

海绵城市电力基础设施的智能化发展路径研究

文 / 曹美艳 山东省城镇规划建筑设计院有限公司

摘要：海绵城市的建设不仅仅关注水资源的管理，也要考虑到城市电力基础设施的安全、稳定和高效运行。在这一背景下，电力基础设施的智能化成为提升城市基础设施建设现代化水平的关键环节。通过引入先进的智能电网技术、物联网、大数据等信息技术，可以实现对电力设施的实时监控、调度和管理，从而提高电力系统的可靠性和应急响应能力，尤其是在自然灾害和极端气候事件中。本研究将探讨海绵城市电力基础设施的智能化发展路径，分析现有技术与海绵城市理念的结合方式，提出针对不同城市需求的电力基础设施智能化建设方案，并为未来的可持续发展提供有力支持。

关键词：海绵城市；电力基础设施；智能化；发展路径

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.13.068

引言

在传统的城市规划和基础设施建设中，电力系统往往侧重于提供稳定的电力供应，而忽视了与城市生态系统的融合。近年来，随着全球气候变化的加剧和极端天气频率的增加，传统的城市基础设施面临着更多的挑战。特别是对于电力系统来说，如何在面对暴雨、洪水等灾害时保持电力供应的稳定性，成为城市管理者和工程技术人员的重要课题。

一、电力基础设施智能化技术概述

智能电网技术是实现电力基础设施智能化的核心，其基本概念是利用先进的信息技术、自动化技术和通信技术对传统电力系统进行改造，使其具备自我监测、自我调节、自我恢复的能力。智能电网通过实时监控电力系统的运行状态，能够精确分析负荷需求，优化电力调度，从而提升电力资源的使用效率和可靠性。关键技术包括物联网、大数据、云计算、人工智能等，其中物联网用于将电力设备、传感器等终端与互联网连接，形成一个智能感知网络，实时采集电网的运行数据。大数据技术则对海量数据进行存储、分析和挖掘，帮助系统进行智

能决策，优化电力供应与需求的匹配。云计算技术为电网的数据处理提供了强大的计算能力，支持大规模的数据存储和运算，确保系统能够在复杂环境下高效运行。

智能电网还具有故障预测与自愈功能，通过集成的监测设备，系统能够及时检测到电力设施的异常情况并自动进行调整。例如，在发生局部电力中断时，智能电网能够自动识别故障点并进行绕行或重配置，从而最大程度降低停电时间和范围。与传统电力系统相比，智能电网的一个显著优势是其在应对极端气候事件（如洪水、暴雨等）时的应急响应能力。通过精确的负荷预测和实时数据分析，智能电网能够动态调整电力供应，确保电力系统在灾害发生时的稳定性。此外，智能电网还能够与可再生能源和分布式发电系统进行深度融合，实现能源的优化调度和绿色能源的高效利用。这些技术的发展不仅提升了电力系统的经济性和可靠性，还为海绵城市建设提供了智能化支持，尤其是在应对城市内涝和极端天气时，智能电网可以帮助实现电力供应与水资源管理的协同调度，提高城市的抗灾能力和可持续发展水平。

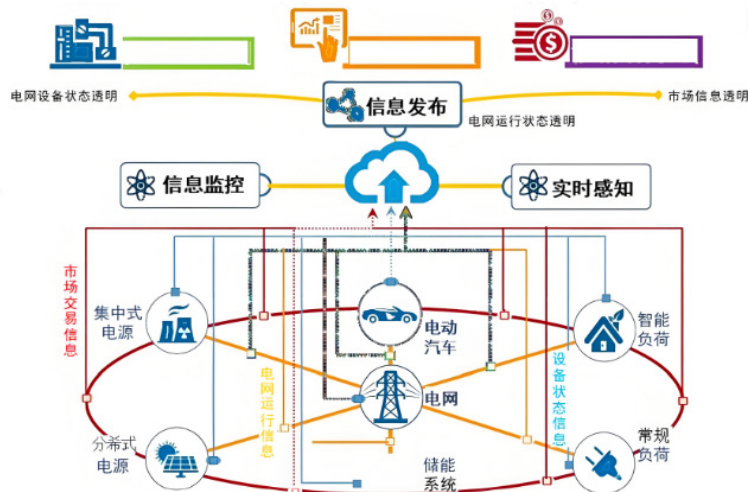


图1 智慧电网转型发展目标

二、海绵城市及其电力基础设施的现状分析

（一）海绵城市概念与发展历程

海绵城市是指通过模仿自然水循环过程，采用多种

生态工程措施和技术，最大化地提升城市对降水的吸纳、存储、渗透和净化能力，从而缓解城市内涝、改善水质、增强城市生态环境的可持续性。海绵城市的核心理念是

“海绵化”，即使城市像海绵一样，能够在降雨时储存水分，在干旱时释放水分，保持水资源的循环利用。自2013年我国提出“海绵城市”概念以来，多个城市开始试点海绵城市建设，通过对雨水的“渗、滞、蓄、净、用”五大功能的综合利用，缓解城市化进程带来的水资源短缺和水环境恶化问题。

