CMES
中国机械工程学会

MT机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

http://www.cmes.org

2019 年第 6 期 总第 205 期

目 录
CONTENTS

机械工程导报
MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2019 年第 6 期（总第 205 期）
2019 年 12 月 28 日出版

主办：中国机械工程学会工作总部
地址：北京市海淀区首体南路9号
主语国际4号楼11层
邮编：100048
电话：010-68799036（编辑部）
传真：010-68799050
E-mail：zhongyg@cmes.org
网址：www.cmes.org
主编：陈超志
责任编辑：钟永刚
出版：《机械工程导报》编辑部
发行：中国机械工程学会工作总部

中国制造供应链进入防守阶段：国家供应链安全保卫战

北京联讯动力咨询有限公司　中国科协智能制造学会联合体　林雪萍

中美贸易战无论谈判到何种局面，它产生的一个巨大后果已经不可逆转。“地球是平的”正在经受从未有过的严厉质疑，全球化分工带来的集中式制造也正在接受到挑战。中国成为“世界工厂”是最为典型的时代性标志，工厂贡献了全球近 1/3 的制造产能。然而，正在发生漂移的制造版图，将不可避免地涂上浓厚的经济、安全和民族保护主义的色彩。组合式、分散化的本地制造或将成为全球制造的新趋势。中国工业正在面临着前所未有的制造供应链危机。

一、中国制造业转移速度会有多快

富士康的一举一动，无疑是最为显著的标杆。苹果—富士康—中国供应链所形成的铁三角，是中国制造最为闪耀的里程碑，在过去的十年中一直闪闪发亮。苹果高端产品，中国制造，已经成为不可动摇的惯例。

然而就在 2019 年 10 月，富士康在印度钦奈附近的工厂已开始全面生产 iPhone XR，计划会增加 iPhone 11 的生产，而最先进的 iPhone 11 Pro 和 iPhone 11 Pro Max 也有可能。

这是一个划时代的象征。

就在去年之前，苹果的小号代工商纬创 Wistron 在这里还只能生产老产品 iPhone SE 和 iPhone 6s，都已经让当地媒体激动。2019 年初，纬创已经开始生产 iPhone 7。而如今，一号选手，已经就位了。也就是说，2018 年 7 月份，印度的媒体还在为 iPhone 6s 在本地生产而欢呼；而今年，全新上市的 iPhone 11 马上就要在印度本地生产了，而且 iPhone 11 的生产工艺要复杂得多。

二、美国全国广播公司财经频道认为越南不能替代中国——然而越南只是一角

毫无疑问，华盛顿和北京之间贸易争端的最大受益者，非越南莫属。10 月，越南总理宣布，在强劲的出口和外国投资的支持下，越南的 GDP 增长预计将超过 6.8%，而且外汇储备达到创历史记录的 730 亿美元。越南统计局也在 8 月份高调调整，将 2011-2017 年期间 GDP 总增长调整为 25.4%，而这还没有反映出 2018 年以来更加迅猛的发展（图 1）。

根据中金公司 9 月份的调研报告，近一年的投资热火箭般上升。2018 年中美贸易摩擦导致了集中转移。中国企业，是中国企业，首当其冲跑在最前列，仅上半年就落地 426 家企业，投资额超过 25 亿美元。这也导致了原来空置的厂房、熟练的员工及土地异常走俏，成本上涨很快。

贸易战加速了企业把在中国的工厂向越南转移的趋势，一方面是因为中国不断上升的人力成本，另一方面也是为了降低风险。毫无疑问，这家时刻以“中国为师”的邻居，填补了中国在对美出口方面所失去的市场份额。各家跨国企业（也包括中国）采用了娴熟的方式，通过制造转移的方式，完成了避税的操作。

那么越南到底有一个什么样的家底呢？

越南约有 9000 万人口，人均 GDP 为 2600 美元，中金公司的一篇报告的看法是，这非常接近中国 2005 年腾飞时的起点，而且在城镇化率、人口红利、对外开放、吸引外资等方面与中国极为相似——彼时的中国已经经历过入世 WTO 四年的初步洗礼。

而就越南是否可以取代中国的问题，10 月 28 日美国全国广播公司财经频道（CNBC）列举了几项数据进行了详细的分析。

首先，尽管增速的越南在追赶，但两国在体量上的差异实在是巨大：100 倍（图 2，图 3）！

图 1 中越两国在中美贸易战期间的出口与增速对比
（图片来源：CNBC）

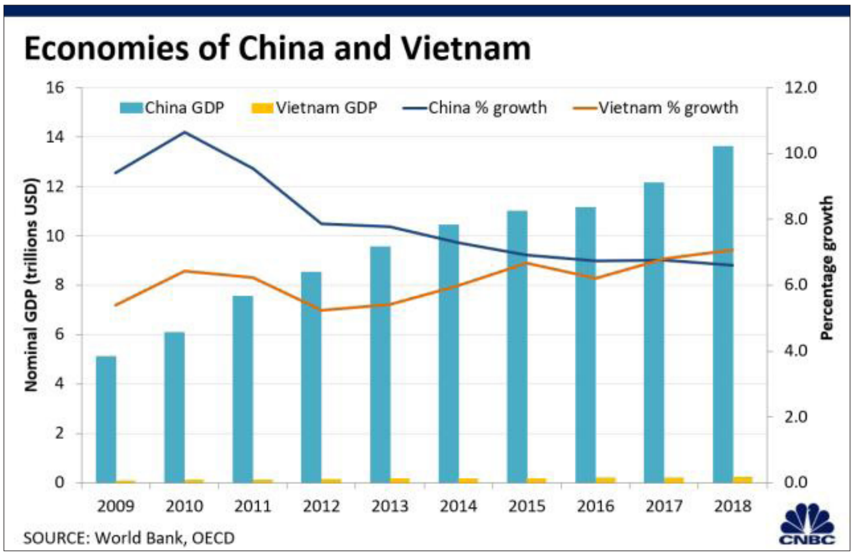


图 2 中越两国的 GDP 和 GDP 涨速对比
（图片来源：CNBC）

其次，越南的产能问题限制了它的发展，包括基础设施不发达、缺乏熟练劳动力和迫在眉睫的电力短缺。土地私有化也让新开工业园区的热情，处处受限。

在劳动力方面越南也是弱项。虽然劳动力大军非常年轻且不断增长，但在规模上，它仍然远远小于中国。越南只有 1 亿左右的人口，这个缺口并不容易补上。

CNBC 最后做出一个很肯定的结论，那就是越南在经济体量上比全球第二大经济体的中国要小

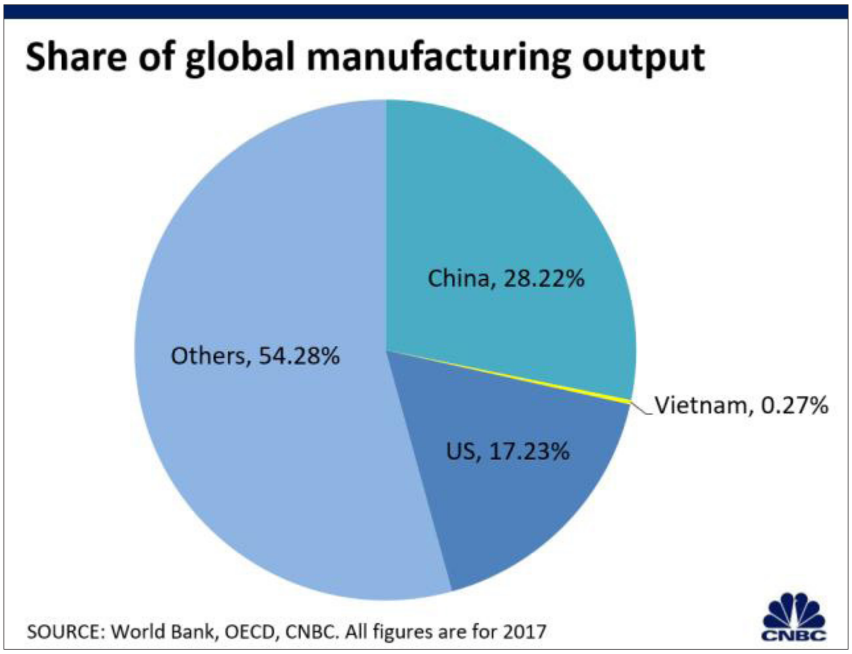


图 3 中、越、美在全球制造业的份额
（图片来源：CNBC）

得多，越南并不能取代中国成为下一个全球制造业中心。这也意味着，任何一个东南亚国家要想复制“中国制造”崛起的成功经验，可能性都很低。

CNBC 提供的数据非常扎实，让我们见识了迅速崛起的越南，也确认了越南这个国家是不可能全面替代中国的。而且按照中金报告的说法，越南在工业基础和产业链方面很差。2005 年中国国产品牌在轻工、纺织、家电和机械装备领域已经崛起，而目前越南民族品牌出头尚待时日。

这些结论从越南来看是对的，但从中国来看，则存在着巨大的风险。中国制造不可能只是和越南交锋，我们需要一个全新的视角来看待全球分散化制造的问题。

CNBC 结论背后的一个重要范式假设，仍然是“全球化经济 + 集中化制造”。然而，这种假设本身是可能存在着重大缺陷的，全球制造再也不会挤在一个“拥挤的世界工厂”之中，数字化技术从技术角度助推了分散式制造，小世界工厂将分布各地。

《经济学人》智库在 10 月份的报告中也表示，尽管跨国公司暂时不会大规模撤离中国，但分散业务将成为重要战略，以减轻贸易争端的不利影响。东南亚也有正在成熟的劳动力和市场。一切都会变化。既然越南不过中国 1/14 的人口，那么印度这头大象，就和中国人口相当了。这里又会发生什么？印度几年前很少有女工，现在各个地方法院纷纷打开口子。大量代工厂本来就更愿意雇用女性工人，因为女性更细致更有耐心。富士康印度工厂的女性有的高达 90%，而无论是在郑州还是太原都不可能有这样的比例。

三、苹果才是这场大戏的主角

目前看，苹果公司采用了一种“鸭子凫水”的战术，表面上苹果公司的许多表态都是向中国示好，但各个代工商正在按部就班地加快迁移行动的准备。这种可能性已经不知道探讨过多少次了，每一次探讨都意味着可能性加大一分。

美国市场占据了 iPhone 全球销量的 1/4，这占了富士康在中国制造业务的很大一部分。将最后的组装环节移出中国是比较简单的。如果要将零部件和整个手机的全面生产移出中国，就很难了。这件事情当然很难，但也不是不可想象。这取决于中国制造即将采取的对策。

贸易战打乱了复杂的全球供应链，这个供应链涉及中国和美国以外的许多国家。惠誉评级机构 Pitch 分析师认为，没有哪个国家“真正能够吸收所有的生产”，而贸易战的结果正是将这些生产推离出中国。用本地化生产来应对贸易战，就像富士康要

在美国威斯康星州建立生产基地一样。尽管进展不顺利，但中国制造供应链的一部分显然正在被“挤出”体外。

由于印度有许多厂商提供低端、更实惠的手机，目前苹果只占印度智能手机市场的 3%。苹果一直梦想拥有自己的旗舰商店，但即使是 CEO 库克见了莫迪总理，也无济于事。印度要求苹果必须在这里生产其 30% 的产品，才能获准拥有旗舰店。

苹果看上去一半是妥协一半是有全新的考虑，它已经开始逐步将其最新产品的生产转移到印度，从而助力印度打造成为全球制造枢纽。

目前印度还有很多政策，让它像棵豌豆苗一样曲折向上。这种弯曲跟中国制造形成一种攻防博弈的状态。只要印度放开一个口子，那么中国承受的压力，马上就会变得很大。

并没有给鸿海指令将生产移出中国，而转移生产线则是代工商根据客户需求做出的决定。

富士康高管在今年 6 月份表示，富士康在中国之外有 25% 的产能，并且正在对印度进行投资，它有能力把所有美国所需要 iPhone 的生产移出中国。除了越南和印度，墨西哥、印度尼西亚和马来西亚也被认为正在考虑中。此言一出，行业一片震惊。很多人都以为这只是一句气话，或者是一句鼓劲儿的话。然而，这句话的余音却震荡强烈。苹果不动声色地暗地里巨额处罚了这位高管。真实的实力和意图都不能摆在桌面上。

仅仅过去了四个月，目前可以肯定的是，印度完全可以成为苹果公司大型设备的主要生产基地。富士康正在印度那里进行 iPhone XR 系列的质量测试，并计划在钦奈郊区的一家工厂开始批量生产。这与纬创在班加罗尔工厂生产较旧型号的手机，完全不可同日而语。

一句大实话，露出大马脚。中国制造的攻防线，又往后退了一步。

四、让印度制造发亮

苹果在印度没有自己的工厂。然而，它与许多将印度视为制造业中心的公司打交道。苹果最近与供应商探讨将他们的制造业移出中国的可能性。

在苹果同意纬创在印度制造 iPhone 7 前，后者在印度买地建厂的计划刚刚获得政府批准，离印度科技中心班加罗尔约 65 公里。纬创将投资 1 亿美元左右来开发这块土地，用于生产“智能手机、物联网设备和更多高端苹果设备”。

苹果已经改变策略，一是停止销售低端产品；二是将印度作为一个制造业基地。这当然依赖于印度的政策，尽管目前它离中国和越南还差的很远。但在中国关税威胁仍然很大的时刻，这就是一个大坑。这种策略，正是为了寻求减少对中国制造业基地的依赖。

苹果公司一再请求印度政府，重新考虑其制造业政策。降低进口税，这些部件被装配后将再度出口。而印度政府目前正在考虑，对这些零部件征收“微不足道的零关税”。这将使在班加罗尔工厂生产 iPhone 的苹果公司受益。

苹果能否让“印度制造”闪闪发亮？这取决于苹果公司的决心、印度政府的决心。而不取决于其它因素——供应商完全可以快速到位。在这件事情上，中国制造始终处于被动局面。

iPhone 11 不久将在印度上市，可能也会在印度生产。苹果公司正在花费 10 亿美元来扩大其在印度的生产能力，而且会持续不断。资深伙伴富士康自然是主要受益者，而富士康这方面的专业知识也就随之被带到印度，而其它零部件制造商也会随之将业务转移到印度。龙头一动，万马随行。

4 个月前《日经新闻》就报道，苹果公司正在探索将其 15% ～ 30% 的硬件产品移出中国市场。该公司有一个不断壮大的团队正在研究转移生产，并要求富士康、和硕 Pegtron 和纬创等关键的生产合作伙伴对现有的选

择进行评估。

苹果公司在中国直接雇佣了大约1万名员工。将苹果制造放在中国，则创造了大约500万个工作岗位。目前尚不清楚在这些工作中，有多少会受到苹果将近30%的产品外迁的影响。这也意味着，中国供应链的攻防必须快速进入到一个量化阶段：只有这样，防守才能得法。

是的，这些工作，并没有搬去美国，但却是搬离了中国。出现这样的转移方式，美国政府旨在遏制中国制造崛起的目标，已经达到了。

如果认为导致这一转变的因素，仅仅是因为中美之间正在进行的贸易战，这种认识也未免过于简单了，没有意识到全球大趋势的转变。无论贸易争端是否得到解决，苹果等跨国企业都可能会转移他们的生产。将生产过度集中在一个国家，已经被证明是一种不可控的风险。所有的企业家都会着眼风险的控制，征税只是其中的一种手段。而中国的低出生率、高劳动力成本也都标志着中国必须考虑一种防守的策略。

中国已经围绕苹果建立了一个庞大的物流和零部件供应商生态系统，将生产转移出去将是一个“痛苦和困难”的过程。中国拥有庞大的熟练工人队伍，其基础设施更具弹性，不太容易出现电力短缺等问题，这些都是大型制造商喜欢中国的地方。因此，生产转移将不会是一个快速的过程。不过，估计在18个月，或者2～3年内就会逐渐产生明显的结果。到那个时候，整个局面就会对中国很不利了。

中美贸易战，近期似乎出现了相对缓和的局面。时好时坏，但从供应链攻防的角度而言，这个结果已经不重要了。科技战不是贸易战的附属品。科技战是独立的，其背后则是全球供应链的急剧流动，像火山熔浆一般四散涌出，寻找新的秩序。中国制造稳固的供应商网络正在出现裂痕。

五、工业化可以重塑工人

东南亚有时候会被看成是很难工业化的区域，东南亚的人背负着不够勤快、土地私有、基础设施落后等诸多不利的标签。他们似乎有着另外一个雅号——热带惰民，显得好像是跟天气有关。这些都被看作是难成工业大梁的内在基因。

然而，工业化本身就会重塑工人。工业化带来的财富，可以让本土的人民都脱胎换骨。

占中国智能手机市场不足1%的三星，9月份正式关闭了在中国大陆的最后一个工厂。而巅峰时期，三星在中国拥有13个手机工厂、7个研发中心。在某种意义上，三星工厂的黯然，是本土品牌崛起的一个标志。然而，三星在全球仍然是最大的手机制造商，它的产能跑到哪里去了呢？

越南！三星打算继续投资一个新的工厂。迄今为止，三星在越南已拥有8个工厂及研发中心，投资超过173亿美元。它是越南最大的外国投资者，雇佣了大约16万当地人。2018年三星从越南出口的商品价值达600亿美元，在越南整个出口总额中四分天下有其一。

这个时间有多快？2014年三星就与越南政府合作，加大对一级供应商的培养。在当年举办的“三星采购交易会”上，200多家越南本地商跃跃欲试，响应三星的91种零件本土化的计划。结果呢，无一合格。为此，三星开始提供技术咨询计划，将韩国专家派往越南，改善制造流程。并且韩国的配套供应商，也开始培养越南本地制造商。在宁波早就拥有一家独资工厂的韩国领先注塑机厂商宇进Woojin，通过大量的培训和机器维护，帮助位于西贡的本土制造商Ninh Nguyen，进入三星的全球价值链。随着工业文化的强势导入，工业土壤，正在改变；越南工人，也会改变。

这里当然也有中国本土制造商的炽热烙铁。以管路连接件为主营业务的济南玫德集团，收购

了昔日泰国的竞争对手——SA 阀门铸造厂。不到一年，泰国工厂就发生了翻天覆地的变化。新建车间的员工不足老车间的三分之一，全厂 1300 人精减到 300 人。但产量却是原来老车间的二倍。泰国员工勤快多了。在泰国厂房的墙上写着两行字，“成功其实是一种方法”（图 4），“创新其实是一种习惯”，其实这是来自中国董事长的座右铭。正是这些点滴的工业文化，也在改变着当地的工业土壤。

而印度的一些州政府连法律都可以修改，以便为苹果制造让路；在日本，即使是在明治维新之后，工人仍很懒惰。后来，日本工厂采用了终身制等一系列变革，日本工人也就变成了我们如今钦佩的勤奋、专注、忍耐的榜样。

一切都会改变。有工业化的流水线，有先富的炫耀，没有改造不了的土壤。工业化无法改变骨骼，但却能改变思维，进而改变行动。

六、富士康带来什么：一个工厂顶全省 70%

我们都知道，富士康带来的不是只有电子产品。

郑州富士康从 2010 年开始建设，两年后的 2012 年，富士康的进出口就达到了 294 亿美元，占河南省机电产品进出口的 57%。而到了 2017 年，富士康贡献了河南省 70% 的进出口。

一个工厂独占江山的 2/3 以上，如果不到本地去看，很难想象一家企业对于一个省的影响作用有那么大。如今的郑州富士康已拥有 25 万员工，是世界上最大的 iPhone 组装厂，全球大约有一半的苹果手机是在郑州生产的。而且还能间接提供七八十万个就业岗位。对于河南这样一个劳动力输出大省，这是一个在家门口就能找到饭碗吃饭的大事。

还要看到，这仅仅是蛋糕的底座，它更是河南制造的一个支点，撬动了河南工业行业的转型升级。

图 4　济南玫德在泰国工厂的口号

许多智能终端及信息技术产业，如平板、智能穿戴等，都在围绕着富士康提供的制造能力和人才资源层层辐射。依托于富士康的巨大带动作用，河南将电子信息产业列为郑州航空港的支柱产业，而全球大型的机床厂商诸如友嘉等也都入驻郑州航空港。这起到了巨大的带动作用，活力四射。

而高效物流体系也促进了一个航空港口的大力发展。美国孟菲斯航空港的崛起，正是得益于当年制造商戴尔电脑的维修策略。美国各地有故障的电脑，都用快递寄到戴尔电脑在孟菲斯设立的维修大本营，修好直接寄回。借助于航空港优势，戴尔公司将一般维修电脑的周期，从至少需要半个月压缩到一星期，大幅度提高了售后满意度。后来耐克、医疗设备商 Smith&Nephew 都在这里购买了土地，建立分拨中心。郑州航空港也同样借鉴了这一经验，建立了物料仓储分拨中心。全球苹果手机的维修，都可以在新郑保税区直接完成，同样带动了机场航空货运量和货值。这背后又是大量的就业。

如今他们要迁走，这可是郑州不可承受之重。

七、搬迁从中国带走什么

豪华的搬迁。

富士康有大量人因工程博士，他们考虑的重点就是生产高效、克服人的弱点，甚至替代人的工作。这一点令人印象深刻。

同样是太原工厂和郑州工厂，许多在太原的岗位，在郑州已经看不到了。这背后既有科技的力量，也有强大的人因工程。这些都会减弱对劳动力的依赖。而各个国家的制造商，也在重新聚集，合力打造一个新的制造供应链基地。

谷歌从2019年起打算把Pixel智能手机生产从中国转移到越南，在东南亚建立廉价供应链。这家美国互联网巨头计划将其大部分面向美国的硬件移出中国，包括Pixel3a手机和Home智能扬声器。谷歌的智能手机虽然不显眼，但出货量也已经上千万，较一年前翻了一番。而越南也因此即将成为谷歌推动智能手机市场增长的关键部分。至于智能扬声器，则部分产品可能会转移到泰国。

中国也在其列。许多品牌如一加One Plus、Oppo和Vivo，也在印度拥有大型制造设施。小米手机作为印度出货量最大的品牌，这里的工厂提供了1/3产能，每年是4000万～5000万的产量。不要小瞧制造商对分散式制造的适应能力。供应链的群体移动，就像被炸了的蜂窝，尽管四散开来，但也会很快可以重新集结定向新目标。印度计划用5年的时间，到2024年将目前250亿美元的手机制造业，扩大近20倍，达到惊人的4000亿美元。大踏步进退之间，可能就是中国制造的寸头得失。

在8月份台湾《商业周刊》的统计中，有28%台商移出大陆，而中国大陆供应商则有43%，比台商跑得还快（图5）。

对于中国而言，全球供应链攻防战正在打响。如果说过去20年中国供应链一直处于扩张状态，那么现在，中国供应链开始处于防守阶段了。

这意味全世界的品牌制造商，当然包括中国制造商，在中国以外的地方，合力打造一个全新的供应链体系。此消彼长，中国制造的“护城河”的优势，在逐渐丧失。自发溢出既然在发生，就需要一定的防守招法。这是我们需要仔细思考的。

八、“护城河”可以挡多久

尽管富士康表示，它可以满足美国iPhone中国以外工厂的要求，但路透社分析了苹果公司过去五年的供应链数据，发现结果表明并非如此。为各种苹果产品生产零部件的合同工厂集中在中国，47.6%的工厂位于中国。虽然一些零部件制造商确实在巴西和印度设有工厂，但它们只是为了满足当地需求。这背后的原因是多方面的，包括中国成熟的劳动力供应，更先进的工厂，以及紧密的供应链整合。

