

(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
2016 年 6 月 30 日 (30.06.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/101905 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 19/00 (2011.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2015/098744
- (22) 国际申请日: 2015 年 12 月 24 日 (24.12.2015)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201410830260.1 2014 年 12 月 26 日 (26.12.2014) CN
- (71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园, Beijing 100084 (CN)。北京辰安科技股份有限公司 (BEIJING GLOBAL SAFETY TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。
- (72) 发明人: 孙占辉 (SUN, Zhanhui); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。马鹏飞 (MA, Pengfei); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。陈涛 (CHEN,

Tao); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。陈涛 (CHEN, Tao); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。苏国锋 (SU, Guofeng); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。袁宏永 (YUAN, Hongyong); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。黄全义 (HUANG, Quanyi); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。李志鹏 (LI, Zhipeng); 中国北京市海淀区丰秀中路 3 号院 1 号楼, Beijing 100094 (CN)。

(74) 代理人: 北京东方亿思知识产权代理有限责任公司 (BEIJING EAST IP LTD.); 中国北京市东城区东长安街 1 号东方广场东方经贸城东 2 座 1601 室, Beijing 100738 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

[见续页]

(54) Title: VOLCANIC ASH DIFFUSION PREDICTION METHOD AND APPARATUS, AND EARLY WARNING METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 火山灰扩散预测方法和装置、以及预警方法和装置

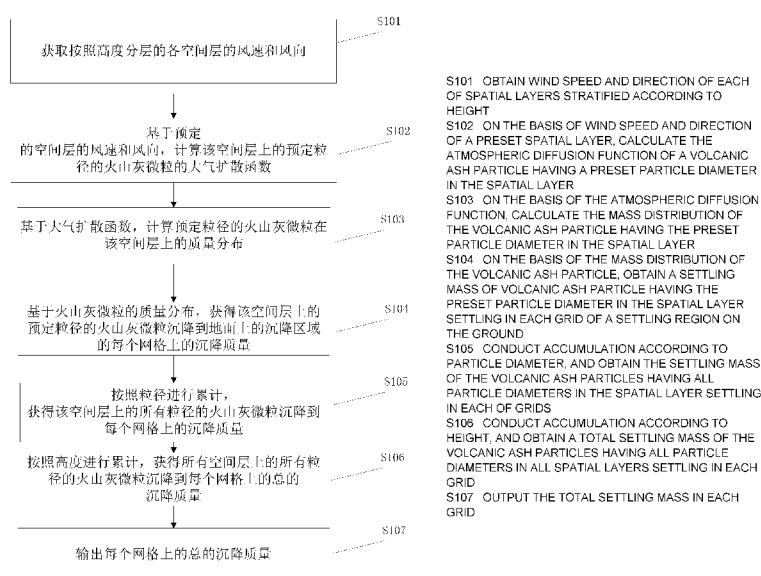


图 2 / FIG. 2

(57) Abstract: Provided are a volcanic ash diffusion prediction method and apparatus and early warning method and apparatus. The method comprises: obtaining wind speed and direction of each of spatial layers stratified according to height (S101); on the basis of wind speed and direction of a preset spatial layer, calculating the atmospheric diffusion function of a volcanic ash particle having a preset particle diameter in the spatial layer (S102); on the basis of the atmospheric diffusion function, calculating the mass distribution of the volcanic ash particle having the preset particle diameter in the spatial layer (S103); on the basis of the mass distribution of the volcanic ash particle, obtaining a settling mass of the volcanic ash particle having the preset particle diameter in the spatial layer settling in each grid of a settling region on the ground (S104); conducting accumulation according to particle diameter, and obtaining the settling mass of volcanic ash particles having all different particle diameters in the spatial layer settling in each grid (S105); conducting accumulation according to height, and obtaining a total settling mass of the volcanic ash particles having all particle diameters in all spatial layers settling in each grid (S106); outputting the total settling mass in each grid (S107). The volcanic ash diffusion prediction method and apparatus can more realistically predict a volcanic diffusion process.

according to height, and obtaining a total settling mass of the volcanic ash particles having all particle diameters in all spatial layers settling in each grid (S106); outputting the total settling mass in each grid (S107). The volcanic ash diffusion prediction method and apparatus can more realistically predict a volcanic diffusion process.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2016/101905 A1



JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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。

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, 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)。

(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,

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。
- 包括经修改的权利要求及声明(条约第 19 条(1))。

一种火山灰扩散预测方法和装置、以及预警方法和装置。该方法包括: 获取按照高度分层的各空间层的风速和风向 (S101); 基于预定的空间层的风速和风向, 计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数 (S102); 基于大气扩散函数, 计算预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布 (S103); 基于火山灰微粒的质量分布, 获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量 (S104); 按照粒径进行累计, 获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到每个网格上的沉降质量 (S105); 按照高度进行累计, 获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到每个网格上的总的沉降质量 (S106); 输出每个网格上的总的沉降质量 (S107)。所述火山灰扩散预测方法和装置, 能够更加真实地预测火山灰扩散过程。

火山灰扩散预测方法和装置、以及预警方法和装置

5 技术领域

本发明涉及一种火山灰扩散预测方法和装置、以及一种火山灰扩散预警方法和装置。

背景技术

10 当火山爆发时，岩石或岩浆被粉碎成细小颗粒，从而形成火山灰。火山喷发时会大量的火山灰喷向空中，这些被喷到空中的火山灰，随着大气的运动，逐渐扩散到一定的区域，然后逐渐沉降到地面。这些沉降的火山灰，对当地人民的生产、生活造成很大的影响。例如，火山灰会对人和动物的呼吸系统产生不良影响，也会使需要在清洁环境下工作的工厂无法
15 正常生产，当沉降质量很大时，还有可能导致房屋的损坏甚至倒塌。因此，发生火山喷发之后，及时预测火山灰的扩散情况，根据不同的受害程度及时发出预警，对于灾害应对工作中来说是非常重要的。

目前的火山灰扩散预测通常是基于如非专利文献 1 那样的 Suzuki 2D 模型来进行的。非专利文献 1 公开的主要内容是：对不同尺度的火山灰微粒以及所有的喷发高度进行二重积分，即可得到降落在地球表面某点上的
20 火山碎屑质量。

在非专利文献 2 中，对 Suzuki 模型的火山喷发烟柱质量分布的概率函数进行了改进，克服了原式中概率可能为负的缺陷；并对喷发柱高度和风速对沉降分布的影响进行了初步讨论。

25 在非专利文献 3 中，在 Suzuki 模型的基础上，对喷发柱扩散参数和概率扩散浓度分别进行了改进和简化，并考虑到了随高度变化的不同风速、

以及颗粒沉降速度随颗粒直径和密度的变化。

非专利文献 1: Suzuki, T. (1983). A theoretical model for dispersion of tephra. In D.Shimozuru & I. Yokoyama (Eds.). Arc Volcanism: Physics and Tectonics (pp. 95-113). Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing Company.

5 非专利文献 2: 于红梅, 许建东, 赵谊, (2007), 长白山天池火山千年大喷发空降碎屑物的数值模拟。地质地震, 29(3), 522-534。

非专利文献 3: 席道瑛, 田象燕, 高尔根, 徐利利, (2003), 爆破性火山喷发空降物的数值模拟。岩石力学与工程学报, 22 (8), 1361-1366。

10

发明内容

本发明的发明人发现, 上述的非专利文件 2 在所有高度上使用了单一的风速, 并没有考虑风速随高度变化。而且, 也未区分颗粒大小、喷发柱高度, 并一律将沉降速度设定为常数, 这显然不符合实际的火山灰沉降过程。

15

另外, 上述的非专利文件 3 没有考虑不同的火山灰微粒的粒径对沉降速度的影响, 没有给出具体的横向扩散预测方法。另外, 非专利文件 3 也没有考虑风向的变化。从而, 非专利文件 3 的技术方案也无法真实地预测火山灰扩散和沉降过程。

20 因此, 本发明提供一种火山灰扩散预测方法以及装置。

本发明的一个实施方式所提供的火山灰扩散预测方法包括: 获取按照高度分层的各空间层的风速和风向; 基于预定的空间层的风速和风向, 计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数; 基于所述火山灰微粒的大气扩散函数, 计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布; 基于所述火山灰微粒的质量分布, 获得该空间层上的预定粒径的

25

火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；按照高度进行累计，获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出所述每个网格上的总的沉降质量。

在上述的火山灰扩散预测方法中，还基于从该空间层到地面的沉降时间来计算大气扩散函数。

上述的火山灰扩散预测方法还包括：根据所述火山灰微粒的雷诺数的范围，计算出所述沉降时间。

在上述的火山灰扩散预测方法中，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数还包括：在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差；基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。

在上述的火山灰扩散预测方法中，还基于微粒质量来计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布。

在上述的火山灰扩散预测方法中，所述微粒质量是根据烟柱质量分布函数、火山灰微粒的粒径分布函数、总喷发质量计算出来的。

在上述的火山灰扩散预测方法中，通过 GIS 来呈现所述每个网格上的总的沉降质量。

本发明的一个实施方式所提供的火山灰扩散预测装置，包括：各空间层风速风向获取部，用于获取各空间层的风速和风向；大气扩散函数计算部，用于基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；质量分布计算部，用于基于所述大气扩散函

