(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112820060 B
(45)授权公告日 2021.07.06

(21)申请号 202110409209.3

(22)申请日 2021.04.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112820060 A

(43)申请公布日 2021.05.18

(73)专利权人 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院
地址 210000 江苏省南京市江宁区帕威尔路1号

(72)发明人 李陈莹 陈杰 陶风波 刘建军 胡丽斌 谭笑 曹京荥 张伟 袁栋

(74)专利代理机构 北京智绘未来专利代理事务所(普通合伙) 11689
代理人 肖继军 张红莲

(51)Int.Cl.
G08B 17/06(2006.01)
G08B 17/10(2006.01)
G08B 17/12(2006.01)
G08B 25/10(2006.01)

审查员 许妮

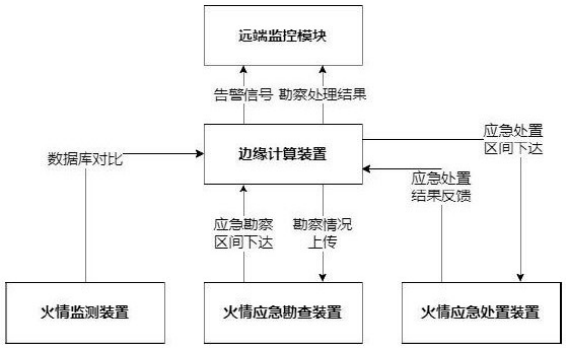
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

电缆火情监测勘查应急处置一体化系统及方法

(57)摘要

一种电缆火情监测勘查应急处置一体化系统及方法，系统包括：火情监测装置、边缘计算装置、火情应急勘查装置、火情应急处置装置和远端监控模块，火情监测装置设置在电缆通道内，每个监控段设置至少一个火情监测装置，监测所在监控段火情特征气体浓度、烟雾颗粒浓度、电缆通道环境温度和电缆导体温度；边缘计算装置与火情监测装置相连接，以火情监测装置获得的各个监控段数据计算评估火灾风险级别，根据评估火灾风险级别向火情应急勘查装置下达应急勘查监控段；火情应急勘查装置移动至应急监控段，获得火情定位及火情场景图片，回传至边缘计算装置；远端监控模块与边缘计算装置相连接，依照告警信号和勘查结果，向火情应急处置装置下达消防指令。



CN 112820060 B

1.一种电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,包括:火情监测装置、边缘计算装置、火情应急勘查装置、火情应急处置装置和远端监控模块,其特征在于,

所述火情监测装置设置在电缆通道内,电缆通道包括多个监控段,每个监控段设置至少一个所述火情监测装置,用于监测所在监控段火情特征气体浓度、烟雾颗粒浓度、电缆通道环境温度和电缆导体温度;

所述边缘计算装置与火情监测装置相连接,以火情监测装置获得的各个监控段数据计算评判标度,依照评判标度范围获得当前段落当前时刻的火灾风险级别,根据评估火灾风险级别向火情应急勘查装置下达应急勘查监控段;

所述火情应急勘查装置移动至应急监控段,获得火情定位及火情场景图片,回传至所述边缘计算装置;

所述远端监控模块与所述边缘计算装置相连接,依照告警信号和勘查结果,向火情应急处置装置下达消防指令。

2.根据权利要求1所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

所述火情监测装置包括气体浓度监测单元,用于监测所在监控段中一氧化碳、氯化氢、二氧化碳和氧气的浓度。

3.根据权利要求2所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

气体浓度监测单元包括:第一板体和第二板体;第一板体设置有第一通孔和能够封堵该第一通孔的密封盖;第二板体设置有第二通孔、与第二通孔相连通的曲线管道,以及曲线管道末端的气体浓度传感器。

4.根据权利要求1所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

所述火情应急勘查装置包括:多个自组网勘探机器人;所述自组网勘探机器人包括:外壳,运动单元、勘查单元和通讯单元;所述运动单元用于驱动勘探机器人个体移动;勘查单元用于获得火情定位及火情场景图片;通讯单元用于使所述多个自组网 勘探机器人与所述边缘计算装置组成无线自组织网络。

5.根据权利要求4所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

所述运动单元包括:控制器、驱动机构和行进机构;控制器与驱动机构相连接,驱动机构连接行进机构,用于驱动对应的行进机构进行移动。

6.根据权利要求4或5所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

所述勘查单元包括:固定在外壳上的气体传感器、温度传感器、感烟传感器和图像采集器;所述外壳为透明壳体。

7.根据权利要求4或5所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

所述多个自组网勘探机器人的通讯单元采用UWB定位和WiFi通信实现自组网与网络拓扑结构,且多个自组网勘探机器人互为备用。

8.根据权利要求1至5中任一项所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统,其特征在于,

火情应急处置装置包括:固定式灭火装置和移动式消防机器人。

9.一种使用如权利要求1至8中任一项所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1,持续进行火情监测,若火情监测出现告警信号,继续执行步骤2;

步骤2,火情监测出现告警信号时,同间隔段落启动自组网勘探机器人群组,开展火情应急勘查,获得火情定位及火情场景图片数据;

步骤3,明确火情点位置,联动消防系统,对火情进行消防处理。

10.根据权利要求9所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

步骤1具体包括:

步骤1.1,实时监测电缆通道各个段落的火情特征气体、烟雾颗粒浓度、通道环境温度、线路关键巡视点温度;

步骤1.2,以步骤1.1获得的数据计算评估火灾风险级别;

步骤1.3,若步骤1.2计算获得的火灾风险级别高于设定值,发出告警信号。

11.根据权利要求10所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

步骤1.2中,将火灾风险分为K个级别,K为2以上的自然数,为每个级别划分评判标度范围;

以步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数数值计算评判标度,依照评判标度范围获得当前段落当前时刻的火灾风险级别;

针对火灾风险级别采取对应的应对措施。

12.根据权利要求11所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

将火灾风险分为:小、一般、大和非常大;对应的评判标度范围分别为:0~25、25~50、50~75和75~100;对应的应对措施分别为:1)无,2)预警位置需加强巡检,3)预警位置需重点监视,及时消除隐患,4)切断电源,组织专业人员仔细检查,排除故障。

13.根据权利要求12所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

以如下公式计算评判标度A,

$$A = U_B^T M V^T$$

式中:

U_B表示步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数权重向量,

M表示评价矩阵,

V表示电缆火灾预警信号评价集矩阵,由各个评判标度范围的上限形成,

T表示转置。

14.根据权利要求13所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

以如下公式表示运行参数权重向量 U_B,

$$U_B = (u_i)_{i=1,2,\cdots,n}^T$$

$$u_i = \left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)\right]^{-\frac{1}{n}}$$

式中:

p_{ij} 表示判断矩阵 P_B 中的元素,

n表示判断矩阵 P_B 的阶数。

15.根据权利要求14所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

以如下公式表示判断矩阵 P_B ,

$$P_B = [p_{ij}]_{\substack{i=1,2,\cdots,n \\ j=1,2,\cdots,n}}$$

$$p_{ij} \cdot p_{ji} = 1$$

式中:

p_{ij} 表示判断矩阵 P_B 中的元素,为第i个影响因子与第j个影响因子的标度,

n表示判断矩阵 P_B 的阶数。

16.根据权利要求13所述的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,其特征在于:

以如下公式表示评价矩阵M,

$$M = [m_{\alpha\beta}]_{\substack{\alpha=1,2,\cdots,n \\ \beta=1,2,\cdots,k}}$$

$$m_{\alpha\beta} = \begin{cases} 1, & \text{第}\alpha\text{个影响因子的数值在第}\beta\text{级的区间之内} \\ 0, & \text{第}\alpha\text{个影响因子的数值在第}\beta\text{级的区间之外} \end{cases}$$

式中:

$m_{\alpha\beta}$ 表示评价矩阵M中的元素,

n表示判断矩阵 P_B 的阶数,

K 表示火灾风险级别的个数。

电缆火情监测勘查应急处置一体化系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于电缆安全运行技术领域，更具体地，涉及电缆火情监测勘查应急处置一体化系统及方法。

背景技术

[0002] 电缆通道内存在多条电缆，在电缆长期运行过程中，由于电缆中间头老化、过热，可能引起电缆燃烧；电缆通道内低压电缆的短路也可能引起其他电缆燃烧。一根电缆燃烧可能将同一个电缆沟内的其他电缆也引燃，造成重大的损失。如果能在火灾发生前提前对火灾的发生提前进行预警，根据预警的信息对电缆、电缆头出现的异常状况进行处理，即可防患于未燃，大大减少此类因为电缆头老化、过热以致燃烧带来的损失。

[0003] 同时，电线电缆的塑料绝缘层在燃烧中会产生大量烟雾和有毒气体，影响人员疏散，给火场逃生和救援带来很大困难。目前电缆通道火灾探测方法单一，运维人员难以实时监控通道内火情、火灾发展情况。一旦发生火灾，不能及时在火灾早期进行相应的处置，将造成更大的财产损失。

[0004] 现有技术文件1(CN107331102A)公开了一种集中吸入式电缆火灾极早期预警装置，包括工控主机、火灾探测综合系统及无线通讯模块，工控主机通过无线通信模块与各火灾探测综合系统的火灾探测综合主机连接，实现信息互联互通，并将所得到的火灾信息及时传送至工控主机，工控主机采用BP神经网络算法的信息融合分析对多台火灾探测综合主机同步探测的数据进行融合处理，工控主机利用无线通讯模块使得系统所得到的火灾信息及时传送至值班室的上位机。

[0005] 现有技术文件1的不足之处在于，1)火情监控数据全部传输到工控主机，数据量庞大，通信传输及可靠性压力大；2)缺少火情的勘查，不能在早期火情精准定位和掌握火情的发展态势；3)消防联动迟缓，不利于在火情早期快速启动消防机制，减少财产损失。

发明内容

[0006] 为解决现有技术中存在的不足，本发明的目的在于，提供电缆火情监测勘查应急处置一体化系统及方法，在火情初期利用布置于接头附近的火情监测装置开展火情监测；火情监测出现告警信号时，同间隔段落启动自行走勘查机器人群组，开展火情应急勘查，获得火情定位及火情场景图片数据获得；明确火情点位置，联动消防系统，快速启动消防机制。