然而，全球分散式制造则有着不同的角度。

这里有一个苦涩的笑话。两个人在碰到大熊的袭击之后拼命奔跑，跑在后面的人对前面的人说，其实你再快你也跑不赢大熊。


全球首份87家兩岸廠商移動清單：
蘋果供應鏈出走中國，陸企比台商還快！
40 家中國廠 43% 外移東協印度
47 家台灣廠 28% 外移東協印度
共計 17 家
共計 13 家
陸企多積極？

图5 苹果供应商的出走大陆（图片来源：台湾商业周刊）

前面的人说，我不需要跑赢大熊，我只需要跑过你就可以了。同样，苹果的合作伙伴不需要有能力从中国以外的工厂生产所有的 iPhone，他们只需确保自己生产的 iPhone 足以满足美国的需求，中国工厂就能满足世界其他地区的需求。iPhone 的关税上调定于 12 月 15 日开始，这让苹果公司有充足的时间储备 iPhone，以满足美国至少四分之一的需求。这就是以时间换空间的供应商换挡术。而这正是中国制造供应链攻防战的转换窗口期。

作为对中国研究的资深智库，美国国家亚洲研究局（National Bureau of Asian Research）日前发布了《部分脱钩：美国对华经济竞争的新战略》报告（图 7），它建议美国政府要抓住两党和精英们对遏制中国难得一见的“短暂共识期”，赶紧出台系统性国家战略，将共识化为法案，实现对中国的遏制策略长期化。例如通过立法以永久性地限制中国在美国敏感领域的投资。人才的学术交流也要加以限制，部分行业经济要进行隔离。同时，加强与部分全球伙伴的合作，实现科技一致性行动。这意味着美国正在决心与中国“半脱钩”——美国要针对中国的部分封闭，采取同样的战术组合，从而重塑美国对华战略的方式。

这是贸易战之上的整体战略。

但美国共识变成法律之前，

Diversifying supply chains

Selected firms that have announced plans to start or expand manufacturing in Vietnam

Company	HQ	Products	Status
Kyocera	Japan	Printers	Completed
Samsung	South Korea	Smartphones	Completed
Sharp	Japan	PCs	Completed
Fast Retailing	Japan	Textiles	Ongoing
GoerTek	China	Wearables	Ongoing
Guizhou Tyre	China	Tyres	Ongoing
HL Corp	China	Bike parts	Ongoing
Ricoh	Japan	Printers	Ongoing
TCL	China	TVs	Ongoing
Dell	U.S.	Notebooks	Planned
Man Wah	Hong Kong (China)	Furniture	Planned
Nintendo	Japan	Game consoles	Planned

SOURCE: News sources, Fitch Solutions (Oct 2019)

图 6 迁入越南的企业名单
（图片来源：CNBC）

中国还有一点时间。而潜在新对手的实力，也需要时间来壮大。

例如，在劳动力人口上，中国与越南相比超过 15 倍，有压倒性的优势（图 8）。

而且根据招聘公司 Manpower Group 的数据来看，在越南目前 5750 万劳动力中，只有 12% 是高技能人才。在 18 ～ 29 岁的越南年龄组中，大约有 28% 上过大学，而在泰国和马来西亚，上大学的比例分别为 43% 和 48%。就基础设施来看，越南也多有不完备。根据世界银行（World Bank）的数据，2016 年至 2030 年期间，越南平均每年需要花费 67 亿美元，才能将年发电量增加 10%。这对于饱受缺电之苦的越南，速度实在是太慢了。

同样，在全球最大自贸区即将签署的最后一刻退出 RCEP 的印度，似乎放弃了当下地区经济再分工的浪头。这与印度工业发展一直不理想也有关系，它与 11 个 RCEP 成员国都是贸易逆差，而“将工业生产值从 16% 提高到 25%”的振兴梦想，一直未曾实现。显然印度也未能对高速启动工业

图 7：美国对中国的半脱钩战略
（图片来源：NBAR，2019 年 11 月）

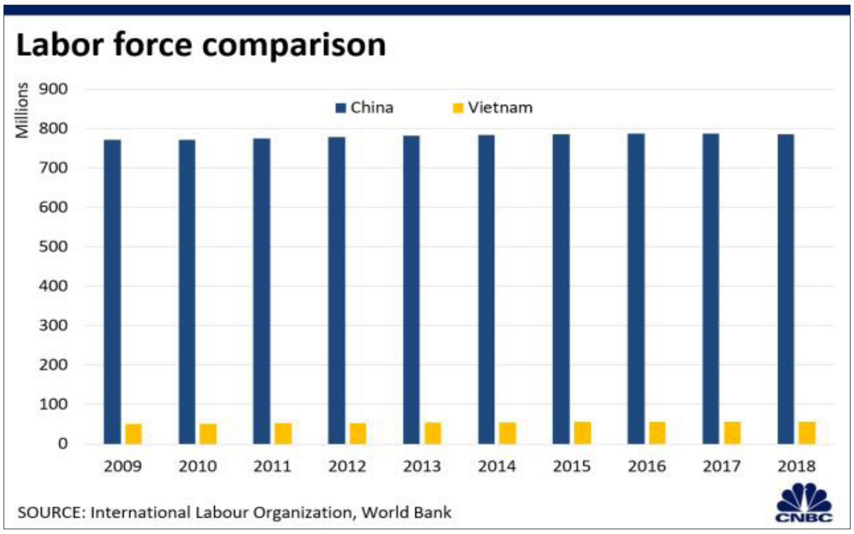


图 8：中越两国劳动力数量对比
（图片来源：CNBC）

引擎做好准备。

然而，全球分散式制造的格局正走在路上。不知道越南、印度等国家受当下如此形势大好的激励，是否会加速赶上？这个追赶的时间，正是中国攻防战中建立坚实防御堡垒的最佳时期。

而且，各路厂商也不太可能完全退出中国。因为中国有着庞大的制造业和经济体量，这能够让企业更加高效地运营。就这一点，韩国三星顾问安铉镐也曾指出，“企业在行业的竞争力和它能产生的规模效应密切相关，既然最大的市场在中国，那就应该去中国构建起自己的规模效应。”再加上，“中国的本地供应链极其完善，所以企业只要把自己挤进去就可以了。”

跨国企业当然不会都离开中国。因为这里有全球数一数二的用户市场，自然会继续有大量公司前来落地。特斯拉在上海的 50 亿美元投资，就说明了这一点。然而特斯拉工厂与富士康工厂，并不具备对照性。富士康工厂是一个全球化经济 + 集中制造的集大成者，而特斯拉恰好是反其道而行之：它更多看重的是中国庞大的市场，而美国市场并不是它的中心。

尽管特斯拉的行动令人大受鼓舞，但它代表的供应链攻防战的方向，却是相反的。这未免令人有些沮丧。如果只能满足内需，那么中国制造供应链就是在大踏步的后退。

小记：转攻为守

可以说，从 2001 年加入 WTO 以来，中国制造的供应链一直呈现出强烈的扩张态势。中国在过去的几十年里，一直处于扩张期。仅仅富士康在中国的工厂，就从 2015 年的 19 个变成了 2019 年的 29 个。然而这种扩张已经到了天花板。

有的人认为，东南亚制造的崛起，是中国制造业向东南亚外溢的过程，是民间经济自发的结果。但这种看法，恐怕都是低估了制造业在全球深刻变革的结果。印度、越南任何一个国家，都不会替代中国制造的供应链。但全球制造正在完成重新组合，“特朗普阴影”般的恫吓也起到了很多催化的作用。就像你看完一部恐怖片，所受到的震撼会带出影院很久很久。它在心理上形成一个似乎很难抹去的烙印。不经意间恐怖的意识会突然冒出来，甚至会让人下意识地躲避一些类似的场景。它会永久性地投射在一代企业家的头上。

中国制造供应链的发展进程已经发生了根本性改变，从几十年来一直处于扩张期，而现在进入到防守期的拐点。中国制造供应链需要重新建立一种全新的“防守范式”，无论是对外资的吸引，还是对本土品牌走出国门的扶持，都需要重新设计中国制造在全球版图中的位置。

攻有攻的章法，守有守的套路。全新设计攻防体系，打好制造供应链的防御战，才能有效避免中国制造根基土壤的流失。这是事关国家供应链安全的一场保卫战。MT

智能供应链在智能制造领域的应用

上海天睿物流咨询有限公司 邱伏生

智能制造强调数字化、网络化和智能化，强调端到端的打通，强调横向与纵向协同，不仅仅强调智能制造本身，智能供应链更是智能制造的应有之义。智能制造必须要有智能供应链作为保证，才能够实现精益制造、安定制造、有效制造、有效交付。没有智能供应链的协同与匹配，智能制造将停留在实验室阶段，实际上智能供应链的应用场景，更多的还是与智能制造相匹配相适应的。从供应链整体而言，智能制造实际上就是智能供应链的一个核心环节。通俗而言，它们应该是在一个“生态圈”。

一、智能供应链在智能制造领域的典型应用

智能供应链在智能制造领域应用主要体现以下五个方面。

1. 智能研发、设计与智能供应链过程仿真

创新驱动发展，“中国制造2025”把创新摆在了制造业发展全局的核心位置。“智能研发”是实现强大的创新能力的支柱和必要条件，是智能制造先决条件、提升企业竞争力的核心要素之一。

智能化研发需要实现产品数字化、研发数字化、业务数字化（主要信息数据可以分为关联知识、项目管理、技术参数、产品系列、运营过程等）。不仅仅是就产品本身展开的研制与开发，而是更多的需要强调产品的可制造性、可流通性、安全性、有效性、可销售性（终端销售人员对于产品研发初衷和价值的传递）和客户的满意度，必须站在全价值链的高度来思考和模拟仿真。智能化研发的终极目标只有一个，就是让产品更加顺应中国乃至全球市场的需求。智能研发需要从庞大的用户基盘、用户数据、产业发展导向数据等，以有助于进行完善、可信的市场调研，而超强的研发实力和技术积累、对市场的精准把握更是研发更好产品的基础。

比如，汽车开发中心使用虚拟化技术，在正式进行撞击测试之前，首先模拟多次撞击实验结果，减少撞击测试的整车数量，从而减少成本和装配时间，大幅提升研发效率。同时，智能化研发也要求研发团队拥有统筹贯穿产业链智能化的要求的能力，进行相应产品研发设计，以支撑之后的智能制造、智能物流、智能

销售管理等产业链可视化联动，进而实现灵活协同，为终端客户加速提供高度定制的产品和服务。

达到智能化的研发管理将进一步推动制造、物流、销售环节实现智能供应链。研发部门可以在研发过程中结合制造、物流、销售的智能化需求，设计开发产品，以更好的加快制造、物流、销售环节效率，缩短产品开发生产周期，实现大规模快速定制化生产，提高消费者、客户对产品或解决方案的满意度。例如，通过实现模块化管理技术，优化产品模块设计，可以使客户能在最短时间完成解决方案配置，同时将模块化设计运用到生产线制造流程管理，从而达到快速定制生产的目的。

通过信息化技术实现的数字化的研发管理将大幅提升研发效率，降低研发风险，增强创新能力。在研发过程中运用数字化技术实现虚拟模拟及个性化技术，帮助企业在开发前期即进行产品模拟，产品测试不需要等待硬件到位，即可进行性能测试，将大大帮助缩短研发周期，提高研发效率。通过智能嵌入、大数据和实时数据的管理、分析和分享，以及全面使用贯穿产品周期的开发、制造、物料和使用数据，将大幅降低研发风险，从而降低产品周期管理中其他环节因研发问题导致的潜在损失。

与传统的供应链现场数据收集后再人工整理、输入系统不同，智能嵌入技术将帮助实现实时环境和使用数据的采集和传输，确保了供应链全过程数据的准确性、完整性、实时性。实时数据能大幅加强研发设计产品的可靠性，减少因数据不精确、数据滞后或环境差别造成的产品问题（如样品测试失败、生产停线、质量退回等），从而降低产品开发风险。

应用可视化技术，智能供应链能够针对具体的单个产品进行数字化描述，以便在产品周期各（关键）阶段都可以快速的追踪到产品及配件、元件、电子件等各类部件，以帮助研发部门得到及时产品数据，进行产品设计或解决方案优化。这将帮助研发部门减少不必要的数据收集、确认、再收集的过程，从而加快优化效率。

2. 智能预测与计划的维度、内容、任务发生了变化

供应链需求预测和计划的目标是形成一个精确可靠的关于市场需求的认识。传统供应链环节多、利益诉求不同、信息不共享，容易导致订单交付流程长，从而对于客户需求的响应周期延长，于是，从订单到交付（OTD-order to delivery）的长短以及供应链响应策略，通常决定了供应链过程环节中的库存高低，从而最终决定了企业的盈利能力。通常情况下，订单交付周期越短的企业，响应能力就越强，反之就越差，面对客户对于交付的效率要求，只有不断地备库存，一旦需要备库存了，就涉及到预测和提前期、计划的问题。

驱动传统的供应链要素主要有两个：预测和订单。而订单是来源于客户对既有产品的选择性购买的诉求，客户并未参与定义。

比如在汽车制造行业（或者家电、手机、家纺、家居等有经销机制的行业），销售门店并不是主动营销车辆，消费者往往要到“4S”店（或经销商）去购买车辆。此前，不管消费者是否已经购买汽车，品牌商都不会与他们沟通对于汽车购买的需求导向（不关注或者不知道谁是潜在消费者），于是对于某个时间段的销售预期只能够凭着经验或者任务来设定。而为了后续及时交付，从经销商到汽车制造商，再到零部件供应商，涉及到经销商预测、汽车制造商销售加权整理做安全库存、生产计划加权做有效生产、采购加权做批量采购与供应、零部件供应商加权做零部件生产与采购，最终可能极大的放大了实际需求量（鞭子效应）。但是，实际销量是不可控的，加上供应链过程中的变数影响和供应链管理的失误与失效，往往导致预测偏差巨大、计划变更、承诺与交付无效、库存层层累积、各方利

润空间降低和新一轮的谈判与博弈，导致供应链过程的恶性循环，浪费了巨大的供应链资源，蕴含了巨大的供应链风险。

智能制造中，预测和计划已经有了新的维度、工作内容和绩效要求。

在智能供应链中，采用大数据预测和智能算法模型，通过趋势结合动态实时需求感知、预测市场和重塑市场，从而主动掌控洞察需求。通过产品价值引导和有竞争力的订单响应周期承诺，完善企业的产销协同计划（SIOP-sales、inventory、operation and planning）系统提供支持，使得管理层能够长远全局战略洞察产销平衡，也能短期柔性应变产销的波动。同时通过工业互联网实时掌控设备与产线的实际能力约束，对不同优先级的订单进行智能排产，把人工智能融入高级排程系统（APS-advanced planning system）中，结合不同的场景，适应性的、分布计算优化。通过制造大数据部署预计库存计划，实时监控智能供应链过程中的差异，应对不确定性。

在智能供应链中，不再是既有的产品批销、预测、库存计划和被动补货，而是根据客户需求、企业经营战略、供应链价值导向、财务目标和产品策略，综合定义产品、制造工艺、物流模式和交付与结算模式，不仅仅关注产品的结构以及产品是如何被销售出去的，更多地关注产品的结构和形态是如何来的；不再是被动响应消费者要货需求，而是主动与消费者沟通获得产品需求，从而进行设计和研发，通过设计热销产品来引导客户消费导向，实现产品的热销可能（实现战略价值）。对于销售的产品，不仅仅是通过已销售的产品来分析未来销售的可能性，更是通过沟通与大数据来反映的消费者社群、行为、导向、事件影响、季节因素、流行引领等来分析和预测销售的可能（对于汽车、家电、家居等耐用消费品尤其如此，实际上，每销售一件库存产品，就成功阻止了一件新产品的销售机会，传统的预测成为无本之源，最后只有为了库存的预测）。

产品构成和来源是需求预测和计划的基础，它决定了企业如何进行销售预测的合并和分解，达成全价值链的预测共识。智能供应链以此为起点，然后通过物联网和大数据（包含数据化的历史经验）对于全渠道流通流量的模拟与仿真，做出基本面上的初步预测和引导，然后与大型客户和关键渠道与合作伙伴对其包含的变数信息作进一步的修改和调整，结合营销团队的工作计划中的关键节点（比如大型促销活动、重要节假日等），从而使得需求预测和供应链资源计划能够与内外活动保持同步。当然，需求预测和相应的生产、物流计划，不再是人工编制或者独立的计划模块编制，而是立足于全价值链运作的（人工智能化）协同系统主动完成。

智能供应链体系通常会评估每一个产品的产品生命周期并进行持续跟踪，预测产品数量的递减和递增，以确定其进入和退出市场的节拍和方式。引入新产品必须综合上一代产品的供应链过程中的库存和采购渠道中的半成品及零部件数量，从而保持产品的新鲜度和减少新老产品的市场冲突，保持消费者的满意度和忠诚度。

智能供应链系统中拥有完整的跨企业智能预测和供应链资源计划工作流程，在物联网环境下协作的各方能及时准确地传送需求信息。于是预测可以从供应链的任何一个环节发起，从而触发所有环节的实时响应，即供应商可以给客户发出一个基本预测以便客户在此基础上做回应，也可以是客户先提供一个对基本面的预测然后让供应商做出评估。除了预测信息，关于销售速度、消费者现场体验满意度、库存水平和补货需求等方面的信息同样可以通过大数据的方式在企业和客户间沟通传递。由此也减少了供应链中不同环节采用囤积库存以弥补信息不灵通造成的影响，大大降低了效率损失和运营风险。

即使在智能供应链环境下，

各个环节难免受到各类变数的影响而产生动态调整，而影响需求预测和计划的正常进行，需求分析既要最大程度的减少预测错误同时又要充分考虑需求的变数，一般需要设置应急模式和自我修正、调整的缓冲模式。依据产品形态、工艺路径、客户需求、交付和结算模式的不同，反应缓冲保护区的设置也就不同。正因为如此，表现出来的生产和物流计划也会相应的有所区别。

由于智能供应链大大降低了产品研发周期，互联的智能制造工厂也是实时生产，在智能物流的配送下，消费者获得的产品和服务，能够比传统供应链缩短 30% ～ 50%，大大提高了供应链的响应能力和满意度。由于订单到交付时间的缩短，反过来提高了预测的准确性和计划的有效性。

3. 智能化采购与供应商协同到货

在传统的运营中，各个部门并不是在高度认同的供应链战略和价值导向下运作，同时，鉴于采购业务是整个供应链体系中最晚得到供应信息，却是最早需要提供物料，以保障和支持安定生产，于是由于各类运营过程中差异和风险的存在，容易导致无效供应（还需要面临库存降低压力），从而事实上难以保证生产的正常运作。由于没有实现数字化协同，所以各类变数无法在同一时间传递给所有环节，导致供应链敏感度下降，最终各个环节只能依靠经验（即所谓“拍脑袋”）来做安全库存，以应对变数，随着管理变数的层级增加和时间延长，累积误差自然随之加大，到最终形成了“库存冰山”，反而掩盖了所有的问题。在这种情况下，各个环节 KPI 指标无法在同一个逻辑上兑现和协同，于是容易产生职责推脱和部门壁垒，供应链一体化也就自然无法实现。

智能化采购中，要求所有的流程必须打通，其运作战略是基于高度认同的一个供应链战略协同下开展，各个部门和环节的 KPI 指标也是基于供应链战略绩效的协同和分解而来，于是所有的参数和指标都在同一个逻辑下展开，形成数字化的作业单元。由于有了智能供应链协同中心，得以将所有环节的计划—执行—信息—物流等串联起来，形成端到端的纵向管理体系，同时，由于每个订单、每个物料（产品）都有自己的资源要求，容易导致资源再分配计划，所以，供应链运作部门还需要将不同运作逻辑的物料和订单横向协同起来，最终形成互联互通的供应链体系。

这就要求采购方在选择供应商伊始，就要求供应商能够与采购方实现软件互联互通，运营时更是要求实时可视、预警和协同。比如采购方（智能工厂）的计划和预测需要直接传递给供应商的主生产计划系统，供应商的发运计划必须与采购方的作业计划系统对接，先期发运通知（ASN）需要由软件系统完成，而没有人工的参与；并且要求全过程必须条码化（或者 RFID），交接货物时的标签和信息都有严格和统一的规定。

从运作逻辑而言，就是通过信息平台，承载所有的模块联动，以供应链交付计划为驱动力，联动成品物流计划，形成主生产计划、细化为作业计划，从而拉动供应物流计划、物流配套计划以及产线工位配送计划。在不同的环节和模块协同过程中，总是会出现各类执行误差和数据差异，那么智能化系统需要自我反馈、逐渐主动减少运作误差，从而形成计划—信息—执行的一致性，如图 1。

从表现形式上而言，形成了计划—采购—物流—信息一体化。其任务的本质不再是保证供应，而是有效供应。

比如，假设某产品有 A、B、C、D、E、F 六个零部件，其采购到货周期分别为 A5 天、B10 天、C15 天、D20 天、E25 天、F30 天，生产计划本月 1 号提示，本月 30 号需要生产某个产品，传统的采购“保证供应”，直接在 1 号之后就下了订单，供应商也“按照要求”准时交付，能够在约定的交付周期内到货，于是效果如图

2。

图中阴影区域就是库存，而这个部分，通常就直接进了采购方的仓库，此时，采购完全达成了其业务的 KPI 指标，能够保证生产，而库存压力居高不下，管理成本随之上升。但是，由于利益诉求的不同，买卖双方往往不愿意承担库存成本的压力，加上盘点和信息管理的时间—数量差异，形成了累积误差，于是成了供应链上巨大的瓶颈。

在智能化采购中，通常采用计划倒排模式，形成精益化、数字化采购，以保证采购到货的有效性，如图 3 所示。

图 3 中所示为主生产计划在 1 号发出提示，而在 30 号正式生产，根据各自不同的交付周期，进行倒排，强调实物齐套，以有效保证生产的安定化。图中阴影部分为相对于传统采购带来的收益。此时不是以采购业务 KPI 指标为唯一依据，而是协同作业计划、到货计划、实物齐套情况以及可能发生的过程差异（比如考虑质量有效性）进行实时监控和响应，形成计划—信息—采购—物流—生产的一体化。

在实际采购业务中，先期的主生产计划发布之后，企业供应链计划协同平台根据各个环节的运营参数进行细分，排布详细的作业计划（包含制造作业计划、配套作业计划和物流作业计划），然后进行人工或者自动化作业，

