**Introduction**

岛屿能源系统，正深陷于一个由高昂成本、碳密集运营和极端气候脆弱性构成的“三重能源困境”之中。由于地理上的孤立，它们的电网无法与大陆互联，导致其能源系统高度依赖昂贵的进口化石燃料，不仅推高了全球范围内的最高电价，也使其经济命脉受制于国际油价的剧烈波动。与此同时，作为气候变化影响的最前沿，日益频繁和强烈的极端天气事件正持续冲击其本已脆弱的能源基础设施，暴露出在能源安全、可持续性与社会公平之间的深刻矛盾。

这一困境的根源在于一系列根深蒂固的结构性挑战。能源成本并非一个统一的全球参数，而是由本地化的地理、资源和经济条件所决定的复杂结果。在岛屿环境中，这一“成本差异性”被急剧放大：偏远的地理位置抬高了设备和燃料的运输成本；有限的土地与市场规模阻碍了规模经济的实现；而可再生能源资源的时空分布不均，往往与当地的能源需求（尤其是高纬度地区的冬季供暖）形成“季节性错配”，迫使系统不得不依赖更高成本的储能或化石燃料备用方案。这些因素共同作用，形成了一个自我强化的负反馈循环：“高成本”锁定“高碳排”，“高碳排”加剧“高脆弱性”。岛屿能源改造很重要 关注三个方面 能源三不可能 低碳廉价安全 在岛屿上尤为显著 差异化政策没人理清

为打破这一恶性循环，一个由多边开发银行、气候基金和技术伙伴构成的复杂而精巧的**岛屿能源融资架构**已然成型。这一架构的核心在于通过战略性地运用**混合融资（Blended Finance）来撬动私人资本，并辅之以部分信用担保、巨灾保险**等创新的风险缓释工具。其战略重心也正从为单个项目融资，向建立可扩展的**区域性投资平台**演进，旨在系统性地克服市场规模过小的障碍。然而，尽管金融工具日益丰富，整个融资流程依然被巨大的不确定性所困扰。由于缺乏对不同岛屿能源系统成本的系统性认知，在项目初期精确估算总投资额变得极为困难，导致整个流程**不透明**，增加了投资的感知风险。此外，气候风险虽被广泛提及，但其对基础设施成本的具体财务影响仍然是一个“黑箱”，这使得**巨灾保险**等金融工具的定价缺乏科学依据。这种**模糊性**严重阻碍了私人资本的进入，因为投资者无法清晰地评估项目的长期可行性与风险回报。

若无法系统性地评估不同地理和气候条件下最低成本的基础设施组合，总投资额的估算便只能依赖零散的案例，缺乏全球可比性；若无法将气候灾害的物理影响转化为具体的财务成本，巨灾保险等风险缓释工具的定价就缺少科学依据，难以获得市场认可。这种在基础成本和风险评估层面的不确定性，严重阻碍了私人资本的进入，并使得公共资金的分配缺乏最优化的战略指导。为了填补这一关键空白，并为现有融资架构提供其所缺失的科学基础，本研究开创性地构建了**一个全球岛屿能源系统成本评估框架**。通过这一前所未有的全球模拟，我们得以系统性地剖析和量化设施建设与运维成本的全球异质性，并揭示其背后的物理与经济驱动因素，从而为投资额估算难题提供了首个全球性的量化基准，并打开了气候风险影响的“黑箱”，为融资流程的透明化和风险定价的科学化提供了坚实的基础。

**本研究的核心贡献在于：**

1. **绘制了首幅全球岛屿能源的“成本热力图”**：我们的分析覆盖了全球1898个岛屿，通过对每个岛屿的地理、气候和经济特征进行精细分析，我们首次系统性地揭示了驱动各地系统成本差异的根本原因。这使得多边开发银行和气候基金能够从全球视角精准识别出成本压力最严峻、或对特定援助最敏感的区域。
2. **为气候风险“定价”：量化其对系统成本的冲击**：本研究将不同气候情景下的极端天气风险，转化为了对能源系统成本的具体财务冲击。通过分析未来高强度极端天气事件的潜在影响，我们精准量化了为抵御这些未来风险所需付出的额外系统成本——即“气候韧性成本”。这一成果为巨灾保险的风险定价和主权担保的风险评估提供了坚实的精算依据。
3. **创建了衡量能源成本负担公平性的全球标尺**：我们引入并全面测算了能源成本负担系数（ECBC）。通过对全球1898个岛屿的经济承载能力进行逐一评估，该创新指标首次在全球范围内将成本负担的巨大不公“可视化”，清晰地揭示了经济脆弱岛屿的负担可能是发达经济体的20倍以上。这为国际金融机构评估债务可持续性、决定提供赠款还是优惠贷款，提供了强有力的决策支持。

**Climate change exacerbates structural inequities in global island energy costs**

气候变化加剧了全球岛屿能源成本的结构性不公

很多岛屿的能源转型项目经济可行性较弱

**Result1 岛屿能源转型成本存在结构性差异 能源转型改造 ROI**

1.1 气候环境导致了成本的空间异质性 温度与成本点图 季节性错配和成本点图

1.2 供需的季节性错配导致了高纬度岛屿的高成本 不同温度或供需下 储能等依赖

1.3 地理上的孤立通过复杂的供应链显著增加了成本

**Result1 考虑气候与低碳一致性的岛屿能源转型项目的成本差异显著**

成本差异分类

1.1 现象

1.2 为什么

**Result2 量化未来气候风险的成本定价扩大了差异**

2.1 气候风险定价带来不平等的成本冲击

2.2 “台风走廊”的脆弱性

2.3 可再生能源转型过程中结构性的适应负担

**Result2 很多岛屿的经济可行性未达到**

**成本负担**

象限图

**Result3 相对成本负担揭示了绝对成本所掩盖的不公**

3.1经济不公平性与绝对成本呈现不同的格局

3.2 气候变化加深了脆弱国家的负担鸿沟

**Result3 引入气候与灾害韧性设计后岛屿能源转型项目的经济可行性差异进一步加剧**

象限图

**Result 4: 技术进步不足以弥合公平性的鸿沟**

4.1 技术进步带来普遍但有限的收益

4.2公平与技术存在一定程度的脱钩**Result4 技术进步一定程度上弥补贫穷岛屿能源转型项目的经济可行性**

很多岛屿的能源转型项目经济可行性较弱

**Result1 考虑气候与低碳一致性的岛屿能源转型项目的成本差异显著**

成本差异分类

1.1 现象

1.2 为什么

**Result2 很多岛屿的经济可行性未达到**

**成本负担**

象限图

**Result3 引入气候与灾害韧性设计后岛屿能源转型项目的经济可行性差异进一步加剧**

象限图

**Result4 技术进步一定程度上弥补贫穷岛屿能源转型项目的经济可行性**

结构性障碍导致全球多数岛屿能源转型不具经济可行性

Result1 Decarbonization pathways reveal large cost differentials

脱碳路径揭示显著成本差异

Result2 Economic viability remains out of reach for many islands

多数岛屿仍难以实现经济可行性

Result3 Resilience requirements exacerbate disparities in feasibility

韧性要求加剧可行性差距

Result4 Technological advances partially alleviate feasibility gaps

技术进步在一定程度上缓解可行性差距