

基于三维GIS的智能配网自动巡检技术

陈浩昆

(广东电网有限公司佛山供电局,广东 佛山 528000)

摘要:在信息技术的快速发展中智能配电网的建设速度和规模逐渐增加,其作为电力系统中的关键环节,对供电的安全和可靠性具有重要影响作用。供电企业为满足用户的实际电力需求,在配电网中应用的配电变压器和开关柜等设备也不断增加,对应产生的设备故障也逐渐增加,需要通过合理的监测技术来保证电力系统的稳定运行和供电安全,为此,研究基于三维地理信息系统(geographic information system, GIS)的智能配网自动巡检技术。以配网的实际巡检需求为设计依据,采用逻辑关系理论对配网的巡检功能进行划分,整理为主站巡检和终端巡检两部分,并通过逻辑关系建立各个功能模块之间的联系。通过巡检功能的标度情况,选择一致性判断指标和随机指标建立判断矩阵,分别设定智能配网设备运行、巡检、状态评估矩阵。选择三维GIS地理信息系统对应配网巡检内容,以数字化管理形式建立信息数据库,对不同的设备实现封装巡检,完成方法设计。实验结果表明:通过对近三年某配网内部的运行故障进行统计,选择开关柜、变压器和电力电缆作为巡检对象,所提方法能够实现精准的状态量跟踪,对不同的设备状态进行有效判断,实现有效的配网巡检和运维,具有应用价值。

关键词:自动巡检;三维GIS;状态评估;配电网

中图分类号:TP391;TM835 文献标识码:A 文章编号:1003-7241(2025)08-0106-05

Automatic Inspection Technology of Intelligent Capability Distribution Network Based on 3D GIS

CHEN Haokun

(Guangdong Power Grid Corporation Foshan Power Supply Bureau, Foshan 528000, China)

Abstract: With the rapid development of information technology, the construction speed and scale of intelligent distribution network are increasing gradually. As a key link in the power system, it has an important effect on the safety and reliability of power supply. In order to meet the actual power demand of users, power supply enterprises are applying more and more distribution transformers, switchgear and other equipment in the distribution network, and the corresponding equipment failures are gradually increased. Therefore, reasonable monitoring technology is needed to ensure the stable operation of the power system and the safety of the power supply. Therefore, automatic patrol technology of intelligent power distribution network based on three-dimensional geographic information system (GIS) is adopted. Based on the actual inspection requirements of the distribution network, the inspection function of the distribution network is divided by the logical relation theory, and the main station inspection and terminal inspection are sorted out, and the connection between each function module is established through the logical relation. Based on the scale of inspection function, the consistency and random indexes are selected to establish a judgment matrix, and the operation, inspection and status evaluation matrices of intelligent capability distribution network devices are set respectively. It selects the inspection contents corresponding to the distribution network of 3D GIS system, establishes the information database in the form of digital management, realizes the encapsulation inspection of different equipment, and completes the method design. The experimental results show that: by collecting statistics on the operation faults in a distribution network in the past three years and selecting switchgear, transformer and power cable as inspection objects, the method in this paper can realize accurate state quantity tracking, effectively judge the status of different equipment, and realize effective inspection and operation and maintenance of distribution network, which has application value.

Keywords: automatic inspection; three-dimensional geographic information system; state assessment; distribution network

0 引言

配网是输变配体系中的最后一环,也是电网体系中的关键环节,对我国的经济发展以及民众的日常需求均

具有重要影响。随着我国电力系统的快速发展,配网呈现出持续性转型,其中最明显的变化就是配网的里程越来越远,配网中的变压器数量以及开关柜数量越来越多。伴随这一现象,配网中产生的故障问题也逐渐增加,主要分为两个方面:一方面是配网设备的投入量过大,在

*基金项目:广东电网佛山供电局基金资助项目(030600KK52200016)

