

经济环境、环境规制类型与省域节能减排技术创新

——基于异质性科研主体的实证分析

张毅 严星¹

(太原理工大学, 经济管理学院, 山西 太原 030024)

【摘要】: 采用模糊集定性比较分析法(fsQCA), 以经济集聚、区域开放、研发主体构成、命令型环境规制、市场型环境规制为前因条件, 评估 2011-2018 年中国内地(除西藏外) 30 个省市的节能减排技术创新情况。结果显示, 省域节能减排技术创新绩效是由前因因素组合决定的, 引致高绩效的路径不唯一; 经济集聚、区域开放是产生高绩效的重要条件。省域节能减排技术创新绩效与研发主体构成密切相关, 在公共研究机构占主导的省域, 命令型规制的作用显著; 在企业占主导的省域, 命令型规制的效果取决于经济环境, 而市场型规制总体上不利于节能减排技术创新。该研究结果有助于丰富节能减排技术创新理论, 同时, 为不同经济环境下的政策制定提供决策依据。

【关键词】: 环境规制 经济环境 科研主体

【中图分类号】: F124.5 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348(2021)08-0041-09

0 引言

节能减排是当今世界各国面临的艰巨任务, 中国是能源消费大国, 长期致力于以技术进步推进节能减排, 其中, 环境规制是各级政府普遍采用的手段。近年来, 随着政府执政理念的转变, 市场型环境规制日益受到重视, 逐渐形成了市场型规制与命令型规制并举的格局。因此, 规制方式与节能减排技术创新关系成为学者们研究的热点, 特别是哪种规制方式更有效一直存在争论。王班班等^[1]认为, 环境规制方式的有效性取决于能否将压力传导至相关企业; 但叶琴等^[2]的研究指出, 中国命令型规制的作用更显著, 原因是创新主体主要是国有企业或公共研究机构。对此, 沈能等^[3]指出, 经济发展水平是影响技术创新的重要因素, 环境规制对技术创新的促进作用存在明显的地区差异。

中国地区经济发展仍不平衡, 各省市经济环境差异显著。许多文献指出, 经济集聚和开放程度是影响节能减排技术创新的重要因素。如邵帅等^[4]认为, 经济集聚能够提高能源效率, 本质在于促进绿色技术进步; Chesbrough^[5]提出开放式创新概念, 认为竞争优势来源于高效地利用他人创新成果; 孙凤娥等^[6]研究认为, 开放程度代表了一个地区利用、吸收、消化外来资金、技术、人才的能力, 对创新具有显著正向作用, 但开放程度高也意味着企业面临激烈的市场竞争, 创新收益的不确定性增大。由于各省域经济环境差异较大, 因此测度节能减排技术创新绩效时需充分考虑经济环境的影响。

然而, 无论是经济环境或规制方式如何, 研发主体意愿与行动是最终决定创新的关键。中国的研发主体主要包括企业、高

¹**作者简介:** 张毅(1980-), 男, 山西太原人, 博士, 太原理工大学经济管理学院副教授、博士生导师, 研究方向为绿色技术创新、物流效率;

严星(1983-), 男, 江苏高邮人, 太原理工大学经济管理学院博士研究生, 研究方向为绿色技术创新、企业环境绩效。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(20ZDA087); 山西省哲学社会科学规划课题项目(20190292); 山西省社科联晋商文化研究专项(晋文基项字[2020]第10号)

校、研究与开发机构。以《中国科技统计年鉴》2018 年数据为例, 3 类主体的 R&D 经费支出占全国 R&D 经费总支出的 98.6%。由于高校、研究与开发机构都具有行政管理属性, 因此本文统称为公共研究机构。企业和公共研究机构在面对不同经济环境或规制方式时可能采取不同应对行为, 使得省域节能减排技术创新绩效测度更加复杂。因此, 有必要从权变、整体视角研究复杂情境下的节能减排技术创新。

综上, 经济环境、规制方式、研发主体相互作用, 共同决定了省域节能减排技术创新绩效。由此, 本文聚焦研究两个问题: 一是不同经济环境或规制方式是否通过影响研发主体创新, 进而促进或抑制节能减排技术创新绩效; 二是经济环境、规制方式、研发主体影响节能减排技术创新绩效的机制。

基于此, 本文采用模糊集定性比较分析方法(fsQCA), 分析 2011-2018 年中国内地 30 个省级行政区(因西藏地区数据缺失, 未纳入统计)的节能减排技术创新绩效, 以揭示节能减排技术创新机理, 探求创新高绩效路径。本文的边际贡献主要在于: ①提出并实证环境规制方式需考虑经济环境和科研主体, 同一政策不一定收到相同效果; ②验证省域节能减排技术创新高绩效路径是复杂的, 且不唯一。由于经济环境不同, 不同地区应该采用不同政策组合。上述研究结果有助于解释以往文献结论的不一致, 并为政策制定提供依据。

1 文献综述

1.1 环境规制与节能减排技术创新

自波特假说^[7]提出以来, 环境规制对节能减排技术创新的影响一直是学界关注的核心问题, 但国内外学者得到的结论不一致。如郭捷等^[8]发现, 环境规制和政府补贴均对绿色技术创新有显著影响, 且两者存在耦合效应; 李文鸿等^[9]研究认为, 环境规制与 FDI、产业结构交互作用对绿色创新效率有显著的正向影响; 张娟等^[10]证实, 环境规制对绿色技术创新的影响呈 U 型, 且滞后一期; 但 MWagner^[11]在分析德国制造业专利申请情况后认为, 环境规制强度抑制了企业创新绩效。

