[电力系统]

智能技术在电力系统自动化中的应用实践

文/刘涛
甘肃电器科学研究院

随着科技不断进步，智能技术在各个领域的应用也越来越广泛，电力系统自动化作为现代化电力系统运行的重要手段，也逐渐引入智能技术，以提高电力系统的可靠性。基于此，介绍智能技术在电力系统自动化中的应用领域，分析智能技术在电力系统自动化中的具体应用实践。然而，智能技术应用还要进一步研究，以解决其中的技术和应用问题。

近年来，随着社会经济快速发展，智能技术广泛应用到各领域，而电力系统作为现代社会不可或缺的基础设施，也在智能技术的推动下实现自动化的发展。智能技术在电力系统自动化中的应用实践研究，逐渐成为学术界和工业界的热门话题。

智能技术在电力系统自动化中应用的意义

在电力系统自动化中，智能技术应用带来了巨大的变革。第一，提高电网运行效率。传统电力系统运行需要人工干预，耗费大量时间和人力，而应用智能技术可实现电网的自动化运行，通过数据分析和智能控制，实时监测电网的运行状态，自动调节电力的分配和传输，提高电力系统的整体效率。同时，智能技术应用还能及时检测故障和异常情况，并进行智能预测，提前采取措施，避免电力系统出现停电事故，保障电力供应的稳定性。第二，优化能源管理。智能技术对电力系统中各个环节的精确监测，包括电力生产、传输和消费等环节。通过智能技术的应用，动态优化电力系统，根据实时能源需求和供应情况，合理调配电力资源，提高能源的利用效率。同时，智能技术对电力系统中的能源消耗进行监测分析，帮助用户识别能源浪费的问题，并提供相应的节能建议，促进绿色能源的使用。第三，增强电力系统安全性。电力系统是现代社会运转的重要基础设施，应用智能技术可增强电力系统的安全性。通过智能监控和预警系统，实时监测电力系统中的安全隐患，及时发现和处理潜在的安全风险。智能技术还能应用于电力系统的安全管理和防护措施，如智能电网的建设和智能设备的应用，提高电力系统的抗干扰能力，保障电力系统的安全运行。

智能技术在电力系统自动化中的应用

1. 人工智能算法

在电力系统自动化领域，人工智能算法应用已经成为提高系统效率的重要手段。

1）场景分析。通过对电力系统的运行特点、问题需求和数据情况进行深入分析，确定需要解决的问题和目标。如针对电力系统中的负载预测、异常检测和故障诊断等问题进行分析，明确人工智能算法的应用场景。

2）数据标签和输出构建。在电力系统自动化中，需要对数据进行标签化处理，即将输入数据和对应的输出结果进行匹配，建立起监督学习的样本集，为人工智能算法提供训练数据。以变压器故障处理为例，工作人员结合变压器运行数据，分类出7种故

障，如放电兼过热DT、低温过热T_1（T<300 ℃）、中温过热T_2（T为300～700 ℃）、高温过热T_3（T>700 ℃）、局部放电PD、低能放电D_1、高能放电D_2。同时，输出构建也需要考虑电力系统中的实际问题和需求，如负载预测模型的输出可以是未来一段时间内的负载曲线，如图1所示。

3）选择合适的网络结构。在电力系统自动化中，常用的网络结构包括神经网络、深度学习网络等。根据具体场景和问题需求，选择适合的网络结构能提高算法效果。同时，确定隐含层节点数量，多安排试凑，选择对应节点数对比分析得到预测结果误差，再选择最佳节点数量。

4）学习速率的选取。学习速率决定了算法的收敛速度和稳定性，过大或过小的学习速率都会影响算法的性能。因此，在使用人工智能算法时需要根据实际情况进行学习速率的调整和优化。

