

# 开关设备带电检测系统的云服务平台开发

孙培泽 王晓楠 邓玮丹 杨抗 王小华 荣命哲

(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室 西安 710049)

**摘要** 带电检测是电力设备检修的发展趋势。本文介绍了一种部署在云服务平台基础框架上的开关设备带电检测系统,用于开关电力设备带电巡检以及带电巡检数据管理。该系统实时响应用户的运维需求,为云用户终端的统计分析与综合查询、设备状态诊断、设备状态预测等请求提供云服务;部署在移动终端或 PC 端的云用户终端,用于采集上传带电检测数据,请求云平台服务或触发本地规则,并将结果反馈到用户界面。

**关键词:** 带电检测 云服务平台 开关设备 数据管理

## Cloud Service Platform for Live Detection System of Switchgear

Sun Peize Wang Xiaonan Deng Weidan Yang Kang Wang Xiaohua Rong Mingzhe

(State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment,

Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049 China)

**Abstract** Live detection is the development trend of power equipment maintenance. This paper introduces a kind of live detection system deployed on the basic framework of cloud service platform for switching equipment, which is used in live detection and its data management. The system responds to users' requirements of operation and maintenance in real time, providing cloud services for cloud users, such as statistical analysis and comprehensive query, device state diagnosis and equipment state prediction. The cloud user terminal deployed on the mobile terminal or PC side is used to collect and upload live detection data, and request cloud platform service or trigger the local rules, then give the user interface a feedback.

**Keywords:** Live detection Cloud service platform Switchgear Data management

## 0 引言

电气设备的检修经过了事故检修、定期检修和状态检修三个阶段<sup>[1]</sup>。带电检测是状态检修的重要分支,与事故检修和定期检修相比,带电检测具有以下几个优点:检测过程中不需要停电,减少经济损失,提升供电可靠性;检测时间短,并且对检测仪器要求低;可以根据检测的结果灵活地安排带电检测的周期,还能够对设备进行及时的检测,预防事故发生。

目前带电检测的数据主要通过专业人员现场记录,没有高效、合理的平台对数据进行管理、统计和分析。受限于现场检修人员的专业水准,这种方法也无法及时发现电力设备潜在的故障。推广程度比较高的是国家电网公司的 PMS 系统,但是这个系统存在较多的问题:试验数据需要在内网环境中进

行录入,有一定的滞后;数据类型过于冗余,利用水平不高,系统的兼容性和可扩展性不足。因此,开发一个高效的、轻便的带电检测服务平台迫在眉睫。

在大数据时代,对于带电检测所取得的数据,采用数据挖掘、智能算法,结合实际数据,可以对同类型设备进行故障预测和寿命估计,给出合理的检修方案,对于维护电力系统的安全稳定具有重大意义,同时也能够产生巨大的经济效益<sup>[2]</sup>。同时考虑到目前缺少针对开关设备的管理平台的研究以及高校科研机构的理论研究缺乏数据支持的情况,本文介绍了一种部署在云服务平台基础框架上的开关设备带电检测系统,用于开关电力设备带电巡检以及带电巡检数据管理。

# 1 系统框架

基于 B/S 模式的开关设备带电检测系统的云服务平台，系统结构如图 1 所示。

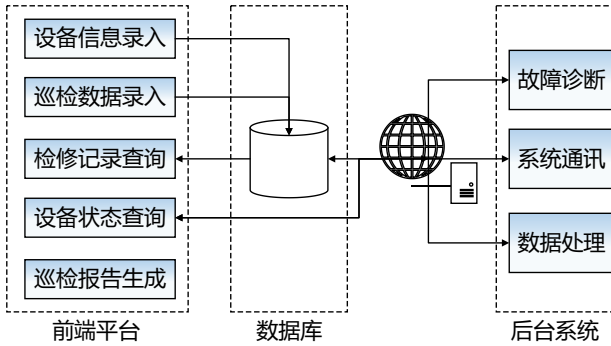


图 1 系统框架图

Fig.1 Frame diagram of the system

第一部分为平台前端部分，功能模块包括设备信息的录入，巡检数据的录入，检修记录的查询，设备状态的查询，巡检报告的生成。这一部分统是用户与系统的人机交互界面，主要承担的任务就是提供输入数据接口、功能触发界面、数据交互界面

