

基于 AIOT 技术的深基坑一体化 作业安全视觉监测方法

刘少博[†], 杜水婷, 徐鹏, 张建锋

(国网甘肃省电力公司, 兰州 甘肃 730050)

摘 要: 针对深基坑一体化作业安全风险较高的问题, 研究了基于 AIOT 技术的深基坑一体化作业安全视觉监测方法。利用双目视觉相机采集深基坑一体化作业监测区域图像, 利用物联网节点将所采集图像传送到远程监测中心。远程监测中心接收图像后, 利用卡尔曼滤波算法优化深基坑一体化作业监测图像。利用完成训练的 YOLOv3 算法, 识别是否存在未佩戴安全帽以及误入危险区域的作业人员, 存在未佩戴安全帽以及误入危险区域的作业人员时, 利用物联网节点定位方法定位危险作业人员位置, 实现深基坑一体化作业安全监测。实验结果表明, 该方法有效监测深基坑一体化作业中, 未佩戴安全帽以及进入危险区域的作业人员, 提升深基坑一体化作业的管控水平。

关键词: AIOT 技术; 深基坑; 一体化; 作业安全; 视觉监测方法; YOLOv3

中图分类号: TU753

文献标识码: A

Safety Visual Monitoring Method for Integrated Operation of Deep Foundation Pit Based on AIOT Technology

LIU Shaobo[†], DU Shuiting, XU Peng, ZHANG Jianfeng

(State Grid Gansu Electric Power Company, Lanzhou, Gansu 730050, China)

Abstract: In view of the high safety risk of deep foundation pit integrated operation, a visual safety monitoring method for deep foundation pit integrated operation based on aiot technology is studied. The binocular vision camera is used to collect the image of the integrated operation monitoring area of deep foundation pit, and the Internet of things node is used to transmit the collected image to the remote monitoring center. After the remote monitoring center receives the images, the Kalman filter algorithm is used to optimize the monitoring images of deep foundation pit integrated operation. Use the YOLOv3 algorithm that has completed the training to identify whether there are operators who do not wear safety helmets and enter the dangerous area by mistake. When there are operators who do not wear safety helmets and enter the dangerous area by mistake, use the Internet of things node positioning method to locate the position of dangerous operators, so as to realize the integrated operation safety monitoring of deep foundation pit. The experimental results show that this method can effectively monitor the operators who do not wear safety helmets and enter the dangerous area in the integrated operation of deep foundation pit, and improve the control level of the integrated operation of deep foundation pit.

Key words: AIOT technology; deep foundation pit; integration; operation safety; visual monitoring method; YOLOv3

AIOT 技术指人工智能物联网技术^[1], 利用物 联网技术采集应用数据, 通过人工智能算法处理物

联网所采集的数据,实现众多终端设备间的互通,该技术已广泛应用于众多领域中。物联网技术将设备终端与网络连接^[2],实现不同设备间的信息交换,目前已经广泛应用于定位、监测等众多领域。人工智能技术包括机器人、自然语言处理等技术,将人工智能技术和物联网技术应用于深基坑一体化作业安全监测中^[3],提升深基坑一体化作业的管理效率以及管理质量,实现深基坑一体化作业的智能化监管。

深基坑一体化作业的作业人员缺乏安全意识时,容易出现忘记佩戴安全帽或进入危险区域的情况,极易造成安全事故^[4,5],严重者可能造成无法挽回的损失。深基坑一体化作业过程中存在较高的危险性^[6],深基坑一体化作业的视觉监测方法可以提升深基坑一体化作业的安全性。

目前针对深基坑施工监测的研究较多,李振兴等^[7]针对深基坑研究智能化安全监测系统;黄晓程等^[8]针对大型深基坑施工的监测点设置进行研究。以上两种分别实现了深基坑的作业安全监测以及监测点布置,但是存在实时性较差、视觉监测程度较低的缺陷。为了提升深基坑的作业安全性,研究基于 AIOT 技术的深基坑一体化作业安全视觉监测方法,通过 AIOT 技术实时监测深基坑一体化的作业安全,为深基坑一体化的安全可靠作业提供保障,实时管控深基坑一体化作业现场,改善深基坑一体化作业现场管控难度大、难以预防安全风险问题的缺陷,提升深基坑一体化作业的管控水平,严格管控深基坑一体化作业现场的施工安全。

