



内蒙古自治区地方计量技术规范

JJF (蒙) 086—2024

彩色多普勒超声诊断仪校准规范

Calibration Specification of Color Doppler Ultrasonic
Diagnostic Equipment

2024-06-01 发布

2024-09-01 实施

内蒙古自治区市场监督管理局 发布

彩色多普勒超声诊断仪 校准规范

Calibration specification of Color Doppler
Ultrasonic Diagnostic Equipment

JJF(蒙)086—2024

归口单位：内蒙古自治区市场监督管理局
主要起草单位：内蒙古自治区计量测试研究院
武警内蒙古自治区总队医院
参加起草单位：乌兰察布市产品质量计量检验检测中心
呼和浩特市蒙医中医医院

本规范委托内蒙古自治区计量测试研究院负责解释

本规范主要起草人：

许春彬（内蒙古自治区计量测试研究院）

张 鹏（内蒙古自治区计量测试研究院）

徐明智（武警内蒙古总队医院）

参加起草人：

许 慧（内蒙古自治区计量测试研究院）

白 鑫（内蒙古自治区计量测试研究院）

邓晓辉（乌兰察布市产品质量计量检验检测中心）

马春玲（呼和浩特市蒙医中医医院）

目 录

引言	(III)
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	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 输出声强	(2)
5.2 探测深度	(2)
5.3 轴向(纵向)分辨力	(2)
5.4 侧向(横向)分辨力	(2)
5.5 盲区	(2)
5.6 几何位置示值误差	(2)
5.7 多普勒血流速度	(2)
5.8 血流方向识别能力	(3)
5.9 多普勒血流探测深度	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 输出声强	(3)
7.2 探测深度	(4)
7.3 侧向(横向)分辨力	(4)
7.4 轴向(纵向)分辨力	(4)
7.5 盲区	(4)
7.6 纵向几何位置示值误差	(4)
7.7 横向几何位置示值误差	(5)
7.8 多普勒血流速度	(5)

7.9 血流方向识别能力	(6)
7.10 多普勒血流探测深度	(6)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 校准项目及技术指标	(8)
附录 B 原始记录推荐格式	(9)
附录 C 校准证书内页推荐格式	(10)
附录 D 不确定度评定示例	(11)

引言

JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

彩色多普勒超声诊断仪校准规范

1 范围

本规范适用于标称频率不高于 15.0 MHz 的彩色多普勒超声诊断仪的校准。规范不适用于眼科超声诊断仪、经颅多普勒血液分析仪以及血管内超声诊断设备的校准。

2 引用文献

本校准规范引用下列文献：

JJG 639-1998 《医用超声诊断仪超声源》

JJF 1438-2013 《彩色多普勒超声诊断仪（血流测量部分）校准规范》

GB 10152-2009 《B 型超声诊断设备》

GB/T 16846-2008 《医用超声诊断设备声输出公布要求》

YY/T 0458-2003 《超声多普勒仿血流体模的技术要求》

YY/T 1084-2015 《医用超声诊断设备输出功率的测量方法》

注：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

JJG 639-1998 和 JJF 1438-2013 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 术语

3.1.1 探测深度 Investigation depth

在体模中能够明确成像的纵向线性靶群中最远靶线与声窗之间的距离。

[GB 10152-2009, 3.3]

3.1.2 盲区 Blind area

体模表面（扫描窗口）与距其最近的、能够清晰成像的靶之间的距离。

[GB 10152-2009, 3.4]

3.1.3 轴向（纵向）分辨率 Axial resolution

在体模的指定深度处，系统沿超声波束轴方向上，能分辨两个相邻物体的最小间距。

[GB 10152-2009, 3.1]

3.1.4 侧向（横向）分辨率 Lateral resolution

在体模的指定深度处，系统在扫描平面内与超声波束轴垂直的方向上，能分辨两个相邻物体的最小间距。

[GB 10152-2009, 3.2]

3.1.5 冻结 Freeze

也叫声输出冻结（Acoustic output freeze），指没有超声回波信息的实际更新，系统处于声输出禁止的状态。

[GB/T 16846-2008, 3.3]

3.1.6 多普勒角 Doppler angle

多普勒血流测量时所用超声束轴与散射体或反射体的运动方向之间的实际夹角。

[YY/T 0458-2003, 3.15 修改]

