

《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
（下）

05

上海市黄浦区教育信息中心

国际电信技术发展趋势 (1996)

孙 玉

电子工业部第 54 研究所

孙 玉 通信技术专家。1936 年 4 月生于黑龙江肇东。1962 年毕业于清华大学。历任电子部 54 所副总工程师、副所长、研究员、所科技委主任, 国家科委“863”通信主题专家组副组长。1995 年当选为中国工程院院士。长期从事战略兵器试验系统及军事战略通信系统研制工作。

一、引言

近 30 年间, 国际电信技术处于高速发展时期。在此期间, 国际电信技术标准研究是在国际电信联盟 (ITU) 所属电报电话咨询委员会 (CCITT)、无线电咨询委员会 (CCIR) 以及 1994 年改组后的国际电联标准局 (ITU—T) 领导下进行的。由于电信技术与设备只有符合上述机构推荐的建议才能得到工程应用, 所以国际电联标准局领导的研究方向, 实际上就成了具有实际意义的国际电信技术发展的主流。

在最近的 24 年间, 国际电信技术发展主流曾经出现过两个重大转折点。其一是 1972 年 CCITT 通过 G.711 (话音频率的脉冲编码调制—PCM) 和 G.712 (PCM 信道音频四线接口间的性能特征) 等有关话音信号编码的建议。从此之后的 24 年间, 以数字化为基础, 以综合化为核心的电信网技术主流得到高速发展。与此同时, 计算机网技术和电视网技术也得到了迅速发展。其二是 1996 年 ITU—T 提出 IGII—PF (全球信息基础设施的原则和框架结构) 和 I.GII—SCEN.METH (全球信息基础设施总体构思方法) 等建议草案。这表明, ITU—T 的研究重点将从电信网技术/标准研究转向由电信网、计算机网和电视网融合而成的信息网技术/标准研究方面。

本文将着重介绍, 在 1972—1996 年这两个重大转折点之间的 24 年中, 国际电信技术发展概况; 此外也想谈谈国际电联 GII 研究框架的提出, 对我国电信技术研究及信息网建设可能产生的影响。

二、电信网基本概念

为了能简明地说清国际电信技术的发展进程, 有必要对几个电信网基本概念加以说明。因为在近 30 年间, 电信技术有了多方面的重大发展, 这些技术发展之积累导致了网络体制的变革, 进而引起了一些基本电信概念的演变, 甚至有的电信概念至今尚来不及重新修订。

1. 电信定义

通信 (Communication)

在 CCITT 兰皮书 (1988) 中, 可以找到四种通信定义 (E.600、F.710、Q.9 和 I.112)。其中 I.112 中定义: 通信是按照一致同意的协定进行消息的传递。

电信 (Telecommunication)

在 CCITT 兰皮书 (1988) 中, 可以找到三种电信定义 (G.701/M.60、Q.9

和 F.710)。其中 G.701 中定义：电信是利用有线、无线、光或其它电磁系统来传递代表符号、书写件、影像、声音或其它消息的信号。简而言之，电信就是利用电磁系统传递信号。

近年在中国电信界出现了多媒体通信一词，而在 ITU—T 术语定义（1991）中却找不到相应定义。但是这个名词却引发了对电信定义的推敲：如果把符号、书写件、影像和声音理解为消息的类别，那么对电信的定义无可非议；如果把符号、书写件、影像和声音理解为承载消息的媒体（Media），那么电信的定义就应当加以修改：电信是利用有线、无线、光或其它电磁系统来传递代表由符号、书写件、影像、声音或其它媒体所承载的消息的信号。此外，这个名词还引起了通信与电信这两个名词之间的混淆：通信是传递消息，电信是传递信号。这是两个不同的概念。但是在中国电信界，通常说的通信，实质上指的却是电信。如果这样理解认识妥当的话，就可以把多媒体通信理解为：利用多种媒体同时承载一种消息的电信。回过头来，就可以把传统的电信理解为：利用一种媒体承载一种消息的电信，即单媒体通信。

异步传递方式（Asynchronous Transfer Mode-ATM）

既然电信是传递信号，那么就存在传递方式问题。显然传递方式是电信网技术中的高层次定义。在 ITU—T 建议 I.113（1991）中定义：ATM 是指把信息编组成信元的一种传递方式；因为包含来自用户信息的信元不是周期性出现的，所以称异步方式。

看来这个定义仍有值得推敲之处：其一，电信是传递信号，那么 ATM 应当是把信号编组成信元的一种传递方式；其二，在电话网的传递方式中，单路数字信号是连续传递的，只是因为采取时分复用，才使得单路连续的数字信号在复接信号中呈周期性出现。其实，在分组数据网中久已存在两种传递方式：把连续传递称为同步传递；把不连续传递称为异步传递。只是未引入整个电信网而已。因此，可以把信号的不连续传递方式称为广义的异步传递方式。而在 ITU—T 建议 I.113：宽带 ISDN 术语汇编中定义的 ATM 则是指符合 I 系列建议规定的狭义的异步传递方式。回过头来，似乎应当把连续传递信号的方式称为同步传递方式。这与建议 I.113 同步传递方式（Synchronous Transfer Mode-STM）定义（周期地向每个连接提供固定长度字的一种传递方式）含意是一致的。

2. 电信网络结构

电信网（Telecommunication Network）是指在两个或多个规定的点间提供连接，以便在这些点间建立电信业务的节点与链路的集合。其中，链路（Link）是指两点之间具有规定特性的传输手段。这种传输手段是由传输系统与复接设备串接而成的；节点（Node）是指链路的互连点。这种互连点通常是交换机、交叉连接设备或者就是复接器本身。一个电信网络通常总是以特定的连接形式来提供电信业务。这种连接（Connection）是指承担特定电信业务的节点与链路之串接。通常就是交换机、复接器及传输系统的串接。

构造电信网络的基本考虑是，尽可能经济地连接各个用户；尽可能灵活地适应各种应用环境；保证各种可能的连接尽可能满足传输性能要求。所以电信网的结构与用户分布，用户环境及服务质量规定密切相关。早期的电话网结构，划分为长途网和市话网。随着应用及技术发展，电信网结构近年更改划分为基干网和接入网（参见图 1）。

其中，基干网具有明确的分层结构，而且这种结构是相对稳定的；多年

来，接入网都是一成不变地采取市话电缆分级结构，但是近年却酝酿着重大演变。究其原因，除了电信技术迅速发展之外，计算机本地网和电缆电视网的介入与竞争也是重要原因。这些多种技术及多种业务向用户拥入，使得接入网结构捉摸不定，因此有可能把现存的接入网进一步分解为接入网和用户网。

3. 电信网社会环境

电信网与其它任何事物一样，都是在一定的社会环境下生存与发展的。社会环境涉及到多个方面及多种因素。

社会经济基础方面：发达的社会经济、发展中的社会经济与落后的社会经济，给电信网提供的是完全不同的生存与发展基础。国家政策方面：开放改革的国家政策与封闭保守的国家政策，加给电信网以完全不同的生存与发展空间。这两个方面是电信网生存与发展的决定性基础。在此基础上，以下三个方面将对电信网产生重要影响

- 经营方面：资金投入、经济效益及国家控制方式，例如：是否引入竞争机制；是否允许外资直接经营等；
- 业务方面：业务需求、服务质量及国家政策，例如：国家对电信网的税收政策、电信网对用户的收费规定等；
- 技术方面：社会科技对电信网的支持能力及电信网对电信产业的支持能力等。

上述经济基础和国家政策等决定性因素以及经营、业务及技术等重大影响因素，就决定了电信网络的萎缩、停滞或发展状况。近年来，一些经济发达国家和发展中国家，普遍采取有利于电信发展的国家政策，特别是普遍引入竞争机制，形成了经营上的高投入与高效益；业务上的广泛需求和满意服务；技术上的广泛支持与相应的回报，使得国际电信在激烈的竞争中高速发展。

三、电信网技术发展进程

本章介绍 1972—1996 年间电信网技术的发展轮廓。由于 1996 年以前的接入网技术比较单一且相对稳定，故此处介绍的主要是基于网技术演变。此间技术发展是以数字化为基础的，而且网络总体技术研究直到 1994 年都是由 CCITT 第 18 研究组（数字网组）负责的，故此期常常把电信网称为数字网，而且在此期间形成的各种网络形态都称为某种数字网络：综合数字网（IDN）、综合业务数字网（ISDN）和宽带综合业务数字网（B-ISDN）。故本章介绍是以数字网为基础。

1. 数字网技术分类

数字网提供电信业务的基本形态是数字连接。因此，可以从数字连接着手分析归纳数字网的技术分类（参见图 2）。

如果把信号传递方向称为纵向，那么与之垂直的方向即可称为横向。纵向硬技术分类和横向软技术分类（参见表 1）。

表 1 电信网技术分类

技术分类		基本功能
硬技术（纵向）	终端	用户规约接口
	用户环	本地信号传递
	交换机	信号交换
	复接器	信号复用
	传输系统	远程信号传递
软技术（横向）	网同步	网络工作协调
	信令	网络状态控制
	网管	网络维护/运行管理
	信号编码	适配传递
	损伤控制	保障传递质量
	标准接口	统一连接界面

纵向硬技术与横向软技术正交列表，就形成了电信网中各项具体技术分类（参见表 2）。

表 2 电信网具体技术分类

纵向技术 横向技术	终端	用户环	交换	复接	传输
网同步	编码同步	传输同步	交换同步	复接同步	转输同步
信令	终端信令	用户信令	局间信令		
网络管理	终端管理	用户环管理	交换管理	复接管理	传输管理
信号编码	信源编码	传输编码	信源编码		传输编码
损伤控制	编码损伤	传输损伤	交换损伤	复接损伤	传输损伤
接口标准	终端接口	用户环接口	交换接口	复接接口	传输接口

2. IDN 发展阶段（1972—1980）

1972 年 CCITT 通过了建议 G.711 和 G.712，统一了话音编码方式 64kb/sPCM。有了共同基础，电信网技术数字化进程加快了。随后顺利地完成了—系列模拟/数字单项技术替代：用数字传输系统替代模拟传输系统；用数字复接器替代载波机；用数字存贮程序控制交换机替代模拟布线逻辑控制机电式交换机。但是用户环数字化遇到困难：构成用户环的市话电缆造价几乎占整个电信网的 1/2，因而不容废弃。但是当时尚未找到在模拟二线上双向传递 64kb/sPCM 数字信号的适用技术。因此，作为阶段性结果，CCITT 把采用数字传输、数字复接、数字交换及模拟用户环路技术的网络形态，称做综合数字网（IDN）。

总体而言，这八年数字化进程是相当迅速的。究其所以，主要是因为所有这些技术替代都是在原有模拟电话网网络体制之上进行的，而原有模拟电话网的网络体制是相当完善的。IDN 较之原来的模拟电话网（PSTN），明显地改善了网络性能并降低了网络成本，但是并未给用户提供新的业务能力。

由于基干网络主要设备都是对应替代，而接入网仍然保持不变，所以，从模拟电话网向 IDN 过渡是自然顺畅的。

在这 8 年期间另一重要事件是出现分组交换公用数据网 (PSPDN)。本来原有的 PSTN 就能够支持电话业务和低速数据业务。事实上已经存在电路交换公用数据网 (CSPDN)。PSTN 中的电路交换方式支持电话或数据业务的过程都要分成两个阶段：建立连接和实施传递。对电话业务而言，假定用三秒钟建立连接，通三分钟电话，这样效率是令人满意的。对数据业务而言，假定用三秒建立连接，而通数据只需半秒钟，那么这样效率就嫌低了。就是因为这种效率问题，出现了不存在建立连接过程，只有传递过程的无连接分组交换方式，这就是 PSPDN。ITU 为这种交换方式研究制订了完整的建议系列 (X 系列建议)。最后要说明的是，这种 PSPDN 网络形态仍然采用 PSTN 或 IDN 的远程传输系统、复接设备和模拟用户环路。自己独立建设的仅仅是分组交换设备和用户数据终端。

3. ISDN 发展阶段 (1980—1988)

电路交换电话网与分组交换数据网络并存，给电信网络经营者带来额外负担，给用户带来使用不便，于是提出了统一电信网络问题。目标是建设统一的网络，使之既能支持电话业务又能支持数据业务。显然，这个目标对经营者对用户都有益。由于 PSPDN 本来就利用 PSTN 或 IDN 的远程传输系统、复接设备和用户环路，因此统一两种网络形态，其实就是统一两种交换设备，技术上就是统一电路和分组交换方式。

可惜，ITU 经过八年努力研究，并未找到这种统一的交换方式。作为阶段性的结果，把电路交换模块和分组交换模块组装在一个机箱之内，分别支持两种电信业务；在用户面，用户终端通过用户线接入交换机，首先进入业务识别单元，如果属电话业务就转入电路交换模块；如果是数据业务就转入分组交换模块。在网络面，电路交换模块直接接入 PSTN 或 IDN 网络；分组交换模块直接接入 PSPDN 网络。

在此期间，国际电信技术的一个重大突破是，在原有模拟二线用户线上，把双向数字传输技术推进到用户终端。这就是著名的 2B+D 数字用户环路技术。即在原有的一条二线用户线上，同时双向建立两条 B 通路 ($64\text{kb/s} \times 2$) 和一条 D 通路 ($16\text{kb/s} \times 1$)。这样就可以同时开通两条标准 (64kb/s) 数字电话和一条高速 (16kb/s) 数据。

CCITT 把这种具有电路交换功能、分组交换功能和 2B+D 数字用户环路功能的交换机称为 ISDN 交换机。与形成 ISDN 交换的同时，CCITT 把 IDN 所有的软/硬技术标准，根据电话业务、数据业务及其它窄带业务的要求，做了全面的修订，形成了更为完善的建议体系。根据上述硬技术和软技术所形成的网络形态，就是现在的综合业务数字网 (ISDN)。

4. B—ISDN 发展阶段 (1988—1996)

1985 年在 ITU 文献中出现了这样的文字：“Broadband aspects of ISDN-B-ISDN”。原意是在 ISDN 建议体系中解决一下有关宽带领域的一些问题。直到 1988 年才逐渐明确，后续目标是寻求一种能够支持所有窄带和宽带业务的全新统一的交换机制。进而形成一种适应所有电信业务的网络形态，即宽带综合业务数字网 (B-ISDN)。

1988 年 CCITT 通过建议 I.121、宽带 ISDN 的概貌。其中规定：ATM 将是解决实施 B—ISDN 的目标传递方式。于是引发了全世界对 ATM 技术的研究与

试验。

最初的 ATM，是在光传输基础之上，吸收电路交换和分组交换两者优点并避免两者缺点，作为一种具体的交换技术提出来的。在一个完整的呼叫过程中，划分为建立连接和实施传递两个阶段：建立连接与电路交换是一样的，这样做可以简化控制并减少延时，但是 ATM 建立的是虚连接，因而可以充分利用网络资源；实施传递与分组交换是一样的，这样做可以提高用户接入的灵活性，但是 ATM 的基本信元是固定长度的而且简化了纠错操作，这就简化了控制；由于简化了控制，并且把所有高速控制交由高速硬件执行，这就使得 ATM 能够支持高速业务。这样做确实达到了在原理上能够支持所有电信业务的目的：只要把各种不同的电信业务信号适配成统一的信元，就可以在 ATM 交换机中一视同仁地实施交换。但是这种适配要付出相应代价。对于适配数量较少的高速非实时数据来说，这种适配可能比较便宜；对于适配数量较大的低速实时数据而言，这种适配可能比较昂贵。综合多种业务而言，ATM 可能比较便宜，仅对低速数据业务而言，可能比分组交换设备昂贵；仅对实时话音业务而言，可能比电路交换设备昂贵甚至性能也欠佳。

至今，ITU-T 已为 B-ISDN 及 ATM 研究制订了大体完善的建议。ATM 的优越性能已被公认。问题是如何经济地工程应用。即如何实现图像、数据和话音业务的高性能和低成本地适配接入。目前，这些接入技术都有了良好的进展。例如：市场上已经出现图像编码与信元适配合一的通用卡，模拟图像信号通过这种卡就可以直接进入 ATM 设备；在计算机网络中也出现了一种工作组交换机设备。计算机或数据库可以采用原有的规约以星形方式接入工作组交换机形成本地网，这样就大大提高了本地网有效传输速率；工作组交换机的中继接口有 ATM 适配功能，可以直接与 ATM 网络互联。这种设备不但改善了互联功能并降低了互联成本。

值得特别说明的是 ATM 如何良好地经济地支持电话业务。把新研制的 ATM 交换设备与原有的 STM 交换设备组合应用，可能是良好、经济且现实的解决方案（参见图 3）。采用这种组合方案，电话用户仍然接入原有的 STM 交换机，仍保其原有的低延时和经济性；STM 交换机通过中继群适配接入 ATM 交换机，这种高速适配不会引起延时和经济上明显的损失；这种电话中继群以 ATM 信元形式，经固定虚连接通路进入中继节点，这就改善了局间传输效率；在中继节点通过中继 ATM 进入中继 STM 交换机，重新定向组群传往目的地；或者进入中继 ATM 直接在其中的话音服务器里分解并重新定向组群。这种组合交换机在网络/用户面（NUI）可以分别接入各种用户业务；在网络/网络面（NNI）可以分别连接各种电信网络。可见这种组合交换机具有相当灵活的支持多种业务的能力和相当强的适应多种网络环境的能力。这种交换机在相当长的时期内可能是 B-ISDN 实用交换方式。

5. 回顾与展望（1996—）

回顾 24 年来，电信骨干网技术经历了 IDN、ISDN 和 B-ISDN 等网络形态，正沿着数字化、综合化、宽带化和智能化继续发展；移动电话网技术经历了模拟网、数字网等网络形态，正在朝着综合化、全球化和个人化方向发展；数据网技术经历了 PSPDN 和现代 PSDN 等网络形态，正在朝着综合化和全球化方向发展；电视网技术经历了共用天线和有线电视等网络形态，正在朝着数字化和综合化方向发展。这些网络技术发展之汇集，形成了国际信息网络技

