我国地区层面节能形势预警方法研究

Research on the early warning methods of energy saving in China's regional level

王继龙，左晓利，刘觅颖

（北京节能环保中心，北京　100029）

**摘要：**节能形势预警是实现我国节能工作精细化和科学化管理的重要手段，是应对我国未来能源消费新形势的必然要求。目前，我国地区层面的节能形势预警方法欠缺，理论体系、预测模型、调控机制等系统性研究尚处起步阶段。本文基于能源安全预警理论，创新性提出节能形势预警的概念体系，以统计数据为基础，以实际案例为验证，建立起包括先行指标输入和预警等级输出的地区和行业节能形势月度预警智能模型，并构建节能形势预警的调控机制，提出调控原则和针对性的调控措施。

**关键词：**节能形势预警；预测模型；调控机制

**Abstract:** Early warning of energy saving is an important measure for realizing the fine and scientific management of energy conservation in China. At present, early warning methods of energy saving in China's regional level are lacked, systematic research about theory system, prediction model, regulatory mechanism is still at the initial stage. Based on the theory of early warning of energy security, this paper puts forward the concept system of early warning system of energy saving, using statistical data and the actual case to verify it, establishing a regional and industry monthly early warning model of energy saving, including leading indicators and early warning level, and the regulation mechanism of early warning of energy saving is put forward, the control principle and control measures are proposed.

Key words: early warning of Energy saving; prediction model; regulation mechanism

1 引言

开展地区层面的节能形势预警调控是适应新形势下节能减碳工作节奏的必然要求，是实现节能减碳精细化管理的有效手段。特别是“十三五”期间，我国调结构、转方式进入攻坚期，能源消费双控和碳减排要求进一步严格，各地区能源消费将呈现短期内变化性增强的特点，因此，需要提前准确预判节能发展形势，建立地区层面的预警周期更短、预警结果更合理的节能形势预警方法，为有效制定应对措施提供科学依据。

2 现状：地区节能形势预警方法欠缺

关于预警的研究最早起源于经济领域，是指对于某一系统未来的演化趋势进行预期性评价，以提前发现特定系统未来运行可能出现的问题及成因，为提前进行某项决策，实施某项防范措施或化解措施提供依据。

能源领域的预警主要集中在能源安全性预警，多是预测能源供需总量平衡情况，而几乎没有针对节能形势预警的系统性研究，国际上及一些发达国家只是在对气候变化的影响和未来趋势进行预估或评估时开展过一部分节能预警分析。我国于2010年印发了《关于进一步加大工作力度确保实现“十一五”节能减排目标的通知》（国发[2010]12号），提出“各地区要做好节能减排形势分析和预警预测”。国家发改委于2010年起发布各地区节能目标完成情况“晴雨表”，基于三个预警等级，定期对各地区节能目标完成进度进行预警。但从发布数据的时效性来看，所说的“预警”并不是对未来节能形势的预测，而只是对已发生但尚未进行统计核算的历史数据进行的测算，**“预警结果”一般滞后实际时间两个月左右**，比如，5月份发布一季度的预警情况，11月份发布前三季度数据。

我国部分地区已制定并实施了节能形势预警方案，通过测算单位地区生产总值能耗下降率及其与节能目标时序进度目标的差距，定期公布地区节能预警等级，并视紧急程度启动相应级别的预警调控方案。但总体来说，地方节能预警工作存在**“重调控、轻预警”**的情况，工作重点几乎都放在警情实际发生之后应采取何种措施应对，而对于节能形势预警模型的选择确立和实践应用则相对很少。

目前来看，我国地区层面的节能形势预警方法学尚处于起步阶段，未见系统的预警方法和成功的预警案例。“十三五”时期，我国将实施更为严格的能耗总量和强度“双控”制度，节能形势预警将成为工作常态，所以亟需在地区层面确立统一的节能形势预警方法，并据此形成可行的针对性强的调控措施，以有效应对未来能源环境的紧迫压力。

