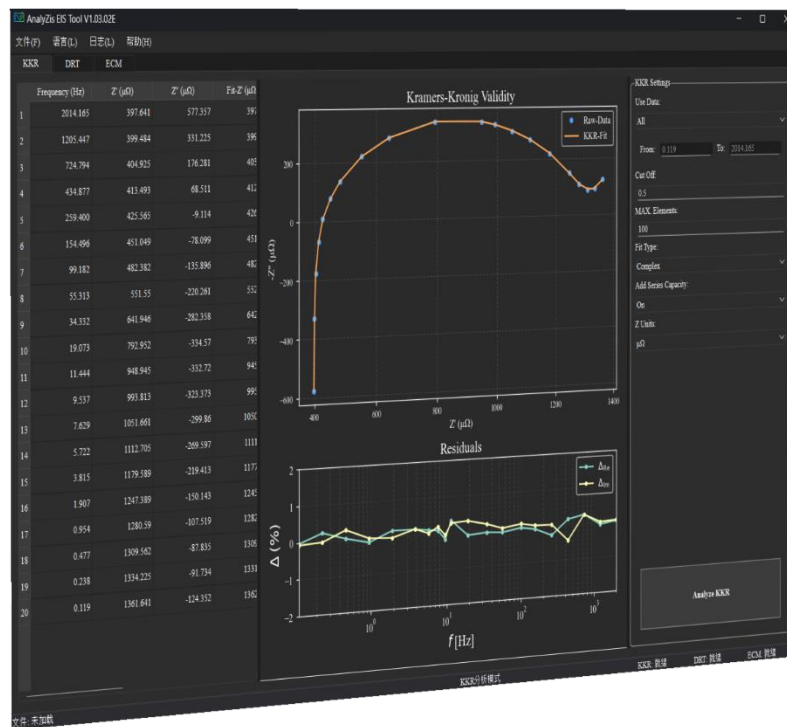




# AnalyZis<sup>®</sup>

EIS 分析软件

使用手册





## 目录

一、	软件概述.....	4
1.1.	软件简介.....	4
1.2.	主要功能特性.....	4
1.3.	系统要求.....	5
1.4.	安装与启动.....	6
二、	快速入门.....	7
2.1.	界面布局介绍.....	7
2.2.	基本操作流程.....	8
2.3.	快捷键说明.....	10
三、	数据导入.....	12
3.1.	支持的文件格式.....	12
3.2.	数据格式要求.....	12
3.3.	导入步骤详解.....	13
3.4.	常见导入问题解决.....	14
四、	KKR 验证功能 .....	16
4.1.	Kramers-Kronig 关系原理简介 .....	16
4.2.	参数设置详解.....	17
4.3.	KKR 验证统计系统 .....	18
4.3.1.	统计指标详解.....	19
4.3.2.	综合数据质量分数.....	20
4.4.	分析结果解读.....	21
五、	DRT 分析功能 .....	23
5.1.	弛豫时间分布原理简介.....	23
5.2.	参数设置详解.....	24
5.3.	DRT 转 EIS 对比功能 .....	26
5.3.1.	功能原理与价值.....	26
5.3.2.	操作界面与使用流程.....	27
5.3.3.	结果解读指南.....	27
5.4.	残差统计系统.....	28
5.4.1.	统计指标体系.....	28
5.4.2.	质量评估参考.....	28
5.5.	贝叶斯 DRT 分析 .....	29
5.5.1.	贝叶斯方法原理.....	29
5.5.2.	参数设置详解.....	29
5.5.3.	贝叶斯 DRT 结果解读 .....	29
5.6.	高斯峰拟合功能.....	29
5.6.1.	高斯峰拟合原理.....	29
5.6.2.	峰参数自动化.....	30
5.6.3.	拟合结果应用.....	30
六、	ECM 拟合功能 .....	31
6.1.	等效电路模型原理简介.....	31
6.2.	参数拟合与优化.....	32



6.3.	分析结果解读.....	33
七、	一键分析与数据管理功能.....	37
7.1.	功能概述.....	37
7.1.1.	一键分析功能定位.....	37
7.1.2.	数据管理功能增强.....	37
7.2.	一键分析参数设置详解.....	37
7.3.	一键分析操作流程详解.....	39
7.4.	分析报告展示功能.....	39
7.5.	数据上传与管理功能.....	40
7.6.	云端数据管理.....	41
八、	设备控制.....	42
8.1.	简介.....	42
8.2.	设备连接与通信设置.....	42
8.2.1.	系统要求.....	42
8.2.2.	连接步骤.....	42
8.2.3.	设备参数设置详解.....	43
8.3.	测量功能操作指南.....	43
8.3.1.	阻抗测量流程.....	43
8.3.2.	实时数据监控.....	44
8.3.3.	固件升级管理.....	44
九、	数据可视化.....	45
9.1.	Nyquist 图操作指南 .....	45
9.2.	Bode 图操作指南 .....	46
十、	数据和图表导出.....	48
10.1.	分析数据导出.....	48
10.2.	图表导出.....	48
十一、	高级功能.....	50
11.1.	单位系统设置.....	50
11.2.	多语言支持.....	50
11.3.	日志管理.....	50
十二、	联系.....	52
	版权信息.....	53



# 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。

在 2.0 版本中，软件进行了全面升级，主要更新包括：

- **性能优化：**对核心模块重要功能和算法进行优化。
- **功能扩展：**新增了一键分析、数据管理、设备控制等模块，强化了自动化流程和云端集成。
- **界面优化：**重新设计了主界面布局，支持更灵活的模块切换和交互操作。
- **兼容性增强：**支持更多文件格式和设备连接，如 FLYZ-8101 电池阻抗谱分析仪的直接控制。

2.0 版本侧重于提升用户体验和分析效率，通过模块化设计使 KKR、DRT、ECM 等核心功能更独立且深入，同时新增的一键分析功能可自动执行完整分析流程，大幅简化操作步骤。

## 1.2. 主要功能特性

2.0 版本在保留 1.0 版本基础功能的同时，新增并增强了以下特性，突出了模块化和自动化：

### ✧ 核心功能模块

- 1) **KKR 验证模块：**用于验证 EIS 数据的因果性、线性和稳定性，通过 Kramers-Kronig 关系评估数据质量。2.0 版本增强了参数设置，并新增了综合数据质量分数计算。
- 2) **DRT 分析模块：**执行分布弛豫时间分析，识别电化学系统中的弛豫过程。2.0 版本新增了贝叶斯 DRT 分析，带不确定性估计和高斯峰拟合提取显著峰的特征参数。还新增了 DRT 转置 EIS 数据对比分析功能，强化了结果可靠性。
- 3) **ECM 分析：**提供等效电路模型拟合与参数优化功能。2.0 版本优化了电路图可视化并支持更复杂的电路模型。
- 4) **一键分析功能：**2.0 版本新增自动执行 KKR 验证、DRT 分析和 ECM 拟合的完整流程，无需手动切换模块。用户可通过参数预设（如数据质量影响设置）实现个性化分析，并生成详细的分析报告。
- 5) **设备控制模块：**集成 FLYZ-8101 电池阻抗谱分析仪控制，支持设备连接、参数设置、实时测量和固件升级，实现软硬件一体化操作。



## ◇ 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) 自动判断导入数据的虚部符号
- 4) 数据范围筛选和过滤功能
- 5) 实时数据预览和验证支持
- 6) 分析数据上传到云服务器，便于远程访问和管理。

## ◇ 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) 可设定分析频率段
- 4) 图表支持右键剔除异常点

## ◇ 输出与导出

- 1) 详细的数据分析报告生成
- 2) 图表和数据表格导出功能
- 3) 完整的各模块统计信息

## ◇ 用户界面特性

- 1) 工具栏快捷操作
- 2) 多语言支持（中文、英文）
- 3) 明暗主题切换
- 4) 智能工具提示和帮助系统
- 5) 直观的参数设置界面
- 6) 强化了故障排除指南

