

团 体 标 准

T/JYBZ XXX—20XX

教学用纹影仪技术规范

Technical specifications for teaching-use schlieren

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国教育装备行业协会 发 布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 架构概述 2

5 硬件要求 2

6 软件与资源 3

7 检验规则 5

8 判定方法 6

9 包装、运输与贮存 8

附录 A（资料性）教学用纹影仪典型实验 9



前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

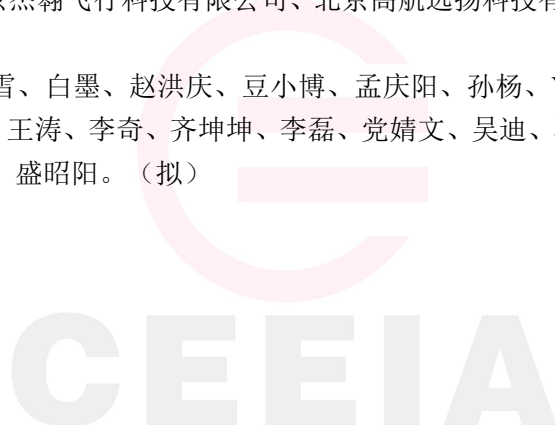
本文件由北京羽苏生物技术有限公司提出。

本文件由中国教育装备行业协会归口。

本文件起草单位：北京羽苏生物技术有限公司、北京栖云通航科技有限公司、北京羽泽扶光科技有限公司、ELOZO Oy、上海交通大学、中国科学院过程工程研究所、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、深圳职业技术大学、中国人民大学附属中学、苏州大学附属中学、三河第三实验中学、方圆标志认证集团有限公司、北京泰瑞特检测技术服务有限责任公司（国家广播电视产品质量检验检测中心）、中泽教育（深圳）有限公司、北京卓立汉光仪器有限公司、合肥中科君达视界技术股份有限公司、中国民航大学、绍兴大学、北京杰翱飞行科技有限公司、北京高航远扬科技有限公司、北京风华远航科技有限公司。（拟）

本文件主要起草人：郝春雪、白墨、赵洪庆、豆小博、孟庆阳、孙杨、Yandie Yu、杨程、李琦、李洁龄、李自乐、高聪、曹葵、王涛、李奇、齐坤坤、李磊、党婧文、吴迪、石广立、苗小冬、卢小银、杨永刚、卢欣奇、马杰、袁博、盛昭阳。（拟）

本文件为首次发布。



教学用纹影仪技术规范

1 范围

本文件规定了教学用纹影仪的硬件要求、软件与资源、检验规则、判定方法，以及包装、运输与贮存等条款。

本文件适用于基础教育、职业教育及高等教育中，用于流体力学、热学、声学等学科原理演示与探究式实验的教学用纹影仪，包括采用抽拉式结构等创新型便携设计的产品，及其配套的软硬件系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法
- GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2831 光学零件的面形偏差
- GB 4943.1 信息技术设备安全 第1部分：通用要求
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 6587 电子测量仪器通用规范
- GB/T 20145 灯和灯系统的光生物安全性
- GB 21749 教学仪器设备安全要求 玻璃部件
- GB/T 25000.23 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE） 第23部分：系统与软件产品质量测量
- GB/T 26332 光学和光子学 光学薄膜 第6部分：反射膜基本要求
- GB/T 5465.2 电气设备用图形符号 第2部分：图形符号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

纹影仪 Schlieren

基于光线在非均匀介质中传播时因折射率梯度发生偏转的原理，通过光学系统将流体或透明介质中的密度梯度变化转换为图像明暗对比，从而可视化流动、传热或浓度场分布的实验仪器。

3.2

流场图像后处理 flow field image post-processing

对纹影仪采集的原始流场图像或视频，通过算法进行增强、分析和量化，以提取流场密度、速度等物理参数，并生成可视化结果（如速度云图、矢量图）的过程。

4 架构概述

教学用纹影仪（以下简称纹影仪）由硬件终端和配套软件资源两部分组成。硬件层包括光学系统、机械结构，并满足系统兼容性、安全和环境适应性要求。配套软件包括实时采集与图像增强、速度场分析、数据导出与录制输出、教学资源与用户数据管理、AI辅助教学等功能模块，实现纹影成像、流场图像后处理、实验教学与资源管理全流程功能。

