

太阳能热水器能效等级检验中的数据收集误差分析

唐艺航

玉溪市检验检测认证院 云南玉溪 653100

摘要：本文旨在分析太阳能热水器能效等级检验中数据采集误差的来源及影响。通过对某企业太阳能热水器产品进行实际能效等级检验案例研究，采用专业的检测设备和规范的检测流程进行数据采集。结果表明，环境因素、设备精度以及操作方法等均会对数据采集产生误差，其中环境因素导致的误差可使集热效率数据偏差约3%~5%，设备精度引起的误差在水温测量上可达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。结论是在太阳能热水器能效等级检验中，需充分考虑各种误差来源，采取有效措施减小误差，以确保检验结果的准确性和可靠性。

关键词：太阳能；热水器；能效等级；检验；数据采集

引言

随着能源问题的日益突出，太阳能作为一种清洁、可再生资源，在热水器领域得到了广泛应用。太阳能热水器的能效等级不仅关系到产品的节能性能，也影响着消费者的使用成本和环保效益。准确的能效等级检验对于规范市场、引导消费者购买节能产品具有重要意义。然而，在实际的能效等级检验过程中，数据采集误差是一个不可忽视的问题。数据采集误差可能导致能效等级判定不准确，从而影响市场的公平竞争和消费者的利益。因此，对太阳能热水器能效等级检验中的数据采集误差进行分析具有重要的现实意义。

一、案例概况

1.1 企业概况

本次案例研究选取了一家具有一定规模的太阳能热水器生产企业——XX太阳能科技有限公司。该企业专注于太阳能热水器的研发、生产和销售。公司拥有先进的生产设备和专业的研发团队，产品涵盖了多种类型和规格的太阳能热水器，在市场上具有较高的知名度。

1.2 产品概况

本次检验的太阳能热水器型号为Q-B-J-1-220/3.75/0.05，水箱容量为220升，采用全玻璃真空太阳集热管集热技术。该产品是企业的主打产品之一，具有较好的市场销量。其设计的日有用得热量目标值为 $7.8\text{MJ}/\text{m}^2$ ，热损系数目标值为 $12\text{W}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ 。

二、太阳能热水器能效等级检验方法

2.1 检验依据

本次能效等级检验严格依据国家标准《太阳能热水

系统能效限定值及能效等级》(GB26969-2011)执行，确保测试过程的规范性与结果的可比性。该标准从多个维度构建了能效评价体系，首先明确了太阳能热水系统的能效等级划分，共设五个等级，其中一级能效最高，五级为市场准入门槛，等级越高代表系统能量利用效率越优。其次，在技术要求方面，标准对集热效率、平均热损系数等关键参数设定了明确限值，尤其针对不同气候区的使用条件提出了差异化指标，增强了适用性。在试验方法上，标准规定了统一的测试环境条件，包括太阳辐照总量不低于 $17\text{MJ}/\text{m}^2$ 、环境温度变化范围控制在合理区间等，以保证测试工况的可比性。同时，要求采用经过校准的测量设备，对水温、流量、辐照强度等参数进行定时采集，确保数据真实可靠。

2.2 检验设备（如下表1）

表1 检验设备

设备名称	型号	精度
温度传感器	PT100	$\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
流量传感器	LWGY-15	$\pm 0.5\%$
辐照计	TBQ-2	$\pm 3\%$

2.3 检验流程

将太阳能热水器规范安装于符合国家标准的试验平台上，确保集热器准确朝向正南方向，倾角设定为与试验所在地纬度一致，通常为 23° 至 35° 之间，以最大限度接收太阳辐射。安装过程中需调整支架水平度，避免因倾斜导致集热面受光不均，影响后续数据可比性。水箱补水操作须采用高纯度去离子水，防止水垢生成干扰传热性能，补水至水位线标记处，确保有效容积为

220L, 误差控制在 $\pm 1\%$ 以内。试验启动前, 提前2小时开启环境监测系统, 持续记录初始水温、环境空气温度、风速、相对湿度及太阳法向辐照强度, 确保各项参数趋于稳定。数据采集系统需预先校准, 各传感器归零调试, 消除系统性偏差。试验正式开始后, 每5分钟通过自动化采集模块同步记录水箱进出口水温、瞬时流量、集热器表面辐照强度、环境温湿度等关键参数。水温测量点设置于进出水管对称位置, 避免局部温度失真; 流量传感器安装于水平管段, 防止气泡积聚影响读数; 辐照计置于集热器平面附近, 实时监测有效入射辐射。数据记录采用数字存储方式, 避免人工抄录引入偶然误差。试验周期覆盖完整日照时段8小时, 通常为9:00至17:00, 确保累计日照时间不少于8小时, 且辐照总量达到 16 MJ/m^2 以上, 满足GB 26969-2011对试验有效性的要求。试验结束后, 剔除异常波动数据点, 采用算术平均法处理每小时数据, 结合能量平衡方程计算日均集热效率和夜间热损系数。集热效率计算中引入时间加权辐照修正因子, 降低瞬时波动影响; 热损系数通过夜间稳态冷却曲线拟合得出, 排除白天残余热量干扰。最终依据标准规定的能效等级划分阈值, 综合评定该型号产品的能效等级, 确保检验结果科学、可重复、具备工程应用价值。

