User Manual

PA2000mini 功率分析仪用户手册

功率分析仪

UM09060101 1.2 Date:2021/8/3

类别	内容
关键词	PA2000mini 功率测量 技术指标
摘要	介绍 PA2000mini 高精度功率分析仪的使用及其技术参数

ZLG 致远电子

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

修订历史

版本	日期	原因
V1.01	2014/09/01	修订后发布
V1.02	2015/12/31	修订后发布
V1.03	2017/02/09	1.新增电压量程支持 1500V 2.添加 MPPT 相关公式 3.完善安全须知 4.修订后发布
V1.04	2017/05/09	1.修改公司名称为“广州致远电子有限公司” 2.修订内容
V1.05	2019/01/23	修订内容
V1.06	2019/03/18	更新文档页眉页脚、“销售与服务网络”内容和新增“免责声明”内容
V1.07	2019/07/22	修订后发布
V1.08	2021/01/27	修订内容、更新文档页眉页脚、“免责声明”内容
V1.09	2021/08/03	添加主机子卡重量、海拔高度指标

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

目 录

1. 安全须知.....1
1.1 警示标示.....1
1.2 安全信息.....1
1.2.1 测量类别.....1
1.2.2 一般注意事项.....2
1.2.3 连接电源和地.....3
1.2.4 仪器安置注意事宜.....3
1.3 连接测量回路.....4
2. 产品简介.....5
2.1 简介.....5
2.2 功能特性.....5
2.3 应用系统.....6
3. 功能概述.....7
3.1 主要功能概览.....7
3.2 测量功能列表.....7
3.3 工作模式.....8
3.4 通信接口.....8
3.5 显示界面.....8
3.6 测量分析功能.....10
3.6.1 波形显示.....10
3.6.2 趋势分析.....11
3.6.3 谐波分析功能.....12
3.6.4 FFT 功能.....12
3.6.5 IEC 谐波测量.....13
3.6.6 向量显示.....14
3.6.7 闪变分析.....15
3.6.8 周期分析.....15
3.6.9 常规分析模式.....16
3.6.10 波形运算.....16
3.6.11 电机测量.....17
3.7 补充阅读.....17
3.7.1 输入单元.....17
3.7.2 接线组.....18
4. 面板介绍.....20
4.1 前面板.....20
4.1.1 面板组件.....20
4.1.2 显示界面.....20
4.1.3 功能按键区.....23
4.2 后面板.....29
5. 开始测量之前.....31
5.1 概述.....31

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

5.2 系统设置 31
5.3 调零 31
5.3.1 功能简介 31
5.3.2 操作步骤 31
5.4 电压/电流模式 31
5.4.1 功能简介 31
5.4.2 操作步骤 32
5.5 输入通道连接与配置 32
5.5.1 测量方法选择 32
5.5.2 测量回路配置 33
5.6 频率测量模式 39
5.7 随机采样设置 39
5.8 数字滤波设置 39
5.9 同步测量 40
5.10 设定接线补偿、效率补偿 40
5.10.1 功能简介 40
5.10.2 操作步骤 40
5.11 量程和区间设定 41
5.11.1 设置量程 41
5.11.2 测量区间设定 43
5.12 功率测量参数初始化 45
5.12.1 设定视在功率、无功功率和修正功率的运算公式 45
5.12.2 设定效率公式 47
5.13 平均功能 49
5.13.1 功能简介 49
5.13.2 操作步骤 50
5.14 用户自定义功能 50
5.14.1 功能简介 50
5.14.2 操作步骤 52
5.15 配置向导 53
5.16 精确测量 55
5.17 补充阅读 56
5.17.1 PT 和 CT 56
5.17.2 电流传感器的种类 56
5.17.3 接线方式 56
6. 数值数据显示 64
6.1 数值数据分屏显示 64
6.1.1 功能简介 64
6.1.2 操作步骤 64
6.2 显示项目配置 65
6.2.1 操作简介 65
6.2.2 操作步骤 65

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

6.3 相位差显示格式 66
6.3.1 功能简介 66
6.3.2 操作步骤 66
6.3.3 注意事项 67
7. 波形显示与运算 68
7.1 波形显示 68
7.1.1 全屏/分屏显示 68
7.1.2 波形显示开关 68
7.1.3 设定时间轴长度 69
7.1.4 波形垂直缩放/移动 70
7.1.5 波形显示参数设置 73
7.1.6 波形分配 76
7.2 波形运算 77
7.2.1 功能简介 77
7.2.2 操作步骤 78
7.2.3 注意事项 79
7.2.4 补充阅读 79
8. 趋势显示 81
8.1 功能简介 81
8.2 操作步骤 82
8.2.1 趋势显示模式 82
8.2.2 趋势显示参数配置 82
8.2.3 趋势功能参数配置 84
9. 谐波测量 87
9.1 简介 87
9.1.1 概述 87
9.1.2 测量功能种类 87
9.1.3 功能限制 88
9.2 谐波测量 89
9.2.1 功能简介 89
9.2.2 操作步骤 89
9.3 IEC 谐波测量 94
9.3.1 功能简介 94
9.3.2 操作步骤 99
9.4 补充阅读 103
9.4.1 相关术语 103
9.4.2 常规测量值和总波值 103
9.4.3 谐波测量功能的求法 103
10. FFT 108
10.1 功能简介 108
10.2 操作步骤 108
10.2.1 FFT 数据组合显示 108

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

10.2.2 配置各路 FFT.....109
10.2.3 配置 FFT 功能参数.....111
10.2.4 其它配置.....112
10.3 补充阅读.....113
10.3.1 FFT 功能.....113
10.3.2 谐波测量与 FFT 运算的差异.....113
11. Delta 测量.....114
11.1 功能简介.....114
11.2 Delta 测量的求法.....115
11.3 操作步骤.....116
11.3.1 概述.....116
11.3.2 接线组设置.....116
11.3.3 选择运算类型.....116
11.3.4 Δ 测量结果的显示.....116
12. 周期分析测量.....118
12.1 功能简介.....118
12.2 操作步骤.....120
12.3 注意事项.....126
13. 积分运算.....129
13.1 功能简介.....129
13.2 操作步骤.....130
13.3 规格.....132
13.3.1 掉电保存.....132
13.3.2 有效频率范围.....132
13.3.3 显示分辨率.....132
13.3.4 溢出时显示.....133
13.3.5 限制执行.....133
13.4 补充阅读.....134
13.4.1 积分模式.....134
13.4.2 HOLD 操作和积分功能.....137
14. 常规分析模式.....138
14.1 功能简介.....138
14.2 操作步骤.....138
14.2.1 概述.....138
14.2.2 测量功能初始化.....138
14.2.3 进入常规分析模式菜单.....138
14.2.4 常规分析模式/测量切换.....138
14.2.5 查看数据.....139
14.2.6 自动回放测量数据.....139
15. 向量显示.....140
15.1 功能简介.....140
15.1.1 向量图示例.....140

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

15.2 操作步骤.....142
15.3 注意事项.....144
16. 光标测量.....145
16.1 功能简介.....145
16.2 操作步骤.....145
16.2.1 概述.....145
16.2.2 进入光标测量菜单.....145
16.2.3 光标测量初始化.....146
16.2.4 开启/关闭光标测量.....148
16.2.5 光标移动.....148
16.3 注意事项.....149
17. 闪变测量.....150
17.1 功能简介.....150
17.2 操作步骤.....151
17.2.1 进入闪变测量模式.....151
17.2.2 测量方法设置.....152
17.2.3 闪变测量参数设置.....152
17.2.4 判断条件设置.....154
17.2.5 常规闪变测量操作.....155
17.2.6 手动闪变测量操作.....160
17.3 补充阅读.....162
17.3.1 相关术语.....162
17.3.2 对功能的限制.....165
18. 电机测量.....166
18.1 功能简介.....166
18.2 操作步骤.....166
18.2.1 输入转速和扭矩信号.....166
18.2.2 进入电机设置菜单.....166
18.2.3 选择转速和扭矩信号的类型.....166
18.2.4 选择模拟量程.....167
18.2.5 配置线路滤波器和同步源.....168
18.2.6 设定脉冲量程、脉冲数和脉冲额定值.....169
18.2.7 设定比例系数和单位.....171
18.2.8 设定用于计算滑差和同步速度的电机极数和频率测量源.....173
18.2.9 选择测量电机输入电压和电流的输入单元.....174
18.2.10 电机测量结果显示.....174
18.3 注意事项.....176
19. 系统功能.....177
19.1 配置向导.....177
19.2 配置管理.....177
19.3 文件管理.....178
19.4 日期/时间.....179

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

19.5 按键锁和按键配置.....179
19.5.1 按键锁.....179
19.5.2 按键配置.....180
19.6 捕获.....180
19.7 语言.....181
19.8 电源管理.....181
19.9 软件更新.....182
19.10 网络.....182
19.11 无线网络.....182
19.12 系统信息.....183
19.13 远程控制.....183
19.14 显示器.....184
19.15 触摸屏校准.....184
19.16 存储数据.....184
19.16.1 功能简介.....184
19.16.2 操作步骤.....185
20. 异常处理/维护.....194
20.1 异常处理.....194
20.2 推荐部件更换周期.....194
21. 规格.....195
21.1 输入参数.....195
21.1.1 输入端子类型.....195
21.1.2 输入类型.....195
21.1.3 输入单元数量.....195
21.1.4 电压测量量程.....195
21.1.5 电流测量量程.....195
21.1.6 输入带宽.....196
21.1.7 共模电压.....196
21.1.8 滤波器.....196
21.1.9 量程切换.....196
21.1.10 A/D 转换器.....196
21.2 显示器.....197
21.3 PA2000mini 精度.....197
21.3.1 基本精度.....197
21.3.2 输入范围.....199
21.3.3 输入显示值.....199
21.3.4 线路滤波器的影响.....199
21.3.5 温度系数.....199
21.3.6 12 个月精度.....199
21.4 测量模式.....199
21.5 测量项目.....200
21.6 测量功能/测量条件.....200

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

21.7 电机功能.....201
21.7.1 模拟量输入参数.....201
21.7.2 脉冲频率输入参数.....201
21.8 谐波测量（PLL 同步源法）.....202
21.9 常规谐波/谐波/IEC 谐波.....202
21.10 FFT 运算功能.....202
21.11 周期分析功能.....203
21.12 积分功能.....203
21.13 波形采样数据保存功能.....203
21.14 存储.....203
21.15 常规特性.....203
21.16 配件（选配）.....204
21.17 外观尺寸.....209
22. 免责声明.....211
附录 A 测量功能符号及含义.....212
附录 B 测量功能求法.....214

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

1. 安全须知

本仪器的使用涉及到高压，为防止电击或其它危险造成的人员伤亡，在安装、使用或维修本产品之前，请务必仔细阅读、并完全理解“安全须知”章节的相关内容。

为保证您能正确安全地使用本仪器，请务必遵守以下注意事项。如果未遵守本手册指定的方法操作本仪器，可能会损坏本仪器的保护功能。因违反以下注意事项操作仪器所引起的损伤，广州致远电子有限公司概不承担责任。

1.1 警示标示



注意符号表示存在危险。提示用户对某一过程、操作方法或类似情况进行操作时，如果不能正确执行或遵守规则，则可能对产品造成损坏或者丢失重要数据。在完全阅读和充分理解注意所要求的事项之前，请不要继续操作。



警告符号表示存在严重危险。提示用户对某一过程、操作方法或类似情况进行操作时，如果不能正确执行或遵守规则，则可能造成人身伤害甚至死亡。在完全阅读和充分理解**警告**所要求的事项之前，请务必停止操作。

1.2 安全信息

请勿禁用电源线的安全接地功能，将仪器插入已接地良好的电源插座。

请勿按照非本手册指定方式使用仪器。

如果遇到故障，请勿擅自更换零件，或者擅自对产品进行调整，请联系广州致远电子有限公司进行处理。

功率分析仪安全符号如表 1.1 所示。

表 1.1 功率分析仪安规符号

	小心，危险		CE 认证		地端子
	小心，电击危险		请勿将使用过的电池丢入垃圾桶		可回收利用

1.2.1 测量类别

PA 功率分析仪隶属 CAT Ⅱ(1000V)，输入可连接到测量类别 CAT Ⅱ类的电源（最大 1000VAC）。不要用在 CAT Ⅱ(1000V)以上更高测量类别。

测量类别 IV 为适用于在低压设施的源端处进行的测量。

- 例如电表、在初级过流保护装置上和纹波控制单元上的测量、架空线路、电缆系统等。

测量类别 III 为适用于在建筑物设施中进行的测量。

- 例如在配电板上、断路器上、布线上包括电缆、汇流条上、接线盒上、开关上、固定设施的输出插座上、工业用设备上以及其他设备

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

上，例如与固定设施永久连接的驻立式电动机上的测量。

测量类别 II 为适用于在直接与低压设施连接的电路上进行的测量。

- 例如在家用电器上、便携式工具上和类似设备上的测量。

测量类别 0 为适用于在不直接与电网电源连接的电路上进行的测量。

- 例如在不由电网电源供电的电路上和作了特殊保护由（内部）电网供电的电路上的测量。在后一种情况下，瞬态应力是各不相同的，本仪器用于此类别测量请确保瞬态电压≤3000V 峰值。

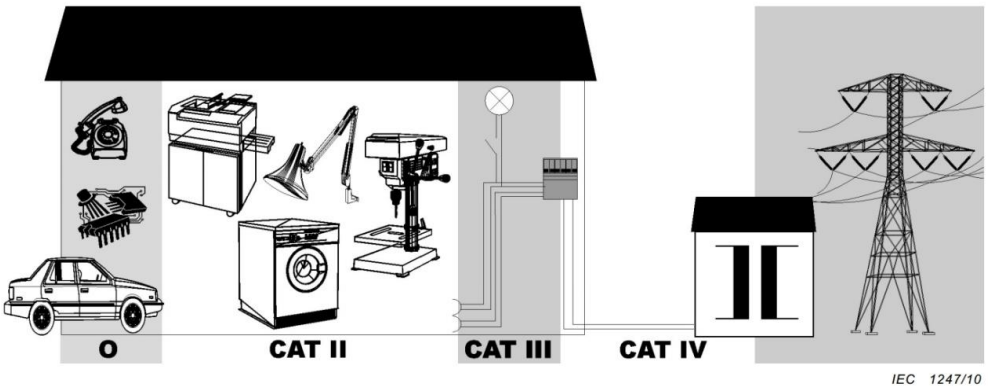


图 1.1 CAT 等级图

1.2.2 一般注意事项

针对人身安全与设备保护，列出注意事项如下所述：

警告

- **保护功能有缺陷**。在使用仪器之前，请对保护功能进行确认。如发现保护接地或保险丝有缺陷，请勿继续使用本仪器；
- **请勿拆卸仪器的机箱**。仪器内部有高压，非常危险。若要对仪器内部进行检查和调试，请咨询广州致远电子有限公司；
- **出现异味或冒烟时。**出现机体冒烟或散发异味等异常情况时，请直接关闭电源，从插座拔掉电源插头，并切断连接在输入端子的测量回路的电源。发生异常情况时，请咨询致远公司；
- **勿在易燃环境下操作仪器**。请勿在含有易燃易爆液体或气体的环境里使用本仪器；
- **请勿损坏电源线**。请勿将物品摆放在电源线上，并使电源线远离热源。将电源插头从插座拔出时，请勿拉扯电线，而应手持插头拔出。电源线有破损时，请在确认好零件编号后再向经销商订购；
- **请勿接近带电物品**。请勿使带电物品接近输入端子，否则会引起内部电路损坏；

注意

- **切断电源。**长时间不使用仪器时。请切断测量回路和仪器的电源，将仪器的电源插头从插座拔出。
- **请勿在仪器上摆放物品**。请勿叠放仪器或在仪器上摆放其他仪器或盛液体的容器，否则可能引起故障；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- **请勿损伤液晶屏幕**。液晶显示器极易受损，注意不要让锋利物品损伤其表面。另外，请避免振动和碰撞；
- **搬运仪器时**。首先，请切断测量回路的电源，除去测量用电缆。接着，关闭仪器电源开关，除去电源线和其它电缆。搬运时，要注意双手握住把手；
- **测量作业时**。测量前，必须断开被测回路所有电源后进行接线；测量中，必须远离被测回路与仪器的接线端子；测量完成，必须先切断被测回路所有电源，然后断开接线，再关闭仪器。
- **清理污渍时**。清理机箱和操作面板的污渍时，请切断测量回路和仪器的电源，将仪器的电源插头从插座拔出后，使用干净柔软的干布轻轻擦拭。请勿使用挥发性化学药剂，可能引起变色或变形。
- **定期清理风扇防尘网。**防尘网每 30 天检查清理一次，避免堵塞造成发热或危险，堵塞过热也会影响仪器精度。
- **电池管理。**须定期对电池进行充放电管理，否则电池可能亏电损坏。务必一个月内充放电一次：电池模块安装在功率分析仪，仪器长时间闲置时；

  务必三个月内充放电一次：从功率分析仪拆卸下电池模块（拧松固定电池模块的两个手扭螺丝，手持两个手扭螺丝，向外均匀用力拆下电池模块），单独闲置时。

1.2.3 连接电源和地



- **使用正确的供电电源。**在连接电源线之前，请确保电源电压与仪器的额定电压相一致，并且小于电源线的最大额定电压。
- **使用正确的电源线和电源插头。**为预防触电和火灾，请使用本公司提供的电源线。请务必将主电源插头接入带保护接地的电源插座。请勿使用没有保护接地的接线板。
- **连接保护接地端子。**为预防触电，在打开电源之前请务必连好保护接地端子。随箱的电源线是含接地线的三芯电源线。因此，请使用带保护接地端子的三眼插座。
- **保护接地。**请勿切断本仪器内部和外部的保护接地线、或拔出保护接地端子的电线，否则将有潜在的触电危险。
- **防止触电危险。**电源线必须插在墙壁上或在可视范围内的插座上，不可插在引线混乱的插座上，插座不可过流使用。

1.2.4 仪器安置注意事宜

仪器安置场所相关注意事项如下：



- **远离恶劣环境**。远离阳光直射、热源、大量烟尘、蒸汽、腐蚀性或可燃性气体、强烈磁场源、高压设备与动力线、水、油、化学剂的场所；
- **水平平坦**。请将仪器安置在水平平坦场所。如使用场所不平稳或倾斜，

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

可能影响测量精度，并存在跌落危险；

- **通风良好**。仪器的上盖板和底部均有通气孔。为防止内部温度过高，通气孔与安置面的距离请设置在 20mm 以上，当连接测试线或各种电缆线时，请另外保留操作所必须的空间；
- **环境温度与环境湿度。**环境温度：5~40 ℃，环境湿度：20~80%RH。

1.3 连接测量回路

为防止触电和损坏仪器，连接测量回路时务必遵守以下注意事项：

- **保护接地**。连接测量用电缆前，请为本仪器采取保护接地。随箱的电源线是三脚插头，请使用含有接地线的三眼插座。如果准备用手接触电路，请在关闭电路电源并确认没有电压存在后再进行操作；
- **切断回路电源**。连接测量回路时，请切断测量回路的电源。在不切断电源的情况下连接或除去测量用电缆很危险；
- **测量回路连接无误**。切勿将电流回路接入电压输入端子或将电压回路接入电流输入端子；
- **防止电缆触电**。剥测量用电缆的绝缘层时，请确保接到输入端子的导线(裸线)未露出端子。同时，请固定好输入端子的螺丝，确保接入的电缆不会从输入端子脱落；



- **勿触摸输入接口**。当测量回路的电压引入电流输入端子时，请勿触摸电流传感器输入接口。因为在仪器内部这些端口在电气上是相通的，所以很危险；
- **电压互感器和电流互感器的耐压能力**。在外部使用电压互感器(PT)或电流互感器(CT)时，请确保它对测量电压(U)具备足够的耐压能力。另外，通电状态下请确保 CT 的二次侧短路。否则，CT 的二次侧会产生高压，非常危险；
- **机架固定时的电源切断开关。**使用机架固定时，为确保安全，请在机架前设置一个能切断仪器测量回路电源的开关；
- **回路电压电流。**确保测量回路电压电流及共模电压在仪器额定范围内；
- **连接外部传感器。**连接外部传感器时禁止使用裸露金属的 BNC 接头，并须移除电流直接输入端子的所有接线；
- **电流直接输入。**必须断开传感器输入端子的接线；
- **连接外部分流器。**必须切断测量回路的电源，不切断电源连接或除去分流器是危险的。



如果未按照广州致远电子有限公司指定的方式使用测试附件，测试附件提供的保护功将会削弱。另外，已损坏或磨损的测试附件可能会导致仪器损坏或人身伤害，请勿使用。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

2. 产品简介

2.1 简介

PA2000mini 高精度功率分析仪采用了可精确测量多相高电压和大电流的电压参数、电流参数、功率参数等，并支持采样波形显示、频谱分析、谐波闪变分析等功能；同时通过锂电池可提供长达 3~4 小时的使用时间，满足从常规测量到移动测量的高精度测量需求。



图 2.1 PA2000mini 高精度功率分析仪

2.2 功能特性

产品的主要功能特性如下所述：

- 可同步采集所有相，精确测量直流/交流电压、电流和功率参数。测量带宽：DC，0.1Hz~500kHz，基本精度 0.05%；
- 可支持多达 4 相功率输入。所有输入通道间的电气隔离高达 5kV，避免短路；
- 可通过外部传感器测量扭矩和转速，适合于电机和驱动应用；
- 标配 USB、Ethernet、GPIB 和 RS232 四种接口，并支持用户通过此四种接口远程控制 PA2000mini 高精度功率分析仪；
- 提供了丰富的测量分析功能。支持波形、趋势图、柱状图、FFT、向量图、谐波分析、闪变分析、IEC 谐波测量、周期分析、波形运算、积分运算等功能；
- 超大容量存储（240G），支持长时间的数据记录；
- 配套的功率分析仪 PC 端管理软件 PAM 可通过 USB、Ethernet、GPIB、RS232 等方式与 PA2000mini 高精度功率分析仪进行通信，管理功率分析仪的测量功能，实时获取电能数据进行分析和存储，并提供强大的报表功能；
- 9 寸彩色液晶显示器，800×480 分辨率。可显示更多参数和更详细的波形细节；
- 提供丰富、快捷的功能按键；
- 支持鼠标、键盘控制。

备注：2019 年 8 月份起销售的 PA2000mini 功率分析仪，存储容量扩展到 240G。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

2.3 应用系统

PA2000minimini 高精度功率分析仪应用系统见图 2.2。

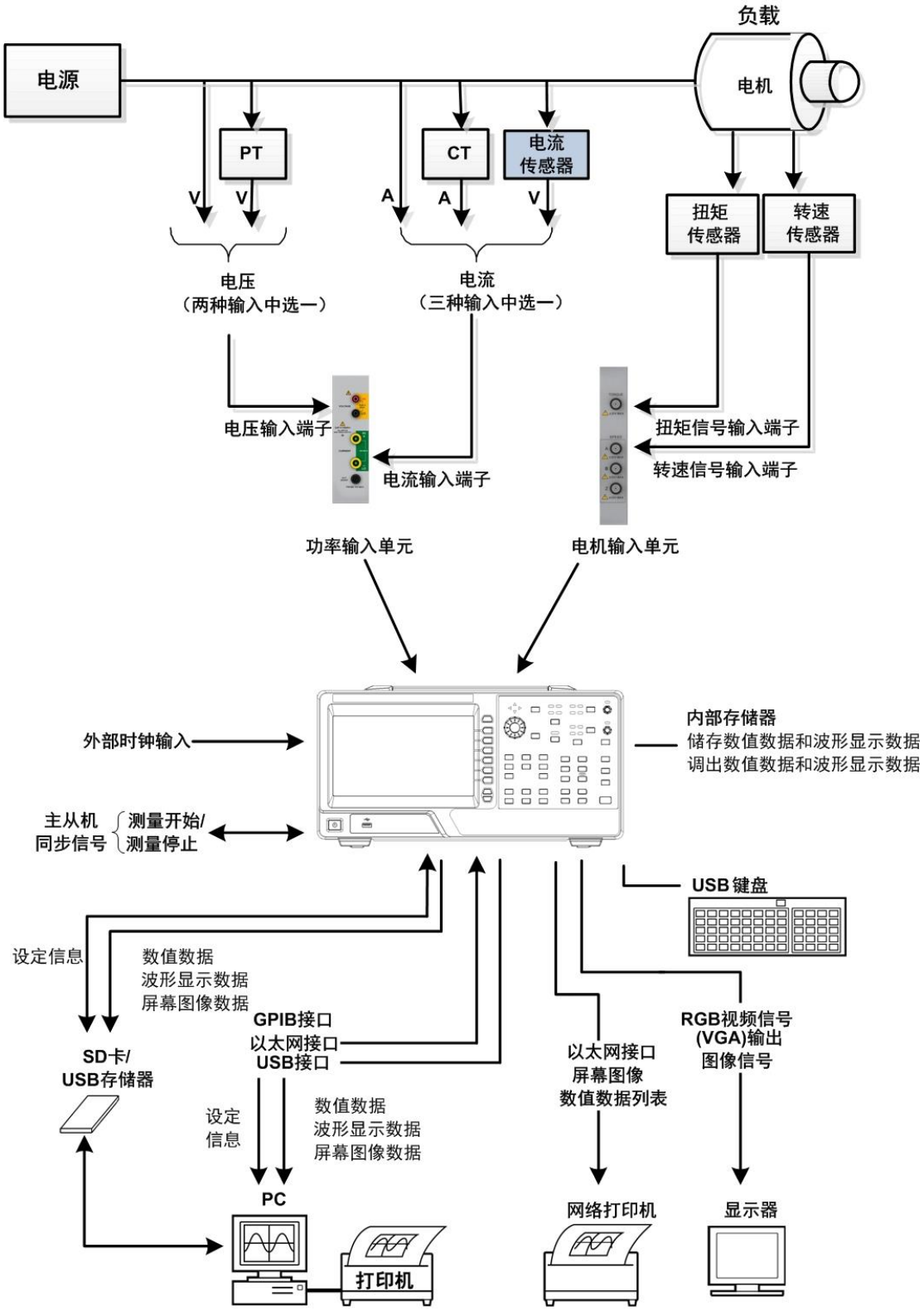


图 2.2　应用系统

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

3. 功能概述

3.1 主要功能概览

PA2000mini 高精度功率分析仪包括以下主要功能：

- **功率参数测量**。例如：电压和电流的有效值、平均值、峰值、波峰因数、基波含量等；
- **电机测量**。可测量扭矩和转速信号；
- **测量分析**。对测量结果进一步分析和处理，例如：快速傅里叶变换、谐波分析、波形显示、向量图、积分功能、趋势分析、周期分析等；
- **数据存储与管理**。对测量得到的数据进行保存和管理，例如保存采样值等。

3.2 测量功能列表

PA2000mini 高精度功率分析仪的测量功能如表 3.1 所示。

表 3.1 测量功能

输入单元[6]的测量功能	电压	● 电压有效值 Urms[1] ● 电压平均值（校准到有效值的整流平均值 Umn[2]、简单平均值 Udc[3]、整流平均值 Urmn[4]） ● 电压的最大值/最小值 U+pk/U-pk
	电流	● 电流有效值 Irms[1] ● 电流平均值（校准到有效值的整流平均值 Imn[2]、简单平均值 Idc[3]、整流平均值 Irmn[4]） ● 电流的最大值/最小值 I+pk/I-pk
	功率	有功功率 P、视在功率 S、无功功率 Q、功率因数 λ、修正功率 Pc
	效率	可测量 4 个输入单元的效率，η1~η4
	其它	相位差 φ、电压频率/电流频率、电压峰值因数[5]/电流峰值因数[5]
	电机相关	Speed(转速)、Torque(扭矩)、Pm(电机输出或机械功率)、SyncSp(同步速度)和 Slip(滑差)、电相角（Theta）
接线组的测量功能	电压	电压的平均值 UΣ（UrmsΣ、UmnΣ、UdcΣ、UrmnΣ）
	电流	电流的平均值 IΣ（IrmsΣ、ImnΣ、IdcΣ、IrmnΣ）
	功率	PΣ(有功功率的总和)、SΣ(视在功率的总和)、QΣ(无功功率的总和)、λΣ(功率因数的平均值)、PcΣ (修正功率的总和)
	其它	φΣ(相位差的平均值)
自定义功能	用户自定义测量功能 F1~F20	

[1] Urms、Irms 是电压或电流的真有效值。将 1 个周期里的每个瞬时值先平方，求它们的平均值，然后再求平方根。相关计算公式见附录 B。

[2] Umn、Imn 是校准到有效值的整流平均值。将电压或电流的 1 个周期进行整流，求得平均值，再乘以当输入信号为正弦波时成为真有效值的系数；但若输入波形为畸变波形或直流波形，则系数不同于真有效值。相关计算公式见附录 B。

[3] Udc、Idc 即电压或电流 1 个周期的平均值。对计算直流输入信号的平均值和叠加在交流输入信号上的直流成分非常有效。相关计算公式见附录 B。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

[4] Urmn、Irmn 即整流平均值。是将电压或电流的 1 个周期进行整流，求得平均值。相关计算公式见附录 B。

[5] 峰值因数是波形峰值和波形有效值的比值。

在计算电压、电流的测量值时，PA2000mini 高精度功率分析仪还可运用数字滤波运算实现平均处理。

3.3 工作模式

PA2000mini 高精度功率分析仪有多个工作模式：

- **常规模式**。用于测量电压、电流、扭矩、转速、功率，并执行积分运算和波形运算；
- **常规测量分析模式**。常规测量分析模式下可将常规模式下保存的测量数据回放并分析，大大便利了用户对测量数据的观察和分析；
- **谐波测量模式**。可以对 1kHz 的基波频率信号进行多达 80 次的谐波测量。对基波频率高于商用电源频率的信号进行谐波测量时，请使用该功能；
- **IEC 谐波模式**。此模式下可按 IEC61000-3-2 和 IEC61000-4-7 国际标准执行谐波测量；
- **电压波动和闪烁测量模式**。此模式下可按 IEC61000-3-3 和 IEC61000-4-15 国际标准执行电压波动和闪烁测量；也可自设测量条件，生成测量结果报告；
- **FFT 模式**。此模式可以通过 FFT(快速傅立叶变换)显示电压 U、电流 I、功率 P 和 Q、转速 Speed、Torque 等输入信号的频谱；
- **周期测量分析模式**。此模式下，可测量交流输入信号各周期的电压、电流、功率及其它参数。

3.4 通信接口

PA2000mini 高精度功率分析仪标配 USB、Ethernet、RS-232、GPIB 接口。用户通过这些接口实现对 PA2000mini 高精度功率分析仪的远程控制，也可以对 PA2000mini 高精度功率分析仪采集的数据进行详细分析，生成报表。

3.5 显示界面

PA2000mini 高精度功率分析仪的显示界面选择数值显示后，可以显示电压、电流和功率等的测量数据；此外还可显示波形、趋势、柱状图、波形运算、FFT 等测量分析功能。

1. 多项目显示

对于数值型数据显示，可按多个测量项目显示，测量项目个数可以从 6 个、12 个、24 个、All(全部显示)中选择；此外，每个显示项目可分别设置。这便于用户快速查看各项参数，提高测量效率，详见图 3.1。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 3.1　测量项目显示图

2.　数值型数据显示

测量信息的显示简单说明如图 3.2 所示。数值显示最多可达 9 页，用户可设定每页的显示内容。



图 3.2　数值显示界面

3.　组合视图

用户可通过组合视图同时查看数值和波形、数值和趋势、数值和柱状图等，例如图 3.3 所示的数值和趋势组合视图。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 3.3　数值和趋势显示

4.　功能选择软键

用户可按下显示界面上的功能选择软键，弹出功能模块选择窗，在选择窗中选择功能模块，如图 3.4 所示。如果弹出功能选择窗后 12 秒内没有任何操作，则功能选择窗自动隐藏。



图 3.4　测量功能选择

3.6　测量分析功能

PA2000mini 高精度功率分析仪提供了丰富的测量分析功能：谐波分析、闪变分析、频谱分析、IEC 谐波分析、周期分析、采样数据的波形显示和向量图显示。

3.6.1 波形显示

可测量电压、电流、转速、扭矩等信号的波形，查看和分析电压-电流信号相位差、波形失真现象。可将多个波形在同一组内进行对比，也可分成多组进行监测，如图 3.5 和图 3.6

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

所示。波形显示的功能详细描述见“第 7 章 波形显示与运算”。

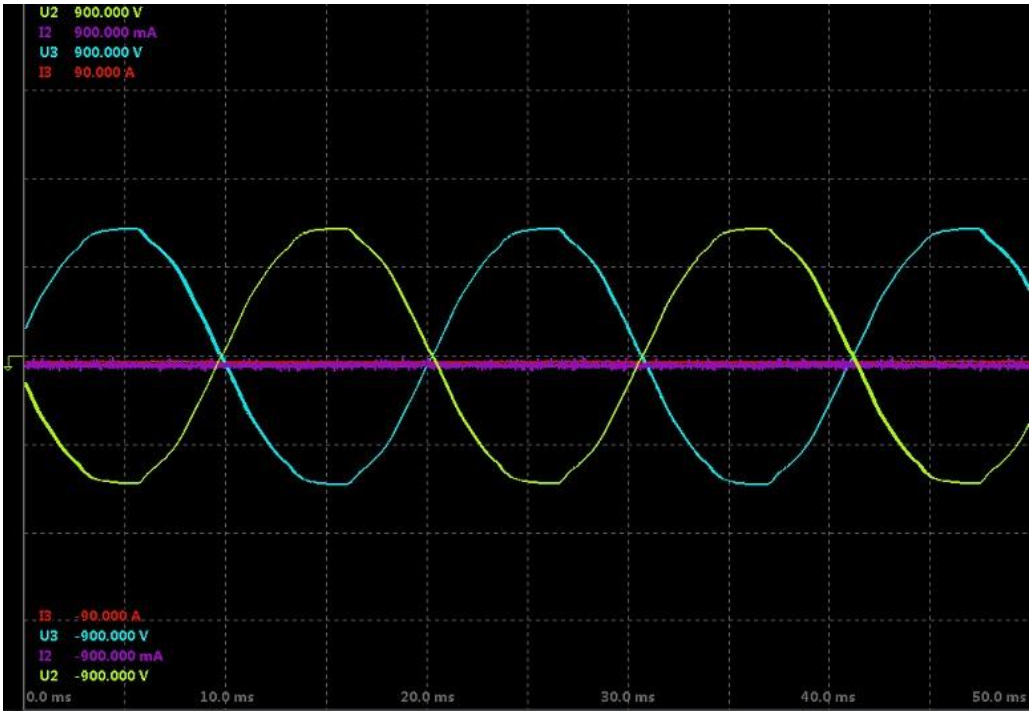


图 3.5 波形组合显示

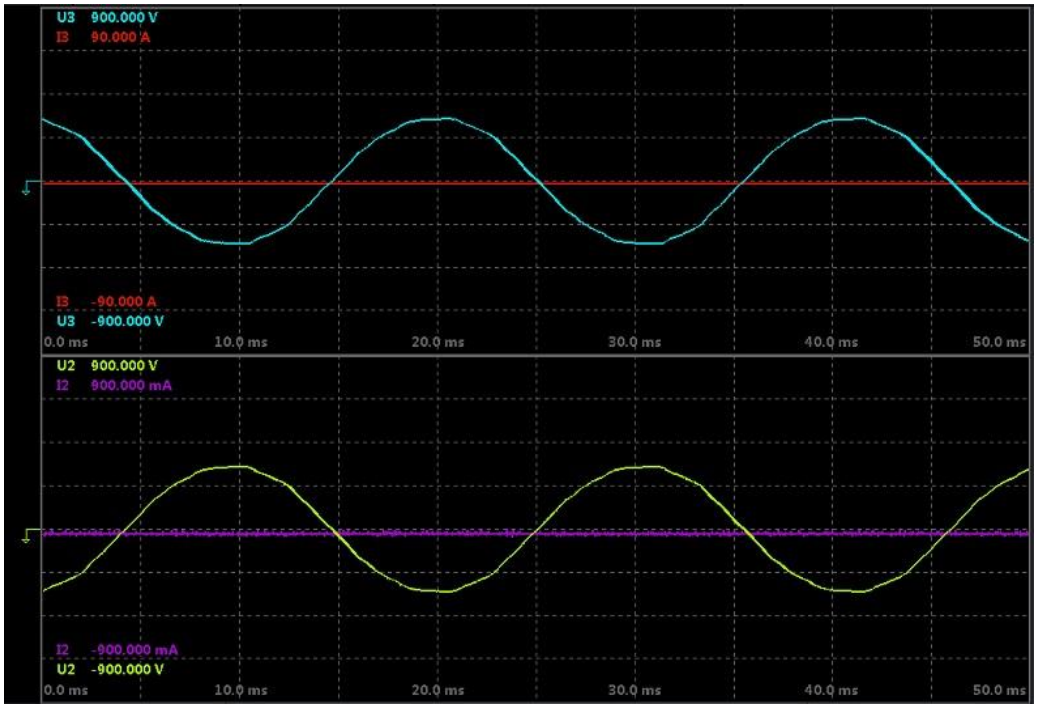


图 3.6 多个波形分屏显示

3.6.2 趋势分析

功率分析仪可测量各项数据在一段时间内的平均值，从而监控电源电压波动、电流消费等数据的变化趋势。PA2000mini 高精度功率分析仪最多可同时查看 16 个趋势测量项目，图 3.7 举例选择显示 4 项。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

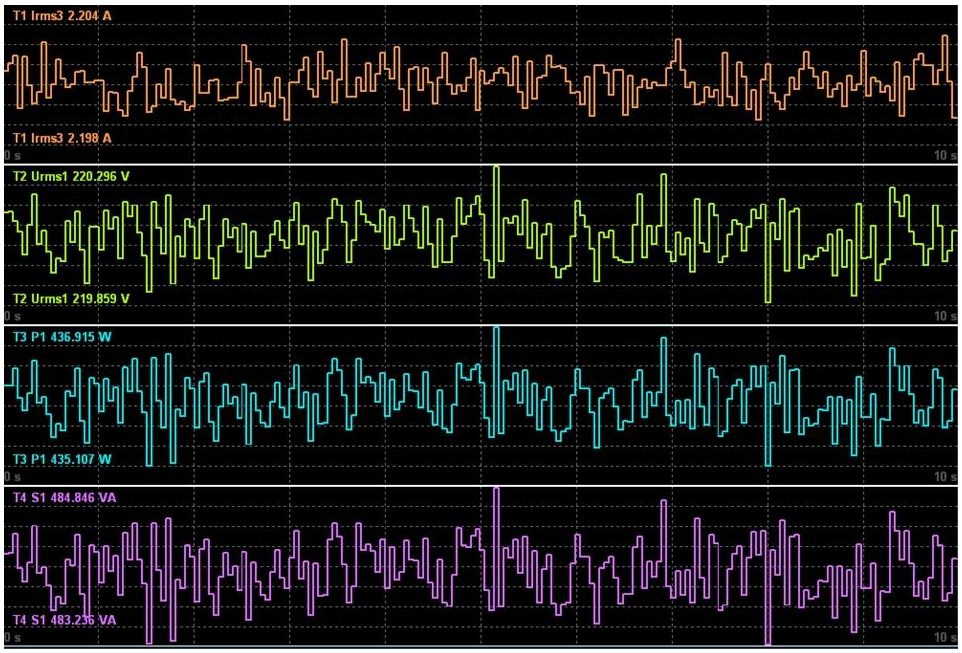


图 3.7　多个测量项目趋势分析

3.6.3 谐波分析功能

PA2000mini 高精度功率分析仪提供了高带宽的谐波分析功能，用于分析信号中的谐波含量，如电压、电流、功率、相位角等。采用柱状图显示谐波分析结果，可显示最大 128 次的谐波测量结果，如图 3.8 所示。

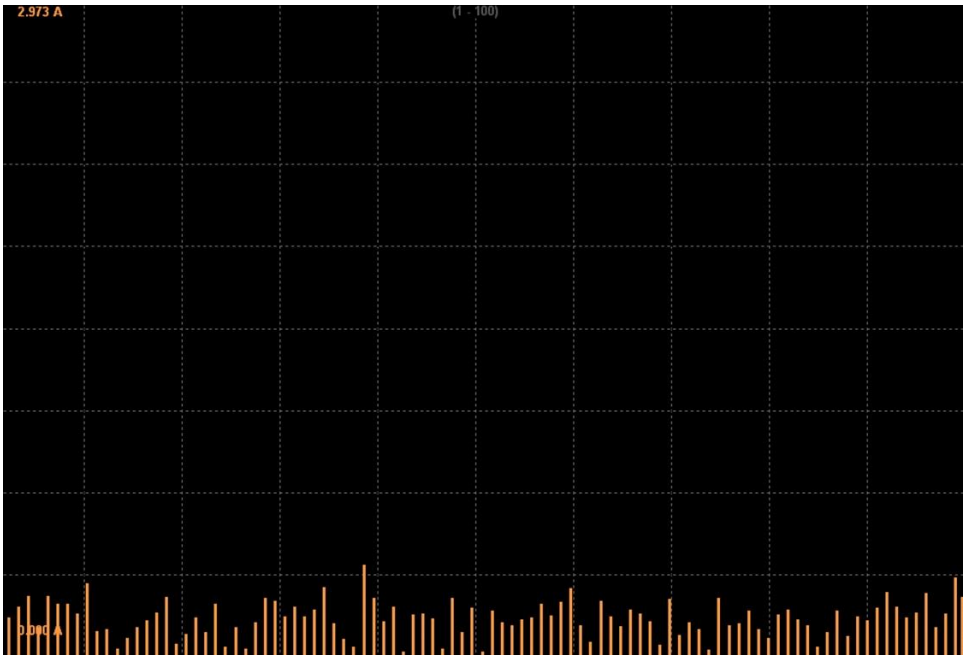


图 3.8　谐波柱状图

3.6.4 FFT 功能

功率分析仪的 FFT 模块将电压电流等原始数据进行 FFT 运算，得出原始数据的频率

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

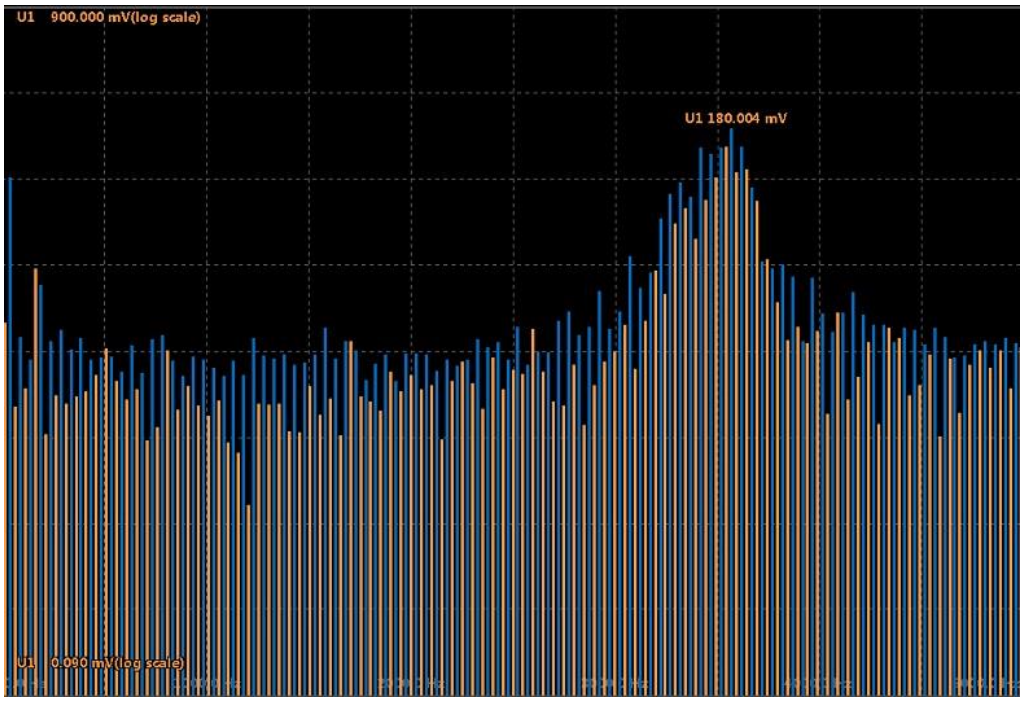
分布图。PA2000mini 高精度功率分析仪可以同时计算四组 FFT 数据，并且能分屏显示。针对每一个 FFT 波形，可以设置其显示标签、量程、参与运算的原始数据等信息；同时也可以设置 FFT 窗口、FFT 点数以满足不同的测量需求。



图 3.9　FFT 波形显示

3.6.5 IEC 谐波测量

IEC 谐波模块将原始采样点进行 DFT 处理，再根据 IEC61000-4-7 的规范计算出相应结果并显示数据，包括谐波/间谐波子组、功率谱数据、谐波/间谐波指标，如图 3.10 和图 3.11 所示。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 3.10　谐波/间谐波子组

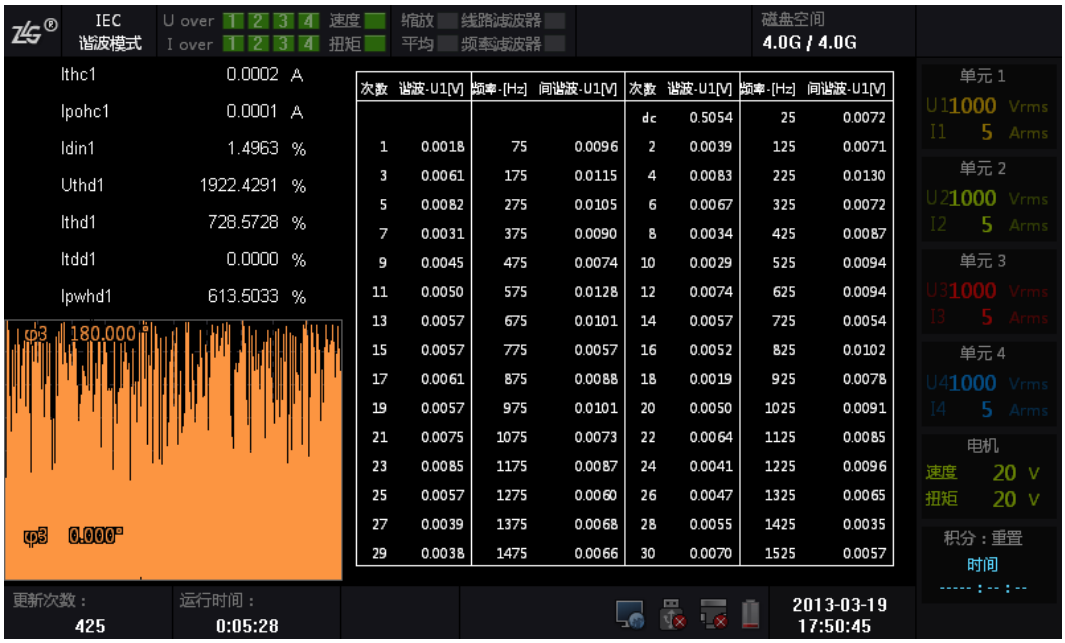


图 3.11　IEC 谐波测量所有视图

3.6.6 向量显示

测量各接线组的基波电压相位角、基波电流相位角、电压与电流的相位差、电压值、电流值、功率等，通过向量图评估各相平衡度，如图 3.12 所示。

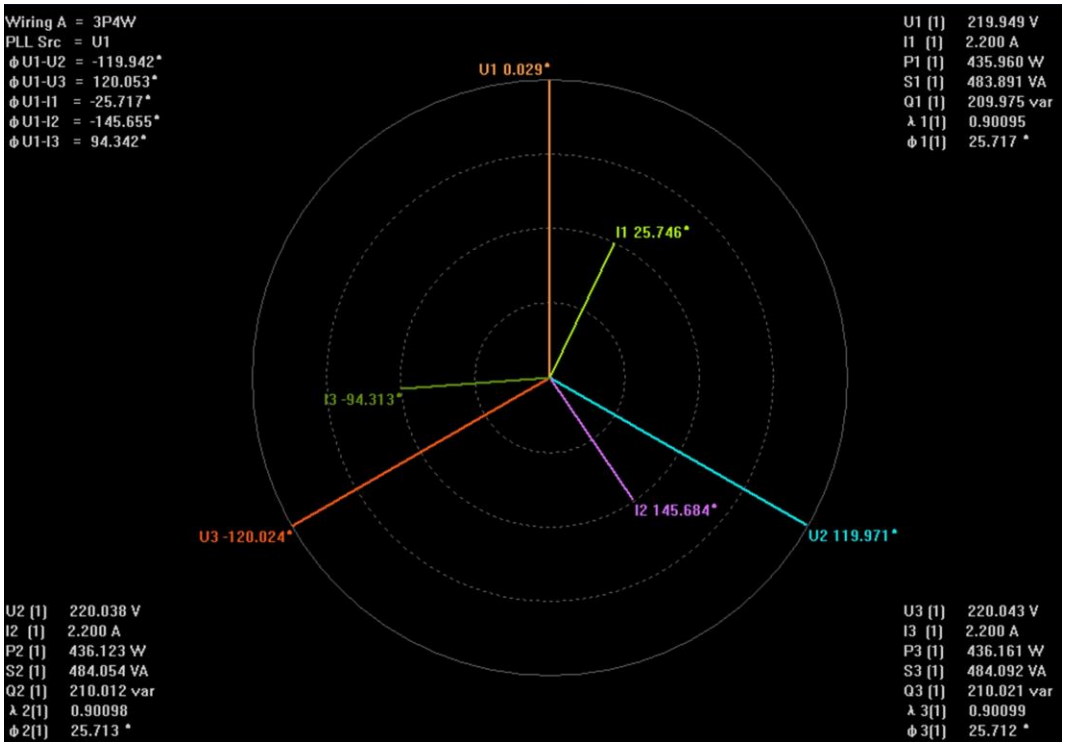


图 3.12　向量显示

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

3.6.7 闪变分析

PA2000mini 高精度功率分析仪提供闪变分析功能，符合国际标准 IEC61000-4-15 和测量标准 IEC61000-3-3。

电压波动造成灯光照度不稳定，导致的人眼视感反应称为闪变。PA2000mini 高精度功率分析仪可测量相对稳态电压变化 dc、最大相对电压变化 dmax、相对电压变化超过阈值的时间 d(t)、短时间闪烁值 Pst、长时间闪烁值 Plt（手动测量只可测试 dmax），并可判断是否超过正常值，以此综合评估闪变程度。闪变分析手动测量视图和自动测量视图分别见图 3.13 和图 3.14。闪变分析功能的详细描述见“第 17 章 闪变测量”。

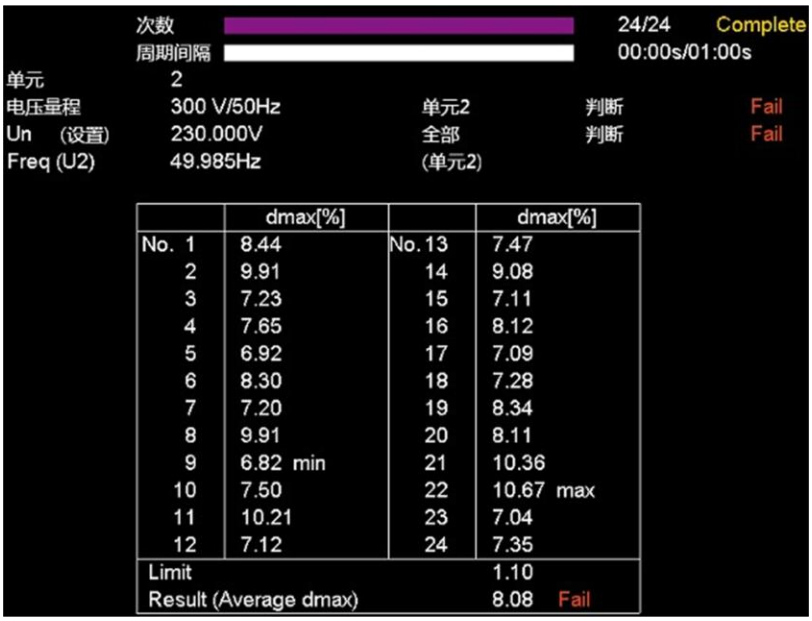


图 3.13　闪变分析手动测量视图



图 3.14　闪变分析自动测量视图

3.6.8 周期分析

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

周期分析测量以同步源信号为基准，计算每个交流输入单元和接线组的每个周期的电压、电流、有功功率、视在功率、无功功率、功率因数、转速、扭矩、机械功率。

No.	Freq[Hz]	■ U1[V]	I1[A]	P1[W]	Q1[VA]	S1[var]	λ1[ ]
1	49.973	231.728	0.005	0.001	1.216	1.216	0.001
2	49.970	231.727	0.005	0.001	1.217	1.217	0.001
3	49.970	231.715	0.005	0.002	1.217	1.217	0.002
4	49.970	231.685	0.005	0.000	1.215	1.215	0.000
5	49.969	231.673	0.005	0.000	1.213	1.213	0.000
6	49.969	231.514	0.005	0.002	1.214	1.214	0.002
7	49.977	231.380	0.005	0.003	1.217	1.217	0.003
8	49.977	231.350	0.005	-0.002	1.214	1.214	-0.002
9	49.977	231.322	0.005	0.001	1.217	1.217	0.001
10	49.967	231.341	0.005	-0.002	1.214	1.214	-0.001
11	49.967	231.349	0.005	-0.001	1.214	1.214	-0.001
12	49.977	231.325	0.005	-0.003	1.213	1.213	-0.002
13	49.977	231.325	0.005	0.002	1.215	1.215	0.002
14	49.977	231.250	0.005	0.002	1.217	1.217	0.002
15	49.968	231.260	0.005	0.002	1.214	1.214	0.001
16	49.968	231.219	0.005	-0.001	1.215	1.215	-0.001
17	49.960	231.242	0.005	-0.000	1.211	1.211	-0.000
18	49.960	231.278	0.005	0.001	1.211	1.211	0.001

图 3.15　周期分析视图

3.6.9 常规分析模式

在某些应用场合，用户需要测量仪器保存已测量的数据，并且在仪器上对数据执行各测量分析操作；另外，在某些应用场合，需要将变化速度较快的测量数据先保存，再逐个调出执行分析。

在常规模式下，PA2000mini 高精度功率分析仪会自动保存当前的测量数据；之后，令 PA2000mini 高精度功率分析仪进入常规分析模式，用户可调出当前保存的测量数据，并执行常规模式下的各种测量分析操作。

3.6.10　波形运算

波形运算模块除了波形显示之外，还能够使用自定义公式进行波形运算并显示。

PA2000mini 高精度功率分析仪可以同时设定两套公式，每套公式可以使用各个通道的 U、I 作为变量进行运算；公式中也可包含 Sin、Cos 以及 Sqrt 等常用函数。波形运算的详细功能描述见“第 7 章 波形显示与运算”。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

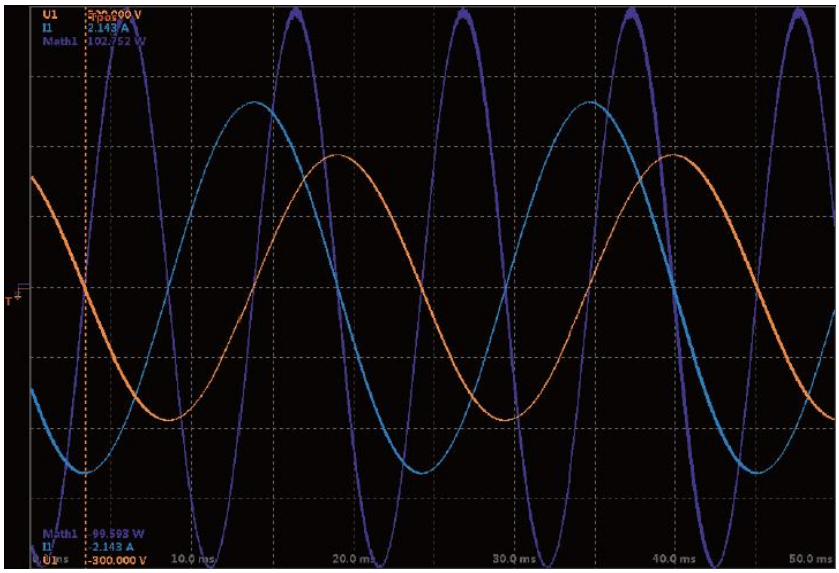


图 3.16　波形运算

3.6.11　电机测量

使用电机测量功能，可直接测出电机的转速、扭矩及机械功率。来自转速传感器或扭矩仪的信号可选择模拟信号 (直流电压) 或脉冲信号。另外，通过设定电机极数，可计算电机的电相角、同步速度和滑差；并且可利用本仪器测得的有功功率、频率和电机输出，计算电机效率和总效率，电机测量结果示意图见图 3.17。

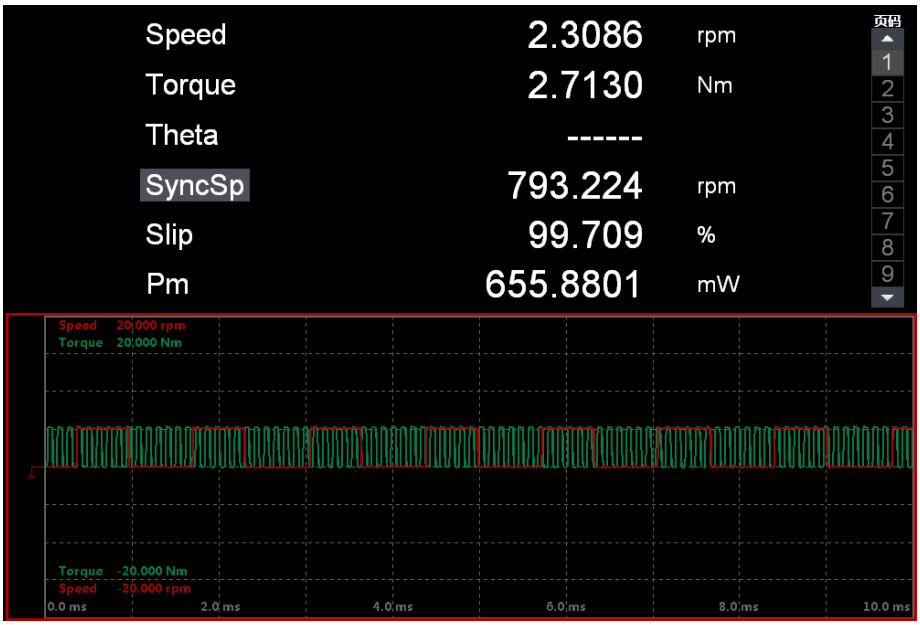


图 3.17　电机测量

3.7　补充阅读

3.7.1 输入单元

输入单元是指一组可以输入 1 相被测电压和电流的输入端子，输入端子均采用安全端子，以保证现场操作的便利性和安全性。PA2000mini 高精度功率分析仪最多有 4 个功率输

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

入单元和 1 个电机输入单元，如图 3.18 所示。输入单元的编号为 1~4，在被测量符号后添加编号，可判断出功率分析仪所显示测量数据所属的输入单元。例如，“Urms1”表示单元 1 的电压真有效值。

PA2000mini 高精度功率分析仪的功率输入单元电压端子支持直接输入或者 PT（电压互感器）输入；（电流互感器）输入，也可以通过电流传感器输入。

PA2000mini 高精度功率分析仪也可以增加电机输入单元，该单元用于测量电机扭矩信号和转速信号，支持频率信号或电压信号输入，从而支持电机信号输入，详见图 3.18。

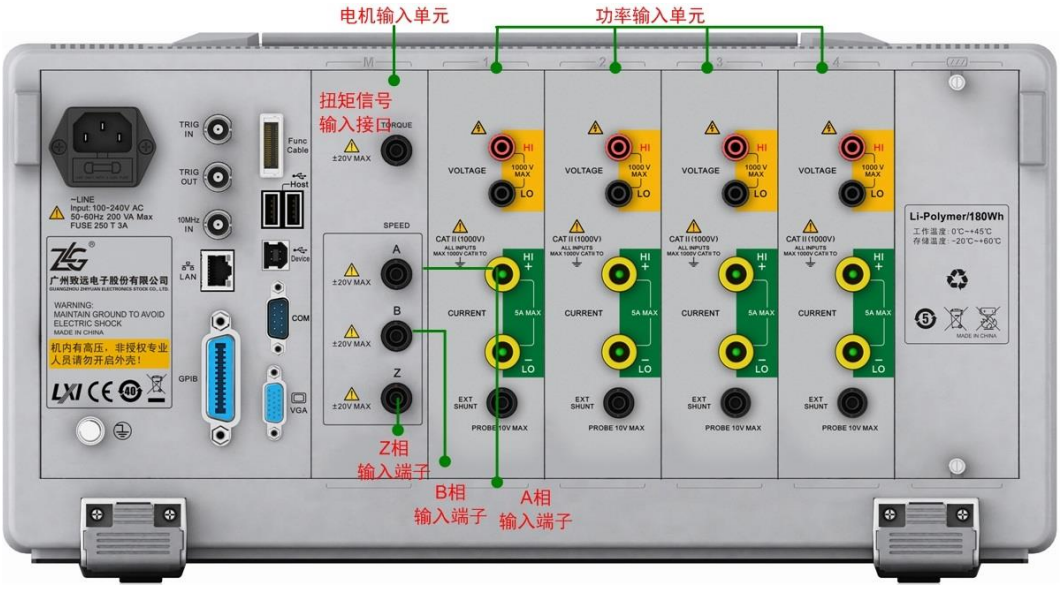


图 3.18　电机信号输入

图 3.19 描述了输入信号到 PA2000mini 高精度功率分析仪的连接。

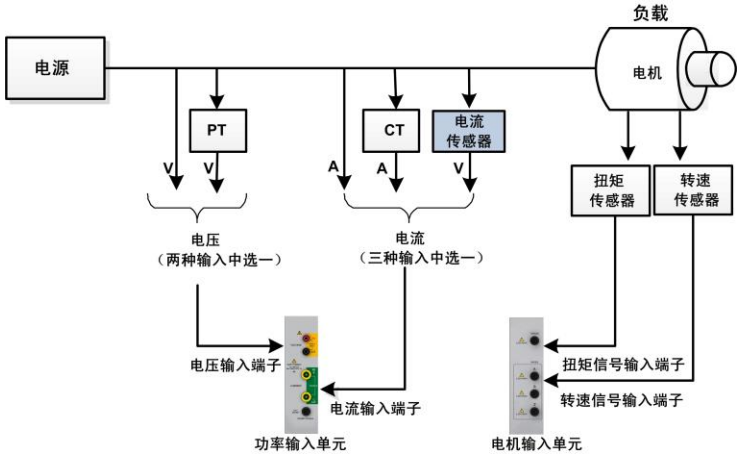


图 3.19　输入信号到输入单元

3.7.2 接线组

用户可以将 2~3 个类型相同的板卡（即输入单元）组成一组，即为接线组，以此来测量输入信号。PA2000mini 高精度功率分析仪根据接线方式的类型，最多可以组成 2 个接线组，分别用符号 ΣA、ΣB 表示，如图 3.20 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

