

## 第四次工业革命

18 世纪，第一次工业革命起源于英国，以机械化为特征。当时先有蒸汽机，随着技术和性能的不不断提高，大机器生产取代手工劳动，整个世界开始机械化。进而，生产力得到解放和发展，出现拥有资产的阶层，改变了世界的面貌；劳动力从农村走向城市，开始了城市化的进程。

19 世纪，第二次工业革命，以电气化为特征。由于在实验室里面发现电磁学规律，从而发明了电动机和发电机。当时，美德两国处于领先地位，电力的广泛应用及石油的大量开采，将科学技术成就循序运用到生产中，推动了世界经济的迅速增长，进一步改变了人民的生活方式；垄断资本影响国家和世界的政治和经济生活；加强了世界联系，同时带来了环境污染。

工业革命是技术和科学交叉推动，科学推动技术，技术转化为应用，应用对技术提出要求，技术要解决问题，又想办法从科学上来解决，以此循环。好比，第一次工业革命是从技术开始，然后到科学，再到技术。第二次工业革命就不一样了，完全是从科学开始，然后到技术再到科学。

20 世纪，第三次工业革命，以信息化为特征。从科学出发到技术再到科学，由此发展。通过原子物理、量子力学、固体物理、现代光学和半导体科学规律的发现，使得我们在半导体晶体管、集成电路、激光、光纤、电磁波、巨磁阻效应等方面，得到了技术性的发展，进而促进了电子技术、微电子技术、原子能技术、光学技术、新材料技术、信息技术等一系列新兴产业的发展。

那么，新的工业革命驱动力是什么？

### 1.能源和环境问题突显，全球可持续发展面临巨大压力

过去北冰洋都是冰，北极熊觅食时，在冰上打个洞，鱼游过来，就可以捞鱼吃。可是，随着冰川融化，没有地方打洞，最终造成大熊吃小熊，这也是人们去旅游时能看到小熊骨骼的原因。

倘若北极格陵兰岛冰盖全部融化，海平面将上升 7.2 米！对上海来说，浦东海拔高度和海平面距离不到 2 米，浦西只有 3 到 4 米。如果海平面上升 7.2 米，意味着浦东要全部浸到水里去了。

## 2. 人类不断追求更加美好的生活

我们过去看黑白的电视，后来看彩色的电视，屏幕越来越大，将来可能会看看立体的电视。激光全息摄影就是其中一种方案，人们也在为之研究。

## 3. 信息科学技术高度发展为工业革命创造条件

现在基于物质科学新发现、微纳米器件和制造新技术；基于脑科学和认知科学发展，促进高度智能化；数字化发展成为大数据，程序化发展到智能化，小型化发展到微纳化，网络化由机—机网络发展到人—机—物网络。举个例子，现在集成电路发展非常困难，尺寸越来越小，摩尔定律接近临界，将来可能就要研究自旋电子学。自旋电子器件高速度、低功耗，可实现更高集成度，还能融合光、电、磁，实现存储、计算、传感为一体的器件，从而实现更高速的集成电路。

信息、生物、材料、能源、环境等领域的一些重大突破已出现萌芽，很多思想、理念、技术都会发生大的跃变。人类进入后 IT 时代，迎接智能时代。所以第一次工业革命是机械化，第二次工业革命是电气化，第三次工业革命是信息化，第四次工业革命总趋势就是智能化。它的特点就是智慧融入物理的实体系统里面，简称智慧融物。现在第四次工业革命有以下三个特征：信息科学技术在物理数学生物基础上进一步提升；多领域发现和发明多轨并行、交叉推动；信息科学技术和多领域科学技术深度融合，将信息渗透到各个领域，由此用信息技术提升能级。

新工业革命的技术态势有六个方面：第一个，智能化分布式新能源系统、能源互联网；第二个，智能化复杂体系、人工智能、智慧城市；第三个，智能化制造技术、先进材料、极端制造；第

四个，智能化诊断、修复技术、智慧医疗；第五个，传统工业的智能化升级；第六个，互联网、传感器、物联网、大数据。

## 迎接智能时代

智能时代的特点就是智能化的系统，这是它的核心。智能化的系统有三根支柱，动态感知、智慧识别、自动反应：

首先它是要动态感知，就是像我们的眼睛，耳朵等五官，可是，二维码、条形码不是动态的，它们是事先做好放在那里的。所以智能化的系统里面，我们要靠传感器，达成动态感知，而传感器则是代替我们五官的。

