

CorrTest[®]
科思特仪器

CST520 阵列电极电化学扫描系统 说明书

武汉科思特仪器股份有限公司

Wuhan Corrttest Instruments Corp. LTD.

2024 年 5 月

目 录

CST520 阵列电极电化学扫描系统说明书	1
安全事项	1
第一部分 CST520 10×10 阵列电极电化学扫描系统	2
1.1. 概述	2
1.2. 工作原理	2
1.3. 技术指标	4
1.4. 主要用途	4
1.5. 仪器组成	4
1.6. CST520 阵列电极电化学扫描系统前后面板	4
1.7. CS5000X 阵列电极扩展器前后面板	5
1.8. 故障类型	6
1.9. 保修与维修	7
第二部分 WBESCAN 软件安装和仪器连接	8
2.1 WBESCAN 软件安装	8
2.2 配置要求	8
2.3 驱动及软件安装	9
第三部分 WBESCAN 测量软件使用说明	11
3.1 系统设置	11
3.2 测试方法	20
3.3 窗口	41
3.4 帮助	42
第四部分 WBESCAN 分析软件使用说明	43
4.1 文件	43
4.2 图形	69
4.3 数据分析	70
4.4 窗口	75
4.5 帮助	75
4.6 联系方式	75

安全事项

接地

请务必保证电化学工作站良好接地，这是仪器安全的基本要求，也是提高仪器抗干扰能力的重要保证。本电化学工作站通过电源插头的接地线接地。如果电源所接插座没有接地线，则可通过仪器后面板接地孔实现接地。

安全

任何电极连线及配件的连接或更换都必须关闭工作站电源后方可进行。本工作站对其工作环境有一定的要求，为保证正常使用并达到设计的性能指标，用户在系统安装前，必须仔细逐一确认以下条件：

（1）一般环境要求，本仪器属于室内安装使用设备，其安装环境必须符合以下条件：严禁被雨水或其他水源淋洒，以免引起电气故障；不要安装在酸、碱或其他具有腐蚀性环境中，以免系统腐蚀受损；避免机箱长时间受阳光直晒，以免仪器过快老化。

（2）本仪器通电前，务必确认电源插座有良好接地线。良好的接地不但可增强电磁屏蔽和抗干扰能力，而且也是保证电器使用安全的必要条件。本仪器由 220V 交流市电供电，用户必须确保供电电压稳定。若供电电压不稳定，应加装稳压电源。用户还必须确认在本仪器附近没有与其共用电源的大功率或瞬间大电流的用电设备，以防止来自电源耦合的强干扰。

第一部分 CST520 10×10 阵列电极电化学扫描系统

1.1. 概述

CST520 10×10 阵列电极电化学扫描系统通过外接 CS5000X 阵列电极扩展器,自动扫描涂层、混凝土、沉积物或生物膜下阵列电极(丝束电极)的开路电位及自耦合电流(电偶电流)分布,来评估覆盖物下的电极局部腐蚀行为。

由于采用了无扰动的电位与电流扫描模式,基于丝束电极扫描测试技术可以反映膜下金属局部腐蚀的真实状态。在单点模式下,本仪器也可用于任意两个单电极之间的自耦合电化学噪声测量。

本仪器采用高可靠性 Siliconlabs F020 系列高速单片机工业级控制芯片,以及 TI 公司的高精度数据转换器 ADS1211,其最高采样分辨率为 24bit @10Hz,最高采样速率为 1000Hz,前端运算放大器采用了 Maxim 公司的斩波稳零放大器 Max7650,其温漂小于 $0.1\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,时漂小于 $10\mu\text{V}/\text{Month}$,内置二阶低通滤波器,可以有效消除高频噪声进入测量单元,仪器内置 EMI 滤波器,可以防止浪涌电压对设备的损坏。

仪器能根据各丝束电极间的自耦合电流大小自动选择合适电流量程,保证整个测试数据在弱电流区和强电流区均具有好的分辨率。设备控制用固件采用 watchdog 来提高软件运行的可靠性,可以保障出现故障后自动恢复程序运行。

1.2. 工作原理

CST520 10×10 阵列电极电化学扫描系统由 10×10 阵列丝束电极扫描电路(Auto switch)、高阻变换部分、自动测量部分、数据存贮部分、数据输出/显示部分组成。整个测量过程由单片机控制,并通过 100 组低功耗继电器实现 100 路电极的自动循环电位/电流扫描式测量,内置电子开关实现丝束电极电流量程自动切换。测试数据自动运算并发送到上位机。典型的 10×10 阵列丝束电极如下图所示。

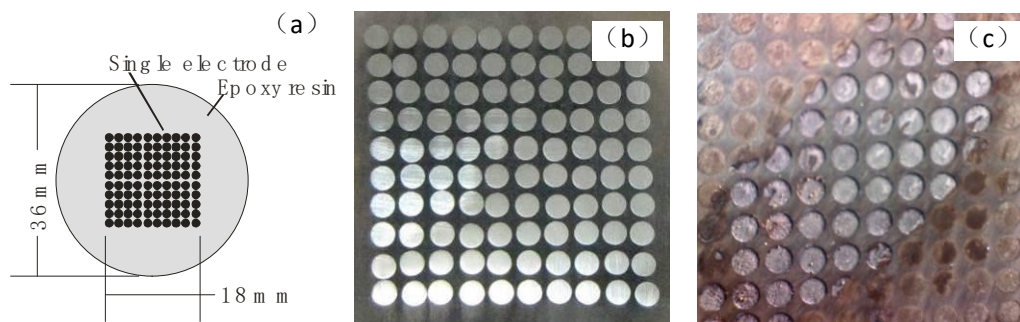


图 1.1 丝束电极 (a) 10×10 阵列示意图, (b) 腐蚀前与 (c) 腐蚀后电极表面形貌

CST520 测试数据可通过 USB 打印线将数据传送传输到 PC 机进行进一步处理和显示。测量数据最后通过 CST520 软件传输到计算机,并可导入到 Origin 中以三维图形方式显示丝束电极表面电位与电流分布状态。

本仪器主要用来监测 10×10 丝束电极表面的电位与电流分布，具体方法如下：

(1) 默认状态下（包括没有上电时），所有 100 根丝束均相互短接并接到地端，因此可以将 100 根电极看作是一个完整的金属平面；

进行电位测量时，将待测量的单根丝束电极 n_x 短接到地，而将其余 99 根丝束电极悬空，测量 n_x 与参比电极之间的电位，依次顺序切换丝束 n_x ($x=1\sim100$) 与参比电极组成回路，即可扫描到整个电极表面的电位分布。仪器内的电位测量采用高输入阻抗模式，而电流测量则采用零阻电流模式。测试原理如下图 1.2 所示：

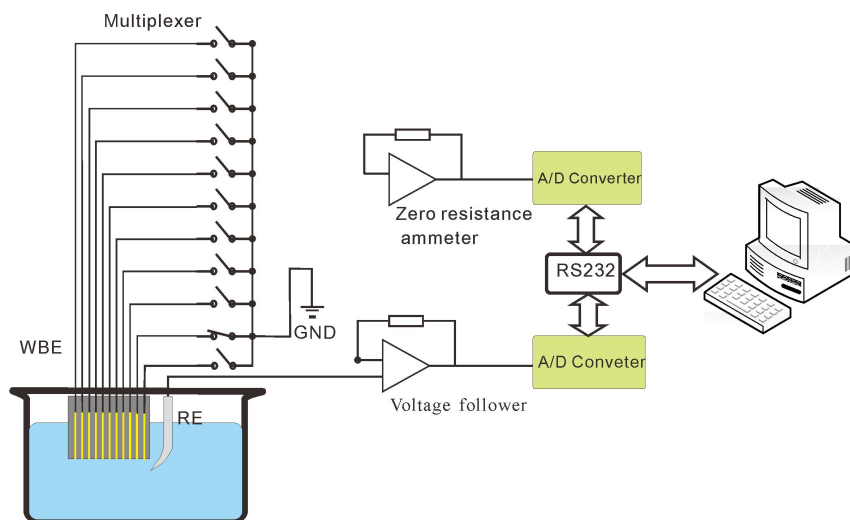


图 1.2 CST520 仪器内高阻变换和表面电位扫描电路

(2) 进行电流测量时，将待测量的单根丝束 n_x 短接到零阻电流计（ZRA）的反向端，而其余 99 根丝束则短接到地，测量单根丝束 n_x 与其余 99 根丝束之间的偶接电流，依次顺序切换丝束 n_x ($x=1\sim100$) 与其余 99 根丝束电极组成电流测量回路，即可扫描到整个电极表面的电流分布，如下图 1.3 所示。

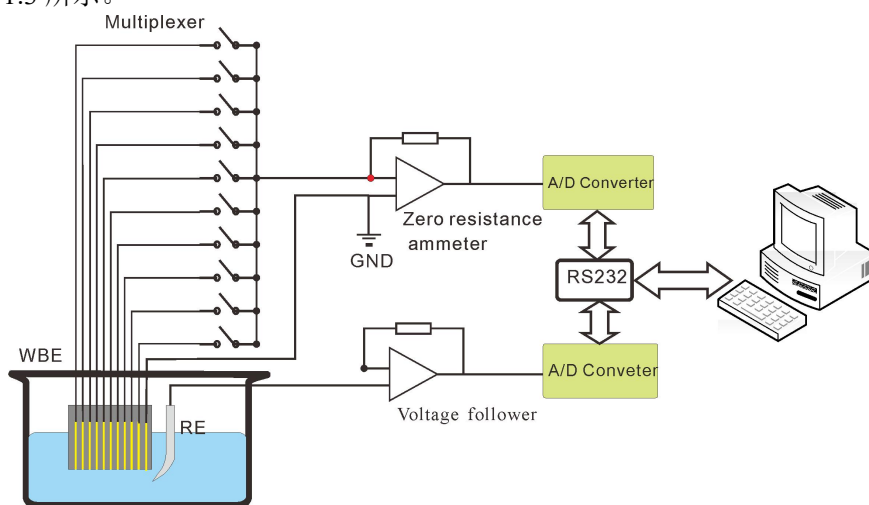


图 1.3 CST520 仪器内零阻电流测量及表面电流扫描电路

仪器完全由基于 Windows 的上位机软件 CST520 控制，参见 CST520 软件部分。

1.3. 技术指标

ADC 分辨率: 24bit	频率测量范围: 10 μ Hz~1MHz
阻抗测量范围: $1 \times 10^{13} \Omega$	电位测量范围: $\pm 10V$
电流测量范围: $\pm 2A$	电流量程: 2A~2nA, 共 10 档
电位控制精度: 0.1%	最小电流分辨率: 1pA
通讯协议: USB、RJ45 网口通信	波特率: 115200bps
电源: AC220V	机箱尺寸 (cm): 36 (长)×32 (宽)×14 (高)
使用环境: 温度-10℃~50℃, 相对湿度 $\leq 80\%$, 空气中无腐蚀性气体	

1.4. 主要用途

用于金属局部腐蚀诱导、发展与抑制过程中的表面电位与电流波动测量, 可用于研究缝隙腐蚀、垢下腐蚀, 以及生物膜、涂层、防锈油膜下的金属非均匀腐蚀行为。

1.5. 仪器组成

① CST520 阵列电极扫描系统 1 台	② CS5000X 阵列电极扩展器 1 台
③ 10×10 阵列丝束电极 1 支	④ WBEScan 软件安装 U 盘一个
⑤ USB 线一根	⑥ 电源线 2 根
⑦ 电极电缆线 1 根	⑧ 两头 DB9 连接线 1 根
⑨ 两头 BNC 连接线 3 根	⑩ 单头 BNC 连接线 2 根

1.6. CST520 阵列电极电化学扫描系统前后面板

CST520 阵列电极电化学扫描系统前面板布局如图 1.4 所示。



图 1.4 CST520 阵列电极电化学扫描系统前面板布局

电极电缆插头——测量线缆输入端口, 每条电缆线包括 6 个电极夹:

- ① 绿色电极夹 (WE) 与白色电极夹 (SE) 一起接工作电极;
- ② 红色电极夹 (CE) 接辅助电极;
- ③ 黄色电极夹 (RE) 接参比电极;
- ④ 黑色电极夹 (GND) 接电偶电极 WEII (若测试电化学噪声); 如果使用屏蔽箱时, 黑色

电极夹（GND）和黑色电极夹（shield）一起接屏蔽箱。

当 CST520 阵列电极电化学扫描系统不接 CS5000X 扩展器时，仪器前面板连接电极电缆线，可当作电化学工作站使用。

显示屏：显示的内容包括电流量程、负载状态、工作模式、极化状态。

电源开关——按“开关”，电源打开，开关指示灯亮。

CST520 阵列电极电化学扫描系统后面板布局如图 1.5 所示



图 1.5 CST520 阵列电极电化学扫描系统后面板布局

AC220V 电源端口——附带保险丝的交流 220V 电源插座，底部盒内为 1A 保险丝。

Misc.I/O 接口——当 CST520 阵列电极电化学扫描系统外接 CS5000X 扩展器时，用于连接 CS5000X 阵列电极扩展器后面板 Interface 接口。

BNC 接口——当 CST520 阵列电极电化学扫描系统外接 CS5000X 扩展器时，用于连接 CS5000X 阵列电极扩展器后面板 BNC 接口。

USB 接口——计算机与恒电位仪的通讯端口，用户需将 USB 电缆线的一端插入电脑主机，另一端插入工作站上此插口。

LAN 接口——计算机与恒电位仪的通讯端口，用户需将网线的一端插入电脑主机，另一端插入工作站上此插口。

模拟输入输出——仪器的模拟输入输出扩展端口。

1.7. CS5000X 阵列电极扩展器前后面板

CS5000X 阵列电极扩展器前面板布局如图 1.6 所示。

DB50 电极插头——每个插头内有 50 根插针，组成 100 个电极阵列，使用前将所有丝束电极插头按顺序（Socket 1 为第 1-50 根针，Socket 2 为第 51-100 根针）连接到前面板插座上，并旋紧。

电源开关——按“开关”，电源打开，开关指示灯亮。



图 1.6 CS5000X 阵列电极扩展器前面板布局

CS5000X 阵列电极扩展器后面板布局如图 1.7 所示

AC220V 电源端口——附带保险丝的交流 220V 电源插座，底部盒内为 1A 保险丝。

Interface 接口——用于连接 CST520 阵列电极电化学扫描系统。

BNC 接口——用于连接 CST520 阵列电极电化学扫描系统。

CS5000X 阵列电极扩展器后面板的 SENCE、WE1、WE99 的 BNC 接口分别与 CST520 阵列电极电化学扫描系统后面板上的 SE、WE、AGND 的 BNC 接口连接。CST520 阵列电极电化学扫描系统后面板上的 RE 与 CE 接口，分别单独使用单头 BNC 连接线连接，另外一端的黄色夹子与红色夹子分别夹测试体系的参比电极与辅助电极。

接地端——当噪声较强时，用于将机箱通过导线连接到接地体上（如暖气片，金属水管上）。



图 1.7 CS5000X 阵列电极扩展器后面板布局

1.8. 故障类型

故障现象	原因分析	排除方法
开机无任何显示	1) 电源未接通	接通电源
	2) 仪器后面板插座内 1A 保险丝断路	重新安装或更换保险丝
采集数据噪声加大	1) 丝束电极电缆线断路或接线不良	检查电极电缆线，排除故障
	2) 参比电极内阻过大	改善盐桥设计，检查电极内的液面高度

通讯故障	1) USB 或 LAN 线接触不良 2) 电源地线没接地或接地不良	检查通讯电缆线
------	---------------------------------------	---------

1.9. 保修与维修

对因材料或器件或生产工艺的问题而造成的仪器故障，自购买之日起，我们对主机提供三年免费保修服务。用户不得自行拆卸仪器，否则，将不予维修。

第二部分 WBEScan 软件安装和仪器连接

2.1 WBEScan 软件安装

WBEScan 是一套高精度丝束电极扫描测试软件，该软件通过 USB 通讯端口来控制 CST520 阵列电极电化学扫描系统的工作，可用于检测涂层或其它覆盖层下丝束电极的电位与电流分布。

WBEScan 能直接将测量数据以 10×10 矩阵形式保存在文本文件中，用户可以直接将文件内的数据复制到 Origin 的矩阵数据列表中，并以三维或者等高线图形显示丝束电极表面的电位与电流分布图，让用户可以直接观察到涂层下局部腐蚀发生发展过程。

WBEScan 可自动控制 CST520 阵列电极电化学扫描系统的电极切换时间和自动切换电流量程。

采用 USB 打印线与计算机通讯，设备安装简单，即插即用。可使用笔记本电脑或台式机控制。



图 2.1 WBEScan 软件的主界面

2.2 配置要求

- ① Win10 及以上操作系统
- ② 500 MB 以上的硬盘剩余空间，4GB 以上运行内存。

2.3 驱动及软件安装

(1) 将 USB 数据线一端插入电脑 USB 端口，另一端插入电化学工作站后面板的 USB 端口。

(2) 将装有刻盘文件的 U 盘插入电脑 USB 口，软件仅适用于 win10 及以上系统电脑，进入“CST520 Software”文件夹，双击“Setup.exe”文件运行，如下图 2.2 所示。



图 2.2 安装 U 盘中内容及安装程序界面图

(3) 首先点击“安装设备驱动”，安装驱动过程中直接点击“下一步”，按照自动指引即可完成安装。正确安装驱动程序后，按下仪器前面板右侧开关电源键，开机，进入到设备管理器中“端口（COM 和 LPT）”下应出现“STMicroelectronics Virtual COM Port (COM x)”，“COM x”即为驱动虚拟的 COM 端口号，如图 2.3 所示：

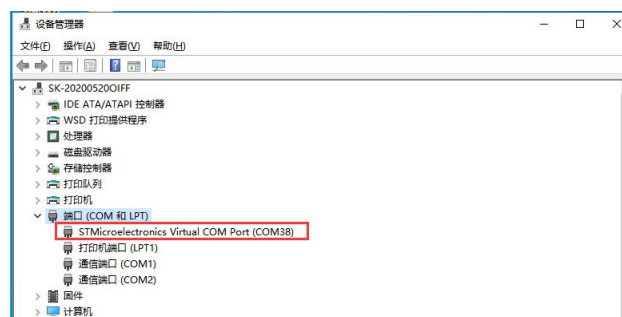


图 2.3 USB 驱动正确安装后设备管理器端口

(4) 点击“安装运行环境”安装.net 3.5 安装环境，如果电脑已经安装过，会提示“环境检

测通过，您无需再次安装”。如果电脑没有安装，按照提示安装完成即可，如图 2.4 所示：



图 2.4 安装运行环境界面图

(5) 点击“安装 CST520”安装测试软件，CST520 软件将安装在用户指定的硬盘目录中，并在桌面创建一个“CST520”快捷方式，如图 2.5 所示。安装完成后退出安装程序。

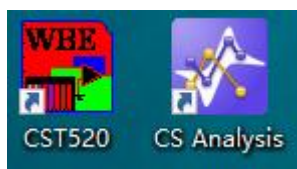


图 2.5 CST520 测试软件及分析软件图标

(6) 打开仪器前面板电源开关，再运行“CST520”程序，软件左上方出现仪器型号、序列号，说明仪器与电脑连接成功，仪器即可正常工作。为保证仪器稳定工作，请确保交流电源可靠接地，请将接地线香蕉插头端插入仪器后面板接地口，鳄鱼夹端与实验室接地处相接。



图 2.6.软件连接上仪器，显示型号序列号

(7) 如果测试过程中出现通讯故障，请重启电化学工作站，再次运行软件即可。

(8) 如要卸载 CST520 软件，请从“控制面板”→“程序”→“程序和功能”中卸载。

第三部分 WBEScan 测量软件使用说明

WBEScan 在主菜单下面有一行工具栏，通过点击相应的按钮，可以完成与菜单相同的工作，当鼠标悬停在工具栏的按钮上时，WBEScan 会有文本信息提示。

WBEScan 支持鼠标右键的功能，当用户在主窗口上点击鼠标右键时，会弹出相应“测试方法”菜单，这样更方便用户操作。

每当测试开始后，工具栏中的按钮就被激活，您可以随时点击该按钮来中断测试过程。当测试结束后，该按钮就变成灰色。

3.1 系统设置

3.1.1 用户设置

菜单位置：“系统设置”→“用户设置”。

该菜单用来修改仪器的用户设置名称。

3.1.2 通讯设置

菜单位置：“系统设置”→“通讯设置”。

该菜单用来修改仪器的连接方式和参数。软件默认设置为“自动”，软件安装成功后，初次打开软件，一般可以直接连接仪器。如果使用 USB 线连接电化学工作站与电脑，用户需选择“自动”或者“USB”，如果使用网线连接电化学工作站与电脑，用户需选择“自动”或者“网口”。当电化学工作站与电脑连接，打开软件，显示仪器没有连接时，可点击“连接向导”，此时软件引导用户检查连接仪器。



