               (PDF manuals)
```

2.4 手动安装步骤

如需手动安装，请按以下步骤操作：

1. 安装 Python 3.14（必须为 3.14，64 位），并添加到系统 PATH。

   下载地址：https://www.python.org/downloads/

2. 打开命令行终端，进入项目目录：

```
cd com_tool
```

3. 安装 Python 依赖：

```
pip install -r requirements.txt
```

4. （模式A）安装 MATLAB Runtime R2024a（必须为 R2024a，从 MathWorks 官网下载）。

   下载地址：https://www.mathworks.com/products/compiler/matlab-runtime.html

5. 启动软件：

```
python main.py
```

> 注意：Python 版本必须为 3.14。使用 3.13 或 3.15 等其他版本将导致编译模块（.pyd）无法加载。MATLAB Runtime 版本必须为 R2024a，其他版本与编译的可执行文件不兼容。

2.5 setup_env.bat 详细说明

setup_env.bat 是一键环境配置脚本，执行流程如下：

步骤	操作	说明
Step 1	检测 Python 3.14	三种检测方式：py launcher、PATH、常见路径

步骤	操作	说明
Step 2	安装 Python 3.14	仅在未检测到时执行；10 个全球镜像节点自动探测最快源
Step 3	检测 MCR R2024a	检查注册表和默认安装路径
Step 4	安装 MCR R2024a	仅在未检测到时执行；需管理员权限；约 4 GB
Step 5	安装 pip 依赖	运行 runfirst.py 安装所有 Python 包

脚本运行结束后会显示环境配置摘要，确认 Python 和 MCR
的状态。如果某一项显示"未就绪"，请根据提示手动处理。

> 提示：如果使用模式B（完整 MATLAB），无需安装 MATLAB Runtime，但仍需确保 Python 版本为 3.14，并通过 setup_env.bat 或 pip 安装依赖。

第3章 软件授权

本软件采用基于 Host ID 的授权机制。首次运行时为试用模式，提供有限次数的运行机会。如需长期使用，请联系供应商获取授权 Key。

3.1 试用模式

首次启动软件时，自动进入试用模式。试用模式下可执行有限次数的 COM 计算，状态栏将显示剩余次数。

→ GUI 反馈：状态栏显示橙色文字"试用模式 — 剩余 N 次"

3.2 查看 Host ID

1. 点击菜单栏 "授权" → "授权管理..."

   → GUI 反馈：弹出"授权管理"对话框

2. 对话框中显示本机的 Host ID（唯一标识符）。
3. 点击"复制"按钮，将 Host ID 复制到剪贴板。
4. 将 Host ID 发送给供应商，以获取对应的授权 Key。

图 3-1 授权管理对话框（Host ID、基础授权、SCPI 选件授权、扫码申请）

3.2.1 扫码申请 License

在"授权管理"对话框中可直接扫描下方二维码，联系厂家申请临时或永久 License Key。试用到期或功能受限提示对话框中也会显示此二维码，方便快速申请。

3.3 激活基础授权

基础授权 Key（永久 Key 或临时 Key）在"基础授权 Key"输入区域输入：

1. 在"授权管理"对话框的"基础授权 Key"区域，将收到的 Key 粘贴到输入框。
2. 点击"激活"按钮。

→ GUI 反馈：成功：弹出绿色提示"授权激活成功！"，状态栏变为绿色"已授权"

→ GUI 反馈：失败：弹出红色警告"授权 Key 无效，请检查后重试"

> 注意：永久 Key 与临时 Key 互斥：已有永久授权时不能输入临时 Key，已有临时授权时不能输入永久 Key。需先解除当前授权再切换。

3.4 解除基础授权

1. 在"授权管理"对话框中，点击"基础授权 Key"区域的"解除授权"按钮。
2. 确认对话框中点击"是"。

→ GUI 反馈：授权被解除，软件恢复为试用模式

> 注意：解除基础授权时，SCPI 选件授权也会一并清除。

3.5 状态栏授权信息

状态	颜色	说明
已授权	绿色	授权有效，可无限次运行，功能不受限
试用模式	橙色	试用中，显示剩余次数，部分功能受限
未授权	红色	试用次数已耗尽，需激活授权

3.6 试用模式功能限制

未激活任何授权 Key（包括永久 Key 和临时 Key）的用户处于试用模式，除运行次数限制外，以下功能也会受到限制：

受限功能	试用模式	已授权
FEXT 干扰源 S 参数文件	最多 1 个	不限
NEXT 干扰源 S 参数文件	最多 1 个	不限
干扰容限校准模式	不可用	可用

当试用模式用户尝试使用受限功能时（如添加第 2 个干扰文件或启用校准模式），软件将弹出提示对话框，引导用户联系厂家申请 License Key。

→ GUI 反馈：弹出"功能受限"对话框，提示联系厂家申请 Key 并在 [授权 - 授权管理] 中输入

> 注意：激活任意类型的 Key（永久或临时）即可解锁所有功能限制。临时 Key 在增加运行次数的同时，也会解除功能限制。

3.7 SCPI 远程控制选件授权

SCPI 远程控制功能为独立选件，需要额外的 SCPI 选件授权 Key。"授权管理"对话框中设有独立的"SCPI 远程控制选件授权"输入区域。

3.7.1 授权矩阵

授权类型	校准/多文件	SCPI 远程控制	运行次数
无 Key	受限	不可用	试用 N 次
基础永久 Key	不限	不可用	不限
基础 + SCPI 永久 Key	不限	可用	不限
临时 Key	不限	可用	+N 次

3.7.2 激活 SCPI 选件

1. 先确保基础永久 Key 已激活（"基础授权 Key"区域显示"已授权"）。
2. 在"SCPI 远程控制选件授权"区域，粘贴 SCPI 选件 Key。
3. 点击"激活"按钮。

→ GUI 反馈：成功：弹出提示"SCPI 远程控制选件已激活！"

→ GUI 反馈：基础 Key 未激活时：提示"请先激活基础授权 Key"

3.7.3 解除 SCPI 选件

SCPI 选件可单独解除，不影响基础授权：

1. 在"SCPI 远程控制选件授权"区域，点击"解除"按钮。
2. 确认对话框中点击"是"。

→ GUI 反馈：仅 SCPI 选件被解除，基础授权保持不变

3.7.4 注意事项

• SCPI 选件 Key 必须在基础永久 Key 已激活后才能安装 • SCPI 选件可单独解除授权，不影响基础授权 • 解除基础授权时，SCPI 选件授权也会一并清除 • 临时 Key 自动包含 SCPI 权限，无需额外的 SCPI 选件 Key • SCPI 授权在运行时持续验证：每次执行 INIT/MEAS 命令时都会检查授权状态，而非仅在服务器启动时检查一次

第4章 界面总览

软件主窗口采用左右分栏布局，左侧为输入配置区域，右侧为结果展示区域。

4.1 主窗口布局

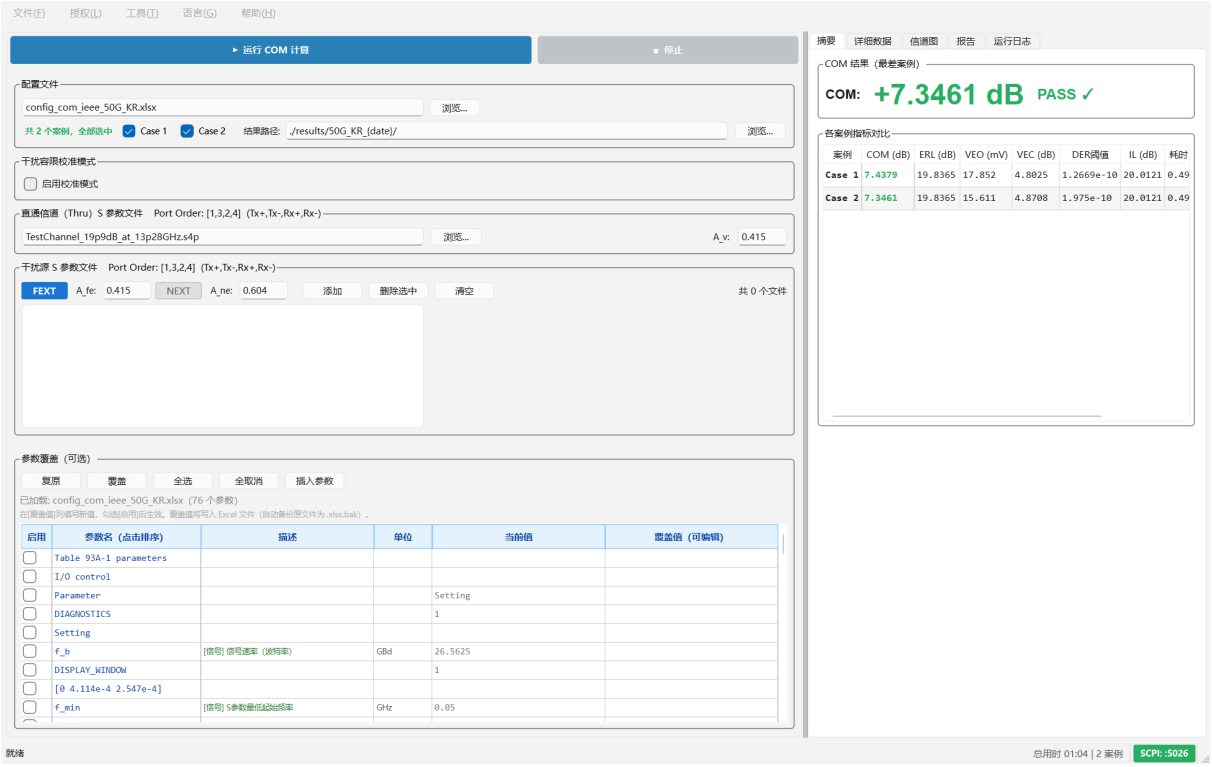

图 4-1 软件主界面（左侧：文件选择 + 参数覆盖，右侧：信道图 + 结果标签页）

4.2 菜单栏

菜单	功能
文件	设置、保存/加载配置、初始化、退出
授权	授权管理
工具	SCPI 远程控制服务启动/停止（详见第15章）、连接 VNA（详见第16章）
帮助	关于、操作手册

4.3 右侧结果面板标签页

标签页	内容
摘要	COM/ERL/VEO 等核心指标，PASS/FAIL 判定，案例对比表
详细数据	每案例 CSV 全量字段展示
信道图	SDD21/SDD11/SDD22 频域曲线
报告	运行记录树，PDF 导出
运行日志	实时日志输出，颜色区分级别

第5章 运行环境设置

首次使用前，需要配置 MATLAB 运行环境。

5.1 打开设置

点击菜单栏 "文件" → "设置..."

→ GUI 反馈：弹出"运行环境设置"对话框

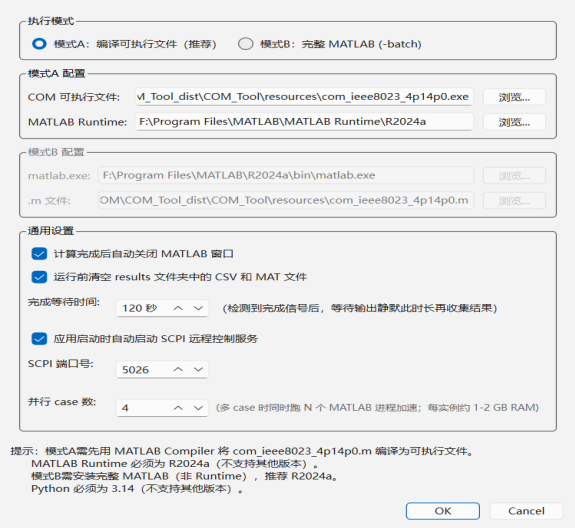

图 5-1 运行环境设置对话框（模式 A/B 选择、路径配置、通用设置）

5.2 模式A：编译可执行文件（推荐）

模式A 使用经 MATLAB Compiler 编译的独立可执行文件，无需安装完整 MATLAB，仅需免费的 MATLAB Runtime。

1. 选择"模式A：编译可执行文件（推荐）"单选按钮。

   → GUI 反馈：模式B 相关配置区域变灰，不可编辑

2. 点击"COM 可执行文件"行的"浏览..."按钮，选择 com_ieee8023_4p14p0.exe。
3. 点击"MATLAB Runtime 路径"行的"浏览..."按钮，选择 MCR R2024a 安装目录。

   例如：F:\Program Files\MATLAB\MATLAB Runtime\R2024a

> 注意：MATLAB Runtime 必须为 R2024a。使用其他版本（如 R2023b、R2024b）将导致可执行文件无法启动或产生运行时错误。MATLAB Runtime 可从 MathWorks 官网免费下载，或通过 setup_env.bat 自动安装。

5.3 模式B：完整 MATLAB

模式B 直接调用本地安装的 MATLAB，通过 matlab -batch 命令执行 .m 脚本。此模式支持实时日志输出。

1. 选择"模式B：完整 MATLAB (-batch)"单选按钮。

   → GUI 反馈：模式A 相关配置区域变灰

2. 点击"matlab.exe 路径"行的"浏览..."按钮，选择 MATLAB 安装目录中的 matlab.exe。

   例如：C:\Program Files\MATLAB\R2024a\bin\matlab.exe

3. 点击".m 文件"行的"浏览..."按钮，选择 com_ieee8023_4p14p0.m 文件。

5.4 通用设置

设置项	默认	说明
计算完成后自动关闭 MATLAB 窗口	勾选	自动终止 MATLAB 弹窗（模式A）
运行前清空结果目录	勾选	清空 RESULT_DIR 指定的目录（未设置时清空 results 子文件夹），避免旧结果干扰
完成等待时间（秒）	120	静默期超时，范围 10 — 600 秒
自动启动 SCPI 服务	未勾选	应用启动时自动启动 SCPI 远程控制服务
SCPI 端口号	5026	自动启动 SCPI 服务使用的 TCP 端口
并行 case 数	1	多 case 时同时跑 N 个 MATLAB 进程加速（1=串行）。每实例约 1-2 GB RAM；校准模式强制 1（二分搜索不能拆分）。范围 1-16。

5.5 保存设置

配置完成后，点击"OK"保存设置。点击"Cancel"取消更改。

→ GUI 反馈：设置保存到系统注册表（QSettings），下次启动自动加载

第6章 文件选择

文件选择面板位于主窗口左侧中部，用于指定 COM 计算所需的输入文件。

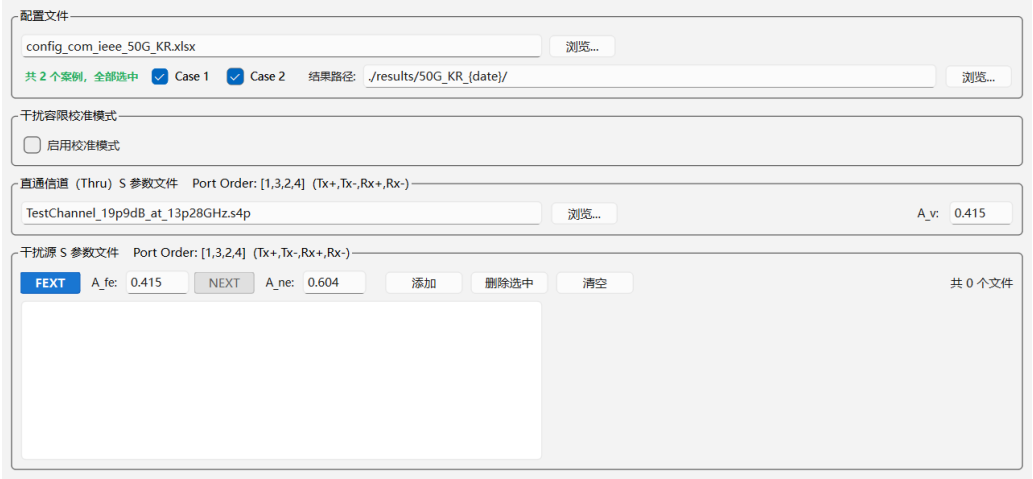

图 6-1 文件选择面板（配置文件 / 直通信道 / 干扰源 / 案例选择）

6.1 选择配置文件

配置文件为 Excel 格式（.xlsx），包含 COM 计算所需的全部参数设置。

1. 点击"配置文件 (.xlsx)"行的"浏览..."按钮。
2. 在文件对话框中选择 Excel 配置文件，点击"打开"。

→ GUI 反馈：路径显示在输入框中

→ GUI 反馈：参数覆盖面板自动读取 Excel 并加载参数列表

→ GUI 反馈：状态标签显示"已加载: xxx.xlsx（N 个参数）"

→ GUI 反馈：案例选择区出现，显示 Case 1, Case 2... 等复选框

6.2 选择直通信道 S 参数文件

直通信道（Thru Channel）为 4 端口 S 参数文件（.s4p），描述被测信道的频域特性。该文件是 COM 计算的核心输入。

1. 点击"直通 S4P (.s4p)"行的"浏览..."按钮。
2. 选择 .s4p 文件，点击"打开"。

→ GUI 反馈：路径显示在输入框中

→ GUI 反馈：信道图标签页自动绘制 SDD21（蓝色）、SDD11（红色）、SDD22（橙色）曲线

浏览按钮右侧的 A_v 输入框显示 Excel 配置中的直通信道信号幅度（单位 V）。该值在加载配置文件时自动读取，用户可直接修改，运行时将自动写回 Excel。

S 参数文件要求

S 参数文件需满足以下要求：

- 格式：标准 Touchstone .s4p 文件（4 端口 S 参数）
