

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 9 月 6 日 (06.09.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/165692 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 19/00 (2018.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/083987

(22) 国际申请日: 2018 年 4 月 20 日 (20.04.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810162631.1 2018 年 2 月 27 日 (27.02.2018) CN

(71) 申请人: 平安科技(深圳)有限公司(PING AN TECHNOLOGY (SHENZHEN) CO., LTD.) [CN/CN];
中国广东省深圳市福田区八卦岭八卦三路平安大厦六楼, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 王义文(WANG, Yiwén); 中国广东省深圳市福田区八卦岭八卦三路平安大厦六楼, Guangdong 518000 (CN)。王健宗(WANG, Jianzong); 中国广东省深圳市福田区八卦岭八卦三路平安大厦六楼, Guangdong 518000 (CN)。肖京(XIAO, Jing); 中国广东省深圳市福田区八卦岭八卦三路平安大厦六楼, Guangdong 518000 (CN)。

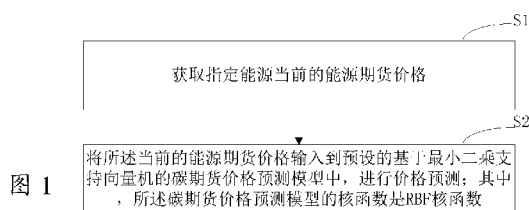
(74) 代理人: 深圳市明日今典知识产权代理事务所(普通合伙)(SHENZHEN MINGRIJINDIAN INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY FIRM (GENERAL));
中国广东省深圳市南山区南头街道智恒新兴产业园E区01B栋405室, Guangdong 518000 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) Title: CARBON FUTURES PRICE PREDICTION METHOD, APPARATUS, COMPUTER DEVICE AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质



S1 ACQUIRE A CURRENT ENERGY SOURCE FUTURES PRICE OF A SPECIFIED ENERGY SOURCE
S2 INPUT THE CURRENT ENERGY SOURCE FUTURES PRICE INTO A PRESET CARBON FUTURES PRICE PREDICTION MODEL THAT IS BASED ON A LEAST SQUARES SUPPORT VECTOR MACHINE, AND PREDICT THE PRICE, WHEREIN A KERNEL FUNCTION OF THE CARBON FUTURES PRICE PREDICTION MODEL IS A RBF KERNEL FUNCTION

(57) Abstract: Disclosed are a carbon futures price prediction method, apparatus, computer device and storage medium, and the method comprises: acquiring a current energy source futures price of a specified energy source; and inputting the current energy source futures price into a carbon futures price prediction model that is based on a least squares support vector machine, and predicting the price, wherein a kernel function of the carbon futures price prediction model is a RBF kernel function. The present application is applicable to price prediction for various lengths of time and the training samples thereof are small, such that local minima will thus not occur.

(57) 摘要: 本申请揭示了一种碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质, 方法包括: 获取指定能源当前的能源期货价格; 将当前的能源期货价格输入到基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中, 进行价格预测, 碳期货价格预测模型的核函数是RBF核函数。本申请适用于各时间长度的价格预测, 训练样本较小, 不会出现局部极小点。

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质

本申请要求于2018年2月27日提交中国专利局、申请号为201810162631.1,发明名称为“碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质”的中国专利申请的优先权,其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本申请涉及价格预测领域,特别是涉及到一种碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质。

背景技术

作为新兴的金融市场,碳排放权交易市场在近些年发展迅猛。碳交易包括清洁发展机制(CDM)、联合实施机制(JI)和国际碳排放权交易(IET)三种形式,其中清洁发展机制(CDM)是发达国家和发展中国家进行碳交易的最主要形式,目前中国国内商业银行参与碳金融的渠道集中于CDM的信贷投融资及其中间业务。现有技术存在对碳期货价格预测的方法,但是其具有对于长期预测的效果较差、统计数据所反映的信息有一定的重叠、以及在非线性建模中容易出现局部极小点等缺点。

所以提供一种新的碳期货价格的预测方法是亟需解决的问题。

技术问题

15 本申请的主要目的为提供一种长期预测效果好、数据反映无重叠、训练样本小的碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质。

技术解决方案

为了实现上述申请目的,本申请提出一种碳期货价格预测方法,包括:获取指定能源当前的能源期货价格;将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中,进行价格预测;其中,所述碳期货价格预测模型的核函数是RBF核函数。

20 本申请还提供一种碳期货价格预测装置,包括:获取单元,用于获取指定能源当前的能源期货价格;预测计算单元,用于将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中,进行价格预测;其中,所述碳期货价格预测模型的核函数是RBF核函数。

25 本申请还提供一种计算机设备,包括存储器和处理器,所述存储器存储有计算机可读指令,所述处理器执行所述计算机可读指令时实现上述方法的步骤。

本申请还提供一种计算机非易失性可读存储介质,其上存储有计算机可读指令,所述计算机可读指令被处理器执行时实现上述的方法的步骤。

有益效果

30 本申请的碳期货价格预测方法、装置、计算机设备和存储介质,基于最小二乘支持向量机,选择RBF核函数,建立碳期货价格预测的模型,然后对碳期货的价格进行预测,其用等式约束代替标准SVM算法中的不等式约束;将求解二次规划问题转化为直接求解线性方程组;适用于长、中、短期的各时间长度

的价格预测，反映信息无重叠，训练样本较小，还不会出现局部极小点而影响最终的预测结果。

附图说明

图1 为本申请一实施例的碳期货价格预测方法的流程示意图；

图2 为本申请一实施例的上述碳期货价格预测方法中步骤S2的具体流程示意图；

5 图3 为本申请一实施例的上述步骤S2中的步骤S24的具体流程示意图；

图4 为本申请一实施例的上述步骤S2中的步骤S21的具体流程示意图；

图5 为本申请一实施例的碳期货价格预测装置的结构示意框图；

图6 为本申请一实施例的预测计算单元的结构示意框图；

图7 为本申请一实施例的验证模块的结构示意框图；

10 图8 为本申请一实施例的变量选择模块的结构示意框图；

图9 为本申请一实施例的计算机设备的结构示意框图。

本发明的最佳实施方式

应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

参照图 1，本申请实施例提供一种碳期货价格预测方法，包括步骤：

15 S1、获取指定能源当前的能源期货价格；

S2、将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中，进行价格预测；其中，所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF（Radial Basis Function 径向基函数）核函数。

如上述步骤 S1 所述，上述指定能源当前的能源期货价格是指在碳期货价格预测时需要的能源期货价格，其价格为当前时间段内可以获取到的实际价格。在一具体实施例中，比如电力期货价格是指定的能源期货价格之一，如果当前时间为电力期货市场开放时间，那么上述当前的期货价格即为当前时刻获取的电力期货价格，如果当前时间为电力期货市场关闭时间，那么上述当前的期货价格即为电力期货市场前一次关闭时的价格。上述指定能源包括多种，比如电力、天然气、碳排放等，其对应的分别为电力期货价格、天然气期货价格和碳排放期货价格。

25 如上述步骤 S2 所述，上述最小二乘支持向量机是支持向量机的改进，与标准 SVM（Support Vector Machine 支持向量机）模型比较，其优势明显，具体的：（1）、用等式约束代替标准 SVM 算法中的不等式约束；（2）、将求解二次规划问题转化为直接求解线性方程组；（3）、最适合于小样本的学习环境。在最小二乘支持向量机中，不同核函数，其性能差异很大，其中，线性核函数不能处理非线性输入值；RBF 核函数的高维核参数量少于多项式核函数，同时在 SVM 训练过程中，采用多项式核函数所需训练时间远大于 RBF 核函数；采用 Sigmoid 函数时，某些参数存在错误值；因此，本研究主要采用 RBF 核函数进行回归建模。