5 硬件要求

5.1 光学系统

纹影仪光学系统应稳定实现流场的可视化，技术要求见表 1。

表 1 光学系统技术要求

序号	参数名称	技术要求
1	主反射镜通光口径	≥150 mm
2	面形偏差	≤λ/4
3	反射率	可见光波段≥90%
4	光源类型与寿命	LED光源，寿命≥5000 h
5	焦点光斑尺寸	≤1 mm
6	CMOS分辨率	≥1920×1080（1080P）
7	系统帧率	≥30 fps（2K 50Hz）
8	最小可检测密度差	≤0.1 kg/m³（20 °C，标准大气压）
9	最小可检测温差	≤2 °C（20 °C，标准大气压）
10	最小可检测气体流量	≤5 mL/min，边缘无明显弥散

5.2 机械结构

纹影仪的机械结构应保证系统稳定性与便携性，技术要求见表 2。

表 2 机械结构技术要求

序号	参数名称	技术要求
1	安装基准面平面度	≤0.05 mm
2	俯仰/偏航角度调节范围	±6 °
3	俯仰/偏航角定位精度	±0.05 °
4	收纳尺寸	≤600 mm×300 mm×200 mm
5	设备总重量	≤20 kg
6	单人展收时间	≤120 s
7	光轴重复定位误差	≤5 mm

5.3 接口要求

5.3.1 HDMI 接口

配置HDMI Type A接口，支持HDMI 1.4及以上版本协议，支持1920×1080@60 Hz（1080p）视频格式输出，色彩深度不低于24 bit（8 bit / 通道），自动识别显示设备支持的分辨率并适配输出。接口插拔寿命不低于3000次。

5.3.2 USB 接口

配置USB Type-A或Type-C接口，支持流场图像/视频数据及后处理数据的快速传输。接口插拔寿命应不低于3000次。

5.3.3 接口标识

所有外置接口应在设备外壳邻近位置设置清晰、永久性标识，标识图形应符合GB/T 5465.2中相应符号规定。

5.4 安全要求

5.4.1 电气安全

采用交流电AC220 V供电，绝缘电阻 $\geq 20\text{ M}\Omega$ ，符合GB 4943.1的要求。

5.4.2 光生物安全

LED光源符合GB/T 20145光生物安全等级1类，无紫外辐射风险，避免近距离观察时造成视网膜蓝光危害。

5.5 环境适应性要求

5.5.1 工作环境要求

设备工作环境条件应符合GB/T 6587中环境适应性的相关规定。

5.5.2 抗光干扰要求

在300 lux~500 lux普通教室光照条件下，无需暗室即可清晰观测蜡烛火焰产生的热气流场，无背景过曝、杂光干扰问题。

5.5.3 可靠性要求

设备可靠性与平均无故障工作时间（MTBF）要求应符合GB/T 6587及GB/T 5080.7的相关规定。整机稳定服役年限 ≥ 5 年。

5.5.4 系统稳定性要求

在额定工作条件下，设备能连续稳定工作不少于8 h，工作期间HDMI视频输出应持续正常，无图像丢失、花屏、闪烁等异常现象，不应出现自动关机、重启或功能失效。

6 软件与资源

6.1 基本要求

教学用纹影仪配套软件应满足以下要求：

- 1) 应支持Windows 10/11（64位）操作系统运行，支持通过标准化安装程序完成部署，无需用户配置开发环境；
- 2) 软件功能设计应采用模块化架构，各功能模块之间数据可互通，便于后续扩展图像处理算法和教学辅助能力；
- 3) 应提供纹影图像实时增强、速度场分析、离线复算、课堂录制与教学资源管理功能，覆盖实验演示、数据采集、教学记录与资源归档的全流程需求。

6.2 实时采集与图像增强

配套软件的实时采集与图像增强功能应满足以下要求：

- 1) 支持 USB视频类（UVC）摄像头接入，支持用户设置采集分辨率和帧率；
- 2) 提供背景采集功能，背景帧应在无流场扰动的静态条件下采集；
- 3) 内置背景差分增强算法，支持用户调节对比度、伽马校正（Gamma）和时域降噪（TNR）参数；
- 4) 支持原始图像、增强图像和速度云图三种实时显示模式的切换。

6.3 速度场分析

6.3.1 实时速度场

配套软件应支持实时速度场分析，满足以下要求：

- 1) 支持局部粒子图像测速（PIV）和稠密光流（Dense Optical Flow）两种速度估计方法；
- 2) PIV分析应提供质量档位选择（快速、平衡、精细），并支持手动设置窗口大小和置信度阈值；
- 3) 速度场每个网格点应包含水平分量、垂直分量、速度大小和置信度四项数据；
- 4) 应支持速度云图和速度矢量的叠加显示。

