

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（理论、现状及发展）

百名院士科技
系列报告集
（上）
（06）

上海市黄浦区教育信息中心

空间技术的成就与发展趋势

闵桂荣

中国空间技术研究院

闵桂荣 工程热物理学及空间技术专家。1933 年 6 月 2 日出生于福建莆田。1956 年南京工学院毕业。1963 年在前苏联科学院动力研究所获副博士学位。中国空间技术研究院研究员。担任过卫星总设计师、中国空间技术研究院院长、国家“863”计划航天领域首席科学家等职。1992 年当选为国际宇航科学院院士。1991 年当选为中国科学院院士。1994 年当选为中国工程院院士。在航天器热控制、卫星总体设计等方面做出了突出贡献。

一、空间技术及其意义

宇宙空间蕴藏着取之不尽的物质财富，期待人类去开发利用。空间技术就是探索、开发和利用宇宙空间的技术，又称太空技术和航天技术。讨论航天，那么什么是天？有两种定义。一种定义认为，天是指地球大气层以外无限遥远的空间。另一种定义认为，天是指地球大气层以外至太阳系内的空间。我赞同后一种定义。据此，大气层以外太阳系以内的航行活动则称之为航天，而太阳系以外的航行活动称之为航宇。相当长的历史阶段内，人类只能实现航天活动。因为任何一种航行活动都是与其推进技术密切联系的，只有当推进技术进步到一定程度，使运动物体速度提高到一定水平，才具有某种特定的航行活动。当飞行器达到第一宇宙速度（7.9 公里/秒）才能克服地球引力而环绕地球飞行，不落回地球表面；提高到第二宇宙速度（11.2 公里/秒）可以脱离地球飞向太阳系的其它行星；提高到第三宇宙速度（16.7 公里/秒）就可以飞离太阳系。虽然第三宇宙速度理论上可以实现太阳系以外的航行活动，但是太阳系太大，假如太阳系半径以十万个天文单位计算，现代航天器以第三宇宙速度（16.7 公里/秒）来飞行，需飞 2~3 万年才能离开太阳系。进行太阳系之外的通讯，信号来回一次需要一年以上时间。所以讨论太阳系以外的航行活动，为时尚早，当今技术远远做不到。尽管美国“旅行者号”将飞离太阳系去寻找地外文明，那也将是几万年以后的事情。所以，把航天定义为地球大气层以外至太阳系之内的航行活动更为确切。当代研究的空间技术所涉及的范围也是指太阳系之内。

相当长的时期内，人类主要开展以地球为中心的航天活动。要实现一次航天活动，要建立庞大的以航天器为核心的航天系统。它由特定的航天器（卫星、空间站、探测器），运载工具（火箭、航天飞机），航天发射场，地面测控网（地面站、船），地面应用站网及其它有关系统组成，它是一个大系统工程。航天器是航天系统的核心，它是多种多样的，有不同的分类方法。按用途分类，有军用卫星、民用卫星；有通信卫星、遥感卫星、导航定位卫星、科学卫星等。按技术分类，有地球同步卫星、太阳同步卫星、深空探测器；返回式卫星、不回收卫星；还有按是否载人分飞船、空间站与无人航天器等。不同类型的航天器，其配套系统也有所不同。

空间技术属于高技术，至今才有 40 多年历史，它技术进步快，所以也是一门新技术。那么空间技术有什么特点？

近 40 年来,空间技术发展很快,它有许多特点,这里强调三个突出特点。其一,空间技术是高度综合的现代科学技术,它是许多科技最新成就的集成,其中包括喷气技术、电子技术、自动化技术、遥感技术、材料科学、计算机科学、数学、物理、化学等等。其二,空间技术是对国家现代化、社会进步具有宏观作用的科学技术。由于航天器飞行速度快,运行高度高,所以可快速地大范围覆盖地球表面。例如,通过卫星使电视网络覆盖全国及至全球;气象卫星可以进行全球天气预报,包括长期天气预报;侦察卫星可以及时发现世界各个地区的军事活动等。这许多都是常规手段无法做到的。其三,空间活动是高投入、高效益、高风险的事业。尽管风险很大,但是空间技术的发展对人类的贡献是巨大的。

发展空间技术具有重要意义。其意义概括说有四个方面:在经济上,太空活动具有很高的经济和社会效益。多种应用卫星在通信广播、资源调查、环境监视、气象预报、导航定位等方面,已为人类作出了巨大的贡献。根据一些国家研究分析,应用卫星投资效益比达 1:10 以上。在军事上,许多军事专家认为谁占有空间优势,谁就具有军事战略优势。多年来,大国都在发展战略核武器,为选择打击目标,提高命中精度及了解敌方军事部署,竞相发展侦察卫星,它是洲际导弹的耳目,并已成为战略核武器的配套项目。通讯、导航等卫星的发展,同样大大增强了国家的军事力量。在科学技术上,空间活动带动和促进了众多学科的发展。首先,空间活动带动了技术科学的发展,如电子技术,遥感技术,喷气技术,自动控制技术等;其次,对基础科学将有很大推动,包括对生命科学、宇宙的形成和发展等都将有重要的新发现;第三是形成了许多边缘学科,如空间工艺学、空间材料学、空间生物学、卫星测地学、卫星气象学、卫星海洋学等等。在政治上,空间技术极大地提高了国家的综合国力及其在国际活动中的地位,现在国际上讨论的许多重大问题都与空间有关,世界大国首脑会谈也离不开这个问题。由于空间技术有如此重要的意义,当今参加开发空间的国家越来越多,已达 60 多个;而应用空间技术成果的国家几乎遍及世界各个角落。

二、40 年航天主要成就

由于空间技术具有重要意义,近 40 年来发展极为迅速。继 1957 年苏联发射第一颗卫星之后,美国于 1958 年,法国于 1965 年,日本、中国于 1970 年先后发射了自己的第一颗人造卫星,引起世界轰动。世界上航天投资最多的是前苏联和美国,至今发射的四千多个航天器中,前苏联、美国占绝大多数。此外,欧盟、中国、日本、印度、加拿大等也都有一定的规模。中国依靠自力更生,至今共成功研制和发射不同的人造卫星 35 颗,为国家建设和社会进步作出了重要贡献。世界航天的主要成就表现在以下两方面。

1. 空间技术进步

航天运载工具的发展是 40 年最重要成就之一。至今作为空间飞行器的运输工具主要还是一次性的运载火箭,这方面最发达的是前苏联、美国,此外是法国、中国、日本和印度。世界上典型的大型火箭,有前苏联的质子号,美国的大力神号,法国的阿里雅娜号,中国长征号,日本的 H₂ 火箭,它们可以把重型卫星送到远地点 36000 公里的地球同步转移轨道。中国长征系列火箭不仅发射国内卫星,而且已经提供国际发射服务。另一种运载工具是航天飞机,航天飞机可以多次使用,但造价高,风险大。美国最早发展航天飞机,

运载能力 30 吨，载乘 3~7 名宇航员，飞行轨道高度 200~400 公里，倾角大约 28 度。

人造地球卫星对军事和经济建设具有重要价值，因此卫星技术发展极快。世界上除美国、前苏联外，欧盟、中国、日本和印度等都具有研制卫星的能力，并发射了多种应用卫星。国际通信卫星已经发展到第八代，一颗卫星的通信能力可达几万条话路，可以同时转发几十路电视节目。卫星发射功率的增大及点波束技术的进步，使得地面站小型化成为现实。卫星技术的迅速进步，使卫星的在轨寿命长达 12~15 年。资源卫星的典型代表是美国陆地卫星和法国斯波特卫星，它们具有高分辨率和多谱段的遥感能力，对陆地资源调查具有重要价值。气象卫星有极地轨道和静止轨道两种。极地轨道气象卫星可飞经地球所有地区，可提供长期天气预报资料，世界上只有美国、前苏联、中国研制和发射了这种气象卫星。静止轨道气象卫星相对地球表面固定不变，可实时连续观察本地区的云层分布和变化。导航定位方面的代表是美国 GPS 卫星，它由 18 颗卫星组成，可在全球导航与定位，精度达到米级。可返回式卫星具有重要的经济、军事和科学价值，至今世界上只有前苏联、美国、中国具有回收卫星的能力。中国的返回式卫星具有极高的成功率，其水平之高为国际所公认。

载人航天是 40 年来航天成就的重要组成部分。苏美在发射本国第一颗人造卫星后就竞相发射载人飞船，主要是要争夺世界第一。苏联是世界第一个宇航员上天，而美国宇航员首先登上月球。载人航天的经济效益一直在争论，但在政治上影响很大。至今已有 400 多人次进入太空，前苏联略为领先，进入太空人数和停留时间均超过美国。美苏两国发展道路有所不同，前苏联发展的顺序是飞船——轨道站——空间站；而美国是飞船——航天飞机。载人航天技术进步较快，不仅宇航员可出舱活动，还可以修复出故障的大型航天器，以及操作航天器交汇对接等。

深空探测主要是对太阳系各大行星及其环境进行探测。世界上已发射了 100 多个深空探测器，有许多重大发现，包括对地球环境的调查，发现内外辐射带，了解了地磁场分布，调查了太阳系行星、月球及其周围情况，如小卫星和大气环等。

近 40 年来空间技术的发展是迅速的。概括说，运载火箭的运送航天器的能力从几十公斤增到 100 吨；卫星获取和传递信息能力大幅度提高，一颗通信卫星的话路由几十路增至几万路；卫星寿命从几十天增到几年至十几年；人在空间停留时间从几个小时增到一年以上。总之，主要指标都提高了 2~3 个数量级，而价格大幅度下降。

2. 空间应用成就

40 年来空间技术的成就是巨大的。它已迅速并广泛应用于众多的领域。当代航天技术的应用不仅在军事和经济建设方面，而且已深入到每个家庭、个人生活之中。

卫星通信、广播。通信卫星的技术进步，使它在通信和广播领域迅速推广应用，世界上跨洋通信几乎全被通信卫星所代替。许多交通不便，通信干线不到之处，以及海上、空中、灾区通信卫星更显出优越性。目前卫星通信可提供有关信息传递的 100 多种业务。以国际通信系统为例，其业务活动效益每年达 100 亿美元。

卫星电视广播的应用已众所周知，不仅丰富了人民的新闻文化生活，而

且为教育事业作出了重要贡献，以我国开通的卫星电视教育频道为例，目前已有 5000 多个卫星电视教育接收台，接受各种教育人数达 2000 万以上，效果很好。

卫星导航定位。卫星导航定位系统由于范围大、时效好、精度高等特点已广泛应用于海上舰船、空中飞机、陆上车辆的行驶导航，以及各种工程建设和业务活动中的定位。美国 GPS 系统的定位精度可达到米级。高精度的卫星导航定位为各种交通工具提高运输效率及安全保障做出重要贡献。

资源调查和测绘。依据卫星照片调查陆地和海洋资源已广泛应用，并被证实是有效的方法，不仅节约人力物力，而且速度快。我国已利用国内外卫星照片对全国的主要经济区的资源和环境进行勘测和调查。同时，还利用卫星照片绘制了地形图和各种专业图。

气象与灾害预报。气象卫星不仅提高了天气预报的准确率，同时对台风、暴风雨等的预测以及海面温度的监测和海洋渔业的发展都起着积极有效的作用。自从有了气象卫星以来，台风天气预报几乎准确无误。我国利用气象卫星资料，对森林火灾、洪水等多种灾害进行监测发挥了积极的作用。

军事应用。应用卫星中军事卫星约占 70%，包括军事侦察、导弹预警、军事通信指挥、导航和气象保障等。侦察卫星不仅可以实时大范围监视敌方的军事行动，而且可以对重要军事目标进行详查，其分辨率可达 0.3 米。各种军事卫星不仅提供平时部队各种需要，而且在战时发挥重要作用。典型应用是 1991 年海湾战争中美国利用卫星参战情况，当时美国动用了 10 多种 40 多颗军事卫星参加了作战，发挥了极为重要的作用。

此外，空间技术在科学研究等方面也发挥了积极的作用。例如，中国在空间环境探测、微重力科学实验和太空植物育种等方面都取得了可喜的成绩。

三、世界空间技术发展趋势

未来 30 年，世界航天技术将持续快速发展，航天大国的投资主要将集中在下列几个方面。

1. 航天运输系统。降低航天器发射价格是主要努力方向。现有的低轨道运输价格大约为每公斤 1 万美元，距离每公斤 1000 美元的奋斗目标相差甚远。因此，航天大国都在研究发展新的天地运输系统。近年来提出了多种新的航天运输方案，其主要的一点是研制可多次重复使用的运输工具。按其起降方式，大致分为三类：

垂直起飞、垂直降落。美国麦道公司正在研究的三角快帆是一种典型的代表。它是单级火箭，共有 8 台主发动机，起飞时 8 台全部工作，返回降落时利用其中的 4 台工作减速，回收再用。起飞重量 463 吨，载荷重量 4.5 吨，箭体总高度 38.7 米。

垂直起飞、水平降落。典型的代表是美国现有的航天飞机。但航天飞机由于维修等费用高昂，所以每公斤运载费用仍然大于 1 万美元，比设计的 350 美元超出很多。为了降低运价，美国马丁公司正在研究试验新方案。

水平起飞、水平降落。典型代表是国外正在研究的空天飞机。采用吸气式发动机，利用大气层中的氧气与自带的液氢作为推进剂。分单级（美国 NASP 计划）和两级（德国 Sanger 计划）入轨两种。空天飞机可以多次使用，把卫星送入空间后，像飞机一样返回地面，以备再用。由于技术难度大，要

求投资多，目前尚处于研究阶段。

虽然多种可重复使用的运输系统都在开展研究，但相当一段时间内航天发射仍然离不开一次性的运载火箭，因此高能无污染、大推力、低成本的新型运载火箭的研制仍是航天大国努力的方向。我国“863”高技术计划中，对先进的天地往返运输系统和新一代大型运载火箭，均安排了跟踪研究、概念研究和部分关键技术先期预研。

2. 人造卫星。应用卫星由于具有很高的经济效益，将更多地进入商业化。因此开发航天技术的国家，首先把资金集中于研制各种人造卫星。各种应用卫星将继续提高水平，降低造价，扩大应用范围。在遥感方面除发展陆地、海洋资源卫星外，将加强对地球环境监测、减灾活动内容；在通信卫星技术方面，除了研制发射大容量、多频段、大功率、长寿命的大型通信卫星外，研制和发射几十至几百公斤的小型卫星是新的方向。值得注意的趋势是应用卫星系统研究正在从局部地域向全球发展，它可使地球任何地区进行实时定位、通信及获取各种主要信息。例如，美国摩托罗拉公司开发的小卫星群通信系统，它由66颗卫星组成全球网络，可在全球范围内进行个人电话直接通讯。美国地球使命计划以及日本不久前提出WEDOS计划都是全球系统，旨在对全球的环境进行监测和对各种灾害作出预报。而全球实时导航定位系统GPS早已提供应用。空间能源利用方面，未来30年有可能建成卫星式太阳能电站，在轨道上利用太阳能发电，再以微波形式传送到地球用户。

预测未来10年航天商业市场。运载工具发射服务约100亿美元，主要竞争对手是美国、法国、俄国、中国和日本；通讯卫星市场大约120亿美元，主要是通信卫星本身（硬件），不包括地面服务，后者市场更大；卫星导航定位50~100亿美元，世界上许多国家都重视积极开发相应的地面系统；遥感卫星主要是社会效益，资源卫星、气象卫星的遥感图片以及部分军事侦察卫星解密转向民用，对各国的经济建设意义极大，社会效益很高；

微重力资源的开发已引起发达国家的重视。在空间失重环境及其它空间环境作用下，制造半导体材料、特种合金、药品、光学材料和植物育种等，其产品性能要比地面生产的质量好得多，价值很高。但未来10年内，微重力材料加工的市场估值变动很大尚无确切的数字。

在未来15年内，中国的应用卫星将跨上一个大的台阶。正在研制的大型通信卫星不仅容量大、寿命长，而且将有多种频段以适应不同用途。计划中的不同遥感卫星包括资源、气象、海洋、环境与灾害多种用途，它不仅提供国内服务，还将为全世界做出贡献。关于微重力科学研究，中国已在世界先进行列之中，充分利用地面及太空有利条件，在有关方面共同支持下，发展前景极好，有可能在微生物、植物育种、半导体材料等方面取得重大进展。

