

DOI: 10.7667/PSPC170550

基于移动网络的手持式电力数据采集分析装置的设计与实现

谷凯凯^{1,2}, 胡文山³, 赵坤^{1,2}, 周正钦^{1,2}, 傅晨钊⁴, 蔡炜^{1,2}

(1. 南京南瑞集团公司(国网电力科学研究院), 江苏 南京 211000; 2. 国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司, 湖北 武汉 430074; 3. 武汉大学动力与机械学院, 湖北 武汉 430072; 4. 国网上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200437)

摘要: 介绍了一种基于移动平台的手持式一体化电力数据采集分析装置, 即智能运检盒子。智能运检盒子作为运检工作现场侧与电网公司中心侧的桥梁, 实现现场侧和中心侧的数据和资源共享。一方面可以规范现场操作、规范数据采集和实时上传运维试验数据。另一方面, 运维人员可以在现场随时呼叫电网中心侧的资源, 为现场运维提供技术指导。智能运检盒子的应用, 对提高现场运维的专业化和智能化水平、提升运检工作效率和设备状态管控能力、强化状态检修和辅助决策及推动智能电网建设具有重要意义。

关键词: 运检一体化; 移动网络; 智能运检盒子; 电力系统; 手持式装置

Design and implementation of a hand-held device for power data acquisition and analysis based on mobile network

GU Kaikai^{1,2}, HU Wenshan³, ZHAO Kun^{1,2}, ZHOU Zhengqin^{1,2}, FU Chenzhao⁴, CAI Wei^{1,2}

(1. Nanjing NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211000, China;
2. Wuhan NARI Limited Liability Company, State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;
3. School of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
4. State Grid Shanghai Electrical Power Company Research Institute, Shanghai 200437, China)

Abstract: This paper introduces the design of a smart operation maintenance box based on mobile network. It is a hand-held device for power data acquisition and analysis. It can be considered as a bridge between the on-site operation and maintenance operation. It realizes the data and resource sharing between the on-site side and data center side. On one hand, it is able to regulate on-site operation, data collection, and upload the experimental data in real-time. On the other hand, the on-site team is able to call for the resources located in the data center side anytime for technical support. Using the proposed smart box can improve the professional and intelligent level of the on-site operation, boost the efficiency of the operation and maintenance and ability of equipment status control, and enhance the capability of status maintenance and auxiliary decision making, which is significant for the construction of smart grids.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 524625160034).

Key words: operation and maintenance integration; mobile network; smart operation and maintenance box; power system; hand-held device

0 引言

在互联网^[1]、云计算^[2-3]、大数据和物联网^[4]等新技术不可逆转的应用趋势下, 电网企业原有的技

术和管理模式受到了巨大冲击。

现场运维智能化与管控^[5-7]是信息通信新技术应用和管控平台建设的重要领域, 急需开展现场作业智能化体系的研究, 实现现场数据规范化搜集、现场作业规范化指导、设备状态多维实时分析, 一键数据上传, 现场侧和中心侧的数据和分析算法互

基金项目: 国家电网公司总部科技项目资助(524625160034)

享, 提高现场作业的效率, 为信息新技术在现场应用和现场管控的研发提供体系支撑。

然而, 在电力运维检修业务中, 带电检测^[8-13]数据等设备状态数据多采用人工录入, 存在运维成本较高、工作效率低等问题。因此, 需要通过物联网、移动互联和云计算等信息通信新技术, 建立新形势下的变电设备智能化现场作业及运维一体化体系^[14-15]。通过研制手持式一体化电力数据采集分析装置, 即智能运检盒子, 构建现场作业平台, 实现现场作业标准化和数据规范化, 实现现场侧和中心侧的数据和分析算法互享, 提高现场侧的数据分析能力, 能够为现场作业、数据高级应用提供支撑, 加强现场运维的远程管控和实时技术支持能力。

