

# 风电标杆上网电价对环境改善的空间溢出效应

万 威 左绿吟

## 目录

|                          |   |
|--------------------------|---|
| 附录 I 描述性统计 .....         | 1 |
| 附录 II 太阳能资源区的划分 .....    | 3 |
| 附录 III 对空间特征的进一步分析 ..... | 4 |
| 附录 IV 附表及附图 .....        | 5 |

## 附录 I 描述性统计

## (一) 描述性统计

表 I 1 区分高资源区与邻近低资源区对主要变量进行了描述性分析。其中,市辖区全社会用电量 (*SEC*) 和市辖区工业企业用电量 (*IEC*) 统计口径在市辖区层面,其余变量统计口径均在城市层面。囿于数据可得性,不同变量样本期存在差异,表 I 1 对此进行了注明。其中,城市生产总值 (*gdp*) 和城市第二产业增加值 (*gdp2*) 缺失 2017 年数据。城市规模以上工业总产值 (*gdpi*)、市辖区全社会用电量 (*SEC*) 和市辖区工业企业用电量 (*IEC*) 缺失 2016 年以后的数据。城市风电装机容量 (*WIC*)、城市煤电装机容量 (*CIC*) 和城市煤电发电量 (*CPG*) 均根据《电力工业统计资料汇编》中装机容量在 6000 千瓦及以上电厂数据在城市层面加总得到,缺失 2012 年以后的数据。

表 I 1 的一阶差分结果表明,高资源区的经济规模和电力消费量均显著小于邻近低资源区,而风电装机容量则显著更高。这反映了我国风能资源分布和电力需求分布之间的空间错配特征。虽然高资源区的风能禀赋丰富且装机容量较大,但其经济规模较小,对电力的消纳能力较低。

表 I 1 主要变量的描述性统计

|                  | 变量名                   | 样本期   | 高资源区         | 邻近低资源区       | 一阶差分          |
|------------------|-----------------------|-------|--------------|--------------|---------------|
| 工业二氧化硫排放量 (吨)    | <i>SO<sub>2</sub></i> | 2006- | 49,484.754   | 56,129.258   | -6,644.503**  |
|                  |                       | 2019  | [50,818.172] | [50,691.332] | (2,625.443)   |
| 生产总值 (亿元)        | <i>gdp</i>            | 2006- | 786.260      | 1,829.009    | -1,042.749*** |
|                  |                       | 2019  | [806.759]    | [2,070.788]  | (98.791)      |
| 第二产业增加值 (亿元)     | <i>gdp2</i>           | 2006- | 363.116      | 877.719      | -514.603***   |
|                  |                       | 2019  | [396.025]    | [843.032]    | (40.744)      |
| 规模以上工业总产值 (亿元)   | <i>gdpi</i>           | 2006- | 805.635      | 2,684.092    | -1,878.457*** |
|                  |                       | 2016  | [830.427]    | [3,120.225]  | (157.898)     |
| 城市全社会用电量 (亿千瓦时)  | <i>TEC</i>            | 2006- | 91.426       | 116.486      | -25.060***    |
|                  |                       | 2019  | [71.118]     | [83.502]     | (4.172)       |
| 市辖区全社会用电量 (亿千瓦时) | <i>SEC</i>            | 2009- | 52.575       | 85.855       | -33.280***    |
|                  |                       | 2016  | [62.369]     | [113.221]    | (7.263)       |
| 市辖区工业用电量 (亿千瓦时)  | <i>IEC</i>            | 2009- | 41.492       | 58.058       | -16.566***    |
|                  |                       | 2016  | [55.909]     | [67.466]     | (4.566)       |
| 城市风电装机容量 (万千瓦)   | <i>WIC</i>            | 2006- | 33.841       | 5.050        | 28.791***     |
|                  |                       | 2012  | [77.997]     | [15.640]     | (2.997)       |
| 城市煤电发电量 (亿千瓦时)   | <i>CPG</i>            | 2006- | 111.736      | 108.420      | 3.316         |
|                  |                       | 2012  | [105.783]    | [88.313]     | (7.413)       |
| 城市煤电装机容量 (万千瓦)   | <i>CIC</i>            | 2006- | 229.106      | 218.346      | 10.760        |
|                  |                       | 2012  | [220.055]    | [174.577]    | (14.886)      |