数计算部计算出的大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；沉降质量计算部，用于基于所述质量分布计算部计算出的质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；粒径累计部，用于按照粒径进行累
5 计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；高度累计部，用于按照高度进行累计，获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出部，用于输出所述每个网格上的总的沉降质量。

在上述的火山灰扩散预测装置中，所述大气扩散函数计算部还基于从
10 该空间层到地面的沉降时间来计算大气扩散函数。

在上述的火山灰扩散预测装置中，所述大气扩散函数计算部还包括沉降时间计算部，用于根据所述火山灰微粒的雷诺数的范围，计算出所述沉降时间。

在上述的火山灰扩散预测装置中，大气扩散函数计算部还包括：方差
15 计算部，用于在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差；中心点计算部，用于基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及大气扩散函数获取部，用于基于所述方差和所述中心点，获得所
20 述大气扩散函数。

在上述的火山灰扩散预测装置中，所述质量分布计算部还基于微粒质量来计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布。

在上述的火山灰扩散预测装置中，所述微粒质量是根据烟柱质量分布函数、火山灰微粒的粒径分布函数、总喷发质量计算出来的。

25 在上述的火山灰扩散预测装置中，所述输出部通过 GIS 来呈现所述每

个网格上的总的沉降质量。

本发明的其他实施方式所提供的火山灰扩散预测装置，包括：处理器；以及用于存储处理器可执行的指令的存储器，其中，所述处理器被配置为：基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出所述每个网格上的总的沉降质量。

本发明的其他实施方式所提供的火山灰扩散预测装置，包括：输入部，用于输入大气分层层数、烟柱最高点海拔；存储器，用于存储各层的高度、风速、风向；以及处理器，所述处理器包括：各空间层风速风向获取部，用于获取各空间层的风速和风向；大气扩散函数计算部，用于基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；质量分布计算部，用于基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；沉降质量计算部，用于基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；粒径累计部，用于按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；高度累计部，用于按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出部，用于输出所述每个网格上的总的沉降质量。

本发明的一个实施方式所提供的火山灰扩散预测程序，所述程序使得

计算机执行如下操作：获取按照高度分层的各空间层的风速和风向；基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出所述每个网格上的总的沉降质量。

本发明的一个实施方式所提供的存储有火山灰扩散预测程序的存储介质，所述程序使得计算机执行如下操作：获取按照高度分层的各空间层的风速和风向；基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出所述每个网格上的总的沉降质量。

根据上述的火山灰扩散预测方法和装置，通过对大气进行分层，考虑了风速和风向随着高度的变化，与使用单一风速的现有技术相比，能够贴近实际地预测实际的火山灰扩散情形。

另外，通过引入雷诺数的判断来计算沉降速度，以代替现有技术中被看作常数的沉降速度，能够更加贴近实际地预测实际的火山灰扩散情形。

另外，通过引入临界沉降时间，考虑了大气湍流对不同沉降时间的火

山灰扩散的影响，能够更加真实地预测实际的火山灰扩散情形。

本发明所提供的火山灰扩散预测方法和装置能够更加真实地预测实际的火山灰扩散情形，为应急管理中的火山灰扩散的预测提供了有效的工具，使得应急管理人员能够更加准确地掌握火山灰扩散的情形，及时准确地做出应对决策。

本发明还提供一种火山灰扩散预警方法以及装置。

本发明的一个实施方式所提供的火山灰扩散预警方法，包括：根据上述的火山灰扩散预测方法来获得沉降区域的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量；以及根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

本发明的一个实施方式所提供的火山灰扩散预警装置，包括：上述的火山灰扩散预测装置；以及预警部，用于根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

本发明的其他实施方式所提供的火山灰扩散预警装置，包括：处理器；以及用于存储处理器可执行的指令的存储器，其中，所述处理器被配置为：基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及输出所述每个网格上的总的沉降质量；根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量

线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

本发明的一个实施方式所涉及的火山灰扩散预警程序，所述程序使得计算机执行如下操作：根据上述的火山灰扩散预测方法来获得沉降区域的
5 每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量；以及根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

本发明的一个实施方式所提供的存储有火山灰扩散预测程序的存储介质，所述程序使得计算机执行如下操作：根据上述的火山灰扩散预测方法来获得沉降区域的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量；以及根据所
10 述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

根据上述的火山灰扩散预警方法和装置对火山灰扩散能够做出更加精确的预警，引导受灾区域的人们能够及时做出防护或者疏散避难，从而减少火山灰所造成的不良后果。
15

附图说明

图 1 是示出本发明的第一实施方式所涉及的火山灰扩散预测装置的简要构成的框图；

20 图 2 是示出本发明的第一实施方式所涉及的火山灰扩散预测方法的简要流程图；

图 3 是示出本发明的第一实施方式的实施例 1 的主要步骤的流程图；

图 4 是示出在本发明的第一实施方式的实施例 2 中计算大气扩散函数的具体步骤的流程图；

25 图 5 是示出本发明的第一实施方式的实施例 2 中的大气扩散函数计算

部的简要构成的框图；

图 6 是示出在实现本发明的第一实施方式的实施例 3 中计算沉降时间的具体步骤的流程图；

图 7 是示出本发明的第二实施方式所涉及的火山灰扩散预警方法的简要流程图；

图 8 是示出本发明的第三实施方式所涉及的火山灰扩散预测装置的简要构成的框图；

图 9 是处理装置的内部组件的方框图。

10 具体实施方式

<第一实施方式>

结合图 1 和图 2，对本发明的一个实施方式的火山灰扩散预测装置和方法进行说明。

如图 1 所示，本发明的第一实施方式所涉及的火山灰扩散预测装置 1 包括：各空间层风速风向获取部 101、大气扩散函数计算部 102、质量分布计算部 103、沉降质量计算部 104、粒径累计部 105、高度累计部 106、以及输出部 107。

其中，空间层风速风向获取部 101 用于获取各空间层的风速和风向（即，执行图 2 中的 S101 步骤）。

如上所述，在现有技术中，没有考虑风向和风速随高度的变化。

相对于此，在本发明中，大气被划分为多个不同水平高度的空间层。假设水平风速为高度的函数，随着高度而变化，但每层都有统一恒定的水平风速与风向。

即，将火山烟柱最高点（烟柱最高点海拔 H_m ）到火山口（火山海拔

H_0) 的大气分为 θ 层, 每层高为 ΔH_k 。

$$\sum_{k=1}^{\theta} \Delta H_k = H_m \quad (1)$$

例如, 通过大气分层模块, 根据由用户输入的大气分层层数、最高点海拔, 可自动计算出每层的层高, 生成以分层为编号的风速风向数据库, 该数据库包含各层的高度、风速 v_k 、以及风向 λ 。也就是说, 可以将各层的高度、风速 v_k 、以及风向 λ 存储在例如图 9 中的外存 402、ROM 403、RAM404 等的存储设备中。另外, 用户可以通过图 9 中的输入设备 401 来输入大气分层层数、最高点海拔等参数。所述参数不限于大气分层层数、最高点海拔, 只要是能够计算出各层的高度、风速 v_k 、以及风向 λ 的参数即可。空间层风速风向获取部 101 可以通过访问这样的风速风向数据库来获得按照高度分层的每个空间层的风速和风向。但也不限于此, 也可以通过人工输入的方式来获取按照高度分层的各空间层的风速和风向。

大气扩散函数计算部 102 用于基于按照高度分层的空间层的风速和风向, 计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数 (即, 执行图 2 中的 S102 步骤)。

在本发明的实施方式中, 大气扩散函数表示: 通过一个对流-扩散方程来估算预定的粒径、预定的释放高度的微粒降落到地面上的坐标为 (x, y) 的网格点上的质量分数。计算大气扩散函数的方法可以采用后面说明的如图 4 所示的方法, 也可以采用已有的方法。

质量分布计算部 103 用于基于大气扩散函数计算部 102 (在 S102 步骤) 计算出的大气扩散函数, 计算预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布 (即, 执行图 2 中的 S103 步骤)。

例如, 当将大气扩散函数表示为 $f_{i,j}(x, y)$, 并将从高度为 z_i 的空间层 i

落下的预定粒径 j 的火山灰微粒的微粒质量表示为 $M_{i,j}^0$ (kg) 时, 该预定粒径 j 的火山灰微粒在该空间层 i 上的质量分布为 $m_{i,j}(x, y)$ (kgm^{-2}):

$$m_{i,j}(x, y) = M_{i,j}^0 f_{i,j}(x, y) \quad (2)$$

沉降质量计算部 104 用于基于质量分布计算部 103 (在 S103 步骤) 计算出的质量分布, 获得所述火山灰微粒在地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量 (即, 执行图 2 中的 S104 步骤)。

