
JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

透射式能见度仪校准规范

Calibration Specification for Transmission Visibility Meter

(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

透射式能见度仪校准规范

Calibration Specification for

Transmission Visibility Meter

JJF ××××-××××

本规范经国家市场监督管理总局于xxxx年 xx月xx日批准，并自
xxxx年xx月xx日起施行。

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：陕西省计量科学研究院

中国计量科学研究院

中国测试技术研究院

参加起草单位：江苏省计量科学研究院

国家气象计量站

湖北省气象信息与技术保障中心

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

李 奕 （陕西省计量科学研究院）

吴厚平 （中国计量科学研究院）

高红波 （中国测试技术研究院）

参加起草人：

张 帆 （江苏省计量科学研究院）

周秉直 （陕西省计量科学研究院）

崇 伟 （国家气象计量站）

曾 涛 （湖北省气象信息与技术保障中心）

目 录

引 言.....	V
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	2
3.1 能见度 visibility	2
3.2 夜间能见度 visibility at night	2
3.3 气象光学视程 meteorological optical range (MOR)	2
3.4 透射式能见度仪 transmission visibility meter	2
3.5 高透射比量具 high transmittance measuring tool	2
4 概述.....	3
4.1 透射式能见度仪.....	3
4.2 高透射比量具.....	3
5 计量特性.....	4
5.1 透射式能见度仪.....	4
5.1.1 能见度相对示值误差:	4
5.1.2 透射比示值误差:	4
5.2 高透射比量具.....	4
6 校准条件.....	5
6.1 环境条件.....	5
6.2 测量标准及其他设备.....	5
6.2.1 透射式能见度仪测量标准.....	5
6.2.2 高透射比量具测量标准.....	6
7 校准项目和校准方法.....	7
7.1 校准项目.....	7
7.1.1 透射式能见度仪.....	7
7.1.2 高透射比量具.....	7
7.2 校准方法.....	7
7.2.1 透射式能见度仪.....	7
7.2.2 高透射比量具.....	9
8 校准结果表述.....	9
9 复校间隔时间.....	10
附录 A.....	11
附录 B.....	12

附录 C.....	13
附录 D.....	14
附录 E.....	15

引 言

JJF 1071—2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001 《通用计量术语及定义》、JJF 1032—2005 《光学辐射计量名词术语及定义》、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。

本规范为首次制定。

透射式能见度仪校准规范

1 范围

本规范适用于能见度测量范围在 5 m~5000 m 内的透射式能见度仪（亦称透射仪、光透过率检测仪、隧道烟雾浓度检测仪等；不适用于带反射光路的透射式能见度仪），和透射比范围 0.95~1.00 内的超高透射比量具的校准。

2 引用文件

JJG 1034-2008 《光谱光度计标准滤光器》

GB/T 26944.3-2011 《隧道环境检测设备 第 3 部分:能见度检测器》

GB/T 27964-2011 《雾的预报等级》

GB/T 35223-2017 《地面气象观测规范 气象能见度》

GB/T 37467-2019 《气象仪器术语》

JT/T 714-2008 《道路交通气象环境 能见度检测器》

QX/T 111-2010 《高速公路交通气象条件等级》

跑道视距观测和报告实践手册，国际民用航空组织 Doc 9328 AN/908，第三版，2005 年。（Doc 9328 AN/908 , Manual of Runway Visual Range Observing and Reporting Practices , Third Edition -2005 , International Civil Aviation Organization）

国际空中航行气象服务，国际民用航空组织《国际民用航空公约》附件 3，第 16 版，2007 年 7 月。（Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation, Meteorological Service for International Air Navigation, Sixteenth Edition July 2007, International Civil Aviation Organization）

凡注明日期的引用文件，以此日期版本适用于本规范，否则只有其最新版本（包括所有的修改版）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 能见度 visibility

正常视力的人，在当时天气条件下，能够从天空背景中看到和辨认出目标物（黑色、大小适度）的最大水平距离，单位为 m。

3.2 夜间能见度 visibility at night

正常视力的观察者在夜间能看到一定发光强度目标灯灯光的消失距离。单位为 m。

3.3 气象光学视程 meteorological optical range (MOR)

