



# 企业绿电采购决策工具技术说明文档

A TOOL FOR CORPORATE RENEWABLE ENERGY PROCUREMENT DECISION MAKING: TECHNICAL NOTE

张文佳 袁敏 马子昂

## 背景

### 1.1 工具开发目的

2020年9月，中国提出二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和（简称“双碳”目标）。“双碳”目标激活了企业对可再生能源的需求。2021年10月发布的《中共中央 国务院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》中明确提出“支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先实现碳达峰”。截至2022年6月，已经有数十家中国企业提出了碳达峰、碳中和相关的目标。加上已经制定了绿色电力（简称绿电）消费目标的跨国企业，中国企业绿电消费需求在近年来出现了大幅度增长。以浙江省为例，2022年以来的绿电总成交量已经达到12亿度，相比2021年同期增长200%以上。需求最大的一家企业已经购买了3亿度绿电（张文佳和袁敏 2022），相当于17万户三口之家的年用电量<sup>1</sup>。

企业是实现低碳转型的关键主体，进一步推动企业用户主动消费绿电，不仅有助于可再生能源的消纳，加速电力部门低碳化的进程，更是实现工业、交通、建筑等终端用能部门碳减排、碳中和的重要方式之一。

在电力供给端，中国可再生能源产业经过多年的发展，风电和光伏装机容量和发电量均常年位居全球首位。截至2021年底，中国风电装机容量为329吉瓦，是第二名美国的2.5倍，光伏装机容量为306吉瓦，是第二名美国的4倍（The International Renewable Energy Agency 2019）。在电力消费端，随着近两年市场化交易机

## 目录

背景 .....	1
方法 .....	2
工具说明 .....	5
工具局限性 .....	5
附录 .....	6
注释 .....	7
参考文献 .....	8

“技术论文”阐述出版物、交互式应用程序和工具的研究或分析方法。

**引用建议：**张文佳、袁敏、马子昂. 企业绿电采购决策工具技术说明文档. 2023. 技术论文, 北京: 世界资源研究所. <https://doi.org/10.46830/writn.21.00160>

制的逐步理顺，更多企业有了采购绿电的意愿和需求,但是企业用户大规模消费可再生能源依然面临诸多难点。

首先，对于不少企业用户而言，绿电采购目前仍是一种相对陌生的能源采购模式。由于对绿电价格“缺乏直观了解，许多企业用户消费绿电受到制约。其次，在过去很长一段时间里，大部分企业用户很难通过市场化的途径采购到官方核发的绿色电力证书（简称绿证），即环境属性明晰的绿电<sup>3</sup>。2021年的可再生能源市场化交易试点开展以前，即使企业能够通过市场化途径采购到绿电，其环境属性也缺少官方机构的认证。最后，风电、光伏等可再生能源大多分布于远离用电负荷中心的西部地区，供给与需求的不匹配导致了制造业、服务业聚集的长三角、珠三角等东部发达地区的风、光可再生能源溢价高于全国平均水平，提高了当地企业的能源成本。

在上述情况下，为帮助企业现有电力市场政策框架下设计可行的绿电消费路径，高效、有序实现绿电采购，世界资源研究所开发了“企业绿电采购决策工具”（简称工具），第一版的形式为网页版。第二版将在保留第一版核心功能的基础上进一步优化用户体验，集成更多交互、数据索引等功能，并计划发布于国家电网公司“绿色国网”APP端，有助于更多企业用户使用，同时也期望在企业的支持下在APP端保持长期运营和数据更新。

## 1.2 使用对象

电力市场规则、可再生能源政策、企业用户需求在不同国家存在较大的差异，单一工具无法涵盖多个国家的电力市场。目前版本的工具所采用的计算方法与分析框架仅适用于中国大陆地区（不含香港澳门）的电力市场。因此，本工具的使用对象为有可再生能源消费需求的，坐落于中国大陆地区的企业或机构。