3.1.7 时间增益补偿 TGC（Time Gain Compensation）

由于人体组织对超声波的衰减作用，使得深部组织器官的回声信号比较弱。为了获得良好的图像，往往采用增益补偿放大措施，使不同深度的组织回声信号都得到充分的显示，这种技术就称为时间增益补偿，也叫深度增益补偿。

3.2 计量单位

声功率的单位及符号

计量单位：毫瓦；符号：mW。

4 概述

彩色超声诊断仪简称彩超，彩超通常由探头（相控阵、线阵、凸阵、机械扇扫、三维探头、内窥镜探头等）、超声波发射/接收电路、信号处理和图像显示等部分组成。

彩超的运行原理主要可分为信号发射和信号回收两个主要阶段。在信号发射阶段，核心元件超声换能器向病人发射超声信号，超声波经过人体组织，部分信号会反弹返回到超声换能器，作为回收信号。在信号回收阶段，超声换能器接收到回收的超声信号，然后将信号传输到计算机，再经过软件处理，将超声信号转换成有价值的图像。利用超声多普勒技术和超声回波原理，同时进行采集血流运动、组织运动信息和人体器官组织成像的设备。用于超声成像、测量与血流运动信息采集供临床超声诊断检查使用。

5 计量特性

5.1 输出声强：不大于 10 mW/cm^2 ，首次校准时应不大于产品技术说明书公布的输出范围。

5.2 探测深度：见附录 A。

5.3 轴向（纵向）分辨力：见附录 A。

5.4 侧向（横向）分辨力：见附录 A。

5.5 盲区：见附录 A。

5.6 几何位置示值误差：见附录 A。

5.7 多普勒血流速度

多普勒血流速度在大于 20 cm/s 时，其最大允许误差为 $\pm 20\%$ 。

5.8 血流方向识别能力

血流方向识别能力一般能分辨间隔 2 mm 方向相反的并行血流。

5.9 多普勒血流探测深度

多普勒血流探测深度一般应满足表 1 的要求。

表 1 不同标称频率探头的多普勒血流探测深度要求

标称频率/MHz	多普勒血流探测深度/mm	
	线阵、 $R \geq 60$ mm 凸阵	扇扫、相控阵、 $R < 60$ mm 凸阵
$f < 4.0$	≥ 120	≥ 100
$4.0 \leq f < 6.0$	≥ 70	≥ 50
$6.0 \leq f < 9.0$	≥ 40	≥ 30
$9.0 \leq f \leq 15.0$	≥ 20	≥ 20

6 校准条件

6.1 校准条件

温度：(15 ~ 35) °C；

相对湿度：30% ~ 80%；

6.2 校准设备

6.2.1 毫瓦级超声功率计：分辨力优于 2 mW，准确度优于 15%。

6.2.2 仿组织超声模体：声速为 (1540±10) m/s (25°C)，靶线位置偏差： ± 0.1 mm。

6.2.3 弦线式仿血流试件：弦线的运动速度范围至少应满足 (0 ~ 100) cm/s，速度最大相对误差 $\pm 5.0\%$ 。

7 校准项目和校准方法

在不通电的情况下，检查被检彩超及配用的探头外部有无影响使用的机械损伤。彩超前后面板上文字和标志应清楚，开关和键钮应灵活可靠，紧固部位不应松动。通电后，彩超应有超声输出和正常显示，不应有超声特性以外的伪影。若超声探头有裂纹和破损，校准时切勿直接浸入水中。

7.1 输出声强

正常开启彩超，按要求调试好超声功率计预热十分钟，并沿水槽壁或经漏斗注入除气蒸馏水。将被校准彩超置于临床所用声功率输出状态，按规定操作程序测量其配用探头的输出声功率，对同一探头进行不少于3次测量，取其测量结果的算术平均值作为被校准彩超配用探头的输出声功率。按公式（1）计算输出声强。

$$I_{\text{SAPA}} = \frac{\bar{P}}{S} \quad (1)$$

式中：

I_{SAPA} ——输出声强，mW/cm²；

\bar{P} ——被校准彩超的输出声功率，mW；

S ——配用探头的有效辐射面积，cm²。

7.2 探测深度

将探头经耦合媒质（水性凝胶型医用超声耦合剂或除气水）置于超声体模的声窗上，并保持声束扫描平面与靶线垂直，调节被校彩超的总增益、时间增益补偿（或空间时间补偿），对比度、亮度适中，使得图像处于最清晰状态。对具有动态聚焦功能的机型，令其置远场聚焦状态，在屏幕上读取深度靶群图像中可见的最大深度靶线所在的深度，即为被校准彩超配用探头的探测深度。