参照图 2, 本申请实施例中, 上述基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型的建模方法, 包括步骤: S21、根据预设规则确定模型变量。本步骤中, 影响碳期货价格的因素很多, 比如, 现有的能源市场包括电力期货价格、天然气期货价格、原油期货价格、碳排放价格等, 但是这些能源期货价格是否真的都会对碳期货价格产生影响, 则需要具体分析, 然后才能确定, 确定下来的能源期货价格既可以作为模型的变量。S22、获取所述模型变量的样本数据, 并将所述样本数据分为训练集和测试集。本步骤中, 模型变量确定后, 即需要获取到样本数据, 获取样本数据的方法包括多种, 如通过指定接口直接到第三方交易平台获取, 或者接收用户的手动输入值等。本实施例中, 样本数据采用交叉验证法获取, 交叉验证法的主要思想为: 假定原始训练样本数据为 N (N 为正整数), 被分成 k (k 为正整数) 个不相交的集合 (一般是均分, 每个集合有 N/k 个样本), 每一个子集都用来作一次验证集, 其余的 $k-1$ 个子集作为训练集, 将得到 k 个模型, 用该 k 个模型的最终训练结果作为参数选择的标准。实际应用中, 常取 $k=10$, 即通常所说的 10 步交叉验证法。上述方法可以有效避免过学习以及欠学习的情况发生, 最后得到的训练结果比较具有说服力。

S23、将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练, 得到训练后的第二碳期货价格预测模型; 所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态。本步骤中, 上述基于最小二乘支持向量机的处于初始状态的第一碳期货价格预测模型即为最原始的数学模型, 其没有进行任何训练的模型。上述第二碳期货价格预测模型即为已经经过训练集训练学习后的模型。

S24、将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性。本步骤中, 即为通过上述的测试集测试第二碳期货价格预测模型是否可以准确测试出碳期货的价格, 该准确测试出碳期货的价格不是百分之百的准确, 而是允许有一定的偏差, 只要在预期的范围之内即可, 只有预测的碳期货价格在预期范围内, 才会判定第二碳期货价格预测模型为有效模型。

S25、若验证通过, 则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。本步骤中, 将第二碳期货价格预测模型确定为上述步骤 S2 中所述的碳期货价格预测模型, 即, 可以将第二碳期货价格预测模型拿到实际场景中进行使用, 预测市场碳期货价格。

参照图 3, 在一具体实施例中, 上述将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性的步骤 S24, 包括:

S241、将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算, 得到预测价格; S242、通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小, 通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度, 以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率; S243、若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求, 则判定所述第二碳期货价格预测模

型为有效模型。如上述步骤 S241、S242 和 S243 所述，其使用了均方根误差法、平均绝对百分比误差法和方向正确性法，通过不同的维度对测试的预测价格与实际价格进行比较，只有每一个维度均达到预期效果才会判定第二碳期货价格预测模型为有效模型，提高第二碳期货价格预测模型在真正投入使用时，能够提供更加准确的预测结果。

5 参照图 4，在另一具体实施例中，上述根据预设规则确定模型变量的步骤 S21，包括：

S211、获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格。在本步骤中，选择 1 年内的期货交易价格数据，主要从洲际交易所（Intercontinental Exchange）搜集碳期货及其影响因素价格历史数据，删去无统计数据，或者数据频度不符的变量。本步骤中主要通过避开第一阶段配额过松导致的价格失常数据以最小化政策及市场监管的影响。本实施例主要选取能源价格作为主要变量，用于价格预测。能源价格则选取欧洲具有代表性的天然气期货价格、煤炭期货价格以及电力期货价格。在欧洲市场上，英国是天然气最大的消费国，所以采用 12 月份交割的英国天然气期货价格。煤炭期货价格是由洲际交易所（Intercontinental Exchange）提供的 12 月份交割的 Rotterdam 煤炭期货价格。电力期货价格则是气候交易所（Intercontinental Exchange）提供的英国电力期货的价格。原油期货价格选取的是布伦特原油期货价格。

15 S212、检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格。本步骤中，影响碳期货价格波动因素的选择将直接决定模型的预测效果，因此根据定量分析严格筛选影响因素。首先考虑到将要检验碳价与各能源价格之间的协整关系，所以先采用 ADF 方法对各个序列进行平稳性检验。

表 1

变量	t 统计量	临界值 (a=1%)	临界值 (a=5%)	临界值 (a=10%)	P 值	是否平稳
碳期货	-2.579608	-3.456197	-2.872811	-2.572851	0.0986	否
碳期货一阶差分	-15.5724	-3.456302	-2.872857	-2.572875	0	是
煤期货	-1.973963	-3.456197	-2.872811	-2.572851	0.6959	否
煤期货一阶差分	-14.23687	-3.456302	-2.872857	-2.572875	0	是
天然气期货	-2.010748	-3.456197	-2.872811	-2.572851	0.2822	否
天然气期货一阶差分	-15.89084	-3.456302	-2.872857	-2.572875	0	是
电力期货	-1.951765	-3.456197	-2.872811	-2.572851	0.3083	否
电力期货一阶差分	-16.06571	-3.456302	-2.872857	-2.572875	0	是
布伦特原油期货	-1.911299	-3.456197	-2.872811	-2.572851	0.3268	否
布伦特原油期货一阶差分	-18.29415	-3.456302	-2.872857	-2.572875	0	是

20 上述表 1 为平稳性检验结果，通过观察可以发现各序列在 1% 的显著性水平下不拒绝单位根假设，是非平稳的。而其一阶差分序列在 1% 的显著性水平下拒绝了单位根假设，这说明各时间序列满足 I(1)。其次进行协整检验。根据协整理论，如果两个序列满足单整阶数相同的条件，就有可能通过线性组合构

成低阶单整变量，而且如果两个同阶非平稳序列之间存在协整关系，就表明二者之间存在长期稳定的均衡关系，从而可以避免伪回归的问题。从表 1 中 ADF（单位根检验）单整检验的结果得知，碳价与各种能源价格之间都是一阶单整的，则有可能存在某种平稳的线性组合。这里采用 EG（Engle-Granger）两步法对其进行协整检验，以分析它们之间的协整关系。首先，进行线性回归。用普通最小二乘法（OLS）

5 估计能源期货价格和碳期货价格之间的方程，并计算非均衡误差。

能源期货价格与碳期货价格协整模型如下：

$$EUA_t = \alpha + \beta E_t + \gamma AR(1) + \mu_t(t = 1, 2, 3 \dots)$$

其中E=煤期货价格，天然气期货价格，电力期货价格，原油期货价格，AR(1)可消除一阶自相关，μ_t满足全部基本假定。

表 2

	α	β	γ
煤期货价格与碳期货价格	0.007335	0.095458	0.070917
	(-0.6649)	(0.0000)	(-0.2646)
天然气期货价格与碳期货价格	-2.313002	0.144577	0.95027
	(-0.2883)	(0.0000)	(0.0000)
电力期货价格与碳期货价格	-0.002021	0.281463	0.014413
	(-0.8929)	(0.0000)	(-0.8219)
布伦特原油期货价格与碳期货价格	0.000256	0.027472	0.026153
	(-0.9877)	(-0.051)	(-0.6818)

