

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1626—2017

## 血压模拟器校准规范

Calibration Specification for NIBP Simulators



2017-09-26 发布

2017-12-26 实施



国家质量监督检验检疫总局 发布

# 血压模拟器校准规范

Calibration Specification for

NIBP Simulators

JJF 1626—2017

归口单位：全国压力计量技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

总后勤部卫生部药品仪器检验所

参加起草单位：深圳中图仪器科技有限公司

华信仪表（北京）有限公司

**本规范主要起草人：**

高 杨（北京市计量检测科学研究院）

文康明（北京市计量检测科学研究院）

宋立为（总后勤部卫生部药品仪器检验所）

鲁贵亮（北京市计量检测科学研究院）

**参加起草人：**

贾建革（总后勤部卫生部药品仪器检验所）

乐成旺（深圳中图仪器科技有限公司）

郑 伟 [华信仪表（北京）有限公司]

## 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 引用文件 .....	( 1 )
3 术语和计量单位 .....	( 1 )
3.1 术语 .....	( 1 )
3.2 计量单位 .....	( 1 )
4 概述 .....	( 1 )
5 计量特性 .....	( 1 )
5.1 静态压力范围 .....	( 1 )
5.2 静态压力误差 .....	( 2 )
5.3 模拟血压范围 .....	( 2 )
5.4 血压示值重复性 .....	( 2 )
5.5 脉率误差 .....	( 2 )
5.6 气密性 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 2 )
6.1 环境条件 .....	( 2 )
6.2 测量标准及其他设备 .....	( 2 )
7 校准项目与校准方法 .....	( 2 )
7.1 外观 .....	( 2 )
7.2 静态压力范围及示值误差 .....	( 3 )
7.3 模拟血压范围 .....	( 3 )
7.4 血压示值重复性 .....	( 4 )
7.5 脉率误差 .....	( 5 )
7.6 气密性 .....	( 5 )
8 校准结果 .....	( 5 )
8.1 校准记录 .....	( 5 )
8.2 校准结果的处理 .....	( 5 )
9 复校时间间隔 .....	( 6 )
附录 A 血压模拟器校准记录格式 .....	( 7 )
附录 B 校准证书内页格式 .....	( 9 )
附录 C 血压模拟器静态压力校准结果不确定度评定示例 .....	( 11 )
附录 D 血压模拟器脉率校准结果不确定度评定示例 .....	( 13 )

## 引 言

本规范起草时主要参考了 JJG 692—2010《无创自动测量血压计》以及 IEC 80601-2-30:2013《医用电气设备 第 2-30 部分：无创自动测量血压计基本安全和重要性能的特殊要求》中血压模拟器的概念及要求，参照了目前国内常见的几种血压模拟器的性能参数及其检测方法，并结合国内实际使用情况予以制定。

同时，本规范在编写中依据了 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1008—2008《压力计量名词术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》等技术规范。

本规范为首次发布。



## 血压模拟器校准规范

### 1 范围

本校准规范适用于血压模拟器的校准。

### 2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJG 692—2010 无创自动测量血压计

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（包括所有的修订单）适用于本规范。

### 3 术语和计量单位

#### 3.1 术语

3.1.1 无创自动测量血压计 non-invasive automated sphygmomanometer [JJG 692—2010, 3.1]

通过探测来自袖带或传感器的信号以间接方式自动确定动脉血压的设备。

3.1.2 示波法 oscillometric method [JJG 692—2010, 3.6]

通过阻塞袖带充放气过程中振荡波的测量，实现动脉血压间接测量的方法。

3.1.3 血压模拟器 non-invasive blood pressure simulator, NIBP simulator

模拟示波法充气 and 放气过程中袖带脉搏波的设备。

#### 3.2 计量单位

采用的计量单位有：千帕斯卡（kPa）、秒（s）。

### 4 概述

血压模拟器的基本原理是它能产生一种类似于加压降压时从绑在手臂上袖带中观察到的脉搏波形，并且波形的幅度和特征会随着加减压过程中袖带内的压力变化而有规律地发生变化。一组脉搏波和与之相关的袖带压力被存储在模拟器中，对应一组特定的血压值（收缩压/舒张压），从而模拟人体血压。血压模拟器是用于对示波法原理无创自动测量血压计血压范围、血压重复性等性能检测的设备。

