



Venus lite series.

32/24/16/8 Channel, 0.975 ps

Streaming Time-Digital Converter

Venus Lite Software User Manual

UG-01-3-030-3, Feb.2026

Chronos Technology specializes in the development of ultra-high precision measurement equipment, offering nanosecond-level synchronization solutions tailored for the quantum, medical, and industrial sectors. For more product information, please visit our official website- www.chronosci.com



Copyright Notice

Copyright © 2025 by Chronos Technology Inc. All rights reserved.

This document contains information that is proprietary and confidential to Chronos Technology Inc. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording, or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher.



1. 上位机软件使用说明

8.1 软件安装说明

官方提供名为 Venus TDC v1.0 的上位机软件安装包。请用户按照以下安装向导完成安装。

为避免安装过程中受到干扰，建议在安装前暂时关闭系统的防火墙和杀毒软件。

8.1.1 Windows 系统

8.1.1.1 软件安装步骤

(1) 双击运行安装程序

显示“选择安装模式”界面时，可选择仅为当前用户或为所有用户安装。

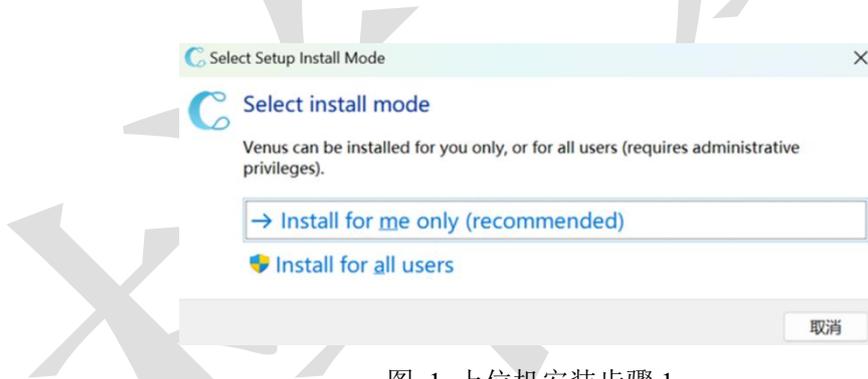


图 1 上位机安装步骤 1

(2) 选择程序安装路径

选择安装路径。请注意：目标文件夹需具备管理员写入权限。选择后，点击“下一步”。

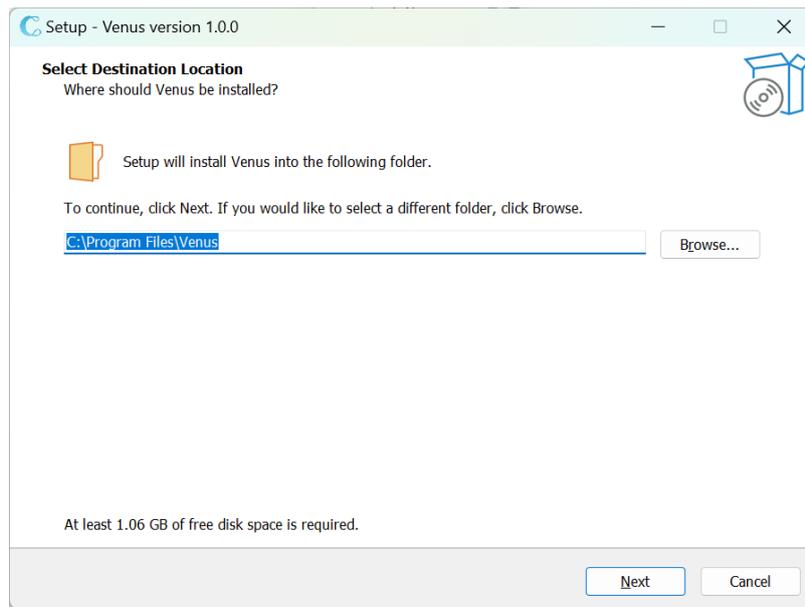


图 2 上位机安装步骤 2

(2) 选择是否创建桌面快捷方式

点击“下一步”；

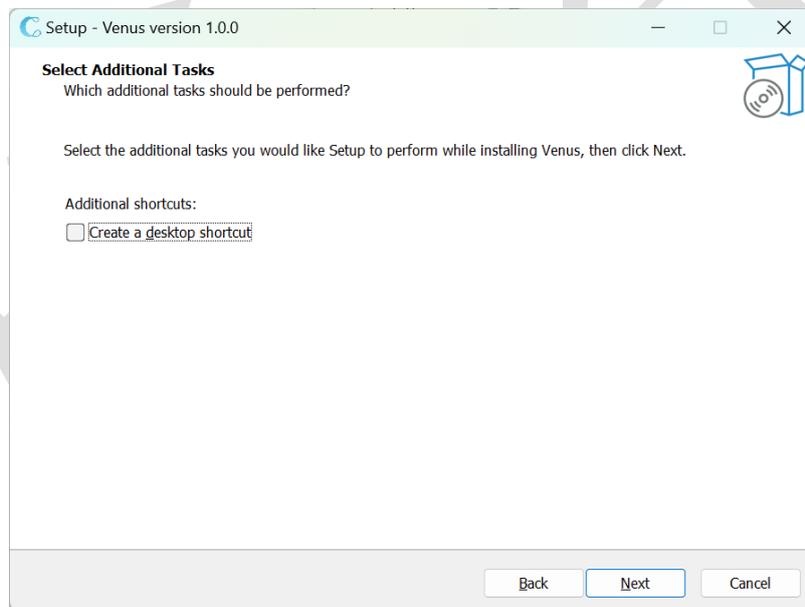


图 3 上位机安装步骤 3

(3) 开始安装

点击“install”，将开始安装过程；

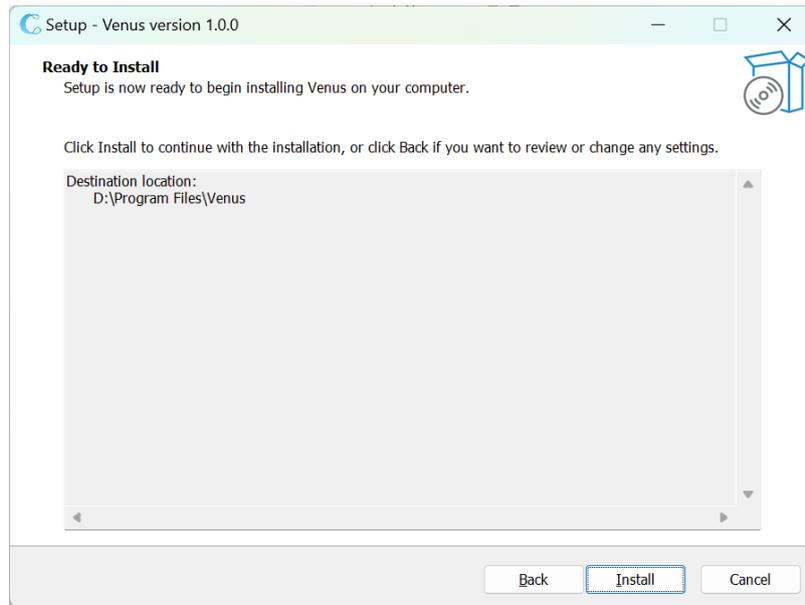


图 4 上位机安装步骤 4

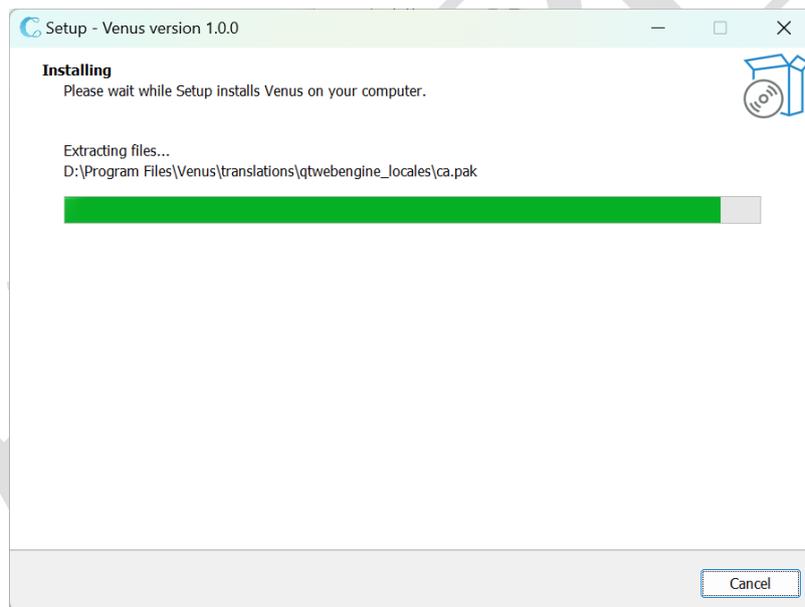


图 5 上位机安装步骤 4 安装过程

(4) 安装成功

如果安装成功，将显示如下界面。

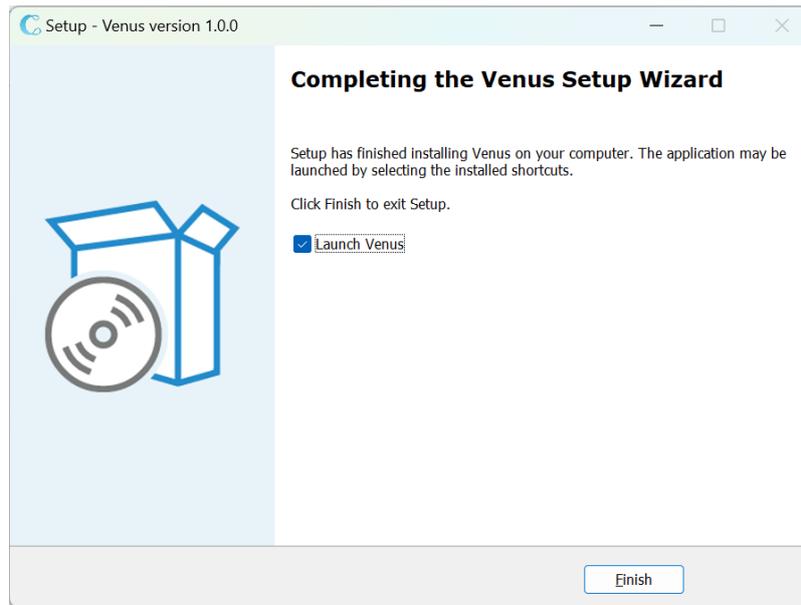


图 6 上位机安装完成

8.1.1.2 软件安装注意事项

(1) USB3.0 驱动安装

安装过程中，软件将静默安装 USB 3.0 驱动程序。设备上电后，若计算机无法识别设备，请首先确认 USB 3.0 驱动是否安装成功。如未成功，请进行手动安装。

(1.1) 打开设备管理器，确认 USB 设备未识别

一般在其他设备列表中，会发现有黄色警告标识的未识别 USB 设备。

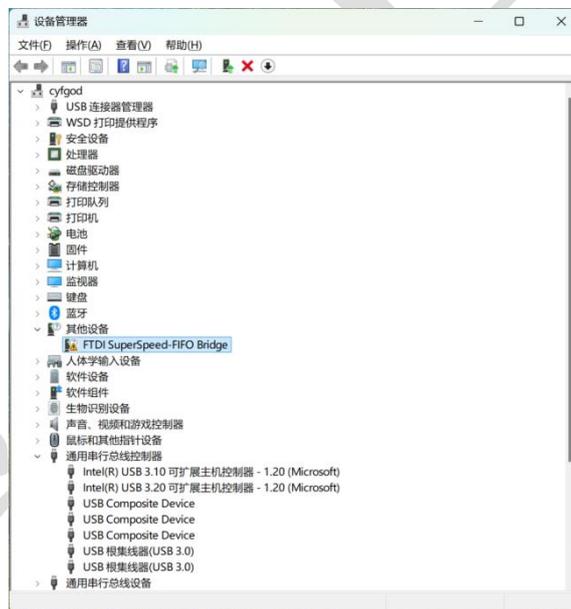


图 7 USB3.0 驱动设备管理器

(1.2) 双击这个未识别设备，选择“更新驱动程序”

在搜索驱动程序对话框中，选择“浏览我的电脑以查找驱动程序”。导航至程序安装目录下的 `\driver\FTD3XXDriver_WHQLCertified_v1.3.0.10\x64` 文件夹。

按照后续提示完成安装。





图 8 手动安装 USB3.0 驱动

(2) VC++运行库安装

安装程序将自动检测系统中是否已安装所需版本的 VC++ 运行库。若未安装或版本过低，程序将自动执行安装。

若启动软件后，出现应用程序报错或提示缺少 DLL 文件的情况，请尝试手动修复 VC++ 运行库。

请在软件安装目录下找到 `vc_redist.x64.exe` 文件，双击运行后，根据提示完成安装或修复（即覆盖安装）即可。



图 9 手动安装 VC++运行库

8.1.2 Linux 系统

8.1.2.1 软件安装步骤

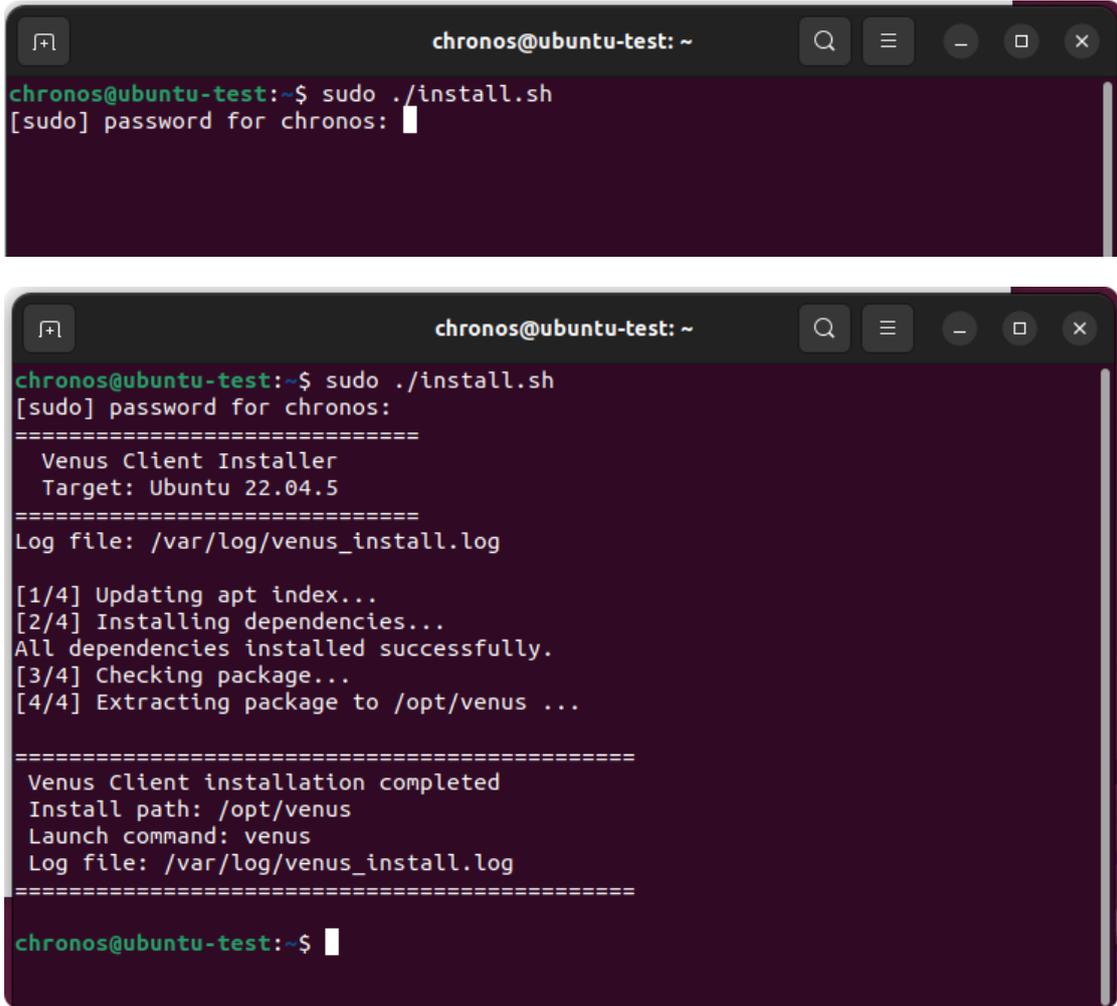
(1) 确认软件包

目前分发的软件包主要包括：

安装脚本文件：`install.sh`

程序压缩包文件：`venus-1.0.0.tar.gz`

(2) 打开终端，执行 `install.sh` 脚本



```
chronos@ubuntu-test: ~  
chronos@ubuntu-test:~$ sudo ./install.sh  
[sudo] password for chronos:   
  
=====  
Venus Client Installer  
Target: Ubuntu 22.04.5  
=====  
Log file: /var/log/venus_install.log  
  
[1/4] Updating apt index...  
[2/4] Installing dependencies...  
All dependencies installed successfully.  
[3/4] Checking package...  
[4/4] Extracting package to /opt/venus ...  
  
=====  
Venus Client installation completed  
Install path: /opt/venus  
Launch command: venus  
Log file: /var/log/venus_install.log  
=====  
chronos@ubuntu-test:~$
```

