



中华人民共和国公共安全行业标准

GA/T 1727—2020

光幕靶测速仪校准规范

Calibration specifications for speedmeter of
photoelectric screen target

2020-05-13 发布

2020-08-01 实施

中华人民共和国公安部 发 布

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本要求 1

 4.1 结构 1

 4.2 原理 2

5 计量性能要求 2

 5.1 光幕靶探测面与工作台面垂直度 2

 5.2 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度 2

 5.3 靶距 2

 5.4 测速范围 2

 5.5 测速误差 3

6 校准条件 3

 6.1 环境条件 3

 6.2 测量标准器及其他设备 3

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 8

9 复校间隔 9

附录 A（资料性附录） 光幕靶测速仪校准记录及证书内页格式（推荐） 10

附录 B（资料性附录） 测量不确定度评定示例 12

参考文献 20

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由公安部社会公共安全应用基础标准化技术委员会提出并归口。

本标准主要起草单位：公安部第一研究所、公安部安全与警用电子产品质量检测中心（北京）、西安工业大学、无锡海纳光电子信息技术有限公司。

本标准主要起草人：汪民、胡志昂、邱日祥、王爱伶、席小雷、刘飞、张包、田会、兰燕、倪晋平、邬鹏程、陈建国、胡佳、张艳军、陈敬、王凡、蔡荣立。

光幕靶测速仪校准规范

1 范围

本标准规定了采用光幕靶测速原理的枪弹测速仪的计量性能、校准方法、校准结果表达及复校时间。

本标准适用于测量飞行物体(包括弹丸)速度的光幕靶测速仪的校准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 28800 气枪弹
- GB/T 28801 气枪
- GJB 3196.30A 枪弹试验方法 第 30 部分:速度测试 光幕靶法
- GA 141 警用防弹衣
- GA 293 警用防弹头盔及面罩
- GA/T 953 法庭科学枪口比动能测速仪法测试规程
- GA/T 1488 法庭科学枪弹测速仪通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光幕靶 photoelectric screen target

使用人工光源形成光幕的光电探测器。一般由光源发射部件、接收部件、支撑架、放大电路及电源组成。

3.2

光幕靶探测面 testing surface of photoelectric screen target

光束由光幕靶发射部件出发,到接收部件终止所形成的探测光幕。

3.3

靶距 distance between targets

两台彼此平行放置的光幕靶探测面之间的距离。

4 基本要求

4.1 结构

光幕靶测速仪(以下简称测速仪)是利用光幕靶作为探测器,测量直径为 4 mm~20 mm 的各种飞行物体(包括弹丸)速度的仪器。它主要由两台以上光幕靶与测时单元、计算显示单元组成,结构如图 1 所示。

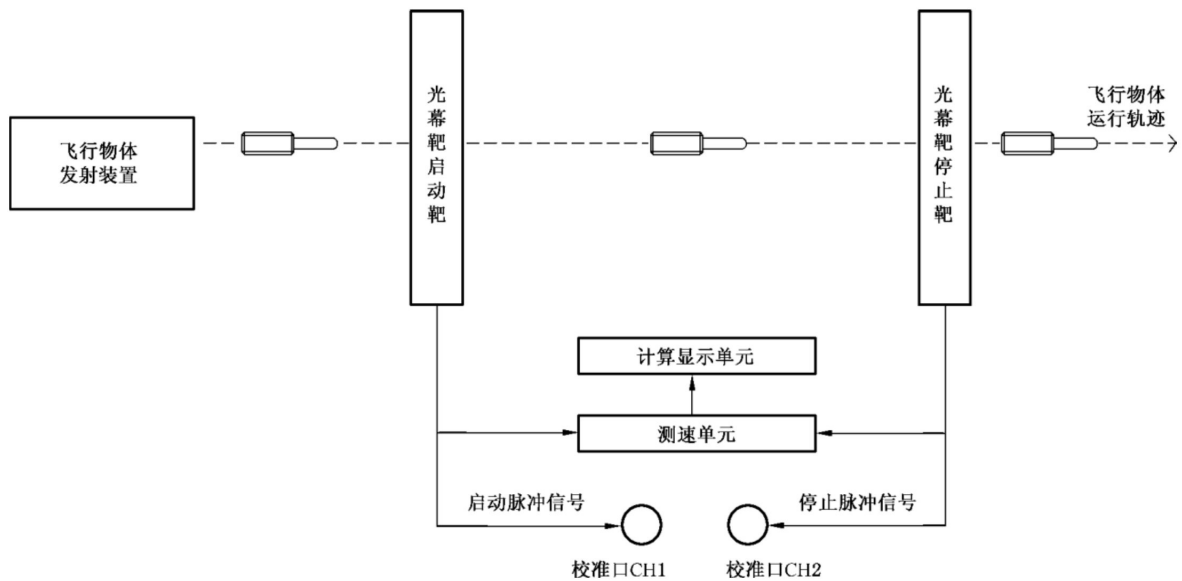


图 1 测速仪测速工作示意图

4.2 原理

将图 1 中飞行物体首先穿过的光幕靶称为启动靶,其次穿过的光幕靶称为停止靶。当飞行物体穿过启动靶的光幕靶探测面时,光幕靶输出启动脉冲信号;穿过停止靶的光幕靶探测面时输出停止脉冲信号,测时单元捕获两路信号,测出飞行物体通过该靶距的时间间隔。计算显示单元根据公式(1)计算出飞行物体在两靶间的平均速度值。

$$V = \frac{L}{T} \dots\dots\dots (1)$$

式中:
V——速度测量值,单位为米/秒(m/s);
L——靶距,单位为米(m);
T——时间间隔,单位为秒(s)。

5 计量性能要求

5.1 光幕靶探测面与工作台面垂直度

最大允许误差为±1°。

5.2 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度

启动靶距飞行物体发射装置发射管口部的距离大于或等于 300 mm,以发射装置发射管轴线延长线为对称轴等角度测量,发射装置发射管口部到光幕靶探测面左右线段偏差为±2 mm。

