

工业信息化30年和未来10年发展预测

○ 吴澄



吴澄

自动控制专家，浙江省桐乡市人。1962年、1966年清华大学电机系本科及研究生毕业，现为清华大学自动化系教授，博士生导师，国家CMS工程技术研究中心主任。1995年当选为中国工程院院士。吴澄院士从1986年起参与国家863计划的规划与实施，曾任CMS（计算机集成制造系统）主题专家组组长，自动化领域首席科学家，国家973项目“复杂生产制造过程实时智能控制与优化理论方法”首席科学家。他领导的清华大学CMS中心曾获得美国制造工程师学会每年各评出一名的“大学领先奖”，CMS应用企业获“工业领先奖”，使我国成为除美国以外唯一获得这两个大奖的国家。在研究攻关的同时，吴澄院士为我国企业的信息化做了大量工作，走出了一条符合国情的企业信息化成功之路，也使我国CMS的研究和应用水平得到了国际同行的重视。

中国共产党第十七次全国代表大会提出了“五化并举”、“两化融合”的发展战略，即：“全面认识工业化、信息化、城镇化、市场化、国际化深入发展的新形势新任务”，“发展现代产业体系，大力推进信息化与工业化融合，促进工业由大变强，振兴装备制造业，淘汰落后生产能力；提升高新技术产业，发展信息、生物、新材料、航空航天、海洋等产业……”。“两化融合”的战略决策准确地指明了我国经济社会和谐发展的指导方针、战略目标和总体部署，是当今我国工业化和信息化健康发展的必由之路。

“两化融合”的背景：中国工业化道路的发展模式

纵观发达国家的发展历程，都是在完成其工业化进程后，才开始推进信息化，进入信息社会。传统的工业化道路在发展生产力的同时，也付出了过量消耗资源的代价：产业革命200多年以来，占全球人口不到15%的英国、德国、美国等40多个国家相继完成了工业化，在此进程中，这些国家消耗了全球已探明能源的70%和其他矿产资源的60%。显然，广大后发国家客观上难以复制发达国家的工业化道路和模式。

改革开放以来，我国的工业和经济发展取得了极大的成就。但是，我们也为这段时期的快速发展付出了代价：联合国公布的全球环境污染最严重的10个城市中，中国就占了7个。由于全国

70%以上的江河湖泊遭受不同程度污染，有3.2亿人饮用水不安全，中国每年因污染造成的成本大约占国内生产总值的10%。显然，后发大国走传统的工业化道路将难以为继。

因此，中国必须走出一条新路。

传统工业化道路的特征是，工业化是驱动经济社会发展的内生变量，推进工业化是经济社会发展的主要矛盾。工业化的不断深入驱使社会分工日益细化，引发了城市化，加快了市场化，推动了国际化。

而新型工业化道路的显著特征是，工业化和信息化同时进行，两者都是驱动经济社会发展的内生变量，从传统工业化的单轮驱动（工业化）向新型工业化的双轮驱动（工业化和信息化）转变。在双轮驱动的背景下，城市化、市场化、国际化也将呈现出新的特征和趋势。

结合当今世界发展趋势和我国实际情况来看，在我国发展工业和信息业，“两化融合”是战略选择。

目前我国经济与社会发展面临许多挑战，主要来自三方面。

挑战之一：全球化——中国经济、社会发展的双刃剑

据国家统计局数据显示，截至2008年11月17日，中国对世界经济贡献率达到14.5%，升至全球第2（世界经济贡献率指当年某国GDP增量与世界GDP增量之比）。到2009年9月29日，中国对世界

经济贡献率已升至全球第一，达到19.2%。中国在世界上的地位大幅度提高。

正如2008年原美国商务部副部长Robert Shapiro所说，在全球的所有国家中，美国和中国的全球化程度最高，而欧盟的全球化程度只有美国和中国的一半。在中国，转移而来的制造业十分发达，而其他行业却要落后几十年，差距之大一点不亚于日本与纳米比亚的经济发展差距。

中国的全球化程度令人自豪，也使人担忧。问题在于我们还没有应对全球化的充分准备，包括思想的、制度法律的、技术的各个方面。我们在全球化的进程中固然应该看到“得”，更要重视“失”。去年由美国引发的金融危机清楚说明了这一点。

