

关于“互联网+工业节能” 技术研发与应用的问与答

文 刘焕彬

华南理工大学制浆造纸国家重点实验室

核心提示 本刊特邀华南理工大学原校长、俄罗斯工程院外籍院士刘焕彬教授，以问答的形式介绍了近年来关于“互联网+工业节能”技术研发及其在我国轻工造纸行业应用的现状和案例，指出：“互联网+工业节能”是“工业互联网+先进制造”的组成部分，也是智能制造的切入点。刘焕彬教授认为，在实现我国造纸工业智能化的过程中，应遵循“做好规划，抓住重点；跨界集成，协同创新；分类指导，先易后难；效益导向，稳妥实施”的原则。



2017年9月，国家发改委和质检总局发布了《重点用能单位能耗在线监测系统推广建设工作方案》，要求以物联网、云计算等技术为支撑，大力推动重点用能单位能耗在线监测系统建设，采用“国家平台+省级平台+重点用能单位接入端系统”的架构，统一标准，互联互通，开展能耗大数据应用，探索“互联网+节能”服务新模式。这是国家推动“互联网+节能”技术应用的有力措施。2017年11月，国务院发布了《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》，提出了“百万企业上云”的要求。2018年5月国家工业互联网专项工作组发布了《工业互联网发展行动计划（2018—2020年）》和《工业互联网专项工

作组2018年工作计划》，要求在2020年前推动30万家工业企业上云，培育30万个工业APP。在国家发改委、工信部等有关部门的支持与关心下，继2016年2月成立了全国“工业互联网产业联盟”后，2018年12月成立了全国“互联网+节能产业联盟”。李克强总理在2019年全国人大的政府工作报告中强调指出，推动传统产业改造提升，打造工业互联网平台，拓展“智能+”，为制造业转型升级赋能。

国家正在大力推动实施“中国制造2025”的战略规划。未来三五年内，随着新一代互联网5G的普及应用，随着我国工业互联网平台等关键技术的逐步成熟和应用，面对智能制造新技术和新思维的浪潮，各行

各业将面临新的机遇和挑战，大有“顺之者昌、逆之者亡”之势。

本文以问答的形式与读者一起就如何理解“互联网+”“互联网+节能”、工业互联网平台及其之间的关系，“互联网+工业节能”技术在我国轻工造纸行业应用的成功案例，如何挖掘工业数据价值以及如何实现我国造纸工业智能化等问题进行讨论。

“互联网+工业节能”技术的研发应用要分两步走，当前处在起步阶段

节能涉及到两个方面，一是能源供给侧的能源转化与输送，主要是电力部门的事情；二是能源应用侧，包括工业用能、交通用能、建筑用能等。工业用能“互联网+节能”（即“互联网+工业节能”）技术的研发和应用，要分两步走。第一步是应用新一代信息技术优化、精细化用能管理，提高能效，这一步即是数字化、信息化阶段；第二步是应用新一代信息技术和人工智能等技术优化、智能化生产过程，进一步提高能效水平，此步即是智能化阶段。

问1：为什么说“互联网+工业节能”技术研发应用处于起步阶段？

答：“互联网+工业节能”是“工业互联网+先进制造”的组成部分。几年前，德国提出了“工业4.0”战略，我国提出了“中国制造2025”战略规划，很多发达国家都提出了类似的规划，其核心是基于工业互联网去实现工业制造智能化。工业制造智能化包括生产设备智能化、生产过程智能化、能源管理智能化和供应链管理智能化4个部分。其中能源管理智能化是与其他3个部分紧密相连、不可或缺的部分，“互联网+节能”就源于此。工业制造真正达到智能化的目标估计需要二三十年的时间才能实现，是一个战略目标逐渐清晰、功能不断迭代、技术不断创新、运用服务不断丰富、产业生态不断成熟的过程，需要循序渐进地去推进。从整体上看，工业智能制造处在起步阶段。也就是说，作为工业制造智能化一部分的“互联网+节能”发展水平也处在起步阶段。

“互联网+工业节能”在技术、制度、评价体系等

方面还处在发展完善之中。现在正处在第一阶段的单点突破期——过程数字化、信息化的阶段。做好这一起步工作后，才能在技术上逐步深化，向优化与智能化方向发展。现在正推动重点用能单位能耗在线监测系统建设，把工业制造过程中的设备数据，生产数据包括能源数据，通过数字化、信息化上传到云，作为推广“互联网+节能”在工业领域应用的重要措施。