图 10 软件安装 Linux 命令

请注意，执行脚本需要 `sudo` 权限，输入用户密码。

安装成功安装后，会有相关提示。

(3) 软件运行

软件默认是安装在 `/opt/venus` 目录下，可以找到可执行文件 `venus`，运行程序。

首先是会弹接口选择页面，选择设备接口。

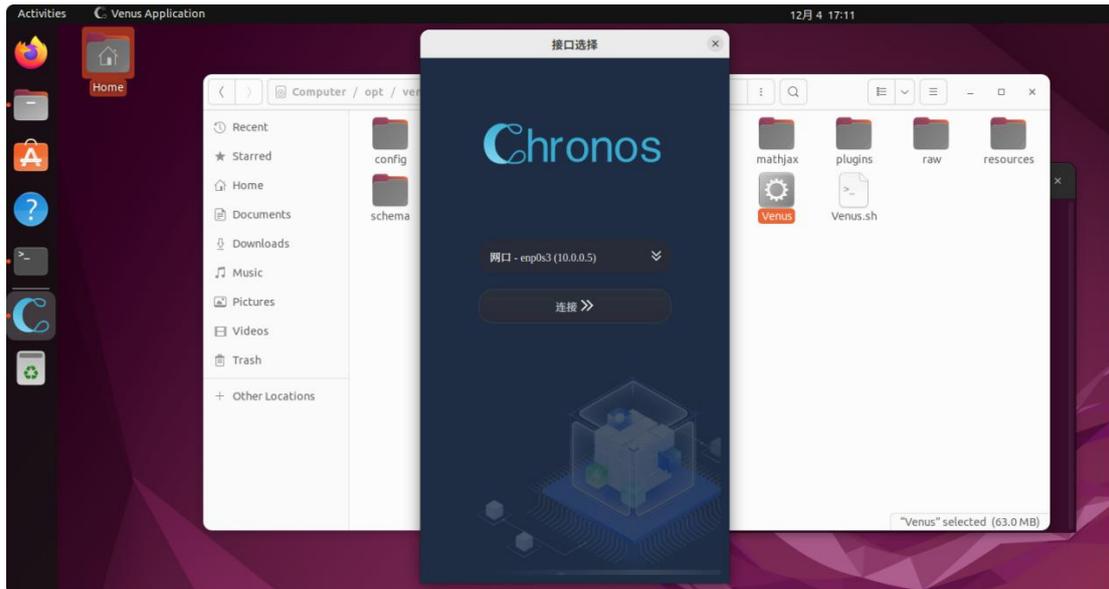


图 11 Linux 系统下的软件运行

所有的使用方法与 Windows 下相同。如果遇到问题，请联系时溯科技。

8.2 上位机电脑硬件要求

上位机软件需安装于运行 Windows 或 Linux 操作系统的个人电脑上。为充分发挥系统性能，计算机需满足以下软硬件要求。

表格 1 上位机电脑配置需求

	最低配置	推荐配置
操作系统	Windows 11 Ubuntu 22.04 LTS	Windows 11 Ubuntu 22.04 LTS
处理器	Intel: i5 4 核 8 线程 主频 1.6GHz AMD: Ryzen3 6 核 12 线程 主频 2.4GHz	Intel: 13th i7 16 核 24 线程 主频 2.1GHz AMD: Ryzen7 8 核 16 线程 主频 3.8GHz
内存	16G DDR3	64G DDR5
硬盘	100G SSD + 500G HDD	500G SSD + 1T HDD
USB 端口	USB3.0	USB3.0
显示器分辨率	分辨率 1920 * 1200	分辨率 1920 * 1200
万兆网卡（选配）	/	10Gtek: X710-DA4 Intel: X722-DA4
千兆网线	符合 CAT6 标准	符合 CAT7 标准

8.3 接口配置

Venus 提供三种对外数据接口：千兆网口、万兆网口和 USB 3.0。用户可根据不

同的应用场景与性能需求选择任一接口，所有接口的用户操作流程一致。

以下以 Windows 系统为例进行说明。

8.3.1 千兆网口

Venus 设备出厂默认配置如下：

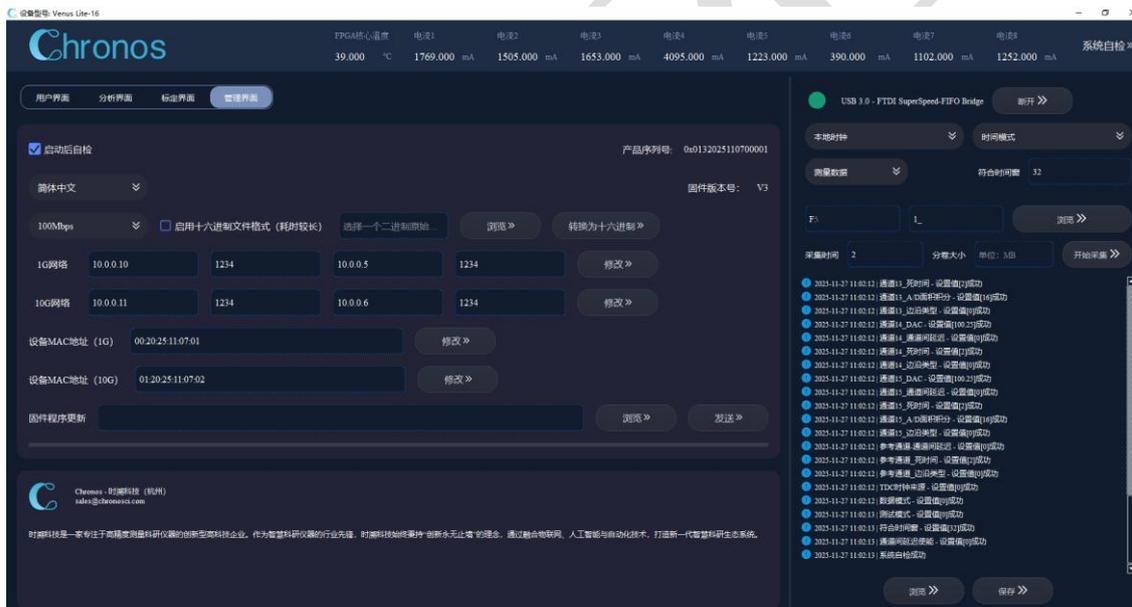
- 设备本地 IP 地址: 10.0.0.10
- 上位机电脑 IP 地址: 10.0.0.5
- 设备本地 MAC 地址: 12-34-56-78-90-AB
- 通信端口号: 1234 (设备与上位机默认使用相同端口)

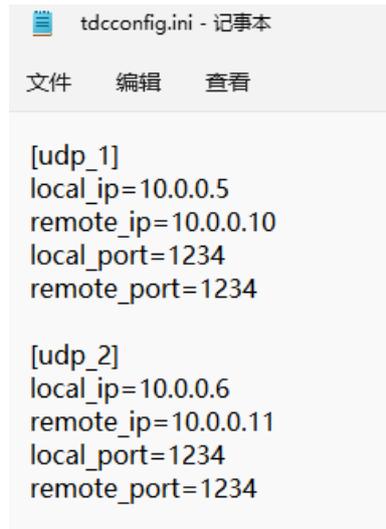
请按以下步骤建立千兆网连接：

- 1) 使用千兆网线将 Venus 设备的千兆网口与上位机电脑的千兆网口相连；
- 2) 打开电脑系统的“以太网属性”对话框，选择“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”属性，将上位机电脑的 IP 地址手动设置为 10.0.0.5；
- 3) Venus 设备上电后，等待约 5 秒钟。连接正常建立后，可在上位机电脑的“网络连接状态”中看到“速度: 1.0 Gbps”的提示；
- 4) 如需永久修改 IP 地址或端口号，可通过上位机软件的“管理界面”进行配置。新的设备地址和端口信息将保存在设备内部，下次开机时无需重新设置。
- 5) **重要：** 修改设备 IP 地址后，必须同步更新上位机软件配置文件。请打开软件安装目录下 `./config/tdcconfig.ini` 文件，将其中的 IP 地址和端口号修改为与新设备配置一致，否则软件无法正常连接。



图 12 上位机电脑千兆网网络设置





```
tdcconfig.ini - 记事本
文件 编辑 查看

[udp_1]
local_ip=10.0.0.5
remote_ip=10.0.0.10
local_port=1234
remote_port=1234

[udp_2]
local_ip=10.0.0.6
remote_ip=10.0.0.11
local_port=1234
remote_port=1234
```

图 13 网口 IP 和端口地址修改页面

8.3.2 万兆网口

Venus 设备出厂默认配置如下：

- 设备本地 IP 地址: 10.0.0.11
- 上位机电脑 IP 地址: 10.0.0.6
- 设备本地 MAC 地址: 12-34-56-78-90-AB
- 通信端口号: 1234 (设备与上位机默认使用相同端口)

请按以下步骤建立万兆网连接：

- 1) 安装万兆网卡到上位机电脑，如 Intel 的 X722-DA4，并正确安装驱动程序；
- 2) 使用 QSFP 转 SFP 接口，或者 QSFP 一分四路 SFP 接口带光纤。其中，第一路为默认万兆网有效 SFP 接口；
- 3) 打开电脑系统的“以太网属性”对话框，选择“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”属性，将上位机电脑的 IP 地址手动设置为 10.0.0.6；
- 4) Venus 设备上电后，等待约 5 秒钟。连接正常建立后，可在上位机电脑的“网络连接状态”中看到“速度: 10.0 Gbps”的提示；
- 5) 如需永久修改 IP 地址或端口号，可通过上位机软件的“管理界面”进行配置。新的设备地址和端口信息将保存在设备内部，下次开机时无需重新设置。

- 6) **重要：** 修改设备 IP 地址后，必须同步更新上位机软件配置文件。请打开软件安装目录下 `./config/tdcconfig.ini` 文件，将其中的 IP 地址和端口号修改为与新设备配置一致，否则软件无法正常连接。



图 14 万兆网物理连接示意图

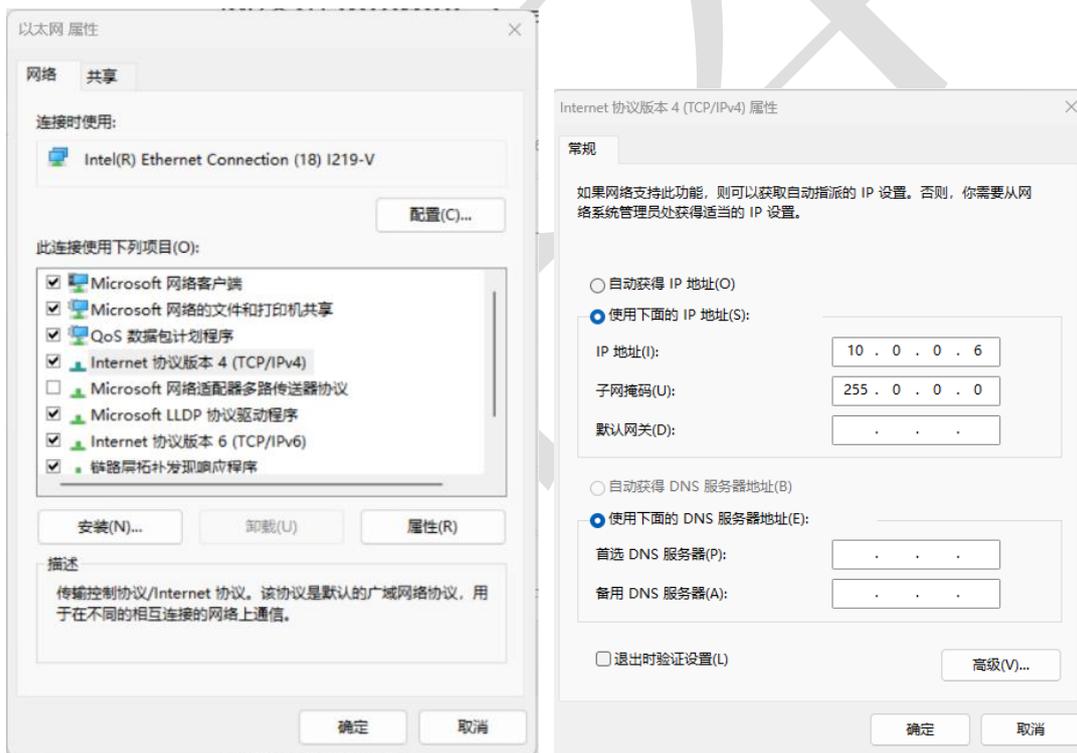


图 15 上位机电脑万兆网网络设置

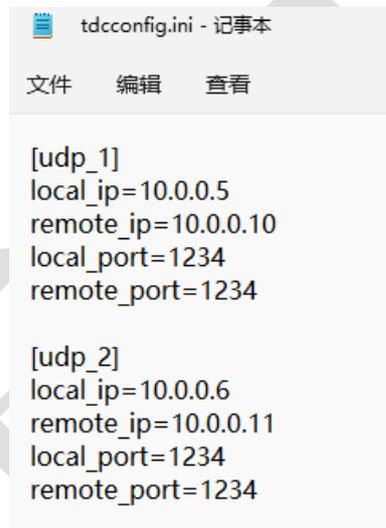
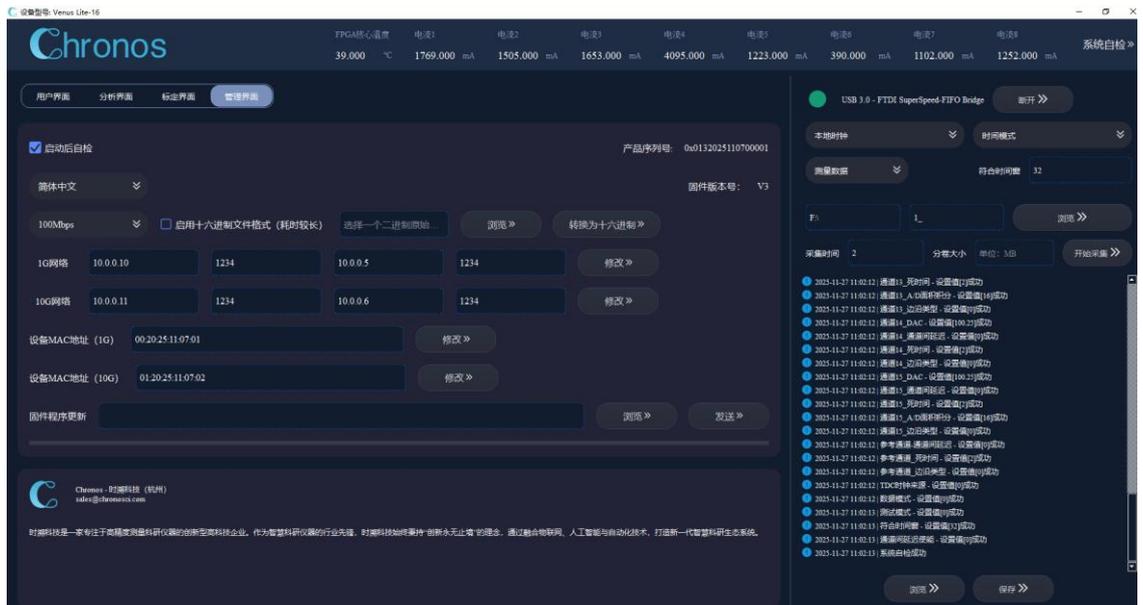


