Advances in Education 教育进展, 2026, 16(11), 1468-1474
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ae
https://doi.org/10.12677/ae.2026.16112524

Hans汉斯

从特性测量到应用设计：太阳能电池实验的分层探究教学改革探索

殷红飞*，马景冉，李怡如，黄雨星

江苏大学物理与电子工程学院，江苏 镇江

收稿日期：2026年10月11日；录用日期：2026年11月12日；发布日期：2026年11月19日

摘　要

太阳能电池特性实验兼具近代物理概念、器件测量和能源应用价值，但常规教学容易停留在曲线绘制与参数计算。本文梳理特性测量拓展、递进探究和系统应用三类相关研究，结合已有教学材料与实验记录，构建“共同基础－自选探究－有约束的应用”分层教学框架，并将预测图、原始记录、曲线解释和方案论证与各层任务对应。文章给出课前预习、3 h课堂和课后完善的实施安排，以低功率负载选择为例设计应用论证单。已有器件数据用于示范证据解释。本文为有限学时的太阳能电池实验教学提供可实施的任务与评价工具，教学效果仍有待后续实践检验。

关键词

太阳能电池实验，大学物理实验，分层探究，科研思维，教学改革

From Characterization to Application Design: Exploring Tiered Inquiry-Based Teaching Reform in Solar Cell Experiment

Hongfei Yin*, Jingran Ma, Yiru Li, Yuxing Huang

School of Physics and Electronic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: October 11, 2026; accepted: November 12, 2026; published: November 19, 2026

Abstract

The solar-cell characteristics experiment links device measurement with physics concepts and energy applications, but routine instruction often stops at plotting curves and calculating parameters.

*通讯作者。

文章引用: 殷红飞, 马景冉, 李怡如, 黄雨星. 从特性测量到应用设计: 太阳能电池实验的分层探究教学改革探索[J]. 教育进展, 2026, 16(11): 1468-1474. DOI: 10.12677/ae.2026.16112524

Drawing on teaching studies and existing course materials, this paper proposes a three-level framework: common measurements, student-selected investigations, and evidence-constrained applications. It aligns each level with observable work, including predictions, original records, curve interpretations, and design arguments. A pre-class, three-hour laboratory, and post-class sequence is specified, together with a load-selection worksheet. Existing device measurements illustrate evidence-based reasoning. The framework provides actionable tasks and assessment tools for a time-limited laboratory, while its teaching effects await classroom evaluation.

Keywords

Solar Cell Experiment, Undergraduate Physics Laboratory, Tiered Inquiry, Research Thinking, Teaching Reform

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

太阳能电池实验把光的吸收、PN 结载流子分离、电路负载与能源应用放在同一问题情境中，是连接近代物理知识与实验探究的适宜载体。已有光电效应教学改革强调科学概念与现实科技的联系[1]，但太阳能电池的光伏效应需要进一步通过可测量的输出曲线加以理解，不能把金属外光电效应的现象叙述直接移用到半导体器件。

已有研究大致沿三种路径拓展太阳能电池实验。其一是把伏安测量发展为综合设计性实验，要求学生由开路电压、短路电流和最大功率理解器件输出，并尝试负载选择[2] [3]；其二是在基本特性之外增加光强、温度、串并联或内部参数测量，使学生通过控制变量解释曲线变化[4]-[7]；其三是借助自动采集或系统应用情境，将器件测试延伸到采样方法比较和太阳能路灯等综合设计[8] [9]。这些工作说明太阳能电池实验的内容与装置已有较充分拓展，本文不把增加变量或应用情境本身视作创新。

与现有路径相比，本文关注三个相互衔接的教学缺口。第一，递进实验和精品项目建设已提出由浅入深的能力培养方向[4] [10] [11]，但每一层学生必须作出的测量决策及其可观察产出仍需进一步细化。第二，综合应用实验强调系统搭建[8]，而基础物理实验课需要在有限学时内把应用判断约束到本组 I-U、P-U 曲线及其测量条件。第三，自动采集与工况转换研究展示了技术可能性[9] [12]，却不能替代学生对取点、变量控制和证据边界的判断。因此，本研究的贡献是把“共同基础－自选探究－有约束的应用”与“预测图－原始记录－曲线解释－设计论证”一一对应，形成可实施、可取证、可修订的分层探究框架。

本研究依据已有教学设计、导学案、实验报告和课堂展示资料构建方案。实验报告提供可复算的器件案例数据，本文将其用于说明如何从测量走向证据解释，不把器件性能数据解释为学生学习效果。针对有限学时内任务衔接与应用论证支架不足的问题，文中进一步给出一节 3 h 实验课的时间安排与应用任务支架。