10 注：小括号内为相应的概率。

上述表 2 是能源期货价格与碳期货价格协整模型参数。

检验残差是否是平稳序列。ADF 检验的结果如表 3 所示。

表 3

	ADF 统计值		检验临界值
	t 统计量	P 值	
煤期货价格与碳期货价格	-15.74826	0.0000	-3.456408
天然气期货价格与碳期货价格	-15.00944	0.0000	-3.456302
电力期货价格与碳期货价格	-15.75859	0.0000	-3.456408
布伦特原油期货价格与碳期货价格	-15.73816	0.0000	-3.456408

注：显著性水平为 1%。

上述表 3 为各种能源期货价格与碳期货价格协整关系检验结果，检验结果显示，残差序列在显著性水平为 1% 的情况下均拒绝了原假设，即它们各自的残差序列都是平稳序列。因此碳期货价格和各种能源期货价格之间都存在一种长期稳定的关系，并且煤期货价格、电力期货价格、天然气期货价格以及石油期货价格对碳期货合约价格的影响都是正向的。

S213、将选取出的能源期货价格与碳期货价格进行 Granger 因果（格兰杰因果关系）检验。本步骤中，由于各能源期货价格与碳期货价格之间存在显著的协整关系，即可以对各组序列进行 Granger 因果检验，具体判断各种能源期货价格和碳期货价格之间的因果关系：

表 4

原假设	F 统计量	P 值
煤期货价格不是碳期货价格的 Granger 原因	3.51947	0.0311
碳期货价格不是煤期货价格的 Granger 原因	0.1963	0.8219

上述表 4 为煤期货价格和碳期货价格之间的因果关系检验表，可以看出，在 5% 的置信水平下，碳期货价格和煤期货价格之间存在单向的因果关系。煤期货价格是碳期货价格的 Granger 原因，而碳期货价格不是煤期货价格的 Granger 原因。即煤期货价格的变化能够引起碳期货价格的变化，并且两者之间存在显著的长期协整关系。所以可以确定煤期货价格为模型输入变量，来对碳期货价格预测进行建模。

表 5

原假设	F 统计量	P 值
天然气期货价格不是碳期货价格的 Granger 原因	2.55016	0.1116
碳期货价格不是天然气期货价格的 Granger 原因	0.80554	0.3703

上述表 5 为天然气期货价格和碳期货价格之间的因果关系检验表，可以看出，在 12% 的置信水平下，碳期货价格和天然气期货价格之间存在单向的因果关系。天然气期货价格是碳期货价格的 Granger 原因，而碳期货价格不是天然气期货价格的 Granger 原因。即天然气期货价格的变化能够引起碳期货价格的变化，并且两者之间存在显著的长期协整关系。所以可以确定天然气期货价格为模型输入变量，来对碳期货价格预测进行建模。

表 6

原假设	F 统计量	P 值
-----	-------	-----

电力期货价格不是碳期货价格的 Granger 原因	3.00125	0.0516
碳期货价格不是电力期货价格的 Granger 原因	1.91802	0.0991

上述表 6 为电力气期货价格和碳期货价格之间的因果关系检验表，可以看出，在 10%置信水平下，碳期货价格和电力期货价格之间存在双向的 Granger 因果关系，也就是说碳期货价格和电力期货价格之间是相互影响的。根据 Granger 因果检验，碳期货价格的变动会引起电力期货价格的变动，反之亦然。也就是说两个市场之间已经有了显著的影响。这是因为电厂生命周期一般比较长，技术更新的成本较高，所以往往会购买较多的排放权配额，推动碳价上升，电厂为了转移部分购买配额的额外费用，一般也会增加电价。同时，远期电价也受到天然气价格和即期电价的影响，也就说碳期货价格虽然是影响电力期货价格的重要因素，但不是唯一的因素，而电力期货价格也是影响碳期货价格的一个主要因素。所以可以确定电力期货价格为模型输入变量，来对碳期货价格预测进行建模。

表 7

原假设	F 统计量	P 值
布伦特原油期货价格不是碳期货价格的 Granger 原因	1.13309	0.3415
碳期货价格不是布伦特原油期货价格的 Granger 原因	0.87351	0.4804

上述表 7 为石油气期货价格和碳期货价格之间的因果关系检验表，可以看出，碳期货价格和石油期货价格之间不存在显著的 Granger 因果关系。这说明，在研究期内，石油期货价格的波动并未影响到碳期货市场。

从期货价格出发，研究发现各种能源期货价格与碳期货价格之间的存在显著的互动关系。总体而言，各种能源期货价格都与碳期货价格之间存在长期均衡的协整关系。从 Granger 因果关系检验结果来看，碳期货价格与煤期货价格、天然气期货价格以及电力期货价格都存在一定程度的因果关系。尤其是与电力期货价格存在双向的因果关系，可以得知电力期货价格是影响碳期货价格的主要因素。然而，碳期货价格与石油期货价格之间的 Granger 因果关系并不明显。这是因为影响石油价格的因素众多，同时碳市场和石油市场一样，其价格波动主要石油是由事件驱动，因此两个市场的传导机制还没有有效的建立。

S214、将与所述碳期货价格的 Granger 因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格确定为所述模型变量。本步骤中，上述煤期货价格、天然气期货价格以及电力期货价格与碳期货价格都存在一定程度的 Granger 因果关系，所以实施例 1 中，可以确定使用煤期货价格、天然气期货价格以及电力期货价格作为基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型的模型变量。

在本实施例中，在确定好模型变量之后，获取所述模型变量的样本数据，并将所述样本数据分为训

训练集和测试集的步骤 S22 的具体过程为参数寻优, 得到最优参数组。

对于给定的数据样本 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, $x_i \in R^d$ 是与预测量密切相关的影响因素, x_i 为相关的自变量, y_i 能源价格, 为碳交易价格, 对非线性期货价格预测模型, 回归函数变为:

$$f(x) = w\varphi(x) + b \quad (1)$$

5 其中, w 为权值向量, b 是偏执值, 是从输入空间到高维特征空间的非线性映射。最小二乘支持向量机优化目标可表示为:

$$\min R(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{1}{2} C \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i^2 \quad (2)$$

$$s.t. \quad y_i = w\varphi(x_i) \cdot w + b + \xi_i, \quad i = 1, \dots, n$$

其中, ξ_i 为误差, $\xi \in R^{n+1}$, C 代表的是在线性不可分的情况下, 对分类错误的惩罚程度; 式 (7) 可转化为:

$$L(w, b, \xi, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{1}{2} C \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i (\varphi(x_i) \cdot w + b + \xi_i - y_i) \quad (3)$$

其中, $\alpha_i (i = 1, \dots, n)$ 是拉格朗日乘子。根据 KKT 优化条件:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial w} = 0 &\rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(x_i) \\ \frac{\partial L}{\partial b} = 0 &\rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \xi_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = C \xi_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = 0 \rightarrow w\varphi(x_i) + b + \xi_i - y_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

10 消去 w 和 ξ_i , 则式 (4) 的解为:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & Q^T \\ Q & K + C^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \alpha \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]^T$, $Q = [1, 1, \dots, 1]^T$, $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$, I 为单位矩阵, $K(x_i, x_j)$ 为合适的核函数, 为了简化计算, 使用原空间的核函数来进行计算。

