

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190984

变电站辅助设备监控系统三维建模及展示技术研究

陈斌, 牛津文, 万红, 王广民

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 目前变电站缺乏辅助设备监控系统三维建模方面研究, 而且现有模型存在单个设备体积过大, 难以展现设备状态、功能和运动动作等问题。探索构建了一种适用于变电站辅助设备运维管理的三维模型, 包括建模方法、建模流程以及三维模型与辅控子系统之间的映射关系。在此基础上定义三维模型库和三维插件之间的接口和数据交互, 开发出基于插件动态载入技术的三维控件, 实现三维控件与辅控主机的接口, 将设备状态信息及检测数据在三维模型上实时展现出来。并与辅助设备监控系统故障报警进行智能联动, 为变电站运维人员提供了直观形象、交互友好的监控人机界面。

关键词: 辅助设备监控系统; 三维模型; 接口; 插件

Research on three-dimensional modeling and display technology of a substation auxiliary equipment monitoring system

CHEN Bin, NIU Jinwen, WAN Hong, WANG Guangmin

(XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: Research is lacking on the three-dimensional modeling of auxiliary equipment monitoring systems in substations, and the existing model has the problem that the size of a single device is too large to display the status, functions and movement of the equipment. Given that, a three-dimensional model of operation and maintenance management for auxiliary equipment in substations is explored and constructed, including modeling methods, modeling processes, and mapping relationships between 3D models and auxiliary control subsystems. On this basis, the interface and data interaction between the three-dimensional model base and the three-dimensional plug-in are defined. A three-dimensional plug-in based on plug-in dynamic loading technology is developed to realize the interface between the three-dimensional control and the auxiliary control host, and display equipment status information and detection data on the three-dimensional model in real time. It also intelligently interacts with the alarm of the auxiliary control system, providing an intuitive and interactive monitoring human-machine interface for operational and maintenance personnel of the substation.

This work is supported by Science and Technology Project of the Headquarter of State Grid Corporation of China (No. 5206/2018-19002A) "Research and Application of Intelligent Decision-making Key Technologies".

Key words: auxiliary equipment monitoring system; three-dimensional model; interface; plug-in

0 引言

辅助设备监控系统在变电站部署, 集成了变电站在线监测、巡检机器人、视频监控、消防、安全防范、环境监测、SF₆监测、照明控制、智能锁控等子系统^[7], 是为变电站综合监控提供辅助支撑的

系统, 简称辅控系统^[1-4]。随着变电站辅控设备种类与数量的增加, 变电站工作人员迫切需要一个平台来直观展现设备间的空间关联关系以及设备本身的空间位置, 展现辅控设备的物理和功能特性, 在辅控设备发生故障时, 平台能够及时体现。

现有的变电站三维模型主要有两大类, 一类是面向基建应用, 基于 BIM 和 GIS 技术构建, 三维模型侧重展现设备及建筑的形状、尺寸和位置, 而难以展现设备状态、功能和运动动作。另一类则是面

基金项目: 国家电网公司总部科技项目资助 (5206/2018-19002A) “智能决策关键技术研究及应用”

向电力设备设计的应用,基于 3DMax 等技术构建,三维模型侧重展示设备内部的精细结构,该类模型通常体积较大,单个设备模型体积就超过 100 MB,不利于在变电站全站这种复杂场景中使用。上述两类三维模型都难以满足变电站运维应用场景中,既要展示全站各建筑及设备形状、尺寸和位置,又能展现每个设备状态、功能和运动动作的应用需求。

