

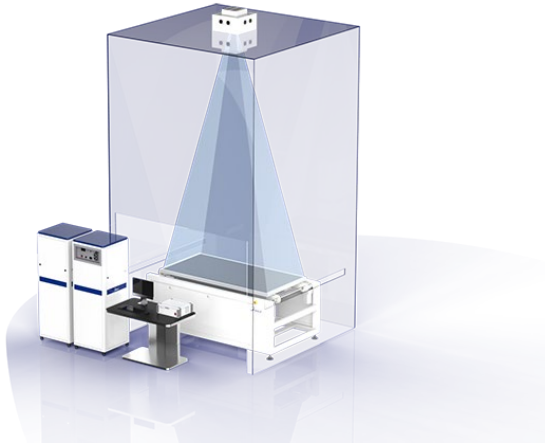
电子行业计量技术规范项目建议书

| | | | |
|-----------|---|------------|---|
| 建议项目名称 | 光伏电池测试仪校准规范 | | |
| 制定或修订 | <input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订 | 被修订计量技术规范号 | / |
| 计量技术规范性质 | <input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范 | 计量技术规范类别 | <input checked="" type="checkbox"/> 重点 <input type="checkbox"/> 基础 |
| 主要起草单位 | 广电计量检测（无锡）有限公司 广电计量检测集团股份有限公司 | | |
| 联系人 | 龙阳 | 联系电话 | 020-38699960 |
| 任务年限 | 2 年 | 申请经费 | 4 万元 |
| 参加单位 | 陕西众森电能科技有限公司 | | |
| 目的、意义和必要性 | <p>1. <u>指出该计量技术规范项目编制的目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性</u></p> <p>节能环保是 21 世纪的主旋律，而光伏电站是一个开始，看看光伏电站跟树木、环保的巨大关系！人的一生用电如果都是光伏发电，相当于节约 324 吨煤，同时减少排放 244.8 吨碳粉尘、897.3 吨二氧化碳、27 万吨二氧化硫。</p> <p>太阳能光伏发电作为清洁的可再生能源，因其安全无污染、资源丰富、分布广泛、可利用率和清洁可持续的特性日益受到国家的重视，尤其在当前大力倡导低碳经济的背景之下，太阳能光伏发电更是承载着国家节能减排的重要任务。</p> <p>光伏行业是国家大力支持战略性新兴产业，受到国家产业政策的重点支持。近年来，<u>在碳达峰、碳中和的顶层设计指引下，从 2021 年至今，国家各项光伏行业支持性政策频出，通过指导装机规模、制定行业标准、提供财政补贴、政策优惠等途径扶持光伏行业的成长与发展。</u>具体政策如下：</p> | | |

| | | | |
|--|-----------------|---------------------------------|---|
| | 中国光伏行业最新政策汇总一览表 | | |
| | 日期 | 政策名称 | 内容 |
| | 2023年8月 | 《关于促进退役风电、光伏设备循环利用的指导意见》 | 支持光伏设备制造企业通过自主回收、联合回收或委托回收等模式，建立分布式光伏回收体系。鼓励风电、光伏设备制造企业主动提供回收服务。支持第三方专业回收企业开展退役风电、光伏设备回收业务等。 |
| | 2023年1月 | 《推动能源电子产业发展的指导意见》 | 鼓励开发先进适用的智能光伏组件，发展智能逆变器、控制器、汇流箱、跟踪系统等关键部件。加大对关键技术装备、原辅料研发应用的支持力度。加快构建光伏供应链溯源体系，推动光伏组件回收利用技术研发及产业化应用。 |
| | 2022年9月 | 《关于促进光伏产业链健康发展有关事项》 | 推动高效环保型及耐候性光伏功能材料技术研发应用，提高光伏组件寿命。 |
| | 2022年8月 | 《关于促进光伏产业链供应链协同发展的通知》 | 鼓励硅料与硅片企业，硅片与电池、组件及逆变器、光伏玻璃等企业，组件制造与发电投资、电站建设企业深度合作，支持企业通过战略联盟、签订长单、技术合作、互相参股等方式建立长效合作机制。 |
| | 2022年6月 | 《“十四五”可再生能源发展规划》 | 推动退役风电机组、光伏组件回收处理技术与新产业发展，补齐风电、光伏发电绿色产业链最后一环，实现全生命周期绿色闭环式发展。 |
| | 2022年3月 | 《“十四五”现代能源体系规划》 | 到2025年非化石能源消费比重提高到20%左右，非化石能源消费比重在2030年达到25%的基础上进一步提高，可再生能源发电成为主体电源。 |
| | 2022年3月 | 《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》 | 到2025年，全国新增建筑太阳能光伏装机容量0.5亿千瓦以上。推进新建建筑太阳能光伏一体化设计、施工、安装，鼓励政府投资公益性建筑加强太阳能光伏应用。新型建筑电力系统以“光储直柔”为主要特征，“光”是在建筑场地内建设分布式、一体化太阳能光伏系统。 |
| | 2022年2月 | 《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》 | 以库布齐、乌兰布和、腾格里、巴丹吉林沙漠为重点规划建设大型风电光伏基地，到2030年，规划建设风光基地总装机约4.55亿千瓦，其中“十四五”、“十五五”时期规划建设风光基地总装机约2亿千瓦、2.55亿千瓦。 |
| | 2022年2月 | 《关于印发促进工业经济平稳增长的若干政策的通知》 | 组织实施光伏产业创新发展专项行动，实施好沙漠戈壁荒漠地区大型风电光伏基地建设，鼓励中东部地区发展分布式光伏，推进广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电发展，带动太阳能电池、风电设备产业链投资。 |
| | 2021年12月 | 《“十四五”工业绿色发展规划》 | 到2025年，工业产业结构、生产方式绿色低碳转型取得显著成效，绿色低碳技术装备广泛应用，能源资源利用效率大幅提高，绿色制造水平全面提升，为2030年工业领域碳达峰奠定坚实基础。 |
| | 2021年11月 | 《“十四五”能源领域科技创新规划》 | 开展隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）、异质结（HJT）、背电极接触（IBC）等新型晶体硅电池低成本高质量产业化制造技术研究；突破硅颗粒料制备、连续拉晶、矿型与掺铍尸型硅棒制备、超薄硅片切割等低成本规模化应用技术。 |
| | 2021年10月 | 《关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》 | 全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新和特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。到2030年，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。 |
| | 2021年9月 | 《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》 | 将碳达峰、碳中和目标要求全面融入经济社会发展中长期规划：到2025年，非化石能源消费比重达到20%左右；到2030年，非化石能源消费比重达到25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上；到2060年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现。 |
| | 2021年6月 | 《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》 | 党政机关建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于50%；学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于40%；工商业厂房屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于30%，农村居民屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于20%。 |
| | 2021年5月 | 《关于2021年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》 | 制定发布各省级可再生能源电力消纳责任权重和新能源合理利用率目标；建立保障性并网、市场化并网等多元保障机制，2021年用户光伏发电国家财政补贴预算额度为5亿元。 |
| | 2021年2月 | 《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》 | 意见提出，建立健全绿色低碳循环发展经济体系，促进经济社会发展全面绿色转型，提升可再生能源利用比例，大力推动风电、光伏发电发展。 |
| 制图：中商情报网(www.askci.com) | | | |
| <p>光伏电池一般有光伏组件和太阳电池片，是光伏发电系统中的核心部件，其功率大小直接影响到光伏电站的发电量，而光伏电池的功率通常是用光伏电池测试仪进行测量的。光伏电池测试仪主要由太阳模拟器、红外测温探头以及电子负载 3 个部分组成。目前，根据《IEC 60904-1-2020 Photovoltaic devices –Part 1 Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics》要求，光伏电池测量设备一般由 3 部分组成，1、辐照度测量及检测设备；2、用于测量参考装置和被测装置的温度（即辐射温度传感器）；3、用于测量电压和电流的设备（即太阳能电池电流-电压测试仪，简称 I-V 测试仪）。其中辐照度测量设备国家发布了校准规范《JJF 1615-2017 太阳模拟器校准规范》，本规范引用旧标准 IEC 60904-1-2007，与 IEC 60904-1-2020 存在较大差别，温度测量设备按照《JJG 856-2015 工作用辐射温度计检定规程》进行溯源，</p> | | | |