1 运检盒子研发的目的和必要性

1.1 现有带电运维作业的问题

设备状态检测数据作为重要的设备状态表征参量, 是开展电网设备状态评价的重要依据, 包括巡检、运行工况、带电检测、停电例行试验和停电诊断试验数据等。随着智能电网建设和状态检修开展的不断深入, 现场设备状态检测数据的获取与利用还存在一些不足, 主要体现在以下方面。

1) 设备状态数据可靠性不高

现有记录的数据在完备性和正确性上很大程度上依赖于现场试验人员的专业水平。随着电网快速的发展和建设, 电网公司的人员和技术短缺明显。

2) 设备状态数据规范性不高

目前各类带电检测仪器种类繁多, 自动化程度不同, 相关标准不尽统一, 存在数据记录不规范, 数据可利用效率低, 有些设备还存在纸质记录的情况。即使是同一检测项目, 不同厂商仪器输出数据格式不同。

3) 设备状态数据录入效率不高

目前, 带电检测试验数据主要依靠赴现场试验的专业人员手工记录, 测量结果无法方便地进行归档统计分析。这种原始的方式导致运维人力成本高, 工作效率较低, 且数据利用效率不高。

4) 设备状态数据分析应用时效性不足

设备状态数据主要依赖人工整理、分析与运用, 缺乏及时的、有效的自动化评估诊断分析。现场侧无法使用中心侧丰富的数据资源, 中心侧也无法对现场试验进行有力的指导, 互通性差。

1.2 基于运检盒子的解决方案

虽然现在国家电网运检维修过程的信息程

度很高, 有 PMS(Production Management System)和 OMS(Operations Management System)系统的支持。然而, 在现场侧, 设备状态信息分散在不同的系统中, 不但它们与中心侧的 PMS 和 OMS 之间缺乏互连, 而且各系统中间存在壁垒, 易形成“信息孤岛”。

为了缓解中心侧与现场侧之间的信息化不对称的现状, 解决现场运维数据规范性差、工作流程不标准、数据分析能力弱、与中心侧脱节等问题, 通过物联网、移动互联和云计算等信息通信新技术, 研制智能运检盒子, 作为中心侧与现场侧进行数据实时交换的桥梁。实现现场作业标准化和数据规范化, 实现现场侧和中心侧的数据和分析算法互享, 提高现场侧的数据分析能力, 为现场作业、数据高级应用提供支撑, 加强现场运维的远程管控和实时技术支持能力。对提高现场运维的专业化、智能化水平, 提升运检工作效率、设备状态管控能力, 强化状态检修和辅助决策, 推动智能电网建设具有重要意义。

2 智能运检盒子的设计

2.1 智能运检盒子与运维一体化管控平台

图 1 是本文提出的配备有智能运检盒子的电力系统运维一体化管控平台。这个系统将信息化系统技术、移动平台技术、物联网技术和大数据技术结合起来, 彻底变革一次设备的运检工作。

在现场侧, 智能运检盒子与电力检测设备通过无线网络连接起来, 通过统一的通信规约进行通信。运检人员进行任何一步运检工作, 如带电检测、智能巡检或者预防性试验等, 得到的数据可以迅速地上传到运检盒子进行初步的分析和存储。经过运检盒子的信息归一化处理之后, 直接通过移动通信网络上传到电网公司数据中心的一次设备智能评估及运检体系中。

同样, 电网公司中心侧的大数据和计算资源也可以通过运检盒子与现场的运维活动进行互动。比如说中心侧的高级应用可以分析现场侧上传的数据, 通过案例库进行匹配和分析, 如果发现异常数据或者设备紧急故障, 可以直接通知现场侧, 对现场侧的运维活动进行实施干预。