三维模型技术通过虚拟三维空间构建出的三维数据模型在视觉上比传统的单线图、平面二维图更加立体,效果上更加逼真,实际指导意义更强,信息更集中,具有交互操作。文献[1]提出一种智能变电站仿真三维可视化组件装配技术,文献[11]提出了基于三维点云的变电站设备分割算法,文献[3,10,16]提出了三维可视化的一些高级应用,没有详细介绍三维建模方法,目前国内外的三维变电站数字模型及相应的应用展示系统,只能展示变电站的空间位置信息和设备设计参数及相关图纸、文档等静态信息,不能及时反映设备当前的运行状态及运行数据。在变电站辅助系统界面设计方面还缺乏三维设计,不能形象展示辅助设备在变电站中的具体位置,设备故障时不能迅速发现设备。本文通过辅助设备监控系统人机界面展开研究,结合虚拟三维模型和实际设备,构建满足变电站实际需求的设备高精度三维模型,开发基于插件动态载入技术研发的三维控件,使用标准的数据结构和接口,动态载入到辅助设备监控系统当中。

1 辅控系统简介

根据国家电网公司关于辅控系统的最新规范标准,辅控系统接入的安防、在线监测、环境等子系统如图 1 所示,通过就地模块等协议转换装置,转出 61850 协议接入辅助设备监控主机和工作站。消防信息通过专用的消防传输控制单元传输,辅助系统监控主机上面需要显示相关设备三维信息。

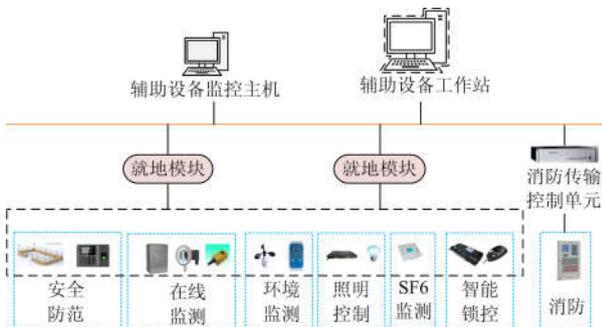


图 1 辅助设备监控系统架构图

Fig. 1 Structure of auxiliary equipment monitoring system

2 变电站辅控系统三维建模

本文采用基于三维界面的辅助设备监控系统建模方法,通过三维激光扫描仪或照片对变电站内部设备和外部结构进行扫描,采集变电站内部设备和外部结构数据信息(变电站外部结构包括变电站外部建筑结构和变电站外部设备位置)的初始点云数据^[8],并通过 GIS 获取变电站所处的地理位置信息数据;对初始点云数据和地理位置信息数据进行去噪和平滑处理后储存到服务器中;添加设备属性数据,分别从服务器中提取处理后的点云数据和地理位置信息数据,本文采用的方法是在标准的 gltf 模型文件包中,增加一个 xml 格式的运维信息索引文件,如图 2 所示,用于存储设备的种类、设备运维参数和可进行的互动操作等运维信息。xml 格式的运维信息索引文件采用与 gltf 格式索引文件类似的文档结构,包含节点 nodes、属性 attributes、操作 operations、动作 actions 四层节点。

```

"nodes":{
  {
    "name":1,           <!--节点名称-->
    "3DnodeName":1,   <!--对于三维模型索引文件中的节点编号-->
    "attributes":[...], <!--节点属性-->
    "children":[2,3]  <!--子节点-->
  },
  {
    "name":"声光报警器",
    "3DnodeName":2,
    "attributes":{    <!--属性列表,可包含多个属性-->
      "name":1,
      "value":34
    },
    "operations":{   <!--操作列表,可包含多个操作-->
      "operation":o1,
      "name":"火警告警",
      "actions":{    <!--动作列表,可包含多个动作-->
        "action":changeColor,
        "name":"变色",
        "translation":[8555.846,31.0185547,-16666.1035],
        "rotation":[],
        "scale":[1.0,1.0,1.0]
      },
      "action":flash,
      .....
    },
    .....
  }
}

```

图 2 运维信息索引文件结构示意图

Fig. 2 Structure of operation and maintenance information index file

其中节点 nodes 按树形结构构建,记录每个设备的隶属关系,区别于三维模型索引文件中的场景 Scene 和节点 Nodes 按位置隶属关系构建,运维信息索引文件中的节点 nodes 按运维设备种类的隶属关系进行构建。

