



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 181--2005

石英晶体频率标准

Quartz Crystal Frequency Standards

2005 - 09 - 05 发布

2006 - 03 - 05 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

石英晶体频率标准检定规程

Verification Regulation of Quartz

Crystal Frequency Standards

JJG 181—2005
代替 JJG 181—1989

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2005 年 9 月 5 日批准，并自 2006 年 3 月 5 日起施行。

归口单位： 全国时间频率计量技术委员会

起草单位： 中国计量科学研究院

本规程委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

李黎明 （中国计量科学研究院）

张爱敏 （中国计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量性能要求	(1)
3.1 输出频率	(1)
3.2 短期频率稳定度	(1)
3.3 单边带相位噪声	(1)
3.4 日老化率	(1)
3.5 频率准确度	(1)
4 通用技术要求	(2)
4.1 外观标志	(2)
4.2 其他要求	(2)
5 计量器具控制	(2)
5.1 检定条件	(2)
5.2 检定项目和检定方法	(3)
5.3 检定结果的处理	(7)
5.4 检定周期	(7)
附录 A 相对平均频率偏差测量方法	(8)
附录 B 相位噪声测量方法	(11)
附录 C 检定证书 (内页) 格式	(12)
附录 D 检定证书 (内页) 格式 (GPS 控制的石英晶体频率标准)	(13)
附录 E 检定结果通知书 (内页) 格式	(14)

石英晶体频率标准检定规程

1 范围

本规程适用于石英晶体频率标准（包括 GPS 控制的石英晶体频率标准）的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 概述

石英晶体频率标准（以下简称石英频标）是指制成一台独立装置的高稳定石英晶体振荡器。它主要由石英谐振器、振荡电路、隔离放大器、自动增益控制电路、恒温箱、精密温度控制电路和直流稳压电源等部分组成。

石英频标具有优良的短期频率稳定性和较高的频率准确度；受 GPS 信号控制的石英频标，其频率准确度能达到原子频标的水平。

石英频标广泛应用于工业生产、国防、科研和计量等部门。

3 计量性能要求

3.1 输出频率

1MHz, 5MHz, 10MHz

3.2 短期频率稳定度

$$\sigma_y (1\text{ms}): 1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-10}$$

$$\sigma_y (10\text{ms}): 1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-11}$$

$$\sigma_y (100\text{ms}): 1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-12}$$

$$\sigma_y (1\text{s}): 1 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-13}$$