血压模拟器一般由输入输出单元、数据处理单元和压力发生单元等组成，具有压力计、压力源、模拟血压输出、泄漏测试、过压测试等功能。

### 5 计量特性

#### 5.1 静态压力范围

至少应满足（0.0~53.3）kPa。

## 5.2 静态压力误差

应满足其使用说明书中静态压力最大允许误差的要求。

## 5.3 模拟血压范围

成人模式：至少应满足收缩压（6.7~34.0）kPa，舒张压（4.0~26.0）kPa；

新生儿模式：至少应满足收缩压（4.0~16.0）kPa，舒张压（1.3~13.3）kPa。

## 5.4 血压示值重复性

不大于 0.3 kPa。

注：该要求通过模拟脉搏波幅值变动性来检测，要求不超过 10%。

## 5.5 脉率误差

（30~200）次/min 范围内：±（1%读数+1次/min）。

## 5.6 气密性

不大于 0.3 kPa/min。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：（20±10）℃；

6.1.2 相对湿度：不大于 80%；

6.1.3 大气压力：（86~106）kPa；

6.1.4 供电电源：（220±22）V，（50±1）Hz；

6.1.5 周围无明显影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

### 6.2 测量标准及其他设备（见表 1）

表 1 检测用设备一览表

序号	校准用设备	测量范围	技术要求
1	标准压力计 (有加压功能)	压力测量范围：至少 满足（0.0~53.3）kPa	压力最大允许误差： ±0.025 kPa
2	数字示波器	电压测量范围 0 mV~5 V 频率测量范围 0 Hz~100 Hz 频率带宽：不小于 20 MHz	电压最大允许误差：±3% 频率最大允许误差：±0.1%
3	压力转换器	压力范围：至少满足（0.0~34.5）kPa 电压输出范围：（0~5）V	最大允许误差：±0.034 5 kPa
4	金属容器	500 mL	最大允许误差：±5%

## 7 校准项目与校准方法

### 7.1 外观

目视被校血压模拟器的外观，开关及各按钮、按键、旋钮应工作正常，无影响正常工作和妨碍读数的缺陷和机械损伤，附件应齐全。

## 7.2 静态压力范围及示值误差

a) 用胶管和三通把血压模拟器与金属容器、标准压力计连接起来组成检测系统(如图1所示)。

b) 将血压模拟器调至压力计模式,标准压力计为压力控制模式,由标准压力计对整个检测系统加压至血压模拟器静态压力范围上限进行两次预压试验。

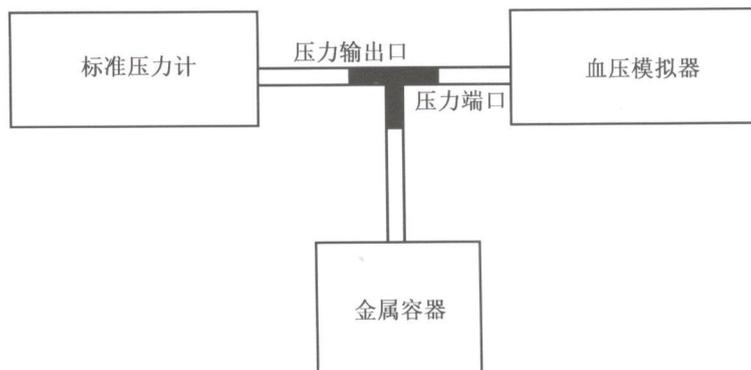


图1 检测系统示意图

c) 静态压力测量范围的检测:由标准压力计选择适当的压力值对血压模拟器加压,目测检查静态压力测量范围,应符合本规范5.1的要求。

d) 静态压力示值误差的检测:在规定的静态压力范围内测量点不得小于5点(不含零点),在全量程内基本均匀分布。由标准压力计对血压模拟器从高到低逐点减压进行第一次压力测量,从低到高逐点增压进行第二次压力测量。静态压力示值误差按式(1)计算:

$$\Delta p = p - p_0 \quad (1)$$

式中:

$\Delta p$  ——静态压力示值误差, kPa;

$p$  ——血压模拟器静态压力测量值, kPa;

