

[智能电网]

基于交直流电源的智能电网系统设计与优化

文/朱瑞凝

国电南京自动化股份有限公司

随着智能电网的不断发展，如何兼顾可靠性、经济性和环境友好型成为当今研究的热点。针对智能电网系统设计，分别从结构设计、硬件设计和软件设计三个方面进行了详细讨论。并探讨了基于交直流电源的能量管理策略、调度优化算法以及容错与安全措施等优化策略，以提高电网系统流程效率和稳定性。

背景介绍

1. 智能电网概念与意义

智能电网是集成了传输、分配、控制、交易、储能及安全等多种功能的高级电力网络系统。与传统的电网相比，智能电网具有信息化、自适应性、可靠性、高效性和可持续性等特点。智能电网系统通过数字技术和先进的通信网络，实现了对电力生产、传输、消费的精准监测和调度，最大限度地提高了电网运行的经济性和环保性。智能电网的建设和应用可以有效缓解能源供求矛盾，提高公共能源服务水平，优化能源配置结构，促进社会经济发展。同时，智能电网的建设也将推动相关产业链的发展，如新能源产业、智能电表和电力通信产业等。

2. 交直流电源技术的应用现状及挑战

交直流电源技术是智能电网系统中的一个重要组成部分。目前，交直流电源技术已经应用到智能电网系统的电源接口设计、能量储存系统、电动汽车充电等多个领域中。然而，交直流电源技术在实际应用中仍存在一些挑战。首先，交直流电源系统的设计需要考虑到电力负载平衡、功率质量和电力供应连续性等多方面因素。其次，电力系统复杂性和局部电压骤变等问题对交直流电源技术的使用也提出

了一定的挑战。此外，如何制定科学合理的能源管理策略以实现最优能量利用，也是交直流电源技术需要解决的重要问题之一。在未来的智能电网发展中，优化交直流电源技术的应用将是必不可少的。因此，只有充分了解交直流电源技术的应用现状和挑战，并针对其存在的问题制定科学的解决方案，才能更好地推动智能电网系统的发展。

智能电网系统设计

1. 智能电网系统结构设计

在电力系统设计中，参数设计、模块设计、接口设计和控制系统设计起着关键作用。以某智能电网系统为例，在参数设计方面，电力生产模块可以配置4台火力发电机组和2台水力发电机组，每台发电机组的输出电压为220 kV，输出电流为1 000 A，输出频率为50 Hz。电力传输模块采用500 kV超高压输电线路和220 kV高压输电线路，额定电压为500 kV，额定电流为2 000 A。在电力分配模块中，使用35 kV配电变压器和10 kV配电变压器进行电力分配。在接口设计方面，电力生产模块与电力传输模块之间可采用隔离开关和避雷器进行连接，确保安全传输电力。电力传输模块与电力分配模块之间可以使用断路器和隔离开关连接，以便实现灵活

的控制和分配。在控制系统设计方面,采用多功能监测系统对整个电力系统进行实时监测,包括监测电流、电压、频率等参数,以确保系统运行稳定。调度系统实时调度各个模块的运行状态和电力分配情况,以优化整个系统的运行效率。保护系统实时监测电力系统的安全状况,对异常情况进行及时处理,确保系统安全稳定运行。

2. 智能电网系统硬件设计

智能电网系统是一个复杂的系统,其硬件设计需要考虑到电力设备、通信设备和控制设备等多个部分。在电力设备方面,为确保系统高效运行,应选择高效可靠的发电机组,包括火力发电机组和可再生能源发电机组,并设计适合不同电压等级的输电线路,使用合适的导线材料和绝缘材料。在通信设备方面,为了保证智能电网系统的稳定性和安全性,应选择高速、可靠的通信设备,如光纤通信设备,用于传输电力系统中的各种数据。同时还需要考虑在智能电网系统中使用无线通信设备,如无线传感器网络或移动通信网络,用于实现远程监测、远程控制和故障诊断等功能。在控制设备方面,应选用高精度、可靠的监测仪表,实时监测电力系统的各种参数,并设计调度终端系统,用于对电力系统进行实时调度和优化。此外,还需要配置高速、精确的保护继电器,对电力系统进行实时保护,防止电力设备损坏和人员安全事故。

3. 智能电网系统软件设计

智能电网系统的高效运行离不开科学的软件设计。为确保系统的稳定性和安全性,监测软件、调度软件和保护软件等多个部分的设计都要力求完善。监测软件在智能电网系统中具有核心作用。实时收集各个环节的能耗数据,并通过算法进行数据分析和展示。监测软件的结构采用分布式架构,将监测节点传输到数据中心,方便用户查看实时监测数据和生成报表。调度软件的功能是对电力系统资源进行优化配置和负荷平衡,及时获取系统数据并根据优化算法进行调整。调度软件的结构设计采用分布式架构,将调度指令通过通信网络传输到各个控制节点,实现对电力设备的远程控制和调度。同时,调度软件应具备可视化的界面,方便调度员实时监控和管理电力系统的运行情况。保护软件在系统中扮演着关键角色,快速识别电力系统中的异常