# 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.XX.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。



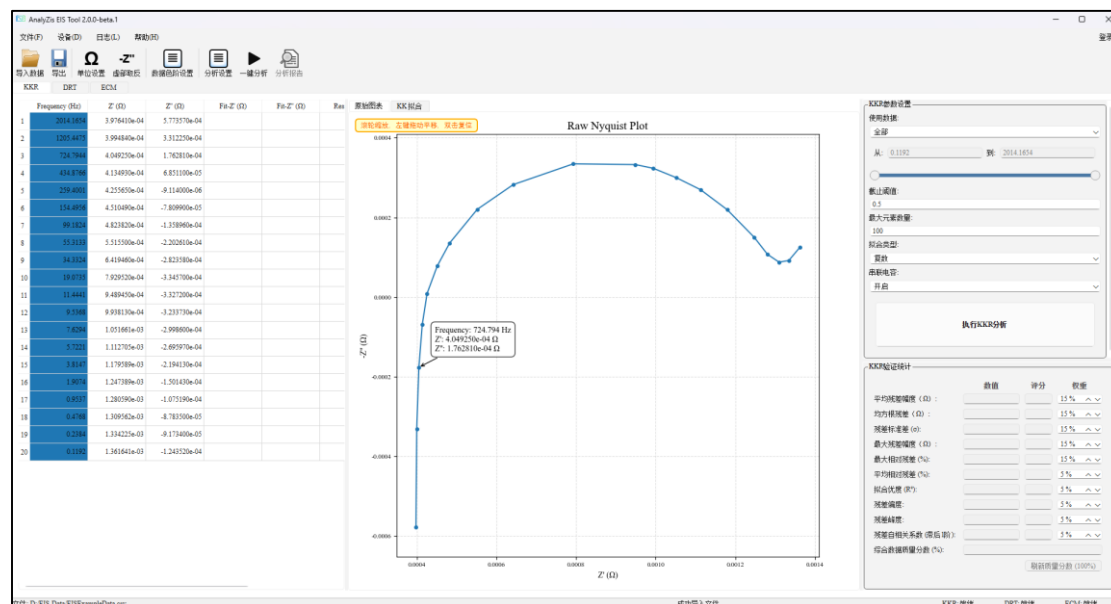
## 二、快速入门

本章旨在帮助新用户快速掌握 AnalyZis 软件的基本操作流程。无论您是首次使用电化学阻抗谱分析软件，还是从 1.0 版本升级到 2.0 版本，本章将提供清晰的步骤指南。内容结合了 1.0 版本的基础操作和 2.0 版本的新增功能，确保新手能轻松上手，同时突出 2.0 版本的改进点（如一键分析、设备控制等）。我们将从界面布局介绍开始，逐步引导您完成数据导入、分析到导出的完整流程。

### 2.1. 界面布局介绍

AnalyZis 软件采用直观的图形用户界面，2.0 版本在 1.0 版本的基础上优化了布局，提升了模块化程度和交互性。主界面分为多个功能区，方便用户快速访问核心模块。以下是整体布局的详细说明，整合了 1.0 版本的简洁性和 2.0 版本的增强特性。

#### ◇ 主界面结构



- **菜单栏：**位于窗口顶部，包含文件导入导出、设备（FLYZ-8101）控制、日志记录、帮助菜单。
- **工具栏：**提供常用功能的快捷按钮，包括：
  - **导入数据：**支持文件拖放和剪贴板粘贴。
  - **导出功能：**扩展了数据导出选项，可一键导出所有数据。
  - **单位设置：**实时同步所有模块的单位（ $\mu\Omega$ 、 $m\Omega$ 、 $\Omega$ ， $k\Omega$ ）。
  - **一键分析：**自动执行完整分析流程的快捷按钮并生成分析报告。
- **标签页控件：**顶部包含三个核心分析模块的标签页，与 1.0 版本一致：



- KKR: Kramers-Kronig 关系验证。
  - DRT: 分布弛豫时间分析。
  - ECM: 等效电路模型拟合。
- **可调整面板区域:** 界面主要分为三部分:
    - **左侧面板:** 数据表格显示区, 展示原始数据和分析结果。2.0 版本增强了交互性, 如右键菜单剔除异常数据点, 色阶显示残差数据。
    - **中央面板:** 图表可视化区, 显示 Nyquist 图、Bode 图等。2.0 版本新增了多标签页 (如原始图表和拟合图表), 并支持垂直分割视图。
    - **右侧面板:** 参数设置区, 用于配置分析参数。2.0 版本的 KKR 和 DRT 界面新增统计指标信息。设备控制模块 (如 FLYZ-8101 设置) 集成于参数设置区右侧, 可作为可隐藏区域。
  - **状态栏:** 底部显示操作状态、文件路径、分析进度等信息。

## 2.2. 基本操作流程

本小节提供一步一步的操作指南, 适用于第一次使用软件的用户。流程融合了 1.0 版本的基础步骤和 2.0 版本的新功能, 如一键分析和设备控制。整个流程设计为“数据导入→分析→结果导出”的线性路径, 确保新手能快速完成首次分析。

### 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
- 虚部符号支持取反和不取反, 软件自动判断和处理, 并支持通过工具栏的 **[-z"]** 按钮手动调整。

### II. 数据预览

- 1) 查看左侧表格中的数据是否正确加载
- 2) 检查中央区域原始图表的 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、DRT 或 ECM)。2.0 版本新增了“一键分析”功能, 可自动执行全流程。





## ✧ 手动分析模式

### ● 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（全部/负虚部/频率范围）
    - i. 当选择“频率范围”选项时，可以设置分析的频率范围，通过双滑块滑条或直接在“从”和“到”文本框中输入来调整起始频率和终止频率（可设置频率不能超过最大最小值）
  - b) 设置截止阈值（推荐 0.3-0.7）
  - c) 选择拟合类型（复数/实部/虚部）
- 2) 点击“执行 KKR 分析”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
- 3) 2.0 版本新增贝叶斯 DRT，适合不确定性分析，并执行高斯峰拟合获取显著峰的特征参数。需要注意的是，贝叶斯 DRT 与高斯峰拟合计算量较大，分析会需要较长时间。

### ● 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) 如要调整分析频率范围，可切换到 KKR 页面，通过“使用数据”项选择“频率范围”选项
- 4) 点击“Fit”按钮开始拟合

## ✧ 一键分析模式

- 点击工具栏的“一键分析”按钮，软件自动执行 KKR 验证、DRT 分析和 ECM 拟合。
- 可先在“分析设置”中配置参数（如数据质量影响阈值），简化决策过程。

## ✧ 设备控制集成

- 如果使用 FLYZ-8101 设备，先在右侧面板连接设备，再进行测量，实现“采集-分析”一体化。

## IV. 结果导出

- 1) 点击菜单栏“文件”→“导出”，或者点击工具栏的导出按钮
- 2) 选择导出内容：
  - 数据表格（CSV 格式）
  - 图表图像（PNG 格式）
- 3) 选择保存路径并确认导出
- 4) 工具栏的导出按钮支持一键导出所有数据，将要导出的数据类型复选框勾选后



点击导出数据按钮即可，如下图

## 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
Ctrl + V	粘贴剪贴板数据	从其他软件快速导入数据
F1	打开帮助文档	获取使用帮助
Ctrl + D	打开/关闭设备界面	连接 FLYZ-8101 进行数据采集
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
鼠标左键	图表平移	移动观察区域
鼠标右键	图表导出，剔除异常数据	导出保存图表，异常数据剔除分析
双击鼠标	重置视图	恢复原始显示范围
鼠标悬停	显示数据点信息	查看频率、阻抗值等详情



## ◇ 使用建议

### 新手推荐流程

- **首次使用：**按照 2.2 节的四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 三种手动分析模式和一键分析自动模式
- **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

虚部取反：程序会自动判断导入数据的虚部符号，并根据 EIS 标准进行自动取反处理

### 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,  $\Omega$ ）
  - 第 3 列：阻抗虚部（Z'' 或 Z\_imag,  $\Omega$ ）
- 2) 可选数据列：
  - 相位角（Phase,  $^{\circ}$ ）
  - 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

- 通过菜单导入 (与 1.0 版本一致):
  - 点击主菜单: 文件 → 导入 → 导入 EIS 数据。
  - 在文件选择对话框中选择目标文件。
  - 点击"打开", 软件自动开始导入。
- 使用快捷键导入:



- 使用 **Ctrl+I** 快速打开导入对话框。
- 或使用 **Ctrl+V** 直接粘贴剪贴板中的数据（新增强力功能）。
- 拖放导入：
  - 直接将数据文件从资源管理器拖放到软件界面中。

## ✧ 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，中央图表区域的原始图表自动绘制 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

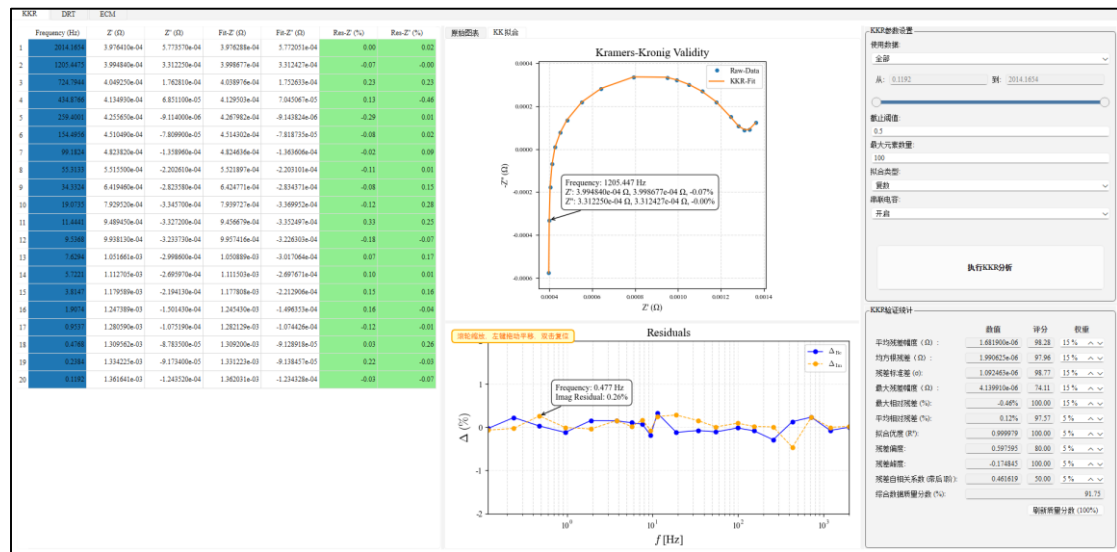
### • 数据验证检查

- 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
- $\omega$  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

KKR参数设置

使用数据:

全部

从: 0.1192 到: 2014.1654

截止阈值:

0.5

最大元素数量:

100

拟合类型:

复数

串联电容:

开启

执行KKR分析

◇ 数据范围选择

● 使用数据 选项

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

● 频率范围参数（当使用数据选项选择频率范围项时可用）

- 从：下限频率设置（Hz）
- 到：上限频率设置（Hz）
- 滑条左滑块：下限频率设置（Hz）
- 滑条右滑块：上限频率设置（Hz）

● 右键剔除异常数据功能



**数据表格右键：**剔除、恢复分析该数据  
**图表区域右键：**点选剔除、恢复分析该数据

## ✧ 算法参数设置

### ● 截止阈值 (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。

### ● 最大元素数量

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

### ● 复数拟合

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。

### ● 实部拟合

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。

### ● 虚部拟合

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

### ● 串联电容设置

开启：在等效电路中添加串联电容。

关闭：不使用串联电容。

根据具体电化学系统选择。

## 4.3. KKR 验证统计系统

2.0 版本引入了全面的 KKR 验证统计系统，通过 10 项量化指标综合评估数据质量，取代了 1.0 版本中简单的残差检查。该系统在 KKR 模块的右侧“验证统计”区域显示，为用户提供多维度的质量评分和详细解读。



KKR验证统计			
	数值	评分	权重
平均残差幅度 (Ω) :	1.681900e-06	98.28	15 % ^ v
均方根残差 (Ω) :	1.990625e-06	97.96	15 % ^ v
残差标准差 (σ):	1.092463e-06	98.77	15 % ^ v
最大残差幅度 (Ω) :	4.139910e-06	74.11	15 % ^ v
最大相对残差 (%):	-0.46%	100.00	15 % ^ v
平均相对残差 (%):	0.12%	97.57	5 % ^ v
拟合优度 (R²):	0.999979	100.00	5 % ^ v
残差偏度:	0.597595	80.00	5 % ^ v
残差峰度:	-0.174845	100.00	5 % ^ v
残差自相关系数 (滞后 1阶):	0.461619	50.00	5 % ^ v
综合数据质量分数 (%):			91.75
			刷新质量分数 (100%)

### 4.3.1. 统计指标详解

KKR 验证统计包含以下核心指标，每个指标均配有 0-100 分的评分系统，帮助用户快速判断数据质量：

#### 1) 平均残差幅度 (Average Residual Magnitude)

- 定义：所有频率点阻抗偏差（残差）绝对值的平均值。
- 物理意义：反映数据整体偏离 KK 理论的均匀程度。
- 评分标准：值越小评分越高，表示数据整体符合度越好。

#### 2) 均方根残差 (RMSE, Root Mean Square Error)

- 定义：所有频率点阻抗偏差的均方根值。
- 物理意义：对较大偏差敏感，能揭示数据中的异常点或系统性偏差。
- 评分标准：值越小评分越高，表示数据质量越高。

#### 3) 残差标准差 ( $\sigma$ , Standard Deviation)

- 定义：残差幅度离散程度的度量。
- 物理意义：判断各频点数据质量的稳定性。
- 评分标准：值越小评分越高，表示不同频点间的数据质量差异越小。

#### 4) 最大残差幅度 (Maximum Residual Magnitude)

- 定义：所有频率点中最大的残差幅度值。
- 物理意义：反映数据与 KK 理论的最大偏差点，识别最严重的异常点。
- 评分标准：值越小评分越高，说明数据一致性越好。

#### 5) 最大相对残差 (Maximum Relative Residual)

- 定义：所有频率点中相对残差的最大值 (%)。
- 评分标准：
  - $\leq 1\%$ : 100 分
  - 1%-2%: 线性下降至 80 分
  - 2%-5%: 线性下降至 40 分
  - 5%: 从 40 分开始指数衰减并趋近于 0
- 应用价值：识别局部严重偏差。



#### 6) 平均相对残差 (Average Relative Residual)

- 定义：所有频率点中相对残差的平均值 (%)。
- 评分标准：
  - 0%-0.5%: 线性插值从 100 分到 90 分
  - 0.5%-1%: 线性插值从 90 分到 60 分
  - 1%-3%: 线性插值从 60 分到 0 分
  - 3%: 0 分
- 应用价值：评估整体相对误差水平。

#### 7) 拟合优度 ( $R^2$ , Goodness of Fit)

- 定义：模型对观测数据的解释程度，反映回归方程的总体拟合度。
- 物理意义：取值范围[0,1]，值越接近 1 表示模型拟合效果越好。
- 评分标准：直接使用  $R^2$  值作为评分，范围为[0,100]。

#### 8) 残差偏度 (Residual Skewness)

- 定义：基于 Z-Score 标准化后的残差计算的偏度。
- 物理意义：值接近 0 表示对称分布，正偏度表示右偏，负偏度表示左偏。
- 评分标准：
  - $\leq 0.5$ : 100 分
  - 0.5-1.0: 80 分
  - 1.0-2.0: 50 分
  - 2.0: 20 分

#### 9) 残差峰度 (Residual Kurtosis)

- 定义：基于 Z-Score 标准化后的残差计算的峰度。
- 物理意义：值接近 0 表示正态分布，值大于 0 表示重尾，小于 0 表示轻尾。
- 评分标准：
  - $\leq 0.5$ : 100 分
  - 0.5-1.0: 80 分
  - 1.0-2.0: 50 分
  - 2.0: 20 分

#### 10) 残差自相关系数 (滞后 1 阶)

- 定义：残差序列与其滞后一阶序列的相关系数。
- 物理意义：值接近 0 表示无自相关，非零值表示残差存在序列相关性。
- 评分标准：
  - $\leq 0.1$ : 100 分
  - 0.1-0.3: 80 分
  - 0.3-0.5: 50 分
  - 0.5: 20 分

