

深基坑一体化智能装置设计

刘迎甲¹, 朱景明¹, 张彪², 王开平²

¹国网湖北送变电工程有限公司, 湖北 武汉

²武汉船用机械有限责任公司, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年10月31日; 录用日期: 2022年11月30日; 发布日期: 2022年12月8日

摘要

深基坑一体化智能装置是电力工作者进行基坑作业时的重要设备, 用于渣土起吊、转运、气体监测、人员防护等。具备集成度高、拆卸运输方便等工作特性。本文主要从技术和结构原理对深基坑一体化智能装置设计进行介绍。

关键词

电力工作, 基坑作业, 起重防护

Design of Integrated Intelligent Device of Deep Foundation Pit

Yingjia Liu¹, Jingming Zhu¹, Biao Zhang², Kaiping Wang²

¹Hubei Power Transmission & Transformation Engineering Co., LTD., Wuhan Hubei

²Wuhan Marine Machinery Plant CO., LTD., Wuhan Hubei

Received: Oct. 31st, 2022; accepted: Nov. 30th, 2022; published: Dec. 8th, 2022

Abstract

Deep foundation pit integrated intelligent device is the important equipment for electric workers to carry out foundation pit operations, used for muck lifting, transport, gas monitoring, personnel protection and so on. It has the characteristics of high integration, convenient disassembly and transportation. This paper mainly introduces the design of integrated intelligent device for deep foundation pit from the technical and structural principles.

Keywords

Electric Power Work, Foundation Pit Operation, Lifting Protection

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在输变电工程建设中,深基坑作业是铁塔基础建设环节最基本、量最大且危险程度较高的工序。施工人员在开展深基坑作业时如采用传统人工作业方式开挖,不仅劳动强度大、危险性高,严重时还会出现基坑坍塌等事故。为加快电力行业深基坑作业专用设施研究,在铁塔基础建设时运用规范的标准化设备,加强深基坑作业安全性至关重要。

针对施工人员在深基坑等有限空间内作业可能出现的问题,我们研发设计出了新型深基坑作业一体化装置。既适用于基础深基坑开挖防护,又能辅助施工人员进行开挖作业,同时该装置还新增了实时气体检测、智能送风、自动声光报警、应急救援等功能,既保障坑下施工人员安全,又避免坑上施工人员误坠入。

本文以国网湖北送变电工程有限公司输变电建设基坑作业为目标,介绍深基坑一体化智能装置的设计,同时为其他类似装置提供参考。

2. 功能需求研究

为了保证开展的设计工作满足现场实际使用,首先需要面对一线用户针对性的研究深基坑一体化智能装置需要提供什么功能?哪些功能必须,哪些功能为可选项?

实际调研过程中,研究人员发现施工人员在开展深基坑作业时的基本流程如下:1)根据地质情况采取炸药或者铁锹挖掘的方式对基坑最表面进行作业;2)随着所挖基坑深度越来越深,需要将基坑内的碎石、泥土等运送出去;3)对于部分特殊林区,随着深度加深,可能还会从坑内溢散出有毒气体、可燃气体等。

针对上述作业基本流程,我们可以梳理出必要功能包括:1)起吊,用于将碎石、泥土从坑底转运至坑外。2)防护:随着坑越来越深,防止作业人员掉入深坑。3)气体检测:检测氧气浓度是否不够,检测潜在的有害气体。4)人员上下:人员需要从地面下到坑底。

另外,为提高深基坑一体化智能装置的安全性,可选的功能包括:1)鼓风:可以向基坑内吹气,增加新鲜空气。2)气体检测与鼓风联动:当气体检测仪检测有害气体超标时,鼓风设备自动开始送风。3)气体远程监测:方便上级部门实时监测不同基坑内的气体情况。4)起重作业远程监控:方便上级部门统计每个基坑每天的工作量。

最后考虑经济性和功能的迫切程度,研究人员确定深基坑一体化智能装置的初始样机需实现以下功能:1)起吊;2)防护;3)气体检测;4)人员上下;5)鼓风;6)气体检测与鼓风联动;7)气体远程监测。

