

电力系统自动化技术在电力工程中的应用与实践

李乔 李得源

国网黑龙江省电力有限公司东宁市供电分公司

摘要：为解决电力系统自动化技术在电力工程中的应用与实践问题，本文围绕电力系统自动化技术的基本概念、发展历程、关键组成部分及在电力工程中的作用与意义展开分析。在此基础上，本文探讨了智能电网、电力系统监控与调度自动化技术、输电线路自动化技术以及在新能源电力系统中的应用与发展趋势。希望通过本文的分析，能够为电力系统自动化技术在电力工程中的深度应用提供一定的参考。

关键词：电力系统；自动化技术；电力工程；智能电网；输出线路

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.21.064

引言

随着社会的发展和科技的进步，电力工程的发展日益受到关注。电力系统自动化技术作为电力工程领域的重要组成部分，在提高电力系统运行效率、可靠性和安全性方面发挥着重要作用。本文旨在探讨电力系统自动化技术在电力工程中的应用与实践，以期为电力工程领域的研究与实践提供有益参考。

一、电力系统自动化技术概述

（一）电力系统自动化技术的基本概念与原理

电力系统自动化技术是指利用计算机、通信、控制等现代技术，对电力系统进行监控、保护、调度、控制等操作的技术体系^[1]。其基本原理是通过自动化设备和系统，实现对电力系统各个环节的实时监测、数据采集、分析处理以及智能决策，从而提高电力系统的运行效率、可靠性和安全性。具体来说：其一，监控与数据采集是电力系统自动化的基础。通过在电力系统中布置传感器、智能仪器设备等，实时监测各个环节的电压、电流、频率等参数，将数据传输至监控中心进行实时监控与数据采集。其二，智能控制与调度是电力系统自动化的关键。基于实时监测数据和预先设定的控制策略，自动化系统能够对电力系统进行智能化控制与调度，实现对电力设备的自动开关、调节以及故障处理等操作。其三，通信技术在电力系统自动化中扮演着重要角色。通过建立可靠的通信网络，实现各个监测点与控制中心之间的数据传输及通信，确保信息的及时、准确传递，支撑电力系统的实时监控与控制。其四，智能决策与优化是电力系统自动化技术的核心。基于数据分析和模型算法，自动化系统能够实现对电力系统运行状态的智能评估与优化决策，提高电力系统的运行效率和经济性。电力系统自动化技术通过实现对电力系统的智能化监

控、控制与调度，为电力工程提供了先进的技术手段和解决方案，具有重要的实际意义和应用价值。

（二）电力系统自动化技术的发展历程与现状

电力系统自动化技术自20世纪初以来经历了持续而辉煌的发展历程，从最初的基于机械与电气控制的简单自动化设备，到如今基于先进的信息技术与智能算法的高度智能化系统，发展过程呈现出了明显的阶段性特征。具体来说：其一，20世纪初至20世纪中期，电力系统自动化技术处于起步阶段。此时期，自动化技术主要依赖机械与电气控制装置，如机械继电器、保护继电器等，用于实现电力系统的基本保护、调控等功能。虽然功能有限、精度低下，但为电力系统的安全运行奠定了基础。其二，20世纪60年代至80年代，电力系统自动化技术进入了发展的黄金时期。随着计算机技术的发展与普及，数字化保护装置、远动设备、监控系统等新型自动化设备相继出现，大大提高了电力系统的运行效率和安全性。此时期的发展，为电力系统的智能化建设打下了坚实基础。其三，进入21世纪以来，电力系统自动化技术进入了全面智能化的阶段。先进的信息通信技术、人工智能、大数据等新兴技术的应用，为电力系统自动化提供了更加丰富和强大的技术支撑。智能电网、虚拟电力系统等新概念和新模式不断涌现，推动了电力系统自动化技术的不断创新与发展^[2]。其四，电力系统自动化技术已经进入了全面智能化、网络化和信息化的新阶段。智能化设备与系统广泛应用于电力系统的各个环节，实现了设备之间的互联互通，实现了对电力系统的全方位监控和智能控制。然而，随着电力系统规模的不断扩大和技术的不断更新，仍然存在着一些挑战和问题，如信息安全、系统稳定性等，需要进一步研究和解决。总体来看，电力系统自动化技术的发展历程经历了起步阶段、黄金时期和全面智能化阶段，取得了显著的成就。未来，随着科技的不断进步和应用需求的不断提升，电力系统自动化技术将继续发展壮大，为电力工程领域的创新发展提供强有力的支撑。