### 4.3.2. 综合数据质量分数

2.0 版本新增了基于 10 项指标的加权平均得分：

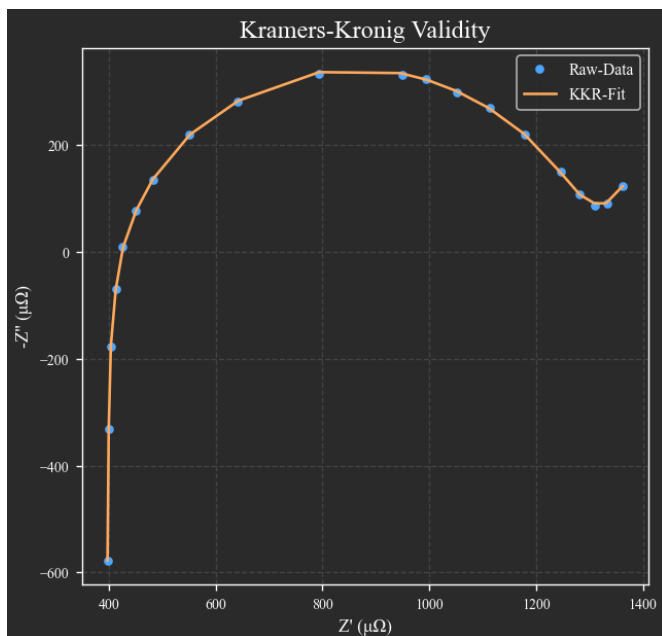
- 计算方法：每个指标的分数映射到 0-100 范围，乘以用户设置的权重，最后转换为百分制。
- 刷新机制：点击"刷新质量分数"按钮重新计算。
- 应用价值：分数越高表示数据质量越好， $\geq 90$  分为优秀， $\geq 75$  分为良好， $\geq 60$  分为合格， $< 60$  分建议检查数据。



## 4.4. 分析结果解读

### ✧ 可视化结果

- Nyquist 图显示

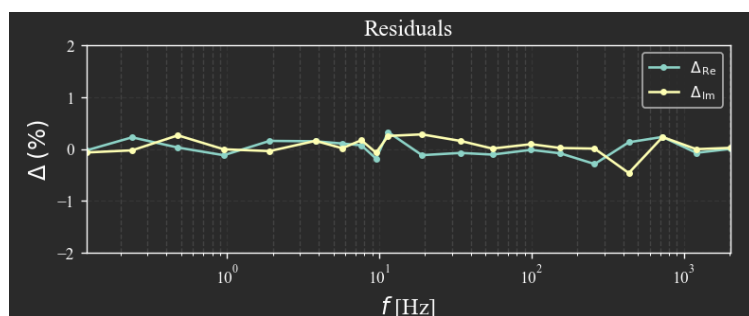


原始数据点：蓝色圆点显示。

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±1%为可接受界限。

### ✧ 结果判断标准

- 通过 KKR 验证（符合要求）

残差在±1%范围内，拟合曲线与原始数据良好重合。

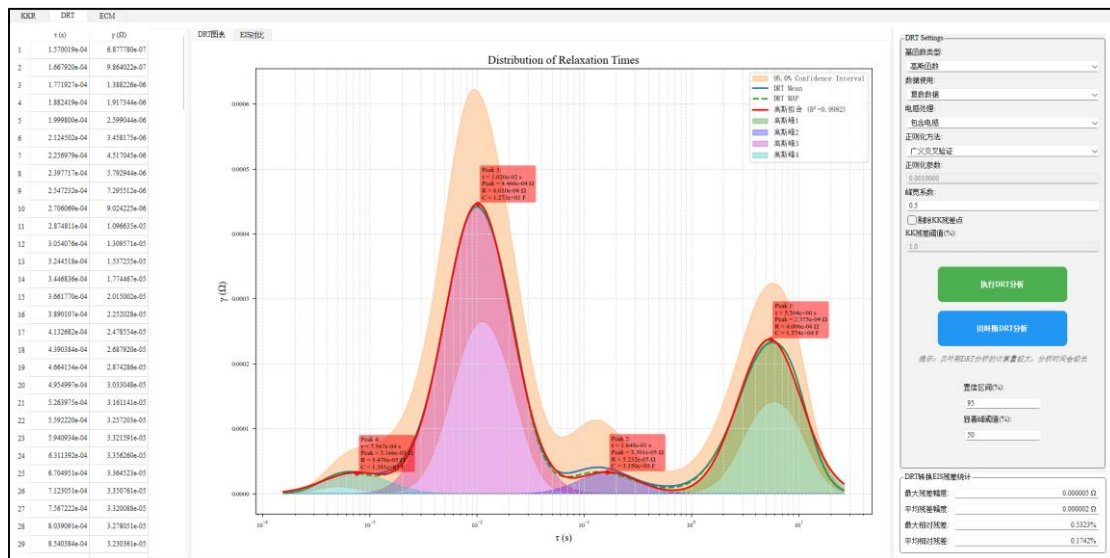


- 未通过 KKR 验证（存在问题）

残差超过 $\pm 1\%$ ，存在明显系统性偏差，需要检查实验条件或数据质量。



## 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
- $R_{\infty}$  为高频电阻
- $\gamma(\tau)$  为弛豫时间分布函数
- $\tau$  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

DRT Settings

基函数类型:

高斯函数

数据使用:

复数数据

电感处理:

包含电感

正则化方法:

广义交叉验证

正则化参数:

0.0010000

峰宽系数:

0.5

☐ 剔除KK残差点

KK残差阈值(%):

1.0

执行DRT分析

贝叶斯DRT分析

提示：贝叶斯DRT分析的计算量较大，分析时间会较长

置信区间(%):

95

显著峰阈值(%):

50

## ✧ 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，专注于电化学过程。

- **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

#### ✧ 剔除 KK 残差点

- 作用: 启动剔除 KK 残差超过设定阈值的数据点

#### ✧ KK 残差阈值

- 作用: 残差超过此阈值的数据点将被剔除

#### ✧ 置信区间(%)

- 作用: 设置贝叶斯 DRT 分析的置信区间
- 95% - 常用的置信水平, 平衡可靠性和灵敏度
- 90% - 较高灵敏度, 较低可靠性
- 99% - 较高可靠性, 较低灵敏度
- 建议使用默认的 95%置信区间。

#### ✧ 显著峰阈值(%)

- 作用: 设置识别显著峰的阈值:
- 较低值 - 识别更多峰, 包括较弱的峰
- 较高值 - 仅识别较强的显著峰
- 典型范围: 30-70%
- 建议使用默认的 50%阈值, 根据需要调整。

## 5.3. DRT 转 EIS 对比功能

### 5.3.1. 功能原理与价值

DRT 转 EIS 对比是 2.0 版本的核心增强功能, 通过将 DRT 分析结果逆向转换为传统的 EIS 数据, 实现"正向分析-逆向验证"的完整闭环。

#### ✧ 技术原理

- 基于 DRT 基本方程:  $Z(\omega) = R_{\infty} + \int_0^{\infty} \frac{\gamma(\tau)}{1+j\omega\tau} d(\ln \tau) + j\omega L$
- 通过数值积分将 DRT 分布函数  $\gamma(\tau)$  转换为频域阻抗数据
- 生成与原始 EIS 数据相同频率点的拟合阻抗值