3. 大型空间站。载人航天是人类开发宇宙太空的必然发展，与60年代不同，当今世界载人航天计划的核心，是在靠近地球的轨道上建立长寿命大型空间站。空间站主要有如下功能：遥感及微重力等科学研究；停靠、维修并为人造卫星补充燃料；在空间站进行部件或整机组装工作；物资、宇航员及航天器转运基地。80年代，美国决定研制自由号永久性空间站。该空间站为框架式，长170米，重200吨，轨道高度400公里，倾角为28.5度，承载6~8名宇航员，发电能力50~75千瓦，总建造投资约300亿美元。欧洲、加拿大和日本等参加了这个计划。前苏联于80年代后期建成和平1号空间站后，决定90年代建造和平2号空间站。它由8个舱段组成，重115

吨，有 6 名宇航员。但是近年来美、俄两国都由于投资太大，进展缓慢，并一再修改缩小原定规模。苏联解体后，冷战结束。两国探讨合作联建大型空间站的计划（国际空间站），以节约经费，包括欧洲、日本、加拿大等共有 13 个国家参加。国际空间站的重量为 377 吨，电功率为 110 千瓦，长宽为 110 × 87 米，实验舱 6 个，宇航员 6 名，原计划 2002 年建成。

为了适应我国 21 世纪航天事业的发展，国家“863”计划中安排了我国未来空间站的研究课题，除空间站概念研究外，还支持开展空间站系统的关键技术预先研究工作。

应该提及的是，为使空间站更有效的应用，正研究发展空间机器人及虚拟现实技术。这样，科学家、工程师就可以在地面工作，以完成人在天上进行的各种动作，这是一个极为重要的领域，世界不少国家都在开展研究。

4. 深空探测。过去 30 多年在深空探测方面虽已做出了比较大的成绩，但还只是初步的。未来美、俄、欧、日都将对深空进行深入探测。主要有两大方面，一是太阳系行星探测，二是天文观察。至于建造月球基地和载人火星 90 年代还只处在研究阶段，要实现这个计划将是 21 世纪的事。由于月球上有氦 3 等各种重要资源，世界上不少专家倡议各大国联合开发月球。日本不久前公布了雄心勃勃的探月和登月计划。行星探测包括对金星、木星、火星、水星等及其周围环境的探测。已经发射的伽利略木星探测器，其主要任务就是对木星进行探测研究。研究木星具有重要的科学意义，因为太阳系内木星有自己的小卫星，有自己的运行轨道，其模型与太阳系相类似。科学家认为通过对木星及其周围环境考察研究，有助于了解太阳系的起源以及地球在太阳系中的地位。至于天文观察，预计今后将有数座轨道天文台在太空工作。美、欧的哈勃望远镜未来计划，有希望解开银河系奥秘，将使天文观察进入一个新纪元。还有将发射的红外天文台、宇宙背景辐射探测器等都是本世纪末有重要意义的项目。

5. 空间军事系统。由于空间技术对军事有重要价值，故本文单列一段。虽然公众反对空间军事化，但是超级大国仍积极发展壮大自己的空间军事力量。军事力量的快速反应需要适时和准确的侦察、可靠的气象预报、精确的导航和地图测绘以及足够的通信线路。为此，必须进一步加强和完善现有的各类军用卫星系统。再者，未来的中心内容是建立导弹防御系统。80 年代美国曾有星球大战计划，其目的在于摧毁对方的洲际导弹进攻能力，从而使自己的进攻能力充分发挥。星球大战计划的系统由三部分组成：监视和跟踪系统、多层次拦截武器，以及指挥和控制系统，该计划需要巨额投资。苏联解体后，加上美国财力困难以及海湾战争的经验，美国决定缩小该系统的规模，首要任务是研制战略弹道导弹防御系统。星球大战计划的科研成果，不仅在军事航天应用有重要价值，而且在促进科技进步和经济建设，以及防止小行星撞击地球都具有潜在意义。

未来的 30 年世界上将形成比较复杂的国际航天关系，空间由两个超级大国垄断的时代将变为多极集团竞争开发。继美苏之后，欧洲将逐步形成一个比较大的空间体系；其次，日本已加快成为世界空间大国步伐，其空间投资年增幅很大；还有不少发展中国家也将积极参与空间活动。未来国际航天关系可概括为六个字：合作、竞争、对抗。合作是有限的，在某几个方面如深空探测，地球环境监视，建造国际空间站等有共同利益的项目，可能促成合作。但空间领域不会有全面的合作。对运载火箭的发射服务，多种应用卫星

具有商业利益的项目，将存在激烈的竞争，竞争也不可能有公平的商业竞争，必然出现政治干预。而由于空间军事需求的存在，大国竞相开发空间军事系统，所以国与国之间潜伏着对抗。

中国的航天事业将持续不断地向前发展。我国是一个发展中国家，财力有限，比起世界航天大国，我们属于航天低投入国家。因此，我国只能在部分航天领域做出贡献。同时，中国提倡各国联合和平开发和利用宇宙空间，平等互利，共同为全人类的利益做出应有的贡献。

石油化工装备研究的展望

时铭显

石油大学

时铭显 化学工程与设备专家。1933 年 4 月 26 日出生于江苏省常熟市。1956 年北京石油学院研究生毕业。现任石油大学（北京）流田分离研究室主任、教授。1995 年当选为中国工程院院士。主要从事高效气固分离设备和成套技术开发等方面的研究。

石油化学工业是我国国民经济支柱产业之一，它以石油和天然气为原料，生产汽油、煤油、柴油、润滑油等石油产品和合成树脂、合成橡胶、合成纤维、尿素以及基本有机原料等石油化工产品，都是关系到国防、工农业生产 and 人民生活的主要必需品。到 1994 年底，我国原油加工能力在世界上排第四位；作为石油化工产品的最主要的原料的乙烯生产能力在世界上排第八位。由于我国国民经济的持续高速增长及人口众多、市场需求量庞大，所以在—个相当长的时期内，石化工业必需要有更大的发展，在技术上要达到世界先进水平，在产品品种和质量上都要有国际竞争力。

石油化学工业作为—种最主要的有机化工生产过程，必然也是：原料 化学反应 分离提纯 产品。因此，从技术上说，以催化剂为核心的化工生产工艺方法和以反应与分离为核心的化学工程及其装备，就成为支撑石化工业的两大类主干技术，再配以全过程的计算综合集成优化控制，就构成了现代化的石化工业。

针对我国石化工业的“大型、先进、系列、集约”的发展方向，展望 21 世纪初，仅就石油化工装备研究开发中的几个方向性问题，做一些初步探讨。

—、装置的大型化及设备的高负荷化

世界上最大的原油蒸馏装置能力已达 1600 万吨/年，—般也在 1000 万吨/年左右。千万吨级以上炼油厂已超过 100 座，最大炼油厂规模已达 3000 万吨/年。我国 500 万吨/年以上规模的炼油厂虽已有 17 个，但单套装置能力达 500 万吨/年的只有 1 个，平均大多在 250 万吨/年上下。由于装置规模小，原油加工损失和能耗物耗都比国外的高出不少，再加上人员高出几倍甚至十多倍，致使成本偏高，劳动生产率偏低，缺乏国际市场竞争力。因此，解决装置经济规模及装备大型化所面临的各种技术问题便是当前需要研究的课题。例如原油蒸馏装置的 10 米以上直径的大型塔，如何保持塔盘上气液两相的均匀接触与分离，如何使大型填料塔内液相均匀分布，如何进一步提高塔内真空度，如何使每层塔盘的气液负荷都处于该种塔盘的适宜操作区等，都是值得研究的课题。又如发展 200 万吨/年大型连续重整装置，需要解决单片尺寸达 $2 \times 5\text{m}^2$ 的大型逆流板式换热器的设计与制造问题。高压加氢反应器，国外可制造直径 6 米、壁厚 450mm、重 1200 吨的大型热壁高压容器。我国目前最大的壁厚只有 200mm，重 560 吨，进一步大型化必须解决好抗氢材料及—系列制造技术问题。为了发展 8×10^7 大卡/时以上的大型管式加热炉，需要研制大型低 NO_x 燃烧器及高效耐露点腐蚀的空气预热器等。再如高压加氢装置所需的新氢压缩机，国外已有最大活塞力 80 吨的活塞式压缩机，

国内最大只有 50 吨，而且气阀、填料、活塞环等的寿命均不如国外。加氢进料泵，国外用双壳体多级离心泵的参数为 $1020\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 3050m，可在 427 下长期工作。国内最大只有 $600\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 2600m，只能在 210 以下工作，差距甚大。

从目前国内实际情况看，可能更迫切需要的是设备的高负荷化。燕山石化公司成功地将 30 万吨/年乙烯装置扩建成 45 万吨/年，其中丙烯塔尺寸不变，只改变了塔板型式及参数就解决了问题，便是一个典型的例子。

二、针对节能降耗，开发新型高效设备

我国人口占世界总人口的 22%，而我国的石油储量只占世界的 2%，煤炭储量只占世界的 11%，可见人均占有能源量大大低于世界平均值，但是能耗却普遍高于国外，所以能源不足的矛盾将日益尖锐化，解决不好将成为制约我国国民经济增长的主要瓶颈。试以技术较为先进的炼油企业为例，我国炼油厂平均综合能耗大约是国外的 1.3~1.5 倍左右。乙烯装置的平均能耗大约是国外的 1.6 倍左右。从炼油厂综合商品率看，国外一般 92.5%，日本可达 95.2%，我国只有 90.68%，这意味着每加工 1.0 亿吨原油，比国外少生产 186 万吨成品油，损失十几亿元。所以开发一系列的节能降耗的新技术与新装备是长期的十分重要的研究方向。现分成如下几个方面来举例说明。

1. 系统优化匹配与优化运行节能

从全厂系统上考虑，主要是提高能源利用效率和回收各种能量这两方面。在提高能源利用效率方面的一个典型例子是石化企业的汽电联产技术。采用炼油厂的过剩可燃干气或高硫焦或硬沥青等驱动燃气轮机发电，用燃气轮机高温排气作为热源去生产热力或工艺用蒸汽，最终实现能源品位梯度逐级利用的技术路线，使全厂能源利用率大为提高。但这里就要开发高温气体净化设备及适用于含尘气的燃气轮机等新装备。在回收各种能量方面，大致可以分为四种：（1）高温位热能回收——典型例子是炼油厂催化裂化装置内的催化剂生焦后用空气烧焦再生所产生的 650 ~ 720 烟气能量回收系统具有巨大的节能效果。70 年代以前只用废热锅炉回收热能，该装置能耗为 66~75 万大卡/吨油；若先用烟气轮机发电，再将其高温排气进入废锅回收余热，则装置能耗可降为 61 万大卡/吨油。（2）低温位热能的回收——石化企业内 300 以下的低温位可用热源很多，最简单的回收办法是用来加热锅炉进水或民用采暖或管道伴热等。但要低温热升级利用，即通过能量转换以提高品位，再加以利用，虽可有效提高全厂的能源利用率，但技术上经济上还有许多难题未解决好。例如在分馏塔上采用热泵系统，升高塔顶热源的温位，加热塔底物料，节省大量蒸汽，关键在于要开发低温差高效换热器，降低全系统设备造价。余热发电是值得开发的新技术，它可以采用朗肯循环，但要开发性能优良的有机工质和造价低的高效膨胀机。近来美、日等国先后开发以汽液两相流体为工质的透平发电系统，可用分馏塔的排热加热热水，而不必用价格昂贵的有机工质，很有发展前景。（3）化学能的回收——如炼油催化裂化装置内高温烟气含有 CO 及 O_2 ，可用 CO 锅炉回收其化学能。（4）压力能的回收——在加氢装置内高压液体的压力常常用液力透平来回收，也有很好的节能效果。

在装置运行优化节能方面，举几个例子：（1）石化装置大量采用离心泵与离心压缩机，由于原料的多变或目的产品的多变，许多泵与压缩机往往采

用能耗高的节流办法来调节运行，致使它们不在最高效率点附近运行，白白增加了能耗。若广泛采用变频调速装置，就可以解决此矛盾。例如一个 100 万吨 / 年延迟焦化装置，它的稳定吸收压缩机采用了 6000V，1600KW 的变频调速装置，一年可节电 160 万度。（2）石化企业是用水大户，国外每吨油的耗水只有 0.5 吨，我国耗水却都在 2 吨以上，差距太大，必须开发污水净化与循环回用的新技术。（3）石化设备与管道的保温不可轻视。据测算，仅一个装置的主风管道的良好保温，就可降低该装置的能耗 0.93 万大卡 / 吨油；仅一个大型高温法兰没有保温，每年就会损失 4 吨左右蒸汽，可见这方面潜力还很大。（4）每个石化装置都有大量的换热设备，若能用窄点技术将热网进一步优化，将可获得更大的节能效果。石化厂的加热炉是用能大户，采用计算机优化管理与控制，使排出烟气内过剩氧尽量减少，尽可能不要有 CO，将可进一步提高炉子的热效率。这些方面的节能潜力还是相当大的。

2. 开发高效节能设备

石化设备繁多，只能举几个量大面广对节能影响较大的设备加以探讨。

（1）换热设备的高效强化——以应用面最广的间壁式换热设备为例，强化传热要从两方面入手。第一方面是使作为传热推动力的冷、热两流体沿程各处温差尽可能地大，从这个意义上说，非常接近纯逆流流动的螺旋板式换热器要优于板片式换热器，更优于管束式换热器。可惜前二者由于密封问题而大大地限制了它们的使用温度与压力范围，处理量也不能太大。第二方面是尽量减小各种热阻，例如传热表面采用螺纹（单面或两面凹凸槽），可提高传热系数 1.2~1.3 倍；形成多孔表面，可以提高沸腾给热系数 4~10 倍；管外用纵槽，管内为多孔烧结表面，可提高冷凝给热系数 4~5 倍。又如在管内用丝状花内插物，使流体在低速下产生径向位移和螺旋流相叠加的三维复杂流动，可提前诱发湍流和增强温度梯度方向上的流体扰动，从而在不增加阻力的条件下大大提高传热系数。由于传热表面结垢后，热阻将大大增加，所以同时还要采用各种防垢、阻垢措施，管内装一个弹簧状内插物就是一个实例，它的除垢率可达 70%，传热效率可提高 30%。

管壳式换热器的壳程往往是薄弱环节，近来采用折流杆栅代替传统的折流板，不仅可提高壳程给热系数约 20%，压降降低 50%，而且还可防止发生流体诱致振动。

近来日本开发了一种 Hybrid 换热器，综合了板式与管壳式换热器两者的优点，克服了板式换热器因密封问题而受到限制的弱点，很有发展前途。

（2）管式加热炉的节能途径很多。采用空气预热器尽量降低排烟温度是目前应用最广的有效手段，这里一方面要开发高效紧凑型换热器，目前较好的是以水为工质的热管换热器；另一方面要改进材质以解决露点腐蚀问题。在炉内传热面上涂以 0.3~0.5mm 厚的碳化硅高辐射物质涂料，强化红外辐射传热，使炉效率可提高 2~5 个百分点。开发高效低 NO_x 燃烧器又是一个重要节能途径，又可符合环保要求。例如美国 Alzeta 公司近来开发了一种热棒型陶瓷纤维燃烧器，可以根据炉型规定火焰形状，强化火焰的均匀辐射，噪声低，NO_x 低于 20ppm，应用效果很好。炉管表面积灰会严重降低传热效率，现有高压蒸汽吹灰器的应用效果不理想，要采用次声波技术除灰，目前正在发展中。综合这些措施就可使加热炉热效率从普遍的 80% 多提高到 90% 以上，节约能量是相当可观的。

（3）机泵的节能也大有可为，例如前述的变频调速技术使机泵处于最高

效率点附近运行，用计算机进行优化控制，有重大节能效果。又如采用可调静叶的轴流风机可比常规的离心式风机有更高的效率。如采用三元流动理论设计叶轮可使现在采用常规叶轮的离心泵与离心压缩机有效地提高效率。这些新技术已在国内有了长足的发展。

(4) 从石化企业的许多分馏塔来看，在同样传质效果下，采用规整填料代替板式塔，可减少压降达 3 倍左右；对一个常减压装置，仅此一项便可降低能耗 3.4 万大卡 / 吨油。国外采用最新开发的孔板波纹填料已在直径 13.4m 减压塔上应用成功。但填料的价格要高于板式塔不少，所以还要综合考虑，并不是说板式塔就无前途了。

三、从装备上保证石化装置的长周期安全生产

石化企业都是大型化的连续生产，停产一天就会损失几十万甚至几百万人民币。国外已可做到三年一修，而国内大多还停留在三年二修的水平上。究其原因，有管理问题，有人员素质问题，也有装备技术问题。现只从后者来作些分析，要重视如下几方面的技术：