图 16 网口 IP 和端口地址修改页面

对于千兆网和万兆网，还可以通过交换机进行组网。具体的搭建过程可参考 11.2 节。

8.3.3 USB 3.0

用户需要按照以下步骤建立 USB 连接：

- 1) 使用 USB 线缆将 Venus 设备与上位机电脑连接；
- 2) 启动设备后，上位机电脑需安装 FTDI USB 驱动，驱动一般会在安装上位机软件中自动安装，如果无法识别，请按照 8.1.1.2 节中的说明进行手动安装。安装成功后，驱动信息显示如下所示。



图 17 USB3.0 驱动安装信息

8.4 界面介绍

- (1) Venus 上位机软件界面主要分为以下五个功能模块：登录页面、用户页面、分析页面、系统标定页面和管理页面；
- (2) 登录页面：该页面显示所有已成功连接的硬件接口。软件将自动检测 USB 3.0、千兆网及万兆网接口的连接状态，仅将连接正常的接口显示于列表中。用户可根据需要从中选择任一接口进行后续操作；
- (3) 用户页面：该页面提供数据采集相关的各项参数配置选项及原始数据采集功能；
- (4) 分析页面：该页面用于在线对采集的原始数据进行实时分析，使用户能够快速观测测试结果。此页面的功能会持续更新迭代；
- (5) 系统标定页面：该页面用于对设备模拟前端的基线（Baseline）和噪声性能进行标定与校准；
- (6) 管理页面：该页面提供辅助功能，如软件语言选择、保存数据格式、设备以太网地址配置、下位机固件在线更新等。

8.5 登录页面



图 18 登录页面

登录页面将显示所有已成功连接的接口驱动。软件会自动检测 USB 3.0、UDP1G (千兆网) 和 UDP10G (万兆网) 接口的状态，并将连接正常的接口列于表中。用户可根据需要从中选择其一，点击“连接”按钮后即可进入软件主页面(用户页面)。

8.6 用户页面

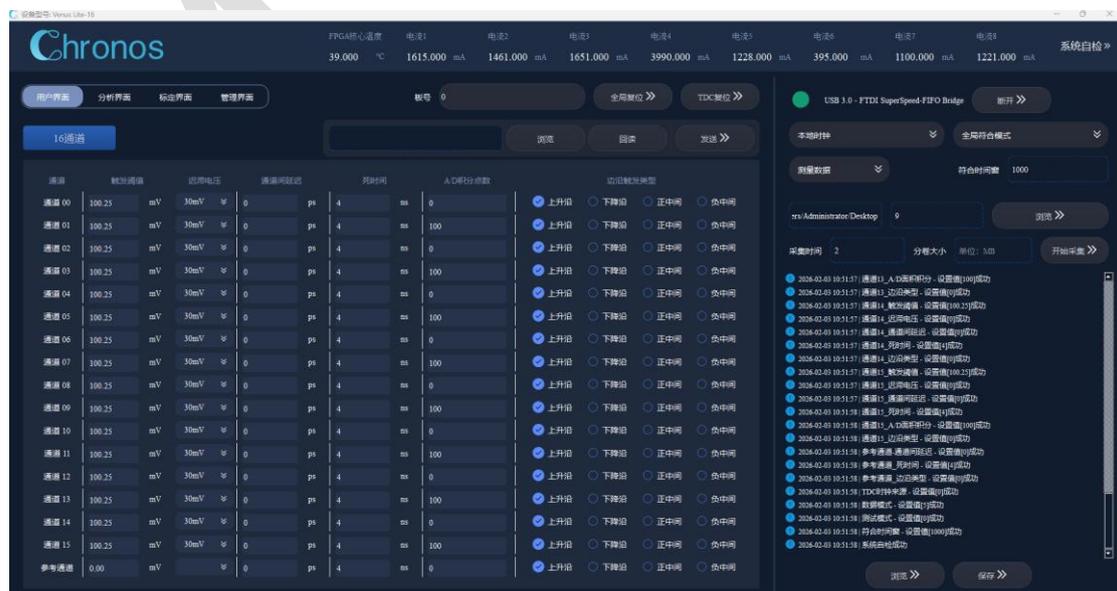


图 19 用户页面

用户页面主要包含以下四个功能区：

(1) 状态监控区：位于页面上方，实时显示系统关键状态参数，包括：FPGA 核心温度、各供电支路电流值、硬件接口连接状态等；

(2) 参数配置区：提供核心寄存器配置功能，主要包括

(2.1) 通道配置：通道间延迟对齐使能、迟滞电压、各通道时间甄别阈值、时间延迟值、测量死时间、ADC 积分时间、测量信号边沿设置等。以 Venus Lite16 为例，通道分为 16 路测量通道和 1 路参考通道，其中参考通道没有模拟前端电路，直接输入数字脉冲，除此之外，其他测量与普通通道无异；

(2.2) 系统配置：TDC 时钟源选择、数据采集模式设置、符合时间窗设置等。

(3) 数据采集区：用于控制数据采集任务，可设置数据文件的保存名称、存储路径、采集时长、分卷大小等参数；

(4) 操作日志区：记录用户的所有操作与系统事件，用户可保存日志文件以备后续查阅，用于追踪和复现实验过程。

注意：如果因为意外或者测试人员造成的设备与上位机电脑通讯中断，如果设备没有重新上下电，重新建立连接后上位机软件会静默回读当前设备的所有当前状态信息。因此，仅通信重新连接不会造成下位机与上位机状态不一致。

8.6.1 比较阈值配置

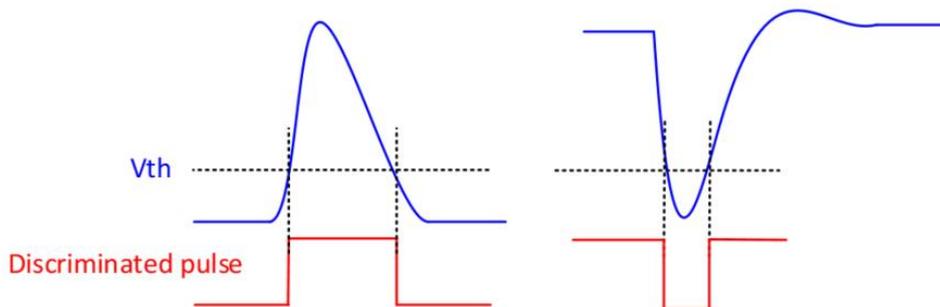
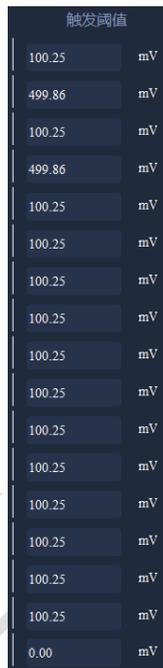


图 20 模拟信号比较功能示意图

Venus 模拟前端采用上升沿定时（Leading Edge Timing）电路。用户可通过

上位机软件页面，以 0.6 mV 的分辨率配置各通道比较器的阈值电压（单位：mV），配置范围为-2000 mV ~ +2000 mV。输入模拟信号经比较器甄别后，被转换为数字脉冲。Venus 将计算脉冲的上升沿与下降沿触发时间（时间戳），并可在线计算脉冲的过阈时间（Time over Threshold, TOT）。

为准确设置触发阈值，官方建议在首次使用设备或外界环境（如温度）发生显著变化时，先执行一次系统标定（详见第 8.8 节），然后再配置阈值。设备出厂前已默认完成此项操作，用户亦可自行标定。



触发阈值	
100.25	mV
499.86	mV
100.25	mV
499.86	mV
100.25	mV
0.00	mV

图 21 触发阈值配置 GUI 示意图

用户可通过上位机软件页面修改阈值，也可采用导入配置文件的方式快速完成批量配置。通过文件配置的操作步骤如下：

(1) 加载文件： 点击用户页面上方的“浏览”按钮，导航至 `./config` 目录，选择 `DAC.txt` 配置文件。该文件左侧列为通道号，右侧列为对应的阈值电压值（单位：mV）；

(2) 发送配置： 点击“发送”按钮，上位机软件将自动读取文件内容并完成所有通道的阈值配置；

(3) 文件格式： `DAC.txt` 文件格式如下所示。用户可根据实验需求，直接修改此文件中的阈值数值；

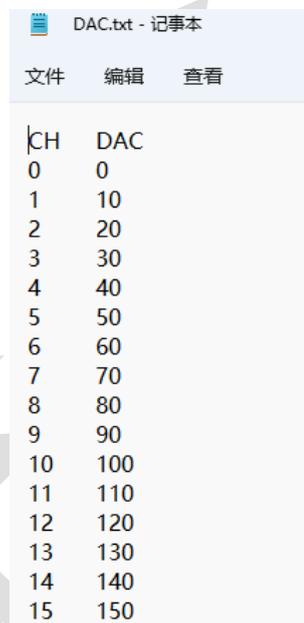
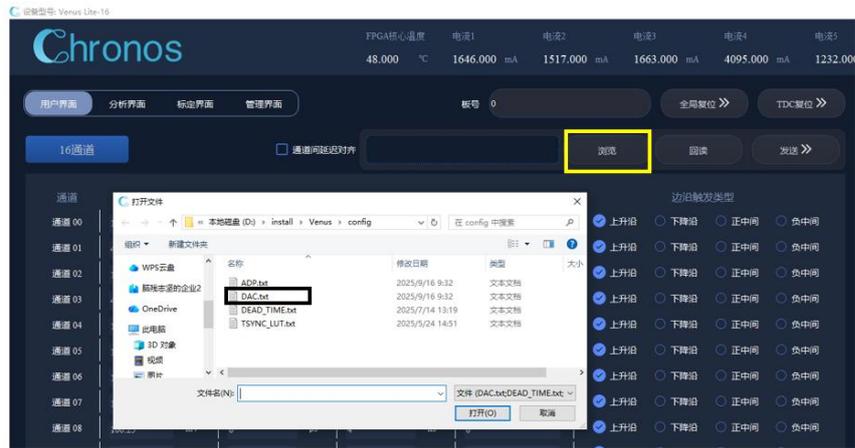


图 22 DAC.txt 文件格式要求（左侧列：通道号；右侧列：阈值电压，mV）

用户修改阈值后，改动的编辑框颜色会发生变化，配置完成后（点击回车键或者发送按钮），颜色回归正常。其他的配置也类似。

8.6.2 各通道迟滞电压配置

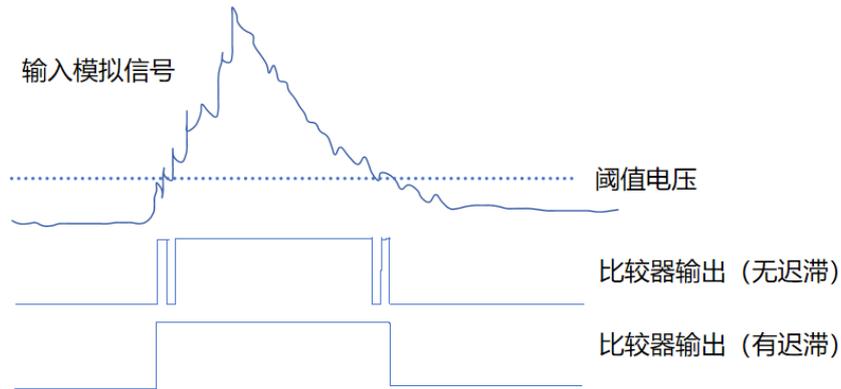


图 23 迟滞电压原理示意图

Venus 模拟前端采用边沿定时电路。用户可通过上位机软件页面，设置比较器的迟滞电压值，配置分为四个档位（1/30/40/70 mV）。输入模拟信号经比较器甄别后，被转换为数字脉冲。Venus 将计算脉冲的上升沿与下降沿触发时间（时间戳），并可在线计算脉冲的过阈时间（Time over Threshold, TOT）。如果系统噪声偏大，比较器可能在阈值电压附近反复被噪声触发，造成 TDC 编码错误和定时精度下降。通过设置迟滞电压，在某些应用中可以提高系统定时精度。一般来讲，建议先评估测试系统的噪声水平，迟滞电压设置超过系统噪声的峰峰值。

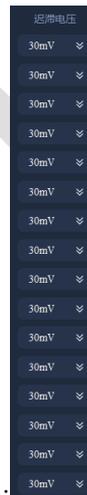


图 24 比较器迟滞电压配置 GUI 示意图

。

8.6.3 各通道延迟配置

用户可通过上位机软件配置各通道的电路延迟值，以实现通道间延迟对齐。延迟值单位为皮秒 (ps)，最小调节精度为 0.975 ps，调节范围为 1 us。

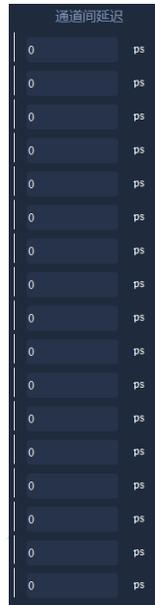


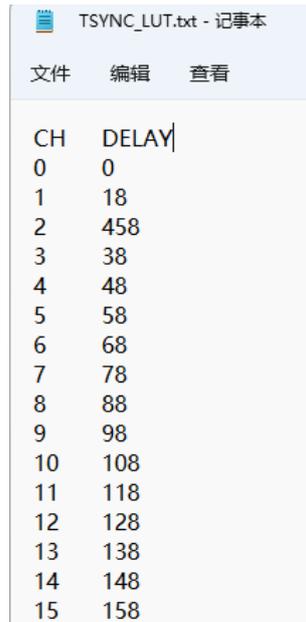
图 25 通道间延迟配置 GUI 示意图

配置延迟值可通过软件界面手动修改，也可通过导入配置文件进行批量快速配置。通过文件配置的操作步骤如下：

(1) 加载配置文件： 点击用户页面上方的“浏览”按钮，导航至 `./config` 目录，选择 `INTER_DEALY.txt` 配置文件；

(2) 发送配置： 点击“发送”按钮，上位机软件将自动读取文件内容并完成所有通道的延迟配置；

(3) 文件格式说明： `INTER_DEALY.txt` 文件格式如下所示。文件左侧列为通道号，右侧列为对应通道的电路延迟值（单位：ps，最小步进：0.975 ps）。