| | |
|--|---|
| | <p>而光伏电池测试仪没有覆盖全参数的计量技术法规，没有明确的溯源标准装置。</p> <p>由于光伏电池制造企业都会用到光伏电池测试设备，因此光伏电池测试设备在光伏行业对产品质量起着至关重要的作用，且校准市场需求较大。因此为满足光伏电池测试仪的溯源需求，急需制定光伏电池测试仪的校准规范。</p> <p>2. <u>先进性和亮点、社会效益和推广应用前景</u></p> <p>在实现零碳路径上，可再生能源将成为主导能源。国际可再生能源机构在《世界能源转型展望》中提出，2050 年全球可再生能源发电量占比将提升到 90%，其中光伏和风电占比 63%，全球光伏装机量将超过 14000GW。我国光伏发电市场储备规模可以用“雄厚”来形容。据不完全统计，各省仅 2021 年光伏电站配置规模就高达 89.28GW，已公布大基地规模超过 60GW。国际能源署更是在《中国能源行业碳中和路线图》预测，2030 年至 2060 年中国平均每年新增光伏装机容量 200GW。因此光伏电池测量设备应用数量较大，光伏电池测试仪的校准对于保障光伏产业的量值准确具有良好的社会和经济效益，应用前景广泛，但国内没有相关的计量技术规范，光伏电池测试仪一直没有合适全参数的溯源依据，该规范的制定可解决上述问题，满足光伏电池测试仪校准的需要。</p> <p>3. <u>查新结果（国家、本行业或其他行业是否有相关技术规范）</u></p> <p>目前国内太阳电池测试仪校准的单位有 2 家机构：中国计量科学研究院和福建省计量科学研究院。中国计量科学研究院依据的技术文件为 JJF 1615-2017 太阳模拟器校准规范、IEC 60904-9-2020 光伏器件-第 9 部分：太阳模拟器性能分级、NIM-ZY-GX-TT-117 2017 太阳模拟器电子负载箱校准/测试实施细则、JJG 856-2015 工作用辐射温度计检定规程；而福建省计量科学研究院依据的技术文件为 IEC 60904-9-2020 光伏器件-第 9 部分：太阳模拟器性能分级、JJF 1615-2017 太阳模拟器校准规范、MLYJZ-Q03-2015 太阳模拟器 I-V 测试仪校准规范、JJG 856-2015 工作用辐射温度计检定规程。其中部分参数均采用自编方法。</p> <p>中国计量科学研究院标准器信息：</p> |
|--|---|

