



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103673960 B

(45)授权公告日 2016.12.21

(21)申请号 201210316715.9

(22)申请日 2012.08.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103673960 A

(43)申请公布日 2014.03.26

(73)专利权人 国际商业机器公司

地址 美国纽约阿芒克

(72)发明人 白鑫鑫 张盟 芮晓光 王海峰

尹文君 董进

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 李峥宇

(51)Int.Cl.

G01B 21/08(2006.01)

G01W 1/10(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开平9-243757 A,1997.09.19,

刘东贤 等.集合预报及其发展趋势.《中国科技信息》.2007,(第20期),

王太微 等.数值预报发展的新方向——集合数值预报.《气象研究与应用》.2007,第28卷(第1期),

唐秀 等.塔城盆地暴雪预报方法和白灾的防御对策.《沙漠与绿洲气象》.2009,第3卷(第1期),

审查员 胡婷

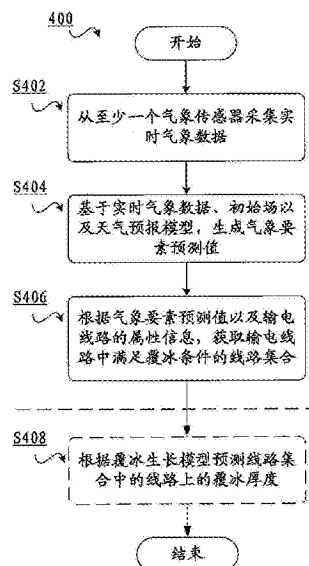
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

用于预测输电线路上的覆冰状态的方法和装置

(57)摘要

本发明的各实施方式提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的方法和装置。在本发明的一个实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的方法,包括:从至少一个气象传感器采集实时气象数据;基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。在本发明的一个实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的装置。



1. 一种用于预测输电线路上的覆冰状态的方法,包括:
从至少一个气象传感器采集实时气象数据;
基于所述实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值,进一步包括:
对所述初始场进行组合以形成集合预报初始场,包括:
在多个轮次中的每个轮次中,向所述初始场中加入至少一个扰动因素以形成集合预报成员;
基于针对每个轮次的集合预报成员形成所述集合预报初始场;
利用所述集合预报初始场配置所述天气预报模型;以及
根据所述气象要素预测值以及所述输电线路的属性信息,获取所述输电线路中满足覆冰条件的线路集合。
2. 根据权利要求1所述的方法,进一步包括:
根据覆冰生长模型预测所述线路集合中的线路上的覆冰厚度。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述覆冰生长模型是与所述线路集合中的输电线路的属性信息以及所述线路集合中的输电线路处的气象要素预测值相关联的流体力学模型。
4. 根据权利要求1-3中的任一项所述的方法,其中,基于所述实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值进一步包括:
利用所述实时气象数据校正所述天气预报模型。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中利用所述实时气象数据校正所述天气预报模型包括:
在物理约束条件下,求解所述初始场与从所述至少一个气象传感器采集的实时气象数据的差异的最小值。
6. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中所述初始场是从与所述输电线路所在区域相关联的全球预报系统数据和地形数据提取的。
7. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中基于所述实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值进一步包括:
基于所述输电线路的属性信息生成所述输电线路沿线的气象要素预测值。
8. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中根据所述气象要素预测值以及所述输电线路的属性信息,获取所述输电线路中满足覆冰条件的线路集合包括:
根据所述气象要素预测值以及所述输电线路的属性信息建立交叉模型;以及
基于所述覆冰条件过滤所述交叉模型以获取所述输电线路中满足所述覆冰条件的线路集合。
9. 一种用于预测输电线路上的覆冰状态的装置,包括:
采集模块,配置用于从至少一个气象传感器采集实时气象数据;
生成模块,配置用于基于所述实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及
获取模块,配置用于根据所述气象要素预测值以及所述输电线路的属性信息,获取所述输电线路中满足覆冰条件的线路集合,

其中所述生成模块包括：

组合模块，配置用于对所述初始场进行组合以形成集合预报初始场，包括：

扰动模块，配置用于在多个轮次中的每个轮次中，向所述初始场中加入至少一个扰动因素以形成集合预报成员；

形成模块，配置用于基于针对每个轮次的集合预报成员形成所述集合预报初始场；以及

配置模块，配置用于利用所述集合预报初始场配置所述天气预报模型。

10. 根据权利要求9所述的装置，进一步包括：

预测模块，配置用于根据覆冰生长模型预测所述线路集合中的线路上的覆冰厚度。

11. 根据权利要求9所述的装置，其中所述覆冰生长模型是与所述线路集合中的输电线路的属性信息以及所述线路集合中的输电线路处的气象要素预测值相关联的流体力学模型。

12. 根据权利要求9-11中的任一项所述的装置，其中所述生成模块包括：

校正模块，配置用于利用所述实时气象数据校正所述天气预报模型。

13. 根据权利要求12所述的装置，其中所述校正模块包括：

最小化模块，配置用于在物理约束条件下，求解所述初始场与从所述至少一个气象传感器采集的实时气象数据的差异的最小值。

14. 根据权利要求9-11中任一项所述的装置，其中所述初始场是从与所述输电线路所在区域相关联的全球预报系统数据和地形数据提取的。

15. 根据权利要求9-11中任一项所述的装置，其中所述生成模块包括：

预测值生成模块，配置用于基于所述输电线路的属性信息生成所述输电线路沿线的气象要素预测值。

16. 根据权利要求9-11中任一项所述的装置，其中所述获取模块包括：

建立模块，配置用于根据所述气象要素预测值以及所述输电线路的属性信息建立交叉模型；以及

过滤模块，配置用于基于所述覆冰条件过滤所述交叉模型以获取所述输电线路中满足所述覆冰条件的线路集合。

用于预测输电线路上的覆冰状态的方法和装置

技术领域

[0001] 本发明的各实施方式涉及覆冰(ice coating)预测,更具体地,涉及用于预测输电线路(transmission line)上的覆冰状态的方法和装置。

背景技术

[0002] 随着社会的发展,电力已经成为人们工作和生活所依赖的一种重要能源。通常,电能需要经过数百甚至上千公里的输电线路才能从发电站传输至目的地城市。输电线路分布范围广,并且通常分布于地理条件复杂的野外区域,维护人员不可能每天检查输电线路是否出现异常。另外,近些年来由于极端气候带来的雪灾和冻雨等恶劣天气,都给输电线路的安全造成了极大威胁。

[0003] 在雪灾和冻雨等低温条件下,输电线路(诸如,输电线、输电塔以及输电杆等)表面将会形成覆冰,覆冰的厚度会随着时间推移和气象条件的改变而变化。当覆冰的厚度达到一定数量时,输电塔和输电杆等支撑体将不能承受覆冰的重量,进而产生输电塔和输电杆倾斜甚至倒塌等事故。如果在高压电网或者特高压电网中出现上述事故,将会造成大范围停电并带来巨大的经济损失。另外,在出现事故后对输电线路沿线的设备进行维修,也会占用大量的人力和物力,产生的开销也是巨大的。

[0004] 因而,输电线路的安全监控和灾害预警已经成为目前的一个研究热点。现有技术方案还停留在通过设置摄像头或者其他设备进行监视,当发现输电线路出现异常(例如,覆冰达到一定厚度或者出现输电杆倾斜等情况)时,再派遣维修人员到现场排除异常。尽管维修人员的补救措施可以防止损失进一步扩大,却无法挽回已经出现的损失。

发明内容

[0005] 因而,期望开发一种能够预测输电线路中可能出现的风险的技术方案,期望该技术方案能够在尽量不改变现有电网设备的情况下,预测输电线路上的覆冰状态,并且期望该技术方案能够应用于整个电网中的输电线路,而不是不仅仅局限于在部署有监控设备的输电线路沿线使用。为此,本发明的各实施方式提供了用于预测输电线路上的覆冰状态的方法、装置和相关计算机程序产品。

[0006] 在本发明的一个实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的方法,包括:从至少一个气象传感器采集实时气象数据;基于实时气象数据、初始场(initial field)以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。