白炽灯发出色温为 2700 K 的平行光束的光通量在大气中削弱至初始值的 5% 时所通过的路径长度。它的符号为 MOR，单位为 m。

根据柯西米德定律计算气象光学视程 (MOR)：

$$MOR = \frac{-\ln(\varepsilon)}{\sigma} = \frac{L \cdot \ln(\varepsilon)}{\ln(T)}$$

式中 MOR 为气象光学视程； ε 为对比阈值，一般取值 0.05； σ 为大气消光系数；L 为基线长度；T 为透射因数（透射比），即色温为 2700 K 的白炽光源发出的平行光束在大气中经过给定长度的光学路径后剩余的光通量的比率。

注：对比阈值是指视力正常的人其眼睛能察觉的最小亮度对比。

3.4 透射式能见度仪 transmission visibility meter

通过测量光束在穿过已知长度的路径后透过或衰减的程度来测定气象能见度的仪器。

3.5 高透射比量具 high transmittance measuring tool

两个扇形装置对称分布，绕轴高速稳定旋转。当扇形装置的透过率等于 0 时，称之为遮光体透射比量具，其将圆形区域分割成遮光区和无遮光区，1 减去

扇形装置圆心角角度与圆周角的比例，即为透射比；当扇形装置为透过率不等于 0 的扇形滤光片时，称之为超高透射比量具，工作时，可提供对应透射式能见度仪光源的光谱透射比高于 0.95。

4 概述

4.1 透射式能见度仪

透射式能见度仪是利用光在大气中传播受到的直接衰减原理，将大气对光的吸收、反射、散射等都作为衰减，以厚度等于“基线”长度的气柱为样本，采用测量基线气柱的平均消光系数，从而得出大气能见度的自动检测仪器。

透射式能见度仪通常由传感器、采集器以及显示终端组成。其中，传感器部分包括接收器、发射器和控制处理器等；采集器包括接口单元、中央处理单元、存储单元等。

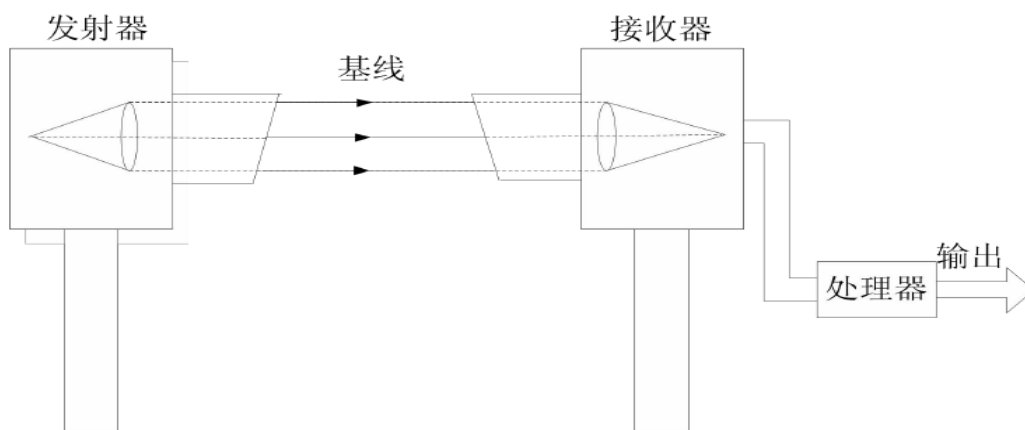
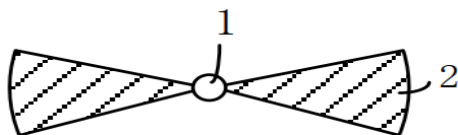


图 1 透射式能见度仪原理图

4.2 高透射比量具

高透射比量具是一种高速旋转的确定透射比的扇形滤光片，相间部分的介质为空气。该量具涉及的滤光片溯源遵循透射比参数和几何量测量的溯源链，通过设定滤光片的扇形面积占比提高透射比的测量上限或降低透射比的测量下限，提升超高光谱透射比标准量具的测量范围，同时减小透射比的测量不确定度，并提



