



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105629288 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 01

(21) 申请号 201511006199. X

(22) 申请日 2015. 12. 28

(71) 申请人 深圳先进技术研究院

地址 518000 广东省深圳市南山区西丽大学
城学苑大道 1068 号

(72) 发明人 李晓云 胡洋 刘青松 苏士娟
沈黎 董亚超 钱建华

(74) 专利代理机构 深圳中一专利商标事务所
44237

代理人 张全文

(51) Int. Cl.

G01T 1/29(2006. 01)

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

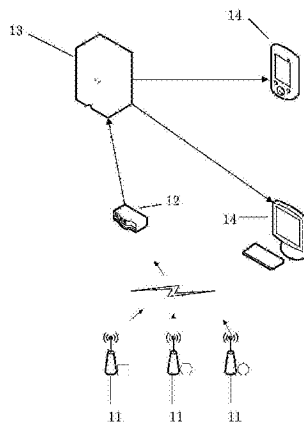
核电站辐射分布的预测系统

(57) 摘要

本发明适用于核电技术领域,提供了核电站辐射分布的预测系统,包括多个传感器节点、网关、服务器基站、远程监控处理中心,所述多个传感器节点将采集到的数据通过所述网关汇集到所述服务器基站,并由所述服务器基站传输到所述远程监控处理中心,由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测,包括:

基于 $C(x, y, z, t) = \left(P_0 + \frac{mt}{(4\pi kt)^{3/2}} \right) e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{4kt}}$ 对空

间坐标位置为 (x, y, z) 的时刻 t 的核辐射浓度 C 进行无风情况预测,其中,所述 P_0 为 t = 0 时空间坐标原点泄漏的放射性气体浓度,所述 k 为扩散系数,所述 m 为体积 V 内放射性气体的质量。本发明有效地提高了预测的精确性。



1. 一种核电站辐射分布的预测系统,其特征在于,包括多个传感器节点、网关、服务器基站、远程监控处理中心,所述多个传感器节点将采集到的数据通过所述网关汇集到所述服务器基站,并由所述服务器基站传输到所述远程监控处理中心,由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测,包括:

$$\text{基于 } C(x, y, z, t) = \left(P_0 + \frac{mt}{(4\pi kt)^{3/2}} \right) e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{4kt}} \text{ 对空间坐标位置为 } (x, y, z) \text{ 的时刻 } t \text{ 的}$$

核辐射浓度C进行无风情况预测,其中,所述 P_0 为 $t=0$ 时空间坐标原点泄漏的放射性气体浓度,所述 k 为扩散系数,所述 m 为体积 V 内放射性气体的质量。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

$$\text{基于 } C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp \left[- \left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) \right] \text{ 对空间坐标位置为 } (x, y, z) \text{ 的核辐射}$$

浓度C进行有风情况预测,其中,所述 Q 为源强,所述 σ_y 为横向扩散系数,所述 σ_z 为纵向扩散系数,所述 u 为风的平均速度。

3. 如权利要求2所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

基于高斯扩散模型

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ 对核}$$

辐射浓度C进行预测。

4. 如权利要求3所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

$$\text{基于 } C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi(u+s)\sigma_z \sigma_y} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

对核辐射浓度C进行预测,其中,所述 s 为无风情况下泄漏气体的扩散速度。

5. 如权利要求4所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

$$\text{基于 } C(-L, 0, z, H) = \frac{Q}{2\pi(s-u)\sigma_z \sigma_y} \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ 对泄漏}$$

源的上风向方向的核辐射浓度C进行预测。

6. 如权利要求4所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

$$\text{基于 } C(L, 0, z, H) = \frac{Q}{2\pi(u+s)\sigma_z \sigma_y} \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ 对泄漏源}$$

的下风向方向的核辐射浓度C进行预测。

7. 如权利要求5或6所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

基于

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{\left(z - H + \frac{v_s x}{u}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \alpha \exp\left[-\frac{\left(z + H - \frac{v_s x}{u}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\}$$

对于沉降时的核辐射浓度C进行无风情况预测,其中,所述 $\frac{v_s x}{u}$ 为实源在x处向下移动的高度,所述 α 为反射系数。

8. 如权利要求5或6所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

在湿沉降时将源强Q修正为 $Q \exp\left(-\frac{\varphi x}{u}\right)$,其中,所述 $\varphi = aI^b$,I为雨强,a,b为经验系数。

