



陕西省地方计量校准规范

JJF (陕) XXX—XXXX

呼吸器综合检测仪校准规范

Calibration Specification of Comprehensive
Testing Instrument for Respirator

(报批稿)

2019-XX-XX 发布

2019-XX-XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

呼吸器综合检测仪校准规范

Calibration Specification of Comprehensive Testing Instrument for Respirator

JJF(陕)XXX-XXXX

本规范经陕西省市场监督管理局与 2019 年 XX 月 XX 日批准，并自 2019 年 XX 月 XX 日批准实施。

归口单位：陕西省市场监督管理局

主要起草单位：陕西国华现代测控技术有限公司

参加起草单位：航空工业第一飞机设计研究院

中国飞行试验研究院

本规范由陕西省市场监督管理局负责解释

本规范主要起草人：

陈 琛 陕西国华现代测控技术有限公司

禄宏志 航空工业第一飞机设计研究院

参加起草人：

杨嘉泉 陕西国华现代测控技术有限公司

杜泽祥 中国飞行试验研究院

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 呼吸频率.....	(1)
3.2 呼吸气量.....	(1)
3.3 高压压力.....	(1)
3.4 中压压力.....	(1)
3.5 呼吸阻力.....	(1)
4 概述.....	(1)
4.1 功能.....	(1)
4.2 组成.....	(1)
4.3 工作原理.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
5.1 压力示值.....	(2)
5.2 呼吸气量.....	(2)
5.3 呼吸频率.....	(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.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 校准前的准备.....	(3)
7.3 外观及功能性检查.....	(3)
7.4 密封性检查.....	(4)
7.5 压力示值误差.....	(4)
7.6 呼吸气量示值误差.....	(4)
7.7 呼吸频率示值误差.....	(5)
8 校准结果的处理.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 呼吸器综合检测仪记录格式.....	(6)
附录 B 校准证书(内页)格式.....	(8)
附录 C 不确定度评定示例.....	(9)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制。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》及 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。针对呼吸器综合检测仪校准需求，制定本规范。

本规范为首次发布。

呼吸器综合检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于呼吸器综合检测仪压力、呼吸气量、呼吸频率计量性能的校准。

2 引用文件

JJG 875 数字压力计

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1234 呼吸机校准规范

GB/T 16556 自给开路式压缩空气呼吸器

GA 124 正压式消防空气呼吸器

MT 867 隔绝式正压氧气呼吸器

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 呼吸频率 breathing rate

呼吸器综合检测仪每分钟呼吸的次数，单位：次/分钟。

3.2 呼吸气量 breathing capacity

单次吸入或呼出气体的体积，对于呼吸器综合检测仪而言，指机器呼吸时单次吸入或呼出气体的体积，单位：L。

3.3 高压压力 high pressure

呼吸器气瓶压力，单位：MPa。

3.4 中压压力 medium pressure

呼吸器减压器输出端压力，单位：MPa。

3.5 呼吸阻力 breathing resistance

呼吸器呼气或吸气时面罩内的压力，单位：Pa。

4 概述

4.1 功能

呼吸器综合检测仪用于呼吸器压力、呼吸气量、呼吸频率。

4.2 组成

呼吸器综合检测仪由头模、人工肺、电机驱动单元、气源系统和测控系统组

成。

4.3 工作原理

采用电脑控制的模拟人工肺，在指定条件下进行面罩泄漏检验，通过选择指令或程序自动控制呼吸频率，进行不同的呼吸状态下呼吸器的呼吸阻力、整机气密性、压力报警值等功能检验。