6.3.2 ROI 区域计算

配套软件应支持感兴趣区域（ROI）框选功能，满足以下要求：

- 1) 支持矩形和圆形两种ROI形状，用户在预览画面中拖拽设定；
- 2) 支持仅对ROI区域进行速度场统计，可遮挡ROI外区域显示；
- 3) 离线分析模块应支持同步引用实时模块的ROI设置。

6.4 录制与教学资源

6.4.1 课堂录制

配套软件应支持课堂录制功能，满足以下要求：

- 1) 至少具备三档录制清晰度：流畅（640×360）、高清（1280×720）、全高清（1920×1080），输出格式为MP4；
- 2) 应支持录制过程中的知识点标注，标注信息应包含标题、备注和时间戳；
- 3) 检测到可用麦克风时，应支持同步音频录制；
- 4) 应支持知识点清单的CSV格式导入和导出。

6.4.2 教学资源管理

配套软件应支持教学资源管理功能，满足以下要求：

- 1) 应提供本地教学资料库，支持按课程目录进行资源分类存储；
- 2) 录课生成的课堂转写、教学总结等文档应自动归档至对应课程目录；
- 3) 应支持按文件名、文件类型和时间范围进行资源检索与筛选。

6.4.3 典型实验建议

典型教学实验的应用场景、实验名称及教学建议参见附录A。

6.5 数据导出

6.5.1 数据导出

配套软件应支持教学资源管理功能，满足以下要求：

- 1) 实时模块：支持导出当前预览图像和速度数据逗号分隔值（CSV）文件，CSV应包含帧序号、时间戳、速度分量、速度大小和置信度字段；
- 2) 离线模块：支持导出实验包，将配置参数、图像、数据、报告和结果视频打包至同一目录；
- 3) 录课模块：支持导出录课视频、知识点CSV和录课标注文件。

6.5.2 数据存储

配套软件的数据存储应满足以下要求：

- 1) 用户教学资源、实验数据及配置信息应独立存储，软件卸载时不得删除用户自有数据；
- 2) 外部接口密钥等敏感配置应安全存储，配置界面具备信息保护措施，并支持连通性测试。

6.6 AI 辅助教学

配套软件宜提供AI辅助教学能力或预留相应接口，包括但不限于：

- 1) 课堂音频的本地语音识别与转写，停止录课后自动生成课堂转写记录；
- 2) 基于转写文本和知识点信息自动生成教学内容总结；
- 3) 从教案、课程资料中提取知识点清单，并支持导入录课标注；
- 4) 预留AI文档生成接口，支持基于实验数据和教学资料生成结构化教学文档。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验、型式检验和验收检验。

出厂检验：产品出厂或交货时进行的检验，检验项目见表3；

型式检验：覆盖本文件全部技术要求的检验，检验项目见表3；

验收检验：采购方对交付产品进行的检验，检验项目由供需双方合同约定。

7.2 检验项目和检验方式

出厂检验、型式检验的检验项目、技术要求、试验方法、检验方式及缺陷分类应符合表3的规定。

表 3 检验项目和检验方式表

序号	检验内容	技术要求 条文号	试验方法 条文号	出厂检验	型式检验	缺陷分类
1	硬件外观	5.2	9.3.1	●	▲	C
2	光学性能	5.1	9.3.3	○	▲	A/B
3	机械性能	5.2	9.3.3	○	▲	B
4	电气安全	5.3.1	9.3.4	●	▲	A
5	光生物安全	5.3.2	9.3.4	○	▲	A
6	工作环境适应性	5.4.1	9.3.5	—	▲	B
7	典型实验应用及后处理功能	附录 A	9.4	○	▲	A
8	软件基础功能	6.2—6.3	9.5.1	●	▲	B
9	软件性能	6.2	9.6.1	—	▲	B
10	软件稳定性	6.2	9.6.2	—	▲	B
注1：表中“●”表示全数检验，“○”表示抽样检验，“—”表示不作检验，“▲”表示型式检验必检。 注2：缺陷分类：A类（严重缺陷）：可能危及人身安全、导致产品核心功能失效的缺陷；B类（主要缺陷）影响产品主要使用性能、不符合关键技术指标的缺陷；C类（次要缺陷）：不影响产品使用性能的外观、标识等缺陷。						

7.3 组批规则和抽样方法

7.3.1 组批规则

出厂检验：以同一原材料、同一工艺、同一型号规格生产的产品为一个交付批；
型式检验：在一个检验周期内，从近期生产的出厂检验合格产品中随机抽取样品。

7.3.2 抽样方法

出厂检验：全数检验项目逐台检验；抽样检验项目按GB/T 2828.1中正常检验一次抽样方案（一般检验水平Ⅱ，AQL=6.5）执行。
型式检验：随机抽取2台样品，1台送检，1台封存备用。