5.3 靶距

靶距为 200 mm~4 000 mm,最大允许误差为±1 mm。

5.4 测速范围

应至少满足 30 m/s~1 000 m/s。

5.5 测速误差

5.5.1 模拟测速误差应小于或等于 $\pm(0.4\%\sim 1\%)$ 。

5.5.2 实际测速误差应小于或等于 $\pm 1\%$ 。

注：靶距、测速范围和测速误差，以被校测速仪的技术要求为考核指标。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度应小于或等于 80% 。

6.1.2 校准应在室内进行，周围无强声、光、磁场干扰。

6.2 测量标准器及其他设备

6.2.1 一般要求

测量用计量标准器应经上级计量部门检定合格或校准结果满足使用要求，并在有效期内。其他设备应有产品检验合格证书。测量标准器及其他设备的使用情况应记录于表 A.1 中。

6.2.2 钢卷尺

最大允许误差应小于或等于 $\pm 0.3\text{ mm}$ ，测量范围应大于或等于 $0\text{ m}\sim 7.5\text{ m}$ 。

6.2.3 角度仪

测量范围为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ ，分度值为 $5'$ 。

6.2.4 水平仪

分度值为 0.02 mm/m 。

6.2.5 激光测距仪

最大允许误差应小于或等于 $\pm 0.6\text{ mm}$ ，测量范围为 $0\text{ m}\sim 30\text{ m}$ 。

6.2.6 脉冲信号发生器

脉冲信号发生器性能要求如下：

- a) 内部时基频率偏差：优于 $\pm 5\times 10^{-8}$ 或优于被校测速仪内部时基一个数量级；
- b) 时间间隔范围： $100\text{ }\mu\text{s}\sim 1\text{ s}$ ；
- c) 时间间隔误差：优于被检仪器测量值 $1/3$ ；
- d) 脉冲信号的上升/下降沿时间：小于被检仪器最小测量值对应于时间间隔的 $1/5$ ；
- e) 信号幅度范围： $0\text{ V}_{\text{p-p}}\sim 5\text{ V}_{\text{p-p}}$ ；
- f) 偏置电平范围： $0\text{ V}\sim 5\text{ V}$ ；
- g) 信号型式：两路单个周期输出，负脉冲，脉冲宽度、延时均可调。

6.2.7 小光源

小光源发光器件发光波长的峰值应与光幕靶接收部件光谱响应灵敏度的波长吻合，光强应能够调节，使光幕靶输出信号稳定。工作电压应在 $3\text{ V}\sim 5\text{ V}$ 内连续可调。

6.2.8 时间间隔测量仪

时间间隔测量仪性能要求如下：

- a) 内部时基频率偏差应优于 $\pm 5 \times 10^{-8}$ 或优于被校测速仪内部时基一个数量级；
- b) 测量范围为 $0.1 \mu\text{s} \sim 1 \text{s}$ ；
- c) 时间间隔测量误差应小于或等于被检仪器测量误差的 $1/3$ ；
- d) 输入电平范围为 $-12 \text{ V} \sim 12 \text{ V}$ ；
- e) 信号型式为两路正负电平输入。

6.2.9 飞行物体

不透明的金属或非金属的固体颗粒物质，直径为 $4 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$ 。

6.2.10 飞行物体发射装置

发射装置应能够稳定发射飞行物体。发射架应具备夹固能力，位置、发射角度可调，操作方便。

6.2.11 千分尺

测量范围为 $0 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ ，分度值为 0.01 mm 。

6.2.12 枪弹类型和测试用枪

应根据测速仪应用场景，选择符合相应标准要求的枪和弹，如 GJB 3196.30A、GA 141、GA 293 或 GA/T 1488 等。

6.2.13 4.5 mm 气步枪和气枪弹

应符合 GB/T 28800、GB/T 28801 的要求。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

测速仪校准项目见表 1。

表 1 校准项目

序号	校准项目名称	计量性能的条款	校准方法的条款
1	光幕靶探测面与工作台面垂直度	5.1	7.2.2
2	飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度	5.2	7.2.3
3	靶距	5.3	7.2.4
4	测速范围及模拟测速误差	5.4, 5.5.1	7.2.5
5	实际测速误差	5.5.2	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 工作正常性及要求

7.2.1.1 测速仪外观及工作正常性检查

- 被校测速仪应有铭牌,包括产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂名称、出厂日期等信息;
- 刚性连接部件牢固可靠,不应有松动现象,各个活动部件灵活平稳,锁紧可调;
- 通电能正常工作,光幕正常开启,测速单元正常显示。

7.2.1.2 光幕靶的安装要求

- 在安装光幕靶前,应在所选测点位置使用纸靶检查飞行物体穿过点的位置,以便准确布靶;
- 按照光幕靶的测速要求,将光幕靶固定在测点位置,目测两光幕靶探测面是否相互平行。使用水平仪、铅锤或其他设备检查发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面是否相互垂直。

7.2.1.3 使用钢卷尺测量启动靶距发射装置发射管口部的距离,应符合测速仪产品技术要求。

7.2.1.4 检查发射装置,结构应完整,能正常击发,膛内无异物。

7.2.1.5 采用水平发射方式,目测射击点应处于光幕靶探测面工作区域内。

7.2.1.6 工作正常性及要求的检查结果记录于表 A.2 中。

7.2.2 光幕靶探测面与工作台面的垂直度

7.2.2.1 使用角度仪分别测量每台光幕靶探测面与工作台面形成的内外角的垂直度,在包括射程起止端的范围内均匀选取大于或等于 4 个测量点。

7.2.2.2 按照公式(2)计算垂直度误差,结果应符合 5.1 的要求,将其记录于表 A.3 中。

$$\Delta\alpha = \alpha_0 - \alpha_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\Delta\alpha$ ——垂直度误差,单位为度(°);