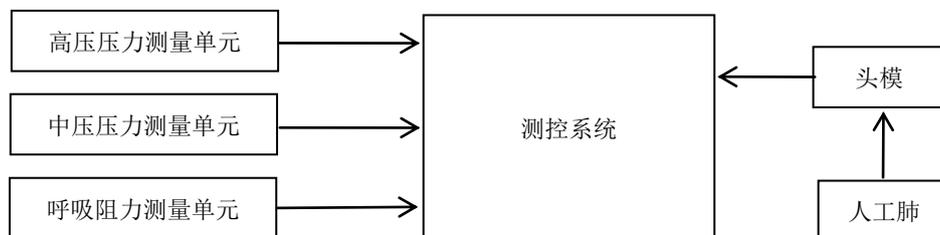


图1 原理结构图

5 计量特性

5.1 压力示值

高压压力：测量范围一般为（0~30）MPa，最大允许误差的绝对值不大于 0.3 MPa。

中压压力：测量范围一般为（0~3.5）MPa，最大允许误差的绝对值不大于 0.035 MPa。

呼吸阻力：测量范围一般为（-1500~1500）Pa，最大允许误差的绝对值不大于 30 Pa。

5.2 呼吸气量

呼吸器综合检测仪呼吸气量分别设定为 2 L 和 2.5 L 时，各累计测量 30 次，最大允许误差为±2.5%。

5.3 呼吸频率

呼吸频率最大允许误差：设定值的±10%或±1 次/分钟，两者取绝对值大者。装置中各参数的重复性应不大于最大允许误差绝对值的 1/3。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度：（20±2）℃

6.1.2 湿度：（35%~85%）RH

6.1.3 大气压力：（86~106）kPa

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 校准用标准器

a) 选用的压力计量标准器最大允许误差绝对值不大于被校仪器最大允许误差绝对值的 1/4。

b) 呼吸气量流量标准器测量范围应覆盖呼吸器综合检测仪流量范围，最大允许误差绝对值不大于被校仪器最大允许误差绝对值的 1/4。

c) 秒表：分辨力不大于 0.1s，最大允许误差优于 $\pm 0.5s/d$ 。

6.2.2 其他设备

高压造压装置、中压造压装置、微压造压装置。

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 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	外观及功能性检查	7.2
2	密封性检查	7.3
3	压力示值误差	7.5
4	呼吸气量示值误差	7.6
5	呼吸频率示值误差	7.7

