

电力扩张对工业发展影响的因果评估

——来自近代中国的证据

刘丛 陈婷 薄诗雨*

摘要: 本文使用新搜集的近代电力数据, 考察 20 世纪初电力供给的迅速扩张对工业发展的影响。借助 1875—1936 年的面板数据, 基准回归使用双重差分和工具变量法发现电力供给促进了当地工业企业进入。为进一步考察电力对企业生产过程的影响, 我们基于棉纺织业的微观企业数据, 发现电力供给增加后, 企业在生产过程中投入了更多的劳动力和纱锭, 提高了产品质量; 同时, 电力的影响主要集中在生产率较高的小企业上, 从而提升了整个行业的组织效率。

关键词: 电力; 工业发展; 能源基础设施

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2024.01.12

一、引言

新型动力的采用对工业化进程有重要推动作用。18 世纪时, 受益于丰富的煤储量, 英国率先采用蒸汽动力并开启工业革命 (Allen, 2011); 彭慕兰 (2004) 则提出, 煤炭储量差异是导致 19 世纪中欧经济发展“大分流”的重要原因之一。在蒸汽动力之后, 电力作为第二次工业革命的主要能源, 对提高企业生产效率和人民生活水平产生了举足轻重的影响。有鉴于此, 近年来在国际组织和本国政府的共同努力下, 发展中国家频繁兴建电力项目; 使用微观数据评估电力对发展中国家早期工业化的影响, 也逐渐成为学界关注的重点。

本研究考察近代电力事业对中国早期工业影响, 为理解能源如何推动工业发展提供新的历史证据。电力于 1882 年首次引入中国, 起初仅有外国企业在租界内部为照明供电。由于环境动荡、资本缺乏, 民族电力工业的发展以私人主导设立电厂为主; 南京国民政府成立后, 设立建设委员会管理全国电力企业, 至 1937 年, 电力已覆盖全国大多数省份。尽管总体规模有限, 但电力对照明、工业甚至农业等社会经济的多个层面都产生了深刻影响; 其中对工业的推动尤其明显: “半数乃至 7 成以上的电力均用于工业用

* 刘丛, 暨南大学经济与社会研究院; 陈婷, 香港浸会大学; 薄诗雨, 暨南大学经济与社会研究院。通信作者及地址: 薄诗雨, 广东省广州市黄埔大道西 601 号暨南大学经济与社会研究院, 510632; 电话: 13581975963; E-mail: boshiyu@outlook.com。本文研究得到国家自然科学基金资助项目 (72273053、72373050、71803113、71803064)、北大-林肯中心年度研究基金 (FS02-20211215-BSY)、用友基金会“商的长城”资助项目 (2021-Y05)、广州市哲学社会科学“十三五”规划 (2020GZGJ42)、中央高校基本科研业务费 (23JNQN24、20JNTZ16)、香港研究资助局 (12503222、22502819) 的资助。作者感谢陆倩仪、赵晓洁、郑翰林、周彦优秀的助研工作。文责自负。

电, 电力建设亦可视为工业化或近代化的指标”^①。但囿于资料限制, 鲜有研究定量评估近代电气化对工业发展的影响。

近代中国的独特背景也有助于识别电力如何影响工业发展这一问题: 首先, 电力引入中国时首先用于租界城市照明, 并非由当地工业发展驱动, 缓解了逆向因果问题; 其次, 近代电力传输技术比较落后, 难以大规模跨地区输电, 发电对周边地区几乎没有溢出效应, 便于准确识别本地电力建设对当地工业发展的因果作用。

本文基于新收集的近代电力和工业的历史数据, 为近代电力如何推动工业发展提供严谨的因果识别和多个层面的定量分析, 填补文献中的空白。电力方面, 我们使用国民政府建设委员会对全国中资电厂的调查, 构成分析的基础。工业数据方面, 我们使用县级的工业企业进入信息和纺织业企业生产情况, 以分别考察电力对工业发展的广延边际(extensive margin)和集约边际(intensive margin)的影响。我们将电力和工业的历史数据结合, 并搜集了一系列相关的社会经济变量, 构建了覆盖1875—1937年的县级面板数据。

回归分析首先考察电厂扩张如何影响工业企业进入, 即工业发展的广延边际。基准回归使用双重差分模型, 发现当某县有电厂进入后, 每年当地企业新设立数目增加12.9%, 这一结果在换用发电容量作为自变量之后依然成立。由于电厂建设也可能为工业发展的需求所驱动, 为了排除可能存在的逆向因果关系, 我们使用事件分析法, 证明在电厂建设之前, 工业企业进入在控制组和对照组之间不存在显著差异, 满足双重差分模型所需要的平行趋势假设。为了进一步解决内生性, 我们还利用电厂首先用于居民照明和发电机依赖进口的特点, 使用历史人口和发电机进口关税税率构建工具变量。此外, 异质性分析发现电力对重资本行业和重工业作用更大, 与这些行业更依赖能源驱动的自动化机械相一致。

为了理解电力对工业企业生产决策的影响, 即工业发展的集约边际, 我们以近代中国第一大行业——纺织业为例, 使用企业的投入产出数据, 考察本地电力供应如何改变企业的要素投入和生产效率。回归分析发现, 电力扩张对企业的锭锭数目和工人数有正向影响, 我们认为这表明以电力为代表的近代新能源技术与纺织机械、劳动力等生产要素是互补品, 可以促使工厂在生产中对各生产要素采用更合理的配置。与此相一致的是, 当考察电力对产量的影响时, 我们的回归结果也发现电力提高了纺织企业的产量和生产效率。历史证据还表明, 使用电力的企业棉纱支数更高, 说明电力可能有助于提高纺织企业的产品质量。我们同时发现以上效果对生产效率较高、规模较小的纺织企业更加明显, 这可能是由于小企业无力自备电机, 因而更为依赖外部供应电力有关。最后, 利用Olley and Pakes (1996)提供的方法证明当地的电力供给增加对提升全行业的组织效率有正面作用。