第二个就是要智慧识别，识别就是要分析，相当于我们的脑子。这里面要靠大数据的分析，大数据的分析有两个方面，一个是文本大数据，是现成的，另一个是物理大数据，是通过测量得到的，比如天气预报，我们人体看 B 超，做 CT，要更加注重物理过程的规律、模型、方法。通过规律发现规律，事半功倍。

第三个就是要自动反应。现如今我们有基础信息平台，有互联网，有物联网，有集成电路，有芯片技术，有通讯技术 5G 的技术，能大大提高自动反应。例如，一个打乒乓球的机器人，是典型的智能化系统，因为首先它看得见乒乓球，这是动态感知，第二个它要算这个乒乓球弹起来怎么样，第三个是它反应，把它打回去，

在智能化的系统中，一个是人工智能，一个是智慧地球。人工智能在工业上已经用得非常普遍。德国慕尼黑的宝马工厂里，有 5000 个人，里面 1000 个是机器人。在智慧地球里面，包括智慧空天海地、智慧能源环境、智能制造等。“智慧地球 = 互联网+物联网”，这是 IBM 总裁的定义。温总理在无锡有一段讲话，“把所有通过物品，通过信息传感的设备与互联网连接起来进行智能化处理，这个就是物联网了。”

智能系统，是在某一区域中智能化运行某一行为。比如在家庭智慧的老幼监视系统或者设备控制系统；在小区智慧的能源调控系统；在工厂智慧的物流系统等。所以智能系统是一定在一个区域内，实行一个、两个或者三个行为。如果说区域越来越大，行为越来越多，那么你的智慧度就越来越高。

在互联网、物联网、大数据和云计算的基础信息化技术上，智慧城市至少应该有四层架构：感知层、互联层、分析层、反应层，进而在城市综合管理、交通物流贸易、能源环境安全、医疗文化教育和城市社区安居五大方面获得广泛应用。

其中包含两个核心的技术，一个是实时感知技术，是通过传感器芯片来实现。第二个是智慧分析系统，通过模型和大数据的分析实现，比如人体心脏监视器，数据分析中心实时获取心脏信息后发送出去，如果发现你的心电图有什么问题，马上就可以采取措施，这就是智慧的医疗。

首先是传感器，就是一个器件，它是代替我们人的眼睛、鼻子、耳朵，把光声热电子生物过程变成电。比如光电传感器来说，非常重视基础研究，它提供方法、手段、模型、理论。既然是不同运动形式的器件，我们需要发现其规律，进行在技术上提高、实现，从而做成了传感器，这个就发展了光电芯片技术。

另外，用不同波段探测器，可以看到不同信息。因为不同的波段有不同的特征，所以要做不同波段的探测器。比如短波红外，可见光和近红外，都有不同的用处。现在照相机是可见光的，如果能发现规律，能做出不同波段的探测器，其应用面将非常宽广。波长再长就是太赫兹(THz)，其应用面很广，包括地垢油的监测，医学二维成像，安全（爆炸物探测），雷达建模等。这里面有核心技术，比如说要做特殊灵敏的探测器、非牵征 Ge 光电探测器，场效应晶体管探测器，肖特基势垒探测器等等。我们最近发现一个新现象：窄禁带半导体 MSM 结构与 THz 光场相互作用，外部电磁波(光子)入射到器件上，将在半导体材料中诱导势阱，从而束缚来自于金属中的载流子，使得材料中载流子浓度发生改变，出现载流子集聚。

红外，不仅可以在黑暗里面看清图象，同时还能看到温度分布。我们可以用铁电薄膜、氧化钽等，制造室温工作的红外探测器，根据科学道理，分析不同温度的物体，以及对外辐射的能量分布。这也是现在疫情期间，经常用来探测体温的。再比如说火情监控，可以通过固定式红外监控系统、机载红外火情预警、红外卫星等红外探测技术，及时准确地穿透烟雾，发现火点以及火场被困人员。