术史无前例的持续高速发展浪潮（参见图4）。

在此国际电信发展历程之中，国际电联功不可没，但是也不无失误。1996年初ITU-T负责人已经承认，国际电联标准研究工作偏离了市场方向。其实，在电信专家们因广泛采用ITU建议而受益的同时，早已感到某些困惑。例如：在ITU重点研究ISDN有关建议之时，移动电话却在全世界普及开来。而移动电话因无统一标准而形成春秋战国局面；例如：在ITU重点研究B-ISDN有关建议之时，规约更简单的Internet却在全世界普及开来。尽管如此，ITU在国际电信高速发展的几十年间，基本上掌握住了发展主流。而且，经过反思之后，ITU很快地针对国际电信市场做了研究方向调整，及时地提出了国际信息基础设施（GII）研究框架。这表明，ITU的研究方向从追求网络和技术的完整性转到追求工程和应用的现实性。即把现实存在的PSTN、PSDN、ISDN、B-ISDN及其它网络资源结合起来，融合成真实适用的覆盖全球的信息网络，造福于现代人类社会。

四、结语

ITU-T建议I.GII-PF中明确指出，国际信息基础设施的网络设施将由综合业务数字网（ISDN）、宽带综合业务数字网（B-ISDN）、公用交换数据网（PSDN）、电缆电视网（CATV）及其它现存网络组成。利用现代技术对这些现存网络施加合理的融合，使之成为能良好地为全球用户服务的无缝网络。大概这种网络才是名副其实的全球信息网络。不难看出这种多种网络的融合，实质上是电信网、计算机网及电视网三类不同网络间的结合（参见图5）。

如果分析一下三类网络的结构，这种三网结合，可以分解为：三类基干网的结合和三类接入网的结合。其中，三类基干网的结合，在电信网的基础上可以比较容易地得到解决。其实这也正是B-ISDN目前正在重点解决的课题。而三种接入网的结合则超出了电信网的技术范畴。纳入GII之中解决显然是合适的。这与ITU-T建议草案I.GII-应用示例中列举的十种可能的接入方案是一致的。

我国目前也面临着类似的问题：电信网、计算机网及电视网分立，存在重复/盲目建设问题。这也是国家特别关注的重大的经济问题。但是我国存在这类问题的主要原因并不是技术问题而是国家管理体制问题。国家主管部门正在努力解决这个问题。如果国家管理体制问题不能解决，有关GII或NII（国家信息基础设施）的支持技术是毫无实际意义的；如果国家管理体制得到解决，那么GII/NII支持技术准备就成了当务之急。出于中国传统的有备无患考虑，我国信息技术研究，首先是国家“863”研究计划应做相应调整：其一，在目前进行的电信网基干网有关研究中，不应再限于电信网方面，应当从三网的角度一起考虑，这种扩展大体上不会带来新的技术困难；其二，在适当的时候，应当把包含三网在内的信息网接入技术研究纳入计划。考虑到接入网现存基础的复杂性、应用环境的多样性以及对经济性的苛求，这方面的研究将是相当困难的。但是这方面的研究肯定是极其重要的。

机械学科人才培养的构思与实践

阮雪榆

上海交通大学

阮雪榆 塑性成形专家。1933 年 1 月 6 日生于上海。1953 年毕业于上海交通大学。现任国家模具 CAD 工程研究中心主任、上海交通大学塑性成形系主任、教授。兼任中国模具工业协会副理事长和上海工业协会副理事长。1994 年被选聘为中国工程院院士。主要从事塑性加工和模具 CAD 技术研究。

现代化的人才培养需要树立一个新的概念，同时要创造一个良好的培育人才的环境。约在 15 年前，世界银行第一次向上海交通大学贷款，有几个学科得到了上百万美元的贷款，而我们的学科只得到了约合 18 万人民币的款额，那时我们学科的固定资产总共加起来仅合人民币 60 万（含 18 万贷款），这种条件下如何培养现代化人才，这是我们当时面临的重大问题之一。因此，不拿出好办法、机制不改变、不探索一条新的路，我们就不能建设我们新的教学基地。到底大学里培养什么样的人才，是面宽的还是面窄的，当时是存在不少争论的。但我的思路始终是：在大学中淡化专业的趋势不可逆转，特别是重点大学。重点大学培养人的目标，从专业水平上讲有两个方面：一是打好基础（工程学科的学生打好工程技术的基础，当然也包括必须掌握的其它基础）；二是对大学本科生来讲，主要培养他的学习能力（向老师学习、向书本学习、向文献学习、向工人学习、向社会学习），特别重要的是自我更新知识的能力；对研究生来讲，在基础进一步扎实和扩展的同时，学习能力继续提高，更重要的是掌握导师指导他的研究方法；对博士生来讲，除了有更宽厚的基础外，更要能够掌握有较好系统的研究能力和一定的领导科学研究的能力。这就是我们的目标，但达到这个目标没有一个新的概念和适合培养新人的环境的构思是不可能做到的。

为此，十四五年前，我们就开始了一个试验和实践：首先我们的思路是应该建立一个新型的机械学科人才教育基地。我们这个系属于机械学院，如果从纯专业角度上看，全部融到机械学院的话，就谈不上淡化专业的问题，也谈不上系统试验的工作了。因此，我就提出我们系必须培养机械、电子和材料一体化的人才，当然机械是我们的核心，也就是说机械设计技术、机械工艺技术和有关的管理技术等是我们的核心，材料（是基础）和信息（是手段）为机械服务。这里特别要强调的是机械、电子和材料三者不是平行的关系，否则将培养出三不像的“人才”。经过十几年的努力，我们取得了一些成绩，如本科生，国家教委领导看了我们系本科生的工作以后说，你们的毕业生很多单位都要抢的。结果去年的情况表明果然如此！原定要其他系毕业生的单位，也转过来要我们系的学生；国务院学位委员会对我们的硕士和博士点评估时，全部为 A；另外，我们系又是博士后的流动站。在这里我特别感到建立一个体系是十分重要的，如对研究生，我们要交给他的的是一个工程化的能力，怎么使他学到的技术变为生产力，这是一个关键。上个星期我收到一位德国斯图加特大学著名教授的来信，他在看了我们做的工作（指教学

体系和研究体系)后认为:“你们是模具技术和金属塑性成形教学的王国,在世界范围内,我还没有看到如此好的一个学术、科技与工业的完美结合”。这是全世界的一大难题,从我们的工作看,应该说在一定程度上解决了这个问题,而且还是解决得比较好的。现在我们的教学和试验室的建设等工作,不但得到了国家教委和计委的支持,而且更直接地得到国内工业界的支持。如:我们和上海汽车工业总公司(1995年总产值居上海市第二位)在一年前建立了CAD的联合研究室,500万人民币的投资全部由总公司支付,财产是他们的,但我们来管理(前提是全部做他们的项目),这样我们的学生也可以随时进去练习和实践。通过合作我们建设了有6台工作站,6套进口的大型软件和10台HP微机(包括整个机房的建设),并配了6位年轻人(均为本科生以上)工作,5年内将得到总公司250万人民币的支持。像这样的联合研究室我系现在一共有11个,计算机工作站共20台(校内12台,校外8台),486和586计算机共60多套,并拥有全国最精密的坐标磨床一台(50万美元)。仅从设备能力上讲,我们系可能超过了我们学校的机械系、精密仪器系和计算机系,已经初步建立了一个比较现代化的教学基地,同时为人才的培养(在教学上和研究上)打下了一个良好的基础。目前,我们系从十多年前的60万人民币的教学设备到现在我们自己筹集到的、并已安装的设备(包括研究设备)价值达2000万;最近,国家计委已批准在我系的教学和研究的基础上建立国家模具计算机辅助设计和辅助制造的工程研究中心,总投资7000万;另外,我们的横向合同资金已超过1000万。所以,在“九五”期间我们所筹集的资金和设备将超过了一个亿,这样对我们一个每年招收几十名本科生、二十多名硕士生和博士生的系来说,已经进入了良性循环和持续发展的阶段,也完全达到“211”工程的要求。总之,在整个试验和实践的工作过程中虽然我们不断地改进我们存在的不足,但对于我们的方针:随着社会的发展,学科的互补、相互渗透乃至淡化专业的趋势不可逆转,具体地讲我们以机械为中心,加强信息和材料的结合的做法,是绝不会改变的。我们是怎么走到这一步的呢?我们的做法是正确处理好下列十一个关系:

一、基础和专业

虽然现在我们的系被称为塑性成形工程系,但实际我们走的是机电、材料一体化的教学道路。当前许多大学里机械电子系不少,但怎么能把机和电真正的结合起来呢?我们有一些体会。如果我们提出把专业取消,无疑会有很多人会反对,在这个问题上我们动了一些脑筋并专门做了点试验和实践,得出的结论是:只要基础扎实了,专业的互相渗透和柔性转化应该是不难解决的。

二、基础与能力培养

我们的目的是培养人,人是万物之灵,我们就是要把他们的基础打好和能力培养好,而不是培养他们成为“机器”。下面就举几个例子:

我们提出学机械专业的人搞软件行不行?学自动控制(没有任何机械背景的)的搞机械行不行?通过试验和实践,我们收获很大,即:1.让一学自动控制的大学生(21岁)做一个机械CAD的工作,这个工作是与瑞士合作的项目,结果他完成了这个工作并得到了瑞士方面的好评,同时,瑞方认为他的成绩超过了一位机械学科本身的硕士生水平;2.让机械学科的人负责开发

一个日本项目的软件，结果得到了日本公司的“感谢状”；3.我们在上海有一个与日本合资公司叫沙迪克软件公司，这个公司的负责人既不是博士，也不是硕士，而是上海交通大学精密仪器系的本科生（在我们模具中心工作了七八年），他和生产部长（是一位机械背景的硕士生），共同开发了神经网络模糊控制逻辑的软件，这完全是 90 年代的产品，这种机床在最近三年中完成了最新版本的软件，在世界上销售了 400 余台。由于这个公司成就比较突出，日本公司把原来在日本本土的软件的大部分移到上海来开发了，现在在这个公司的日本朋友只有一位（负责技术），其他全是 25 岁左右原模具中心的人；4.我们在外省某非重点大学要了三位大学生，他们在大学期间没有碰过计算机键盘，1995 年 8 月来报到，1995 年 10 月份，让他们为飞利浦公司演示了他做的一个项目，结果该公司的工程师看了以后非常满意。

上述情况表明如果单位用人不当，则有能力的人就会被埋没；反之，即使大学期间培养人不够理想或大学条件有限，但用人单位能对他继续再培养的话，这个人还是大有希望的。因此，在基础和能力的培养上，我认为不但在大学阶段是一个培养，而且在我们现有的工业企业中也完全应该是一个培养阶段，即：重新培养人、继续培养人、重新塑造人等。21 世纪的人才培养是高等学校机关和教师的责任，同时也是社会的责任。

三、学科前沿与工程应用

作为一个工科学科的大学教授不搞学科前沿和不搞学术研究是肯定不行的。现在大学、研究所以及部委科技公司（局）等部门的领导，面临的不仅是学科前沿的问题，而且是怎么将科技成果转化为生产力的问题。这几年，我们也在探索一条路，特别是在最近高新技术的迅速发展，这条路在国外也不一定能搞好，德国的一位教授曾写信给我说：意大利也在探索这个机制，如厂矿企业中买了很高水平的计算机和软件，不能全部用上；1996 年元旦期间，新加坡国立大学的教授告诉我，新加坡的工厂用计算机和软件的效率远远低于国立大学的水平。现在国内引进的计算机和软件不知花了多少个亿美元，但实际用得怎么样？因此如何转化为生产力是一个难得多的大问题。我们在这方面应该说得到了工业企业界的支持并取得到了一定的经验。

四、研究与开发（R&D）、 技术转移（TT）与系统集成（SI）

国家科委和上海工业部门给科研部门下达的研究项目大部分属研究与开发（R&D）类的，我们也在 R&D 方面做了一些工作，但我们注意到国际上除 R&D 外，出现了技术转移（Techni-cal transfer 或 TT）的潮流。这给我们一个很大的启示：如果你的技术成果不转移成生产力，即便你得了许多奖也是图有虚名，所以说技术转移是工业大学对企业支持的一个重要方面，我们有责任去做好这项工作。最近 10 年中，我们约有 40% 的力量投入在 R&D 的方面，R&D 有两个内容：一是学术上的，我们就交给硕士和博士研究生去做，商品化的软件不给他们做，因为他们毕业后将离开，这会造成文档管理不完善；二是实用化，实用化的软件由我们的工作人员完成。我们约有 60% 的力量是投入在技术转移的工作上，主要服务对象是上海的汽车工业、家用电器工业和民营企业（个体企业）。交给民营企业 CAD 的技术时，我们不是当场签约的，而是要对他的产业进行一段时间的考验后，再决定是否签约，这样

做的目的主要考虑到我们的 CAD 技术转移出去后必须有成效。

现在世界上高新技术的发展的一个重要方向是系统集成（SI），这个概念对我们搞教育工作的人很重要，并有责任将这个新概念传授给我们的学生（当然不是具体的方法）。实际上，我们的老祖宗早就开始用了，中医开药方就是一个典型的系统集成的例子，如药方中有黄连，四川省的最好，那么我们就拿过来用，不能自己再去种了，但现在我们有很多的科学研究观点：这黄连必须自己种出来，不能到外面买！全世界这么多的高技术、新技术、先进技术和实用技术，我们恐怕一时难以做出来。我们要借助信息事业的发达，很快就可以通过合理合法的手段得到我们要的东西，并根据需要进行系统集成。这个系统集成的含金量就不是单项技术的含金量的概念。目前，世界上有两大重要的系统集成公司：一是美国 EDS 公司；二是日本 NTT DATA 公司，他们实行的就是“高科技外的高科技”。因此，系统集成技术的出现，使我们的水平又向前跨了一大步。

五、人才的系统集成与人才的柔性转换

人才的系统集成就是依据不同的需要，对有关人才的特点进行综合、优化而达到一个目标：研究-设计-技术转移-产品，加之灵活的人才柔性转换使新产品的诞生周期更短、质量更可靠和价格更具有竞争力等。实践表明，我们已初步取得了一些成绩。

六、科研与教学

作为从事工程教育的人来讲，一方面要做好教学工作，另一方面要搞好科研等工作，同时应该把上述第四点提到的新思维、新方法和新的观点潜移默化地并在一种熏陶的气氛中教给我们的学生，使学生既打好基础，又拓宽自己的思路，引导他们在今后走上工作岗位时，具有创新的能力和独到之处。

七、国际合作与国内合作 及其对教学质量的影响

作为工科大学，我们有责任帮助（或称合作）国有大中型企业、集体企业、乡镇企业、民营企业（个体企业）和合资企业等进行技术改造、技术进步。但如果我们的技术水平达不到世界水平，又如何去帮助他们。所以工科大学应该要有一个层次高和有效的国际合作。9 年前，我们开始了这种国际合作，如我们学校与日本松下电工合作建立了一个联合研究室；与瑞士的斯勒思公司合作建立一个联合研究室。建立联合研究室的原则是外方公司提供工作站、软件以及工作间的其他设备，财产是他们的，使用权是我们的，我们首先为你服务并建立 Internet 网，你传给我，我帮你做，余下的时间我们学生用。由于我们有信誉和出色的工作，使外方的投资公司互相攀比，以至他们拿出最好的设备、软件以及更多的钱。9 年来我们相继与日本的三菱、沙迪克公司、美国的 EDS 公司和英国的雷尼修公司等进行了合作，国外同行对我们的成绩也感到非常惊讶。在国际合作中我们得到了很多，重要的不是钱（当然他们的钱和设备我们是要的），而是得到国际上最新的科技信息。如机械工程人工智能在前 7—8 年热了一段，后来走了下坡路，大家说没有发展前途，但通过我们的合作渠道得知有一个成熟的智能化软件在美国已出现。我们有了这个平台就可以上去，因此这科技信息对我们来说就非常重要

了。另外，在确定计算机的型号时，我们没有买当时的热门型号，因为我们有信息知道它马上将过时。现在我们有 8 个国家的 11 套不同种类的大、小软件，这样为我们做系统集成、提高我们的研究水平等奠定了雄厚的基础。当我们的水平达到了世界水平之后，我们就有资格帮助国内工业企业；有了这些条件，我们的学生就可以享受这些先进的设备和软件，同时也为他们提供了良好的教学素材，无疑教学质量会得到提高。

八、纵向支持与横向支持

我们感到纵向的部委和省市课题是不可少的，但全部依靠部委的课题和省市的课题，而不去开辟横向课题是不符合社会主义市场经济的规律的。我们认为纵向和横向的课题是同样重要的，否则就没有我们今天这样的效果。国际合作和国内合作是相辅相成的。到目前为止，我们没有三角债，我们从 Internet 接到任务后，钱便到位。这样我们就可以用来武装我们的教学装备，提高我们的教学质量，培养出高水平的学生。

九、机电一体化中的“机”与“电”

机电一体化中的“机”和“电”的关系不是平行关系，作为机械学院，应以机械为基础：1. 设计技术（包括基础）；2. 工艺技术（包括基础）；3. 管理技术（包括基础）。我们国家在 50 年代，劳模搞高速切削等，做出了成绩；90 年代在国际上高速切削成为热门话题，但与 50 年代完全不同。现在的高速切削的概念是加工机床的计算机软件化（编程），高速切削刀具要重新研究其强度和刚度，加工而成的加工面为镜面状（光洁度）。由此可见，机电一体化，机械为主，计算机是工具，材料是基础，处理好这个关系就不至于被当成多一点机械多一点计算机就是机电一体化。现在机械工业 CIMS 的题目比较热，但现在我们 CAD 还没有完全过关，CNC 的机床用的情况怎么样，在这个问题上，我认为应先抓好 CNC、CAD/CAM/CAE 的技术。在此基础上，有条件的可以研究如何最有效地推广 CIMS 的问题，这一项先进技术是应该有条件地加以推广的。

十、校内培养与校后培养

我认为刚从大学毕业的人至少应是该单位的科技骨干力量的预备队，你要他设计一个东西，肯定不如在工厂工作 2—3 年的中专生，但将来大学生将从事的工作单位领导要心中有数，千万不要把他们当作中专生、大专生去用。要发挥他们的潜在能力，特别是研究生。由于我们国家目前对校后的培养没有一个比较完整的体系，或者说比较薄弱，跨世纪的人才培养不仅仅是在大学，尤其是校后的培养，所以我要特别地呼吁有关部门给予高度的重视。从当前的情况看，除了校后的培养，还有就是教师队伍的知识更新，他们同样需要跟上时代的步伐：掌握高新技术改造传统技术，进行工程化的学习（现在很多单位缺少工程化的概念）。由此，无论对校后的培养，还是教师本身的知识更新都是当前的紧迫的而又艰巨的任务，一个完整的体系必须建立。

十一、研究生、本科生、大专生和 中专生的培养

关于研究生和本科生在前面我已发表过观点，这里我想提一下大专生的

培养需进一步加强；技校的培养也应是一个方向，但目前技校的培养都是车、刨、铣的传统方式。我们怎么使大专生和中专生的培养适应高技术、新技术、先进技术和实用技术的使用需要，这是摆在我们面前的（也可以说是亟待解决的）课题。

