



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117152935 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 01

(21) 申请号 202311310272.7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2023.10.11

G08B 31/00 (2006.01)

G08B 21/10 (2006.01)

(71) 申请人 中交第四航务工程勘察设计院有限公司

地址 510230 广东省广州市海珠区前进路161号

申请人 中交智慧城市生态发展(广州)有限公司

(72) 发明人 陈伟汉 胡叶彪 曹世锦 何锦荣 谢正坚 席芳 颜清清 陈炳求 覃振东 倪丽君 盛秋实

(74) 专利代理机构 北京远大卓悦知识产权代理有限公司 11369

专利代理师 吴朝阳

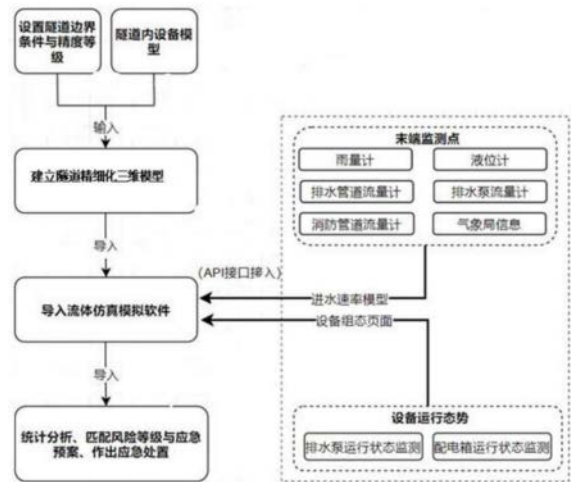
权利要求书4页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,包括:数据处理模块,用于储存进水速率模型;模型模块,用于储存隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合;预测模块,用于获取未来雨强,计算进水速率,调用水位上涨仿真模拟切片模型;显示模块,用于显示隧道三维水位模拟视频;应急处理模块,用于判别风险等级和输出应急预案。本发明预警准确率高、时效长且及时。公开了一种隧道洪涝预警方法,包括:建立并储存进水速率模型、隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合;获取未来雨强,预测V进、进水量和水位深度,调用水位上涨仿真模拟切片模型;形成并输出隧道三维水位模拟视频;判别风险等级和输出应急预案。



1. 基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,包括:

数据处理模块,其用于储存进水速率模型,所述进水速率模型如公式1和公式2所示:

当 $RZ < RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式1

当 $RZ \geq RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式2

其中, RZ 为雨强, α 为内部流入率参数, β 为外部流入率参数, V_0 为隧道的平均固定渗漏速率, RZ_0 为雨强阈值, V_3 为消防用水进水速率, V_4 为异常进水速率, V_5 为隧道排水速率,其中, α 、 β 、 V_0 、以及 RZ_0 基于隧道历史进水数据和历史排水数据统计分析得到;

模型模块,其用于储存隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合,每个切片模型以水为流体,以水位深度为标识,显示呈现隧道积水状态以及对应的关键因子参数信息,每个切片模型具有唯一配置编号,其中,水位深度为进水量与隧道容积计算得到;

预测模块,其用于获取未来一段时间内的雨强 RZ 、消防用水进水速率、异常进水速率以及隧道排水速率,并基于雨强 RZ 调用所述进水速率模型计算得到未来一段时间内的进水速率 $V_{进}$,基于进水速率计算得到未来一段时间的进水量和隧道水位深度,调用与水位深度一一对应的配置编号所对应的切片模型和关键因子参数信息,形成预测的水位上涨仿真模拟切片模型;

显示模块,其用于以时间为x轴,输出得到按时间轴顺序排列的隧道切片模型,并同时显示对应关键因子参数信息,形成隧道三维水位模拟视频;

应急处理模块,其用于统计分析隧道淹没时间和预计排涝完成时间,以及用于预设风险等级判别规则和应急预案,并依据风险等级判别规则的判别结果输出应急预案。

2. 如权利要求1所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,隧道历史进水数据包括非降雨期的隧道进水量 $Q_{进}$,隧道进水量为隧道固有渗漏 Q_0 ,隧道历史排水数据包括非降雨期的隧道排水量 $Q_{排}$,所述数据处理模块基于公式1、3~5统计分析拟合得到参数 V_0 的值;

$Q_{进} = Q_{排}$ 公式3

$Q_{进} = Q_0$ 公式4

$V_{进} = Q_{进} / t_{排}$ 公式5。

3. 如权利要求2所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,隧道历史进水数据包括降雨期的雨强 RZ 、降雨时间和隧道进水量 $Q_{进}$,隧道进水量为隧道固有渗漏 Q_0 、雨水固定流入量 Q_1 以及雨水外部流入量 Q_2 ,隧道历史排水数据包括降雨期的隧道排水量 $Q_{排}$;

所述数据处理模块用于基于公式1统计分析,进水速率增大时对应的雨强,即得到参数 RZ_0 的值;

选取雨强 $RZ < RZ_0$ 的隧道历史进水数据,所述数据处理模块基于公式1统计分析拟合得到参数 α 的值;

选取雨强 $RZ > RZ_0$ 的隧道历史进水数据,所述数据处理模块基于公式2统计分析拟合得到参数 β 的值。

4. 如权利要求3所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,还包括末端采集装置,其用于采集隧道历史进水数据和历史排水数据,所述末端采用装置包括:

雨量计,其用于实时采集降雨量和降雨时间,计算输出实时雨强平均值RZ,并存储,得到历史雨强数据RZ;

消防管道流量计,其用于检测消防用水管道流量,所述数据处理模块基于消防用水管道流量计算得到消防用水进水速率 V_3 ;

液位计,其用于检测液位上升值和上升时间,所述数据处理模块基于液位上升值和上升时间计算液位上升速度 $V_{升}$,以及采用公式6计算异常进水速率 V_4 ;

$$V_4 = V_{升} \times S \quad \text{公式6}$$

其中,S为泵房水尺横截面积;

排水管道流量计和排水泵流量计,其用于采集排水量,统计各泵总流量,排水量和各泵总流量用于计算得到水泵实际排水速率 $V_{泵}$,所述数据处理模块采用公式7计算得到隧道排水速率 V_5 ;

$$V_5 = n \times V_{泵} \quad \text{公式7}$$

其中,n为水泵实际运行数量, $V_{泵}$ 为水泵实际排水速率。

5.如权利要求1所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,还包括设备运行态势监测装置,其包括:

多个有源电子标签,多个有源电子标签设置于水泵和配电箱上,所述有源电子标签用于实时监测并保存配电箱出线的电压及电流参数数值、进线电缆的温度,同时监测开关分合闸位置状态、脱扣情况,以及用于实时监测水泵设备的运行流量、扬程、轴功率及比转数;

多对主射频模块和从射频模块,多对主从射频模块和从射频模块间隔设置于隧道顶上,多对主射频模块和从射频模块用于识别处于天线辐射范围内的泵房及配电房的有源电子标签的数据信息,以及实现RFID系统双通道数据通信;

ZigBee终端节点,其通过无线与主射频模块和从射频模块连接,ZigBee终端节点用于接收主射频模块和从射频模块传输的有源电子标签的数据信息,同时也用于将控制命令回传至主射频模块和从射频模块;

ZigBee协调器节点,其与ZigBee终端节点无线连接,ZigBee协调器节点用于接收ZigBee终端节点发送的数据信息,同时也用于将控制命令回传至ZigBee终端节点;