3 突破：建立基于“总量与强度双控”的概念体系

目前，“节能形势预警”的提法已被广泛采用，但对其内涵尚未形成统一共识，有必要对其概念做一明确界定。参考经济形势预警和能源形势预警概念，结合节能工作内在规律，将地区节能形势预警定义为：对地区的节能趋势进行预测和评估，判断节能进展状态，识别节能警示级别，及时对异常状态的时空范围和危害程度发出警报，为提前实施有效的应对措施提供依据。

地区节能形势预警系统的基本构成应当包含预警对象、预警指标、预警时间周期、预警警度、预警调控预案等基本要素，如图1所示。

**地区节能形势预警系统**

预警对象

预警指标

预警周期

地区

市县

行业

能耗

总量

能耗强度

月度预警

预警警度

预警调控预案

能耗

总量

警度

能耗强度

警度

工业

第三产业

公共机构

图1 地区节能形势预警系统构成示意图

以省级地区为例。

**预警对象：**包括省、下辖市县、重点行业三个层级，其中，重点行业可从能耗总量大、增速快、强度高、节能潜力大的行业中选取。

**预警指标：**指能够表征该地区（行业）节能形势发展变化态势的指标。以“总量与强度双控”为目标，预警指标应包括单位地区生产总值（行业单位增加值）能耗下降率和能耗总量增速两个指标。

**预警周期：**国家发布的省级地区节能“晴雨表”基本可实现按月度预测预警，因此，预警周期应实现“月度分析、月度预警”，以保证预警结果的及时性和有效性。

一般来说，地区生产总值、能耗总量及单位产值能耗强度等统计数据可得周期最短为季度，若要实现月度预警，需将月度统计可得数据与地区生产总值、能耗总量、单位产值能耗强度关联起来，通过建立相关性强的预警模型来预测月度预警指标。

**预警警度：**节能预警体系的主要任务是对预警指标的持续变化与未来趋势进行不间断的监测与预测，及时发现问题，避免节能形势达到安全警戒点之后可能产生的危害和后果，这个安全警戒点就是预警警度。

一般划分为三级或四级警度，大致有两类预警警度划分方法：一类是以**节能目标完成进度**作为分类指标，即将全年节能目标完成进度按预警周期做均等划分，作为最轻等级警度的基线，比如，若预警周期为季度，则每季度应完成年度节能目标的25%（100%/4个季度），25%设为最轻等级警度的基线，其余等级的划分逐步严格。该方法的优点是直观性好，可清楚地展示节能目标的季度完成情况，但缺点是过于“武断”，没有考虑不同季度用能特点的差异性；另一类是以**节能目标变化率**作为指标，即将当期节能目标同比变化率与年度变化率目标值的差距作为划分依据，该划分方法反映了不同时间周期内用能特点的差异性。本文采用第二种划分方法，以每月能耗强度同比下降率和每月能源消费总量同比增速作为分类指标，并在此基础上，考虑到节能工作从实施到出效果具有自身的时间周期特点，实施“前松后紧”的原则，即前半年对预警等级的设置条件相对较为宽松，后半年则收紧和提高预警程度。

**表1 地区节能预警警度级别设置**

|  |  |
| --- | --- |
| 假设年度目标同比下降（上升）率为x | 当年完成情况 |
| 1-3月 | 1-6月 | 1-9月 | 1-12月 |
| 能耗强度同比下降率 | III级（绿色） | ≥80%\*x | ≥90%\*x | ≥100%\*x | ≥100%\*x |
| II级（黄色） | 50%\*x～80%\*x | 60%\*x～90%\*x | 70%\*x～100%\*x | 80%\*x～100%\*x |
| I级（红色） | ≤50%\*x | ≤60%\*x | ≤70%\*x | ≤80%\*x |
| 能耗总量同比增速 | III级（绿色） | ≤120%\*x | ≤110%\*x | ≤100%\*x | ≤100%\*x |
| II级（黄色） | 120%\*x～150%\*x | 110\*x～140%\*x | 100%\*x～130%\*x | 100%\*x～120%\*x |
| I级（红色） | ≥150%x | ≥140%x | ≥130%x | ≥120%x |

