

南方电网计量中人工智能应用研究报告

1. 南方电网计量系统概览

1.1 南方电网简介

中国南方电网有限责任公司(以下简称南方电网)作为中国两大电网企业之一,肩负着保障中国南方五省区——广东、广西、云南、贵州和海南电力供应的重要职责¹。南方电网覆盖广阔的区域,服务着庞大的人口,其电力基础设施的现代化对于支撑经济发展和人民生活至关重要。面对新一轮科技革命和产业变革的机遇,南方电网积极响应国家战略,致力于深化数字化转型,构建数字南方电网,以提升能源利用效率和管理水平³。

构建智能、高效、可靠、绿色的现代电网是南方电网的核心发展方向¹。为了实现这一目标,南方电网高度重视数字技术的应用,并积极推进数字化电网的建设,协调推进电网、服务和运营的数字化,以及数字产业化⁴。通过数字技术的深度融合,南方电网旨在提升电网的安全可靠性,增强应对极端灾害的能力,并提高清洁能源的接纳、分配和调控能力⁴。这其中,人工智能(AI)作为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,被南方电网视为推动企业转型升级、实现高质量发展的重要引擎。

1.2 南方电网智能电表基础设施

南方电网已经建立了广泛的智能电表基础设施,为未来人工智能应用的深入发展奠定了坚实的基础⁶。目前,南方电网部署了多种类型的智能电表,包括满足不同用户需求的单相智能电表和三相智能电表¹²。这些智能电表不仅具备精确计量有功电能的功能,还集成了阶梯电价、分时计量、远程费控等高级特性,能够满足南方电网在智能电能表技术、功能和型式规范方面的要求¹³。

在数据采集方面,南方电网采用了多种先进的通信协议和技术,以实现智能电表数据的实时、高效传输¹⁴。这些技术包括5G、NB-IoT、电力线载波通信、RS485通信、蓝牙通信和红外通信等,能够适应不同的应用场景和网络环境,确保电网公司能够及时获取用户的用电信息,并对计量异常、电能质量等进行实时监控¹⁴。

经过多年的建设和推广,南方电网已经基本实现了智能电表和低压集中抄表系统在服务区域内的全覆盖⁶。这意味着,传统的依赖人工上门抄表的方式已经成为历史,取而代之的是通过智能化的系统对居民用电进行记录和管理。全覆盖的智能电表基础设施不仅提升了抄表的效率和准确性,更为后续基于海量用电数据的分析和应用,特别是人工智能技术的应用,提供了宝贵的数据资源。

1.3 电能信息采集与管理系统

为了有效地管理和利用智能电表采集的海量数据,南方电网构建了完善的电能信息采集与管理系统¹⁶。该系统是南方电网数字化基础设施的重要组成部分,旨在实现对电网运行数

据的全面感知、高效处理和智能应用。系统架构涵盖了数据采集、传输、存储、管理和应用等多个关键环节，能够支持电网运行监测、故障诊断、需求侧管理、线损分析等多种业务需求¹⁶。

南方电网在电能信息采集与管理系统的建设过程中，严格遵循国家和行业的相关标准与规范，如GB/T 42556-2023《电能信息采集与管理系统 第1部分：总则》以及DL/T 698系列标准¹⁷。这些标准规范了系统的技术要求、通信协议、数据格式等，确保了不同设备和系统之间的互联互通和数据共享。同时，南方电网还积极探索和应用云计算、大数据等先进技术，构建了如南方电网云平台等数字化平台，为海量电能数据的存储、处理和分析提供了强大的技术支撑¹⁶。

电能信息采集与管理系统在南方电网的运营中发挥着至关重要的作用。它不仅为电费结算提供了准确的数据基础，还为电网的安全稳定运行、能效管理、客户服务等提供了有力的数据支撑。通过对采集到的电能数据进行深入分析和挖掘，南方电网能够更好地了解用户的用电行为，优化电网的运行方式，提升供电质量和服务水平。这为未来进一步引入人工智能技术，实现电网的智能化管理和运营奠定了坚实的基础。

2. 人工智能在智能电网中的应用现状

2.1 全球智能电网中的人工智能应用概述

在全球范围内，人工智能(AI)正在智能电网领域展现出巨大的应用潜力，成为推动能源行业转型升级的关键驱动力²²。AI技术凭借其强大的数据分析、模式识别和预测能力，正在被广泛应用于智能电网的各个环节，以提升电网的效率、可靠性和可持续性。

在负荷预测方面，AI算法能够分析历史用电数据、气象信息、经济指标等多种因素，实现对短期、中期和长期电力负荷的精准预测，帮助电网运营商更好地平衡电力供需，优化发电计划，降低运营成本²²。在故障检测方面，AI技术可以通过分析电网运行数据中的异常模式，快速准确地识别和定位电网故障，缩短故障排除时间，提高供电可靠性²³。

AI还在电网优化方面发挥着重要作用，例如通过智能算法优化电网的拓扑结构、调整电压水平、提高输电效率，并实现对分布式能源(如太阳能、风能)的高效管理和并网²²。此外，AI技术也被应用于电网安全领域，通过分析网络流量和设备运行状态，及时发现和应对潜在的网络安全威胁，保障电网的安全稳定运行²²。

随着全球对可再生能源的日益重视，AI在促进可再生能源与电网的融合方面也扮演着关键角色²²。AI算法能够预测风能、太阳能等可再生能源的发电量，优化储能系统的运行策略，并实现需求侧响应，从而更好地利用清洁能源，减少对传统化石能源的依赖。

2.2 中国智能电网人工智能应用进展

中国在智能电网建设和人工智能技术发展方面均取得了显著进展，为AI在智能电网领域的

应用奠定了坚实的基础²⁵。中国政府高度重视智能电网的现代化和智能化，并出台了一系列政策措施，鼓励和支持AI技术在能源行业的创新应用。与此同时，中国在AI基础研究和产业发展方面也取得了举世瞩目的成就，为智能电网的AI应用提供了强大的技术支撑。

