



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107798467 A

(43)申请公布日 2018.03.13

(21)申请号 201710939980.5

(22)申请日 2017.10.11

(71)申请人 杭州市环境保护科学研究院

地址 310014 浙江省杭州市拱墅区德胜路
218号

(72)发明人 卢滨 陈义中 常文婷

(74)专利代理机构 杭州九洲专利事务所有限公
司 33101

代理人 王洪新 王之怀

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/26(2012.01)

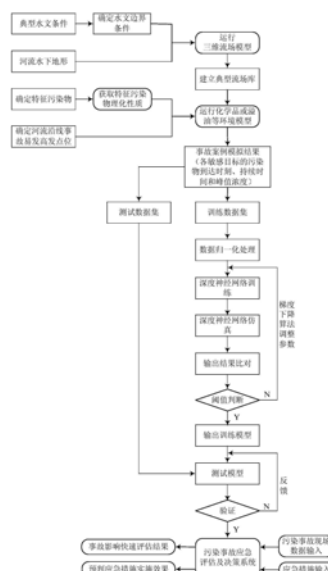
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

基于深度学习的水污染突发事故快速应急
评估和决策方法

(57)摘要

本发明涉及环境保护领域。目的是提供一种基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,在通过深度学习建立的神经网络模型基础上,快速形成应急评估结论并用于应急决策的技术支撑。技术方案是:一种基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,包括以下步骤:(1)确定上游水文条件;(2)确定下游水文条件;(3)通过测绘获取高精度的河流水下地形数据;(4)选定最为典型的目标位置(即敏感目标)作为应急评估和决策时的生态环境保护对象,同时作为深度学习的输出对象;(5)建立典型流场数据库;(6)确定河流沿线事故易发高发点位;(7)建立典型突发水污染事故案例库;(8)建立突发事故应急评估和决策系统。



1. 一种基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,包括以下步骤:

1) 确定上游水文条件;针对特定河流,按所属行政区划为界,分析上游来水的流量特征,选取典型水文条件数据,从中总结归纳并按特定流量间隔设定不同的流量作为上游水文边界条件;

2) 确定下游水文条件;

若特定河流为潮汐河流,则下游水文边界为潮汐性往复流,12种潮汐类别按顺序分别赋值1~12,作为下游水文条件;

若下游边界流场是恒定流,则使用下游水位或流量作为下游水文条件;

3) 通过测绘获取高精度的河流水下地形数据,建立河流的三维流场;

4) 全面梳理河流沿线饮用水源地、水生态环境敏感目标的经纬度位置或范围,选定数组最为典型的目标位置作为应急评估和决策时的生态环境保护对象;

5) 根据河流周边存储、生产和运输的主要危险化学品、油品等特征污染物,选取常见特征污染物并查询理化性质数据,包括密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力、沸点及蒸发常数参数;

6) 建立典型流场数据库

根据1)中确定的上下游边界条件,结合(2)中的地形数据,进行数值模拟计算,针对不同水文条件的组合建立典型的三维流场数据库;

7) 确定河流沿线事故易发高发点位,以事故点位与起点的距离表示;

8) 典型突发水污染事故情景的模拟计算;按照7)中确定的事故发生位置和7)中确定的事故发生时刻,选取4)中的特征污染物并分别设定泄漏量,结合5)中的流场数据库,形成的情景案例大于等于1500个,逐个用环境专业模型进行数值模拟计算;获得污染物进入水体后的转移和扩散的数学模型;

9) 将上述情景案例计算结果存入数据库形成典型突发水污染事故案例库,计算结果包括各敏感目标的污染物到达时刻、超阈值持续时间和最大峰值浓度;随机选取情景案例中的90%作为深度学习的训练数据集,其余10%案例作为测试数据集,用于后续的深度学习深度神经网络;

10) 采用深度学习的方法,基于深度神经网络建立突发水污染事故应急评估和决策模型;

11) 建立突发事故应急评估和决策系统;系统由输入单元、运算单元和输出单元组成;

输入单元对突发事故发生的位置、污染物泄漏量、污染物的密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力及蒸发常数,以及上下游流量或潮位等数据进行归一化处理后,输入到运算单元;

运算单元由10)建立的突发污染事故应急评估和决策模型对输入数据进行运算,在15min内快速计算出结果;

输出单元对运算结果进行反归一化换算,输出下游敏感目标的峰值浓度、到达时刻和持续时间;

12) 应用

突发污染事故应急评估和决策系统,可根据应急专家提出的方案迅速评估应急措施的效果;或者预先设定几种应急措施进行评估,然后将评估结论提供给应急专家或应急指挥

部决策;还可根据应急评估中污染达到时刻和持续时间,对现场应急监测的人员、布点和监测时间进行科学分配和指导。

2. 根据权利要求1所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,其特征在于:所述步骤1)中的典型水文条件数据,包括上游流量、下游流量、水位或潮位等历史数据或实测数据;如有人工构筑物,则需分析其下泄流量的分布规律,从中总结归纳并按特定流量间隔设定不同的流量作为流量边界条件;设定的流量必须覆盖历史极大值和极小值,设定流量数大于等于10组。