现场侧的运维人员在遇到技术困难的时候, 也可以通过运检盒子的视频会议模块, 直接呼叫电网公司, 组织临时视频会议, 获得电网公司中心侧的专家的现场指导。

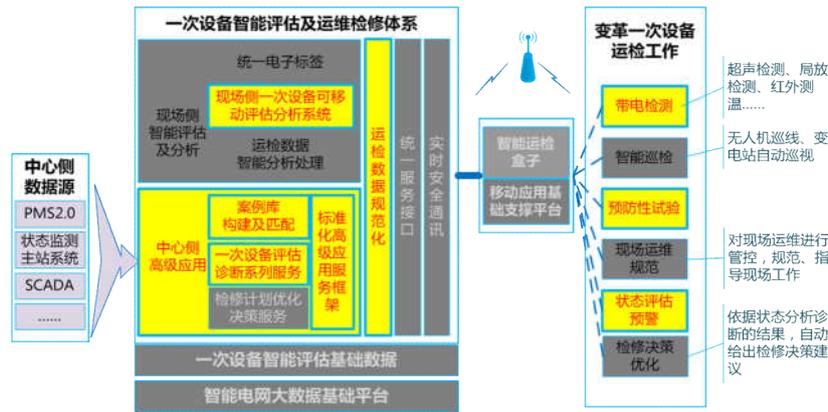


图 1 运维一体化管控系统整体构架

Fig. 1 Architecture of operation and maintenance system

2.2 使用智能运检盒子的运维工作流程

在进行运检过程中，需要保证运检现场的人员、设备与中心侧的一体化管控平台、大数据和专家的实时连接。一方面现场试验的数据可以及时上传，另一方面中心侧的决策可以实时下达推送，实现资源共享，优势互补，在互动中完成日常的运检工作。运维操作的示意图如图 2 所示。

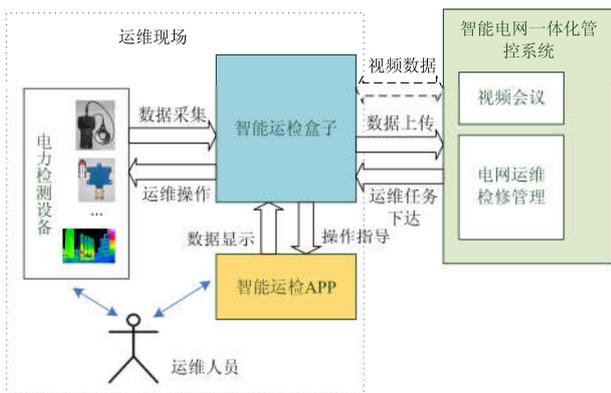


图 2 基于智能运检盒子的现场运维操作

Fig. 2 On-site operation with smart operation and maintenance box

在电网公司中心侧，管理人员通过中心侧的管控一体化平台，制定运维任务，比如需要巡视哪些变电站、需要进行哪些运维试验等等。

在运维现场，运维人员布置好智能运检盒子和电力检测设备，智能运检盒子建立起自主的 WIFI 无线网络，从而和各种电力检测设备建立自动的无线网络连接。依据智能运检 APP 提示的操作指导，运检人员操作对应的电力检测设备，一步步进行运维试验，实验数据自动存储在运检盒子中。试验完成之后，运维人员只需要轻触平板电脑界面，就可以自动生成测试报告，实现数据的一键上传。

使用智能运检盒子，可以大幅度降低管理人员和运维人员的劳动强度，运维人员只要按照 APP 的提示进行相应的操作就可以了，并且上传数据的一致性和可靠性也能够得到有效的保障。

3 智能运检盒子的软硬件架构

3.1 硬件架构

综合考虑性能和能耗，智能运检盒子采用 OMAP™ 5432 平台，CPU 采用 ARM Cortex-A15 框架的 Exynos5250，主频高达 1.7 GHz。Exynos5250 采用 32 纳米的 HKMG 工艺，配备 Mali-604GPU，性能强大，满足高端整数及浮点运算性能。

