

# 复杂电网环境下继电保护设备可靠性评估方法 及其在电力系统中的应用

瞿宏愿<sup>1</sup>, 林义<sup>2</sup>, 黄芳<sup>3</sup>, 沈进阳<sup>1</sup>

(1. 国网湖南省电力有限公司水电分公司; 2. 国网新源集团有限公司富春江水力发电厂;  
3. 湖南省沅陵县第一中学)

【摘要】继电保护装置在复杂电网环境下的安全稳定运行, 对电网的安全稳定运行具有重要意义。传统评价方法难以充分反映复杂环境条件对电气保护装置的影响, 因此需优化评价方法。在此前提下, 文章研究了电气保护装置可靠性的重要性, 及复杂电网环境下电气保护装置可靠性的主要影响因素, 提出一种有效且可行的评价方法, 并说明了该方法在电力系统中的具体应用方式。

【关键词】复杂电网环境; 继电保护设备; 可靠性评估方法; 应用

中图分类号: TM774

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.139

## Reliability Evaluation Method of Relay Protection Equipment in Complex Power Grid Environment and Its Application in Power System

QU Hong-yuan<sup>1</sup>, LIN Yi<sup>2</sup>, HUANG Fang<sup>3</sup>, SHEN Jin-yang<sup>1</sup>

(1. Guowang Hunan Electric Power Co., Ltd. Hydropower Branch; 2. Guowang Xinyuan Group Co., Ltd. Fuchunjiang Hydropower Plant; 3. No.1 Middle School, Yuanling County)

【Abstract】The safe and stable operation of relay protection devices in a complex power grid environment is of great significance to the safe and stable operation of the power grid. Traditional evaluation methods fail to fully reflect the impact of complex environmental conditions on electrical protection devices, so it is necessary to optimize the evaluation methods. Under this premise, this paper studies the importance of the reliability of electrical protection devices and the main influencing factors of the reliability of electrical protection devices in a complex power grid environment, proposes an effective and feasible evaluation method, and explains the specific application methods of this method in power systems.

【Keywords】complex power grid environment; relay protection equipment; reliability evaluation method; application

## 1 引言

新能源接入与智能电网建设使电网结构日趋复杂, 给继电器保护装置带来了诸多困难与挑战。传统基于统计或经验推断的可靠性评估方法已难以满足动态变化复杂环境下对继电器保护装置的评估分析需求。近年来人工智能、大数据等新兴技术的出现, 为继电器保护装置的可靠性评价分析提供了新途径。基于此, 提升继电器保护设备的可靠性, 保障电力系统有效运行尤为重要。

## 2 继电保护设备可靠性评估的必要性

现如今, 在电力网络体系中, 继电保护装置作为维持电网正常运行与稳定的关键环节, 决定着整个系统的有效运行及应急处理能力。但随着电网规模扩大、结构复杂化、可再生能源大量投入等方面的影响, 继电保护装置面临的冲击也越来越大, 如短路电

流增高、电磁干扰作用以及保护定值的复杂性等因素。倘若该保护设备出现误动、拒动或退出的现象, 极有可能导致大面积停电甚至电网崩溃。因此, 通过科学合理的方法对这类继电保护装置实现可靠评估, 可更好地排查潜在风险问题, 从而增强设备运行的稳定性和抗干扰能力<sup>[1]</sup>。

此外, 继电保护装置的可靠性评估在制订设备维修方案、延长其使用周期与降低运营成本等方面发挥着重要价值。传统的定期检修难以适应当前电力系统日趋复杂的网络, 而借助可靠性分析开展智慧检修, 能实现状态识别、健康等级判定和预测性维修, 提升检修任务的针对性与指向性, 避免因检修过量造成的浪费, 及因检修不足引发安全事故。因此, 针对复杂电网对继电器保护装置进行全面的可靠性分析, 不仅提高电网运行的安全性与效率, 同时也是电网实现智能化发展的必要环节。

### 3 复杂电网环境下继电保护设备面临的可靠性问题

#### 3.1 设备老化影响运行可靠性

设备老化以及其在运行期间产生的损耗,是影响电力保护系统结构稳定性的重要因素。一般而言,电力保护系统装置会处在较高温度、湿度以及强电磁环境之中,可能引发接点消耗、电子元器件老化、线路绝缘性下降等问题,进而导致设备精密度和快速响应能力减弱,使故障发生的可能性上升<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 通信系统智能化应用存在安全性风险