α_0 ——标称值(产品技术指标数据值),单位为度(°);

α_i ——实测值,单位为度(°)。

7.2.3 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度

7.2.3.1 系统连接如图 2 所示。将水平仪、激光测距仪、角度仪固定在发射装置发射管的口部。

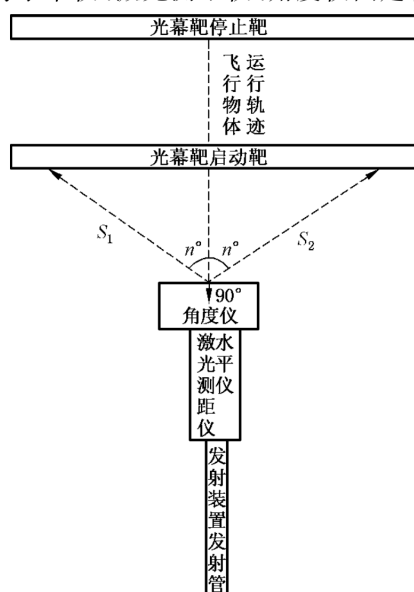


图 2 垂直度校准系统

7.2.3.2 观察水平仪应处于水平状态。将发射装置发射管轴线延长线与角度仪的 90° 刻度线对齐,以 90° 刻度线为测量基准线打开激光测距仪,在水平方向转动角度 n° ,读出线段 S_1 ;再反向转动到 $-n^\circ$ 位置,读出线段 S_2 ,通过反复调整基准线角度,重复上述过程,使得 S_1 与 S_2 相近。

7.2.3.3 发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度误差按照公式(3)计算,结果应符合5.2的规定,将其记录于表 A.4 中。

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:
 ΔS ——飞行物体发射装置发射管口部到光幕靶探测面等角度左右线段偏差,单位为毫米(mm);
 S_1 ——测量值,单位为毫米(mm);
 S_2 ——测量值,单位为毫米(mm)。

7.2.4 靶距

7.2.4.1 靶距测量如图 3 所示。使用钢卷尺或其他精度等级相同的测距仪测量光幕靶探测面间的距离,方法不限。

7.2.4.2 分别选择启动靶、停止靶探测面同侧上、中、下 3 个以上的点,测量距离 $L_i (i=1,2,3,\dots)$,取其平均值为靶距实测值 L 。

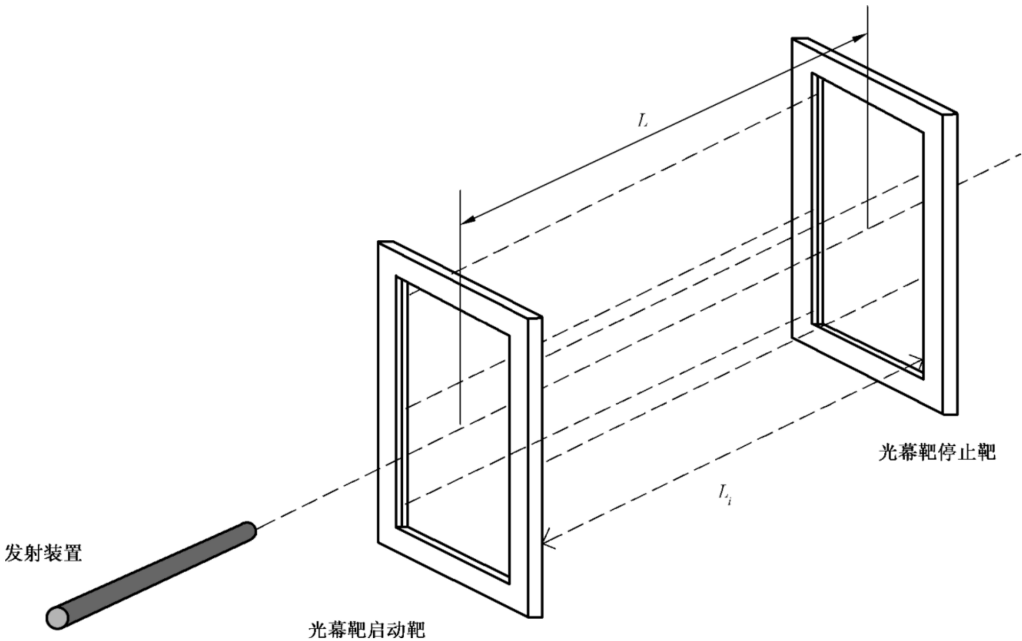


图 3 靶距校准系统

7.2.4.3 误差按照公式(4)计算,结果应符合 5.3 的要求,将其记录于表 A.5 中。

$$\Delta L = L_0 - L_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:
 ΔL ——靶距测量误差,单位为毫米(mm);
 L_0 ——标称值(产品技术指标数据值),单位为毫米(mm);
 L_i ——测量值,单位为毫米(mm)。

7.2.5 测速范围及模拟测速误差

7.2.5.1 测速仪速度的校准分为模拟测速校准和实际测速校准两个步骤。采用模拟速度装置输出速度

值作为标准值与测速仪的速度测量值比较得到的误差为模拟测速误差。

7.2.5.2 模拟速度装置由脉冲信号发生器和模拟飞行物体过光幕物理效应的 LED 小光源及计算单元组成,结构如图 4 所示。脉冲信号发生器发出脉冲信号激励 LED 小光源产生光信号,该光信号与飞行物体切割光幕产生的物理效应相同,模拟飞行物体穿过光幕时接收装置接收到光能量的变化过程。输入靶距 L 和速度 V ,计算单元根据公式(1)计算出两路信号的时间间隔值。