## 方法

工具根据用户的基本信息及现有电力市场政策框架下可行的绿电消费路径（部分省份市场化绿电交易、绿证采购、开发分布式光伏项目等方式），分析并比较实现一定比例可再生能源目标的不同选项，及其经济性、减排效益，为企业绿电采购提供决策参考<sup>4</sup>。

具体而言，用户输入企业所在地、年用电量、用电成本、可再生能源目标等基本信息后，工具调取数据库中所在地电网代购价格、电网排放因子、分布式光伏信息后，计算并得出不同模式下的经济成本与环境效益（见图1）。

图 1 | 工具运行逻辑

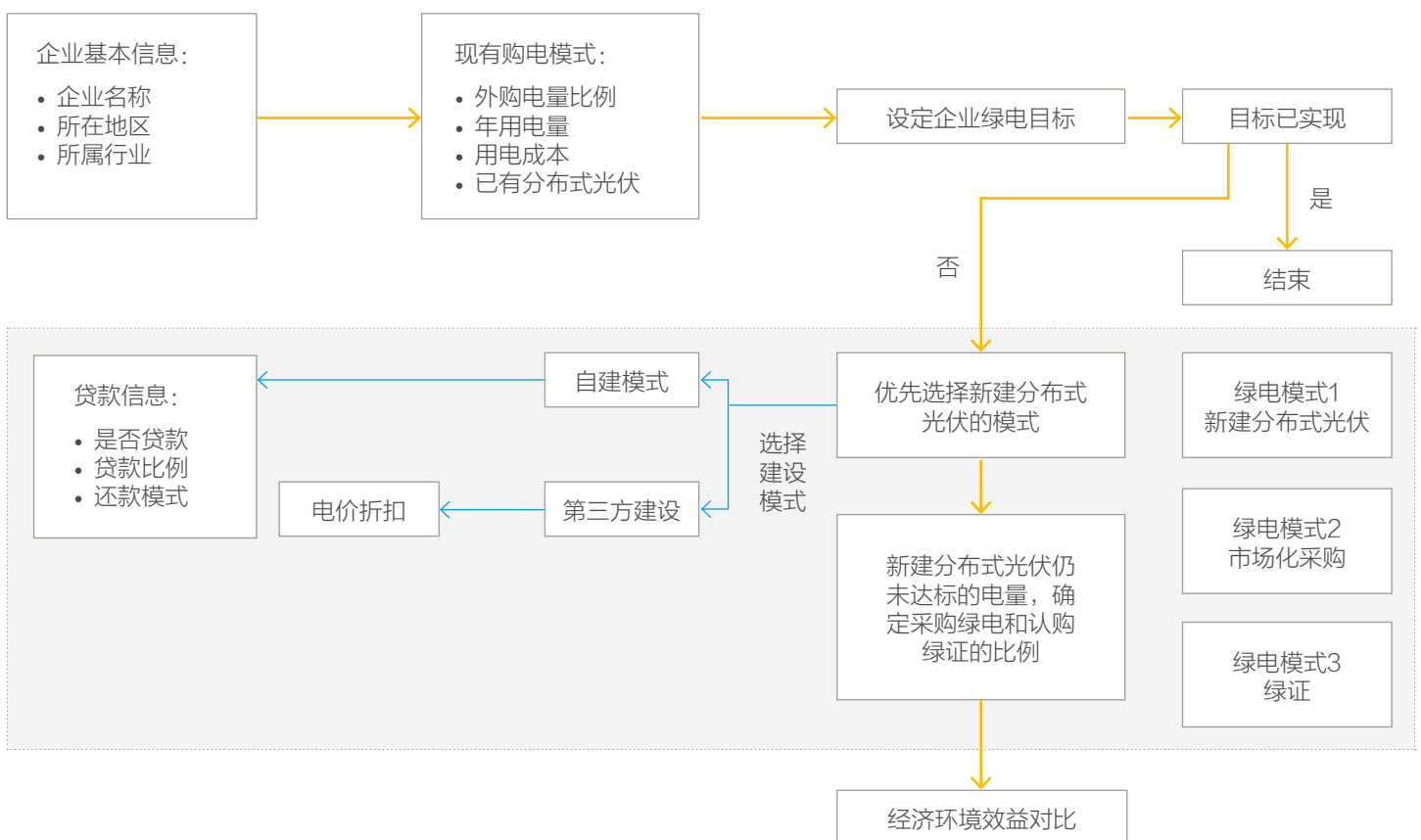


表 1 | 工具各板块详细介绍

	输入信息	数据库	输出信息
企业基本信息	<ul style="list-style-type: none"> <li>企业名称</li> <li>所在地区</li> <li>所属行业</li> <li>用电信息</li> <li>年用电量</li> <li>用电成本</li> </ul>	所在地电力价格 <sup>5</sup> 与排放因子 <sup>6</sup> <ul style="list-style-type: none"> <li>电网代购价格（网上国网 APP、南网在线 APP）</li> <li>省级电网排放因子</li> </ul>	
现有购电模式	<ul style="list-style-type: none"> <li>现有购电模式、比例、电费账单价格</li> <li>用电峰谷平占比</li> </ul>		
企业绿电目标	<ul style="list-style-type: none"> <li>年用电量中绿电占比</li> </ul>		
绿电模式 1 分布式光伏 <sup>7</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>已有分布式光伏</li> <li>是否新建分布式光伏<sup>8</sup></li> <li>可用于安装光伏的面积</li> <li>模式选择（企业自投、第三方投资）</li> <li>是否贷款、贷款比例、还款方式</li> </ul>	分布式光伏测算： <ul style="list-style-type: none"> <li>省级年有效利用小时数（国家能源局 2021）</li> <li>单位装机成本（王世江等 2022）</li> </ul>	年发电量、享受优惠后的电费成本