[0007] 本发明采用如下的技术方案。一种电缆火情监测勘查应急处置一体化系统，包括：火情监测装置、边缘计算装置、火情应急勘查装置、火情应急处置装置和远端监控模块，所述火情监测装置设置在电缆通道内，电缆通道包括多个监控段，每个监控段设置至少一个所述火情监测装置，用于监测所在监控段火情特征气体浓度、烟雾颗粒浓度、电缆通道环境温度和电缆导体温度；所述边缘计算装置与火情监测装置相连接，以火情监测装置获得的各个监控段数据计算评估火灾风险级别，根据评估火灾风险级别向火情应急勘查装置下达

应急勘查监控段;所述火情应急勘查装置移动至应急监控段,获得火情定位及火情场景图片,回传至所述边缘计算装置;所述远端监控模块与所述边缘计算装置相连接,依照告警信号和勘查结果,向火情应急处置装置下达消防指令。

[0008] 优选地,所述火情监测装置包括气体浓度监测单元,用于监测所在监控段中一氧化碳、氯化氢、二氧化碳和氧气的浓度。

[0009] 优选地,气体浓度监测单元包括:第一板体和第二板体;第一板体设置有第一通孔和能够封堵该第一通孔的密封盖;第二板体设置有第二通孔、与第二通孔相连通的曲线管道,以及曲线管道末端的气体浓度传感器。

[0010] 优选地,所述火情应急勘查装置包括:多个自组网勘探机器人;所述自组网勘探机器人包括:外壳,运动单元、勘查单元和通讯单元;所述运动单元用于驱动勘探机器人个体移动;勘查单元用于获得火情定位及火情场景图片;通讯单元用于使所述多个勘探机器人与所述边缘计算装置组成无线自组织网络。

[0011] 优选地,所述运动单元包括:控制器、电动机和滚动轮;控制器与电动机相连接,电动机连接滚动轮,用于驱动对应的滚动轮进行滚动。

[0012] 优选地,所述勘查单元包括:固定在外壳上的气体传感器、温度传感器、感烟传感器和图像采集器;所述外壳为透明壳体。

[0013] 优选地,所述多个自组网勘探机器人的通讯单元采用UWB定位和WiFi通信实现自组网与网络拓扑结构,且多个自组网勘探机器人互为备用。

[0014] 优选地,火情应急处置装置包括:固定式灭火装置和移动式消防机器人。

[0015] 本发明的另一方面提供了一种使用所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法,包括以下步骤:

[0016] 步骤1,持续进行火情监测,若火情监测出现告警信号,继续执行步骤2;

[0017] 步骤2,火情监测出现告警信号时,同间隔段落启动自组网勘探机器人群组,开展火情应急勘查,获得火情定位及火情场景图片数据;

[0018] 步骤3,明确火情点位置,联动消防系统,对火情进行消防处理。

[0019] 优选地,步骤1具体包括:

[0020] 步骤1.1,实时监测电缆通道各个段落的火情特征气体、烟雾颗粒浓度、通道环境温度、线路关键巡视点温度;

[0021] 步骤1.2,以步骤1.1获得的数据计算评估火灾风险级别;

[0022] 步骤1.3,若步骤1.2计算获得的火灾风险级别高于设定值,发出告警信号。

[0023] 优选地,步骤1.2中,将火灾风险分为k个级别,k为2以上的自然数,为每个级别划分评判标度范围;

[0024] 以步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数数值计算评判标度,依照评判标度范围获得当前段落当前时刻的火灾风险级别;

[0025] 针对火灾风险级别采取对应的应对措施。

[0026] 优选地,将火灾风险分为:小、一般、大和非常大;对应的评判标度范围分别为:0~25、25~50、50~75和75~100;对应的应对措施分别为:1)无,2)预警位置需加强巡检,3)预警位置需重点监视,及时消除隐患,4)切断电源,组织专业人员仔细检查,排除故障。

[0027] 优选地,以如下公式计算评判标度A,

[0028] $A = U_B^T M V^T$ 式中：

[0029] U_B表示步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数权重向量，

[0030] M表示评价矩阵，

[0031] V表示电缆火灾预警信号评价集矩阵，由各个评判标度范围的上限形成，

[0032] T表示转置。

[0033] 优选地，以如下公式表示运行参数权重向量U_B，

[0034] $$U_B = (u_i)^T_{i=1,2,\cdots,n}$$

[0035] $$u_i = \left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)\right]^{-\frac{1}{n}}$$

[0036] 式中：

[0037] p_{ij}表示判断矩阵P_B中的元素，

[0038] n表示判断矩阵P_B的阶数。

[0039] 优选地，以如下公式表示判断矩阵P_B，

[0040] $$P_B = [p_{ij}]_{\substack{i=1,2,\cdots,n \\ j=1,2,\cdots,n}}$$

[0041] $$p_{ij} \cdot p_{ji} = 1$$

[0042] 式中：

[0043] p_{ij}表示判断矩阵P_B中的元素，为第i个影响因子与第j个影响因子的标度，

[0044] n表示判断矩阵P_B的阶数。

[0045] 优选地，以如下公式表示评价矩阵M，

[0046] $$M = [m_{\alpha\beta}]_{\substack{\alpha=1,2,\cdots,n \\ \beta=1,2,\cdots,k}}$$

[0047] $$m_{\alpha\beta} = \begin{cases} 1, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之内} \\ 0, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之外} \end{cases}$$