图 3.1 通讯设置界面

3.1.3 精度校准

菜单位置：“系统设置”→“精度校准”。（注：此校准需要高精度的电组，如需校准，请联系科思特技术支持人员。）

用于 CST520 阵列电极电化学测试系统的测量误差的调整，通过相应的按钮，可以调整测试

系统的输出电压的准确度，采样数据值的精度等参数。

3.1.4 演示模式

菜单位置：“系统设置”→“演示模式”。

点击“演示模式”，软件将进入演示模式。进入演示模式后，点击“退出演示模式”，软件将退出演示模式。

3.1.5 选项

菜单位置：“系统设置”→“选项”。

工作模式用于设置通道工作模式，通过选择不同通道，可分别设置相应通道的工作模式。设置“浮地”时，仪器电路板（AGND）与大地（机壳）断开。设置“接地”时，仪器电路板（AGND）与大地（机壳）相连。单通道仪器一般用接地模式，此时工作站的抗干扰能力较强；多通道仪器一般用浮地模式，此时工作站的地信号与外界或其他通道间隔，可保证数据的准确性。当测试体系外接金属时，如高温高压釜的电化学测试，金属电解池的测试，需要选择浮地模式。当测试电化学噪声时，需要选择接地模式。

扩展模块用来选择连接扩展器 CS5000X。当电化学工作站与扩展器联用时，点击进行刷新，出现 CS5000X，说明大电流扩展器连接成功。

数据存储设置可以更改默认存储路径，软件默认测量数据存储位置为 C 盘。数据分段存储用于大量数据采集，分段点数可自行设置，设置范围为 104 - 1010，默认为 1000000。当单个测试数据量大于 1000000 个数据点时，测试数据将自动生成 cor-1、cor-2、cor-3...文件分段保存，便于用户测试完成后打开数据，避免一个文件数据量太大，导致数据打开出现卡顿的情况。

数据文件格式可选三种数据保存格式。.txt 格式，建议常规测试时选择。兼容性好，便于数据处理，可直接用过记事本、Excel 以及 Origin 打开。.csdat 格式，建议长期测试或数据量大时选择。存储空间小，提高测试稳定性，便于数据打开，可转换为.txt 格式。.cor/z60 格式，兼容通用数据分析工具 Cview 及 Zview。更改设置后，点击“保存”可保存更改参数。

“行列设置”—连接 CS5000X 后，出现此选项，用于用户选择丝束电极规格。

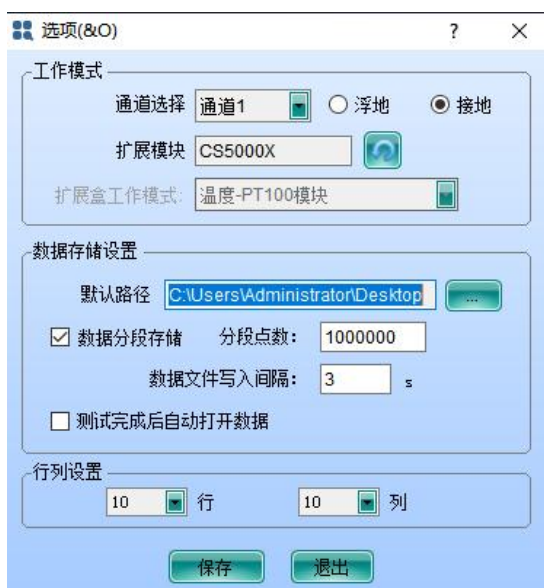


图 3.2 选项窗口

3.1.6 恢复默认设置

菜单位置：“系统设置”→“恢复默认设置”。

恢复默认设置是将仪器的个性设置恢复到出厂的默认状态，如测试方法中之前设置的参数、操作快捷键等恢复到出厂时的设置，但不会删除存储的实验数据。如需恢复到默认值，点击“是”按钮即可。



图 3.3 恢复默认设置窗口

3.1.7 自定义快捷键

菜单位置：“系统设置”→“自定义快捷键”。

自定义快捷键方便用户对测试方法自定义快捷键，设置成功后通过快捷键可以迅速打开测试窗口。

用户可以对不同的测量方法分别添加不同的快捷键，设置好快捷键后点击应用按钮，快捷键就可以正常使用。如果需要修改快捷键，点重置按钮即可。用户只需按下快捷键按钮，就可以迅速打开对应测量方法的测试窗口，方便快捷。



图 3.4 自定义快捷键的参数设置

3.1.8 仪器设置

本对话框让用户选择电流过载的保护方式、信号的输入输出范围以及扫描延迟时间，并可对实测数据进行实时数字和模拟低通滤波。

要进入仪器设置，可以从菜单“测试方法”中的任意子菜单（如动电位扫描），点击参数设置界面  图标进入。



图 3.5 仪器设置界面

3.1.8.1 电位量程

WBEScan 可以控制 CST520 阵列电极电化学扫描系统自动切换或手动设定电流量程。如果选择“手动”设定，则它下面的量程下拉框激活，您可从中选择一个合适的电位量程。电位极化范围可以是 ± 50 mV， ± 100 mV， ± 250 mV， ± 500 mV， ± 1 V， ± 2.5 V， ± 5 V， ± 10 V，默认值是 ± 2.5 V。范围越小，则输入信号的增益越高，可增加测量精度和信噪比。一般情况下，当电位信号输入范围在 ± 2.5 V 内，可以选择“ ± 2.5 V”选项，但如果被测体系的电位超过 ± 2.5 V 时，则必须选择量程“ ± 5 V”或“ ± 10 V”。如果测试过程中电位值超过电位量程时，WBEScan 将使 CST520 工作站自动断开极化，并弹出“电位过载”弹窗。此时只需适当调大电位量程，再重新测试。

如果选择“自动”，则左边已变成浅灰色的电位量程会成为初始电位量程，WBEScan 软件根据极化电位的大小自动确定合适的电位量程（用户可以利用该功能设定自动状态下的初始电位量程）。

在选择“自动”量程功能时，下面的最小量程设置有效，用户可以选择一个值，来设定自动量程切换中可使用的最小电位量程。

选中“仅增大”检查框，则电位量程在自动切换过程中只向大电位方向变化，如果仪器电位量程从大到小又从小到大频繁切换，可能会带来一些噪声毛刺，影响曲线的平滑程度；单方向的切换量程则可避免该问题，同时也保证了电位过大能及时切换到大电位档。

3.1.8.2 电流量程

WBEScan 可以控制 CST520 阵列电极电化学扫描系统自动切换或手动设定电流量程。如果选择“手动”设定，则它下面的量程下拉框激活，您可从中选择一个合适的电流量程，如果测试过程中电流值超过电流量程时，WBEScan 软件将使 CST520 阵列电极电化学扫描系统自动断开极化。

如果选择“自动”，则左边已变成浅灰色的电流量程会成为初始电流量程，WBEScan 软件根据极化电流的大小自动确定合适的电流量程（用户可以利用该功能设定自动状态下的初始电流量程）。

在选择“自动”量程功能时，下面的最小量程设置有效，用户可以选择一个值，来设定自动量程切换中可使用的最小电流量程。设置该功能是因为在某些高阻测量体系中，过小的电流量程可能会带来额外的噪声。

选中“仅增大”检查框，则电流量程在自动切换过程中只向大电流方向变化，该选项对于循环伏安测试特别有效，例如快速循环测试中，电流必然会随电位循环变化而增加或下降，如果仪器电流量程从大到小又从小到大频繁切换，可能会带来一些噪声毛刺，影响曲线的平滑程度；单方向的切换量程则可避免该问题，同时也保证了电流过大能及时切换到大电流档。

无论如何，由于电流量程切换的一瞬间，可能会产生一些噪声，因此建议快速测量或数据采集频率较高时选用固定电流量程。

3.1.8.3 扫描等待

勾选“启用”时，下方“等待时间”设置有效。输入具体数值或者拖动下面的滑块可以改变扫描等待时间，最长延迟时间为 1000 秒。设置扫描等待时间是为了让测量的电流稳定下来，特别当极化不是从开路电位开始时，瞬间的极化可能导致一个较大的极化电流，且该电流值会随时间而逐渐下降，因此需要在正式记录数据前等待一段时间，让电流稳定，具体要求视体系而定。

扫描等待期间，电化学扫描系统已开启极化，极化状态为设置的初始电位或电流值，但没有进行扫描，只是在当前窗口中显示极化电位、电流及相应电位、电流量程档。此时的极化电位、电流为设置的初始电位、电流值。如果极化测试中电流量程设定为“自动”，则在此期间，WBEScan 会根据实际电流大小，自动选定量程。如果电流量程设为“手动”，则一旦电流过载，WBEScan 会提示用户切换到更大的电流量程。如选“否”，则软件将控制电化学扫描系统从“极化”切换

到“自然”状态。电位量程则会根据用户设置的极化电位最大值进行设置。例如，动电位扫描中设置的初始电位为 2V 相对参比，终止电位为 10V 相对参比，扫描等待期间，极化电位为 2V，极化电流为样品在 2V 电位下对应的电流，电流量程为相应电流下的电流量程档，电位量程为±10V。

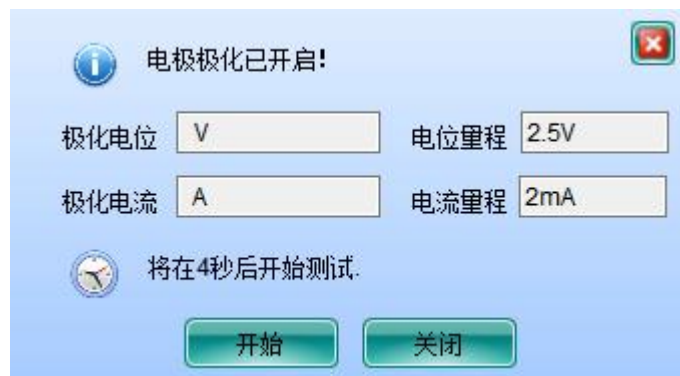


图 3.6 实际测试前，扫描等待窗口弹出界面

3.1.8.4 OCP 稳定判据

当勾选“启用”单选框后，软件会在实验开始前，判断开路电位是否达到用户设定的稳定范围。如果达到，在提前设好保存路径的情况下则自动开始实验。

3.1.8.5 电解池模式

对于 CST520 阵列电极电化学扫描系统来说，电解池有“虚地”和“实地”两种模式。虚地模式适用于大多数稳态测试体系，对于电化学噪声或者电偶腐蚀测量，必须选择虚地模式。实地模式适用于工作电极接地的体系，如混凝土钢梁，以及某些与大地绝缘性差的测试体系。对于电化学阻抗测试，选择实地模式，可以提高高频响应特性。

3.1.8.6 工作电极模式

工作电极模式有“低阻”和“高阻”两种模式。低阻模式适用于大多数稳态测试体系，对于电化学噪声或者电偶腐蚀测量，必须选择低阻模式。小电阻体系，特别是毫欧级别以下，使用低阻模式可以有效消除导线电阻。高阻模式适用于工作电极接地的体系，如混凝土钢梁，以及某些与大地绝缘性差的测试体系。对于电化学阻抗测试，选择高阻模式，可以提高信号稳定性。

3.1.8.7 接地方式

接地方式有“浮地”和“接地”两种模式。浮地模式下测试体系与外部电路完全隔离，适用于双恒测试。工作电极与大地相连的电化学体系，如高温高压釜的电化学测试，同样需要切换到浮地模式。对于电化学噪声或者电偶腐蚀测量，需要测试整体电路下电流电位信号，必须选择接地模式，接地模式下设备的抗干扰能力较强。

3.1.8.8 电位极性

该选项设定数据中“正”或“负”电位代表阳极极化还是阴极极化，如果选择“O²⁺”，则更正的电位产生更强的氧化驱动力；同样地，选择“O²⁺”，则氧化电流为正电流。在水溶液中（pH 值为 0），工作电极在电位达到+1.23 V（相对氢标电极）时析出氧气；如果选择“O²⁻”，

则更负的电位产生更强的氧化驱动能力，同样的对于电流，则氧化电流为负值。此时在水溶液中（pH 值为 0），工作电极在电位达到 -1.23 V（相对氢标准电极）时析出氧气。

3.1.8.9 电流极性

详见 3.1.8.8 部分。

3.1.8.10 带宽设置

带宽设置可以改变 CS 电化学工作站内功率放大器的频率响应带宽。选择的电容值越大，则恒电位仪的带宽越窄，高频性能降低，但稳定性增强。

如果关闭带宽设置，则放大器具有最好的频率响应特性，但该状态下对于某些高阻体系，可能会引起振荡。特别是如果使用虚地模式，选择的电容值较小时，极化过程中仪器较易发生振荡（可以用示波器观察到），甚至正反馈，导致仪器工作不正常，所以发生振荡后，必须降低放大器的带宽，即增加滤波电容值。

当增加电容值时，恒电位仪的响应频宽会相应降低，相当于对信号进行低通滤波，消除可能出现的振荡现象。一般进行慢扫描测量时，可以选 10nF~100nF 的电容。对于快速扫描或者暂态测量，可以选 100pF~10nF 的电容；而对于电化学阻抗测量，则可能需要选择 100pF~10nF，或者 0~1nF。

3.1.8.11 低通滤波器

勾选“开启”时，低频信号能正常通过，而超过设定临界值的高频信号则被阻隔、减弱。

3.1.8.12 工频陷波器

勾选“启用”并选定工频频率后，工作站进行测试时，即可抑制所选工频的干扰。

3.1.8.13 IR 降补偿

当测试某些高阻体系时，参比电极所在的鲁金毛细管尖端与工作电极之间有较大的溶液电阻 R_s （特别是当测试混凝土或带涂层试样时），建议加以补偿。溶液电阻测试可以通过频率扫描-恒电位模式（EIS-V）或溶液电阻测量法来进行。测量的溶液电阻乘以一个补偿系数输入到溶液电阻栏，随后的测量就可对 IR 降进行补偿了。

勾选“无补偿”，溶液电阻栏为灰色，无法输入数值，测试没有进行 IR 补偿；勾选“手动补偿”或“自动补偿”，溶液电阻栏激活。点击溶液电阻图标 ，进入溶液电阻测量界面，设置恰当的交流幅值以及测量频率后，点击“开始”，仪器会自动测试三次电阻，最后计算得到平均值，并自动填入到溶液电阻栏。用户可以通过测量的溶液电阻乘以一个补偿系数，再手动输入电阻值到溶液电阻栏。

“手动补偿”为后补偿，也就是反馈补偿，测试之后再补偿。

“自动补偿”为实时补偿，也就是正反馈补偿，在测试过程中，实时补充溶液电阻造成的电压损失。

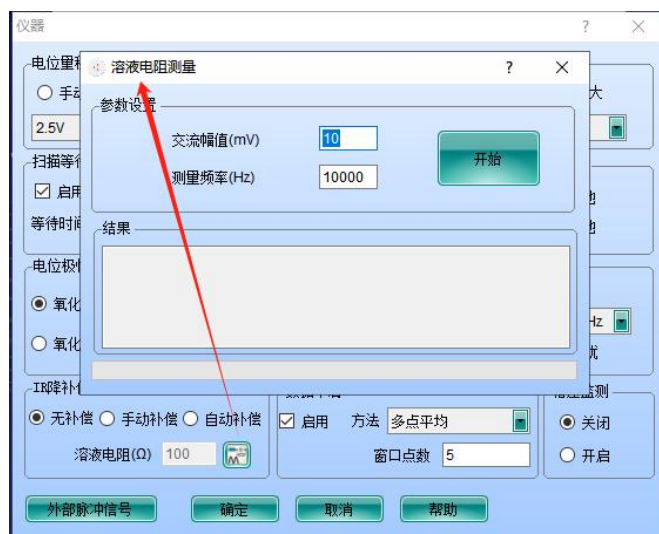


图 3.7 IR 降补偿设置界面

3.1.8.14 数据平滑

当选择数字平滑时，WBEScan 会对测试数据进行实时滤波，消除曲线上的“毛刺”。一般可以勾选“启用”。不过，当您进行暂态测量时，由于该选项会造成数据的轻微失真，所以可以不选择数字平滑。

3.1.8.15 槽压监测

槽压也就是工作电极与对电极之间的电位差，勾选此选项后，在测试图形界面右侧的参数显示界面，可以实时显示测试体系的槽压值，同时点击测试界面的  图标，会出现槽压-时间曲线，这对于判断是否超了槽压有参考意义。测得的槽压数据会以 txt 格式与原始数据保存在同一文件夹中。

3.1.9 电极与电解池参数设置

电解池参数可以让用户输入一个或多个工作电极与电解池的相关信息，比如电极面积、材料密度和温度等。其中电极面积、材料密度和材料电化学当量这三个参数会对测试及拟合结果有影响，设置时需按实际情况设定；温度和参比电极类型这些参数并不影响测试系统所测量的原始数据，但会自动保存在数据文件中，以便用户在以后了解试验的测试条件，同时这些信息也作为腐蚀速率计算的必要参数，如图 3.8 所示。

要进入电解池设置，可以从菜单“测试方法”中的任意测试方法子菜单进入（如动电位扫描），点击参数设置界面中  图标即可。

图 3.8 电极与电解池参数设置

3.1.9.1 电极参数

“电极面积”指工作电极暴露于溶液的有效工作面积，单位为 cm^2 。

“材料密度”为工作电极材料密度，单位为 g/cm^3 。

“材料化学当量”为材料的摩尔质量除以其参加电化学反应的电子数，例如，纯铁的摩尔质量为 55.84g，在盐酸中腐蚀时，参与反应的电子数为 2，因此其化学当量为 $55.84/2=27.92\text{g}$ 。

“Stern 系数”为电极在电化学反应中的 Stern-Genry 值，用于腐蚀速率计算，活化体系取 26 mV、钝化体系 52 mV；酸性电解液 18 mV、中性电解液 26 mV、碱性电解液 52 mV。其他有关该参数的意义请参见曹楚南所著《腐蚀电化学原理》一书（化学工业出版社，2008 年）。

注意：只有腐蚀测试极化曲线时，材料密度、材料化学当量以及 Stern 系数对拟合结果有影响，用户进行其他测试时，此三个参数均可不设置。

3.1.9.2 记录电解池参数

此参数设置并不影响测试系统所测量的原始数据，但会自动保存在数据文件中，以便用户在以后了解实验的测试条件。仅具有信息标记作用，不影响测试结果。

“参比电极类型”为下拉式输入框，用户可以选择“RHE”、“AgCl”、“HgSO₄”等参比电极类型。也可以选择自定义参比电极，此时用户必须指定自定义参比电极相对氢标准电极电位。

“相对氢标电位”显示所选参比电极相对氢标准电极的电位，单位为 V。

“测量温度”记录当前电化学反应的温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.9.3 测量行列

连接 CS5000X 后出现，用于用户指定丝束电极中特定位置的金属针进行测试。

3.1.10 保存测量参数

可以从菜单“测试方法”中的任意测试方法子菜单进入，单个测试方法参数设置完毕后，点击参数设置界面中图标即可保存该次测试的测量参数。

3.1.11 加载测量参数

可以从菜单“测试方法”中的任意测试方法子菜单进入，点击参数设置界面中图标即可打开某次测试的测量参数。

3.1.12 查看参数设置

打开测试数据文件后，图标会由灰色变为蓝色，点击该图标，会弹出测试该数据文件时的参数设置界面，可查看参数设置。

3.2 测试方法

3.2.1 丝束电极扫描

菜单位置：“测试方法”→丝束电极扫描

该对话框用于对丝束电极扫描模式、数据保存、单根丝束电极面积等进行设置。

对于 CST520 阵列电极电化学扫描系统，电位是用户所选定的单根丝束 n_x 相对于参比电极的电极电位，而电流则是单根丝束 n_x 与其余 99 根单丝束电极组成的电偶电流。

WBEScan 保存数据的文件名，其扩展名为“.wbeDat”。



图 3.9 丝束电极扫描参数设置窗口

3.2.1.1 创建数据文件

用户可以直接在文件名输入框中键入文件名，也可通过点击“浏览”按钮，弹出打开文件对话框来建立新文件，当您忘记了已经使用过的文件名后，后面这种方式能有效地防止覆盖以前的数据文件，您如果指定一个已存在文件名，WBEScan 软件会提示是否覆盖原有文件。另外您还

可以通过打开文件对话框并用鼠标右键来编辑和新建文件存储路径。

“注释”框中内容也会保存在数据文件中，用户可以在此输入测试介质和溶液成分等信息，其他信息，如测试时间和相关的测试参数均会自动保存在文件中，不必将此信息输入注释行中。

3.2.1.2 设置

详情请参见 3.1.8 节。

3.2.1.3 测量模式

测量模式用于让用户选择是定点测量还是逐点扫描。

逐点扫描——从第 1 行第 1 列一直扫描到第 10 行第 10 列，如果用户同时勾选了“电位扫描”和“电流扫描”，则仪器先进入电位测量模式，扫描整个丝束电极表面电位分布，然后自动切换到电流测量模式，再从第 1 根电极扫到第 100，进行表面电流测量。

定点测量——只测量某单根丝束电极的电位与电流随时间的变化模式，要求用户选择通道的行和列，该方式测量的是单根丝束电极相对参比电极的电极电位，以及单根丝束电极与其余 99 根丝束电极之间的偶接电流，测量的是基于时间序列的随机电位/电流波动，即通常所说的电化学噪声测量。

切换间隔——可以让用户指定从任意一根丝束 n_x 切换到下一根丝束之间的间隔时间，时间单位是“毫秒”。该时间越长，对于电位扫描则越倾向于回复到 n_x 丝束电极的开路电位，而对于电流扫描，则测量的偶接电流会逐渐减小（由于浓差极化阻力的影响）并趋于稳定。一般情况下可选 3~10 秒。