从而得到最优参数组。

然后建立预测模型, 其中, 最小二乘支持向量机的数学模型为:

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b \quad (6)$$

15 其中, $K(x_i, x)$ 表示从输入空间到高维特征空间的非线性映射, α_i 是拉格朗日乘子, b 是偏执值, x_i 是

相关的自变量, α_i 和 b 可由解式 (5) 的线性方程求出。

核函数、映射函数以及特征空间是一一对应的, 确定了核函数 $K(x_i, x_j)$ 就隐含地确定了映射函数 $\varphi(x)$ 和特征空间 F 。核函数的使用使支持向量机获得了强有力的非线性处理能力, 并且避免了在高维特征空间上的复杂计算, 有效的克服了维数灾难问题。

5 上述 RBF 核函数的表达式为:

$$K(x_i, x_j) = \exp\{-|x_i - x_j|^2 / \sigma^2\} \quad (7)$$

其中, x_i 是相关的自变量, x_j 是碳期货价格, σ 是核宽度。

在最小二乘支持向量机中, 正则化参数和 RBF 函数的核宽度 σ 直接影响到最小二乘支持向量机的学习能力和泛化能力, 因此, 对其正则化参数和核宽度 σ 的选择方法的研究十分重要。另一方面, 在对最小二乘支持向量机的性能影响上, 核函数 σ 和正则化参数之间并无一定的联系, 这就使得核函数 σ 和正则化参数的有效选择成为了焦点。本实施例中, 基于交叉验证法选择所述最小二乘支持向量机的正则化参数和 RBF 核函数的核宽度。

在本实施例中, 在步骤 S2 之后还包括: S3、获取预测周期的时间长度; S4、若所述预测周期属于短期或中期的预测周期, 则调用预测的时间序列分析法模型, 进行第二次碳期货预测; S5、将通过基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型预测的第一预测价格以及基于时间序列分析法模型预测的第二预测价格进行预设的加权平均运算, 得到最终的碳期货预测价格。

如上述步骤 S3、S4 和 S5 所述, 因为基于时间序列分析法模型可以较为准确地预测短期或中期的碳期货价格, 所以, 可以将其作为碳期货价格预测的一部分, 比如, 将过基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型预测的第一预测价格乘以第一百分比, 然后加上基于时间序列分析法模型预测的第二预测价格乘以第二百分比, 得到一个综合的碳期货预测价格等。

20 在另一实施例中, 在步骤 S2 之后还包括: S6、分别从不同的能源交易平台再次获取到指定能源当前的能源期货价格; S7、将在不同交易平台获取到的能源期货价格分别重复上述步骤 S2 的过程, 得到多个碳期货预测价格; S8、将全部预测的碳期货价格进行平均计算得到最终的碳期货价格。

本申请实施例的碳期货价格预测方法, 基于最小二乘支持向量机, 选择 RBF 核函数, 建立碳期货价格预测的模型, 然后对碳期货的价格进行预测, 其用等式约束代替标准 SVM 算法中的不等式约束; 25 将求解二次规划问题转化为直接求解线性方程组; 适用于长、中、短期的各时间长度的价格预测, 反映信息无重叠, 训练样本较小, 还不会出现局部极小点而影响最终的预测结果。

参照图 5, 本申请实施例中还提供一种碳期货价格预测装置, 包括:

获取单元 10, 用于获取指定能源当前的能源期货价格;

30 预测计算单元 20, 用于将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中, 进行价格预测; 其中, 所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF 核函数。

在上述获取单元 10 中, 上述指定能源当前的能源期货价格是指在碳期货价格预测时需要的能源期货价格, 其价格为当前时间段内可以获取到的实际价格。在一具体实施例中, 比如电力期货价格是指定的能源期货价格之一, 如果当前时间为电力期货市场开放时间, 那么上述当前的期货价格即为当前时刻获取的电力期货价格, 如果当前时间为电力期货市场关闭时间, 那么上述当前的期货价格即为电力期货市场前一次关闭时的价格。上述指定能源包括多种, 比如电力、天然气、碳排放等, 其对应的分别为电力期货价格、天然气期货价格和碳期货价格。

在上述预测计算单元 20 中, 上述最小二乘支持向量机是支持向量机的改进, 与标准 SVM 模型比较, 其优势明显, 具体的: (1)、用等式约束代替标准 SVM 算法中的不等式约束; (2)、将求解二次规划问题转化为直接求解线性方程组; (3)、最适合于小样本的学习环境。在最小二乘支持向量机中, 不同核函数, 其性能差异很大, 其中, 线性核函数不能处理非线性输入值; RBF 核函数的高维核参数数量少于多项式核函数, 同时在 SVM 训练过程中, 采用多项式核函数所需训练时间远大于 RBF 核函数; 采用 Sigmoid 函数时, 某些参数存在错误值; 因此, 本研究主要采用 RBF 核函数进行回归建模。

参照图 6, 本实施例中, 上述预测计算单元 20, 包括:

变量选择模块 21, 用于根据预设规则确定模型变量。

影响碳期货价格的因素很多, 比如, 现有的能源市场包括电力期货价格、天然气期货价格、原油期货价格、碳排放价格等, 但是这些能源期货价格是否真的都会对碳期货价格产生影响, 则需要具体分析, 然后才能确定, 确定下来的能源期货价格既可以作为模型的变量。

获取划分模块 22, 用于获取所述模型变量的样本数据, 并将所述样本数据分为训练集和测试集。

模型变量确定后, 即需要获取到样本数据, 获取样本数据的方法包括多种, 如通过指定接口直接到第三方交易平台获取, 或者接收用户的手动输入值等。本实施例中, 样本数据采用交叉验证法获取, 交叉验证法的主要思想为: 假定原始训练样本数据为 N (N 为正整数), 被分成 k (k 为正整数) 个不相交的集合 (一般是均分, 每个集合有 N/k 个样本), 每一个子集都用来作一次验证集, 其余的 $k-1$ 个子集作为训练集, 这样将得到 k 个模型, 用这 k 个模型的最终训练结果作为参数选择的标准。实际应用中, 常取 $k=10$, 即通常所说的 10 步交叉验证法。上述方法可以有效避免过学习以及欠学习的情况发生, 最后得到的训练结果比较具有说服力。

训练模块 23, 用于将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练, 得到训练后的第二碳期货价格预测模型; 所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态。

上述处于初始状态的第一碳期货价格预测模型即为最原始的数学模型, 是没有进行过任何训练的模型。上述第二碳期货价格预测模型即为已经经过训练集训练学习后的模型。

验证模块 24, 用于将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述

第二碳期货价格预测模型的有效性。

通过上述的测试集测试第二碳期货价格预测模型是否可以准确测试出碳期货的价格，这里的准确测试出碳期货的价格不是百分之百的准确，而是允许有一定的偏差，但是要在预期的范围之内，只有预测的碳期货价格在预期范围内，才会判定第二碳期货价格预测模型为有效模型。

- 5 模型确定模块 25，用于若验证模块验证第二碳期货价格预测模型的有效性模型，则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。

将第二碳期货价格预测模型确定为上述预测计算单元 20 中所述的碳期货价格预测模型，即，可以将第二碳期货价格预测模型拿到实际场景中进行使用，真正的进行碳期货价格。

参照图 7，上述验证模块 24，包括：

- 10 计算价格子模块 241，用于将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算，得到预测价格；

多维度计算子模块 242，用于通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小，通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度，以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率；