电气设备通讯技术与智能化应用发展带来了新型安全问题。随着智能电网推进,电气保电设备通过远动通信和信息网络传递数据,如采用 IEC61850 标准提升电气保护装置兼容性,但也产生了网络攻击、数据丢失、通信延时等新型安全问题。若通信系统遭到破坏或出现故障,将导致电气保电设备无法准确获取电网状态数据,进而影响其正常防护功能。

### 4 继电保护设备可靠性评估方法

继电保护系统在电力网络稳定性与可靠性维护中的重要作用不言而喻,因此必须对继电保护系统开展可靠性测试。可靠性测试包含两方面含义:一是指继电保护动作时,需符合电气保护及自动化控制标准中“不发生拒动或误动”的要求;二是通过统计学方法准确定位拒动、误动的发生概率,这是现阶段研究的主要目标。

在以往的可靠性测试中,主要通过两种方式开展可靠性分析:第一种是以一定时间段内保护正确动作次数、拒动或误动次数作为考核指标进行判定;第二种是采用传统方法开展可靠性测试<sup>[3]</sup>。

尽管继电保护系统是独立的二次设备,但其自身具备一定稳定性,如仅出现设备插件损毁或二次回路接触不良等问题时,通常不会发生拒动或误动;但当设备故障需整套保护退出时,继电保护系统对电力网络稳定性的影响会显著增大。这是因为软硬件故障导致的拒动、误动会大幅降低其稳定性,而此类设备故障可通过其他检测设备发现,进而及时维修或更换,使其尽早恢复正常运行。

与此同时,继电保护的设计原则、实施思路、整定方法及电力系统运行方式等多种因素,均可能导致保护装置拒动或误动。继电保护系统的可靠性,

本质是其长期工作的可靠性;通过可靠性分析,需全面掌握其工作特性及所受安全威胁,其中安全威胁主要包括系统结构变化带来的影响。几乎所有电气保护装置均采用模块化设计,为此本文着重分析评价两项核心可靠性指标。

两项设备可靠性指标要求如下:

设备使用准确率: $F(x)=m/n \times 100\%$ 。其中  $m$  为正确使用次数,  $n$  为年度内总动作次数。目前随着微型计算机的广泛应用,电气保护系统的有效率已接近 100%。

设备故障率:当装置在  $[0, t]$  内无故障时,其在下一单位时刻发生故障的可能(即失效率)为:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \quad (1)$$

式(1)中: $\lambda(t)$ 表示在时间  $t$  时刻设备的故障率(失效率),即单位时间内故障发生的概率,  $P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)$  表示“装置在  $[0, t]$  内无故障”条件下,于  $[t, t + \Delta t]$  内发生故障的条件概率;  $\Delta t$  为趋近于 0 的极小时间间隔。当设备或系统的失效率降低时,意味着该时域内出现故障的可能性减小,反之则增大。

上述失效率随时间的变化规律可通过“浴盆曲线”描述,该曲线概括了设备全寿命周期内失效率的变化趋势。根据使用阶段,失效率可分为三类:第一类是早期故障期,主要由设计缺陷、生产疏忽、组装失误等导致,是设备初期损坏的重要原因;第二类是偶然故障期,故障由突发不可预计事件引发,此阶段失效率为常数,表现为一条平行于时间横坐标的直线,且失效率低于早期故障期<sup>[4]</sup>;第三类是耗损故障期,随着零部件老化、疲劳、磨损等,设备能耗增加且失效加速,失效率随时间快速增大。

### 5 继电保护设备可靠性评估方法在电力系统中的应用

#### 5.1 出口回路监测装置设计

根据电力系统继电保护状态检修项目需求,提出新型继电保护出口回路状态监视装置,采用 IEC60297-3 标准规定的 4U 宽 19 英寸子架,可加挂扩展功能模块插件。装置采用嵌入式安装方式,后走线背板设计,集成状态检测子单元、主控(CPU)子单元、总控子单元、电源子单元等。

该装置作为状态检测模块,用于采集保护出口的动态信息并送至外部以实现隔离功能。CPU 模块

承担采样、ADC处理及模式判断等功能,同时记录故障事件,进行软硬件自检及模块管理与通信。管理插件作为控制单元,用于接收保护系统信息,对外连接外部接口、计算机测试软件、监测中心及报表打印机等通信接口;按体系设计,其作用是完成故障通报、记录数据传输等流程。

