

## 智能电网中的能源管理与调度技术解析

陈 军

南京工程学院 江苏南京

**【摘要】**随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强,智能电网作为未来能源系统的重要组成部分,正逐渐展现出其独特的魅力和潜力。智能电网通过集成先进的通信、信息和控制技术,实现了对能源的高效管理、优化调度和智能控制,为能源行业的可持续发展提供了有力支撑。本文旨在解析智能电网中的能源管理与调度技术,探讨其发展趋势、技术特点、应用案例以及面临的挑战,以期智能电网的建设和发展提供有益的参考。智能电网中的能源管理与调度技术涉及多个方面,包括能源数据采集与监测、能源预测与优化、能源存储以及调度策略与算法等。智能电网的能源管理与调度技术也面临着一些挑战,如数据安全与隐私保护、技术标准与互操作性等问题。为了解决这些问题,需要加强技术研发和标准化建设,推动智能电网的健康发展。

**【关键词】**智能电网; 能源管理; 调度技术

**【收稿日期】**2024 年 4 月 14 日

**【出刊日期】**2024 年 6 月 23 日

**【DOI】**10.12208/j.jeea.20240010

### Analysis of energy management and dispatching technology in smart grid

*Jun Chen*

*Nanjing Institute of Technology, Jiangsu, Nanjing*

**【Abstract】** With the continuous growth of global energy demand and the increasing awareness of environmental protection, smart grid, as an important part of the future energy system, is gradually showing its unique charm and potential. By integrating advanced communication, information and control technologies, smart grid realizes efficient management, optimized dispatch and intelligent control of energy, providing strong support for the sustainable development of the energy industry. This paper aims to analyze the energy management and dispatching technology in smart grid, explore its development trend, technical characteristics, application cases and challenges, in order to provide a useful reference for the construction and development of smart grid. Energy management and dispatching technology in smart grid involves many aspects, including energy data collection and monitoring, energy prediction and optimization, energy storage, and dispatching strategies and algorithms. Energy management and dispatching technology of smart grid also faces some challenges, such as data security and privacy protection, technical standards and interoperability. In order to solve these problems, it is necessary to strengthen technology research and development and standardization construction to promote the healthy development of smart grid.

**【Keywords】** Smart grid; Energy management; Dispatching technology

### 1 前言

#### 1.1 智能电网的定义与特点

智能电网,作为现代电力系统的核心,通过集成先进的通信、信息和控制技术,实现电网的智能化、自动化和高效化运行。智能电网的特点在于其高度的灵活性、可靠性和可持续性。据国际能源署(IEA)报告,智能电网技术能够减少约 10% 的电力

损耗,提高能源利用效率。以德国为例,该国通过实施智能电网项目,成功将可再生能源的并网比例提升至 30% 以上,显著降低了对化石燃料的依赖<sup>[1]</sup>。

智能电网的灵活性体现在其能够实时响应电力需求的变化,通过智能调度系统优化资源配置。例如,在高峰时段,智能电网可以自动调整分布式电源的输出,减少对传统电网的依赖,从而确保电力

供应的稳定性。此外，智能电网还能够通过负荷预测技术，提前预测电力需求的变化趋势，为电力调度提供科学依据<sup>[2]</sup>。

智能电网的可靠性得益于其强大的故障检测与恢复能力。通过集成先进的传感器和通信技术，智能电网能够实时监测电网的运行状态，一旦发现故障，便能够迅速定位并采取相应的恢复措施。这种能力对于保障电力系统的稳定运行至关重要，尤其是在极端天气等自然灾害发生时。

智能电网的可持续性则体现在其对可再生能源的充分利用和环境保护的重视。通过集成多种能源存储技术，如电池储能和超级电容器储能技术，智能电网能够实现对可再生能源的有效利用，减少对传统能源的依赖<sup>[3]</sup>。同时，智能电网还能够通过优化能源调度策略，降低电力损耗和排放，为环境保护做出贡献。

### 1.2 智能电网与传统电网的对比

智能电网相较于传统电网，展现出了显著的优势和革新。传统电网主要依赖于集中式管理和单向的信息流，而智能电网则通过引入先进的通信技术和信息技术，实现了电网的智能化、自动化和双向互动。

在能源管理方面，智能电网通过实时数据采集和监测技术，能够精确掌握电网的运行状态，实现能源的高效利用。例如，通过智能电表和传感器技术，智能电网能够实时监测用户的用电情况，并根据需求进行动态调整，有效避免了能源浪费。相比之下，传统电网由于缺乏这些技术手段，往往难以实现对能源的高效管理。

在调度技术方面，智能电网采用了先进的调度策略和算法，能够实现对电网资源的优化配置和高效调度。实时调度策略能够根据电网的实时运行状态，快速响应各种突发情况，确保电网的稳定运行。预测调度策略则能够基于历史数据和预测模型，提前预测电网的负荷变化，并制定相应的调度计划，有效提高了电网的调度效率和可靠性。而传统电网的调度方式往往较为单一，难以应对复杂多变的电网环境<sup>[4]</sup>。

此外，智能电网还注重分布式能源调度技术的应用，通过微电网和多能源互补调度技术，实现了对分布式能源的有效整合和高效利用。这种分布式

能源调度方式不仅能够提高能源利用效率，还能够降低对中心电网的依赖，增强电网的韧性和可靠性。相比之下，传统电网往往难以实现对分布式能源的有效管理和调度。

综上所述，智能电网在能源管理和调度技术方面相较于传统电网展现出了显著的优势和革新。通过引入先进的通信技术和信息技术，智能电网实现了电网的智能化、自动化和双向互动，为能源的高效利用和电网的稳定运行提供了有力保障。

### 1.3 智能电网的发展趋势

智能电网的发展趋势正日益凸显其引领能源行业革新的重要性。随着可再生能源的迅猛发展和能源转型的深入推进，智能电网以其高效、智能、环保的特点，成为推动能源行业可持续发展的重要力量。据国际能源署（IEA）报告，预计到2030年，全球智能电网市场规模将达到数千亿美元，年均增长率超过10%。这一趋势不仅体现了智能电网技术的成熟和应用，也反映了全球对清洁能源和低碳发展的共同追求<sup>[5]</sup>。

智能电网的发展趋势主要体现在以下几个方面。首先，智能电网将更加注重可再生能源的利用，通过集成太阳能、风能等可再生能源，实现清洁、低碳的能源消费。例如，丹麦作为全球领先的智能电网国家，其可再生能源占比已超过50%，实现了能源结构的绿色转型<sup>[6]</sup>。其次，智能电网将加强信息化建设，通过物联网、大数据、人工智能等先进技术，实现对电网的智能化监控、调度和管理，提高电网的智能化水平和运行效率。此外，智能电网还将推广分布式能源，通过微电网、多能源互补等技术，实现能源的分散化、多元化和高效化利用。