收稿日期:2023-12-15

配网中各类设备的型号众多,导致电力的运维压力较大^[1]。与此同时,部分设备的运维标准过高,而运维人员的技术水平和工作素质与之不匹配,呈现出巡检人员不足、巡检不到位等问题。另一方面是当大量设备投入至配网时,工作人员为了节省巡检时间,只通过简单的设备进行扫描,无法发现一些细小的异常点,导致许多事故没有被检测出来,影响配网的运行安全。根据现有的巡检技术,在其应用过程中也没有对设备进行量化管理,整体上容易产生评估偏差,为实现全方位智能的配网自动巡检,本文选择三维GIS进行研究。GIS又称地理信息系统,能够对空间中的数据进行直接显示和分析,最终实现一定程度的处理,能够对复杂的问题进行简单规划,根据GIS系统的特征和优势,本文将其在配网的智能化巡检中,为配网的安全运行提供理论支持。

1 逻辑关系理论划分配网智能巡检需求功能模块

对配网的自动巡检技术设计需要以其实际需求进行分析,此次将需求功能分为两个部分,第一部分为主站段的巡检需求,包括配网的基础管理和任务管理以及设备管理,并对所有的管理项目进行报表统计;第二部分则是对终端的巡检需求,分别为终端应用和作业标准化处理^[2]。

通过配网的智能巡检需求分析情况,对巡检功能模块进行设定,按照逻辑关系建立各模块之间的联系,以此构建本次巡检流程。整体上配网的智能巡检需要满足准确性、及时性、可扩充性以及开放性要求,具体见图1。

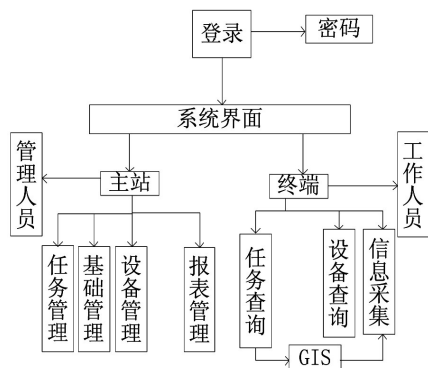


图1 智能配网巡检需求功能的逻辑关系

如图1所示,在此次设定的智能配网巡检需求功能模块中,主站和终端均配备有作业人员,其中主站为管理人员,终端为实际作业人员^[3]。分别对具体的功能进行解析:

(1) 主站巡检功能,包括基础管理、任务管理、设备管理以及报表统计这四个部分,其中最主要的为任务管理,能够直接制定配网的巡检任务,并对巡检的过程进行监督。

(2) 终端巡检功能,对终端巡检的功能设定,包括开关站、变压器、电缆接头等设备,且在功能设计中直接应

用了GIS技术。通过GIS三维地理系统可以直接获取设备的坐标位置,并对应出设备的自有属性,而在巡检过程中,当获取的设备状态信息与GIS系统中不匹配时,需要对信息差异进行记录^[4]。

根据上文中给定的功能需求,能够看出对配网的巡检与设备的运行状态有关,只有针对性地获取到各类设备的运行状态,才能对设备的运行情况进行评估,为此在功能标度下设定评估指标。

2 功能标度下设定智能配网设备一致性评估矩阵

鉴于不同设备的运行标准,在上文对应的巡检功能标度下,采用模糊综合评判方法设定配网的设备运行状态评估指标。为衡量不同程度的状态信息,建立一致性指标使其满足应用要求,如下:

$$q = \frac{w_{\max} - e}{e - 1} \quad (1)$$

$$q_r = \frac{q}{r} < 0.1 \quad (2)$$

$$t = [y_{ui}]_{e,e} \quad (3)$$

式中, q 为一致性指标^[5]; w_{\max} 为最大特征值; e 为阶层; t 为一次性判断矩阵; y_u, y_r 为两组元素; y_{ui} 为判断结果^[6];当 $q=0$ 时,表示判断矩阵为一致的,当 $q>0$ 时,表示评估指标在一定范围内可以通过判断矩阵进行设定。

