

继电保护自动化技术在电力系统中的应用研究

王禹博

(南京农业大学人工智能学院, 江苏南京 210031)

摘要 研究一种基于电力运行大数据的继电保护自动化技术。有选择输入电网系统中的多个继电保护相关数据, 使用深度卷积神经网络算法分别计算每个设备的继电保护动作风险值, 利用倾斜摄影设备构建控制区域内的实时三维模型, 将设备的继电保护动作风险值利用模糊控制矩阵进行整理后, 赋值到该模型中, 最终形成该区域内的继电保护动作风险预警系统, 实现继电保护的自动化管理。该系统有助于实现不停电的程控继电保护自主倒闸功能。

关键词 继电保护; 自动化; 神经网络; 模糊矩阵; 状态倒闸

中图分类号 TM734 文献标志码 B

Application of Relay Protection Automation Technology in Power System

Wang Yubo

(School of artificial intelligence, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, Jiangsu)

Abstract A relay protection automation technology based on power operation big data is studied. Multiple relay protection related data are selectively input into the power grid system, and the depth convolution neural network algorithm is used to calculate the relay protection action risk value of each equipment. The tilt photography equipment is used to build a real-time three-dimensional model in the control area, and the relay protection action risk value of the equipment is sorted out by using the fuzzy control matrix and assigned to the model. The early warning system of relay protection action risk in the region realizes the automatic management of relay protection. The system is helpful to realize the automatic switching function of program-controlled relay protection without power failure.

Keywords Relay Protection; Automation; Neural Network; Fuzzy Matrix; State Switching

继电保护在电力运行安全技术中的实际价值, 在于利用电力二次系统中采集到的运行信号, 包括负荷电流、母线电压、中性线电流、接地电流、相位角、负荷方向、设备阻抗等, 使用继电器将断路器触点拉开, 使故障在第一时间切除。机电保护发生动作, 可能导致系统局部失电甚至造成电网大面积停电, 会给系统可用性带来一定的消极影响, 但其可以提升系统的可靠性, 防止因为电力系统故障带来的安全隐患。

随着智能电网建设进入全面数字化、自动化时期, 当前电网大运行环境需求已经不仅仅是保障电网系统的安全性和可靠性, 而是确保电网系统的不停电

运行。所以近年来逐步普及的继电保护预警系统, 可以在系统发生不至引起继电保护动作的微小故障时, 对继电保护相关问题作出预警, 使系统可以有计划地进行状态倒闸, 有计划地在不停电的前提下切除部分冗余电网设备并提供检修窗口, 使电网在保障安全性的前提下保障系统的高可用性。

该研究引入了大数据技术 (B.D.)、人工智能技术 (A.I.)、云计算技术 (C.C.), 在机器人本体知觉的技术路线上形成继电保护自动化预警系统。

1 本体知觉技术路线在继电保护自动化中的应用

电气自动化研究属于自动化技术与人工智能技术的结合学科，而当前的人工智能研究领域，机器人知觉相关研究属于攻关重点。采用多传感器系统给人工智能系统提供可供神经网络系统实时分析的数据，最终给出经过深度卷积的分析判断结果，使人工智能系统可以做出主动动作，这是机器人本体知觉的重要技术路径。

对电网系统来说，如果能让复杂的大型变电站系统可以直接感受到故障点和故障程度，将成为继电保护自动化技术中的未来核心技术。该技术将利用继电保护系统中的诸多探头，形成高仿真神经网络中的感受器系统，其逻辑架构如图 1 所示。

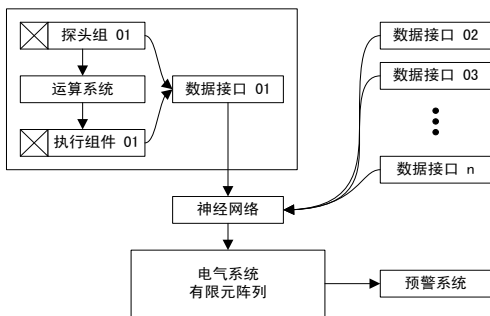


图 1 大型变电站本体知觉预警系统逻辑架构图

图 1 中，对于单一的继电保护系统，包括一组二次数据采集探头、动作执行组件、基于延时继电器或其他运算组件的运算系统等。在电气智能化系统建设初期，探头组采集的电力二次数据和执行组件的开关位置量都已经通过数据接口接入到智能电网机房大数据中。设置一个深度卷积多列神经网络系统将大型变电站中的可用数据进行卷积分析，构建该变电站的三维有限元阵列，最终根据该有限元阵列形成变电站的本体知觉并提供数据预警。

2 深度卷积神经网络系统的数据来源

该方案并不对变电站整体进行大数据分析，而是对每个具体采集点进行深度卷积神经网络分析，使其输出 1 个具体的状态值。以变压器为例，其高压侧、中压侧、低压侧各有一个断路器，断路器剧本自身的过压、过流机电保护系统，高压侧与低压侧之间、高压侧与中压侧之间一般会布置差动机电保护系统，以及线圈过热机电保护系统等其他继电保护，这些系统