中国的两大电网企业——国家电网公司和南方电网均积极拥抱AI技术，并在其智能电网建设中进行了广泛的探索和实践⁶。国家电网和南方电网都投入了大量资源用于AI技术的研发和应用，旨在提升电网的智能化水平，提高运营效率，改善客户服务，并推动能源结构的绿色转型。

值得一提的是，中国在发展自主可控的AI技术和平台方面取得了重要突破，这为保障国家能源安全和推动电力行业的数字化转型提供了坚实的技术保障⁴。中国不仅在AI算法和模型方面取得了进展，还在AI芯片、操作系统等底层技术方面实现了自主研发，为智能电网的AI应用提供了更加安全可靠的技术基础。

2.3 南方电网在人工智能领域的探索与实践

南方电网在人工智能领域进行了积极的探索和实践，展现出其拥抱新技术、推动数字化转型的决心和行动⁵。为了更好地开展AI技术的研究和应用，南方电网成立了数字电网研究院，专注于智能电网、数字化和人工智能等关键技术的研究³。该研究院旨在加速智能电网和数字南方电网的建设，并为公司的生产、运营、管理和发展提供全方位的网络安全和数字化支持与服务³。

南方电网自主研发了“大瓦特”人工智能模型，并将其应用于智能巡检、智能客服、负荷预测等多个业务领域，取得了显著成效⁵。例如，“大瓦特”模型能够高效处理电力设备巡检图像，识别缺陷，辅助电网运行人员进行决策，并提升客户服务的智能化水平。

此外，南方电网还积极组织 and 参与各类AI竞赛和创新平台建设，旨在激发创新活力，促进AI技术在电力行业的应用²⁶。通过这些举措，南方电网不仅推动了自身AI技术的发展，也为整个电力行业的智能化转型贡献了力量。

3. 人工智能在南方电网电能计量中的应用

3.1 智能电表数据分析

人工智能(AI)在南方电网电能计量中的应用主要体现在对海量智能电表数据的智能分析³⁴。通过运用机器学习、深度学习等AI算法，南方电网能够从智能电表数据中挖掘出有价值的信息，用于模式识别、异常检测和用户行为分析³⁴。例如，AI可以识别用户的用电习惯，从而提供个性化的节能建议和用电指导⁴¹。此外，AI还可以分析电网的负荷特性，为需求侧响应提供数据支撑，优化电力资源的分配和利用⁹。

通过对智能电表数据的深入分析，南方电网能够更好地了解电网的运行状态，预测未来的电力需求，并为电网的规划和运营提供科学依据。AI技术还可以应用于识别智能电表数据

中的异常情况,例如电表故障、计量失准等,从而提高计量系统的可靠性和准确性⁴⁶。

3.2 窃电检测

电力窃盗是困扰电力行业的一个长期问题,给电力公司造成了巨大的经济损失。人工智能技术为南方电网提供了更高效、更精准的窃电检测手段⁴⁸。通过分析智能电表用户的用电模式,AI算法可以识别出与正常用电行为不符的异常模式,这些异常模式很可能就是窃电行为的迹象⁴⁸。

南方电网可以利用各种机器学习模型,如支持向量机(SVM)、神经网络等,对用户的用电数据进行分类和预测,从而识别出潜在的窃电用户⁴⁹。与传统的依赖人工经验或简单规则的方法相比,AI驱动的窃电检测系统能够处理更复杂的数据,发现更隐蔽的窃电行为,并降低误报率⁵⁰。这有助于南方电网减少非技术性损失,提高经济效益,并维护公平的用电环境。

3.3 负荷预测

准确的负荷预测对于电网的安全稳定运行和经济高效调度至关重要。南方电网正在广泛应用人工智能和机器学习模型,以提高电力负荷预测的精度²⁶。通过分析历史负荷数据、气象信息、节假日、重大活动等多种因素,AI模型能够更准确地预测未来的电力需求,包括短期、中期和长期负荷预测⁶⁴。

南方电网已经建成了国内首个单轨运行网省一体的人工智能负荷预测平台,其AI负荷预测的平均准确率达到了97.4%³³。高精度的负荷预测有助于南方电网优化发电计划,合理安排电网运行方式,降低备用容量需求,提高电网的经济性和安全性⁶⁴。尤其是在新能源大规模接入的背景下,准确的负荷预测对于平衡电网的供需、保障电网的稳定运行具有更加重要的意义。

3.4 电能质量监测与分析

电能质量直接影响着电力系统的安全稳定运行以及用户的用电设备的正常工作。南方电网正在利用人工智能技术加强对电能质量的监测与分析⁸⁰。通过对智能电表、故障录波器、在线监测装置等采集到的电压、电流、谐波等电能质量参数进行AI分析,南方电网能够实时监测电网的电能质量状况,及时发现和诊断电能质量问题⁸⁰。

AI技术可以用于识别和分类各种电能质量扰动,如电压骤降、电压骤升、谐波超标、三相不平衡等,帮助运维人员快速定位故障原因,并采取相应的措施进行治疗⁸⁰。此外,AI还可以预测电能质量恶化的趋势,为电网的预防性维护提供支持,确保电网以良好的电能质量为用户供电。南方电网还要求新能源发电项目配置电能质量在线监测装置,并利用AI技术进行分析,以确保新能源的并网不对电网的电能质量造成不良影响⁹⁵。

4. 人工智能赋能电能计量的优势与益处

4.1 提高计量精度与可靠性

人工智能在南方电网电能计量中的应用显著提高了计量的精度和可靠性⁴⁶。AI算法能够检测智能电表数据中的异常和潜在的错误，例如识别出计量模块的故障、通信异常导致的数据丢失或损坏，以及由于外部干扰或人为因素造成的计量偏差⁴⁶。通过对这些异常数据的识别和校正，AI可以确保计量数据的准确性，为电费结算和电网运行分析提供更可靠的基础。此外，AI还可以用于预测智能电表的运行状态和潜在的故障风险，实现对计量设备的预测性维护，从而减少因设备故障导致的计量中断，提高计量系统的整体可靠性⁴⁸。更精确和可靠的计量数据不仅有助于公平公正的电费结算，也为南方电网优化线损管理、评估电网效率提供了重要的数据支撑¹⁶。

