



中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX-XXX

长波模拟器校准规范

Calibration Specification for Long Wave Simulators

(送审稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局

发布

长波模拟器校准规范

Calibration Specification for
Long Wave Simulators

JJF XXX—202X

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

中国科学院国家授时中心

参加起草单位：北京市计量检测科学研究院

上海精密计量测试研究所

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）

闫温合（中国科学院国家授时中心）

阎栋梁（北京无线电计量测试研究所）

参加起草人：

杨 军（北京无线电计量测试研究所）

仲崇霞（北京市计量检测科学研究院）

陈 斌（上海精密计量测试研究所）

目 录

引言.....	(IV)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(3)
5.1 罗兰 C 信号中心频率.....	(3)
5.2 罗兰 C 信号组重复间隔.....	(3)
5.3 罗兰 C 信号电平.....	(3)
5.4 噪声信号电平.....	(3)
5.5 窄带干扰信号频率.....	(3)
5.6 窄带干扰信号电平.....	(3)
5.7 天波时延.....	(3)
5.8 副台时延.....	(3)
5.9 罗兰 C 信号相对于 GRP 信号时延.....	(3)
5.10 罗兰 C 信号相对于 1PPS 信号时延.....	(3)
5.11 内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度.....	(3)
6 校准条件.....	(4)
6.1 环境条件.....	(4)
6.2 测量标准及其他设备.....	(4)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准项目.....	(4)
7.2 校准方法.....	(5)
8 校准结果表达.....	(10)
9 复校时间间隔.....	(11)
附录 A 原始记录格式.....	(12)
附录 B 校准证书内页格式.....	(15)
附录 C 主要校准项目不确定度评定示例.....	(18)
附录 D 罗兰 C 信号波形.....	(26)

引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、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》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

长波模拟器校准规范

1 范围

本规范适用于授时型和定位型长波模拟器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 12752 船用罗兰 C 接收设备通用技术条件

GB/T 14379 罗兰 C 系统通用技术条件

JJF 1180 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1957 铷原子频率标准校准规范

JJF 1984 电子测量仪器内石英晶体振荡器校准规范

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）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 罗兰 C 系统 Loran-C system

指工作在（90~100）kHz 频段的远程无线电导航系统。它发射的信号主要用于导航，同时也可用作定时和校频，有时还用做通讯。系统包括地面发射台（一个主台和两个或多个副台）、监测站、控制中心、用户设备等。

[来源：GB/T 14379-93 3.1]

3.2 罗兰 C 台链 Loran-C chain

具有共同时间标准并采用同样的脉冲组重复间隔的一组罗兰 C 地面发射台，由一个主台和两个（或多个）副台组成。

[来源：GB/T 14379-93 3.2, 有修改]

3.3 脉冲组 pluses group

又叫脉冲群。罗兰 C 地面发射台发射的形状相同的一组脉冲，主台一组九个脉冲，前八个脉冲间隔 1ms，第九个与第八个脉冲间隔 2ms，副台一组八个脉冲，脉冲间隔 1ms。

[来源：GB/T 14379-93 3.7, 有修改]

3.4 组重复间隔 group repetition interval (GRI)

罗兰 C 地面发射台发射的相邻两个脉冲组时间标准之间的时间间隔。GRI 的倒数称脉冲组重复率。

[来源：GB/T 14379-93 3.14, 有修改]

3.5 基准过零点 zero-crossing of reference

正相位编码的罗兰信号最接近 30 μs 点的正向过零点，或负相位编码脉冲最接近 30 μs 点的负向过零点。

[来源：GB/T 14379-93 3.11，有修改]

3.6 地波信号 ground wave signal

沿地球表面传播的发射台辐射信号，简称地波。

[来源：GB/T 14379-93 3.38，有修改]

3.7 天波信号 skywave signal

经电离层反射进行传播的发射台辐射信号。经电离层一次反射的称一次天波信号，多次反射的称多次天波信号。

[来源：GB/T 14379-93 3.39，有修改]

3.8 天波时延 skywave delay

由电离层变化引起的天波信号的延迟，单位为微秒 (μs)。

3.9 副台时延 slave station delay

副台延迟于主台信号的发射时差，单位为微秒 (μs)。

3.10 组重复脉冲 group repetition pulse (GRP)

与罗兰 C 脉冲组同步的脉冲信号，起始与罗兰 C 脉冲组标准信号包络起始对齐，其周期与组重复间隔量值相等。

4 概述

长波模拟器由时间频率标准单元、显示控制单元、信号产生单元和信号电平调节与合成单元组成，工作原理如图 1 所示。时间频率标准单元为模拟器提供 1PPS 信号、10MHz 信号和时间信息，显示控制单元利用配置参数完成对信号参数计算，并控制信号产生单元输出罗兰 C 信号、窄带信号、天波干扰、噪声信号以及 GRP 信号，信号电平调节与合成模块完成对产生信号的幅度控制与叠加合成并对外输出模拟信号。长波模拟器输出的参考 1PPS 和 GRP 信号可同时提供给用户进行测量标定使用。

