

考虑宏观政策的能源需求组合预测模型

黄欣¹, 吴杰康², 李红玲², 李逸欣¹, 郑敏嘉¹, 李猛¹, 吴伟杰¹, 张伊宁¹

(1. 广东电网规划研究中心, 广东 广州 510000; 2. 广东工业大学自动化学院, 广东 广州 510006)

摘要:针对目前能源需求预测考虑影响因素单一、忽视宏观政策影响因素、预测精度不足等问题,提出了一种融合灰色关联度分析和BP神经网络的能源需求组合预测方法。首先,根据宏观政策的针对性和方向性进行领域划分,分析各领域的指标;其次,利用灰色关联度分析法对分析后的各领域宏观政策初始指标进行关联度计算、排序、筛选;最后,将筛选出的初始指标作为BP神经网络的输入,利用神经网络预测能源需求,并进行实例仿真分析能源需求组合预测的预测结果。实例结果表明,所提出的能源需求组合预测方法着重考虑了宏观政策影响,且有效地提高了预测精度,具有实用性和可靠性。

关键词:能源需求预测;宏观政策;灰色关联度分析;BP神经网络;组合预测

中图分类号:F206 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)01-0062-08

DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20210114

Combination Forecasting Model for Energy Demand Considering Micro Policy

Huang Xin¹, Wu Jiekang², Li Hongling², Li Yixin¹, Zheng Minjia¹, Li Meng¹, Wu Weijie¹, Zhang Yining¹

(1. Guangdong Power Grid Planning Research Center, Guangzhou 510000, Guangdong, China;

2. School of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China)

Abstract: Aiming at the current problems of considering influence factors of energy demand forecasting in a single way, ignoring influence factors of macro policy and lacking in forecasting accuracy, a combined energy demand forecasting method together with grey correlation analysis and BP neural network is proposed. Firstly, the fields are divided according to the pertinence and direction of the macro policy, and then the indicators are analyzed in each field. Secondly, the grey correlation analysis method is used to calculate, sort and filter the initial indicators of the macro policy after the analysis. Finally, the selected initial indicators are used as the input of BP neural network, the neural network tools are used to achieve the purpose of energy demand forecasting, and a case simulation is performed to analyze the results of energy demand combination forecasting. The example results show that the proposed energy demand combination forecasting method focuses on the impact of macro policies, which effectively improves the forecasting accuracy and is practical and reliable.

Key words: energy demand forecasting; macro policy; grey correlation analysis; BP neural network; combination forecasting

0 引言

近些年来,能源需求预测研究已经成为国内外学者的关注热点。随着国民经济的发展,能源瓶颈问题越来越显著,为了更好地处理能源需求与供应平衡问题^[1],对能源需求的预测不仅可以有效避免能

源短缺情况,而且对于经济发展、工业发展起着一定的促进作用。政策作为一个宏观、复杂的因素,它影响着经济发展、能源消费结构、产业结构等^[1],并进一步影响着能源需求,对这个综合性的因素进行研究显得尤为重要。

大部分国内外学者的能源需求预测研究侧重于研究能源需求与经济增长^[2](GDP)、人口^[3]、产业结构、城镇化^[4]等因素之间的联系,影响因素可量化且过于单一,没有考虑难以直接量化的综合性因

基金项目:广东省科技计划项目(2020A050515003);广州市科技计划项目(202002030463);广东电网有限责任公司科技计划项目(037700KK52190004)

素,往往也忽视了各影响因素之间的相互作用和影响。目前,研究能源需求预测的方法主要有:神经网络^[1-4]、线性回归法^[5]、灰色预测模型^[6] GM(1,1)、时间序列法等。采用线性回归法可以反映各因素之间的线性关系,但是对于非线性数据难以建立模型;灰色预测模型 GM(1,1)简单直接地以历史数据预测未来数据,是以关键因素作为变量的单变量模型,对于多变量的场景预测精准度偏低。考虑到传统的灰色预测模型存在的缺陷,研究学者不断改进该模型,进一步提出了基于离散 DGM 模型^[7]、新陈代谢模型^[7] 等的灰色预测方法。较为常见的时间序列法^[8],预测精准度有所提高,但是其需要大量的历史数据作为算法的实现基础,缺乏高效性和便捷性。各类神经网络的预测模型优缺点并存,预测精准度不一。后期,渐渐地出现了组合预测^[9-11] 模型,其本质就是将两种甚至多种算法进行权值组合优化,在算法上和预测精确度上都有所优化和改进。但是,组合模型最大的问题就在于加权平均系数^[12] 的确定,选择最优的加权平均系数有待进一步优化研究,并且缺乏考虑宏观政策这一综合宏观影响因素。