$p_0$  ——标准压力计压力值, kPa。

## 7.3 模拟血压范围

a) 通过目测方式检查,血压模拟器的模拟血压应有新生儿模式和成人模式,且应至少覆盖本规范第5.3条模拟血压范围。

b) 将血压模拟器经三通接头、橡胶管分别与压力转换器压力输入端、标准压力计压力输出口相连,压力转换器的电压输出端经过电容隔绝直流后接入数字示波器的信号输入端组成检测系统(如图2所示)。

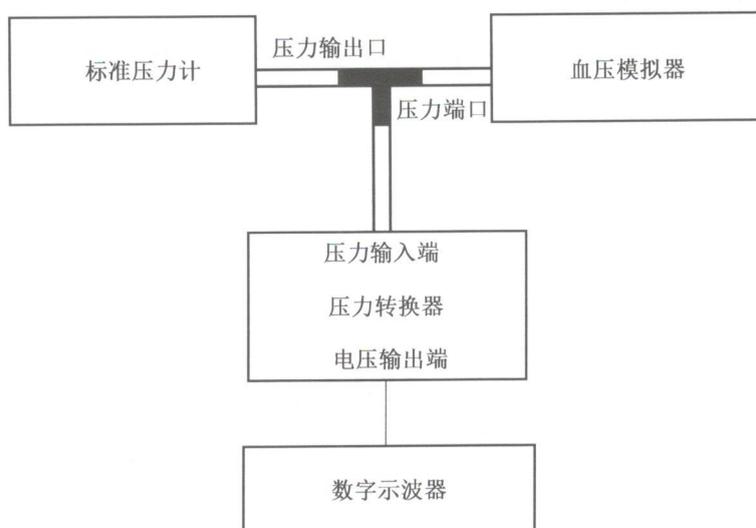


图2 检测系统示意图

c) 血压范围的检测：血压模拟器设置成人模式下血压（收缩压/舒张压）校准点：34.0 kPa/26.0 kPa，脉率：80 次/min。标准压力计为压力控制模式对血压模拟器输出压力，在 24.7 kPa~35.3 kPa 范围内，压力逐渐增加（或减少），此期间在示波器上可观察到对应不同压力产生的脉搏波形，且波形幅值呈现由“小一大一小”变化规律，则满足成人模式收缩压、舒张压高限范围的要求。

同理，对成人模式下血压（收缩压/舒张压）校准点：6.7 kPa/4.0 kPa，新生儿模式下血压（收缩压/舒张压）校准点：4.0 kPa/1.3 kPa，13.3 kPa/16.0 kPa，脉率：80 次/min，按 c) 描述选择合适的压力范围（至少覆盖从收缩压到舒张压范围），在示波器上能观察到对应不同压力产生的脉搏波形，且波形幅值呈现由“小一大一小”变化规律，则满足本规范第 5.3 条模拟血压收缩压、舒张压范围的要求。

#### 7.4 血压示值重复性

a) 如图 2 连接建立检测系统，通过模拟脉搏波幅值变动性来完成该项目的检测。

b) 血压模拟器设为模拟血压成人模式，设置血压（收缩压/舒张压/平均压）校准点：20.0 kPa/13.3 kPa/15.5 kPa，脉率设置成：80 次/min。血压校准点的设置可根据使用的血压模拟器尽可能接近推荐值。标准压力计为压力控制模式，输出压力值为 15.5 kPa，直至血压模拟器显示压力值保持在 15.5 kPa 压力点上，这时将标准压力计转为压力计模式切断气源，从示波器上可以观察到血压模拟器重复输出的模拟脉搏波形。

c) 待波形显示一屏时，将屏幕冻结，通过示波器自动测量功能分别记录 10 个脉搏波形的峰-峰值，模拟脉搏波幅值变动性计算如式 (2)：

$$\delta_s = \frac{|h_{\max} - \bar{h}|}{\bar{h}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\delta_s$ ——模拟脉搏波幅值变动性，%；

$h_{\max}$ ——10 个模拟脉搏波中偏离  $\bar{h}$  值最大的脉搏波幅值, mV;

$\bar{h}$ ——除掉最大值和最小值后, 8 个模拟脉搏波幅值的平均值, mV。

d) 至少要对血压设定点 20.0 kPa/13.3 kPa/15.5 kPa 中 20.0 kPa、15.5 kPa、13.3 kPa 三个压力点处的模拟脉搏波幅值变动性进行检测, 计算结果应满足本规范第 5.4 条的要求。