可以在火山周围建立一定面积的缓冲区域作为潜在的火山灰的沉降区域, 并将该缓冲区域划分为网格点。

例如, 根据火山灰微粒的质量分布, 通过代入每个网格点的坐标, 计算出该沉降区域的每个网格点上的沉降质量。

粒径累计部 105 用于获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒在所述沉降区域的每个网格上的沉降质量 (即, 执行图 2 中的 S105 步骤)。

例如, 当 $(\Phi_{\min}, \Phi_{\max})$ 为微粒的粒径范围 ($\Phi = -\log_2 d$, 其中, d 为微粒的直径, 单位为 mm) 时, 可以先对粒径大小进行累计, 求出该空间层

上的所有粒径的火山灰微粒的质量分布为 $\sum_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} m_{i,j}(x, y)$, 然后, 通过对该质量分布代入每个网格点的坐标, 获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒在沉降区域的每个网格上的沉降质量。

也可以先根据每个粒径的火山灰微粒的质量分布, 求出每个粒径的火山灰微粒的沉降质量, 再对所有粒径的沉降质量进行累计, 从而获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒在沉降区域的每个网格上的沉降质量。

高度累计部 106 用于获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒在所述沉降区域的每个网格上的沉降质量。即, 执行图 2 中的 S106 步骤, 按

照高度进行累计，获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒在每个网格上的总的沉降质量。

例如，假设 H_m 为火山烟柱的总高度时，可以先求出所有空间层上的

所有粒径的火山灰微粒的质量分布 $\sum_{i=0}^{H_m} \sum_{\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} m_{i,j}(x,y)$ ，然后，对该质量分布代
 5 入每个网格点的坐标，获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒在沉降区域的每个网格上的总的沉降质量。

也可以先根据每个空间层上的火山灰微粒的质量分布，求出每个空间层的火山灰微粒的沉降质量，再对所有高度的沉降质量进行累计，从而获得所有空间层上的所有粒径的火山灰微粒在沉降区域的每个网格上的总的
 10 沉降质量。

输出部 107 用于输出每个网格上的所述火山灰微粒的沉降质量（即，执行图 2 的 S107 步骤）。

<实施例 1>

第一实施方式所涉及的火山灰扩散预测方法可以具体由以下的实施例
 15 1 来实现。在此，结合图 1 和图 3，详细说明该实施例 1。

首先，在 S201 步骤中，各空间层风速风向获取部 101 获取按照高度分层的各空间层的风速和风向。

在 S202 步骤中，作为潜在的火山灰的沉降区域而建立缓冲区域，并将缓冲区域划分为网格点。该步骤的操作可以由沉降质量计算部 104 来执
 20 行，也可以由其他的部件执行。

其次，在 S203 步骤中，高度累计部 106 按照高度进行积分。

例如，可以针对位于高度为 i 的空间层的微粒，以海拔积分步长 Δi 从火山口到火山烟柱最高点（海拔高度为 H_0 至 H_m ）进行积分运算。

在步骤 S204 中, 粒径累计部 105 按照粒径进行积分。

例如, 可以针对粒径为 j 的微粒, 以粒径步长 Δj 从最小粒径到最大粒径 (从 $\Phi_{\min}$ 至 $\Phi_{\max}$) 进行积分运算。

在步骤 S205 中, 大气扩散函数计算部 102 计算大气扩散函数 $f_{i,j}(x,y)$ 。

对于瞬时排放的点源, 质量守恒方程的解析解为以 x (正东) 和 y (正北) 方向为对称轴的高斯分布。即, 大气扩散函数 $f_{i,j}(x,y)$ 为高斯函数。

所述高斯函数可写为:

$$f_{i,j}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{i,j}^2} \exp \left\{ -\frac{(x - \bar{x}_{i,j})^2 + (y - \bar{y}_{i,j})^2}{2\sigma_{i,j}^2} \right\} \quad (3)$$

式中, $\bar{x}_{i,j}$ 和 $\bar{y}_{i,j}$ 是二维高斯分布中心点的坐标, $\sigma_{i,j}^2$ 为高斯分布的方差, 由大气扩散和烟柱中的水平分散所决定, 该方差 $\sigma_{i,j}^2$ 可以通过现有方法来计算。

在本实施例中, 按照高度分层的空间层的风速和风向, 计算中心点 $(\bar{x}_{i,j}, \bar{y}_{i,j})$ 。

$$\bar{x}_{i,j} = x_i + \sum_{k=0}^{z_j} \Delta x_{j,k} \quad (4)$$

$$\bar{y}_{i,j} = y_i + \sum_{k=0}^{z_j} \Delta y_{j,k} \quad (5)$$

在 $\Delta t_{j,k}$ 之后, 高斯分布的中心转移到 x - y 平面, 期间在 x 轴和 y 轴上分别发生位移 $\Delta x_{j,k} = w_{x,k} \Delta t_{j,k} \sin \theta_k$, $\Delta y_{j,k} = w_{y,k} \Delta t_{j,k} \cos \theta_k$, 其中, $w_{x,k}$ 和 $w_{y,k}$ 是风速在该空间层的水平分量, θ_k 是该空间层 (k) 风向与正东方向的夹角,

正北方向为 90 度, $0^\circ < \theta \leq 360^\circ$ 。

在本发明中, 大气被划分为诸多水平空间层, 水平风速作为高度的函数而变化, 但每个空间层都有统一恒定的水平风速与方向。每个源点 i 都位于一个水平空间层上, 从该源点释放的微粒最开始都是被该层面的风所
5 输送, 直到他们降落到下一空间层并受到不同的风向和风速的影响。这一过程会一直持续直到微粒到达地面。

接下来, 在步骤 S206 中, 质量分布计算部 103 计算微粒质量 $M_{i,j}^0$ 。

具体来说, 在 S206 步骤中, 从高度 i 的点源所释放的粒径为 j 的微粒的质量 $M_{i,j}^0$ 可以根据火山烟柱的质量分布函数 $p_z(z_i)$ 、微粒的粒径分布函数
10 $f_\Phi(\Phi)$ 、总喷发质量 M^0 来求出。

$$M_{i,j}^0 = p_z(z_i) f_\Phi(\Phi) M^0 \quad (6)$$

1. 火山烟柱的质量分布函数

微粒在上升的火山烟柱中的分布可以用不同手段来描述, 在本发明中假设火山烟柱的质量遵循对数正态分布:

$$p_z(z_i) = \frac{\exp\left[-\frac{(\ln H)^2}{2A^2}\right]}{AH\sqrt{2\pi}} \quad (7)$$

式中, $H > 0$, $H = 3(1 - \frac{z}{H_m})$, H_m 为烟柱的总高度, z 为微粒相对于火山口的高度; A 为一个无量纲的几何参数, 控制了火山烟柱的形状, 且 $0 < A \leq 1$ 。 A 越大, 表明火山碎屑越集中于火山烟柱的高处。

2. 总喷发质量

20 已知火山口以上烟柱高度 $H_m(m)$ (烟柱最高点海拔-火山口海拔), 总的喷发质量 $M^0(kg)$ 来源于一个指数的经验公式:

$$M^0 = \rho_{dep} \left(\frac{H_m}{1670} \right)^4 \Gamma \quad (8)$$

式中, ρ_{dep} (kgm^{-3}) 为火山碎屑沉积物的密度, Γ (s) 是喷发所持续的时间。

3. 粒径分布函数

- 5 假设总的粒径分布为一个以 Φ 为正态分布。对于火山沉降物, 粒径分布函数 $f_\Phi(\Phi)$ 决定了各个尺寸的微粒在沉降物中的相对数量。典型的火山碎屑沉积物粒径往往在一个中间值附近, 在 -1 到 1Φ ($0.5-1.0\text{mm}$) 之间。

$$f_\Phi(\Phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\Phi-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

$$10 \quad \Phi = -\log_2 d \quad (10)$$

式中, σ 为粒径的标准偏差, 单位是 Φ ; μ 为平均粒径, 单位也是 Φ ; d 为以 mm 为单位的微粒直径。

接下来, 在步骤 S207 中, 质量分布计算部 103 计算该空间层 i 上的预定粒径 j 的火山灰微粒的质量分布 $m_{i,j}(x,y)=M_{i,j}^0 f_{i,j}(x,y)$ 。

- 15 在步骤 S208 中, 沉降质量计算部 104 获得各网格点上的沉降质量。在此, 针对每个网格点, 可以通过在已有的沉降质量上累计新的沉降质量的方式, 获得各网格点的累计后的总的沉降质量。

