

电力行业的IT-OT 融合建设理论探讨

智能电网的飞速发展推动着传统电网运行方式的变革，最终将实现信息技术引领电力行业生产、运营和产业结构深度融合。信息化技术（IT）与自动化技术（OT）融合成为发展的必然趋势。本文首先阐述了 IT-OT 融合的背景，分析了国内外在此领域的研究成果，结合电网管理层和运营层的需求，提出未来电力行业发展 IT-OT 融合的整体技术框架。最后，对 IT-OT 融合的难点总结经验，为未来 IT-OT 融合提供建设思路。

薛力萌/国网北京市电力公司



薛力萌/助理工程师

关键词/Keywords

智能电网·
信息技术·
运行技术·
IT-OT融合·

0 引言

随着电力在国民经济与生活中发挥着越来越重要的作用，传统集中式和单向式的电网结构已经无法满足新增业务的需求。为有效降低线损、平衡负荷并提高电网运营效率，电网数字化正促使信息技术(IT)和运行技术(OT)互相融合，智能电网、分布式能源、电网自动化和电力物联网等新一代电网形式应运而生，成为信息与工业在技术层面融合的关键。

传统上，电网主要依据图样工作，并且需要知识经验深厚的运行人员或调度员来追踪系统配置和员工现场工作情况。智能电网的应用加强了运行与信息系统的整合，如地理信息系统（Geographic Information System，GIS）、运营管理系统（Outage Management System，OMS）和生产管理系统（Production Management System，

PMS）等，使电网自动化水平得到前所未有的提高，业务一体化和数据共享等高端集成应用呈跨越式发展，电网发展局面已开始发生变化。

如今的IT业界已经从传统PC时代跨入数字化时代，各行各业都在利用数字化技术作为驱动生产力的动力源泉，互联网正以自己“开放、融合、创新”的发展精神，前所未有地影响着世界的方方面面，也为传统行业注入新的发展活力。电力行业的IT工具和方法对于处理和分析设备运行生成的大量数据至关重要，要想利用这些数据获得真正的洞察，就需要将传统IT系统（如集中式信息系统、作业管理、财务和电能表数据管理）的数据和传统OT系统（运营管理、配电管理（Distribution Management System，DMS）、监控与数据采集与监视控制系统（Supervisory Control And Data Acquisition，SCADA）和能源管理（Energy Management System，EMS）相关联起来。

本文基于电力企业综合需求分析基础，结合国内外IT-OT领先技术实践，通过建立一套合理而有效的 IT-OT 融合整体技术框架模型，实现传统企业架构向互联网企业架构的转型，为电网生产、运营数字化模式转型所带来的新技术挑战提供有效思路。

1 国内外研究现状

全球领先电力企业以“未来电力需要更联接的智能电网”为主题阐述洞察及实践。来自澳大利亚、埃塞尔比亚和德国的电力公司的专家学者就分布式能源、电网自动化和电力物联网等电力发

展新趋势下的新一代电网形式进行了热烈讨论，一致认为传统集中式和单向式的电网结构已经无法满足新增业务的需求，未来需要一个互联互通、可感可控和安全可靠的智能电网。

1.1 国内研究现状

国内在IT-OT融合的研究还在起步阶段，但是在工业化和信息化（简称“两化”）融合领域开展了大量的工作，取得了卓有成效的发展。

两化融合管理体系围绕数据、技术、业务流程与组织结构四要素，发挥技术（包括工业技术、信息技术和管理技术等）的基础性作用，优化业务流程，调整组织结构，并通过数据这一核心要素的开发利用，实现技术、业务、流程和组织结构四要素的同步创新和持续优化，从而推进企业两化融合发展。

在工业4.0的演变过程中，信息技术广泛应用于工业领域，引起生产效率提高和生产方式变革，从而使工业结构调整升级。企业的IT-OT技术融合推动先进制造业的数字化生产，以及工业4.0下数字工厂技术的实践。对于即将到来的数字转型时代，人们将会发现IT的职责不再是简单地信

息化，而是需要将关注的目光更多转向信息技术与制造技术的融合，这正是“中国制造2025，由制造大国向制造强国转型”的主线。先进制造技术、数字化工厂和数字化网络化智能化制造，都将成为新一轮工业革命的关键力量。

