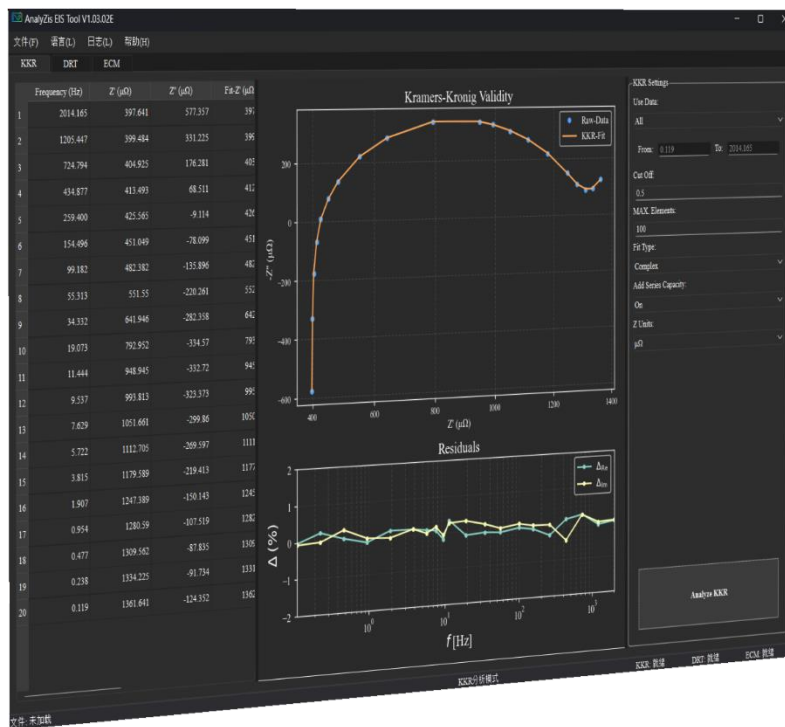




AnalyZis

EIS 分析软件

使用手册





目录

一、	软件概述	3
1.1.	软件简介	3
1.2.	主要功能特性	3
1.3.	系统要求	4
1.4.	安装与启动	4
二、	快速入门	5
2.1.	界面布局介绍	5
2.2.	基本操作流程	6
2.3.	快捷键说明	7
三、	数据导入	9
3.1.	支持的文件格式	9
3.2.	数据格式要求	9
3.3.	导入步骤详解	10
3.4.	常见导入问题解决	10
四、	KKR 验证功能	13
4.1.	Kramers-Kronig 关系原理简介	13
4.2.	参数设置详解	14
4.3.	分析结果解读	15
4.4.	应用案例	16
五、	DRT 分析功能	18
5.1.	弛豫时间分布原理简介	18
5.2.	参数设置详解	19
5.3.	应用案例	20
六、	ECM 拟合功能	22
6.1.	等效电路模型原理简介	22
6.2.	参数拟合与优化	24
6.3.	分析结果解读	24
6.4.	应用案例	27
七、	数据可视化	28
7.1.	Nyquist 图操作指南	28
7.2.	Bode 图操作指南	29
八、	数据和图表导出	31
8.1.	分析数据导出	31
8.2.	图表导出	31
九、	高级功能	33
9.1.	单位系统设置	33
9.2.	多语言支持	33
9.3.	日志管理	33
十、	联系	35
	版权信息	36



一、 软件概述

1.1. 软件简介

AnalyZis 是一款专业的电化学阻抗谱 (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) 分析软件，由上海智源算能新能源科技有限公司开发。该软件集成了 Kramers-Kronig 关系验证 (KKR)、弛豫时间分布分析 (DRT) 和等效电路建模 (ECM) 三大核心功能模块，为电化学研究人员提供了一套完整的数据分析解决方案。

软件采用先进的算法和友好的图形用户界面，支持多种数据格式导入，提供丰富的可视化工具和详细的统计报告，旨在帮助用户深入理解电化学系统的动力学过程和界面特性。

1.2. 主要功能特性

✧ 核心分析模块

- 1) **KKR 分析**: 基于 Kramers-Kronig 关系验证 EIS 数据的因果性、线性和稳定性
- 2) **DRT 分析**: 通过弛豫时间分布分析揭示电化学系统的动力学过程
- 3) **ECM 分析**: 提供等效电路模型拟合与参数优化功能

✧ 数据处理功能

- 1) 支持 CSV、TXT、Excel 等多种数据格式导入
- 2) 自动检测文件编码和分隔符
- 3) 数据范围筛选和过滤功能
- 4) 实时数据预览和验证

✧ 可视化功能

- 1) 高质量的 Nyquist 图、Bode 图显示
- 2) 交互式图表操作 (缩放、平移、重置)
- 3) 多子图布局管理
- 4) 自定义图表样式和主题

✧ 输出与导出

- 1) 详细的数据分析报告生成
- 2) 多种格式的图表导出 (PNG、SVG、JPEG)
- 3) 数据表格导出功能
- 4) 完整的 ECM 参数统计信息

✧ 用户界面特性

- 1) 多语言支持 (中文、英文)
- 2) 明暗主题切换
- 3) 智能工具提示和帮助系统



- 4) 直观的参数设置界面

1.3. 系统要求

✧ 最低配置要求

- 1) 操作系统: Windows 10 或更高版本
- 2) 处理器: Intel Core i5 或同等性能的 AMD 处理器
- 3) 内存: 8 GB RAM
- 4) 硬盘空间: 2 GB 可用空间
- 5) 显示器: 1024×768 分辨率

✧ 推荐配置

- 1) 操作系统: Windows 11
- 2) 处理器: Intel Core i7 或更高性能处理器
- 3) 内存: 16 GB RAM 或更高
- 4) 硬盘空间: 5 GB 可用空间 (SSD 推荐)
- 5) 显示器: 1920×1080 或更高分辨率
- 6) 图形卡: 独立显卡 (用于加速图形渲染)

1.4. 安装与启动

✧ 安装步骤

从官方网站下载 ZIP 压缩包, 解压缩到指定目录下即可, 免安装操作。

✧ 启动方式

双击软件目录下的 *AnalyZis_EIS_Tool_vX.XX.XXE.exe* 执行文件, 即可启动 "AnalyZis" 软件。
如遇权限问题, 可以右键点击执行文件, 选择 "以管理员身份运行"。