在硬件接口方面，平台配备了专用 TI 2D BitBlt 图形加速器，用于支持本项目中实时数据监测，支持三个摄像机和四个显示屏同时工作，可以实现不需要平板电脑支持的直接视频会议。内置了 WIFI、蓝牙、4G 和 10 M/100 M 自适应网络通信模块，可以和各式各样的检测设备以及中心侧的数据中心进行流畅的网络通信。图 3 是智能运检盒子的硬件电路。



图 3 智能运检盒子的硬件电路

Fig. 3 Hardware circuit of smart operation and maintenance box

3.2 软件架构

在软件方面, 系统使用成熟的 Android 4.2.2 Jelly Bean, 它基于 Linux 3.4.35 系统内核, 交叉编译工具采用 gcc 4.4.1, 文件系统采用 Ramdisk 和 Ext4 相结合的方式。图 4 是运检盒子软件系统的架构图。

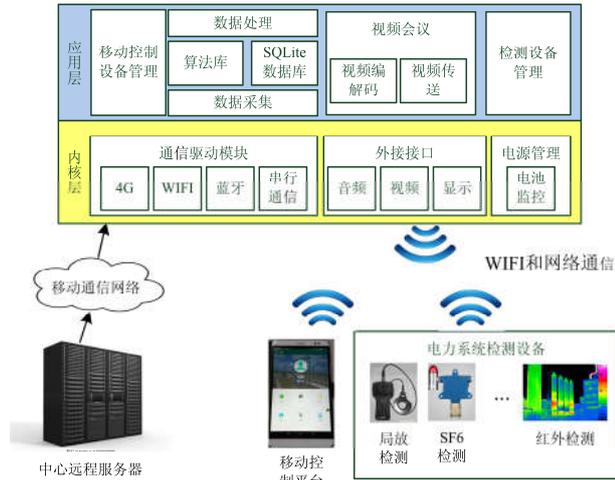


图 4 智能运检盒子的软件架构

Fig. 4 Software architecture of smart operation and maintenance box

软件系统的架构采用分层的方式, 在内核层集成了各种通信驱动管理模块, 支持各种各样的通信设备和通信规约, 部署了各种外接设备的驱动, 如摄像头、显示器和 USB 存储设备等。内核层的资源主要由 Android 系统提供, 根据需要裁剪开源操作系统的功能, 构成自己的专用系统。

应用层的模块主要由自主开发, 主要有视频会议客户端、数据处理、数据管理和检测设备管理等多个模块。这些模块在算法库的支持下, 实现运检盒子的主要功能, 如数据采集、存储、上传和与中心侧的互动等等。

3.3 中心侧一体化运维平台

中心侧一体化运维平台充分利用电网公司中心侧的数据优势, 对现场的运维活动进行统一的管理与指导。它通过网络收集运检盒子从现场上传的运维试验数据, 存储在数据库中。同时, 根据现场运行的情况, 做出决策支持, 通过网络下发到现场侧, 指导运维人员的现场操作。

中心侧的系统设置标准化的高级应用框架, 可以根据需要内嵌各种中心侧高级应用, 比如一次侧设备评估诊断服务、检修计划决策服务等。这些应用基于采集到的检测数据, 对运维活动进行更高层次的指导。

3.4 与电力测试设备的通信规约

电力测试设备的种类多种多样, 智能运检盒子与它们之间的通信规约必须具有一定的归一性、开放性和前瞻性。通信规约的设计基于消息队列遥测传输(Message Queuing Telemetry Transport, MQTT)协议。在具体的数据编码方面, 通信规约不但包含了测试设备的信息, 还包含了测试实验的信息, 分别用标签标定。

现有主流的电力测试设备一般都设有通信接口, 但是不一定符合智能运检盒子的通信规约。为了解决这个问题, 要对测试设备进行改造。具体的方案就是在原有设备的通信接口基础上, 加装智能无线通信模块。智能无线通信模块作为中间件, 将原有的通信模式翻译成符合要求的通信规约。当然, 对于现有设备的智能化改造并不是一蹴而就的, 需要逐步完成, 现已完成了南瑞生产的红外成像和特高频局放检测仪等多台设备的改造。