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|---------------|--|--|--|--|------------------------------------|----------|---|-------------------|---------------|--|---------------------------|------------------------------------|----------|----|-------|----|----------------------|--|--|--|
| | <p>光纤光谱仪：(300~1700) nm，相对光谱辐照度 $U_{rel}=6\%(k=2)$，光谱匹配度校准结果不确定度为 $U_{rel}=6.4\%(k=2)$；</p> <p>硅太阳能电池及数据采集器：辐照度不均匀度(0~100)%，辐照度不稳定性(0~100)%，$U_{rel}=0.14\%(k=2)$，校准结果不确定度为 $U_{rel}=1.0\%(k=2)$；</p> <p>红外测温仪：(15~80)℃，$U=0.6\text{℃}(k=2)$，温度校准结果不确定度为 $U=0.8\text{℃}(k=2)$；</p> <p>组件测试仪 IV 校准装置及数据采集器：(0~20) A，$U_{rel}=0.02\%(k=2)$，(0~80) V，$U=0.1\text{ mV}\sim 0.01\text{ V}(k=2)$，短路电流校准结果不确定度为 $U_{rel}=0.2\%(k=2)$，开路电压校准结果不确定度为 $U_{rel}=0.2\%(k=2)$。</p> <p>福建省计量科学研究院 CNAS 认可能力如下：</p> <table><tr><td>5</td><td>*太阳模拟器I-V测试仪</td><td>短路电流 开路电压</td><td>太阳模拟器I-V测试仪校准规范 MLYJZ-Q03</td><td>0.01mA~20A 10mV~80V</td><td>$U_{rel}=0.5\%$ $U_{rel}=0.5\%$</td><td>有效 有效</td></tr><tr><td>7</td><td>*太阳模拟器（组件测试仪、光衰箱）</td><td>光谱匹配度 辐照度比</td><td>光伏器件 第9部分：太阳模拟器特性的分级 IEC 60904-9：2020，太阳模拟器 (300nm~600nm、1100nm~1300nm) 校准规范 MLYJZ-Q01，太阳模拟器校准规范 JJF 1615-2017</td><td>300nm~1300nm (0.1~90)%</td><td>$U_{rel}=5.6\%$ $U_{rel}=1.2\%$</td><td>有效 有效</td></tr><tr><td>51</td><td>辐射温度计</td><td>温度</td><td>工作用辐射温度计检定规程 JJG 856</td><td>(-50~-15)℃ (>-15~0)℃ (>0~80)℃ (>80~500)℃ (>500~1000)℃ (>1000~1400)℃ (>1400~1600)℃ (>1600~2500)℃</td><td>$U=1.3\text{℃}$ $U=0.8\text{℃}$ $U=0.5\text{℃}$ $U=(0.5\sim 1.0)\text{℃}$ $U=2.6\text{℃}$ $U=4\text{℃}$ $U=5\text{℃}$ $U=4\text{℃}$</td><td>有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效</td></tr></table> <p>经查新，目前国家、军工、行业、地方均没有光伏电池测试仪光谱匹配度、辐照度、开路电压、短路电流、温度全参数的检定规程或校准规范。</p> | 5 | *太阳模拟器I-V测试仪 | 短路电流 开路电压 | 太阳模拟器I-V测试仪校准规范 MLYJZ-Q03 | 0.01mA~20A 10mV~80V | $U_{rel}=0.5\%$ $U_{rel}=0.5\%$ | 有效 有效 | 7 | *太阳模拟器（组件测试仪、光衰箱） | 光谱匹配度 辐照度比 | 光伏器件 第9部分：太阳模拟器特性的分级 IEC 60904-9：2020，太阳模拟器 (300nm~600nm、1100nm~1300nm) 校准规范 MLYJZ-Q01，太阳模拟器校准规范 JJF 1615-2017 | 300nm~1300nm (0.1~90)% | $U_{rel}=5.6\%$ $U_{rel}=1.2\%$ | 有效 有效 | 51 | 辐射温度计 | 温度 | 工作用辐射温度计检定规程 JJG 856 | (-50~-15)℃ (>-15~0)℃ (>0~80)℃ (>80~500)℃ (>500~1000)℃ (>1000~1400)℃ (>1400~1600)℃ (>1600~2500)℃ | $U=1.3\text{℃}$ $U=0.8\text{℃}$ $U=0.5\text{℃}$ $U=(0.5\sim 1.0)\text{℃}$ $U=2.6\text{℃}$ $U=4\text{℃}$ $U=5\text{℃}$ $U=4\text{℃}$ | 有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效 |
| 5 | *太阳模拟器I-V测试仪 | 短路电流 开路电压 | 太阳模拟器I-V测试仪校准规范 MLYJZ-Q03 | 0.01mA~20A 10mV~80V | $U_{rel}=0.5\%$ $U_{rel}=0.5\%$ | 有效 有效 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | *太阳模拟器（组件测试仪、光衰箱） | 光谱匹配度 辐照度比 | 光伏器件 第9部分：太阳模拟器特性的分级 IEC 60904-9：2020，太阳模拟器 (300nm~600nm、1100nm~1300nm) 校准规范 MLYJZ-Q01，太阳模拟器校准规范 JJF 1615-2017 | 300nm~1300nm (0.1~90)% | $U_{rel}=5.6\%$ $U_{rel}=1.2\%$ | 有效 有效 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | 辐射温度计 | 温度 | 工作用辐射温度计检定规程 JJG 856 | (-50~-15)℃ (>-15~0)℃ (>0~80)℃ (>80~500)℃ (>500~1000)℃ (>1000~1400)℃ (>1400~1600)℃ (>1600~2500)℃ | $U=1.3\text{℃}$ $U=0.8\text{℃}$ $U=0.5\text{℃}$ $U=(0.5\sim 1.0)\text{℃}$ $U=2.6\text{℃}$ $U=4\text{℃}$ $U=5\text{℃}$ $U=4\text{℃}$ | 有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效 有效 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 产业链应用 | <p>1. <u>重点产业链方向：光伏</u></p> <p><u>光伏产业是国家大力支持战略性新兴产业</u>，受到国家产业政策的重点支持。近年来，在碳达峰、碳中和的顶层设计指引下，从 2021 年至今，国家各项光伏行业支持性政策频出，通过指导装机规模、制定行业标准、提供财政补贴、政策优惠等途径扶持光伏行业的成长与发展。</p> <p>与此同时，风电、光伏、新能源也成为报告中的关键词，不仅高频出现，还被列为 2024 年工作重点。<u>2024 年政府报告一项任务“积极稳妥推进碳达峰碳中和”中提到：要加强大型风电光伏基地和外送通道建设</u>，推动分布式能源开发利用，发展新型储能，促进绿电使用和国际互认，发挥煤炭、煤电兜底作用，确保经济社会发展用能需求。</p> <p>2. <u>对本行业重点产业链的支撑作用</u></p> <p><u>光伏电池测量设备是光伏企业生产企业必备的检测设备</u>，应用数量较大，光伏电池试仪的校准对于保障光伏产业的量值准确具有良好的社会和经</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|-----------------------|--|
| | <p>济效益，应用前景广泛，但国内没有相关的计量技术规范，光伏电池测试仪一直没有合适全参数的溯源依据，该规范的制定可解决上述问题，满足光伏电池测试仪校准的需要，对本行业的发展起到至关重要的支撑作用。</p> |
| <p>范围和主要 计量特性</p> | <p>1. <u>计量技术规范的适用范围：</u> 适用于光伏电池测试仪的校准。</p> <p>2 <u>以典型仪器或试验设备等（注明仪器型号）为依据，提出计量特性的技术指标，包括其名称、测量范围和最大允许误差：</u></p> <p>2.1 市面上典型的光伏电池测试仪：</p> <p>早期光伏电池测试仪主要以国外品牌为主，其中 PASAN 和 HALM 的市场占有率很高，2020 年约为 80%左右。近年来，国内也出现了很多品牌，其中，陕西众森电能科技有限公司和北京德雷射科光电科技有限公司在国产品牌中占据了主导地位。</p> <p>2.1.1 陕西众森电能科技有限公司：GIV-20A 系列太阳电池组件测试仪</p>  <p>(1) 最大可测组件尺寸：2600 mm×1600 mm；</p> <p>(2) 辐照度范围：(700~1200) W/m²；</p> <p>(3) 光谱范围：(300~1200) nm；</p> <p>(4) 光谱匹配度：0.875~1.125，A+级；</p> <p>(5) 辐照度不稳定性：<1%，A+级；</p> <p>(6) 辐照度不均匀性：<1%，A+级；</p> |