3. 根据权利要求2所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,其特征在于:所述步骤2)中的12种潮汐类别为:大潮涨憩、大潮涨急、大潮落憩、大潮落急、中潮涨憩、中潮涨急、中潮落憩、中潮落急、小潮涨憩、小潮涨急、小潮落憩以及小潮落急。

4. 根据权利要求3所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,其特征在于:所述步骤3)中,为应对各类复杂污染物的应急评估,需获取详细的河流水下地形数据,以便于建立河流的三维流场;测绘时纵向长度小于500m,横向小于100m,如遇到河流弯曲或有岛屿则需加密横向测点。

5. 根据权利要求4所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,其特征在于:所述步骤5)中特征污染物大于等于5个,特征污染物性状类型包括悬浮态、胶状态、溶解态3类。

6. 根据权利要求5所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,其特征在于:所述步骤6)中三维流场数据库,采用ECOMSED源代码模式进行二次开发,建立三维水动力模型,垂向分为5层,网格最大分辨率50-60m;三维流场模型方程如下:

$$(1) \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q$$

式中:G为坐标变换张量;(U,V)为(ξ , η)方向的垂向平均流速;d为水深, ζ 为水位, $d+\zeta=H$ 为总水深;Q为源、汇项,表示为:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + Pr - Ev$$

式中: q_{in} 和 q_{out} 分别为单位体积的源和汇,Pr为降水项,Ev为蒸发项;

(2) 边界条件。在底床上,动量方程的边界条件为:

$$\left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{b\xi} \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{b\eta}$$

式中: $\tau_{b\xi}$ 和 $\tau_{b\eta}$ 分别为底部切应力 τ_b 在 ξ 和 η 方向上的分量;

(3) 表面边界条件为:

$$\left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_a| \cos(\theta) \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_a| \sin(\theta)$$

式中: $\vec{\tau}_a$ 为表面风应力, θ 为风应力与 η 方向的夹角;

(4) 开边界条件。通过水位变化作为模式的驱动,水位 ζ 的表达式为:

$$\zeta = A + \sum_{i=1}^{m_d} f_i H_i \cos[\omega_i t + (V_0 + u)_i - g_i]$$

式中： A 为余水位，由大区计算得到； f_i 为各分潮的交点因子， $(V_0+u)_i$ 为分潮的天文相角，可由地理位置及具体的年、月、日求得； ω_i 为分潮的角频率， g_i 和 H_i 为潮波的地方迟角和振幅； m_{td} 为分潮个数。

7. 根据权利要求6所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法，其特征在于：所述步骤8)中污染物进入水体后的转移和扩散模型，包括挥发、水解、表面扩展、蒸发等过程的如下数学模型；

$$(1) \text{ 挥发速率的预测: } \partial c / \partial t = -K_v (c - p / K_H) / Z = -K_v' (c - p / K_H)$$

式中： c 为溶解相中化学物质的浓度； K_v 为挥发速率常数； K_v' 为单位时间混合水体的挥发速率常数； Z 为水体的混合深度； p 为在所研究的水体上面，化学物质在大气中的分压； K_H 为亨利定律常数；

$$(2) \text{ 水解反应的过程: } R_H = K_h [c] = \{K_A [H^+] + K_N + K_B [OH^-]\} [c]$$

式中： K_A 、 K_B 、 K_N 分别为酸性催化、碱性催化和中性过程的二级反应水解速率常数； K_h 为在某一pH值下准一级反应水解速率常数；

$$(3) \text{ 表面扩展变化速率计算: } \tilde{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \left(\frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3}$$

式中： A_{tk} 为油膜表面积 (m^2)； K_1 为扩展速率系数 ($1/s$)； V_m 为表面油膜体积 (m^3)； t 为时间 (s)； \tilde{A}_{tk} 为单一油颗粒表面积变化率；

$$(4) \text{ 蒸发速率计算: } F_v = \ln [1 + B (T_G / T) \theta \exp (A - B T_0 / T)] [T / B T_G]$$

式中： T_0 为修正蒸馏曲线的起始沸点 (K)； T_G 为修正蒸馏曲线的斜率； T 为环境温度 (K)； A 、 B 为无量纲常数； t 为时间 (s)； θ 为蒸发方向。

8. 根据权利要求7所述的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法，其特征在于：所述步骤10)中建立突发水污染事故应急评估和决策模型的具体步骤包括：

(1) 数据预处理：将9)中准备的训练数据集进行归一化处理，对数据的每一个维度的值进行重新调节，转换函数如下：

$$x = (x - \min) / (\max - \min)$$

(2) 训练环境：采用Tensorflow深度学习框架，用Python语言来实现深度神经网络模型；

(3) 深度神经网络模型采用Wide And Deep模型，隐含层不少于3层，激活函数使用ReLU修正线性单元，各层权重梯度更新算法的优化函数采用Adagrad算法；