4.2 提升运营效率与降低成本

人工智能在电能计量领域的应用为南方电网带来了显著的运营效率提升和成本降低⁷。首先，AI驱动的智能电表数据采集系统实现了自动化抄表和数据传输，极大地减少了对人工抄表的依赖，降低了人力成本和抄表错误率⁷。其次，AI技术能够分析计量设备的运行状态，预测潜在的故障，并指导运维人员进行预测性维护，从而减少了计划外停电和紧急维修的次数，降低了维护成本³⁵。此外，AI还可以优化计量设备的部署和管理，例如根据用户用电模式和电网运行状况，智能地配置和调度计量资源，提高资源利用效率，降低运营成本。通过提升计量系统的自动化水平和智能化管理能力，AI助力南方电网实现更高效、更经济的运营。

4.3 优化客户服务与体验

人工智能在电能计量中的应用也为南方电网优化客户服务与体验带来了诸多益处⁴²。基于AI对智能电表数据的分析，南方电网可以为客户提供更加个性化的能源服务，例如根据用户的用电习惯和偏好，提供定制化的节能建议、用电指导和账单分析⁴²。此外，AI驱动的客户服务系统，如智能客服机器人，可以24小时在线解答客户关于电费、用电量、电能质量等方面的咨询，提供更加便捷高效的服务⁴⁵。通过AI对计量数据的实时监控和分析，南方电网还可以主动发现客户可能遇到的用电问题，例如异常高电费、电能质量波动等，并及时联系客户提供帮助，从而提升客户的满意度和忠诚度²³。

4.4 促进可再生能源集成与电网稳定性

随着可再生能源的大规模接入电网，对电网的稳定性和运行提出了新的挑战。人工智能在电能计量领域的应用可以有效地促进可再生能源的集成，并增强电网的稳定性²³。首先，AI技术可以提高对可再生能源发电量的预测精度，例如通过分析气象数据和历史发电数据，更准确地预测太阳能和风能的发电量，从而帮助电网运营商更好地调度和平衡电力供应²³。其次，AI可以优化分布式能源（如屋顶光伏）的计量和管理，实现对分布式电源的智能监控

和调度,提高其接入电网的效率和可靠性。此外,AI还可以分析用户的用电行为,预测用户的柔性负荷,并通过需求侧响应等方式,引导用户在可再生能源发电高峰时段增加用电,从而促进可再生能源的消纳,并提高电网的整体稳定性²³。

5. 在南方电网实施人工智能计量面临的挑战与考量

5.1 数据安全与隐私

在南方电网实施人工智能计量,首要的挑战和考量是数据安全与隐私²⁴。智能电表产生并传输大量的用户用电数据,这些数据涉及用户的日常行为和习惯,具有高度的敏感性。因此,如何确保这些数据的安全,防止数据泄露、篡改和滥用,是南方电网在推广AI计量应用过程中必须高度重视的问题¹⁰⁸。

南方电网需要建立完善的数据安全管理体系,采取先进的技术手段,如数据加密、访问控制、安全审计等,来保护用户数据的安全¹⁰⁹。同时,还需要遵守相关的法律法规,明确数据的使用范围和权限,并加强对用户隐私的保护¹¹⁵。此外,南方电网还可以探索和应用隐私保护技术,如联邦学习、差分隐私等,在利用AI分析数据的同时,最大限度地保护用户的隐私¹¹⁴。

5.2 与现有基础设施的集成

另一个重要的挑战在于如何将人工智能技术与南方电网现有的计量基础设施进行有效的集成¹¹⁶。南方电网已经拥有庞大的智能电表部署和复杂的电能信息采集与管理系统,将新的AI算法、模型和平台融入到这些既有系统中,可能会面临技术兼容性、数据接口、系统稳定性等方面的问题¹¹⁶。

为了克服这些挑战,南方电网需要进行周密的规划和设计,确保AI系统能够与现有的计量设备、通信网络和数据平台无缝对接¹¹⁶。采用开放的标准和接口,建立统一的数据模型,进行充分的测试和验证,是保障集成成功的关键。此外,南方电网还可以考虑分阶段、逐步地引入AI技术,优先在一些关键业务领域进行试点应用,积累经验后再进行更大范围的推广。

5.3 技术和人才缺口

人工智能是一个快速发展的新兴技术领域,将其应用于电力计量需要既懂AI技术又熟悉电力系统专业知识的复合型人才¹⁰⁰。目前,市场上这类人才相对稀缺,可能会成为南方电网实施AI计量应用的一个瓶颈¹⁰⁰。

为了解决人才缺口问题,南方电网可以采取多种措施,如加强内部培训,提升现有员工的AI技能;与高校和科研机构合作,共同培养专业人才;积极引进外部的AI专家和团队¹⁰⁰。此外,南方电网还可以建立激励机制,吸引和留住AI人才,为AI在电力计量领域的创新应用提供

人才保障。

5.4 监管与政策环境

人工智能在电力行业的应用尚处于发展初期，相关的监管政策和行业标准也在不断完善中¹¹⁶。南方电网在实施AI计量应用时，需要密切关注国家和地方政府的政策导向，遵守相关的法律法规和行业规范¹¹⁶。

例如，关于智能电表数据的管理和使用，可能涉及到数据隐私保护、数据安全标准等方面¹¹⁶。南方电网需要确保其AI计量应用符合这些监管要求。同时，南方电网也可以积极参与相关政策和标准的制定，为AI技术在电力行业的健康发展贡献力量。