2. 教学设计依据与目标

2.1. 学情分析与教学问题

教学对象为已经学习直流电路、PN 结基础和误差理论的本科理工科学生。现有导学案显示，学生能

够识别常用仪器并完成简单记录，但可能把“有光照就有电流”理解为光直接推动外电路电子，也可能把开路电压、短路电流与最大功率当作可在不同工况下任意组合的常数。对遮挡、温度和照度同时变化的情境，学生还缺少设计对照实验的经验。

据此归纳三项教学问题：第一，如何使光生载流子的微观过程与 I-U 曲线上的宏观状态相互印证；第二，如何让学生从“按步骤测量”转向自主选择取点、补测和控制变量；第三，如何避免效率计算和数字采集只留下一个表面精确的结果，而缺少对测量条件、误差和结论边界的判断。课程改革的核心是改变学生在实验中的认知任务，而不只是扩充知识点。

2.2. 教学目标与设计原则

知识目标是解释光伏效应和太阳能电池等效电路，理解开路电压、短路电流、最大功率、填充因子和转换效率的物理意义。方法目标是能设计负载扫描并保留原始数据，依据曲线完成参数计算、量纲核验及不确定度分析。探究目标是能提出可检验假设、设计单变量对照、比较竞争性解释，并把实验结论迁移到负载匹配或遮挡情境。每一目标均对应可观察的学生产出，避免仅用“理解”“掌握”等难以核查的表述。

教学采用共同基础与自主拓展相结合的原则。基础层确保每名学生亲手完成接线、扫描和曲线解释；探究层让小组选择照度、遮挡或温度变量，设计控制条件和重复测量；应用层要求利用曲线为特定负载提出供电方案，或比较自动采集与手动扫描的适用性。三个层级不是学生能力标签，所有学生先完成共同任务，再根据时间和设备条件选择延伸方向。

2.3. 教学内容与评价证据的对应

教学内容不再按仪器功能和参数公式顺次罗列，而按“提出问题–设计测量–解释证据–应用迁移”重组。表 1 给出各层级任务、学生决策与评价证据的对应关系。

Table 1. Alignment of teaching tasks and learning evidence
表 1. 分层教学任务与学习证据的对应

层级	核心问题与任务	学生决策与可收集的学习证据
基础	测量 I-U、P-U 曲线并求关键参数	决策：取点、峰值加密与复测；证据：预测图、接线图、原始记录、I-U/P-U 曲线及异常点说明
探究	比较照度、遮挡或温度对输出的影响	决策：选择单变量、对照与重复次数；证据：探究方案、两组同工况记录、曲线比较和解释修订
应用	依据曲线选择负载或比较采集方案	决策：确定负载目标并权衡方案；证据：一页设计说明、曲线标注、备选方案与补测清单

3. 递进式教学过程与案例嵌入

3.1. 课前预测与概念建构

课前由学生完成两项简短任务：画出预期 I-U 曲线并标明开路、短路和最大功率位置；解释“光强增强时开路电压和短路电流是否同比例增加”。教师根据预测图而非单纯选择题判断学生的原有模型。课堂先以太阳能飞机或离网供电提出应用问题，再回到 PN 结内建电场、光生电子空穴对的产生与分离，要求学生把微观过程对应到外电路中的电流方向和负载状态。

教师展示装置连接及安全边界，但保留扫描策略给学生决定。学生在接线前说明电压表并联、电流

表串联及量程选择理由，并讨论开路与短路均不是最大功率状态。原材料中的 20 min 是情境导入与操作示范的展示时长；完整实施建议采用课前预习、课堂 180 min 与课后 48 h 内提交方案的结构。若要求每组完成照度、遮挡、温度三个变量的全部探究，则需安排第二次实验课。表 2 给出一节课仅选择一个变量时的时间分配。

Table 2. Suggested schedule for a three-hour solar-cell experiment
表 2. 太阳能电池实验一节 3 h 课的分层实施安排