[0048] 式中：

[0049] $m_{\alpha\beta}$表示评价矩阵M中的元素，

[0050] n表示判断矩阵P_B的阶数，

[0051] k表示火灾风险级别的个数。

[0052] 本发明的有益效果在于，与现有技术相比，本发明中火情监测装置创新采用长路径管道吸气式检测方法，实时监测火情特征气体(CO、HCl、CO2、O2)、烟雾颗粒浓度、通道环境温度、线路关键巡视点温度，通过特征气体浓度和响应时间定位火情及判断燃烧状态，定位精度达到1m，突破了传统火情监测物理量单一、无法精确定位的技术瓶颈。

[0053] 火情应急勘查装置创新采用自组网球形机器人群组模式，单个机器人同时具备运动、勘查和通讯功能。突破了狭窄空间零半径转向瓶颈，优化配重结构实现高倾角爬坡与零倾覆运动，根据各机器人相对方位与通信传输距离动态规划勘查轨迹，精确跟随、规避碰撞，可于1.5min内完成对200m防火间隔勘查；采用密闭透明防火外壳兼顾防火与火情勘查需求，可实时监测火情点环境参数(温度、湿度、图像)；机器人群组采用UWB定位和WiFi通信技术实现自组网与网络拓扑结构优化，且互为备用，形成高可靠、低成本、抗毁伤的自适应网络。

[0054] 对火情能够准确分级，对应地选取应对措施，快速联动消防机制，最大限度减小财产损失。

附图说明

[0055] 图1是依照本发明的一种电缆火情监测勘查应急处置一体化系统的框图；

[0056] 图2是气体浓度监测单元的第一板体的示意图；

[0057] 图3是气体浓度监测单元的第二板体的示意图；

[0058] 图4是依照本发明的一种电缆火情监测勘查应急处置一体化方法流程图。

具体实施方式

[0059] 下面结合附图对本申请作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案，而不能以此来限制本申请的保护范围。

[0060] 如图1所示，本发明的第一方面提供了一种电缆火情监测勘查应急处置一体化系统，包括：火情监测装置、边缘计算装置、火情应急勘查装置、火情应急处置装置和远端监控模块。

[0061] 所述火情监测装置设置在电缆通道内，电缆通道包括多个监控段，每个监控段设置至少一个所述火情监测装置，用于监测所在监控段火情特征气体浓度、烟雾颗粒浓度、电缆通道环境温度和电缆导体温度。

[0062] 所述火情监测装置包括气体浓度监测单元，用于监测所在监控段中一氧化碳、氯化氢、二氧化碳和氧气的浓度。值得注意的是，所属领域技术人员可以任意配置用于监测火情的特征气体，上述监测四种气体浓度的气体浓度监测单元仅是一种优选但非限制性的实施方式，可以使用更多或者更少种类的特征气体，既可以使用这四种气体，也可以使用其他种类的特征气体，例如但不限于，氮的氧化物、硫的氧化物或硫化氢等等气体。

[0063] 如图2、3所示，气体浓度监测单元包括：第一板体2和第二板体3；第一板体2设置有第一通孔和能够封堵该第一通孔的密封盖；第二板体3设置有第二通孔31、与第二通孔31相连通的曲线管道32，以及曲线管道32末端的气体浓度传感器。第一板体2和第二板体3组合后形成长路径管道吸气式检测结构。

[0064] 值得注意的是，所属领域技术人员可以选用其他的气体检测方法，本发明中选用

的长路径管道吸气式检测结构仅是一种优选但非限制性的实施方式，使用任何的气体检测方式对特征气体浓度进行监测均落入本发明的发明构思范围之内。可以理解的是，通过特征气体浓度和响应时间定位火情及判断燃烧状态，定位精度达到1m，突破了传统火情监测物理量单一、无法精确定位的技术瓶颈。

[0065] 所述边缘计算装置与火情监测装置相连接，以火情监测装置获得的各个监控段数据计算评估火灾风险级别，根据评估火灾风险级别向火情应急勘查装置下达应急勘查监控段。可以理解都是，采用边缘计算的方式大大降低了通讯和计算压力，为及时处置火情提供了宝贵的计算资源和时间。

[0066] 所述火情应急勘查装置移动至应急监控段，获得火情定位及火情场景图片，回传至所述边缘计算装置。值得注意的是，所属领域技术人员可以采用任何合适火情应急勘察装置，本发明如下的方式，仅是一种优选但非限制性的实施方式。机器人的形态和结构可以做出改变，符合相应功能的应急勘察装置均落入本发明的发明构思之内。

[0067] 所述火情应急勘查装置包括：多个自组网勘探机器人；所述自组网勘探机器人包括：外壳，设置外壳内部的运动单元、勘查单元和通讯单元；所述运动单元用于驱动自组网勘探机器人移动；勘查单元用于获得火情定位及火情场景图片；通讯单元用于使所述多个自组网勘探机器人与所述边缘计算装置组成无线自组织网络。

[0068] 所述运动单元包括：控制器、驱动机构和行进机构；控制器与驱动机构相连接，驱动机构连接行进机构，用于驱动对应的行进机构进行移动。

[0069] 作为本发明的进一步优选，所述运动单元包括：控制器、电动机和滚动轮；控制器与电动机相连接，电动机连接滚动轮，用于驱动对应的滚动轮单元进行滚动。

[0070] 所述勘查单元包括：固定在外壳上的气体传感器、温度传感器、感烟传感器和图像采集器；所述外壳为透明壳体。可以理解的是，根据勘察内容的不同，所属领域技术人员可以任意配置相关的传感器和/或摄像结构，用于获得相关火情数据。