问2：与欧美发达国家相比，我国的优势与差距表现在哪些方面？

答：与发达国家相比，我国有优势也有差距。从工业节能的角度看，“互联网+节能”技术水平与“工业互联网平台”技术水平紧密相关，其水平高低取决于工业互联网平台水平的高低。现在，发达国家都很重视工业互联网平台的研发和建设，都在努力争夺工业互联网平台建设的制高点。美国的GE、德国的西门子、我国的几个领头企业都在基于各自的优势，从不同层面、不同角度去搭建工业互联网平台。这主要是因为工业互联网是数字浪潮下，工业体系和互联网体系深度融合的产物，是新一轮工业革命的关键技术支撑。工业互联网平台包含三层结构：一是工业数据的采集传输交换层；二是数据的快速计算处理和高级建模分析层；三是实现智能控制、优化运营的服务层（APP）。简单地说，工业互联网平台的功能本质是：数据采集与分析+高级建模与快速计算=各种应用服务。

当前，全球工业互联网的发展呈现出关键技术加速突破、基础支撑日益完善、融合应用逐渐丰富、产业生态日趋成熟的良好态势。但是，迄今还没有标准的真正能提供应用的工业互联网平台，如数据分析建模、运用服务、端到端服务等难题还要深入研发和完善。

我国非常重视互联网建设。近些年下发了不少相关文件，采取了较为有力的促进措施，组织了很多互联网发展专项，取得了明显成果。例如，我国在5G的研发和建设方面走在了世界的前列，国家高度重视工业互联网发展，工业互联网的顶层架构、组织体系、推进机制已基本形成，政策体系不断完善，已从概念普及开始进入到实践深耕阶段，步入了快速发展阶段。我国互联网发展理念、商业模式、应用实践有较成熟经验，基本形成了覆盖全社会的互联网生态，对推进

工业互联网平台建设和应用有独特优势。总体而言，我国在包括“互联网+节能”在内的工业互联网技术平台建设水平与欧美发达国家同时处在起步阶段。我国在政策、市场应用等方面有我们的优势。

欧美发达国家中，美国数字经济发达，德国工业制造水平领先。与欧美发达国家水平相比，我国差距表现在四方面：一是我国缺乏效率高、成本低的数据采集技术和装置。据相关统计，2017年我国规模以上工业企业生产设备数字化率为44.8%、数字化设备联网率为39.0%。这说明我国制造业中，设备、生产流程、能源等参数能测量出来的比例不高，同时测量出来的数据大部分还不能上传到网络平台上。之所以出现这种情况，与我国工业化时间短、自动化技术比较薄弱有关。二是大数据分析和建模技术比较薄弱。三是构建特定工业场景的工业APP的研发和应用方面存在差距。四是技术装备的短板。像互联网数据库、数据储存等技术装备都被国外垄断。这些方面我国必须下大决心、下大力气，努力打破垄断，研发自己的技术与装置。

为了争上游补短板，国家采取了三大措施。一是国家下决心打造工业互联网平台。工信部规划，我国要打造一两个可以和国际先进水平比肩的工业互联网平台。建设高水平的工业互联网平台是实现工业智能制造的前提条件，是一件大事情，必须由国家下决心去组织研发。二是国家鼓励行业、企业实体开发行业通用、企业专用的APP。国家搭建平台，行业实体企业努力开发适用的APP。三是推动百万工业企业和大型设备数据上云，以此推动工业互联网商业模式形成、技术迭代、规模应用。“数据上传到云”是推动、实现“互联网+节能”的基础工作。现在国家正在推动能耗在线监测平台的建设，就是百万工业企业数据上云的具体措施。这将为我国工业互联网建设，为“互联网+工业节能”技术的发展打下坚实的基础，企业要积极参与，数据上云将是我们的优势。

“互联网+工业节能”技术在我国轻工造纸行业应用的成功案例

“互联网+工业节能”技术在我国轻工造纸行业应

用的成功案例证明，应用“互联网+工业节能”技术可以实现优化、精细化用能管理，并可收到明显的节能增效作用。

问3：“互联网+工业节能”技术在我国轻工造纸行业的应用案例的效果如何？

答：国内很多地方，比如广东、北京、江浙一带，都有高端节能服务公司为制造业提供不同的“互联网+节能”技术服务，不乏有成效的实践和案例。广州博依特智能信息科技有限公司（以下简称博依特公司）自主研发的能源管理信息云平台（POI-EMS）是在我国造纸行业中推广应用的典型案例。博依特公司研发的能源管理信息云平台（POI-EMS）技术已在7个省（市）区域能源管理中心应用。例如：2014年建成的东莞市能源管理中心云平台，在全国首次实现网上节能考核、节能规划评审，首创区域能效指数，实现能耗在线监测企业830家，有关部门曾在那里召开全国现场会，现已成为全国的典型示范平台。