在智能电网的发展过程中，能源管理与调度技术发挥着至关重要的作用。能源管理技术通过实时采集、监测和分析能源数据，为电网的调度和决策提供科学依据。而调度技术则根据能源管理系统的数据库，制定合理的调度策略，实现能源的高效利用和优先分配。例如，在住宅能源管理系统中，通过智能电表和传感器实时采集家庭用电数据，结合负荷预测技术和能源优化算法，实现家庭用电的智能化管理和节能降耗。在工业能源调度系统中，通过集成多种能源和多种设备，实现能源的互补和优化利用，提高工业生产的能源效率和经济效益。

展望未来，智能电网将继续引领能源行业的创新发展。随着技术的不断进步和市场的不断扩大，智能电网将实现更加智能化、绿色化、高效化的发展。同时，智能电网也将面临一些挑战，如数据安全与隐私保护、技术标准与互操作性等问题。智能电网作为电力行业的创新力量，将不断推动能源行业的转型升级和可持续发展。

## 2 能源管理技术

### 2.1 能源管理技术的概念与重要性

能源管理技术，作为智能电网的核心组成部分，涵盖了从能源数据的采集、监测到预测、优化以及存储的全过程。在智能电网的框架下，能源管理技术的重要性不言而喻。它不仅能够实现对能源使用情况的实时监控，还能通过数据分析预测未来的能源需求，从而优化能源分配，提高能源利用效率。

通过实施先进的能源管理技术，全球能源使用效率可提高约 20%，这将极大地减少能源浪费，降低碳排放。以住宅能源管理系统为例，通过安装智能电表和传感器，可以实时监测家庭的电力使用情况，并根据历史数据预测未来的电力需求。系统可以根据预测结果自动调整家电的运行模式，如在电价较低时充电、在电力需求高峰时减少不必要的电力消耗，从而实现能源的优化利用<sup>[7]</sup>。

此外，能源管理技术还涉及到能源存储技术的运用。随着可再生能源的快速发展，如太阳能、风能等，能源存储技术成为了解决能源供需不平衡的关键。电池储能技术和超级电容器储能技术作为两种主要的能源存储方式，在智能电网中发挥着重要作用。它们可以将多余的能源储存起来，在能源需求高峰时释放，从而平衡电网的供需关系，提高电网的稳定性。

综上所述，能源管理技术在智能电网中扮演着至关重要的角色。它不仅能够提高能源利用效率，减少能源浪费，还能通过能源存储技术解决能源供需不平衡的问题，为智能电网的稳定运行提供有力保障。随着技术的不断进步和应用的不断扩展，能源管理技术将在未来发挥更加重要的作用。

### 2.2 能源数据采集与监测技术

#### 2.2.1 传感器技术

在智能电网的能源管理技术中，传感器技术扮演着至关重要的角色。传感器作为智能电网的“神

经末梢”，能够实时、准确地采集能源系统中的各类数据，为能源管理提供基础支撑。例如，在电力系统中，智能电表通过内置的传感器，能够实时监测用户的用电情况，包括电压、电流、功率因数等关键参数，为电力调度和负荷预测提供重要依据。

传感器技术的发展，使得能源数据采集的精度和效率得到了显著提升。以温度传感器为例，现代温度传感器已经能够实现毫秒级的响应时间，并且能够在极端环境下保持稳定的性能。这种高精度、高可靠性的传感器，为智能电网的能源管理提供了强有力的技术保障。

此外，传感器技术的应用还推动了能源管理技术的创新。例如，基于物联网技术的能源管理系统，通过大量部署传感器，实现了对能源系统的全面监测和智能控制。这种系统能够实时分析能源使用情况，预测能源需求，优化能源调度，从而提高能源利用效率，降低能源消耗<sup>[8]</sup>。

在实际应用中，传感器技术已经取得了显著的成效。以某大型工业园区为例，该园区通过部署大量传感器，实现了对能源系统的全面监测和智能控制。通过实时分析能源数据，园区管理人员能够及时发现能源浪费现象，并采取相应的措施进行改进。据统计，该园区在实施传感器技术后，能源利用率提高了 15%，能源消耗降低了 20%<sup>[9]</sup>。

综上，传感器技术在智能电网的能源管理中发挥着不可替代的作用。随着传感器技术的不断发展和创新，相信未来智能电网的能源管理将会更加智能、高效、可靠。

#### 2.2.2 数据传输与处理技术

在智能电网的能源管理中，数据传输与处理技术扮演着至关重要的角色。随着物联网技术的飞速发展，大量的能源数据通过传感器网络被实时采集，并需要高效、准确地传输至数据处理中心。以某大型智能电网项目为例，该项目采用了先进的无线通信技术，如 5G 和 LoRa，实现了对数以万计传感器数据的实时传输。这些数据涵盖了电网的实时运行状态、负荷变化、设备健康状况等多个方面，为后续的能源预测与优化提供了坚实的基础。

在数据处理方面，智能电网采用了云计算和大数据分析技术。通过构建高性能的数据处理平台，实现了对海量数据的快速存储、查询和分析。该平

台采用了分布式架构，能够处理来自不同数据源、不同格式的数据，并通过数据挖掘和机器学习算法，提取出有价值的信息。例如，通过对历史负荷数据的分析，可以预测未来一段时间内的负荷变化趋势，为能源调度提供决策支持<sup>[10]</sup>。

此外，智能电网还采用了实时数据库技术，确保了对实时数据的快速响应和高效处理。实时数据库能够实时更新数据，并支持高并发的数据访问和查询。在能源调度过程中，调度系统需要实时获取电网的运行状态和设备信息，以便做出及时的调度决策。实时数据库技术的应用，为调度系统提供了可靠的数据支持。

在智能电网中，数据传输与处理技术正是这一变革的重要推动力。通过不断的技术创新和应用实践，智能电网将实现更加高效、智能的能源管理和调度。

## 2.3 能源预测与优化技术

### 2.3.1 负荷预测技术

在智能电网的能源管理与调度技术中，负荷预测技术扮演着至关重要的角色。负荷预测技术通过收集和分析历史数据，结合当前电网运行状况，运用先进的数学模型和算法，对未来一段时间内的电力负荷进行准确预测。这种预测不仅有助于电网运营商提前制定调度计划，还能有效避免电力短缺或过剩，提高电网运行效率。

负荷预测技术的实施依赖于大量的历史数据和先进的预测模型。例如，基于时间序列分析的预测模型，通过对历史负荷数据的分析，找出负荷变化的规律，并据此预测未来负荷的变化趋势。此外，随着人工智能技术的不断发展，深度学习等算法也被广泛应用于负荷预测中，通过训练模型学习负荷数据的内在特征，实现更准确的预测。