[0071] 所述多个自组网勘探机器人的通讯单元采用UWB定位和WiFi通信实现自组网与网络拓扑结构，且多个自组网勘探机器人互为备用。本发明中，采用密闭透明防火外壳兼顾防火与火情勘查需求，可实时监测火情点环境参数(温度、湿度、图像)；机器人群组采用UWB定位和WiFi通信技术实现自组网与网络拓扑结构优化，且互为备用，形成高可靠、低成本、抗毁伤的自适应网络。

[0072] 一个优选但非限制性的实施方式为，自组网勘探机器人为球形机器人，球形单个机器人可以同时具备运动、勘查和通讯功能，突破了狭窄空间零半径转向瓶颈，优化配重结构实现高倾角爬坡与零倾覆运动，根据各机器人相对方位与通信传输距离动态规划勘查轨迹，精确跟随、规避碰撞，可于1.5min内完成对200m防火间隔勘查。

[0073] 所述远端监控模块与所述边缘计算装置相连接，依照告警信号和勘查结果，向火情应急处置装置下达消防指令。远端监控模块结合边缘计算装置的形式降低了系统整体复杂程度，并且能够在火情发生的早期快速响应。

[0074] 火情应急处置装置包括：固定式灭火装置和移动式消防机器人。值得注意的是，所属领域技术人员可以任意配置固定式灭火装置和移动式消防机器人，当接收到所述边缘计算装置的指令能够依照所述边缘计算装置前期获得的火情定位，快速到达火情发生的现场，及时开展消防处置工作。

[0075] 如图4所示，本发明的第二方面提供了一种使用所述电缆火情监测勘查应急处置一体化系统的电缆火情监测勘查应急处置一体化方法，包括以下步骤：

[0076] 步骤1，持续进行火情监测，若火情监测出现告警信号，继续执行步骤2；

[0077] 步骤1具体包括：

[0078] 步骤1.1，实时监测电缆通道各个段落的火情特征气体、烟雾颗粒浓度、通道环境温度、线路关键巡视点温度；以步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数计算评判标度，依照评判标度范围获得当前段落当前时刻的火灾风险级别。

[0079] 具体地，一个优选但非限制性的实施方式为，以如下方式计算评判标度，使用1~9模糊标度，对相同层级的评价因素进行两两比较，得到判断矩阵，

[0080] $P_B = [p_{ij}]_{n\times n} = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix}$ 式中：

[0081] P_B 表示判断矩阵，

[0082] p_{ij} 表示影响因素i相对于影响因素j的标度，

[0083] n表示步骤1.1中实时监测的影响因子的个数，

[0084] 标度的含义以下表表示，

[0085] 表1标度的含义

[0086]

标度	含义
1	两个因素相比，具有同样重要性
3	两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 i 与因素 j 的标度为 p_{ij} ，则因素 j 与因素 i 的标度为 $\frac{1}{p_{ij}}$

[0087] 根据层次结构模型，影响因子包含电缆导体温度、电缆隧道空间温度、二氧化碳浓度、烟颗粒浓度、氧气浓度、一氧化碳浓度作为评价因素，依据历史经验，得到运行参数判断矩阵为：

[0088] $$P_B = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/4 & 1/4 & 1 & 1/2 \\ 7 & 4 & 1 & 1 & 4 & 2 \\ 7 & 4 & 1 & 1 & 4 & 2 \\ 3 & 1 & 1/4 & 1/4 & 1 & 1/2 \\ 5 & 2 & 1/2 & 1/2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

[0089] 即以如下公式表示判断矩阵 P_B ，

[0090] $$P_B = [p_{ij}]_{\substack{i=1,2,\cdots,n \\ j=1,2,\cdots,n}}$$

[0091] $p_{ij} \cdot p_{ji} = 1$

[0092] 式中：

[0093] p_{ij} 表示判断矩阵 P_B 中的元素，为第i个影响因子与第j个影响因子的标度，

[0094] n表示判断矩阵 P_B 的阶数，即步骤1.1中实时监测的影响因子的个数。

[0095] 通过几何平均法对判断矩阵 P_B 的行向量进行归一化，得到权重向量 U_B。

[0096] 以如下公式表示运行参数权重向量 U_B，

[0097] $$U_B = (u_i)^T_{i=1,2,\cdots,n}$$

[0098] $$u_i = \left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} p_{ij}\right)\right]^{-\frac{1}{n}}$$

[0099] 式中：

[0100] p_{ij} 表示判断矩阵 P_B 中的元素，

[0101] n表示判断矩阵 P_B 的阶数。

[0102] 作为本发明的一种优选，对运行参数权重向量进行计算，则得到，

[0103] $U_B = [0.0353\ 0.0875\ 0.3135\ 0.3135\ 0.0875\ 0.1663]^T$

[0104] 计算判断矩阵最大特征值 $\lambda_{max} = 6.0415$，以如下公式对计算结果进行一致性检验，

[0105] $C_R = \frac{\lambda_{max-n}}{(n-1)R_I}$ 式中：

[0106] C_R 表示一致性指标，

[0107] R_I 表示平均一致性指标，如下表所示，

[0108] 表2一致性指标 R_I 取值

[0109]