为此,通过经验值得到随机参数 r ,则 q_r 为随机一致性指标^[7]。若满足式(2),则表示判断矩阵不一致,需要对内部设定的情况进行调整。对随机参数 r 的值进行给定,具体见表1。

表1 随机一致性指标取值情况

标度	定义	指标值
1	同等重要	1
1/3	反比较	0.91
5	中间值	1.13
1/5	反比较	0.92
7	更为重要	1.33
1/7	反比较	0.95
9	极端重要	1.42
1/9	反比较	0.78

根据表1中设定的随机一致性指标,若矩阵 $t = [y_{ui}]_{e,e}$ 中的元素可以接近于配网的实际工程运行情况,会导致评价指标的敏感度降低,因此建立相对应的模糊判断矩阵。如下:

$$p = [o_{ui}]_{r,r} \quad (4)$$

式中, P 表示模糊判断矩阵^[8]; o_{ui} 表示模糊判断结果。

通过两组元素的对比,确定配网设备的状态信息判断

矩阵、巡检信息判断矩阵以及运行状态判断矩阵,如下:

$$a_r = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 7 & 1 & \frac{1}{9} \\ 3 & \frac{1}{5} & 9 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$s = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{5} \\ 7 & \frac{1}{3} & 1 & 5 & 3 \\ 5 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} \\ 9 & 5 & \frac{1}{3} & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$d = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 & 7 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中, a_r 为设备的状态信息判断矩阵; s 为巡检判断矩阵^[9]; d 为运行判断矩阵。

根据各组判断矩阵对配网的设备运行状态进行智能化评估,实现自动巡检。

3 基于三维GIS封装控制指标实现配网自动巡检

三维GIS系统自带有系统定位功能,在配网设备运行过程中,可以直接通过三维GIS对设备状态信息实时跟踪^[10]。为实现不同设备的巡检任务管理,需要对配网系统中的巡检任务进行数字化管理,建立对应的信息数据字典,如下:

(1) 任务信息数据字典:定义为任务,描述为巡检任务,包括ID+标题+内容+发布时间,并输入到任务数据库;

(2) 设备信息数据字典:描述为配网各个设备的信息,包括ID+名称,结束后输入到设备信息数据库;

(3) 巡检人员信息数据字典:定义为巡检工作人员,表示巡检人员的信息,包含ID+密码+名字+性别+巡检路线,结束后输入到巡检人员数据库^[11-13]。

在对各个内容信息数据库设计后,直接采用三维GIS中的封装控制方法,对配网中的各个设备进行查看和巡

检,具体封装控制形式如表2所示^[14-15]。

表2 基于GIS封装控制巡检列表

接口	定义
GIS-QUERY	查询设备
MOVE-MAP	移动地图
SHOW-MAP	显示图标
ZOOM-MAP	缩放地图
REFRESH-MAP	刷新地图
SAVE	保存内容
START-THREAD	开始封装
KILL--THREAD	停止封装

根据表2中内容所示,按照GIS的封装定位功能对设备进行实时定位,通过标定的设备在地图内的位置,对其运行状态进行判断,实现配网的自动巡检。至此,本文基于三维GIS完成智能配网自动巡检技术设计。

4 实验测试分析

4.1 分析智能配网自动巡检需求

为实现自动巡检技术的有效应用,本文以某省供电局某城区的配电网作为测试对象,对其近三年的配电网设备增量情况进行分析,获取该配电网的自动巡检需求,从而确定配电网中需要巡检的设备构成。以该区域实际配电设备的保有量作为依据进行需求分析,选择的设备数据包括2020年至2022年,总计3年。在这3年期间该智能配网的配电设备不断增加,具体规模如下:

(1) 2020年设备总体情况,在420条公用馈线中,包含:270条纯电缆线路、150条混合线路,总长度为2 500.12 km。设备方面包括12 237面开关柜、3 885台公用变压器、128台柱上开关、18 483个中间接头。