(4) 结合(1)中重新调节后的训练数据，对深度神经网络模型进行训练，确定模型中各结点的权重值、偏差值参数，建立深度神经网络模型；

(5) 采用另外的测试数据对模型进行准确度计算，当测试验证结果符合设定的准确度，完成模型学习过程，最终输出的模型作为突发污染事故应急评估和决策模型。

基于深度学习的水污染突发事件快速应急评估和决策方法

技术领域

[0001] 本发明涉及环境保护领域,具体是一种用于应对水污染突发事件的快速应急评估和决策方法。

背景技术

[0002] 长期以来,日益恶化的水污染突发事件始终是国内外大多数城市水源地安全的重要威胁。这些水污染突发事件既包括工业污水、生活废水、面源等常规污染事故,也包括船舶、码头的化学品和石油泄漏、工业事故排放、恐怖袭击等突发性水污染事件。统计资料显示,近年来世界各地因溢油、有毒化学品泄漏等造成的突发污染事故频现,环境污染严重,生态损失巨大。

[0003] 目前国内外普遍采用水动力数学模型作为水污染突发事件对生态环境影响进行评估和应急决策的一种有效手段,基于预测评估结果进行科学的决策,采取相应的应急措施。这种方法虽然能够提供科学定量的评估结果,但在现实中由于条件限制,同时受到水文流场、污染物种类和泄漏量、事故发生地点等众多不确定因素的影响,基本不可能在极短时间内迅速建立可靠的水环境数学模型,特别是在遇到较宽较深的大中型河流或污染物属于不溶或半溶性的物质等复杂情况时需要使用三维模型进行模拟预测,而三维模型更加难以在短时间完成应急模型的建立和运算。一旦突发事件发生,如果不能在短时间内提供可靠的定量化的预测评估结果供决策判断,就无法快速的制定科学的应急措施以减小突发事件对生态环境和生产生活的影响。

发明内容

[0004] 本发明的目的是克服上述背景技术的不足,提供一种基于深度学习的水污染突发事件快速应急评估和决策方法,可在非常短的时间内根据事故现场获取的有限资料,在通过深度学习建立的神经网络模型基础上,快速形成应急评估结论并用于应急决策的技术支撑,帮助应急管理部门快速制定科学的应急措施。

[0005] 本发明提供的技术方案是:一种基于深度学习的水污染突发事件快速应急评估和决策方法,包括以下步骤:

[0006] 1) 确定上游水文条件。针对特定河流,按所属行政区划为界,分析上游来水的流量特征,选取典型水文条件数据,包括上游流量、水位等历史数据或实测数据。如有人工构筑物,则需分析其下泄流量的分布规律,从中总结归纳并按特定流量间隔设定不同的流量作为上游水文边界条件;设定的流量必须覆盖历史极大值和极小值,设定上游水文条件大于等于10组。

[0007] 2) 确定下游水文条件。若特定河流为潮汐河流,则下游水文边界为潮汐性往复流(下游流场根据潮汐动态变化),下游水文条件由于潮汐影响,流场的变化情况比较复杂,包括12种潮汐类别:大潮涨憩、大潮涨急、大潮落憩、大潮落急、中潮涨憩、中潮涨急、中潮落憩、中潮落急、小潮涨憩、小潮涨急、小潮落憩、小潮落急。潮汐类别按顺序分别赋值1~

12,作为下游水文条件。若下游边界流场不是潮汐往复流,而是恒定流,则使用下游水位或流量作为下游水文条件。

[0008] 3) 通过测绘获取高精度的河流水下地形数据。为应对各类复杂污染物的应急评估,需获取详细的河流水下地形数据,以便于建立河流的三维流场。测绘时纵向长度小于500m,横向小于100m,如遇到河流弯曲或有岛屿则需加密横向测点。

[0009] 4) 全面梳理河流沿线饮用水源地、水环境生态敏感目标的经纬度位置或范围,选定数组最为典型的目标位置(即敏感目标)作为应急评估和决策时的生态环境保护对象,同时作为深度学习的输出对象。

[0010] 5) 根据河流周边存储、生产和运输的主要危险化学品、油品等特征污染物,选取常见特征污染物并查询理化性质数据,包括密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力、沸点及蒸发常数等参数。特征污染物大于等于5个,特征污染物性状类型应包括悬浮态、胶状态、溶解态3类。

[0011] 6) 建立典型流场数据库

[0012] 根据1)中确定的上下游边界条件,结合步骤3)中的地形数据,进行数值模拟计算,针对不同水文条件的组合分别通过三维流场模型计算建立典型的三维流场数据库(三维流场模型方程是模型中描述流体力学过程的公式表示。三维流场数据库是模型在不同水文条件下计算得到的三维流场模拟结果数据所组成的一个计算结果查询库);三维流场模型采用ECOMSED源代码模式进行二次开发,建立的三维水动力模型,垂向分为5层,网格最大分辨率50-60m。三维流场模型的基本连续方程如下:

$$[0013] \quad (1) \quad \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial [(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q$$