9. 如权利要求5或6所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

采用衰变耗减因子将源强Q修正为 $Q \exp\left(-\frac{0.693x}{3600T_{0.5}u}\right)$,所述 $T_{0.5}$ 为核素的半衰期。

10. 如权利要求5或6所述的系统,其特征在于,所述由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测还包括:

基于 $C(x, y, z) = \frac{2\pi u \sigma_z \sigma_y C_0(x, y, z)}{\exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]$ 对实际监测到的数据和所述

系统预测的数据在相同间隔时间里进行修正,所述 $C_0(x, y, z)$ 为所述系统预测的核辐射浓度。

核电站辐射分布的预测系统

技术领域

[0001] 本发明属于核电技术领域,尤其涉及核电站辐射分布的预测系统。

背景技术

[0002] 核应急准备与响应是控制、减轻核辐射事故可能造成的人身伤害、财产损失及环境破坏的有效措施,也是有效处置核恐怖袭击事件、保障公共安全的重要手段,因此,需要建立高可靠性的核安全监控和核辐射分布预测系统,以此来保证核安全。目前,在我国的核电站中,环境 γ 辐射连续监测系统由少数几个固定的监测站组成,分布在核电站周边十公里区域内,对周围大气环境中的 γ 辐射进行连续监测,监测站的密度过低,从而影响了核辐射监测精度。

发明内容

[0003] 有鉴于此,本发明实施例提供了核电站辐射分布的预测系统,以解决现行的核辐射监测系统监测精度低的问题。

[0004] 本发明实施例是这样实现的,提供了一种核电站辐射分布的预测系统,包括多个传感器节点、网关、服务器基站、远程监控处理中心,所述多个传感器节点将采集到的数据通过所述网关汇集到所述服务器基站,并由所述服务器基站传输到所述远程监控处理中心,由所述远程监控处理中心根据所述数据对核电站辐射分布进行预测,包括:

[0005] 基于 $C(x, y, z, t) = \left(P_0 + \frac{mt}{(4\pi kt)^{3/2}} \right) e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{4kt}}$ 对空间坐标位置为 (x, y, z) 的时刻 t 的核辐射浓度 C 进行无风情况预测,其中,所述 P_0 为 $t=0$ 时空间坐标原点泄漏的放射性气体浓度,所述 k 为扩散系数,所述 m 为体积 V 内放射性气体的质量。

附图说明

[0006] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0007] 图1是本发明实施例提供的核电站辐射分布预测系统的系统架构图;

[0008] 图2是本发明另一实施例提供的核电站辐射分布预测系统的系统架构图;

[0009] 图3是本发明实施例提供的传感器节点部署示意图。

具体实施方式

[0010] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电

路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0011] 图1示出了本发明实施例提供的核电站辐射分布预测系统的系统架构,为了便于说明,仅示出了与本实施例相关的部分。

[0012] 参照图1,该核电站辐射分布预测系统包括: N (N 为大于1的整数)个传感器节点11、网关12、服务器基站13、远程监控处理中心14。其中:

[0013] N 个传感器节点11分布在核辐射监测现场,集成了核辐射探测器,用于对核辐射浓度进行检测,该设备提供RS232/RS485/并行数据传输口,并设备的测量结果输出。各传感器节点11通过无线通信的方式形成一个多跳的自组织的网络,从而实现区域内的信息采集、处理和传输应用。

[0014] 进一步地,每个传感器节点11采用模块化设计,将核辐射浓度检测模块、以太网串口转换模块、无线通信模块、智能控制模块、现场监控模块和电源模块等分别安插在功能电路板上,各模块独立工作,互不干扰。

[0015] 进一步地,传感器节点11中的电源模块采用不间断电源(UPS),该电源模块由蓄电池和逆变电路构成,正常情况下,UPS将市电稳压后供应给负载使用,此时的UPS就是一台交流市电稳压器,同时它还向内部电池充电,当市电中断时,UPS立即将电池的直流电能通过逆变零切换转换的方法向负载继续供电。