本研究与以下文献密切相关。首先, 电力对经济发展特别是工业的推动虽早有共识, 但量化证据仍显粗糙。因此, 近年来前沿文献致力于发掘微观数据以评估电力对企业表现及对就业的影响, 尤其注意对异质性、产业结构、广延边际和集约边际的探讨(Fiszbein et al., 2020), 但以中国为背景的研究仍较为稀少。

① 侯嘉星 (2014), 第9页。

同时，尽管近代中国的工业发展已获得相当多的讨论和关注（袁为鹏，2007；关权，2018），但对电力在其中扮演的角色仍然鲜有文献提及，仅有侯嘉星（2014）考察包括动力机械进口与工业化和农业机械化的关系。对电厂的研究则侧重对单个电厂的历史学研究（王树槐，1995、1997；杨琰，2018；谭备战，2019）。尽管学者对近代电力促进工业发展多有提及（王树槐，1991），但鲜有研究定量考察这一问题。本研究使用计量方法，为理解这一问题提供了严谨的实证证据。

二、历史背景

（一）电力工业的发展

19世纪末，第一批发电厂在英美等西方国家先后出现。由于中国的租界区内也在同时经历城市化进程，部分电力公司把关注点放在东方，谋求在中国建立电厂。1882年7月26日晚7时，上海电力公司首次在上海公共租界提供电气路灯照明，为中国电力工业的起始。^①

起初电厂的主要目的为照明，因此多建设在人口密度较高的租界地区，电厂也均为外资企业。外资电厂的成功也刺激了民族资本在1897年首次开设本土电厂。

民国成立后，电气事业继续增长。外资电厂以在原有基础上增加容量为主。本土电厂扩容和新设均较为普遍，亦迅速增加，1924年容量达91 519千瓦，但大多为私人所有，官办电厂增长缓慢。^② 1927年南京国民政府成立后设立了建设委员会，下设电力事业处，对电力事业进行管理，包括加强电业监管、国有化经营不善的电厂、促进标准统一等。1936年，发电机装机容量已达到136.6万千瓦，列世界第14位。^③

随着规模的扩大，电力供给也从城市照明逐步转为向工业用户提供动力。电厂规模较小时，为居民和街道提供电灯是比较自然的选择。不过，由于电力生产是典型的自然垄断，扩大发电量有助于减少平均成本、改善电厂利润。^④ 因此，当城市照明规模逐步饱和、电厂的经营逐渐稳定时，电厂会选择增加发电机，同时努力扩展经营领域，向本地工业企业输送电力。以规模最大的上海电力公司为例，其发展历程中经历了数次扩建，发电容量从1883年初建时的20千瓦，发展至1924年的121 000千瓦，供给工业用户的比例从1913年的5%上升至1928年的90%。^⑤ 1936年时，全国发电厂的电力供给中有47%用于工业用户。^⑥

（二）近代工业部门对电力的需求

近代工业与电力的发展同步进行，主要发生在甲午战争之后。《马关条约》允许外

① 杨琰（2018），第38页。

② 《中国电力工业史：综合卷》，第55页。1911—1927年，民营电业平均年增长率达10.54%，官办电业年增长率为3.81%。

③ 《中国电力工业史：综合卷》，第81页。

④ 结合电价信息可发现电厂规模与售电价格负相关。

⑤ 发电容量变化来自孙宏良（2001），第97、107页；工业用户比例数据来自杨琰（2018），第111页。

⑥ 建设委员会（1987c）。

资在租界区域设厂,同时刺激了本国私有企业发展。根据关权(2018)的估计,1890—1933年,现代制造业的年增长率超过8%,占GDP比重从0.1%增至2.5%。《中国工业调查报告》则显示,1933年30人以上使用动力的工厂为2435家,资本额4.03亿元,工人52.5万人。其中以轻工业特别是纺织业为主,其资本和产值均占整个工业部门的40%。^①

在工业生产中,电力可以代替蒸汽提供动力、改进生产流程和组织结构、减少能源损失,并为工业生产过程提供照明。在近代中国,相比于蒸汽,电力驱动“稳定、均匀而少震动,尤为清洁卫生,产品因而精良”“较为经济……可减轻生产成本”“运送燃料便捷,可节省运费”(王树槐,1991,第466页),而且“占地较小、开关机及维修简便、且工厂拥有电能后同时能提供场内电灯照明”(侯嘉星,2014,第9页),工厂乐于采用。当时的官员学者对这一点亦有认知:1928年建设委员会成立之后,将“推广用电、减低电价及利惠工业”作为其主要工作目标,认为“电气为工业之基本动力,故欲求我国实业之发展,自非促进工厂电化不可”(全国电气事业指导委员会,1987,第128、139页)。

纺织业对电力需求十分旺盛。“各种工厂中,以矿厂需要电力为最大……制造工业中,以纺织工业需要电力为最大”(建设委员会,1987a,第30页)。对纺织厂而言,电力的主要作用在于取代蒸汽,减少原动力的成本,并提供更清洁稳定的动力。根据《七省华商纱厂调查报告(1935)》计算,原动力的成本约占纺织业间接成本的20%,是比较重要的花费;而相比蒸汽,以电作为动力会显著降低动力花费。例如,张謇创办的大生纺织厂始终面临动力不足、动力设备分散、耗费过多等问题,而在1931年当地建成发电厂之后,大生一纺和副厂的耗煤量从130吨降至70吨,生产成本大幅下降。^②

除减少生产成本外,电力供给还可以帮助维持生产环境。由于棉纱出品容易受到生产环境影响,过于干燥或者湿润的环境都会降低产品质量,纺织业生产需要配备通风、温度和湿度调节设备,即风扇、暖气管和喷雾器,以保证工作环境的稳定。^③可靠的电力供给能帮助此类设备的运作,促进生产质量的提高。

