

# 松江区工业发展与能源消耗脱钩关系及影响因素研究

**【摘要】**当前，松江区工业节能降耗工作面临着较大压力，如何在产值能耗基数较低和产业发展出现波动两方面制约下，从产值与能耗的内在关系出发，寻找继续有效推进节能降耗工作的突破口值得深入研究。本文基于 2011-2015 年松江区规模以上工业企业相关数据，首先使用 Tapio 脱钩模型测算工业发展与能源消耗的脱钩指数，然后使用 LMDI 分解模型对能耗变动总量影响因素进行分解，再后使用 Lasso 回归模型甄别能够调整强度效应的具体变量。实证分析发现，2011-2015 年间松江区工业发展与能源消耗脱钩状态整体尚可，强度和规模效应对能源消耗总量变动具有决定性作用，而多个变量能够对强度效应产生影响。最后，依据实证分析结果为下阶段地区节能降耗工作提出若干意见建议。

关键词：节能降耗、Tapio 脱钩、LMDI 分解、Lasso 回归

## 引言

当前，松江区工业节能降耗工作面临着较大压力，工作瓶颈主要来源于两方面。一方面，产值能耗基数较低。“十一五”末与“十二五”末，松江区规模以上工业产值能耗分别为 0.047 吨标准煤/万元和 0.042 吨标准煤/万元，均明显低于同期同口径全市水平。另一方面，产业发展出现波动。在经历了十余年高速增长后，松江区工业经济受到各种内外部不确定因素的共同冲击，工业总产值年均增速已从“十五”时期的 40.3% 下滑至“十二”时期的-2.4%。下阶段，如何在基数较低和产值波动两方面制约下，从产业发展与能源消耗内在关系出发，寻找继续有效推进节能降耗工作的突破口值得深入研究。

## 一、文献综述

近些年，国内学者研究制造业发展与能源消耗关系的相关文献主要可以分为三类。第一类，以 Tapio 脱钩模型为主。王欢芳等<sup>[1]</sup>测算了 00-04 年和 05-09 年我国制造业的碳排放脱钩指数，结果显示基本

所有行业已处于弱脱钩状态。曹广喜等<sup>[2]</sup>测算了 04-12 年我国四大经济区的碳排放脱钩指数，结果显示各经济区碳排放脱钩情况整体趋好，但丝绸之路经济带脱钩状况最差。第二类，以 LMDI 分解模型为主。孙宁<sup>[3]</sup>分解了 03-08 年我国制造业碳排放影响因素，结果显示强度效应是主要影响因素。郑若娟等<sup>[4]</sup>分解了 94-09 年我国制造业碳排放影响因素，结果显示强度效应是主要影响因素，结构效应具有一定影响。孙建等<sup>[5]</sup>分解了 99-12 年重庆市制造业碳排放影响因素，结果显示规模效应是主要影响因素，结构效应影响程度不大。徐盈之等<sup>[6]</sup>分解了 95-09 年我国制造业能源消耗影响因素，结果显示规模效应是主要影响因素，结构效应会导致能源消耗增加，强度效应则利于能源消耗减少。第三类，Tapio 与 LMDI 相结合。王雪松等<sup>[7]</sup>测算了 95-10 年我国制造业的碳排放脱钩指数，结果显示其经历了强复钩(96-99)、弱脱钩(00-01)、扩张性复钩(02-04)、弱脱钩(05—10)四个阶段，并分解了各阶段影响因素，结果显示规模效应是主要影响因素，强度效应利于碳排放减少，结构效应不具有决定性影响。

第一类文献本质上仅测算了制造业产值或增加值与能源消耗的弹性系数，并未研究能源消耗变动总量的影响因素，第二和第三类文献虽然分解了能源消耗变动总量的影响因素，但未进一步研究能够调整这些影响因素的具体变量。因此，本文在上述各类文献研究成果的基础上，结合使用 Tapio 脱钩模型、LMDI 分解模型、Lasso 回归模型三种方法，对松江区工业发展与能源消耗的内在关系及影响因素进行实证分析，旨在通过充分挖掘政府统计数据信息，为相关职能部门在

