



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106771568 B

(45)授权公告日 2019.09.13

(21)申请号 201611025302.X

(22)申请日 2016.11.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106771568 A

(43)申请公布日 2017.05.31

(73)专利权人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
专利权人 国网河南省电力公司经济技术研究院
南京南瑞太阳能科技有限公司

(72)发明人 郑征 刘刚 狄立 陈磊 张琳娟
王彦隽 邱超 卢丹

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224
代理人 张赏 董建林

(51)Int.Cl.

G01R 22/06(2006.01)

G06Q 50/06(2012.01)

(56)对比文件

- CN 105337308 A, 2016.02.17,
- CN 105182030 A, 2015.12.23,
- CN 104794544 A, 2015.07.22,
- US 8577479 B2, 2013.11.05,
- CN 104793030 A, 2015.07.22,
- CN 202512169 U, 2012.10.31,
- CN 105139275 A, 2015.12.09,
- CN 104361233 A, 2015.02.18,
- CN 202512169 U, 2012.10.31,

审查员 马佳伟

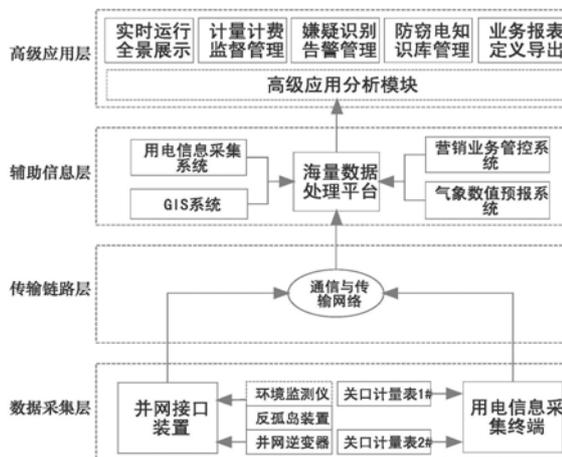
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

区域分布式光伏窃电监管系统

(57)摘要

本发明公开了一种区域分布式光伏窃电监管系统,从下到上依次为数据采集层、传输链路层、辅助信息层以及高级应用层;数据采集层主要利用分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端相结合的方式采集并网点运行数据;传输链路层主要采用光纤专网+GPRS/CDMA无线传输相结合的方式,进行智能通信与数据传输;辅助信息层用于进行实时海量数据处理;高级应用层负责区域分布式光伏窃电监管的分析和展示。本发明采用基于多时间尺度评估的分布式光伏出力计算模型,并以该理论发电量为基准,进行窃电嫌疑识别。本发明实现对分布式光伏发电业主发电量的有效监管,有利于分布式光伏发电补贴政策的实施,对促进分布式光伏的健康发展提供技术支持。



1. 区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,基于D5000智能电网调度控制系统架构,从下到上依次为数据采集层、传输链路层、辅助信息层以及高级应用层;

数据采集层主要利用分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端相结合的方式采集并网点运行数据,其中,分布式光伏并网接口设备采集并网点的遥信、故障类数据,用电信息采集终端采集并网点计量表信息;信息采集后,分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端通过各自的加密装置,完成对采集信息的加密操作;

传输链路层主要采用光纤专网+GPRS/CDMA无线传输相结合的方式,进行智能通信与数据传输;

辅助信息层用于进行实时数据处理,采用海量数据平台,将并网点运行数据以及分布式光伏客户档案信息及计费信息,实时气象信息,用户地理位置信息进行统一数据采集处理;

高级应用层负责区域分布式光伏窃电监管的分析和展示,具体为,高级应用层采用具有时间累积效应的分布式光伏电站发电量作为判别窃电与否的依据,分布式光伏窃电识别分为三层筛选架构,分别为实时窃电嫌疑判定,短期窃电嫌疑判定和综合窃电嫌疑判定三层;

实时窃电嫌疑判定:

将基于早晚两小时发电量窃电评估的理论电量 $Q_{2h理论}$ 设定为150%的理论计算电量值,取 Δ 为分布式光伏电站早晚两小时计量电量 $Q_{2h计量}$ 大于理论电量 $Q_{2h理论}$ 的差值占理论电量 $Q_{2h理论}$ 的百分比,即:

$$\Delta = \frac{Q_{2h计量} - Q_{2h理论}}{Q_{2h理论}} \times 100\% \quad (9)$$

当 $\Delta \geq 50\%$,判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑;且 Δ 越大,窃电嫌疑越大;早晚两小时是指早上5:00到7:00和晚上17:00到19:00;

短期窃电嫌疑判定:

对实时窃电嫌疑判定结果为“发电正常”状态的分布式光伏电站进行短期窃电嫌疑判定,将基于日发电量窃电评估的理论电量 $Q_{日理论}$ 设定为120%的理论计算电量值,取 η 为分布式光伏电站日光伏计量电量 $Q_{日计量}$ 大于理论电量 $Q_{日理论}$ 的差值占理论电量 $Q_{日理论}$ 的百分比,即:

$$\eta = \frac{Q_{日计量} - Q_{日理论}}{Q_{日理论}} \times 100\% \quad (10)$$

当 $\eta \geq 20\%$,判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑;且 η 越大,窃电嫌疑越大;