延时——可以让用户指定从任意一根丝束 n_x 切换到下一根丝束之后，再延长的时间，时间单位是“毫秒”。

循环次数——全扫描的次数，一般定义从丝束 1 到 100 的整个测量过程为一个全扫描，通过多次测量可以观察到整个丝束电极表面的电位与电流分布随时间的变化关系，例如用于局部缺陷的发生发展过程研究。

配色选择——点击配色选择下拉框，可以选择“彩色”、“黑色渐变”、“红色渐变”和“蓝色渐变”，用来显示图形。

电位扫描——勾选该选项，指定软件进行表面电位分布测量。

电流扫描——勾选该选项，指定软件进行表面电流分布测量。

用户可以同时勾选这两个选项，则软件先进行电位扫描然后进行电流扫描，如果仅仅选择其中一项，则软件在每个循环中只扫描电位或者电流。

整个测量时间=切换间隔时间×100×y（y=2，如果同时选中电位与电流扫描，y=1，如果仅选择其中一项）×循环次数。

电位时间图——“逐点扫描”下有效。勾选该选项，指定软件进行测试时显示电位-时间图。

频率——勾选“电位时间图”下有效。为数据采集频率。

持续时间——勾选“电位时间图”下有效。为测试单个点的持续时间。

点击“确定”按钮则退出该对话框，并立即开始测试，同时 WBEScan 保存用户所设定的参数，即当用户以后进入该对话框时，所有参数均会恢复到上次的修改值。

点击“取消”按钮也退出该对话框，但测试不会开始，同时用户所设置的参数均会丢失。

点击“帮助”按钮则打开帮助信息，点击对话框右上角的“？”，可以得到某一项的帮助信息。

3.2.1.4 实时图形显示

本窗口主要以图形方式显示当前数据值，并具有“停止”、“暂停”、“开始”和“数据分析”等工具按钮。

图形区（如下图 3.10）标题栏中会显示相应的数据文件名。图中显示两张自动更新的表格和两个等高图形。上部的表格显示每根丝束电极的电极电位，下部的表格显示每根丝束电极的耦合电流；上部的图形显示表面电位～电极位置图形，下部图形显示电流～电极位置图形。

WBEScan 自动选择最佳的坐标起点与终点值，根据电流大小自动选择坐标（mA）大小，并对图形进行动态刷新。

“”，“”，“”等工具栏按钮可以让用户终止或暂停正在进行的测试，停止当前数据采集。按钮则可以让用户随时打印屏幕上的图形。“”、“”按钮可以让用户分别复制表面电位～电极位置图形和电流～电极位置图形。“”按钮可以显示当前已测试到的最大/最小电位值和电流值，及相应所在位置等信息，同时，数据分析信息也可以在图形右下角可以看到。图形区右边会显示测试的测量参数、仪器参数、电解池参数及测试进度，便于用户观察记录。

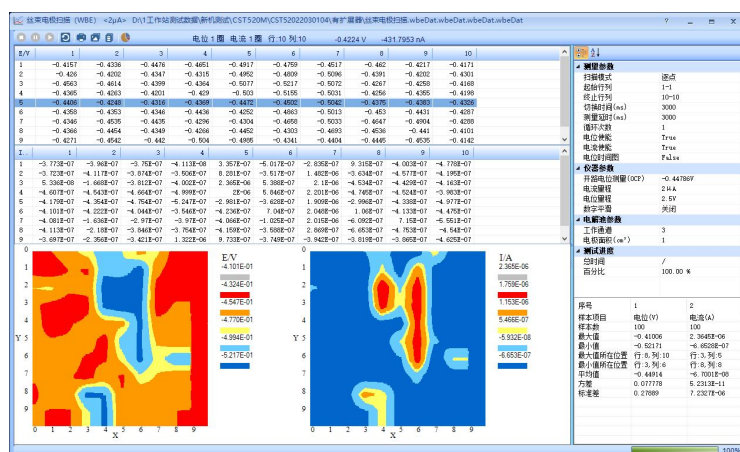


图 3.10 图形显示窗口

3.2.2 丝束电极阻抗扫描

菜单位置：“测试方法”→丝束电极阻抗扫描

该对话框用于对丝束电极扫描模式、数据保存、单根丝束电极面积等进行设置。

对于 CST520 阵列电极电化学扫描系统, 电位是用户所选定的单根丝束 n_x 相对于参比电极的电极电位, 而电流则是单根丝束 n_x 与其余 99 根单丝束电极组成的电偶电流。

WBEScan 保存数据的文件名, 其扩展名为 “.wbeEis”。

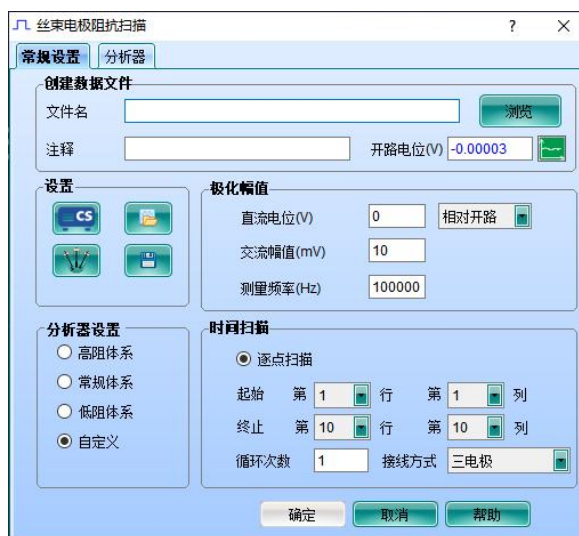


图 3.11 丝束电极阻抗扫描参数设置界面

3.2.2.1 创建数据文件

详情请参见 3.2.1.1 节。

3.2.2.2 分析器



图 3.12 电化学阻抗测试分析器窗口

电流量程——用户可以选择自动或者手动电流量程, 如果选择自动量程, 则需要对高频电流量程设置一个阈值, 该阈值可以限制高频段测量时恒电位仪能使用的最小电流量程。上图中则表明当测量频率在 1000Hz 以上时, 自动量程将不会低于 2mA。高频段的定义由用户设定, 图中设

定值表明，当 $f > 1000\text{Hz}$ 为高频段，当 $f < 10\text{Hz}$ 则为低频段，在 $f = 10 \sim 1000\text{Hz}$ 则为中频段。

如果选用自动量程而高频区曲线不满足要求时，建议采用手动电流量程，依据不同的频率来设定相应的电流量程。上图中，在手动量程下，当 $f > 1000\text{Hz}$ 采用 2mA 量程，同理 $f < 10\text{Hz}$ 的低频段则使用 $200\mu\text{A}$ 电流档，在 $10 \sim 1000\text{Hz}$ 中频段也使用 $200\mu\text{A}$ 电流档。

由于工作电极对高频和低频信号表现的阻抗是不同的，如果测量结果需要提高精度，其电流量程的设定是有区别的，用户可以根据频段分别选择不同的电流量程，一般低频段应比高频段量程小一级。如果在测试过程中，设定的量程不合适，测量阻抗谱曲线可能会表现出较大的噪声，或者频繁的改变量程，导致曲线上出现明显的折点，这需要用户重新设定。检查电流量程设置是否合适，可观察波形显示图中信号幅值。

带宽响应——用于改变恒电位仪频率响应带宽。选择的电容值越大，则恒电位仪的带宽越窄，高频性能降低，但稳定性增强。带宽切换是按频率 f 设定的，当测量频率高于 f 时，一般选择较小电容（或关闭），仪器具有高带宽，不至于使高频区出现虚假的阻抗谱。但对于高阻体系的阻抗测试可能会导致震荡，可能必须增加电容值。检查仪器是否出现震荡，可观察波形采集图中信号幅值和波形。

当测量频率低于 f 后，则选择第三级电容，其值应不小于第二级电容，仪器具有较低带宽。

在带宽设置中，当 $f > 1000\text{Hz}$ ，带宽设置电容为 100pF ；当 $f = 10 \sim 1000\text{Hz}$ ，带宽设置电容为 470pF ；当 $f < 10\text{Hz}$ ，带宽设置电容为 470pF ，以提高信号的稳定性。

积分设置——积分可以分为自动或手动积分，增加积分时间可以提高阻抗测量精度，降低噪声对测量结果的影响。积分时间可以设为循环次数或时间（秒），积分时间表示在每一个频率点上所进行的时间，积分时间越长，则测量精度越高，但所花时间也越多。

电位去偏/电流去偏——用于消除叠加在恒电位仪电位或电流输出信号中的直流电平，用于增加电位或电流信号的交流放大倍率，提高阻抗测量精度。。

输出衰减——用于对输出的正弦波信号进行衰减，可以选择“自动”、“×400”、“×40”、“×4”，分别表示自动、衰减 400 倍、衰减 40 倍、衰减 4 倍等，信号衰减后可以提高输出正弦波的平滑程度。

3.2.2.3 极化幅值

直流电位——设定阻抗测试时工作电极的直流极化电位。如果测试需在开路电位（OCP）下进行，则此处可以输入“0”，并在下拉框中选择“相对开路电位”，此时恒电位仪自动将直流电位与开路电位之和一起输出到工作电极上。如果需要在阳极极化 50mV 直流电位水平上进行阻抗测试，则可在直流电位处输入“0.05”。

如果测试需要在确定电位（如 -0.5V vs. SCE ）下进行，可以在下拉框中选择“相对参比电极”，并在输入框中输入“-0.5”，则恒电位仪会将工作电极极化到“-0.5V”，而不是 $-0.5\text{V} + \text{开路电位}$ 下进行测试。

交流幅值——电化学阻抗激励信号的幅值，例如 $E = 0.012 \sin(\omega t) \text{ V}$ ，表明交流信号的幅值为

12mV，由于放大器的速率限制以及导线的高频传输损耗，可能在高频状态下，工作电极上实际的极化幅值小于该数值。

测量频率——扫描过程的测量频率值。

3.2.2.4 时间扫描

逐点扫描——从第 1 行第 1 列一直扫描到第 10 行第 10 列，用户可以自行设置扫描起始、终止点及循环次数。

3.2.2.5 实时图形显示

本窗口主要以图形方式显示当前数据值，并具有“停止”、“暂停”、“开始”和“数据分析”等工具按钮。

图形区标题栏中会显示相应的数据文件名。图中显示两张自动更新的等高图形。左边的图形显示表面模值～电极位置图形，右边图形显示表面相角～电极位置图形。

“”，“”等工具栏按钮可以让用户终止或重新开始正在进行的测试。点击按钮，图形切换为 Z' 、 $|Z|$ 、 Z'' 、 θ° ～电极位置曲线图。点击切换回 $|Z|$ 、 θ° ～电极位置图形。点击按钮可以让用户随时打印屏幕上的图形。点击按钮则可以让用户随时复制屏幕上的图形。

图形区上下会显示测试的测量参数、当前测试点位置及测试进度，便于用户观察记录。

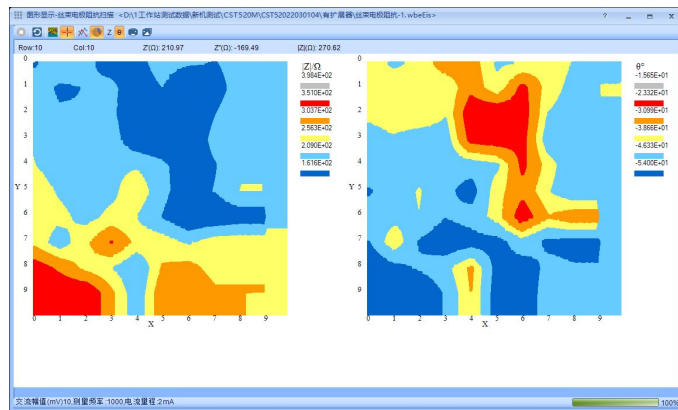


图 3.13 图形显示界面

3.2.3 脚本化定制测试

菜单位置：“测试方法”→“脚本化定制测试”。

该对话框用于用户自定义测试。

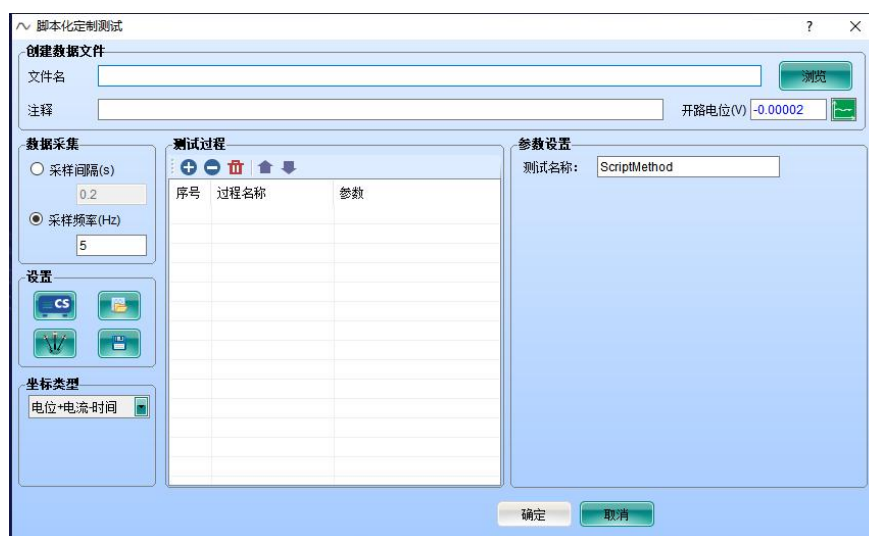


图 3.14 脚本化定制测试设置界面

3.2.3.1 数据采集

设定采集数据的频率、时间间隔等信息。“采样间隔”和“采样频率”两种方式二选一。如果选择“采样间隔”，则数据采样间隔等于设定值；如果选择“采样频率”，则设定每秒采样的点数。注意采样间隔不能小于“0.001s”，即每秒采样数据次数不能大于 1000，否则，软件自动以 1kHz 作为当前采样频率；软件会自动用最高允许次数取代指定值。

3.2.3.2 测试过程

该对话框用于用户自定义测试，点击  图标，弹出添加对话框，添加测试方法和控制指令实现组合测试。此处可添加的测试方法有“开路电位”“恒电位极化”、“恒电流极化”、“线性扫描”和“CV 扫描”五种测试方法，设置完成后，测试数据将会保存在一个.cor 格式文件中。

3.2.4 组合测试

菜单位置：“测试方法”→“组合测试”。

组合测试方便用户自定义测试，点击图标，会弹出“添加”对话框，添加测试方法和控制指令实现组合测试。点击“测量方法”下拉菜单，可以选择所需测试的方法，进入后，设置文件名和参数，即可添加该测试方法。点击“使用数据文件重测”，选中特定数据文件，打开可查看该特定文件的参数设置。每次测试后的测试方法会自动加在“常用”选项下方，便于用户后续选择使用。

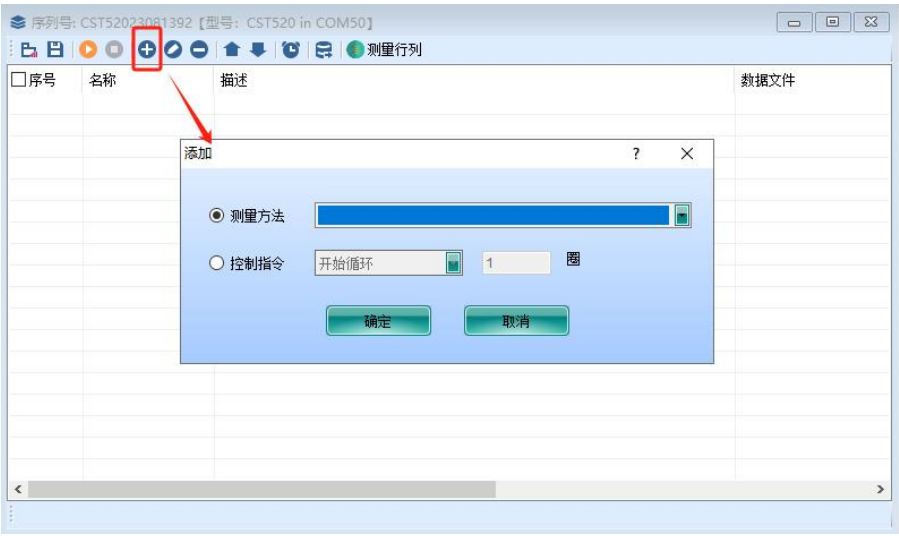


图 3.15 组合测试设置界面

3.2.4.1 测试内容编辑

添加方法和控制指令完成之后，所有指令和方法会显示在列表中。通过点击“修改”“移除”“上移”和“下移”图标可以对所在序号的单元进行操作。

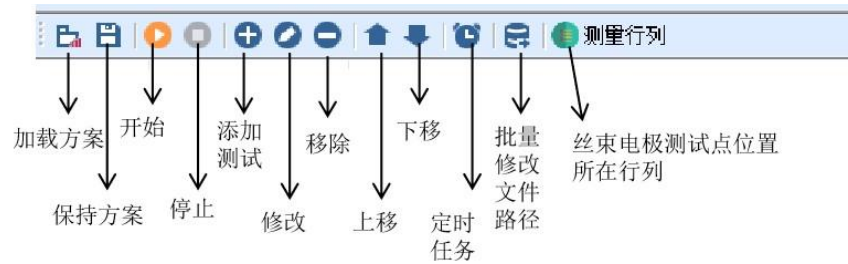


图 3.16 组合测试快捷图标操作

控制指令有“开始循环”“结束循环”“等待”和“起始时间”等。一个完整的测试方案如下图 13.9 所示。点击“开始”，软件即从序号 1~4 依次执行命令，点击测试方法或指令前面的对勾可以选择指定的测试方法或指令。用户可以保存该方案，之后通过“加载方案”即可重新调用。

序号	名称	描述
1	开始循环	当前循环开始的标记,圈数:3
2	恒电位极化(i-t)	极化电位(V):0.2 vs Ref.,极化时间(s):200,采样频率(Hz):10
3	恒电流极化(E-t)	极化电流(mA):0.2,极化时间(s):200,采样频率(Hz):10
4	结束循环	循环结束的标记

图 3.17 测试方案

用户可以添加不同的测量方法，每种测试方法都可以修改参数，同时可以设置循环次数。设

置好测量方法和控制指令后，点击“确定”按钮，仪器就会按照自定义的要求自动测量并保存数据。该模式主要是让仪器按照用户自定义的组合方式测量，高效便捷。

3.2.4.2 创建数据文件

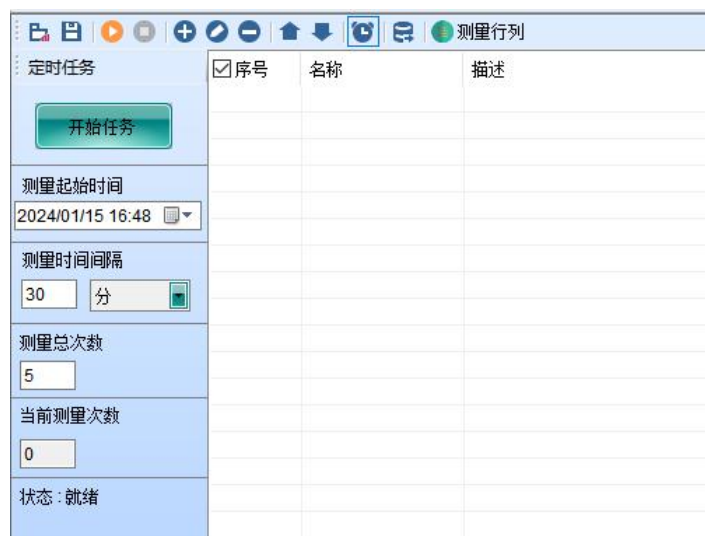
用户可以直接在文件名输入框中键入文件名，也可通过点击“浏览”按钮，弹出打开文件对话框来建立新文件，当您忘记了已经使用过的文件名后，后面这种方式能有效地防止覆盖以前的数据文件，您如果指定一个已存在文件名，软件会提示是否覆盖原有文件。另外您还可以通过打开文件对话框并用鼠标右键来编辑和新建文件存储路径。

“注释”框中内容也会保存在数据文件中，用户可以在此输入测试介质和溶液成分等信息，如测试时间和相关的测试参数，这些参数均会自动保存在文件中，不必将此信息输入注释行中。

3.2.5 定时测量

菜单位置：“测试方法”→“定时测量”。

定时测量用于让用户设定某一种测量方法的执行模式。该功能可以让用户实现在指定时刻后，使仪器按设定的时间间隔进行定时自动测量，该测量模式主要是方便用户跟踪某种测量体系的时间变化特征。



该界面为定时测量设置窗口，标题为“测量行列”。左侧为设置区域，右侧为数据表格。

定时任务	☒ 序号	名称	描述
开始任务			
测量起始时间			
2024/01/15 16:48			
测量时间间隔			
30 分			
测量总次数			
5			
当前测量次数			
0			
状态:就绪			