在变压器中的布局如图 2。

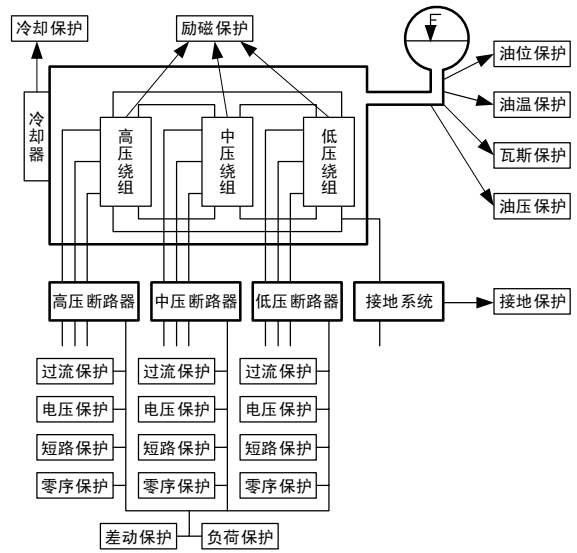


图 2 变压器主要继电保护布局示意图

图 2 中，变压器的主要保护系统分布在 4 个一次系统位置中，其中：①针对绝缘油系统和绝缘油循环系统的油位保护、油温保护、瓦斯保护、油压保护、冷却器保护、滤清器保护等；②针对铁芯及绕组系统的过励磁保护、温度保护、铁芯保护等；③针对不同电压等级断路器的过流保护、电压保护、短路保护、零序保护、差动保护、负荷方向保护等；④针对变压器接地系统的外壳接地电流保护、铁芯接地电流保护等。

诸多保护系统都会产生海量的运行数据，但归纳其数据来源，针对变压器系统，可归纳为表 1。

表 1 中，大部分数据均有可能实现系统数据录波管理，形成大数据系统的逻辑数据阵列，部分数据以流媒体 (Steam) 格式或位图 (Map) 格式存储。因为变压器是大型变电站的核心设备，在所有设备中复杂度最高，其继电保护系统的设定体系也最为复杂。

而变电站系统中的互感器系统、避雷器系统、浪涌抑制器系统等因为也存在线圈绕组等设备，所以其主要继电保护系统架构与变压器类似，但较变压器继电保护系统适度简化。断路器、隔离开关等设备，其继电保护系统的架构与变压器出口断路器基本一致。

表 1 变压器系统继电保护数据来源

位置	数据来源	数据类型	数据类型	录波
油箱	液位计	油位	Double	有
	温度计	油温	Double	有
	气压计	瓦斯压力	Double	有
	液压计	绝缘油压力	Double	有
	磁通量计	励磁	Double	有
	开关量	冷却器状态	Logical	无
	电流互感器	三相电流	Double	有
断路器	电压互感器	三相电压	Double	有
	温度计	线路温度	Double	有
接地系统	电流互感器	接地电流	Double	有
	加速度计	振动特征	Steam	无
其他	音频探头	噪音特征	Steam	无
	红外探头	外部温度	Map	无
	紫外探头	外部电弧	Map	无

因为神经网络系统可以在数据不完备条件下实现数据深度挖掘,且即便完全读入上述诸多继电保护系统的全部数据,也无法对继电保护系统提供达到因子完备和数据完备的数据支持,所以该面向继电保护自动化的本体知觉继电保护预警系统,主要采集以下三类数据,如表 2。

表 2 该系统数据来源设计

数据来源	数据意义	布局位置
互感器	电流、电压数据	母线、断路器、变压器
视频探头	红外、紫外、可见光 倾斜摄影	变电站场地
设备内置温度计	设备内温度数据	线圈绕组及 SF6 腔体数据

表 2 中,通过视频探头采集的红外、紫外、可见光倾斜摄影数据构建变电站的三维模型,通过分布在线圈绕组设备和 SF6 设备腔体内温度数据和各电压互感器、电流互感器的电压电流数据,对该三维模型进行有限元赋值。

3 深度卷积神经网络系统设计

不同设备因为布局探头量不同,如变压器设备中有 3 个电压等级的三相负荷电流电压数据、中性线的电流数据、接地线的电流数据、油箱温度数据等,其录波图数据输入量达到近 30 项,而互感器、避雷器等设备的录波图输入量不超过 15 项,断路器一般只

需要采集三相电流、电压数据、中性线电流数据、接地电流数据等,其录波图输入量不超过 10 项,母线、隔离开关等设备的录波图输入量更少。

对单列录波图数据的输入,因为采样频率的差异,导致其实际数据量差异较大,计算其实际数据输入量,如公式(1):

$$N = t \cdot N_L \cdot \sum_{i \in N_L} \eta_i B_i \quad (1)$$

式中: N_L 为该系统的探头数量; η_i 为该系统中第 i 个探头的采样频率; B_i 为第 i 个探头采样数据的字数; t 为神经网络考察的数据采样周期,单位 s;