[0014] 式中:G为坐标变换张量;(U,V)为(ξ,η)方向的垂向平均流速;d为水深,ζ为水位,d+ζ=H为总水深;Q为源、汇项,表示为:

$$[0015] \quad Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + Pr - Ev$$

[0016] 式中:q_{in}和q_{out}分别为单位体积的源与汇,Pr为降水项,E_v为蒸发项;

[0017] (2) 边界条件;在底床上,动量方程的边界条件为:

$$[0018] \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{b\xi} \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=-1} = \frac{1}{\rho_0} \tau_{b\eta}$$

[0019] 式中:τ_{bξ}和τ_{bη}分别为底部切应力τ_b在ξ和η方向上的分量;

[0020] (3) 表面边界条件为:

$$[0021] \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_a| \cos(\theta) \quad \left. \frac{v_v}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right|_{\sigma=0} = \frac{1}{\rho_0} |\vec{\tau}_a| \sin(\theta)$$

[0022] 式中:τ_a为表面风应力,θ为风应力与η方向的夹角;

[0023] (4) 开边界条件;通过水位变化作为模式的驱动,水位ζ的表达式为:

$$[0024] \quad \zeta = A + \sum_{i=1}^{m_H} f_i H_i \cos[\omega_i t + (V_0 + u)_i - g_i]$$

[0025] 式中:A为余水位,由大区计算得到;f_i为各分潮的交点因子,(V₀+u)_i为分潮的天

文相角,可由地理位置及具体的年、月、日求得; ω_i 为分潮的角频率, g_i 和 H_i 为潮波的地方迟角和振幅; m_{td} 为分潮个数。

[0026] 7) 确定河流沿线事故易发高发点位

[0027] 对河流沿线的地形地貌、交通道路、桥梁、工业集聚区等进行分析,确定 沿线事故易发高发的位置,以事故点位与起点(一般以河流行政交界处、重要 人工构筑物或源头为起点)的距离表示;确定的事故点位大于等于10个。

[0028] 8) 典型突发水污染事故情景的模拟计算;按照7)中确定的事故发生位置,选取5)中的特征污染物并分别设定泄漏量(一般取值范围在0.2~50t),结合6)中的流场数据库,形成的情景案例大于等于1500个,逐个用环境专业模型进行 数值模拟计算;获得污染物进入水体后的转移和扩散模型,包括挥发、水解、表面扩展、蒸发等过程的如下数学模型(化学品或溢油等环境模型);

[0029] (1) 挥发速率的预测: $\partial c / \partial t = -K_v (c - p / K_H) / Z = -K'_v (c - p / K_H)$

[0030] 式中: c 为溶解相中化学物质的浓度; K_v 为挥发速率常数; K'_v 为单位时间 混合水体的挥发速率常数; Z 为水体的混合深度; p 为在所研究的水体上面,化 学物质在大气中的分压; K_H 为亨利定律常数;

[0031] (2) 水解反应的过程: $R_H = K_h [c] = \{K_A [H^+] + K_N + K_B [OH^-]\} [c]$

[0032] 式中: K_A 、 K_B 、 K_N 分别为酸性催化、碱性催化和中性过程的二级反应水解 速率常数; K_h 为在某一pH值下准一级反应水解速率常数;

[0033] (3) 表面扩展变化速率计算: $\tilde{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \left(\frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3}$

[0034] 式中: A_{tk} 为油膜表面积(m^2); K_1 为扩展速率系数(1/s); V_m 为表面油 膜体积(m^3); t 为时间(s); \tilde{A}_{tk} 为单一油颗粒表面积变化率;

[0035] (4) 蒸发速率计算: $F_v = \ln[1 + B(T_G/T)^\theta \exp(A - BT_o/T)] [T/BT_G]$

[0036] 式中: T_o 为修正蒸馏曲线的起始沸点(K); T_G 为修正蒸馏曲线的斜率; T 为环境温度(K); A 、 B 为无量纲常数; t 为时间(s); θ 为蒸发方向。

[0037] 9) 将上述情景案例计算结果存入数据库形成典型突发水污染事故案例库,计算结果包括各敏感目标的污染物到达时刻、超阈值持续时间和最大峰值浓度。随机选取其中1350组(90%)作为深度学习的训练数据集,其余150组案例(10%)作为测试数据集,用于深度学习神经网络的测试验证。

[0038] 10) 为解决提前构建的事故案例局限于有限的情景,而全流域三维流场的 构建速度过慢无法快速模拟突发事故等实际存在的问题,本发明在前述水动力 学及环境专业模型的基础上,采用深度学习的方法,基于深度神经网络建立突 发水污染事故应急评估和决策模型;具体步骤包括:

[0039] (1) 数据预处理;将9)中准备的1350组训练数据集进行归一化处理,对 数据的每一个维度的值进行重新调节,转换函数如下:

[0040] $x = (x - \min) / (\max - \min)$

[0041] (2) 训练环境;本发明采用Tensorflow深度学习框架,用Python语言来 实现深度神经网络模型;