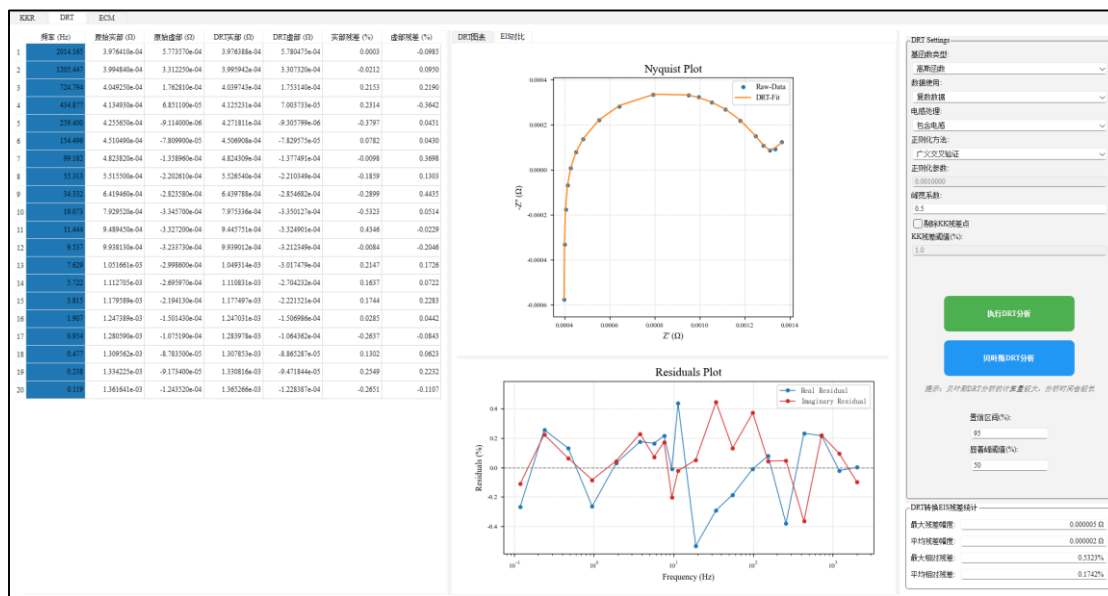
#### ✧ 应用价值



- 验证 DRT 分析可靠性：通过对比原始 EIS 与 DRT 转换 EIS 的吻合程度，评估 DRT 分析质量
- 识别分析误差：差异部分揭示 DRT 模型无法解释的系统行为
- 教学演示工具：直观展示 DRT 分析的数学完备性和物理意义

### 5.3.2. 操作界面与使用流程

在 DRT 模块的"EIS 对比"标签页中，2.0 版本提供了完整的对比分析界面：



#### ✧ 界面布局

- 上半部分：Nyquist 图对比显示
  - 蓝色散点：原始 EIS 测量数据
  - 红色曲线：DRT 转换生成的 EIS 数据
  - 灰色连线：残差显示（可选）
- 下半部分：残差分析图表
  - 实部残差：  $\Delta Z' = Z'_{eis} - Z'_{rerere}$
  - 虚部残差：  $\Delta Z'' = Z''_{eis} - Z''_{rerere}$
  - 单位：绝对误差（ $\Omega$ ）或相对误差（%）

#### ✧ 操作步骤

- 完成常规或贝叶斯 DRT 分析后，可以查看 EIS 对比界面
- 通过图表工具栏进行交互操作：
  - 缩放查看局部吻合情况
  - 鼠标悬停查看具体数值
  - 导出对比图表和数据

### 5.3.3. 结果解读指南



#### ✧ 优质拟合特征

- Nyquist 图中红蓝数据点基本重合
- 残差均匀分布在零线附近，无系统性偏差
- 相对残差普遍小于 5%

#### ✧ 存在问题迹象

- 高频区或低频区出现系统性偏离：可能提示基函数选择不当
- 特定频率段残差突增：可能存在未考虑的弛豫过程
- 整体偏差较大：正则化参数需要调整

## 5.4. 残差统计系统

### 5.4.1. 统计指标体系

DRT转换EIS残差统计	
最大残差幅度:	0.000005 Ω
平均残差幅度:	0.000002 Ω
最大相对残差:	0.5323%
平均相对残差:	0.1742%

2.0 版本建立了完整的 DRT 分析残差统计系统，在右侧"DRT 转换 EIS 残差统计"面板显示以下核心指标：

#### ✧ 基本残差指标

- 最大残差幅度： $\text{Max}|\Delta Z|$ ，反映最差拟合点的误差大小
- 平均残差幅度： $\text{Mean}|\Delta Z|$ ，表征整体拟合精度
- 最大相对残差： $\text{Max}|\Delta Z/Z|\%$ ，识别相对误差最大的频率点
- 平均相对残差： $\text{Mean}|\Delta Z/Z|\%$ ，评估整体相对误差水平

### 5.4.2. 质量评估参考

#### ✧ 优秀 (质量分数 $\geq 90$ )

- 平均相对残差  $< 3\%$
- 残差随机分布，无系统性偏差

#### ✧ 良好 (质量分数 75-89)

- 平均相对残差 3%-8%
- 局部存在轻微系统性偏差

#### ✧ 需要优化 (质量分数 $< 75$ )



- 平均相对残差 > 8%
- 存在明显系统性误差

## 5.5. 贝叶斯 DRT 分析

### 5.5.1. 贝叶斯方法原理

贝叶斯 DRT 是 2.0 版本引入的重大算法革新，采用概率框架解决 DRT 分析中的逆问题：

#### ✧ 贝叶斯 DRT 优势

- 后验分布：提供参数的不确定性估计
- 自动正则化：通过层次先验实现参数自动调整
- 置信区间：给出 DRT 结果的概率范围

### 5.5.2. 参数设置详解

在 DRT 模块右侧参数面板的"贝叶斯 DRT 分析设置"区域：

#### ✧ 核心参数

- 置信区间（默认 95%）：设置不确定性范围，可选 90%、95%、99%
- 显著峰阈值（默认 50%）：识别统计显著 DRT 峰的阈值

### 5.5.3. 贝叶斯 DRT 结果解读

#### ✧ 主要输出内容

- DRT 均值分布：贝叶斯估计的 DRT 分布
- 置信区间：显示不确定性范围（如阴影区域）
- 显著峰标记：自动识别并标记统计显著的弛豫过程

#### ✧ 应用建议

- 研究发表：提供完整的确定性分析，增强结果可信度
- 方法开发：评估新 DRT 算法的性能
- 疑难数据：处理噪声较大或信息不足的数据集

## 5.6. 高斯峰拟合功能

### 5.6.1. 高斯峰拟合原理

2.0 版本新增了自动高斯峰拟合功能，将连续的 DRT 分布分解为离散的高斯峰组合：



## ◇ 数学模型

$$\gamma(\ln \tau) = \sum_{i=1}^N A_i \exp \left( -\frac{(\ln \tau - \ln \tau_i)^2}{2\sigma_i^2} \right)$$

其中:

- $A_i$ : 第  $i$  个峰的幅值
- $\tau_i$ : 第  $i$  个峰的特征时间常数
- $\sigma_i$ : 第  $i$  个峰的宽度参数

### 5.6.2. 峰参数自动化

#### ◇ 自动峰识别算法

- 基线校正: 自动估计并扣除背景影响
- 峰检测: 基于导数分析识别潜在峰位置
- 初始参数估计: 通过矩分析估计初始峰参数
- 非线性最小二乘拟合: 优化峰参数