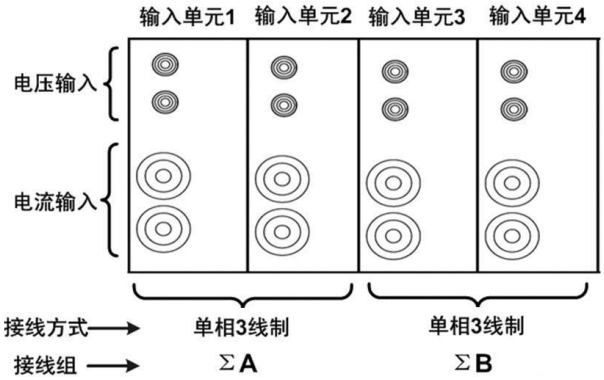


图 3.20　接线组

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

4. 面板介绍

本章介绍 PA2000mini 高精度功率分析仪前/后面板和左/右面板的功能。

4.1 前面板

4.1.1 面板组件

前面板功能说明如图 4.1 所示：

- **把手**。用于移动功率分析仪设备；
- **电源键**。用于接通或切断功率分析仪的电源；
- **USB Host 接口**。用于连接 USB 存储器和 USB 键盘等；
- **显示界面**。显示测量操作的信息；
- **功能按键区**。包括用于功率分析仪测量操作的各个按键。

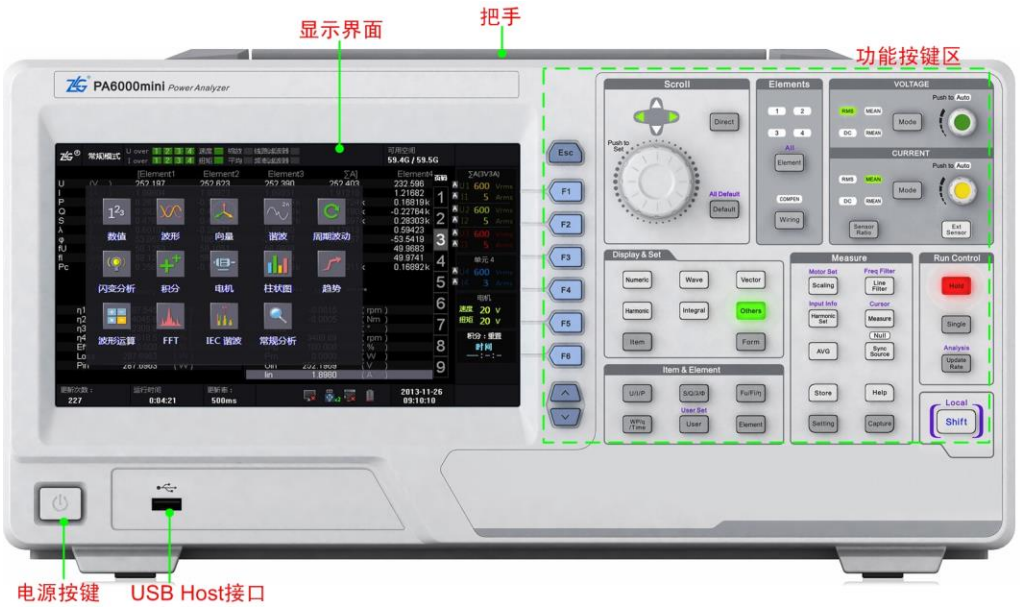


图 4.1 前面板

4.1.2 显示界面

1. 界面描述

根据测量功能和工作模式的不同，显示界面也有所不同，图 4.2 给出了常规测量模式下功率测量(数值显示)的屏幕显示实例。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 4.2　常规测量模式下的屏幕显示实例

对图 4.2 所示显示界面各部分功能说明如下：

- **当前工作模式**。用于说明功率分析仪当前所处的工作模式；
- **超量程指示灯**。当有功率输入单元或电机输入单元的测量值超过量程，则指示灯变为红色，否则指示灯为绿色。若没有插入功率输入单元或电机输入单元，则对应的指示灯为黑色；
- **数据更新率**。用于显示功率分析仪当前选择的数据更新率；
- **动态提示区**。用于在量程调节、远程控制等操作时，显示相关信息；
- **页码条**。用于指示当前显示测量数据所在的页；
- **输入通道信息显示**。用于指示各个输入单元或接线组的测量量程和接线设置；
- **当前时间**。功率分析仪可显示当前的年月日时间；
- **GPIB、USB、以太网连接状态**。用于显示 GPIB、USB、以太网的连接状态；详见表 4.1；
- **锂电池可用电量指示**；
- **内部磁盘已使用空间占比**。用于显示功率分析仪内部磁盘的已使用存储空间；
- **积分功能状态**。用于显示当前积分功能的执行状态和积分的时间参数。积分状态包

表 4.1 连接状态显示

连接状态说明	对应图标
USB 设备连接	
USB 设备未连接	
以太网已连接	
以太网未连接	
GPIB 已连接	
GPIB 未连接	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

括：Start（启动）、End（结束）、Error（错误）、Reset（重置）、Ready（就绪）。根据积分模式的不同，会显示不同的积分时间参数。积分时间参数包括定时时间、积分开始时间和结束时间、积分运行时间等；

- **采样数据更新次数**。用于显示测量启动后，当前各个输入通道采样数据的次数。

2. 显示符号

显示界面里可能出现的各种显示符号说明如图 4.3 所示。

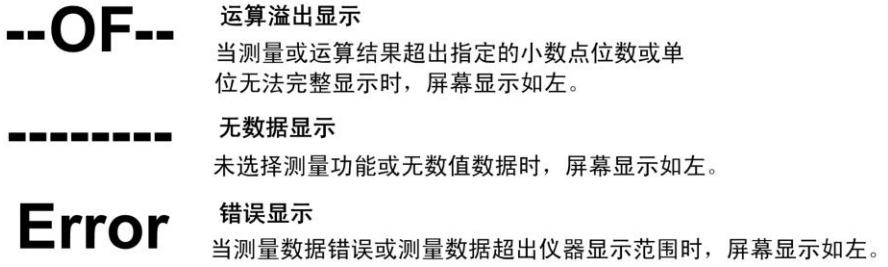


图 4.3　非数值显示

3. 超量程时的显示

当测量项目的 rms 测量数值超过当前量程的 140%或测量项的测量峰值超过当前量程的 330%时，测量值会变为红色，提示用户测量值超过了当前量程，详见图 4.4。



图 4.4　超量程提示

4. 测量数值的显示

本节介绍 PA2000mini 高精度功率分析仪的测量值显示。显示测量值时可使用如下形式：

- **数值 ＋ 词头 ＋ 计量单位**。例如 1kV、100kV；
- **数值 ＋ 计量单位**。例如 1000V、0.3A。

（1）数值

数值直接用阿拉伯数字表示，并且有效位数为 7 位。

（2）词头

词头符号

词头是加在计量单位前面构成十进制倍数或分数的因数符号，必须与计量单位连用，例如：3 kΩ不能写作 3k。测量数值显示使用的词头符号与对应的因数见表 4.2。

表 4.2　词头

对应因数	词头
10^6	M
10^3	k（小写）
10^{-3}	m

大小写

当词头对应的因数等于或大于 10^6，词头符号须大写；当词头对应的因数小于等于 10^3，词头符号须小写。

（3）计量单位

测量数值中使用的计量单位见表 4.3。

表 4.3　计量单位及其显示形式

计量单位	显示形式	计量单位	显示形式
伏特	V	赫兹	Hz
安培	A	转/分	rpm
瓦时	Wh	牛米	NM
安时	Ah	瓦特	W
伏安	VA	度	°
伏安时	VAh	欧姆	Ω
乏时	varh	乏	var

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

4.1.3 功能按键区

1. 概述

功能按键区如图 4.5 所示。对于具有第二功能的按键，用户可按 shift 按键组合该按键执行第二功能。例如，点击 Shift 按键+Element 按键，可切换该按键的功能为 All Element。

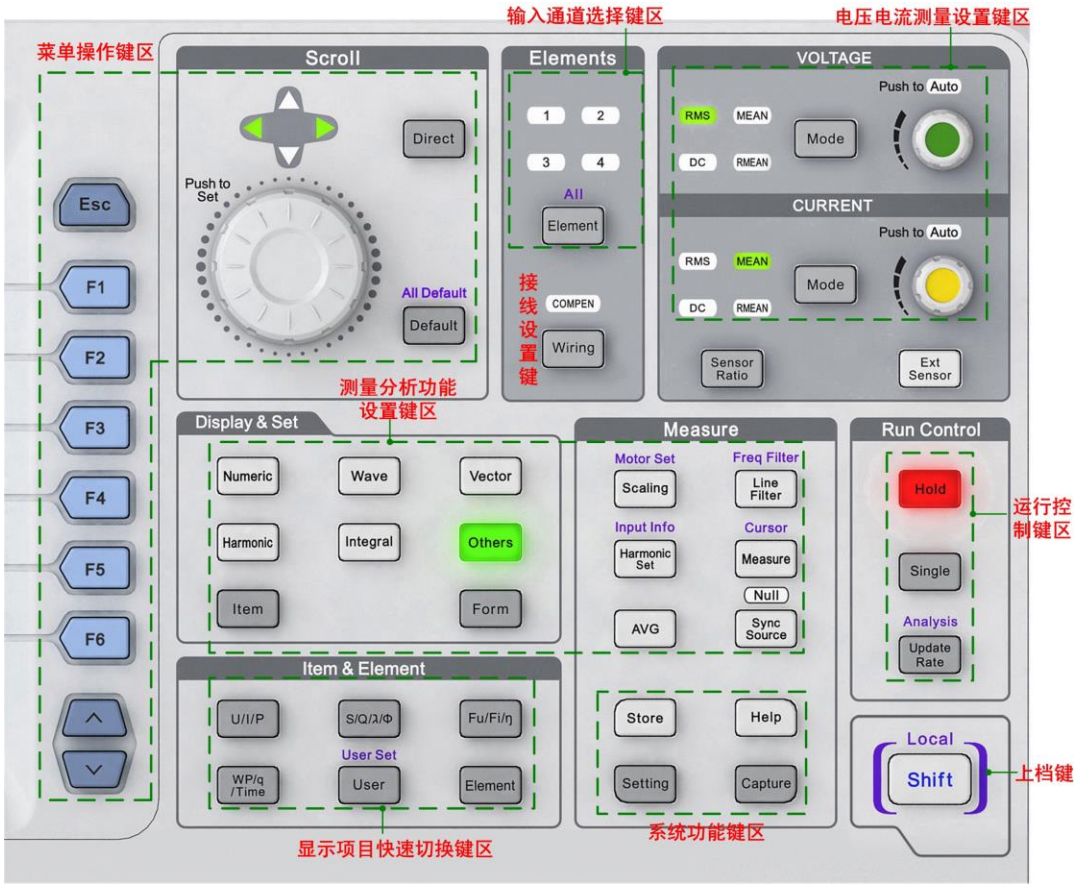


图 4.5　设定菜单的显示键和执行键

2. 系统功能键区

（1）功能键区说明

系统功能键区用于对功率分析仪器设备本身执行设置或操作，如图 4.6 所示，包括：储存功能键（Store 键）、系统功能设置键（Setting 键）、帮助功能键（Help 键）、屏幕捕获键（Capture 键）等。

（2）按键功能说明

系统功能设置键（Setting 键）

按下此键后，可显示系统功能设置菜单。用户可在菜单里设定日期/时间、锁键和解锁、显示亮度/对比度/分辨率、显示颜色、显示语言、风扇速度、屏幕捕获参数、触摸屏校准参数，还可执行文件管理、软件更新、设定信息初始化、查看系统状态、使用通信命令设定远程控制等操作。



图 4.6　系统功能键区

帮助功能键（Help 键）

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

按下此键后显示帮助窗口，为当前菜单提供帮助信息。

屏幕捕获键（Capture 键）

按下该键后，可将屏幕图像数据保存为图片并打印。

储存键（Store 键）

用于启动/停止储存操作等。按下该按键后，可显示文件保存菜单，用户可在菜单里设置文件名、存储模式、存储时间控制、数据类型、文件类型。

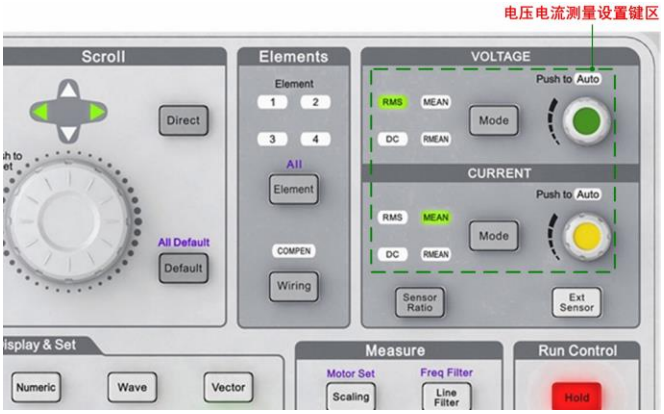


图 4.7　电压/电流测量设置键区

3.　上档键（Shift 键）

如图 4.5 所示，按住 Shift 键后，Shift 键就点亮，此时可以选择并执行操作键上方蓝色文字对应的功能。

4.　电压/电流测量设置键区

电压电流测量设置键区见图 4.7，该区用于设置电压和电流的测量量程、测量模式。电压电流测量设置键区各按键的功能说明如图 4.8 所示。



图 4.8　按键功能说明

测量模式切换键（Mode 键）

Mode 键用于切换电压/电流测量模式。测量模式可以在真有效值 RMS、校准到真有效值的整流平均值 MEAN、整流平均值 RMEAN、简单平均值 DC 中选择；并且选中的测量模式对应的指示灯会亮。

量程设置旋钮

量程设置旋钮用于选择测量量程。当按下旋钮时，Auto 指示灯亮，启用自动量程功能，功率分析仪将根据输入信号的振幅自动设定量程；当转动旋钮时，Auto 指示灯熄灭，切换到固定量程模式并选择量程类型。

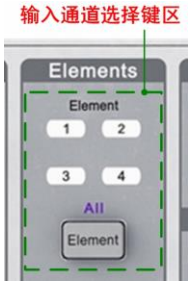


图 4.9　输入通道选择键区

5.　输入通道选择键区

输入通道选择键区如图 4.9 所示。按下 Element 键，可在 4 个输入单元中选择需要设置的输入单元，每按一下 Element 键则切换一次；同时，Element 键上方与选中输入单元对应

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

的指示灯也会点亮。

此外，也可以通过 Element 键选中所有输入单元。具体方法是按下换挡键 Shift 键，然后再按下 Element 键，则可选中所有输入单元。

6. 运行控制键区

如图 4.10 所示的运行控制功能键区用于测量功能的运行控制。



图 4.10 运行控制键区

Hold 键

Hold 键见图 4.10。Hold 键用于暂停当前测量并保持当前测量结果的显示。按下 Hold 键后，仪器进入保持状态并且 Hold 指示灯点亮。

保持状态下，以数据更新率进行的测量和显示动作被暂停；而所有测量功能的数据仍保持显示。此时，使用通信输出的数值数据及其它数值均为保持状态下的数值数据。

再按一次 Hold 键，Hold 指示灯熄灭，恢复正常测量功能，数据显示的更新亦恢复。

单次测量键（Single 键）

按下 Single 键可执行单次测量操作，Single 键见图 4.10。

保持状态下执行单次测量，则按当前数据更新率进行 1 次测量后重新进入保持状态。

数据更新率设定菜单键（Update Rate 键）

按下该键后，可配置电压、电流等数据的捕获间隔，也即数据更新率。加快数据更新率，可获取电力系统较快的负载变动；减慢数据更新率，可测量相对低频信号。

常规分析模式键（Analysis 键）

按下 Analysis 键，可使功率分析仪进入常规分析模式，并且显示常规分析模式的设定菜单。执行 Analysis 键的功能，需要同时按下换挡键 Shift 键和 Update Rate 键。Analysis 键如图 4.10 所示。

7. 显示项设置按键区

该按键区用于在数值显示视图里设置光标所在显示项所对显示的测量功能，如图 4.11 所示。

U/I/P 键、S/Q/λ/φ 键、Fu/Fi/η 键、WP/q/Time 键

用于在数值显示界面里，切换光标所在显示项中的测量功能。例如，按下 U/I/P 键，则光标所在显示项将显示 U、I、P 中的一个。



图 4.11 显示项目设置按键区

User 键

按下 User 键可显示用户自定义的测量功能 F1~F4。

输入通道切换键（Element 键）

每按一次 Element 键，光标所在显示项对应的输入单元或接线组将切换一次，切换顺序如下：

1→2→3→4→ΣA→ΣB→ 1→……

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

8. 菜单操作键区

菜单操作键区用于菜单操作，如图 4.12 所示。

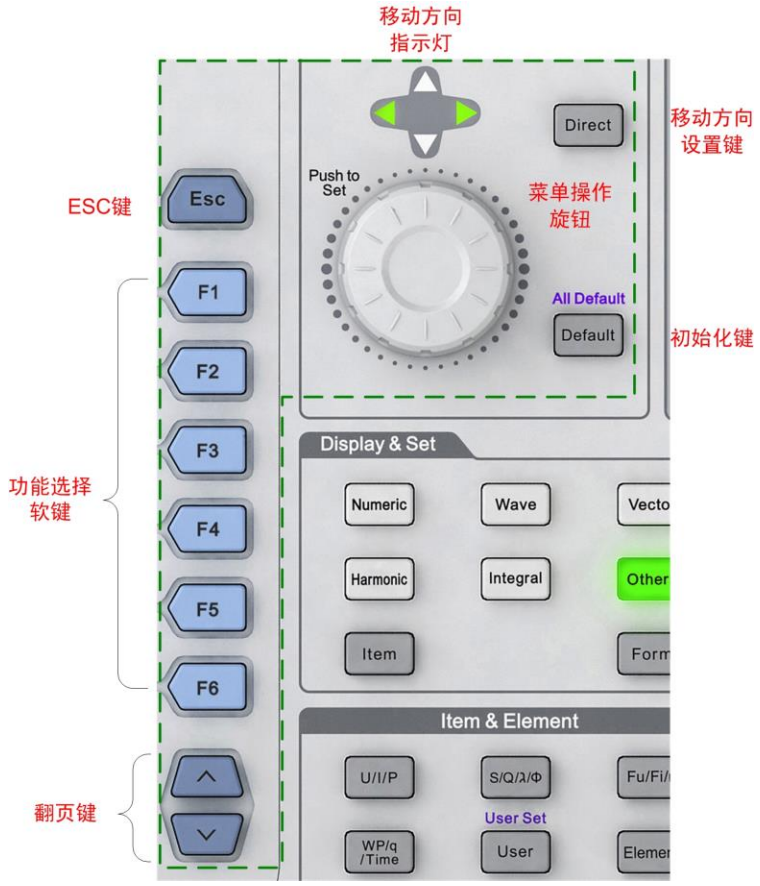


图 4.12　菜单操作键区

返回键（ESC 键）

返回键（ESC 键）如图 4.12 所示，该键具有隐藏当前菜单、显示当前菜单、返回上一级菜单的功能：

- **返回上一级菜单**。如果当前显示菜单非最上级菜单，按下 ESC 键返回上一级菜单；
- **隐藏当前菜单**。如果当前菜单是最上级菜单，按下 ESC 键后，隐藏当前菜单；
- **显示当前菜单**。如果当前菜单隐藏，则按下 ESC 键显示当前菜单。

按下该键后，退出当前菜单或对话框，同时在当前菜单或对话框执行的设置生效。

菜单操作旋钮

通过功率分析仪前面板如图 4.12 所示的菜单操作旋钮，可控制显示界面中光标的上下移动/左右移动和确认操作：

- 当前光标移动方向为左右移动时，顺时针方向旋转旋钮则光标向右移动，逆时针方向旋转旋钮则光标向左移动；
- 当前光标移动方向为上下移动时，顺时针方向旋转旋钮则光标向上移动，逆时针方向旋转旋钮则为向下移动；
- 按下菜单操作旋钮，可执行确认操作。

移动方向设置键（Direct 键）

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

按下 Direct 键可以切换当前的移动方向为上下移动或左右移动。当光标移动方向为左右方向，则方向指示灯的左右箭头灯点亮；此时按下 Direct 键，光标移动方向会切换为上下移动，同时方向指示灯的上下箭头灯也点亮。

Default 键

按下前面板上如图 4.12 所示的 Default 键后，会将光标所在的参数值重置为默认值。

All Default 键

先按下功率分析仪前面板上的 Shift 键，再按下 Default 键，执行 All Default 功能，配置当前对话框里所有参数项为默认值。

功能选择软键 F1~F6

功能选择软键包括 6 个按键 F1~F6，用于选择屏幕左方与按键相邻的菜单功能，如图 4.12 所示。

翻页键

翻页键用于上翻和下翻菜单。

9. 测量分析功能显示与设置按键区

测量分析功能显示与设置按键区如图 4.13 所示，用于显示各个测量分析功能或设置各测量分析功能的参数。

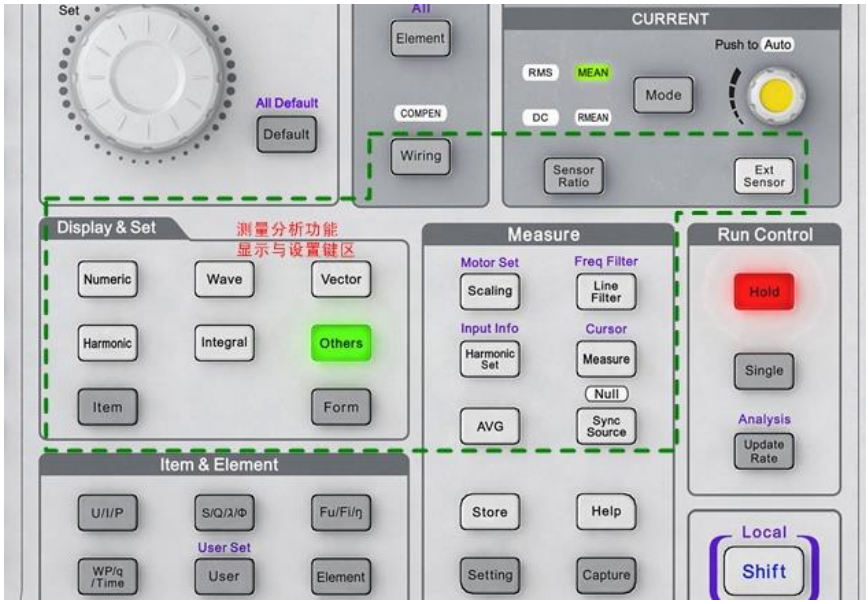


图 4.13 测量分析功能显示与设置按键区

对图 4.13 中显示&设置按键区的按键功能说明如下。

项目配置菜单键（Item 键）

按下 Item 键，可弹出当前显示的测量功能的项目配置菜单，在项目配置菜单里，用户可以设置测量功能的功能参数。

测量数值显示键（Numeric 键）

按下该键后，将以数值方式显示各测量功能的测量数据。

显示格式配置键（Form 键）

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

按下 Form 键，进入当前测量功能的显示格式配置菜单。例如，当按下 Numeric 键进入测量数值显示功能时，按下 Form 键可配置各测量数值的显示方式。

测量波形显示键（Wave 键）

按下 Wave 键后会显示测量功能对应的波形；按下 Wave 键后再按下 Form 键，可设定波形的显示参数。

向量显示按键（Vector 键）

按下 Vector 键后会显示向量图；此时再按下 Form 键，可配置向量的显示参数，如电压向量缩放、电流向量缩放等。

谐波测量按键（Harmonic 键）

按下 Harmonic 键后，显示谐波测量结果。用户可以选择以柱状图和数值方式显示谐波的测量结果。

积分功能键（Integral 键）

按下 Integral 键后显示积分测量结果与积分功能配置菜单，用户可在菜单里设定积分模式、积分定时器、积分自动校准、积分功能的开始/停止/重置等功能参数。

其它功能键（Others 键）

用于执行其它测量分析功能，例如：柱状图、趋势图、波形运算、FFT、IEC 谐波、数值+波形、数值+柱状图、周期分析、电机测量、闪变测量等功能。

外部电流互感器开关按键（Ext Sensor 键）

按下该按键可切换外部电流互感器的开/关状态。

接线设置菜单键（Wiring 键）

用于设定输入单元的接线参数。例如效率公式、效率补偿、接线补偿等。

比例设定菜单键（Scaling 键）

用于设定每个输入单元的 PT 比、CT 比和 SF 功率系数；从而将测得的 PT、CT 输出值、通过 PT/CT 的输出算得的功率值，转换为实际的电压、电流和功率值。

传感器比率设置键（Sensor Ratio 键）

按下该键，显示电压型电流传感器的换算比率设置菜单。

线路滤波器设定菜单键（Line Filter 键）

用于设定各个输入单元的线路滤波器。

频率滤波器设定菜单键（Freq Filter）

频率滤波器设定菜单键，用于设定各个输入单元的频率滤波器。用户同时按下 Shift 键 + Line Filter 键，弹出频率滤波器设定菜单。

平均功能菜单键（AVG 键）

按下平均功能菜单键，可进行平均功能的设置。平均功能见“开始测量之前”章中的“平均功能”小节。

测量条件查询键（Input Info 键）

测量条件键查询。按下该键后，显示每个输入单元的接线方式、接线组、测量量程、输入滤波器、比例及同步源等信息。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户自定义功能键（Measure 键）

按下该键，可设置用户自定义功能 F1~F20。

光标测量菜单键（Cursor 键）

按下 Shift + Measure 键，可进入光标测量菜单。该按键作用于波形、波形+数值、波形+柱状图、波形+趋势图。

同步源设定菜单键（Sync Source 键）

按下此键后显示同步源设定菜单，用户可设定每个输入单元的同步源。

Null 功能键（Null 功能键）

按下 Shift + Sync Source 键，执行 Null 功能，Null 功能生效，此时采样到的所有功率输入单元或接线组测量回路里的直流成分被去除；再按一次 Shift + Sync Source 键，Null 功能失效。

4.2 后面板

后面板如图 4.14 所示。

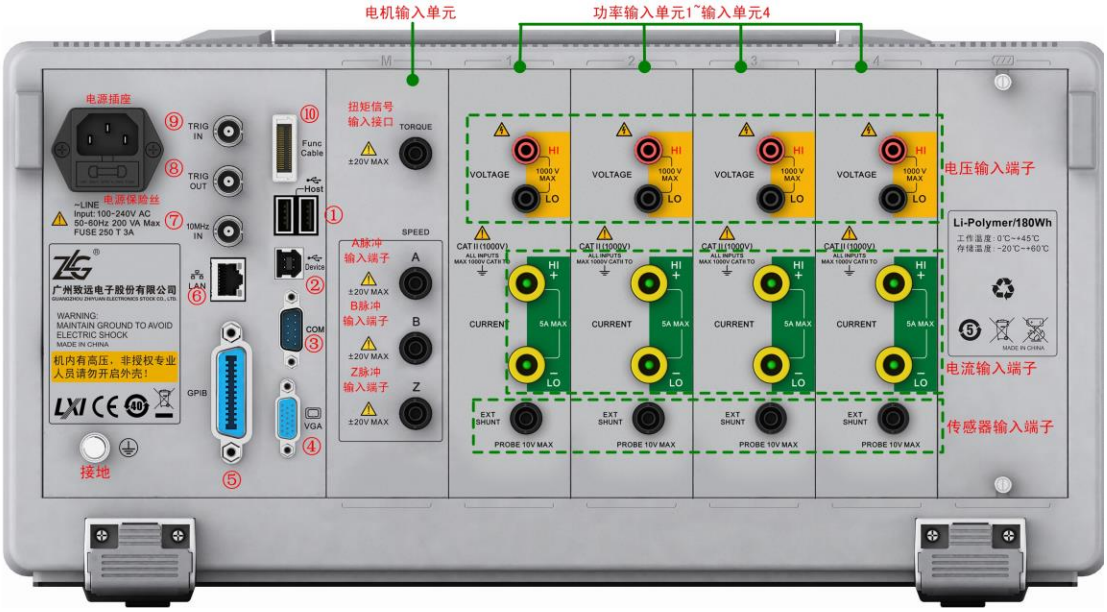


图 4.14 后面板说明

对后面板部分功能说明如下：

- **USB Host 接口**：如图 4.14 的标注①处所示，可用于连接 USB 存储器或 USB 键盘；
- **多机同步接口**。如图 4.14 的标注⑩处所示；
- **触发信号输入**。如图 4.14 的标注⑨处所示，可以发送给各子卡，用于子卡的同步触发；
- **触发信号输出**。如图 4.14 的标注⑧处所示；
- **10MHz 同步参考时钟输入**。如图 4.14 的标注⑦处所示。用户可使用 10MHz 同步时钟同步 PA2000mini 高精度功率分析仪；
- **千兆 LAN 接口**。如图 4.14 的标注⑥处所示。该接口为一路 10M/100M/1000M 以太网。右侧指示灯为数据传输指示灯，有数据传输时为黄色；左侧为链路指示灯，

表 4.4 RGB 视频信号输出规格

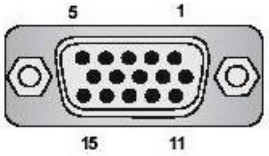
项目	规格
接口类型	D-sub 15 pin(插口)
输出类型	VGA 兼容

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

灯为绿色表示链路为 1000M 以太网；橙色表示为链路为 100M 以太网，灯灭则表示链路为 10M 以太网；

- **USB Device 接口。**如图 4.14 的标注②处所示，USB 2.0 高速 Device 接口；
- **GPIB 接口。**如图 4.14 的标注⑤处所示。目前，本 GPIB 仅支持从机功能；
- **标准全功能串口。**速率最大支持 115200bps，如图 4.14 的标注③处所示；
- **RGB 视频信号输出接口。**其物理接口形式为 15 针的 VGA 插座，通过此接口与 CRT 连接进行显示输出，最大分辨率为 800×480@60，规格如表 4.4 所示。视频输出接口的引脚配置和信号分配见表 4.5。连接仪器和监视器时须注意先关闭仪器和监视器的电源，再用模拟 RGB 线连接仪器和监视器；之后打开仪器和监视器的电源，仪器屏幕就显示在监视器上。

表 4.5　针脚配置和信号分配

针脚编号	信号名	规格	引脚排列示意图
1	红	0.7Vp-p	
2	绿	0.7Vp-p	
3	蓝	0.7Vp-p	
4、5、9、11、12、15	—		
6~8、10	GND		
13	水平同步信号	约 31.5kHz　TTL (负逻辑)	
14	垂直同步信号	约 60Hz　TTL (负逻辑)	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

5. 开始测量之前

5.1 概述

在使用 PA2000mini 高精度功率分析仪开始测量之前，需要完成如下工作：

- 阅读“输入通道连接与配置”小节，按要求完成输入通道的连接和配置工作；
- 设置测量量程和测量区间；
- 配置基本功能参数：平均测量功能、电压/电流模式、用户自定义功能；
- 阅读“精确测量”小节，准备测量环境。

用户也可使用配置向导来完成上述测量条件的初始化工作，详见“配置向导”节。

5.2 系统设置

用户须先设置 PA2000mini 高精度功率分析仪的系统功能参数，包括：日期/时间、按键锁、显示器、捕获、语言、触摸屏校准、软件更新、网络等。

5.3 调零

5.3.1 功能简介

在使用测量仪器之前，需要进行调零。调零是指令 PA2000mini 高精度功率分析仪内部电路中的输入信号为零，从而提高仪器测量的准确性。调零方式有自动调零和手动调零两种。

在如图 5.1 所示测量菜单里，用户可配置自动调零开关，若开启自动调零，则在改变测量量程和输入滤波器后，仪器会自动执行调零；而如果长时间使用同一个测量量程和输入滤波器，PA2000mini 高精度功率分析仪的零电平就可能因周围环境的变化而发生改变，这种情况下，须执行手动调零。

5.3.2 操作步骤

1. 进入测量菜单

按下前面板的 Measure 键进入测量菜单中的调零菜单，详见图 5.1。

2. 开启/关闭自动调零

在如图 5.1 所示测量菜单里按下“自动调零”软键，在弹出的对话框选择是否开启自动调零。

3. 执行手动调零

在如图 5.1 所示测量菜单里按下“调零”软键，即可执行手动调零操作。**为精确测量，建议仪器预热 30 分钟以上时间后再执行调零**。



图 5.1 调零操作

5.4 电压/电流模式

5.4.1 功能简介

用户通过选择电压/电流模式指定采样数据的计算方式：

- RMS：真有效值。电压/电流模式的默认值；
- MEAN：校准到有效值的整流平均值；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- DC：简单平均值；
- RMEAN：整流平均值。

每种模式的运算方法请查阅附录。

5.4.2 操作步骤

1. 选择输入单元

在前面板按下 Element 键，选择须配置电压/电流模式的输入单元或接线组。

2. 选择电压模式/电流模式

在前面板如图 4.8 所示处，按下电压测量模式切换键，从 RMS~RMEAN 中选择电压模式，当前选择的电压模式会显示如图 5.2 所示。



图 5.2 当前选择的电压模式

在前面板如图 4.8 所示处，按下电流测量模式切换键，从 RMS~RMEAN 中选择电流模式。同理，显示屏也会在如图 5.2 所示的位置显示当前选择的电流模式。

注：在 IEC 谐波测量模式和电压波动和闪烁测量模式下，不能选择电压和电流模式。

5.5 输入通道连接与配置

在使用测量功能前，须连接输入通道，并对输入通道作相关配置：连线配置、输入滤波器、PT/CT 比例（PT/CT 比例见“PT 和 CT”小节）、传感器比率等。

5.5.1 测量方法选择

首先，用户须根据被测电压和被测电流大小，选择合适的测量方法，详见表 5.1 和表 5.2。

表 5.1 电压测量方法选择

		当电压在 1000V 或以下	当电压超过 1000V 时
电压接线	直接输入	将测量用电缆连接到电压输入端子	不能直接输入
	PT（电压互感器）	将外部电压互感器(PT)的测量用电缆连接到输入单元的电压输入端子	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 5.2　电流测量方法选择

		当电压在 1000V 或以下		当电压超过 1000V 时
输入单元	5A[1]	当电流在 5A 或以下时	当电流超过 5A 时	—
电流接线	直接输入	将来自测量回路的测量用电缆**直接连接到电流输入端子**	不能直接输入	不能直接输入
	分流型电流传感器[2]	可将外部电流传感器**连接到电流传感器输入接口**来测量电流		不能使用分流型电流传感器
	钳式电流传感器（电压输出型）[2]	可将外部电流传感器**连接到电流传感器输入接口**来测量电流		
	钳式电流传感器（电流输出型）[2]	将外部电流传感器的测量用电缆**连接到输入单元的电流输入端子**		
	CT（电流互感器）[2]	将外部电流互感器(CT)的测量用电缆**连接到输入单元的电流输入端子**		

[1] 本功率分析仪使用的输入板卡最大电流 5A，详见“电流测量量程”。

[2] 电流传感器的说明见“电流传感器的种类”小节。

5.5.2 测量回路配置

1. 操作简介

测量前用户须配置测量回路。例如输入单元的连接方法、是否使用 PT 或电流互感器、PT 比或 CT 比配置、是否使用输入滤波器等。

按下仪器上如图 4.13 标注处所示的 Wiring 按键，可进入连线配置菜单完成如下配置：

- 接线设置。用于设置输入单元的接线方法；
- η 公式；
- 接线补偿；
- 接线组单独设置功能；
- 阈值；
- Δ 测量。



图 5.3　接线菜单

2. 接线方式设置

（1）功能简介

为测量各种单相、三相输电方式下的功率，PA2000mini 高精度功率分析仪提供了 5 种接线方式：单相 2 线制(符号：1P2W)、单相 3 线制(符号：1P3W)、三相 3 线制（符号：3P3W）、

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

三相 3 线制(3 电压 3 电流表法，符号：3P3W (3V3A))和三相 4 线制(符号：3P4W)。5 种接线方式的详细内容参见“接线方式”小节。

（2）操作步骤

进入接线设置菜单

用户首先需要设置输入单元的接线方式。在如图 5.3 所示的“接线设置”菜单里按下“接线设置”软键，弹出输入单元接线方式选择对话框如图 5.4 所示。



图 5.4　输入单元接线方式选择菜单

选择接线方式

在如图 5.4 所示对话框里选择需要配置接线方式的输入单元，再按下菜单操作旋钮，弹出接线方式选择对话框如图 5.5 所示，然后选择接线方式。

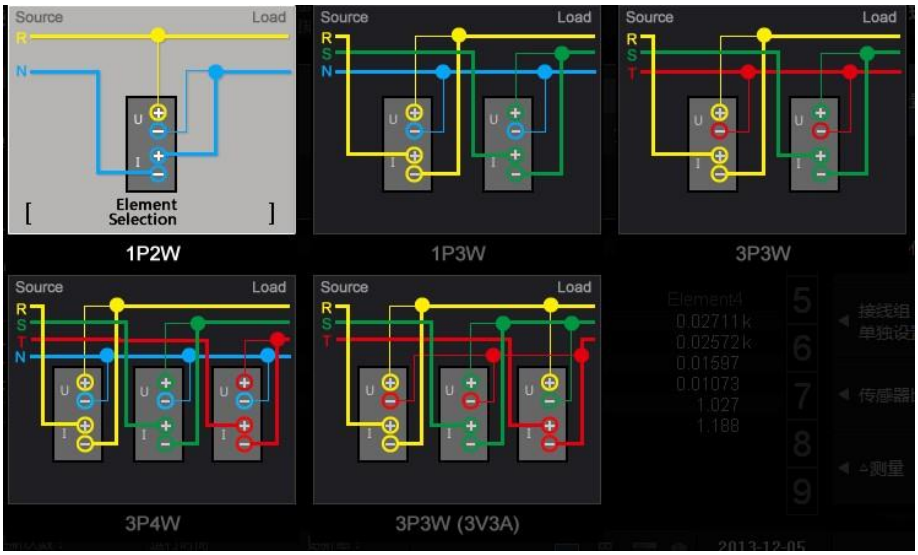


图 5.5　选择接线方式

当选择了 1P2W 以外的接线方式，组成接线组后，接线组的部分参数将变化如下：

- **测量量程变化**。接线组输入单元测量量程里最大的一个，成为接线组的测量量程。需要注意的是，电流量程里，外部传感器输入量程优先于直接输入电流量程；
- **电压/电流模式变化。**接线组的电压/电流模式设定和最大测量量程输入单元的一致。如果最大测量量程的输入单元不止一个，则与单元编号最小的输入单元一致；
- **自动量程变化**。接线组自动量程与测量量程最大输入单元的一致。当最大测量量程的输入单元不止一个时，自动量程优先跟随单元编号最小的输入单元；
- **同步源设定的变化**。接线组同步源设定与接线组中单元编号最小的输入单元一致。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

3. 输入单元单独设置

（1）功能描述

接线组里各输入单元的参数设置，只有部分可共享：

- 接线组内各输入单元可共享设置：
  - 测量量程设置；
  - 电压/电流模式；
  - 同步源设置；
- 输入单元必须单独设置的参数：
  - 比例(PT 比、CT 比、功率系数)；
  - 输入滤波器。

当输入单元是接线组的一部分（除 1P2W 以外），而用户要单独设置该输入单元的共享设置参数，须先使能该输入单元的单独设置。



图 5.6 接线组单独设置软键

（2）操作步骤

在如图 5.3 所示接线菜单按下“接线组单独设置”，弹出开关选择界面如图 5.6 所示，用户可选择是否关闭/打开接线组单独设置。

（3）示例

假设对输入单元 1~3 的接线方式设定为：三相 4 线制（3P4W），输入单元 1~3 组成接线组∑A：

- **当打开输入单元单独设置功能时**，用户可单独设定接线组中每个输入单元的测量量程或同步源；
- **当关闭输入单元单独设置功能时**，用户可同时设定接线组所有输入单元的测量量程和同步源，这对于测量三相设备很方便。

4. 传感器比率设置

若使用电压输出电流传感器，用户须设置传感器比率。例如，使用测得电流 1A 输出 10mV 的电压输出电流传感器测量 100A 的电流时，输出的电压为 10mV/A×100A = 1V，则传感器比率为 10mV/A。

按下前面板如图 4.13 所示 SensorRatio 按键，弹出对话框如图 5.7 所示。用户可使用菜单操作旋钮在对话框里设置输入单元的传感器比率。



图 5.7 互感器比率配置菜单

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

5. 电压/电流比例设置

（1）功能简介

用户可通过电压互感器或电流互感器测量信号，然后换算出变压、变流前的电压或电流数据。PT 比和电流输出型电流传感器的电流转换比例（CT 比）在 PT/CT 比例配置菜单里完成。

（2）PT/CT 比例配置菜单操作步骤

PT/CT 比例配置菜单用于配置 PT 比和 CT 比。

打开/关闭 PT/CT 比例设置功能

按下前面板如图 4.13 所示 Scaling 按键，显示缩放设置软键；按下缩放设置软键，弹出缩放设置对话框，用户可在对话框里设置 PT 比、CT 比。



图 5.8 比例设置菜单

若通过电压互感器或电流互感器测量，则选择“开”，此时，Scaling 按钮点亮，功率分析仪将电压互感器/电流互感器电压输出的电压 U、电流 I、功率(P、S、Q)、电压最大值和最小值(U+pk 和 U-pk)、电流的最大值和最小值(I+pk 和 I-pk)等乘以 PT 比、CT 比或功率系数，换算后再作为测量结果输出。若希望功率分析仪直接显示电压互感器/电流互感器的输出值，则选择“关”。

设定输入单元的电压/电流比例

用户可通过菜单操作旋钮在图 5.8 所示的对话框内设定输入单元的 PT 比、CT 比、SF 比。PT 比、CT 比、SF 比的设置范围如下：

- 可以在 0.0001~99999.9999 范围内设定 PT 比；
- 可以在 0.0001~99999.9999 范围内设定 CT 比；
- 可以在 0.0001~99999.9999 范围内设定功率系数 SF。

比例功能关闭时，图 5.8 所示设定信息列表中所有 PT、CT 及功率系数均显示为 1.0000。

6. 选择输入滤波器

（1）功能简介

PA2000mini 高精度功率分析仪有 2 种输入滤波器：线路滤波器和频率滤波器，可用于去除测量信号中的噪声。线路滤波器插在电压和电流测量回路里，频率滤波器插在频率测量回路。

频率滤波器插在频率测量回路，影响频率测量。由于该滤波器不是位于电压、电流和功率的测量回路，即便打开频率滤波器，得到的测量值也将包含高频成分。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（2）线路滤波器配置操作步骤

开启/关闭通道的线路滤波器

在如图 4.13 所示界面里按下 Line Filter 键，显示线路滤波器菜单；然后在菜单里按下电压/电流软键，用户可开启/关闭各输入单元的线路滤波器，如图 5.9 所示。



图 5.9　选择须配置线路滤波器的对象单元

选择线路滤波器的截止频率

通过菜单操作旋转按钮，在 OFF、1kHz、10kHz、100kHz 之间选择截止频率，如图 5.10 所示。如有对象单元的线路滤波器设为非 OFF 选项，那么 Line Filter 按钮就会点亮。



图 5.10　选择截止频率

（3）频率滤波器配置操作步骤

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

频率滤波器菜单

在图 5.11 所示界面，按 Shift+Line Filter 键选择频率滤波器功能，显示频率滤波器菜单。

开启/关闭频率滤波器

在频率滤波器菜单里可按下电压/电流软键，分别开启/关闭各输入单元的频率滤波器，如图 5.11 所示。



图 5.11　开启/关闭频率滤波器

选择截止频率

在图 5.11 所示菜单里，可选择截止频率为 500Hz 或 OFF，如图 5.12 所示。



图 5.12　选择滤波器的截止频率

（3）注意事项

注意事项如下：

- 输入信号的频率在 500Hz 以下时，建议打开频率滤波器；
- 频率滤波器可被用于精确检测过零点。PA2000mini 高精度功率分析仪检测过零点约有量程的 5%的迟滞；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 频率滤波器关闭时打开线路滤波器，会影响频率测量。

5.6 频率测量模式

用户可按下前面板如图 4.13 所示的 Measure 键，在弹出的测量功能菜单里设置输入信号频率的测量模式，如图 5.13 所示。

硬件测频对可测量输入信号范围有限制，一般要求输入信号在当前量程的 30%以上，如果低于该范围硬件测频可能测不出频率；软件测频则可通过特定算法计算出输入信号的频率范围，而不受输入信号范围的影响；但测量速度相对硬件测频更慢，准确性也较低。用户可在如图 5.13 所示对话框里选择自动切换频率测量模式、硬件测频软件测频。



图 5.13 频率测量模式

5.7 随机采样设置

当输入信号频率高于 100kHz，用户可选择随机采样模式，采样频率随机变动，自动适应输入信号，以避免采样频率相对输入信号过低，产生混淆现象，导致测量数据失效。

按下前面板的 Measure 按键，显示测量菜单，然后在测量菜单里按下“随机采样”软键，可开启/关闭随机采样功能，如图 5.14 所示。



图 5.14 随机采样开关

5.8 数字滤波设置

PA2000mini 高精度功率分析仪提供了数字滤波功能，用户可通过数字滤波器灵活设置对采样信号的滤波处理功能，去除干扰信号，数字滤波器菜单如图 5.15 所示。



图 5.15 数字滤波功能菜单

在图 5.15 所示对话框里，用户可设置各输入单元电压信号或电流信号的上限截止频率，如图 5.16 所示。高于上限截止频率的输入信号被视为干扰而被滤除。

注意：

- 当截止频率设置为 0 时，则关闭数字滤波功能。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 5.16　截止频率设置

5.9　同步测量

选择单机、主机、从机模式，单独一台仪器，选择单机模式，2 台仪器相连时可执行主/从机同步测量，同步测量菜单图 5.17。

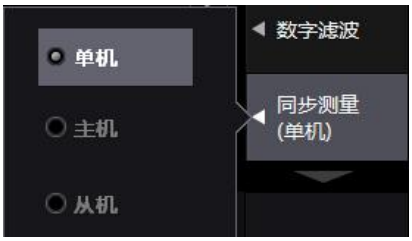


图 5.17 同步测量选择菜单

只能将一台设置为主机，一台设置为从机，用 BNC 线连接主机和从机的外部开始信号输入/输出接口，主机输出测量开始信号，从机接收信号，实现 2 台仪器同步测量。

- 主机开始测量的同时，从机也开始测量。
- 主机停止测量的同时，从机也停止测量。

5.10 设定接线补偿、效率补偿

5.10.1　功能简介

用户可通过接线补偿和效率补偿功能来补偿因测量接线或功率分析仪内部阻抗引起的测量误差：

- **接线补偿**。接线补偿功能用于补偿各输入单元因测量接线阻抗引起的测量误差；
- **效率补偿**。测量功率转换器(如变频器)二次侧的功率时，测量值将包含因 PA2000mini 高精度功率分析仪内部阻抗引起的损耗，该损耗在效率运算中会以误差的形式显示。用户可使用效率补偿功能补偿该损耗。

5.10.2　操作步骤

1. 显示接线菜单

按下前面板的 Wiring 按键，弹出接线设置菜单。

2. 显示接线补偿对话框

在如图 5.3 所示接线设置菜单按下接线补偿软键，显示接线补偿对话框，如图 5.18 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 5.18　接线补偿对话框

3. 选择须执行接线补偿的输入单元

在图 5.18 所示接线补偿对话框，选择要设定接线补偿的输入单元。

4. 选择接线补偿方式

选择输入单元后，用户可选择如下接线补偿方式：

- **OFF**。此时不执行接线补偿；
- **U-I**。当测量较小电流，使用 U-I 接线补偿方式时，电压测量值等于各单元的电压值减去“施加在电流端子的电压”。施加在电流端子的电压计算公式为：电流测量值 × 电流端子的输入阻抗；
- **I-U**。当测量较大电流，使用 I-U 接线补偿方式时，电流测量值等于各单元的电流值减去“流经电压端子的电流”。流经电压端子的电流的计算公式为：电压测量值/电压端子的输入阻抗。

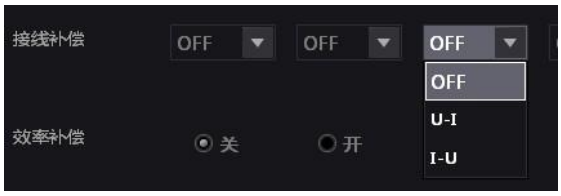


图 5.19　接线补偿方式的选择

5. 开启效率补偿

如果需要效率补偿功能，用户可在如图 5.18 所示的对话框里选择开启效率补偿。

5.11 量程和区间设定

开始测量之前需要设置测量量程、同步源、数据更新率等参数。

5.11.1 设置量程

1. 操作简介

PA2000mini 高精度功率分析仪的量程模式包括固定量程模式、自动量程模式。用户需要为输入单元选择量程模式：

固定量程模式。该模式下，量程固定不变；

自动量程模式。自动量程模式下可切换的量程种类和固定量程是相同的，只是在自动量程模式下，功率分析仪会根据当前测量值，在测量值不超量程的前提下（详见表 5.3，自动选择固定量程中最小的一个。对于测量失真波形等非正弦波信号，选择最小测量量程可实现高精度测量。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 5.3　超量程

输入单元类型	超量程触发
电机输入单元	模拟信号测量值＞当前量程的 110%
功率输入单元	RMS、MEAN、DC、RMEAN 四种电压/电流模式下， U、I 信号测量值>当前量程的 140%或 U、I 信号峰值＞当前量程的 330%[1]

[1]　PA2000mini 高精度功率分析仪的峰值因数固定设置为 3。

2.　被测信号直接输入时的量程配置

（1）选择输入单元

在前面板按下如图 4.9 所示的 Element 键，选择须配置直接输入测量量程的输入单元，出现输入单元选择界面。

（2）设定电压测量量程

选择输入单元后，可调节如图 4.7 所示的电压量程旋钮设定电压测量量程：

- 顺时针旋转旋钮增加量程；
- 逆时针选择旋钮减小量程；
- 按下旋钮则启用自动量程模式，此时 Auto 指示灯点亮。

设定电压量程时，当前选中输入单元的电压量程设置会在图 4.2 所示的动态显示区实时显示，如图 5.20 所示。



图 5.20　电压量程显示

（3）设定电流量程

在不经过外部传感器而直接测量电流时，需要关闭外部传感器再设定电流量程。

关闭外部传感器

用户首先须关闭外部传感器。用户可按下前面板上如图 4.13 所示的 Ext Sensor 键开启/关闭外部传感器。当关闭外部传感器时，Ext Sensor 键熄灭，反之则点亮。

调节电流量程

调节如图 4.7 所示的电流量程旋转按钮设定电流量程：

- 顺时针旋转旋钮增加量程；
- 逆时针旋转旋钮减小量程；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 按下旋钮则开启自动量程模式，并且 Auto 指示灯点亮。

电流测量量程显示

设置电流测量量程时，显示界面如图 4.2 所示的动态提示区内会显示当前的电流量程。

（4）设定其它输入单元的电流测量量程

重复以上步骤，为其它输入单元设定电流测量量程。

3. 使用外部电流传感器时的量程配置

（1）操作简介

用户可将电压输出型电流传感器的输出信号引入输入单元进行测量。

（2）选择输入单元

首先须按下 Element 键选择须设置测量量程的输入单元。

（3）打开外部电流传感器

用户须先打开该输入单元的外部传感器，此时 Ext Sensor 键点亮；然后指定外部电流传感器量程。

（4）设定外部电流传感器量程

虽然外部电流传感器输出的是电压信号，但仍须通过电流量程调节旋钮设定电流量程：

- 顺时针旋转旋钮增加量程；
- 逆时针旋转旋钮减小量程；
- 按下旋钮则开启自动量程模式，此时 Auto 指示灯点亮。

例如，使用电流 1A 换算输出 10mV 的电流传感器测量最大 100A 的电流时，产生的最大电压为 10mV/A×100A = 1V。因此，对电流传感器量程应设为 1V。进行电流量程设置时，动态显示区会显示当前设置的电流量程。

（5）选择其它输入单元

重复以上步骤，为其它输入单元设定外部电流传感器量程。

5.11.2 测量区间设定

常规测量时，测量区间决定了采样数据的获取范围。测量区间是由同步源和数据更新率共同决定的。同步源为测量操作提供了基准信号，数据更新率决定了采样数据的更新周期。

1. 设定同步源

（1）操作说明

本节主要介绍同步源的设定。

（2）操作步骤

选择须配置同步源的输入单元

按下前面板如图 4.13 所示的 Sync Source 软键，显示同步源菜单。在同步源菜单里，选择须配置同步源的输入单元，如图 5.21 所示。



图 5.21 选择须配置同步源的输入单元

选择同步源

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

选定须配置同步源的输入单元之后，进一步选择并设置同步源，如图 5.21 所示。同步源可从下列选项选择：U1、I1、U2、I2、U3、I3、U4、I4、None。

如果同步源设定不当，测量值有可能不稳定或出现错误。

（3）注意事项

默认同步源

注意，功率分析仪的默认同步源为 U1；因此，若用户没有指定同步源，并且输入单元 1 正常工作，则默认使用 U1 作为同步源。

同步源信号畸变的处理

如果同步源信号发生畸变，或者有高频噪声重叠，可能导致测量到不同于基波频率范围的信号。如果遇到这种情况，用户须打开频率滤波器。

同步源信号电平过低

如果同步源信号电平低于过零检测电平，将无法正确检测过零。这样有可能导致测量值不稳定，或者出现超时。

2. 设定数据更新率

（1）操作简介

用户需要根据具体测量需要设定数据更新率。加快数据更新，可获取电力系统较快的负载变动；减慢数据更新，可获取较长信号的数个周期内的采样数据。

3. 操作步骤

（1）显示 Update Rate 菜单

在前面板按下图 4.10 所示的 Update Rate 按键，显示数据更新率配置菜单如图 5.22 所示。

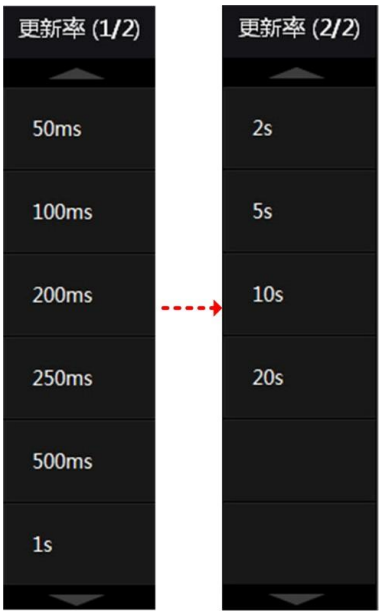


图 5.22　数据更新率选择

（2）选择数据更新率

在图 5.22 所示菜单里选择合适的数据更新率。可选择的数据更新率包括：50ms、100ms、200ms、250ms、500ms、1s、2s、5s、10s、20s。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

5.12 功率测量参数初始化

用户可使用 PA2000mini 高精度功率分析仪测量有功功率、视在功率、无功功率、修正功率、功率转换效率等。在测量之前，需要初始化相关参数。

5.12.1 设定视在功率、无功功率和修正功率的运算公式

1. 操作简介

（1）选择视在功率、无功功率的运算公式

有 3 种功率：有功功率、无功功率和视在功率，通常情况下，它们的定义公式分别如下所述（U：电压有效值、I：电流有效值、 Φ：电压和电流的相位差）：

- 有功功率 P = UIcos Φ；
- 无功功率 Q = UIsin Φ；
- 视在功率 S = UI。

三个功率之间的关系：(视在功率 S)^2 = (有功功率 P)^2 + (无功功率) ^{2}

上述定义式只适用于正弦波；但在测量失真波形时，根据上述公式，视在功率和无功功率的测量值会有所不同；因此，提供了 3 种运算公式用于求取视在功率和无功功率。

用户可在 Type1~3 中选择视在功率和无功功率的运算公式，详见表 5.4。

表 5.4 每个测量模式下可选择的运算公式

测量模式	S、Q 的运算公式		
	TYPE1	TYPE2	TYPE3
常规测量	可选	可选	可选
谐波模式	固定为 TYPE3		
IEC 谐波	可选	可选	可选
波形运算	可选	可选	可选
FFT	固定为 TYPE2		
电压波动和闪烁	不支持		
周期分析	不支持		

Type 1

Type1 运算公式：

- 三相 4 线制的有功功率 PΣ = P1 + P2 + P3；
- 三相 4 线制的视在功率 SΣ = S1 + S2 + S3 (= U1 ×I1 + U2 ×I2 + U3 ×I3)；
- 三相 4 线制的无功功率 QΣ = Q1 + Q2 + Q3

$$(=\sqrt{(U1\times I1)^2-P1^2}+\sqrt{(U2\times I2)^2-P2^2}+\sqrt{(U3\times I3)^2-P3^2})$$

当电流相位超前电压时，Q1、Q2、Q3 的符号为负（ - ），反之为（ + ）。

Type 2

Type2 运算公式：

- 三相 4 线制的有功功率 PΣ = P1 + P2 + P3；
- 三相 4 线制的视在功率 SΣ = S1 + S2 + S3 (= U1 ×I1 + U2 ×I2 + U3 ×I3)；
- 三相 4 线制的无功功率 $Q\Sigma=\sqrt{S\Sigma^2-P\Sigma^2}$。

Type 3

Type3 运算公式：

- 三相 4 线制的有功功率 PΣ = P1 + P2 + P3；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 三相 4 线制的视在功率 $S\Sigma = \sqrt{P\Sigma^2 + Q\Sigma^2}$；
- 三相 4 线制的无功功率 $Q\Sigma = Q1 + Q2 + Q3$。

（2）设定修正功率

修正功率(Pc)是常规测量模式下的一个测量功能。当连接到变压器的负载非常小时，需要补偿被测变压器的有功功率。在这种情况下，须设定补偿公式和系数。

设定修正功率须选择标准和系数。可从以下标准中选择：IEC76-1(1976)、IEEE C57.12.90-1993、IEC76-1(1993)。系数 P1 和 P2 可在 0.0001~9.9999 范围内设定。

注意：只在电压模式为 RMS 或 MEAN 时计算修正功率。

2. 操作步骤

（1）显示公式对话框

按下前面板的 Measure 按键，显示测量菜单；然后按下测量菜单里的公式按键，弹出公式对话框，如图 5.23 示。

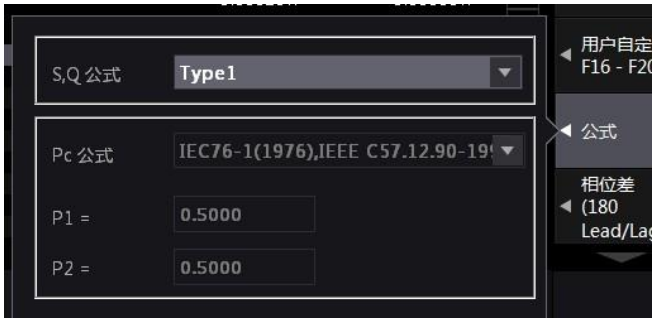


图 5.23 显示公式对话框

（2）设定视在功率和无功功率的运算公式

在 Type1、Type2、Type3 中选择 S、Q 的运算公式，如图 5.24 所示。



图 5.24 S、Q 的运算公式

（3）设定修正功率

设定 Pc 公式

在图 5.23 所示对话框里，将光标移动到 Pc 公式；然后选择 Pc 公式。用户可选择“IEC76-1(1976),IEEE C57.12.90-1993”或 “IEC76-1(1993)”。

设定系数

当公式的适用标准是“IEC76-1(1976),IEEE C57.12.90-1993”时，用户可通过菜单操作

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

旋钮设定系数 P1 和 P2。

3. 注意事项

视在功率和无功功率的公式设定受测量模式的限制。例如，如果在常规测量模式下将公式设为 Type1，然后切换到周期分析模式，那么公式会自动切换到 Type2。如果再切换回常规测量模式，公式也会自动切回 Type1。