目前，博依特公司研发的企业能源管理信息云平台（POI-EMS）已在高能耗的造纸、陶瓷、水泥、玻璃、食品等行业的70多个大中型企业应用，取得了明显的效果。据统计，2015—2017年的3年期间，有关企业应用博依特公司研发的能源管理信息云平台（POI-EMS）后，共实现直接经济效益近18亿元，节约56万t标准煤，减少碳排放145万t。另外，该公司正在探索大型集团企业的智能制造规划和实施试点，并取得了一定成绩。例如，博依特制造执行系统（POI-MES）产品在维达纸业4个生产基地上线后，每年经济效益超过1000万元。博依特公司因此入选了首批广东省工业互联网产业生态供给资源池，以及广东省重点节能技术推广目录，并被评为广东省工业互联网应用标杆企业，该项目被评为中国智慧能源产业优秀项目。

问4：为什么博依特公司研发的企业能源管理信息云平台（POI-EMS）能够为企业取得如此显著的效果？

答：博依特企业能源管理信息云平台（POI-EMS）之所以能够取得如此显著的节能增效的效果，主要有3个原因。

第一，架构合理，技术先进。博依特公司坚持走“跨界集成、协同创新、创造价值”之路，坚持产学研结合，是一家集研发与应用推广于一体的公司，同时又是一家既懂互联网又懂工业生产和节能的高端“互联网+节能”技术服务公司。因此，在其产品设计研发时就以“工业互联网平台”的理念，高标准搭建平台架构，并在企业推广应用的循环中，不断优化和提升技术水平，提高版本，以适应和满足不同行业和企业的需求。例如，2016年从当地网络版，即POI-EMS-1.0版，升级为互联网上云版，即POI-EMS-2.0版。2018年，把POI-EMS-2.0与自主研发的企业操作执行系统POI-MES-2.0结合在一起，把产品升级到POI-CLOUD-3.0版本，技术水平提高，功能增加，企业应用方便。而且POI-CLOUD-3.0版本容易与今后国家标准的“工业互联网平台”对接。

第二，深度融合，聚焦效率。围绕提高生产效率和降低成本的核心命题，通过深入理解行业业务构建适用性的数学模型，形成可落地、效果显著的解决方案，成为帮助传统制造业企业踏入数字化转型的有效切入点。

第三，功能多样，实用性强。由于博依特公司企业能源管理信息云平台实现了数据上云并有相应的数学模型和优化计算软件，因此具有以下8项先进功能：

(1) 具有强大的数据采集功能，每秒钟能采集百万级标签点以上数据。这一点非常重要，只有实现大量的数据采集，才可以进行数据价值的挖掘。

(2) 具有“关键绩效指标(KPI)”及其可视化功能。能在平台内计算出关键绩效指标、生产线能效水平和波动情况并可视化。关键绩效指标是国家统一的算法，通过计算该指标，便可以知道能源应用和管理的实际情况。

(3) 具有全厂能源运行状况监测及可视化功能。能实时计算和统计出全厂能源流向及消耗情况、生产设备的启停状况、电力系统、蒸汽系统、水系统的计量瞬时值并可视化。这样就可以实时给管理者提供相关统计数据，以便于进行优化、精细化管理。

(4) 具有用能趋势分析功能。显示全部采集变量的历史趋势并在时序上进行对比分析，可发现异常工

况、分析和追溯原因。企业根据趋势分析和最低成本安排用能。

(5) 具有多维度能效分析功能。对各班组、各重点耗能单元、对任意时间区间等多个维度进行能效分析，可用于班组能效考核、生产线能效考核、峰谷用电分析、停机检修无效能耗管控、生产能耗异常预警和追溯等。企业可以通过这些数据获知不同时段能耗的情况，可以知道什么时候适合在峰谷用电，什么时候设备停机检修比较好，什么时候可以多用电，什么时候可以少用电等，有利于节能增效。

(6) 具有运行优化功能。可以通过优化计算，改变重点耗能单元或过程关键操作变量的设定值去实现过程和用能优化。

(7) 具有实时能源成本核算功能。可将每批次产品所消耗的各类能源在线统计，可对各规格品类的产品单独核算能源成本，便于生产精细化管理。

(8) 具有能效对标功能。通过生产线能效水平对标、重点耗能单元或过程能效水平对标，找到最佳可行性运行工况。有4个层次的对标：即国际先进水平能耗对标，国内先进水平能耗对标，本企业的先进水平能耗对标，班组之间的能耗对标。通过对标，有利于找到能耗高的原因，从而采取措施降耗增效。