#### ◇ 拟合质量控制

- 拟合优度检验:  $R^2$ 、残差分析等
- 模型选择准则: AIC、BIC 防止过拟合
- 峰显著性检验: t 检验评估峰的统计显著性

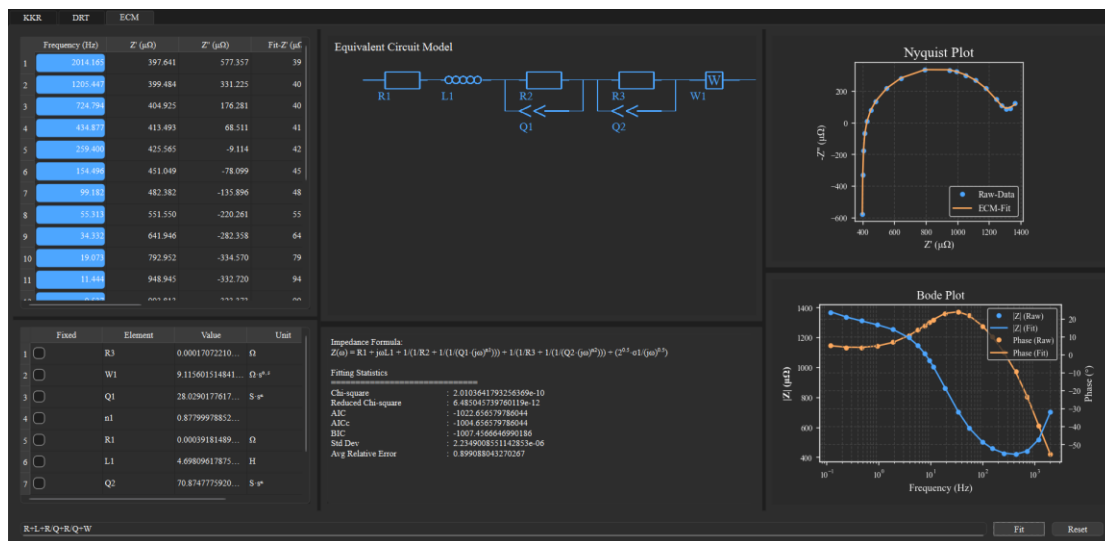
### 5.6.3. 拟合结果应用

#### ◇ 定量弛豫过程分析

- 峰面积: 正比于对应弛豫过程的极化电阻
- 峰位置: 给出特征弛豫时间
- 峰宽: 反映弛豫时间分布宽度



## 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



电路元件	符号	阻抗公式	物理意义
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

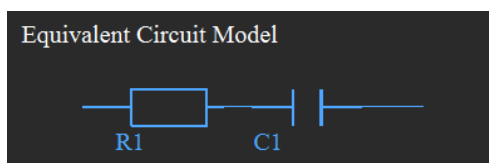
## ✧ 电路语法规则

### • 基本连接符号:

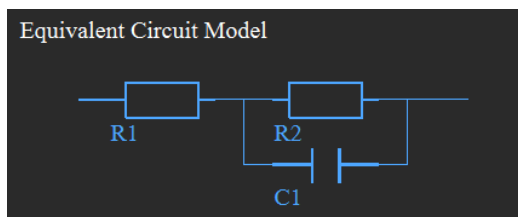
- + : 串联连接
- / : 并联连接
- () : 分组操作，定义运算优先级

### • 公式示例

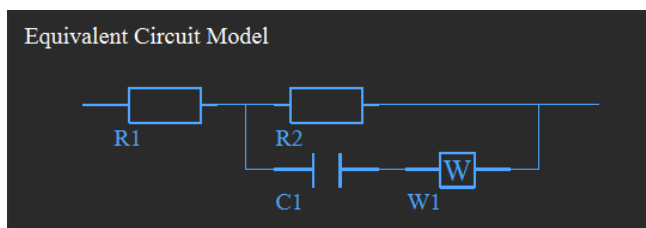
#### 1) 简单 RC 电路: $R+C$



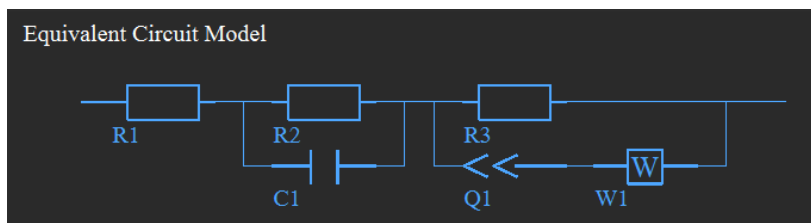
#### 2) Randles 电路: $R+R/C$



#### 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 ( $\chi^2$ )

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 ( $\chi^2 / v$ )**

考虑自由度后的卡方值, 用于比较不同复杂度的模型。

公式:

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

评估标准:

理想值:  $\approx 1.0$   
 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 ( $\Delta AIC$ ) 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)
- **$\sigma$** : 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)



## 七、 一键分析与数据管理功能

### 7.1. 功能概述

#### 7.1.1. 一键分析功能定位

一键分析是 AnalyZis 软件 2.0 版本的核心创新功能,旨在为用户提供智能化的全自动 EIS 数据分析解决方案。该功能通过集成 KKR 验证、DRT 分析和 ECM 拟合三个核心模块,实现了从数据导入到最终报告的完整分析流程自动化。

#### 7.1.2. 数据管理功能增强

2.0 版本新增了完善的数据管理体系,支持分析数据的云端存储、远程访问,解决了 1.0 版本中数据孤岛问题。

##### ✧ 核心价值体现

- 流程自动化:降低操作门槛,使非专业用户也能获得专业级分析结果
- 质量标准化:通过智能参数设置确保分析结果的一致性和可比性
- 数据可追溯:完整的元数据记录和版本管理,满足科研可重复性要求
- 云服务存储:云端数据存储和远程访问,历史数据和报告可查询

### 7.2. 一键分析参数设置详解

一键分析设置

频率范围设置

☒ 使用和KKR相同的频率范围

最小频率 (Hz): 0.010000 Hz 最大频率 (Hz): 100000.000000 Hz

☒ 剔除KK关系残差点 阈值: 1.00%

KK关系综合数据质量评分影响设置

质量等级	离散化函数	正则化方法	正则化参数	峰宽系数
优秀 (≥): 90	高斯函数	广义交叉验证	由正则化方法决定	0.5
良好 (≥): 75	高斯函数	L曲线法	由正则化方法决定	1.0
合格 (≥): 60	分段线性	手动设置	0.0050	1.5

差 (<): 60 不自动分析, 建议先检查数据和实验条件。

贝叶斯DRT分析: ☒ 自动执行贝叶斯DRT分析 当分数 ≤ 70 分时执行

恢复默认设置

ECM身识别

电感 ☒ + 欧姆电阻 ☒ + Voigt电路 2个R/Q Q=L + Warburg ☒

等效电路公式:  $L + R + R/Q + R/Q + W$

OK Cancel



## ✧ 频率范围设置策略

- 使用 KKR 频率范围（推荐）：继承 KKR 模块中设置的频率范围，确保数据质量一致性
- 自定义频率范围：手动指定最小和最大频率（Hz），适用于特殊分析需求
- 频率点优化：自动排除边缘频率点，减少边界效应影响

## ✧ 残差点剔除智能设置

- 剔除机制配置
  - 启用 KK 关系残差点剔除：自动识别并剔除不符合 Kramers-Kronig 关系的异常数据点
  - 阈值设置：残差阈值范围为 0.1%-10.0%，默认值为 1.0%
- 阈值选择指南
  - 高质量数据（信噪比>40dB）：建议阈值≤1.0%
  - 一般质量数据（信噪比 20-40dB）：建议阈值 1.0%-2.0%
  - 低质量数据（信噪比<20dB）：建议阈值 2.0%-5.0%，或考虑重新测量

## ✧ 数据质量影响等级设置

2.0 版本引入的四级质量影响体系，根据 KKR 验证结果智能推荐分析参数：

- 优秀等级（质量分数≥90 分）
  - 离散化函数：高斯函数（平滑性好，抗噪声能力强）
  - 正则化方法：广义交叉验证（自动优化正则化参数）
  - 峰宽系数：0.5（高分辨率，适合高质量数据）
  - 应用场景：实验室标准测量数据、发表级数据分析
- 良好等级（质量分数 75-89 分）
  - 离散化函数：高斯函数
  - 正则化方法：L 曲线法（平衡拟合与平滑）
  - 峰宽系数：1.0（标准设置）
  - 应用场景：常规实验数据、工业检测数据
- 合格等级（质量分数 60-74 分）
  - 离散化函数：分段线性函数（灵活性高）
  - 正则化方法：手动设置（用户干预）
  - 峰宽系数：1.5（抗噪声能力强）
  - 应用场景：现场测量数据、初步快速分析
- 差等级（质量分数<60 分）
  - 处理策略：建议先检查数据和实验条件，不推荐直接进行 DRT 和 ECM 分析
  - 替代方案：启用贝叶斯 DRT 分析（带不确定性估计）

## ✧ ECM 预识别与电路配置

- 电路基本元件配置
  - 电感：包含电感元件（默认开启）
  - 欧姆电阻：包含溶液电阻（默认开启）
  - Warburg 元件：包含扩散阻抗（根据数据特征自动判断）
- Voigt 电路配置



- 1 个 R/Q 单元：简单电极过程（单弛豫）
- 2 个 R/Q 单元：中等复杂度系统（双弛豫）
- 自定义 R/Q 数量：复杂系统分析
- 自定义 ECM 电路支持
  - 高级用户可直接输入等效电路公式
  - 支持标准电路语法：R+(R/Q)+W、R+L+(R/Q)等
  - 实时语法检查和电路图预览