6. 人工智能在电能计量领域的未来趋势与机遇

6.1 生成式人工智能的应用

生成式人工智能(Generative AI)作为AI领域的前沿技术，未来有望在电能计量领域展现出巨大的潜力¹²³。生成式AI模型能够学习并生成新的数据、模式和解决方案，可以应用于优化电网运行、增强决策支持等方面¹²³。例如，在电能计量中，生成式AI可以用于合成更真实的模拟计量数据，以扩充训练数据集，提高AI模型的性能¹²⁵。此外，还可以利用生成式AI技术创建更智能化的客户服务工具，如能够理解和生成自然语言的智能客服，提升用户体验¹²⁴。

6.2 人工智能与物联网的融合

随着物联网(IoT)技术的快速发展，智能电网中部署的各种传感器和设备数量将持续增加，产生更加海量、多维度的数据²³。人工智能与物联网的深度融合将为电能计量带来前所未有的机遇²³。通过AI分析来自各种IoT设备的数据，可以实现对电网运行状态、设备健康状况、用户用电行为等更加全面和精细的感知，从而为电能计量的智能化应用提供更丰富的数据基础和更强大的分析能力。

6.3 个性化能源服务与需求侧响应

未来，人工智能将驱动电能计量向更加个性化、智能化的方向发展⁴³。基于AI对用户用电数据的深入理解，南方电网可以为每位客户提供量身定制的能源服务，例如智能化的节能建议、个性化的用电套餐、实时的用电反馈等⁴³。同时，AI还将赋能更精准、更灵活的需求侧响应，通过智能化的激励机制和控制手段，引导用户在电网负荷高峰时段减少用电，在低谷时段增加用电，从而优化电网的负荷曲线，提高能源利用效率。

6.4 基于人工智能的电网安全与弹性

在未来的智能电网中，基于人工智能的电网安全与弹性将变得越来越重要⁴²。AI技术可以

用于构建更加智能化的网络安全防御体系，实时监测和分析电网中的异常行为，预测和应对潜在的网络攻击，保障计量数据的安全和系统的稳定运行⁴²。此外，AI还可以提升电网的弹性，通过智能化的故障诊断和恢复策略，在发生电网故障时快速定位故障点，自动隔离故障区域，并优化电网的重构方案，缩短停电时间，提高供电可靠性²²。

7. 结论与建议

南方电网在电能计量领域积极探索和应用人工智能技术，已在智能电表基础设施建设、电能信息采集与管理系统构建方面取得了显著进展。人工智能在智能电表数据分析、窃电检测、负荷预测和电能质量监测等方面的应用，为南方电网带来了提高计量精度与可靠性、提升运营效率与降低成本、优化客户服务与体验、促进可再生能源集成与电网稳定性等多重优势。

然而，在实施人工智能计量应用的过程中，南方电网也面临着数据安全与隐私保护、与现有基础设施的集成、技术和人才缺口、监管与政策环境等多方面的挑战。为了更好地发挥人工智能在电能计量中的作用，并应对未来的发展趋势和机遇，本报告提出以下建议：

- 加强数据安全与隐私保护：将数据安全与隐私保护置于优先地位，建立完善的数据安全管理体系，采用先进的技术手段，探索隐私保护技术，确保用户数据的安全和合规使用。
- 深化与现有基础设施的集成：注重AI系统与现有计量系统、通信网络和数据平台的无缝集成，采用开放标准和接口，进行充分的测试和验证，确保系统的稳定性和可靠性。
- 加大技术和人才投入：加强内部培训，引进外部专家，与高校和科研机构合作，建立人才培养体系，为AI在电力计量领域的创新应用提供人才保障。
- 积极参与监管与政策制定：密切关注国家和行业政策动向，确保AI计量应用符合监管要求，并积极参与相关政策和标准的制定，促进行业的健康发展。
- 前瞻性布局未来趋势：关注生成式人工智能、物联网与AI的融合等未来技术趋势，积极探索其在电能计量领域的应用潜力，为未来的智能化发展做好准备。
- 持续推进创新应用：继续鼓励和支持AI技术在电能计量领域的创新应用，通过组织竞赛、建立创新平台等方式，激发创新活力，推动技术成果的转化和应用。

展望未来，人工智能将在南方电网的电能计量领域发挥越来越重要的作用，助力南方电网构建更加智能、高效、安全、可靠和绿色的现代电力系统，为服务数字中国建设和推动能源行业高质量发展做出更大的贡献。

表1: 人工智能在智能电网中的应用比较

应用领域	AI 技术	优势	挑战	关联 Snippet
------	-------	----	----	------------

负荷预测	机器学习, 深度学习	提高预测精度, 优化发电计划	数据质量, 模型复杂性	64
窃电检测	机器学习, 神经网络	准确识别窃电行为, 减少损失	数据不平衡, 模型泛化能力	49
电能质量监测	机器学习, 深度学习	实时监测, 快速诊断, 预测趋势	数据噪声, 特征提取	80
故障检测与诊断	机器学习, 专家系统	快速定位故障, 缩短停电时间	模型训练数据, 故障类型多样	22
可再生能源集成	机器学习, 优化算法	优化并网, 提高利用率	预测精度, 电网稳定性	22

表2: 人工智能在南方电网电能计量中的优势与挑战

方面	AI 优势	AI 挑战	关联 Snippet
计量精度与可靠性	检测和校正数据异常, 预测设备故障	模型偏差, 数据质量影响	16
运营效率与成本	自动化抄表, 优化维护, 资源智能分配	集成复杂性, 初始投入成本	7
客户服务与体验	个性化服务, 智能客服, 主动问题发现	隐私保护, 数据安全	42
可再生能源集成与电网稳定性	提高预测精度, 优化分布式能源管理	预测不确定性, 电网动态性	23
数据安全与隐私	更强的异常检测能力, 安全策略优化	数据泄露风险, 隐私保护技术应用	24
技术与人才	提升分析能力, 发现潜在模式	专业人才缺乏, 技术快速迭代	100
监管与政策	辅助合规, 提升透明度	政策不确定性, 标准滞后	116