发展高技术及高技术产业 提高湖南经济增长的质量和效益

何继善

中南工业大学

何继善 应用地球物理学家。1934年9月11日生于湖南浏阳。1960年毕业于长春地质学院。历任中南工业大学地质系教授、副系主任、系主任、副校长、校长。先后任中国地球物理学会副理事长，中国仪器仪表学会电法仪器专业委员会主任。1994年当选为中国工程院院士。主要从事勘探地球物理的理论、方法和仪器在工程领域里的研究。

一、高技术发展情况介绍

（一）国外发达国家实施高技术概述

80年代以来，许多发达国家或集团为了争夺在世界经济乃至军事上的主动地位，都把发展高技术和高技术产业当作自己立国之本和新的国策，竞相制订和实施投资大、耗时长的高技术研究发展计划，一些新兴工业国家及地区，为了在这场新的世界范围内的竞争中寻找新的机会，也在纷纷思考、制订新的发展计划。美国的“战略防御计划”、西欧的“尤里卡计划”、日本的“人类新领域研究计划”、经互会的“2000年科技进步综合纲要”的相继出笼，就是世界上这种高技术和高技术产业竞争到白热化的重要标志。这几项计划几乎囊括了当代所有高技术和前沿学科，也表明了以发展高技术为中心内容的新技术革命日益向纵深发展，从而对世界的经济、技术、社会、政治和军事等方面产生巨大而深刻的影响。

1.美国的“战略防御计划”计划又称“星球大战”计划，它是美国于1983年3月率先提出的，是一项以近地外层空间为主要基地，以激光等非核武器为主要作战武器的多层次的太空综合战略防御体系。该计划实质上是一项以高技术为中心，带动国民经济、科学技术和国防全面发展，并凭借技术优势来谋求其战略和政治目的的全面性计划。特别是与“星球大战”计划密切相关的若干尖端技术的重大突破，为建立这一新的战略防御系统展示了较为现实的前景，主要体现在以下五个方面：激光技术、非核拦截技术、信息处理技术、航天技术、探测技术。克林顿政府上台后，认为在今后相当一段时间内，美国已有足够的实力控制世界的局面，即放弃“星球大战”计划，提出“信息高速公路”设想，兴起了世界各国建设“信息高速公路”的热潮。

2.日本的“人类新领域研究计划”，是一项同美国的战备防御计划和欧洲的尤里卡计划相类似的高技术发展规划，计划的宗旨是从本质上弄清生物体的各种机能，以便人工利用这些机能。该计划是一个庞大的针对生物工程的研究计划。该计划的实施，对今后世界上农业、医药、食品和化工技术无疑是一项创举。

3.西欧的“尤里卡计划”是1985年7月由欧洲17个国家和欧洲共同体委员会成员国倡议的，随后发展到19个西欧的国家。尤里卡计划的目的是，在高技术领域，通过企业和研究所加强合作，提高欧洲工业和国民经济生

产率以及在世界市场上的竞争能力，从而进一步巩固其持久繁荣的基础，使欧洲能掌握和利用对其前途具有重要意义的技术。通过实施该项计划，达到进一步加强和促进工业、科学和技术方面的合作，并为这种广泛合作提供方便，发展具有能打入国际市场的产品、系统设备与服务项目。尤里卡计划涉及到：信息和通信技术、机器人技术、材料技术、加工技术、生物技术、海洋技术、激光技术以及环境保护和交通技术等高技术领域。

4. 经互会的“2000年的科学技术进步综合纲要”又称“东方尤里卡”计划，是经互会成员国于1985年12月签署的《经互会成员国到2000年科学技术进步综合纲要》，提出了将在五个优先领域内组织密切、全面的合作，以便研究和采用崭新技术和工艺。这五个领域是：国民经济电子化、综合自动化、原子能动力工业、新材料及其生产与加工工艺、生物工艺。

（二）世界六大高技术群

发达国家高技术争夺战是以下述6大技术群为核心展开的：

1. 信息技术群，是新兴技术群的核心和先导，是未来世界的中枢神经系统。

2. 新材料技术群，是新兴产业和新兴军事武器的物质基础，是高技术发展的骨骼和肌体组织。

3. 新能源技术群，是替代传统的石油和煤等燃料能源的新途径，是未来社会物质运作的动力源泉，相当于心血管系统。

4. 生物技术群，是前沿中的前沿，直接或间接利用生物体及其组织和功能的全新领域，开发前景令人震惊。

5. 海洋技术群，是更好地开发和利用占地球表面积71%的海洋和海底资源的现代手段。

6. 空间技术群，是当今科技发展的“伟大”象征，是探索地球、太阳系、银河系以至整个宇宙的新起点，今天已经大大更新了人类开拓和利用太空资源的先进手段。

（三）我国高技术发展状况

面对世界高新技术革命浪潮的冲击，对我们来讲，既是严峻挑战，又是发展科学技术、振兴国家的良好机遇。党和政府对此高度重视，明确指出“要组织精干力量不失时机地开展高技术研究”，从1986年3月，我国组织知名专家对高技术的发展战略进行了全面论证并从此开始组织实施我国的“高技术研究发展计划”（即“863”计划）。

“863”计划有7个研究领域：它们分别是生物、航天、信息、激光、自动化、能源和新材料。实施“863”计划的总目标是：

1. 在几个最重要的高技术领域，跟踪国际水平，缩小同国外的差距，并力争在我们有优势的领域有所突破，为本世纪末特别是下世纪初的经济发展和国防安全创造条件；

2. 培养新一代高水平的科技人才；

3. 通过伞型辐射，带动相关方面的科学技术进步；

4. 把阶段性研究成果同其它推广应用计划密切衔接，迅速地转化为生产力，发挥经济效益。

我国实施高技术计划的主要成就：

1. 形成了我国高技术发展的总体布局

（1）确立了重点发展领域的部署。为了保证计划全面实施，在组织科学

家进行全国范围的调查研究后,将7个领域115个主题分解成1400余个研究课题,组织600余个有技术优势的单位投入到任务中来,逐步确立了我国高技术发展的主要领域,做到了战略目标明确、项目和课题部署层次分明,为我国的高技术研究打下了良好基础。

(2)组织了一支高水平的研究队伍。通过计划的实施,组织起一支学科齐全、精干的研究队伍。计划实施实行专家委员会和首席科学家负责制。参加研究的科技人员1万多人,不仅稳定了全国高技术研究的队伍,吸引一批海外学者、尤其是年轻科学家投身到计划工作中。

(3)建成一批高技术基地。经专家的反复论证,在国家有关部门的协助和共同努力下,组建了一批工程研究中心,这些中心逐步建设成为我国高技术研究 and 攻关的人才培训、对外交流与合作、单元技术实验和集成以及开发目标产品的基地,为科技的进一步发展创造了很好的条件。

2.取得了一批重要成果

“863计划”的执行在我国高技术发展中起了带头和核心的作用,为国民经济的发展和社会进步作出了直接的贡献。实施以来,共取得研究成果400多项,其中达到国际80年代中、后期水平的成果52项。有20余项阶段成果已进入中试阶段,正向产业化过渡。

(1)生物技术为农业持续增产提供了新途径。我国人口不断增加,耕地逐年减少,因此解决众多人口的食物问题是十分紧迫的。两系法杂交水稻育种技术研制成功是水稻史上的一个重要突破。具有高效固氮能力的大豆根瘤菌株,推广15万亩,平均每亩增产大豆10.8公斤。水稻玉米根际联合固氮的菌株,平均增产7.5%。我国已掌握了稳定有效生产“试管”牛犊的技术,居国际领先地位。还获得了转基因的快速生长的工程鱼。这些情况表明,运用生物高技术振兴我国农业已见到成效。

(2)新药研制为提高人民健康水平提供了新方法。乙型肝炎疫苗的研究和开发取得了重大的进展。如我国肝炎带毒者1亿多人,5年以前,肝炎疫苗要靠从美国进口。由于“863计划”成功地突破了关键技术,建立了发酵的分离纯化新工艺,为我国乙型肝炎的预防工作发挥了决定性的作用。现在,不仅能批量生产满足国内需要,还有一定的出口能力。

(3)为产业的技术改造和现代化提供了技术支撑。高技术可以为传统产业的现代化和技术改造提供有效手段。然而,高技术的投资大、风险也大,常常使一般企业望而却步。由国家实施高技术研究发展计划,进行“超前”研究,有利于企业选择适合的技术。在更新原有产品、改造落后设备、改革传统工艺、促进科学管理等方面,“863计划”中各个领域研究的新材料、新器件、新工艺、新设备、新能源等对企业的改造都起着带头和引路的作用。

(4)提高了我国高技术水平和国际声望。10年来,“863计划”的实施使我国高技术的水平有了明显的提高。不仅缩小了同国外的差距,增强了我国的实力,而且开拓了中国独特的研究领域,提高了我国在高技术领域的国际地位。

二、高技术的特点及其产业化的影响因素

(一)高技术的特点

单纯从技术范畴来定义,高技术是尖端技术,也是新技术,它体现了人类的智能集中度,是人类最新科学成就。高技术产业是以高技术为核心,通

过各种生产要素的引入、改进、组合与创新形成的。与传统技术比较，高技术有许多特点。正是这些特点决定了高技术能够影响产业结构以及产业结构变革方向。高技术的特点主要体现在以下五个方面：

1. 高效益 高技术具有显著的经济效益和社会效益。如美国是目前世界上计算机装备水平最高的国家，据统计，计算机每年完成的工作量相当于4000亿人的工作量，为美国现有人口工作量的2000多倍。另外还有许多高技术的效益是潜在的。例如遗传工程技术，到目前为止，投入仍大于产出，但可以预计，一旦技术取得突破，将会带来农业、医药、食品、林业、渔业、能源、化工、矿产等部门翻天覆地的革命。其经济和社会效益是难以衡量的。

2. 高渗透 高技术的可移植性很强，随着高技术的发展，高技术产业迅速向人类社会生活的各个领域渗透，包括国家政治、军事、经济、文化等众多方面，从整体上提高了社会的智能化水平。高技术的渗透性还广泛地体现在它促使传统产业实现现代化的社会功能上，使传统产业高技术应用中获得新生，得到发展。汽车工业是传统工业的代表之一，计算机技术对它的渗透性非常显著。在美国，汽车工业中大约50~60%以上的设计绘图是由计算机完成的。

3. 高要求 高技术发展要求广泛而多层次的技术支撑。通常是“丰富的科技资源、商业化的资源配置渠道、充足的风险资本、完善的辅助工业生产服务体系、有力的政府政策支持、良好的自然环境以及有效的信息传播网络。”国内外高技术产业发展的历史充分证明了这些技术支撑的重要性。

4. 高投入 对高技术进行研究和开发以形成高技术产业，必须投入高额资金和能力。由于技术等级高，因而高技术产业的设备投资额巨大，而高技术的快速更新，又给设备更新造成巨大压力。另外，由于高技术产业产品换代周期短，企业为尽快形成经济规模，以优价垄断市场，一般总是争取尽早地转入批量生产，因此必然快速、大量投资。此外，还要付给研究人员高额报酬。如日本用于高技术的投资1973年占国民生产总值的2.3%，而1983年占国民生产总值的3.25%，高达423亿美元。

5. 高风险 在传统产业中，风险来自两个方面。一是源于技术开发与创新中对未知的探索，即技术风险；二是开拓产品市场，占有市场的可能性，即市场风险。高技术产业除了这两层风险外，更主要的风险还在于本身更新快与可能不成熟的特征。这就使得高技术产业对技术风险的抵抗力比较薄弱。另外，与一般技术相比，高技术产品换代周期短、时效性强、更新快，这就使得高技术产业的风险性更大。

（二）影响我国高技术产业化的因素

从科研到产业有4个环节，即科研、开发、中试和产业化。这四个环节在循环中受到诸多因素的影响。其中主要有：技术成熟度、研究与开发方式、技术配套水平、决策结构与立项准则、利益分配、产权关系、投资方式、产业化环境、资金、信息沟通、组织与管理 and 政策法规等因素。

这些因素有着明显的层次性，每个层次的作用方式又各不相同。其中技术成熟度、利益分配和产业化环境为直接影响因素，这3个因素解决得好与坏，是高技术产业化能否顺利实现的标志，研究与开发、技术配套水平、产权关系、资金、信息沟通是影响产业化的深层原因，其中研究与开发方式、产权关系、资金是影响和制约高技术产业化的关键因素，能否加快高技术产业化，很大程度上取决于这3个因素的状况。决策结构与立项准则、投资方

式、组织与管理、政策法规是政府作用的主要方面，是上述这些因素中可控的部分。

高技术成果的转化是需要有一定的环境作为支撑的，其中资金和信息的沟通，为高技术企业提供优惠的政策和法律保证至关重要。政府、企业与金融界是高技术产业发展最重要的资金来源。对高技术应全面考虑现有技术水平、工艺条件和市场需求，那些实际证明不能按预期设想实现的项目应及时终止，以节约资金和人力。同时改变投资方式，吸引企业、金融机构及外商投资，变完全由国家承担经费和风险为经费、风险分担。

（三）高科技产业的实例

1. 航空工业

航空工业是一个典型的高技术产业的例子。首先航空工业是国防力量的基础产业。海湾战争证明，未来战争是以飞机和战术导弹为主要进攻武器的高技术战争。如果没有强大的航空工业就不可能应付现代战争，就不可能有巩固的国防。

其次，航空工业是国民经济发展的先导产业。当代先进的航空器高度集中了大量先进技术，它的发展必然带动我国有色金属、高温合金、橡胶工业以及石化、轻工、电子、机械等工业部门的发展技术水平的提高。如为使航空动力有更大的推重比，推动了轻质合金、复合材料的发展。由于航空高技术是综合性技术，它不仅带动了其它产业的发展，还导致新兴产业的形成，从而推动了工业技术的发展。

再次，航空工业是高附加值、高创汇率的重要产业。据日本资料介绍，按单位重量价值比较，如轮船为 1，则小轿车为 9，电子计算机为 300，喷气式民用飞机为 800，航空发动机为 1400；按附加值率计算，航空产品为 44%，钢铁为 29%，汽车仅为 25%。如美国出口一架波音 747 客机，可以弥补进口 12000 辆小轿车所创造的逆差，从我国的实际情况看，出口一架歼七飞机的价格等于 2~3 万台双缸洗衣机出口价格的总和。

同时，随着我国国民经济的发展，对民用飞机的需求日益增长。据统计，截至 1993 年底中国民航及各地方航空公司拥有各型运输飞机 373 架，其中进口 7 个国家 32 种型号飞机 310 架，占机队总数的 83%；国产飞机仅有 63 架，占机队总数的 17%。据英国宇航预测：1991 年至 2010 年，中国需订购支线飞机 449 架，欧洲空中客车公司估计：未来 20 年中国外购飞机价格总额将达 400 亿美元。

2. 高技术产品的例子

广东风华高新科技股份有限公司是一家以新型片式电子元件、电子材料及电子专用设备为龙头产品的外向型高新技术企业集团。该公司 12 年前只是一个单纯依靠引进外国设备起步生产独居石电容器的百人小厂，销售收入不足百万元。多年来坚持走引进、消化、吸收、创新、“产、学、研”相结合的路子，通过高新技术的产业化，在短时期内高新技术含量得到了大提高，企业规模得到了大发展，经营效益得到大腾飞。实现企业的销售收入、利润及出口创汇连续八年翻番的惊人成绩。成为我国具有较大技术领先和规模优势的高新技术微电子基础产品的科研、生产、出口基地。从该企业我们得到了几点较深刻的启示：

（1）企业需要高技术

该公司在引进初期，依赖外国的原材料，受到外国公司提高价格和供货

限制，制约了生产的发展和产品的升级换代，使产品总落后于世界先进水平，在国际市场竞争中处于被动地位。虽然不断努力，力求有所突破，但苦于技术力量单薄，一直未见有大的成效。后来进行了我国高技术“高性能低温烧结 MLC”的转化，使企业产品成本大幅度下降，产品性能大大提高，技术指标迅速达到世界先进水平。优良的性能价格比使目前的 MLC 市场容量迅速增长，填补了国内空白，完全取代了进口，MLC 产品质量也随之显著提高，部分产品出口美国。

（2）高技术需要企业

“科技是第一生产力”关键体现在产业化，高技术也只有通过企业转化，才能变化为现实生产力，才能走向市场，才能真正取得效益。只有企业才具备在激烈的市场竞争中把重大科研成果迅速转化为现实生产力，增强市场竞争能力的迫切要求和投放实力。该企业之所以在短时间内就能把高技术成功转化，首先，因为企业拥有资料国产化研究的基础，已有一批长期从事该领域开发研究并积累了丰富经验的工程技术人员，已有必要的试验设备；第二，企业看到了这个项目的发展前景和国际市场的巨大潜力，舍得大力投入，为该项目的转化购买了必要的先进测试手段和一条完整的中试生产线；第三，企业可迅速直接地把成果推向市场，推向国际并不断从市场的快速信息反馈中获得对技术发展的需要，“需要”就是科技再开发的原动力。企业的发展需要及市场需求又对高技术不断提出了新的要求和课题时。因此，要把高技术转化的重点放在企业。

（3）高技术成果转化关键在于人

高技术项目的转化必须发挥一批既有现代化科技意识，又懂经营会管理的综合型人才的优势，使企业的决策始终站在市场的前面。还要为科技人员塑造一个人尽其才、才尽其用的社会氛围和企业氛围。风华发扬了创新、进取、敬业和敢于参与国际竞争的精神，与大学院所密切配合，在较短时间内通过艰苦的努力，才使成果转化取得巨大成功。

三、“高技术”界定方法

高技术及其产业发展已被众多国家视为本国经济实力增长最强劲的推动力。制定发展高技术产业政策的前提是对“高技术”进行界定。目前，西方国家大致有两类比较典型的方式描述高技术产业的发展，一种基于产业的方式（Industry-based method）即界定高技术产业（行业），一种是基于产品的方式（Products-based method），即划分产业（行业）高技术产品类别。通常以下列三个指标作为界定高技术产业和产品的依据。