PC上位机,其通过局域网与ZigBee协调器节点连接,PC上位机用于接收ZigBee协调器节点发送的数据信息,并基于数据信息按照预设规则判断配电箱和水泵运行状态,同时也用于将控制命令回传至ZigBee协调器节点。

6.如权利要求5所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,其特征在于,所述预设规则包括:

当配电箱出线回路的电压、电流变化率较大或开关动作异常时,则对水泵运行状态中的流量、扬程及轴功率判断,具体为:

当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差5~10%,则预警等级为初级;

当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差11~25%,则预警等级为中级;

当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差 26 ~ 40 % , 则预警等级为特级;

其中, H_1 和 H_2 表示两个不同时段之间的扬程, Q_3 和 Q_4 表示两个不同时段之间的流量, N_1 和 N_2 表示两个不同时段之间的轴功率。

7. 如权利要求5所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统, 其特征在于, 还包括模型预警等级判别规则, 其包括:

当隧道水位深度高于预设的标准水位的 5 ~ 10 %、以及 $V_{进}$ 小于 0 时, 则模型预警等级为初级;

当隧道水位深度高于预设的标准水位的 11 ~ 25 %、以及 $V_{进}$ 接近 0 时, 则模型预警等级为中级;

当隧道水位深度高于预设的标准水位的 26 ~ 40 %、以及 $V_{进}$ 大于 0 时, 则模型预警等级为特级;

所述风险等级判别规则包括:

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为初级时, 以及当模型预警等级为初级或中级时, 则风险等级为一级;

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为初级时, 以及当模型预警等级为高级时, 则风险等级为二级;

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时, 以及当模型预警等级为初级时, 则风险等级为一级;

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时, 以及当模型预警等级为中级时, 则风险等级为二级;

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时, 以及当模型预警等级为高级时, 则风险等级为三级;

当配电箱和水泵运行状态的预警等级为高级时, 以及当模型预警等级为初级或中级或高级时, 则风险等级为三级。

8. 如权利要求7所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统, 其特征在于, 所述应急预案包括:

当风险等级为一级时, 于隧道口门架显示牌实时显示隧道内积水情况;

当风险等级为二级时, 禁止车辆进入;

当风险等级为三级时, 禁止车辆进入, 并且联动交警信号灯系统, 位于隧道前一个路口通往隧道方向的信号灯统一显示红灯, 且分流通往隧道方向的所有车辆。

9. 如权利要求1所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统, 其特征在于, 所述隧道切片模型的建立方法包括:

采用激光扫描获取隧道的三维点云数据, 采用点云处理软件对三维点云数据进行拟合并导出隧道的三维模型至本地;

将隧道的三维模型导入三维建模软件, 将设施的三维模型和设备的三维模型装配隧道的三维模型上, 得到隧道精细化三维模型, 其中, 所述设施包括拦水沟、导水沟、雨污水管道以及泵房, 所述设备包括雨量计、给排水设备、交通设施设备以及管道设备;

将隧道精细化三维模型导入流体仿真软件, 设定网格化参数, 自动生成结构化网格, 设

定流体为水、设定边界条件以及环境条件参数,得到隧道的结构化网格模型;

设定关键因子参数,其包括水位深度,每一水位深度对应淹没仿真水体表面轮廓、淹没仿真水体表面轮廓位置坐标、隧道可容纳水的容积、积水中心点坐标、低点坐标,其中,积水中心点坐标为轮廓几何中心;

仿真模拟均匀流速隧道积水状况,并将隧道的结构化网格模型从低向高逐层扫描,自动输出每一水位深度对应的关键因子参数信息;

以关键参数因子参数信息建立水位上涨仿真模拟切片模型,以水位深度作为标识,设置配置编号,并导出切片模型,得到切片模型集合。

10. 如权利要求1~9任一项所述的基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统的预警方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、建立并储存进水速率模型,所述进水速率模型如公式1和公式2所示:

当 $RZ < RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式1

当 $RZ \geq RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式2

其中, RZ 为雨强, α 为内部流入率参数, β 为外部流入率参数, V_0 为隧道的平均固定渗漏速率, RZ_0 为雨强阈值, V_3 为消防用水进水速率, V_4 为异常进水速率, V_5 为隧道排水速率,其中, α 、 β 、 V_0 、以及 RZ_0 基于隧道历史进水数据和历史排水数据统计分析得到;

S2、建立并储存隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合,每个切片模型以水为流体,以水位深度为标识,显示呈现隧道积水状态以及对应的关键因子参数信息,每个切片模型具有唯一配置编号,其中,水位深度为进水量与隧道容积计算得到;

S3、获取未来一段时间内的雨强 RZ 、消防用水进水速率、异常进水速率以及隧道排水速率,并基于雨强 RZ 调用所述进水速率模型计算得到未来一段时间内的进水速率 $V_{进}$,基于进水速率计算得到未来一段时间的进水量和隧道水位深度,调用与水位深度一一对应的配置编号所对应的切片模型和关键因子参数信息,形成预测的水位上涨仿真模拟切片模型;

S4、以时间为 x 轴,输出得到按时间轴顺序排列的隧道切片模型,并同时显示对应关键因子参数信息,形成隧道三维水位模拟视频;

S5、统计分析隧道淹没时间和预计排涝完成时间,预设风险等级判别规则和应急预案,并依据风险等级判别规则的判别结果输出应急预案。

基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及隧道洪涝灾害预警领域。更具体地说,本发明涉及一种基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统和方法。

背景技术

[0002] 近年来,高速公路不断向山区延伸,穿越崇山峻岭,桥隧比不断攀升。长隧道在省与省、市与市承担着重要的交通功能,其对减少城市道路用地,缩短行车里程,发展城市经济方面起到了非常积极的作用。

[0003] 城市间的长距离隧道也是交通要道,通行频率较高,但由于隧道一般地势较低、坡度较大,在极端天气发生城区内涝时,道路上雨水容易汇集涌入隧道内,成为积水最早、积水最深的地方,不仅严重影响正常交通通行而且极易造成难以预料的损失和灾难。

[0004] 近年来,极端天气频发,多地受到了严重的洪涝灾害遭遇暴雨天气的情形较过往要更严重,特大暴雨往往导致隧道严重积水,瞬间水量快速上升。如何对现役营运隧道或新建隧道进行洪涝预警和处置就显得极为重要。

[0005] 长距离隧道纵深狭长,现有的技术条件下,长距离隧道针对防洪排涝的预警准确率不高、预警时效短,常常要等在灾害发生之后才开始执行相关设备,导致应急滞后,研究如何提高长距离隧道洪涝预警信息的针对性、及时性、渠道和手段,具有重要经济价值和社会价值。

发明内容

[0006] 本发明的一个目的是解决至少上述问题,并提供至少后面将说明的优点。

[0007] 为了实现根据本发明的这些目的和其它优点,提供了一种基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,包括:

[0008] 数据处理模块,其用于储存进水速率模型,所述进水速率模型如公式1和公式2所示:

[0009] 当 $RZ < RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式1

[0010] 当 $RZ \geq RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式2

[0011] 其中, RZ 为雨强, α 为内部流入率参数, β 为外部流入率参数, V_0 为隧道的平均固定渗漏速率, RZ_0 为雨强阈值, V_3 为消防用水进水速率, V_4 为异常进水速率, V_5 为隧道排水速率,其中, α 、 β 、 V_0 、以及 RZ_0 基于隧道历史进水数据和历史排水数据统计分析得到;