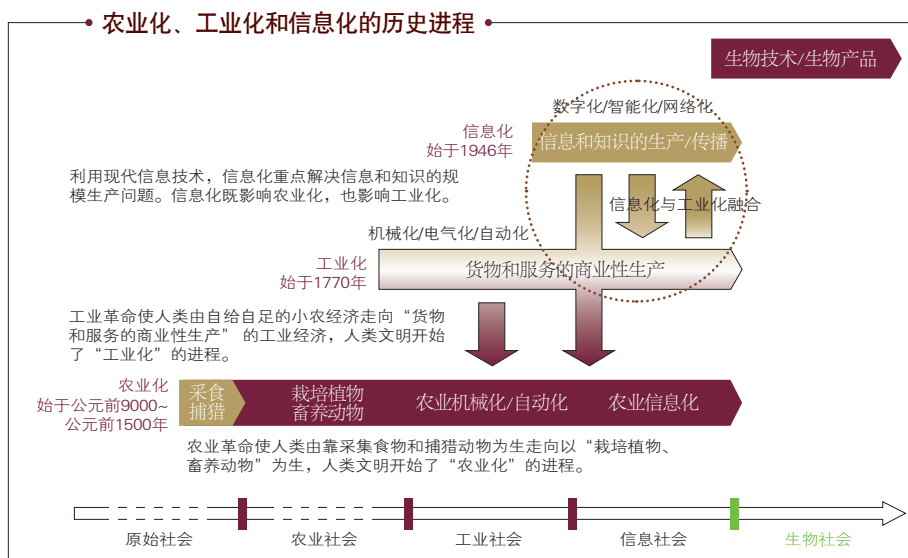
挑战之二:环境和资源——制约中国经济、社会发展的瓶颈

能源问题是所有国家在工业化发展中都不容忽视的一个问题。当前我国的能源使用趋势不仅是不可持续的，而且对经济发展和社会不利。预计从2005年到2020年，中国的能源消耗总量将是现在的两倍，届时，中国将成为世界上最大的能源消费国。

世界银行估计，中国每年为污染付出的代价达到GDP的8%（有的估计是10%）。如果不采取有效的手段改变现状，到2020年中国的污染程度将增加4倍。

据世界银行统计，在20世纪的100年中，人类共消耗煤炭2650亿吨、石油1420亿吨、钢铁380亿吨，同时排放出大量温室气体，使大气中CO₂浓度从20世纪初不到300ppm上升到目前接近400ppm的水平，严重威胁全球的生态平衡。预测指出，到2050年，世界经济规模比现在要大3~4倍，而目前全球能源消费结构中，碳基能源（煤炭、石油、天然气）在总能源中所占的比重已高达87%。

因此，低碳经济成为了近年来国际社会大力倡导的可持续发展经济模式。它以低能耗、低污染、低排放为基础，是人类社会继农业文明、工业文明之后的又一次重大进步。低碳经济实质是



能源高效利用、清洁能源开发、追求绿色GDP的问题，核心是能源技术和减排技术创新、产业结构和制度创新以及人类生存发展观念的根本性转变。

但是，发展低碳经济也对中国造成了巨大的压力和挑战。

压力之一：加快推进工业化、城市化、现代化的中国，正处在能源需求快速增长阶段，大规模基础设施建设不可能停止。

压力之二：“富煤、少气、缺油”的资源条件，决定了中国能源结构以煤为主，低碳能源资源的选择有限。电力中，水电占比只有20%左右，火电占比达77%以上，“高碳”占绝对的统治地位。未来20年中国能源部门电力投资将达1.8万亿美元。大规模发展火电将对环境产生巨大的威胁。

压力之三：中国经济的主体是第二产业，工业能源消费约占能源消费总量的70%。调整经济结构，提升生产技术和能源利用水平，是一个重大课题。

压力之四：作为发展中国家，中国经济由“高碳”向“低碳”转变的最大制约，是整体科技水平落后，技术研发能力有限。

挑战之三:人口老龄化——人口大国优势何在?