图 3.18 定时测量设置界面

在测试开始前，“开始”按钮为无效状态，只有当用户指定一个有效的文件名后，“开始”按钮才被激活。此后所有数据将保存在用户指定的文件夹中。

3.2.5.1 测量方法

选择一种需要进行定时测量的试验方法。调用测试方法时，参数为该方法上一次使用时的设置值。

3.2.5.2 定时测量

指定所选择的试验方法从何时开始进行测量，每次测量间隔时间和总的测量次数等。同时显示当前已经测量的次数。

对于需要进行极化的测量（如动电位扫描、循环伏安等），在每个测量完成后，仪器自动断开极化，电解池处于开路状态，直到下次定时时刻再开始新的测量。

当测量次数到达指定的总次数后，本窗口自动退出，不再进行测量。用户可以根据文件名后的序列号，判断该数据是何时测量的，便于进行后续的时间序列数据分析。

按“取消”按钮也退出该对话框，但测试不会开始，同时您所设置的参数均会丢失。

按“帮助”按钮则打开电子说明书。

3.2.6 开路电位测量

菜单位置：“测试方法” → “开路电位测量（OCP）”。

本测试方法主要用来监测开路电位（即没有外加电场时，工作电极与参比电极之间的电势差）随时间的变化关系，记录时间长度可以按需要设定。

开路电位输出框显示当前的开路电位值（每秒钟刷新一次）。

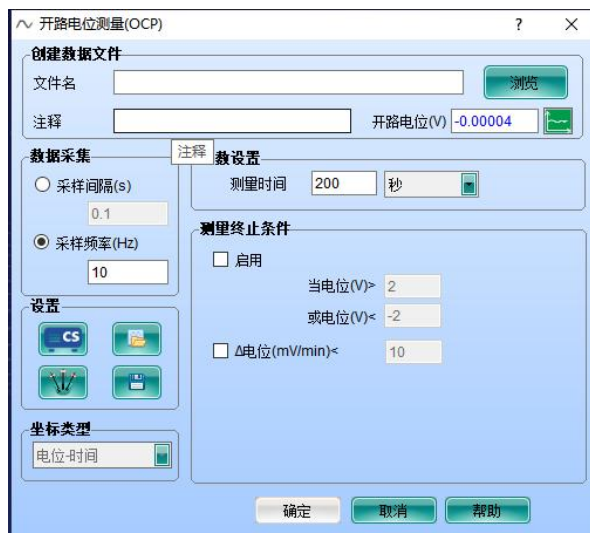


图 3.19 开路电位设置窗口

3.2.6.1 参数设置

“测量时间”指定测试开路电位的时间长度，可以选择“秒”、“分”和“小时”。

3.2.6.2 测量终止条件

如果选中“启用”选择框，则当开路电位值大于所指定的最大值或小于指定的最小值时，WBEScan 将自动终止开路电位监测。否则，该限制条件无效。如果选中“Δ电位”选择框，可设置终止条件，达到了设置条件测试终止。

3.2.7 恒电位极化

菜单位置：“测试方法” → “恒电位极化（i-t 曲线）”。

本测试方法是将一个恒定的极化电位施加到工作电极上，同时监测极化电流随时间的变化关

系，极化时间可以是用户所指定的长度，也可指定当极化电流达到某一特定值后，让 WBEScan 软件自动终止测试过程（同时从极化切换到自然状态）。

开路电位输出框显示体系的开路电位（每秒钟刷新一次）。



图 3.20 恒电位极化设置窗口

3.2.7.1 参数设置

极化电位（V）——指在测试过程中施加给被测体系的电位。如果“极化电位”是相对于开路电位，则输入电位值为正值表示阳极极化，负值表示阴极极化。点击右边的下拉框，您还可以选择施加极化的参考电位。

该参考电位既可以是“相对开路”，也可以是“相对参比”。如果是“相对开路”，则实际加在电极上的电位是您所输入的值与当前开路电位的代数和，例如，输入“0.20”，则实际上工作电极相对参比电极的电位为 0.2V + 开路电位值；如果指定的极化电位是“相对参比”，则实际上工作电极相对参比电极的极化电位为 0.2V。

测量时间——设定恒电位极化工作时间，时间单位可以选择“秒”、“分”和“小时”。

3.2.7.2 测量终止条件

如果选中“基于电流终止”选择框，当极化电流值大于所指定的最大值（阳极电流）或小于指定的最小值（阴极电流）后，WBEScan 将自动终止恒电位极化测试。

如果选中“基于电量终止”选择框，当积分电量大于所指定的最大值（正电荷电量）或小于指定的最小值（负电荷电量）后，WBEScan 将自动终止恒电位极化测试。

如果选中“不启用”选择框，两个测试终止条件均不起作用。

3.2.8 恒电流极化

菜单位置：“测试方法” “恒电流极化（E-t）”。

本测试是将一个恒定的极化电流施加到工作电极上，同时监测极化电位随时间的变化关系，

极化时间可以是用户所指定的长度，也可指定当极化电位达到某一特定值后，让 CS Studio 自动终止测试过程。

开路电位输出框显示体系的开路电位（每秒钟刷新一次）。在测试开始前，“确定”按钮为无效状态，只有当用户指定一有效的文件名后，“确定”按钮才被激活。此后所有数据将保存在用户新建的文件中。



图 3.21 恒电流极化设置窗口

3.2.8.1 参数设置

极化电流指在测试过程中施加给被测体系的电流，输入正值表示阳极极化，负值表示阴极极化，用户还可通过电流单位下拉框（ μA , mA , A ），来改变极化电流的大小。

极化时间——可以让您指定恒电流极化时间，可选择“秒”、“分”和“小时”。

3.2.8.2 测量终止条件

基于电位终止——当极化电位值大于所设定的最大值或小于指定的最小值后（电位边界），WBEScan 将自动终止恒电流极化测试；否则，该限制条件无效。

基于电量终止——当电量大于所设定的最大值或小于指定的最小值后（电量边界），WBEScan 将自动终止恒电流极化测试；否则，该限制条件无效。

不启用——若选中，则两个测试终止条件均不起作用。

3.2.9 动电位扫描

菜单位置：“测试方法” “动电位扫描（Tafel、DPP）”。

动电位扫描测试方法中，最多可以有 4 个独立的极化电位设置点，这样可以完成较为复杂的扫描方式，该扫描过程可在电流达到某一特定的值后停止或反向，这种工作方式有利于极化电阻与 Tafel 斜率的测量，另外也方便于钝化曲线回扫的测试。



图 3.22 动电位扫描设置界面

3.2.9.1 参数设置

动电位扫描可以有最多 4 个独立的极化电位设置点，扫描从“初始电位”开始，依次经过“中间电位 1”和“中间电位 2”，最后至“终止电位”。点击“启用”复选框，可以打开或关闭“中间电位 1”和“中间电位 2”，如果该复选框没有选中，则扫描将不经过该值，向下一个设置电位扫描，例如启用中间电位 2，不启用中间电位 1，则第一段扫描从“初始电位”向“中间电位 2”，第二段扫描从“中间电位 2”向“终止电位”。

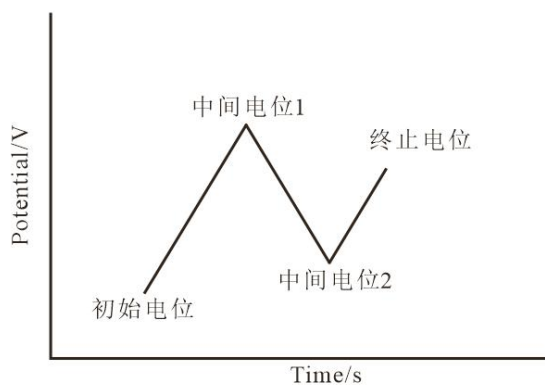


图 3.23 极化电位设置示意图

如果您不选这两个“启用”框，则扫描直接从“初始电位”→“终止电位”。例如，在“初始电位”输入框中输入“-0.1”，“终止电位”输入框中输入“0.1”，且极化方式均是“相对开路电位”，则电位扫描实际上是从阴极极化 100mV 扫至阳极极化 100mV，当然如果在极化电位达到“终止电位”之前，极化电流密度已进入了您指定的终止范围后，扫描会停止，并自动断开恒电位仪的极化状态。如果是相对开路电位，则输入负值表示阴极极化，正值表示阳极极化。

该参考电位既可以是“相对开路”，也可以是“相对参比”。

“扫描速率”为您指定整个扫描过程中的速率，注意其值只能为正值，而扫描方向由施加电

位的符号确定。每一段的扫描时间则等于扫描幅值/扫描速率，整个测试时间= $\sum$ (|各段极化电位的幅值|/扫描速率)。

3.2.9.2 测量终止条件

如果“扫描停止”单选框被选中，扫描在达到终止电位或在极化电流密度进入用户所指定的范围后，扫描停止，如上图 2.20 所示，当极化电流大于 2mA，或者小于 -2 mA 时，自动终止。

如果选择“扫描反向”，此时当极化电流进入您指定的范围后，WBEScan 软件将控制扫描从当前电位向初始电位扫描。当向阴极回扫时如果极化电流小于您指定的最小电流后，WBEScan 软件自动停止扫描，并给出提示声音。

如果二者均不选中，则测试过程将忽略限制条件而按扫描电位设置范围进行。一般情况下，为了保护工作电极免于过大电流的破坏，可以选择“扫描停止”，并设置一个最大的阳极电流。

图 2.20 中设定值表示：在正扫过程中，当阳极极化电流 $>2\text{mA}$ 后，WBEScan 立刻使扫描反向，在回扫过程中当阴极极化电流 $<-2\text{mA}$ （对于 CS 系列恒电位仪，正值代表阳极极化电流），扫描停止，测试过程结束。

3.2.9.3 钝化曲线回扫

在动电位扫描测试中，有时要测量一些金属如铬、镍、钴及其合金在某些介质中的钝化曲线，这些金属在电位比较正时表面会生成一层钝化膜，此时电极的行为与贵金属电极相似，流过的钝化电流极小。为了评价它们的耐腐蚀能力，需要获得其破裂电位和保护电位值，为此常常要测绘其钝化回扫曲线。

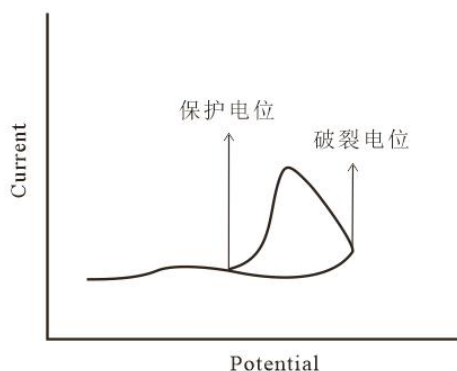


图 3.24 典型的钝化曲线回扫示意图

当极化电位继续向正方向扫描至某一值时，钝化膜会发生破裂，极化电流迅速增加，此时的极化电位称为破裂电位 ϕ_b 。如果极化电流超过某一规定值后（如 $100\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ），立即向负方向扫描，此后在极化曲线上会出现滞后环，回扫曲线与正扫曲线的交点一般认为是材料在该介质中的保护电位 ϕ_p 。

例如测量 304 不锈钢在 3% NaCl 溶液中的钝化曲线，可以按图 2.21 中所示指定当阳极电流大于 2mA 后扫描反向。当电位继续向阴极方向扫描时，极化电流也会下降，并最终形成一个钝化回滞曲线，当回扫电流小于 -2 mA 时（从阳极极化变成阴极极化）时，则 WBEScan 软件自动

终止测试过程。

按“确定”按钮则退出该对话框，并弹出扫描延迟窗口，用户点击“立即开始”后，则 WBEScan 软件立即开始测试，并同时保存您所设定的参数。

3.2.10 频率扫描-恒电位模式

菜单位置：“测试方法”→“频率扫描-恒电位模式（EIS-V）”。

测量电化学体系在不同频率下的阻抗谱，一般以 Nyquist 和 Bode 图来表示其阻抗谱形式。



图 3.25 频率扫描-恒电位模式设置界面

3.2.10.1 频率设置

确定频率扫描的方式。扫频是从初始频率到终止频率的，扫频模式既可以是线性的也可以是对数方式的，如果选择“线性”模式，频率范围是从 1kHz 到 1Hz，并设置 10 点/全频，则频率测试点均匀地分布在起始频率到终止频率范围内，共 10 个点。一般没有特殊需要，不选择该模式。

如果是选择对数模式，则频率采样数据点均匀分布在（频率）对数坐标轴（Bode 图）上，该模式对于频率范围在 2~5 个数量级之间的频率扫描是特别有用的。如频率范围从 100k 到 0.01Hz，并设置 10 点/10 倍频，则频率测试点均匀地分布在起始频率到终止频率范围内，共 70 个点。一般情况下选择该模式。

3.2.10.2 分析器设置

高阻体系——适用于阻抗值比较高的体系，如涂层体系。

常规体系——适用于一般体系。

低阻体系——适用于阻抗值较低的体系，如 18650 电池、软包电池等。

自定义——可以通过调整分析器中的带宽电容和量程等参数，测试上述三类体系。

3.2.11 电位扫描

菜单位置：“测试方法” → “电化学阻抗～电位扫描（IMPE,Mott-Schottky）”。

该方法用于测量不同直流极化电位下的单频阻抗特征，电位是以台阶式从“初始电位”增加到“终止电位”，主要用于 Mott-Schottky（M-S）曲线测试。M-S 图已经被广泛用于研究金属表面钝化膜半导体特征，可以确定半导体钝化膜的载流子类型、浓度以及平带电位，从而有助于分析钝化膜的半导体性能。

当钝化膜与溶液介质相接触，半导体钝化膜空间电荷处于耗尽状态（从空间电荷区适量取出多数载流子，并且少数载流子不存在的状态）时，空间电荷电容（space charge capacitance, C_{sc} ）与测量的电位（measured voltage, V_m ）存在如下的线性关系：

$$C_{sc}^{-2} = \frac{2}{eN_d \epsilon \epsilon_0 A^2} (V_m - V_{fb} - \frac{kT}{e}) \quad (n \text{ 型半导体}) \quad (1)$$

$$C_{sc}^{-2} = \frac{-2}{eN_a \epsilon \epsilon_0 A^2} (V_m - V_{fb} + \frac{kT}{e}) \quad (p \text{ 型半导体}) \quad (2)$$

式中， V_{fb} 为平带电位（flat band potential）， N_d 和 N_a 分别是施主（donor）和受主（acceptor）载流子浓度， ϵ 为相对介电常数， ϵ_0 为真空介电常数， A 为电极表面积， k 为 Boltzman 常数， T 为绝对温度， e 为电荷电量。

钝化膜具有双层结构，由于钝化膜内外层的组织成分以及晶体结构不同，因此内外层半导体类型也不同，从而在钝化膜内部形成两个空间电荷层，即溶液/钝化膜界面处空间电荷层和钝化膜内层/外层界面处 pn 结电容。由于钝化膜及 pn 电容较小，因此阻抗～电位扫描中一般采用高频正弦波进行测量。

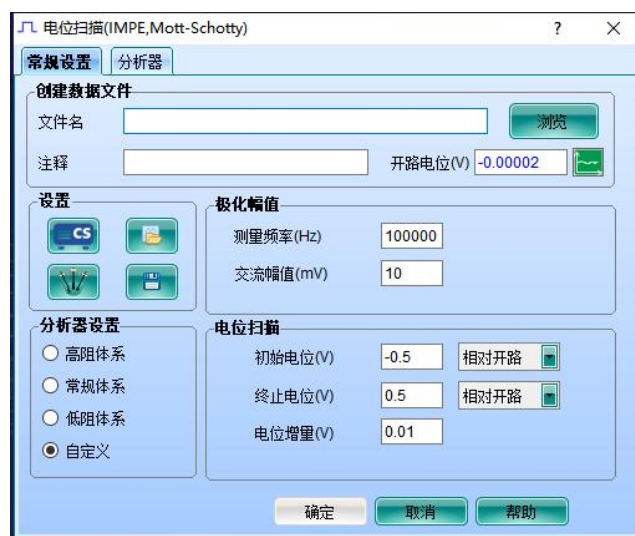


图 3.26 电位扫描设置界面

测量频率——阻抗测试时正弦波频率。

交流幅值——电化学阻抗激励信号的幅值。

初始电位——设定电位扫描时工作电极的直流起始电平，“极化电位”下拉框——可以选择电位施加方式，从而改变所有极化电位设置点的参考电位。

终止电位——设定电位扫描时的结束电位。

电位增量——电位增量是以台阶式增加的；在每一个电位台阶点上进行单频阻抗测量。

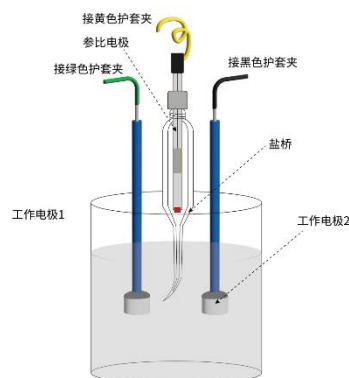
3.2.12 电偶腐蚀测量

菜单位置：“测试方法”→“电偶腐蚀测量（电化学噪声）”。

本测试方法主要用来监测噪声电位和噪声电流（零电阻电流或称为电偶电流）随时间的变化关系，监测时间长度可以根据需要设定。

此方法需要在没有连接 CS5000X 阵列电极扩展器时使用。此时，使用 CST520 阵列电极电化学扫描系统前面板的电极电缆线连接体系测试电偶腐蚀（电化学噪声）。

对于 CST520 阵列电极电化学扫描系统，噪声信号（或电偶电流）的测量与其他方法不一样，它不需处于极化状态。在噪声（或电偶）电流测量中，工作（电偶）电极 I 连接到电极电缆绿色护套夹（研究电极），工作（电偶）电极 II 则通过电极电缆地线端 GND 线（黑色护套夹），参比电极仍接到黄色护套夹上，如右图。



运行 WBEScan 软件，选择电化学噪声测量功能，此时软件窗口将会显示偶接电位（混合电位）和电偶电流，电流读数为正表示研究电极引线所接的工作（电偶）电极 I 为阳极，接地线连接的工作（电偶）电极 II 为阴极，电流由电极 I 流向电极 II，负电流则与此相反。

测量过程中，CST520 阵列电极电化学扫描系统将根据电流大小自动切换量程。



图 3.27 电偶腐蚀测量设置界面

3.2.13 动电位再活化

菜单位置：“测试方法”→“动电位再活化法”。

评价晶间腐蚀敏感指数可以通过扫描活化峰值电流 I_a 和对应的再活化扫描峰值电流 I_r 的比值 (I_r/I_a ，定义为再活化率) 来判定，也可以通过活化过程的电量 Q_a 和对应的再活化过程电量 Q_r 的比值 (Q_r/Q_a) 来判定。测试完成后，实验测量的 EPR 数据可以通过 WBEScan 软件内的“数据分析”→“伏安分析”→“EPR 指数计算”菜单，从曲线中查找到 I_r 、 I_a 、 Q_r 、 Q_a 等 4 个值。



图 3.28 动电位再活化法设置界面

初始电位、终止电位、正扫速率和回扫速率可参考 3.2.9 节“动电位扫描”的设置。

间歇时间——测试过程中，由正扫到反扫的间隔时间，在此时间间隔内，仪器处于断开极化状态，同时没有数据点出现。

循环次数——一次完整的循环包括一次充电和一次放电过程，该参数指定整个实验进行的循环总数，在到达该次数之后，实验将会停止。

3.2.14 循环伏安法

菜单位置：“测试方法”→“伏安分析”→“循环伏安法（CV）”。

循环伏安法（CV）是在电极上施加一个线性变化的电压，即电极电位是随外加电压线性变化记录工作电极上的电解电流的方法。循环伏安法往往采用三电极系统，工作电极（WE）相对于参比电极（RE）的电位在设定的电位区间内随时间进行循环的线性扫描，WE 相对于 RE 的电位由电化学仪器控制和测量。一般仪器的电位扫描速度可以从每秒数毫伏至 1V，常用悬汞电极、铂电极、金电极和玻碳电极等固定电极做工作电极。



图 3.29 循环伏安法设置界面

	取值范围	说明
初始电位（V）	-10~+10	电位扫描起点设置
第 1 顶点电位（V）	-10~+10	电位扫描起点或从初始电位出发第一次到达的顶点电位
第 2 顶点电位（V）	-10~+10	扫描电位到达的第二个顶点电位
扫描速率（mV/s）	0.001~1 ⁷	电位的扫描速度
循环次数	>0	扫描的循环次数
电位间隔（mV）	> 0.001	采样的两点之间电位差值
采样频率（Hz）	0.01~1000	按频率采样

循环伏安测试可以有 4 个独立的电位设置点，初始电位、第一顶点与第二顶点、终止电位仪器可设置的电位范围为-10V~10V，可选择相对参比或者相对开路。如果启用“初始电位”和“终止电位”，则电位扫描的方向为“初始电位”→“第 1 顶点电位”→“第 2 顶点电位”→“第 1 顶点电位”……→“终止电位”，在第 1 顶点和第 2 顶点之间循环。如果不启用“初始电位”和“终止电位”，则只在第 1 顶点和第 2 顶点之间循环。“循环次数”为用户指定的循环次数，即电位在“第 1 顶点”与“第 2 顶点”之间的往复次数，其值不能小于 1。数据采集中“采样频率”和“电位间隔”的采样方式二选一。

