
使用和操作说明书

出版号 2700128JS

 数英仪器
Digital Instruments

ST2050 系列

频标比对测量系统

ST2050 系列频标比对测量系统概述

本书内容涵盖下述 5 个型号的 ST2050 系列频标比对测量系统：

ST2051、ST2052、ST2053、ST2054、ST2058

ST2050 系列频标比对测量系统为高精度时域参数测量仪器，它由双混频时差通道和数据采集处理系统两部分组成，采样、数据处理、存储、显示一体化。仪器采用 7 寸液晶屏显示，可以测量 1~8 个通道的阿伦标准偏差、频率准确度、开机特性、老化率、复现性。其主要特点如下：

- 采用扩展的双混频时差测量技术。
- 测量频率 10MHz、5MHz，可以测量 1-8 个通道的阿伦标准偏差并计算准确度。
- 低噪声特性：频率为 10MHz 采样时间 τ 为 1s 时，阿伦标准偏差小于 5.0×10^{-13} 。
- USB 接口、LAN 接口。
- 用于高精度振荡器（例如铯原子钟或氢原子钟、铷原子钟、高稳晶振等）的短期稳定度、长期稳定度和老化漂移测量。
- ST2050 系列频标比对测量系统采用低噪声的混频器、高精度的零交叉检测、低噪声的本振源和扩展的双混频时差测量技术来追踪时间差，从而计算阿伦标准偏差。

ST2050 系列频标比对测量系统及附件

● ST2050 系列频标比对测量系统	1 台
● 三芯电源线	1 条
● 软件光盘(含《使用和操作说明书》)	1 张
● 网线	1 条
● 测试电缆 (两头 BNC)	
ST2051	3 条
ST2052	3 条
ST2053	4 条
ST2054	5 条
ST2058	9 条
● 插头 TNC/BNC-JK	
ST2051	2 个
ST2052	3 个
ST2053	4 个
ST2054	5 个
ST2058	9 个

本书概要

第一章 用户指南

介绍了 ST2050 系列频标比对测量系统的基本界面和简单操作。

第二章 程控接口指南

对程控接口操作进行了详细的介绍。

第三章 测量原理

对整机测量的基本概念和工作基本原理进行了介绍。

第四章 服务与支持

介绍了产品的保修与技术支持的方法。

第五章 技术指标

详细介绍了 ST2050 系列频标比对测量系统的性能指标和技术规格。

告知： 本档所含内容如有修改，恕不另告。本档中可能包含有技术方面不够准确的地方或印刷错误。本档只作为仪器使用的指导，石家庄数英仪器有限公司对本档不做任何形式的保证，包括但不限于为特定目的的适销性和适用性所作的暗示保证。

目 录

第一章 用户指南	5
第二章 程控接口指南	25
第三章 测量原理	31
第四章 服务与支持	37
第五章 技术指标	38

第一章 用户指南

本章对 ST2050 系列频标比对测量系统的前后面板进行了描述,对操作及功能作了详细介绍。使您全面掌握仪器的使用方法,轻松自如的应用本仪器解决问题。本章主要有以下内容:

- 准备使用 ST2050 系列频标比对测量系统
- 熟悉前后面板和用户界面
- 常用操作
- 使用注意事项

注: 以下操作和介绍均以 ST2054 和 ST2058 为例

1.1 准备使用 ST2050 系列频标比对测量系统

1.1.1 检查整机与附件

根据装箱单检查仪器及附件是否齐备完好，如果发现包装箱严重破损，请先保留，直至仪器通过性能测试。

1.1.2 接通仪器电源

1.1.2.1 仪器在符合以下规定的使用条件时，才能开机使用。

工作温度：10℃~30℃（温度变化：<±2℃/h）

相对湿度：20%~80%

电源电压：交流 220（1±10%）V，50（1±5%）Hz

1.1.2.2 将电源插头插入交流 220V 带有接地线的电源插座中，按下电源开关，仪器启动，首先显示 WINDOWS 启动界面，系统启动完毕后转到仪器测量界面。



图 1

警告：为保障操作者的人身安全，必须使用带有安全接地线的三孔电源插座。

1.2 熟悉前后面板和用户界面

1.2.1 前面板总揽（图 2）

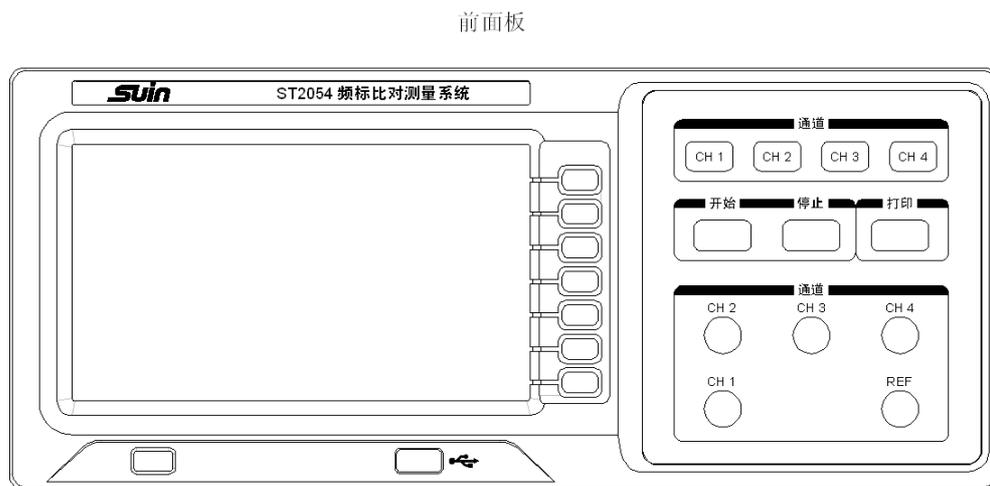


图 2

REF、CH1、CH2、CH3、CH4 分别为参考信号输入、4 个被测信号输入端。

USB 接口可以连接 USB 鼠标、键盘和 USB 存储设备。

1.2.2 后面板总揽（图 3）

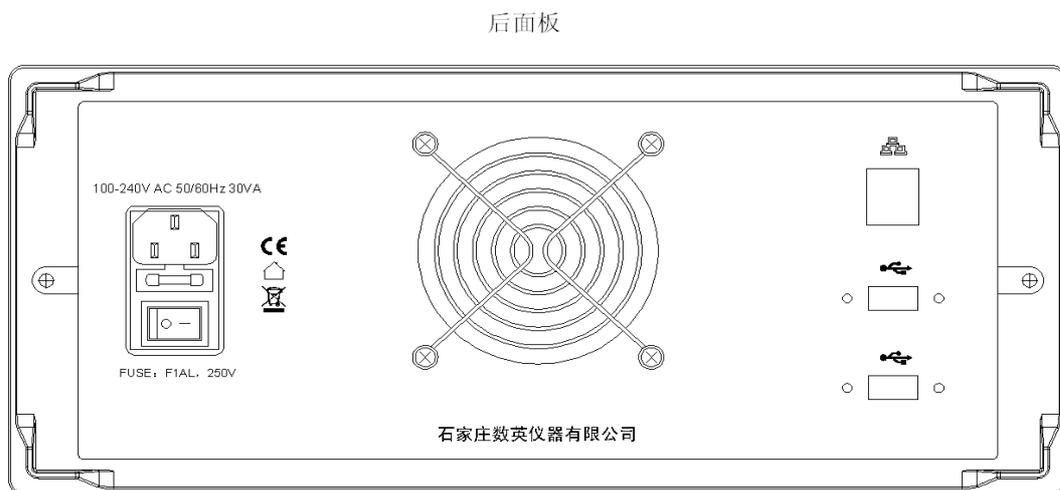


图 3

网口：网口通讯输入

USB 接口可以连接 USB 鼠标、键盘和 USB 存储设备。

1.3 常用操作（ST2054）

运行软件后进入如下界面，初始进入阿伦标准偏差界面，界面如图 4 所示。



图 4

界面左上方为通道显示 Channel:1-4，右上角为当前通道测量时间显示，左下角为参考频率 Reference，右下角为被测频率 Input。右侧为 7 个软键，每个软键可对应前面板实体软键，按下后实现所显示的相应功能。软键第一次点击会切换到相应测量界面，同时软键以反色显示，表明当前处于该测量功能界面。再次按下后进入该功能界面的子界面，可以进行相应功能的设置、选择、显示等。下面依次介绍相应操作、编辑和界面功能。