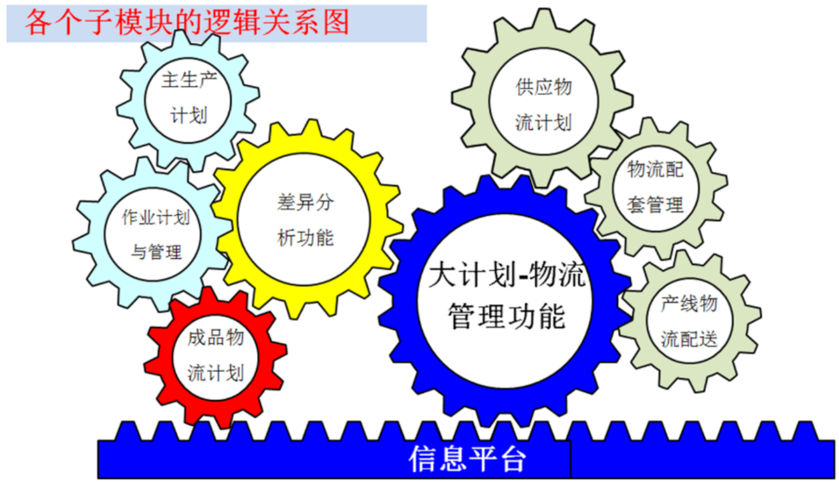


图 1 计划工作模式与供应链物流逻辑优化

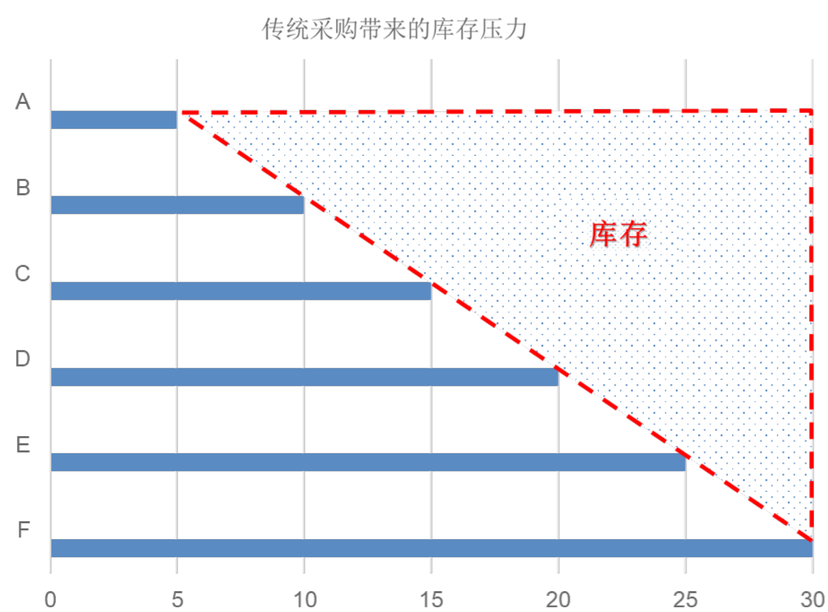


图 2 传统采购保证供应带来的库存压力

过程中追踪差异和变数。如图 4 是某典型企业数字化采购详细作业计划。

图 4 中所示为某物料执行数字化采购以支持精益生产的作业计划倒排表，从上往下为计划的倒排逻辑，从下往上为实际采购及入厂物流运作过程（蓝色区域为采购业务与入厂作业计划）。

在通常的运作中，各个环节通过扫描条码或者 RFID 感应进行过程数据的收集，以实时形成计划达成率（采购计划达成率、供应方到货计划达成率、入厂物流计划达成率等），如果该过程中出现运营规则和计划要求的标

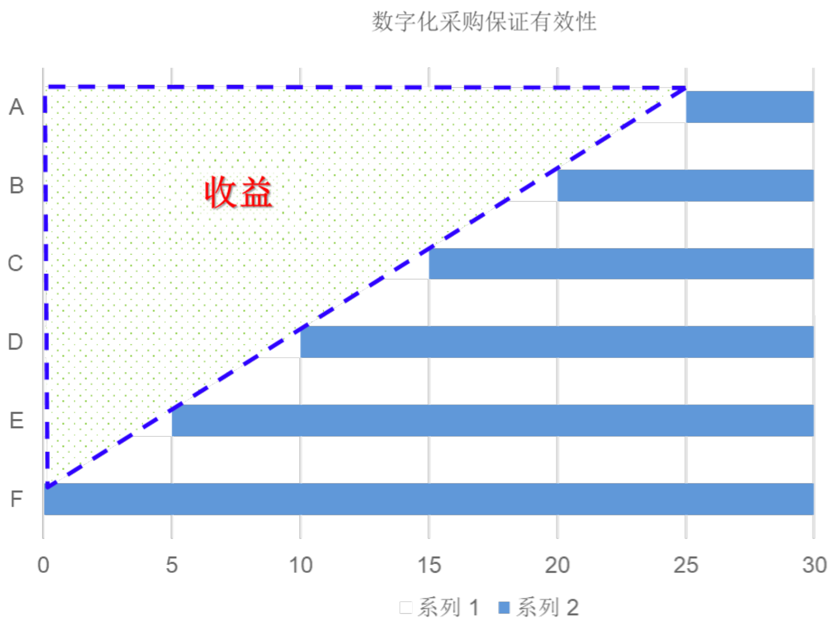


图 3 数字化采购保证有效性

序号	作业名称	作业开始时间	作业结束时间	所需时间（分钟）	完成日期	备注
1	第三批物料生产	16:00	18:00	120	2018/1/24	相应时间配送
2	第二批物料生产	14:00	16:00	120	2018/1/24	相应时间配送
3	第一批物料生产	11:00	14:00	120	2018/1/24	扣除午餐时间12：00-13：00
4	换模时间	10:00	11:00	60	2018/1/24	耗用60分钟时间
5	放置到工位	9:55	10:00	5	2018/1/24	换回V73产品生产后的空箱
6	配送在途	9:50	9:55	5	2018/1/24	
7	装车组车	9:45	9:50	5	2018/1/24	
8	拣选出货	9:05	9:45	40	2018/1/24	含计量时间
9	SPS 暂存	8:50	9:05	15	2018/1/24	
10	仓库分拣	16:30	17:30	60	2018/1/23	含拣货、计量、搬运物料时间
11	指令打印	16:20	16:30	10	2018/1/23	
12	计划分拆	15:20	16:20	60	2018/1/23	
13	生产作业计划	5：20之前			2018/1/23	
14	仓库存储			2天	2018/1/21	存储时间，通常为1-3天
15	拆箱分装	15:30		120	2018/1/21	
16	入库办理	15:00		30	2018/1/21	
17	检验待判			7天		检验待判暂存时间14日-21日
18	预装到位	16:30	17:30	60	2018/1/14	
19	卸货搬运	16:00	16:30	30	2018/1/14	
20	供应商到车停车	15:45	16:00	15	2018/1/14	
21	供应商运输在途	13:45	15:45	60	2018/1/14	
22	供应商搬运装车	13:15	13:45	30	2018/1/14	
23	供应商出库处理	11:30	12:00	30	2018/1/14	扣除午餐、午休时间
24	供应商拣货装卸	9:30	11:30	120	2018/1/14	含包装、计量时间
25	供应商打印指令	9:00	9:30	30	2018/1/14	
26	供应商存储			2天	2018/1/12	
27	供应商生产			1天	2018/1/11	

图 4 数字化采购作业计划倒排表

准之外的偏差和变数，系统将自动抓取该数据，进行实时分析和应急。

但是，在智能供应链中，上述逻辑通常不出现在操作界面中，实际的运作界面大多数情况下是某个具体的指令或者需求信息，如图 5 是某典型企业数字化采购的简单界面（人们称之为一张纸 one page 模式）。

图 5 所示为某汽车行业采购 - 供应商协同运作表单，运营流程如下：

（1）采购方供应商管理平台系统（SRM）根据已有的供应商管理数据，自动寻源、锁定供应商，同时根据先期对供应商的 ABC 分类评估，自动分配订单和交付计划给供应商。

（2）供应商在交付前的某个窗口时间，通过授权登陆 ASN（先期交运通知单）界面，打印表单（携带条码或者 RFID）出来，由于采购方和供应商之间实现了数据的互联互通，该计划制定过程中不允许人为的干扰，而且所有采购方对于同一家客户的表单（或者指令格式）都是标准的、

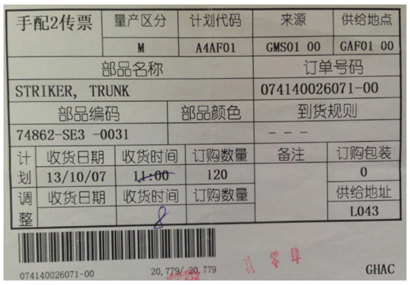

手配2传票 | 量产区分 M | 计划代码 A4AF01 | 来源 GMS01 00 | 供给地点 GAF01 00
部品名称：STRIKER, TRUNK | 订单号码：074140026071-00
部品编码：74862-SE3 -0031 | 部品颜色 | 到货规则：- - -
计划 | 收货日期 13/10/07 | 收货时间 ~~11:00~~ | 订购数量 120 | 备注 | 订购包装 0
调整 | 收货日期 | 收货时间 8 | 订购数量 | 供给地址 L043
074140026071-00　20,779/ 20,779　GHAC

图 5 简化后的数字化采购界面

符合行业或者国际要求的。供应商按照表单要求的时间和数量进行生产，等待物流公司提货，此时含有条码的单据卡（或者 RFID 嵌入）在智能化的包装单元（带有条码或者 RFID 的周转箱或者托盘），实现信息对应，直到配送到工位使用之后。

（3）参与 milk-run（实现数据的互联互通）的第三方物流公司将会在相应的时间内打印类似的表单信息，其中的量产区分、计划代码具有相同的逻辑，会在指定的日期和时间内到达供应商发货区域（拥有条码或者 RFID）。

（4）第三方物流公司收货之后会根据表单中的指令（来源、供货地点分别是指运输车辆的车牌代码和卸货车位代码，通过条码或者 RFID 实时捆绑和对应）进行运输与到货。

（5）采购方卸货人员（条码或者 RFID 实时对应卸货设施和作业时间）根据卸货作业时间要求实时卸货。

（6）卸货后物料进入排序区域，这些区域也有各自的货位代码（条码或者 RFID），形成货位—物料的实时捆绑和对应。

（7）根据总装工位（条码或者 RFID 实时对应操作人员、机器人、作业设施和作业时间）的数字化拉动需要，通过智能物流（条码或者 RFID 实时拉动）配送到工位使用。

（8）智能化的包装单元（带有条码或者 RFID 的周转箱或者托盘）中物料使用完后该表单被专门收集起来，通过条码阅读器读取上述关联数据，于是该被使用后的物料数据就被实时传输给了供应商、计划、采购、物流、制造和财务，供应商进入后续作业。

上述业务针对每个供应商、每个物料、每个订单实现，以保证横向 + 纵向管理的协同性和同步性。这些工作的顺利运作，解决了以下问题：

（1）智能化选供应商的问题；

（2）信息流端到端的一致性问题；

（3）实现了全价值链拉通的数字化；

（4）物料来源可追溯、去向可查证；

（5）解决流程导向的纵向链接；

（6）解决单据（信息）流的一贯性；

（7）解决单个环节管理的时序性和唯一性；

（8）保证不同环节运作的横向逻辑关系；

（9）各个环节 KPI 实时化、自动化抓取，以保证考核的客观性。

显然，快速的、可靠的、整合的、实际的和标准化的信息流通是必要的，以减少有形实物和管理流程上的提前期，从而提高采购业务和入场物流的效率。

在智能供应链中，供应商需要根据客户要求和相关的工业标准，必须有发送和接收电子通讯的能力。传统的电子数据交换（EDI）或基于网络的 EDI 是可以接受的电子通讯方式，而 E-mail 和传真是不可接受的电子通讯方式（因为需要保证存档和一致性、客观性）。

在实际的供应链运作中，通常需要对供应商进行交付能力的评审，规定所有供应商、分承包方和后勤提供者，必须实施电子通讯，包括发送和接收的能力。根据客户的要求，对目前没有能力发送和接受电子格式的供应商、分承包方和后勤提供者，规定一个时间段，建立电子沟通的能力；要求供应商物料的装运通知信息整合进采购方的接收系统内，且没有人为的介入。传输的频率和计划时段要适合供应链协同平台的综合管理要求，且满足采购零件和物料的提前期。

4. 智能物流配合智能制造强力发展，成为生产的基础和前提

智能制造需要以智能物流作为前提和基础，越来越多的智能制造工厂，（在规划时）将智能制造设施嵌入到智能物流系统中，成为流线化物流系统的一个不可缺少的环节和部分，从而实

现有效运营过程中的无缝对接和联动，由此，通常也称之为“制造工厂智能物流中心化”。与此同时，企业智能化物流也日趋向供应链方向整合和提升（遵从遵守于智能供应链计划和资源协同），其涉及到的智能化要素也越来越专业化和精准化。智能物流系统包含采购环节智能物流、制造环节智能物流和成品环节智能物流，以及回收环节智能物流。

采购环节智能物流主要是供应商的成品如何送达至采购方（核心企业），可能涉及到上门收货、预约到货（ASN）、EDI互联互通、精益包装、精益配送、经过评审（并且可以互联互通）的第三方物流、到货计划协同、通过式检验、智能化收货、空容器回收、全过程物料足迹追溯等。

制造环节智能物流主要是厂区内部智能仓库、WMS/WCS、智能输送上工位（与智能制造设施对接）、条码/RFID数据识别、智能单元化包装（与机器人对接）、自动化装配技术、双箱制、空容器回收、成品包装下线以及制造过程数据化追溯等。

成品环节智能物流主要是成品进入智能化成品仓库、智能化装车算法、快速智能化装柜技术、智能化成品运输、发货计划协同、分仓流通、经销商智能仓库、全过程导航与追溯等。

回收环节智能物流主要是包装材料、容器具、不良品的智能循环、智能追溯的过程。

在传统的制造型工厂，物流流程一般包括物料包装、收货、检验、仓库、装配线、拣料和发货，大量采用领料、脉冲式送货方式，主要模式是人工、叉车、牵引车、液压托盘车等独立元素（物流作业计划缺乏或者不连接，信息是断档模式、变数不易控制、管理过程不闭环等），即使偶尔采用了自动化物流设施，也只是实现了局部的自动化，且生产主要面向批量生产，不具备柔性化、定制化和智能化的生产特点。在设计初期没有将智能物流纳入智能工厂规划范畴的企业，在运作时容易导致过程不均衡、能力不匹配、数据过程衰减、变化和错位，虽然购买了先进的智能制造设施，但是仍然无法在同一逻辑下联动和完成制造计划。

在个性化的智能制造工厂里，智能物流已成为核心元素。

智能制造需要面向客户定制的产品，属于小批量、多品种生产，物流模式需要采用节拍精准、移动灵活、数据互联互通、实时可视、实时监控的输送策略。如通过AGV（或者连续输送模式）从收货区（通过式检验或者免检）到自动化存储中心（可能使用堆垛机模式、密集存储模式或者多项穿梭小车模式），再连续输送到工位（或者收货后直接输送到工位），设计出面向智能制造的物流输送技术。

智能工厂作为订单驱动式的生产，主要按照客户需求，每个产品订单有可能只有一台或两台，但产品种类会多至上万个。需要通过精益、柔性化的生产、模块化物流配套保证，以支持生产计划和物流作业计划的有效性，支持智能制造，同时保证产品零出错率。

智能物流包含智能方案、智能输送和数字仿真。从信息驱动到通讯，再到控制，再到智能物流设施动态管理，实时提供更加智能的系统控制解决方案。

在智能物流的初始阶段，绝大多数工厂愿意采用一台或者多台AGV代替叉车在负责拉动式精益物流配送到工位，遵循的是高级排程中的配送时区和拉动计划倒排节点；此后AGV变得更加智能，起到了衔接各个组装、补装等前置工位，以及联动总装的作用。对于周转率高、流量大的物料和产品（比如家电、手机、服装、家居产品等，通常需要大规模定制）经常会有特殊的物流规律分析（PFEP-plan for every party），提出连续物流计划和智能化作业模式，采用连续输送（智能输送机、智能悬挂链等）到工位，形成多点对多点的智能配送模式，减少了过程中的在制品暂存、等待、包装、中转、交接、信息二次采集等断点，从而使得制造和物流浑然一体。对于离散型制造特点相对明显、产品

体积相对庞大、生产节拍相对缓慢的制造（比如电机、发动机、坦克、飞机、轨道交通产品等），可以直接采用专用的智能流转设施（如大型 AGV），此时工厂里见不到传统的组装流水线，取而代之的是一个个 AGV 移动工作台，沿着工艺路线自动行走，且能够携带产品在装配过程中的重要信息穿梭于工厂，这些信息在工人实际操作时可以有效避免人为出错。随着产品产量的增加，可以有越来越多的 AGV 环绕在装配线周围，协助物料的智能搬运，不再有传统流水线的刚性束缚，大大提升了生产的柔性。

智能工厂中的智能物流系统能够高效、准确、稳定地完成重复性工作，保证过程品质一致均衡。随着人与机器在产品装配过程中的交互更加紧密，不同的生产环节可通过操作人员（或者人工智能控制的机器人），按照定制产品的需要来使装配流程做出改变。更可以通过系统仿真，针对每个订单、每个物料、每个工位验证生产和物流的工艺流程，从虚拟连接现实世界，具体运作过程中可以是通过一个虚拟订单，看到工厂里的各种设备，通过仿真发现瓶颈并反馈信息，进行实时调节；当实际订单运行时，协同不同的工厂模块，就可以反馈到监控 / 优化软件模块。

5. 智能供应链保障生产能力和过程可视化，提高过程的偏差管理和自我协同和调整能力

智能供应链需要保证信息物理系统（CPS）的一致性，从而减少执行过程中与计划或标准的偏差，保证企业级的“知行合一”。但是，在实际运作过程中，难免存在各类变数带来的过程偏差甚至瓶颈，偏差如果不能实现过程的可视化，瓶颈容易长期积累形成隐患，当爆发时，往往导致供应链的“掉链子”，其后果轻则停产或者断供，重则可能为企业带来莫大的风险甚至灾难。

智能供应链在保证过程一致性的同时，需要建立过程偏差场景设定、识别和响应流程，更需要设定变数预警、瓶颈和风险识别、应急预案和应急物流管理模式。

常见偏差场景比如：停电、设备故障导致的停产、配送过程中堵车、翻车、大批量不合格、火灾、台风、地震及其他灾害、由于环保问题带来的停产整顿、工人罢工、信息标签丢失、容器具损坏、检验不及时、模具损坏、总装不合格、货损等。

针对上述可能产生的风险，需要有应急培训和实施演练，以避免实际情况的发生。

在智能制造中，这些供应链过程的可视化、偏差管理、实时应对问题显得越来越重要，否则，再好的智能制造工厂和设施，都无法有效协同运行。

传统供应链管理过程中，可能有偏差数据的统计和可视化通知，通知的对象是操作团队或者监控团队，但是，往往不能保证偏差数据抓取、通知的实时性和真实性，从而难以保证应对的及时性和有效性，导致供应链系统的累积误差。比如，供应商端出现了诸如翻车、批量不合格、停电等因素导致的问题，主要是通过打电话、发传真（而不是系统）等方式告知管理人员；仓库端如果找不到物料，通过人工当面沟通或者对讲机通报；制造端如果设施故障导致计划变更，通过开会或者对讲机沟通……都无法保证全过程的数字化和数据化，更无法给后续相关环节以足够的时间应对，容易导致无法交付、无法追溯、无法查询。智能供应链偏差管理，是通过智能化的数据抓取方式，直接通过系统传递给关联系统或者智能设施，“看”偏差数据的可能不是人，而是整个供应链系统，实时的进行有效反馈和处理，形成自组织、自反馈、自调整的职能运作体系。

以下案例能够说明偏差管理的逻辑和应急管理可视化的升级路径。

H 单位位于某市近郊，交通便利、环境宜人，其有效使用面积近 10 万平方米。拥有五个仓库和三个零部件、总装分厂，分布于厂房的三个楼层。日最高

产量达30000台，每天24小时连续运转，平均每分钟可生产20.83台；5条生产线同时生产，则每条线每分钟可生产4.16台。

按照该产品的品牌形象和市场上对该产品的需求，以及该厂现有的各项资源，该厂的生产节拍期望值应可提到5台/分钟（即每天可生产3.6万台，潜在总资源占20%）。为了追溯制造潜力的约束瓶颈，随机抽取了任意两周的停线时间作为研究对象，发现供应链运行状况可以描述为：生产设施的高效率运转所带来的物料消耗与各类物料无法按照生产计划有效配送到工位达成安定生产之间的矛盾。由于供应链协同不均衡、信息不共享、数据逻辑与KPI指标考核不一致，从而造成生产上的瓶颈现象，降低了供应链整体系统的价值链传递效率，造成很大浪费。以下是具体情况论述。

二、制造企业智能供应链存在的瓶颈分析

制造企业在智能供应链方面存在的瓶颈主要表现在以下六个方面。

1. 供应商到采购方没有形成数字化管理

包装的差异导致无法形成数字化管理。运输容器没有实行标准化，有各类各样的具有供应商明显特色的容器，不利于企业内部标准化管理，也不利于物料与容器的颜色管理和定置管理与及物流现场的整理整顿；影响了采购管理落实的有效性。

数量的差异导致物料流动无法数字化管理。包装单元数量不统一、不严格按生产需求送货（通常，为了保证用量，都有多送的余量，加上盘点的不及时，增加了供方的管理与仓库的成本）；不能进行运输的直达化管理（即门对门管理），人工清点与数据交换费时、费力，更容易造成系统中的积累误差；即使偶尔有使用条码的也无法保证数据的准确性，最后只好扫描送货单了，影响数据管理的有效性。

物料流动时间的差异无法保证计划执行的一致性，KPI指标难以监控。由于没有按照采购方既定的到货计划送货，使得供应商日供货不明确、不及时、不合顺序，导致无法到货或者到货无效，最后使各工序缺料等待。同时，对于供应商进货的规划、与调度中，可能出现同时超标到货的现象，造成现场拥挤。据该企业资料统计，该厂在当地便有500多家供应商，每天送货大卡车最多时达30多辆，平时同时到达的有8～10辆（也有时空场），而卸货现场面积和卸货能力决定每次最多可同时卸货4～5辆大卡车，最后导致加班等计划外作业。

供应商质量差异导致直通率无法达成。由于质量的问题常使总装线停产，甚至总装后试机时，发现品质不良，只好作为不合格品另做处理，增加了生产环节的负担。

2. 相关物理功能区域未做区位数字化管理，现场管理混乱

卸货区未做区位管理。拥挤现象很严重，成了事实上的库存暂存区，各类材料在卸货区停留时间过长，客观上造成对卸货本身的干扰。

工序之间各暂存区流动性失控。见缝插针式的无序存放，暂存容器的不统一、不规范（甚至许多物料根本没有必要的容器），导致存货不能顺利进出（需要的货物在最里面），更不能先进先出（FIFO），造成实际生产中时空上的矛盾，如钣金件存放区，甚至在一些区域出现存放多日的不良品部件，而且经常存放在加工区的运输要道上，阻碍了物料的顺利流转。

区域之间物料周转缺乏参数设置和管理。各分厂、库暂存区重复设置现象严重，但又不能统一管理与运输、调度，导致（人工+叉车）重复运输和迂回运输，使配送无序。各分厂的区域分割、物料分散堆放，又由于配送与物流管理上的不均衡，使空间周转不过来，如产品的下线问题、固定工艺的运转周期与下件存放使用的时间差问题、运输过道与运

输方式的问题等（尤其是电梯的使用与管理不合理），造成各楼层间物流的瓶颈现象（通常被称为“线边库存”）。

总装线区域物料上下作业岗位时序失控。配送节拍跟不上，所需物料不能从各厂、区、库及时、准确配送到位，且配送的物料质量难以保证；不需物料（如调产后的零配件、空工位器具、不良品）不能及时运走或处理，造成线上物料拥挤与亏缺，使生产不准时、物流不均衡。