[0042] (3) 深度神经网络模型采用Wide And Deep模型,隐含层不少于3层,激活函数使用ReLU修正线性单元,各层权重梯度更新算法的优化函数采用 Adagrad算法;

[0043] (4) 结合(1)中重新调节后的1350组训练数据,对深度神经网络模型进行训练,通过训练确定模型中各结点的权重值、偏差值参数,建立深度神经网络模型;

[0044] (5) 采用另外的150组测试数据对模型进行准确度计算,当测试验证结果符合设定的准确度,完成模型学习过程,最终输出的模型作为突发污染事故应急评估和决策模型。

[0045] 11) 建立突发事故应急评估和决策系统;系统由输入单元、运算单元和输出单元组成;

[0046] 输入单元对突发事故发生的位置、污染物泄漏量、污染物的密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力及蒸发常数,以及上下游流量或潮位等数据(数据均可从事事故现场或网络查询获取)进行归一化处理后,输入到运算单元;

[0047] 运算单元由10)建立的突发污染事故应急评估和决策模型对输入数据进行运算,在15min内快速计算出结果;

[0048] 输出单元对运算结果进行反归一化换算,输出下游敏感目标的峰值浓度、到达时刻和持续时间,为应急处置提供有力支撑。

[0049] 该突发事故应急评估和决策系统通过软件实现。

[0050] 12) 应用

[0051] 突发污染事故应急评估和决策系统具有双向决策支撑功能,可根据应急专家提出的方案迅速评估应急措施的效果;也可以预先设定几种应急措施进行评估,然后将评估结论提供给应急专家或应急指挥部决策。还可以根据应急评估中污染达到时刻和持续时间,对现场应急监测的人员、布点和监测时间进行科学分配和指导。

[0052] 本发明的有益效果是:

[0053] 本发明实用性很强,解决了一直以来面对突发污染事故,无法快速有效的建立数学模型进行定量分析的难题,突破了以往只能依靠经验判断的局限。本发明既克服了专业环境水文模型应急条件下建模困难的问题,又解决了深度学习多层神经网络需要大量数据进行训练的难题。在实际应用中,即使无法获取实时流量数据的河流也能够建立应急决策系统。本发明最大的优势在于反应时间极短,由于充分考虑的污染事故的各种条件,通过条件设置覆盖了各种突发情景,因此系统能适应突发事故的实际应急需要,可以根据现场应急指挥部的需要,迅速提供评估结果,对污染事故的影响程度有定量的结论,还可以对应急措施的实施效果进行预判,最大程度减小污染事故的影响程度。本发明还能指导现场监测布点和监测时间分配,有效提高应急状态下的监测效率,减少人力物力投入。

附图说明

[0054] 图1是本发明的工作步骤流程图。

[0055] 图2是深度神经网络结构示意图。

具体实施方式

[0056] 为了能够更清楚地理解本发明,下面结合附图和具体实施方法对本发明进一步

的详细描述,但本发明并不局限于以下实施例。

[0057] 本发明提供的基于深度学习的水污染突发事故快速应急评估和决策方法,是一种专业水文、水质模型与深度学习神经网络结合的应急预测系统,可在非常短的时间内根据事故现场获取的有限资料,在通过深度学习建立的神经网络模型基础上,快速形成应急评估结论并用于应急决策的技术支撑,能够帮助应急管理部门快速的制定科学的应急措施。

[0058] 本发明已在钱塘江(杭州段)实施,实施例以钱塘江为例进行说明。为保护钱塘江沿线的饮用水源,将钱塘江(杭州段)定为研究对象,采用历史数据和实测方式分析钱塘江(杭州段)上游来水的流量特征,选取典型水文条件,包括上游流量、水位等历史数据或实测数据。因钱塘江(杭州段)有富春江大坝,需分析大坝下泄流量的分布规律,并按特定流量间隔设定不同的流量作为流量边界条件。设定的流量覆盖历史极大值和极小值,设定流量数为10组,钱塘江(杭州段)流量从40立方米/秒到5000立方米/秒,取均匀分布的10组流量数据。钱塘江(杭州段)下游为潮汐河流,下游水文条件采用潮汐类别作为输入,共12类。

[0059] 通过测绘获取钱塘江(杭州段)水下地形数据,数据的纵向间隔小于500米,横向间隔小于50m。通过现场踏勘和资料查询,获取钱塘江(杭州段)沿线敏感目标(通常是饮用水源地,以及鱼类回流地等水环境生态目标)的位置,选定一组最为典型的目标位置作为应急评估和决策时的生态环境保护对象,同时也是深度学习的输出对象。钱塘江(杭州段)选取下游5个集中式饮用水源地取水口作为输出对象。

[0060] 根据钱塘江(杭州段)周边存储、生产和运输的主要危险化学品、油品等特征污染物,选取常见特征污染物并查询理化性质数据,包括密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力、沸点及蒸发常数等参数。特征污染物大于等于5个,特征污染物性状类型至少应包括悬浮态、胶状态、溶解态3类。实施例选取的污染物包括四氯乙烷、甲苯、1,2,4-三氯苯、苯酚、柴油共5个。