Works cited

1. China Southern Power Grid, accessed May 6, 2025, https://obor.nea.gov.cn/v_country/getData.html?id=1124&webSiteId=2
2. Demystifying China's Power Grid - PTR Inc., accessed May 6, 2025, <https://ptr.inc/demystifying-chinas-power-grid/>
3. China Southern Power Grid established the world's first digital power grid research institute, accessed May 6, 2025, <https://en.eeworld.com.cn/news/newenergy/eic607313.html>
4. CSG Accelerates Construction of Digital Power Grids, accessed May 6, 2025, http://en.ccceu.eu/2024-05/07/c_4268.htm
5. China Southern Power Grid accelerates the promotion of quality, efficiency, and power reforms to promote high-quality development through high-quality and efficient reforms, accessed May 6, 2025, https://www.wellsun.com/EN/news_detail_1551.html
6. State Grid to dominate Chinese smart meters deployment | Smart Energy International, accessed May 6, 2025, <https://www.smart-energy.com/regional-news/asia/the-state-grid-corporation-of-china-to-dominate-the-deployment-of-smart-meters-ahead-of-other-utilities/>
7. 南方电网五省区抄表员“下岗了”_滚动新闻_中国政府网, accessed May 6, 2025, https://www.gov.cn/xinwen/2018-12/26/content_5352422.htm
8. 人工抄表退出“历史舞台” 南方电网完成智能电表和低压集抄全覆盖, accessed May 6, 2025, <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c10107591/content.html>
9. 南方电网实现智能电表和低压集抄全覆盖 - 国际电力网, accessed May 6, 2025, <https://power.in-en.com/html/power-2306388.shtml>
10. 南方电网实现智能电表和低压集抄全覆盖-北极星电力新闻网, accessed May 6, 2025, <https://m.bjx.com.cn/mnews/20181224/951482.shtml>
11. 【探究】智能电表数据分析方法及应用 - 电力-北极星电力网, accessed May 6, 2025, <https://m.bjx.com.cn/mnews/20150806/650240.shtml>
12. Southern Power Grid Meter - Star Instrument, accessed May 6, 2025, <https://www.szstar.com/Products/Southern-Power-Grid-Meter/index.html>
13. A-level single-phase intelligent energy meter, accessed May 6, 2025, <https://www.sz-jj.com/en/sys-pd/78.html>
14. Neoway 5G Commercially Deployed in China Southern Power Grid, Accelerating Digitalization of Smart Grid, accessed May 6, 2025, <http://blog.neoway.com/company-news/1603.html>
15. 5G Accelerate Smart Grid - GSMA, accessed May 6, 2025, https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/07/2_1_5G-Enabled-Smart-Grid-Applications_China-Southern-Power-Grid.pdf
16. (PDF) China Southern Power Grid's power supply reliability development strategy under digital transformation - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/354092529_China_Southern_Power_Grid's_power_supply_reliability_development_strategy_under_digital_transformation
17. DL/T698.1-2021: 电能信息采集与管理系统第1部分: 总则 - 国标电子书库, accessed May 6, 2025,

- <https://ebook.chinabuilding.com.cn/zbooklib/book/detail/show?SiteID=1&bookID=152667>
18. 目录 - 国家标准信息公共服务平台 - 国家市场监督管理总局, accessed May 6, 2025, <https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=FC816D04FF2862EBE05397BE0A0AD5FA>
 19. 行业标准 - 国家标准信息公共服务平台 - 国家市场监督管理总局, accessed May 6, 2025, <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F23CBBBB19E05397BE0A0AB44A>
 20. 行业标准 - 国家标准信息公共服务平台, accessed May 6, 2025, <https://std.samr.gov.cn/hb/search/stdHBDetailed?id=8B1827F1C452BB19E05397BE0A0AB44A>
 21. 南方电网数字电网集团实现一批核心元器件国产化替代, accessed May 6, 2025, https://news.youth.cn/jsxw/202212/t20221215_14198368.htm
 22. Role of artificial intelligence in smart grid – a mini review - Frontiers, accessed May 6, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2025.1551661/full>
 23. Smart Grids and AI: The Future of Efficient Energy Distribution - IoT Times, accessed May 6, 2025, <https://iot.eetimes.com/smart-grids-and-ai-the-future-of-efficient-energy-distribution/>
 24. Artificial Intelligence Technologies Applied to Smart Grids and Management - Preprints.org, accessed May 6, 2025, <https://www.preprints.org/manuscript/202406.1248/v2/download>
 25. Smart grids - IEA, accessed May 6, 2025, <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>
 26. 南方电网2024年生产域AI算法应用竞赛举行 - 新闻 - 科学网, accessed May 6, 2025, <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2024/6/524127.shtm>
 27. 南方电网:释放“AI+电力”无限潜能 - 中国能源新闻网, accessed May 6, 2025, https://cpnn.com.cn/news/dianli/2023/202406/t20240617_1710666.html
 28. 南方电网发布大瓦特算力交易平台 - 新闻 - 科学网, accessed May 6, 2025, <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2024/8/528375.shtm>
 29. 南方电网举办AI算法应用竞赛构建电力行业自主可控生态圈, accessed May 6, 2025, <https://m.bjx.com.cn/mnews/20240606/1381527.shtml>
 30. 释放“AI+电力”无限潜能 - 人民日报, accessed May 6, 2025, http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2024-06/24/content_26066488.htm
 31. 南方电网“大瓦特”的故事 - 人民日报, accessed May 6, 2025, http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2024-06/17/content_26065100.htm
 32. 南网:当AI遇上真实的电力场景 - 欧盟中国商会, accessed May 6, 2025, http://www.ccceu.eu/2024-06/26/c_4353.htm
 33. 南方电网新“AI调度员”亮相!加速解锁电力行业应用新场景 - 奥一网, accessed May 6, 2025, <https://m.mp.oooo.com/a/BAAFRD000020230221766332.html>
 34. Role of Artificial Intelligence in Smart Meters - Analytics Vidhya, accessed May 6, 2025,