注:方括号内为标准差,小括号内为标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

## （二）风电标杆上网电价对环境影响的空间特征

图 I 1 分析了风电标杆上网电价对不同风能资源区环境的影响。根据图 I 1，在 2009 年建立风电标杆上网电价以前，邻近低资源区的平均 $SO_2$ 排放量高于高资源区，但在 2009 年以后邻近低资源区的平均 $SO_2$ 排放量下降幅度超过了高资源区。图 I 1 直观地表明风电标杆上网电价对邻近低资源区环境改善作用大于高资源区。

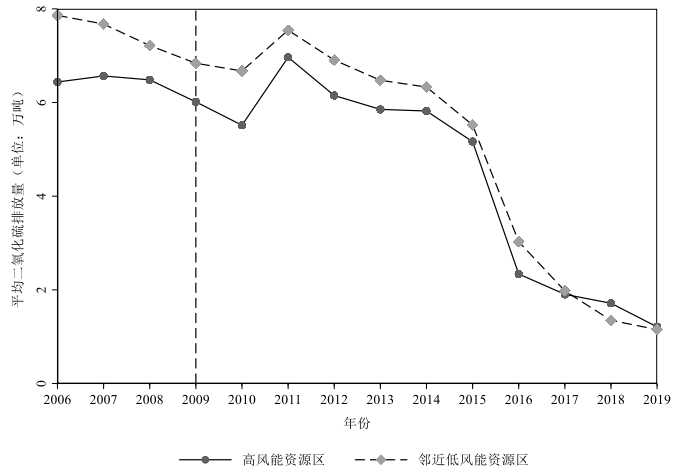


图 I 1 风电标杆上网电价对环境影响的空间特征

## 附录 II 太阳能资源区的划分

2011年7月，国家发改委印发《关于完善太阳能光伏发电上网电价政策的通知》，制定了全国统一的太阳能光伏发电标杆上网电价。2013年8月，国家发改委发布了《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》，将全国划分为三类太阳能资源区，分别制定光伏电站标杆上网电价<sup>①</sup>。其中，I类和II类资源区分别包括24和113个地级及以上城市。除这两类以外的地区为III类资源区。I类和II类资源区太阳能资源较为丰富，不妨将之称为高太阳能资源区，将III类资源区称为低太阳能资源区。

---

<sup>①</sup> 三类太阳能资源区名单详见国家发改委办公厅于2013年8月26日公布的《全国光伏电站标杆上网电价表》：<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201308/W020190905508112263608.pdf>，访问时间：2025年12月11日。

### 附录 III 对空间特征的进一步分析

表 III 1 将邻近低资源区分成与高资源区同省的低资源区 ( $Lwind\_S$ ) 和非同省的低资源区 ( $Lwind\_D$ )。根据第 (1) 列,  $Hwind \times post09$  的系数显著为正, 表明风电标杆上网电价对高资源区风电装机容量的促进作用大于其他低资源区。 $Lwind\_S \times post09$  的系数不显著, 表明风电标杆上网电价对同省的邻近低资源区风电装机容量的促进作用与其他低资源区相比没有显著差异。 $Lwind\_D \times post09$  的系数不显著, 表明风电标杆上网电价对非同省的邻近低资源区风电装机容量的促进作用与其他低资源区相比没有显著差异。通过系数差异检验发现,  $Lwind\_S \times post09$  和  $Lwind\_D \times post09$  的系数没有显著差异, 这表明风电标杆上网电价对同省的邻近低资源区与非同省的邻近低资源区风电装机容量的影响没有显著差异。

表 III 1 对空间特征的进一步分析

|   | <i>WIC</i>              |
|---|-------------------------|
|   | (1)                     |
| $Hwind \times post09$   | 38.8662***<br>(14.0804) |
| $Lwind\_S \times post09$  | -2.5564<br>(3.7681)     |
| $Lwind\_D \times post09$  | 1.8216<br>(1.7128)      |
| 系数差异检验<br>( $Lwind\_S \times post09 - Lwind\_D \times post09$ ) | -4.3780<br>(4.1091)     |
| Adj.R <sup>2</sup>  | 0.5924                  |
| N   | 1950                    |
| 资源差异  | 是                       |
| 资源区重叠   | 是                       |
| 年份固定效应  | 是                       |
| 城市固定效应  | 是                       |