国家民政部2009年5月发布的《2008年民政事业发展统计报告》显示，截至2008年底，全



新型工业化道路的显著特征是，工业化和信息化同时进行，两者都是驱动经济社会发展的内生变量，从传统工业化的单轮驱动（工业化）向新型工业化的双轮驱动（工业化和信息化）转变。

国65岁及以上人口10956万人，占全国总人口的8.3%；60岁及以上人口15989万人，约占全国总人口的12%。

通常，65岁以上的人口比率超过总人口的7%，就被称为“老龄化社会”，而超过14%就被称为“老龄社会”。根据联合国的人口统计数据，中国将在2024年至2026年前后进入老龄社会，速度与日本大体相同。

中国人口老龄化的主要特点是：

第一、人口老龄化提前达到高峰。

第二、中国所走的将是世界前所未有的“在低收入阶段进入老龄化”的道路。先期进入老龄化社会的一些发达国家，目前人均国民生产总值达到2万美元以上，呈现出“先富后老”的发展态势，这为解决人口老龄化带来的问题奠定了经济基础。而我国进入老龄化社会时（2006年），人均国民生产总值约为1000美元，呈现出“未富先老”的局面，无疑增加了解决老龄化问题的难度。

第三、在多重压力下度过人口老龄化阶段。21世纪前半叶，我国经济和社会发展的任务繁重，各种矛盾错综复杂。要想在这种发展状况下妥善地解决人口老龄化问题，需要付出更多的努力。

在三大挑战之下，中国工业如何健康发展？2003年所预测的2020年中国制造业发展目标能否顺利实现？这些是我们需要认真考虑的。

党的“十五大”首次提出，要“改造和提高传统产业，发展新兴产业和高技术产业，推进国

民经济信息化”，“十六大”再次提出，要“以信息化带动工业化，以工业化促进信息化”。信息化是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子。

这一战略决策在“十七大”上进一步深化为“坚持走中国特色新型工业化道路，推进信息化与工业化融合”。党在三次代表大会上三次提到“信息化”，但这三次的内涵并不完全相同。新形势下，必须重新认识新型工业化的内涵。所谓新型工业化，至少要满足五个方面的要求，即科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥。

信息化与工业化的关系是互相依存、互相促进、共同发展的，不是先工业化后信息化，也不是重信息化轻工业化，要充分认识到工业化的基础性地位和信息化的战略性地位。“两化融合”的健康发展和取得实效的基本原则是真正做到“工业化的需求牵引，信息化的技术驱动”。

我国工业信息化的现状及未来预测

最近，中央领导在年初的一个会议上指出：信息化是当今世界的重要时代特征，已经渗透到经济、政治、科技、教育、文化、国防等社会各个领域，成为国际竞争的一个战略重点。今天，我国社会的运行已经离不开信息技术。总的来说，我国的信息化进程进步巨大，但不足仍旧明显。目前存在的这些技术差距为我国产业结构调整、高技术产业化留下了很大的发展空间。

工业信息化由于涉及复杂的产品、复杂的控制和管理流程，对国家经济起基础作用，因而是信息化中最受关注并且难度最大的部分。它的内涵包括产品信息化和产品设计、制造、管理等过程的信息化，可以从七个方面具体化。

1、装备和产品的信息化——嵌入式系统

嵌入式系统是将信息技术（主要是芯片和软件）与传统工业紧密联系，使机械化、电气化的装备、产品具有自动化、数字化、网络化、智能化的特征。

嵌入式系统主要应用于消费电子和电信（如移动通信、数码相机、MP3/MP4，数字电视、IPTV、智能家电）、汽车电子、工业控制（工

业过程控制、数控机床、电力系统、石油化工系统）、交通管理控制（移动定位终端、GPS手持机、公共交通无接触智能卡CSC）等领域。嵌入式系统未来将是一个大市场！

嵌入式系统必须紧密结合应用，我国嵌入式软件的研发形势较好，也是今后一段时间内发展的重点。据赛迪分析，目前产业规模已超过1000亿元，预计2011年有望达到4650亿元。

值得一提的是，嵌入式系统不可能由少数几个大企业垄断，因为它涉及众多的应用领域，需要众多的领域知识。因此，即使一个小企业，吃透了某个特定行业应用，用好嵌入式技术，同样可以有明显的发展。