阶数	1	2	3	4	5	6
R_I	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26

[0110] 若 C_R <0.1，则该判断矩阵通过一致性检验。

[0111] 对运行参数矩阵进行计算，得出 $C_R = 0.0066$，小于0.1，通过一致性检验。

[0112] 作为本发明的一种优选，既可以对各个影响因子作出单一评价，也可以对各个影响因子进行多重评价，分别得到评价矩阵M，

[0113] $$M=\begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{i1} & \cdots & m_{ij} \end{bmatrix}$$ 式中：

[0114] M为影响因子的隶属度评价矩阵，

[0115] m_{ij}为第i个因子在第j个等级上的模糊隶属度量值。

[0116] 具体地，若进行多重评价，第一种评价方式以影响因子数值本身，即电缆导体温度、电缆隧道空间温度、二氧化碳浓度、烟颗粒浓度、氧气浓度、一氧化碳浓度形成阈值评价矩阵 $M_{threshold}$，

[0117] 即，以如下公式表示阈值评价矩阵 $M_{threshold}$，

[0118] $$M_{threshold}=[m_{\alpha\beta}]_{\substack{\alpha=1,2,\cdots,n \\ \beta=1,2,\cdots,k}}$$

[0119] $$m_{\alpha\beta}=\begin{cases} 1, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之内} \\ 0, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之外} \end{cases}$$

[0120] 式中：

[0121] $m_{\alpha\beta}$表示阈值评价矩 $M_{threshold}$中的元素，

[0122] n表示判断矩阵 P_B的阶数，

[0123] k表示火灾风险级别的个数。

[0124] 一个优选但非限制性的实施方式为，影响因子模糊分级范围如下表所示，

[0125] 表3影响因子模糊分级范围

[0126]

因子	I级	II级	III级	IV级
导体温度（℃）	<50	50~65	65~90	>90
空间温度（℃）	<40	40~55	55~70	>70
二氧化碳浓度（ppm）	<700	700~800	800~1000	>1000
烟颗粒浓度（ppm）	<2	2~8	8~15	>15
氧气浓度（%）	>20	19~20	18~19	＜18
一氧化碳浓度（ppm）	<5	5~10	10~20	>20

[0127] 举例：当前测得导体温度87℃，空间温度65℃，二氧化碳浓度980ppm，烟颗粒浓度7ppm，氧气浓度19.98%，一氧化碳浓度3.85ppm，则得出影响因子隶属度评价矩阵为，

[0128] $$M_{threshold}=\begin{bmatrix} 0&0&1&0 \\ 0&0&1&0 \\ 0&0&1&0 \\ 0&1&0&0 \\ 0&1&0&0 \\ 1&0&0&0 \end{bmatrix}$$

[0129] 第二种评价方式以影响因子数值变化率，即电缆导体温度变化率、电缆隧道空间温度变化率、二氧化碳浓度变化率、烟颗粒浓度变化率、氧气浓度变化率、一氧化碳浓度变

化率形成变化率评价矩阵 M_{rate}，

[0130] $$M_{rate}=[m_{\alpha\beta}]_{\substack{\alpha=1,2,\cdots,n\\ \beta=1,2,\cdots,k}}$$

[0131] $$m_{\alpha\beta}=\begin{cases}1, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之内}\\ 0, & \text{第}\ \alpha\ \text{个影响因子的数值在第}\ \beta\ \text{级的区间之外}\end{cases}$$

[0132] 式中：

[0133] $m_{\alpha\beta}$ 表示变化率评价矩阵 M_{rate} 中的元素，

[0134] n表示判断矩阵 P_B 的阶数，

[0135] k表示火灾风险级别的个数。

[0136] 值得注意的是，在电缆火情初期，影响因子数值可能暂时没有达到以数值本身计算分级的范围之内，但是变化率会产生较大变化，以影响因子数值变化率形成评价矩阵可以有效对发展迅速的火情进行预警，并对影响因子数值进行分级进行有效补充。

[0137] 然后，以如下公式计算评判标度A，

[0138] $$A=U_B^T M V^T$$

[0139] 式中：

[0140] U_B 表示步骤1.1中实时监测的多个影响因子的运行参数权重向量，

[0141] M表示评价矩阵，即所述阈值评价矩阵 $M_{threshold}$ 和变化率评价矩阵 M_{rate}，

[0142] V表示电缆火灾预警信号评价集矩阵，由各个评判标度范围的上限形成，在该实施例中可以是 $V=[25\ 50\ 75\ 100]$。

[0143] T表示转置。

[0144] 值得注意的是，若采用多重评价，以获得的两个评判标度中较大的一个为准。

[0145] 作为本发明进一步的优选，为了避免产生误报，在边缘计算模块中设置辅助检测单元，其包含PNN模型(Probabilistic Neural Network，PNN)。以模拟电缆火灾的数据作为样本训练该PNN模型。PNN模型训练完成后，以电缆导体温度、电缆隧道空间温度、二氧化碳浓度、烟颗粒浓度、氧气浓度、一氧化碳浓度作为输入，以发生电缆火灾的概率 P_{fire} 作为输出。同样地，划定发生电缆火灾的概率 P_{fire} 模糊分级范围，例如但不限于下表，