海绵城市的建设方法包括透水铺装、雨水花园、绿色屋顶、人工湿地等绿色基础设施，这些措施通过自然渗透、蓄水、蒸发等过程有效提高城市的雨水吸纳和利用能力。例如，北京、上海和深圳等城市已经在一定范围内推广了海绵城市建设，并取得了一定的成效。根据相关研究，海绵城市可以使城市区域的雨水径流量减少20%~30%，显著降低内涝发生的频率。在实际操作中，海绵城市的建设涉及跨领域的协同合作，需要政府、企业、科研机构等多方力量共同推进。通过技术创新和政策支持，海绵城市逐渐成为解决城市水环境问题的有效途径，并为未来城市的可持续发展提供了新的思路。

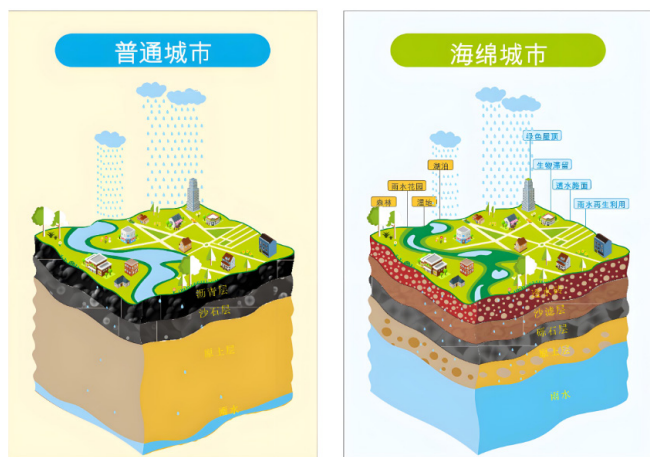


图2 海绵城市理念对比图

(二) 海绵城市中的电力基础设施角色

随着城市化的加速，传统电力系统在保障城市电力供应的同时，常常面临着突发天气事件和自然灾害的冲击，如暴雨、洪水等极端气候条件，这些自然灾害不仅影响城市的排水系统，也对电力供应造成严重威胁。因此，电力基础设施需要具备应对这些挑战的能力，尤其是在海绵城市中，电力系统与水资源管理必须紧密结合，以确保城市生态系统的平衡和城市功能的正常运行。智能电网在这一过程中发挥着关键作用，能够通过实时数据采集、负荷预测和智能调度，对电力供需进行精确管理，并在暴雨或其他突发情况下自动调整电力分配，减少因电力中断带来的灾害风险。

电力基础设施还需配合海绵城市的绿色基础设施措施，如透水性路面、雨水花园等，保障这些设施在极端天气条件下依然能够正常运行。例如，雨水收集系统和绿色屋顶往往需要持续的电力供应来维持其泵送和监测功能。电力系统的智能化管理不仅能保障这些设施的高效运转，还能通过数据共享和协同调度，优化水资源的使用与电力供应的平衡。综合来看，电力基础设施的稳定性、智能化和可持续性，对于海绵城市的功能发挥及其生态环境的保护起着不可或缺的作用。

(三) 国内外海绵城市与电力系统的智能化现状

国内外海绵城市与电力系统的智能化发展已进入了深入探索阶段，许多城市通过创新技术实现了跨领域的融合。国际上，海绵城市建设早在上世纪90年代便开始在欧洲和北美等地区受到关注，尤其是德国、荷兰等国家，在面对频繁的洪水和强降水时，提出了将水管理与基础设施建设紧密结合的理念。荷兰在阿姆斯特丹实施的海绵城市项目，通过绿色屋顶、透水铺装等措施，在应对极端降雨时有效减少了80%的雨水径流，智能电网在其中发挥了重要作用，通过实时监控和数据分析调节电力负荷，保障水管理系统的高效运行。美国的波特兰市，也通过结合智能电网技术与绿色基础设施，提高了雨水管理能力，同时增强了电力系统的韧性，降低了内涝对电力设施的影响。