(7) 测量范围：电压 1 V/10 V/50 V/100 V/200 V；
电流 0.25 A/1 A/5 A/12.5 A/20 A。

2.1.2 北京德雷射科光电科技有限公司：太阳电池组件测试仪 DLSK-SCL8



(1) 标准测试条件：依据 IEC 60904-9 相关标准，AM 1.5G，1000W/m²，25℃；

(2) 设备基本信息

- ◎光源等级：AAA；
- ◎光谱失配性(IEC 60904-9)：<± 20%，A；
- ◎辐照短期不稳定性 (IEC 60904-9)：< 0.5%，A；
- ◎辐照长期不稳定性 (IEC 60904-9)：< 1%，A；
- ◎辐照不均匀性：< 2%，A；

(3) 光源系统 - 基本信息

- ◎有效辐照面积：2100mm × 1100 mm；
- ◎灯箱尺寸：2500mm × 1500 mm × 980 mm（高度可调）；
- ◎光源类型：脉冲氙灯，直管（600 mm），1 只；
- ◎闪光方式：单次闪光；
- ◎光谱匹配：AM 1.5；
- ◎氙灯寿命：50,000-100,000（与脉冲宽度有关）；
- ◎辐照度范围：(200~1,200) W/m²（连续可调）；
- ◎充电时间：(10~45) s（与脉冲宽度有关）；
- ◎脉冲宽度：(10~200) ms（连续可调）；
- ◎光源方式：下光源；

(4) 取样电路 - 电性参数

- ◎扫描方式：Isc→Voc，Voc→Isc 两种方式；

◎电压范围：60 V/100 V/200V；

◎电流范围：3A/8A/20A；

◎参考电池：晶体硅（0-600mV）；

◎采样点数：40000（max）；

◎采集卡位数：16 bit；

◎单机重复性：±0.2%。

（Isc、Voc、Pm 连续测试 20 次，公式：(max-min) / (max+min)×100%）

2.1.3 PASAN: SunSim3B 脉冲太阳能模拟器

Where:

x_i is the i^{th} measurement result.

n is the number of measurement points.

\bar{u} is the sample average.

USL is the upper specification limit which is $+0.2\% \cdot \bar{u}$ for Isc and Voc and $+0.5\% \cdot \bar{u}$ for Pmax.

LSL is the lower specification limit which is $-0.2\% \cdot \bar{u}$ for Isc and Voc and $-0.5\% \cdot \bar{u}$ for Pmax.

Repeatability evaluation:

- 2σ covers approximately 95% of the measurement results. $2\sigma/\bar{u}$ is the dispersion of approximately 95% of the results from the average value.

- When $\hat{C}_p > 1.33$, 99.99% of the measurement results are within the specification limit.

- When $\hat{C}_p > 1$, 99.73% of the measurement results are within the specification limit.

Pasan's acceptance criteria:

- $2\sigma / \text{average} < 0.2\%$ for Isc and Voc, $2\sigma / \text{average} < 0.5\%$ for Mpp

- $\hat{C}_{p_{\text{Isc}}} > 1.33$, $\hat{C}_{p_{\text{Voc}}} > 1.33$, $\hat{C}_{p_{\text{Pmax}}} > 1$

| Measurement | | Requirements for IEC class A | Requirements for TÜV* class A+ | FAT measurement results |
|---------------------------------------|-----------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Spectral match to all intervals ratio | 400-500 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 0.9559 |
| | 500-600 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 0.9925 |
| | 600-700 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 1.019 |
| | 700-800 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 0.9778 |
| | 800-900 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 1.0328 |
| | 900-1000 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 1.0335 |
| | 1000-1100 | 0.75-1.25 | 0.875-1.125 | 1.0335 |
| Non-uniformity | | <2% | <1% | 0.565% |
| STI | | <0.5% | <0.5% | <0.5% by construction |
| LTI | | <2% | <1% | 0.097% |