3. 生产保障过程的信息流紊乱，人、机、料、法、环无法形成联通与互动

全厂信息传递和数据维护的现代化程度很低，部门间以定单方式交流，信息传递易失误，沟通、处理不及时；物料周转又未单元化，使高效率的物料运转、巨大的数据量与低效、易错的人工操作之间存在错位（如成品包装线与成品库间的数据交换完全由人工点数完成，常出现数据不统一或盘点延迟的现象）。

该企业还曾经花巨资导入了多台 AGV 搬运小车和工位机器人，但是都由于智能化设施无法与实际的流程、物料、上下环节的人工、叉车实现无缝对接和联动，导致最后全部撤换。比如 AGV 将物料配送到工位了，作业人员尚未完成上个物料的装配，AGV 直接放下物料进入了下一个作业；反之人工完成了，AGV 尚未到达，导致人工停产；工位机器人经常由于物料未能够按照作业计划到达指定位置，导致静止等待、闲置；或者物料包装的工位器具未能够按照机器人属具的抓取模式设计，导致机器人无法争取抓取物料进行装配，导致乱抓物料或者无法识别物料。

4. 管理组织协调无力

缺乏系统的供应链管理组织，以上供应链过程矛盾不能得到及时有效的解决，导致瓶颈现象的不断积累。加上瓶颈问题随着供应链流程形成压力转移，部门之间形成各种推诿，各类会议不断增加，导致管理资源浪费。

5. 过程的量化管理未能形成数字化逻辑，导致考核错位

如表 1 所示，是某连续两周中和某特定的一天中因以上原因导致停产的部分数据

从表 1 可知，导致停产的责任，较大的是料品部、采购部和资讯部等物流的主要环节，而各个分厂生产管理的直接责任较小。

表 2 反映了该单位绝大部分由于供货不及时、送料不及时和缺件等物流不合理的责任，不合理的归入到了生产管理中，并且由表 1 和表 2 的总计中可知，两周内仍分别有 83（=3105-3022）和 25（=2045-2020）个停线时间单位找不到责任部门。

表 1 各部门导致的停产次数

部门责任				
	上周	百分比	本周	百分比
工艺部	51	1.69%	395	19.55%
料品部	1986	65.72%	354	17.52%
成品库	0	0	315	15.59%
品保部	0	0	292	14.46%
品管部	67	2.22%	178	8.81%
资讯部	92	3.04%	150	7.43%
企划部	0	0	90	4.46%
一分厂	10	0.33%	74	3.66%
研发部	106	3.51%	70	3.47%
采购部	632	20.91%	32	1.58%
二分厂	78	2.58%	30	1.49%
设备部	33	1.09%	20	0.99%
三分厂	55	1.82%	20	0.99%
总计	3022		2020	

（数据来源：上海天睿物流咨询有限公司）

表3中由于缺件、周转不利、送料不及时、信息传递失误等原因所造成的停机时间达总时间的74.87%，真正由于操作等原因所致的停机仅占极少一部分。

表4中单日停产原因分析表明导致停机的直接原因仍主要是供应链过程的不合理导致的低效化，这证明表1～表3中出现的每周停机时间的原因并不是偶然的。

出现这么多的停产现象，该企业的管理监督部门都会定期稽核，并查明责任者进行处理。实际上，作为该行业的知名企业，该厂的生产管理及监督都很完善并且很有力度；但是因为缺乏对供应链数字化、智能化的理性认识，所以对于如何从根本上解决因供应链不合理所带来的浪费与束缚，却是该厂领导层一直头疼的问题。

由于存在多处瓶颈，使采购作业劳而无功、厂内物流不平衡，生产物料的配送无法准时化、高柔性，导致整个生产流水线经常停机等待，使工作流、物料流、资金流、信息流受阻，系统效率的提高受到约素，产生巨大的机会成本，从而不能最大限度的降低物流成本、解决生产中的时空矛盾，挖掘出被浪费的利润源泉。

6. 传统的数据预警与可视化通报不能实现实时管理

图6、图7、图8是比较常

表2 停线时间以及责任部门（分钟）

停线时间				
	上周	百分比（%）	本周	百分比
生产管理	2872	92.5%	1573	76.92%
质量	164	5.28%	337	16.48%
技术准备	36	1.16%	95	4.65%
设备维护	33	1.06%	40	1.96%
总计	3105		2045	

备注：由于四舍五入的原因，相加总和不一定为100%。

表3 停产时间分类统计

本周原因分类	统计	比率（%）
缺件	876	42.84
周转不利	315	15.4
闪缝	292	14.27
送料不及时	218	10.66
信息传递失误	90	4.4
技术准备不充分	95	4.65
部品不良	57	2.79
设备不良	40	1.96
送料错误	32	1.57
操作失误	30	1.47
	2045	

备注：由于四舍五入的原因，相加总和不一定为100%。

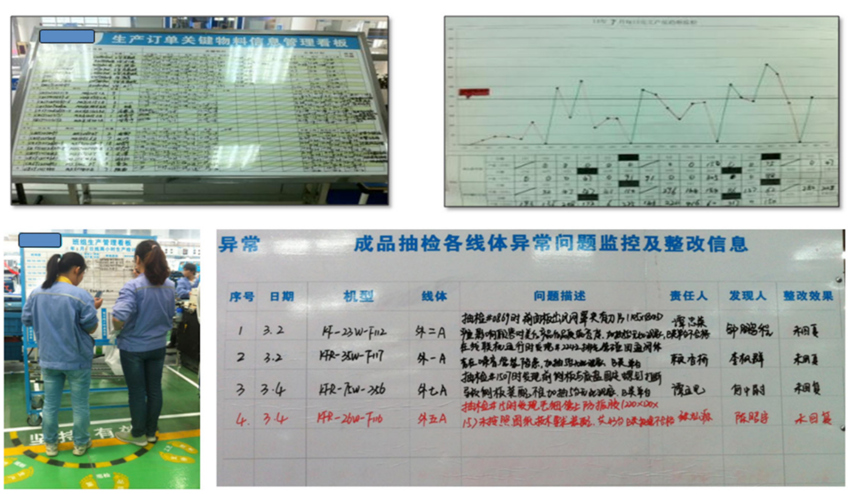


图6 每天花费巨大的管理资源来显示各类数据，都是不可以追溯的

见的现场“可视化”数据表现方式。由于绝大多数业务过程数据统计是离散型的，各部门协同共享联动性较差，信息不能共享，不能及时传递，形成信息孤岛，过程中的异常信息绝大多数没有及时存储，导致不能及时做统计、分析，而且大量的数据都是人工统计，导致统计结果滞后，管理也只能是事后控制，而不能实现预先控制和及时管理。

每天的作业达成情况也是完成率低下，并且影响因素无法实时查明，甚至无法得知后续还将影响作业完成的天数，如图 7。

对于供应商的缺料情况，也无法实时控制和预警，只能够被动等待，如图 8 所示。

传统供应链中的很多报表，绝大多数都是通过人工输入、编辑、整理出来，并且报表出来后通过邮件或者简单打印出来进行信息的传递和发布，导致人工处理数据的工作量大，即使是现场开会管理、解决问题，也容易使得关键管理者不能及时的看到这些信息—在现场要么看不到这些数据，要么就是事后再看到数据，容易造成管理被动，管理也只能是事后控制，而不能做到事先预防，最后导致如图 9 所示的问题。

三、智能化供应链在制造企业的实现路径

智能供应链需要通过对计

表 4 × 月 × 日停产明细

次数	分类	项目	停线时间	比率（%）	责任部门
1	生产管理	日供货不及时	215	33.8	工艺部
2	生产管理	送料不及时	3	0.47	采购部
3	生产管理	日供货不及时	83	13.05	工艺部
4	生产管理	日供货不及时	82	13.01	工艺部
5	设备维护	设备仪器故障	18	2.83	设备部、三厂
6	生产管理	日供货不及时	35	5.5	工艺部
7	质量保证	部品不良	11	1.73	品管部
8	生产管理	日供货不及时	88	13.8	工艺部
9	技术准备	技术准备不充分	15	2.36	技术部
10	生产管理	缺件	30	4.72	一厂
11	生产管理	送料不及时	10	1.58	采购部
12	生产管理	缺件	11	1.73	一厂
13	生产管理	日供货不及时	21	19.03	采购处
14	生产管理	缺件	14	2.2	一厂
小计 送料不及时 部品不良 设备仪器故障 技术准备不充分 缺件 总计		日供货不及时	524	82.39%	
		13	2.04%		
		11	1.73%		
		18	2.83%		
		15	2.36%		
		55	8.65%		
		636			

备注：由于四舍五入的原因，相加总和不一定为 100%。

日作业达成情况（系统）
2014年1月系统作业完成情况

部门	计划组	计划数量	已发放	完成	按时完成率	超2天未完成作业数	超4天未完成作业数
离心机车间	离心机总装	14	10	6	90%	5	2
	离心机部装	521	510	300	80%	30	12
螺杆机及末端车间	水冷螺总装	40	20	12	90%	8	2
	风冷螺总装	30	10	8	87%	5	3
	螺杆机部装	100	60	51	87%		5
	末端总装	400	200	181	87%	20	5
	末端部装	2000	1200	1000	87%	0	0
汇总		3105	2010	1558			

图 7 作业完成系统报表出来时，事情已经发生，无法弥补，且无法保证后续工作

缺料明细表

日期	总装线	作业号	机型	缺料明细			供应商	采购员	仓库回复	采购回复	实际到货时间
				物料编码	物料描述	缺料数量					
1月2日	风冷螺杆	DMCT13122174	LSBLGRW600/MIV-B 热泵机组(香槟色	202303000012	油压差控制器 FSD35CHE(FS0511)(上海汉	2	H	Q		供应商盘点,	1.2日下午3:
		DMCT13122175	LSBLGRW600/MIV-B 空气源螺杆式(香	202303000012	油压差控制器 FSD35CHE(FS0511)(上海汉	2	H	Q		供应商盘点,	1.2日下午3:
	A机型	BMCT13123231	LSQWRF130M/A-C2 (电子锁,谷轮)	201290100241	前左盖板(SB2014,RoHS) LSQWRF65M/A-C-2	5	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100242	前右盖板(SB2014,RoHS) LSQWRF65M/A-C-2	5	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100243	后左盖板(SB2014,RoHS) LSQWRF65M/A-C-2	5	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100244	后右盖板(SB2014,RoHS) LSQWRF65M/A-C-2	5	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100269	左右面板II(SB2014,RoHS) LSQWRF130M/A-	5	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100270	左右面板I(SB2014,RoHS) LSQWRF130M/A-	15	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100432	前后护网(RoHS,SB2014) LSQWRF130M/A-C	20	B	W		12月31日到	1.6日到货
				201290100433	左右护网(RoHS,SB2014) LSQWRF130M/A-C	20	B	P		12月31日到	1.6日到货
	B机型	CMCT131132613	FP-136WA-Y3 V盘管机组	201280400485	右侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-2	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
				201280400494	左侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-3	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
		CMCT1311326y	FP-136WA-Z3 V盘管机组	201280400485	右侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-2	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
				201280400494	左侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-3	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
		CMCT1311326z	FP-136WA-Z3 V形水盘风机	201280400485	右侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-2	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
				201280400494	左侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-3	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
		CMCT1311326z1	FP-136WA-Z3 V形水盘	201280400485	右侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-2	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:
				201280400494	左侧板(RoHS) FP-34WA-Z3-3	50	B	P		12月31日到	1.2日上午9:

图 8 供应商缺料情况成为生产不安定的重要因素，不可控制

划、采购、仓储物流、生产作业四大关键业务环节的管控，实时掌握进度、监控过程异常，包括对整个异常处理的全过程控制，更好的实现问题的事前预防和事中控制，实现各业务部门的协同性，帮助企业落地 PDCA 管理循环和持续优化提升。以支持打造数字化、可视化、信息化、智能化工厂。

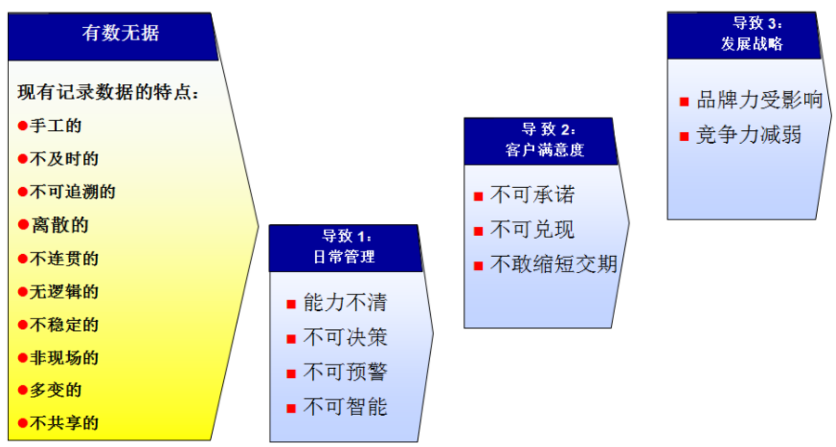


图 9 数据管理逻辑不清晰，难以形成有效管理和交付承诺与兑现

1. 智能供应链体系对相关企业的要求

在智能供应链体系中，首先需要强调以下要求：

①供应商必须将它的交付资源与采购方的长期、中期和短期需求进行比较。在运作过程中，需要通过流程来确保任何可能影响后续运作的风险发生时，能快速的和客户沟通。

②供应链管理部门需要实时查看供应链过程作业和物料是否足够满足客户未來的需求，以便及早发现可能影响满足客户需求的潜在问题。当发现风险和偏差时，需要及时制定纠正行动，将对客户的交付影响减小到最低程度。

③供应链管理部门必须制定应急方案，当发生紧急情况时，即启动这一解决方案。这一职能系统必须定期进行测试和验证（过程数据需要实时输入到系统中），并且要求对相关人员进行应急程序的培训。

④当接收到预测需求和发货要求时，每天（可以实现周滚动）都需要比较现有的资源和内外部客户的（计划和）需求之间的差别，并且提出优化方案，当有任何重要资源受限不能满足生产和交付要求时，能够实时通知相关的后续环节，甚至是客户。

⑤供应链系统能够自动检测过程环节的时间、数量、包装方式、装运方式、标签与信息传递方式的偏差（如：货运扫描和装载控制系统）。确保任何与供应链标准或者运作计划、协议的流

转数量和方式有偏差时，能够被及时检查和显示出来，并且在不对生产和交付带来成本损失的情况下及时的协调。

为了提升交货准确率和缩短交付周期，势必需要提高供应商到货准时准点、提高物料配套率，同时减少供应链过程中的效率浪费、提高人均产出效率和现场办公效率，从而提升物料周转率。为此需要构建八个数字化的作业体系：生产计划和物流计划的联动体系、供应商到货管理体系、物流运行过程的监控机制、物流运行关键物流指标、优化数据手工统计工作量和作业逻辑、信息及时采集和传递并可视化看板自动显示、计划和实际运行的目标偏差管理、异常和风险预警机制。而构建智能供应链，便是从建立八个数字化作业体系入手，逐步达到缩短交货期和提升交货准确率。上述要求的具体逻辑如图10。

梳理清楚数字化逻辑之后，有利于将计划、采购、生产和物流的全过程信息有效联动起来，同时将过程中的异常信息能进行预警或及时展示。以此能将当前的事后管理提升为及时管理和预先控制，并且能进行及时的监控。参考模型如图11。

通过建立数字化、智能化供应链模型，重新梳理供应链运营流程，针对关键环节、工艺或工序进行标准化、有效化、可视

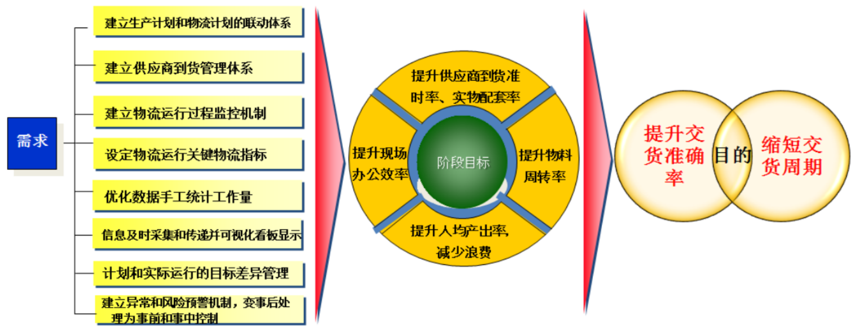


图 10 供应链数字化、智能化提升的一般逻辑

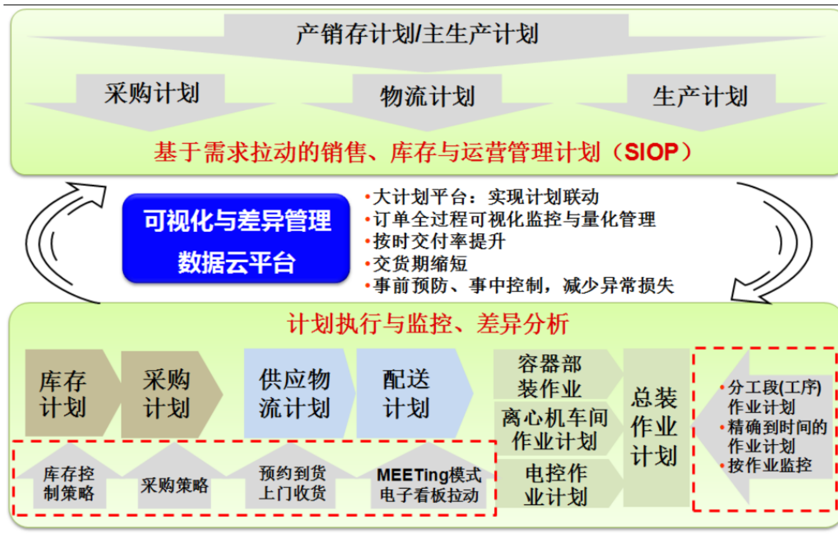


图 11 数字化、智能化供应链过程数据偏差管理模型参考

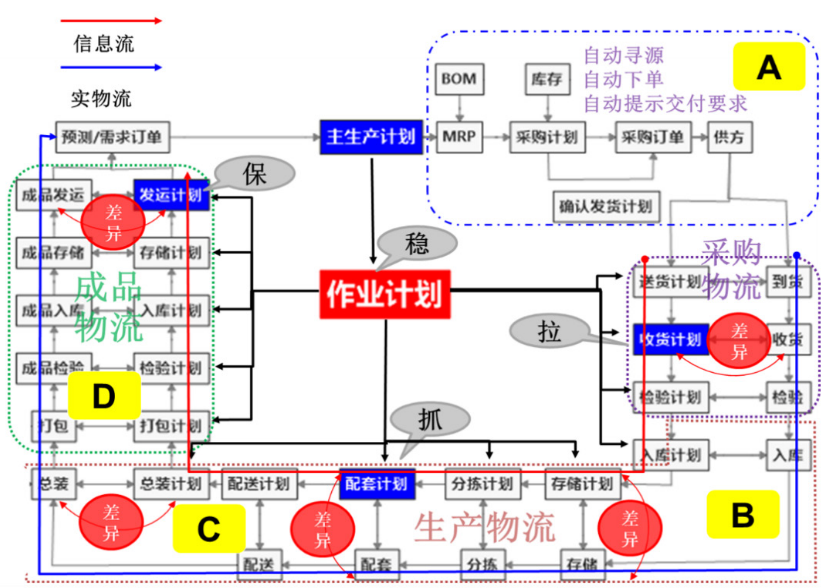


图 12 智能供应链上采购需求－计划协同－运作协同

化管理，以拉通制造工厂的价值链。于是，供应链上不同环节的关系处理不再是传统的经验和感性（俗称“拍脑袋”）模式，或者单个决策模式，而是系统化决策了，如图 12 所示。

信息平台必然遵从于业务逻辑，在通常情况下，管理者看到的仅仅是运作界面，但是，在智能供应链演变中，逐渐地变为了数据逻辑的引领。

如图 12 所示，假设将企业供应链运作划分为 ABCD 四个模块。

A 为采购业务端（蓝色虚线区域）。主要包含供应商的采购—生产—交付等过程,解决自动寻源、根据供应商基础数据实现自动下单、自动提示供应商交付要求;

B 为入场物流端（紫色虚线区域）。主要包含装车—运输—收货—检验—入库等过程，解决规划和计划供应商的交付过程要求，并实行监督，以实现数字化采购的可视化;

C 为生产协同端（红色虚线区域）。主要包含分拣—配送—齐套—生产—打包等过程，解决数字化生产的流动性要求，以精准响应智能制造的时间和数量要求，其间需要着重解决工位配送和作业协同的问题;

D 为成品交付端（绿色虚线区域)。主要包含入库—存储—检验—分拣—装车—运输—交付等过程，实现对市场要求的快速响应。

对于智能工厂而言，生产环节 C 最担心停工待料导致的无法交付，而如上文所述，绝大多数制造停产都主要是采购业务 A 和入厂物流 B 的原因，容易导致“巧妇难为无米之炊”窘境，所以装配型制造企业，尤其是汽车、家电、电子、重工机械、家居行业，一般都将 ABC 环节的数字化作为供应链智能交付体系的先决要素。制造业普遍认为：精益（智能）生产必须以精益（智能）物流作为前提。

对于供应商而言，上述全价值链必须实现 OTD（订单到交付），以让采购方实现实时监控和运作管理，从而保证采购方的安定生产和智能制造，此时，相对于采购方，环节 D 将更加成为供应双方关注的焦点，但是，必须要保证全价值链的有效性，才能够保证交付承诺的兑现。

对于智能供应链而言，无论是采购方还是供应商，都是为了有效交付，于是，从计划到执行，需要强调几个关键词“保、稳、抓、拉”。

保——保证发运计划，实现有效交付，提高客户满意度。主要包含按照订单交付周期倒排计划、按照订单交付时间预约装车 / 装柜、有效装车 / 装柜，以有效相应客户方的 ASN（先期交运通知单）等。

稳——稳定生产计划，实现安定生产和智能制造。主要表现为资源匹配实时监控和检讨、作业执行率保证、强调均衡生产，减少各类偏差带来的库存增加和断点浪费、推动安定生产，精益生产和精益物流协同，以总装作为作业依据，提高计划达成率和直通率。

抓——狠抓配套计划，实现信息配套和实物配套的完美协同，从而保证生产的可行性。外购件配套计划不再是保证供应，而是有效供应，以作业计划需求的齐套数量作为采购—到货—收货的依据，并且必须具备实时盘点和提供结果，并且可视化的能力。同时，还需要狠抓自制件配套计划，通常自制件由于管理者对于效率、成本、人员、换模等的考虑，喜欢一次性大规模生产，但是，由此产生了失控的库存，形成无效制造，带来各种变数和经营压力。在智能供应链中，自制件将作为内部供应商进行严格的协同配套和数字化要求，避免由此带来对供应链的冲击。此外，信息配套协同实物配套、实时盘点、实时全过程监控、实时预警、响应。

拉——拉动供应商到货计划。主要包含供应商预约生产，基于采购方的要货计划（ASN）倒排生产，按需生产，不再是自我任性的大批量生产；第三方物流预约到货，基于采购方的要货计划和既定的运输路线，按照顺序收货，实现循环管理，不再是多拉快跑的模式，全过程都有信息监控；实时检验与入库，有必要推动“检验放行及时率”，以

