

# 智能配电房的技术重点、难点及解决方案研究

刘赛足<sup>1</sup>, 韩畅<sup>1</sup>, 郭晨华<sup>2</sup>

(1. 广州市电力工程设计院有限公司, 广州 510220; 2. 珠海一多监测科技有限公司, 珠海 519085)

**摘要:** [目的]为了创造良好的运行环境,提高供电可靠性和运维工作效率,创造安全、可靠、高效、自愈的智能配电房。[方法]经过大量的配电房环境和运维现状问题统计分析,提出了智能配电房建设的必要性,并在充分国内外监控设备技术调研基础上,研究出智能配电房建设的技术路线,总结了智能配电房在推广建设将遇到的各种技术难点,并联合相关设备厂家深入研究和在项目试点运行分析,利用微正压通风技术、无源无线传感检测技术、智能联动和远程控制技术、基于图像识别的人工智能技术、关键传感器安装方式实现零加工、零破坏等多种先进性技术。[结果]最终解决了智能配电房循环通风、消除凝露点、智能运维场景创造、设备状态监测等技术重点、难点,满足了智能配电房不需要人工运维、不停电安装、不影响设备检修等建设要求。[结论]所提出的解决方案已列入智能配电房相关标准技术文件,并在智能配电房建设中推广使用。

**关键词:** 智能配电房; 微正压技术; 消除凝露; 智能联动; 非介入式测温; 不停电安装

中图分类号: TM76; TM641

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0075-06

## Research on Technical Key, Difficulty and Solution of Smart Distribution Substation

LIU Saizu<sup>1</sup>, HAN Chang<sup>1</sup>, GUO Chenhua<sup>2</sup>

(1. Guangzhou Electric Power Engineering Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510220, China;

2. Zhuhai Yado Monitoring Technology Co., Ltd., Zhuhai 519085, China)

**Abstract:** [Introduction] The paper aims to establish a favorably operating environment, improve the reliability of power supply and operation and maintenance efficiency, and construct a safe, reliable, efficient and self-healing smart distribution station. [Methods] In this paper, a large number of distribution station environment and maintenance problems were statistically analysed, and put forward the necessity of the constructing smart distribution station, and developed the technical route of the construction of smart distribution station on the basis of full investigation of monitoring equipment technology, then summarized the technical difficulties encountered in the promotion and construction of smart distribution station, made further research of pilot operation analysis of the project with the relevant equipment manufacturers, using micro-positive pressure ventilation technology, passive wireless sensor detection technology, intelligent linkage and remote control technology, artificial intelligence technology based on image recognition, installation of key sensors to achieve non-processing, non-damage and other advanced technologies. [Result] The results we solved the key technical points and difficulties of circulating ventilation, eliminating dew point, creating intelligent operation and maintenance scenes and monitoring equipment status of smart distribution station, then satisfied the construction requirements of no manual operation and maintenance, no power failure installation and no influence. [Conclusion] The solution proposed is not only included in the standard technical document of smart distribution station, but also extensive used in the construction of smart distribution station.

**Key words:** smart distribution station; micro positive pressure ventilation; prevent condensation; Intelligent linkage; non-intrusive measurement; no power stop installation

收稿日期: 2019-01-08 修回日期: 2019-05-18

基金项目: 南方电网公司科技项目“智能配电房技术规范”(技标 2018-025)

近年来国家大力发展智能电网,输变电系统的智能化信息化已具备相当高的水平,而配网由于其使用环境和结构的复杂性使得智能化信息化水平较低,随着智能电网工作的进一步深入,智能配电房

已成为下一步的主要工作之一。从技术创新、运维管理、智能自愈、服务与互动等几个方面着手,以可观、可测、可控等发展目标,构建可靠、高效、自愈、智能性的智能配电房<sup>[1-2]</sup>。

## 1 配电房管理现状分析

### 1.1 配电房环境现状

南方地区天气、湿热,炎热、潮湿、梅雨等极端环境现象频繁,而配电开关房遍布市区,设备管理人员往往不能及时全面地对设备所处环境进行人为干预调控,由于人为干预的失败,导致设备可能运行在高温、潮湿、扬尘等恶劣环境下,对设备安全运行造成严重威胁,这是配电网稳定运行的不安定因素。据统计,某供电局配电网2016年共发生568起跳闸事故,主要原因有电缆被施工外力破坏、施工工艺、天气引起意外等,其中由于配电房环境因素引起的跳闸事故有33起,占比5.8%。由此可见,配电设备在不符合设备工作条件的环境下运行成为了配电网的一个极大安全隐患。