1. R&D 密集度，如 R&D 经费支出占制造业总产出（按增加值计算）或总销售额的比重。

2. 科技人员比重，如从事研究开发人员占职工总数的比重。

3. 产品可见的技术复杂程度，如产品的技术水平、产品生产的设备、工艺水平等。

通常，用上述一个或几个指标的组合作为界定和划分高技术产业和产品类别的标准。基于产业的界定方法，是从产业层次入手，试图从宏观上反映高技术产业的规模和结构。但在一个产业中，并非所有的产品都是高技术产品，因此，这种宏观的方法有可能高估某个高技术产业规模；反之，某些产业从全行业的角度尚不能成为高技术产业（行业），但也有一定比重的高技

术产品，因此，也有可能低估其高技术的总规模。

基于产品的划分方法，其优势在于将非高技术产品排除在外，即它是高技术产业所生产的。同时，这种微观的方法为贸易和政策分析提供了更为详细的信息。但由于目前尚未形成一套产品分类的国际标准，这种方法只能依据国际贸易中使用的以产品为基础分类的《海洋统计商品目录》进行，因此，对高技术产品的分类主要在分析高技术产品的国际竞争力中使用。

（一）关于高技术产业的界定方法

OECD（经济合作与发展组织）把 R & D 密集度（R & D 经费占工业增加值的比重）作为界定高技术产业的标准。1996 年，OECD 将对于其他制造业而言具有较高 R & D 密集度的计算，大产业界定为高技术产业（见下表）。R & D 密信度的计算，以 13 个 OECD 成员国的 22 个制造业行业 1980 年的数据为基础，产业分类采用 ISIC（国际标准产业分类）。1992 年 OECD 重新审定了上述定义，其界定结果仍未改变。由于对 R & D 经费的统计已有国际规范，易于操作，同时 R & D 密集度又体现了高技术的特点，OECD 的高技术产业界定方法以及由此得出的高技术产业的分类，在国际比较中被广泛采用。

OECD 确定的高技术产业	R & D 密集度
飞机、航空器制造业	22.7
办公及计算机设备制造业	17.5
通讯设备制造业	10.4
医药品制造业	4.8
科学仪器制造业	4.8
电气设备制造业	4.4

但“高技术”本身是一种范围较广、涉及问题较多，且随时代发展不断变化的概念，因此对高技术产业的界定至今尚无国际公认的方法和标准，也有一些国家根据本国的经济、产业发展的特点，采用不同的界定方法和标准来划分本国的高技术产业。

1982 年，美国商务部（DOC）以各产业 R & D 经费支出占工业增加值的比重以及科学家与工程师、工程技术人员占整个产业职工数的比重来界定高技术产业。据此，化工产品制造业、非电气机械制造业、电气机械制造业（包括电子设备）、运输设备制造业（包括导弹、火箭）和仪器、仪表制造业共五大产业归属于高技术产业。

《1994 欧盟科学技术指标报告》把有很高经济增长率和国际竞争能力，有较大就业潜力，同时 R & D 投入高于所有部门平均水平的航空航天制造业、化工产品制造业、医药品制造业、电气设备制造业、电子设备制造业、数字处理办公设备制造业、汽车及零部件制造业、科学仪器制造业共 8 大产业作为技术密集型或先导型产业。

但从国际比较的角度看，包括美国在内的几乎所有发达国家都应用 OECD 的方法进行国际比较。

从以上可以得出几点结论：

1.OECD 关于高技术产业界定是从产业层次入手界定的高技术产业，试图从宏观上反映各高技术产业的整体水平；

2. OECD 对上述方法的使用目前仅限于制造业范围；
3. OECD 划分的高技术产业分类已在国际比较中广泛应用。

（二）关于我国高技术产业的界定

由于统计资料的来源等方面的问题，目前我国尚不具备采用国外类似方法测算、确定自己的高技术产业的基础，又考虑到进行国际比较的重要性，我们暂时借用 OECD 确定的高技术产业分类和与之对应的我国高技术产业分类。

OECD 确定的高技术产业	我国对应的高技术产业
飞机、航空器制造业	航空、航天器制造飞机修理业
办公及计算机设备制造	电子计算机制造
	电子计算器制造
	复印机制造
	打字机及油印机制造
	其它文化、办公用机构制造
通讯设备制造	电子及通信设备制造（不包括其修理业，以及电子计算机制造）电子工业专用设备制造
医药品制造	医药品制造
科学仪器制造	光学玻璃制造医疗器械
——其它专业	
科学测量和控制设备制造	畜牧兽医医疗器械
——照相及光学器材制造	仪器仪表制造（不包括复印机及油印机、其他文化、办公用机械制造和修理业）
电气设备制造	电气设备及器材制造
（不包括通讯设备制造）	

（三）高技术产品分类方法

界定什么是高技术产品有多种方法，但目前被 OECD（经济合作与发展组织）采用，并较为广泛应用的是美国商务部制定的高技术产品分类。

早在 1971 年，美国商务部就依据某类产品销售额中 R&D 支出的比重和科学家、工程师、技术工人占全部职工的比重均大于 10% 为标准，结合本国的《工业标准分类》SIC（Standard Industrial Classification）确定了高技术产品目录，该分类方法称 DOC1。

1977 年，由于《国际标准贸易分类（SITC）》的出现，美国为分析技术创新对国际贸易产生的影响，在 DOC1 的基础上进一步完善，并考虑了 SITC 的分类，改进了原有的高技术产业目录，称为 DOC2。1982 年，美国在高技术产品分类方法上的研究进一步深入，提出确定高技术产品不仅要依据最终产品用于 R&D 经费的多少，同时还要考虑中间产品（即最终产品的零部件）所支出的 R&D 经费。把某类 R&D 支出大大超出其它产品，确定为高技术产品，即称为 DOC3 的方法，依据该方法确定的 12 大类产品为：

SIC（Standard Industrial Classification）

376 导弹以及航空器

365 无线电及电视接收设备

366 通讯设备
367 电子元器件
372 飞机及零部件
357 办公设备及计算、会计仪器
348 军械用品
283 医药制品
281 工业用无机化工制品
38 专用设备及科学仪器
351 发动机及涡轮机
282 塑料材料及其合成制品，合成纤维及其他人造纤维（不包括玻璃制品）

1989 年以前，美国商务部利用上述方法对高技术产品的进出口状况进行统计和分析。随着美国商务部所使用的国际贸易分类的变化，目前高技术产品分类从原以《国际标准贸易分类（SITC）》为基础，改为以海关合作理事会制定的《商品名称及编码协调制度（HS）》为基础的进出口商品统计分类。在以往对高技术产品定义和分类进行研究的基础上，又增加了定性分析，对高技术产品进一步筛选，把满足以下两个条件的产品定义为高技术产品：

1. 产品的主导技术必须属于所确定的高技术领域；
2. 产品的主导技术必须包括高技术领域中处于技术前沿的工艺或技术突破（breakthroughs）。

所确定的高技术领域包括 10 大领域：（1）生物技术，（2）生命科学技术，（3）光电技术，（4）计算机及通信技术，（5）电子技术，（6）计算机集成制造技术，（7）材料设计技术，（8）航天技术，（9）武器技术，（10）核技术。据此，依据 HS 前 6 位代码所划分的高技术产品共有 222 类。由于 HS 前 6 位代码为国际通用代码，按照美国的这种方法进行国际对比是非常方便的。

目前 OECD 组织对于高技术产品的划分尚无形成具体的标准，该组织在进行国际比较时一直采用美国的高技术产品目录。从 1990 年开始，参照美国的分类方法从我国的“海关统计商品目录”中分离出高技术产品，并据此以对我国的高技术产品进出口情况进行统计分析。

目前，采用的高技术产品分类就是上述 10 大高技术领域的 222 类产品。按照该分类，1994 年我国高技术产品进出口总额达 269.37 亿美元，占全国商品进出口总额的 11.4%，具体情况如下：

1994 年全国高技术产品进出口情况

单位：亿美元

	进出口总额	进口总额	出口总额	贸易逆差
1993 全部商品 (A)	1957.13	1039.50	917.63	-121.87
工业制成品 (B)	1648.22	897.35	750.87	-146.48
高技术产品 (C)	205.85	159.09	46.76	-112.33
CA (%)	10.5	15.3	5.1	
CB (%)	12.5	17.7	6.2	
1994 全部商品 (A)	2367.31	1156.93	1210.38	+53.45
工业制成品 (B)	1055.55	992.24	1013.31	+21.07
高技术产品 (C)	269.37	205.95	63.42	-142.53
CA (%)	11.4	17.8	5.2	
CB (%)	13.4	20.8	6.3	

四、湖南省高技术产业现状与趋势

湖南省高科技产业的发展，80 年代后期开始起步。随着改革开放的日益深化，社会主义市场经济体制的逐步建立，加上我省的区位和资源优势，较雄厚的工农业基础，迅速发展的外向型经济和第三产业，为高科技产业的发展提供了良好的政策、社会经济环境和难得的机遇。科技实力不断增强，为高科技产业化奠定了一定的基础。

(一) 高科技产业崭露头角

省内的高科技产业，自 1988 年起，已进入有专项计划、有组织发展的新阶段。据统计，1992 年我省高技术产业实现产值 55.29 亿元，占全省工业总值的 (983.83 亿元) 的 5.62%，创利税 5.746 亿元，利税率为 10.39%。

指导高科技产业发展的火炬计划顺利实施。1988～1993 年，累计实施国家级和省级火炬计划项目 158 项 (其中国家级 32 项)，投入 3.645 亿元。全部完成后，可实现年产值 19.7795 亿元、利税 7.965 亿元，创节外汇 1.518 亿美元。一批优秀项目，已形成规模经济效益，有的产品进入国际市场。年产值 1000 万元以上的一氧合成分散染料及中间体、铁铝酸盐水泥等 8 项，500 万元以上的有电子天平、钢结硬质合金等 15 项。

五大领域高科技研究和产业开发初见成效。超硬材料、新材料、家用电脑及其软件、基因工程水稻、数控磨床系列等 18 大技术优势，有的已形成年产值上亿元的大产业。

1. 新材料具有资源和技术优势，在科研、生产、教学、实验手段诸方面属国内先进水平或居领先地位。一批研究成果令人瞩目。耐高温、耐腐蚀、稀土等合金新材料，陆续在国防、电子仪表、机械等行业推广应用。不锈钢纤维、碳化硅纤维、金刚石薄膜、人造金刚石、高温超导材料、热喷涂合金、磁屏蔽材料、精细陶瓷器件、非晶态材料等成果，达到世界先进水平。新材料工业化开发已有长足的进步，具有五大优势：一是超硬材料。已形成年产值达 4 亿元的产业群，湖南成为全国第二大超硬材料中心。二是粉末冶金材料。中南工大研制的粉末冶金新材料居全国领先水平，已广泛应用于航空、航天、坦克、火箭等国防工业。三是硬质合金材料，已形成年产值达 4 亿元的产业。四是高效低毒新农药。全省原药年生产 2 万多吨，仅次于江苏。五

是染料、颜料系列新产品。已形成年产值达 8000 多万元的规模效益。

2. 生物技术领域的农业、医药与医学等方面具有明显的优势。农业生物工程方面，两系法杂交稻和遗传工程稻、两系法杂交小麦、鱼类细胞工程和经济真菌细胞工程等项研究，居国内领先水平。医学基因工程技术方面，湖南医科大学的人体癌基因在染色体的基因定位、异常株蛋白分子链的一级结构分析、分子杂交法基因病毒产前诊断技术等研究，均处于国内先进水平。人类高分辨染色体技术达国际先进水平。自体、导体试管婴儿已培育成功，使省内人类生殖科研进入世界先进行列。同时，研制出一批基因工程和细胞工程产品。

3. 电子与信息技术在国内具有较大的优势。磁盘驱动器、机器人视觉系统与行走装置、无人小车、计算机汉字信息技术与模式识别、模糊逻辑计算装置、办公系统等研究成果，居全国前列。国防科大的银河 K 亿次和银河 K 10 亿次计算机系统，属国内仅有，达世界先进水平。

4. 机电一体化产业，通过技术引进、技术改革和科学攻关，有了明显的进步。已有 33 个企业 225 个单项采用计算机辅助测试和辅助管理，能耗、材料明显降低，装备条件得到改善，工艺水平得到提高。通过产品结构调整，高技术、高附加值产品开发也得到很大的发展，机电一体化产品品种率已从大到 3% 增加到 8%。其中 108 吨和 154 吨电动自卸车、50 吨全路面汽车起重机、电力机车、双金属带锯条、集装箱起重运输车、电子天平等产品，达国际 80 年代末先进水平，居国内领先地位，并开始进入国际市场。

5. 新能源、高效节能和环境资源保护新技术领域研究开发，取得一批重要成果。全省的能源建设，经过几十年的努力，至 1992 年底，发电装机容量达 652.4 千瓦，其中水电 331.3 万千瓦，火电 321.1 万千瓦，全年发电量 227.35 亿千瓦时，但仍缺电 25—30 亿千瓦时。能源短缺是制约我省经济发展的重要因素之一。长期以来，黑色和有色金属冶炼、化工、化肥等工业只能季节性生产，生产能力得不到充分发挥。能源开发利用上，做了大量工作，农村沼气资源的开发新技术在全国处于先进水平。太阳能、地热能、风能的利用，也有一些阶段性成果。还推广了一批高新节能技术。但总体来说，与国内先进省（市）相比，还存在较大差距。

（二）高新技术产业开发区建设进展较快

长沙、株洲两个国家级和湘潭、岳阳、衡阳三个省级高新技术产业开发区，软环境逐步改善，硬环境建设进展情况良好，为全省高科技产业的发展起了示范和龙头作用。

（三）发展高技术和高技术产业，提高湖南经济增长的质量和效益

杨正午同志指出：“要重点开发、推广新材料、生物技术、电子与信息、机电一体化、新能源与环保新技术等五个领域的科技成果，并使其逐步形成产品优势和产业优势。”

湖南省高科技产业发展领导小组于 1994 年 7 月制定的《湖南省 1994 年～2000 年高科技产业发展实施计划》中提出了发展湖南高科技产业的八条措施：1. 提高认识、统一思想；2. 落实组织，加强管理；3. 明确政策，优化环境；4. 广辟财源，增加投资；5. 开拓市场，促进营销；6. 发挥优势，转化成果；7. 强化基础，增大后劲；8. 培育人才，开发智力。

我省现状和发展趋势的分析说明，我省发展高技术及科技产业是领导重视，群众积极，组织落实，措施得力，基础扎实，成效显著。高科技产业完

全可能成为一个重要的经济增长点，在实现提前翻两番、跻身全国十强的战略目标中发挥重大作用。但发展中面临着一些困难和问题，如：投资强度太低，远远满足不了高科技形成产业的要求；有关政策不够完善、配套，软环境有待进一步改善；传统经济模式形成的部门分割、地区分割的管理体制与发展不相适应，运行机制不够灵活。科技力量分散，缺乏产业化的经营管理人才等。

这里我谈谈一些片面的不成熟的关于发展高技术及其产业的想法：

1. 政府要引导研究和开发有湖南特色和资源优势的高技术。湖南是闻名的鱼米之乡和有色金属之乡，这是特色和优势；全国研究鱼和研究米的院士在湖南，我国有色金属的最好的高等院校在湖南，这是优势；我省有全国唯一的国家粉末冶金工程研究中心和国家粉末冶金重点实验室，这是优势；我省有一些在全国乃至世界都有影响的科技成果，如银河亿次计算机，这又是优势；我省有许多技术水平、管理水平和设备条件等都很不错的大中型企业，这也是优势。因此，我省有能力研究和开发具有湖南特色和优势的高技术。政府可以根据有关发展规划，通过项目带动，组织攻关，积极引导，使这种研究和开发与我省经济发展紧密联系在一起，并保持某些领域行业（产业）处于领先的地位。这种研究和开发比起引进高技术，应该说更是有战略意义，对促进持续提高我省经济增长的质量和效益具有深远的意义。

2. 政府要鼓励企业成为科技投入的主体。党和国家实施科教兴国的战略，是把“科技是第一生产力”的伟大论断上升为国家意志，但并不是全体公民都认识这一道理，科教兴国的全国意识还未形成。由于历史原因，一方面高等院校科研院所缺乏研究开发经费，或研究内容远离经济建设；另一方面企业严重缺乏研究开发队伍，苦于没有科技成果用于产品更新换代或技术改造，从而造成科技与经济脱节。改革开放以来，政府就此做了不少努力，取得显著效果，但由于旧观念的影响，个别企业领导的短期行为，配套改革没有到位等原因，科技与经济脱节的状况没有根本改变。因此，有必要：一是加强科教兴国的宣传；二是鼓励企业成为科技投入的主体，包括科研经费的投入，开发经费的投入、中试经费的投入和产业化所需经费的投入；三是促进“产、学、研”联合体开展实质性的联合。

3. 高等院校科研院所要树立科技工作面向经济建设主战场的思想，鼓励科技人员到企业、到生产第一线找课题，找经费，乃至兼职，把发展高新技术与我省经济和社会发展紧密结合起来。

4. 发展高技术和高技术产业必须对有限的目标突出重点，集中力量解决制约我省经济发展的关键领域。目前我省财力、物力有限，不可能在高新技术及其产业领域全面铺开。因此，要进行科学规划，选准项目，把各种力量组织起来，将财力、物力适当集中，将我省的科技优势充分发挥出来，就能干成几件大事。

5. 发展高技术及其产业必须要为老企业的技术改造服务。目前我省有相当一部分是传统产业，它们是我省经济的主体，其大部分设备工艺落后，产品技术含量不高，企业经济效益不好，需要进行技术改造。技术改造要有高起点，要瞄准大市场，要与发展高技术产业结合起来，促进我省经济整体素质提高。

6. 发展高技术及其产业必须要为产业结构调整服务。产业结构是国民经济整体与各个部门之间、各部门彼此之间以及各部门内部各个组成之间的相

互联系和对比关系。产业的划分一般是：农牧业为第一产业，工业建筑业为第二产业，交通运输、商业、信息以及各种服务行业为第三产业。一般认为产业结构的形成与变化受自然资源条件、生产需求、生活水平、劳动力和资本拥有情况、生产技术体系、国际贸易、国际分工结构等因素的影响，但最主要的因素是科学技术进步。高技术强烈影响着产业结构的调整。

7.发展高新技术产业必须抓好人才培养和使用工作。发展高新技术产业关键是人才，特别是跨世纪的优秀人才。不仅需要一大批有能力为发展经济和市场需要而从事研究开发的科技人才，而且要努力造就一大批既懂科技又懂经济，会经营、善管理、富有事业心的企业家，同时还要培养一大批熟练的技术工人。现在很多企业经济效益不高的重要原因之一不是技术因素，而是由于企业管理、工艺操作等方面的非技术因素造成的。