5.12.2 设定效率公式

1. 功能简介

功率转换效率 = 输出功率 / 输入功率 × 100%

功率转换效率 η 的计算公式可由用户根据具体情况设定。例如，设备的输入功率是 PΣA，输出功率是 PΣB，将 η 公式设为 η = PΣB / PΣA × 100 便可计算出该设备的功率转换效率；而在安装电机输入单元的仪器上，可将公式设为 η = Pm / PΣA × 100 或 Pm / PΣB × 100，即可计算出电机的功率转换效率。

用户可以将各输入单元、接线组的功率及电机输出功率作为效率公式的运算项，创建 4 个效率公式(η1~η4)，用于求出被测设备的功率转换效率。效率公式设定示例见“补充阅读”小节。

2. 操作步骤

（1）显示接线菜单

按下前面板的 Wiring 按键，显示接线设置菜单。

（2）设定效率公式

如图 5.25 所示，在接线设置菜单里按 η 公式软键，弹出 η 公式对话框。



图 5.25 η 公式配置对话框

（3）配置 η 公式的分子/分母

调节菜单操作旋转按钮，从 η1~η4 中选择要设定效率公式的分子或分母。如图 5.26 所示，用户可配置 η1 的分子为 P1~P4、Pm、PΣA、PΣB、def1、Udef2。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 5.26　效率公式分子/分母配置

（4）配置 Udef1 或 Udef2

如果需要把多个运算项相加的和作为效率公式的分子或分母，则可选择 Udef1 或 Udef2 作为分子或分母，并且对 Udef1 或 Udef2 进行配置。如图 5.27 所示，可以看到 Udef1 可设置为各个功率的和。



图 5.27　效率运算参数设定

3.　注意事项

在 IEC 谐波测量模式、电压波动和闪烁测量模式、周期分析测量模式下，不能执行效率运算。

注意要确保所有用于效率运算的功率单位的一致性。例如，单元或接线组之间的功率单位既有 W(瓦特)又有 J(焦耳)时，将无法正确计算。

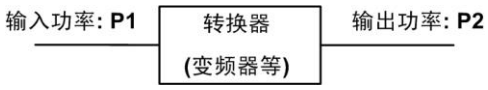


图 5.28　功率公式

4.　补充阅读

效率公式的几个示例如下所述。

单相 2 线制输入/单相 2 线制输出设备的效率

输入：单元 1 的功率(P1)

输出：单元 2 的功率(P2)

效率公式：P2/P1

单相 2 线制输入/三相 3 线制输出设备的效率

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

输入：单元 1 的功率(P1)

输出：单元 2、单元 3 的 Σ 功率(PΣA)

效率公式：PΣA/P1

三相 3 线制输入/三相 3 线制输出设备的效率

输入：单元 1、单元 2 的 Σ 功率(PΣA)

输出：单元 3、单元 4 的 Σ 功率(PΣB)

效率公式：PΣB/PΣA

单相 2 线制输入电机的效率

输入：单元 1 的功率(P1)

输出：电机输出(Pm)

效率公式：Pm/P1

三相 3 线制输入电机的效率

输入：单元 1、2 的 Σ 功率(PΣA)

输出：电机输出(Pm)

效率公式：Pm/PΣA

5.13 平均功能

5.13.1 功能简介

当电源或负载变动较大或输入信号频率较低时数值显示不稳定、读取困难；此时可开启平均处理功能，求取和显示多次测量的平均值。因此，输入信号如果发生急剧变化，测量值对变化的响应会变慢。PA2000mini 高精度功率分析仪支持指数平均和移动平均两种类型。

1. 常规测量时的平均功能配置

（1）指数平均

用户可设定衰减常数对电压或电流有效值、有功功率的瞬时值（采样数据）进行指数平均，去除被测量的高频成分。衰减常数越大，噪声去除效果越好；但测量延迟也会相应变长。

（2）衰减常数或平均个数

用户使用平均功能需要配置相关参数。平均类型若是 Exp(指数平均)，则设定衰减常数；若是 Lin(移动平均)，则设定平均个数。无论是指数平均的衰减常数，抑或移动平均的平均个数，设置值越大测量值越稳定，对输入变化的响应速度也放缓。

（4）执行平均处理的测量功能

可执行平均处理的测量功能包括：U、I、P、S、Q 和 Torque、speed、Pm。

λ、φ、Cfu、CfI、Pc、η1~η4 是从经过平均处理的 P、Q 运算而得，滑差是由经过平均处理的转速值运算而得；所以这些功能都受平均处理的影响。

2. 谐波测量时的平均处理功能配置

（1）谐波测量下的平均处理功能

谐波测量的平均处理功能

谐波测量功能仅支持指数平均功能。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

IEC 谐波测量模式

该模式下不支持平均功能。

（2）执行平均处理的测量功能

下列测量功能直接被平均处理：

- U(k)、I(k)、P(k)、S(k)、Q(k)。k 是谐波次数；
- Z、Rs、Xs、Rp、Xp、Uhdf、Ihdf、Phdf、Uthd、Ithd、Pthd、Uthf、Ithf、Utif、Itif、hvf、hcf。

λ(k)、φ(k)是经过平均的 P(k)、Q(k)运算而得；所以也受平均处理影响。

3. 不支持平均处理的测量功能

不支持平均处理的测量功能如下所述：

- IEC 谐波测量模式、电压波动和闪烁测量模式、周期分析测量模式；
- 常规测量模式下的测量功能 q、q+、q-、WS、WQ、fU、fI、U+pk、U-pk、I+pk、I-pk、Time、WP、WP+、WP-、SyncSp；
- 谐波测量的测量功能 φU(k)、φI(k)、φUi-Uj、φUi-Uk、φUi-Ii、φUi-Ij、φUi-Ik。

上述测量功能符号的含义请参考附录。

5.13.2 操作步骤

1. 显示平均处理菜单

在前面板按下 AVG 键显示平均处理菜单。

2. 配置平均处理参数

在如图 5.29 所示的菜单里，调整菜单操作旋转按钮，依次执行以下配置：



图 5.29 配置平均处理参数

① 开启平均处理功能。

② 选择平均类型。

③ 平均类型若是 Exp(指数平均)，设定衰减常数；若是 Lin(移动平均)，设定平均次数。

5.14 用户自定义功能

5.14.1 功能简介

用户可自定义运算公式，求取测量功能以外的物理量。运算公式由运算项、运算符组成。

1. 运算项

运算项由测量功能符号、输入单元编号、谐波编号组成。运算公式内运算项的个数不限，运算项和测量项目的对应关系见表 5.5。

表 5.5 运算项列表

测量项目	运算项符号	测量项目	运算项符号
Urms<x>[1]	Urms<x> / URMS<x>	Slip	Slip / SLIP
Umn<x>	Umn<x> / UMN<x>	η<x>	ETA<X>
Udc<x>	Udc<x> / UDC<x>	Udef<x>	Udef<x> / UDEF<x>
Urmn<x>	Urmn<x> / URMN<x>	F<x>	F<x>

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

测量项目	运算项符号	测量项目	运算项符号
Irms<x>	Irms<x> / IRMS<x>	Uthd<x>	Uthd<x> / UTHD<x>
Imn<x>	Imn<x> / IMN<x>	Ithd<x>	Ithd<x> / ITHD<x>
Idc<x>	Idc<x> / IDC<x>	Pthd<x>	Pthd<x> / PTHD<x>
Irmn<x>	Irmn<x> / IRMN<x>	Uhdf<x>	Uhdf<x> / UHDF<x>
fU<x>	fU<x> / FU<x>	Ihdf<x>	Ihdf<x> / IHDF<x>
fI<x>	fI<x> / FI<x>	Utif<x>	Utif<x> / UTIF<x>
U+peak<x>	UPPK<x>	Itif<x>	Itif<x> / ITIF<x>
I+peak<x>	IPPK<x>	hcf<x>	hcf<x> / HCF<x>
U-peak<x>	UMPK<x>	hvf<x>	hvc<x> / HVF<x>
I-peak<x>	IMPK<x>	U<x>(n)	U<x>(n) [1]
CfU<x>	CfU<x> / CFU<x>	I<x>(n)	I<x>(n)
CfI<x>	CfI<x> / CFI<x>	P<x>(n)	P<x>(n)
P<x>	P<x>	S<x>(n)	S<x>(n)
Pc<x>	Pc<x> / PC<x>	Q<x>(n)	Q<x>(n)
S<x>	S<x>	λ<x>(n)	LAMBDA<x>(n)
△F1<mode><group>	DELTAF1<mode><group>	△F2<mode><group>	DELTAF2<mode><group>
△F3<mode><group>	DELTAF3<mode><group>	△F4<mode><group>	DELTAF4<mode><group>
△P1<group>	DELTAP1<group>	△P2<group>	DELTAP2<group>
△P3<group>	DELTAP3<group>		
Q<x>	Q<x>	φ<x>(n)	PHI<x>(n)
λ<x>	LAMBDA<x>	φU<x>(n)	UPHI<x>(n)
φ<x>	PHI<x>	φI<x>(n)	IPHI<x>(n)
WP<x>	WP<x>	Z<x>(n)	Z<x>(n)
WP+<x>	WPP<x>	RS<x>(n)	RS<x>(n)
WP-<x>	WPM<x>	XS<x>(n)	XS<x>(n)
WS<x>	WS<x>	RP<x>(n)	RP<x>(n)
WQ<x>	WQ<x>	XP<x>(n)	XP<x>(n)
q<x>	q<x> / AH<x>	Uhdf<x>(n)	UHDF<x>(n)
q+<x>	qP<x> / AHP<x>	Ihdf<x>(n)	IHDF<x>(n)
q-<x>	qM<x> / AHM<x>	Phdf<x>(n)	PHDF<x>(n)
Pdc<x>	PDC<x>	Speed	Speed / SPEED
Pdc+<x>	PDCP<x>	Torque	Torque / TORQUE
Pdc-<x>	PDCM<x>	Theta	Theta / THETA
SyncSp	SyncSp / SYNC	Pm	PM
Torque	Torque / TORQUE	Speed	Speed / SPEED
自定义运算公式	F1~F20[2]	Slip	Slip / SLIP
ΣA	SA	η<x>	ETA<X>
ΣB	SB	Udef<x>	Udef<x> / UDEF<x>
ΣC	SC	F<x>	F<x>

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

[1] 运算项符号中的“x”表示输入单元编号，但不包括接线组；“n”表示谐波次数，当 n=1 时即表示基波。“( )”是运算项符号的一部分，在书写运算公式时不可省略；“<>”用于在表 5.5 中标记输入通道号 x，在书写运算公式时不能写出。

[2] 在使用 F1~F20 中的某一个自定义运算公式 Fm 来定义 Fn 时，n 必须>m。例如，定义 F1 = F2 + F3 则定义无效；但定义 F3 = F2 + F1 则有效。

2. 运算符

有 11 种运算符：+、－、*、/、ABS(绝对值)、SQR(平方)、SQRT(平方根)、LOG(自然对数)、LOG10(常用对数)、EXP(指数)和 NEG(负数)，详见表 5.6。

表 5.6 运算符

运算符	说明
+、－、*、/	四则运算
ABS	绝对值
SQR	平方
SQRT	平方根
LOG	自然对数
LOG10	常用对数
NEG	负数
EXP	指数

3. 示例

求输入单元 2 电压信号的谐波成分的有效值：

$$\sqrt{\text{所有电压的有效值}^2 - \text{基波电压信号的有效值}^2}$$

用户可自定义运算公式：SQRT(SQR(Urms2) – SQR(Urms2(1)))来完成计算。

5.14.2 操作步骤

1. 开启/关闭用户自定义功能配置对话框

在前面板按下 Measure 键，显示用户自定义菜单；然后在用户自定义菜单里可自定义自定义功能 F1~F20，显示用户自定义功能配置对话框如图 5.30 所示。



图 5.30 用户自定义功能配置对话框

2. 编辑用户自定义功能

选择要编辑的测量项目，选择“开”，然后将光标定位到表达式或单位处，弹出编辑菜单，如图 5.31 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 5.31　用户自定义功能表达式编辑菜单

通过以上步骤，用户即可完成自定义功能的设置。

5.15 配置向导

PA2000mini 高精度功率分析仪为用户提供了配置向导功能，帮助用户在开始测量前完成对仪器的基础配置。按下前面板的 Setting 键，在弹出的菜单中执行配置向导，如图 5.32 所示。



图 5.32　配置向导

用户可通过配置向导依次配置如表 5.7 所示的参数。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 5.7　配置向导的配置

序号	示意图	配置描述
①		配置 接线组
②		配置 传感器
③		电压量程 配置
④		电流量程
⑤		同步源 设置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

序号	示意图	配置描述
⑥		更新率设置
⑦		滤波器设置
⑧		最后一步，谐波设置。完成设置后，按下“完成”软键

5.16 精确测量

为实现精确测量，请注意以下事项：

- 请在环境温度：23±5℃ 环境湿度：30~75%RH (无结露)的条件下使用仪器，在5~18℃ 或 28~40℃ 的环境温度下使用时，测量结果需加上温度系数；
- 在环境湿度为 30%或以下的场所使用时，须使用防静电垫防止静电；
- 将仪器从温度较低的场所移到较高场所或因温度骤变仪器出现结露现象时，需让仪器适应变化后的环境温度 1 小时以上，恢复到无结露状态后方可使用；
- 考虑杂散电容和测量电压电流大小的因素。

杂散电容的影响

当测量单相设备时，将仪器的电流输入端子连接到接近电源接地电位的一端，可以降低杂散电容对测量精度的影响，详见图 5.33。

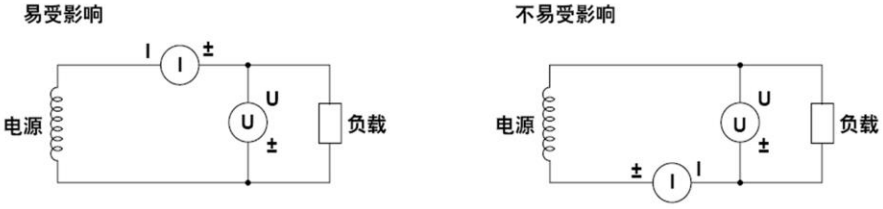


图 5.33　降低杂散电容对测量精度的影响

测量电压和电流的大小对测量的影响

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

根据测量电压和电流的大小，须注意输入端子的位置，详见图 5.34。

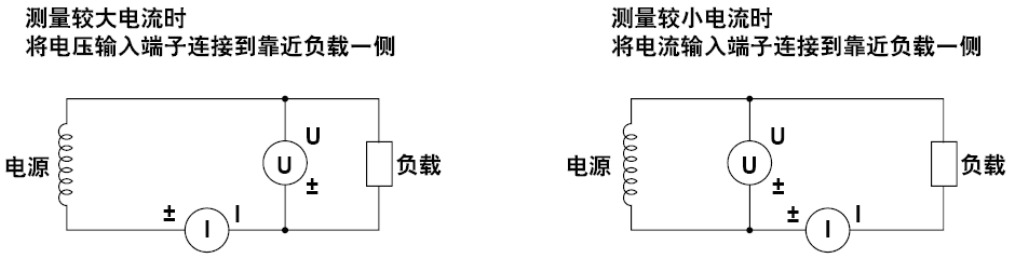


图 5.34　测量电压和电流的大小对测量的影响

5.17 补充阅读

5.17.1　PT 和 CT

CT，电流互感器，英文拼写 Current Transformer，是将一次侧的大电流，按比例变为适合仪表使用电流的变换设备，它的工作原理和变压器相似。

PT，电压互感器，英文拼写 Potential Transformer，是将一次侧的高电压按比例变为适合仪表使用电压的变换设备。

5.17.2　电流传感器的种类

常用电流传感器的类型与其说明参见表 5.8。

表 5.8　电流传感器介绍

类型	说明
分流式电流传感器/电压输出型电流传感器	分流式电流传感器又叫分流器，是将阻抗很小的精密电阻串接在待测电流信号回路中；当电阻上有待测电流信号通过，则可测量电阻两端的电压，根据欧姆定律计算出待测电流大小
电流互感器（Current transformer 简称 CT）	电流互感器的作用是把数值较大的一次电流通过一定的比例转换为数值较小的二次电流，用来进行测量
钳式电流传感器	常用于现场测试，不用拆开被测线路，使用方便。它可将电流变换为固定函数关系的磁场信号，再将磁场信号变换为成函数关系的电压或电流信号；从而测出被测电流

5.17.3　接线方式

1.　单相 2 线制和单相 3 线制

单相 2 线制与单相 3 线制的区别在于是否有接地线。

在家庭用电里，标准的单相用户有三线：相线、中性线（符号 N）和接地线，此即为单相 3 线制，单相 3 线制使用 PT/CT 时的接线举例如图 5.39 所示；单相二线制就是相线和中性线（符号 N），这里给出单相二线制下使用 PT/CT 时的接线举例如图 5.35 所示。

（1）单相 2 线制接线示例

测量仪表接线

单相 2 线制下根据电路的不同，测量仪表接线方法也不同，详见图 5.35。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

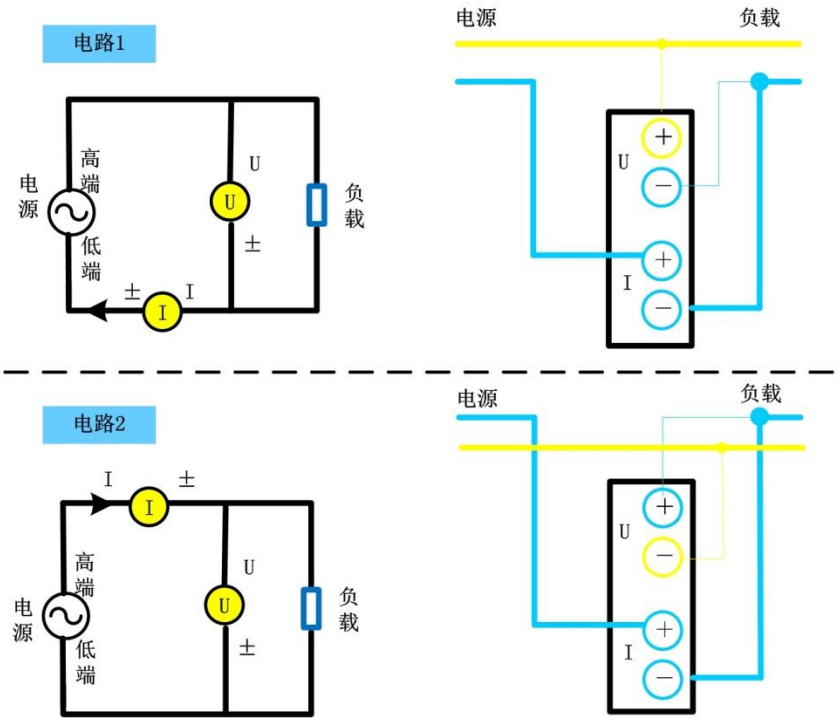


图 5.35　单相 2 线制(1P2W)，测量仪表的接线

使用 PT 和 CT 时的接线

使用 PT 和 CT 进行测量时的接线示例如图 5.35 所示。

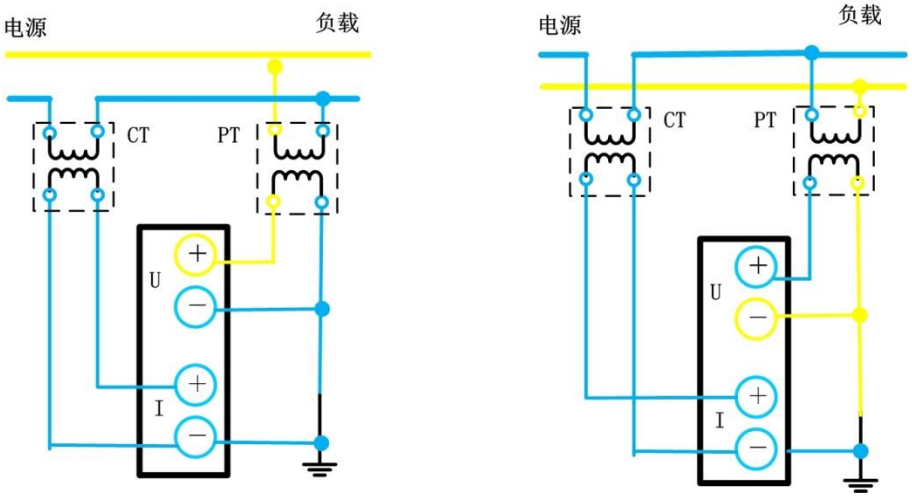


图 5.36　单相 2 线制(1P2W)，使用 PT/CT 时的接线举例

接线实例

PA2000mini 高精度功率分析仪单相 2 线制下的接线实例如图 5. 37 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

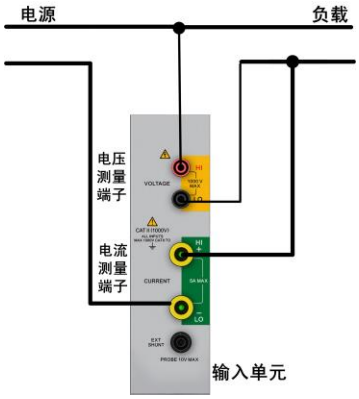


图 5.37　1P2W 下功率分析仪接线实例

（2）单相 3 线制

测量仪表接线

单相 3 线制下测量仪表接线方法见图 5.38。

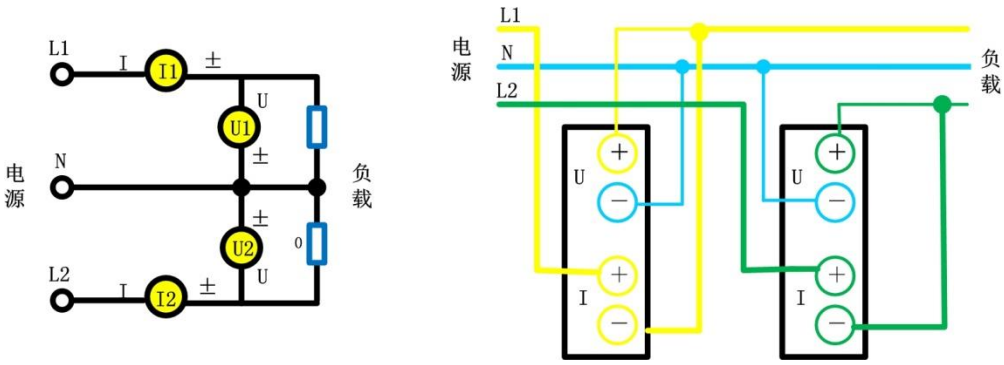


图 5.38　单相 3 线制(1P3W)，测量仪表的接线

使用 PT/CT 时的接线

使用 PT 和 CT 进行测量时的接线示例如图 5.39 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

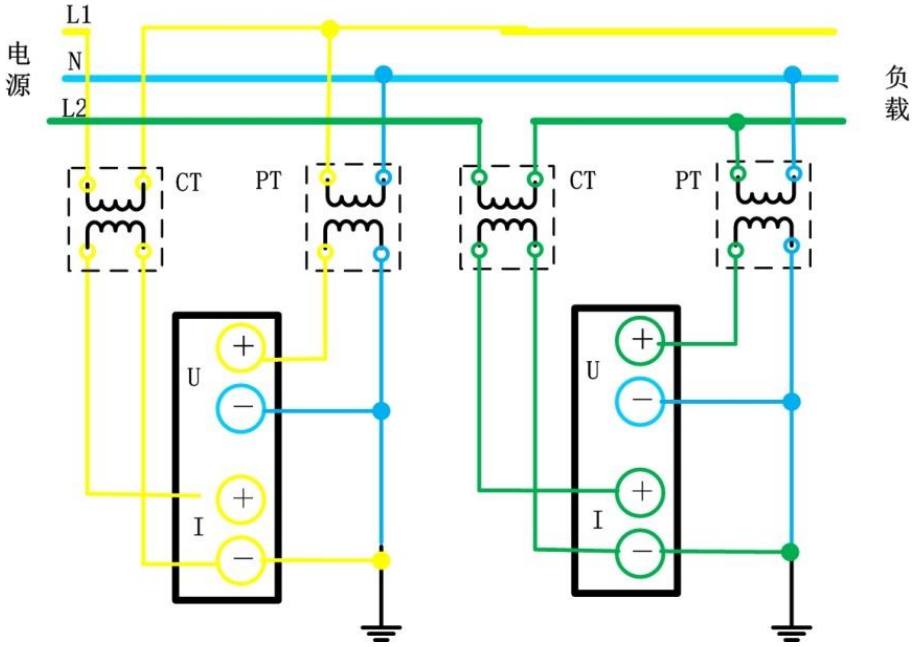


图 5.39　单相 3 线制(1P3W)、使用 PT/CT 时的接线举例

接线实例

PA2000mini 高精度功率分析仪单相 3 线制下的接线实例如图 5.40 所示。

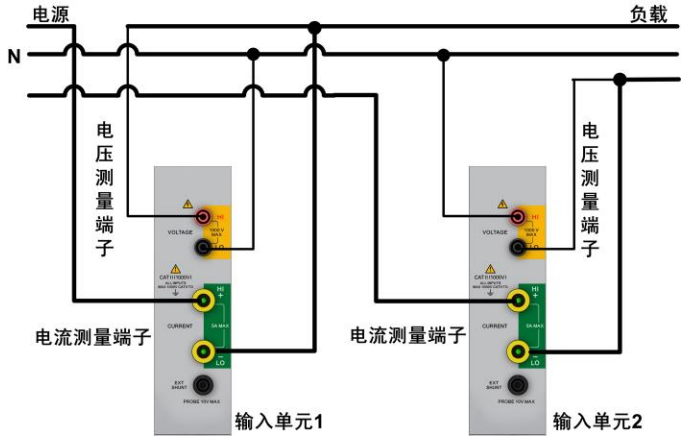


图 5.40　1P3W 下功率分析仪接线实例

2.　三相 3 线制

电力系统高压架空线路一般采用三相三线制，三条线路分别代表三相，例如我们在野外看到的输电线路，一般有三根线（即三相）而没有中性线，故称三相 3 线制。

（1）三相 3 线制

测量仪表接线

三相 3 线制下测量仪表接线方法见图 5.41。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

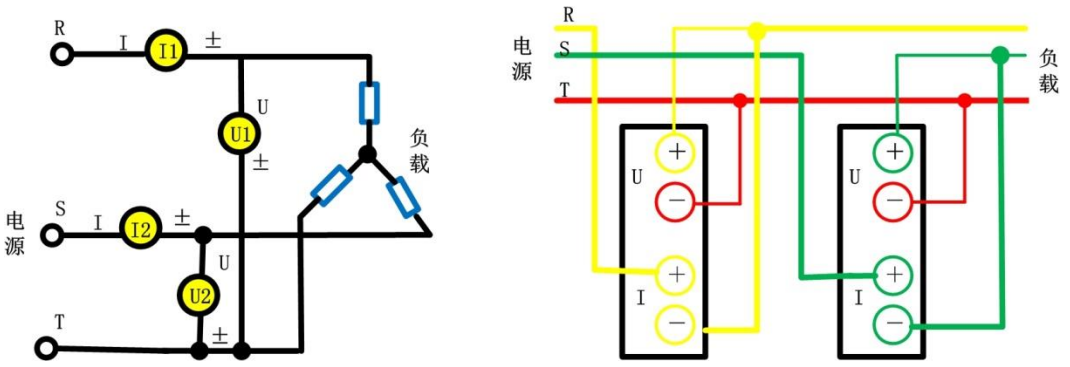


图 5.41　三相 3 线制、测量仪表的接线

使用 PT/CT 时的接线

三相 3 线制下，使用 PT/CT 时的接线如图 5.42 所示，此时使用两个输入单元分别连接到两根相线，分别测量相线的电压和电流。

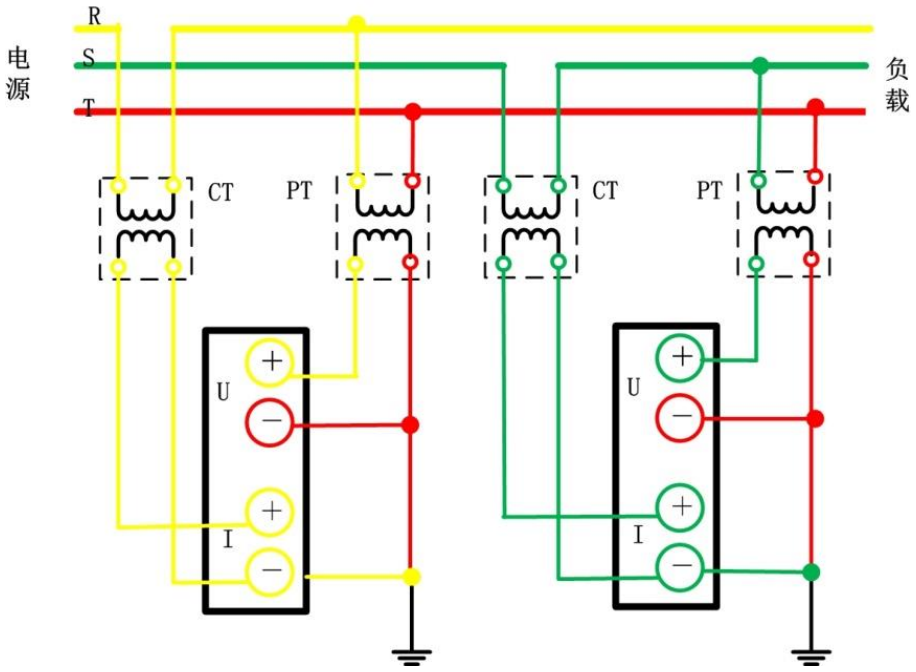


图 5.42　三相 3 线制(3P3W)、使用 PT/CT 时的接线举例

接线实例

PA2000mini 高精度功率分析仪三相 3 线制下的接线实例如图 5.43 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

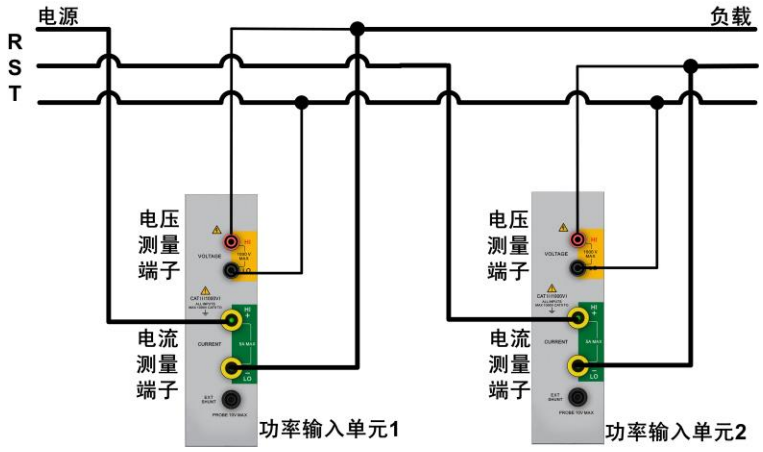


图 5.43　3P3W 下功率分析仪接线示例

（2）三相 3 线制（3 电压 3 电流表法）

除此之外，还有一种三相三线制（3 电压 3 电流表法）的接线方法，这种方法是指用 3 个输入单元分别连接到三根相线上，每个输入单元分别测量一根相线的电压与电流。

测量仪表接线

三相 3 线制（3 电压 3 电流表法）下，测量仪表接线的方法如图 5.44 所示。

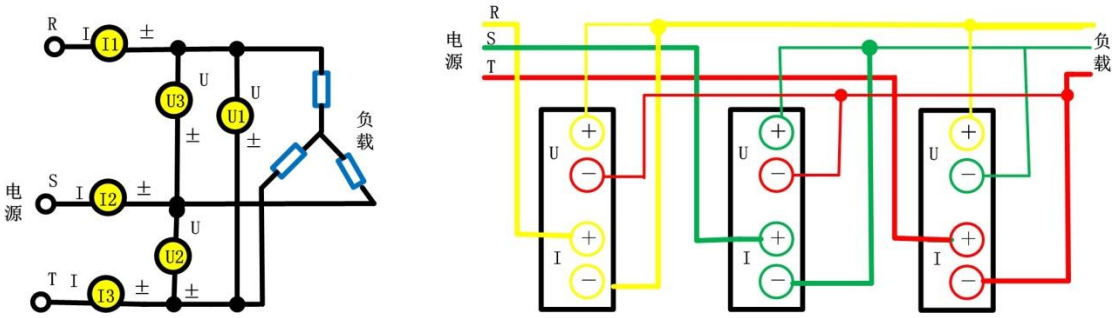


图 5.44　三相 3 线制（3 电压 3 电流表法），测量仪表接线

使用 PT/CT 时的接线

三相 3 线制（3 电压 3 电流表法）下，使用 PT/CT 时的接线如图 5.42 所示。

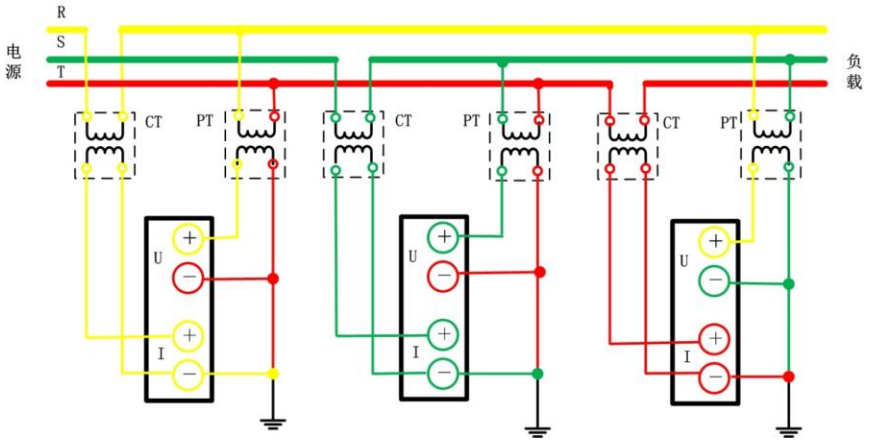


图 5.45　三相 3 线制（3 电压 3 电流表法），使用 PT/CT 的接线

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

接线实例

PA2000mini 高精度功率分析仪三相 3 线制（3 电压 3 电流表法）下的接线实例如图 5.46 所示。

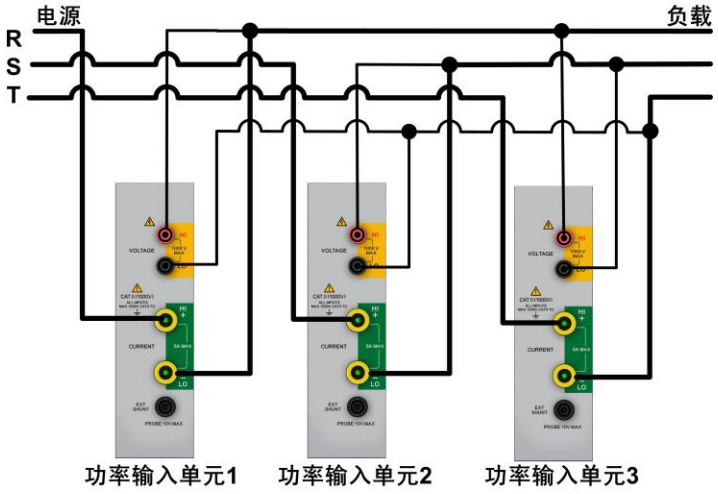


图 5.46　3P3W（3 电压 3 电流表法）下功率分析仪接线示例

3.　三相 4 线制

在低压配电网中，输电线路一般采用三相 4 线制，其中三条线路是相线，另一条是中性线 N（如果该回路电源侧的中性点接地，则中性线也称为零线）。

测量仪表接线

三相 4 线制下，测量仪表接线的方法如图 5.47 所示。

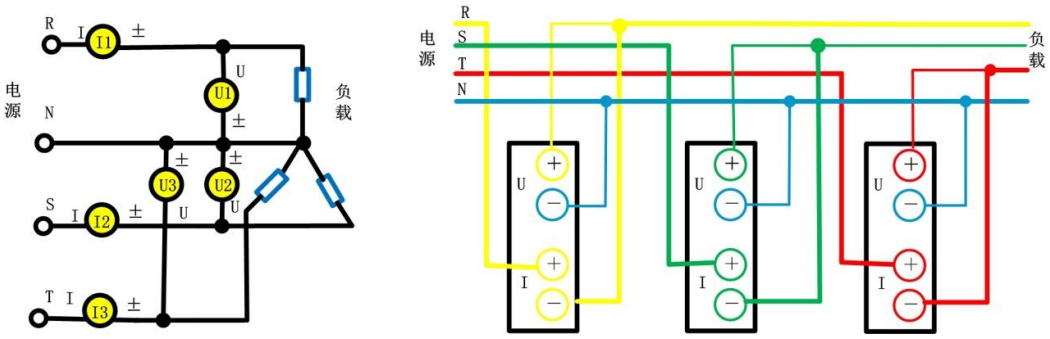


图 5.47　三相 4 线制下的测量仪表接线

使用 PT/CT 时的接线

三相 4 线制下，使用 PT/CT 时的接线方法如图 5.48 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

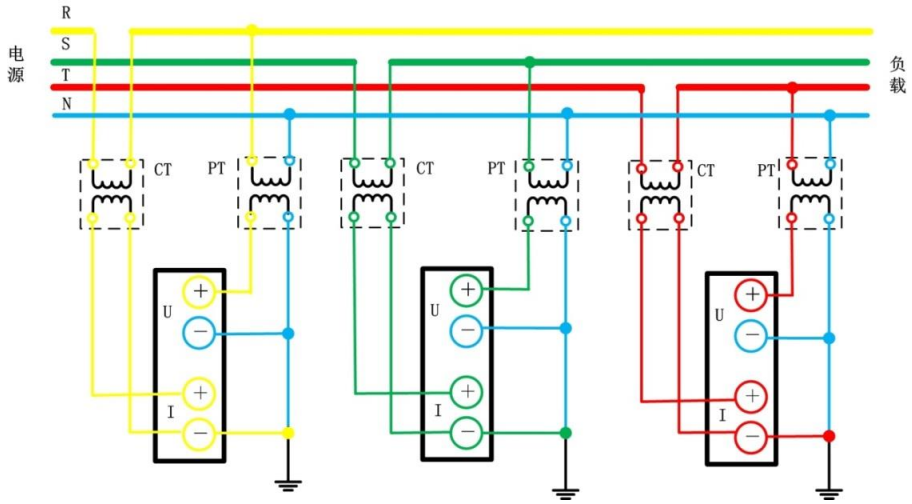


图 5.48　三相 4 线制(3P4W)、使用 PT/CT 时的接线举例

接线实例

PA2000mini 高精度功率分析仪三相 4 线制下的接线实例如图 5.49 所示。

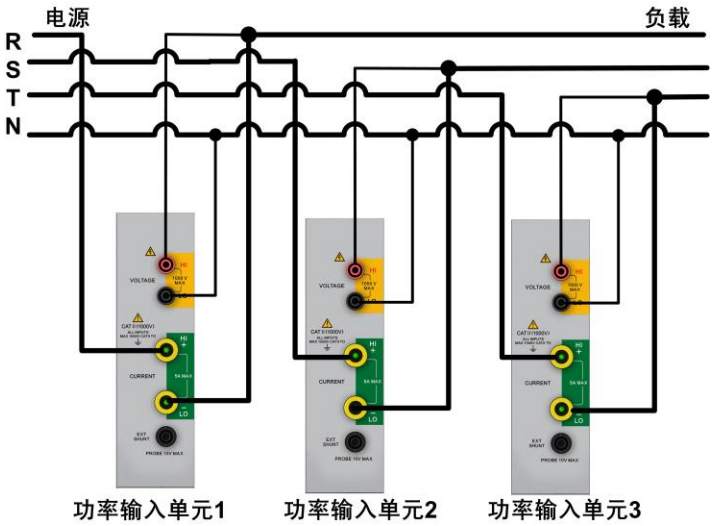


图 5.49　三相 4 线制接线实例

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

6. 数值数据显示

6.1 数值数据分屏显示

6.1.1 功能简介

用户可选择全屏或分屏显示各个测量结果的数值数据。

6.1.2 操作步骤

1. 全屏显示

在 PA2000mini 高精度功率分析仪的前面板按下如图 4.13 所示的 Numeric 键，即可全屏显示数值数据如图 6.1 所示，再按下 Form 键之后可选择 6 项目、12 项目、24 项目、所有项目、单列、双列显示，其中所有项目显示数值数据如图 6.1 所示。

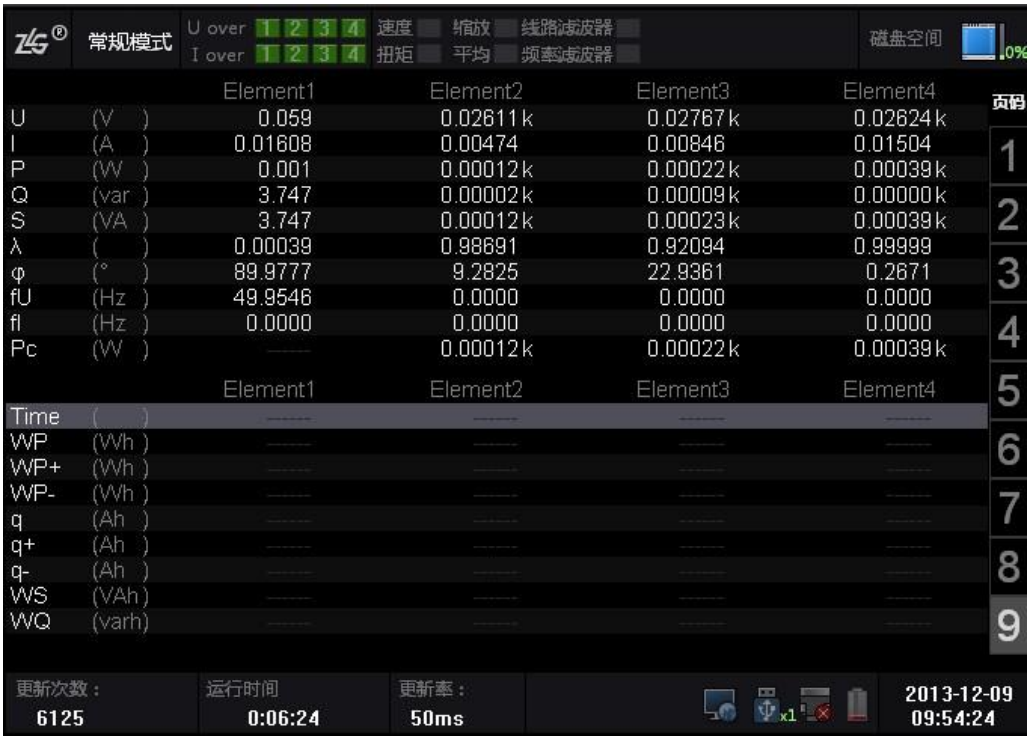


图 6.1 全屏显示

2. 分屏显示

用户也可分屏显示数值数据：

步骤 1：先按如图 4.13 所示菜单中的 Others 键，显示“其他”菜单，如 图 6.2 所示。

步骤 2：按下 图 6.2 所示菜单中“数值+波形”、“数值+柱状图”、“数值+趋势”、“数值+FFT”中的任意一个软键，选择数值数据的显示模式。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 6.2　分屏显示数据

6.2　显示项目配置

6.2.1 操作简介

当按下 Numeric 键显示数值数据，用户可配置数值数据显示项目的显示个数、显示内容。

6.2.2 操作步骤

1. 配置显示项目的个数

用户可设置显示屏上显示项目的个数。按下 Numeric 键显示数值数据时，在前面板按下如图 4.13 所示的 Form 键，弹出显示项目格式配置菜单；用户可在菜单里选择 6 项目、12 项目、24 项目、所有项目、单列或双列等显示方式。

2. 配置显示项目的显示内容

用户可配置各显示项目对应的测量功能，对一个显示项目通常需要配置如下参数：

- **测量通道**。确定提供测量信号的接线组或输入单元；
- **测量功能**。确定测量功能；
- **谐波次数**。确定该显示项目的数据所来自的谐波，若测量功能和谐波无关，则用户无法配置谐波次数。

修改显示项目对应的测量功能，有如下两种方法。

（1）Item 键

移动菜单操作旋钮，将光标移动到须配置的显示项目上；然后按下前面板上如图 4.13 所示的 Item 键，可弹出如图 6.3 所示显示项目配置菜单，用户可在菜单里配置显示项目对应的测量功能。

注意：当在 FORM 菜单里配置显示所有项目后，此时所有测量功能均已显示，所以不能再使用 Item 键切换显示项目对应的测量功能，否则和已显示的测量功能冲突。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 6.3　显示项目配置菜单

（2）显示项设置按键区

将光标移动到须配置的显示项目上；然后在前面板上如图 4.11 所示的显示项设置按键区按下各测量功能切换键，即可直接切换显示项目对应的测量功能。

注意：当在 FORM 菜单里配置显示所有项目后，此时所有测量功能均已显示；所以不能再使用 Item 键切换显示项目对应的测量功能，否则和已显示的测量功能冲突。

6.3　相位差显示格式

6.3.1 功能简介

相位差 φ 是输入单元电压和电流的相位差，其显示格式可选择如下：

- **180 Lead/Lag**。在该显示格式下，相位差的数值范围为[-180°，180°]。相位差数值为正时，则指示电流的相位变化超前于电压；相位差数值为负时，则指示电流的相位变化滞后于电压；
- **360 Degrees**。在该显示格式下，电流与电压的相位差数值范围为[0°，360°]。



图 6.4　相位差软键

6.3.2 操作步骤

按下前面板上的 Measure 按键，显示测量菜单，再按下“相位差”软键，弹出相位差对话框如图 6.4 所示。用户可选择相位差的显示格式。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

6.3.3 注意事项

注意事项如下：

- 电压或电流的测量值为 0 时，φ 显示错误[Error]；
- 功率因数 λ 的运算结果超过 1 时，φ 显示如下：
  - 当 1＜λ≤2，φ 显示为 0；
  - 当 λ＞2，φ 显示错误[Error]；
- 谐波测量时 1~100 次的谐波电压和电流相位差 φU(k)和 φI(k)通常采用 180 Lead/Lag 显示格式。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

7. 波形显示与运算

7.1 波形显示

PA2000mini 高精度功率分析仪基于采样数据显示波形，并可选择显示或隐藏各输入单元的电压和电流波形。波形显示界面里包括垂直轴和水平轴。

垂直轴（振幅轴）

以指定量程为基准决定垂直轴方向的显示区间。例如，峰值因数设为 3，电压量程设为“100Vrms”时，以输入零位线为中心，显示区间为上限 300Vpk(100Vrms×3)，下限-300Vpk(-100Vrms×3)，如图 7.1 所示。超出此区间的波形将被剪裁。

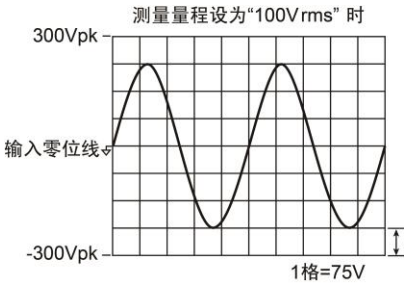


图 7.1 垂直轴示意图

水平轴（时间轴）

PA2000mini 高精度功率分析仪水平轴为时间轴。水平轴一屏 10 格，用户可设置水平轴的起始时间和结束时间。

7.1.1 全屏/分屏显示

1. 操作简介

用户可选择全屏显示也可选择分屏显示波形。

2. 操作步骤

（1）全屏显示波形

按下前面板上如图 4.13 所示的 Wave 按键，即可全屏显示波形画面。

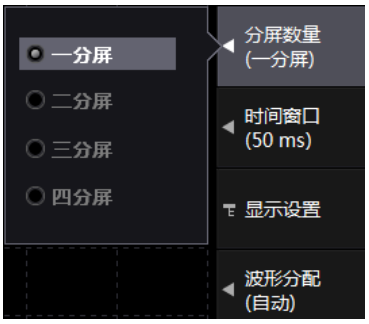


图 7.2 分屏显示配置菜单

（2）组合显示

按下前面板上如图 4.13 所示的 Others 按键；然后在弹出如图 6.2 所示的菜单里按“数值+波形”、“波形+柱状图”、“波形+趋势”、“波形+FFT”中的一个来选择分屏显示模式。

（3）分屏显示

按下前面板上如图 4.13 所示的 Wave 按键，全屏显示波形画面；再按下如图 4.13 所示的 Form 按键，显示波形显示格式配置菜单。在波形显示格式配置菜单里选择“分屏”，显示波形分屏显示配置菜单如图 7.2 所示。

7.1.2 波形显示开关

1. 功能简介

用户可打开或关闭指定输入信号的波形显示。在有电机输入单元的的功率分析仪上，可按照以上步骤打开或关闭转速和扭矩输入信号的波形显示。

2. 操作步骤

（1）全屏显示波形

按下前面板上如图 4.13 所示的 Wave 按键，全屏显示波形画面。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（2）波形显示配置对话框

按下前面板上如图 4.13 所示的 Item 按键，显示波形项目菜单；再按下波形项目菜单里的波形显示软键，弹出波形显示配置对话框如图 7.3 所示。



图 7.3　波形显示对话框

（3）波形显示配置

显示所有波形

选择 All on，则输入信号左侧的所有按钮呈高亮显示，显示所有波形。

关闭所有波形显示

选择 All off，输入信号左侧的所有按钮全都取消选中，不再显示所有波形。

显示/关闭指定输入信号的波形

选择一个须显示波形的输入信号；此时，显示该信号的波形。

7.1.3 设定时间轴长度

1. 功能简介

用户可设定波形显示坐标系里时间轴的水平方向长度，也即单屏显示时间的长度。单屏的时间轴长度固定为 10 个单元格，因此每一个单元格显示的时间为单屏显示时间长度/10。

单屏显示时间长度须位于数据更新率范围内，即：当数据更新率为 N 时，单屏显示时间长度须 ≤ N。例如，PA2000mini 高精度功率分析仪的数据更新率设置为 50ms；则单屏显示时间长度最长也只能选取到 50ms。

2. 操作步骤

（1）全屏显示波形

按下前面板上如图 4.13 所示的 Wave 按键，全屏显示波形画面。

（2）显示波形格式配置菜单

按下前面板上图 4.13 所示的 Form 按键，显示波形格式配置菜单。

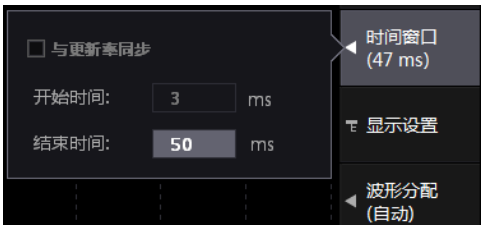


图 7.4　设定时间轴长度

（3）配置时间轴长度

在波形格式配置菜单里，选择“时间”，弹出时间轴长度配置菜单如图 7.4 所示，用户可在菜单里配置时间轴的总长度，也即单屏显示时间。

用户分别在“开始”和“结束”栏，调节时间轴长度；需要注意时间轴长度不可超过数据更新率。此外，用户也可勾选“与更新率同步”选项，设置时间轴长度和数据更新率同步。时间轴开始端时间(固定为 0 秒)显示在屏幕左方，时间轴结束端时间显示在屏幕右方，详见图 7.5。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

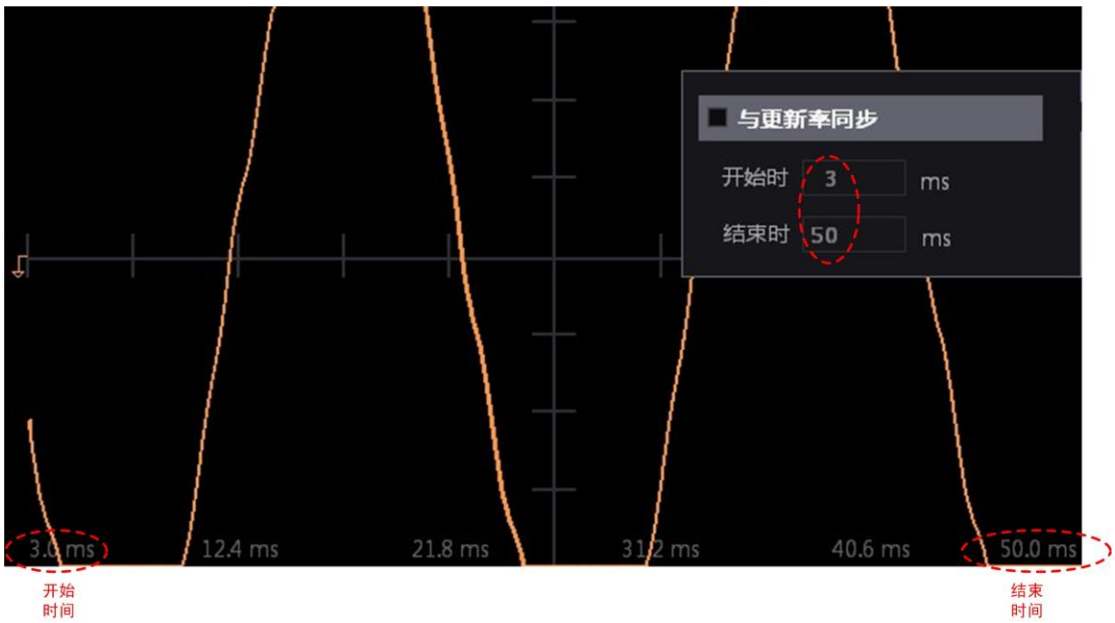


图 7.5　时间轴长度

7.1.4 波形垂直缩放/移动

1.　功能简介

用户可以沿输入零位线，在垂直轴方向对每个显示波形进行缩放；还可以在垂直轴方向移动波形以便观察。

（1）波形垂直缩放

波形的垂直缩放是指在垂直方向对波形显示区域的放大或缩小，但并不改变波形各点的坐标值。如图 7.6 所示，可看到沿着输入零位线，波形在垂直方向上的显示区域扩大了两倍，便利了用户的观察。

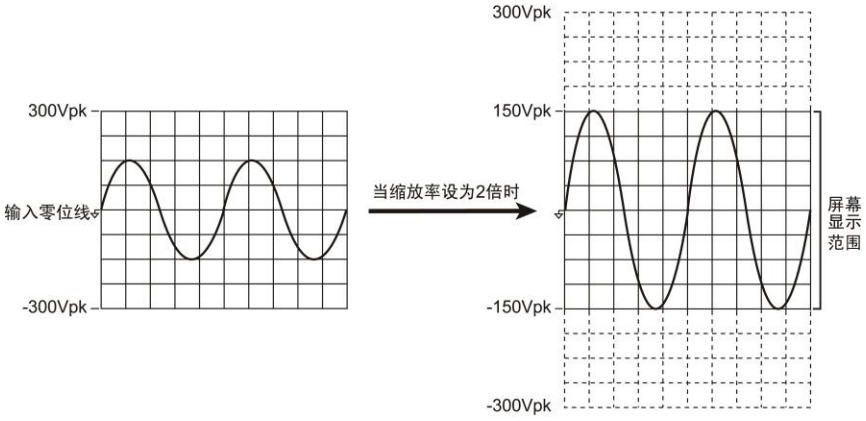


图 7.6　波形垂直缩放示例

（2）波形垂直移动

有时为了观察两个波形的相互关系，或是希望观察到溢出屏幕显示区域以外的波形显示部分，可以将波形垂直移动。如图 7.7 所示，可以看到将两个波形各自垂直移动 50%，叠加在一起，可以直观地对比两者的关系。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

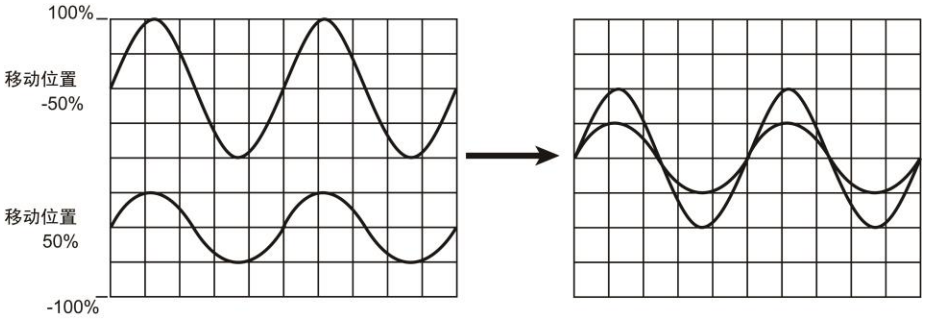


图 7.7　波形垂直移动示例

2.　操作步骤

（1）显示项目菜单

按下如图 4.13 所示的 Wave 按键，全屏显示波形画面；再按下如图 4.13 所示的 Item 按键打开显示项目菜单如图 7.3 所示。

（2）垂直缩放/位移菜单

从如图 7.3 所示显示项目菜单里按下“垂直缩放/位移”按键，显示“垂直缩放/位移”菜单。

（3）选择输入单元/接线组

在“垂直缩放/位移”菜单按下单元/组软键，显示单元/组选择对话框，在对话框里通过菜单操作旋钮选择须配置波形的输入单元或接线组，如图 7.8 所示。



图 7.8　选择输入单元和接线组

（4）缩放电压波形

在“垂直缩放位移菜单”里按下电压垂直缩放软键，弹出如图 7.9 所示的缩放系数对话框，缩放系数范围为 0.1~100。



图 7.9　电压垂直缩放

（5）电压波形移动

在“垂直缩放位移菜单”按下电压位移软键，以%为单位来设定波形位置，如图 7.10

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

所示。需要注意，功率分析仪的峰值因数固定为 3，因此电压位移 100%对应量程×3 的位置。



图 7.10　电压位移

（6）缩放电流波形

在“垂直缩放位移菜单”按下电流垂直缩放软键，调节菜单操作旋钮设定缩放系数，如图 7.11 所示，缩放系数范围为 0.1~100。



图 7.11　电流垂直缩放

（7）移动电流波形的位置

在“垂直缩放位移菜单”按下“电流位移”按键，调节菜单操作旋钮，以%为单位来设定波形位置，如图 7.12 所示。需要注意，功率分析仪的峰值因数固定为 3，因此电流位移 100%对应量程×3 的位置。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 7.12　移动电流波形的位置

7.1.5 波形显示参数设置

对于 PA2000mini 高精度功率分析仪显示的波形，用户可设置波形标签、刻度、点填充或线填充等显示参数。

1. 进入波形显示设置菜单

当进入了波形显示界面，用户可按下前面板上的“Form”键，然后在弹出的菜单里按下 “显示设置”软键，从而进入显示设置菜单，如图 7.13 所示。



图 7.13　进入显示设置菜单

2. 填充设置

用户可选择只用点来填充显示的波形，此时波形上的各点间不使用直线连接，如图 7.14 所示；也可选择将不相互连接的各点用直线连接而显示波形，如图 7.15 所示。

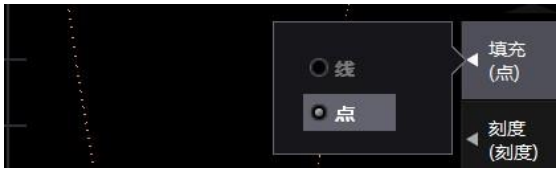


图 7.14　点填充

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 7.15　线填充

3.　刻度类型

用户可选择显示界面上的刻度类型，包括：网格、空、刻度。启用网格后的显示图见图 7.16，启用刻度后的显示图见图 7.17，无网格的显示图见图 7.18。

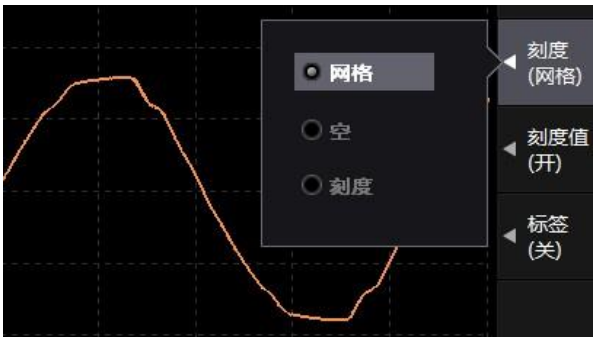


图 7.16　网格

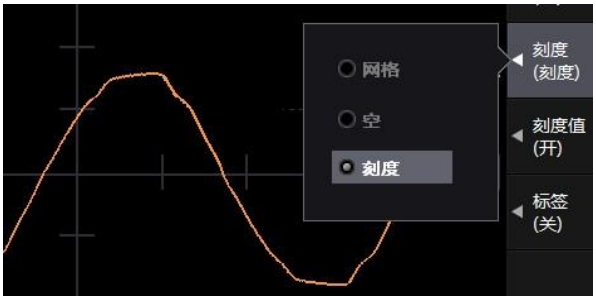


图 7.17　刻度

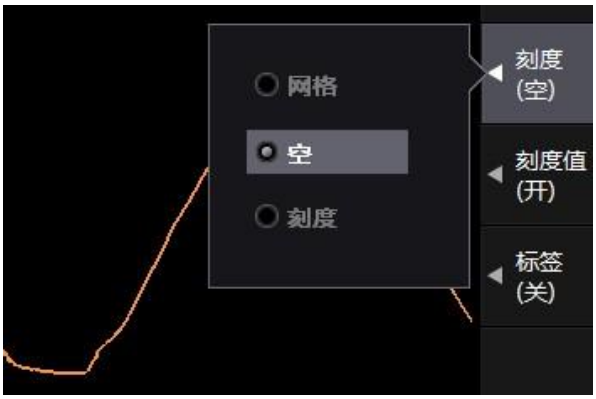


图 7.18　无网格

4.　刻度值/开关

用户可选择是否显示水平轴上的刻度数值。刻度值开示意图如图 7.19 所示，刻度值关闭示意图如图 7.20 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