为了更深入地研究环境规制的影响, 学者们进一步将环境规制分为命令型规制和市场型规制。其中, 命令型规制表现为直接的行政管控, 包括执行环境标准、制定排放限额等; 市场型规制则通过碳税、排放权制度等经济手段达到减排目的。Zhang 等^[12]对中国 298 家高端制造企业的绿色技术创新进行研究并认为, 命令型规制和市场型规制均能激发企业创新意图, 促进创新行为; 李冬琴^[13]的研究认为, 命令控制型政策有利于企业环境技术创新, 部分市场激励型环境政策工具如排污收费制度对企业环境技术创新具有正向影响。但也有研究发现, 环境规制并不总是能够促进技术创新。如 Cai 等^[14]基于 442 个中国企业的研究认为, 市场型规制能够有效诱发绿色创新, 而命令型规制不能; 张平等^[15]认为, 基于排污权的市场型环境规制增加了企业负担, 不能促进技术创新。

1.2 经济集聚与节能减排技术创新

经济集聚汇聚了大量研发人才, 降低了研发要素价格, 增强了技术溢出效应, 因此有利于技术创新。Li 等^[16]的研究表明, 经济集聚存在显著的空间溢出效应, 有利于技术创新; 高丽娜等^[17]、毛金祥等^[18]的研究均发现, 经济集聚对区域创新绩效有显著正向影响。虽然直接研究经济集聚与节能减排技术创新关系的文献较少, 但有部分文献探讨了经济集聚与生态效率、能源效率、节能减排技术进步的关系。如 Kang 等^[19]研究了京津冀城市群的技术进步, 认为技术进步路径与经济水平高度相关; 邵帅等^[4]研究了经济集聚的节能减排效应, 认为经济集聚有助于推动技术进步, 从而提高能源效率; 师博等^[20]从企业、产业和区域 3 个层面考察集聚对能源效率的影响并发现, 能源效率与城市密度呈 U 型变化特征, 经济集聚程度越高, 越有利于企业节能减排技术外溢。

1.3 区域开放与节能减排技术创新

现有文献从不同角度研究区域开放对技术创新的影响。如温军等^[21]研究发现,经济开放程度对国际专利申请有明显的促进作用;Song 等^[22]、Zhen^[23]的研究均表明,中国省域对内或对外开放均有利于绿色创新;Ding 等^[24]研究了长江经济带环境规制和 FDI 集聚对水资源利用效率的影响,认为 FDI 在一定条件下可以通过环境规制发挥正向影响;Costantini 等^[25]的研究证实区域间技术外溢在提升环境绩效上比区域内创新更重要;杨朝均等^[26]研究了开放经济下工业企业绿色创新动力传导机制,结果发现,传导机制存在复杂的动态变化特性,外商直接投资、对外直接投资、进出口贸易对工业企业绿色创新的技术推动力、市场拉动力和环境管制推动力都具有积极促进作用。总体来说,多数学者认同区域开放能够促进节能减排技术创新。

从以上文献回顾不难看出,现有研究对经济集聚、区域开放、环境规制与节能减排技术创新的关系展开了较为丰富的探讨,也有一些文献综合考虑了两个因素耦合对节能减排技术创新的影响。如袁丽静等^[27]、李广培等^[28]研究了环境规制、政府补贴与企业技术创新的关系,但鲜有学者将以上多个因素置于同一框架下探讨。与此同时,以往文献对科研主体的分析还不够深入,有必要将其纳入研究框架以更深入、全面地解析省域节能减排技术创新机制。

2 研究设计

节能减排技术创新绩效取决于经济环境是否有利于科研主体创新活动,以及由环境规制产生的压力能否有效传导至科研主体。具体来说,一方面,经济集聚有助于节能减排技术的成熟化,而开放程度代表了一个地区利用技术溢出、知识溢出的能力。深厚的技术积累、有利于技术吸收的环境共同决定了研发主体利用技术溢出效应的程度;另一方面,经济集聚的规模效应有助于降低各类研发资源价格,进而有利于技术研发,而开放程度高意味着市场竞争激烈,促使企业自发进行技术研发以增强市场竞争力。基于此,本文提出研究假设:

H₁:经济集聚与区域开放是节能减排技术创新的重要条件。

命令型规制与市场型规制的传导机制不同,对不同研发主体节能减排技术创新的诱发机制也不同。首先,命令型规制以法律法规、行政命令形式发布,具有强制性。公共研究机构隶属于行政管理体系,对命令型规制的敏感度较高,高命令型规制会促进其进行节能减排技术研发;而企业在高命令型规制下有技术创新和投资节能治污设备两种选择,具体取决于成本比较。在外部经济环境较好,即研发资源成本低且技术溢出效应显著时,企业更倾向于选择技术研发。其次,市场型规制主要通过内化污染外部性、提高能源使用成本倒逼组织创新,但公共研发机构一般不存在大规模的污染排放或能源消耗,因此市场规制主要对企业产生作用。最后,市场型规制下征收的“污染税”或者“能源税”客观上提高了企业运营成本,甚至挤占了宝贵的研发资金,尤其当研发资源要素价格较高、竞争激烈且无法获得超额利润时,市场型规制的负面作用更显著。由此,本文提出研究假设:

H₂:命令型规制能够显著促进公共研究机构进行节能减排技术研发,而对企业的影响则取决于经济环境是否有利于技术创新;

H₃:市场型规制主要作用于企业,并会提高经营成本,在经济环境不佳的情况下可能不利于企业技术创新。

综上所述,经济集聚、区域开放、命令型规制、市场型规制通过研发资源价格、技术溢出、行政命令、市场竞争等对不同的研发主体产生差异化影响,共同决定了节能减排技术创新绩效,作用机理如图 1 所示。当经济环境与规制方式组合有利于占主导地位的研发主体时,节能减排技术创新才有可能实现高绩效:当省域公共研究机构占主导时,经济集聚与区域开放有利于节能减排技术创新,特别是命令型规制有助于促进公共研究机构技术创新,实现高绩效;当省域企业占主导时,如果经济集聚、开放程度较高,受研发资源价格上升、技术溢出效应影响,命令型规制能够促进企业选择技术创新;而当经济环境不佳时,市场型规制则可能抑制企业技术创新。

从以上分析可以看出,单个因素不足以决定省域节能减排技术创新绩效,且每个前因条件并非是孤立的,而是相互影响、

共同作用。不同经济环境与规制方式组合能够激励不同主体进行技术创新，因此引致高创新绩效的路径可能是多样的。基于此，本文提出研究假设：

H₄:促进省域节能减排技术创新实现高绩效的因素是多元化的，且路径不唯一。

3 研究方法

本文采用模糊集定性比较分析法(fsQCA)建模。相对于传统的回归分析，定性比较分析具有两个突出优势：①擅长处理多前因的复杂问题。本研究共包括 5 个前因变量，而在回归分析法中，如果涉及变量交互作用分析，最多以三元为上限。定性比较分析则从整体视角，以组态分析为手段，适合处理多个前因的复杂交互问题；②能够描述结果的等效性。等效性是指不同初始条件下通过多条路径实现相同结果。传统的回归分析不关注结果等效性问题^[29]，而定性比较分析能精准刻画省域节能减排技术创新实现高绩效的多路径。该方法的具体应用步骤如下：

(1) 变量校准。

首先将所有变量校准为[0-1]闭区间内连续变化的模糊集变量，校准时设置 3 个锚定值。借鉴吕峰等^[30]的做法，取用四分位数作为锚定值。以经济集聚为例，校准后的值越接近于 1, 其经济集聚程度越高；越接近于 0, 则经济集聚程度越低。

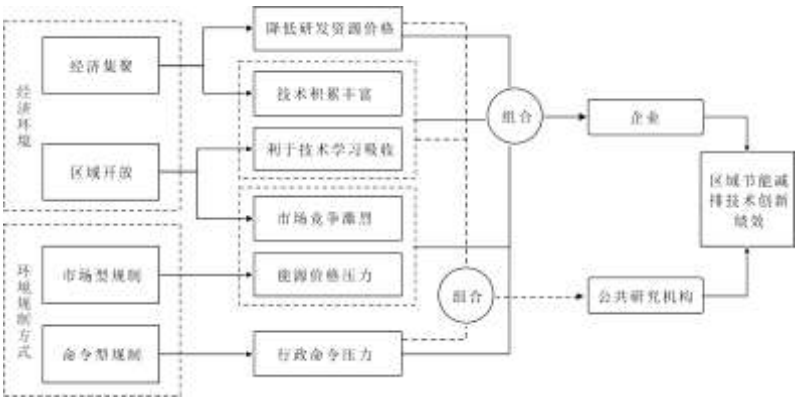


图 1 省域节能减排技术创新机理分析

(2) 构造真值表。

由所有可能的前因因素组合构成的表即为真值表。本文有 5 个前因因素，因此生成的真值表为 32 行。

(3) 精简真值表。

fsQCA 需要设置频数阈值和一致性精简真值表。其中，前者将剔除频数低于门槛值的因素组合，后者将剔除掉样本案例与集合逻辑关系一致性低于门槛值的因素组合。在案例数量较少时，合理的频数阈值设置为 1; 而当案例数较大时，则应选择更高的频数阈值。由于本文仅有 30 个观测值，频数设置为 1。

模糊子集关系的一致性，简单来说，就是前因集合被包含于结果集合的程度，衡量的是真值表每行由前因组合引致结果的充分性。Ragin 等^[29]利用下式计算真值表每行的一致性： $Consistency(X_i \leq Y_i) = \sum (\min(X_i, Y_i)) / \sum (X_i)$, 在本文中， X_i 为每个案例

在 5 个条件组合中的隶属分数, Y_i 为每个案例节能减排技术创新绩效的隶属分数。一般情况下, 一致性设置为 0.75 或 0.8, 本文参照多数文献, 将一致性设置为 0.8。

(4) 反事实分析与布尔运算求解。

fsQCA 通过布尔运算, 归纳变量间的作用规律。举例来说, 假设保留的真值表行中同时包含以下两个式子(“~”表示该条件不存在):

经济集聚*对外开放*市场型规制→创新高绩效(1)

经济集聚*对外开放*~市场型规制→创新高绩效(2)

上述表达式仅在是否采用市场型规制上不同, 但结果相同。因此, 在这个例子中, 节能减排技术创新高绩效与市场型规制无关, 从而可以去掉这个条件, 得出更简化的解。即: 经济集聚*对外开放→创新高绩效。求解时, 仅根据真值表中有案例发生的行进行求解即可得到复杂解。