注意: 建议新用户在使用前阅读后续章节的操作指南, 以充分发挥软件的各项功能。如遇到安装或启动问题, 请联系我们的技术支持。

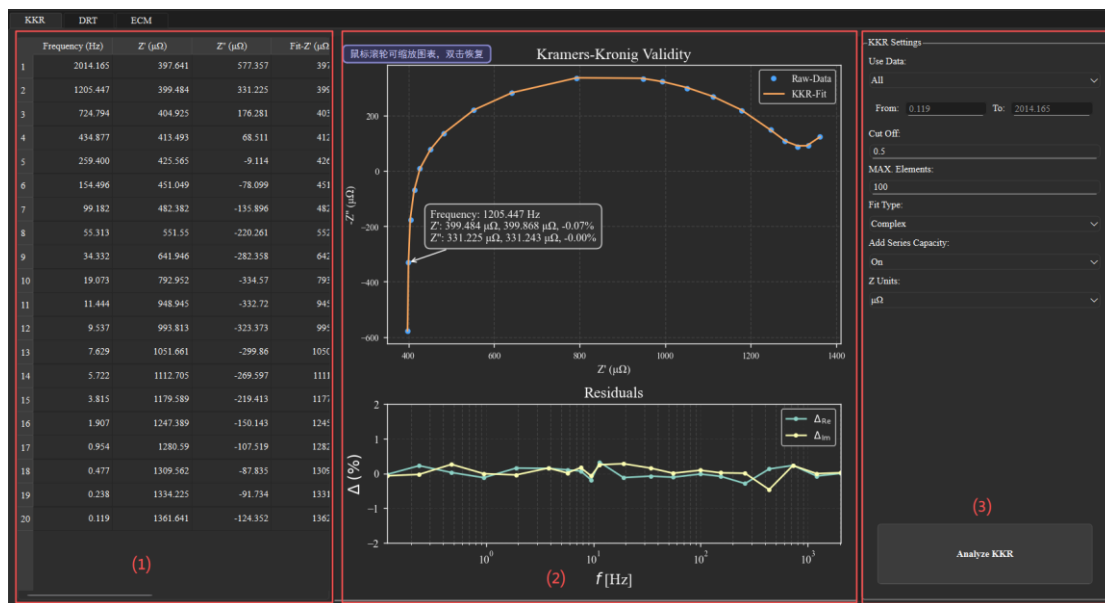


二、快速入门

2.1. 界面布局介绍

AnalyZis 采用直观的可调整占比的三分区界面设计，为用户提供高效的工作流程。

✧ 主界面结构



(1) 左侧面板:

- 数据表格显示区
- 原始数据和拟合结果表格
- 实时数据显示和筛选功能
- 数据统计信息展示

(2) 中央面板:

- 图表可视化区
- 交互式图表操作控件
- 电路图和统计信息显示区 (ECM 页面)

(3) 右侧面板:

- 参数设置区
- 分析参数配置
- 算法选项设置
- 执行控制按钮
- Nyquist/Bode 图表显示和操作区 (ECM 页面)



◇ 功能标签页

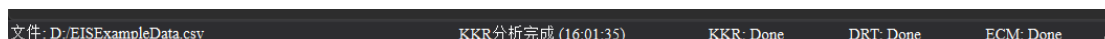
软件顶部包含三个主要功能标签页：



- **KKR**: Kramers-Kronig 关系验证
- **DRT**: 弛豫时间分布分析
- **ECM**: 等效电路模型拟合

◇ 状态栏信息

底部状态栏显示：



- 当前加载的文件路径
- 操作状态提示
- 操作时间显示
- 分析进度指示

2.2. 基本操作流程

I. 数据导入

- 1) 点击菜单栏 "文件" → "导入" → "导入 EIS 数据"
- 2) 选择 EIS 数据文件（支持 CSV, TXT, Excel 文件）
- 3) 点击"确定"完成导入

文件格式要求：

- 必须包含三列数据：频率(Hz)、阻抗实部、阻抗虚部
- 支持有表头或无表头格式
- 分隔符支持逗号、分号、制表符

II. 数据预览

- 1) 查看左侧表格中的数据是否正确加载
- 2) 检查中央区域的 Nyquist 图是否正常显示
- 3) 确认数据范围和单位设置

III. 选择分析模式

根据分析目标选择相应标签页：



- KKR 分析模式
 - 1) 在右侧面板设置 KKR 参数：
 - a) 选择数据使用范围（All/BelowX/RangeF）
 - b) 设置截止阈值（推荐 0.3-0.7）
 - c) 选择拟合类型（Complex/Real/Imag）
 - 2) 点击"Analyze KKR"按钮开始分析
- DRT 分析模式
 - 1) 设置 DRT 参数：
 - a) 选择离散化函数类型
 - b) 选择正则化方法
 - 2) 点击"Analyze DRT"按钮开始分析
- ECM 分析模式
 - 1) 输入等效电路公式（如：R+(R/Q)+W）
 - 2) 设置元件参数初始值和约束条件
 - 3) 点击"Fit"按钮开始拟合

IV. 结果解读

- 1) 查看图表区域的拟合曲线和原始数据对比
- 2) 分析左侧表格中的拟合参数和残差数据
- 3) 检查统计指标（ χ^2 、AIC、BIC 等）评估拟合质量

V. 结果导出

- 1) 点击菜单栏"文件" → "导出"
- 2) 选择导出内容：
 - 数据表格（CSV 格式）
 - 图表图像（PNG/SVG/JPG 格式）
- 3) 选择保存路径并确认导出

2. 3. 快捷键说明

✧ 全局快捷键

快捷键	功能描述	使用场景
Ctrl + I	导入 EIS 数据	快速开始新分析
F1	打开帮助文档	获取使用帮助
Ctrl + Q	退出程序	安全关闭软件

✧ 图表操作快捷键



快捷键	功能描述	使用场景
鼠标滚轮	图表缩放	调整视图范围
双击鼠标	重置视图	恢复原始显示范围

✧ 导航快捷键

快捷键	功能描述	使用场景
Ctrl + Tab	切换标签页	在 KKR/DRT/ECM 间切换

✧ 使用建议

新手推荐流程

- **首次使用：**按照 2.2 节的五步流程完成一次完整分析
- **熟悉界面：**花 10 分钟探索各个功能区域的作用
- **尝试不同模式：**分别体验 KKR、DRT、ECM 三种分析模式
- **根据提示选择：**根据鼠标悬浮时给出的提示信息选择合适参数
- **查阅帮助：**使用 F1 快捷键随时查看详细帮助信息

效率提升技巧

- 使用快捷键替代鼠标操作
- 利用数据筛选功能聚焦关键数据范围
- 定期导出结果防止数据丢失

提示：建议新用户先使用示例数据进行练习，熟悉后再处理实际实验数据。示例数据可在安装目录的 "examples" 文件夹中找到。



三、 数据导入

3.1. 支持的文件格式

AnalyZis 支持多种常见的数据文件格式，满足不同仪器和软件的输出需求：

✧ 主要支持格式

格式类型	扩展名	说明	适用场景
CSV 文件	.csv	逗号分隔值文件	最通用的数据交换格式
文本文件	.txt	纯文本格式文件	支持多种分隔符
Excel 文件	.xlsx, .xls	Excel 电子表格	直接从 Excel 导出数据

✧ 格式兼容性说明

分隔符支持：自动识别逗号(,)、分号(;)、制表符(\t)、空格()等多种分隔符

编码支持：UTF-8、GBK、GB2312、ASCII、UTF-16 等常见编码格式

精度支持：支持单精度和双精度浮点数

3.2. 数据格式要求

✧ 基本数据结构要求

- 1) 必需数据列（按顺序排列）：
 - 第 1 列：频率（Frequency, Hz）
 - 第 2 列：阻抗实部（ Z' 或 Z_{real}, Ω ）
 - 第 3 列：阻抗虚部（ Z'' 或 Z_{imag}, Ω ）
- 2) 可选数据列：
 - 相位角（Phase, °）
 - 阻抗模值（ $|Z|, \Omega$ ）
 - 其他辅助参数（温度、电压等）