1 深基坑一体化作业安全视觉监测方法

1.1 基于 DV-Hop 方法的物联网节点定位算法

DV-Hop 方法依据物联网中不同节点间的距离,选取物联网中的最佳路径,获取节点定位结果。DV-Hop 方法定位物联网节点的具体过程如下。

(1)利用泛洪技术将深基坑一体化作业监测区域内的物联网信标节点的位置信息传送至网络中的其他节点。信标节点传送的数据包为 $\{ID_i, (x_i, y_i), H_i, RSSI_i\}$, 初始跳数值为 0。物联网内的全部节点均可以接收来自信标节点发送的具有最小跳数的数据包。

(2)计算信标节点的平均跳距。

深基坑一体化作业监测区域内设置的物联网信标节点的平均跳距计算公式如下:

$$J_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} H_{ij}} \quad (1)$$

公式(1)中, (x_i, y_i) 与 (x_j, y_j) 分别表示物联网中的信标节点 i 以及信标节点 j 的坐标; H_{ij} 表示物联网中的信标节点 i 以及信标节点 j 的最小跳数。

将获取的平均跳距作为初始跳距的校正值,将校正值传送至物联网内,物联网中其他节点收到所获取的校正值时^[9-11],利用该校正值获取信标节点与待定位节点间的距离。

信标节点与待定位节点的估计距离表达式如下:

$$d = H_{i,j'} \times J_i \quad (2)$$

(3)深基坑一体化作业监测区域内的待定位节点的具体坐标需要通过所接收的三个信标节点获取^[12]。通过极大似然估计法获取定位节点的坐标值。

设深基坑一体化作业监测区域的 m 个信标节点坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$ 。用 $d_1, d_2, \dots, d_m$ 表示深基坑一体化作业监测区域物联网的未知节点至信标节点的间距,未知节点至信标节点的间距表达式如下:

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_m)^2} \quad (3)$$

以矩阵 $\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{a}$ 的形式表示公式(3),可得待定位深基坑一体化作业监测区域内未知节点坐标表达式如下:

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{a} \quad (4)$$

公式(4)中的系数 $\mathbf{A}$ 与系数 $\mathbf{a}$ 的表达式如下:

$$\mathbf{A} = 2 \times \begin{bmatrix} (x_1 - x_m) & (y_1 - y_m) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{m-1} - x_m) & (y_{m-1} - y_m) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} x_1^2 + x_m^2 - y_1^2 + y_m^2 - d_m^2 + d_1^2 \\ \vdots \\ x_{m-1}^2 + x_m^2 - y_{m-1}^2 + y_m^2 - d_m^2 + d_{m-1}^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

通过以上过程实现深基坑一体化作业监测区域内物联网节点的精准定位。

1.2 卡尔曼滤波的现场图像卡尔曼滤波优化

选取卡尔曼滤波算法对通过物联网技术传送至远程监测中心的图像进行去噪处理,去除深基坑一体化作业监测图像中的遮挡等干扰^[13]。卡尔曼滤波算法是利用线性系统估计目标运动状态的

算法。

设时间为 t 时,深基坑一体化作业监测图像中的状态向量为 $\mathbf{X}_t$,卡尔曼滤波算法处理深基坑一体化作业监测图像的状态预测方程表达式如下:

$$\mathbf{X}_t = \mathbf{A}\mathbf{X}_{t-1} + \mathbf{D}\mathbf{u}_t + \mathbf{D}\mathbf{w}_t \quad (7)$$

公式(7)中, $\mathbf{D}$ 与 $\mathbf{A}$ 分别表示输入控制模型以及状态转移矩阵; $\mathbf{w}_t$ 与 $\mathbf{u}_t$ 分别表示深基坑一体化作业监测图像的过程噪声以及控制量,设 $\mathbf{w}_t$ 满足协方差矩阵和均值分别为 $\mathbf{Q}$ 与 $\mathbf{0}$ 的正态分布。

卡尔曼滤波算法处理深基坑一体化作业监测图像的状态观测方程表达式如下:

$$\mathbf{Z}_t = \mathbf{K}\mathbf{X}_t + \mathbf{K}\mathbf{v}_t \quad (8)$$

公式(8)中, $\mathbf{v}_t$ 与 $\mathbf{K}$ 分别表示测量噪声以及观测矩阵,设 $\mathbf{v}_t$ 满足协方差矩阵和均值分别为 $\mathbf{R}$ 与 $\mathbf{0}$ 的正态分布。