1.3.1 方向键



图 5

如图 5 所示，在进行编辑和设置的时候，进入相应子菜单会出现方向键，按下相对应软键可以在当前界面的列表或选项上进行上、下、右的移动选择。

1.3.2 数字输入面板

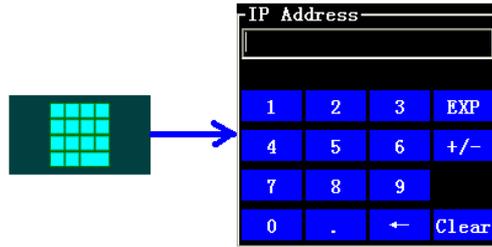


图 6

数字面板会在点击如图 6 左侧标志按键时出现，或在相应功能按键按下后出现。数字面板出现后结合 1.3.1 节的方向键进行数字或功能选择，然后结合 1.3.3 节的【Push】、【Apply】按键进行输入、确定或按下【Return】键返回。【Push】键按下后相应数字会在面板输入区显示，【Apply】键按下后生效当前输入。

1.3.3 Push 和 Apply

【Push】按键一般会在弹出数字面板时出现，当选择相应的数字或功能后，按下【Push】键会执行相应的数字输入和功能并将其显示到输入区。【Apply】键是在设置完相应参数或数字输入后立即执行或生效当前设置。

1.3.4 +/-



图 7

【+】和【-】用来改变当前输入区数字的值，小号的【+/-】使数值 ± 1 ，大号的【+/-】使数值 ± 10 。

1.3.5 Allan Deviation Plot 阿伦标准偏差

【Allan DeviationPlot】按下后变为【Config Allan Deviation】进入阿伦标准偏差测量界面，如图 8。

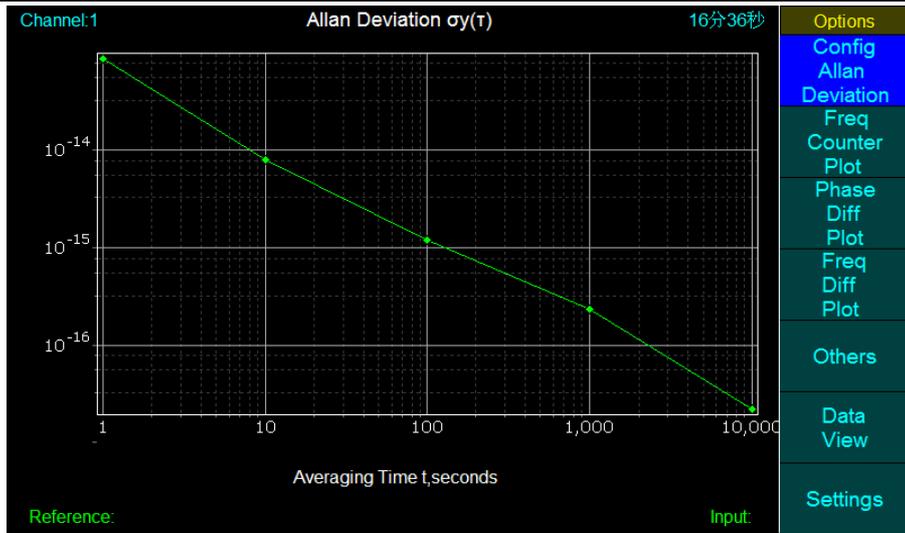


图 8

进入阿伦标准偏差测量界面后，会显示当前测量中的阿伦标准偏差曲线，此时再次按下【Config Allan Deviation】对应软键，进入阿伦标准偏差设置功能，如图 9。

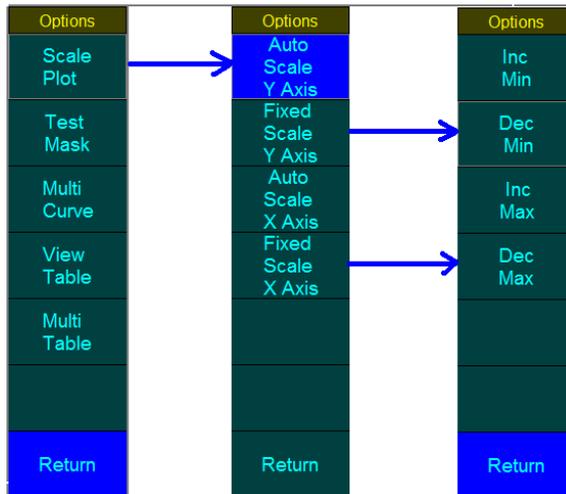


图 9

1.3.5.1 【Scale Plot】

可以对曲线的 X 轴和 Y 轴进行比例缩放，点击软键进入缩放设置。

【Auto Scale Y Axis】：自动缩放 Y 轴到合适比例

【Fixed Scale Y Axis】：手动设置 Y 轴比例

【Auto Scale X Axis】：自动缩放 X 轴到合适比例

【Fixed Scale X Axis】：手动设置 X 轴比例

点击【Fixed Scale Y Axis】或【Fixed Scale X Axis】进入下一级子菜单，可以使用【Inc Min】增加 Y/X 轴下限比例，【Dec Min】减小 Y/X 轴下限比例；或使用【Inc Max】增加 Y/X 轴上限比例，【Dec Max】减小 Y/X 轴上限比例。

1.3.5.2 【Test Mask】

可以显示/隐藏或设置曲线 Mask 点，用来和实际测量曲线做对比。

【Show Mask】：显示/隐藏 Mask 标注曲线，点击后会变成【Hide Mask】，曲线中会显示 Mask 曲线，再次按下后隐藏。

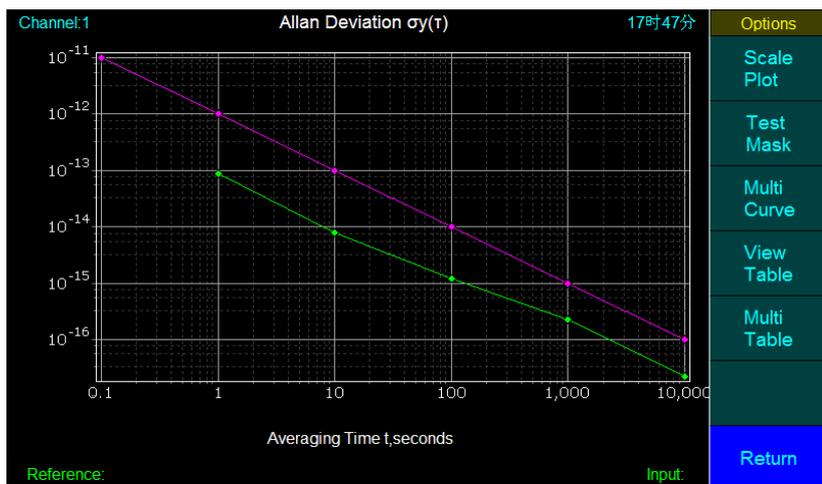


图 10

【Edit Mask】：编辑 Mask 点。按下【Edit Mask】后进入 Mask 编辑，如图 11。

Avg. Time(s)	Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$
0.1	1e-11
1	1e-12
10	1e-13
100	1e-14
1000	1e-15
10000	1e-16

图 11

可以使用【↑】【↓】方向键选择 Mask 点，点击【Add Point】或【Edit Point】进行添加或编辑，点击后会弹出如图 6 所示的数字输入面板，可以参照 1.3.1~1.3.3 节对

Mask 点进行编辑操作。【Delete Point】删除当前选中的 Mask 点。

【Load Mask】：加载 Mask 设置

【Save Mask】：保存 Mask 设置

【Load Mask】和【Save Mask】两个是配合使用的，当编辑好了 Mask 后，点击【Save Mask】，共有 6 个存储点，点击相应存储按键会将当前编辑的 Mask 存入相应存储点。当有了存储数据后，点击【Load Mask】选择相应的存储点即可将存储的 Mask 调出，如图 12。