- 15 判定子模块 243，若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求，则判定所述第二碳期货价格预测模型为有效模型。

本实施例中，使用了均方根误差法、平均绝对百分比误差法和方向正确性法，通过不同的维度对测试的预测价格与实际价格进行比较，只有每一个维度均达到预期效果才会判定第二碳期货价格预测模型为有效模型，提高第二碳期货价格预测模型在真正投入使用时，能够提供更加准确的预测结果。

- 20 参照图 8，本实施例中，上述变量选择模块 21，包括：

获取子模块 211，用于获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格；

第一检验子模块 212，用于检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格；

第二检验子模块 213，用于将选取出的能源期货价格与碳期货价格进行格兰杰因果检验；

- 25 确定子模块 214，用于选取与所述碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格，并将该选取出的能源期货价格确定为所述模型变量。

其具体的执行过程与上述的碳期货价格预测方法中的实施例中的实施方式大致相同，在此不在赘述。各种能源期货价格都与碳期货价格之间存在长期均衡的协整关系。从 Granger 因果关系检验结果来看，碳期货价格与煤期货价格、天然气期货价格以及电力期货价格都存在一定程度的因果关系。尤其是与电力期货价格存在双向的因果关系，可以得知电力期货价格是影响碳期货价格的主要因素。然而，碳期货价格与石油期货价格之间的 Granger 因果关系并不明显。这是因为影响石油价格的因素众多，同时碳市

场和石油市场一样，其价格波动主要石油是由事件驱动，因此两个市场的传导机制还没有有效的建立。

在本实施例中，在确定好模型变量的之后，获取所述模型变量的样本数据，并将所述样本数据分为训练集和测试集 2 的具体过程为参数寻优，得到最优参数组。

对于给定的数据样本 $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n$, $x_i \in R^d$ 是与预测量密切相关的影响因素， x_i 为相关的自变量， y_i 能源价格，为碳交易价格，对非线性期货价格预测模型，回归函数变为：

$$f(x) = w\varphi(x) + b \quad (1)$$

其中， w 为权值向量， b 是偏执值，是从输入空间到高维特征空间的非线性映射。最小二乘支持向量机优化目标可表示为：

$$\min R(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{1}{2} C \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i^2 \quad (2)$$

$$s.t. \quad y_i = w\varphi(x_i) \cdot w + b + \xi_i, \quad i = 1, \dots, n$$

其中， ξ_i 为误差， $\xi \in R^{n+1}$, C 代表的是在线性不可分的情况下，对分类错误的惩罚程度；式 (7)

可转化为：

$$L(w, b, \xi, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + \frac{1}{2} C \cdot \sum_{i=1}^n \xi_i^2 - \sum_{i=1}^n \alpha_i (\varphi(x_i) \cdot w + b + \xi_i - y_i) \quad (3)$$

其中， $\alpha_i (i = 1, \dots, n)$ 是拉格朗日乘子。根据 KKT 优化条件：

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial w} = 0 & \rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(x_i) \\ \frac{\partial L}{\partial b} = 0 & \rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \xi_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = C \xi_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = 0 \rightarrow w\varphi(x_i) + b + \xi_i - y_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

消去 w 和 ξ_i ，则式 (4) 的解为：

$$\begin{bmatrix} 0 \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & Q^T \\ Q & K + C^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \alpha \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n]^T$, $Q = [1, 1, \dots, 1]^T$, $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$, I 为单位矩阵， $K(x_i, x_j)$ 为合适的核函数，为了简化计算，使用原空间的核函数来进行计算。

从而得到最优参数组。

然后建立预测模型，其中，最小二乘支持向量机的数学模型为：

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b \quad (6)$$

其中, $K(x_i, x)$ 表示从输入空间到高维特征空间的非线性映射, α_i 是拉格朗日乘子, b 是偏执值, x_i 是相关的自变量, α_i 和 b 可由解式 (5) 的线性方程求出。

核函数、映射函数以及特征空间是一一对应的, 确定了核函数 $K(x_i, x_j)$ 就隐含地确定了映射函数 $\varphi(x)$ 和特征空间 F 。核函数的使用使支持向量机获得了强有力的非线性处理能力, 并且避免了在高维特征空间上的复杂计算, 有效的克服了维数灾难问题。

上述 RBF 核函数的表达式为:

$$K(x_i, x_j) = \exp\{-|x_i - x_j|^2 / \sigma^2\} \quad (7)$$

其中, x_i 是相关的自变量, x_j 是碳期货价格, σ 是核宽度。

在本实施例中, 上述碳期货价格预测装置还包括:

获取周期单元, 用于获取预测周期的时间长度;

10 调用单元, 用于若所述预测周期属于短期或中期的预测周期, 则调用预测的时间序列分析法模型, 进行第二次碳期货预测;

加权计算单元, 用于将通过基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型预测的第一预测价格以及基于时间序列分析法模型预测的第二预测价格进行预设的加权平均运算, 得到最终的碳期货预测价格。因为基于时间序列分析法模型可以较为准确地预测短期或中期的碳期货价格, 所以, 可以将其作为碳期货价格预测的一部分, 比如, 将过基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型预测的第一预测价格乘以第一百分比, 然后加上基于时间序列分析法模型预测的第二预测价格乘以第二百分比, 得到一个综合的碳期货预测价格等。

在另一实施例中, 上述碳期货价格预测装置还包括:

分别获取单元, 用于分别从不同的能源交易平台再次获取到指定能源当前的能源期货价格;

20 分别计算单元, 用于将在不同交易平台获取到的能源期货价格分别利用上述预测计算单元 20, 计算得到多个碳期货预测价格;

平均计算单元, 用于将全部预测的碳期货价格进行平均计算得到最终的碳期货价格。

本申请实施例的碳期货价格预测装置, 基于最小二乘支持向量机, 选择 RBF 核函数, 建立碳期货价格预测的模型, 然后对碳期货的价格进行预测, 其用等式约束代替标准 SVM 算法中的不等式约束; 25 将求解二次规划问题转化为直接求解线性方程组; 适用于长、中、短期的各时间长度的价格预测, 反映信息无重叠, 训练样本较小, 还不会出现局部极小点而影响最终的预测结果。

参照图 9, 本申请实施例中还提供一种计算机设备, 该计算机设备可以是服务器, 其内部结构可以如图 9 所示。该计算机设备包括通过系统总线连接的处理器、存储器、网络接口和数据库。其中, 该计

计算机设计的处理器用于提供计算和控制能力。该计算机设备的存储器包括非易失性存储介质、内存储器。该非易失性存储介质存储有操作系统、计算机可读指令和数据库。该内存储器为非易失性存储介质中的操作系统和计算机可读指令的运行提供环境。该计算机设备的数据库用于存储碳期货价格预测模型等数据。该计算机设备的网络接口用于与外部的终端通过网络连接通信。该计算机可读指令在执行时，执行如上

5 述各方法的实施例的流程。本领域技术人员可以理解，图 9 中示出的结构，仅仅是与本申请方案相关的部分结构的框图，并不构成对本申请方案所应用于其上的计算机设备的限定。

本申请一实施例还提供一种计算机非易失性可读存储介质，其上存储有计算机可读指令，该计算机可读指令在执行时，执行如上述各方法的实施例的流程。以上所述仅为本申请的优选实施例，并非因此限制本申请的专利范围，凡是利用本申请说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换，或直接或