1. 要持续地发展密封防漏技术——离心泵上 98% 用的是机械密封，近来机械密封又有新的进展，例如将干气密封的螺旋槽技术用于湿式密封上，形成了新的“上游泵送机械密封”，大大延长了使用寿命和提高了密封效果。近年来，无密封泵发展较快，例如磁力传动泵，最大的流量已达 $6000\text{m}^3/\text{h}$ ，排压 25Mpa，1900 马力。大型离心压缩机以用浮环密封为主。目前国外正在大力推广螺旋槽式泵送干气密封技术，摩擦损失小，气体泄漏非常少，而且对转子振动不敏感，是离心压缩机较为理想的密封技术。离心压缩机另一突破性技术是应用磁力悬浮轴承，没有摩擦面及润滑油系统，寿命长，损耗小，实应大力发展。

2. 要大力推进防腐蚀技术——我国每年要进口一些中东原油，它们都是高含硫原油，对设备腐蚀严重，必须从脱硫、材质及工艺等各方面采用综合防腐措施。要大力发展以金属表面改性及喷涂技术为主的表面工程技术。要发展新型防腐复合金属。要开发新的非金属防腐衬里技术。高温设备及管道内的结焦结垢也是影响长周期运行的问题，近来已研制了各种抗垢阻垢剂，应用效果不错，值得推广。

3. 要重视高温设备的隔热耐磨衬里技术——以催化裂化装置为例，大直径再生器在 700℃ 以上高温下运行，万一隔热耐磨衬里脱落，将产生危险的后果而常常被迫停工，损失巨大。所以要重视如下三个问题：不断提高衬里材料的隔热耐磨性能（采用颗粒度更细且分布更合理的材质）；改进施工技术（整体浇铸是正在发展的一种方法）；加强监测（红外成像监测技术已应用成功）。此外，颗粒流体系统的高温蝶阀还没有很好过关，在高温下既要耐磨，又要快速灵活关闭与开启，要重视研制。

4. 要有针对性地开展设备寿命监测及故障诊断新技术——大型回转机械的振动监测与故障诊断已逐渐从传统的快速傅里叶变换的功率谱分析法发展为最新的全息谱分析，可获得每阶频率分量上的振动形态，诊断更全面更准确。最近又建立了基于模糊神经网络的 HL 故障检测系统，效果更好。装置越大，对机组稳定性的要求越高，随着计算技术和控制理论、电子技术等的发展，转子系统振动的主动控制技术取得了实质性进展，应用日广。昂贵的高温炉管、临氢管道系统、大型高压球罐、厚壁高压加氢反应器等的使用寿命预测

和延寿技术更是十分重要的问题，许多新技术如定量全相技术、声发射技术、概率断裂力学评定技术、模糊综合评判与决策技术以及人工神经网络、专家系统等的引入，将大大推进这方面的工作。

四、重视开发新型三废处理装备技术

石化工业的三废治理是个量大面广的重大问题，展望 21 世纪，必须重视开发一系列高效而造价低的环境友好工艺与装备。

1. 大气治理方面主要是三个方面：减少 NO_x 的排放（采用新型低 NO_x 燃烧器，开发封闭式的地面火炬系统）；减少 SO_2 排放（采用高效低压降的湿式洗涤器，采用干法吸附等）；减少颗粒物的排放（开发更高效旋风分离器、过滤器及电除尘器等使气中含尘浓度降到 $30 \sim 35 \text{mg} / \text{Nm}^3$ ）。

2. 污水治理是个严重问题，工艺用水的循环回用又是个重大的节能问题，必须大力开发一系列新的高效水处理装备与技术，如采用高效旋流器去除污水中油滴及其它杂质，采用微孔气泡环流器将水中污物浮选除去，采用各种膜过滤器，开发生物处理系统等。

3. 废渣处理也应及早提到议事日程上来。如废塑料与废轮胎的处理，废催化剂的再生或做成建筑材料，用气化工艺处理油泥等，都需要开发一批新的装备。

五、新的化工过程技术

化工过程技术是石化装备的基础，两者不可分割，所以新的化工过程技术的开发必将创造出新的高效装备，展望 21 世纪初，试举几个例子加以说明：

1. 膜分离过程——膜分离技术是正在大力发展中的新技术。它能有选择地透过或输送特定的物质，使复杂系物质群的分离变得操作简便、流程短、耗能少、无污染，所以受到人们极大的重视。典型的如国内新近开发成的中空纤维膜分离器，可将气体混合物中的氢有选择地分离出来，改变了传统的变压吸附或深冷分离等庞大复杂的装备，大大节约了能源消耗。这样，高炉气中含有的氢、合成氨弛放气中含的氢和催化裂化干气与催化重整排放气中含氢等等均可有效地回收，经济效益是十分可观的。又如具有聚二甲基硅氧烷结构的膜可将空气中 20% 氧浓集成含氧高达 33% 的富氧空气，用来再生催化剂，可大大减少石化装置的能耗。当然，要大量推广应用这种新技术，还有许多问题急待解决，其中主要一个就是通过膜的气体（或液体）负荷要能达到经济规模。

2. 生物化工过程——在生物作用下进行化学反应以代替传统技术，可大幅度降低生产投资与成本，甚至可将一些在高温高压条件下才能进行的化学反应变为在常温常压下也能进行。典型的如最近美国能源生物系统公司推出生物脱硫技术，在中温常压下，用酶从石油中脱硫，据称可比传统的加氢脱硫可节省总费用达 50%。用生化技术脱除水中油污及其它污染物的废水治理新技术也正在大力发展中。当然，这里要解决好特种菌种和低浓产品的提纯问题。同时，生化反应器内两相流动形态与接触形态是至关重要的，也需专门做深入的研究。

3. 动态过程——大工业生产往往力求采用稳态操作过程，这是传统做法。但实际上有时动态过程操作可获得更好的效益，如气液环流反应器，若

使气体流向与流速按脉动方式操作，反可使传质系数提高 10~20%。许多传热过程若以流体脉动方式进行操作，可有效提高其传热效率，防止结垢。当然，这里要解决好产生流体脉动的技术与装备，还要研究脉动过程强化机理以形成新的设计方法。

4. 多个过程的集成化技术——最典型的例子是反应过程与蒸馏过程在一个设备内集成，利用反应过程的放热提供给蒸馏过程的需热，使之节能，提高过程效率。已工业化成功的是异丁烯与甲醇合成 MTBE，是一种提高汽油品质的添加物。再如氧化反应过程用膜反应器，可将反应与分离过程结合在一起，用膜优先通过氧的特性来加快反应，简化产品分离。这类多个单元过程的集成技术正在大大开阔人们视野，不断推出新的化工过程及相应的新装备。

5. 计算化学工程技术的发展——计算机技术的发展使传统的化学工程将从目前宏观或亚宏观水平，逐步提高到分子水平再综合为大系统水平，如发展分子水平的过程预估，分子设计技术，复杂大系统模拟放大及优化技术等。这意味着将来可将实验室结果一步直接放大到工业生产，而不需经过层层中间放大试验，大大缩短科研成果转化为生产力的周期，大大节约投资，前景不可估量。

以上只是从五个不同的方面概述了今后石化工业发展对装备技术所提出的要求，由此可看到研究石化装备技术的重要性和它的艰巨性。在大力推进新型高效装备开发的同时，必须重视有关化学工程与装备的基础性研究工作和重视用高新技术来改造传统单元过程的开拓性研究工作。这好比是两个轮子，只有这两个轮子运转得协调，新型高效装备开发这个主体才能得到飞速地甚至是跳跃地前进。当然，从石油化工生产的总体上看，装备技术的研究开发必须密切配合以催化剂为核心的新工艺方法的开发，工艺是装备开发的推动力，往往为新装备提出要求，而新装备又为先进工艺的实施提供必需的条件，两者相辅相成，密不可分。我们应正确处理好这几方面的关系，统筹协调，针对国情，争取开发成功若干个中国独特的石油化工成套技术，21 世纪初在世界上占有一席之地，强我国家之综合实力，扬我中华民族之雄风。

银盐照相和电子成像体系的新进展

邹竞

化学工业部中国乐凯胶片公司

邹竞 女，感光材料专家。1936 年 2 月 9 日出生于上海市。1960 年毕业于前苏联列宁格勒电影工程学院，获工艺工程师称号。现任中国乐凯胶片公司高级工程师。1994 年被选聘为中国工程院院士。主要从事我国乐凯彩色胶卷的研制。

100 多年来，照相术一直是以卤化银感光材料为基础发展起来。今天，照相术不仅是文化娱乐生活中不可缺少的组成部分，而且已被广泛应用于人类生产、科技和社会活动的各个领域。经过一个多世纪以来，特别是近 20 年来的不断改进完善，卤化银感光材料已成为一种具有灵敏度高、记录频谱范围广、信息容量大和影像质量优异的信息记录材料。现代卤化银感光材料以彩色照相感光材料为代表，取得了巨大的进步。彩色胶卷已初步实现“高感微粒”的目标，形成了感光度为 ISO25、100、200、400、800、1600、3200 的系列配套产品。彩色胶卷的分辨率已达到 160 线/毫米，还出现了以柯达 EKTAR25 彩卷为代表的“无颗粒”彩色胶卷。彩色相纸已实现高温快速无水洗加工，整个湿加工过程从 8 分半缩短到了 3 分钟，并取消了通常必须的最后水洗工序，使加工过程对环境的污染减少到最低程度。与此同时，随着电子技术、数字化技术和计算机技术在影像领域应用的迅速发展，形成了新的电子数字成像体系，从而对传统的卤化银照相体系提出了严峻的挑战。成像技术正处于大发展和大变革时期。新的成像方法和记录介质正不断涌现，从而构成了化学成像和电子成像互相融合的多媒体成像体系。

一、电子成像技术的兴起

80 年代初日本索尼公司率先开发成功第一台电子相机，在电子行业和照相业界引起了巨大的轰动。随后松下、卡西欧、佳能、奥林巴斯、富士等公司也都推出了各自开发的同类产品。Mavica 相机是磁性录像技术在照相领域中的应用，因此后来统称为静态视频相机。其基本过程就是将光信号转换为电信号、电信号再转换为磁信号，然后记录在特制的软磁盘上。在这一过程中，以光电耦合器件（CCD）作为影像传感器，以软磁盘作为影像记录载体，取代了普通光——化学照相过程中所必须的银盐感光材料，从根本上省却了银盐感光材料曝光后所必须进行的复杂繁琐的化学加工。由于静态视频照相机具有简便、即时和易于实现远距离传输等特点，因此首先在新闻报导中得到了应用。

电子成像的质量主要取决于成像器 CCD 的结构特性，CCD 的像素愈多，所记录影像的分辨率就愈高。80 年代电子相机中所采用 CCD 的像素尚只能达到 40 万，其影像质量远远达不到普通银盐照片的质量。进入 90 年代以来，随着 CCD 结构特性的不断改进以及影像数字化技术的发展，电子照相由模拟记录向数字记录发展，数字相机应运而生。

数字相机可由普通单反 SLR 相机的机身配上特殊的数字机背组成，数字机背中包含有 CCD 成像器和影像数据存储器。例如柯达 DCS420 数字相机就是

采用了尼康 N90 相机的机身，配上 1.5M 像素 CCD 的数字机背，带可卸硬盘，最多可存储 50 幅彩色数字影像，每幅影像可达 154 万像素。1995 年柯达公司投放市场的 DCS465 数字相机，仍采用尼康 N90 相机的机身，但配上柯达公司开发的性能最优的 6M 像素的 CCD，使每幅影像可达 600 万像素。DCS465 数字相机的成像质量已很接近银盐彩色感光材料，但其每台售价高达 3 万美元，这就限制了其推广应用。

化学成像与电子成像的特性比较如下表所示。

化 学 成 像	电 子 成 像
1．卤化银晶体具有集传感器、存储介质和影像再现于一体的功能。拍摄后需经繁琐的化学加工过程才能获得影像。对环境有法染。	1．传感器与贮存器分离的，影像信息贮存介质可多样化。即时获得影像并可迅速进行远距离传送。尤其是数字影像在传送或复制过程中不会失真。易于对影像进行修改、优化、剪裁、叠加校色等加工处理。
2．影像耐久性好，可作永久性保存。	2．磁盘与光盘均不能作永久性保存。
3．量子效率低 1 %	3．量子效率高 20%
4．灵敏度 ISO1000	4．灵敏度 ISO100
5．分辨率 20 × 10 ⁶ pixel/frame	5．分辨率 1.0 × 10 ⁶ pixel/frame
6．价格低	6．价格昂贵

从以上特性对比来看，两种成像体系各有所长，因此将它们合二为一，各扬其长，互为补充，组成兼有这两种成像体系优点的新体系是势在必行，也是未来 21 世纪影像技术发展的方向。

二、传统照相与电子成像的结合

近年来，照相（Photo - graphy - 以光作画）一词已远不能包含电子成像的概念，而被成像（Imaging）一词所替代。传统的化学成像与新兴的电子成像的相互结合，进行转换、处理、输出，形成了崭新的多媒体成像体系。

多媒体成像体系的核心是包括计算机硬件和软件在内的影像处理系统（也被称作电子暗房）。它具有对多种原始影像载体，如银盐底片、照片、磁带、磁盘、光盘、半导体存贮卡等进行相互转换、修复、校色、合成创新以及进一步扩展的功能。通过计算机加工处理的影像既可以在屏幕上显示，称之为软拷贝，也可输出到各类打印设备，以得到可供观赏的实物图像，即称之为硬拷贝。在多媒体成像体系中，实现最终影像输出的彩色硬拷贝设备是十分重要的组成部分，而且已在全球拥有销售额达几十亿美元的不小的专业市场。除银盐彩色扩印机外，目前应用最广的彩色硬拷贝设备是喷墨打印机、激光打印机、染料热转移打印机以及热显像拷贝机等。

彩色喷墨打印机是把彩墨液滴通过微小的喷嘴直接向专门的接受纸上喷射成像。

由计算机加工处理后的图像信号源施加于喷墨控制电极，从而使带电荷的墨滴喷射到记录纸上（不带电荷的墨滴回流后再予使用）完成图像记录。喷墨打印的优点是属于非接触打印，易於实现高速、大尺寸、多种材料（纸、薄膜、织物等）的影像打印而且成本低。缺点是喷墨易受彩墨质量、环境影响而不够稳定，彩色表现尚不够鲜艳。

染料升华转移拷贝机的工作原理，是利用感热作为记录手段，使受热色带上的升华染料转移到受像层上，固定下来形成影像。

计算机加工处理后的信号源控制感热头的通电量，即其发热量，以控制染料的升华转移量，从而实现影像的阶调变化。为实现彩色化，根据减色法原理必须依次将黄、品、青三色精确重叠转移到同一部位。染料升华型热转移记录所得到的图像，清晰度高、彩色鲜艳饱和。缺点是拷贝尺寸受到限制，而且染料专用色带及专用接受纸的成本较高，因此主要适合对高画质要求的图像制作。

由于多媒体成像体系具有多种功能，不仅在专业摄影，而且已开始在工业设计、广告宣传以及印刷出版等行业得到愈来愈广泛的应用。当然，这一体系本身还在继续完善和发展。

三、卤化银照相体系的新进展

面对电子照相迅速发展的严峻挑战，卤化银照相技术本身也在大力进行技术创新，以便在未来的成像体系中继续保持其应有的地位。目前卤化银照相体系正向两极化方向发展：一方面是向结构简单、操作方便、价格低廉的一次性相机，又称带镜头胶卷发展；另一方面又在向自动化、智能化程度更高、功能更多的新型高级照相系统发展。

1. 一次性相机脱颖而出

自 1987 年日本富士公司率先推出一一次性相机以来，这种结构简单、携带方便、价格便宜而质量又不错的新机种已脱颖而出，风靡全球。据统计，1995 年全球销售的一次性相机约为 1.5 亿架（其中日本 7000 万架，美国 5000 万架）。以每架平均 10 美元计，销售金额可达 15 亿美元！这对近年来不太景气的全球照相市场，可是个不小的震动。

一次性相机看似简单，实际上它是高科技发展的综合成果。据称，当初富士公司组织了包括光学、照相机、工业设计、胶卷制造和市场销售等方面的 10 名专家组成产品开发小组，经过长达 10 多年的潜心研究，才完成了这一产品的定型设计并推向市场。一次性相机的技术关键是高质量的光学塑料镜头、简易精确的拍摄快门、高感微粒彩色胶卷，还有精密的模具设计和注塑工艺。