[0012] 模型模块,其用于储存隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合,每个切片模型以水为流体,以水位深度为标识,显示呈现隧道积水状态以及对应的关键因子参数信息,每个切片模型具有唯一配置编号,其中,水位深度为进水量与隧道容积计算得到;

[0013] 预测模块,其用于获取未来一段时间内的雨强 RZ 、消防用水进水速率、异常进水速率以及隧道排水速率,并基于雨强 RZ 调用所述进水速率模型计算得到未来一段时间内的进水速率 $V_{进}$,基于进水速率计算得到未来一段时间的进水量和隧道水位深度,调用与水位深

度一一对应的配置编号所对应的切片模型和关键因子参数信息,形成预测的水位上涨仿真模拟切片模型;

[0014] 显示模块,其用于以时间为x轴,输出得到按时间轴顺序排列的隧道切片模型,并同时显示对应关键因子参数信息,形成隧道三维水位模拟视频;

[0015] 应急处理模块,其用于统计分析隧道淹没时间和预计排涝完成时间,以及用于预设风险等级判别规则和应急预案,并依据风险等级判别规则的判别结果输出应急预案。

[0016] 优选的是,隧道历史进水数据包括非降雨期的隧道进水量 $Q_{进}$,隧道进水量为隧道固有渗漏 Q_0 ,隧道历史排水数据包括非降雨期的隧道排水量 $Q_{排}$,所述数据处理模块基于公式1、3~5统计分析拟合得到参数 V_0 的值;

[0017] $Q_{进}=Q_{排}$ 公式3

[0018] $Q_{进}=Q_0$ 公式4

[0019] $V_{进}=Q_{进}/t_{排}$ 公式5。

[0020] 优选的是,隧道历史进水数据包括降雨期的雨强 RZ 、降雨时间和隧道进水量 $Q_{进}$,隧道进水量为隧道固有渗漏 Q_0 、雨水固定流入量 Q_1 以及雨水外部流入量 Q_2 ,隧道历史排水数据包括降雨期的隧道排水量 $Q_{排}$;

[0021] 所述数据处理模块用于基于公式1统计分析,进水速率增大时对应的雨强,即得到参数 RZ_0 的值;

[0022] 选取雨强 $RZ < RZ_0$ 的隧道历史进水数据,所述数据处理模块基于公式1统计分析拟合得到参数 α 的值;

[0023] 选取雨强 $RZ > RZ_0$ 的隧道历史进水数据,所述数据处理模块基于公式2统计分析拟合得到参数 β 的值。

[0024] 优选的是,还包括末端采集装置,其用于采集隧道历史进水数据和历史排水数据,所述末端采用装置包括:

[0025] 雨量计,其用于实时采集降雨量和降雨时间,计算输出实时雨强平均值 RZ ,并存储,得到历史雨强数据 RZ ;

[0026] 消防管道流量计,其用于检测消防用水管道流量,所述数据处理模块基于消防用水管道流量计算得到消防用水进水速率 V_3 ;

[0027] 液位计,其用于检测液位上升值和上升时间,所述数据处理模块基于液位上升值和上升时间计算液位上升速度 $V_{升}$,以及采用公式6计算异常进水速率 V_4 ;

[0028] $V_4 = V_{升} \times S$ 公式6

[0029] 其中, S 为泵房水尺横截面积;

[0030] 排水管道流量计和排水泵流量计,其用于采集排水量,统计各泵总流量,排水量和各泵总流量用于计算得到水泵实际排水速率 $V_{泵}$,所述数据处理模块采用公式7计算得到隧道排水速率 V_5 ;

[0031] $V_5 = n \times V_{泵}$ 公式7

[0032] 其中, n 为水泵实际运行数量, $V_{泵}$ 为水泵实际排水速率。

[0033] 优选的是,还包括设备运行态势监测装置,其包括:

[0034] 多个有源电子标签,多个有源电子标签设置于水泵和配电箱上,所述有源电子标签用于实时监测并保存配电箱出线的电压及电流参数数值、进线电缆的温度,同时监测开

关分合闸位置状态、脱扣情况,以及用于实时监测水泵设备的运行流量、扬程、轴功率及比转数;

[0035] 多对主射频模块和从射频模块,多对主从射频模块和从射频模块间隔设置于隧道顶上,多对主射频模块和从射频模块用于识别处于天线辐射范围内的泵房及配电房的有源电子标签的数据信息,以及实现RFID系统双通道数据通信;

[0036] ZigBee终端节点,其通过无线与主射频模块和从射频模块连接,ZigBee终端节点用于接收主射频模块和从射频模块传输的有源电子标签的数据信息,同时也用于将控制命令回传至主射频模块和从射频模块;

[0037] ZigBee协调器节点,其与ZigBee终端节点无线连接,ZigBee协调器节点用于接收ZigBee终端节点发送的数据信息,同时也用于将控制命令回传至ZigBee终端节点;

[0038] PC上位机,其通过局域网与ZigBee协调器节点连接,PC上位机用于接收ZigBee协调器节点发送的数据信息,并基于数据信息按照预设规则判断配电箱和水泵运行状态,同时也用于将控制命令回传至ZigBee协调器节点。

[0039] 优选的是,所述预设规则包括:

[0040] 当配电箱出线回路的电压、电流变化率较大或开关动作异常时,则对水泵运行状态中的流量、扬程及轴功率判断,具体为:

[0041] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差5~10%,则预警等级为初级;

[0042] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差11~25%,则预警等级为中级;

[0043] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差26~40%,则预警等级为特级;

[0044] 其中, H_1 和 H_2 表示两个不同时段之间的扬程, Q_3 和 Q_4 表示两个不同时段之间的流量, N_1 和 N_2 表示两个不同时段之间的轴功率。

[0045] 优选的是,还包括模型预警等级判别规则,其包括:

[0046] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的5~10%、以及 $V_{\text{进}}$ 小于0时,则模型预警等级为初级;

[0047] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的11~25%、以及 $V_{\text{进}}$ 接近0时,则模型预警等级为中级;

[0048] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的26~40%、以及 $V_{\text{进}}$ 大于0时,则模型预警等级为特级;

[0049] 所述风险等级判别规则包括:

[0050] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为初级时,以及当模型预警等级为初级或中级时,则风险等级为一级;

[0051] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为初级时,以及当模型预警等级为高级时,则风险等级为二级;

[0052] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为初级时,则风险等级为一级;