因此，嵌入式系统（包括芯片和嵌入式软件）在未来10年中将有很大的发展，它也是中国产品由“中国制造”走向“中国创造”的有效途径之一。

2、产品设计过程信息化

产品设计过程信息化目前已广泛应用。可以说，国内能用CAX（支持产品设计的各种计算机辅助技术）技术的企业都采用了。从二维CAD支持的“甩图板”工程到高端应用。我国的应用水平并不低于国际同类企业，在我国的航空、航天、机械（汽车、机床、工程机械等等）、造船、电子等许多行业，在引进高端工程软件的基础上，进行三维设计，工程分析软件的深入应用、虚拟设计装配、并行工程等等，其水平与应用效果都是很高的。如基于网络的协同设计、制造中解决互联、互通、互操作的技术和应用，在国际上也是高水平的。这些技术和应用经验，在国家重大项目中都发挥着作用，如“大飞机”、“高速轨道交通”等。设计产品的信息化是我国有更多的创新和获得自主知识产权的重要手段。

但是，支持设计的MDA、EDA等大型工程软件差距很大，三维CAD、大型PDM、PLM基本上采用国外先进软件，不是短期内可以赶上的。EDA（支持芯片设计的软件）的差距更大，目前甚至还看不到希望。

因此，未来10年还要在应用上下功夫，取得更大的效益。大型工程软件的研发是重要的，但一般的跟踪，无法取得市场份额，产业化极为艰难。尽管如此，支持产品设计信息化的服务业，还是有很大发展空间。

3、管理信息化

管理信息化是在网络、数据库基础上的应用软件，实现对“产、供、销、人、财、物”的现代化管理。软件技术的新概念、新技术发展很快，管理软件也在不断发展中。现在，几乎所有有条件的中国企业，都不同规模地采用了管理软件。

管理软件的进入门槛不高，国内很多公司都可以做。但大型管理软件的市场多数属于几家外国大公司，如SAP、ORACLE等。国内的软件供应商，如金蝶、用友等，其主要用户是中小企业，有一个趋势是国内大型集团公司的用户正在逐步增加中。

管理软件的柔性化目前有很好的技术进展和应用，这对我国管理软件的发展会有很好的作用。加上管理软件的应用要符合中国国情，许多成功企业的管理模式进入了总结、提高、评估和推广中，创新中国管理模式已经明确地吸引了中国企业家的注意。成功的管理软件的开发应用与管理模式密切相关，加上管理软件一定程度上会涉及企业的核心信息，国产软件发展有优势。而且国内软件有好的性价比，服务也越来越好，中国管理软件的前景可以看好。但同时需要注意，管理软件中的核心，即数据库差距较大，这一问题已经列入国家专项，有望取得进展，要避免走从技术到技术的发展路线。

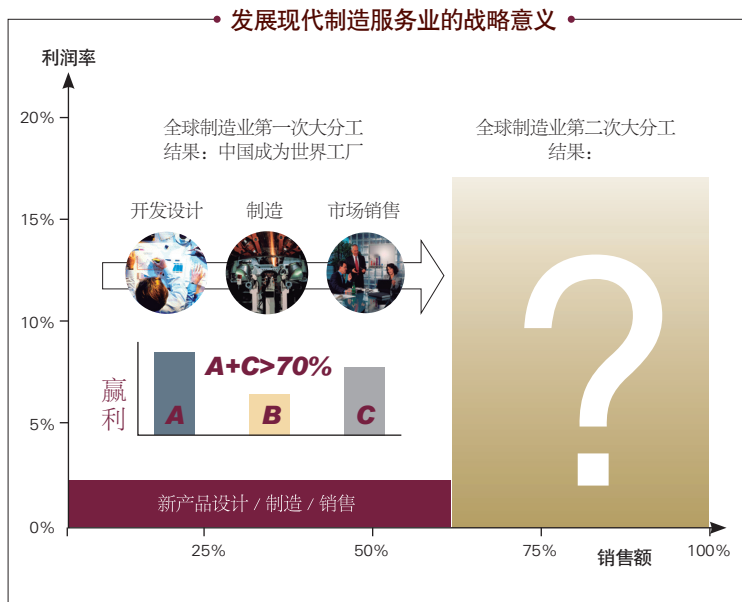
4、控制设备与系统

对装备、生产线、生产过程的控制、优化是信息化的重要内容之一。

数控系统是工业化进程中的关键技术，可以说代表了装备制造业的水平。我国数控系统的“攻关”从六五规划开始，然而“屡败屡战”。好在最近几年，如广州数控、华中数控等无论普及型还是高档数控都有重大的进步，数控系统是有希望的。国家也已列入专项，希望摊子不要铺得太大，有步骤地重点突破。