$$\sigma_y (10\text{s}): 1 \times 10^{-10} \sim 5 \times 10^{-13}$$

3.3 单边带相位噪声

$$\mathcal{L} (10\text{Hz}): (-100 \sim -130) \text{ dBc/Hz}$$

$$\mathcal{L} (100\text{Hz}): (-120 \sim -150) \text{ dBc/Hz}$$

$$\mathcal{L} (1\text{kHz}): (-130 \sim -160) \text{ dBc/Hz}$$

$$\mathcal{L} (10\text{kHz}): (-140 \sim -165) \text{ dBc/Hz}$$

$$\mathcal{L} (100\text{kHz}): (-140 \sim -165) \text{ dBc/Hz}$$

3.4 日老化率

$$\pm 1 \times 10^{-9} \sim \pm 1 \times 10^{-11}$$

3.5 频率准确度

$$1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-10}$$

$$(1 \sim 2) \times 10^{-12} \text{ (GPS 控制时的石英频标)}$$

4 通用技术要求

4.1 外观标志

石英频标的前面板或后面板上应标有仪器名称、仪器型号、制造厂、仪器出厂序号、计量器具制造许可证标志及电源要求。

4.2 其他要求

4.2.1 石英频标的电源开关、频率调节及输入输出端口应有明确识别标志。

4.2.2 仪器送检时要附带仪器说明书，后续检定还需附带前次检定的检定证书。

5 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检验。

5.1 检定条件

5.1.1 检定用设备

5.1.1.1 短期频率稳定度参考频标

短期频率稳定度应优于被检石英频标相应取样时间频率稳定度的3倍。

5.1.1.2 相位噪声参考频标

输出功率电平应满足测量系统技术指标的要求。

相位噪声应小于被检石英频标相应傅立叶频率点的相位噪声10dB。

有电调输入端口。

5.1.1.3 日老化率及频率准确度参考频标

日老化率及频率准确度应优于被检石英频标相应技术指标的10倍。

5.1.1.4 短期频率稳定度测量系统

输入频率：包含1MHz，5MHz，10MHz。

取样时间：1ms，10ms，100ms，1s，10s。

测量带宽应大于相应取样时间倒数的5倍。

引入的测量不确定度应比被检石英频标相应取样时间的频率稳定度小3倍。

5.1.1.5 相位噪声测量系统

输入频率：覆盖1MHz，5MHz，10MHz。

傅立叶频率：10Hz~100kHz。

本底相位噪声应小于被检石英频标相应傅立叶频率点的相位噪声10dB。

5.1.1.6 日老化率及频率准确度测量系统

输入频率：包含1MHz，5MHz，10MHz。

测量最大允许误差应比被检石英频标相应技术指标小10倍。

5.1.2 检定环境条件

5.1.2.1 环境温度：可处于(15~30)℃范围内任一点，温度最大允许变化范围 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

5.1.2.2 环境相对湿度： $\leq 80\%$ 。

5.1.2.3 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.1.2.4 交流电源：220(1 \pm 2%)V，50(1 \pm 2%)Hz。

5.1.2.5 负载：在检定过程中负载应固定不变。

5.2 检定项目和检定方法

5.2.1 检定项目

检定项目见表 1。

表 1 检定项目一览表

项目名称	首次检定			后续检定			使用中检验		
外观及工作正常性检查	+			+			+		
短期频率稳定度	+	(+)	[+]	+	(+)	[+]	+	(+)	[+]
单边带相位噪声	+	(+)	[+]		(+)			(+)	
日老化率	+	(-)	[-]	+	(-)	[-]	-	(-)	[-]
频率准确度	+	(-)	[+]	+	(-)	[+]	+	(-)	[+]

注：1. “+”为应检项目，“-”为可不检项目。
 2. 合并的单元格表示对应的两项可全检或选检其中一项。（根据技术指标或送检单位的需要）
 3. () 表示仅作为短期频率稳定度标准的石英频标检定项目。
 4. [] 表示 GPS 控制的石英频标检定项目。

5.2.2 外观及工作正常性检查

5.2.2.1 被检石英频标不能有影响正常工作及读数的机械损伤、插座松动和接触不良。通用技术要求中的各项标志齐全，可被识别。

5.2.2.2 通电后仪器状态正常。达到说明书规定预热时间后各输出端应有相应频率信号输出。将输出频率标称值记录于附录 C 中的表 C.4 或附录 D 中的表 D.3。

5.2.3 相对平均频率偏差

相对平均频率偏差 $y(\tau)$ 是在时间间隔（取样时间） τ 内频率实际值的平均值相对标称值的偏差。用公式（1）表示：

$$y(\tau) = \frac{\bar{f}_x - f_0}{f_0} \quad (1)$$

式中： f_0 ——被测频率的标称值；

\bar{f}_x ——被测频率在时间 τ 内的平均频率值。

$y(\tau)$ 的测量方法参看附录 A。

5.2.4 短期频率稳定度的检定

频率稳定度是描述一定时间间隔（取样时间） τ 内平均频率随机起伏程度的量。用 Allan 标准偏差 $\sigma_y(\tau)$ 表征。

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m [y_{i+1}(\tau) - y_i(\tau)]^2} \quad (2)$$

式中： m ——取样组数；

$y_i(\tau), y_{i+1}(\tau)$ ——第 i 和第 $i+1$ 次测得的取样时间 τ 内相对平均频率偏差。

5.2.4.1 被检石英频标需预热 24h 以上。

5.2.4.2 测量短期频率稳定度时，取样时间及相应的取样组数见表 2。

表 2 取样时间与取样组数

取样时间 τ	1ms	10ms	100ms	1s	10s
取样组数 m	100	100	100	100	50

5.2.4.3 可选用附录 A 中 A.1 或 A.2 的方法进行测量。

A.1 方法一：测量信号频率获取 $y(\tau)$ 。所需取样时间由电子计数器的闸门时间给出，测量带宽不小于 $5/\tau$ ，相对每个取样时间分别连续测量 $m+1$ 个 $y(\tau)$ 数据。

A.2 方法二：测量信号周期获取 $y(\tau)$ 。调节频率合成器使混频器输出的信号频率为 1kHz，所需的取样时间通过改变电子计数器周期倍乘数获得。与周期倍乘数 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 相对应的取样时间分别为 1ms, 10ms, 100ms, 1s, 10s。选择测量带宽不小于 $5/\tau$ ，相对每个取样时间分别连续测量 $m+1$ 个 $y(\tau)$ 数据。