根据相关参考文献,深度卷积神经网络一般采用六阶多项式回归函数进行节点设计,该回归函数可以提供足够的待回归系数,充分消化数据卷积过程中的信息损失量,其基函数可写做公式(2):

$$Y = \sum_i \sum_{j=0}^5 A_j X_i^j \quad (2)$$

式中: X_i 为该神经网络节点的第 i 个数据输入量; Y 为该神经网络节点的数据输出量; j 为多项式阶数; A_j 为第 j 阶多项式的待回归系数;

该六阶多项式回归函数可以实现每层卷积神经网络达到小于 40% 的数据降维压缩比,可以得到以下神经网络架构: ①以变压器采集量中 36 列采样频率 200Hz 考察周期 3s 的数据量,根据公式(1)算出其输入层数据量达到 21600 个输入数据,其可以在第 11 层隐藏层中将数据维度卷积压缩到 3 个数据量,且不产生信息损失; 2 以视频数据达到 2K 解析度即 1920×1080 压缩比,且具备三色可见光外加紫外、红外、远红外 6 个单色通道的情况下,根据公式(1)算出其输入层数据量达到 1244.16 万个数据量,其可以在第 18 层隐藏层中将数据维度卷积压缩到 3 个数据量,且不产生信息损失。

将上述信息在倾斜摄影获得的实时三维模型中进行赋值,可以得到该本体知觉的有限元结果。

4 有限元构建及数据预警方案

使用 Smart3D (瞰景科技·中国) 软件,将视频

探头系统采集的实时倾斜摄影影像形成三维模型,并采用人工配置方案实现模型分割,并将上述每个设备汇总的神经网络输出信息根据设备定制化系统提供的设备安装坐标进行赋值,得到有变电站电气系统的有限元模型。该模型通过颜色+数据量的可视化模式对变电站系统的运行状态进行可视化展示。

因为神经网络的输出值包含了设备的电力负荷状态和温度、电弧状态值,所以其实际读数值代表了系统运行的风险情况,进而体现出该设备的继电保护可能发生动作的风险值。

采用模糊控制矩阵的方式对神经网络的输出值进行处理,以判断设备的显示颜色。该模糊控制矩阵的构建策略,详见表 3。

表 3 模糊控制矩阵的颜色可视化策略

值\变化率	<-0.050/s	0.000~-0.050/s	0.050~0.000/s	>0.050/s
<0.050	绿	绿	蓝	蓝
0.050~0.100	绿	蓝	蓝	黄
0.100~0.250	蓝	蓝	黄	橙
0.250~0.500	蓝	黄	橙	棕
0.500~0.900	黄	橙	棕	红
>0.900	橙	棕	红	红

该模糊控制矩阵支持的继电保护自动化预警系统对电力调度的支持,使电力调度需要执行以下继电保护风险管理策略:

1) 当系统显示某区域变为蓝色时,应加强监控,调取相关系统的其他监控系统数据并做日志记录,分析系统风险来源;

2) 当系统显示某区域为黄色时,应根据区域内相关系统的其他监控记录,分析该系统状态检修和状态倒闸切除的可行性,对操作票进行预编制,随时准备有计划不停电切除故障系统;

3) 当系统显示某区域为橙色时,应及时执行状态检修操作票,对问题区域进行有人介入的状态检修;

4) 当系统显示某区域为棕色或红色时,应立即启动故障停电应急预案,组织抢修人员,进入到系统应急处置工作流程;

5 系统效能仿真测试

在电力 CAE 系统中加载 SimuWorks 组件,以某

220kV 变电站 2020 年 1 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日实际运行数据为仿真数据,判断该变电站 2020 年全年发生的 16 次继电保护动作事件,发现该系统的实际效能有表 4 中表现:

表 4 系统效能仿真测试结果(依据预警级别)

预警级别	预警次数	区域内动作次数	其他区域动作次数
蓝	62	0	0
黄	24	0	0
橙	11	4	0
棕	7	6	0
红	6	6	0

表 4 中,发生橙色区域预警时,区域内发生继电保护动作的可能性达到 36.4%,发生棕色区域预警时,区域内发生继电保护动作的可能性达到 54.5%,发生红色区域预警时,区域内发生继电保护动作的可能性达到 100%。且系统在对对应区域内发出预警时,未出现标定区域外的继电保护动作。证明该系统在特异性和敏感性方面均有较强算法效能。

考察不同设备的机电保护动作事故,该系统给出的预警分布情况如表 5:

表 5 系统效能仿真测试结果(依据预警相关设备)

动作设备	总动作次数	红	棕	橙
变压器高压	1	1	0	0
变压器中压	1	1	0	0
中压屏断路器	5	1	2	2
低压屏断路器	9	3	4	2

表 5 中,2020 年发生的 16 次继电保护动作事件中,2 次主变压器的高压侧、中压侧动作,系统均给出了红色预警,而其余 14 次位于配电屏的继电保护动作,给出红色预警 4 次,占 28.6%,给出棕色预警 6 次,占 42.9%,给出橙色预警 4 次,占 28.6%。该系统对核心设备更倾向于给出更高级别预警,即其对核心设备的故障容忍度更低。

6 总结

有选择输入电网系统中的多个继电保护相关数据,使用深度卷积神经网络算法分别计算每个设备的

(下转 241 页)