对于考虑宏观政策的能源需求预测,其预测模型的相关研究和算法并不多,主要是考虑微观指标的能源需求预测,如经济增长、产业结构、居民生活水平、人口增长等。能源需求预测主要分为两种预测方法:一种是相关关系预测方法,例如回归模型^[13]、能源消费弹性系数法^[14]、部门预测法等^[15];另一种是时间序列分析预测法,例如误差修正模型^[16] (error correction model, ECM)、自回归滑动平均(auto-regressive moving average, ARMA)模型等。基于代理(agent)的智能模拟系统^[17]用来模拟仿真宏观政策在能源需求预测中的影响,很好地处理了宏观政策的模糊性、复杂性和主观性,但是由于宏观政策各方面的力度、方向以及重点不同,系统的仿真环节难以做出人性化的最优决策。

下面,就考虑宏观政策这一综合影响因素,针对能源需求预测,提出了灰色关联度分析与 BP 神经网络的组合预测方法。考虑到宏观政策的广泛性和模糊性,根据宏观政策的性质,将宏观政策分为投资、进出口、节能减排 3 个主要的方面;采用灰色关联度分析对每个方面的多个指标进行关联度计算、排序;最后,筛选出关联度最大的即影响力最大的 3 个宏观政策指标。

1 宏观政策及其指标

宏观政策作为一个宏观、复杂、抽象的影响能源需求的重要因素,将其直接用单一指标表示出来存在一定的困难和不可靠性。对此,根据政策的内容,针对性地划分为 3 个方面:投资、进出口、节能减排。对于不同类型的政策,采用不同的数据指标进行表示。

1.1 投资政策及其指标

历史数据表明,中国对于能源工业方面的投资政策会根据实际经济发展状况,加大或减少某方面的投资力度。以广东省的能源投资为例,可以了解各行业的投资情况。图 1 为 2003—2016 年广东省能源工业各行业投资数据(数据来源于历年《广东统计年鉴》^[18],以下同)。

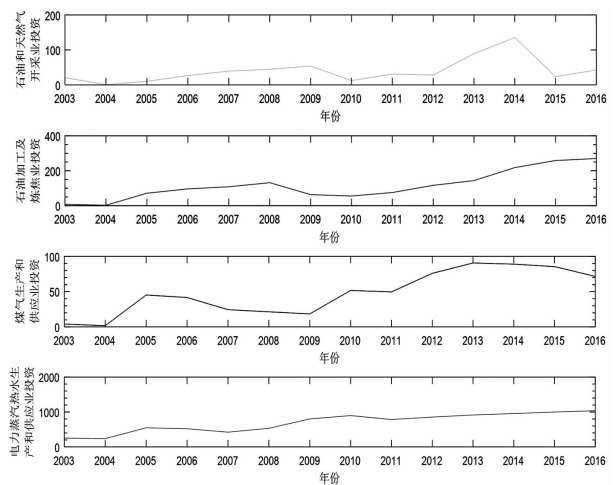


图 1 2003—2016 年广东省能源工业投资数据

根据图 1 中的数据曲线可以看出:石油和天然气开采业逐年的投资不算稳定,跟当时的开采技术水平以及产地的勘探技术有关;石油加工、煤气生产以及电力蒸汽等生产和供应的投资则呈现上升的趋势,尤其是清洁能源(如电力、热力等)的生产供应投资。

为体现能源投资方面的全面性,以图 1 中的 4 个数据作为宏观政策中投资方面影响能源需求的初始指标:石油和天然气开采业;电力、蒸汽及热水生产和供应业;石油加工及炼焦业;煤气生产和供应业。

1.2 进出口政策及其指标

中国作为一个进出口大国,对外贸易政策是中

国确保自身发展和经济利益的准则,即便是在新冠肺炎防控乃至金融危机期间,中国政府都出台了一系列的助力进出口的政策,并将其落到实处。可见,中国于进出口方面给予很大的重视。广东作为贸易大省,其贸易政策对能源的影响尤为突出。以广东省境内进出口数据为例,可以分析该省的进出口情况。图 2 为 2003—2016 年广东省境内进出口总额数据^[18]。