第二部分为数据库部分。数据库部分主要存储运维数据、中间运算数据、规则标准。运维数据主要是在前端平台输入的巡检数据，包括超声数据、红外温度数据等，数据的类型包括但不限于测量值、图片和文件；中间运算数据指的是前端巡检数据输入后，后台的算法流程自动对数据进行处理分析所产生的二次数据，此操作的必要性在于能够节省前端调用数据库信息时因为后台处理所造成的延时；储存的规则标准主要包括后台算法进行处理分析的参数，后台通讯系统所需要的通讯参数以及生成报告等所需要的业务参数。

第三部分为后台处理部分。后台处理部分是整个系统的核心功能，也是扩展性最强的一个模块，后台算法的成熟，直接决定了整个系统的工作效率和工作状态。后台处理模块对前端的事件进行响应，对于不同的事件进入不同的处理流程。对于前端输入的数据，将其在后台进行处理，同时将数据以一定的格式进行整理，储存到数据库或者返回到前端平台，对于前端对服务器请求数据，按照请求数据的格式从数据库中取出相应的数据并返回到前台。

# 2 数据管理

对于电力开关设备带电巡检数据，其具有以下几个特征：数据量大，根据调查研究的结果，仅仅

对平高电气一家公司在部分省市的开关设备数量进行统计，设备数量就达到了几十万台，设备数据量十分庞大；数据类型复杂，带电巡检的数据类型十分复杂，包括但不限于温度数据、局放数据、微水数据，数据的格式也是多种多样。在考虑经济性的前提下，我们选择使用数据库与云计算进行结合，构成运行在云端上的云数据库。

## 2.1 数据管理需求分析

开关设备带电检测系统的云服务平台各部分的功能进行分析，其基本数据流图如图 2 所示。

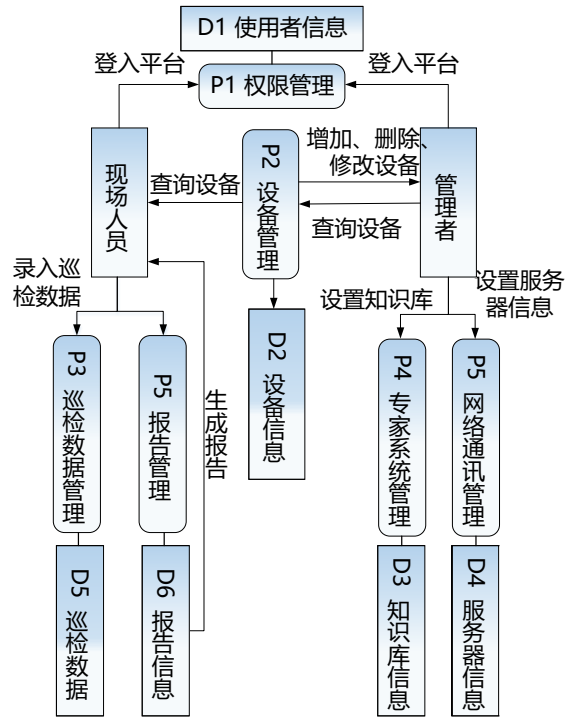


图 2 系统数据流图

Fig.2 Data flow diagram of the system

此开关设备带电检测系统的云服务平台的使用者大致可以分为现场人员和管理人员两种用户他们各自对此开关设备带电检测系统的云服务平台有着不同的操作权限。对于现场人员，他们主要对平台的操作为查询设备，录入巡检数据和生成报告，因此对应需要在数据库中建立设备信息表，巡检数据管理表和报告信息表。对于管理人员，拥有比现场人员更高的管理权限，不仅可以查询设备，还可以对设备进行增加、删除和修改；管理者可以设置专家系统中的知识库信息，以便提高故障识别的精度；同时，管理者还可以对上传管理的服务器进行设置。为了区分不同的用户以及为整个系统提供最基本的安全保障，还需要一个使用者信息表来管理每个登录用户的权限。