8.发展高技术及其产业，要加强知识产权的保护力度。既要用法律保护自己的知识产权，又要尊重他人的知识产权。现在有一些企业的产品质量好、知名度高，在市场上很有竞争力，但忽视了商标注册，结果自己反而成为被告；或者被大量的假冒产品挤垮了。这样的情况在我省也有不少例子。另一方面，有些企业利用高等院校科研院所的试验室成果进行中试成功后，就甩掉成果拥有者，严重地打击了科技人员的积极性，这种情况在我省也有所出现。因此，要加强知识产权的保护力度。

高温超导材料研究进展

周廉

中国有色金属工业总公司西北有色金属研究院

周 廉，超导及稀有金属专家。1940 年 3 月 11 日出生于吉林省舒兰县。1963 年毕业于东北大学。现任西北有色金属研究院常务副院长、教授、国家超导专家委员会首席专家。兼任中国材料研究学会副理事长。1994 年被选聘为中国工程院首批院士。主要从事超导材料及稀有金属材料的研究，并取得多项重要成果。

一、超导材料研究发展回顾

1986 年 J.G.Bednorz & K.M.Müller 发现氧化物高温超导体，是最近几十年来在物理学和材料科学领域中的重大突破之一。十年来，它在全世界范围引起公众、政府的极大关注，各国众多科学工作者参与了超导研究与发展工作，人们期望着高温超导体的发现与应用最终会给社会带来巨大的技术与变革。

自 1911 年发现超导体以来，人们一直在努力寻找更高临界温度的超导体。图 1 中给出了最高 T_c 值随年代的变化情况，在

高温超导体出现以前的 75 年间，最高 T_c 值约以每年 0.25K 的平均速度平缓升高。总体来说，超导材料的发展经历了一个从简单到复杂，即由一元系到二元系、三元系以至多元系的过程。在 1911 ~ 1932 年间，以研究元素超导体为主，除 Hg 外，又发现了 Pd、Sn、In、Ta、Nb、Ti 等众多的元素超导体。现在已知，在元素周期表中有 50 多种元素具有超导电性。在 1932 ~ 1953 年间，则发现了许多具有超导电性的合金、以及过渡金属碳化物和氮化物， T_c 得到了进一步的提高。随后，在 1953 ~ 1973 年间，发现了一系列 A15 型（如： Nb_3Sn ， V_3Ga ， Nb_3Ge ）超导体，使 T_c 值上升到 23.2K（高温超导体发现以前的最高 T_c 值）。1986 年以后发现的多元系氧化物超导体使 T_c 值在 10 年的时间里提高到了 160K。在高温超导体出现以前，使用在液氮温度下的低温超导材料经过二十余年研究与发展获得了成功。以 NbTi、 Nb_3Sn 为代表的实用超导材料已实现了商品化，在核磁共振人体成像、超导磁体及大型加速器磁体等多个领域获得了应用。SQUID 作为超导体弱电应用的典范已在微弱电磁信号测量方面起到了重要作用，其灵敏度是其它任何非超导的装置无法达到的。但是，由于常规低温超导体的临界温度太低，必须在昂贵复杂的液氮（4.2K）系统中使用，因而严重地限制了低温超导应用的发展。

高温氧化物超导体的出现，突破了温度壁垒，把超导应用的温度从液氮提高到了液氮（77K）温区。同液氮相比，液氮是一种非常经济的冷媒，并且具有较高的热容量，给工程应用带来了极大的方便。另外，高温超导体都具有相当高的上临界场（ H_{c2} （4K）> 50T），能够用来产生 20T 以上的强磁场，这正好克服了常规低温超导材料的不足之处。正因为这些由本征特性 T_c 、 H_{c2}

所带来的在经济和技术上的巨大潜在能力，吸引了大量的科学工作者采用最先进的技术装备，对高 T_c 超导机制、材料的物理特性、化学性质、合成工艺及显微组织进行了广泛和深入的研究。高温氧化物超导体是非常复杂的多元体系，在研究过程中遇到了涉及多种领域的重要问题，这些领域包括凝聚态物理、晶体化学、工艺技术及微结构分析等。一些材料科学研究领域最新的技术和手段，如：非晶技术、纳米粉技术、磁光技术、隧道显微技术及场离子显微技术等都被用来研究高温超导体，其中许多研究工作都涉及到了材料科学的前沿问题。高温超导材料的研究工作已在单晶、薄膜、体材料、线材和应用等多方面取得了重要进展。

超导电性的实际应用对实用超导材料有几方面的要求。首先，在超导性能方面要有尽可能高的 $T_c(H, J)$ 、 $H_{c2}(T, J)$ 和临界电流密度 $J_c(T, H)$ ($> 10^4 \text{ A/cm}^2$, 1T)，较低的交流损耗，以及较好的热力学和磁学稳定性；其次，超导线材的长度以及价格应满足实用的要求。

从本征特性来看，高温超导材料最大优势是具有较高的 T_c 和 H_{c2} ，但材料本身为层状结构，具有极短的相干长度，超导性能和热力学特征都呈现很强的各向异性。另外，在这类复杂的多元体系氧化物超导体中存在着复杂的相转变问题，如在 YBCO 体系超导体中，由于氧的作用会发生四方-正交相变。在 BSC-CO 体系超导体中，工艺参数的微小改变就会导致 2223 相、2212 相及 2201 相的转化，因而在这类材料中，多相共生的现象普遍存在。这些特征，使得具有高角度晶界的多晶高温超导材料呈现严重的颗粒性及弱连接现象，导致极低的 J_c ，并且使 J_c 值随外磁场的增加呈指数下降。影响 J_c 的另一个主要因素是高温超导材料在液氮 (N_2) 温区的磁通钉扎力较弱，导致较低的不可逆场和严重的磁通蠕变等。从成材角度而言，高温超导材料作为多元体系的氧化物陶瓷，在制造技术方面存在着较大的困难，必须克服来自加工脆性、氧的进出及与基体反应等问题。近年来，从事超导研究的科学家进行了大量的材料基础研究，深入了解了高温超导体的物理及化学特征，另一方面针对存在的制造技术方面的问题，发展了许多特种制造工艺技术，利用织构化技术已在很大程度上改善了各向异性的影响，采用熔化工艺及外延生长技术已能够克服颗粒性及弱连接，并且通过引入高密度的晶体缺陷作为有效的磁通钉扎中心，获得了高 J_c 值。但是，把这些成功的手段应用于成材技术中制备出满足工程应用要求的实用高温超导长线（带）方面，还需要进一步努力。近年来发展起来的熔化工艺已把 Y 系超导块材的 J_c 值提高到 10^5 A/cm^2 (77K, 1T)。在线（带）材方面，1994 年来，千米长的 Bi 系带材的 J_c 已超过 10^4 A/cm^2 (77K, 0T)，用这类带材绕制的磁体已产生了 4T (4.2K) 的磁场。制备出的高质量薄膜已达到了实用的要求，用它制成的高温 SQUID 已达商品化。另外，在大电流引线、贮能、限流器、电缆和电机等方面的应用也取得了很大的进展。

总之，10 年的时间在科学发展史上只是短暂的一段，但高温超导研究却取得了飞速的发展。本文以下将着重介绍 10 年来在高温超导材料及其应用领域取得的重要进展。

二、高温超导材料进展

1. 单晶

为了揭示氧化物超导体的超导机制和寻求更高 T_c 的新材料,需要对这些氧化物进行精确的物理测量,由于至今所发现的氧化物材料具有复杂的原子结构和强的各向异性,所以要获得高度可信的数据就必须使用高质量的单晶,这种高质量单晶应满足几个条件:大尺寸,好的表面形貌,高的纯度,很好的均匀性和低的晶体缺陷。此外,高质量大尺寸氧化物超导单晶是优质的高温超导薄膜基底,大尺寸氧化物超导单晶制造技术的发展促进了超导器件的开发。

由于氧化物超导体是由多种元素(至少四种)组成的化合物,再者因为 YBCO 体系相关关系的复杂性,这些因素使得直接从 YBCO 组份的液相中得到 YBCO 单晶变得十分困难。因此,直到现在 YBCO 单晶的生长主要是通过各种类型的助溶剂,如 $PbO - B_2O_3$, $KCl - NaCl$ 来实现的。但是用这些助溶剂要获得高质量的单晶却十分困难。在多数情况下一般采用 $BaO - CuO$ 做自助溶剂。但这种方法有许多缺点:首先, $BaO - CuO$ 几乎和任何类型的坩埚都发生反应,从而使单晶受到坩埚材料的污染,所以难以获得高质量的单晶。其次,由于 YBCO 与 $BaO - CuO$ 熔液的化学性质几乎一致。所以从 $BaO - CuO$ 熔剂中分离 YBCO 单晶十分困难。此外,因为控制 YBCO 成核十分不易,因此用助溶剂法很难合成大尺寸的单晶。

最近发展了一种叫作 SRL—CP(溶质富液相晶体提拉)法能够制备出 $15 \times 15 \times 15mm^3$ 的大尺寸 YBCO 单晶。晶体沿 C 轴方向以 $0.06 \sim 0.09mm/h$ 速度生长。 ab 面及 C 轴方向的 T_c 均为 90K,这是很有效的制备大尺寸 YBCO 单晶的方法,它将给薄膜器件的研制、物性研究及揭示高温超导机制带来很大便利,用这种大尺寸 YBCO 单晶做基底成功地制备了高质量的 YBCO 薄膜。

对 Bi 系和 $TlBaCaCuO$ 体系(Tl 系)超导体来说由于它们比 Y 系有更多的元素组份,更复杂的结构和更强的各向异性,所以要获得大尺寸高质量的单晶更加困难,大多数晶体都是 C 方向很薄的片状晶。在 Bi 系超导体中,通过助溶剂法、移动溶剂浮区法(TSFZ)和顶部籽晶生长法均能得到 2212 单晶,1993 年用 TSFZ 法制备了 ab 面为 $20 \times 5.5mm^2$ 和 C 轴 1.5mm 厚的 Bi—2212 单晶,但至今尚没有报道 Bi—2223 单晶的结果。

尽管现在可以稳定制备较大尺寸的 YBCO 单晶,但为了尽快推动超导器件的发展,还需要合成更大尺寸,更高质量的单晶,此外,还需要加快单晶的生长速率。

2. 高温超导块材

经过十年的发展,高 T_c 氧化物超导块材取得了很大的进展。首先表现在 J_c 值的提高。这方面的工作主要是围绕着 Y 系材料展开的。固态反应法是制备氧化物材料的传统方法。但是人们发现,无论怎样调整工艺参数,也不能使 J_c 突破 $103A/cm^2$ (77K, 0T) 的量级,并且 J_c 值随磁场很快衰减,其 $J_c - B$ 特性类似于约瑟夫森结。人们很快发现,这是由于超导晶粒间的“弱连接”造成的,产生“弱连接”的主要原因是超导体具有很强的各向异性和极短的相干长度。克服“弱连接”必须使晶粒沿 Cu-O 面取向排列,并且晶粒间必须很好的连接。1988 年,熔融织构(MTG)工艺(美国 AT & T Bell 实验室)首先在这方面取得了突破,随后又相继发展出液相处理法(LPP,美国 Houston 大学)、淬火熔融生长(QMG,日本 ISTE 超导中心)和粉末熔化处理(PMP,中国西北有色金属研究院)等熔化工艺,使 J_c 值超过了 $10^4A/cm^2$ (77K, 1T)。PMP 工艺采用 211 与 $BaCuO_2$ 及 CuO 为初始粉末,在超导体中引入了弥散分布

的细小 211 粒子，这种细小 211 粒子一方面提供了钉扎力，另一方面又抑制了微裂纹的产生。另外，在 123 相晶体中引入了高密度的层错和位错作为有效的磁通钉扎中心，使 J_c 值大幅度提高。YBCO 超导块材的性能提高见图 2，由图可见 PMP 法制备的材料 J_c 达到 $1.4 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 1T)，处于国际领先水平。

研究 YBCO 超导块材的目标之一是利用由于它在超导态下的迈斯纳效应及磁通钉扎特性导致的磁悬浮力，试图应用于超导轴承、贮能以及磁浮列车等。目前 YBCO 体系块材在提高磁悬浮力方面也取得了较大的进展。日本钢铁公司最近制得的 $\phi 80\text{mm}$ 的一个样品，与永久磁体间的相互作用力达 580N，平均每平方厘米达 8.3N，制造的 $\phi 48\text{mm}$ 的 YBCO 单晶样品，可悬起 22kg 的重物，平均每平方厘米悬起约 1.5kg 的重物。已接近实用化水平。我国北京有色院、西北有色院制备的 YBCO 块材磁悬力达到 10N/cm^2 (77K)。

YBCO 大块亦可用于捕获磁通，作为永久磁体用。我们现在所用的永久磁体，最高磁场不能超过 1T。要得到大于 1T 的磁场，就必须用超导材料。在这十年内，YBCO 超导体的捕获磁通已取得了很大的进展。日本 ISTEK 制造的 $\phi 20 \times 30\text{mm}$ 的 YBCO 块能捕获 7.4T (76.5K) 8.34T (59K) 的磁场，美国 Houston 大学制造的 YBCO 块能捕获 3.1T (77K)，这些说明，YBCO 块材有着很大开发和应用潜力。

3. 高温超导线（带）材

高温超导体在强电方面众多的潜在应用（如：磁体、电缆、限流器、电机等）都需要研究和开发高 J_c 的长线（带）材（约 1 千米长度量级）。所以，人们先后在 YBCO、BSCCO 及 TiBa-CaCuO 等 T_c 高于液氮温度的体系的线材化方面做了大量的工作。目前已在 Bi 系 Ag 基复合带（线）材和柔性金属基 Y 系带材方面取得了很大进展。

A. Bi 系超导线材

BSCCO 超导体晶粒的层化结构使得人们能够利用机械变形和热处理来获得具有较好晶体取向的 Bi 系线（带），另外，热处理时液相的存在能够促进材料致密化，并且弥合在变形加工中所产生的裂痕，从而改善晶粒间的连接性。这种优点，使得人们利用粉末套管法（PIT），即把 Bi (Pb)-Sr-Ca-Cu-O 粉装入金属管（Ag 或 Ag 合金）中进行加工和热处理的方法，制备 Bi 系长线（带）材取得了成功，1994 年美国超导公司率先制备出长度达 1000 米、 J_c 达 $1 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (77K, 0T) 的 BSCCO/Ag 带材。目前所制备的 Bi - 2223/Ag 带的最高 J_c 值已接近 10^5 A/cm^2 (77K, 0T)。近几年来，随着对该类超导体的结构形成机理、显微结构特征以及超导性能的深入研究，不断改善工艺技术，使 J_c 和带材的均匀性逐年提高。图 3 归纳了近年来人们在 J_c 方面已取得的进展。1996 年，美国超导公司（ASC）和日本住友公司制备的 1200 米带材的 J_c 值均超过 $1.2 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (77K, 0T)，并且能够稳定生产。这种带材已成功用来绕制小型超导磁体及超导电缆试制等。根据目前的研究结果，人们认为通过进一步改善工艺参数，提高带材的密度和晶粒的结构、改善晶粒间的连接性以及引入有效的磁通钉扎中心，Bi 系带材的 J_c 值将还会有较大幅度的提高。另外在通过多芯化和基体材料的合金化来改善 Bi 系线（带）材的机械强度方面，也已取得了明显进展。

B. 柔性金属基 YBCO 带材进展

YBCO 超导体在液氮温区有较强的本征钉扎特性，但它的晶粒很难通过常规的加工技术来实现取向，所以用 PIT 法及在普通金属基带上涂层后热处理的方法虽然能够制备出长线(带)材，但其 J_c 值均小于 10^3A/cm^2 (77K, 0T)，并且，随磁场的增加迅速下降。受在单晶基体上通过外延生长制备高 J_c YBCO 薄膜的启发，最近人们发展了“离子束辅助沉积”(IBAD, 美国 LANL)和“轧制辅助双轴织构”(RABiTS, 美国 ORNL)这两种柔性基带，并在这种基带上生长 YBCO 膜取得了成功，获得了高 J_c 的带材。这两种基带都是在柔性金属带(如：Ag, Ni 等)上沉积一层取向生长的钇稳定的氧化锆(YSZ)，由于 YSZ 与 YBCO 的晶格点阵非常接近，并且具有良好的化学稳定性，它一方面可以诱导 YBCO 晶体取向生长，另一方面又作为阻隔层防止 YBCO 与金属基带反应。目前利用脉冲激光沉积(PLD)和 MOCVD 方法在 IBAD 及 RABiTS 带上制备的 YBCO 超导体在 65K 强磁场中的 J_c 值均已超过低温实用超导体 NbTi 和 Nb₃Sn 在 4.2K 的 J_c 值。如美国 LANL 制备的 IBAD 样品 J_c 最高达到 10^6A/cm^2 (75K, 0T)，ORNL 的 RABiTS 带的 J_c 也已达到 $7 \times 10^5 \text{A/cm}^2$ (77K, 0T)、 $3 \times 10^5 \text{A/cm}^2$ (77K, 1T)。虽然从目前的研究现状来看，制备长带还存在着一定的技术难度，但这种方法所带来的高 J_c 性能给高温超导体在 77K 温区实现强电应用展示了美好的前景，人们已把它称为继 PIT 法 BSCCO 带后的第二代高温超导带材，并且投入较大的人力和物力进行开发研究。

4. 薄膜

自从高温超导体发现以来，人们对高温超导薄膜的制备与研究都给予了极大的重视，特别是液氮温度以上的高温超导体的发现，使人们看到了广泛利用超导电子器件优良性能的可能性，科学家们预计，高温超导体将使超导电子学发生一个根本的变革，超导体的临界温度 T_c 高于 77K，大大简化了超导电子器件的使用条件，从而扩大了它的使用范围。

要想得到性能优良的高温超导器件就必须有质量很好的薄膜，但由于高温超导体是由多种元素(至少四种)组成的化合物，而且高温超导体往往还有几个不同的相，此外，高温超导体具有高度的各向异性，这些因素使制备高质量高 T_c 超导薄膜具有相当大的困难，尽管如此，通过各国科学家十年来坚持不懈的努力，已取得了很大的进展，高质量的外延 YBCO 薄膜的 T_c 在 90K 以上，零磁场下 77K 时，临界电流密度 J_c 已超过 $1 \times 10^6 \text{A/cm}^2$ ，工艺已基本成熟，并有了一批高温超导薄膜电子器件问世。