7.2 校准前的准备

标准器和被校仪器为达到热平衡，必须在校准条件下放置 2 h。

7.3 外观及功能性检查

外观采用目力和手感检查。

为了保证试验头模与面罩之间能密封良好，试验头模表面需保持清洁，无划伤或损伤，确定没有影响计量特性的因素。

仪器结构完整，连接可靠，各旋钮应能正常调节。仪器外观应无影响仪表工作的损伤。

仪器铭牌清晰，标明产品名称、型号规格、出厂编号、生产年份、制造商名称或商标、（型批编号）等。

7.4 密封性检查

密封头模进气口，使用微压造压装置，建立 750 Pa 的正压或负压，关闭气源阀门。待压力稳定后，压力变化在 1 min 内应不大于 30 Pa。

7.5 压力示值误差

7.5.1 校准前，将呼吸器综合检测仪与校准装置按图 2 方式连接。

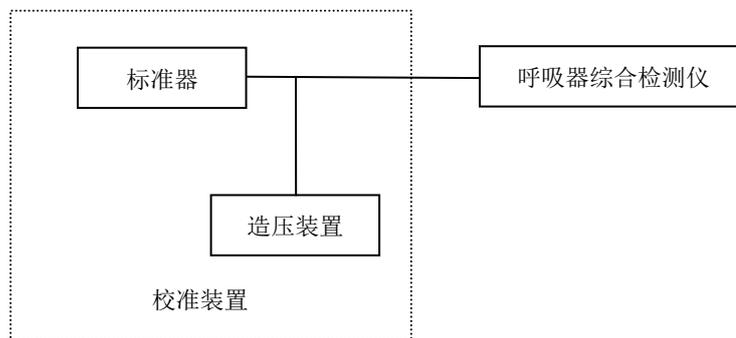


图 2 压力校准连接示意图

7.5.2 校准点的选取原则

校准点的选择按量程尽可能均匀分布，一般包括上限值、下限值在内不少于 5 个点。

7.5.3 校准方法

高压压力仪表校准时，高压造压装置连接呼吸器综合检测仪高压口调节压力进行校准。

中压压力仪表校准时，中压造压装置连接呼吸器综合检测仪中压口调节压力进行校准。

呼吸阻力仪表校准时，微压造压装置连接呼吸器综合检测仪微压口调节压力进行校准。

按以上方法分别进行 3 次测量。

压力示值误差按式 (1) 计算：

$$\Delta_p = \bar{p}_0 - p_s \quad (1)$$

式中：

Δ_p ——被校准呼吸器综合检测仪压力示值误差，MPa 或 Pa；

\bar{p}_0 ——被校准呼吸器综合检测仪 3 次测量值的算术平均值，MPa 或 Pa；

p_s ——标准器示值，MPa 或 Pa。

7.6 呼吸气量示值误差

首先将呼吸气量标准器与头模连接，启动呼吸器综合检测仪，呼吸频率分别设置为 20 次/分钟、25 次/分钟、40 次/分钟，待呼吸器综合检测仪运行稳定后，连续记录模拟呼吸 30 次吸入空气的累计流量，单次平均值即为设定状态下的呼吸气量。可根据呼吸器综合检测仪的说明及客户要求对其他呼吸频率点呼吸气量进行测量。

按以上方法分别进行 3 次测量。

呼吸气量相对示值误差按照式(2)计算:

$$\Delta_V = \frac{V_0 - \bar{V}_s}{\bar{V}_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

Δ_V ——被校准呼吸器综合检测仪呼吸气量相对示值误差, %;

V_0 ——呼吸器综合检测仪呼吸气量设定值, L;

\bar{V}_s ——3次测量值的算术平均值, L。

7.7 呼吸频率示值误差

呼吸器综合检测仪装上面罩,设置呼吸频率分别为20次/分钟、25次/分钟、40次/分钟,呼吸器综合检测仪启动后,用秒表记录呼吸40次所用时间。

按以上方法分别进行3次测量。

呼吸频率示值误差按式(3)计算:

$$\Delta_f = f_0 - \bar{f}_s \quad (3)$$

$$f_s = \frac{40}{t} \times 60 \quad (4)$$

式中:

Δ_f ——被校准呼吸器综合检测仪呼吸频率示值误差, 次/分钟;

f_0 ——呼吸器综合检测仪呼吸频率设定值, 次/分钟;

f_s ——标准器单次测量值, 次/分钟;

\bar{f}_s ——标准器3次测量值的算术平均值, 次/分钟;

t ——呼吸器综合检测仪呼吸40次所用时间, s。

8 校准结果的处理

校准结束后应出具校准证书。校准证书应准确、客观地报告校准结果,校准结果以校准数据形式给出。校准证书应包括委托方要求的、说明校准结果所必须的和所用方法要求的全部信息。

9 复校时间间隔

呼吸器综合检测仪校准的复校时间间隔一般不超过一年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的,因此,使用单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

呼吸器综合检测仪记录格式

证书编号:		委托单位:		
仪器名称:		生产单位:		
型号规格:		出厂编号:		
温度: ℃		湿度: %RH		
校准依据:		校准地点:		
标准器名称	测量范围	准确度等级或最大允许误差或不确定度	标准器证书号	有效期
外观及功能性:		密封性:		

压力示值误差

项目	标准器示值	仪器示值			平均值	示值误差	扩展不确定度
		第一次	第二次	第三次			
高压 压力 /MPa							
中压 压力 /MPa							
呼吸 阻力 /Pa							

呼吸气量示值误差

校准项目	呼吸频率	呼吸气量设定值	标准器测量 30 次累积值 (L)	标准呼吸气量平均值 (L)	示值误差 ()	扩展不确定度
呼吸气量	20 次/分钟	2.0 L				
	25 次/分钟	2.0 L				
	40 次/分钟	2.5 L				

呼吸频率示值误差

校准项目	呼吸频率设定量值	呼吸次数 (次/分钟)				扩展不确定度
		第一次	第二次	第三次	示值误差	
呼吸频率	20 次/分钟					
	25 次/分钟					
	40 次/分钟					