- [0053] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为中级时,则风险等级为二级;
- [0054] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为高级时,则风险等级为三级;
- [0055] 当配电箱和水泵运行状态的预警等级为高级时,以及当模型预警等级为初级或中级或高级时,则风险等级为三级。
- [0056] 优选的是,所述应急预案包括:
- [0057] 当风险等级为一级时,于隧道口门架显示牌实时显示隧道内积水情况;
- [0058] 当风险等级为二级时,禁止车辆进入;
- [0059] 当风险等级为三级时,禁止车辆进入,并且联动交警信号灯系统,位于隧道前一个路口通往隧道方向的信号灯统一显示红灯,且分流通往隧道方向的所有车辆。
- [0060] 优选的是,所述隧道切片模型的建立方法包括:
- [0061] 采用激光扫描获取隧道的三维点云数据,采用点云处理软件对三维点云数据进行拟合并导出隧道的三维模型至本地;
- [0062] 将隧道的三维模型导入三维建模软件,将设施的三维模型和设备的三维模型装配隧道的三维模型上,得到隧道精细化三维模型,其中,所述设施包括拦水沟、导水沟、雨污水管道以及泵房,所述设备包括雨量计、给排水设备、交通设施设备以及管道设备;
- [0063] 将隧道精细化三维模型导入流体仿真软件,设定网格化参数,自动生成结构化网格,设定流体为水、设定边界条件以及环境条件参数,得到隧道的结构化网格模型;
- [0064] 设定关键因子参数,其包括水位深度,每一水位深度对应淹没仿真水体表面轮廓、淹没仿真水体表面轮廓位置坐标、隧道可容纳水的容积、积水中心点坐标、低点坐标,其中,积水中心点坐标为轮廓几何中心;
- [0065] 仿真模拟均匀流速隧道积水状况,并将隧道的结构化网格模型从低向高逐层扫描,自动输出每一水位深度对应的关键因子参数信息;
- [0066] 以关键参数因子参数信息建立水位上涨仿真模拟切片模型,以水位深度作为标识,设置配置编号,并导出切片模型,得到切片模型集合。
- [0067] 提供一种基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统的预警方法,包括以下步骤:
- [0068] S1、建立并储存进水速率模型,所述进水速率模型如公式1和公式2所示:
- [0069] 当 $RZ < RZ_0$ 时, $V_{\text{进}} = V_0 + \alpha \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式1
- [0070] 当 $RZ \geq RZ_0$ 时, $V_{\text{进}} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ + V_3 + V_4 - V_5$; 公式2
- [0071] 其中, RZ 为雨强, α 为内部流入率参数, β 为外部流入率参数, V_0 为隧道的平均固定渗漏速率, RZ_0 为雨强阈值, V_3 为消防用水进水速率, V_4 为异常进水速率, V_5 为隧道排水速率,其中, α 、 β 、 V_0 、以及 RZ_0 基于隧道历史进水数据和历史排水数据统计分析得到;
- [0072] S2、建立并储存隧道水位上涨仿真模拟的切片模型集合,每个切片模型以水为流体,以水位深度为标识,显示呈现隧道积水状态以及对应的关键因子参数信息,每个切片模型具有唯一配置编号,其中,水位深度为进水量与隧道容积计算得到;
- [0073] S3、获取未来一段时间内的雨强 RZ 、消防用水进水速率、异常进水速率以及隧道排水速率,并基于雨强 RZ 调用所述进水速率模型计算得到未来一段时间内的进水速率 $V_{\text{进}}$,基

于进水速率计算得到未来一段时间的进水量和隧道水位深度,调用与水位深度一一对应的配置编号所对应的切片模型和关键因子参数信息,形成预测的水位上涨仿真模拟切片模型;

[0074] S4、以时间为x轴,输出得到按时间轴顺序排列的隧道切片模型,并同时显示对应关键因子参数信息,形成隧道三维水位模拟视频;

[0075] S5、统计分析隧道淹没时间和预计排涝完成时间,预设风险等级判别规则和应急预案,并依据风险等级判别规则的判别结果输出应急预案。

[0076] 本发明至少包括以下有益效果:本发明聚焦长距离隧道降雨量、道路积水等信息采集、设备运行态势监测、算法模型建立、应急预警及处置四个部分,形成防御洪涝灾害的分级手段,细化各级洪涝灾害应急预案、发挥预警作用,最大限度减少洪涝灾害造成的损失。

[0077] 本发明的其它优点、目标和特征将部分通过下面的说明体现,部分还将通过对本发明的研究和实践而为本领域的技术人员所理解。

附图说明

[0078] 图1为本发明的所述预警系统的框架流程图;

[0079] 图2为本发明的隧道精细化三维模型的建立框架流程图I;

[0080] 图3为本发明的隧道精细化三维模型的建立框架流程图II;

[0081] 图4为本发明的水位上涨仿真模拟切片模型的建立框架流程图;

[0082] 图5为本发明的进水速率模型建立框架流程图I;

[0083] 图6为本发明的进水速率模型建立框架流程图II;

[0084] 图7为本发明的未来雨强、水位上涨仿真模拟切片模型及预警流程图I;

[0085] 图8为本发明的未来雨强、水位上涨仿真模拟切片模型及预警流程图II。

具体实施方式

[0086] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明,以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0087] 需要说明的是,下述实施方案中所述实验方法,如无特殊说明,均为常规方法,所述试剂和材料,如无特殊说明,均可从商业途径获得;在本发明的描述中,术语指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,并不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0088] 如图1~8所示,本发明提供一种基于流体三维动态模拟仿真的隧道洪涝预警系统,包括:

[0089] I、根据对隧道进行激光扫描数据导入点云处理软件获取三维点云数据。对三维点云数据进行去噪、简化、配准以及补洞等预处理操作,设置边界条件与精度等级,检查三维数据并修正缺陷,自动拟合并导出隧道的三维模型至本地。

[0090] 将三维模型导入三维建模软件,根据BIM模型建模为参照,通过三维建模完善拦水沟、导水沟、雨污水管道、泵房等设施模型。并将雨量计、给排水设备、交通设施设备以及管

道设备相关模型导入三维模型,根据BIM设计参数,手动装配各部件至三维模型。观察装配后的三维模型,使用干涉检查工具,检查装配干涉情况,至网格化操作无异常,导出隧道精细化三维模型。

[0091] 将隧道精细化三维模型导入流体仿真软件,设定网格化参数,自动生成结构化网格。设定流体为水、设定边界条件以及环境条件等参数。检查网格,对模型进行分块和局部加密处理,得到隧道的高质量结构化网格模型。

[0092] 设定关键因子参数,其包括水位深度,每一水位深度对应淹没仿真水体表面轮廓、淹没仿真水体表面轮廓位置坐标、隧道可容纳水的容积、积水中心点坐标、低点坐标,形成关键参数监视器,其中,积水中心点坐标为轮廓几何中心;仿真模拟均匀流隧道积水状况,并将结构化网格模型从低向高逐层扫描,自动输出进水关键因子参数数据。

[0093] 根据关键因子参数建立水位上涨仿真模拟切片模型,以水位深度作为标识,设置配置编号,并导出切片模型。根据进水关键因子参数数据,与配置编号,开发传参为容积(每一水位深度对应的隧道可容纳水的容积),输出为配置编号以及关键因子参数数据的API接口P1。

[0094] 依据切片模型,导入渲染工具,设置流体、建筑设施、机电设备材质并进行贴图,进行模型自动渲染生成,用于后续仿真模拟效果呈现。

[0095] 开发传参为模型编号(模型编号与配置编号一一对应),输出为三维水位模拟视频流推送接口P2,用于网页展示端的效果呈现。

[0096] II、通过在隧道出入口设置虹吸式雨量计,连续记录降水量 Q_t 和降水历时(降雨时间) t ,计算得连续雨强数据 $RZ = Q_t \div t$,此数据随当地雨量时刻变动。此数据可以同步与当地的设计暴雨强度公式,进行实时的降雨历时 t 及设计重现期 P (年),多重模拟拟合。并将雨强数据进行计算存储,用于实时降雨量及降雨的预测分析计算。

[0097] 对隧道的进水源分析,主要有隧道固有渗漏、冲洗水流入(外部流入)、雨水动态流入、隧道内部消防灾害用水以及异常状况。

[0098] 在正常运行管理(非降雨期间)的情况下,隧道排水总量 $Q_{排}$ 等于隧道进水量,据此设计进水速率 $V_{进} = \text{排水总量} / \text{排水总时长} = Q_{排} \div t_{排}$ 。根据历史隧道排水数据,排除冲洗水(外部流入)、雨水动态流入、消防灾害用水以及异常点数据,此时渗漏量 $Q_{渗}$ 与排水量 $Q_{排}$ 相等。计算得隧道在正常运行管理(非降雨期间)平均固定渗漏速率 $V_0 = Q_{排} \div t_{排}$ 。从而得到隧道的平均固定渗漏速率 V_0 的值。当 V_0 数值变化明显时,也可以用于检查隧道的漏水情况。