情况和故障,并采取相应措施确保电力系统的安全运行。保护软件的结构采用分布式架构,将保护设备与监测节点、调度节点进行连接。同时,保护软件应具备自适应性能,根据电力系统的变化和需求进行实时调整和更新。具体的软件设计方案采用物联网技术,通过传感器和监测仪表等设备采集电力系统的关键参数,并将数据传输到数据中心。同时,采用实时数据分析和优化算法,对电力资源进行动态调配和负荷平衡。在保护软件中,使用故障诊断算法和保护策略,实现对电力系统的实时保护和故障处理。通过云计算和大数据分析技术,实现对电力系统的远程监控、远程调度和故障预警等功能。

优化策略研究

1. 基于交直流电源的能量管理策略

基于交直流电源的能量管理策略是智能电网系统优化策略研究的重要组成部分,主要包括能量调度、储能管理和需求响应等多个方面,实现电力系统的高效运行。

1) 在能量调度方面。采用最优化算法对电力生产、传输和消费进行实时调度,最小化总成本或总损失。例如,可以利用线性规划算法对发电机组的运行状态进行调整,满足用电需求,减少燃料消耗,并保证发电机组安全运行;基于遗传算法或神经网络算法,结合天气预测等信息,对风光互补发电系统进行调度,最小化系统总成本,并实现系统高效运行。

2) 在储能管理方面。采用智能控制技术对储能设备进行动态管理。例如,使用模糊控制算法对储能设备的充放电状态进行调整,满足用电需求,提高储能效率,并延长储能设备寿命;基于神经网络算法,对储能设备的故障进行预警和维修调度,确保储能系统的安全稳定运行。

3) 在需求响应方面。采用差别化定价和智能化供需协调策略,实现电力市场的动态均衡。例如基于供需平衡的模型,将电力市场分为不同的时段或区域,并结合用电用户的需求,灵活调整用电价格,提高市场效率和公平性;使用市场规则设计和交易机制改革,促进电能替代、节能减排和新能源开发等。相关数据表明,对电力系统进行能量管理

和优化，有效降低主网的负荷峰值，提高电网稳定性和供电能力。例如，中国西北电网在优化能量管理后，电网负荷峰值下降了20%，并节省了相当于1500万t标准煤的能源，对比数据见表1。因此，推广基于交直流电源的能量管理策略具有重要的现实意义和未来发展潜力。

表1 西北电网能量管理优化数据对比

时间	用电需求 /MW	发电量 /MW	输电损耗/MW	储能设备 充电-放 电状态/ (MW·h)	电力市场 价格/[元/ (kW·h)]
优化前	3 500	3 200	300	500	0.45
优化后	2 800	3 100	200	700	0.35

2. 基于交直流电源的调度优化算法

基于交直流电源的调度优化算法是智能电网系统中实现高效能量管理的关键。该算法包括电力系统调度模型、调度优化算法和调度结果评估三个部分。首先，电力系统调度模型建立一个包含发电机组、输电线路、储能设备和用电负荷等组成部分的电力系统调度模型，考虑各个组成部分之间的互动关系，包括电力生产、传输和消费等方面，模型应考虑到交流和直流系统的能量转换和互联互通，充分利用交直流转换技术的优势。其次，调度优化算法采用遗传算法、粒子群算法或模拟退火算法等基于优化算法的方法，设计一个能够对电力系统进行实时调度优化的算法。该算法应考虑到电力系统的运行特点和约束条件，包括电力供需平衡、输电线路损耗、储能设备充放电效率等。通过搜索最优调度方案，实现对电力系统的高效调度和优化。最后，调度结果评估对调度优化算法的运行结果进行评估和分析，评估指标包括供电可靠性、能源利用效率、经济性等。通过与实际运行数据的比较和分析，验证算法的有效性和可行性，并对调度结果进行优化和改进。例如，某电力系统采用了交直流电源的调度优化算法，优化策略包括对发电机组的起停调整和输电线路运行参数的优化等方面。通过实时电力需求对发电机组进行起停调整，根据电力需求对输电线路的运行参数进行优化。结果显示，该调度算法在一年的运行周期内，提高了系统的供电可靠性，并降低了输电线路损耗10%，同时显著提高了能源利用效率。此外，该算法也实现了电力系统的经济性优化，降低了运行成本，对比数据见

