

智能电网管理中大数据的特征、处理框架和发展方向

文◆国网湖北直流公司 李 顺

引言

在物联网（IoT，Internet of Things）和云计算平台的双重赋能下，当今世界已正式迈入工业 4.0 时代。利用信息通信、大数据、云计算等前沿技术^[1]，电力行业实现了一次物理设备的全面信息互联，这一突破推动了智能电网（Smart Grid）乃至智能城市从模型概念向开发实施阶段落地。随着智能电网产业的发展与智能化电力设备（如智能电表）的广泛应用，电网系统中积累了海量能源数据，这些数据若要转化为可供生产人员决策参考、用户直观感知的有效信息，必须经过数据收集、存储、处理、分析、挖掘和可视化的全流程加工，因此，构建科学合理的大数据处理结构框架必不可少。基于此，本文首先阐述大数据的核心特征，其次深入分析智能电网中的大数据模型框架结构，最后对大数据技术在电力领域的未来发展方向进行展望。

1 大数据的特征

传统的大数据可以描述为“来自任何地方的数据”，如用于收集气候信息的传感器、社交媒体的信息、图片和视频、手机 GPS 信号等。而智能电网大数据来源包括各类电表、火力和水力发电厂、新能源电厂、变电站、输电线路和电动汽车等。大数据通常具有 5 个显著特征（5V 属性），即维量（Volume）、速度（Velocity）、多样性（Variety）、准确性（Veracity）和价值（Value）。

1.1 维量（Volume）

维量是指数据的数量，智能电表信息采集规模表如表 1 所示，展示了在不同的采集周期下 100 万只智能电表在一年内产生的数据量。若每 15min 采集一次数据，数据量在一年内激增至 2920TB。这极大地增加了

表 1 智能电表信息采集规模表

采集频率	天	小时	30min	15min
记录规模（百万 / 条）	0.37	8.75	17.52	35.04
数据体量（Tb）	1.82	730	1460	2920

数据的存储、传输和分析压力。

1.2 速度（Velocity）

速度是指数据生成和数据处理的实时性。在智能电网中，以继电保护信号为例，若使用光纤传输继保信号（数据），其传输时间应低于 5ms。而以家庭智能电表为例，如果每 15min 生成一个家庭的耗电数据，那么每年累积的读数数量达到 2400 万条记录，其采集时间仅需要数小时就可完成。

1.3 多样性（Variety）

多样性是指数据结构极为多样。智能电网中的数据通常由电

【作者简介】李顺（1992—），男，湖北仙桃人，硕士，工程师，从事换流站运维工作。

力公司核心业务数据和补充数据构成。其中，电力公司的核心数据源通常是结构化数据，该类数据通常由电网各类在线监测与计量设备实时生成，如 SCADA 数据（Supervisory Control And Data Acquisition，数据采集与监视控制系统）、AMI 数据（Advanced Metering Infrastructure，高级量测体系）等。而补充数据的构成则较复杂，涵盖了结构化、半结构化和非结构化数据，从来源上看，补充数据既包括地理信息系统、全球定位系统，也包括水文数据、气象数据等；从格式上看，既有传统的数据库信息，也有文档、视频、网页文件等非结构化或半结构化信息^[2]。

1.4 准确性（Veracity）

准确性是指数据的真实性或可信度。由于大数据固有的体量大和速度快属性，这类数据的质量和完整性由于多种原因而导致可靠性降低，一旦出现数据通信信道故障，就会导致数据丢失、数据不准确等问题。

1.5 价值（Value）

价值指大数据的整体价值高，但单条或单批数据的价值密度极低，需通过深度分析挖掘隐藏价值。而收集的大量数据通常反映了某种模式和趋势。对于电力大数据而言，通过对智能电网数据的分析，调度中心可精准预测电力需求、科学分配电力资源，进而实现发电、输电、配电全流程的电力生产成本优化。

2 大数据的模型框架

2.1 物理层

物理层是大数据架构的最底层，主要负责数据生成和收集。该层集成了传感器、摄像头、GPS

等各类数据采集设备。在智能电网中，常见的有各类电能参数传感器、光、温度传感器和湿度传感器。物理层收集到的数据被传输到上层，经处理，执行器将根据计算算法接收操作命令。其中最典型的应用是变电站、发电厂中的 RTU 设备接收主站传递的遥控命令，完成断路器的分合操作。

2.2 通信层

通信层是大数据架构中连接物理层和存储层的双向网络媒介，核心作用是搭建数据传输与指令反馈的通道。一方面，其实现对物理层传感器节点数据的高效采集，并将其传输至云端进行后续处理。另一方面，其能将上层生成的操作指令反向传送至物理层的执行器节点。电力数据网中典型的信息通信模型图如图 1 所示。

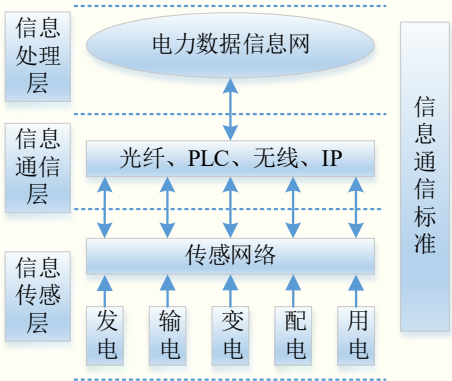


图 1 电力数据网中典型的信息通信模型图

在智能电网中，通过有线通信和无线通信的结合，能够满足电力大数据的收集和传输需求。其中，有线通信以光纤传输和电力线载波传输为主要方式。而考虑到用电场景的复杂性与多样性，无线通信技术凭借其灵活部署的优势，可应用于不同场合，以解决不同设备和不同环境下的电力通信适配问题。