注: 括号内为城市层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

## 附录IV 附表及附图

### (一) 风电特许权招标项目信息

在2009年以前,我国共组织开展了五期风电特许权项目招标。《中国风电发展报告2010》收录了这五期风电特许权招标项目的相关信息,具体如表A1所示。

表 A1 风电特许权招标项目

| 批次  | 风电场              | 项目装机量<br>(万千瓦) | 中标上网电价<br>(元/kwh) | 资源区  | 2009年标杆上网电价<br>(元/kwh) |
|-----|------------------|----------------|-------------------|------|------------------------|
| 第一期 | 江苏如东风电场          | 10             | 0.4365            | IV类  | 0.61                   |
|     | 广东惠来石碑山风电场       | 10             | 0.5013            | IV类  | 0.61                   |
| 第二期 | 江苏如东第二风电场        | 10             | 0.519             | IV类  | 0.61                   |
|     | 内蒙古辉腾锡勒风电场       | 20             | 0.382             | I类   | 0.51                   |
|     | 吉林通榆团结风电场        | 40             | 0.509             | III类 | 0.58                   |
| 第三期 | 江苏东台风电场          | 20             | 0.4877            | IV类  | 0.61                   |
|     | 江苏大丰风电场          | 20             | 0.4877            | IV类  | 0.61                   |
|     | 甘肃安西风电场          | 10             | 0.4616            | II类  | 0.54                   |
| 第四期 | 内蒙古锡盟灰腾梁风电场      | 60             | 0.42              | I类   | 0.51                   |
|     | 内蒙古包头巴音风电场       | 20             | 0.4656            | I类   | 0.51                   |
|     | 河北张北单晶河风电场       | 20             | 0.5006            | II类  | 0.54                   |
| 第五期 | 内蒙古巴彦淖尔市乌兰伊力更风电场 | 30             | 0.468             | I类   | 0.51                   |
|     | 内蒙古通辽市北清河风电场     | 30             | 0.5216            | II类  | 0.54                   |
|     | 河北承德围场御道口风电场     | 15             | 0.551             | II类  | 0.54                   |
|     | 甘肃玉门昌马风电场        | 20             | 0.5206            | II类  | 0.54                   |

### (二) 风电标杆上网电价

图 A1 展示了四类风能资源区陆上风电标杆上网电价随时间的变化情况。根据图 A1, 2009—2020 年期间陆上风电标杆上网电价共经历了 5 次下调。相比于低资源区, 高资源区陆上风电标杆上网电价更低, 且随着时间的推移下降幅度更大。

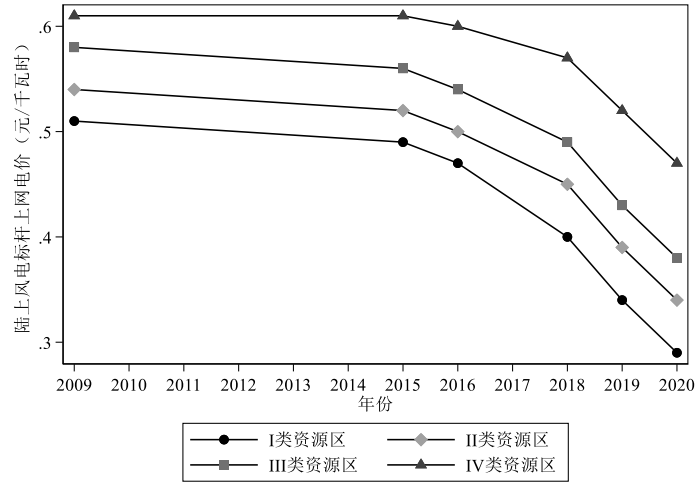


图 A1 四类风能资源区陆上风电标杆上网电价的变化情况

### (三) 风电厂装机容量与单位装机收益的关系

图 A2-图 A6 分别展示了 2008—2012 年高资源区和低资源区风电厂装机规模与单位装机收益的关系。

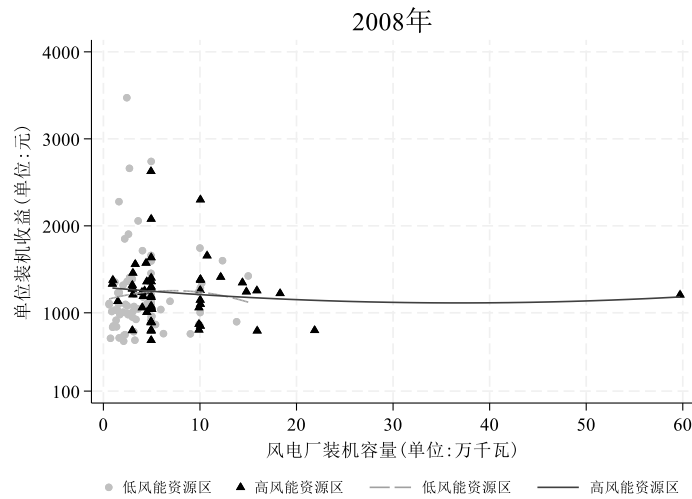


图 A2 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2008 年)