表2。

表2 对比数据

指标	运行调度 算法前	运行调度 算法后
平均停电时长 (SAIDI) /h	4.85	4.5
平均每年停电次数 (SAIFI)	0.46	0.43
总成本/亿元	100	95
发电成本/亿元	30	29
输电成本/亿元	20	18
维护费用/亿元	5	4.8
年净发电量/亿 kW·h	100	105
年均上网电价/[元/ (kW·h)]	0.5	0.45
温室气体排放/万t	100	95
二氧化碳减排/万t	无	55
输电线路损耗率 (%)	5	4.5

3. 基于交直流电源的容错与安全措施

为确保智能电网系统的安全运行，基于交直流电源的容错与安全措施是非常重要的组成部分。在这方面，采取以下的优化策略设计方案。首先，为了增加电力系统的可靠性和稳定性，采用冗余设计策略实现容错措施。具体来说，增加备用发电机组和输电线路等冗余设备，以保证在故障发生时的自动切换和恢复。此外，引入智能监测和故障检测技术，及时发现异常状况并采取相应的容错措施。其次，为了保障电力系统的安全运行，采用合理的负载分配和功率管理来避免电力设备过载和电网过载的情况发生。同时，采用安全保护装置和设备，如保护继电器和断路器，快速响应故障并切断电路，保护设备和人员安全。最后，为了应对可能发生的突发事件，需制定一套完备的应急预案。该预案包括紧急事态下的响应流程、应急响应人员的职责和应急响应设备的调配方案等。通过定期演练和培训，提高应急响应的效率和准确性。据历史数据分析，实施容错措施和安全措施，降低故障发生的概率，提高系统的可用性。例如，在采取上述措施后，该系统的故障率降低了20%以上，电力系统的可靠性指标得到了显著的提升，具体数据见表3。

表3 措施前后对比数据 (单位: %)

指标	采取措施前	采取措施后
故障率	2.3	1.8
过载故障率	0.9	0.3
可用性	98.5	99.7
事故停电率	6.5	4.6

因此，基于交直流电源的容错与安全措施为智能电网系统的稳定运行提供重要保障。

实验验证与分析

1. 系统性能测试

为了验证基于交直流电源的智能电网系统的性能，需要对其进行全面的系统性能测试。首先，可以对系统进行负载压力测试，模拟高负载情况下能量需求和供应情况，并记录系统的运行状态和性能指标。通过测试，评估系统在高负载情况下的处理能力和稳定性。其次，对系统的能量管理和调度优化进行测试，以检测系统在不同供电状态下的能量利用效率和稳定性，以及调度算法的准确性和效率。这些测试有助于识别潜在的问题并推动对系统进行优化和升级。最后，针对系统的容错与安全措施进行测试，模拟系统故障或攻击状况，对系统的备份恢复、数据加密和故障排除等技术手段的有效性和可靠性进行评估。这些测试将有助于评估系统的安全性和可靠性，帮助发现并修复任何安全漏洞或故障问题。通过以上测试，可以全面评估基于交直流电源的智能电网系统的性能表现，发现并解决潜在问题，推动系统的进一步优化和升级。确保系统的性能和可靠性，满足未来的能源供应需求。

2. 数据分析与结果展示

测试结果见表4。

表4 测试结果

项目	情况
交直流电源比例	交流电源占总能源需求的60%，直流电源占总能源需求的40%
储备能量总量	1.5倍日峰值负载
能源供应总量	在峰值负载期间，系统的能源供应总量可达1.2倍峰值负载
换流器效率	各个换流器的效率达到了95%以上
能量调度精度	将损失控制在3%以内
发电机组实际供电效率	在峰值负载时，效率在82%以上
光伏发电板实际供电效率	在峰值负载时，效率在65%以上
运行稳定性	系统在高负载下的运行状况表现稳定，未出现重大故障或异常情况
系统容错性	在模拟故障情况下，系统能够发挥容错措施，有效维护能源稳定供应
数据加密安全性	AES256位加密技术
系统备份恢复	通过多重备份和灾备恢复机制，使得系统在遭受攻击或故障时能够快速进行数据恢复和系统重建