4 使用智能运检盒子的工作实例

使用智能运检盒子, 可以大幅度提高运维工作的效率、数据的可靠性和规范性。智能运检盒子和一体化运维平台已经在福建、浙江和山东试运行, 预计还将在四川、上海、甘肃和重庆等地推广应用。本文以变电站带电运维日常工作为例, 简要介绍用智能运检盒子和一体化运维管理系统的工作实例。

在运维一体化系统中, 根据人员的分工不同, 用户主要有两种角色。一是电网公司的项目经理, 全面管理变电站检测项目, 为现场运维人员分配和下发任务, 查看现场采集的数据, 监督运维任务完成情况。二是现场运维团队, 他们在项目经理的监督下, 使用 APP 对带电检测试验进行任务下载、数据上传等操作, 实现现场和客户端的数据交互, 实时展示并反馈现场带电检测信息到客户端。他们的运检工作流程如图 5 所示。

4.1 项目经理工作实例

项目经理的工作地点在电网公司的中心侧, 他可以通过 Web 的方式, 登录运维一体化管理软件的网站, 建立运检任务, 查看运检结果。图 5 的左半侧是项目经理建立一个运检任务的工作流程。

首先, 他输入账号密码, 登录到运维一体化的平台。然后在 Web 界面下输入运检项目信息, 建立具体的运检项目, 赋予该项目的重要度, 并给该项目分配运检人员。

在检测项目建立之后, 项目经理可以进一步指定项目的各项检测任务, 比如红外检测、超声和 SF6 气体检测等。图 6(a)是济南站例行巡检中新建一个红

外检测项目的任务。根据检测的需要,项目经理可以将检测任务逐项录入到系统中,并发布出去。

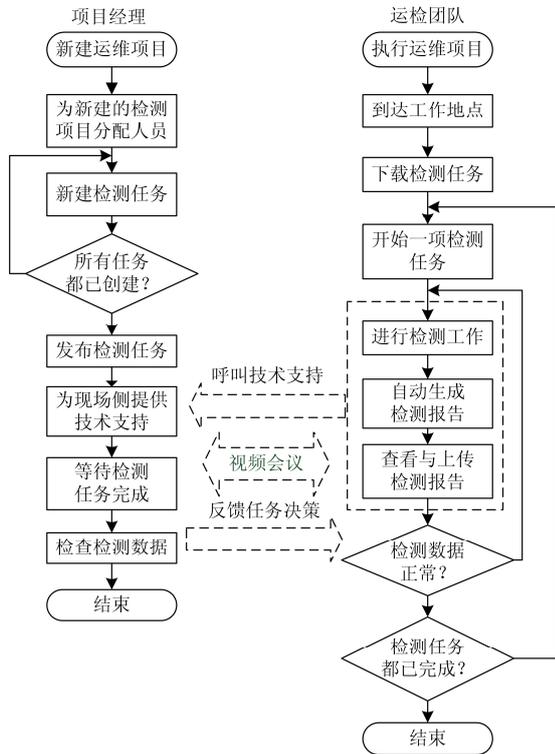


图 5 运检工作的流程

Fig. 5 Workflow of operation and maintenance work

当运检项目发布出去之后,系统会向运检团队推送消息。运检团队在接到任务之后,便会带着测试设备和运检盒子,前往现场进行运检工作。这时项目经理通过运维一体化系统随时监控各个运维团队的工作,在他们的工作遭遇到技术困难的时候,要随时响应他们的呼叫请求,并根据他们的需要,安排相应的技术专家,与现场运维人员进行视频会议,解决他们遇到的困难。

当现场的运维任务完成之后,系统也会向项目经理推送消息。项目经理可以随时查看和评估检测报告,比如图 6(b)是 500 kV 福州变电站红外检测的测试报告。根据项目的完成质量情况,向现场运检团队反馈决策信息。