对于流程工业的设备、过程的控制，国产的自动化控制系统DCS（集散控制系统），PLC，总线控制系统等如浙大中控、和利时等已从对中小企业开始转向为大企业提供成套装置。

总的来说，控制设备与系统的进一步发展有一定优势。如变量达到10万维的操作优化问题，有973计划的支持，开发了国际先进水平的多种算法，是相应软件的核心技术。流程工业的优化软件在近几年有较快的发展，未来十年，其研发和



应用会有进一步的发展。

信息化中涉及的控制系统，包括硬件、软件，以及仪表和传感器，在未来十年我国工业化进程中的作用会越来越大。

5、系统集成

自动化、信息化中信息共享是信息化发展的必然要求，因此，信息集成、系统集成是信息化中迟早要解决的问题。它带来的效益（如加快产品上市、降低成本、确保品质、提供更好服务等）是显而易见的。异构是信息集成碰到的主要问题。我国引进的各种硬件、软件商用产品和设备种类多，不少产品只是企业内部标准，这就是所谓异构，给集成带来困难。

863计划的CIMS主题从开始就把信息集成作为重点，现在我国企业信息化的集成大致有两种：基于PDM的局部集成：CAD/CAPP/CAM和基于PLM的企业集成：CAD/ERP/SCM/CRM。其中大型PDM、PLM软件平台都是引进的。

企业数字化技术实现了全球化环境下的企业内外部资源的集成和共享，促进制造企业的业务过程、组织结构与产品结构的调整，提高我国企业、区域和行业的竞争能力。越来越多的企业看到了信息集成给企业带来的效益，因此实施的企业，特别是大型企业一直在增加中，估计十二五期间有更大的市场需求，希望能支持PDM/PLM软

件的国产化。

6、服务信息系统

服务科学是由IBM提出的，发端于美国竞争力委员会的国家创新计划（NII），是21世纪美国国家创新战略之一。发展到今天，建立在互联网上的以服务为目的的信息系统已经渗透到了社会的各个方面，我国除了少数极贫困的地区外，都使用了计算机并享受到了网上服务。

在国内，服务信息系统应用非常广泛，例如现代物流、众多的金融服务信息系统等。又如全国4000门精品课集成系统，其资源库分布在北京、武汉、杭州等地，应用流媒体服务器和网格技术，向用户提供内容搜索和主动服务。用户可以在系统中得到透明的服务，试验期间系统访问量达到数十万次/日。

随着信息化产业的发展，今天的商业社会中，围绕产品的服务所产生的利润已远远超过制造产品本身。在全球制造业第一次大分工中，中国成为世界工厂，大量商品的制造地都在中国，但中国的获利却远远低于从事开发设计和市场销售的国家。全球制造业的第二次大分工（即产品和服务）已经到来，中国在这次分工中将扮演什么样的角色，取决于我们观念的转变和信息技术支持的发展水平。

“十二五”期间，生产性服务（物联网的重要内容之一）会有一个大的发展。

7、节能减排与信息技术

这是未来相当长时间内工业信息化的重要内容。企业的信息技术应用一般都在一定程度上有节能减排的效果，也可以专门从节能减排出发，采用信息技术。

举一个简单的例子，某印染企业按国际产品对环保的不同标准的要求，采用QFD(质量功能配置)分解到各个生产环节的不同工艺，用MES(制造执行系统)实施生产过程的控制，取得了明显的节能减排效果：

项目技术指标	项目实施前	项目实施后	改善比例
产品合格率	75%	96%	28%
万米水耗 (m ³)	280	208	35%
万米电耗 (kwh)	1800	1320	36%
万米用蒸汽 (t)	26	19.1	36%
万米废气排放量 (t)	250	173	45%