8 判定方法

8.1 试验环境

硬件试验环境：温度20℃±5℃，相对湿度60%±15%RH；模拟高低温、湿热环境。
软件试验环境：覆盖局域网、互联网及弱网场景。

8.2 硬件性能检验

纹影仪的检验项目包括光学性能、机械性能、安全性能、环境适应性、气密检测、电磁兼容性 & 系统兼容性，主要检验要求见表4。

表 4 主要检验项目及判定

序号	检验项目	核心检测方法	合格判定
1	光学性能	按GB/T 2831、GB/T 26332.6用专业光学设备检测；用标准热源、二氧化碳流场验证成像效果	所有参数符合5.1要求，可清晰观测最小密度差、最小流量、最小温差对应的流场
2	机械性能	实际测量尺寸、重量、展开时间	所有参数符合5.2要求，光轴重复定位误差 $\leq 5\text{ mm}$
3	安全性能	按GB 4943.1、GB/T 20145、GB 21749进行电气、光生物、机械安全测试	所有安全指标符合5.3要求
4	环境适应性	按GB/T 2423.1、GB/T 2423.3进行高低温、湿热试验；在 500 lux 光照下测试成像	试验后设备无损坏，性能无衰减，成像清晰
5	系统兼容性	连接符合标准的显示设备连续工作8h；测试USB数据传输功能	显示清晰稳定，数据传输正常，无功能异常

8.3 软件功能试验

8.3.1 基础功能试验

按GB/T 25000.23对配套软件进行以下基础功能试验，试验结果应符合6.1—6.5的规定。

8.3.2 速度场分析功能试验

采用标准流场源开展试验，验证速度云图生成、参数调节、目标区域框选等分析功能的有效性。试验结果应符合6.3的规定。

8.3.3 AI 辅助教学功能试验

对配备 AI 辅助教学功能的产品，验证语音转写、教学总结、知识点提取功能的可用性；AI 生成内容的准确性采用人工复核，不纳入自动化测试范畴。

试验结果应符合6.6的规定。

8.3.4 安装部署与用户数据保留试验

验证软件安装卸载、默认存储路径、用户数据保护、接口配置安全的合规性，确认卸载操作仅移除程序文件，不删除用户教学数据与配置信息。

8.4 性能稳定性试验

8.4.1 软件性能试验

测试各功能响应时间，每个场景测试10次取平均值。

8.4.2 软件稳定性试验

对核心功能连续运行1000次，连续随机测试8 h。

8.5 验收资料要求

验收时应提供以下资料：

测试计划、测试用例、测试报告及问题整改记录（含三类典型实验专项测试报告）；

接口文档、部署说明、运维手册及安全配置说明；

硬件检测报告、设备操作手册、零部件清单及质量证明文件。

9 包装、运输与贮存

9.1 包装

产品应采用防潮、防震包装，包装材料符合环保要求。

包装箱内应包含产品本体、配件、操作手册、合格证、保修卡等。

包装箱外应清晰标注产品名称、型号、规格、数量、重量、生产日期及“小心轻放”“防潮”“向上”等标识，符合GB/T 191要求。

9.2 运输

运输过程中应避免剧烈振动、冲击和雨淋，不得与易燃、易爆、腐蚀性物品混运。装卸时应轻拿轻放，严禁抛掷。

9.3 贮存

产品应贮存在通风、干燥、无腐蚀性气体的库房内，环境温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%\text{RH}$ 。产品应离地面 $\geq 10\text{ cm}$ ，离墙壁 $\geq 20\text{ cm}$ ，避免阳光直射和强磁场影响。贮存期超过6个月，应开箱检查设备状态。