### 1.2 配电房运维管理现状

1) 配电站环境监控模式落后。相对于变电站的精益化监控模式,目前的配电站环境监控程度及监控范围严重落后,无法有效进行故障的定位分析。

2) 人工巡检存在巡检盲区。一般都在每年或每季的几个典型日,由工作人员逐个测量配电装置及巡检,既不能及时发现问题,也难以全面的反映真实情况。

3) 人工巡检过程存在安全风险。由于配电房数量众多,不仅分部分散、广泛,而且部分配电房内部和周围环境恶劣,巡检人员在巡检过程中有触电、SF<sub>6</sub>气体中毒等风险。

4) 巡检人员素质难以满足要求。随着城区的建设发展,配电房的数量越来越多,设备也越来越复杂,巡检人员素质的提高不能紧跟配电房日益复杂的功能结构运维要求。

5) 未能实现远程操作确认。配电站设备监控状态的缺失,使配网自动化操作不能真正有效实施。开关合分闸状态的确认需要现场确认,缺乏视频监控资料的支撑,目前基本很难进行远程的合分闸操作,自动化实际使用效果有限。

6) 不满足扩展业务的需求。目前充电桩、分布式能源、智能小区的广泛发展,未来很多时候要求配电房为该类用户提供电源、通信、数据接入等功

能接口,而目前配电房的环境、设备条件、安全等级均难以满足需求。

因此,研究和开发智能配电房系统就显得十分必要和迫切,该系统能让运维人员足不出户就可全景掌握配电房的状态,减少巡检次数,降低日常维护的人员、车辆以及物资等维护成本,挖掘配电房状态数据中的价值,提高配电房运维管理水平。

## 2 智能配电房的技术路线

智能配电房的建设应建立在现有配电房设备的基础上,利用国内外较成熟的监控技术,通过装设智能监测器全面监测环境、安防、视频、电气设备状态、电气参量、设备台账管理等信息参数,并借助智能监测器实时监测现场运行情况,并联动循环风机、照明、空调等设备实现智能联动,保证配电房安全运行,防止因环境改变、非授权活动、设备状态变化等引起的事故,满足对配电房远程运维的可靠调度,建立智能配电房监控系统。智能配电房监控系统应由下列内容组成:

### 1) 环境监控

配电室可配置环境温度、湿度、SF<sub>6</sub>气体浓度、臭氧浓度、含氧量、烟雾、火灾、水浸、粉尘、噪声、低频振动、防小动物等信息在线监控装置。

### 2) 安防监控

通过红外监测系统,实现对电房内实时安全状况进行监视,辅助视频系统监视对人员进出实现二次监测。

### 3) 视频监控

通过视频拍摄配电房室内情况以及设备上指针表、信号灯和开关变位信号,能够有效对配电房环境和设备识别指针读数、报警信息状态。把配电房的各种运行状态以全景无死角的方式展现在运维人员面前。

### 4) 设备状态监测

变压器、中压柜、低压柜配置温度以及中压柜配置局放在线监测装置。

### 5) 电气参量监控

结合配网自动化系统对电流、电压以及开关开合状态等电气参量实时监控。

### 6) 设备台账管理

通过扫描配电房设备的RFID/二维码等电子标识采集电力设备各方面信息,包括台帐、试验、缺陷

等, 实现对运行设备台账的在线信息采集, 建立完整的设备管理档案。

### 3 智能配电房的技术重点、难点

经过智能配电房试点项目大量的运行数据分析、设备技术调研、运行单位的多次研讨和交流, 智能配电房要实现上述功能时, 还有以下几个关键技术难点需要解决:

1) 在配电房环境控制中, 基于低功耗和减少运维的要求下, 如何实现配电房的定时通风排毒问题。

2) 针对天气湿热和潮湿、梅雨等极端环境现象频繁的地区, 电气设备长期处在潮湿环境导致短路故障或绝缘击穿。在智能配电房的环境控制中, 如何利用高效、节能的方法控制温湿度、消除凝露点是一个重点和难点。