真值表中有一些行并没有对应的实际案例发生, fsQCA 利用这些行简化求解结果并被称之为反事实分析。为了简化筛选出的条件构型, 求解时通常进行反事实分析, 以降低解获取的复杂程度。结合理论干预假设与经验判断选择的行称之为简单反事实分析, 可以得到中间解, 如本文认为经济集聚对节能减排技术创新有正向影响; 而缺乏理论指导, 仅出于简化组合目的得到的解称为简约解。

4 变量说明与统计分析

本文的前因条件包括经济集聚、区域开放、研究主体构成、命令型规制强度、市场型规制强度, 结果变量为节能减排技术创新绩效, 数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国物价年鉴》。

4.1 前因条件与结果变量说明

(1) 经济集聚程度。

经济集聚描述单位空间的经济活动程度, 使用的指标通常包括空间基尼系数、赫芬达尔指数、泰尔指数等。张可等^[31]为了纠正上述指标因地理单元差异较小产生的空间偏倚, 采用产出密度衡量经济集聚程度。尽管产出密度能准确反映省域单位面积上的经济活动承载量, 但忽略了相邻省域产出密度以及由此产生的技术溢出效应对本省域的影响。因此, 本文在计算域经济集聚程度时, 加权计算产出密度高于本省域的相邻省域产出密度, 具体步骤如下: ①借鉴邵帅等^[4]的做法, 采用各省域 2011-2017 年的 GDP 均值与行政面积之比表示地区产出密度 O_i ; ②假设产出密度高于本地区且相邻的省域有 n 个, 则本省域的经济集聚程度

$$g_i = (O_i + \sum_{j=1}^n O_j) / (n + 1), \text{ 其中, } O_j \text{ 表示相邻省域产出密度, 且满足 } O_j > O_i.$$

(2) 区域开放程度。

有学者利用外商投资企业产值占工业总产值的比重表征, 也有采用 FDI 占 GDP 的比重测度。本文借鉴袁丽静等^[27]的做法, 按境内目的地和货源地划分, 以各省域货物进出口总额占该省 GDP 的比重表示。

(3) 研究主体构成。

采用各省域 2011-2017 年高等学校、研究与开发机构的 R&D 经费内部支出之和占该省域 R&D 经费总额之比表示,即公共研究机构比例=(高等学校 R&D 经费内部支出+研究与开发机构 R&D 经费内部支出)/R&D 经费总额,企业比例近似为“1-公共研究机构比例”。

(4) 命令型规制强度。

借鉴王班班、叶琴等的做法,采用“十二五”和“十三五”期间各省域节能减排目标为指标,数据来源于《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》(国发[2011]26 号)、《国务院关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知》(国发[2016]74 号)。节能减排目标包括节能目标、化学需氧量排放、氨氮排放、二氧化硫排放、氮氧化物排放 5 个分指标,分别计算两个时期的综合指数,再取均值以表征 2011-2017 年的命令型规制强度。计算方法如下:①将 5 个分指标进行线性标准化。 $UE_{ij} = [UE_{ij} - \min(UE_{ij})] / [\max(UE_{ij}) - \min(UE_{ij})]$,其中, UE_{ij} 是 i 省域 j 指标需达到的目标, $\max(UE_{ij})$ 和 $\min(UE_{ij})$ 为各指标在所有省域中的最大值及最小值, UE_{ij} 为指标的标准化值;②采用调整系数反映各指标在不同省域的差异。计算公式为:

$W_j = UE_j / \overline{UE_j}$, $\overline{UE_j}$ 为“十二五”、“十三五”期间 j 指标的平均规制水平;③各省域的命令型规制强度 $ER_i = 15 \sum_{j=1}^5 W_j * UE_{ij}$ $ER_i = 15 \sum_{j=1}^5 W_j * UE_{ij}$ 。

(5) 市场型规制强度。

同样,借鉴王班班、叶琴等的方法,推算综合能源价格指数以表征各省域市场型规制强度。根据《中国统计年鉴》,2011-2017 年煤炭、石油、电力 3 种能源消耗最低占总能源消耗的 93%(2017 年),因此本文以上述 3 种能源为参照物,计算各省综合能源价格。具体步骤如下:查询《中国物价年鉴》每年公布的 36 个大中城市的煤炭、汽油、电力价格,《中国能源统计年鉴》每年公布的各省域分品种能源消费量以及总能源消费量用,加权计算各省域 3 种能源价格和消费量,得到各省域能源总成本;采用 2011-2017 年各省域能源总成本与能源消费总量之比代表该地区能源价格指数。

(6) 节能减排技术创新绩效。

采用滞后一期(2012-2018 年)节能减排发明专利数与 GDP 的比值表征。数据获取方法如下:在上海知识产权(专利)公共服务平台检索系统下的高级检索栏,以专利申请日进行年度划分,利用“节约能耗”“节能”“节约能源”“省电”等与节能减排相关的关键字进行逐年逐地区搜索,共得到节能减排发明专利数 152046 条,但重庆和海南的专利数据缺失,于是采用相同方法从国家知识产权局专利文献信息公共服务数据库补齐数据,得到两省域专利数共 3905 条。最后,节能减排技术创新绩效=各省域 7 年节能减排专利总数/各省域 7 年 GDP 总额(单位:件/千亿元)。