时间	环节与学生任务	当堂产出及教师检查
课前 20~30 min	阅读导学案，绘制 I-U 预测图，解释开路、短路与最大功率状态	预测图与预习问题；教师据误概念调整追问
0~15 min	情境导入，互评预测图并提出待检验问题	标注开路、短路和功率峰值的预测图
15~30 min	器件原理、接线示范、量程及安全检查	接线图与扫描策略，教师确认后通电
30~80 min	共同基础：手动负载扫描、峰值加密、异常点复测	原始 U、I、照度/灯距及板温记录
80~105 min	作 I-U、P-U 曲线，计算参数并交叉核验	曲线、单位换算及一条待补测问题
105~145 min	各组选照度、遮挡或温度之一，预测－对照－复测	单变量方案、两组曲线与解释修订
145~170 min	应用任务：据曲线选择负载并比较备选方案	一页方案初稿与补测清单
170~180 min	小组证据汇报、同伴质询、完成出口卡	主张－证据－理由－局限陈述及出口卡
课后 48 h 内	完善实验报告和应用方案	完整报告、方案与反思

3.2. 基础任务：由特性测量走向证据解释

基础实验要求在固定灯距、板面角度和光源预热条件下逐步调节负载，逐点记录电压、电流、时间及环境读数，并在功率峰值附近加密测量。学生用原始数据绘制 I-U 与 P-U 曲线，先描述短路、开路和峰值附近的状态，再用式(1)~(4)计算最大功率、入射功率、填充因子和转换效率。公式在此是解释数据的工具，评价重点是输入量从哪里来、是否属于同一工况。

$$P_{\max} = U_m I_m \tag{1}$$

$$P_{in} = GS \tag{2}$$

$$FF = \frac{P_{\max}}{U_{OC} I_{SC}} \tag{3}$$

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100\% \tag{4}$$

实验报告中的案例光伏板有效面积为 279.92 cm^2，辐照度为 883.11 W/m^2，手动扫描最大功率点为 17.0 V、130.1 mA，可复算得最大功率 2.2117 W、填充因子约 0.78、转换效率约 8.95%。图 1 和表 3 保留这组案例的曲线与参数，供学生练习“数据－计算－解释－核验”；这些数据不能代替学生在课堂中重新测量，也不能直接解释为标准测试条件下的器件额定效率[7]。

教师可用两个反例推动核验：若填充因子大于 1，先检查 mA 到 A 的换算以及开路、短路和峰值是否出自同一工况；若效率出现数量级错误，检查 279.92 cm^2 换算为 0.027992 m^2 以及辐照度能否代表整块受光面积。六次重复开路、短路读数可用于讨论均值和短时重复性，而一次离散扫描的最大功率不能直接给出可靠的重复性不确定度。学生应在报告中区分已测量、已计算和仍待补测的量。

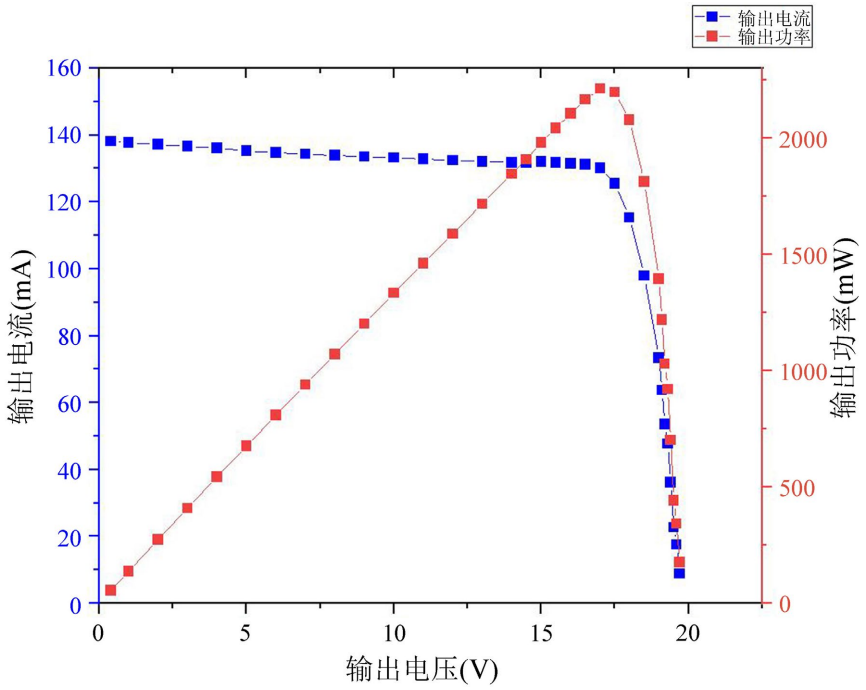


Figure 1. Measured current-voltage and power-voltage curves
图 1. 案例太阳能电池的伏安与功率曲线

Table 3. Example measurements of solar cell parameters
表 3. 太阳能电池特性参数的案例测量结果

参数	记录或计算值	依据
开路电压平均值	20.87 V	6 次测量
短路电流平均值	135.95 mA	6 次测量
最大功率点	17.0 V，130.1 mA	手动扫描
最大输出功率	2.2117 W	$U\square I\square$
填充因子	约 0.78	$P\square_{ax}/(UocISC)$
转换效率	约 8.95%	$P\square_{ax}/(GS)$