[0016] 进一步地,传感器节点11中的通信模块的通信方式包括以下一种或多种:Zigbee、WiFi、GPRS、3G、4G和卫星通信,其中,Zigbee模块支持单跳和多跳无线传输,卫星通信模块可以在地面通讯设施失效的情况下与外界通信。

[0017] 进一步地,传感器节点11除了包括核辐射传感器,还可以包括温湿度传感器、风力风向传感器,分别用于检测降雨情况和实时风力情况。

[0018] N 个传感器节点11采集到的数据通过网关12汇集到服务器基站13,并由服务器基站13传输到远程监控处理中心14,而远程监控处理中心14由具备数据处理能力的计算设备构成,用于对服务器基站13传递的数据进行数据处理,以实现核电站辐射分布的预测,并发布预测结果,进一步地,远程监控处理中心14还可以用于执行撤离路线决策。

[0019] 作为本发明的一个实施例,远程监控处理中心14可以包括远程固定监控处理中心和远程移动监控处理中心。

[0020] 进一步地,如图2所示,该核电站辐射分布预测系统还可以包括以下一种或多种装置:

[0021] 气象质量检测节点15、实时视频监控装置16、智能路灯控制节点17。其中:

[0022] 气象质量检测节点15集成了气象质量检测仪,用于对气象质量进行检测;

[0023] 实时视频监控装置16由微处理器控制的摄像头,通过通信电缆与网关节点相连;

[0024] 智能路灯控制节点17集成了光敏控制器。

[0025] 在该系统中,可以利用气象质量检测节点15和/或实时视频监控装置16与智能路灯控制节点17,对节点周围环境实施全天候的监控,从而在进行核辐射分布预测时,基于高斯扩散模型建立在无风情况下的核辐射连续泄漏的基础模型,并在此基础上进一步考虑有风、地面反射、干沉降、湿沉降和核衰变等情况下的核辐射浓度的分布情况,对该基础模型进行修正。

[0026] 作为本发明的一个实施例,该核电站辐射分布预测系统以核岛为圆心,在 E 个半径

不同的圆上分别部署F个检测系统,例如,如图3所示,在半径分别为100米、200米和300米的圆上分别部署四个传感器节点11,每个圆中的四个传感器节点11分别位于以核岛为交叉点的十字线上,由此可以根据风力风向的不同,监测每个点的核辐射剂量,快速准确地检测出核辐射情况,以及及时做出相应的应急措施。

[0027] 接下来,对远程监控处理中心根据采集到的数据对核电站辐射分布进行预测的方案进行阐述:

[0028] 作为本发明的一个实施例,所述无风情况下的核辐射连续泄漏的基础模型如下:

[0029] 假设大气均匀分布,将核岛的核泄漏假设为是从点源匀速向四周扩散,因此,建立核电站周边不同距离、不同时段对核泄漏的预测模型,将放射性气体泄漏的位置选为坐标原点(0,0,0),空间坐标位置为(x,y,z)的某一时刻t的气体浓度为C(x,y,z,t),以地面为xoy平面的平行面,垂直地面向上为z轴,根据菲克第一扩散定律,单位时间内通过法向面积的流量与浓度梯度成正比,由此可以得到:

$$[0030] \quad q = -k \cdot \text{grad}C, \quad (1)$$

[0031] 其中,所述k为扩散系数,grad为梯度,由于梯度主要受温度影响,在本发明实施例中不考虑温度改变,因此,可以将grad视为常数,负号表示是由浓度高的地方向浓度低的地方扩散。

[0032] 假设气体传播的体积为V,曲面为S,S的外法线向量为n,则在[t,t+Δt]上通过S的流量为:

$$[0033] \quad Q_1 = \int_t^{t+\Delta t} \iint_S q \cdot n d\sigma dt, \quad (2)$$

[0034] 在体积V内放射性气体的增量为:

$$[0035] \quad Q_2 = \iiint_V [C(x,y,z,t) - C(x,y,z,t+\Delta t)] dV, \quad (3)$$

[0036] 由质量守恒定律:

$$[0037] \quad Q_2 = m \Delta t - Q_1, \quad (4)$$

[0038] 所述m为体积V内放射性气体的质量。

[0039] 根据曲面积分的高斯公式:

$$[0040] \quad \iint_S q \cdot n d\sigma = \iiint_V \text{div}q \cdot dV, \quad (5)$$