- <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/02/role-of-artificial-intelligence-in-smart-meters/>
35. Meter Data Analytics | AWS Energy, accessed May 6, 2025, <https://aws.amazon.com/energy-utilities/solutions/meter-data-analytics/>
 36. Smart Meter Data Analysis - HEAVY.AI, accessed May 6, 2025, <https://www.heavy.ai/use-case/smart-meter-analytics>
 37. Grid4C - AI Powered Energy Analytics, accessed May 6, 2025, <https://www.grid4c.com/>
 38. Using Artificial Intelligence to Aid In Getting Actionable Smart Meter Data | Xylem Bermuda, accessed May 6, 2025, <https://www.xylem.com/en-bm/brands/sensus/blog/using-artificial-intelligence-to-aid-in-getting-actionable-smart-meter-data/>
 39. Smart Meter Data Analytics: Practical Use-Cases and Best Practices of Machine Learning Applications for Energy Data in the Residential Sector | Climate Change AI, accessed May 6, 2025, <https://www.climatechange.ai/papers/iclr2023/3>
 40. Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/323142007_Review_of_Smart_Meter_Data_Analytics_Applications_Methodologies_and_Challenges
 41. What Are Smart Meters? | IBM, accessed May 6, 2025, <https://www.ibm.com/think/topics/smart-meter>
 42. AI-enabled smart meters are reshaping energy efficiency, accessed May 6, 2025, <https://network-king.net/ai-enabled-smart-meters-are-reshaping-energy-efficiency/>
 43. Applying AI for Smarter and Efficient Energy Operations - Number Analytics, accessed May 6, 2025, <https://www.numberanalytics.com/blog/applying-ai-smarter-energy-operations>
 44. How AI is Transforming the Future in Energy Management - Sand Technologies, accessed May 6, 2025, <https://www.sandtech.com/insight/how-ai-is-transforming-the-future-in-energy-management/>
 45. What are AI Agents for Energy? | Salesforce US, accessed May 6, 2025, <https://www.salesforce.com/energy-utilities/artificial-intelligence/ai-agents-for-energy/>
 46. Deep Learning Detection of Inaccurate Smart Electricity Meters: A Case Study - arXiv, accessed May 6, 2025, <https://arxiv.org/abs/1907.11377>
 47. 掘金电网智能化志翔科技发力边缘终端+AI赋能新场景—数据中心中国, accessed May 6, 2025, <http://www.cecc.org.cn/m/view/id/571681>
 48. 一种基于人机协同的窃电用户判别方法, accessed May 6, 2025, https://pdf.hanspub.org/sg20210100000_21284983.pdf
 49. (PDF) APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUE FOR ELECTRICITY THEFT DETECTION SYSTEM - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385729151_APPLICATION_OF_ARTIFICIAL_INTELLIGENCE_TECHNIQUE_FOR_ELECTRICITY_THEFT_DETECTION_SYSTEM
 50. Solutions – Energy Theft Detection - Bidgely UtilityAI, accessed May 6, 2025,

- <https://www.bidgely.com/solutions/energy-theft-detection/>
51. Development of an Integrated AI Model Based on CNN-SVM for Electricity Theft Detection, accessed May 6, 2025, <https://wseas.com/journals/articles.php?id=9931>
 52. IoT based electricity theft detection using artificial intelligence techniques for sustainable electricity usage - IJNRD, accessed May 6, 2025, <https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2401076.pdf>
 53. Artificial Intelligence for Energy Theft Detection in Distribution Networks - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/7/1580>
 54. Electricity theft detection in smart grid using machine learning - Frontiers, accessed May 6, 2025, <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2024.1383090/full>
 55. Developing and Implementing an Artificial Intelligence (AI)-Driven System For Electricity Theft Detection - Afe Babalola University, Ado-Ekiti (ABUAD), accessed May 6, 2025, <https://www.journals.abuad.edu.ng/index.php/ajer/article/view/780>
 56. (PDF) Artificial intelligence for energy fraud detection: a review - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/361722223_Artificial_intelligence_for_energy_fraud_detection_a_review
 57. A Novel Electricity Theft Detection Strategy Based on Dual-Time Feature Fusion and Deep Learning Methods - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/2/275>
 58. Electricity Theft Detection Using Rule-Based Machine Learning (rML) Approach - DergiPark, accessed May 6, 2025, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3755978>
 59. Deep learning-based electricity theft prediction in non-smart grid environments - PMC, accessed May 6, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11334629/>
 60. Electricity Theft Detection using Machine Learning - The Science and Information (SAI) Organization, accessed May 6, 2025, https://thesai.org/Downloads/Volume13No12/Paper_51-Electricity_Theft_Detection_using_Machine_Learning.pdf
 61. “驭电”智能仿真大模型将最大限度支撑新能源开发利用, accessed May 6, 2025, <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c32419774/content.html>
 62. 5 AI Case Studies in Energy - VKTR.com, accessed May 6, 2025, <https://www.vktr.com/ai-disruption/5-ai-case-studies-in-energy/>
 63. Artificial Intelligence-based Real-Time Electricity Metering Data Analysis and its Application to Anti-Theft Actions, accessed May 6, 2025, <https://thesai.org/Publications/ViewPaper?Volume=15&Issue=6&Code=IJACSA&SerialNo=76>
 64. Short-term load forecasting in smart grids using artificial intelligence methods: A survey, accessed May 6, 2025, <https://digital-library.theiet.org/doi/full/10.1049/tje2.12183>
 65. Short Term Electricity Load Forecasting using Smart Grid AI-Prediction Simulator (SGAIPS), accessed May 6, 2025,