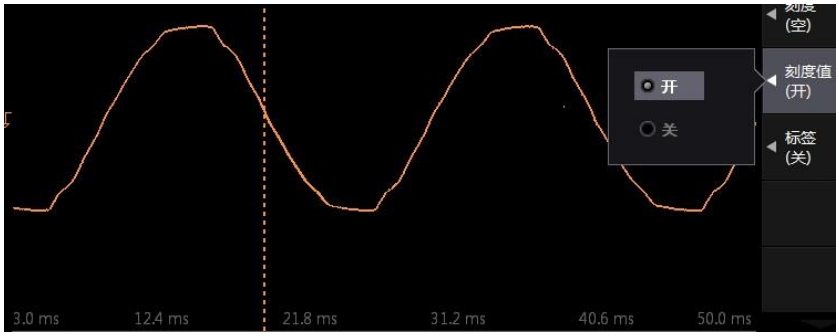


图 7.19　刻度值开示意图

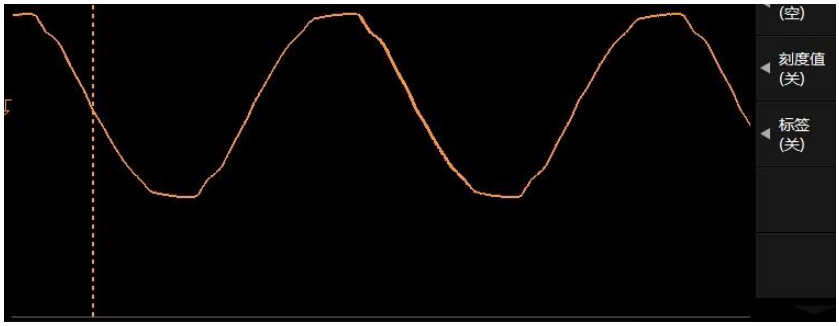


图 7.20　刻度值关示意图

5.　标签开/关

用户可以选择是否显示波形标签，指示波形的名称与波形的幅值。关闭波形标签的显示示意图见图 7.21，开启波形标签的显示示意图见图 7.22。

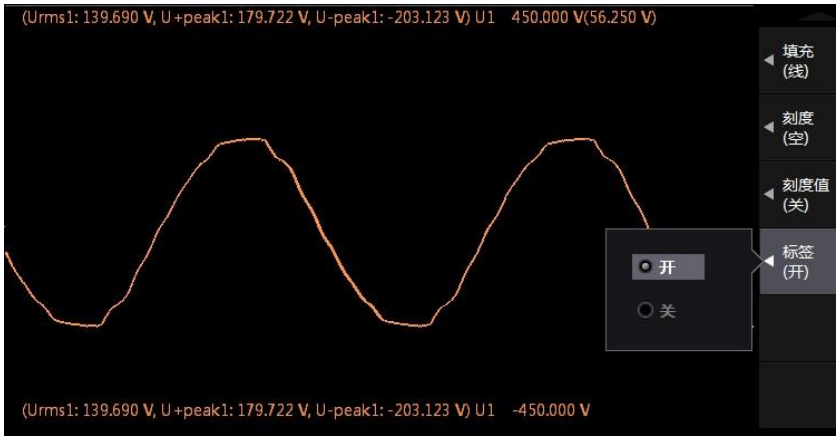


图 7.21　关闭标签

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 7.22　开启标签

7.1.6 波形分配

用户可按不同模式将各测量功能对应波形分配到各分屏显示，相关菜单如图 7.23 所示。

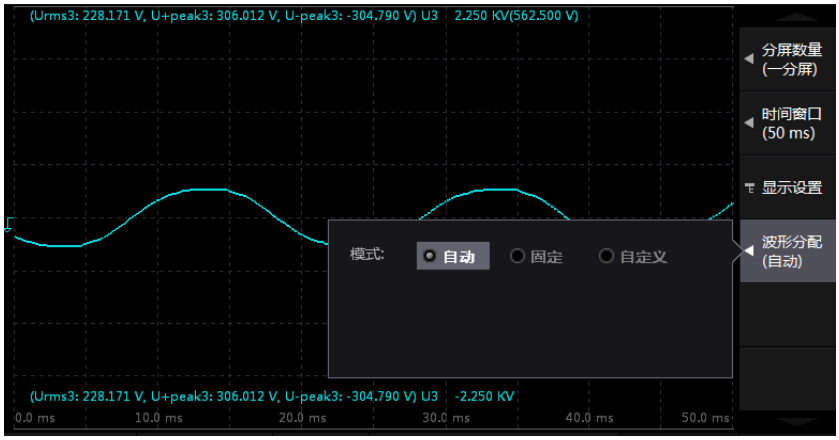


图 7.23　波形分配菜单

自动分配

在自动分配模式下，将显示的波形按照先电压、后电流，单元编号从小到大的顺序均匀分配到各个分屏显示。例如，当 U1~U4、I1~I4、Speed、Torque 波形均开启显示，分屏数目为 4，则在自动分配模式下，U1 分配至分屏 1、I1 分配至分屏 2、U2 分配至分屏 3……最终分配结果详见 表 7.1（分屏按从上至下的顺序分配编号 1~4）。

表 7.1　自动分配示例

分屏序号	显示波形
1	U1、U3、Speed
2	I1、I3、Torque
3	U2、U4
4	I2、I4

固定分配

不论波形是否开启显示，单元 1 的 U 和 I 波形被分配到分屏 1，单元 2 的 U 和 I 被分配到到分屏 2，以此类推。另外，Speed 被分配到分屏 1，Torque 被分配到分屏 2。

表 7.2　固定分配示例

分屏序号	显示波形
1	U1、I1、Speed
2	U2、I2、Torque
3	U3、I3
4	U4、I4

用户自定义

用户可以自定义波形到窗口的分配方式，无论是否显示波形。波形按窗口编号分配，窗口编号由上至下为 0~3。用户自

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

定义波形分配界面见图 7.24。



图 7.24　用户自定义波形分配

7.2　波形运算

7.2.1 功能简介

通过波形运算功能，用户可对显示的波形执行加减运算，还可按自定义的运算公式显示波形。例如，用户可显示电压波形与电流波形相乘的波形，从而得到瞬时功率的显示波形，如图 7.25 所示。



图 7.25　波形运算示意

1.　运算公式

用户可将两个运算公式的结果显示为波形。运算公式由运算项和运算符组成。PA2000mini 高精度功率分析仪支持用户定义两个运算公式，分别是 Math1 和 Math2。

（1）运算项

运算公式支持的运算如表 7.3 所示。在“补充阅读”小节里给出了运算公式的几个常见示例，如“运算公式示例”小节所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 7.3 运算项

运算项	说明
U1~U4	各输入单元的电压波形
I1~I4	各输入单元的电流波形
P1~P4	各单元的瞬时功率波形
TORQUE	电机输入的扭矩信号波形
SPEED	电机输入的转速信号波形
Pmi	TORQUE×SPEED，电机输出的瞬时波形
K1~K8	常数

（2）运算符

运算公式里可以使用的运算符有：+、－、×、/、ABS(绝对值)、SQR(平方)、SQRT(平方根)、LOG(自然对数)、LOG10(常用对数)、EXP(指数)、NEG(负号)和 AVG2~AVG64(指数平均)等，详见表 7.4。

表 7.4 运算符

运算符	示例	说明
+、–、×、/	U1 + I1	求指定波形的四则运算
ABS	ABS(U1)	求指定波形的绝对值
SQR	SQR(U1)	求指定波形的平方
SQRT	SQRT(U1)	求指定波形的平方根
LOG	LOG(U1)	求指定波形的自然对数
LOG10	LOG10(U1)	求指定波形的常用对数
EXP	EXP(U1)	求指定波形的指数
NEG	NEG(U1)	求指定波形的负值
AVG2	AVG2(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 2
AVG4	AVG4(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 4
AVG8	AVG8(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 8
AVG16	AVG16(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 16
AVG32	AVG32(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 32
AVG64	AVG64(U1 × I1)	求指定波形平均，衰减常数是 64

AVG 函数的定义和波形可参考“AVG 函数的定义与波形”小节。

7.2.2 操作步骤

1. 显示波形运算菜单

按下前面板的 Others 按键，在显示的“其他”菜单里按下“波形运算”软键，可显示波形运算公式编辑菜单如图 7.26 所示。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

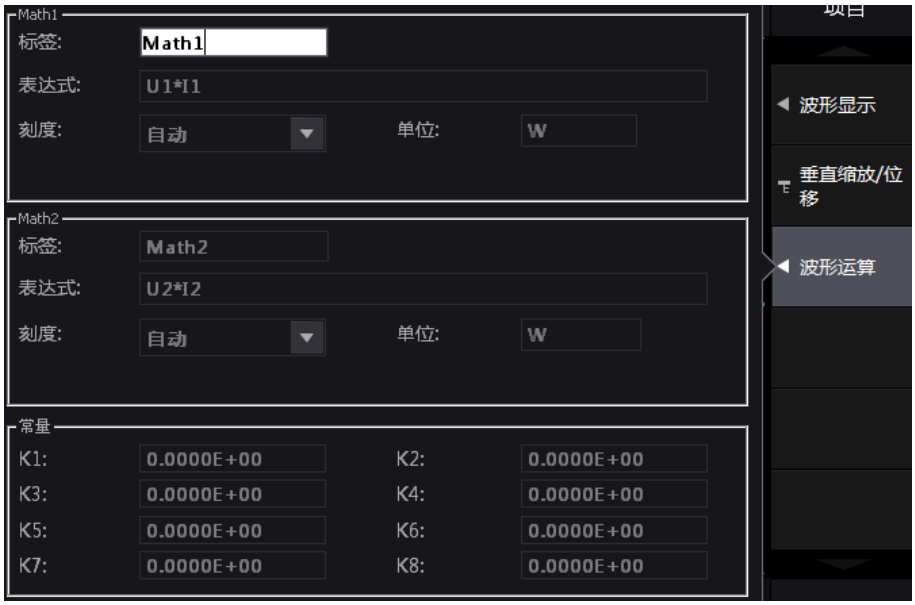


图 7.26　波形运算公式编辑

（2）配置运算公式

在图 7.26 所示波形运算公式对话框里，用户可编辑 Math1、Math2 公式和常数 K1~K8。

7.2.3 注意事项

1. 对功能和测量功能的限制

波形运算模式会执行与其它测量模式不同的内部运算。因此，它不支持趋势或柱状图显示、积分、储存等部分功能。此外，还不能执行谐波测量和阻抗等部分测量功能。

2. 波形运算结果会出错的情形

下列情况下，波形运算结果会出错：

- 公式的运算项中使用了未安装输入单元的电压或电流信号×1；
- 有负数代入 SQRT 参数；
- 如果有 0 或负数代入 LOG 或 LOG10 参数；
- 运算公式里有除 0 表达式。

7.2.4 补充阅读

1. AVG 函数的定义与波形

AVG 函数用下列公式执行平均运算。

$$Xn = X_{n-1} + \frac{dn - X_{n-1}}{k}$$

公式说明：Xn —— 第 n 次显示数据(第 1 个显示数据 x1 是 d1)、Xn－1 — 第 n-1 次经过指数平均的显示数据、dn —— 第 n 次采样数据、k —— 衰减常数(从 2、4、8、16、32、64 中选择)。

给出 AVG 函数的一个书写示例 AVG64(P1)，意为显示单元 1 有功功率的 AVG 波形，如图 7.27 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

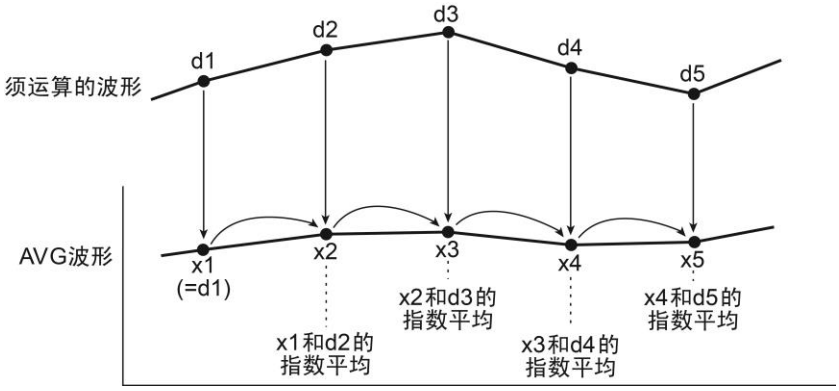


图 7.27　AVG 波形

2.　运算公式示例

（1）瞬时功率波形

通过输入单元 1 的电压波形乘以电流波形显示瞬时功率波形，须将运算公式设为 P1。

（2）三相 3 线制的电压和电流波形

当输入单元只有 2 个时，欲显示三相 3 线制 R-S 线电压和 T 相电流，将公式设定如下：

Math1：U1 － U2

R-S 线电压 = (R-T 线电压) － (S-T 线电压)

Math2：－(I1 + I2)

T 相电流 = －(R 相电流 + S 相电流)

（3）三相 4 线制中性线的电流波形

当输入单元只有 3 个时，为显示三相 4 线制中性线的电流波形，可将公式设定如下：

Math1：－(I1 + I2 + I3)

中性线的电流 = －(R 相电流 + S 相电流 + T 相电流)

（4）电机输出(机械功率)的瞬时波形

若要使通过电机的扭矩信号乘以转速信号显示电机输出的瞬时波形，可将公式设为 Pmi。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

8. 趋势显示

8.1 功能简介

趋势图以测得的数量为纵轴，以时间为横轴绘成图形，用来显示一定时间间隔（例如一天、一周或一个月）内所得到的测量结果，有柱型图、横柱型图、曲线图、饼图、点图、面积图、雷达图等类型，用于呈现某事物或某信息数据的发展趋势。曲线趋势图如图 8.1 所示。

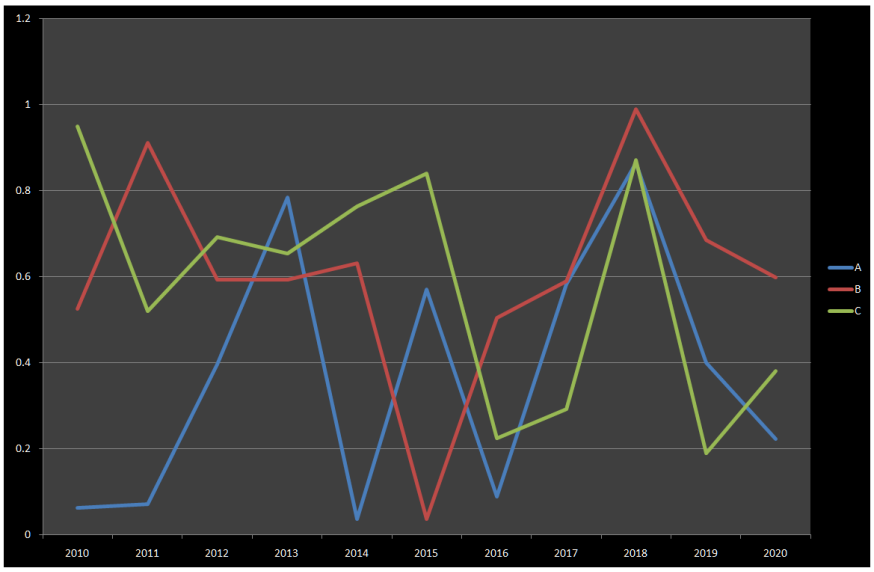


图 8.1 趋势图示例

PA2000mini 高精度功率分析仪仅支持点趋势图和曲线趋势图。在常规测量和谐波测量模式下，用户可使用趋势图功能来显示被测对象各测量功能的在一段时间内的变化趋势。图 8.2 是 PA2000mini 高精度功率分析仪的趋势显示示例。

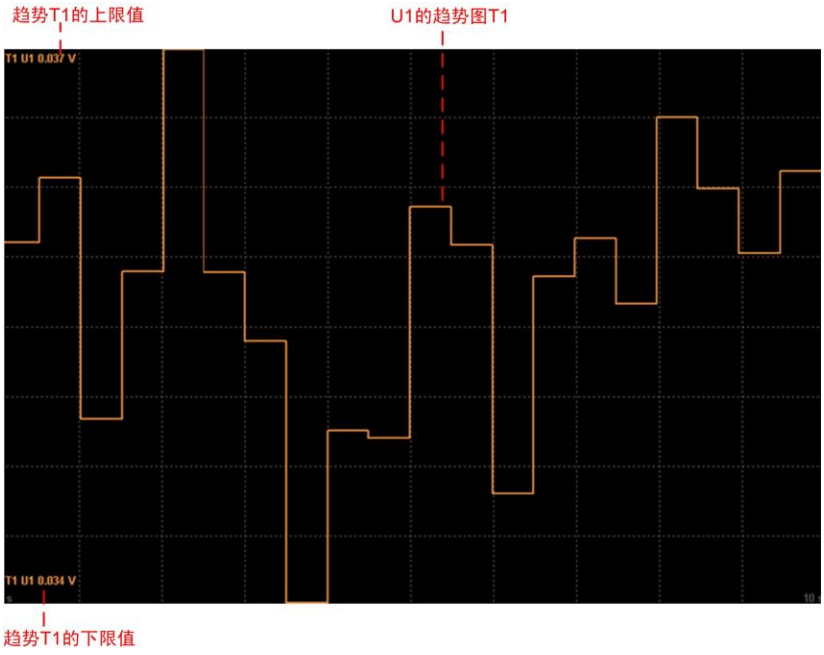


图 8.2 趋势显示示例

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

8.2 操作步骤

8.2.1 趋势显示模式

用户可将趋势和其它测量功能混合显示。在 PA2000mini 高精度功率分析仪前面板按下 Others 软键，显示“其他”菜单。在其他菜单按下“趋势”、“数据+趋势”、“波形+趋势”、“柱状图+趋势”中的任一个，可实现趋势与数据/波形/柱状图的混合显示并进入趋势显示模式，示意如图 8.3 所示。



图 8.3 趋势显示和趋势项目菜单

8.2.2 趋势显示参数配置

1. 分屏显示

在趋势显示视图、“数值+趋势图”、“趋势+波形图”显示视图、“趋势+柱状图”显示视图，用户可以选择分若干屏来同时显示多个趋势图，操作步骤如下。



图 8.4 趋势分屏显示配置

（1）配置分屏数目

进入趋势显示模式后，按下前面板的 Form 键，显示趋势显示格式菜单，然后在菜单里按下“分屏”软键，显示如图 8.4 所示的分屏数目配置对话框。

（2）选择须显示的趋势

在每一个分屏窗口中，可依次显示 4 个趋势。例如，当分屏数目为 4，则第 1 分屏中显示趋势 T1~T4、第 2 分屏显示趋势 T5~T8、第 3 分屏显示趋势 T9~T12、第 4 分屏显示趋势 T13~T16。

在趋势显示界面里，按下前面板的 Item 按键，弹出趋势项目菜单；在趋势项目菜单里，选择“趋势显示”，弹出趋势显示对话框。用户可选择“All On”令 T1~T16 全部显示，也可选择“All Off”令 T1~T16 全部不显示，也可分别配置趋势的显示，如图 8.5 所示。



图 8.5 趋势项目菜单

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

2. 时间轴设定

用户可在 1s~1day 范围内设定显示器上每格（div）代表的时间长度。该参数会影响趋势的显示更新间隔：

- 如果数据更新率设为 50ms，T/div 设为 3s/div，趋势显示更新间隔就等于 1s（PA2000mini 高精度功率分析仪的波形视图更新时间间隔最小为 1s，因此趋势显示的更新间隔最小为 1s）；
- 如果数据更新率设为 10s，T/div 设为 3s/div，趋势显示的更新间隔就等于 10s，并且每隔 10 秒钟出现的趋势数据将绘成一幅折线图；
- 如果 T/div 设为 1day，趋势显示的更新间隔就等于 1728s，与数据更新率无关。



图 8.6　设置时间/格参数

注意：如果改变时间轴的设定，将重新采集趋势显示数据，之前显示的趋势将被清除，并从屏幕右端开始显示趋势。

在如图 8.5 所示趋势显示格式菜单里按下“每格时间”软键，可显示每格时间配置对话框如图 8.6 所示，用户可在对话框里设定每格时间长度。

3. 背景参数设置

用户可设置刻度、标签、填充线等背景参数。在图 8.6 所示菜单里按下“显示设置”软键，弹出对话框如图 8.7 所示，用户可在对话框里设置背景参数。这些设置操作仅对趋势功能生效，而不会影响其它功能模块。例如，在趋势显示时将刻度值显示设为关闭，则波形显示的刻度值显示不受影响。



图 8.7　背景参数设置

4. 清空趋势

按下图 8.6 对话框里所示“清空趋势”软键，将清除之前显示的趋势；接下来，若数据更新则会继续显示趋势。

5. 趋势刻度

用户可选择趋势显示的刻度模式为自动或手动，以及刻度的上限值和下限值，设置步骤如表 8.1 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 8.1 操作步骤

序号	步骤	操作说明	操作示意图
①	进入趋势刻度参数对话框	在趋势显示界面里，按下前面板的 Item 按键，弹出趋势项目菜单；在趋势项目菜单里按下“趋势刻度”软键，弹出趋势刻度参数菜单，如操作示意图①所示	
②	选择须配置刻度的趋势项	选择须配置趋势刻度参数的趋势项，在如操作示意图①所示趋势刻度参数对话框里按下“趋势项”软键，弹出趋势项选择对话框如操作示意图②所示	
③	设置刻度模式	在如操作示意图①所示趋势刻度参数对话框里按下“刻度模式”，弹出“刻度模式”选择对话框，从以下选择刻度模式： **Auto：** 设为自动刻度。仪器根据趋势显示数据的最大值和最小值自动确定屏幕显示的上限值和下限值 **Manual：** 设为手动刻度。可由用户自行根据需要设定上限值和下限值	
④	设置手动刻度模式的上限值和下限值	可以在－9.999E+30~9.999E+30 的范围的范围内设定上下限值。在如操作示意图①所示趋势刻度参数对话框里按下“上限”或“下限”软键，分别弹出上限值和下限值对话框，如操作示意图④所示	

8.2.3 趋势功能参数配置

用户显示趋势之前，需要先配置趋势的功能参数。趋势的功能参数包括：输入单元或接线组、测量项目、谐波次数。

1. 进入趋势项目菜单

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

进入趋势显示模式后，在前面板上按下 Item 键显示趋势项目菜单。



图 8.8　趋势项菜单

2.　选择趋势项

用户首先选择须配置的趋势项目。在如图 8.5 所示趋势项目菜单里按下“趋势项”软键，进入趋势项配置菜单然选择须配置的趋势项，如图 8.8 所示。

3.　选择测试项

在如图 8.8 所示趋势项菜单里，按下“测试项”软键，弹出测试项配置对话框，如图 8.9 所示。用户在测试项配置对话框里选择趋势项所对应的测量功能。

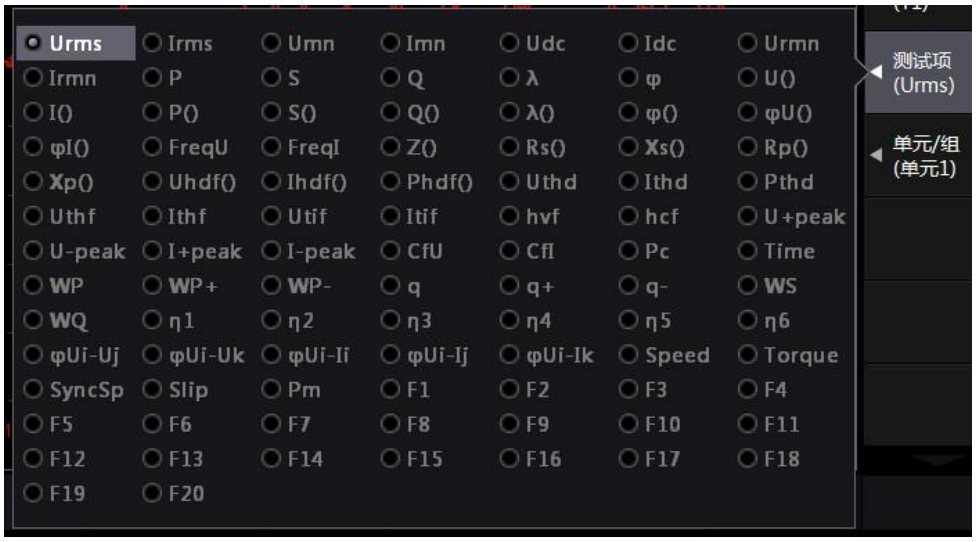


图 8.9　趋势项测试项配置菜单

注意：如果改变趋势项，将清除所有旧趋势，从屏幕右端开始显示新趋势。

4.　选择输入单元/接线组

在如图 8.8 所示趋势项配置菜单里，按下“单元/组”软键，弹出“单元/组”配置对话框，如图 8.10 所示。用户选择测试项对应的“单元/组”。



图 8.10　单元/组配置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

注意：如果改变输入单元/接线组，将清除所有旧趋势，从屏幕右端开始显示新趋势。

5. 选择谐波次数

对于可执行谐波分析的测试项，用户可以配置谐波次数。在如图 8.8 所示趋势项配置菜单里，按下“谐波次数”软键，弹出“谐波次数”配置菜单，如图 8.11 所示。用户可选择测试项对应的“谐波次数”，显示指定谐波的势。谐波分析次数上限由 PLL 源频率自动决定。谐波分析次数可以为 0 次~128 次；但是，当用户设定的谐波分析次数超过谐波分析次数上限，则谐波分析次数自动设置为 PLL 源频率自动决定的谐波分析次数上限值，详见表 9.4。此外需要注意，如果改变谐波次数，将清除所有旧趋势的显示，而从屏幕右端开始显示新趋势。



图 8.11 选择谐波次数

注意：对于不支持谐波测量的测试项，不显示谐波次数配置菜单。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

9. 谐波测量

9.1 简介

9.1.1 概述

PA2000mini 高精度功率分析仪的谐波测量功能分为谐波与 IEC 谐波测量：

- **谐波测量**。常规谐波测量模式下，可测量电压、电流、功率的谐波成分和各种测量功能，如各次谐波相对基波信号的相位角、电压和电流的谐波畸变因数等；
- **IEC 谐波测量**。按照 IEC61000-4-7 标准执行谐波测量，使用此模式可以检查家用电器和办公自动化设备的谐波是否符合 IEC 标准。

9.1.2 测量功能种类

1. 输入单元的谐波测量

各输入单元的谐波测量功能见表 9.1，测量功能求法见“谐波测量功能的求法”节。

表 9.1 谐波测量功能

测量功能	( )内的字符/数字		
	dc[1]	1[1]	k[1]
电压 U( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
电流 I( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
有功功率 P( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
视在功率 S( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
无功功率 Q( )	总为 0	有数值数据	有数值数据
功率因数 λ( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
相位差			
相位差 ϕ( )	无数值数据	有数值数据	有数值数据
相对 U(1)的相位差 φU( )	无数值数据	有数值数据	有数值数据
相对 I(1)的相位差 φI( )	无数值数据	无数值数据	有数值数据
阻抗			
负载电路的阻抗 Z( )	有数值数据[2]	有数值数据[2]	有数值数据[2]
负载电路的串联电阻 Rs( )	有数值数据[2]	有数值数据[2]	有数值数据[2]
负载电路的串联电抗 Xs( )	有数值数据[2]	有数值数据[2]	有数值数据[2]
负载电路的并联电阻 RP( )	有数值数据[2]	有数值数据[2]	有数值数据[2]
负载电路的并联电抗 Xp( )	有数值数据[2]	有数值数据[2]	有数值数据[2]
因数、畸变率			
电压谐波畸变因数 Uhdf( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
电流谐波畸变因数 Ihdf( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
有功功率谐波畸变因数 Phdf( )	有数值数据	有数值数据	有数值数据
电压的总谐波畸变率 Uthd	无数值数据	无数值数据	无数值数据
电流的总谐波畸变率 Ithd	无数值数据	无数值数据	无数值数据
有功功率的总谐波畸变率 Pthd	无数值数据	无数值数据	无数值数据

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

测量功能	( )内的字符/数字		
	dc[1]	1[1]	k[1]
电压电话谐波因数 Uthf	无数值数据	无数值数据	无数值数据
电话谐波因数 Ithf	无数值数据	无数值数据	无数值数据
电压电话影响因数 Utif	无数值数据	无数值数据	无数值数据
电流电话影响因数 Itif	无数值数据	无数值数据	无数值数据
谐波电压因数 hvf	无数值数据	无数值数据	无数值数据
谐波电流因数 hcf	无数值数据	无数值数据	无数值数据

[1] dc: 显示直流成分的数值数据；1: 显示基波的数值数据；k: 显示从 2 次至 N 次谐波的数值数据。N 的值最大为 128。

[2] 不支持 IEC 谐波测量。

2. 输入单元间的谐波测量

谐波测量功能下还可以显示输入单元间电压与电流的相位差(Φ)，共有 5 种显示相位差(Φ)的谐波测量功能：ΦUi-Uj、ΦUi-Uk、ΦUi-Ii、ΦUi-Ij、ΦUi-Ik（i、j、k 为输入单元的编号）。

以输入单元配置数 4 个，单元 1、2、3 选择三相 4 线制，组成接线组ΣA 为例进行说明（这里 i = 1、j = 2、k = 3）：

- ΦU1-U2。单元 2 的基波电压 U2(1)相对单元 1 的基波电压 U1(1)的相位差；
- ΦU1-U3。单元 3 的基波电压 U2(1)相对单元 1 的基波电压 U1(1)的相位差；
- ΦU1-I1。单元 1 的基波电流 I1(1)相对单元 1 的基波电压 U1(1)的相位差；
- ΦU1-I2。单元 2 的基波电流 I2(1)相对单元 1 的基波电压 U1(1)的相位差；
- ΦU1-I3。单元 3 的基波电流 I3(1)相对单元 1 的基波电压 U1(1)的相位差。

表 9.2 接线组的谐波测量

测量功能	()内的字符/数字
	1[1]
UΣ()	有数值数据
IΣ()	有数值数据
PΣ()	有数值数据
SΣ()	有数值数据
QΣ()	有数值数据
λΣ()	有数值数据

如果单元 1、2 组成接线组ΣA，单元 3、4 组成接线组ΣB，两组的接线方式均采用三相 3 线制，那么数值数据的求法如下：

- 接线组ΣA: ΦU1-U2、ΦU1-I1、ΦU1-I2；
- 接线组ΣB: ΦU3-U4、ΦU3-I3、ΦU3-I4；
- 不计算ΦU1-U3 和ΦU1-I3。

3. 接线组的谐波测量

在接线组中，只对基波进行计算，详见表 9.2。

9.1.3 功能限制

启用谐波测量模式时，会进行与其它测量模式不同的内部运算。因此，它不支持如波形或柱状图显示、储存功能、电机测量功能等部分功能。此外，还不能执行峰值测量、积分和效率运算等部分测量功能，详见表 9.3。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 9.3　谐波测量功能和功能限制

功能		常规谐波测量模式下是否可用	IEC 谐波测量模式下是否可用
屏幕显示	数值	可用	可用
	波形	可用	不可用
	趋势	可用	不可用
	柱状图	可用	不可用
	向量	可用	不可用
	波形运算	不可用	不可用
	FFT	不可用	不可用
	闪烁	不可用	不可用
	周期分析	不可用	不可用
峰值测量		可用	不可用
同步测量		可用	不可用
自动量程功能		可用	不可用
平均	指数平均	可用	部分功能可用，不能选择衰减常数
	移动平均	不可用	不可用
数据更新率设置		可用	不可用
电压/电流模式设置		可用	不可用
用户自定义功能		可用	不可用
效率运算		可用	不可用
接线补偿		可用	可用
效率补偿		可用	不可用
积分功能		可用	不可用
存储功能		可用	不可用
NULL 功能		可用	不可用
电机功能		可用	不可用
调零		可用	可用
打印		可用	不可用

9.2　谐波测量

9.2.1 功能简介

常规谐波测量功能下，以数值和柱状图形式显示测量数据。其中，柱状图用于显示谐波数据：水平轴表示谐波次数，垂直轴表示谐波大小。

9.2.2 操作步骤

执行常规谐波测量功能，用户需要先完成谐波功能参数的设置，然后配置谐波的显示参数。这两个操作分别在谐波功能参数设置菜单和谐波显示参数设置菜单里完成。

1.　谐波功能参数设置

（1）谐波功能参数设置菜单

在前面板按下 Harmonic Set 按键，弹出谐波参数设置对话框如图 9.1 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 9.1　谐波设置菜单

在谐波参数设置对话框里，用户可选择 Thd 公式，如图 9.2 所示。



图 9.2　Thd 公式选择

（2）PLL 源选择

在谐波模式下，PA2000mini 高精度功率分析仪使用 PLL（锁相环）来对输入的信号进行倍频，并将倍频输出信号作为仪器内 A/D 的采样时钟，从而达到同步采样的目的。因此，PLL 源信号的频率，决定了仪器内 A/D 的采样时钟，而 PLL 源信号的质量，也会影响采样数据的稳定性和准确度。

PLL 源选项

PLL 源可从下列选项选择（可选项取决于输入单元实际安装数目）：U1、I1、U2、I2、U3、I3、U4、I4、Trig In。如果选择“Trig In”，将以外部时钟输入接口的信号频率作为基波频率进行谐波测量。**注意，如果基波频率小于等于 440Hz 并且含有高频成分，建议打开频率滤波器滤除高频成分。**

PLL 源选择注意事项

选择 PLL 源时，须选取畸变和波动较少、与谐波测量信号周期相同的信号，这样可使谐波测量稳定。如果 PLL 源的基波频率变动或因波形畸变无法测量基波频率，就无法获得准确的测量结果。下面是 PLL 源选择建议：

- 当被测对象是开关电源且电压信号相比电流信号畸变较少时，建议选择电压作为 PLL 源；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 当所有输入信号有畸变或振幅电平相比量程很小时，将无法满足规格。为更精确地测量高次谐波，须把 PLL 源设为外部时钟信号 Trig In，然后将与输入信号周期相同的外部时钟信号输入到外部时钟输入接口。

PLL 源信号振幅电平

如果 PLL 源信号的振幅电平与被测量信号的量程相比过小，PLL 将无法与 PLL 源信号同步。对于 PA2000mini 高精度功率分析仪，**PLL 源的振幅电平至少须超过被测量信号量程的 50%**。



图 9.3　谐波设置

PLL 源频率变化和测量值

如果 PLL 源的频率发生变化，那么，由于仪器内部的 PLL 回路需要重新检测 PLL 源的频率，所以可能无法马上获得正确的测量值，而可能在频率变化 200ms~2s 后才开始显示正确的测量值。

（3）谐波次数设置

用户还可指定谐波的测量范围。在如图 9.1 所示对话框里，用户可配置最小下标和最大下标参数，如图 9.4 所示。



图 9.4　配置谐波的测量范围

图 9.4 中的最小下标可设置为 0 或 1：

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 0：求各谐波数值数据时包含 0 次(DC)成分；
- 1：求各谐波数值数据时不包含 0 次(DC)成分。1 次谐波(基波)是首次成分。

图 9.4 中的最大下标最多可设置为 128。但需要注意的是，最大下标值不能超过谐波分析的最大次数，谐波分析最大次数由 PLL 源频率自动决定，详见表 9.4。

表 9.4　最大谐波分析次数和 PLL 源基波频率

PLL 源的基波频率	采样率（S/s）	相对 FFT 数据长度的窗口宽度（基波频率）	最大谐波分析次数	采样点数
10~20Hz	f×3200	3	128	9600
20~40Hz	f×1600	6	128	9600
40~55Hz	f×960	10	128	9600
55~75 Hz	f×800	12	128	9600
75~150Hz	f×480	20	128	9600
150Hz~440Hz	f×320	30	128	9600
440Hz ~1.1KHz	f×160	60	80	9600
1.1KHz~2.6KHz	f×80	120	40	9600

（4）Thd 公式设置

求谐波测量模式的测量功能 Uhdf、Ihdf、Phdf、Uthd、Ithd 和 Pthd 时，可从下列选项中选择计算模式：

- 1/总波。从分析次数最小值(0 或 1 次)到最大值(分析次数上限值以内)的所有谐波测量数据作为分母；
- GBT12668.2-2002。按 GBT12668.2-2002 标准进行谐波测量；
- 1/基波。基波(1 次)成分的数据作为分母。

分析次数的最小值和最大值是“谐波次数”小节中选择的值。

（5）基波频率修正

使能基波频率修正功能时，系统可以根据谐波分析数据自动修正被测信号的基波频率，从而减小因同步源频率偏差以及 DFT 频谱泄露产生的谐波测量误差。

2. 设定反混淆滤波器

在周期波形上通过执行 A/D 转换进行 FFT 运算时，超过采样频率一半的频率成分将被识别成低频率成分，这种现象称为混淆现象，如图 9.5 所示。

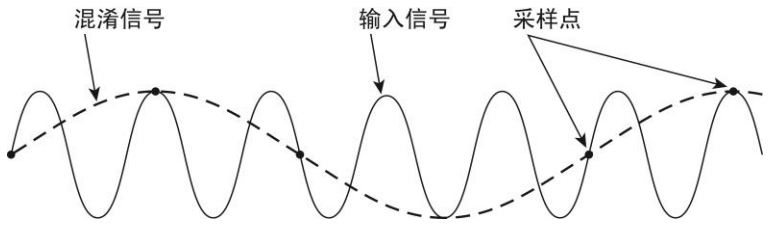


图 9.5　混淆现象

混淆现象会引发很多问题，譬如各谐波成分测量值的误差增加，无法正确测量相位角等。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

因此，为防止发生混淆现象，使用反混淆滤波器去除与本次谐波测量不相关的谐波成分，当进行谐波测量时，使用常规测量模式的线路滤波器作为反混淆滤波器。

例如，对 50Hz 基波频率的输入信号进行谐波测量，最高测量 100 次，第 100 次谐波的频率是 5kHz，则可使用 10kHz 反混淆滤波器去除大于或接近 10kHz 的谐波成分，因为这部分谐波与谐波测量不相关。线路滤波器的设置详见“选择输入滤波器”章节。

3. 谐波显示参数设置

（1）谐波显示参数设置菜单

用户按下前面板的 Harmonic 键，弹出谐波显示参数设置菜单如图 9.6 所示。



图 9.6 谐波显示参数设置菜单

（2）配置谐波显示格式

用户可以配置柱状图和数值的显示格式。在数值显示视图或柱状图显示视图按下前面板上的 Form 键，显示数值视图和柱状图格式配置菜单如图 9.7 所示。



图 9.7 数值和柱状图显示格式

（3）数值显示翻页

用户在如图 9.6 所示菜单里按下“数值”软键，弹出数值菜单。用户可在数值菜单里执行翻页操作。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（4）配置柱状图显示

用户在如图 9.6 所示菜单里按下“柱状图”软键，弹出柱状图显示配置菜单。用户可在菜单里对各个输入单元的柱状图的显示内容进行配置。当设置的分屏数为 3 时，按下前面板的“Item”按键，则显示柱状图显示配置菜单如图 9.8 所示。用户可对分屏 1~3 设置测试项的显示内容与是否显示前十大谐波。



图 9.8　配置柱状图显示

9.3　IEC 谐波测量

9.3.1 功能简介

PA2000mini 高精度功率分析仪提供 IEC 谐波测量模式执行符合 IEC61000-4-7 标准的谐波测量，使用此模式可以检查家用电器和办公自动化设备的谐波是否符合 IEC 标准。

PA2000mini 高精度功率分析仪将原始采样点进行 DFT 处理，将信号分解成不同频率的谐波进行分析，再根据 IEC61000-4-7 的规范计算出相应结果并显示数据，包括谐波/间谐波子组、功率谱、谐波/间谐波指标。其中每一项显示在一个视图中；每一个视图可以单独显示，也可三个视图同时显示，如图 9.9 和图 9.10 所示。

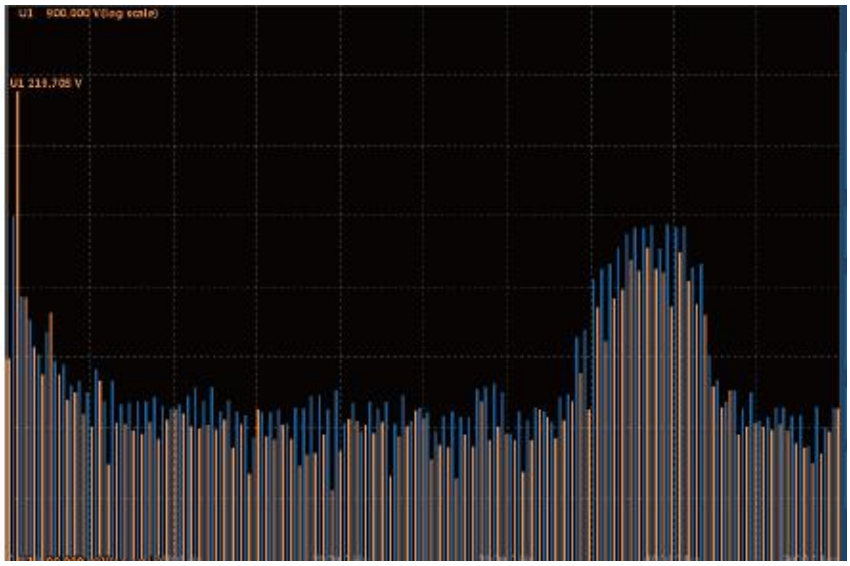


图 9.9　谐波/间谐波子组

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

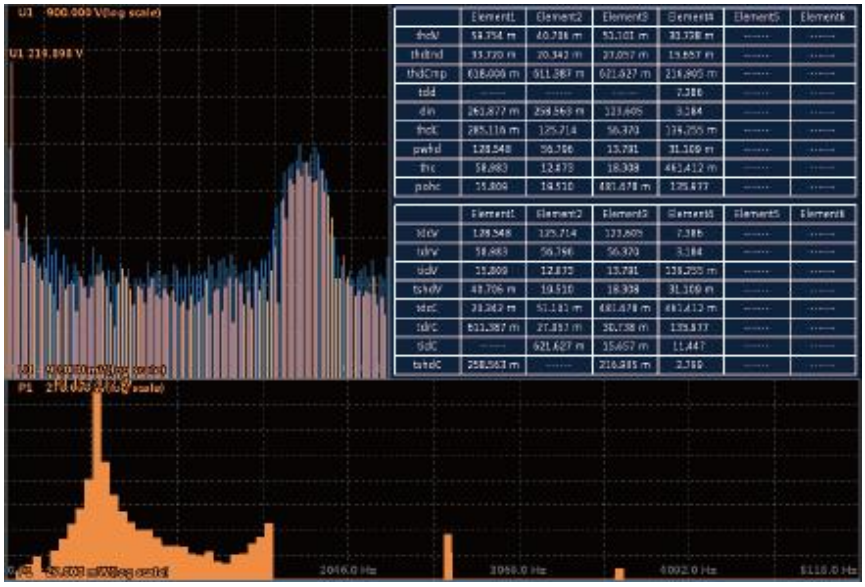


图 9.10　所有视图

1.　谐波子组和间谐波子组

在 IEC 谐波测量功能里，可以对谐波子组和间谐波子组进行谐波测量。

（1）谐波子组

谐波子组是指**某次谐波与其相邻 2 个间谐波的统称**，如图 9.11 所示（间谐波是指谐波之间的成分，例如：如果输入信号频率是 50Hz、10 周期波形以 5Hz 分辨率进行分解；于是，各次谐波间的区间被分割成 10 小段，各谐波之间的成分称为间谐波，如图 9.12 所示，间谐波频率为基波频率的非整数倍）。

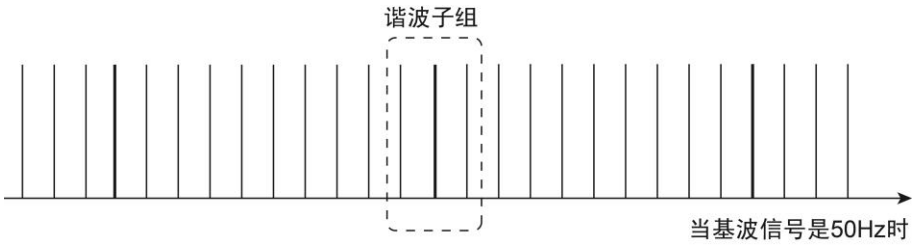


图 9.11　谐波子组

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

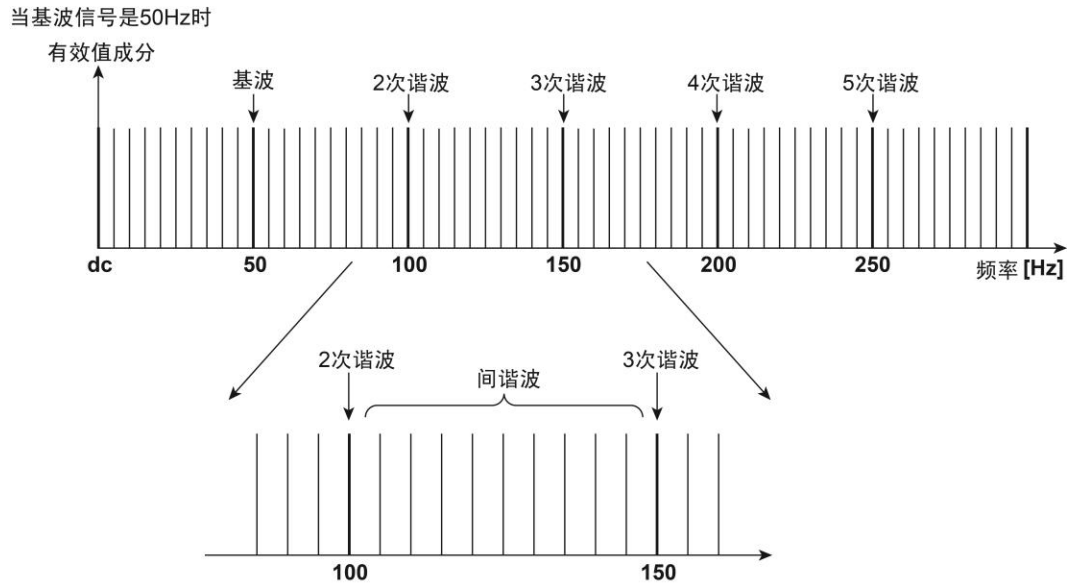


图 9.12　间谐波

根据谐波子组内中心谱线对应的谐波次数，可以将谐波子组编号为 2 次谐波子组、3 次谐波子组等。

谐波子组有效值的计算方法不是将各次成分简单相加，而是将它们先平方相加再求平方根，如表 9.8 所示。

（2）间谐波子组

间谐波子组是除了谐波子组以外的信号成分，如图 9.13 所示。

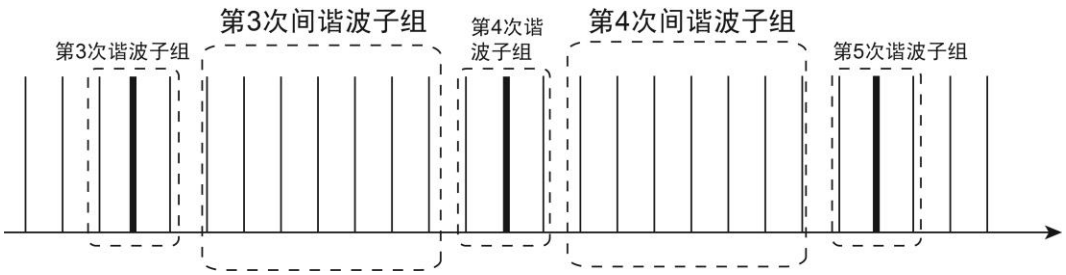


图 9.13　间谐波子组

N 次谐波子组与 N+1 次谐波子组之间的间谐波子组为第 N 次间谐波子组。

（3）测量数据说明

谐波子组/间谐波子组有效值的测量结果可以用柱状图来表示，如图 9.14 所示。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

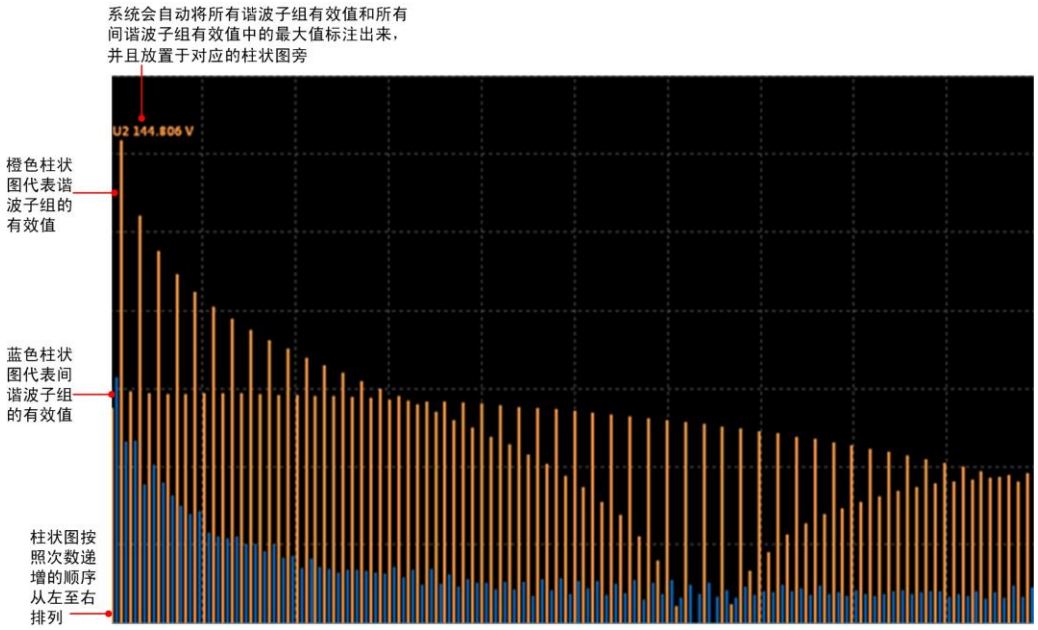


图 9.14　谐波子组/间谐波子组柱状图

2.　功率谱

功率谱表示了信号功率在各频率点的分布情况，功率谱准确地表示信号的总功率、各个频率分量的功率以及频率。PA2000mini 高精度功率分析仪可显示有功功率 P、无功功率 Q、视在功率 S、功率因数角 φ 等信号的功率谱，详见图 9.15。

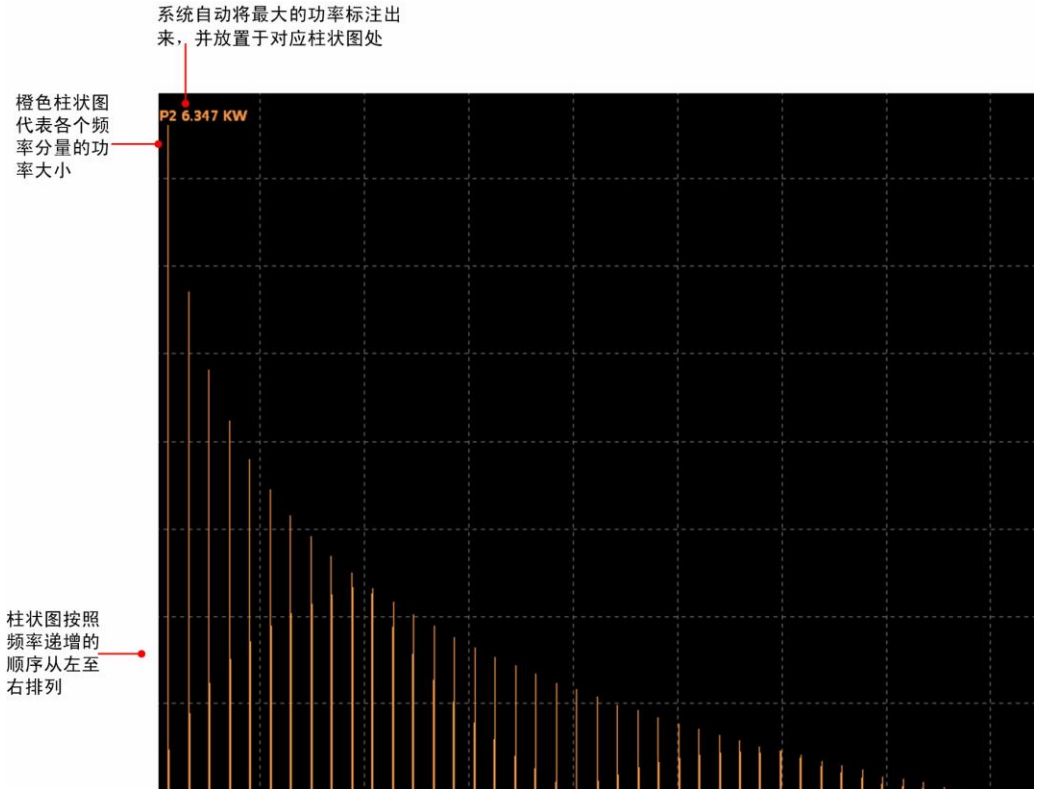


图 9.15　功率谱

3.　谐波/间谐波指标

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

PA2000mini 高精度功率分析仪可按照根据 IEC61000-4-7 的规范测量谐波/间谐波的技术指标，谐波/间谐波的技术指标分别说明如表 9.5 和表 9.6 所示。

表 9.5　谐波技术指标说明

符号	说明	计算公式
THD	电压总谐波畸变	$THD=\frac{1}{U_1}\sqrt{\sum_{k=2}^{40}U_k^{\,2}}$
THDInd	感性负载应用	$THD_{Ind}=\frac{1}{U_1}\sqrt{\sum_{k=2}^{40}\frac{U_k^{\,2}}{k}}$
THDCmp	无功补偿设备	$THDcmp=\frac{1}{U_1}\sqrt{\sum_{k=2}^{40}k^2\times U_k^{\,2}}$
tdd	总需量畸变	$tdd=\frac{1}{I_L}\sqrt{\sum_{k=2}^{k\max}I_k^{\,2}}$
din	畸变因数	$din=\frac{1}{I_{rms}}\sqrt{\sum_{k=2}^{k\max}I_k^{\,2}}$
thdc	电流总谐波畸变	$thdc=\frac{1}{I_1}\sqrt{\sum_{k=2}^{40}I_k^{\,2}}$
pwhd	部分加权谐波畸变	$pwhd=\frac{1}{I_1}\sqrt{\sum_{k=14}^{40}I_k^{\,2}}$
thc	总谐波电流	$thc=\sqrt{\sum_{k=2}^{40}I_k^{\,2}}$
pohc	部分畸次谐波电流	$pohc=\sqrt{\sum_{k=21,23}^{39}I_k^{\,2}}$

注：k 是谐波次数，kmax 为最大谐波次数，I_L 为用户总需量电流，Irms 是电流总波有效值。

表 9.6　间谐波技术指标说明

符号	说明	计算公式
tdcv	电压总畸变	$tdc=\sqrt{Q^2-Q_1^{\,2}}$
tdrv	电压总畸变率	$tdr=\frac{tdc}{Q_1}\times100\%=\frac{\sqrt{Q^2-Q_1^{\,2}}}{Q_1}\times100\%$
tidv	电压总间谐波畸变率	$tid=\frac{\sqrt{\sum_{n=0}^{N}C_{n+0.5}^2}}{C_1}\times100\%$
tshdv	电压总次谐波畸变率	$tshd=\frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{S}Q_i^2}}{Q_1}\times100\%$
tdcc	电流总畸变	$tdc=\sqrt{Q^2-Q_1^{\,2}}$
tdrc	电流总畸变率	$tdr=\frac{tdc}{Q_1}\times100\%=\frac{\sqrt{Q^2-Q_1^{\,2}}}{Q_1}\times100\%$

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

符号	说明	计算公式
tidc	电流总间谐波畸变率	$tid=\frac{\sqrt{\sum_{n=0}^{N}C_{n+0.5}^{2}}}{C_1}\times 100\%$
tshdc	电流总次谐波畸变率	$tshd=\frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{S}Q_i^{2}}}{Q_1}\times 100\%$

注：Q：电压或电流的总有效值；i，n：间谐波阶次；Q_1、C_1：基波分量有效值；N：总的间谐波数目或阶次；Q_i，$C_{n+0.5}$：间谐波分量有效值；S：总的次谐波数目或阶次。

PA2000mini 高精度功率分析仪可显示各输入单元的谐波/间谐波指标测量结果，输入单元 4 的谐波/间谐波指标测量结果如图 9.16 所示。

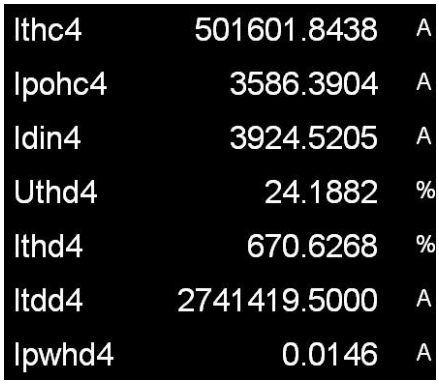


图 9.16　谐波/间谐波指标

9.3.2 操作步骤

1. 配置谐波功能参数

首先用户需要设置使用的 PLL 源、谐波分析次数、畸变因数的计算公式等参数。详见“谐波功能参数设置”节。

2. 设定反混淆滤波器

在使用 IEC 谐波测量之前，也可以启用反混淆滤波器，以滤除和本次谐波测量操作无关的信号，详见“设定反混淆滤波器”一节。



图 9.17　IEC 谐波配置菜单

3. 进入 IEC 谐波测量配置菜单

在仪器前面板按下 Others 按键，进入“其他”菜单。在“其他”菜单里按下“IEC 谐波测量”软键，可进入 IEC 谐波测量视图并打开如图 9.17 所示 IEC 谐波测量项目菜单，选择需要显示 IEC 谐波测量结果的谐波子组。

4. 选择显示标准

用户可选择显示 IEC 谐波测量的所有测量数据，也可按 IEC61000-3-2 标准显示所有测量数据。在 IEC 谐波测量视图中，按下前面板的 Form 键，显示 IEC 谐波测量显示格式菜单如图 9.18 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 9.18　选择显示标准

5.　视图的显示配置

用户可以设置是否同时显示多个测量功能视图。当无显示标准时，可配置显示视图如图 9.19 所示。



图 9.19　“无显示标准”时的显示视图配置

当显示标准为 IEC61000-3-2，可配置显示视图如图 9.20 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

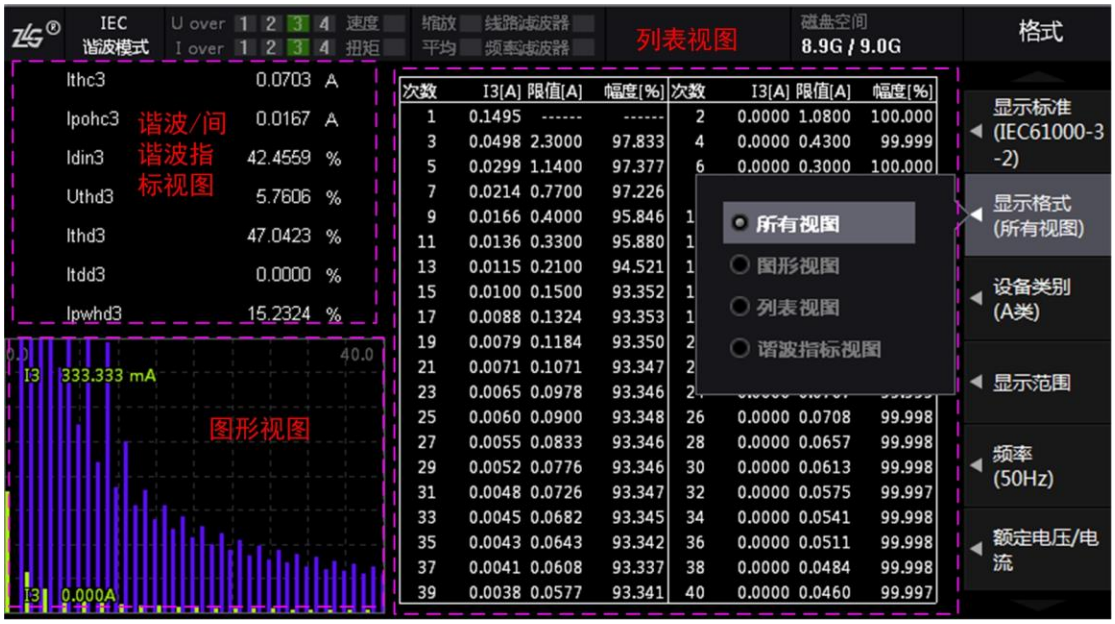


图 9.20　IEC61000-3-2 标准下的显示视图配置

6.　各个测量功能视图的配置

用户可以进一步配置各个测量功能视图的显示，包括：功率谱视图、谐波/间谐波指标视图、谐波/间谐波子组视图。

（1）功率谱视图

项目菜单设置

当全屏显示功率谱视图时，用户可以按下前面板 Item 按键，弹出功率谱项目菜单，设置谐波子组的功率谱，如图 9.21 所示。

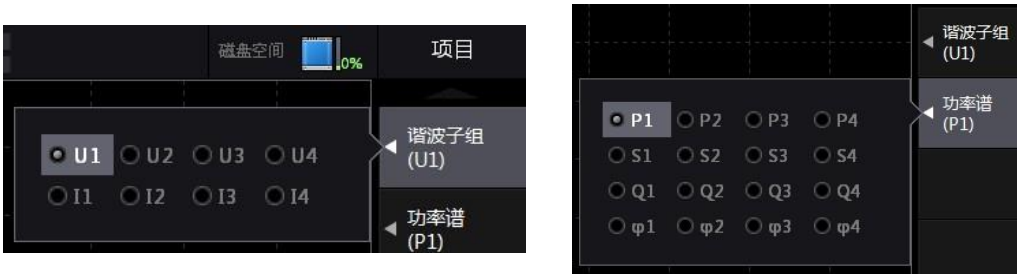


图 9.21　功率谱视图配置菜单

显示格式配置

当全屏显示功率谱视图时，用户可以按下前面板 Form 按键，弹出功率谱显示格式菜单，用户可配置显示格式，如图 9.22 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 9.22　功率谱显示格式配置