7.3 侧向（横向）分辨力

按7.2操作方法调整探头，保证侧向分辨力靶群图像清晰可见。对具有动态聚焦功能的机型，令其在所测深度或其附近聚焦；在有效探测深度范围内，由浅至深读取不同深度侧向分辨力靶群图像中可以分辨的最小靶线间距，即为被校准彩超配用探头的侧向分辨力。

7.4 轴向（纵向）分辨力

按7.2操作方法调整探头，保证轴向分辨力靶群图像清晰可见。对具有动态聚焦功能的机型，令其在所测深度或其附近聚焦；在有效探测深度范围内，由浅至深读取不同深度轴向分辨力靶群图像中可以分辨的最小靶线间距，即为被校准彩超配用探头的轴向分辨力。

7.5 盲区

按7.2操作方法调整探头，将探头置于盲区靶群上方，并保持靶线图像清晰可见。对具有动态聚焦功能的机型，令其在近场聚焦，读取盲区靶群图像中可见的最小深度，即为被校准彩超配用探头的盲区。

7.6 纵向几何位置示值误差

按 7.2 操作方法调整探头，将探头置于纵向线性靶群上方，并横向平移探头，使该靶群处于图像中央位置。在图像最清晰时将图像冻结，以每 20 mm 为一段（一般需测量至最大深度处），用电子游标依次测量两靶线图像中心间距。按公式（2）计算测量值与实际值的相对误差，取其中绝对值最大者。

$$\delta_A = \delta_{\max}(y_i) = \left| \frac{y_i - y_0}{y_0} \right| \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_A ——纵向几何位置相对误差；

y_i ——纵向两靶线图像中心间距测量值，mm；

y_0 ——仿组织超声体膜纵向两靶线中心间距标称值，mm。

7.7 横向几何位置示值误差

按 7.2 操作方法调整探头，将探头置于横向线性靶群上方。在图像最清晰时将图像冻结，以每 20 mm 为一段（一般取三段即可），用电子游标依次测量两靶线图像中心间距，按公式（3）计算出测量值与实际值的相对误差，取其中绝对值最大者。

$$\delta_L = \delta_{\max}(x_i) = \left| \frac{x_i - x_0}{x_0} \right| \times 100\% \quad (3)$$

式中：

δ_L ——横向几何位置相对误差；

x_i ——横向两靶线图像中心间距测量值，mm；

x_0 ——仿组织超声体膜横向两靶线中心间距标称值，mm。

7.8 多普勒血流速度

将弦线式仿血流试件置于平整、固定的检查床上。将探头的扫描面置于试件的液面下，对准模拟血管的弦线，调节被校彩超的总增益、对比度和亮度，使弦线在图像上清晰显示。将彩超置于血流速度测量状态，在弦线图像上选择适当的取样区，并使用多普勒角度校正功能。

血流速度测量时，一般选择 50 cm/s 和 100 cm/s 两个测量点，多普勒角一般选择小于 30°。测量 3 次血流速度取平均值，按公式（4）计算相对误差。

$$\Delta = \frac{\bar{v} - v}{v} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

- Δ ——血流速度测量相对误差；
- v ——血流速度设置值，cm/s；
- \bar{v} ——血流速度测量平均值，cm/s。

7.9 血流方向识别能力

7.9.1 将探头的扫描面置于试件的液面下，对准两根并行的方向相反的弦线，调节被校彩超的总增益、对比度和亮度，使弦线在图像上清晰显示。调整探头，在图像上观察是否能清晰显示两个距离为 2 mm 的颜色不同的血液流向。