下面是循环伏安测试电位施加原理图以及说明：

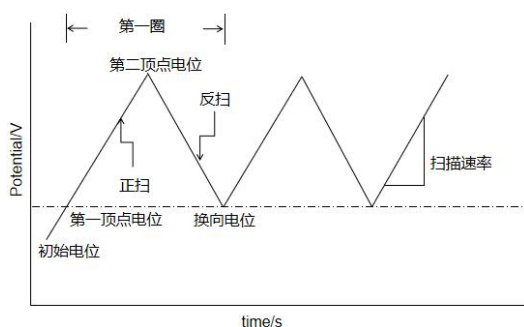


图 3.30 循环伏安法测试电位施加原理图

对于可逆电极过程（电荷互换速度很快），如在特定条件下的铁氰化钾氧化还原系统，当电压负向扫描时， Fe(CN)_6^{3-} 在电极上还原，获得一个还原电流峰。当电压正向扫描时， Fe(CN)_6^{3-} 在电极上氧化，获得一个氧化电流峰。所以，当电压达成一次循环后，得到如图 3.41 所示的氧化还原曲线。用三角波电压得到的循环伏安曲线包括上下两部分，通常上部分为还原反应产物氧化形成的氧化波，称为氧化分支或阳极分支；下部分为电活性物质的氧化态还原形成的还原波，称为还原分支或阴极分支。

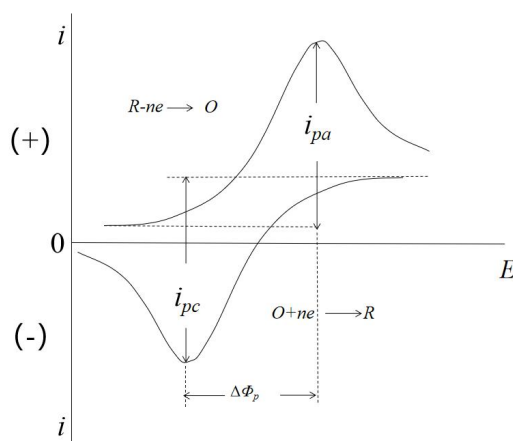


图 3.31 玻碳电极在铁氰化钾溶液中的循环伏安曲线

循环伏安法多用于研究电极过程、电极吸附现象等电化学基础理论的研究。循环伏安法有两个重要的实验参数，一是峰电流之比，二是峰电位之差。对于可逆电极反应，峰电流之比 i_{pc}/i_{pa} （阴极峰电流与阳极电流峰之比）的绝对值约等于 1。峰电位之差 ΔE_p 约为 59.6 mV (25°C)。

对于可逆电极反应：

阴极波的峰电位 E_{pc} 为：

$$E_{pc} = E_{1/2} - \frac{28.25}{n}$$

阳极波的峰电位 E_{pa} 为：

$$E_{pa} = E_{1/2} + \frac{28.25}{n}$$

阳极峰分支与阴极峰分支电位之差 ΔE_p 为:

$$\Delta E_p = E_{pa} - E_{pc} = \frac{56.5}{n}$$

注意， ΔE_p 值与循环扫描时换向电位有关，如果 n 等于 1，当换向电位较 E_{pc} 负 100mV 时，将为 59.6 mV (25°C)。 ΔE_p 还与实验条件有关，其值在 55~65mV 之间 ($n=1$)，可以判断为可逆过程，且 ΔE_p 越大，阴阳峰电流比值越小，电极体系越不可逆。Laviron 研究了可逆吸附波的循环伏安曲线，当反应物和产物在电极上强吸附时，可逆波的循环伏安曲线对称， E_{pc} 与 E_{pa} 相等， i_{pa} 与 i_{pc} 相等

3.2.15 线性极化曲线

菜单位置：“测试方法” → “线性极化曲线（LPR）”。

线性极化曲线是以线性扫描方式将激发电位施加于工作电极上，其扫描历程相当于循环伏安法的半个循环。从初始电位开始线性扫描至终止电位。一般，仪器的电位扫描速度可以从每秒数毫伏至 1V。



图 3.33 线性极化曲线设置界面

下面是线性扫描伏安测试电位施加原理图，参数、范围以及说明：

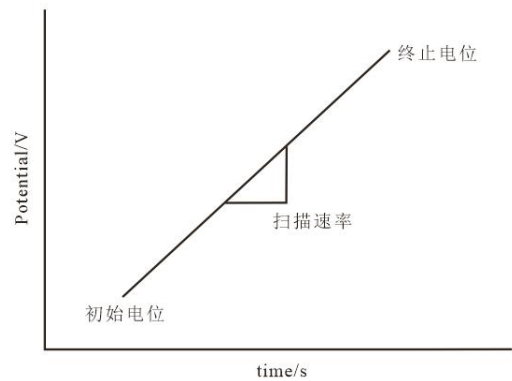


图 3.34 线性极化曲线测试电位施加原理图

参数	取值范围	说明
初始电位（V）	-10~+10	可以选择相对开路
终止电位（V）	-10~+10	终止电位
扫描速率（mV/s）	0.001~1E+8	电位的扫描速度
电位间隔（mV）	>0.001	采样的两点之间电位差值
采样频率（Hz）	0.01~1000	按频率采样，与“电位间隔”采样方式二选一

如果“初始/终止电位”是“相对开路”的，则输入“0.2”值，表示扫描是开路电位+0.2V 的电位点开始进行的。输入正值表示阳极极化，输入电位值为负值表示阴极极化，具体情况参见仪器设置中的极化方向习惯。

如果“初始/终止电位”是“相对参比”的，则输入“0.2”值，表示扫描是 0.2V 开始进行的。而与开路电位无关。

“极化电位”下拉框可以选择电位施加方式。从而改变所有极化电位设置点的参考电位，一般应选择“相对参比电极”以指定精确的电位范围。

3.2.16 图形显示

菜单位置：“测试方法”→“图形显示”。

在窗口的标题栏中会显示数据文件名，在窗口下部的状态栏中会显示所采用的测试方法、工作参数（如速率、测量时间、工作状态、总数据量等）以及完成进度和完成百分比。

WBEScan 软件自动选择最佳的坐标起点与终点值，并对图形进行动态刷新。

3.3 窗口

窗口选项用于对当前所有工程子窗体的管理。

3.3.1 级联

所有工程子窗口以“级联”方式显示。

3.3.2 平铺

所有工程子窗口以“平铺”方式显示。

3.3.3 重排

所有工程子窗口重排。

3.4 帮助

3.4.1 目录

点击目录可查看该仪器电子版说明书，用户可在此处搜索需要查阅的内容。

3.4.2 语言

点击语言，可切换中、英文两种语言。

3.4.3 联系我们

点击联系我们，进入武汉科思特仪器股份有限公司官网。

3.4.4 检查更新

点击检查更新，选择是否需要更新测试软件。

3.4.5 关于

点击关于，查看软件、硬件等详细信息。

第四部分 WBEScan 分析软件使用说明

CS Analysis 数据分析工具是专用于科思特电化学工作站的数据分析软件，兼容科思特电化学工作站测试到的所有数据，.txt、.csdat、.cor 以及.z60 格式。CS Analysis 数据分析工具具有强大的数据分析功能：可对极化曲线进行曲线拟合，可计算极化电阻 R_p 值、Tafel 斜率 ba 、 bc 值、腐蚀电流密度 i_{corr} 、自腐蚀电位，根据用户所设置的电极参数，还可以算出腐蚀速率 V_{corr} ；可对电化学噪声数据进行 FFT 频谱分析；可对交流阻抗数据进行电路拟合，自动给出各元件数值；可对 Mott-Schottky 数据进行拟合分析，用户通过设置选定 n 型或 p 型半导体类型，拟合得出载流子浓度及平带电位。



图 4.1 CS Analysis 分析软件主界面

4.1 文件

4.1.1 打开文件

菜单位置：“文件”→“打开文件”。

该菜单可用来打开使用科思特电化学工作站测试的.txt、.csdat、.cor 以及.z60 格式数据文件，并可对文件进行查看和数据分析。点击该菜单，将弹出数据打开弹窗，点击 ，将数据添加到“待绘图文件”，点击“确定”即可打开数据。用户可同时打开多个数据文件。通过点击“详细”用户可看到测试数据的详细信息。通过点击“自动着色”、“自动线型”、“自动标记”或“自动标注”，用户可选择是否设置单个数据的线型，便于对比分析数据。通过点击“自动跳点”，设置跳点点数，可对数据进行平滑处理。

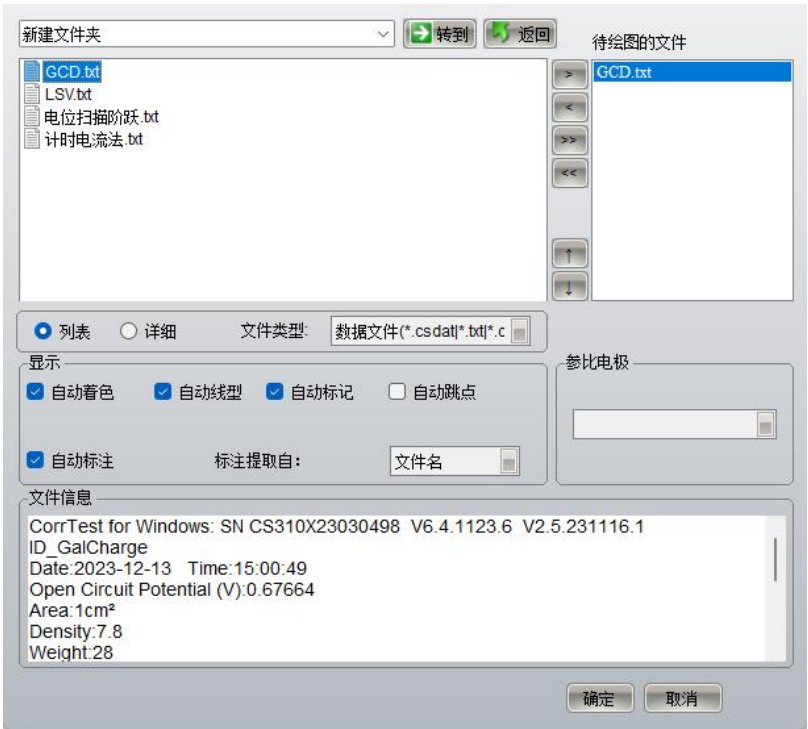


图 4.2 打开数据文件弹窗

4.1.2 极化曲线分析

菜单位置：“文件”→“极化曲线分析”。

测试完成后，用户可在此处进行极化曲线分析，各菜单栏意义如图所示：

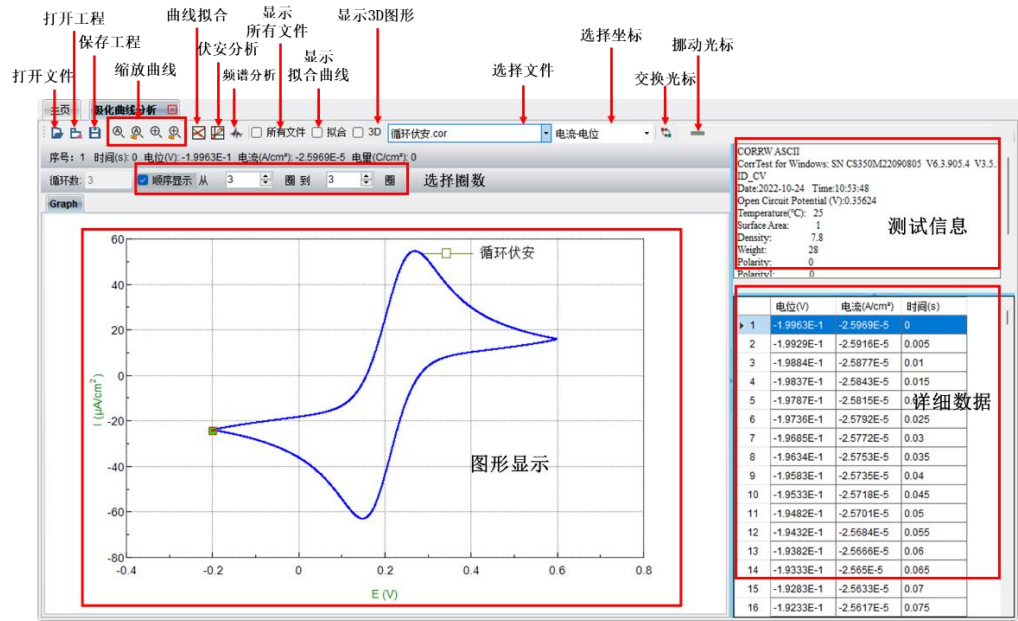


图 4.3 极化曲线分析界面介绍

打开数据后，通过点击鼠标右键，用户可对曲线进行更多设置。

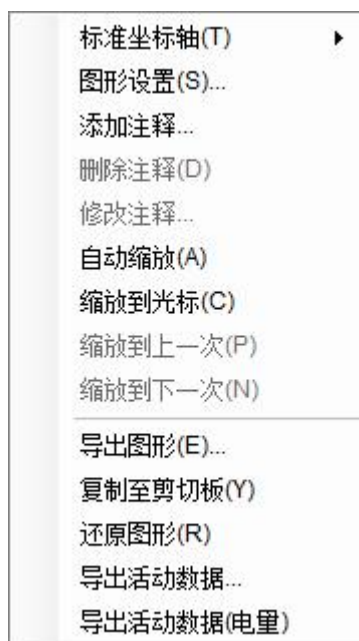


图 4.4 鼠标右键激活菜单

标准坐标轴—指定曲线的横纵坐标数据类型；

图形设置—设定横纵坐标宽度及刻度间隔；

添加注释—对曲线添加注释说明，所添加的注释说明将直接显示在软件界面上；

删除注释—添加注释后激活，删除添加的注释；

修改注释—添加注释后激活，修改添加的注释；

自动缩放—自动缩放曲线；

缩放到光标—挪动光标后，点击自动将曲线缩放到光标；

缩放到上一次—长按鼠标左键并挪动鼠标可对曲线进行放大或缩小，缩放曲线后，点击“缩放到上一次”，曲线将回到上一次缩放；

缩放到下一次—点击“缩放到下一次”，曲线将回到下一次缩放；

导出图形—导出当前曲线图形，图形格式默认为.wmf；

复制至剪切板—复制当前曲线图形至剪切板，用户可将图形粘贴至 word；

还原图形—缩放后，将图形一键还原至最初状态；

导出活动数据—导出当前曲线原始数据，用户可指定导出数据格式为.csdat、.txt 或.cor；

导出活动数据(电量)—导出当前曲线电量数据，用户可指定导出数据格式为.csdat、.txt 或.cor。

4.1.2.1 打开文件

该菜单可用来打开极化曲线文件。点击该菜单，将弹出数据打开弹窗，点击 ，将极化曲

线数据文件添加到“待绘图文件”，点击“确定”即可打开数据。用户可同时打开多个极化曲线数据文件。通过点击“详细”用户可看到测试数据的详细信息。通过点击“自动着色”、“自动线型”、“自动标记”或“自动标注”，用户可选择是否设置单个数据的线型，便于对比分析数据。通过点击“自动跳点”，设置跳点点数，可对数据进行平滑处理。

4.1.2.2 曲线拟合

打开任一极化曲线文件时，此菜单生效。

曲线拟合菜单下，主要含 Tafel 拟合、最小二乘法拟合、线性拟合、电流积分、噪声统计、电解池信息、数据编辑、Rp 拟合等功能。曲线拟合分析的软件界面如图 4.5 所示：

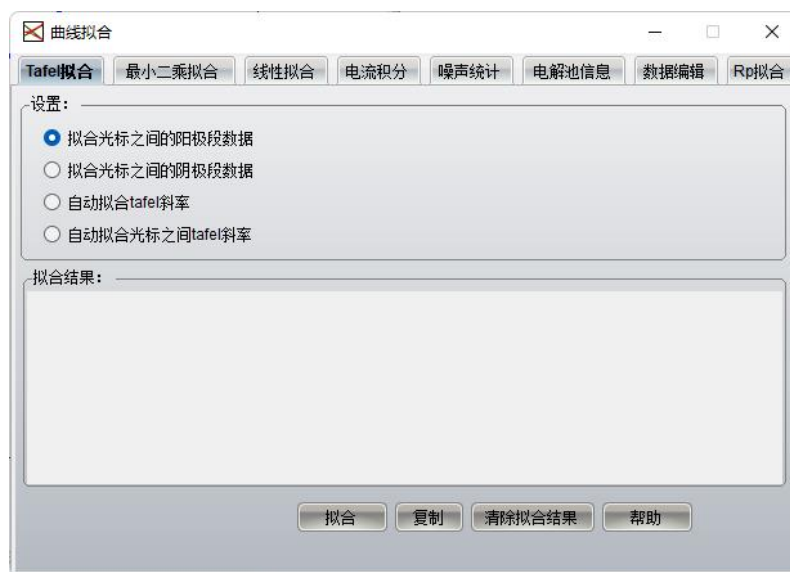


图 4.5 曲线拟合软件界面

4.1.2.2.1 Tafel 拟合

该方法共提供了四种拟合方法，其中拟合光标之间的阳极段数据和拟合光标之间的阴极方段数据法一致，自动拟合 Tafel 斜率和自动拟合光标之间的 Tafel 斜率这两个方法一致。

阳极或者阴极的拟合基本上是基于线性拟合的原则。

$$i = i_0 \left[10^{\frac{E - E_0}{B_a}} - 10^{\frac{-(E - E_0)}{B_c}} \right]$$

如果拟合 B_a ，则是： $i = i_0 \times [10^{(E-E_0)/B_a}]$ 两边取对数，这样就能化简成： $\lg i = E/B_a + \lg i_0 - E_0/B_a$ 。这样就化简成一个标准的线性方程了，就可以拟合出 i_0 和 B_a 。

如果是拟合 B_c ，用同样的方法，就求出了 B_c 。

如果分别对 B_a 和 B_c 进行拟合，可以求出更精确的 E_0 和 i_0 。

自动拟合

自动拟合采用的是自动找寻开路电位左右 200 mV 的数据范围，然后分别拟合阴极和阳极，拟合后得出这两个方程，这两条方程得到后，就得出这两条直线的交点，这样就求出了更精确的 i_0 和 E_0 ，然后计算出腐蚀速率。

4.1.2.2.2 最小二乘拟合

这里主要是对数据进行多参数拟合，主要是 4 参数和 5 参数拟合。采用的是 Levenberg-Marquardt 迭代拟合。如果 i_L 不启用，则参与拟合的方程是：

$$i = i_0 \left[10^{\frac{E-E_0}{B_a}} - 10^{\frac{-(E-E_0)}{B_c}} \right]$$

如果启用 i_L ，则拟合方程为：

$$i = i_{corr} \left\{ \exp \frac{E-E_0}{\beta_a} - \frac{\exp \frac{-(E-E_0)}{\beta_c}}{1 - \frac{i_0}{i_L} \left[1 - \exp \frac{-(E-E_0)}{\beta_c} \right]} \right\}$$

但是在拟合的时候，一定要对程序进行一个初始值赋值，如果不选中需要拟合的项，则这一个参数将不参与拟合。

计算出 B_a ， B_c 后，然后计算出 Stern-Geary 系数。其公式如下图：

$$B = \frac{\beta_a \times \beta_c}{(\beta_a + \beta_c)} = \frac{b_a \times b_c}{2.303 \times (b_a + b_c)}$$

如果数据范围设为“自动”，CS Studio 将自动寻找开路电位（电流接近零的电位），然后在开路电位的每侧（即阴极部分和阳极部分）各选定 250 mV 的数据范围。如果用户认为这不是一个恰当的范围，可以从曲线中重新定位鼠标来选定一个数据范围，这样就只有两个光标之间的数据参加计算，也可在电位范围中输入最大值与最小值来直接限定计算范围。

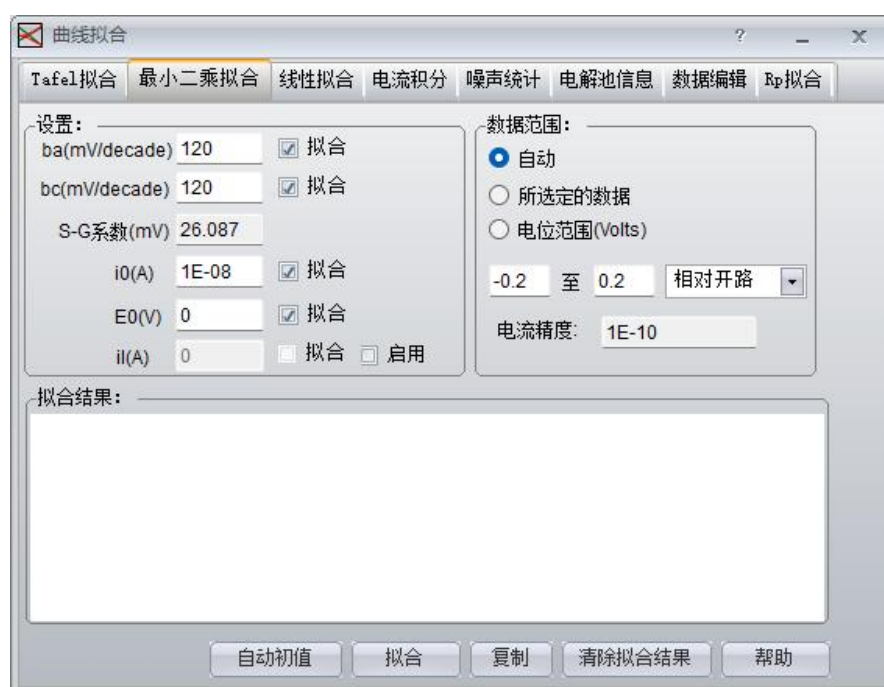


图 4.6 最小二乘拟合界面

4.1.2.2.3 线性拟合

在界面中，一共有 6 种拟合类型，每一种拟合类型都是依据第一种拟合类型转换过来的。即 $y = a + bx$ 这种线性方程进行转换的。

线性拟合原理

线性拟合采用的是最小二乘法。即：它通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据，并使这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小。即：

$$\theta(a, b) = \sum_{k=1}^n (y_k - a - bx_k)^2$$

通过计算采样到的数据点，计算出 a, b 的值，使得 $Q(a, b)$ 的值达到最小。下面通过偏微分方程组来解这个方程

$$\begin{cases} \frac{\partial \theta(a, b)}{\partial a} = -2 \sum_{k=1}^n (y_k - a - bx_k) = 0 \\ \frac{\partial \theta(a, b)}{\partial b} = -2 \sum_{k=1}^n (y_k - a - bx_k)x_k = 0 \end{cases}$$