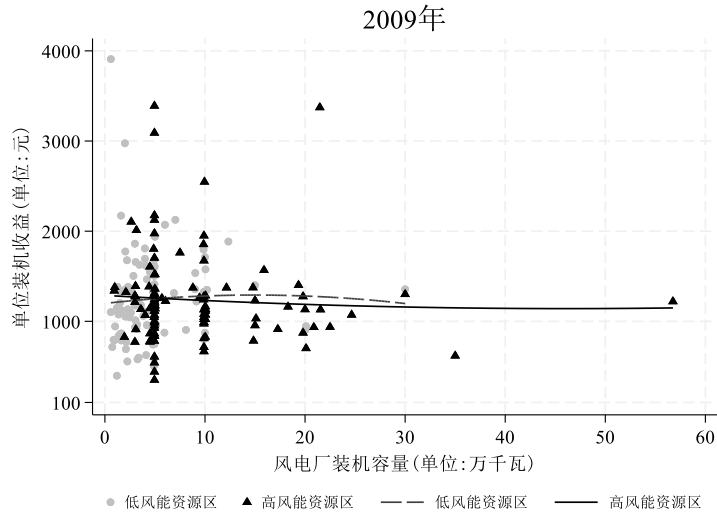


图 A3 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2009 年)

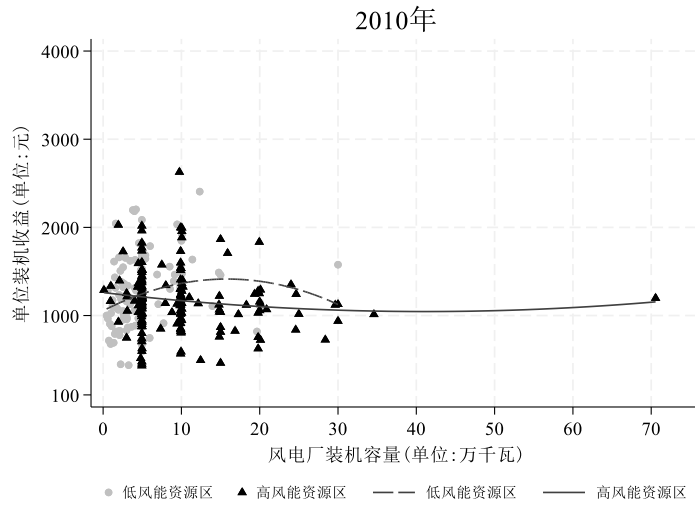


图 A4 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2010 年)

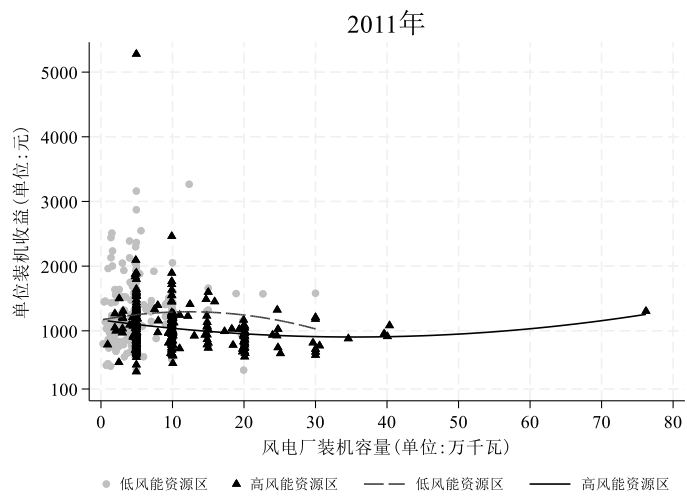


图 A5 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2011 年)