将获得的 $y(\tau)$ 数据及取样组数 m 代入公式 (2)，计算出相应取样时间的 $\sigma_y(\tau)$ 。

将计算结果记录于附录 C 中的表 C.1，并注明测量带宽。

5.2.4.4 取样时间为 1s 和 10s 的频率稳定度必须进行检定，其余取样时间的频率稳定度根据送检单位的需要选检。

5.2.4.5 作为短期频率稳定度标准的石英频标，取样时间为 1ms ~ 10s 的频率稳定度全检。

5.2.4.6 GPS 控制的石英频标应在不受控状态（未接入 GPS 信号）和受控状态分别进行测量。预热时间同 5.2.4.1。结果记录于附录 D 中的表 D.1。

5.2.5 单边带相位噪声的检定

单边带相位噪声是指偏离载频 f 处信号的一个相位调制边带的功率谱密度与载波功率之比，用 $\mathcal{L}(f)$ 表示。

$$\mathcal{L}(f) = \frac{P_m}{P_c} \quad (\text{dBc/Hz}) \quad (3)$$

式中： P_m ——偏离载频 f 处单位频带内信号的一个相位调制边带的平均功率；

P_c ——载波功率。

5.2.5.1 被检石英频标需预热 24h 以上。

5.2.5.2 按附录 B 的方法测量。

5.2.5.3 傅立叶频率选 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz。在每一个傅立叶频率处至少测量 4 次，取其平均值作为该频率点的单边带相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ 的测量数据。

将检定结果记录于附录 C 中的表 C.2，并给出测试曲线。

5.2.5.4 GPS 控制的石英频标，应在不受控状态和受控状态分别进行测量。预热时间同 5.2.5.1。检定结果记录于附录 D 中的表 D.2。

5.2.6 日老化率的检定

晶振在连续运行过程中，频率值随时间呈单方向的变化，称频率老化。单位时间内相对平均频率偏差的变化量称为老化率。如果单位时间为日，则称日老化率。

大多数晶振经足够的时间预热后，在一段时间内其频率变化近似为线性，可用一条直线近似描述，该直线由实测值用最小二乘法拟合而成。老化率 K 则用直线的斜率 \hat{b} 表示。

拟合直线斜率 \hat{b} 的计算公式为

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau)](t_i - \bar{t})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \quad (1/\text{日}) \quad (4)$$

式中： N —— $y(\tau)$ 的取样个数；

t_i ——测量时刻， $t_i = iT$ ， T 为取样周期（单位为日）；

$y_i(\tau)$ —— t_i 时刻测得的相对平均频率偏差。

$$\bar{y}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i(\tau)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

相关系数 r 的计算公式为

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau)](t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau)]^2 \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}} \quad (5)$$

残差均方根值 σ_D 的计算公式为

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau) - \hat{b}(t_i - \bar{t})]^2}{N - 2}} \quad (6)$$

残差是指在 t_i 时刻测得的 $y_i(\tau)$ 与拟合直线上同一时刻估算的 $y(\tau)$ 之差。

5.2.6.1 被检石英频标按说明书规定时间预热，实际预热时间应在检定证书中注明。

5.2.6.2 按附录 A 中 A.1 测量 $y(\tau)$ 。取样时间 $\tau \geq 10\text{s}$ ，每隔 12h 测量一组数据，即 $T = 0.5$ 日，每组连续取样 3 次，取其算术平均值作为 $y(\tau)$ 的一个测量数据。共测 7 天，得到 15 个测量数据。

由于 $t_i = iT$ ， $T = 0.5$ 日，公式 (4) 变换为

$$\hat{b} = \frac{2 \sum_{i=1}^N [y_i(\tau) - \bar{y}(\tau)](i - \bar{i})}{\sum_{i=1}^N (i - \bar{i})^2} \quad (1/\text{日}) \quad (7)$$

按公式 (7) 计算拟合直线斜率 \hat{b} 。

按公式 (5) 计算相关系数 r 。

按公式 (6) 计算残差均方根值 σ_D 。

将计算结果记录于附录 C 中的表 C.3。

5.2.6.3 如果相关系数 $|r| \geq 0.6$ ，表明频率随时间变化线性显著，则可用 \hat{b} 近似表示日老化率 K 。将日老化率 K 记录于附录 C 中的表 C.3，并附频率变化曲线和老化直线。