2.2 数据结构设计

本系统将一个地区内的所有设备组成一个数据库,数据库中各个数据之间的结构关系如图 3 所示。

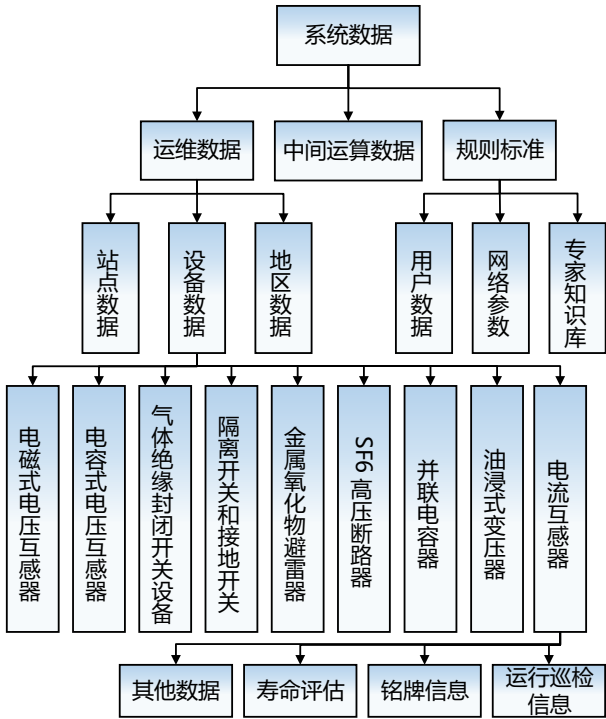


图 3 系统数据结构图

Fig.3 Data structure diagram of the system

图 3 中,规则标准主要储存系统运行时所需要的一些系统参数,专家知识库中储存了对设备运行状态进行故障诊断所需要的知识库以及根据设备的历史运行状态进行故障预测所需要的算法参数,网络参数主要指的是与下位机和上传服务器之间通过 TCP/IP 协议进行数据传输时所需要的端口地址等信息,用户数据包含了可登录此平台的用户的账号、密码以及姓名电话等个人信息,用以权限管理。中间运算数据主要是用来储存后台算法对数据库数据、前端输入数据处理后产生的中间结果,这样数据库和前端界面能够快速的从此处调用数据进行下一步操作,而不需要花费时间等待后台算法进行处理。

运维数据是整个数据库的核心数据部分,包含了地区数据,站点数据和设备数据,地区数据和站点数据能够使得数据库对单个设备的管理更加的有序,能够在一定程度上优化数据库的查询效率,对于单个设备而言,每一种设备的信息包含其运行巡检信息,铭牌信息,寿命评估,其他数据。以 SF<sub>6</sub> 高压断路器为例,表 1 展示了建立数据表的数据结构以及各数据表之间的联系。

表 1 数据结构表

Tab.1 Data structure table

设备种类	表单信息	基本属性
SF <sub>6</sub> 高压断路器	运行巡检信息	短路电流, 本体锈蚀, 振动和声响, 陶瓷污秽, 支架松动, SF <sub>6</sub> 压力表指示, SF <sub>6</sub> 气体泄露, SF <sub>6</sub> 气体湿度, SF <sub>6</sub> 纯度, SF <sub>6</sub> 分解产物, 局部放电, 回路电阻等
	铭牌信息	额定断流容量, 额定电流, 额定电压, 设计序号, 安装场所, 补充工作特性
	寿命评估	年度寿命损失, 累计寿命损失
	其他数据	家族缺陷信息

3 故障诊断

故障诊断模块主要采用的方法为专家系统和智能算法。专家系统与智能算法都有着漫长的研究历史,在电力设备故障诊断中也发挥了很大的作用,二者的主要区别在于,专家系统更多的是一种基于人工经验的判断,专家系统专家库的建立不仅仅需要理论研究,还需要结合现场实际进行建立;而智能算法更多的是基于统计、概率对已有的数据进行分析,找出数据内部的规律。在实际应用中,二者常常是结合起来使用的。