2.1.4 中科微能（北京）科技有限公司：CME-IV3000 太阳能电池 IV 测试系统

配备AAA级稳态太阳模拟器；

专用高精度测试源表；

专用真空吸附型测试台（温度控制可选）

专用高精度测试表；

独立开发专用IV测试软件：

测量参数

完整I-V曲线测量，完整P-V曲线测量，

短路电流 I_{sc} 测量，开路电压 V_{oc} 测量，短路电流密度 J_{sc} 测量，

峰值功率 P_m 测量，峰值功率电流 I_m 测量，峰值功率电压 V_m 测量，

效率 η 测量，填充因子FF测量，串联电阻 R_s 测量，并联电阻 R_{sh} 测量；

扩展测量功能：弱光或暗条件测量等；

主要技术参数：

电压测量精度：0.015%；

电流测量精度：0.15%；

测量重复性：1%



CME-IV3000
太阳能电池IV测试系统

2.1.5 HALM: cetisPV-CT-L1 太阳能电池测试系统

1. IV measurement ranges

- Electronic range selection
voltage: $\pm 1,0 / 2,0 / 4,0 / 10,0 / 20,0 \text{ V}$
current: $\pm 2,0 / 4,0 / 10,0 / 20,0 \text{ A}$
and $\pm 16 / 32 / 80 / 160 \text{ mA}$
- Electronic load range -16 up to +4 volts



2.2 参考典型仪器及相关标准对光伏电池测试仪的技术要求，确定其计量特性如下：

(1) 光谱匹配度：与 AM 1.5G 标准光谱辐照度对比，偏离范围在[0.875, 1.125]，为 A+级；[0.75, 0.875)或者(1.125, 1.25]，为 A 级；[0.6, 0.75)或者(1.25, 1.4]，为 B 级；[0.4, 0.6)或者(1.4, 2.0]，为 C 级。

表 1 (400~1100) nm 波长范围内标准光谱辐照度分布

| 序号 | 波长范围/nm | 占有有效波段内总辐照度的百分比 |
|----|----------|-----------------|
| 1 | 400~500 | 18.4% |
| 2 | 500~600 | 19.9% |
| 3 | 600~700 | 18.4% |
| 4 | 700~800 | 14.9% |
| 5 | 800~900 | 12.5% |
| 6 | 900~1100 | 15.9% |

表 2 (300~1200) nm 波长范围内标准光谱辐照度分布

| 序号 | 波长范围/nm | 占有有效波段内总辐照度的百分比 |
|----|---------|-----------------|
| 1 | 300~470 | 16.61% |
| 2 | 470~561 | 16.74% |
| 3 | 561~657 | 16.67% |
| 4 | 657~772 | 16.63% |

| | | | | | | | |
|---|--|--------|---------|--------|---|----------|--------|
| | <table><tr><td>5</td><td>772~919</td><td>16.66%</td></tr><tr><td>6</td><td>919~1200</td><td>16.69%</td></tr></table> | 5 | 772~919 | 16.66% | 6 | 919~1200 | 16.69% |
| 5 | 772~919 | 16.66% | | | | | |
| 6 | 919~1200 | 16.69% | | | | | |
| | <p>(2) 辐照度不均匀度: $\leq 1\%$, 为 A+级; $(1\%, 2\%]$, 为 A 级; $(2\%, 5\%]$, 为 B 级; $(5\%, 10\%]$, 为 C 级。</p> <p>(3) 辐照度不稳定性:</p> <p>短期不稳定性: $\leq 0.25\%$, 为 A+级; $(0.25\%, 0.5\%]$, 为 A 级; $(0.5\%, 2\%]$, 为 B 级; $(2\%, 10\%]$, 为 C 级。</p> <p>长期不稳定性: $\leq 1\%$, 为 A+级; $(1\%, 2\%]$, 为 A 级; $(2\%, 5\%]$, 为 B 级; $(5\%, 10\%]$, 为 C 级。</p> <p>(4) 温度: $(15\sim 75)^{\circ}\text{C}$, 扩展不确定度不大于 1°C ($k=2$)。</p> <p>(5) 开路电压: $10\text{ mV}\sim 300\text{ V}$, 相对扩展不确定度不大于 0.2% ($k=2$)。</p> <p>(6) 短路电流: $0.1\text{ mA}\sim 20\text{ A}$, 相对扩展不确定度不大于 0.2% ($k=2$)。</p> <p>注: A+级仅限于在$(300\sim 1200)\text{ nm}$的扩展波长范围内评估设备等级。</p> <p>注: 《IEC 60904-1-2020 Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics》第 5 条 d) For measuring voltages and currents: instrumentation with instrumental measurement uncertainty of 0.2% or less of the open-circuit voltage and short-circuit current. The measurement ranges of the data acquisition should be carefully chosen.即: 用于测量电压和电流: 仪器测量不确定度为开路电压和短路电流的 0.2%或更小的仪器。应仔细选择数据采集的测量范围。第 5 条 c) For measuring the temperature of the reference device and of the device under test: temperature sensors and instrumentation with instrumental measurement uncertainty of 1°C or less. Temperature measurement of the reference device is not required if it is a pyranometer. 即: 用于测量参考装置和被测装置的温度: 温度传感器和仪器测量不确定度大于或等于 1°C的温度传感器和仪器。如果是总辐射表, 则不需要进行参考装置的温度测量。</p> <p>2. <u>主要测量标准的技术指标:</u></p> <p>(1) 光谱辐照度计: 波长范围需覆盖$(300\sim 1200)\text{ nm}$, 波长准确度$\pm 2\text{ nm}$。</p> <p>(2) 检测器: 标准光伏电池, 一级。</p> <p>(3) I-V 转换器: 负载阻值大小与检测器短路电流的乘积应小于开路电压值的</p> | | | | | | |