示值误差: $\Delta_f = f_0 - \bar{f}_s$, $f_s = \frac{40}{t} \times 60$

呼吸频率设定量值	呼吸 40 次所用时间 /t		
	第一次	第二次	第三次
20 次/分钟			
25 次/分钟			
40 次/分钟			

校准员: _____

核验员: _____

校准日期: _____

附录 B

校准证书（内页）格式（供参考）

校准证书内页信息

1. 校准条件

(1) 环境温度: °C

(2) 湿度: %RH

2. 校准结果

校准项目	标准器示值	仪器示值	示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$
高压压力 /MPa				
中压压力 /MPa				
呼吸阻力 /Pa				

校准项目	类型	示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$
呼吸气量	20 次/分钟		
	25 次/分钟		
	40 次/分钟		
呼吸频率	20 次/分钟		
	25 次/分钟		
	40 次/分钟		

以下空白

附录 C

压力示值误差的不确定度评定示例

C.1 测量模型

$$\Delta_p = \bar{p}_0 - p_s \quad (\text{C.1})$$

式中： Δ_p ——压力示值误差；

\bar{p}_0 ——被校呼吸器综合检测仪压力测量值的算术平均值；

p_s ——标准器压力示值。

C.1.2 不确定度传播公式

依照公式：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i) \quad (\text{C.2})$$

由于 P_0 、 P_s 之间不相关，得到：

$$u_c^2(\Delta_p) = c_1^2 u^2(P_0) + c_2^2 u^2(P_s) \quad (\text{C.3})$$

C.1.3 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta / \partial P_0 = 1, \quad c_2 = \partial \Delta / \partial P_s = -1 \quad (\text{C.4})$$

C.2 输入量的不确定度来源

u_A ：被测呼吸器综合检测仪压力因重复性引起的不确定度分量；

u_{B1} ：被测呼吸器综合检测仪压力测量分辨力引入的不确定度分量；

u_{B2} ：测量标准器引入的不确定度；

u_{B3} ：环境温度引入的不确定度分量。

C.2.1 测量重复性引入的不确定度

在呼吸器综合检测仪中压 2.00 MPa 点，测量 10 次，示值误差如下：

单位：MPa

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差 Δ_p	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
$\bar{\Delta}_p$	0.011									

单次测量值的实验标准偏差：

$$S_{(P)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} [\Delta_{P_i} - \bar{\Delta}_P]^2}{10-1}} = 0.003 \text{ MPa} \quad (\text{C.5})$$

则输入量平均值测量重复性引起的不确定度:

$$u_A = \frac{0.003 \text{ MPa}}{\sqrt{10}} = 0.00095 \text{ MPa}$$

C.2.2 被校呼吸器综合检测仪压力测量分辨力引入的不确定度

呼吸器综合检测仪压力测量分辨力为 0.01MPa, 按 B 类进行评定则其区间半宽度为 $a=0.005 \text{ MPa}$, 为均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则分辨力引入的不确定度 u_{B1} 为:

$$u_{B1} = \frac{0.01 \text{ MPa}}{2\sqrt{3}} = 0.0029 \text{ MPa} \quad (\text{C.6})$$

C.2.3 测量标准器引入的不确定度

采用测量范围为 (0~4) MPa, 准确度等级为 0.02 级数字压力计作为标准, 其最大允许误差为 $\pm 0.02\% \times 4 \text{ MPa}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则标准器引入的不确定度 u_{B2} 为:

$$u_{B2} = \frac{0.02\% \times 4 \text{ MPa}}{\sqrt{3}} = 0.00046 \text{ MPa} \quad (\text{C.7})$$

C.2.4 环境温度引入的不确定度分量

呼吸器综合检测仪校准环境温度在 $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 温度变化对示值误差影响不大, 可忽略不计。

$$u_{B3} = 0 \text{ MPa} \quad (\text{C.8})$$

C.3 标准不确定度汇总表

不确定度分量	标准不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
u_A	测量重复性引入的不确定度	正态分布	1	0.00095 MPa
u_{B1}	被校压力测量分辨力引入的不确定度	均匀分布	1	0.0029 MPa
u_{B2}	测量标准器引入的不确定度	均匀分布	-1	0.00046 MPa