4.2 运检团队的工作实例

运检团队收到运维任务后,携带着检测设备、智能运检盒子和平板电脑到达相应的工作地点。运维团队放置好运检设备和智能运检盒子之后,便可以打开平板电脑,运行运检 APP。运检 APP 与智能运检盒子通过 WIFI 网络组网,进行数据通信。运检 APP 呼叫智能运检盒子通过移动网络从中心侧下载运检任务,并在平板电脑上显示出来。图 7(a)是任务的显示界面,任务的内容、重要度以及完成情况都可以通过列表显示出来。

根据任务的要求,运检团队使用测试设备进行检测任务。APP 也会根据任务的进度,随时对运检人员的操作进行指导。图 7(b)就是红外检测项目的工作准备提示信息,运检人员完成所有的检查选项,并在相应的对话框上打钩,才能进行下一步工作。

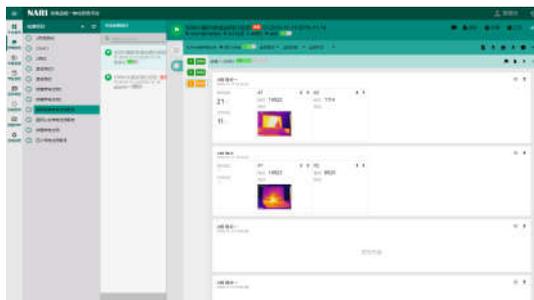
以红外检测为例,运维团队可以通过 APP,操作红外成像仪,对被检测的电力设备进行红外照相。红外成像仪与运检盒子自动相连,拍得的照片自动存放在智能运检盒子的文件系统中。当红外检测工作结束后,运检人员可以使用 APP,浏览试验数据,选择合适的红外图像,作为试验数据录入到系统中,如图 7(c)所示。

按照 APP 的提示,运检人员可以一步步进行运检和试验项目,如果在过程中遇到任何问题,可以随时通过智能运检盒子呼叫电网中心侧的管控一体化平台。中心侧的管理人员收到呼叫请求,根据问题的特性选择对应的专家,用远程视频会议的方式,为运维人员进行实时的指导,帮助他们解决问题。使用这种方式,专家不必亲自到现场,节省他们的时间,有限的专家可以服务更多的运维团队。

当所有的运检试验任务完成,智能运检盒子会自动生成试验报告,并在 APP 的人机界面上显示出来,如图 7(d)所示。运维团队查看检测报告的数据,



(a) 创建运检项目

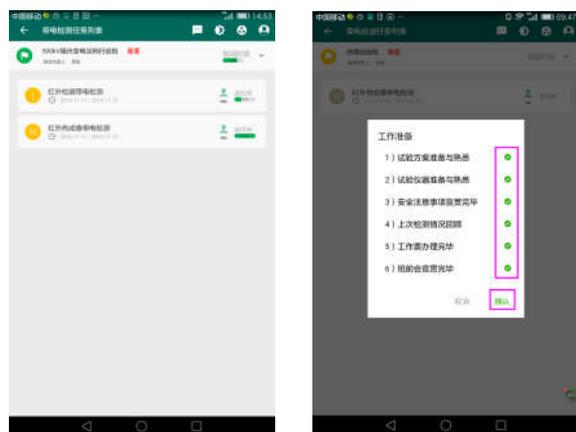


(b) 制定红外运检任务

图 6 项目经理的 Web 界面

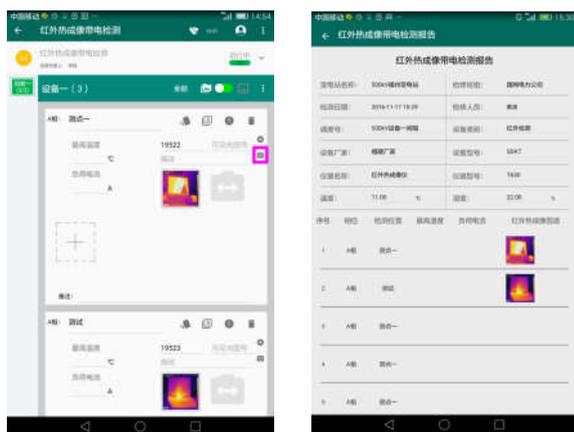
Fig. 6 Web interface for project manager