## 7.3. 一键分析操作流程详解

### ✧ 完整操作步骤

#### 步骤一：参数预配置

- 1) 点击工具栏"分析设置"按钮，打开一键分析参数设置对话框
- 2) 根据预期数据质量预设参数（建议初次使用默认设置）
- 3) 确认设置并保存参数模板

#### 步骤二：数据准备与验证

- 1) 导入 EIS 数据（支持拖拽、文件选择、剪贴板粘贴）
- 2) 系统自动执行基础数据验证（频率范围、数据完整性等）
- 3) 查看数据预览图，确认数据质量基本要求

#### 步骤三：执行一键分析

- 1) 点击工具栏"一键分析"按钮启动自动化流程
- 2) 实时进度显示当前分析阶段（KKR 验证→DRT 分析→ECM 拟合）
- 3) 分析过程中可随时暂停/终止（紧急情况处理）

#### 步骤四：结果审查与优化

- 1) 查看自动生成的分析报告
- 2) 检查质量评分和关键指标
- 3) 如结果不理想，调整参数重新执行分析

## 7.4. 分析报告展示功能

### ✧ 报告生成机制

- 自动化报告生成
  - 内容整合：自动整合 KKR、DRT、ECM 三个模块的分析结果
  - 格式标准化：统一的报告模板，确保结果可比性
  - 智能摘要：自动生成执行摘要，突出关键发现
- 报告结构组织
  - 报告头信息
    - 分析时间戳和软件版本信息
    - 数据来源和基本参数
  - 执行摘要



- 数据质量综合评分（0-100 分）
- 显著弛豫过程数量（DRT 峰数）
- 核心结论和建议

#### 报告内容详情

- 各模块的设置
- 各模块的图表
- 各模块的参数
- 各模块的结果分析

### ✧ 报告交互功能

- 图表显示
  - 数据点悬停，显示具体数值信息
- 导出
  - 格式支持：PDF、Excel 格式导出

## 7.5. 数据上传与管理功能

### ✧ 用户账户体系



The image shows a 'User Login' dialog box with the following fields and options:

- 用户名: 请输入用户名 (Username: Please enter username)
- 密码: 请输入密码 (Password: Please enter password)
- ☐ 记住用户名 (Remember username)
- ☐ 下次自动登录 (Auto login next time)
- Buttons: 登录 (Login), 注册 (Register), 取消 (Cancel)

- 注册与登录
  - 新用户注册：通过用户登录对话框的注册按钮，可以在浏览器中打开官网的注册页面进行注册
  - 登录：完成注册后，可以回到用户登录对话框，输入用户名和密码，点击登录按钮完成账户登录。
  - 可以勾选“记住用户名”和“下次自动登录”，下次不需要再输入账户信息即可自动登录。

### ✧ 数据上传流程

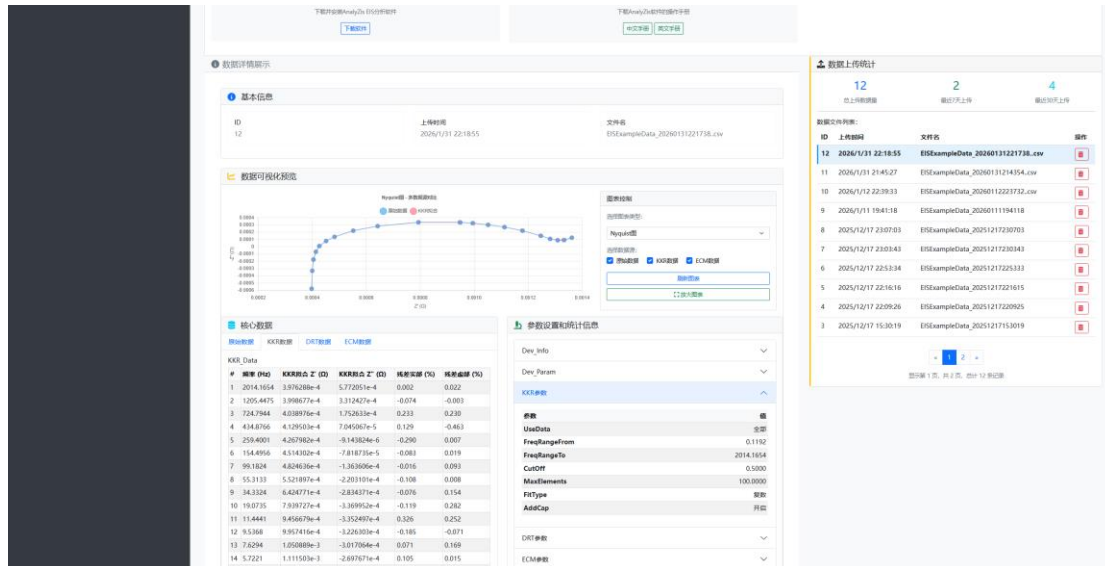
- 准备工作
  - 完成一键分析，生成完整分析报告
  - 系统自动创建上传数据包（包含原始数据和分析结果）
- 上传执行





- 点击分析报告界面"上传数据"按钮，数据自动上传的云服务器

## 7.6. 云端数据管理



AnalyZis 软件 2.0 版本支持了专业的云端数据管理平台，提供数据存储、可视化与分享的一体化解决方案。用户完成一键分析后，可将完整分析结果包（含原始数据、分析参数、拟合结果及统计指标）上传至云端，实现数据的永久保存、多终端访问。

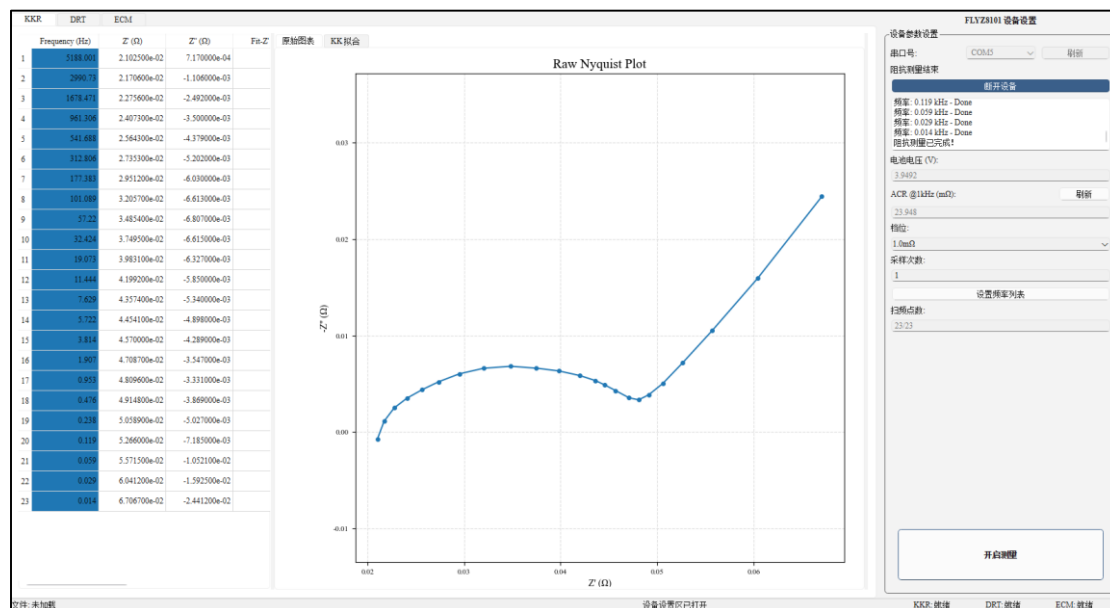
### ✧ 云端数据管理平台简介

- 访问：用户通过官网（<https://www.ai-eis.com>）注册账户后即可登录访问平台
- 数据集中管理：告别本地文件散乱，所有项目数据统一归档至云端项目空间。
- 可视化预览：无需打开软件，直接在网页端预览数据图表与关键结果。
- 深度复现与对比：基于上传的完整数据包，可随时在任意设备上复现完整分析过程，或进行不同数据集间的对比分析。

注：云端数据管理系统的界面与功能将持续更新优化，以提供更佳的用户体验。



## 八、设备控制



### 8.1. 简介

FLYZ-8101 设备控制是 AnalyZis 软件 2.0 版本的重要增强功能，实现了软件与 FLYZ-8101 电池阻抗谱分析仪的深度集成。该功能通过串口通信协议与硬件设备实时交互，为用户提供从设备连接、参数设置、实时测量到数据分析的完整解决方案。