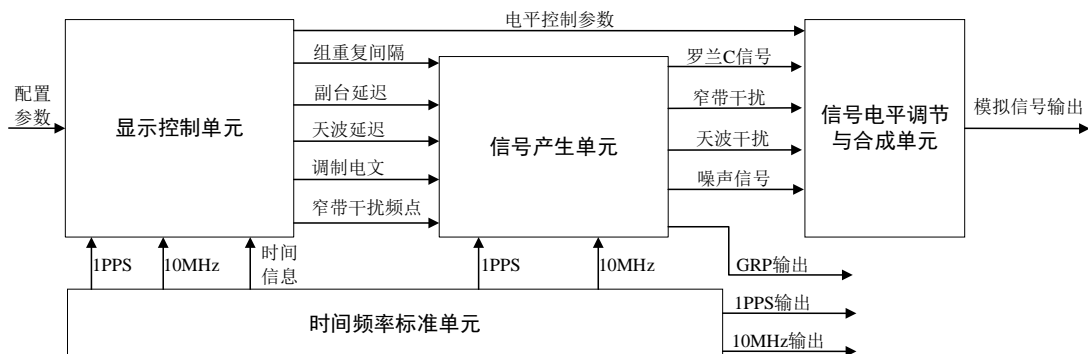


图 1 长波模拟器工作原理图

长波模拟器能够模拟罗兰 C 地面发射台、导航台链、天波干扰、连续波干扰、噪声和时差变化等过程，为罗兰 C 定时和定位接收机的研制调试、定时和定位结果验证、抗噪声和干扰性能评估、时延标定、灵敏度测试等过程提供模拟激励信号。

5 计量特性

5.1 罗兰 C 信号中心频率

100 kHz。

5.2 罗兰 C 信号组重复间隔

(40000~99990) μs ，步进为 10 μs 。

5.3 罗兰 C 信号电平

输出范围：(35~114) dB μV ；

分辨力：2 dB。

5.4 噪声信号电平

输出范围：(35~85) dB μV ；

分辨力：2 dB。

5.5 窄带干扰信号频率

输出范围：(50~150) kHz；

分辨力：100 Hz。

5.6 窄带干扰信号电平

输出范围：(20~114) dB μV ；

分辨力：2 dB。

5.7 天波时延

范围：(20~1500) μs ；

分辨力：100 ns。

5.8 副台时延

范围：(0~3000) μs (不含发射延迟)；

分辨力：100 ns。

5.9 罗兰 C 信号相对于 GRP 信号时延

(0~100) ns。

5.10 罗兰 C 信号相对于 1PPS 信号时延

(0~100) ns。

5.11 内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度

相对频率偏差： $\pm(1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-10})$ (晶振)， $\pm(2 \times 10^{-10} \sim 2 \times 10^{-11})$ (铷钟)；

1 s 频率稳定度： $1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12}$ (晶振)， $5 \times 10^{-11} \sim 2 \times 10^{-12}$ (铷钟)。

注：以上指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度

内时基为晶振时，在 15 °C~30 °C 范围内任选一点，校准过程中环境温度的变化不超过 ± 2 °C；内时基为铷原子钟时，在（18~25）°C，校准过程中，环境温度波动在 ± 1 °C 内。

6.1.2 湿度

相对湿度： $\leq 80\%$ 。

6.1.3 供电电源

电压：220 V ± 22 V；

频率：50 Hz ± 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；

相对频率偏差：优于被校长波模拟器相对频率偏差 1 个数量级；

频率稳定度：优于被校长波模拟器相同取样时间频率稳定度的 1/3。

6.2.2 频谱分析仪

频率范围：100 Hz~1 GHz；

幅度范围：-120 dBm~10 dBm；

校准信号电平最大允许误差： ± 1 dB。

6.2.3 通用计数器

频率测量范围：10 Hz~100 MHz；

最大允许误差： ± 1 ns；

相对频率偏差：优于被校长波模拟器相对频率偏差一个数量级或具有外频标输入功能。

6.2.4 示波器

带宽： ≥ 500 MHz；

时间分辨力： ≤ 2 ns。

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	校准方法
1	外观及工作正常性检查	7.2.1
2	罗兰 C 信号中心频率	7.2.2
3	罗兰 C 信号组重复间隔	7.2.3
4	罗兰 C 信号电平	7.2.4
5	噪声信号电平	7.2.5
6	窄带干扰信号频率	7.2.6
7	窄带干扰信号电平	7.2.7
8	天波时延	7.2.8
9	副台时延	7.2.9
10	罗兰 C 信号相对于 GRP 信号时延	7.2.10
11	罗兰 C 信号相对于 1PPS 信号时延	7.2.11
12	内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度	7.2.12

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校长波模拟器不应有影响正常工作及读数的机械损伤，各项标识应清晰完整，输入输出插座应牢靠，按键及旋钮应能正常动作并接触良好。仪器通电后状态正常，显示器能正常显示。达到说明书规定的预热时间后各输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。有自检功能的，应能通过自检。

7.2.2 罗兰 C 信号中心频率

仪器连接如图 2 所示。



图 2 中心频率校准

- a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号，信号输出电平为最大值；
- b) 设置示波器为 GRP 信号触发；
- c) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置，使得示波器完整显示罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号，选择频率测量功能，读取频率值测量结果；
- a) 测量 3 次取平均值作为测量结果，将数据记录到附录 A.2 中。