4.2 描述性统计分析

采用 Stata15.1 进行描述性统计分析,并进行 Pearson 相关分析。表 1 给出了各变量描述性统计结果。表 2 列出了节能减排技术创新绩效与经济集聚、开放程度、公共研究机构比例、市场型规制、命令型规制之间的相关性,结果显示,创新绩效与经济集聚、开放程度均在 5%的显著性水平下正相关,初步验证了假设 H₁。

表 1 描述性统计结果

变量	均值	标准差	最小值	最大值
----	----	-----	-----	-----

创新绩效	27.83	16.99	5.26	75.23
经济集聚	5148	8249	292	38253
开放程度	401	433	29	1795
公共研究机构比例	0.24	0.14	0.06	0.61
市场型规制	1735	307	1277	2444
命令型规制	0.81	0.47	-0.12	1.57

表 2 相关系数分析结果

变量	1	2	3	4	5	6
1 创新绩效	1					
2 经济集聚	0.46**	1				
3 开放程度	0.40**	0.78***	1			
4 公共研究机构比例	0.05	0.02	-0.12	1		
5 市场型规制	-0.02	-0.06	-0.04	-0.14	1	
6 命令型规制	0.47***	0.56***	0.46**	-0.20	-0.24	1

5 结果分析与讨论

5.1 单因素必要性分析

采用 fsQCA3.0 软件进行数据分析。组合分析前，针对单一要素是否为引致高(低)绩效的充要条件展开讨论，一般认为构成必要条件的一致性水平须高于 0.9^[32]。由此可知，均明显低于 0.9 的水平，表明任何单个前因条件均无法引致节能减排技术创新高绩效或低绩效。

5.2 高节能减排技术创新绩效

其中，大的“●”与“⊗”分别表示核心因素隶属度高低，小的“●”与“⊗”分别表示边缘因素隶属度高低，空白代表该前因条件的隶属度可能较高，也可能较低。需要特别说明的是，在“公共研究机构比例”一栏中，“●”代表公共研究机构在省域内占主导，“⊗”则代表企业研发占主导。其中，原始覆盖度表示该组合能够覆盖结果案例的比例，唯一覆盖度是指刨除与其它组态的共同部分后，单个组态对结果的解释程度，解的覆盖度是指所有组态覆盖结果案例的比例^[33]。

组合 1a 与 1b 来自同一简约解，表征省域内研发主体为企业、开放程度较高的情况。组合 1a 中，由于经济集聚程度较高，使得研发要素价格较低，节能减排技术积累丰富，而开放程度高使研发主体能够充分利用技术外溢效应，使企业拥有较好的技

技术创新外部条件,在此经济环境下,高命令型规制会促使企业选择技术创新以应对节能减排压力,从而获得高绩效。组合 1b 则代表经济集聚程度低的情况,此时研发资源价格没有优势且节能减排技术积累不足,尽管开放程度较高,但技术溢出效应不显著,而企业面临的竞争较激烈,使得企业无法获得垄断利润。为了提升竞争力,企业有进行节能减排技术研发的动力,但是高能源价格会挤占企业研发资金,不利于技术创新,因此不宜选择高命令型市场规制。其一方面是因为在外部条件不利于创新的情况下,企业可能选择投资节能减排设备以应对规制压力;另一方面是公共研究机构占比较小,高命令型规制无法产生更高创新绩效。

组合 2a 和 2b 来自另一简约解,表征省域内命令型规制程度高且市场型规制不高的情况。在组合 2a 中,经济集聚与区域开放程度均较高,公共研究机构和企业都拥有最佳的外部创新条件,因此无论研发主体构成情况如何,高命令型规制都会促进省域节能减排技术创新。开放程度高使得企业竞争激烈,而高市场型规制会提高企业成本,进而抑制创新绩效,因此不宜采用高市场规制。组合 2b 代表经济集聚程度不高、研发主体为公共研究机构的情况。此时,命令型规制能够起到充分的创新诱发效果,验证了假设 H_2 。同时,由于经济集聚程度不高,研发资源价格与技术积累优势均不明显,而低能源价格有助于降低企业成本、促进节能减排技术创新。

从整体看,获得高绩效的组合有 4 个,解释了 65%的高绩效样本,验证了假设 H_4 ,即省域节能减排技术创新高绩效是多因素综合作用的结果,上述组合具有等价性且不唯一。从不同组合看,1a 和 2a 均包含高经济集聚、区域开放,覆盖了 51%的高绩效样本,包含 4 个组合中的大多数案例。由此可见,经济集聚和区域开放是节能减排技术创新的重要条件,验证了假设 H_1 。组合 1b 和 2b 表明当经济环境欠佳时,企业占研究主体的省域通过降低市场型规制强度、公共研究机构占主体的省域通过提高命令型规制强度也能获得高绩效,但此时由于外部创新条件不足,实现高绩效的案例较少,两个组合的唯一覆盖度均只有 0.06。此外,低市场型规制出现在 3 个组合中,表明整体上市场型规制不利于节能减排技术创新,验证了假设 H_3 。

图 2 描绘了节能减排技术创新高绩效与前因因素组合构成的 X—Y 散点情况,一致性分数评估了各组合实例符合上三角模式的程度^[34],上三角较好地印证了组合引致省域节能减排技术创新高绩效的结论。