在国内，我国自2015年起启动海绵城市试点工作，多个城市如北京、上海、深圳等逐步将智能化技术与海绵城市建设结合。以深圳为例，深圳市在多个海绵城市项目中，采用了智能电网技术，通过传感器网络和大数据分析，精确调节电力供应，保证了城市基础设施的稳定运行，同时在大规模暴雨后，智能电网能实时调整供电负荷，避免电力中断和内涝发生。根据中国电力联合会的数据，目前国内已有超过50个城市在进行电力智能化改造，电力系统的智能化和自动化水平不断提升，尤其是在应急响应和灾害预警方面，智能电网技术展现了巨大的潜力，进一步推动了海绵城市与电力基础设施的协同发展。

三、海绵城市电力基础设施智能化发展路径

(一) 智能电网与海绵城市的结合点

智能电网与海绵城市的结合点体现在两者协同作用下的城市基础设施优化与灾害应对能力提升。海绵城市的核心理念是通过绿色基础设施和自然水循环的方式，有效管理雨水和减少城市内涝。然而，海绵城市的运行依赖于电力系统的稳定保障，特别是在智能化控制、数据监测和设施运作上。智能电网通过实时监控、数据传输和动态调节，不仅为城市提供电力保障，还能与海绵城市的水资源管理系统进行深度集成，优化水电系统的协同工作。

在极端气候条件下，如暴雨或洪水，智能电网能够通过实时数据反馈和负荷调度，精准调整电力供应，避免电力中断对海绵城市设施的影响。例如，雨水收集系统、泵站和绿色屋顶等设施在暴雨期间需要稳定的电力支持，智能电网可以根据雨量数据和电力需求，灵活调配电力资源，确保这些设施的正常运转。此外，智能电网通过集成的传感器和监测系统，能够实时获取雨水流量、土壤湿度、地下水水位等数据，帮助城市水务部门调整雨水的排放和储存方案。

智能电网的自愈能力在面对灾害时尤为关键，能够在发生电力中断时自动进行电网修复，减少停电时间和范围，确保关键设施如水泵、排水系统的持续运行。而在日常运营中，智能电网通过智能化负荷预测和电力需求管理，能够协助海绵城市有效调度和利用水资源。例如，通过预测未来几天的降水量，智能电网可以调整用电负

荷, 优先保障水管理设施的电力供应, 提高雨水处理的效率。

这种智能化的协同调度不仅提高了城市基础设施的运行效率, 还增强了城市应对气候变化和自然灾害的韧性, 推动了海绵城市的可持续发展。

(二) 智能化技术在电力基础设施中的应用场景

智能化技术在电力基础设施中的应用场景日益广泛, 特别是在提升电力系统的运行效率、可靠性与抗灾能力方面, 展现了巨大的潜力。通过物联网、大数据、云计算和人工智能等先进技术, 电力基础设施实现了实时监控、精准调度和自动化管理。电力负荷的实时监测是智能电网的核心应用之一, 通过分布式传感器与数据采集系统, 电力公司可以精准掌握每个区域的用电情况, 并基于实时数据进行负荷预测, 从而避免过载或供电不足的风险。这种智能调度不仅提升了电力供应的效率, 还减少了能源浪费。

在城市遭遇极端天气事件时, 智能电网的应急响应能力尤为重要。智能化技术使电网能够通过自动化系统快速发现故障点, 并采取措施修复或绕过故障区域, 极大缩短了电力中断的时间。例如, 在强降雨或洪水期间, 电网可能遭遇设备损坏或线路中断, 智能电网可以自动调整供电线路, 确保重要设施如医院、水处理厂等关键领域的电力供应。与此同时, 智能电网的自愈能力使得电网在发生故障时, 能够迅速恢复供电, 减少对居民生活和商业运作的影响。

此外, 智能电网在可再生能源的接入与优化方面也展现出独特的优势。随着太阳能、风能等分布式能源的快速发展, 传统电网在应对波动性和间歇性能源时面临挑战。智能电网通过精确的调度算法和储能技术, 可以根据天气预报和实时电力需求, 智能调整电网中可再生能源的输入比例, 提高其在电网中的稳定性和利用率。