不少工厂也选择自备电机。根据建设委员会的调查,1931年,除东三省外的企业中,工厂自备电力的容量占全国发电容量的27.8%。不过并非所有工厂均有能力自备电机。《七省华商纱厂调查报告(1935)》显示,“早年所办纱厂都用蒸汽动力;再则规模较小的厂用电力不经济,也以采用蒸汽动力的为多”,但随着上海、无锡、武进等地出现电厂,不少纱厂开始购电,因购电“代价较自己发电为轻”^④。由此可见,自备电机是工厂希望采用电力但又无处买电时的选择;电厂设立则使工厂普遍受益,更可能影响没有能力自备电机的小企业。

① 关权(2018),第184—185页。

② 顾纪瑞(2015),第53—55页。

③ 《七省华商纱厂调查报告(1935)》,第81—82页。

④ 《七省华商纱厂调查报告(1935)》,第83—85页。这些事实在其他史料亦有涉及,如《江苏省纺织业状况》,第33页,引自《民国史料丛刊》第610册,第79页。

三、数据

本文主要的自变量是县级的电厂建设与发电容量。这一数据基于我们首次搜集并电子化的国民政府建设委员会电厂调查。该调查为建设委员会于1929—1936年进行，共7次。其中，1935年的调查报告了100千瓦以上的中资电厂从投入运行起的容量变化信息，也包括电厂的建设、退出与合并情况，表中的电厂共计90家，覆盖中资电厂中超过90%的发电容量。^①我们将企业层面的数据加总至县级，得到县级发电容量的变化。由于该数据没有报告外资电厂的情况，我们在分析时剔除了有外资电厂的三个城市，即上海、天津和汉口。

本文主要的因变量是工业发展状况。首先，为了讨论电力对新企业设立即工业发展广延边际的影响，我们使用杜恂诚（1991、2019）收集的1858—1937年新设立的工业企业情况，并将企业层面的数据加总至县级。

其次，为了考察电力对现有企业生产这一集约边际上的影响，我们使用相关数据最为丰富的纺织业进行分析。我们电子化了《中国棉纺统计史料》，包含1919—1937年的纺织企业生产信息。这一数据报告了各企业投入产出情况，是研究民国棉纺织工业的基础数据。^②

我们还根据经济史的相关文献搜集了一系列可能影响经济发展的控制变量，包括对地理条件、政治等级、西方影响和战争的衡量。

地理条件是影响地区经济发展的重要因素。为从多个维度衡量这一指标，我们首先从中国历史地理信息系统（CHGIS）第六版（Harvard Yenching Institute, 2016）中获取了1911年每个县的经纬度，并计算了每个县距离最近的海岸线和河流的距离。其次，考虑到土壤种植的农作物会影响农业生产力，进而影响长期增长，我们从国际粮农组织（Food and Agriculture Organization, 2012）开发的全球农业生态区数据库（Global Agro-Ecological Zones）计算了各县主要农作物的平均种植适宜程度。^③

政治上的重要性可能影响地方长期经济发展。首先，考虑到省会和首县是政府所在地，政治地位最为重要，我们构建了省会和首县的虚拟变量。其次，清代使用“冲、繁、疲、难”考语对某县进行评级，并据此对县划定四个等级，即“最要缺”“要缺”“中缺”和“简缺”。我们从《清史稿》（赵尔巽，1977）中搜集了评级。^④

现代工业和电力的发展来自西方国家，因此有必要控制各地受西方的影响程度。首先，工业和电力需要的机械均来自进口，同时Jia（2014）也发现开放通商口岸会影响长期经济发展，因此我们从严中平等（2012）搜集了通商口岸位置信息，并计算了各县至最近通商口岸的距离。其次，洋务运动兴建的军事工业可能会影响后世工业发展（Bo

^① 调查将电厂按照容量以10 000千瓦、1 000千瓦、100千瓦为界分为四个等级，1935年的回溯调查中包括了发电容量在100千瓦以上的所有电厂。由于规模处于最小等级的发电厂以经营照明业务为主，对本文针对工业化的分析影响较小。

^② 严中平（2011）等均使用此数据考察棉纺织业。

^③ 大量经济史文献使用此数据计算种植适宜度，包括Kung and Ma（2014）、Chen and Kung（2016）、Chen et al.（2020）。

^④ 使用类似策略控制这一变量的文章包括Bai and Jia（2016）。

et al., 2022), 因此我们从樊百川(2003)计算了每个县在洋务运动中兴建的军工企业数目。最后, 租界的存在会使得一地拥有较多和西方世界接触的机会, 同时租界本身在战乱时期会对企业提供保护, 因此很多工业选择在租界中设厂(Ma, 2008)。因此我们从严中平等(2012)搜集了租界信息。

最后一组控制变量为战乱。例如, 太平天国运动对地方发展有深远影响(李楠和林鑫, 2015), 我们从《历代战争年表》中搜集了太平天国运动的交战区域。我们还搜集了《历代战争年表》中记录的两次鸦片战争主要战场, 并计算了各县到主要战场的距离。

我们将全部数据加总至县级, 构建了1875—1937年的面板数据。由于我国东部地区和西部地区差异较大, 而近代工业分布亦主要集中在东部地区, 为了保证回归中的各县是可比的, 我们将样本限制在有工业或电厂的县, 以避免人口稀少、工业与电厂均无发展可能性的偏远地区与人口稠密的沿海地区直接对比, 最终样本包括447个县。^① 附录I表A1报告了描述统计。^②

四、电力对工业发展广延边际的影响

(一) 基准回归

基准回归使用双重固定效应模型, 考察近代的电力扩张如何影响工业企业进入。对于省 p 的县 i , 使用 t 年的数据, 我们进行如下回归:

$$Industry_{ipt} = \alpha + \beta Electricity_{ip,t-1} + Controls_{ip} \times \sigma_t + \gamma_{ip} + \pi_p \sigma_t + \epsilon_{ipt},$$