7.9.2 改变相对于探头的血流方向，观察血流图是否变为另一种颜色（红变蓝或蓝变红）。

7.10 多普勒血流探测深度

7.10.1 在彩色血流模式下，将探头的扫描面置于试件的液面下，对准模拟血管的弦线；调节彩超的相关控制键，以获得清晰的弦线图像。

7.10.2 测量时，将探头向较深的模拟血管移动，直到彩色信号消失，此后将探头回退到彩色消失前的位置，将图像冻结后用电子游标测量此时模拟血管内壁最远端的深度，即为血流探测深度。

7.10.3 在频谱多普勒模式下，测量方法同上，将探头向较深的弦线移动，直到频谱信号刚消失时，冻结以电子游标测量此时弦线最远端的深度，即为血流探测深度。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。相校准证书应至少包括以下信息：

- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
- 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

彩色多普勒超声诊断仪的复校时间间隔建议不超过 12 个月，调试、修理主要部件或更换超声探头后有可能会改变设备的计量特性，建议及时校准。

附录 A

校准项目及技术指标

标称频率	$f < 4.0\text{MHz}$		$4.0\text{MHz} \leq f < 6.0\text{MHz}$	
探头类型	线阵、 $R \geq 60\text{mm}$ 凸阵	扇扫、相控阵、 $R < 60\text{mm}$ 凸阵	线阵、 $R \geq 60\text{mm}$ 凸阵	扇扫、相控阵、 $R < 60\text{mm}$ 凸阵
探测深度 (mm)	≥ 160	≥ 140	≥ 100	≥ 80
盲区 (mm)	≤ 5	≤ 7	≤ 4	≤ 5
轴向 (纵向) 分辨力 (mm)	≤ 3 (深度 ≤ 80) ≤ 4 (深度 > 80)	≤ 3 (深度 ≤ 80) ≤ 4 (深度 ≥ 80)	≤ 2 (深度 ≤ 60)	≤ 2 (深度 ≤ 40)
侧向 (横向) 分辨力 (mm)	≤ 2 (深度 ≤ 80) ≤ 3 (深度 > 80)	≤ 2 (深度 ≤ 80)	≤ 1 (深度 ≤ 80)	≤ 1 (深度 ≤ 40)
几何位置示值误差	横向 $\leq 15\%$ 纵向 $\leq 10\%$	横向 $\leq 20\%$ 纵向 $\leq 10\%$	横向 $\leq 15\%$ 纵向 $\leq 10\%$	横向 $\leq 20\%$ 纵向 $\leq 10\%$
标称频率	$6.0\text{MHz} \leq f < 9.0\text{MHz}$		$f \geq 9.0\text{MHz}$	
探头类型	线阵、 $R \geq 60\text{mm}$ 凸阵	扇扫、相控阵、 $R < 60\text{mm}$ 凸阵	线阵、 $R \geq 60\text{mm}$ 凸阵	扇扫、相控阵、 $R < 60\text{mm}$ 凸阵
探测深度 (mm)	≥ 50	≥ 40	≥ 30	≥ 30
盲区 (mm)	≤ 3	≤ 4	≤ 2	≤ 3
侧向 (横向) 分辨力 (mm)	≤ 2 (深度 ≤ 40)	≤ 2 (深度 ≤ 30)	≤ 1 (深度 ≤ 30)	≤ 1 (深度 ≤ 30)
轴向 (纵向) 分辨力 (mm)	≤ 1 (深度 ≤ 50)	≤ 1 (深度 ≤ 40)	≤ 0.5 (深度 ≤ 30)	≤ 0.5 (深度 ≤ 30)
几何位置示值误差	横向 $\leq 10\%$ 纵向 $\leq 5\%$	横向 $\leq 10\%$ 纵向 $\leq 5\%$	横向 $\leq 5\%$ 纵向 $\leq 5\%$	横向 $\leq 5\%$ 纵向 $\leq 5\%$