保证采购物流的及时性和有效性，降低检验库存；实际上，如果检验计划和到货物流计划没有协同好，那么检验将成为采购物流中的最大瓶颈。

如此，方能形成价值链的一体化拉通和标准化运行，如图 13 所示。

2. 智能供应链建设过程中的要素协同

智能供应链建设过程中，将涉及到的要素全面集成，从而实现从信息逻辑到物理逻辑的对应关系，合理分解为多个管理模块之后的协同（不是传统供应链中的购买和拼凑），形成工业大数据平台，如图 14 所示为某企业制造大数据平台架构与协同逻辑。

当对应关系建立起来后，智能供应链需要重点关注送货计划—到货管理、存储计划—存储现场、配套计划—实物配套、作业计划—现场作业管理、总装计划—总装作业管理、装车计划—装车装柜六个对应的关键环节参数和标准执行，以解决数据一体化、偏差管理一体化的系统性要求，保证系统能够实现差异控制、先期预警和应急管理。过程中还需要考虑包装器具设计与身份管理、存储空间的数字化规划和智能仓储设施、工位智能化配送模式和响应参数设置、成品下线到智能化、快速化装车模式等的设计。如图 15 所示。

将各个要素协同起来，形成企业物联网（对接互联网），将人、机、料、法、环互联互通起来，通过供应链智能协同系统指挥和运营起来，解决横向 + 纵向的资源协同和信息联通，如图 16、图 17 所示。

不同物料、不同订单、不同作业方式、不同工位、不同供应商涉及到的制造需求全面联系起来，形成横向 + 纵向的协同，支撑过程中信息逻辑和实物逻辑的对应，以保证供应链资源和计划的一致运行，并最终形成综合的报表，如图 18 所示。

在协同计划管理的主导下，需要管理和实时监控供应商的到货有效性和实时进度，尤其是需要保证供应商流程偏差所带来的风险。

仓库物流管理可能涉及到收货、检验和自动立体库等多个环节，都涉及到时间和数量以及信息采集动作，动作的有效性直接实时显

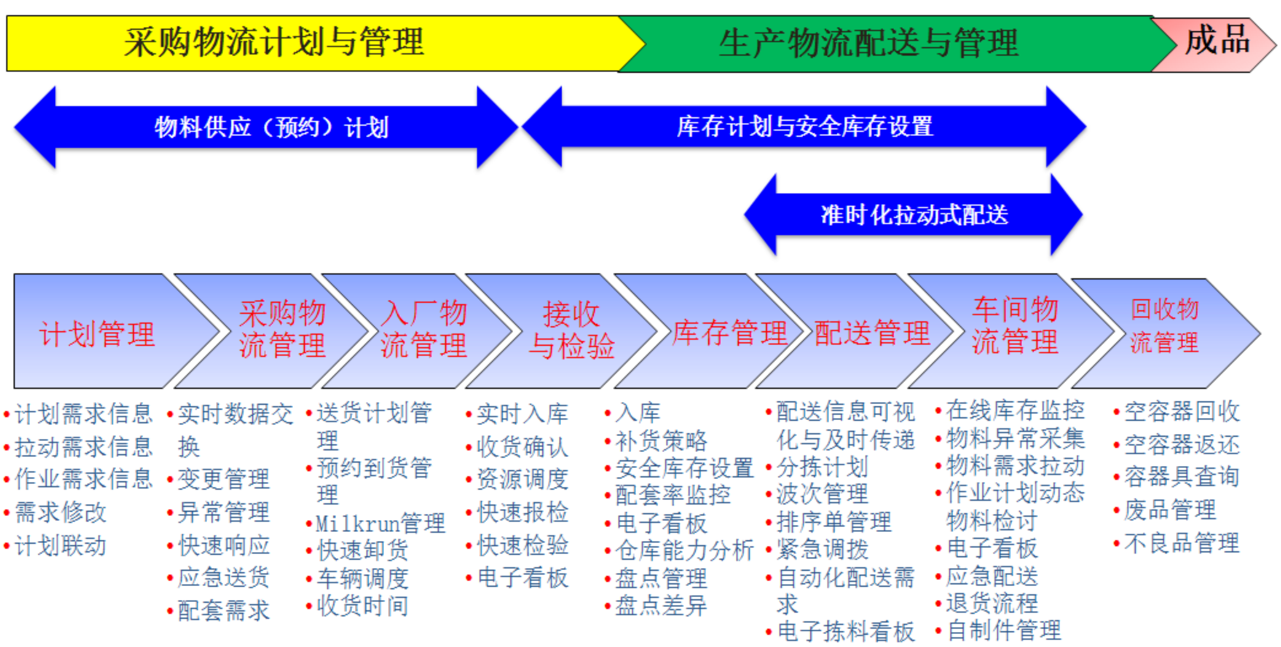


图 13 供应链制造工厂需要拉通全价值链

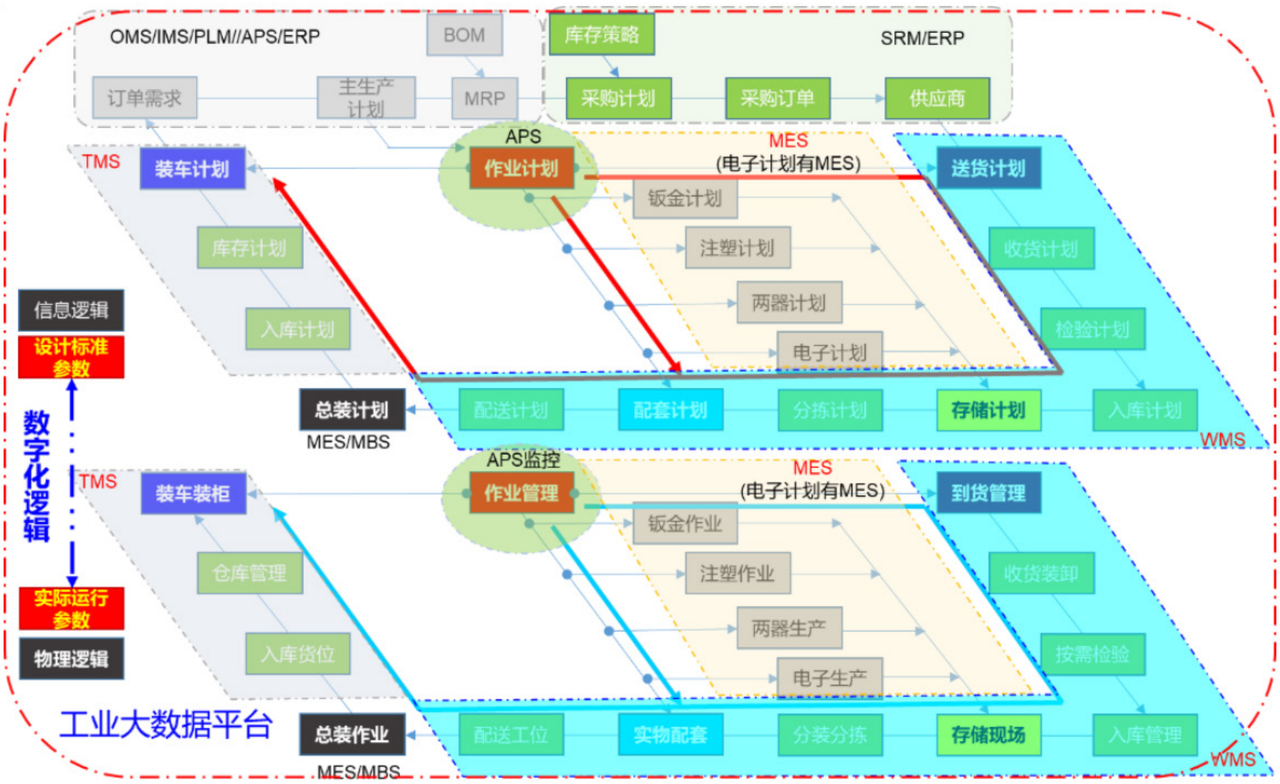


图 14 工业大数据需要结合信息逻辑和物理逻辑之间的对应关系

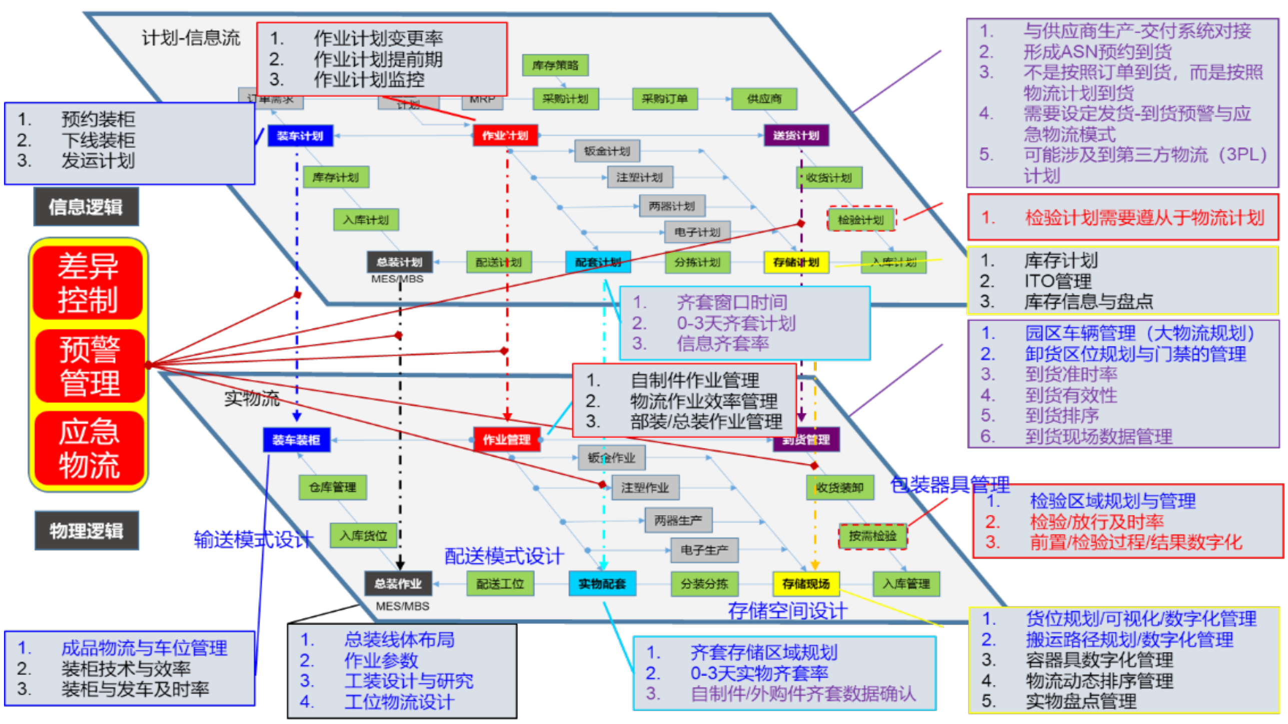


图 15 智能供应链需要考虑多个对应关系和基础设计

示在数字化供应链平台，以监控计划和实际作业之间的差异。

生产订单执行的有效性直接决定了交付的可能性，对于智能生产而言，生产异常的实时监控和快速响应，就变得尤其重要。

各个供应链关键环节的数据和运行状态经过系统算法，形成管理者和决策者需要的报表，比如日计划与产值实时报表、月产值停线时间和原因分析实时报表、月产值计划达成率实时报表、订单延误实时报表、月产值累计达成与标准值之间的差异分析实时报表以及各项产品和产线产值动态类及报表等，从而能够实时显示当前运作对于供应链战略绩效指标的达成情况，如图19所示。

各类管理界面的显示和实时报表的生产，有利于决策者思考供应链优化和战略绩效的持续推动和偏差、瓶颈问题的实施解决，从而实现七大管理要求：量化管理、实时管理、可视化管理、PDCA管理、主动管理、目标偏差管理、数字化管理，达到持续改进的目的。如图20所示。

当企业逐渐实现了价值链拉通、数字化采购、数字化物流、智能生产之后，整个供应链计划—执行将完全与信息平台融合，实现CPS（信息物理系统），未来的差异可视化不再是反馈给作业人员（从而去开会解决问题），而是反馈给整个供应链系统，从而这个系统实现实时反馈

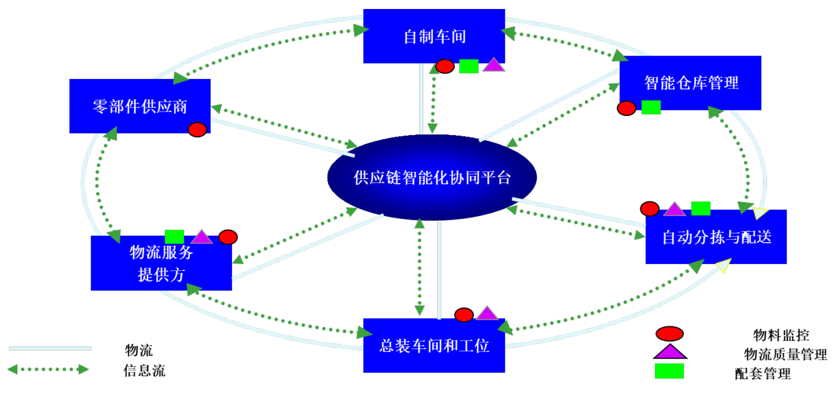


图16 供应链全流程的要素管理与联动

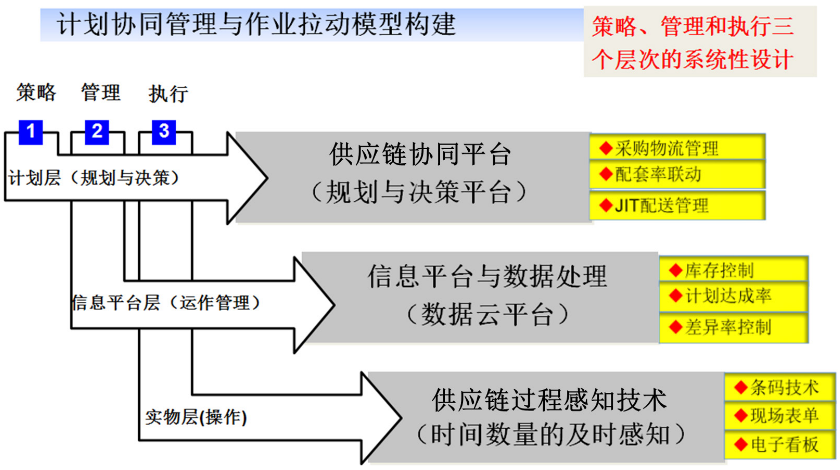


图17 供应链策略、监控和执行的系统联动

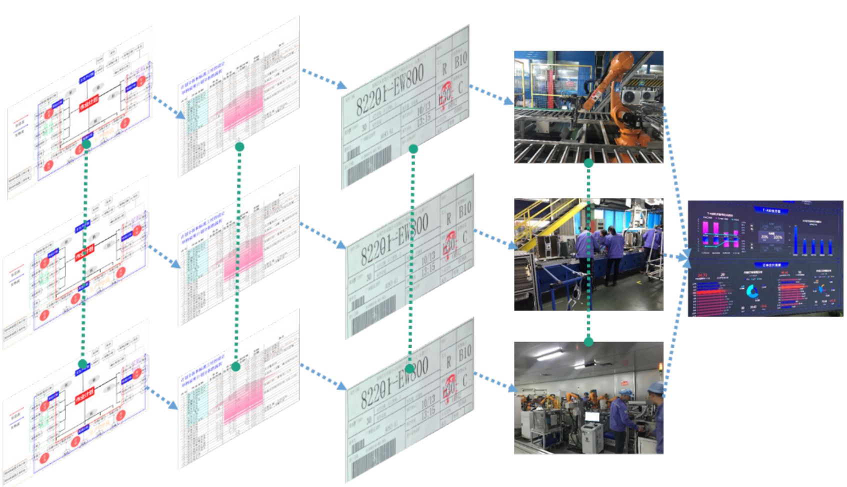


图18 横向+纵向的信息和资源协同，保证有效物理实行

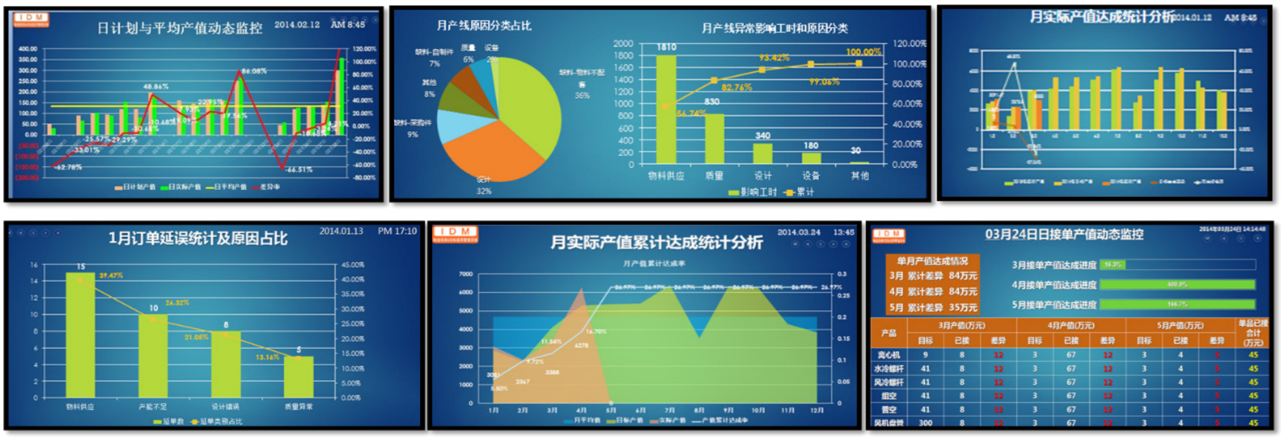


图 19 各类实时报表，有利于显示战略绩效指标的达成情况

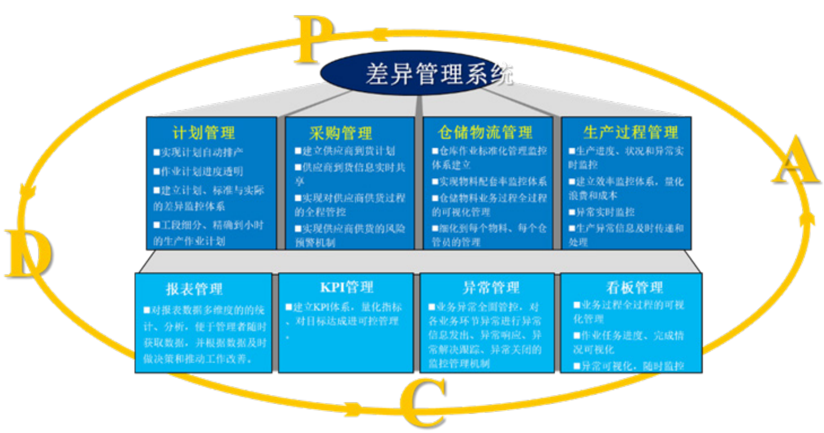


图 20 供应链过程控制实现持续改进

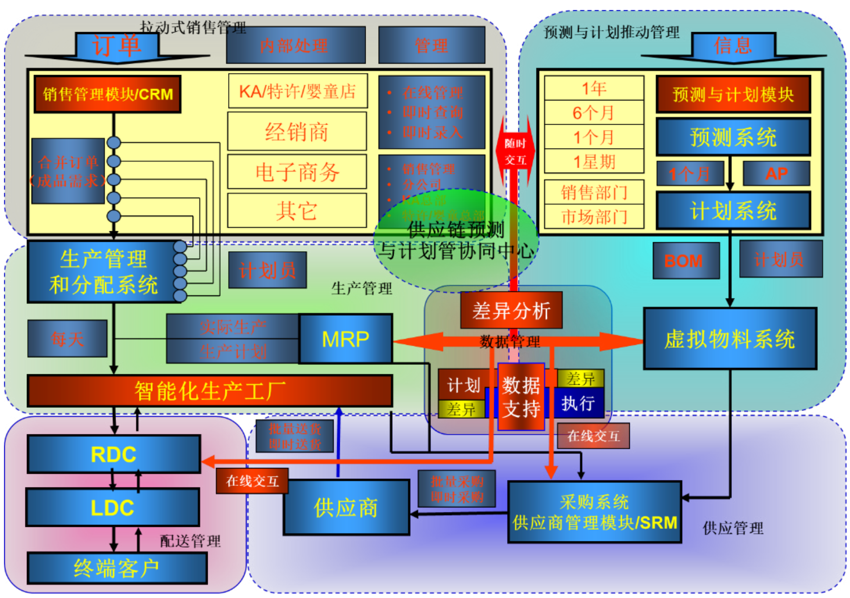


图 21 某企业智能供应链全息图

（feedback），形成自组织、自管理等智能化的表现，实现智能制造。而代表了供应链信息的各个物料包装单元，都将“会说话”，与供应链上的所有元素进行对话和交流，实现人、机、料、法、环、数的互联互通和工业大数据，从而实现数字化、网络化和智能化。如图 21 为某企业智能供应链全要素联通与运作全息图。

智造供应链的发展以企业的自动化和信息化发展为基础。自动化主要实现生产过程的数字化控制，离不开各类过程控制类软件的深度应用；信息化主要实现企业研发、制造、销售、服务等环节和流程的数字化，打通企业内部及供应链企业间的数据流，以研发设计类、生产调度类、经营管理类、市场营销分析类软件的深度应用为特征。因此，涵盖上述软件类别的工业软件是智造供应链发展的基础和核心支撑，可视为智造供应链发展的灵魂和风向标。

能源充裕时代下美国制造业加速振兴行动计划（下）

美国国家竞争力委员会

（接上期）

五、领域研究确认的挑战

1. 落后的基础设施

健康的现代经济依赖强健的基础设施建设来支撑生产经济活动。然而，委员会年度工作报告《吹响竞争力的号角》，就解决基础设施建设需求给决策者的评分始终为 D。同样，美国土木工程师学会（ASCE）关于美国基础设施建设的 2017 年工作报告，给美国 16 类基础设施的综合评分为 D+，预计将需要 4.59 万亿美元以完善重要的基础设施（见图 6）。

谈到美国水利基础设施，基础设施老化造成的自然劣化、破坏和渗漏，导致每年近 1.7 万亿加仑的水资源流失。美国大片农业生产用地的用水或排水无法控制，造成主要水道的径流和污染问题。在能源领域，工业部门消耗不断增加，再加上过度依赖页岩气，开采设施需求压力越来越大。美国航空航天业受到技术和资金有限的系统的限制，该系统已落后于全球竞争对手的卫星系统和商业模式。