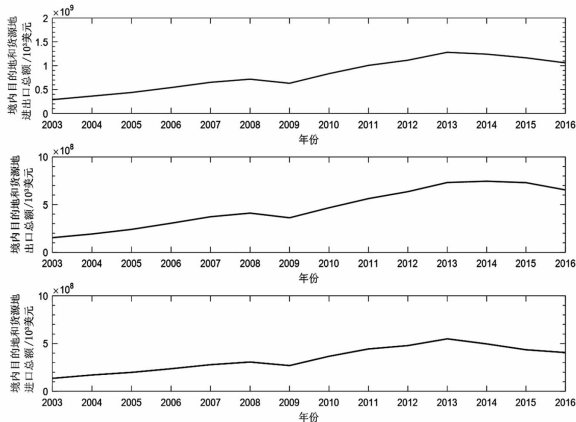


图 2 2003—2016 年广东省境内进出口总额数据

根据图 2 中的数据曲线可以看出:对外贸易一直都是广东省经济发展的一个重要方面,除了 2009 年的经济危机,进出口贸易稍微有所下降,后期经济恢复和发展后,进出口总额又恢复了持续增长的趋势。

宏观政策中进出口方面影响能源需求的初始指标为境内目的地和货源地进出口总额、出口总额和进口总额。

1.3 节能减排政策及其指标

近些年来中国提倡走节约发展、清洁发展的工业化道路,注重环境保护和限制污染物的排放。2020 年作为全面建成小康社会的决胜阶段,广东省正在加快完成“十三五”节能减排目标任务。以广东省为例,图 3 为 2003—2016 年广东省节能减排指标数据。

根据图 3 的两种不同趋势的数据曲线可知,由于广东省广大市民响应节能减排政策,故城市天然气用气人数在不断增加,减排政策限制二氧化硫的排放量,废气排放量逐年减少。

为了更好体现宏观政策中节能减排方面对能源需求的影响,考虑节能减排政策对能源需求的影响的初始指标为二氧化硫排放量和城市天然气用气人口。

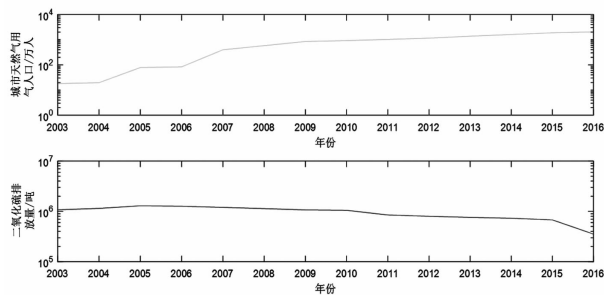


图 3 2003—2016 年广东省节能减排指标数据

2 能源需求的组合预测模型

建立灰色关联度分析 (grey relation analysis, GRA) 与 BP 神经网络组合 (GRA - BP) 预测模型,用 GRA 来分析处理宏观政策指标,以宏观政策指标为输入,构建 BP 神经网络系统,预测能源需求量。

2.1 灰色关联度分析理论

灰色关联度分析将反映研究对象的一系列数值拟合在一条曲线上,与影响研究对象的各因素所组成的曲线簇进行比较,并分别进行量化,计算出研究对象与各影响因素之间的关联度,通过比较各关联度的大小来判断各影响因素对研究对象的影响程度。简言之,它是一种在众多因素中进行影响度排序的多因素分析方法,它能为一个系统发展变化态势提供量化的度量,适合动态历程分析^[19]。

灰色关联分析的具体步骤如下:

1) 确定分析指标体系,收集分析数据,确定比较数列和参考数列。

影响系统行为的因素组成的数据序列,称为比较数列,记为

$$X'_i = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(m))^T \quad (1)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

反映系统行为特征的数据序列,称为参考数列,记为

$$X'_0 = (x'_0(1), x'_0(2), \dots, x'_0(m))^T \quad (2)$$

2) 对参考数列、比较数列进行无量纲化处理。

由于系统中各因素的物理意义不同,导致数据的量纲也不一定相同,不同量纲的数值一般不能直接进行比较。因此,在进行灰色关联度分析时,一般都要对数据进行无量纲化处理。常用的无量纲化处理有均值化和初值化,分别为:

$$x_i(k) = \frac{x'_i(k)}{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m x'_i(k)} \quad (3)$$

$$x_i(k) = \frac{x'_i(k)}{x'_1(1)} \quad (4)$$

式中: $i = 0, 1, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, m$ 。

3) 计算灰色关联系数矩阵 $\xi_i(k)$ 。

所谓关联程度,实际上是指曲线之间的拟合程度。因此,可以通过曲线对应点的差值大小来作为衡量关联程度的尺度。一个参考数列 X'_0 一般有若干个比较数列 X'_i , 各比较数列 (X'_1, X'_2, \dots, X'_n) 与参考数列 X'_0 在各个时刻存在对应的关联系数矩阵,其推导式为

$$\begin{aligned} \xi_i(k) &= \frac{\min_i |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_i |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \cdot \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \\ &= \frac{\Delta_{0i\min}(k) + \rho \cdot \Delta_{0i\max}(k)}{\Delta_{0i}(k) + \rho \cdot \Delta_{0i\max}(k)} \end{aligned} \quad (5)$$