图 4 模拟速度装置结构框图

7.2.5.3 测试系统连接如图 5 所示。将模拟速度装置的两路输出信号 CH1、CH2 分别加在被校测速仪光幕靶探测面上。将系统按照仪器规定的时间预热,达到稳定工作状态。



图 5 模拟测速校准系统框图

7.2.5.4 将模拟速度装置的两路信号技术参数设置为与被校测速仪相同,靶距设置为 L ,速度值为 v 。

7.2.5.5 在被测仪器量程范围内,均匀选取不少于 20 个速度点,且覆盖起止点和实弹测速点。对每个速度点测量 5 次,测量值 v_x 与标准值 v 之差为模拟测速误差。

7.2.5.6 模拟测速误差按照公式(5)计算,结果应符合 5.5.1 的要求,测速范围应符合 5.4 的要求。将结果记录于表 A.7 和表 A.6 中。

$$\delta = \frac{v_x - v}{v} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

δ ——模拟测速误差,用百分比表示(%);

v_x ——速度测量值,单位为米每秒(m/s);

v ——速度标准值,单位为米每秒(m/s)。

7.2.6 实际测速误差

7.2.6.1 在正常使用环境下,采用发射装置发射直径为 4 mm~20 mm 的同一个飞行物体为触发源,标准测速仪测得速度值为标准值,将其与测速仪速度测量值比较得到的误差为实际测速误差。当测速仪用于枪弹测速时,应采用弹丸为触发源进行实际测速误差的校准。

7.2.6.2 系统连接如图 6 所示,将时间间隔测量仪的两路信号输入端并联接入被校测速仪校准口 CH1 和 CH2 信号输出端。将系统按照仪器规定的时间预热,达到稳定工作状态。

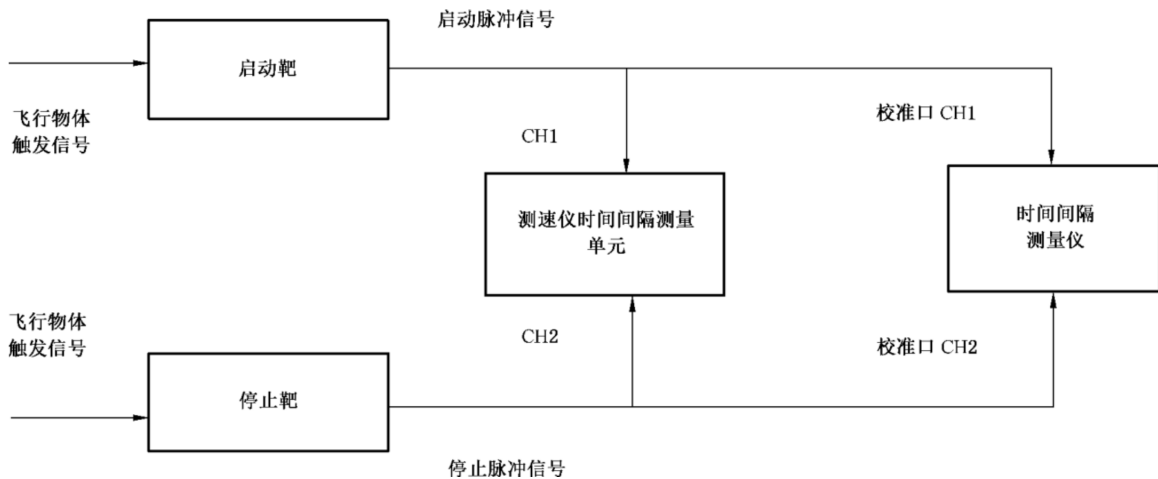


图 6 实际测速校准系统框图

7.2.6.3 时间间隔测量仪的脉冲信号模式、触发电平数值的设置应与被校测速仪相同,以保证能够有效测量到电平信号。

7.2.6.4 在测速范围内,应选择包括起止点在内的及附近的高、中、低 3 个以上不同速度点进行测试,每个点 10 发为一组。测试过程应保持试验环境、状态的一致性,若发现数值异常,应进行重测。

7.2.6.5 试验步骤如下:

- a) 按 7.2.1.3 检查启动靶距发射装置发射管口部的距离;
- b) 按 7.2.1.4 检查发射装置;
- c) 按 7.2.3 检查发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度;
- d) 使用千分尺(或同等精度等级的量具)测量飞行物体的直径,应在 4 mm~20 mm 之间;
- e) 将飞行物体装填到发射装置中处于待击发状态,采用单发平射方式发射;
- f) 更换飞行物体,重复 a)~e)。

7.2.6.6 实际测速误差按照公式(5)计算。其中:速度标准值 V 由时间间隔测量仪显示值 T 和靶距 L 根据公式(1)计算得到,测速仪显示值为速度测量值 V_x 。结果应符合 5.5.2 的要求,测速范围应符合 5.4 的要求,将结果记录于表 A.8 中。

7.2.7 使用枪弹进行复核校准

当测速仪用于枪弹速度测量时,实际测速误差应按照本条款进行校准。系统连接、试验程序同 7.2.6,试验条件还应满足下列要求:

- a) 在正常使用环境条件下,使用测试用枪发射枪弹作为触发源(允许使用 4.5 mm 气步枪发射气枪弹)进行试验;
- b) 根据枪型、枪弹类型的特点,使用钢卷尺测量启动靶距枪口的距离,应符合 GA 141、GA/T 953 等标准相关要求;
- c) 检查射击用枪支,结构应完整,能够正常击发,枪膛内无异物;
- d) 将枪固定在专用枪架上,采用单发水平射击方式;
- e) 实际测速范围应符合 5.4 的要求,误差计算及结果处理同 7.2.6.6。

8 校准结果表达

8.1 校准后出具校准证书。校准证书由封面和校准数据组成。封面由校准机构确定统一格式,校准数

据按附录 A 所列数据表格,并可根据被测仪器的情况进行填写。证书上的信息应满足以下要求:

- 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) 被校测速仪的描述和明确标识(铭牌内容);
- g) 进行校准的日期,如果与被校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) 校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度;
- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- n) 校准结果仅对被测对象有效的声明;
- o) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书的声明。

8.2 校准原始记录及证书内页格式参见附录 A。校准结果的不确定度评定示例见附录 B,依据为JJF 1059.1。

9 复校间隔

按照 GA/T 953 的相关要求,复校准时间间隔宜为一年。

附录 A
(资料性附录)

光幕靶测速仪校准记录及证书内页格式(推荐)

A.1 基本信息

证书编号: _____ 仪器编号: _____
 客户名称: _____ 联系人: _____
 型号规格: _____ 出厂编号: _____
 制造厂名: _____ 校准依据: _____
 环境条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ % 校准地点: _____
 校准日期: _____ 有效期: _____
 校准员: _____ 核验员: _____

A.2 记录格式

A.2.1 主要标准器及其他设备记录格式如表 A.1 所示。

表 A.1 主要标准器及其他设备

序号	标准器及其他 设备名称	型号规格	编号	不确定度或准确度或 最大允许误差	证书编号	有效期

A.2.2 工作正常性及要求的检查记录格式如表 A.2 所示。

表 A.2 工作正常性及要求的检查

内容	结果
	合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/>

A.2.3 光幕靶探测面与工作台面垂直度记录格式如表 A.3 所示。

表 A.3 光幕靶探测面与工作台面垂直度

单位为度

标称值	实测值				误差	不确定度($k=2$)	最大允许误差

A.2.4 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度记录格式如表 A.4 所示。

表 A.4 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶面探测面的垂直度

单位为毫米

测量值	测量值	误差	不确定度($k=2$)	最大允许误差

A.2.5 靶距记录格式如表 A.5 所示。

表 A.5 靶距

单位为毫米

标称值	测量值			实测值	误差	不确定度($k=2$)	最大允许误差

A.2.6 测速范围记录格式如表 A.6 所示。

表 A.6 测速范围

单位为米每秒

测速范围	
------	--

A.2.7 模拟测速误差记录格式如表 A.7 所示。

表 A.7 模拟测速误差

靶距：

测量值/(m/s)	标准值/(m/s)	误差/%	不确定度($k=2$)	最大允许误差

A.2.8 实际测速误差记录格式如表 A.8 所示。

表 A.8 实际测速误差

靶距：

测量值/(m/s)	标准值/(m/s)	误差/%	不确定度($k=2$)	最大允许误差

附 录 B
(资料性附录)
测量不确定度评定示例

B.1 概述

光幕靶测速仪校准结果的测量不确定度评定依据为 JJF 1059.1—2012。本示例以 XGK-2002 型光幕靶测速仪为例,测速仪测速范围为 30 m/s~1 000 m/s,靶距为 2.092 m。

B.2 光幕靶探测面与工作面垂直度测量结果的不确定度

B.2.1 数学模型

由 7.2.2 可建立公式(B.1)数学模型。

$$\Delta\alpha = 90^\circ - \alpha_0 \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- $\Delta\alpha$ ——垂直度测量误差,单位为度($^\circ$);
- 90° ——被校测速仪标称值,单位为度($^\circ$);
- α_0 ——标准器角度尺读取的标准角度值,单位为度($^\circ$)。

由于各输入量之间不相关,不确定度传播可用公式(B.2)表示。

$$u_c(\Delta\alpha) = \sqrt{u^2(\alpha_x) + u^2(\alpha_0)} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- $u_c(\Delta\alpha)$ ——被校测速仪垂直度测量误差的合成标准不确定度,单位为度($^\circ$);
- $u(\alpha_x)$ ——被校测速仪引入的标准不确定度,单位为度($^\circ$);
- $u(\alpha_0)$ ——标准器角度尺引入的标准不确定度,单位为度($^\circ$)。

B.2.2 $u_c(\Delta\alpha)$ 标准不确定度的评定

B.2.2.1 $u(\alpha_x)$ 引入的标准不确定度评定

$u(\alpha_x)$ 的主要来源为被校测速仪垂直度测量重复性。用角度尺测量光幕靶探测面与工作台面的垂直度,10 次测量结果如表 B.1 所示。采用 A 类评定方法贝塞尔公式计算,得到测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(\alpha_x) = 2.4'$ 。

表 B.1 垂直度测量结果

测量序号	测量结果
1	$89^\circ 55'$
2	$89^\circ 55'$
3	$89^\circ 55'$
4	90°
5	$89^\circ 55'$

表 B.1 (续)

测量序号	测量结果
6	90°
7	90°
8	89°55′
9	89°55′
10	89°55′

B.2.2.2 $u(\alpha_0)$ 引入的标准不确定度的评定

$u(\alpha_0)$ 的主要来源为标准器角度尺的示值误差,角度仪的示值误差为 $\pm 5'$,按均匀分布, $k=\sqrt{3}$,则 $u(\alpha_0)=5/\sqrt{3}=2.9'$ 。