[0041] 其中,div是散度记号。在(1)~(5)式的基础上,利用积分中值定理得到:

$$[0042] \quad \iiint_V \frac{\partial C}{\partial t} dV = m + k \iiint_V \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) dV. \quad (6)$$

[0043] 其中,t>0,-∞<x,y,z<∞。

[0044] 定义稀释后的浓度为α_p(x,y,z,t),其表示P₀经过时间t到空间中任一点(x,y,z)的浓度,则在[t,t+Δt]内,有:

$$[0045] \quad m \Delta t = \int_t^{t+\Delta t} \iiint_V \alpha_p(x,y,z,t) d\sigma dV dt, \quad (7)$$

[0046] (7)式可进一步简化为:

$$[0047] \quad \frac{\partial C}{\partial t} = \alpha_p + k \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right). \quad (8)$$

[0048] 设定泄漏的初始条件为t=0时空间坐标原点泄漏的放射性气体浓度为P₀,由此可

得：

$$[0049] \quad C(x, y, z, t) = \left(P_0 + \frac{mt}{(4\pi kt)^{3/2}} \right) e^{-\frac{x^2+y^2+z^2}{4kt}}. \quad (9)$$

[0050] 上述模型为一个理想化的预测浓度的模型,其结果表明,在任意时刻的浓度相等的位置为一个等球面,半径为 $x^2+y^2+z^2$,并且随着距离的增加,浓度是连续减少的,当距离趋近于无穷的时候,放射性气体的浓度也趋近于0。

[0051] 以上为本发明实施例提供的无风情况下的核辐射连续泄漏的基础模型,进一步地,本发明实施例提供有风情况下的核辐射分布模型:

[0052] 假设气体以 $s \text{ m/s}$ 匀速排出,向四周扩散,以泄漏点在地面的投影为坐标原点,以风向为 x 轴正方向, y 轴方向为水平面内通过原点并垂直于 x 轴的轴向方向, z 轴方向为过原点且垂直于水平面的轴向方向。由以上假设可得,在 y 轴方向的分布函数为 $C=C_1\exp(-ay^2)$,在 z 轴方向上的分布函数为 $C=C_2\exp(-bz^2)$,其中, a 、 b 、 $C_1=\sqrt{\frac{a}{2\pi}}$ 、 $C_2=\sqrt{\frac{b}{2\pi}}$ 为待定

系数,下风向点 (x, y, z) 处的放射性气体浓度为:

$$[0053] \quad C(x, y, z) = A(x)\exp(-ay^2)C_2\exp(-bz^2), \quad (10)$$

[0054] 由概率统计理论可以写出方差的表达式:

$$[0055] \quad \sigma_y^2 = \int_0^\infty y^2 C(x, y, z) dy / \int_0^\infty C(x, y, z) dy, \quad (11)$$

$$[0056] \quad \sigma_z^2 = \int_0^\infty z^2 C(x, y, z) dz / \int_0^\infty C(x, y, z) dz, \quad (12)$$

[0057] 即,有 $a = \frac{1}{2\sigma_y^2}$ 、 $b = \frac{1}{2\sigma_z^2}$,由质量守恒可知,在下风向垂直于 x 轴的截面上,放射性气体的总能量等于源强:

$$[0058] \quad Q = \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty uC(x, y, z) dy dz, \quad (13)$$

[0059] 由(10)~(13)式可得:

$$[0060] \quad \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty uA(x)\exp(-ay^2)\exp(-bz^2) dy dz = \\ uA(x) \left\{ \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{2a}} \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\sqrt{2a}y)^2 d(\sqrt{2a}y) \right] \right\} \cdot \\ \left\{ \frac{\sqrt{2\pi}}{\sqrt{2b}} \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} (\sqrt{2b}z)^2 d(\sqrt{2b}z) \right] \right\} = uA(x) \cdot \pi/\sqrt{ab},$$

[0061] 所以, $A(x) = \frac{Q\sqrt{ab}}{\pi u}$,由此可以得到无界空间的高斯连续点源的扩散模型:

$$[0062] \quad C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp \left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2} \right) \right],$$