如果相关系数 $|r| < 0.6$ ，表明按规定的预热时间测量，频率随时间变化线性不明显，则不给日老化率值。只附频率变化曲线。

5.2.7 频率准确度的测量和调整

频率准确度是指频率的实际值相对标称值的偏离程度。

5.2.7.1 频率准确度的测量

被检石英频标在其他各项指标检定完毕后，对其频率准确度进行测量，取样时间 $\tau \geq 10s$ 。按附录 A 中 A.1 方法连续测量 3 次 $y(\tau)$ ，取其算术平均值作为该时刻频率准确度的测量数据。

5.2.7.2 频率准确度的调整

参考 5.2.6.2 中计算得到的 K ， \hat{b} ， r ， σ_D ；

当 $|r| \geq 0.6$ 时，如果 $|y(\tau)| > 10|K| + 3\sigma_D$ 或 $y(\tau)$ 与 K 的符号相同，则对频率准确度进行调整。使调整后的 $|y(\tau)| \leq 10|K| + 3\sigma_D$ ，并使 $y(\tau)$ 与 K 的符号相反。

当 $|r| < 0.6$ 时，如果 $|y(\tau)| > 10|\hat{b}| + 3\sigma_D$ ，则对其频率准确度进行调整。使调整后的 $|y(\tau)|$ 值尽量小。

5.2.7.3 调整完成后，被检石英频标应稳定 1h，重复 5.2.7.1 和 5.2.7.2 的测量、比较和调整。

5.2.7.4 频率准确度的给出

频率准确度检定结果： $A = 10|K| + 3\sigma_D$ 或 $A = 10|\hat{b}| + 3\sigma_D$ 。

5.2.7.5 频率准确度的数值只保留一位有效数字，只要舍去的数不为 0，则将所保留的有效数字加 1。例： $A = 3.2 \times 10^{-9}$ ，给出结果 $A = 4 \times 10^{-9}$ 。

5.2.7.6 将结果记录于附录 C 中的表 C.4。

5.2.7.7 GPS 控制的石英频标频率准确度的测量

可选用附录 A 中 A.3 或 A.4 的方法进行测量。

A.3 方法三：测量信号相位差获取 $y(\tau)$ 。取样时间 $\tau = 24h$ ，读取相位记录仪上 24h 累积的相位差数，按公式 (A.3) 计算，得到一个相对频率偏差测量数据。

A.4 方法四：测量时间间隔获取 $y(\tau)$ 。某一时刻 t_1 开始测量的时间间隔为 T_1 ，24h 后在 t_2 时刻测量的时间间隔为 T_2 ，按公式 (A.4) 计算，得到一个相对频率偏差测量数据。

(1) 石英频标为 GPS 控制状态

连续测量 7 天，得到 7 个相对频率偏差 $y(\tau)$ ，按式 (8) 给出被检石英频标的频率准确度（一天平均）。

$$A_{\text{受控}} = |y(\tau)|_{\max} \quad (8)$$

将结果记录于附录 D 中的表 D.3。

(2) 石英频标为保持状态

受控 7 天后去掉 GPS 信号，测量 1 天，得到 1 个相对频率偏差测量数据 $y(\tau)$ ，频率准确度 $A_{\text{保持}} = |y(\tau)|$ ，记录于附录 D 中的表 D.3。