升光谱透射比曲线的平坦性。量具的透射比可计算为： $T = a^{p+1-p}$ ，其中 a 为滤光片透射比， p 为滤光片圆心角之和与圆周角之比，见图 2。

图 2 超高透射比量具扇叶（1 为中心转轴，2 为扇形滤光片）

5 计量特性

5.1 透射式能见度仪

5.1.1 能见度相对示值误差：

相对示值误差： $\pm 10\%$ ，能见度测量范围： $5\text{ m}\sim 1500\text{ m}$ ；

相对示值误差： $\pm 20\%$ ，能见度测量范围： $1500\text{ m}\sim 3000\text{ m}$ 。

5.1.2 透射比示值误差：

示值误差： $\pm 0.03 \sim \pm 0.01$ ，能见度测量范围： $5\text{ m}\sim 25\text{ m}$ ；

示值误差： $\pm 0.01 \sim \pm 0.0002$ ，能见度测量范围： $25\text{ m}\sim 1500\text{ m}$ ；

示值误差： $\pm 0.0003 \sim \pm 0.0002$ ，能见度测量范围： $1500\text{ m}\sim 3000\text{ m}$ 。

注：1. 以上为基线长度 1 m 时，透射比示值误差要求。当基线长度为 $L\text{ m}$ 时，透射比示值误差应为： $\pm 2[\exp[-2.996L/(1.05V)] - \exp(-2.996L/V)]$ ；

2. 以上计量特性要求仅供参考，不作为判定依据。

5.2 高透射比量具

能见度测量范围 $25L\text{ m}\sim 1500\text{ m}$ ：

透射比扩展不确定度： $U = \exp[-2.996L/(1.05V)] - \exp(-2.996L/V)$ ($k=2$)；

能见度扩展不确定度： $U_{\text{rel}}=5.0\%$ ($k=2$)。

能见度测量范围 $1500\text{ m}\sim 5000\text{ m}$ ：

透射比扩展不确定度： $U = \exp[-2.996L/(1.10V)] - \exp(-2.996L/V)$ ($k=2$)；

能见度扩展不确定度： $U_{\text{rel}}=10\%$ ($k=2$)。

注：以上扩展不确定度保留两位有效数字。

6 校准条件

6.1 环境条件

高透射比量具实验室校准环境温度为 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度不超过 85 %。

透射比能见度仪校准温度为 $(3 \sim 30) ^\circ\text{C}$ ，校准过程中温度变化不超过 $5 ^\circ\text{C}$ ；相对湿度不超过 85 %。

6.2 测量标准及其他设备

校准用测量设备应经计量技术机构检定或校准，具有有效的检定证书或校准证书。

6.2.1 透射式能见度仪测量标准

6.2.1.1 能见度测量范围在 $5 \text{ m} \sim 25 \text{ L m}$ （基线 L m ）之间，需使用光谱中性透射比标准滤光片组校准：

一组 5 片，其透射比应覆盖 0.10、0.30、0.50、0.70、0.90 左右，其对应能见度如表 1 所示。外形尺寸不小于 $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ ，中央有效测试区域直径不小于 40 mm （如果被校仪器光斑较大，须选用更大面积的滤光片，应能完全覆盖测量光斑）。其光谱透射比年变化量、正反面检测差值、透射比均匀性须达到一级（依据 JJG 1034-2008）技术要求。光谱透射比应使用分光光度计校准，分光光度计计量性能须达到一级，且测量结果扩展不确定度应达到或优于 $U = 0.005$ （ $k=2$ ）；透射比年变化量、正反面检测差值、透射比均匀性须达到一级（依据 JJG 1034-2008）技术要求。

表 1 透射比与能见度对应关系

基线 /m	透射比(T) 测量范围	透射比(T) 扩展不确定度	能见度(V) 测量范围/m	能见度(V) 扩展不确定度/m
1	0.55 ~ 0.89	$U=0.005$ ($k=2$)	5 ~ 25	$U_{\text{rel}}=5$ ($k=2$)
2	0.30 ~ 0.89	$U=0.005$ ($k=2$)	5 ~ 50	$U_{\text{rel}}=5$ ($k=2$)
L	$\exp(-2.996L/V)$	$U=0.005$ ($k=2$)	5 ~ 25L	$U_{\text{rel}}=5$ ($k=2$)