3. 技术参数需求研究

开展深基坑一体化智能装置的设计,除了需要明确功能要求以外,还需要确定设计所需满足的技术参数。

研究人员针对上述7项功能,分析其参数化需求。

起吊功能:1)额定起重量,用于描述单次起吊的碎石泥土的质量,包括起吊桶的质量。2)起升速度,用于描述起吊额定起重量时,重物上升所能达到的最大速度。

防护功能：1) 防护高度，用于描述从地面到防护设施最大处的高度。2) 防护区域半径，用于描述从基坑中心到防护装置最外侧的距离。

人员上下功能：1) 载重量，用于描述能够承受的最大人员质量。

鼓风功能：1) 鼓风量，用于描述鼓风设备每小时可以输出新风的流量。

下面分别分析上述参数如何确定。

1) 额定起重量 m ：

已知基坑作业现场使用的起吊桶直径 $D = 0.5 \text{ m}$ ，高度 $h_1 = 0.5 \text{ m}$ ，石头密度 $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$ [1]，石头被炸开后因形状不均匀产生的堆放质量系数 $k = 0.5$ ，那么可以计算装满一桶碎石总重 m_1 。

$$m_1 = (0.25 * \pi * D^2 * h_1) * \rho * k = 127 \text{ kg}$$

其中系数 k 为研究人员多年从业的经验。

考虑一定的安全系数，最终确定额定起重量 $m = 150 \text{ kg}$ 。

2) 起升速度 v_1 ：

起升速度是一个较矛盾的参数，过慢会导致作业时间延长，过快会加大作业的安全风险等级，还需要考虑现场作业人员的工作熟练程度。根据研究笔者从业经验，确定起升速度 $v_1 = 12 \text{ m/min}$ 。

3) 防护高度 h ：

参考《机械设计手册》第五版第 1 卷“人机工程学有关功能参数”中防护栏杆的描述，防护高度 $h = 1000 \text{ mm}$ [1]。

4) 防护区域半径 R ：

基坑最小直径 1.2 m ，最大直径 2.5 m ，防护装置距离基坑边缘一般要求留 150 mm 至 350 mm 的间距，那么防护区域半径 R 要求可以覆盖 0.75 m 至 1.6 m 。

5) 载重量 m^2 ：

现场作业人员男性体重一般在 75 kg 左右，女性在 55 kg 左右，考虑 2 倍安全系数，载重量 $m^2 = 150 \text{ kg}$ 。

6) 鼓风量 V ：

最大基坑直径 $D_2 = 2.5 \text{ m}$ ，基坑最大深度 $H = 20 \text{ m}$ ，每小时要求换气次数 $N = 10$ 。计算可得鼓风量 V 。

$$V = (0.25 * \pi * D_2^2) * H * N = 981 \text{ m}^3/\text{h}。$$

考虑一定余量，鼓风量确定为 $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

4. 系统组成

针对以上功能需求，深基坑一体化智能装置需要配备起重机，用于实现起吊功能；需要配备围栏，用于实现防护功能；需要配备气体检测仪，用于实现气体检测功能；需要配备软梯，用于实现人员上下功能；需要配备通风设备，用于实现鼓风功能；需要配备电气控制箱，用于实现联动功能；需要配备物联网模块，用于实现气体远程监测功能。

所以系统组成至少包括：1) 起重机；2) 围栏；3) 气体检测仪；4) 软梯；5) 通风设备；6) 电气控制箱；7) 物联网模块。

5. 主要模块设计及选型分析

从上面的功能需求及技术参数需求，可以看出深基坑一体化智能装置需要适配不同直径的基坑，相

应模块需要考虑可调节性[2] [3]。

5.1. 起重机

目前市面上成熟的基坑作业起重机有两种，一种是吊臂可伸缩的，高度可调节的，该类起重机的卷扬机放置在吊臂上，如图 1(a)。另一种吊臂长度固定，高度不可调节，该类起重机的卷扬机放置在地面底座上，如图 1(b)。