[0146] 表4 发生电缆火灾的概率 P_{fire}

[0147]

	I级	II级	III级	IV级
概率 P_{fire}	<10	10~24	25~49	50~100

[0148] 所述PNN模型输出的电缆火灾概率 P_{fire} 与评判标度A 结合对电缆火情进行初判，一个优选但非限制性的实施方式为，若电缆火灾概率 P_{fire} 为低风险级别，而评判标度A输出高级别，则判定误报；若电缆火灾概率 P_{fire} 为高风险级别，则提示运维人员关注风险；若双

高则确定火灾风险级别较高，若双低则认为火灾风险级别较低。可以理解的是，若电缆火灾概率P_{fire}为高风险级别，也可以启动勘探机器人进行现场核实。

[0149] 步骤1.2，以步骤1.1获得的数据计算评估火灾风险级别；可以理解的是，步骤1.2中，将火灾风险分为k个级别，k为2以上的自然数，为每个级别划分评判标度范围；针对火灾风险级别采取对应的应对措施。

[0150] 可以理解的是，所属领域技术人员可以根据安全考量任意设置火灾风险级别的数量和对应的应对措施，本发明中给出一个优选但非限制性的实施方式，用于清楚地介绍本发明的实施方法。例如，将火灾风险分为：小、一般、大和非常大；对应的评判标度范围分别为：0~25、25~50、50~75和75~100；对应的应对措施分别为：1)无，2)预警位置需加强巡检，3)预警位置需重点监视，及时消除隐患，4)切断电源，组织专业人员仔细检查，排除故障。也可以对应四种颜色的预警信号。

[0151] 步骤1.3，若步骤1.2计算获得的火灾风险级别高于设定值，发出告警信号。

[0152] 步骤2，火情监测出现告警信号时，同间隔段落启动自行走勘查机器人群组，开展火情应急勘查，获得火情定位及火情场景图片数据；

[0153] 步骤3，明确火情点位置，联动消防系统，消防系统不限于固定式灭火装置及移动式消防机器人。

[0154] 本发明的有益效果在于，与现有技术相比，本发明中火情监测装置创新采用长路径管道吸气式检测方法，实时监测火情特征气体(CO、HCl、CO2、O2)、烟雾颗粒浓度、通道环境温度、线路关键巡视点温度，通过特征气体浓度和响应时间定位火情及判断燃烧状态，定位精度达到1m，突破了传统火情监测物理量单一、无法精确定位的技术瓶颈。火情应急勘查装置创新采用自组网自组网机器人群组模式，单个机器人同时具备运动、勘查和通讯功能。突破了狭窄空间零半径转向瓶颈，优化配重结构实现高倾角爬坡与零倾覆运动，根据各机器人相对方位与通信传输距离动态规划勘查轨迹，精确跟随、规避碰撞，可于1.5min内完成对200m防火间隔勘查；采用密闭透明防火外壳兼顾防火与火情勘查需求，可实时监测火情点环境参数(温度、湿度、图像)；机器人群组采用UWB定位和WiFi通信技术实现自组网与网络拓扑结构优化，且互为备用，形成高可靠、低成本、抗毁伤的自适应网络。对火情能够准确分级，对应地选取应对措施，快速联动消防机制，最大限度减小财产损失。

[0155] 本发明申请人结合说明书附图对本发明的实施示例做了详细的说明与描述，但是本领域技术人员应该理解，以上实施示例仅为本发明的优选实施方案，详尽的说明只是为了帮助读者更好地理解本发明精神，而并非对本发明保护范围的限制，相反，任何基于本发明的发明精神所作的任何改进或修饰都应当落在本发明的保护范围之内。