[0007] 在本发明的一个实施方式中,进一步包括:根据覆冰生长模型预测线路集合中的线路上的覆冰厚度。

[0008] 在本发明的一个实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的装置,包括:采集模块,配置用于从至少一个气象传感器采集实时气象数据;生成模块,配置用于基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及获取模块,配

置用于根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。

[0009] 在本发明的一个实施方式中,进一步包括:预测模块,配置用于根据覆冰生长模型预测线路集合中的线路上的覆冰厚度。

[0010] 采用本发明的方法和装置,可以仅在能够代表一类气象条件的典型位置设置传感器(例如,在整个北京地区仅设置十余个传感器),因而大大降低在输电线路沿线设置的传感器的数量;并且可以基于高精度的气象要素预测值,来提供电网中的传输线路上的覆冰状态(例如可以提供在未来可能产生覆冰的输电线路的集合),对于可能出现的事故进行预警,以便电网维护人员预先排除事故隐患;更进一步,还可以预测线路集合中的线路上的覆冰厚度,以便于电网维护人员根据未来覆冰的严重状况采取相应措施。

附图说明

[0011] 结合附图并参考以下详细说明,本发明各实施方式的特征、优点及其他方面将变得更加明显,在此以示例性而非限制性的方式示出了本发明的若干实施方式。在附图中:

[0012] 图1示意性示出了适于实现本发明实施方式的示例性计算系统的框图;

[0013] 图2示意性示出了根据一个解决方案的用于监视输电线路上的覆冰状态的方法的示意图;

[0014] 图3示意性示出了根据本发明一个实施方式的解决方案的架构图;

[0015] 图4示意性示出了根据本发明一个实施方式的用于预测输电线路上的覆冰状态的方法的流程图;

[0016] 图5示意性示出了根据本发明一个实施方式的、生成气象要素预测值的示意图;

[0017] 图6A和图6B分别示意性示出了根据本发明一个实施方式的、生成传输线路沿线的气象要素预测值的示意图;

[0018] 图7示意性示出了根据本发明一个实施方式的、获取满足覆冰条件的线路集合的示意图;

[0019] 图8示意性示出了根据本发明一个实施方式的、表示线路集合中的线路上的覆冰厚度的预测曲线;以及

[0020] 图9示意性示出了根据本发明一个实施方式的用于预测输电线路上的覆冰状态的装置的示意图。

具体实施方式

[0021] 下面将参照附图更详细地描述本公开的优选实施方式。虽然附图中显示了本公开的优选实施方式,然而应该理解,可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施方式所限制。相反,提供这些实施方式是为了使本公开更加透彻和完整,并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。

[0022] 图1示出了适于用来实现本发明实施方式的示例性计算系统100的框图。如图1所示,计算机系统100可以包括:CPU(中央处理单元)101、RAM(随机存取存储器)102、ROM(只读存储器)103、系统总线104、硬盘控制器105、键盘控制器106、串行接口控制器107、并行接口控制器108、显示控制器109、硬盘110、键盘111、串行外部设备112、并行外部设备113和触摸

屏显示器114。在这些设备中,与系统总线104耦合的有CPU 101、RAM 102、ROM 103、硬盘控制器105、键盘控制器106、串行控制器107、并行控制器108和显示控制器109。硬盘110与硬盘控制器105耦合,键盘111与键盘控制器106耦合,串行外部设备112与串行接口控制器107耦合,并行外部设备113与并行接口控制器108耦合,以及触摸屏显示器114与显示控制器109耦合。应当理解,图1所示的结构框图仅仅是为了示例的目的,而不是对本发明范围的限制。在某些情况下,可以根据具体情况增加或减少某些设备。

[0023] 所属技术领域的技术人员知道,本发明可以实现为系统、方法或计算机程序产品。因此,本公开可以具体实现为以下形式,即:可以是完全的硬件、也可以是完全的软件(包括固件、驻留软件、微代码等),还可以是硬件和软件结合的形式,本文一般称为“电路”、“模块”或“系统”。此外,在一些实施方式中,本发明还可以实现为在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式,该计算机可读介质中包含计算机可读的程序代码。

[0024] 可以采用一个或多个计算机可读的介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是——但不限于——电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0025] 计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括——但不限于——电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

[0026] 计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括——但不限于——无线、电线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。

[0027] 可以以一种或多种程序设计语言或其组合来编写用于执行本发明操作的计算机程序代码,所述程序设计语言包括面向对象的程序设计语言—诸如Java、Smalltalk、C++,还包括常规的过程式程序设计语言—诸如“C”语言或类似的设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络——包括局域网(LAN)或广域网(WAN)—连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。

[0028] 下面将参照本发明实施方式的方法、装置(系统)和计算机程序产品的流程图和/或框图描述本发明。应当理解,流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合,都可以由计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的处理器,从而生产出一种机器,这些计算机程序指令通过计算机或其他可编程数据处理装置执行,产生了实现流程图和/或框图中的方框中

规定的功能/操作的装置。

[0029] 也可以把这些计算机程序指令存储在能使得计算机或其他可编程数据处理装置以特定方式工作的计算机可读介质中,这样,存储在计算机可读介质中的指令就产生出一个包括实现流程图和/或框图中的方框中规定的功能/操作的指令装置(instruction means)的制造品(manufacture)。

[0030] 也可以把计算机程序指令加载到计算机、其他可编程数据处理装置、或其他设备上,使得在计算机、其他可编程数据处理装置或其他设备上执行一系列操作步骤,以产生计算机实现的过程,从而使得在计算机或其他可编程装置上执行的指令能够提供实现流程图和/或框图中的方框中规定的功能/操作的过程。

[0031] 图2示意性示出了根据一个解决方案的用于监视输电线路上的覆冰状态的方法的示意图200。在图2中仅示意性示出了输电线路I210A和输电线路II210B,在实际电网中,可以存在数千甚至更多的输电线路。在此解决方案中,需要在每条输电线路设置例如压力传感器220A、220B和220C以及图像传感器230A、230B和230C的传感器。然而,为了保证监视结果的准确性,需要在每条输电线路沿线部署大量传感器(例如,每隔2km部署一个压力传感器和/或一个图像传感器),这些传感器的安装和维护都需要大量的人力和物理投入。

[0032] 由于输电线路覆盖范围大、距离长并且难以监控维护,在实际应用中几乎不可能在每条输电线路上都部署传感器进行监控。常规的做法是,只对重点线路进行监控以保证骨干输电线路的安全性。基于该解决方案的不足,迫切需要一种能够全面掌握每条输电线路可能出现覆冰情况的技术方案,并且期望该技术方案可以尽可能地利用现有资源并且无须向每条输电线路部署传感器设备。

[0033] 针对现有技术中的不足,本发明提供了用于预测输电线路上的覆冰状态的技术方案。图3示意性示出了根据本发明一个实施方式的解决方案的架构图300。此实施方式克服了现有技术中通过大量传感器实时监视输电线路状况的缺陷,提出了一种基于气象要素预测来预测在输电线路上的覆冰情况的方法。

[0034] 如图300所示,在方框310处基于实时气象数据(如箭头A所示)、全球预报系统数据(如箭头B所示)和地形数据(如箭头C所示)来进行高精度的气象要素的预测。应当注意,这里的高精度预测是指在输电线路沿线提供高于普通天气预报精度的预测。在本发明的上下文中,气象要素可以包括温度、湿度、大气压强、风速、风向等几个方面,上述几个方面可以简称为气象五要素。应当注意,在本发明中仅以气象五要素作为预测覆冰状态中可能涉及的气象要素的示例。这些示例并非限制性目的,本领域技术人员还可以基于应用环境的特殊要求来引入其他的气象要素。

[0035] 经过方框310中的处理之后,可以生成输电线路所在区域的气象要素预测值(如箭头D所示)。接着,在方框320处读取输电线路所在区域的气象要素预测值,并参考输电线路自身的属性信息(如箭头E所示,例如,电线半径等)和产生覆冰的条件(如箭头F所示,例如,温度、湿度、风速等气象条件),获取满足覆冰条件的线路集合。