(1)，(2) 中 A 的数值处理同 5.2.7.5。

5.3 检定结果的处理

按本规程规定和要求检定合格的石英频标，出具检定证书；检定不合格的，出具检定结果通知书，并注明不合格项目。

5.4 检定周期

石英频标的检定周期一般不超过 1 年。

附录 A

相对平均频率偏差测量方法

A.1 方法一：用电子计数器测量频差倍增器输出的信号频率。

按图 A.1 连接仪器。

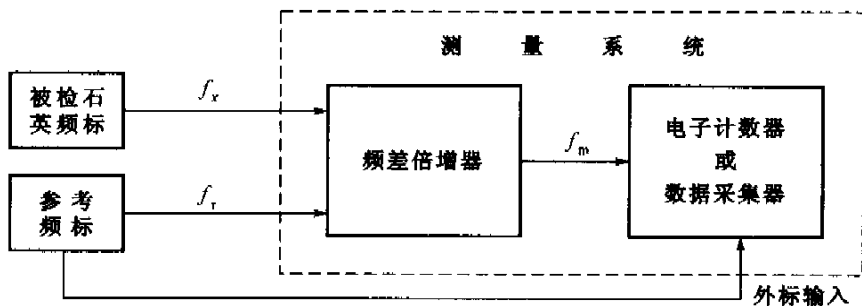


图 A.1

将被检石英频标和参考频标的输出信号分别接至频差倍增器的相应输入端，频差倍增器的输出端与电子计数器的输入端相连。电子计数器的外标输入端接入参考频标。

按公式 (A.1) 计算 $y(\tau)$ ：

$$y(\tau) = \frac{f_m - f_{m0}}{Mf_0} \tag{A.1}$$

式中： f_{m0} ——电子计数器所测频率的标称值；

f_m ——电子计数器在取样时间 τ 内测得的平均频率值；

M ——频差倍增器的等效倍增次数；

f_0 ——被检石英频标频率的标称值。

A.2 方法二：用电子计数器测量差频信号周期。

按图 A.2 或图 A.3 连接仪器。

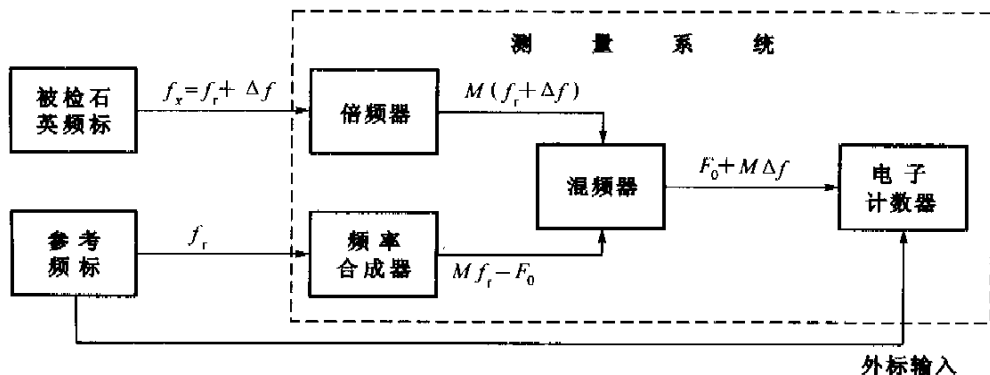


图 A.2

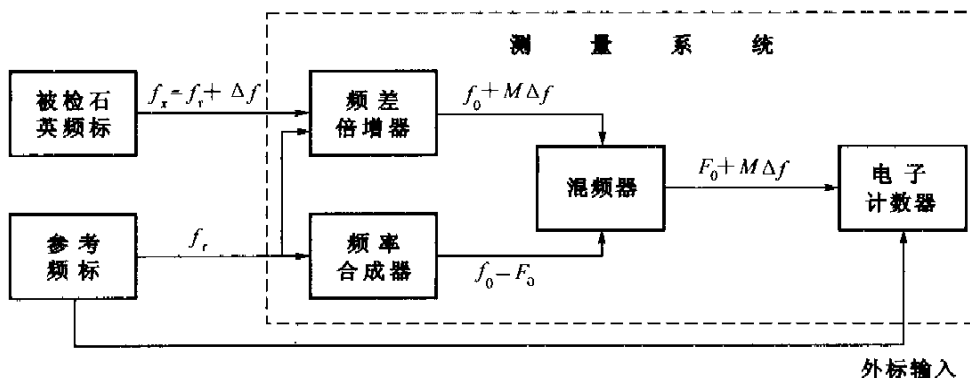


图 A.3

频差倍增器（或倍频器）的输出端和频率合成器的输出端分别与混频器的两输入端相连。混频器输出的差频信号接至电子计数器的输入端。

按公式 (A.2) 计算 $y(\tau)$ ：

$$y(\tau) = \frac{F_0(\tau_{p0} - \tau_p)}{Mf_0\tau_{p0}} \quad (\text{A.2})$$

式中： F_0 ——电子计数器所测频率的标称值，取 1kHz；

τ_{p0} ——设定的取样时间标称值，即 p 倍信号周期 ($\tau_{p0} = p/F_0$ ， p 为周期倍乘数)；

τ_p ——电子计数器实际测得值。

A.3 方法三：用比相法测量。

按图 A.4 连接仪器。

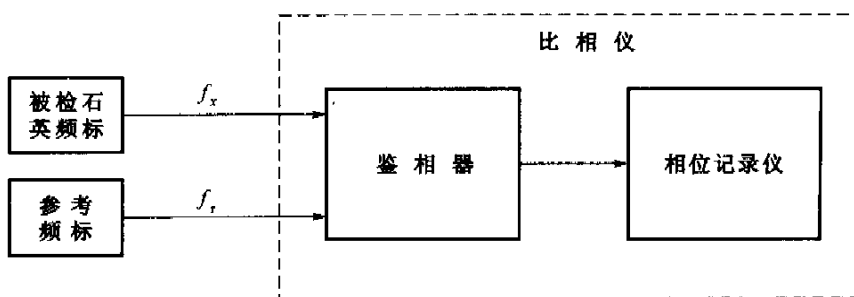


图 A.4

将被检石英频标和参考频标的输出信号分别接至比相仪的相应输入端。

按公式 (A.3) 计算 $y(\tau)$ ：

$$y(\tau) = \frac{x(t + \tau) - x(t)}{\tau} \quad (\text{A.3})$$

式中： τ ——取样时间，单位为 ns。

$x(t), x(t + \tau)$ ——分别为 τ 的始末时刻测得的相位时间，单位为 ns。

A.4 方法四：用时间间隔计数器测量时间间隔。

按图 A.5 连接仪器。

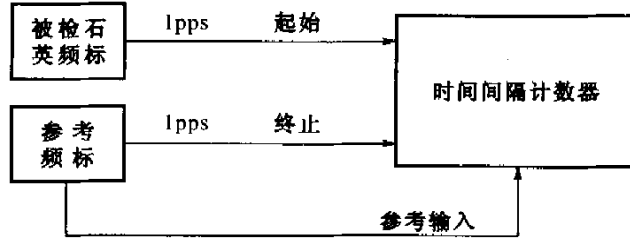