广义上来讲，工业化进程与信息化进程的重合，是两个体系的融合。基本内涵包括“三个转变，一个拓展”：从单项业务信息技术应用向多项业务多技术综合集成转变，从单纯信息技术应用向业务流程再造和组织结构调整转变，从单一企业信息技术应用向产业链上下游协调应用转变，拓展新型商业模式和产业形态。

1.2 国外研究动态

1.2.1 互联企业成熟度模型

罗克韦尔自动化公司(NYSE:ROK)是全球最大的专门从事工业自动化和信息技术领域的企业，罗克韦尔自动化首创采用“互联企业成熟度模型”对更为智能的 OT/IT 网络实施提供支持。该模型由经过实践检验，能够大幅缩减成本并能提高产能。罗克韦尔自动化所开发的成熟度模型分为五个阶段，如图1所示。

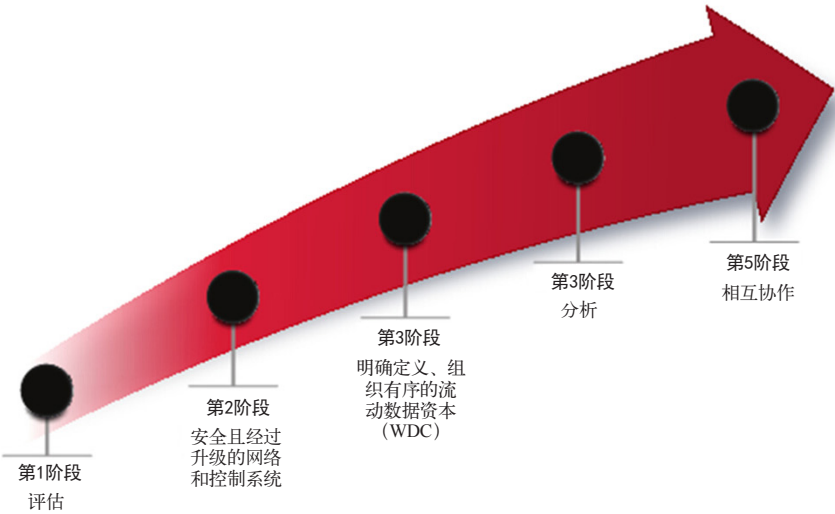


图1 IT-OT 融合演进路线

第 1 阶段：评估
在互联企业成熟度模型的评估阶段，会对组织的现有 OT/IT 网络进行全方位评估。

- 信息基础架构（硬件和软件）；
- 提供和接收数据的控制系统和设备（传感器、执行器、电动机控制和交换机等）；

- 用于传输所有此类信息的网络，以及安全策略（理解、组织和执行）。

第 2 阶段：安全且经过升级的网络和控制系统。

在找出当前IT-OT网络和运营中存在的差距和薄弱环节之后，应从长期的视角出发开始进行升

级，应考虑到工厂未来的扩容和新技术的引用。在此阶段中，组织会逐步形成并且/或者构建IT-OT的主干，以实现从车间运营到企业业务系统之间适合的安全连接。

第 3 阶段：明确定义、组织有序的流动数据资本 (WDC)。

IT-OT组建的团队应升级、定义和组织公司的流动数据资本(WDC)，即用于改善业务流程的所有可用数据和改进措施，并确定如何利用 WDC获得最佳的效益。需要注意的是，任何阶段都不可能与其他阶段完全独立，对于第2 阶段（新数据功能出现）和第 3 阶段（识别如何驾驭和利用数据）的组织变更尤为如此。在第 3 阶段，此团队还会通过界定新的工作流、时间安排和责任领域的范围而为数据“提供背景信息”。数据在各个系统之间必须保证标准、统一。

第 4 阶段：分析。

在分析阶段，工作重心将从硬件、设备、软件和网络转移到持续改善。如何最有效地利用新获得的 IT-OT功能？随着公司内思想上的转变，至此应认识到IT-OT网络能够实时发现问题并能挖掘机会。在运营层面，利用已确定的 WDC 进行分析将有助于确定最需要实时信息的位置（例如特定位置、过程、产品和机器持续存在的问题），能够按照信息采取行动并具有授权的信息接收者，以及此类信息将触发的标准化协议（多个主动和自动触发的协议）。