CH	DELAY
0	0
1	18
2	458
3	38
4	48
5	58
6	68
7	78
8	88
9	98
10	108
11	118
12	128
13	138
14	148
15	158

图 26 INTER_DEALY.txt 文件格式要求（左侧列：通道号；右侧列：延迟值，ps）

8.6.4 各通道死时间配置

用户可通过上位机软件为各通道的时间测量电路配置死时间（Dead Time）。对于后沿存在“振铃”（Ringing）现象的待测信号，设置死时间可有效滤除因振铃产生的无效触发，确保数据质量。

Venus 系统的死时间模型接近非瘫痪（非扩展）型（Non-Paralyzable Model）。死时间长度由用户设定，在该时间内发生的重复触发不会再引入额外的死时间。

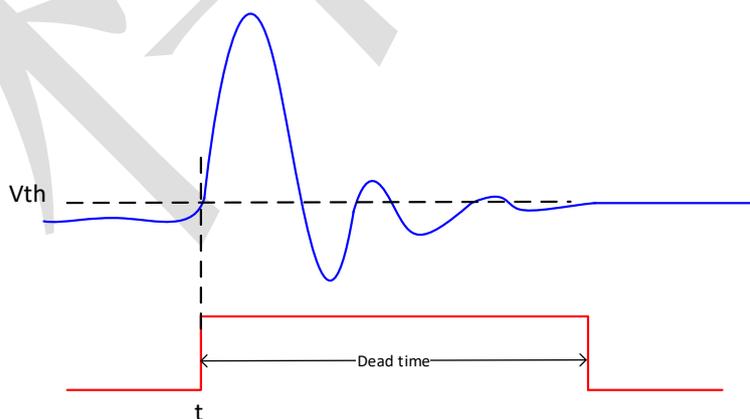


图 27 设置死时间以消除“振铃”带来的无用数据

用户可通过上位机软件界面或导入配置文件的方式，配置各通道的时间测量死时间，以实现快速批量设置。死时间单位为纳秒（ns），最小调节精度为 2 ns。

若用户输入值非 2 ns 的整数倍，软件将自动将其调整至最接近的合法值。默认情况下，系统测量死时间最小约 2 ns。

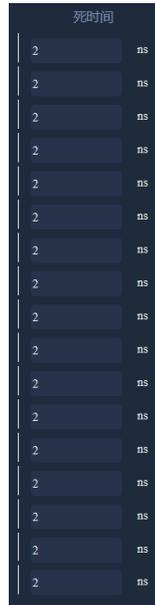
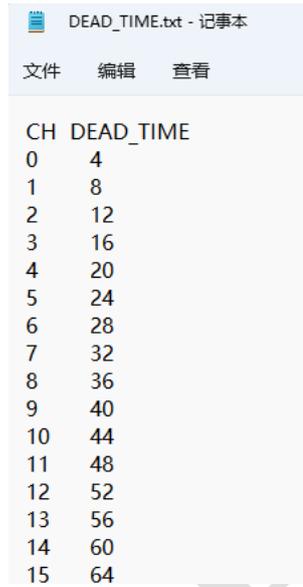


图 28 通道时间测量死时间配置 GUI 示意图

通过文件配置的操作步骤如下：

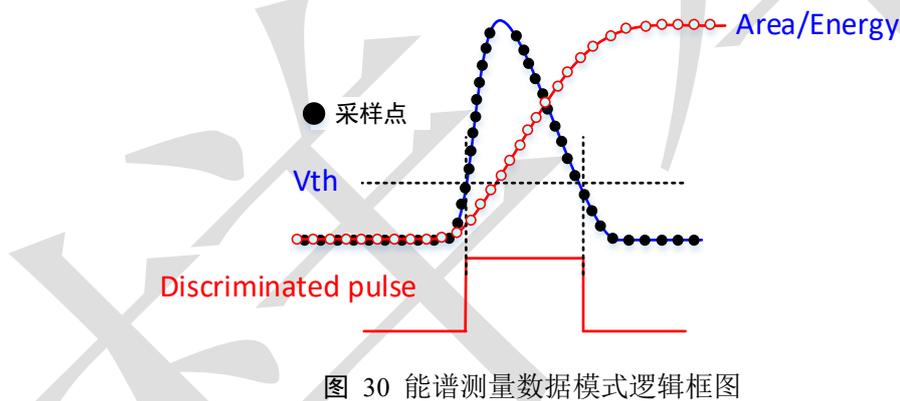
- (1) 加载配置文件： 点击用户页面上方的“浏览”按钮，导航至 `./config` 目录，选择 `DEAD_TIME.txt` 配置文件；
- (2) 发送配置： 点击“发送”按钮，上位机软件将自动读取文件内容并完成所有通道的死时间配置；
- (3) 文件格式说明： `DEAD_TIME.txt` 文件格式如下所示。文件左侧列为通道号，右侧列为对应通道的死时间值（注意：该值必须为 2 ns 的整数倍）。



CH	DEAD_TIME
0	4
1	8
2	12
3	16
4	20
5	24
6	28
7	32
8	36
9	40
10	44
11	48
12	52
13	56
14	60
15	64

图 29 DEAD_TIME.txt 文件格式要求（左侧列：通道号；右侧列：死时间，ns）

8.6.5 ADC 积分点数



如上图所示，部分通道（标记为 AD 的通道）在过阈触发后，Venus 将启动模数转换（ADC，采样率 50 MHz，分辨率 12 位）。用户可通过上位机软件设置采样点个数，此数值即为能谱模式中的积分点数。

每次触发，Venus 会输出指定点数的幅度信息序列，用户可据此功能分析模拟信号的波形。同时，系统会将这些采样点的幅度值累加，得到信号面积（即能量信息），用户可借此功能进行能谱测量。

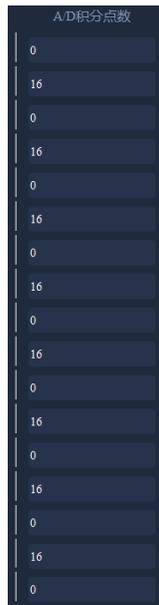


图 31 A/D 通道采样点个数配置 GUI 示意图

重要提示： Venus 系统会自动实时计算并扣除基线，以确保测量准确性。

用户可通过上位机软件界面或导入配置文件的方式，配置各通道的 ADC 积分点数。通过文件配置的操作步骤如下：

- （1）加载配置文件： 点击用户页面上方的“浏览”按钮，导航至 `./config` 目录，选择 `ADP.txt` 配置文件；
- （2）发送配置： 点击“发送”按钮，上位机软件将自动读取文件内容并完成所有通道的积分点数配置；
- （3）文件格式说明： `ADP.txt` 文件格式如下所示。文件左侧列为通道号，右侧列为对应通道的 ADC 积分点数。



CH	AD_INTEGRATION_POINT
1	2
3	6
5	10
7	14
9	18
11	22
13	26
15	30

图 32 ADP.txt 文件格式要求（左侧列：通道号；右侧列：积分点数）

8.6.6 信号边沿选择

Venus 可测量输入模拟信号的上升沿、下降沿时间戳，以及上升沿与下降沿时间平均值（记作 MID 方式）。用户可通过软件界面中的“边沿触发类型”选项卡进行配置。选择原则取决于待测信号的极性和目标边沿：

（1）正脉冲： 若需测量脉冲上升沿（第一个边沿）的时间戳，应选择“上升沿”；

（2）负脉冲： 若需测量脉冲上升沿（第一个边沿）的时间戳，应选择“下降沿”；

（3）对于某些应用，需要测量信号上升沿时间戳与信号下降沿时间戳的中心处的时间，这种方式可以减小信号幅度或者直流基线变化对上升沿定时位置的影响（即 Time Walk 效应），如图 35 所示。

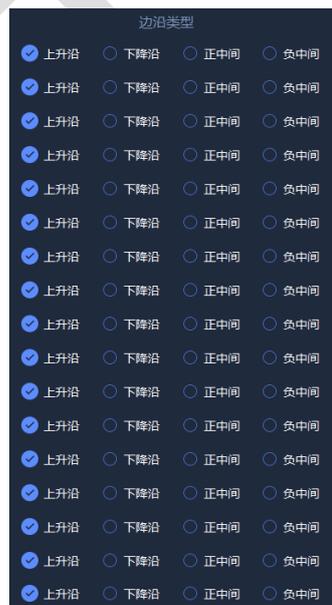


图 33 边沿采集模式配置 GUI 示意图

配置示意图如下所示。

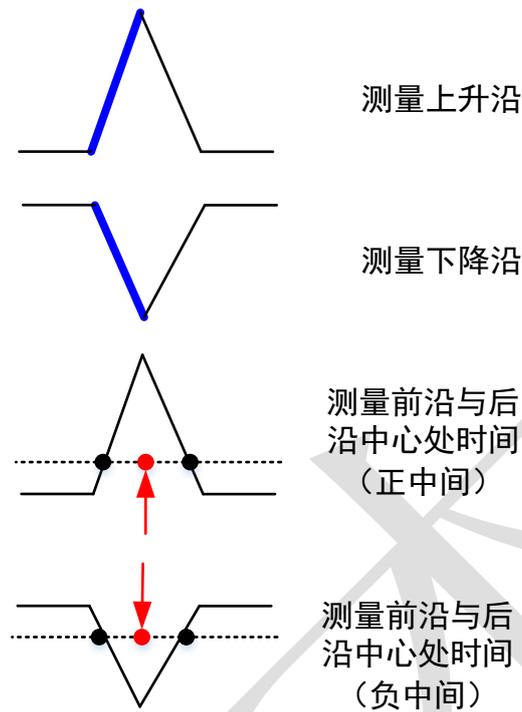


图 34 测量边沿时间戳信息选择举例（假如测量第一个边沿时间戳信息，如果输入正向脉冲，用户应选择测量上升沿；如果输入负向脉冲，用户应该选择测量下降沿。如果信号 Time Walk 或者基线漂移较大，且信号两个边沿定时性能均佳时，可以选择中间模式。）

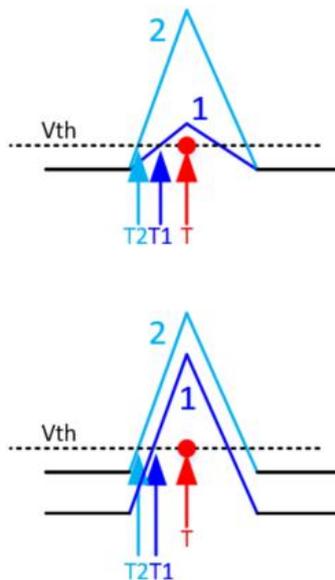


图 35 MID 测量方式举例说明（以正中间模式为例。上图：输入信号 1 幅度较小，过阈时间 T_1 ，输入信号 2 幅度较大，过阈时间 T_2 。 T_1 与 T_2 之间存在 Time Walk。采用正中间方式，对于某些信号形状固定的情形下，能够有效减小 Time Walk 的影响；下图，输入信号 1 直流基线较小，过阈时间 T_1 ，输入信号 2 直流基线较大，过阈时间 T_2 。 T_1 与 T_2 之间存在定时差。采用正中间方式，对于某些信号形状固定的情形下，能够有效减小定时差的影响。）

另外，需要注意的是，当进行 TOT 测量时，选择上升沿和下降沿会得到不同的脉宽测量结果，如下图所示。用户需要根据待测信号的特征和测量需求，选择合适的边沿测量模式。

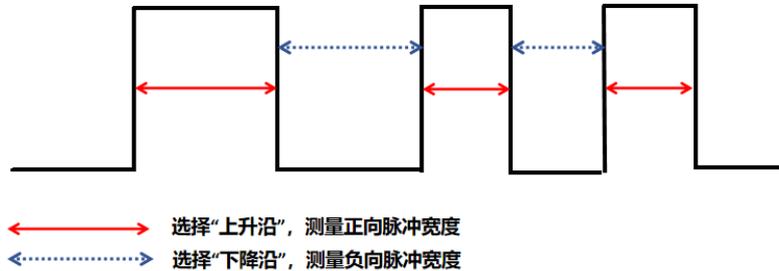


图 36 测量边沿时间戳信息选择举例（选择“上升沿”，TOT 测量中测量正向脉冲宽度；选择“下降沿”，TOT 测量中测量负向脉冲宽度。）

8.6.7 采集模式选择

系统配置需按以下步骤进行：

1. 选择时钟源

- 本地时钟：由 Venus 内部晶振产生，适用于单设备独立测试；
- 外部时钟：来自外部时钟输入接口，用于多设备组网同步测试。

2. 选择触发源

- 测量数据：使用外部输入的真实待测信号作为触发源。此为绝大多数实际应用场景下的选项；
- 内部触发：使用系统内部产生的脉冲信号作为触发源（通常用于自检或功能验证）。

3. 选择采集模式

根据测量需求，从以下模式中选择其一：

- A/D 测量数据模式
- 面积测量数据模式
- 全局符合数据模式
- 参考符合数据模式
- 过阈时间测量数据模式
- 能谱全局符合数据模式

- 双沿时间数据模式
- 周期测量数据模式

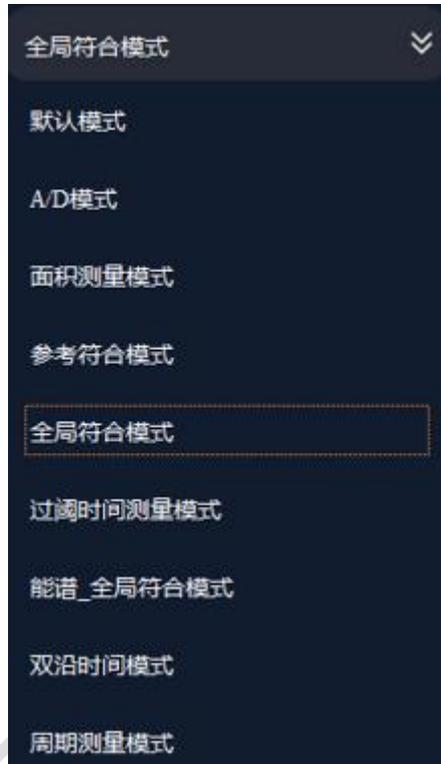


图 37 数据采集模式选择

数据采集模式解释如下：

- (1) 全局符合数据模式（所有通道有效）：在此模式下，任一通道的输入信号过阈触发后，Venus 将对所有通道产生的时间戳进行在线实时排序与比较。仅当两个事件的时间差处于用户预设的符合时间窗（通过上位机软件设置，单位：ps）内时，系统才会输出一次符合事例的有效数据（包含通道号、时间差等信息）。其在线符合事例逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.2 节；
在线符合逻辑图参见附录 F。

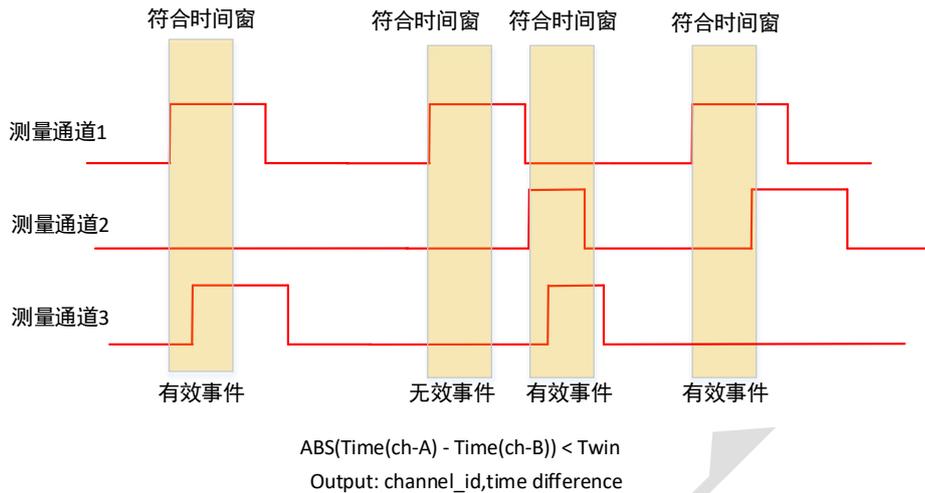


图 38 在线时间全局符合逻辑（三通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，判断是否满足符合条件。