[0099] 降雨期间,根据历史隧道排水数据,排除未使用消防用水与异常点,此时进水速率 $V_{进} = \text{平均固定渗漏速率} V_0 + \text{雨水固定流入速率} V_1 + \text{雨水外部流入速率} V_2$ 。由于 V_1 、 V_2 与雨强 RZ 和外部排水 V_p 能力相关,因此修改进水速率 $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ$,其中 α 为内部流入率参数, β 为外部流入率参数。项目数据按天采集,明显偏离的数据称为异常数据点。

[0100] 通过统计分析可知,当雨强 RZ 大于一定阈值时,进水速率率变大,记录此时雨强 RZ_0 值,得到隧道的雨强阈值 RZ_0 的值。

[0101] 当 $RZ < RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ$ 公式1

[0102] 当 $RZ \geq RZ_0$ 时, $V_{进} = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ$ 公式2

[0103] 根据隧道正常生产运营的历史数据,选取 $RZ < RZ_0$ 时的历史数据,控制变量绘制spss散点图辅助判断数据基本满足线性分布,设置残差服从正态分布、残差无自相关,回归

系数中选择“估算值”，并设定“95%的置信区间”，进行回归系数的显著性检验与计算，选择标准化残差图中的“直方图”、“正态概率图”，检验回归方程的残差是否服从正态分布。导入回归算法模型，通过最小二值法依次拟合出当前 α 的最佳参数，得到 α 值。

[0104] 选取 $RZ \geq RZ_0$ 时的历史数据，重复上述步骤，通过最小二值法依次拟合出当前 β 的最佳参数，得到 β 值。

[0105] 在隧道内部发生火灾时，需要使用到消防用水，在消防用水的接入处设置有远传数据和流速计，可获取消防用水进水速率 V_3 。

[0106] 在隧道内部低点、泵房设置有水位计，依据泵房水尺横截面积 S 与液位上升速度 $V_{升}$ 计算出异常进水速度 V_4 ， $V_4 = V_{升} \times S$ 。正常情况，水泵排水能力高于进水量，液位正常不会高于设定值。超过设定值的液位上升，则认为是未知因素导致的水位上升。比如可能是泵损坏等。

[0107] 根据历史各水泵排水量，获取水泵实际排水能力 $V_{泵}$ ，根据设备运行数量 n 获取实际排水能力， $V_5 = n \times V_{泵}$ ；

[0108] 以此设定进水速率模型，进水速率 $V_{进} = \text{排水总量} Q_{排} / \text{排水总时长} t_{排} = \text{固有渗漏速率} V_0 + \text{雨水固定流入速率} V_1 + \text{雨水外部流入速率} V_2 + \text{消防用水速率} V_3 + \text{异常速率} V_4 - \text{排水速率} V_5 = V_0 + \alpha \times RZ + \beta \times RZ + V_3 + V_{升} \times S - n \times V_{泵}$ 。根据物联网平台采集硬件系统的设备的实时状态与数据，开发传参为雨强 RZ ，输出为进水速率的API接口P3。

[0109] III、根据从气象局接入的未来降雨量数据，获取未来一段时间内的雨强 $RZ_{预}$ ；

[0110] 系统将雨强 $RZ_{预}$ 作为传参调用P3接口，获得预计进水速率，以此绘制时间与进水量曲线。

[0111] 系统将进水量作为传参，调用P1接口，可获得各时间段配置编号以及关键因子参数数据。

[0112] 系统将配置编号作为传参，调用P2接口，获取三维水位模拟视频流。将视频流作为网页大屏背景，两侧放置关键因子参数数据等统计数据，底部放置时间轴，用户可以自由拖动时间轴以获取不同时间的水位模型模拟视频与数据，形成隧道洪涝动态三维仿真模拟页面，给用户以直观体验。

[0113] IV、定义水位模型预警等级(模型预警等级判别规则)：

[0114] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的5~10%、以及 $V_{进}$ 小于0时，则模型预警等级为初级；

[0115] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的11~25%、以及 $V_{进}$ 接近0时，则模型预警等级为中级；其中，接近0时，可以理解为等于0，或者根据实际隧道情况，设置为0左右的范围内。

[0116] 当隧道水位深度高于预设的标准水位的26~40%、以及 $V_{进}$ 大于0时，则模型预警等级为特级。

[0117] V、设备运行态势监测，针对传统隧道机电设备运行信息监测不便、传统监测技术的可维护性较低、系统可扩展性差的问题，利用ZigBee和RFID技术的电子标签识别技术，该系统具有穿透性强、可多次重复写入数据、安全性高、数据存储空间大、成本低，灵活性高、传输距离远、低功耗等优点，对隧道内水泵运行状态、配电箱等设施的工作状况进行实时监测与显示。系统硬件结构主要由5部分组成：有源电子标签、主从射频模块、ZigBee终端节

点、ZigBee协调器节点和PC上位机。

[0118] 在末端水泵及配电箱设备设置电压及电流检测仪器,并设定上限值与下限值,定义若干个电流、电压、温度等有源电子标签,实时监测并保存配电箱出线的电压及电流参数数值、进线电缆的温度同时监测开关分合闸位置状态、脱扣情况;

[0119] 对排水泵设备的运行流量、扬程、轴功率及比转数等进行电子标签,在运行期间实时监测他们之间的数据信息关系,实时了解到水泵运行状态是处于正常状态或异常情况;

[0120] 在隧道段顶板间隔布置主从射频模块(RFID读写器),一个主SPI,一个从SPI,实现RFID系统双通道数据通信,负责识别处于天线辐射范围内的水泵房及配电房的有源电子标签数据信息。

[0121] 将接收到的电子标签信息通过无线传输给位于隧道管理中心的ZigBee终端节点,同时也可接收ZigBee终端节点传输过来的控制命令;

[0122] ZigBee终端节点将主从射频模块对水泵房及配电房识别到的有源电子标签数据信息通过无线方式发送给ZigBee协调器节点,同时ZigBee终端节点根据协调器传输过来的控制指令来控制主从射频模块,从而实现对末端状态信息相应的处理。

[0123] ZigBee协调器节点负责将ZigBee终端节点发送过来的有源电子标签数据通过局域网与PC上位机实现数据通信,同时将接受上位机传输过来的控制指令并发送给ZigBee终端节点。

[0124] PC上位机应用软件支持Python、Java、C++等语言开发,开发数字孪生等软件显示界面,上位机应用软件实现对配电房、泵房内有源电子标签ID信息的处理、分析存储,便于在后期进行调用查询。

[0125] PC上位机应用软件将处理后的监测参数在单位时间内的变化率作为隧道机电设备运行状况的判断依据,当对配电房监测的电压、电流变化率较大或开关动作异常、对水泵运行状态中的流量、扬程、轴功率判断,则系统对设备的工作状况进行实时监测与显示,设备出现异常时,系统记录保存故障报警信息,状态传输到上位机相关的组态页面,应用软件界面上相应设备图标突出显示,显示相应的预警等级信息;

[0126] 以水泵房中水泵扬程、流量、轴功率之间的关系可通过比值变化率为示例作出设备状态预警等级信息的划分,水泵的变化率计算公式为: $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 和 $\frac{Q_3^2}{N_1}$,预设规则为:

[0127] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差5~10%,则预警等级为初级;

[0128] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差11~25%,则预警等级为中级;

[0129] 当 $\frac{Q_3^2}{H_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{H_2}$ 或 $\frac{Q_3^2}{N_1}$ 与 $\frac{Q_4^2}{N_2}$ 的数值相差26~40%,则预警等级为特级;

[0130] 其中, H_1 和 H_2 表示两个不同时段之间的扬程, Q_3 和 Q_4 表示两个不同时段之间的流量, N_1 和 N_2 表示两个不同时段之间的轴功率;结合水位模型预警等级及设备异常状况等级信息,匹配长距离隧道洪涝预警综合风险等级及应急预案如表1所示:

[0131] 表1风险等级判别规则

[0132]	综合风险等级	水位模型预警初级	水位模型预警中级	水位模型预警高级
	设备异常状况初级	一级	一级	二级
	设备异常状况中级	一级	二级	三级
	设备异常状况高级	三级	三级	三级

[0133] 具体为:当配电箱一个出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为初级时,以及当模型预警等级为初级或中级时,则风险等级为一级;

[0134] 当配电箱一个出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为初级时,以及当模型预警等级为高级时,则风险等级为二级;

[0135] 当配电箱两个出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为初级时,则风险等级为一级;

[0136] 当配电箱两个出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为中级时,则风险等级为二级;

[0137] 当配电箱两个出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为中级时,以及当模型预警等级为高级时,则风险等级为三级;

[0138] 当配电箱三个及以上出线回路电压或者电流出现异常和水泵运行状态的预警等级为高级时,以及当模型预警等级为初级或中级或高级时,则风险等级为三级。

[0139] 应急预警及处置,根据统计数据,根据不同风险等级做出不同预案:一级,泵站排水能力高于进水速率,于隧道口门架显示牌实时显示隧道内积水情况,不限制车辆进入,仅提示车辆谨慎通行;二级,及时禁止车辆进入,可联动隧道口电子屏障或门闸进行拦截车辆;三级,通过模型或计算出短时间隧道将会被淹没时,及时禁止车辆进入,并联动交警信号灯系统,位于前一个路口通往隧道方向的信号灯统一显示红灯,且分流通往隧道方向的所有车辆。