- 端口定义：4 个端口对应差分对的 TX+/TX-/RX+/RX-
- 端口顺序：由 Excel 配置文件中的 "Port Order" 参数定义（默认 [1 2 3 4]），即端口 1=TX+, 2=TX-, 3=RX+, 4=RX-
- 频率范围：建议覆盖 DC 到至少 2 倍奈奎斯特频率
- 频率步长：建议不大于 Excel 配置中的 Delta_f 值

> 提示：S 参数文件的端口顺序非常重要。不同厂家的 VNA（矢量网络分析仪）可能使用不同的端口编号约定。请确认 Excel 配置中的 Port Order 与实际测量的端口编号一致。常见的端口顺序有 [1 2 3 4]（默认）和 [1 3 2 4]。

6.3 干扰源 S 参数文件面板

干扰源 S 参数文件面板将 FEXT（Far-End Crosstalk，远端串扰）和 NEXT（Near-End Crosstalk，近端串扰）文件合并在同一区域，通过顶部的 [FEXT] / [NEXT] 切换按钮选择当前操作的列表。两类文件均为 .s4p 格式，可各添加多个。

[FEXT] 按钮右侧的 A_fe 和 [NEXT] 按钮右侧的 A_ne 输入框分别显示 FEXT 和 NEXT 干扰信号幅度（单位 V）。这些值在加载配置文件时自动从 Excel 读取，用户可直接修改，运行时将自动写回 Excel。

当前活跃的按钮以蓝色高亮显示，非活跃按钮为灰色。添加、删除选中、清空三个操作按钮始终作用于当前可见的列表，计数标签显示当前列表的文件数量。

6.4 添加 FEXT / NEXT 文件

1. 点击面板顶部的 [FEXT] 或 [NEXT] 按钮切换到目标列表。
2. 点击"添加"按钮。
3. 在文件对话框中选择一个或多个 .s4p 文件（支持多选）。

   → GUI 反馈：文件列表更新，显示已添加的文件名

   → GUI 反馈：计数标签更新为"共 X 个文件"

   → GUI 反馈：信道图叠加对应曲线（FEXT 绿色系 / NEXT 青色系）

6.5 删除 / 清空文件

- "删除选中"：在当前可见列表中选中一项或多项，点击"删除选中"按钮移除。
- "清空"：点击"清空"按钮，清除当前列表下的全部文件。

> 提示：切换 [FEXT] / [NEXT] 按钮不会影响另一个列表中已添加的文件，两个列表相互独立。

6.6 案例选择

Excel 配置文件中可能包含多个案例（Case）。加载配置文件后，面板底部会显示案例复选框，可勾选要运行的案例。

→ GUI 反馈：全选时信息标签显示绿色；部分选中显示橙色；未选显示红色

注意：至少需要选中一个案例才能运行 COM 计算。

第7章 参数覆盖

参数覆盖面板允许您在不修改 Excel
原始文件的情况下，临时覆盖某些关键参数值。覆盖的参数将在运行时写入 Excel
（首次写入时自动备份原文件为 .xlsx.bak，后续覆盖不会覆写备份）。

图 7-1 参数覆盖面板（启用 / 参数名 / 描述 / 单位 / 当前值 / 覆盖值）

7.1 面板说明

参数覆盖面板以表格形式展示，包含以下列：

列名	说明
启用	复选框，勾选后该行参数将在运行时生效
参数名	Excel 中的参数标识名称
描述	参数的中文描述说明
单位	参数的物理单位
当前值	Excel 中读取的原始值（灰色斜体显示）
覆盖值	用户输入的新值（红色字体，黄色背景）

7.2 编辑覆盖值

1. 双击或单击"覆盖值"列的单元格，输入新的参数值。

   → GUI 反馈：自动勾选该行的"启用"复选框

   → GUI 反馈：单元格背景变为黄色，字体变为红色，提示该值已被修改

2. 按 Enter 键确认输入，或点击其他位置结束编辑。

7.3 按钮操作

按钮	功能
全选	勾选所有行的"启用"复选框
全取消	取消所有行的勾选
复原	清空所有覆盖值，恢复为 Excel 中的默认值
覆盖	将已勾选行的覆盖值写入"当前值"列
插入参数	在 xlsx 模板中插入模板缺失的关键字行（如 AUTO_TFX）

"插入参数"按钮可弹出对话框，用于在 xlsx 模板中追加 OVERRIDE_PARAMS 里没有但 .m 引擎读取的关键字行。常用于 ERL=2 工作流的 AUTO_TFX、Module Input 工作流的额外参数。

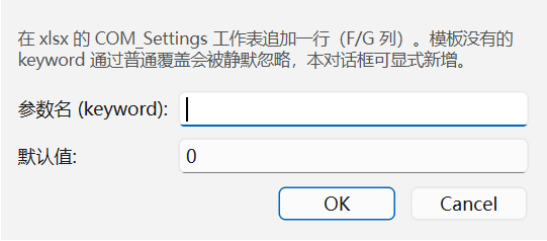

图 7-2 插入参数对话框（输入新关键字 + 默认值）

7.4 参数排序

点击"参数名"列标题可在字母顺序和原始顺序之间切换排序。

7.5 运行时行为

点击"运行"时，所有勾选"启用"且填写了覆盖值的参数将被写入 Excel 配置文件。仅在首次写入时自动将原文件备份为 .xlsx.bak；后续多次覆盖不会覆写该备份，确保 .xlsx.bak 始终保留最初的原始文件。

> 注意：参数覆盖会修改 Excel 文件内容。如需恢复，请使用自动生成的 .xlsx.bak 备份文件。.bak 文件仅在首次覆盖时创建，始终对应最初的原始配置。

7.6 可覆盖参数完整列表

以下表格列出了参数覆盖面板中支持的全部参数，按类别分组：

信号基础参数

参数名	描述	单位	说明
f_b	信号速率（波特率）	GBd	信号的符号速率，如 212.5 GBd 对应 200G/lane
f_min	S 参数最低起始频率	GHz	S 参数有效的最低频率，通常设为较小值
Delta_f	频率步长	GHz	S 参数的频率分辨率要求

均衡器参数

参数名	描述	单位	说明
g_DC	CTLE DC 增益列表	dB	CTLE 均衡器的 DC 增益搜索范围，如 "[-1 0 1 2 3]"
f_z	CTLE 零点频率	GHz	CTLE 传递函数的零点频率
f_p1	CTLE 极点 1 频率	GHz	CTLE 传递函数的第一极点频率
f_p2	CTLE 极点 2 频率	GHz	CTLE 传递函数的第二极点频率
g_DC_HP	CTF 低频 AC 增益列表	dB	CTF 高通滤波器增益搜索范围
c(0)	TX FFE 主游标最小值		发送端前馈均衡器主游标约束
N_b	DFE 固定抽头数	tap	判决反馈均衡器的抽头数量

噪声参数

参数名	描述	单位	说明
sigma_RJ	随机抖动 RJ	UI	发送端随机抖动的 RMS 值
A_DD	DD 噪声功率密度	V^2/GHz	确定性噪声（Dual-Dirac）的功率谱密度
eta_0	噪声本底	dB	接收端热噪声本底
SNR_TX	发射端信噪比		发射端的信噪比
R_LM	电平匹配比例		多电平调制的电平匹配参数

阈值与控制参数

参数名	描述	单位	说明
COM Pass threshold	COM 通过门限	dB	默认 0 dB，COM ≥ 该值判定为 PASS
ERL	启用 ERL 计算	0/1	设为 1 启用 ERL 计算，0 跳过
ERL_ONLY	仅计算 ERL	0/1	设为 1 仅计算 ERL，跳过 COM
CSV_REPORT	输出 CSV 结果	0/1	设为 1 输出详细 CSV 结果文件
RESULT_DIR	结果输出目录		指定 CSV 和结果文件的输出路径。支持 {date} 占位符（自动展开为 DD-Mon-YYYY 格式的当天日期）。相对路径基于配置文件所在目录解析
z_p select	案例选择		要运行的案例索引列表，如 "[1 2 3]"
RX_CALIBRATION	干扰容限校准	0/1	设为 1 启用校准模式
Sigma BBN step	校准步长	V	校准搜索步长（值越小精度越高）

第8章 运行 COM 计算

8.1 前置检查

运行前，软件将自动检查以下条件：

- 已选择有效的配置文件（.xlsx）
- 已选择直通信道 S 参数文件（.s4p）
- 已在设置中配置可执行文件 / MATLAB 路径
- 至少选中一个案例
- 授权有效，或试用次数未用完

如有条件未满足，将弹出错误对话框列出所有问题。

→ GUI 反馈：弹出红色错误对话框，逐条列出未通过的检查项

8.2 开始运行

确认所有条件满足后，点击"▶ 运行 COM 计算"按钮。

→ GUI 反馈："▶ 运行 COM 计算"按钮变灰（不可再次点击）

→ GUI 反馈："■ 停止"按钮激活为红色

→ GUI 反馈：运行日志标签页自动切换到前台

→ GUI 反馈：日志输出启动信息：命令行、工作目录、进程 PID

→ GUI 反馈：状态栏开始显示运行计时

→ GUI 反馈：如有参数覆盖，日志显示写入确认信息

8.3 运行过程

模式A 运行特点

模式A 使用编译后的可执行文件运行。由于 MATLAB Runtime 的限制，中间计算日志无法在 GUI 日志面板中实时显示。

- 日志面板显示诊断信息（命令行、PID、退出码）和 CSV 结果
- 完整的 MATLAB 输出可在启动软件的命令行窗口（py.exe 控制台）中查看

模式B 运行特点

模式B 直接调用 MATLAB，支持实时捕获 stdout 输出。

- 日志面板实时显示 MATLAB 计算过程输出

状态栏信息

运行过程中，状态栏显示：

- 已用时间（分:秒）

- 已完成案例数 / 总案例数
- 每案例平均耗时

8.4 完成检测

软件通过以下方式检测计算是否完成：

- stdout 关键词检测（"run time = X min"）
- CSV 结果文件生成检测
- 预期案例数自动从 Excel 配置（z_p select）读取，达到数量立即完成

如果进程退出但未检测到预期数量的结果，软件进入静默期倒计时，等待可能的延迟输出。此时会显示进度条和"点击直接完成"按钮。

计算结束后，软件自动清理 MATLAB
启动的孤立进程（EXCEL.EXE、conhost.exe），防止进程残留。SCPI 远程控制模式下同样生效。

8.5 停止运行

如需中途停止，点击"■ 停止"按钮。

→ GUI 反馈：MATLAB 进程被终止

→ GUI 反馈：日志显示进程退出码

→ GUI 反馈："▶ 运行"按钮恢复为可点击状态

8.6 验证失败处理

如果前置检查未通过，将显示详细的错误信息：

→ GUI 反馈：弹出错误对话框，列出所有未满足的条件

请根据提示逐一修正后重试。

第9章 查看结果

计算完成后，结果在右侧面板的各标签页中展示。

9.1 摘要标签页

摘要页以大字体（28pt）显示 COM 值，并用颜色直观指示 PASS / FAIL：

- COM ≥ 门限值（默认 0 dB）→ 绿色 "PASS √"
- COM < 门限值 → 红色 "FAIL "

如有多个案例，摘要页显示最差案例的 COM 值（即所有案例中最小的 COM）。同时以对比表展示各案例的核心指标：

指标	说明	单位	判定标准
COM	Channel Operating Margin	dB	≥ 门限 PASS；< 门限 FAIL
ERL	Effective Return Loss	dB	值越大越好（回波越小）
VEO	Vertical Eye Opening	mV	值越大眼图越张开
VEC	Vertical Eye Closure	dB	值越小信道损害越小
DER	Detector Error Ratio	—	等效误码率
Die-to-Die IL	芯片间插入损耗	dB	奈奎斯特频率处的总损耗
运行时间	单案例计算耗时	min	—

对比表中，PASS 的指标行以绿色背景标记，FAIL 行以红色背景标记，方便快速识别不合格项。

> 提示：COM 的门限值可通过参数覆盖面板的 "COM Pass threshold" 修改（默认 0 dB）。不同标准规定的 COM 门限可能不同，请参考具体速率标准的要求。

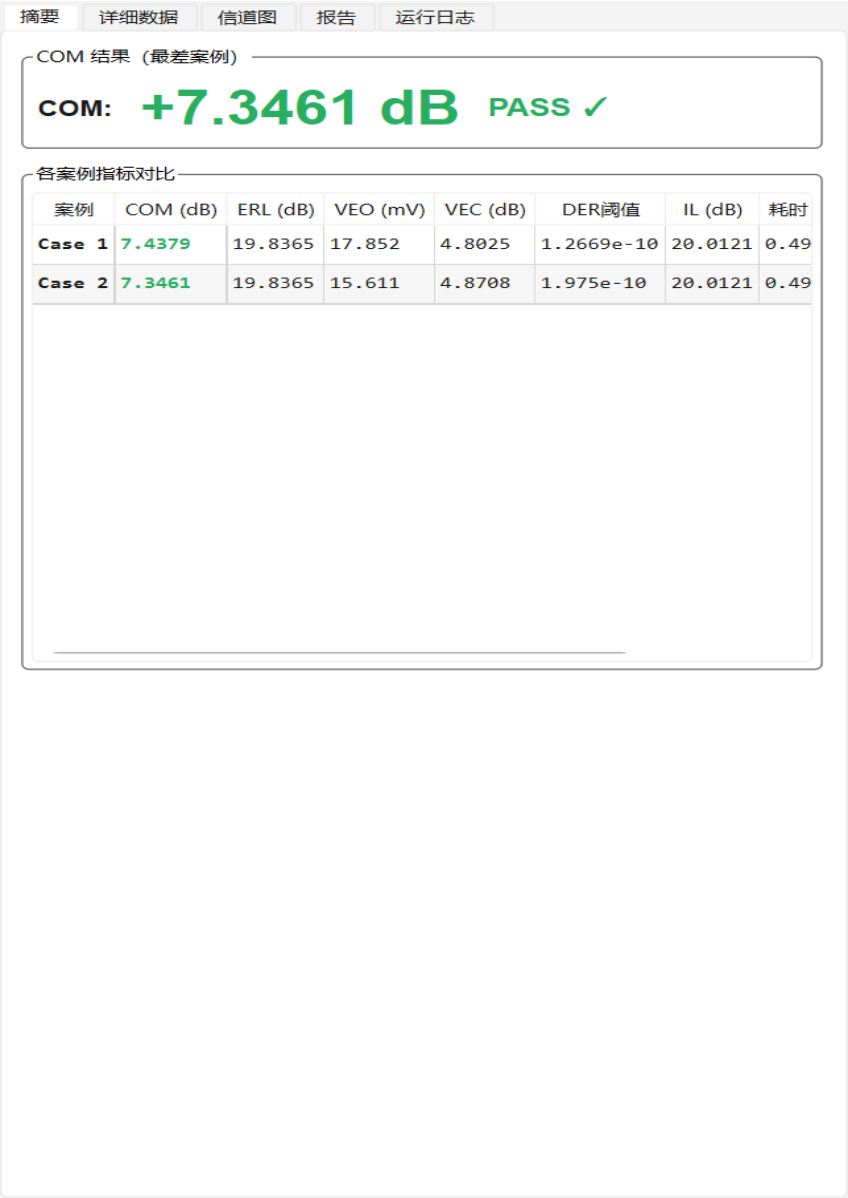

图 9-1 摘要标签页（大字号 COM 值 + PASS/FAIL 指示 + 多案例对比表）

9.2 详细数据标签页

为每个案例创建独立的子标签页，展示 MATLAB 输出 CSV 文件中的所有字段。数据按以下分组显示，方便快速定位关键信息：

摘要 | 详细数据 | 信道图 | 报告 | 运行日志

Case 1 | Case 2

字段名	值
Z22est	101.7183
Z11est	99.8407
VTF_loss_dB_at_Fnq	24.7749
VMA	
VIP_to_VMP_IL_dB_at_Fnq	24.6087
VEO_window_mUI	
VEO_mV	17.852
VEC_dB	4.8025
VCM_DC_HF_mV	29.9
VCM_CD_HF_mV	29.7
uneq_FIR_peak_time	5.3941e-09
TXLE_taps	[0.025 -0.15 0.775 …
Tr_measured_from_step_ps	114.1176
tfx_estimate	
TD_ILN	
tail_RSS	0
steady_state_voltage_weq_mV	98.5279