三、高温超导材料的应用

超导电性的实际应用从根本上取决于超导材料的性能。与实用低温超导材料相比，高温超导材料的最大优势在于它可能应用于液氮温区。目前在强电方面，接近实用要求并已开始商业开发的高温超导材料主要是 PIT 法 Bi 系线(带)材。它在 77K、自场条件下的无阻载流能力是普通导体的 100 倍，但随外磁场的增加衰减很快，所以目前它仅适合于低磁场条件下的应用，如超导输电电缆、超导限流器等，而不具备在 77K 下应用于其它需要较高磁场的强电应用项目，如：电动机、发电机和超导磁能贮存系统等。被认为第二代的 IBAD 和 RABiTS 带材，如果研究开发成功，则可能在 77K 下实现以上应用。但 Bi 系线(带)材在低于 30K 温度下优越的高场性能，可以使它在该温

区用于某些强电应用，并可用微型致冷机来进行系统的冷却。在弱电应用方面，由于已获得高质量的薄膜材料，所以 SQUID 等高温超导器件已商品化，但其在使用过程中的稳定性还需进一步改善。以下将概述近年来在高温超导材料应用研究方面取得的主要进展。

1. 电流引线：

在给低温环境下工作的超导磁体和电力设备供电时，由低温到高温之间的电流引线会消耗许多液氮，一直是工程应用中的一个难题。高温超导体由于 T_c 高，热导率低，作为由低温区到高温区的过渡，可以在超导态下给磁体供电，从而把热漏减少到了极小的程度。目前用作电流引线的材料主要有 Bi-2212 及 Bi-2223 的棒、管和带材、以及熔化法 YBCO 棒材。根据应用的环境不同，引线的临界电流在 1000-5000A 之间。目前电流引线已成功用于微型致冷机冷却的 NbTi 及 Nb₃Sn 磁体系统，第一次实现了不需液氮的超导磁体应用。

2. 磁体：

Bi-2223/Ag 长带绕制线圈和磁体是目前研究的重点之一。Bi-2223 具有较高的临界温度，用这种材料绕制的磁体具有高的稳定性和可靠性，因此，这种磁体能够在广阔的范围内得到应用。

最近，住友电工的 K.Sato 报道了他们的 61 芯 Bi-2223 带材，采用先反应后绕 (R&W) 技术制备了一个内径为 60mm，外径为 180mm，总匝数为 2600 匝的磁体，在 4.2K 和 20K，可分别产生 4T 和 3T 磁场，为目前高 T_c 超导磁体的最高记录。美国 ASC 在 94 年报道了一个利用机械致冷机冷却的高温超导磁体，在 27K 零外场下能产生 2.16T 的磁场，最近又报道了一个在 4.2K 下，产生 3.4T 磁场的磁体。

与低温常规超导体相比，BSCCO 体系的优越性是它的 J_c 值在液氮温区 (~4.2K) 强磁场中随磁场的增加而降低很少，所以可以制成中心磁体插入常规磁体中，产生 20T 以上的强磁场。最近，日本住友电工将 Bi-2223/Ag 多芯带绕制的四双饼高温超导磁体插入 NbTi 及 Nb₃Sn 组合磁体中，在 4.2K 产生了 24T 的磁场，已能满足 1GHz 核磁共振磁体要求，这是目前世界上超导磁体在 4.2K 产生的最高磁场。而如果只用常规低温超导体，这一高磁场值是无法实现的。

3. 输电电缆：

输电电缆由于在低磁场 (0.1T) 下运行。因而被认为是实现高温超导应用的最有希望的领域。高 T_c 超导电缆同低温超导电缆和常规地下电缆相比具有明显的优越性，从而有可能替代目前使用的地下电缆。美国、日本、欧洲在这方面已取得一定的进展。

美国 ASC 已开发出 30 米长 3KA 的 Bi-2223 导体，并计划与电力研究所、LANLT 和 ORNL 等合作，在 4 年内进行三相 115K，30m 电缆的试验。

日本的东京电力、住友电工、古河电工等联合开发输电电缆，已制成 50 米长、3KA 的电缆。1995 年夏，英国的 BICC 及其意大利子公司及 LEAT 和 CAVI，使用美国 IGC 的线材，已制成 1 米长，在 20K 下输电 11KA 的电缆。1995 年 10 月，美国能源部提出一项新的电缆计划，由 IGC 提供线材，ORNL 和 SC 制备及测试一个 1 米长，2KA 的交流电缆。专家们预测，到 2010 年左右，高温超导输电电缆可能实现商品化。

4. 故障限流器：

在电厂，高压输电、低压配电等电力系统中，有时会因闪电轰击，设备故障等引起短路，对 50Hz 的电力系统而言，一旦发生短路，不可避免会产生很大的故障电流，为此电路上总配有限流装置，常规的故障限流器是非超导的。随着高温超导体的出现及材料工艺的不断改进，在世界范围内掀起了研究高温超导限流器的热潮，美国、日本、德国、法国等都在从事高 T_c 故障限流器的开发，并取得了较大进展。高 T_c 限流器所用材料有两种：一种是直径为 1 米通过离心熔铸法制成的 Bi-2212 管，一种是 Bi-2223/Ag 线材。

目前，正在研究和开发的其它高温超导材料强电应用项目还有超导电机、超导储能轴承、磁浮列车、超导变压器等等。

5. 高温超导器件应用：

高温氧化物超导体的出现，无疑给超导电子学带来了更为广阔的应用前景。常规超导电子器件早已显示出巨大的优越性，超导量子干涉器件(SQUID)用于测量微弱磁场，灵敏度可比常规仪器高 1-2 个数量级，这使得它在生物磁性测量、寻找矿藏等领域发挥了巨大的作用，超导隧道效应使微波接收机的灵敏度大大提高，超导薄膜数字电路可用来制造高速、超小体积的大型计算机，但由于常规超导器件工作在液氮温区(4.2K)或致冷机所能达到的温度(10-20K)下，这个温区的获得和维持成本相当高，技术也复杂，因而使用常规超导器件的应用范围受到了很大的限制。

高温超导体的临界温度已突破液氮温区(77K)，由它所制成的器件可在这个温区下正常地工作，这就打破了常规超导器件的局限性，使超导器件可在更大的范围内发挥作用，而且高温超导体的工作温度和一些半导体器件重合，二者结合起来，就可发展出更多的有用器件。

总之，用高温超导薄膜已制成各种超导器件，但其工作性能仍要进一步提高，同时随着薄膜质量的改善将有更多的高温超导器件问世。

四、高温超导材料的展望

高温超导材料经过十年的发展，在各个方面都取得了令人振奋的成绩。在线材制造方面，已能制备出 1 公里级长度的高 J_c ($> 10^4 \text{ A/cm}^2$, 77K, 自场)的 BSCCO 带材。用这种带材已制备出可在 77K 运行的超导输电电缆原型，Bi 系磁体也已在 G-M 制冷机冷却下产生了 3T 的磁场(20K)。在块材方面，用 PMP 法制备的 YBCO 超导体的 J_c 高达 $1.4 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ (77K, 1T)。大尺寸单晶和 YBCO 体系大块材料的磁悬浮性能，及捕获磁通的能力已接近实用水平。具有上千安培的高温超导电流引线已经实现商品化。第二代导体 IBAD 和 RDBiTS 带材的出现，给液氮温区的强电应用展示了美好的前景。高质量 YBCO 薄膜材料的制造工艺业已成熟，用它制作的可用于液氮温度的 SQUID 器件已商品化。

尽管高温超导研究已取得很大进展，但仍存在许多困难，对高温超导体在高温高场下钉扎机制的认识还远远不够，钉扎中心与磁通线的相互作用有待于进一步阐明，对不可逆线的性质，起源和理论解释还需要进一步研究。此外，对高 T_c 超导体的成相机理和磁通动力学特性等还缺乏足够的理解，这些问题的解决将会对高 J_c 超导材料的发展提供重要的依据。

从超导技术发展的历程来看，新的更高 T_c 材料的发现和制造工艺技术突破都有可能。目前高温超导材料正从研究阶段向应用发展阶段转变，未来的十年可能会是市场发展和高 T_c 材料产业化的十年。目前世界上已形成每年约

20 亿美元的超导产业市场，主要是低温超导材料。据近几年国际超导工业高峰会议预测，到 2000 年及 2010 年世界超导工业市场将分别达到 76 亿美元及 370 亿美元/年。从历史的眼光来看，十年在科技领域并不是一个很长的时期，但在过去的十年中高温超导研究进展步伐是非常巨大的。在过去 20 年里美国、日本、欧洲以及中国对超导研究与发展都投入了相当的人力和物力，美、日两国每年用于超导的研究与开发经费都在 2 亿美元左右。人们有理由相信，再过 15 年，即超导体发现 100 年的时候，将会在高温超导机制，更高 T_c 超导体探索以及高温超导应用等方面取得重大进展。

尽管中国有一支超导物理、材料及应用的研究队伍，也有一批科研成果，亦有十分丰富的稀土市场，甚至中国本身就可能有巨大的市场，但中国是否会在 2010 年实现超导应用走向市场？无疑，未来 10 年、20 年，中国的超导研究面临着机遇和挑战。但无论如何，中国应该在超导的研究与发展的历史进程中有所作为。

硼中子俘获疗法的若干技术关键

周永茂

中国原子能科学研究院

周永茂 核反应堆工程专家。1931年5月15日生于浙江镇海。1955年毕业于上海国立交通大学。1958年毕业于前苏联莫斯科动力学院进修班。历任核工业部反应堆工程研究所、四川909基地高通量堆工程副总工程师兼设计室主任。中国原子能科学研究院反应堆工程设计研究所副所长兼总工程师、微堆设计室主任。中原对外工程公司总工程师，871工程驻阿尔及利亚堆址代表处总工程师，公司科技顾问。1995年当选为中国工程院院士。长期在核反应堆工程第一线从事设计、研究和建设工作。

一、前言

硼中子俘获疗法 (BNCT) 是用能与肿瘤作特异性结合的 ^{10}B 化合物注入人体，经中子束照射使集积在肿瘤上的 ^{10}B 与热中子起核反应，凭借反应生成物 ^7Li 与 α 粒子的高能量线性传输 (LET) 特性，在细胞范围内杀伤癌瘤。目前该法主要用于重度脑胶质瘤，取得了外科手术、化疗、常规放疗等难以相比的疗效。BNCT 涉及多种新兴学科，采用多种高技术，具有极强的综合性与复杂性。迄今，虽在脑胶质瘤与黑色素瘤的治疗中取得一定进展，对深层次的认识无论机理或是临床技术都仍处于不断探究中。尤其对输送核反应靶元素进入肿瘤的化合物，提供照射的中子束及其能域，以及体现综合疗效的体内辐射剂量分布等课题都是影响 BNCT 成败的关键要素。仍需世界规模的科技界的共同努力与创新，促使及早成熟与完善。

二、硼化合物

1. 原始的硼化合物

50 年代 BNCT 在美国独家应用是一种无机水溶化合物 Paracarboxylphenyl boric acid，属硼酸脂类与一般硼笼化合物。对 18 例脑胶质母细胞瘤病人治疗后，平均存活期不到半年。由于照射技术不成熟， ^{10}B 在肿瘤与血液中浓度比 (T/B) 为 0.5-0.8。在中子照射下，大量集积在血管内皮细胞中 ^{10}B 由核反应造成血管纤维化而导致脑坏死。这种原始硼化合物随临床治疗失败于 1961 年即遭淘汰。

2. 改进的硼化合物

当时改进着眼于提高 T/B 比值。60 年代美国麻省总医院发展了一种 T/B 比为 1-2 的 BSH，即 $\text{Na}_2\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$ 含 ^{10}B 的有机化合物。后经日本外科医生重新合成，并潜心改进医疗技术与方案，通过与外科手术相结合，创造了 BNCT 治疗重度脑胶质瘤病例 5 年存活率达到 33.3% 空前水平 (当时常规疗法约为 5.7%)。其中一例 62 岁患者，经 BNCT，消除了术前在动作与语言上的障碍，还健康地存活十余年 (截至发稿)。这种 ^{10}B 标记的巯基化合物，即 Disodium mercaptododecarboranyl sulphydryl，开始由美国杜邦公司炼制，现由日本希诺基化学公司和美国卡莱利化学公司供货。为当前唯一用作 NCT 的指定化

合物。其毒理学特性已由美国联邦药物局作为研制中药物加以认定。

3. 新的化合物

BNCT 在脑胶质瘤病例上突破后，医药界一方面优化现用的化合物，如提高其生物半寿期达“天”级水平，增加 T/B 10。另一方面，把它的特异性结合扩大到其他肿瘤。因 BSH 只与脑胶质细胞瘤作特异结合，不与非神经源的肿瘤相结合，必须研制新的含 ^{10}B 化合物。

这样就出现了硼标记的生物分子类同物，使其通过代谢作用产生选择性结合，并在肿瘤中较长时间高度集积。研究中的这类化合物包括 ^{10}B 标记的氯丙嗪 (CPZ)、卟啉 (TPPS)、硫脲嘧啶 (TU)、氨基酸类、核苷以及类固醇等。

70 年代中期又涌现出导向药物，即 ^{10}B 与特异性较高的单克隆抗体相连接，以单克隆抗体为载体，把 ^{10}B 定向送到预定的肿瘤细胞作特异性结合。

值得注意的是人们在深入研制、使用硼化合物的实践中，对以前某些朴素与狭窄的观念与做法提出了挑战。例如高的 T/B 比在过去假设的认识上是绝对的，以致在研制新化合物时提出了 $T/B > 100$ 的高指标。又如“至少达 $50\mu\text{g}^{10}\text{B}/\text{g}$ 肿瘤才能摧毁它”的传统信条等，都被越来越多的临床实践所动摇。最明显的证据就是前述那位 BNCT 存活最长的老年患者，治疗中测得的 T/B 比仅为 0.5，并未发现任何神经系创伤。因而近年内国际论坛明确提出：合格的硼化合物并非必须具有高的肿瘤与健康组织的摄取比值。那些新的硼化合物是否满足 BNCT 要求以及多大好处，只能对其辐射生物学性质作出研究结论才能给予最终评定。

三、中子束

在肿瘤细胞上实现 $^{10}\text{B}(\text{ , })\text{Li}$ 核反应的中子能量都在热能范围，提供这种中子的源现在都用核反应堆。主要有二种方式，一种是从研究堆热柱引出热化中子直接照射脑部，称热中子束照射。另一种是堆内引出超热中子，经在脑中慢化为热中子，称超热中子束照射，两者比较如下：

1. 热中子束照射

热化中子可达脑部 4-5cm 深度（从头皮起），实际有效深度约 3cm。

入射中子束含高线性能量转换 (LET) 的快中子与 射线沾污的成份相对小，因而对正常组织的辐射损伤很小。热中子束内大部分低 LET 成份的沾污来自脑组织本身含氢的核反应。这种低 LET 的沾污对脑组织的损害易于恢复，因而允许较长时间的照射治疗。一气呵成，无需多次间断照射。

治疗时必须作开颅手术，但为神经外科医生提供直观患部的可能性，而且便于切除近脑表部的肿瘤，实现 BNCT 与外科手术的结合疗法。

可在脑表部设置中子探测器作中子注量的实体探测，以及照射前的活体组织硼浓度的快速测量。

二十多年来日本利用 BNCT 专用的低功率研究堆提供中子束，依靠较为成熟的测量分析技术治疗了百余例胶质瘤患者，成效显著。

2. 超热中子束照射

一般能域 1ev-30kev，超热中子束可渗透脑部 6-7cm。实际有效深度为 3-4cm。

可保持完整的头皮与脑壳，照射治疗不必作开颅手术。

堆内经过过滤引出的超热中子束仍含有较高的 LET 成份沾污，对正常脑

组织损害较大，从而限制了照射时间，必须进行间断的分次照射，才能达到较高 RBE（相对生物效应）的治疗效果。

位于脑部中线附近的肿瘤，可通过从平行而相反的两方面注入中子场加以治疗。

无法作患部中子注量的实际监测，需制作精细的仿真头实验与编制全模拟的蒙特卡罗计算程序评估辐射剂量的微结构效应。

一般需要有高、中通量堆来提供超热中子束。也可利用较低功率甚至临界装置上经特殊设计加设快中子增殖靶件加以实现。

为了达到较深的治疗深度，很多国家包括一些新开展 BNCT 的国家都专注于超热中子束方法，力求一步到位。几十年对其作用机理、束的设计、脑内微剂量分布以及治疗技术等作了大量试验研究，迄今尚在不断进行中，总体来说还处于大动物实验与临床试验阶段。

3. 两种束的权衡

美国高通量堆多、科研经费充足，能源部顾问专家小组认定“无损头皮和脑壳的超热中子束治疗更可接受”。作为 BNCT 的发源地，又在有关领域取得大量研究成果的美国观点，影响很多国家的科技人员。在美国进修过 BNCT 的日本神经外科医生小组则认为跑到遥远的地方去做听人摆布而又不成熟的超热中子试验，不如改造一个低功率堆得心应手地从事热中子束治疗收效更快。日本一方面加紧发展微型热中子同步探测系统、ppm 级体内 ^{10}B 浓度微型分析系统、细胞水平的辐射剂量模型计算、脑水汽化研究以及多门径照射方法等改进和提高热中子束照射的疗效。同时又适当利用现成的脉冲堆、快中子模式堆等开展超热中子束的设计研究，跟踪国际动向。

两种束的差异不仅在治疗方法上，实际上发展成为争论的焦点。正如美国学者一针见血地评论“这种争端在于要么用一种保持完整无损的头皮达到 3-4cm 实际深度的超热中子束，要么用一条重新开颅有效深度为 3cm 的热中子束。

问题远不在是否开颅与加深 1cm 的有效深度。近年来有些美英科研人员发现超热中子束 BNCT 在体内呈现非预期的高 RBE，其可推测值高出常规中子辐射疗法允值的 2-3 倍。强烈呼吁设计超热中子束的过滤器必须把 RBE 限于 3.5-5.0。因大部入射超热中子的动能与脑氢作弹性散射时被转化为反冲质子。一粒 70keV 质子的最大 LET 约 100keV/ μm ，此时对哺乳动物细胞的 RBE 约为 3.5。伊朗学者凭借模拟仿真头实验，配以理论计算，指出脑部深度达 3.5cm 的超热中子束必须具备 497keV-1MeV（3 群中子）的能域。这种估价若获验证，则那种高 LET 成份的沾污造成的高 RBE 是人脑无法忍受的。

这些讯息，应引起人们高度警觉。

四、辐射剂量分布

不论采用哪种治疗技术，包括什么样的硼化合物与什么能量的中子束，判定疗效可行的尺度在于加到肿瘤上的辐射剂量增量一定要超过正常组织。因而辐射剂量分布的研究是带根本性的。