[0140] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

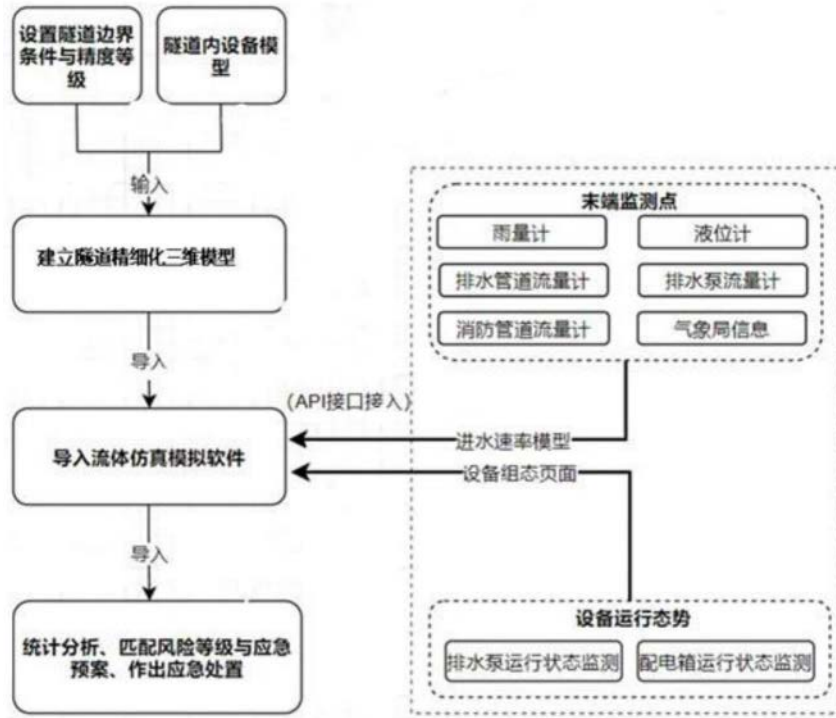


图1

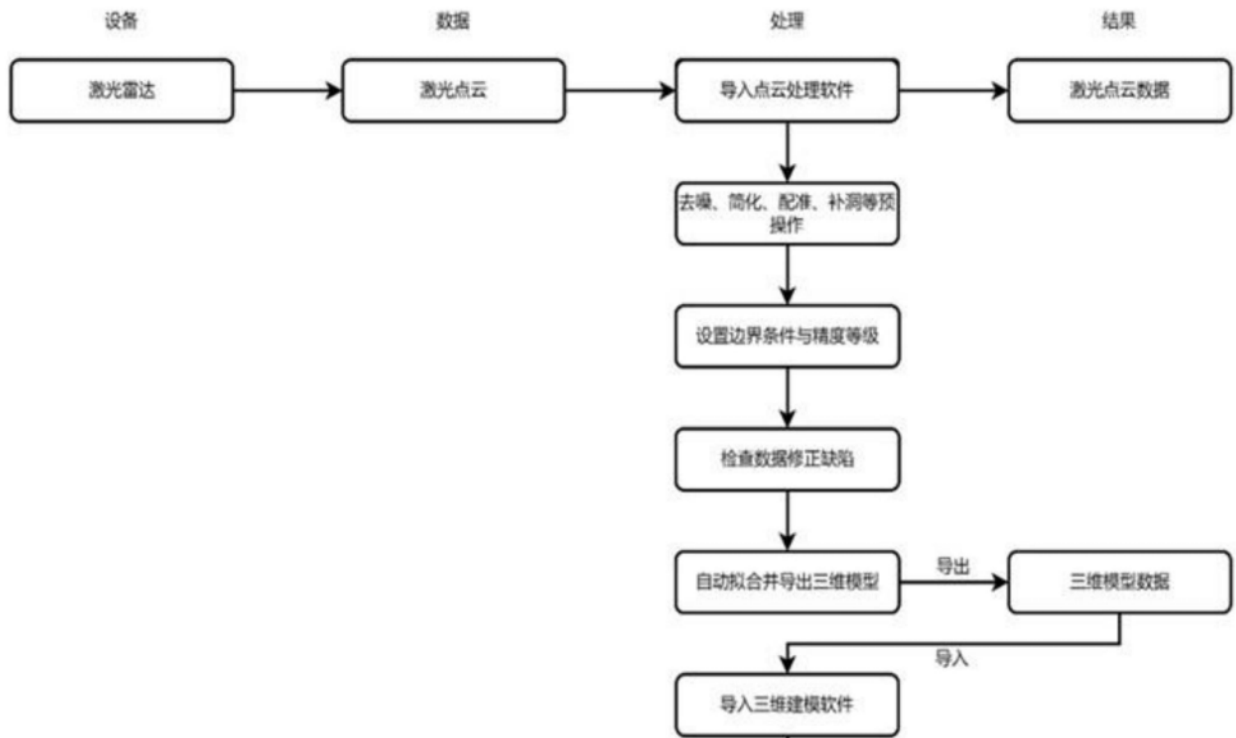


图2

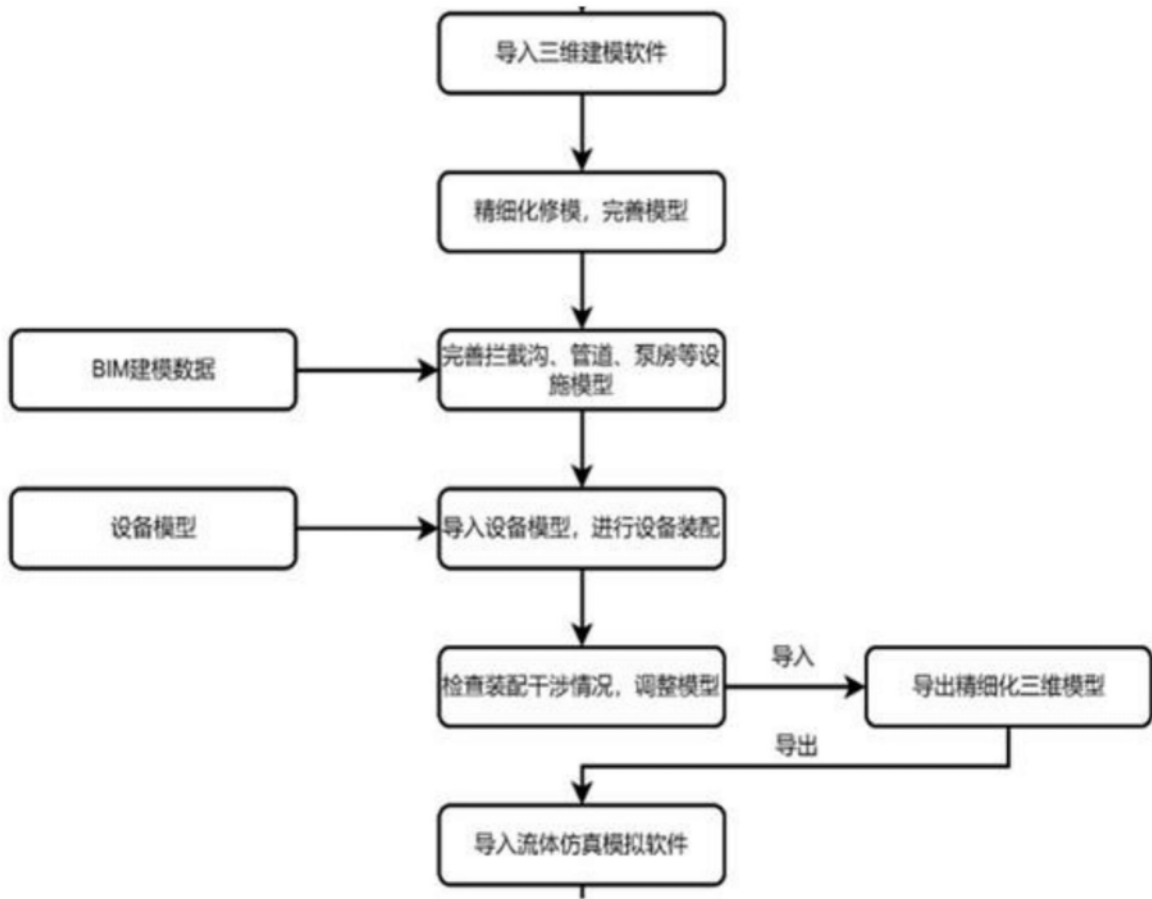