(三) 智能化发展路径的关键策略

智能化发展路径的关键策略在于深度融合信息技术与传统电力基础设施, 通过创新的技术手段提升系统的自主性、灵活性和可靠性。电力系统的智能化首先要求建立高度互联互通的物联网架构, 这意味着每一个电力设施、传感器和终端设备都应当具备信息采集和传输能力, 实现对电网状态的实时监控和数据反馈。通过这些数据, 电力系统可以对设备运行状态、负荷变化、能效消耗等进行精确分析, 为决策层提供及时、准确的决策依据, 帮助电力企业做出更为科学的调度和维护安排。

在此基础上, 大数据分析云计算平台的构建是推动智能电网智能化的另一个重要策略。电力系统产生的海量数据需要借助云计算进行存储和处理, 同时通过大数据分析技术对不同来源的数据进行深度挖掘, 帮助电网实现负荷预测、故障检测和能源优化调度。通过数据的集成和共享, 不仅提升了电网对外部环境变化的快速响应能力, 还能提高电网的调度精度, 确保电力资源的合理利用。

人工智能技术在智能电网中的应用尤为突出, 特别是在电力系统的故障诊断与自愈能力方面, AI 算法可以实现对设备运行数据的自动分析, 提前识别出潜在的故

障隐患并进行干预。当系统发生故障时, AI 可以快速判断故障类型、位置并自动进行恢复操作, 显著提升了电网的稳定性和可靠性。此外, 人工智能在可再生能源的接入管理方面同样具有重要作用, 通过实时优化调度策略, 实现风能、太阳能等不稳定能源的平衡接入, 确保电力系统在波动较大的情况下保持稳定运行。为了实现智能电网的全面升级, 政策支持与法规制定也是不可忽视的关键策略。政府应通过鼓励创新、资金投入和政策引导, 加速技术研发与应用推广, 为电力企业提供良好的发展环境, 推动智能电网技术的普及和完善。

(四) 智能化技术在海绵城市电力基础设施中的未来发展

智能化技术在海绵城市电力基础设施中的未来发展前景广阔, 随着城市对环境适应性和可持续性要求的提高, 电力系统的智能化将发挥越来越重要的作用。在未来, 随着大数据、物联网、人工智能等技术的进一步发展和成熟, 电力基础设施将实现更加精准的负荷预测、更加高效的能效管理和更强大的应急响应能力。电力系统将与城市的绿色基础设施深度融合, 自动化调度系统能够根据实时的天气数据和城市内涝预警信息, 精确调节电力供应, 保证海绵城市中的水资源管理设施, 如雨水泵站、蓄水池等, 能够在极端天气事件发生时稳定运行, 从而有效应对暴雨、洪水等自然灾害带来的影响。

未来的智能电网将通过更为精细的监控和调度系统, 优化能源的使用效率, 减少浪费。在海绵城市的构建过程中, 智能电网还将与可再生能源如太阳能、风能等结合, 通过智能化的储能系统调节绿色能源的供应, 进一步减少对传统能源的依赖, 推动城市的绿色低碳发展。此外, 随着人工智能的广泛应用, 电力系统将具备更加精确的故障诊断与自愈能力, 在发生自然灾害或设备故障时, 能够迅速恢复供电, 保障城市运行的稳定性和连续性。

结语

总之, 智能化电力系统不仅能够提升城市的能源管理能力, 还能有效支撑海绵城市生态功能的实现, 推动绿色、低碳、智能城市的建设。随着相关技术的不断发展与实践, 海绵城市电力基础设施的智能化将为城市的可持续发展提供更强有力的支持, 助力我国城市在未来迎接更复杂的环境与发展挑战。

参考文献

- [1] 赵建立, 周雯娟, 奚培锋, 等. 电力海绵城市系统研究与应用 [J]. 现代建筑电气, 2018, 9 (12): 1-6.
- [2] 龚贤夫, 彭勃, 熊雄, et al. 基于能源生态架构的海绵城市电网建设 [J]. 微型电脑应用, 2024, 40 (9): 73-76.
- [3] 宋春艳, 马惠群, 闫峰. 基于海绵城市理念的电厂低影响开发设施的水文计算分析 [J]. 给水排水, 2020 (S1): 957-961.
- [4] 吕文. 基于海绵城市的配电网设计理念与思路 [J]. 科技创新与应用, 2022 (028): 012.
- [5] 文艳, 刘海洋. 海绵城市构建核心体系研究——城市水利发展之道 [C]// 中国水利学会. 中国水利学会, 2016.