[0063] 其中, σ_y 是距离原点 x 处在 y 轴方向分布的标准差,即横向扩散系数, σ_z 是距离原点 x 处在 z 轴方向分布的标准差,即纵向扩散系数。

[0064] 作为本发明的一个实施例,由于核辐射扩散是有界的,存在地面反射,因此可以将

地面看作一个镜面,对泄漏气体起全反射作用,并采用像源法处理,把任意一点处的浓度看作由两部分组成:一部分是不存在地面时所造成的泄漏物浓度,另一部分是由于地面反射作用所增加的泄漏物浓度。由此,任意一点处的泄漏物浓度相当于不存在地面时由位于(0, 0, H)的实源和位于(0, 0, -H)的像源在该处造成的泄漏物浓度之和。

[0065] 其中,实源的浓度为:

$$[0066] \quad C_1(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right),$$

[0067] 像源的浓度为:

$$[0068] \quad C_2(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right),$$

[0069] 该处的实际浓度为实源浓度和像源浓度的叠加,即 $C(x, y, z) = C_1(x, y, z) + C_2(x, y, z)$,由此可得高斯连续点源扩散的高斯扩散模型为:

[0070]

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right],$$

[0071] 其中, $C(x, y, z)$ 为下风向 x 米,横向 y 米,纵向 z 米处的气体浓度,单位为 km/m^3 ; Q 为源强(即源释放速率),单位为 km/s ; u 为风的平均速度,单位为 m/s ; σ_y 为横向扩散参数,单位为 m ; σ_z 为纵向扩散系数,单位为 m 。

[0072] 若令 $z=0$,即可得到地面气体浓度计算公式:

$$[0073] \quad C(x, y, 0, H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \right],$$

[0074] 令 $y=z=0$,即可得到地面轴线的气体浓度计算公式:

$$[0075] \quad C(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right),$$

[0076] 其中, $C(x, y, 0)$ 为下风向 x 米,横向 y 米处的地面扩散气体浓度。

[0077] 作为本发明的一个实施例,由于放射性气体和空气是有相对运动的,因此,将公式修正为:

[0078]

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi(u+s)\sigma_z\sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right],$$

[0079] 其中, s 为无风情况下泄漏气体的扩散速度。

[0080] 作为本发明的一个实施例,对于核辐射浓度在下风向和上风向上的浓度情况,可以将下风向浓度看作是 $x=L, y=0$ 处的浓度:

$$[0081] \quad C(L, 0, z, H) = \frac{Q}{2\pi(u+s)\sigma_z\sigma_y} \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right],$$

[0082] 由于上风向的扩散浓度需要考虑风速与扩散速度的关系,当风速 $u > s$ m/s 时,放射性气体无法向上风向扩散,此时在泄漏源的上风向的放射性气体浓度为0;当风速 $u < s$ m/s 时,放射性气体浓度的速度大于风速,于是泄漏源的上风向方向有放射性气体扩散的浓度

表达式为:

$$[0083] \quad C(-L, 0, z, H) = \frac{Q}{2\pi(s-u)\sigma_z\sigma_y} \left[\exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right]$$

[0084] 作为本发明的一个实施例,由于核辐射的干沉降和湿沉降都对核辐射浓度的分布有影响,在干沉降时的连续点源扩散,粒子的沉积速度取决于空气阻力和重力平衡,可以用斯托克斯公式表示: $\frac{\rho g D^2}{18\mu}$, 其中, ρ 为粒子密度,单位为 kg/m^3 ; g 为重力加速度; D 为粒子直径,单位为 m ; μ 为空气的动力粘性系数。

[0085] 考虑到粒子的沉降,实源以 V_s 的速度向下移动,在 x 处向下移动的高度为 $V_s t = \frac{V_s x}{\bar{u}}$, 即源高由 H 降到了 $H - \frac{V_s x}{\bar{u}}$ 。实际情况下,地面会有反射作用,由于存在粒子的沉降作用,该反射并非全反射,因此,需对反射项乘以一下反射系数 α ($\alpha < 1$), 反射项的有效源高度也变成了 $H - \frac{V_s x}{\bar{u}}$, 故相应的浓度计算公式为:

[0086]