在实际应用中，负荷预测技术已经取得了显著的成效。通过引入先进的负荷预测技术，电网的负荷预测准确率可以得到大幅提升。这不仅使得电网运营商能够更加精准地制定调度计划，还有效降低了电网运行成本，提高了电网的可靠性和稳定性<sup>[11]</sup>。

负荷预测技术的准确性对于智能电网的能源管理与调度至关重要。因此，未来智能电网的发展将更加注重负荷预测技术的研究和应用，不断提高预测准确率，为智能电网的能源管理与调度提供更加

有力的支持。

### 2.3.2 能源优化算法

在智能电网中，能源优化算法是实现高效能源利用和管理的关键。这些算法通过收集和分析大量的能源数据，结合负荷预测技术，能够制定出最优的能源调度策略。例如，基于机器学习的能源优化算法，通过训练模型来预测未来的能源需求，并根据预测结果调整能源供应计划，以实现供需平衡和成本最小化。

在实际应用中，能源优化算法已经取得了显著的成效。以某大型工业园区为例，该园区采用了先进的能源优化算法，通过实时监测和分析各生产线的能源使用情况，实现了能源的高效调度和分配。据统计，该园区在实施能源优化算法后，能源利用率提高了15%，同时减少了10%的能源浪费。这一案例充分展示了能源优化算法在智能电网中的重要作用<sup>[12]</sup>。

能源优化算法的实现离不开先进的数据分析和计算模型。例如，基于深度学习的能源负荷预测模型，能够准确预测未来一段时间内的能源需求，为能源调度提供有力支持。此外，还有一些优化算法，如遗传算法、粒子群优化算法等，也被广泛应用于能源优化领域，通过不断迭代和优化，找到最优的能源调度方案<sup>[13]</sup>。

随着智能电网技术的不断发展，能源优化算法也将不断完善和创新。未来，我们可以期待更加高效、智能的能源优化算法的出现，为智能电网的发展注入新的动力。在智能电网领域，能源优化算法的创新将是不断追求的目标。

## 2.4 能源存储技术

### 2.4.1 电池储能技术

在智能电网的能源管理技术中，电池储能技术占据了举足轻重的地位。随着可再生能源的快速发展，如何高效、稳定地存储这些间歇性的能源成为了亟待解决的问题。电池储能技术以其高能量密度、快速响应和灵活部署的特点，成为了智能电网中不可或缺的组成部分。

电池储能技术通过存储电能，在电力需求高峰时释放，有效平衡了电网的供需关系。据国际能源署（IEA）报告，到2030年，全球电池储能市场规模预计将增长超过五倍，从而显著提升电网的可靠

性和稳定性。例如，在一个智能电网项目中，采用了先进的锂离子电池储能系统，成功实现了对可再生能源的平滑接入和高效利用，减少了电网的波动和损耗<sup>[14]</sup>。

电池储能技术的核心在于其高效的能量转换和存储能力。目前，锂离子电池以其高能量密度和长寿命成为了主流选择。然而，随着技术的不断进步，新型电池如固态电池、钠离子电池等也逐渐崭露头角，它们具有更高的安全性和更低的成本，为智能电网的能源管理提供了更多可能性。

此外，电池储能技术还面临着一些挑战，如成本、寿命和安全性等问题。为了克服这些挑战，研究人员正在不断探索新的材料、结构和制造工艺，以提高电池的性能和降低成本。同时，智能电网的能源管理系统也需要不断优化和完善，以更好地利用电池储能技术，实现能源的高效利用和可持续发展。

#### 2.4.2 超级电容器储能技术

在智能电网的能源管理技术中，超级电容器储能技术以其独特的优势逐渐崭露头角。超级电容器，作为一种新型的电化学储能器件，以其高功率密度、快速充放电能力和长循环寿命等特点，为智能电网的能源管理提供了强有力的支持。据研究数据显示，超级电容器能够在数秒内完成充放电过程，其功率密度是传统电池的数十倍，这使得它在应对电网瞬时功率波动和高峰负荷时具有显著优势。

在实际应用中，超级电容器储能技术已被广泛应用于智能电网的能源管理中。例如，在住宅能源管理系统中，超级电容器可以作为备用电源，在电网故障或停电时提供短暂的电力支持，确保家庭关键设备的正常运行。在工业能源调度系统中，超级电容器则能够平衡电网的功率波动，提高电网的稳定性和可靠性。此外，超级电容器还可以与可再生能源发电系统相结合，通过存储和释放能量，实现可再生能源的高效利用<sup>[15]</sup>。

分析模型显示，超级电容器储能技术在智能电网中的应用能够显著降低电网的运营成本和提高能源利用效率。通过优化储能系统的配置和调度策略，可以实现电网的供需平衡和能源的最优配置。同时，超级电容器储能技术还能够减少电网对化石能源的依赖，推动能源结构的转型和升级。

### 3 调度技术基础

#### 3.1 调度技术的概念与功能

调度技术作为智能电网中的核心组成部分，其概念涵盖了通过先进的信息通信技术和优化算法，对电网中的能源资源进行高效、安全、可靠的分配和调度。其功能不仅限于简单的能源分配，更包括了对电网运行状态的实时监控、预测分析以及故障应对等。在实际应用中，调度技术通过收集电网中的实时数据，利用先进的预测模型和算法，对能源需求进行精准预测，并根据预测结果制定最优的能源调度策略。

通过部署大量的传感器和智能设备，调度系统能够实时收集电网中的能源数据，包括发电量、用电量、电压、频率等关键指标。同时，利用先进的数据分析技术，调度系统能够对这些数据进行深入挖掘，发现电网运行中的潜在问题和风险<sup>[16]</sup>。

在能源调度策略的制定上，调度技术采用了实时调度和预测调度相结合的方式。实时调度策略根据电网的实时运行状态，对能源进行即时分配和调度，确保电网的稳定运行。而预测调度策略则基于历史数据和预测模型，对未来一段时间内的能源需求进行预测，并提前制定调度计划，以应对可能出现的能源短缺或过剩情况<sup>[17]</sup>。

此外，调度技术还注重电网的安全性和稳定性。通过引入故障检测与恢复技术，调度系统能够及时发现电网中的故障，并采取相应的措施进行修复，避免故障对电网运行造成影响。同时，稳定性分析与控制技术则通过对电网运行状态的实时监测和分析，确保电网在各种复杂环境下都能保持稳定的运行状态。

#### 3.2 调度系统的组成与运行

调度系统是智能电网中的核心组成部分，它负责协调和管理能源资源的分配与传输。一个典型的调度系统由多个关键组件构成，包括数据采集与监控系统（SCADA）、能源管理系统（EMS）、通信网络和调度中心。这些组件协同工作，确保电网的稳定运行并优化能源使用效率。