3) 如何利用智能联动技术, 创造安全、智能运维场景。

4) 如何应用人工智能技术, 实现图形、人员行为轨迹等智能巡检。

5) 在智能配电房设备状态监测中, 如何实现不停电安装, 并避免因传感器因电池寿命短而带来的繁重维护工作。

## 4 技术重点、难点解决方案

### 4.1 利用微正压通风技术, 实现配电房的通风排毒问题

配电房长期处于空气流动不畅, 六氟化硫的泄露以及局部放电引发的臭氧, 导致空气浑浊, 危害工作人员健康问题。如何利用低功耗技术手段定时给配电房通风排毒、增氧, 并有效调整配电房室内温湿度, 是智能配电房运行环境监控重点解决的问题。基于三维仿真建模分析, 应用 Fluent 等分析软件对开关室供气方案进行重新优化设计, 以求将开关室内各环境参数控制于要求范围内, 结合现代电气智能控制方法实现开关室内部新风形成有效微正压及层流效应。

新风微正压是保证室内通风维持稳定状态, 可持续性的维持室内的气流处于不断的置换状态。将室内进风口、排风口有序设置为置换气流通风的形式, 则能保证新风形成一种自上而下的通风方式(如图 1), 即可以保证新风气流在室内各层之间形成微正压条件。

### 4.2 研究凝露临界点, 控制配电房湿度

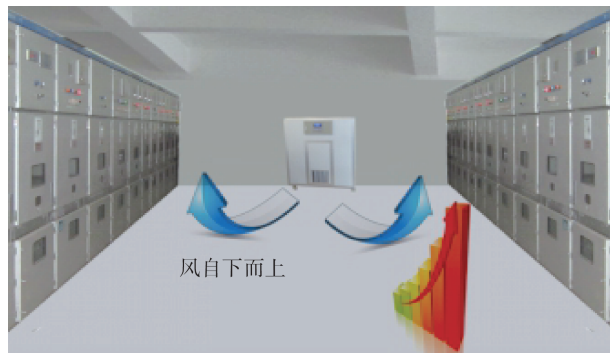


图 1 优化通风方式

Fig. 1 Optimal aeration mode

在潮湿的天气, 常在柜体内壁表面发生水珠凝结现象, 这个现象称之为凝露。在电气柜、绝缘材料等处发生凝露将会降低柜体、绝缘材料的绝缘等级, 容易发生爬电、闪络等事故。所以在配电房控制湿度最重要的就是消除凝露。

首先要理解凝露是如何产生的: 当绝对湿度达到空气的饱和水蒸汽量, 空气温度低于露点温度(如碰到温度低于露点温度的柜体外壳等)会发生凝露。而其实环境温度、凝露温度与相对湿度是成一定的曲线关系的, 由图 2、图 3 可以看出: 在一定的温度条件下, 空气中的相对湿度越高, 凝露的温度越是接近环境空气温度, 也就是说, 环境温度愈接近露点温度, 凝露就越容易发生。所以, 要防止凝露的发生, 必须使不允许发生凝露部位的表面温度始终高于其周边的环境温度。对于配电房设备在运行时导体和开关本身会发热的情况, 即使在低温(大于 0 度)气候, 设备温度比环境温度低应该不超过 2 度, 所以将 85% RH 作为启动除湿动作的阈值是一个比较安全且经济的选择。

### 4.3 利用智能联动技术, 创造安全、智能运维场景

实现门禁、布防、照明、风机、温湿度、空调、水浸、烟感、有毒气体等各类设备之间的报警联动, 模拟人为运维场景和操作流程, 创造安全运维场景, 实现智能化安全巡检。

1) 门禁与红外布防/撤防、照明、风机联动: (1) 电子钥匙合法权限开门自动撤防; 机械钥匙开门或者其他非法开门不撤防; (2) 开门或关门(任意一扇门)联动照明、风机开启或关闭; (3) 布防红外正常工作, 触发红外报警时, 产生红外入侵报警时间; 撤防红外失效, 触发红外报警时, 不产生