“十三五”时期节能降耗工作提供一定参考。

## 二、研究方法

### (一) Tapio 脱钩模型

Tapio 脱钩模型利用弹性值来分析经济发展与环境压力之间的关系，计算公式为  $T = (\Delta E / E) / (\Delta Y / Y)$ 。式中， $E$  表示环境压力，本文使用规模以上工业综合能耗数据， $Y$  表示经济发展，本文使用同口径工业总产值数据。

根据指数值范围，可将脱钩状态分为增长负脱钩、强负脱钩、弱负脱钩、弱脱钩、强脱钩、衰退脱钩、增长连结、衰退连结八个等级，具体划分标准详见表 1。

表 1 Tapio 脱钩模型脱钩类型

脱钩状态		$\Delta EC$ (环境压力)	$\Delta GDP$ (经济增长)	弹性 $t$
负脱钩	增长负脱钩	$>0$	$>0$	$>1.2$
	强负脱钩	$>0$	$<0$	$<0$
	弱负脱钩	$<0$	$<0$	$0 < t < 0.8$
脱钩	弱脱钩	$>0$	$>0$	$0 < t < 0.8$
	强脱钩	$<0$	$>0$	$<0$
	衰退脱钩	$<0$	$<0$	$t > 1.2$
连结	增长连结	$>0$	$>0$	$0.8 < t < 1.2$
	衰退连结	$<0$	$<0$	$0.8 < t < 1.2$

### (二) LMDI 分解模型

LMDI 分解模型可将能源消耗变动总量分解为能源消耗结构、能源利用效率和行业产出规模等影响因素，计算公式为

$$E = \sum_i E = \sum_i \frac{E_i}{E} \times \frac{E}{Y} \times Y = \sum_i S_i \times I \times Y。式中，S_i = \frac{E_i}{E} 表示能源消耗结构，$$

即结构效应,  $E_i$  表示第  $i$  种能源的综合能耗;  $I = \frac{E}{Y}$  表示能源利用效率, 即强度效应,  $Y$  表示行业产出规模, 即规模效应。

报告期能源消耗总量相对于基期的变动情况可以表示为  $\Delta E = E_t - E_0 = \Delta E_S + \Delta E_I + \Delta E_Y$ ,  $D = D_S \times D_I \times D_Y$ 。式中,  $\Delta E_S$ 、 $D_S$  为结构效应对能源消耗总量的贡献,  $\Delta E_I$ 、 $D_I$  为强度效应对能源消耗总量的贡献,  $\Delta E_Y$ 、 $D_Y$  为规模效应对能源消耗总量的贡献。

$$\Delta E_k = \sum_i \frac{E_{i,t} - E_{i,0}}{\ln E_{i,t} - \ln E_{i,0}} \times \ln\left(\frac{k_{i,t}}{k_{i,0}}\right),$$

$$D_k = \exp\left[\sum_i \frac{(E_{i,t} - E_{i,0}) / (\ln E_{i,t} - \ln E_{i,0})}{(E_t - E_0) / (\ln E_t - \ln E_0)} \times \ln\left(\frac{k_{i,t}}{k_{i,0}}\right)\right], \quad k \text{ 指某个效应。}$$

### (三) Lasso 回归模型

Lasso 回归是在回归系数绝对值之和小于一个常数的约束条件下, 使残差平方和最小化, 从而产生某些严格等于 0 的回归系数, 得到解释力较强的模型。

对于线性回归模型  $Y = \beta_0 + \beta x_i + \varepsilon_i$ ,  $\beta$  为回归系数向量,  $\varepsilon$  为随机扰动项, 假定自变量数据矩阵  $X = \{x_{ij}\}$  为  $n \times p$  阶, 回归系数需要满足

$$\text{条件 } \hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \right], \quad \text{也等价于在约束条件}$$

$$\sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq s \text{ 下, 满足 } \hat{\beta} = \arg \min_{\beta} \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2。$$