B.2.3 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表 B.2。

表 B.2 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值
被校测速仪测量重复性	A 类	$u(\alpha_x)$	2.4′
角度仪准确度	B 类	$u(\alpha_0)$	2.9′

B.2.4 $u_c(\Delta\alpha)$ 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量之间相互独立,则合成标准不确定度 $u_c(\Delta\alpha)=\sqrt{u^2(\alpha_x)+u^2(\alpha_0)}=3.8'$ 。

B.2.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$,则光幕靶探测面与工作台面垂直度测量结果的扩展不确定度 $U=7.6'$ 。

B.3 靶距测量结果的不确定度

B.3.1 数学模型

靶距的测量误差由多种因素构成,包括:靶距测量重复性、标准器准确度、工作环境温度、光幕靶的平行度、飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面的垂直度等。由 7.2.4 可建立如公式(B.3)所示的数学模型。

$$\Delta L = L_0 - L_i \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- ΔL ——靶距测量误差,单位为毫米(mm);
- L_0 ——被校测速仪靶距标称值,单位为毫米(mm);
- L_i ——实际测量值,单位为毫米(mm)。

由于各输入量之间不相关,不确定度传播可用公式(B.4)表示。

$$u_c(\Delta L) = \sqrt{u^2(L_0) + u^2(L_i) + u^2(L_t) + u^2(L_r) + u^2(L_p)} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

- $u_c(\Delta L)$ ——被校测速仪靶距测量误差的合成标准不确定度,单位为毫米(mm);
- $u(L_0)$ ——被校测速仪靶距测量重复性引入的标准不确定度,单位为毫米(mm);
- $u(L_i)$ ——标准器准确度引入的不确定度,单位为毫米(mm);
- $u(L_t)$ ——环境温度引入的不确定度,单位为毫米(mm);
- $u(L_r)$ ——飞行物体发射装置发射管轴线延长线不垂直于光幕靶探测面引入的不确定度,单位为毫米(mm);
- $u(L_p)$ ——光幕靶探测面之间不平行引入的不确定度,单位为毫米(mm)。

B.3.2 $u_c(\Delta L)$ 标准不确定度的评定

B.3.2.1 $u(L_0)$ 引入的标准不确定度的评定

$u(L_0)$ 主要是由被校测速仪靶距测量重复性引入。采用钢卷尺测量靶距,标称值为 2 092 mm, 10 次测量结果如表 B.3 所示。采用 A 类评定方法贝塞尔公式计算,得到标准不确定度分量 $u(L_0) = 0.17$ mm。

表 B.3 靶距测量结果

测量序号	测量结果/mm
1	2 092.0
2	2 092.0
3	2 092.2
4	2 092.2
5	2 092.0
6	2 092.5
7	2 092.0
8	2 092.0
9	2 092.0
10	2 092.2

B.3.2.2 $u(L_i)$ 引入的标准不确定度的评定

$u(L_i)$ 的主要来源是钢卷尺示值误差。使用 7.5 m 钢卷尺测量靶距,其上级计量机构出具示值误差为 ± 0.2 mm,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,钢卷尺示值误差引入的标准不确定度分量 $u(L_i) = 0.2/\sqrt{3} = 0.12$ mm。

B.3.2.3 $u(L_t)$ 引入的标准不确定度的评定

$u(L_t)$ 的主要来源是测量环境温度变化引入的钢卷尺读数变化,钢卷尺检定时的标准温度为 15 ℃,而使用的温度在 18 ℃~28 ℃ 范围内,钢卷尺的线膨胀系数为 $\alpha = -11 \times 10^{-6}$,因此环境温度的变化将引起钢卷尺变形,从而产生测量误差 $\Delta L = \alpha L \Delta T$, ΔT 为环境温度相对标准温度的变化,若温度变化范围在 18 ℃~28 ℃,故 $\Delta T = \pm 6.5$ ℃,当 $L = 2 092$ mm 时,则测量误差为: $\Delta T = \pm 0.15$ mm。假

设环境温度引入的误差为均匀分布,则其标准不确定度分量 $u(L_t)=0.15/\sqrt{3}=0.09\text{ mm}$ 。

B.3.2.4 $u(L_r)$ 飞行物体发射装置发射管轴线延长线与光幕靶探测面不垂直引入的标准不确定度的评定

$u(L_r)$ 的主要来源是飞行物体运动轨迹与光幕靶探测面不垂直,运动轨迹与水平面形成角度 γ 。当靶距 $L=2\ 092\text{ mm}$,设飞行夹角 γ 小于或等于 1° ,则 $\Delta L=L/\cos\gamma_1-L=0.32\text{ mm}$,服从均匀分布,则标准不确定度分量 $u(L_r)=0.32\sqrt{3}=0.18\text{ mm}$ 。

B.3.2.5 $u(L_p)$ 靶距测量误差引入的标准不确定度的评定

$u(L_p)$ 的主要来源是光幕靶探测面之间不平行。通过多次反复测量,并通过精密调整,减少两靶不平行带来的误差,可保证两靶的平行误差在 $\Delta L_5=\pm 1\text{ mm}$,服从均匀分布,则标准不确定度分量 $u(L_p)=1/\sqrt{3}=0.58\text{ mm}$ 。

B.3.3 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表 B.4。

表 B.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值/mm
被校测速仪靶距测量重复性	A 类	$u(L_0)$	0.17
钢卷尺示值误差	B 类	$u(L_i)$	0.12
环境温度	B 类	$u(L_t)$	0.09
飞行物体运动轨迹不垂直于光幕靶	B 类	$u(L_r)$	0.18
光幕靶探测面之间不平行	B 类	$u(L_p)$	0.58