在步骤 S209 中, 粒径累计部 105 判断按照粒径的循环是否结束, 若结束, 则进入步骤 S209, 若未结束, 则返回步骤 S203。

- 20 在步骤 S2010 中, 高度累计部 106 判断按照高度的循环是否结束, 若结束, 则进入步骤 S210, 若未结束, 则返回步骤 S202。

在步骤 S211 中, 输出部 107 输出各网格点的累计后的总的沉降质量。

在此，可以通过如下方式输出：将质量相同的点连接，得到火山沉积物的等质量线地图，并通过 GIS 展现所获得的火山沉积物的等质量线地图。

例如，图 9 中的输出设备 408 可以是显示器，能够将输入部 107 的输出结果以 GIS 图像的形式显示在该显示器上。

根据实施例 1，通过对大气进行分层，考虑了风速和风向随着高度的变化，与使用单一风速的现有技术相比，能够贴近实际地模拟实际的火山灰扩散情形。

<实施例 2>

接下来，参照附图 4 和图 5，对实施例 2 进行说明。实施例 2 与实施例 1 相比，其区别仅在于，计算大气扩散函数的 S205 步骤还包括 S2051 步骤~S2056 步骤。如图 5 所示，所述大气扩散函数计算部 102 还可以进一步包括：沉降时间计算部 1021、方差计算部 1022、中心点计算部 1023、大气扩散函数获取部 1024。

沉降时间计算部 1021 用于计算出所述沉降时间。即，执行 S2051 步骤，计算沉降时间 $t_{i,j}$ 。

方差计算部 1022 用于在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差。

具体来说，在 S2052 步骤中，判断微粒的沉降时间 $t_{i,j}$ 是否小于沉降时间的临界值（FTT）。

在此，引入沉降时间的临界值（FTT），当微粒沉降时间小于 FTT 时，进入步骤 S2053，当微粒沉降时间大于或等于 FTT 时，进入步骤

S2054。

大气湍流对粗颗粒的作用属于二级效应，一些火山碎屑分布模型就是基于对大气湍流可忽略的假设之上的。但是，如果微粒的降落时间较长，大气湍流便是不可忽略的。因此，本发明引入了沉降时间的临界值
5 (FTT)，针对沉降时间小于临界值和大于等于临界值的火山灰的微粒，分别采用不同的方式来计算大气扩散函数。

具体来说，分别进行 S2053 步骤和 S2054 步骤的操作。

在 S2053 步骤中，在微粒的沉降时间小于该临界值 FTT 的情况下，采用线性方程来计算大气扩散函数的方差 $\sigma_{i,j}$ 。

10 对于沉降时间 $t_{i,j}$ 较短的火山灰微粒（微粒的沉降时间小于 FTT），扩散是线性的（满足菲克定律），从而方差 $\sigma_{i,j}^2$ 为：

$$\sigma_{i,j}^2 = 4K(t_{i,j} + t_i') \quad (11)$$

在此， $K(m^2s^{-1})$ 是一个恒定的扩散系数。 $t_i'(s)$ 是在垂直烟柱中的水平扩散时间。

15 水平扩散系数 K 是各向同性的（ $K = K_x = K_y$ ）。垂直扩散系数在海拔 500m 以上时较小，因此假设其可忽略。

水平扩散时间 t_i' （高度的函数）用来描述垂直烟柱的宽度变化。这里，将烟柱在一定高度 z_i 的扩散半径 r_i 近似为： $r_i = 0.34z_i$ 。因此，设 $r_i = 3\sigma_p = 3\sigma_{i,j}$ ，其中 σ_p 是上升烟柱中物质高斯分布的标准差，对于 $t_{i,j} = 0$ ，
20 有：

$$t_i' = \frac{0.0032z_i^2}{K} \quad (12)$$

在 S2054 步骤中，在微粒的沉降时间大于或等于该临界值 FTT 的情况

下，采用指数方程来计算大气扩散函数的方差 $\sigma_{i,j}$ 。

当微粒的沉降时间较长时（微粒的沉降时间大于或等于 FTT），运送微粒的湍流结构的尺度随着时间增长。例如，直径<1mm 的微粒从 30km 高的烟柱降落，其平均降落时间>1 小时。在这种情况下，方差 $\sigma_{i,j}^2$ 可以通过下面的经验公式决定：

$$\sigma_{i,j}^2 = \frac{8C}{5} (t_{i,j} + t_i')^{2.5} \quad (13)$$

其中 C 表示涡流扩散率，由经验公式（ $C = 0.04 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ）决定。设 $t_{i,j} = 0$ ， $r_i = 3\sigma_{i,j} = 0.34z_i$ ，那么，细小颗粒的烟柱水平扩散时间为：

$$t_i' = (0.2z_i^2)^{\frac{2}{5}} \quad (14)$$

水平扩散时间 t_i' 对于粗大颗粒的总沉降时间、即 $(t_{i,j} + t_i')$ 的影响要远大于其对细小颗粒的影响，这是因为，对于细小颗粒来说是 $t_i' \ll t_{i,j}$ 。对于粗颗粒，其水平扩散时间取决于 K 值和高度，而对于细颗粒，其水平扩散时间仅取决于高度，当高度较小时，在一般情况下（即 K 值恒定），粗颗粒的水平扩散时间小于细颗粒。

中心点计算部 1023 用于基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点。即，执行 S2055 步骤，如实施例 1 那样，基于按照高度分层的风速和风向，计算中心点 $(\bar{x}_{i,j}, \bar{y}_{i,j})$ 。

大气扩散函数获取部 1024 用于基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。即，执行 S2056 步骤，根据方差 $\sigma_{i,j}$ 和中心点 $(\bar{x}_{i,j}, \bar{y}_{i,j})$ 来计算大气扩散函数。也就是说，基于公式（3）来计算大气扩散函数。

根据实施例 2，除了与实施例 1 相同的效果之外，通过引入沉降时间

的临界值，考虑了大气湍流对不同沉降时间的火山灰扩散的影响，能够更加真实地模拟实际的火山灰扩散情形。

<实施例 3>

以下，参照附图 6，对实施例 3 进行说明。实施例 3 与 2 相比，其区别仅在于，计算计算沉降时间的 S2051 步骤还包括 S251 步骤~S258 步骤。也就是说，沉降时间计算部 1021 用于根据所述火山灰微粒的雷诺数的范围，计算出所述沉降时间。

具体来说，粒径大小为 j 的微粒在每一空间层 (k) 上被风所输送，输送时间为 $\Delta t_{j,k}$ ，每空间层的厚度为 Δz_k ，则 $\Delta t_{j,k} = \Delta z_k / v_{j,k}$ ，其中 $v_{j,k}$ 为微粒的沉降速度。

微粒经过时间 $t_{i,j}$ 从坐标为 (x_i, y_i, z_i) 的源点降落到达地面，即沉降时间 $t_{i,j}$ 为：

$$t_{i,j} = \sum_{k=0}^{z_i} \Delta t_{j,k} = \frac{z_i}{v_{j,k}} \quad (15)$$

首先，在 S251 中，根据火山灰微粒的粒径，来计算雷诺数。

假设所有的火山灰都是瞬间喷发，火山灰微粒均为球状，粒径大小为 j 的微粒从烟柱的某一高度的空间层 i 释放后，其最终沉降速度是该类微粒的雷诺数的函数，雷诺数随着大气密度而变化。

$$Re = \frac{d \rho_g v}{\mu} \quad (16)$$

其中， d 为微粒直径(m)， ρ_g 为周围空气密度， μ 是空气动力粘度 (kgm-1s-1)， v 为颗粒的沉降速度(m/s)。

火山灰微粒的沉降速度取决于微粒的密度、形状以及大气的物理属性（例如，下述的第一公式~第三公式）。

微粒在大气中的降落受到重力和空气阻力的共同作用。小微粒的沉降主要受到空气阻力的作用，而较大微粒则主要受到重力的作用。也就是说，根据火山灰的大小不同，影响沉降速度的主要因素不同，应当采用不同的方法计算该沉降速度。

- 5 因此，在本实施例中，如下所述的那样，根据粒径的雷诺数的不同的范围，采用不同的公式来计算沉降速度。

由于大部分微粒在几秒钟后就可以达到其最终沉降速度（平衡状态），为了简化，在本实施例中，默认一定粒径的微粒的沉降速度是恒定的。

- 10 在 S252 步骤中，当雷诺数 $Re < Re1$ 时，进入 S253 步骤，利用第一公式来计算沉降速度。

即，当雷诺数 $Re < Re1$ （例如， $Re1=6$ ）时：

$$v_j = \frac{gd^2(\rho_j - \rho_g)}{18\mu} \quad (\text{第一公式})$$

- 15 在 S254 步骤中，当雷诺数 $Re1 \leq Re < Re2$ （例如， $Re2=500$ ）时，进入 S255 步骤，利用第二公式来计算沉降速度。

即，当 $Re1 \leq Re < Re2$ 时：

$$v_j = d \left[\frac{4g^2(\rho_j - \rho_g)^2}{225\rho_g\mu} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{第二公式})$$

在 S256 步骤中，当雷诺数 $Re2 \leq Re < Re3$ （例如， $Re3=200000$ ）时，进入 S257 步骤，利用第三公式来计算沉降速度。

- 20 即，当 $Re2 \leq Re < Re3$ 时：

$$v_j = \left[\frac{3.1gd(\rho_j - \rho_g)}{\rho_g} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{第三公式})$$

