

# 智能变电站二次设备缺陷试验验证方法

李霞<sup>1</sup>, 周文越<sup>2</sup>, 朱鑫<sup>2</sup>, 丁宣文<sup>2</sup>

(1. 国网成都供电公司, 四川 成都 610041;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:** 为缩短消缺时间、提高消缺效率, 智能变电站二次设备的消缺工作通常未深究缺陷产生的根本原因, 缺陷处理过程简单、表面, 导致缺陷无法彻底消除, 使得相同缺陷可能再次发生。因此, 为查明缺陷产生的根本原因, 将缺陷产生的原因定位到芯片级、原理级, 通常需要对缺陷设备开展深层次缺陷查找、分析工作。基于上述原因, 对智能变电站二次设备缺陷的验证和试验方法进行了研究, 提出了一种缺陷验证和试验技术。

**关键词:** 智能变电站; 二次设备; 缺陷处理; 试验验证

中图分类号: TM76 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2020)02-0067-03

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.02.014

## Defect Test Verification Method for Secondary Equipment of Smart Substation

Li Xia<sup>1</sup>, Zhou Wenyue<sup>2</sup>, Zhu Xin<sup>2</sup>, Ding Xuanwen<sup>2</sup>

(1. State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China)

**Abstract:** In order to shorten the time of defect elimination and improve the efficiency of defect elimination, the defect elimination of secondary equipment in smart substation usually does not go into seriously the root cause of defects. The defect treatment process is simple and superficial, so that the defects cannot be completely eliminated. Therefore, in order to find out the root cause of defects, the cause of defects is located at the chip level and the principle level, and usually a deep defect detection and analysis for defective equipment is needed. Based on the above reasons, the verification and test methods of defects of secondary equipment in smart substation are studied. A defect verification and testing technique is proposed.

**Key words:** smart substation; secondary equipment; defect treatment; test verification

## 0 引言

随着国家电网公司对二次设备运行管理要求的提高, 二次设备的缺陷管理也越来越规范和严格。二次设备的缺陷处理从现场消缺到事后整改, 需形成闭环<sup>[1-3]</sup>。然而智能变电站的现场消缺工作通常仅对缺陷设备进行简单的处理, 使其能满足变电站的运行需求即可。在大多数情况下, 二次设备发生缺陷的具体原因并未完全查清, 导致消缺后的二次设备可能会再次发生相同的缺陷。因此, 为进一步分析智能变电站二次设备缺陷产生的原因, 防止类似缺陷再次发生, 使整个缺陷处理过程形成闭环, 对

智能变电站二次设备缺陷试验验证技术开展研究, 建立了二次设备缺陷试验验证体系, 提出智能变电站二次设备缺陷试验验证的通用方法。

## 1 二次设备缺陷试验验证体系

目前, 智能变电站二次设备缺陷处理存在以下3个问题:

1) 缺陷定位不准确。随着大量电子器件以及光纤的使用, 传统的二次回路<sup>[4-5]</sup>大量简化, 大量元件集成于二次设备的内部插件中。这减少了变电站二次回路数量, 简化了变电站二次设备外部接线, 对缩短变电站的建设周期、缩小变电站占地面积等都

起到了积极的作用。但是,集成化的元器件、光纤化的二次回路往往导致二次设备在发生缺陷时,仅能定位至装置级、插件级,很难定位到芯片级、原理级,导致缺陷准确定位困难。

2) 缺陷分析不透彻。高集成化的二次设备使得部分回路、元器件变得不可见,同时复杂的运行环境、有限的辅助手段导致设备缺陷原因分析不透彻。因此,二次设备缺陷的分析不仅需要通过现场的理论和经验分析,更需要在实验室对缺陷的原因及整改措施进行分析论证。

3) 缺陷整改不彻底。二次设备缺陷定位模糊、分析不透彻,增大了缺陷整改的难度,导致缺陷的整改往往仅能更换插件或装置。这无形中扩大了缺陷整改的范围。整机或插件的更换不仅增加了运维成本,也使得各器件未得到充分的利用,造成资源的浪费;另一方面,由于缺陷的原因并未完全查清,缺陷整改后,相同的缺陷可能再次发生,进一步增加了工作量和运维成本。

由于以上的这些问题,需对二次设备缺陷开展高效、全面的再分析工作<sup>[6]</sup>。建立二次设备缺陷试验验证体系,如图1所示。各部分别如下:

1) 基本理论

仿真技术、保护原理、标准化设计规范等基本理论、规范构成了试验验证技术的理论基础。对于仿真技术而言,在电力系统事故或装置缺陷事后分析中往往需要在一定的环境中对预判进行辨别验证,而电力系统的特殊性决定了系统在发生故障时的不可复制性。因此,为进行多装置、多类型二次设备的协同整体分析,通常需要一些涉及系统级的缺陷分析如定值配合问题、缺陷定位排查等采用在一些专

用软件中建模仿真,以对推测结果进行测试验证。保护原理描述了二次设备应具备的具体功能,在二次设备发生缺陷时,其外在表现可能与保护原理的要求不一致,以此来进行缺陷原因的分析。IEC 61850、标准化设计规范则明确了二次设备信息传递的要求和需具备的功能。

2) 试验验证技术

二次设备缺陷试验验证主要包括两个阶段:缺陷原因分析阶段和整改措施验证阶段。

在缺陷原因分析阶段,主要依靠继电保护相关知识、专业经验或仿真分析,依据 SOE 记录或故障录波记录对二次设备的缺陷原因进行推断,得到设备缺陷的可能原因,并对推测的原因进行试验验证。分析二次设备缺陷的推理方法主要包括顺序推理法、逆序推理法以及整组试验<sup>[7]</sup>法。顺序推理法是从缺陷设备的外在反映出发,按正向的逻辑寻找缺陷根源;逆序推理法是当缺陷设备所反映出来的外在表象难以找到缺陷根源时,从缺陷造成的事故结果出发,逐级向上进行缺陷原因的查找。对推测出来的缺陷原因需进行试验验证,其中:专项试验是根据缺陷原因,针对具体的某一功能进行试验,比如对不满足电磁兼容要求的需开展电磁兼容试验、对保护动作时间过长的需开展保护动作时间测量试验;整组试验和波形回放试验是通过模拟二次设备在现场运行状态的真实工况对保护装置进行动作时间、动作逻辑的检查,可用于还原缺陷设备在现场表征出来的缺陷现象,辅助进行缺陷分析。

在整改措施验证阶段,针对已经验证通过的缺陷原因,提出相应的整改措施,并对整改后的缺陷设备制定相应的试验方案。在该阶段主要是对试验方案中的整改措施进行试验验证,验证该措施是否可根除该装置缺陷、装置功能能否满足相关标准或设计要求,并满足安全稳定运行的要求。这一阶段,通常需针对缺陷原因再次开展专项试验,以验证整改后的装置是否还存在相同的缺陷;另一方面,为验证缺陷的整改措施是否会影响装置的既有功能,需对装置的常规功能开展试验。

3) 试验验证环境

推测出缺陷原因、提出整改措施后,需在一定的试验环境中对缺陷原因和整改措施进行试验验证,

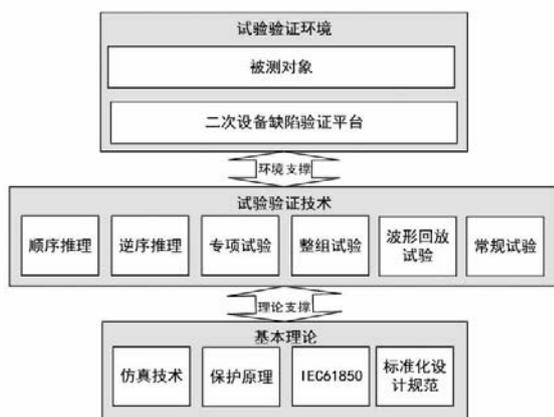


图1 二次设备缺陷试验验证体系

构建试验验证环境如图 2 所示。

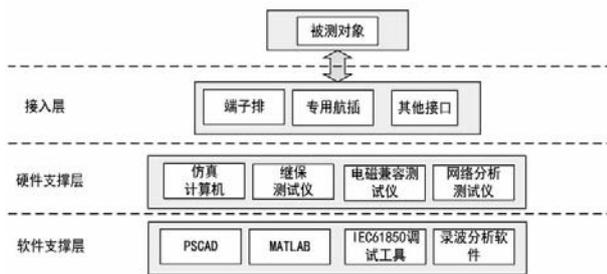


图 2 二次设备缺陷试验验证环境

试验验证环境由接入层、硬件支撑层、软件支撑层 3 个层级组成。软件支撑层由 PSCAD、MATLAB、IEC 61850 调试工具等仿真分析或辅助调试软件组成,主要用作试验验证过程中的理论分析和辅助测试。硬件支撑层由仿真计算、继保测试仪、电磁兼容测试仪等测试设备组成,主要为下层的软件支撑层提供硬件平台,并根据自身的功能给缺陷设备提供测试平台。接入层由端子排、专用航插等一些接口设备组成,主要作为被测对象与硬件支撑层之间的连接。在某些情况下,可不需要搭建接入层,被测对象直接通过电缆、光纤等连接线与硬件支撑层的设备相连。