10 间接运用在其他相关的技术领域，均同理包括在本申请的专利保护范围内。

权利要求书

1、一种碳期货价格预测方法，其特征在于，包括：

获取指定能源当前的能源期货价格；

5 将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中，进行价格预测；其中，所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF 核函数。

2、根据权利要求 1 所述的碳期货价格预测方法，其特征在于，所述基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型的建模方法，包括：根据预设规则确定模型变量；

获取所述模型变量的样本数据，并将所述样本数据分为训练集和测试集；

10 将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练，得到训练后的第二碳期货价格预测模型；所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态；

将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中，验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性；

若验证通过，则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。

15 3、根据权利要求 2 所述的碳期货价格预测方法，其特征在于，所述将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性的步骤，包括：

将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算，得到预测价格；

通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小，通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度，以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率；

20 若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求，则判定所述第二碳期货价格预测模型为有效模型。

4、根据权利要求 2 所述的碳期货价格预测方法，其特征在于，所述根据预设规则确定模型变量的步骤，包括：

获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格；

25 检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取出与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格；

将选取出的能源期货价格与碳期货价格进行格兰杰因果检验；

选取出与所述碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格，并将该选取出的能源期货价格确定为所述模型变量。

30 5、根据权利要求 1 所述的碳期货价格预测方法，其特征在于，所述最小二乘支持向量机的数学模型为：

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b$$

其中, $K(x_i, x)$ 表示从输入空间到高维特征空间的非线性映射, α_i 是拉格朗日乘子, b 是偏执值, x_i 是相关的自变量。

6、根据权利要求 5 所述的碳期货价格预测方法, 其特征在于, 所述 RBF 核函数的表达式为:

$$K(x_i, x_j) = \exp\{-|x_i - x_j|^2 / \sigma^2\}$$

其中, x_i 是相关的自变量, x_j 是碳期货价格, σ 是核宽度。

5 7、一种碳期货价格预测装置, 其特征在于, 包括:

获取单元, 用于获取指定能源当前的能源期货价格;

预测计算单元, 用于将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中, 进行价格预测; 其中, 所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF 核函数。

8、根据权利要求 7 所述的碳期货价格预测装置, 其特征在于, 所述预测计算单元, 包括:

10 变量选择模块, 用于根据预设规则确定模型变量;

获取划分模块, 用于获取所述模型变量的样本数据, 并将所述样本数据分为训练集和测试集;

训练模块, 用于将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练, 得到训练后的第二碳期货价格预测模型; 所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态;

15 验证模块, 用于将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中, 验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性;

模型确定模块, 用于若验证模块验证第二碳期货价格预测模型的有效性模型, 则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。

9、根据权利要求 8 所述的碳期货价格预测装置, 其特征在于, 所述验证模块, 包括:

20 计算价格子模块, 用于将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算, 得到预测价格;

多维度计算子模块, 用于通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小, 通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度, 以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率;

25 判定子模块, 用于若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求, 则判定所述第二碳期货价格预测模型为有效模型。

10、根据权利要求 8 所述的碳期货价格预测装置, 其特征在于, 所述变量选择模块, 包括:

获取子模块, 用于获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格;

第一检验子模块，用于检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取出与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格；

第二检验子模块，用于将选出的能源期货价格与碳期货价格进行格兰杰因果检验；

确定子模块，用于选取出与所述碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格，

5 并将该选出的能源期货价格确定为所述模型变量。

11、根据权利要求 7 所述的碳期货价格预测装置，其特征在于，所述最小二乘支持向量机的数学模型为：

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b$$

其中， $K(x_i, x)$ 表示从输入空间到高维特征空间的非线性映射， α_i 是拉格朗日乘子， b 是偏执值， x_i 是相关的自变量。

10 12、根据权利要求 11 所述的碳期货价格预测装置，其特征在于，所述 RBF 核函数的表达式为：

$$K(x_i, x_j) = \exp\{-|x_i - x_j|^2 / \sigma^2\}$$

其中， x_i 是相关的自变量， x_j 是碳期货价格， σ 是核宽度。

13、一种计算机设备，包括存储器和处理器，所述存储器存储有计算机可读指令，其特征在于，所述处理器执行所述计算机可读指令时实现碳期货价格预测方法，该碳期货价格预测方法，包括：

获取指定能源当前的能源期货价格；

15 将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中，进行价格预测；其中，所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF 核函数。

14、根据权利要求 13 的计算机设备，其特征在于，所述基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型的建模方法，包括：根据预设规则确定模型变量；

获取所述模型变量的样本数据，并将所述样本数据分为训练集和测试集；

20 将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练，得到训练后的第二碳期货价格预测模型；所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态；

将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中，验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性；若验证通过，则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。

25 15、根据权利要求 14 所述的计算机设备，其特征在于，所述将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性的步骤，包括：

将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算，得到预测价格；

通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小，通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度，以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率；

若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求，则判定所述第二碳期货价格预测模型为有效模型。

16、根据权利要求 14 所述的计算机设备，其特征在于，所述根据预设规则确定模型变量的步骤，包括：获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格；

5 检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取出与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格；将选取出与碳期货价格的协整关系为正向的能源期货价格与碳期货价格进行格兰杰因果检验；

选取出与碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格，并将该选取出与碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格确定为所述模型变量

17、一种计算机非易失性可读存储介质，其上存储有计算机可读指令，其特征在于，所述计算机可
10 读指令被处理器执行时实现碳期货价格预测方法，该碳期货价格预测方法，包括：

获取指定能源当前的能源期货价格；

将所述当前的能源期货价格输入到预设的基于最小二乘支持向量机的碳期货价格预测模型中，进行价格预测；其中，所述碳期货价格预测模型的核函数是 RBF 核函数。

18、根据权利要求 17 的计算机非易失性可读存储介质，其特征在于，所述处理器建立基于最小二
15 乘支持向量机的碳期货价格预测模型的建模方法，包括：根据预设规则确定模型变量；

获取所述模型变量的样本数据，并将所述样本数据分为训练集和测试集；

将所述训练集对应的样本数据输入至预设的基于最小二乘支持向量机的第一碳期货价格预测模型中进行训练，得到训练后的第二碳期货价格预测模型；所述第一碳期货价格预测模型是处于初始状态；

20 将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中，验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性；若验证通过，则确定所述第二碳期货价格预测模型为所述碳期货价格预测模型。

19、根据权利要求 18 所述的计算机非易失性可读存储介质，其特征在于，所述处理器将所述测试集对应的样本数据输入至所述第二碳期货价格预测模型中验证所述第二碳期货价格预测模型的有效性的步骤，包括：将所述测试集对应的样本数据代入到所述第二碳期货价格预测模型中进行计算，得到预测价格；

25 通过均方根误差法计算所述预测价格与实际价格的误差大小，通过平均绝对百分比误差法计算所述预测价格与所述实际价格的偏差程度，以及通过方向正确性法计算所述预测价格的方向正确率；

若所述误差大小、偏差程度以及方向正确率均符合预设要求，则判定所述第二碳期货价格预测模型为有效模型。

20、根据权利要求 18 所述的计算机非易失性可读存储介质，其特征在于，所述处理器根据预设规
30 则确定模型变量的步骤，包括：获取指定时间段内的多种类型的能源期货价格；