[0036] 在上文所示的方框310和320中,示出了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的基本架构。基于此架构,已经可以预测在未来一段时间中,在哪些输电线路将有可能出现覆冰,从而辅助输电线路维护人员制定应急措施,防患于未然。在另一实施方式中,为了更加准确地预测输电线路上的覆冰状态,在图3中虚线下部的方框330中,还示出了基于覆冰生

长模型(如箭头H所示)来预测在线路上可能出现的覆冰的厚度。通过方框330中的处理,可以进一步提供更加精确的预测数据,以便于输电线路维护人员根据各段输电线路覆冰厚度的情况,有针对性地采取应急措施。

[0037] 在此实施方式中,综合考虑了输电线路处的气象要素、线路属性信息来预测覆冰的状态。相对于现有技术中只能监视输电线路的当前状况并且在出现事故后再进行补救的方法,本发明的技术方案可以预测在未来(例如72小时内甚至更长时间内)可能出现的覆冰状况,可以提醒维护人员预先采取预防措施。

[0038] 现在参考图4-图9来详细说明本发明的各个实施方式。图4示意性示出了根据本发明一个实施方式的用于预测输电线路上的覆冰状态的方法的流程图400。在此实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的方法,包括:从至少一个气象传感器采集实时气象数据;基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。

[0039] 首先,在步骤S402中,从至少一个气象传感器采集实时气象数据。应当注意,在此实施方式中的传感器不同于参见图2所示的现有技术方案中的用于直接监视当前覆冰状况的压力传感器和图像传感器,而是采集气象数据用于预测气象状况的气象传感器,例如,用于测量气象五要素的传感器。

[0040] 在此实施方式中,尽管也需要在输电线路处部署传感器用于实时采集数据,然而,这里的气象传感器只需布置在能够代表典型气象类型的有限位置,例如,在山区中,可以分别在山顶位置和山谷位置处的输电线路布置气象传感器;在平原处,也可以只在有限位置处的输电线路布置气象传感器,用于实时地采集典型气象数据。以此方式,即使期望预测整个北京市范围内的覆冰状况,也仅需要十余个或者数十个气象传感器。

[0041] 接着,在步骤S404中,基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值。在此实施方式中,初始场是指天气预报模型中对初始状态($t=0$)时刻的大气状态的描述,是生成 $t>0$ 时刻的气象要素预测值的基础。另外,天气预报模型是公众可以免费或者通过付费方式获得的数据模型,例如由美国环境预测中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)和美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, UCAR)等机构开发的天气研究预报(Weather Research and Forecasting, WRF)模型。天气研究预报模型是应用较为广泛的预报模型,并且其应用接口是对外公开的,本领域技术人员可以根据自身需要来使用该模型。

[0042] 在此实施方式中,生成的气象要素预测值可以是以网格表示的目标区域内的各个格点处的气象要素的预测值(例如包括上文所述的气象五要素)。另外,根据具体需求,可以以不同的分辨率划分目标区域,例如网格可以是 $5\text{km}\times 5\text{km}$ 、 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 或者其他值。还可以表示不同海拔高度处的气象要素,例如,距离地面100m高度、300m高度等。因而,此实施方式中的气象要素预测值可以准确表示输电线路上的特定位置(例如以三维坐标(经度,纬度,海拔高度)表示)处的气象五要素。

[0043] 接着,在步骤S406中,根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。在已知输电线路各杆塔点(例如,间距小于500m)的气象要素预测值的情况下,可以计算其中哪些点满足产生覆冰的条件,进而得出输电线路中满足覆冰条件的线路的集合。应当注意,在此的覆冰条件可以是基于历史经验总结的、能够在

输电线路形成覆冰的气象条件,例如包括温度、湿度等方面的约束。

[0044] 应当注意,当气象要素随着时间而变化,满足覆冰条件的线路集合的内容是不断改变的。例如,当气温升高、湿度降低时,某些原本满足覆冰条件的线路可能不再满足覆冰条件,并且线路表面的覆冰还会融化甚至消失;而当气温降低、湿度增大时,某些原本不满足覆冰条件的线路也可能出现覆冰。因而获取满足覆冰条件的线路集合的过程是周期性重复的不间断过程。

[0045] 基于步骤S402-S406中的方法,可以预测在未来一段时间中,在哪些输电线路上将有可能出现覆冰,进而支持输电线路维护人员采取相应的预防措施。

[0046] 在本发明的另一实施方式中,进一步包括:根据覆冰生长模型预测线路集合中的线路上的覆冰厚度。如图4中虚线下部的备选步骤S408所示,可以根据覆冰生长模型预测线路集合中的线路上的覆冰厚度。覆冰状况包括两方面的内容,一是出现覆冰的输电线路的位置,由于在步骤S406中已经获得了在哪些部分的输电线路可能形成覆冰,因而此时出现覆冰的位置是已知的;另一方面还需要知晓在上述位置处,覆冰厚度如何随着时间的推移而增长或者消失,这就需要使用覆冰生长模型来进行预测。例如在特定的时间点 $t=t_1$,覆冰厚度与在 $t=0$ 时覆冰的初始状态有关,还与在时间段 $\Delta t=t_1-0=t_1$ 期间内的气象要素预测值相关。

[0047] 在本发明的各实施方式中,需要生成高精度的气象要素预测值。数值天气预报(Numerical Weather Prediction,NWP)是目前的一种较为流行的形式,它的出现全面改变了依靠人工经验来推测未来天气变化的传统局面,从而把“主观定性预报(Subjective Forecast)”提升到“客观定量预报(Objective Forecast)”的水平,并且提供较高时空分辨率的预测。随着近年来高性能计算机和并行计算技术的发展、以及天气模型、物理过程参数化及其算法的不断完善,数值天气预报的空间分辨率已经从几十公里提升至1km以下的水平。然而,相对于输电线路沿线这种狭长区域而言,1km的分辨率仍然不能满足预测输电线路上的覆冰的要求,因而需要进一步探索更加精确的预报方式。

[0048] 数值天气预报的误差来源主要有“模型误差”和“初始场误差”。其中,模型误差主要是由于模型本身对大气运动的表述不准确造成的,一般来说模型分辨率越高则模型精度越高。然而,因为不同天气系统的驱动过程是不同,还需要相应的物理过程参数化方案来与模型分辨率相配合。另一方面,初始场误差是指预报模型中对初始状态($t=0$)时刻的大气状态描述的误差,因而需要更多的观测数据和动力平衡条件来对模型的初始场进行修正,例如使用高级数据同化的方法。

[0049] 在本发明的一个实施方式中,进一步包括:利用实时气象数据校正天气预报模型。在此“校正”意味着可以利用从至少一个气象传感器采集的实时气象数据来减少或者消除天气预报模型的模型误差。

[0050] 实时气象数据是通过从有限观测位置处的气象传感器获得的测量值,这些测量值是真实的测量值。采用真实测量值与基于天气预报模型生成的预测值进行比较,可以校正天气预报模型的模型误差,以便生成更准确的预测值。在天气预报领域中,在已经成功配置天气预报模型的基础上,技术人员可以基于现有技术的方法来获得不同位置的气象要素预测值,本文中不再赘述。

[0051] 在本发明的一个实施方式中,可以采用混合数据同化的方法进行校正。具体地,利

用实时气象数据校正天气预报模型包括：在物理约束条件下，求解初始场与从至少一个气象传感器采集的实时气象数据的差异的最小值。

[0052] 应当注意，实时气象数据是从部署在离散点处的传感器采集的测量值，天气预报模型是预测在连续的输电线路上的气象要素的预测值，采用离散值来校正连续值时还需要考虑物理约束条件，例如风力与温度和湿度的关系等。例如，可以采用下文所示公式进行计算：

[0053]
$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T B^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}[H(x) - y]^T R^{-1}[H(x) - y]$$
 公式(1)