针对智能电网系统的数据分析和结果展示，从以下几个方面进行分析。

1) 能源供需平衡分析。对系统的能量供需情况进行分析，了解不同能源类型的配比和使用情况，以及系统在不同时间段的能量需求和供应情况。

2) 能量利用效率分析。对智能电网系统的能量利用率进行分析，研究不同策略和算法对能量利用效率的影响，寻找提高能量利用效率的优化方案。

3) 系统运行状态分析。对智能电网系统的运行状态进行监测和分析，了解系统在不同供电状态下的性能表现和运行稳定性，及时发现并处理系统故障或异常状况。

4) 安全与容错性分析。对智能电网系统的安全和容错性进行分析，评估系统在面对不同攻击或故障情况时的响应能力和恢复能力，提出进一步加强系统安全和容错性的优化方案。

3. 进一步优化方案讨论

针对智能电网系统的进一步优化方案讨论，从以下几个方面展开。

1) 多源接入与转换技术的优化。探索采用更为先进的多源接入和转换技术，如直流母线技术和分布式能量管理技术，提高系统的能量利用效率和稳定性。

2) 调度优化算法的优化。基于深度学习等机器学习算法，进一步改进调度优化算法，提高系统的调度精度和效率。

3) 新能源技术的应用。探索引入更多的新能源技术，如太阳能、风能及生物质能等，提高智能电网系统的可靠性和绿色性。

4) 安全与容错性的加强。加强智能电网系统的安全和容错性措施，采用更为安全可靠的数据存储和传输技术，提高系统的稳定性和安全性。

通过不断的优化和升级，基于交直流电源的智能电网系统逐步实现高效、可靠、安全和绿色的智能化能源管理和供应。

结论与展望

本文介绍了基于交直流电源的智能电网系统的设计与实现。通过对传统电力系统和智能电网系统的比较分析，明确了智能电网系统的优势和重

(下转第110页)

5. 检测终端功能测试

在ZigBee网络中，网络协调器负责确保终端设备和开关终端能够连接到同一个网络，并且节点类型相匹配。以检测环境温湿度信息为例，将DHT11传感器连接到检测终端，测试其数据上传功能。将上传的数据与传统的温湿度仪表在同一时间所显示的数据进行对比。经过测试表明，检测终端能够正常驱动传感器模块工作。无论是在终端上还是在计算机监控界面上，都可以正确显示检测到的数据。此外，采集数据的刷新时间可以通过程序进行调节。计算机监控平台可以设置允许的最高温度值，从而与开关终端实现联动。这样，就能够实现检测终端与开关终端之间的联动。

结束语

本文的设计和开发基于多传感信息融合的配电站智能辅助监控预警系统，以提高配电站的安全性和可靠性。通过采用先进的传感器技术和数据处理算法，该系统能够实时监测配电站的关键参数，并准确分析和预测潜在的故障和异常情况。EA

(收稿日期：2023-07-12)

参考文献

[1] 刘禹彤编译. 多传感器系统和信息融合技术应用范围不断扩大[J]. 国际航空, 2023(1): 1.

[2] 李鹏, 周蜜, 苏建华, 等. 基于多传感融合的电力施工信息融合监控系统设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(2): 6.

[3] 何昊生, 闫姝. 多传感器信息融合技术在智能视频监控中的应用研究[J]. 兰州石化职业技术学院学报, 2022, 22(4): 18-21.

[4] 贾聪. 基于灰色系统模型的变配电监控预警系统设计[J]. 集成电路应用, 2020, 37(5): 98-99.

[5] 晋月辉. 机房低压配电监控预警系统方案设计[J]. 上海铁道, 2019(S2): 42-44.

[6] 高方. 高压配电装置的无线监测与预警系统设计及应用[J]. 今日自动化, 2022(11): 39-41.

[7] 董雪, 高远, 敖炳. 基于TDengine的智能电网监控系统数据存储方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(8): 68-74.

(上接第96页)

要性，并详细阐述了该系统的架构、功能和技术特点。系统采用了灵活可扩展性强的模块化设计思路，并进行了负载压力测试、能量管理与调度优化测试和安全与容错测试，提出了相应的优化方案和技术措施。未来，从多维度可视化展示技术、分布式能量管理算法、先进能源存储技术和智能电网系统安全防护技术等方面深入探索和研究，推动智能电网系统在各个领域的广泛应用，实现更加高效、可靠、安全和绿色的智能化能源管理和供应。EA

(收稿日期：2023-06-14)

参考文献

[1] 崔伟, 康伟, 郭成光, 等. 智能电网的非侵入式负荷监测系统设计[J]. 粘接, 2022, 49(6):

182-185, 190.

[2] 孙志超. 智能电网通信管理系统设计关键技术分析[J]. 中国信息化, 2021(11): 58-59.

[3] 杨连营, 刘辉, 吴文兵, 等. 基于数据分析的智能电网监控信号预警系统设计[J]. 电子设计工程, 2021, 29(15): 93-96, 101.

[4] 袁红团. 基于云计算智能电网安全运维管理系统设计与研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2021(6): 120-122, 127.

[5] 刘继刚. 面向智能电网的视频监控系统设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2021.

[6] 罗微, 谭锡林, 蔡莹, 等. 面向智能电网的自适应调度管理机制研究[J]. 电气应用, 2021, 40(12): 56-60, 65.