检验碳期货价格与各种所述能源期货价格的协整关系，并选取出与碳期货价格的协整关系为正向的

能源期货价格；将选取出的能源期货价格与碳期货价格进行格兰杰因果检验；

选取出与所述碳期货价格的格兰杰因果关系达到预设的显著要求的能源期货价格，并将该选取出的能源期货价格确定为所述模型变量。

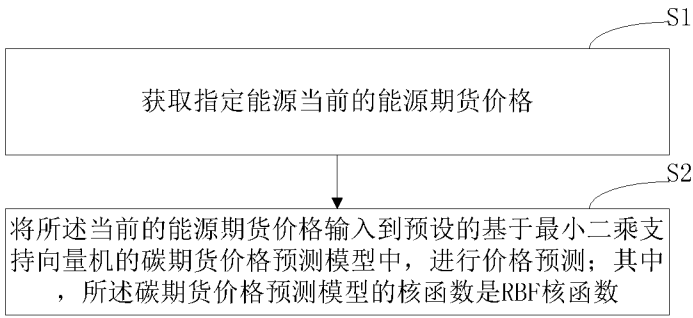


图 1

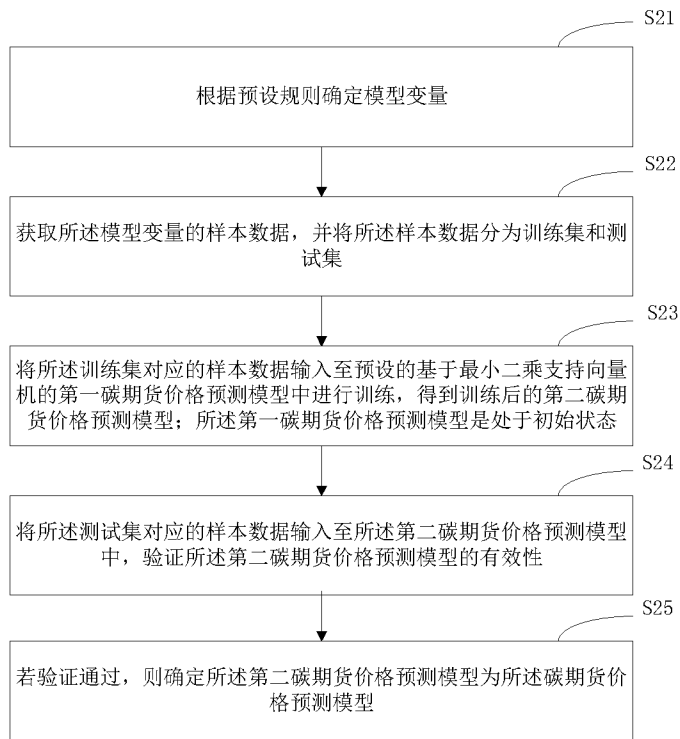


图 2

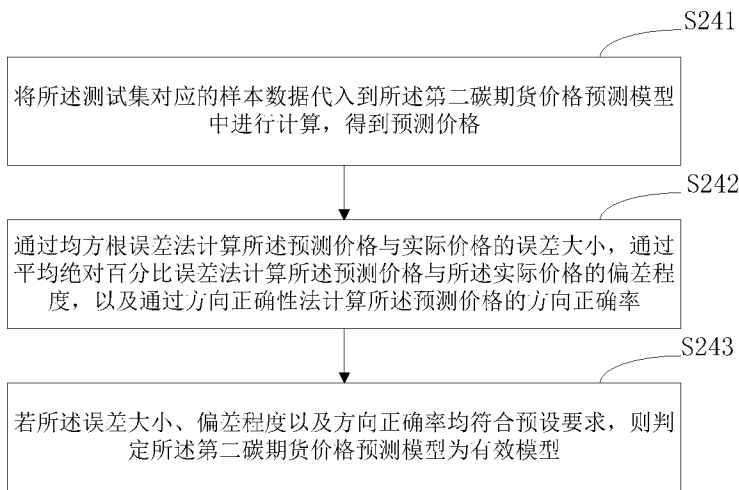
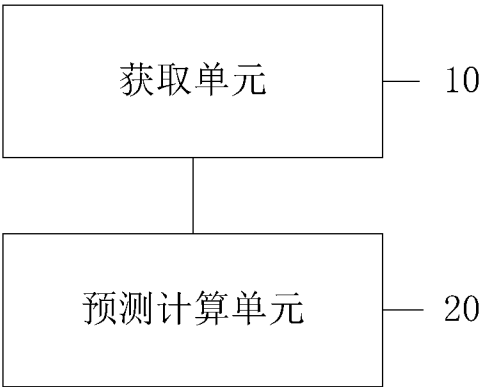
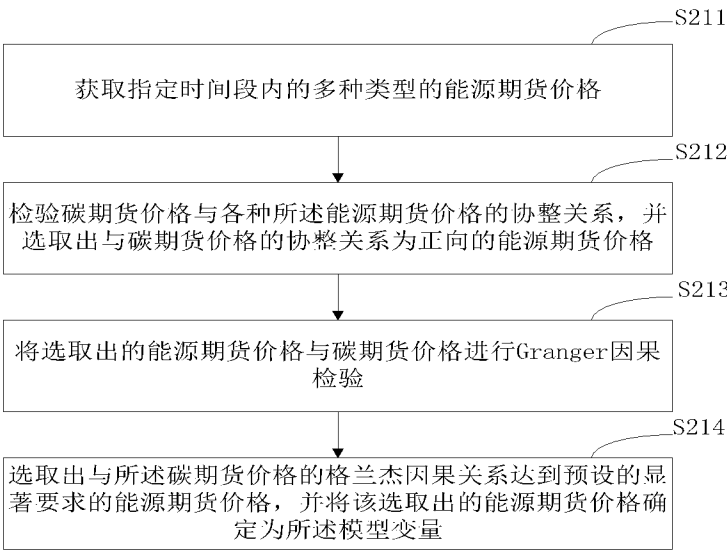