第 5 阶段：相互协作。

成熟度模型的相互协作阶段是要构建一个能够预测整个企业乃至供应链和需求链活动的环境。

对于互联企业成熟度模型，每家制造商都将从最适合自身的阶段开始实施这一模型，并根据自身的需求、基础设施、准备的充分程度和资源情况按恰当的步伐逐步走过不同阶段。

1.2.2 EcoStruxure集成系统架构

施耐德电气公司(Schneider)是全球能效管理和自动化领域的专家，为100多个国家的能源及基础设施、工业、数据中心及网络、楼宇和住宅市场提供整体解决方案，施耐德电气公司与英特尔公司合作是一个跨界的互补，施耐德电气是OT，英

特尔是IT，共同融合成一个IOT。

Schneider建立了一套EcoStruxure集成系统架构，将异构能源管理系统集成到统一的平台，实现监控报告，如图2所示。该架构与第三方系统兼容，管理着多个独立的系统，将它们集成到一个综合解决方案中，可减少设备、软件和人员的冗余。同时该集成式系统可支持需求侧响应程序，实现平台快速部署SCADA、DMS和OMS系统，如GIS或者MDM（Master Data Management platform，主数据管理平台）。以此建立一体化应用环境，为用户提供统一化的应用体验。而不会影响数据的时效性和处理速度。

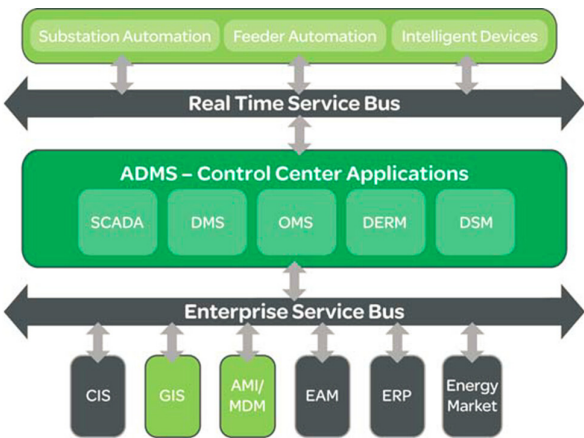


图2 EcoStruxure集成系统架构

EcoStruxure 架构通过兼容的产品设计和开放式平台软件，集成了高效的控制解决方案和远程系统，通过独立的软件模拟、控制和统计架构内部组件输出的能源数据。最高可节省高达 30% 的能源成本。这些解决方案强调以下三个核心原则。

- 1) 简单：系统之间的简单连接意味着可靠的兼容性。此外，单一的经过认证的连接点使项目更加明确和简单。
- 2) 节省：企业效率来自模块化解决方案、简化的安装以及所有地点的性能追踪，最高可节省30%的资本支出和运营成本。
- 3) 透明：访问能源使用情况和视频验证，意味着可以随时随地看到和追踪能源使用情况，直观的基于Web的界面能够随时随地进行控制。

1.2.3 Smart Panels智能配电系统解决方案

在2015中国能源互联网大会暨智慧能源产业博

览会上,施耐德电气技术人员介绍了施耐德电气灵智低压配电智能系统(Smart Panels)方案的产品理念、功能与价值、增值方案、应用行业及成功案例。

Smart Panels是集智能硬件、定制软件和可持续服务三位一体的整体解决方案,依托“互联网+”理念,利用物联网、数字化手段和专家服务,旨在帮助客户优化能源效率和设备全生命周期管理,显著提高客户业务绩效。帮助客户节能增效与设备运维管理。其中,Smart Panels包含一个增值方案,即“千里眼”平台(Facility Most),这是一个能耗数据、配电设备运维和关键电力资产的托管服务管理平台,方便用户通过网页或手机APP,轻松掌控所有站点的设备运维和能耗情况,自动生成专业报告,及时获取报警和预警通知,并轻松实现电子化运维管理流程。