✧ 文件格式示例

- 1) 示例 1：带表头的 CSV 文件

```
Frequency, Z_real, Z_imag
10000, 0.101, 0.567
1000, 0.101, 0.008
100, 0.234, -0.123
10, 0.567, -0.023
1, 0.789, -0.003
```



2) 示例 2: 无表头的文本文件

```
10000, 0.101, 0.567
1000, 0.101, 0.008
100, 0.234, -0.123
10, 0.567, -0.023
1, 0.789, -0.003
```

3) 示例 3: 分号分隔的欧洲格式

```
Frequency; Z_real; Z_imag
10000; 0.101; 0.567
1000; 0.101; 0.008
100; 0.234; -0.123
```

4) 示例 4: 制表符分隔文件

```
Frequency      Z_real  Z_imag
10000    0.101    0.567
1000     0.101    0.008
```

◇ 数据质量要求

- 数据完整性: 不能有缺失值或空行
- 数值有效性: 所有数据必须是有效的数值
- 频率顺序: 建议按频率降序排列 (高频到低频)
- 数据量要求: 至少需要 3 个有效数据点

3.3. 导入步骤详解

◇ 导入流程

点击主菜单: 文件 → 导入 → 导入 EIS 数据。或使用快捷键: *Ctrl + I*, 在文件选择对话框中选择目标文件, 点击"打开"开始导入。软件自动检测文件编码和分隔符, 自动识别是否有表头。

◇ 成功导入提示

状态栏左侧显示导入的文件路径, 中间显示"成功导入文件", KKR 页面左侧表格显示导入的数据, 中央图表区域自动绘制 Nyquist 图。

3.4. 常见导入问题解决

◇ 问题 1: 编码错误导致乱码



症状：中文字符显示为乱码

解决方案：

- 尝试手动选择编码格式：UTF-8 或 GBK
- 用文本编辑器另存为 UTF-8 格式
- 检查文件是否损坏

✧ 问题 2：分隔符识别错误

症状：数据列错位或合并

解决方案：

- 检查文件中分隔符是否一致
- 避免使用混合分隔符

✧ 问题 3：数据格式不一致

症状：部分数据无法识别为数值

解决方案：

- 检查数据中是否包含非数字字符
- 确保小数点格式一致（使用点号,而非逗号,）
- 移除额外的空格或特殊字符

✧ 问题 4：表头识别错误

症状：第一行数据被识别为表头或反之

解决方案：

- 检查第一行是否包含数值数据

✧ 问题 5：数据范围异常

症状：图表显示异常或数据点明显错误

解决方案：

- 检查频率范围是否合理（通常 10mHz-100kHz）
- 验证阻抗值是否符合预期范围
- 检查虚部是否为负值（电容性特征）

✧ 高级故障排除

● 日志文件检查

如果导入失败，可查看日志文件，打开日志查看器：**日志 → 查看日志**，或检查安装目录下的 `/log/analyZis.log` 文件，根据错误信息进行相应处理。

● 示例文件测试

如果不确定文件格式，可使用软件自带的示例文件进行测试，示例文件路径：安装目录 `/examples/`，对比示例文件与自己文件的格式差异。

● 技术支持联系

如果问题无法解决，通过 **帮助 → 问题反馈** 联系技术支持，提供错误日志和示例文件，描述具体的问题现象和操作步骤。



◇ 最佳实践建议

● 文件准备建议

- **预处理:** 在导入前用文本编辑器检查文件格式
- **备份:** 导入前备份原始数据文件
- **标准化:** 尽量使用 CSV 格式和 UTF-8 编码
- **简化:** 移除不必要的列和注释行

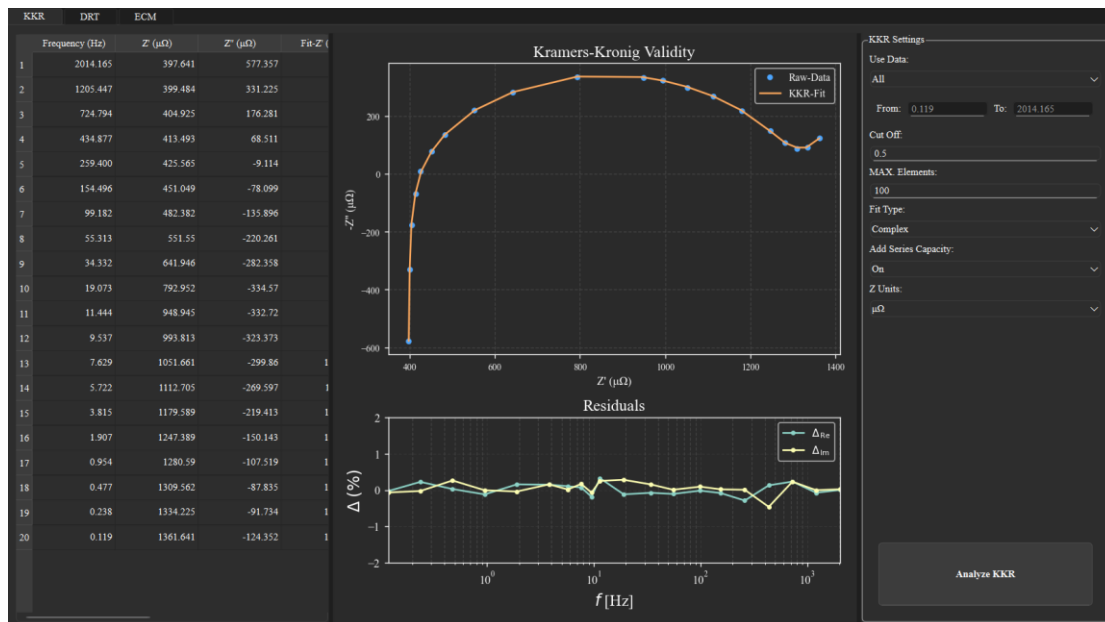
● 数据验证检查

- 导入后数据点数是否与预期一致
- 频率范围是否正确
- 阻抗值是否在合理范围内
- 图表显示是否正常

注意: 正确的数据导入是后续分析的基础，建议确保数据导入的正确性。如遇到复杂问题，可联系我们技术支持。



四、 KKR 验证功能



4.1. Kramers-Kronig 关系原理简介

✧ 基本概念

Kramers-Kronig 关系（KKR）是电化学阻抗谱分析中的基本数学工具，用于验证 EIS 数据的因果性、线性和稳定性。该关系描述了复阻抗实部和虚部之间的内在数学联系，是判断 EIS 数据质量的重要依据。

✧ 数学原理

KKR 关系的基本形式为：

$$Z'(\omega) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{x Z''(x)}{x^2 - \omega^2} dx$$

$$Z''(\omega) = -\frac{2\omega}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{Z'(x)}{x^2 - \omega^2} dx$$