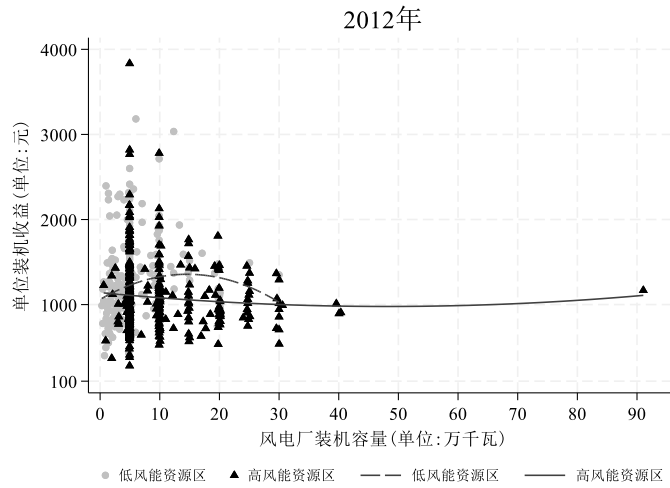


图 A6 风电厂装机容量与单位装机收益的关系（2012 年）

（四）风电厂装机容量与利用小时的关系

图 A7-图 A11 分别展示了 2008—2012 年高资源区和低资源区风电厂装机规模与利用小时的关系。

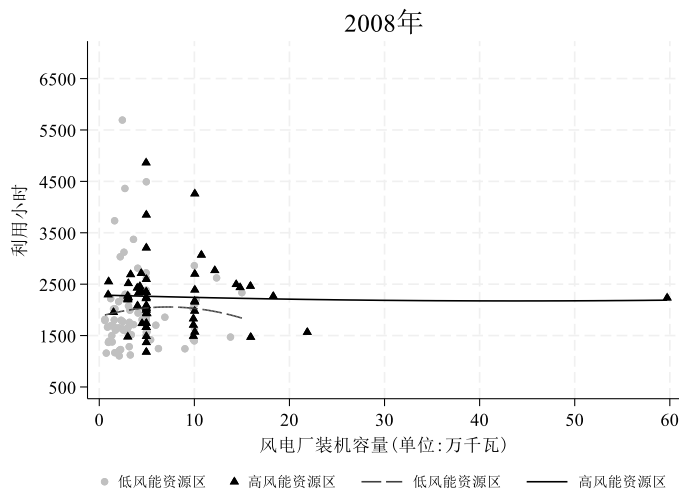


图 A7 风电厂装机容量与利用小时的关系（2008 年）

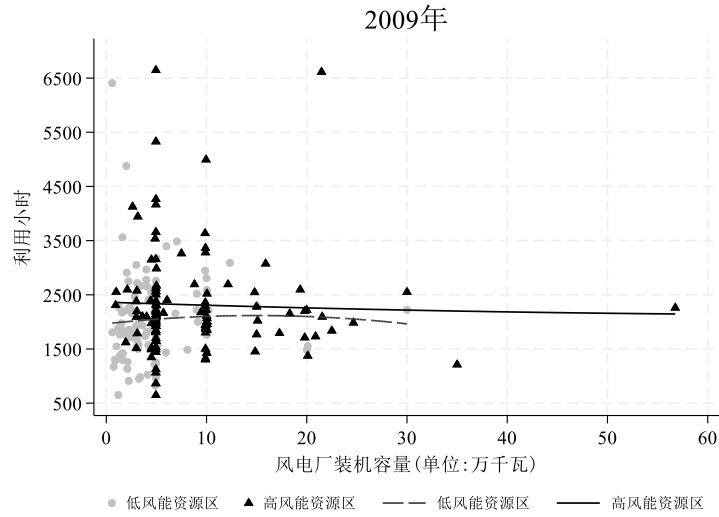


图 A8 风电厂装机容量与利用小时的关系 (2009 年)

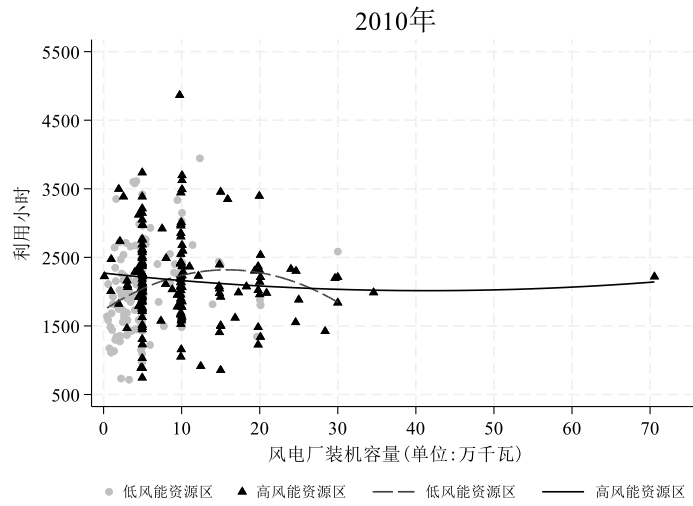


图 A9 风电厂装机容量与利用小时的关系 (2010 年)

