

# 实现电网现代化以提高电网的互联 度、可靠性和安全性



**Henrik Mannesson**  
General Manager  
Grid Infrastructure



# 社区及其电网系统越来越需要实时通信、可持续性措施和分散化工作，以满足各种能源需求，而工程师和设计人员定义了各种连接标准和方法。

## 内容概览

本白皮书总结了电网现代化四个关键要素的发展：

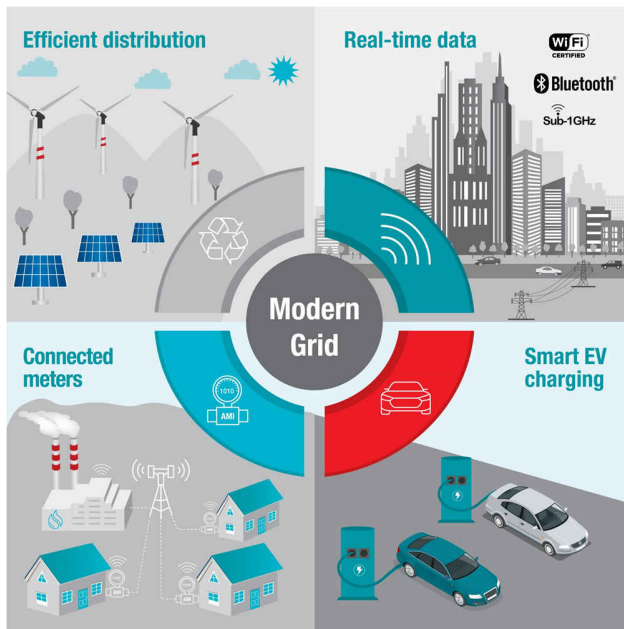
- 1 分布式能源成为电网不可或缺的一部分**  
越来越多的地区将可再生能源分散化视为增强基础设施的一种手段。
- 2 电动汽车双向充电有助于平衡电网**  
从预测充电需求到节能或将多余的电能返回电网，电动汽车 (EV) 在智能电网中发挥着重要作用。
- 3 电网的实时数据、监测和控制**  
有线和无线技术支持传输电网的实时数据，并实现自动化、配电和控制。
- 4 互联的电池供电型燃气表和水表**  
互联电网不仅限于电力；供气和供水公用事业公司可以采用各种简单、低成本连接、传感和控制解决方案。

配电网连接着发电厂与家庭、楼宇、工厂、车辆、城市和其他领域，为了提高可靠性和弹性，配电网需要升级。通过在发电、输电和配电中采用先进的互联传感器，电网运营商可以监测健康和​​安全需求，优化老旧且昂贵的资产，检测故障和需求增加，并在停电期间更快地恢复电力。

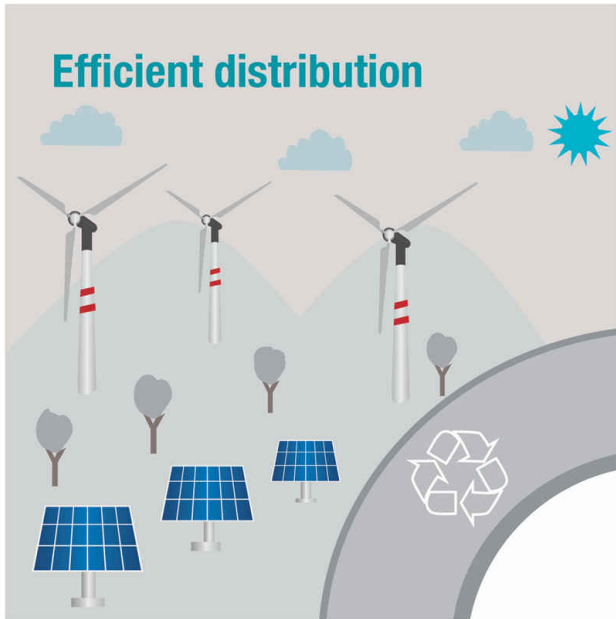
电网资产数据使运营商能够更好地了解基础设施性能，包括不同的发电组合、环境条件或安全风险。智能电网传感器支持远程监测变压器等设备和输电线，并促进需求侧资源管理。此外，智能电网传感器还能够监测天气状况和输电线温度，用于计算线路的承载能力。智能电网可以通过各种有线和无线协议，例如工业以太网、RS-485、控制器局域网和无线智能公用事业网络 (Wi-SUN)，来传输传感器收集的信息。