90 年代以来，一次性相机继续向微型化、系列化、多品种化方向发展。除常见的带闪光灯和不带闪光灯的简易型外，还有远摄型、近摄型、全景型、防水型以及立体照相专用型等多种型号，以适应不同摄影使用要求。另外，向小型化、薄型化方面也取得了很大成功。1993 年底柯尼卡推出的 Mini 型一次性相机的外形尺寸为 $91 \times 54 \times 23\text{mm}$ ，不带闪光灯简易型的重量只有 63 克（带闪光灯型的重量为 106 克）。

为适应一次性相机镜头孔径小（一般为 F10）及快门速度固定（一般为 $1/100$ 秒）的特定条件，要获得高质量的照片，必须选用感光度为 ISO400 的高速彩色胶卷。而近年来富士公司已推出内装感光度为 ISO800 超高速彩色胶卷的新型一次性相机。这种相机还采用了含非球面 2 组 2 片的塑料镜头，以减少畸变像差和倍率色差，进一步提高了成像的质量。为了适应环境保护和资源再生利用的要求，一次性相机的结构、选材也做了相应的改进，一次性相机机身的回收利用率现可达 98% 以上。

目前，一次性相机的销售主要集中在美国和日本，随着时间的推移，必

将在其它国家和地区得到推广。人们有理由相信，一次性相机有着良好的发展前景。

2. 高级照相系统 (APS) 问世

近几年来，一直被宣传得沸沸扬扬的高级照相系统终于在 1996 年 2 月份于美国拉斯维加斯市举办的第 72 届美国照相贸易展览会上正式登场亮相，从而揭开了其神秘的面纱。

APS 突破了从本世纪初就确定的 35mm 宽度的胶片规格，摒弃了使用已有 60 年历史的 135 胶卷暗盒，而采用了新的 24mm 宽度胶片和小规格的塑料暗盒。这样为设计更小巧灵便的相机提供了有利条件。新暗盒是无牵引片头外露的全封闭特殊结构。暗盒内有胶片送出机构，一旦暗盒装入相机或冲洗机，胶片就会自动输出到位。这种结构设计省却了装卷程序，可以完全避免因装卷不慎而带来的拍摄失误。拍摄结束后或冲洗结束后，胶片仍返回原暗盒中保存，以防底片的损坏、丢失。暗盒上有明显的标志，标明暗盒内的胶片是未曝光、部分曝光、还是已拍完但未加工或已冲洗加工等不同状态，以防止不应有的误操作。

APS 拍摄画幅有三种尺寸规格：标准 (C) 型为 $16.7\text{mm} \times 23.4\text{mm}$ (面积为 135 规格 $24\text{mm} \times 36\text{mm}$ 的 45%，纵横比相同为 2:3)；加宽 (H) 型为 $16.7\text{mm} \times 30.2\text{mm}$ (纵横比为 9:16 与 HDTV 相接近)；全景 (P) 型为 $9.5\text{mm} \times 30.2\text{mm}$ (纵横比为 1:3)。胶卷长度有 15 张——780mm、25 张——1090mm 和 40 张——1570mm 三种规格。APS 胶卷应用了聚对苯二甲酸乙二酯 (PEN) 作为片基材料，较目前所采用的三醋酸纤维素酯、聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 有更好的物理机械性能，以减薄胶卷厚度，增加暗盒的容纳量并确保胶卷有良好的卷绕，传输和展平等特性。

APS 胶卷与常规彩色胶卷的最大区别，在于其背面涂有透明的磁性记录层，这是卤化银信息记录材料和磁信息记录材料相结合的新尝试。这样，摄影者可以通过 APS 相机上的磁记录系统对每幅画面的拍摄条件在胶卷的磁层上作出记录。这些信息数据可以对自动冲扩机发出相应的指令，指导扩印加工。通过磁性记录层可以实现拍摄者和胶卷，胶卷和洗印加工之间的信息交流 (IX)，使胶卷从拍摄到洗印加工始终都处于受控状态，从而保证最终获得高质量的照片。磁记录层的功能有待进一步扩展，例如记录声音，以及其它特定信息，使 APS 与多媒体成像系统实现直接对接等。

APS 的革新包括胶卷、相机、冲扩设备整个体系，是一项系统工程。据柯达公司称，为了开发 APS 新产品。曾经历了 10 年的时间，向 22000 多名专业和业余摄影者进行了调查询问，并投入了近 10 亿美元经费。柯达公司接受过去独自开发圆盘照相系统并不成功的教训，为了减少开发风险，柯达公司最后决定与日本最著名的胶片和相机制造公司，即富士、尼康、佳能、美能达联手共同成为 APS 的五家倡导者，统一制定技术标准，统一开发进度和上市销售日期。随后，爱克发、柯尼卡胶片公司和全世界几十家相机厂和扩印机制造厂也都获得了 APS 产品的生产许可，以便在世界范围共同推动 APS 的市场发展。

由于 135 传统照相已有 60 多年的历史，目前有 3 亿多台 135 相机在使用中，人们自然十分关心 APS 的发展前景。柯达公司对 APS 的市场前景是十分乐观的，认为 APS 产品在美国上市后，其销售量将会在一年内达到美国照相市场销售量的 10%。阿克发公司预测，到 2000 年全世界胶卷的需用量约为

34 亿卷（1995 年为 28 亿卷），APS 将占到 20%。因此，认为 APS 很快会完全取代传统的 135 照相体系，也是不符合实际的。APS 的命运究竟如何，最终将由市场来裁断。

四、结束语

当今成像技术正处于大变革中，新技术、新产品不断涌现，推动着世界照相市场的持续稳步发展。传统的光 - 化学照相体系和新兴的电子数字成像体系各有自身的不可替代的特点。以一种体系完全淘汰另一种体系是难以实现的，使两者紧密结合取长补短的多媒体成像体系是今后发展的必然趋势。多种成像技术手段的竞争，优胜劣汰，必将大大促进成像质量的提高和成本的降低，进而推动成像技术应用领域的扩大。根据不同的应用要求，必然要求图像记录材料的多样化。国外已开发成功的许多有市场前景的新产品，在国内尚属空白，有待我们去探索、去开发。

照相成像材料是高科技产品，必须要有大的技术和资金的投入。全面出击，什么都搞，显然力不从心。我们应根据国情和实力，量力而行。当前集中必要力量，加速一次性相机（包括 ISO400、ISO800 彩色胶卷和相机）、喷墨打印材料、热转移成像材料等的开发是必要的也是可行的。

总之，随着成像技术的发展，银盐照相材料和新型电子成像材料定将相应地得到发展并且有着广阔的市场前景。

面临国际市场挑战的 我国钢铁工业

张寿荣

武汉钢铁集团公司

张寿荣 钢铁冶金专家。1928年2月17日出生于河北省定县。1949年毕业于天津北洋大学。曾任武汉钢铁集团公司总工程师、副经理，现任该公司科协主席、高级工程师、兼职教授。并曾任中国质量管理协会副理事长，现任中国材料研究学会副理事长、国际继续工程教育协会副主席。1995年当选为中国工程院院士。主要从事冶金高炉建设等方面的研究。

迄今为止，我国钢铁工业一直是依靠国家政策的保护发展起来的。就是国家实行进口许可证制度和用征收关税的办法，控制国外廉价的钢铁产品进入国内市场，从而保护了发展中的我国钢铁工业，使之在少受外来干扰的环境中依托国内市场需求的生长而迅速发展起来。但是，在国际贸易中，要讲对等互惠原则，限制别国的产品进口，自己的产品出口别国也将受到限制。随着我国经济发展到现在的水平，继续设置贸易壁垒已经弊大于利，加入世界贸易组织已成大势所趋。参加世贸组织就意味着国外产品要享受国内待遇，就是和本国产品一样的待遇，所有进口商品的关税国际上一般只是3%~5%，而且像许可证等非关税壁垒都要取消，就是说要搞自由买卖。到那时候，中国的钢铁工业就要真正面对国际市场。从受到贸易保护到参与国际市场竞争，这对于我国钢铁工业来说是一个重大的转变。面对国际市场，中国钢铁工业怎么办？

一、80年代以来，我国钢铁工业发展速度举世瞩目

我国钢产量由1980年的3712万吨增到1994年的9220万吨，进入世界第二位，花了14年时间，平均每年增产钢392万吨，是这一期间世界上钢铁工业发展最快的国家。就世界范围来讲，自70年代后期以来，全世界钢的总产量徘徊在7~7.8亿吨之间。就是说世界钢的需求量保持在这一范围内，最低7亿吨，最高还没有超过8亿吨。

但是，不同国家和地区状况不同，工业发达国家钢产量下降或基本稳定，前苏联和东欧国家下降，新兴工业区及第三世界增加。

实际上从80年代到90年代，西方资本主义国家钢产量已经从最高水平上掉下来：日本最高产量是1.2亿吨，可现在是0.9~1亿吨这个范围；美国最高产量曾达到过1.2亿吨，可现在是0.9到1亿吨之间，有时还不到9000万吨；欧洲共同体1985年是1.35亿吨，1994年是1.38亿吨，变化不大。下降最多的是前苏联和东欧国家，而增长快的是中国、韩国、亚洲和中东地区。80年代以后，前苏联和东欧由于政治不稳定，解体以后工业受到严重影响，生产下降很厉害，钢的需求量减少，所以产量大幅度下降。发展中国家钢产量增长快，是由于这些国家有一个共同点，它们的工业基础差，公共基础设施都不行，要建铁路、高速公路、修机场，要搞很多工业和民用基本建设，这都需要钢材，所以这些国家钢的需求量是增长的。而发达国家，它们已做了这些基础工作，它们现在的消耗主要是生产性消耗，所以对钢材的需

求量基本保持稳定。从世界范围来看，由于不同国家、不同地区政治经济情况千差万别，钢产量有的衰减、有的稳定、有的增长，但全世界总体波动不大。

那么，钢铁工业发展的前景到底怎样呢？人类社会发展到今天，经历了新石器时代、青铜时代和铁器时代。到今天为止，钢铁仍然是人类制造生产、生活工具的主要材料。美国未来学家托夫勒写了一本书，叫做《第三次浪潮》。书上说，人类社会的发展，经历了三次浪潮的冲击，第一次浪潮是农业革命，第二次浪潮是工业革命，现在迎来了第三次浪潮，叫做信息革命。关于信息革命的观点是对的，但是信息不能代替材料。尽管近年来开发出了许多种性能优良的新材料，但到现在为止，在所有的新材料中，还没有哪一种新材料在用途、价格等方面能同钢竞争。而且由于受地球资源的限制，选其它的材料非常困难，可是，铁是地球上蕴藏最丰富、最容易得到的物质，且可以回收。所以到 21 世纪主要的材料还将是钢铁。过去一段时间，曾经说钢铁工业是夕阳工业，正在走向衰退。这种说法主要是受了未来学派的影响。在这方面，美国人是吃了亏的。他们曾经认为钢铁工业是夕阳工业，舍不得花钱去更新设备、开发新技术，光搞新兴产业，结果钢铁工业技术落后，在同日本的竞争中就失败了，弄得所有的钢铁厂、汽车厂全亏本。最后他们终于头脑清醒了，赶快抓基础产业、抓制造业，所以这几年美国的汽车、钢铁又都上来了。美国的汽车产量去年又超过了日本。就是说，花了 20 年的时间才在这方面翻了身。所以，一个错误的观点往往会影响整个工业，它的后遗症是很厉害的，造成的损失很大。这是说钢铁仍然是现代工业的主要材料。据专家估计，到 2000 年，全世界钢材需求量大概是 8 亿吨。2000 年以后，有几个估计，一个是每年增长 0.9%，还有的估计是 1.9%、2.0%。21 世纪，由于发展中国家的经济都将不断发展，全世界对钢材的需求量仍将是增长的。如果按 0.9% 的增长率来计算，那么到 2001 年，全世界钢材需求量大概是 8 亿 1 千万吨，所以，钢铁工业还是很有作为的。但像近年来我国钢铁工业发展之快，的确令世界瞩目。

二、我国已是钢铁大国，但不是钢铁强国

1994 年我国产钢 9220 万吨，仅次于日本而居世界第 2 位，而生铁产量则居世界第 1 位。钢铁生产达到这样的规模，堪称世界钢铁大国。但大国并不意味着是强国。为什么这么说呢？有下面一些理由。

1. 产品结构（品种、质量）不能满足本国经济发展的需要

80 年代，前苏联粗钢产量是 1.6 亿吨，居世界第一位，但有些东西它不能生产。苏联位于寒带地区，西伯利亚用的超低温用钢材，像高压油管、天然气输送管和桥梁、车辆用钢等，它都不能生产，每年都得进口。产钢 1.6 亿吨的世界第一个钢铁大国苏联，还得向当时产钢 2000 万吨的法国、4000 万吨的西德和 1 亿吨的日本买钢材。不买还不行，自己满足不了。这说明什么问题呢？就是说虽然是大国，但不是强国，所以还是离不开别国的钢材产品。现在我国产钢是 9000 多万吨，我们也有很多东西不能生产，特别是某些关键的钢材品种不能生产，或质量、数量不能满足要求。比如，井深 3000m 以上的石油管可以自给，但 3000m 以下的不行，得靠进口；高压锅炉管也靠进口；汽车用钢我们现在能自给自足的是卡车、载重汽车用钢，国产小轿车用钢板质量、品种都不行；发电站锅炉用钢，我们自己不能满足需求。我们

建原子能电站，它的高压锅炉的管道是 80~100mm 厚的不锈钢管，这种钢管国内生产不了，要从法国进口。大变压器、大电机用硅钢国内只有武钢生产，根本不能满足需求。宝钢现在仅满足桑塔纳汽车用钢就有相当大的困难，更不用说提供新一代的汽车板了。还有某些家电用钢、船舰用钢，我们也不能生产。所以，我国产钢 9000 万吨，还要进口钢材，这种情况，和前苏联是相类似的，主要是产品结构还不完备，品种、质量不能满足要求。1996 年上半年是中国的钢铁厂日子最不好过的时候，产品销售很困难，都希望能出口，能生产的坚决不进口，可 1~7 月份还是进口了 700 多万吨钢材。主要是进口棒材（不是建筑用的棒材，是机械工业用的棒材，即低合金钢或合金钢棒材）、特殊要求的型材、板材，还有异型材，这些非进口不可，自己满足不了。在国内钢材已经滞销的情况下，7 个月进口 700 多万吨，一年就是 1000 多万吨，所以我们的钢材进口比例也不算小，自给率不高。

2. 技术经济指标落后

（1）能耗。我国钢铁生产能耗高，不管是炼铁焦比和其它工序能耗都远高于国际先进水平，结果我国产 1 吨钢的综合能耗达到 1.5 吨标准煤，而在日本，生产 1 吨钢的综合能耗还不到 700kg 标准煤，就是说中国产 1 吨钢所用的能源相当于日本的 2 倍多，所以这项指标相当落后。

（2）物耗。我国钢铁生产各工序材料消耗高、钢的成材率低。像日本，由于推进了全连铸新工艺，全国平均成材率已经达到 95%，而我国，武钢算比较好的，才 86.7%，全国重点企业平均计算大概是 82%~83%，和日本比差距很大。日本 1973 年最高产钢 1.2 亿吨，当时钢的成材率是 80% 以上，那时候日本生产的钢材还没有它现在产钢 9000 万吨时多。现在多生产的钢材都是靠提高成材率得来的。可见，提高成材率对增产钢材是有很大的潜力的。

（3）劳动生产率。80 年代末，日本的钢铁厂全员劳动生产率一般是 500 吨钢/人·年，欧洲很多厂也是 400~500 吨钢/人·年，中国平均是 20 多吨钢/人·年。武钢 12 万人，产钢 500 万吨，人均劳动生产率是 40 多吨钢/人·年，比全国平均水平高。宝钢全员是 3 万多人，去年年产钢 600 多万吨，人均 200 多吨钢，是全国最高的。实际上，劳动生产率的差距是我们和西方国家差距之中最大的。

（4）设备寿命、作业率。我们现在的设备寿命、作业率也比别人低。以高炉为例，我国高炉一般每 2~3 年就要停炉中修，而国际上高炉炉役的标准水平是 80 年代连续生产 8~10 年，现在是 15~20 年。日本一座高炉已连续生产了 17 年，现在还在继续生产。我们在这方面的差距也是很明显的。

3. 环境污染严重

不仅指标落后，环保方面的差距也大。烟尘、废气、废渣、废水严重污染环境。尤其是我国还有大量的小焦炉、小高炉，是以环境污染作代价来取得铁的。西方国家对环境污染控制得很严，而我们在有些地方对这个问题还没有引起足够重视。