Smart Panels智能配电系统解决方案作为施耐德电气实现跨界融合的一次重要实践。

2 IT-OT 融合整体技术框架

IT架构演变的4个阶段:信息孤岛、IT标准化、标准化流程和业务模块化,第4阶段即真正实现了IT与OT业务的融合。

2.1 IT-OT 融合需求分析

搭建 IT-OT 融合整体技术框架将从管理层和运营层入手,建立“两层四领域”的架构模式,以管理层为核心,结合发电侧、输配侧及需求侧三个方面对 IT-OT 融合的需求进行分析。

2.1.1 管理层

电力企业历经SG-186[x]、SG-ERP[xy]工程的10年建设,已初步建成基于集约统一的一体化平台、业务应用系统和信息保障体系,生产管理等各项业务与信息化实现深度融合,信息化整体水平达到国内领先,国际先进。但是对传统电力的OT技术尚未展开有效的数据采集和分析,管理层在规划计划和综合分析在一定程度上依赖于底层电网运行数据的支撑。

智能技术的应用加强了OT与IT系统的融合,电网自动化水平得到前所未有的提高,未来将需要更多拥有技术技能的员工来担任运行职责,从事更加复杂的运行计划和更详细的运行分析工作。这种变化在欧洲已开始了一段时间,其原因既有历史方

面的,也有文化方面的,主要是由于整合分布式发电的需求所致。此外,通过OT系统控制整合,电力企业变电站、开闭站面临可监控范围更广,所需现场作业人员更少的局面,这种融合趋势要求新一代的员工既是技术熟练的工程师,同时也是深谙大数据分析和可视化、智能化分析工具的信息技术人员,从而帮助高层管理人员展示电网运行情况,进一步做规划设计与辅助决策。

2.1.2 运营层

(1) 发电侧

随着信息技术的发展,支撑电网运行的各类智能系统不断融合,加大了消费者的互动,使发电侧与需求侧之间的关系更加紧密。从而促进电网接入各类绿色能源,提高系统的可靠性。

以分布式能源为代表的新一代信息化能源发电形式,解决了传统发电方式所带来的电网末端电能质量及可靠性等问题,缓解了紧张的电力供应局面。但是,接入这类发电技术也给传统的电网系统带来了规划和运行安全等问题。当采用间歇式发电技术(如风力或太阳能发电)的装机容量并入电网,要求通信和控制系统必须达到“毫秒”级的响应速度。传统工具、技术和计算方法已无法继续胜任管理,通过信息技术控制解决方案、数据分析优化和先进配电网管理系统对于电网运行管理的提升起到关键性的作用。

为有效进行电压控制,保障电网运行的稳定性,通过整合信息资源设计自动发电控制装置,对分布式能源并网进行智能分析调度控制,从技术型节能增效转型采用主动管理监控策略,合理规划分布式发电的布点,优化电网资源配置。

(2) 输配侧

当前,电网运营主要依靠监控与数据采集与监视控制SCADA系统等传统OT技术以及运营管理OMS系统等新一代IT技术的支撑。为确保持续的安全与可靠供电,输电及配电运营商都必须应对一系列重大挑战。具体说来,面临三大趋势推动电网运行方式的变革:

- 可靠性、灵活性和运营管理;
- 安全关注;
- 分布式发电资源和微电网。

输电网的设计和运行将发生重大改变,这不

仅是能源构成不断变化的结果，也是外部输电资产不断接入所导致的结果。输电网络必须能够满足因发电方式多元化和需求不断上升而产生的更高要求。网络的有效建设和设计将增加控制环境的复杂性，因为它将利用越来越多的调相器、高压直流电缆和功率补偿设备。

将传统 OT 技术与新型 IT 技术有机结合，能够实现配网电能数据智能化采集，通过优化电能潮流分布，减少配电网线路所带来的电能损耗。智能化的配电网需要有效提高电能质量，提升资产利用率，对配电网运行及设备状态进行可视化、集中化管理。应用智能决策分析提高配网系统容量的利用率，同时对用户用电量进行实时有效监控，通过可视化的界面对电网的运行线路进行监控，帮助配电网的操作人员对潜在的设备故障、用电负荷过大等容易造成停电情况第一时间掌握，主动排除隐患，提高用电可靠性。