数据采集与监控系统（SCADA）是调度系统的基础，它通过安装在电网各节点的传感器实时收集电压、电流、功率等关键数据。这些数据经过处理后，被传输到能源管理系统（EMS）进行分析和决策。EMS利用先进的算法和模型，对电网的运行状

态进行实时监控和预测，从而制定出最优的能源调度策略。

通信网络是调度系统的神经中枢，它负责将 SCADA 收集的数据传输到 EMS，并将 EMS 的调度指令发送到电网的各个节点。随着 5G、物联网等通信技术的不断发展，调度系统的通信效率和可靠性得到了显著提升。例如，某电力公司采用 5G 通信技术构建的智能电网调度系统，实现了毫秒级的通信延迟和高达 99.999% 的可靠性，为电网的稳定运行提供了有力保障<sup>[18]</sup>。

调度中心是调度系统的核心，它负责接收 EMS 的分析结果和调度指令，并通过人机交互界面展示给调度员。调度员根据这些信息，结合自身的专业知识和经验，对电网进行实时调度和控制。同时，调度中心还具备故障检测与恢复功能，能够在电网发生故障时迅速定位并采取措施恢复供电。

在实际运行中，调度系统需要不断适应电网的变化和需求。例如，在可再生能源大规模接入电网的背景下，调度系统需要采用先进的预测算法和调度策略，以应对可再生能源的波动性和不确定性。此外，随着智能电网技术的不断发展，调度系统还需要与其他系统（如储能系统、电动汽车充电系统等）进行协同工作，以实现能源的高效利用和可持续发展。

### 3.3 调度技术的关键要素

调度技术的关键要素在于其策略与算法的设计，以及在实际运行中的灵活性和响应速度。在智能电网中，调度技术不仅要确保能源供应的稳定性和可靠性，还要实现能源的高效利用和成本优化。以实时调度策略为例，它依赖于高精度的负荷预测技术和快速响应的控制系统。据研究，采用先进的负荷预测算法，如基于机器学习的预测模型，可以将预测误差降低至 5% 以内，从而显著提高调度的准确性。此外，实时调度策略还需要与分布式能源资源（如太阳能、风能等）的波动性相匹配，确保电网的稳定运行<sup>[19]</sup>。

在分布式能源调度技术方面，微电网调度技术是一个重要的发展方向。微电网作为一个独立的电力系统，可以实现对内部能源资源的优化调度，并与主电网进行协调。例如，在一个包含太阳能光伏、风力发电和储能系统的微电网中，调度系统可以根

据实时负荷需求和能源供应情况，自动调整各能源资源的出力比例，实现能源的高效利用和成本优化。同时，微电网调度技术还需要考虑与主电网的交互，确保在紧急情况下能够为主电网提供必要的支持。

在调度技术的实施过程中，安全与稳定性问题不容忽视。故障检测与恢复技术是保障电网稳定运行的关键。通过引入先进的故障检测算法和快速响应的控制系统，可以实现对电网故障的及时发现和快速处理。此外，稳定性分析与控制技术也是调度技术的重要组成部分。它通过对电网运行状态的实时监测和分析，预测可能出现的稳定性问题，并采取相应的控制措施进行预防。例如，在电网负荷高峰时段，调度系统可以通过调整发电机的出力、优化负荷分配等方式，提高电网的稳定性并降低故障风险。

## 4 能源调度技术

### 4.1 能源调度策略与算法

#### 4.1.1 实时调度策略

在智能电网中，实时调度策略是能源管理与调度技术的核心组成部分，它对于确保电网的稳定运行和高效能源利用至关重要。实时调度策略基于先进的监测和预测技术，能够实时收集电网运行数据，并通过复杂的算法模型进行快速分析和决策。这种策略能够迅速响应电网中的变化，如负荷波动、设备故障等，从而实现对能源的实时优化调度。

实时调度策略的实施依赖于大量的实时数据。通过安装在电网各个环节的传感器，可以实时收集电压、电流、功率等关键参数。这些数据经过高速传输和处理后，被送入调度中心进行分析。调度中心采用先进的算法模型，如神经网络、机器学习等，对电网状态进行实时预测和评估。基于这些预测结果，调度中心可以制定出最优的能源调度方案，确保电网的稳定运行。

以某城市智能电网为例，该城市采用了实时调度策略来管理其能源系统。通过实时监测和预测电网负荷变化，调度中心能够提前预测出高峰负荷时段，并据此调整能源供应计划<sup>[20]</sup>。在高峰时段，调度中心会优先调度可再生能源，如太阳能和风能，以减少对传统能源的依赖。同时，调度中心还会根据电网的实时状态，对储能设备进行充放电控制，以平衡电网负荷和能源供应。

实时调度策略的实施不仅提高了电网的运行效率，还降低了能源浪费和环境污染。据统计，采用实时调度策略后，该城市的能源利用率提高了 10%，同时减少了 5% 的碳排放。这一成果充分证明了实时调度策略在智能电网中的重要作用。因此，我们应该继续加强实时调度策略的研究和应用，推动智能电网的持续发展<sup>[21]</sup>。

#### 4.1.2 预测调度策略

在智能电网中，预测调度策略是能源调度技术的核心组成部分，它基于对未来能源需求和供应的准确预测，实现电网的高效、稳定运行。预测调度策略依赖于先进的预测模型和算法，如机器学习、深度学习等，这些算法能够处理和分析大量的历史数据和实时数据，以预测未来的能源需求和供应情况。

以负荷预测技术为例，它通过分析历史负荷数据、天气数据、经济数据等多种因素，建立预测模型，对未来一段时间内的电力负荷进行预测。这种预测不仅可以帮助电网运营商提前制定调度计划，还可以优化能源分配，减少能源浪费。据研究，采用先进的负荷预测技术，可以将预测误差降低到 5% 以内，显著提高电网的调度效率和稳定性<sup>[22]</sup>。

在预测调度策略中，实时调度和预测调度是两种常用的策略。实时调度策略主要关注电网的实时运行状态，根据当前的能源需求和供应情况，实时调整能源分配和调度计划。而预测调度策略则更注重对未来能源需求和供应的预测，通过提前制定调度计划，实现能源的高效利用和电网的稳定运行。

以某城市智能电网为例，该城市采用了先进的预测调度策略，通过实时监测和分析电网的运行数据，结合负荷预测技术，提前预测未来的电力负荷情况。根据预测结果，电网运营商制定了详细的调度计划，包括能源分配、发电计划、储能计划等。在实际运行中，该城市的智能电网实现了高效、稳定的运行，有效应对了电力负荷的波动和变化，提高了能源利用效率，降低了能源浪费<sup>[23]</sup>。

### 4.2 分布式能源调度技术

#### 4.2.1 微电网调度技术

在智能电网的能源调度技术中，微电网调度技术占据了举足轻重的地位。微电网作为一个小型的、独立的电力系统，能够实现对局部区域内能源的有效管理和优化调度。随着分布式能源资源的不断增

