



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX-XXX

## 比相仪校准规范

Calibration Specification for Phase Comparators  
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布



# 比相仪校准规范

Calibration Specification for  
Phase Comparators

JJFXXX-202X  
代替 JJG433-2004

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：北京无线电计量测试研究所

参加起草单位：中国计量科学研究院

北京大华无线电仪器有限责任公司

本规范委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

柳 丹（北京无线电计量测试研究所）

杨 军（北京无线电计量测试研究所）

**参加起草人：**

史晓洋（北京无线电计量测试研究所）

张爱敏（中国计量科学研究院）

张 越（中国计量科学研究院）

张京真（北京大华无线电仪器有限责任公司）

# 目 录

引言.....	(I)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 输入灵敏度.....	(1)
3.2 相位漂移.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
5.1 频率范围.....	(2)
5.2 输入灵敏度.....	(2)
5.3 相位漂移.....	(2)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其他设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准方法.....	(3)
8 校准结果表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 原始记录格式.....	(7)
附录 B 校准证书（内页）格式.....	(8)
附录 C 主要校准项目不确定度评定示例.....	(9)

# 引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范是对 JJG 433-2004《比相仪》的修订，与 JJG 433-2004 相比，技术修订内容如下：

——根据 JJG 2007-2015《时间频率计量器具》将频率准确度改为相对频率偏差；

——完善了比相仪工作原理；

——删除了非线性误差、鉴相死区校准方法。

本规范历次版本发布情况：

——JJG433-2004；

——JJG433-1986。

# 比相仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于线性比相仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1180 时间频率计量名词术语及定义

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用本规范。

## 3 术语和计量单位

### 3.1 输入灵敏度 input sensitivity

比相仪正常工作所需要的输入信号最小电压值，用有效值表示。

### 3.2 相位漂移 phase drift

比相仪自身引入的相位差的缓慢变化，用 1 天内相位差的变化来表示，单位为纳秒（ns）。

## 4 概述

线性比相仪是时间频率精确测量的专用设备，通过对两台频标输出信号的相位进行比对，来测量这两个信号的平均频率偏差，由此可计算出相对频率偏差、频率漂移率及频率稳定度等。比相仪由嵌入式计算机主板、AD 数据采集、I/O 控制板、计算机外围接口和比相测试电路板组成。

比相仪工作原理如图 1 所示。

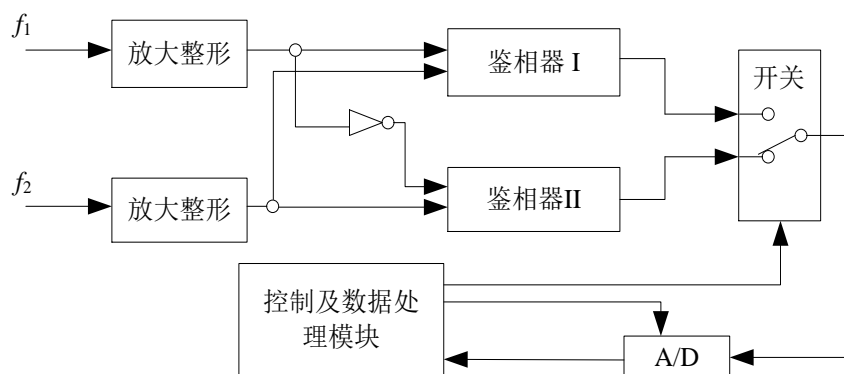


图 1 比相仪工作原理图

两路被测信号 ( $f_1$ 、 $f_2$ ) 经放大整形后, 成为方波。一路 ( $f_1$  这一路) 将两个相位差  $180^\circ$  的信号分别送到两个鉴相器, 另一路 ( $f_2$  这一路) 将两个相位相同的信号也分别送到两个鉴相器。经过鉴相器鉴相、滤波后, 产生鉴相电压信号。这两个鉴相器的输出电压信号相位差  $180^\circ$ , 如图 2 所示。当鉴相器 I 的输出信号进入非线性区 (或死区) 时, 鉴相器 II 的输出正好在线性区。反之, 当鉴相器 II 的输出信号进入非线性区 (或死区) 时, 鉴相器 I 的输出正好在线性区。控制及数据处理模块控制开关切换, 使 A/D 转换器总是采集线性区的电压信号, 测试过程无死区, 而且线性好, A/D 采集后输出如图 3 所示。再由控制及数据处理模块将采集的数据存储、显示, 并进行数据处理和显示输出。