属性 attributes 用于记录设备的出厂厂家、出厂

时间等基础属性信息, 每一个节点 nodes 至少有一个三维节点 ID 属性, 记录该设备在三维模型索引文件中节点 Nodes 的 ID, 通过该属性即可将设备三维模型信息和设备运维信息关联起来。

操作 operations 用于记录设备所能进行的维护操作, 例如亮灯、开关开合等操作。

动作 action 是操作 operation 的子节点, 用于描述进行一个操作时所涉及到的三维模型构建, 以及各构建需要发生的移动、旋转、变数等动作。

2.1 建模范围和原则

变电站辅助设备建模部分(外观)包括: 在线监测、环境监测、安全防范、SF6 监测、照明控制、消防等子系统^[15-17]。根据国家标准 Q/GDW 1795-2013《电网三维建模通用规则》要求, 变电站辅助设备三维模型应能准确表达对象的关键尺寸信息、主要属性信息, 具有可识别性。三维建模应考虑数据间的链接和引用关系, 如模型的几何要素、纹理要素、属性要素、元数据与辅助文件之间的逻辑关系和引用关系, 能满足各类信息实时更新的需要。建模应该遵循以下原则:

- 1) 由模型表现的几何要素应采用 1:1 比例建模;
- 2) 某些几何要素的形状、方向和位置由理论尺寸确定时, 应按理论尺寸进行建模;
- 3) 对于结构复杂或大型关键设备, 可考虑设备维修和模型分解的需求, 按照装配组件建立其设备模型;
- 4) 对于无需纹理的模型, 其表达的对象材质相同时应采用同一色值。

2.2 三维建模流程

变电站辅控系统的建模流程如图 3 所示。

1) 首先, 获取变电站中建筑的形状、尺寸、位置和隶属关系等参数, 如图 4, 归类为区域-楼层-房间-设备-设备组件等建筑三维模型信息列表。

2) 取变电站中辅助系统设备形状、尺寸、位置, 建立设备三维模型信息列表, 将设备和建筑做好映射关系。

3) 然后根据每个设备的种类、运维参数和操作信息, 建立设备运维参数列表。

4) 根据建筑三维模型参数列表构建变电站建筑的三维模型, 把主区域设置为三维场景的入口 Scene, 加载时首先对准区域, 把其他的区域设置为不同场景, 楼层为场景 Scene 的第一层节点 Node, 房间为第二层子节点 children Nodes。设备为第三层子节点, 设备组件为第四层子节点。

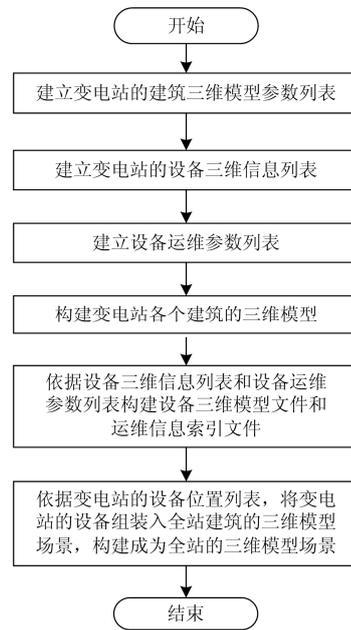


图 3 辅助设备三维建模流程

Fig. 3 3-D modeling process of auxiliary equipment

5) 依据设备三维信息列表和设备运维参数列表逐一构建设备三维模型文件和运维信息索引文件。每一个在运维过程中需要独立响应和控制的部分均设置为一个独立的构建, 依据设备各构建的组装关系, 先将最底层的构件建立为最底层的索引文件中子节点 Node, 然后依次向上组装设备, 建立上一层的子节点 Node, 直到完成整个设备的三维模型。同步依据设备运维参数, 建立设备的运维信息索引文件。