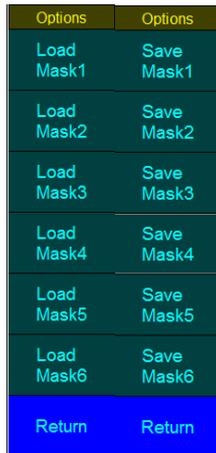


图 12

1.3.5.3 【Multi Curve】

可以设置显示/隐藏每个通道的阿伦标准偏差曲线，如图 13。

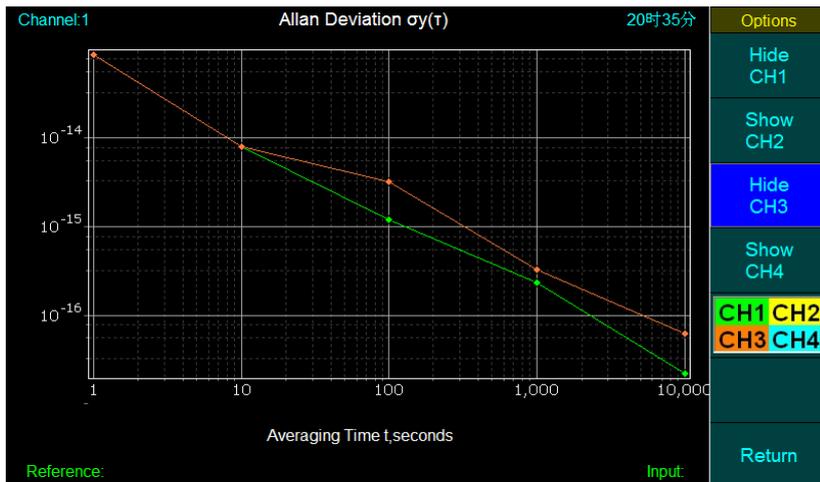


图 13

按键位置有每个通道的颜色显示，表示每个通道的曲线颜色。CH1-绿色，CH2-黄色，CH3-橙色，CH4-蓝色。

1.3.5.4 【View Table】

点击【View Table】进入阿伦图表界面，可以查看当前阿伦标准偏差测量结果列表，可以按【↑】【↓】软键滚动数据列表，如图 14。

Channel:1			Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$	21时41分	Options
Avg. Time(s)			$\sigma_y(\tau)$	Points	
1			8.60E-14	12036	↑
2			4.60E-14	6018	↓
4			2.30E-14	3009	
10			8.00E-15	1203	
20			4.30E-15	601	
40			2.23E-15	300	
100			1.22E-15	120	
200			7.93E-16	60	
400			3.63E-16	30	
1000			2.36E-16	12	
2000			9.36E-17	6	
4000			4.36E-17	3	
10000			2.16E-17	1	
Reference:					Return

图 14

1.3.5.5 【Multi Table】

点击进入多通道阿伦图表界面，可以同时查看多路通道的阿伦标准偏差结果列表，同样也可以使用【↑】【↓】软键滚动数据列表，如图 15。

Channel:1					Allan Deviation $\sigma_y(\tau)$	21时53分	Options
Avg. Time(s)	CH1	CH2	CH3	CH4			
1	8.60E-14	8.23E-14	9.36E-14		↑		
2	4.60E-14	3.62E-14	5.21E-14		↓		
4	2.30E-14	1.89E-14	2.96E-14				
10	8.00E-15	7.69E-15	8.02E-15				
20	4.30E-15	5.03E-15	4.03E-15				
40	2.23E-15	2.31E-15	2.24E-15				
100	1.22E-15	9.68E-16	1.65E-16				
200	7.93E-16	8.30E-16	7.96E-16				
400	3.63E-16	3.30E-16	3.52E-16				
1000	2.36E-16	1.98E-16	2.21E-16				
2000	9.36E-17	1.02E-16	9.87E-17				
4000	4.36E-17	4.22E-17	4.10E-17				
10000	2.16E-17	2.08E-17	2.22E-17				
Reference:							Return

图 15

1.3.6 Freq Counter Plot 频率计数

点击【Freq Counter Plot】后变为【Config Freq Counter】进入频差曲线界面，如图16。

Channel:1 Frequency Counter 22时5分			Options
Sample	Frequency(MHz)	Fractional Freq.(MHz)	Allan Deviation Plot
1	10.000 000 000 086	8.620E-11	Config Freq Counter
10	10.000 000 000 009 1	9.120E-12	Phase Diff Plot
100	10.000 000 000 001 23	1.230E-12	Freq Diff Plot
1000	10.000 000 000 000 206	2.060E-13	Others
Nominal Frequency: 10.000MHz			Data View
Reference: Input:			Settings

图 16

再次按下【Config Freq Counter】后进入频率计数的参考频率设置和多表格记录界面，如图17。

Channel:1 Frequency Counter 22时5分			Options
Sample	Frequency(MHz)	Fractional Freq.(MHz)	Enter Reference Freq
1	10.000 000 000 086	8.620E-11	Auto Reference Freq
10	10.000 000 000 009 1	9.120E-12	Multi Table
100	10.000 000 000 001 23	1.230E-12	
1000	10.000 000 000 000 206	2.060E-13	
Nominal Frequency: 10.000MHz			
Reference: Input:			Return

图 17

1.3.6.1 【Enter Reference】

点击进入参考频率手动设置，设置方法请结合 1.3.1~1.3.3 节，如图18。

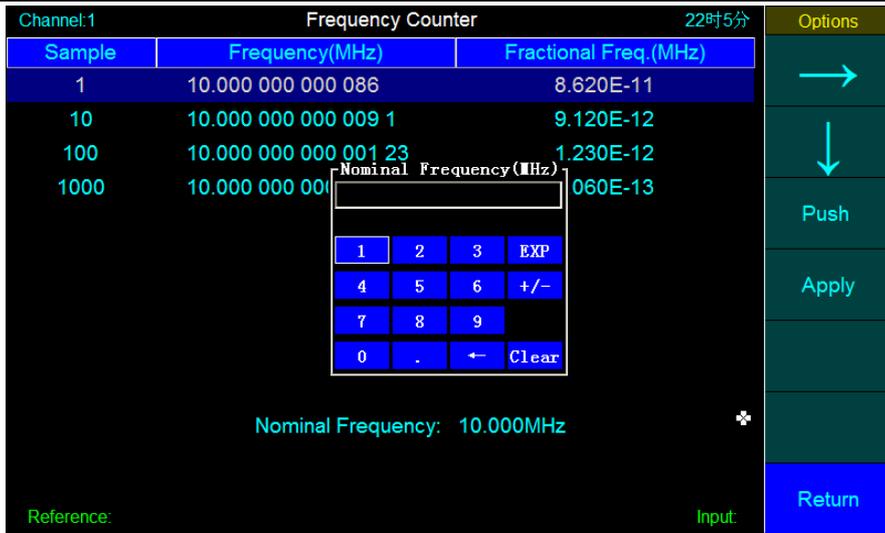


图 18

1.3.6.2 【Auto Reference Freq】

根据当前参考通道频率自动设置。

1.3.6.3 【Multi Table】

进入多通道频率计数图表界面，如图 19。



图 19

1.3.7 Phase Diff Plot 相位差

点击【Phase Diff Plot】变为【Config Phase Diff】，进入相位差曲线界面，如图 20。



图 20

点击【Config Phase Diff】后进入相差曲线闸门选择和多曲线显示设置，可以选择查看不同闸门的相位差曲线。点击【Multi Curve】后进入多通道相位差曲线显示，如图 21。