- <https://www.ijcaonline.org/archives/volume183/number22/32058-2021921589/>
66. Load Forecasting Models in Smart Grid Using Smart Meter Information: A Review - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1404>
 67. Demand-side load forecasting in smart grids using machine learning techniques - PMC, accessed May 6, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11065410/>
 68. Smart Grids Unleashed: How is AI Used to Forecast Energy Consumption? - Datategy, accessed May 6, 2025, <https://www.datategy.net/2023/12/12/smart-grids-unleashed-how-is-ai-used-to-forecast-energy-consumption/>
 69. (PDF) A review on artificial intelligence based load demand forecasting techniques for smart grid and buildings - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/281786549_A_review_on_artificial_intelligence_based_load_demand_forecasting_techniques_for_smart_grid_and_buildings
 70. Optimizing Load Forecasting in Smart Grids with AI-Driven Solutions - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/385858977_Optimizing_Load_Forecasting_in_Smart_Grids_with_AI-Driven_Solutions
 71. Load Forecasting Techniques and Their Applications in Smart Grids - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/3/1480>
 72. AI IEEE | PPT - SlideShare, accessed May 6, 2025, <https://www.slideshare.net/slideshow/ai-ieee/62209867>
 73. Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid: A Survey - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/2624-6511/4/2/29>
 74. Applications of Artificial Intelligence in Smart Grids: Present and Future Research Domains, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/354567973_Applications_of_Artificial_Intelligence_in_Smart_Grids_Present_and_Future_Research_Domains
 75. 南方电网：智能化的“最高调度指挥官”_电力-阿里云客户案例, accessed May 6, 2025, <https://www.aliyun.com/customer-stories/power-industry-2022-csg>
 76. 2.38亿千瓦！南方电网电力负荷今年首创新高, accessed May 6, 2025, <http://wap.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c31169214/content.html>
 77. 以AI赋能数字电网发展(科技名家笔谈)--经济-人民网, accessed May 6, 2025, <http://finance.people.com.cn/n1/2025/0210/c1004-40415313.html>
 78. 南方电网公司50余项数字化成果亮相第八届数字中国建设峰会 - 科技日报, accessed May 6, 2025, https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-05/04/content_334827.html
 79. 2.38亿千瓦！南方电网电力负荷今年首创新高 - 新闻, accessed May 6, 2025, <https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2024/7/526209.shtm>
 80. Power Quality Analytics - Siemens US, accessed May 6, 2025, <https://www.siemens.com/us/en/products/energy/grid-software/pti-consulting/power-system-consulting/power-quality/power-quality-analytics.html>
 81. Ai Electrical Power Quality Analysis | AI/ML Development Solutions, accessed May 6, 2025, <https://aimlprogramming.com/services/ai-electrical-power-quality-analysis/>

82. EIG - AI Driven Energy Management & Power Quality Monitoring, accessed May 6, 2025, <https://www.electroind.com/>
83. Power Quality as a Service - Ubicquia, accessed May 6, 2025, <https://www.ubicquia.com/products/power-quality-service>
84. Unlocking the future of predictive maintenance with advanced power monitoring, accessed May 6, 2025, <https://blog.se.com/energy-management-energy-efficiency/2024/10/15/unlocking-the-future-of-predictive-maintenance-with-advanced-power-monitoring/>
85. Artificial Intelligent Techniques for Identifying the Cause of Disturbances in the Power Grid - ResearchGate, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/profile/Mohamed-Khaleel-4/publication/369034298_Artificial_Intelligent_Techniques_for_Identifying_the_Cause_of_Disturbances_in_the_Power_Grid/links/6406829357495059456d49a4/Artificial-Intelligent-Techniques-for-Identifying-the-Cause-of-Disturbances-in-the-Power-Grid.pdf?origin=scientificContributions
86. AI Applications for Power Quality Issues in Distribution Systems: A Systematic Review, accessed May 6, 2025, https://www.researchgate.net/publication/388370729_AI_Applications_for_Power_Quality_Issues_in_Distribution_Systems_A_Systematic_Review
87. Use of Artificial Intelligence in Improvement of Power Quality - IJERA, accessed May 6, 2025, <https://www.ijera.com/papers/vol11no2/Series-4/D1102042227.pdf>
88. A Comprehensive Review on the Role of Artificial Intelligence in Power System Stability, Control, and Protection: Insights and Future Directions - MDPI, accessed May 6, 2025, <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/14/6214>
89. AI Applications To Power Quality | PDF | Artificial Intelligence - Scribd, accessed May 6, 2025, <https://www.scribd.com/document/563214079/AI-applications-to-power-quality>
90. Artificial Intelligence Applications in Power Systems, accessed May 6, 2025, https://site.ieee.org/sas-pesias/files/2018/05/Artificial-Intelligence-Applications-in-Power-Systems_Slides.pdf
91. A Review on Application of Artificial Intelligence Techniques in Microgrids, accessed May 6, 2025, <https://iten.ieee-ies.org/journal-featured-article/2023/a-review-on-application-of-artificial-intelligence-techniques-in-microgrids/>
92. Power Quality Monitoring and Disturbances Classification based on Autoencoder and Neural Network for Electrical Power Supply, accessed May 6, 2025, <https://www.icrepq.com/icrepq20/290-20-gonzalez.pdf>
93. 广州供电局：智慧保电新技术助力第137届广交会圆满举办, accessed May 6, 2025, https://gxj.gz.gov.cn/zt/dlys/tpxw/content/post_10222381.html
94. 数字化+AI赋能塑造数字能源新质态 - 科技日报, accessed May 6, 2025, https://www.stdaily.com/web/gdxw/2024-08/31/content_222342.html
95. 南方电网公司2025年新能源服务指南和新能源发电项目服务手册发布 - 北极星电力网, accessed May 6, 2025, <https://news.bjx.com.cn/html/20250408/1435886.shtml>
96. 以AI赋能数字电网发展 - 新华网, accessed May 6, 2025, <http://www.news.cn/tech/20250210/720eeae43c345059fe975251e411d72/c.html>