4. 我国钢铁工业的特点是多层次并存

我们炼铁的高炉是大中小并存，炼钢是平炉和转炉并存，在转炉中也是大中小并存。平均炉容 952m³ 的较大高炉产铁量仅占全国生铁总产量的 56.5%，而 >120t 转炉的能力还占不到 50%。

这种大中小并存的状况，实际上是不同技术层次的反映。目前，在我国真正代表 80、90 年代水平的大型高炉、大型转炉还为数不多，大多数中小型

高炉和转炉只达到国际上 60、70 年代水平，有的甚至还基本上停留在 40、50 年代水平。

轧钢技术装备也是多层次并存。我国有热宽带轧机 89 套，但真正具有 60 年代末、70 年代初以上水平的只有 5 套。线材轧机 106 套，属于 70 年代以后水平的只有 13 套。在无缝钢管轧机中，真正的连轧机组只有 3 套。

由于各层次技术、装备水平不同，生产指标也不一样。我国三个层次高炉生产指标除利用系数一项不相上下以外，其余指标都是第一层次优于第二、三层次，尤其是其中最重要的一项——焦比，大高炉比中小高炉要优越得多。我国钢铁生产技术经济指标落后，在很大程度上是同这种三个层次并存的局面分不开的。

出现多层次并存的原因在于我国钢铁工业实行大中小并举，以老厂改造为主的方针。在过去的 14 年间，我国钢产量增长了 5438 万吨，相当于 8 个宝钢的产量。如果建新厂，则需投资 2597 亿元。而实际上从 1976 年到 1992 年为止，整个钢铁工业的基建总投资为 829.24 亿元，更新改造总投资 722.43 亿元，共计 1551.67 亿元，约为全部建新厂投资的 60%。而且即使全部建新厂，我国钢铁工业也只能有 60% 的能力的是现代化的。用一分为二的观点看，要高速发展钢铁工业，只能走老厂改造的路。但必须看到其不足之处，认真对待。也就是说，第一步只能达到钢铁大国，要真正变成一个钢铁强国，我们下一步的技术改造任务还很重。

三、我国钢铁工业面临的挑战

我国钢铁工业总体上能耗高、消耗大、产品质量差、劳动生产率低。可是，我们虽然有这些弱点，这些年为什么还能发展呢？主要原因有 4 个：一是国内经济发展快，需求量大，这对钢铁工业是一个很大的推动力；二是原燃料价格低，比如煤，我国原来是 100 多元一吨，而国际上的炼焦煤一般是 60 多美元一吨，这是发展钢铁工业的一个很有利的因素；三是劳动力成本低（工资低），例如在 80 年代以前，武钢的成本中，劳动力成本不到 4%，而工业发达国家，像日本、欧洲、美国，炼一吨钢的工资成本是 100 多美元，占 20%~30%，现在武钢职工工资增加了，大概占总成本的 8%~10%，和国际上比，工资还是低水平；四是国家政策保护，主要是实行进口许可证制度和提高关税。今后，这四个方面的因素将发生变化：

1. 国内市场对钢材的需求将向高档化发展。我国原来的工业比较落后，机电设备不需要用高档的钢材制造。像武钢硅钢厂，在投产的初期，生产出来的冷轧硅钢片销售量很少。因为当时我国所有的电机厂都是按热轧硅钢组织生产的，如用同样的模具用冷轧硅钢制造电机，成本就会高很多，而它的产品不需要用这么好的材料做。要使用冷轧硅钢，必须减小电机体积，要改设计和模具。可现在就不同了，我国许多制造厂引进了新的生产线，按国际标准生产产品，需要高性能的硅钢，所以武钢冷轧硅钢厂产品成了全国最俏销的钢材之一。现在冷轧硅钢与热轧硅钢价格拉得很大，去年冷轧取向硅钢出厂价不过 1 万元/吨，但在市场上炒到 1.7~1.8 万元/吨。就是说，国内市场也是会发生变化的，因技术进步与增加出口的需要，质量达到国际水平的高档钢材将大幅度增加，而低档钢材的需求量将减少，出现高档钢材紧缺与低档钢材滞销并存的局面。所以，今后并不需要普遍增产各类钢材，而是紧缺的增产，滞销的减产。

2. 原、燃料价格便宜的局面目前已部分消失, 能源价格低的局面也将不复存在。因为我国贫矿多、富矿少, 开 3 吨矿石才选一吨精矿, 而其它国家, 像澳大利亚、巴西, 矿石品位高, 露天矿开采出来就能用, 不需要选矿, 所以, 我国矿山的劳动生产率比有些国家低得多。例如巴西的一个矿山公司, 年产 1200 多万吨矿, 人员一共只有 1400 人 (包括生产、销售、各地办事处人员), 生产人员不到 1100 人, 1 人 1 年生产 1 万多吨矿石, 劳动生产率非常高, 而武钢矿山总人数是 2.8 万人, 一年开采出来的矿石能生产精矿 300 万吨, 按巴西的标准, 矿山最多只需 400 人。这个比例悬殊太大, 所以, 我们的矿石成本非升高不可, 下一步原、燃料便宜的局面就要消失。

3. 劳动力成本低的情况也将逐步消失。现在, 我国职工的工资在逐年提高, 而我国劳动生产率低, 所以随着工资的增长, 劳动力费用在产品成本中的比重将会逐步升高。

4. 国家政策保护的优势即将消失。从我国经济发展与改革开放的形势看, 参加世界贸易组织是大势所趋。到那时, 许可证制度和关税壁垒将逐步取消。尽管参加世贸组织以后, 对幼稚的民族工业还可以有一定年限的保护期, 但我国年产钢 9000 多万吨, 就不是幼稚工业了。所以, 到那时, 我国钢铁工业将直接参与国际市场竞争, 如不采取有力措施, 将有部分工厂面临倒闭, 弄不好甚至可能部分行业全线崩溃, 现在必须充分认识到形势的严峻性。

从总体上看, 我国钢铁工业将面临以下几个方面的挑战。

1. 新的工艺技术革命的挑战

自从 20 世纪初世界上出现钢铁联合企业以来, 钢铁工业的发展就世界范围讲已经历了两个阶段, 目前正在走向第三个阶段。

本世纪早期的钢铁联合企业, 即 30、40 以及 50 年代初钢铁联合企业的基本工艺流程: 高炉 (小) ——平炉——铸锭——初轧开坯——轧钢。到二战结束后, 世界经济开始复苏, 各钢铁企业不断进行着技术开发, 力图以增加设备能力、连续生产、提高速度为手段, 达到大批量生产的目的。50 年代以后, 世界钢铁工业出现了两个革命性的变化: 一是氧气转炉的出现, 它使炼钢工艺无论是生产率还是产品质量都上了一个大的台阶; 另一个就是连续铸造的出现, 使钢铁工业成材率提高了 10% 以上。这两项技术革命使世界钢铁工业的发展进入了第二阶段, 出现了现代化的大型钢铁联合企业。其特点是设备大型化、连续化、高速化、氧气转炉代替了平炉, 连铸代替了铸锭——初轧开坯, 同时使用了计算机。60 年代以后, 世界钢铁工业发展很快, 也是和这套新工艺的形成分不开的。最明显的例子是日本。日本在第二次世界大战以前年产钢量才 700 多万吨, 二战后钢铁厂遭到破坏, 50 年代钢铁工业正处在恢复中, 起步低, 技术水平也不高。奥地利开发的氧气转炉技术实际上在 50 年代就已经成熟, 开始向外出售这项新技术。他们首先到中国推销他们的专利, 当时我国正在学苏联的平炉, 没买这项技术。到日本, 日本人就买了, 并且很快在全国推广。连铸技术前苏联在 50 年代就进行了研究, 但真正工业化搞得最早的是前西德。后来日本人也引进了连铸技术。所以, 氧气转炉和连铸技术是使日本钢铁工业很快发展起来的两个关键技术。

下一步的趋势, 除了继续进行技术改进, 使工艺过程进一步完善化以外, 正在酝酿着两个革命性的技术进步: 一个是将高炉、烧结和焦化综合为一个工序, 即熔融还原; 另一个是把连铸和热轧合在一起, 形成一种叫做“近终形铸造”的工艺。这是当前钢铁工业新工艺技术革命的两大热点, 下面分别

进行说明。

(1) 熔融还原和直接还原工艺

对于炼钢以前部分，将烧结、焦化、高炉综合为一个工序——熔融还原。

目前，世界各国正在进行试验研究的熔融还原方法很多，较出名的有十几种，国际上认为比较重要的有 6 种：

COREX 法。这是奥地利的专利，是在德国人研究的基础上搞成的。1980 年完成方案研究，1985 年前后建立了一套年产 6 万吨的试验装置，1990 年在南非建成一套年产 30 万吨的工业生产设备，现在建的是为韩国浦项公司设计的一套年产 80 万吨的生产装置。

Hismelt 法，又叫 CRA - Midrex 法。于 1982 年建立了一个 10 吨的试验装置，1990 年建立了一套年产 10 万吨的试验装置。

DIOS 法。1987 年前由日本一家公司发起研究，以后参加研究的共有 8 家钢铁公司，并得到日本政府的资助。1988 年建立了一个 5 吨的反应器，进行试验研究，1993 年进行了日产 500 万吨规模的半工业试验。

CCF 法。这是目前在欧洲由意大利、荷兰、英国等国家合作研究的项目之一，参加的公司有埃尔瓦公司、霍戈文公司、英国钢铁公司等。现已完成方案研究，计划于 1995 ~ 1997 年建立两套每小时生产 5 吨熔融还原铁的试验装置。

JUPITER 法。也是目前在欧洲研究的一种方法，由德国蒂森公司和法国索拉克公司联合进行研究。现已完成方案研究，计划于 1997 年建立一套年产 30 万吨的示范装置。

美国的 AISI - DOE 法。这是一种直接炼钢法，是由美国钢铁学会与美国能源部合作投资 1 亿美元进行开发的。于 1986 ~ 1990 年确定方案，从 1990 年起用每小时生产 5 ~ 10 吨的试验装置进行试验，计划在 1995 年以后进行进一步的研究。

在各种熔融还原方法中，进展最快的是 COREX 法，目前在南非建立的一套年产 30 万吨装置已经用于工业生产，其它熔融还原法还没有达到工业生产的程度，而且生产的铁水含硫高，炼钢前必须进行脱硫处理。

COREX 法生产的产品——铁水的成分和温度都和高炉差不多。但是，COREX 法生产 1 吨铁水需耗煤 1180kg，耗氧气 609m³，消耗太高。而高炉，现在炼 1 吨铁的燃料消耗，一般是 500kg 左右，而且高炉生产能力大，一座大型高炉日产量可达到 1 万吨，这些是 COREX 法目前无法比拟的。以往认为，COREX 法与高炉法相比，最大的优点就是不需要焦炭，只用煤。但也不是什么样的煤都行，它对煤的品种、质量有要求。而且要求用好的块矿，哪有那么多好的块矿？天然块矿不够用，到最后只能用人造块矿，所以造块（球团）工艺还是省不了。

此外，同样是为了达到缩短工艺流程的目的，还在对各种直接还原工艺进行着研究开发。直接还原工艺实际上很早就有了。现行的直接还原工艺有煤基直接还原和气体直接还原两类。目前世界上应用直接还原法最成功，生产规模最大的是 Midrex 法用天然气还原的工艺。其它还有回转窑法、竖炉法、热压团块法等。用这些方法生产的海绵铁或金属化球团。再一个就是美国纽柯公司计划在特利尼达建立的生产 Fe₃C 的工厂，也是属于直接还原一类的。它的产品含 C 大概是 6% ~ 7%。他们准备用这种 Fe₃C 来代替废钢。

尽管到目前为止，还没有任何一种方法能够取代高炉，但熔融还原、直

接还原工艺仍然是很有吸引力的，国际钢铁界都把它看作应付面临挑战的手段，花大力气进行着广泛、深入的研究开发。将来的目标是用直接还原或熔融还原工艺取代高炉炼铁，缩短钢铁生产流程。这一目标的实现将是钢铁生产中一次革命性的飞跃，现在这个技术革命的苗头毕竟已经出现了。

今后，熔融还原或直接还原工艺能否取代高炉，实现以煤（或还原气）和矿石直接炼铁，达到取消焦炉和烧结机、球团设备，缩短工艺流程的目的，还有待于对这些新工艺的进一步开发。熔融还原、直接还原工艺要取代高炉，燃料消耗必须降低、产品质量和产量必须提高，而要到这点，在今后必须有新技术突破。另一方面，高炉工艺本身也还在进一步完善化。总之，在面临挑战的形势下，炼铁方面存在着寻找一条可替代高炉的工艺路线和使高炉工艺本身进一步完善化两条工艺路线的竞争，竞争的结果将取决于这两条工艺路线今后各自的技术进步。

（2）近终形铸造

炼钢以后的部分，下一步的革新是要把铸锭——初轧开坯——热轧粗轧——热轧精轧这些工序综合为一个工序，叫做“近终形铸造”。

现在，连铸已在世界范围内得到推广。薄板坯连铸在美国的纽柯取得了很大的成功，并在北美得到迅速发展。近终形铸造还处在试验研究阶段。

薄板连铸现在推行的有两套工艺。一个是 CSP 流程，铸出来的是 50mm 厚的薄板坯，经过均热炉，进精轧机，直接轧制成钢卷；另一个是 ISP 流程，铸出来的板坯先经过热轧机

（HRM），然后经过感应加热炉、钢卷箱，再进连轧机轧制成钢卷。实际上，现在发展最快的是 CSP，美国纽柯公司就是采用的这套工艺。

还有一个工艺，叫带钢铸造（Strip Casting），通过连铸直接获得带钢。不过，仍处于开发阶段。

带钢连铸的生产成本是很高。从建设投资费用方面看，按每吨产品计算，带钢连铸也并不比现在的常规连铸工艺便宜，只有薄板坯连铸单位产品基建投资最低，只是常规钢厂的 45% ~ 55%。就生产周期和管理费用来讲，薄板坯连铸和带钢连铸都比常规工艺强。但带钢连铸今后能否推广，还要看以后进一步的技术开发。

总的说来，在上述连铸连轧新工艺中，目前发展最快的是薄板坯连铸连轧新工艺（CSP）。美国纽柯公司按这套新工艺建立的两个薄板坯连铸连轧工厂已在正常生产，并且年产热轧板突破 400 万吨规模。由于缩短了工艺流程，与常规工艺相比，这种新工艺显示出巨大的优越性：投资省、建设速度快、劳动生产率高、成本低。

上面着重讲了世界钢铁工业发展的三个阶段。就世界范围而言，目前已进入第二阶段，并出现了新的技术革命的苗头，正在酝酿着向第三阶段过渡。我国钢铁工业是多层次并存的局面，除少数大型骨干企业已进入第二阶段以外，大多数企业实际上还处在第一阶段向第二阶段过渡的时期。为什么我国钢铁工业技术经济指标落后？为什么有的企业日子难过？根本原因就在于技术落后。在当今国际市场竞争中，是技术进步决定一切，人员素质决定一切，不加速对先进、成熟工艺的采用、掌握，不加速对新工艺的开发，将来我国钢铁工业在国际市场上就没有竞争力。

2. 资源不足的挑战

我国钢铁工业已达到年产钢 1 亿吨左右的规模，要支持这样庞大的钢铁

工业，我国自然资源的蕴藏量相对说来是不足的。下面对与发展钢铁工业密切相关的几项主要资源的状况进行分析。

（1）铁矿石资源

同前苏联、澳大利亚、巴西、加拿大、印度、南非、美国等国家相比，中国的铁矿石资源相对贫乏，但目前我国钢铁产量却超过了这些国家，所以进口铁矿石是不可避免的。要进口矿石，就要花费大量外汇，要有外汇，就必须有一部分钢铁产品出口，而我国钢铁产品要打入国际市场，不依靠技术进步是不行的。

（2）能源资源

中国主要能源资源的情况是：煤炭地质储量为 986.3 万亿吨，其中相当于世界能源委员会定义的探明储量约占 30%，探明可采储量为 114.5 万亿吨；石油资源量为 615~940 亿吨，天然气资源为 38~60 万亿 m^3 ，世界能源委员会估计分别为 32.6 亿吨及 1.127 万亿 m^3 。

到 2000 年，我国煤的需求量是 14 亿吨，这有可能达到；油是 2 亿吨，这不可能达到。实际上，到 2000 年除了煤有可能满足需求外，其它的像油、气等都不够。所以，能源不足将是我国钢铁工业发展的限制性环节。