- 3%。
- (4) 参考辐射源：(15~75)℃，工作波段：(8~14)μm，示值误差不超过±0.3℃。
- (5) 数据采集仪：10 mV~80 V，相对扩展不确定度不大于 0.05% ($k=2$)，采样频率：≥100kHz。
- (6) 电流传感器：0.1 mA~20 A，相对扩展不确定度不大于 0.1% ($k=2$)，响应时间：≤5μs。
- (7) 直流标准电压源：10 mV~300 V，相对扩展不确定度不大于 0.05% ($k=2$)。
- (8) 直流标准电流源：0.1 mA~20 A，相对扩展不确定度不大于 0.05% ($k=2$)。

4.简要描述主要计量项目的技术原理。

4.1 光谱匹配度

4.1.1 校准原理

用光谱辐照度计测量被校光伏电池测试仪（以下简称为被校设备）光源的光谱辐照度分布。校准原理图 1 如下：

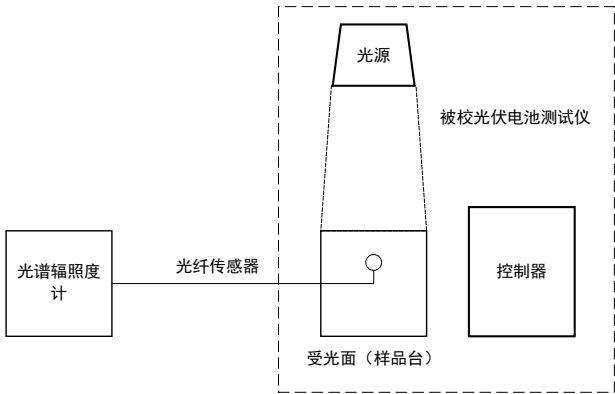


图 1 光谱匹配度校准原理图

4.1.2 校准方法：

应在有效辐照区域内至少 4 个位置进行测量，以解决光谱分布潜在的空间不均匀性影响，测量位置如图 2 所示。对于多灯被校设备的矩形有效辐照区域，如果单个灯仅照射辐照区域的一部分，则需要更多数量的测量位置。

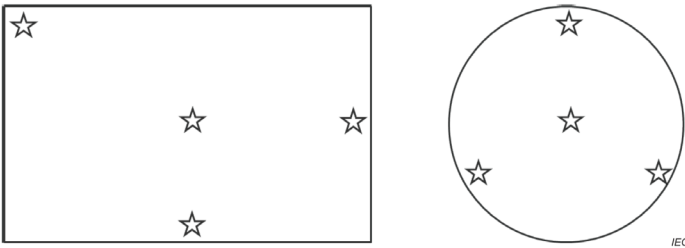


图 2 矩形有效辐照区域（左）和圆形有效辐照区域（右）的测量位置

以表格形式，在有效波段范围内每隔 10 nm 给出光谱辐照度。所有测量位置采集的光谱辐照度数据在有效波段范围内计算其总辐照度及各波长间隔内的光谱辐照度分布（即占总辐照度的百分比），与表 1、表 2 中标准光谱辐照度分布的百分比之比为光谱匹配度。

将各个测量位置各波段的比值与计量特性进行比较，由最差的光谱匹配度等级确定被校设备的光谱匹配级别。

4.2 辐照度不均匀度

4.2.1 校准原理

根据检测器短路电流与辐照度成正比的关系，用数据采集系统收集被校设备辐射下检测器的短路电流经 I-V 转换后的信号，以等效于采集辐照度，校准原理图如图 3 所示。

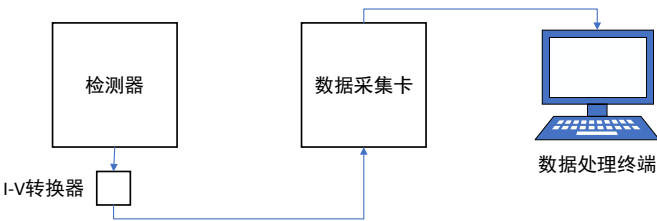


图 3 辐照度不均匀度和不稳定性校准原理图

4.2.2 校准方法

在被校设备有效辐照区域内确定一个角落作为参考点，作为辐照度检测器的起始位置，使检测器的边缘与参考点重合。将有效辐照面均等划分为若干个测试区域，测试区域的测量面积总和应大于有效辐照面面积的 80%。

对于稳态的被校设备，用检测器沿着有效辐照面内选定的方向划定的测试区域移动，采集其在每个区域的信号；对于瞬态的被校设备，检测器移动测量过程同稳态设备。由于单次闪光脉冲检测器只能测量到一个区域的辐照度，因此整个测量过程需要多次闪光脉冲才能完成。为了避免多次闪光脉冲重复性影响不均匀度的计量结果，需要在有效辐照面内的固定位置放置另一个检测器，以监测多次闪光脉冲的变化。

在整个有效辐照面内的各测试区域内，找出检测器信号的最大值(V_{\max})和最小值(V_{\min})，对最大值和最小值位置进行复测，以确定是否因偶然因素导

致误判。按式(1)计算辐照度不均匀度：

$$\begin{aligned}\text{不均匀度}\% &= \frac{(E_{\max} - E_{\min})}{(E_{\max} + E_{\min})} \times 100\% \\ &= \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(V_{\max} + V_{\min})} \times 100\% \quad (1)\end{aligned}$$

对比计量特性，确定被校设备的辐照度不均匀度级别。

4.3 辐照度不稳定性

4.3.1 校准原理

校准原理和装置同辐照度不均匀度，校准原理图如 4.2.1 条图 3 所示。
将检测器放置在有效辐照面内任意固定位置。

4.3.2 辐照度不稳定性定义

辐照度不稳定性为有效辐照面内任意给定位置上，在规定的时间内，被校设备的辐照度最大值和最小值之间的相对偏差。分为短期不稳定性(STI)和长期不稳定性(LTI)。

短期不稳定性(STI)是指对应取点过程中辐照度的变化。

长期不稳定性，对于长脉冲被校设备，是指在单个脉冲数据采集时间内的辐照度变化。对于短脉冲被校设备，是指在测试整条 I-V 曲线过程中所需的多个单脉冲中数据采集时间内的最大辐照度变化。