（三）电力系统自动化技术的关键组成部分

电力系统自动化技术的实现离不开多个关键组成部分的协同作用。这些组成部分包括监控与数据采集系统、智能控制与调度系统、通信网络以及智能决策与优化系统。本章节重点围绕监控与数据采集系统、智能控制与调度系统展开分析。

1. 监控与数据采集系统

监控与数据采集系统用于实时监测电力系统的运行

状态和参数，并将数据传输至控制中心进行处理和分析。其关键组成部分包括传感器和智能仪器设备等。具体来说：

(1) 传感器。用于采集电力系统中的电压、电流、频率等参数。其中，电流传感器的输出电压与电流大小成正比，相关计算公式如下：

$$V=k \times I \quad (1)$$

在公式(1)中， V 表示输出电压， I 表示电流， k 表示传感器的灵敏度。

(2) 智能仪器设备。包括数字化保护装置、故障录波仪等，用于实现对电力系统的智能保护和故障检测。以数字化保护装置为例，动作电流 I_{op} 可根据下式计算：

$$I_{op}=h \times I_{pickup} \quad (2)$$

在公式(2)中， h 表示保护装置的设置系数， I_{pickup} 表示保护装置的動作电流设置值。

2. 智能控制与调度系统

智能控制与调度系统用于根据监测数据实现对电力系统的智能控制和调度，确保电力系统的安全稳定运行。其关键组成部分包括自动化控制装置、远动设备和调度终端等。具体来说：

(1) 自动化控制装置。主要根据预设的控制策略，实现对电力系统的自动化控制。以调节变压器容量为例，其调节量 ΔP 可根据下式计算：

$$\Delta P=a \times \Delta V \quad (3)$$

在公式(3)中， a 表示控制装置得到的增益， ΔV 表示变压器的调节电压。

(2) 远动设备。主要用于实现对电力系统的遥控操作。例如，遥控开关的合闸时间 t_{close} 可根据下式计算：

$$t_{close}=b \times t_{op} \quad (4)$$

在公式(4)中， t_{op} 表示合闸命令到达开关执行动作的时间， b 表示时间校正系数。

(3) 调度终端。用于对电力系统进行调度和管理。通过监控电力系统运行情况和实时数据，调度终端能够做出及时的调度决策，保障电力系统的安全稳定运行。通过以上关键组成部分的协同作用，智能控制与调度系统能够实现对电力系统的智能化管理和调度，提高电力系统运行的安全性和可靠性^[3]。

二、电力系统自动化技术在电力工程中的实践应用

(一) 智能电网与电力系统自动化技术的融合应用

智能电网是利用先进的信息通信技术、大数据分析技术和智能控制技术，实现对电力系统全面监测、实时调度和优化控制的现代电力系统。该系统具有分布式能源、可再生能源、电动汽车等智能化设备的高比例渗透，以及多源、多能源、多网络互联的特点^[4]。电力系