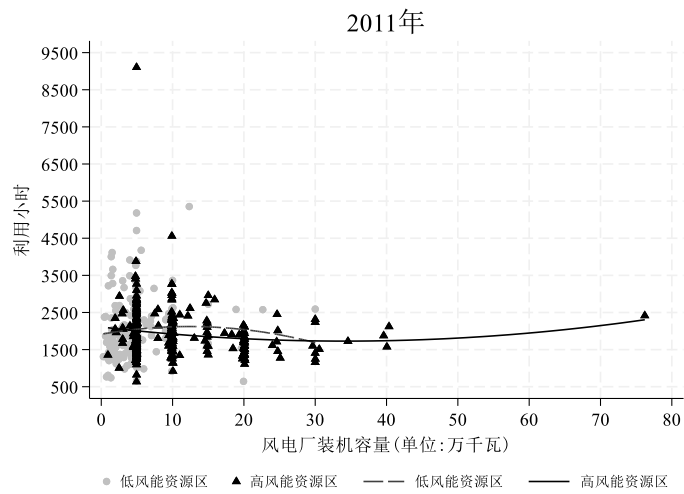


图 A10 风电厂装机容量与利用小时的关系 (2011 年)

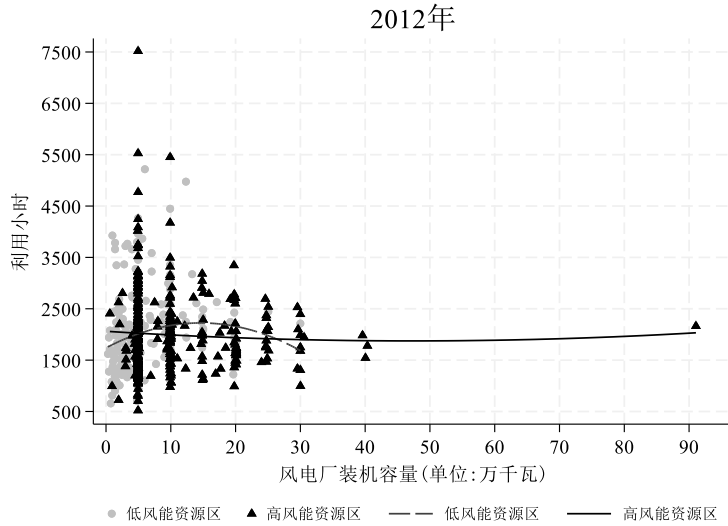


图 A11 风电厂装机容量与利用小时的关系（2012 年）

（五）50 万千瓦以下风电厂装机容量与单位装机收益的关系

图 A12-图 A16 分别展示了删除 50 万千瓦及以上装机容量风电厂后，2008—2012 年高资源区和低资源区风电厂装机规模与单位装机收益的关系。

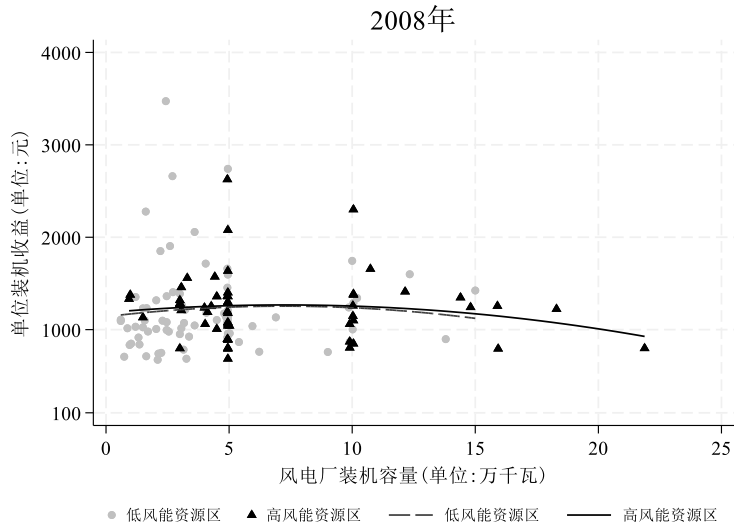


图 A12 风电厂装机容量与单位装机收益的关系（2008 年）

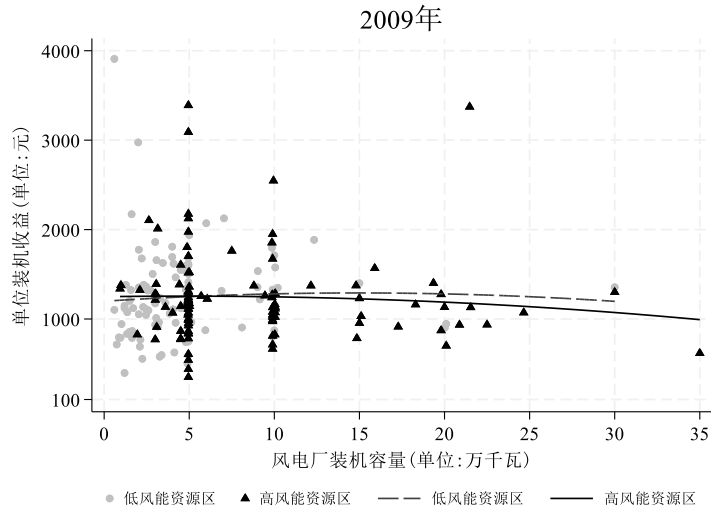


图 A13 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2009 年)

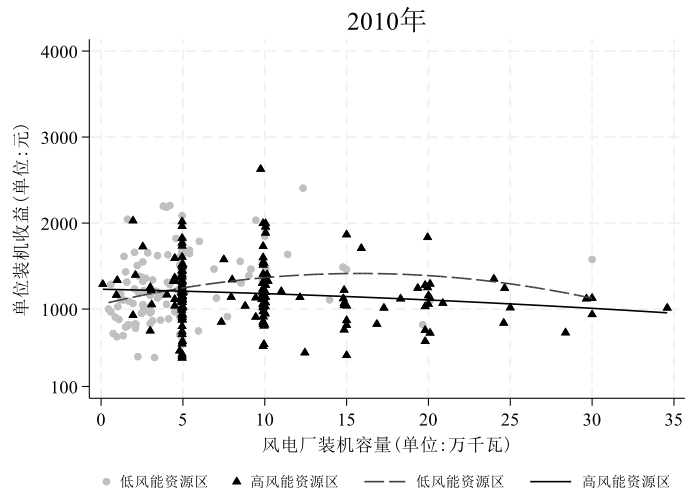