4.3.3 校准方法和步骤

(1) 将检测器放置在有效工作面内任意固定位置。

(2) 被校设备的短期不稳定性测量：

a) 如果 I-V 测试用被校设备可同时采集辐照度、电压和电流信号，则无需进行测量，即可判定其短期不稳定性为 A 级；

b) 如果 I-V 测试用被校设备是非同时采集辐照度、电压和电流信号，分别测量 I-V 曲线上每个数据所对应的上述三个信号采集时间间隔内检测器信号的变化，取其中变化最大的一组信号用于评定其短期不稳定性

(3) 瞬态被校设备的长期不稳定性测量：

a) 对于长脉冲被校设备，其长期不稳定性是指在单个脉冲数据采集时间内的辐照度变化，如图 4。将检测器置于有效工作面内选定位置，并确定脉冲数据采集时间范围，测量在这个时间范围内检测器信号。

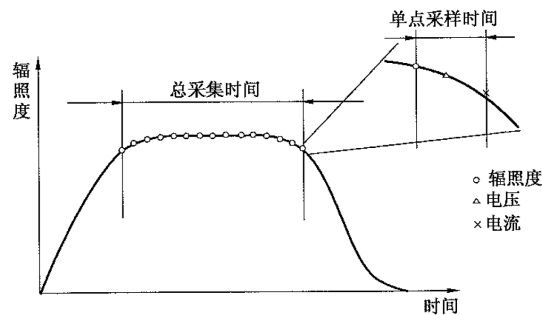


图 4 长脉冲光伏电池测试仪数据采集示意图

b) 对于短脉冲被校设备，其长期不稳定性是指在测试整条 I-V 曲线过程中所需的多个单脉冲中数据采集时间内的最大辐照度变化，如图 5。方法同 a)。

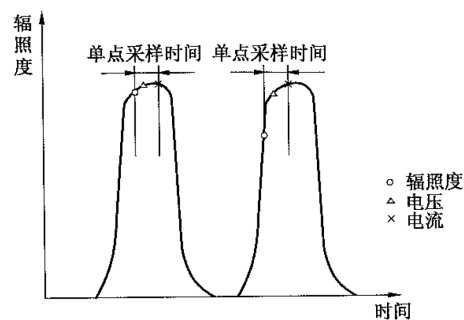


图 5 短脉冲光伏电池测试仪数据采集示意图

(4) 稳态被校设备的长期不稳定性测量

将检测器置于有效工作面内选定位置，在一定总时间内，根据设备要求每隔固定时间测量检测器信号。

(5) 在整个测量过程中，找出检测器信号的最大值和最小值，按照公式 (2) 进行计算：

$$\begin{aligned} \text{不稳定性}\% &= \frac{(E_{\max} - E_{\min})}{(E_{\max} + E_{\min})} \times 100\% \\ &= \frac{(V_{\max} - V_{\min})}{(V_{\max} + V_{\min})} \times 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

(6) 对比计量特性，确定被校设备的辐照度不稳定性级别。

4.4 温度

4.4.1 校准原理

将被校设备温度探头安装在辐射源空腔前方轴线延长线上，瞄准辐射源中心，读取辐射源标准值与被校设备温度显示值计算校准结果，校准原理图

如如 6 所示。

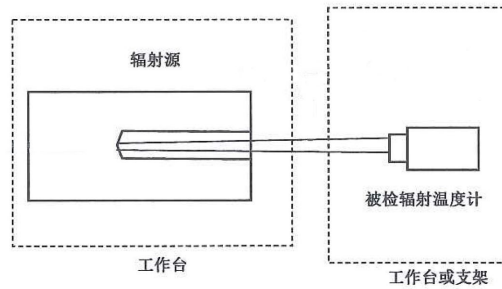


图 6 温度校准原理图

4.4.2 校准方法

按照校准原理图示，调整辐射源设定值，使稳定后的辐射源量值与校准点偏差_{不超过被校温度探头最大允许误差的 2 倍}。按照“标准→被检→被检→标准”的顺序记录两次测量数据。

按式(3)计算辐射源实际亮度温度与校准点 t_N 的差 Δt_S ：

$$\Delta t_S = t_{SC} - t_N + (t_{SI} - t_{SIC}) \quad (3)$$

式中：

t_{SC} ——由参考辐射源证书确定的对应于校准点 t_N 的亮度温度值，℃；

t_{SI} ——参考辐射源指示温度两次实际值的平均值，℃；

t_{SIC} ——由参考辐射源证书确定的对应于校准点 t_N 的指示温度，℃。

按式(4)计算被校温度探头实际示值与校准点 t_N 的差 Δt_T ：

$$\Delta t_T = t_T - t_N \quad (4)$$

式中：

t_T ——被校温度探头两次示值的平均值，℃。

按式(5)计算被校温度探头的固有误差：

$$\Delta t = (\Delta t_T - \Delta t_S) - \Delta t_{V_\varepsilon} - \Delta t_W \quad (5)$$

式中：

Δt ——被校温度探头在校准点 t_N 处的固有误差，℃；

Δt_{V_ε} ——辐射源发射率偏离 1 对固有误差的影响，℃；

Δt_W ——高温黑体辐射源窗口引入的固有误差的窗口误差，℃。

4.5 开路电压

本规范使用两种校准方法，方法一适用于所有被校设备，属于在线校准；

方法二适用于具有静态电压采集功能的被校设备，根据实际情况选择合适的校准方法，一般采用方法一。

4.5.1 方法一：

用数据采集仪电压测量端连接被校设备太阳能电池板信号输出端，如图 7 所示。根据产品正常测试条件下测量同一光伏电池，分别测量读取数据采集仪和被校设备显示的开路电压 V_{OC} ，重复测量 5 次，取 \bar{V}_{OC} 作为最终测量结果。