3.3. 探究任务：变量控制与模型修正

探究层由小组在照度、局部遮挡和温度中选择一个变量，先画出预测曲线，再写明被控制的灯距、板面角度、测量顺序与器件状态。照度任务可比较短路电流、开路电压及峰值功率的变化；遮挡任务需明确遮挡面积、方向和组件连接结构，不能把所有下降都归因于受光面积减少；温度任务应记录板面温度并区分光源预热与结温变化。相关研究为这些变量提供了内容基础[5] [6]，但课堂中的物理结论仍须由本组对照数据支持。

手动与自动采集的比较也可作为探究任务，教学材料中的自动采集操作流程如图 2 所示。现有材料记录手动约 30 点、6~8 min，自动超过 200 点、约 3 min，两种方法的最大功率分别为 2211.7 mW 和 2406.2 mW。这个差异既可能来自稀疏取点，也可能来自照度或板温变化，不能直接认定自动方法更准确。学生需设计同器件、同光源、交替扫描并记录温度的复测方案，再讨论采样密度、扫描时间与峰值定位的关系。太阳能电池特性的自动测量已有专门研究[9]；本课将其作为提出可证伪问题的工具。

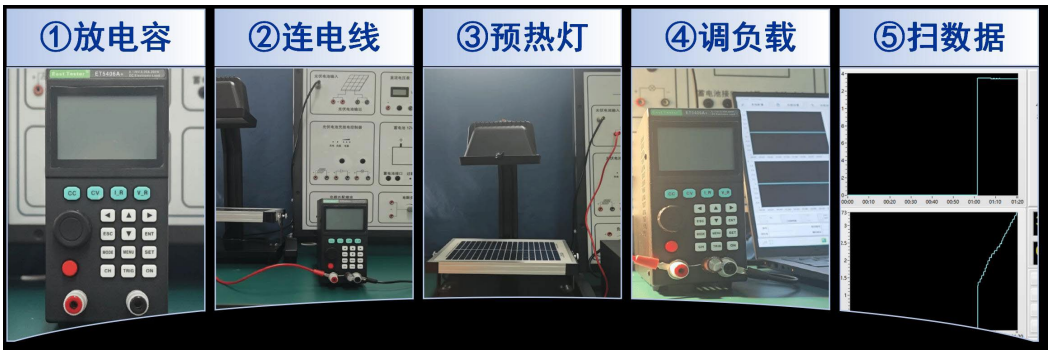


Figure 2. Automated acquisition procedure extracted from the teaching materials
图 2. 教学材料中的自动采集操作流程

3.4. 应用任务：由输出曲线设计供电方案

应用层借鉴太阳能电池特性研究[2]和光伏系统综合设计教学[8]的思路。教师可给出“为额定 12 V、0.10 A 的微型风扇供电”的共同情境，让小组先计算负载额定功率 1.2 W，再在本组 P-U 曲线上标出可供选择的工作区间。案例中的 2.2117 W 仅说明该室内工况下测得的最大输出大于负载额定功率，不能据此断言风扇能够稳定启动或直接接入；启动电流、变换器损耗、遮挡及光照波动仍须测量。学生据此比较直接连接与加装降压变换器等备选方案，并说明各自需要核查的条件。

教师发放一页“应用方案论证单”，限定五个栏目：① 负载需求(额定电压、电流、启动条件)；② 曲线证据(标出候选工作点、读出 U、I、P 并注明照度与板温)；③ 方案比较(至少两种连接或负载方案及取舍)；④ 边界与风险(光照变化、遮挡、变换损失和室内光谱差异)；⑤ 补测计划(需要新增的曲线或启动测试)。课堂 145~170 min 完成草案，课后 48 h 内补充计算与论证。同伴依“需求－证据－推理－局限”问题清单追问：所选工作点是否来自同一工况？负载需求与最大功率是否具有可比性？哪个观测结果会推翻当前方案？这样既保留应用设计的开放性，也使每项结论能够追溯到测量记录。