7.2.3 罗兰 C 信号组重复间隔

仪器连接如图 3 所示。



图3 罗兰 C 信号组重复间隔校准

- a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号，信号输出电平为最大值；
- b) 根据组重复间隔调整范围指标值，设置罗兰 C 信号组重复间隔，利用通用计数器测量输出 GRP 信号的周期，作为罗兰 C 信号组重复间隔校准值；
- c) 根据罗兰 C 信号组重复间隔调整范围指标，选上下限及范围内至少 3 个间隔校准点进行校准，将数据记录到附录 A.3 中。

7.2.4 罗兰 C 信号电平

仪器连接如图 4 所示。

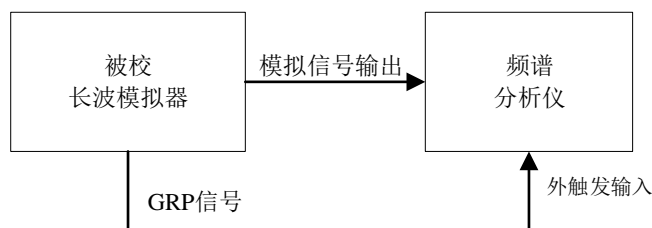


图4 罗兰 C 信号电平校准

- a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号，根据电平调整范围指标值，设置信号输出电平；
- b) 设置频谱分析仪中心频率为 100 kHz，扫频带宽为 200 kHz，分辨力带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 $\text{dB}\mu\text{V}$ （与指标单位保持一致），参考电平设置与被校长波模拟器输出信号电平一致或大（1~3）dB；
- c) 设置 GRP 信号外部触发，利用频谱分析仪最大保持功能，测量中心频率 100 kHz 处峰值电平；
- d) 罗兰 C 信号电平是脉冲包络起始后 25 μs 点的电平有效值，即包络最大峰值的 1/2，将测量得到的信号峰值电平减 6 dB，作为罗兰 C 信号电平校准值；
- e) 如果信号功率低至频谱分析仪无法测量，可在长波模拟器信号输出端加入放大器，利用测得的电平值结合放大值，得到模拟器输出信号电平值；
- f) 根据罗兰 C 信号电平调整范围指标，选上下限及范围内至少 3 个电平校准点，测量相应电平值，将数据记录到附录 A.4 中；
- g) 在罗兰 C 信号电平调整范围内，设置初始电平，利用频谱分析仪测量并记录，根据电平调整分辨力指标增加或减小信号电平，利用频谱分析仪进行测量并记录，与原记录值相减，差值作为电平调整分辨力校准值，将数据记录到附录 A.4 中。

7.2.5 噪声信号电平

仪器连接如图 4 所示。

a) 设置被校长波模拟器输出噪声信号，根据噪声电平调整范围指标值，设置噪声信号输出电平；

b) 设置频谱分析仪中心频率为 100 kHz，扫频带宽为 200 kHz，分辨力带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 $\text{dB}\mu\text{V}$ （与指标单位保持一致），参考电平设置与被校长波模拟器输出信号电平一致或大（1~3）dB；

c) 设置 GRP 信号外部触发，利用频谱分析仪最大保持功能，测量中心频率 100 kHz 处峰值电平，作为噪声信号电平校准值；

d) 如果信号功率低至频谱分析仪无法测量，可在长波模拟器信号输出端加入放大器，利用测得的电平值结合放大值，得到模拟器输出噪声信号电平值；

e) 根据噪声信号电平调整范围指标，选上下限及范围内至少 3 个电平校准点，测量相应电平值，将数据记录到附录 A.5 中；

f) 在噪声信号电平调整范围内，设置初始电平，利用频谱分析仪测量并记录，根据噪声电平调整分辨力指标增加或减小信号电平，利用频谱分析仪进行测量并记录，与原记录值相减，差值作为噪声电平调整分辨力校准值，将数据记录到附录 A.5 中。

7.2.6 窄带干扰信号频率

仪器连接如图 5 所示。

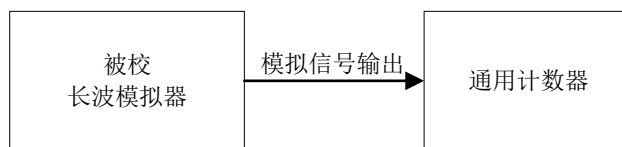


图 5 窄带干扰信号频率校准

a) 设置被校长波模拟器输出窄带干扰信号，信号输出电平为最大值，根据窄带干扰信号频率调整范围指标值，设置窄带干扰信号输出频率；

b) 利用通用计数器测量输出窄带干扰信号的频率，作为窄带干扰信号频率校准值；

c) 根据窄带干扰信号频率调整范围指标，选上下限及范围内至少 3 个频率校准点，测量相应频率值，将数据记录到附录 A.6 中；

d) 在窄带干扰信号频率调整范围内，设置初始频率，利用通用计数器测量并记录，根据频率调整分辨力指标增加或减小信号频率，利用通用计数器进行测量并记录，与原记录值相减，差值作为窄带干扰信号频率调整分辨力校准值，将数据记录到附录 A.6 中。