IEC 谐波测量功能里，功率谱最多可由 1024 条谱线组成，每条谱线的频率间隔是 5Hz。用户可在谱线 0~1023 的范围内指定功率谱的显示范围。在如图 9.22 所示显示格式配置菜单按下“显示范围”软键，弹出显示范围对话框，用户可在该对话框里配置功率谱的显示范围。

在如图 9.22 所示显示格式配置菜单按下“显示设置”，用户可进一步配置刻度、刻度值、标签、填充、纵坐标放大等显示参数。

（2）谐波/间谐波指标

当全屏显示谐波/间谐波指标列表时，用户可以按下前面板的 Item 按键，弹出谐波/间谐波项目菜单，设置需要显示谐波/间谐波指标的谐波子组。

（3）谐波/间谐波子组

当全屏显示谐波/间谐波子组时，用户可按下前面板的 Item 按键，弹出谐波/间谐波子组项目菜单，设置需要显示谐波/间谐波子组的谐波子组并翻页，如图 9.23 所示。



图 9.23　谐波/间谐波子组项目菜单

（4）IEC61000-3-2 显示标准下的谐波柱状图

当全屏显示谐波柱状图时，用户可按下前面板的 Item 按键，弹出谐波柱状图项目菜单，设置需要显示谐波柱状图的谐波子组。

（5）IEC61000-3-2 显示标准下的谐波列表

当全屏显示谐波列表视图时，用户可按下前面板的 Item 按键，弹出谐波列表视图项目菜单，设置需要显示谐波列表的谐波子组。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

9.4 补充阅读

9.4.1 相关术语

与谐波相关的术语如下。

基波

复合波成分中含基波频率的正弦波。

谐波

谐波是除基波以外、频率为基波(通常是一个商用频率为 50/60Hz 的正弦波)整数倍的正弦波。各种电气设备使用的电源整流电路、相位控制电路里的电流会在电源线路上产生谐波电压和电流。当基波和谐波结合，波形会产生畸变，这样会给连在电源线路的装置带来影响。

谐波失真因数

指定的第 n 次谐波中含畸变波形的有效值与基波有效值的比值。

谐波次数

谐波频率与基波频率的比值，是个整数。

总谐波失真

总谐波有效值与基波有效值的比值。

谐波信号的影响

谐波对电气设备的影响如下：

- 调相用电容器或串联电抗器。由谐波电流引起的电路阻抗下降会导致电流过大、振动、蜂鸣声、过热或烧毁；
- 电缆。三相 4 线制中性线的谐波电流会导致中性线过热；
- 变压器。使铁心产生磁致伸缩噪声，增加铁损和铜损；
- 断路器与保险丝。谐波电流过大会引发错误操作，也会熔断保险丝；
- 通信线。电磁感应引发电压噪声；
- 控制设备。控制信号变形会引发错误操作；
- 视听装置。性能和使用寿命下降、噪声引发图像闪动、零件损坏。

9.4.2 常规测量值和总波值

电压 U 和电流 I 的有效值包括：常规测量值和总波值。

常规测量值是对测量区间内的采样数据执行平均运算，是**测量频率带宽内所有频率成分的总值**；总波值则是**仅在谐波分析次数设定菜单（见图 9.1）中设定的各次成分的总值**，不包括次数设定范围外的信号，也不包括非基波频率整数倍的信号。下面举例说明。

假设一个 50Hz 基波频率的变频器电压信号包含 10kHz 谐波成分，对它进行 0 次(DC)到 100 次(5kHz)测量后求得的总波值不包含超过 5kHz 的有效值成分，因此也不包含 10kHz 的有效值成分；而且不包含这个电压信号里非基波频率整数倍的信号，例如 316Hz 的信号(频率是基波频率的 6.32 倍)成分。相反，常规测量值会包含上述 10kHz 和 316Hz 的有效值成分。

9.4.3 谐波测量功能的求法

1. 常规测量功能

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 9.7　常规测量功能

谐波测量时的测量功能	求法与运算公式			
	测量功能内的字符/数字			总波值
	dc（k=0 时）	1（k=1 时）	k（k=2~max 时）	
电压 U( )	U(dc) =Ur(0)	$U(k)=\sqrt{Ur(k)^2+Uj(k)^2}$		$U=\sqrt{\sum_{k=min}^{max}U(k)^2}$
电流 I( )	I(dc) =Ir(0)	$I(k)=\sqrt{Ir(k)^2+Ij(k)^2}$		$I=\sqrt{\sum_{k=min}^{max}I(k)^2}$
有功功率 P( )	P(dc) = Ur(0)×Ir(0)	$P(k)=Ur(k)\cdot Ir(k)+Uj(k)\cdot Ij(k)$		$P=\sum_{k=min}^{max}P(k)$
视在功率 S()（TYPE3）	S(dc) = P(dc)	$S(k)=\sqrt{P(k)^2+Q(k)^2}$		$S=\sqrt{P^2+Q^2}$
无功功率 Q()（TYPE3）	Q(dc) = 0	$Q(k)=Ur(k)\times Ij(k)-Uj(k)\times Ir(k)$		$Q=\sum_{k=min}^{max}Q(k)$
功率因数 λ()	λ(dc)=P(dc)/S(dc)	λ (k) = P(k)/S(k)		λ = P / S
相位差 ϕ()	—	ϕ(k) = ATAN2{P（k）,Q（k）}		ϕ = ATAN2{P，Q}
		关于上述等式中的 ATAN2{x,y}： ● 当 X>0 时，tan-1{y/x} ● 当 X<0 且 y>0 时，tan-1{y/x}+ 180° ● 当 X<0 且 y<0 时，tan-1{y/x}－ 180°		
与 U（1）的相位差 ϕU( )	—		ϕU(k) = U(1)相对 U(k)的相位差	—
与 I(1)的相位差 ϕI( )	—		ϕI(k) = I(1)相对 I(k)的相位差	—
负载电路的阻抗 Z（）	Z(dc) = |U(dc) / I(dc)|	Z(k) = |U(k) / I(k)|		—
负载电路的串联电阻 Rs（）	Rs(dc) = P(dc) / $I(dc)^2$	$Rs(k)=P(k)/I(k)^2$		—
负载电路的串联电抗 Xs（）	Xs(dc) = Q(dc) / $I(dc)^2$	$Xs(k)=Q(k)/I(k)^2$		—
负载电路的并联电抗 Xp ( )	Xp(dc) = $U(dc)^2$ / Q(dc)	$Xp(k)=U(k)^2/Q(k)$		—

对表 9.7 所示的说明如下所述：

- k、r、j 分别表示谐波次数、实数部分、虚数部分；
- 用有效值表示 U(k)、Ur(k)、Uj(k)、I(k)、Ir(k)、Ij(k)；
- 对总波值的说明可参考“常规测量值和总波值”节；
- min 表示谐波分析次数的最小值，可以从 0(DC 成分)或 1(基波成分)中选择。详情请查阅“谐波功能参数设置”小节；

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- max 是谐波分析次数最大下标值，由用户填写，详情见“谐波功能参数设置”小节；但是，需要注意的是，最大下标值不能超过谐波分析最大次数，谐波分析最大次数由 PLL 源频率自动决定，详见表 9.4。

2. 谐波子组的有效值计算

表 9.8 谐波子组的有效值计算

测量功能	求法与运算公式	
	当被测项目的频率是 50Hz 时	当被测项目的频率是 60Hz 时
谐波电压子组的有效值 U( )[V]	$\sqrt{\sum_{i=-1}^{1} U(k+i)^2}$	
谐波电流子组的有效值 I( )[A]	$\sqrt{\sum_{i=-1}^{1} I(k+i)^2}$	

注：k 为谐波子组内中心谱线对应的谐波次数，U(k-1)和 U(k+1)为间谐波，U(k)为中心谱线对应谐波。

3. 畸变因数相关测量功能

表 9.9 谐波畸变因数相关的测量功能

谐波测量时的测量功能	求法与运算公式	
	测量功能()内的字符/数字 dc(k=0 时)或 k(k=1~max 时)	
	畸变因数运算公式的分母是总波（Total）时[2]	畸变因数运算公式的分母是基波（Fundamental）时
电压的谐波畸变因数 Uhdf（）	$\frac{U(k)}{U(Total)} \times 100$ [2]	$\frac{U(k)}{U(1)} \times 100$
电流的谐波畸变因数 Ihdf（）	$\frac{I(k)}{I(Total)} \times 100$ [2]	$\frac{I(k)}{I(1)} \times 100$
有功功率的谐波畸变因数 Phdf（）	$\frac{P(k)}{P(Total)} \times 100$ [2]	
电压的总谐波畸变率 Uthd	$\frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{max} U(k)^2}}{U(Total)} \times 100$ [2]	
电流的总谐波畸变率 Ithd	$\frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{max} I(k)^2}}{I(Total)} \times 100$ [2]	
有功功率的总谐波畸变率 Pthd	$\left\lvert \frac{\sum_{k=2}^{max} P(k)}{P(Total)} \right\rvert \times 100$ [2]	
电压的电话谐波因数 Uthf	$Uthf = \frac{1}{U(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=1}^{max} \{\lambda(k) \cdot U(k)\}^2 \cdot 100}$ [2] **符合标准（IEC34-1（1996））规定的系数**	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

谐波测量时的测量功能	求法与运算公式	
	测量功能()内的字符/数字 dc(k=0 时)或 k(k=1~max 时)	
	畸变因数运算公式的分母是总波（Total）时[2]	畸变因数运算公式的分母是基波（Fundamental）时
电流的电话谐波因数 Ithf	$Ithf = \frac{1}{I(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=1}^{max} \{\lambda(k) \cdot I(k)\}^2} \cdot 100$ [2] **符合标准（IEC34-1（1996））规定的系数**	
电压的电话影响因数 Utif	$Utif = \frac{1}{U(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=1}^{max} \{T(k) \cdot U(k)\}^2}$ [2] **符合标准（IEEE Std 100（1992））规定的系数**	
电流的电话影响因数 Itif	$Itif = \frac{1}{I(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=1}^{max} \{T(k) \cdot I(k)\}^2}$ [2] **符合标准（IEEE Std 100（1992））规定的系数**	
谐波电压因数 hvf[1]	$hvf = \frac{1}{U(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=2}^{max} \frac{U(k)^2}{k}} \times 100$ [2]	
谐波电流因数 hcf[2]	$hcf = \frac{1}{I(Total)} \times \sqrt{\sum_{k=2}^{max} \frac{I(k)^2}{k}} \times 100$ [2]	

[1] 根据标准规定，运算公式会有所不同。详情请查阅标准(IEC34-1:1996)。

[2] U（Total）= $\sqrt{\sum_{k=min}^{max} U(k)^2}$ 、I（Total）= $\sqrt{\sum_{k=min}^{max} I(k)^2}$ 、P（Total）= $\sum_{k=min}^{max} P(k)$。

k、r、j 分别表示谐波次数、实数部分、虚数部分；min 表示谐波分析次数的最小值，可以从 0(DC 成分)或 1(基波成分)中选择；max 是谐波分析次数最大下标值，由用户填写，详情见“谐波功能参数设置”小节；但是，需要注意的是，最大下标值不能超过谐波分析最大次数，谐波分析最大次数由 PLL 源频率自动决定，详见表 9.4。

4. 接线组相关测量功能

接线组测量功能中，只对总波和基波（1 次）进行运算，详见表 9.10。

[1] 当输入单元 1、2、3 设置成中

接线方式时，运算公式 UΣ、IΣ、PΣ、SΣ、QΣ 中相应的位置就用数字 1、2、3 表示。当输入单元 2、3、4 设置成表中的接线方式时，须用数字 2、3、4 分别替代运算公式里的数字 1、2、3。

表 9.10 接线组相关的测量功能

波测量时的测量功能		求法与运算公式			
Σ功能	接线方式	单相三线制（1P3W）	三相三线制（3P3W）	3 电压 3 电流法（3V3A）	三相四线制（3P4W）
	UΣ	（U1 + U2）/ 2 [1]		(U1 + U2 + U3) / 3 [1]	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

	IΣ	（I1 + I2） / 2 [1]	(I1 + I2 + I3) / 3 [1]

续上表

波测量时的测量功能			求法与运算公式
Σ功能	PΣ	P1 + P2 [1]	P1 + P2 + P3 [1]
	SΣ（TYPE3）	$\sqrt{P\Sigma^2+Q\Sigma^2}$	
	QΣ (TYPE3)	Q1 + Q2 [1]	Q1 + Q2 + Q3 [1]
	λΣ	$\frac{P\Sigma}{S\Sigma}$	

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

10. FFT

10.1 功能简介

FFT（Fast Fourier Transformation），即为快速傅里叶变换。通过傅立叶变换算法，可以将直接测量到的原始信号，计算得到该信号中不同正弦波信号的频率、振幅和相位。在 PA2000mini 高精度功率分析仪里，用户可通过 FFT 显示输入信号的频谱。如图 10.1 所示，是电流波形经 FFT 得到的频谱波形。

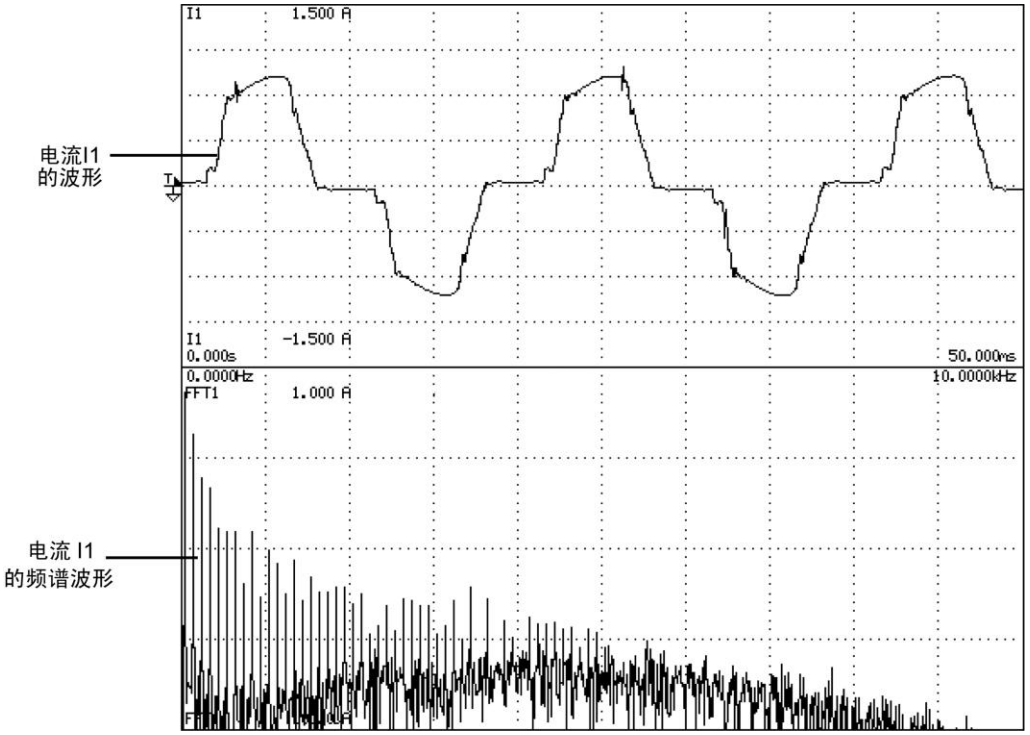


图 10.1　电流 I1 的频谱

用户可以从以下项目里选择执行 FFT 分析的对象：

- 各输入单元的电压、电流、有功功率和无功功率；
- 接线组 Σ 的有功功率和无功功率；
- 电机输入的扭矩和转速信号。

10.2 操作步骤

10.2.1　FFT 数据组合显示

用户需要先选择 FFT 数据显示格式，可以选择为：全屏显示、数据+FFT、波形+FFT。按下前面板的 Others 按键，在如图 10.2 所示菜单里配置 FFT 显示格式。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 10.2　FFT 显示格式

10.2.2　配置各路 FFT

PA2000mini 高精度功率分析仪可同时显示四路 FFT：FFT1~FFT4 的数据。用户需要配置每一路 FFT 的显示开关、FFT 对象、标签名称、显示位置。

1.　FFT 项目菜单

用户可以选择某一路 FFT 数据是否显示。在如图 10.2 所示菜单里按下“FFT”软键，显示 FFT 项目菜单，用户可在菜单里选择每一路 FFT 的显示参数，如图 10.3 所示。



图 10.3　FFT1 显示配置

在如图 10.2 所示菜单里按下 “数值+FFT”或“波形+FFT”，可按如图 10.4 所示的方式打开 FFT 项目菜单。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 10.4　数值+FFT 或波形+FFT 模式下打开 FFT 项目菜单

2. 配置 FFT 数据显示所在分屏

用户可以选择某一路 FFT 数据的显示位置。在如图 10.3 所示 FFT 项目菜单里按下“FFT1 位置”软键（这里以 FFT1 为例说明），可选择 FFT1 的数据在哪一个分屏显示。如果只有一个分屏，则只有 Graph1 可选。分屏数可最多设置为 4 个，分别为 Graph1~ Graph4。

3. 配置 FFT 对象

用户可以选择需要执行 FFT 功能的测量功能。在如图 10.3 所示 FFT 项目菜单里按下“FFT1 源”软键（这里以 FFT1 为例说明），可选择该路 FFT 功能对应的测量功能。

4. FFT 标签

用户还可以为每路 FFT 配置一个显示标签，用于在显示多路 FFT 数据时识别。在如图 10.3 所示 FFT 项目菜单里按下 “FFT1 标签”软键，可配置该路 FFT 数据的标签。

5. FFT 放大

用户可如图 10.3 所示菜单里，设置放大系数，放大 FFT 的显示区域。

放大系数为 4 时的 FFT 显示如图 10.5 所示，放大系数为 100 时的显示如图 10.6 所示。

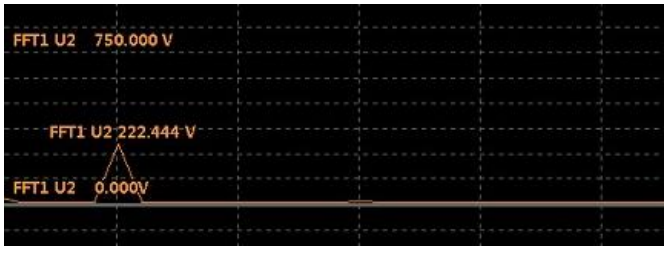


图 10.5　FFT 放大系数为 4 时的显示

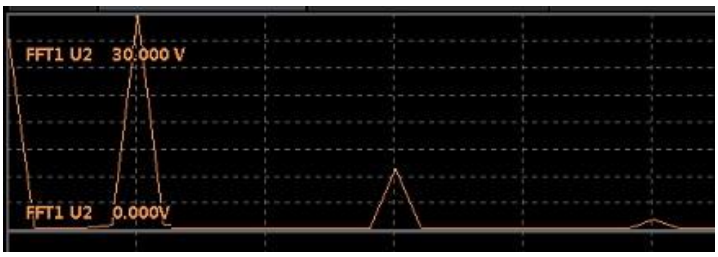


图 10.6　FFT 放大系数为 100 时的显示

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

10.2.3 配置 FFT 功能参数

用户还需要配置 FFT 功能的运算点数、时间窗口、频谱显示类型等。当前视图为 FFT 功能视图时后，按下前面板的 Form 按键，进入如图 10.7 所示的 FFT 格式菜单，即可配置 FFT 功能参数。



图 10.7 FFT 格式菜单

1. 运算点数

用户可以配置 FFT 功能的运算点数为 20K 或 200K。在如图 10.7 所示 FFT 格式菜单里，按下“点数”软键后，可在如图 10.8 所示菜单里选择运算点数。



图 10.8 运算点数选择

2. 窗函数类型

用户可配置 FFT 功能使用的时间窗函数类型。在如图 10.7 所示 FFT 格式菜单里，按下“窗函数类型”软键后，可在如图 10.9 所示菜单里选择窗函数类型。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 10.9　窗函数类型

3.　FFT 数据显示类型

用户可选择 FFT 数据显示类型为曲线图或棒状图。用户在如图 10.7 所示 FFT 格式菜单里，按下“显示设置”软键后，可在如图 10.10 所示显示设置菜单里选择 FFT 数据显示类型。



图 10.10　频谱显示类型

10.2.4　其它配置

用户还可配置 FFT 功能的显示分屏、触发参数、显示设置、显示范围、纵坐标放大等。

1.　显示分屏数

在 FFT 格式菜单按下“格式”软键后可配置 FFT 数据的显示分屏数，如图 10.11 所示。

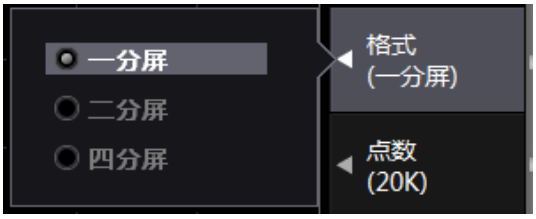


图 10.11　显示分屏数

2.　显示范围

用户可以设定频谱显示在 X 轴方向的起始位置和结束位置。在如图 10.9 所示 FFT 格式菜单里按下“显示范围”软键，弹出起始位置/结束位置配置窗口如图 10.12 所示。起始位置/结束位置的单位是点数，当运算点数为 20k，则频谱数据显示范围为 0~10000；当运算点数为 200k，频谱数据显示范围是 0~100000。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

纵坐标放大

用户可以选择 FFT 频谱显示数据纵坐标的类型，可以选择常规或指数：

- 如果选择常规，此时纵坐标 $Y_{常规}$的最大值由测量量程自动决定。最小值是 0；
- 如果选择指数，此时纵坐标 $Y_{指数} = \lg(Y_{常规})$。因此，此时的纵坐标值是 10 的整数次幂。



图 10.12　显示范围

如果对畸变小接近正弦波的输入信号执行 FFT 运算，可能会得到几乎看不见的频谱，这是因为信号中几乎没有谐波成分。此时，只在显示左端的 Y 轴有频谱显示。如果遇到这种情况，可把纵坐标的类型改成指数。



图 10.13　纵坐标放大

在如图 10.7 所示 FFT 格式菜单里，按下“纵坐标放大”软键，显示菜单如图 10.13 所示，用户即可在其中选择纵坐标类型。

3. 显示设置

用户在如图 10.7 所示 FFT 格式菜单里按下“显示设置”软键，可在弹出的菜单中设置显示填充、刻度等显示参数。

10.3 补充阅读

10.3.1 FFT 功能

FFT 可以用如下公式计算频谱。

1. 电压、电流、功率

假设 FFT 运算后电压的复合函数是 U = Ur + jUj，电流的复合函数是 I = Ir + jIj。Ur、Ir：实数部分；Uj、Ij：虚数部分，则：

$$\text{电压的频谱} = \sqrt{\frac{U_r^2+U_j^2}{2}} \qquad \text{电流的频谱} = \sqrt{\frac{I_r^2+I_j^2}{2}}$$

$$\text{有功功率的频谱} = UrIr + UjIj \qquad \text{无功功率的频谱} = UrIj - UjIr$$

2. 扭矩和转速

假设 FFT 运算后扭矩信号的复合函数是 T = Tr + jTj，转速信号的复合函数是 S = Sr +jSj，Tr、Sr：实数部分；Tj、Sj：虚数部分。

$$\text{扭矩的频谱} = \sqrt{\frac{T_r^2+T_j^2}{2}} \qquad \text{电流的频谱} = \sqrt{\frac{S_r^2+S_j^2}{2}}$$

10.3.2 谐波测量与 FFT 运算的差异

谐波测量是采用与 PLL 源同步的采样率对被测信号进行采样，测量基波整数倍的成分信号。因此，它适合用于测量只包含基波整数倍谐波的信号。

FFT 运算则是采用固定采样率对被测信号进行采样，在宽达采样率一半的带宽内执行快速傅立叶变换；因此，它适合用于分析包含非基波整数倍的成分(畸变波形和噪声)。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

11. Delta 测量

11.1 功能简介

通过计算接线组各输入单元电压或电流瞬时值(采样数据)的和或差，求出电压差、相电压等数据的过程，称为 Delta 测量。用户可以从接线组ΣA 和ΣB 和ΣC 中选择执行 Delta 测量的接线组，在分配到被选接线组的输入单元执行 Delta 测量。

Delta 测量可实现如下功能，并显示运算结果如图 11.4 所示，Delta 测量结果的计算公式见表 11.1：

- **计算 2 个单元间的电压差和电流差**。选择单相 3 线制、三相 3 线制(使用 2 个单元)接线方式时，计算 2 个单元间的电压差和电流差；
- **计算未测量的线电压和相电流**。选择单相 3 线制、三相 3 线制(使用 2 个单元)接线方式时，计算未测量的线电压和相电流，如图 11.1 所示；

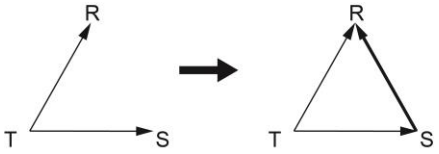


图 11.1　计算未测量的线电压和相电流

- **计算三角型接线的数据**。使用三相 4 线制的数据，从星型接线的数据计算三角型接线的数据(星-三角转换)，如图 11.2 所示；

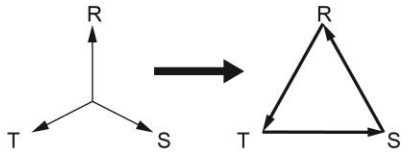


图 11.2 星—三角转换

- **计算星型接线的数据**。使用三相 3 线制(3 电压 3 电流表法)的数据，从三角型接线的数据计算星型接线的数据(三角-星变换)，如图 11.3 所示。该功能对于测量电机等无中性线被测对象的相电压非常有用。

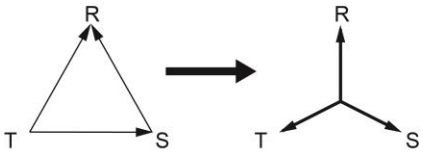


图 11.3 三角—星变换

注意：Delta 测量仅能在常规测量模式和 FFT 模式下运行，在谐波测量模式、电压波动和闪烁测量模式、周期分析测量模式下无法执行。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 11.4　测量结果显示示例

11.2 Delta 测量的求法

Delta 测量的求法如表 11.1 所示。

表 11.1　Delta 计算公式

Delta 测量类型	采样数据		测量功能符号说明（ΔF）		测量功能符号说明（ΔP）	说明
	u(n)[3]	i(n)[3]				
Difference（计算电压差和电流差）	u1 - u2[1]	i1 – i2	差值电压	ΔF1[UdiffA]	—	—
			差值电流	ΔF2[IdiffA]	—	
3P3W>3V3A（三相 3 线制时求未测线电压和未测相电流）	u1 - u2	-i1 – i2	R-S 相之间的线电压	ΔF1[UrsA]	—	前提条件：i1 + i2 + i3 = 0
			T 相的相电流	ΔF2[ItA]	—	
Delta>Star（3电压3电流表法时求相电压、中性线电流）	u1 – (u1+u2)/3	—	各相的相电压	ΔF1[UrA]	R 相功率	前提条件：将三角型接线的重心作为星型接线的中心进行运算
	u2 – (u1+u2)/3	—		ΔF2[UsA]	S 相功率	
	-(u1+u2)/3	—		ΔF3[UtA]	T 相功率	
	—	i1+i2+i3	中性线的线电流	ΔF4[InA]	—	—
Star>Delta（三相 4 线制时求线电压和中性线电流）	u1 - u2	—	各相的线电压	ΔF1[UrsA]	—	
	u2 – u3	—		ΔF2[UstA]	—	
	u3 – u1	—		ΔF3[UtrA]	—	
	—	i1 + i2 + i3	中性线的线电流	ΔF4[InA]	—	

[1] 采样数据 u、i 后的数字 1、2、3 表示输入单元 1、2、3 是运算执行单元，此时 u1、u2、u3 分别表示输入单元 1、2、3 的电压采样数据，i1、i2、i3 分别表示单元 1、2、3 的电流采样数据；如果运算执行单元是 2、3、4，那么采样数据 u、i 后面的数字 1、2、3 则分别由 2、3、4 代替，此时 u2、u3、u4 分别表示输入单元 2、3、4 的电压采样数据，i2、i3、i4 分别表示输入单元 2、3、4 的电流采样数据。

[2] Delta 测量功能 ΔF1~ΔF4、ΔP1~ΔP3 因接线方式和运算类型而异，其后面的数字为运算功能序号而和输入单元编号无关。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

[3] u(n)和 i(n)是采样数据，n 为采样数据序号。

11.3 操作步骤

11.3.1 概述

用户须设置接线组与相关的测量参数，然后选择该接线组对应的 Delta 测量类型，并设置 Delta 测量结果的显示。

11.3.2 接线组设置

按下前面板上的 wiring 按键，进入接线设置菜单，设置接线组：

- 输入单元设为 1P3W；
- 输入单元设为 3P3W；
- 输入单元设为 3P3W（3V3A）；
- 输入单元设为 3P4W。

之后，需要配置接线组的测量参数，如量程、测量模式等。建议 Delta 测量的被测输入单元尽量使用相同的量程和比例(CT 比和系数)。否则会因采样数据测量分辨率的不同使运算结果产生误差。

11.3.3 选择运算类型

不同的接线方式，对应的Δ测量类型是不同的，详见表 11.2。

表 11.2 接线组和测量类型

接线方式	可选的 Delta 测量类型
1P3W	Difference、3P3W>3V3A
3P3W	Difference、3P3W>3V3A
3P4W	Star>Delta
3P3W(3V3A)	Delta>Star

确定接线方式后，用户即可选择测量类型。按下接线设置菜单里的“Δ测量”软键，进入测量类型选择对话框，可选择测量类型；但如果接线方式为 3P4W 或 3P3W（3V3A）则无须选择测量类型。



图 11.5 测量类型选择

11.3.4 Δ测量结果的显示

在数值数据显示模式，按下“Item”键，设置显示项目为Δ测量项目，如图 11.6 所示。

注意：若数值数据显示模式下显示所有项目，则 Item 键失效。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

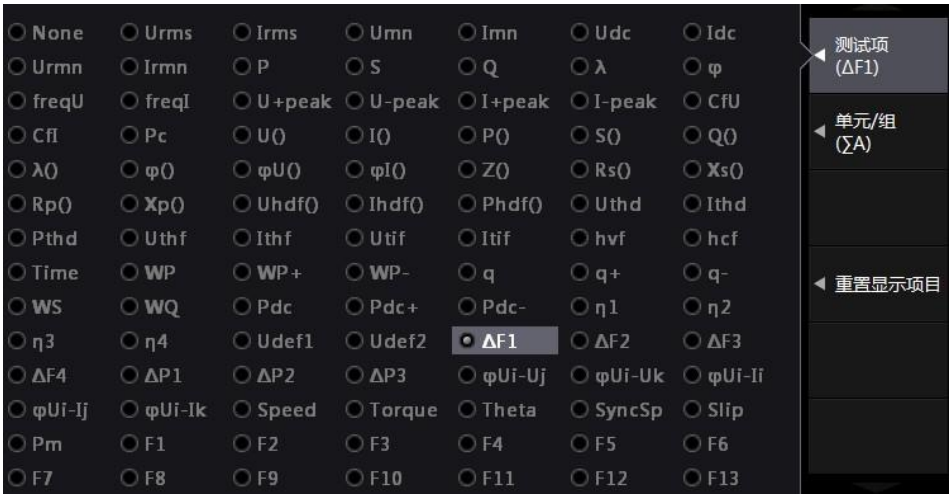


图 11.6　测量结果的显示

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

12. 周期分析测量

12.1 功能简介

周期分析测量是以同步源信号为基准，计算交流输入信号每个周期的电压、电流、功率和其它参数，并且以列表或图形的方式显示。图 12.1 说明了周期分析测量的运作：

- 同步源：U1；
- 同步源触发斜率：上升；
- 测量周期数：3。

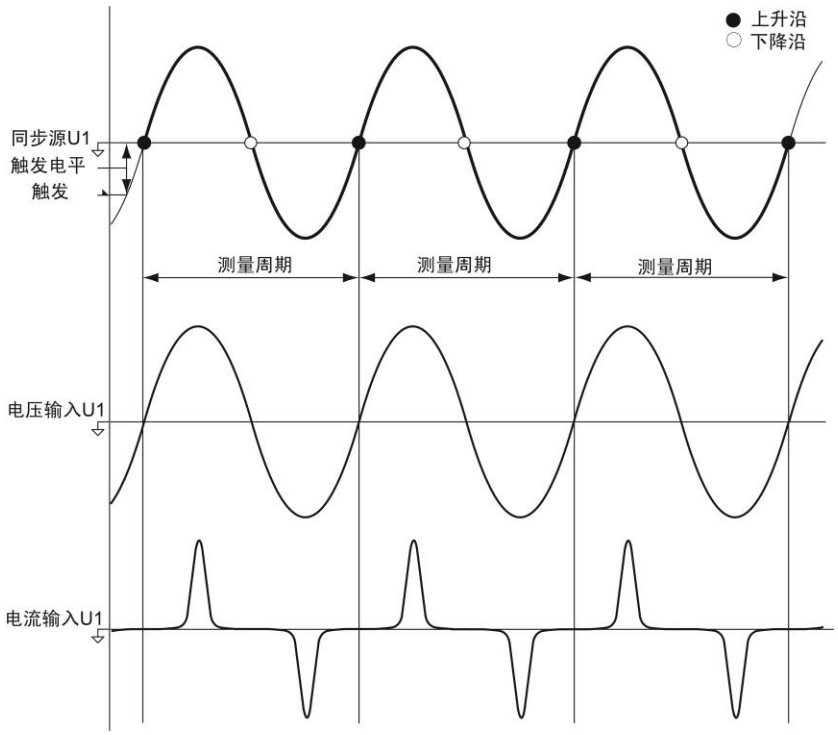


图 12.1　周期测量分析示意

PA2000mini 高精度功率分析仪的周期分析测量功能下对各输入单元或接线组可测量的项目包括：同步源频率 Freq、电压 U、电流 I、有功功率 P、视在功率 S、无功功率 Q、功率因数 λ、转速 Speed、扭矩 Torque、机械功率 Pm。对于测量项目，可显示测量结果列表和周期波动趋势图。

注意：对电压 U 和电流 I 的测量模式由功率分析仪的电压模式/电流模式决定。例如，当电压模式为 MEAN 时，则周期分析测量模式下测得的 U 值也为 MEAN 值，即校准到有效值的整流平均值。

1. 测量结果列表

完成周期分析测量后，测量结果以列表形式显示。如图 12.2 所示，是一个周期分析测量结果列表。该次测量使用的同步源是 U2，测量周期数为 100。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



No.	Freq[Hz]	■ U2[V]	I2[A]	P2[W]	Q2[VA]	S2[var]	λ2[ ]
1	50.015	234.921	0.834	22.151	194.566	195.823	0.113
2	50.015	234.883	0.833	22.026	194.434	195.677	0.113
3	50.015	234.873	0.833	22.078	194.352	195.601	0.113
4	50.015	234.895	0.833	22.030	194.443	195.687	0.113
5	50.015	234.945	0.833	22.092	194.510	195.761	0.113
6	50.015	234.967	0.833	22.134	194.555	195.810	0.113
7	50.019	234.889	0.833	22.051	194.472	195.718	0.113
8	50.019	234.909	0.833	22.030	194.500	195.743	0.113
9	50.019	234.945	0.833	22.042	194.524	195.769	0.113
10	50.019	234.903	0.833	22.020	194.477	195.720	0.113

图 12.2　周期分析测量结果

由图 12.2 可知，功率分析仪对交流输入信号电压、电流、功率等参数进行了测量，列表显示测量结果，并显示周期分析测量功能的状态。

页面滚动

当单页无法完整显示内容时，可滚动或跳转页面来切换显示页面。

周期分析测量功能的状态

周期分析测量功能具有如下状态：

- Start（启动）。指示周期分析测量功能启动；
- Complete（完成）。指示周期分析测量操作完成；
- Time Out（超时）。指示周期分析测量中发生超时，测量中止；
- Reset（复位）。指示当前周期分析测量功能已复位，可以修改测量参数继续执行测量；
- Freq Err（同步源频率错误）。如果同步源的频率超过范围，则产生此错误。周期分析测量同步源的频率范围必须为 0.1Hz~1kHz。

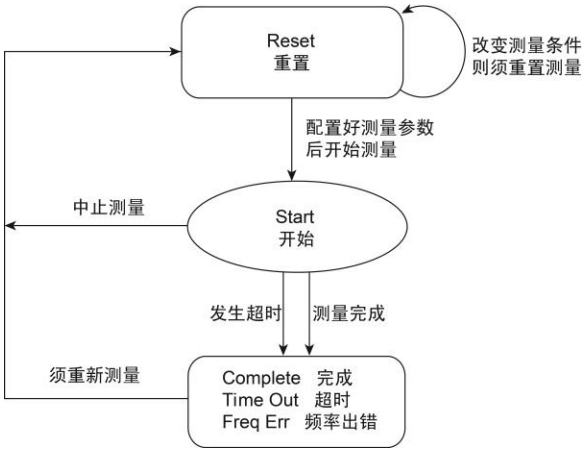


图 12.3　周期分析测量状态转换图

功率分析仪会根据当前工作状态，自动在图 12.2 所示的周期分析测量功能状态显示栏显示当前的测量功能状态，测量功能状态之间的转换关系见图 12.3。

峰值过量程数据的指示

在被测周期测量中，如果电压(U)、电流(I)、转速(speed)和扭矩(torque)的峰值出现过量程，那么周期分析测量的数据可能存在误差。为防止峰值过量程，用户需要增加量程。当在周期分析测量过程里检测到峰值过量程时，功率分析仪会在数据前面显示“↑+”或“↓-”或“↕±”，如图 12.4 所示。“↑+”表示正峰值过量程，“↓－”表示负峰值过量程，“↕±”正负峰值均过量程。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

同步源 U2 周期数 10 周期状态 Complete

No.	Freq[Hz]	■ U2[V]	I2[A]	P2[W]	Q2[VA]	S2[var]	λ2[ ]
1	49.974	↑+ 229.495	0.832	2.270	191.024	191.037	0.012
2	49.974	↑+ 229.519	0.833	2.191	191.126	191.138	0.011
3	49.974	↑+ 229.522	0.833	2.150	191.103	191.115	0.011
4	49.974	↑+ 229.534	0.833	2.238	191.149	191.162	0.012
5	49.974	↑+ 229.557	0.833	2.119	191.171	191.183	0.011
6	49.974	↑+ 229.557	0.833	2.121	191.203	191.215	0.011
7	49.974	↑+ 229.511	0.833	2.251	191.095	191.108	0.012
8	49.974	↑+ 229.555	0.833	2.159	191.181	191.193	0.011
9	49.974	↑+ 229.589	0.833	2.207	191.204	191.217	0.012
10	49.974	↑+ 229.590	0.833	2.092	191.199	191.210	0.011

图 12.4　峰值过量程数据的指示

2.　周期波动趋势图

PA2000mini 高精度功率分析仪可显示测量项的周期波动趋势图，观察数据的波动趋势，如图 12.5 所示。

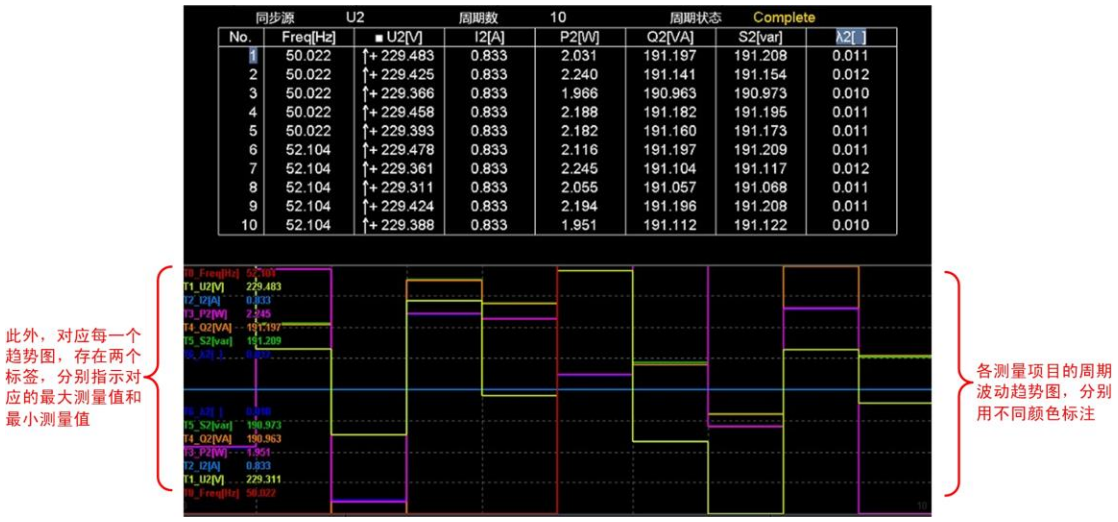


图 12.5　周期波动趋势图

12.2 操作步骤

1.　概述

用户须进入周期分析测量功能菜单，设置如下参数：

- **同步源参数**。同步源选择、同步斜率；
- **测量参数**。测量周期数、测量超时时间、测量项目、测量的输入通道；
- **显示参数**。包括测量结果的显示方式、显示界面、查看须显示测量结果的行等。

2.　周期分析测量功能菜单

用户首先在前面板上按下 Cycle 键，打开周期分析测量功能菜单如图 12.6 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 12.6　周期分析测量功能菜单

3.　显示视图配置

周期分析测量功能的测量结果可用数据列表和图形的方式显示，用户首先须在图 12.6 所示菜单里配置显示类型，选择显示视图的类型为只显示数字或只显示图形或只显示图形&数字。



图 12.7　显示类型配置

4.　同步源相关参数配置

（1）同步源选择

用户在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“同步源”，弹出可供选择的同步源如图 12.8 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 12.8　周期分析测量功能菜单

同步源规定了计算周期分析测量数据的周期，选择同步源需要注意以下几点：

- **同步源的频率范围**。同步源的频率必须位于 **0.1Hz~1kHz** 范围内，否则会在测量中产生错误；
- **周期相同**。须把与周期分析测量对象信号有相同周期的信号设为同步源；
- **选择畸变小的输入信号作为同步源**。如果同步源信号发生畸变，或者有高频噪声重叠，会发生非基波频率过零。这样可能会测量到不同于基波频率的范围。如果遇到这种情况，须打开频率滤波器；



图 12.9　同步斜率

- **同步源信号振幅电平相对量程不能太小**。否则无法测得同步源信号的频率，也无法得到正确的测量结果。

（2）选择同步斜率

用户在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“同步斜率”，显示“同步源斜率选择”菜单如图 12.9 所示。同步源斜率可从下选择：

- 上升沿。当同步源信号从负变成正时检测过零点；
- 下降沿。当同步源信号从正变成负时检测过零点。



图 12.10　周期数

5. 测量相关参数配置

（1）配置测量周期数

用户可设定执行周期分析测量的周期数。用户在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“周期数”，显示周期次数菜单如图 12.10 所示。用户可以在 10~4000 次范围内设定执行周期分析测量的周期数。

（2）测量超时时间

完成周期分析测量需要的时间 = 同步源信号的周期 × 测量周期计数 + 运算时间。

当设置的周期数过大或出现测量异常，导致测量时间过长时，需要退出测量。因此，用户需要设置超时时间，当测量时间大于超时时间，则会发生超时，此时不会显示测量数据。



图 12.11　超时时间

用户在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“超时时间”，显示超时时间菜单如图 12.11 所示，用户可以

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

在 1~3600s 范围内设定超时时间。如果超时时间小于正常测量所需时间，那么将无法完成测量。

注意：当如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里设置超时时间参数为 0 时，则超时时间为 24 小时。

如图 12.12 的图片底部标注的超时计时框所示，进度条指示了当前测量用时，当测量时间超过超时时间，则发生超时，周期分析测量中止，如图 12.14 所示。



图 12.12　超时时间计时



图 12.14　超时

（3）测量项目设置

用户须配置测量的输入通道，以及测量的项目。

进入周期分析项目菜单

当进入周期分析测量视图后，按下前面板的 Item 键，打开周期分析项目菜单如图 12.13 所示。



图 12.13　测量对象设置

选择须配置测量项目的列

PA2000mini 高精度功率分析仪的测量结果可列表如图 12.2 所示，用户可在测量结果列表里选择指定的列，然后配置该列显示的测量项目。

在如图 12.13 所示菜单里，用户按下“选择的列”，在弹出的

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

对话框中指定须配置测量项目的列，如图 12.15 所示。



图 12.15　选择列

选择输入通道

用户需要选择用于进行周期分析测量的输入单元或接线组。按下图 12.13 所示菜单里的“单元/组”，在如图 12.16 所示弹出的对话框里选择需要测量的输入单元或接线组。



图 12.16　单元/组选择

选择测量项目

在选择需要配置测量项目的列后，再按下图 12.13 所示菜单里的“功能”，在如图 12.17 所示弹出的对话框里选择需要显示测量结果的测量项目。



图 12.17　测量项目配置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

6. 显示相关参数配置

（1）显示类型

用户在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“显示类型”，可以设置周期测量结果的显示形式为“数字”或“图形”或“数字+图形”，如图 12.18 所示。“数字”对应测量结果列表，“图形”对应周期波动趋势图；若选择“数字+图形”，则同时显示测量结果列表和周期波动趋势图，如图 12.5 所示。



图 12.18 显示类型

（2）显示参数设置

用户也可以在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“显示设置”软键，显示“显示设置”菜单。

在显示设置菜单里，用户可设置填充(线)、刻度、刻度值等常规显示参数，还可以配置周期波动趋势图的显示。在图 12.6 所示显示设置菜单里，按下“显示数据”软键，弹出周期波动趋势图显示设置对话框，用户可在对话框里配置周期波动趋势图 T1~T5 的显示内容，具体设置说明详见图 12.19。

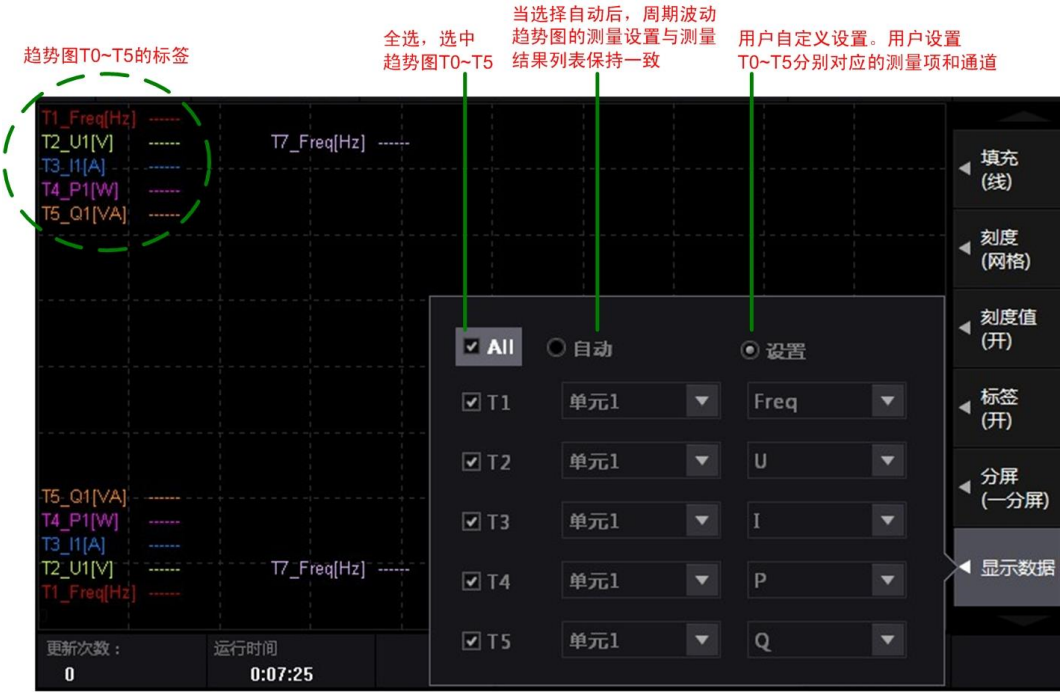


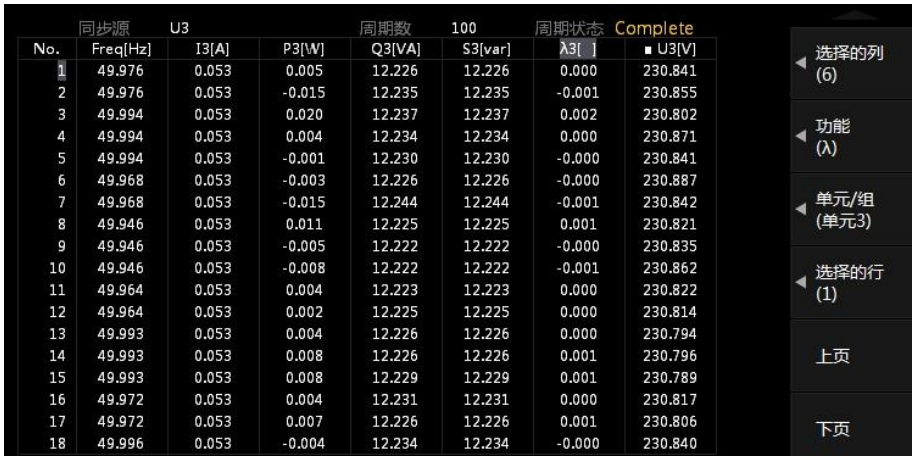
图 12.19 趋势图显示配置说明

（3）查看指定行的测量结果

PA2000mini 高精度功率分析仪的测量结果列表如图 12.2 所示。由于屏幕显示面积有限，部分周期的测量结果需要用户翻页查看。如果用户不想翻页，可直接指定须查看测量结果所在行，然后功率分析仪显示该行的测量结果。

在如图 12.13 所示菜单里，用户按下“选择的行”，在弹出的对话框中指定须查看的行，如图 12.20 所示。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



No.	Freq[Hz]	I3[A]	P3[W]	Q3[VA]	S3[var]	λ3[ ]	U3[V]
1	49.976	0.053	0.005	12.226	12.226	0.000	230.841
2	49.976	0.053	-0.015	12.235	12.235	-0.001	230.855
3	49.994	0.053	0.020	12.237	12.237	0.002	230.802
4	49.994	0.053	0.004	12.234	12.234	0.000	230.871
5	49.994	0.053	-0.001	12.230	12.230	-0.000	230.841
6	49.968	0.053	-0.003	12.226	12.226	-0.000	230.887
7	49.968	0.053	-0.015	12.244	12.244	-0.001	230.842
8	49.946	0.053	0.011	12.225	12.225	0.001	230.821
9	49.946	0.053	-0.005	12.222	12.222	-0.000	230.835
10	49.946	0.053	-0.008	12.222	12.222	-0.001	230.862
11	49.964	0.053	0.004	12.223	12.223	0.000	230.822
12	49.964	0.053	0.002	12.225	12.225	0.000	230.814
13	49.993	0.053	0.004	12.226	12.226	0.000	230.794
14	49.993	0.053	0.008	12.226	12.226	0.001	230.796
15	49.993	0.053	0.008	12.229	12.229	0.001	230.789
16	49.972	0.053	0.004	12.231	12.231	0.000	230.817
17	49.972	0.053	0.007	12.226	12.226	0.001	230.806
18	49.996	0.053	-0.004	12.234	12.234	-0.000	230.840

图 12.20　指定须查看的行

7.　开始/重置

当上述测量参数都配置完毕，则用户可在如图 12.6 所示的周期分析测量功能菜单里，按下“开始”，启动周期测量分析功能。当周期分析测量进行时，在测量完成之前也只显示[------](没有数据)；只有当测量完成后，显示测量数据。

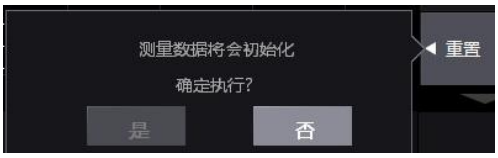


图 12.21　重置初始化数据

当在测量途中按下图 12.6 所示菜单里的“重置”，可取消周期分析测量，令所有测量数据废弃，如图 12.21 所示。此外，如果测量完成后须修改测量参数进行测量，则须执行重置操作，此时，用户也须在图 12.6 所示菜单里按下“重置”，然后才能按上述步骤初始化测量参数。

12.3 注意事项

1.　对功能和测量功能的限制

用周期分析测量模式执行测量时，会进行与其它测量模式不同的内部运算。因此，它不支持如波形和柱状图显示、储存功能等部分功能；此外，还不能执行积分和效率运算等部分测量功能。

例如，数据更新率的设定在周期分析测量模式下无效。当指定周期数的周期测量完成后，才更新显示数据，测量期间不更新显示数据。例如，测量 50Hz(20ms)输入信号 1000 周期，从测量开始到结束以及显示测量值至少需要 20s。

受限制的功能和无法执行的测量功能如表 12.1 所示。表 12.1 说明了当周期分析测量功能处于重置、开始、完成状态时，相关功能是否可执行和更改。

表 12.1　对周期分析测量模式改变设置和执行操作的限制

设定项目	周期分析测量状态		
	重置	开始	完成
周期分析测量			
周期分析测量同步源选择	√	×	×
测量超时	√	×	×
测量开始	√	×	×

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

设定项目	周期分析测量状态		
	重置	开始	完成
重置	×	√	√
显示测量项目	√	√	√
显示执行周期分析的周期数	√	√	√
测量模式切换	√	×	×
接线和补偿			
接线方式	√	×	×
单元的单独设定	√	×	×
效率和补偿	×	×	×
电压和电流量程	√	×	×
自动量程	×	×	×
传感器换算比	√	×	×
电压和电流模式	√	×	×
比例	√	×	×
滤波器	√	×	×
平均	×	×	×
同步源设定	×	×	×
测量和运算（Measure）	×	×	×
频率测量	×	×	×
NULL	×	×	×
电机评估	√	×	×
谐波测量	×	×	×
显示项目			
[U/I/P][S/Q/λ/φ] [FU/FI/η]	√	√	√
[WP/q/TIME] [USER]	×	×	×
[ELEMENT]	√	√	√
数据更新率	×	×	×
保持	√	√	√
单次测量（令显示更新）	√	√	√
积分	×	×	×
文件操作	√	√	√
设定或执行屏幕图像的存储	√	√	√
设定或执行储存操作	×	×	×
帮助	√	√	√

注：“√”：设定可改，功能可执行；“×”：设定不可改，功能不可执行。

2. 保存周期分析测量数据

保存周期分析测量数据时，请选择数据作为保存对象。

3. 对运算公式的影响

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

在周期分析测量模式下，只能选择 Type2 作为视在功率或无功功率的运算公式。如果选择了 Type1 或 Type3，再选周期分析测量模式，公式会切换到 Type2。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

13. 积分运算

13.1 功能简介

PA2000mini 高精度功率分析仪可以对输入单元或接线组的功率和电流进行积分运算，求出各个技术指标值，如图 13.1 所示。

1. 积分运算

积分运算结果列表显示如图 13.1 所示，显示了积分运算的结果。

积分功能模式下可计算各输入单元的如下数据（数据的具体求法可参考附录）：

- **有功功率积分（瓦时）**。WP(瓦时，正负瓦时的和)、WP+(消耗的正瓦时)、WP-(反馈电源的负瓦时)；
- **电流积分（安时）**。q(安时，正负安时的和)、q+(消耗的正安时)、q-(反馈电源的负安时)；
- **视在功率积分 WS**（伏安时）；
- **无功功率积分 WQ**(乏时)；
- **积分区间内最大值 Pmpp（W）**；
- **静态功率点跟踪效率 η MPPTS;**
- **动态功率点跟踪效率 η MPPTD**。

积分功能模式下还可计算各接线组ΣA、ΣB、ΣC 的如下数值数据(各数据的具体求法可参考附录)：

- **有功功率积分（瓦时）**。WPΣ(瓦时，正负瓦时的和)、WP+Σ (消耗的正瓦时)、WP-Σ(反馈电源的负瓦时)；
- **电流积分（安时）**。qΣ(安时，正负安时的和)、q+Σ(消耗的正安时)、q-Σ(反馈电源的负安时)；
- **视在功率积分 WSΣ**（伏安时）；
- **无功功率积分 WQΣ(乏时)**。



图 13.1 积分功能视图

2. 积分功能状态

功率分析仪会在积分功能界面里显示积分功能的当前状态，如图 13.1 的标注①处所示，可显示的积分功能状态包括中文和英文形式：

- **Reset 或重置**。执行积分重置操作后，积分值显示和积分时间显示被重置，此时显示 Reset 或重置状态；
- **Start 或开始**。积分正在进行时显示；
- **Stop 或停止**。积分中断、取消、结束时显示；
- **Ready 或准备**。当处于实时积分模式下的准备状态显示；
- **TimeUp 或时间到**。达到积分定时器的指定时间后显示；
- **Error 或错误**。电源恢复后，积分停止，显示停电发生前的积分结果。此时的积分状态称为 Error 状态。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

13.2 操作步骤

1. 积分功能菜单

用户按下前面板的积分功能按键 Integral，弹出积分功能菜单如图 13.2 所示。

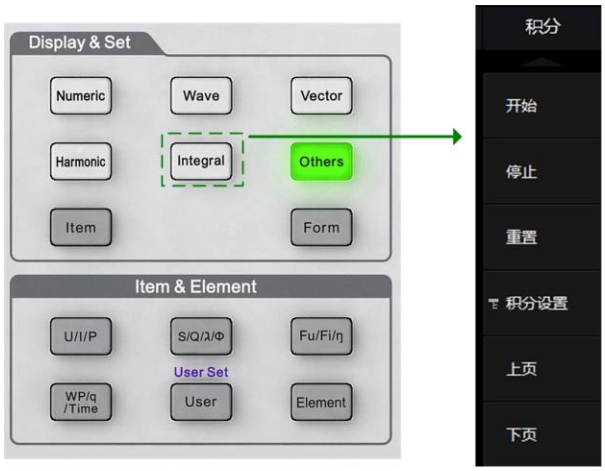


图 13.2 积分功能菜单

2. 设置积分模式

使用积分功能之前需要配置积分模式，用户在积分功能菜单里按下“积分设置”软键，可弹出积分设置菜单如图 13.3 所示，在积分设置菜单里可选择积分模式。积分模式的说明见“积分模式”节。



图 13.3 积分模式设置

3. 设置定时器

定时器用于设置积分时间的长度。用户在如图 13.2 所示积分菜单里按下“定时器”软键，弹出如图 13.4 所示的积分时间长度设置菜单。

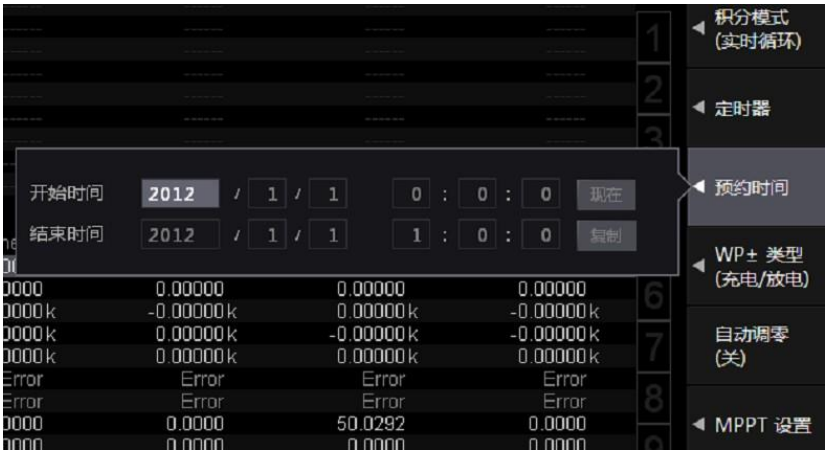
注意：当积分时间设置为 0 时，积分模式为手动积分模式。



图 13.4 积分时间长度

4. 设置预约时间

当积分模式为实时标准积分模式和实时循环积分模式时，用户需要设置积分开始和结束的日期和时间，此时可在如图 13.5 所示积分模式设置菜单按下“预约时间”软键并设置开始时间和结束时间。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 13.5　预约时间

5. 自动调零

通常，当测量量程或线路滤波器发生变化时会执行调零；而在积分时会自动调零。用户可在如图 13.5 所示积分设置菜单里按下“自动调零”软键，切换开启/关闭状态。

6. WP±类型设置

用户可设置 WP±的类型，如图 13.6 所示。



图 13.6　WP±类型设置

7. MPPT 设置

用户可设置 MPPT，如图 13.7 所示。



图 13.7　MPPT 设置

8. 开始/停止/重置

完成积分功能参数设置后，用户即可在如图 13.2 所示积分菜单里，按下“开始”启动积分计算或恢复被暂停的积分，按下“停止”则暂停积分，按下“重置”则复位积分值和积分时间。图 13.8 说明了“启动”、“停止”、“重置”操作与积分功能状态的联系。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