式中: $\Delta_{0i}(k)$ 为各比较数列 x_i 曲线上的每一个点与参考数列 x_0 曲线上的每一个点的绝对差值; $\Delta_{0i\min}(k)$ 、 $\Delta_{0i\max}(k)$ 分别为绝对差值的最小值和最大值; ρ 为分辨系数,通常在 $(0, 1)$ 内取值,若 ρ 越小,关联系数间差异越大,区分能力越强。通常 ρ 取值为 0.5。

4) 计算关联度 r_i 。

对影响系统行为的因素(比较数列)分别计算其各指标与参考数列对应元素的关联系数的平均值,用以反映各影响因素与参考数列的关联关系,即关联度 r_i , 计算式为

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \xi_i(k) \quad (6)$$

5) 关联度排序。

将所求的关联度进行大小排序,关联度越大,其影响程度就越大,说明系统行为越受其影响。

2.2 BP 神经网络

BP 神经网络(back propagation neural network)是由 Rumelhart 和 McClelland 等学者提出的一种算法,是一个输入顺向传播和误差逆向传播循环进行,通过改变权值使误差达到一定范围的多层前馈网络。典型的 BP 神经网络一般由 3 层组成:输入层(input layer)、隐含层(hidden layer)和输出层(output layer)。输入层主要作为接收信号的端口;隐含层作为中间存储信号,可以有多个隐含层;输出层是对输入层接收的信号进行处理;各层之间均是完全连接的。3 层 BP 神经网络的结构拓扑图如图 4 所示。

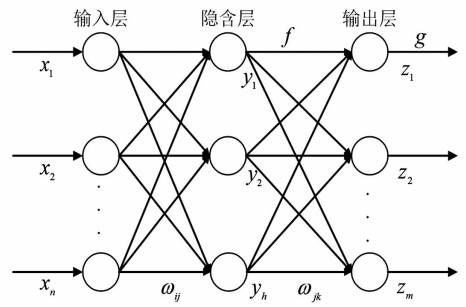


图4 BP神经网络结构拓扑图

假定神经网络的输入层有 n 个单元,隐含层有 h 个单元,输出层有 m 个单元,则输入矩阵为 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$; 隐含层输出矩阵为 $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_h)^T$; 输出层输出矩阵为 $\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_m)^T$ 。假设输入层到隐含层的权值为 ω_{ij} , 隐含层到输出层之间的权值为 ω_{jk} , 隐含层到输出层之间的传递函数为 f , 输出层的传递函数为 g 。于是可得:

1) 隐含层第 j 个单元输出

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n \omega_{ij} x_i - \theta\right) = f\left(\sum_{i=0}^n \omega_{ij} x_i\right) \quad (7)$$

式中: $\omega_{0j} = \theta$; $x_0 = -1$ 。

2) 输出层第 k 个单元输出

$$z_k = g\left(\sum_{j=0}^m \omega_{jk} y_j\right) \quad (8)$$

BP 算法主要包括两部分内容:数据正向传输和误差的反向传递。其实数据正向传输是网络输出加变相误差计算的过程。若网络输出与期望输出存在较大误差,则需进入反向传递过程。在反向传递中,从输出到输入的方向调节各连接处的阈值和权值。正向传输的过程为:输入信号(数据)由输入层进入,经过隐含层,再经由输出层数据处理,得到网络输出。根据网络输出与期望输出的误差值来决定是否进入反向传递过程。反向传递的过程为:首先,根据误差逆向传播的特性,在调节各层间权值时应该遵守逆向原则,即先调整隐含层到输出层的权值 ω_{jk} ; 然后,再调整输入层到隐含层的权值 ω_{ij} , 使网络输出值与实际值的误差值减小,转而进入正向传播。网络反复进行迭代处理,使得两者的误差减小到设定的值,以便网络输出能够尽可能地接近甚至达到期望输出的水准。BP 神经网络算法的执行步骤如图 5 所示。