在负载端，智能仪表可帮助消费者轻松转向更多可再生能源解决方案，无论是在家庭场景还是为电动汽车充电时。此外，智能电表还可以帮助消费者根据能源需求和来源做出更明智的选择。在某些情况下，这类电表还能帮助监测双向充电，例如当家庭或汽车将电能返回电网时。

过去，电网由机电系统组成，反馈极少，负载被动。而如今，电网变得高度自动化，由智能设备和现代化策略推动。因此，从发电到输电，再到配电和最终使用，整个供电网络变得更加互联，集成了分布式能源资源，并确保了更大的电网可靠性和弹性。



## 分布式能源成为电网不可或缺的一部分

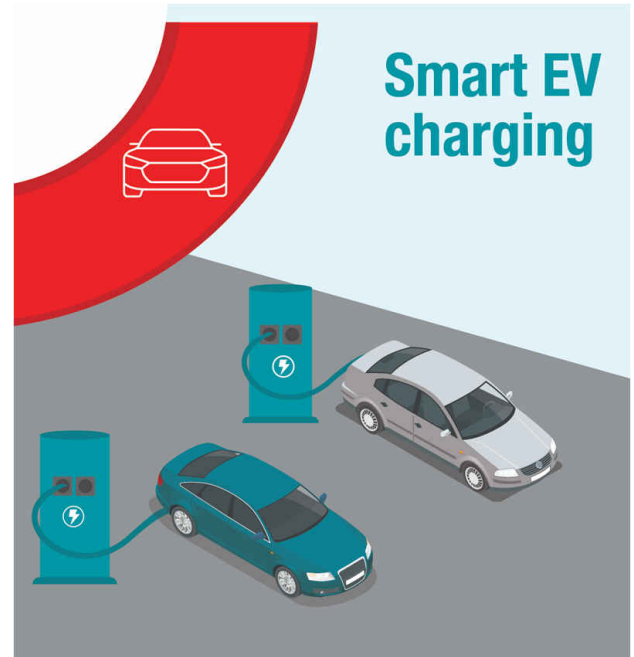


过去，电网一直是“单向的”，电力从公用事业公司所有的集中式发电、输电和配电线路流向消费者。随着太阳能和风能在电网中占据的份额不断增加，动态管理将变得越来越普遍。公用事业公司逐渐将电网视为一个互联网络，因为越来越多的消费者使用小型分布式系统来发电。换句话说，家庭和车辆可以交替作为用电单元和发电单元。

太阳能和风能不仅碳排放量为零，而且与化石燃料不同，不受价格波动的影响。在越来越多的地区（尤其是那些阳光或风能丰富且电力成本高昂的地区），可再生能源的成本已经与化石燃料的成本相当甚至更低，达到了电网平价点。

太阳能微型逆变器是太阳能行业不可或缺的一部分。德州仪器 (TI) 拥有品类繁多的**隔离式和非隔离式栅极驱动器**、**数字隔离器**、**以太网和 RS-485 收发器**、**电流检测和电压监测**器件，以及**微控制器 (MCU)**，可以实现面向各种尺寸逆变器（包括并网和离网）的数字控制环路，从而更大幅度地提高系统效率并延长产品寿命。所有这些产品都必须能够在最恶劣的环境中运行，尤其是在极端温度下。