（3）水资源

根据多年的统计资料，我国年平均降雨量指数为 648mm，比全球平均低 20%。年绝对降雨量为 6190km^3 ，其中 56% 蒸发。河川年平均径流量为 2710km^3 ，其中包括地下水补给量约 730km^3 。地下水资源约 830km^3 。我国年水资源总量约 2810km^3 ，流入海洋和出国界约 2310km^3 ，陆地水资源为 500km^3 ，人均占有水资源 2730m^3 ，仅为世界平均水平的 25%，居世界第 108 位，实际上属于缺水国家。而且我国水资源分布不均匀，南方多，北方少，北方为 14.4%，南方为 81.0%。在北方广大地区，人民生活用水都感到困难。随着人口的增加，水资源将更趋紧张。这也是发展钢铁工业的一个不利因素。

（4）其它资源

在土地、耕地、森林、草原面积和淡水资源等关系到国计民生的几项主要自然资源的人均占有量方面，我国都远远低于世界平均水平。因此，如何最有效地开发利用和保护我国有限的自然资源，是摆在我们面前的迫切任务。长期以来，我们靠高投入、高消耗、多污染来换取经济发展的高速度，现在这种粗放型的发展方式再也不能继续下去了，必须转变到集约化的发展方式上来。

3. 市场经济对传统的计划经济管理方法、管理思想的挑战

市场经济要以市场需要为导向，要求生产的产品适销、对路，以加速资金周转，提高经济运行效率，而计划经济则是按政府主管部门制定的计划组织生产，不管市场是否需要。由于供求脱节，造成盲目上规模，片面追求产值、速度等弊端，结果产值、速度实现了，但产品卖不出去，库存增加，资金周转困难。我国工业企业产品质量差、技术进步缓慢、效率低下、人浮于事、机构臃肿等现象，都是与计划经济体制有关的。这种经济体制，完全不能适应今后参与国际市场竞争的需要。长期以来，我国学习前苏联的计划经济，已经形成一套完整的体系，现在要建立社会主义市场经济，由于牵涉到管理体制和思想观念的转变，所以决不可能很顺利，也决非短时期内可以完成的，必须花力气、花时间。

科学技术是第一生产力，要发挥第一生产力的作用，管理体制、管理方

法、管理人员的素质必须与生产力相适应，否则就会成为障碍。建立与社会主义市场经济和现代生产力相适应的新的管理体制，采用新的管理方法和提高管理人员的素质，是我们今后必须长期奋斗的目标。

四、我们的对策

从总的情况看，自从党的十一届三中全会以来，我们国家经济增长特别快，钢铁工业的发展举世瞩目，这些成绩是伟大的。但是，我们同时也应看到不足之处，特别是在怎样和国际市场相适应的问题上。要改变现状，迎接挑战，最根本的是把我国的钢铁工业由粗放型（高投入、高消耗、低质量）追求规模、速度的发展方式，转移到集约型（低投入、低消耗、高质量）的追求质量效益的发展道路上来，把钢铁工业的经济增长转移到依靠科学技术进步和提高全员素质的轨道上来。我国钢铁工业发展的资源不足，但并不是不能发展。日本地方小、人口多、资源贫乏，但它能成为资本主义世界第二经济大国，靠的是先进技术和先进的管理。在现代经济的发展中，科学技术和人员素质是决定一切的。为了实现这一转移，我认为应重点抓好以下几个方面：

1. 抓好现有钢铁企业的技术改造，实行企业改组和产品结构的调整

对企业产品结构的调整要从市场需求出发，使产品结构与市场结构相适应。考虑到我国国民经济的层次性，产品质量可以分成不同档次，分别满足不同的市场需求。但是，其中一部分企业的产品结构和实物质量必须达到国际先进水平，能够参与国际市场竞争，出口创汇；另一方面，满足国内市场对高档产品的需求。在国内市场上，钢铁产品（包括高档产品在内）的自给率要达到 95% 以上，我国钢铁工业才算真正强大起来了。只有国内需求量不大的产品才可以不生产，靠进口作为必要的补充。其它企业的产品结构也必须适应国内市场需求。国内市场也是在不断调整变化的，随着工业化的进展，对高档产品的需求将越来越多，所以一切企业都要不断改善产品结构，提高产品质量。根据目前情况要调整产品结构，就要对企业进行改组和技术改造。要根据产品结构要求，对工艺流程进行分析，找出薄弱环节，确定改造内容，据此制定切实可行的技术改造计划。

2. 大力采用新技术，加速技术进步

对国内外成熟的新技术、新工艺，要大力推广、引进，并在此基础上进一步开发、创新，以提高产品质量，降低消耗，改善技术经济指标。如矿石处理技术、精料技术、高炉喷煤技术、长寿技术、炼钢工艺优化技术、高纯净钢冶炼技术、全连铸技术、轧钢工艺连续化技术等，应优先采用。这些先进技术的普遍推广，将使我国钢铁工业向现代化迈进一大步。

3. 加强企业管理

重点抓好质量管理和设备管理。质量管理是企业管理的核心，因为企业是商品生产者，只有给用户提供优质的产品和服务，才能占领市场，取得较大的经济效益。设备管理也很重要，不使设备经常处于完好状态，企业就不能维持正常生产。现代化、自动化的设备对管理的要求更高。要建立有效的产品质量保证体系和设备管理体系，使设备处于完好，充分保证质量要求的状态。

4. 增大科技投入，加强科研开发

科学技术是第一生产力，科技投资是最有效的投资。工业发达国家，如

日本，每年用于研究开发的投资占销售收入的 3% 以上，大钢铁企业都设有完善的研究开发体系。随着企业经济实力的增长，我国企业要逐步加大对科技开发的人力、物力、财力投入，建立健全研究开发体系，使企业真正成为应用研究和开发的主体。

5．加强职工教育，提高人员素质

要加强对企业职工的培训 and 工程技术人员的继续工程教育，建立企业内的终身教育体系，把提高全员素质作为迎接市场挑战的第一位措施。市场竞争是产品的竞争，而产品的竞争又是科学技术的竞争，科学技术的竞争归根到底是人才的竞争，企业以人为本。抓好了人员素质的提高，就是抓住了根本，就能够在今后的市场竞争中立于不败之地。

过程的放大与优化

袁渭康

华东理工大学

袁渭康 化学工程专家。1935 年 7 月 1 日出生于上海市。1962 年华东化工学院研究生毕业。现任华东理工大学反应工程国家重点实验室主任、教授。1995 年当选为中国工程院院士。主要从事化学反应工程和化学反应器等方面的研究和开发。

“过程”是制造业普遍应用的一种加工方式。如果将制造业按所采用的主要加工方式加以大略区分，则主要为过程工业和加工工业两大类。前者通过各类加工过程实现，如冶金和材料工业，化学工业，食品工业等，后者则以各类加工工序为主，如机械工业，电子工业等。

对于加工过程为主的工业，统称为过程工业，其相应技术，则为过程工程，如冶金工程，化学工程等等的统称。

过程工业与加工工业相比有下列特点：

1. 过程工业主要通过加工过程来实现工业生产，而不是通过加工工序来实现。如炼铁过程是通过高炉中的反应过程来实现的；石油化学工业中的石油裂解也是通过裂解炉中的反应过程来实现的。与此不同，加工工业则是以机床、焊机等工具的加工工序来实现生产。

2. 与之相应，过程工业的大型化主要依靠设备大型化，而主要不是依靠增加设备数来实现。例如大型钢铁厂主要依靠个数极少的大型高炉来体现效益，而绝不能依靠众多的小高炉；同样石油化工厂也往往是依靠一个大型裂解炉。而加工工业的设备除了采用先进技术（如程控技术）外，大型化十分重要的手段是增加设备数，当然也包括同一设备同时进行若干种加工工序的能力。

3. 过程工业的产品往往以重量或体积计，如以吨、立方米等以计量钢铁、水泥和各种化工产品，而不是如加工工业的产品往往以件数计，小到螺钉，大至汽车、飞机等。

因此，过程工业与加工工业不同，存在一个设备放大问题。现代过程工业的标志之一是设备的大型化，即用一套大型设备实现大规模生产。大型化的合理性十分易于理解，因为大型化可以省投资，省原材料，省能耗，省人力。随着技术的进步，这种符合经济合理性的工业规模还有不断增大的趋势。例如合理规模的单套乙烯装置生产能力从 30 万吨/年，提高到 45 万吨/年，又提高到 60 万吨/年，并有进一步提高的趋势。当然，设备放大以后还必须保证经济上的合理性和各项指标的先进性。但是往往由于放大，有一些指标趋于合理，如能耗一般可以降低。但另一些指标，如反应产物的收率等，由于在大型化以后，操作温度等条件不易控制而往往有所降低，这就是通常所说的“放大效应”。放大效应被认为是一种弊端，似乎总是与大型化伴生的。我们的一个重要任务就是尽可能使这些指标在过程放大后仍保持一个较高水平。另一个现实是，一个实际过程，通常不能处在最优的操作状态下。这是因为过程的复杂性和人们的认识能力限制所决定的，何况过程的一些参数会随时间变化（如催化剂的失活）。即使今天找到了最优条件，明天还可能发

生变化。因此存在一个寻找最优的操作条件使过程不断优化问题。这一想法是有可能实现的，因为一般来说，过程的操作条件（如温度、压力、浓度、流量、pH 等）允许在一定范围内调节以便寻优。这是过程工业的又一个特性——可调性。

一、过程普遍存在

过程是普遍存在，广为应用的。例如，旧日上海居民使用的煤球炉中所进行的是一个燃烧过程，属于气固化学反应过程；煤球炉实际上是一种移动床反应器，结构上与高炉有相仿之处。生物发酵罐中进行微生物发酵过程。大型生物工程生产显然不能依靠增加发酵罐数，而应使发酵罐大型化。上述两类过程虽然表现得完全不同，但从本质上来说，在两种设备中进行的不外乎下面两类过程：

1. 传递过程，包括流体流动过程，传热过程和传质过程，属于没有物系组成变化的物理过程。

2. 化学反应过程，属于有组成变化的化学过程。

很多过程都是这两类过程的不同组合：小至观察尺度为分子级的薄膜镀层（如 CVD 方法 GaAs 薄膜制备），大至大气中 SO_2 的传递。此外还有一些过程，如处理矿物原料的粉碎过程，浮选过程等，以及颗粒状物料的输送过程和分离过程等，这些都属于机械过程。当然现代工业很少是以单个过程来实现生产的，而是由多个过程组合构成过程群，或系统来实现。

化学工业是一种典型的过程工业。化工过程也完全是由上述几个过程组成。化学工业中常见的是将原料预热到一定温度（传热过程），然后在反应器中进行化学反应（化学反应过程），经过反应的产品中必然有所需要的目的产物，以及并非主要目的的副产物，以及未反应的原料。这类混合物需要经过一个分离器，如精馏塔，吸收塔等进行分离（分离过程，或传质过程）。由于分离过程还不能获得纯净的目的产物，有时尚需进一步提纯（又一个分离过程）。与此相似的是，冶金工业也往往是以这类传热、分离和反应过程为主体组成的：高炉可看作是个相当典型的化学反应器。以化学工业为背景，发展了化学工程学科，其主要内容为传热、传质和动量传递（传动）以及化学反应。实际上化学工程的应用范围已远远超越了化学工业，而是成为过程工程的核心。例如火力发电厂排出的大量含 SO_2 废气，对大气产生污染。将 SO_2 从排气中脱除，甚至予以回收利用，也是通过这些化工过程来实现的。然而这些过程有一个共同点，即在实验室中，这些过程的实施多少是比较容易的，或在实验室的理想条件下，可以获得比较理想的指标。另外，实验室的规模和条件，可以使很多过程在间歇条件下实现。但是在工业生产中，这些过程可以比实验室中进行的同一性质过程大数万倍，甚至数十万倍。在小型设备中可不予考虑的温度和浓度不均匀性在大型设备中存在并且影响指标。并且大型过程多数是连续的。因此，将在实验室中所获得的结果在工业规模实施就成了一个完全不同的问题。因此，用最廉价的方法，在最短的时间内，最高质量地将过程大型化，就成为过程工程师的任务。

二、过程的开发和放大

本文所指的放大实际上有两重意义：设备的选型和放大。这一过程也可称作开发。

实验室中的过程通常是在尽可能简单的条件下进行，并尽可能地排除对过程产生不利影响的因素。例如，一个催化反应需在一定温度下进行。在实验室条件下加热到这一温度是毫无问题的。将催化剂破碎到一定粒度，可消除反应物在催化剂内的扩散阻力以利传质。将催化剂装入一个细小的反应管内，使其维持等温条件，也毫无困难。这样化学反应就可在所寻找到的优化条件下操作以期得到最好的结果。实验室化学家的任务是制备催化剂，筛选出最好的催化剂，并实验获得反应物浓度，流速和反应温度之间的适宜关系。在化学家的工作基础上，过程工程师的任务是：

1. 选择最适宜的工业反应器型式，或称选型。

选型过程包括对多种因素的综合考虑。例如，所能达到的指标，设备投资，能耗和操作费用，设备制造和材料，环保和安全性，操作和控制以及人员素质，等等。在权衡了种种得失以后作出的选择反映了工程师本人的知识、经验和思维能力。

2. 根据所选定的反应器型式，通过实验、计算、或其它可以利用的一切手段，在最短的时间内，用最少的投资，进行设备的放大，最后提供工业反应器的设计，供设备制造工程师用。此谓放大。

当然这两者是交叉的。最初的选型可以在放大过程中被认为不合适而被放弃，并考虑另一种选型。如此反复，直到获得最好的方案。

放大的方法可以归纳为：

(1) 逐级经验放大

在确定选型以后，一种最为传统的方法是通过从小型试验，稍大规模的试验，中间试验，扩大中间试验，逐级地实现大型工业生产。这种通过多个试验层次的放大过程必然是耗时费资的。并且，虽然这一过程也可以凝聚着过程工程师的知识和积累，但毕竟由于放大完全是以经验为基础的，必然带有不同程度的盲目性。在过程工业发展的早期，经验放大几乎成了唯一的方法。随着过程工程技术的发展，在今天经验放大显然是并不可取的。但对于一些过于复杂的、人们认识甚少的过程，有时还不得不求助于经验放大。

(2) 数学模拟法放大

一种近年来被大为提倡的放大方法是建立数学模型（一组数学方程）对过程进行描述，并通过不同规模的实验以确定模型的参数，然后通过计算机模拟过程大型化后的各种行为，以确定放大的准则。这种放大理应是合理的。然而事实表明，单纯地用数学模拟法放大的成功例子甚为罕见。其原因是：

由于实际过程通常极为复杂，而人们对它们的认识往往还不够系统和全面，因而为数学模型的建立带来困难。

即使对复杂的实际过程已完全了解，数学模型的建立必须作出不少简化假定；因而为了便于描述，很可能得到了过度简化的模型。

实验测定的模型参数的可靠性往往受实验手段的限制和实验过程中噪音的干扰，因此模型参数存在或多或少的不确定性。

由于数学模拟法放大只能适用于人们对过程的认识已相当透彻，参数的测定相当可靠的场合，因而即使是在工业发达国家，完全依靠数学模拟法放大的案例也比较罕见。比较现实的方法是，利用数学模型，但也需依靠一些实验或经验结果以实现放大。

(3) 以“实验方法论”为基础的放大

以上两种放大方法是就两类极端的类型而论的。经验法主要是用于异常

复杂，人们知之甚少的过程；数学模拟则主要用于人们已相当透彻了解的过程。实际情况是，大量的过程介于这两类极端情况之间。对于这种为数众多的中间类型过程，应充分利用已有的理论，并根据实验方法论的原则组织实验，据此进行放大。

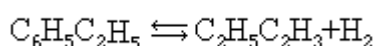
实际过程种类繁多，性质各异，难以归纳出可以适用于各种不同过程的通用步骤。实验方法论提供了一些考虑问题的原则和基点。它们包括过程的简化、分解和综合，过程的敏感性分析，工程问题特殊性的分析和利用，冷模实验的组织，预实验和系统实验的组织等。实验方法论包括了利用尽可能简单实验方法进行预实验（包括认识实验，析因实验和鉴别实验），以获得对过程的初步认识，并以此为据作出采用哪一类放大方法的决策。这里所谓的主要方法包括两大类：以寻找放大判据为主的实验方法，以及以敏感性分析和简化模型为主的简化模型方法。根据不同过程的特殊性以及放大中对过程中了解的深化以决定是否需要经过中试以检验放大方法的可靠性，最终再进行放大。这一工作程序可见图 1。