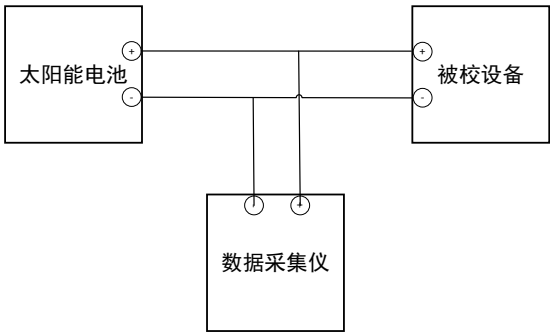


图 7 开路电压校准原理图

按公式(6)计算开路电压 V_{OC} 的修正系数：

$$\varepsilon_V = \frac{\bar{V}_{OC\text{标}}}{\bar{V}_{OC\text{测}}} \quad (6)$$

式中：

ε_V ——开路电压修正系数；

$\bar{V}_{OC\text{标}}$ ——数据采集仪 5 次测量开路电压的平均值，V；

$\bar{V}_{OC\text{测}}$ ——被校设备 5 次开路电压的显示平均值，V。

4.5.2 方法二：

用标准电压源连接被校设备，如图 8 所示。按校准点调节标准电压源输出电压 V_s ，被校设备显示值为 V_x ，电压误差按公式(7)计算。

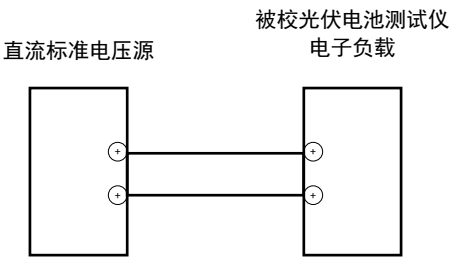


图 8 开路电压校准原理图

$$\Delta_V = \frac{V_x - V_s}{V_s} \times 100\% \tag{7}$$

式中：

Δ_V ——开路电压相对误差，%；

V_x ——被校设备开路电压显示值，V；

V_s ——标准电压源输出电压值，V。

4.6 短路电流

本规范使用两种校准方法，方法一适用于所有被校设备，属于在线校准；方法二适用于具有静态电流采集功能的被校设备，根据实际情况选择合适的校准方法，一般采用方法一。

4.6.1 方法一：

将被校设备太阳能电池板信号输出导线穿过连接数据采集仪的电流传感器，如图 9 所示。根据产品正常测试条件下测量同一光伏电池，分别测量读取数据采集仪和被校设备显示的短路电流 I_{SC} ，重复测量 5 次，取 \bar{I}_{SC} 作为最终测量结果。

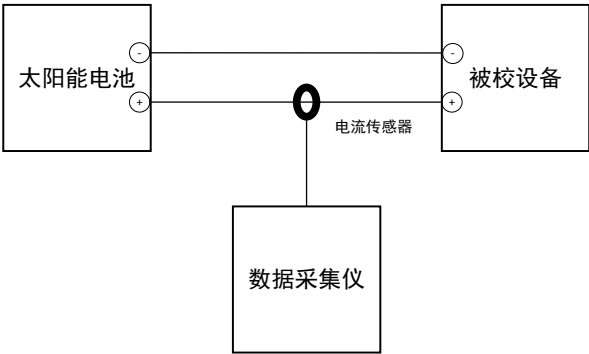


图 9 短路电流校准原理图

按公式(8)计算短路电流 I_{SC} 的修正系数：

$$\epsilon_I = \frac{\bar{I}_{SC\text{标}}}{\bar{I}_{SC\text{测}}} \tag{8}$$

式中：

ϵ_I ——短路电流修正值系数；

| | | | | | |
|--------|---------------------|---|------------------|---------|------------------|
| | | <p>60904-1-2020 中规定了扩展波段范围为(300~1200) nm，等级划分也在 A、B、C 三个等级的基础上增加 A+级。GB/T 6495.1-1996 中要求电压和电流的测量准确度达到$\pm 0.5\%$，而 IEC 60904-1-2020 中要求仪器测量不确定度不超过 0.2%。该校准规范的制定满足上述标准中提出的技术要求。</p> <p>2. <u>指出是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况</u></p> <p>未发现知识产权问题或涉及专利的情况。</p> <p>本规范校准方法参考了公开发表论文：《IEC 60904-1-2020 Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics》、《JJF 1615-2017 太阳模拟器校准规范》、《太阳模拟器关键参量校准方法研究 张俊超等，计量学报 第 38 卷 第 4 期》、《光伏组件用太阳模拟器 I-V 测试仪校准方法研究 林剑春，质量技术监督研究 2015 年第 3 期》</p> | | | |
| 推荐意见 | | <p>光伏电池测量设备是光伏企业生产企业必备的检测设备，应用数量较大，光伏电池测试仪的校准对于保障光伏产业的量值准确具有良好的社会效益，应用前景广泛，目前国内没有相关的计量技术规范，光伏电池测试仪一直没有合适全参数的溯源依据，该规范的制定可解决上述问题，满足光伏电池测试仪校准的需要，对本行业的发展起到至关重要的支撑作用，推荐。</p> | | | |
| 主要起草单位 | (签字、盖公章) 月 日 | 技术委员会 | (盖公章) 月 日 | 部委托支撑单位 | (盖公章) 月 日 |

填写说明：1.表中第 2，3，10 行，请在选定的内容上填写 “■” 的符号。

2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。