[0054] 其中， $J(x)$ 表示目标泛函数，即，在条件约束下的极小化过程的目标，代表初始场和从气象传感器获取的测量值之间的差异；

[0055] x 表示初始场，可以根据 J 的值来进行迭代更新；

[0056] x_b 表示初始场的估计值，即上一次迭代的起点；

[0057] y 表示从气象传感器获取的测量值，该值是离散值；

[0058] B 表示背景场协方差矩阵，代表物理约束条件； H 和 R 分别表示变量转换相关的参数矩阵，用于计算测量值相对于 x 的增量。

[0059] 通过上文所述的方法，可以减少或者消除天气预报模型本身的误差。

[0060] 在本发明的一个实施方式中，初始场是从与输电线路所在区域相关联的全球预报系统数据和地形数据提取的。应当注意，初始场是指天气预报模型中对初始状态($t=0$)时刻的大气状态的描述，或者可以认为初始场就是输电线路所在区域的当前大气状态。可以基于诸如全球预报系统(Global Forecast System, GFS)的气象数据以及全球地形数据来提取初始场。GFS是由美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)发布的一种数值天气预报模型，该模型的数据格式对外公开，因而本领域技术人员可以从中提取需要的内容，并与输电线路所在区域的地形数据相结合，从而形成初始场。地形数据例如是数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据。

[0061] 应当注意，可以将如上所述方法形成的初始场直接用作配置天气预报模型的输入。然而由于初始场的大气状态可能受到多方面因素的影响，对于初始场描述的不准确将会导致误差会随着时间的累积而逐渐加重，因此需要更多的观测数据和动力平衡条件来对模型初始场进行修正。

[0062] 在本发明的一个实施方式中，进一步包括：对初始场进行组合以形成集合预报初始场；利用集合预报初始场配置天气预报模型。此步骤旨在采用组合预报的方法来降低或者消除初始场误差。通过向初始场中加入扰动信息并计算这些扰动信息对于初始场的影响来获得集合预报初始场。例如，在温度、湿度、气压和风向等方面都会存在扰动信息，可以在一个或者多个轮次中分别向初始场中加入多种扰动信息并计算优化后的集合预报初始场。可以将上述一个轮次的计算结果称作一个集合预报成员。

[0063] 在本发明的一个实施方式中，对初始场进行组合以形成集合预报初始场包括：在多个轮次中的每个轮次中，向初始场中加入至少一个扰动因素以形成集合预报成员；基于针对每个轮次的集合预报成员形成集合预报初始场。

[0064] 具体地，可以采用如下公式将各方面的扰动信息的影响进行组合，并获得集合预报初始场。

[0065] $X^a = X^f + P_e H^T [H P_e H^T + R]^{-1} [D - H X^f]$

[0066] $P_e = \frac{X'^f X'^f{}^T}{n-1}$ 公式(2)

[0067] 其中 $X'^f = X^f - \bar{X}^f$, 并且:

[0068] X^a 表示优化后的集合预报初始场(包括气象五要素);

[0069] X^f 表示集合预报初始场的原始扰动;

[0070] X'^f 表示集合预报初始场的扰动部分;

[0071] P_e 表示背景场协方差矩阵, 通过扰动部分来计算, 用来评估当前背景场的物理约束修正项; 在当与混合数据同化相结合使用时, 用于向混合数据同化提供来自集合预报初始场的物理约束;

[0072] H 和 R 分别表示变量转换相关的参数矩阵, 用来计算优化修正增量;

[0073] n 表示集合预报成员的个数, 例如取值为20。

[0074] 应当注意, 公式(2)的原理在于向初始场中加入各种扰动因素以输出多个集合预报成员, 每个集合预报成员代表的大气状况略有不同, 因而可以更加准确地模拟初始场中的不确定性, 进而降低或者消除初始场误差。该公式(2)的含义是:

[0075] $X^a = X^f + \text{物理约束}$;

[0076] 尽管公式(2)中仅给出了物理约束的一个示例公式, 本领域技术人员可以根据具体需求来设计其他的计算公式。

[0077] 还可以将上文所述的混合数据同化和集合预报相结合使用, 以便在降低或消除模型误差的同时进一步降低或消除初始场的误差, 从而较为全面地提高预报的精度。图5示意性示出了根据本发明一个实施方式的、生成气象要素预测值的示意图500, 该图示出了将混合数据同化和集合预报相结合使用的一个示例性实施方式。图5示出了图3中方框310的进一步细节。

[0078] 在方框510处, 通过读取全球预报系统数据(如箭头B所示)和地形数据(如箭头C所示)来提取初始场, 此时所提取的初始场是未经集合预报处理的原始初始场。原始初始场被输入(如箭头D所示)至方框530用作集合预报的输入。并且在方框530处, 通过向原始初始场加入扰动信息来获取集合预报初始场。在单独使用集合预报的情况下, 集合预报初始场(如箭头E所示)可以输入至方框520用作配置天气预报模型。

[0079] 当将集合预报和混合数据同化相结合时, 来自集合预报的约束条件(如箭头F所示)被输入至方框540用作混合数据同化处理的输入。此时, 在如上文公式(1)所示的背景场协方差矩阵 B 将改变为: $B = \alpha_1 B_1 + \alpha_2 B_2$, $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$ 。其中 B 表示背景场协方差矩阵, 代表物理约束条件。物理约束条件一部分来自于基本公式约束 B_1 , 一部分来自于集合预报的当前约束 B_2 。

[0080] 在方框540中经过如前文所述的混合数据同化处理之后, 生成的集合初始场(如箭头G所示)被用于配置天气预报模型, 从而生成气象要素预测值(如箭头H所示)。

[0081] 应当注意, 生成的气象要素预测值可以具有不同的精度, 这里的精度是上文所述的将某区域划分成网格的边长。例如, 可以以 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 的精度输出气象要素预测值。由于输电线路的自身的特殊性, 对于输电线路处的气象要素预报提出了特殊要求。首先, 需要沿着输电线路的狭长区域进行预报, 并且在不同位置处的输电线路的海拔高度是不同的; 第二,

输电塔和输电杆之间的间距通常小于500m,在山区等地形复杂的区域间距通常在200-300m,因而需要提供高精度的气象要素预测值。

[0082] 区别于传统的天气预报,覆冰预测需要对于整条线路上的气象风险进行评估,这就需要对线路上任意点上的危险都要进行估计。因此需要至少高于1km的模型网格分辨率,但是,用1km×1km的网格覆盖整条输电线路,其计算量十分惊人。

[0083] 基于预测输电线路上的覆冰状态的特殊需求,本发明提出了一种线路追随的嵌套网格技术,在线路附近提供较高的网格分辨率而在距离线路较远位置提供较低的网格分辨率。对于气象要素预测值而言,在输电线路沿线的精度较高而在距离输电线路较远的位置精度较低。此方法可以降低计算量并保证在输电线路上获得足够精度的预报结果。在本发明的一个实施方式中,基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值进一步包括:基于输电线路的属性信息生成传输线路沿线的气象要素预测值。

[0084] 在此输电线路的属性信息可以包括拓扑结构,是指输电线路的走向、长度和高度等信息,例如可以采用每段输电线路的起点和终点的三维坐标(经度,纬度,高度)来表示。

[0085] 图6A和图6B分别示意性示出了根据本发明一个实施方式的、生成传输线路沿线的气象要素预测值的示意图。例如,图6A中的网格的分辨率为3km×3km,即图6A中两个点610A和620A之间的距离为3km,输电线路630A跨越图6A所示的区域。应当注意,分辨率为3km×3km的精度气象要素预测值不能满足覆冰预测的要求,需要更高精度(例如,0.3km×0.3km)的分辨率。通过读取输电线路的拓扑结构,可以获得线路中每个点的坐标。因而可以提高输电线路附近的预报精度,例如,将图6A中输电线路沿线(例如方圆10km²范围内)的网格细分为10×10个更高分辨率的网格(每个0.3km×0.3km),并且生成每个网格处的更高精度的气象要素预测值。采用此方法,一方面可以提高输电线路沿线的气象要素预测值的精度,另一方面还可以控制计算整个区域的气象要素的计算量。

[0086] 在本发明的一个实施方式中,根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,计算输电线路中满足覆冰条件的线路集合包括:根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息以建立交叉模型;以及基于覆冰条件过滤交叉模型以获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。现在参见图7详细描述此实施方式的细节。