Figure 1. (a) Boom retractable crane; (b) Fixed boom length crane
图 1. (a) 吊臂可伸缩起重机; (b) 吊臂长度固定起重机

对于图 1(a)所示起重机，其安装位置可以固定，通过调节吊臂的长度、高度来实现匹配不同的基坑尺寸。对于图 1(b)所示起重机，其安装位置需要随基坑尺寸调节，以确保吊臂吊钩在基坑内。

图 1(a)所示起重机因卷扬机在上方，存在工作不平稳的缺点。图 1(b)所示起重机每次定位时需要调节位置，安装相对较麻烦。

两种起重机均能满足要求。

5.2. 围栏

因为要匹配不同的基坑直径，要求围栏在周长方向必须可以调节，拟通过伸缩钢管实现该功能。

从天空往下俯视，围栏的外形一般设计为正多边形，包括正方形、六边形、八边形等。

从系统层面，具体采用哪一种形状，还需要考虑起重机等其他部件的连接需求。

5.3. 气体检测仪

市面上的气体检测仪主要有两类，便携式和壁挂式。

便携式气体检测仪体积小，由作业人员随身携带进行检测，如图 2(a)。

壁挂式气体检测仪体积相对较大，可以挂在固定地点，也可以通过其他手段运输至指定位置，如图 2(b)。

便携式气体检测仪轻便好携带，缺点是功能单一，联动难度大。

壁挂式气体检测仪功能多，可以预留各种接口，缺点是体积大、重量重。

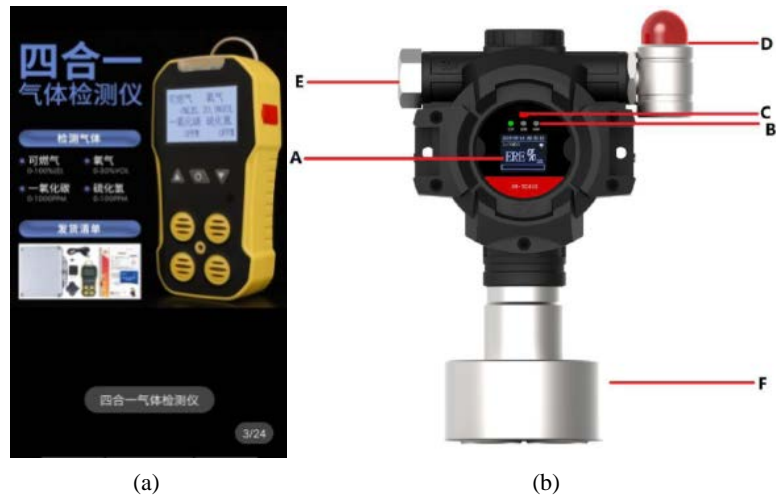


Figure 2. (a) Portable gas detector; (b) Wall-mounted gas detector
图 2. (a) 便携式气体检测仪; (b) 壁挂式气体检测仪

5.4. 通风设备

通风设备一般是选用鼓风机，市面上鼓风机产品种类庞杂，大体分为轴流式鼓风机和离心式鼓风机。轴流式鼓风机风量大，缺点是所配的风管直径很大，如图 3(a)。

离心式鼓风机风量相对小，可以选配各种风管，其壳体材料可以选铸铁或者铝壳，如图 3(b)。



Figure 3. (a) Axial blower; (b) Centrifugal blower
图 3. (a) 轴流式鼓风机; (b) 离心式鼓风机

5.5. 电气控制箱

从功能角度分析，电气控制箱需要实现对起重机、通风设备的控制，包括起重机起吊、下放控制，通风设备通风和停止控制。联动方面，还需要控制通风设备和气体检测仪的联动控制。从安全角度分析，需要提供起重过载报警、气体检测报警等。

6. 主要模块设计及选型结果

为体现集成化，以起重机为中心，设计可伸缩式公共底座，上面安装伸缩防护围栏、通风设备等，起重机立柱上安装电气控制箱，如图 4 所示。

为延长通风管使用寿命，设计有通风管绞车用于储存通风管。

6.1. 起重机选型

综合对比图 1(a)和图 1(b)所述起重机优缺点，考虑起重机与围栏、底座等的连接形式，最终选择图 1(b)所示的起重机，实际购买时保证其额定起重量和起升速度满足第 2 章所述参数，电机功率选择 1.5 kw，380v50 Hz 的三相卷扬机。