6) 依据变电站的设备位置列表, 将变电站的设备组装入全站建筑的三维模型场景, 构建成为全站的三维模型场景。将各设备的三维模型作为各房间节点 Node 的子节点, 写入三维模型索引文件中, 依据三维模型索引文件节点 Node 的隶属关系, 同步完成设备的运维信息索引文件。

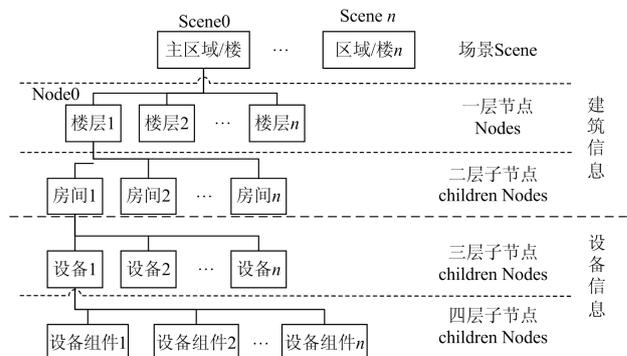


图 4 建筑和设备的三维模型索引

Fig. 4 3-D model index of buildings and equipment

3 辅控系统 C++ 的三维插件

当前变电站消防、安全防范、在线监测、环境监测等辅助监控子系统独立部署、系统人机交互差, 辅助设备存在分布广、部分设备体积较小、设备安放位置隐蔽等问题, 变电站人员无法在一个界面中了解所有辅控设备的相关信息, 在原有部署于安全 II 区的辅助设备监控系统上增加三维显示功能后, 可以查看变电站内各区域辅助汇控柜、就地模块、消防报警主机、感烟探头探测器、温湿度探测器等变电站辅控设备的各个角度。可以展示实时监控数据, 进行数据报警、三维定位。

基于上述需求, 三维模型建立后, 并不是形成独立的展示系统, 而是作为应用插件集成在辅助设备监控系统中, 三维插件与辅助设备监控系统在同一地址空间内运行, 并能直接响应辅助设备监控系统的操作事件, 利用辅助设备监控系统的统一基类和预定接口生成相应的动态库放置到自定义扩展控件目录, 图形工具可以自动查找并列该控件。三维模块通过调用读取辅助设备监控系统同设备通信的实时数据来了解设备的状态变化, 并及时在三维模块中反映设备的状态变化, 三维模块不直接与设备通信。

通过研究各种成熟三维引擎, 选择满足变电站场景需求、符合系统安全运行规定的三维引擎, 开发出基于插件动态载入技术的三维控件, 实现三维控件与辅控主机的接口, 将设备状态信息及检测数据在三维模型上实时展现出来。

本文采用 OpenSceneGraph(简称 OSG)做三维图形操作开发, 由于 QT 支持 OpenGL, 而 OSG 也是由 OpenGL 作为底层库开发的^[23], 所以将三维模型文件(FBX)通过 OSG 进行封装形成三维模型库^[12], 再通过 C++ 的三维引擎(插件)实现辅助设备监控数据与三维模型库交互。

3.1 模型库的接口

3D 展示模块以 C++ 编译为动态库的共享文件供用户使用, 使其能方便地嵌入到用户业务系统中。动态库定义了一套交互的抽象类, 用户与动态库面向接口交互, 具体见图 5。

如图 5 所示, 动态库通过 Request 接口实例向用户业务系统发出请求, 用户业务系统在接收到请求后分析该请求, 然后通过 Response 接口实例返回相关请求的应答。请求以格式化的字符串信息传递, 格式化方式可以通过 JSON 及 XML 或者其他方式组织, 目前主要通过 JSON 格式, 因为是面向接口的, 字符串的组织、内容可以根据具体情况而定。