B6-10A/5V型霍尔电流传感器通过电感量变化产生差值触发,可通过该方式识别输出端电路电流的敏感性。主要判断公式为:

$$\begin{cases} \Delta_i = ||i_k - i_{k-T}| - |i_{k-T} - i_{k-2T}|| \\ \Delta_i > I_{QD} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: $\Delta i$ 表示电流变化量, $i_k$ 为当前时刻 $k$ 的采样值, $k$ 为当前采样时刻, $T$ 为周波采样次数(取值24次),则 $i_{k-T}$ 为滞后 $k$ 点1周波的采样结果,同样地, $i_{k-2T}$ 则为滞后 $k$ 点2周波的采样结果。 $I_{QD}$ 为设定的变化阈值。针对北京四方CSC-103A线路保护装置开展典型测试(该装置如图1所示),分别在正常电流和故障电流两种情况下各测试各4次(测试结果见表1)。

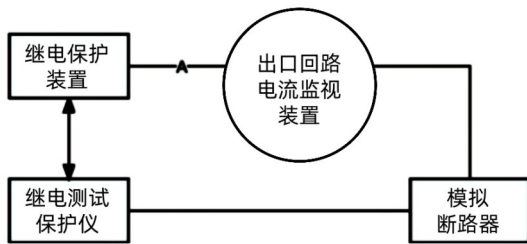


图1 机电保护装置测试装置结构图

表1 保护出口回路监测装置测试试验数据

电流表读数/A	监测装置/A	数据误差/A	电流表读数/A	监测装置/A	数据误差/A
0.00	0.03	0.03	0.00	0.06	0.06
0.00	0.03	0.03	1.00	1.06	0.06
0.01	0.01	0.0	1.00	1.01	0.01
0.00	0.03	0.03	1.03	1.06	0.03
0.01	0.03	0.02	1.01	1.06	0.05
0.03	0.03	0.00	1.01	1.07	0.06

## 5.2 设置完善的自检功能保护

当该保护装置工作时,对于A相,在上拉与下拉电阻作用下,若1CTRL1为1、1SET1为0,光敏三极管导通,跳闸输出继电器TAJ失电不动作,其触点断开,控制回路无电;若此时保护区内发生故障且保护装置识别到该情况,CPU会执行保护开关动作命令,

将1CTRL1置为0、1SET1置为1,此时光敏三极管导通,跳闸输出继电器TAJ带电,驱动开关跳闸<sup>[5]</sup>。

本文提出的新型开出板设计,将带检测功能的开出板线路设为专有回路,并在开出板输出端口处进行检测。当保护装置发出开入切换指令后,1CTRL1=0、1SET1=1,使出口继电器TAJ得电,接通出口接点。随后采用霍尔传感器T1检测跳闸出口电路电流,根据电路导通与断开的状态关系,通过霍尔电流传感器中电流大小判定跳—合闸电路是否存在故障。霍尔传感器采集输出电流后,经输出端kr1传送至主板的ADC采集芯片,输出电流信号再由主板MCU进行ADC转换,实现跳闸状态判断与跳闸逻辑比对。

## 6 结语

总而言之,随着电力系统发展,继电保护的重要性愈发凸显。但当前微机保护装置及系统检修仍停留在传统定期检测模式,该模式导致装置利用率偏低。因此,为确保装置稳定可靠运行,亟需实施状态维修,利用霍尔传感器电流变化实现无物理连接的故障诊断,使其满足标准要求,进而延长继电保护装置使用寿命,为电力系统运行提供有效保障

## 参考文献

- [1] 王丹阳, 朱秋萍. 继电保护自动化技术在电力系统中的应用研究[J]. 光源与照明, 2024 (5): 141-143.
- [2] 赵康, 漆苗. 大数据在电力系统继电保护中的应用与挑战[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8 (6): 104-106+110.
- [3] 涂文超. 人工智能技术在电力系统继电保护中的应用[J]. 通信电源技术, 2023, 40 (12): 54-56.
- [4] 张少腾, 管其杰, 齐子杰. 继电保护技术在电气主设备中的应用[J]. 自动化应用, 2024, 65 (z1): 255-257.
- [5] 程晓通, 祁德康. 新形势下继电保护在电力调度中的应用[J]. 电工技术, 2024 (z1): 113-115+119.