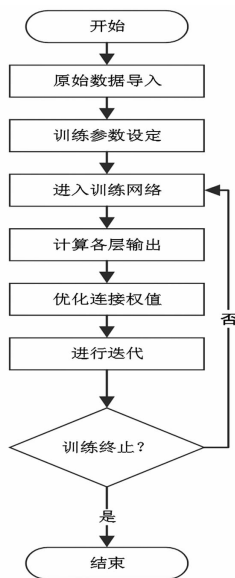


图 5 BP 神经网络算法流程

3 实例分析

3.1 原始数据

考虑到广东省宏观政策的针对性和方向性,按前面所述将其划分为投资、进出口、节能减排 3 个主要方面,将这 3 个方面共 9 个指标作为宏观政策的初始指标。

根据《广东统计年鉴》(2003—2016 年)。数据整理了广东省 2003—2016 年能源投资、进出口、节能减排 3 个方面的各指标数据,如表 1 所示。在投

资方面,政府对于电力、蒸汽生产供应的投资从 2003 年的 252.75 亿元持续增长到 2016 年的 1036.36 亿元,投资金额翻了 4 倍左右,这种迅猛的增长也是政府响应节能环保政策的结果。石油、天然气开采方面的投资从 2003 年的 20.56 亿元,于 2004 年骤降到 0.75 亿元,而又在 2014 年达到高峰的 135.52 亿元。这方面的投资跟诸多因素有关,例如石油存储地的发现、海底天然气的可开采性、开采技术的研究等。相对于开采能源方面的投资波动性,无论是产品能源(电力、煤气、蒸汽等)的生产还是石油的加工提炼,政府给予的投资总趋势是增长性的。

大自然中现存的能源有限,应加大对能源的充分利用力度。广东省作为贸易大省的,进出口总额从 2003 年的约 2892 亿美元持续增长到 2011 年的超 10 067 亿美元。不到 10 年的时间,投资翻了近 4 倍。社会发展的进程中,政府乃至人民大众都希望环境与发展友好相处,人们绿色环保、节能减排的意识开始觉醒,城市天然气使用人口才会从 2003 年 18 万人左右到 2016 年 2043 多万人,平均每年增长 100 多万人。二氧化硫排放量从 2003 年 107.52 万吨大幅度降到 2016 年的 35.369 万吨。

国民经济的发展与社会的进步都会促使能源的消耗增加。表 2 是 2003—2016 年广东省一次能源总消耗量,从 2003 年的约 10 462.09 万吨标准煤,持续增长到 2016 年的超 28 179.17 万吨标准煤。十几年的时间,能源消耗量翻了近 3 倍。

表 1 2003—2016 年广东省宏观政策相关数据

年份	石油和天然气开采业投资/亿元	石油加工及炼焦业投资/亿元	煤气生产和供应业投资/亿元	电力、蒸汽、热水生产和供应业投资/亿元	境内目的地和货源地进出口总额/亿美元	境内目的地和货源地出口总额/亿美元	境内目的地和货源地进口总额/亿美元	城市天然气用气人口/万人	二氧化硫排放量/t
2003	20.56	8.38	4.08	252.75	289.229 940	153.709 920	135.520 020	18.04	1 075 200
2004	0.75	2.64	1.75	237.78	363.353 600	192.410 670	170.942 930	19.66	1 148 000
2005	10.24	71.62	45.24	546.80	439.184 106	240.975 111	198.208 995	78.53	1 294 000
2006	26.51	96.31	41.70	520.41	541.829 876	305.464 308	236.365 568	83.73	1 267 000
2007	39.43	108.51	24.45	421.80	652.413 970	373 360 854	279.053 116	398.60	1 203 019
2008	44.47	131.84	21.39	534.12	717.776 810	411.250 554	306.526 255	581.99	1 136 000
2009	54.03	63.63	18.45	801.02	631.988 524	362.390 490	269 598 040	850.36	1 070 488
2010	12.30	55.40	51.72	897.40	834.006 174	467.177 014	366.829 160	921.68	1 050 508
2011	30.87	75.50	49.60	784.43	1 006.793 963	563.216 000	443.577 963	1 028.13	847 728
2012	28.15	116.72	75.96	854.00	1115.328 415	636.221 692	479.106 723	1 154.71	799 223
2013	89.18	143.79	90.67	914.48	1 281.191 589	731.763 406	549.428 183	1 380.26	761 896
2014	135.52	218.20	88.99	955.96	1 241.942 533	745.309 548	496.632 985	1 618.67	730 147
2015	23.74	258.70	85.51	999.49	1 165.188 477	730.187 959	435.000 517	1 885.40	678 341
2016	42.48	270.15	71.59	1 036.36	1 060.123 561	654.136 517	405.987 043	2 043.08	353 693