[0087] 图7示意性示出了根据本发明一个实施方式的、计算满足覆冰条件的线路集合的示意图700,该示意图700示出了图3中方框320的进一步细节。首先,在方框710处读取将气象要素预测值(如箭头A所示)以及输电线路的属性信息(如箭头B所示),用于建立交叉模型。交叉模型中包括输电线路沿线各处的气象要素预测值以及线路拓扑信息,本领域技术人员可以自定义数据结构来保存,例如可以采用如下结构实现:

[0088] 交叉模型

[0089] {位置; //例如以(经度,纬度,海拔高度)表示

[0090] 线路朝向; //例如以矢量角度表示

[0091] 温度; //例如以℃表示

[0092] 湿度; //例如以%表示

[0093] 气压; //例如以Pa表示

[0094] 风速; //例如包括风力(m/s)和风向(矢量角度)

[0095] }

[0096] 接着,在方框720处,采用产生覆冰的条件(如箭头D所示)来对生成的交叉模型(如箭头C所示)进行过滤,即可获得输电线路中满足覆冰条件的输电线路的集合(如箭头E所示)。应该注意,在此产生覆冰的条件可以是基于历史经验总结的能够在输电线路形成覆冰的气象条件。例如,下文表1中示出了覆冰条件的一个示例:

[0097] 表1覆冰条件

序号	气象要素	条件
1	温度	$< 2^{\circ}\text{C}$
2	湿度	大于 88%
3	风速	0-7.5 m/s
4	风向	与输电线路的垂直方向夹角小于 50°
...	...	...

[0099] 在本发明的一个实施方式中,覆冰生长模型是与线路集合中的输电线路的属性信息以及线路集合中的输电线路处的气象要素预测值相关联的流体力学模型。在此属性信息可以包括与输电线路本身相关联的电力配置,例如,电线的半径、输电线路的电压等级(例如,300kV)、以及输电线路的材质等。

[0100] 目前已经研究出多种覆冰生长模型,例如,Goodwin模型、Chaine模型以及Makkonen模型等。本领域技术人员可以基于上述覆冰生长模型或者自行设计其他覆冰生长模型,来预测可能出现覆冰的线路上的覆冰厚度。

[0101] 图8示意性示出了根据本发明一个实施方式的、表示线路集合中的线路上的覆冰厚度的预测曲线800。在图8中示出了湿度、拉力、温度以及覆冰厚度之间的关系,其中横坐标轴850表示时间,而左侧的两个纵坐标轴分别表示拉力和覆冰厚度,右侧的两个纵坐标轴分别表示温度和湿度。

[0102] 例如仅以横坐标中“t7”的时间点为例,此时从下向上4条曲线分别表示810覆冰厚度、820温度、830拉力以及840湿度。从图8中可以看出,当温度升高时,覆冰厚度降低并且输电线路上的拉力也降低。应当注意,输电线路上的覆冰厚度还与线路的位置相关,图8中仅仅示出了一个位置处的覆冰厚度的预测值,本领域技术人员还可以以类似方式表示输电线路其他位置处的覆冰厚度的预测曲线。

[0103] 在本发明的一个实施方式中,气象传感器包括以下中的至少一种:温度传感器、湿度传感器、气压传感器以及风速传感器。为了更准确地生成气象要素预测值,本领域技术人员还可以使用其他类型的传感器来采集相应的气象要素。

[0104] 图9示意性示出了根据本发明一个实施方式的用于预测输电线路上的覆冰状态的装置的示意图。在此实施方式中,提供了一种用于预测输电线路上的覆冰状态的装置,包括:采集模块910,配置用于从至少一个气象传感器采集实时气象数据;生成模块920,配置用于基于实时气象数据、初始场以及天气预报模型,生成气象要素预测值;以及获取模块930,配置用于根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息,获取输电线路中满足覆冰条

件的线路集合。

[0105] 在本发明的一个实施方式中,进一步包括:预测模块940,配置用于根据覆冰生长模型预测线路集合中的线路上的覆冰厚度。

[0106] 在本发明的一个实施方式中,覆冰生长模型是与线路集合中的输电线路的属性信息以及线路集合中的输电线路处的气象要素预测值相关联的流体力学模型。

[0107] 在本发明的一个实施方式中,生成模块920包括:校正模块,配置用于利用实时气象数据校正天气预报模型。

[0108] 在本发明的一个实施方式中,校正模块包括:最小化模块,配置用于在物理约束条件下,求解初始场与从至少一个气象传感器采集的实时气象数据的差异的最小值。

[0109] 在本发明的一个实施方式中,初始场是从与输电线路所在区域相关联的全球预报系统数据和地形数据提取的。

[0110] 在本发明的一个实施方式中,生成模块920进一步包括:组合模块,配置用于对初始场进行组合以形成集合预报初始场;以及配置模块,配置用于利用集合预报初始场配置天气预报模型。

[0111] 在本发明的一个实施方式中,组合模块包括:扰动模块,配置用于在多个轮次中的每个轮次中,向初始场中加入至少一个扰动因素以形成集合预报成员;形成模块,配置用于基于针对每个轮次的集合预报成员形成集合预报初始场。

[0112] 在本发明的一个实施方式中,生成模块920进一步包括:预测值生成模块,配置用于基于输电线路的属性信息生成传输线路沿线的气象要素预测值。

[0113] 在本发明的一个实施方式中,获取模块930包括:建立模块,配置用于根据气象要素预测值以及输电线路的属性信息以建立交叉模型;以及过滤模块,配置用于基于覆冰条件过滤交叉模型以获取输电线路中满足覆冰条件的线路集合。

[0114] 在本发明的一个实施方式中,气象传感器包括以下中的至少一种:温度传感器、湿度传感器、气压传感器以及风速传感器。

[0115] 附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施方式的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分,所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个连续的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的是,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0116] 以上已经描述了本发明的各实施方式,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施方式。在不偏离所说明的各实施方式的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择,旨在最好地解释各实施方式的原理、实际应用或对市场中的技术的技术改进,或者使本技术领域的其他普通技术人员能理解本文披露的各实施方式。