三、两个过程放大的案例

这里简述两个由华东理工大学反应工程国家重点实验室（REL）进行放大的案例。在放大中已初步考虑到优化条件确定，因为这两者是不可分离的。

1. 案例之一：乙苯脱氢反应器的放大

在铁系催化剂存在下，乙苯可以在 550℃ 上下脱氢生成苯乙烯，这是一种重要的合成材料原料。其主反应为：



其它尚有一些副反应，产生一定量的副产物。一个成功的放大应该获得高的产物收率和选择性，能耗应尽可能低。由于这是一个可逆的吸热反应，反应过程中体积增大。为了利用反应混合物自身供热，用高热容的水蒸气稀释反应气体，以维持比较适宜的温度。考虑到反应过程中气体体积增大，操作压力应是一个敏感的条件，负压操作是有利的。

遵循教科书上的方法，则必定先测定反应动力学，建立动力学模型，然后建立反应器模型（微分方程型），通过计算机模拟进行放大。但是这样的方法除了耗资费时外，结果尚不可靠。如果妥善组织实验就可以在很短的时间内成功地完成开发，获得满意的指标：

（1）工业中最简单的实现这类反应过程的反应器是绝热反应器。对绝热反应器，反应结果将唯一地由进口条件决定：

$$Y = F(T_0, SV, R, P)$$

这里 Y 表示反应结果，如转化率、选择性等， T_0 为进口温度，SV 为空速，R 为浓度（水烃比），P 为压力。这样就可以免去先测定动力学，然后进行积分。上述关系可简单写作代数型。

（2）从本问题的工程约束来看， T_0 不能过高，一般在 630℃ 以下，R 不能太大，一般在 1.5 上下，转化率至少应在 50% 以上，选择性应在 92% 以上。由于这些工程上的约束，这一系统的操作只能在一个相对狭窄的范围内。因而一个原来是非线性的问题可简化为一线性问题。上述关系可简化为一线性代数型方程。通过最普通的实验设计（如正交设计）即可获取优化条件。

(3) 大型装置的实现需保证气体均布。本案例为实现负压低压降操作, 采用径向反应器, 通过大型冷模研究气体的均布方法以完成反应器的放大。

放大后的工业规模反应器, 完全实现了小试的指标。这体现了一个通过工程特征分析建立简化模型进行放大的实例。

2. 案例之二: 丙烯氯醇化过程的放大

丙烯和氯在水中反应生成氯丙醇是环氧丙烷生产中的一个反应过程。其大致的反应步骤为: 氯溶于水生成次氯酸, 丙烯与次氯酸反应生成氯丙醇(简称醇)。主要副反应是丙烯直接与氯反应生成二氯丙烷(简称烷), 另一个副反应是氯丙醇与丙烯继续反应生成二氯异丙基醚(简称醚)。合理的反应器应有高的醇选择性, 低的烷和醚的选择性。

(1) 小试发现, 气相丙烯和气相氯极易产生烷。因此大装置应避免丙烯和氯直接接触。溶氯应与反应分离。

(2) 溶氯是一个快速过程, 因而其速率取决于气—液接触界面积。醚的生成是一个相对缓慢的反应, 生成量与反应器体积有关。因而溶氯器应具有大的气液接触面积, 小的体积。

(3) 为避免过量醚的生成, 应保持醇的低浓度, 因而多级反应器应是理想的选择。

通过实验寻找放大判据, 主要是实验获得一个合理的喷射式溶氯器的放大依据, 成功地实现了放大。这体现了一个通过寻找放大判据进行放大的实例。

四、过程优化

优化显然指对一定的目标函数的优化。这些目标函数一般是指过程的某项重要经济指标, 或经简化后得到的一些关键操作指标, 如产品产量, 纯度, 产物收率, 能耗等。过程的优化包括两类: 离线优化和在线优化。前者一般可理解为先验优化, 绝大多数为定态优化, 即在实现过程以前已先验地设计好优化条件, 然后在过程实施中予以实现。在线优化是在过程进行之中, 经过对过程行为的观察和了解, 然后逐步地进行优化。在线优化是目前公认的一种先进的动态优化方法, 即利用计算机在线地采集动态操作数据, 进行系统的状态和参数的辨识, 作为优化的依据。离线优化是一种比较早期的方法, 它的效果对于大系统和大型过程甚为明显。主要原因是, 对于大型过程, 即使是一个相当小的百分比的优化, 对于降低原料消耗和能耗意义却是巨大的。另外, 现代过程通常都不是单一的, 而是由多个过程所组成的系统或大系统。系统有如下特性:

1. 对于大系统(大量的单元过程, 性质相同的和性质不同的过程的组合), 通常是难以通过人们的经验和知识判断如何进行优化组合的。用计算机进行组合过程的模拟(或称流程模拟), 是一种很有效的定量方法。目前已有各类商业化的流程模拟系统, 如 ASPEN PLUS 和 PROCESS 等, 可以提供离线优化的基础。

2. 组成系统的各类单元过程有各自的优化问题。但是单个过程的优化往往以系统优化为前提, 即系统的优化并不意味着每一个单元过程都处于优化状态。因此单元过程的优化应受到系统优化的制约; 在单元过程的优化时不能脱离系统优化的前提。

3. 系统和单元过程的优化都是以模型为基础的, 以一个单元过程构成一

个“模块”，每一模块可以包含为数众多的方程。如一个精馏塔模块就包含数十以至数百个代数方程，用以描述精馏塔的定态行为。单元过程优化以模块为基础。

4. 以模块为基础的单元过程优化，构成了系统优化的序贯法和联立模块法。但系统优化是以系统为基础的，重点并不在于单元过程的优化，当然大量的系统优化问题并不与单元过程优化相矛盾。因此，理想的系统优化方法是联立方程法。联立方程法可以跨越单元化的局限。

离线优化需要单元过程模型和大量的计算，从已有的软件和现有的计算机水平来说，这已不是什么困难。但现有的通用商业软件一般并不提供一些特殊或专用过程的模块。有关这些模块需使用者自行开发。

尽管离线定态优化有其非常可观的实用价值，但是也存在一些比较明显的不足之处，这通常是由于一些过程的不确定性质引起的：

(1) 先验的优化是以模型为基础的。由于对过程了解存在或多或少的不足，先验的优化往往不能反映出真实的优化状态。这主要由于用于先验优化的模型往往只是实际过程的过度简化。由于过度简化，模型对实际过程的描述能力显然受到限制。这是模型不确定性的结果。

(2) 模型中必然包括一些参数，或由文献和数据库获得，或需由实验测定，或由现场采集的数据关联而得。这些参数包含了测定中的误差和噪音干扰。这是参数的不确定性。利用这些参数进行优化也必然带来一些不确定的结果。

(3) 有些过程有时变性。因此过程虽为连续，但随时间会产生一些或快或慢的变化。例如化学反应器中催化剂的失活和粉化，传热装置中传热面的结垢，原料和产品的价格变化等，都会使已完全实现离线优化的过程偏离已设定优化条件。

此外，还有一些大家都已知道的时变因素，如生产负荷的变化，操作的变化等。实现了离线定态优化的系统显然并不能适应这些时变因素，因此理想的优化方法应是在线优化。在线优化也有不同的含义：

(1) 以在线辨识所得的动态模型为基础，对动态模型的定态形式实现优化，此为在线定态优化，对慢时变过程相当有效。

(2) 在线辨识得到包括过程时变性的模型，以此动态模型为基础实现长时间范围内的优化。此类优化对间歇过程（如发酵）尤为适用。

在线优化显然比离线优化合理，但也远为复杂和困难。在线优化需要实时地决定优化策略，因此需要快速的计算机模拟，甚至像 CRAY 那样的公司也参与了过程的在线优化工作。但是目前看来比较现实的和有效的仍是单元过程的在线优化。单元过程的作用虽然是局部的，但对于一些关键的单元过程，对全系统有至关重要的影响，特别是一些反应过程（如裂解、冶炼、发酵等），其作用直接影响到全局。这些过程的优化是支配性的；其它过程的优化可以作为优化的第二层次。

图 2 为 REL 正在进行研究的在线优化方法示意图。这种在线优化属于先进过程控制的范围。将在线优化过程分为两个相：优化相和控制相。控制设定值由优化相根据过程动态模型的定态形式优化获得。控制相的一个关键部分是预测模型状态估计和在线参数辨识，并通过这一模型实现优化。这一预测模型可以是机理性的，也可以是经验性的，主要视其是否具备在动态操作

中的学习能力。

图 3 表示一个正在 REL 开发的新颖的预测模型的结构，其特点是利用 Karhunen - Loeve (K - L) 展开法压缩动态数据求取过程的特征函数以改造传统的神经网络模型，使后者反映出过程的动态特征。所开发的软件通过采集动态数据（为了在工业上实施方便，测量点数应尽可能少）进行学习，实时地提供优化设定，并进行在线优化。整个优化工作通过一个微机进行，并可以与已有的 DCS 系统兼容。

我们的初步研究结果表明，通过在线优化，已可以使一个催化反应过程的收率比通过常规方法优化的结果高 1% ~ 3%。

五、结束语

过程的特殊性决定了过程工程的方法。可以看到放大和优化都在相当程度上考虑到过程的可调性，即过程的操作变量允许在一定的范围内波动。

过程放大最重要是分析和利用过程的特殊性，这种特殊性可通过简单实验定性（或半定量）地获得。实验揭示操作变量范围对结果的敏感性影响常可获得放大的依据。但是不论某一过程的放大的依据是否可靠，在放大中应充分考虑到放大以后进行优化（经验的调优或动态的优化）的余地。

敏捷制造企业

蒋新松

中国科学院沈阳自动化研究所

蒋新松 自动化专家。1931 年出生于江苏江阴。1956 年 9 月毕业于上海交通大学。曾任中国科学院沈阳自动化所所长，国家“863”计划自动化领域首席科学家。现任该所学术委员会主任、研究员，中国自动化学会副理事长。1994 年被选聘为中国工程院院士。我国机器人事业的开拓者之一。

一、前言

一场新的工业革命正在波澜壮阔地展开，这场革命的原动力是科学与技术，而推动这场革命的直接动力是世界市场的竞争。

随着科学与技术的进步，生产得到了巨大发展。生产是为了销售，就必然要寻找市场，加上通信及航空事业的发展，给企业促销提供了强有力的手段。这一切大大加速了一个统一的世界市场的形成与发展。随着世界市场的发展，市场竞争变得愈来愈激烈。竞争推动着整个社会飞速前进，同时给企业造成严酷的生存环境，如何去适应快速变化的世界市场的需求，不断以高质量、低成本、快速开发新产品等手段，在竞争中求生存和发展，已成为企业共同追求的目标。市场竞争遵循着三条基本原则，即：一是用户选择原则；二是性能价格比为唯一选择准则；三是“优胜劣败，适者生存”。正是这样给企业造成严酷的生存环境，推动着企业以至整个社会前进。竞争是推动着历史前进的动力。

在今天，谁能把握住市场竞争的动向，谁就能了解与把握住当前世界经济发展的动向，从社会需求把握科学技术发展总方向，取得经济发展的主动权。对一个国家、一个地区、一个城市、一个企业都是这样。

市场竞争经历着不同阶段。在相当长一个历史时期内，一个产品一旦上市，它的设计或式样就是公开的，当时的技术水平也无法保密；稍后，随着技术的进步，产品变得稍复杂些了，但由于一个产品的生命周期很长，设计及开发费用也不占成本的主要份额。一般说一个适销对路的产品往往很多厂相继都能生产，因此市场竞争主要围绕如何降低成本，特别是降低劳动力成本而展开的。刚性大规模生产线就应运而生，工人束缚于以一定节奏运行的生产线旁，把人变成系统的一部分，变成了生产线的奴隶。这是产品部件化、部件标准化和泰勒的科学的科学管理思想相结合的结果，极大地提高了劳动生产率，大幅度地降低了成本。以汽车为例，它的价格不到 10 年几乎降低了 8 倍，在美国使汽车进入家庭，把美国社会变成建筑在四个轮子上的社会，由于汽车工业的兴起，带动了一大批工业的发展，推动了近代史上一场新的工业革命。

进入 70 年代后，随着电子信息技术的发展，特别是超大规模集成电路的出现，各种工艺技术及装备的进步，自动化技术的发展，产品成本组成的因素发生了根本的变化，一方面劳动力的降低已达到某种限度，而另一方面劳动力消耗已不是成本的主要因素。降低成本的焦点开始转到如何提高企业整体效率及效益，如：采用准时生产制（JIT），压缩在制品，压缩库存，减少

流动资金，提高资金周转率，进行均衡生产；采用精良产生原则，去掉一切不产生价值的环节；引进自动化装备及系统，进一步提高劳动生产率、管理及生产水平；实现全面质量管理（TQM），提高质量等；另外，增强新产品开发能力，也开始为人们所注意。

进入 80 年代后，用户对产品要求不断地提高，加上技术进步及竞争对手不断的增加，工厂的一切活动开始转到以满足用户要求为核心的竞争，改进 TQCS 成为企业赢得竞争的主要手段，这里 T：指按合同及时交货或新产品上市时间；Q：指质量；C：指成本；S：指售前咨询服务及售后维护、升值服务。

在这一时期内，相应的各种计算机辅助工具、各种高效的柔性生产设备发展得非常快。计算机辅助工具，如：OE / SA - 客户定单管理及销售分析，MPS - 主生产计划编排，MRP1 - 材料需求规划，MRP2 - 材料资源规划，PM - 维修规划，TQC - 全面质量控制，CAD - 计算机辅助设计，CAE - 计算机辅助工程，CAPP - 计算机辅助工艺规划，CAM - 计算机辅助加工等等。各种柔性高效的生产设备，如：DNC - 直接数控，CNC - 数控加工中心，FMC - 柔性加工单元，FMS - 柔性加工系统，AMH - 自动材料运输系统，FAS - 柔性装配系统等等。此外，如何去全面提高企业经营生产的效率及效益的计算机集成制造系统（CIMS）也得到了全面推广，成为了赢得竞争的主要手段。80 年代和 70 年代相比，80 年代有了有力、可靠的工具——计算机，可以更有效地实现系统集成与优化。

进入 90 年代以来，我们进入了信息时代。信息时代更确切地说是知识的时代，知识大量的产生，而知识到应用之间的间隔越来越短，技术的发展越来越快。如何利用这些技术提供的可能性，抓住用户心理、愿望、及要求，加速新产品的构思及概念的形成，并以最短时间开发出高质量及用户所能接受的价格的“新”产品，已成为市场竞争的新焦点。为什么新产品会成为竞争的焦点？价值法则告诉我们，一个由于具有独占性技术的新产品，它的价格总是高于其价值，通过竞争价格才逐渐接近其价值。在今天当一个产品失去其独占期，就意味着这个产品生命周期的结束。因此依靠一项或几项独占性技术构成的新产品，就能获取高额利润。这反映了我们这个时代的一个基本特征，即独占性技术（知识）构成了产品的主要价值及价格。因此快速开发新产品，成为了赢得竞争的最主要的手段，而这新焦点中核心是上市时间，上市时间往往直接决定了开发的成败。围绕着加速新产品开发，新的工具软件，随着廉价高性能工作站的普及而发展得很快，已从计算机辅助“什么”（CAX）发展到“为什么性”而设计（DF - Xility），如：可加工性设计、可测试性设计、成本可计算性设计、可维护性设计等等，并在这基础上进一步发展“什么的”设计自动化（X - DA）。建筑的建模、仿真、及临境技术基础上，以减少或取消做原型机或原型系统的拟实制造（Virtual Manufacturing）也发展得很快，波音 777 就是第一架无图纸、无样机上天的飞机。这是制造技术史上划时代的成就。与此同时，加工技术及装备，诸如：精密成形技术、快速原型系统、快速制模技术、少无切削、激光加工、高压水切割等等先进制造技术及装备，也进入了一个快速发展时期。作为综合加速新产品开发过程的系统集成技术 - 并行工程（Concurrent Engineering）迅速获得了推广。并行工程已成为 90 年代企业要在竞争中赢得生存和发展的重要手段。