5.3 低节能减排技术创新绩效

为全面了解省域节能减排技术创新情况,本文一并考察导致低绩效的组合情况。

从结果看,首先,经济集聚程度不高、区域开放程度低分别出现在 4 个组合中的 3 个,并解释了大多数低绩效样本,再次验证了假设 H_1 ,即经济集聚、区域开放是节能减排技术创新的重要条件;其次,低绩效组合中,高命令型规制都对应于低公共研究机构比例,而当公共研究机构比例高时,高命令型规制都缺失,因此假设 H_2 中的“命令型规制对公共研究机构更有效”再次得到验证。组合 4 中开放程度高表明市场竞争激烈,企业无法获得超额利润,此时高市场型规制对企业资金的挤占导致低绩效,进一步验证了假设 H_3 ;最后,低绩效是组合因素作用的结果,该组合具有等价性且路径不唯一,因此假设 H_4 对节能减排技术创新低绩效的研究同样适用。图 3 为低绩效与前因因素组合构成的 X—Y 散点分布。

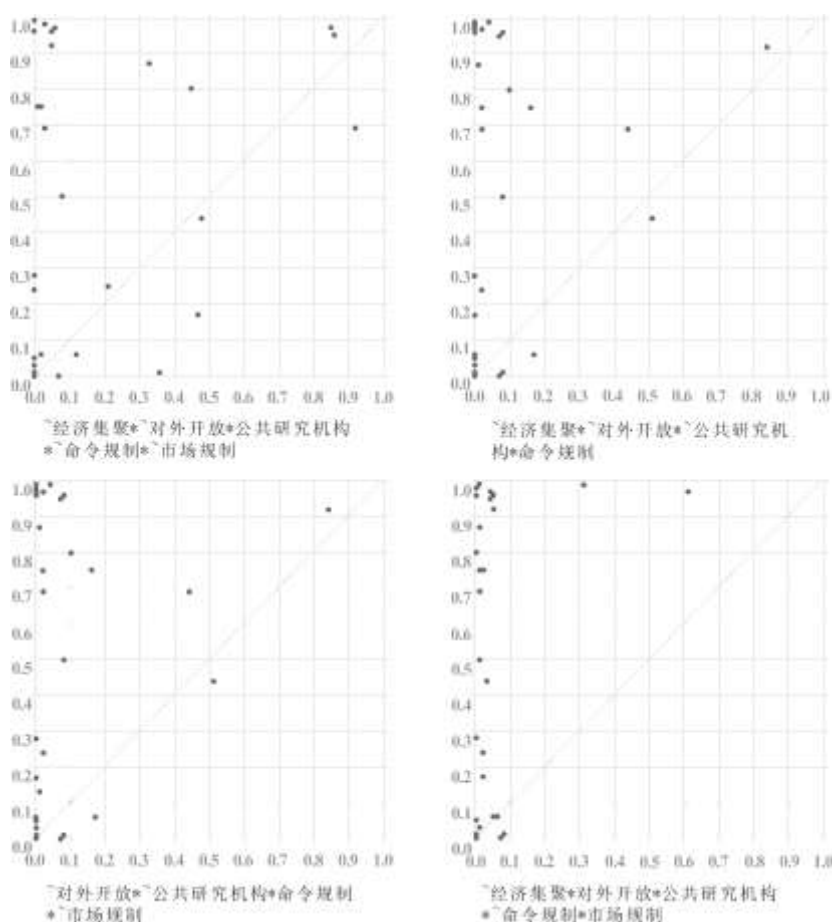


图 2 高性能 X—Y 散点分布

6 结论与政策启示

本文基于模糊集定性比较分析方法，从整体性研究视角，以经济集聚、区域开放、研发主体构成、命令型规制和市场型规制为前因条件，分析了 2011-2018 年中国内地 30 个省级行政区(除西藏外)的节能减排技术创新绩效，得出以下结论：

(1)在诱发条件上，提出并证实了外部经济环境、研发主体构成与环境规制共同影响省域节能减排技术创新绩效。以往文献对环境规制能否诱发节能减排技术创新进行了较多讨论，但结论存在争论。因此，本文研究有助于解释以往文献结论的不一致，即经济环境和研发主体构成差异导致环境规制效果不同。

(2)在节能减排技术创新促进机制上，本文认为引致省域节能减排技术创新高性能的因素具有多元化且不唯一。以往文献对环境规制与节能减排技术创新间的负向^[12]、正向^[13]、U 型^[10]关系进行了充分讨论，检验了其它因素的中介、调节作用^[14]，但基本没有离开计量模型范畴，难以解决研究中存在多个前因条件交互的问题。而模糊集定性比较分析在处理上述问题上有较大优势，得出的多路径结论也与线性回归中的对称性(如果高环境规制对应于高创新绩效，那么降低环境规制强度一定会降低创新绩效)有显著差异，为不同省域根据实际情况采取合理的环境规制方式提供了理论依据。