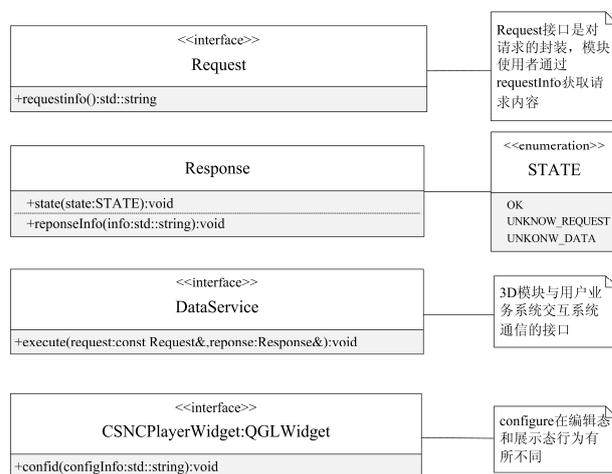


图 5 三维模型库接口

Fig. 5 3D model base interface

3D 展示模块会在两个运行状态下请求数据, 两个运行状态是指编辑态和展示态。各个运行过程中的请求内容及行为需要依据用户业务系统而定。

Request 接口是对请求的封装, 由模块设计者实现, 模块通过 requestInfo 获取请求内容, 具体内容及组织格式根据情况协商而定。Response 接口是三维模型动态库向用户业务系统的请求做出应答的封装。该接口由模块设计者实现, 动态库通过 DataService 发起请求后, 用户根据请求, 通过 state 方法设置应答状态, OK 表示应答是正常的。

CSNCPlayerWidget 是动态库导出的用于在 QT 上展示 3D 模型的窗口组件。在编辑态时, 3D 模型将弹出一个配置界面进行模型与用户业务系统数据的关联配置操作。在配置活动中, 将通过 DataService 接口请求数据, 在编辑态时弹出一个数据选择界面, 使得运维人员可以将模型与数据关联起来。配置结束后, 通过参数传出, 用户业务系统将参数中的内容存储在系统中以供展示态及下一次编辑态时传入。在展示态时, 通过参数获取编辑态配置的信息, 实时请求数据用来更新模型的相关组件。

3.2 插件设计

带有三维显示的辅控系统整体数据交互流程如图 6, 三维库(CJKVISION3D)和实时库进行实时数据交互, 辅控系统的图形设计器在组态配置期拖出三维插件并做好配置映射, 运行期在辅控系统的监控界面中展示。

C++ 的三维插件主要是用来实现辅助设备监控系统三维展示及数据交互, 分为配置期和实时期两阶段。配置期指辅助设备动态变化数据与三维数据手工关联期; 实时期是指在固定的时间间隔内从实

时数据库取出该模型所关联点的数据，并上送到三维模型进行展示，数据交互的格式为类 JSON 格式。

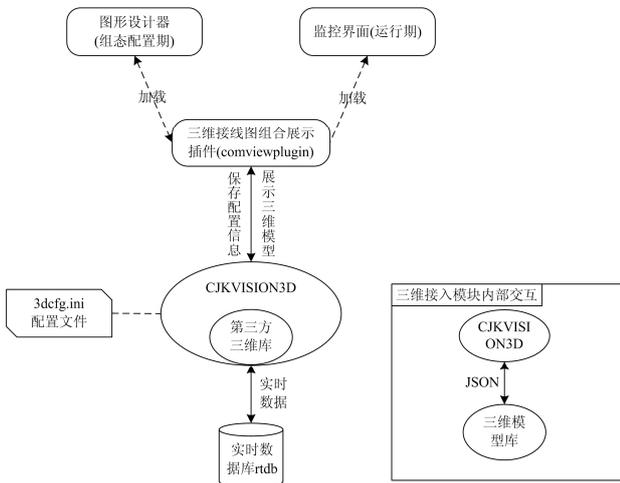


图 6 三维数据展示及数据交互流程示意图

Fig. 6 3D data display and data interaction process diagram

插件设计为三维图和接线图组合展示，三维及接线图组合展示插件的主要功能如下。

- 1) 在配置期，对需要显示的三维模型进行模型关联和数据关联，对需要显示的接线图进行关联。
- 2) 展示期，对三维模型和接线图进行模型展示和实时数据展示。
- 3) 顶部切换栏和底部切换栏主要负责对主窗体展示内容进行实时切换。