5）人工智能算法的性能评估通过对算法的准确性、稳定性和鲁棒性等指标进行评估，判断算法是否满足实际应用需求。同时，也可根据评估结果对算法进行优化和改进[4]。

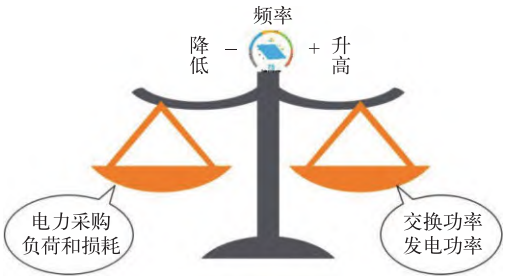

图1　电力系统运行时供电与负荷平衡

2. 人工神经网络

常规电力预测方法如单耗法存在较大的不确定性和随机性，无法准确预测电力消耗量，导致预测结果与实际值存在一定的偏差。单耗法主要依据某工业产品平均用电量和计划生产产品数量来进行预测，预测公式为

电力消耗量=工业业产品平均用电×计划生产产品数量　(1)

但由于工业生产存在许多不确定因素，如市场需求波动、设备故障等，导致单耗法的预测结果往往无法准确反映实际情况。这种不确定性和随机性给电力系统自动化运行带来了一定的困扰，使得其无法提供可靠的参考指标。相比之下，人工神经网络作为一种基于模拟人脑神经元结构和工作原理设计的预测方法，具有较强的学习能力和自适应性，通过对历史数据的学习和分析，建立起电力系统运行的非线性关系模型，实现对电力消耗量的准确预测[5]。

本文介绍如何使用人工神经网络对某市在2023年5月10日—20日的电力负荷进行统计分析，并预测5月21日的负荷情况。为准确预测负荷情况，要收集前一天的用电量作为输入数据，并准备12个负荷资料用于神经网络分析。这些数据结合天气预测结果，其中5月21日的气温和天气情况分别用0、0.5、1表示晴天、阴天和雨天。这些数据纳入神经网络中，预测该日的12个负荷情况。接下来，设定本次训练的代数为10，总计进行100 000次训练，根据设定的训练速度0.05，可以选择设置移动代数，并列出0.01的训练目标偏差，保证训练的准确性。然后，引入Train函数来训练神经网络功能。Train函数的格式为

[net，tr]＝train（net，P，T，Pi，Ai）　(2)

式中，net为需训练神经网络；P为网络输入；T为初始层延迟。

通过以上步骤，利用人工神经网络对某市在2023年5月10—20日的电力负荷进行统计分析，并预测5月21日的负荷情况，见表1。这种智能技术的应用可以帮助电力系统自动化实现更加准确和高效的负荷管理，提高供电的稳定性。

表1　人工神经网络电力负荷预测与实际值数据

预测值	实际值	误差
0.225 6	0.211 9	0.013 7
0.162 7	0.121 5	0.041 2
0.195 7	0.162 1	0.056 4
0.220 3	0.216 1	0.004 2
0.518 2	0.617 1	0.098 9
0.546 3	0.615 9	0.069 6
0.701 1	0.711 5	0.010 4
0.732 9	0.720 1	0.012 8
0.698 3	0.724 3	0.026 0
0.744 0	0.729 8	0.014 2
0.807 4	0.817 9	0.010 5
0.825 4	0.822 9	0.002 5

3. 模糊控制技术

在电力系统中，模糊控制技术是一种常见的智能控制方法，通过模糊逻辑控制器来实现对电力系统的自动化控制。

1）模糊逻辑控制器是一种基于模糊规则的控制器，其模拟人类的认知过程，将模糊的输入转化为模糊的输出。模糊逻辑控制器由模糊化、模糊推理和解模糊三个部分组成。输入变量通过隶属函数模糊化，将其转化为隶属度函数；通过模糊推理，根据预设的模糊规则进行推理，得到模糊输出；利用解模糊，将模糊输出转化为具体的控制信号，从而实现对电力系统的控制。