B.3.4 $u_c(\Delta L)$ 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量之间相互独立,则合成标准不确定度 $u_c(\Delta L)=\sqrt{u^2(L_0)+u^2(L_i)+u^2(L_t)+u^2(L_r)+u^2(L_p)}=0.64\text{ mm}$ 。

B.3.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$,则靶距测量结果的扩展不确定度 $U=1.28\text{ mm}$ 。

B.4 模拟测速误差测量结果的不确定度

B.4.1 数学模型

由 7.2.5 可建立公式(B.5)数学模型。

$$\Delta v=v_x-v_i\text{.....(B.5)}$$

式中:

- Δv ——速度测量误差,单位为米每秒(m/s);
- v_x ——被校测速仪速度测量值,单位为米每秒(m/s);
- v_i ——速度标准值,单位为米每秒(m/s)。

由于各输入量之间不相关,不确定度传播可用公式(B.6)表示。

$$u_c(\Delta v)=\sqrt{u^2(v_x)+u^2(v_i)}\text{.....(B.6)}$$

式中：

$u_c(\Delta v)$ ——被校测速仪测速误差的合成标准不确定度，单位为米每秒(m/s)；

$u(v_x)$ ——被校测速仪速度测量值引入的标准不确定度，单位为米每秒(m/s)；

$u(v_i)$ ——标准装置速度值引入的标准不确定度，单位为米每秒(m/s)。

B.4.2 $u_c(\Delta v)$ 标准不确定度的评定

B.4.2.1 $u(v_x)$ 引入的标准不确定度的评定

$u(v_x)$ 由被校测速仪速度测量重复性引入的标准不确定度 $u(v_c)$ 和测量分辨力引入的不确定度 $u(v_f)$ 组成。

a) $u(v_c)$ 被校测速仪速度测量重复性引入的标准不确定度的评定

靶距为 2.092 m，在被校测速仪测速范围端点进行试验。

1) 模拟速度装置输出 30 m/s 标准速度信号至被校测速仪，连续测量 10 次，结果如表 B.5 所示。采用 A 类评定方法贝塞尔公式计算，得到标准不确定度分量 $u(v_c)=0.032$ m/s。

表 B.5 速度测量结果

测量序号	测量值/(m/s)
1	30.1
2	30.0
3	30.0
4	30.0
5	30.0
6	30.0
7	30.0
8	30.0
9	30.0
10	30.0

2) 模拟速度装置发出 1 000 m/s 标准速度信号至被校测速仪，连续测量 10 次，结果如表 B.6 所示。采用 A 类评定方法贝塞尔公式计算，得到标准不确定度分量 $u(v_c)=0.068$ m/s。

表 B.6 速度测量结果

测量序号	测量值/(m/s)
1	1 000.1
2	999.9
3	1 000.0
4	1 000.0
5	999.9

表 B.6 (续)

测量序号	测量值/(m/s)
6	1 000.0
7	1 000.0
8	999.9
9	999.9
10	1 000.0

b) $u(v_i)$ 被校测速仪速度测量分辨力引入的不确定度的评定

在 30 m/s 和 1 000 m/s 速度测量时,被校测速仪分辨力均为 0.1 m/s,则 $u(v_i) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029$ m/s。

B.4.2.2 $u(v_i)$ 引入的标准不确定度的评定

B.4.2.2.1 数学模型

由 4.2 可知速度公式(B.7)。

$$v_i = \frac{L}{T_i} \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

v_i ——速度标准值,单位为米每秒(m/s);

L ——靶距,单位为米(m);

T_i ——时间间隔测量值,单位为秒(s)。

由 7.2.5 可知,模拟速度装置发出速度标准值是按照公式(B.5)计算得到的,因此可建立公式(B.8)数学模型。

$$u^2(v_i) = c_1 u^2(T_i) + c_2 u^2(L) \dots\dots\dots (B.8)$$

设灵敏度系数 $c_1 = -\frac{L}{T_i^2}, c_2 = \frac{1}{T_i}$

定义:

$$u(v_i) = c_1 u(T_i) \dots\dots\dots (B.9)$$

$$u(v_i) = c_2 u(L) \dots\dots\dots (B.10)$$

所以公式(B.8)转化为:

$$u^2(v_i) = u^2(v_i) + u^2(v_i) \dots\dots\dots (B.11)$$

B.4.2.2.2 T_i 引入的标准不确定度 $u(T_i)$ 的评定

a) 由 T_i 示值准确度引入的标准不确定度 $u(T_i)$

模拟速度装置时间间隔信号最大允许误差为 $\pm 1 \times 10^{-7}$,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,其标准不确定度分量 $u(T_i) = 1 \times 10^{-7}/\sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-8}$ 。

当 $T_i = 0.069\ 733$ s(30 m/s)时, $u(T_i) = 4.1 \times 10^{-9}$ s。

当 $T_i = 2\ 092\ \mu\text{s}$ (1 000 m/s)时, $u(T_i) = 1.2 \times 10^{-4}\ \mu\text{s}$ 。

b) 由 T_i 时基频率偏差引入的标准不确定度 $u(T_z)$

模拟速度装置的时基频率偏差为 $\pm 1 \times 10^{-8}$,按均匀分布, $k = \sqrt{3}$,则其引入的标准不确定度分量

$u(T_z) = 5.8 \times 10^{-9}$ 。

当 $T_i = 0.069\ 733\ \text{s}$ (30 m/s) 时, $u(T_z) = 4.1 \times 10^{-10}\ \text{s}$ 。