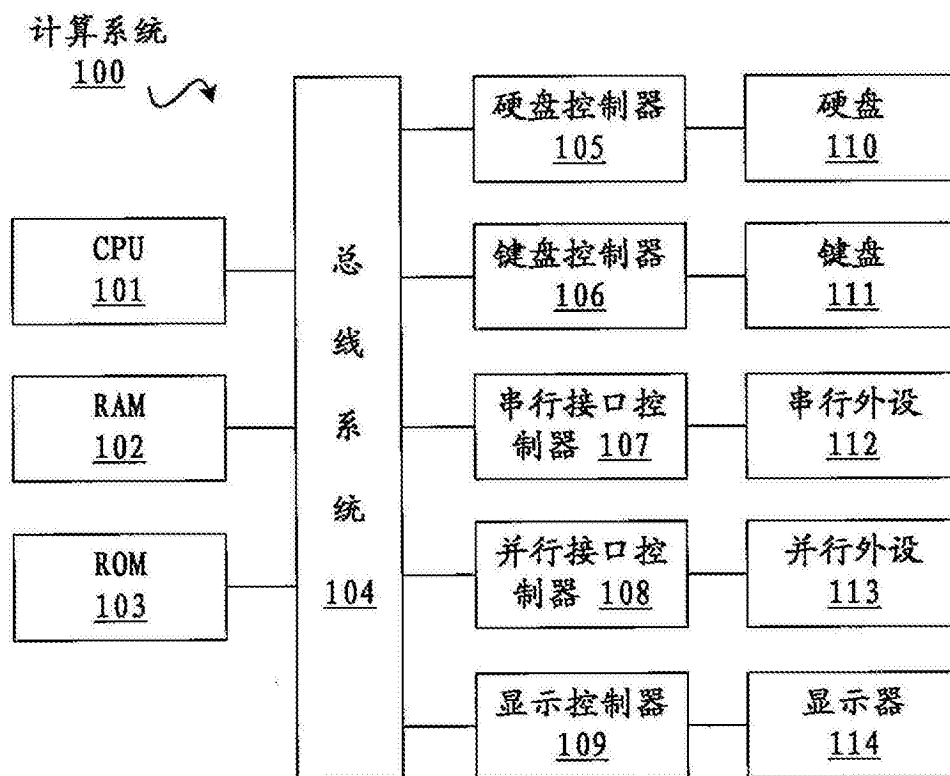


图1

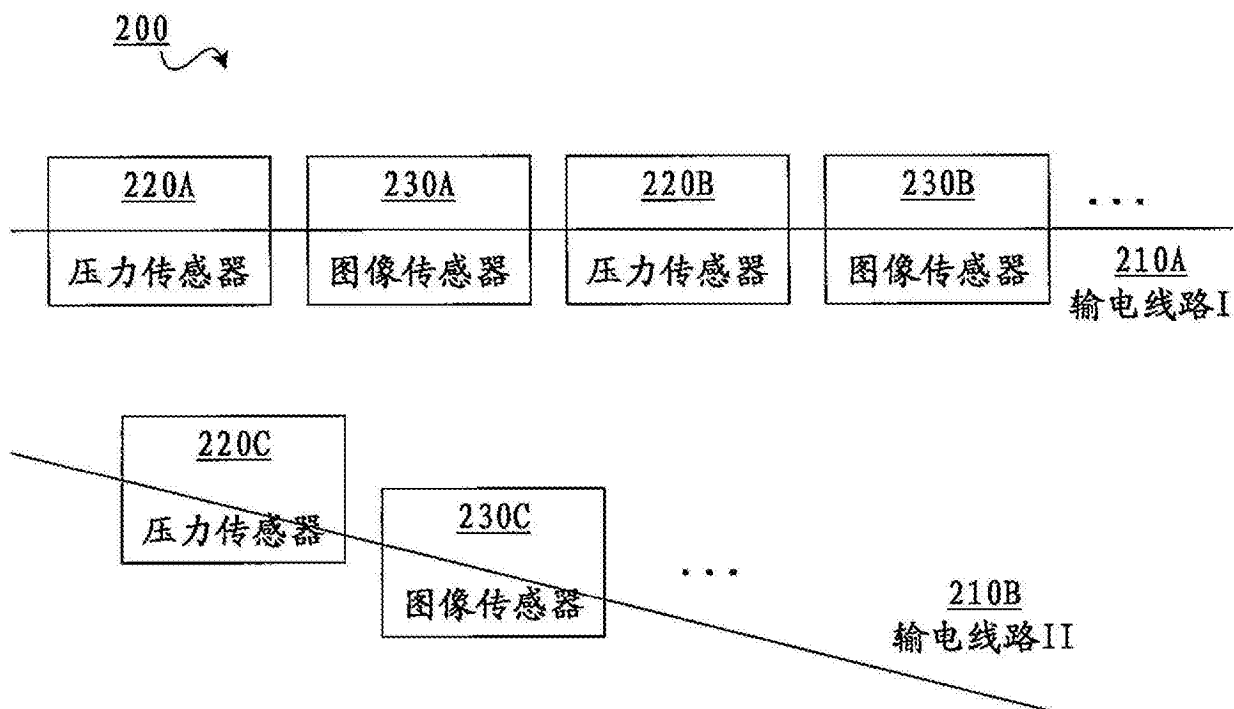


图2

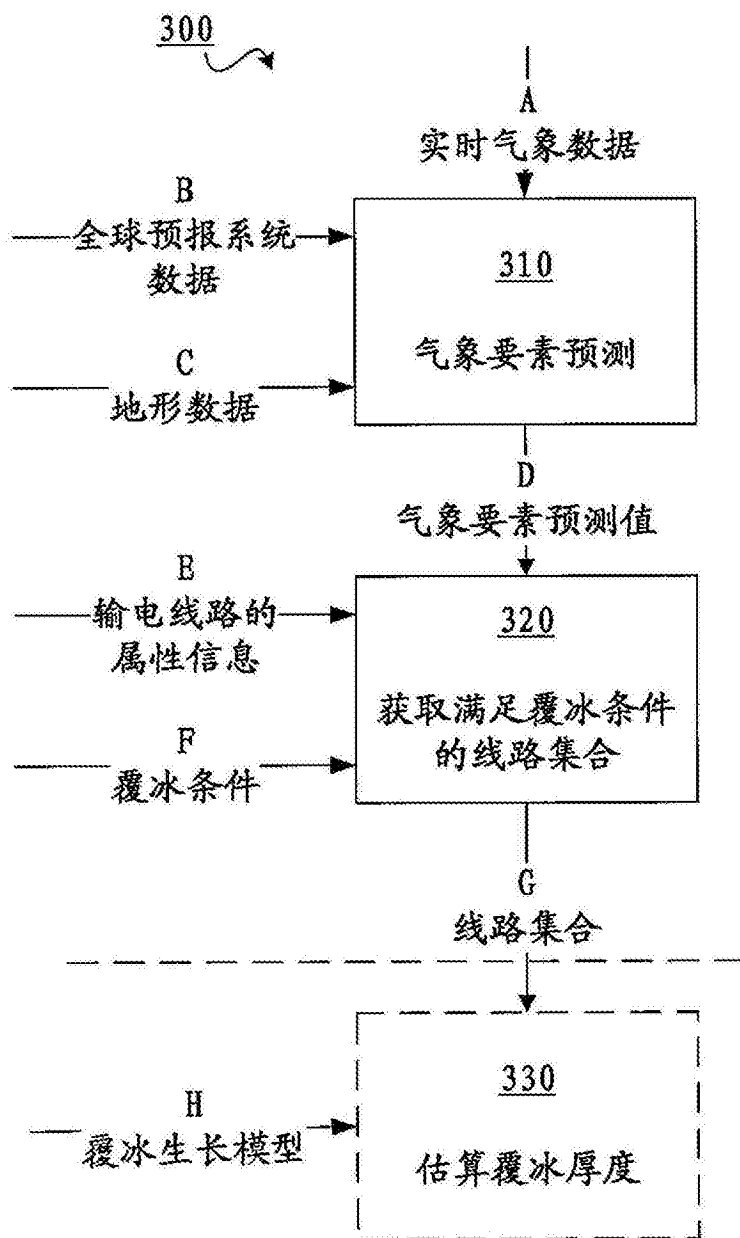


图3