[0061] 建立典型流场库。根据上下游边界条件,结合水下地形数据,进行数值模拟计算,针对不同水文条件的组合建立典型的三维流场数据库。

[0062] 确定钱塘江(杭州段)沿线事故易发高发点位。对河流沿线的地形地貌、交通道路、桥梁、工业集聚区等进行分析,确定沿线事故易发高发的位置,以与起点(一般以河流行政交界处、重要人工构筑物或源头为起点)的距离表示。钱塘江(杭州段)确定的事故模拟点位共10个,主要为沿江道路事故易发路段或跨江桥梁,以与起点的距离作为输入数据。

[0063] 典型突发水污染事故情景的模拟计算。结合钱塘江(杭州段)拟定的事故发生位置和设定的发生时刻,选取特征污染物并分别设定泄漏量(取值范围在0.2~50t),以三维流场数据库为基础,形成的情景案例1500个,逐个用环境专业模型进行数值模拟计算。将上述情景案例计算结果存入数据库形成典型突发水污染事故案例库(见表1),计算结果包括各敏感目标(本实施例为钱塘江(杭州段)下游5个集中式饮用水源地取水口,具体可见表1)的污染物到达时刻、超阈值持续时间和最大峰值浓度。随机选取其中1350组作为深度学习的训练数据集,剩余150个案例作为测试数据集,用于后续的深度学习深度神经网络的测试练习。

[0064] 表1典型突发水污染事故案例库

[0065]

污染情景条件	上游水文 (流量, m ³ /s)		500	1000	1500	2000	.....
	下游水文/潮汐类别		2	4	5	7	.....
	事故发生位置 (km)		5.2	5.2	2.8	1.0	.....
	化学品		四氯乙烷	甲苯	1,2,4-三氯苯	1,2,4-三氯苯	.....
	污染物泄漏量(t)		15	20	10	5	.....
	溶解度 (ppm 25℃)		2850	379.3	30	30	.....
	降解系数 (- 25℃)		0.00109	0.1131	0.012	0.012	.....
	蒸发常数 (- 25℃)		0.01805	0.0365	0.0003816	0.0003816	.....
	密度(g/cm ³ 25℃)		1.553	0.867	1.454	1.454	.....
	粘度 (cP 25℃)		0.9525	0.5546	9.982	9.982	.....
	表面张力(dyn/cm 25℃)		38.75	30.90	35.97	35.97	.....
案例计算结果	敏感目标 1: 桐庐县水厂取水口	到达时刻 (h)	0	0	5	8.5	.....
		持续超阈值时间 (h)	1	1	——	——	.....
		峰值浓度 (ppb)	621	1570	10	6	.....
	敏感目标 2: 富阳区水厂取水口	到达时刻 (h)	72	71	76.5	77	.....
		持续超阈值时间 (h)	10	——	>145	>130	.....
		峰值浓度 (ppb)	202	59	232	131	.....
	敏感目标 3: 萧山区水厂取水口	到达时刻 (h)	111	112	114.5	115	.....
		持续超阈值时间 (h)	6.5	——	>80	>95	.....
		峰值浓度 (ppb)	209	60	169	206	.....
	敏感目标 4: 滨江区水厂取水口	到达时刻 (h)	116	116	119.5	119.5	.....
		持续超阈值时间 (h)	14	——	>105	>110	.....
		峰值浓度 (ppb)	412	110	943	485	.....
	敏感目标 5: 杭州市区九溪水厂取水口	到达时刻 (h)	134.5	132.5	138.5	139.5	.....
		持续超阈值时间 (h)	1	——	>94	>95	.....

[0066]

		峰值浓度 (ppb)	103	33	120	65
--	--	------------	-----	----	-----	----	-------

[0067] (鉴于该案例库数据过于庞大,为节省篇幅,表1仅提供4个案例进行说明)

[0068] 将1350组训练数据集进行归一化处理,对数据的每一个维度的值进行重新 调节,转换函数如下:

[0069] $x = (x - \min) / (\max - \min)$

[0070] 采用Tensorflow深度学习框架,用Python语言来实现深度神经网络模型;深度神经网络模型采用Wide And Deep模型;实施例的隐含层设5层,隐藏层 单元数目共50个;激活函数使用ReLU修正线性单元,各层权重梯度更新算法 的优化函数采用Adagrad算法;训练模型可以使用fit函数,评测使用evaluate 函数。上述函数均可以通过Tensorflow深度

学习框架直接调用,并通过Python 语言编程实现。

[0071] 利用1350组训练数据,对神经网络模型进行训练,通过训练确实模型 中各结点的权重值、偏差值等参数,建立神经网络模型;

[0072] 采用测试数据对模型进行准确度计算,当测试验证结果符合设定的准确度 (实施例取99.5%),完成模型学习过程,最终输出的深度学习模型作为钱塘江 (杭州段)突发污染事故应急评估和决策模型;