从工业大数据中挖掘新知识并创造价值是智能制造的核心内容

新一代信息技术创新正步入集成、智能的新阶段。云计算、大数据、人工智能、机器学习、工业互联网等技术将重构制造业技术体系。从工业大数据中挖掘新知识，创造新价值是智能制造的核心内容。

问5：为什么说挖掘工业大数据中隐含的规律是深入研发智能制造技术的重中之重，现在有哪些有利条件？

答：工业互联网平台是智能制造的关键装置，是智能制造的枢纽，其功能本质是：数据采集与分析+高级建模与快速计算=各种应用服务。其中，高级建模与快速计算是核心的核心，重中之重。但是，迄今表述各种复杂生产过程规律的数学模型大多是通过

理论方法或实验方法为基础建立的。这种方法对于简单的小系统有效。但对复杂系统和大系统生产过程的数学模型却难于用上述方法建立，或者即使建起来了由于模型过于复杂而很难计算出来，或者即便是算出来了，也不一定适用和准确。因为用上述方法得到的模型和计算结果往往是建立在许多特定或假设条件下得到的，难于适应千变万化的生产过程。然而，要使生产过程优化和智能化，准确的过程模型是一定要有的。

随着新一代信息技术不断出现，应用大数据、云计算、数据挖掘、人工智能等技术，使在现场实时快速建立生产过程数学模型成为可能。即使过程千变万化，新一代信息技术具有不断学习和分析的自学习能力，可以不断迭代提高，从而有可能找到复杂大系统中隐含在海量数据里的各种规律。不仅如此，新一代信息技术还可以根据生产现场不断变化的大数据，对已经找到的规律（数学模型）进行完善和优化，不断实时接近生产实践。大数据和数据挖掘技术又能够让工业互联网平台不断学习，学到本质。假如能够做到这一步，生产过程的实时优化和智能化功能就可以实现。就目前而言，行业和企业应积极主动把数据上云，不断积累大数据。大数据的关键作用是从中形成知识，并通过知识推进智能。从“工业大数据”到“生产大知识”再到知识的数字化、模型化和工业 APP 是实现生产智能化的关键环节。

近年来，我国有关研究单位已开展了应用造纸工业大数据建模方法的研究和应用 APP 的研发，并取得了一定的成果。

问 6：是否有从生产数据挖掘价值的应用案例？

答：维达纸业应用博依特公司 POI-CLOUD-3.0，把包括能源数据在内的各种过程生产数据上云，通过历史大数据的处理分析，挖掘数据价值，发现能效瓶颈，找到企业生产规律，实现过程用能精细化管理。从生产数据挖掘价值的典型案例有：（1）通过生产过程数据的波动规律分析，发现能效瓶颈。例如，发现纸机干燥部蒸汽瞬时流量受锅炉主蒸汽压力波动影响，且波动幅度与锅炉主蒸汽压力波动幅度曲线镜像相

关。通过控制锅炉主蒸汽压力波动幅度，纸机干燥部蒸汽消耗下降了 1.2%。（2）通过数据对标发现能效瓶颈。应用对标功能，可实时将生产线的过程参数、相对能耗和能效与对标数据进行对比分析，找出差异原因，实现精细化管理。例如，某生产车间有 4 台相同型号的纸机，生产时经常遇到烘缸电机扭矩过高，而不能提高纸机运行速度，产能得不到提高而且增加了电机的电能消耗。通过对各纸机主要传动点的电能消耗对标分析，发现真空吸水箱的使用状况对纸机整体运行的能耗有较大影响，通过调整纸机中间真空吸水箱真空压力，降低烘缸扭矩，在纸机其他数据变化不大，生产产品质量未见波动的条件下，降低了纸机传动能耗。4 台造纸机传动功率下降。其中，仅调整后的 4[#] 纸机年节约电耗成本约 15 万元。（3）通过重点能耗设备监控和过程参数优化实现节能。例如，通过空气压缩机的实时排气压力监控和对压力数据的波动分析，对空压机的加载和卸载压力设置参数进行优化调整，全年节省电耗成本约 50 万元。又如，315 kW 磨浆机通过量对能耗影响较大，通过数据分析优化工艺条件后，全年省节电耗成本约 81 万元。（4）通过数据分析控制错峰用电，提升谷电利用率节约电费。例如，某车间通过碎浆机与磨浆机运行的错峰排产，每个车间制浆用电年节约了 37 万元。（5）通过用能趋势分析功能，提高了全厂供电系统的电力预采购量的准确度，提高变压器负载率和功率因数，年节省电费成本 50 万元以上。