3.1 基于专家系统的红外故障诊断

电气设备的热效应出现异常,如局部温度过高、过低,三相温度不一致等现场,很有可能是电气设备内部发生了故障。本系统主要是针对于红外测温数据部分建立了专家系统,以此来实现对温度的故障诊断功能。

对于电气设备热故障的判别,在实际应用中常使用的方法包括相对温差判断法、表面温度判断法、同类比较法、热谱图分析法、档案分析法等方法<sup>[3]</sup>。本系统采用的是以上几种判别方法相结合的故障分析方法,以最大概率地发现可能存在的热故障,及时排查,避免造成损失。流程图如图 4 所示。

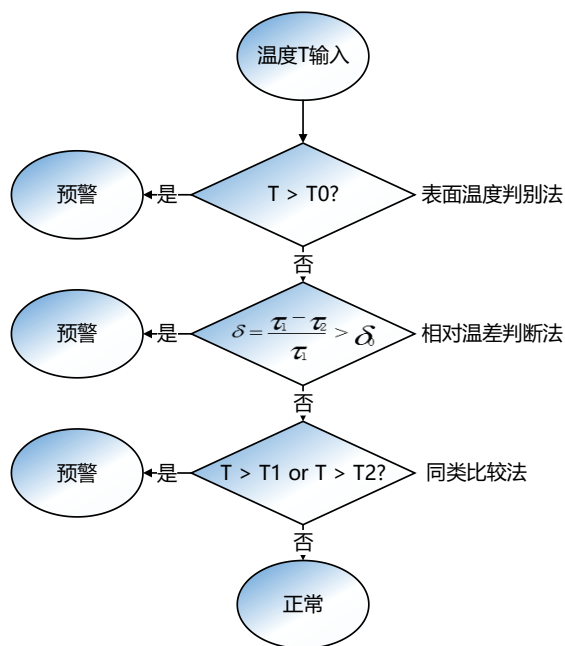


图4 温度故障诊断流程图

Fig.4 Flow diagram of temperature fault diagnosis

其中  $T_0$  为相关文件中规定的最高允许温度， $\tau_1$  为发热点的温升， $\tau_2$  为正常点的温升， $\delta_0$  为《带电设备红外诊断技术应用导则》中所规定的最高允许温升； $T_1, T_2$  分别为三相中另外两相所测量得的温度。

对于从前端平台输入的数据或者从数据库中取得的数据，先用表面温度判别法进行判断，当设备上某一部位的温升超过这一部位的最高允许温升时，表示设备在这一部位可能存在故障；当设备的表面温度无明显异常时，可根据设备相对于某一设定为温度正常点的相对温差进行判断，当相对温升超过一定范围时，设备可能发生故障；在对同一设备的测量点在一段时间内的温度变化进行分析无异常时，若设备存在多相，则对同一时间段内不同相之间同一测量位置的温度进行比较，若出现一相相对于其他几相温升过高或过低，设备可能在这一相内存在热故障。

### 3.2 基于 SVM 算法的机械故障诊断

SVM 算法的全称是 Support Vector Machine(支持向量机)，其训练所需的数据量较小，对于电力设备故障数据很少的情况，能够高效地对样本数据进行训练。本系统采用了支持向量机算法对断路器的行程曲线进行了故障诊断和行程预测。

在故障诊断模块，采用的是支持向量机算法的分类模型。后台系统会定期对数据库的数据进行分析和查询，将确认故障的设备数据进行整理，将其

按照一定的数据格式进行处理后构成一个训练集，将这个训练集用支持向量机算法进行训练，得到训练后的模型。每当前端平台有巡检数据输入的时候，后台算法自动将输入数据放入模型中进行匹配和诊断，对有故障的设备进行预警，同时将故障信息，故障类型，诊断结果展示在故障诊断界面。