如果确认无误的话, 轻触“任务提交”按钮, 就可以把测试报告一键上传到中心侧的数据库中。



(a) 查看运检任务

(b) 运检工作提示信息



(c) 红外检测数据录入

(d) 查看运检报告

图 7 现场运维团队的 APP 界面

Fig. 7 App Interface for on-site team

4.3 使用智能运检盒子的优点

由工作实例来看, 使用智能运检盒子进行电力系统的运维工作, 有以下好处。

1) 简化了运维项目经理的工作。项目经理只要通过 Web 平台, 管理和下发运维项目和任务, 并在必要时通过电话会议的方式, 组织专家对现场运维进行技术指导。

2) 降低了运维人员的工作强度, 提高了劳动效率。在现场运维中, 所有的设备都通过网络与智能运检盒子相连, 统一管理, 数据统一上传, 运维人员不需要人工记录试验数据。

3) 降低了对运维人员素质的要求。智能运检 APP 全程对运检人员的操作进行指导, 并且在遇到技术困难时, 可以随时通过智能运检盒子的视频会议功能, 呼叫电网中心侧的专家进行实时指导。

4) 数据的存储与管理更加规范。所有的数据都统一通过使用智能运检盒子收集, 集中存储和上传, 数据的一致性、可靠性和归一性都得到了很好的保证。

5 结束语

本文提出了一种基于移动平台的电力系统智能运检盒子的设计和实现。智能运检盒子作为通信和数据的桥梁, 解决了电力运维过程中, 运维现场与电网公司运维管理平台通信脱节的问题。运检盒子通过 WIFI 与现场的检测设备相连, 使用统一的通信规约进行通信。运维管理人员可以通过运维管理信息化平台, 发布运维任务, 现场运维人员使用智能运检盒子下载运维任务, 并且在运维智能 APP 的指导下, 操作测试仪器, 完成运维工作。运维过程中产生的试验数据可以通过统一的接口, 上传到电网公司的运维管理平台。使用这套系统, 可以大幅度提高运维工作的效率, 降低运维人员的工作强度, 数据的可靠性和规范性都得到了进一步的保障。

参考文献

- [1] 侯志卫, 陈洪雨, 常生强, 等. 互联网+分布式光伏发电监控运维平台[J]. 电测与仪表, 2016, 53(增刊 1): 205-207.
HOU Zhiwei, CHEN Hongyu, CHANG Shengqiang, et al. Internet plus distributed photovoltaic power generation operation monitoring platform[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(S1): 205-207.
- [2] 王继业, 程志华, 彭林, 等. 云计算综述及电力应用展望[J]. 中国电力, 2014, 47(7): 108-112.
WANG Jiye, CHENG Zhihua, PENG Lin, et al. Review on cloud computing and its applications on power industry[J]. Electric Power, 2014, 47(7): 108-112.
- [3] 宋诗, 钱辰辰. 基于云平台的光伏电站运维管理系统设计[J]. 电器与能效管理技术, 2015(24): 93-97.
SONG Shi, QIAN Chenchen. Design on operation and management system of photovoltaic power station based on cloud platform[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2015(24): 93-97.
- [4] 李勋, 龚庆武, 乔卉. 物联网在电力系统的应用展望[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 232-236.
LI Xun, GONG Qingwu, QIAO Hui. The application of IOT in power systems[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 232-236.
- [5] 黄晓明, 凌万水, 吴栋其, 等. 基于故障树分析法的配电自动化实用化运维指标研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(24): 92-98.