6.2. 围栏

综合考虑起重机的受力情况，减小起重过程中的倾覆力矩，围栏最终选择正六边形的可伸缩式设计。采用伸缩式结构设计，由伸缩套管、立柱、防护网等组成如图 4 所示。

其固定在起重机底座上，用以增加防护能力。

6.3. 气体检测仪

考虑满足功能为第一位，最终选择壁挂式气体检测仪，主要功能如下：

检测气体种类：可燃气体、一氧化碳、硫化氢、氧气；

报警方式：液晶显示 + 声光报警；

联动输出：实时数据、报警记录、联动设置等。

6.4. 软梯

根据第 1 章和第 2 章所述参数进行选型，为提高使用寿命，选用铝合金钢丝软梯。

6.5. 通风设备

综合考虑通风设备的安装空间及与气体检测仪的联动控制功能需求，最终选择离心式鼓风机，其参数满足第 2 章所述参数，为减轻设备重量，采用铝制外壳，鼓风量 1170 m³/h。

为通风设备配备 DN30 波纹硬管，可以防止压扁。

为提高波纹管的使用寿命，为其设计通风管绞车对波纹管进行储存。

6.6. 起重机底座

起重机底座同样采用伸缩式结构设计，用于安装围栏、起重机及其他附件，如图 4 所示。

6.7. 电气控制箱

起重机、气体检测仪、通风设备均通过控制箱供电。控制箱采用双层柜门，防护等级 IP56。柜门上设置有总电源开关、起重机电源开关、通风设备自动运行和手动控制选择开关、气体检测显示屏、蜂鸣器、指示灯等。柜体侧边设置有四个航空插座，一个急停按钮，并采用凹形设计，避免搬用过程损伤插座。