图 A14 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2010 年)

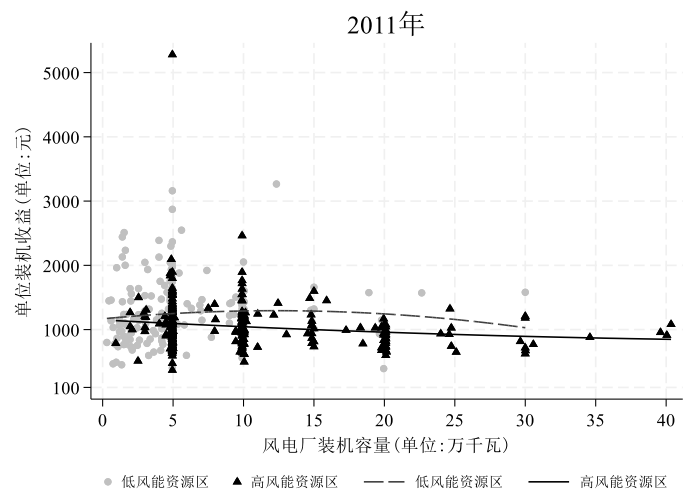


图 A15 风电厂装机容量与单位装机收益的关系 (2011 年)

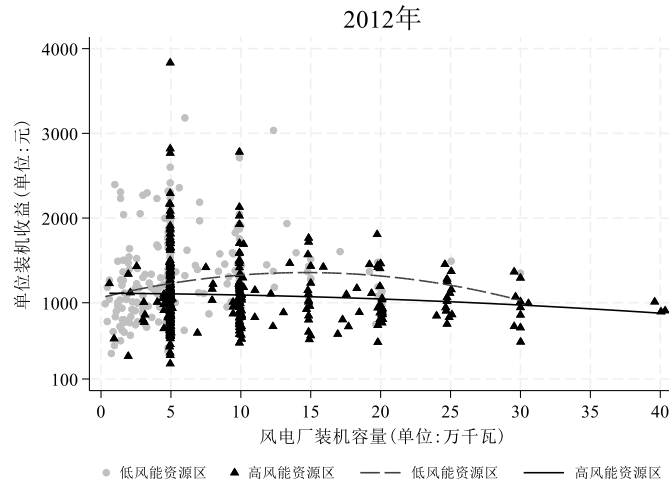


图 A16 风电厂装机容量与单位装机收益的关系（2012 年）

（六）稳健性检验

表 A2 第（1）—（4）列分别控制了城市是否为低碳试点、是否为排污权交易试点、是否为碳排放权交易试点、是否有中央环保督察组入驻等区域政策变量。为了进一步避免其他区域政策对本文结论的影响，第（5）列将样本限定在既有高资源区又有低资源区的省份，即河北省、吉林省和黑龙江省。第（6）列将样本限定在高资源区与低资源区交界两侧的城市。第（1）—（6）列表明，排除其他区域政策影响后，本文的结论依然成立。第（7）列在基准回归的基础上加入了 2008 年人口密度、2008 年每平方公里产值、2008 年人均 GDP 对数和 2008 年第二产业产值占比等变量与年份固定效应的交互项， $Lwind \times post09$  的系数仍显著为负。