绿电模式 2 市场化采购	<ul style="list-style-type: none"> <li>绿电占市场化交易电量比例</li> </ul>	市场化交易的价格信息： <ul style="list-style-type: none"> <li>根据 2021 年 9 月绿电市场化交易试点，以及其他公开信息，给出 0.03 ~ 0.07 元的溢价区间<sup>9</sup></li> </ul>	绿电市场化采购成本
绿电模式 3 购买绿证	<ul style="list-style-type: none"> <li>绿证占绿电消费的比例</li> </ul>	绿证价格信息（国家可再生能源信息管理中心）： <ul style="list-style-type: none"> <li>平价绿证：风电和光伏的平价绿证均为 50 元/张<sup>10</sup></li> </ul>	绿证成本
经济环境效益对比			现有购电模式的排放量、用电成本 三种绿电模式的总体排放量、用电成本

## 2.1 板块介绍

工具各板块详细介绍见表 1。

## 2.2 计算方法

### 2.2.1. 现有购电模式

根据峰谷平尖比例及所在省份、用电类型、用电规模、能耗情况，计算用电成本、碳排放量。

- 电网用电量<sup>11</sup>=年用电量×外购电量比例（千瓦）
- 高峰总价=（高峰电价+惩罚电价）×电网用电量×高峰比例（元）
- 低谷总价=（低谷电价+惩罚电价）×电网用电量×低谷比例（元）

- 平段总价=（平段电价+惩罚电价）×电网用电量×平段比例（元）
- 尖峰总价=（尖峰电价+惩罚电价）×电网用电量×尖峰比例（元）
- 如果企业为高耗能企业，执行当地惩罚性电价核算，如果企业为非高耗能企业，惩罚性电价为 0。
- 现有购电模式下用电行为的碳足迹=省级电网二氧化碳排放系数<sup>12</sup>×（年用电量-已有分布式电量<sup>13</sup>）（吨/年）
- 绿电模式下用电行为的碳足迹=省级电网二氧化碳排放系数×（年用电量-已有分布式电量-新增分布式电量-购买绿证的电量-市场化交易绿电量）（吨/年）