(2) 2021年设备总体规模,公用馈线总计为540条,分为:400条纯电缆线路、140条混合线路,线缆总长达到2 739.42 km。按照设备类别划分,包括13 437面开关柜、4 082台公用变压器、132台柱上开关、19 236个中间接头。

(3) 2022年设备规模情况,在全部600条公用馈线中纯电缆线路数量为420条、混合线路为180条,公里总长为3 165.21 km。根据设备类型进行划分,公用开关柜为13 242面、公用变压器为4 125台、柱上开关为155台、中间接头为20 612个。

根据近3年的统计分析,在该地区的配网设备数量基本上呈现快速增长态势,并且根据增加情况来看,未来配电设备的投入量会越来越庞大。但由于该地区设备管理人员未变,会造成较大的工作压力,因此需要通过自动巡检技术来提供该区域配网的运行维护效率。基于上述情况,该地区的智能配电网具有巡检需求,为此选择本文方法进行应用测试,并另外选择两组传统方法进行对照,分别为基于协同技术的巡检技术和基于物联网的巡检技

术,验证不同巡检技术的有效性。

4.2 确定智能配网自动巡检对象

通过对该地区配电网设备的数量分析,在应用自动巡检技术前,还需要对智能配网中对应的巡检对象进行确定。以该区域累计发生的故障情况进行分析,获取公共馈线跳闸故障情况,见表3。

表3 某省配电网2020年-2022年各类型故障跳闸记录

故障类型	故障原因	跳闸次数		
		2020年	2021年	2022年
绝缘损坏	绝缘老化	4	8	12
	施工质量	11	18	20
	设备质量	2	5	8
	运维不足	1	2	5
	过载运行	2	5	8
	受潮	4	5	5
外力破坏	施工作业	2	8	10
	树木触碰	0	0	0
	小动物	2	5	5
	飘挂物	0	0	0
	被盗	1	3	5
自然灾害	雷击	4	6	8
	台风	0	0	0
	洪涝	0	0	0
	其他	0	0	0
用户越级	绝缘损坏	24	32	42
	外力破坏	2	5	8
	其他	0	0	0

根据表3中内容所示,从近3年的故障情况来看,在自然灾害中对线路故障影响最多的是雷击,且随着时间的推移,由于设备本身质量和老化引起的跳闸故障有所增加,受施工作业影响产生的外力破坏导致的故障数量也逐渐增加,主要是该地区的商务板块发展迅速,存在大量的施工点,会威胁配电网线路的稳定运行与设备安全。

综上所述:在不同的情况下均会导致配电网的运行安全,需要对其进行自动巡检,以此保证线路的稳定运行。通过对故障情况的统计,能够大致了解该配网中现存的主要问题,基于此,对电力设备具体的故障情况进行统计,见表4。

表4 近三年各类型故障跳闸情况/次

故障类别	年份		
	2020	2021	2022
开关柜终端头	14	18	20
开关柜母排	6	8	10
开关柜熔丝腔	6	8	12
变压器	4	6	10
电缆中间头	2	5	8
电缆本体	12	15	6
其他	8	10	12

如表4中内容所示,经过近3年的故障分析可以发

现,在不同故障类型中开关柜的占比和变压器的占比较多,除此之外还包括电缆端口,因此在确定巡检设备时需要关注设备的运行指标。将其作为自动巡检的评价标准,当巡检时若发现接近指标需要及时报警,将情况发送至监测中心,因此在巡检过程中对指标的设定以及检测精度极其重要。

4.3 验证自动巡检技术应用效果

为方便对自动巡检技术的应用效果进行评价,将设备的状态参量设置为3个维度,分为正常、预警、检修,定义如下:

- (1) 正常。设备运行稳定,状态量持续安全运行。
- (2) 预警。设备的状态量趋于故障隐患发展,需要进行监管。
- (3) 检修。状态量已经进入严重阶段,需要采取措施进行停电维修。