## 三、实证分析

### (一) Tapio 脱钩模型的实证结果

使用 Tapio 脱钩模型测算 2011-2015 年松江区规模以上工业发展与能源消耗的脱钩指数。

从整体看, 2011 -2015 年松江区规模以上工业的 Tapio 脱钩指数为 1. 961, 由于受到产业发展波动影响, 工业产值和综合能耗均出现一定程度下降, 故判断为衰退脱钩。

分行业看, 在 30 个行业大类中, 呈现脱钩状态的有 15 个, 连结状态的有 7 个, 负脱钩状态的有 8 个。呈现脱钩状态的行业中, 木材加工和木竹藤棕草制品业、化学纤维制造业、非金属矿物制品业、汽车制造业、仪器仪表制造业、其他制造业、水的生产和供应业为弱脱钩; 酒饮料和精制茶制造业、家具制造业、造纸和纸制品业、化学原料和化学制品制造业为强脱钩; 纺织业、纺织服装服饰业、皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业、专用设备制造业为衰退脱钩。呈现连结状态的行业中, 医药制造业为增长连结, 印刷和记录媒介复制业、文教工美体育和娱乐用品制造业、橡胶和塑料制品业、有色金属冶炼和压延加工业、铁路船舶航空航天和其他运输设备制造业、电气机械和器材制造业为衰退连结。呈现负脱钩状态的行业中, 农副食品加工业、食品制造业、金属制品业、计算机通信和其他电子设备制造业为增长负脱钩; 通用设备制造业为强负脱钩; 石油加工炼焦和核燃料加工业、黑色金属冶炼和压延加工业、废弃资源综合利用业为弱负脱钩。

表 2 2011-2015 年松江区规模以上工业分行业 Tapio 脱钩类型

行业名称	脱钩类型	行业名称	脱钩类型
农副食品加工业	增长负脱钩	橡胶和塑料制品业	衰退连结
食品制造业	增长负脱钩	非金属矿物制品业	弱脱钩
酒、饮料和精制茶制造业	强脱钩	黑色金属冶炼和压延加工业	弱负脱钩
纺织业	衰退脱钩	有色金属冶炼和压延加工业	衰退连结
纺织服装、服饰业	衰退脱钩	金属制品业	增长负脱钩
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	衰退脱钩	通用设备制造业	强负脱钩

木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	弱脱钩	专用设备制造业	衰退脱钩
家具制造业	强脱钩	汽车制造业	弱脱钩
造纸和纸制品业	强脱钩	铁路船舶航空航天和其他运输设备制造业	衰退连结
印刷和记录媒介复制业	衰退连结	电气机械和器材制造业	衰退连结
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	衰退连结	计算机、通信和其他电子设备制造业	增长负脱钩
石油加工、炼焦和核燃料加工业	弱负脱钩	仪器仪表制造业	弱脱钩
化学原料和化学制品制造业	强脱钩	其他制造业	弱脱钩
医药制造业	增长连结	废弃资源综合利用业	弱负脱钩
化学纤维制造业	弱脱钩	水的生产和供应业	弱脱钩

## （二）LMDI 分解模型的实证结果

上部分实证结果显示, 工业发展与能源消耗呈现衰退脱钩状态, 即能耗下降幅度大于产值下降幅度, 为了分析引起能耗下降的影响因素, 使用 LMDI 分解模型对能耗变动总量进行分解。

从整体看, 2011 -2015 年松江区规模以上工业的能源消耗变动总量为-84651.30 吨标准煤。经过 LMDI 分解后, 结构效应的贡献量为-377.96 吨标准煤, 所占比重为 0.4%; 强度效应的贡献量为-41933.06 吨标准煤, 所占比重为 49.5%; 规模效应的贡献量为-42340.28 吨标准煤, 所占比重为 50.0%。

分行业看, 在 30 个行业大类中, 主要影响因素为强度效应的有 8 个, 为规模效应的有 22 个。主要影响因素为强度效应的行业中, 农副食品加工业、通用设备制造业的能源消耗总量增加; 酒饮料和精制茶制造业、纺织业、家具制造业、造纸和纸制品业、化学原料和化学制品制造业、专用设备制造业的能源消耗总量减少。主要影响因素为规模效应的行业中, 食品制造业、木材加工和木竹藤棕草制品业、医药制造业、化学纤维制造业、非金属矿物制品业、金属制品业、汽