表 2 2003—2016 年广东省一次能源消耗数据^[18]

年份	能源消费/万吨标准煤
2003	10 462.09
2004	12 013.14
2005	13 086.58
2006	15 281.00
2007	17 344.10
2008	17 679.13
2009	19 235.86
2010	21 942.15
2011	23 318.44
2012	23 786.60
2013	24 930.93
2014	25 636.29
2015	26 999.64
2016	28 179.17

3.2 宏观政策指标的灰色关联度分析

根据灰色关联度分析理论,将宏观政策中所划分的 3 个方面分别进行灰色关联度分析,将 9 个指标数据作为灰色关联度分析的比较序列,能源消费量数据作为参考序列。根据灰色关联分析具体步骤,通过仿真计算出各指标的关联度,投资、进出口和节能减排 3 个方面的关联度计算结果如表 3 至表 5 所示。

表 3 广东省投资方面指标的关联度计算结果

指标	石油和天然气开采业投资	石油加工及炼焦业投资	煤气生产和供应业投资	电力、蒸汽、热水生产和供应业投资
关联度	0.708 2	0.757 2	0.762 4	0.900 8

表 4 广东省进出口方面指标的关联度计算结果

指标	境内目的地和货源地进出口总额	境内目的地和货源地出口总额	境内目的地和货源地进口总额
关联度	0.892 6	0.884 6	0.897 2

表 5 广东省节能减排方面指标的关联度计算结果

指标	城市天然气用气人口	二氧化硫排放量
关联度	0.745 3	0.711 8

根据表 3 至表 5 所计算出的各方面关联度进行关联度排序,筛选出其中最大的指标作为主要指标,分别为:电力、蒸汽、热水生产和供应业投资(记为 A)、境内目的地和货源地进口总额(记为 B)和城市天然气用气人口(记为 C)。

3.3 能源需求预测

为了验证该组合模型的有效性和可靠性,采用 3.2 节中的指标筛选结果,用电力、蒸汽、热水生产

和供应业投资,境内目的地和货源地进口总额和城市天然气用气人口 3 个指标作为 BP 神经网络输入层输入信号(数据),能源需求总量作为神经网络的输出信号。

采用 Matlab 的 BP 神经网络工具箱进行仿真。用 newff 构建一个 3 层的 BP 神经网络,根据输入指标和输出指标,确定输入层节点数为 3,隐含层节点数为 8,输出层节点数为 1,隐含层的传递函数采用 tansig 函数,输出层的传递函数采用 purelin 函数,网络训练学习函数采用 traingdx 函数,神经网络训练的目标误差设置为 0.001,学习率设置为 0.035,最大迭代次数设置为 2000。

以 2003—2016 年广东省的数据作为网络训练数据,将 2010—2019 年广东省宏观政策 3 个方面的相关指标数据导入训练好的神经网络;再用于能源需求预测网络系统中,经过网络仿真处理,将网络预测输出的结果与实际能源需求量进行曲线拟合对比,拟合图如图 6 所示。导出的网络输出和预测误差百分比结果如表 6 所示。

表 6 广东省 2010—2019 年能源需求量预测结果

年份	实际值/万吨标准煤	预测值/万吨标准煤	预测误差百分比/%
2010	21 942.15	22 092.65	-0.685 9
2011	23 318.44	22 975.83	1.469 3
2012	23 786.60	24 029.61	-1.021 6
2013	24 930.93	24 914.01	0.067 8
2014	25 636.29	25 560.91	0.294 0
2015	26 999.64	27 046.61	-0.174 0
2016	28 179.17	28 154.98	0.085 9
2017	29 253.74	29 268.24	0.0 000
2018	30 154.66	30 137.11	0.0 582
2019	31 122.99	31 133.10	-0.032 5

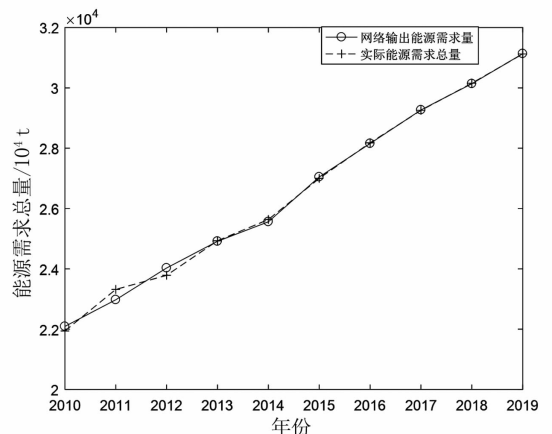


图 6 BP 神经网络输出拟合曲线

从图6可以看出,实际能源消耗曲线与预测能源消耗曲线在个别年份(例如2014年、2015年)贴合度略微有些许偏差,但是实际能源消耗曲线与预测能源消耗曲线在整体的趋势上具有一致的变化特性,两者之间贴合得比较密切,初步可以看出预测效果比较好。