2）设计模糊规则。模糊规则是由专家经验和先验知识得出的，描述了输入与输出之间的关系。对于电力系统来说，常见的输入变量包括负荷大小、电压和电流等，输出变量可以是发电机的励磁电压、变压器和调压器位置等。通过分析电力系统的特点和需求，设计合理的模糊规则，实现对电力系统的精确控制。

3）LF（Look-Up Table Fuzzy）控制器是一种改进的模糊逻辑控制器，通过建立一张查找表，将输入变量映射到相应的输出变量如图2所示。LF 控制器优点在于简化了模糊推理的过程，提高控制的效率和稳定性，通过合理设计查找表的数据，实现对电力系统的精确控制[6]。

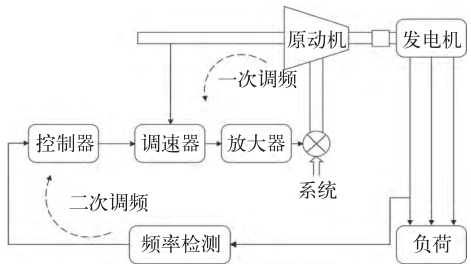

图2　负荷频率控制简图

在电力系统中，当功率流通过输电线时，会分布在两个数值相等但呈正负两种状态的区域中。而功率流动方向与区域相对相位角有着直接关系，并且很大程度上取决于相对速度偏差。为了满足不同区域对于接线互联系统的具体需求，要列出稳态方程来进行控制。以第i个控制区域为例，其净交换与兆瓦综合一致，即所有M个输出联络线的功率交换总和为零。在进行区域控制误差分析时，要考虑到A-CE_i（A表示区域之间的功率交换，CE_i表示控制区域i的功率交换）必须反映总功率交换。具体计算式为

$$A-CE_i=\sum(Ai_j-CE_j)=0 \tag{3}$$

式中，Ai_j为区域i与区域j之间的功率交换；CE_j为区域j的功率交换。

在运用模糊控制技术的电力系统自动化中，使用模糊逻辑来处理复杂的稳态方程，将模糊的输入变量和输出变量转换成模糊集合，并通过设定模糊规则来实现控制。通过对输入变量和输出变量的模糊化和去模糊化处理，得到准确的控制结果[7]。

4. 专家控制技术

专家控制技术是利用计算机技术和人工智能等相关技术，通过对电力系统进行建模、仿真和优化来实现对系统运行的智能控制。根据不同的运行状态，自动调整电力系统的参数和操作策略，从而提高系统的稳定性。在电力系统的自动化过程中，专家控制技术主要包括以下几个方面的应用：

1）负荷预测和优化调度。专家控制技术可以通过对负荷的预测和分析，提前制定合理的负荷调度方案，根据历史数据和实时监测数据，预测未来一段时间内的负荷变化趋势，并根据系统的运行状态和能源供需情况，优化调度电力设备的运行模式和工作参数，以实现最佳的能源利用效率。

2）故障诊断和故障处理。专家控制技术可以通过对电力系统的各种故障模式和故障特征进行建模和分析，实时监测系统的运行状态，并及时发现和诊断故障。一旦发现故障，自动采取相应的措施，如切换备用设备、调整工作参数等，以保证系统的安全稳定运行。

3）优化配置和设备管理。专家控制技术可以根据不同的需求和目标，通过对电力设备和系统的参数和配置进行优化设计，实现最佳的能源利用和经济效益。它可以帮助电力系统管理者和运维人员更好地进行设备管理，提高设备的可靠性[8]。

结束语

综上所述，随着科技不断发展，智能技术在各个领域得到了广泛应用，包括电力系统自动化。智能技术在电力系统自动化中的应用实践研究表明，智能技术可提高电力系统的运行效率和稳定性，提供更可靠的电力供应，同时促进电力系统的可持续发展。因此，在未来的电力系统建设中，应加强对智能技术的研究和应用，以推动电力系统的智能化发展。EA

（收稿日期：2024-05-21）