在充分发挥信息技术的作用下，该企业2008

年1~4月生产印染布0.3亿米，直接节约能源及排污费506万元。

工业信息化涉及的一些基础研究问题

工业信息化的实践会涉及许多基础研究问题，其基本来源是求得工业系统的最佳运行，追求的目标是降低物耗、降低能耗、降低排放、提高产品品质、提高生产率。工业系统的复杂性决定了不少基础研究问题是有关“复杂性科学”的问题。

1、计算复杂性：

在实际应用中，大规模问题的解决需要复杂的计算，而这往往成为系统优化的一个瓶颈。

如生产制造系统中的典型调度问题——job-shop调度问题：n个工件在m台机器上加工，在约束条件下，如何实现最优排序使机器利用率最高？准时完成订单的比例最高？零件排队时间最短？

从数学排列可知，该 job-shop 调度问题可能的排序方式共有 $(n!)^m$ 种。随着m增加，优化的计算量将按指数增加，使计算变得不可能，即所谓“维数灾”。

现有调度算法中：若机器数 <2 ，有解析解。对于中小规模（规模不大于 20×50 ），智能算法成熟。当规模增大，解空间指数增长时，现有算法就无法解决实际大规模问题。

而大中型企业的生产过程恰恰是大规模复杂生产过程，属于典型的大规模复杂系统优化问题（NP难题）。目前已有的调度理论、方法及调度软件均无法有效解决具有综合复杂性的生产过程调度。寻求一种可以实施的优化算法是一个挑战性的问题。国家973计划支持了这一类问题的立项，取得了很好的学术成果和应用效果。在几个不同类型的行业中，其应用和研究在进一步进行，得到973计划的继续滚动支持。这类问题的研究和应用会越来越多。

2、综合复杂性下的控制问题

“综合复杂性”指生产制造过程有非线性、强耦合、大时滞、不确定性等多个因素同时存在，并且有多种约束、多个控制优化目标和目标不可测的问题。

这类问题在工业控制中是大量存在的，也是一个挑战性的问题。在控制参数优化之前，研究控制优化结构是一种有效途径。我国在973计划支

持下取得了很好的成果。未来这一类复杂工业过程的控制有很大的发展前景。

3、超大规模优化问题求解

工业生产中往往需要处理很多超大规模问题，比如十万维以上变量的操作优化问题。超大规模优化问题具有海量、多输入/多输出（维数可达数十维）、多类型（数值变量、符号变量）、强耦合、非线性、不确定等特征。在解决这类问题时，采用复杂建模的知识表达方法、输入变量的约简方法、混合模式自动微分、稀疏存储策略等都是很有效的。

4、服务科学中的问题

企业（包括其它服务类型）的信息系统都是通过软件来实现的，当前信息系统基本是用一种静态的观点去分析和综合。然而企业是在一个动态、多变的环境中生存和发展的。“计划跟不上变化”是许多信息系统，特别是应用软件失败的原因。

软件需要有更好的柔性，在技术层面上有信息资源最大化共享与服务，分布协同的作业方式，以信息服务为中心的组合适软件生产方式，开放信息系统，计算生态学，面向服务的计算等等。

另外，面向服务的软件生态也有一些基础性问题：如软件生态环境的架构问题（足够的灵活性又足够的“坚固”）、信息资源的组织与服务匹配（语义鸿沟）、信息资源的高效服务问题、复杂适应系统理论等。

“两化融合”是一个相当复杂的发展阶段，需要我们在实践中深入认识它的内涵。目前，我国的信息化还有很长的路要走。在应用面的成绩很大，水平也不错。基础支撑技术面还较薄弱。这些正是下一个30年中国高技术发展和理论研究的空间。

信息化及其产业化有很好的发展前景。但也要注意我国面临的新压力、工业化的新需求、工业软件、生产性服务、节能减排、集成等可能的新技术增长点，注意软件技术的新趋势，还可能也需要新的思维（如交叉、基础等）使我国的自动化、信息化相应产业和学科走在世界前列。

与30年前相比，我们的起点高了许多，实力强了许多，一个创新观念已经深入全民心中的大国，其后发之势将会令世界更加惊叹！