统自动化技术在智能电网中发挥着关键作用，包括实时监测、智能控制、自适应调度等方面。具体包括以下几个方面：其一，实时监测。通过电力系统自动化技术，可以实现对智能电网中各个节点的实时监测，包括电压、电流、频率、功率等参数的监测。监测数据可用于智能决策与优化。其二，智能控制。利用电力系统自动化技术，可以实现对智能电网中各种设备的智能控制，如开关的遥控操作、容量的动态调节等。通过智能控制，可以有效调节电网的运行状态。其三，自适应调度。电力系统自动化技术还可用于实现智能电网的自适应调度，根据实时监测数据和预设策略，对电力系统进行灵活调度，以适应电力需求的变化。

以智能微网的自动化控制为例。智能微网是智能电网的重要组成部分，具有分布式发电、能源储存和智能负载管理等特点。

此外，通过对智能微网的电压波动率以及频率偏差进行计算，能够有效评估智能微网的运行稳定性和运行质量（主要用于监测电压是否长时间保持稳定状态）。具体应用的公式如下：

(1) 电压波动率。

$$V_{\text{波动率}}=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|V_i-\bar{V}|}{\bar{V}} \times 100\% \quad (5)$$

在公式(5)中， $V_{\text{波动率}}$ 表示电压波动率， V_i 表示单个时间点的电压值， \bar{V} 表示电压均值， n 表示数据点数。

(2) 频率偏差。

$$f_{\text{偏差}}=\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| f_i - f_{\text{标准}} \right| \quad (6)$$

在公式(6)中， $f_{\text{偏差}}$ 表示频率偏差， f_i 表示单个时间点的频率值， $f_{\text{标准}}$ 表示标准频率值， n 表示数据点数。

总体来说，通过综合评估智能微网的稳定性和运行质量，能够及时采取措施，最终达到确保电网的安全稳定运行的目的。

(二) 电力系统监控与调度自动化技术的实际应用

电力系统监控与调度自动化技术是电力工程中的重要组成部分，通过实时监测、智能控制和自动化调度，保障电力系统的安全稳定运行。有关实时监测、智能控制的原理已经在本文1.3章节介绍，本段不再赘述，重点围绕“自动化调度”展开分析。电力系统的自动化调度是指利用先进的调度算法和技术，根据电力系统的实时状态和需求，自动调整发电机的运行模式和输电线路的负荷分配，以实现电力系统的最优化运行。其中，自动化调度系统常常采用利用模型预测控制(Model Predictive Control, MPC)算法，通过对电力系统的动态模型建立和预测，实现对电力系统的智能调度。

MPC算法的数学模型如下：

$$u(t) = \operatorname{argmin} \sum_{i=0}^{N-1} \|y(t+i|t) - r(t+i)\|_Q^2 + \|u(t+i|t)\|_R^2 \quad (7)$$

在公式(7)中， $u(t)$ 表示控制量， $y(t+i|t)$ 表示预测时刻 $t+i$ 的系统输出， $r(t+i)$ 表示参考信号， Q 和 R 表示权重矩阵。通过MPC算法的优化调度，可以使电力系统在保证供电质量的前提下，实现电力资源的最优利用。MPC算法的运行原理如下：其一，系统建模。MPC算法需要建立电力系统的数学模型，这个模型描述了系统的动态行为，包括发电机的响应、负荷的变化等。这通常是一个多变量、非线性、时变的系统模型，可以通过物理原理或系统辨识技术得到。其二，预测未来行为。在每个控制时刻，MPC算法使用当前时刻的系统状态作为初始条件，利用系统模型进行多步预测，预测未来一段时间内系统的状态和输出。这个预测窗口的长度通常称为预测时域。其三，优化控制决策。预测得到未来的系统状态后，MPC算法将系统的期望输出与参考信号进行比较，然后在一定的控制范围内优化当前时刻的控制决策，以使系统的输出尽可能接近参考信号。这通常是一个优化问题，目标是使最小化控制误差和控制输入的代价函数。其四，应用控制输入。算法确定了最优控制输入后，将其应用于系统中。系统按照最优控制输入执行，并在下一个控制时刻重复上述步骤。