## 电动汽车双向充电有助于平衡电网



虽然配电系统最初是为满足峰值需求而设计和构建的，并通过基础设施被动对外供电，但智能电网不仅为客户提供了更多选择，而且可以在本地、远程或自动进行管理。智能电网使公用事业公司能够跟上消费者行为的变化（例如，大多数电动汽车电池可能会在夜间非高峰时段在家中充电）。

超高性能的电动汽车配备 22kW 范围的车载充电器。双向充电器的理念带来了将电动汽车用作电池储能元件的可能性。假设车库中的电动汽车一次充电可以行驶 400 英里。但是，通过通信、云计算和现代化电网，汽车“知道”车主明天驾车不会超过 50 英里。从技术上讲，电池不必在次日早上 7 点充满电，因此可以在夜间将汽车中的电能用于本地消耗，或者在高峰时段将电能归还给电网。公共充电基础设施中也存在类似的方法，同时还可实现充电站之间的负载平衡。

此外，为了提高电网电力质量并降低消耗的谐波电流，需要使用功率因数校正，因为许多前向负载是直流电。例如，在以 350kW 功率运行的非车载快速电动汽车充电器中，输入是来自电网的三相交流电，输出是流入电池的直流电。

有源三相功率因数校正存在许多拓扑。**10kW 双向三相三级 (T 型) 逆变器和 PFC 参考设计**能够进行双向功率校

正，并使用具有更高开关频率的碳化硅 (SiC) 金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 来提高效率并减小磁性元件的尺寸，从而减小整体系统尺寸。此拓扑可扩展到更高功率的智能电网应用，例如电动汽车充电和光伏逆变器。具有更低开关损耗的 SiC MOSFET 可确保更高的直流母线电压（高达 800V）和 97% 以上的峰值效率。

作为 TI 对未来电网持续投资的一部分，TI 正在推进发展电动汽车充电所需的组件，包括连接到电网的充电器以及电动汽车内的电池管理系统。由于电网和电动汽车电池可能产生高电压，隔离式器件对于任何电动汽车充电或电池管理系统设计都至关重要。这些器件包括通信和保护电路，例如隔离式和非隔离式放大器、隔离式和非隔离式接口集成电路以及信号隔离器的电源。

## 电网的实时数据、监测和控制



由于电网持续快速转型，电力公司在其业务的关键方面面临着重大挑战。

通常，城市电网采用架空输电线路进行配电。这种系统将被地下埋设的电力输电管道所取代，因为大城市中已没有足够的空间用于架空线路，而且人们不喜欢在住宅上方或前方看到电线。

过去，电力公司使用相当简单的方法来检查架空线路故障：派遣维修车沿输电线路行驶，以发现断线、树枝悬在电线上或电线上积雪过多等问题。在所有这些情况下，导致

停电的原因都比较明显。但是，电网现代化实现了实时通信、测量和监控，让我们能够在无法看到地下故障的情况下快速响应和修复故障。

在连接公用电网系统方面，实时数据管理的使用变得比以往任何时候都更加重要。其目标是将数据交到能够充分利用它的人手中。现代移动设备是一个现成的数据传输和控制平台，既可用于智能电网，也可用于包含太阳能光伏面板的多种能源的微电网。**Wi-Fi®** 和 **Bluetooth®** 是无线电网连接的明显方法；如有必要，还可再选择中间网关。TI **电网物联网参考设计：使用 Wi-Fi 将断路器和传感器连接到其他设备** 专为智能电网中的实时资产监控而设计。该参考设计的主要优势包括：

- 实时监控资产运行状况（通过 Wi-Fi® 通信监测电流、电压和温度水平）。
- 为关键应用添加冗余、可变数据速率传输功能。
- 作为变电站内有线通信的备用方案。
- 缩短故障检测响应时间。
- 减少停电时间。