落后的基础设施带来的挑战，对美国的竞争力造成了威胁。如果美国希望充分发挥其潜力，就必须完善国家的基础设施建设。

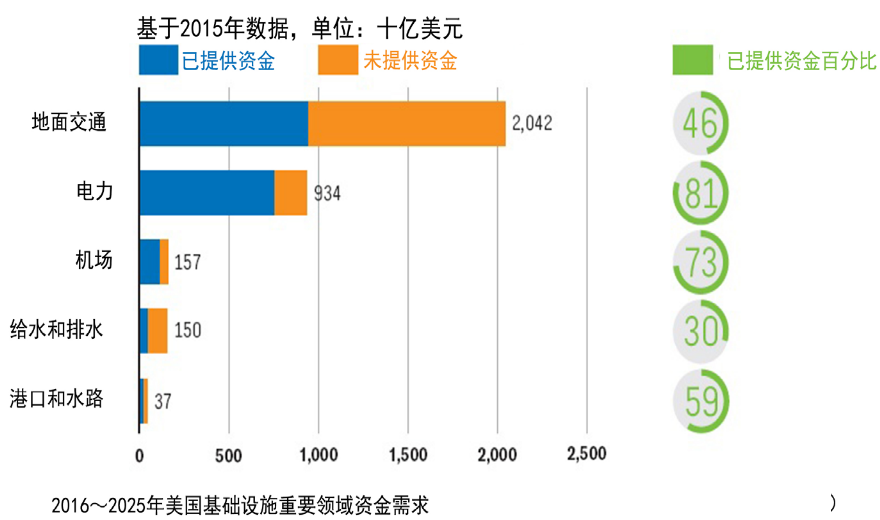


图 6：美国基础设施投资缺口
来源：美国土木工程师学会（ASCE）

2. 监管无法与创新并驾齐驱

在美国竞争力最前沿，平衡监管和创新机遇一直是一大挑战。尽管监管对于确保新技术符合美国社会高的安全和伦理标准必不可少，但一定要制定明智的政策，让创新生态系统得以发展和繁荣。

政策的多个方面与技术驱动的经济重组相互影响。例如，当前的监管环境使核电厂的正常建设时间延长了一倍，在风能和太阳能投资方面仅回馈给投资者长期收益。这些政策刺激生产者转战中国这样监管环境宽松的国家，从而加快建设并获取更高收益。在最初由科技创新驱动发展的航空航天领域中，无人机和太空技术出现了新的伦理和安全问题，如果决策者与业内未能合作解决此类问题，则会阻碍美国在太空探索和旅行方面的竞争力。

我们正在采取一些重要措施。2017 年，国会通过了多项立法，包括《21 世纪治愈法案》、《美国创新与竞争力法案》和《国防授权法案》，其中包括有助于取消、减少和简化研究相关制度的规定。但监管者对创新的反应能力依然落后于科技进步的速度，因此扩大了新技术前景及其应用之间的差距。

从长远的角度来看，因此产生的监管上的不确定因素，会影响投资、新商业形态和技术采用，也会阻碍美国竞争力的发展。

3. 缺少协调清晰的研究议程

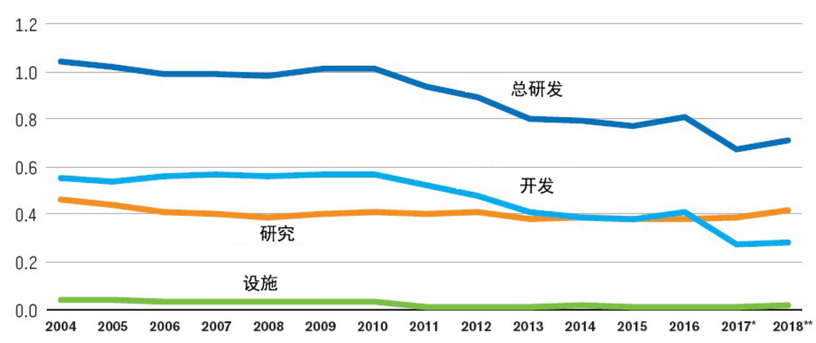
长期科技领导力有赖于对推动知识前沿的研究的战略投资。然而，多个尖端领域缺少清晰、统一制定的研究议程，从而常常导致工作事倍功半，并导致有限的财政资源利用效率低下。

例如，在生命科学领域，美国缺少一致的路线图，因此阻碍了战略性的长远工作，反而创建了不协调且杂乱的发展计划和优先顺序。在网络安全领域，私营领域数家企业呼吁，研究的优先顺序应以一致性为驱动，建立长期挑战应对机制，以求更好地优化配置有限的研究经费。

4. 研究经费不足

2018 年是联邦研发投资在十年内的第二次增长，有望表明长期趋势的逆转，美国向重获全球创新领导力的目标又迈进了一步（见图 7）。但是，公共投资的速度还未能跟上美国科技资产最优化的速度，尤其是企业已经从探索性研究转向了近期应用研究和技术开发。

尽管美国联邦政府在研发上的投入比其它任何一个国家都要高，但依然有几个经济体有着更强的研发强度，研发强度是指研发支出占国内生产总值的比率。过去十年，美国研发强度仅稍有波动。然而近些年来，美国在这一指标上的排名逐渐下降：2009 年 第 8 名，2011 年 第 10 名，



注：包括研发工作和用于研发的设施。总研发数据指美国国防部（DOD）为了纠正预算授权总额和新预算授权的差额所进行的调整。
*从2017财政年度起，联邦机构采用新的官方研发定义。主要在国防部内部进行的后期开发、试验和评估项目不再属于研发范畴。
**2018财政年度数据是美国科学促进会依据颁布的多项拨款进行的估算。

图 7：2004-2018 财政年度联邦研发占国内生产总值比例的趋势图
来源：美国科学促进会（AAAS）系列研发报告，根据美国行政管理和预算局（OMB）和机构研发预算数据统计。

2013 年和 2015 年第 11 名。

虽然注重对多学科的投资非常关键，但我们常常出于对结构、政治以及对地方的考虑，而做得不够到位。由于这些研究适用于包括医药、食品、可再生能源和农业在内的多个行业，所以这种差距格外令人担忧。对跨学科领域或诸多不同行业缺乏投资，可能会抑制其取得颇具应用前景的进展，从而阻碍这些行业的发展。

单从私营领域来看，美国 2016 年风险投资为 666 亿美元，占经济合作与发展组织（OECD）总风险投资的 86%，尽管在风险投资方面保持着决定性的全球优势，但资助者倾向于将资源分配给低风险和短期收益的项目，这种趋势阻碍了一些领域的进步，如能源领域，其创新以延长项目生命周期为特征。

5. 将研究推向市场

尽管联邦政府是基础研究的主要投资者，然而当涉及到新技术的商业化和将研究推向市场，私营领域作为创新者、投资者和采用者才是核心力量。但是，在许多领域中，市场激励措施鼓励低风险的逐步技术改进，而不是将全新的组件和产品商业化。

谈到水资源领域，负担能力和意识是采用新型智能水和能源系统的两大阻碍。生命科学和先进材料领域面临着将研究与适销行业和产品联系起来的挑战，可能会延长甚至终止“发现——开发—部署”的循环规律。对于农业、草坪和园艺及其它相关产业，智能膜、肥料、杀虫剂等新型先进产品可以提高水资源的利用效率，但研发成本太高。对于航空航天领域，美国需要 10 ～ 20 年的时间将新材料从设计落实到部署环节。

将研究推向市场的能力对于整个创新体系必不可少。企业家就如同导管，将创新引入市场并创造价值。企业家强调，创新者必须创建驱动就业和提高生产率的成功创业公司，为美国的全球竞争力做出贡献。

6. 知识共享不足

美国研究与创新生态系统包含众多利益相关者，其信息共享有限，常常致使效率低下、事倍功半。

在材料领域，收集并纳入数字知识数据库的数据极为有限且开发不足，由于数据未被连接或组织，导致大量的可信数据无法利用。至于生命科学领域，尽管有大量的可用基础设施支持生物经济中的创新，但产业内与政府合作伙伴之间以及联邦政府机构之间，快速稳健的信息交换仍然是一大挑战。

其他情况下，挑战在于数据收集而非知识共享。例如，对于水资源，有关水质和水利用效率的可利用数据少之又少。信息匮乏通常意味着，直到大难临头才能发现问题。涉及开发和实施天气预报和气候建模所需的技术时，美国同样落后于世界其他地方，这限制了农业领域管理和降低与不断变化的气候模式相关的风险的能力。

随着数据扩散席卷现代产业，有关可靠信息收集、验证和共享的挑战，成为提高美国产业效率和竞争力的关键所在。公私领域利益相关者之间相互合作，对于美国将信息浪潮的潜力发挥到极致的能力而言必不可少。

7. 科学文盲

科学存在认知问题。其中某一领域尤为相关，即转基因食品，研究表明转基因食品是安全的，但是根据近来美国公司广播新闻（ABC News）进行的民意调查，随机抽取的 1024 名成人中，92% 支持对转基因食品强制进行标识，46% 认为转基因食品食用起来并不安全。提高科学素养对

于消除对开创性全新技术和产品的无知或消极认知至关重要。

培养见多识广、有科学素养的人才的挑战，开始于科学、技术、工程及数学领域的早期教育。例如，国际数学和科学评测趋势（TIMSS）及2015年国际学生能力评估计划（PISA）的数据表明，美国数学评测分数的平均分远低于顶尖教育体系的平均分。关于科学成就，自1995年来，美国四年级和八年级学生在提高国际地位上未见起色——事实上，在参加1995年和2015年四年级国际数学和科学评测趋势中的17个教育体系中，美国教育体系排名从1995年的第3名下滑至2015年的第5名。

在专业知识上，科学知识不足会导致效率低下。例如，关于可持续用水管理，不论是普通消费者还是企业领导，都未能真正理解可持续用水对环境和经济的影响。因此，对于花费可观的工业用水和家庭用水，实施最佳实践将会遇到障碍。

8. 技术缺口

技术发展的每一个实例，都需要能快速采用新技术的人才以保持竞争力，并确保发挥创新的最大潜力。随着创新步伐的急速加快，对人才培养的压力也逐渐加大，这些人才拥有未来就业所需的技能。

例如，对于与农业、草坪及园艺和相关领域的用水管理有关的产业，州立学院、专科学校以及大学所设置的课程通常与产业不断变化的需求不匹配。在水资源和农业领域的专业人员，对计算和数据管理技术的需求也在不断增长。生命科学产业中，人才管道不断演进，如今需要打破传统的生物学家，他们在多个领域技能纯熟，如计算机科学和伦理学。

美国为当前及未来机遇培养人才的能力，是美国能够保持竞争力的一个重要方面，必须由决策者、产业和学术界共同应对。

9. 变化的劳动力结构

随着劳动力要求的技能不断变化，劳动力结构也随之变化——在培养人才以确保成功这一方面，现在和未来所面临的挑战愈加复杂。

美国一项非同寻常的转变是婴儿潮一代开始进入老年。2017年，领取社会保障福利的美国人口达到了顶峰，几乎高达1970年总受益人数的2.4倍。此外，超过一半的公共事业工人将在接下来的十年中陆续退休。

与此同时，工艺美术和职业培训在中小学教育中消失，制造业寻找人才变得更加困难。事实上，德勤2014年进行的一项调查显示，在19～33岁的调查对象中，很少有人在给出的职业选项中选择制造业。

尽管美国业内高管已明确表示寻找和开发人才是第一要务，但的确，如果不采取行动，技术缺口在未来十年内将有可能导致200万岗位空缺（见图8）。

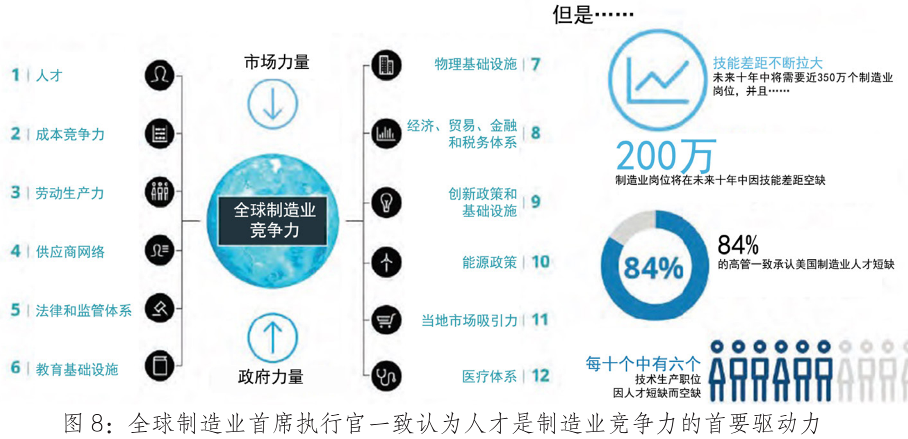


图8：全球制造业首席执行官一致认为人才是制造业竞争力的首要驱动力
来源：德勤会计师事务所和美国竞争力委员会，《2016全球制造业竞争力指数》；德勤和制造学会（The Manufacturing Institute），《美国制造业技能差距：2015年及以后》

10. 全球竞争愈演愈烈

全球化和世界各国不断增长的技术和创新能力，正彻底改变着竞争格局。2016 年，全球研发总支出增长了 3%，表明世界各国正不断加大对创新的研发投入。

全球私营部门也不断加入研发投资的行列，德国、中国、韩国和日本的企业对研发的投资已多达 78%，相比之下，美国只有 62%。

全球的研发经费分配战略同样各不相同。虽然美国和许多竞争国家相比对基础研究更为重视，研发经费占比为 17%，而中国为 5%，但是中国将研发支出的 84% 投入到试验发展和将新技术推向市场，而美国只有 64%。

随着全球格局的变化，国际竞争力加剧。虽然美国 2017 年全球创新指数（GII）位居第 4，创五年新高，但在 2018 年下降至第 6（见图 9）。此外，在监管环境、基础设施和教育等关键领域中，美国的排名分别为第 12、24 和 47 名。

对于一些特定领域的投入，40 多个国家在促进生物经济发展方面兴趣颇浓，并且许多国家的战略计划已经就位，以在各自国家创造具有竞争力的生物经济。其中包括中国，中国呼吁为医疗领域的生物技术应用投资重金。

关于估量水质和稀缺性，以及为减少这些领域存在的风险而实施的策略，美国落后于澳大利亚、以色列等国家，该等国家在这在一方面投资巨大。新加坡、葡萄牙、丹麦等国家在航空航天领域激发和落实先进技术方面成

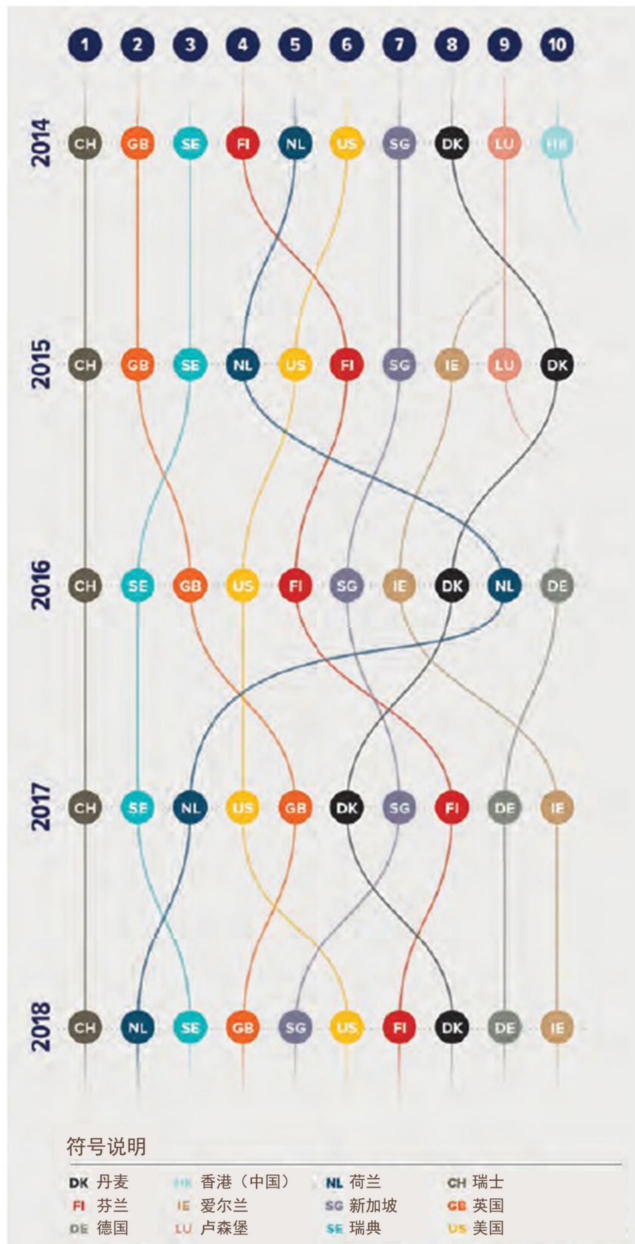


图 9：全球创新指数前十名的变化
来源：《2018 年全球创新指数：世界能源，创新为要》，全球创新指数数据库、康奈尔大学、欧洲工商管理学院（INSEAD）和世界知识产权组织（WIPO）。

为佼佼者。

全球竞争力加剧的另一个指标是理工科毕业生数量的增加。2000～2014年间，在中国授予的理工科学士学位增加350%以上，比起美国和其他许多欧洲和亚洲地区和经济体，涨势迅猛。

当国家开始意识到投资强健的创新生态系统的优势时，美国必须调整优先级，优先发展科学和技术，以维持其全球领袖地位。

11. 新兴网络威胁

互联网实现了网络的互联性和开放性，更广泛的数字生态体系为社会创造的价值无与伦比。到2020年，预计将有200亿台以上的设备将连接到互联网。然而，正是这些特性使得保证现今的网络环境安全更加困难。

随着美国不断发展其能源系统，并不断推进能源系统的现代化，效率的优先级有时会高于安全，从而对电网和核电站的监控成为一大问题。在航空航天领域，空中飞机密度不断增加导致陆空通讯需求加大，从而使网络安全成为特别重要的一个领域。然而，一项2015年的调查发现，只有34%的机场受访者表示他们落实了国家网络安全标准或框架，该调查在国家民航机场合作研究计划的指导下开展，并由美国联邦航空管理局资助。越来越多的行业见证了传感器和监控设备的广泛应用，互联设备的数量继续以指数形式增长，这为其应用市场持续渗透创造了更多空间。

尽管网络威胁给美国的繁荣带来了显著风险，但在国家关键基础设施领域，网络安全的投资、完备、协作和培训依然相差悬殊。美国白宫经济顾问委员会预计，2016年恶意网络活动将使美国经济损失570亿～1090亿美元，到2019年这一数字将在全球范围内达到2.1万亿美元。如果政府、产业及学术界的利益相关者未能实施强健、协调的网络安全策略和措施，美国将越来越容易受到日益严峻的网络威胁的攻击。

为了应对这些挑战，委员会在本报告中制定并提出了“行动号召”，在能源充裕时代推动美国制造业的复兴（见上期第20-22页）。此外，单独成册的报告《安全：确保数字经济时代的弹性和繁荣》将同时发布。

六、勇往直前

美国的创新体系研究和行动正处于关键时刻。全新的转型模式在创新民主化和自组织的推动下脱颖而出，并在全国扎根立足。

基于创新的全球竞争愈演愈烈，世界各国的创新能力也在不断提升，在这样的背景下，2017年委员会报告《转型》中号召的发展正在推进。《转型》报告继续强调在美国创新体系中不断凸显的内在挑战，如不断变化的人口结构、美国教育体系中教育机会不平等且缺乏多样性，这些都将对美国劳动力的结构产生影响。为此，创新实践者和利益相关者正面对一系列难题，即知识创造和创新的个人、团队、群体和国家机构如何转型以支持当下和未来的美国创新。

由于创新进程中出现了诸多变化，所以人们越加关注创新进程本身，以及减少其风险和不确定性的方式。研究人员和学者致力于企业管理研究数十年，如今他们开始关注新型组织结构以及加速和优化技术商业化的方法。

本报告中的建议——结合他们十年以上的工作经验——将加强美国制造能力，提高美国竞争力，并为全美人民掀起新一波生产力和繁荣的浪潮。但很多工作还有待完善。美国的领导地位仍受到威胁。如今，美国在创新方面的全球领导力可能面临着关乎生死存亡的挑战。美国在技术进

步中的作用于全球范围内逐步减弱——如今只占全球研发的四分之一，而1960年为三分之二。全球竞争者都在努力提高自身的创新能力。快速的技术变革和颠覆性的技术对劳动力和社会产生了巨大影响。

如图10所示，大量令人振奋的颠覆性技术和工具开始影响世界经济，它们有潜力完全颠覆人们出行、购物、建造、探索和互动的方式。随后也将很有可能影响企业和高校。

考虑到这些挑战，委员会将于2019年启动成立创新与竞争力前沿国家委员会，更坚定地全力以赴为国家发展做出贡献，以实现这一逐步展开的全新创新蓝图。创新与竞争力前沿国家委员会的成立将以委员会过去三十多年在这方面发展起来的知识资本为基础，其中包括近来完成的与国家科学基金会合作的为期两年的“探索创新前沿计划”，《转型》报告的发布为其画上圆满句号。创新与竞争力前沿国家委员以三大关键竞争因素为中心进行组织，即新兴和融合技术的资本化，创新体系环境的优化，以及对生产、可持续消费和工作未来的探索，该国家委员会将承认当前挑战的紧迫性，并采取应对措施，认清这一新现实，采纳一系列能提高和增强美国核心竞争力——创新能力的建议，才能实现国家的繁荣和富强。

七、领域研究概述和建议

1. 水资源和制造业

水资源是工业、社会和个人生存和繁荣的必需品。近五成的工业用水用于制造产品及提供服务。随着城镇化、人口增长等根本性变化的出现，基础设施、技术、投资和人才方面需要创新才能满足不断增长的水资源需求。这就需要采用创新性的企业管家模式来进行水资源管理：所有领域一起跳出固有思维，并将水资源视为必须进行有效管理的有限资源。

EMCP关于水资源和制造业的领域研究对话于2016年2月16日由马凯特大学、艾欧史密斯公司和委员会联合举办，国家领导人以及来自经济各领域的水资源专家齐聚一堂，围绕水资源和制造业的重要议题展开讨论。对话分为四个部分——人才、科技、投资和基础设施，16日当天就这些关键领域进行了强有力的专题对话。

2016年9月，艾欧史密斯公司在威斯康星州密尔沃基市举办

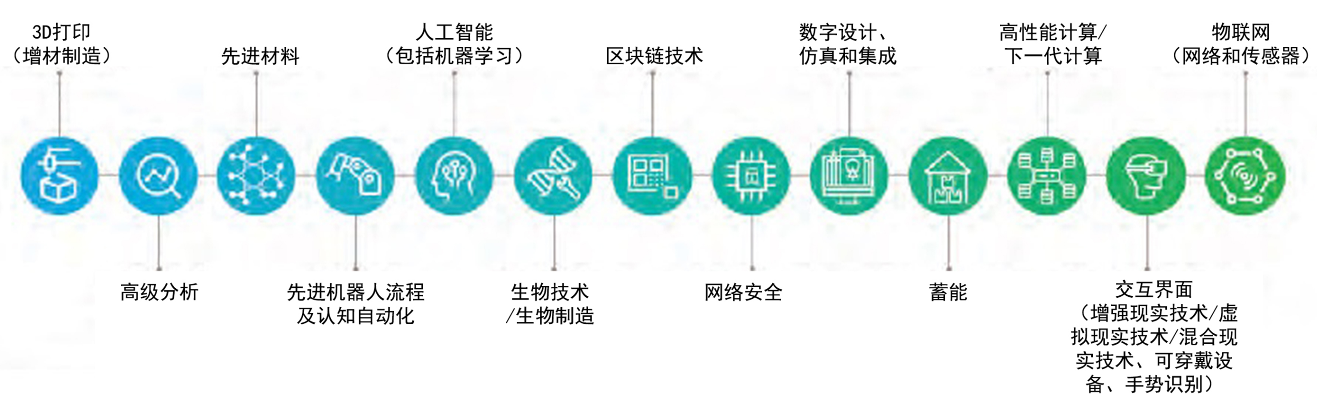


图10：指数发展型技术简介
来源：德勤、竞争力委员会、奇点大学。2018年。《制造业的指数发展型技术》。

的新闻发布会上发表了《杠杆作用：水资源和制造业》报告。当地广播、电视及平面媒体对此进行了广泛报道。

结论与建议

采用企业管家模式管理水资源，有关水资源再利用的法律法规应尽可能地支持自然过程，并将水资源视作有限资源，而非取之不尽的商品。工业每日的用水量约3500亿加仑，几乎相当于制造产品和提供服务用水的一半。在一些国家，供水安全可使国内生产总值增长7%，因此，为了提高水资源利用效率，理解水资源的真正价值所在并为商品适当定价愈加重要。