### 8.2. 设备连接与通信设置

#### 8.2.1. 系统要求

✧ **硬件要求:** FLYZ-8101 电化学工作站、USB 转串口线缆、稳定电源

✧ **软件要求:** AnalyZis 软件 V2.0.0 及以上版本、串口驱动程序

#### 8.2.2. 连接步骤

1. 使用原装 USB 线连接 FLYZ-8101 设备与计算机
2. 开启设备电源，确认电源指示灯正常
3. 启动 AnalyZis 软件，打开设备控制界面
4. 点击"刷新端口"按钮，系统自动检测可用串口
5. 从下拉菜单选择正确的 COM 端口（如 COM3、COM4）
6. 点击"连接设备"建立通信连接



7. 查看状态标签显示"设备已连接", 信息文本框显示设备详情

## 8.2.3. 设备参数设置详解

### ✧ 测量档位设置

- 自动档位 (推荐): 系统根据 ACR 值自动选择最优测量档位
- 手动档位选择:
  - 一档: 高阻抗测量 ( $>10\text{m}\Omega$ )
  - 二档: 中高阻抗测量 ( $>1\text{m}\Omega$ )
  - 三档: 中低阻抗测量 ( $>0.4\text{m}\Omega$ )
  - 四档: 低阻抗测量 ( $>0.1\text{m}\Omega$ )

### ✧ 采样次数设置

- 范围: 1-128 次采样/频率点 (平衡测量速度与精度)

### ✧ 频率列表设置

- 打开对话框: 点击"设置频率列表"按钮
- 频率点选择:
  - 表格勾选: 在频率表格中直接勾选需要的频率点
  - 批量操作: "全选"/"清除选中"快速设置
- 频率范围生成:
  - 输入起始频率、终止频率和点数
  - 点击"选择频率"自动生成对数均匀分布序列
  - 导入导出: 支持从 CSV 文件导入或导出频率列表
- 频率点数量限制
  - 最大限制: 254 个频率点 (硬件缓冲区限制)
  - 自动处理: 超过限制时系统自动截断并警告
  - 优化建议: 一般设置 30-80 个点平衡分辨率与效率

## 8.3. 测量功能操作指南

### 8.3.1. 阻抗测量流程

#### ✧ 测量前准备

- 参数验证: 确认测量档位、采样次数、频率列表设置正确
- 设备状态: 检查电池电压 (正常范围 1.25V-4.5V)、ACR 值
- 样品连接: 确保电池工作电极正确连接

#### ✧ 开始测量

- 启动测量: 点击"开启阻抗测量"按钮



- 进度监控：状态栏显示"阻抗测量中..."，扫频点数位置显示“已完成频率点/全部频率点”的数据
- 数据预览：测量过程中实时显示已测数据点（Nyquist 图）
- 异常处理：出现异常时可点击"停止测量"中断进程

#### ✧ 测量完成

- 自动保存：测量数据自动保存到软件数据区
- 就绪提示：状态栏显示"阻抗测量结束"
- 数据分析：自动跳转到 KKR 分析模块，可立即开始数据分析

### 8.3.2. 实时数据监控

#### ✧ 电压监控

- 刷新机制：系统每 1 秒自动更新电池电压显示
- 电压范围：正常范围 1.25V-4.5V，异常时无法启动阻抗测量

#### ✧ ACR 值监控

- 手动刷新：点击"刷新"按钮更新 ACR 值（1kHz 频率点）
- 单位显示： $m\Omega$ （毫欧姆），反映体系欧姆阻抗
- 应用价值：用于自动档位选择和数据质量初步判断

#### ✧ 实时数据流

- 传输间隔：每 500ms 读取一次设备数据
- 心跳检测：软件和设备通信中断超过 5~8 秒，设备自动停止阻抗测量
- 实时显示：在图表区域动态显示测量进度

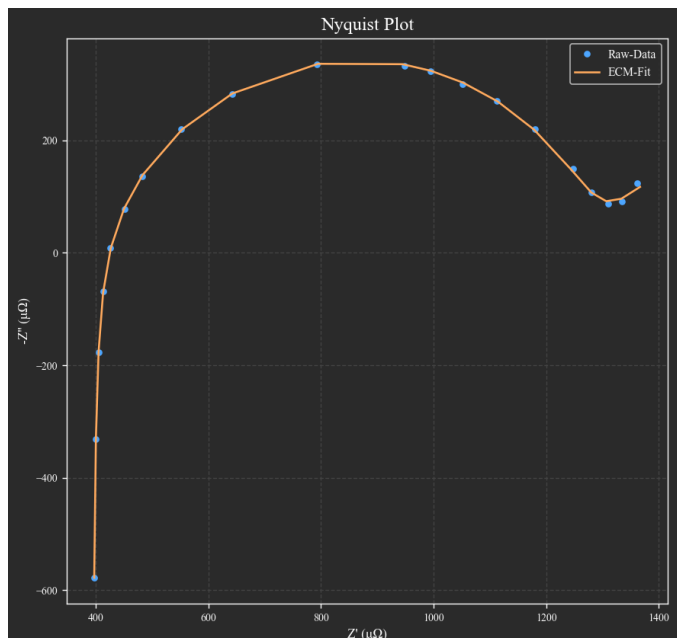
### 8.3.3. 固件升级管理

- ✧ 检测：登录用户并连接设备后，软件自动检查固件版本，发现新版本时显示提示
- ✧ 升级：发现新版本时显示"发现新版本固件，点击升级"，点击链接自动下载最新固件文件，下载完成后弹出确认对话框，点击"是"开始升级。升级完成后设备自动重启。



## 九、 数据可视化

### 9.1. 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

- 鼠标控制

鼠标滚轮：以光标为中心缩放，可精细查看特定区域

鼠标右键：拖动调整图表可视区域

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

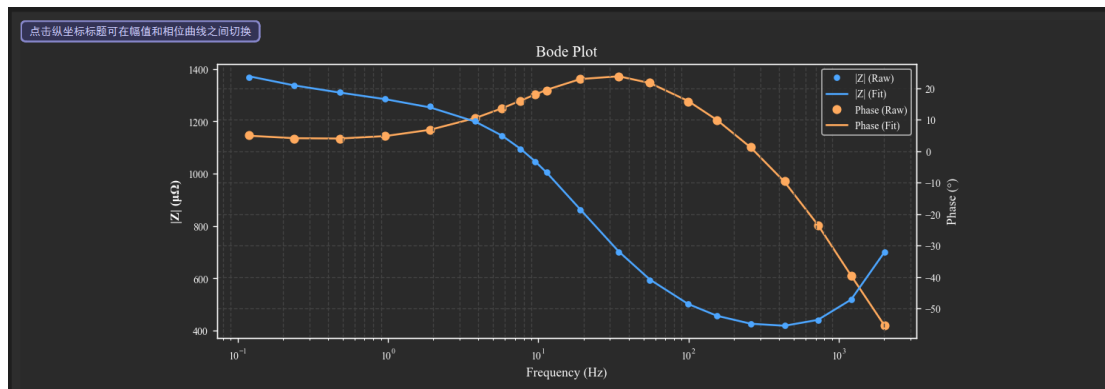
#### ✧ 数据点交互

- 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

## 9.2. 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（ $\theta$ ）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  $\theta$ （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  $\theta$ （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

**手动选择:** 手动调整拟合频率范围，聚焦核心频率点



## 十、数据和图表导出

### 10.1. 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：** $\chi^2$ 、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

### 10.2. 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





## ✧ 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。



## 十一、高级功能

### 11.1. 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	$\Omega$	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：**所有导出数据单位的一致性

### 11.2. 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` 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

### 11.3. 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



## 十二、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](mailto:Support@AI-EIS.com)
- 网址：  
<https://www.ai-eis.com/>
- 反馈：  
[https://www.ai-eis.com/AnalyZis\\_feedback.html](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: 2.0.0 beta.1  
文档版本: 2.0  
发布日期: 2026 年 2 月 2 日  
文档编号: AIEIS-ANZ-DOC-20260201-V2.00

## 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。
- ✧ 本档内容如有变更，恕不另行通知。请定期访问官方网站(<https://www.ai-eis.com>)获取最新信息。