[0073] 钱塘江 (杭州段)突发事故应急评估和决策系统的建立。系统由输入单元、运算单元和输出单元组成,由普通软件技术人员编写完成(采用Python语言编程)。输入单元对突发事故发生的位置、污染物泄漏量、污染物的密度、溶解度、降解速率、粘度、表面张力及蒸发常数,以及上下游流量或潮位等数据(数据 均可从事故现场或网络查询获取,实施例建立了500种常见污染物的理化性质 数据库)进行归一化处理后,输入到运算单元。运算单元即突发污染事故应急 评估和决策模型,对输入数据进行运算,在15min内快速计算出结果。输出单元对运算结果进行反归一化换算,输出下游敏感目标的污染物峰值浓度、污染物到达时刻和超阈值持续时间,为应急处置提供有力支撑;

[0074] 应急决策的使用。钱塘江 (杭州段)突发污染事故应急评估和决策系统具有双向决策支撑功能。可根据应急专家提出的方案迅速评估应急措施的效果;也可以预先设定几种应急措施进行评估,然后将评估结论提供给应急专家或应急指挥部决策。此外,还可以根据应急评估中污染达到时刻和持续时间,对现场应急监测的人员、布点和监测时间进行科学分配和指导。

[0075] 假设某年某月某日某时某分钱塘江 (杭州段)高速路上突发乙醛槽罐车侧翻事故,迅速获取的事故信息是:事故发生位置为3.1km,乙醛泄漏量为12t; 查询资料获取乙醛的信息是:密度 $0.783\text{g}/\text{cm}^3$ 、溶解度406000ppm、降解速率 0.1131、粘度0.3cP、表面张力 $23.90\text{dyn}/\text{cm}$ 及蒸发常数0.0421;以及上游水文流量 $700\text{m}^3/\text{s}$ 和下游水文条件(潮汐类别9);数据全部输入本发明建立的突发污染事故应急评估系统,经过15min以内的运算,可快速获取下游5个敏感目标(重要水厂取水口)的污染物峰值浓度、污染物到达时刻和超阈值持续时间;以距离事故最近的敏感目标输出结果为例:乙醛到达下游桐庐水厂取水口的时刻为事故发生后1.5h,取水口乙醛的峰值浓度达到795ppb,乙醛超阈值的持续时间为3.5h。评估结果可直接应用于事故应急处置和决策。

[0076] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征。本行业的技术人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内,本发明的要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