当 $T_i = 2\ 092\ \mu\text{s}$ (1 000 m/s) 时, $u(T_z) = 1.2 \times 10^{-5}\ \mu\text{s}$ 。

c) 标准不确定度分量汇总表

测速仪速度测量值为 30 m/s 的标准不确定度汇总表见表 B.7, 速度值为 1 000 m/s 的标准不确定度汇总表见表 B.8。

表 B.7 速度测量值为 30 m/s 的标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值/ μs
时间间隔测量误差	B 类	$u(T_t)$	4.1×10^{-3}
时基频率偏差	B 类	$u(T_z)$	4.1×10^{-4}

表 B.8 速度测量值为 1 000 m/s 的标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值/ μs
时间间隔测量仪准确度	B 类	$u(T_t)$	1.2×10^{-4}
时基频率偏差	B 类	$u(T_z)$	1.2×10^{-5}

d) $u(T_i)$ 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量之间相互独立, 则合成标准不确定度 $u(T_i)$ 按式(B.12)计算。

$$u(T_i) = \sqrt{u(T_t)^2 + u(T_z)^2} \quad \dots\dots\dots (\text{B.12})$$

当速度 $V = 30\ \text{m/s}$ 时: $u(T_i) = 4.1 \times 10^{-3}\ \mu\text{s} = 4.1 \times 10^{-9}\ \text{s}$;

当速度 $V = 1\ 000\ \text{m/s}$ 时: $u(T_i) = 1.2 \times 10^{-4}\ \mu\text{s} = 1.2 \times 10^{-10}\ \text{s}$ 。

B.4.2.2.3 $u(T_i)$ 引入的速度标准不确定度 $u(v_i)$ 的评定

根据公式(B.9)得到: $u(v_i) = c_1 u(T_i) = \frac{L}{T_i^2} u(T_i)$ 。

当 $L = 2\ 092\ \text{mm}$, $T_i = 0.069\ 733\ \text{s}$ (30 m/s) 时, $u(v_i) = 4.1 \times 10^{-9} \times \frac{2.092}{0.069\ 733 \times 0.069\ 733} = 1.8 \times 10^{-6}\ (\text{m/s})$ 。

当 $L = 2\ 092\ \text{mm}$, $T_i = 2\ 092\ \mu\text{s}$ (1 000 m/s) 时, $u(v_i) = 1.2 \times 10^{-10} \times \frac{2.092}{2.092 \times 2.092 \times 10^{-6}} = 5.8 \times 10^{-5}\ (\text{m/s})$ 。

B.4.2.2.4 由靶距测量结果引入的速度标准不确定度 $u(v_i)$ 的评定

靶矩测量结果的不确定度见 B.2。根据公式(B.10)得到: $u(v_i) = c_2 \times u(\Delta L)$, 其中 $u(\Delta L) = 0.64\ \text{mm}$ 。

当 $L = 2\ 092\ \text{mm}$, $T_i = 0.069\ 733\ \text{s}$ (30 m/s) 时, $u(v_i) = 0.64 \times 10^{-3} \times \frac{1}{0.069\ 733} = 9.2 \times 10^{-3}\ (\text{m/s})$ 。

当 $L = 2\ 092\ \text{mm}$, $T_i = 2\ 092\ \mu\text{s}$ (1 000 m/s) 时, $u(v_i) = 0.64 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2.092 \times 10^{-3}} = 0.31\ (\text{m/s})$ 。

B.4.3 标准不确定度分量汇总表

当速度测量值为 30 m/s 时的标准不确定度分量汇总表见表 B.9。

表 B.9 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值/(m/s)
被校测速仪测量重复性引入的不确定度	A 类	$u(v_c)$	0.032
被校测速仪分辨力引入的不确定度	B 类	$u(v_f)$	0.029
时间间隔测量结果引入的不确定度	B 类	$u(v_t)$	0.000 001 8
靶距测量结果引入的不确定度	B 类	$u(v_l)$	0.009 2

当速度测量值为 1 000 m/s 时的标准不确定度分量汇总表见表 B.10。

表 B.10 标准不确定度分类汇总表

不确定度来源	不确定度种类	不确定度分量	数值/(m/s)
被校测速仪测量重复性引入的不确定度	A 类	$u(v_c)$	0.068
被校测速仪分辨力引入的不确定度	B 类	$u(v_f)$	0.029
时间间隔测量结果引入的不确定度	B 类	$u(v_t)$	0.000 058
靶距测量结果引入的不确定度	B 类	$u(v_l)$	0.31

B.4.4 $u_c(\Delta v)$ 合成标准不确定度的评定

由于各不确定度分量之间相互独立,则:

在 30 m/s 测试点,合成标准不确定度 $u_c(\Delta v) = \sqrt{u^2(v_c) + u^2(v_f) + u^2(v_t) + u^2(v_l)} = 0.043 \text{ m/s}$;

在 1 000 m/s 测试点,合成标准不确定度 $u_c(\Delta v) = \sqrt{u^2(v_c) + u^2(v_f) + u^2(v_t) + u^2(v_l)} = 0.32 \text{ m/s}$ 。

B.4.5 扩展不确定度的评定

取 $k=2$,则扩展不确定度 U :

30 m/s 时; $U=ku_c=0.1 \text{ m/s}$, $U_{\text{rel}}=0.29\%$;

1 000 m/s 时; $U=ku_c=0.6 \text{ m/s}$, $U_{\text{rel}}=0.06\%$ 。

则当靶距为 2.092 m 时,在 30 m/s~1 000 m/s 测量范围内,模拟测速误差测量结果的扩展不确定度 $U=0.1 \text{ m/s} \sim 0.6 \text{ m/s}$, $U_{\text{rel}}=0.29\% \sim 0.06\%$ 。

参 考 文 献

- [1] JJG 4—2015 钢卷尺检定规程
 - [2] JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示
 - [3] JJF 1071—2010 国家计量校准规范编写规则
 - [4] JJF 1033—2016 计量标准考核规范
-