加，微电网调度技术的重要性日益凸显。

微电网调度技术通过集成先进的通信、控制和优化算法，实现对微电网内部各种分布式能源资源的协调和优化。例如，在微电网中，太阳能光伏、风力发电、储能系统等分布式能源资源可以通过微电网调度技术进行统一管理和调度。通过实时监测和预测能源供需情况，微电网调度系统能够自动调整各种能源资源的出力，确保微电网的稳定运行并优化能源利用效率。

在实际应用中，微电网调度技术已经取得了显著的成效。以某工业园区微电网为例，该微电网集成了太阳能光伏、风力发电和储能系统等多种分布式能源资源。通过引入先进的微电网调度技术，该微电网实现了对内部能源资源的优化调度和高效利用。在能源供应充足时，微电网可以优先利用可再生能源发电，减少对传统能源的依赖；在能源供应紧张时，微电网可以通过储能系统释放能量，确保能源供应的稳定性。据统计，该微电网在引入微电网调度技术后，能源利用效率提高了 15%，同时减少了约 20% 的碳排放。

微电网调度技术的发展离不开先进的数据分析和预测技术。通过引入大数据分析和机器学习算法，微电网调度系统能够更准确地预测能源供需情况，并提前做出调度决策。此外，随着物联网技术的不断发展，微电网调度系统还能够实现对各种分布式能源资源的实时监控和远程控制，进一步提高能源调度的效率和准确性。

综上所述，微电网调度技术是智能电网中不可或缺的一部分。通过集成先进的通信、控制和优化算法，微电网调度技术能够实现对分布式能源资源的有效管理和优化调度，提高能源利用效率并减少碳排放。随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，微电网调度技术将在未来发挥更加重要的作用。

#### 4.2.2 多能源互补调度技术

在智能电网的能源调度技术中，多能源互补调度技术扮演着至关重要的角色。这一技术通过整合不同能源类型，如太阳能、风能、水能等可再生能源，以及传统的化石能源，实现能源间的互补利用，从而提高能源利用效率，降低能源浪费。采用多能源互补调度技术的电网系统，其能源利用效率可提高至 80% 以上，相较于传统电网系统有着显著的优

势<sup>[24]</sup>。

多能源互补调度技术的核心在于其调度策略与算法。例如，在实时调度策略中，系统会根据当前各种能源的供应情况和需求预测，动态调整各种能源的出力比例，确保电网的稳定运行。同时，预测调度策略则基于对未来能源供应和需求的预测，提前制定调度计划，以应对可能出现的能源短缺或过剩情况。这种灵活多变的调度方式，使得多能源互补调度技术能够适应各种复杂的能源供应和需求场景。

在实际应用中，多能源互补调度技术已经取得了显著的成效。在风能资源丰富的地区，当风力发电过剩时，系统会将多余的电能储存起来或转化为热能；而在风力发电不足时，则通过太阳能或生物质能进行补充。这种多能源互补的调度方式，不仅提高了能源的利用效率，还降低了对单一能源的依赖，增强了电网的稳定性和可靠性。

此外，多能源互补调度技术还面临着一些挑战。其中，如何确保各种能源之间的协调配合，以及如何实现能源的高效储存和转换，是亟待解决的问题。为此，需要进一步加强技术研发和创新，推动多能源互补调度技术的不断完善和发展。同时，还需要加强国际合作和交流，共同推动智能电网和能源管理技术的全球发展。

随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，多能源互补调度技术将在智能电网中发挥越来越重要的作用，推动能源行业的可持续发展。

### 4.3 能源调度中的安全与稳定性问题

#### 4.3.1 故障检测与恢复技术

在智能电网的能源调度中，故障检测与恢复技术扮演着至关重要的角色。随着电网的智能化和复杂化，故障发生的可能性和影响范围也随之增加。因此，如何快速准确地检测故障并恢复系统正常运行，成为了能源调度技术中不可或缺的一环。

故障检测技术通常依赖于先进的传感器网络和数据分析模型。通过实时监测电网中的各项参数，如电压、电流、频率等，传感器能够捕捉到任何异常变化。一旦检测到异常，系统会立即触发故障检测算法，对异常数据进行分析 and 比对，以确定故障的类型和位置。这种基于大数据和机器学习的故障检测方法，不仅提高了检测的准确性和效率，还能够在故障发生前进行预警，为调度人员提供宝贵的时

间窗口。

在故障恢复方面，智能电网采用了多种技术手段。一方面，通过优化调度策略，系统能够自动调整能源分配和传输路径，以绕过故障区域，确保能源供应的连续性和稳定性。另一方面，智能电网还配备了先进的故障隔离和恢复设备，如智能开关和断路器。一旦故障被确认，这些设备能够迅速切断故障区域与正常区域的联系，防止故障扩散，并启动备用电源或能源存储设备，以维持关键负荷的供电。

以某城市智能电网为例，该城市在能源调度系统中集成了先进的故障检测与恢复技术。在一次突发的线路故障中，系统通过传感器网络迅速检测到了异常，并触发了故障检测算法。经过分析，系统确定了故障的具体位置和类型，并自动调整了能源调度策略，将故障区域的负荷转移到其他线路。同时，智能开关和断路器迅速切断了故障区域与正常区域的联系，防止了故障扩散。最终，在短短几分钟内，系统就恢复了正常供电，确保了城市的能源供应安全稳定<sup>[25]</sup>。

综上所述，故障检测与恢复技术是智能电网能源调度中不可或缺的一环。通过先进的传感器网络、数据分析模型和故障隔离恢复设备的应用，智能电网能够实现故障的快速准确检测和高效恢复，确保能源供应的连续性和稳定性。

#### 4.3.2 稳定性分析与控制技术

在智能电网的能源调度中，稳定性分析与控制技术扮演着至关重要的角色。随着分布式能源和可再生能源的大规模接入，电网的稳定性面临着前所未有的挑战。稳定性分析技术通过构建复杂的数学模型，模拟电网在各种运行条件下的动态行为，从而预测和评估电网的稳定性。例如，基于状态估计和潮流计算的稳定性分析方法，能够实时监测电网的运行状态，及时发现潜在的不稳定因素。

控制技术则是实现电网稳定运行的关键。通过先进的控制算法和策略，如自适应控制、预测控制等，可以实现对电网的精确控制，确保电网在各种扰动下都能保持稳定运行。例如，在微电网中，通过分布式控制策略，可以实现对多个分布式能源单元的协调控制，提高微电网的稳定性和可靠性。

在实际应用中，稳定性分析与控制技术已经取得了显著的成效。以某地区智能电网为例，通过引



入先进的稳定性分析技术和控制策略，成功实现了对电网的实时监测和精确控制。在多次自然灾害和突发事件中，该电网均表现出了出色的稳定性和可靠性，确保了当地居民的用电需求。这一案例充分证明了稳定性分析与控制在智能电网中的重要性。