将自然基础设施，包括屋顶安装、蓄水桶和人工湿地，与水资源管理方法结合，在减少全部水资源基础设施投资的同时，提高能效和水质。相比于传统的灰色基础设施，绿色基础设施通常被视为用于水资源管理的一种成本更低、更可持续的代替方法。与传统废水处理方法相比，人工湿地等自然基础设施项目的运营和维护费用可大大降低，绿色基础设施总体可节省成本15亿美元以上。这些项目为社区和环境带来其他好处，还有助于企业满足环境保护局（EPA）的排水要求。

鼓励开发和利用科技与微生物屏障，通过水资源多样化和提升水质及使用效率，如脱盐、营养恢复和废水再利用等来增加整体供水。随着美国人口的增加和城市人口的聚集，淡水需求和对可靠供水设施的依赖将呈指数式增长。因此产生的水资源多样化需求为这些创新解决方案提供了完全不同的应用机会，如先进材料的开发能够以更加高效的方式去除特定的化合物。

促进各个领域和地域中传感器和监控设备的使用以及大数据的聚合，以提升水资源管理，增加关于水质和水资源利用率的可用信息。有关水资源利用率和水质的数据少之又少。信息的缺失常常意味着在灾难发生之前不会有关于该问题的任何报道。水资源问题要在构成危机之前得到解决，就要增加获取知识的机会。

增加政府对水处理技术试验台的资金支持，加快技术开发，降低与使用先进技术相关的成本和风险，提高水质和水资源利用率。对于水资源行业中所需的新型智能水资源及能源体系技术的应用，负担能力和应用意识是其两大阻碍。政府的资金支持以及在投资新型水处理技术的公司附近战略性地安置试验设备将降低使用这些新型技术的风险。

利用高性能计算模拟用水量和可用性，解决供需不平衡问题，减少与管理水资源和能源体系相关的总体浪费，降低成本。由于基础设施老化引起的自然资源变质、损耗和渗漏，每年约有1.7万亿加仑水资源流失。新型传感器和测量设备，以及高性能计算机的应用，将使数据以一种广泛使用和简便易懂的方式进行收集和传播。

让政府和私营部门的利益相关者参与到提高公众意识的活动中来，满足节约用水的需求。考虑到当前的水价结构，无论是普通消费者还是企业都不能完全理解节约水资源的重要性。社会推广和公众意识活动可以提高公众对水资源问题的关注度。其中可能包括与现有举措相结合，提高消费者对水资源问题的整体认知范围和水平。

通过消除大众对技术职业的成见，在中小学和学前教育中再次引入实习培训并且鼓励产业和学术界之间跨领域合作关系，弥补水资源和制造业领域的技术缺口。2016年领取社会保障福利的人数达到了顶峰，是1970年总受益人数量的将近2.4倍。这造成了人才与空缺工作岗位无法很

好匹配的技术缺口。技术学院和产业之间的合作可以直接引进人才，突出培养专项技能，从而组建强大的人才库。

2. 先进材料

先进材料是推动美国能源生产、工业产品和整体经济取得巨大进步的关键因素。制造商尽早采用先进材料，在产品的使用周期内提高产品的性能和耐用性、降低生产和维护成本、提高能源效率，可以使美国产品有别于其他竞争国家产品。在商业产品中使用这些新材料还能促进材料市场的发展。

2016 年 4 月 12 日，美国竞争力委员会与奎斯泰克创新公司和伍斯特理工学院联合举办关于先进材料的 EMCP 领域研究对话，国家领导人和来自各经济领域的材料专家汇聚于此，共同探讨如何通过开发和利用先进材料提升美国竞争力。对话首先聚焦于美国国家实验室、大学和私营部门目前在以下几方面的能力：先进材料、在制造业和能源领域中实现先进材料全面部署所遇到的壁垒和障碍，以及应对这些挑战的解决方案。

2016 年 10 月，《杠杆作用：先进材料》报告在国会山举办的发布会上发表。专家组成员包括委员会代表、奎斯泰克创新公司代表、伍斯特理工学院代表和劳伦斯利佛摩国家实验室代表，他们与决策者共同分享重要发现和建议。

结论与建议

促进国家实验室体系与行业合作伙伴、小型企业与大学之间建立更多的公私合作伙伴关系（PPP）。当大规模生产和使用需要不断扩展材料时，会经历一个艰难的材料开发阶段。中小型企业必须能持续使用实验室和其他关键基础设施及技术。公私合作伙伴关系的建立使设计者开发新型创新产品，使重点大学的专家们聚集在一地，在科学、工程和技术领域进行基础研究，这样可使美国制造商与世界市场对接。

开发国家知识平台，确保研发出准确、权威、经过整合和易获取的数据，以支持先进材料的制作、加工、建模和生产。目前与材料相关的数字知识数据库的数量极为有限，且功能未完全开发出来。由于大批的有用数据之间没有相互连接或整合，导致这些数据无法入库。先进材料领域的技术飞跃很可能得益于工具的广泛使用，而互用性是实现这一飞跃的关键因素。

众多重要材料专家走向企业集团或实体，与材料技术人员共同努力，整合不同的知识库，并创造难得的资助机会。材料专家各自独立操作，导致数据管理情况不一，并使这一领域发展所需的标准化进程更加复杂。各中小型企业中和彼此之间的跨部门协作可以成为权威专家小组工作的一部分，他们专门负责加速材料的发现和开发周期。

特定区域的试验工厂设施与国家实验室、大学和中小型企业合作，加速先进材料的配置，减少其商业化时间。产业若能够获取科技资源，则将有助于制造商为市场开发和交付新的创新型产品，并以更快、更高效的方式使材料符合标准。诸如此类的试验工厂设施有助于减少预计的配置时间，缩短材料从发现到配置的整个周期。所需的试验工厂设施若没有私营部门的支持，则建议政府机构（如美国能源部，美国国防部，国家标准技术研究所）率先建立“材料基因组加工中心”，作为实现材料基因组计划（MGI）的目标——确保材料创新的制造业基础设施——所需的第一个试验工厂设施。

通过将跨学科方法融入到

教育之中，解决先进材料和制造业领域的技能差距问题。此种教育将传统材料科学课程与数据科学、建模与仿真和计算科学相结合。最近的一份调查显示，19～33年龄段的受访者最终会选择在制造业中工作。在中小学及学前教育中再次引入实际操作培训可以消除大众对制造业的误解，增加对先进制造业所带来的新兴就业机会的了解，与此同时，旨在培养本科生和研究生跨学科技能的学术界和产业之间的合作可确保建立强大的人才库。

3. 尖端生命科学

生命科学是联邦政府的前沿制造技术，对美国竞争力尤为重要。美国虽然在生物工程和生命科学技术开发方面保持着世界领先地位，但是其他国家在这些领域的大力投入让美国陷入了失去竞争优势的危机之中。

2016年7月27日，竞争力委员会与劳伦斯伯克利国家实验室、劳伦斯利佛摩国家实验室、西北太平洋国家实验室和桑迪亚国家实验室合作举办关于尖端生命科学的EMCP领域研究对话，国家领导人以及生物经济领域的专家聚集于此，共同探讨生命科学对美国竞争力的重要性。为期一天的会议首先讨论了美国需采取措施，以利用生命科学领域的成就和个体的成功。下午，委员会和来自各行业及国家实验室的领导者简要介绍了美国机械工程师学会（ASME）和众议院制造业小组合作项目中的国会工作人员。

2017年7月，《杠杆作用：尖端生命科学》于国会山参议院会议上当众发布，与会者包括决策者、专家以及产业和学术界代表。会上100多名参会者听取了委员会成员以及议员代表兰迪·赫尔特格伦（由伊利诺伊州第14选举区选出）的发言，他们强调了美国在生命科学领域处于领先地位的重要性。

对话于2018年4月继续，委员会联合加利福尼亚生命科学协会（California Life Sciences Association）在萨克拉门托市向加利福尼亚州议会的成员和工作人员简要介绍了加利福尼亚州生物经济的现状，并讨论了如何把握机会，利用该州在这一领域中的优势。

结论与建议

制定年度战略规划，目标是在生命技术和生物技术领域取得进步，从而实现能源、环境、农业、国家安全和经济目标。国家科学和技术政策办公室（OSTP）、研究机构、产业、国家实验室和学术专家应共同合作制定生物经济规划，并将其作为下届政府的首要经济任务。

创建工具和流程，获取关于生物经济规划战略目标、具体目标以及重要事件的基础应用研究数据、私营企业和政府资助的活动以及团体反馈，并进行分析。绩效衡量指标文件，以《2012年国家生物经济蓝图1》为基础制定，每年总结一次生物科学研究的各方面进展。关于政策和包括数据分析、劳动力发展、监管障碍和未来的联邦政府活动在内的科学项目成功信息，将有助于研究人员确定需要改进的领域，并提高大众对生物经济重要性的认知。

协调各政府机构之间的投资，增加跨学科领域的支出，并将联邦政府投资集中用于研究平台的开发，此平台可让解决方案更快地在社会中得到应用。生物类产品的多样性横跨多个行业，如医药、食品、再生能源、农业等，导致协调投资时颇具挑战性。缺乏对跨学科领域或行业的多样化产品的投资可能会抑制其发展前景，因此阻碍生命科学的总体进步。

通过提升意识、加大公众和决策者对教育和外展服务的投入来解决公众对科学和监管不信任的问题。公众对生命科学的整体认知对于该领域的进步发展极为重要，科学家必须在道德的基础上获得公众的信任。要摒弃无知的、消极的观念，就需要通过教育和外展服务项目（其中包括科学、技术、工程和数学教育（STEM教育）以及进展指标）提高美国的科学素养。

为利益相关者提供机遇和奖励机制，从而确定新一代生物目标，生物技术专家可以利用这些目标再造产品，并向消费者销售。利用生物技术再造具有新一代应用价值的产品，如向大气释放更少有毒气体的化学品和燃料，这种理念的经济价值还不足以吸引消费者。生物技术专家需要一个既有新一代属性又有新一代价值的目标，才能在市场上获得成功。

开发一个涉及各领域且方便使用的知识库，其中包括原则、方法、流程、成功经验和失败教训，为利益相关者更快地传递有用信息。可获取中心科学技术资源的产业将有助于专家为市场开发和输送新型创新产品。这将提高生物经济的成熟度和影响力，并从实验室开发到制造工厂扩展，再到消费网点，助力完善技术创新管道。

生命科学研究平台培养出全新的、受成本过高限制的能力，供产业使用。无论是在新兴公司还是大规模企业中，学者和机构科学家以及政府和产业对研究平台和生命科学知识库的投资，均有助于打破坚硬的生物制造和产品开发进入壁垒。

在多学科领域中，生命科学逐步发展，需要在高性能计算中不断转换信息、更新代码以及具备数据管理技能，这就要求解决多学科领域中的人才缺口问题。生命科学领域的人才库较之前大有不同，如今需要的是非传统意义上的生物学家，他们经过培训，具备多学科领域技能。产业与学术界领导人之间必须开诚布公，就劳动力发展事宜交换意见，只有这样我们才能为毕业生重新创造培训及就业机会，突破现有科学水平继续探索。

4. 农业和消费用水

美国农业——包括相关行业和促进农业发展及依赖于农业的增值领域——是美国最大的出口行业之一，可作为一个针对创新驱动生产力和竞争力的案例研究。第二次世界大战以来，美国对农业科学、技术和土地资源管理等领域的投资和研发使其农业的能源效率提高了近100%。农业产品与技术仍然是美国出口的重要组成部分，也是促进其国内服务与制造经济增长的一个关键因素，同时支持着餐饮业、旅游业、服装业、家具业和设计业的发展。

水资源、气候变化、新消费者需求等方面的竞争也推动了农业、草坪和园艺以及其他相关行业的变化，例如，激发了对新产品和可持续生产过程的更大兴趣。不断变更的法律和监管环境正在推动新产品进入市场，同时也增加了本已颇具竞争性的水资源和能源需求。整个农业价值链正在加大投入，引发了一系列关于种植和生产流程的创新与效率的新问题。

EMCP农业和消费用水领域研究对话汇聚了国家领导人及该话题所涉及的各行业的水资源专家，共同探讨农业与消费用水对美国竞争力的影响。会议为期一天，重点讨论了以下议题：补贴对于推动或阻碍可持续用水的作用，愈加不可预测的天气模式对农业、草坪和园艺及其他相关行业的影响，还有对基础设施进行监管和建设的必要性，以及为保

证水资源的质与量，劳动力具备必要技能的必要性。

《杠杆作用：农业和消费用水》报告于2017年世界水日在华盛顿特区国务院的美国水问题伙伴关系年会及由史考兹奇迹公司在佛罗里达举办的活动上发布。

结论与建议

投资所需技术，建立更好的气候数据模型。这一问题影响着美国多个行业的竞争力，政府及私营部门必须对监测土壤总体健康情况、海洋温度以及其他气候预测技术的开发和部署进行投资，以帮助农民和研究人员更好地监测天气模式并建立模型。

为与天气模式、农业流程和投入相关的众包数据创建验证系统，促进由公共和私营部门信息所组成的可信知识数据库的形成。协同公共数据可显著提高水资源管理精度及其自动化程度，提升作物建模能力和对未来预测性的规划，并在三到九个月这一关键期间内，改善气候预测情况。验证系统将围绕个别报告数据，过滤质量数据，还可以更好、更有效地融合公共和私营部门的数据。

利用高价值作物进行创新试验。智能膜、化肥和杀虫剂等新型先进材料能够提高水资源的效率，但其研发往往耗资不菲。在高价值作物上进行智能材料和其他高成本创新成果的测试，可通过减少产品开发初期的金融风险促进创新。

将农产品补贴和用水效率与节能目标更好结合。财政激励和监管必须全面审视，统揽全局，鼓励智能水资源管理，避免水资源紧张地区大量用水和商品价格持续上涨等负外部性现象。

制定行业标准，披露用水流程。财务披露和最近关于碳信息及其他气候内容的相关披露，都是使公司得到经营许可的重要方面。使用基准测量方法可以更全面地了解用水情况，对于使用后排放回环境中的水，能够更好地监测业务运作对其水量与水质的影响。这些基准还鼓励在节约成本、提高效率的同时，为环境和社区带来积极影响。

如有景观美化的需要，鼓励使用再生水代替饮用水。再生水最常用于灌溉，很有可能显著降低景观美化成本。如果不从有限的地下水和淡水供应中取水，加大再生水在城市和工业中的使用力度可视为一种具有成本效益的增加水资源供应的方法。美国的许多州都采用了再生水使用指南。

加强培训与教育项目和实际需求的匹配，扩充具备水资源管理技能的专家库。州立学院、专科学校和大学在园艺学及相关领域的教育要求往往缺乏对水资源保护和管理的适度重视。在一定程度上，这是由于国家级资金只会在干旱等极端情况出现时才会下发造成的。在本科和研究生阶段加强产业和学术界间的协调，是打造强大的人才供应链的必要条件。

培训高层管理人员，使其有能力在招聘过程中识别水资源管理的技术要求。接受过水资源管理培训的工程师和专业人员为数不多，就招聘技能适配员工以实现可持续水资源系统及实践而言，高层管理人员在知识层面也有差距。应采用自上而下的方法，将水资源管理更好地融入到核心业务战略之中，尤其是在人口密度较低的区域，因为那里越来越难以吸引顶尖人才。

5. 能源

能源是经济增长繁荣的关键。美国拥有丰富的低成本、高效率能源，可为其创造竞争优势，提高各行业生产率和效率。国家注重提高能源效率，这不仅有助

于减少由于重工业和消费者对能源（传统上是指煤炭及其他化石燃料）的依赖而对环境造成的负面影响，还有助于降低成本、推动创新、提升竞争力。

世界正处于清洁能源革命的绝境边缘，能源作为一种颇具吸引力的投资，既能保留美国现有的零排放技术，又能使新技术和创新战略减少我们的碳足迹，并为后代保持可持续性。但是，美国的能源安全也事关国家安全。要继续推动美国能源体系发展，实现现代化，重要的是确保能源网现代化决不以牺牲安全为代价。监控网络活动和防范美国能源网及核电站渗透尤为重要，在国家安全风险问题中，能源网安全乃是重中之重。

为解决这些问题及其他当前遇到的能源经济问题，2017 年 5 月 31 日，竞争力委员会与爱克斯龙电力公司、宾夕法尼亚州立大学、阿贡国家实验室合作，主办了 EMCP 领域研究对话。此轮对话聚焦可持续、经济可行的能源未来战略，满足消费者、行业和环境方面不时高涨的需求。

《杠杆作用：能源》于 2018 年 5 月在宾夕法尼亚州州学院市举办的宾夕法尼亚州立大学年度能源日会议上发布。产业和学术界的 200 余名专家出席会议，并开展了后续对话，将报告与对宾夕法尼亚州能源机遇的建议相结合，以创造区域繁荣。

结论与建议

实施监管政策，鼓励保留、开发和实施更有效的清洁能源解决方案。随着高效能源技术的进步，美国愈发自力更生，更成为了能源与能源技术出口国。保留和投资能源的方法为诸多以燃料为基础的经济领域提供了相对的优势，提高了主要制造业的成本效益，促进了对现有技术与新技术的投资。美国的决策者和监管者必须接受新的科学发现、建模和仿真技术，从而最大限度地提高不可再生能源的效率，增加清洁能源的产量。

向能源储存能力创新与清洁能源技术创新直接拨款和投资。人们普遍认为，美国三分之一的经济增长得益于创新。举例来说，过去 30 年来，通过将重点调整至创新，核电站的运营能力已从 60% 提高至 90% 以上。决策者必须建立激励机制，加快能源领域改革步伐，让创新和未来经济发展获得更直接的回报，包括能源网络现代化、能源基础设施更新、国家零排放资源保护和重点发展清洁的、可恢复的、可再生的能源。

保护美国的关键能源基础设施免受网络攻击。美国国土安全部的数据显示，在去年针对 16 个关键基础设施领域的以工业控制系统为目标的网络事件中，20% 都发生在能源领域。利于提高能源效率的技术发展速度正在不断超越安全技术发展速度，除非我们改变网络安全战略与实践的实现方式，否则这种趋势将会持续下去。保护美国能源基础设施免受网络攻击乃是国家安全问题。为解决该问题，需建设起一个网络安全评估与最佳实践的模型，各行业、学术界和政府的各利益攸关方都需要投入于此。

利用国家实验室开发创新能源技术。在提供适当经费的情况下，国家实验室有能力对风力涡轮机或石油天然气钻机这类成本效益高且不易受到传统意义的磨损的设备进行设计，将其改进为可靠高效的能源设备。通过投资国家实验室，并向私营企业家和创新创业公司开放资源，研究人员有望在能源生产与存储领域取得重大技术突破。

指导市场研究，并就能够最有效地加快新技术商业化进程的投资领域这一问题提供指导。在大学、国家实验室与商界之间架

起桥梁至关重要，这能让研究走出大学和实验室。为促进技术发展，大学、企业和联邦政府必须确保有充足的研发经费，且支出在可预估的范围内，联邦政府必须鼓励那些能够提升美国竞争地位的投资。

鼓励多学科交叉的教育方法，从早期发展到研究生教育，让学生在每个阶段都有机会学习技术技能、软技能、团队合作和批判性思维技能。教育不可受到教学大纲的束缚，这样只会扼杀创造力。决策者必须向高中技术教育提供资金，向学生提供实践培训，消除对高薪“蓝领”工作的偏见。学生应有机会与职业工程师接触，躬行实践，解决问题，教师须保持学习状态，与行业专家交流，不断发展学科课程。

鼓励终生学习，使学生获得更多技能与证书。每当有新技术被开发出来，业内必须随之制定一系列新的培训，这样工人方可操作新机器，研究人员才能利用中间技术在发明创造方面取得突破性进展。公用事业、技术公司和工会可以通过为不同年龄和职业阶段的人提供教育机会，确保其现有员工的技能水平能够与能源行业不断发展的需求相匹配。

6. 航空航天

美国即将在航空航天领域进入另一个黄金时代。鼓励航空航天领域的创新，不仅能提升美国的竞争力，这还是美国想象力的核心。人类摆脱陆地旅行的束缚指日可待，世界也将因此发生巨变。然而，航空航天制造业是否会达到汽车的制造规模还未可知。

作为新兴企业的重要经济孵化器，航空航天行业能够提供就业机会，帮助抵消美国传统制造业岗位的流失。航空航天对于美国创新与经济的进步至关重要，故该行业得到了两党决策者的大力支持。然而，全球的竞争对手在技术、人才、投资和基础设施方面开始超越美国，美国可能会因此在不断发展的商业领域中失去获得经济优势的关键机会。

在能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP）的第六次领域研究中，专家共同参与由美国竞争力委员会组织的航空航天领域竞争力对话，确定推进航空航天领域发展进程中涉及的冲突、理念和挑战。

对话持续一日，与会者着眼于政府与行业在解决以下问题时各自应发挥的作用：基础研究和应用研究需要资金与支持，监管需要跟上创新的步伐，以及为满足该行业日益增长的人才需求，行业和学术界之间合作的重要性。

《杠杆作用：航空航天》于2018年8月在南卡罗莱纳大学主办的活动上发布。该活动还特别举行了后续会谈，旨在探索建议的实施途径，借此为南卡罗来纳州制造业创造经济机会。

结论与建议

在航空航天基础设施支出方面，加强联邦、州及地方政府之间的协调。美国的基础设施处于落后状态，机场效率排名现也低于许多其他国家。若要保证未来的航空基础设施具备现有的安全水平，就必须解决诸多技术难题。这主要是由支出脱节造成的，因为多数机场的资金仅由州及地方政府提供，缺乏联邦政府的参与。政府间需要加强协调，并向基础研究提供额外经费，以恢复航空航天领域竞争力。

实施政策改革，以鼓励加速创新，紧跟创新步伐。自兴起时，航空航天就是以技术为驱动的行业。决策者必须迅速解决无人机和天基技术等技术创新领域潜在的问题，避免出现大量伦理争议及安全问题，恢复在太空探索和旅行领域的世界领先地位。

充分利用美国能源机遇，鼓励航空航天领域创新。随着能源领域不断创新，且不再依赖于传统化石燃料，航空航天领域有机会在能源效率方面有所创新。这类创新可建立在他国现有创新的基础之上，也可着眼于国内其他行业，例如投资电动飞机及太阳能飞机等领域。