图 21

1.3.8 Freq Diff Plot 频差

频差功能和相位差功能类似，操作方式也相同，在此不做赘述。

1.3.9 Others 其他功能

其他功能包含准确度、日波动、7 天老化率、15 天老化率、复现性、开机特性，如图 22。



图 22

点击对应的软键可以进入相应功能界面，可以实时查看当前功能的数据曲线及测量结果等信息。

1.3.10 Data View 数据查看

数据查看界面可以查看准确度、日波动、7天老化率、15天老化率、复现性、开机特性的实时频差数据，也可以使用【↑】【↓】软键进行滚动查看，如图 23。



图 23

1.3.11 Settings 设置

点击【Settings】进入设置界面，可以查看系统信息，打印设置、标题设置、网络设置、时间设置、版本查看等功能，如图 24。

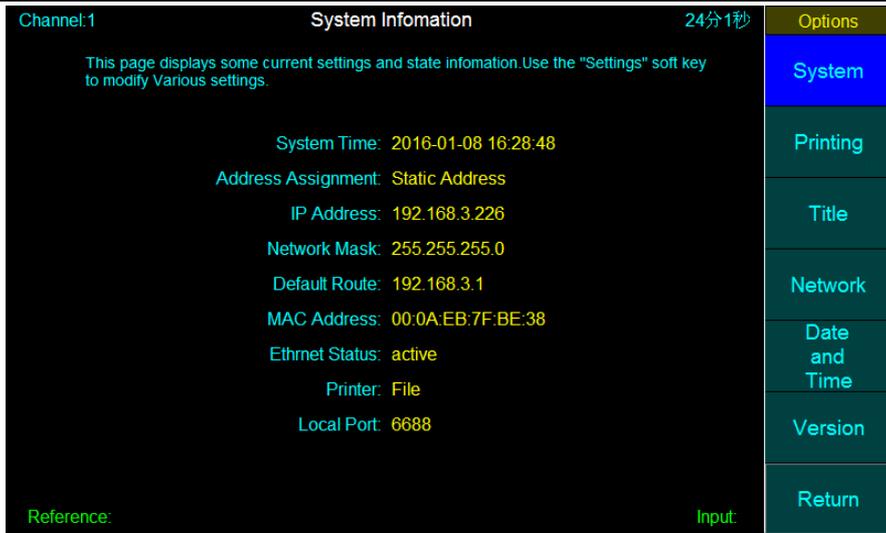


图 24

1.3.11.1 System

点击【System】进入系统信息界面，可以查看当前系统时间、网络信息、打印机设置、本地端口等信息，如图 24。

1.3.11.2 Printing

点击【Printing】进入打印机设置界面，可以设置三种打印方式：Printer、File 和 U Disk，如图 25。

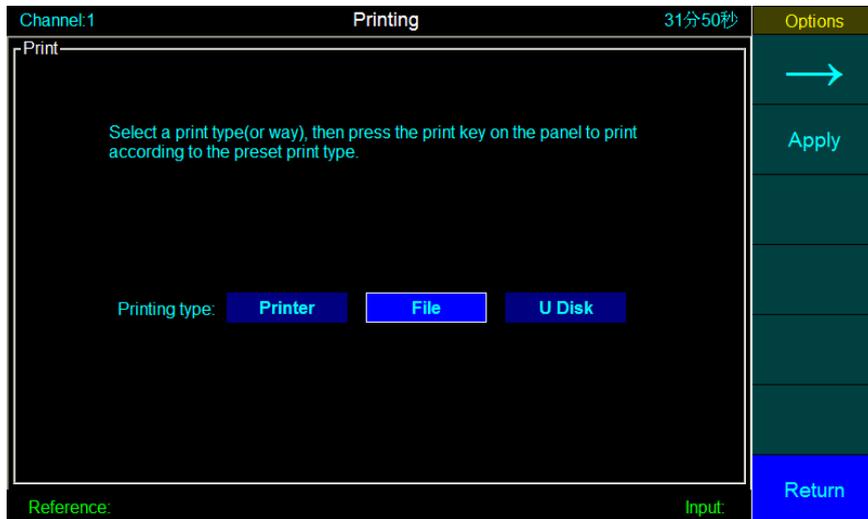


图 25

Printer 设置为直接连接打印机进行打印。

File 将生成的打印文件存储到程序所在目录的 File 文件夹。

U Disk 将生成的打印文件存储到外置 U 盘中。

使用【→】进行方式选择，【Apply】进行确认。

1.3.11.3 Title

点击【Title】进入底部标题的设置界面，软件弹出一个软键盘，可以输入数字和英文字母，结合【→】、【↓】、【Push】、【Apply】进行标题的输入设置，如图 26。



图 26

1.3.11.4 Network

点击【Network】进入网络设置界面，可以进行静态/自动获取方式的设置，和手动设置 IP 地址、子网掩码、默认网关、本地端口等功能的设置，如图 27。

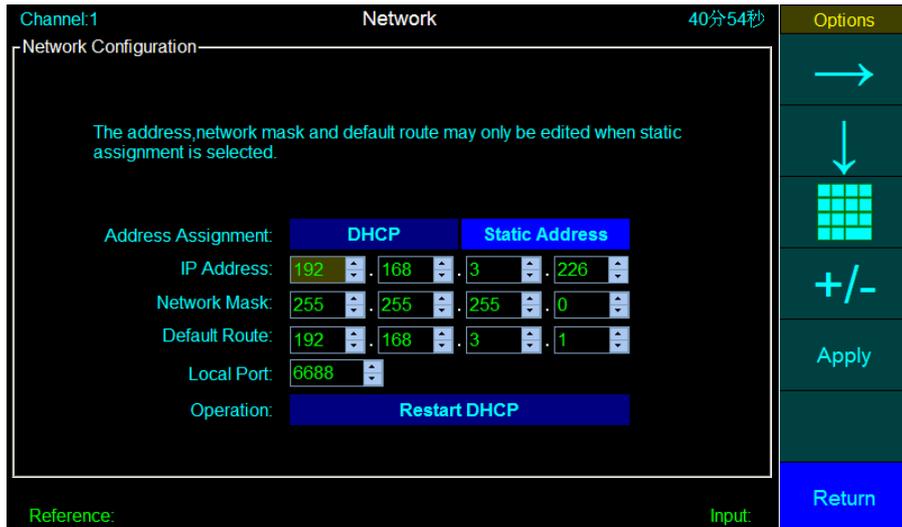


图 27

使用方向键选择到输入框的时候，软键列表会发生变化，出现数字键盘、+/-等输入方式，可以使用方向、+/-、数字面板等设置方式，设置方法可以结合 1.3.1~1.3.3 中的操作方法。

1.3.11.5 Date and Time

时间日期设置，可以设置当前系统的日期和时间，以及日期和时间的显示格式，和网络设置类似，也可以使用方向、+/-、数字面板等设置方式，设置方法可以结合 1.3.1~1.3.3 中的操作方法。如图 28。

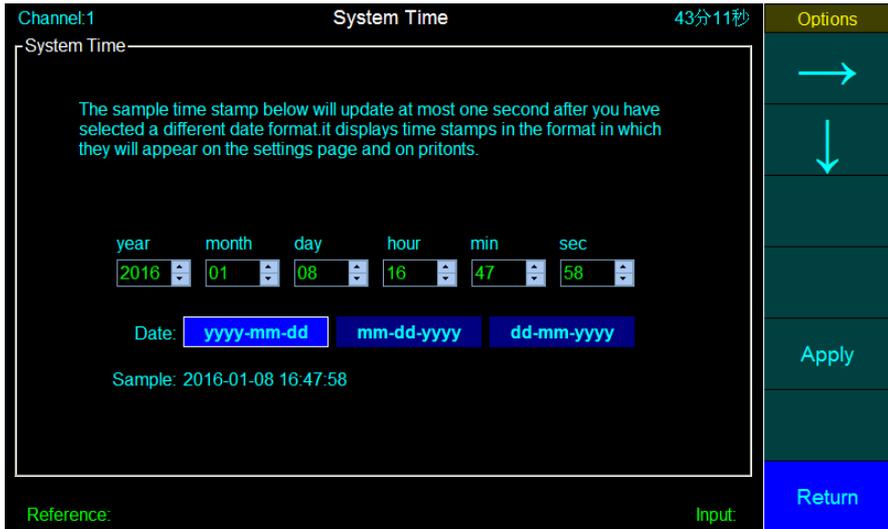


图 28

1.4 常用操作(ST2048)

运行软件后进入如下界面，界面如图 29 所示。



图 29

在主界面的上方会弹出一个窗口，提示要设置本机的 IP 地址，其中只有 IP 地址可以更改，其他可以查看但不可更改。如果需要更改 IP 地址，则在 IP 地址选择栏输入或选择合适的 IP 地址后，点击【更改 IP】按钮，IP 更改成功后小窗口消失，进入主界面；如果不需要更改 IP 地址，则点击【不改 IP，直接启动】按钮，直接进入主界面，主界面如图 30 所示。

Freq:		ST2058频标比对测量系统							2016-4-7 15:26:11 本机IP: 172.19.31.1	
测试项目	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8		
测量时间										
阿伦标准偏差1s	<input type="checkbox"/>									
阿伦标准偏差10s	<input type="checkbox"/>									
阿伦标准偏差100s	<input type="checkbox"/>									
阿伦标准偏差1000s	<input type="checkbox"/>									
阿伦标准偏差10000s	<input type="checkbox"/>									
阿伦标准偏差86400s	<input type="checkbox"/>									
日漂移率	<input type="checkbox"/>									
日漂移率相关系数										
稳定度 1天	<input type="checkbox"/>									
准确度	<input type="checkbox"/>									
复现性	<input type="checkbox"/>									
时间间隔 (小时)	48	48	48	48	48	48	48	48		
开机特性锁定	<input type="checkbox"/>									
开机特性 (<5E-11)	<input type="checkbox"/>									
开机特性 (1小时)	<input type="checkbox"/>									
开机特性 (2小时)	<input type="checkbox"/>									
开机特性 (4小时)	<input type="checkbox"/>									
退出	CH1测量	CH2测量	CH3测量	CH4测量	CH5测量	CH6测量	CH7测量	CH8测量		

图 30

软件界面上每个通道有 15 个测量项目，每个项目上都有一个复选框○，如果想测量某个项目则在此项目复选框（或该单元格）上点击鼠标左键可选中该项目，选中后该项目复选框变为●，表示该项目为选中状态（见图 30）。另外阿伦方差和开机特性勾选了某个项目后，该项目上面的同类项目也会被选中。比如勾选阿伦方差 1000s，那么阿伦方差 100s、10s、1s 都会被选中，开机特性选中开机特性（1 小时），则开机特性（<5E-11）、开机特性锁定也都会被选中。

在测量过程中同一通道不可以增加测量项目。选择好要测量的项目后，点击【CH1 测量】~【CH8 测量】按钮可以进行 1~8 通道的测量和停止操作，开始测量后变为如下状态（图 31）。