注释：以上指标不用于合格性判定，仅供参考。

附录 B

原始记录推荐格式

彩色多普勒超声诊断仪校准原始记录

委托方_____ 联系人_____ 校准日期_____

地址_____ 电话_____ 邮编_____

器具名称_____ 型号规格_____ 设备编号_____

制造厂_____ 出厂编号_____ 准确度等级_____

校准依据: _____

探头型号				标称频率			
1	探头尺寸 (cm)			声功率 (mW)			
	输出声强 (mW/cm ²)						
	测量结果扩展不确定度						
2	探测深度 (mm)						
3	侧向 (横向) 分辨力 (mm)	深度					
		分辨力					
4	轴向 (纵向) 分辨力 (mm)	深度					
		分辨力					
5	盲区 (mm)						
6	纵向几何位置示值误差	%	标准值 (mm)		测量值 (mm)		
	横向几何位置示值误差	%	标准值 (mm)		测量值 (mm)		
7	多普勒血流速度测量	设置值 (cm/s)	测量值 (cm/s)		平均值 (cm/s)	相对示值误差	
		50					%
	100					%	
	测量结果的不确定度						
8	血流方向识别能力						
9	多普勒血流探测深度						

附录 C

校准证书内页推荐格式

校准项目		校准结果					
1	输出声强 (mW/cm ²)						
	测量结果的不确定度						
2	探测深度 (mm)						
3	侧向(横向)分辨力 (mm)	深度					
		分辨力					
4	轴向(纵向)分辨力 (mm)	深度					
		分辨力					
5	盲区 (mm)						
6	纵向几何位置示值误差	%	测量值 (mm)				
	横向几何位置示值误差	%	测量值 (mm)				
7	多普勒血流速度测量	设置值 (cm/s)	测量平均值 (cm/s)			相对示值误差	
		50				%	
		100				%	
	测量结果的不确定度						
8	血流方向识别能力						
9	多普勒血流探测深度						
注：根据用户要求选择校准项目							

附录 D

不确定度评定示例

一、医用超声诊断仪超声源输出功率测量结果的不确定度评定

1 概述

1.1 测量依据：JJF (蒙) ×××—×××《彩色多普勒超声诊断仪校准规范》。

1.2 环境条件：温度：22℃；相对湿度：35%；气压：89kPa。

1.3 测量标准：超声功率计。

1.4 被测对象：彩色多普勒超声诊断仪。

1.5 测量方法：超声增益调至最大，尽量聚焦至超声功率计锥形靶中心高度，用超声功率计对医用超声诊断仪同一探头进行重复测量 10 次，记录仪器示值 P ，并计算数学平均值 \bar{P} 作为被检仪器指定探头的输出声功率。

2 测量模型

$$P = \bar{P}$$

式中：

P ——被检仪器输出声功率，mW

\bar{P} ——连续 10 次测量结果的算数平均值，mW

3 各输入量的标准不确定度分量评定

3.1 被检超声诊断仪声功率测量重复性的标准不确定度分量 $u_1(P)$ (A 类评定)

对工作频率 4.0MHz，选取有效辐射面积 10.56cm² 的探头进行 10 次测量（测量结果 30、30、30、30、30、30、30、30、30、30），单次测量标准差 $s = 0.00$ mW。则

$$u_1(P) = 0.00 \text{ mW}$$

3.2 超声功率计读数分辨率引入的标准不确定度 $u_2(P)$ (B 类评定)

超声功率计为数显仪表，其分辨率为 2mW，按均匀分布估计，则：

$$u_2(P) = \frac{2\text{mW}}{2\sqrt{3} \times 30\text{mW}} \times 100\% = 1.9\%$$

由于 $u_1(P)$ 和 $u_2(P)$ 具有一定的关联性，属于同一种效应导致的不确定度，故在不确定度分量合成时，只取二者较大者 $u_2(P)$ 进行计算。

3.3 计量标准溯源引入的标准不确定度分量 $u_3(P)$

根据本规范中规定超声功率计准确度要优于 15%，我们取其最大值按均匀分布估计，则：

$$u_3(P) = \frac{15\%}{\sqrt{3}} = 8.7\%$$

3.4 超声探头安装位置不理想引入的标准不确定度分量 $u_4(P)$

超声探头安装的理想状态是探头面几何中心位置应对准超声功率计的测量靶中心，安装轴线与水平面垂直，但实际探头安装时会出现中心未对准或不垂直的可能，根据经验和相关建模分析由于安装造成的功率偏离可控制在 $\pm 5\%$ 以内，按均匀分布估计，则：

$$u_4(P) = \frac{5\%}{\sqrt{3}} = 2.9\%$$

4 各标准不确定度分量汇总于下表：

符号	不确定度来源	标准不确定度分量值
$u_2(P)$	读数分辨率	1.9%
$u_3(P)$	超声功率计溯源	8.7%
$u_4(P)$	超声探头安装位置不理想	2.9%