为了避免重复计算, 因被校呼吸器综合检测仪压力测量分辨力引入的不确定度大于测量重复性引入的不确定度, 可以不考虑测量重复性引入的不确定度分量。

C.4 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0.0029^2 + 0.00046^2} \text{ MPa} = 0.0029 \text{ MPa} \quad (\text{C.9})$$

C.5 扩展不确定度计算

取 $k=2$ 时, 扩展不确定度为

$$U = k u_c = 0.0058 \text{ MPa} \quad (\text{C.10})$$

则相对扩展不确定度为:

$$U_{\text{rel}} = 0.3\% , k=2 \quad (\text{C.11})$$

呼吸气量示值误差的不确定度评定示例

C.6 测量模型

$$\Delta_V = \frac{V_0 - \bar{V}_s}{\bar{V}_s} \times 100\% \quad (\text{C.12})$$

式中： Δ_V ——呼吸气量相对示值误差，%；
 V_0 ——呼吸器综合检测仪设定量值，L；
 \bar{V}_s ——标准器测量值，L。

C.6.1 不确定度传播公式

依照公式：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \cdot u^2(x_i)$$

由于 V_0 、 \bar{V}_s 之间不相关，得到：

$$u_c^2(\Delta_V) = c_1^2 u^2(V_0) + c_2^2 u^2(\bar{V}_s)$$

C.6.2 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta_V / \partial V_0 = \frac{1}{\bar{V}_s}, \quad c_2 = \partial \Delta_V / \partial \bar{V}_s = -\frac{V_0}{\bar{V}_s^2}$$

C.7 输入量的不确定度来源

- u_A ：测量重复性引起的不确定度分量；
- u_{B1} ：测量标准器引入的不确定度分量；
- u_{B2} ：环境温度引入的不确定度分量；
- u_{B3} ：大气压测量引入的不确定度分量；
- u_{B4} ：频率设定引入的不确定度分量。

C.7.1 测量重复性引入的不确定度

将呼吸器综合检测仪设定在 25 次/分钟模式下，其设定呼吸气量为 2L，测量 6 次，测量数据如下：

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/L	2.01	2.02	2.01	2.01	2.02	2.00	2.00	2.01	2.02	2.00
\bar{V}_s	2.01 L									

单次测量标准偏差：

$$S_{(v)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} [V_i - \bar{V}_s]^2}{10-1}} = 0.0082 \text{ L} \quad (\text{C.13})$$

则输入量平均值测量重复性引起的相对不确定度:

$$u_A = \frac{0.0082 \text{ L}}{\frac{\sqrt{10}}{\bar{V}_s}} = 0.129 \%$$

C.7.2 测量标准器引入的不确定度

标准器采用容积式流量计, 该装置的不确定度 $U_{\text{rel}}=0.75\%$ ($k=2$), 则:

$$u_B = \frac{U_{\text{rel}}}{k} = 0.375 \% \quad (\text{C.14})$$

C.7.3 环境温度引入的不确定度分量

呼吸器综合检测仪校准环境温度在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 时, 温度变化引入的不确定度可忽略不计。

C.7.4 大气压测量引入的不确定度分量

大气压测量引入的不确定度可忽略不计。

C.7.5 频率设定引入的不确定度分量

频率设定引入的不确定度分量可忽略不计。

C.8 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
测量重复性 u_A	正态分布	$\frac{1}{\bar{V}_s}$	0.129 %
测量标准器 u_B	均匀分布	$-\frac{V_0}{\bar{V}_s^2}$	0.375 %

C.9 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(V_0) + c_1^2 u^2(\bar{V}_s)} = 0.4 \% \quad (\text{C.15})$$

C.10 扩展不确定度计算

取 $k=2$ 时, 相对扩展不确定度为

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 0.8\% \quad (\text{C.16})$$