在故障预测模块，采用的是支持向量机算法的回归模型。本系统采用的预测方式为“滑动窗口”预测<sup>[4]</sup>，确定一个数据长度为  $N$  的窗口，在窗口内的  $N$  个值作为预测的输入，第  $N+1$  个值作为预测的输出，将这  $N+1$  个值作为一个训练点加入到训练集中；接着，窗口向前滑动，第 2 个值到第  $N+1$  个值作为预测的输入，第  $N+2$  个值作为预测的输出，这  $N+1$  个值又作为一个训练点加入到训练集中。如此往复，构成一个完备的训练集，在支持向量机算法中进行训练。在对未知数据进行预测时，只要取上一次检测的数据后  $N$  个点，这  $N$  个点构成一个小窗，作为输入，来预测未知曲线的第一个点，窗口向前滑动，抛弃掉滑动窗中的最后一个点，将新预测出的数据加入到窗口的首列，这样就能够根据已有的数据来对数据的变化趋势进行预测。

## 4 系统实现

### 4.1 开发环境

本系统基于 Apache +MySQL+PHP 环境开发。Apache 是目前世界使用第一的 WEB 服务器软件，具有简单、快速、性能稳定的特点和较好的安全性和跨平台功能。MySQL 数据库简洁小巧，是一种关联数据库管理系统，每类数据的保存都有不同的表与之对应，具有较好的灵活性和较快的速度。PHP 是一种创建动态交互性站点的强有力的服务器端脚本语言，几乎兼容所有的服务器，支持多种数据库。Apache +MySQL+PHP 是目前动态网站开发的流行方案，不仅可以支持诸如 Windows、UNIX、Linux 等多种操作系统，而是是面向大众的免费开源项目。

### 4.2 用户界面

本系统的前端框架为 Bootstrap 框架，通过这种框架，只需要少量的代码就能够快速地搭建一个较为精美的界面，同时 Bootstrap 框架内还集成了众多 jquery 插件，使得网站具有更多人机交互的功能<sup>[5]</sup>。

系统的用户界面包括登录界面，设备管理界面，设备状态界面，录入数据界面，导出报告界面和检修记录界面，如图 5-10 所示：



登陆界面为系统提供了基本的权限管理功能，根据账号权限，登陆后平台会提供不同的功能。



图 5 系统登陆界面

Fig.5 Interface of system login

设备管理界面对设备的基本信息进行查看，并且此界面提供了一系列的按钮，用于对设备进行操作。



图 6 设备管理界面

Fig.6 Interface of equipment management

设备状态界面将设备的状态信息通过图表的形式进行直观的查看，其中包括设备检测的原始数据和故障诊断的处理结果。

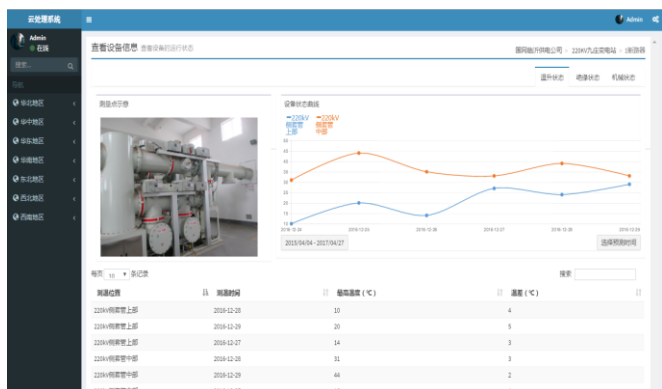


图 7 设备状态界面

Fig.7 Interface of equipment state

录入数据界面是检测数据的存储至数据库的通道，通过人工录入检测环境和检测数据等信息。

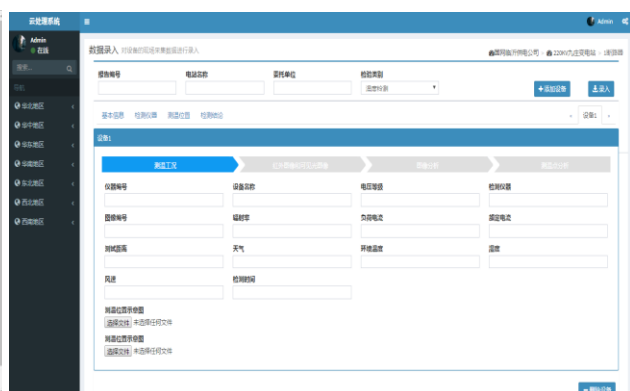


图 8 录入数据界面

Fig.8 Interface of data input

导出报告界面对检测时的供电公司，电站，检测的类型，检测的时间进行选择，再点击下载报告按钮，后台就会运行从数据库里面调用存储的数据，并以一定的形式组织起来，进行输出。