入侵报警时间。

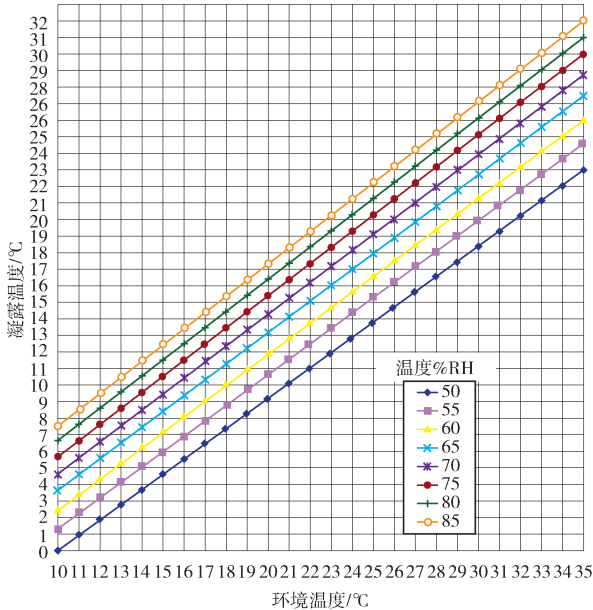


图2 凝露温度曲线图

Fig. 2 Condensation temperature diagram

		温度-湿度-露点对照表							
温度	湿度	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%
	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH	RH
		Δ10-12℃	Δ9-11℃	Δ8-9℃	Δ7-9	Δ6-7℃	Δ5-6℃	Δ3-4℃	Δ2-3℃
10℃		0.06	1.38	2.6	3.73	4.79	5.78	6.71	7.6
11℃		0.99	2.32	3.54	4.68	5.75	6.75	7.69	8.58
12℃		1.91	3.25	4.48	5.63	6.71	7.71	8.66	9.56
13℃		2.83	4.18	5.43	6.58	7.66	8.68	9.63	10.54
14℃		3.75	5.11	6.37	7.53	8.62	9.64	10.61	11.52
15℃		4.67	6.04	7.31	8.48	9.58	10.61	11.58	12.5
16℃		5.59	6.97	8.25	9.43	10.54	11.58	12.56	13.48
17℃		6.51	7.91	9.19	10.38	11.5	12.54	13.53	14.46
18℃		7.43	8.84	10.13	11.33	12.45	13.51	14.5	15.44
19℃		8.35	9.77	11.07	12.28	13.41	14.47	15.47	16.42
20℃		9.27	10.7	12.01	13.23	14.37	15.44	16.45	17.4
21℃		10.19	11.63	12.95	14.18	15.32	16.4	17.42	18.38
22℃		11.11	12.55	13.89	15.12	16.28	17.37	18.39	19.36
23℃		12.03	13.48	14.83	16.07	17.24	18.33	19.37	20.34
24℃		12.95	14.41	15.76	17.02	18.19	19.3	20.34	21.32
25℃		13.87	15.34	16.7	17.97	19.15	20.26	21.31	22.3
26℃		14.78	16.27	17.64	18.91	20.11	21.23	22.28	23.28
27℃		15.7	17.2	18.58	19.86	21.06	22.19	23.25	24.26
28℃		16.62	18.12	19.51	20.81	22.02	23.15	24.23	25.24
29℃		17.53	19.05	20.45	21.75	22.97	24.12	25.2	26.22
30℃		18.45	19.98	21.39	22.7	23.93	25.08	26.17	27.2
31℃		19.36	20.9	22.33	23.65	24.88	26.04	27.14	28.18
32℃		20.28	21.83	23.26	24.59	25.84	27.01	28.11	29.16
33℃		21.19	22.75	24.2	25.54	26.79	27.97	29.08	30.14
34℃		22.11	23.68	25.13	26.48	27.75	28.93	30.05	31.11
35℃		23.02	24.61	26.07	27.43	28.7	29.9	31.02	32.09

图3 温度-湿度-凝露点对照图

Fig. 3 Comparison diagram of temperature, humidity and condensation point

2)柜体门禁与带电显示器联动,连同以地刀挂锁的各类锁具,组成防误操作系统。环网柜柜体的

智能带电显示器与电子钥匙,连同以地刀挂锁的各类锁具联锁,要挂(合)接地线(接地刀闸)前,必须先验电操作,智能带电显示器检验任一相均无电,则允许挂(合)接地线(接地刀闸)。

3)温湿度与电力环境调控机联动。温度或湿度超过一定限值,自动打开电力环境调控机制冷或干燥对应调整功能;温度或湿度低于一定限值,则自动关闭电力环境调控机制冷或干燥对应调整功能。

4)视频与门禁、红外、水浸、烟感联动。与门禁、红外、水浸、烟感联动,根据监测系统的预警或告警区域,自动联动视频监控系统,查看重点区域情况,并进行拍照和录像,为运维人员提供佐证。