steady_state_voltage_mV	847.7628
SNR_ISI_XTK_normalized_1_sigma	25.2856
SNR_ISI_est	36.8772
Sigma_ts_sqrd	0.15527
sigma_N	0.00043748
sigma_bn	
sigma_ACCM_at_tp0_mV	
sigma_AC_CCM_at_rxpkg_output_mV	
sgm_xt	0
sgm_TX	0.0011619

图 9-2 详细数据标签页（按分组展示 CSV 全部字段）

分组	包含字段	说明
COM 核心结果	COM, VEC_dB, VEO_mV, A_s, A_ni, threshold_DER, EW_UI	最重要的计算结果
ERL 结果	ERL_min, ERL, ERL1, ERL2	回波损耗相关指标

分组	包含字段	说明
噪声分量	sigma_ISI, sigma_J, sigma_XT, sigma_Rn, ICN 等	各噪声分量的 RMS 值（mV）
信道参数	IL_db_die_to_die, SCMR_dB, VMC_HF_mV 等	信道特性参数
均衡设置	ctle, gdc, best_G_high_pass, txffe	优化后的均衡器参数
运行信息	code_revision, config_file, rtmin	引擎版本和运行时间

9.3 信道图标签页

信道图以频域曲线形式展示 S 参数特性：

曲线	含义	颜色
SDD21	差分插入损耗 (Insertion Loss)	蓝色
SDD11	TX 端回波损耗 (Return Loss)	红色
SDD22	RX 端回波损耗 (Return Loss)	橙色
FEXT	远端串扰曲线	高反差色
NEXT	近端串扰曲线	高反差色

横轴为频率（GHz），纵轴为幅度（dB）。

> 提示：选择 S 参数文件后，信道图即时自动绘制，无需运行 COM 计算。

子图切换

信道图右上角提供选项卡，可切换显示模式：全部（同时显示 SDD21/SDD11/SDD22 三个子图）、SDD21、SDD11、SDD22。切换时已有的 Marker 自动保留。

图表高度调整

信道图下方有一条灰色拖拽手柄（水平条），上下拖动可自由调整图表高度，使曲线获得更多像素空间。"全部"模式下 SDD21/SDD11/SDD22
三个子图高度同步等比调整。超出可视区域后可滚动查看。双击手柄可恢复自动高度。

曲线显示开关

每个子图下方有复选框列表，可独立开关各条曲线的显示。隐藏曲线后 Y
轴自动缩放至可见曲线范围。

交互式 Marker

在信道图上右键点击可弹出上下文菜单，支持以下操作：

菜单项	功能
添加 Marker	在最近的可见曲线上添加 Marker，颜色与曲线一致
添加所有曲线 Markers	在该频率处为所有子图所有可见曲线各添加一个 Marker
删除最近 Marker	删除距离右键位置最近的 Marker
清除所有 Markers	删除当前子图所有 Marker
编辑 Marker...	弹出对话框编辑 Marker 的频率或幅度
设置坐标范围...	手动设置 X/Y 轴范围
重置坐标范围	恢复到初始坐标范围

Marker 标注自动调整位置，避免超出边界和相互重叠。左键点击 Marker 圆点或标注框可拖动 Marker 沿曲线移动。右键点击标注框直接操作对应的 Marker。

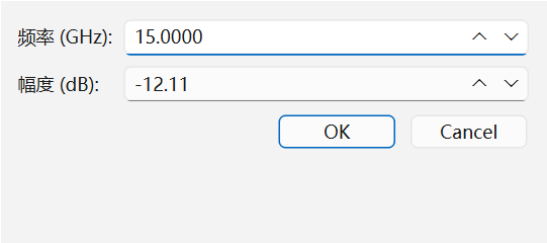

图 9-3 编辑 Marker 对话框（修改频率 / 幅度，自动吸附到曲线）

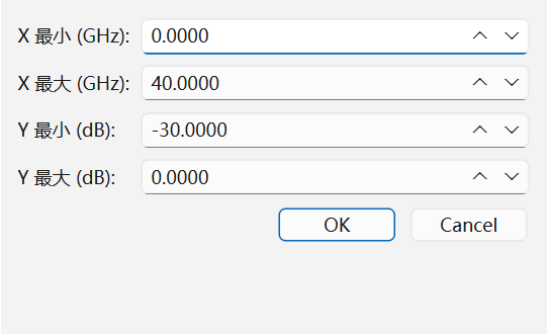

图 9-4 设置坐标范围对话框（X / Y 轴最小最大值）

提示：Marker 信息会包含在 PDF 报告中，记录频率和幅度。导出 PDF 时自动捕获当前信道图的最新状态，包括手动添加的 Marker 和调整后的坐标轴范围。切换子图显示模式时 Marker 不会丢失。

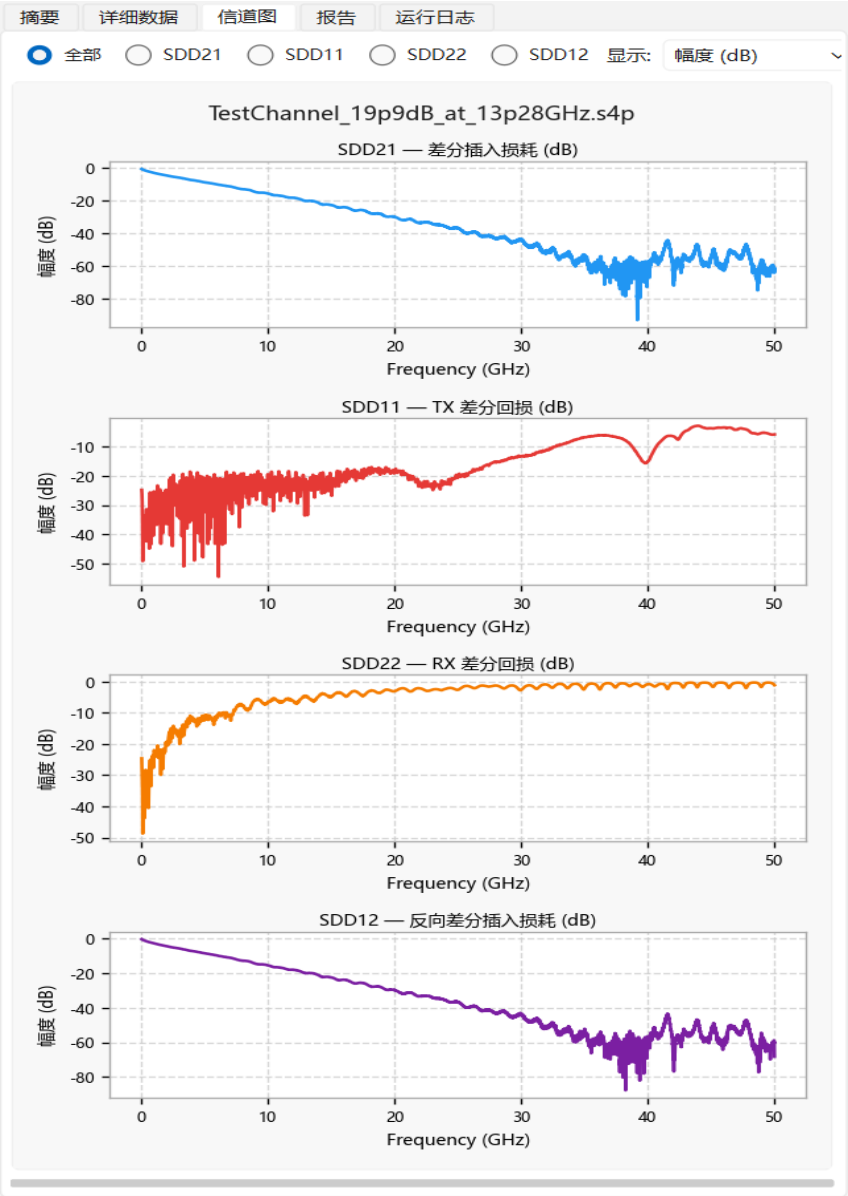

图 9-2 信道图标签页（SDD21 插损 / SDD11 回损 / SDD22 回损曲线）

9.4 报告标签页

报告标签页以树形结构显示每次运行的完整记录，包括运行时间、配置文件、结果值和 PASS/FAIL 判定。支持多次运行的历史记录。

图 9-5 报告标签页（树形展示历次运行记录 + 导出 PDF 按钮）

- 点击"导出 PDF..."按钮，可将运行结果导出为 PDF 报告文件。报告包含所有案例的完整计算结果，适合存档或提交给客户。
- 点击"清空报告"按钮，清除所有历史记录。

PDF 报告页面结构

导出的 PDF 报告按以下结构分页，每个大项独立一页：

页面	内容
首页	标题 + 测试结果摘要（COM 值、PASS/FAIL、用时）+ 运行条件 + 参数覆盖
配置文件设置	Excel 配置中的全部参数；短值（≤120 字符）4 列紧凑排列，长值（如 MATLAB 数组）2 列全宽显示，自动换行不截断
各案例指标	案例对比表 + 每个案例的全部 CSV 详细字段
信道图	SDD21/SDD11/SDD22 频域曲线图 + Marker 信息表

> 提示：导出 PDF 时会实时捕获当前信道图状态。在导出前手动添加 Marker、调整坐标轴范围或拖拽图表高度，这些更改都会反映在 PDF 中。

9.5 运行日志标签页

运行日志以深色背景显示，不同级别用颜色区分：

级别	颜色	用途
INFO	白色	常规信息
WARNING	黄色	警告信息
ERROR	红色	错误信息

- "清空日志"：清除日志面板内容。
- "保存日志..."：将日志保存为文本文件。

图 9-3 运行日志标签页（彩色日志：INFO/WARNING/SUCCESS 等级别）

第10章 干扰容限校准

干扰容限校准（Noise Tolerance Calibration）用于确定信道的噪声容限参数 σ_hp（高通滤波校准噪声）或 σ_bn（基带校准噪声）。此功能为独立运行模式，不影响常规 COM 计算流程。

校准的目的是确定在给定信道条件下，使 COM 恰好等于门限值时所需的噪声水平。该噪声值可用于后续的接收端合规性测试，作为干扰容限的参考基准。

10.1 校准原理

校准过程通过逐步调整噪声参数（σ_bn），反复计算 COM，直到找到使 COM 恰好等于通过门限值的噪声水平。步长越小，搜索结果越精确，但所需时间越长。

- σ_hp：发送端高通校准噪声（TX calibration noise），反映发送端噪声对信道的影响
- σ_bn：基带校准噪声（BBN calibration noise），反映信道本身的噪声容限

10.2 两条校准路径（务必先读）

IEEE 官方脚本内部有两条互斥的校准路径，走哪一条由配置文件自动决定，脚本不会明确提示它做了切换。两条路径要求的输入文件不同，给错会直接失败。

路径	触发条件	必须提供的文件
老路径 RX_CALIBRATION	配置未启用 RxFFE（接收端前馈均衡）	恰好 1 个 FEXT 文件（作噪声通道）；NEXT 必须为 0 个
新路径 PSDRXCAL	配置启用 RxFFE 且 FFE_OPT_METHOD = MMSE（200G/212G 一代的配置基本都满足）	PSDRXCAL Noise 文件（界面单独一栏）；FEXT / NEXT 数量不受限制

脚本内部的切换逻辑（com_ieee8023_4p14p0.m）：勾选校准模式会写入 RX_CALIBRATION=1，脚本随后判断——若 FFE 优化方法为 MMSE 且 RxFFE 已启用，就把 PSDRXCAL 置 1 并把 RX_CALIBRATION 清零，改走新路径。其中 FFE_OPT_METHOD 缺省值就是 MMSE；RxFFE 只要 ffe_pre_tap_len 或 ffe_post_tap_len 任一非 0 即视为启用。因此配置里根本不需要出现 PSDRXCAL 这一行，也可能走新路径。

> 提示：不用自己判断：勾选"启用校准模式"后，界面会按当前配置自动切换蓝色提示文案，并在需要时显示 PSDRXCAL Noise 那一栏。该栏出现即表示走新路径，必须填。

> 注意：常见故障：走新路径却未填 PSDRXCAL Noise 文件时，脚本在读取文件列表的第 (2+num_fext+num_next) 项时越界，计算在十几秒内结束且无任何结果；模式A（MATLAB Runtime）下运行日志也看不到原因。症状是"跑了十几秒就停、摘要页空白"，请首先检查该栏是否为空。需要看到脚本的真实报错时，可临时切到模式B（完整 MATLAB），其 stdout 可读。

随附的 demo 场景已经覆盖两条路径，可直接对照：scenario_2（50G KR）与 scenario_4（100G C2C）走老路径；scenario_6（C2M 模块输入）走新 PSDRXCAL 路径。

10.3 启用校准模式

> 注意：授权要求：校准模式仅对已激活授权 Key（永久或临时）的用户开放。试用模式下无法启用此功能，勾选时将弹出提示对话框。

1. 在文件选择面板中，勾选"启用校准模式"复选框。

   → GUI 反馈：运行按钮文字变为"▶ 运行 COM 校准"，按钮变为橙色

   → GUI 反馈：出现蓝色提示文字：校准模式需要 1 个 FEXT 文件，0 个 NEXT 文件

10.4 设置校准精度

在校准参数区域，输入 Sigma BBN step 值（默认 0.01）。该值控制校准的搜索步长，单位为 V。

步长值	精度	典型耗时	适用场景
0.001	高	较长	最终报告所需的精确校准值
0.01	中（推荐）	适中	日常工程评估
0.1	低	较短	快速粗略估计

10.5 运行校准

1. 确认已选择配置文件、直通 S 参数文件和 恰好 1 个 FEXT 文件。
2. 切换到 [NEXT] 列表，确认其为空（校准模式不使用 NEXT）。
3. 点击"▶ 运行 COM 校准"按钮。

   → GUI 反馈：MATLAB 引擎会弹出提示框（提醒核对实测的 signal_RJ / A_DD / SNR_TX 等参数），软件自动将其关闭，无需人工干预；运行日志记录一行"[校准] 已自动关闭引擎提示框"。

4. 等待校准计算完成。

注意：校准模式下，程序不会自动超时结束。需等待 MATLAB 进程自然退出，或在确认计算完成后手动点击"完成"按钮。校准时间取决于步长设置，可能需要数分钟到数十分钟。

10.6 查看校准结果

校准完成后，结果展示在摘要标签页的"干扰容限校准结果"区域：

- 校准噪声值以蓝色 28pt 大字体显示，单位为 mV
- 标题显示参数名称（σ_hp 或 σ_bn）
- 状态指示器显示蓝色 "校准完成 √"

校准结果同样会记录在详细数据标签页的 CSV 数据中，字段名为 sigma_bn。报告标签页中也会包含校准噪声值。

提示：校准结果的噪声值（mV）可直接用于后续的干扰容限测试。建议记录校准时使用的配置文件、S 参数文件和步长值，以确保可复现性。

第11章 配置管理

软件支持将当前的文件选择和参数覆盖配置保存为 JSON 文件，方便日后快速恢复。

11.1 保存配置

点击菜单栏 "文件" → "保存配置..."

→ GUI 反馈：弹出文件保存对话框

选择保存路径和文件名（.json），点击"保存"。

保存内容包括：

- 配置文件路径
- 直通 S 参数文件路径
- FEXT / NEXT 文件列表
- 参数覆盖设置
- 案例选择状态

11.2 加载配置

点击菜单栏 "文件" → "加载配置..."

→ GUI 反馈：弹出文件选择对话框

选择之前保存的 .json 文件，点击"打开"。

→ GUI 反馈：所有面板自动更新为加载的配置值

→ GUI 反馈：参数覆盖面板重新加载

11.2.1 演示场景（demo\ 文件夹）

v1.7.0 起演示配置改由安装目录下的 demo\ 文件夹提供（原 demo.json 已取消）。文件夹内每个 scenario_*.json
是一个演示场景，软件首次启动时自动加载序号最小的那个（速率最低、最易上手）。

随附三个场景，覆盖 IEEE 802.3 三代速率：

场景文件	速率（Nyquist）	对应标准
scenario_1_26p5625GBd_50G_KR.json	26.5625 GBd (13.28 GHz)	802.3cd 50G/lane
scenario_2_53p125GBd_100G_C2C.json	53.125 GBd (26.56 GHz)	802.3ck 100G/lane
scenario_3_106p25GBd_200G_KR.json	106.25 GBd (53.13 GHz)	802.3dj 200G/lane