7.2.7 窄带干扰信号电平

仪器连接如图 4 所示。

- a) 设置被校长波模拟器输出窄带干扰信号，频率设置为窄带干扰信号频率调整范围内任一值，根据窄带干扰信号电平调整范围指标值，设置信号输出电平；
- b) 设置频谱分析仪中心频率为窄带干扰信号频率设置值，扫频带宽为 200 kHz，分辨力带宽设置为 30kHz，电平测量单位设置为 dB μ V（与指标单位保持一致），参考电平设置与被校长波模拟器输出信号电平一致或大（1~3）dB；
- c) 设置 GRP 信号外部触发，利用频谱分析仪最大保持功能，测量中心频率处峰值电平，作为窄带干扰信号电平校准值；
- d) 如果信号功率低至频谱分析仪无法测量，可在长波模拟器信号输出端加入放大器，利用测得的电平值结合放大值，得到模拟器输出信号电平值；
- e) 根据窄带干扰信号电平调整范围指标，选上下限及范围内至少 3 个电平校准点，测量相应电平值，将数据记录到附录 A.7 中；
- f) 在窄带干扰信号电平调整范围内，设置初始电平，利用频谱分析仪测量并记录，根据电平调整分辨力指标增加或减小信号电平，利用频谱分析仪进行测量并记录，与原记录值相减，差值作为窄带干扰信号电平调整分辨力校准值，将数据记录到附录 A.7 中。

7.2.8 天波时延

仪器连接如图 2 所示。

- a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号和天波干扰，设置罗兰 C 地波信号输出电平为最大值，关闭天波干扰信号电平；
- b) 设置示波器为 GRP 信号触发；
- c) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置，读取罗兰 C 地波信号脉冲组第一个脉冲信号 30 μ s 正向过零点的时刻，记为 t_{pulse} ；
- d) 关闭长波模拟器罗兰 C 地波信号，设置天波干扰信号电平为最大值，根据天波时延调整范围指标值，设置天波时延；
- e) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置，读取罗兰 C 天波信号脉冲组第一个脉冲信号 30 μ s 正向过零点的时刻，记为 t_{sw} ；
- f) 按公式（1）计算天波时延 $t_{\text{sw_delay}}$ ，作为天波时延校准值；

$$t_{\text{sw_delay}} = t_{\text{sw}} - t_{\text{pulse}} \quad (1)$$

式中：

$t_{\text{sw_delay}}$ ——天波时延， μ s；

t_{pulse} ——示波器测量得到的罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 30 μ s 正向过零点位置， μ s；

t_{sw} ——示波器测量得到的天波干扰 30 μ s 正向过零点位置， μ s。

g) 根据天波时延调整范围指标, 选上下限及范围内至少 3 个时延校准点, 测量相应时延值, 将数据记录到附录 A.8 中。

h) 在天波时延调整范围内, 设置初始时延, 利用示波器测量天波干扰 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置并记录, 根据天波时延调整分辨力指标增加或减小天波时延, 利用示波器测量天波干扰 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置并记录, 与原记录值相减, 差值作为天波时延调整分辨力校准值, 将数据记录到附录 A.8 中。

7.2.9 副台时延

仪器连接如图 2 所示。

a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 台链信号, 主台和副台信号电平均设置为最大值, 根据副台时延调整范围指标值, 设置副台时延;

b) 设置示波器为 GRP 信号触发;

c) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置, 读取主台罗兰 C 信号脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点的时刻, 记为 t'_{pulse} ;

d) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置, 读取主台后第一组副台罗兰 C 信号脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点的时刻, 记为 t_{ss} ;

e) 按公式 (2) 计算副台信号时延 $t_{\text{ss_delay}}$, 作为副台时延校准值;

$$t_{\text{ss_delay}} = t_{\text{ss}} - t'_{\text{pulse}} - T \quad (2)$$

式中:

$t_{\text{ss_delay}}$ ——副台时延, μs ;

t_{ss} ——示波器测量得到的副台信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置, μs 。

t'_{pulse} ——示波器测量得到的罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置, μs ;

T ——副台相对于主台的发射时延, μs 。

f) 根据副台时延调整范围指标, 选上下限及范围内至少 3 个时延校准点, 测量相应时延值, 将数据记录到附录 A.9 中。

g) 在副台时延调整范围内, 设置初始时延, 利用示波器测量副台信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置并记录, 根据副台时延调整分辨力指标增加或减小副台时延, 利用示波器测量副台信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置并记录, 与原记录值相减, 差值作为副台时延调整分辨力校准值, 将数据记录到附录 A.9 中。

7.2.10 罗兰 C 信号相对 GRP 信号时延

仪器连接如图 2 所示。

a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号, 信号输出电平为最大值;

b) 设置示波器为 GRP 信号触发;

c) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置, 读取罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点的时刻, 记为 t_1 ;

d) 按公式 (3) 计算罗兰 C 信号相对 GRP 信号时延 Δt ;

$$\Delta t = t_1 - 30\ \mu\text{s} \quad (3)$$

式中:

Δt ——罗兰 C 信号相对 GRP 信号时延, μs ;

t_1 ——示波器测量得到的罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置, μs 。

e) 重复测量 3 次取平均值作为校准值, 将数据记录到附录 A.10 中。

7.2.11 罗兰 C 信号相对 1PPS 信号时延

仪器连接如图 6 所示。

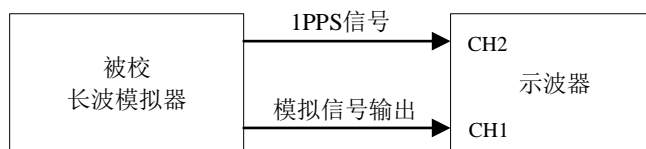


图 6 罗兰 C 信号相对参考 1PPS 信号时延校准

a) 设置被校长波模拟器输出罗兰 C 单台站地波信号, 信号输出电平为最大值, 脉冲组重复间隔为 $50\ \text{ms}$;

b) 设置示波器为 1PPS 信号触发;

c) 调整示波器垂直档位和水平档位到适当位置, 读取罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点的时刻, 记为 t'_1 ;

d) 按公式 (4) 计算罗兰 C 信号相对 1PPS 信号时延 $\Delta t'$;

$$\Delta t' = t'_1 - 30\ \mu\text{s} \quad (4)$$

式中:

$\Delta t'$ ——罗兰 C 信号相对 1PPS 信号时延, μs ;

t'_1 ——示波器测量得到的罗兰 C 脉冲组第一个脉冲信号 $30\ \mu\text{s}$ 正向过零点位置, μs 。

e) 重复测量 3 次取平均值作为校准值, 将数据记录到附录 A.11 中。

7.2.12 内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度

被校长波模拟器内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度的校准, 根据振荡器类型, 分别按照 JJF 1957 或 JJF 1984 进行校准, 将数据记录到附录 A.12 中。

8 校准结果表达

校准证书应至少包括以下内容:

a) 标题“校准证书”;

- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（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) 对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) 校准证书和校准报告签发人的签名、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，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行决定，建议不超过 12 个月。

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 罗兰 C 信号中心频率

序号	测量值	平均值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			

A.3 罗兰 C 信号组重复间隔

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			

A.4 罗兰 C 信号电平

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
电平调整分辨力： 不确定度 $U(k=2)$ ：			

A.5 噪声信号电平

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
5			
电平调整分辨力： 不确定度 $U(k=2)$ ：			

A.6 窄带干扰信号频率

窄带干扰信号电平设置值： dB μ V

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
频率调整分辨力： 不确定度 $U(k=2)$ ：			

A.7 窄带干扰信号电平

窄带干扰信号频率设置值： kHz

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
电平调整分辨力： 不确定度 $U(k=2)$ ：			

A.8 天波时延

序号	设置值	罗兰 C 信号 30 μ s 过零点	天波信号 30 μ s 过零点	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1					
2					
3					
4					
5					
天波时延调整分辨力： 不确定度 $U(k=2)$ ：					

A.9 副台时延

序号	设置值	主台罗兰C信号 30 μ s 过零点	第一组副台信号 30 μ s 过零点	测量值	不确定度 U ($k=2$)
1					
2					
3					
4					
5					

副台相对于主台的发射时延 T ：
副台时延调整分辨力：
不确定度 U ($k=2$)：

A.10 罗兰C信号相对于GRP信号时延

序号	测量值	平均值	不确定度 U ($k=2$)
1			
2			
3			

A.11 罗兰C信号相对于1PPS信号时延

序号	测量值	平均值	不确定度 U ($k=2$)
1			
2			
3			

A.12 内部时基相对频率偏差和1s频率稳定度

(1) 相对频率偏差

序号	测量值	平均值	不确定度 U ($k=2$)
1			
2			
3			

(2) 1s频率稳定度

序号	测量值	平均值	不确定度 U ($k=2$)
1			
2			
3			

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 罗兰 C 信号中心频率

测量值	不确定度 $U(k=2)$

B.3 罗兰 C 信号组重复间隔

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			

B.4 罗兰 C 信号电平

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
电平调整分辨力:		不确定度 $U(k=2)$:	

B.5 噪声信号电平

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
电平调整分辨力:		不确定度 $U(k=2)$:	

B.6 窄带干扰信号频率

窄带干扰信号电平设置值： $\text{dB}\mu\text{V}$

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
频率调整分辨力：		不确定度 $U(k=2)$ ：	

B.7 窄带干扰信号电平

窄带干扰信号频率设置值： kHz

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
电平调整分辨力：		不确定度 $U(k=2)$ ：	

B.8 天波时延

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
天波时延调整分辨力：		不确定度 $U(k=2)$ ：	

B.9 副台时延

序号	设置值	测量值	不确定度 $U(k=2)$
1			
2			
3			
4			
5			
副台相对于主台的发射时延 T ：			
副台时延调整分辨力：		不确定度 $U(k=2)$ ：	

B.10 罗兰 C 信号相对于 GRP 信号时延

测量值	不确定度 $U(k=2)$

B.11 罗兰 C 信号相对于 1PPS 信号时延

测量值	不确定度 $U(k=2)$

B.12 内部时基相对频率偏差和 1 s 频率稳定度

(1) 相对频率偏差

测量值	不确定度 $U(k=2)$

(2) 1 s 频率稳定度

测量值	不确定度 $U(k=2)$

附录 C

主要校准项目不确定度评定示例

C.1 罗兰 C 信号中心频率

测量方法见 7.2.2，其中示波器为 DSO8064A，测量被校长波模拟器的罗兰 C 信号中心频率。

C.1.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 示波器最大允许误差引入的不确定度；
- b) 测量重复性引入的不确定度。

C.1.2 标准不确定度评定

- a) 示波器最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(f_{\text{Loran-C}})$