车制造业、计算机通信和其他电子设备制造业、仪器仪表制造业、其他制造业、水的生产和供应业的能源消耗总量增加；纺织服装服饰业、皮革毛皮羽毛及其制品和制鞋业、印刷和记录媒介复制业、文教工美体育和娱乐用品制造业、石油加工炼焦和核燃料加工业、橡胶和塑料制品业、黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、铁路船舶航空航天和其他运输设备制造业、电气机械和器材制造业、废弃资源综合利用业的能源消耗总量减少。

表 3 2011-2015 年松江区规模以上工业分行业 LMDI 分解主要因素

行业名称	主要因素	行业名称	主要因素
农副食品加工业	强度效应(+)	橡胶和塑料制品业	规模效应(-)
食品制造业	规模效应(+)	非金属矿物制品业	规模效应(+)
酒、饮料和精制茶制造业	强度效应(-)	黑色金属冶炼和压延加工业	规模效应(-)
纺织业	强度效应(-)	有色金属冶炼和压延加工业	规模效应(-)
纺织服装、服饰业	规模效应(-)	金属制品业	规模效应(+)
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	规模效应(-)	通用设备制造业	强度效应(+)
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业	规模效应(+)	专用设备制造业	强度效应(-)
家具制造业	强度效应(-)	汽车制造业	规模效应(+)
造纸和纸制品业	强度效应(-)	铁路船舶航空航天和其他运输设备制造业	规模效应(-)
印刷和记录媒介复制业	规模效应(-)	电气机械和器材制造业	规模效应(-)
文教、工美、体育和娱乐用品制造业	规模效应(-)	计算机、通信和其他电子设备制造业	规模效应(+)
石油加工、炼焦和核燃料加工业	规模效应(-)	仪器仪表制造业	规模效应(+)
化学原料和化学制品制造业	强度效应(-)	其他制造业	规模效应(+)
医药制造业	规模效应(+)	废弃资源综合利用业	规模效应(-)
化学纤维制造业	规模效应(+)	水的生产和供应业	规模效应(+)

### (三) Lasso 回归模型的实证结果

上部分实证结果显示，一方面，结构效应并未对能耗变动总量产生重要影响，而且更多使用天然气、电力等清洁能源的发展趋势不可逆；另一方面，规模效应虽然对能耗变动总量产生重要影响，但若产

业规模继续衰减必定会影响地区经济的平稳发展。所以，只能依靠控制强度效应，即提高能源利用效率来实现节能降耗工作的突破，故此使用 Lasso 回归模型甄别能够调整能源利用效率的具体变量。

设定能源利用效率为因变量，大中型企业产值比重、成熟型企业产值比重、私营企业产值比重、外资企业产值比重、园区内企业产值比重、新产业/新技术企业产值比重、劳动力要素投入增速、资本要素投入增速、R&D 人员折合全时当量比重、R&D 经费支出比重、清洁能源消耗比重为自变量，各变量具体说明详见表 4。

表 4 Lasso 回归模型变量说明

变量代码	变量名称	变量说明
y	能源利用效率	行业综合能耗/行业总产值
x1	大中型企业产值比重	大中型企业产值/行业总产值
x2	成熟型企业产值比重	开业年限大于 8 年企业产值/行业总产值
x3	私营企业产值比重	私营企业产值/行业总产值
x4	外资企业产值比重	外资企业产值/行业总产值
x5	园区内企业产值比重	园区内企业产值/行业总产值
x6	新产业/新技术企业产值比重	战略性新兴产业、高兴技术、小巨人企业产值/行业总产值
x7	劳动力要素投入增速	平均用工人数增速
x8	资本要素投入增速	固定资产合计增速
x9	R&D 人员折合全时当量比重	R&D 人员折合全时当量/平均用工人数
x10	R&D 经费支出比重	R&D 经费支出/管理费用
x11	清洁能源消耗比重	天然气与电力能耗/行业综合能耗