该参考设计展示了集成 Wi-Fi 如何为需要高数据速率和高带宽的变电站设备和住宅断路器提供可行的解决方案。当需要以低功耗远距离传输数据来实现变电站和配电自动化时，Sub-1GHz 连接是另一种适用的无线技术，特别是在多个节点（如故障指示灯）需要将数据传输到一个数据收集器以形成星形网络时，该技术非常有用。这两种技术都可通过基于基础 SimpleLink 软件开发套件的 SimpleLink™ 系列无线 MCU 获得，从而促进 100% 代码重用和多种无线连接技术之间的无缝转换。

**电网物联网参考设计：使用 Sub-1GHz 射频连接故障指示灯、数据收集器和微型 RTU** 在多个传感器节点（本例中为故障信息指示灯 [FPI]）和使用 TI 15.4 Stack 的收集器之间的星形网络中采用 Sub-1GHz 无线通信。此设计使用高架 FPI 和配电自动化中的数据收集器作为应用场景，针对近距离（小于 50m）低功耗进行了优化。

它还采用了 TI SimpleLink 系列中的 **CC1310**，该系列整合了 Sub-1GHz 射频 (RF) 收发器和 Arm®Cortex®-M3 MCU。TI 15.4 Stack 配置美国、欧洲电信标准协会和中国频段的信标模式通信。通过优化发射功率电平（0dBm 至 +10dBm）和信标间隔（0.3s 至 5s），电流消耗数据可用

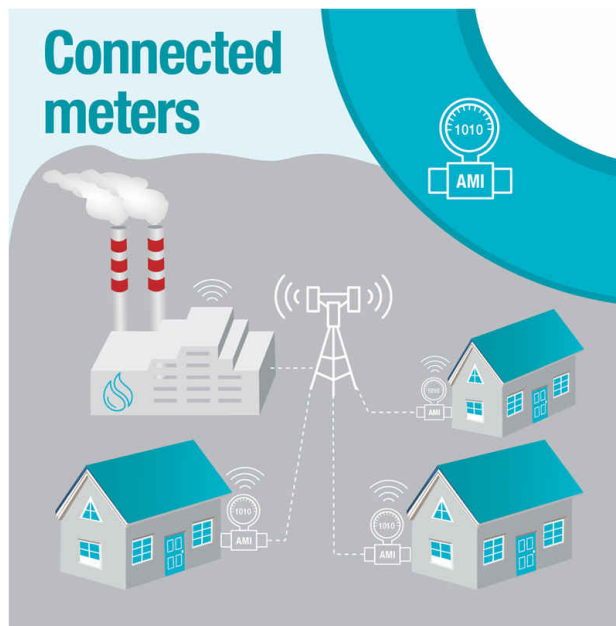
于 1 至 300 字节 50kbps 数据速率的单个数据包数据传输。

随着风力涡轮机和太阳能电池板产生的可再生能源通过多个馈入点接入电网点，配电变得更为复杂。为了应对这一挑战，电网需要提高自动化程度，实现远程测量、服务和维修，并提供实时监控和高可靠性。在这种复杂的智能电网中，网络冗余至关重要。通过重复部署关键组件或功能，系统可以在出现故障时继续运行，从而减少网络停机时间，防止财产损失和人员伤亡。此外，网络冗余还可以使工作人员在维护电网的某些部分时不会中断电力输送。

以太网技术在电网管理中广受欢迎，并且因其基于国际电工委员会 (IEC) 61850 以太网标准，因此易于获取。冗余协议是提高可靠性并实现以太网作为智能电网管理网络的关键。IEC 62439-3 定义了两种架构，即并行冗余协议 (PRP) 和高可用性无缝冗余 (HSR)，可在有线以太网上实现零丢失冗余。基于 ARM 的处理器和 MCU 集成了对这些协议及相关直通交换的支持。在 PRP 架构中，每个节点连接到两个独立的并行局域网 (LAN)。

源节点会针对每个数据包发送两个副本，每个接口分别发送一个副本。目标节点接收帧并仅接受第一个副本，而将第二个帧丢弃。只要两个网络中的任何一个正常工作，目标节点始终会接收到至少一个数据包，实现零停机时间。HSR 环形架构提供与 PRP 架构相同级别的冗余，不过使用的是环形拓扑而不是两个 LAN。