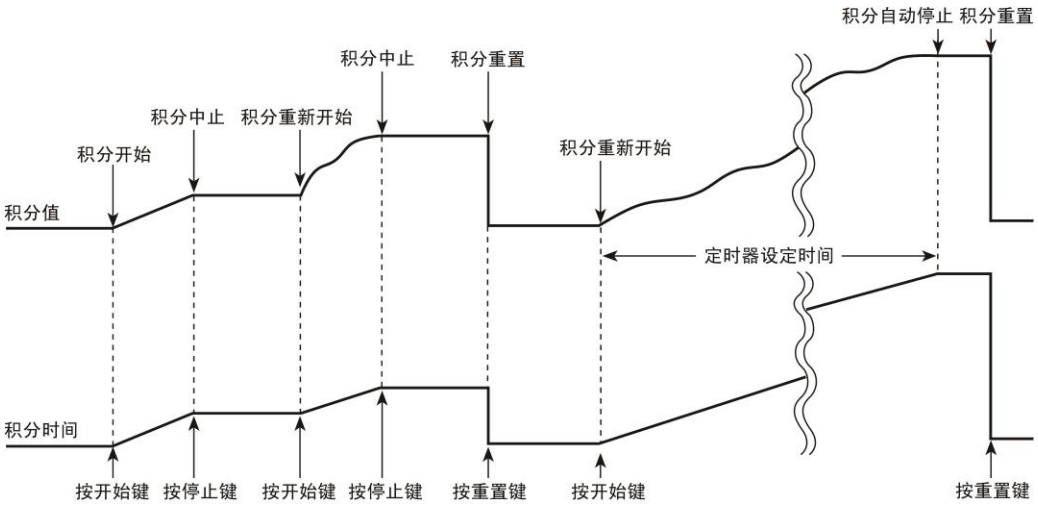


图 13.8　开始/停止/重置

9.　显示翻页

用户按下如图 13.2 所示积分菜单里的“上页”、“下页”软键，执行翻页操作。

13.3 规格

13.3.1　掉电保存

PA2000mini 高精度功率分析仪在积分运行状态下，即使停电也能记忆并保持积分运算的结果；恢复电源后，显示停电发生前的积分结果，积分仍停止，此时若重置积分，则积分重新开始。

13.3.2　有效频率范围

PA2000mini 高精度功率分析仪的采样频率约为 500kHz。积分功能下，有效的电压/电流信号的频率如表 13.1 所示。

表 13.1　采样率和积分有效频率范围

积分项		有效频率范围
有功功率		DC~250kHz
电流	积分运算 Irms 时	DC、数据更新率规定的测量下限频率值~250kHz
	积分运算 Imn 时	DC、数据更新率规定的测量下限频率值~250kHz
	积分运算 Idc 时	DC~250kHz
	积分运算 Irmn 时	DC、数据更新率规定的测量下限频率值~250kHz

表 13.1 中“测量下限频率值”见表 13.2。

表 13.2　不同数据更新率对应的测量下限频率

数据更新率	10ms	50ms	100ms	250ms	500ms	1s	2s	5s	10s	20s
测量下限频率	200Hz	45Hz	25Hz	20Hz	10Hz	5Hz	2Hz	0.5Hz	0.2Hz	0.1Hz

13.3.3　显示分辨率

积分值的最大显示分辨率为 999999。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

13.3.4 溢出时显示

当积分值满足以下溢出条件，积分功能停止并保持在该点的积分时间和积分值输出：

- 积分时间达到最大值(10000 小时)；
- WP、q、WS 或 WQ 的积分值达到下述的最大/最小显示值：
  - 有功功率(WP): ±999999 MWh；
  - 电流(q): ±999999 MAh；
  - 视在功率(WS): ±999999 MVAh；
  - 无功功率(WQ): ±999999 Mvarh

13.3.5 限制执行

在积分功能进行时，部分功能的执行可能会受到限制：

- 当积分进行和积分中止时，不允许修改测量参数或测量数据，否则会影响当前正在进行的积分功能。因此，当积分进行和积分中止时，与测量参数设置相关的功能、Null 操作不可执行；
- 当积分进行和积分中止时，不允许修改积分功能参数，否则会影响当前正在进行的积分功能。因此，当积分进行和积分中止时，不能设置积分功能参数；
- 单次测量操作、保持操作、储存操作、显示操作如翻页等均不影响当前的测量数据和积分功能，因此其执行不受积分功能状态影响。

积分功能时对其它功能的影响详见表 13.3。

表 13.3 积分功能时不能改变的设定

	积分重置	积分进行时	积分中止
START 指示灯的状态	OFF	ON	OFF
STOP 指示灯的状态	OFF	OFF	ON
测量参数设置相关功能			
接线方式设置	可执行	不可执行	不可执行
测量量程设置	可执行	不可执行	不可执行
比例设置	可执行	不可执行	不可执行
滤波器设置	可执行	不可执行	不可执行
平均功能设置	可执行	不可执行	不可执行
同步源设置	可执行	不可执行	不可执行
数据更新率设置	可执行	不可执行	不可执行
积分功能参数设置			
积分模式设置	可执行	不可执行	不可执行
积分定时器设置	可执行	不可执行	不可执行
单次测量与保持操作			
保持操作	可执行	可执行	可执行
单次测量操作	可执行	可执行	可执行
Null 操作			
Null 操作	可执行	不可执行	不可执行
积分操作			

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

	积分重置	积分进行时	积分中止
积分开始	可执行	不可执行	可执行
积分中止	不可执行	可执行	—
积分重置	可执行	不可执行	可执行
显示操作			
显示	可执行	可执行	可执行
储存操作			
储存操作	可执行	可执行	可执行

13.4 补充阅读

13.4.1 积分模式

根据积分时间的设定和积分结束后是否重新启动积分，积分功能有 5 种模式：手动积分模式、标准积分模式、连续积分模式、实时标准积分模式和实时循环积分模式。

1. 模式简介

（1）手动积分模式（Manual）

手动积分模式下，积分从积分开始持续到积分停止；但是，当积分时间达到最大积分时间或当积分值达到最大/最小显示积分值时积分停止，并保持当前的积分时间和积分值显示，如图 13.9 和图 13.10 所示。

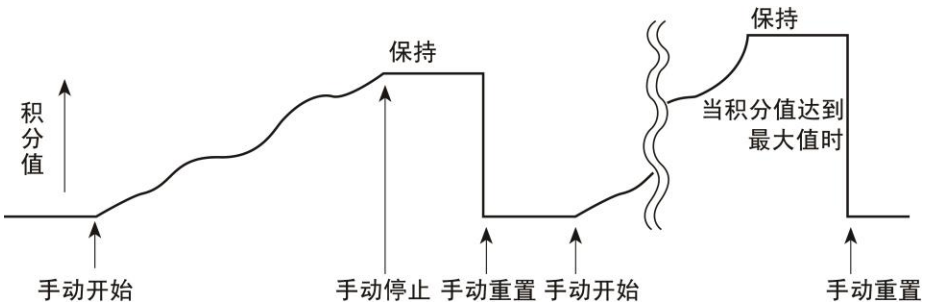


图 13.9　当按下停止键或积分值达到最大值时

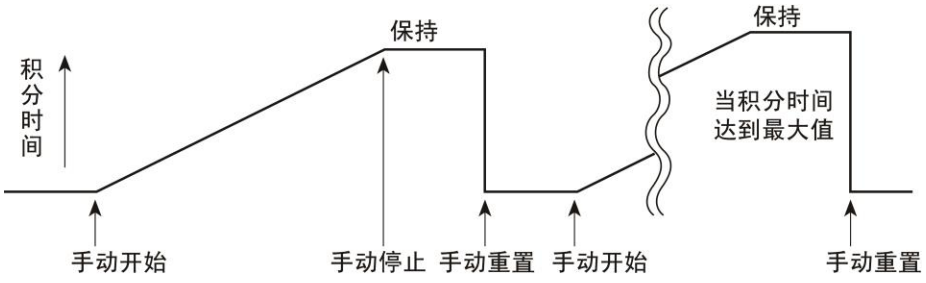


图 13.10　当按下停止键或积分时间达到最大值时

（2）标准积分模式（Normal）

通过定时器设定积分时间进行积分。当设定时间结束，或当积分值达到最大/最小显示积分值时，停止积分，保持当时的积分时间和积分值显示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

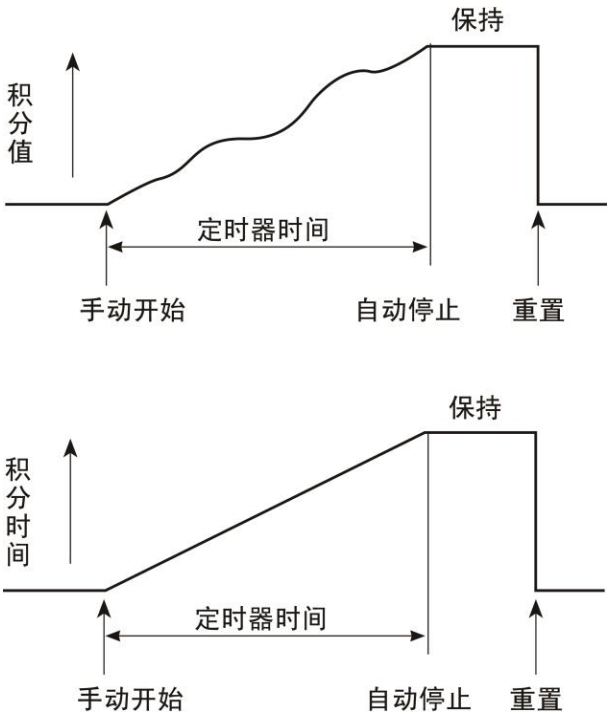


图 13.11　标准积分模式示意

（3）连续积分模式（Continuous）

通过定时器设定积分时间进行积分。设定时间结束后自动重置并重新开始积分直到按停止键停止。当积分值达到最大/最小显示值时，保持积分时间和积分值的显示。详见图 13.12。

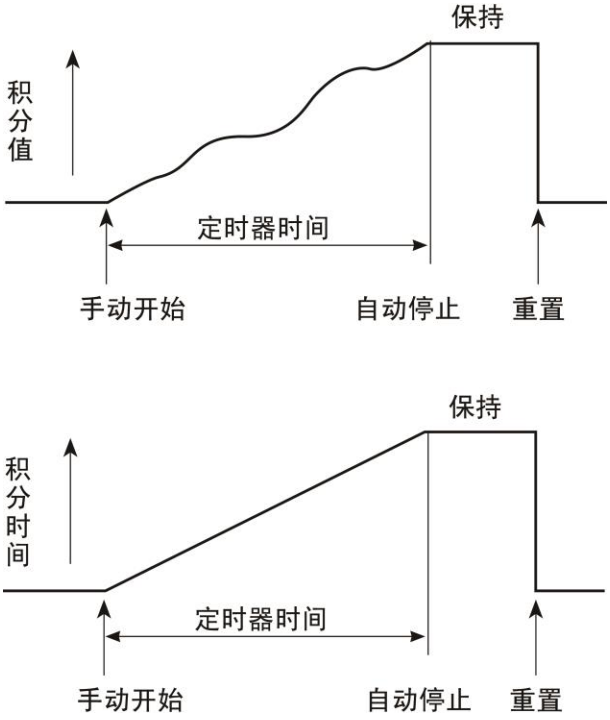


图 13.12　连续积分模式

（4）实时标准积分模式（R-Normal）

以日期和时间设定积分的开始和结束。当达到设定的结束日期和时间或当积分值达到最

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

大/最小显示积分值时，停止积分，保持当时的积分时间和积分值显示。

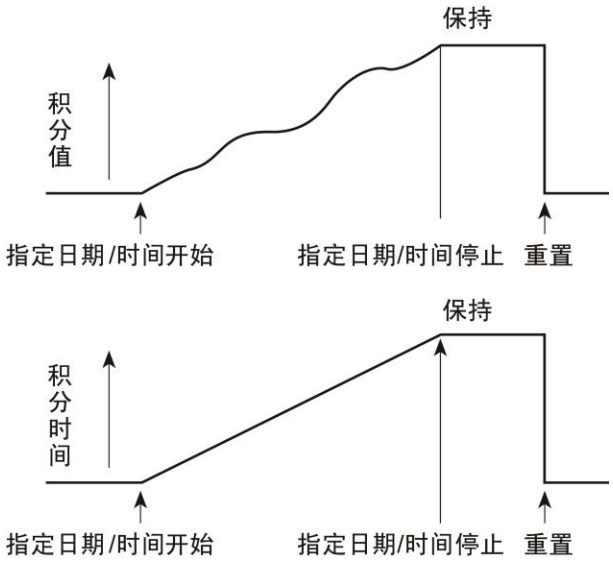


图 13.13　实时标准积分模式示意

（5）实时循环积分模式（R-Continuous）

以日期和时间设定积分的开始和结束。在设定时间内以定时器时间重复积分。达到定时器时间时自动重置并重新开始积分。当达到设定的结束日期和时间或当积分值达到最大/最小显示积分值时，停止积分，保持当时的积分时间和积分值显示，详见图 13.14。

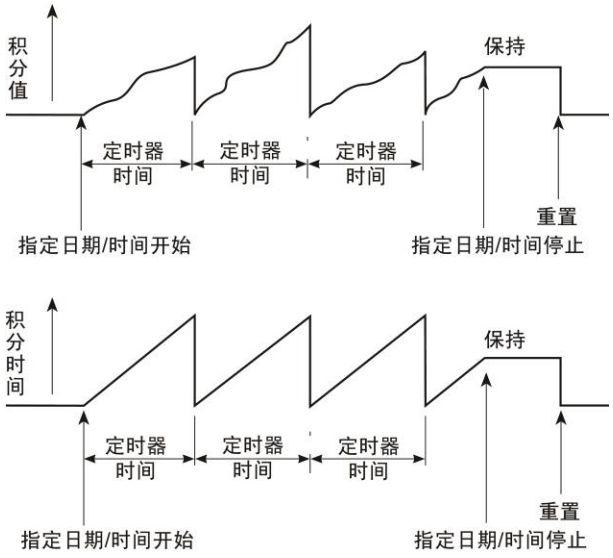


图 13.14　实时循环积分模式示意

2.　模式对比

以上各模式对比如表 13.4 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 13.4　积分模式对比

积分模式	开始	停止	重复
手动积分模式	操作键	操作键	—
标准积分模式	操作键	定时器时间到则停止	—
循环积分模式	操作键	操作键	按定时器时间重复积分
实时标准积分模式	日期/时间	日期/时间	—
实时循环积分模式	日期/时间	日期/时间	按定时器时间重复积分

13.4.2　HOLD 操作和积分功能

本节介绍当功率分析仪前面板的 HOLD 键进入与退出保持状态，对积分功能的影响。

1.　保持状态下的积分结果显示

当按下前面板的 HOLD 键进入保持状态时，**无论积分运算是否在进行，积分结果的显示和通信输出都不会变**。

2.　退出保持状态时的积分结果显示

当按下前面板的 HOLD 键退出保持状态时，功率分析仪会显示执行退出保持状态操作时的积分结果，如图 13.15 所示。

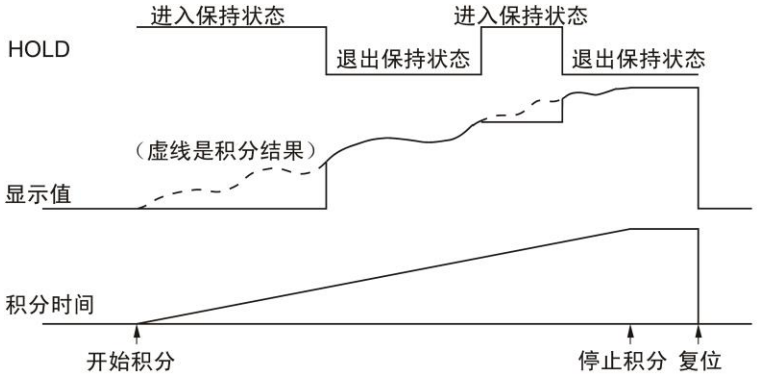


图 13.15　按下 HOLD 键退出保持状态后的显示

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

14. 常规分析模式

14.1 功能简介

常规分析模式用于回放并分析测量数据，在该模式下，PA2000mini 高精度功率分析仪的测量功能暂停，最新测量数据暂存，用户可对暂存的测量数据进行观察和分析。

14.2 操作步骤

14.2.1 概述

首先须令仪器在常规模式下执行测量，之后即可进入常规分析模式调出和显示已储存的数值数据或波形显示数据进行观察和分析。

14.2.2 测量功能初始化

PA2000mini 高精度功率分析仪须进入常规模式，然后初始化测量功能的测量参数、显示参数等。

14.2.3 进入常规分析模式菜单

同时按下仪器前面板上的 Shift 键，然后按下 UpdateRate 键，进入常规分析模式，此时显示常规分析模式的设定菜单，如图 14.1 所示。

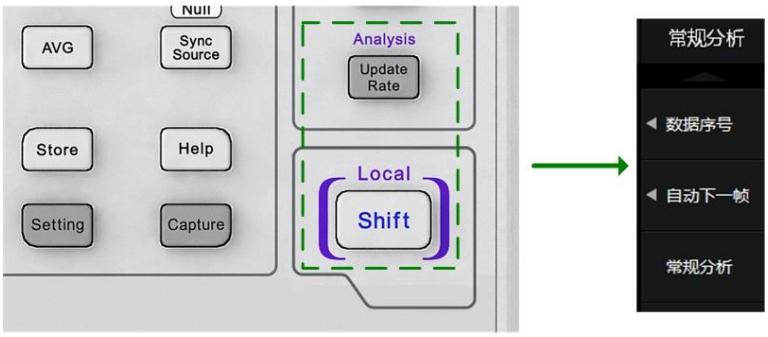


图 14.1 常规分析菜单

14.2.4 常规分析模式/测量切换

在常规分析模式下，测量暂停；如果需要恢复测量，用户需要在如图 14.2 所示的常规分析菜单里按下“测量”软键，在退出常规分析模式的同时恢复测量；在常规模式下，用户可在如图 14.2 所示的常规分析菜单里按下“常规分析”后，进入常规分析模式。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 14.2　测量/常规分析模式切换

14.2.5　查看数据

常规分析模式下，PA2000mini 高精度功率分析仪对暂存的每一个测量数据，依照时间先后次序分配一个对应的数据序号，序号越大则对应的数据越旧，用户可按序号查看对应的测量数据。例如，如果希望调出储存的第一个数据时，就将数据序号设为 1。

在如图 14.1 所示的常规分析菜单里，按下“数据序号”软键，弹出对话框，相关说明如图 14.3 所示，用户可在对话框里选择须查看数据的数据序号；确定后，就会显示对应的测量数据。



图 14.3　查看数据

14.2.6　自动回放测量数据

用户可令仪器自动回放测量数据。在如图 14.1 所示的常规分析菜单里，按下“自动下一帧”软键，弹出对话框，对此说明如图 14.4 所示。用户在对话框里选择自动回放速度、须回放的数据序号后，点击对话框里的“开始”键，即可观测测量数据回放。



图 14.4　自动回放速度设置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

15. 向量显示

15.1 功能简介

PA2000mini 高精度功率分析仪可通过向量功能显示接线组各输入单元基波的相位差和有效值关系。在向量图里，向量的长度指示基波的有效值大小，向量间的角度则指示了各个基波的相位差，下文举例说明。

15.1.1 向量图示例

1. 3P4W

接线方式为三相四线制时的一个向量图示例如图 15.1 所示。

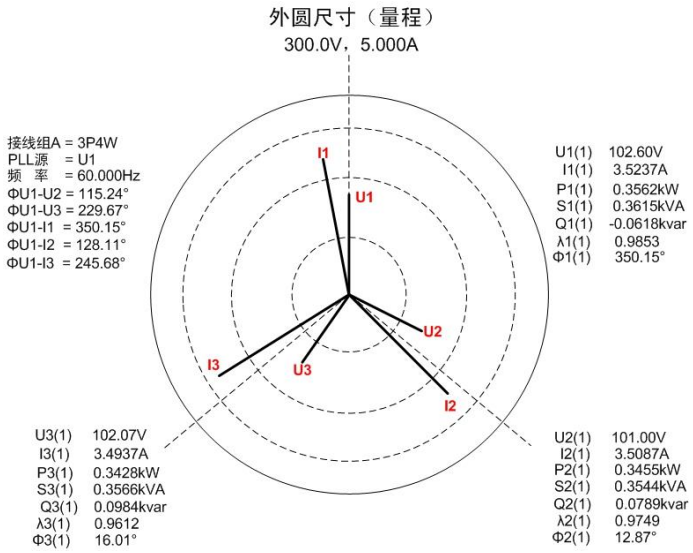


图 15.1 三相四线制接线组向量显示示例

图 15.1 中符号的含义如下所述：

- Un(1)。接线组的相电压 Un；
- In(1)。接线组的线电流 In；
- ΦU1-Un（n=2、3）。向量 U1 和向量 Un 的相位差；
- ΦU1-In（n=1、2、3）。向量 U1 和向量 In 的相位差；
- Φn(1)。Φn(1) = ΦUn －ΦIn；
- Pn(1)。是输入单元 n 的基波的有功功率；
- Sn(1)。是输入单元 n 的基波的视在功率；
- Qn(1)。是输入单元 n 的基波的无功功率；
- λn(1)。是输入单元 n 的基波的功率因数。

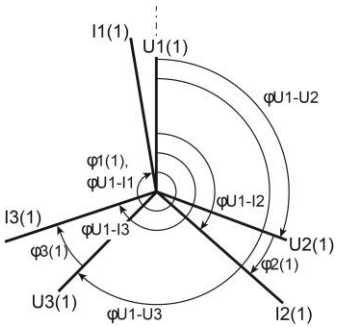


图 15.2 测量数据标注

如图 15.2 所示，用户在图 15.1 中将各个测量数据标注出来。

2. 3P3W

当接线方式为 3 相 3 线制时，向量显示示例如图 15.1 所示。需要注意的是，在 3P3W

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

接线方式下，实际并不测量 U3(1)和 I3(1)。

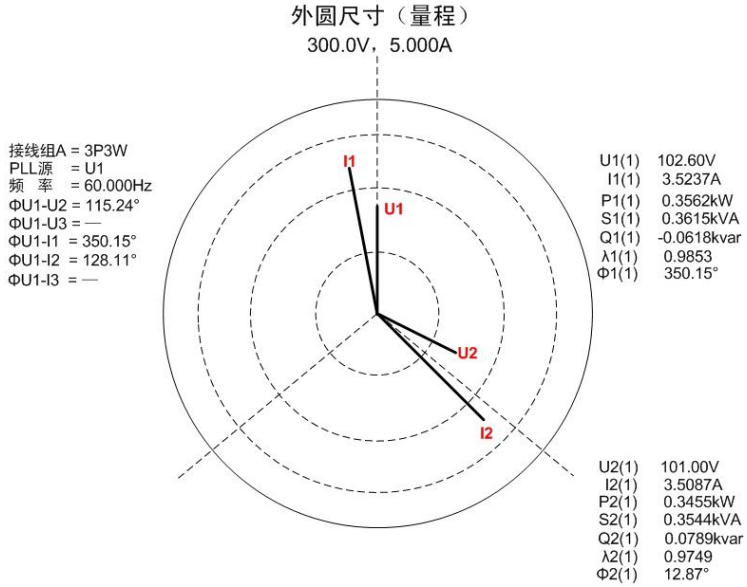


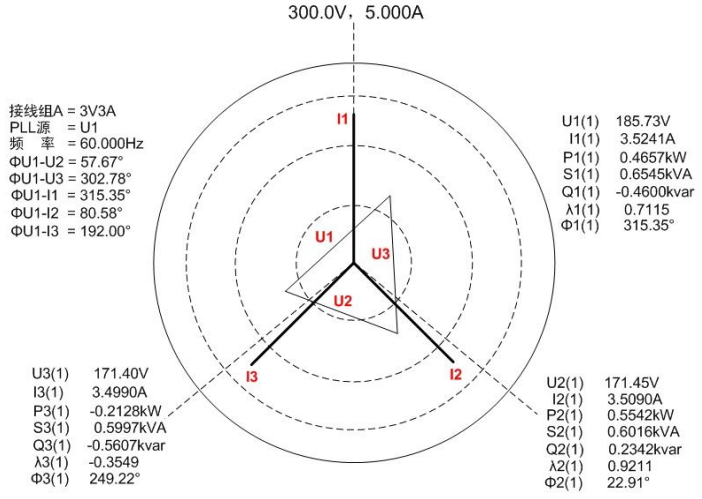
图 15.3　3P3W 向量显示示例

图 15.3 中符号的含义如下所述：

- Un(1)。接线组的线电压 Un；
- In(1)。接线组的线电流 In；
- ΦU1-Un（n=2、3）。向量 U1 和向量 Un 的相位差；
- ΦU1-In（n=1、2、3）。向量 U1 和向量 In 的相位差；
- Φn(1)。Φn(1) = ΦUn －ΦIn；
- Pn(1)。是输入单元 n 的基波的有功功率；
- Sn(1)。是输入单元 n 的基波的视在功率；
- Qn(1)。是输入单元 n 的基波的无功功率；
- λn(1)。是输入单元 n 的基波的功率因数。

3. 3P3W（3V3A）

当接线方式为 3P3W（3V3A，3 电压 3 电流法）时的向量显示示例如图 15.4 所示。U1(1)、U2(1)、U3(1)是线电压；I1(1)、I2(1)、I3(1)是线电流。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 15.4　3P3W（3V3A）向量显示示例

图 15.5 中符号的含义如下所述：

- Un(1)。接线组的线电压 Un；
- In(1)。接线组的线电流 In；
- ΦU1-Un（n=2、3）。向量 U1 和向量 Un 的相位差；
- ΦU1-In（n=1、2、3）。向量 U1 和向量 In 的相位差；
- Φn(1)。Φn(1) = ΦUn － ΦIn。

在图 15.5 平行移动向量 U1(1)、U2(1)、U3(1)，使得各向量的起点都在中心点 O 上，这样就能观察到相位关系，如图 15.5 所示。

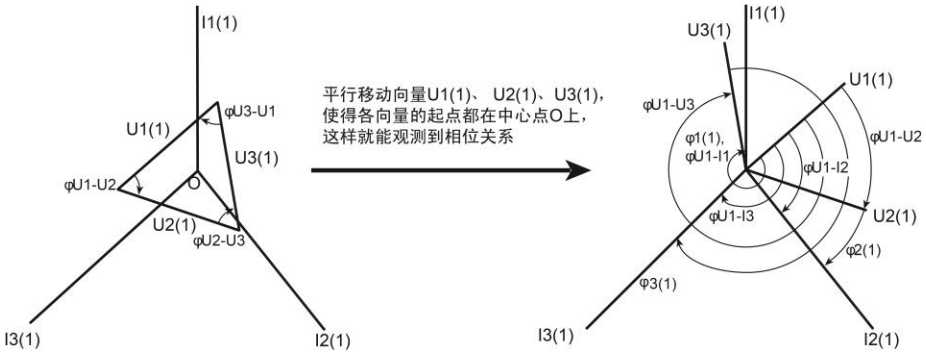


图 15.5　3P3W（3V3A）向量显示示例

15.2 操作步骤

1.　进入向量显示功能菜单

用户按下前面板的 Vector 键，弹出项目菜单如图 15.6 所示，仪器最多有 1 路向量显示。

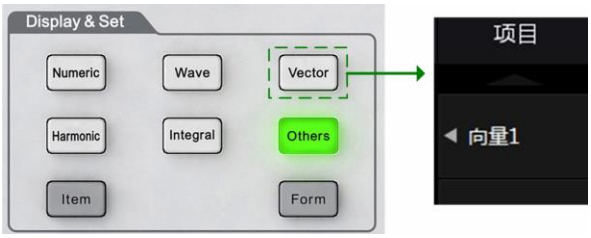


图 15.6　向量项目菜单

2.　向量配置

用户可在如图 15.6 所示向量项目菜单里，选择须配置的向量，按下“向量 1”软键，进入向量配置菜单如图 15.7 所示。



图 15.7　向量配置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（1）选择接线组

用户首先在如图 15.7 所示对话框里选择须显示向量的接线组，如果不存在有效接线组，则无法显示向量。

（2）设定缩放系数

用户可在如图 15.7 所示对话框里设定基波 U(1)和 I(1)的缩放系数，范围是 0~100，以便更清晰地观察较小的数值，如图 15.8 所示；此外，用户还可以选择同步缩放，令电压与电流缩放系数始终保持一致。

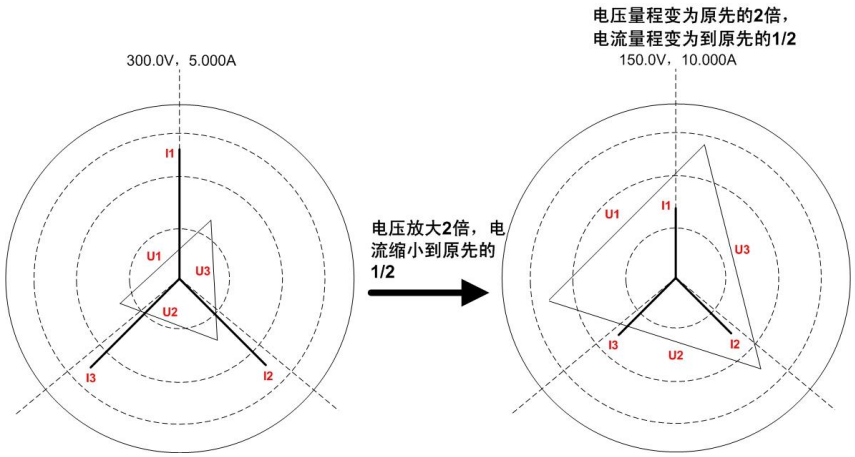


图 15.8　设定缩放系数说明

3.　显示格式配置

当显示如图 15.6 所示向量项目菜单时，用户按下前面板的“Form”键，显示格式菜单如图 13.1 所示。

（1）双向量显示

PA2000mini 高精度功率分析仪支持双向量显示。用户可在如图 13.1 所示菜单里，按下“格式”软键，然后选择二分屏，即可同时显示两路向量图，如图 15.9 所示。



图 15.9　二分屏显示

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

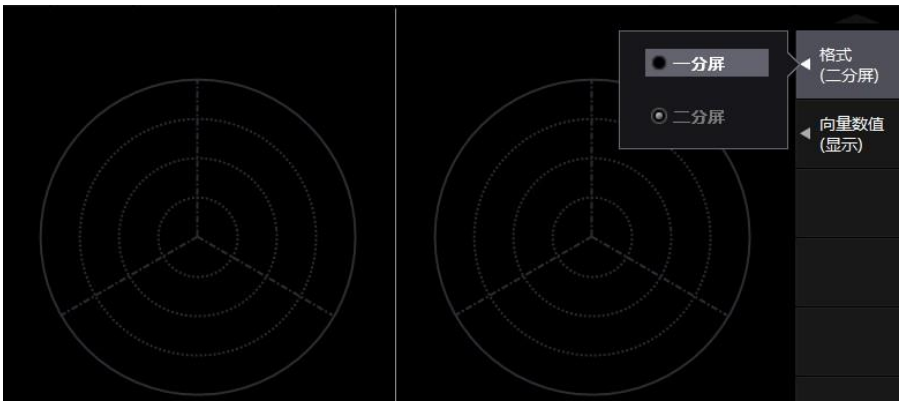


图 15.10　双向量显示

（2）显示数值

用户可选择是否以数值方式显示各向量的大小、相位角、相位差以及其它测量项目的测量值。在如图 15.11 所示菜单里按下的“向量数值”软键，弹出对话框，用户可选择显示向量数值开，则显示效果如图 15.11 所示。



图 15.11　向量数值显示

15.3 注意事项

1. 不支持向量功能的模式

下列测量模式不支持向量功能：

- IEC 谐波测量模式；
- 波形运算模式；
- FFT 模式；
- 电压波动和闪烁测量模式；
- 周期分析测量模式。

2. 不存在接线组时则不显示向量

如果所有接线方式均为单相 2 线制(1P2W)，将不存在接线组 Σ；此时不显示向量。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

16. 光标测量

16.1 功能简介

PA2000mini 高精度功率分析仪支持光标测量功能，可使用两个光标，分别显示为“+”和“×”，可在波形图、趋势图、柱状图、FFT 等图中测量光标所在位置的 X 轴值、Y 轴值：

- Y+: 光标+的 Y 轴值，如图 16.1 所示；
- X+: 光标+的 X 轴值，如图 16.1 所示；
- Yx: 光标 x 的 Y 轴值 ，如图 16.1 所示；
- Xx: 光标 x 的 X 轴值，如图 16.1 所示；
- ΔY: 光标+与光标 x 的 Y 轴值之差，如图 16.1 所示；
- ΔX: 光标+与光标 x 的 X 轴值之差，如图 16.1 所示；
- 1/ΔX: 光标+与光标 x 的 X 轴值之差的倒数，如图 16.1 所示。

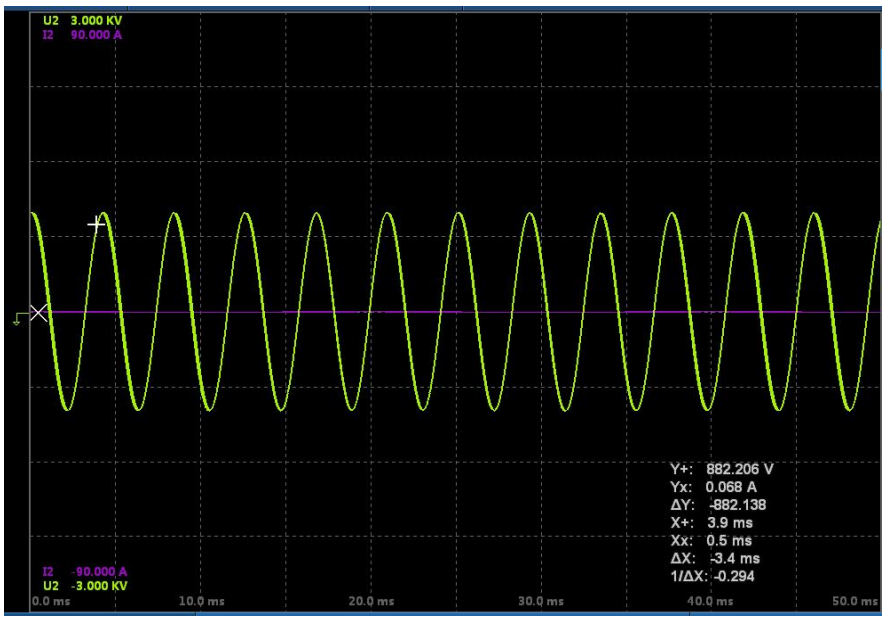


图 16.1 光标测量功能示意

16.2 操作步骤

16.2.1 概述

在开启光标测量功能之前，须初始化测量参数。

16.2.2 进入光标测量菜单

在测量显示界面，在前面板按下 Shift 按键和 Cursor 按键，进入光标测量菜单。根据当前测量显示界面的不同，光标测量菜单的内容也会有所不同，详见下文。

1. 波形光标测量菜单

（1）波形显示界面下的光标测量菜单

按下前面板的 Wave 按键，进入波形显示界面，再按下前面板的 Shift 按键和 Cursor 按键，弹出波形光标测量菜单，如图 16.2 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

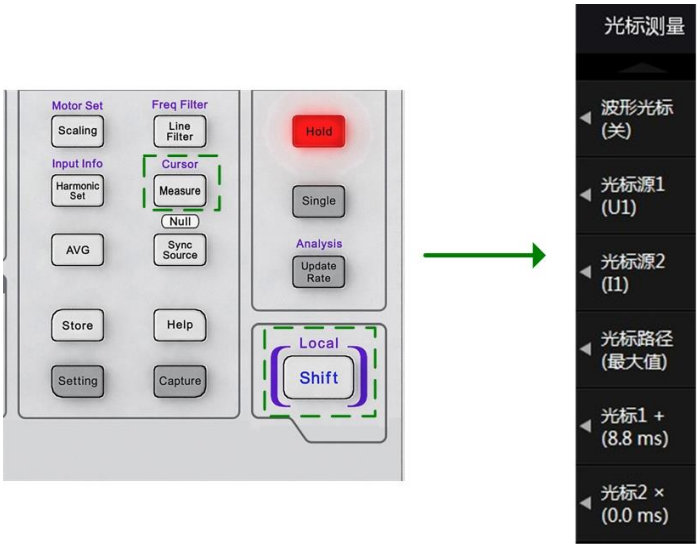


图 16.2　光标测量菜单

在波形显示界面下，可使用光标测量 U1~U4、I1~I4、Speed、Torque，如图 16.3 所示。



图 16.3　波形显示界面下可测量的波形

（2）波形运算界面

按下前面板的 Others 按键，在显示的“其他”菜单里按下“波形运算”软键，进入波形运算界面。在波形运算界面下，除了可以测量 U1~U4、I1~I4、Speed、Torque 波形外，还可以测量 Math1 和 Math2 运算波形。

2. 趋势光标测量菜单

在趋势显示界面中，按下前面板的 Shift 和 Cursor 按键，可执行光标测量功能，对当前显示的所有趋势都执行光标测量。

3. 柱状图光标测量

在柱状图显示界面里，按下前面板的 Shift 和 Cursor 按键，可执行光标测量功能。

4. FFT 光标测量

在 FFT 显示界面里，按下前面板的 Shift 和 Cursor 按键，可执行光标测量功能。

16.2.3　光标测量初始化

根据光标测量对象的不同，初始化的步骤也不同。

1. 波形光标测量初始化

波形光标测量功能运行前须确定测量的波形，以及光标移动路径的类型。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（1）选择光标源

用户需要为两个光标选择对应的测量波形。在如图 16.2 所示光标测量菜单中按下“光标源 1”和“光标源 2”软键后可分别配置对应的测量波形。如图 16.4 所示，是光标源 1 的测量对象选择菜单。



图 16.4　光标源 1 的测量对象选择

（2）光标路径选择

用户可配置光标移动路径的类型，在如图 16.2 所示光标测量菜单中按下“光标路径”软键，显示光标路径选择菜单如图 16.5 所示，用户可在这三种方向里选择：

- **最大值 Max**。光标沿时间轴上波形最大值方向移动；
- **最小值 Min**。光标沿时间轴上波形最小值方向移动；
- **中间值 Mid**。光标沿时间轴上波形最大值和波形最小值的中间值移动。



图 16.5　光标路径

2. 趋势光标测量初始化

（1）趋势项选择

用户须选择两个光标要测量的趋势项，如图 16.6 所示。



图 16.6　须执行光标测量的趋势项选择

（2）谐波选择

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户需要在趋势显示界面里选择要显示趋势的谐波，如图 16.7 所示。接下来即可对该谐波的趋势执行光标测量。

3. 柱状图光标测量初始化

用户需要先配置柱状图的显示，确定显示的谐波、输入单元、测量项目；之后即可在如图 16.2 所示的光标测量菜单里配置光标测量功能。

4. FFT 光标测量初始化

首先需要配置好需要执行光标测量的 FFT 数据显示，然后再进入光标测量菜单，为两个光标选择测量对象，如图 16.7 所示。



图 16.7 FFT 光标测量

16.2.4 开启/关闭光标测量

各光标测量菜单里的光标测量开关都类似，这里仅以波形光标为例进行说明。

在如图 16.2 所示光标测量菜单中按下“波形光标”软键后，可选择开启或关闭光标测量功能。如图 16.8 所示，是执行波形光标测量的菜单。开启光标测量功能后，会显示光标×和光标＋。



图 16.8 光标测量功能开关

16.2.5 光标移动

在不同的光标测量菜单里，光标移动的方式是不同的，下文分情况说明。

1. 波形光标移动

在波形光标测量里，用户可在被选波形上移动光标＋和光标×，移动步长是 ms。

在如图 16.2 所示光标测量菜单中，用户可按下“光标 1＋”软键和“光标 2×”软键，显示光标移动菜单如图 16.9 所示和图 16.10 所示。在菜单里用户可填入光标的移动距离，单位是 ms。

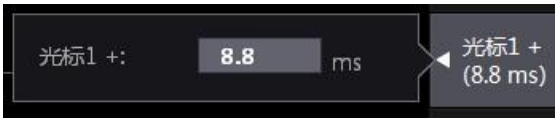


图 16.9 波形光标 1 移动设置

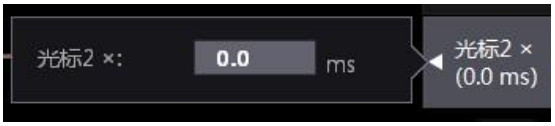


图 16.10 波形光标 2 移动设置

2. 柱状图光标移动

在柱状图光标测量里，用户可令光标移动至指定谐波，如图 16.11 所示。用户输入指定谐波的次数，然后确认；之后光标移至该谐波。例如，可设置光标+的显示位置为：2 order，光标 x 的显示位置为：55 order；则两个光标分别位于 2 次谐波和 55 次谐波。



图 16.11 柱状图光标 1 移动设置

3. FFT 光标移动

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户可令光标在被选中的频谱波形上沿屏幕上的数据点移动，移动步长为一个数据点；每一个数据点对应一个运算点。屏幕左端为 0 点、屏幕右端为 1001 点，用户可指定光标距离屏幕左端的点数来移动光标，如图 16.12 所示。



图 16.12　FFT 光标移动

当 FFT 运算点数为 20k，则光标移动数据点个数范围为 0~10000；当运算点数为 200k，光标移动数据点个数是 0~100000。显然，FFT 运算点数远远大于单屏能显示的数据点数；但用户可设置光标位置到显示范围以外，此时光标将不显示在屏幕上。

4.　趋势光标移动

在趋势光标测量里，用户可令光标沿 X 轴方向在趋势上移动指定数目的数据点。以屏幕左端为 0 点、屏幕右端为 1001 点，用户可将光标位置设在自屏幕左端起的指定数据点上。光标移动的数据点数目，可在图 16.13 所示菜单中设置。



图 16.13　趋势中的光标 1 移动

16.3 注意事项

- 存在无法测量数据时，测量值显示区域显示***；
- PA2000mini 高精度功率分析仪峰值因数固定为 3，因此光标测量的测量范围也在量程的±300%以内；
- 即使光标单位不同，也可测量 ΔY；但测量结果没有单位。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

17. 闪变测量

17.1 功能简介

闪变是指人眼接收到的、由剧烈波动或光谱分布引起的不稳定印象，表示因亮度变化使人产生的不舒服感。电压波动和闪变主要是由于冲击性功率的电力负荷设备(如冶炼电弧炉、轧钢机、电气机车、电弧焊机等)在运行过程中有功功率和无功功率的大幅度变动引起的。电压波动和闪变妨害其它电力用户的正常用电，因此也成为衡量电能质量的重要指标。

PA2000mini 高精度功率分析仪可按 IEC61000-3-3 标准执行电压波动和闪变测量，测量项目如下：

- 额定电压 Un、电压频率 Freq；
- 相对稳态电压变化 dc、最大相对电压变化 dmax、相对电压变化超过阈值的时间 d(t)；
- 短时间闪变值 Pst、长时间闪变值 Plt；
- 瞬时闪变视感 (IFS)，可显示 IFS 曲线；
- 累积概率函数 (CPF)，可显示 CPF 曲线。

注：上述术语的相关说明见本章的“相关术语”小节。

PA2000mini 高精度功率分析仪支持常规闪变测量操作和手动闪变测量操作两种模式，两种模式下的测量数据示例说明如图 17.1 和图 17.2 所示。

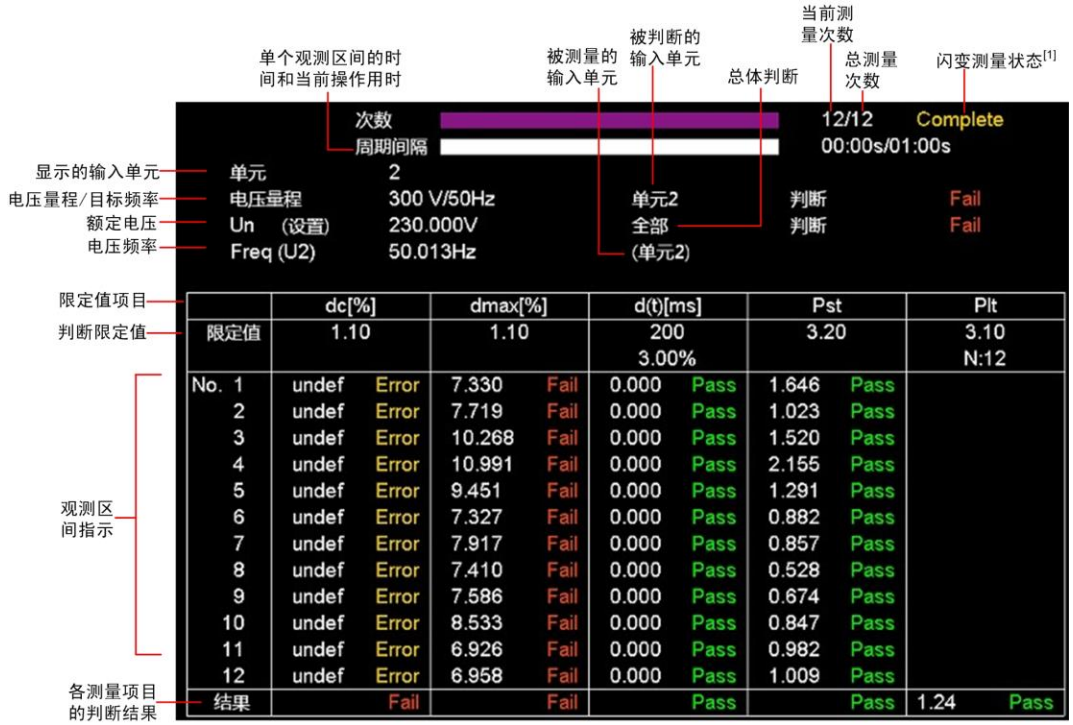


图 17.1　常规闪变测量结果

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

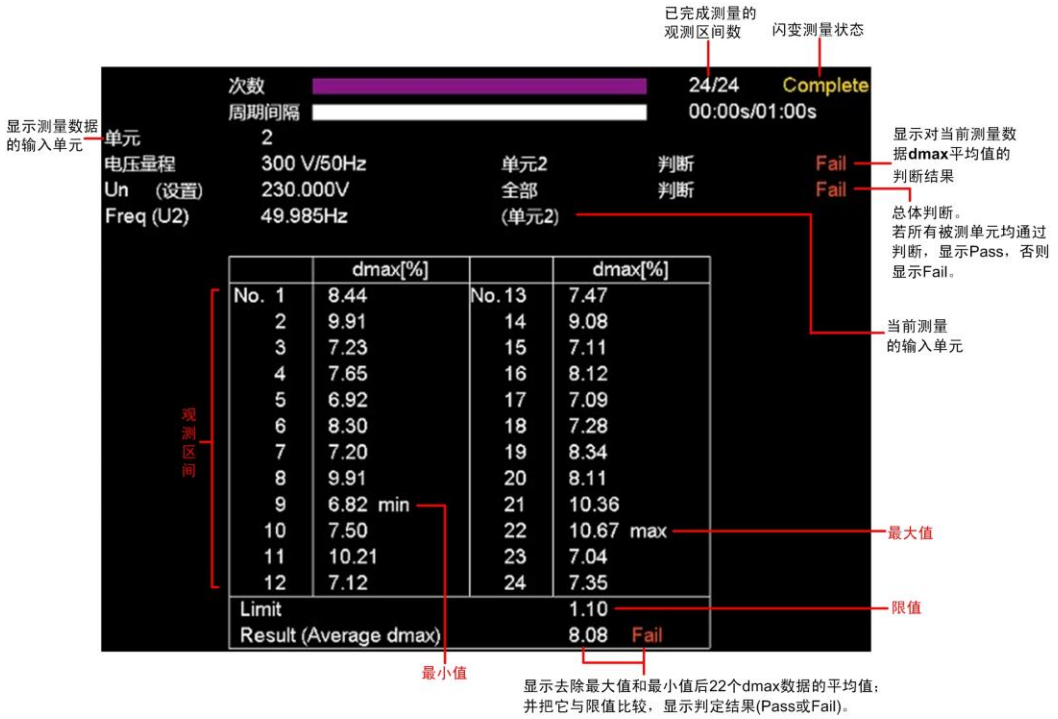


图 17.2　手动闪变测量结果说明

17.2 操作步骤

17.2.1　进入闪变测量模式

在前面板按下闪变测量按键 Flicker，进入闪变测量模式，进入闪变测量模式后，按下前面板上的 Item 键，则显示闪变功能项目菜单如图 17.3 所示。在闪变测量模式下，按下前面板上的 Form 键，显示闪变功能格式菜单，根据闪变测量使用的测量方法的不同（详见“17.2.2 测量方法”节），有两种不同的闪变功能格式菜单，如图 17.4 所示。对闪变测量功能的设置，将在闪变功能项目菜单和闪变功能格式菜单里完成。



图 17.3　闪变测量



图 17.4　闪变测量格式菜单

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

17.2.2 测量方法设置

电压波动和闪变测量使用 2 种方法：

- **常规闪变测量**。计算所有 dc、dmax、d(t)、Pst 和 Plt 的值，与预设限值对比，并给出判断结果；
- **由手动开关控制的 dmax 测量**。测量最大相对电压变化 dmax，每次测量时需要手动打开和关闭被测设备开关，之后对 24 个测量值求平均值，然后再与限定值比较，最后判断；该测量方法可用于测量大型电器上电断电对电网带来的影响。



图 17.5 测量模式选择

用户可在上述测量方法中选择。用户在如图 17.4 所示闪变功能格式菜单里，按下“测量模式”软键，弹出对话框如图 17.5 所示。Flicker 对应常规闪变测量，dmax 对应由手动开关控制的 dmax 测量。

17.2.3 闪变测量参数设置

设置了闪变测量方法后，用户需要进一步设置闪变测量的功能参数。根据测量方法的不同，须配置的闪变测量参数也不同。需要注意的是，只有在闪变测量状态是 Reset 时，才能设置闪变测量参数。

1. Flicker 模式

Flicker 模式下，设置闪变功能参数的操作步骤如下所述。

（1）进入闪烁设置菜单

在如图 17.4 所示闪变功能格式菜单里，按下“闪烁设置”软键，弹出闪烁设置对话框，如图 17.6 所示。



图 17.6 闪烁设置对话框

（2）设置测量的输入单元

用户在如图 17.6 所示闪烁设置对话框里选择需要测量的输入单元，可同时选择 6 个输入单元进行测量。

（3）设置额定电压

额定电压用作计算测量数据的基准，用户通过在自动和设置里选择额定电压的分配方式，来设置额定电压值的确定方法：

- **自动模式**。自动获取电压波动和闪烁测量开始时的被测电压作为额定电压；

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- **设置模式**。用户在 0.01~999.99V 范围内直接设定额定电压。

在如图 17.6 所示闪烁设置对话框里，用户可选择自动模式和设置模式。如果选择了设置模式，则需要在图 17.6 所示闪烁设置对话框里设置“Un 设定”栏里的额定电压值，范围是 0.01~999.99V。如果用户选择了自动模式，则无须再配置“Un 设定”栏。

（4）设置目标频率

用户可设置测量目标的频率为 50Hz 或 60Hz。目标频率直接影响了闪烁传输函数等参数，用户需要选择合适的值。在如图 17.6 所示闪烁设置对话框的“频率”栏，用户可选择测量目标的频率。

（5）设置单个观测区间的时间

用户可在 60~900 秒范围内（只能设为偶数)，以分和秒为单位设定短时间闪烁值 Pst 的单个观测区间宽度。在如图 17.6 所示闪烁设置对话框的“周期间隔”栏，用户可设置单个观测区间的时间。

（6）设置测量次数

用户可以在 1~99 范围内设定短时间闪烁值 Pst 的测量次数。在如图 17.6 所示闪烁设置对话框的“次数”栏，用户可设置测量次数。

（7）设置稳态范围

用户可在额定电压的 0.10~9.99%范围内设定稳态的阈值，当电压波动超过该阈值，则视为稳定状态结束。在如图 17.6 所示闪烁设置对话框的“dmin”栏，用户可设置稳态阈值。

2. Dmax 模式

Dmax 模式下，设置闪变功能参数的操作步骤如下所述。

（1）进入闪烁设置菜单

在如图 17.4 所示闪变功能格式菜单里，按下“闪烁设置”软键，弹出闪烁设置对话框，如图 17.7 所示。



图 17.7　闪烁设置对话框

（2）设置测量的输入单元

用户在如图 17.7 所示闪烁设置对话框里选择需要测量的输入单元，可同时选择 4 个输入单元进行测量。

（3）设置额定电压

用户需要在自动和设置里选择额定电压的分配方式：

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- **自动模式**。自动获取电压波动和闪烁测量开始时的被测电压作为额定电压；
- **设置模式**。用户在 0.01~999.99V 范围内设定额定电压。

在如图 17.7 所示闪烁设置对话框里，用户可选择自动模式和设置模式。如果选择了设置模式，则需要在图 17.7 所示闪烁设置对话框里设置“Un 设定”栏里的额定电压值，范围是 0.01~999.99V。如果用户选择了自动模式，则无须再配置“Un 设定”栏。

（4）设置测量目标频率

用户可设置测量目标的频率为 50Hz 或 60Hz。目标频率直接影响了闪烁传输函数等参数，用户需要选择合适的值。在如图 17.6 所示闪烁设置对话框的“频率”栏，用户可选择测量目标的频率。

（5）设置稳态范围

用户可在额定电压的 0.10~9.99%范围内设定稳态的阈值，当电压波动超过该阈值，则视为稳定状态结束。在如图 17.7 所示闪烁设置对话框的“dmin”栏，用户可设置稳态阈值。

17.2.4 判断条件设置

在闪变测量里，PA2000mini 高精度功率分析仪可以自动判断测量值是否超过用户预先设定的限定值或阈值，并给出判断结果：

- **Pass**。测量值小于用户设定的阈值或限定值，表明符合判定准则；
- **Fail**。测量值大于或等于用户设定的阈值或限定值，表明该测量结果不符判定准则；
- **ERROR**。该判断结果仅在 dc 的测量判断中出现，代表未出现任何稳态。

可执行判断的项目有 dc、dmax、d(t)、Pst、Plt 等；这些测量项目均可设置判断条件。

根据测量方法的不同，判断条件设置的步骤也不相同，下面分别介绍。需要注意的是，只有在闪烁测量状态是 Reset 或 Complete 时，才能改变判定条件。

1. Flicker 模式

（1）进入限定值菜单

在图 17.3 所示项目菜单里，按下“限定值”软键，弹出限定值菜单如图 17.8 所示。



图 17.8 限定值菜单

（2）dc 的判断条件

在闪烁测量判定中，可选择是否判断相对稳态电压变化 dc，其限定值的设置范围为 1.00~99.99%。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（3）dmax 的判断条件

在闪烁测量判定中，可选择是否包括最大相对电压变化 dmax，其限定值的设置范围是：1.00~99.99%。

（4）d(t)的判断条件

在闪烁测量判定中，可选择是否判断 d(t)，其限定值的设置范围是：1~99999ms。除此之外，还需要设定相对电压阈值；相对电压阈值用于判断电压波动是否超标，当电压的波动大于该阈值，则开始计算 d(t)。相对电压阈值的设置范围是 1.00~99.99%。

（5）Pst 的判断条件

在闪烁测量判定中，可选择是否包括短时间闪烁值 Pst，其限定值的设置范围是：0.10~99.99。

（6）Plt 的判断条件

在闪烁测量判定中，可选择是否包括长时间闪烁值 Plt，其限值范围是：0.10~99.99。长时间闪烁值 Plt 计算公式的常数 N 可以在 1~99 范围内设定。Plt 的计算公式详见“长时间闪变值 Plt”节。

2. Dmax 模式

Dmax 模式和 Flicker 模式使用的限定值菜单界面与菜单配置参数均相同；但是，在 Dmax 模式下，限定值菜单里只有最大相对电压变化 dmax 的判定条件和限值与 Dmax 模式相关。

17.2.5 常规闪变测量操作

1. 操作流程

完成闪变测量参数设置后，即可开始执行闪变测量操作。常规闪变测量的操作流程图如图 17.9 所示。

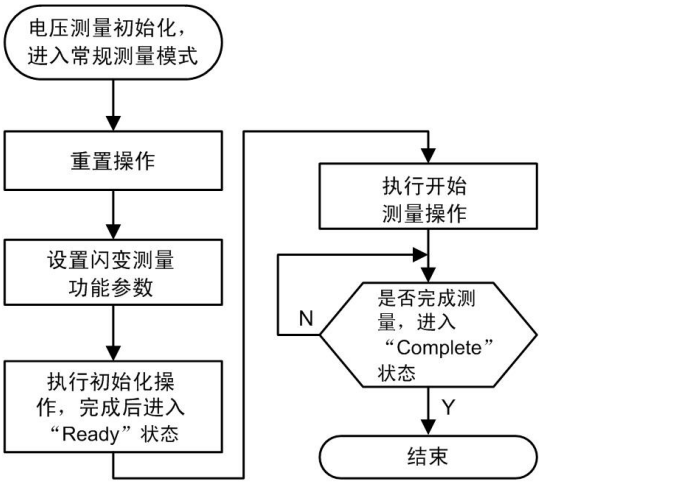


图 17.9 常规闪变测量操作

图 17.9 中的各个操作，说明如下。

2. 初始化操作

电压测量初始化

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户需要先设定电压的测量量程、输入滤波器、刻度显示等，然后向 PA2000mini 高精度功率分析仪输入被测电压。

闪变测量功能参数初始化

用户须在执行闪变测量“初始化“操作前，配置本次闪变测量的功能参数，详见“闪变测量参数设置”和“判断条件设置”章节。

闪变测量初始化操作

闪变测量初始化的过程大约需要 60s，期间须保持被测电源电压处于稳定状态。

在如图 17.4 所示闪变测量格式菜单里，按下“初始化”软键，开始初始化。位于屏幕上方的闪烁测量状态显示 Initializing(初始化中)，如图 17.10 所示；当初始化完成后，闪烁测量状态变成 Ready，如图 17.11 所示。



图 17.10　初始化进行中



图 17.11　就绪

3. 开始测量

在完成初始化操作，闪变测量状态是如图 17.11 所示的 Ready 状态时，可开始闪变测量。在如所示的菜单里，按下“开始”软键，启动开始操作，闪烁测量状态显示 Start，如图 17.12 所示。



图 17.12　开始闪变测量

当所有观测区间的测量完成后，闪变测量自动停止，闪烁测量状态显示 Complete。

4. 重置

为了重新开始测量或取消当前测量，用户可执行重置操作。执行重置操作后，当前测得数据会被清除。重置操作不改变判断条件和测量参数。

例如，当初始化进行时，在如图 17.4 所示闪变测量格式菜单里，按下“重置”软键，显示测量数据复位对话框如图 17.13，按“是”则取消初始化并复位。



图 17.13　重置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

重置操作完成之后，待测电压有效值和频率的计算和采样每 2 秒更新一次，直至启动初始化操作。

5. 改变判定条件和重新判定数据

当闪变测量状态显示 Complete 时，请根据“判断条件”章节改变判断条件。当判断条件改变后，会对电压波动和闪烁测量数据进行重新判断，更新判断结果。

6. 切换闪变测量通道的显示

若用户需要切换闪变测量通道的显示，可在如图 17.14 所示项目菜单里按下“显示单元”软键，在弹出的对话框图 17.14 里选择需要显示的输入单元。

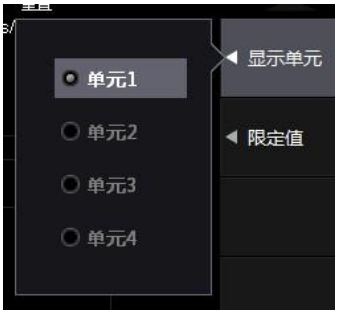


图 17.14 显示单元

7. 翻页

在 Flicker 模式下，单页显示 12 个观测区间的测量数据和判定数据列表。如果测量次数超过 12，会使用多页显示数据；此时，用户可在格式菜单里按下“上页”或“下页”软键，切换显示页面。

8. 显示 IFS 曲线

当闪变测量开始后，PA2000mini 高精度功率分析仪可根据当前测量数据显示瞬时闪变视感曲线(IFS)。首先，用户需选择须显示 IFS 曲线的通道；然后配置每格时间；最后显示 IFS 曲线。

（1）图形设置菜单

首先，须进入图形设置菜单，以进行相关设置。在图 17.7 所示菜单里按下“图形设置”软键，显示图形设置菜单如图 17.15 所示。



图 17.15 图形设置菜单

（2）选择须显示的 IFS 曲线

在如图 17.15 所示图形设置菜单里按下“IFS”软键，弹出对话框如图 17.16 所示，在对话框用户可选择需要显示 IFS 曲线的输入单元。如果需要所有输入单元的 IFS 曲线都显示，则选择“All”。



图 17.16 选择要显示的 IFS 曲线

（3）配置每格时间

用户可设置显示界面里每格所对应的时间长度，从而可调节在一屏内可观察的波形数目。在如图 17.15 所示图形设置菜单里按下“每格时间”软键，用户可在对话框里选择每格

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

对应的时间长度，如图 17.17 所示。



图 17.17　每格时间设置

（4）显示 IFS 曲线

用户在按下“开始”软键启动闪变测量后，在图 17.18 所示菜单里按下“显示类型”软键，在弹出的如图 17.18 所示的对话框里选择“IFS”，以显示 IFS 曲线。如图 17.19 所示，是一个 IFS 曲线的显示示例，纵坐标是瞬时闪变视感度的值，横坐标是测量该值时的时间。