如表1所示，假设地区年度单位增加值能耗强度下降率（能耗总量增速）的目标为x，那么，本年度每个月相较于去年同期的单位增加值能耗强度同比下降率均应至少达到x（能耗总量增速不超过x），才可保证年度节能目标的顺利完成。

**预警调控预案：**指针对预警警度的级别，制定相应的防范和解决措施，措施有短期的应急性措施，也有长期的政策性措施。如果地区节能目标未能按期完成，节能预警体系发出警度级别，地区应该立即启动预先制定的预警调控预案，具体措施包括工业限产限电、三产领域压减用电负荷、公共机构限用耗电设备等短期应急性措施，以及调整产业结构、优化能源结构、提高市民节约意识等长期的政策性措施。

4 重点：构建节能形势月度预警模型

选择和构建合理的预测模型是对地区节能趋势做出准确判断的关键。能源领域常用的预测模型有很多种，不同模型在预测数量关系时有各自的适用性（见表2）。从方便和快捷的角度来说，弹性系数法最为直接明了；从符合统计学基本原理来说，一元回归和多元回归模型可清晰展示因素之间的相关关系；从对变量之间的复杂关系考虑来说，灰色预测模型和支持向量机模型的精确度较高。但每种模型也均有其固有的缺点和不足,本文以实际案例的历史数据为基础对每种模型的预测结果进行测试比对。

**表2 节能预测预警模型的优缺点比较**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **模型** | **优点** | **缺点** |
| 弹性系数法 | 使用简单、应用数据量少、计算速度快。  | 前提假设是一国或地区未来与过去的经济发展趋势相比无明显的改变，这和实际情况很难相符，且尚无足够的科学依据方法来进行消费弹性系数的调整。  |
| 一元回归模型 | 有统计学的相关理论支撑，且计算方式简单。 | 难以考虑多因素和非线性的影响因素。 |
| 多元回归模型 | 可以考虑多因素影响，且计算方便简单。 | 难以考虑因素之间非线性的影响。 |
| 灰色模型 | 预先对数据进行累加处理后可提高预测的精确度，适用于中长期预测。 | 一般只针对本身序列进行预测建模，难以考虑其他因素和非线性因素的影响。  |
| 支持向量机模型 | 可实现因变量与自变量之间关系的智能模拟，与神经网络模型预测原理相似度较大，但其比神经网络模型优越之处在于可实现小样本量的高精度拟合；可随时修正因变量与自变量之间的关系，追踪最新变化规律，具有较强的时效性。 | 计算机实现较难，需要结合已经编写好的算法包；难以像多元线性回归那样直接给出各因素对待预测变量之间的影响系数。 |

**4.1 预警模型确定**

能耗强度同比下降率的计算公式如下：



其中，表示单位增加值能耗，t表示当期，t-1表示前一期，E表示能耗总量，re表示能耗变化率，rGDP表示GDP变化率。

可知，能耗强度同比下降率与经济总量同比增长率和能源消费总量同比增长率直接相关。按照可得性、及时性和权威性原则，从统计数据中选取相关性好的先行指标，从经济增速和能耗增速两方面对各种模型的适用性进行评估。

**（1）经济增速预测。**初步筛选出社会消费品零售总额、全社会固定资产投资额和规上工业增加值三个指标与地区GDP指标做相关性分析，可得如下结果，表明相关性较好。

**表3 GDP与相关因素的相关性分析**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 社会消费品零售总额 | 全社会固定资产投资额 | 规上工业增加值 | 地区GDP  |
| 社会消费品零售总额 | 1.000 |  |  |  |
| 全社会固定资产投资额 |  | 1.000 |  |  |
| 规上工业增加值 |  |  | 1.000 |  |
| 地区GDP  | 0.849 | 0.783 | 0.747 | 1.000 |

以这三个指标为输入数据、以地区GDP为输出数据建立模型，从主要模型的平均预测误差结果来看，支持向量机模型的预测精度较高（见表4），误差均控制在4%以内，最小误差值仅为0.18%。因此，说明采用全社会消费品零售总额、全社会固定资产投资总额及规上工业增加值增速作为月度先行指标，可以实现地区GDP增速的月度预测和分析。