## 互联的电池供电型燃气表和水表



虽然最初部署的是互联电表，但流量计市场（水气表和热量表）中采用自动抄表 (AMR) 和智能仪表的势头也日趋强劲。

为了减少机械故障、提高精确度并增加智能性，燃气表和水表可受益于：

- 具有高精度和低能耗的超声波流量测量。
- 有线隔离式和非隔离式通信，用于实时监控以及数据和故障通信。
- 无线通信，确保能够远距离连接或连接到现有网络基础设施。
- 智能电源管理，从而更大限度地提高效率并提供至少 10 年的电池寿命。

为**电表**供电很简单：由于测量是在电力线上进行的，因此电表所在的位置就有电源。但在燃气和水计量领域，采用电池供电技术已成为主流趋势，而且由于功率预算要低得多，因此它更具挑战性。另外还存在一个商业挑战：在许多地区，负责供气 and 供水的实体要比电力供应商规模小。同一地区可能只有一个组织负责电表网络，但有多家公司负责向居民供水。

此外，希望添加 AMR 功能的水或燃气公用事业提供商面临两个选择，要么更换所有的现有仪表，要么安装电子附加模块，以准确测量流速并以无线方式传输结果。此类附

加模块提供了一种为消费者提供 AMR 功能的低成本解决方案，如[具有电感式感应功能的低功耗水流测量参考设计](#)中所述，该参考设计由 CC1350 SimpleLink 无线 MCU 实现。

在燃气表或水表网络中，智能仪表是负责收集使用数据并将其报告给上游控制节点的传感器。精确的超声波测量有助于减少机械故障并提高系统可靠性。超声波测量使用不带机械部件的固态传感器架构，因此可以消除机械磨损。超声波流量测量片上系统 (SoC) 的引入极大地降低了过流到此技术的成本。

TI 业内先进的智能燃气表、水表和电表集成电路和参考设计包含品类丰富的超低功耗有线和无线接口器件，有助于原始设备制造商 (OEM) 应对设计挑战，从而提高测量精度并延长电池寿命。

[超声波水表计量前端参考设计](#)有助于工程师使用集成的超声波计量模拟前端 (AFE) 开发超声波水计量子系统，从而提供高计量性能、低功耗和最大集成度。该设计基于 [MSP430FR6047](#) 超声波水气表计量 SoC。该 SoC 提供集成的超声波水气表计量子系统 AFE，通过波形采样法对多种流速提供高精度测量。此外，该器件高度集成，需要的外部组件极少，因而有助于实现超低功耗计量并降低系统成本。

同样地，[电池供电型智能流量计的电池和系统运行状况监控参考设计](#)支持高精度功率测量和运行状况预测，可预测电池寿命。此系统监控子系统还针对会大幅缩短电池寿命的过流状态提供保护。

## 结论

在美国各地，各州和公用事业部门都在忙于建设未来电网，将被动式机电系统电网过渡为具有动态控制功能的主动式电子化电网。推动电网现代化的技术因素包括：

- 将电子技术和半导体器件应用于电网边缘的仪表。
- 整合分布式可再生发电资源。
- 适应电动交通运输系统及其充电基础设施。

**重要声明：**本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.  
Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.  
所有商标均为其各自所有者的财产。

- 改进电网监测、保护和控制。

实现能相互通信和协同工作的**电网**和控制现代化，可以更可靠、更高效地输送电力，从而大幅降低断电的频率和持续时间，减少风暴的影响，并在发生断电时更快地恢复服务。更新老化的系统并不容易，也不会很快完成，但最终会证明它对未来几十年的社会和经济发展的有益。

## 附加资源

- 详细了解[电网基础设施的互联技术](#)。
- 查看技术文章“[Wi-SUN FAN 如何改善互联基础设施](#)”和“[电动汽车充电的三大设计注意事项](#)”。
- 下载 [RS-485 设计指南](#)。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司