综合窃电嫌疑判定:

综合窃电嫌疑判定检测周期为一个月,对分布式光伏电站一个月内通过实时窃电嫌疑判定和短期窃电嫌疑判定检测出来存在窃电嫌疑的天数进行统计,并将计算结果求和,当分布式光伏电站一个月内存存在窃电嫌疑总天数小于等于7天,认为该分布式光伏电站具有轻度窃电嫌疑;当分布式光伏电站一个月内存存在窃电嫌疑总天数介于7-15天之间,认为该分布式光伏电站具有中度窃电嫌疑;当分布式光伏电站一个月内存存在窃电嫌疑总天数大于等于15天,认为该分布式光伏电站具有重大窃电嫌疑。

2. 根据权利要求1所述的区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,实时气象信息的

获取有两种方式,若电站本体已安装环境监测仪,则与并网点运行数据打包加密从传输链路层一起上送;若无,则借助于外部的天气数值预报系统,通过数据共享接口,获取该区域内的实时天气信息。

3. 根据权利要求1所述的区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,分布式光伏窃电监管系统与配电营销系统之间的信息交互通过用电信息采集系统进行,采用WebService+中间库交互模式,步骤如下:

1) 用电信息采集系统调用日志号获取存储日志号,并调用存储接口将日志写到中间库日志表中;

2) 用电信息采集系统将需要的数据存储到中间库日志表中;

3) 用电信息采集系统调用接口向窃电监管系统发送数据;

4) 窃电监管系统收到数据后调用日志号获取存储日志号,调用存储接口将日志写到中间库日志表中;

5) 窃电监管系统从中间库获取数据并进行业务处理;

6) 业务处理结束,窃电监管系统调用日志号获取存储日志号,并调用更新日志接口将日志更新到中间库日志表中;

7) 窃电监管系统向用电信息采集系统回馈结果;

8) 用电信息采集系统收到回馈结果后,调用日志号获取函数获取存储日志号,并调用更新日志接口将日志写到中间库日志表中。

4. 根据权利要求1所述的区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,所述分布式光伏电站理论计算电量值表达式为:

$$W = \int_0^t P dt = Pt \quad (1)$$

其中,W为分布式光伏电站理论计算电量值,P为分布式光伏电站输出功率。

5. 根据权利要求4所述的区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,所述分布式光伏电站输出功率基于高斯过程的光伏出力计算模型,步骤如下:

(6-1) 根据若干太阳辐照度、环境温度、实测功率建立训练样本 (X, y) , 输入向量X由太阳辐照度和环境温度组成,输出向量y为光伏发电实测功率;

(6-2) 样本数据归一化;

(6-3) 选取协方差函数,对训练样本进行训练,通过训练样本的对数似然极大化获得最优的超参数,生成高斯过程计算模型;

(6-4) 将测试样本带入高斯过程计算模型,测试样本的输入向量由计算日太阳辐照度和环境温度构成,输出向量为计算日的输出功率。

6. 根据权利要求5所述的区域分布式光伏窃电监管系统,其特征在于,选择与计算日天气类型相同的5天历史数据作为训练样本集。

区域分布式光伏窃电监管系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种区域分布式光伏窃电监管系统,属于分布式光伏发电技术领域。

背景技术

[0002] 分布式光伏的发展具有小而利用率高的特点,在人口密集区展开分布式光伏的发展,提高新能源的利用率。随着《关于促进光伏行业健康发展的若干意见》、《支持分布式光伏发电金融服务的意见》等政策的陆续出台,以及装机成本的下降和转换率的提高,分布式光伏将迎来新的建设热潮,在实际应用过程中家庭户用、工业厂房屋顶等领域遍地开花,分布式光伏在未来将大有可为。

[0003] 基于上述政策驱动,各省市分布式光伏发电呈现规模化发展态势,而在此过程中,存在用户通过一定的技术手段使得分布式光伏上网电表多计量发电量,进而获取高额补贴,扰乱分布式光伏发电补贴政策的落实,影响光伏发电行业的正常发展。在正常运行情况下,分布式光伏发电一般仅向电网公司上传光伏发电系统并网状态、发电量等信息,缺乏有效的辅助测量信息,会使得分布式发电上网电量的监管变得较为困难。

[0004] 随着电力体制改革的不断深化,供电企业由原来的经营管理型转变成了经营服务型,企业面对各方面的压力越来越大,对社会上形形色色的窃电现象显得心有余而力不足,供电企业不仅要打击窃电犯罪、维护国家的利益,还要搞好优质服务、加强行风建设工作。在反窃电工作方面电网公司面临着很大的困难和压力:

[0005] 一是窃电自身的特点给电网公司带来很大的困难,电能具有发、供、用同时完成和无影无踪的特点,窃电手段大多具有较强的隐蔽性,证据极易销毁或转移,尤其是对使用高技术窃电的取证难度较大,查处窃电案件不可能像查处其他盗窃案件那样“人赃俱获”,窃电者强词夺理,逃避责任。