## 2.2.2 绿电模式——分布式光伏

分布式光伏估算模型未考虑任何融资阶段的优惠政策<sup>14</sup>，且估算的结果仅取决于用户输入的厂房所在省份、安装面积等因素，企业可以选择两种模式之一进行开发<sup>15</sup>：

1. 第三方投资模式：电站由第三方投资，企业享有碳减排及电价优惠，电价优惠折扣为企业与第三方企业协商后填写<sup>16</sup>。

2. 企业自投模式：电站由企业自投自建，项目建成后自发自用<sup>17</sup>。企业可以选择全额自投，或向银行贷款，选择贷款模式后，输入贷款比例、还款模式等信息，计算得出分布式光伏的投资回报率、投资回收期。

- 装机容量<sup>18</sup>=安装面积×1/10（千瓦）
- 年发电量<sup>19</sup>=装机容量×省级年有效利用小时数×组件功率系数<sup>20</sup>（千瓦）
- 总投资=装机容量×分布式光伏初始投资单位成本<sup>21</sup>（万元）
- 贷款总额=总投资×贷款比例（万元）
- 初始投资=总投资-贷款总额（万元）
- 年收益=年发电量×年电费/年用电量（元）
- 月还款额=还贷计算工具（先息后本还款额/等额本息还款额）（元）
- 年还款额=月还款额×12（元）
- 投资回报率=Interest Return Rate（IRR）计算工具<sup>22</sup>（25年投资回报率）（%）
- 投资回收期=（初始投资+年还款额×贷款年限）/年收益（年）

## 2.2.3 绿电模式——市场化采购

交易少、价格信息不透明等原因导致目前无法获得精准的绿电交易价格信息。因此，本工具中的市场化价格基于绿电交易试点公布的整体溢价水平确定：基于已有信息，广东、江苏的绿电价格较当地煤电基准价格上浮0.06~0.07元<sup>23</sup>，其余地区绿电价格上浮0.03~0.07元<sup>24</sup>。市场化最低（最高）交易价格分别对应上浮区间的下限（上限）。

- 最低市场化交易金额=需要绿证购买和市场化交易的绿电总量×市场化采购比例×最低市场化交易价格（元）
- 最高市场化交易金额=需要绿证购买和市场化交易的绿电总量×市场化采购比例×最高市场化交易价格（元）

## 2.2.4 绿电模式——购买绿证

目前企业可以直接购买的绿证包括但不限于国际绿证（I-REC）、绿证（GEC）。一方面，综合考虑成本、合规性、额外性等因素，国际绿证虽然价格有优势，但不限制补贴项目的参与，部分可再生能源项目选择“补贴+I-REC”的模式，同时获取国内可再生能源补贴和国际绿证交易收益。由于带补贴的发电项目的补贴已起到对可再生能源发展的促进作用，同时发放绿证实现环境溢价存在重复计算，因此，I-REC的环境属性一直存在争议。2023年1月1日起，补贴项目将不能申请签发I-REC<sup>25</sup>。另一方面，国内2017年开始核发的以替代补贴为目的的GEC价格偏高，往往是无补贴GEC的数倍，出于控制成本的考虑，企业一般不会大规模购买。

因此，本工具以水电水利规划设计总院核发的无补贴绿证的价格作为购买绿证的成本参考依据。中国绿色电力证书认购交易平台显示，1张无补贴绿证对应1兆瓦时的可再生能源电量，其价格保持在50元。

- 绿证和市场化交易的绿电总量=年度绿电目标总量-已有分布式电量-“新增分布式”电量（千瓦）
- 绿证需求量=绿证和市场化交易的绿电总量×绿证购买比例÷1000（张）
- 风电平价绿证成本=绿证需求量×绿证单价<sup>26</sup>（元）
- 光伏平价绿证成本=绿证需求量×绿证单价（元）
- 绿证购买费用=风电平价绿证成本+光伏平价绿证成本（元）