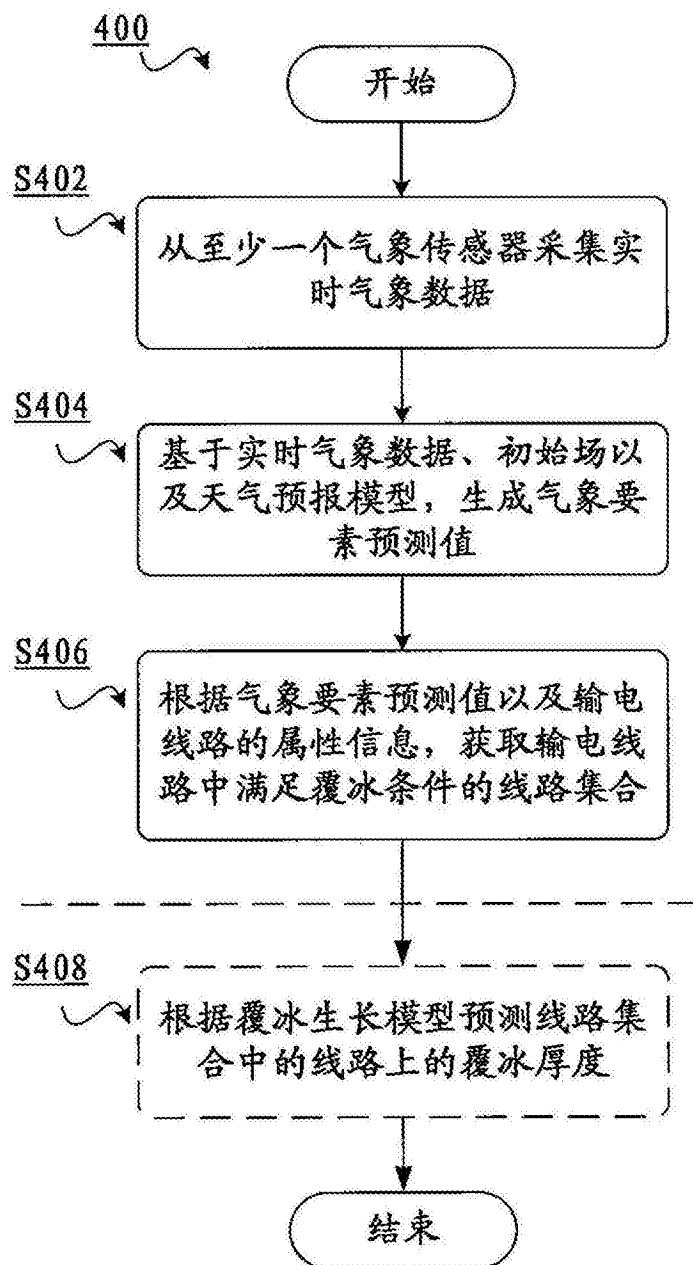


图4

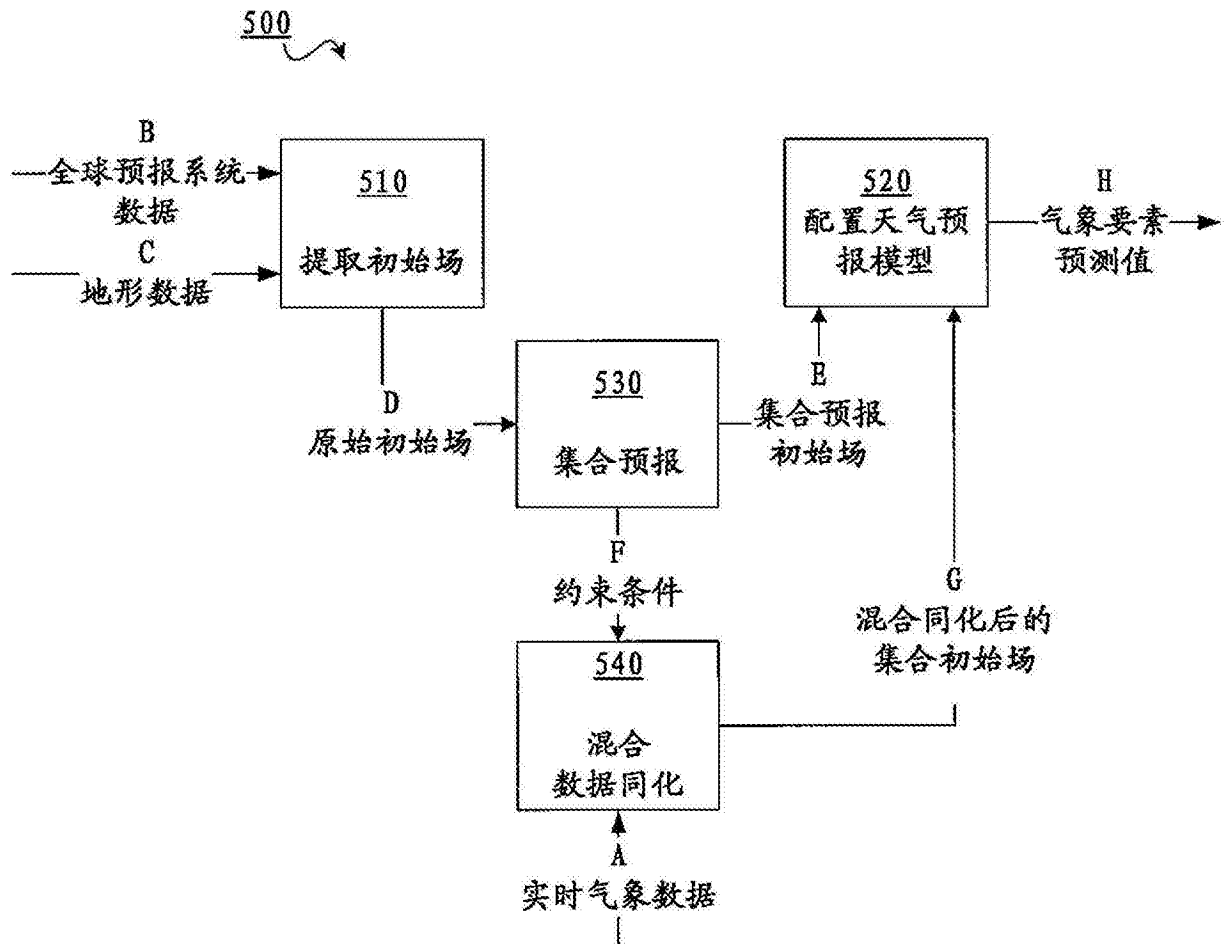


图5

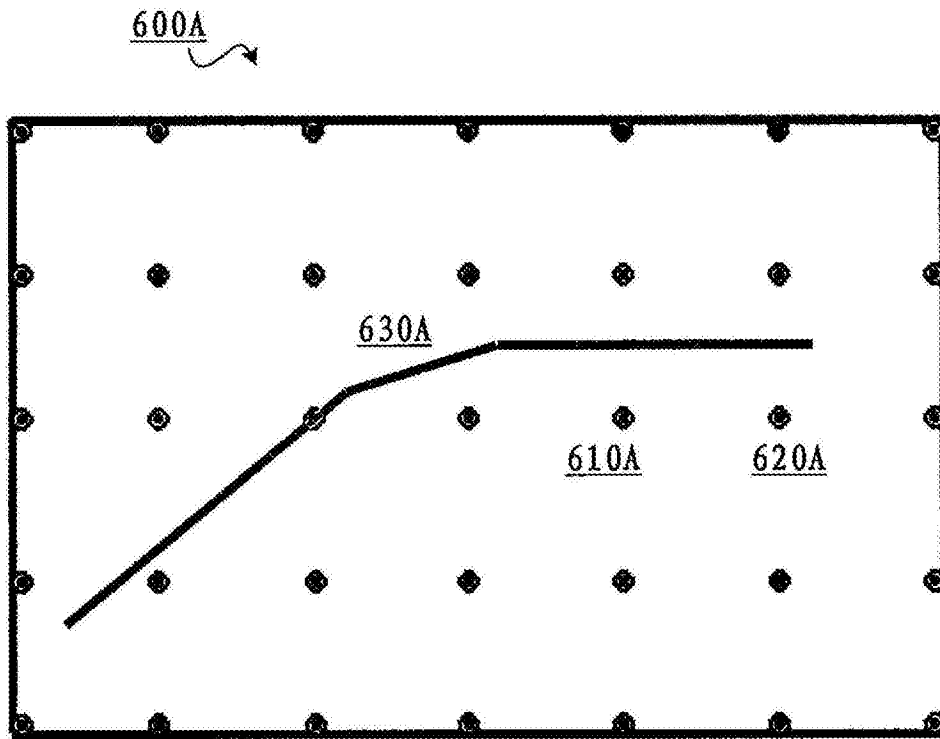


图6A

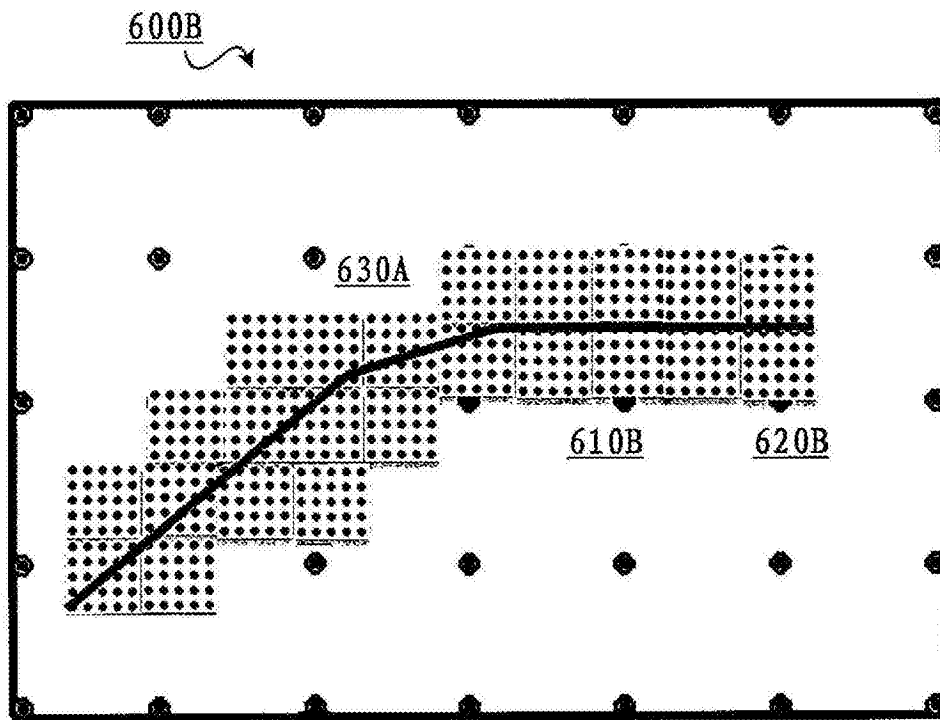