- (2) 参考符合数据模式（参考通道+所有测量通道有效）：在此模式下，任一通道的输入信号过阈触发后，Venus 将对所有通道产生的时间戳进行在线实时排序与比较。仅当两个事件的时间差处于用户预设的符合时间窗（通过上位机软件设置，单位：ps）内，且其中一个通道为参考通道时，系统才会输出一符合事例的有效数据（包含通道号、时间差等信息）。其在线符合事例逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.2 节；

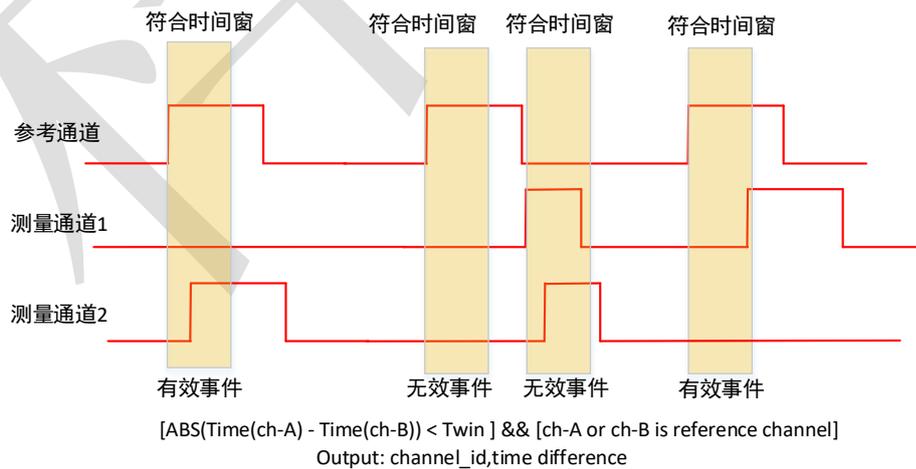


图 39 在线时间参考符合逻辑（参考通道+两个测量通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，且其中某个通道为参考通道，判断是否满足符合条件。

需要注意的是，这个模式可以看作全局符合模式的一个特例。使用全局符合模式

和离线数据筛选，可以达到相同的效果。参考电路因为没有前沿定时模拟电路，时间延迟温漂较小，此通道也可以作为标定前沿定时模拟电路温漂的一个参考。

- (3) 过阈时间测量数据模式（所有通道有效）：在此模式下，通道过阈值触发后，Venus 会检测信号的上升沿与下降沿时间，并实时计算前下降沿的时间差，作为信号的脉宽值（TOT width）。该测量逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.5 节；

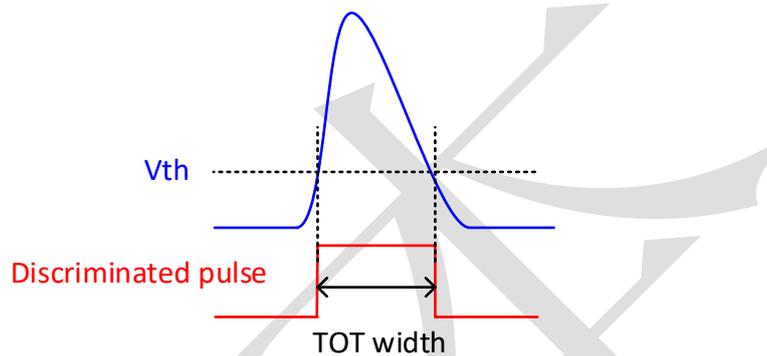


图 40 过阈时间测量逻辑框图（以正信号为例，用户应该“上升沿”边沿采集模式）

- (4) ADC 测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道过阈值触发后，Venus 将以 50 MHz 的采样率和 12 位的分辨率对信号进行模数转换。用户可通过上位机软件设置采样点数（该点数也对应于能谱模式中的积分门宽）。此功能可用于观测模拟信号的波形。该功能的逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.3 节；

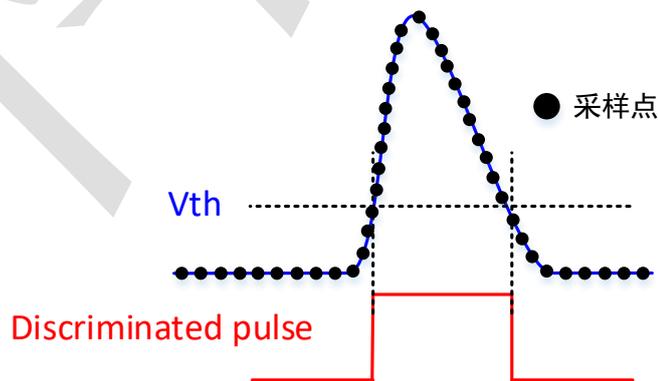


图 41 ADC 测量数据模式逻辑框图

- (5) 面积测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道过阈值触发后，Venus 将以 50 MHz 的采样率和 12 位的分辨率对信号

进行模数转换。用户可通过上位机软件设置采样点数（此数值即为能谱测量的积分门宽）。Venus 将对门宽内的采样点进行累加（积分），所得的面积值即代表了信号的面积（能量）信息。此功能主要用于测量输入信号的能谱。其逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.4 节；

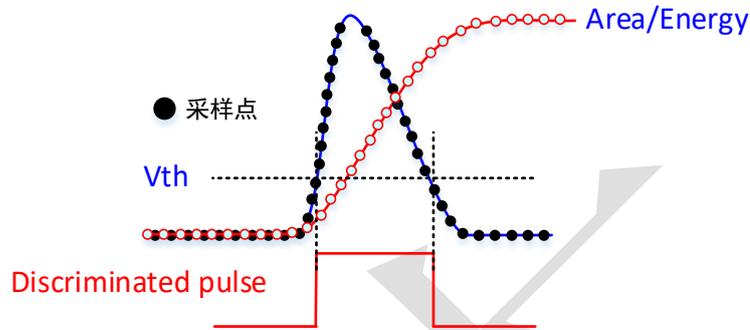


图 42 能谱测量数据模式逻辑框图

- (6) 能谱全局符合测量数据模式（标注有 ADC 的通道有效）：在此模式下，当指定的通道发生过阈值触发后，Venus 会对信号的定时信息进行实时比较。当两个通道事件的时间差处于用户通过上位机软件设置的时间窗（单位：ps）内时，才将该符合事件的有效数据输出，数据内容包括：通道号、时间差值、以及相应通道的能量信息。其在线符合测量逻辑框图如下所示。具体数据格式参照 12.6 节；

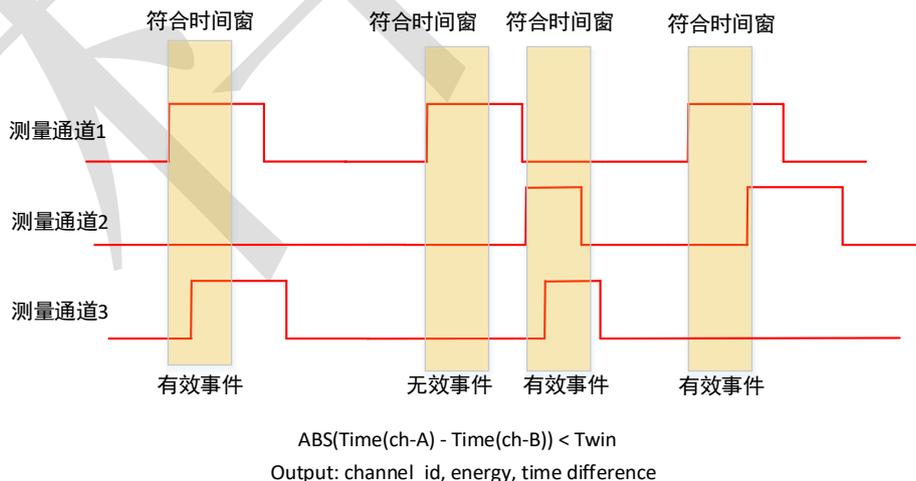


图 43 时间-能谱全局符合测量数据模式逻辑框图（三通道举例，实际为全通道参与符合算法）框图（测量事件边沿：上升沿）。用户设置符合时间窗，选择时间全局符合数据模式，系统会根据两个事件的时间差信息，判断是否满足符合条件。

此外，用户还可以在软件上配置能量窗，只有能量落入能窗范围内的数据才为有效数据。此模式机理和全局符合模式相同，区别仅仅是此模式输出了符合通道的面积/能量信息，在需要能量信息的应用场景（如 PET 符合探测器）中有较大的意义。

- (7) 双沿时间戳数据模式（所有通道有效）：在此模式下，当通道过阈值触发后，Venus 会将信号的上升沿与下降沿的时间戳信息一并输出。用户可据此分析两个边沿的时间戳等信息，以用于分析、计算和事件筛选。时间戳的起始时刻为 TDC reset 或者外部 Sync 信号输入时刻。具体数据格式参照 12.7 节；
- (8) 周期测量数据模式（所有通道有效）：在此模式下，用户输入一个时钟信号，Venus 会计算周期信号的高电平持续时间和周期信息，用户可以计算其频率、占空比等信息。具体数据格式参照 12.8 节；

综上所述，相关采集模式选择的信息见下表所示。

表格 2 裸数据采集模式说明

采集模式	英文名称	有效通道	用户需要配置信息
时间参考符合	Ref-coins	参考通道+所有测量通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗等
时间全局符合	Global-coins	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗等
过阈时间测量	TOT	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
A/D 测量	A/D	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/积分点数等
面积测量	Area	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/积分点数等

能谱全局符合	Area Coins	标注有 ADC 的通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源/符合时间窗/积分点个数等
双沿时间	Dual Time	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等
周期测量	Period measurement	所有通道	时间甄别阈值/死时间/时间延迟/TDC 时钟来源等

8.6.8 测量数据保存

测量数据保存，用户需要指定数据存储的路径，文件名，采集时间和数据包分卷等。其中，采集时间单位为秒，文件名系统会在后缀中自动加入当前的系统时间，分卷大小不设置默认不分卷，最大分卷大小（存储的每个文件大小）不超过 10 GB。此外，Venus 支持原始数据格式为 .bin 或者 .hex，即二进制数据还是十六进制数据，用户可以在管理界面中选择。



图 44 测量数据保存配置

综上，用户界面各个输入参数的合理范围、有效通道等如下表所示。

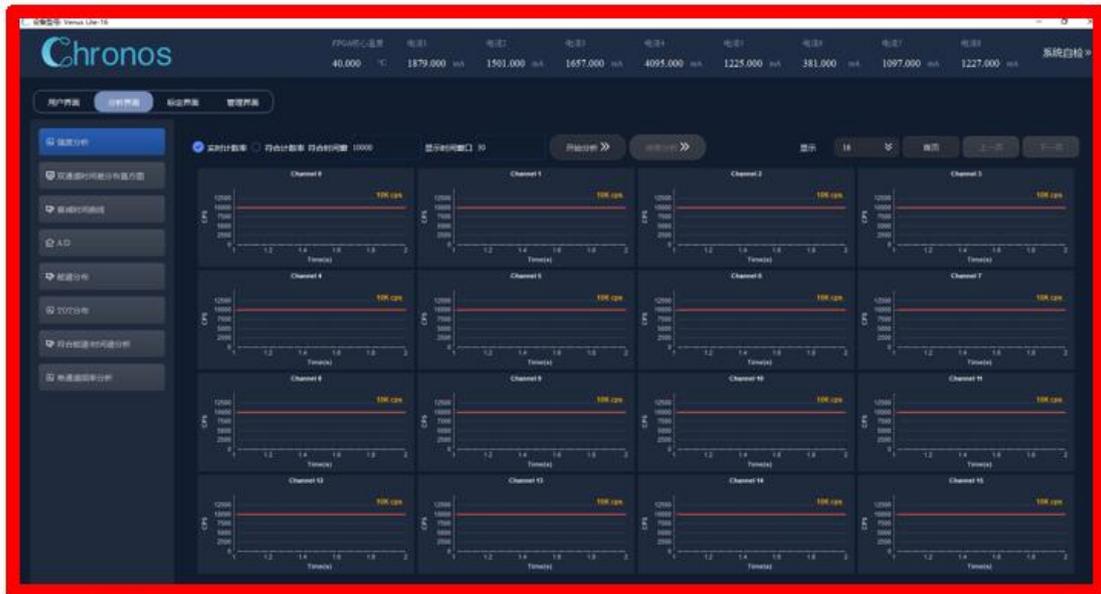
表格 3 上位机软件用户界面各个输入参数说明

输入内容	合法范围	有效通道	说明
DAC	-2000 mV ~ +2000 mV	CH0-CH15	甄别阈值
通道间延迟	0 - 10 us	CH0-CH15、参考通道	通道延迟值
死时间	2 ns - 100 us	CH0-CH15、参考通道	时间测量死时间
A/D 积分点数	0 - 65535	A/D 通道	A/D 采用和积分点数
边沿类型	上升沿、下降沿、正中间、负中间	CH0-CH15、参考通道	测量信号边沿类型
符合时间窗	0 - 16 us	全局	单位 ps
采集时间	> 0, 单位秒	全局	采集时间
分卷大小	0 - 10 GB	全局	默认不分卷

8.7 分析页面

用户分析界面作为 8.6.6 节描述的各种采集模式的结果可视化输出，方便用户快速地得到数据分析结果和当前实验正确性验证。对于用户将 Venus 集成到整个实验平台中的需求，采用 API 接口方式是更好的选择。

8.7.1 强度分析



探测器接入所有测量通道

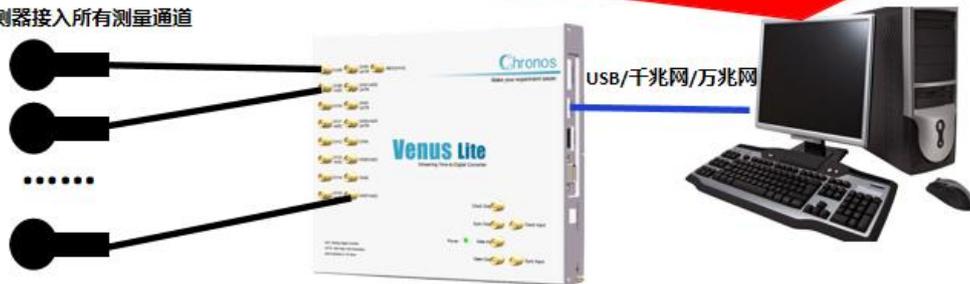
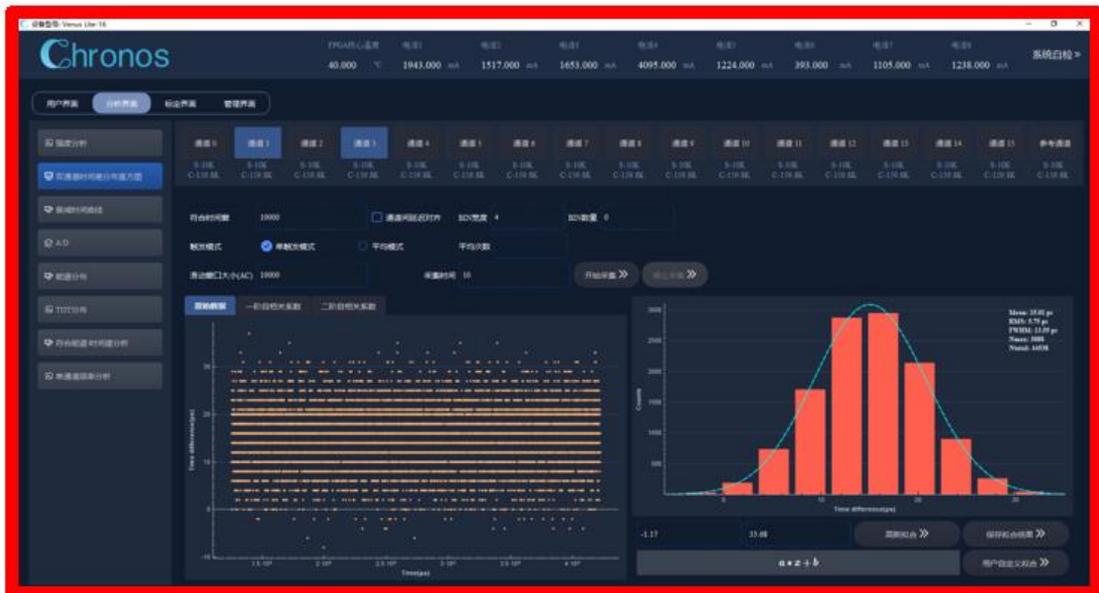