光谱中性透射比标准滤光片：

透射比扩展不确定度： $U=0.005$ ($k=2$)；

能见度扩展不确定度： $U_{rel}=5.0\%$ ($k=2$)。

6.2.1.2 能见度测量范围在 25L m~5000 m 之间，需使用高透射比量具校准：

能见度测量范围 25L m~1500 m：

透射比扩展不确定度： $U=\text{Exp}[-2.996L/(1.05V)] - \text{Exp}(-2.996L/V)$ ($k=2$)；

能见度扩展不确定度： $U_{rel}=5.0\%$ ($k=2$)。

能见度测量范围 1500 m~5000 m：

透射比扩展不确定度： $U= \text{exp}[-2.996L/(1.10V)] - \text{exp}(-2.996L/V)$ ($k=2$)；

能见度扩展不确定度： $U_{rel}=10\%$ ($k=2$)。

注：以上扩展不确定度保留两位有效数字。

6.2.2 高透射比量具测量标准

以下溯源方式可二选一。

6.2.2.1 溯源至几何量

使用万能工具显微镜或三坐标测量机，测量扇形遮光体圆心角和对角顶点偏心量，角度量值测量结果的扩展不确定度 $U=3'$ ($k=2$)；

遮光体透射比量具透射比扩展不确定度： $U=0.0001$ ($k=2$)；

利用替代法将遮光体透射比量具绝对透射比量值，赋予透射比量值接近的超高透射比量具，光功率线性测量装置功率不稳定性不高于 0.01 %/5 min。

6.2.2.2 溯源至光谱透射比和几何量

滤光片（高透射比量具的扇叶）的光谱透射比，使用分光光度计校准，分光光度计计量性能须达到一级，且透射比测量结果扩展不确定度应达到或优于 $U=0.005$ ($k=2$)；透射比年变化量、正反面检测差值、透射比均匀性须达到一级（依据 JJG 1034-2008）技术要求；

使用万能工具显微镜或三坐标测量机，测量扇形滤光片圆心角和对角顶点偏心量，角度扩展不确定度 $U=6'$ ($k=2$)。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

7.1.1 透射式能见度仪

7.1.1.1 短期稳定性（5 min 能见度）

7.1.1.2 透射比示值误差

7.1.1.3 能见度相对示值误差

7.1.2 高透射比量具

7.1.2.1 遮光体透射比量具透射比

7.1.2.2 超高透射比量具透射比

注：校准项目根据被校仪器类型及客户需要校准。

7.2 校准方法

校准前的准备。对透射式能见度仪和高透射比量具的外观、各部分运行情况进行检查，确认仪器外观完好，可正常运行后，方可进行校准。

7.2.1 透射式能见度仪

7.2.1.1 透射比示值误差

将仪器光源组件直接对准光探测器，调整仪器透射比示值为 1.000（空气参比 100 %）或能见度示值至最大值（允许调整）。如不允许调整，直接记录仪器示值。使用多层黑绒布将光探测器全遮光，调整仪器透射比示值为 0.000 或能见度至最小值（允许调整）。如不允许调整，直接记录仪器示值。

依据能见度测量范围，按 6.2 节要求，选择应使用的主标准器（所选透射比校准点应覆盖 5.1.2 中 3 个量程，每个量程至少选取 1 个校准点）。

使用可见区光谱中性透射比标准滤光片，校准较低能见度量程时，在被校仪器的光源组件与光探测器之间光路上，依次加入标准滤光片，待稳定后读取仪器示值。

使用超高透射比量具时，调节测量窗口放置位置和角度，保证斩光器旋转平面垂直于光束。启动超高透射比量具，使斩光器高速旋转，待稳定后读取仪器示

值。

各校准点重复测量 3 次，按公式（1）计算出每一个校准点的透射比示值误差。

$$\Delta T_i = \bar{T}_i - T_{oi} \quad (i=1,2,3) \dots\dots\dots(1)$$

式中：

ΔT_i ——第 i 校准点透射比示值误差；

\bar{T}_i ——第 i 校准点 3 次测量平均值；

T_{oi} ——第 i 校准点透射比标准值。

7.2.1.2 能见度相对示值误差

根据能见度与透射比对应关系：将仪器的基线长度 L ，和选定的光谱中性标准滤光片或高透射比量具标准值数据 T_i ，代入公式（2），依次计算出标准能见度量值 V_i 。

$$V_i = -\frac{2.996L}{\ln T_i} \dots\dots\dots(2)$$

依据能见度测量范围，按 6.2 节要求，选择应使用的主标准器（所选透射比校准点应覆盖依据 5.1.1 中两个量程。第一个量程至少均匀选取 2 个校准点；第二个量程至少选取 1 个校准点）。