[0006] 二是反窃电力量薄弱,目前,电网公司还没有一支专业的反窃电工作队伍,反窃电工作主要依靠电力营销一线人员,营销一线人员一方面要负责正常的计量业务、抄表收费、故障处理等,还要负责反窃电检查工作。

[0007] 如何有效管理区域分布式光伏计量计费安全是当前电力公司面临的突出问题之一,为此,亟需开发区域分布式光伏窃电监管系统,利用移动通信和网络技术,对分布式光伏电站和大用户实施在线监测,建设可靠的信息平台,利用技术手段防窃电是缓解此问题的必要途径。

发明内容

[0008] 本发明所要解决的技术问题是克服现有技术的缺陷,提供一种区域分布式光伏窃电监管系统,采用分布式多层架构模式,利用历史数据库与实时数据库处理相结合的海量数据处理技术,实现分布式光伏电气设备运行、状态数据全覆盖管理。

[0009] 为解决上述技术问题,本发明提供一种区域分布式光伏窃电监管系统,基于D5000智能电网调度控制系统架构,从下到上依次为数据采集层、传输链路层、辅助信息层以及高

级应用层；

[0010] 数据采集层主要利用分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端相结合的方式采集并网点运行数据，其中，分布式光伏并网接口设备采集并网点的遥信、故障类数据，用电信息采集终端采集并网点计量表信息；信息采集后，分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端通过各自的加密装置，完成对采集信息的加密操作；

[0011] 传输链路层主要采用光纤专网+GPRS/CDMA无线传输相结合的方式智能通信与数据传输；

[0012] 辅助信息层用于进行实时数据处理，采用海量数据平台，将并网点运行数据以及分布式光伏客户档案信息及计费信息，实时气象信息，用户地理位置信息进行统一数据采集处理；

[0013] 高级应用层负责区域分布式光伏窃电监管的分析和展示。

[0014] 实时气象信息的获取有两种方式，若电站本体已安装环境监测仪，则与并网点运行数据打包加密从传输链路层一起上送；若无，则借助于外部的气象数值预报系统，通过数据共享接口，获取该区域内的实时气象信息。

[0015] 分布式光伏窃电监管系统与配电营销系统之间的信息交互通过用电信息采集系统进行，采用WebService+中间库交互模式，步骤如下：

[0016] 1) 用电信息采集系统调用日志号获取存储日志号，并调用存储接口将日志写到中间库日志表中；

[0017] 2) 用电信息采集系统将需要的数据存储到中间库日志表中；

[0018] 3) 用电信息采集系统调用接口向窃电监管系统发送数据；

[0019] 4) 窃电监管系统收到数据后调用日志号获取存储日志号，调用存储接口将日志写到中间库日志表中；

[0020] 5) 窃电监管系统从中间库获取数据并进行业务处理；

[0021] 6) 业务处理结束，窃电监管系统调用日志号获取存储日志号，并调用更新日志接口将日志更新到中间库日志表中；

[0022] 7) 窃电监管系统向用电信息采集系统回馈结果；

[0023] 8) 用电信息采集系统收到回馈结果后，调用日志号获取函数获取存储日志号，并调用更新日志接口将日志写到中间库日志表中。

[0024] 前述的高级应用层对区域分布式光伏窃电进行分析，采用具有时间累积效应的分布式光伏电站发电量作为判别窃电与否的依据，分布式光伏窃电识别分为三层筛选架构，分别为实时窃电嫌疑判定，短期窃电嫌疑判定和综合窃电嫌疑判定三层；

[0025] 实时窃电嫌疑判定：

[0026] 将基于早晚两小时发电量窃电评估的理论电量 $Q_{2h理论}$ 设定为150%的理论计算电量值，取 Δ 为分布式光伏电站早晚两小时计量电量 $Q_{2h计量}$ 大于理论电量 $Q_{2h理论}$ 的差值占理论电量 $Q_{2h理论}$ 的百分比，即：

[0027]

$$\Delta = \frac{Q_{2h计量} - Q_{2h理论}}{Q_{2h理论}} \times 100\% \quad (9)$$

[0028] 当 $\Delta \geq 50\%$ ，判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑；且 Δ 越大，窃电嫌疑越

大;早晚两小时是指早上5:00到7:00和晚上17:00到19:00;

[0029] 短期窃电嫌疑判定:

[0030] 对实时窃电嫌疑判定结果为“发电正常”状态的分布式光伏电站进行短期窃电嫌疑判定,将基于日发电量窃电评估的理论电量 $Q_{日理论}$ 设定为120%的理论计算电量值,取 η 为分布式光伏电站日光伏计量电量 $Q_{日计量}$ 大于理论电量 $Q_{日理论}$ 的差值占理论电量 $Q_{日理论}$ 的百分比,即:

[0031]

$$\eta = \frac{Q_{日计量} - Q_{日理论}}{Q_{日理论}} \times 100\% \quad (10)$$

[0032] 当 $\eta \geq 20\%$,判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑;且 η 越大,窃电嫌疑越大;

[0033] 综合窃电嫌疑判定:

[0034] 综合窃电嫌疑判定检测周期为一个月,对分布式光伏电站一个月内通过实时窃电嫌疑判定和短期窃电嫌疑判定检测出来存在窃电嫌疑的天数进行统计,并将计算结果求和,当分布式光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数小于等于7天,认为该分布式光伏电站具有轻度窃电嫌疑;当分布式光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数介于7-15天之间,认为该分布式光伏电站具有中度窃电嫌疑;当分布式光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数大于等于15天,认为该分布式光伏电站具有重大窃电嫌疑。

[0035] 前述的分布式光伏电站理论计算电量值表达式为:

[0036]

$$W = \int_0^t P dt = Pt \quad (1)$$

[0037] 其中,W为分布式光伏电站理论计算电量值,P为分布式光伏电站输出功率。

[0038] 前述的分布式光伏电站输出功率基于高斯过程的光伏出力计算模型,步骤如下:

[0039] (6-1) 根据若干太阳辐照度、环境温度、实测功率建立训练样本(X,y),输入向量X由太阳辐照度和环境温度组成,输出向量y为光伏发电实测功率;

[0040] (6-2) 样本数据归一化;

[0041] (6-3) 选取协方差函数,对训练样本进行训练,通过训练样本的对数似然极大化获得最优的超参数,生成高斯过程计算模型;

[0042] (6-4) 将测试样本带入高斯过程计算模型,测试样本的输入向量由计算日太阳辐照度和环境温度构成,输出向量为计算日的输出功率。

[0043] 选择与计算日天气类型相同的5天历史数据作为训练样本集。

[0044] 前述的系统设计基于D5000平台架构。

[0045] 本发明所达到的有益效果:

[0046] 本发明系统建立在区域分布式光伏实时数据采集的基础上,系统设计基于D5000平台架构,充分体现各区应用系统交互安全性、传输实时性和可靠性的特点,此外,本系统设计还具有可扩展性,可根据区域分布式光伏的高级应用不断升级的需求,集成各类分析功能的可定制化接口功能,已保持在原有架构稳定基础上,实现服务延伸和功能扩展。

[0047] 本发明可以有效识别存在窃电嫌疑的分布式光伏业主,实现对分布式光伏发电业

主发电量的有效监管,完善国网公司分布式光伏发电的计量安全能力,有利于分布式光伏发电补贴政策的实施,对促进分布式光伏的健康发展提供技术支撑。

附图说明

- [0048] 图1为本发明区域分布式光伏窃电监管系统结构图;
- [0049] 图2为窃电监管系统与用电信息采集系统的接口交互流程;
- [0050] 图3为分布式光伏实时及短期窃电嫌疑判定流程图;
- [0051] 图4为分布式光伏综合窃电嫌疑判定流程图。

具体实施方式

[0052] 下面结合附图对本发明作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案,而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0053] 如图1所示,本发明的区域分布式光伏窃电监管系统涵盖电力通信、数据采集、功能设计、系统接口等多个专业领域,是一项复杂的系统工程。系统总体架构分为数据采集层、传输链路层、辅助信息层以及高级应用层4个层次。

[0054] 数据采集层主要利用分布式光伏并网接口设备与用电信息采集终端相结合的方式采集并网点运行数据。其中分布式光伏并网接口设备采集并网点的遥信、故障类数据,用电信息采集终端采集并网点计量表信息,如发电量、上网电量、用电量、功率、电流、电压等信息,并通过各自的加密装置,完成对采集信息的加密操作。目前,各省市电力公司对分布式光伏都配有相应的监测系统,如营销计量处的用电信息采集系统,该系统主要通过移动专网,将各分布式光伏并网点的计量数据通过数据加密的方式采集上传至主站,采集频度为15分钟/次,但针对本发明的分布式光伏窃电监管系统中的应用分析业务,该采集频度不满足要求,难以对其变化作出及时响应,影响窃电嫌疑的判断准确度,因此本发明采用分布式光伏并网接口设备进行高频度的数据采集,并利用自身的通信模块和已有的传输链路,通过用电信息采集系统转发至高级应用层。数据采集的主要功能包括格式解析、信息处理、通信管理等,采用多通信链路冗余配置和负载均衡技术,满足高可靠性和海量数据传输的要求,完成与高级应用层之间的运行数据交换,实现分布式光伏发电系统与电网公司主站系统的无缝衔接。

[0055] 传输链路层主要采用光纤专网+GPRS/CDMA无线传输相结合的方式实现智能通信与数据传输。其中对于0.4kV的户用型分布式光伏,由于其数据量较小,采集频度要求不高,可以采用GPRS/CDMA无线传输方式,适合其地域较分散的特点;对于10kV并网光伏电站类型,可以采用光纤专网的传输方式,通过用电信息采集系统传输给调度或者其他业务系统。

[0056] 辅助信息层用于进行实时数据处理,采用海量数据平台,将并网点运行数据以及分布式光伏客户档案信息及计费信息,实时气象信息,用户地理位置信息进行统一数据采集处理。其中,分布式光伏客户档案信息及计费信息可以从营销业务系统中获得;实时气象信息的获取可以从两方面考虑,若电站本体已安装环境监测仪,可与并网点运行数据打包加密从传输链路层一起上送;若无则可借助于外部的气象数值预报系统,通过数据共享接口,获取该区域内的实时气象信息;用户地理位置信息来源于GIS系统。