接入层、硬件支撑层、软件支撑层构成了二次设备缺陷验证环境,试验验证环境可有效整合各种试验验证资源,实现对被测对象的标准化、自动化测试。将以原运行状态一致的被测对象搭建试验验证平台,利用理论知识和测试环境,利用试验验证技术,从装置功能、装置性能等方面实现了对二次设备缺陷进行全方位的试验验证。

## 2 二次设备缺陷试验验证流程

根据二次设备缺陷验证体系,并综合多起二次设备缺陷试验验证案例,建立二次设备缺陷试验验证流程如图 3 所示。将二次设备缺陷试验验证分为两个阶段,即缺陷原因分析验证阶段和整改措施验证阶段。整个缺陷试验验证流程使二次设备缺陷的处理形成闭环。

### 1) 缺陷原因分析验证阶段

此阶段主要对缺陷原因开展深入的分析,首先通过相关设备运行情况的分析、报文和故障录波的分析,推测出缺陷产生的具体原因,在此基础上针对推测出来的缺陷原因,开展专项试验,以验证推测的缺陷原因是否正确。若验证通过,则缺陷原因分析

结束;若验证未通过,则需再次进行缺陷原因推测,并进行试验验证直至验证通过。

### 2) 整改措施验证阶段

此阶段主要对缺陷二次设备的整改措施开展验证。首先,针对上一阶段分析出来的缺陷原因提出整改措施。其次,为验证缺陷的整改是否影响到设备的正常功能,需对整改后的设备开展常规试验,若设备未通过常规试验则需重新提出整改措施。最后,若设备通过常规试验,则进行针对缺陷原因的专项试验,以验证相同缺陷是否会再次发生。若专项试验未通过,则需返回到提出整改措施这一步;若专项试验通过,则整个缺陷试验验证流程结束。

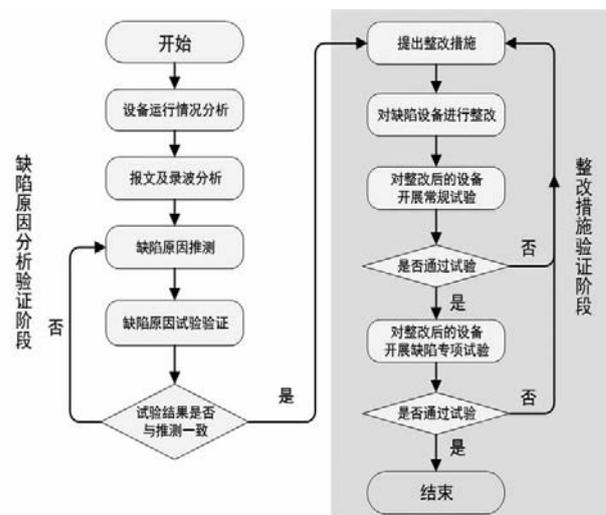


图 3 二次设备缺陷试验验证流程

## 3 结语

对智能变电站二次设备缺陷试验验证技术开展了研究,建立了二次设备缺陷试验验证体系,从中梳理出智能变电站二次设备缺陷试验验证的通用流程。所提出的方法弥补了现有二次设备缺陷处理流程的不足,将缺陷定位至芯片级、原理级,可彻底防止类似缺陷再次发生,使二次设备缺陷处理形成了闭环。

### 参考文献

- [1] 卞玉涛,李志华. 基于专家系统的故障诊断方法的研究与改进[J]. 电子设计工程,2013,21(16): 83-86.
- [2] 孙莉君,董科研,许晓峰,等. 智能变电站二次设备故障诊断系统的研究[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版),2016,12(1): 55-60.