场景 JSON 用与"保存配置"相同的 workspace 格式，常用字段：

- description：场景说明（显示在状态栏与 SCPI 列表里）
- config_file：Excel 配置文件路径

- thru_file：直通 S 参数文件路径
- fext_files / next_files：干扰源文件列表

> 提示：路径相对场景 JSON 所在目录解析，所以整个 demo\
> 可以随安装目录搬到任意盘符。场景引用的 S 参数就放在 demo\ 内，Excel 配置指向 ../resources/ExcelConfigFiles/。照着现有文件复制一份并改路径，即可添加自己的场景，软件会自动列出。

菜单 [文件 - 加载配置] 可随时切换场景；SCPI 用 CONF:DEMO:LIST? 列出、CONF:DEMO:LOAD 加载。

11.3 初始化

点击菜单栏 "文件" → "初始化"

→ GUI 反馈：弹出确认对话框："确定要清空所有设置吗？"

点击"是"确认后：

→ GUI 反馈：所有文件选择被清空

→ GUI 反馈：参数覆盖面板重置

→ GUI 反馈：案例选择被清空

第12章 常见问题与故障排除

Q: 运行后日志面板无输出（模式A）

A: 这是正常现象。模式A 使用编译后的可执行文件，由于 MATLAB Runtime 的限制，中间输出无法被 GUI 捕获。完整的 MATLAB 输出可在启动软件的命令行窗口（py.exe 控制台）中查看。日志面板会显示诊断信息和最终的 CSV 结果。

Q: 提示"找不到可执行文件"

A: 请检查"文件 → 设置"中的路径配置。确认所选的 .exe 文件或 matlab.exe 路径正确且文件存在。如果路径包含中文或空格，请确保路径格式正确。

Q: 提示"权限不足"

A: 请尝试以管理员身份运行本软件。右键点击 python.exe 或快捷方式，选择"以管理员身份运行"。

Q: 参数覆盖似乎未生效

A: 请确认以下几点：(1) 对应行的"启用"复选框已勾选；(2) "覆盖值"列中已填写了有效的数值；(3) 查看运行日志确认参数写入信息。另外，如果 Excel 中某些参数为公式引用，参数覆盖会替换公式为固定值。

Q: COM 值显示为"—"

A: 说明 MATLAB 计算未正常完成或输出格式异常。请检查：(1) 运行日志中是否有错误信息；(2) MATLAB 进程是否正常退出（退出码为 0）；(3) RESULT_DIR 指定的目录（默认为 results 子文件夹）中是否生成了 CSV 结果文件。

Q: 信道图未显示

A: 请确认已选择有效的 .s4p 文件。文件必须为标准 Touchstone 格式的 4 端口 S 参数文件。如果文件格式不正确，信道图区域会显示错误提示。常见原因：文件编码问题、端口数不是 4、文件损坏等。

Q: 试用次数已用完

A: 请联系供应商获取授权 Key。在"授权 → 授权管理"中查看 Host ID 并提供给供应商。

Q: 提示"功能受限"无法添加更多干扰源 S 参数文件或启用校准

A: 试用模式（未激活任何 Key）下，FEXT 和 NEXT 干扰源 S 参数文件各限制最多 1 个，且校准模式不可用。激活任意类型的授权 Key（永久或临时）即可解除所有功能限制。请联系厂家获取 Key，在"授权 → 授权管理"中输入。

Q: Excel 配置文件被修改了

A: 参数覆盖功能在运行时会修改 Excel 文件。软件仅在首次覆盖时自动备份原文件为 .xlsx.bak，后续多次覆盖不会覆写备份，因此 .bak 始终是最初的原始文件。如需恢复，将 .xlsx.bak 文件重命名为 .xlsx 即可。

Q: 计算时间很长，是否正常？

A: COM 计算时间取决于参数配置和硬件性能，通常每个案例需要数分钟至数十分钟。可通过状态栏查看已用时间和已完成案例数。如需中止，点击"停止"按钮。首次运行时 MATLAB Runtime 需要初始化，耗时可能更长。

Q: 如何同时运行多个案例？

A: 在加载配置文件后，案例选择区会显示所有可用案例。勾选需要运行的案例，软件会按顺序依次运行。运行过程中状态栏会显示当前进度。也可通过参数覆盖的 "z_p select" 参数指定案例列表。

Q: 模式A 和模式B 哪个更好？

A: 模式A（推荐）：无需安装完整 MATLAB，仅需免费的 MATLAB Runtime，部署方便。缺点是无法在 GUI 日志面板中查看实时输出。模式B：需要完整 MATLAB 安装，支持实时日志输出，适合调试和开发环境。两种模式的计算结果完全一致。

Q: S 参数端口顺序不确定怎么办？

A: Excel 配置文件中的 "Port Order" 参数定义了端口映射关系。常见的端口顺序有 [1 2 3 4]（TX+ TX- RX+ RX-）和 [1 3 2 4]。请参考 VNA 测量时的端口连接方式，或查阅 S 参数文件的注释行。错误的端口顺序会导致 COM 计算结果不正确。

Q: 校准模式下没有显示校准噪声值

A: 可能原因：(1) 校准尚未完成，请等待 MATLAB 进程结束；(2) 模式A 下需要通过 CSV 回退获取结果，请确保 CSV_REPORT 参数设为 1；(3) 查看详细数据标签页确认 CSV 文件中是否包含 sigma_bn 字段。

Q: 如何对比不同信道设计的结果？

A: 可以通过以下方式进行对比：(1) 保存不同配置为 JSON 文件，依次加载运行；(2) 利用多案例功能，在 Excel 中定义不同 trace 长度的案例；(3) 运行完成后，报告标签页保留所有历史记录，可纵向对比。

Q: CSV 结果文件保存在哪里？

A: 保存在 RESULT_DIR 指定的目录中（默认为配置文件所在目录的 results 子文件夹），文件名格式为 "*_caseN_results.csv"。RESULT_DIR 支持 {date} 占位符（展开为 DD-Mon-YYYY 格式的当天日期），相对路径基于配置文件所在目录解析。

提示：如果遇到本手册未涵盖的问题，请检查运行日志标签页中的详细输出信息，或联系技术支持。

第13章 典型工作流程

本章通过典型应用场景，介绍从配置到获取结果的完整操作流程。

13.1 基本 COM 计算流程

场景：评估一条高速串行链路是否满足目标速率标准的 COM 要求。

步骤 1 — 准备输入文件

- Excel 配置文件（.xlsx）：包含目标速率标准的参数设置
- 直通信道 S 参数（.s4p）：被测信道的 4 端口 S 参数测量数据
- FEXT 文件（.s4p，可选）：远端串扰源的 S 参数
- NEXT 文件（.s4p，可选）：近端串扰源的 S 参数

步骤 2 — 配置软件

- 首次使用：进入"文件 → 设置"配置 MATLAB 运行环境
- 加载配置文件 → 选择直通 S4P → 添加 FEXT/NEXT 文件
- 在信道图标签页预览频域曲线，确认文件加载正确
- 如需修改参数，在参数覆盖面板中编辑

步骤 3 — 运行计算

- 选择要运行的案例（Case），点击"▶ 运行 COM 计算"
- 观察运行日志和状态栏进度

步骤 4 — 查看结果

- 摘要页：确认 COM 是否 PASS
- 详细数据页：查看完整的噪声分解和均衡器参数
- 报告页：导出 PDF 报告存档

13.2 参数敏感度分析

场景：评估某个参数变化对 COM 的影响（如不同 CTLE 设置）。

1. 完成一次基准运行，记录 COM 值。
2. 在参数覆盖面板中修改目标参数的覆盖值。
3. 重新运行 COM 计算。
4. 对比报告标签页中的历史记录，分析参数变化的影响。

> 提示：可以保存不同参数设置的配置（JSON 文件），方便日后快速切换和复现。

13.3 干扰容限校准流程

场景：确定信道的噪声容限参数，用于接收端合规性测试。

1. 选择配置文件和直通 S 参数文件。
2. 在干扰源面板点击 [FEXT] 添加 恰好 1 个 FEXT 文件，切换到 [NEXT] 确认列表为空。
3. 勾选"启用校准模式"，设置 Sigma BBN step 值。
4. 点击"▶ 运行 COM 校准"。
5. 等待校准完成，摘要页显示 σ_bn 或 σ_hp 值（mV）。
6. 记录校准噪声值，用于后续测试。

13.4 批量多案例对比

场景：Excel 配置文件中定义了多个封装案例（如不同 trace 长度），需要一次性运行并对比结果。

1. 加载包含多案例定义的 Excel 配置文件。
2. 案例选择区会显示 Case 1, Case 2, ... 等复选框。
3. 勾选所有需要运行的案例（或使用全选）。
4. 点击"▶ 运行 COM 计算"，软件会按顺序依次计算每个案例。
5. 完成后，摘要页的对比表展示各案例的核心指标。
6. 详细数据页为每个案例生成独立的数据标签页。

第14章 模式对比与选择

本软件支持两种运行模式，适用于不同的使用场景。两种模式的计算结果完全一致，仅在部署方式和功能特性上有所不同。

对比项	模式A：编译可执行文件	模式B：完整 MATLAB
部署要求	仅需 MATLAB Runtime R2024a（免费）	需完整 MATLAB 安装（付费许可证）
版本要求	必须 R2024a（不支持其他版本）	推荐 R2024a
安装体积	Runtime 约 2-3 GB	MATLAB 完整安装 10+ GB
实时日志	不支持（GUI 无法捕获）	支持（实时显示在日志面板）
控制台输出	可在 py.exe 控制台查看	重定向至 GUI 日志面板
启动速度	首次较慢（Runtime 初始化）	相对较快
适用场景	生产/客户部署环境（推荐）	开发/调试环境
CSV 结果	正常输出	正常输出
校准功能	完全支持	完全支持
推荐	√ 推荐日常使用	需要实时日志时使用

提示：如果同时安装了 MATLAB Runtime 和完整 MATLAB，可随时在设置中切换模式，无需重启软件。

第15章 SCPI 远程控制

本软件支持 SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)
远程控制接口，可从自动化测试系统、CI/CD 流水线或脚本中控制 COM 计算。

15.1 概述

SCPI 协议简介

SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments)
是测试测量行业标准协议，定义了仪器控制命令的语法和语义。IEEE 488.2
定义了通用命令（*IDN?/*RST/*OPC 等）和状态寄存器模型。

COM 计算工具实现了 SCPI-raw over TCP/IP（默认端口 5026），使客户可以从任何支持 SCPI 的自动化环境中控制 COM 计算。

适用场景

- ATE 自动测试系统集成
- CI/CD 流水线自动验证
- 批量扫参（参数扫描与优化）
- LabVIEW / MATLAB / Python 自动化脚本

技术架构

- 协议: SCPI-raw over TCP/IP
- 端口: 5026（COM Tool 默认 SCPI 端口）
- 终止符: LF (0x0A)
- 编码: ASCII
- 连接模型: 单客户端（一次仅服务一个连接）
- 空闲超时: 300 秒
- VISA 地址: TCPIP0::<IP>::5026::SOCKET

响应格式

所有响应均为单行 ASCII 字符串，以 LF (0x0A) 结尾。列表类响应使用逗号或分号分隔：

- SYST:HELP:HEAD? — 逗号分隔: *CLS,*ESE,...
- CONF:PAR:LIST? — 分号分隔: f_b=212.5;sigma_RJ=0.01
- CONF:FILE:FEXT:LIST? — 分号分隔: "f1.s4p";"f2.s4p"
- LOG:DATA? / LOG:LAST? — 分号分隔: line1;line2;...
- 错误响应: -100,"Invalid mode: BOGUS"
- 空列表: ""（双引号包裹的空串）

15.2 启动 SCPI 服务

自动启动（推荐）

在 "文件" → "运行环境设置" 中勾选 "自动启动 SCPI 服务"，设置端口号后点击 OK。下次启动 GUI 时 SCPI 服务将自动启动。

从 GUI 手动启动

在主窗口菜单栏点击 "工具" → "启动 SCPI 服务"，在弹出对话框中输入端口号（默认 5026），点击确定即可启动。

- 状态栏将显示绿色标签 "SCPI: :5026"
- 点击 "工具" → "停止 SCPI 服务" 可关闭
- 关闭主窗口时 SCPI 服务自动停止

> 提示：首次启动时 Windows 防火墙可能弹出提示，请允许 Python 通过专用网络访问。

无头模式启动

无头模式无需 GUI，适合服务器或嵌入式环境：