将方程展开为：

$$\begin{cases} na + \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) b = \sum_{k=1}^n y_k \\ \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) a + \left(\sum_{k=1}^n x_k^2 \right) b = \sum_{k=1}^n x_k y_k \end{cases}$$

这是个关于 a, b 的二元一次方程组，称其为最小二乘问题的正则方程组解得 a, b 便得到最小二乘问题的拟合函数。

其余几种线性拟合

其余的几种拟合都是通过将函数转换成第一种样式，根据第一种拟合的计算方法得出拟合系数。以第五个函数为例： $i=i_0 * 10^{E/B}$ 。

先判断下 I 值的正负号，I 只可能全为正或者全为负。两边全部取 10 的对数，即 $\lg i = \lg i_0 + E/B$ 。令： $\lg i = y, \lg i_0 = a, 1/B = b$ 。这样就化简成标准线性方程了，求出 $\lg i_0$ 和 $1/B$ 的值，然后间接求出 i_0 和 B。 i_0 的值还是要通过 i 的值的符号来判断。

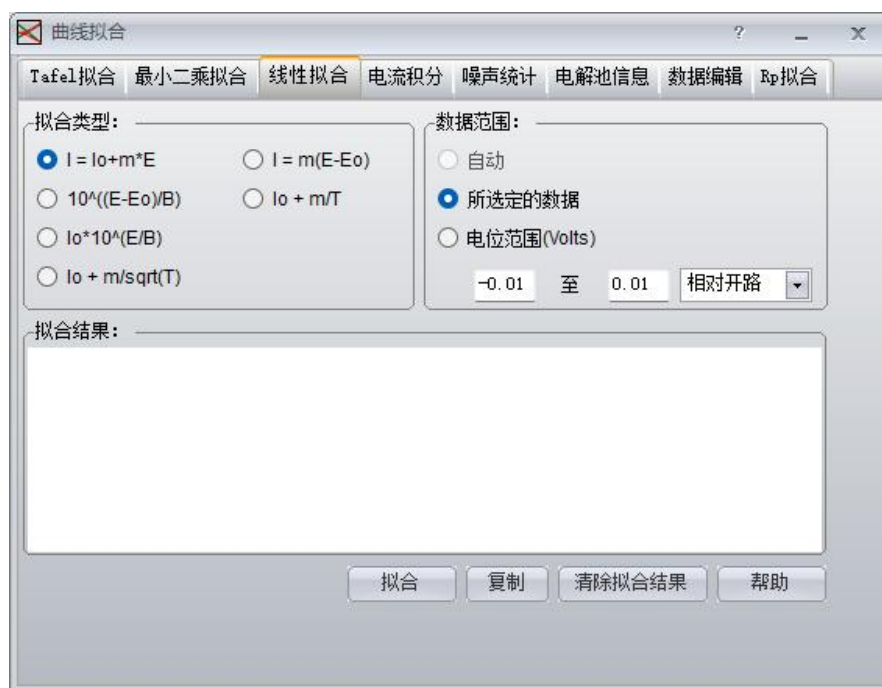


图 4.7 线性拟合界面

4.1.2.2.4 电流积分

积分共有两种方式，带背景和不带背景的，但计算的方式基本相同，都是采用梯形积分。

电量

电量采用的是梯形积分，就是对每相邻的两个点构成的一个梯形进行面积的计算。即对电流-时间图的每一个数据点进行梯形积分，这样电流值为上底和下底，而时间差(Δt)则是高（如下图

4.8)。对每一个梯形面积求累加和，就是求出该电量的大小。

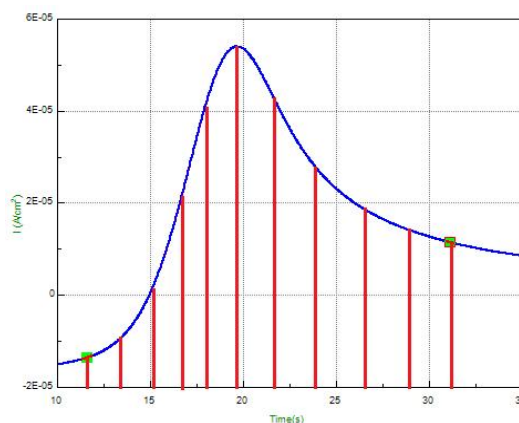


图 4.8 电量积分面积示意图

电量(背景)

如果带背景，就要求两点和这两点之间的连线所夹的面积。如下图 4.9 所示，交叉网格部分即为所求。可以拆分为两者面积之差，即点的集合构成的面积和两点之间所做的直线所围住的面积之差。点的集合的面积方法同上，两点之间确定一条直线，可以求出直线方程，然后用该方程求积分。

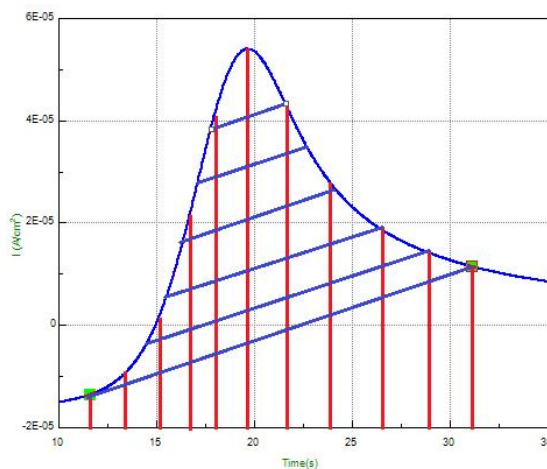


图 4.9 电量积分（背景）面积示意图

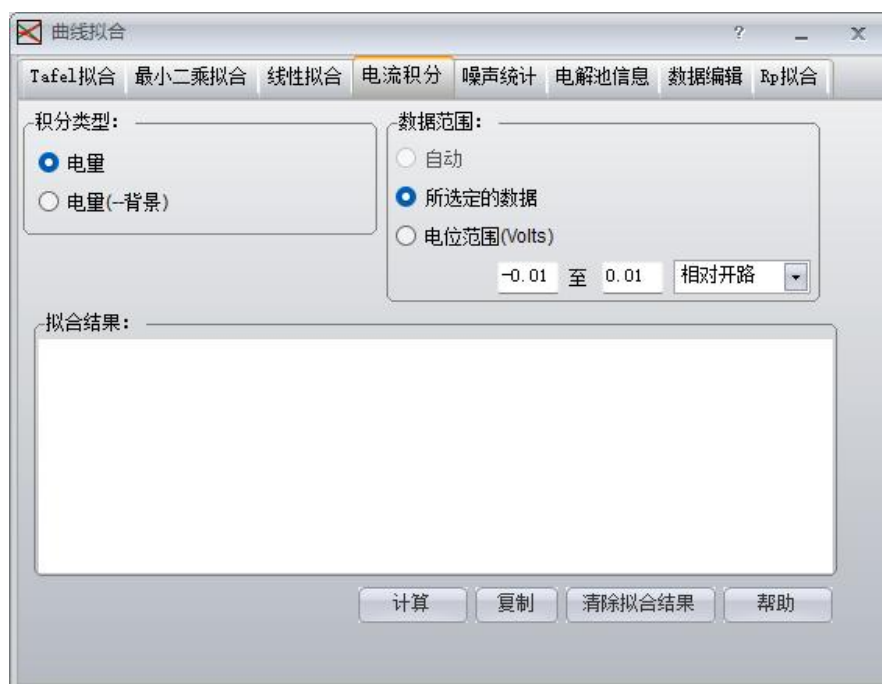


图 4.10 电流积分界面

4.1.2.2.5 噪声统计

采用均方根（RMS）方法计算光标之间的噪声水平，并显示计算结果。

E-RMS 和 I-RMS 值分别表示移除背景漂移后的电位与电流噪声的均方根值。

其计算公式如下：

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}$$

这里：n 表示参与计算的数据个数； x_i 表示第 i 个点的数据值。

注意：计算的结果强烈地依赖数据质量、采样速率、滤波器以及环境噪声的影响等，计算结果的有效性完全取决于用户的判断。

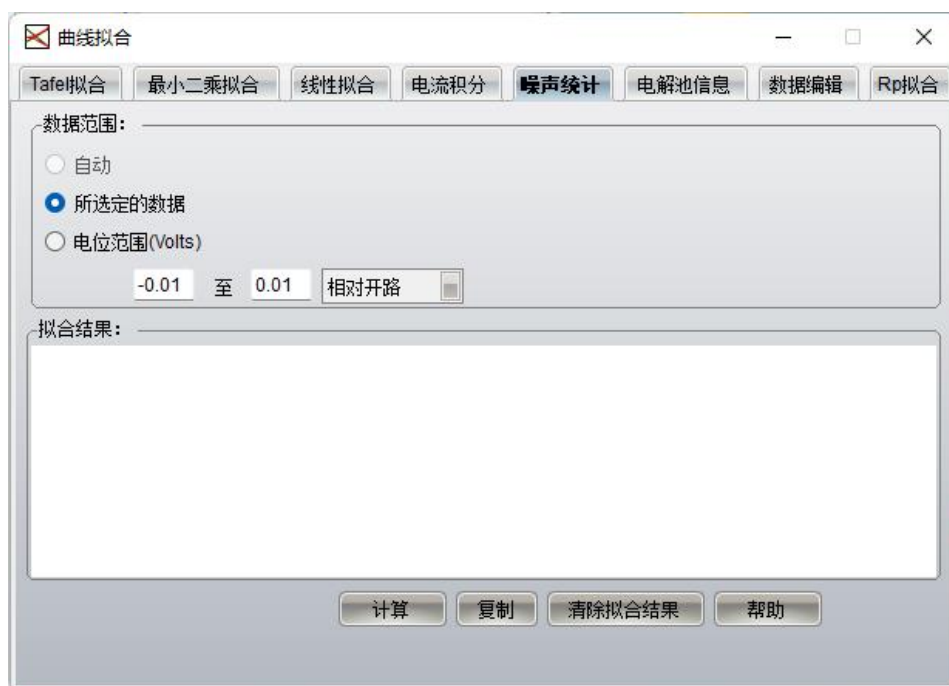


图 4.11 噪声统计拟合界面

4.1.2.2.6 电解池信息

这些参数用于修改数据文件里电解池的电极参数，可参见 3.1.9 节。

表面积指样品（工作电极）的工作面积；CS Studio 使用该值来计算电流密度，如果表面积设定为 1.0，则电流密度将与实际测量的电流数值上相等。

CS Studio 使用材料密度或化学当量来计算实际腐蚀速率。化学当量即为原子量除以电化学反应中的转移电子数。例如：对于反映 $\text{Fe} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ，转移的电子数为 2，则化学当量为 $55.8/2=27.9$ 。

如果这些值没有输入，则只能计算极化电阻 R_p 或 Tafel 斜率，而不能计算腐蚀速率。

“极性规则”决定如何解释正或负的电位/电流，当采用正常(O^{2+})规则时，一个更正的电位将产生更大的氧化驱动力，同时产生的电流也为正值，在一个典型的水环境中($\text{pH}=0$)，当电极电位为+1.23V(相对氢标准电极)，氧将会在工作电极表面析出；如果采用反向(O^{2-})规则时，一个更负的电位将会产生更大的氧化驱动力，氧化电流也为负值，此时，在一个典型的水环境中($\text{pH}=0$)，电极电位为-1.23V(相对氢标准电极)，氧将会在工作电极表面析出。

如果需要更改参数，修改指定参数后，点击“应用”按钮，可以改变当前选定数据文件的设置参数。



图 4.12 电解池信息设置界面

4.1.2.2.7 数据编辑

用于修改当前数据文件。在保存前，必须使被该文件成为数据信息框中的活动数据集。

这里主要是针对原始数据进行修改。主要是让数据和图形进行偏移的翻转功能，修改后，点“应用”，所有的数据也都改变了。

如果需要相减，则只需要在相加选项对应的值处填写负值即可，同理，如果需要除法，则只需要转换相应的关系即可。



图 4.13 数据编辑设置界面

4.1.2.2.8 Rp 拟合

极化电阻也就是电位-电流曲线在开路电位附近的斜率。

如果数据范围设为“自动”，CS Studio 将自动寻找开路电位（电流接近零的电位），然后在开路电位的每侧各选定 20 mV 的数据范围，如果用户认为这不是一个恰当的范围，可以从曲线中重新定位鼠标来选定一个数据范围，或者直接在电位范围中输入一个最大值与最小值来进行。

拟合结果包括：

R_p (Ohms·cm²)：曲线斜率。

$E_0(V)$ ：极化电流改变方向的电位点，他们通常与被测体系的开路电位一致。

$I_0(A/cm^2)$ ：基于 Stern-Geary 方程 (Stern-Geary, J. Electrochem.Soc. 84,56,1957) 来计算电流密度。

$$i_{corr} = \frac{\beta_a \times \beta_c}{\beta_a + \beta_c} \times \frac{1}{R_p}$$

由于在线性极化区无法直接得到 Tafel 斜率(b_a 和 b_c), 所以 CS Studio 假设其值等于 0.12V/dec, 当然通过极化曲线也可以计算出 Tafel 斜率(b_a 和 b_c)。 (Mansfeld, Advances in Corrosion Science and Tech., 6 Ed. Fontana and Staehle, Plenum Press, p. 163, 1976): 根据上述假设值, Stern Geary 系数(B 值)有:

$$B = \frac{\beta_a \times \beta_c}{(\beta_a + \beta_c)} = \frac{b_a \times b_c}{2.303 \times (b_a + b_c)}$$

一般地, Stern-Geary 系数 (B 值) 活化体系取 26 mV、钝化体系 52 mV; 酸性电解液 18 mV、中性电解液 26 mV、碱性电解液 52 mV。其他有关该参数的意义请参见曹楚南所著《腐蚀电化学原理》一书 (化学工业出版社, 2008 年)。其合理取值一般在 20~28mV 之间。当然也可以由用户在电解池参数中指定。则:

$$I_{corr} = \frac{26mV}{R_p}$$

而腐蚀速率的计算根据:

$MPY = I_{corr}(A/cm^2) \times \text{化学当量}(g/mol) \times 393.7(mil/cm) \div \text{密度}(g/cm^3) \times 365 \times 24 \times 3600(s/Y) \div 96500(C/mol);$

$mm/a = MPY \div 39.37(mil/mm)。$

对于碳钢, $1mm/a = 11.73 \times I_{corr}(mA/cm^2)$, $1MPY = 462.2 \times I_{corr}(mA/cm^2)$

因此, 只有在给定了电极参数后, 才能计算金属的腐蚀速率。

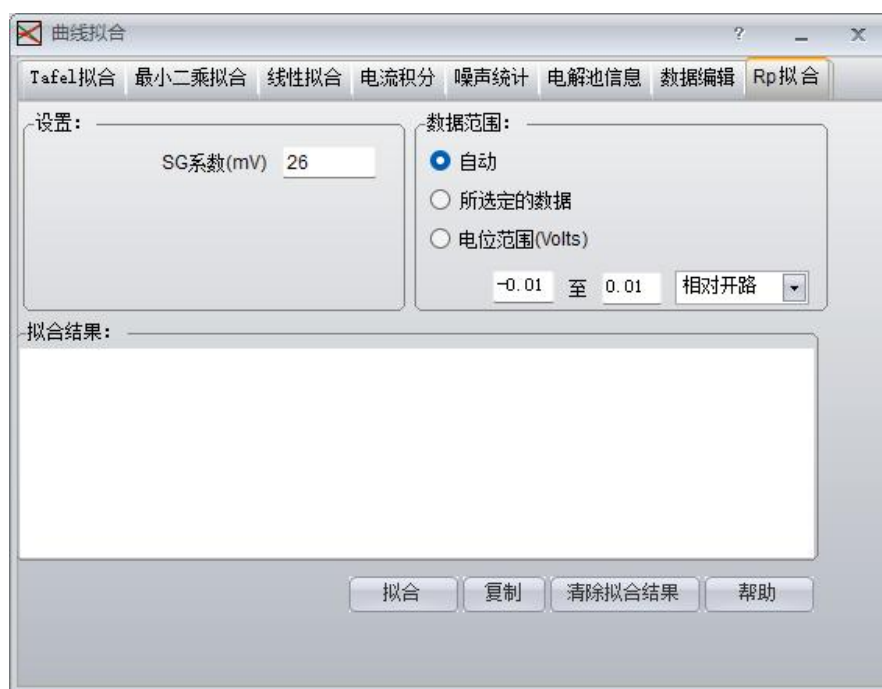


图 4.14 Rp 拟合界面

4.1.3 伏安分析

打开任一极化曲线数据文件时, 此菜单生效。

伏安分析菜单下, 主要有循环伏安分析, 差分脉冲伏安, 常规脉冲伏安和 EPR 指数计算四种分析方法。



图 4.15 伏安分析界面

4.1.3.1 循环伏安分析

由于循环伏安的特殊性，在数据文件中，添加了圈标记，所以图形也能显示每一圈。如果 CV 数据循环次数 ≥ 2 ，则出现“顺序显示”单选框，选中，即可调整从多少圈到多少圈，图形就能按照指定圈数显示。

自动

由于可能存在多圈的情况，程序提供一个找寻峰高的功能，方法是：先将数据按圈拆分，然后对每一圈进行处理。找寻每一圈数据的波峰和波谷，然后找出最平行于 x 轴的一条基线，求出峰高和半峰面积（如下图 4.16 所示）。如果找寻的位置不对，或者不是自己所需要的位置，程序还提供手动找寻峰高和基线。

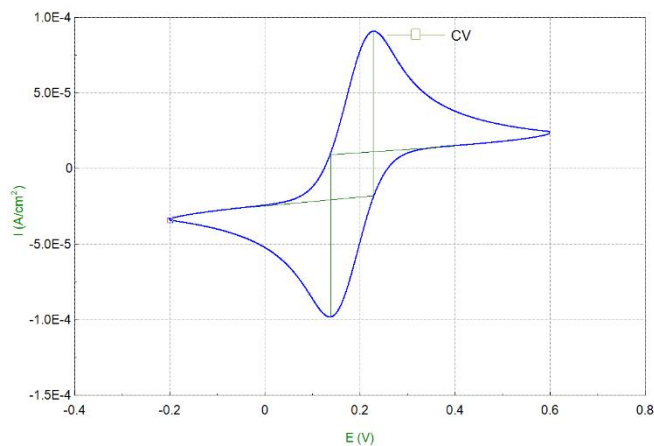


图 4.16 循环伏安自动分析界面

光标之间阳极峰

通过交换光标选定阳极峰的开始和结束位置，程序以扫描方向为基线，然后在这段数据中，找寻到最高点作为峰高，这样求出峰高和半峰面积。结果如下图 4.17 所示：

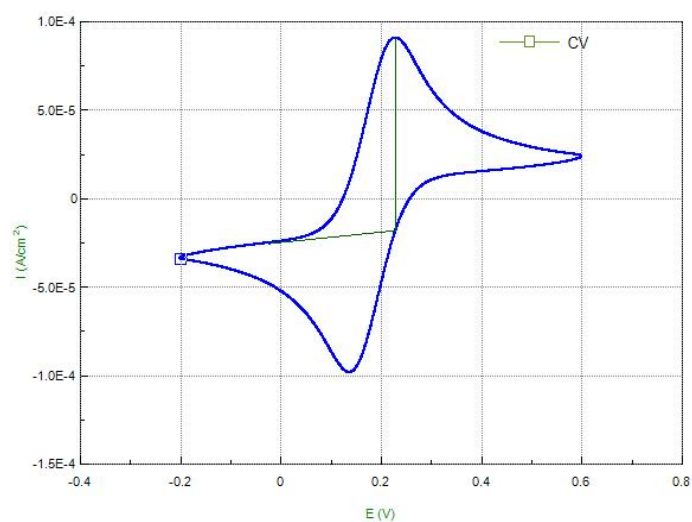


图 4.17 光标之间阳极峰分析界面

光标之间阴极峰

原理同阳极峰，也是通过交换光标确定起始位置，然后程序根据基线和最低点求峰高和半峰面积。结果如下图 4.18 所示：

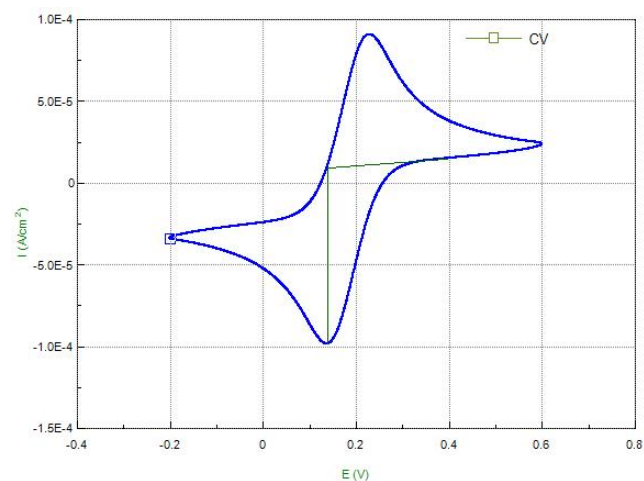


图 4.18 光标之间阴极峰分析界面

在伏安分析中，要想显示高线，坐标轴必须切换到电流-电位。

电容计算

对于循环伏安图形，可以根据如下公式进行电容计算：

$$C = \frac{\int_{E1}^{E2} IdE}{2\nu\Delta E}$$

其中，E1、E2 为循环伏安曲线扫描范围的最小和最大电位值； $\Delta E = E2 - E1$ ； ν 为扫描速率。结果显示界面如下：

```
Segment 2:
Anode peak:
Ep = 0.22833V
Ip = 0.00010856A/cm^2
Ah = 2.6001E-06AV/cm^2
Q = 2.1944E-05C/cm^2
```