图 45 各通道强度（计数率）分析

如上图所示，用户可进入“强度分析”功能页，设定总采集时间并启动任务。启动后，Venus 会开始工作，并以每秒一次的频率刷新和显示所有通道的实时计数率（Singles Counts Per Second, SCPS）和符合计数率（Coincidence Counts Per Second, CCPS）。此功能为系统调试和性能评估提供了关键工具。

8.7.2 双通道时间差分布直方图



探测器接入所有测量通道

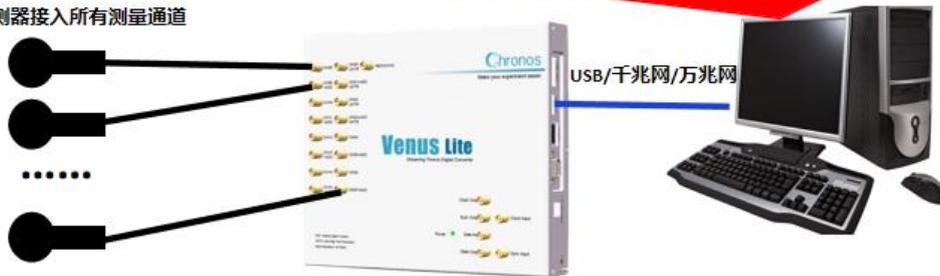


图 46 双通道时间差分布直方图

如上图所示，用户需先选择两个分析通道，并设置采集时间、符合时间窗、触发模式（单次/平均）及平均次数、直方图显示 BIN 宽等参数，随后点击“开始采集”。上位机软件会将双通道的时间差分布以直方图形式实时显示。

用户可手动输入或直接在直方图上框选拟合区间，并执行高斯拟合分析。软件将自动计算并显示拟合结果，包括：数据点数、最大值、平均值、标准差 (σ) 和半高全宽 (FWHM)。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合。双击函数设置框即可弹出函数键入窗口（如下图所示），输入任意函数表达式后即可进行拟合。



图 47 自定义拟合函数键入窗口

在函数输入窗口中，根据规定的格式输入自定义函数表达式（其中常量参数用 $a, b, c, d...$ 表示，自变量用 x 表示），随后点击“自定义拟合”按钮。上位机软件将执行拟合运算，并将得到的拟合参数（ $a, b, c, d...$ ）的数值结果显示出来。所有拟合结果均可保存。

另外，Venus 还提供实时的时间差一阶和二阶归一化自相关系数结果，用户需要输入自相关系数的统计个数（即滑动窗口大小）。

此外，Venus 还实时显示各通道的单触发计数率（S）和符合计数率（C），在通道选择按钮下发实时显示。

8.7.3 Start-Stop 分组测试

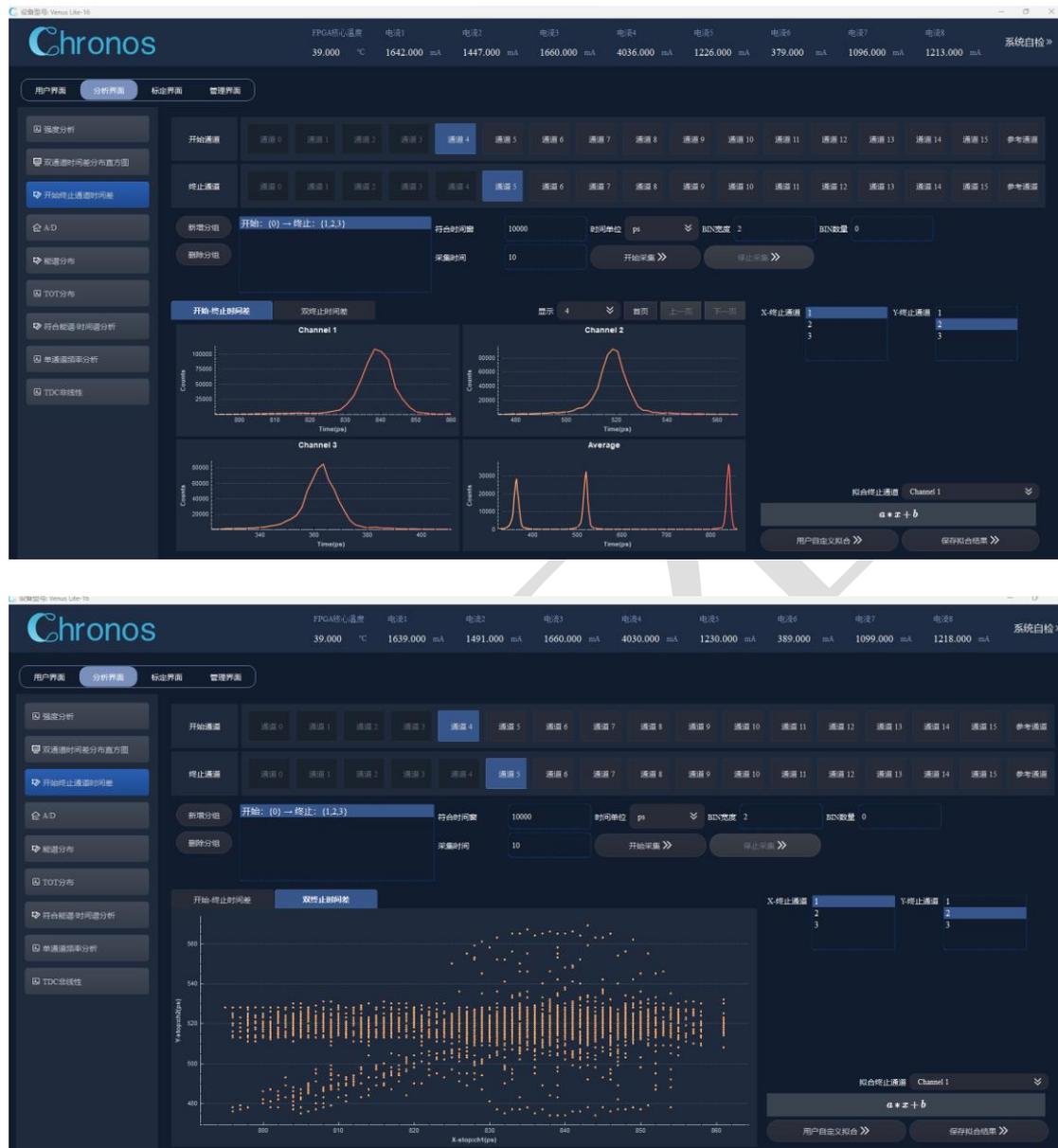
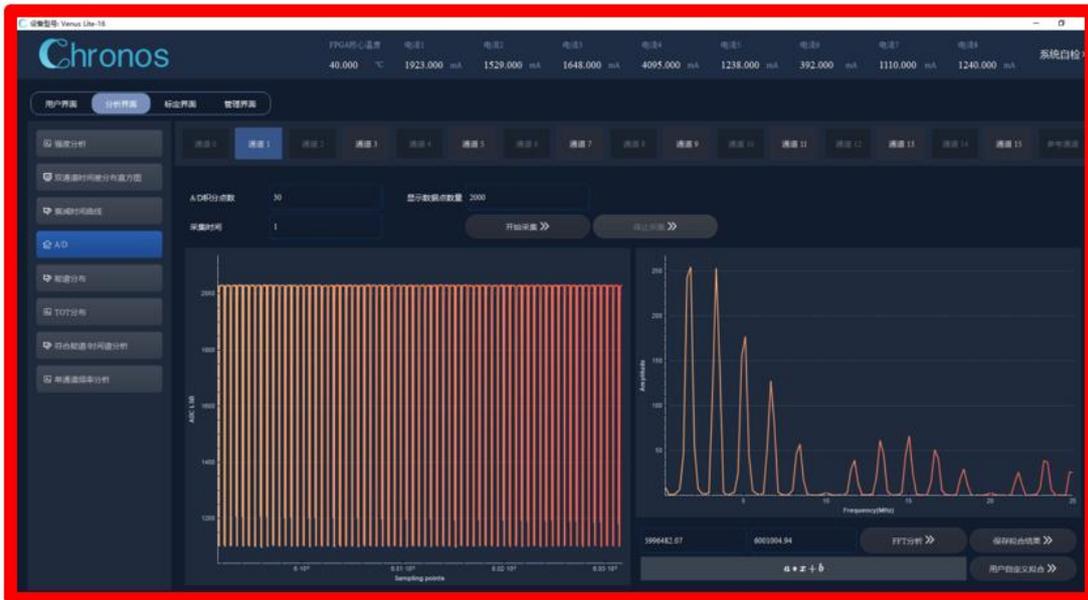


图 48 Start-stop 分组测试界面

如上图所示，在“开始和终止通道时间差”分析页面中，用户需选择一个 Start（起始）通道和多个 Stop（停止）通道，并新建分组，然后设置采集时间与符合时间窗，随后点击开始采集。上位机软件将统计所有 Stop 通道与 Start 通道的时间差，并绘制时间差的分布直方图和所有通道的平均分布（最后一张图）。该直方图反映了事件发生的时间延迟分布，可用于进一步分析如荧光寿命等物理特性。用户可以设置多个分组进行测试和分析。

另外，用户还可以选择任意 2 个终止通道，画出两个终止通道与起始通道的时间差，分别作为 X 轴和 Y 轴并画出二维 Stop 时间差图像。

8.7.4 ADC 波形



探测器接入A/D测量通道

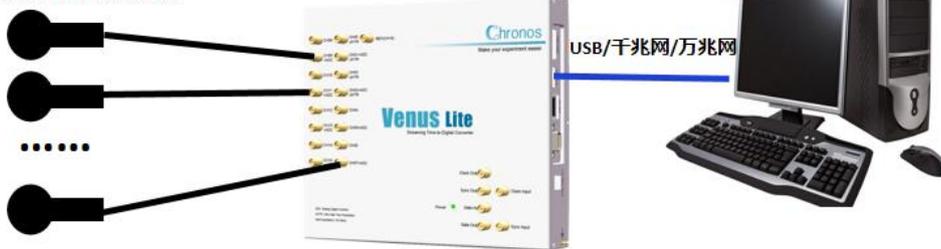
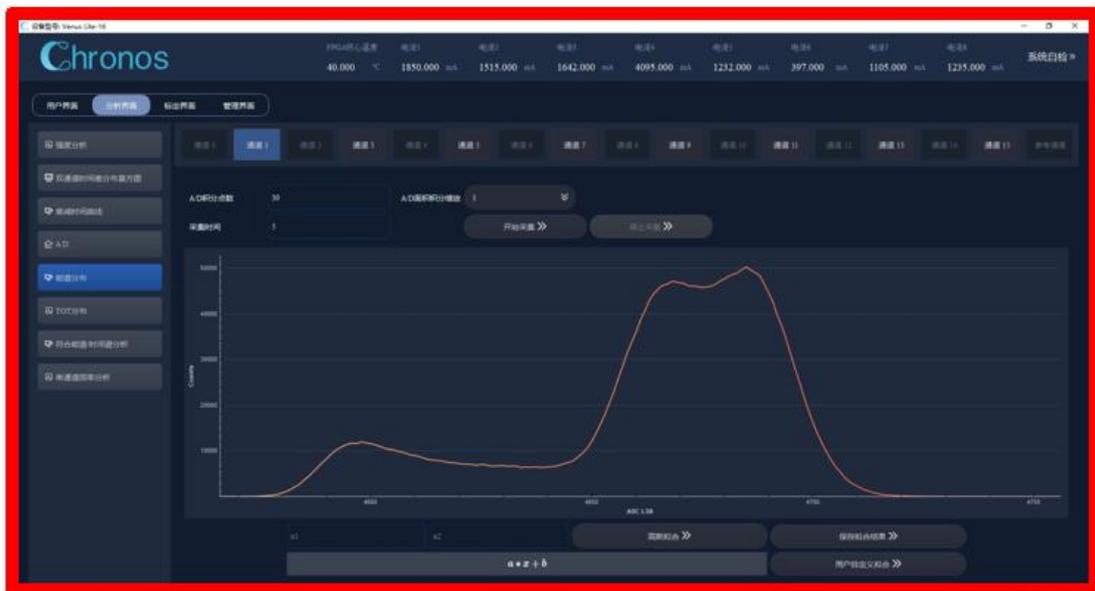


图 49 ADC 瞬态波形分析

如上图所示，用户需选择一个 A/D 输入通道，并设置采集时间和采样点数（记录长度），随后点击开始采集。上位机软件将采集到的信号数字化，并同步显示其原始波形（瞬态波形）和幅值（ADC 值）。注意：软件显示与输入信号极性反向，即输入正脉冲，显示为负脉冲。

用户可在波形图上手动输入或直接框选一个时间区间，并对该区间内的数据进行快速傅里叶变换（FFT）分析，以获取其频域特性。

8.7.5 能谱分布



探测器接入A/D测量通道



图 50 能谱分布分析

如上图所示，用户需选择一个 A/D 输入通道，并设置总采集时间和积分门宽（成形时间），随后点击开始采集。上位机软件将采集到的脉冲信号幅度（ADC 值）进行统计，最终以直方图形式显示能谱分布。

用户可选择拟合区间（手动输入道址或直接在能谱图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：峰位（平均值）、峰面积（计数）、标准差（ σ ）和半高全宽（FWHM）等参数。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程（选择区间后点击拟合）与上相同。

8.7.6 TOT 脉宽分布



探测器接入所有测量通道

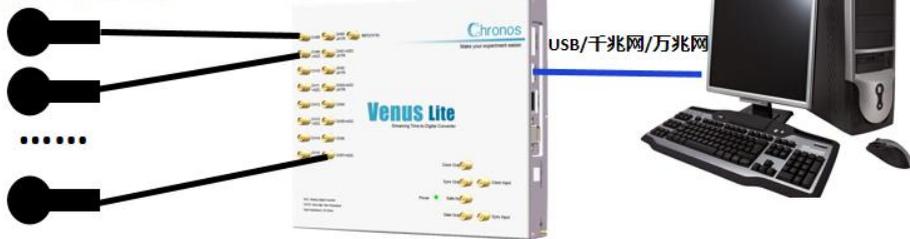


图 51 TOT 脉宽分布分析

如上图所示，用户需选择一个模拟测量通道，并设置采集时间，随后点击开始采集。上位机软件将持续测量脉冲宽度，并统计其分布，最终以直方图形式显示出来。

用户可选择拟合区间（手动输入数值或直接在直方图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：总计数、最大计数值、平均脉宽、标准差（ σ ）和半高全宽（FWHM）。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程与上述高斯拟合一致。