其中, $Industry_{ipt}$ 为县级新建企业数量或总资本, 衡量本地工业发展的广延边际。 $Electricity_{ip,t-1}$ 衡量县内电厂的建设情况, 分别使用是否有电厂的虚拟变量和电厂发电容量加1后的自然对数值。为了避免反向因果, 我们使用前一期的电厂建设情况作为自变量。 $Controls_{ip}$ 为第三部分所述的额外控制变量, 我们将它们与年份固定效应 σ_t 的交互项放入回归, 即允许控制变量在每一年对因变量产生不同影响。为控制全国与省级社会经济状况变化, 我们在所有回归中加入省与年份固定效应的乘积 $\pi_p \sigma_t$ 。 ϵ_{ipt} 是误差项。

表1报告了基准回归结果。前四列使用县级新建企业数量作为因变量, 加1后取自然对数。第(1)列报告不包括额外控制变量的双重固定效应模型结果。其估计系数显示, 当县里有建成的发电厂时, 每年的新建工业企业数量会增加21.2%, 并在1%水平上显著。在加入了额外控制变量后, 第(2)列回归显示这一效果缩小至12.9%但仍在1%水平上显著。考虑到是否有建成的电厂这一虚拟变量可能不能完全反映电力发达程度, 我们在第(3)列和第(4)列使用全县发电容量作为自变量, 发现在考虑了所有固定效应与控制变量之后, 县级发电容量增加1%会使得每年新建工业企业数量增加0.03%。

表1后四列使用县级新建企业注册资本作为因变量, 并在每一列中均控制了所有固定效应与控制变量。在第(5)列中, 我们发现当县里有建成的发电厂时, 每年县级新

① 当使用包括全国所有县的样本时, 分析结果依旧稳健。

② 限于篇幅, 附录未在正文报告, 感兴趣的读者可在《经济学》(季刊) 官网 (<https://ceq.ccer.pku.edu.cn>) 下载。

建企业的注册资本总量增加了 189.3%，并在 1% 水平上显著。一个自然的问题是，这一注册资本量的增加是来自新建企业数量的增加，还是由于新建企业的平均资本量更大？在第 (6) 列中，我们直接在回归中控制新建企业数量，发现即使给定新建企业数量，电厂设立仍然会引起注册资本总量 83.4% 的增加。最后两列则换用发电容量作为关键自变量，结果仍然类似。表 1 后四列的结果显示，电厂进入不但能增加新建企业和资本总量，还容易吸引资本量更大的企业进入。

表 1 电力对企业进入的影响：基准回归

变量	企业进入 (1)	企业进入 (2)	企业进入 (3)	企业进入 (4)	新企业 资本 (5)	新企业 资本 (6)	新企业 资本 (7)	新企业 资本 (8)
滞后一期是否有电厂进入	0.212*** (0.015)	0.129*** (0.015)			1.893*** (0.180)	0.834*** (0.118)		
滞后一期的发电容量			0.042*** (0.003)	0.030*** (0.003)			0.407*** (0.032)	0.165*** (0.022)
新企业数目						8.206*** (0.164)		8.168*** (0.166)
观察值个数	28 161	28 161	28 161	28 161	28 161	28 161	28 161	28 161
调整 R 平方	0.335	0.414	0.345	0.419	0.466	0.733	0.472	0.734
县级固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
省×年度固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
是否添加控制变量	否	是	否	是	是	是	是	是

注：第 (1)–(4) 列的因变量是每年县级新建企业数，加 1 后取对数；第 (5)–(8) 列的因变量是每年县级新建企业的注册资本，加 1 后取对数。第 (1)、(2)、(5)、(7) 列的关键自变量为该县是否有发电厂的一期滞后值；第 (3)、(4)、(6)、(8) 列的关键自变量为该县发电容量的一期滞后值。括号内为异方差稳健标准误。***、**和* 分别代表在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

表 2 进行了一系列稳健性检验。^① 首先，由于样本跨越了清末与民国，电力扩张与企业进入之间的正向关系可能源自封建制度终结鼓励了民间电力与工业的同时扩张。第 (1) 列仅使用 1911 年之前的样本，结果和基准回归非常接近，说明我们的发现并非由清末民初的体制变化驱动。其次，我们考虑控制变量定义的稳健性。第 (2) 列中，我们仅使用省会所在府的首县定义省会；第 (3) 列中，我们考虑了开辟租界或回收租界对租界状态的影响。两列得到的回归与基准回归都非常接近。

基准回归中使用的“县×年”面板数据，使得新建工业企业数量这一变量存在较多零值，因此我们定义因变量为对新建工业企业数量加 1 后取对数。为保证结果对于这一变换的稳健性，我们首先采取了反双曲正弦 (inverse hyperbolic sine) 变换。其特点在于能较好模拟对数变换的性状，同时保留零值甚至负值。第 (5) 列中则以 5 年为一期加总数据，得到“县×5 年”面板数据，既有助于减少因变量的零值，也考虑到商业决

① 我们仅报告使用发电容量作为自变量的结果，但改用是否有发电厂对结果没有影响。本表样本量的变化主要来自使用不同的分析样本。

策的滞后性,并进一步避免可能的反向因果。第(6)列则将新建工业企业的记录加总到府级,得到“府×年”的面板数据结构。第(4)–(6)列的结果均保持了稳健性。

表2 电力对企业进入的影响:稳健性检验

变量	企业进入	企业进入	企业进入	企业进入	企业进入	企业进入	企业进入
	1911年	狭义	考虑租界	IHS	5年间隔	府级	张玉法
	之前	省会定义	变化	变换	为一年	回归	数据
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
滞后一期的发电容量	0.097*** (0.020)	0.029*** (0.003)	0.031*** (0.003)	0.038*** (0.004)	0.051*** (0.007)	0.063*** (0.003)	0.066*** (0.008)
观察值个数	16 092	28 161	28 161	28 161	5 811	11 655	7 770
调整R平方	0.447	0.423	0.406	0.420	0.615	0.526	0.463
县级固定效应	是	是	是	是	是	府级	府级
省×年度固定效应	是	是	是	是	是	是	是
是否添加控制变量	是	是	是	是	是	是	是