依据示波器 DSO8064A 技术说明书，其频率测量最大允许误差为 $\pm(1/(2 \times \text{频率分辨率}) + 5 \times 10^{-5} \times \text{信号频率})$ ，频率分辨率 = 采样速率 / 存储深度，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(f_{\text{Loran-C}}) = \frac{\frac{1}{2} \times \frac{2 \times 10^6 \text{ pts}}{4 \times 10^9 \text{ Sa/s}} + 5 \times 10^{-5} \times 100 \text{ kHz}}{\sqrt{3}} \approx 5 \text{ Hz} \quad (\text{C.1})$$

- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(f_{\text{Loran-C}})$

采用 A 类方法进行评定，对被校长波模拟器罗兰 C 信号中心频率调连续独立测量 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 罗兰 C 信号中心频率的测量重复性

序号	罗兰 C 信号中心频率 x_i/kHz
1	100.02566
2	100.02036
3	100.00627
4	100.02153
5	100.02015
6	100.00827
7	100.00158
8	100.00134
9	100.02347
10	100.01855
\bar{x}	100.01
$s_n(x)$	0.009

标准不确定度:

$$u_2(f_{\text{Loran-C}}) = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 9 \text{ Hz} \quad (\text{C.2})$$

C.1.3 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.2。

表C.2 罗兰 C 信号中心频率标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
示波器最大允许误差	$u_1(f_{\text{Loran-C}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	5 Hz
测量重复性	$u_2(f_{\text{Loran-C}})$	A 类	正态	1	9 Hz

以上各不确定度互不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c(f_{\text{Loran-C}}) = \sqrt{u_1^2(f_{\text{Loran-C}}) + u_2^2(f_{\text{Loran-C}})} \approx 0.01 \text{ kHz} \quad (\text{C.3})$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 扩展不确定度为:

$$U(f_{\text{Loran-C}}) = k u_c(f_{\text{Loran-C}}) = 2 \times 0.01 \text{ kHz} = 0.02 \text{ kHz} \quad (\text{C.4})$$

C.2 罗兰 C 信号组重复间隔

测量方法见 7.2.3, 其中通用计数器为 CNT-91R, 测量被校长波模拟器的罗兰 C 信号组重复间隔。

C.2.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括:

- 通用计数器时间分辨力引入的不确定度;
- 通用计数器内时基引入的不确定度;
- 测量重复性引入的不确定度。

C.2.2 标准不确定度评定

- 通用计数器时间分辨力引入的标准不确定度 $u_1(T_{\text{GRI}})$

依据通用计数器 CNT-91R 技术说明书, 其时间分辨力为 50 ps, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1(T_{\text{GRI}}) = \frac{50 \text{ ps}}{\sqrt{3}} = 28.87 \text{ ps} \quad (\text{C.5})$$

- 通用计数器内时基引入的标准不确定度 $u_2(T_{\text{GRI}})$

依据通用计数器 CNT-91R 技术说明书, 其相对频率偏差为 $\pm 5 \times 10^{-11}$, 优于被校长波模拟器相对频率偏差 1 个数量级以上, 则 $u_2(T_{\text{GRI}}) = 0$ 。

- 测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(T_{\text{GRI}})$

采用 A 类方法进行评定，对被校长波模拟器罗兰 C 信号组重复间隔连续独立测量 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 罗兰 C 信号组重复间隔的测量重复性

序号	罗兰 C 信号组重复间隔 $x_i/\mu\text{s}$
1	59999.99993
2	59999.99992
3	59999.99993
4	59999.99990
5	59999.99989
6	59999.99989
7	59999.99991
8	59999.99992
9	59999.99993
10	59999.99992
\bar{x}	59999.9999
$s_n(x)$	0.00002

标准不确定度：

$$u_3(T_{\text{GRI}}) = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.02 \text{ ns} \quad (\text{C.6})$$

C.2.3 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.4。

表C.4 罗兰 C 信号组重复间隔标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
通用计数器时间分辨力	$u_1(T_{\text{GRI}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	28.87 ps
通用计数器内时基	$u_2(T_{\text{GRI}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0
测量重复性	$u_3(T_{\text{GRI}})$	A 类	正态	1	0.02 ns

以上各不确定度互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c(T_{\text{GRI}}) = \sqrt{u_1^2(T_{\text{GRI}}) + u_2^2(T_{\text{GRI}}) + u_3^2(T_{\text{GRI}})} \approx 0.02 \text{ ns} \quad (\text{C.7})$$

C.2.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(T_{\text{GRI}}) = k u_c(T_{\text{GRI}}) = 2 \times 0.02 \text{ ns} \approx 0.1 \text{ ns} \quad (\text{C.8})$$

C.3 罗兰 C 信号电平

测量方法见 7.2.4，其中频谱分析仪器为 N9010B，测量被校长波模拟器的罗兰 C 信号电平。

C.3.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 频谱分析仪器最大允许误差引入的不确定度；
- b) 测量重复性引入的不确定度。

C.3.2 标准不确定度评定

- a) 频谱分析仪器最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(P_{\text{PULSE}})$

依据频谱分析仪器 N9010B 技术说明书，其校准信号电平最大允许误差为 ± 0.27 dB，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(P_{\text{PULSE}}) = \frac{0.27 \text{ dB}}{\sqrt{3}} \approx 0.16 \text{ dB} \quad (\text{C.9})$$

- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(P_{\text{PULSE}})$

采用 A 类方法进行评定，对被校长波模拟器罗兰 C 信号电平连续独立测量 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.5。

表C.5 罗兰 C 信号电平的测量重复性

序号	罗兰 C 信号电平 x_i
1	99.83 dB μ V
2	99.94 dB μ V
3	99.96 dB μ V
4	99.91 dB μ V
5	99.89 dB μ V
6	99.85 dB μ V
7	99.86 dB μ V
8	99.90 dB μ V
9	99.93 dB μ V
10	99.92 dB μ V
\bar{x}	99.9 dB μ V
$s_n(x)$	0.042 dB

标准不确定度：

$$u_2(P_{\text{PULSE}}) = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.042 \text{ dB} \quad (\text{C.10})$$

C.3.3 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.6。

表C.6 罗兰 C 信号电平标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
频谱分析仪器最大允许误差	$u_1(P_{\text{PULSE}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.16 dB
测量重复性	$u_2(P_{\text{PULSE}})$	A 类	正态	1	0.042 dB

以上各不确定度互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c(P_{\text{PULSE}}) = \sqrt{u_1^2(P_{\text{PULSE}}) + u_2^2(P_{\text{PULSE}})} \approx 0.16 \text{ dB} \quad (\text{C.11})$$

C.3.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(P_{\text{PULSE}}) = k u_c(P_{\text{PULSE}}) = 2 \times 0.16 \text{ dB} \approx 0.3 \text{ dB} \quad (\text{C.12})$$

C.4 窄带干扰信号频率

测量方法见 7.2.6，其中通用计数器为 CNT-91R，测量被校长波模拟器的窄带干扰信号频率。

C.4.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- 通用计数器大允许误差引入的不确定度；
- 通用计数器内时基引入的不确定度；
- 测量重复性引入的不确定度。

C.4.2 标准不确定度评定

- 通用计数器最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(f_{\text{NBD}})$

依据通用计数器 CNT-91R 技术说明书，其最大允许误差为 $\pm 1 \text{ ns}$ ，取样时间 $\tau=1 \text{ s}$ 时，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{100 \text{ kHz} \times 1 \times 10^{-9}}{\sqrt{3}} = 0.1 \text{ mHz} \quad (\text{C.13})$$

- 通用计数器内时基引入的标准不确定度 $u_2(f_{\text{NBD}})$

依据通用计数器 CNT-91R 技术说明书，其时基相对频率偏差为 $\pm 5 \times 10^{-11}$ ，优于被校长波模拟器相对频率偏差 1 个数量级以上，其 1s 频率稳定优于被校长波模拟器 1/3，则 $u_2(f_{\text{NBD}}) = 0$ 。

- 测量重复性引入的标准不确定度 $u_3(f_{\text{NBD}})$

采用 A 类方法进行评定，对被校长波模拟器窄带干扰信号频率连续独立测量 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.7。

表C.7 窄带干扰信号频率的测量重复性

序号	窄带干扰信号输出频率 x_i /kHz
1	79.991
2	79.981
3	79.984
4	79.984
5	79.988
6	79.989
7	79.991
8	79.994
9	79.990
10	79.994
\bar{x}	79.99
$s_n(x)$	0.004

标准不确定度：

$$u_3(f_{\text{NBD}}) = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.004 \text{ kHz} \quad (\text{C.14})$$

C.4.3 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.8。

表C.8 窄带干扰信号频率标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
通用计数器最大允许误差	$u_1(f_{\text{NBD}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.1 mHz
通用计数器内时基	$u_2(f_{\text{NBD}})$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0
测量重复性	$u_3(f_{\text{NBD}})$	A 类	正态	1	0.004 kHz

以上各不确定度互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c(f_{\text{NBD}}) = \sqrt{u_1^2(f_{\text{NBD}}) + u_2^2(f_{\text{NBD}}) + u_3^2(f_{\text{NBD}})} \approx 0.004 \text{ kHz} \quad (\text{C.15})$$

C.4.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(f_{\text{NBD}}) = k u_c(f_{\text{NBD}}) = 2 \times 0.004 \text{ kHz} \approx 0.01 \text{ kHz} \quad (\text{C.16})$$

C.5 天波时延

测量方法见 7.2.8，其中示波器为 DSO8064A，测量被校长波模拟器的天波时延。

C.5.1 不确定度来源

测量不确定度主要来源包括：

- a) 示波器时间分辨力引入的不确定度；
- b) 测量重复性引入的不确定度。

C.5.2 标准不确定度评定

- a) 示波器时间间隔测量最大允许误差引入的标准不确定度 $u_1(t)$

依据示波器 DSO8064A 技术说明书，其时间分辨力 4 ps，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(t) = \frac{\sqrt{2} \times 4 \text{ ps}}{\sqrt{3}} = 3.27 \text{ ps} \quad (\text{C.17})$$

- b) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(t)$

采用 A 类方法进行评定，对被校长波模拟器天波时延调连续独立测量 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.9。

表C.9 天波时延的测量重复性

序号	天波时延 $x_i/\mu\text{s}$
1	199.863
2	199.859
3	199.859
4	199.859
5	199.856
6	199.859
7	199.862
8	199.859
9	199.863
10	199.858
\bar{x}	199.860
$s_n(x)$	0.002

标准不确定度：

$$u_2(t) = s_n(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.002 \mu\text{s} \quad (\text{C.18})$$