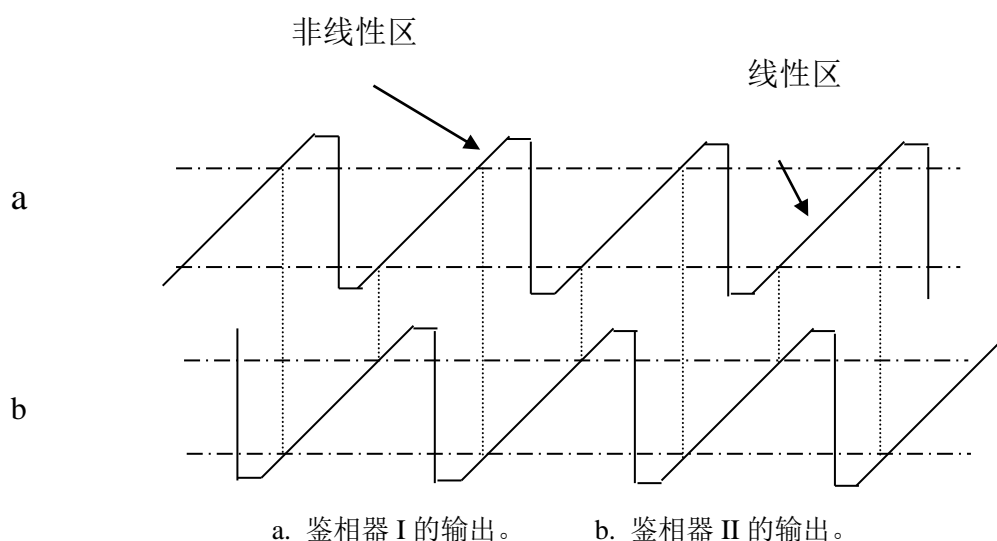


图 2 鉴相器输出示意图

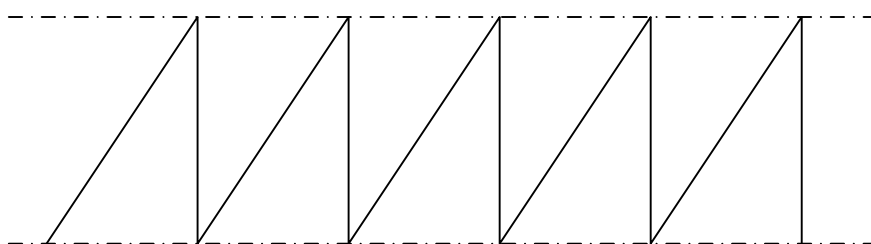


图 3 A/D 输入前示意图

## 5 计量特性

### 5.1 频率范围

100 kHz~10 MHz。

### 5.2 输入灵敏度

≤300 mV (有效值, 50Ω 负载)。



### 5.3 相位漂移(对 5 MHz、10 MHz)

≤4 ns (测量时间 1 d)。

注：以上技术指标不作合格性评定，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 6.1.1 环境温度

在 18°C~28°C 范围内任选一值，温度最大允许变化±2°C。

#### 6.1.2 环境湿度

相对湿度≤80%。

#### 6.1.3 供电电源

电压：220 (1±10%) V；

频率：50 (1±2%) Hz。

#### 6.1.4 其它

周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

### 6.2 测量标准及其他设备

#### 6.2.1 参考频标

输出频率：5 MHz、10 MHz；

最大允许频率偏差：±5×10<sup>-11</sup>。

#### 6.2.2 频率合成器

输出频率：应覆盖被校比相仪的测量范围；

输出电平：10 mV~1 V (有效值，50Ω 负载)；

有外接频标功能。

#### 6.2.3 相位微跃器或精密移相器

相位偏移分辨力：1 ns；

注：以上指标仅供参考。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	校准项目
1	外观及工作正常性检查
2	频率范围及输入灵敏度
3	相位漂移