**表4 GDP增速预测结果及误差**

**单位：%**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 消费品总额 | 固定投资 | 规上工业增加值 | GDP实际值 | 预测值 | 误差 |
| 累计增速 | 累计增速 | 累计增速 | 累计增速 | 累计增速 |
| **2011(1-3)** | 11.90 | 20.10 | 8.60 | 8.60 | 8.48 | -1.40 |
| **2011(1-6)** | 11.30 | 15.60 | 8.00 | 8.00 | 8.08 | 1.01 |
| **2011(1-9)** | 11.50 | 17.40 | 7.20 | 8.00 | 8.03 | 0.35 |
| **2011(1-12)** | 10.80 | 13.30 | 7.30 | 8.10 | 7.80 | -3.68 |
| **2012(1-3)** | 14.30 | 15.20 | 4.50 | 7.00 | 7.25 | 3.55 |
| **2012(1-6)** | 13.00 | 11.00 | 5.70 | 7.20 | 7.26 | 0.82 |
| **2012(1-9)** | 11.70 | 8.30 | 6.20 | 7.50 | 7.22 | -3.68 |
| **2012(1-12)** | 11.60 | 9.30 | 7.00 | 7.70 | 7.46 | -3.17 |
| **2013(1-3)** | 9.40 | 12.10 | 9.10 | 7.90 | 8.13 | 2.96 |
| **2013(1-6)** | 8.80 | 7.40 | 8.50 | 7.70 | 7.72 | 0.29 |
| **2013(1-9)** | 8.60 | 8.20 | 8.30 | 7.70 | 7.74 | 0.51 |
| **2013(1-12)** | 8.70 | 8.80 | 8.00 | 7.70 | 7.71 | 0.18 |
| **2014(1-3)** | 5.10 | 5.50 | 6.00 | 7.10 | 7.20 | 1.35 |
| **2014(1-6)** | 7.50 | 6.60 | 6.30 | 7.20 | 7.26 | 0.80 |

**（2）能耗增速预测。**全社会用电量与能耗总量相关性非常好，两者相关性系数达到0.99。能源消费量自身序列本身也存在较强的相关性，按照四个季度，将能源消费量分为四个时间序列值，某一季度的能源消费量一般与前一个季度和前四个季度的能源消费量相关性较大，即上一季度和去年同期的能源消费量相关性较大。

将全社会用电量和能源消费量自身序列代入主要模型进行预测比较，支持向量机模型预测误差较小，其详细预测结果如表5所示，预测结果的精度较高，误差均控制在1.5%以内，因此，将全社会用电量及能耗序列本身作为先行指标，可实现地区能耗总量增速的月度预测和分析。

**表5 能源消费总量增速预测结果及误差**

**单位：%**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 全社会用电量增速 | 上一期能耗总量增速 | 去年同期能耗增速 | 能耗总量增速 | 预测结果 | 误差 |
| **2013(1-3)** | 6.48 | 2.63 | 2.50 | 3.12 | 3.11 | 0.33 |
| **2013(1-6)** | 6.78 | 3.12 | 2.74 | 2.93 | 2.92 | 0.35 |
| **2013(1-9)** | 7.45 | 2.93 | 2.52 | 3.10 | 3.11 | 0.34 |
| **2013(1-12)** | 5.58 | 3.10 | 2.63 | 2.46 | 2.47 | 0.39 |
| **2014(1-3)** | -3.05 | 2.46 | 3.12 | -0.92 | -0.93 | 1.05 |
| **2014(1-6)** | -0.31 | -0.92 | 2.93 | 0.85 | 0.86 | 1.20 |

**4.2 预警结果及分析**

选取支持向量机作为预测模型，将全社会消费品零售总额、全社会固定资产投资总额及规上工业增加值增速，以及全社会用电量及能耗序列本身等先行指标输入模型，对地区能耗强度同比下降率进行预测，预测结果（见表6）的精度较为理想。