[0057] 高级应用层主要负责区域分布式光伏窃电监管的分析、展示的具体实现,包括实

时运行全景展示,计量计费监督管理,嫌疑识别告警管理,防窃电知识库管理和业务报表定义导出等。

[0058] 本发明的分布式光伏窃电监管系统与配电营销系统之间的信息交互通过用电信息采集系统进行,由于窃电监管系统与用电信息采集系统之间需要交互的数据量较大,且部分信息需要实时交互,因此采用WebService+中间库交互模式。窃电监管系统与用电信息采集系统的接口交互流程如图2所示。

[0059] 步骤如下:

[0060] 1) 用电信息采集系统调用日志号获取存储日志号,并调用存储接口将日志写到中间库日志表中;

[0061] 2) 用电信息采集系统将需要的数据存储到中间库日志表中;

[0062] 3) 用电信息采集系统调用接口向窃电监管系统发送数据;

[0063] 4) 窃电监管系统收到数据后调用日志号获取存储日志号,调用存储接口将日志写到中间库日志表中;

[0064] 5) 窃电监管系统从中间库获取数据并进行业务处理;

[0065] 6) 业务处理结束,窃电监管系统调用日志号获取存储日志号,并调用更新日志接口将日志更新到中间库日志表中;

[0066] 7) 窃电监管系统向用电信息采集系统回馈结果;

[0067] 8) 用电信息采集系统收到回馈结果后,调用日志号获取函数获取存储日志号,并调用更新日志接口将日志写到中间库日志表中。

[0068] 综上所述,用电信息采集系统采用中间库定时接口每天固定时间将数据(各时刻的发电功率、日发电量、本月发电量、本月上网电量等)同步到中间库中,窃电监管系统从中间库中获取数据;其次,窃电监管系统需要查看用电信息、终端和电能表异常信息时,可以通过WebService方式发出请求,用电信息采集系统接口接到请求后将相应的业务数据写入中间库,返回成功、失败标识;窃电监管系统所需的基础档案信息(如所属市公司、用户单位名称、发电容量、受电容量、运营模式、并网时间等),在实施接口时一次性同步,后续运行过程中,在数据有变化时再增量同步,不需要每天同步。

[0069] 本发明的高级应用层对区域分布式光伏窃电进行分析,在进行分布式光伏窃电识别时,考虑到光伏输出功率受气象条件影响较大,具有随机不确定性,为提高分布式光伏窃电识别率,本发明采用具有时间累积效应的光伏发电量作为判别窃电与否的依据。光伏发电量可以由光伏输出功率积分计算获得。分布式光伏电站发电量表达式为:

[0070]

$$W = \int_0^t P dt = Pt \quad (1)$$

[0071] W为分布式光伏电站发电量,P为分布式光伏电站输出功率。

[0072] 分布式光伏电站输出功率基于高斯过程的光伏出力计算模型:

[0073] 高斯过程GP是一种基于贝叶斯推理框架、无参数、具有概率意义的统计机器学习方法,尤其适用于处理高维、小样本、非线性等复杂分类和回归问题。

[0074] 假设给定有n个观察数据的训练样本集 $D = (X, y)$,其中X表示输入矩阵,y表示输出矢量。

[0075] 实际中的目标输出往往包含一些噪声,使得目标观察值 y 与函数输出值 f 相差一个误差 ε ,即 $y=f(x)+\varepsilon$, $\varepsilon\sim N(0,\sigma_n^2)$,其中, x 为输入向量, ε 为独立的随机变量, σ_n^2 为噪声的方差。

[0076] 训练样本集的输出向量 y 和测试样本集的目标值 y' 的多元高斯分布为:

[0077]

$$\begin{bmatrix} y \\ y' \end{bmatrix} \sim N\left(0, \begin{bmatrix} K + \sigma_n^2 I & k(x') \\ k^T(x') & k(x', x') \end{bmatrix}\right) \quad (2)$$

[0078] 其中, x' 、 y' 为新的输入变量和对应的输出值; I 为单位矩阵; $K=K(X, X)$ 为输入矩阵 X 对应的对称正定的协方差矩阵, $k(x')=K(X, x')$ 为测试点 x' 与训练集的所有输入点 X 的 $n \times 1$ 维协方差矩阵; $k(x', x')$ 为测试点 x' 自身的协方差。

[0079] 在统计理论上,协方差是一个对称正定的函数,故协方差函数等同于核函数。本文采用的协方差函数为:

[0080]

$$k(x, x^*) = \sigma_f^2 \exp\left[\frac{-(x-x^*)^2}{2l^2}\right] + \sigma_n^2 \delta(x, x^*) \quad (3)$$

[0081] 式中, x, x^* 为2个任意输入向量, σ_f, l, σ_n 均为超参数, σ_f^2 为允许的最大方差,控制核函数取值范围; l 表示核函数方差,用于关联性测定; $\delta(x, x^*)$ 为克罗内克函数。