其中：

- $Z'(\omega)$ 为阻抗实部
- $Z''(\omega)$ 为阻抗虚部
- ω 为角频率

✧ 物理意义

因果性：系统的响应不能先于激励。

线性：系统的响应与激励成正比。

稳定性：系统在扰动后能回到平衡状态。

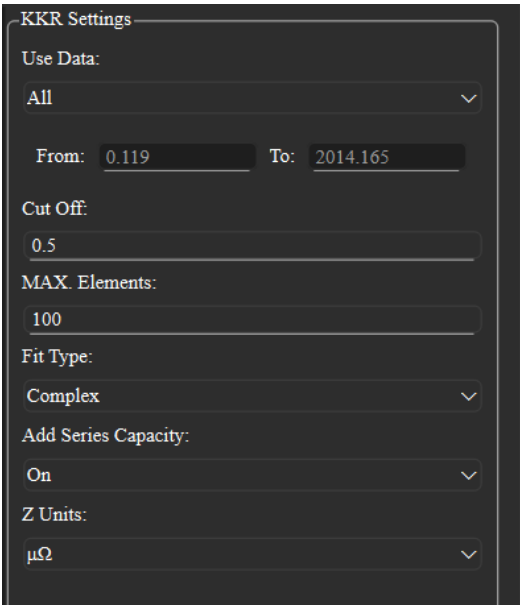


有限性：阻抗在频率趋于零和无穷大时有限。

◇ 应用价值

- 数据验证：识别测量误差和实验伪影。
- 质量评估：量化 EIS 数据的可靠性。
- 插值外推：在有限频率范围内预测完整阻抗谱。
- 模型验证：检验等效电路模型的合理性。

4. 2. 参数设置详解



◇ 数据范围选择

● Use Data 选项

选项	说明	适用场景
All	使用全部频率数据	数据质量高，全频段可靠
BelowX	仅使用虚部为负的数据	排除高频电感效应影响
RangeF	自定义频率范围	手动选择最优数据区间

● 频率范围参数

- From: 下限频率设置 (Hz)
- To: 上限频率设置 (Hz)

◇ 算法参数设置

● Cut Off 阈值 (0.0-1.0)

作用：控制拟合的严格程度。



低值 (0.1-0.3): 严格拟合, 残差小但可能过拟合。
中值 (0.4-0.6): 平衡拟合, 推荐大多数情况使用。
高值 (0.7-0.9): 宽松拟合, 抗噪声能力强。