### 7.2 校准方法

### 7.2.1 外观及工作正常性检查

#### (1) 外观检查

前面板或后面板上应标有：仪器名称、型号、制造厂、出厂编号及电源要求。

电源开关、输入输出端口、功能设置开关等均应有识别标志，显示屏能正常显示工作参数。

各接口应牢固可靠、各功能旋钮应灵活可用，无影响正常工作的机械损伤。

#### (2) 工作正常性检查

仪器连接如图 4 所示。

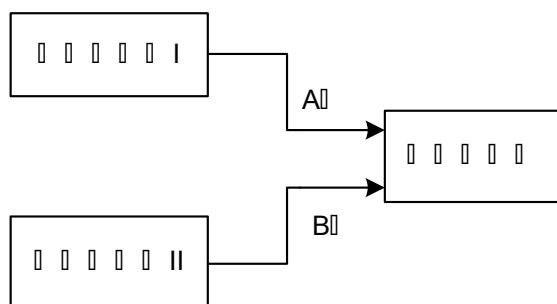


图 4 频率范围及输入灵敏度的校准

检查步骤如下：

a) 接通电源，设置频率合成器 I 和 II 输出频率和输出电压符合被校比相仪输入信号要求；

b) 检查比相仪各种功能是否正常，零刻度及满刻度调节是否能正常调节，各种指示灯及测量显示是否清晰可见；

c) 对有外控功能的比相仪按说明书的要求连接好控制电缆，检查通过控制指令比相仪是否能正常工作。

### 7.2.2 频率范围及输入灵敏度

仪器连接如图 4 所示，在被校比相仪工作频率范围内选上限频率如 10 MHz、下限频率如 100 kHz 及常用频率点如 5 MHz 等，测量频率范围及输入灵敏度。

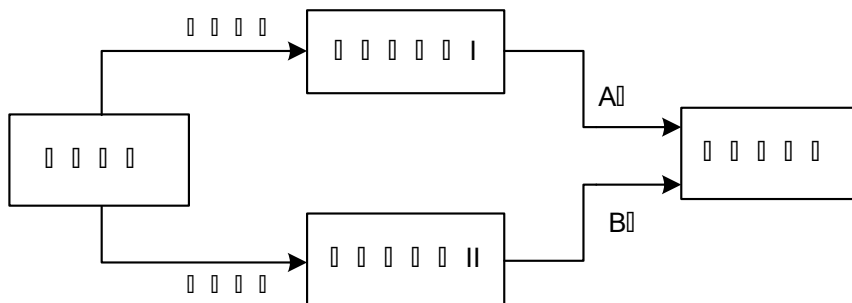


图 4 频率范围及输入灵敏度的校准

将参考频标输出的信号接至频率合成器 I 和 II 的外频标输入端，调节频率合成器 I、II 输出频率至被校比相仪上限频率如 10 MHz，频率合成器 II 的输出电

压调至被校比相仪最小输入电压指标值的 2~3 倍，如指标值为 0.3 V（有效值），输出值可调至 0.7 V（有效值），频率合成器 I 的输出电压调至被校比相仪最小输入电压指标值的十分之一左右，如 30 mV（有效值），然后增加频率合成器 I 的输出信号幅度，直至比相仪正常工作，记录此时的频率合成器 I 输出频率值及输出幅度值，即为比相仪 A 输入端该频率点的输入灵敏度，同法测量比相仪 B 输入端的频率范围及输入灵敏度。

用同样的方法校准比相仪的下限频率点和其它频率点及其相应的输入灵敏度。

### 7.2.3 相位漂移

仪器连接如图 5 所示。

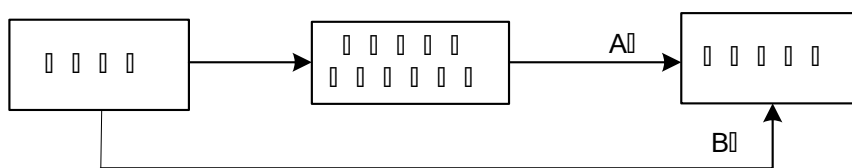


图 5 相位漂移的校准

a) 按比相仪说明书分别调节比相仪的零刻度、满刻度，参考频标输出 5 MHz 信号，调整相位微跃器或移相器使 A、B 端两输入信号的相位差为 180°；

b) 若被校比相仪显示记录值为  $\Delta P$ ，则对应的相位差为  $\Delta X$ ， $\Delta X$  与  $\Delta P$  的转换按公式（1）计算。

$$\Delta X = \frac{\Delta P}{M - N} \times T \quad (1)$$

式中：

$\Delta X$ ——相位差，ns；

$\Delta P$ ——显示刻度值差值，°；

$M$ ——比相仪满刻度值，°；

$N$ ——比相仪零刻度值，°；

$T$ ——被校比相仪输入信号的周期，ns。

测量时间 1 天相位差的最大变化量，即为被校比相仪的相位漂移。

## 8 校准结果表达

比相仪校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- 标题：“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