**表6 能耗强度同比下降率预测结果及误差**

**单位：%**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 时间 | 实际值 | 预测值 | 误差 |
| 经济增速 | 能源消费总量增速 | 能耗强度同比下降率 | 经济增速 | 能源消费总量增速 | 能耗强度同比下降率 |
| **2013(1-3)** | 7.90 | 3.12 | -4.43 | 8.13 | 3.11 | -4.64 | 4.80 |
| **2013(1-6)** | 7.70 | 2.93 | -4.43 | 7.72 | 2.92 | -4.46 | 0.59 |
| **2013(1-9)** | 7.70 | 3.10 | -4.27 | 7.74 | 3.11 | -4.30 | 0.64 |
| **2013(1-12)** | 7.70 | 2.46 | -4.87 | 7.71 | 2.47 | -4.86 | -0.10 |
| **2014(1-3)** | 7.10 | -0.92 | -7.49 | 7.20 | -0.93 | -7.58 | 1.25 |
| **2014(1-6)** | 7.20 | 0.85 | -5.92 | 7.26 | 0.86 | -5.97 | 0.79 |

模型中的地区生产总值及增速、能耗总量及增速、单位经济增加值能耗强度下降率等数据可得周期最短是季度，模型的构建是基于季度历史数据，要实现月度预警，须将月度统计数据（如社会消费品零售额、固定资产投资额、规上工业增加值、全社会用电量等）代入季度模型，从而预测和分析月度节能情况（见图2）。同样方法，可以建立市县级和行业层面的预测预警输入输出系统。

建立预测模型

将月度先行指标统计数据代入模型

（输入）

月度节能形势预测（输出）

季度历史数据

**图2 月度节能预警模型输入输出过程**

模型预测结果除了可形成地区、市县和行业的节能预警等级外，还可用于节能形势分析。节能形势分析的内容包括节能总体趋势分析和结构影响分析两部分（见图3）：总体趋势分析是对地区（行业）整体能源消费情况的把握，重点分析地区单位生产总值（行业单位增加值）能耗下降率和能耗总量增速的变化情况；结构影响分析则是对地区（行业）节能内部要素的深入剖析，识别导致节能总体趋势发生变化的关键地区或行业，明确这些地区或行业对节能总体趋势变化的贡献率，从而对不同地区或行业做到区别对待、分类指导，提高预警调控的针对性和有效性。

节能总体趋势分析

结构影响分析

经济总量

能耗总量

能耗强度

影响因素

* 规上工业增加值
* 社会消费品零售总额
* 全社会固定资产投资

模型预测

模型预测

市县对地区节能目标的贡献

影响因素

* 用电量
* 能耗本身

重点行业对地区节能目标的贡献

能耗强度

**图3 节能形势分析框架**

5 关键：预警调控方案的制定和实施

完成地区、市县及行业三个层面的节能形势预警并输出相应的预警等级后，针对III级（绿色）、II级（黄色）和I级（红色）三级三色预警等级，及时采取合适有效的应急措施，才能保证节能工作的顺利推进。

**5.1 节能形势预警运行程序**

（1）预警监测：实行“按月监测、按月发布”制度，统计部门、电力公司等应定期将上月地区、市县及行业的相关经济指标和用电、用能指标数据提供节能主管部门并输入预警模型，预测当月地区、市县及行业的单位增加值能耗下降率及能源消费总量增速，作为预警警报发出的依据。

（2）专家会商与预警启动：依据预警模型输出结果，结合当期节能形势变化特点，节能主管部门拟定地区、市县及行业的月度预警等级。在每月月底发布节能预警信息之前，节能主管部门组织节能相关领域专家，讨论修正节能形势模型预测结果和划分的预警等级，在专家取得一致意见后，向社会发布节能预警信息，相关部门和单位立即启动节能预警调控预案。

（3）预警调控方案实施：各级政府和行业主管部门须提前制定本地区和本行业节能形势预警调控方案，方案应围绕自身经济运行特点和能源消费规律，明确对应不同预警级别的具体响应调控措施，明确节能和能耗增量控制目标及重点调控对象。预警通知发布后，各级政府和行业主管部门应立即启动和实施相应等级的调控预案，并将调控实施情况和实施效果送节能主管部门。