注:第(1)–(4)列的因变量是每年县级新建企业数,第1列后取对数;第(5)列的因变量是每年县级新建企业数的反双曲正弦变换;第(6)–(7)列的因变量是每年府级新建企业数,分别加总自杜恂诚(1991、2019)和张玉法(1988a、1988b、1989)数据,加1后取对数。关键自变量为该县或府发电容量的一期滞后值。括号内为异方差稳健标准误。***、**和*分别代表在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

为避免杜恂诚(1991、2009)数据存在遗漏误差,我们也考虑了张玉法收集的民国新建工业企业数据,以考察因变量的稳健性。^①由于张玉法(1988a、1988b、1989)数据对企业注册地记载不够精确,我们将它加总为府一年的面板数据。第(7)列的结果与第(6)列使用杜恂诚(1991、2009)数据的府级结果非常接近。

(二)对内生性问题的讨论和解决

因为电力和工业均会受到当地经济状况影响,电厂建设决策不一定外生于工业发展,而这会使估计结果产生偏误。比如,经济发达地区可能会同时有更多的工厂和电厂进入。我们首先使用事件分析法(event-study)考察电厂进入之前控制组和对照组的趋势是否相同:

$$Industry_{ipt} = \alpha + \sum \beta_{\tau} I(YearSinceElectricity_{ipt} = \tau) + Controls_{ip} \times \sigma_{\tau} + \gamma_{ip} + \pi_{p} \sigma_{\tau} + \epsilon_{ipt},$$

其中, $I(\cdot)$ 为示性函数, $YearSinceElectricity_{ipt}$ 表示第 t 年距离第 i 县首个电厂进入时间的年份数。 τ 取值为-4和4之间的整数值,负值代表进入之前的年份,-1为基准,因此全部系数可解释为相对电厂进入前一年的效果。

图1展示了 β_{τ} 的点估计值和95%置信区间。在当地有电厂建成前, β_{τ} 的估计值均接近于零且几乎都不显著,意味着控制了一系列社会政治文化因素后,如果没有发电厂进入,新建企业进入的趋势在各个县没有差异。而在当地有电厂建成后,新建企业数量则有显著增加。这表明我们基准回归的因果识别是合理的。^②为进一步解决内生性,我们

^① 张玉法(1988a、1988b、1989)。杜恂诚和张玉法各自主导的两套近代新式企业数据库各有广泛应用,前者见于Liu(2020),后者见于Bai and Kung(2015)、燕红忠和卫辛(2020)。

^② 我们对本文交错双重差分模型结果的合理性进行了讨论,参见附录II。

利用早期电力发展的两个特点构建工具变量：当时中国的发电技术较为落后，发电机均为进口^①；电力在各地最初的引进多用于为居民提供照明^②。因此，我们利用发电机进口关税税率和历史人口分别衡量全国发电机获取的难易程度和当地愿意建设电厂的概率，构造第一阶段回归如下：

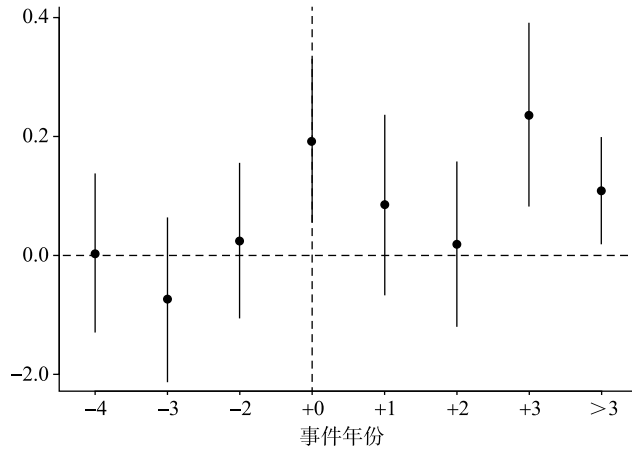


图 1 事件分析法

$$Electricity_{ipt} = \alpha + Pop1851_{ip} \times (1 - Tariff_t) + Controls_{ip} \times \sigma_t + \gamma_{ip} + \pi_p \sigma_t + \varepsilon_{it}$$

其中， $Pop1851_{ip}$ 是曹树基（2001）估计的 1851 年人口数， $Tariff_t$ 是从近代海关进口税则中计算的发电机进口税率。我们使用两者乘积作为工具变量（其中发电机进口税率取负值并加 1，以体现和人口数在交乘项中的同向变化），两者各自的影响则分别被年份固定效应和县级固定效应吸收，更易满足工具变量的排他性约束（Nunn and Qian, 2014）。

表 3 报告了工具变量回归结果，由于人口数在少量地区存在缺失，样本量相比基准回归略有减少。第（1）列和第（3）列的第一阶段回归结果显示，工具变量确实会影响电力扩张——当发电机进口税率下降时，历史上人口越多的地方更可能建设电厂，这与历史事实和直觉相一致。第（2）列和第（4）列的第二阶段回归系数与 OLS 接近，且均在 5% 的显著性水平上统计显著，这说明了使用工具变量排除内生性影响后，电力扩张仍然会导致当地工业进入。

表 3 电力对企业进入的影响：工具变量

变量	第一阶段回归	第二阶段回归	第一阶段回归	第二阶段回归
	滞后一期的电厂设立	企业进入	滞后一期的发电容量	企业进入
	(1)	(2)	(3)	(4)
滞后一期的工具变量	0.463*** (0.132)		3.366*** (0.817)	
滞后一期的电厂设立		0.764** (0.366)		