(下转第 94 页)

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.6 & 0 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.2 & 0 \\ 0.1 & 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

然后再结合各指标的权重系数,计算得到一级指标各自隶属度向量为

$$B_1 = W_1^{(2)} \cdot R_1 = [0.20, 0.50, 0.16, 0.12, 0]$$

$$B_2 = W_2^{(2)} \cdot R_2 = [0.12, 0.51, 0.24, 0.11, 0.01]$$

$$B_3 = W_3^{(2)} \cdot R_3 = [0.16, 0.57, 0.11, 0.18, 0.02]$$

$$B_4 = W_4^{(2)} \cdot R_4 = [0.17, 0.43, 0.18, 0.17, 0.24]$$

$$B_5 = W_5^{(2)} \cdot R_5 = [0.20, 0.55, 0.12, 0.13, 0]$$

那么,目标层的隶属度为

$$W^{(1)} \cdot (B_1 B_2 B_3 B_4 B_5)^T = [0.1679, 0.5184, 0.1639, 0.1392, 0.0513]$$

按照最大隶属度原则,第2个隶属度  $N_B$  数值最大为0.5184,故该次作业对应的安全综合评价等级应为B级,处于较好的安全水平,但也需要注意到其他因素的潜在安全风险,需要持续改善整个作业过程。

## 4 结 语

在用户和供电企业对可靠性要求越来越高的当下,配电网检修方式必然大规模向带电作业方式转变,而急速的扩张使得带电作业的安全风险问题必须得到足够的重视,为此提出了一种配电网带电作业安全综合评估方法,可为相关企业的管理者提供相应的决策支撑手段,并得到以下结论:

1) 配电网带电作业的安全多方面的影响,同时由于不同管理人员认知的不同,对安全的把控方面侧重不同,为此,以相关文献资料为基础,结合实际带电作业现场,建立了细化完善的安全综合评估指标。

2) 利用G1赋权法确定了各评估指标各自权重

信息,然后建立了以模糊综合评价为基础的配电网带电作业安全综合评估模型,以最大隶属度原则的方式得到最终评价结果。

3) 最后,以某实际带电作业工作的安全综合评估为例,详细计算了整个综合评估过程,验证所提方法的可行性。

### 参考文献

- [1] 国家电网公司. 供电企业安全风险评估规范 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 成亮. 浅谈 10 kV 配网带电作业 [J]. 图书情报导刊, 2006, 16(14): 288 - 289.
- [3] 应鸿, 景伟强. 杭州电网的主要带电作业方法 [J]. 浙江电力, 2004, 23(6): 72 - 74.
- [4] 罗云, 樊运晓, 马晓春. 风险分析与安全评价 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 彭勇, 雷兴列, 方玉群, 等. 特高压直流输电线路不停用再启动功能情况下的带电作业安全性分析 [J]. 四川电力技术, 2019, 42(4): 85 - 89.
- [6] 张昊. 电网运行安全风险量化评估软件实现 [J]. 云南电力技术, 2017, 45(3): 43 - 45.
- [7] 胡毅. 输电线路带电作业技术的研究与发展 [J]. 高电压技术, 2006, 32(11): 1 - 10.
- [8] 彭熠, 戴刚. 基于层次分析法的输电线路带电作业安全综合评估模型 [J]. 电工技术, 2018, 11(21): 44 - 46.
- [9] 李军, 李继光, 姚建刚, 等. 属性识别和 G1 - 熵权法在电能质量评价中的应用 [J]. 电网技术, 2009, 33(14): 56 - 61.
- [10] 张富超, 芮建勋, 邢楚铭, 等. 采用模糊综合评判方法的供电企业安全评估 [J]. 内蒙古电力技术, 2017, 35(1): 11 - 16.

### 作者简介:

杨慎涛(1979), 高级工程师, 研究方向为城市配电网管理与新技术应用。

(收稿日期: 2020 - 03 - 02)

(上接第 69 页)

- [3] 丁宣文, 王平. 500 kV 智能变电站二次设备改造方案研究 [J]. 四川电力技术, 2016, 39(6): 59 - 64.
- [4] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术 [J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148 - 153.
- [5] 高翔, 杨漪俊, 姜健宁, 等. 基于 SCD 的二次回路监测主要技术方案介绍与分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 149 - 154.

- [6] 王彪, 甄威, 张华, 等. 智能变电站二次系统试验方法综述 [J]. 四川电力技术, 2012, 35(2): 4 - 5.
- [7] 赵永生, 刘海峰, 梁文武, 等. 智能变电站同步整组试验方法 [J]. 中国电力, 2015, 48(5): 156 - 160.

### 作者简介:

李霞(1988), 硕士, 工程师, 主要从事电力系统调度控制工作;

周文越(1989), 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护运行、检修、研发相关工作。(收稿日期: 2020 - 01 - 15)