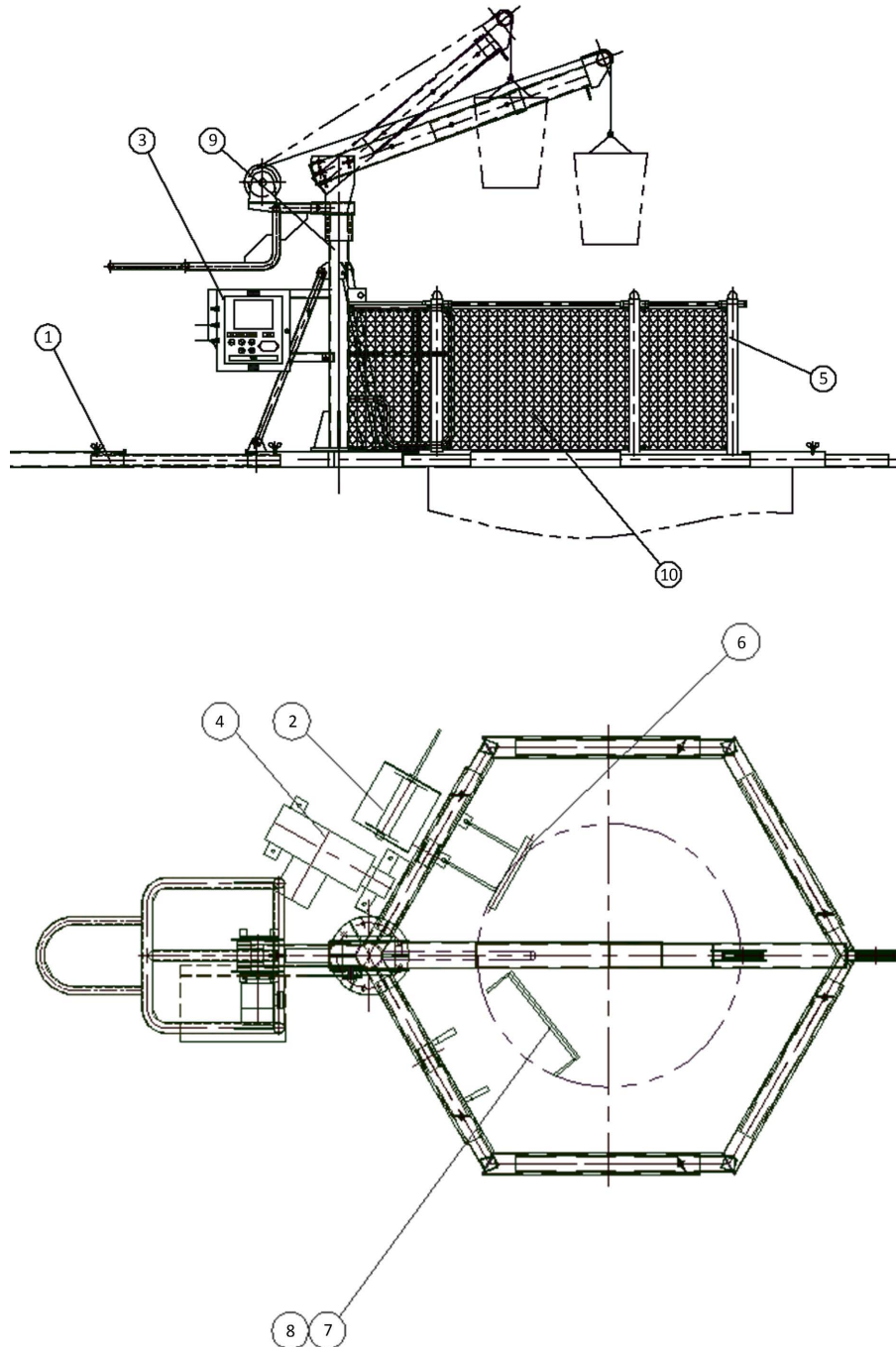
当气体检测仪检测到氧气浓度过低或者检测到有毒气体、可燃气体时，检测仪和控制箱同时报警，通知人员撤离，同时鼓风机自动送风，氧气浓度恢复时，并且无有毒气体、可燃气体时，自动停止送风。

在控制箱中可以直接设置气体检测报警值。

控制箱功能如下：

- 起重机电源的通断及指示；
- 鼓风机电源的通断及指示；
- 气体检测仪电源的通断及指示；
- 鼓风机手动、自动控制切换；

- 起重机过载保护;
- 系统紧急停止;
- 蜂鸣器;
- 具备物联网接口, 能实现电脑及手机端远程查看气体状态。



① 起重机底座 ② 通风管绞车 ③ 电气控制箱 ④ 通风设备 ⑤ 防护围栏 ⑥ 附件
⑦ 软梯 ⑧ 气体检测仪 ⑨ 起重机 ⑩ 防护网

Figure 4. Schematic diagram of integrated intelligent device for deep foundation pit
图 4. 深基坑一体化智能装置示意图

7. 结论

深基坑一体化智能装置是电力工作者进行基坑作业时的重要设备，本文以国网湖北送变电工程有限公司输变电建设基坑作业为目标，对深基坑一体化智能装置的设计过程进行了分析，总结如下：

- 1) 对深基坑一体化智能装置的功能需求、技术参数需求进行了分析；
 - 2) 对深基坑一体化智能装置的系统组成进行了梳理；
 - 3) 对深基坑一体化智能装置的主要模块的设计及选型进行了分析；并形成了设计及选型结论。
- 通过以上总结，便于读者进行类似深基坑一体化装置的设计，或在此基础上进行优化设计。

参考文献

- [1] 成大先. 《机械设计手册》[M]. 第五版, 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [2] 张庆华, 严逸凡, 王云洁, 张雄伟. 深基坑人工作业智能装备的设计及其工程应用[J]. 机械管理开发, 2022, 37(2): 238-239, 242.
- [3] 李强, 任东红, 郭瑞峰, 刘卫校, 王国栋, 周瑶. 基于物联网的智能检测装置在深基坑作业中的应用[J]. 中国新通信, 2021, 23(21): 72-75.