附 录 A
(资料性)
教学用纹影仪典型实验

A.1 适用范围

本附录给出了教学用纹影仪在小学科学、初中科学、初中物理、高中物理、化学、生物等教学场景下的典型实验应用参考案例，为实验教学开展与校本资源开发提供参考。

宜采用本设备开展的实验且不限于本附录所列内容，使用方可结合对应学段课程标准与实际教学需求，自行拓展设计其他适配的实验项目。

A.2 分场景实验应用要求表

教学用纹影仪典型实验的教学应用建议见表A.1。

表 A.1 教学用纹影仪典型实验应用建议

序号	实验名称	学段	适用板块	教学应用建议
1	蜡烛火焰热气流观测	小学	科学	1. 让学生直观看到“看不见的空气在动”； 2. 建立热空气上升的初步概念； 3. 结合生活中暖气、烟囱的例子讲解
2	热水冒热气观测	小学	科学	1. 直观展示水蒸发变成水蒸气的过程； 2. 建立“水蒸气是看不见的”概念； 3. 讲解云、雾的形成原因
3	声悬浮现象演示实验	小学	科学	1. 讲解超声波的特性和应用； 2. 介绍声悬浮技术的发展； 3. 互动体验悬浮小物体的乐趣
4	蜡烛燃烧热气流场观测	初中	科学	1. 讲解热对流的基本原理； 2. 分析影响热气流上升速度的因素； 3. 拓展至生活中的对流现象（暖气、烟囱）
5	冷热空气对流实验	初中	科学	1. 直观演示大气对流的基本原理； 2. 分析海陆风、季风的形成原因； 3. 结合天气预报进行拓展讲解
6	气体扩散现象综合观测	初中	科学	1. 演示分子无规则运动的宏观表现； 2. 对比温度对扩散速度的影响； 3. 引导学生理解扩散现象的本质
7	水的沸腾热对流观测	初中	物理	1. 直观展示汽化现象的本质； 2. 对比沸腾前后的流场差异； 3. 讲解蒸发与沸腾的区别
8	乒乓球悬浮实验	初中	物理	1. 演示康达效应（附壁效应）； 2. 结合伯努利原理解释悬浮原理； 3. 拓展至喷雾器、汽车尾翼的应用
9	电流的热效应（电阻丝发热）	初中	物理	1. 演示电流的热效应； 2. 验证焦耳定律； 3. 分析电暖器、电炉的工作原理
10	摩擦生热现象观测	初中	物理	1. 直观展示机械能转化为内能的过程； 2. 分析改变内能的两种方式（做功和热传递）； 3. 讲解摩擦在生活中的利弊
11	流速与压强关系定量验证	高中	物理	1. 定量验证伯努利原理； 2. 分析飞机升力的产生原因； 3. 设计不同形状物体的流场对比实验
12	热传导实验	高中	物理	1. 直观展示热传导的基本原理；

序号	实验名称	学段	适用板块	教学应用建议
				2. 对比不同金属的导热性能； 3. 分析热传导在生活中的应用
13	电阻生热实验	高中	物理	1. 演示电流的热效应； 2. 验证焦耳定律； 3. 分析电暖器、电炉的工作原理
14	超声波传播可视化	高中	物理	1. 演示超声波的波动性； 2. 讲解 B 超、声呐等应用原理； 3. 设计超声波测距的探究实验
15	凹凸翼型流场对比	高中	物理	1. 讲解飞机机翼的升力产生原理； 2. 分析翼型形状对气动性能的影响； 3. 拓展至不同飞行器的翼型设计
16	风洞中转动球体流场观测	高中	物理	1. 演示马格努斯效应的原理； 2. 分析足球、乒乓球的弧线球成因； 3. 拓展至球类运动的空气动力学
17	碳酸钙与盐酸反应制备 CO ₂	初中	化学	1. 直观展示化学反应的气体产物； 2. 分析反应物浓度对反应速率的影响； 3. 对比不同酸与碳酸钙的反应速率
18	NaCl 溶解密度变化观测	高中	化学	1. 直观展示溶解过程的微观本质； 2. 分析影响溶解速率的因素； 3. 讲解溶液密度与浓度的关系
19	盐酸与氢氧化钠中和反应 热	高中	化学	1. 直观展示中和反应的热效应； 2. 定量测量中和热； 3. 讲解热化学方程式的书写
20	生石灰遇水发热实验	高中	化学	1. 演示化合反应的热效应； 2. 讲解生石灰的性质与用途； 3. 拓展至自热食品的工作原理
21	半透膜渗透作用初步观测	初中	生物	1. 直观展示半透膜的渗透作用现象，理解细胞吸水和失水的基本原理； 2. 分析不同浓度溶液对植物细胞吸水失水的影响，建立渗透作用的感性认知； 3. 结合生活实例讲解渗透作用在农业生产、食品保鲜中的实际应用
22	渗透作用与选择透过性定量探究	高中	生物	1. 直观演示渗透作用的发生条件，深化对自由扩散、协助扩散等被动运输方式的理解； 2. 定量分析不同浓度梯度下的渗透速率，探究影响渗透作用的核心因素； 3. 讲解生物膜的选择透过性与细胞膜结构的关系，构建物质跨膜运输的完整知识体系