使用 R 软件的 lars 程序包求解方程，得到的 R-squared 为 0.791，模型依次选择的自变量为 x1、x5、x11、x3、x4、x7、x6、x2、x10、x9 和 x8。由表 5 可知，模型在第 8 步时 Cp 值达到最小，即为了解决多重共线性问题，应选择的自变量为 x1、x5、x11、x3、x4、x7、x6、x2。由图 1 可知，在第 8 步时各变量系数分别为  $\beta_1 = -0.00093$ ，



$\beta_5 = -0.00090$  ,  $\beta_{11} = 0.00133$  ,  $\beta_3 = -0.00186$  ,  $\beta_4 = -0.00132$  ,  $\beta_7 = 0.00030$  ,  
 $\beta_6 = -0.00031$  ,  $\beta_2 = -0.00039$  。

表 5 Lasso 回归模型 Cp 值变化

step	Df	Rss	Cp
0	1	0.193	30.217
1	2	0.191	31.573
2	3	0.173	28.186
3	4	0.169	28.909
4	5	0.163	29.080
5	6	0.151	27.739
6	7	0.116	18.894
7	8	0.093	14.226
8	9	0.071	9.584
9	10	0.071	11.380
10	11	0.067	12.228
11	12	0.060	12.000

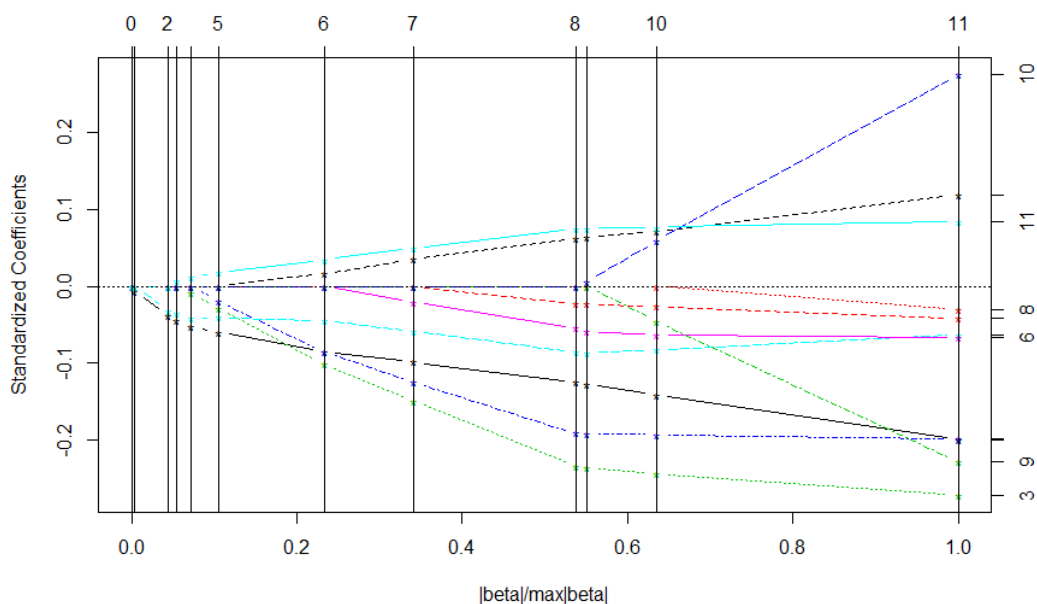


图 1 Lasso 回归模型变量系数变化

#### 四、主要结论与意见建议

##### (一) 主要结论

## 1、脱钩状况整体尚可

Tapio 脱钩模型实证结果显示，2011-2015 年松江区规模以上工业发展与能源消耗为衰退脱钩，即能耗降幅大于产值降幅，且有半数行业呈现不同类型的脱钩状态，因此脱钩状况整体尚可。

## 2、强度效应和规模效应主导

LMDI 分解模型实证结果显示，强度效应和规模效应对 2011-2015 年松江区规模以上工业能源消耗变动具有决定性作用，但由于依靠产业规模衰减降低能源消耗总量会对地区经济平稳发展产生不利影响，因此应将控制强度效应作为节能降耗工作主要着力点。