卡尔曼滤波算法利用此时状态的预测和更新过程获取图像的最优状态估计结果。预测阶段过程如下。

(1)利用时间为 $t-1$ 时获取的深基坑一体化作业监测图像最优状态估计以及控制量^[14],预测深基坑一体化作业监测图像中目标的当前状态,可将公式(7)转化如下:

$$\hat{\mathbf{x}}_t^- = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_{t-1} + \mathbf{D}\mathbf{K}\mathbf{u}_t \quad (9)$$

(2)获取深基坑一体化作业监测图像中预测值与实际值之间的误差协方差矩阵表达式如下:

$$\mathbf{G}_t = \mathbf{A}\mathbf{G}_{t-1}\mathbf{A}^T + \mathbf{K}\mathbf{Q} \quad (10)$$

(3)获取深基坑一体化作业监测图像去噪的卡尔曼增益矩阵,表达式如下:

$$\mathbf{L}_t = \mathbf{G}_t\mathbf{K}^T(\mathbf{K}\mathbf{G}_t\mathbf{K}^T + \mathbf{K}\mathbf{R})^{-1} \quad (11)$$

更新阶段过程如下。

(1)利用深基坑一体化作业监测图像的状态预测值与观测值获取卡尔曼估计值,表达式如下:

$$\hat{\mathbf{x}}_t = \hat{\mathbf{x}}_t^- + \mathbf{L}_t\mathbf{z}_t - \mathbf{K}\hat{\mathbf{x}}_t^- \quad (12)$$

公式(12)中, $\mathbf{L}_t$ 表示卡尔曼增益,该值越高,所获取的观测值就具有越高的可信度。

(2)误差协方差矩阵更新公式如下:

$$\mathbf{G}_t = \mathbf{I}\mathbf{G}_t - \mathbf{L}_t\mathbf{K} \quad (13)$$

公式(13)中, $\mathbf{I}$ 表示单位矩阵。

利用卡尔曼滤波过程,预测深基坑一体化作业监测图像中的不确定性信息,去除深基坑一体化作业监测图像中包含的噪声。

1.3 基于人工智能算法的危险作业识别算法

YOLOv3 算法是人工智能算法中的重要方法,YOLOv3 算法的网络结构图如图 1 所示。

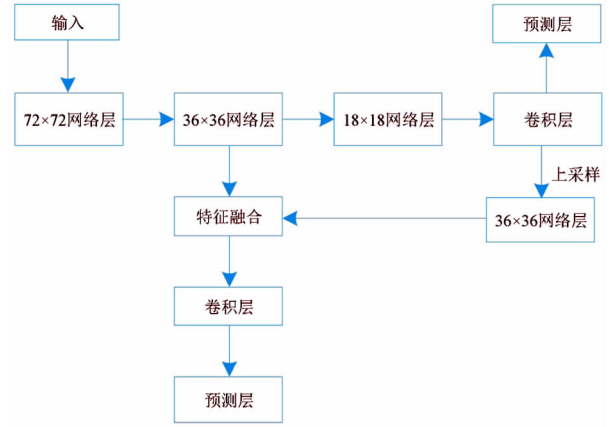


图 1 YOLOv3 算法的网络结构图

图 1 中,利用特征金字塔思想,上采样处理首个预测层前的特征图,将所获取的特征图与 YOLOv3 算法中的相同大小的特征图实施融合处理。将卷积层加入第二个预测层中,利用卷积层处理完成融合的特征图。通过以上过程处理图像,所获取的图像特征更加丰富。

将树形特征融合模块引入 YOLOv3 算法中,该模块可以在复杂图像中,获取图像中不同层次的上下文信息,同时可以利用该模块展示图像中包含的多尺度对象,令图像中包含的感受野范围更大^[15]。通过树形特征融合模块的展开步骤,将所获取输入复制至树形特征融合模块的两个分支内,两个分支分别起到探索空间依赖关系范围以及保留图像特征的作用。将树形特征融合模块输出的特征通过级联与之前的特征叠加。

树形特征融合模块的展开表达式如下:

$$o_n = f_n(o_{n-1}) \quad (14)$$

公式(14)中, o_n 与 f_n 分别表示步骤为 n 时,树形特征融合模块的输出以及卷积操作。

树形特征融合模块的叠加规则表达式如下:

$$Z_n(x) = gZ_{n-1}(x)(o_n) \quad (15)$$

公式(15)中, x 与 Z_n 分别表示树形特征融合模块的输入以及步骤为 n 时的输出结果; g 表示特征融合操作。

在树形特征融合模块中,加入三个卷积核获取深基坑一体化作业监测图像的多尺度特征,对多尺度特征进行批标准化处理,将完成处理后的特征传送至 ReLU 层,利用 ReLU 层融合全部分支的特征。