## 2.2.5 绿电模式——经济环境效益

所有通过电网获取的电量乘以所在省份的电网排放系数，即得到绿电模式下的碳排放量。

绿电模式的电力成本主要由以下部分组成：

1. 绿电目标之外的购电成本，根据用户填写的电费数据按比例折算。
2. 市场化采购绿电的成本，相比煤电基准价，存在0.03~0.07元/度的溢价<sup>27</sup>。
3. 如果用户选择采购绿证，对应的电量也需要额外支付0.05元/度的费用。
4. 新建分布式带来的成本与收益有两种情况：如果选择第三方开发模式，无前期投资，按一定折扣价格支付电费；如果企业自行开发，将获得发电量的收益，但如果有贷款的话还需要偿还贷款。

- 绿电模式碳排放=省级电网二氧化碳排放系数×(年用电量-已有分布式电量-新增分布式电量-购买绿证的电量-市场化交易绿电量)(吨/年)
- 新建分布式的净支出=新建分布式投资年还款总额-新建分布式发电量产生收益(业主开发模式)或新建分布式折扣电费(第三方开发模式)(元)
- 无市场化交易费用=年电费×(100%-年度可再生比例目标)+新建分布式的净支出+绿证购买费用(元)
- 绿电模式最低费用=无市场化交易费用+最低市场化交易金额(元)
- 绿电模式最高费用=无市场化交易费用+最高市场化交易金额(元)

## 工具说明

基于用户提供的年用电量、市场化采购绿电、光伏安装量以及设定的年度绿电目标(即分布式光伏、市场化采购绿电、绿证采购量之和占总用电量的比例,最高值为100%),本工具遵循以下逻辑帮助企业做出可再生能源决策:

1. 企业在用户界面填写现有用电模式的信息,包括年用电量、用电成本、已有分布式光伏等信息,并设定一个绿电目标。
2. 企业现有用电模式能否满足企业设定的绿电目标。
3. 如果现有用电模式无法实现绿电目标,企业需要额外建设分布式光伏或采购绿证、绿电,以实现当年绿电目标。
4. 额外的绿电模式中,优先考虑最具有经济性的分布式光伏,核算新建分布式光伏的电量。基于企业选择的开发模式,匡算分布式项目的初始投资金额、投资回收期。
5. 分布式光伏不足以支持绿电目标的部分,以百分比的形式选择采购绿证或绿电。
6. 工具展示企业选择的绿电模式与现有模式的碳排放量与电费支出,供企业参考。

## 工具局限性

本工具为企业采购绿电提供了一个便捷的成本估算方式。出于用户易用性的考虑,开发人员对一些输入信息进行了简化。技

术、开发周期等因素也导致第一版网页工具的数据库与输出结果存在欠缺,需要在后续的APP版本中进行迭代优化。

1. 电网代购的价格数据库无法动态更新,可能导致电价计算结果缺乏时效性,但由于本工具同时需要企业自主填报购电成本,因此电网代购价格仅作为一项参考。后续可以通过版本迭代以及引入权威合作方等方式,逐步优化工具颗粒度。
2. 由于绿电市场交易的价格透明度有待提高,工具中的绿电交易价格只能基于公开信息给出一个区间,可能影响绿电交易成本估算的精确性。
3. 由于开发资源有限,且很多商业机构提供分布式开发成本估算的工具,本工具分布式开发部分的输入参数较简单,仅考虑省一级的日照时间,也未加入屋顶朝向等参数。此外,本工具在成本方面也没有细化融资成本、税收优惠、运维成本等因素。上述简化都可能影响分布式光伏成本估算的精确性。
4. 本工具仅提供绿电模式与普通模式的价格与碳排放比较,缺少进一步的采购建议。因此,本工具仅为企业实施可再生能源采购的决策提供参考,但无法给出明确的实施路径。后续版本迭代将增加相关功能。