4.1.3.2 差分脉冲伏安

差分脉冲伏安提供了两种方法，自动和光标之间的峰值。

自动

程序自动找寻数据的最大电流值作为峰高，然后以扫描方向开始，找寻斜率最接近 0 的位置作为基线，然后求出峰高和半峰面积。如下图所示：

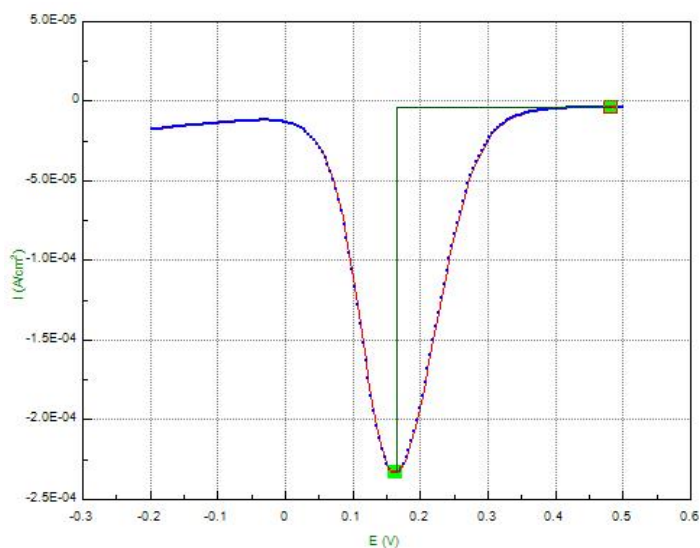


图 4.19 $K_3Fe(CN)_6$ 体系的差分脉冲伏安曲线

光标之间峰值

由于自动找寻可能出现误差或者不是自己所想的，所以提供手动方法。也是通过交换光标确定起始位置，然后程序根据基线和最高点求峰高和半峰面积。

在伏安分析中，要想显示高线，坐标轴必须切换到电流-电位。



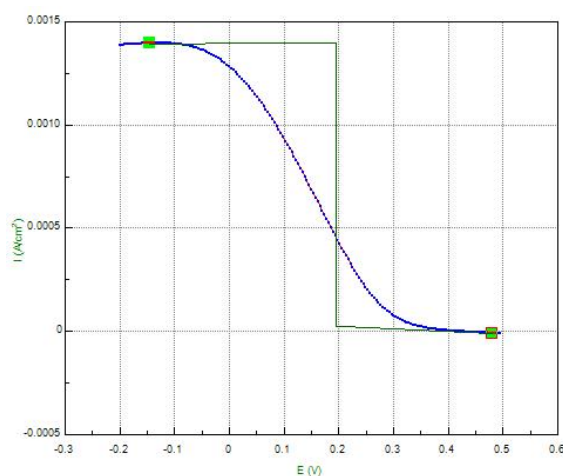
图 4.20 差分脉冲伏安分析界面

4.1.3. 常规脉冲伏安

常规脉冲伏安提供了两种方法，自动和光标之间的高度。

自动

首先找到中值电流，然后找寻两边最接近平行于 x 轴的线作为基线，然后求出线高。如下图所示：

图 4.21 $K_3Fe(CN)_6$ 体系的常规脉冲伏安曲线

光标之间的高度

由于自动可能不是自己所求的，提供手动找寻方法。中值电流还是整段数据的中值电流，根据光标所在点做基线，然后求出两条基线夹成的高。

在伏安分析中，要想显示高线，坐标轴必须切换到电流-电位



图 4.22 常规脉冲伏安分析界面

4.1.3.4 EPR 指数计算



图 4.23 EPR 指数计算分析界面

评价晶间腐蚀敏感指数可以通过扫描活化峰值电流 I_a 和对应的再活化扫描峰值电流 I_r 的比

值 (I_r/I_a , 定义为再活化率) 来判定, 也可以通过活化过程的电量 Q_a 和对应的再活化过程电量 Q_r 的比值 (Q_r/Q_a) 来判定。选择“自动”或“光标之间 (单圈)”菜单, 从曲线中查找到 I_r 、 I_a 、 Q_r 、 Q_a 等 4 个值。

4.1.4 频谱分析

用于分析电化学噪声数据。

4.1.5 阻抗谱分析

菜单位置: “文件” → “阻抗谱分析”。

测试完成后, 用户可在此处进行阻抗谱分析, 各菜单栏意义如图所示:

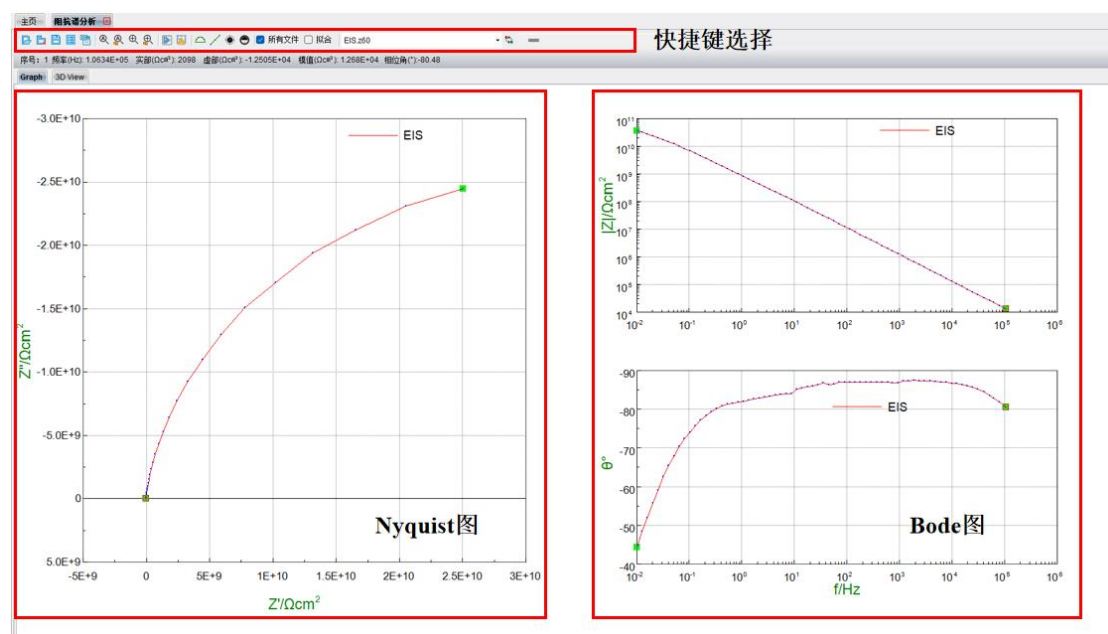


图 4.24 阻抗谱分析界面

工具条按钮实际上是菜单的快捷键, 如果鼠标停留在工具条图标上, 则会出现相关文字说明, 所有图标的功能均可通过菜单实现。工具条也包括了几种不同的功能, 下面将按其功能分类详细说明。

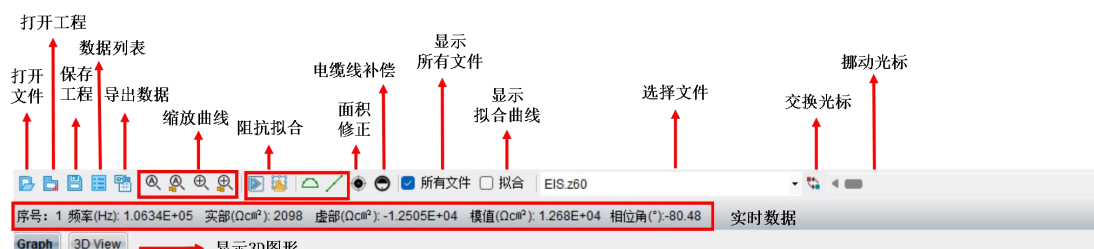


图 4.25 工具条详细说明

4.1.5.1 打开文件

该菜单可用来打开频率扫描以及特征频率扫描阻抗谱数据。点击该菜单，将弹出数据打开弹窗，点击 ，将极化曲线数据文件添加到“待绘图文件”，点击“确定”即可打开数据。用户可同时打开多个阻抗谱数据文件。通过点击“详细”用户可看到测试数据的详细信息。通过点击“自动着色”、“自动线型”、“自动标记”或“自动标注”，用户可选择是否设置单个数据的线型，便于对比分析数据。通过点击“自动跳点”，设置跳点点数，可对数据进行平滑处理。

4.1.5.2 数据列表

该菜单可用于复制粘贴当前数据的原始数据。

4.1.5.3 导出数据

该菜单可用于导出当前数据，导出数据格式可选为.csd、.txt 以及.Z60。

4.1.5.4 阻抗拟合

删除不需要的数据

通过光标选择不需要的数据段，也就是不能拟合的部分，然后用“数据分析”→“删除数据”删除。



图 4.26 从中选择要删除的数据段演示图

快速拟合

比较简单的曲线可以直接点击快速拟合按钮 ，选择适当的等效电路图进行拟合，如下图所示 4.27。

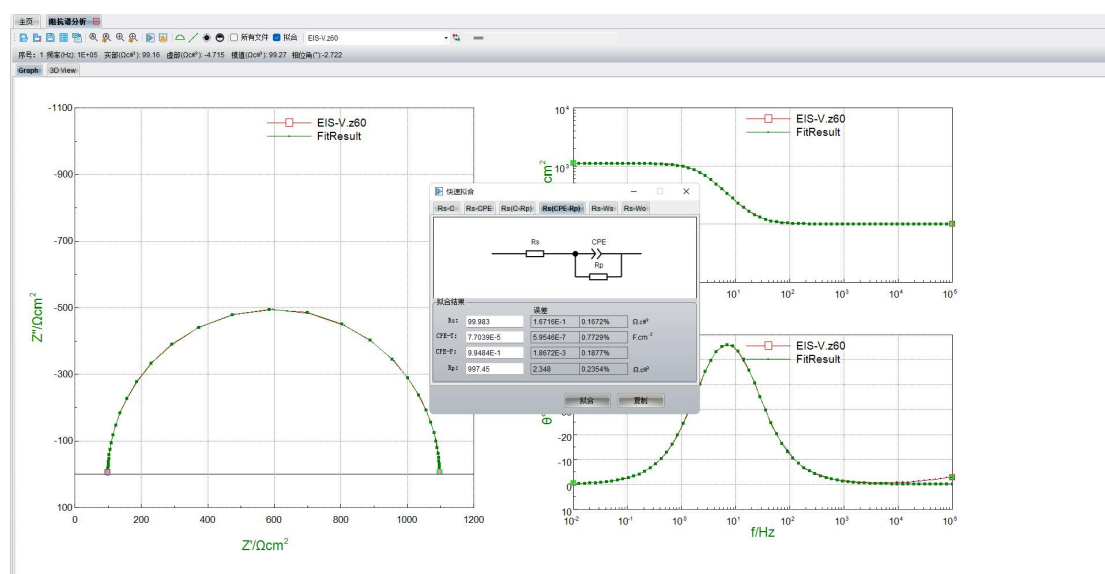


图 4.27 快速拟合

自定义等效电路

比较复杂的曲线需要先分段快速拟合确定各段拟合初值，再在自定义等效电路图中整体拟合。

(1) 在移动光标区域中移动光标块  选择待拟合范围，如下图“1”处所标，选中“1”部分进行快速拟合；

(2) 在左上角打框的地方，点击“2”处图标  进行快速拟合。

(3) 选择适宜的等效元件，如“3”处所标识，获得等效电路的初值。

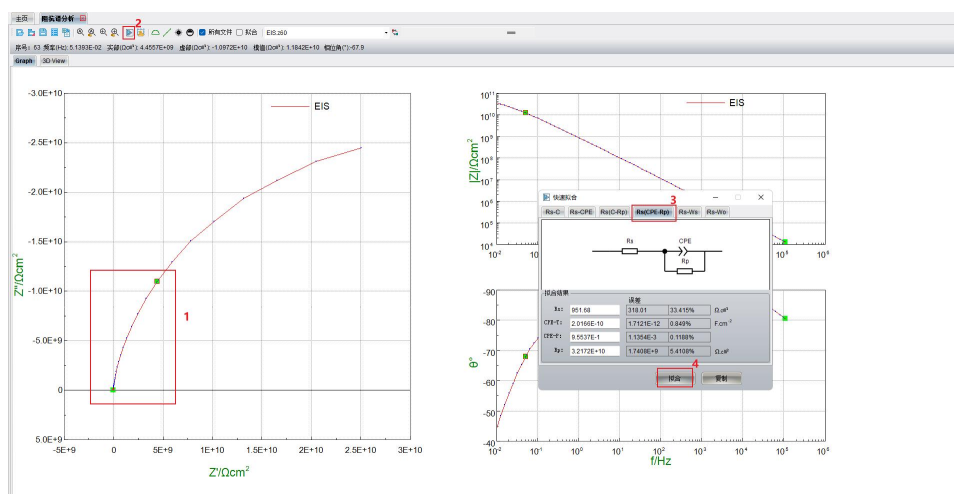


图 4.28 使用快速拟合等效电路来确定拟合初值

在快速拟合基础上，点击建立适宜的等效电路，如下图，在等效电路图工作框里的空白区域里右击，选择的合适元件绘制快速拟合时获得的等效电路图。



图 4.29 等效电路图绘制

将快速拟合结果中“1”处的数据，用鼠标拖到“2”处位置。

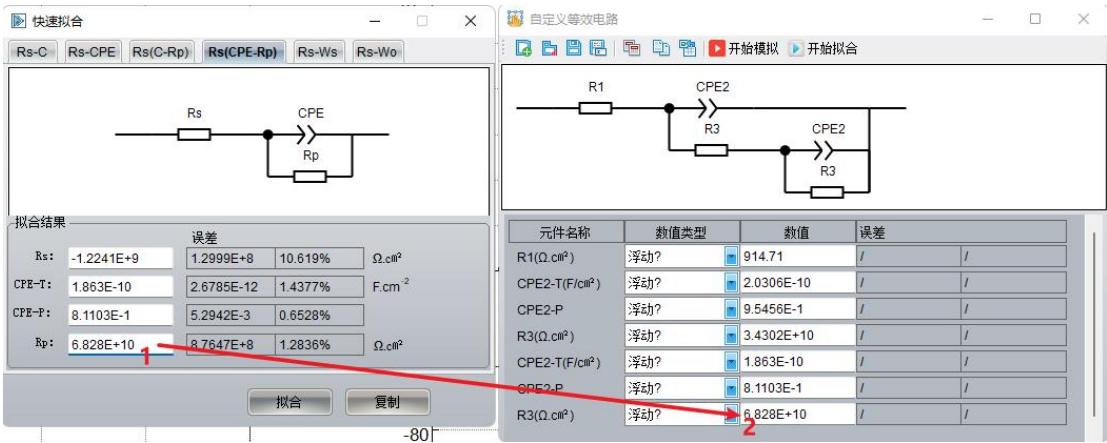


图 4.30 从快速拟合窗口中将数据传送到等效电路拟合的初值输入框演示图

相同的方法拟合第二段、第三段曲线，并得到最终的等效电路图，如下图 4.30。

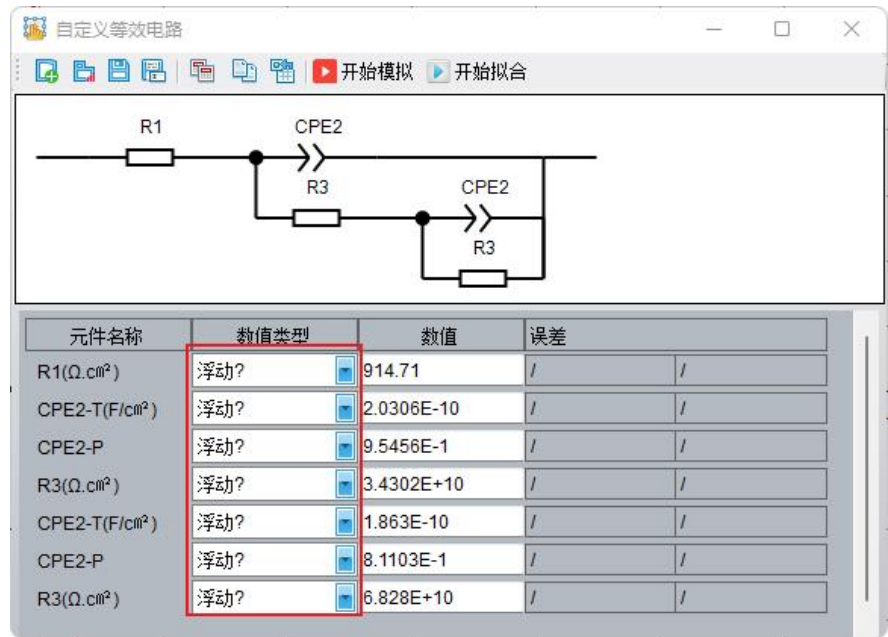


图 4.31 最终的等效电路图

将图 4.31 中红框处的“固定”改成“浮动？”，为拟合做准备，选中整条曲线，点击“开始拟合”即可进行拟合。拟合结果如下图中绿色曲线。如下图 4.31，选中拟合后数据文件，点击“1”可导出拟合曲线的数据。

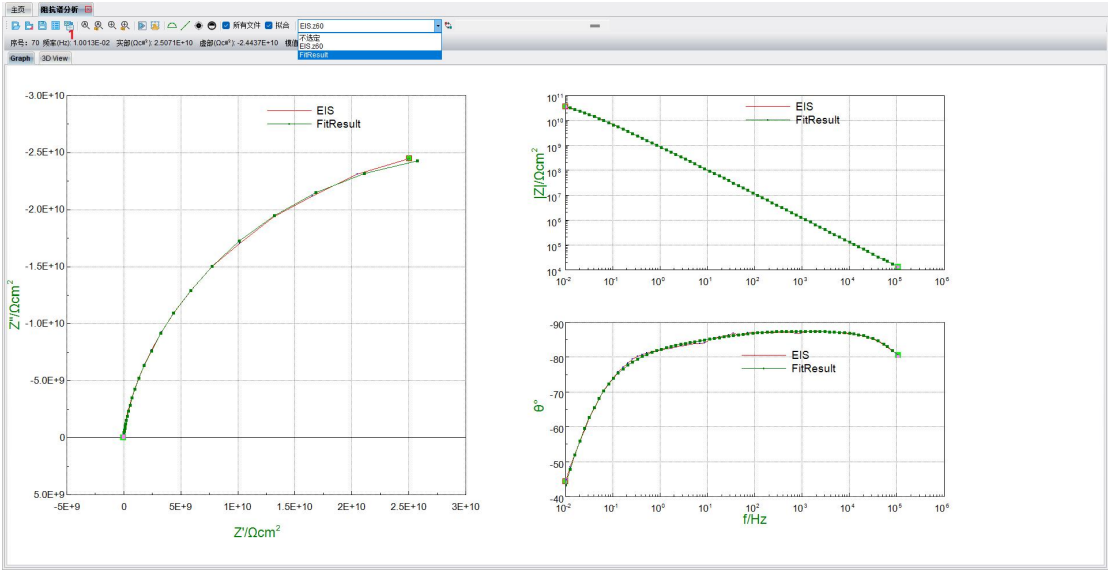


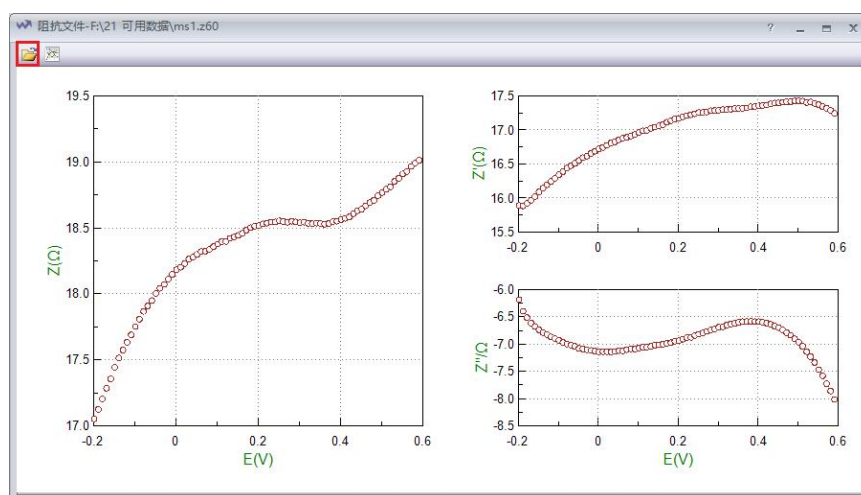
图 4.32 拟合数据结果以及拟合曲线

4.1.6 Mott-Schottky 曲线分析

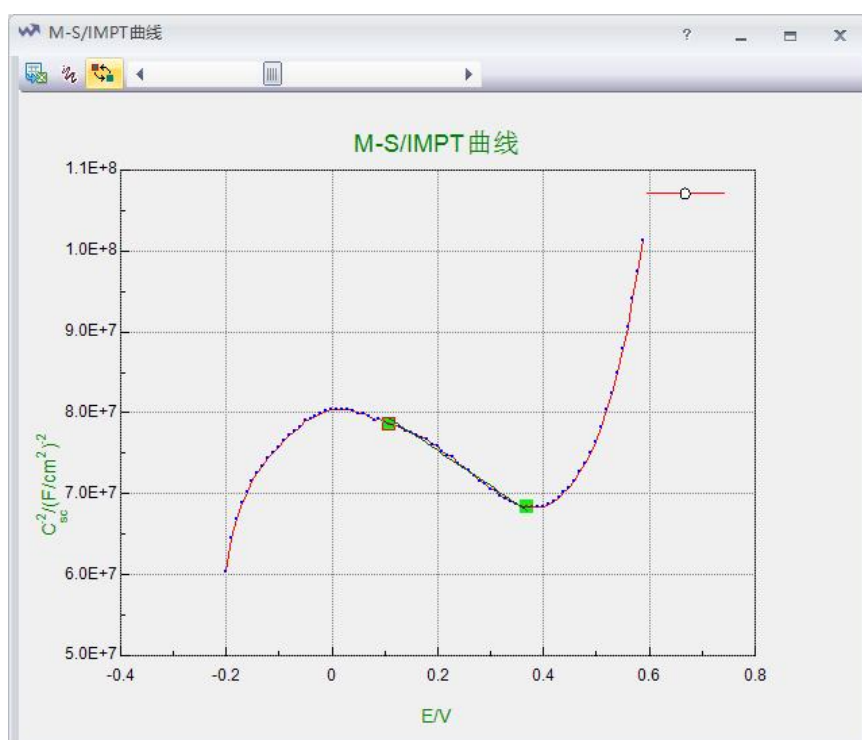
菜单位置：“文件”→“Mott-Schottky 曲线分析”。

测试完成后，用户可在此处进行电位扫描（Mott-Schottky 曲线)分析。

打开 M-S 曲线分析界面后，再点击  图标打开电位阻抗测试文件，如图 4.33 (a) 所示；再点击  图标可以打开 M-S 曲线拟合界面，如图 4.33 (b) 所示，点击  图标可以对曲线进行拟合，点击  可以将拟合结果导出为 Excel 格式。