- **MAX Elements 数量**

作用: 控制基函数数量。

较少 (50-100): 计算快, 适合简单系统。

中等 (100-200): 平衡精度和速度。

较多 (200-300): 高精度, 适合复杂系统。

✧ 拟合类型选择

- **Complex 拟合**

同时拟合实部和虚部, 最严格的验证标准, 推荐用于高质量数据。

- **Real 拟合**

仅拟合实部数据, 适用于虚部噪声较大的情况, 计算速度较快。

- **Imag 拟合**

仅拟合虚部数据, 适用于实部噪声较大的情况, 特殊应用场景。

✧ 附加选项

- **Add Series Capacity**

On: 在等效电路中添加串联电容。

Off: 不使用串联电容。

根据具体电化学系统选择。

- **Z Units 单位设置**

$\mu\Omega$: 微欧姆, 适合低阻抗系统。

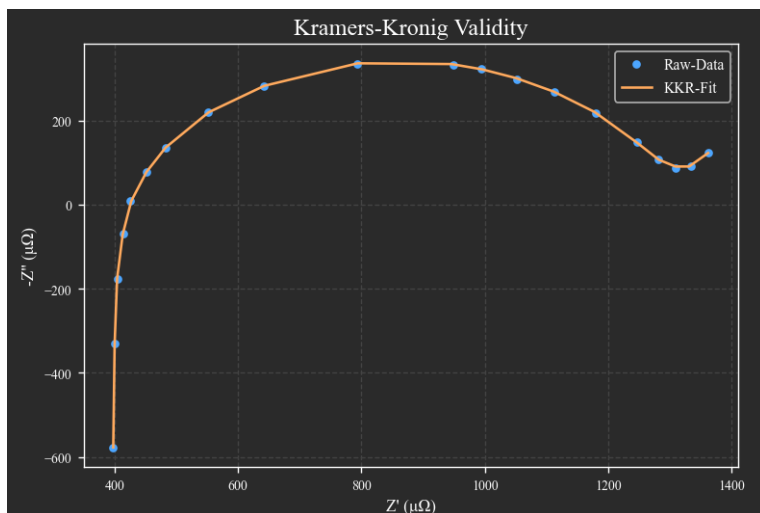
$m\Omega$: 毫欧姆, 适合中等阻抗系统。

Ω : 欧姆, 适合高阻抗系统。

4.3. 分析结果解读

✧ 可视化结果

- **Nyquist 图显示**

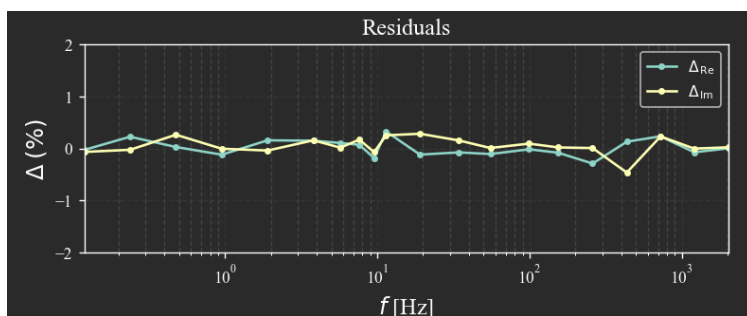


原始数据点：蓝色圆点显示。

KKR 拟合曲线：橙色曲线显示。

重合程度：反映数据符合 KKR 关系的程度。

● 残差分析图



实部残差：绿色曲线，显示实部拟合误差。

虚部残差：黄色曲线，显示虚部拟合误差。

误差范围：通常以±5%为可接受界限。

◇ 结果判断标准

● 通过 KKR 验证（符合要求）

残差在±5%范围内，拟合曲线与原始数据良好重合。

● 未通过 KKR 验证（存在问题）

残差超过±5%，存在明显系统性偏差，需要检查实验条件或数据质量。

4.4. 应用案例

◇ 案例 1：锂离子电池 EIS 数据验证

待更新



✧ **案例 2：燃料电池阻抗分析**

待更新

✧ **案例 3：腐蚀体系阻抗验证**

待更新

✧ **高级应用技巧**

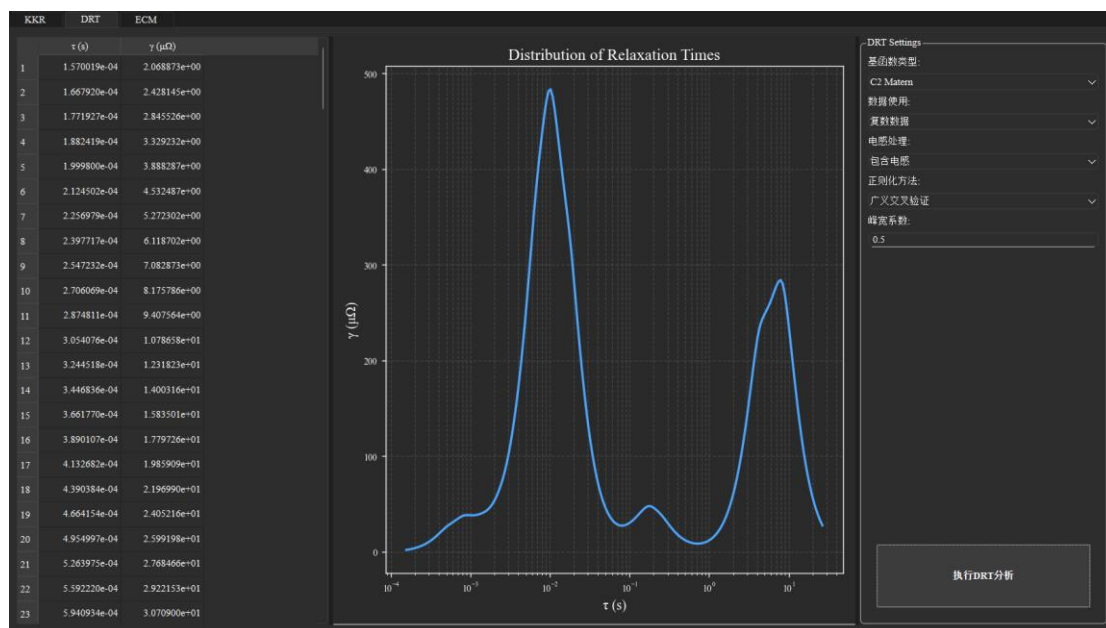
待更新

✧ **注意事项**

待更新



五、 DRT 分析功能



5.1. 弛豫时间分布原理简介

✧ 基本概念

弛豫时间分布 (Distribution of Relaxation Times, DRT) 分析是一种强大的电化学阻抗谱解析技术，能够将复杂的阻抗响应分解为不同时间尺度的弛豫过程。与传统的等效电路模型相比，DRT 方法提供了一种无模型的解析方法，能够更直观地揭示电化学系统中的物理和化学过程。

✧ 数学原理

DRT 分析基于以下积分方程：

$$Z(\omega) = R_{\infty} + \int_0^{\infty} \frac{\gamma(\tau)}{1+j\omega\tau} d(\ln \tau) + j\omega L$$

其中：

- $Z(\omega)$ 为复阻抗
- R_{∞} 为高频电阻
- $\gamma(\tau)$ 为弛豫时间分布函数
- τ 为弛豫时间
- L 为电感分量

✧ 物理意义

多时间常数解析：识别系统中并存的多个弛豫过程。



过程分离：将重叠的阻抗弧分离为独立的弛豫过程。

动力学信息提取：获得各过程的特征时间和相对贡献。

伪影识别：区分真实物理过程和测量伪影。

✧ 核心优势

无模型假设：不依赖预设的等效电路模型。

高分辨率：能够分辨时间常数接近的过程。

直观可视化：以峰形图形式展示弛豫过程分布。

定量分析：提供各过程的积分强度和特征时间。

5.2. 参数设置详解



✧ 离散化函数选择

- 高斯函数

平滑性好，抗噪声能力强，峰形对称，分辨率适中，适合大多数应用场景。

- C2 Matern（二阶）

推荐使用，平衡精度和计算效率，分辨率较高，抗噪性好，适合大多数电化学系统。

- C4 Matern（四阶）

高分辨率，能够分辨接近的时间常数，对噪声敏感，需要高质量数据。

- 分段线性函数

最灵活，可适应各种分布形状，但需要更多计算资源。

✧ 数据类型选择

- 复数数据

使用完整的复数阻抗信息，信息量最大，推荐使用。需要实部和虚部数据质量都好。

- 仅实部



仅使用阻抗实部数据，适合虚部噪声较大的情况，分辨率较低。

- 仅虚部

仅使用阻抗虚部数据，适合实部噪声较大的情况，特殊应用场景。

✧ 电感处理选项

- 包含电感

保留高频电感分量，适合有明显电感效应的系统。

- 排除电感

推荐，排除电感影响，专注于电化学反应。

- 忽略高频

直接丢弃受电感影响的高频数据，简单但可能损失信息。

✧ 正则化方法选择

- 广义交叉验证

推荐，使用 GCV 方法确定参数

- L 曲线法

使用 L 曲线确定参数

- 手动设置

手动输入正则化参数

✧ 正则化参数设置

当正则化方法设置为“手动设置”时，可以对正则化参数进行手动设置：

- 作用：控制拟合的平滑程度
- 小值 ($1e-6$)：拟合精确但可能过拟合
- 中值 ($1e-4$)：平衡拟合和平滑
- 大值 ($1e-2$)：结果平滑但可能欠拟合

✧ 峰宽系数设置

- 作用：控制径向基函数的宽度
- 小值 (0.3-0.4)：窄峰，高分辨率但对噪声敏感
- 中值 (0.5)：平衡选择，推荐大多数情况
- 大值 (0.6-0.7)：宽峰，抗噪性强但分辨率低

5.3. 应用案例



✧ **案例 1：锂离子电池 DRT 分析**

待更新

✧ **案例 2：燃料电池 DRT 分析**

待更新

✧ **案例 3：腐蚀系统 DRT 分析**

待更新

✧ **高级分析技巧**

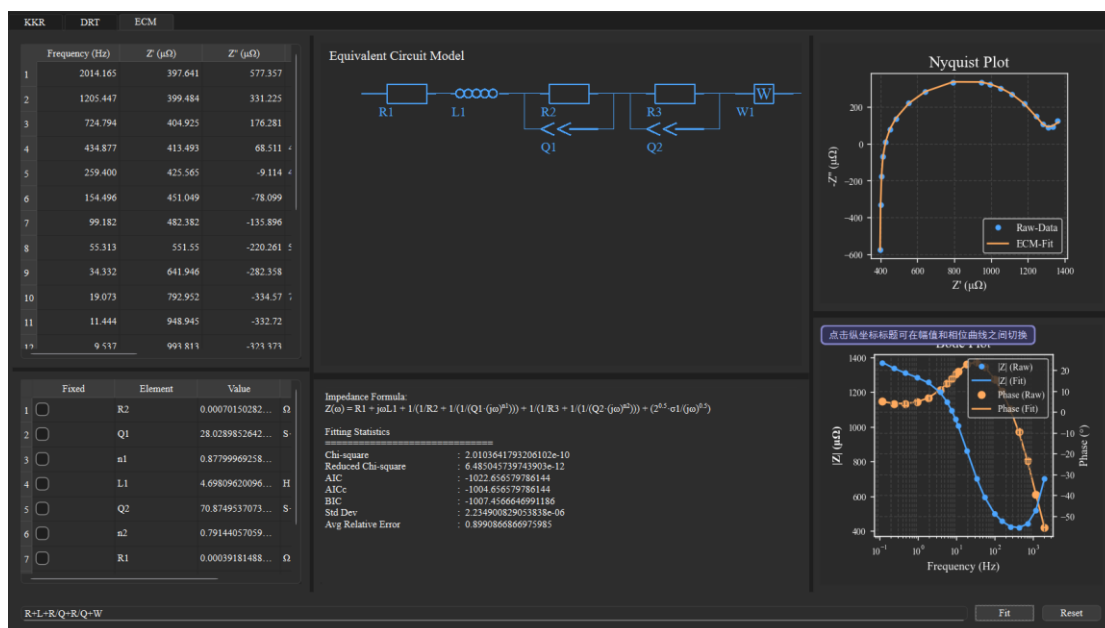
待更新

✧ **注意事项**

待更新



六、ECM 拟合功能



6.1. 等效电路模型原理简介

✧ 基本概念

等效电路模型（Equivalent Circuit Modeling, ECM）是电化学阻抗谱分析中最经典和广泛使用的方法。该方法通过构建由基本电路元件组成的等效电路来描述电化学系统的阻抗响应特性，将复杂的电化学过程转化为直观的电路元件组合。

