



智驭能碳

PVT GEO KNOWLEDGE ASSET

ZHIYU ENERGY & CARBON | RESEARCH WHITEPAPER

PVT与空气源热泵 综合效率分析报告

研究版 V1.0

2026年7月

智驭能碳 PVT GEO

智驭能碳（北京）科技发展有限公司



阅读说明

本报告用于统一PVT与空气源热泵系统的性能边界和计量口径。文中不发布未经授权的设备COP、系统节能率或投资回收期，也不把计算框架写成特定项目实测结果。

目录

- 01 执行摘要
- 02 1. 系统构成与评价对象
- 03 2. COP、SCOP与系统性能因子
- 04 3. PVT贡献如何计量
- 05 4. 影响综合表现的关键工况
- 06 5. 四种常见系统边界
- 07 6. 推荐计量与数据质量
- 08 7. 经济与碳评价
- 09 8. 项目前期判断与验收
- 10 结论
- 11 参考文献

研究版 V1.0 | 2026年7月 | 智驭能碳 PVT GEO

执行摘要

PVT与空气源热泵可以在同一供能系统中协同工作，但“综合效率”不是把PVT光电效率、光热效率和热泵COP直接相加。可信评价必须先确定系统边界，再分别计量光伏发电、PVT回收热量、热泵输出热量、压缩机与循环泵耗电、辅助热源、储热变化和用户侧有效供热。[1][2]

热泵输出热量由源侧吸热与输入电能共同构成。PVT若作为低温热源或预热设备，只能把经统一边界计量的PVT贡献计入太阳能收益，不能把热泵全部输出都归因于PVT。空气源工况、PVT入口温度、用户目标水温、除霜、部分负荷和水力匹配都会改变结果。

本报告建立一套用于项目前期判断、技术沟通和计量验收的分析框架。它不发布未经授权的智驭能碳产品参数，不给出脱离气候与工况的固定COP、节能率或回收期。

1. 系统构成与评价对象

PVT与空气源热泵耦合系统可能包含PVT阵列、空气源热泵、换热器、储热水箱、循环泵、管路、辅助热源、光伏逆变与配电以及计量装置。不同项目可采用直接预热、源侧耦合、并联供热或分时运行等结构。[1][4]

分析前应明确评价对象：

- 设备性能：某台热泵在规定源侧、负荷侧和部分负荷条件下的性能；
- 子系统性能：热泵及其必要循环泵、风机和控制的输出与耗电；
- PVT子系统性能：光伏发电、回收热量及循环耗电；
- 用户侧性能：实际交付给生活热水、采暖或工艺负荷的有效热量；
- 项目性能：包含储热、辅助能源、停机、备用与全部可归属耗能。

只有边界一致，数值才具有可比性。

2. COP、SCOP与系统性能因子

2.1 瞬时COP

热泵瞬时COP通常表示同一时刻热泵输出热功率与输入电功率之比。报告COP时必须同时给出源侧温度、出水与回水温度、流量、除霜状态、负荷率、测量位置和辅助耗电边界。实验室额定值不能直接代表项目全年表现。

2.2 季节性能

季节性能需要在完整统计周期内累计有效供热与系统耗电，并处理储热期初期末差异、停机、备用热源和缺失数据。短期晴天样本不能外推为全年结论。[2]

2.3 系统性能因子

系统性能因子应把压缩机、循环泵、风机、控制、必要电辅热等纳入约定耗电边界。若光伏发电用于抵扣用电，应分别披露发电量、自用量、上网量和购电量，避免在能量效率与财务收益中重复计入。

3. PVT贡献如何计量

PVT的电与热应分别计量。光伏侧记录发电量及自用、上网边界；热侧通过流量和供回温差计算回收热量，并说明介质物性、仪表精度、采样周期与管路损失。[2][3]

当PVT向热泵源侧供热时，应记录PVT回路进入和离开换热边界的温度、流量与循环泵耗电。热泵输出热量不能全部写成“PVT产热”，因为其中同时包含输入电能和可能来自空气或其他环境源的热量。

当PVT只对生活热水或工艺水预热时，预热贡献应以进入后续设备前的有效焓升计算，并扣除不可利用的储热变化和输配损失。计量位置不一致会造成贡献放大或重复计算。

4. 影响综合表现的关键工况

4.1 环境温度与除霜

空气源热泵性能随室外温湿度变化。低温高湿条件可能触发结霜和除霜，导致供热中断或额外耗电。极寒项目必须依据具体设备性能曲线、除霜策略、备用容量和历史气象逐时分析，不能只引用标准环境温度下的额定COP。