(3) 需求侧

需求侧情况发展更为复杂。过去，电力公司只关注被动供电能力，通过搭建更多实体电网和变压设备来满足用电需求。现在，通过构建基于需求响应的虚拟供电能力，以达到更加主动管理电网及其资产的要求。

智能数字化的电网应运而生，它由数字技术所支持，而模拟电路和机电控制方法已被逐步淘汰。伴随这一潮流，自动化、电网级电力电子学、分布式发电、微电网和电力存储等全新运作方案正日益普及，而且未来将进一步得到推广。这些系统需要通过一定程度的自动化技术，与电网协调运作，由此确保供电服务的可靠性。此外，还需要建立不同于以往的控制策略来支撑这些全新技术，因为现在电力公司不仅要管理传统的集中式发电系统所产生的单一流向的电力输出，还要容纳来自分布式发电的多向电流。

智能电表为代表的智能用户信息采集系统，提升了用电采集的精确测量，形成了收集、储存、分析、运用和传送用户用电数据、电价信息的双向闭环服务。与未来能源互联网的发展趋势形成深度互动，为了有效监测和控制电网，越来越多的分布式新型智能终端需要接入，这对网络的灵活性和高效性提出了很高要求，因此更多电力企业选择建设专网来实现海量终端的接入，进行全业务的无缝接入和工业级防护，还能实现智能抄表、智慧家庭和能效管理等业务的可靠承载，向物联网时代进行演进，如图3所示。