使用可见区光谱中性透射比标准滤光片，校准较低能见度量程时，在被校仪器的光源组件与光探测器之间光路上，依次加入标准滤光片，并由（2）式计算出标准能见度，按（3）式计算能见度相对示值误差。

使用高透射比量具时，调节测量窗口放置位置和角度，保证斩光器旋转平面垂直于光束。打开高透射比量具，读取被校仪器示值，各校准点重复测量 3 次，用公式（3）计算出每一个校准点的能见度相对示值误差。关闭旋转电机，更换高透射比量具斩波器，再次测量，重复以上步骤。

$$\Delta V_i = \frac{\bar{V}_i - V_{oi}}{V_{oi}} \quad (i=1,2,3) \dots\dots\dots(3)$$

式中：

ΔV_i ——第 i 校准点能见度相对示值误差；

\bar{V}_i ——第 i 校准点 3 次测量平均值；

V_{oi} ——第 i 校准点能见度标准值。

7.2.1.3 短期稳定性

在 5 min 内，每间隔 1 min，记录一次能见度 V 示值，计算 6 次记录的平均值 V_{av} ，短期稳定性 S 使用公式（4）计算：

$$S = \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{V_{av}} \dots\dots\dots (4)$$

7.2.2 高透射比量具

7.2.2.1 遮光体透射比量具

将遮光体透射比量具的扇叶拆卸，使用万能工具显微镜或三坐标测量机，测量两个扇形圆心角 A_1 、 A_2 。

遮光体透射比量具透射比量值，用公式（5）计算：

$$T = 1 - \frac{A_1 + A_2}{360} \dots\dots\dots (5)$$

其中 A_1 、 A_2 为扇形遮光体圆心角。

7.2.2.2 滤光片透射比量具

将滤光片透射比量具的扇叶拆卸，使用分光光度计测量光谱透射比 a ；再使用万能工具显微镜或三坐标测量机，测量两个扇形圆心角之和占比 p 。

滤光片透射比量具透射比量值，用公式（6）计算：

$$T = ap + 1 - p \dots\dots\dots (6)$$

其中 a 为扇形滤光片透射比， p 为扇形滤光片圆心角之和与圆周角之比（ $p = (A_1 + A_2) / 360$ ）。

8 校准结果表述

校准结果应在校准证书或校准报告上反映，校准证书校准原始记录格式见附录 A，校准证书内页推荐格式见附录 B。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- 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) 送校单位的名称和地址；
- 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和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- 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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校间隔时间

仪器的复校时间间隔建议为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。如果对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后应对仪器重新校准。

附录 A

透射式能见度仪校准原始记录推荐格式

原始记录编号		证书编号	
仪器名称		型号/规格	
制造厂		出厂编号	
送校单位		联系人及电话	
地址		校准日期	年 月 日
校准依据		校准地点	
标准器名称		标准器编号	
证书编号		不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	
标准器有效期至	年 月 日	环境条件	温度: °C 湿度: %RH

1. 外观检查: _____
2. 短期稳定性 (5 min 能见度):

时间/min	0	1	2	3	4	5	稳定度 s
能见度示值/m							

3. 透射比示值误差:

标准值	仪器透射比示值			平均值	示值误差	扩展不确定度 $U(k=2)$

4. 能见度相对示值误差:

标准值 /m	能见度示值 /m			平均值 /m	相对示值误差 /%	扩展不确定度 $U_{rel}(k=2)$

校准员:

核验员:

附录 B

透射式能见度仪校准证书内页推荐格式

校准结果

1. 短期稳定性 (5 min 能见度)