此外，随着人工智能和大数据技术的不断发展，稳定性分析与控制技术也将迎来新的发展机遇。通过引入机器学习算法和大数据分析技术，可以实现对电网运行数据的深度挖掘和分析，进一步提高稳定性分析的准确性和控制策略的有效性。

## 5 技术应用与挑战

### 5.1 能源管理与调度技术在智能电网中的应用案例

#### 5.1.1 住宅能源管理系统

在智能电网的能源管理与调度技术中，住宅能源管理系统（HEMS）扮演着至关重要的角色。随着能源消费模式的转变和环保意识的提升，越来越多的家庭开始采用 HEMS 来优化能源使用。HEMS 通过集成先进的传感器技术、数据传输与处理技术，能够实时监测家庭的能源使用情况，包括电力、燃气、水等资源的消耗。通过数据分析，HEMS 能够预测家庭的能源需求，并据此制定能源优化策略，如调整家电的运行时间、优化供暖系统等，以实现节能减排的目标。

据一项研究数据显示，采用 HEMS 的家庭平均能减少约 20% 的能源消耗。例如，在电力消耗方面，HEMS 可以根据家庭的用电习惯和电价波动情况，智能地调整家电的运行时间，避免在高峰时段使用高能耗设备，从而降低电费支出。同时，HEMS 还可以与可再生能源系统（如太阳能光伏发电系统）相结合，实现能源的互补利用，进一步提高能源利用效率<sup>[26]</sup>。

在能源调度方面，HEMS 通过实时调度策略，能够确保家庭能源供应的稳定性和可靠性。当家庭能源需求发生变化时，HEMS 可以迅速调整能源供应策略，确保家庭能源需求的满足。此外，HEMS 还可以与智能电网的调度系统相连通，实现家庭能源与公共电网的协同调度，进一步提高能源利用效率和稳定性。

然而，住宅能源管理系统的应用也面临着一些

挑战。首先，数据安全与隐私保护是亟待解决的问题。由于 HEMS 需要收集和处理大量的家庭能源使用数据，如何确保这些数据的安全性和隐私性成为了重要的议题。其次，技术标准与互操作性问题也需要关注。目前市场上存在多种不同品牌和型号的 HEMS 产品，如何实现这些产品之间的互联互通和协同工作是一个亟待解决的问题。为了解决这些问题，需要制定统一的技术标准和规范，并加强技术研发和创新。

综上所述，住宅能源管理系统是智能电网中能源管理与调度技术的重要应用之一。通过实时监测、预测和优化家庭能源使用，HEMS 能够实现节能减排的目标，提高能源利用效率。然而，在应用过程中也需要注意数据安全与隐私保护、技术标准与互操作性等问题。随着技术的不断发展和完善，相信 HEMS 将在未来发挥更加重要的作用，为智能电网的建设和发展做出更大的贡献。

#### 5.1.2 工业能源调度系统

在工业领域，能源调度系统扮演着至关重要的角色。随着智能电网技术的不断发展，工业能源调度系统正逐步实现智能化、高效化。以某大型钢铁企业为例，该企业通过引入先进的能源调度系统，实现了对生产线上各个环节的能源实时监控和调度。系统通过传感器技术实时采集生产设备的能耗数据，并利用数据传输与处理技术将数据传输至中央控制系统。中央控制系统运用负荷预测技术和能源优化算法，对能源需求进行精准预测，并据此制定能源调度策略。通过实时调度策略和预测调度策略的结合，该企业成功降低了能源浪费，提高了能源利用效率<sup>[27]</sup>。

在工业能源调度系统中，分布式能源调度技术也发挥着重要作用。微电网调度技术允许企业根据自身需求，将分布式能源（如太阳能、风能等）与主电网进行灵活调度，实现能源的自给自足和余电上网。多能源互补调度技术则通过整合多种能源资源，实现能源的优化配置和互补利用。这些技术的应用不仅提高了能源利用效率，还增强了企业的能源供应稳定性。

然而，工业能源调度系统也面临着一些挑战。数据安全与隐私保护是其中最为突出的问题之一。由于能源调度系统涉及到大量的敏感数据，如能源

使用情况、设备运行状态等，一旦数据泄露或被篡改，将对企业造成巨大的损失。因此，在设计和实施工业能源调度系统时，必须充分考虑数据安全问题，采取有效的加密和防护措施。此外，技术标准与互操作性也是制约工业能源调度系统发展的关键因素之一。不同企业、不同设备之间的数据格式和通信协议存在差异，导致数据难以共享和互通。因此，需要制定统一的技术标准和通信协议，以实现不同系统之间的无缝对接和协同工作。

展望未来，工业能源调度系统将向智能化、高效化方向发展。随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断发展，工业能源调度系统将具备更强的数据处理能力和智能决策能力。同时，新兴技术如区块链、边缘计算等也将为工业能源调度系统带来新的发展机遇。这些技术的应用将进一步提高能源利用效率、降低能源成本、增强能源供应稳定性，为工业领域的可持续发展提供有力支持。

## 5.2 技术应用中的挑战与解决方案

### 5.2.1 数据安全与隐私保护

在智能电网的能源管理与调度技术中，数据安全与隐私保护是至关重要的一环。随着智能电网的不断发展，大量的能源数据被采集、传输和处理，这些数据不仅包含了电网的运行状态，还涉及用户的用电习惯、能源消费模式等敏感信息。因此，如何确保这些数据的安全与隐私，成为了智能电网技术发展中不可忽视的问题。

在能源数据采集与监测过程中，传感器技术作为关键的一环，其安全性直接影响到整个系统的数据安全。近年来，一些黑客攻击事件表明，通过攻击传感器网络，可以窃取或篡改能源数据，对电网的稳定运行构成威胁。因此，加强传感器网络的安全防护，采用加密传输、访问控制等技术手段，是确保能源数据安全的重要措施。

在能源调度系统中，数据的安全与隐私同样至关重要。调度系统需要实时处理大量的能源数据，以制定最优的调度策略。然而，如果这些数据被恶意攻击者窃取或篡改，将会导致调度决策的失误，甚至引发电网崩溃等严重后果。因此，调度系统必须采用严格的数据加密、访问控制、审计追踪等技术手段，确保数据的安全与隐私。

此外，随着智能电网的不断发展，能源数据的

安全与隐私保护也面临着新的挑战。例如，随着物联网、大数据、云计算等技术的广泛应用，能源数据的传输、存储和处理变得更加复杂和多样化。这要求我们必须采用更加先进的安全技术手段，如区块链技术、差分隐私技术等，来确保能源数据的安全与隐私。