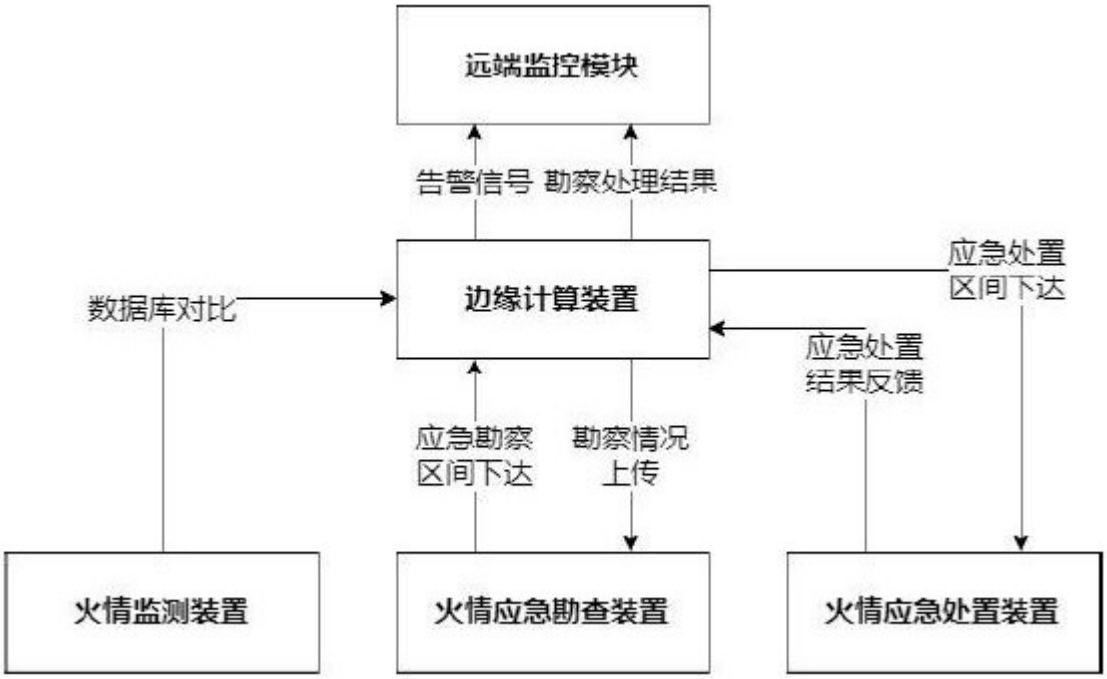

远端监控模块
告警信号
勘察处理结果
边缘计算装置
数据库对比
应急处置
区间下达
应急处置
结果反馈
应急勘察
区间下达
勘察情况
上传
火情监测装置
火情应急勘查装置
火情应急处置装置

图1

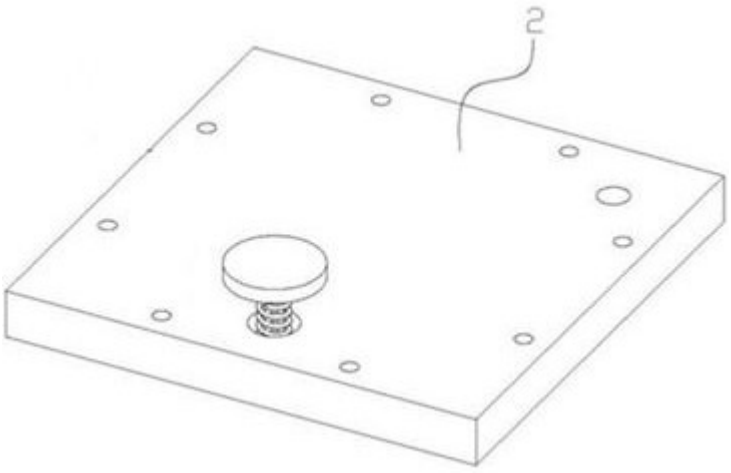

2

图2

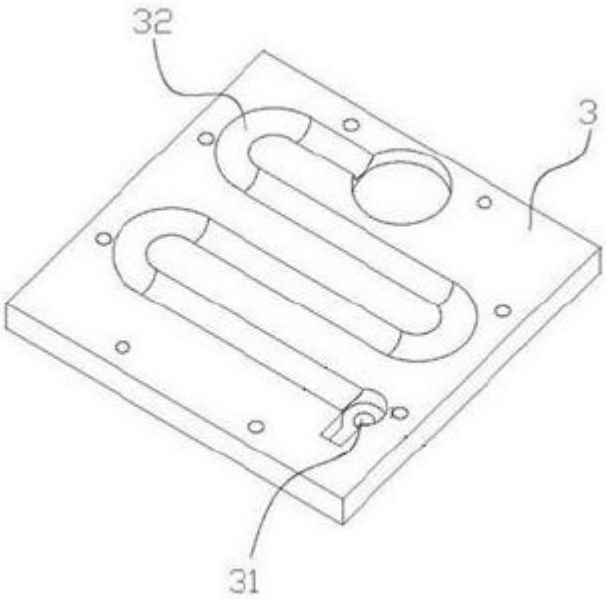

32
3
31

图3

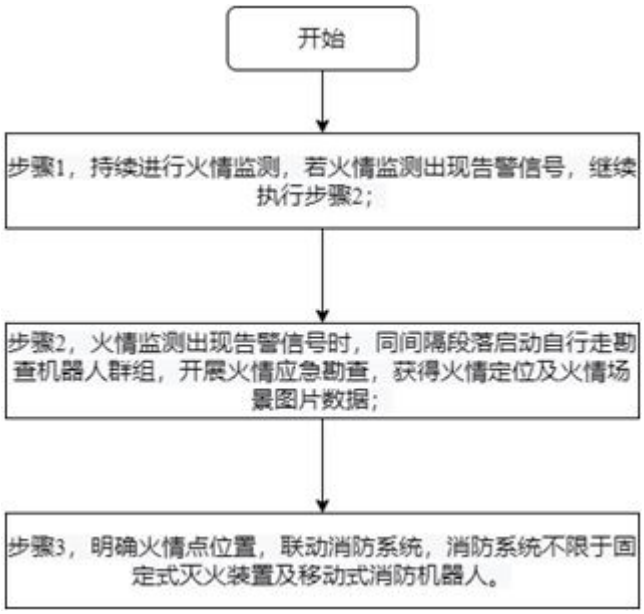

开始
步骤1，持续进行火情监测，若火情监测出现告警信号，继续执行步骤2；
步骤2，火情监测出现告警信号时，同间隔段落启动自行走勘查机器人群组，开展火情应急勘查，获得火情定位及火情场景图片数据；
步骤3，明确火情点位置，联动消防系统，消防系统不限于固定式灭火装置及移动式消防机器人。

图4