[0082] 超参数可以通过学习样本的对数似然的极大化自适应获得,采用共轭梯度优化方法搜索出超参数的最优解。其中,似然函数的对数形式为

[0083]

$$\begin{aligned} L &= \log p(y|X) \\ &= -\frac{1}{2} y^T (K + \sigma_n^2 I)^{-1} y - \frac{1}{2} \log |K + \sigma_n^2 I| - \frac{n}{2} \log 2\pi \end{aligned} \quad (4)$$

[0084] 高斯模型根据训练集的输入值 X 、目标观测值 y 和给定的新的输入 x' ,可以推断出输出值 y' 最大可能的后验分布 $p(y'|x', X, y)$,其预测分布也是高斯型的:

[0085]

$$p(y'|x', X, y) \sim N(\bar{y}(x'), \sigma(x')) \quad (5)$$

[0086] y' 的均值和方差为:

$$\bar{y}(x') = k^T(x')(K + \sigma_n^2 I)^{-1} y \quad (6)$$

$$\sigma(x') = k(x', x') - k^T(x')(K + \sigma_n^2 I)^{-1} k(x') \quad (7)$$

[0089] 设 $\alpha = (K + \sigma_n^2 I)^{-1}$,则式(7)可以表示为核函数:

[0090]

$$\bar{y}(x') = \sum_i^n \alpha k(x_i, x') \quad (8)$$

[0091] 即预测值的均值就是核函数k的线性组合。

[0092] 本发明的光伏出力计算模型基于高斯过程。根据光伏输出功率影响因素的分析，高斯训练样本集包括日类型、太阳辐照度、环境温度、光伏输出功率几个因素。本发明选择与计算日天气类型相同的5天历史数据作为训练样本集。

[0093] 本发明建立的基于高斯过程的光伏出力计算模型步骤如下：

[0094] (1) 根据若干太阳辐照度、环境温度、实测功率建立训练样本 (X, y) ，输入向量由 X 由太阳辐照度和环境温度组成，输出向量 y 为光伏发电功率值。

[0095] (2) 样本数据归一化。

[0096] (3) 选取式 (3) 协方差函数，利用前文构建的训练样本进行训练，通过训练样本的对数似然极大化获得最优的超参数，生成高斯过程模型。

[0097] (4) 将测试样本带入高斯过程计算模型，测试样本的输入向量由测试日太阳辐照度和温度构成，输出向量为计算日的发电功率数据。

[0098] 分布式光伏出力评估按时间长短的不同，分为实时出力评估 (以小时为单位)、短期出力评估 (以天为单位)、长期出力评估 (以月为单位)。

[0099] 对应于分布式光伏多时间尺度出力评估，分布式光伏窃电识别分为三层筛选架构，分别为实时窃电嫌疑判定 (对应实时出力评估)，短期窃电嫌疑判定 (对应短期出力评估) 和综合窃电嫌疑判定 (对应长期出力评估) 三层。

[0100] 1、实时窃电嫌疑判定

[0101] 在早上5:00到7:00和晚上17:00到19:00，太阳辐照很低，对应的光伏发电出力也很小。实时窃电嫌疑判定，采用早晚两小时 (早上5:00到7:00和晚上17:00到19:00) 的发电量进行比较。由于在早上和晚上，太阳刚升起或者已经落下，太阳辐照比较弱，对应的光伏发电量很小，但对于不法窃电用户来说，其窃电曲线不随气象条件变化而变化，有可能出现早晚的发电量明显高于理论计算电量的情况。因此，可以利用该时段的光伏电站出力作为判断窃电与否的有力依据。

[0102] 早晚两小时的理论计算电量值可以由式 (8) 计算得到，考虑计算误差的影响，将基于早晚两小时发电量窃电评估的理论电量上限设定为150%的理论计算电量值。取 Δ 为光伏电站早晚两小时计量电量大于光伏理论电量的差值占光伏理论电量的百分比，即

[0103]

$$\Delta = \frac{Q_{2h\text{计量}} - Q_{2h\text{理论}}}{Q_{2h\text{理论}}} \times 100\% \quad (9)$$

[0104] 当 $\Delta \geq 50\%$ ，判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑；且 Δ 越大，窃电嫌疑越大。

[0105] 2、短期窃电嫌疑判定

[0106] 日类型对分布式光伏出力影响很大，因此短期窃电嫌疑判定，选取分布式光伏电站1天的发电量进行比较。由于天气类型每天各不相同，分布式光伏发电功率也不一样，对应的，光伏发电量也相差较大。但窃电用户由于窃电方式单一，发电量信息不会随着天气情况而改变，因此采用该种判别方式可以对存在窃电嫌疑的用户进行有效甄别；并且，该方法还可以减少第一层漏判的几率。

[0107] 短期窃电嫌疑判定是在第一层实时窃电嫌疑判定的基础上进行的，即对第一层判

断结果为“发电正常”状态的分布式光伏电站进行第二层筛选。根据每天实际发电量与理论发电量进行对比,对超出理论发电量上限的光伏用户进行相应的窃电嫌疑评估。同样的,考虑计算误差的影响,将基于日发电量窃电评估的理论电量上限设定为120%的理论计算电量值。取 η 为分布式光伏电站日光伏计量电量大于光伏理论电量的差值占光伏理论电量的百分比,即