图 17.18　IFS 曲线显示

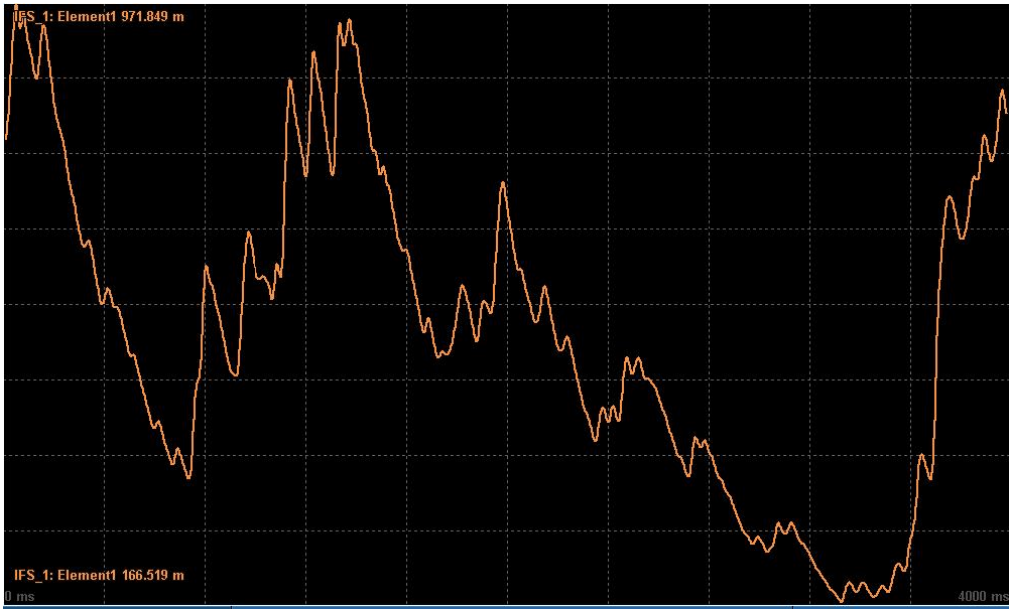


图 17.19　IFS 曲线显示示例

9.　显示 CPF 曲线

当闪变测量开始后，PA2000mini 高精度功率分析仪可根据当前测量数据显示累积概率函数曲线(CPF)。首先，用户选择须显示 CPF 曲线的通道，然后配置 CPF 曲线的显示；相关操作步骤如下所述。

（1）选择须显示的 CPF 曲线

在如图 17.15 所示图形设置菜单里，按下“CPF”软键，弹出对话框如图 17.20 所示，用户可选择须显示的 CPF 曲线，最多可显示 12 个 CPF 曲线。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



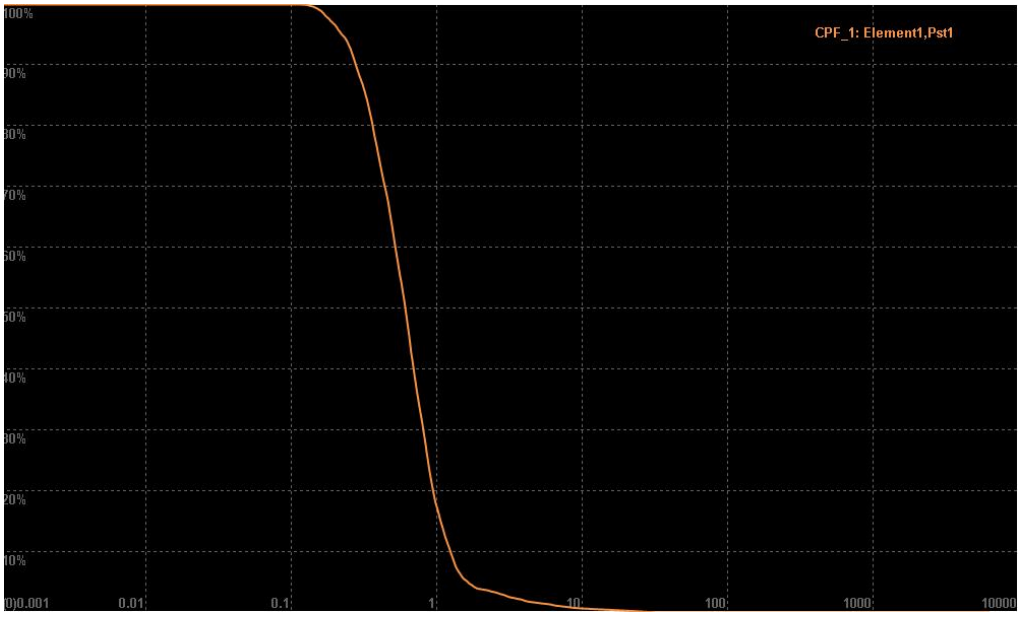
图 17.20　CPF 曲线选择

一个输入单元，可有多个 CPF 曲线显示，每一个 CPF 曲线对应一个观测区间；同一个输入单元，其 CPF 曲线和观测区间的对应关系，如下所述：

- 当闪变测量进行时，CPF_n 曲线（n=0~11）显示当前测量观测区间的数据；
- 当闪变测量结束，用户可设置 CPF_n 曲线（n=0~11）对应的观测区间。在如图 17.5 所示菜单，按下“CPF”软键，然后在菜单选择 CPF_n 曲线对应的观测区间。

（2）显示 CPF 曲线

当闪变测量开始后，PA2000mini 高精度功率分析仪即可根据当前测量数据显示累积概率函数曲线(CPF)。用户在按下“开始”软键启动闪变测量后，在图 17.18 所示菜单里按下“显示类型”软键，在弹出的如图 17.18 所示的对话框里选择“CPF”；如果当前存在有效测量数据，则可观察到 CPF 曲线。图 17.21 是一个 CPF 曲线的显示示例，横坐标是瞬时闪变视感度，并采用对数坐标，纵坐标是累积概率。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 17.21　CPF 曲线显示示例

17.2.6　手动闪变测量操作

1.　操作流程

完成闪变测量参数设置后，即可开始执行闪变测量操作。手动闪变测量的操作流程图如图 17.22 所示。

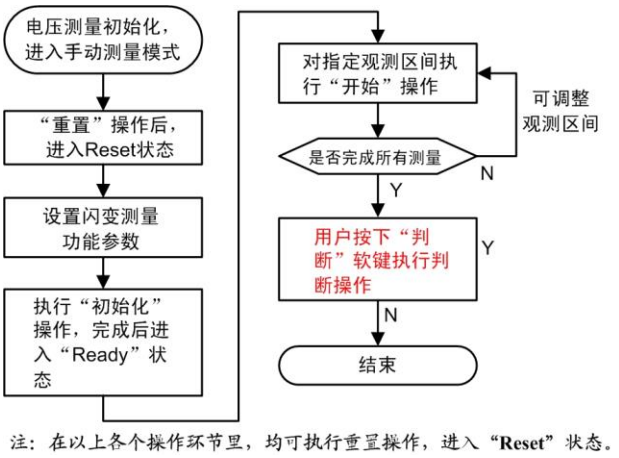


图 17.22　手动闪变测量操作

图 17.22 中的各个操作，说明如下。

2.　初始化操作

电压测量初始化

用户须先设定电压的测量量程、输入滤波器、刻度显示等；然后向 PA2000mini 高精度功率分析仪输入被测电压。

闪变测量功能参数初始化

用户须在执行闪变测量“初始化“操作前，配置本次闪变测量的功能参数，详见“闪变测量参数设置”和“判断条件设置”章节。

闪变测量初始化操作

闪变测量完成后，须先执行重置操作，然后执行初始化操作才能再次启动闪变测量。闪变测量初始化的过程大约需要 60s，期间须保持被测电源电压处于稳定状态。

在如图 17.4 所示闪变测量格式菜单里，按下“初始化”软键，开始初始化。当初始化完成后，闪烁测量状态变成 Ready。

3.　开始测量

在完成初始化操作后，闪变测量状态变成 Ready，此时可开始闪变测量。在如图 17.4 所示的菜单里，按下“开始”软键，即可启动“开始”操作，闪烁测量状态显示 Start，接下来开始执行如下步骤：

① 打开被测设备的电源，完成常规操作。

② 在 1 个观测区间(1 分钟)的测量中，尽可能使被测设备在常规条件下工作。

③ 在 1 个观测区间(1 分钟)测量结束前，关闭被测设备的电源。当 1 个观测区间测量完成后，闪烁测量状态变成 Ready。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

④ 重复步骤①~③，测量 24 次 dmax。

4. 改变观测区间，重新测量

如果给出的观测区间无法正确测量，可通过以下操作改变观测区间，重新对指定的观测区间进行测量：

① 按下“移动周期”软键，显示移动周期设置对话框，如图 17.23 所示。



图 17.23 移动周期设置

② 在对话框里设定想要重新测量的观测区间，如图 17.24 所示。



图 17.24 观测区间设置

③ 关闭移动周期菜单。

④ 按照“开始测量”小节的说明，重新开始测量。

5. 重置

为了重新开始测量或取消当前测量，用户可执行重置操作。执行重置闪变测量操作后，当前的测量数据和判定结果被废弃，闪变测量状态显示 Reset。重置操作不改变测量参数。

6. 完成手动 dmax 测量和判断结果显示

首先，**须确认所有观测区间的测量已完成并且每个观测区间的 dmax 都有数据显示；之后，按下如图 17.4 所示菜单里的“判断”软键**，确定所有观测区间的 dmax 数据，手动 dmax 测量完成，闪变测量状态显示 Complete，显示判定结果。

7. 重新判断手动 dmax 测量

当闪变测量状态显示 Complete 时，可修改判断条件。当判断条件改变后，可重新判断 dmax 测量数据，更新判断结果。

8. 切换显示测量/判断数据的输入单元

若用户需要切换当前显示的测量和判断数据的输入单元，可在如图 17.3 所示项目菜单里按下“显示单元”软键，在弹出的对话框里选择需要显示的输入单元。

9. 显示 IFS 曲线

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 17.17 当手动闪变测量开始后，PA2000mini 高精度功率分析仪可根据当前测量数据显示瞬时闪变视感曲线(IFS)。手动闪变测量模式下，IFS 曲线的设置步骤和常规闪变测量操作下基本一致。

（1）图形设置菜单

首先，须进入图形设置菜单，以进行相关设置。在图 17.4 所示菜单里按下“图形设置”软键，显示图形设置菜单如图 17.5 所示。

（2）选择须显示的 IFS 曲线

在如图 17.5 所示图形设置菜单里按下“IFS”软键，弹出对话框如图 17.16 所示，在对话框用户可选择需要显示 IFS 曲线的输入单元。如果需要所有输入单元的 IFS 曲线都显示，则选择“All”。

（3）配置每格时间

用户可设置显示界面里每格所对应的时间长度，从而可调节在一屏内可观察的波形数目。在如图 17.5 所示图形设置菜单里按下“每格时间”软键，用户可在对话框里选择每格对应的时间长度。

（4）显示 IFS 曲线

用户在完成一个观测区间的手动测量后，在图 17.4 所示菜单里按下“显示类型”软键，在弹出的如图 17.18 所示的对话框里选择“IFS”，即可显示 IFS 曲线。

10. 显示 CPF 曲线

手动闪变测量模式下，PA2000mini 高精度功率分析仪也可根据当前测量数据显示累积概率函数曲线(CPF)，CPF 曲线显示的设置步骤和常规闪变测量下基本一致。

（1）选择须显示的 CPF 曲线

在如图 17.5 所示图形设置菜单里，按下“CPF”软键，弹出对话框如图 17.20 所示，用户可选择须显示的 CPF 曲线，最多可显示 12 个 CPF 曲线。

手动闪变测量操作模式下，对于同一个输入单元，也可设置显示多个 CPF 曲线，每一个 CPF 曲线对应一个观测区间；同一个输入单元的 CPF 曲线和观测区间的对应关系，如下所述：

- 当 24 个观测区间还没有测量完，CPF_n 曲线（n=0~11）均显示最近一次测量数据；
- 当 24 个观测区间均测量完，用户可设置 CPF_n 曲线（n=0~11）对应的观测区间。在如图 17.5 所示图形设置菜单里，按下“CPF”软键，然后在菜单里选择 CPF_n 曲线对应的观测区间 1~24。

（2）显示 CPF 曲线

当 24 个观测区间的手动闪变测量完成后，用户在图 17.4 所示菜单里按下“显示类型”软键，在弹出的如图 17.18 所示的对话框里选择“CPF”显示累积概率函数曲线(CPF)。

17.3 补充阅读

17.3.1 相关术语

1. 相对稳态电压变化、最大相对电压变化、相对电压变化超过阈值的时间

（1）相对稳态电压变化 dc

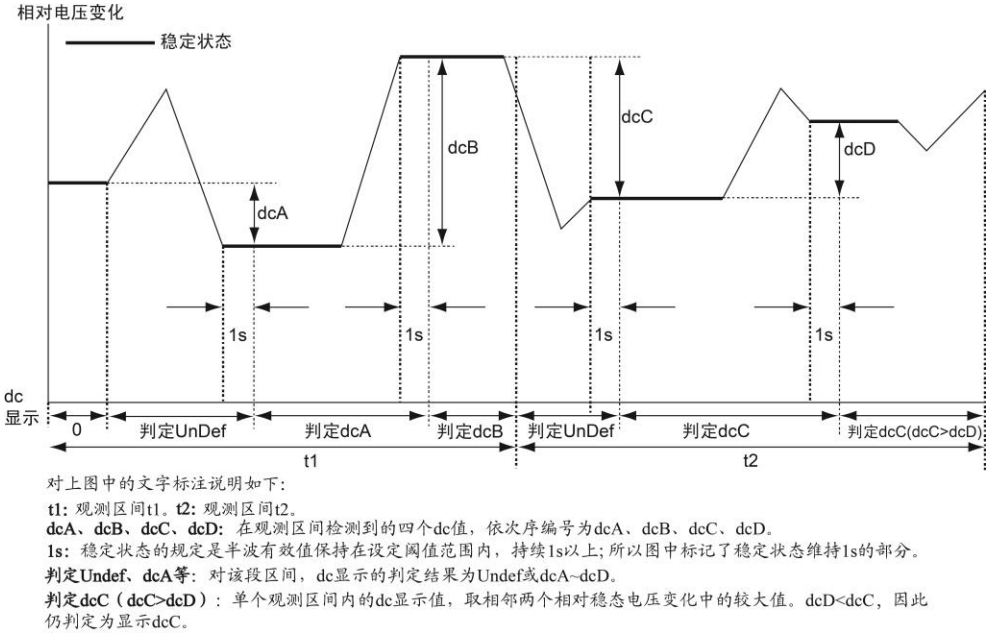
相对稳态电压变化 dc，是一次电压波动前后的 2 个稳态电压的差值与额定电压的比值

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

（用%表示）。例如，假设 1 个额定电压是 230V 的电源，变化前的稳态电压是 231V，变化后的稳态电压是 232V，则相对稳态电压变化 dc 为：

$$\left|\frac{232-231}{230}\right|\times 100(\%)=0.43\%$$

半周期的电压有效值稳定在 1s 或以上的状态为稳定状态；而如果测量区间内没有出现 2 个稳定状态，就被认为是波动状态，此时 dc 测量值显示成 Undef(undefined)。如果电压在测量区间内没有波动，则 dc 为 0。如图 17.25 所示，是 dc 的显示示例。



对上图中的文字标注说明如下：

t1：观测区间t1。**t2**：观测区间t2。

dcA、dcB、dcC、dcD：在观测区间检测到的四个dc值，依次序编号为dcA、dcB、dcC、dcD。

1s：稳定状态的规定是半波有效值保持在设定阈值范围内，持续1s以上；所以图中标记了稳定状态维持1s的部分。

判定Undef、dcA等：对该段区间，dc显示的判定结果为Undef或dcA~dcD。

判定dcC（dcC>dcD）：单个观测区间内的dc显示值，取相邻两个相对稳态电压变化中的较大值。dcD<dcC，因此仍判定为显示dcC。

图 17.25　dc 的显示示例

（2）最大相对电压变化 dmax

用额定电压去除 1 次电压波动（2 个稳定状态之间的状态）最大值和最小值的差，结果用百分比(%)表示的值，即为最大相对电压变化。

（3）相对电压变化超过阈值的时间 d(t)

在电压波动期间，相对电压变化超过阈值的时间，如图 17.26 所示。

（4）dc、dmax、d(t)之间的关系

dc、dmax、d(t)之间的关系如图 17.26 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

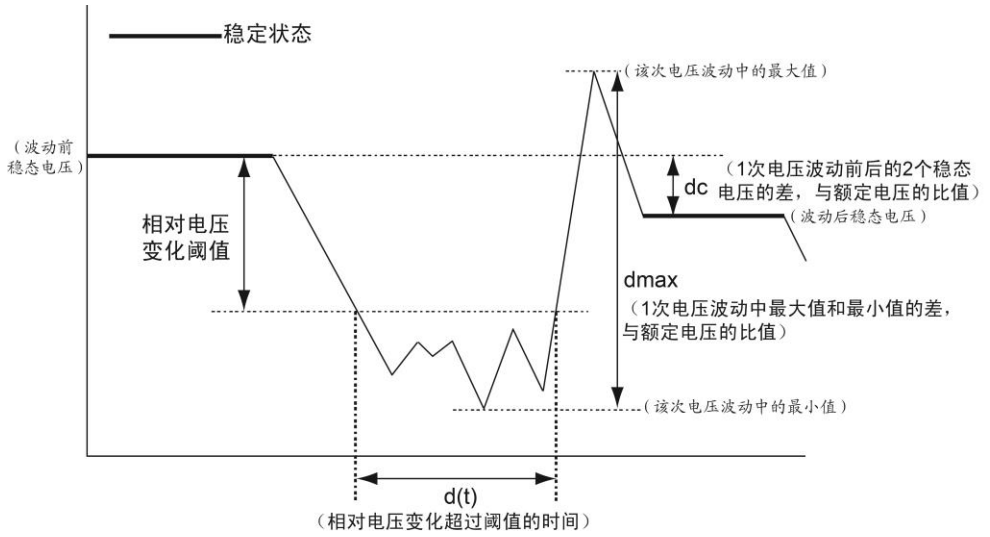


图 17.26　dc、dmax、d(t)之间的关系

2.　瞬时闪变视感度

电压波动引起照度波动对人的主观视觉反应，称为瞬时闪变视感度（instantaneous flicker sensation level），瞬时闪变视感度越大，则说明越容易引起人的主观视觉反应。IFS 曲线图显示了各个时刻对应的瞬时闪变视感度。

3.　累积概率函数

对于随机变化负荷产生的电压波动，在足够长观测时间 T(至少 10 min) 内对瞬时闪变视感度 S(t) 进行等间隔采样；然后，将瞬时闪变视感度 S(t)数据分级，并统计各级别数据分布概率，再由各级别数据分布概率得到累积概率分布函数(CPF)，CPF 曲线图显示了瞬时闪变视感度的概率分布图。

4.　短时间闪变值 Pst

Pst 是描述短时间电压波动的统计特征值，Pst 的观察区间通常为 10 分钟。Pst 用于衡量闪变的强弱：当 Pst<0.7 时，一般觉察不出闪变；当 Pst>1.3 时，则闪变让人觉得不舒服。

5.　长时间闪变值 Plt

长时间闪变值 Plt 的计算公式如公式 17.1 所示。

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=2}^{Count} Psti^3}{N}}$$

公式 17.1

公式参数说明：Count 是短时间闪烁值(Pst)的测量次数；N 是长时间闪烁值(Plt)计算公式的常数，由用户设定，通常 Count 与 N 的值设为一致。

注意：如果 N > Count，短时间闪烁值只测量由 Count 指定的次数，未测量的短时间闪烁值以 Pst=0 代入上述公式，计算出长时间闪烁值(Plt)。这种 N > Count 的设定被用于指定观测时间内被测对象自动停止的情况。

通常，长时间闪变值使用如公式 17.2 所示的公式从 12 个 Pst 值中求取。观测区间通常是 2 小时。如果观测区间的数量小于 Plt 计算公式的常数 N(12)，未被观测的 Plt 值以 0.0 进行计算。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

$$Plt = \sqrt[3]{\frac{Pst_1^3+Pst_2^3+...+Pst_{12}^3}{12}}$$

公式 17.2

注：Pst_1：第 1 个 10 分钟的 Pst、Pst2:第 2 个 10 分钟的 Pst……Pst12：第 12 个 10 分钟的 Pst。

17.3.2 对功能的限制

为实现符合 IEC 标准的测量，电压波动和闪变测量模式会进行与其它测量模式不同的内部运算。因此，它不支持波形或柱状图显示、电机测量功能等部分功能。此外，还不能执行积分和效率运算等部分测量功能，如表 17.1 所示。

表 17.1 对功能的限制

项目	限制
波形和柱状图显示	不可用
电机测量	不可用
积分	不可用
储存	可用
同步测量	不可用

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

18. 电机测量

18.1 功能简介

用户使用电机测量功能，可测量 Speed(转速)、Torque(扭矩)、Pm(电机输出或机械功率)、SyncSp(同步速度)和 Slip(滑差)、电机输出功率（Pm）、Eff（电机输出效率）、（Pin）电机输入功率、电机损耗（Loss）、反电动势常数（Ke）、转矩常数（Kt）、电机输入电压(Uin)、电机输入电流(Iin)等参数。

18.2 操作步骤

18.2.1 输入转速和扭矩信号

按规格要求输入来自转速传感器的输出信号，输出信号是和电机转速成比例的直流电压(模拟信号)或脉冲信号。

按规格要求输入来自扭矩仪的输出信号。输出信号是和电机扭矩成比例的直流电压(模拟信号)。

18.2.2 进入电机设置菜单

按下前面板的 Shift 和 Scaling 键，可显示电机设置菜单，如图 18.1 所示。

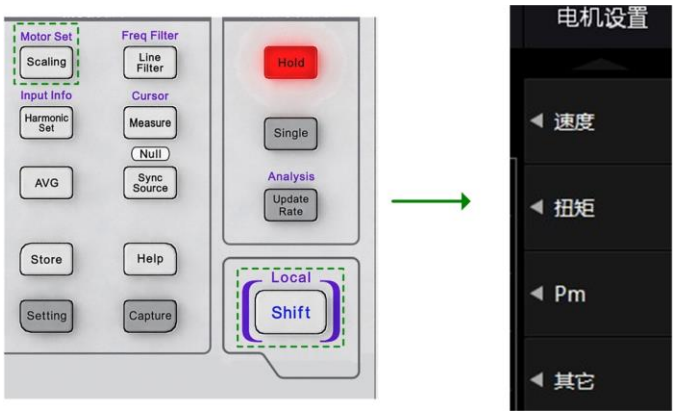


图 18.1 电机设置菜单

18.2.3 选择转速和扭矩信号的类型

用户可在如图 18.1 所示电机设置菜单里选择转速传感器和扭矩仪输入到功率分析仪的信号类型：

- 模拟信号。当信号类型是直流电压(模拟信号)时选择；
- 脉冲信号。当信号类型是脉冲信号时选择。

在电机设置菜单里按下“速度”软键转速传感器的信号 Speed 类型选择如图 18.2 所示，同理可选择扭矩仪输入信号 Torque 的类型。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.2　转速传感器信号类型

18.2.4　选择模拟量程

本小节设定仅适用于输入信号类型设为模拟信号 Analog 时的情况；如果输入信号类型设为脉冲 Pulse，则不需要设定。

模拟量程分为自动量程和固定量程两种，需要用户分别配置。这里以转速传感器信号模拟量程配置为例来进行说明。

1.　配置自动量程

用户可以启用自动量程功能。在自动量程功能下，量程会根据输入信号的大小自动切换量程，切换规则参见“5.11.1 节 设置量程”。

用户可配置自动量程打开或关闭，如果打开则无需再配置固定量程。如图 18.3 所示，是转速传感器信号的自动量程配置。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.3　转速传感器信号模拟信号自动量程配置

注意：选择自动量程时，如果输入的波形是周期不定的脉冲波形，量程可能会发生改变，此时请选择固定量程。

2.　固定量程配置

如果没有使用自动量程，则用户可在如图 18.4 所示电机设置菜单里配置固定量程。如图 18.4 所示，可选择配置传感器模拟信号量程为 20V、10V、5V、2V、1V。



图 18.4　固定量程配置

18.2.5　配置线路滤波器和同步源

本小节设定仅适用于输入信号类型设为模拟信号 Analog 时的情况。如果输入信号类型设为脉冲 Pulse，则不需要设定线路滤波器和同步源。

1.　选择线路滤波器

用户可将线路滤波器插入转速传感器回路和扭矩仪回路，以便在测量转速信号和扭矩信号时去除谐波噪声。

用户可在如图 18.5 所示电机设置菜单里配置线路滤波器。线路滤波器的截止频率可选择为 50kHz、10kHz、100Hz，若选择 OFF 则关闭线路滤波器，详见图 18.5。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.5　线路滤波器的截止频率选择

2.　选择同步源

测量转速信号和扭矩信号的模拟信号时，需要从下列选项中选择成为同步源的信号：U1~U4、I1~I4、None。同步源信号决定了测量转速信号和扭矩信号的测量区间。如果在指定同步源时选择“None”，数据更新周期内所有采样数据都将用于计算转速和扭矩。用户可在如图 18.6 所示电机设置菜单里配置同步源；如图 18.6 所示，是转速传感器信号的同步源选择菜单。



图 18.6　同步源选择

18.2.6　设定脉冲量程、脉冲数和脉冲额定值

本小节仅适用于输入信号类型设为脉冲 Pulse 时的情况。

1.　设定脉冲输入量程

如果转速信号和扭矩信号的类型是 Pulse，要设定脉冲输入量程的上、下限值。例如，假设被测信号的转速在 120rpms~180rpms、扭矩在-18N•m~+18N•m 之间，转速信号的脉冲输入量程就应设为 100rpms~200rpms、扭矩的脉冲输入量程就应设为-20N•m~+20N•m。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

各输入信号可选的脉冲量程如下：

- 转速信号：0.0001~99999.9999 [rpm]；
- 扭矩信号：-10000.0000~10000.0000 [N•m]。

用户可在如图 18.7 所示电机设置菜单里配置转速信号的脉冲输入量程，如图 18.7 所示。



图 18.7　脉冲输入量程

同理，用户可在图 18.7 所示脉冲输入量程界面里配置扭矩信号的脉冲输入量程。

2.　设定转速信号每转脉冲数

用户需要设定转速信号每转的脉冲数，设定范围在 1 ~ 9999。每转脉冲数和转速信号的关系如下。

转速 = 每分钟来自转速传感器的输入脉冲数 / 每转的脉冲数 × 比例系数

用户可在图 18.7 所示脉冲输入量程界面里配置每转脉冲数，如 图 18.8 所示。



图 18.8　每转脉冲数配置

3.　设定扭矩信号的脉冲额定值

如果扭矩信号的类型是脉冲 Pulse，要设定扭矩传感器的正负额定值，数值的设定范围如下：

- 扭矩值：-10000.0000~10000.0000 [N•m]；
- 脉冲数：1~100000000 [Hz]。

用户可在图 18.7 所示脉冲输入量程界面里配置脉冲额定值，如图 18.9 所示。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.9　脉冲额定值

18.2.7　设定比例系数和单位

1.　设定用于转换转速信号的比例系数

设定用于换算转速信号的比例系数，设定范围是 0.0001~99999.9999。用户可在图 18.7 所示脉冲和模拟信号输入量程界面里配置转速信号比例系数，如图 18.10 所示。



图 18.10　转速比例系数

转速信号类型 Analog 时的比例系数

通过设定每伏输入电压的转数，用以下公式计算转速。

转速 = 来自转速传感器的输入电压 × 比例系数

转速信号类型 Pulse 时的比例系数

在“设定转速脉冲数”的等式中之值作为比例系数使用。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

2. 设定用于转换扭矩信号的比例系数

可以指定比例系数，将扭矩信号换算成电机的扭矩。设定范围是 0.0001~99999.9999。用户可在图 18.7 所示的扭矩信号模拟信号输入量程或脉冲输入量程界面里配置扭矩信号比例系数，如图 18.11 所示。



图 18.11 扭矩信号的比例系数

当扭矩信号的类型是 Analog 时的比例系数

通过设定每伏输入电压的扭矩，将来自扭矩仪的输入电压用以下公式计算扭矩。

扭矩 = 来自扭矩仪的输入电压 × 比例系数

当扭矩信号的类型是 Pulse 时的比例系数

在“设定扭矩信号脉冲数”的等式中之值作为比例系数使用。

3. 设定用于计算电机输出的比例系数

电机输出 Pm 的计算公式如下。

$$\text{电机输出Pm} = \frac{2\times\pi\times\text{转速}}{60} \times \text{比例系数} \times \text{扭矩}$$

用户可在图 18.7 所示脉冲输入量程界面里配置电机输出比例系数，如图 18.12 所示。



图 18.12 电机输出比例系数配置

4. 设定转速、扭矩、电机输出的单位

用户可设置转速、扭矩、电机输出的单位。用户可在图 18.7 所示脉冲输入量程界面里配置单位，单位的字符数为 8 个字以下，字符类型为键盘上的字符或空格。转速、扭矩、电机输出的单位的配置如图 18.13 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.13　设定单位

18.2.8　设定用于计算滑差和同步速度的电机极数和频率测量源

1.　同步速度和滑差的计算公式

同步速度的单位固定为 min^{-1}(或 rpm)，其计算公式如下所示。

$$同步速度SyncSp = \frac{120 \times 频率测量源的频率}{电机极数}$$

滑差的计算公式如下所示。

$$滑差Slip(\%) = \frac{同步速度（min^{-1}）— 转速（min^{-1}）}{同步速度（min^{-1}）} \times 100$$

2.　设定电机极数

极数的设定范围是 1~99。用户可在电机设置菜单配置电机极数，如图 18.14 所示。

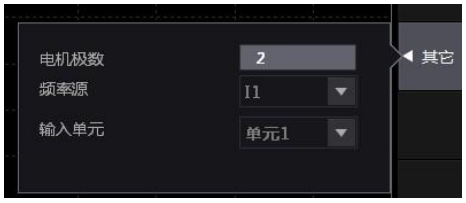


图 18.14　电机极数

3.　设定频率测量源的信号

用户需要选择一个信号作为频率测量对象以计算同步速度。通常将电机的电压和电流中畸变或噪声相对较少的作为频率测量源。如果选择这两项以外的信号，可能得不到正确的同步速度。用户可在配置频率测量源信号，如图 18.15 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 18.15　频率源信号

18.2.9　选择测量电机输入电压和电流的输入单元

若用户使用功率输入单元测量电机的输入单元和输入电流，需要指定使用输入单元的编号，如图 18.16 所示。



图 18.16　选择用于测量电机的输入单元

18.2.10 电机测量结果显示

用户按下前面板上的 Others 键，然后选择“电机”测量显示菜单，如图 18.17 所示。



图 18.17　电机测量显示菜单

用户可在图 18.18 所示菜单里设置电机测量结果的数值、波形、数值和波形的显示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

1. 数值显示视图

在电机测量显示菜单打开数值显示视图如图 18.18 所示。

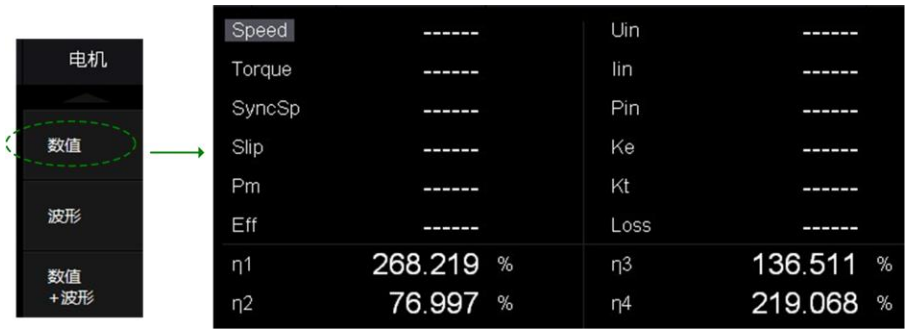


图 18.18 电机测量显示

数值显示视图显示格式

在电机测量数值显示视图按下前面板的 Form 键，显示格式菜单，用户可配置数值显示视图里的数据显示个数。

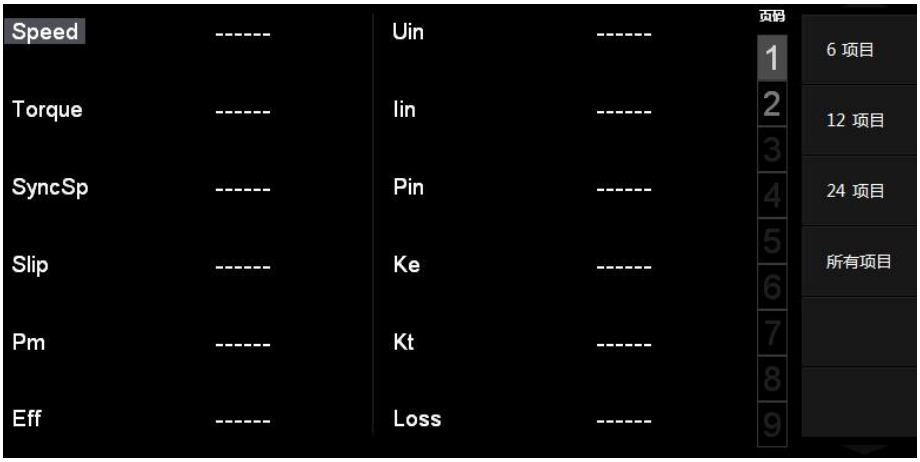


图 18.19 配置显示项目数

配置显示的测量功能

用户可配置数值显示视图显示的测量功能。在电机测量数值显示视图按下前面板的 Item 键，显示项目菜单，用户可在项目菜单里设置显示的测量功能以及测量功能的显示顺序，如图 18.20 所示。



©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

图 18.20　电机测量功能的显示

2.　波形显示视图

用户可以显示扭矩、转速的波形图，并且设置显示格式。在图 18.17 所示测量显示菜单里选择“波形”，即可进入电机测量波形显示视图，如图 18.21 所示。

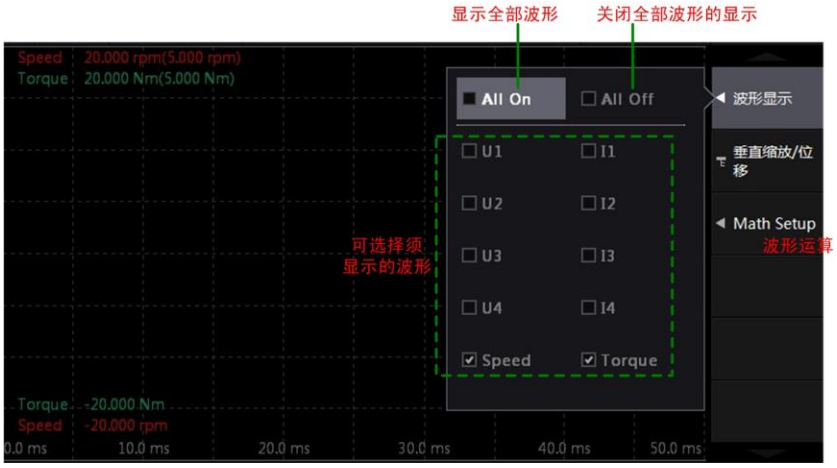


图 18.21 波形显示视图

如果需要设置波形显示格式，可在波形显示视图按下前面板的 Form 键，在弹出的显示格式菜单里进行设置，如图 18.22 所示。显示格式设置的操作方法和“波形显示”节的相关内容基本相同，此处不再赘述。

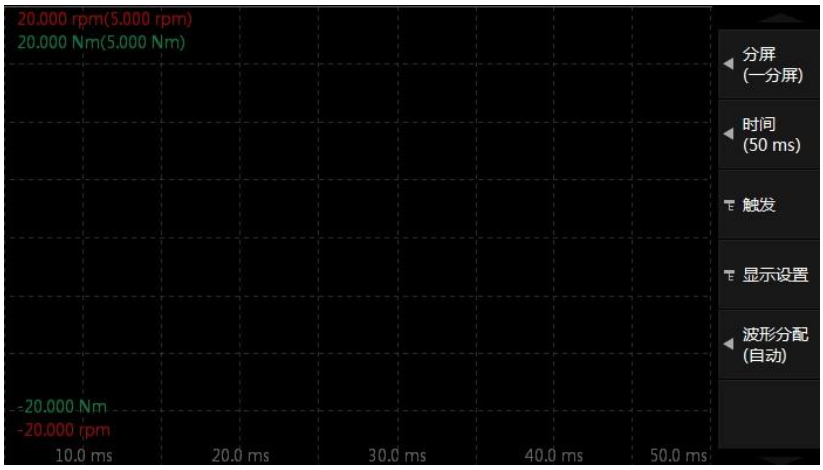


图 18.22　波形显示格式设置

18.3 注意事项

IEC 谐波测量模式、电压波动和闪烁测量模式及周期分析测量模式下不能使用电机测量功能。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

19. 系统功能

用户可在仪器上执行或设置如下系统功能：日期/时间、按键锁、按键配置、显示器、捕获、语言、电源管理、触摸屏校准、文件管理、软件更新、网络、系统信息、储存数据、恢复出厂设置。系统设置菜单见图 19.1。



图 19.1　系统设置菜单

19.1 配置向导

用户可在配置向导菜单中依次完成以下设置：接线组设置、测量设置、更新率设置、谐波设置，点击“完成”按钮设置才生效，详情操作可查看 5.15 章节。

19.2 配置管理

用户可将对仪器功能参数的所有配置保存为配置文件，也可以从配置文件里读取对所有功能参数的配置。配置管理功能在系统功能菜单里的位置如图 19.2 所示。



图 19.2 配置管理

1. 现有配置管理

用户可对当前使用的配置、存储的其它配置进行管理，包括：加载、删除、导出等操作。现有配置的管理可在如图 19.2 所示“配置管理”菜单下的“现有配置”里完成，如图 19.3 所示。



图 19.3 现有配置

2. 另存为

用户可将当前的配置保存并命名，命名规则如下所述：

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 文件名长度为 1~ 255 个字符；
- 文件名中不能出现 \、/、*、？、〈、〉、| 等字符，可以包含空格、下划线等；
- 不区分英文字母大小写。

仪器将配置文件保存在指定路径，用户不能选择保存路径。

3. 导入

用户可读取并应用任意路径的配置文件中的配置信息，如图 19.4 所示。



图 19.4 导入配置信息

4. 恢复出厂设置

PA2000mini 功率分析仪提供了恢复出厂设置功能供用户使用。用户可在图 19.2 所示系统设置菜单里，按下“恢复出厂设置”软键，弹出如图 19.5 所示恢复出厂设置对话框。

用户在图 19.5 所示恢复出厂设置窗口，通过菜单操作旋钮选择是否执行恢复操作。

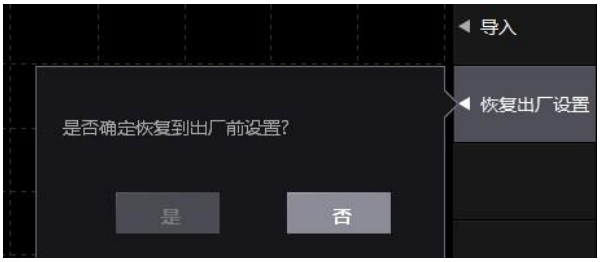


图 19.5 恢复出厂设置

19.3 文件管理

用户可以在功率分析仪上直接进行文件管理操作，包括：新建/删除文件夹、文件夹重命名、文件夹复制/剪切、后退到上一级目录、操作确认等。在图 19.2 所示系统设置菜单里，按下“文件管理”弹出文件管理窗口如图 19.6 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

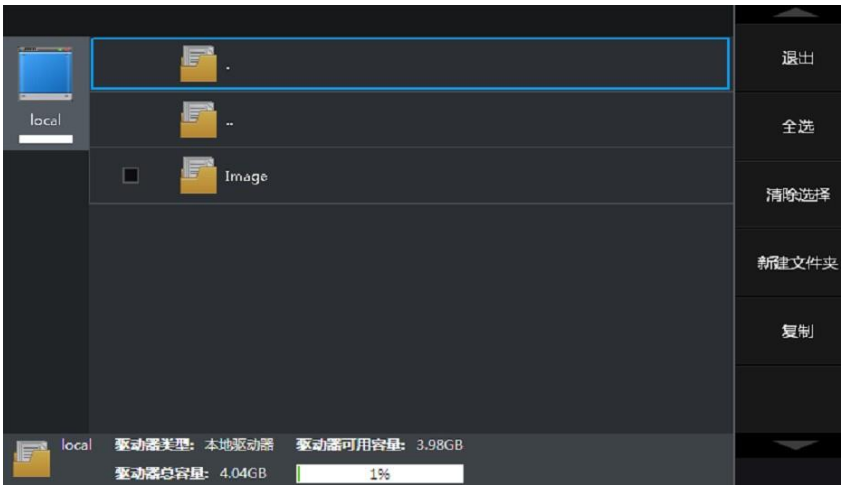


图 19.6 文件管理操作窗口

19.4 日期/时间

用户可在日期/时间菜单里设置功率分析仪的系统时间和日期。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“日期/时间”软键弹出设置窗口如图 19.7 所示。在该窗口里，用户可以使用菜单操作旋钮来设置所需的日期和时间。



图 19.7 日期时间设置窗口

19.5 按键锁和按键配置

19.5.1 按键锁

设置按键锁可避免因疏忽大意导致的错误操作。

（1）加锁

如果没有开启按键锁功能，在图 19.8 所示系统设置菜单按下“按键锁”软键可弹出设置窗口。在设置窗口里按下“加锁”软键，即可设置按键锁控制码，如图 19.8 所示。

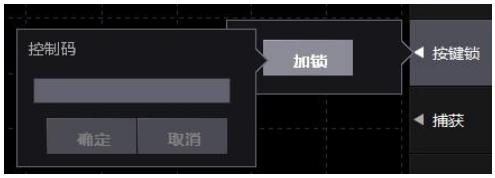


图 19.8 按键锁

按键锁控制码被用于解锁按键锁，长度为 0~260 个字符，为字母数字符号的任意组合，也可以为空。设置控制码后，按键锁立即生效。

此时，无论是本地操作仪器还是远程操作仪器，仪器按键均失效，只有部分按键除外。按键锁启用后，仍有效的前面板功能键如图 19.9 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

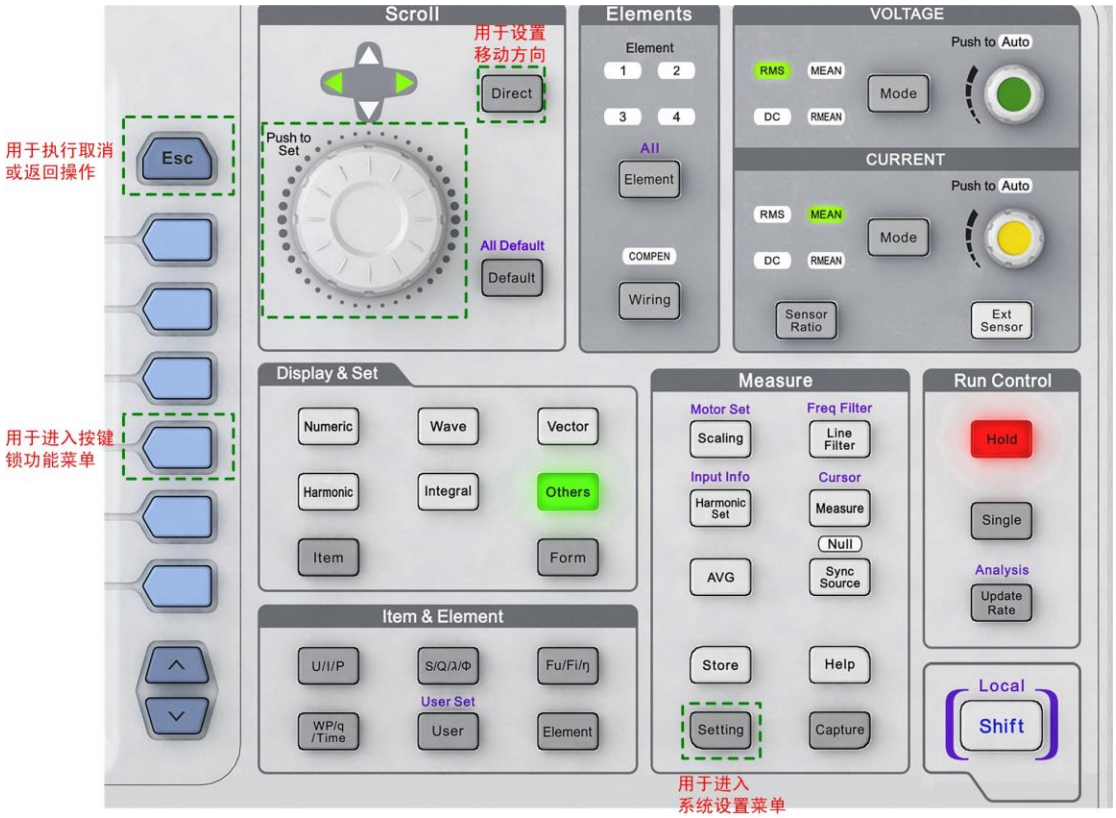


图 19.9　按键锁打开时有效的功能键

（2）解锁

用户在按键锁解锁对话框输入按键锁控制码方可解锁。此时只能使用图 19.9 中的有效按键来输入按键锁控制码。

19.5.2　按键配置

按键配置包括 Shift 键锁和按键音设置。设定 Shift 键锁可以降低频繁使用 Shift 键的次数；在不需要按键音时，可以选择关闭。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“按键配置”软键弹出设置窗口如图 19.10 所示。



图 19.10　按键配置

19.6 捕获

功率分析仪提供了捕获截图功能，方便用户通过图片保存仪器显示的重要信息。在使用捕获功能前，须完成捕获参数设置，包括捕获图片格式、捕获图片的颜色、捕获截图区域、截图保存目录、截图文件名、截图文件名自动命名、截图方向等。

用户可在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“捕获”软键即可弹出捕获设置窗口如图 19.11 所示。

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 19.11 捕获设置

用户通过菜单操作旋钮可在如图 19.11 所示窗口里完成捕获参数的设置，设置完后按前面板 ESC 键返回，设置生效。此时，用户可以通过前面板上的 Capture 键执行捕获操作，捕获得到的截图保存至用户在图 19.11 所设置的图片保存目录里。

19.7 语言

功率分析仪的显示界面支持中英文，用户可自由切换。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“Language”软键，弹出设置窗口如图 19.12 所示。

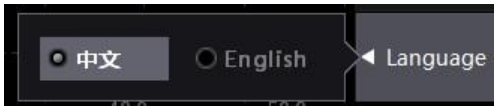


图 19.12 菜单语言

19.8 电源管理

功率分析仪内有风扇用于散热。用户可调节风扇的速度，以减少风扇产生的功耗、噪音；并可选择降低功率分析仪子卡的功耗。



图 19.13 功率分析仪电源管理

在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“电源管理”软键弹出设置窗口如图 19.13 所示，用户通过菜单操作旋钮可在设置窗口里配置风扇速度和功率分析仪子卡的功耗。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

如果令“上电自动开机”有效，则当仪器一通电就启动测量系统，无须再按下电源键。

19.9 软件更新

用户可将功率分析仪的软件更新包放入功率分析仪内；然后，通过功率分析仪提供的软件更新功能，更新仪器的驱动、软件、FPGA 和 DSP 版本等。用户可在图 19.1 所示系统设置菜单里，选择存放更新软件包的路径找到更新软件包，然后按下“软件更新”软键，弹出如图 19.14 所示软件更新操作窗口。

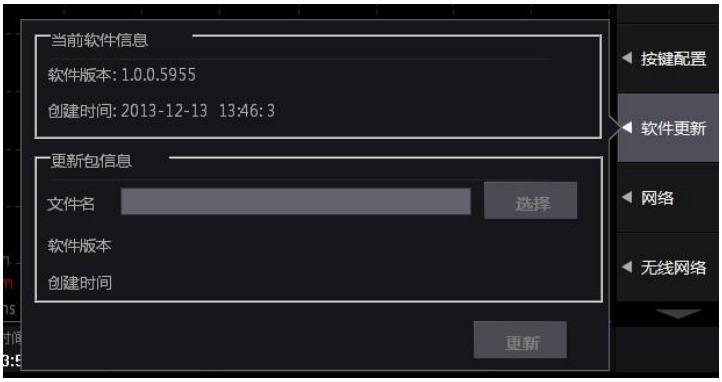


图 19.14 软件更新操作

用户在如图 19.14 所示软件更新操作窗口，通过菜单操作旋钮选择软件更新包；然后执行更新操作。

19.10 网络

PA2000mini 高精度功率分析仪可连接以太网，用户须设置其网络参数。

在图 19.1 所示系统设置菜单，按下“网络”软键弹出网络参数配置窗口如图 19.15 所示。用户可配置功率分析仪的 IP 地址、子网掩码、网关、DNS 服务器、IP 地址等网络信息。

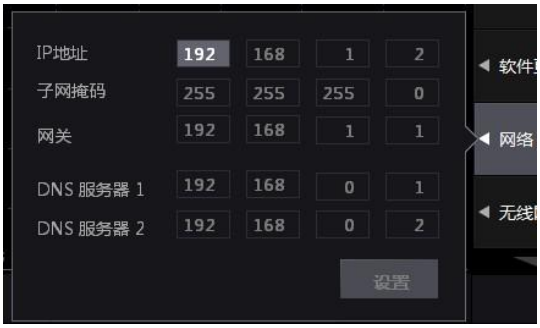


图 19.15 网络参数配置

19.11 无线网络

功率分析仪可搜索、连接无线网络，并从已连接的无线网络断开。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“无线网络”软键弹出可用的无线网络列表，用户再选择须连接的无线网络并双击，弹出密码输入对话框，用户填写该无线网络的连接密码即可连接。相关示意图见图 19.16。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 19.16　无线网络

19.12　系统信息

用户可通过系统信息功能了解到功率分析仪的硬件信息、FPGA 版本、DSP 版本、驱动版本、软件版本等信息。用户可在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“系统信息”软键即可弹出系统信息窗口。



图 19.17　系统信息

19.13　远程控制

PA2000mini 功率分析仪支持远程控制功能。在远程控制功率分析仪前，须根据实际连接选择对应的远程控制通信接口。在图 19.1 所示设置菜单按下“远程控制”软键，显示可选的远程通信接口如图 19.18 所示，如果选择的通信接口与实际连接不一致，将可能导致远程通信失败。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 19.18 远程控制接口

19.14 显示器

用户可以配置功率分析仪显示器的显示亮度。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“显示器”软键弹出设置窗口如图 19.19 所示，用户通过菜单操作旋钮可在对话框配置显示参数。



图 19.19 显示器配置

19.15 触摸屏校准

在第一次使用使用功率分析仪触摸屏功能前，用户须对触摸屏进行校准。系统设置里提供了触摸屏校准功能。在图 19.1 所示系统设置菜单里，按下“触摸屏校准”软键弹出触摸屏校准设置窗口如图 19.20 所示，之后用户根据系统提示进行触摸屏校准操作。



图 19.20 触摸屏校准菜

19.16 存储数据

19.16.1 功能简介

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户可将测量过程中的波形数据、数值数据、测量配置信息保存为文件并储存到各个存储介质上，此外还可从各个存储介质上的文件里读取存储的数据。

19.16.2 操作步骤

1. 进入存储菜单

在前面板按下前面板上的 Store 键，显示存储菜单如图 19.21 所示。

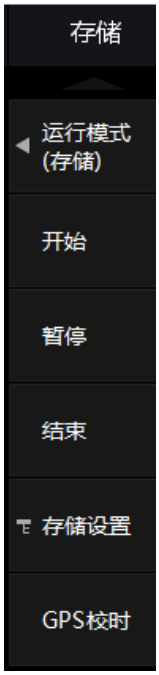


图 19.21 存储功能菜单

在如图 19.21 所示存储菜单里，可执行开始存储、停止存储、重置存储操作，下面分别叙述。

开始存储

启动存储。在如图 19.21 所示存储菜单里按下“开始”软键，则按照存储设置启动存储，存储项数据被自动保存到存储介质。保存到存储介质的数据不受掉电影响。

停止存储

暂停存储。在如图 19.21 所示存储菜单里按下“停止”软键，则按照存储设置暂停当前的存储操作，直至用户执行“开始”操作，则存储又恢复，存储项数据被追加储至当前存储文件中。

重置存储

重置存储文件。在如图 19.21 所示存储菜单里按下“重置”软键，则关闭当前的存储文件和存储操作。**在执行**图 19.21 **所示存储菜单里的设置操作之前，必须先重置存储。**

2. 运行模式选择



图 19.22 运行模式选择

用户首先需要选择存储功能模块的运行模式，可以选择存储模式和回读模式：在存储模式下，用户可将数据存储为文件；而在回读模式下，用户可从文件里读取数值数据和波形数据。

在如图 19.21 所示的菜单里按下“运行模式”软键，弹出运行模式选择对话框如图 19.22 所示，用户可在对话框里选择运行模式。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

3. 存储模式下的操作

用户已选择运行模式为存储模式。

（1）进入存储菜单

图 19.21 所示存储菜单里为存储模式下的菜单。

在存储菜单里，可以执行存储开始操作、存储停止操作、存储重置操作、存储设置操作。

（2）进入存储设置菜单

在执行存储操作前，须设定储存模式、储存次数、储存间隔和储存预约时间。这些设置操作在存储设置菜单里完成。在如图 19.21 所示存储菜单里，按下“设置”软键，可进入存储设置菜单，如图 19.23 所示。需要注意的是，在执行存储设置操作之前，必须先执行重置操作，如图 19.21 所示。



图 19.23 存储设置菜单

（3）选择存储模式

按下如图 19.21 所示菜单里的存储模式软键，弹出存储模式选择菜单如图 19.24 所示，用户通过菜单操作旋钮可在该菜单里选择存储模式。 对存储模式说明如下：

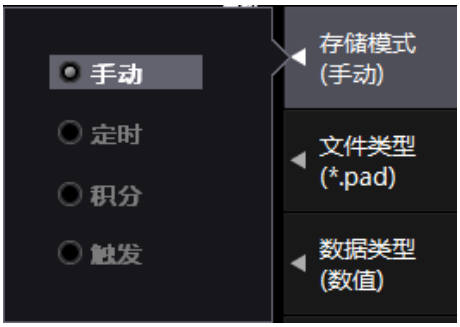


图 19.24 存储模式选择

- **手动**。启动存储后，以指定的储存间隔和储存次数储存数值数据或波形数据；
- **定时**。启动存储后，到预约的储存开始时间，以指定的储存间隔和储存次数储存数值数据或波形显示数据，到预约的储存结束时间则停止储存；
- **积分**。启动存储后，积分开始时，以指定的储存间隔和储存次数(或到积分结束)储存数值数据或波形数据；
- **触发**。启动存储后，出现符合设定的触发条件时，以指定的储存间隔和储存次数储存数值数据或波形数据。

（4）储存预约时间设置

如果选择存储模式为定时模式，则必须设置储存预约开始和结束时间。当到储存预约开始时间，会自动开始储存当前显示的数据；当到储存预约结束时间，会停止储存操作。

在如图 19.23 所示存储设置菜单里，按下“定时设置”软键，设置储存预约时间，弹出对话框如图 19.25 所示。



图 19.25 时间设置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

预约时间的设定单位为年、月、日、时、分、秒。设定时:分:秒须注意确保在00:00:00~23:59:59 的范围内设置，此外须确保储存预约时间的结束时间晚于开始时间。

注：系统会自动判断是否闰年，菜单中的 2 月份是否有 29 日。

（5）触发参数设置

如果选择存储模式为条件触发，则需要设置触发参数。在如图 19.23 所示存储设置菜单里，选择存储模式为“条件触发”按下“触发”软键，显示如图 19.26 所示的触发设置菜单（根据触发源数据的不同，触发设置菜单也不同）。

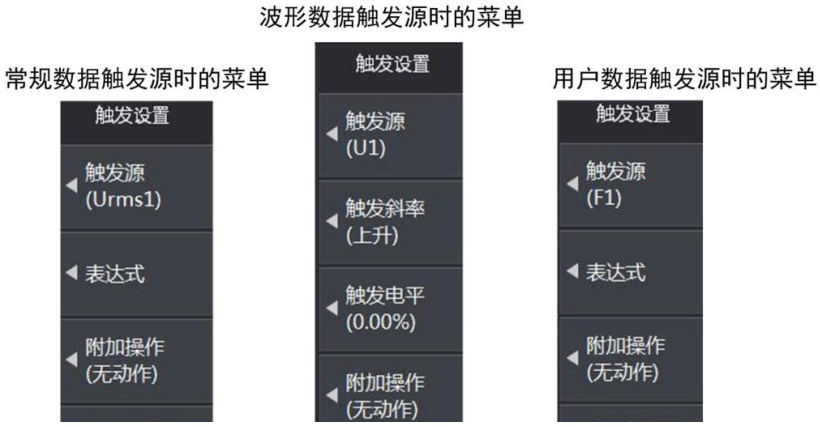


图 19.26　触发参数设置菜单

触发源选择

用户可选择常规数据、波形数据、用户数据三类数据作为触发源，如图 19.27 所示。选择触发源时须选择触发源数据所在功率单元通道。通道 1~通道 4 分别对应输入单元 1~4。

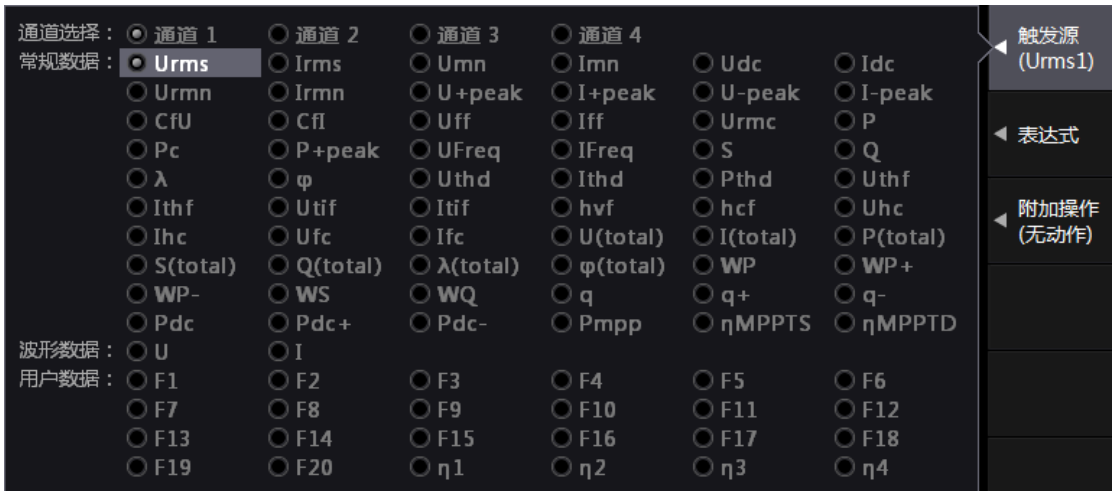


图 19.27　原始数据触发类型下的触发条件

表达式

常规数据触发类型和用户触发类型下，触发条件为数据值。用户可设置当数据＞或＜或≥或≤或不等于某值时触发，按下“表达式”软键，可设置触发表达式，如图 19.28 所示。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.