近年来辐射剂量研究领域举例如下：

入射中子能量与肿瘤内深度的关系。

超热中子在脑内诱发的反冲质子生物学效应。

^{10}B 、 ^{157}Gd 等靶元素在肿瘤内的浓集度（ $\mu\text{g/g}$ ）及其与正常组织交界面

处辐射剂量分布效应。

蒙特卡罗计算程序的精细化及其在血管内皮细胞内外的微剂量学计算。

能观察病人解剖学结构件附近精确三维剂量布的 BNCT 治疗计划系统 - SBNCT 计划系统的研制开发。

五、结语

BNCT 为根治癌症开辟了一条光辉途径。假如现在朴质的临床成就能刺激核物理和硼化学或免疫化学的深入研究，特别是超热中子束与导向抗体技术一旦被临床应用，BNCT 预期可把脑胶质瘤的 5 年存活率提高到 80%左右，而且从近体表的肿瘤部位过渡到诸如胰癌那种深部肿瘤的治疗。

诚然，作为一种医疗方法，BNCT 治疗病种尚较狭窄，且其发病率尚属低位，如脑瘤一般为 10-20/20 万，中国约为 1-2/10 万。但这种方法耗资巨大、技术结构较为庞大与复杂。因此发展中国家开展 BNCT 似应估量自身技术基础与经济实力，慎重对待。这方面日本的道路值得研究，日本的经验无疑可予借鉴。

软件技术与软件产业

杨芙清

北京大学计算机科学技术系

杨芙清（女） 计算机软件专家。1932 年 11 月 6 日生于江苏无锡。1958 年北京大学数学系计算数学专业研究生毕业。1957 至 1959 年到前苏联学院和莫斯科大学数学力学系学习。现任北京大学教授、计算机科学技术系主任、博士生导师。中国计算机学会副理事长。IEEE 高级会员。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。现从事软件工程开发环境的标准化与实用化的研究。

一、前言

以微电子、计算机、通讯技术为主导的信息技术革命正在迅猛地改变我们生存的社会，人类开始从工业社会进入信息时代。信息技术在世界新技术革命中不仅作为一项独立的技术而存在，还广泛渗透于各个高技术领域以及生产、经营、管理等过程，成为它们发展的基本依据和重要手段。信息化正从整体上引导着世界经济和社会发展的进程，信息技术已成为经济发展的关键因素和倍增器，随之而兴起的信息产业将成为经济发展的主导产业。据预测，到 2000 年，信息产品市场将达 9000 亿美元，成为世界市场的第一大领域。

信息技术中，微电子是基础，计算机硬件及通讯设施是载体，而计算机软件技术是核心。软件是计算机的灵魂，没有软件就没有计算机应用，也就没有信息化。信息社会需要众多各种各样、千变万化的软件系统，软件产业顺应时代的需求，面临发展的机遇，正成为一门独立的产业，成为信息产业中的支柱产业。据预测，到 2000 年，软件和信息服务将达到 5400 亿美元，占信息产品市场的半数以上。

软件的重要性已成为发达国家的共识，被视为国家关键技术。“先进软件的发展在新一代军事与商业系统的推广及可靠性方面越来越成为一项重要的制约因素。”（《美国国家关键技术报告》）软件技术的研究和软件产业的发展是当今发达国家竞相扶持的重点，将成为国家间相互竞争的重要武器。一些发展中国家如印度、巴西等也在积极发展自己的软件产业，试图抓住机遇，迎头赶上。

置于世纪之交、时代变迁之际，我国面临良好的发展机遇。在软件技术研究方面我们具有很好的基础和优势，发展软件产业将是我们主要的突破口之一。本文将回顾软件技术发展的历史，总结软件技术发展现状及我们已经取得的成就，进而探讨我国发展软件技术和软件产业的方向和对策。

二、历史回顾

从 1946 年第一台计算机诞生至今，其发展已历 50 年，计算机已在几乎所有的领域得到广泛应用。但是，考察计算机硬件，其飞速的发展主要表现在运算速度、集成规模等方面，计算机体系结构一直沿袭未变。造成计算机

应用领域扩展的主要因素是软件技术的进步。

软件是指计算机系统上的程序及相关文档，程序是对计算任务的处理对象和处理规则的描述，文档则是为了便于了解程序而给出的阐明性资料。计算任务的完成是通过程序在硬件载体上的执行。软件一词用于描述计算机中的非硬件成分（特指计算机程序）出现于 50 年代，1960 年前后才广为流传。

早期（1946 - 1956）的计算机功能简单，应用领域较窄，主要用于科学计算，处理数值数据。程序设计只能使用机器语言和汇编语言，编程工作复杂、烦琐、费时、易错，主要考虑时间和空间效益，强调编程技巧。

1956 年，高级语言和操作系统开始出现。

50 年代中期出现的 FORTRAN 语言是第一个被广为接受并使用的高级语言，目的仍是解决科学及工程计算问题，它使程序员能以自然的方式书写表达式和算法，大大减轻了编程负担。随着使用计算机的需求增长，除科学计算继续发展外，出现了大量的非数值数据处理问题，从而带来了高级语言的蓬勃发展期。出现了面向算法处理的语言 ALGOL60（1960）、面向商业数据处理的语言 COBOL（50 年代中期）、面向人工智能应用的语言 LISP（1960）、交互式语言 BASIC（1964）、机床控制语言 APT（1956）、仿真语言 SIMULA（1967）以及通用性语言 PL/1（1960）、ALGOL68（1968）等。其中 ALGOL 语言对程序语言及编译技术的研究起到了有力的推动作用，随之诞生了著名的 BACKUS 范式（BNF）。在 70 年代，又有 PASCAL、FP、ADA、SMALLTALK 等语言问世。高级语言的流行使计算机应用领域得到较大扩展，促进了软件技术作为独立学科的形成和发展。

操作系统的出现对高级语言编程提供了良好支持，它使程序员透明于硬件及外设管理，从而拥有更方便、高效的工作平台。其中典型的工作有批操作系统 OS/360（60 年代中期）、实时操作系统 SABRE（1963）、分时操作系统 CTSS（1963）等。70 年代早期，交互式操作系统 UNIX 问世，并很快被广泛使用，对操作系统理论及技术的发展起到了积极的推动作用。

60 年代后期，由于软件系统复杂度迅速提高，研制周期变长，正确性难以保证，出现了所谓“软件危机”。为克服这一危机，开始考虑将工程化方法引入软件开发过程中。1968 年，提出了软件工程。软件工程将计算机科学、数学及管理科学等原理应用于软件开发过程，借鉴传统工程的原则、方法，以提高软件质量，降低成本。其中，计算机科学、数学用于构造模型和算法，工程科学用于制定规范、设计范型、评估成本及确定权衡，管理科学用于计划、资源、质量、成本等管理。这是一门交叉性学科，主要研究软件开发模型、软件开发方法、开发过程管理、开发支持工具等。软件工程的研究深化了软件技术研究，使软件开发从无序走向有序，从技巧走向工程，从个体走向协作，为满足日益增长的软件需求，为形成软件产业奠定了基础。

70 年代软件技术的另一重要进展是数据处理。这是管理、操作大量数据的技术，具有广泛的应用范围。数据库技术，特别是数据库管理系统（DBMS）的出现，使计算机应用进入了一个崭新的领域。网络方法（1964）、层次方法（1965）和关系方法（1970）是数据库理论研究的三个主要流派，这些方法各有优劣，但最终被广为接受并进入实用的是关系型数据库管理系统。

我国计算机事业起步于 50 年代，虽然和国际水平相比有一些差距，但通过广大科技工作者的努力工作，取得了丰富成果。在软件技术研究方面，系统程序设计语言 XCY（1984）、基于时序逻辑的程序设计语言 XYZ（1981）均

是具有国际水平的成果，DJS11 机（150 机）操作系统（1973）是我国第一个自主开发的操作系统，DJS240 机操作系统（1984）是国际上最先使用高级语言（XCY）书写的操作系统，具有开创性意义，其层次管程结构、多道程序管理具有当时国际先进水平。

三、国际软件技术发展现状

80 年代是软件技术突飞猛进的时期。计算机在越来越多的领域得到应用，特别是由 IBM 公布 PC 机结构所带来的 PC 浪潮，使计算机普及到社会的各行各业，甚至进入家庭。众多的应用要求形成了巨大的软件市场，促使了软件企业的飞速发展，从而使软件产业作为一个新兴产业应运而生。

软件的重要性日益为更多的人所认识，而事实上在许多领域（如高性能计算），软件投资已开始超过硬件投资。日益增大的对软件的需求，更加加深了软件危机，但同时也促进了旨在解决软件危机的软件技术的进步和发展。

近十几年来，软件技术出现了一系列重要突破。

在程序设计语言方面，传统程序设计语言由于 VON NEU-MANN 体系结构的局限而呈现的种种缺陷逐步为人们所认识且不可容忍，从而出现了试图摆脱传统 VON NEUMANN 体系结构的束缚，探索新型程序设计语言的种种努力，形成了一股新范型、新风格程序设计语言的研究热潮，其中典型的代表有函数式程序设计语言、逻辑式程序设计语言和面向对象程序设计语言。函数式语言具有良好的数学基础、简明的操作语义和指称语义、本质上的并行性；逻辑式语言以 HORN 子句为基础，语义简明、具有很强的逻辑推理能力。这两种语言均为说明型语言，只需描述“做什么”，而不考虑“怎么做”。函数式、逻辑式语言已在人工智能领域得到很好应用，其研究正在深入进行中。面向对象语言的兴起以 SMALLTALK80 语言的出现为标志，是近十几年来最重要的软件技术进展之一，被誉为“90 年代的主流软件技术”。面向对象以拟人化的观点来看待客观世界，认为客观世界由一组对象构成，对象间的交互构成了客观世界的运行。采用面向对象的观点，可以使问题空间和解空间在一致的模型框架内得到统一，从而实现了现实世界系统到软件系统的直接映射。面向对象语言如 C++、SMALLTALK 等已成为当今的主流语言，由面向对象语言的出现而引起的面向对象技术浪潮已深入软件技术的各个方面，出现了面向对象的软件开发方法、面向对象数据库、面向对象操作系统等新概念和新技术。随着面向对象技术的日益流行，国际上众多软件企业纷纷涉足，为此还成立了专门的组织 OMG 来协调相关标准的建立，CORBA 便是该组织推出的关于对象模型和对象操作的标准，微软公司也推出了相应的构件对象模型 OLE-COM。近几年，程序设计语言发展的另一热点是旨在提高用户编程友善性的可视化程序设计技术研究，通过提供给用户使用图符、图形编程的手段来提高编程的效率和正确性。

在操作系统方面，由 UNIX 而引发的开放潮流大力促进了操作系统的进步，诞生了 POSIX 国际标准；由于计算机网络的发展又使网络操作系统和分布式操作系统得到较快发展；个人机市场的扩展使 DOS 系统得以流行；对用户友善性的考虑促进了窗口（WINDOW）系统的兴起。开放性、标准化、友善性和支持网络分布成为当今操作系统发展的主要趋势。在技术上，微内核技术成为新一代操作系统的核心技术，正在逐步进入实用；面向对象操作系统

的研究亦是主要热点。

在数据处理领域，关系型数据库技术的成熟及实用为信息处理领域的蓬勃兴旺奠定了基础。在各类应用软件系统中，基于数据库的信息管理、处理及决策支持占据了很大比例，数据库及其管理系统已成为绝大多数应用系统不可缺少的部件。随着信息处理需求的不断增大，人们已不再满足于从单一的数据库中获取数据，而是希望从分布在不同地点的不同数据库中获取综合信息，实现信息共享，从而出现了网络数据库和分布式数据库。近年来，数据库领域又出现了一个众所瞩目的概念，即数据仓库技术。数据仓库将分布在企业网络中不同信息源上的数据搜集到一起，存储在一个单一的集成关系型数据库中，通过这种信息集合，方便用户对信息的访问，更可使决策人员对很长一段时间内的历史数据进行分析，确定事物的发展走势。数据仓库技术被视为在信息社会中企业获得竞争优势的关键因素。面向对象数据库的研究是另一个热点，当前的主要做法是在关系型数据库之上加上面向对象的接口，真正的面向对象数据库离实用尚有一定距离。

在支撑软件方面，软件需求的增大，伴随软件系统复杂度的增加，使得对软件开发效率、软件系统质量的要求成为至关重要的因素。传统的手工作坊式的软件开发方式已不再能满足软件发展的需要，成为软件产业发展的制约因素，软件开发手段的变革已成为势在必然的趋势。80年代是软件工程蓬勃发展的时期，软件工程思想和技术得到更多的普及和认同，学术界的研究成果和产业界的成功实践共同标志着软件生产方式变革时期的到来。主要的成就可总结为如下几个方面：（1）70年代的研究成果得到了成功的应用，如结构化方法学在众多信息系统建设中发挥了巨大作用；（2）计算机辅助软件工程（CASE）技术飞速发展并开始受到重视，出现了众多的CASE工具、平台和环境，具有里程碑意义的是NIST和ECMA共同推出的CASE环境参考模型、欧共体的PCTE和我国的青鸟系统（JADE BIRD），CASE环境在开放性和标准化方面已获初步成功；（3）面向对象技术的引入使软件开发方法学产生了一场变革，出现了面向对象软件开发方法学，从而为软件开发效率和软件质量的提高奠定了良好理论基础；（4）软件复用技术由于面向对象技术的出现再次成为研究热点并被视为解决软件危机、实现软件工程化、工业化生产的一条切实可行的途径，构件软件技术、设计模式、软件体系结构的研究正逐步深入；（5）软件过程开始受到重视，软件过程管理被视为成功开发软件的关键因素，出现了关于软件过程的IEEE标准；（6）软件工程作为一门学科派生出许多热点分支，如旨在解决软件系统需求阶段问题的需求工程，支持现行软件系统的演化、维护、理解的逆向工程和再次工程，以及解决领域知识获取、分析的领域工程等。

在人机交互方面，围绕如何更好地提供有效的人机交互接口和手段，使更多的人能方便地掌握和操纵计算机而出现了一系列先进技术，包括图形用户界面、多媒体技术、可视化技术和虚拟现实技术等。图形用户界面已成为任何软件系统的必备成分，为系统的使用者提供在色彩、布局、操作等方面的舒适观感，使用户易于学习、易于使用并乐于使用；多媒体技术集图、文、声、动画、影像的处理于一体，为系统用户提供逼真、舒适的使用、工作环境，同时，使计算机能管理、处理更多的信息，远程会议、计算机游戏、数字电影等无不体现了多媒体技术的应用；可视化技术考虑将计算机处理的东西，包括过程、结果以图形的方式显示给用户，使用户更好地理解、掌握并

决策，如可将科学及工程计算的过程及结果以图形的方式显示出来，使科学家或工程师能自然、直观、准确的分析计算过程和结果，作出正确的决策；虚拟现实技术通过给用户同时提供诸如视、听、说、触等直观自然的实时感知交互手段，最大限度地方便用户操作，远程医疗服务、航天航空仿真训练、虚拟旅游等均是虚拟现实技术的用武之地。

在网络、分布系统领域，CLIENT/SERVER 技术、并行处理技术及 INTERNET 技术是近几年的主要热点。CLIENT/SERVER 技术通过采用硬、软件结构上的 CLIENT/SERVER 结构模式，实现计算任务的分布，达到资源、服务的共享，并使系统具有灵活的可伸缩性，这已成为当前绝大多数应用系统采用的结构模式；基于网络或多机系统的并行处理技术已取得很大进展，特别是围绕高性能计算任务的需求，并行计算领域出现了并行虚拟机（PVM）、消息传递接口（MPI）以及机群计算（CLUSTER COMPUTING）等新概念和新技术，这在较大程度上解决了并行计算的一些关键问题；INTERNET 在近几年中呈几何级数的增长使其成为举世瞩目的焦点，它作为一种新的通讯设施，缩短了世界各地的距离，建立起了一个没有边界的“信息社会”。INTERNET 的发展对软件技术的发展提出了新的要求，也带来了更多的机遇，JAVA 的兴起便是一个典型例子。INTERNET 是一个巨大的舞台，也是一个巨大的市场，软件技术在其中扮演着极其重要的角色。

在人工智能及知识处理领域，专家系统已得到实际的应用，使人类专家知识在计算机系统中得到重现。近几年在分布式人工智能研究中出现的 AGENT 概念及技术也引起软件技术其他领域的高度重视，被使用在许多应用软件系统中。从发展趋势看，随着人类对自身了解的不断深入，人工智能技术将会越来越深入地发展，被越来越广泛地应用到更多的领域。

四、我国软件技术的发展

我国软件技术的发展和国际水平相比存在着一定差距，但在国家的关心和扶持下，经过广大科技工作者的不懈努力，也取得了长足的发展和进步，为我国软件产业的形成和发展奠定了必备的技术基础，同时也造就和培养了一批软件技术人才。

我国的软件产业起步于 80 年代，创业伊始，除了支持必需的软件技术基础研究外，国家根据具体国情，选择若干关键技术进行攻关，为我国软件产业的基础建设打下了良好基础。主要成果体现在如下几方面：

系统软件技术：系统软件是和计算机硬件直接交互的软件，是应用软件赖以运行的基础平台，也是计算机系统安全性的基本屏障。因此，拥有自主知识产权的操作系统至关重要。在国家攻关计划支持下，中软总公司牵头承担了国产操作系统的研制工作，推出了符合 POSIX 标准的操作系统 COSIX，同时推出了运行其上的数据库管理系统。填补了我国在这方面的空白，具有非常重要的意义。当前，COSIX 系统的实用推广工作正在进行中，基于微内核技术的新一代操作系统也在研制中。

中文处理技术：软件具有较强的民族性和文化性，外来软件的本地化及对民族文字的计算机处理技术均是非常重要的。我国在中文信息处理技术方面经过“七五”、“八五”的努力已有了长足进步，以国标 GB2321 字符集为基础的中文输入、汉字字形生成与输出、中文文字处理与电子排版印刷、操作系统及软件汉化等方面成果斐然。特别在电子出版领域，已形成良好的产

业基础，北大方正、华光等企业已占有全部国内市场，在台、港、澳、新加坡及东南亚地区占有很大市场份额。当前，中文信息处理技术的发展主要朝向对中文句子、篇章的理解，实现自然语言的自动处理，特别是大规模真实文本的自动处理。