三、数据采集误差分析

3.1 环境因素导致的误差

3.1.1 辐照强度波动

在实际检验过程中, 辐照强度会受到天气、时间等因素的影响而发生波动。例如, 在某一天的检验中, 上午9点至10点, 辐照强度从 800 W/m^2 波动到 900 W/m^2 , 波动幅度达到12.5%。这种辐照强度的波动会导致集热效率计算结果产生误差。根据计算, 辐照强度波动10%, 集热效率数据偏差约3%。

3.1.2 环境温度变化

环境温度的变化也会对数据采集产生影响。在检验过程中, 环境温度在一天内可能会有较大的变化。例如, 某一天的环境温度从早上的 20°C 上升到下午的 30°C 。环境温度的变化会影响水箱的散热情况, 从而影响热损系数的计算。经分析, 环境温度每变化 5°C , 热损系数计算结果偏差约 $0.1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

3.2 设备精度导致的误差

3.2.1 温度传感器误差

温度传感器的精度直接影响水温数据的准确性。虽

然本次使用的温度传感器精度为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$, 但在实际使用过程中, 由于传感器的老化、安装位置等因素, 可能会导致测量误差增大。例如, 在一次检验中, 对同一水温进行多次测量, 测量结果的最大偏差达到了 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。水温测量误差会对集热效率和热损系数的计算产生影响, 水温测量误差每增加 0.5°C , 集热效率计算结果偏差约1%。

3.2.2 流量传感器误差

流量传感器的精度也会影响数据采集的准确性。本次使用的流量传感器精度为 $\pm 0.5\%$, 但在实际测量过程中, 由于水流的不稳定、管道的堵塞等因素, 可能会导致测量误差增大。例如, 在某一次测量中, 流量传感器的测量误差达到了 $\pm 1\%$ 。流量测量误差会对集热效率的计算产生影响, 流量测量误差每增加1%, 集热效率计算结果偏差约0.5%。

3.3 操作方法导致的误差

3.3.1 数据记录时间误差

在数据采集过程中, 数据记录时间的准确性非常重要。如果数据记录时间不准确, 会导致计算结果产生误差。例如, 在某一次检验中, 由于操作人员的疏忽, 数据记录时间提前了5分钟, 导致集热效率计算结果偏差约2%。

3.3.2 水箱补水误差

水箱补水的准确性也会影响数据采集的准确性。如果水箱补水过多或过少, 会导致水箱水位和水温发生变化, 从而影响集热效率和热损系数的计算。例如, 在某一次检验中, 水箱补水比规定水位少了5厘米, 导致集热效率计算结果偏差约1.5%。

四、减小数据采集误差的措施

4.1 优化环境条件

太阳能热水器能效检验对环境条件具有高度敏感性, 因此必须严格控制外部干扰因素。首先, 太阳辐照度的稳定性是影响集热性能测试准确性的关键。测试应优先安排在日出后2小时至日落前2小时之间, 避开清晨和傍晚辐照波动较大的时段, 且连续30分钟内辐照强度变化应控制在 $\pm 10 \text{ W/m}^2$ 以内。其次, 为应对瞬时云层遮挡或阳光直射角度变化, 可在采光面加装可调式遮阳罩, 通过物理遮挡减少瞬时光照突变对传感器读数的冲击。此外, 环境温度波动同样不可忽视, 尤其是在昼夜温差较大的地区。应在试验平台四周搭建轻型保温围挡, 采用聚苯乙烯泡沫板或反射隔热膜材料, 有效阻

隔风力扰动与地面热辐射，使测试区域环境温度变化幅度控制在 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 以内。同时，风速应实时监测，当风速超过 3m/s 时应暂停测试，防止强制对流增强导致热损系数虚高。

4.2 提高设备精度

检测设备的测量精度直接决定最终数据的可信度。除定期送检和校准外，应建立设备使用档案，记录每次校准时间、误差修正系数及使用频次，实现全周期溯源管理。对于关键参数测量，如水温与流量，建议采用冗余测量策略。水温测量时，在进出水口各布置两支经标定的 PT100 铂电阻传感器，分别位于管道中心与侧壁，取四点平均值作为最终读数，以消除温度分层带来的偏差。流量测量则宜选用带信号滤波功能的电磁流量计，并在管道前段加装稳流装置，减少湍流对读数的影响。数据采集系统应具备高采样频率（不低于 1Hz ）与时间同步功能，确保各参数在相同时间戳下匹配，避免因采样不同步导致的计算误差。对于长期运行的检测平台，建议每季度进行一次系统级联调测试，验证整套设备的协同精度。