加速新材料应用，赢得国际竞争。在美国，一种航空航天材料从设计到投入使用需要十到二十年的时间。为保持竞争优势，在提高建模和仿真技术的基础上，必须使用计算技术与方法认证新材料系统。为此，需对科学投资及商业化加强关注，并认真考虑建立学术研究与商业应用之间的联系。

航空航天技术及基础设施领域需注重网络安全。鉴于航空航天行业有着出色的安全记录和高度的风险规避意识，所以安全工作必须不断创新，不能在此方面落后。随着数据流和信息共享成为航空航天领域关键因素，以及由不断加大的空中飞机密度导致的地空通信需求增加，网络安全将因此对该领域更加重要。

鼓励航空航天与汽车行业共享最佳实践经验。航空交通不可能完全取代汽车与地面交通。目前，多家公司都在开发无人驾驶汽车模型，部分已经进行了可用性测试。因此有必要使用系统集成的方法进行思考，使两种旅行和交通的形式共同发挥作用，建设更美好的社会。

促进产业与学术界的伙伴关系，从而扩充人才库。目前的晋升制度和任期激励制度阻碍了应用性研究，留下了一个需要由产业来填补的空白。但是从大背景来看，联邦政府研究经费缩减，许多行业研发活动减少，因此需要产业和学术界相互合作与协作，确保将创新和动力有效地转化为实际的成果并发挥作用。

重新设计各教育阶段学术课程，打造多维度发展的人才。建立性别、种族、技能多样化的人才库对提升航空航天领域竞争力尤为重要。从中小学及学前教育到职业生涯中期，教育工作者和企业雇主都必须鼓励人才在不断发展的行业中寻求机会。具体方式多种多样，可以是工程竞赛，也可以通过贸易学校、公司课程、在线课程或社区大学获取各种机会。

7. 网络安全

（1）《产业网络安全：在数字经济时代确保繁荣》

产业现代化、电子商务和消费娱乐推动了网络技术发展的快速进步。互联网和更广泛的数字生态系统成就了互联性与开放性，为社会创造了无与伦比的价值。

计算、网络及通信技术的进步已经渗透到经济的各个领域，其进步速度之快，十分惊人，在人类历史上也是前所未有的。但这些也使得目前的网络环境保卫工作变得极具挑战性。技术发展迅猛，网络安全保障措施已然落后，除非我们改变网络安全战略与实践的处理和实现方式，否则这种趋势将会持续下去。

由于网络攻击的起因愈来愈难界定，此类事故的发生率愈来愈高，因此各公司和组织需要一套经过改良的工具包，来快速有效地处理网络攻击问题。而且，在未来三到五年间，对抗性人工智能会发展得更加复杂，彻底实现网络安全就变得愈加迫切。由于运行中断、数据丢失、安全成本等原因导致的网络攻击产生了巨大的经济负担，所以网络安全已经不再是一个仅与技术相关的问题了，而是成为了风险管理问题，与此同时，强大的网络防御 / 响应机制还能够推动生产力的进步。

在当前的技术和政治环境下，网络安全的重要性显而易见。网络攻击对关键基础设施和知识产权构成了威胁，进而威胁到企业的运营和国家安全。尽管如此，金融资源和人力资源方面的限制还是普遍存在的。中小型公司常常受限于预算不足，负担不起最新安全技术的费用。各类规模的公司都存在着人才短缺和知识缺口的问题，导致其容易受到网络风险的影响，并且在受到网络攻击后，恢复速度也十分缓慢。

在这个以转型创新和指数级数据的数字化为标志的时代，美国公司面临着大量多维度的安全挑战，这些只是九牛一毛。尽管困难重重，这些挑战并非不可战胜。但这需要公共部门与私营部门联手合作，共同提高美国的缓解能力、适应能力和恢复能力，应对来自国家和非国家行为体日益增多的网络威胁。

初步结论

需与政府合作创建自愿的、以行业为主导的网络安全标准。虽已具备关于网络安全的风险管理框架和行业指南，但还需要制定行业支持的标准，用以定义基本网络安全术语，设置产品及系统的安全阈值。这些标准可用于安全态势的基准测试，为公司创造竞争优势。美国国家标准与技术研究所（NIST）可成为这些标准的“保护伞”，为标准的制定保驾护航。

在开发周期的早期，就必须将安全性融入产品和流程中，而不能视其为补充成分。技术发展的脚步正在以前所未有的速度加快，通过传感器和数据的扩散，产品之间的联系日益紧密，数据窃取和运营中断也更容易发生。随着网络攻击的威胁性愈加严峻，产品和流程的设计必须考虑到网络弹性。

在网络威胁可信度和数据操作能力方面，海量的数据也带来了挑战。随着实用的可操作信息数量超越以往，合法政策利益需要信息共享，私营企业利益需要得到保护，这两者之间必须取得平衡。将网络安全数据的收集与评估标准化，将会提高全体行业安全性。然而，为促进有关网络安全威胁与攻击的高质量数据共享，目前的最佳方式乃是建立可信赖的关系。

必须利用风险、能力和资源共同将网络安全转化为竞争优势，而非沉没成本。将网络安全视为竞争前问题，主动解决威胁，不可被动地对攻击做出反应；将网络技术与网络安全态势视为具有价值的资本，不可视为累赘，这样企业才能提高自身安全态势，免受网络威胁。这就需要针对可量化风险进行更多研究，使具有实际意义的监管模式和保险市场发挥作用，并及时得到市场回报。

所有组织层级，包括公司董事会和最高管理层，都必须参与网络规划、响应和恢复工作。通常，人们认为网络安全是政策专家或者 IT（信息技术）专家的工作。然而，为提高企业抵御和应对网络攻击并从中恢复的能力，各职能部门和层级需要从组织文化方面入手，转变对网络安全的认识，即将其视为与企业休戚相关的问题，而不仅是技术问题。

产业与学术界必须共同努力，创建基础课程体系，培养知识渊博、精通网络的劳动力。对美国来说，最重要的是拥有足够多的网络安全工作者，他们的知识水平能够满足标准且实力相当。为满足该领域迅速增长的需求，多样性与包容性不可或缺。实践经验和导师制度在应对课程改革的缓慢步伐的同时，还有助于提升兴趣。从业者和教育工作者分属于两个不同的领域，却能彼此交换知识和经验，这对于产业和学术界都将是互利互惠的。

除传统四年制大学与研究生阶段之外，各阶段（包括高中及社区学院）的教育课程必须包含网络安全教育。网络安全与计算机科学方面的教育工作不应完全由学院及大学承担。大学阶段的网络课程或高中阶段的计算机科学课程对扩充人才库颇有裨益。在行业高管的支持下，社区大学对学生们来说，可被视为一种切实可行的选择，对雇主来说，可提供切实可用的招聘资源。

《网络安全：国家安全问题》

社会数字化、数据扩散，以及产品与服务之间日趋紧密的联系（尤其在美国关键的基础建设领域）改变了美国人的生活方式和企业的经营方式。然而，随着防火墙成为美国的下一个主要竞争领域，互联互通水平的大幅提升对美国的全球竞争力造成威胁。因此，网络安全已经成为了国家安全问题。

美国正面临的问题是，网络攻击的数量、类型、复杂程度正在稳定增长。国有及私有企业为破坏经营、窃取信息、提高自身竞争力，无情地攻击了所有类型的组织，其中包括产业、政府、学术界和国家实验室。传统网络犯罪、军事及政治间谍活动、经济间谍活动、网络战等形式的威胁，让美国乃至全球都付出了巨大的代价。事实上，英国朱尼普研究公司（Juniper Research）的一项研究显示，全球范围的数据泄露年度成本将于2019年达到2.1万亿美元，相当于2015年预估的数据泄露成本的近四倍。

国土安全部就关键基础设施划定了16个领域，各领域都在美国经济与国家安全中发挥着不可或缺的作用，对于它们来说，网络攻击尤为令人担忧。例如，可靠的能源网对于任何一家机构的运作都至关重要。美国能源部目前虽已计划提高防范、响应、恢复能力，但90%的能源网都是由私营企业运作的，这就需要建立强有力的公私合作伙伴关系，方能确保供应商有能力抵御潜在的网络攻击，有方法对其快速做出响应。

愈来愈复杂的网络攻击对关键基础设施构成了持续性威胁。而且，网络的可用性每天都遭到质疑，致使美国企业的经济生存能力和美国人民每日行使的自由权岌岌可危。

初步结论

应将网络安全纳入行业及政府合同中进行推广，使其得到更广泛的应用。必须利用新的创新市场机制更好地激励网络安全工作的开展。如在采购机制中增加安全保护措施，或者改进技术安全性的衡量方法，将制度化的安全措施贯穿于整个供应链。

网络安全领域需要在整个行业和政府内制定一个统一明确的研究议程。在网络安全研究方面，还没有明确的且由研究团体确定的研究议程，最终导致了事倍功半，有限的财务资源利用效率也很低。因此，需要通过建立机制，来组织研究团体、召集利益相关者并确定适当主题，从而制定出研究议程。

努力将产业与实验室和学术研究联系起来，保证知识的转移，减少重复的工作投入。充分了解行业和研发团体的现有能力是一项重大挑战。更好地协调现有能力，可以减少团体内外的重复工作，有助于实现研究重点和商业需求的完美匹配，扩大安全解决方案的规模。

必须建立清晰明确的联邦制模式，以应对关键基础设施受到的攻击。许多政府机构在项目规划和投入资金时都考虑到了网络安全因素，虽然这些项目间的协调配合极少，但这样可以减少重复工作，提高应对网络威胁所需的网络弹性和响应能力。

在州或地区层面把握良机，

利用年轻一代的爱国主义、利他主义、技术能力，建立网络应急响应者联盟。目前，受到网络攻击后的恢复时间长，恢复期间网络停滞，对美国的安全与经济利益造成了威胁。为加强区域网络的保护和响应能力，美国的应急响应工作需做到协调配合。此项工作可由国民警卫队内部负责。

需要全局定义的安全基准，其信息须由利益相关方提供。切实有效的安全基准可以平衡竞争环境，还能根据在推荐安全配置中系统与网络的部署方式设定基本期望值。在产品生命周期内，必须取得进展，从而改进设计、默认配置和部署，以此构建保障体系，保证关键基础设施可从网络攻击与破坏中恢复。

对关键基础设施领域实施自动安全监控，可显著提高网络防御水平。采用柏伊德循环方法（观察－调整－决策行动，即Observe-Orient-Decide-Act）时，利用人工智能和机器学习对安全性进行持续的评估，能够实现敌手检测识别、归因和行动预测，提高响应能力，从而减少攻击者占有的不对等优势，为关键基础设施供应商打造平等的网络防御竞争环境。

必须将网络安全纳入相关学术课程。虽然培训网络安全专业人员这项工作本身颇具价值，但是对于计算机科学家、工程师和其他将网络安全视为基本问题的职业而言，网络安全必须是教育内容中的重要组成部分。如此一来，在人才需求最旺盛的各个领域，具有相关和适用的网络安全技能的专业人才数量将会增加，可确保未来各学科工程师都具备设计和构建安全系统的能力。

为从业者向教育工作者的转变减少障碍网络安全专业人员的供需失衡带来了重大挑战，与此同时，学术界面临着的复杂挑战则是缺乏可以培训未来劳动力的教育工作者。产业与学术界需要做出战略性努力，填补这一空白。

《网络安全：政府和决策者参与其中》

由于计算能力的迅速提升，美国所面临的一大挑战就是要保护最新技术免受不断加剧的网络攻击威胁。随着智能家居和智能建筑成为主流，连接到电网的设备数量不断增加，这项任务将更加难以完成。尽管美国正逐步将网络安全列为国家的优先事项，但保护关键基础设施安全依旧任重道远。

与其对手相比，美国决策者早已处于不利地位，他们必须采取行动，提升网络弹性，应对日渐增多的威胁与网络攻击。如果在遭遇大规模攻击时，政府内部没有指定任何团体或实体对此负责，对手就能最大化其不对称优势，并利用美国响应能力的弱点。此外，能源部等机构虽已为保护美国能源基础设施采取了关键措施，但仍有必要与国会进行协调和有效沟通，从而确保对有限资源的有效利用，以支持全国网络安全。

与此同时，来自国家和非国家行为体的网络威胁日益增多，挑战不断加剧，具备降低此类风险能力的劳动力一直难以与之抗衡。虽然联邦政府已经开展多个项目（包括美国国家科学基金会(NSF)的CyberCorps®：服务奖学金(SFS)，该奖学金计划旨在招募及培训新一代的信息技术专业人才、行业控制系统安全专业人才和安全管理人才），但必须得付出更多努力才能满足对网络安全专业人才日益增长的需求。

网络攻击对美国的威胁日益突出，所有联邦机构的决策者必须共同应对。美国若要防范网络攻击的威胁、提高网络弹性、增强网络人才能力和加强保持竞争力的意识，则协调与合作至关重要。

必须建立清晰、实用的网络响应模型，明确公共及私营部门的角色和责任。目前，大量的联邦机构管辖着网络安全的不同方面，造成网络攻击发生后无法定责。同样，行业对于这方面的要求也不够明确。网络安全领域的明确领导有助于美国拦截网络威胁，保持竞争优势。

中小型企业往往难以获取相关知识和资源，无法维持应有的网络安全水平。许多行业处在网络“贫困线”以下，这意味着它们无法获得保障基本网络卫生所需的资源，更不用说保卫民族国家了。攻击者可以以这些企业为途径进入大型组织。因此，为中小型企业提供工具和指导，可以显著提高供应链的网络安全性。

必须开发用于评估网络工具性能、收益、风险的工具。独立的消费者报告测试或保证程序，与改进的网络安全态势相互关联，能够提升供应链的安全性，实现对经过验证的安全技术的应用。

目前的人才库无法满足社会对网络安全工作者不断增长的需求。若不做出干预，美国将面临严重的人才匮乏危机，无法满足网络安全方面的需求，然而这些需求对于保持我国全球竞争优势尤为重要。必须开发工具，对从应急响应从业者到专家的各级网络安全专业人员进行培训。

必须将网络安全视为风险管理问题进行激励，以提高美国行业及关键基础设施的整体安全态势。当企业将网络安全视为成本时，就会从成本效益的角度做决策，而非风险管理的角度。这已经成为了一项挑战，因为网络安全风险不再仅限于来自事件的源头。网络保护及其流程必须被视为资本，而不是成本。

从产品及系统开发的初始阶段起，就必须考虑到安全性。公众对创新和技术的接纳速度历来是靠便利性和功能性驱动的，而并非安全性。这就导致了一种情况，人们在开始使用某项技术很久之后，才能认清其安全隐患。创建基本蓝图，为安全技术从研究到市场的过渡提供简洁的途径，可最大限度地减少搁浅的研究数量，通过将更安全的新产品引入市场，提高美国整体安全态势。MT

关于美国竞争力委员会

三十余年来，美国竞争力委员会（委员会）一直主张制定一项竞争力议程，从而使美国吸引投资与人才，促进新创意的商业化。

虽然自 1986 年成立以来，参与者可能已有变化，但提高美国生产力及全体美国人民生活水平始终是委员会至关重要的使命。

委员会各成员——首席执行官、大学校长、人才领袖、国家实验室主任——代表着一种强大的、无党派的声音，他们不谈政治，只求结果。通过从现实世界的角度向政府决策者提供信息，委员会的私营部门网络对一系列广泛问题上的决策产生了影响，如尖端科技、创新民主化、以及支持美国制造业不断复兴的能源弱势到优势的转化。

委员会领导层坚信，只要政策正确，美国经济的优势和潜力完全可以克服国内当前面临的挑战，即为全体美国人民实现更高增长、提供更多机遇的道路上所遇到的挑战。

新材料 新技术 新装备 推进产业升级

——2019 年中国机械工程学会年会在广州举行

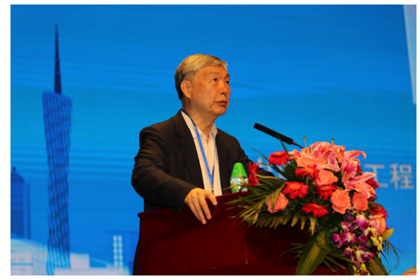
主题为“新材料，新技术，新装备，推进产业升级”的 2019 年中国机械工程学会年会于 11 月 10 日在羊城广州召开。中国机械工程学会理事长李培根院士，广东省科技厅副厅长杨军，广东省科协副主席、广东省机械工程学会理事长瞿金平院士出席开幕式并致词。中国机械工业联合会执行副会长杨学桐，中国机械工程学会监事长宋天虎，中国机械工程学会常务副理事长张彦敏，中国机械工程学会副理事长、清华大学副校长尤政院士，中国机械工程学会副理事长、国机集团副总经理陈学东院士，中国机械工程学会副理事长、西安交通大学教授蒋庄德院士，中国机械工程学会副理事长、全国政协委员、原国家质量监督检验检疫总局副局长、国家标准化管理委员会原主任陈钢，中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明，中国机械工程学会副监事长包起帆，广东省科协副主席吴焕全，中国机械工程学会荣誉会员、上银科技股份有限公司总裁卓永财，中国机械工程学会荣誉会员、香港安乐工程集团主席潘乐陶和中国机械工程学会第十一届理事会理事以及各专业分会、省区市机械工程学会负责同志、学会会员、科技工作者及获奖者代表等共 800 余人参加会议。

年会现场

张彦敏常务副理事长主持年会开幕式和颁奖典礼。

颁奖典礼上，主席台嘉宾向2019年度中国机械工业科学技术奖、第九届上银优秀机械博士论文奖、第九届绿色制造科学技术进步奖、2019年度中国大学生机械工程创新创意大赛最佳创新创意奖、第三届《机械工程学报》高影响力论文、中国机械工程学会优秀论文、中国机械工程学会青年科技成就奖、中国机械工程学会科技成就奖等获奖者代表颁奖。


中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持开幕式


中国机械工程学会理事长李培根致词


广东省科技厅副厅长杨军致词


广东省机械工程学会理事长瞿金平致词

颁发2019年度中国机械工业科学技术奖特等奖

颁发2019年度中国机械工业科学技术奖一等奖

李培根理事长和卓永财总裁共同颁发第九届上银优秀机械博士论文奖铜奖

李培根理事长和卓永财总裁共同颁发第九届上银优秀机械博士论文奖银奖

李培根理事长和卓永财总裁共同颁发第九届上银优秀机械博士论文奖金奖

李培根理事长和潘乐陶先生共同颁发第九届绿色制造科学技术进步奖

颁发2019年中国大学生机械工程创新创意大赛最佳创新创意奖

颁发《机械工程学报》第三届高影响力论文证书

颁发2019年度中国机械工程学会优秀论文奖

李培根理事长向徐正扬、聂德福、张斌颁发2019年度中国机械工程学会青年科技成就奖

李培根理事长向卢秉恒院士、刘维民院士颁发2019年度中国机械工程学会科技成就奖

尤政院士主持主旨报告会

杜善义院士做报告

邬贺铨院士做报告

开幕式及颁奖仪式后，举行了年会主旨报告会。主旨报告会由中国机械工程学会副理事长尤政院士 主持。

中国工程院院士、哈尔滨工业大学杜善义教授以《复合材料的发展与应用》为题做主旨报告。报告简要介绍了复合材料特点与优势，从材料、制造和设计三个方面梳理复合材料的主要技术发展脉络，针对轻量化、长寿命耐腐蚀、抗极端环境、结构功能一体化、应用拓展、低维材料前沿研究，介绍了复合材料在航空航天、国防、风电叶片、海洋工程与船舶、基础设施、体育器材等领域的应用状况与发展趋势，提出新型电池、汽车轻量化、轨道交通和矿山机械等复合材料未来重点应用发展方向，最后对机械工程中扩大复合材料应用提出了一些思考与建议。

中国工程院原副院长、中国互联网协会理事长邬贺铨院士以《5G 赋能工业互联网》为题做主旨报告。他指出，5G 是十年一代的移动通信技术，继续遵循移动通信每一代的峰值速率是上一代千倍的发展，但与前几代移动通信不同的是，5G 从面向消费者的应用扩展到面向产业的应用。5G 具有增强移动宽带、高可靠低时延和广覆盖大连接特性。5G 在无线技术方面依靠增加频率、加密基站、大规模天线等支撑上述特性，在网络技术方面 5G 将基于软件定义网、网络功能虚拟化和边缘计算等技术保证低时延高效通信。5G 可以说是为工业互联网而生，在 5G 基础上的时延敏感网络、软件定义广域网以及人工智能与物联网结合的智联网推动产业数字化发展。5G+8K、5G+VR/AR 等推动高清视频在生产线上质量检测和工业设备远程维护以及人员培训等方面应用。5G 加快云计算、大数据、人工智能等技术在工业应用的渗透，5G 与工业运行技术的结合进一步推动产业数字化的进程。

屈贤明研究员做报告

陈新教授做报告

中国机械工程学会荣誉理事、中国工程院制造业研究室主任屈贤明研究员以《产业基础再造》为题做主旨报告。他在报告中简述了中国制造的优势和劣势，指出了四大薄弱环节：一是基础产业薄弱，核心零部件 / 元器件受制于人；二是创新体系存在严重缺失，共性技术研究亟待加强；三是质量效益差距大，高质量发展是当务之急；四是重复研发、重复建设严重，制度优势没有得到体现。报告通过对 26 类制造业主要产业存在短板的分析，提出在当前及今后的一段时

间内，产业基础的薄弱环节可聚焦于基础零部件/元器件（包括高端芯片和传感器）、基础材料、基础检测检验设备和平台、基础制造工艺与装备和基础工业软件。他指出，实现创新模式由跟随到并行再到引领改变，实现原始创新的群体性突破，必须对产业共性技术进行重组，解决研发和产业化之间的“死亡之谷”问题。

中国机械工程学会常务理事、广东工业大学校长陈新教授以《高速高精电子制造装备若干关键技术研究》为题，介绍了其研究团队围绕电子制造装备及产线设计面临的高速、高精、高效制造难题取得的研究进展：针对微电子封装装配操作装备的高速高精需求，提出了基于振动主频能量时域最优分布的非对称变加速度“急启急停”运控新方法、执行机构振动能量空间最优布局的非线性动力学优化设计新理论；发明了宏微复合绝对光栅尺高速精密测量新原理和高速宏微复合平台设计控制新技术等，解决了高速高精电子制造装备速度/精度冲突的基础性难题。针对电子器件中微纳阵列结构的精密加工，提出了系列功能表面微结构阵列的超精密切削机理与加工工艺、半导体材料“机械—化学”去除机理及微纳阵列结构的创成原理等，解决了微纳阵列高速高精加工的系列工艺与装备研制难题。针对电子产品制造产线的高节拍/频换代等特征，提出了基于数字孪生技术的生产线柔性化设计优化方法，进行了系列器件制造工艺创新等，解决了电子基板定制生产、手机自动化装配等高精高效的制造优化难题。基于上关键技术突破，研发了系列具有自主知识产权的关键功能部件/高性能装备及产线，一批标志性研究成果已实现产业化。

年会期间还举办绿色制造专题论坛、中国机械工程学会青年论坛上银优博论文交流会、第九届上银优秀机械博士论文颁奖典礼、中国机械工程学会大师讲堂暨《机械工程学报》第三届高影响力论文评选及2020年重点刊登方向发布会、2019 年微纳制造技术分会学术论坛、第十四届全国摩擦学大会暨全国青年摩擦学学术会议和2019年中国机械工程学会期刊研讨会等丰富多彩的专题活动。MT