将 AIOT 方法与视觉监测特征相结合,监测深基坑一体化作业安全,监测过程如图 2 所示。

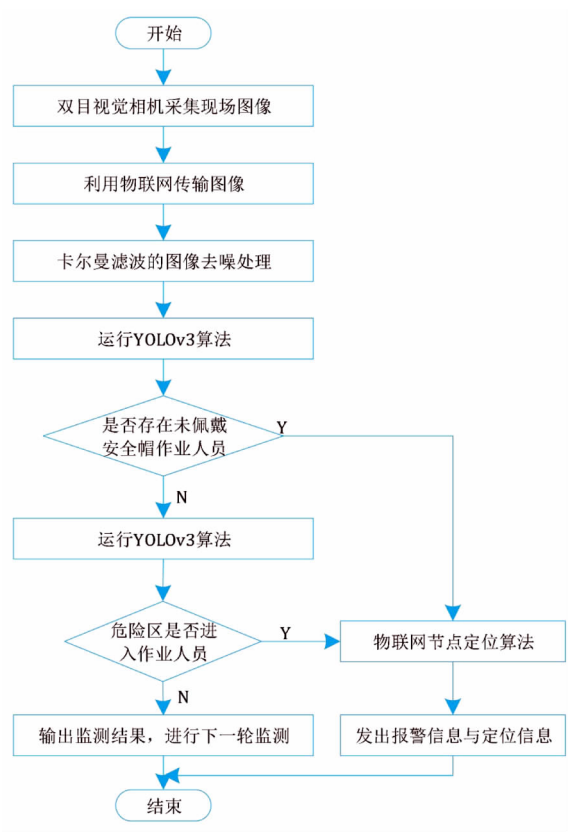


图 2 深基坑一体化作业安全视觉监测流程图

(1)设置双目视觉相机于深基坑一体化作业监测区域内。利用物联网实现双目视觉相机所采集深基坑一体化作业监测图像与远程监测中心的通信。利用物联网节点将采集的深基坑一体化作业监测区域图像传送至远程监测中心,远程监测中心利用人工智能算法中的 YOLOv3 算法监测深基坑一体化作业安全。

(2)远程监测中心接收深基坑一体化作业监测图像后,利用卡尔曼滤波算法对图像进行去噪处理。

(3)利用完成训练的 YOLOv3 算法监测深基坑一体化作业监测区域的作业人员目标以及是否佩戴安全帽的头部目标,YOLOv3 算法匹配作业人员以及作业人员的安全帽信息,完成作业人员的安全帽监测。

(4)利用完成训练的 YOLOv3 算法监测深基坑一体化作业区的危险区域是否存在误入作业人员;

(5)显示监测结果,监测结果包括深基坑一体化作业区是否存在未佩戴安全帽的作业人员以及

是否存在危险区域误入工作人员情况。

(6)深基坑一体化作业监测区域存在未佩戴安全帽或误入危险作业区域的作业人员时,显示报警信息,记录深基坑一体化作业监测区域的违规人员以及违规类型。发现深基坑存在危险作业情况时,利用物联网节点定位方法定位危险作业的监测节点的具体位置,将危险作业位置传送至深基坑一体化作业管理人员。

(7)接收新的深基坑一体化作业监测区域图像,继续利用完成训练的 YOLOv3 算法监测深基坑一体化作业安全。

2 实验分析

为了验证所研究的基于 AIOT 技术的深基坑一体化作业安全视觉监测方法,监测深基坑一体化作业安全有效性,将该方法应用于某市地铁 5 号线的深基坑一体化施工中,施工主体的基坑长度为 305 m,施工主体的基坑宽度为 19.5~22.8 m。施工主体的基坑平面为长条形,施工主体基坑的开挖深度为 17.5~19 m。施工深基坑为一级安全等级。深基坑一体化作业的围护结构设置为 900 mm 厚的地下连续墙加内支撑。深基坑一体化作业的基坑开挖面积为 6584 m²。设置本文方法所使用的物联网中包含节点数量 480 个。