5)烟雾与消防设备、视频、后台报警联动。当烟雾探测器探测到有烟雾情况,启动风机,同时智能消防箱或消防灯笼自动开启,进行灭火,摄像机进行摄像,后台监控和现场同时报警,后台监控通过远程数据中心快速通知相关人员进行处理。

6)循环风机自定时启动,并与SF6、氧气、臭氧联动。循环风机每隔一段时间自动开启通风,通风循环完成即可自动关闭;当SF6、臭氧浓度、氧气处于非正常指标时,会产生报警并自动开启风机等设备,将气体排除。

#### 4.4 基于图像识别的人工智能技术

配电房视频监控系统通过红外摄像机对配电房的人脸识别、穿戴情况、行为轨迹、工作状态、设备状态指示、设备位置等进行24小时不间断的监控,系统提取特征信息与标准特征库数据进行比对,这些图像特征包括色彩特征、几何特征、变换特征等。一般的图像识别技术仅能识别平面物体位置的变化或颜色的变化,对于像开关操作状态变换等三维物体的识别属业内一大难题。尤其是对三维景物的选取上,输入的图像本身是没有再现三维景物的几何信息能力,因此系统在对视频图像进行智能识别的过程中需要对三维景物的背后所需要反映的部分信息必须进行适当地假设和建模,以解决在智能化图像识别过程中所产生的问题。

通过图像特征数据比对,从中筛选出设备的异常状况以及存在异常的图像,保留有效信息。如果现场出现异常,人员非法入侵、温度超限、设备异常震动、动态侦测(开关跳闸、设备冒烟、起火等)启动突发事件记录,并发送信息到运维人员,持续记录到恢复正常,可在突发事件序列快速查看现场情况,方便运维

人员快速掌握现场情况制定有效处理方案。

### 4.5 采用无源无线、非介入式温度传感器技术, 实现不停电安装

设备状态传感器采用无源无线、非介入时技术, 采用温差技术、电压取电技术、电流取电技术作为主电源工作, 不采用电池供电或外接电源, 通过无线技术传输数据, 无需现场布线, 无需电池供电, 避免因电池寿命短而带来的繁重的维护工作。

非介入式测温传感器技术摒弃一般传感器破坏原设备结构(如在母线上打孔、解体开关柜组件等)的做法, 主要采用吸附式安装方式, 不影响设备原有性能(如动热稳定性、温升性能、绝缘安全距离、绝缘爬距等绝缘性能)。

非介入式测温原理是利用一次设备在一定空间范围内的温度分布情况(如图4), 通过热源温度、环境温度、热物性参数建立的温度场静态模型和动态模型(如图5), 计算热源阈值对应的非介入点报警阈值, 作为诊断标准, 并经过大数据统计, 验证其标准, 最终设定非介入点的温升或温度判断标准。

## 5 效果分析

项目技术成果的推广应用可以改善设备运行环境, 防止受外界环境原因造成的设备损坏, 显著提高电力系统的安全性, 降低电力运行事故的可能性和人员财产损失, 延长开关柜使用寿命, 提高设备利用率。项目的推广运行主要产生以下效益:

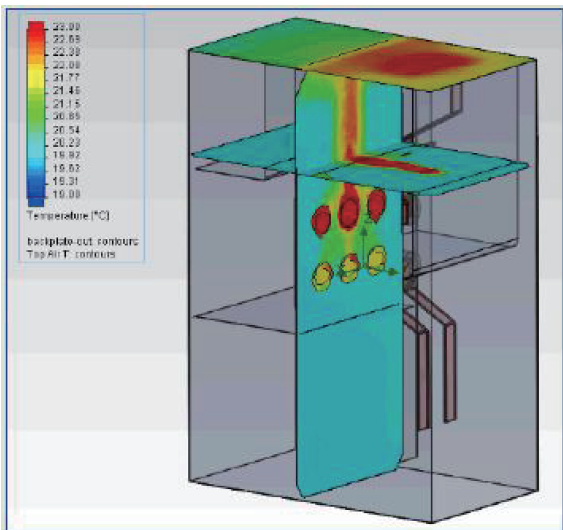


图4 开关柜的负载 - 温度耦合场

Fig. 4 Load & temperature coupling field of switch cabinet

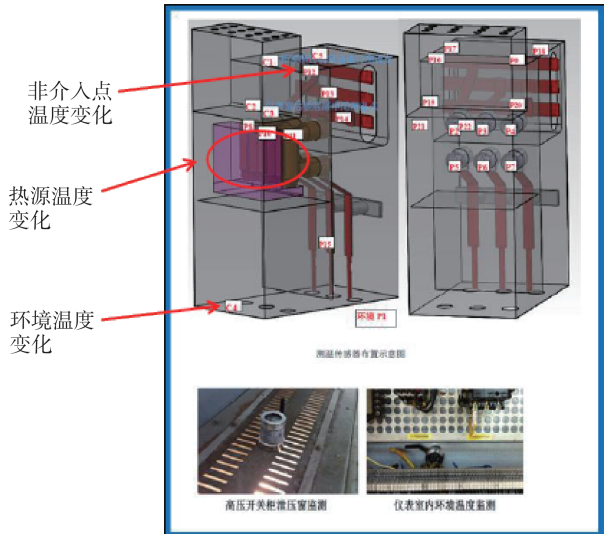


图5 开关柜的温度场模型

Fig. 5 Temperature field model of switch cabinet

### 5.1 经济效益分析

项目技术成果的推广应用可以改善设备运行环境, 防止受外界环境原因造成的设备损坏, 显著提高电力系统的安全性, 降低电力运行事故的可能性和人员财产损失, 延长开关柜使用寿命, 提高设备利用率。项目的推广运行主要产生以下效益:

#### 1) 延长设备寿命, 节约建设成本

配电房每年都要做预防性试验, 5年检修, 10年大修。检修主要针对锈蚀、老化等设备进行替换, 大修主要针对开关柜、变压器等主要设备进行停电检测和关键部件、整机替换。大修不会等到设备完全故障停用才进行, 而是按照既定的大修时间(如10年)对设备进行换新。这种换新方式可保障配电房主要设备在下次大修前可靠运行, 在一定程度上消除了事故隐患, 却也极大增加了建设成本。

采用智能配电房系统则可以做到“不坏不修”, 在降低隐患风险的同时, 延长设备实际使用寿命, 节约建设成本。

#### 2) 替代人工巡检, 降低维护成本

目前传统配电室常用的人工巡检方式进行运维在人力、财力上产生了很高的成本。使用智能配电房系统后可以通过综合监控后台了解各配电室现场信息, 只在设备发生或者存在故障隐患时派出维修人员进行定点更换、维护。

### 5.2 管理效益分析

#### 1) 建立安全的运维环境、降低设备的故障率。

建设智能配电房，消除配电房环境引起的安全隐患，延长设备使用寿命，实现设备全寿命使用周期，提高供电可靠性。

2)智能配电房系统，将带来运维模式的转变，由原来的现场运维模式更多于转变为后台运维。

3)提高人力资源利用。智能运维系统，后台全面监测设备运行，可以有效减少现场巡检频率，将人员更多于集中办理事故处理、数据分析等，有效提高了人员使用效率。

4)提高工单处理效率。结合手机 APP 客户端，设置提醒模式，可进行随时随地办公，不受限于人员的实时位置，提高工单的处理效率。

5)故障定位和处理的快速性。结合多种监控手段，后台报警信息将辅助于更多的判断模式，故障定位更加精准、有效。

## 6 结论

本文详细阐述了配电房管理现状和建设必要性，并介绍了智能配电房的技术路线，结合试点项目的运行数据分析和建设要求，总结了智能配电房的技术重点和难点，通过研究智能配电房循环通风、消除凝露点、智能联动控制、设备状态监测等

各技术问题，提出了各技术难点的具体技术方案，最后分析了智能配电房的应用效果。

### 参考文献：

- [1] 国家能源局. 智能变电站监控系统技术规范: DL-BT 1403-2015[S]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 王海华. 先进智能电网及全新用户体验规划设计的探讨[J]. 南方能源建设, 2017, 4(增刊1): 1-7.

### 作者简介：



LIU S Z

刘赛足(通信作者)

1984-, 女, 海南临高人, 工程师, 工学学士, 主要从事配电网规划设计、新能源微电网设计、智能配电网研究 (e-mail) lizzy5152@163. mail. com.

### 韩畅

1985-, 男, 河南周口人, 工程师, 主要从事供配电网规划、系统研究、智能电网等方面的研究 (e-mail) 18802019980@139. com.

### 郭晨华

1974-, 男, 工程师, 主要研究方向: 电力设备状态监测和故障诊断, 电力设备多物理场仿真研究等 (e-mail) gch@eado. com. cn.

(责任编辑 李辉)