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{\left(z-H+\frac{V_s x}{\bar{u}}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \alpha \exp\left[-\frac{\left(z+H-\frac{V_s x}{\bar{u}}\right)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\},$$

[0087] 其中,反射系数 α 需要预先给定,通常,对于放射性核素来说, α 可取 0.5。

[0088] 由于降雨对颗粒物具有清洗作用,可溶性气体可溶于水中,降雨过程造成的湿沉积是导致放射性气体向地面沉积的一个重要原因,通常以冲洗系数 $\varphi = aI^b$, I 为雨强(单位为 mm/h), a, b 为经验系数,按释放物质含碘、不含碘的情况分别取值,对于含碘的物质,取 $a = 8 \times 10^{-5}$, $b = 0.6$, 对于不含碘的物质,取 $a = 1.2 \times 10^{-5}$, $b = 0.5$ 。对于湿沉降的烟羽耗减,可采用湿沉降耗减因子对源强 Q 进行修正,有 $Q(x) = Q \exp\left(-\frac{\varphi x}{\bar{u}}\right)$ 。

[0089] 作为本发明的一个实施例,由于核辐射衰变的影响会影响核辐射浓度分布,放射性物质服从简单的衰变规律,放射性衰变的时间规律为 $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}$, N_0 是有 0 时刻的放射性核素数目,因此,核辐射浓度随时间的变化可由下式计算: $C = C_0 e^{-\lambda t}$, 其中, C_0 为初始浓度, λ 为衰变常数, t 为衰变经过的时间。同时,可采用衰变耗减因子来对源强进行修正,可得到 $Q(x) = Q \exp\left(-\frac{0.693x}{3600 T_{0.5} \bar{u}}\right)$, $T_{0.5}$ 为核素的半衰期。

[0090] 作为本发明的一个实施例,对实际监测到的数据和模型预测的数据在相同间隔时间里进行修正,根据有风情况下核辐射放射性物质的浓度表示:

$$[0091] \quad C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right],$$

[0092] 假设监测系统的核辐射浓度为 $C_0(x, y, z)$, 则源强的表达式为:

$$[0093] \quad Q_0 = \frac{2\pi u \sigma_z \sigma_y C_0(x, y, z)}{\exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right]},$$

[0094] 则将预测的浓度变更为:

$$[0095] \quad C(x, y, z) = \frac{2\pi u \sigma_z \sigma_y C_0(x, y, z)}{2\pi u \sigma_z \sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right].$$

[0096] 本发明实施例将泄漏源看作一个连续泄漏的泄漏点,在无风情况下建立核辐射分布预测模型的基础上,分别进一步考虑有风、地面反射、粒子沉降、核元素衰变等情况下核元素扩散任意一点的核辐射浓度,在核电站周围建立检测系统,从而进行核辐射浓度预测,有效地提高了预测的精确性。

[0097] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0098] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0099] 在本发明所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的系统实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0100] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

[0101] 另外,在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0102] 所述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本发明实施例的技术方案

本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来,该计算机软件产品存储在一个存储介质中,包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机,服务器,或者网络设备等)或处理器(processor)执行本发明实施例各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括:U盘、移动硬盘、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