根据实际需要, 可以适当增加检测压力点的数量, 以及对其他模拟血压设定值按照上述方法进行检测。

### 7.5 脉率误差

如图 2 所示连接检测系统, 按 7.4b) 程序进行检测, 待波形输出稳定显示满一屏 (超过 10 个波形), 冻结屏幕, 通过示波器自动测量输出脉搏波的频率, 通过式 (3) 计算脉率误差:

$$\delta_r = \frac{F_r - f_s \times 60}{f_s \times 60} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$\delta_r$  ——脉率误差, %;

$F_r$  ——血压模拟器脉率的设定值,  $F_s = 80$  次/min;

$f_s$  ——示波器测得的脉搏波的频率, Hz。

此外对血压模拟器脉率设定值分别为 30 次/min 和 200 次/min 时的脉率误差进行检测。

### 7.6 气密性

将血压模拟器调为泄漏测试模式, 同时关闭压力通道, 泄漏测试压力设为 53.3 kPa, 稳压 1 min 后开始记录血压模拟器压力示值, 过 2 min 后再记录压力示值, 以前后两个压力示值之差除以 2 min 得到气密性值。

## 8 校准结果

### 8.1 校准记录

校准记录格式参见附录 A。

### 8.2 校准结果的处理

校准证书由封面和校准数据组成。校准证书的内页格式见附录 B。证书上的信息至少包括以下内容:

- a) 标题, 如“校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 证书或报告的唯一性标识 (如证书编号), 每页及总页数的标识;
- d) 送校单位的名称和地址;
- e) 血压模拟器的描述和明确标识 (如型号、产品编号等);
- f) 进行校准的日期或校准证书的生效日期;
- g) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称和代号;
- h) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;

- i) 校准环境的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 校准员及核验员的签名；
- l) 校准证书批准人的签名。

## 9 复校时间间隔

血压模拟器的校准周期一般不超过1年。

## 附录 A

## 血压模拟器校准记录格式

原始记录编号\_\_\_\_\_校准证书编号\_\_\_\_\_

送检单位			
仪器型号		仪器编号	
制造厂		检定地点 (如××病房)	
校准依据		校准日期	年 月 日
温度/℃		校准员	
湿度/%RH		核验员	

## 1. 外观及工作正常性检查

检查结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
备注		

## 2. 静态压力范围的校准

检查结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
备注		

## 3. 静态压力示值误差的校准

kPa

标准压力值	血压模拟器静态压力示值		静态压力示值误差 $\Delta p_{\max}$ (或 $\Delta p_{\min}$ )
	第一次读数	第二次读数	

备注：静态压力测量扩展不确定度\_\_\_\_\_。

## 4. 模拟血压范围的检查

检定结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
备注		

## 5. 血压示值重复性的校准（模拟脉搏波幅值变动性的校准）

血压设定值 kPa		模拟脉搏波幅值 mV										变动性 %	
1	平均压												
	舒张压												
	收缩压												
2	平均压												
	舒张压												
	收缩压												

## 6. 脉率误差

血压模拟器脉率的设定值 次/min	示波器测得的脉搏波的频率 Hz	脉率误差 %
30		
80		
200		

## 7. 气密性

kPa/min

检查结果	
------	--

## 附录 B

## 校准证书内页格式

## 1. 外观及工作正常性检查

检查结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
备注		

## 2. 静态压力范围的校准

检定结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
------	-------------------------------	--------------------------------

## 3. 静态压力示值误差的校准

kPa

标准压力值	血压模拟器静态压力示值		静态压力示值误差 $\Delta p_{\max}$ (或 $\Delta p_{\min}$ )
	第一次读数	第二次读数	
静态压力测量的扩展不确定度		$U =$	kPa ( $k=2$ )

## 4. 模拟血压范围的检查

检查结果	<input type="checkbox"/> 符合要求	<input type="checkbox"/> 不符合要求
备注		

## 5. 血压示值重复性的校准 (模拟脉搏波幅值变动性的校准)

	血压设定值/kPa	压力点/kPa	变动性/%
1	平均压		
	收缩压		
	舒张压		
2	平均压		
	收缩压		
	舒张压		

## 6. 脉率误差

血压模拟器脉率的设定值 次/min	脉率误差 %
30	
80	
200	

## 7. 气密性

kPa/min (mmHg/min)