（4）预警解除：节能预警调控方案实施期限为1个月。根据预警指标监测结果，如果下月节能目标完成进度和能耗增量控制指标达到预期目标，则节能主管部门及时解除对地区、市县及行业的预警，调控方案即可终止实施；如果仍未能达到预期目标，则继续实施节能预警和相应的调控措施。

**5.2 节能形势预警调控原则**

（1）坚持节能预警与经济社会的协调发展。把节能预警调控与地区经济转方式、调结构有机结合，将节能预警调控措施作为加快促进地区经济社会转型发展的有利契机和重要抓手，进一步提高经济社会的发展的协调性和可持续性。正确处理控制增量与调整存量的关系，全面分析能源消费的主要影响因素，科学制定地区行业节能预警调控措施，加快推进创新驱动发展战略，实现节能目标与经济目标的双赢。

（2）坚持局部服从整体，依法监管。树立全局观念和大局意识，围绕地区节能降耗目标，统一领导，分级管理，局部利益服从整体利益，严格落实节能预警调控措施，确保节能预警调控工作顺利实施。在制定和实施节能预警调控方案过程中，严格落实节能法律法规的规定，进一步强化依法监管，切实将各项调控措施落到实处。进行节能预警动态管理，对发出预警警报的市县、企业和单位，实行按月监督、检查和通报，确保全面完成节能目标。

（3）坚持有保有压与差别调控，强调可操作性和有效性。预警调控方案启动时，优先保障城乡居民生活以及党政军警机关、医院、学校等重点单位和重点工程、交通枢纽、军用设施、农业生产、金融机构、信息通讯、水电气热供应等与民生密切相关的重要领域的合理用能，将淘汰类和限制类企业、重点用能行业企业、能耗水平超限额企业、过度景观照明和公共机构作为调控重点。调控措施应简单、快速、有效。

（4）坚持与已有相关调控机制相结合。节能形势预警调控机制建设应与已经建立的“空气重污染应急预案”、“电力迎峰度夏方案”等相关调控机制充分衔接，在机构建设、启动响应、调控措施、保障措施等方面尽可能采用已有举措，减少重复工作，提高效率。

**5.3 预警调控措施**

根据节能预警警度级别设置要求，各市县和各行业主管部门应在工业、三产、公共机构等重点领域，从加快淘汰落后产能、限制高耗能企业用能、控制新增能耗、节约公共用能等方面制定红、黄、绿三级预警调控预案（三级预警调控措施为常态节能措施，二级和一级预警为应急措施），预案中应明确具体的调控单位、项目名单和详细的调控措施。实施调控前，要积极与相关用能单位、项目单位进行沟通，进行充分协商，在调控时间、内容、方式上达成一致意见。各级政府和行业主管部门可根据本地区、本行业节能和能耗增量控制指标完成情况及发展趋势，在报上级方案的基础上加大调控力度。

**参考文献：**

[1] 李继尊. 中国能源预警模型及其预警指数的创建[J]. 中国石油大学学报（自然科学版），2007，31（6）：161-166

[2] 刘强，姜克隽，胡秀莲. 中国能源安全预警指标框架体系设计[J]. 中国能源，2007，29（4）：16-20

[3] 迟春洁. 能源安全预警研究[J]. 统计与决策，2006，（11）：29-31

[4] 刘道伟，李旭晨，赵虹等. 在线稳定节能综合监控与预警系统的设计与应用[J]. 电网技术，2011，35（1）：213-218

[5] 吕峰，陈建国，曾雪琴等. 我国能源消耗影响因素及其预测预警[J]. 统计与决策，2014，（16）：82-85

[6] 赵春富，刘耕源，陈彬. 能源预测预警理论与方法研究进展[J]. 生态学报，2015，35（7）：1-19

[7] 内蒙古自治区节能减排工作领导小组. 内蒙古：节能预警成重要抓手[R]. 中国经济导报，2010年12月11日第C02版

[8] 陈彬，刘耕源等. 中国能源安全分析与预测预警[M]. 科学出版社，2014

[9] 张强. 基于开放复杂巨系统理论的能源安全及预警研究[J]. 中国科技论坛，2011，（2）：97-101