主窗体即上文所述的三维模型窗口组件 CSNCPlayerWidget，如图 7 所示。



图 7 三维组合控件

Fig. 7 3D combined plug-in

3.3 三维插件关联配置设计

设计三维数据配置的人机交互界面，三维模型文件要和辅控子系统或设备形成映射关系，因此设计配置文件，如图 8 所示，将三维 NC 文件和辅控子系统各界面建立映射关系。

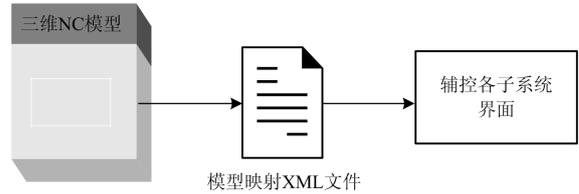


图 8 三维模型映射关系

Fig. 8 Mapping of 3D model

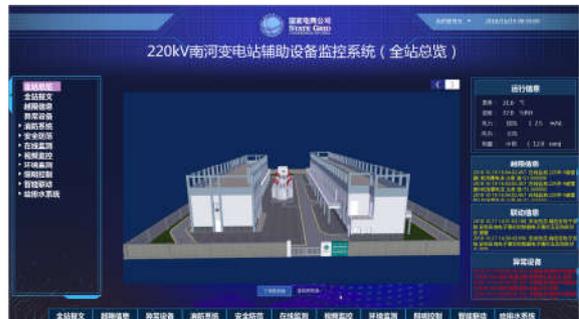
三维数据模型配置：主要负责配置当前插件显示的三维模型。选择模型后(如图 9 所示)，左侧的 3D 模型文件列表通过模型映射文件读取，文件的内容是 3D 模型和辅控各个子系统界面的映射关系，OID 为可配置数据点，可根据需要选择和该数据点关联的实时库字段。



图 9 三维插件关联配置界面

Fig. 9 Association configuration of 3D plug-in

这样就建立了实时数据和三维模型的关联关系，在切换到三维模型区域后，鼠标移动到某个设备时，出现一个动态提示窗口显示当前设备的实时运行参数。鼠标可拖动设备旋转，从多角度观察设备运行情况，主要包含设备资产信息、技术参数等静态数据，还可以通过三维模型中的设备表计、液晶、指示灯动态展示设备运行状态和告警信息^[9]。图 8 是辅控系统中的三维展示界面，以全站总览界面和消防系统为例进行三维展示。



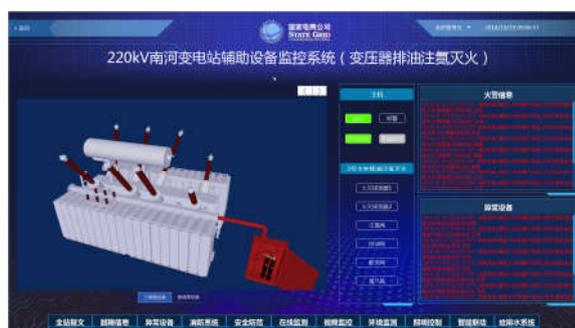


图 10 站内部分三维界面

Fig. 10 Partial 3D overview of the station

4 辅控系统三维控件联动展现

三维模块通过调用读取辅助设备监控系统的实时数据来了解设备的状态变化以及辅控设备的监测数据,并及时在三维模块中反映设备的变化^[21-22]。

依据三维模型索引文件节点 Node 的隶属关系,同步完成设备的运维信息索引文件。图 2 包含一个设备节点 node1,该设备节点包含两个组建子节点 children node[2,3],其中节点 2 包含一个操作 operation “火灾告警”,该操作又由两个动作 action “变色”和“闪烁”组成。