时间/min	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	稳定度 s
能见度示值/m							

2. 透射比示值误差

透射比标准值	透射比平均值	示值误差	测量结果不确定度 $U (k=2)$

3. 能见度相对示值误差

能见度标准值 /m	能见度平均值 /m	相对示值误差 /%	测量结果不确定度 $U_{rel} (k=2)$

以下空白

附录 C

高透射比量具校准原始记录推荐格式

原始记录编号		证书编号	
仪器名称		型号/规格	
制造厂		出厂编号	
送校单位		电话	
地址		联系人	
校准依据		收样日期	年 月 日
校准地点		校准日期	年 月 日
校准使用的器具		编号	
标准器具证书号		标准器具有效期至	年 月 日
实验室环境条件	温度: ℃	湿度: %RH	

1. 外观检查: _____

2. 遮光体透射比量具透射比:

角编号及正反	扇形圆心角实测值 (°)	透射比最小值	扩展不确定度 $U(k=2)$
1 正			
1 反			
2 正			
2 反			
注: 1角和2角, 均取透射比小的测量值作为校准值使用。			

3. 超高透射比量具透射比:

				超高透射比量具 透射比	扩展不确定度 $U(k=2)$

校准员:

核验员:

附录 D

高透射比量具校准证书内页推荐格式

校准结果

1. 遮光体透射比量具

透射比实测值			扩展不确定度 $U = (k=2)$
角编号	1	2	

2. 滤光片透射比量具

滤光片透射比	扇形圆心角实测值 ($^{\circ}$)		超高透射比量具透射比	扩展不确定度 $U_{rel} = (k=2)$
	1	2		

以下空白

附录 E

透射式能见度仪的测量结果不确定度评定示例

E.0 概述:

依据《透射式能见度仪校准规范》中的校准方法,用超高透射比量具,对 1 台透射式能见度仪在某个校准点校准结果的不确定度进行评定。

E.1 测量方法:

调节能能见度仪校准装置测量窗口放置位置和角度,保证斩光器旋转平面垂直于光束。打开超高透射比量具,使高速旋转的斩光器垂直切割仪器测量光线。读取仪器示值,并重复测量 3 次,用公式(E1)计算出每一个校准点的能见度相对示值误差。

E.2 测量模型:

示值误差表示为

$$\Delta V_r = \bar{V}_i - V_s$$

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{i=1}^3 V_i}{3} \quad (\text{E1})$$

式中: ΔV_r ——某校准点的能见度示值误差;

\bar{V}_i ——某校准点 3 次测量的能见度平均值,

V_s ——某校准点的能见度标准值。

灵敏系数:

对 (E1) 式求偏导数 有 $\partial V_r = \partial \bar{V}_i - \partial V_s$

即 $c_1 = 1, \quad c_2 = -1$

E.3 输入量的标准不确定度评定:

E.3.1 $u(\bar{V})$ 的来源主要是被校仪器的测量重复性,它反映了各种随机因素的综合影响。因此采用 A 类方法评定。

校准装置按要求调整后,连续测量被校仪器 10 次,读取被校仪器的显示值,测量结果列于表 1。

表 C1 测量结果 (单位: m)

测量次数	850 m 校准点 /m
1	850
2	850
3	851
4	850
5	852
6	850
7	851
8	849
9	850
10	848
\bar{E}	850.1
$\sum(\bar{v}-v_i)^2$	10.9
$s(v)=\sqrt{\frac{\sum(\bar{v}-v_i)^2}{n-1}}$	1.0 %

按本规程规定, 每个校准点重复测量 3 次, 取平均值作为测量结果, 则可得到: (被校仪器分辨力为满量程的 0.1 %或 0.01 %, 其引入的不确定度分量约为 0.029 %或 0.0029 %, 小于重复性所引入的不确定度分量, 故不考虑仪器分辨力所引入的不确定度分量)

$$u(\bar{v})=s(v)/\sqrt{3}$$

即校能见度仪重复性测量引入的标准不确定度: $u(\bar{v})=0.58\%$

其自由度为: $\nu=n-1=10-1=9$

E.3.2 输入量 V 的标准不确定度 $u(V)$ 的评定

$u(V)$ 的不确定度主要来源于上级检定部门计量证书, 用 B 类方法评定。

E.3.2.1 上级量传值的不确定度

由上级校准证书得到, 标准器的扩展不确定度 $U_{rel}=4.0\%$, $k=2$ 。则能见度标准值的标

准不确定度为: $u(M_1)=2.0\%$

$$\text{估计 } \frac{\Delta u(V_1)}{u(V_1)}=0.2, \text{ 则自由度为: } \nu(V_1)=\frac{1}{2}\left[\frac{\Delta u(V_1)}{u(V_1)}\right]^{-2}=12$$