(a)



(b)



(c)

图 4.33 (a) M-S 曲线分析软件界面; (b) M-S 曲线拟合界面; (c) M-S 曲线数据拟合界面

4.1.7 阻抗-时间曲线分析

菜单位置: “文件” → “阻抗-时间曲线分析”。

测试完成后, 用户可在此处进行时间扫描曲线分析。

打开时间扫描曲线分析界面后, 点击  图标打开时间扫描测试文件, 再点击  图标可以打开腐蚀速率曲线, 如图 4.34 所示; 点击  图标可以打开电位-时间图形, 如图 4.35 所示。

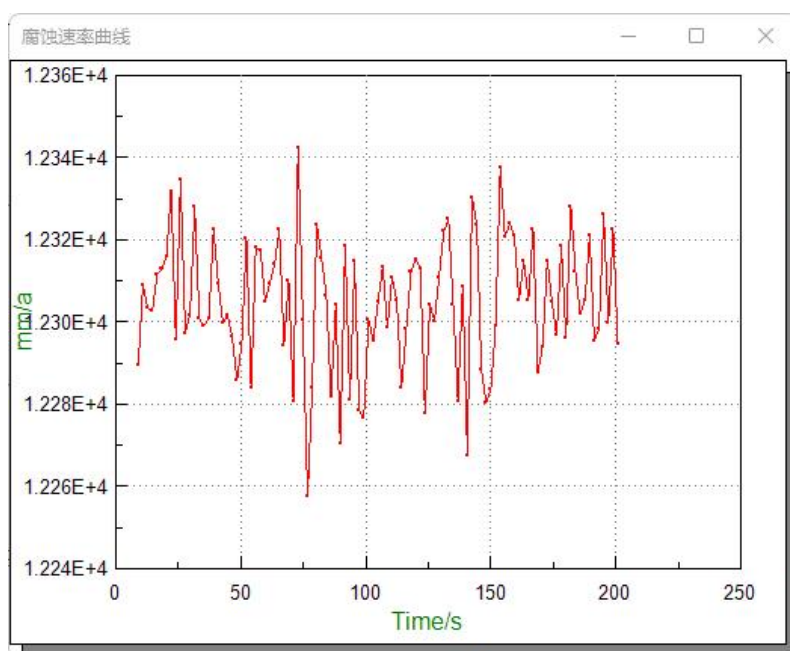


图 4.34 腐蚀速率曲线

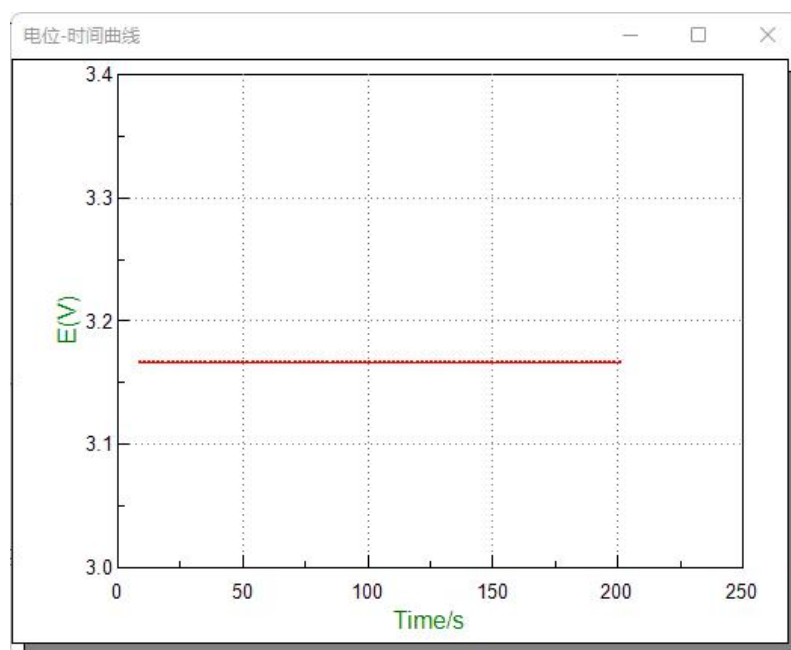


图 4.35 电位时间曲线

4.1.8 电容-频率曲线分析

菜单位置：“文件”→“电容-频率曲线分析”。

测试完成后，用户可在此处进行电容-频率曲线分析。

点击左上角打开数据文件，选择阻抗数据，得到电容-频率曲线。点击保存，保存数据。

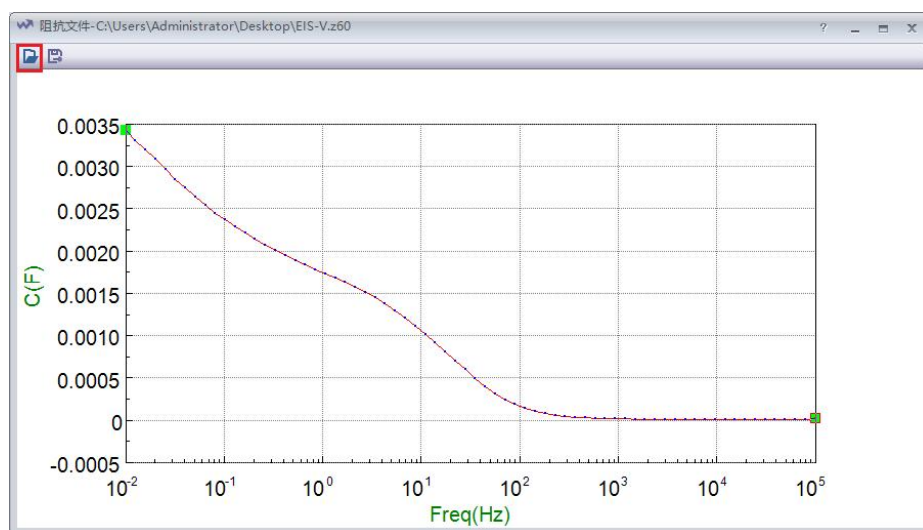


图 4.36 C-F 曲线分析界面

4.1.9 WBE E-I 分布图

菜单位置：“文件”→“WBEE-I 分布图”。

该菜单可以用来打开丝束电极扫描数据。

4.1.10 WBE 阻抗分布图

菜单位置：“文件”→“WBE 阻抗分布图”。

该菜单可以用来打开丝束电极阻抗数据。

4.1.11 打印设置

菜单位置：“文件”→“打印设置”。

该菜单用来设置打印输出的格式。

4.1.12 打印

菜单位置：“文件”→“打印”。

该菜单将用户打开文件的图形区域输出到打印机。

4.1.13 退出

菜单位置：“文件”→“退出”。

该菜单可以退出 CS Analysis 数据分析工具。

4.2 图形

4.2.1 自动缩放

点击后自动缩放曲线。

4.2.2 缩放到光标

挪动光标后，点击自动将曲线缩放到光标。

4.2.3 缩放到上一次

长按鼠标左键并挪动鼠标可对曲线进行放大或缩小，缩放曲线后，点击“缩放到上一次”，曲线将回到上一次缩放。

4.2.4 缩放到下一次

点击“缩放到下一次”，曲线将回到下一次缩放。

4.2.5 导出图形

导出当前曲线图形，图形格式默认为.wmf。

4.2.6 复制到剪切板

复制当前曲线图形至剪切板，用户可将图形粘贴至 word。、

4.2.7 图形设置

设定横纵坐标宽度及刻度间隔。

4.3 数据分析

4.3.1 数据处理

菜单位置：“数据分析” → “数据处理”。

4.3.1.1 导数

菜单位置：“数据分析” → “数据处理” → “导数”。

打开数据文件，点击“导数”，设置导数阶次和拟合点数，点确定即可得到其对应的导数图（如图 4.37）。

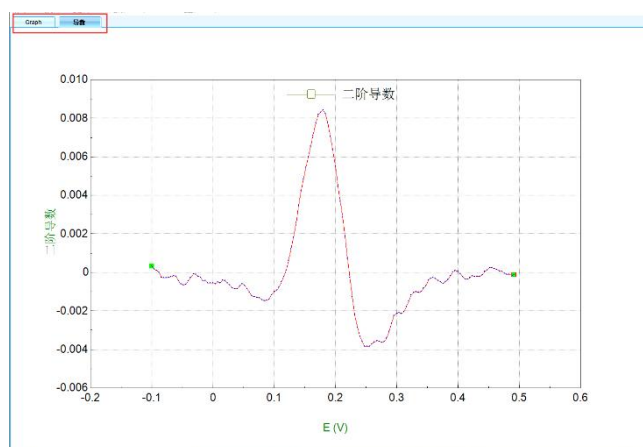


图 4.37 导数结果图



图 4.38 导数数据处理界面

4.3.1.2 背景扣除

菜单位置：“数据分析”→“数据处理”→“背景扣除”。

打开待处理数据结果，点击“背景扣除”即可得到扣除背景的结果图。

4.3.1.3 线性基线（调整）

菜单位置：“数据分析”→“数据处理”→“线性基线（调整）”。

打开待处理数据结果，点击“线性基线（调整）”即可对曲线进行基线调整。

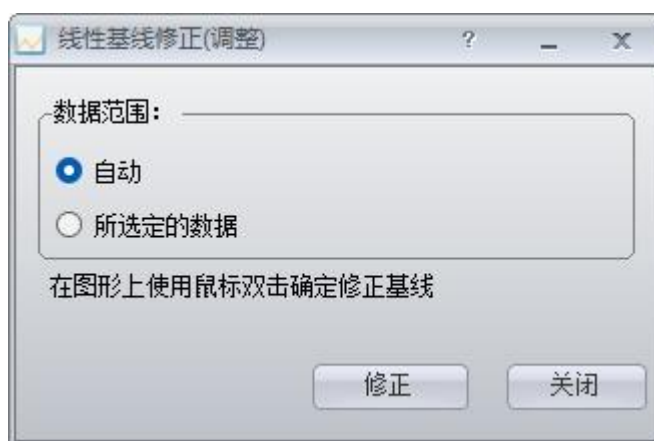


图 4.39 线性基线（调整）数据处理界面

4.3.1.4 线性基线

菜单位置：“数据分析”→“数据处理”→“线性基线”。

打开待处理数据结果，点击“线性基线”，按提示进行操作，即可对曲线线性基线进行修正。

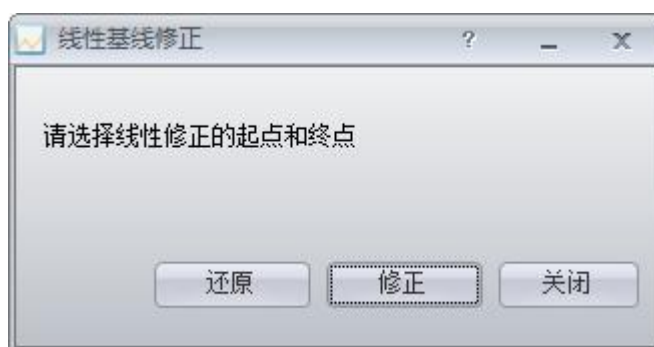


图 4.40 线性基线数据处理界面

4.3.1.5 移动平均基线

菜单位置：“数据分析”→“数据处理”→“移动平均基线”。

打开待处理数据结果，点击“移动平均基线”，输入平均点数和拟合点数，即可对曲线进行修正。



图 4.41 移动平均基线数据处理界面

4.3.2 分析工具

菜单位置：“数据分析”→“分析工具”。

4.3.2.1 自动寻找波峰

挪动光标，选择分析区间，点击后软件自动找到波峰位置。

4.3.2.2 自动寻找波谷

挪动光标，选择分析区间，点击后软件自动找到波谷位置。

4.3.2.3 计算溶液电阻

此菜单在打开恒电流阶跃数据时生效，点击“计算溶液电阻”，在电位-时间图上选择拟合区域，可得到介质电阻、极化电阻和双电层电容测试拟合结果。



图 4.42 计算溶液电阻界面

4.3.3 数据滤波

菜单位置：“数据分析”→“数据滤波”。

提供两种不同的数字滤波方法用于消除数据文件中的毛刺或噪声，需依据噪声类型选择正确的方法。

第一类是“去除毛刺”。该方法特别适用于数据中包含有异常的噪声毛刺信号的情况，对于当前数据文件中的每个点，先选择 5 个点（前面两个点、当前点以及后面两个点），然后将其中最大值和最小值除去，剩下 3 个点再进行平均后作为当前数据点的新值；对当前曲线中每一个点进行类似处理，便可有效除去由于恒电位仪量程切换所造成的噪声毛刺，以及温度控制器反复通断过程中的干扰噪声或离散的噪声信号。

第二类滤波器是“5 点到 25 点平滑”，该方法主要用于消除随机噪声，它们都是基于 Savitzky Golay (SG) 平滑算法，其原理为，以三次幂函数方程来拟合一系列数据点，平滑程度通过平滑过程中的点数来控制；更高的平滑度也可以通过反复使用滤波器来得到。不同于移动平均或模拟滤波器，“SG 平滑算法”不会改变数据中的峰形；“SG 平滑算法”是根据论文 Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures, Analytical Chemistry, Vol. 36, No. 8, July 1964, page 1627 中的方法实现的。

如果您需要采用两种滤波算法，则必须首先使用消除毛刺的方法。

这些平滑方法并不会改变已保存的数据文件，但如果使用了滤波器后又切换到其他数据文件（通过活动数据选择框），系统将会提示您保存修改的数据到一个新文件中。修改后的数据也可使用工具|保存数据文件来保存。

完成滤波减噪后，如果需要返回到原始数据，可以从活动数据框中选择同一个文件，当程序提示保存修改的数据文件时，选择“否”。

注意：不要轻易使用噪声滤波器，较好的方法是解决噪声而不是隐藏噪声，不正确地使用滤波器，可能会丢失一些重要的信息（如电极表面钝化膜破裂形成的电位和电流峰），在使用数字滤波器前，最好用示波器检查一下恒电位仪的输出端信号的实际噪声水平，依此来判断是否要用数字噪声滤波器。

4.3.4 删除数据

菜单位置：“数据分析”→“删除数据”。

该程序共提供了三种删除数据的方式：删除数据点，删除光标之间的数据，删除光标之外的数据。数据改变后，不会修改源文件，修改后的数据也可通过鼠标右键到“导出活动数据”来保存。

4.3.4.1 删除数据点

考虑到测试的数据文件可能有某个点异常，可以通过该功能进行删除。操作流程：将当前高亮度光标选定的数据删除。这并不会删除已保存在文件中的数据，修改后的数据也可通过鼠标右键到“导出活动数据”来保存。

4.3.4.2 删除光标之间的数据

主要是为了剔除某一段数据。删除两个光标之间的所有数据。这通常并不会删除已保存在文件中的数据，修改后的数据也可通过鼠标右键到“导出活动数据”来保存。

4.3.4.3 删除光标之外的数据

测试过程中，如果只有某一段数据有效（例如在溶出伏安法中），那么通过光标选取某一段有效数据，然后删除光标之外的数据，那么有效数据就被截取出来了，同时将是对有效数据进行分析，同时源文件不改变。修改后的数据也可通过鼠标右键到“导出活动数据”来保存。

4.3.4.4 数据转换工具

用于转换数据格式，支持批量转换，可将.csd、.cor、.z60 格式转换为易编辑的.txt 格式。转换得到的.txt 格式数据自动保存在原始文件所在目录中。转换后的.txt 数据可直接通过文本格式、excel 以及 origin 打开，便于用户分析绘图，但转换后的.txt 格式数据不是科思特电化学工作站测试的源文件，因此无法用 CS Analysis 数据分析软件打开。此外，对于.z60 格式的阻抗数据，转换后可以得到阻抗数据中的模值和相角数据。

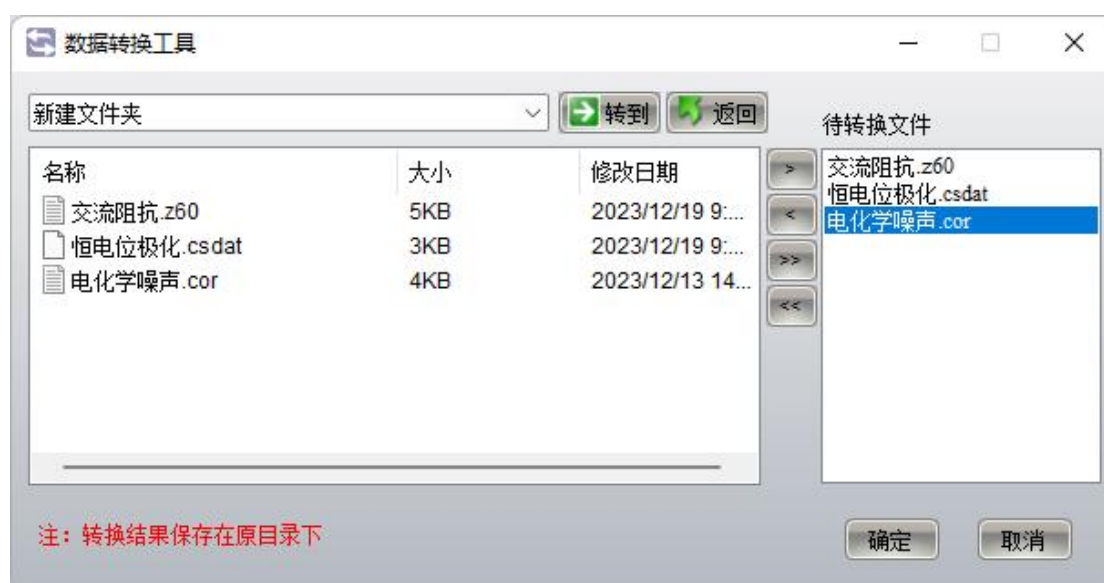


图 4.43 数据转换工具

4.4 窗口

4.4.1 关闭所有

关闭所有工程子窗口

4.4.1 主页

点击跳转到 CS Analysis 数据分析软件主页。

4.5 帮助

4.5.1 语言

点击语言，可切换中、英文两种语言。

4.5.2 联系我们

点击联系我们，进入武汉科思特仪器股份有限公司官网。

4.5.3 检查更新

点击检查更新，选择是否需要更新测试软件。

4.5.4 关于

点击关于，查看软件、硬件等详细信息。

4.6 联系方式

如果您在使用中对该产品有任何建议或意见，请及时与我们联系：

武汉科思特仪器股份有限公司

地址：武汉市东湖开发区光谷大道国际企业中心锦丰楼 A 座 505 室

网址：<http://www.corrtest.com.cn>

E-mail: service@corrtest.com.cn

电话：027-67849450，传真：027-67849890-39

武汉科思特仪器股份有限公司

武汉市东湖开发区光谷大道特 1 号国际企业中心锦丰楼 A 座 505 室

网址: <https://www.corrtest.com.cn/index.html>