呼吸频率示值误差的不确定度评定示例

C.11 测量模型

$$\Delta_f = f_0 - \bar{f}_s \quad (\text{C.17})$$

$$f_s = \frac{40}{t} \times 60 \quad (\text{C.18})$$

式中： Δ_f ——被校准呼吸器综合检测仪呼吸频率示值误差，次/分钟；

f_0 ——呼吸器综合检测仪呼吸频率设定值，次/分钟；

f_s ——标准器单次测量值，次/分钟；

\bar{f}_s ——标准器 3 次测量值的算数平均值，次/分钟；

t ——呼吸器综合检测仪呼吸 40 次所用时间，s。

C.11.1 不确定度传播公式

依照公式：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right] \cdot u^2(x_i) \quad (\text{C.19})$$

由于 f_0 、 \bar{f}_s 之间不相关，得到：

$$u_c^2(\Delta_f) = c_1^2 u^2(f_0) + c_2^2 u^2(\bar{f}_s) \quad (\text{C.20})$$

C.11.2 灵敏系数

$$c_1 = \partial \Delta / \partial f_0 = 1, \quad c_2 = \partial \Delta / \partial \bar{f}_s = -1 \quad (\text{C.21})$$

C.12 输入量的不确定度来源

u_A ：测量重复性引起的不确定度分量；

u_{B1} ：测量标准器引入的不确定度分量；

u_{B2} ：呼吸器综合检测仪分辨力引入的不确定度分量。

C.12.1 测量重复性引入的不确定度

在呼吸器综合检测仪呼吸频率 40 次/分钟，测量 10 次，示值误差如下：

单位：次/分钟

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差 Δ_f	0.2	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0
$\bar{\Delta}_f$	0.06									

单次测量值的实验标准偏差：

$$S_{(f)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} [\Delta f_i - \bar{\Delta f}]^2}{10-1}} = 0.096 \text{ 次/分钟} \quad (\text{C.22})$$

则输入量 3 次平均值测量重复性引起的不确定度:

$$u_A = \frac{0.096 \text{ 次/分钟}}{\sqrt{3}} = 0.06 \text{ 次/分钟} \quad (\text{C.23})$$

则重复性引入的相对不确定度:

$$u_A = \frac{0.06 \text{ 次/分钟}}{40 \text{ 次/分钟}} \times 100\% = 0.15\%$$

C.12.2 测量标准器引入的不确定度

标准器采用电子秒表, 最大允许误差 $\pm 0.07\text{s}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_{B1} = \frac{a}{k} = \frac{0.07}{\sqrt{3}} \text{ s} = 0.04 \text{ s} \quad (\text{C.24})$$

标准器引入的相对不确定度:

$$u_{B1} = \frac{0.04 \text{ s}}{60 \text{ s}} = 0.1\% \quad (\text{C.25})$$

C.12.3 呼吸器综合检测仪分辨力引入的不确定度分量

呼吸器综合检测仪分辨力为 1 次/分钟, 区间半宽度为 0.5 次/分钟, 服从均匀分布包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则

$$u_{B2} = \frac{0.5 \text{ 次/分钟}}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ 次/分钟} \quad (\text{C.26})$$

分辨力引入的相对不确定度:

$$u_{B2} = \frac{0.29 \text{ 次/分钟}}{40 \text{ 次/分钟}} \times 100\% = 0.7\% \quad (\text{C.27})$$

C.13 标准不确定度汇总表

标准不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量
测量重复性 u_A	正态分布	1	0.15 %
测量标准器 u_{B1}	均匀分布	-1	0.1 %
被校仪器分辨力 u_{B2}	均匀分布	1	0.7 %

考虑到被校呼吸器综合检测仪测量重复性和分辨力存在重复, 在合成标准不

确定度时将二者中较小值舍去。

C.14 合成标准不确定度计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.7 \% \quad (\text{C.28})$$

C.15 扩展不确定度计算

$$U_{\text{rel}} = k u_c = 1.4 \% , \quad k=2 \quad (\text{C.29})$$