当某个动态运行参数超过阈值时,画面中设备的三维模型将会改变颜色,并高亮闪烁提示,达到主动预警的效果^[9]。

5 结论

本文通过对基于三维技术的辅助设备监控系统人机界面的需求分析,研究基于标准化总线、接口技术的软件体系架构,采用交互集成的人机界面设计方法,设计出可扩展性好、能灵活部署的基于三维数字化技术的辅助设备监控系统。选择满足变电站场景需求、符合系统安全运行规定的三维引擎,开发出基于插件动态载入技术的三维控件,实现三维控件与辅控主机的接口,通过调用读取辅助设备监控系统的实时数据来了解设备的状态变化,并及时在三维模块中反映设备的变化。将场景和设备的位置信息、状态信息、连接关系等直观展现,并实现运维人员与三维模型的交互,模型与设备的交互,让运维人员对设备的运行状况和监测数据可以更直观地掌控,并能通过三维控件达到智能联动的效果。

后续还要在模型加载优化方面,研究适应变电站设备模型且网格数据量小的新型建模方法,解决三维模型加载速度慢、无法分解、组合等问题。在高级分析应用上根据需求再做拓展丰富。

参考文献

- [1] 王益, 陈珉, 王涛, 等. 智能变电站仿真三维可视化组件装配技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 118-126.
WANG Yi, CHEN Min, WANG Tao, et al. Research on 3D visual component assembly technology of smart substation simulation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 118-126.
- [2] 张巧霞, 王广民, 李江林, 等. 变电站远程运维平台设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(10): 164-172.
ZHANG Qiaoxia, WANG Guangmin, LI Jianglin, et al. Design and implementation of substation remote operation and maintenance platform[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(10): 164-172.
- [3] 陈天恒, 杨晓静, 王伟力, 等. 基于蚁群算法的变电站视频监控联动方案优化设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(2): 134-139.
CHEN Tianheng, YANG Xiaojing, WANG Weili, et al. Optimization design of substation video monitoring system based on ant colony algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(2): 134-139.
- [4] SUN Lei, SUO Xuesong, LIU Yifan, et al. 3D modeling of transformer substation based on mapping and 2D images[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016(2): 1-6.
- [5] ALEXANDER A. Efficient maintenance testing in digital substations based on IEC 61850 edition 2[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(4): 407-420. DOI: 10.1186/s41601-017-0054-0.
- [6] XIANG W X, LUO H, HU Z P, et al. Research on 3D inspection simulation training system of 500 kV power transmission lines[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 482: 394-399.
- [7] 王磊, 李达锋, 武梦园, 等. 基于三维可视化的智能变电站辅助支持系统设计[J]. 湘潭大学学报: 自然科学版, 2019, 41(2): 118-126.
WANG Lei, LI Dafeng, WU Mengyuan, et al. Design of intelligent substation assistant support system based on three-dimensional visualization[J]. Journal of Xiangtan University: Natural Science Edition, 2019, 41(2): 118-126.
- [8] 吴晓鸣, 何宇辰, 王笠. 基于三维设计技术优化变电站控制系统的应用分析[J]. 现代传输, 2019(3): 52-54.
WU Xiaoming, HE Yuchen, WANG Li. Application analysis of substation control system optimization based on three-dimensional design technology[J]. Modern

Transmission, 2019(3): 52-54.

[9] 周元强, 陈刚, 费益军, 等. 面向智能运检管理的变电站三维实时监测展示系统开发与应用[J]. 电网与清洁能源, 2018, 34(12): 41-47.
ZHOU Yuanqiang, CHEN Gang, FEI Yijun, et al. Development and application of 3D real-time monitoring and display system for substation intelligent operation and maintenance[J]. Power System and Clean Energy, 2018, 34(12): 41-47.