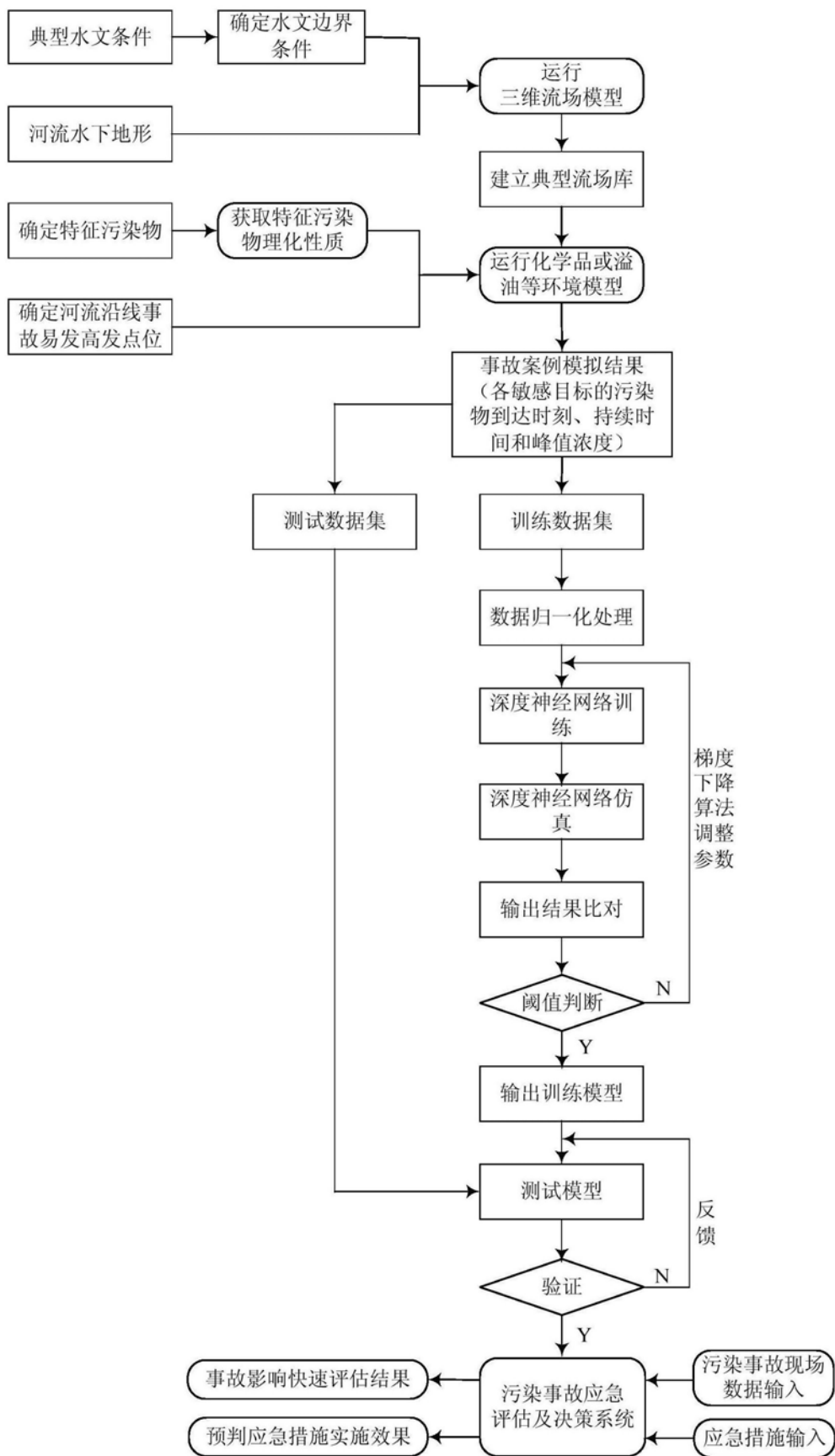


图1

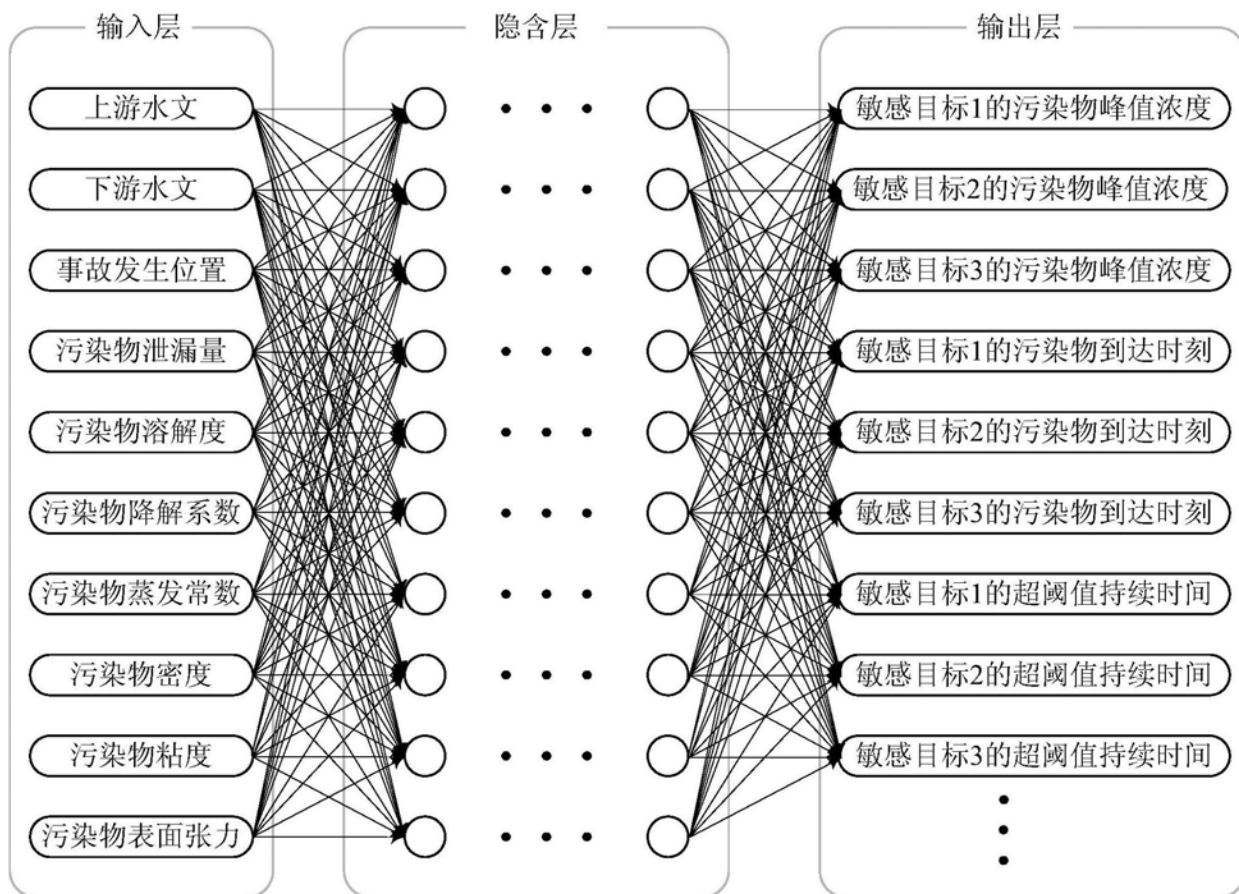


图2