Freq:		ST2058频标比对测量系统							2016-4-7 15:26:43
		本机IP: 172.19.31.1							
测试项目	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8	
测量时间									
阿伦标准偏差1s	●	●	●	●	○	○	○	○	
阿伦标准偏差10s	●	●	●	●	○	○	○	○	
阿伦标准偏差100s	●	●	●	●	○	○	○	○	
阿伦标准偏差1000s	●	●	●	●	○	○	○	○	
阿伦标准偏差10000s	●	●	●	●	○	○	○	○	
阿伦标准偏差86400s	●	●	●	●	○	○	○	○	
日漂移率	●	●	●	●	○	○	○	○	
日漂移率相关系数									
稳定度 1天	○	○	○	○	○	○	○	○	
准确度	○	○	○	○	○	○	○	○	
复现性	○	○	○	○	●	○	○	○	
时间间隔 (小时)	48	48	48	48	48	48	48	48	
开机特性锁定	○	○	●	●	○	○	○	○	
开机特性 (<5E-11)	○	○	●	●	○	○	○	○	
开机特性 (1小时)	○	○	●	●	○	○	○	○	
开机特性 (2小时)	○	○	●	●	○	○	○	○	
开机特性 (4小时)	○	○	●	●	○	○	○	○	
退出	CH1测量	CH2测量	CH3测量	CH4测量	CH5测量	CH6测量	CH7测量	CH8测量	

图 31

左上角显示当前的输入频率，右上角显示系统时间和本机 IP 地址。

下面逐一介绍每一行显示的内容：

测量时间：显示当前通道已经测量的时间。

阿伦标准偏差 1s~ 86400s：分别显示阿伦标准偏差 1s~86400s 的测量结果。

阿伦标准偏差取样时间和测量时间规定如下：

取样时间	1s	10s	100s	1000s	10000s	86400s
测量时间	15 天	15 天	2 年	2 年	2 年	2 年

日漂移率：测量 15 天显示日漂移率结果。

日漂移率相关系数：显示日漂移率相关系数。

稳定度 1 天：按照铷钟检定规程，当日稳定度和日漂移率在同一数量级时扣除日漂移率后得到的日稳定度结果。

准确度：准确度测量结果（取样时间 100s）。

复现性：显示复现性结果。

时间间隔（小时）：设置复现性取得两次频率值之间的时间间隔。复现性原理为：开机一段时间，测量第一个频率值 F1，然后关机一段时间，再开机一段时间测量第二个频率值 F2，这里可以设置 F1 和 F2 之间的时间间隔。

开机特性 (<5E-11)：显示频率偏差小于 5E-11 的测量时间。

开机特性 (锁定、1 小时、2 小时、4 小时)：铷频标开机锁定后，锁定一段时间 T、锁定 1 小时、锁定 2 小时、锁定 4 小时的频率准确度。

退出：点击退出可以选择退出本测试系统、关机、取消三个选项。如图 32

退出测试系统：可以退出本系统并返回 windows 界面

关机：关闭该仪器，并断开电源

取消：不执行操作



图 32

测量过程中不可以进行通道任务的增加或去除操作，通道间延时应在 5 秒以上（即某通道点击按钮开始测量后需等待 5 秒以上再进行其他通道的测量）。

仪器程控连接时只需要将本仪器接上网线并连接到局域网或者和一台计算机相连，然后打开计算机，并运行程控软件即可进行程控连接操作，程控软件需使用 winsock 控件进行通讯编程，程控指令见程控接口指南。

1.5 使用注意事项

1.5.1 使用仪器前应认真阅读本使用指南

1.5.2 仪器自检

自检所用频标信号为 10MHz，输出幅度 7dBm~13dBm，10dBm 最优，秒级稳定度优于 1×10^{-12} ，相位噪声优于 $-158\text{dBc}/1\text{kHz}$ ，将符合标准的信号通过功分器分别接入 ST2050 系列频标比对测量系统的参考输入和被测输入端。预热时间 60 分钟以上，然后选开始测量，阿伦标准偏差应小于以下值： $5 \times 10^{-13}/1\text{s}$ ； $5 \times 10^{-14}/10\text{s}$ ； $5 \times 10^{-15}/100\text{s}$ ； $1 \times 10^{-15}/1000\text{s}$ ； $5 \times 10^{-16}/10000\text{s}$ 。

1.5.3 在仪器处于比对测量时，参考和被测信号的频率偏差不应大于 0.1Hz

1.5.4 参考和被测信号的输出阻抗应为 50 Ω

第二章 程控接口指南

程控连接需要由一台程控主机和仪器进行通讯，编程需用 winsock 控件 TCP 通讯方式进行数据交互，通讯端口为 6688，每条指令结尾要添加一个结束符 0x0A。

2.1 ST2051/ST2052/ST2053/ST2054 程控指令

2.1.1 开始测量

命令：start <value>

返回：无

示例：发送 start 1，通道 1 开始测量

该指令用于开始指定通道的测量，指令发送后相应通道即开始测量。

2.1.2 停止测量

命令：stop <value>

返回：无

示例：发送 stop 1，通道 1 停止测量

该指令用于停止指定通道的测量，指令方式即停止通道测量。

2.1.3 读取结果

2.1.3.1 阿伦标准偏差

命令：show:allan1|2|3|4

返回：allan_result:通道号;1s 结果,2s 结果,4s 结果.....200000s 结果

示例：发送 show:allan2，返回通道 2 的 1s~200000s 阿伦标准偏差结果：

allan_result:2;1.23E-13,8.62E-14,3.98E-14.....

该指令用于获取每个通道的阿伦标准偏差实时测量结果，如果某个闸门的测量结果还没有测量出来，则返回的结果为空。

2.1.3.2 准确度

命令：show:accuracy1|2|3|4

返回：accuracy_result:通道号;准确度结果;测量点数（准确度只有一个值，所以测量点数永远是 1）

示例：发送 show: accuracy3，返回 accuracy_result:3;3E-11;1

该指令用于获取准确度测量结果。

2.1.3.3 日波动

命令: show:dailyfluc1|2|3|4

返回: dailyfluc_result:通道号;日波动结果;测量点数

示例: 发送 show:dailyfluc1, 返回 dailyfluc_result:1;3.3E-13;18

该指令用于获取日波动测量结果, 返回的测量点数表示当前已经测量了多少点数据, 比如日波动为 25 个点, 示例中返回 18 说明当前测量到第 18 个点。

2.1.3.4 老化率 7 天

命令: show:agingrate71|2|3|4

返回: agingrate7_result:通道号;老化率结果,老化率系数;测量点数

示例: 发送 show:agingrate71, 返回 agingrate7_result:1;2.3E-12,0.8;8

该指令用于获取老化率 7 天的测量结果, 测量点数解释同 2.3.3 。

2.1.3.5 老化率 15 天

命令: show:agingrate151|2|3|4

返回: agingrate15_result:通道号;老化率结果,老化率系数;测量点数

示例: 发送 show:agingrate151, 返回 agingrate15_result:1;2.3E-12,1.2;8

该指令用于获取老化率 15 天的测量结果, 测量点数解释同 2.3.3 。

2.1.3.6 复现性

命令: show:repeat1|2|3|4

返回: repeat_result:通道号;复现性结果;测量点数

示例: 发送 show:repeat1, 返回 repeat_result:1;2.3E-12;2

该指令用于获取复现性测量结果, 测量点数解释同 2.3.3 。

2.1.3.7 开机特性

命令: show:warmup1|2|3|4

返回: warmup_result:通道号;开机特性 1 小时,2 小时,4 小时,开机特性结果,最大值,最小值;测量点数

示例: 发送 show:warmup1,

返回 warmup_result: 1;4.8E-12,3,6E-12,3.3E-12,2.3E-12,6.8E-12,1,9E-12;2

该指令用于获取开机特性测量结果, 测量点数解释同 2.3.3 。

2.1.4 读取数据

2.1.4.1 阿伦标准方差

命令: data:allan1|2|3|4:gate <value>

返回: allan_data:通道号;闸门;数据 1,数据 2,数据 3.....数据 N (最多 101 个)

示例: 发送 data:allan2:gate 2, 返回通道 2 的 2s 闸门数据 (阿伦标准偏差如果测量个数大于 101 则只返 101 个数据,): allan_data:2;2;1.23E-12,8.62E-12,-3.98E-12.....

该指令用于获取每个通道指定闸门的测量数据。

2.1.4.2 准确度

命令: data:accuracy1|2|3|4

返回: accuracy_data:通道号;数据 1,数据 2,数据 3

示例: 发送 data: accuracy3, 返回 accuracy_result:3;3.223E-11,2.683E-11,1.896E-13

该指令用于获取准确度测量数据, 准确度数据有 3 个点做平均, 所以返回 3 个值。

2.1.4.3 日波动

命令: data:dailyfluc1|2|3|4

返回: dailyfluc_data:通道号; 数据 1, 数据 2.....