IT-OT 融合将建立统一的服务总线，集合底

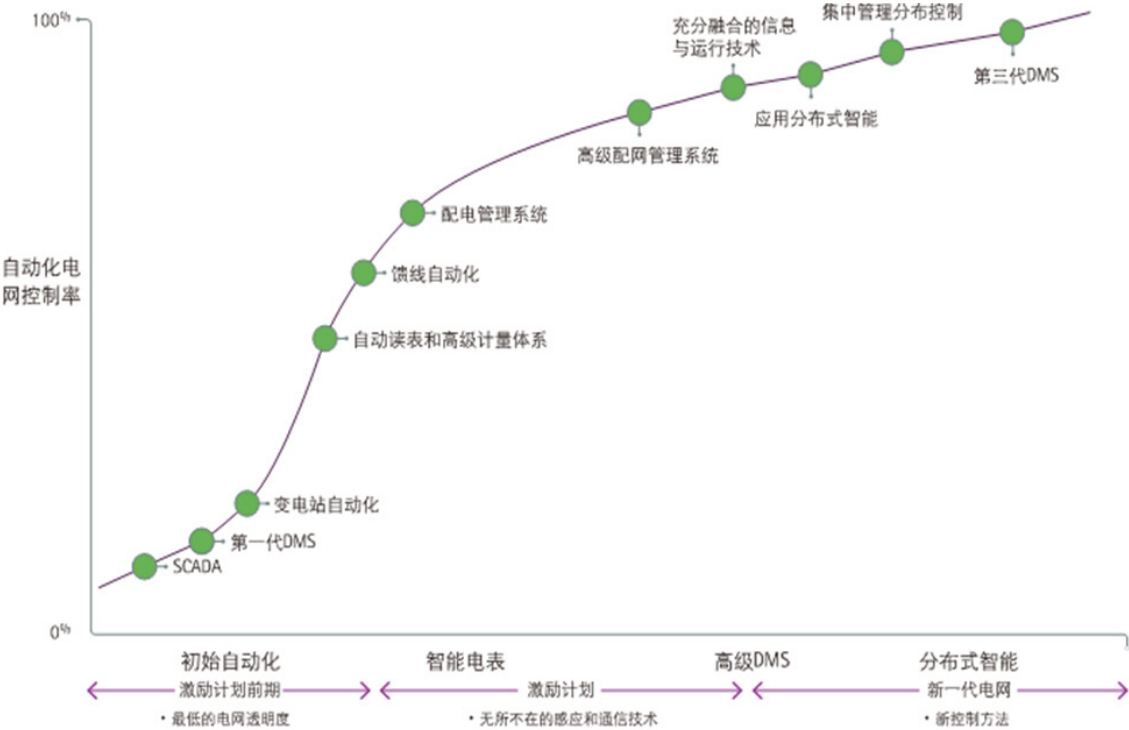


图3 电网运营技术路线图

层传统电网 OT 系统与新型 IT 系统。通过对通信协议及标准的统一，从根本上适应各类智能终端的接入。智能终端所产生的海量数据，IT 系统将传统的分散、分层和异构的传统数据中心融合为全扁平式、点到点全互联和统一资源管理的分布式云数据中心体系，实现统一的管理、呈现和运营。逻辑统一的云数据中心也正是电力公司大数据平台、多业务系统的有力支撑。

2.2 IT-OT 融合整体技术框架

2.2.1 信息基础架构

要建立一套成熟的 IT-OT 融合整体技术框架，支撑电网运行全生命周期管理及监控策略，保证技术融合架构的一致性、连贯性，IT-OT 基础架构基于现有智能电网架构。

基于国内外研究成果,以及当前智能电网的建设情况,采用分布式存储结构,整合优化重构非结构化数据中心、公共数据组件和智能分析决策平台,构建公司级大数据平台,实现数据资源统一存储、数据统一计算与分析系统,支撑大数据分析应用、专业分析应用及实时决策分析。

IT-OT 融合技术框架引入智能传感技术和网络通信技术，建立一套综合接入设备管理系统，将智能设备等其他外部系统和设备的接入集成，例如 SCADA、DMS和OMS 等支持电网运营的 IT 及 OT 的系统。通过企业级的服务总线，与PMS、ERP等应用信息系统及数字化运行系统包括配电网自动化系统和数据传输自动化系统进行交互，在数据层面共享，打破系统间固有的壁垒，实时满足数据智能互联的需求。IT-OT 融合技术框架如图4所示。

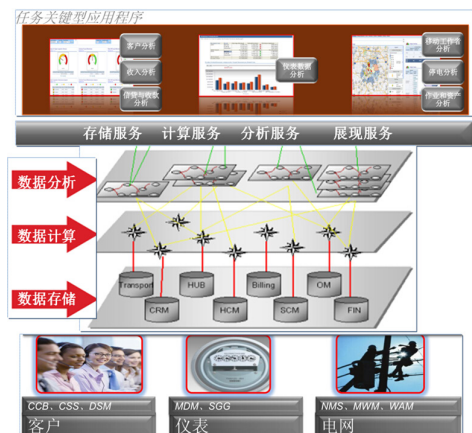


图 4 IT-OT 融合技术框架

1) 数据整合。提供关系数据库数据抽取、实时数据采集和文件数据采集和数据库实时复制等整合方式,从外部数据源导入结构化数据(关系库记录)、半结构化数据(日志、邮件等)和非结构化数据(文件、视频、音频和网络数据流等)等不同数据类型、不同时效的数据。

2) 数据存储。负责进行大数据的存储, 针对全数据类型和多样计算需求, 以海量规模存储、快速查询读取为特征, 提供关系数据存储、非关系数据存储和分布式文件存储三种存储方式, 存储来自外部数据源的各类数据, 支撑数据处理层的高级应用。通常情况下, 非结构化数据存放在分布式文件存储中, 半结构化数据存放在非关系数据存储中; 采用列式数据库或键值数据库进行存储, 结构化数据存放在关系数据存储中, 实时性高、计算性能要求高的数据存放在非关系数据存储中, 使用内存数据库进行存储。

3) 数据计算。对多样化的大数据提供流计算、批量计算、内存计算和查询计算等计算功能,允许对分布式存储的数据文件或内存数据进行查询和计算,对实时数据流进行实时分析处理,实现实时决策和预警等。

4) 数据分析。对多样化的大数据进行加工、处理、分析和挖掘,产生新的业务价值,发现业务发展方向,提供业务决策依据。

5) 平台服务。提供存储服务、计算服务、分析服务和展现服务, 将底层存储、计算和算法等能力以服务的形式, 为业务系统大数据应用提供技术支撑。

2.2.2 提供和接收数据的控制系统和设备

信息采集与传输功能由无人机、北斗、DTU（数据传输单元）、OLT（光线路终端）、FTU（馈线终端装置）、视频监控装置、手持式终端和多类传感器等共同实现，主要涉及无人机技术、智能传感技术和网络通信技术。