在实际应用中，一些成功的案例也为我们提供了宝贵的经验。例如，某电力公司采用区块链技术构建了一个去中心化的能源交易平台，通过智能合约实现能源交易的自动化和透明化，同时确保了交易数据的安全与隐私。这一案例不仅展示了区块链技术在能源管理与调度领域的应用前景，也为我们提供了解决数据安全与隐私问题的新思路。

总之，数据安全与隐私保护是智能电网能源管理与调度技术发展中不可忽视的问题。我们必须采用先进的技术手段和管理措施，确保能源数据的安全与隐私，为智能电网的稳定运行和可持续发展提供有力保障。

### 5.2.2 技术标准与互操作性

在智能电网的能源管理与调度技术中，技术标准与互操作性是确保系统高效运行和广泛应用的关键因素。随着智能电网技术的不断发展，各种设备和系统之间的数据交换和协同工作变得日益重要。然而，由于不同厂商、不同技术路线之间的差异，导致技术标准不统一，互操作性受限，这成为制约智能电网发展的瓶颈之一。

为了解决这一问题，国际电工委员会（IEC）和国际标准化组织（ISO）等权威机构制定了一系列智能电网技术标准，如 IEC 61850 系列标准，用于规范变电站自动化系统的通信网络和系统。这些标准不仅规定了数据模型、通信协议和接口要求，还强调了系统的开放性、可扩展性和互操作性。通过遵循这些标准，不同厂商的设备可以无缝集成到智能电网系统中，实现数据的共享和协同工作。

在实际应用中，技术标准与互操作性的重要性不言而喻。以住宅能源管理系统为例，该系统需要集成各种智能设备，如智能电表、智能插座、智能家居控制器等。如果这些设备之间缺乏统一的技术标准和互操作性，将导致数据无法共享、系统无法协同工作，从而严重影响系统的性能和用户体验。因此，在设计和实施住宅能源管理系统时，必须充分

考虑技术标准与互操作性的要求，选择符合标准的设备和系统，确保系统的稳定性和可靠性。

此外，随着智能电网技术的不断发展，新兴技术如物联网（IoT）、大数据、云计算等也在能源管理与调度领域得到广泛应用。这些技术的应用不仅提高了系统的智能化水平，也对技术标准与互操作性提出了更高的要求。例如，在物联网技术中，各种智能设备需要通过网络进行连接和数据交换。如果缺乏统一的技术标准和互操作性，将导致设备之间无法通信、数据无法共享，从而限制了物联网技术在智能电网中的应用。因此，在制定智能电网技术标准时，必须充分考虑新兴技术的特点和发展趋势，确保技术标准的先进性和适用性。

总之，技术标准与互操作性是智能电网能源管理与调度技术发展的重要保障。通过制定统一的技术标准、加强设备之间的互操作性、充分利用新兴技术的优势，可以推动智能电网技术的快速发展和广泛应用，为能源行业的可持续发展做出重要贡献。

## 6 未来展望与发展趋势

### 6.1 能源管理与调度技术的未来发展方向

随着全球能源需求的持续增长和环保意识的日益增强，能源管理与调度技术的未来发展方向愈发清晰。首先，智能化将是能源管理与调度技术的重要趋势。通过引入人工智能、大数据分析和机器学习等先进技术，能源管理系统能够实现对能源使用的精准预测和优化，从而提高能源利用效率，降低能源浪费。例如，智能电网系统通过实时收集和分析电力数据，能够预测电力负荷变化，并自动调整能源供应策略，确保电网的稳定运行<sup>[28]</sup>。

其次，可再生能源的集成与调度将成为能源管理与调度技术的重要方向。随着太阳能、风能等可再生能源技术的快速发展，如何将这些可再生能源有效地集成到能源管理系统中，并实现与传统能源的协同调度，将是未来能源管理与调度技术的重要挑战。通过引入先进的能源调度算法和策略，如多能源互补调度技术和微电网调度技术，可以实现可再生能源与传统能源的互补利用，提高能源供应的可靠性和经济性。

此外，能源存储技术的发展也将对能源管理与调度技术产生深远影响。随着电池储能技术和超级电容器储能技术的不断进步，能源存储系统的容量

和效率将得到显著提升。这将使得能源管理系统能够更加灵活地应对能源供应和需求的变化，提高能源系统的稳定性和可靠性。例如，在工业能源调度系统中，通过引入先进的能源存储技术，可以实现电能的峰谷调节，降低企业的能源成本。

最后，能源管理与调度技术的未来发展方向还将受到新兴技术的推动。如物联网技术、云计算技术等，将为能源管理与调度技术提供更多的创新应用。通过将这些新兴技术与能源管理与调度技术相结合，可以实现能源数据的实时共享和协同处理，提高能源管理的效率和准确性。同时，新兴技术的应用也将为能源管理与调度技术带来更多的挑战和机遇，需要我们不断探索和创新。

综上所述，能源管理与调度技术的未来发展方向将呈现出智能化、可再生能源集成与调度、能源存储技术发展和新兴技术应用等趋势。这些趋势将推动能源管理与调度技术的不断进步和创新，为能源行业的可持续发展提供有力支持。

### 6.2 新兴技术在能源管理与调度中的应用前景

随着科技的飞速发展，新兴技术在能源管理与调度中的应用前景愈发广阔。以人工智能（AI）和物联网（IoT）为例，这些技术正逐步改变着能源行业的面貌。AI 技术通过深度学习和大数据分析，能够实现对能源需求的精准预测，从而优化能源调度策略，提高能源利用效率。据国际能源署（IEA）报告，采用 AI 技术的能源管理系统能够降低至少 10% 的能源消耗。同时，IoT 技术通过实时数据采集和传输，使得能源调度更加灵活和高效。例如，在微电网中，IoT 技术能够实时监控分布式能源设备的运行状态，实现能源的自主调度和平衡，确保能源供应的稳定性和可靠性。

此外，区块链技术也在能源管理与调度中展现出巨大的潜力。区块链技术以其去中心化、透明化和不可篡改的特性，为能源交易和调度提供了新的解决方案。通过构建基于区块链的能源交易平台，可以实现能源的直接交易和点对点调度，降低交易成本，提高能源利用效率。同时，区块链技术还能够确保能源交易的安全性和可信度，为能源行业的可持续发展提供有力保障。

除了上述技术外，量子计算、5G 通信等新兴技术也在能源管理与调度中展现出广阔的应用前景。

量子计算技术以其超强的计算能力和优化能力，为能源优化调度提供了新的思路和方法。而 5G 通信技术的高速、低延迟特性，则为能源数据的实时传输和处理提供了有力支持。这些新兴技术的应用，将使得能源管理与调度更加智能化、高效化和可持续化，为能源行业的未来发展注入新的活力。