## 9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定, 推荐校准周期不超过 1 年。

## 附录 A

## 原始记录格式

## A.1 外观及工作正常性检查

检查项目	结果
外观	
工作正常性	

## A.2 频率范围及输入灵敏度（有效值，50Ω 负载）

输入信号频率/MHz	测量通道	输入灵敏度/mV	不确定度 $U$ ( $k=2$ )
0.1			
5			
10			

## A.3 相位漂移

相位漂移/ns	不确定度 $U$ ( $k=2$ )

## 附录 B

## 校准证书（内页）格式

## B.1 外观及工作正常性检查

检查项目	结果
外观	
工作正常性	

## B.2 频率范围及输入灵敏度（有效值，50Ω 负载）

输入信号频率/MHz	测量通道	输入灵敏度/mV	不确定度 $U$ ( $k=2$ )
0.1			
5			
10			

## B.3 相位漂移

相位漂移/ns	不确定度 $U$ ( $k=2$ )

## 附录 C

## 校准项目不确定度评定示例

## C.1 频率范围及输入灵敏度不确定度评定

测量方法见 7.2.2，其中参考频标为铯原子频率标准 5071A，频率合成器为 33250A，测量被校比相仪的输入灵敏度。

## C.1.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- (1) 频率合成器电平误差引入的不确定度；
- (2) 测量重复性引入的不确定度。

## C.1.2 标准不确定度分量评定

- (1) 频率合成器电平误差引入的不确定度分量  $u_1$

依据频率合成器 33250A 技术说明书，其电平误差为  $\pm(1\% \text{ 设定值} + 1 \text{ mV})$  峰峰值 =  $\pm 1.4 \text{ mV}$  (有效值)，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{1.4 \text{ mV}}{\sqrt{3}} = 0.8 \text{ mV}$$

- (2) 测量重复性引入的不确定度分量  $u_2$

采用 A 类方法进行评定，对被校比相仪输入信号灵敏度连续独立测量 10 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差。重复性测量数据见表 C.1。

表C.1 相位漂移的测量重复性

序号	输入信号灵敏度 $x_i$
1	69 mV
2	70 mV
3	70 mV
4	70 mV
5	71 mV
6	70 mV
7	70 mV
8	70 mV
9	71 mV
10	70 mV
平均值 $\bar{x}$	70 mV
$s_n(x)$	0.57 mV

不确定度分量：

$$u_2 = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.57 \text{ mV}$$

### C.1.3 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量见表 C.2。

表C.2 相位漂移的标准不确定度分量

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
频率合成器电平误差	$u_1$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.8 mV
测量重复性	$u_2$	A 类	正态	1	0.57 mV

### C.1.4 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1 \text{ mV}$$

### C.1.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 2 \text{ mV}$$

## C.2 相位漂移不确定度评定

测量方法见 7.2.3，其中参考频标为铯原子频率标准 5071A，用相位微跃器 BM1304-30 进行相位微调来测量被校比相仪的相位漂移。

### C.2.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- (1) 相位微跃器相位偏移分辨力引入的不确定度；
- (2) 测量重复性引入的不确定度。

### C.2.2 标准不确定度分量评定

- (1) 相位微跃器相位偏移分辨力引入的不确定度分量  $u_1$

依据相位微跃器 BM1304-30 技术说明书，其相位偏移分辨力为 0.024 fs，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子  $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{2.4 \times 10^{-8}}{\sqrt{3}} = 1.4 \times 10^{-8} \text{ ns}$$

- (2) 测量重复性引入的不确定度分量  $u_2$

采用 A 类方法进行评定，对被校比相仪相位漂移连续独立测量 10 次，用贝塞尔法计算实验标准偏差。重复性测量数据见表 C.3。



表C.3 相位漂移的测量重复性

序号	相位漂移 $x_i$
1	1.3 ns
2	1.5 ns
3	1.4 ns
4	1.6 ns
5	1.2 ns
6	1.5 ns
7	1.3 ns
8	1.6 ns
9	1.4 ns
10	1.2 ns
平均值 $\bar{x}$	1.4 ns
$s_n(x)$	0.149 ns

不确定度分量:

$$u_2 = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.149 \text{ ns}$$

### C.2.3 标准不确定度分量表

各标准不确定度分量见表 C.4。

表C.4 相位漂移的标准不确定度分量

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	$k$ 值	标准不确定度
相位微跃器相位偏移分辨力	$u_1$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	$1.4 \times 10^{-8} \text{ ns}$
测量重复性	$u_2$	A 类	正态	1	0.149 ns

### C.2.4 合成标准不确定度

以上各分量互不相关，合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.2 \text{ ns}$$

### C.2.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度为:

$$U = 2 \times u_c = 0.4 \text{ ns}$$