检查结果	

## 附录 C

## 血压模拟器静态压力校准结果不确定度评定示例

## C.1 测量方法

采用血压模拟器（在静态压力测试模式下）对标准压力计直接加压进行检测的办法，以确定其静态压力示值误差。

## C.2 测量模型

$$\Delta p = p - p_0$$

式中：

$\Delta p$  —— 血压模拟器静态压力示值误差；

$p$  —— 血压模拟器静态压力；

$p_0$  —— 标准压力计压力。

## C.3 测量不确定度分量

(1) 血压模拟器静态压力  $p$  中由示值重复性引入的标准不确定度分量  $u_1$

血压模拟器静态压力设定值为 40.00 kPa，由标准压力计读取压力值。由于血压模拟器采用数字显示方式，故可假定读数本身不引入误差；读取 10 次压力示值误差  $p_i$  结果如表 C.1：

表 C.1 压力示值误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{p}$
$p_i$ kPa	-0.04	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.03	-0.04	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03

平均值为 -0.03 kPa，按正态分布，计算单次测量实验标准差  $s(p)$ ，自由度  $\nu=9$ 。

$$u_1 = s(p) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (p_i - \bar{p})^2}{9}} = 0.0079 \text{ kPa}$$

被测血压模拟器的静态压力示值误差为：

$$\Delta p = -0.03 \text{ (kPa)}$$

(2) 血压模拟器静态压力  $p$  中由读数分辨力引入的标准不确定度分量  $u_2$

血压模拟器的分辨力为 0.01 kPa，每个读数可能包含的误差应在  $\pm 0.005$  kPa 范围内，假定以均匀分布估计，所引入的不确定度分量为：

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ (kPa)}$$

(3) 标准压力计压力  $p_0$  中，由标准压力计引入的标准不确定度分量  $u_3$

标准压力计压力示值误差为  $\pm 0.025$  kPa，假定以均匀分布估计，则：

$$u_3 = \frac{0.025}{\sqrt{3}} = 0.0144 \text{ (kPa)}$$

## C.4 合成标准不确定度

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性，具体分析见表 C.2。

表 C.2 标准不确定度分量

量 $X_i$	不确定度来源	估计值 $x_i/\text{kPa}$	标准不确定度 $u(x_i)/\text{kPa}$	概率分布	灵敏系数	不确定度分量 $u_i/\text{kPa}$
血压模拟器静态压力 $p$	示值重复性	40.0	0.007 9	正态	1	0.007 9
	读数分辨力	0	0.002 9	矩形	1	0.002 9
标准压力 $p_0$	标准压力计示值误差	40.03	0.014 4	矩形	-1	0.014 4

以上分量相互独立，由于血压模拟器示值重复性引入的标准不确定度分量大于血压模拟器压力示值分辨力对压力示值测量不确定度的贡献，故计算合成标准不确定度时，可以不考虑血压模拟器压力示值分辨力的影响。计算合成标准不确定度  $u_c$ ：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = 0.016 (\text{kPa})$$

## C.5 扩展不确定度评定

由不确定度概算可知，共有 3 个不确定度分量。合成标准不确定度的两个分量分别为正态分布和矩形分布，且都不具有绝对优势，无法估计分布，所以令包含因子  $k=2$ 。

$$U(\Delta p) = k \times u_c = 2 \times 0.016 \approx 0.032 (\text{kPa})$$

## C.6 测量不确定度报告

血压模拟器在静态压力示值为 40.0 kPa 时的示值误差为  $\Delta p = -0.03 \text{ kPa}$ ，其扩展不确定度  $U = 0.032 \text{ kPa}$  ( $k=2$ )。