① 《全国发电厂调查表》（建设委员会，1987a）中提到：“中国电厂所有机器，求自各国”；《各大电厂纪要》（建设委员会，1987b）所列各大电厂发电机可查均为进口，以英国为最。

② 各电厂具体经历见《各大电厂纪要》（建设委员会，1987b）。

(续表)

变量	第一阶段回归	第二阶段回归	第一阶段回归	第二阶段回归
	滞后一期的电厂设立	企业进入	滞后一期的发电容量	企业进入
	(1)	(2)	(3)	(4)
滞后一期发电容量				0.105** (0.047)
观察值个数	26 712	26 712	26 712	26 712
调整 R 平方	0.585	0.306	0.634	0.380
县级固定效应	是	是	是	是
省×年度固定效应	是	是	是	是
是否添加控制变量	是	是	是	是
K-P F 统计量		12.28		16.98

注：第(1)—(2)列为对于该县是否有发电厂使用工具变量的一阶段和二阶段回归结果；第(3)—(4)列为对于该县发电容量使用工具变量的一阶段和二阶段回归结果。二阶段回归均使用每年县级新建企业数加1后取对数作为因变量。括号内为异方差稳健标准误。***、**和*分别代表在1%、5%和10%的显著性水平上显著。

为了考察工具变量是否满足排他性，我们进行了一系列稳健性和安慰剂检验，附录I表A2报告了相关结果。首先，根据鸦片战争后“值百抽五”的关税规则，发电机和其他机器进口税率在样本早期阶段（19世纪末）均为5%的从价税。考虑到工业企业需要进口其他机器，如果发电机和其他机器的进口税率高度重合，那么工具变量结果可能是由于其他机器进口税率降低导致了工业发展。第(1)列中，我们换用了机器类税率殊为不同的铜电线的进口税率，结果较为稳健。第(2)列中，我们则使用手工机器的进口税率构造工具变量进行安慰剂检验，结果不显著，F值也比较小，可以解决发电机和其他机器进口税率在前期相关度较高的担忧。

其次，关于人口数据，由于曹树基（2001）对1851年人口的估计并未区分城市与农村，在第(3)列中，我们将1851年总人口乘以1776年的城市化率得到的变量替换了1851年总人口进行稳健性检验，估计结果有所减小，但仍在1%水平上显著，说明使用总人口和城市人口对工具变量回归的影响不大。第(4)列中，考虑到1851年开始的太平天国运动造成多地人口锐减（李楠和林鑫，2015），我们使用1880年人口代替1851年人口，结果依然稳健。

最后，我们使用从来没有电厂设立的县作为样本，基准工具变量（发电机进口关税税率乘以1851年人口）作为自变量，直接对企业进入做OLS回归，进行安慰剂检验。如果排他性约束满足，在这些从来没有电厂的县里，工具变量不应该对因变量有任何影响。第(5)列的结果证明了这一判断。

我们进一步考虑何种工业更易受到电力扩张的影响。考虑到电力在工业中的主要用途是作为动力源推动机械，一个符合直觉的推论是资本更密集的工业部门更容易受到电力扩张的影响。附录I表A3的异质性分析验证了以上推论。

五、电力对工业发展集约边际的影响

本部分中，我们考察电力对已有企业的影响，即工业发展的集约边际。受数据限制，在本部分中我们使用当时唯一详细记录微观企业信息的纺织业进行分析。如前文所述，纺织业占当时全国工业增加值的1/3以上，是当时最重要的行业，而定性证据则表明，电力使用有助于减少纺织业的生产成本。

我们首先研究电力普及如何影响纺织业的生产要素投入。这一部分回归采用基准回归的形式，但将纺织企业的各种投入要素加总至县级作为因变量，没有纺织业的县则因变量相应定义为0；自变量仍分别采用发电容量和是否有电厂。我们首先考察对纺织机械的影响。我们发现，电力建设增加了线锭数目（表4第（2）列和第（5）列），但是对纱锭影响有限（表4第（1）列和第（4）列）。一个可能的解释是，纱锭属于纺纱机，无论使用人力、蒸汽还是电力，对纱厂而言都是基本的必备机械；而线锭的作用在于将纺好的纱合并成线，增强拉力、弹性和光泽，并非纺织厂的必备机械，只有部分纺织厂兼营纺线。历史调查则发现，受条件限制，不少纺织厂并没有配备与纺纱机数量相符的配套机械。^①由此，回归结果说明，电力可以帮助纱厂更合理地安排机械，增加对成品的处理，有助于出品质量稳定、销售和运输。我们随后研究了对劳动力投入的影响。如表4第（3）列和第（6）列所示，电力扩张会增加雇佣工人，这说明电力和劳动力更倾向于互补品而非替代品，电力和机械使用更能带动就业而非替代劳动力。

电力的运用是否促进了行业效率提升？我们使用纺织业的微观数据进行异质性分析，考察具有何种特点的纺织厂更容易从电力容量增加中获益。我们回归中添加电力变量和纺织企业在样本开始第一期某些特点的交互项，并考察这一交互项对棉纱产量的影响。

表5的第（1）列和第（4）列考察电力扩张是否会更有利于一开始拥有更多电力驱动机械的企业，但并没有发现显著效果，表明电力带来的收益不局限于本来就有电力驱动机械的企业。第（2）列和第（5）列则发现，电力扩张的效果对期初规模较小的企业更大。结合大企业更有实力自备电机的历史事实^②，这说明电力扩张更可能使原本没有使用电力的小企业改用电力，从而增加其生产能力。第（3）列和第（6）列中添加了用索洛余值法计算的TFP作为对企业生产效率的衡量，发现电力扩张对生产率高的企业影响更大。

表4和表5的结果综合表明，电力扩张有助于效率高的中小企业扩大生产；即使这些小企业一开始并未拥有很多电力驱动机械，也会在本地电力行业扩张之后通过采购电力驱动机械、引入配套机械、多雇用工人等方式增加生产规模。这可能表明，电力扩张能够提高整个纺织业的效率。