[10] 林志和. 基于三维可视化的变电站高级应用功能研究[J]. 能源与环境, 2018(6): 38-40.
LIN Zhihe. Research on advanced application function of substation based on 3D visualization[J]. Energy and Environment, 2018(6): 38-40.

[11] 王朋帅. 基于三维点云的变电站设备附属设施分割算法研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2019.
WANG Pengshuai. The study of substation equipment affiliated facilities segmentation algorithms based on 3D point cloud[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2019.

[12] 杨赫. 三维设计标准模型库的建立及其应用[C] // 中国电力科学研究院. 2018 智能电网信息化建设研讨会论文集. 中国电力科学研究院: 中国电子信息产业集团有限公司第六研究所, 2018.

[13] 王伟. 三维数字化技术在变电站设计中的应用[J]. 电力勘测设计, 2018(增刊 2): 82-87.
WANG Wei. Application of 3D digital technology in substation design[J]. Electric Power Survey & Design, 2018(S2): 82-87.

[14] 马强, 王国平, 孙其振, 等. 基于 VR 技术的变电站设备监控仿真系统设计与实现[J]. 电工技术, 2018(20): 28-30.
MA Qiang, WANG Guoping, SUN Qizhen, et al. Design and implement of substation equipment monitoring and simulation system based on VR technology[J]. Electric Engineering, 2018(20): 28-30.

[15] 余超, 潘智轩. 物联网技术实现变电站辅助设备系统智能化[J]. 电气时代, 2014(10): 30-33.
YU Chao, PAN Zhixuan. Intelligent substation auxiliary equipment system based on internet of things technology[J]. Electric Age, 2014(10): 30-33.

[16] 方文崇, 梁寿愚. 基于三维可视化的变电站智能辅助系统应用研究[J]. 信息技术, 2017(4): 54-56, 60.
FA Wenchong LIANG Shouyu. Study and application of intelligent assisted system in substation based on 3D visualization[J]. Information Technology, 2017(4): 54-56, 60.

[17] 董子健. 基于 OSG 的变电站模型仿真研究[J]. 电力科学与工程, 2010, 26(8): 10-13.
DONG Zijian. Research on substation model simulation based on OSG[J]. Electric Power Science and Engineering, 2010, 26(8): 10-13.

[18] 邵全, 纪陈云, 李军. 三维全景及全景动态融合技术在智能变电站管理中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(4): 168.
SHAO Quan, JI Chenyun, LI Jun. Application of three-dimensional panoramic and panoramic dynamic fusion technology in intelligent substation management[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(4): 168.

[19] 徐韦. 淮南地区变电站智能辅助监控系统研究与应用[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
XU Wei. The research and application of the substation intelligent auxiliary monitoring system in Huainan[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.

[20] 徐伟明, 朱晓峰, 王春新. 基于物联网与三维可视化技术的变电站智能辅助控制系统的研究与应用[J]. 电气自动化, 2012, 34(3): 67-70.
XU Weiming, ZHU Xiaofeng, WANG Chunxin. The research and application of intelligent assist control system based on the internet of thing[J]. Electrical Automation, 2012, 34(3): 67-70.

[21] 宋涛, 冯承超. 变电站智能辅助系统的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2018(19): 239-240.
SONG Tao, FENG Chengchao. Application of substation intelligent assistant system[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2018(19): 239-240.

[22] 徐竞争. 智能变电站辅助平台综合联动研究[J]. 中国电力企业管理, 2018(27): 46-47.
XU Jingzheng. Research on integrated linkage of auxiliary platform in intelligent substation[J]. China Power Enterprise Management, 2018(27): 46-47.

[23] GUO Yulan, SOHEL F, BENNAMOU M. Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition[J]. International Journal of Computer Vision, 2013, 105(1): 63-86.

收稿日期: 2019-08-15; 修回日期: 2019-12-26

作者简介:

陈斌 (1986—), 男, 通信作者, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统及自动化. E-mail: 3909907@qq.com

(编辑 许威)