## 附录：数据库采用的省级电网排放因子与光伏有效利用小时数

地区	省级电网排放因子 (吨/兆瓦时)	光伏有效利用小时数(小时)
北京市	0.6168	1242
天津市	0.8119	1265
河北省	0.9029	1336
山西省	0.7399	1084
内蒙古自治区	0.7533	1619
辽宁省	0.7219	1388
吉林省	0.6147	1477
黑龙江省	0.6634	1507
上海市	0.5641	861
江苏省	0.6829	1165
浙江省	0.5246	998
安徽省	0.7759	1071
福建省	0.391	1083
江西省	0.6339	917
山东省	0.8606	1084
河南省	0.7906	1055
湖北省	0.3574	1013
湖南省	0.4987	902
广东省	0.4512	993
广西壮族自治区	0.3938	1103
海南省	0.5147	1063
重庆市	0.4405	655
四川省	0.1031	1466
贵州省	0.4275	1032
云南省	0.0921	1332
西藏自治区	暂缺	1116
陕西省	0.7673	1466
甘肃省	0.4912	1263
青海省	0.2602	1387
宁夏回族自治区	0.6195	1390
新疆维吾尔自治区	0.622	1414

注：1. 香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾省数据暂缺。

2. 省级电网排放因子数据来源于《生态环境部关于商请提供 2018 年度省级人民政府控制温室气体排放目标责任落实情况自评报告的函》。

3. 光伏有效利用小时数说明：全国新能源消纳监测预警中心发布的《2020 年度全国可再生能源电力发展监测评价报告》中的各省份光伏实际年利用小时数，跨两类地区的省份取较低值。



## 注释

1. 小康社会用电标准水平为：城乡居民生活用电量为200度/人年。
2. 绿电价格由电能量价格和环境溢价组成，分别体现绿电的生产运营成本和环境属性价值。
3. 电力市场中，买卖双方交易的电量无法实现物理层面的对应消纳，因此需要绿证明确其环境属性的转移，确保其唯一性，避免重复计算。
4. 虽然储能成本近年来在迅速下降，但在用户侧仍然不具备经济性，因此本工具未考虑用户配置储能设施的选项。
5. 电力价格主要参考了各省份2021年12月的电网代购价格信息。
6. 采用固定的省级排放因子，详细信息见附录，后续版本会不定期对该因子进行更新。
7. 本工具优先推荐相对更具有经济性的分布式模式，大多数中小企业用户不倾向在已有能源成本之外额外采购有溢价的绿电或绿证，因此本工具推荐有屋顶资源的企业优先考虑屋顶分布式光伏。
8. 考虑到租用厂房不满足屋顶光伏安装条件，后续版本会增加“屋顶产权性质”选项。
9. 2021年9月交易试点后的公开信息显示，绿电整体的溢价水平为0.03~0.05元/度。广东、江苏两省2022年绿电溢价达到了0.06~0.07元/度。
10. 大批量购买绿证的情况下，实际成交价格可能略低于50元/张，出于简化的考量，本工具统一使用50元/张作为绿证价格。
11. 电网代购支付的是电能量价格，而没有支付绿电环境属性对应的价格，虽然物理层面当地电网中有一定比例的上网绿电，但是电网代购并没有产生环境属性的转移，因此假设通过电网代购获取的电力不包含可再生能源电力。
12. 省级电网二氧化碳排放系数以省内发电结构作为测算基础（未考虑跨省电网调度），该发电结构涵盖了绿证、绿电和分布式项目带来的减排量。理论上，只有上述电源结构之外的减排量才能用于被减项，但目前省级电网排放因子的更新明显滞后，并不能体现当下的电网排放水平。因此，本工具在核算组织层面的碳排放时，依然将分布式、绿电、绿证作为减排量进行核算。
13. 假设现有购电模式不含市场化采购与绿证采购。
14. 2022年，个别省份的一些城市仍然保留了分布式的地方补贴，对于初始投资有较大影响，但鉴于城市数量较少，且2023年补贴存续不确定，因此未列入地方补贴政策，也未考虑光伏项目“三免三减半”的税收优惠。
15. 关于第三方开发模式和企业绿电采购的详细信息，用户可参考WRI发布的《企业绿色电力消费指导手册》。
16. 如果暂缺电价优惠信息，企业可选择比较普遍的缺省值（八五折）。
17. 假设无余电上网。
18. 按照水泥屋顶平面1千瓦占地10平方米估算。
19. 采用标准日照小时法计算发电量。
20. 参考隆基HiM0组件的产品规格书数据，第一年衰减率为2%，组件功率系数取98%，后续每年衰减0.5%。
21. 据中国光伏行业协会发布的《中国光伏产业发展路线图（2021年版）》，2021年中国工商业分布式光伏初始投资成本为3.74元/瓦。
22. 采用Excel自带IRR计算工具，不考虑运维成本、电价和补贴的变化。
23. 数据来源：广东电力交易中心、江苏电力交易中心。在南方区域，绿色电力交易的价格机制与电力批发市场是解耦并行的，但存在相互影响，而电网代购价格是在电力批发市场中交易形成的。在现阶段，这种相互影响主要体现为电力供应紧张条件下批发市场价格上涨，进而引起绿电综合购电价格上涨，但平价上网的电价价格不变，因此导致环境溢价上涨。
24. 根据新华社报道，2021年9月全国绿电交易试点的成交溢价幅度为0.03~0.05元/度，2022年以来绿电溢价普遍上涨，因此将全国范围溢价上限基于江苏、广东的情况上调为0.07元。
25. IREC中国签发准则（修订）。
26. 中国绿色电力证书认购交易平台显示，风电、光伏平价绿证价格为50元/张，后续版本更新过程中会不定期更新绿证价格。
27. 可再生能源平价上网的电价价格（与当地燃煤电价相当）与环境溢价之和为绿电综合购电价格。实际绿电综合购电价格与当地市场价格的价差可能不在0.03~0.07元范围内，但鉴于市场价格的不透明性和波动性，本工具统一按照绿电综合购电价格较当地市场电价溢价0.03~0.07元进行处理。