8.7.7 符合能谱-时间谱分析

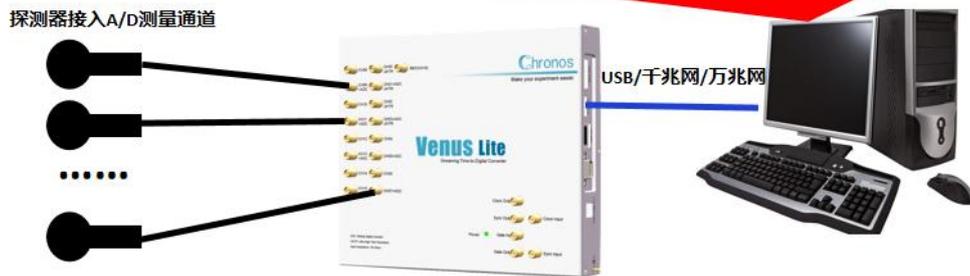


图 52 符合能谱-时间谱分析

如上图所示，用户需选择两个 A/D 通道，并进行基本设置，如总采集时间，触发模式（单次/平均），平均次数，符合时间窗，积分门宽（即“积分点个数”），能量有效窗。

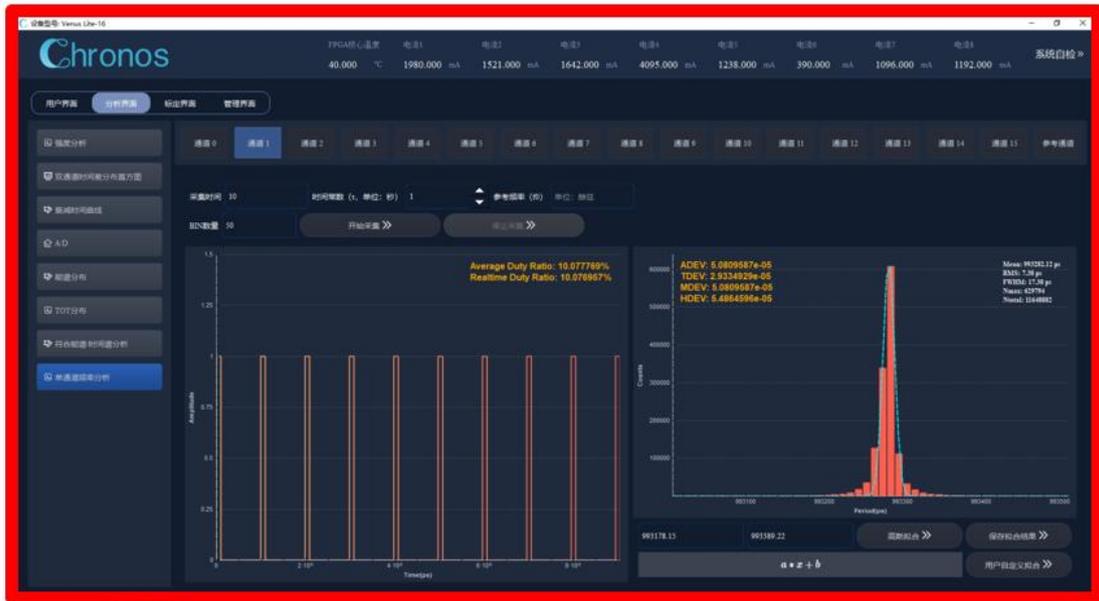
点击开始采集后，系统将执行以下操作：

- 捕捉两个通道的时间信息；
- 筛选出时间差在符合时间窗内的符合事件；
- 从符合事件中，再筛选出能量位于能量有效窗内的事件；
- 将这些双重筛选后事件的能量值进行统计，生成并显示能谱分布直方图。

用户可选择拟合区间（手动输入或直方图上框选）并进行高斯拟合。软件将给出拟合结果，包括：计数、最大值、峰位（平均值）、标准差（ σ ）和半高

全宽（FWHM）。此外，也支持自定义函数拟合，其操作方法与高斯拟合相同。

8.7.8 频率分析



探测器接入所有测量通道

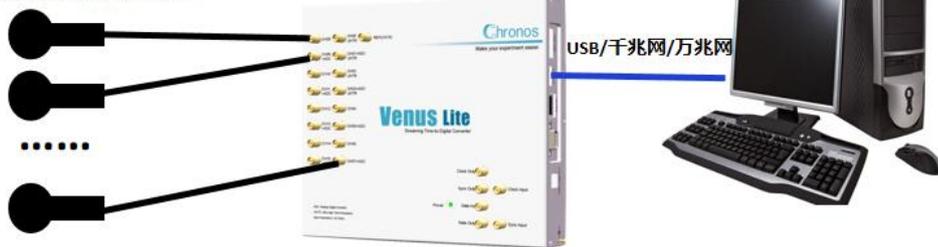


图 53 单通道频率分析

如上图所示，用户需选择一个测量通道，并设置采集时间，随后点击开始采集。上位机软件将持续测量输入时钟占空比和频率，并统计周期分布，最终以直方图形式显示出来。软件会实时计算输入时钟的实时占空比、平均占空比、修正艾伦偏差（MDEV）、哈达玛偏差（HDEV）、时间偏差（TDEV）和艾伦偏差（ADEV）等信息，这些方差的计算公式见附录 G。

用户可选择拟合区间（手动输入数值或直接在直方图上框选），并执行高斯拟合分析。软件将计算并显示拟合结果，包括：总计数、最大计数值、平均脉宽、标准差（ σ ）和半高全宽（FWHM）。

此外，用户还可使用自定义函数进行拟合，其操作流程与上述相同。

8.8 标定页面

在系统标定界面中，当设备未连接任何外部模拟信号时，用户可设置阈值扫描范围、扫描步进（精度）和平均次数，以执行模拟前端的阈值偏置标定和噪声评估。设备将从阈值下限扫描至上限，并获取噪声触发概率曲线（计数率曲线）。对该曲线进行高斯拟合，即可得到系统的等效噪声电压和基线位置。随后，点击“自动补偿”按钮，软件将依据标定结果自动对各通道的阈值基线进行自动补偿。此功能的意义在于：消除由模拟前端电路本身引入的基线漂移，确保甄别阈值设置的准确性。

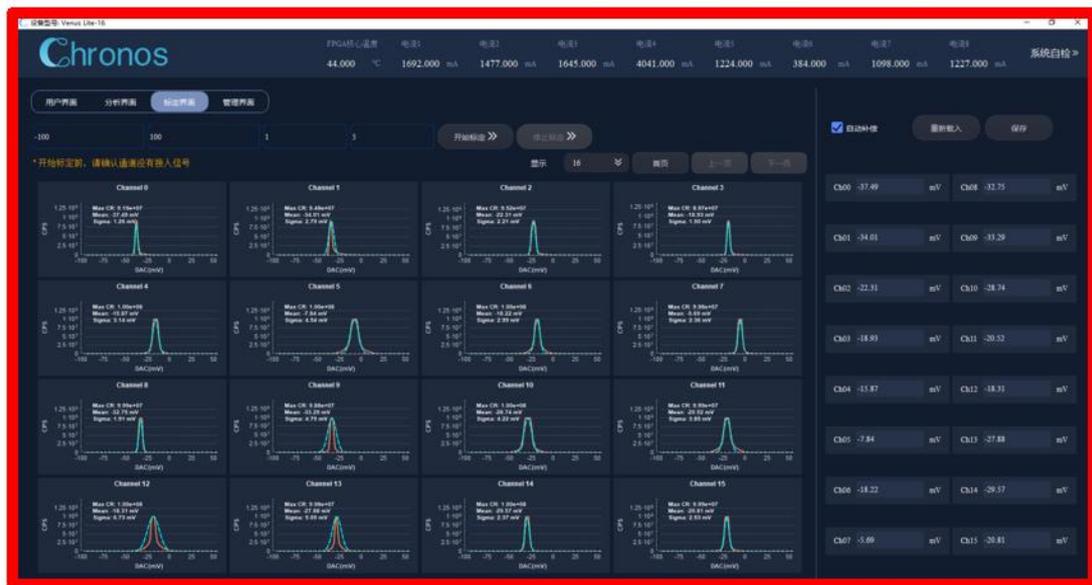


图 54 模拟前端标定

为准确设置触发阈值，建议在首次使用设备或外界环境（如温度）发生显著变化时，先执行一次系统标定，然后再设置触发阈值。标定结果温漂的性能实测

见 10.14 节。

若需补偿整个探测器系统（而不仅是设备本身）引入的基线漂移，可在相应通道接入探测器信号后进行阈值扫描与补偿。

此外，用户也可对输入信号进行阈值扫描。例如，向通道 1 和通道 3 输入固定幅度与频率的脉冲信号，便可得到如下图所示的计数率曲线。通过分析该曲线的形状特征，可以确定输入信号的幅度及其幅度的涨落。（这是一种通过阈值扫描替代 ADC 来获取能谱信息的方法）。

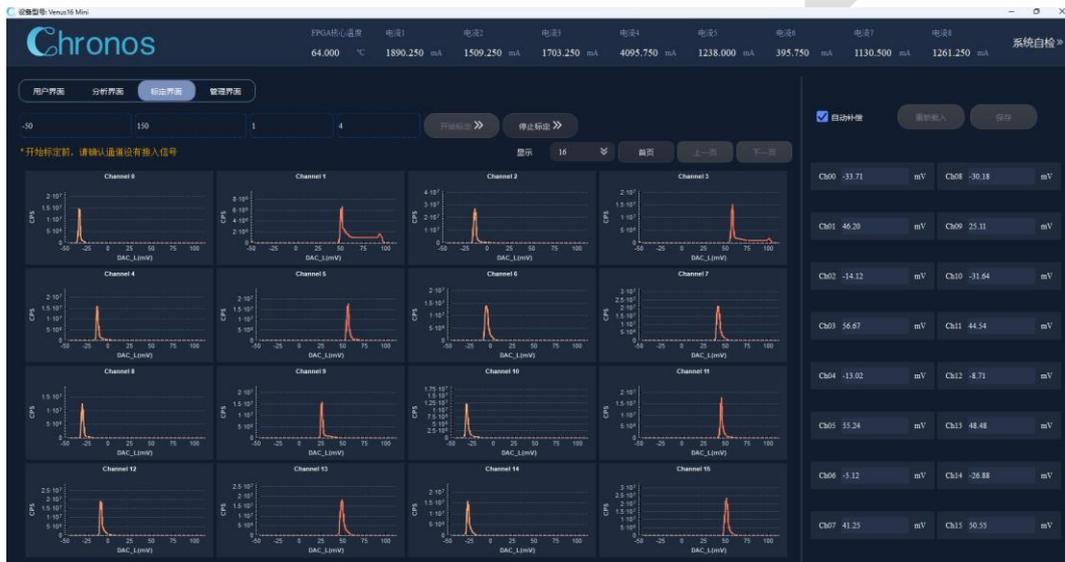


图 55 模拟前端标定（通道 1 和通道 3 输入固定幅度和频率信号时）

8.9 管理页面

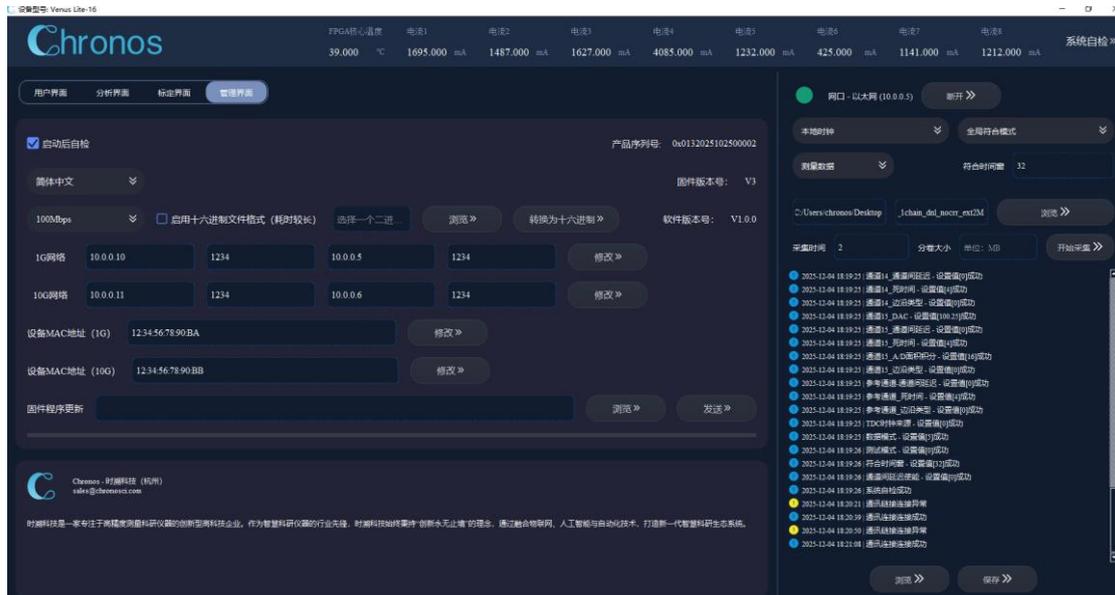


图 56 管理页面

管理页面用于进行系统级设置与信息查看，主要功能包括：

- 软件语言选择
- Raw 数据保存格式设置和离线转换
- 以太网地址配置
- 设备序列号显示
- 下位机固件版本号显示

其中，设备序列号是产品的唯一身份标识，将伴随设备的整个生命周期。凭借此序列号，我们可为每一台设备提供全生命周期的技术跟踪支持、售后服务与软件升级。

表格 4 设备序列号解释

设备序列号段	段名	可选
段 1	设备类型	0x1 Venus(TDC)
段 2	设备类型	0x1:Venus32 0x2:Venus24 0x3:Venus16lite

		0x4:Venus8lite 0x5:Venus24ultra 0x6:Venus16ultra 0x7:Venus6ultra 0x8:Venus12ultra+ 0x9:Venus8ultra+
段 3	生产日期	例如: 0x20251101
段 4	生产地点	例如: 0x0
段 5	生产编号	例如: 0x1