假设使用MPC算法来调度一个电力系统中的发电机输出功率，目标是使系统的输出频率尽可能接近标准频率。可以假设系统模型为一个简单的一阶惯性系统，具体的表达式如下：

$$G(s) = \frac{1}{s+1} \quad (8)$$

在公式(8)中， $G(s)$ 是系统的传递函数， s 是复频域变量。假设当前处于时刻 t ，当前时刻的系统状态为 $x(t)=1$ （频率偏差），希望在未来的预测时域内使频率偏差最小化。则可以将预测时域设定为 $N=3$ 步，控制时域设定为 $M=1$ 步。在此基础上，选择一个参考信号 $r(t)=0$ ，表示希望系统的频率偏差为零。至此阶段，通过将系统模型和参考信号代入MPC算法的优化问题中，可以得到最优控制输入 $u(t)$ 。假设权重矩阵 $Q=1$ ， $R=0.1$ 。结果相关分析如下：最优控制输入 $u(t)$ 表示在当前时刻应该施加到系统中的控制输入。通过将其应用到系统中，可以使系统的输出频率逐渐接近参考信号。如果系统模型和预测准确，那么通过反复应用MPC算法，系统的输出将会收敛到参考信号附近，从而实现了频率的稳定控制。但需要注意，这种方法可以在实时性要求不是特别严格的场景下，如电力系统调度中，实

现对系统的智能化调控，提高了电力系统的稳定性和效率。

(三) 电力系统自动化技术在新能源电力系统中的应用与发展趋势

电力系统自动化技术在新能源电力系统中的应用日益广泛。通过实时监测、智能控制和自动化调度，新能源电力系统能够实现更高效、更可靠地运行。具体来说：其一，实时监测技术能够及时采集新能源电力系统的关键参数，包括风力发电机、太阳能电池等的发电量、频率和电压等信息。这些数据能够准确反馈系统运行状态，有助于发现并解决潜在问题^[5]。其二，智能控制技术使得新能源电力系统能够更加灵活地响应外部环境变化。通过先进的控制算法，系统能够根据天气、负荷等因素调整发电机的输出功率和输电线路的负荷分配，以确保系统的稳定运行。其三，自动化调度技术为新能源电力系统提供了优化的运行方案。通过模型预测控制等方法，系统能够实现对发电、储能、调度等资源的智能化管理，提高了能源利用效率和经济性。其四，随着新能源技术的不断发展和普及，电力系统自动化技术将迎来更广阔的应用前景。同时，人工智能、大数据等新技术的引入将进一步提升系统的智能化水平，为新能源电力系统的可持续发展注入新的动力。

结语：本文详细分析了电力系统自动化技术的基本概念、发展历程、关键组成部分以及在电力工程中的应用与意义。通过具体的分析，展示了智能电网、监控与调度自动化技术、输电线路自动化技术等在实际应用中的未来，随着科技的不断进步，电力系统自动化技术将继续发挥重要作用，推动电力工程的创新发展。

参考文献

- [1] 聂玉菲. 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析[J]. 产品可靠性报告, 2024, (04): 81-83.
- [2] 翟建强. 电力系统自动化中的电能质量监测与控制[J]. 模具制造, 2024, 24(04): 216-218+221.
- [3] 李艳, 许方杰. 基于配电网自动化技术的电力系统运行优化策略[J]. 光源与照明, 2024, (02): 234-236.
- [4] 薛建标. 自动化技术在电力系统配电网工程中的应用探讨[J]. 科技风, 2024, (03): 84-86.
- [5] 张瑞程, 张仁尊, 王书源, 等. 基于大数据的电力系统继电保护自动化技术的研究[J]. 自动化应用, 2024, 65(02): 36-38.

作者简介：李乔（1989年2月），女，汉，牡丹江，现有中级申报副高，本科，研究方向：电力营销。

李得源（1989年11月），男，汉，牡丹江，现有中级申报副高，本科，研究方向：电力工程配网设计。