```
python scpi_main.py --port 5026 --host 0.0.0.0
```

- --port: 监听端口（默认 5026）
- --host: 监听地址（默认 0.0.0.0，即所有网卡）
- --ready-signal: 服务就绪后输出 SCPI_READY（供自动化脚本检测）
- --quiet / -q: 精简输出，不打印命令列表
- Ctrl+C 优雅退出

Windows 防火墙设置

首次启动时 Windows 防火墙可能弹出提示，请允许 Python
通过专用网络访问。或使用管理员命令行添加规则：

```
netsh advfirewall firewall add rule name="COM_SCPI" dir=in action=allow
protocol=TCP localport=5026
```

15.3 IEEE 488.2 通用命令

*IDN? / *RST / *CLS

命令	类型	说明
*IDN?	查询	返回 "IEEE_COM,COM_Tool,0,<VERSION>"
*RST	设置	复位 SCPI 状态：清除文件/参数/案例/校准/图表 marker；运行设置回默认（quiet=120 / parallel=1 等），随后从 QSettings 重载用户持久化的路径与运行选项；SPAR 工具状态清空；License 不受影响
*CLS	设置	清除状态字节、事件寄存器、错误队列

*OPC / *OPC?（操作完成同步）

*OPC 设置操作完成时置位 ESR 的 OPC 位。*OPC? 阻塞直到操作完成，返回 "1"。典型用法：INIT; *OPC? → 等待计算完成。

*STB? / *ESR? / *ESE

*STB? 读取状态字节（非破坏性）。*ESR? 读取并清除标准事件状态寄存器。*ESE <mask> 设置事件状态使能寄存器。

命令	类型	说明
*ESE <mask> / *ESE?	设置/查询	事件状态使能寄存器
*SRE <mask> / *SRE?	设置/查询	服务请求使能
*WAI	设置	等待所有挂起操作完成
*TST?	查询	自检（检查路径有效性），0=通过

15.4 SCPI 命令参考

GUI / SCPI 双向同步：所有 GUI 可操作的功能（>99%）都有对应的 SCPI 命令；SCPI 修改会即时反映到 GUI 控件，反之亦然。少数纯 UI 操作（窗口打开/关闭、放大缩小图片查看器等）无需 SCPI 对应，因为它们不改变底层状态。

设计性 gap：SCPI 端口号只可通过 GUI 设置 → 重启服务生效（SCPI 命令不能改自身端口，避免悖论）。

15.4.1 文件配置 (CONFigure:FILE)

命令	说明	示例
CONF:FILE:CONF <path>	设置 Excel 配置文件	CONF:FILE:CONF "D:/config.xlsx"
CONF:FILE:CONF?	查询配置文件路径	
CONF:FILE:THRU <path>	设置 Thru S4P 文件	CONF:FILE:THRU "D:/thru.s4p"
CONF:FILE:FEXT:ADD <path>	添加 FEXT 文件	CONF:FILE:FEXT:ADD "D:/fext1.s4p"
CONF:FILE:FEXT:DEL	清除所有 FEXT	
CONF:FILE:FEXT:COUN?	FEXT 文件数量	→ 2
CONF:FILE:FEXT:LIST?	FEXT 文件列表	→ "f1.s4p";"f2.s4p"
CONF:FILE:NEXT:ADD/DEL/COUN?/LIST?	NEXT 文件（同 FEXT）	
CONF:FILE:VAL?	校验所有文件	→ 0 (成功)

15.4.2 参数覆盖 (CONFigure:PARameter)

命令	说明	示例
CONF:PAR:SET <key>,<val>	设置参数覆盖	CONF:PAR:SET f_b,212.5
CONF:PAR:SET? <key>	查询覆盖值	CONF:PAR:SET? f_b
CONF:PAR:CLE [<key>]	清除覆盖	CONF:PAR:CLE f_b
CONF:PAR:INS <key>,<val>	插入新参数行（xlsx 没有的 keyword）	CONF:PAR:INS AUTO_TFX,1

命令	说明	示例
CONF:PAR:APPL	应用覆盖到 xlsx（不跑 MATLAB）（v1.5.12）	
CONF:PAR:LIST?	列出所有覆盖	→ f_b=212.5;sigma_RJ=0.01
CONF:PAR:CAT?	可用参数列表	

15.4.3 信号幅度 (CONFigure:AMPlitude)

命令	说明	示例
CONF:AMPL:AV <val>	设置直通信道幅度 A_v（V）	CONF:AMPL:AV 0.385
CONF:AMPL:AV?	查询 A_v 值	
CONF:AMPL:AFE <val>	设置 FEXT 干扰幅度 A_fe（V）	CONF:AMPL:AFE 0.385
CONF:AMPL:AFE?	查询 A_fe 值	
CONF:AMPL:ANE <val>	设置 NEXT 干扰幅度 A_ne（V）	CONF:AMPL:ANE 0.481
CONF:AMPL:ANE?	查询 A_ne 值	

15.4.4 执行模式与路径

命令	说明
CONF:MODE <EXE|MATLAB>	模式A(EXE) 或 模式B(MATLAB)
CONF:PATH:EXE <path>	编译 exe 路径
CONF:PATH:MCR <path>	MATLAB Runtime 路径
CONF:PATH:MATLAB <path>	matlab.exe 路径
CONF:PATH:SCR <path>	.m 文件路径（模式B，父目录 addpath，文件名作函数名调用）

15.4.5 运行设置 (CONFigure:GENeral)

命令	说明
CONF:GEN:QUI <seconds> / ?	静默等待超时（默认 120）

命令	说明
CONF:GEN:CLOS <ON|OFF> / ?	自动关闭 MATLAB 图窗
CONF:GEN:EXP <N> / ?	预期案例数（0 = 自动从 Excel 检测）
CONF:GEN:CLEA <ON|OFF> / ?	运行前清空结果目录（默认 ON）
CONF:GEN:PAR <N> / ?	并行 case 数（1=串行，2-16=并行）；多 case 时同时跑 N 个 MATLAB 进程加速；校准模式强制 1

15.4.6 Demo 配置加载 (CONFigure:DEMO)

命令	说明
CONF:DEMO:LOAD [path]	加载 demo/ 演示场景。可给场景名或路径；省略则加载默认场景。自动设置文件路径和参数覆盖。
CONF:DEMO:LOAD?	返回上次加载的配置文件路径

提示：CONF:DEMO:LOAD 命令支持相对路径和绝对路径。无参数时加载默认演示场景，适合一键初始化仪器配置。

15.4.7 触发控制 (INITiate / ABORt)

命令	说明
INIT[:IMM]	启动 COM 计算（异步）
ABOR	终止运行中的计算（杀进程）
ABOR:FIN	跳过静默等待期，立即接收当前结果（v1.5.12）

提示：启动后使用 *OPC? 阻塞等待完成，或轮询 STAT:OPER:COND? 检查 bit4 (MEASuring)。ABOR:FIN 与 ABOR 区别：ABOR 标记 ABORTED，ABOR:FIN 走正常完成路径。

15.4.8 结果查询 (FETCh)

命令	返回	说明
FETC:COM?	3.42 (dB)	COM 值
FETC:ERL?	18.5 (dB)	ERL 值
FETC:VEO?	25.3 (mV)	VEO 值

命令	返回	说明
FETC:VEC?	-0.5 (dB)	VEC 值
FETC:AS?	100.0 (mV)	信号幅度 A_s
FETC:DER?	1.2E-7	检测器误码率
FETC:PASS?	1/0/-1	PASS/FAIL/未知
FETC:ALL?	COM=3.42,...	全部指标
FETC:RUNT?	0.69 (min)	运行时间
FETC:CASE:COUN?	4	CSV 案例数
FETC:CASE:COM? <n>	3.42	第 n 案例 COM
FETC:CASE:DATA? <n>	COM_dB=3.42,...	第 n 案例全部数据
FETC:CASE:LIST?	"Case 1",...	案例标签列表

15.4.9 组合测量 (MEASure)

MEASure 命令等价于 INITiate + 等待 + FETCh，阻塞直到计算完成。

命令	说明
MEAS:COM?	启动→等待→返回 COM
MEAS:ALL?	启动→等待→返回全部指标
MEAS:PASS?	启动→等待→返回 PASS/FAIL

注意：MEASure 命令可能阻塞数分钟，请确保客户端 socket 超时设置足够大（建议 600 秒以上）。

15.4.10 状态寄存器 (STATus)

命令	说明
STAT:OPER[:EVEN]?	读取并清除操作事件寄存器
STAT:OPER:COND?	读取操作条件寄存器（bit4=计算中）
STAT:OPER:ENAB <mask>	操作使能寄存器
STAT:QUES[:EVEN]? / :COND? / :ENAB	可疑状态寄存器
STAT:PRES	复位使能寄存器到默认值

15.4.11 系统命令 (SYSTem)

命令	说明
SYST:ERR[:NEXT]?	弹出错误队列 → 0,"没有错误"
SYST:ERR:COUN?	错误队列深度
SYST:ERR:ALL?	读取并清除全部错误
SYST:VERS?	SCPI 版本 → 1999.0
SYST:HELP:HEAD?	支持的命令列表（逗号分隔）
SYST:LANG <EN|ZH> / ?	切换 GUI 中英文界面（实时生效）
SYST:SCPI:PORT?	查询 GUI 配置的 SCPI 端口（v1.5.12）
SYST:SCPI:AUTO <ON|OFF> / ?	GUI 启动时自动启动 SCPI 服务（v1.5.12）

15.4.12 运行日志 (LOG)

命令	说明
LOG:DATA?	完整日志（分号分隔）
LOG:COUN?	日志行数
LOG:LAST? <n>	最后 n 行（分号分隔）
LOG:CLE	清除日志
LOG:SAVE "<path>"	保存日志到文件（UTF-8 文本）（v1.5.12）

15.4.13 信道图 (CHARt)

命令	说明
CHAR:SUBP <mode>	设置子图模式：ALL / SDD21 / SDD11 / SDD22
CHAR:SUBP?	查询当前子图模式
CHAR:MARK:ADD <subplot>,<freq_ghz>	在指定子图加 Marker（v1.5.12）
CHAR:MARK:ADD:ALL <freq_ghz>	在指定频率为所有曲线添加 Marker
CHAR:MARK:DEL <subplot>,<freq_ghz>	删除该子图最近 Marker（v1.5.12）
CHAR:MARK:LIST?	查询所有 Marker 列表（freq,subplot,curves）

命令	说明
CHAR:MARK:CLE	清除所有 Marker
CHAR:AXIS:RANG <subplot>,<xmin>,<xmax>,<ymin>,<ymax>	设置指定子图的坐标轴范围
CHAR:AXIS:RANG? [<subplot>]	查询坐标轴范围设置
CHAR:AXIS:RANG:RES	重置所有坐标轴范围为默认值
CHAR:HEIG <pixels|AUTO>	设置信道图高度（像素，≥200）；AUTO 或 0 恢复自动高度
CHAR:HEIG?	查询当前信道图高度设置（0 = 自动）

15.4.14 结果输出目录 (CONFigure:FILE:RESult:DIR)

命令	说明
CONF:FILE:RES:DIR <path>	设置结果输出目录（覆盖 Excel 中的 RESULT_DIR）
CONF:FILE:RES:DIR?	查询当前结果输出目录

15.4.15 校准设置 (CONFigure:CALibration)

命令	说明
CONF:CAL:MODE <ON|OFF|1|0>	启用/禁用干扰容限校准模式
CONF:CAL:MODE?	查询校准模式状态（1=启用，0=禁用）
CONF:CAL:STEP <value>	设置校准步进值（默认 0.001）
CONF:CAL:STEP?	查询当前校准步进值

15.4.16 案例选择 (CONFigure:CASE:SELect)

命令	说明
CONF:CASE:SEL <list|ALL>	选择运行的案例（如 1,3,4 或 ALL）
CONF:CASE:SEL?	查询当前案例选择

15.4.17 校准结果查询 (FETCh:CALibration)

命令	说明
FETC:CAL:NOIS?	查询校准噪声值（sigma_hp,sigma_bn，单位 mV）
FETC:CAL:PASS?	校准是否成功（1=成功，0=无数据）

15.4.18 端口顺序查询 (FETCh:PORT:ORDer)

命令	说明
FETC:PORT:ORD?	查询端口顺序（如 1,3,2,4）

15.4.19 PDF 报告导出 (FILe:REPort)

命令	说明
FILE:REP:EXP <filepath>	导出 PDF 报告（仅 GUI 模式可用）
FILE:REP:EXP?	查询上次导出的报告路径
FILE:REP:CLE	清空报告 Tab 累积条目（mirror GUI"清空报告"，v1.5.12）

15.4.20 界面语言 (SYSTem:LANGuage)

命令	说明
SYST:LANG <EN|ZH>	设置界面语言（EN/ZH/en_US/zh_CN）
SYST:LANG?	查询当前界面语言

15.5 使用示例

Telnet 手动操作