示例: 发送 data:dailyfluc1, 返回 dailyfluc_data:1;3.3E-13, 1.3E-13.....

该指令用于获取日波动测量数据, 当前测量到多少点, 就会返回多少个数据。

2.1.4.4 老化率 7 天

命令: data:agingrate71|2|3|4

返回: agingrate7_data:通道号; 数据 1, 数据 2.....

示例: 发送 data:agingrate71, 返回 agingrate7_data:1;2.3E-12,1.68E-12.....

该指令用于获取老化率 7 天的测量数据, 当前测量到多少点, 就会返回多少个数据。

2.1.4.5 老化率 15 天

命令: data:agingrate151|2|3|4

返回: agingrate15_data:通道号; 数据 1, 数据 2.....

示例: 发送 data:agingrate151, 返回 agingrate15_data:1;2.3E-12,3.6E-13.....

该指令用于获取老化率 15 天的测量数据, 当前测量到多少点, 就会返回多少个数据。

2.1.4.6 复现性

命令: data:repeat1|2|3|4

返回: repeat_data:通道号; 数据 1, 数据 2.....

示例: 发送 data:repeat1, 返回 repeat_data:1;2.3E-12,3.6E-13.....

该指令用于获取复现性测量数据, 当前测量到多少点, 就会返回多少个数据。

2.1.4.7 开机特性

命令: data:warmup1|2|3|4

返回: warmup_data:通道号; 数据 1, 数据 2.....

示例: 发送 data:warmup1, 返回 warmup_data: 1;2.3E-12,8.33E-13.....

该指令用于获取开机特性测量数据, 当前测量到多少点, 就会返回多少个数据。

2.1.5 连续读取/停止

2.1.5.1 频差

命令: cont:freqdiff1|2|3|4:gate <value>

返回: freqdiff:通道号,闸门,数据,测量个数

示例: 发送 cont:freqdiff1:gate 10 , 设备会持续发送通道 1 的 10s 频差值, 直到收到 break 停止指令。

命令: break:freqdiff1|2|3|4:gate <value>

返回: 无

示例: 发送 break:freqdiff1:gate 10 , 设备会停止通道 1 的 10s 频差值发送。

2.1.5.2 相差

命令: cont:phasediff1|2|3|4:gate <value>

返回: phasediff:通道号,闸门,数据,测量个数

示例: 发送 cont:phasediff1:gate 10 , 设备会持续发送通道 1 的 10s 相差值, 直到收到 break 停止指令。

命令: break:phasediff1|2|3|4:gate <value>

返回: 无

示例: 发送 break:phasediff1:gate 10 , 设备会停止通道 1 的 10s 相差值发送。

2.1.5.3 频率计数

命令: cont:fcounter1|2|3|4:gate <value>

返回: freqcounter:通道号,闸门,数据

示例：发送 `cont:fcounter1:gate 10`，设备会持续发送通道 1 的 10s 频率计数，直到收到 `break` 停止指令。

命令：`break:fcounter1|2|3|4:gate <value>`

返回：无

示例：发送 `break:fcounter1:gate 10`，设备会停止通道 1 的 10s 频率计数发送。

2.1.6 保持连接

命令：`keeylink`(或其他字符串，可以自己定义)

返回：无

示例：无

该指令只是为了和设备端保持连接，做心跳检测用，做程控端的时候，每 20 秒内必须要给设备端发送一条保持连接的指令。

2.2 ST2058 程控命令

2.2.1 保持连接：keeylink

该指令作用是保持和服务器的连接状态，ST2002 程控软件中每隔 10s 会向 ST2002 发送一个保持连接的指令，而 ST2002 检测超过 60s 没有收到任何指令后端口连接。

2.2.2 获取测量结果和数据指令

- 获取频差和阿伦方差曲线数据：

`wavedata#tau1, tau2, tau3, tau4, tau5, tau6, tau7, tau8;diffnum1, diffnum2, diffnum3, diffnum4, diffnum5, diffnum6, diffnum7, diffnum8`

`wavedata#`: 包头

`tau1~tau8`: 8 个通道当前的 `tau` 值 (1, 10, 100, 1000, 10000, 86400)

`diffnum1~diffnum8`: 8 个通道当前获取回来的 1s 频差数据的个数

- 获取所有项目的结果和原始数据：`reqdatax`

`reqdata`: 包头

`x`: 通道号

- 开始测量：`startx`

`start`: 包头

`x`: 通道号

- 停止测量：`stopx`

stop: 包头

x: 通道号

2.2.3 获取结果和数据格式（所有分隔符均为半角格式）

发送获取结果和数据指令后，仪器会返回相应的结果和数据，数据格式如下：

注：未测量完毕的结果、数据、系数、时间不进行返回

- **返回频差和阿伦方差曲线数据：**wavedata#数据 1@个数 1&数据 2@个数 2... 数据 8@个数 8；结果 1、结果 2、... 结果 8

数据说明：

wavedata#：返回的包头

数据 x：返回的 1s 频差数据，数据可能是多个，每两个用 , 分隔

个数 x：返回的 x 通道 1s 数据当前测量到的个数

结果 x：1s~ 86400s 阿伦方差结果值

@ , & ; 均为分隔符

- **返回所有项目的结果和原始数据：**reqdata#阿伦方差结果@1s 数据+10s 数据+...86400s 数据；稳定度 1 天结果@数据；准确度结果@数据；日漂移结果@数据@系数；复现性结果@数据；开机特性结果@数据

数据说明：

reqdata#：包头

阿伦方差结果：1s~86400s 结果，以半角 , 分隔

1s~86400s 数据：数据间以半角 , 分隔

其他项目和阿伦方差格式类同。

注：所有指令发送时都要在指令末尾加上 0x0a 结束符，C 语言中为\n。

第三章 测量原理

通过本章内容，您可以了解到 ST2050 系列频率相位比对测试仪测量的基本概念和基本原理，从而对仪器的性能指标有更深刻的理解，便于您更好的使用本仪器。

- 概述
- 测量方法
- 整机工作原理

3.1 概述

一台标准频标源的准确度是指其输出频率的实际值 f_x 与其标称值 f_{x0} 相对频差即：

$$Y = \frac{f_x - f_{x0}}{f_{x0}} = \frac{\Delta f}{f_{x0}}$$

频率稳定度、老化率、复现性、日波动、开机特性、准确度、温度特性、负载特性、电压特性等等，都是指这种相对频差的变化程度。在计量上它们具有各自的定义及测量和数据处理方法。

使用频标比对器测定频标源的这些基本特性时，归根结底都是测定一段时间内平均频率的相对频差。不同点是，所采用的平均时间要满足各种特性的要求，特别是在测定频率稳定度时，要与所要求的取样时间相一致。在取样时间 τ 内的平均相对频差用 $Y_x(\tau)$ 表示，即：

$$Y_x(\tau) = \frac{f_x(\tau) - f_{x0}}{f_{x0}} \quad \text{其中：} \quad f_x(\tau) = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} f_x(\tau) dt$$

当观测时间较长时，不平稳过程的扰动将体现出来， $f_x(\tau)$ 与时间 t 有关，一般随 t 单方向漂移。当观测时间较短时， $f_x(\tau)$ 的变化主要是由于相位噪声的扰动引起的，表现为随机起伏，可以认为与 t 无关。

通常使用的进行精确的时间和频率测量的方法如下：

- 时间间隔计数器测量方法：

时间间隔计数器法将两个信号分频得到非常低的频率（通常为 1pps），然后使用高精度的时间间隔计数器测量分频后两个信号的时差，测量原理（图 33）：

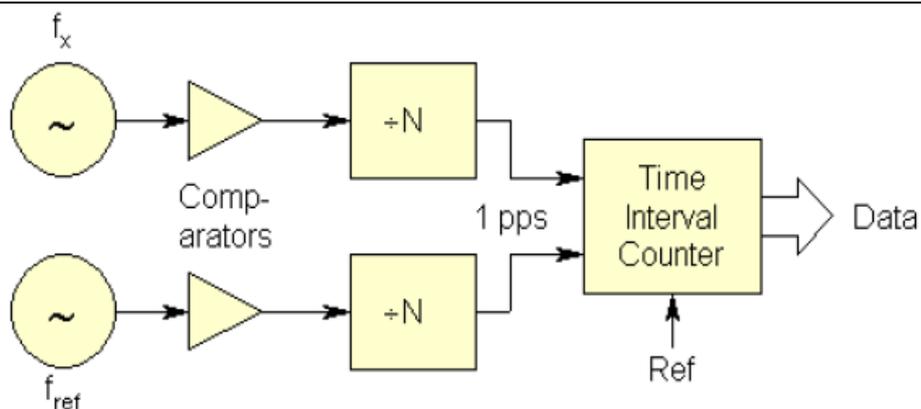


图 33

- 外差法:

外差法将参考和被测信号进行混频，使用周期计数器测量拍频信号的周期，测量分辨率提高了（拍频频率/载波频率）倍。外差法的缺点很明显，只能测量固定频差的频率，而且测量过程存在死区。测量原理（图 34）：

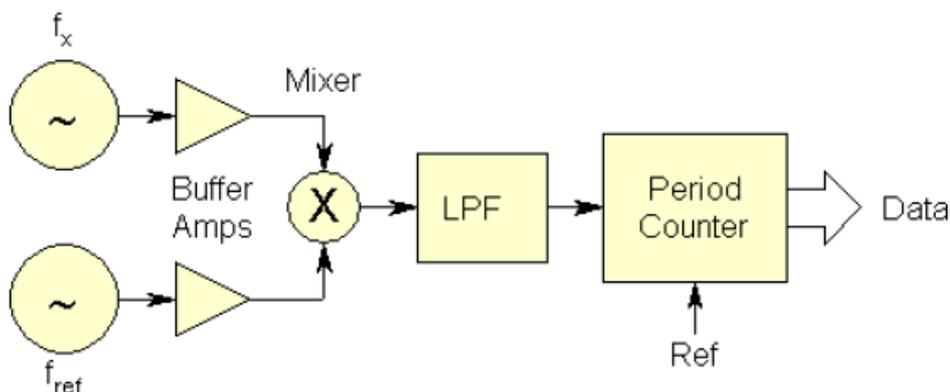


图 34

- 双混频时差法:

双混频时差法是时间间隔计数器法和外差法的结合，是测量相同载波频率最精确的方法，测量过程不需要调偏参考和被测频率，公共源振荡器在测量过程中噪声自相关，测量精度高。可以通过添加分配放大器、混频器、过零检测、时间间隔计数器来扩展多个通道。测量原理（图 35）：

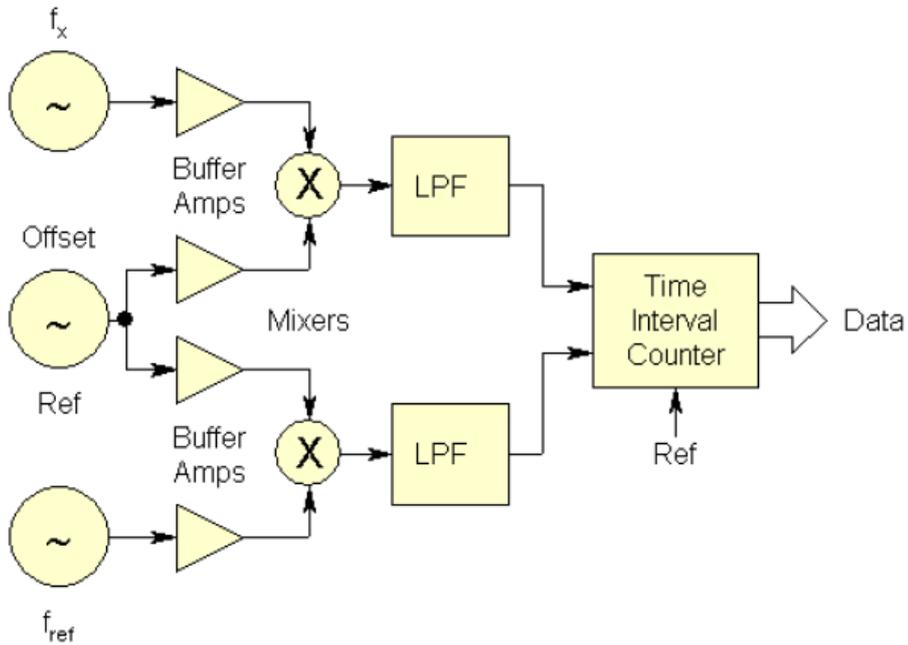


图 35

3.2 测量原理

两个频率源的频率偏差在一个固定时间间隔内表现为相位差,相对于这一时间间隔内的平均频率来说就是一个时间差。所以,要测频率偏差,可以采用测时差的方式。

时差测量为时间间隔测量,如图 36 所示,被测和参考信号分别经过一系列变换,成为前沿很陡的脉冲波。一路信号做开门信号,一路信号做关门信号,在开门时用时钟信号填充,再由计数器计数,实现时差测量。但直接测时差时测量精度低(测量精度只取决于计数器精度),不能满足原子钟测量要求,因此本仪器采用扩展的双混频时差来提高测量精度。

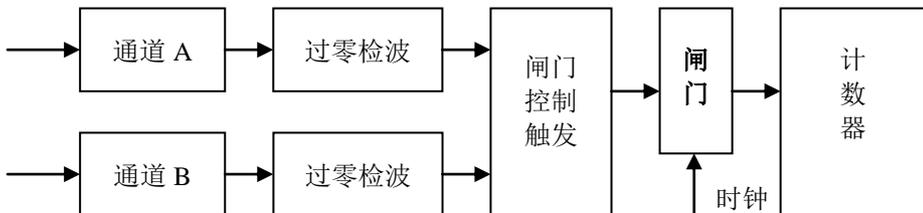


图 36 时间间隔测量

扩展的双混频时差测量方法如图 37 所示。被测频标和参考频标经混频变换为两个差拍信号，再经低通滤波器、过零检波器后，馈送到相位差测量系统测量两个信号的相位差。我们的目的是测量被测频标和参考频标之间的相对频率偏差，当被测频标和参考频标同频时，很小的频率偏差表现为相位差，相对于平均频率来说，就是时间差。经过混频后，要测的相位差不变，而相对的平均频率由原来的高频变为现在较低的差频，相当于要测的时间差比原来相对倍增了 f_c / f_b 倍，这样，分辨力改善了 f_c / f_b 倍（ f_c 为载波频率， f_b 为差拍频率， f_L 为本振频率， $f_b = f_c - f_L$ ）。

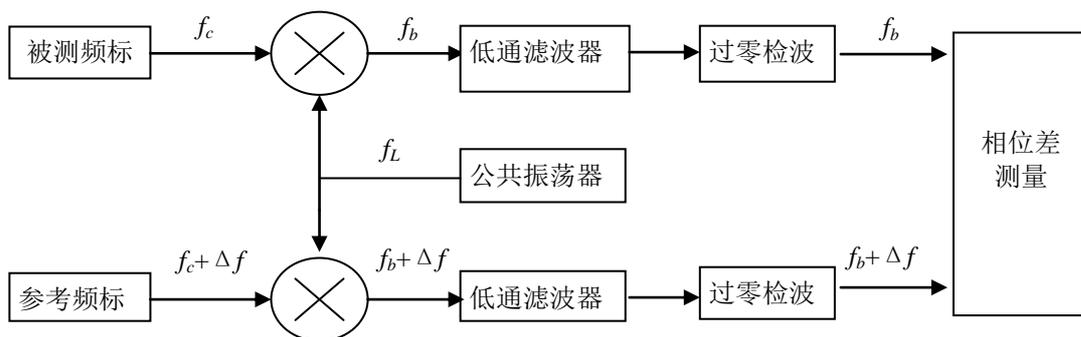


图 37 扩展双混频时差测量原理框图

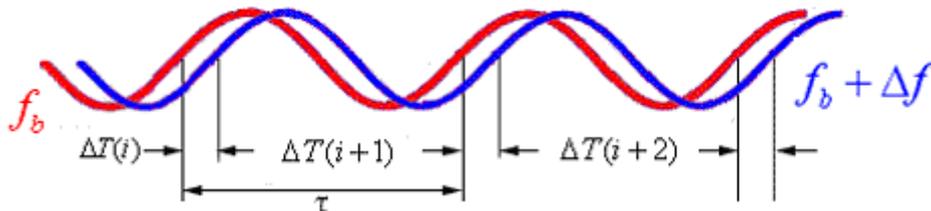


图 38 两个频率源的过零拍频之间的时间差图

假设第 i 次测量，时差小于拍频一个周期，则两个频率源的过零拍频之间的时间差

$$\text{为 } X(i) = (T_1 - T_2) \frac{f_b}{f_c} + \frac{\varphi}{2\pi f_c}$$

其中 $T_1 - T_2 = \Delta T$ 为差拍信号 1 相对于差拍信号 2 的时差（计数器读数）， φ 是差拍信号 2 相对于差拍信号 1 由混频到计数器之间的相位差。