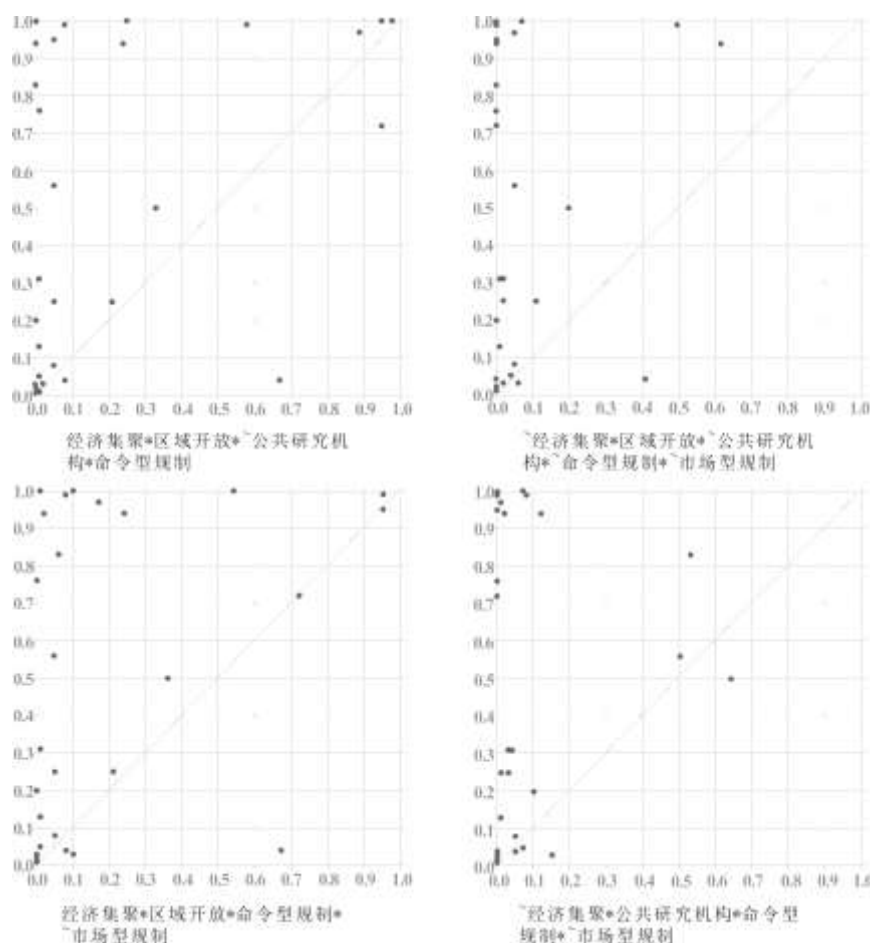


图3 低绩效 X-Y 散点情况

(3)省域节能减排技术创新绩效与研发主体构成密切相关——命令型规制对公共研究机构有显著促进作用，对企业的影响具体取决于外部经济环境是否有利；市场型规制主要对企业起作用，但总体上不利于节能减排技术创新。本文将省域研发主体纳入模型，分析发现，科研主体对环境规制的敏感度不同，这与王班班等关于环境规制类型对不同产业的影响具有差异的逻辑相似，也验证了叶琴等关于命令型规制、市场型规制作用机理较复杂的结论。而本文与他们的不同之处在于，更细致地考察了经济环境、研发主体、环境规制类型的交互关系，并认为省域节能减排技术创新高绩效是不同前因因素组合作用的结果。

在政策建议和实践指导层面上，可为促进节能减排技术创新提供如下启示：

一是由于对外开放和经济集聚是节能减排技术创新的重要条件，因此，各省应该继续加大对外开放力度，提高开放质量，以构建国内国外“双循环”发展新格局为契机，加快积累核心技术与自主知识产权，完善知识产权保护，落实《构建市场导向的绿色技术创新体系的指导意见》等文件精神，充分利用技术创新溢出效应。中西部省份应积极融入京津冀、长江经济带、粤港澳大湾区等区域发展战略，以及“一带一路”倡议，利用经济强省研发资源，积极引进先进的节能减排技术和相关高素质人才，重视消化吸收和创新绩效提高，提升自主创新能力。

二是在环境规制类型选择上，首先，结合具体经济环境和省内科研主体情况，其次，采取多种手段激励科研主体进行节能减排技术创新。在经济集聚程度和开放程度较高的省域，继续采取严格的行政管控措施。这是因为在“十二五”、“十三五”节能减排任务中，单位能耗、化学需氧量、氨氮化合物、二氧化硫、氮氧化物的限额排放对节能减排技术创新起到了有效的促

进作用，远期应该以碳排放达峰和碳中和为目标，分阶段制定实施节能减排计划。尽管高能源价格会提高企业成本，但是在有利的经济环境下，应发挥能源价格、碳税等工具对企业节能减排技术研发的促进作用，并逐步采取以市场型环境规制为主的调节机制。

三是在经济环境欠佳的省份，通过选择合适的环境规制方式亦可能实现节能减排技术创新高绩效。当省内公共研究机构占主导时，命令型规制能够发挥行政体系高效率的特点，促进研究机构、高校等科研主体的节能减排技术研发。当区域开放程度较低时，企业竞争不激烈，由于拥有一部分垄断利润，企业自发进行节能减排技术创新的意愿较弱，此时提高能源价格、征收碳税可以促使企业进行节能减排技术创新。

未来研究可以在以下方面作进一步细化：首先，更全面地考察影响省域节能减排技术创新绩效的因素，如产业结构、政府补贴、R&D经费投入强度等；其次，研究主体可以进一步划分，如企业可以分为国企和私企；最后，采用面板数据以反映节能减排技术创新绩效随时间变化的发展趋势。

参考文献：

[1]王班班，齐绍洲. 市场型和命令型政策工具的节能减排技术创新效应——基于中国工业行业专利数据的实证[J]. 中国工业经济，2016, 33(6):91-108.