监测深基坑一体化作业安全性,对深基坑一体化作业人员是否佩戴安全帽进行监测,监测结果如图 3 所示。



图 3 安全帽佩戴监测结果

通过图 3 实验结果可以看出,采用本文方法可以有效监测深基坑一体化作业人员是否佩戴安全帽。图 3 采用绿色方形框展示未佩戴安全帽作业人员的应佩戴安全帽位置,其余正常佩戴安全帽的作业人员,采用红色方形框展示安全帽。本文方法

识别出存在未佩戴安全帽的作业人员后,实时发送报警信息至深基坑一体化作业管理人员。

采用本文方法监测深基坑一体化作业的危险区域是否存在进入人员,监测结果如图 4 所示。

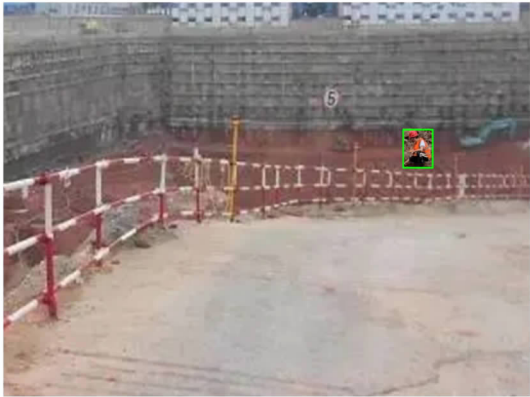


图 4 危险区域人员进入监测

通过图 4 实验结果可以看出,采用本文方法可以有效监测深基坑一体化作业的危险区域是否存在违规进入人员。图 4 利用绿色方形框直观展示监测结果中,一人违规进入深基坑一体化作业的危险区域,验证本文方法监测深基坑一体化作业安全具有较高的有效性。

本文采用物联网技术与人工智能技术结合方法,实现深基坑一体化作业安全的视觉监测,在此过程中,物联网的通信性能极为重要。统计采用本文方法监测过程中,物联网的存活节点数量变化,与文献[7]方法和文献[8]方法对比,对比结果如图 5 所示。

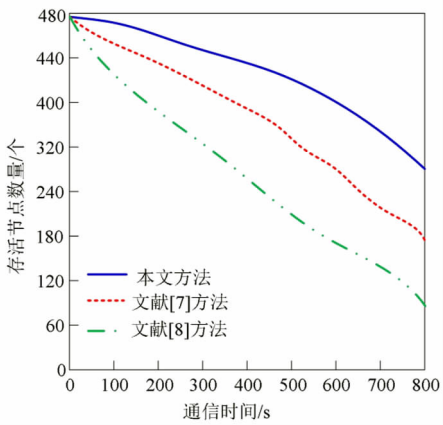


图 5 存活节点对比

通过图 5 实验结果可以看出,采用本文方法监测深基坑一体化作业安全,本文方法中的物联网存活节点数量明显高于另两种方法,且物联网节点存

活时间较长,节点能耗分布更加均匀,避免物联网中节点出现过早死亡情况,有效验证本文方法可以提升物联网寿命。

物联网节点定位性能影响深基坑一体化作业安全的监测性能。精准定位物联网节点,有助于深基坑一体化作业管理人员快速获取危险作业人员的具体位置。统计采用本文方法定位物联网节点位置与实际物联网节点位置,统计结果如图 6 所示。

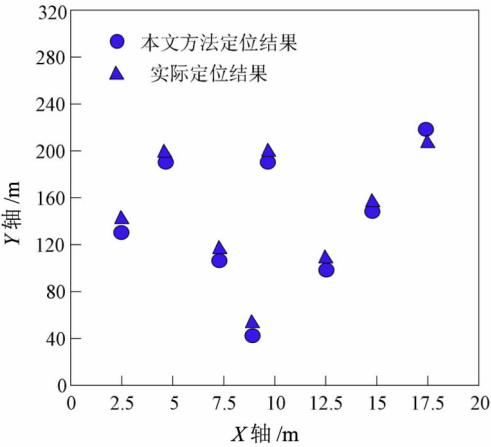


图 6 物联网定位结果

通过图 6 实验结果可以看出,本文方法采用物联网作为深基坑一体化作业安全监测的通信网络,对危险作业目标的定位精度较高。本文方法的定位结果与物联网节点实际结果相差极小,验证本文方法所采用的物联网具有较好的定位性能,可以实现在深基坑一体化作业安全监测中的良好应用。