21 世纪即将来临，毫无疑问，技术的发展及世界市场的竞争，将沿着 20

世界 90 年代展开的道路前进，危机与机遇并存，竞争将更加激烈。所有企业将处于一个连续改变及不可预见的市场环境中，如何对现有企业进行改造与结构性调整，使之能在这样的环境中赢得竞争，求得生存和发展，成为全世界企业界所关心的问题。核心是能否抓住机遇，快速响应开发出新产品，如何使企业具有这个能力，下一世纪企业应该是怎样的模式？这种新模式我们称之为敏捷制造企业。敏捷制造企业将成为 21 世纪企业的主要模式，一个国家，一个企业能否从现有模式跳跃到敏捷制造企业，将直接决定他在未来世界中的经济地位。

二、敏捷制造

“敏捷制造”是 1991 年美国 Iacocca 研究所主持的 21 世纪发展战略讨论会历时半年形成的一份著名报告中总结经济发展现状，展视将来而提出来的，参加这次讨论会核心组的有美国 13 家大企业的行政首脑，参加讨论的有 100 多家企业及著名的咨询公司。

提出的背景

1. 前面已经说过，信息时代在某种意义上来说就是知识时代。知识到技术，技术到产品的时间越来越短。反应在产品的价值上，独占性技术（知识）构成了产品的主要价值，而一项技术的独占期也越来越短。因此，只有不断地抓住机遇（指市场及技术的机遇），快速开发新产品，才能获取高额利润，在多变的市场环境中求得生存和发展；

2. 随着人民生活水平的提高，对产品的性能和质量的要求越来越高。如何去适应用户日益不断变化的要求，以致发展他们定制的“个性化”产品，在某种意义上来说，已经是企业产品未来发展的一种方向，例如：时装业，在今天以一种式样只生产一件的承诺来吸引顾客，已经相当多；汽车制造商们也正在竞相开发顾客自行设计的系统，及基于灵境技术（Virtual Reality）的仿真实验环境，使顾客能按照自己的愿望“设计”新车，并马上就能体会新车的各种性能。企业正逐渐把满足顾客的需求看成“质量”的新内容，而把顾客的满意程度作为它的度量；

3. 由于竞争的激烈，加上新产品设计和开发的软件工具日新月异，各种新的生产工具及装备的发展，使得新产品的开发周期越来越短。加上竞争的加剧，从而使得产品的生命周期越来越短，市场也变得越来越“零碎”；

4. 随着人民生活水平不断地提高，人们对环保意识也日益增强，而政府对环保的要求也日益严厉。如何在新的要求下，设计符合环保要求的产品，成为了企业的新课题；

5. 环太平洋地区的兴起，使得有可能参与竞争的对手日益增多。

这就是在未来世纪中，企业将临的周围环境的概略描述。对一个企业来说：“一方面面临极大的机遇，另一方面又面临极大的危机”。因此如何在这样的环境中求生存和发展，对任何一个企业、地区和国家都是严重的挑战。敏捷制造就是为了适应这样的环境而总结出来的。所谓“敏捷”就是指在不可预见的多变的环境中的生存能力。

敏捷制造业的基本特点

根据上述对未来企业所面临的环境的描述，一个敏捷制造企业应具备那些特点呢，概括的来说应具备下列几点：

1. 具有能抓住瞬息即逝的机遇，快速推出高性能、高可靠性及顾客能接

受的价格的新产品的能力。这里一旦抓住了机遇，快速是带决定性意义的，因为失去了第一个投放市场，往往就意味着整个开发工作的失败。因此，要求一切工作尽可能并行进行；

2. 大批量生产系统是依靠大量生产同一产品来降低成本，由于生产批量越来越少，生产的需求和生产装备的矛盾就日益突出。敏捷制造应发展一种通过编程可重组的、模块化的加工单元，以实现快速生产新产品及各种各样的变形产品，从而使生产小批量、高性能产品能达到大批量生产同样的效益，以期达到同一类产品的价格和生产批量无关。要达到这一点，就必须研究如何把日前的大规模生产线，改造成具有高度柔性，可重组的生产装备及相应的软件；

3. 能按订单生产，以合适的价格生产顾客的定制产品或顾客个性化产品；

4. 敏捷制造不应强调全能，而强调企业间的动态合作。这是因为产品越来越复杂，任何一个企业都不可能快速地和经济地设计、开发和制造一个产品的全部。只有依靠企业间的合作才能快速投放市场；

5. 创新是企业的灵魂，而持续创新能力将是一个企业具有竞争能力的体现。但创新是不可预见的，因此创造一种企业文化，最大限度调动员工的积极性，来控制创新的不可预见性，将是敏捷制造企业的个重要标志。为此改变过去建筑在奖惩基础上的人事管理制度，建立一种能充分调动员工积极性的人事管理制度也将是敏捷制造企业的标志；

6. 敏捷制造企业中，由于组织和设备都是可重组的，借助企业间的动态联盟，生产设备及生产能力几乎可以不受限制，而受限制的因素主要是人。因此，在未来的敏捷制造企业中，将把具有创新能力和经验的员工看成是企业的主要财富，而把对员工的培养和再教育作为企业的长期投资行为。

7. 敏捷制造要求和用户建立一种完全崭新的“战略”依存关系。随着产品的生命周期越来越短，而从用户来说总希望已购买的产品使用时间越长越好，这是一对矛盾。如何解决这一对矛盾，因此不仅要保持售后产品的档案，提供周到的售后服务，保持在整个生命周期内用户对产品的信任，更重要的要为用户提供适当费用的升级、升档服务，以至以旧换新，例如：“美国 Mentor Graphics 软件公司软件的升级、升档服务 1993 年已占公司的总销售额的 40 %。市场在某种意义上来说是用户，因此用这样一种和用户相互依存的关系，来确保已有的市场，并在这基础上进一步扩大市场。

为了适应未来的环境，敏捷制造企业应具备的特点还很多，这七点是主要的。

敏捷制造对社会的影响

1. 竞争是推动社会前进的动力，但过度竞争造成人力与资源的极大浪费。当今竞争的前期合作，已成为各大公司解决某项关键技术时常用的手段。随着产品越来越复杂，在抢先进入市场的竞争下，任何一个企业再也没有可能在较短的时间内，制造一个产品的全部，甚至独立完成一个产品的全部设计，因此敏捷制造将从根本上改变工业竞争的内容和意义。为了达到快速响应市场的机遇，在敏捷制造企业间竞争对手、合作方、供货方、买方的关系是随着项目经常变化的，将使得竞争和合作二者变得兼容。

2. 敏捷制造企业除了抓住市场机遇外，重要的是如何千方百计加大科研开发的投入，增强创新能力，扩大创新队伍，例如：AT & T 每年科研开发的

投入为总产值的 17%，1994 年该公司的总产值超过 1000 亿美元；IBM 公司多年来，科研开发的投入保持在总产值的 10%；日立公司也基本保持在 10%，这样为了竞争大大加大科技的投入，必将大大推动科技的发展，加速社会各方面的进步。

3. 未来敏捷制造企业对员工素质的要求将大大推动教育的发展。由于未来对科技和教育的投入将大幅度地、不断地增大，这一切将把人类的文明以空前的速度推向新的高潮。

4. 但近几年的实践证明，作为提供给最终用户的产品变化快，但作为构成产品的部件相对变化较慢，以小轿车为例，外形年年变，但发动机则若干年才变，而且变化往往是改进性的渐变。因此，当前社会的生产结构正在进行重大的改组，即部件厂和整机厂的分工，部件厂的专业化程度越来越高，部件厂和整机厂，在风险和利润中取得某种平衡，即部件厂风险低，利润小；而整机厂风险大，利润高。这种专业化的再分工，在统一的标准和规范下越来越细，例如：电子计算机就是一例，从显示器、芯片、CPU 板、电子元器件、插接件、软盘、光驱等都是由专业厂生产的；ABB 的工业机器人生产厂，已经没有任何一台加工机床，只有较大的设计开发部门、及遍布全世界的总装厂和销售服务中心，所有电子及机械部件都以合同方式由外协厂进行；这样的例子不胜枚举。显然全能型的企业今后将逐渐在竞争中被这些高效的整机厂和部件厂所替代。

敏捷制造企业的现状

敏捷制造企业自 1991 年 12 月提出后，这几年来美国各个公司自觉应用敏捷制造与动态联盟的思想进展得很快，已成为世界制造业的热点。现代企业向敏捷制造企业的发展是历史发展的必然。人们认识了这规律，就从必然王国中解放出来，向自由王国迈进，极大地推动生产向前发展。由于经济发展有共同的规律，在我国高新技术的新兴产业群中，有不少不自觉、而自发地运用这基本规律取得了很大的成功的，例如：深圳的华为公司、北大的方正公司、神龙通信工程公司等等。中国企业家总结为“两头在内，中间在外”（两头指研究开发及市场开拓，中间指制造），这实质上是一种敏捷制造的雏形。

敏捷制造企业为高新技术的产业化开拓了一条生产规模和开拓生产规模同步增长的可行道路，提供了一条充分利用社会存量资金发展新兴产业的道路，把高新技术的产业化风险大大降低，有利于高新技术产业的形成。

三、实施敏捷制造的基本方法

实施敏捷制造的基本方法，涉及生产技术、管理、信息基础设施、法律、财会制度、知识产权、社会保障等等。这里着重讨论三个方面：

生产技术

综上所述，为了适应能敏捷地改变生产，对离散生产过程，必须发展由柔性可编程组成的、可重组的、模块化单元；对连续生产过程，发展智能型的过程控制器和过程检测器，及能和实际生产过程并行运行的复杂过程的仿真系统，以测定不可测的中变量，进一步对其实现有效的控制。

集成技术

从运行的集成技术来说，必须发展一种高鲁棒性的集成技术，可以在不中断系统的运行情况，进行修改的软件系统。对企业外，发展建筑在网络基

础上的集成技术，包括异地组建动态联合公司、异地设计、异地制造等等有关的集成技术。

产品的设计和开发过程的设计——并行工程

设计开发工作尽可能并行进行，发展适宜于群体作业，特别是异地作业的软件——群件。加速实施并行工程的环境建设，并不断将其完善。上图为实施并行工程的自动化环境的发展。建设自动化的并行工程环境，以提高作业效率。环境帮助每一个开发组成员能不断地了解整个开发过程的进行，当某一个成员做出某项决策后，立刻通知有关成员，看是否有矛盾和冲突，协调解决；某一数据一旦改变，系统能立刻把所有存放的这些数据进行修改，告诉所有使用这些数据的人员；并进一步做到自动化决策支持：1．保存产品开发周期内所发生的变化，并考核其对过程的影响；2．进行过程管理，能精确地指出什么要求已被满足，以保证在提交下一步时，全部要求被满足；3．帮助开发组成员在不同方案中作出抉择；4．提供一个快速原型环境，以供开发组全面考核每阶段的设计等。

工厂网的建立

在信息高速公路中建立工厂子网，以至全球工厂子网，作为动态集成的主要工具。要做到这一点，必须研究制定企业间各种信息交换的标准、规范及协议，使各企业相互变成插入兼容式企业。当然各个工厂还必须把自己工厂的特点、资源，设备能力、经营情况等等，都上网，以便供其他企业利用；同时当一旦抓住机遇时，也可利用这网及时地、最佳地组织起动态联合公司／动态联盟的参加者，甚至利用这网实现异地设计和异地制造。目前实现此网将遇到的主要障碍是企业是否愿意把工厂上述真实情况公布于众；另一问题是统一标准、协议及规范制定基础工作量很大。但随着竞争进一步加剧，敏捷制造企业逐步实现和推广，一个企业如不能把真实情况上网，它就将失去和其它企业合作的机遇与可能。

如何利用工厂网上的资源，对一个机遇优化的组织起动态联盟，这实质上就是计算机集成制造系统的新发展——企业间的动态集成。目前从决策到方法都是一个有待研究的新问题。另外，在法律上、会计制度上、知识产权问题上也提出了很多新问题，有待解决。

前面说过，我们这个时代的基本特征之一是独占性技术构成了产品的主要价值。一般说设计开发阶段决定了产品价值的 80%，产品的直接成本的 20%；而制造阶段决定了产品价值的 20%，直接成本的 80%。因此仅依靠改进产品的制造过程，并不能赢得竞争，因为直接成本只占产品售价的很小一部分。因此，要赢得竞争，一定要在信息的高速获取上下功夫，要善于和他人合作。一方面利用其他信息资源来满足自己开发新产品的需要，一方面通过向社会提供信息来获取和其他企业合作的机遇。其实创新也只有掌握突飞猛进、日新月异的技术发展及瞬息万变的市场变化的基础上才有可能。

管理上

对内来说，打破传统的多级递阶组织管理体系，建立多专业项目组，实行可视管理，下放权力，形成两级管理。这里所谓可视管理，指一切管理是透明的，上级布置任务时，把任务的目的、完成的时间、可动用的资源（人、财、物）及其他限制条件都作明确的规定，然后把决策权下放，以便及时作出决策。

在人事管理上，如何创造一种企业文化及管理制度，最大限度地调动员工的积极性，把不可预见的创新活动，变成可预见；在把员工的再教育作为企业长期投资及把有创新能力的员工看成企业的宝贵财富的情形下，如何为企业招聘和造就一批有创新能力的员工，将成为人事部门的一项长期重要任务。

对企业外部来说，组织动态联盟或动态联合公司，将是敏捷制造的最高形式，这将在下面来讨论。

四、动态联盟和动态联合公司

动态联盟和动态联合公司的基本概念

前面已经说了很多。由于竞争环境的快速变化，要求企业有迅速响应变化的能力；产品越来越复杂，任何一个企业已不可能快速、经济地独立开发和生产一个产品的全部，因此采用各种方式的合作是快速、经济地独立开发和生产一个产品的有效措施，也是实现“敏捷性”的重要方法；新产品生命周期的缩短要求企业有很高的风险承担能力，因此组织动态联盟或动态联合公司将是敏捷制造企业的最高形式。

实现动态联盟的优点

1. 可以解决生产规模和市场开拓规模的矛盾和同步问题，把风险降到最低。因为，一个新产品上市，即使性能价格比很好，也不一定立刻能有很大市场，市场有待开拓，而市场的开拓又是一个逐步的过程，其快慢取决于一个企业的营销能力及顾客的认识过程；另一方面一个产品形成生产规模又要巨额的投资，在市场还有待于开拓的情况下，这样做势必风险很大，组织动态联合公司可以从根本上解决这一矛盾，实现随着定单的增多，同步扩大生产规模。

2. 实现动态联盟可以解决如何充分利用社会现有存量资金，发展新产业，特别是高新技术产业。

3. 实行动态联合，而不是刚性联盟，使得企业间竞争和合作两者变得兼容，可以保存竞争的活力，又可避免过度的竞争，造成宏观上的社会浪费。

4. 由于动态联盟的组织者是根据新产品的方方面面来组织联盟的，而联盟是建筑在集成各方面的优势的基础上的，因此能做出快速响应市场机遇，推出价格合适的高性能产品。

谁为盟主

这是动态联盟的一个核心问题。其实经过上面的很多论述，这一问题已是不言而喻的了，能抓住市场机遇的开发者为盟主，这盟主可能是企业、大学、研究所、以至从这些机构中分离出来的个体开发者。纵观当今世界高技术企业中众多耀眼的明星，几乎无一不是技术创新开发者创造的。我国北大方正、神龙通信工程公司就是最好不过的范例。他们提出的两头在内，中间在外的模式，就是敏捷制造企业的雏形，一种形式的动态联盟。他们以自己的创新技术为基础，在国家没有或很少的投资下，迅速形成了几十亿产值的规模经济。

五、结论

21 世纪即将来临，从一个企业面临的内外环境来分析，企业将处于激烈的市场竞争的旋涡中，一方面面临巨大的机遇，一方面面临极大的危机。21

世纪将给千万个创业者提供空前的机会，也将给千万个原有企业提出严峻的挑战。

21 世纪企业的主要模式将是敏捷制造企业，显然我们能否将原有企业迅速地转变成敏捷制造企业，将决定一个企业，一个地区，以至一个国家的前途和命运。从原有企业转变成敏捷制造企业，决不是一个企业在自己范围内努力就能完成的，需要社会各方面的努力，需要政府从法律、知识产权保护、金融制度、会计结算制度等方面来立法，创造一个有利于企业动态集成的环境。

我们掌握了敏捷制造的基本概念，就能从必然王国进入自由王国，有力地指导新企业的建立及原有企业的改造和升级。

一个完整的企业应包括设计开发、加工制造和市场开拓等三大块，一个现代化企业是两头大，中间小；而目前我国大中型企业是中间大，两头小，呈橄榄型。因此，我国当前“庄园”式的大企业，必然会解体，而大中型企业的出路，一是变成具有三大块的完整企业，能提供用户最终产品；一是变成高效的部件厂。