```
telnet localhost 5026
```

```
*IDN?
CONF:FILE:CONF "D:/config_212Gbps.xlsx"
CONF:FILE:THRU "D:/thru.s4p"
CONF:MODE EXE
CONF:PATH:EXE "D:/com_ieee8023_4p14p0.exe"
CONF:PATH:MCR "F:/MATLAB/R2024a"
INIT
*OPC?
FETC:COM?
FETC:PASS?
```

Python socket 客户端

```
import socket

def scpi(sock, cmd):
    sock.sendall((cmd + "\n").encode())
    if "?" in cmd:
        return sock.recv(4096).decode().strip()

s = socket.socket()
s.connect(("localhost", 5026))
s.settimeout(600)

print(scpi(s, "*IDN?"))
scpi(s, 'CONF:FILE:CONF "D:/config.xlsx"')
scpi(s, 'CONF:FILE:THRU "D:/thru.s4p"')
scpi(s, "CONF:MODE EXE")
scpi(s, 'CONF:PATH:EXE "D:/com.exe"')
scpi(s, 'CONF:PATH:MCR "F:/MATLAB/R2024a"')
scpi(s, "INIT")
scpi(s, "*OPC?") # blocks until done
com = scpi(s, "FETC:COM?")
print(f"COM = {com} dB")
s.close()
```

批量扫参自动化脚本

```
params = [("f_b", v) for v in ["106.25", "212.5"]]

for key, val in params:
    scpi(s, f"CONF:PAR:SET {key},{val}")
    scpi(s, "INIT")
    scpi(s, "*OPC?")
    com = scpi(s, "FETC:COM?")
    passed = scpi(s, "FETC:PASS?")
    print(f"{key}={val}: COM={com} dB, PASS={passed}")
    scpi(s, "CONF:PAR:CLE")
```

LabVIEW / MATLAB 集成

LabVIEW: 使用 TCP/IP 函数节点连接到 5026 端口，发送 SCPI 命令字符串并读取响应。

MATLAB: 使用 tcpclient 对象或 instrfind/visa 接口。

```
t = tcpclient("localhost", 5026);
writeline(t, "*IDN?");
idn = readline(t);
disp(idn);
```

Keysight IO / PyVISA 连接

安装 Keysight IO Libraries Suite 后，可使用 VISA TCPIP SOCKET 连接。VISA 地址格式：

```
TCPIP0::127.0.0.1::5026::SOCKET
```

在 Keysight Connection Expert 中手动添加 TCPIP Socket 仪器，填写 IP 和端口后即可使用 Interactive IO (Send & Read) 发送命令。

Python PyVISA 示例：

```
import pyvisa

rm = pyvisa.ResourceManager()
inst = rm.open_resource("TCPIP0::127.0.0.1::5026::SOCKET")
inst.read_termination = "\n"
inst.write_termination = "\n"
inst.timeout = 600000 # 10 min

print(inst.query("*IDN?"))
inst.write('CONF:FILE:CONF "D:/config.xlsx"')
inst.write("INIT")
print(inst.query("*OPC?")) # blocks until done
print("COM =", inst.query("FETC:COM?"), "dB")

inst.close()
rm.close()
```

> 提示：Keysight IO Libraries 的 VISA 后端 (visa32.dll) 已通过完整验证。PyVISA 安装: pip install pyvisa

15.6 错误码参考

SCPI 标准错误码

范围	类型	说明
-100 ~ -199	命令错误 (CME)	语法错误、未知命令
-200 ~ -299	执行错误 (EXE)	文件不存在、参数越界、SCPI 授权无效
-300 ~ -399	设备错误 (DDE)	MATLAB 崩溃、运行失败
-400 ~ -499	查询错误 (QYE)	无结果时查询

设备特定错误

设备特定错误代码为正数，当前版本未定义。所有错误均可通过 SYST:ERR? 读取。

15.7 状态寄存器详解

标准事件状态寄存器 (ESR)

Bit	名称	说明
7	PON	上电（服务器启动时置位）
5	CME	命令错误（语法/未知命令）
4	EXE	执行错误（文件不存在、参数越界）
3	DDE	设备错误（MATLAB 崩溃）
2	QYE	查询错误（无结果时查询）
0	OPC	操作完成

状态字节 (STB)

Bit	名称	说明
7	OPER	操作状态摘要
5	ESB	ESR 摘要（ESR & ESE 非零）
4	MAV	有响应数据
3	QUES	可疑状态摘要

Bit	名称	说明
2	ERR	错误队列非空

操作状态寄存器

Bit	名称	说明
4	MEAS	计算运行中
5	WTRIG	已配置等待触发

15.8 典型自动化流程

```
# 1. Identify
*IDN?
→ IEEE_COM,COM_Tool,0,1.2.0

# 2. Configure files
CONF:FILE:CONF "D:/config_212Gbps.xlsx"
CONF:FILE:THRU "D:/thru.s4p"
CONF:FILE:FEXT:ADD "D:/fext1.s4p"