2.2.3 用于传输所有此类信息的网络

国网大数据平台建设目标是采用X86架构，引入分布式技术，整合优化重构非结构化数据中心、公共数据组件和智能分析决策平台，构建公司级大数据平台，实现数据资源统一存储，数据统一对外服务，支撑大数据分析应用，专业分析

应用及实时决策等分析类应用，支撑大数据量情况下的应用系统性能优化。

2.2.4 安全策略

智能电网必须具备高度的安全和“自愈”能力，才能确保信息流在发、输、变、配、用和调度的各个环节安全。

从电网监控的角度看，利用“大数据”工具来采集电网和终端设备数据，加强电网数字化状态感知能力。同时，电网运营团队也将资产的运行数据和网络安全技术结合起来，明确各项资产的可靠程度。电力公司网络安全团队用先进实践经验总结来强化其智能电网运行中心的安全水平，充分整合信息技术与运行技术，通过全方位遥视和遥控监测系统实现区域内各级变电站的无人值守，保护生产安全。在全网中通过对不同类型的业务划分不同的安全区，业务之间通过高性能防火墙实现隔离，业务内所有数据均加密传输，实现有效的电网网络安全控制。通过将IT-OT与非核心业务资产和流程隔离开，包括设置高级防火墙、隔离区；或是采用规范的实体保护，例如强化物理登录控制，对电网的运行控制区域进行视频监控等。

3 IT-OT 融合的难点

IT-OT应用电力行业目前的情况表明，无处不在的感应、通信、自动化及智能技术提供了大量数据，而了解和利用这些数据的能力滞后于企业的投资。很多公司正在收集运行数据，但缺乏恰当分析这些数据的工具或能力，因而无法实现智能运行。

由于IT技术的应用，传统的OT技术不再是在孤立的网络与专业的平台之上独立运行，而是需要与其他系统进行互联互通。通过IT-OT融合，在根本上解决了系统间互联互通的障碍，但也带来了新的安全风险挑战，例如，对企业网络的攻击可来自于任何位置、任何设备和任何人，其中包括通过早期的OT设备进行攻击。员工或承包商会通过无线智能手机和平板电脑来监视生产，因此这些手持设备可能会成为内部有意或无意攻击的入口点，同时也为外部授权或未经授权的远程访问提供了可能。安全策略现在必须覆盖

从整个企业到各个端点的整个范围，其中包括IT在传统上尚未触及的领域，以及需要IT和OT相互协作来确保满足运营需求的领域。

只要从IT-OT网络捕获数据或为该网络提供数据，都应对其访问进行审查，建立边界防护，通过对用户访问进行授权，对身份进行认证，对数据进行加密传输，设置安全分域，建立访问控制和入侵检测。针对恶意代码进行主动防御：一方面是出于网络安全方面的考虑，另一方面也是为了保护专有过程。

另外，与现代OT连接的老系统或与老OT相连的现代系统也会带来巨大的风险，例如传输的数据不正确可能会更改过程并导致监测停电信息不正确、不可控甚至设备停电和作业中断。

依靠开放式控制系统和标准化管理方法，客观性的评估系统安全性。分析所有对系统的潜在威胁，以及可能导致的漏洞。利用网络将各种设备（如电动机起动器和传感器）连接到控制器、人机界面和企业网络，使OT与IT实现连接，而连接后的网络更易于管理，并能实时掌控所需信息，更清晰掌握运营情况，制定更为明智的决策。

4 结束语

在“物联网”中，几乎任何事物都可以使用嵌入式技术来收集和传送信息。运营技术(OT)和信息技术(IT)之间能够以更快的速度进行连接，对质量控制及能源使用情况进行管理，整个企业的协作程度将因此达到前所未有的水平。

伴随着“电网2.0”的深化应用，将传统电网升级为智能电网已成发展的必然趋势。未来更美好的智能电网首先应该要能实现新能源的兼容以及发电用电的双向互动；其次需要通过智慧调控实时动态调整调控计划；平衡负荷曲线，灵活地调节电价及用户用电需求，同时未来IT-OT间的信息流、业务流和电力流一定是相互融合的。