4. 教学评价与实施反思

4.1. 形成性评价与量规

评价围绕表 1 的学习证据展开。课前预测检查概念模型，课堂操作检查接线、变量控制与原始记录，小组汇报检查“主张－证据－理由－局限”是否完整，应用方案检查负载选择是否有曲线依据。拟采用过程性评价 60%和结果评价 40%：预习与预测 20%，操作及记录 40%，曲线与参数 15%，不确定度与解释 15%，应用迁移 10%。这些比例来自原教学设计，尚不是已统计的学生成绩。

同一量规适用于三个层级：原始记录可追溯、计算可复核、控制变量合理、解释与数据一致、局限说明具体。对基础任务，重点看学生能否独立找到最大功率点并排除单位错误；对探究任务，重点看是否设置有效对照和复测；对应用任务，重点看方案是否回应真实负载需求以及是否识别工况差异。评价者可按 0~3 级描述每项表现，并保存匿名化作品用于后续比较。

4.2. 基于案例的反馈设计

现有实验数据可支持三类典型反馈。第一类是概念反馈：把短路电流等同于最大功率输出时，要求学生在 P-U 曲线上标注两种状态。第二类是方法反馈：手动与自动结果不一致时，追问照度、温度、扫描方向和取点密度是否一致。第三类是论证反馈：把 8.95%的案例效率直接写成器件标称效率时，要求补充入射功率定义和测量条件。教师据此将错误转化为下一次补测或报告修订任务，而不只提供正确答案。

4.3. 实施边界与后续检验

康海燕等的递进实验体现了内容由浅入深的组织方式[4]，本方案进一步把每一级的学生决策和评价证据写明。受课堂设备、实验学时和先修知识限制，不宜在一次 20 min 展示中完成基础测量、三种变量探究和应用设计；应分为课前诊断、完整实验课与课后拓展。自动采集、参数拟合及应用设计可按条件选择，但共同基础测量和原始记录不能省略。

本文的主要限制是尚无系统课堂实施证据。现有教学材料和实验报告可证明方案有可用的任务与数据案例，不能证明其优于原有教学。后续应在实施前固定评价指标，收集学生预测图、实验方案、原始记录、讨论文本与应用作品；由两名教师独立评分并检验一致性，再结合前后测或平行班比较，分析概念理解、实验设计和证据评价是否发生变化。

5. 结语

本文借鉴太阳能电池实验研究中“特性测量－应用设计”的路径和综合实验教学中“基础－变量－拓展”的递进方式，形成“问题提出－方案设计－测量分析－应用迁移”的教学框架。原有实验报告中的曲线、参数及采集差异被转化为课堂可讨论、可复测、可评价的证据案例。该框架的教学价值在于明确学生应作出的决定和应提交的学习证据；实际学习成效仍需通过规范的课堂研究检验。

参考文献

[1] 李仕琪, 殷红飞. 基于科学史与应用导向双驱动的光电效应教学改革探索[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 1492-1500.

[2] 陆世杰. 太阳能电池特性的实验研究与应用[J]. 大学物理实验, 2022, 35(1): 69-73.

[3] 姜琳. 太阳能电池基本特性测定实验——一个与能源利用有关的综合设计性实验[J]. 大学物理, 2005, 24(6): 52-55.

[4] 康海燕, 冯晓丽. 基于科研思维与创新能力培养的太阳能电池实验教学设计[J]. 大学物理实验, 2022, 35(5): 136-140.

[5] 肖文波, 颜超, 张华明, 等. 拓展太阳能光伏电池特性综合实验的教学探索[J]. 大学物理, 2016, 35(10): 39-41.

[6] 王玉清, 任新成. 光照强度对太阳能电池特性影响的实验研究[J]. 大学物理, 2017, 36(3): 32-35.

[7] 陈勤妙, 倪一, 吕昭月. 太阳能电池实验中光电转换效率的评估[J]. 物理与工程, 2025, 35(5): 264-271.

[8] 高惠平, 田建军, 张振龙, 等. 太阳能光伏发电综合设计性实验教学探索[J]. 实验科学与技术, 2015, 13(1): 100-102.

[9] 魏宇星, 张健男, 刘平洋, 等. 太阳能电池特性的自动测量[J]. 物理与工程, 2011, 21(6): 25-28.

[10] 杨诗晨, 刘灿, 徐铁钢. 太阳能电池特性的研究——一项有意义的创新研究实验[J]. 物理与工程, 2014, 24(2): 69-72.

[11] 周小岩, 张亚萍, 马红章, 等. 以创新能力培养为导向的太阳能电池精品实验项目建设[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(11): 22-24.

[12] 陈泽文, 田海兴, 杨骞, 等. 光伏电池输出性能转换的实验研究[J]. 大学物理, 2025, 44(5): 15-20+25.