图3

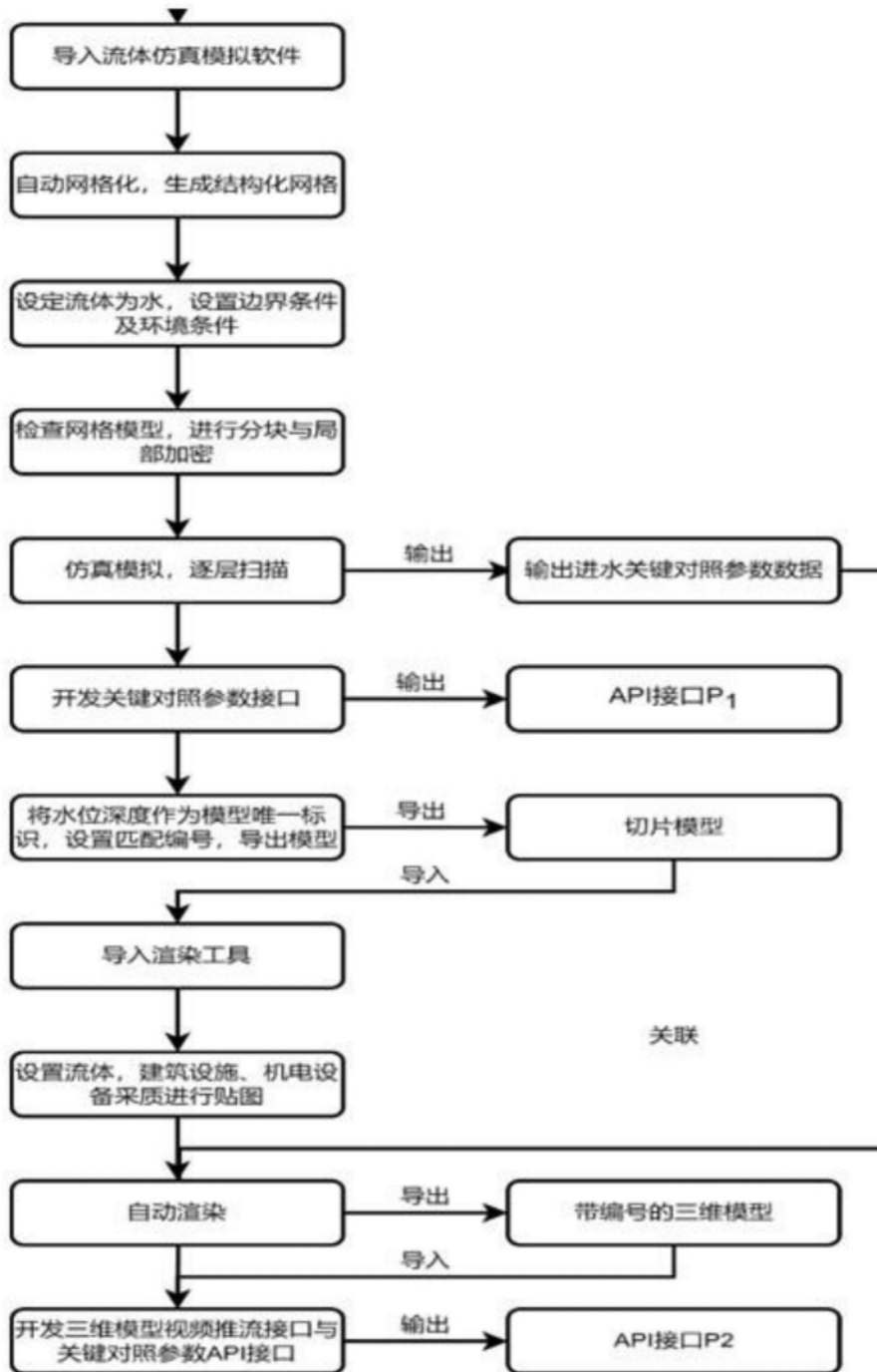


图4

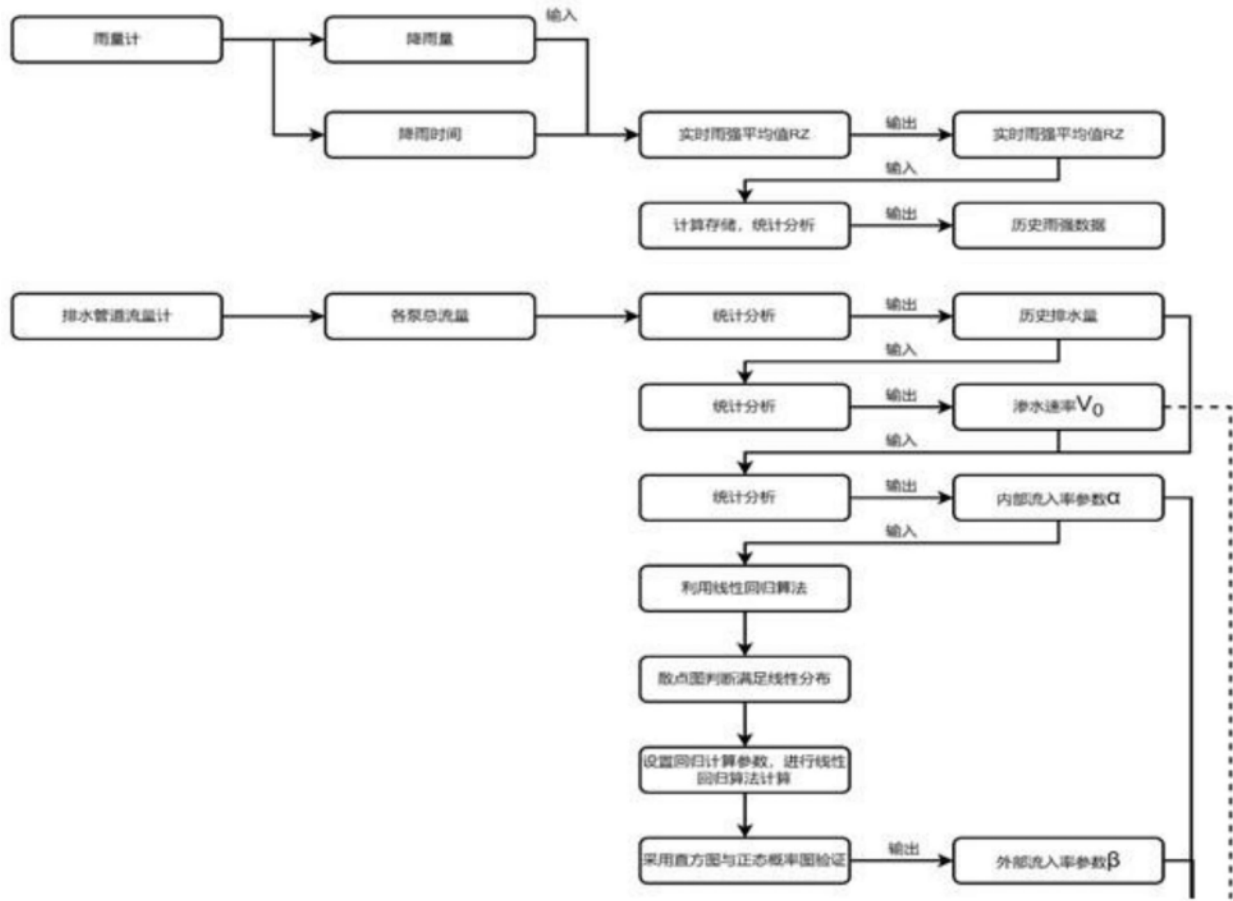


图5



图6

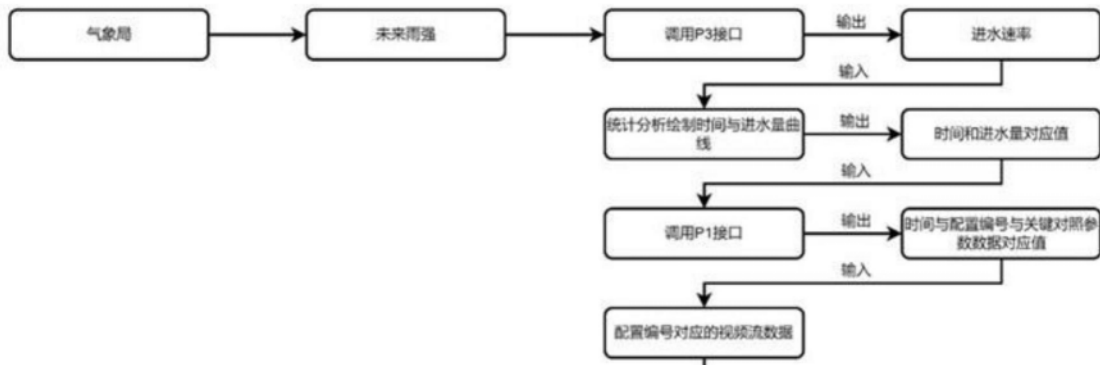


图7

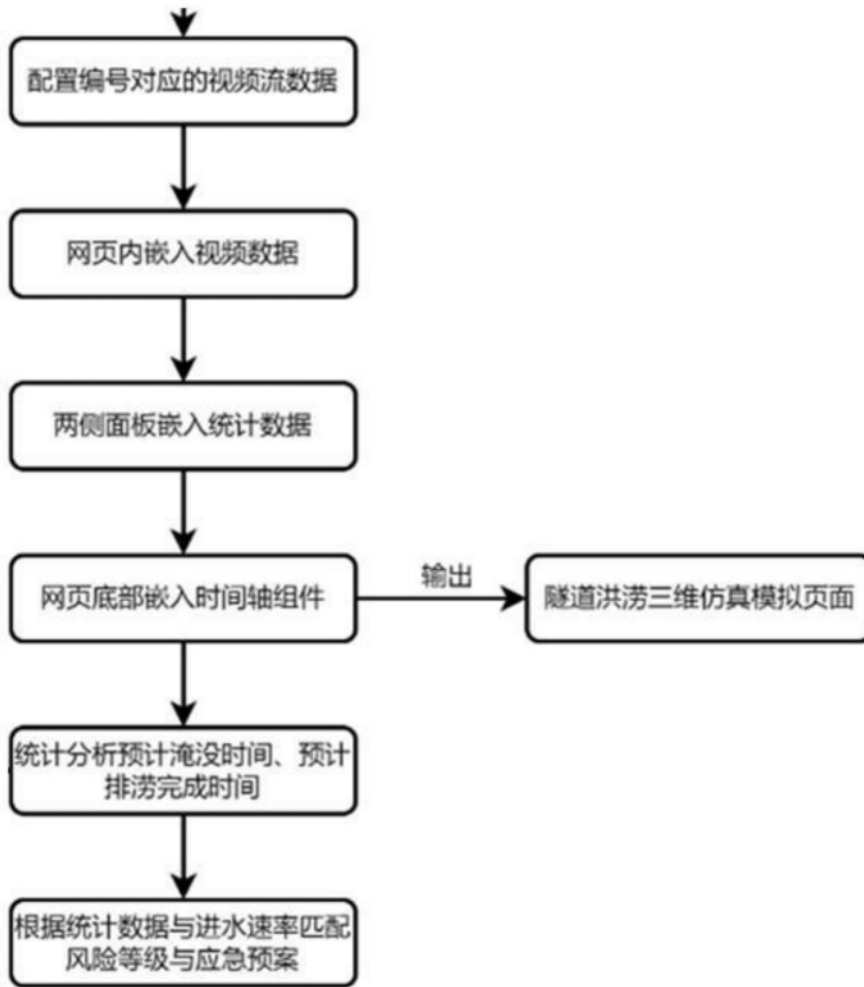


图8