^① 《七省华商纱厂调查报告（1935）》，第54、57—60页。

^② 我们将1932年建设委员会报告的工厂自备电机情况与纺织业企业数据相匹配，发现有自备电机的企业规模更大。

(续表)

变量	棉纱产量	棉纱产量	棉纱产量	棉纱产量	棉纱产量	棉纱产量
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
调整 R 平方	0.678	0.685	0.682	0.679	0.684	0.681
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
省×年度固定效应	是	是	是	是	是	是

注：因变量是每年企业级别的棉纱产量，均加 1 后取对数。第 (1)—(3) 列的关键自变量为该县发电容量的一期滞后值分别与该企业最初一期的电力驱动机械的马力数、该企业最初一期的棉纱产量、该企业最初一期的全要素生产率的内乘项。第 (4)—(6) 列的关键自变量为该县是否有发电厂的一期滞后值和第 (1)—(3) 列的企业特征的内乘项。括号内为异方差稳健标准误。***、**和 * 分别代表在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

因此，最后我们直接考察电力对纺织业生产效率的作用。Olley and Pakes (1996) 提出，可以使用一个行业内企业产量和 TFP 的协方差 (O-P covariance) 来衡量行业的生产组织效率：当某行业的组织更有效率时，TFP 更高的企业应该有更大产量，O-P covariance 也会更高。表 6 报告了使用 O-P covariance 作为因变量的双重固定效应回归结果^①，证明了电力扩张会对纺织业的效率有促进作用。

电力还可能影响纺织业的出品质量，即纱支数高低。《七省华商纱厂调查报告 (1935)》中有 23 个企业报告了纱支数。这些企业中有 16 个采用电力，平均动力为 2 390 马力，平均纱支数为 18.1；8 个采用蒸汽，平均动力为 866.9 马力，纱支数为 15.1。相关性分析表明采用电力的工厂的确动力更大、出品更佳。

表 6 电力对纺织行业组织效率的影响

变量	行业组织效率	行业组织效率
	(1)	(2)
滞后一期的电厂设立	0.083*** (0.023)	
滞后一期的发电容量		0.013*** (0.004)
观察值个数	303	303
调整 R 平方	0.795	0.798
县级固定效应	是	是
省×年度固定效应	是	是

注：因变量是 Olley-Pakes 方法计算的县级纺织行业的组织效率。第 (1) 列的关键自变量为该县是否有发电厂的一期滞后值；第 (2) 列的关键自变量为该县发电容量的一期滞后值。括号内为异方差稳健标准误。***、**和 * 分别代表在 1%、5% 和 10% 的显著性水平上显著。

六、结 论

作为重要的基础能源，电力供应对经济发展和生活水平提高至关重要。本文使用全新收集的近代电力和工业数据，全面考察了电力建设对工业发展的因果作用。我们首先

^① 相比表 5，样本量的减少主要是因为计算每个县纺织业的组织效率时自然会排除没有纺织业的县。

发现电力扩张对工业部门的广延边际有正向影响,表现为对本地工业企业的建立有显著促进作用。双重差分模型的事件分析法以及工具变量回归均证实这一作用为因果关系。随后我们使用纺织企业的生产数据,进一步考察了电力如何影响工业发展的集约边际,发现本地电力装机容量增加对当地纺织企业的电力机械、工人数量和线锭数目均有促进作用,进而提升了企业产量的生产率和产品质量。这一集约边际的效果对生产率较高的中小企业作用更为明显,从而提升了全行业的资源配置效率。

参考文献

- [1] Bai, Y., and J. K. Kung, "Diffusing Knowledge While Spreading God's Message: Protestantism and Economic Prosperity in China, 1840-1920", *Journal of the European Economic Association*, 2015, 13 (4), 669-698.
- [2] Bai, Y., and R. Jia, "Elite Recruitment and Political Stability: The Impact of the Abolition of China's Civil Service Exam", *Econometrica*, 2016, 84 (2), 677-733.
- [3] Bo, S., C. Liu, and Y. Zhou, "Military Investment and the Rise of Industrial Clusters: Evidence from China's First Industrial Policy, 1858-1937", Working Paper, 2022.
- [4] 曹树基,《中国人口史(第五卷)清时期》。上海:复旦大学出版社,2001年。
- [5] Chen, S., and J. K. S. Kung, "Of Maize and Men: The Effect of a New World Crop on Population and Economic Growth in China", *Journal of Economic Growth*, 2016, 21 (1), 71-99.
- [6] Chen, T., J. K. S. Kung, and C. Ma, "Long Live Keju! The Persistent Effects of China's Civil Examination System", *The Economic Journal*, 2020, 130 (631), 2030-2064.
- [7] 杜恂诚,《民族资本主义与旧中国政府,1840—1937》。上海:上海社会科学院出版社,1991年。
- [8] 杜恂诚,《中国的民族资本主义:1927—1937》。上海:上海财经大学出版社,2019年。
- [9] 樊百川,《清季的洋务新政》。上海:上海书店出版社,2003年。
- [10] Food and Agriculture Organization, "Global Agro Ecological Zones", <http://www.fao.org/gaez/>, 2012.
- [11] Fiszbein, M., J. Lafortune, E. G. Lewis, and J. Tessada, "New Technologies, Productivity, and Jobs: The (Heterogeneous) Effects of Electrification on US Manufacturing", NBER Working Paper, 2020.
- [12] 关权,《近代中国的工业发展:与日本比较》。北京:中国人民大学出版社,2018年。
- [13] 顾纪瑞,《大生纺织集团档案经济分析(1899—1947)》。天津:天津古籍出版社,2015年。
- [14] Harvard Yenching Institute, "China Historical Geographic Information System (CHGIS), Version: 6", <https://sites.fas.harvard.edu/~chgis/data/chgis/v6/>, 2016.
- [15] 侯嘉星,“动力机器进口与近代中国工业化(1910—1937)”,国史馆馆刊,2014年第39期,第1—48页。
- [16] Jia, R., "The Legacies of Forced Freedom: China's Treaty Ports", *Review of Economics and Statistics*, 2014, 96 (4), 596-608.
- [17] 建设委员会,“全国发电厂调查表”,载于中国电业史料编辑室、湖北省电力志编辑室主编《中国电业史料选编(下)》,1987a年。
- [18] 建设委员会,“各大电厂纪要”,载于中国电业史料编辑室、湖北省电力志编辑室主编《中国电业史料选编(上)》,1987b年。
- [19] 建设委员会,“中国电气事业统计第七号”,载于中国电业史料编辑室、湖北省电力志编辑室主编《中国电业史料选编(下)》,1987c年。
- [20] 江苏实业厅第三科,“江苏省纺织业状况(1920)”,载于张研、孙艳京主编《民国史料丛刊》第610册。河南:大象出版社,2009年。
- [21] Kung, J. K. S., and C. Ma, "Can Cultural Norms Reduce Conflicts? Confucianism and Peasant Rebellions in Qing China", *Journal of Development Economics*, 2014, 111, 132-149.
- [22] 李楠、林鑫,“太平天国战争对近代人口影响的再估计:基于历史自然实验的实证分析”,《经济学》(季刊),2015年第3期,第1325—1346页。