[0108]

$$\eta = \frac{Q_{\text{日计量}} - Q_{\text{日理论}}}{Q_{\text{日理论}}} \times 100\% \quad (10)$$

[0109] 当 $\eta \geq 20\%$,判定该分布式光伏电站在该天存在窃电嫌疑;且 η 越大,窃电嫌疑越大。

[0110] 实时及短期窃电嫌疑判定流程图如图3所示。

[0111] 3、综合窃电评估

[0112] 考虑到分布式光伏发电的随机性,仅仅利用一天的电量,判定电站是否存在窃电嫌疑不太合适。因此,加入第三层筛选长期窃电嫌疑判定。长期窃电嫌疑判定以一个月为单位,通过统计月度通过前两层筛选出的电站存在窃电嫌疑的天数,给出窃电嫌疑判定结果。长期窃电嫌疑判定,弥补了实时窃电嫌疑判定和短期窃电嫌疑判定可能存在误判的不足。

[0113] 长期窃电嫌疑判定检测周期为一个月,需要对光伏电站一个月内通过第一层和第二层检测出来存在窃电嫌疑的天数进行统计,并将计算结果求和。当光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数小于等于7天,认为该光伏电站具有轻度窃电嫌疑,建议增长检查周期,如一个季度或者半年;当光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数介于7-15天之间,认为该光伏电站具有中度窃电嫌疑,应标识为近期重点监督对象;当光伏电站一个月内存在窃电嫌疑总天数大于等于15天,认为该光伏电站具有重大窃电嫌疑,建议现场稽查。综合窃电评估流程图如图4所示。

[0114] 本发明的区域分布式光伏窃电监管系统采用分布式多层架构模式,利用历史数据库与实时数据库处理相结合的海量数据处理技术,应用性能设计实现分布式光伏电气设备运行、状态数据全覆盖管理,且安全可控,与用电信息采集系统、GIS系统、气象数值预报系统、营销业务管控系统等已有的实时、准实时系统建立数据共享交互机制,统一数据采集,保证区域分布式光伏窃电监管系统数据来源的唯一性和准确性,消除数据信息孤岛现象,以服务于生产管理、营销服务等分布式光伏的计量监督管理需求。

[0115] 本发明的区域分布式光伏窃电监管系统建立在区域分布式光伏实时数据采集的基础上,系统设计基于D5000平台架构,充分体现各区应用系统交互安全性、传输实时性和可靠性的特点,此外,本系统设计还具有可扩展性,可根据区域分布式光伏的高级应用不断升级的需求,集成各类分析功能的可定制化接口功能,已保持在原有架构稳定基础上,实现服务延伸和功能扩展。

[0116] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变形,这些改进和变形也应视为本发明的保护范围。