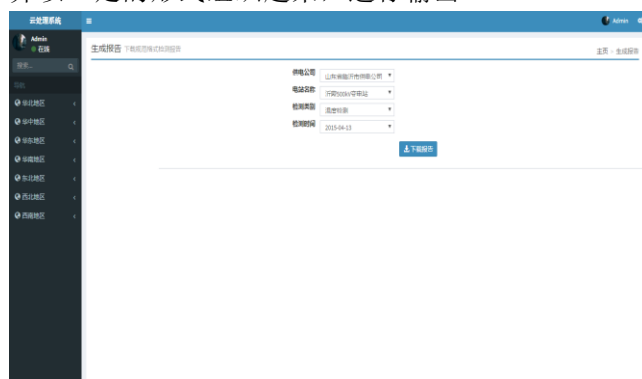


图 9 导出报告界面

Fig.9 Interface of report export

检修记录界面对以往的检修历史进行查询，当发现设备故障的时候，可以根据检修历史更快地对设备的故障原因、故障位置进行定位。



图 10 检修记录界面

Fig.10 Interface of maintenance record

### 4.3 车载应用

本系统应用于国家电网公司平高集团的移动运维检修平台后,使得电力设备数据的管理更加高效快捷,提高了对电力设备数据的利用效率;流程化、标准化和自动化的数据采集和报告生成功能,大大提高了巡检工作的质量和效率,节省了人力物力,具有重大的经济效益。



图 11 系统车载应用

Fig.11 Car applications of the system

## 5 结论与展望

本文介绍了一种部署在云服务平台基础框架上的开关设备带电检测系统,用于开关电力设备带电巡检以及带电巡检数据管理。该系统实时响应用户的运维需求,为云用户终端的统计分析 with 综合查询、设备状态诊断、设备状态预测等请求提供云服务;部署在移动终端或 PC 端的云用户终端,用于采集上传带电检测数据,请求云平台服务或触发本地规则,并将结果反馈到用户界面。

然而,本系统只是初步搭建开关设备带电检测系统的云服务平台,在很多方面还需要进一步优化:

(1) 对于数据的录入方式,目前的录入方式

在进行大量数据的录入时略显繁琐,可以开发与检测设备的连接接口,使得数据的传输更加简便。

(2) 对于后台集成的算法,现在缺少试验数据,参数是人为选取的,诊断精度不高,因此后期积累数据后需要对算法参数甚至算法本身进行调整。

## 参考文献

- [1] 荣命哲,贾申利,王小华. 电器设备状态检测[M]. 机械工业出版社, 2007.
- [2] Chen Y, Liao H F, Peng Q, et al. Research on Data Management System for Live Detection[J]. Applied Mechanics & Materials, 2015, 734:22-26.
- [3] 徐雪涛. 基于红外成像技术的电气设备故障诊断[D]. 华北电力大学(保定) 华北电力大学, 2014.
- [4] 郝爽,仲林林,王小华,李高扬,荣命哲. 基于支持向量机的高压断路器机械状态预测算法研究[J]. 高压电器,2015,51(07):155-159+165.
- [5] Bi C G, Xia L B, Lu Y M. Based on Bootstrap and Wordpress to Develop Personal Blog[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 687-691:2423-2426.

## 作者简介

孙培泽 男, 1995 年生, 在读硕士, 研究方向为云计算技术在电器故障诊断中的应用。

E-mail: sunpeize@foxmail.com

王小华 男, 1978 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为电器测试与故障诊断技术, 低温等离子体应用, 电器智能化理论与技术。

E-mail: xhw@mail.xjtu.edu.cn (通信作者)