5 合成标准不确定度的计算

以上各输入量彼此独立不相关，则：

$$u_c(P) = \sqrt{u_2^2(P) + u_3^2(P) + u_4^2(P)} = 9.37\%$$

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = k \times u_c = 2 \times 9.37\% \approx 19\% \quad k=2$$

二、彩色多普勒超声诊断仪流速测量不确定度评定

1 测量依据

1.1 测量依据：JJF(蒙)×××—×××《彩色多普勒超声诊断仪校准规范》。

1.2 环境条件：温度：22℃；相对湿度：35%；气压：89kPa。

1.3 测量标准：多普勒血流标准器。

1.4 被测对象：彩色多普勒超声诊断仪。

1.5 测量方法：利用弦线法模拟一个稳定的血流流速，用被检仪器的指定探头对血液流速进行测量。

2 数学模型

根据多普勒流速测量的原理可知，血液流速的测量值与超声在试件中的速度、多普勒角有关。故建立一下数学模型：

$$v = V \cdot K_1 \cdot K_2$$

式中：

v ：彩色多普勒超声诊断仪的流速测量值

V ：模拟血液流速的设置值

K_1 ：试件中纯水温度对声速影响的修正

K_2 ：多普勒角修正

3 标准不确定度的评定

3.1 重复性测量引起的不确定度分量 $u(N)$

重复性引起的不确定度可以通过连续测量得到测量列，并用 A 类方法进行评定。在正常工作条件下，重复测量 10 次，测得的流速为（单位 cm/s）：48.2、48.9、50.2、49.7、50.2、49.5、51.1、51.2、50.6、50.4。

平均值： $\bar{X} = 50.0\text{cm/s}$

单次测量标准偏差为：

$$S(X_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \approx 0.9\text{cm/s}$$

则重复性引起的不确定度分量 $u(N) = 0.9 / \sqrt{10} \approx 0.3\text{cm/s}$

3.2 仪器分辨力引起的不确定度分量 $u(M)$

医用超声源测量流速的分辨力为 0.1cm/s, 分布区间半宽为 0.05cm/s, 按均匀分布作 B类评定, $k = \sqrt{3}$ 。则

$$u(M) = 0.05 / \sqrt{3} \approx 0.03 \text{ cm/s}$$

3.3 模拟血液流速试件设置值的不确定度 $u(V)$

模拟血流速度的弦线, 最大相对误差为 $\pm 5.0\%$, 按均匀分布处理, $k = \sqrt{3}$ 。

则:

$$u(V) = 0.05 / \sqrt{3} \approx 2.9\%$$

又在测量 50.0cm/s 时, 其 $u(V) = 50.0 \times 2.9\% \approx 1.5 \text{ cm/s}$

3.4 在试件纯水中声速为 1480 m/s (23℃时), 温度变化对流速测量结果的影响为 0.1cm/s, 分布区间半宽为 0.05cm/s, 按矩形分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。

则:

$$u(K_1) = 0.05 / \sqrt{3} \approx 0.03 \text{ cm/s}$$

3.5 根据有关资料, 在测量血液流速时, 多普勒角选择在 30 进行血流速度测量, 在多普勒角校正时, 角度每相差 1 度, 引入的血流速度误差约为 1.2%, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$ 。

则:

$$u(K_2) = 0.012 / \sqrt{3} \approx 0.69\%$$

又在测量 50.0cm/s 时, 其 $u(K_2) = 50.0 \times 0.69\% \approx 0.35 \text{ cm/s}$

5 合成标准不确定度

由于以上五个分量相互独立, 重复性不确定度分量和分辨力引入的不确定度分量二者取大值。

则:

$$u(v) = \sqrt{u^2(V) + u^2(N) + u^2(K_1) + u^2(K_2)} \approx 1.57 \text{ cm/s}$$

6 扩展不确定度的评定

则扩展不确定度:

$$U = 1.57 \times 2 \approx 3.2 \text{ (cm/s)} \quad k=2$$