图 19.28　常规数据触发类型下的触发条件

触发附加

在常规数据触发类型和原始数据触发类型下，触发存储操作后用户可选择其它附加操作，如保持操作、截图操作等。

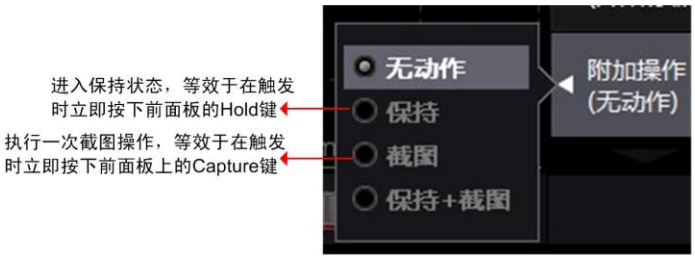


图 19.29　触发附加设置

注意：存储触发参数的设置是独立的，不受其它功能模块的触发参数设置影响（例如波形显示触发参数设置）。

（6）存储数据类型设置

在执行存储操作前，用户须选择储存数据的类型：

- 数值存储类型。只储存数值数据；
- 波形存储类型。只储存波形显示数据；
- 数值+波形存储类型。既存储数值数据也存储波形显示数据。

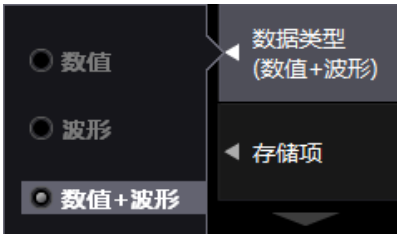


图 19.30 设定储存数据的类型

在如图 19.23 所示存储设置菜单里，按“数据类型”软键，显示对话框如图 19.30 所示。调节菜单操作旋钮其中选择一个。

（7）文件类型

数据储存文件有两种类型供选择，分别是.pad 类型和.csv 类型，说明如表 19.1 所示。



图 19.31　文件类型选择

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 19.1 文件类型说明

文件类型	数值类型	说明
.csv	数值数据或波形显示数据保存为 ASCII 格式	存储速度较慢，文件体积较大，但文件可在 PC 上用 Excel 等软件直接编辑并阅读
.pad	二进制格式	存储速度较快，文件体积小。仅可使用 PA2000mini 高精度功率分析仪上位机软件阅读和编辑

在如图 19.23 所示存储设置菜单里，按“文件类型”软键，显示对话框如图 19.31 所示，用户可在对话框里选择文件类型。

（8）选择存储项

选择存储数据类型数据时，在存储设置菜单按下“存储项”软键，显示数值类型存储项配置菜单如图 19.32 所示；当选择波形类型，可配置波形存储项如图 19.33 所示；当选择数值+波形类型，如图 19.34 所示。

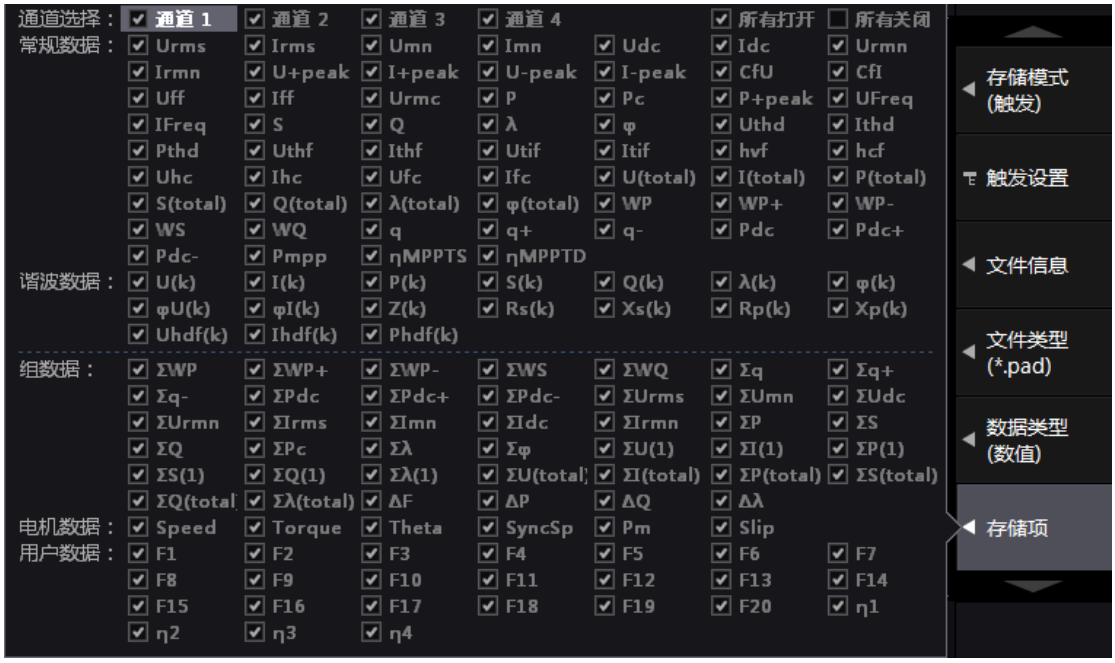


图 19.32 数值类型存储项



图 19.33 波形类型存储项

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

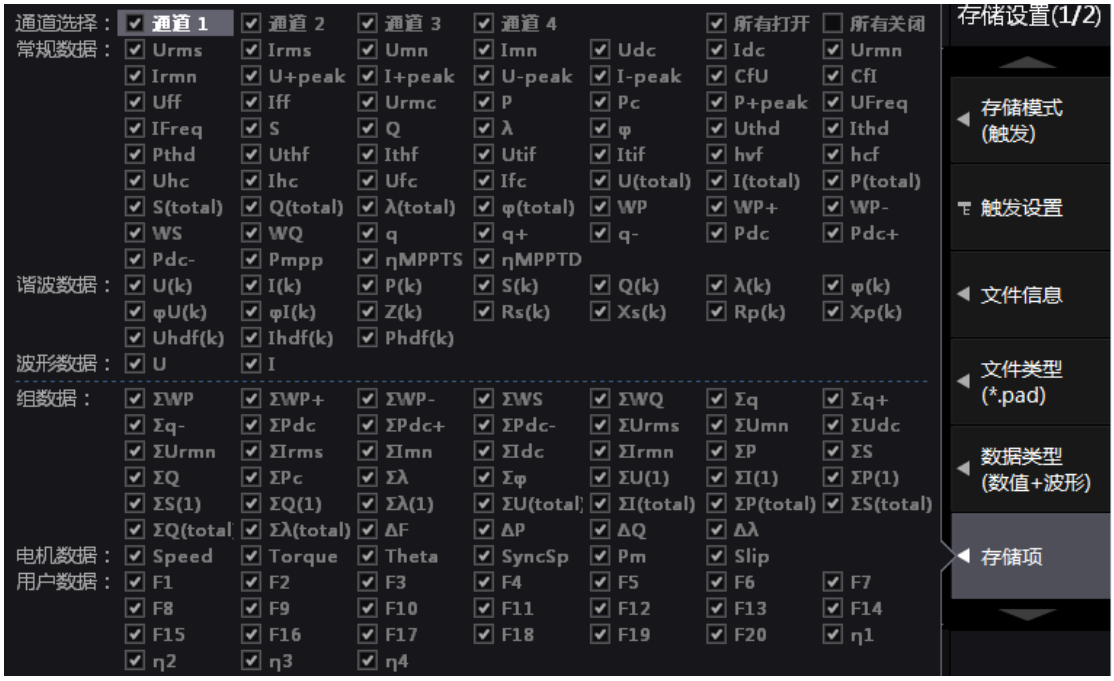


图 19.34　选择要储存的数值数据和波形显示数据

（9）文件设置

用户在执行数据储存操作前，需要预先指定储存文件的名称、路径、文件大小；储存操作开始后，数据会被存储至预先指定的储存文件内。

文件名称

对于新生成的存储文件，用户可指定文件名称生成规则。在如图 19.23 所示存储设置菜单里按下“文件名”软键，弹出对话框，用户可在对话框里设置文件命名规则，如　图 19.35 所示：

- **手动命名**。启用该命名规则后，用户须自行命名新存储文件，文件名在如　图 19.35 所示的文件名输入框里输入自定义文件名；
- **自动命名**。启用该命名规则后，仪器会直接使用生成存储文件的时间来命名文件，如图 19.36 所示；
- **自动后缀**。启用该命名规则后，仪器会在自定义文件名后添加后缀，后缀的格式为_n，其中 n 为数字。如图 19.37 所示，在自定义用户名“test”后，生成了_0 和_1 的后缀。



图 19.35　文件名设置

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

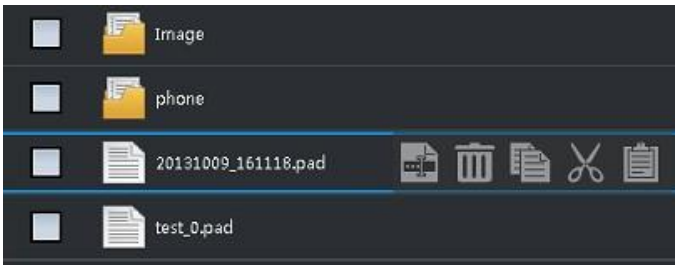


图 19.36　自动命名

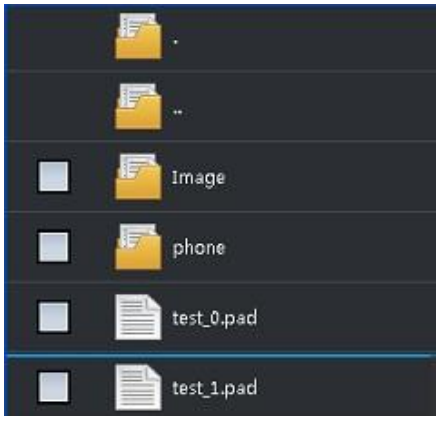


图 19.37　自动后缀

文件路径

在如图 19.23 所示存储设置菜单里按下“路径”软键，弹出对话框，用户可在对话框里设置文件的存储路径，如图 19.38 所示。



图 19.38　文件路径

文件大小

用户可控制单个储存文件的大小。在如图 19.23 所示存储设置菜单里按下“文件大小”软键，弹出对话框，用户可在对话框里设置存储文件的大小以及存储帧数，如图 19.39 所示。文件大小最大为 800MB，可保存存储帧的最大数目为 10000 帧（存储帧包含了单次测量中的存储及其测量值）。



图 19.39　文件大小

（12）连续存储

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

用户可以指定当储存内容达到储存文件的上限时，是否再生成新的储存文件来存储数据。在如图 19.23 所示存储设置菜单中按下如图 19.40 所示“连续存储”软键，可在弹出的对话框里设置连续存储操作的开或关。



图 19.40　连续存储操作

如果选择开启连续存储，那么当储存的数据达到 50MB，会再建立一个储存文件来存储，也就是不断建立新文件来存储数据；如果选择关闭连续存储，则只使用一个储存文件来存储数据，也就是说，最多只存储文件大小的数据。

（13）存储间隔

在如图 19.23 所示存储设置菜单中按下“存储间隔”软键，可设置每收到几个测量数据帧后开始存储，如图 19.41 所示。



图 19.41　存储间隔设置

当选择存储间隔为 0 帧时，则对每一个测量数据帧都执行存储操作。

4.　回读模式下的操作

在回读模式下，常规测量暂停，此时用户可以从在存储模式下生成的 pad 类型存储文件里，读取存储的数据并且逐帧回放，相关操作步骤如下。

（1）进入回读模式

用户首先须选择运行模式为回读模式，如图 19.42 所示。



图 19.42　回读模式

（2）载入储存文件

然后须选择回读的存储文件执行载入操作。首先，按下 “文件名”软键，如图 19.43 所示，然后定位到储存文件所在路径并勾选须回读的储存文件，如图 19.44 所示；之后，仪器会显示储存文件的信息，如图 19.44 所示。

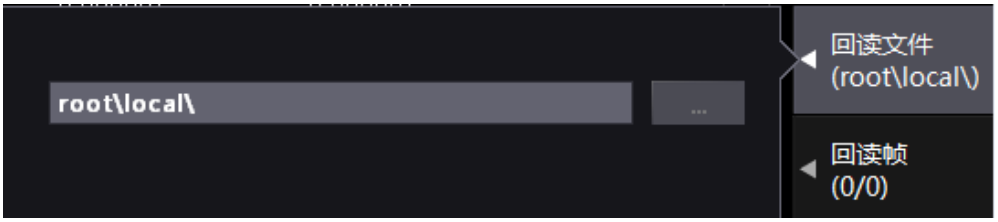


图 19.43　指定回读的储存文件

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

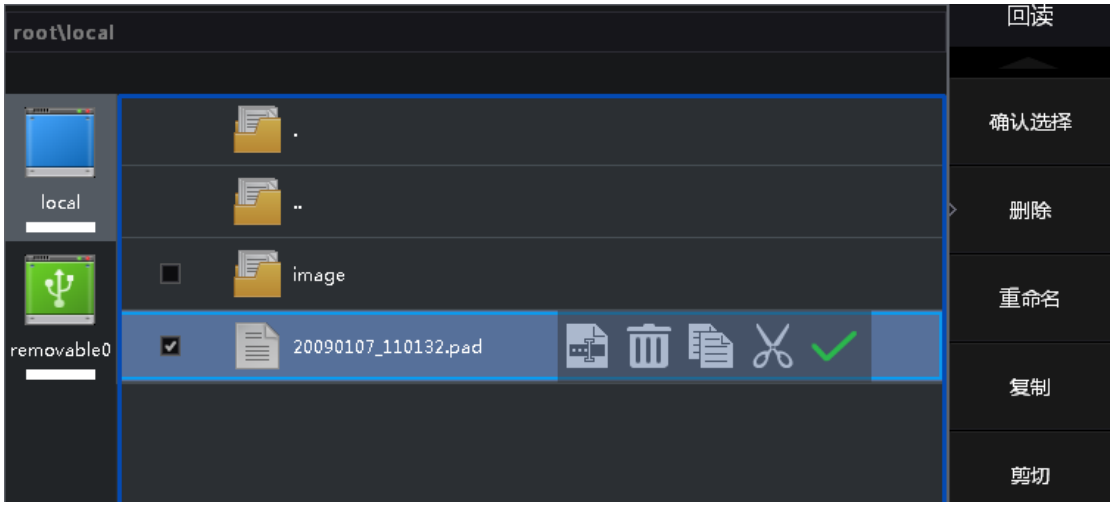


图 19.44　选择须回读的储存文件



图 19.45　回读文件信息

（3）选择帧

用户载入储存文件后，可选择显示该文件中的指定帧，帧的编号可由用户选择，如图 19.46 所示。完成帧选择后，当前显示界面里被存储的测量项目的对应数值会被更新为该帧内的储存值。

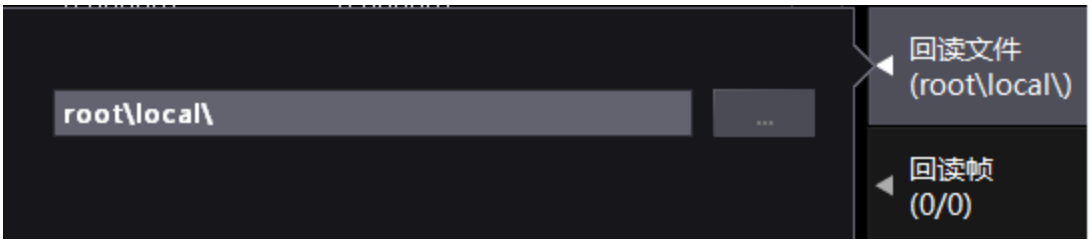


图 19.46　帧选择

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

20. 异常处理/维护

20.1 异常处理

发生异常时，当屏幕上显示提示信息，请对照从下页开始的内容；需要服务或按照以下处理方法仪器仍然无法恢复正常时，请联系致远公司进行处理，可拨打致远全国销售与服务免费服务热线：400-888-4005 进行维修或提供技术支持。

表 20.1 异常处理方法

症状	处理方法
打开电源后屏幕无任何显示	请确保电源线与主机电源接口、电源插座连接正常
	请将电源电压设置在允许范围内
	请确认显示设置
	请确认保险丝是否熔断
显示的数据不正确	请确认仪器环境温度和湿度是否符合规格
	请确认是否有噪声影响
	请确认测试线的接线
	请确认接线方式
	请确认线路滤波器是否设在 OFF
	请确认测量区间的设置
	请重启电源
操作键失灵	请确认锁键是否关闭
	执行操作键测试，如果测试失败，需要维修服务
触发失灵	请确认触发条件
	请确认触发源是否有输入
无法识别存储介质	请确认存储介质的格式。如有需要，对存储介质进行格式化
	存储介质可能受损
无法将数据保存至已选介质	如有需要，对存储介质进行格式化
	请确认存储介质的剩余容量。根据需要删除不需要的文件或换一个新介质
无法通过通信接口设置或控制操作	请确认 GPIB 地址或串行口信息设置是否符合规格
	请确认接口是否满足电气机械的规格

20.2 推荐部件更换周期

以下易磨损配件建议定期更换，关于更换部件，请联系广州致远。

表 20.2 推荐更换配件周期表

部件名称	建议更换周期
风扇	3 年
备用电池	3 年

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

21. 规格

21.1 输入参数

21.1.1 输入端子类型

表 21.1 输入端子类型

参数描述		
电压	插入式安全端子（香蕉插座）	
电流	直接输入	插入式安全端子（香蕉插座）
	传感器输入	安全 BNC 端子

21.1.2 输入类型

表 21.2 输入类型

参数描述	
电压	浮地输入、电阻分压输入
电流	浮地输入、分流器输入

21.1.3 输入单元数量

表 21.3 输入单元数量

参数描述	
输入单元数量	最多支持 4 个功率输入单元，1 个电机输入单元

21.1.4 电压测量量程

表 21.4 电压测量量程

输入参数	参数描述	
电压测量量程（额定）	300mV、1V、3V、10V、30V、100V、300V、600V、1000V、1500V（峰值因数 1.33）	峰值因数为 3
连续最大允许输入值	峰值 2600V 或 RMS 值 1500V，取两者较小值	
瞬时最大允许输入值 (1s 或以下)	峰值 3000V 或 RMS 值 1600V，取两者较小值	
电压输入阻抗	输入电阻：5MΩ，输入电容：5pF	

21.1.5 电流测量量程

1. 电流传感器输入量程

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 21.5　传感器输入量程

传感器输入		
传感器输入量程（额定）	30mV、100mV、300mV、1V、3V、10V	峰值因数为 3
连续最大允许输入值	峰值不得超过量程的 5 倍	
瞬时最大允许输入值 (1s 或以下)	峰值不得超过量程的 10 倍	
电流输入阻抗	输入电阻：1MΩ，输入电容：40pF	

2.　5A 输入单元

表 21.6　5A 输入单元电流测量量程

直接输入		
输入参数	参数描述	
电流测量量程（额定）	10mA、30mA、100mA、300mA、1A、3A、5A	峰值因数为 3
连续最大允许输入值	峰值 15A 或 RMS 值 6.5A，取两者较小值	
瞬时最大允许输入值 (1s或以下)	峰值 22.5A 或 RMS 值 10A，取两者较小值	
电流输入阻抗	输入电阻：100mΩ，输入电感：0.07μH	

21.1.6　输入带宽

表 21.7　输入带宽

输入带宽	PA6000mini：DC，0.1Hz~1MHz；PA2000mini：DC，0.1Hz~500kHz

21.1.7　共模电压

表 21.8　共模电压

最大连续共模电压	1000Vrms
共模抑制比	120dB/100KHz

21.1.8　滤波器

表 21.9　滤波器

线路滤波器	OFF、1KHz、10KHz、100KHz，数字滤波器 100Hz~50kHz 步进 100Hz
频率滤波器	OFF、500Hz

21.1.9　量程切换

表 21.10　量程切换

固定量程	可单独设置每个输入单元的量程	
自动量程	量程升档	U 和 I 的测量值超过额定量程的 140%
		峰值超过额定量程的 330%
	量程降档	U 和 I 的测量值低于额定量程的 30%
		峰值低于下档量程的 300%

21.1.10　A/D 转换器

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 21.11　A/D 转换器

A/D 转换器	16 位
采样率	约为 500KSPS

21.2 显示器

图 21.1　显示参数

显示参数	参数描述
显示器	9”彩色液晶显示器
分辨率	800×480 像素
触摸屏	支持触摸屏操作
显示更新率	与数据更新率相同

21.3 PA2000mini 精度

21.3.1　基本精度

测量条件 (6 个月精度) ：

温度: 23±0.5° C。湿度: 30~75%RH。输入波形：正弦波。共模电压: 0V。线路滤波器: OFF。数字滤波器：OFF。λ(功率因数)： 1。峰值因数: 3。预热 30 分钟后。开启自动调零。f 是频率。数据更新率：500ms。**其中读数误差公式中 f 的单位是 kHz。**

表 21.12　PA2000mini 测量精度

指标 ± (%读数 + %量程)

输入信号频率范围	电流/电压/传感器	功率
DC	电流直接输入：0.05 + 0.10+20μA 电压输入：0.05 + 0.10 传感器输入：0.05 + 0.10	电流直接输入：0.05 + 0.10+20μA×电压读数 传感器输入：0.05 + 0.10
0.1Hz≤f＜30Hz	0.10 + 0.20	0.20 + 0.40
30Hz≤f＜45Hz	0.10 + 0.10	0.10 + 0.20
45Hz≤f＜66Hz	0.05 + 0.05	0.05+ 0.05
66Hz≤f＜1kHz	0.10 + 0.10	0.20 + 0.10
1kHz≤f＜10kHz	0.20 + 0.10	0.30 + 0.20
10kHz≤f＜50kHz	0.30 + 0.10	0.30 + 0.20
50kHz≤f＜100kHz	2.00 + 0.50	2.00 + 1.00
100kHz≤f＜500kHz	5.00 + 1.00	8.00 + 2.00

注:

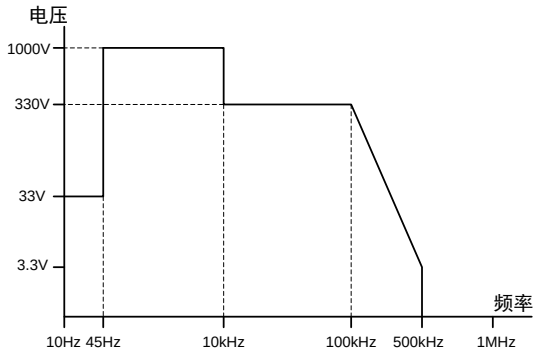
- 电压和电流信号测量的精度指标与输入的信号频率和幅值有关：
- 功率的精度指标与输入的电流、电压信号频率和幅值有关，当对应的电压或电流精度为参考值时，功率也为参考值。
  - 0.1~10Hz 范围内的所有精度都是参考值
  - 100kHz~500kHz 范围内，功率精度为参考值
  - 电压精度：

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

◆ 10Hz~45Hz 范围内，电压超过 33V，电压精度是参考值

◆ 100kHz~500kHz 范围内，电压若超过 3.3V，电压精度是参考值

◆ 10kHz~500kHz 范围内，电压若超过 330V，电压精度是参考值



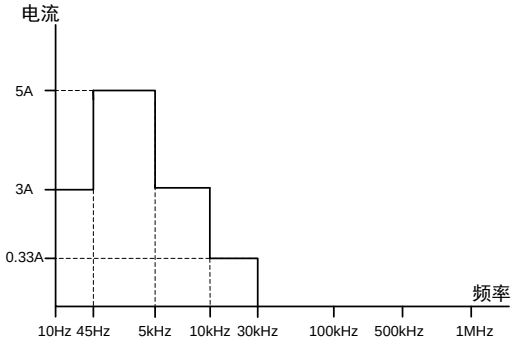
- 电流精度：

◆ 10Hz~45Hz 范围内，电流超过 3A，电流精度是参考值

◆30kHz~500kHz 范围内，电流精度是参考值

◆10kHz~500kHz 范围内，电流若超过 0.33A，电流精度是参考值

◆5kHz~500kHz 范围内，电流若超过 3A，电流精度是参考值



■ 波形显示数据、Upk 和 Ipk 的精度在上述精度加量程的 3%(参考值)。但是，外部传感器输入精度加量程的 3%+5mV(参考值)。有效输入范围在±量程的 300%以内。

■ 温度变化，电压 DC 精度加量程的 50ppm/℃。

■ 温度变化，电流直接输入的 DC 精度加 20μA/℃。

- 外部电流传感器输入温度变化，外部电流传感器输入的 DC 精度加 0.02mV/℃。
- 输入电压 DC 超过±500V 时，每 1V 增加 0.05mV 误差。
- 输入电压 AC 超过±300Vrms 时，每 1V 增加 0.3mVrms 误差。
- 因输入交流信号电流引起仪器自热时，电流精度加读数的 $0.0015\times I^2\%$。
- 因输入交流信号电流引起仪器自热时，功率精度加读数的 $0.003\times I^2\%$。
- 因输入直流信号电流引起仪器自热时，电流精度加读数的 $0.0015\times I^2\%+5\times I^2\mu A$。
- 因输入直流信号电流引起仪器自热时，功率精度加读数的 $0.003\times I^2\%+5\times I^2\mu A$。

I 是电流(A)的读数。即使输入电流变小，自热影响也会一直作用到内部分流电阻温度下降。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

- 当数据更新率是 10ms 时，所有精度加读数的 0.5%。
- 当数据更新率是 50ms 时，所有精度加读数的 0.1%。
- 当数据更新率是 100ms 时，所有精度加读数的 0.05%。

同步源电平应满足频率测量的输入信号电平。

21.3.2 输入范围

输入信号幅值大小应该在允许的量程范围以内

- Udc 和 Idc 是量程的 0~±130%。
- Urms 和 Irms 是量程的 1~130%。
- Umn 和 Imn 是量程的 10~±130%。
- Urmn 和 Irmn 是量程的 10~±130%。
- 电压和电流直流输入的最大量程是 110%。量程的 110%~130%的精度是读数误差×1.5。

21.3.3 输入显示值

- 最大显示值 电压或电流额定量程的 140%
- 最小显示值 Urms 和 Irms 低至量程的 0.5%。
- Umn、Urmn、Imn、Irmn 低至量程的 1%。

21.3.4 线路滤波器的影响

- 线路滤波器的影响 当截止频率是 1kHz 时：

45Hz ≤ f ≤ 66Hz: 加读数的 0.2%。f < 45Hz: 加读数的 0.5%。

- 当截止频率是 10kHz 时：

f ≤ 66Hz: 加读数的 0.2%。66Hz < f ≤ 500Hz: 加读数的 0.5%。

- 当截止频率是 100kHz 时

f ≤ 500Hz: 加读数的 0.2%。500Hz < f ≤ 5kHz: 加读数的 0.5%。

21.3.5 温度系数

温度系数，加读数的±0.01%/℃。

21.3.6 12 个月精度

12 个月精度：6 个月精度加(6 个月精度的读数误差×0.5)。

21.4 测量模式

表 21.13 测量模式

常规测量模式 (Normal Mode)	用于测量电压、电流、功率、波形运算和积分值。可以使用波形显示×8、棒图显示×8 和矢量显示×2
谐波测量模式 (Harmonic Mode)	可以对 1kHz 的基波频率信号进行多达 80 次的谐波测量。对基波频率高于商用电源频率的信号进行谐波测量时，请使用该功能。谐波显示×3
IEC 谐波测量模式	此模式可以符合 IEC61000-3-2 和 IEC61000-4-7 国际标准执行谐波测量
电压波动和闪烁测量模式	此模式可以符合 IEC61000-3-3 和 IEC61000-4-15 国际标准执行电压波动

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

(Flicker Mode)	和闪烁测量
FFT 模式	此模式可以通过 FFT(快速傅立叶变换)显示输入信号的功率谱。请使用该模式检查输入信号的频率分布
周期模式	此模式可以测量交流输入信号各周期的电压、电流、功率及其它参数

21.5 测量项目

表 21.14 测量项目

项目	符号和含义	
电压(V)	Urms: 真有效值、Umn: 校准到有效值的整流平均值 Udc: 简单平均值、Urmn: 整流平均值	支持同时测量，峰值因数最大 300
电流(A)	Irms: 真有效值、Imn: 校准到有效值的整流平均值 Idc: 简单平均值、Irmn: 整流平均值	支持同时测量，峰值因数最大 300
有功功率(W)	P	
视在功率(VA)	S	
无功功率(var)	Q	
功率因数	λ	
相位差(°)	φ	
频率(Hz)	fU(FreqU): 电压频率、fI(FreqI): 电流频率	
电压的最大值和最小值(V)	U+pk: 电压最大值、U-pk: 电压最小值	
电流的最大值和最小值(A)	I+pk: 电流最大值、I-pk: 电流最小值	
峰值因数	CfU 电压峰值因数、CfI 电流峰值因数	
修正功率(W)	Pc (适用标准 IEC76-1(1976)、IEEE C57.12.90-1993、IEC76-1(1993))	
效率	效率 η 测量	
积分	Time：积分时间、 WP：正负瓦时之和 WP+：正瓦时之和(消耗的功率量)、WP-：负瓦时之和(返回到电网的功率量) q：正负安时之和、q+：正安时之和、q-：负安时之和、WS：伏安时、WQ：乏时、通过设定电流模式选择 Irms、Imn、Idc 或 Irmn 进行安时积分	
自定义功能	用户自定义测量功能：F1~F20	

21.6 测量功能/测量条件

表 21.15 测量功能/测量条件

项目	规格
测量方法	数字乘法
峰值因数	系统默认为 3
测量区间	区间由测量功能和运算决定 • 测量区间由参考信号(同步源)的过零点决定 (瓦时积分值 WP、DC 模式期间的电流积分值 q 除外) • 谐波测量时，测量区间是从数据更新周期的起点，以谐波采样频率采集 9600 点的时间段
接线方式	可从以下 5 种接线方式中选择： 1P2W(单相 2 线)、1P3W(单相 3 线)、3P3W(三相 3 线)、3P4W(三相 4 线)、3P3W(3V3A) (三相 3 线，3 电压 3 电流测量) 可选的接线方式取决于输入单元的安装数量

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

项目	规格
补偿功能	效率补偿：补偿效率运算中的仪器损耗、接线补偿：补偿因接线造成的仪器损耗、两瓦特表法补偿
比例系数	当仪器引入外部传感器、PT 或 CT 时，在 0.0001~99999.9999 的范围内设定电流传感器的换算比、PT 比、CT 比及功率系数
输入滤波器	指定线路滤波器或频率滤波器
平均功能	• **常规测量的测量功能** 选择指数平均或移动平均 • **指数平均**：从 2、4、8、16、32、64 中选择衰减常数 • **移动平均**：从 8、16、32、64、128、256 中选择平均个数 • **谐波测量的测量功能** • **指数平均** 从 2、4、8、16、32、64 中选择衰减常数
数据更新率	从 50ms、100ms、200ms、250ms、500ms、1s、2s、5s、10s、20s 中选择
显示更新率	与数据更新率相同
响应时间	与数据更新率相同
保持	保持数据显示
单次测量	在显示保持状态下执行 1 次测量

21.7 电机功能

21.7.1 模拟量输入参数

表 21.16 模拟量输入参数

输入方式	差分、隔离、TORQUE 与 SPEED 的 A、B、Z 间的电气隔离
输入阻抗	1M Ω ±100k Ω
量程	1V、2V、5V、10V、20V
截止频率（可配置）	100Hz、10kHz、50kHz、OFF
有效测量范围	0%~±110%
最大允许电压	±22V
位数	16bit
采样速率	500kHz
同步源	U1~U4/I1~I4/EXT
精度	±（0.05% 读数 + 0.05% 量程）
温漂	±0.03 量程/℃

21.7.2 脉冲频率输入参数

表 21.17 脉冲输入参数

输入方式	差分、隔离、TORQUE 与 SPEED 的 A、B、Z 间的电气隔离
输入阻抗	1M Ω ±100k Ω
频率范围	1Hz~1MHz

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

输入振幅范围	±22Vpeak
有效振幅	1V
最小高脉宽	2.5μS 以上
精度	±（0.05% 读数+ 1mHz）

备注：如果不检测方向，转速输入到 A 端子；如果检测方向，旋转编码器的 A 和 B 相输入到 A 和 B 端子，Z 相输入到旋转编码器的 Z 端子，以进行电相角测量。

21.8 谐波测量（PLL 同步源法）

表 21.18 PLL 同步源法

PLL 源的基波频率	采样率（S/s）	相对 FFT 数据长度的窗口宽度（基波频率）	最大谐波分析次数	采样点数
10~20Hz	f×3200	3	128	9600
20~40Hz	f×1600	6	128	9600
40~55Hz	f×960	10	128	9600
55~75 Hz	f×800	12	128	9600
75~150Hz	f×480	20	128	9600
150Hz~440Hz	f×320	30	128	9600
440Hz ~1.1KHz	f×160	60	80	9600
1.1KHz~2.6KHz	f×80	120	40	9600

21.9 常规谐波/谐波/IEC 谐波

表 21.19 常规谐波/谐波/IEC 谐波

	常规模式谐波	谐波模式谐波	IEC 模式谐波
输入信号	30Hz-10kHz	10Hz-2.6kHz	50Hz 或 60Hz
采样方式	200kHz 非同步采样	锁相环倍频同步采样	锁相环倍频同步采样
输出需求	1.采样区间≥250ms，周期数>10 2.SYNC 源设置正确	1.输入信号为 10Hz-2.6kHz 2.SYNC 源设置正确 3. PLL 源设置正确	1.输入信号为 50Hz 或 60Hz 的电网信号 2.SYNC 源设置正确 3. PLL 源设置正确
FFT 点数	4000	9600	9600

21.10 FFT 运算功能

表 21.20 FFT 运算功能

参数	描述
运算对象	各输入单元的电压、电流、有功功率和无功功率；接线组 Σ 的有功功率和无功功率；电机输入的扭矩和转速信号
分析数	4 (FFT1、 FFT2、 FFT3、 FFT4)
点数	20000 点、200000 点
运算测量周期	100ms 或 1s
最大分析频率	100kHz

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

参数	描述	
频率分辨率	1Hz 、10Hz	
窗口功能	矩形窗、汉宁窗、海明窗、布莱克曼窗、平顶窗	
采样率/记录长度	20k 点	200k 点
200kS/s	0.1s	1s
采样时钟	200kHz	
显示更新	FFT 测量周期(最长 1s)	

注：当 FFT 点数为 200k 时，测量周期为 1s；当为 20k 时，测量周期为 100ms。

21.11 周期分析功能

表 21.21 周期分析功能

参数	描述
测量对象	同步源频率、电压、电流、有功功率、视在功率、无功功率、功率因数、转速、扭矩、机械功率
同步源	选择 U、I、Trig In、None
测量点数	10~4000（与输入模块数目有关）
超时时间	0、1~3600s (以秒为单位)
同步源频率范围	0.1Hz ~1kHz

21.12 积分功能

表 21.22 积分功能

模式	可选择手动、标准、连续、实时标准、实时循环模式
WP±模式	充电/放电、买电/卖电
计时器	设置定时器，能够自动停止积分 0000h00m00s ~ 10000h00m00s
计数停止	积分时间达到最大积分时间(10000小时)，或积分值达到最大/最小显示积分值(±999999M)，保持积分时间和积分值并且停止积分
精度	±(功率或电流精度+时间精度)
时间精度	±读数的0.02%

21.13 波形采样数据保存功能

表 21.23 波形采样数据保存功能

存储项	电压波形、电流波形、运算波形、FFT 运算数据、转速、扭矩的模拟量、谐波数据、自定义函数
储存模式	常规、实时、积分同步、条件触发
数据类型	数值、波形、数值+波形
文件类型	CSV 格式、PAD 格式
存储	U 盘

21.14 存储

表 21.24 存储

内部固态硬盘容量	4G 存储空间，支持长时间存储：大于 660 小时(常规)
USB 存储接口	支持 USB 存储接口

21.15 常规特性

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 21.25　常规特性

功能系统	参数描述
电源	100~240V/50Hz~60Hz
额定功率	200VA
保险丝	T3AL250V，慢速型，VDE/UL/CCC 认证
预热时间	≥30 分钟
工作环境	温度：5℃至 40℃， 湿度：20%~80% R.H.，无结水 海拔高度：2000m 或以下
存储温度	-20℃至 50℃
运输温度	-20℃至 50℃
VGA 接口	支持 VGA 接口
备用电池	CR2032 锂电池，维持实时时钟运行
重量	主机（约 4.5kg）、功率卡（约 390g）、电机卡（约 300g）
通讯接口	GPIB、1000Mbit LAN、RS-232、USB2.0 High Speed Device 复合设备、USB2.0 High Speed　Host 支持 U 盘
安全	IEC/EN 61010-1：2010、IEC/EN 61010-2-030:2010、测量 CAT Ⅱ 1000V，污染等级 2
EMC	IEC/EN61326:2013

21.16　配件（选配）

表 21.26 交直流电流传感器/互感器/电流钳

产品类型	型号	图片	电流	精度	带宽	变比	接口类型
LEM 高精度交直流电流传感器	IT 60-S		直流：0-60A 交流：60A peak	±(0.05% of rdg + 30μA)	DC-800KHz	1:600	DB9
LEM 高精度交直流电流传感器	IT 200-S		直流：0-200A 交流：200A peak	±(0.05% of rdg + 30μA)	DC-500KHz	1:1000	DB9
LEM 高精度交直流电流传感器	IT 400-S		直流：0-400A 交流：282A peak	±(0.05% of rdg + 30μA)	DC-500KHz	1:2000	DB9
LEM 高精度交直流电流传感器	IT 700-S		直流：0-700A 交流：495A peak	±(0.05% of rdg + 30μA)	DC-100KHz	1:1750	DB9
LEM 高精度交直流电流传感器	IT 1000-S/SP1		直流:0-1000A 交流：707A peak	±(0.05% of rdg + 30μA)	DC-500KHz	1:1000	DB9

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

产品类型	型号	图片	电流	精度	带宽	变比	接口类型
LEM 低精度交直流电流传感器	LF 205-S/SP3		100Arms(DC/AC)	±0.5%	DC-100KHz	1:1000	3PIN
LEM 低精度交直流电流传感器	LF 205-S		200Arms(DC/AC)	±0.5%	DC-100KHz	1:2000	3PIN
LEM 低精度交直流电流传感器	LF 505-S		500Arms(DC/AC)	±0.6%	DC-100KHz	1:5000	3PIN
LEM 低精度交直流电流传感器	LF 1005-S		1000Arms(DC/AC)	±0.4%	DC-150KHz	1:5000	3PIN
交直流电流钳	CA (PAC22)		1400Apk	±1.5%、±2%	DC-10kHz	10mV/A 1mV/A	BNC 接口
交流电流钳	CA(C116)		1000Arms	±0.3%	30Hz≤f ≤10kHz	1mV/A	Φ4mm 香蕉插头
交流电流钳	CA(C112)		1000Arms	±0.3%	30Hz≤f ≤10kHz	1000:1	Φ4mm 香蕉插头
交流电流钳	ZY (CTS500)		500Arms	±0.3%	45Hz-5kHz	1mV/A	BNC 接口
交流电流钳	ZY(CTS5)		5Arms	±0.3%	45Hz-5kHz	10mV/A	BNC 接口
交流电流钳	ZY (CTS6000)		6000Arms	±1.0%	10Hz≤f≤20kHz	50mV/A 5mV/A 0.5mV/A	BNC 接口

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

产品类型	型号	图片	电流	精度	带宽	变比	接口类型
电流互感器	YX-CTS200		200Arms	±0.3%	45Hz-5kHz	10mV/A 1mV/A	BNC 接口
交直流电流钳	知用 ZCP500		500Arms	±0.3%	DC-100kHz	4mV/A	BNC 接口
交直流电流钳	知用 ZCP1000		1000Arms	±0.3%	DC-20kHz	2mV/A	BNC 接口
电源箱	CTB104		知用传感器专用电源箱，4 通道、输入电压范围 90~264VAC				

表 21.27 测试连接头和连接线

型号	图片	规格
TA1002R		MC，大号鳄鱼夹，Φ4mm 安全型插座。额定电压 1000V，最大电流 32A，红色
TA1003R		MC，Φ4mm 安全插头，可堆叠，可通过螺丝连接测试导线。额定电压 1000V，红色
TA1004		MC，安全 BNC 公头香蕉插座转换头，具有Φ4mm 安全型插座。额定电压 1000V
TP-DB9		DB9 公头转 DB9 母头连接线，与 TP3000 系列电源套件配套使用，可以适配 LEM IT 系列传感器，3m
TA1002		MC，大号鳄鱼夹，Φ4mm 安全型插座。额定电压 1000V，最大电流 32A，黑色
TA1003		MC，Φ4mm 安全插头，可堆叠，可通过螺丝连接测试导线。额定电压 1000V，黑色
TA1005		MC，安全 BNC 母头香蕉插座转换头，具有Φ4mm 安全型插座。额定电压 1000V
TP-3PIN		DB9 公头转 3PIN 连接线，与 TP3000 系列电源套件配套使用，可以适配 LEM LF 系列传感器，3m
TL1000R		ZLG 安全测试导线。Φ4mm，安全香蕉插头。安全等级：600 V，CATIII ~1000 V，CAT II / 10A ，测试线长 1.5m，红色

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

型号	图片	规格
TL1000B		ZLG 安全测试导线。Φ4mm，安全香蕉插头。安全等级：600 V, CATIII ~1000 V, CAT II / 10 A ，测试线长 1.5m，黑色
TL1005R		MC PA2000mini 系列电流测试线。XKF-414, 硅胶, 红色, 长度 1.5m，公对母插头,1000V CAT III（PA2000mini 专用）
TL1005B		MC PA2000mini 系列电流测试线。XKF-414, 硅胶, 黑色, 长度 1.5m，公对母插头,1000V CAT III（PA2000mini 专用）
TL1001		MC 电机测试线。安全等级：600 V,CAT II（300 V, CAT III），测试线长 0.65m
TL1004		长丰安全测试导线。TL1004 Φ4mm,安全香蕉插头，红黑黄绿四条,L=1500mm

表 21.28 测量接线盒

型号	图片	规格
ZWA330		ZWA330 接线适配器适用于无中性线的三相设备电压测量，内部为 3V3A 接法，满足 CAT Ⅱ 标准
ZWA340		ZWA340 接线适配器适用于有中性线的三相设备电压测量，内部为 3P4W 接法，满足 CAT Ⅱ 标准

表 21.29 PA2000mini 电源适配器

型号	图片	规格
ZWA330		为 PA2000mini-Battery 电池充电，为 LEM 等传感器提供±15V/2A 的电源，不带电池
ZWA340		为 PA2000mini-Battery 电池充电，为 LEM 等传感器提供±15V/2A 的电源，带电池

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 21.30 电源套件

型号	图片	规格
PA2000mini 系列锂电池		用于 PA2000mini 系列功率分析仪供电使用，可连续工作 3 到 4 小时，158Wh

表 21.31 电源套件

型号	图片	规格
TP3001		LEM 传感器配套电源套件，搭配 TP-DB9 连接线时可以适用于 IT 系列传感器，搭配 TP-3PIN 连接线时可以适用于 LF 系列传感器

备注：另可选配三相 TP3003。

表 21.32 功率分析仪电流传感器套件

型号	图片	规格
PATV-33		PATV-33 高精度外置分流器，主要作用是将电流信号转换为电压信号，阻值在 3.3Ω左右（每个实物对应实测值），最大允许输入电流 300mA

表 21.33 PA2000mini 拉杆箱

型号	图片	规格
PA2000mini 拉杆箱		用于所有 Mini 型功率分析仪拉杆箱，蓝色 505×350×320mm

表 21.34 PA2000mini 系列功率分析仪机架支架

型号	图片	规格
PA2000mini 系列 19 寸机架支架 （左、右）		19 寸机架支架（左、右）。用于所有 Mini 型功率分析仪与机架之间固定使用

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

表 21.35 输入单元

型号	图片	规格
功率板卡		可以根据需求增加或者减少功率输入单元数量
电机板卡		可选配 1 张电机卡

21.17 外观尺寸

PA2000mini 高精度功率分析仪的外形尺寸如图 21.2、图 21.3、图 21.4 所示。

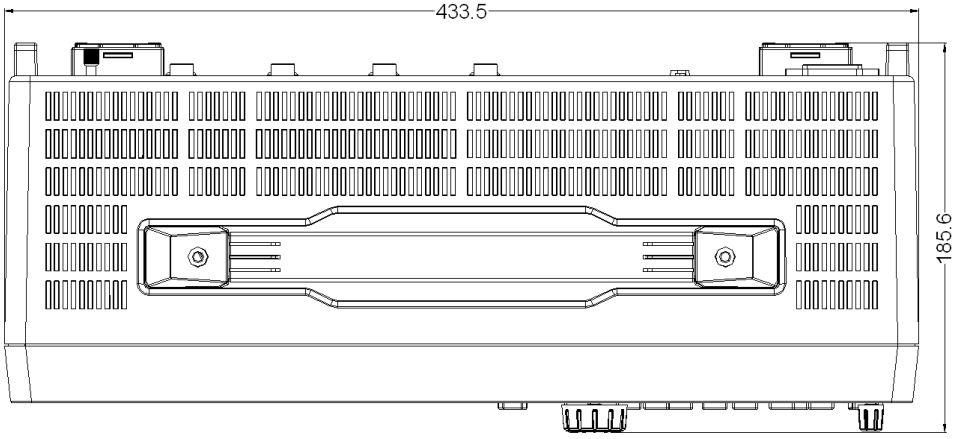


图 21.2 尺寸图 1

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

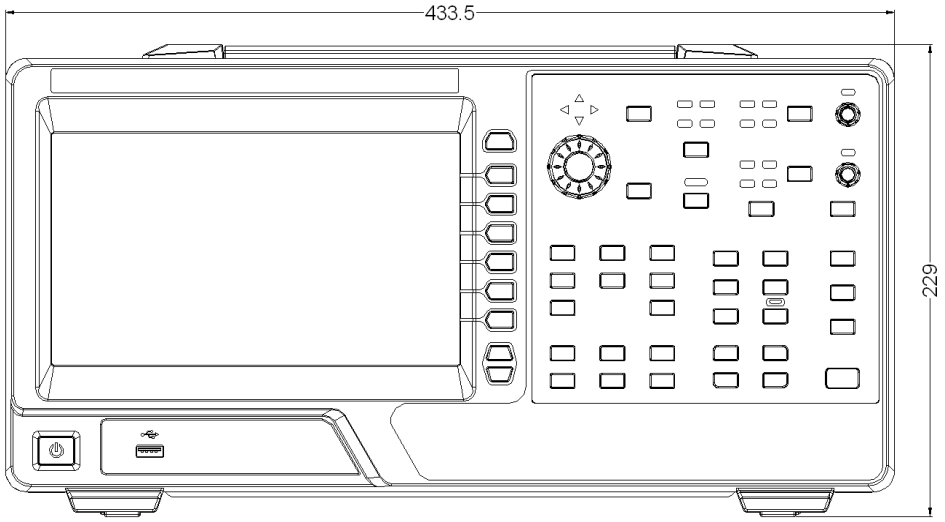


图 21.3　尺寸图 2

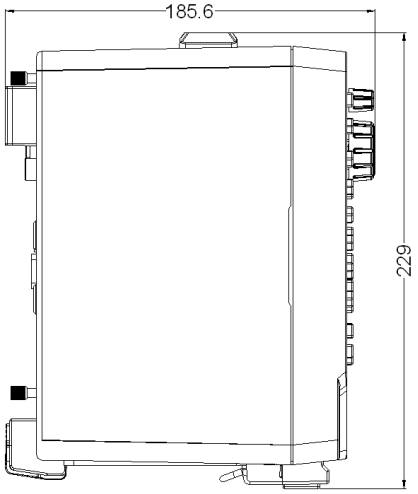


图 21.4　尺寸图 3

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

22. 免责声明

本着为用户提供更好服务的原则，广州致远电子有限公司（下称“致远电子”）在本手册中将尽可能地为用户呈现详实、准确的产品信息。但介于本手册的内容具有一定的时效性，致远电子不能完全保证该文档在任何时段的时效性与适用性。致远电子有权在没有通知的情况下对本手册上的内容进行更新，恕不另行通知。为了得到最新版本的信息，请尊敬的用户定时访问致远电子官方网站或者与致远电子工作人员联系。感谢您的包容与支持！

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

附录A 测量功能符号及含义

测量项目符号	含义
U	电压
I	电流
P	有功功率
S	视在功率
Q	无功功率
Pc	修正功率
Pdc	平均功率
Pm	机械功率
λ	功率因数
η	效率
q	q 是正负安时之和
q+	q+是正安时
q-	q-是负安时
WS	伏安时
WQ	乏时
WP	WP 是正负瓦时之和
WP+	WP+是正瓦时，是消耗的瓦时
WP-	WP-是负瓦时，是反馈到电源的瓦时
SyncSp	SyncSp 是同步转速，电机输入单元的一项测量内容
Theta	电相角，电机输入单元的一项测量内容
U+pk	电压最大值
U-pk	电压最小值
I+pk	电流最大值
I-pk	电流最小值
CfU	电压峰值因数
CfI	电流峰值因数
ϕ	相位差
ΦU	相对 U 的相位差
ΦI	相对 I 的相位差
Rs	负载电路的串联电阻
Rp	负载电路的并联电阻
Z	负载电路的阻抗
Xs	负载电路的串联电抗
Xp	负载电路的并联电抗
Uhdf	电压谐波畸变因数
Ihdf	电流谐波畸变因数
Phdf	有功功率谐波畸变因数

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

测量项目符号	含义
Uthd	电压总谐波畸变因数
Ithd	电流总谐波畸变因数
Uthf	电压电话谐波因数
Ithf	电流电话谐波因数
Pthd	有功功率总谐波畸变因数
Utif	电压电话影响因数
Itif	电流电话影响因数
hvf	谐波电压因数
hcf	谐波电流因数
Upercn（n=1~4）	Upercn 是测量输入单元 n 电压的谐波子组和间谐波子组电压模值占基波电压模值的百分比
Ipercn（n=1~4）	Iperc1~Iperc4 是测量输入单元 1~4 电流的谐波子组和间谐波子组模值占基波电流模值的百分比
Torque	扭矩信号
speed	转速信号
thdV	电压总谐波畸变
thd_ind	感性负载应用
thdCmp	无功补偿设备
tdd	总需量畸变
din	畸变因数
thdc	电流总谐波畸变
pwhd	部分加权谐波畸变
thc	总谐波电流
pohc	高于 21 次的奇次谐波电流
ihc	间谐波含量
tdcv	电压总畸变
tidv	电压总间谐波畸变率
tshdv	电压总次谐波畸变率
tdcc	电流总畸变
tdrc	电流总畸变率
tidc	电流总间谐波畸变率
tshdc	电流总次谐波畸变率
Pin	电机输入功率

ZLG
©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

附录B 测量功能求法

<table>
<tr><th colspan="2">项目</th><th colspan="4">符号和含义</th></tr>
<tr><td colspan="2">常规测量时的测量功能</td><td colspan="4">运算公式和求法
关于公式符号的相关信息，请查阅本表格后的注释</td></tr>
<tr><td rowspan="2">电压
U [V]</td><td rowspan="2">真有效值 Urms
校准到有效值的整流平均值 Umn
简单平均值 Udc
整流平均值 Urmn
交流成分 Uac</td><td>Urms</td><td>Umn</td><td>Udc</td><td>Urmn</td></tr>
<tr><td>$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}u_n^2}$</td><td>$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\times\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\lvert u_n\rvert$</td><td>$\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}u_n$</td><td>$\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\lvert u_n\rvert$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">电流
I [A]</td><td rowspan="2">真有效值 Irms
校准到有效值的整流平均值 Imn
简单平均值 Idc
整流平均值 Irmn
交流成分 Iac</td><td>Irms</td><td>Imn</td><td>Idc</td><td>Irmn</td></tr>
<tr><td>$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}i_n^2}$</td><td>$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\lvert i_n\rvert$</td><td>$\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}i_n$</td><td>$\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}\lvert i_n\rvert$</td></tr>
<tr><td colspan="2">有功功率 P [W]</td><td colspan="4">$\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(u_n\cdot i_n)$ n 为采样点数，由测量区间决定</td></tr>
<tr><td rowspan="2">视在功率 S [VA]</td><td>Type1、Type2</td><td colspan="4">U × I(代数相乘)</td></tr>
<tr><td>Type3</td><td colspan="4">$\sqrt{P^2+Q^2}$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">无功功率 Q [var]</td><td>Type1、Type2</td><td colspan="4">$s\times\sqrt{S^2-P^2}$。s 在超前相时为-1、滞后相时为 1</td></tr>
<tr><td>Type3</td><td colspan="4">$Q=\sum_{k=\min}^{\max}\left[U_j(k)I_r(k)-U_r(k)I_j(k)\right]$
$U_r(k)$和 $I_r(k)$是 U(k)和 I(k)的实数部分
Uj(k)和 Ij(k)是 U(k)和 I(k)的虚数部分、只在谐波被正确测量时有效</td></tr>
<tr><td colspan="2">功率因数 λ</td><td colspan="4">P/S</td></tr>
<tr><td colspan="2">相位差 φ [°]</td><td colspan="4">$\varphi=atan2(Q,P)$
其中 $atan2(y,x)$ 表示向量$\left(\sqrt{x^2+y^2},0\right)$逆时针旋转到$(x,y)$所需的角度。</td></tr>
<tr><td colspan="2">电压频率 fU (FreqU) [Hz]
电流频率 fI (FreqI) [Hz]</td><td colspan="4">用过零检测测量电压频率(fU)和电流频率(fI)
可以同时测量安装单元的任意 2 个频率，fU 和 fI</td></tr>
<tr><td colspan="2">电压最大值 U+pk [V]</td><td colspan="4">每次数据更新周期中的最大值 u(n)</td></tr>
<tr><td colspan="2">电压最小值 U-pk [V]</td><td colspan="4">每次数据更新周期中的最小值 u(n)</td></tr>
</table>

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

<table>
<tr><th colspan="3">项目</th><th colspan="2">符号和含义</th></tr>
<tr><th colspan="3">常规测量时的测量功能</th><th colspan="2">运算公式和求法
关于公式符号的相关信息，请查阅本表格后的注释</th></tr>
<tr><td colspan="3">电流最大值 I+pk [A]</td><td colspan="2">每次数据更新周期中的最大值 i(n)</td></tr>
<tr><td colspan="3">电流最小值 I-pk [A]</td><td colspan="2">每次数据更新周期中的最小值 i(n)</td></tr>
<tr><td colspan="3">电压峰值因数 CfU
电流峰值因数 CfI</td><td>$CfU=\frac{U_{pk}}{U_{rms}}$
Upk =|U+pk|或|U-pk|，取两者较大值。
电压模式不是 RMS 时，显示[--------]</td><td>$CfI=\frac{I_{pk}}{I_{rms}}$
Ipk = |I+pk|或|I-pk|，取两者较大值。
电流模式不是 RMS 时，显示[--------]</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">修正功率 Pc [W]</td><td>IEC76-1(1976),IEEE C57.12.90-1993</td><td>IEC76-1(1993)</td></tr>
<tr><td>$\frac{P}{P1+P2\left(\frac{U_{rms}}{U_{mn}}\right)^2}$
P1、P2：适用标准规定的系数</td><td>$P\left(1+\frac{U_{mn}-U_{rms}}{U_{mn}}\right)$</td></tr>
<tr><td colspan="2">电压模式不是 RMS 或 MEAN 时，显示[--------]。</td></tr>
<tr><td rowspan="5">积分</td><td colspan="2">积分时间[h:m:s]
Time</td><td colspan="2">从积分开始到积分结束的时间</td></tr>
<tr><td rowspan="2">瓦时
[Wh]</td><td rowspan="2">WP
WP+
WP-</td><td colspan="2">当瓦时积分计算类型为充电/放电时
$WP=[\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(u_n\cdot i_n\cdot T)$
N 是积分时间内的采样次数。Time 单位是小时
WP 是正负瓦时之和
WP+是上述算式在 u(n)×i(n)为正时的累加和
WP-是上述算式在 u(n)×i(n)为负时的累加和</td></tr>
<tr><td colspan="2">当瓦时积分计算类型为卖电/买电时
$WP=\sum_{n=1}^{N}(P_n\cdot T)$
N 是积分时间内的采样次数。T 是更新周期，单位是小时
WP 是正负瓦时之和
WP+是积分时间 Time 内的更新周期中 P 为正时的累加和(消耗的瓦时)
WP-是积分时间 Time 内的更新周期中 P 为负时的累加和(反馈到电源的瓦时)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">安时
[Ah]
q
q+
q-</td><td>RMS
MEAN
RMEAN</td><td colspan="2" rowspan="2">$\sum_{n=1}^{N}(I_n\cdot T)$
N 是积分时间 Time 内的更新次数。T 是更新周期，单位是小时。
I(n)是电流信号的第 n 个更新周期的 RMS、MEAN 或 RMEAN 值。
q 是正负安时之和。q+是正 i(n)之和(安时)。q-是负 i(n)之和(安时)</td></tr>
<tr><td>DC</td></tr>
<tr><td colspan="2">伏安时
WS[VAh]</td><td colspan="2">$\sum_{n=1}^{N}(S_n\cdot T)$</td></tr>
</table>

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

		S_n 是第 n 次视在功率的测量值。N 是数据采样次数
	乏时 WQ[varh]	$\sum_{n=1}^{N}(Q_n \cdot T)$ Q_n 是第 n 次无功功率的测量值。N 是数据采样次数
积分	静态功率点跟踪效率 ηMPPTS	使用自动搜索的 PPUDT、PPITT 来计算最大功率点跟踪效率时： ηMPPT，sta=$\frac{\sum_{i=1}^{N} P[i]}{P_{maxmax}[N]N}$ 使用手动设置的 PPUDT、PPITT 来计算最大功率点跟踪效率时： ηMPPT，sta=$\frac{\sum_{i=1}^{N} P[i]}{P_{PITT}N}$ 每个更新周期长度相等。N 表示当前积分时间内的更新周期个数，i 表示第 i 次更新周期，P[i]表示第 i 次更新周期的平均功率，P_{max}[i]表示第 i 次更新周期内的最大瞬时功率值，P_{maxmax}[N]表示当前积分时间内最大瞬时功率值： $P_{maxmax}[N]=\max(P_{maxmax}[N-1],\ P_{max}[N])$
	动态功率点跟踪效率 ηMPPTD	使用自动搜索的 PPUDT、PPITT 来计算最大功率点跟踪效率时： ηMPPT，dyn=$\frac{\sum_{i=1}^{N} P[i]}{\sum_{i=1}^{N} P_{max[i]}} \frac{\sum_{i=1}^{N} P[i]}{P_{maxmax}[N]N}$ 使用手动设置的 PPUDT、PPITT 来计算最大功率点跟踪效率时： ηMPPT，dyn=$\frac{\sum_{i=1}^{N} P[i]}{P_{PUDT}N}$ 每个更新周期长度相等。N 表示当前积分时间内的更新周期个数，i 表示第 i 次更新周期，P[i]表示第 i 次更新周期的平均功率，P_{max}[i]表示第 i 次更新周期内的最大瞬时功率值
∑功能	WS∑[VAh]	$\sum_{n=1}^{N}(S_{\Sigma n} \cdot T)$ $S_{\Sigma n}$ 是第 n 次视在功率的功能。N 是数据采样次数
	WQ∑[varh]	$\sum_{n=1}^{N}(Q_{\Sigma n} \cdot T)$ $Q_{\Sigma n}$ 是第 n 次无功功率的功能。N 是数据采样次数
	λ∑	$\frac{P\Sigma}{S\Sigma}$
	∅∑[°]	$\cos^{-1}\left(\frac{P\Sigma}{S\Sigma}\right)$

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

续上表

常规测量时的测量功能			运算公式和求法 关于公式符号的相关信息，请查阅本表格后的注释			
∑功能	接线方式		单相 3 线制 1P3W	三线 3 线制 3P3W	3 电压 3 电流表法 3P3W(3V3A)	三线 4 线制 3P4W
	$U_{\Sigma[V]}$		(U1 + U2) ／ 2		(U1 + U2 + U3) ／ 3	
	$I_{\Sigma[V]}$		(I1 + I2) ／ 2		(I1 + I2 + I3) ／ 3	
	$P_{\Sigma[V]}$		P1 + P2			P1 + P2 + P3
	$S_{\Sigma[V]}$	TYPE1 TYPE2	S1 + S2	$\frac{\sqrt{3}}{2}(S1+S2)$	$\frac{\sqrt{3}}{3}(S1+S2+S3)$	S1 + S2 + S3
		TYPE3	$\sqrt{P\Sigma^2+Q\Sigma^2}$			
	$Q_{\Sigma[var]}$	TYPE1	Q1 + Q2			Q1 + Q2 + Q3
		TYPE2	$\lvert Q\Sigma\rvert=\sqrt{S\Sigma^2-P\Sigma^2}$			
		TYPE3	Q1 + Q2			Q1 + Q2 + Q3
	Pc∑[var]		Pc1 + Pc2			Pc1 + Pc2 + Pc3
	WP∑[Wh]	WP∑	WP1+WP2			WP1 + WP2 + WP3
		$WP_{+}\sum$	$WP_{+1}+WP_{+2}$			$WP_{+1}+WP_{+2}+WP_{+3}$
		$WP_{-}\sum$	$WP_{-1}+WP_{-2}$			$WP_{-1}+WP_{-2}+WP_{-3}$
	q∑[Ah]	q∑	q1 + q2			q1 + q2 + q3
		$q_{+}\sum$	$q_{+1}+q_{+2}$			$q_{+1}+q_{+2}+q_{+3}$
		$q_{-}\sum$	$q_{-1}+q_{-2}$			$q_{-1}+q_{-2}+q_{-3}$
电机测量功能	电机输出效率 Eff		Eff = Pm / Pin			
	电机损耗 Loss		Loss = Pin － Pm			
	电机输入功率 Pin		Pin ＝ Uin × Iin			

注：

- u(n)表示电压的瞬时值(电压信号的采样数据);
- i(n)表示电流的瞬时值(电流信号的采样数据);
- AVG[ ]是在测量区间内对[ ]里的采样数据进行平均计算。PA2000mini 高精度功率分析仪有两种平均方法，选择哪种由数据更新周期决定;
- PΣA 和 PΣB 分别表示接线组ΣA 和ΣB 的有功功率。分配到接线组ΣA 和ΣB 的输入单元因 PA2000mini 高精度功率分析仪安装的单元数量和选择的接线方式的类型而异;
- 表格中的输入单元 1、2、3 组成接线方式时，在 UΣ、IΣ、PΣ、SΣ、QΣ、PcΣ、WPΣ、qΣ的运算公式中表示为数字 1、2、3。表格中如果是单元 2、3、4 组成接线组，请用 2、3、4 分别替换 1、2、3;
- PA2000mini 高精度功率分析仪的 S、Q、λ、ϕ通过电压、电流和有功功率的测量值运算求得(但选择 TYPE3 时，Q 由采样数据直接求得)。如果输入失真波形，从本仪器获得的测量值与从其它使用不同测量原理的仪器得到的测量值之间可能存在差异;
- 计算 Q[var]时，当电流相位超前电压时，Q 值为负(-)；电流相位滞后电压时，Q 值为正(+)。QΣ的结果可能为负，因为它是从每个单元带符号的 Q 值运算而得。

©2021 Guangzhou ZHIYUAN Electronics Co., Ltd.

专业 . 专注成就梦想

Dreams come true with professionalism and dedication.

广州致远电子有限公司

更多详情请访问 **www.zlg.cn**

欢迎拨打全国服务热线 **400-888-4005**