[0103] 以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明实施例各实施例技术方案的精神和范围。

[0104] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

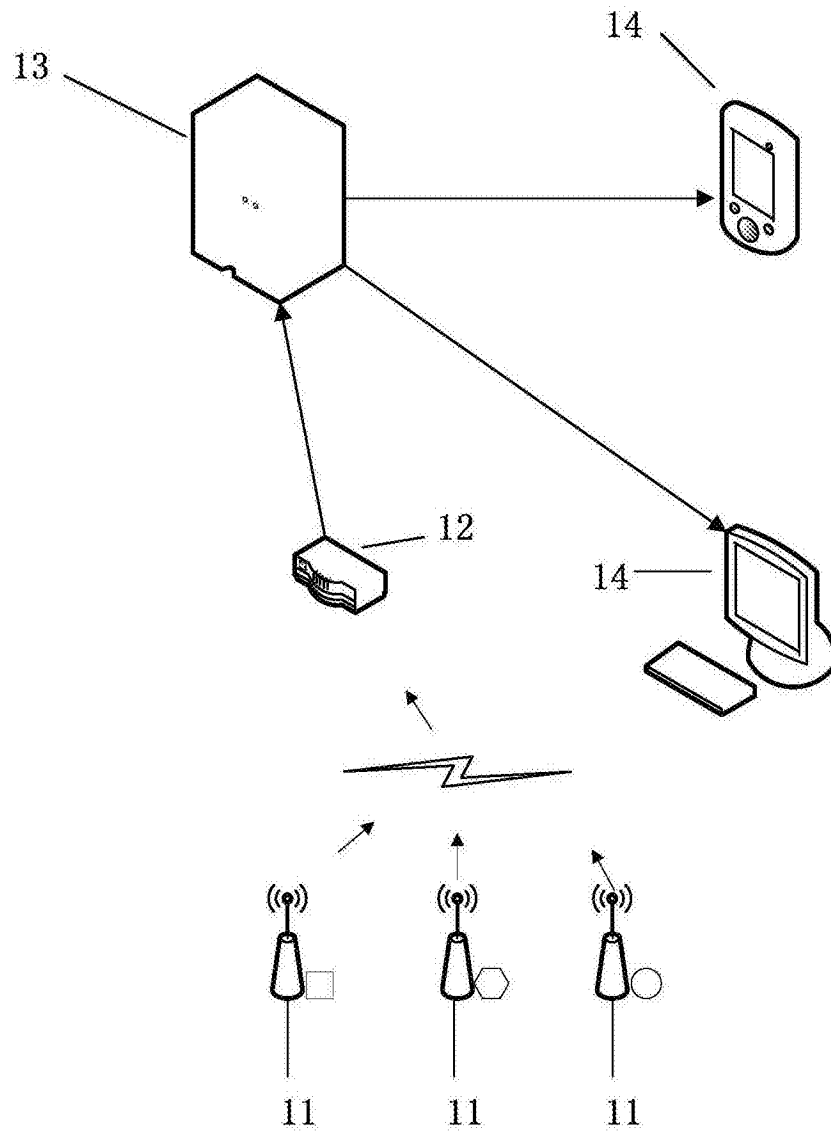


图1

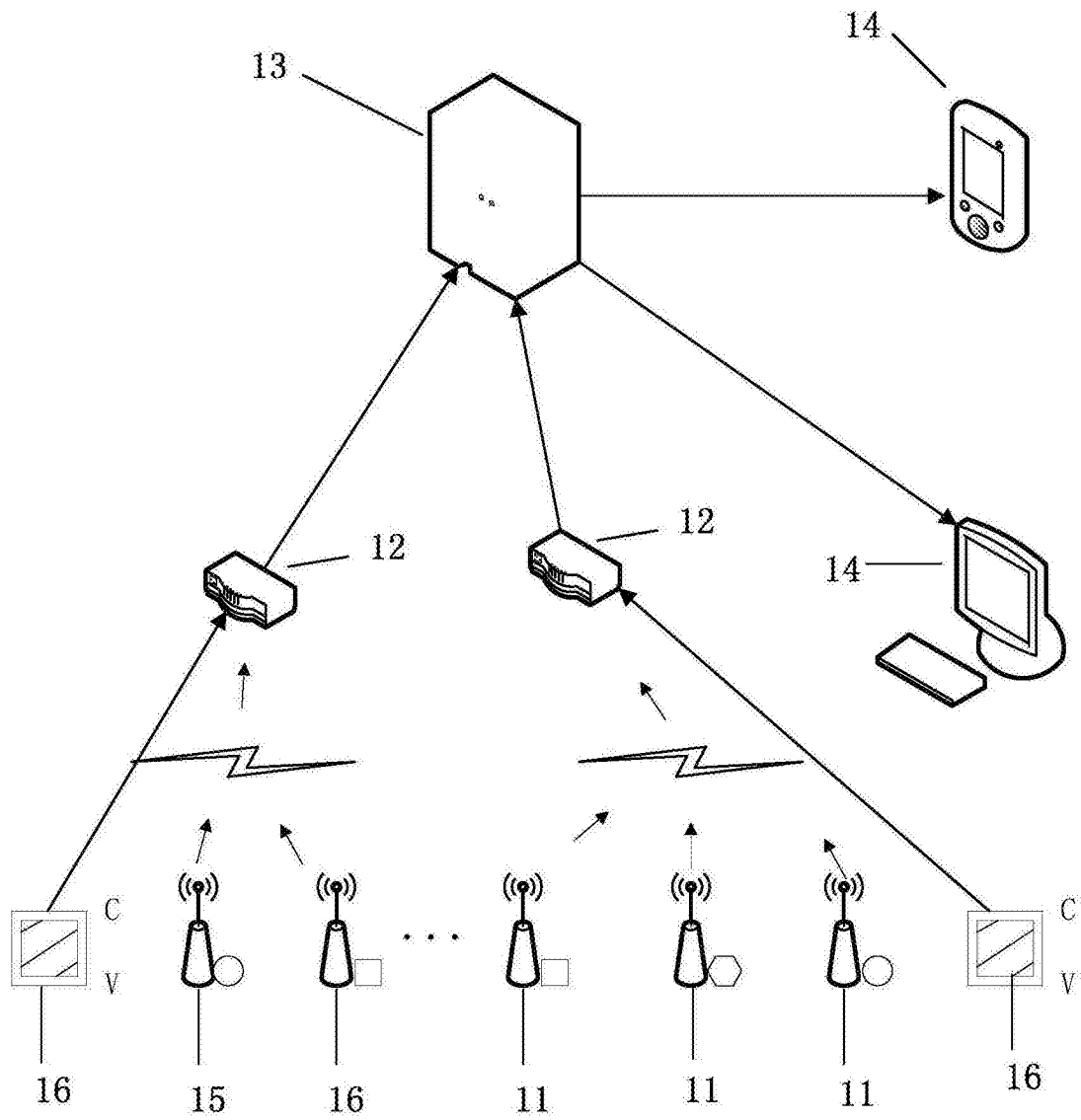


图2

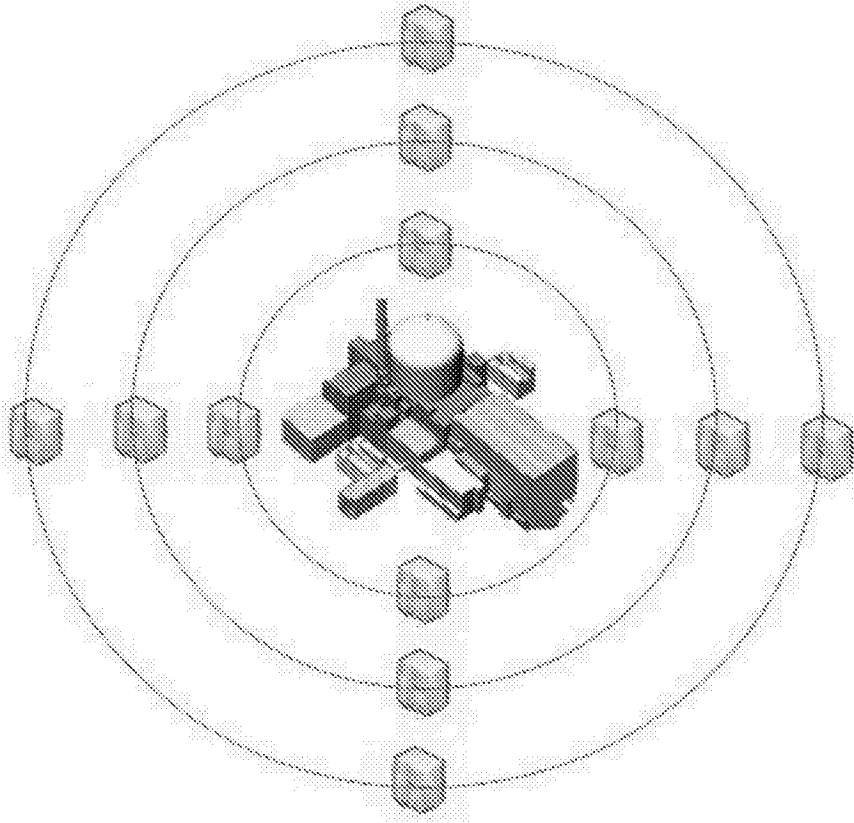


图3