# 3. Set mode & paths
CONF:MODE EXE
CONF:PATH:EXE "D:/com_ieee8023_4p14p0.exe"
CONF:PATH:MCR "F:/MATLAB/R2024a"

# 4. Parameter overrides
CONF:PAR:SET f_b,212.5
CONF:PAR:SET CSV_REPORT,1

# 5. Run & wait
INIT
*OPC?
→ 1 (blocks until done)

# 6. Fetch results
FETC:COM?
→ 3.42
FETC:PASS?
→ 1
FETC:ALL?
→ COM=3.42,ERL=18.5,VEO=25.3,VEC=-0.5,A_s=100.0
```

第16章 VNA 网络分析仪

本软件集成了 VNA（矢量网络分析仪）控制功能，可直接连接 VNA 仪器提取 S 参数，无需离开 COM 计算环境。VNA 功能需要 SCPI 选件授权。

16.1 概述

VNA 窗口通过 "工具" → "连接 VNA" 打开，提供以下功能：

- 通过 VISA 连接网络分析仪（支持 TCP/IP、GPIB、USB）
- 配置测量参数（频率、点数、S 参数、格式）
- 执行频率扫描和单次测量
- 获取 SnP 参数数据（文本/表格/图表视图）
- 获取 VNA 屏幕截图
- 向 VNA 发送自定义 SCPI 命令
- 导入/导出 Touchstone 文件

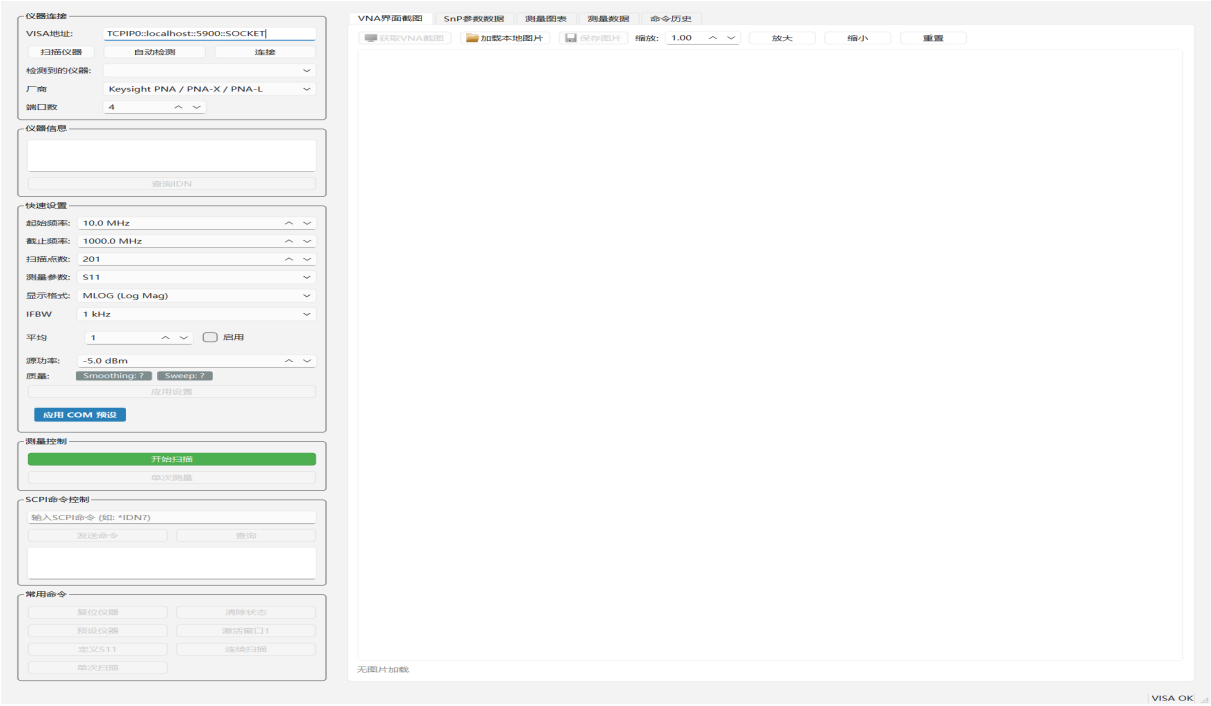

图 16-1 VNA 网络分析仪控制窗口

16.2 连接仪器

操作步骤（v1.3 更新）：

- 先选厂商：在 "厂商" 下拉框选择连接的 VNA vendor：
- • Keysight PNA / PNA-X / PNA-L (N5247B, N522xB, M983x)

- • Keysight ENA (E5080A/B, E5061B, E5063A, E5071C)
- • Rohde & Schwarz ZNB / ZVA / ZNA / ZNL
- • Anritsu ShockLine MS46xxx / VectorStar MS4640B
- 选择 "端口数"（S2P=2, S4P=4）
- 在 VISA 地址栏输入仪器地址（如 TCPIP0::192.168.1.100::inst0::INSTR）
- 或点击 "扫描仪器" 自动检测局域网内的 VISA 设备
- 选择仪器后点击 "连接"
- 连接成功后状态栏显示 "厂商 | 型号 | 端口"；连接后厂商不可再切换

注意：需要安装 VISA 后端驱动（如 Keysight IO Libraries 或 NI-VISA），并确保 pyvisa 已安装。不同厂商的 SCPI 方言由各自驱动模块封装，无需用户关注底层命令。

S-Parameter 文件提取：每个厂商驱动使用仪器原生 Touchstone 保存命令，生成标准 .s2p / .s4p 文件后通过 MMEM:TRAN? (Keysight / Anritsu) 或 MMEM:DATA? (R&S) 取回到本地。取回的文件自动用 scikit-rf 解析，在SnP 数据标签页显示频率轴和复数 S 参数。

16.3 快速设置

参数	说明	默认值
中心频率 (GHz)	测量中心频率	1.0
扫宽 (MHz)	频率扫描范围	100
扫描点数	频率采样点数	201
测量参数	S11 / S21 / S12 / S22	S11
显示格式	MLOG / PHAS / REAL / IMAG	MLOG

设置完成后点击 "应用设置" 将参数写入仪器。

16.4 测量操作

操作	说明
开始扫描	执行完整频率扫描，结果显示在图表标签页
单次测量	触发一次立即测量
获取 SnP 参数	从 VNA 提取 4 端口 S 参数，显示在 SnP 数据标签页
获取 VNA 截图	捕获 VNA 屏幕显示，在截图标签页查看

16.5 SCPI 命令控制

左侧 "SCPI 命令控制" 区域可直接向 VNA 发送 SCPI 命令。输入命令后点击 "发送命令"（写入）或 "查询"（读取响应）。常用命令按钮提供一键操作（复位、清除状态、预设等）。所有命令和响应记录在 "命令历史" 标签页中。

16.6 SCPI 远程控制 VNA

VNA 功能完全支持 SCPI 远程控制。通过 COM Tool 的 SCPI 接口（端口 5026），可远程操作 VNA：

SCPI 命令	说明
VNA:CONN "<addr>"	连接 VNA
VNA:CONN?	查询连接状态（1/0）
VNA:DISC	断开连接
VNA:SET:CENT <GHz>	设置中心频率
VNA:SET:SPAN <MHz>	设置扫宽
VNA:SET:POIN <N>	设置扫描点数
VNA:SET:PAR <S11|S21|...>	设置测量参数
VNA:SET:FORM <MLOG|PHAS|...>	设置显示格式
VNA:SET:APPL	应用设置到仪器
VNA:MEAS:SWE	启动频率扫描
VNA:MEAS:SING	单次测量
VNA:MEAS:SNP	获取 SnP 参数
VNA:SCR:CAPT	获取截图
VNA:SCPI:SEND "<cmd>"	向 VNA 透传 SCPI 命令
VNA:SCPI:QUER? "<cmd>"	透传 SCPI 查询

SCPI 操作与 GUI 实时同步：SCPI 命令会更新 GUI 显示，GUI 操作也会反映到 SCPI 查询结果中。

16.7 VNA 控制二次开发

COM 计算核心算法以编译形式交付以保护知识产权，但 VNA 控制部分完整开放 Python 源代码。这部分代码是一个示例框架：内置 4 家主流厂商驱动，客户工程师可在其基础上做二次开发——修改现有驱动以适配自己仪器的固件差异，或新增一个全新厂商驱动。

开放的源文件（在客户安装包中保留为 .py 源码，位于 _internal 子目录下）：

源文件	作用
drivers/vna/base.py	抽象驱动基类 VnaDriver，定义统一控制接口；文件头部含完整的二次开发指南
drivers/vna/factory.py	厂商注册表与驱动工厂
drivers/vna/_binary.py	IEEE 488.2 二进制块解析工具
drivers/vna/keysight_pna.py	Keysight PNA 驱动（推荐作为编写新驱动的模板）
drivers/vna/keysight_ena.py	Keysight ENA 驱动
drivers/vna/rohde_schwarz.py	Rohde & Schwarz 驱动
drivers/vna/anritsu.py	Anritsu 驱动
gui/vna_window.py	VNA 控制窗口界面

新增一个 VNA 厂商驱动的步骤：

- ① 复制：将 keysight_pna.py 复制为新文件，如 drivers/vna/my_vendor.py
- ② 修改：重命名驱动类，设置唯一的 VENDOR_ID 与 DISPLAY_NAME，调整 capabilities（端口数、频率范围），并把每个方法体改写为目标仪器的 SCPI 方言（参考该厂商的 SCPI 编程手册）
- ③ 注册：保留类上的 @register_vendor 装饰器，并把新模块名加入 factory.py 中 _autoload() 的列表

完成后，新厂商会自动出现在 VNA 窗口的 "厂商" 下拉框中，并可通过 SCPI 命令 VNA:VENDor 选择——无需改动 GUI 或 SCPI 层代码。

无硬件测试：tests/virtual_vna.py 是一个虚拟 VNA（TCP SCPI 模拟器，可模拟全部 4 种厂商方言）。运行后将 VNA 窗口连接到 TCPIP0::localhost::5900::SOCKET，即可端到端验证连接→扫描→取数 全流程；tests/test_vna_drivers.py 则演示了用 FakeResource 做无硬件单元测试。

提示：二次开发建议在 Python 源码环境下进行。每个驱动方法的详细约定（哪些必须实现、哪些可选覆盖）见 drivers/vna/base.py 文件头部的开发者指南注释。

17. 在线更新

软件可以直接从官方下载站检查并安装新版本，无需手动下载解压。菜单：帮助 → 检查更新。

17.1 操作步骤

1. 点击 [帮助 → 检查更新]，软件会联网查询最新版本。

   → GUI 反馈：已是最新时提示"当前已是最新版本"；有新版本时显示版本号和下载大小。

2. 点击 [下载更新]，进度条显示下载进度。下载过程可随时取消。

   → GUI 反馈：已下载的部分会保留，下次点击继续下载，不会从头开始。

3. 下载完成后软件自动校验完整性（SHA-256），通过后按钮变为 [立即安装]。
4. 点击 [立即安装]，软件关闭并自动重启到新版本。

> 注意：安装时旧版本目录会被改名保留为 COM_Tool_backup_<时间戳>（与安装目录同级），不会被删除。若您修改过 resources 下的配置文件或需要保留 results 输出，可从该备份目录取回；确认新版本无误后可自行删除备份以释放磁盘空间。

17.2 安全性

更新清单使用 Ed25519 数字签名，软件内置公钥验签，签名私钥由厂商离线保管。这意味着：

- 任何人篡改版本信息、下载地址或校验值，软件都会拒绝更新
- 安装包本身用清单中的 SHA-256 校验，被替换或损坏都会被发现并删除
- 下载地址被限定在官方站点范围内，不会被引导到第三方服务器

若提示"检查更新失败"，通常是网络不通或代理拦截，请检查网络后重试；也可访问下载站 http://106.14.76.130 手动下载。

17.3 SCPI 远程更新

自动化场景可用 SCPI 命令完成同样的流程：

命令	说明
SYST:UPD:CHEC?	检查更新 → UPDATE|LATEST|ERROR,<最新版>,<当前版>
SYST:UPD:INFO?	新版本详情（JSON：版本/大小/校验值/说明）
SYST:UPD:DOWN	开始后台下载并校验
SYST:UPD:STAT?	进度 → <状态>,<已下载>,<总字节>,<错误>
SYST:UPD:INST	安装并重启

注意：ERROR 表示检查失败（网络不通或签名无效），与
LATEST（已是最新）是不同状态，自动化脚本应分别处理。

17.4 意见反馈

菜单：帮助 → 意见反馈。写下遇到的问题或建议，直接发给作者。

1. 在文本框里说清楚：怎么操作的、看到了什么、期望是什么。

2. 截图可以直接 Ctrl+V 粘贴，也可以拖进窗口，或点[选择图片]。最多 3
张，软件会自动压缩到合适大小再上传。

3. [邮箱/微信号] 是选填的，留了作者才能回复你。

4. 默认勾选[附带版本与环境信息]，随反馈一起发出软件版本、操作系统、机器码和授权状态
—— 这些正是定位问题最需要的。窗口里会原样显示要发送的内容，不放心可以取消勾选。

反馈服务运行在作者本机，不在线是正常情况。遇到"服务当前不在线"，过一会儿再试即可，也可以到公众号后台留言。

自动化场景对应的 SCPI 命令：

命令	说明
SYST:FEED:ONL?	反馈服务是否在线 → 1|0（建议发送前先查）
SYST:FEED "<内容>"	发送文字反馈（自动附带版本/机器码/授权状态）
SYST:FEED:CONT "<联系方式>"	留邮箱或微信号

SCPI 侧不支持附截图（无头环境没有截图可贴），需要附图请用界面。

查看作者回复：软件会在后台定期查询作者的回复，收到后状态栏会提示，[帮助] 菜单里的
[意见反馈] 后面会显示未读条数。打开反馈窗口，顶部就是完整的会话记录，未读的带圆点标记
，打开即视为已读。

回复只会取回一次，软件收到后立刻保存在本机 （%APPDATA%\COM_Tool\feedback_log.json）
，因此即使当时没看，之后打开窗口一样能翻到。

自动化可用 SYST:FEED:REPL? 取回复（JSON 数组）。

附录A Excel 配置文件结构

COM 计算使用的 Excel 配置文件（.xlsx）必须包含名为 "COM_Settings" 的工作表。该工作表中的参数按区域分布在不同列中：

区域	关键字列	值列	包含参数
主参数区	A 列	B 列	信号速率、均衡器、噪声等核心参数
I/O 控制区	F 列	G 列	端口顺序、封装参数（z_p）等
Operational 区	J 列	K 列	ERL/CSV 输出控制等运行选项
扩展控制区	O 列	P 列	校准模式、ICN 参数等

案例定义

Excel 配置文件可定义多个封装案例（Package Test Case）。案例通过 "z_p (TX)" 矩阵定义，矩阵中每一列对应一个案例。例如，z_p (TX) 矩阵有 4 列时表示定义了 4 个案例。

"z_p select" 参数指定要运行的案例索引列表，格式为 MATLAB 向量，如 "[1 2 3 4]" 表示运行全部 4 个案例，"[1]" 表示仅运行第 1 个案例。

关键参数说明

以下列出 Excel 配置文件中一些关键参数及其含义，帮助理解配置文件结构：

参数	说明	典型值
f_b	信号波特率	106.25 / 212.5 GBd
Port Order	S 参数端口顺序	[1 2 3 4] 或 [1 3 2 4]
z_p (TX)	TX 封装 trace 长度矩阵	矩阵，每列一个案例
z_p (RX)	RX 封装 trace 长度矩阵	同上
z_p select	要运行的案例索引	[1 2 3 4]
ERL	是否计算 ERL	1（启用）/ 0（禁用）
CSV_REPORT	是否输出 CSV	1（推荐启用）
RESULT_DIR	结果输出目录	默认 .\results\C2M_host_{date}\，{date} 展开为 DD-Mon-YYYY

参数	说明	典型值
COM Pass threshold	COM 通过门限	0 dB

附录B 全部 SCPI 命令速查表

命令
*CLS
*ESE
*ESE?
*ESR?
*IDN?
*OPC
*OPC?
*RST
*SRE
*SRE?
*STB?
*TST?
*WAI
ABOR
ABOR:FIN
CHAR:AXIS:RANG
CHAR:AXIS:RANG:RES
CHAR:AXIS:RANG?
CHAR:CURV:LIST?
CHAR:CURV:VIS
CHAR:CURV:VIS?
CHAR:HEIG
CHAR:HEIG?

命令
CHAR:MARK:ADD
CHAR:MARK:ADD:ALL
CHAR:MARK:CLE
CHAR:MARK:CLE:SUBP
CHAR:MARK:DEL
CHAR:MARK:EDIT
CHAR:MARK:LIST?
CHAR:SUBP
CHAR:SUBP?
CONF:AMPL:AFE
CONF:AMPL:AFE?
CONF:AMPL:ANE
CONF:AMPL:ANE?
CONF:AMPL:AV
CONF:AMPL:AV?
CONF:CAL:MODE
CONF:CAL:MODE?
CONF:CAL:STEP
CONF:CAL:STEP?
CONF:CAL:THR
CONF:CAL:THR?
CONF:CASE:SEL
CONF:CASE:SEL?
CONF:DEMO:LIST?
CONF:DEMO:LOAD

命令
CONF:DEMO:LOAD?
CONF:FILE:CONF
CONF:FILE:CONF?
CONF:FILE:FEXT:ADD
CONF:FILE:FEXT:COUN?
CONF:FILE:FEXT:DEL
CONF:FILE:FEXT:LIST?
CONF:FILE:NEXT:ADD