在资源和环境危机面前，人类有了更加智慧地思考，为传统能源开辟了智慧能源的新路径。IT-OT跨界融合的理念使互联网技术与新能源系统相结合，预示着重大的经济转型。电力行业已初步建成基于集约一体化平台的信息化企业，将生

(下转第815页)

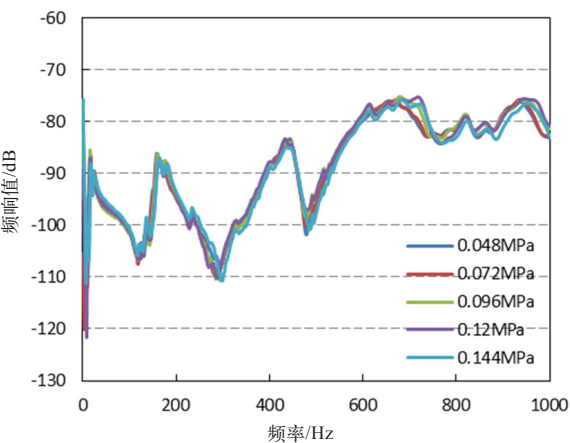


图5 SCB10-800/10变压器声压级随铁心夹紧力变化规律及工艺参数关系进行了研究。研究发现：

- 1) 对于旧的干式变压器声压级与磁通密度的平方呈近似线性关系；对于新的干式变压器声压级与磁通密度呈近似线性关系。
- 2) 由于旧的变压器铁心树脂已经老化，固化效果不明显，噪声随铁心夹紧力变化明显，存在一个最佳夹紧力，大概在0.15 MPa；新的变压器铁心树脂固化作用明显，螺栓拉紧作用不大，噪

声随铁心夹紧力变化不明显。因此，干式变压器使用年限过长时，存在树脂老化和螺栓松动导致噪声变大的可能。

参考文献

[1] 周贤士.干式变压器的发展动态[J].变压器，2004，41(3):36-41.

[2] 顾晓安等.变压器铁心振动和噪声特性的试验研究[J].变压器，2003，40(4):1-4.

[3] 谢毓城等. 振动理论与隔离技术电力变压器手册[M].北京:机械工业出版社，2014.

[4] 钟星鸣.干式变压器的振动和噪声研究[D].广州：华南理工大学，2010.

作者简介

彭伟（1968-），男，硕士研究生，高级工程师，从事电厂热动力、变电站噪声等研究。

(收稿日期：2015-11-20) **EA**
(编辑：朱历)

(上接第811页)

产、管理等各项业务与信息化深度融合，电网数字化正促使信息系统（IT）和运行系统（OT）助力互赢，全面提高电网安全运营水平、生产效率和

参考文献

[1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.

[2] Meyers J P E. How the convergence of IT and OT enables smart grid development[DB/OL]. [2013]. <http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/electric-utilities/How-the-Convergence-of-IT-and-OT-Enables-Smart-Grid-Development.pdf>.

[3] Hua Rong. The-connected-enterprise-maturity-model[J] Instrument standardization & metrolog, 2014.

[4] 谭朝华. 分布式能源接入电力系统的影响[J]. 中国高新技术企业, 2014(17): 65-66.

[5] 颜志强. 智能配电网与配电自动化的分析[J]. 科技创新与应用, 2014 (35): 189.

[6] Mina S, Babak N. Smart power grid security services: Risk management approach considering both OT and it domains case study: Shiraz Power[C].Distribution company, Electricity Distribution (CIRED 2013), 22nd International Conference and Exhibition on, 2013: 1-4.

[7] LindaTucci. Gartner: It's time for IT and OT to merge[J/OL].<http://searchcio.techtarget.com/news/1308982/Gartner-Its-time-for-IT-and-OT-to-merge> [2008-04-09].<https://www.gartner.com/doc/1061314/it-ot-convergence-started-journey>.

作者简介

薛力萌(1988-),女,大学本科,助理工程师,电力行业信息化系统建设。

(收稿日期：2015-12-10) **EA**
(编辑：朱历)