✧ 数学基础

ECM 分析基于电路理论中的阻抗串联和并联规则：

- 串联阻抗：

$$Z_{total} = Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots$$

- 并联阻抗：

$$\frac{1}{Z_{total}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots$$

- 核心元件及其物理意义

电路元件	符号	阻抗公式	物理意义
电阻 (R)	R	$Z = R$	欧姆电阻，电荷传输阻力



电路元件	符号	阻抗公式	物理意义
电容 (C)	C	$Z = 1/(j\omega C)$	理想电容，界面双电层充电
电感 (L)	L	$Z = j\omega L$	理想电感，导线或电极感抗
常相角元件 (Q)	Q	$Z = 1/(Q \cdot (j\omega)^n)$	非理想电容，分散性界面过程
Warburg 元件 (W)	W	$Z = 2^{0.5} \cdot \sigma / (j\omega)^{0.5}$	扩散阻抗，质量传输限制过程

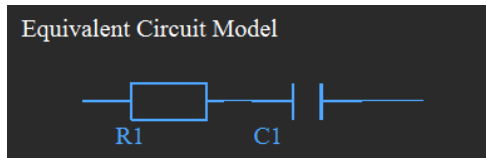
✧ 电路语法规则

• 基本连接符号:

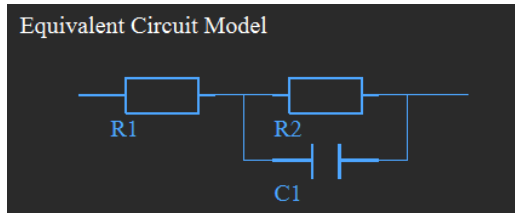
- + : 串联连接
- / : 并联连接
- () : 分组操作，定义运算优先级

• 公式示例

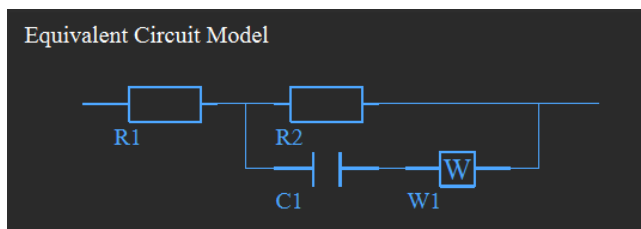
1) 简单 RC 电路: $R+C$



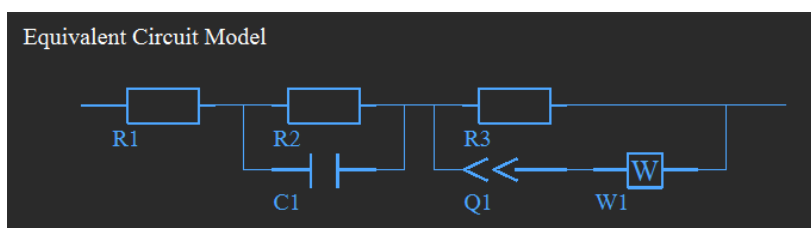
2) Randles 电路: $R+R/C$



3) 含扩散的电路: $R+R/(C+W)$



4) 复杂电路: $R+R/C+R/(Q+W)$





6.2. 参数拟合与优化

✧ 参数约束设置

- 固定参数

已知参数: 固定已知物理常数

不变参数: 固定不随条件变化的参数

简化拟合: 减少待优化参数数量

✧ 初始值设置策略

- 自动估计

电阻值: 从 Nyquist 图高频截距估计

电容值: 从特征频率估算

n 值: 默认 0.8-0.9 (CPE 元件)

- 手动设置

经验值: 基于类似系统的经验

物理意义: 根据理论估算合理范围

多次尝试: 不同初始值验证结果稳定性

✧ 拟合质量控制

残差分析: 检查拟合误差分布

参数合理性: 验证物理意义合理性

6.3. 分析结果解读

```
Impedance Formula:
Z(ω) = R1 + 1/(1/R2 + 1/(1/(jωC1))) + 1/(1/R3 + 1/((1/(Q1·(jω)n1) + (20.5·σ1/(jω)0.5))))

Fitting Statistics
=====
Chi-square           : 2.0103641793206102e-10
Reduced Chi-square   : 6.485045739743903e-12
AIC                  : -1022.656579786144
AICc                 : -1004.656579786144
BIC                  : -1007.4566646991186
Std Dev              : 2.234900829053838e-06
Avg Relative Error    : 0.8990866866975985
```

✧ 统计指标评估

- Chi-square: 卡方值 (χ^2)

衡量观测值与拟合值之间的差异程度。

公式:



$$\chi^2 = \sum \frac{(Z_{obs} - Z_{fit})^2}{\sigma^2}$$

评估标准:

理想值: $\chi^2 \approx$ 自由度 (n - p)

$\chi^2 \gg n-p$: 模型不合适或误差低估

$\chi^2 \ll n-p$: 误差高估或过拟合

其中, n: 数据点数, p: 参数个数

- **Reduced Chi-square: 约化卡方值 (χ^2 / ν)**

考虑自由度后的卡方值, 用于比较不同复杂度的模型。

公式:

$$\frac{\chi^2}{\nu} = \frac{\chi^2}{n - p}$$

评估标准:

理想值: ≈ 1.0

可接受范围: 0.5 - 2.0

- **AIC: Akaike 信息准则**

可以计算其他模型与最小 AIC 值模型的差值 (ΔAIC) 来辅助判断。

公式:

$$AIC = 2k - 2 \ln L$$

其中, k: 参数数量, L: 最大似然值

评估标准:

$\Delta AIC < 2$: 模型无显著差异

$\Delta AIC = 2-6$: 有些差异

$\Delta AIC > 6$: 显著差异

值越小表示模型越好

- **AICc: 修正的 Akaike 信息准则**

对小样本数据进行修正, 防止过拟合。当 $n/k < 40$ 时, 使用 AICc 代替 AIC。当 n 足够大时, $AICc \approx AIC$ 。

公式:

$$AICc = AIC + \frac{2k \cdot (k + 1)}{n - k - 1}$$

其中, k: 参数数量, n: 样本数量。

- **BIC: Bayesian 信息准则**

比 AIC 更倾向于简单模型, 对大样本数据更敏感, 惩罚复杂模型更严厉, 适合样本



量较大的情况，值越小表示模型越好。

公式：

$$BIC = k \cdot \ln(n) - 2 \ln(L)$$

- **Std Dev: 残差标准偏差**

用于衡量拟合精度，应与仪器测量精度相当。值越小表示拟合越精确，理想值应接近测量误差。

公式：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Z_{obs} - Z_{fit})^2}{n-p}}$$