统计采用本文方法监测深基坑一体化作业安全,其中 10 次报警的深基坑一体化作业安全风险问题,监测结果如表 1 所示。

表 1 深基坑一体化作业安全监测结果			
序号	报警日期	报警时间	报警内容
1	2020 年 5 月 5 日	8:16:13	作业人员未佩戴安全帽
2	2020 年 5 月 7 日	9:21:08	作业人员进入危险区域
3	2020 年 5 月 12 日	10:15:16	作业人员进入危险区域
4	2020 年 5 月 15 日	11:16:18	作业人员未佩戴安全帽
5	2020 年 5 月 16 日	9:18:23	作业人员进入危险区域
6	2020 年 5 月 18 日	13:19:18	作业人员未佩戴安全帽
7	2020 年 5 月 20 日	14:21:45	作业人员进入危险区域
8	2020 年 5 月 22 日	16:52:58	作业人员进入危险区域
9	2020 年 5 月 25 日	17:16:41	作业人员未佩戴安全帽
10	2020 年 5 月 28 日	14:16:49	作业人员未佩戴安全帽

通过表 1 实验结果可以看出,采用本文方法可以实现深基坑一体化作业安全的有效监测,监测不同日期、不同时间存在的深基坑一体化作业安全问题。深基坑一体化作业管理人员可以依据监测结果,管理深基坑一体化作业。

3 结 论

为了解决深基坑一体化作业过程中,缺少安全监控导致可能发生安全事故的问题,本文研究了基于 AIOT 技术的深基坑一体化作业安全视觉监测方法,利用 AIOT 技术实现深基坑一体化作业的安全监测。深基坑一体化作业是具有较高复杂性的工程项目,存在众多安全隐患。利用 AIOT 技术及时掌握深基坑一体化作业现场,提升深基坑一体化作业的安全性,为深基坑一体化作业的施工质量、提升深基坑一体化作业的施工效率提供保障,为推动我国建筑行业的发展水平提供重要依据。

参考文献

[1] 金剑锋,姚元,王明晓,等. 新零售时代,基于 5G 和 AIoT 技术的智慧门店探索与应用[J]. 电信科学, 2020, 36(S1):284—292.

[2] 柏彬,陈勇,杜长青,等. 基于物联网技术的智能安全监控建筑信息模型[J]. 工业建筑, 2020, 50(4):175—179.

[3] 徐建中,陈潜心,李冰洋. 数据挖掘下建筑安全防护驱动因素检测仿真[J]. 计算机仿真, 2020, 37(6):430—433.

[4] 陈波,徐成桂. 川南山区公路深基坑施工安全风险评估案例研究[J]. 公路工程, 2020, 45(1):146—151.

[5] 李稳,顾苏,汪志刚,等. 基于 ToF 技术的带电作业安全监测与预警系统[J]. 中国电力, 2020, 53(2):63—68.

[6] 邹昱昆,肖亚子,樊恒通,等. 基于“天空地”一体化技术的安全监测系统建设与应用[J]. 水力发电, 2021, 47(3):54—57.

[7] 李振兴,李天福,董开发,等. 邻近地铁的深基坑智能化安全监测系统研究及应用[J]. 建筑技术, 2021, 52(1):78—80.

[8] 黄晓程,余地华,邓昌福,等. 大型深基坑施工内控集约化监测点布设研究[J]. 施工技术, 2020, 49(1):41—44.

[9] 焦柯,赖鸿立,彭子祥,等. 基于物联网的既有建筑全生命周期安全运维服务系统关键技术研究[J]. 工业建筑, 2021, 51(10):201—210+8.

[10] 贺勃涛,辛鹏飞,朱栋,等. 基于三维激光扫描仪对深基坑实时监测与动态管理[J]. 建筑结构, 2020, 50(S1):1038—1043.

[11] 李新刚. 软土深基坑逆作法桩柱一体化施工技术[J]. 施工技术, 2020, 49(9):78—80+84.

[12] 邹德华,严宇,王伟,等. 基于 ToF 技术的高压输电线路带电作业安全监测方法[J]. 高电压技术, 2020, 46(7):2570—2577.

[13] 疏礼春. 基于大数据的云边一体化煤矿安全生产风险监测预警平台[J]. 煤矿安全, 2021, 52(5):144—148.

[14] 关祥宏. 基于安全性分析的深基坑变形实测与曲线拟合方法研究[J]. 施工技术, 2020, 49(11):109—112.

[15] 刘国龙. 基于监测数据的地铁深基坑施工动态风险评估[J]. 四川建筑科学研究, 2021, 47(2):70—76+84.