8.10 日志区

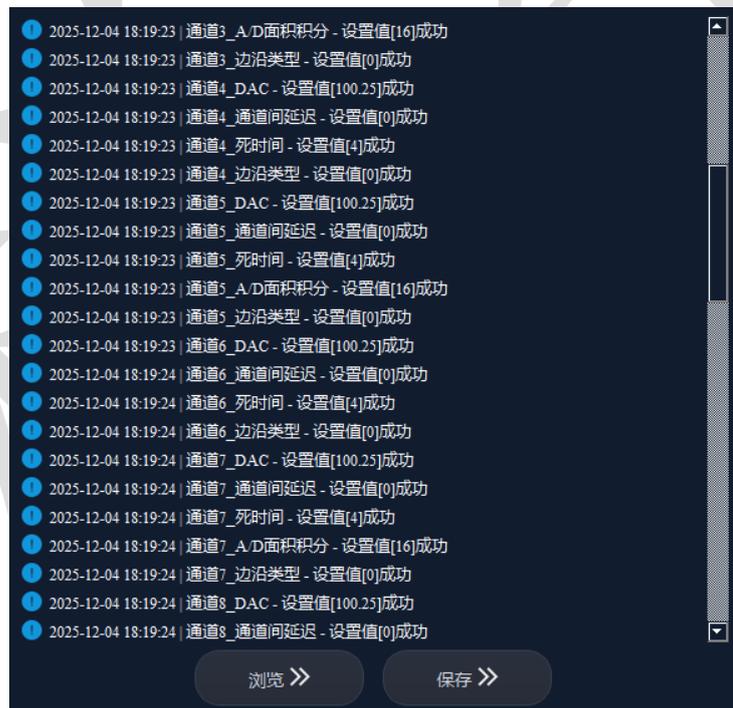


图 57 系统日志

Venus 会自动保存用户的所有操作和系统时间信息，并可以保存测试过程到上位机电脑，用户可以通过管理日志来查询实验条件信息。



2. 多设备时钟同步

11.1 多设备时钟同步

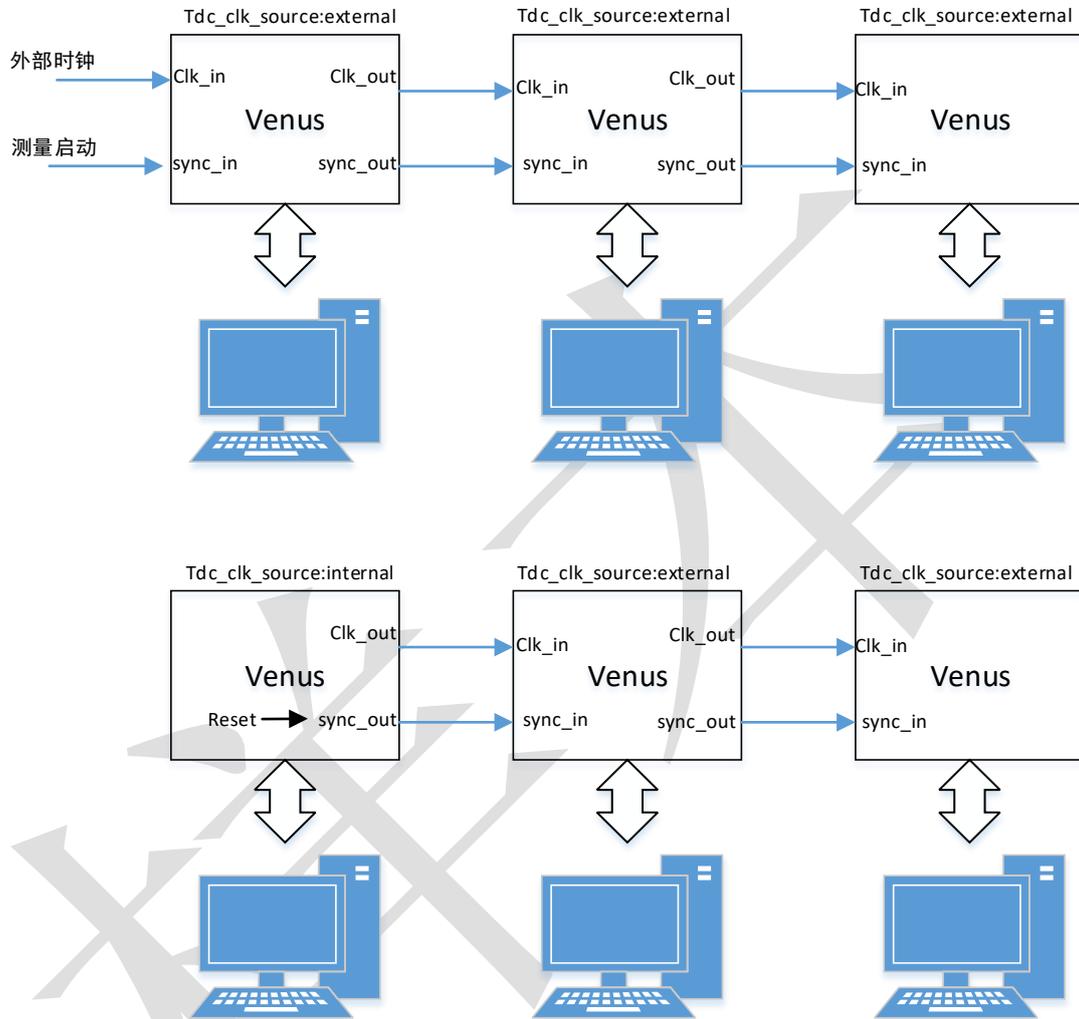


图 58 多设备时钟同步示意图（典型应用。上图：外部时钟，下图：第一个设备作为时钟源）

多个 Venus 设备可组建为一个高精度的同步测量网络。为实现系统内所有设备的时钟同步，各 Venus 设备均配备了以下接口：

- 外部时钟输入 (clk_in)
- 外部同步信号输入 (sync_in)
- 外部时钟输出 (clk_out)
- 外部同步信号输出 (sync_out)

一、同步配置方案

方案一：外接主时钟源同步

连接方式： 如上图所示。

系统配置：

- 所有 Venus 设备的 TDC 时钟源均设置为“外部”模式；
- 第一个 Venus 设备接收来自系统主时钟源的 10 MHz 时钟和同步信号；
- 第一个设备将时钟和同步信号分发给第二个设备，以此类推，形成串接链；
- 同步触发： 当 `sync_in` 接收到高电平脉冲（脉宽 > 100 ns）时，链上的所有 TDC 将同时复位。

方案二：设备主时钟同步

连接方式： 如下图所示。

系统配置：

- 将第一个 Venus 设备作为整个系统的主时钟源；
- 将其 10 MHz 时钟和同步信号（设备上电或复位后会自动产生）输出给第二个设备，以此类推，形成串接链；
- 后续设备的 TDC 时钟源设置为“外部”模式；
- 同步触发： 用户在软件中对主设备（第一个设备） 执行 TDC 复位操作，该复位命令将通过 `sync_out` 传递，致使链上所有设备的 TDC 同步复位。

二、安装与校准注意事项

- 线缆要求： 连接各设备的时钟和同步信号的同轴电缆应尽量等长，以最小化传输延迟差异；
- 系统标定： 尽管已使用等长电缆，但仍需对线缆延迟带来的固定时间差进行系统标定。标定得到的延迟值可输入至各设备的 `INTER_DEALY` 查找表中，软件将在数据处理时自动进行补偿；
- 设备标识： 用户可为每个 Venus 设备分配唯一的板号。该板号将作为标识信息被记录在 `Raw data` 中，便于后续的数据区分与融合处理。

根据第 10.12 节的测试结果，使用外部时钟源不会影响设备时间测量性能。

11.2 通过 API 接口进行多设备同步采集

11.2.1 通过以太网和交换机实现组网测试

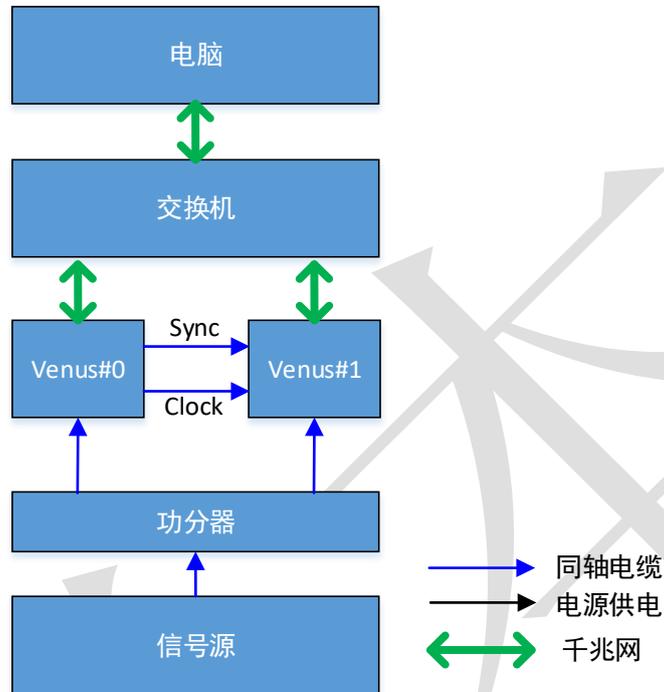


图 59 Venus 多设备组网测试示意图

Venus 支持多设备组网。根据 11.1 节介绍，Venus 组网有两种方式，本次测试以 Venus0 设备本地时钟作为全局时钟，Venus1 设备使用来自 Venus0 输出的时钟。信号源输出脉冲信号（上升沿/下降沿 3ns，幅度 4 V，重复频率 1 MHz），通过功分器将信号分为两路，分别接入 Venus0 设备的通道 0 和 Venus1 设备的通道 0。设备输出的测量数据通过交换机（1G 或者 10G 交换机，本次测试仅介绍 1G 交换机为例，10G 组网类似操作）将数据传给上位机电脑。Venus 设备的配置参数见下表所示。注意，两台设备的 IP 地址和 MAC 地址需要区分。

表格 5 Venus 多设备组网测试设置参数

参数	Venus0	Venus1	本机电脑
----	--------	--------	------

IP 地址	10.0.0.10	10.0.0.20	10.0.0.5
端口地址	0x1234	0x1234	0x1234
MAC 地址	0x0123456789AB	0x0123456789CD	/
板号	0x0	0x1	
TDC 时钟来源	本地时钟	外部时钟	

官方提供基于 MATLAB 和 Python 的参考脚本, 名称为 `tdc_networking_example.m` 和 `tdc_networking_example.py`。用户可以在此基础上进行二次开发和测试。该脚本基本的工作过程如下所示。

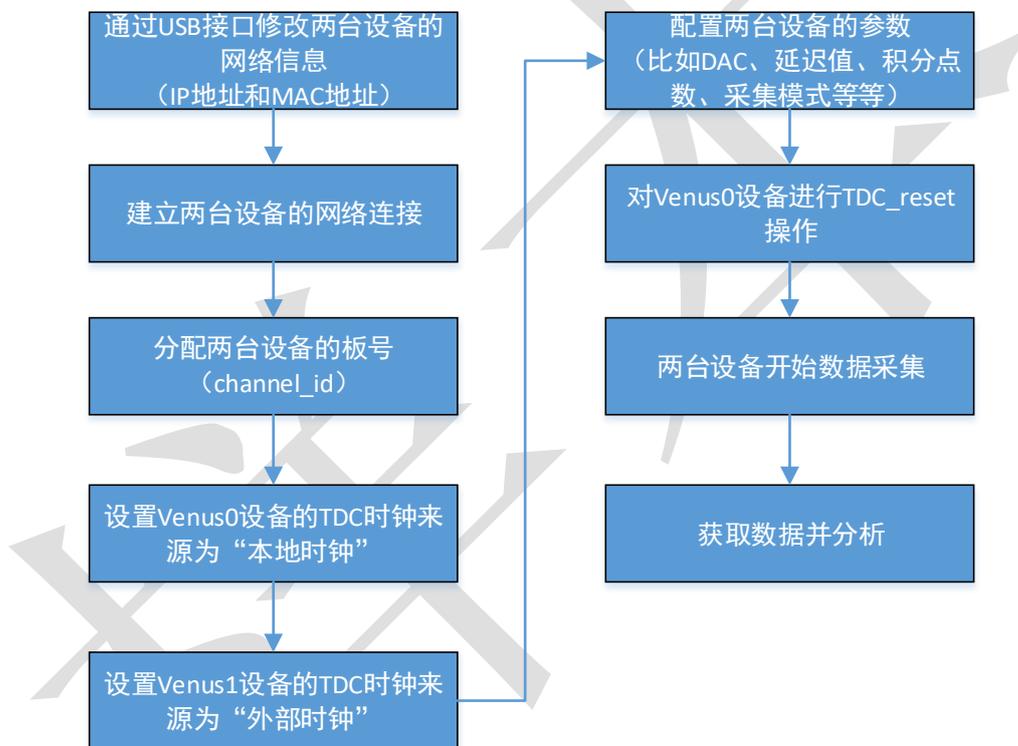


图 60 `tdc_networking_example` 脚本运行过程说明

具体说明如下。

- (1) 首先, 通过 USB 接口修改两台设备的网络信息。因为修改网络信息后可能引发设备网络暂时中断, 通过 USB 接口设置比较稳妥。修改完网络信息后, 可能需要重启交换机操作;
- (2) 建立两台设备的网络连接;
- (3) 分配两台设备的板号。两台设备的板号设置不同, 以区分两台设备的 Raw data;

- (4) 设置 Venus0 设备的 TDC 时钟来源为“本地时钟”，设置为 Venus1 设备的 TDC 时钟来源为“外部时钟”。在本次测试中，系统 TDC 工作时钟来源于 Venus0 设备，因此需要设置 Venus0 设备的 TDC 时钟来源为“本地时钟”。如果用户通过其他时钟源来对 Venus0 提供 TDC 工作时钟的话，Venus0 需要配置为“外部时钟”；
- (5) 配置 Venus0 和 Venus1 设备的采集参数，包括 DAC 阈值、时间延迟值、死时间值、积分点数、采集模式、采集时间等等信息；
- (6) 对 Venus0 设备进行 TDC Reset，Venus0 设备会完成 TDC 计数值清零，并将同步清零信号传递给 Venus1 设备，Venus1 设备同步完成 TDC 计数值清零；
- (7) 开启两台设备的数据采集，得到 Raw 数据文件。

得到两台设备的 Raw 数据，然后进行离线符合判选，得到 Venus0 的通道 0 与 Venus1 的通道 0 的符合时间分布，并分析其时间晃动值。

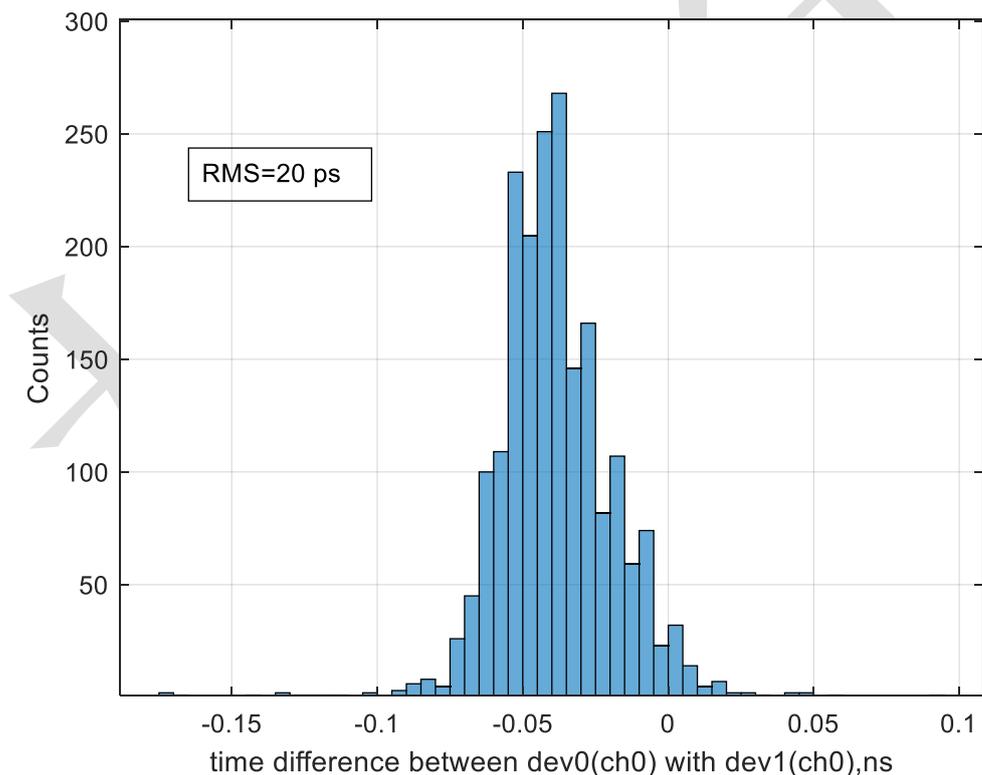


图 61 两个设备组网后各自通道间的时间晃动典型测试结果

本文档历史记录

文档编号	修改时间	修改人	说明
------	------	-----	----