表 A2 稳健性检验

|                       | lnSO <sub>2</sub>      |                        |                       |                        |                     |                       |                      |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
|                       | (1)                    | (2)                    | (3)                   | (4)                    | (5)                 | (6)                   | (7)                  |
| $Lwind \times post09$ | -0.3644***<br>(0.1346) | -0.3623***<br>(0.1376) | -0.3405**<br>(0.1364) | -0.3612***<br>(0.1375) | -0.2784<br>(0.1889) | -0.3671**<br>(0.1524) | -0.2676*<br>(0.1554) |
| Adj.R <sup>2</sup>    | 0.8660                 | 0.8661                 | 0.8673                | 0.8660                 | 0.8781              | 0.8605                | 0.8603               |
| N                     | 1964                   | 1964                   | 1964                  | 1964                   | 419                 | 698                   | 1928                 |
| 样本层级                  | 城市                     | 城市                     | 城市                    | 城市                     | 城市                  | 城市                    | 城市                   |
| 样本期                   | 2006—2019              | 2006—2019              | 2006—2019             | 2006—2019              | 2006—2019           | 2006—2019             | 2006—2019            |
| 低碳试点                  | 是                      | 否                      | 否                     | 否                      | 否                   | 否                     | 否                    |
| 排污权交易试点               | 否                      | 是                      | 否                     | 否                      | 否                   | 否                     | 否                    |
| 碳排放权交易试点              | 否                      | 否                      | 是                     | 否                      | 否                   | 否                     | 否                    |
| 中央环保督察                | 否                      | 否                      | 否                     | 是                      | 否                   | 否                     | 否                    |
| 城市经济特征                | 否                      | 否                      | 否                     | 否                      | 否                   | 否                     | 是                    |
| 资源差异                  | 是                      | 是                      | 是                     | 是                      | 是                   | 是                     | 是                    |
| 资源区重叠                 | 是                      | 是                      | 是                     | 是                      | 是                   | 是                     | 是                    |
| 年份固定效应                | 是                      | 是                      | 是                     | 是                      | 是                   | 是                     | 是                    |
| 城市固定效应                | 是                      | 是                      | 是                     | 是                      | 是                   | 是                     | 是                    |

注：括号内为在城市层面聚类的稳健标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

### (七) 风电消纳对煤电的动态影响

图 A17 分析了风电消纳对煤电的动态影响。具体地，左图展示了风电消纳对城市煤电发电量的动态影响，右图展示了风电消纳对城市煤电装机容量的动态影响。

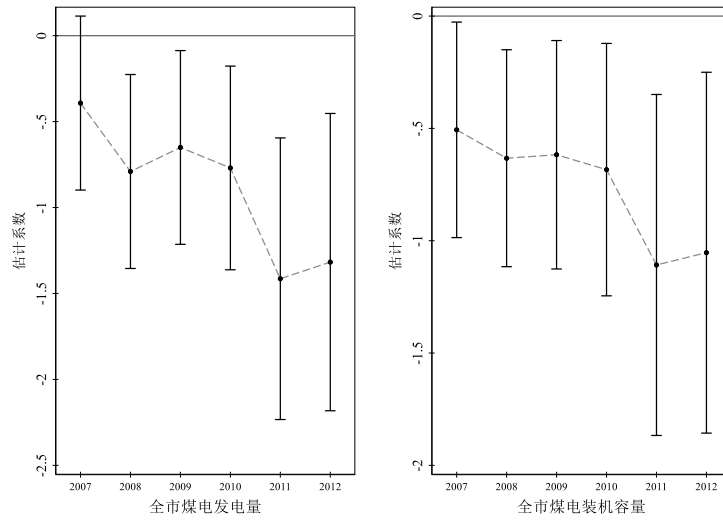


图 A17 风电消纳对煤电的动态影响

注：纵轴表示回归系数，竖线表示 95%置信区间，标准误在城市层面聚类。

注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明附录下载出处。