其中, ρ_j 为微粒密度, ρ_s 为周围空气密度, Re 为雷诺数, d 为微粒直径(m), μ 是空气动力粘度($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)。

微粒密度 ρ_j 可根据沉降物微粒种类的不同而分为两类, 即火山碎石(lithics) 密度 ρ_{jl} 与火山碎屑(pumice)密度 ρ_{jp} 。

5 火山碎屑一般含有大量气泡, 且其密度较小, 只有当其直径较小时, 气泡含量减少, 密度才会变大。对于直径大于 2mm 的火山碎屑密度, 可直接得到其测量值。而直径在 2mm 以下 ($>-1\Phi$) 的火山碎屑的密度随着其直径增大而线性减小。当其直径减小到 $8\mu\text{m}$ ($+7\Phi$) 以下时, 火山碎屑的密度等于火山碎石的密度。

10 火山碎石中无气泡, 在火山喷发物中所占的比例往往较小, 一般小于喷发物总质量的 15%, 其密度为定值, 一般在 $2300\text{-}2700\text{kg/m}^3$ 之间。

微粒密度的变化对于高烟柱沉降物累积的影响要远大于低矮烟柱。另外, 火山碎石的存在对模拟结果的影响较小, 故为了简化, 在本实施例中假设所有火山沉降物都是火山碎屑, 直接输入火山碎屑的微粒密度 ρ_j 来进行计算。

15 接下来, 在 S258 步骤中, 根据在步骤 S253、或 S255、或 S257 计算出的沉降速度 $v_{j,k}$, 计算沉降时间 $t_{i,j}$ 。

根据实施例 3, 除了与实施例 2 相同的效果之外, 通过根据雷诺数的不同范围来计算沉降速度, 以代替现有技术中被看作常数的沉降速度, 能够进一步贴近实际地模拟实际的火山灰扩散情形。

20 此外, 本发明的第一实施方式虽然以图 3 的 S201~S211 步骤为例说明了优选的实施例, 然而, 上述的 S201~S211 步骤并不都是必须的。将其中一些步骤省略、或替换为本领域技术人员能够想到的其他的等同的方式, 也能够实现本发明。

<第二实施方式>

如图 8 所示, 本发明的第二实施方式所涉及的火山灰扩散预警装置 2 包括上述的火山灰扩散预测装置 1 和预警判断部 30。如图 7 所示, 该实施方式所涉及的火山灰扩散预警方法包括如下 S301 步骤和 S302 步骤。

5 如上所述, 火山灰扩散预测装置 1 获得沉降区域的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量 (即, 执行 S301 步骤)。

 预警部 30 可以根据所获得的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量 (S301 步骤), 绘制出火山灰沉降等质量线, 并生成火山灰沉降预警线, 对火山灰沉降等质量线超过火山灰沉降预警线的区域发出预警 (即,
10 执行 S302 步骤)。

 该火山灰扩散预警方法对火山灰扩散能够做出更加准确的预警, 引导受灾区域的人们能够及时做出防护或者疏散避难, 从而减少火山灰所造成的不良后果。

 本发明的各个部件实施例可以以硬件实现, 或者以在一个或者多个处
15 理器上运行的软件模块实现, 或者以它们的组合实现。本领域的技术人员应当理解, 如图 9 所示, 为一个处理装置的内部组件的方框图, 它可以是工作站, 例如, 该处理装置包括一个总线 409, 总线上连接各组成结构如下所述: 该处理装置包括一个处理器 405, 处理器 405 是一块超大规模的集成电路, 是一台计算机的运算核心和控制核心。它的功能主要是解释计
20 算机指令以及处理计算机软件中的数据。处理器 405 主要包括运算器和高速缓冲存储器 406 及实现它们之间联系的数据、控制及状态的总线。

 处理装置还包括存储器, 计算机中的存储器按用途可分为主存储器 (内存), 例如, ROM (Read Only Memory image, 只读存储器) 403、
RAM (Random Access Memory, 随机存取存储器) 404 和辅助存储器 (外
25 存) 402。存储器具有用于执行上述方法中的任何方法步骤的程序代码的存储空间。例如, 用于程序代码的存储空间可以包括分别用于实现上面的方法中的各种步骤的各个程序代码。这些程序代码可以从一个或者多个计

计算机程序产品中读出或者写入到这一个或者多个计算机程序产品中。这些计算机程序产品包括诸如硬盘，光盘（CD）、存储卡或者软盘之类的程序代码载体。这样的计算机程序产品通常为便携式或者固定存储单元。该存储单元可以具有与前面所述的终端中的存储器类似布置的存储段、存储空间等。用于执行上述方法中的任何方法步骤的程序代码也可以通过网络进行下载。程序代码可以例如以适当形式进行压缩。通常，存储单元包括计算机可读代码，即可以由诸如之类的处理器读取的代码，这些代码当由服务器上运行搜索引擎程序时，导致该服务器执行上面所描述的方法中的各个步骤。

进一步地，该处理装置包括至少一个输入装置 401 用于用户与处理装置之间的相互作用，输入装置 401 可以为键盘、鼠标、图像捕捉元件，重力传感器，声音接收元件，触摸屏等；处理装置还包括至少一个输出装置 408，输出装置 408 可以是喇叭，蜂鸣器，闪光灯，图像投影单元，振动输出元件，屏幕或触摸屏等；处理设备还可以包括一个以有线或无线方式进行数据通信的通信接口 407。

在此处所提供的说明书中，说明了大量具体细节。然而，能够理解，本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下被实践。在一些实例中，并未详细示出公知的方法、结构和技术，以便不模糊对本说明书的理解。

应该注意的是上述实施例对本发明进行说明而不是对本发明进行限制，并且本领域技术人员在不脱离所附权利要求的范围的情况下可设计出替换实施例。单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的元件或步骤。位于元件之前的单词“一”或“一个”不排除存在多个这样的元件。本发明可以借助于包括有若干不同元件的硬件以及借助于适当编程的计算机来实现。在列举了若干装置的单元权利要求中，这些装置中的若干个可以通过同一个硬件项来具体体现。单词第一、第二、以及第三等的使用不表示任何顺序。可将这些单词解释为名称。

此外，还应当注意，本说明书中使用的语言主要是为了可读性和教导的目的而选择的，而不是为了解释或者限定本发明的主题而选择的。因此，在不偏离所附权利要求书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。对于本发明的范围，对本发明所做的公开是说明性的，而非限制性的，本发明的范围由所附权利要求书限定。

5 上述实施例只为说明本发明的技术构思及特点，其目的是让熟悉该技术领域技术人员能够了解本发明的内容并据以实施，并不能以此来限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作出的等同变换或修饰，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

10 虽然结合附图描述了本发明的实施方式，但是本领域技术人员可以在不脱离本发明的精神和范围的情况下做出各种修改和变形，这样的修改和变形均落入由所述权利要求所限定的范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种火山灰扩散预测方法，包括：

获取按照高度分层的各空间层的风速和风向；

5 基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；

 基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；

 基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到
10 地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；

 按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；

 按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及

15 输出所述每个网格上的总的沉降质量。

2. 如权利要求 1 所述的火山灰扩散预测方法，其中，
 还基于从该空间层到地面的沉降时间来计算大气扩散函数。

3. 如权利要求 2 所述的火山灰扩散预测方法，还包括：
 根据所述火山灰微粒的雷诺数的范围，计算出所述沉降时间。

20 4. 如权利要求 2 或 3 中的任一项所述的火山灰扩散预测方法，其特征在于，

 计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数还包括：

 在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，

25 在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程

来计算所述大气扩散函数的方差；

基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及

基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。

5 5. 一种火山灰扩散预警方法，包括：

根据权利要求 1~4 中的任一项所述的火山灰扩散预测方法来获得沉降区域的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量；以及

根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

10 6. 一种火山灰扩散预测装置，包括：

各空间层风速风向获取部，用于获取各空间层的风速和风向；

大气扩散函数计算部，用于基于预定的空间层的风速和风向，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；

15 质量分布计算部，用于基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；

沉降质量计算部，用于基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；

粒径累计部，用于按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；

20 高度累计部，用于按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及

输出部，用于输出所述每个网格上的总的沉降质量。

7. 如权利要求 6 所述的火山灰扩散预测装置，其中，

25 所述大气扩散函数计算部还基于从该空间层到地面的沉降时间来计算大气扩散函数。

8. 如权利要求 7 所述的火山灰扩散预测装置，其中：

所述大气扩散函数计算部还包括沉降时间计算部，用于根据所述火山灰微粒的雷诺数的范围，计算出所述沉降时间。

5 9. 如权利要求 7 或 8 中的任一项所述的火山灰扩散预测装置，其特征在于，

大气扩散函数计算部还包括：

方差计算部，用于在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差；

10 中心点计算部，用于基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及

大气扩散函数获取部，用于基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。

10. 一种火山灰扩散预警装置，包括：

15 权利要求 6~9 中的任一项所述的火山灰扩散预测装置；以及
预警部，用于根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