根据表6所示的2010—2019年广东省能源需求量网络预测结果可以看出,实际能源需求值与预测能源需求值之间相差不大,最大的误差也在400万吨以内,最小的误差也就只有几万吨。误差大小无法直观地表现出预测的优劣。预测误差百分比就是一个比较显著的作为反映预测效果的指标。从表6中可以看出,实际值与预测值之间的误差百分比最大也仅仅是1.1%,最小可以达到0.0054%。可见,根据所用的2010—2019年能源需求量数据进行网络仿真预测,其预测误差百分比均控制在 $\pm 1\%$ 以内。

综合表6中的实际值与预测值的比较及图6的拟合曲线,充分验证了GRA-BP组合预测模型的有效性和可靠性。

4 结 语

影响能源需求的因素众多,学者们热衷于对这方面进行研究^[20-22],但近些年来的研究常常忽略了宏观政策这一极具综合性、复杂性的重要因素。上面着重考虑宏观政策对能源需求的影响,在融合灰色关联度分析法和BP神经网络(GRA-BP)的基础上,提出了考虑宏观政策影响的能源需求组合预测方法,主要得出的结论如下:

1)采用灰色关联度分析(GRA)法对宏观政策指标进行分析和筛选,确定了衡量宏观政策对能源需求影响的3个主要指标:电力、蒸汽、热水生产和供应业投资(记为A)、境内目的地和货源地进口总额(记为B)和城市天然气用气人口(记为C)。

2)衡量宏观政策的3个主要指标A、B、C的关联度分别为:0.8961、0.6189、0.6794。关联度均在0.6以上,其与能源需求的联系最为紧密。对于指标A,投资额越多,能源需求也就越大,反之亦然;对于指标B,进口总额增加,这部分对能源需求有所减少;对于指标C,人口增加,能源需求也就相应增加。

3)以广东省2003—2016年的相关数据作为网络训练数据,对2010—2019年能源需求进行仿真与

分析,结果表明所提GRA-BP组合预测模型既考虑了宏观政策因素,又有效地提高了预测精度,该组合预测方法具有可行性和实用性。

参考文献

- [1] 邓志茹. 我国能源供求预测研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.
- [2] 佟阿思根,侯俊芝. 中国能源消费现状及能源需求预测[J]. 内蒙古民族大学学报,2008,14(3):83-85.
- [3] 芦森. 基于组合模型的中国能源需求预测[D]. 成都:成都理工大学,2010.
- [4] 孙涵,成金华. 中国工业化、城市化进程中的能源需求预测与分析[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(7):7-12.
- [5] 路亮,柳璐,程浩忠,等. 经济转型对西南地区能源需求的影响及预测[J]. 电力系统及其自动化学报,2019,31(7):117-122.
- [6] 尤广芬,王萍. 用灰色模型预测我国能源的需求量[J]. 四川理工学院学报(自然科学版),2009,22(3):121-124.
- [7] 秦晋栋. 基于熵权灰色组合预测模型的区域能源需求预测研究[J]. 价值工程,2012,31(4):289-291.
- [8] 张文丽,翟明娟,白刚. 时间序列模型在山西省能源需求预测中的应用[J]. 长治学院学报,2015,32(2):54-56.
- [9] 魏云云. 组合的灰色关联度和GA-BP模型对能源需求的预测分析[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版),2018,32(5):27-30.
- [10] 孟凡生,李美莹. 组合模型在能源需求预测的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(11):106-111.
- [11] Gabriel Happle, Jimeno A. Fonseca, Arno Schlueter. Effects of Air Infiltration Modeling Approaches in Urban Building Energy Demand Forecasts[J]. Energy Procedia,2017,122:283-288.
- [12] 赵国忻,王明涛. 一种变权重组合预测方法研究[J]. 西安工程科技学院学报,2000,14(3):226-232.
- [13] 徐明德,李维杰. 线性回归分析与能源需求预测[J]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2003,32(1):17-20.
- [14] 高广阔,张能进. 中国能源需求预测及供给对策[J]. 电力技术经济,2005,17(3):9-13.
- [15] 杨明,杜萍静,刘凤全,等. 能源消费发展及预测方法综述[J]. 山东大学学报(工学版),2020,50(1):56-62.
- [16] 张传平,周倩倩. 我国能源消费影响因素研究——基于长期均衡和短期波动的协整分析[J]. 中国能源,2013,35(3):35-38.