图 A.5

将被检石英频标和参考频标的输出信号分别接至时间间隔计数器的起始和终止输入端。

按公式 (A.4) 式计算 $y(\tau)$ ：

$$y(\tau) = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{A.4})$$

式中： t_1, t_2 ——分别为取样时刻；

$\tau = t_2 - t_1$ ，为取样时间，ns；

T_1, T_2 ——分别为 t_1, t_2 时刻测得的时间间隔，ns。

附录 B

相位噪声测量方法

按图 B.1 连接仪器。

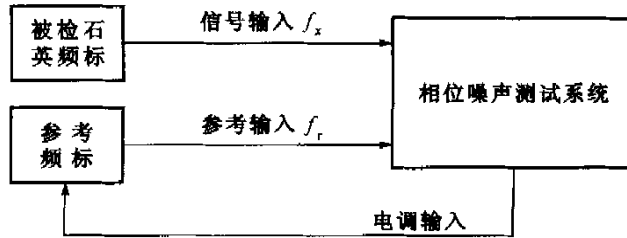


图 B.1

被检石英频标的输出端与参考频标的输出端分别接至相位噪声测试系统的信号输入端和参考输入端。测试系统输出的电调信号接至参考频标电调信号输入端。按测量系统要求进行测量。

附录 C

检定证书（内页）格式

C.1 短期频率稳定度

表 C.1 短期频率稳定度

取样时间 τ	测量带宽	$\sigma_y(\tau)$
1ms		
10ms		
100ms		
1s		
10s		

C.2 单边带相位噪声

表 C.2 单边带相位噪声

频偏 f	$\mathcal{L}(f) / \text{dBc} \cdot \text{Hz}^{-1}$
10Hz	
100Hz	
1kHz	
10kHz	
100kHz	

附图：

C.3 日老化率

表 C.3 日老化率

预热时间	相关系数 r	拟合直线斜率 \hat{b}	$3\sigma_D$	日老化率 K

附图：

C.4 频率准确度

表 C.4 频率准确度

输出频率标称值	频率准确度

温度：

湿度：

附录 D

检定证书（内页）格式 （GPS 控制的石英晶体频率标准）

D.1 短期频率稳定度

表 D.1 短期频率稳定度

取样时间 τ	测量带宽	$\sigma_y(\tau)$	
		不受控	受控
1ms			
10ms			
100ms			
1s			
10s			

D.2 单边带相位噪声

表 D.2 单边带相位噪声

频偏 f	$\mathcal{L}(f) / \text{dBc} \cdot \text{Hz}^{-1}$	
	不受控	受控
10Hz		
100Hz		
1kHz		
10kHz		
100kHz		

附图：

D.3 频率准确度

表 D.3 频率准确度

工作状态	时间/天	相对平均频率偏差 $\gamma(\tau)$
受控	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
保持	8	
输出频率标称值	频率准确度 A	
	$A_{\text{受控}}$	$A_{\text{保持}}$

温度：

湿度：

附录 E

检定结果通知书（内页）格式

1. 内容格式分别与附录 C, D 相同。
2. 注明不合格项目。