4.3 规范操作方法

人为操作是误差引入的重要环节，必须通过制度化流程加以控制。操作人员需经过专项培训并考核上岗，培训内容涵盖设备原理、标准流程、应急处理及误差识别等模块，确保其具备独立判断能力。每次测试前应执行标准化预检清单，包括水箱初始水位确认、传感器状态检查、系统排气等步骤，杜绝因准备不足导致的数据失真。数据记录必须采用自动化采集系统，辅以人工复核机制，避免手动抄录错误。记录时间应以 GPS 授时的电子时钟为基准，确保所有测量节点时间误差小于 1 秒。补水操作应使用带刻度标记的自动补水阀或定量泵，设定固定水位限位开关，防止人为估量造成的偏差。测试过程中实行双人复核制，一人操作、一人监督，关键点如开始计时、切换工况等需双方确认并签字留档，全面提升操作过程的可追溯性与规范性。

五、结果与讨论

5.1 检验结果

通过对 Q-B-J-1-220/3.75/0.05 太阳能热水器进行能效等级检验，在考虑误差因素之前，计算得到的日有用得热量目标值为 $8.0\text{MJ}/\text{m}^2$ ，热损系数目标值为 $11\text{W}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ ，集热效率为 53% ，热损系数为 $2.2\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，根据标准判定为三级能效。在对数据采集误差进行修正

后，集热效率为 55% ，热损系数为 $2.0\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，判定为二级能效。Q-B-J-1-220/3.75/0.05，水箱容量为 220 升，采用全玻璃真空太阳集热管集热技术。该产品是企业的主打产品之一，具有较好的市场销量。其设计的日有用得热量目标值为 $7.8\text{MJ}/\text{m}^2$ ，热损系数目标值为 $12\text{W}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ 。

5.2 误差影响分析

从检验结果可以看出，数据采集误差对能效等级判定产生了较大的影响。环境因素、设备精度和操作方法等误差因素综合作用，导致集热效率和热损系数的计算结果产生偏差，从而影响了能效等级的判定。因此，在太阳能热水器能效等级检验中，必须充分考虑数据采集误差的影响，采取有效措施减小误差。

5.3 改进建议

为提升太阳能热水器能效等级检验的准确性，首先应在标准层面进行细化与升级。现行检验标准虽规定了基本测试流程，但对实际测试中易出现的动态环境波动缺乏量化指导，建议补充针对不同气候区域的测试修正系数，例如在多云或风速变化较大的地区增设环境补偿参数。同时，应明确各类误差的允许范围，如温度传感器精度不得低于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ，流量计误差控制在 $\pm 1\%$ 以内，并制定统一的数据修正算法，确保不同实验室之间的结果具备可比性。其次，在检验方法上，应推广多点同步采样与动态数据补偿技术，避免单一时刻读数带来的偶然性偏差。可引入时间加权平均法处理温度与辐照度数据，提升整体计算的稳定性。此外，应推动自动化数据采集系统的应用，减少人工记录引入的时序偏差与抄录错误，实现数据实时上传与不可篡改，增强检验过程的透明度与可信度。在监管层面，需建立第三方监督机制，定期对检测机构开展盲样考核与能力验证，对出具虚假报告或操作不规范的机构实施黑名单制度。同时，加强对生产企业自检行为的审查，防止为迎合高能级评级而人为优化测试条件。鼓励检测机构公开关键测试数据，接受行业与公众监督，提升检验公信力。最后，从技术源头提升产品性能，建议设立专项科研基金，支持新型吸热涂层、真空管结构优化及智能温控系统等核心技术攻关。推动企业与高校、科研院所联合建立节能技术实验室，加快高效集热、低热损材料的成果转化。通过政策引导，对研发高能级产品的厂商给予税收优惠或补贴，激励技术创新。唯有从标准制定、检测执行、监管落实到技术进步多维度协同推进，方能系统性降低数据采集

误差，确保能效等级评定真实反映产品性能，促进行业健康可持续发展。

结论

本文通过对XX太阳能科技有限公司的规格型号为Q-B-J-1-220/3.75/0.05的太阳能热水器进行能效等级检验案例研究，分析了太阳能热水器能效等级检验中数据采集误差的来源及影响。研究表明，环境因素、设备精度和操作方法等均会对数据采集产生误差，这些误差会影响能效等级的判定。为了确保能效等级检验结果的准确性和可靠性，需要优化环境条件、提高设备精度、规范操作方法等。还需要进一步完善检验标准和办法，加强对检测机构和企业的监管。通过这些措施，可以有效减小数据采集误差，提高太阳能热水器能效等级

检验的质量。

参考文献

- [1] 赵星凯. 太阳能-电能驱动的热泵系统过热度的控制策略研究[D]. 山东建筑大学, 2023.
- [2] 陈怡然, 李进喜, 陈思洁, 等. 新能源环境下的太阳辐射预测系统[J]. 计算机仿真, 2023, 40(5): 140-144.
- [3] 凌德力, 韩雷涛, 沈斌, 等. 全玻璃真空管型太阳能热水器在嘉兴地区节能量与减排量分析[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2024, 44(4): 6-9.
- [4] 邓雅静. 太阳能热水器禁用HCFC-141b正式提上日程, 热水器行业加速低碳化[J]. 电器, 2023(1): 37-37.
- [5] 金建荣. 智能化太阳能空气能壁挂式热水器相关技术研究[J]. 企业科技与发展, 2023(6): 36-38.