适用于电力大数据传输的无线通信技术，可按传输距离分为短距离和长距离两类通信协议。短距离通信协议适用于短距离内的连接覆盖，选择时应优先考虑通信成本和设备功耗，目前应用较多的 ZigBee、蓝牙技术，十分适合智能家居或智能建筑场景下的小范围连接。对于长距离传输而言，各种低功耗广域网（LPWAN）技术应用更为普遍，如 LoRa、Wi-Sun（窄带物联网）等，其特性是传输距离远、设备功耗低且支持低比特率传输。以 LoRa 技术为例，其可在免许可的亚千兆赫兹无线电频段（868、915 和 923 MHz）运行，既能够实现超过 10 公里的距离数据传输，又能降低设备功耗。

2.3 存储层

电力大数据的 5V 属性使得数据的实时处理、存储变得非常具有挑战性。传统数据库系统在处理大容量、高速度、异构格式的大数据生成需求时能力有限，而电力大数据往往达到 TB 或 PB 量级，且数据来源复杂、格式多样，这些特性进一步对数据存储和计算提出了不同要求。

储存层面临的难题主要体现在两个方面，一是大数据处理所需的软硬件资源配置与资金有限投入之间的矛盾；二是处理大型数据集时，执行读/写操作涉及的高延迟问题。从目前数据处理和存储技术来看，

Apache Hadoop 分布式文件系统（HDFS）是一种成熟的商用技术方案。从各类远程数据源获取的数据，会以分布式方式存储在由低成本商用机器组成的 HDFS 集群中。HDFS 凭借其分布式存储和处理能力以及跨集群节点的自动恢复功能，提供了一个可靠、具有容错性并可扩展的存储平台。为了支撑分布式处理，HDFS 可部署为多节点机器集群，以协调节点间工作。每个 HDFS 集群包含一个主节点（负责存储有关数据文件的元数据信息）以及多个数据节点（负责存储实际的数据文件），数据文件会被分割成多个数据块，存储在一个或多个数据节点中。

在数据处理方面，Hadoop 采用流处理方式，即把大数据流分解成小的数据流进行处理，该处理方式适合处理周期性数据，如部分遥测信息。其缺点在于无法满足智能电网中需要实时处理、分析的场景，如短期负荷预测，且难以实现实时快速响应。而 Apache Spark 引擎是动态数据处理的最好方式，其采用批处理方式，能够在短时间内快速完成数据查询和处理。

3 智能电网中大数据的发展方向

3.1 应用机器学习和人工智能的大数据管理和处理

机器学习（ML）和人工智能（AI）技术，正通过优化复杂的数据处理流程，重塑大数据分析的核心模式。利用深度学习算法，可以动态优化数据分区，有效减少数据冗余，并显著提高数据存储的空间利用率和检索过程的响应效率。

3.2 能效与可持续性问题

数据中心和大数据处理所需要的各类硬件的能源消耗，是大数据领域中不可回避的问题。在确保数据处理性能不降低的前提下，如何通过技术优化降低能源消耗，高效完成数据计算和存储任务，对于大数据领域（尤其是在电力物联网设备产生的数据量不断增长的情况下）的可持续发展至关重要。

3.3 动态数据模式管理

智能电网中的大数据存在形式并非一成不变，其数据源的结构或格式会随时间推移发生动态变化。在此背景下，如何在管理这些动态数据模式的同时而不中断数据处理流程，成为关键挑战。因此，需要依托先进的计算机程序和更多的硬件设备来完成。

3.4 安全与隐私问题

在大数据领域，确保数据安全和用户隐私至关重要，尤其是在生成敏感数据的智能电网设备激增的情况下，数据泄露、隐私侵犯的风险也随之攀升。同时，在大数据“体量大、多样性高、生成速度快”的属性影响下，构建访问控制机制，已成为大数据领域未来发展的另一个挑战。

3.5 服务器资源问题

智能电网的数据具有来源极为分散、数据量巨大的显著特征。若全部采用集中式数据处理模式，不仅会占用大量通信带宽，还会产生严重的传输时延，进而给网络通道和云端服务器资源带来巨大负载压力^[3]。因此，应将边缘智能技术应用到智能电网中，即在靠近数据源处或是边

缘处对数据进行预处理，减少云端服务器的压力。

结语

智能电网大数据的 5V 特征对其处理框架提出特殊要求，物理层、通信层、存储层协同构成数据流转核心支撑。未来，需聚焦机器学习应用、能效优化、动态数据管理、安全隐私防护以及边缘技术落地等方向突破，以破解数据处理瓶颈，充分释放电力大数据价值，为智能电网高效运行与可持续发展提供有力保障。

引用

[1] 张晓华,刘道伟,李柏青,等.智能电力物联网功能架构体系设计及创新模式探讨[J].电网技术,2022,46(5):1633-1640.

[2] 李亚婷.大数据处理技术在智能电网中的应用[J].无线互联科技,2023,20(19):76-78.

[3] 全杰,齐子豪,蒲天骄,等.电力物联网边缘智能:概念、架构、技术及应用[J].中国电机工程学报,2024,44(14):5473-5496.