图 3



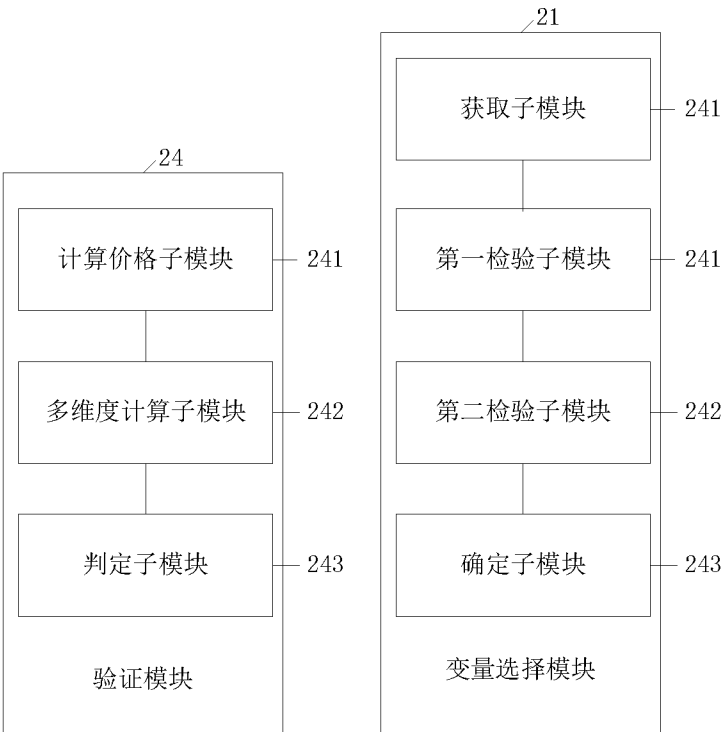


图 7

图 8

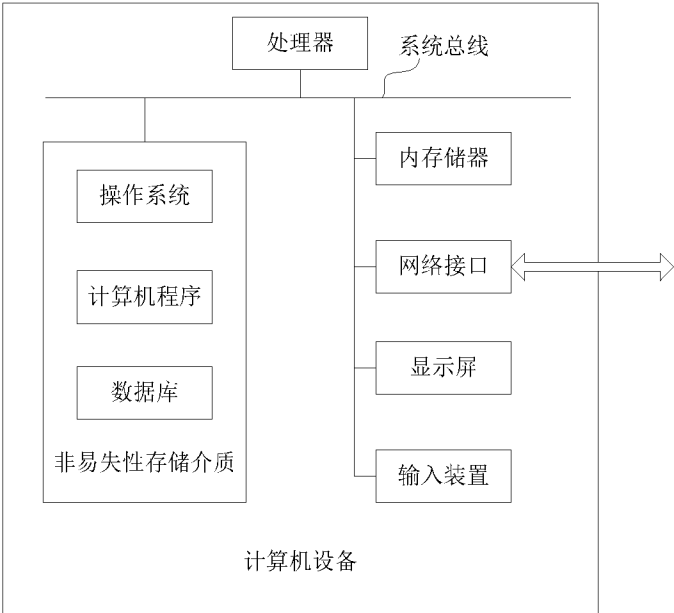


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/083987

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 19/00(2018.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; VEN; WOTXT; EPTXT; USTXT; CNKI; BAIDU: 碳, 能源, 价格, 期货, 碳期货, 径向基, 径向基核函数, 最小二乘支持向量机, 预测; carbon, futures, predict+, price, RBF, LSSVM, forecast+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	朱帮助, 魏一鸣 (ZHU, Bangzhu, Wei, Yiming). "基于GMDH-PSO-LSSVM的国际碳市场价格预测 (Carbon Price Prediction Based on Integration of GMDH, Particle Swarm Optimization and Least Squares Support Vector Machines)" <i>系统工程理论与实践 (Systems Engineering-theory & Practice)</i> , Vol. 31, No. 12, 15 December 2011 (2011-12-15), ISSN: 1000-6788, pp. 2264-2271, figure 2	1-20
Y	TSAL, M. T.; KUO, Y. T. "Application of Radial Basis Function Neural Network for Carbon Price forecasting" <i>Applied Mechanics and Materials</i> , Vol. 590, 30 June 2014 (2014-06-30), ISSN: 1662-7482, pp. 683-687	1-20
A	CN 102982229 A (HUIYIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 20 March 2013 (2013-03-20) entire document	1-20
A	CN 105787599 A (SHANGHAI YUANLU JIAJIA INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY CO., LTD.) 20 July 2016 (2016-07-20) entire document	1-20



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 May 2018

Date of mailing of the international search report

18 July 2018

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/083987**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CA 2847044 A1 (OPEN ACCESS TECHNOLOGY INTERNATIONAL INC) 15 September 2014 (2014-09-15) entire document	1-20
A	CN 105160204 A (HOHAI UNIVERSITY) 16 December 2015 (2015-12-16) entire document	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/083987

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	102982229	A	20 March 2013	CN	102982229	B	08 June 2016
CN	105787599	A	20 July 2016	None			
CA	2847044	A1	15 September 2014	US	2014316964	A1	23 October 2014
CN	105160204	A	16 December 2015	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/083987

A. 主题的分类 G06F 19/00 (2018.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS: CNTXT; VEN; WOTXT; EPTXT; USTXT; CNKI; BAIDU: 碳, 能源, 价格, 期货, 碳期货, 径向基, 径向基核函数, 最小二乘支持向量机, 预测; carbon, futures, predict+, price, RBF, LSSVM, forecast+																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>朱帮助, 魏一鸣. "基于GMDH-PSO-LSSVM的国际碳市场价格预测" 系统工程理论与实践, 第31卷, 第12期, 2011年 12月 15日 (2011 - 12 - 15), ISSN: 1000-6788, 第2264-2271页, 图2</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>Ming-tang TSAI, Yu-teing KUO. "Application of Radial Basis Function Neural Network for Carbon Price forecasting." Applied Mechanics and Materials, 第590卷, 2014年 6月 30日 (2014 - 06 - 30), ISSN: 1662-7482, 第683-687页</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102982229 A (淮阴工学院) 2013年 3月 20日 (2013 - 03 - 20) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105787599 A (上海源庐加佳信息科技有限公司) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CA 2847044 A1 (OPEN ACCESS TECHNOLOGY INTERNATIONAL INC) 2014年 9月 15日 (2014 - 09 - 15) 全文</td> <td>1-20</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	朱帮助, 魏一鸣. "基于GMDH-PSO-LSSVM的国际碳市场价格预测" 系统工程理论与实践, 第31卷, 第12期, 2011年 12月 15日 (2011 - 12 - 15), ISSN: 1000-6788, 第2264-2271页, 图2	1-20	Y	Ming-tang TSAI, Yu-teing KUO. "Application of Radial Basis Function Neural Network for Carbon Price forecasting." Applied Mechanics and Materials, 第590卷, 2014年 6月 30日 (2014 - 06 - 30), ISSN: 1662-7482, 第683-687页	1-20	A	CN 102982229 A (淮阴工学院) 2013年 3月 20日 (2013 - 03 - 20) 全文	1-20	A	CN 105787599 A (上海源庐加佳信息科技有限公司) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-20	A	CA 2847044 A1 (OPEN ACCESS TECHNOLOGY INTERNATIONAL INC) 2014年 9月 15日 (2014 - 09 - 15) 全文	1-20
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
Y	朱帮助, 魏一鸣. "基于GMDH-PSO-LSSVM的国际碳市场价格预测" 系统工程理论与实践, 第31卷, 第12期, 2011年 12月 15日 (2011 - 12 - 15), ISSN: 1000-6788, 第2264-2271页, 图2	1-20																		
Y	Ming-tang TSAI, Yu-teing KUO. "Application of Radial Basis Function Neural Network for Carbon Price forecasting." Applied Mechanics and Materials, 第590卷, 2014年 6月 30日 (2014 - 06 - 30), ISSN: 1662-7482, 第683-687页	1-20																		
A	CN 102982229 A (淮阴工学院) 2013年 3月 20日 (2013 - 03 - 20) 全文	1-20																		
A	CN 105787599 A (上海源庐加佳信息科技有限公司) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 全文	1-20																		
A	CA 2847044 A1 (OPEN ACCESS TECHNOLOGY INTERNATIONAL INC) 2014年 9月 15日 (2014 - 09 - 15) 全文	1-20																		
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
* 引用文件的具体类型: "A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 "E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 "L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) "O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 "P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 "T" 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 "X" 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 "Y" 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 "&" 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																		
2018年 5月 18日		2018年 7月 18日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																		
中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		张正华 电话号码 (86-20) 28950277																		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/083987

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 105160204 A (河海大学) 2015年 12月 16日 (2015 - 12 - 16) 全文	1-20

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/083987

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	102982229	A	2013年 3月 20日	CN 102982229 B	2016年 6月 8日
CN	105787599	A	2016年 7月 20日	无	
CA	2847044	A1	2014年 9月 15日	US 2014316964 A1	2014年 10月 23日
CN	105160204	A	2015年 12月 16日	无	