E.3.2.2 仪器零点漂移量的不确定度

由仪器本身的零点漂移量引入的标准不确定度 $u(V_2)$ ，估计其最大可达 0.5%，此项服从均匀分布，则此标准不确定度为：

$$u(V_2) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

由于此项目不确定度是按零点漂移的最大值计算的，则认为：

$$v(V_2) \rightarrow \infty$$

E.3.2.3 示值短期稳定性引入的标准不确定度

由仪器示值短期稳定性引入的标准不确定度 $u(V_3)$ ，估计其最大变化量之绝对值为 0.5%，此项服从均匀分布，则此标准不确定度为：

$$u(V_3) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

由于此项目不确定度是按示值稳定性的最大变化量计算的，则认为：

$$v(V_3) \rightarrow \infty$$

E.3.2.4 切割光线角度误差引入的标准不确定度

由斩波器旋转平面与光路角度误差引入的标准不确定度 $u(V_4)$ ，估计其最大变化量之绝对值为：2%，此项服从三角分布，则此标准不确定度为：

$$u(V_4) = \frac{2\%}{\sqrt{6}} = 0.82\%$$

此项目不确定度是按角度响应值误差的最大变化量计算的，则认为：

$$v(V_4) \rightarrow \infty$$

E.3.2.5 测量环境温度变化引入的标准不确定度

由测量环境温度变化引入的标准不确定度 $u(V_5)$ ，估计其最大变化量之绝对值为 0.5%，此项服从均匀分布，则此标准不确定度为：

$$u(V_5) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

此项目不确定度是按测量环境温度最大变化量计算的，则认为：

$$v(V_5) \rightarrow \infty$$

E.4 不确定度分量的评定

透射式能见度校准装置标准不确定度分量，及相关信息列于表 C2。

表 E2 透射式能见度校准装置标准不确定度分量及相关信息

不确定度来源	输入量的标准不确定度 $u(x_i)$	灵敏系数 c_i	标准不确定度分量 $u_i = c_i u(x_i)$	自由度 ν_i	类别
重复性测量	0.58 %	1	0.58 %	9	A
上级量传值	2.0 %	1	2.0 %	12	B
零点漂移	0.29 %	1	0.29 %	∞	B
短期稳定性	0.29 %	1	0.29 %	∞	B
角度误差	0.82 %	1	0.82 %	∞	B
温度误差	0.29 %	1	0.29 %	∞	B

E.5 合成标准不确定度评定

各标准不确定度分量彼此不相关，则被校能见度仪合成不确定度为：

$$u_c(\Delta V) = \sqrt{u(\bar{V})^2 + u(V_1)^2 + u(V_2)^2 + u(V_3)^2 + u(V_4)^2 + u(V_5)^2} = 2.3\%$$

有效自由度为：

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(\Delta V)}{\sum \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{2.3^4}{\frac{0.58^4}{9} + \frac{2.00^4}{12} + \frac{0.29^4}{\infty} + \frac{0.29^4}{\infty} + \frac{0.82^4}{\infty} + \frac{0.29^4}{\infty}} \approx 20$$

扩展不确定度的评定：

取置信概率 $p = 95\%$ ，查 t 分布表得： $t_{95}(20) = 2.086$ 。

透射式能见度仪测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{95} = t_{95}(20)u_c(\Delta V) = 4.7\%, \nu_{eff} = 20$$

对于被测量 V 的估计是一系列具有接近正态分布的输入量，被估计的标准不确定度来源于 A 类或 B 类评定，它们均对测量结果有一定贡献，传播率决定的输入输出关系为线性，有效自由度较大。因此，测量结果可取为正态分布标准差的估计：

即， $U_{rel} = 4.7\%$ ($k = 2$)。