[17] 焦晓佑,胡兆光,周渝慧. 分布式智能控制及其在宏观政策对电力供需影响模拟中的应用[J]. 电工技术学报,2008,23(5):121-127.

[18] 广东统计局. 广东统计年鉴(2003年—2019年)[A/OL]. [2020-11-16]. <http://stats.gd.gov.cn>.

[19] 徐志芬,王书俊. 基于灰色理论和BP神经网络串联组合的能源需求预测[J]. 山东电力高等专科学校学报,2013,16(4):7-12.

[20] Jiaoliao Chen, Jiangxin Yang, Jiangwu Zhao, et al. Energy Demand Forecasting of the Greenhouses Using Non-linear Models Based on Model Optimized Prediction Method[J]. Neurocomputing, 2016, 174:1087-1100.

[21] Lin J, Su L, Yan Y J, et al. Prediction Method for Power Transformer Running State Based on LSTM_DBN Network[J]. Energies, 2018, 11(7):1880.

[22] 叶艺勇. 广东省能源需求预测模型构建及实证分析[J]. 经济数学, 2015, 32(3):64-72.

作者简介:

黄欣(1987),女,高级工程师,研究方向为电力系统规划;

吴杰康(1965),男,教授,博士生导师,工学博士,研究方向为电力系统运行与控制等;

李红玲(1997),女,硕士研究生,研究方向为电力系统规划、运行与控制等;

李逸欣(1994),女,工程师,研究方向为电力系统规划;

郑敏嘉(1992),女,工程师,研究方向为电源规划;

李猛(1991),男,工程师,研究方向为电力系统规划;

吴伟杰(1979),男,高级工程师,研究方向为电力系统规划;

张伊宁(1991),女,工程师,研究方向为电力系统规划。

(收稿日期:2020-11-16)

(上接第 13 页)

位混凝土运输量及浇筑量,方案 1 降幅达 70% 以上,方案 2 降幅约 24%;方案 1 余土量只有传统人工挖孔桩基础的 23%,方案 2 只有 74%,具有明显的经济效益。成孔工艺可参考沉井基础的作业模式,以主体钢管作为护壁措施,极大地提高了施工安全性。

3 结 语

针对高特峻地区线路设计的特殊性和复杂性,从全过程经济性、可靠性、可行性以及环保性综合考虑,针对送电结构专业提出了一些创新措施:

- 1) 针对不同的地形坡度,推荐采用不同的钢架延长腿型式;
- 2) 在狭窄山梁或山脊塔位,可以采用各类门型直柱塔;
- 3) 陡峭塔位,考虑经济性、安全性、施工难度以及环保性,推荐优先选用三腿塔;
- 4) 因地制宜的采用子母基础和创新型钢管桩基础,作为工程环保综合解决方案。

高特峻地区线路设计作为目前输电线路设计的新生事物,各种相应的研究还不多,对其各方面问题的认识也尚显不足,但是随着输电技术和施工工艺的不断发展,其解决方案也将日渐成熟和呈现多元化趋势。但是,无论时代如何进步,技术如何发展,安全可靠、经济环保、施工方便仍然将是研究的重

点,也将是后期深入研究的方向。

参考文献

[1] 柏晓路,刘利林,张益修,等. ±500 kV 直流输电线路地线融冰方案研究[J]. 电力勘测设计,2020(3):37-42.

[2] 徐彬,曾二贤,白强,等. 陡峭山区输电线路新型子母基础设计[J]. 电力勘测设计,2017(1):55-58.

[3] 黄兴. 一种用于山区架空输电线路的大直径人工挖孔钢管桩[J]. ZL 2019 2 0874128. 9

[4] 架空输电线路基础设计技术规程:DL/T 5219—2014[S]. 北京:中国计划出版社,2014.

[5] 建筑桩基技术规范:JGJ 94—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[6] 钢结构设计标准:GB 50017—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2017.

[7] 混凝土结构设计规范:GB 50010—2010[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.

[8] 型钢混凝土组合结构技术规程:JGJ 138—2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.

作者简介:

辜良雨(1979),男,高级工程师,主要研究方向为输电线路结构设计;

蒋锐(1984),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为输电线路结构设计;

甘运良(1979),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为输变电工程项目管理;

翟洪利(1974),男,工程师,主要从事高压输电线路建设管理相关工作。

(收稿日期:2020-08-14)