### 6.3 智能电网对能源行业的深远影响

智能电网对能源行业的深远影响不仅体现在技术革新上，更在于其对能源结构、能源利用效率和能源安全性的全面优化。随着智能电网技术的不断发展，能源行业正经历着前所未有的变革。以能源管理技术为例，智能电网通过先进的传感器技术和数据传输处理技术，实现了对能源数据的实时采集与监测，为能源的高效利用提供了有力支撑。据中商产业研究院数据显示，智能电网的推广使得电力自动化市场规模持续增长，2021 年已达到 1244.6 亿元，这充分证明了智能电网在推动能源行业转型升级中的重要作用<sup>[29]</sup>。在能源调度技术方面，智能电网通过实时调度策略和预测调度策略，有效提升了能源调度的精准性和灵活性。例如，南方电网抽水蓄能人工智能数据分析平台 XS-1000D 的投运，实现了对抽水蓄能电站设备的智能巡检和状态诊断，每年可创造经济效益约 1760 万元。这一案例充分展示了智能电网在能源调度领域的巨大潜力，为能源行业的可持续发展提供了有力保障<sup>[30]</sup>。智能电网对能源行业的深远影响还体现在其对能源结构的优化上。智能电网通过整合多种能源资源，实现了多能源互补调度，有效提高了能源利用效率。同时，智能电网还推动了清洁能源的发展，为能源行业的绿色转型提供了有力支持。智能电网正是通过技术创新和模式创新，为能源行业的解放和发展注入了新的活力。

展望未来，智能电网将继续引领能源行业的变革。随着人工智能、大数据、云计算等新兴技术的不断发展，智能电网将在能源管理与调度领域发挥更加重要的作用。同时，智能电网还将推动能源行业的数字化转型和智能化升级，为能源行业的可持续发展注入新的动力。

### 参考文献

[1] Cheng L, Yu T. Smart dispatching for energy internet with

complex cyber - physical - social systems: A parallel dispatch perspective[J]. International Journal of Energy Research, 2019, 43(8): 3080-3133.

- [2] Wen G, Yu X, Liu Z. Recent progress on the study of distributed economic dispatch in smart grid: an overview[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2021, 22(1): 25-39.
- [3] Yin L, Gao Q, Zhao L, et al. Expandable deep learning for real-time economic generation dispatch and control of three-state energies based future smart grids[J]. Energy, 2020, 191: 116561.
- [4] 吴泉清. 智能电网下新能源与常规能源协调发展策略研究 [J]. 光源与照明, 2024, (04): 189-191.
- [5] 张楠. 智能电网下的能源存储技术及其应用 [J]. 中华纸业, 2024, 45 (03): 73-75.
- [6] Lund H, Thellufsen J Z, Sorknaes P, et al. Smart energy Denmark. A consistent and detailed strategy for a fully decarbonized society[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2022, 168: 112777.
- [7] 戴诗容. 面向智能电网的清洁能源联合供电系统的设计与实现 [J]. 电子技术, 2024, 53 (02): 158-159.
- [8] 胡龙江. 智能电网中的能源监测与优化策略分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41 (01): 308-309.
- [9] 庞思颜, 饶欢, 梅傲琪, 等. 面向智能电网能源枢纽的需求响应策略研究 [J]. 制造业自动化, 2023, 45 (10): 141-146.
- [10] 吴笛. 新能源接入智能电网的技术分析 [J]. 太阳能学报, 2023, 44 (09): 554.
- [11] 邱益林. 智能电网可再生能源微电网系统设计分析 [J]. 太阳能学报, 2023, 44 (08): 568.
- [12] 洪小骏, 朱剑辉, 夏天泉, 等. 基于人工智能算法的卫星能源优化调度研究[J]. 中国高新科技, 2023, (19): 33-35.
- [13] Yin L, Gao Q, Zhao L, et al. Expandable deep learning for real-time economic generation dispatch and control of three-state energies based future smart grids[J]. Energy, 2020, 191: 116561.
- [14] Liu W J, Chi M, Liu Z W, et al. Distributed optimal active power dispatch with energy storage units and power flow

- limits in smart grids[J]. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2019, 105: 420-428.
- [15] 卢璐,张旺,肖莹,等. 考虑可再生能源成本特征的智能电网优化运行研究[J]. *微型电脑应用*, 2023, 39 (08): 91-93.
- [16] 陈竞,杜杰,李宇远. 智慧能源大数据下的智能电网云平台快速响应方法 [J]. *微型电脑应用*, 2023, 39 (07): 109-113.
- [17] Lü Q, Liao X, Li H, et al. Achieving acceleration for distributed economic dispatch in smart grids over directed networks[J]. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 2020, 7(3): 1988-1999.
- [18] Li F, Qin J, Zheng W X. Distributed Q-Learning-Based Online Optimization Algorithm for Unit Commitment and Dispatch in Smart Grid[J]. *IEEE transactions on cybernetics*, 2019, 50(9): 4146-4156.
- [19] 梁小姣,王琳,李文杰. 新能源发电在智能电网发展中的应用 [J]. *中国高新科技*, 2022, (22): 37-39.
- [20] 万艳妮. 智能电网能源管理与需求响应优化运行策略及方法研究[D]. 中国科学技术大学, 2022.
- [21] 刘晓燕, 拓天电力可再生能源并网的智能电网安全管控技术研究及应用. 安徽省, 安徽省拓天电力设计咨询有限公司, 2022-01-06.
- [22] 李国俭,刘智超. 智能电网及其在新能源发电中的应用分析 [J]. *企业管理*, 2021, (S1): 344-345.
- [23] 吴漾,王鹏宇. 基于人工智能的智能电网储能技术应用——评《智能电网储能:可再生能源的规划与运行》 [J]. *电池*, 2020, 50 (06): 614-615.
- [24] 黄琦, 智能电网与能源互联网关键技术研究. 四川省, 电子科技大学, 2020-09-03.
- [25] Joseph A, Balachandra P. Smart grid to energy internet: A systematic review of transitioning electricity systems[J]. *Ieee Access*, 2020, 8: 215787-215805.
- [26] 余贻鑫. 分布式可再生能源和智能电网——数字化社会的重大基础设施 [J]. *机器人产业*, 2020, (04): 20-24.
- [27] 王田,梁洋洋. 基于智能电网技术的能源网络供应链买电策略研究 [J]. *中国管理科学*, 2021, 29 (07): 110-117.
- [28] 闫立军. 基于智能电网的清洁能源联合供电系统 [J]. *集成电路应用*, 2020, 37 (06): 132-133.
- [29] Wang J, Zhang L, Liu Z, et al. A novel decomposition-ensemble forecasting system for dynamic dispatching of smart grid with sub-model selection and intelligent optimization[J]. *Expert Systems with Applications*, 2022, 201: 117201.
- [30] 白勇. 智能电网下新能源与常规能源如何协调发展 [J]. *信息记录材料*, 2020, 21 (01): 190-191.

**版权声明:** ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**