若延迟 τ （差拍周期的整数倍）时间后第 $i+1$ 次测量的时差为 $X(i+1)$ ，则在这段时间间隔内的平均相对频差为 $Y(i) = \frac{X(i+1) - X(i)}{\tau}$ 。也可表示为

$$Y(\tau) = \frac{f_b}{f_c} \times \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\tau}$$

稳定度由下式计算：

$$\begin{aligned} \delta_y^2(\tau) &= \frac{1}{2(m-1)} \sum_{i=1}^{m-1} [Y(i+1) - Y(i)]^2 \\ &= \frac{1}{2(m-1)\tau^2} \sum_{i=1}^{m-1} [X(i+2) - 2X(i+1) + X(i)]^2 \end{aligned}$$

也可以从时间间隔计数器中读出的 ΔT 直接计算：

$$\delta_y(\tau) = \frac{f_b}{\sqrt{2(m-1)}f_c} \left\{ \sum_{i=1}^{m-1} [\Delta T(i+2) - 2\Delta T(i+1) + \Delta T(i)]^2 \right\}^{1/2}$$

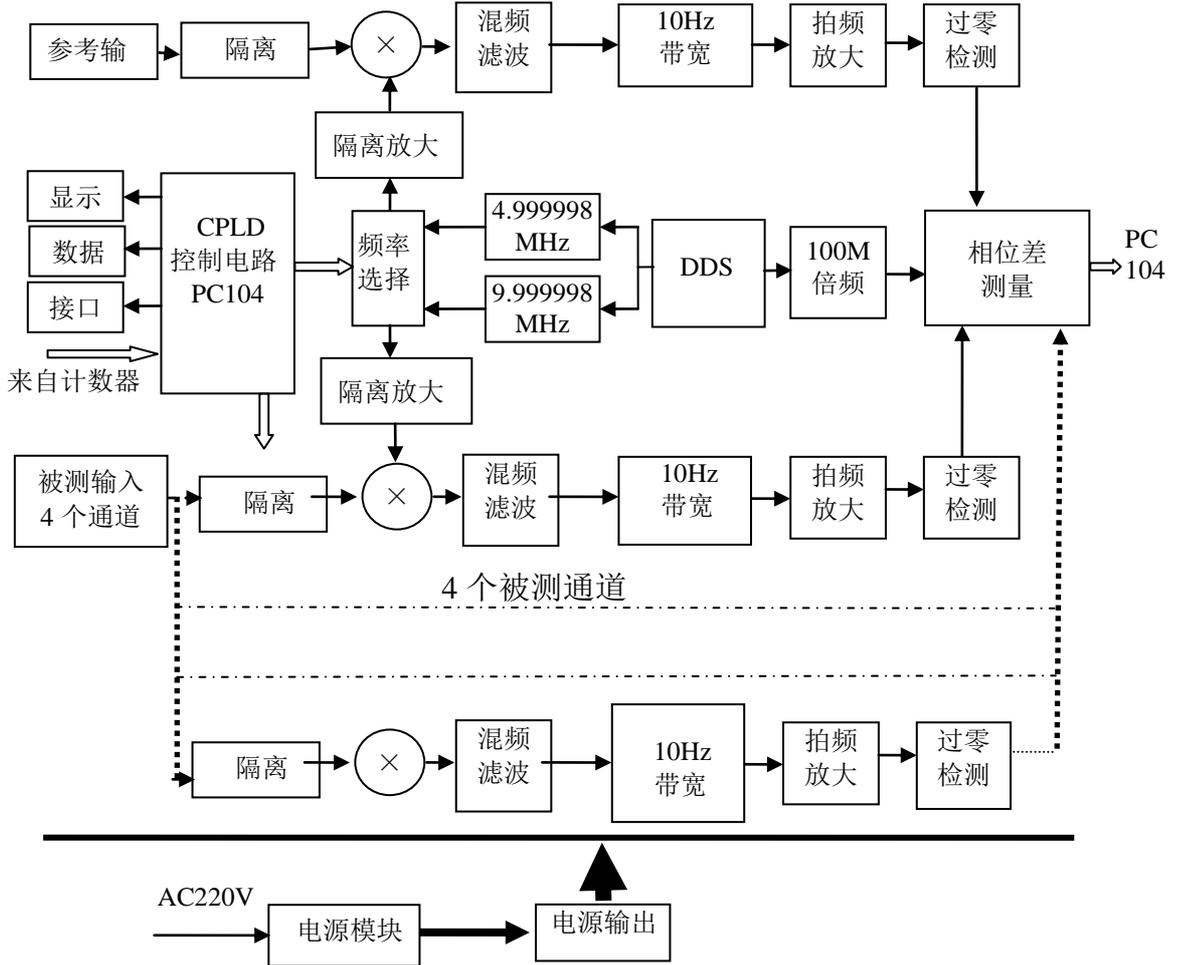
如果频标的标称频率为 10MHz，拍频频率为 10Hz，第 i 次测量时差为 15ns，第 $i+1$ 次测量时差为 16ns，若第 $i+1$ 次测量相对于第 i 次测量延迟时间 τ 为 1s（100 个拍频周期），则相对频差为：

$$Y(i) = \frac{10}{1 \times 10^7} \times \frac{(16-15) \times 10^{-9}}{1} = 1 \times 10^{-15}。$$

实际测量中两个信号总是存在频率偏差，因此我们通过软件处理的方法解决周期模糊，从而实现长时间采样测量。

由此表明，采用双混频时差测量方法可实现高精度的频率偏差测量，由于采用双混频，将被测频率变换为较低的拍频频率，这样，实现时差放大，亦即相当于实现了频差倍增，若输入频率为 10MHz，拍频频率为 10Hz，那么，相当于倍增了 10^6 倍。当频率为 10MHz 时，时间间隔计数器测量时差只需满足 2.5×10^{-8} s，系统的比对不确定度即可达到 2.5×10^{-14} s。

3.3 整机工作原理



整机方框图

由整机方框图可以看出，DDS 根据测量信号的频率不同，分别选择 9.999998MHz 或者 4.999998MHz，无论被测频率为 10MHz 还是 5MHz 均保证放大倍数大于 10^6 ，对于 4 个测量通道，分别记录参考信号和被测信号在相同过零点时刻的相位差。由于存在频率偏差，通过软件解决周期模糊现象，保证了频率标准的长时间比对测量。

第四章 服务与支持

4.1 保修概要

石家庄数英仪器有限公司对生产及销售产品的工艺和材料缺陷,自发货之日起给予一年的保修期。保修期内,对经证实是有缺陷的产品,本公司将根据保修的详细规定给予修理或更换。

除本概要和保修单所提供的保证以外,本公司对本产品没有其他任何形式的明示和暗示的保证。在任何情况下,本公司对直接、间接的或其他继发的任何损失不承担任何责任。

4.2 联系我们

在使用产品的过程中,若您感到有不便之处,可和石家庄数英仪器有限公司直接联系:

周一至周五 北京时间 8:00-17:00

营销中心: 0311-83897148 83897149

客服中心: 0311-83897348

传 真: 0311-83897040

技术支持: 0311-83897241/83897242 转 8802/8801

0311-86014314

或通过电子信箱与我们联系

E-mail: market@suintest.com

网址: <http://www.suintest.com>

第五章 技术指标

5.1 输入信号频率

5.1.1 被测频标：5MHz、10MHz

5.1.2 参考频标：5MHz、10MHz

5.2 输入信号波形及幅度要求

波形：正弦波

幅度：3dBm~13dBm

输入阻抗：50Ω

5.3 参考频标与被测频标间允许最大相对频偏

$$y = \frac{f_x - f_r}{f_r} \leq 1 \times 10^{-8}$$

5.4 测量通道

ST2051	1 路
ST2052	2 路
ST2053	3 路
ST2054	4 路
ST2058	8 路

5.5 比对不确定度

$5 \times 10^{-13}/1s$; $5 \times 10^{-14}/10s$; $5 \times 10^{-15}/100s$;

$1 \times 10^{-15}/1000s$; $5 \times 10^{-16}/10000s$;

5.6 测量功能 阿伦标准偏差、准确度、开机特性、老化率、复现性

5.7 接口类型 USB 接口、LAN 接口

5.8 仪器工作环境

环境温度： 10℃~30℃ （18℃~25℃指标有效 温度变化：±1℃/h）

环境湿度： 20%~80%

大气压强： 86kpa~106kpa

5.9 供电电源 220(1±10%)V 50(1±5%)Hz 功耗 65VA（最大）

5.10 仪器开机预热时间 预热 60 分钟 阿伦标准偏差可达 $5 \times 10^{-13} / 1s$

5.11 外形尺寸、重量

365mm×154mm×467mm	10.5kg (ST2051/ST2052/ST2053/ST2054)
560mm×195mm×420mm	25kg (ST2058)