## 3、多变量共同影响强度效应

Lasso 回归模型实证结果显示，企业规模、成立年限、登记注册类型、园区集聚、新兴产业发展等变量对 2011-2015 年松江区规模以上工业能源消耗变动的强度效应产生了积极影响，劳动力要素投入和能源品种结构等变量则产生了消极影响。

### （二）意见建议

#### 1、增强企业节能意识

清洁能源能耗比重对强度效应产生了消极影响，即天然气、电力等清洁能源能耗比重提高反而会导致能源利用效率下降，实证结果与预期不符，值得引起关注。建议相关职能部门建立健全企业能源利用效率动态监测和考核机制，对能源利用效率稳定提高的企业给予一定政策优惠和物质奖励，并且加大宣传力度，在引导企业更多使用清洁能源的同时，进一步引导企业增强节能意识。

## 2、完善园区节能建设

园区内企业产值比重对强度效应产生了积极影响，即园区内企业产值占行业总产值比重提高会促使能源利用效率提高。现阶段，松江区 G60 科创走廊建设正在积极推进，“一廊九区”主题鲜明、各具特色。建议相关职能部门规划园区发展时，一方面，注重在功能设计和基础设施建设等环节中增强绿色发展和节能观念；另一方面，注重在招商引资环节中更多引进符合园区发展愿景和主题，高产出、低能耗的优质企业。

## 3、帮助企业良性运营

大中型企业产值比重、成熟型企业产值比重对强度效应产生了积极影响，即大中型企业产值占行业总产值比重、成熟型企业产值占行业总产值比重提高均会促使能源利用效率提高。建议相关职能部门加大对区内企业关心和重视程度，在营造良好营商环境、降低企业运营成本等方面制定、执行较具针对性和可操作性的政策措施，并扶持小微企业以及初创型、成长型企业逐步发展壮大。

## 4、全力发展新兴产业

新产业/新技术企业产值比重对强度效应产生了积极影响，劳动力要素投入增速对强度效应产生了消极影响，即战略性新兴产业、高兴技术、小巨人企业产值占行业总产值比重提高会促使能源利用效率提高，而平均用工人数量增速提高则会导致能源利用效率降低。建议相关职能部门以 G60 科创走廊建设为契机，全力发展信息技术、高端装备、生物医药、新能源、新材料、机器人、智能安防等高新技术产业，

在促进地区工业经济由劳动密集型向技术密集型转型升级的同时,将节能降耗工作从侧重于淘汰劣势企业逐步转向侧重于依靠新兴技术,以争取取得相关工作的新突破,顺利完成“十三五”工作任务。

作者: 松江区统计局 马一峰

#### 参考文献

- [1] 王欢芳, 胡振华. 中国制造业发展与碳排放脱钩测度研究[J]. 科学学研究, 2012, (11): 1671-1675.
- [2] 曹广喜, 刘禹乔, 周洋, 周静宜. 中国制造业发展与碳排放脱钩的空间计量研究[J]. 科技管理研究, 2015, (21): 224-228.
- [3] 孙宁. 依靠技术进步实行制造业碳减排—基于制造业 30 个分行业碳排放的分解分析[J]. 中国科技论坛, 2011, (4): 44-48.
- [4] 郑若娟, 王班班. 中国制造业真实能源强度变化的主导因素—基于 LMDI 分解法的分析[J]. 经济管理, 2011, (10): 23-32.
- [5] 孙建, 毛明明. 重庆制造业能源消费碳排放因素实证研究[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2014, (11): 52-74.
- [6] 徐盈之, 张全振. 中国制造业能源消耗的分解效应: 基于 LMDI 模型的研究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2011, (3): 55-60.
- [7] 王雪松, 任胜钢, 袁宝龙, 付祥. 基于 LMDI 方法的我国制造业发展与 CO2 排放脱钩关系研究[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2015, (4): 138-144.
- [8] 张娣. 苏北地区能源消耗与经济增长的脱钩研究[D]. 江苏: 中国矿业大学, 2014.
- [9] 吴喜之. 复杂数据统计方法—基于 R 的应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015.