[2]叶琴，曾刚. 不同环境规制工具对中国节能减排技术创新的影响——基于 285 个地级市面板数据[J]. 中国人口·资源与环境，2018, 28(2):115-122.

[3]沈能，刘凤朝. 高强度的环境规制真能促进技术创新吗——基于“波特假说”的再检验[J]. 中国软科学，2012, 27(4):49-59.

[4]邵帅，张可，豆建民. 经济集聚的节能减排效应：理论与中国经验[J]. 管理世界，2019, 35(1):36-60+226.

[5]CHESBROUGH. Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology[M]. Boston: Harvard Business Press, 2003.

[6]孙凤娥，田治威. 区域创新效率提升之道：选择性保护还是全面开放[J]. 科技进步与对策，2019, 36(8):35-43.

[7]PORTER M E, LINDE C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4):97-118.

[8]郭捷，杨立成. 环境规制、政府研发资助对绿色技术创新的影响——基于中国内地省级层面数据的实证分析[J]. 科技进步与对策，2020, 37, 36(10):37-44.

[9]李文鸿，曹万林. FDI、环境规制与区域绿色创新效率[J]. 统计与决策，2020, 29(19):118-122.

[10]张娟，耿弘. 环境规制对绿色技术创新的影响研究[J]. 中国人口·资源与环境，2019(1):168-176.

[11]WAGNER M. On the relationship between environmental management, environmental innovation and patenting: evidence from German manufacturing firms[J]. Research Policy, 2007, 36(10):1587-1602.

-
- [12] ZHANG Y, WANG J, XUE Y, et al. Impact of environmental regulations on green technological innovative behavior: an empirical study in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 188: 763–773.
- [13] 李冬琴. 环境政策工具组合、环境技术创新与绩效[J]. *科学学研究*, 2018, 36 (12): 2270–2279.
- [14] CAI W, LI G. The drivers of eco-innovation and its impact on performance: evidence from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176: 110–118.
- [15] 张平, 张鹏鹏, 蔡国庆. 不同类型环境规制对企业技术创新影响比较研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26 (4): 8–13.
- [16] LI Q, SONG J, WANG E, et al. Economic growth and pollutant emissions in China: a spatial econometric analysis[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2013, 28 (2): 429–442.
- [17] 高丽娜, 张惠东. 集聚经济、创新溢出与区域创新绩效[J]. *工业技术经济*, 2015, 34 (1): 70–77.
- [18] 毛金祥, 张可. 经济集聚与区域创新的空间关联研究——以长三角地区为例[J]. *现代城市研究*, 2018, 33 (11): 41–46, 72.
- [19] KANG Z-Y, LI K, QU J. The path of technological progress for China's low-carbon development: Evidence from three urban agglomerations[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 178: 644–654.
- [20] 师博, 沈坤荣. 政府干预、经济集聚与能源效率[J]. *管理世界*, 2013, 29 (10): 6–18, 187.
- [21] 温军, 张森. 经济开放度与中国国际技术创新——基于省际 PCT 国际专利申请数据的经验研究[J]. *国际贸易问题*, 2018, 44 (11): 120–131.
- [22] SONG M L, TAO J, WANG S H. FDI, technology spillovers and green innovation in china: analysis based on data envelopment analysis[J]. *Annals of Operations Research*, 2015, 228 (1): 47–64.
- [23] ZHEN H. Research on the evaluation of China's provincial eco-innovation capability[J]. *Energy Procedia*, 2011, 5: 647–653.
- [24] DING X, TANG N, HE J. The threshold effect of environmental regulation, FDI agglomeration, and water utilization efficiency under "double control actions"—an empirical test based on yangtze river economic belt[J]. *Water*, 2019, 11 (3): 452.
- [25] COSTANTINI V, MAZZANTI M, MONTINI A. Environmental performance, innovation and spillovers. evidence from a regional NAMEA[J]. *Ecological Economics*, 2013, 89: 101–114.
- [26] 杨朝均, 毕克新, 呼若青. 开放经济下工业企业绿色创新动力传导机制[J]. *系统工程*, 2018, 36 (9): 79–90.
- [27] 袁丽静, 郑晓凡. 环境规制、政府补贴对企业技术创新的耦合影响[J]. *资源科学*, 2017, 39 (5): 911–923.
- [28] 李广培, 李艳歌, 全佳敏. 环境规制、R&D投入与企业绿色技术创新能力[J]. *科学学与科学技术管理*, 2018, 39 (11): 61–73.

-
- [29]RAGIN,FISS.Redesigning social inquiry:fuzzy sets and beyond[M].Chicago:University of Chicago press,2008.
- [30]吕峰,梁琬瞳,张峰.效率还是效果:复杂环境下企业创新的权衡[J].南开管理评论,2018,21 (5):188-199.
- [31]张可,汪东芳.经济集聚与环境污染的交互影响及空间溢出[J].中国工业经济,2014,31(6):70-82.
- [32]R S M,C S-B,M P.Mapping the institutional capital of high-tech firms:a fuzzy-set analysis of capitalist variety and export performance[J].Journal of International Business Studies,2010,41 (2):246-266.
- [33]杜运周,贾良定.组态视角与定性比较分析(QCA):管理学研究的一条新道路[J].管理世界,2017,33(6):155-167.
- [34]RIHOUX B,RAGIN C C.Configurational comparative methods:qualitative comparative analysis (QCA) and related techniques[M].Thousand Oaks:SAGE Publications,Inc,2017.