- [23] Liu, C., "The Effects of World War I on the Chinese Textile Industry: Was the World's Trouble China's Opportunity?", *The Journal of Economic History*, 2020, 80 (1), 246-285.
- [24] Ma, D., "Economic Growth in the Lower Yangzi Region of China in 1911-1937: A Quantitative and Historical Analysis", *The Journal of Economic History*, 2008, 68 (2), 355-392.
- [25] Nunn, N., and N. Qian, "US Food Aid and Civil Conflict", *American Economic Review*, 2014, 104 (6), 1630-66.
- [26] Olley, G. S., and A. Pakes, "The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry", *Econometrica*, 1996, 64 (6), 1263-1297.
- [27] [美] 彭慕兰,《大分流: 欧洲、中国及现代世界经济的发展》, 史建云译。江苏: 江苏人民出版社, 2004年。
- [28] 全国电气事业指导委员会, "十年来之中国电气事业建设", 载于中国电业史料编辑室、湖北省电力志编辑室主编《中国电业史料选编(上)》, 1987年。
- [29] 上海市棉纺织工业同业公会筹备会编,《中国棉纺统计史料》, 上海市棉纺织工业同业公会, 1950。
- [30] 孙宏良, "从上海电气公司到工部局电气处", 载于上海市政协文史资料委员会主编《上海文史资料存稿汇编8》。上海: 上海古籍出版社, 2001年。
- [31] 谭备战,《国家与建设: 南京国民政府建设委员会研究(1928~1938)》。北京: 社会科学文献出版社, 2019年。
- [32] 王子建、王镇中, "七省华商纱厂调查报告(1935)", 载于张研、孙艳京主编《民国史料丛刊》第606册, 河南: 大象出版社, 2009年。
- [33] 王树槐, "中国早期的电力工业, 1882~1928", 载于"中研院"近代史研究所编《中国现代化论文集》。台北: "中研院"近代史研究所, 1991年。
- [34] 王树槐, "江苏省第一家民营电气事业: 镇江大照公司(1904—1937)", 近代史集刊, 1995年第24期, 第517—571页。
- [35] 王树槐, "九江映庐电灯公司: 自营与政府的整理(1917—1937)", 近代史集刊, 1997年第27期, 第137—184页。
- [36] 燕红忠、卫辛, "工业化对晚清捐官的影响研究——以新式企业发展中的产权保护机制为中心", 《经济学》(季刊), 2020年第1期, 第371—390页。
- [37] 严中平,《中国棉纺织史稿》。北京: 商务印书馆, 2011年。
- [38] 严中平等,《中国近代经济史统计资料选辑》。北京: 中国社会科学出版社, 2012年。
- [39] 杨琰,《政企之间: 工部局与近代上海电力照明产业研究(1880—1929)》。上海: 上海社会科学出版社, 2018年。
- [40] 袁为鹏,《聚集与扩散: 中国近代工业布局》。上海: 上海财经大学出版社, 2007年。
- [41] 张玉法, "清末民初的官办工业", 载于"中研院"近代史研究所编《清季自强运动研讨会论文集》。台北: "中研院"近代史研究所, 1988a年。
- [42] 张玉法, "清末民初的官督商办工业", 《近代史集刊》, 1988b年第17期, 第60—67页。
- [43] 张玉法, "清末民初的民营工业", 《近代史集刊》, 1989年第18期, 第352—642页。
- [44] 赵尔巽,《清史稿》。北京: 中华书局, 1977年。
- [45] 中国电力企业联合会,《中国电力工业史: 综合卷》。北京: 中国电力出版社, 2021年。

Expansion of Electricity and Industrial Growth in Early Twentieth-Century China

LIU Cong

(Jinan University)

CHEN Ting

(Hong Kong Baptist University)

BO Shiyu*

(Jinan University)

Abstract: We use latest digitized data on historical electric power plants to study the impact of power plants on industrial growth in early twentieth-century China. Using a difference-in-differences approach, we find the expansion of electricity has increased the number of recent established industrial firms in the same county. We further use historical urban population and international coal price to construct an instrumental variable. We then use firm-level data on the textile industry to examine the effect on firms' production and find that the expansion of electricity mainly affect the smaller and more productive firms, thus has enhanced the efficiency of the industry.

Keywords: electricity; industrial development; energy infrastructure

JEL Classification: N65, O14, L94

* Corresponding Author: Bo Shiyu, Institute for Economic and Social Research, Jinan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China; Tel: 86-13581975963; E-mail: boshiyu@outlook.com.