博依特制造执行系统（POI-MES）产品在维达纸业 4 个生产基地上线后，通过数据价值挖掘，每年获得经济效益超过 1000 万元。

主动融入智能制造技术生态圈，推进我国造纸工业智能化发展

以“工业互联网+先进制造”为代表的第四次工业革命，是一次技术突破和企业重构。同时，它也是一种技术思维方式的转变：要用大系统的思维方法去思考问题；要用跨界集成、协同创新的互联思路去寻找解决问题的方法；要用优化与智能化的技术手段去提高效率，实现预期目标。

问7：作为传统制造业，造纸工业在智能化浪潮中的前景如何？

答：从全球和历史的视角看，在前三次工业革命中造纸工业都是领头羊。例如，从1784年开始的以工业机械化为代表的第一次工业革命中，荷兰人1750年便发明了利用风力的荷兰式打浆机，继而造纸工业逐步从手工生产进入到了机械化生产。从1870年开始的以电气化和生产线为代表的第二次工业革命中，英国人福德里尔兄弟于1803年便成功研发和制造出第一台长网造纸机，继而造纸工业从离散式生产进入到流程化生产，极大地提高了造纸厂的生产能力。以过程自动化为代表的第三次工业革命是从1969年开始的，然而在1961年，造纸工业便成为首次成功实现计算机控制的过程工业，20世纪70年代后，计算机控制技术才在各种工业中得到广泛应用。过程自动化技术的发展与应用使造纸工业进入了大型化、高速化、自动化的典型的流程工业，成为世界自动化水平最高的几个流程工业之一。21世纪初，德国西门子公司提出了工业信息化（Industrial Information）概念和成套技术架构，提出了大系统和优化的概念和技术，使造纸工业自动化水平进一步提升，并成为造纸工业迈向工业4.0的前期探索，极大地提高了造纸厂的生产能力、产品质量和生产效率。因此，从全球和技术角度看，造纸工业已具备从工业3.0走向工业4.0的坚实行业基础和条件。

问8：对我国造纸工业智能化发展有哪些建议？

答：我国已是产量世界第一的造纸大国，骨干企业的生产技术水平已与国际先进水平相当。但是，具有先进技术水平的主要装置和自动化系统都是从国外引进或购买的，而且大多数造纸企业还处于工业2.0与工业3.0之间的水平。因此，我国造纸工业向智能化发展还有较长的路要走。

发展我国造纸工业智能化要做好规划，抓住重

点；跨界集成，协同创新；分类指导，先易后难；效益导向，稳妥实施。

（1）做好规划，抓住重点。行业要组织力量，做好规划，着力研发面向造纸企业智能化的关键共性技术。例如，适用于造纸行业的工业互联网平台，造纸行业的各种应用软件和APP，造纸行业的智能装置等。

（2）跨界集成，协同创新。在技术研发和应用推广过程中，应该走跨界集成、协同创新之路，要主动与相关行业合作。闭门自守必将落后。行业要支持既懂互联网又懂造纸工业生产和节能的高端技术研发和服务公司的发展。

（3）分类指导，先易后难。根据我国造纸工业技术水平差异，在转型过程中要先易后难，逐步实现。首先，要采取有效措施提高企业自动化水平和装备水平，走完工业3.0的路程。其次，在基础较好的造纸企业，要主动融入工业智能化技术产业生态圈，主动推广应用新技术。企业要积极参与“企业上云”，可以从“互联网+工业节能”作为切入点上云。例如应用技术比较成熟的“智能能源管理云平台（POI-EMS）”上云，既是能耗在线监测系统又是提高精度和优化管理水平手段，在此基础上逐步提高智能化水平。

（4）效益导向，稳妥实施。实现企业智能化是一个渐进过程。而且是在原有自动化水平的基础上完善和发展的，要一步一个脚印，以效益为导向，稳妥实施。

造纸产业是典型的传统产业，在企业智能化发展过程中会遇到许多挑战。正如管理大师彼得·德鲁克所说，“无论什么传统产业，之所以能发展壮大，就是因为它们围绕知识和信息进行了重组。”我们相信，只要坚持技术创新，效益导向，通过应用新一代信息技术不断重组与发展，我国造纸工业将继续与国民经济同步发展，从造纸大国建设成为造纸强国。■