经修改的权利要求

国际局收到日：25.4月2016（25.04.2016）

1.（修改后）一种火山灰扩散预测方法，包括：

获取按照高度分层的各空间层的风速和风向；

根据所述火山灰微粒的雷诺数的数值所属的不同范围，利用不同公式计算出从该空间层到地面的沉降时间；

基于预定的空间层的风速和风向以及所述沉降时间，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；

基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；

基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；

按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；

按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及

输出所述每个网格上的总的沉降质量。

2.（修改后）如权利要求1所述的火山灰扩散预测方法，其中，

当所述雷诺数小于第一阈值时，根据第一公式计算所述沉降时间；

当所述雷诺数大于等于第一阈值且小于第二阈值时，根据第二公式计算所述沉降时间；

当所述雷诺数大于等于第二阈值且小于第三阈值时，根据第三公式计算所述沉降时间。

3.（删除）

4.（修改后）如权利要求1或2中的任一项所述的火山灰扩散预测方

法，其特征在于，

计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数还包括：

在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，

在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差；

基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及

基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。

5.（修改后）一种火山灰扩散预警方法，包括：

根据权利要求 1、2、4 中的任一项所述的火山灰扩散预测方法来获得沉降区域的每个网格上的火山灰微粒的总的沉降质量；以及

根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

6.（修改后）一种火山灰扩散预测装置，包括：

各空间层风速风向获取部，用于获取各空间层的风速和风向；

沉降时间计算部，用于根据所述火山灰微粒的雷诺数的数值所属的不同范围，利用不同公式计算从该空间层到地面的出所述沉降时间；

大气扩散函数计算部，用于基于预定的空间层的风速和风向以及所述沉降时间，计算该空间层上的预定粒径的火山灰微粒的大气扩散函数；

质量分布计算部，用于基于所述大气扩散函数，计算所述预定粒径的火山灰微粒在该空间层上的质量分布；

沉降质量计算部，用于基于所述质量分布，获得该空间层上的预定粒径的火山灰微粒沉降到地面上的沉降区域的每个网格上的沉降质量；

粒径累计部，用于按照粒径进行累计，获得该空间层上的所有粒径的

火山灰微粒沉降到所述每个网格上的沉降质量；

高度累计部，用于按照高度进行累计，获得所有空间层上的火山灰微粒沉降到所述每个网格上的总的沉降质量；以及

输出部，用于输出所述每个网格上的总的沉降质量。

7. (修改后) 如权利要求 6 所述的火山灰扩散预测装置，其中，
所述沉降时间计算部

当所述雷诺数小于第一阈值时，根据第一公式计算所述沉降时间；

当所述雷诺数大于等于第一阈值且小于第二阈值时，根据第二公式计算所述沉降时间；

当所述雷诺数大于等于第二阈值且小于第三阈值时，根据第三公式计算所述沉降时间。

8. (删除)

9. (修改后) 如权利要求 6 或 7 中的任一项所述的火山灰扩散预测装置，其特征在于，

大气扩散函数计算部还包括：

方差计算部，用于在所述沉降时间小于临界值的情况下，采用线性扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差，在所述沉降时间大于或等于所述临界值的情况下，采用指数扩散方程来计算所述大气扩散函数的方差；

中心点计算部，用于基于所述空间层的风速和风向，计算所述大气扩散函数的中心点；以及

大气扩散函数获取部，用于基于所述方差和所述中心点，获得所述大气扩散函数。

10. (修改后) 一种火山灰扩散预警装置，包括：

权利要求 6、7、9 中的任一项所述的火山灰扩散预测装置；以及

预警部，用于根据所述总的沉降质量来获得火山灰沉降的等质量线，

并生成火山灰沉降的预警线，对所述等质量线超过所述预警线的区域发出预警。

条约第19条第(1)款的声明

针对国际检索单位于 2016 年 2 月 29 日发出的国际检索报告，申请人请求对上述案件做如下修改。

对于原权利要求 1（或 6），申请人将原权利要求 2 和 3（或 7 和 8）的内容补入其中，并进行了进一步限定。具体来说，补入了“根据所述火山灰微粒的雷诺数的数值所属的不同范围，利用不同公式计算出从该空间层到地面的沉降时间”的特征。

也就是说，在本申请中，当雷诺数的数值属于不同的范围时，采用不同的公式来计算沉降速度，从而计算沉降时间，修改后的权利要求 2（或 7）是其具体示例之一。

然而，在 D1 中，仅在拖拽系数 C_a 的计算中使用了雷诺数 R_a ，并利用该拖拽系数 C_a 来计算了降落速度 V_t 。即，在 D1 中，并没有考虑雷诺数 R_a 所属的范围，不管雷诺数的大小如何，都通过相同的方法计算降落速度 V_t 。