## 附录 D

## 血压模拟器脉率校准结果不确定度评定示例

## D.1 测量方法

采用标准压力计对血压模拟器（脉率设定值 200 次/min）输出恒定压力，稳定后切断气源，配合示波器、压力转换器进行检测的办法，以确定脉率误差。

## D.2 测量模型

$$\delta_r = \frac{F_r - f_s \times 60}{f_s \times 60} \times 100\%$$

式中：

$\delta_r$  —— 脉率误差，%；

$F_r$  —— 血压模拟器脉率的设定值， $F_r = 200$  次/min；

$f_s$  —— 示波器测得的脉搏波的频率，Hz。

各影响量的灵敏系数计算如下：

$$c(F_r) = \frac{\partial(\delta_r)}{\partial F_r} = \frac{1}{60f_s}$$

$$c(f_s) = \frac{\partial(\delta_r)}{\partial f_s} = -\frac{F_r}{60f_s^2}$$

各分量的标准不确定度为：

$$u_1 = |c(F_r)| u(F_r)$$

$$u_2 = |c(f_s)| u(f_s)$$

$u_1$  和  $u_2$  相互独立，因此有：

$$u_c = [u_1^2 + u_2^2]^{1/2}$$

## D.3 测量不确定度分量

(1) 血压模拟器  $F_r$  中由示值重复性引入的标准不确定度分量  $u_{11}$

血压模拟器脉率设定值  $F_r$  为 200 次/min，由示波器读取频率值  $f_s$ ，由于示波器频率测量采用数字显示方式，故可假定读数本身不引入误差；读取 10 次频率值  $f_s$  结果如表 D.1。

表 D.1 示值重复性测量结果

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{p}$
$f_s$ Hz	3.318	3.315	3.325	3.315	3.32	3.318	3.32	3.315	3.31	3.322	3.318
$F_r$ 次/min	199.08	198.90	199.50	198.90	199.20	199.08	199.20	198.90	198.60	199.32	199.07

平均值为 199.07 次/min，按正态分布，计算单次测量实验标准差  $s(p)$ ，自由度  $\nu = 9$ 。

$$u(F_r) = s(F_r) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (F_{ri} - \bar{F}_r)^2}{9}} = 0.26 (\text{次}/\text{min})$$

$$u_{11} = |c(F_r)| u(F_r) = 0.26/200 = 0.0013 (\text{次}/\text{min})$$

(2) 血压模拟器脉率  $F_r$  中由读数分辨力引入的标准不确定度分量  $u_{12}$

血压模拟器的分辨力为 1 次/min, 每个读数可能包含的误差应在  $\pm 0.5$  次/min 范围内, 假定以均匀分布估计, 所引入的不确定度分量为:

$$u(f_s) = \frac{0.5}{\sqrt{3}} = 0.29 (\text{次}/\text{min})$$

$$u_{12} = |c(F_r)| u(F_r) = 0.29/200 = 0.0014 (\text{次}/\text{min})$$

(3) 示波器测量频率  $f_s$  中, 由示波器引入的标准不确定度分量  $u_2$

示波器频率测量误差为  $\pm 0.1\%$ , 假定以均匀分布估计, 则:

$$c(f_s) = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} \times 3.33 = 0.0019 (\text{Hz})$$

$$u_2 = |c(f_s)| u(f_s) = 0.0006$$

#### D.4 合成标准不确定度

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。具体分析见表 D.2。

表 D.2 标准不确定度分量

量 $X_i$	不确定度 来源	估计值 $x_i/(\text{次}/\text{min})$	标准不确定度 $u(x_i)$	概率分布	灵敏系数	不确定度分 量 $u_i$
血压模拟 器脉率 输出值 $F_r$	示值重复性	200	0.26 次/min	正态	$1/200$ $(\text{次}/\text{min})^{-1}$	0.0013
	读数分辨力	0	0.29 次/min	矩形	$1/200$ $(\text{次}/\text{min})^{-1}$	0.0014
示波器 频率 $f_s$	示波器频率 测量误差	199.07	0.0019 Hz	矩形	$-0.3 \text{ Hz}^{-1}$	0.0006
$\delta_r$		0.5%				

以上分量相互独立, 由于血压模拟器示值重复性引入的标准不确定度分量小于血压模拟器示值分辨力对脉率测量不确定度的贡献, 故计算合成标准不确定度时, 可以不考虑血压模拟器示值重复性的影响。计算合成标准不确定度  $u_c$ :

$$u_{cr} = \sqrt{u_{12}^2 + u_2^2} = 0.15\%$$

#### D.5 扩展不确定度评定

由不确定度概算可知, 共有三个不确定度分量。合成标准不确定度的两个分量为矩形分布, 被测量估计为梯形分布, 为简化过程, 取包含因子  $k=2$ 。

$$U_r(\delta_r) = k \times u_{cr} = 2 \times 0.15\% \approx 0.3\%$$

D.6 测量不确定度报告

血压模拟器输出脉率值为 200 次/min 时的示值误差为 0.5%，其相对扩展不确定度  $U_r=0.3\%$  ( $k=2$ )。

---