- **Avg Relative Error: 平均相对误差**

用于拟合质量评估。

公式：

$$ARE = \frac{1}{n} \times \sum \left| \frac{Z_{obs} - Z_{fit}}{Z_{obs}} \right| \times 100\%$$

评估标准：

- < 5%: 优秀
 - 5-10%: 良好
 - 10-20%: 可接受
 - > 20%: 需要改进
- 综合考虑实部和虚部误差

✧ 图形化评估

- **Nyquist 图拟合**

数据点：实验测量值（散点）

拟合曲线：模型计算值（实线）

重合程度：直观显示拟合质量

- **残差分析**

实部残差: $(Z'_{exp} - Z'_{fit})/Z'_{exp}$

虚部残差: $(Z''_{exp} - Z''_{fit})/Z''_{exp}$

可接受误差：一般<5%

- **参数物理意义解读**

电阻元件（R）

- **Rs**: 溶液电阻，反映电解质导电性
- **Rct**: 电荷转移电阻，反映反应动力学



- **Rfilm**: 膜电阻, 反映表面膜阻抗
- 电容元件 (C、Q)
 - **Cdl**: 双电层电容, 反映电极/溶液界面
 - **Q**: 常相角元件, 反映非理想电容行为
 - **n 值**: 分散系数 (0-1), 反映界面均匀性
- 扩散元件 (W)
 - **σ** : Warburg 系数, 反映扩散速率
- 电路模型验证
 - KKR 验证
 - 检查拟合结果是否符合 Kramers-Kronig 关系
 - 验证模型的因果性、线性、稳定性
 - 物理合理性
 - 参数值是否在物理可能范围内
 - 温度/浓度依赖性是否符合理论预期
 - 与其他测量技术结果是否一致
 - 模型比较
 - 比较不同电路的拟合优度
 - 使用 AIC/BIC 进行模型选择
 - 避免过度参数化 (过拟合)

6.4. 应用案例

◇ 案例 1: 锂离子电池 ECM 分析

待更新

◇ 案例 2: 燃料电池 ECM 分析

待更新

◇ 案例 3: 腐蚀系统 ECM 分析

待更新

◇ 高级应用技巧

待更新

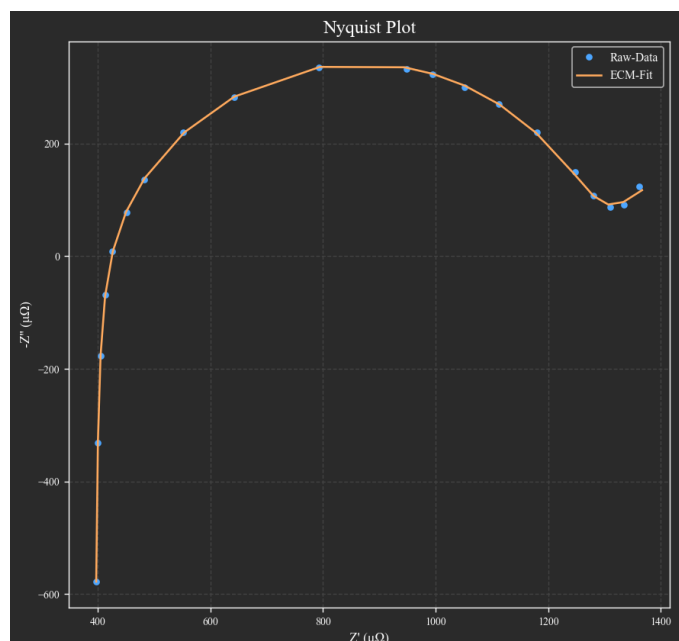
◇ 注意事项

待更新



七、 数据可视化

7.1. Nyquist 图操作指南



✧ 基本概念

Nyquist 图是电化学阻抗谱分析中最常用的可视化工具，以阻抗实部 (Z') 为横轴，负虚部 ($-Z''$) 为纵轴，直观展示阻抗响应的特征形状。

✧ 交互操作功能

- 缩放控制

鼠标滚轮：以光标为中心缩放，可精细查看特定区域

双击：重置为原始视图，恢复全局视图

✧ 显示

- 数据系列

原始数据：散点图显示

拟合曲线：线图显示

残差显示：显示拟合残差分布

✧ 数据点交互

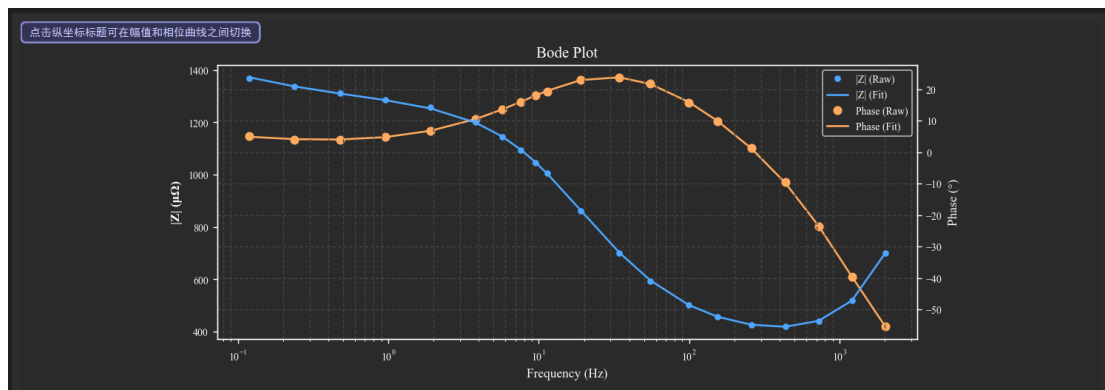
- 悬停提示

自动显示：鼠标悬停时显示最近数据点信息



信息内容：频率、实部、虚部、残差

7.2. Bode 图操作指南



✧ 图表类型介绍

Bode 图以频率为横轴（对数坐标），分别显示阻抗模值（ $|Z|$ ）和相位角（ θ ）随频率的变化关系。

● 幅频特性图

纵轴：阻抗模值 $|Z|$ （对数坐标）

显示内容：阻抗大小随频率变化

应用：识别不同频率范围的主导过程

● 相频特性图

纵轴：相位角 θ （线性坐标）

显示内容：相位随频率变化

应用：判断过程的容性/感性特征

✧ 多轴显示控制

● 双 Y 轴配置

左 Y 轴：阻抗模值 $|Z|$ （对数坐标）

右 Y 轴：相位角 θ （线性坐标）

自动对齐：双轴刻度自动优化对齐

● 轴激活控制

点击切换：点击坐标轴标签激活对应轴

视觉反馈：激活轴标签高亮显示

缩放同步：X 轴缩放时双 Y 轴同步调整

✧ 频率范围管理

● 对数坐标特性



自动刻度: 根据数据范围自动设置对数刻度

刻度密度: 控制主要和次要刻度线密度

- 范围优化

自动适应: 根据数据自动选择最佳显示范围

重点区域: 可聚焦特定频率区间

全范围显示: 一键显示完整频率范围

✧ 数据对比功能

- 多组数据叠加

同时显示: 可在同一图表显示多组 Bode 图

颜色区分: 不同数据系列用不同颜色区分

图例管理: 自动生成可交互的图例

- 差异显示

差值模式: 显示两组数据的差异

比率模式: 显示阻抗变化比率

参考线: 添加基线参考比较



八、数据和图表导出

8.1. 分析数据导出

◇ 导出格式

- CSV 格式

通用性强，文本格式，文件大小适中，保持数据精度，支持科学计数法，几乎所有软件都支持。

文件结构示例：

```
Frequency (Hz),Z' (μΩ),Z'' (μΩ),Fit-Z' (μΩ),Fit-Z'' (μΩ),Res-Z' (%),Res-Z'' (%)
2014.165,397.641,577.357,397.629,577.205,0.00,0.02
1205.447,399.484,331.225,399.868,331.243,-0.07,-0.00
724.794,404.925,176.281,403.898,175.263,0.23,0.23
434.877,413.493,68.511,412.950,70.451,0.13,-0.46
259.400,425.565,-9.114,426.798,-9.144,-0.29,0.01
```