因此，D1 并没有披露修改后的权利要求 1（或 6）的技术方案。



图 1

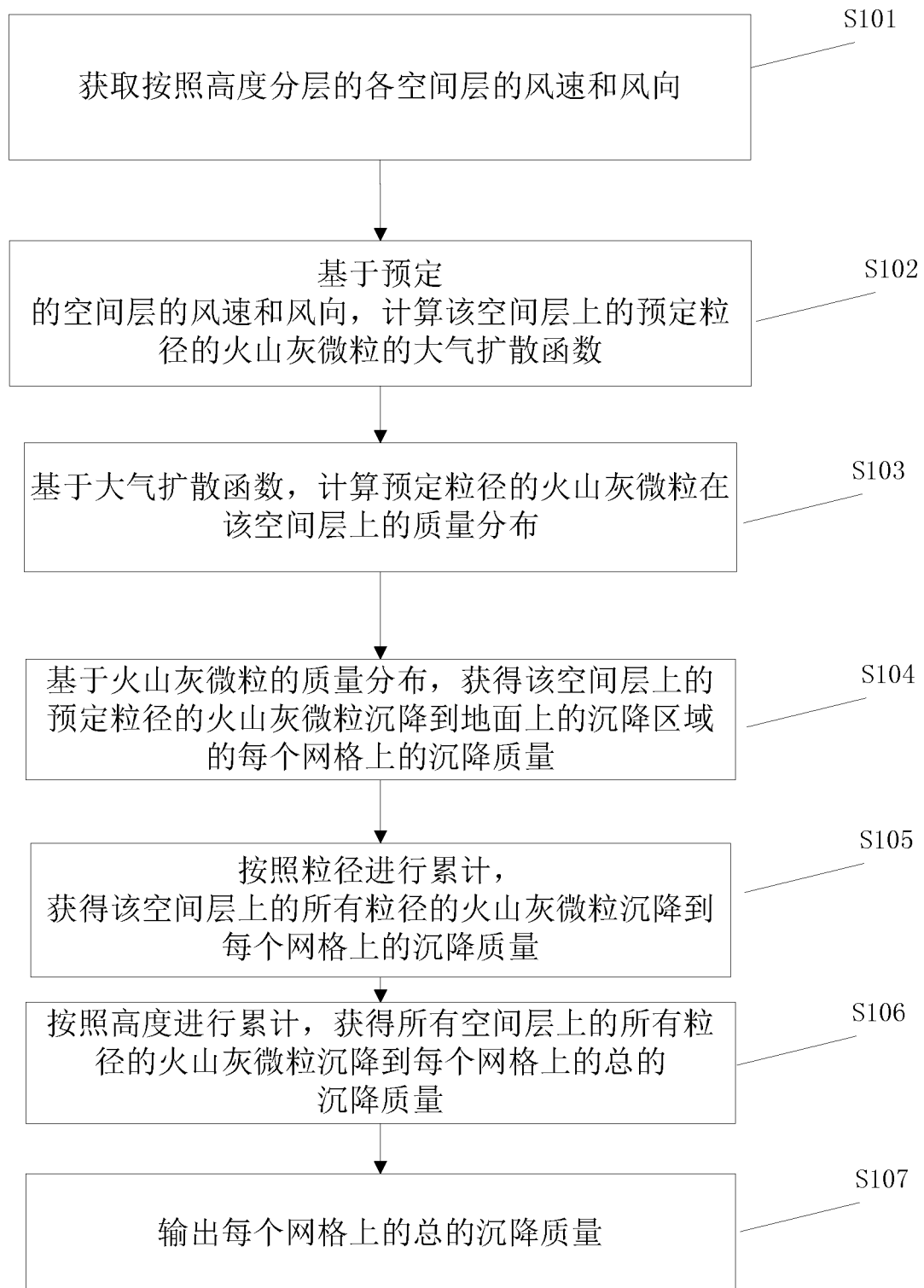


图 2

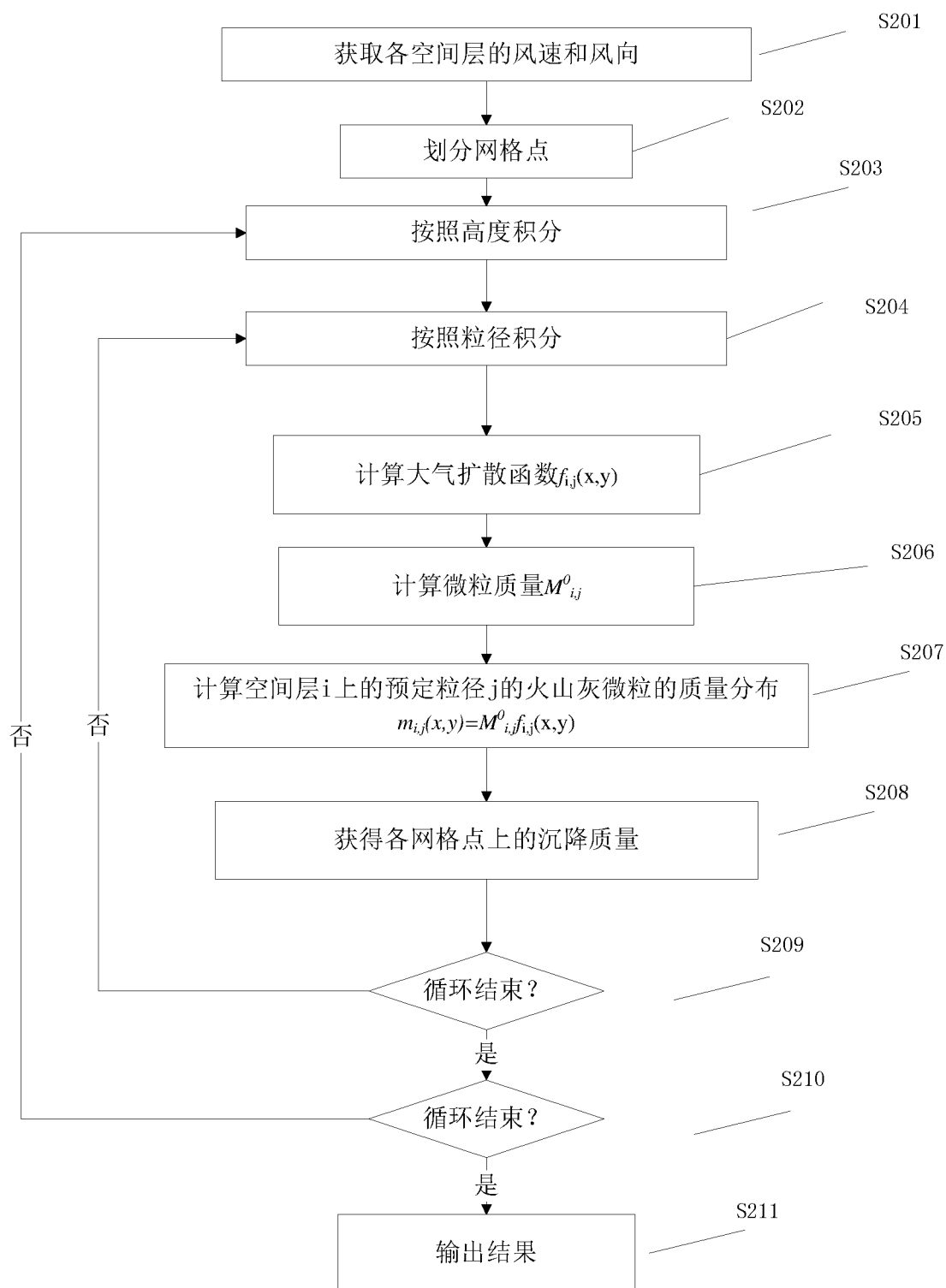


图 3

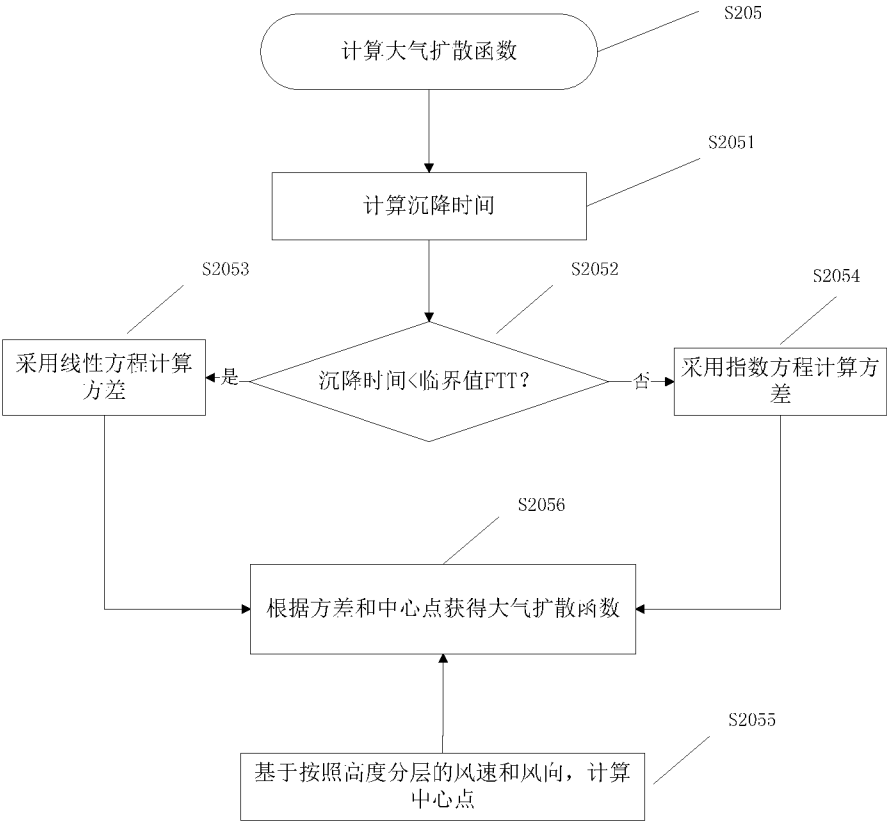


图 4

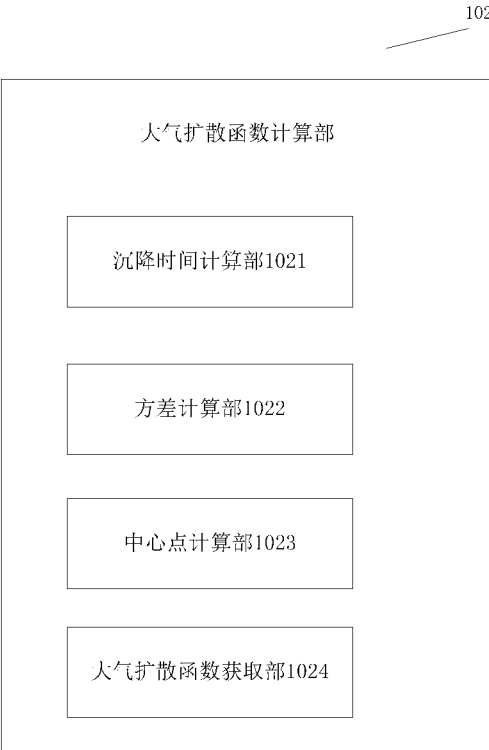


图 5

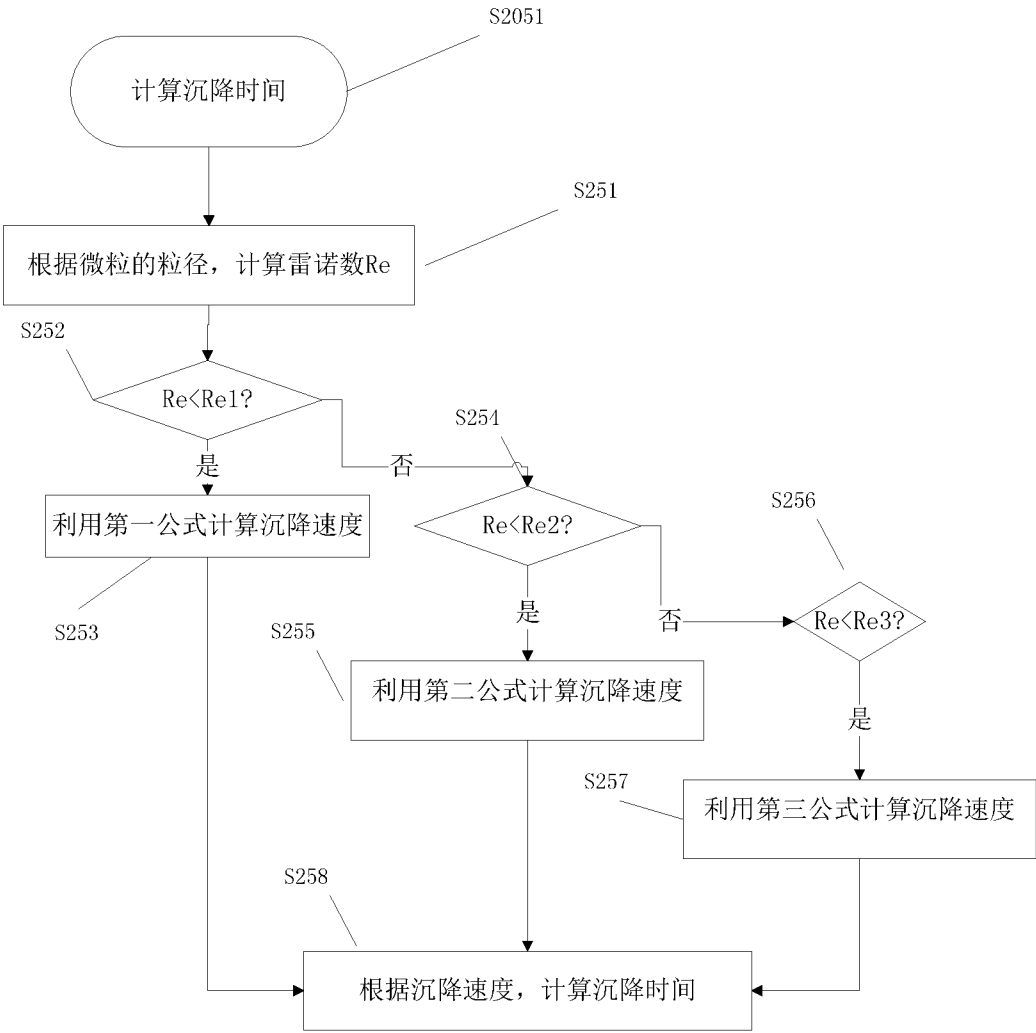


图 6

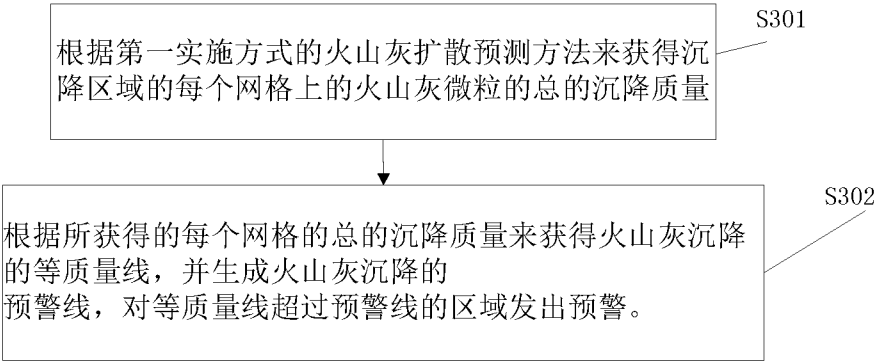


图 7

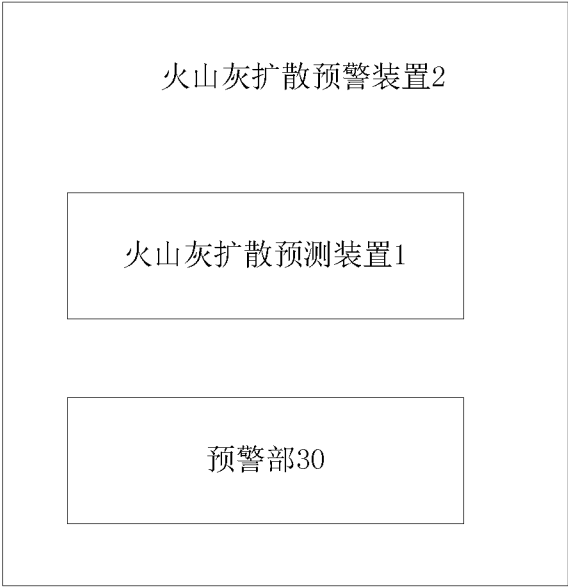


图 8

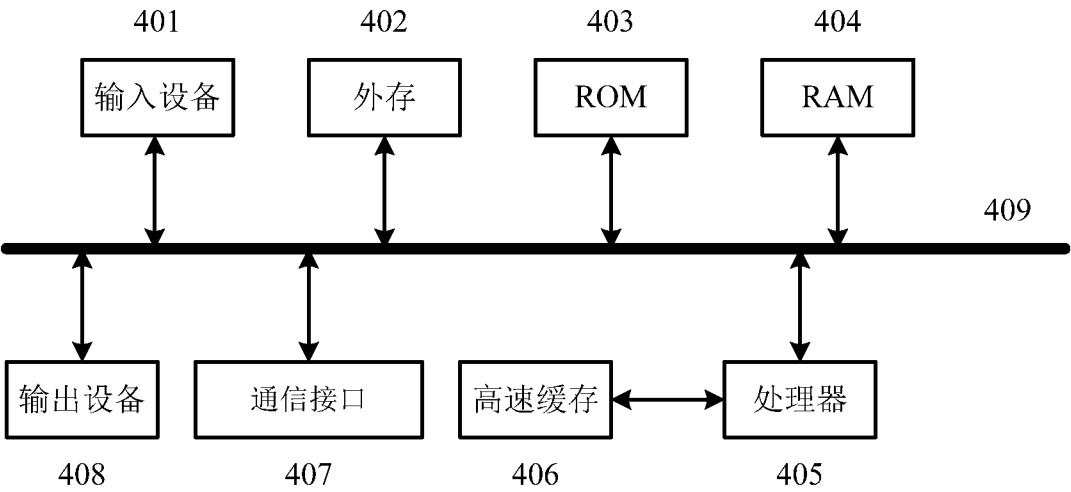


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/098744

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 19/00 (2011.01) 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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, IEEE: grain size, wind direction, tephra, debris, fragment, dust, volcano, volcanic erupt?, grid, mass, quality, diameter, fallout, diffusion, dispersion, erupt, wind velocity, height

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ZHAO, Yi et al. 2d-Numerical Simulation of Dispersion of Tephra Fallout, Seismology and Geology, vol. 24, no. 3, 30 September 2002 (30.09.2002) ISSN: 0253-4967, page 378, line 25 to page 380, line 27	1-10
Y	ZHAO, Yi et al. 3d-Numerical Simulation of Dispersion of Tephra Fallout, Annual of the Chinese Geophysical Society 2002-18 th Annual Meeting Collection of the Chinese Geophysical Society, 31 December 2002 (31.12.2002) lines 8-18	1-10
A	TANG, Daoying et al. Numerical Simulation on Airborne Substances of Blasting Volcanic Eruption, Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, vol. 22, no. 8, 31 August 2003 (31.08.2003) ISSN:0253-4967, the whole document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 14 February 2016	Date of mailing of the international search report 29 February 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LIU, Xu Telephone No. (86-10) 82245207

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/CN2015/098744