## 参考文献

1. 国家能源局. 2021. 国家能源局关于2020年度全国可再生能源电力发展监测评价结果的通报. [http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-06/20/c\\_1310039970.htm](http://zfxgk.nea.gov.cn/2021-06/20/c_1310039970.htm).
2. 王世江, 江华, 王青, 等. 2022. 中国光伏产业发展路线图 (2021年版). [http://www.chinapv.org.cn/road\\_map/1016.html](http://www.chinapv.org.cn/road_map/1016.html).
3. 张文俊, 袁敏. 2022. 绿电交易 | 把准痛点, 直面挑战: 中国企业绿电采购加速进行时. <https://mp.weixin.qq.com/s/OBU3ALaGi9DpRX-kNinmYXw>.
4. The International Renewable Energy Agency. 2019. Country Rankings. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>.

## 关于作者

**张文俊**是世界资源研究所中国气候与能源部 研究员。

邮件: [wenquan.zhang@wri.org](mailto:wenquan.zhang@wri.org)

**袁敏**是世界资源研究所中国气候与能源部 项目总监。

邮件: [min.yuan@wri.org](mailto:min.yuan@wri.org)

**马子昂**是世界资源研究所中国气候与能源部 实习生。

邮件: [mza18@tsinghua.org.cn](mailto:mza18@tsinghua.org.cn)

## 关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构, 其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

### 我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今, 人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源, 对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

### 我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动, 消除贫困并为全人类维护自然环境。

### 我们的工作方法

#### 量化

我们从数据入手, 进行独立研究, 并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险, 发现机遇, 促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体, 因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

#### 变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试, 以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变, 减少贫困, 加强社会建设, 并尽力争取卓越而长久的成果。

#### 推广

我们志向远大。一旦方法经过测试, 我们就与合作伙伴共同采纳, 并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流, 实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是, 政府和企业的行动能否改善人们的生活, 维护健康的环境。



Copyright 2023 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>