C.5.3 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表 C.10。

表C.10 天波时延标准不确定度汇总表

不确定度来源	标准不确定度符号	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
示波器时间分辨力	$u_1(t)$	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	3.27 ps
测量重复性	$u_2(t)$	A 类	正态	1	0.002 μs

以上各不确定度互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c(t) = \sqrt{u_1^2(t) + u_2^2(t)} \approx 2 \text{ ns} \quad (\text{C.19})$$

C.5.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U(t) = ku_c(t) = 2 \times 2 \text{ ns} \approx 4 \text{ ns} \quad (\text{C.20})$$

注 1：噪声电平和窄带干扰信号电平的不确定度评定可参考 C.3 节。

注 2：副台时延、罗兰 C 信号相对于 GRP 信号时延和罗兰 C 信号相对于 1PPS 信号时延的不确定度评定可参考 C.5 节。

注 3：以上不确定度评定示例中，当测量环境符合环境校准要求时，环境影响引入的不确定度分量可以忽略不计，不再单独列出。

附录 D

罗兰 C 信号波形

发射信号脉冲前沿（脉冲从起点到峰点的部分）的标准形式用发射天线底部电流 $i(t)$ 定义为：

$$i(t) = \begin{cases} 0, & t < \tau \\ A(t-\tau)^2 \exp\left[\frac{-2(t-\tau)}{65}\right] \sin[\omega_0 t + p_c(m)], & \tau \leq t \leq 65 + \tau \\ \text{未定义}, & t > 65 + \tau \end{cases} \quad (\text{D.1})$$

式中：

A ——与峰值天线电流有关的常数，单位 $A/\mu\text{s}^2$ ；

t ——时间，单位 μs ；

τ ——包周差，单位 μs ；

ω_0 ——载波频率，为 $0.2 \pi \text{rad}/\mu\text{s}$ ；

$p_c(m)$ ——相位编码，正相位编码 $p_c(m) = 0$ ，负相位编码 $p_c(m) = \pi$ 。

在理论情况下，取 $\tau = 0$ ， $p_c = 0$ ， $A = 1$ 的情况下，罗兰 C 信号单脉冲波形和包络如图 D.1 所示。

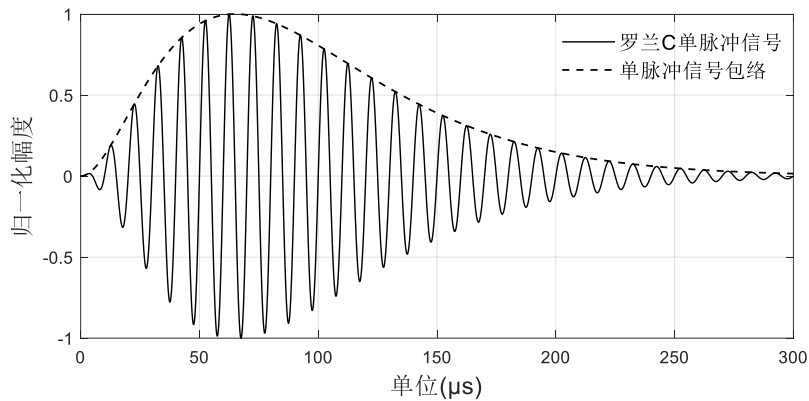


图 D.1 罗兰 C 信号单脉冲波形和包络示意图

罗兰 C 授时台站一般只有 1 个主台，导航台链一般由 1 个主台和 2~5 个副台构成。主台一般用 M 表示，副台用 W、X、Y、Z 等字母表示。为了区分主副台信号，罗兰 C 主台每组共发播 9 个脉冲信号，前 8 个脉冲信号之间间隔 1 ms，第 8 脉冲信号与第 9 脉冲信号之间间隔 2 ms；副台只发射前 8 个脉冲，8 个脉冲信号之间间隔 1 ms。

在导航台链工作区域内，为了防止脉冲信号之间重叠和相互干扰，各台之间按时间分割发播，其中主台先发射脉冲组信号，经规定的发射延迟 TDX 后，第

一副台发射脉冲组信号，经发射延迟 TDY 后，第二副台发射脉冲组信号，以此类推，信号发射示意图如图 D.2 中所示。

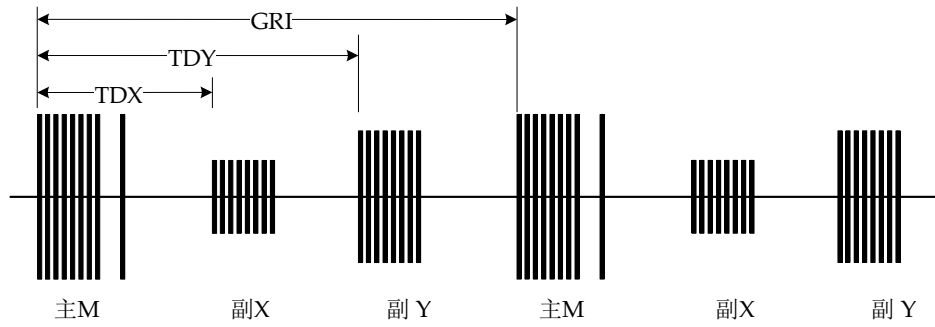


图 D.2 主副台脉冲信号发射示意图