97. 数能融合数智共生共创数字经济新辉煌南方电网公司携50余项数字化成果亮相2024数博会, accessed May 6, 2025,
<https://app.xinhuanet.com/news/article.html?articleId=61d45077324e9d6f9615fe4324ab8eaf>
98. 南方电网云南文山供电局:开展谐波动态监测与分析, 支撑工业用电, accessed May 6, 2025,
https://www.cpn.cn/qiye/jishu2023/202410/t20241028_1746675.html
99. 2024年南方电网面向电力领域的人工智能大模型评测方法研究开发招标, accessed May 6, 2025, <https://m.bjx.com.cn/mnews/20241113/1410579.shtml>
100. The Smart Grid: How AI is Powering Today's Energy Technologies | SAP, accessed May 6, 2025,
<https://www.sap.com/resources/smart-grid-ai-in-energy-technologies>
101. Cutting-Edge Manufacturing Made More Efficient with AI Smart Meters, accessed May 6, 2025,
<https://www.verdigris.co/case-studies/how-katerra-learned-on-verdigris-ai-to-make-manufacturing-processes-more-efficient>
102. AI in the Utility industry: AI Agents & the Energy Sector - Indigo.ai, accessed May 6, 2025, <https://indigo.ai/en/blog/ai-agents-utility/>
103. AI Agent for Energy Industry Solutions - SixtySixTen, accessed May 6, 2025,
<https://sixtysixten.com/ai-agent-for-energy-industry-solutions/>
104. Artificial Intelligence's Role in the Energy Sector - IEEE Transmitter, accessed May 6, 2025,
<https://transmitter.ieee.org/artificial-intelligences-role-energy-sector/>
105. AI-Driven Energy Intelligence - ResearchGate, accessed May 6, 2025,
https://www.researchgate.net/profile/Mazyar-Zand/publication/380780398_AI-Driven_Energy_Intelligence_Revolutionizing_the_Energy_Sector_through_Smart_Energy_Solutions/links/666e586d85a4ee7261c5c7cc/AI-Driven-Energy-Intelligence-Revolutionizing-the-Energy-Sector-through-Smart-Energy-Solutions.pdf
106. Leveraging Artificial Intelligence to Bolster the Energy Sector in Smart Cities: A Literature Review - DSpace@MIT, accessed May 6, 2025,
<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/153410/energies-17-00353.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
107. 打造人工智能客户服务多场景应用, accessed May 6, 2025,
http://paper.ce.cn/pcc/content/202211/29/content_264934.html
108. 电力物联网终端安全防护研究综述 - 中国电机工程学会, accessed May 6, 2025,
<https://www.csee.org.cn/pic/u/cms/www/202303/27150250oku2.pdf>
109. 南方电网5大省网公司一把手谈南网数字化转型 - 安全内参, accessed May 6, 2025, <https://www.secrss.com/articles/15617>
110. 南网数字集团:以高水平网络安全护航能源电力高质量发展 - 经济参考报, accessed May 6, 2025,
<http://jckb.xinhuanet.com/20250409/74528c35a7c845cdaaa9425ec09e978e/c.html>
111. 电网的未来, accessed May 6, 2025,
<https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2011/12/MITEI-The-Future-of-the-Electric-Grid-Chinese.pdf>

112. 人工智能+电网:挑战与机遇并存 - 电力-北极星电力网, accessed May 6, 2025, <https://m.bjx.com.cn/mnews/20250319/1432744.shtml>
113. 数字化转型提速, 电网安全建设迫在眉睫, accessed May 6, 2025, <http://paper.people.com.cn/zgnyb/images/2021-04/19/21/zgnyb2021041921.pdf>
114. 后量子的智能电表隐私保护方案 - 计算机研究与发展, accessed May 6, 2025, <https://crad.ict.ac.cn/cn/article/id/4031>
115. 电力数据开放共享的趋势研判与对策建议-中国能源网, accessed May 6, 2025, https://www.cnenergynews.cn/guonei/2021/03/12/detail_2021031293078.html
116. Best Practices for Smart Meter Implementation Plans: Proven Strategies for Success, accessed May 6, 2025, <https://blog.harbingerland.com/best-practices-for-smart-meter-implementation-plans-proven-strategies-for-success/>
117. Smart Meter Security: Best Practices and Emerging Regulations - Cyber Defense Magazine, accessed May 6, 2025, <https://www.cyberdefensemagazine.com/smart-meter-security-best-practices-and-emerging-regulations/>
118. Optimizing Smart Metering: Deployment & Scalability | CLOU GLOBAL, accessed May 6, 2025, <https://clouglobal.com/smart-metering-infrastructure-best-practices-for-deployment-and-scalability/>
119. Building a strong data foundation: Preparing utilities for AI integration, accessed May 6, 2025, <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/data-analytics/building-a-strong-data-foundation-preparing-utilities-for-ai-integration/>
120. Benefits of AI and Machine Learning for Utility Companies, accessed May 6, 2025, <https://www.trccompanies.com/insights/benefits-of-ai-and-machine-learning-for-utility-companies/>
121. AI Could Transform the Grid, If We Let It : r/energy - Reddit, accessed May 6, 2025, https://www.reddit.com/r/energy/comments/1j5uzuw/ai_could_transform_the_grid_if_we_let_it/
122. AI to the Rescue? Overhauling the US Power Grid on the Path to Net Zero, accessed May 6, 2025, <https://blogs.cfainstitute.org/investor/2024/04/15/ai-to-the-rescue-overhauling-the-us-power-grid-on-the-path-to-net-zero/>
123. Generative Artificial Intelligence for the Power Grid - NREL, accessed May 6, 2025, <https://www.nrel.gov/grid/generative-artificial-intelligence-for-the-power-grid>
124. AWS Energy & Utilities Generative AI, accessed May 6, 2025, <https://aws.amazon.com/energy-utilities/generative-ai/>
125. Application fields of artificial intelligence in the energy sector - a systematic overview - Fraunhofer-Publica, accessed May 6, 2025, <https://publica.fraunhofer.de/bitstreams/967bad9b-c272-4a8c-a674-39226c205420/download>

126. What generative AI can do for utilities | SAP, accessed May 6, 2025,
<https://www.sap.com/netherlands/insights/viewpoints/what-generative-ai-can-do-for-utilities.html>