CONF:FILE:NEXT:COUN?
CONF:FILE:NEXT:DEL
CONF:FILE:NEXT:LIST?
CONF:FILE:NOIS
CONF:FILE:NOIS:CLE
CONF:FILE:NOIS?
CONF:FILE:RES:DIR
CONF:FILE:RES:DIR?
CONF:FILE:THRU
CONF:FILE:THRU?
CONF:FILE:VAL?
CONF:GEN:CLEA
CONF:GEN:CLEA?
CONF:GEN:CLOS
CONF:GEN:CLOS?
CONF:GEN:EXP
CONF:GEN:EXP?

命令
CONF:GEN:PAR
CONF:GEN:PAR?
CONF:GEN:QUI
CONF:GEN:QUI?
CONF:LOAD
CONF:LOAD?
CONF:MODE
CONF:MODE?
CONF:PAR:APPL
CONF:PAR:CAT?
CONF:PAR:CLE
CONF:PAR:ENAB:ALL
CONF:PAR:INS
CONF:PAR:LIST?
CONF:PAR:SET
CONF:PAR:SET?
CONF:PATH:EXE
CONF:PATH:EXE?
CONF:PATH:MATLAB
CONF:PATH:MATLAB?
CONF:PATH:MCR
CONF:PATH:MCR?
CONF:PATH:SCR
CONF:PATH:SCR?
CONF:SAVE

命令
DISP:TAB
DISP:TAB?
FETC:ALL?
FETC:AS?
FETC:CAL:NOIS?
FETC:CAL:PASS?
FETC:CASE:COM?
FETC:CASE:COUN?
FETC:CASE:DATA?
FETC:CASE:LIST?
FETC:CHAR:PNG?
FETC:COM?
FETC:CSV:PATH?
FETC:DER?
FETC:ERL?
FETC:PASS?
FETC:PORT:ORD?
FETC:RUNT?
FETC:VEC?
FETC:VEO?
FIL:REP:CLE
FIL:REP:EXP
FIL:REP:EXP?
INIT
INIT:IMM

命令
LIC:ACT:BASE
LIC:ACT:LAST?
LIC:ACT:SCPI
LIC:BASE?
LIC:DEAC:BASE
LIC:DEAC:SCPI
LIC:HOST?
LIC:SCPI?
LIC:STAT?
LIC:TRIAL?
LOG:CLE
LOG:COUN?
LOG:DATA?
LOG:LAST?
LOG:SAVE
MEAS:ALL?
MEAS:COM?
MEAS:PASS?
SPAR:CASC:ADD
SPAR:CASC:CLE
SPAR:CASC:COUN?
SPAR:CASC:DEL
SPAR:CASC:DIFF:ENAB
SPAR:CASC:DIFF:ENAB?
SPAR:CASC:DIFF:MODE

命令
SPAR:CASC:DIFF:MODE?
SPAR:CASC:DIFF:PAIR
SPAR:CASC:DIFF:PAIR?
SPAR:CASC:LIST?
SPAR:CASC:PERM
SPAR:CASC:PERM?
SPAR:CASC:RUN
SPAR:DEEM:DIFF:ENAB
SPAR:DEEM:DIFF:ENAB?
SPAR:DEEM:DIFF:MODE
SPAR:DEEM:DIFF:MODE?
SPAR:DEEM:DIFF:PAIR
SPAR:DEEM:DIFF:PAIR?
SPAR:DEEM:DUT
SPAR:DEEM:DUT?
SPAR:DEEM:LEFT
SPAR:DEEM:LEFT?
SPAR:DEEM:PERM
SPAR:DEEM:PERM?
SPAR:DEEM:RIGHT
SPAR:DEEM:RIGHT?
SPAR:DEEM:RUN
STAT:OPER:COND?
STAT:OPER:ENAB
STAT:OPER:ENAB?

命令
STAT:OPER:EVEN?
STAT:OPER?
STAT:PRES
STAT:QUES:COND?
STAT:QUES:ENAB
STAT:QUES:ENAB?
STAT:QUES:EVEN?
STAT:QUES?
SYST:ERR:ALL?
SYST:ERR:COUN?
SYST:ERR:NEXT?
SYST:ERR?
SYST:FEED
SYST:FEED:CONT
SYST:FEED:ONL?
SYST:FEED:REPL?
SYST:HELP:HEAD?
SYST:INIT
SYST:LANG
SYST:LANG?
SYST:SCPI:AUTO
SYST:SCPI:AUTO?
SYST:SCPI:PORT?
SYST:UPD:CHEC?
SYST:UPD:DOWN

命令
SYST:UPD:INFO?
SYST:UPD:INST
SYST:UPD:STAT?
SYST:VERS?
VNA:ADDR?
VNA:CAL:STAT?
VNA:CAP?
VNA:CONN
VNA:CONN?
VNA:DATA:CSV:SAVE
VNA:DATA:SNP:DATA?
VNA:DATA:SNP:LOAD
VNA:DATA:SNP:SAVE
VNA:DATA:SNP:SEND
VNA:DATA:SNP:SEND?
VNA:DISC
VNA:IDN?
VNA:MEAS:SING
VNA:MEAS:SNP
VNA:MEAS:SWE
VNA:MOD?
VNA:PORT?
VNA:SCAN?
VNA:SCPI:QUER?
VNA:SCPI:SEND

命令
VNA:SCR:CAPT
VNA:SCR:SAVE
VNA:SET:APPL
VNA:SET:AVER
VNA:SET:AVER?
VNA:SET:CENT
VNA:SET:CENT?
VNA:SET:COM:APPL
VNA:SET:COM:PRES?
VNA:SET:FORM
VNA:SET:FORM?
VNA:SET:IFBW
VNA:SET:IFBW?
VNA:SET:PAR
VNA:SET:PAR?
VNA:SET:POIN
VNA:SET:POIN?
VNA:SET:POW
VNA:SET:POW?
VNA:SET:SMO
VNA:SET:SMO?
VNA:SET:SPAN
VNA:SET:SPAN?
VNA:SET:STAR
VNA:SET:STAR?

命令
VNA:SET:STOP
VNA:SET:STOP?
VNA:SET:SWEEP
VNA:SET:SWEEP?
VNA:SNP:PORT
VNA:SNP:PORT?
VNA:VEND
VNA:VEND:LIST?
VNA:VEND?

新增命令详细参考

命令	参数	说明
CONFigure:FILE:RESult:DIR <path>	路径字符串	设置结果输出目录（覆盖 Excel 中的 RESULT_DIR）
CONFigure:FILE:RESult:DIR?	—	查询当前结果输出目录
CONFigure:CALibration:MODE <ON|OFF|1|0>	ON/OFF/1/0	启用/禁用干扰容限校准模式
CONFigure:CALibration:MODE?	—	查询校准模式状态（1=启用，0=禁用）
CONFigure:CALibration:STEP <value>	浮点数	设置校准步进值（默认 0.001）
CONFigure:CALibration:STEP?	—	查询当前校准步进值
CONFigure:CASE:SELect <list|ALL>	逗号分隔整数或 ALL	选择运行的案例（如 1,3,4 或 ALL）
CONFigure:CASE:SELect?	—	查询当前案例选择
FETCh:CALibration:NOISe?	—	查询校准噪声值（sigma_hp,sigma_bn，单位 mV）

命令	参数	说明
FETCh:CALibration:PASS?	—	校准是否成功（1=成功，0=无数据）
FETCh:PORT:ORDer?	—	查询端口顺序（如 1,3,2,4）
FETCh:CSV:PATHs?	—	查询生成的 CSV 结果文件路径列表（逗号分隔）
CONFigure:GENeral:CLEArresults <ON|OFF>	ON/OFF/1/0	运行前是否清空结果目录（默认 ON）
CONFigure:GENeral:CLEArresults?	—	查询清空结果目录设置
CONFigure:GENeral:PARallel <N>	整数 1-16	并行 case 数（v1.5.14）；1=串行，>1=多 MATLAB 进程同时跑不同 case；校准模式强制 1
CONFigure:GENeral:PARallel?	—	查询当前并行 case 数
CONFigure:SAVE <filepath>	文件路径	将当前配置保存为 JSON 文件
CONFigure:LOAD <filepath>	文件路径	从 JSON 文件加载配置
CONFigure:LOAD?	—	查询当前配置摘要
FILe:REPort:EXPort <filepath>	文件路径	导出 PDF 报告（仅 GUI 模式可用）
FILe:REPort:EXPort?	—	查询上次导出的报告路径
FILe:REPort:CLEar	—	清空报告 Tab 累积条目（v1.5.12）
SYSTem:LANGuage <EN|ZH>	EN/ZH/en_US/zh_CN	设置界面语言
SYSTem:LANGuage?	—	查询当前界面语言
SYSTem:SCPI:PORT?	—	查询 SCPI 服务端口（v1.5.12）
SYSTem:SCPI:AUTOstart <ON|OFF>	ON/OFF/1/0	SCPI 自动启动设置（v1.5.12）
SYSTem:SCPI:AUTOstart?	—	查询 SCPI 自动启动设置（v1.5.12）

命令	参数	说明
ABORt:FINish	—	跳过静默等待，立即接受当前结果（v1.5.12）
CONFigure:PARameter:INSert <kw>,<val>	keyword,值	xlsx 模板未含 keyword 时的插入
CONFigure:PARameter:APPLy	—	把当前覆盖写入 xlsx 不跑 MATLAB（v1.5.12）
LOG:SAVE "<path>"	路径	保存日志到文件（v1.5.12）
CHARt:MARKer:ADD <subplot>,<freq>	subplot,GHz	在指定子图加 marker（v1.5.12）
CHARt:MARKer:DELete <subplot>,<freq>	subplot,GHz	删除最近 marker（v1.5.12）

VNA 网络分析仪命令

License 门控：所有 VNA setter / 动作命令（VNA:CONN、VNA:VEND、VNA:SET:*、VNA:MEAS:*、VNA:SCR:*、VNA:SCPI:SEND、VNA:DATA:*）需激活 SCPI 选件 license
才能执行，未激活返回 -200 "SCPI license not authorized"。VNA
查询命令（VNA:*?、VNA:CAP?、VNA:VEND:LIST? 等）和 LIC:* 系列免
license，便于远程激活前先查询状态。

命令	参数	说明
VNA:CONNect <addr>	VISA 地址	连接 VNA 仪器
VNA:CONNect?	—	查询连接状态（1=已连接，0=未连接）
VNA:DISConnect	—	断开 VNA 连接
VNA:SCAN?	—	扫描可用仪器（仅 GUI 模式）
VNA:IDN?	—	查询已连接 VNA 的 IDN
VNA:ADDRess?	—	查询当前连接地址
VNA:SETup:CENTer <GHz>	浮点数	设置中心频率
VNA:SETup:SPAN <MHz>	浮点数	设置扫宽

命令	参数	说明
VNA:SETup:POINts <N>	整数	设置扫描点数
VNA:SETup:PARameter <S11|...>	S11/S21/S12/S22	设置测量参数
VNA:SETup:FORMat <fmt>	MLOG/PHAS/REAL/IMAG	设置显示格式
VNA:SETup:APPLy	—	应用设置到仪器
VNA:MEASure:SWEep	—	启动频率扫描
VNA:MEASure:SINGle	—	单次测量
VNA:MEASure:SNP	—	获取 SnP 参数
VNA:SCReen:CAPTure	—	获取 VNA 截图
VNA:SCReen:SAVE <path>	文件路径	保存截图到文件
VNA:SCPI:SEND <cmd>	SCPI 命令	向 VNA 透传写命令
VNA:SCPI:QUERy? <cmd>	SCPI 命令	向 VNA 透传查询
VNA:DATA:SNP:SAVE <path>	文件路径	保存 SnP 数据
VNA:DATA:CSV:SAVE <path>	文件路径	导出测量数据 CSV
VNA:VENDor <id>	keysight_pna/ena/rs_znb/anritsu_sl	选择 VNA 厂商（连接前）
VNA:VENDor?	—	查询当前 vendor id
VNA:VENDor:LIST?	—	列出已注册 vendor id
VNA:MODel?	—	查询仪器型号（IDN 解析）
VNA:PORTs?	—	查询当前端口数
VNA:SNP:PORTs <list>	1,2,3,4	配置 Touchstone 端口列表
VNA:CAPabilities?	—	JSON：驱动能力（max_ports/freq 范围）
VNA:DATA:SNP:SEND <THRU|FEXT|NEXT>	-	v1.4: 采 S4P 并发到 File Panel 对应槽
VNA:DATA:SNP:SEND?	—	v1.4: 最近一次 SEND 的本地文件路径

命令	参数	说明
VNA:SETup:AVERaging <N>[,ON|OFF]	整数	v1.4: averaging 次数 + 启用
VNA:SETup:IFBW <Hz>	浮点	v1.4: IF 带宽
VNA:SETup:COM:APPLy	—	v1.4: 按当前 config 自动算并应用 sweep 预设
VNA:SETup:COM:PRESet?	—	v1.4: JSON 预设（fb/start/stop/points/ifbw/avg）
VNA:CALibration:STATus?	—	v1.4: VNA 校准状态 JSON (enabled/type/valid)

License 远程激活命令 (v1.3.1+)

允许 SCPI 客户端远程激活授权 key。未激活时 scpi_main.py
仍会启动（仅打印警告横幅），INIT/MEAS/VNA 命令会被 -200 错误拦截直到激活成功。不暴露 deactivate — 任何解除必须走 GUI 授权对话框。

命令	参数	说明
LICense:HOSTid?	—	查询 Host ID
LICense:BASE?	—	基础 key 是否已激活 (1/0)
LICense:SCPI?	—	SCPI 选件 key 是否已激活 (1/0)
LICense:TRIAL?	—	试用剩余次数
LICense:STATus?	—	JSON 综合状态
LICense:ACTivate:BASE <key>	Key 字符串	激活基础永久或临时 key
LICense:ACTivate:SCPI <key>	Key 字符串	激活 SCPI 选件 key（需先激活基础）
LICense:ACTivate:LAST?	—	返回最近一次激活结果 "1,msg" 或 "0,msg"

安全提示：LIC:ACT 通过 TCP 明文传输 key。推荐 scpi_main.py 用 `--host 127.0.0.1` 只监听本地，或部署在可信内网。