◇ 数据内容

- KKR 数据导出

完整数据： 包含原始数据、拟合结果和残差

- DRT 数据导出

完整数据： 包含弛豫时间、弛豫时间分布函数

- ECM 数据导出

元数据： 分析参数、原始数据、拟合数据、误差

统计指标： χ^2 、AIC、BIC 等拟合优度指标

参数信息： ECM 公式、阻抗公式、拟合参数值

单位信息： 所有数据的单位标注

8.2. 图表导出

◇ 导出格式选择

- 图像格式

格式	分辨率	文件大小	适用场景
PNG	高（300-600 DPI）	中等	论文发表、报告制作



格式	分辨率	文件大小	适用场景
SVG	无限缩放	小	矢量编辑、网页使用
JPEG	可调节	小	网页预览、快速分享

✧ 最佳实践建议

- 可视化策略

选择合适的图表类型：根据分析目的选择 Nyquist 或 Bode 图

优化显示范围：调整坐标范围以突出关键特征

使用一致样式：保持多图表间样式一致性便于比较

- 交互技巧

充分利用缩放：结合全局视图和细节查看

使用数据提示：利用悬停提示快速获取数据信息

- 导出优化

选择合适格式：根据用途选择最佳文件格式

平衡质量大小：在图像质量和文件大小间取得平衡

包含必要信息：确保导出的图表包含所有必要信息

提示：有效的数据可视化是阻抗分析的关键环节。建议优化图表显示效果，使数据特征更加清晰明了。



九、高级功能

9.1. 单位系统设置

- 单位系统选项

单位	符号	换算关系	适用场景
微欧姆	$\mu\Omega$	$1\ \mu\Omega = 10^{-6}\ \Omega$	低阻抗系统（电池、超级电容器）
毫欧姆	$m\Omega$	$1\ m\Omega = 10^{-3}\ \Omega$	中等阻抗系统（燃料电池）
欧姆	Ω	基准单位	高阻抗系统（涂层、腐蚀研究）

- 单位换算功能

自动换算：根据选择自动调整所有显示值

数据一致性：确保分析结果与单位设置一致

- 单位设置影响范围

数据显示：表格、图表中的所有阻抗值，包括 KKR、DRT 和 ECM 页面

分析结果：拟合参数和统计指标

导出内容：所有导出数据的单位一致性

9.2. 多语言支持

- 支持语言列表

语言	代码	支持程度	特色
英语	en	完整支持	默认语言，术语准确
中文简体	zh	完整支持	专业术语本地化

- 实时语言切换

菜单选择：通过语言菜单直接切换

配置文件：修改程序目录下/config.ini/config.ini 配置文件设置默认语言

- 切换效果

即时生效：无需重启软件

完整切换：所有界面元素同时切换

记忆功能：记住用户的语言偏好

9.3. 日志管理



- 日志级别设置

级别	描述	适用场景
DEBUG	调试信息	开发测试，详细运行信息
INFO	一般信息	正常操作记录，推荐生产环境
WARNING	警告信息	潜在问题提醒
ERROR	错误信息	操作失败，需要关注
CRITICAL	严重错误	系统严重故障

- 日志文件管理

按大小轮转：单个文件最大 2MB
备份数量：保留最近 5 个备份文件

- 内置日志查看器

通过日志菜单查看日志，可实时监控最新日志信息，包含完整的各日志级别内容，并可导出到指定目录保存日志文件。

- 日志文件位置

默认路径：安装目录/log/analyZis.log



十、联系

如果在使用 AnalyZis EIS 分析软件时遇到任何困难，或有任何建议和意见，请跟我们联系。

- 邮箱：
Support@AI-EIS.com
- 网址：
<https://www.ai-eis.com/>
- 反馈：
https://www.ai-eis.com/AnalyZis_feedback.html
- 地址：
中国（上海）自由贸易试验区临港新片区海洋一路 333 号临港科创中心 B 座 806 室

请关注我们公众号并添加企业微信联系方式，可以第一时间获取最新产品信息和技术支持。



微信公众号



企业微信



版权信息

版权声明

版权所有 ©2025 上海智源算能新能源科技有限公司。保留所有权利。

本文件及其内容受国际版权法、商标法和知识产权法保护。未经版权所有者明确书面许可，不得以任何形式或任何手段（电子、机械、影印、录制或其他方式）复制、传播、分发、修改或使用本文档的任何部分。

产品信息

软件名称： AnalyZis EIS 分析软件
版本号： V1.04.00R
文档版本： 1.01
发布日期： 2025 年 10 月 12 日
文档编号： AIEIS-ANZ-DOC-20251012-V1.01

商标声明

AnalyZis® 是上海智源算能新能源科技有限公司的注册商标。
本文档中提及的所有其他商标、商品名称、服务标志和产品名称均为其各自所有者的财产。

许可信息

I. 使用许可

本使用手册仅限与合法授权的 AnalyZis 软件副本一同使用。任何用户一旦安装或使用本软件，即表示同意遵守本许可条款。

II. 复制许可

允许为了备份目的制作本手册的副本，但所有副本必须包含完整的版权声明和所有权信息。

III. 禁止行为



严禁以下行为：

- 移除或修改任何版权声明或商标标识
- 反向工程、反编译或反汇编软件
- 未经授权分发、出租、出借或转许可

责任限制

I. 免责声明

本软件和文档按“原样”提供，不附带任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、特定用途适用性和不侵权的暗示担保。

II. 责任范围

在任何情况下，上海智源算能新能源科技有限公司均不对因使用或不能使用本软件和文档而导致的任何直接、间接、偶然、特殊、后果性或惩罚性损害赔偿承担责任，即使已被告知可能发生此类损害。

III. 技术更新

本公司保留随时修改产品规格和文档内容的权利，恕不另行通知。

重要通知

I. 出口管制

本软件和技术数据受中国出口管制法律法规的约束。用户同意遵守所有适用的出口管制法律法规，不将软件或技术数据直接或间接地出口或转移至任何受出口管制的国家或地区，或任何受限制的最终用户。

- ✧ 特别感谢所有为AnalyZis 软件开发和测试做出贡献的合作伙伴和用户。
- ✧ 本文档内容如有变更，恕不另行通知。请定期访问官方网站获取最新信息。