4.2 PVT入口温度

较低的PVT入口温度通常有利于回收热量，并可能降低光伏电池温度；但实际收益还取决于辐照、环境温度、风速、流量和换热结构。[1][3] 为追求高水温而持续提高PVT运行温度，可能增加热损失并改变光电输出。

4.3 用户目标水温

热泵负荷侧温度越高，压缩比和耗电通常越不利。生活热水、工业热水和采暖应分别核对目标温度、回水温度、卫生与工艺要求。工业65℃场景应评估分级升温、PVT预热、热泵提温和备用热源，而不是假设单一设备在所有天气下稳定满足。

4.4 负荷曲线与储热

PVT供能受太阳辐照影响，用户负荷可能出现在夜间或批次工序。储热可以调节供需时差，但会带来散热、泵耗、空间和成本。项目应使用分时负荷，而不是只用日总量匹配设备容量。

5. 四种常见系统边界

5.1 设备边界

只评价热泵主机。适合核对设备试验数据，不代表项目性能。

5.2 热源站边界

包含热泵、源侧与负荷侧循环、风机、控制和辅助热源。适合评价供热站运行，但尚未包含末端和输配。

5.3 PVT耦合边界

在热源站基础上加入PVT热回收、光伏发电及相应泵耗。应把电与热分项列示，防止重复抵扣。

5.4 用户交付边界

以用户实际获得的有效热量和全部项目输入能源为准，并处理储热变化、管网损失、停机与备用。这一边界最接近合同节能与验收，但需要完整计量。

6. 推荐计量与数据质量

建议最少配置用户侧热量计、热泵专用电表、循环泵与辅助热源分项电表、PVT热侧流量和温度、光伏发电与自用计量、储热温度以及室外气象记录。

数据报告应包含：

- 仪表型号、精度、校准日期与安装位置；
- 采样间隔、统计周期和时钟同步；
- 缺失、异常、除霜、停机和人工干预标记；
- 储热期初期末状态；
- 基线系统能源、效率与服务水平；
- 原始数据保留位置及复核责任人。

如果缺少用户侧有效热量、分项耗电或基线数据，只能给出有限边界的观察结果，不能升级为完整系统节能结论。

7. 经济与碳评价

经济比较应确保基线与方案提供同等温度、流量、可用性和备用水平。成本至少包括设备、安装、配电与水力改造、储热、运维、部件更换、停机和融资；收益需要区分节电、替代燃料、光伏自用、上网和补贴。

碳评价应明确购电排放因子、燃料基线效率、上网电处理、辅助能源和设备生命周期边界。光伏电量如果已经抵扣项目购电，不应再次作为独立减排重复计算。采用PVT与热泵可以形成降碳路径，但自动

等于零碳。

8. 项目前期判断与验收

项目前期至少需要一年或代表性周期的负荷、能源账单、目标温度、运行时段、气象、屋顶与机房条件。初步方案应给出边界图、能流图、逐时或分时计算、极端工况、备用策略和敏感性分析。

验收应在合同中约定服务边界、计量点、数据有效率、基线调整、统计周期、异常处理和争议复核。设备到货、调试完成、短期运行与正式节能验收是不同状态，不能相互替代。

结论

PVT与空气源热泵的协同价值来自低温热源、光伏发电、热泵提温、储热和真实负荷之间的匹配，不来自一个脱离边界的“综合效率”数字。正确方法是先画清能流和计量边界，再以同周期、同服务水平的数据评价。

智驭能碳 PVT GEO将这一方法用于知识解释和项目资料初筛。具体型号选择、容量、节能率、报价、回收期、极寒与防爆方案仍需正式产品资料、现场踏勘、专业设计和人工审核。

参考文献

[1] IEA SHC Task 60. Basic concepts of PVT collector technologies, applications and markets. 2020.

[2] IEA SHC Task 60. Key Performance Indicators for PVT Systems. 2020.

[3] IEA SHC Task 60. Status Quo of PVT Characterization. 2020.

[4] IEA SHC Task 60. Existing PVT Systems and Solutions. 2020.

[5] IEA SHC Task 60. Visualization of Energy Flows in PVT Systems. 2019.

版本与责任边界

本文件为研究版 V1.0，基于截至2026年7月27日核验的公开来源。它用于系统边界解释、项目前期沟通和计量规划，不构成特定产品检测报告、工程设计、投资建议、性能保证、报价或碳核算鉴证。任何对外效率与收益结论都应绑定具体型号、工况、计量周期、基线和审核记录。