- HUANG Xiaoming, LING Wanshui, WU Dongqi, et al. Research on practicality operation and maintenance index of distribution automation based on fault tree analysis method [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(24): 92-98.
- [6] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 163-168.
- DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168.
- [7] 李献伟, 王伟. 基于物联网的随机性电源即插即用运维技术方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 112-117.
- LI Xianwei, WANG Wei. Research of plug-and-play operation and maintenance technology for random power based on internet of things[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 112-117.
- [8] 王少华, 叶自强, 梅冰笑, 等. 输变电设备在线监测及带电检测技术在电网中的应用现状[J]. 高压电器, 2011, 47(4): 84-90.
- WANG Shaohua, YE Ziqiang, MEI Bingxiao, et al. Application status of online monitoring and live detection technologies of transmission and distribution equipment in electric network[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(4): 84-90.
- [9] 张宏军, 毛光辉, 王锋, 等. SF6 互感器带电检测的多参数快速测量系统设计[J]. 电器与能效管理技术, 2016(10): 56-60.
- ZHANG Hongjun, MAO Guanghui, WANG Feng, et al. System design of multi parameter and fast measurement to realize the high-voltage transformer electric detection[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2016(10): 56-60.
- [10] 解超, 李凤婷, 王彦鹏, 等. 基于高频信号的输电线路主动式保护[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 6-12.
- XIE Chao, LI Fengting, WANG Yanpeng, et al. An active protection of transmission line based on high-frequency signal[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 6-12.
- [11] 李智敏, 史保壮, 张文元, 等. 用超高频法检测 GIS 中的局部放电[J]. 高压电器, 1998, 36(2): 25-28.
- LI Zhimin, SHI Baozhuang, ZHANG Wenyuan, et al. Detection of partial discharges in GIS using ultra high frequency method[J]. High Voltage Apparatus, 1998, 36(2): 25-28.
- [12] 唐炬, 范敏, 谭志红, 等. SF6 局部放电分解组分光声检测信号交叉响应处理技术[J]. 高电压技术, 2013, 39(2): 257-264.
- TANG Jü, FAN Min, TAN Zhihong, et al. Crossover response processing technology of photoacoustic spectroscopy signal of SF6 decomposition components under partial discharge[J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(2): 257-264.
- [13] 孙利朋, 毛柳明, 刘兴文, 等. SF6 绝缘电流互感器放电性缺陷带电检测方法的分析[J]. 高压电器, 2011, 47(12): 76-79.
- SUN Lipeng, MAO Liuming, LIU Xingwen, et al. Analysis in two live detection methods of discharge fault in SF6 current transformer[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(12): 76-79.
- [14] 陶鸿飞, 魏伟明, 姚建生, 等. 变电运维一体化作业风险管控的实践[J]. 华东电力, 2014, 42(8): 1733-1735.
- TAO Hongfei, WEI Weiming, YAO Jiansheng, et al. Risk control for substation integrated operation[J]. East China Electric Power, 2014, 42(8): 1733-1735.
- [15] 赵峰, 石佳磊, 李祉岐, 等. 基于 OpenStack 的电力信息网运维平台研究[J]. 制造业自动化, 2015, 37(13): 148-152.
- ZHAO Feng, SHI Jialei, LI Zhiqi, et al. Research on operation and maintenance platform of power information network based on OpenStack[J]. Manufacturing Automation, 2015, 37(13): 148-152.

收稿日期: 2017-04-17; 修回日期: 2017-12-30

作者简介:

谷凯凯(1987—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为变电设备试验和现场故障检测及诊断; E-mail: 422442795@qq.com

胡文山(1980—), 男, 通信作者, 博士, 教授, 研究方向为智能电网与网络控制。E-mail: wenshan.hu@whu.edu.cn

(编辑 周金梅)