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	YU, Hongmei et al. A Numerical Simulation of Tephra Transport and Deposition for Millennium Eruption of Changbaishan Tianchi Volcano, Seismology and Geology, vol. 29, no. 3, 30 September 2007 (30.09.2007), ISSN: 0253-4967, the whole document	1-10
A	Glaze, Lori S. et al. "ASHFALL DISPERSAL FOR THE 16 SEPTEMBER 1986, ERUPTION OF LASCAR, CHILE, CALCULATED BY A TURBULENT DIFFUSION MODEL" GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, vol. 18, no. 7, 31 July 1991 (31.07.1991) the whole document	1-10

A. 主题的分类 G06F 19/00 (2011.01) 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)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI, IEEE: 火山灰, 火山碎屑, 火山喷发碎屑, 火山, 灰尘, 粉尘, 沙尘, 网格, 质量, 粒径, 扩散, 风速, 风向, tephra, debris, fragment, dust, volcano, volcanic erupt?, grid, mass, quality, diameter, fallout, diffusion, dispersion, erupt, wind velocity, height		
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
Y	赵谊 等. "火山碎屑空降沉积的二维数值模拟" 地震地质, 第24卷, 第3期, 2002年 9月 30日 (2002 - 09 - 30), ISSN: 0253-4967, 第378页第25行-第380页第27行	1-10
Y	赵谊 等. "火山碎屑空降沉积的三维数值模拟" 中国地球物理学会年刊2002——中国地球物理学会第十八届年会论文集, 2002年 12月 31日 (2002 - 12 - 31), 第8-18行	1-10
A	席道瑛 等. "爆破性火山喷发空降物的数值模拟" 岩石力学与工程学报, 第22卷, 第8期, 2003年 8月 31日 (2003 - 08 - 31), ISSN: 1000-6915, 全文	1-10
A	于红梅 等. "长白山天池火山千年大喷发空降碎屑物的数值模拟" 地震地质, 第29卷, 第3期, 2007年 9月 30日 (2007 - 09 - 30), ISSN: 0253-4967, 全文	1-10
☒ 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 2016年 2月 14日		国际检索报告邮寄日期 2016年 2月 29日
ISA/CN的名称和邮寄地址 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		授权官员 刘栩 电话号码 (86-10) 82245207

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	Glaze, Lori S. 等. "ASHFALL DISPERSAL FOR THE 16 SEPTEMBER 1986, ERUPTION OF LASCAR, CHILE, CALCULATED BY A TURBULENT DIFFUSION MODEL" GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 第18卷, 第7期, 1991年 7月 31日 (1991 - 07 - 31), 全文	1-10