根据设定的3个维度指标,以中压开关柜、干式变压器以及电力电缆作为测试对象,对其相关状态量进行设定,具体见图2。

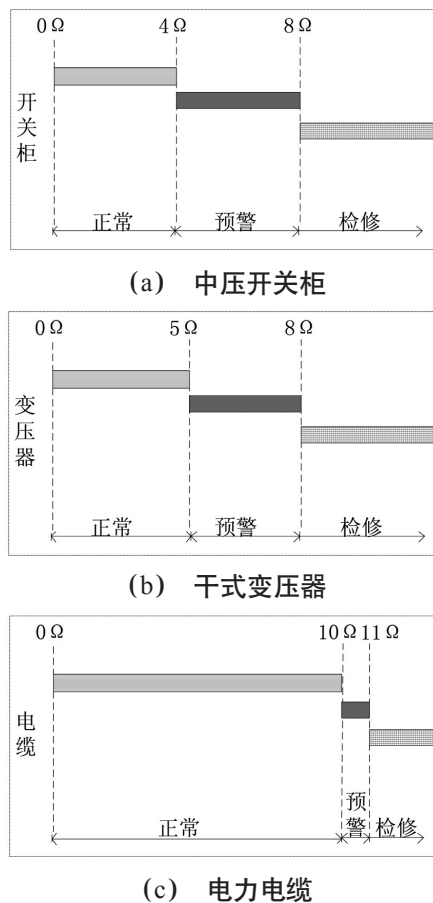


图2 不同设备的运行状态参量

如图2所示,此次以接地系统作为评价标准,分别对中压开关柜、干式变压器以及电力电缆的状态参量进行设定。其中,电力电缆的状态参量高于中压开关柜和干式变压器,说明当电力电缆损坏时,其余两组设备无法保