智能时代背景下光电传感器需求，有以下几点：少光子、单光子、光子数可分辨红外探测器；超大规模焦平面列阵器件；不同波段光电器件；多波段融合光电器件；室温工作红外焦平面器件；新型读出方式焦平面器件。要清楚材料器件结构中物理过程，并能精细描述和控制，从而提升技术水平并达成创新。

因此，传感器是智能化系统一个非常重要的核心技术。发展高性能的传感器芯片非常重要，用更低的成本，实现更快的速度，更智能化的应用。有了好的传感器，就能握紧核心技术，再通过互联网的技术，把传感的信息传出去加以分析，进而达成多功能集成化、无线通信化、柔性化、微型化。

第二个核心技术，就是智慧分析，模型分析，大数据分析。我们现在是处在一个波动世界里面，空间引力波、电磁波、机械波，这个波就有频率、强调、位相、偏振，通过对于波的分析，就可以得到很多信息。举个例子，苹果、樱桃、梨、葡萄光谱不一样。我们每个人穿的衣服光谱也不一样，当我们获取波谱特征，并存入数据库后，应用时就可以，将测量到的波谱，对比数据库数据，即可进行分析判断。医学成像信息大数据，则是利用成像结合光谱，从而进行识别。所以，智能芯片则是将分析和传感器的芯片结合在一起，采集波的特征，制作数据库，形成自己的系统。

重视基础研究是非常重要的，基础研究是历次工业革命的科学源泉，又在历次工业革命中得以发展。基础研究将推动第四次工业革命发展，将在智能时代背景中催生新发现新技术。所以这

也是科学 - 技术 - 科学 - 技术之间不断应用，根据科学技术本身的规律来研究，来推动它的发展。

现在新工业革命对制造业也会有一些影响，**首先，工业革命总是与科技革命相伴而生，制造业也逐渐从传统迈向智能化时代**，因为随着工业机器人、3D 打印、数字化工厂的出现，取代了人工，使劳动力成本占总成本的比例不断减小，使我国很多制造行业面临生存危机，但也促进了人工智能机器人的发展。而且将来网络共享的经济模式会出现分布生产模式，智慧工厂和互联网工厂。与此同时，也会提倡低碳化、绿色的生产与生活方式，突破一些关键技术，其中包括可再生能源技术、储能技术、智能电网技术、新能源技术、云计算、物联网这些普遍的技术，还包括很多特殊的技术、传感的技术、分析的技术等等。

制造业转化的趋势，有以下五点：原来主要是靠资源和投资驱动的，现在靠技术进步。原来是生产能力的扩张，现在是技术能力的积累。原来是生产型的制造，向服务型的制造发展。原来是处在制造业价值链的低端向价值链的高端发展。原来是挤压环境，现在是对环境友好。

关于新工业革命的应对措施，政府应该做好推进新工业革命的顶层设计。其次，要积极投资新工业革命需要的重要基础设施，包括宏观的新基建，还包括每个镇、乡、城市、省的设施。另外，要培育创新环境，推动技术创新浪潮。构建未来产业的培育体系，引导产业创新。

最后，推动适应新工业革命需要的机制体制建设。其中几方面工作要加强，第一，加强科学规律和核心技术、产业发展的三部曲。第二，加强实验室成果的中试研发，企业要提早介入，政府要分担风险。第三，切实加强产学研合作，建立产学研联合实验室、联合研发中心，政府要引导支持。第四，要提高企业的自主创新意识，增强自主创新能力。

最后，**老子曾说：“有道无术，术尚可求也。有术无道，止于术。” 庄子曾说：“以道驭术，术必成。离道之术，术必衰。”**。这两句话将科学规律和技术的关系，表达得淋漓尽致。

## 培育创新能力

培育创新能力，对于一个单位、科学家、工程师、学生都是重要的，关键是人。第一要遵循客观规律，尤其是发现规律，开发技术，实际应用特别重要，要把关系处理好；第二要修炼内在的素质，勤奋，有好奇心，有创新精神，要渐进，不要浮躁，有远大志向；第三要凝聚驱动的力量，驱动的力量非常重要是兴趣，要有兴趣来做这件事，只有产生兴趣才能做得最好；第四要有责任的驱动，我们是人，有精神的驱动，责任的驱动；最后要培养一种极致的精神，就是精益求精，一丝不苟。