图6B

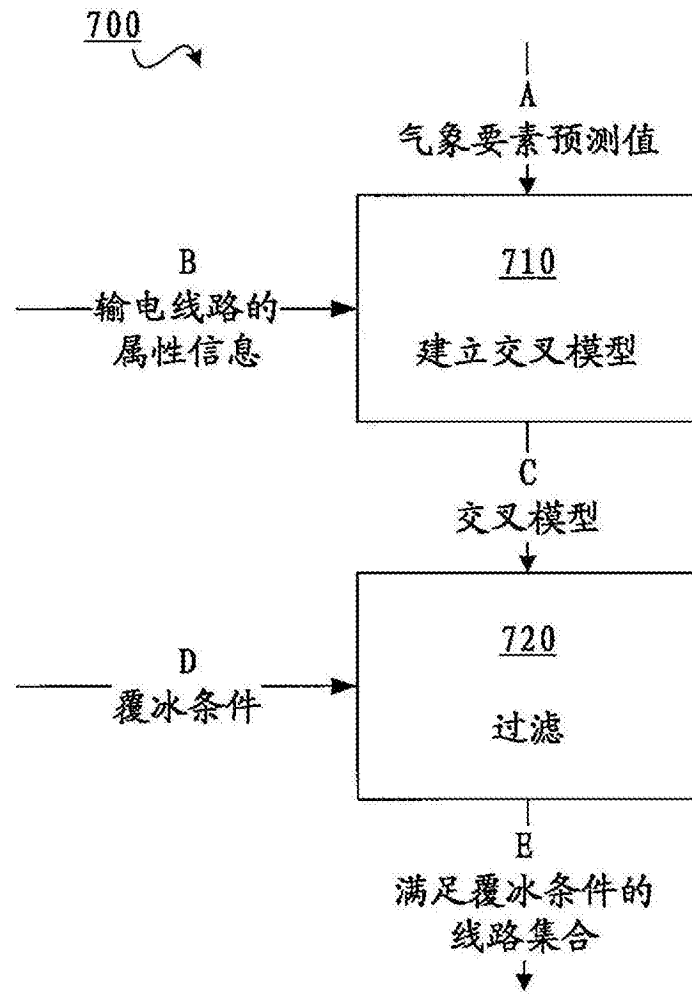


图7

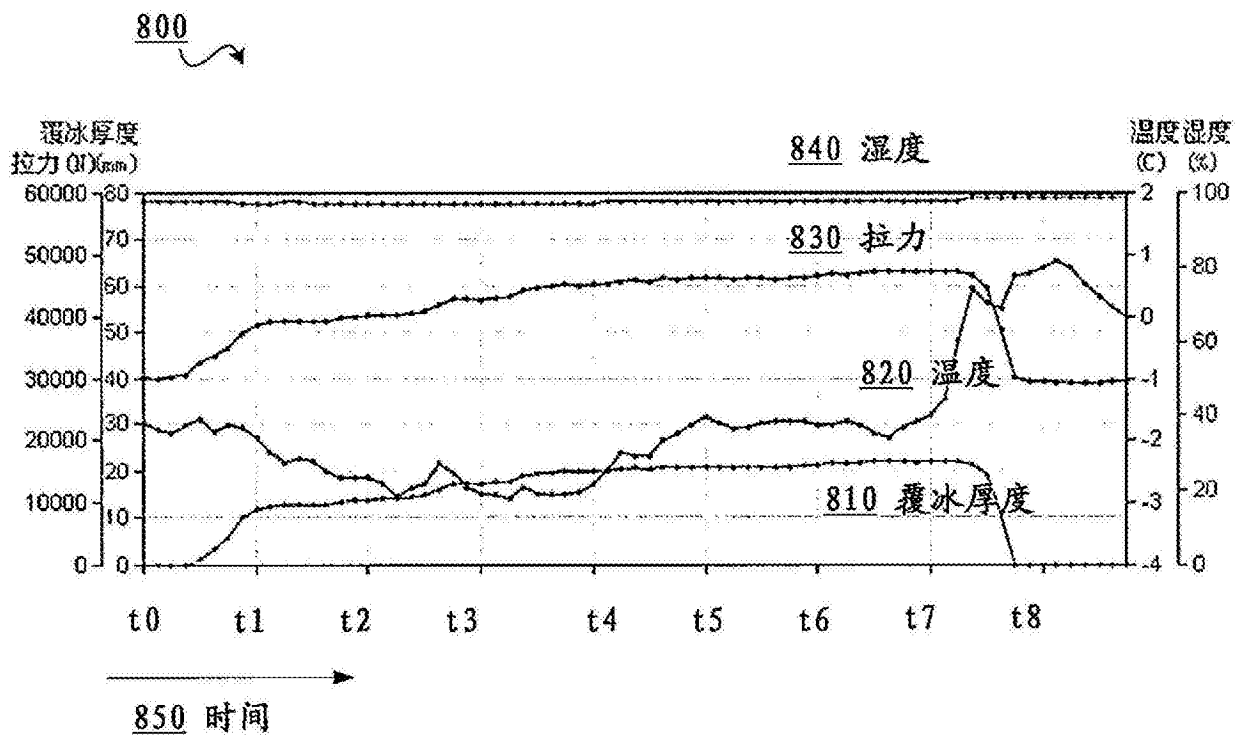


图8

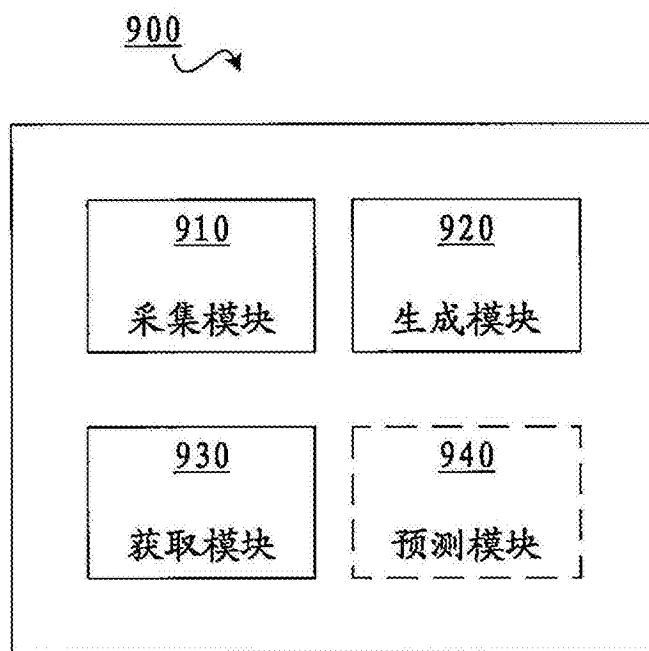


图9