持正常运行。通过对状态参数的设定,从故障数据中随机选择测试数据,如图3所示。

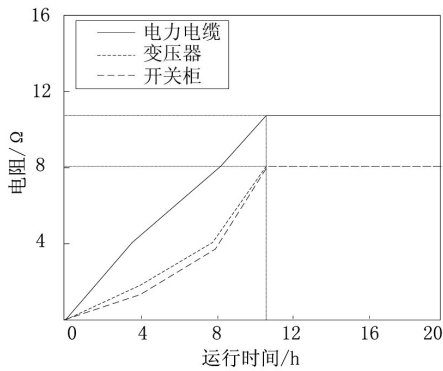


图3 配网设备运行情况

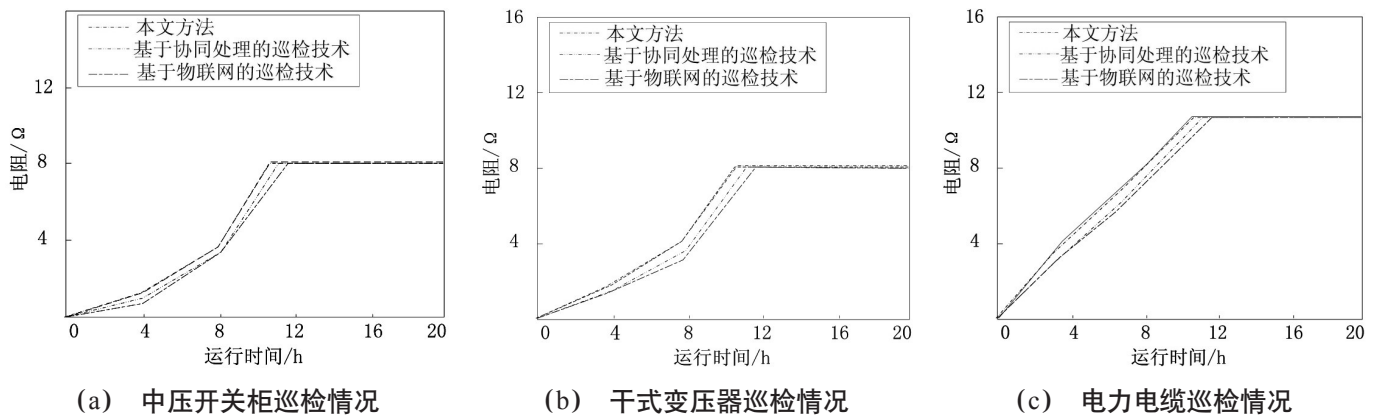


图4 不同巡检技术应用效果

5 结束语

配网的安全运行直接影响供电的安全性,本文为缓解人工巡检的工作量,采用三维GIS技术设计了新的配网智能化自动巡检技术,并通过测试证明了新技术的有效性。但由于此次研究时间有限,在研究过程中仍存在少许不足之处,如没有对具体的数据进行分析,后续研究中针对不足之处会进行改进,为实现更合理、全面的巡检技术设计提供理论支持。

参考文献:

[1] 喻磊,袁智勇,林心昊,等.基于NDN架构的智能配电网感知数据收集协议[J].南方电网技术,2023,17(1):144-151.
[2] 张国宝,杨为,赵恒阳,等.基于X射线三维成像技术的在役GIS盆式绝缘子缺陷检测[J].高压电器,2022,58(10):230-236.
[3] 臧钊.基于BIM+GIS的京张高速铁路空地一体“数字孪生”智能化运维技术研究[J].铁道运输与经济,2022,44(9):139-145.
[4] 祝贺,李志雷,李国超,等.变电站GIS设备可视化运维闭环控制系统研究与应用[J].自动化技术与应用,2023,42(4):29-32,82.
[5] 段培勇.基于移动GIS的重载铁路工务设备智能巡检终端设计与应用[J].铁道建筑,2022,62(8):42-45.
[6] 李梅,康齐童,刘晖,等.基于BIM与GIS的矿山巷道参数化三维建模技术研究[J].煤炭科学技术,2022,50(7):25-35.

根据图3中内容所示,在选择的数据中3组设备在前期均属于正常运行状态,随着时间的增加电缆出现了严重的故障,导致其余两组设备发生故障。通过选取的测试数据,分别通过3组巡检技术进行测试,并对测试结果进行分析,如图4所示。

由图4可知,只有本文设计的巡检技术更能够准确地对各组设备的状态量进行实时跟踪,主要是由于三维GIS系统具有自动定位的优势,而两组传统技术的巡检结果要低于实际数值,在判断设备的状态量时会出现误差,当设备临近危险指标时无法做出及时判断,综合说明本文方法更加有效。

[7] 张虎,任欣元,张纪宾,等.基于云端控制协同的无人机自动驾驶智能巡检技术[J].电网与清洁能源,2022,38(5):42-48.

[8] 贺春光,檀晓林,周兴华,等.基于博弈论组合赋权的智能配电网项目投资效益评价[J].电力科学与技术学报,2022,37(1):161-167.

[9] 陈晨,李凯,樊庆玲,等.基于三维建模的HGIS配电装置紧凑型布置优化方法[J].电气传动,2021,51(23):60-64.

[10] 尉镛,李震宇,王海鹏,等.基于物联网的配网户外箱柜预警远程智能监控系统[J].电子器件,2021,44(5):1198-1203.

[11] 柴蓓.基于BDS和GIS智能出行系统的设计研究[J].机械设计,2021,38(9):121-122.

[12] 李准.基于BIM-GIS多层次协同技术的某高原铁路智能物流管理系统研究[J].铁道标准设计,2022,66(3):73-77.

[13] 马锋,高明亮,许崇耀,等.基于仿真优化智能变电站巡检机器人路径研究[J].电测与仪表,2023,60(9):14-20.

[14] 隋宇,宁平凡,牛萍娟,等.面向架空输电线路的挂载无人机电力巡检技术研究综述[J].电网技术,2021,45(9):3636-3648.

[15] 陈志豪,肖业伟,李志强,等.基于多尺度密集网络的配网架空输电线路绝缘子识别[J].激光与光电子学进展,2021,58(8):346-355.

作者简介:陈浩昆(1990—),男,硕士,工程师,研究方向:电力工程。