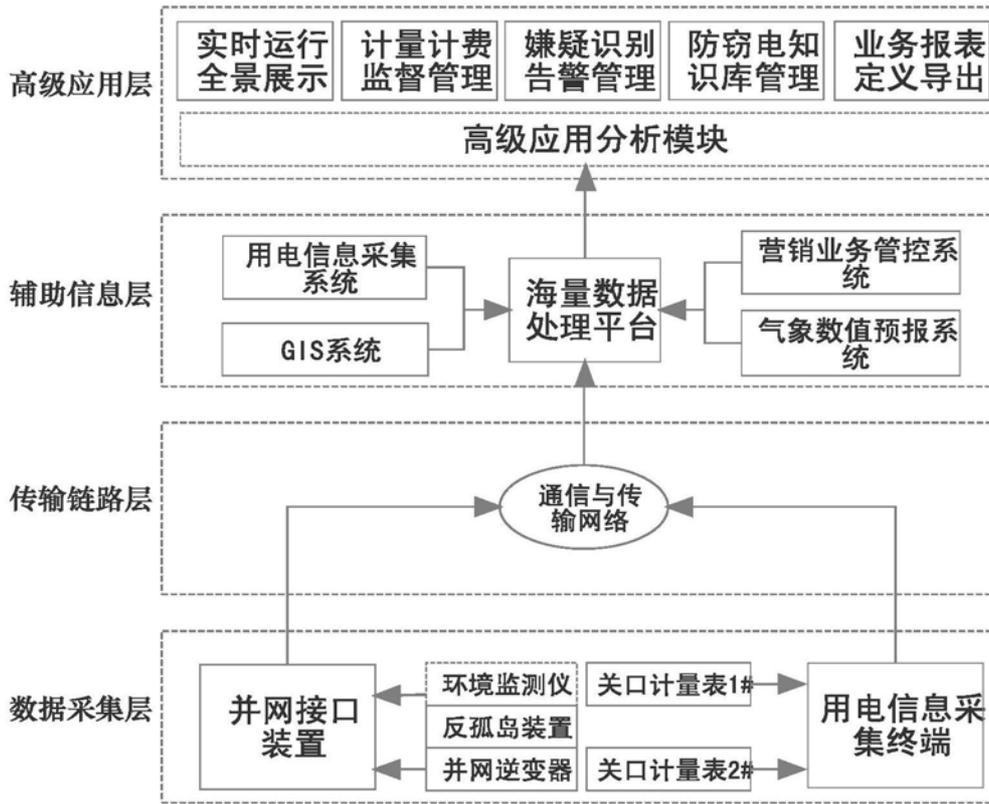


图1

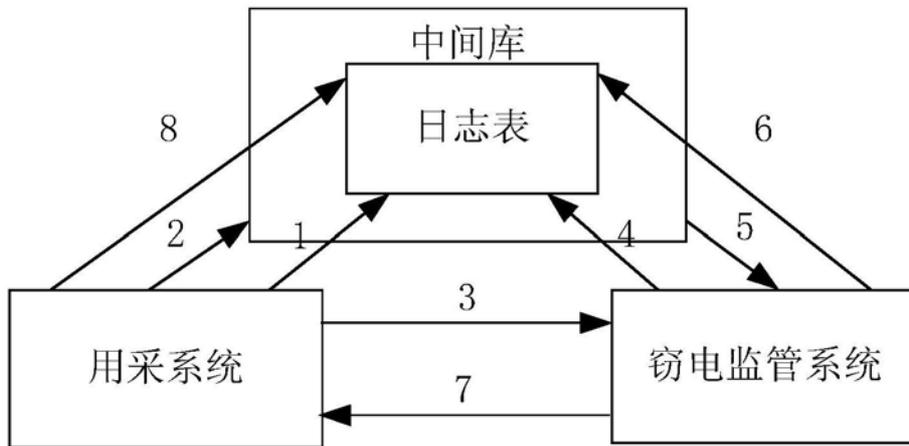


图2

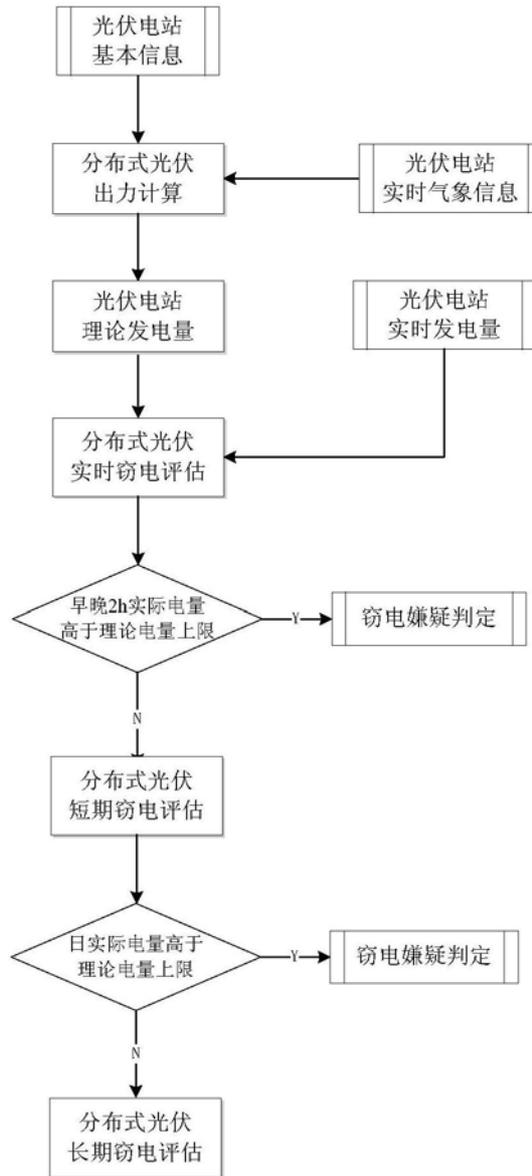


图3

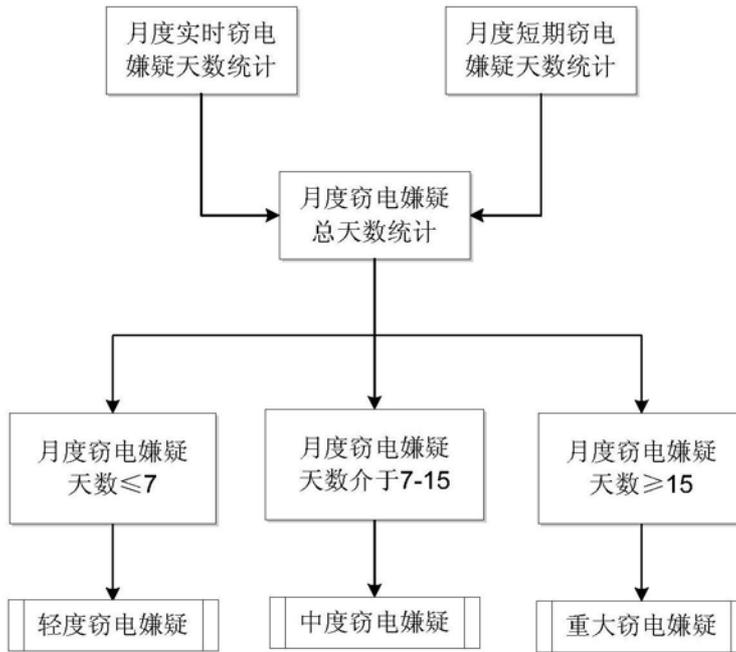


图4