支撑软件技术：任何一个产业的发展都离不开工程化、工业化的生产手段，正如机械工业离不开先进的机床、生产线，计算机硬件产业离不开微电子、芯片加工一样，软件产业的发展同样离不开必要的基础生产设施。手工作坊式、小分队式的软件开发方式已远远不能满足软件产业发展的需要，只有拥有先进的工程化、工业化生产技术和手段，才能够提高软件生产率和软件产品质量，增强企业自身的综合竞争力，在激烈的市场竞争中立于不败之地。很难想象，赤手空拳如何能够和现代化的装备去竞争。为此，在国家支持下，以北京大学为首的攻关集体以建立我国软件产业的基础，推行软件工程化、工业化生产技术和模式为目标，承接国家重点科技攻关计划，实施青鸟工程，为我国软件企业提供必要的工业化生产手段和装备（软件生产），为形成软件产业的规模经济培养人才，增加科技储备，加强产品开发的能力和实力，经过“六五”、“七五”和“八五”十余年攻关，取得了丰硕成果：

制定了青鸟标准规范，研制了大型软件开发环境青鸟系统，推出了青鸟系统系列产品，应用于大型软件系统开发，提交了一批理论成果。

“九五”期间，青鸟工程的目标是：制定软件工业化生产标准，进一步推行软件工业化生产方式，促进形成软件产业的规模经济。技术目标是：强化采用面向对象技术，支持以软件复用为基线的，基于“构件-构架”模式的软件工业化生产技术。

五、展望

世界软件技术正处于突飞猛进的发展时期，我国要赶上时代发展的步伐，将面临严峻而激烈的挑战，同时这也是极好的发展机遇。未来世界，谁掌握最新软件技术，谁就可在激烈的国际竞争掌握主动权，占据优势。我国的软件技术和软件产业经过 10 余年的发展，已打下了良好基础，在此关键时刻，不进则退，稍有迟疑或决策不当，就会失去良机，失去进入信息社会的入场券。

当前，发展我国软件产业，必须要有国家政策的扶持。一方面要面向经济建设的需要，选择关键技术组织攻关，以解决国民经济建设和产业建设中的重大、综合、关键、迫切的技术问题；另一方面制定有利于发展软件产业的政策，造就软件产业发展的良好环境。

1. 选择关键技术，集中力量攻关

系统软件技术、中文处理技术和支撑软件技术应该成为攻克的重点。系统软件事关国家信息安全，必须掌握并积极发展；中文处理技术是我国的优势所在，不可丢失阵地；支撑软件技术是发展软件产业的关键因素，先进的装备是我们的竞争力之所在。先进的装备是不可能买来的，只能依靠自己开发。

2. 建立合理的产业结构框架，形成产业规模

建立基础研究与应用技术研究、模型研究与原型开发、产品开发与商品化及市场服务四个层次的产业结构框架，形成研究、开发、产品和市场的良性循环。统一规划、通力合作、重点建设若干软件产业基地和龙头企业，使

研究开发、产品开发、质量评测三位一体。根据地方、行业情况，合理分布企业，进行优势力量组合，以形成综合效应和规模经济。

3. 重视人才培养，加强队伍建设

软件企业是智力密集型、技术密集型企业，人才是关键，是财富，高水平的稳定的骨干队伍至关重要。软件技术发展较快，及时的知识更新十分必要，必须重视人才的培养和再培养。要重视软件营销人才培养，经销、管理队伍建设，建立一支高级复合型人才队伍。

4. 改变投资观念

信息产业的竞争归根结底是技术竞争和产品竞争。大型信息工程的核心是软件，因而，在信息工程实施中，要抓住软件，采用“软件牵引，设备租赁”的政策，建立软件是固定资产的观念。

5. 开展国际合作，开拓国际市场

加强国际合作，积极参与国际竞争，在竞争中发展软件产业，在竞争中推动技术进步。立足国内，面向国际。

软件技术和软件产业的发展是我国社会经济信息化的关键。软件技术和软件产业相辅相存，互相促进。软件产业的发展必须以软件技术为基础，另一方面，软件产业又是软件技术发展的依托。随着软件技术与软件产业的飞速发展，二者的结合将更加紧密。

核能利用的现状与展望

杨裕生

中国人民解放军防化研究院

杨裕生 核试验技术、分析化学科学家。1932年9月6日生于江苏如皋。1952年毕业于浙江大学。1958-1960年在苏联科学院地球与分析化学所进修。历任国防科学技术工业委员会核试验基地研究员、科技委主任，中国人民解放军防化研究院研究员，中国核学会理事。1995年当选为中国工程院院士。主要从事核武器试验技术和超铀元素化学研究。

一、核能

原子核由统称为核子的质子和中子所组成。质子带一个正电荷，中子不带电荷。原子核内的质子数就是原子核的电荷数，也叫原子序数（ Z ），原子核的核子数就是该核的质量数（ A ）。 Z 相同而 A 不相同的各种核称为同位素核。原子核内的中子数目与质子数目满足一定比值时，这类原子核是稳定核；质子过多或中子过多的核都是不稳定核或放射性核，它们会自发地以发射不同射线的方式释放出能量而转变为稳定核，此现象称为核衰变。

用中子、质子、氘核（含一个质子和一个中子）或其它更重的核轰击一种原子核，均可能发生核反应而产生另一种原子核，同时常会释放出巨大能量。核衰变与核反应过程中放出的能量统称为核能。

一个质量数大的重原子核（如铀、钚核等）分裂成两个较轻的原子核（称裂变碎片或裂变产物核）称为裂变反应，此时释放的核能称为裂变能；两个质量数很小的核（如 $H-2$ 与 $H-3$ 核或称氘核与氚核）聚合为一个较重的核（如氦核）称为聚变，此时释放的核能称为聚变能。1000克铀原子核全部裂变，可释放出 8.19×10^{13} 焦耳的裂变能，相当于2700吨标准煤的燃烧热，1000克轻原子核的聚变能更是此值的3倍。

二、核裂变燃料和裂变能释放

裂变燃料是能发生裂变反应并释放出巨大核能的物质，主要指易被低能中子作用而裂变的核素铀-235、钚-239和铀-233，后二者是分别由天然的铀-238和钍-232在核反应堆中用中子照射并经两次衰变而生成的。天然铀广泛分布在岩石和海水中，但含量很低；铀矿石中含铀则可达1%-4%，但铀矿不多。天然铀含有三个同位素，铀-238占99.28%，铀-235占0.714%，铀-234占0.00548%，其中铀-235在低能中子作用下主要发生裂变反应，同时放出2-3个中子——裂变中子，和射线，而产生铀-236俘获反应的比例不到15%。入射中子的能量越低，引发铀-235核裂变的机率越大，即铀-235的裂变截面越大。铀-238在低能中子作用下只发生俘获反应而生成钚-239，只有快中子才能使它发生裂变。

一个铀-235原子核发生裂变时平均放出2.5个中子（钚-239可达3个中子），一部分中子飞出核燃料，一部分消耗于该核燃料中的（包括杂质的）各种俘获反应，还有一部分可引发另外的铀-235核裂变，如果最后的这一部

分达到一个中子，则此核燃料中就可持续进行链式裂变反应，不断地释放出核能，此时称倍增系数（ K ）等于 1。当 $K < 1$ 时裂变反应次数将逐渐减少而最终停止，当 $K > 1$ 时裂变反应次数将增加，单位时间内释放的能量也越来越多。显然，为了使一个核燃料系统中的 K 值能够达到 1 或大于 1，核燃料必须有很高的纯度和一定的质量。在一定条件下能够实现自持的链式裂变反应所需的核裂变燃料的最小质量称为临界质量。利用链式裂变反应原理释放裂变能的核裂变反应堆和原子弹，其中的裂变燃料的总装量均大于（或能改变条件使大于）临界质量。

在核裂变反应堆中要求平稳地、持续地释放能量，因而必须用吸收中子能力很强的物质做成的控制棒，来控制核裂变燃料系统中的链式裂变反应过程，使该系统的 $K=1$ 。在原子弹中，平时要确保核裂变燃料处于次临界状态（即 $K < 1$ ），不释放能量，而在需要爆炸时设法使裂变燃料迅速变为深超临界状态，并适时提供中子进行“点火”，通过快速增殖的链式裂变反应（过程约 1 微秒，增殖几十代），达到瞬间释放巨大的能量。

三、原子弹

又称裂变弹，是利用高浓铀-235（丰度大于 90%）或钚等易裂变重核的裂变反应在瞬间释放出巨大核能产生爆炸作用并有大规模杀伤破坏效应的武器，它是核武器中最基本的一个品种。有两种方法将平时处于次临界状态的裂变燃料在瞬间达到超临界状态。枪法，是将两块分散放置且均低于临界质量的裂变燃料，在化学炸药爆炸的高压力推动下迅速拼合为一体而达超临界状态。美国于 1945 年 8 月 6 日投到广岛的原子弹（代号“小男孩”）就是一颗总量约 50 公斤浓缩铀-235（丰度高于 90%）的枪法铀弹。该弹重 4.1 吨，爆炸威力不足 2 万吨梯恩梯当量。枪法中核裂变燃料的利用效率（能耗）很低（约 2%），故此法不常用，而多用内爆法。内爆法是用球壳形的化学炸药爆炸产生的内聚冲击波和高压力，将球壳内原处于松散的、次临界状态的裂变燃料迅速压缩，急剧提升其密度，使之达到超临界状态。此法所需核裂变燃料少，且能耗较高。美国 1945 年 8 月 9 日投到长崎的原子弹（代号“胖子”）就是这种类型的钚弹，重 4.5 吨，威力约 2 万吨梯恩梯当量，即在爆炸时裂变了约一公斤钚。

浓缩铀-235 是从铀-238 占绝大部分的天然铀中分离出来的，由于它们的性质极为相似，所以无论是电磁法，气体扩散法，离心法，激光法，或是化学交换法，分离过程都是极为复杂的，是核工业发展中经久不衰的研究课题。钚在核反应堆中由铀-238 生成后，要经过核化工厂的“后处理”从“乏燃料”中提取出来，这种强放射性物料的化工提取过程也是高技术密集型的生产工艺。

四、核聚变燃料和聚变能的释放

聚变燃料有氘、氚、锂-6 和氘化锂-6 等。氘是氢的稳定同位素，天然水中氘的丰度为 0.015%，就全球而言，其存量极其巨大，可谓取之不尽，用之不竭。为了使之与占 99.985% 的氢分离，可用电解、蒸馏或化学交换等方法制取。氚是氢的放射性同位素，半衰期为 12.33 年，系用金属锂-6 或其合金在核反应堆中经中子反应而生成。天然锂中锂-7 的丰度为 92.5%，锂-6 只占 7.5%，通常经过汞齐法将锂-6 浓缩到 90% 以上。

由于原子核均带正电，当它们靠近时相互间存在很强的库伦斥力，即使是单电荷的氢或其同位素的核，在通常条件下也很难发生聚合，只有当原子核具备了足够的动能，才能克服库伦斥力彼此靠近，从而增加发生聚变反应的机率。在加速器或中子管中加速轻核再使之轰击其它轻核的靶子可以实现聚变反应，但加速轻核所投入的能量远高于靶上聚变反应所释放的能量，核反应的规模也很小。大量释放核聚变能的可行方法是将聚变材料“加热”到很高的温度，使其原子核获得足够的动能。氘核和氚核在几百万开（尔温）即能发生明显的聚变反应，即氘-氘聚变和氘-氚聚变反应；温度更高，则更有利于聚变反应的进行。最能引起兴趣的是氘-氚聚变产生氦-4 和中子的反应，速率快，释放的能量高。每次聚变放出的 17.6MeV 能量中有 14.1MeV 的能量为中子所带走，即生成的是高能中子。

但是，人工造成几百万开以上的高温是非常困难的。利用原子弹爆炸提供的条件，已实现了大规模的氢同位素的聚变反应，从而发明了氢弹。通过人工控制的持续的聚变反应建成聚变反应堆，实现聚变能的和平利用，是一种美好的理想。这种反应堆所用的燃料储量极为丰富，放射性废物少，安全性好。不过要实现这个理想，尚有很长的研究路程。

五、氢弹和中子弹

氢弹又称热核弹或热核武器，它是利用原子弹爆炸的能量做为“扳机”，将聚变燃料加热至几千万开以上，使之发生自持的聚变反应，在瞬间释放出巨大的能量。其威力在几十万至几千万吨梯恩梯当量。

最初美国曾于 1952 年 11 月 1 日用液态的氘做燃料，做成一个重 65 吨的热核装置，虽然爆炸威力超过 1000 万吨梯恩梯当量，但不实用。1953 年 8 月 1 日苏联试验了用氘化锂-6 作热核装料的氢弹，重量小得多。氘化锂是固态化合物，化学性质相当稳定。尤其巧妙的是它的反应过程，首先将原来裂变反应堆中进行的锂-6 吸收中子造氘反应，直接“挪”到弹中进行，由扳机来的中子造出的氘立即与其近旁的氘进行核聚变反应；氘氘聚变产生的中子，或者很快与锂-6 反应造出氦来，或者引发外壳的铀-238 裂变既释放能量又产生近三个中子反回一部分来造氘；如此反复而一代一代的循环，使氘与锂-6 同步消耗而能达到很高的燃耗。每燃烧一公斤氘化锂-6 可释放 4-5 万吨梯恩梯当量，由于氘化锂-6 没有临界质量的限制，可在弹中“无限制”地装入，从而可使氢弹的威力大为提高。

反映氢弹水平的重要指标之一是比威力（威力与其重量之比）。

中子弹是以氘和氚为燃料、威力为千吨级梯恩梯当量的小型氢弹，以中子剂量为主要杀伤因素，又称增强辐射弹。

我国已建立起一支精干、有效的核自卫力量；我国发展少量核武器，是在特定历史条件下被迫而为的，完全是为了防御，为了维护国家的独立、主权和领土完整，也是为了打破核大国的核垄断和核讹诈，防止核战争，最终消灭核武器。我国政府并一再宣布，承担不首先使用核武器的义务。1996 年 7 月 30 日又宣布暂停核试验，这是为了推动核裁军而采取的一项实际行动。

六、核裂变反应堆

核裂变反应堆，也称原子反应堆或核反应堆，是能使核裂变的链式反应在人工控制下持续进行的装置。反应堆的核心部分是堆芯，堆芯由燃料组件

和控制棒组件组成。燃料组件由若干根燃料元件按一定方式排列而成。根据反应堆的设计要求，燃料元件中的核裂变燃料可以是不同丰度的低浓铀或其化合物。元件的外表是用锆合金或其它耐热耐蚀的材料制成的密封外壳。控制棒由驱动机构进行升降，以控制链式反应的速率，达到开堆、停堆和调节反应堆功率的目的。反应堆中通常以水、重水、或石墨作为中子慢化剂，以水、重水或氦气为载热剂，分别组成所谓沸水堆，压水堆、重水堆、高温气冷堆等各种类型的反应堆。

核反应堆按用途或功能可以分为：以提供中子和射线进行科学研究为主要目的的研究堆，以制备钚、氚为主要目的的生产堆，以供热为主要目的的供热堆，以提供高压蒸汽或高温氦气为主要目的动力堆。有的堆可以兼有一种以上的用途。

由于反应堆的元件用的是低丰度的铀，又是分散布置且不可能像原子弹的装料那样能聚拢压紧，堆芯还有吸引中子能力很强的控制棒，所以反应堆不可能发生核爆炸。此外，反应堆在设计时就要求具有“负温度反应系数”，即当核能释放过快或载热剂未能起到足够的冷却作用致使堆芯温度上升太高时，链式裂变反应将自行减弱。

七、核动力和核能发电

发电是核能的主要利用方式。核电站由核岛和常规岛组成。以最常用的压水堆为例，核岛又称一回路系统，其作用相当于普通火力发电厂的高压蒸汽锅炉，核心是一个封装在钢壁厚 200 毫米压力壳中的反应堆。主泵将高压冷却剂（一回路水）送入反应堆，带出核燃料释放的热能；冷却剂由反应堆进入蒸发器，将热量传给管外的二回路水，使之沸腾为蒸汽。流过蒸发器的冷却剂再由主泵送回反应堆循环使用。上述部件全部安装在内衬钢板的预应力钢筋混凝土厚墙厂房——安全壳——中。常规岛又称二回路系统，与普通火力发电厂利用蒸汽发电的汽轮发电机系统基本相同，包括汽轮机、发电机、凝汽器、给水泵及冷却水系统。

一座 90 万千瓦的压水堆核电站约装 80 吨二氧化铀，每年换料约三分之一，换入元件中铀-235 的丰度为 3%，即每年需要补充的燃料元件只约 30 吨重，“烧”掉的铀-235 约重 1 吨。与同等功率的火力发电厂每年需燃煤 270 万吨相比，运输量上形成非常鲜明的对照。

核能发电 40 年来发展很快，至 1995 年底全世界已有 30 个国家 431 个机组在运行，总净电功率达 34255.4 万千瓦，发电量占世界总发电量的 17%。核电容量超过 700 万千瓦的有 11 个国家：

国家	机组数	净电功率, 万千瓦
美国	109	9967.3
法国	55	5737.3
日本	50	3965.5
德国	21	2281.1
俄国	25	1979.9
加拿大	22	1543.9
英国	35	1272.8
乌克兰	14	1209.5
瑞典	12	1007.5
韩国	10	817.0
西班牙	9	710.1

1995 年, 法国的核电在总发电量中的比例为 76%, 乌克兰为 36.7%, 韩国为 36.2%, 美国为 22.5%。比例最高的国家是立陶宛, 达 87.5%, 全年核电产量为 118.24 亿度, 其中约 20% 售给了俄罗斯和白俄罗斯。目前, 全世界还有 64 个核电机组正在建设中, 总净电功率为 5596.8 万千瓦, 平均单机容量高于现有水平。

核电发展如此迅速的原因, 在于其突出的优点: (1) 有力地弥补碳氢燃料及水力资源的不足。(2) 价格普遍低于火电 15%-40%。(3) 核电站对环境污染和危害远小于燃煤的火电站。

动力堆提供的蒸汽可以作为舰船的动力。在原子破冰船, 原子客轮、核动力航空母舰, 核潜艇等舰船中, 以潜艇使用核动力优点最突出: 它一次装料可持续 40 万海里以上, 是常规潜艇 40 倍; 单次潜航距离可达 4 万海里, 是使用蓄电池的常规潜艇的 100 倍; 此外, 航速可提高约一倍, 机动性和隐蔽性大为改善。全世界共建造过 400 余艘核动力潜艇, 正在服役的约 300 艘。此外, 反应堆也可作为取暖或工业上低温热源。这种供热堆不需发生高压蒸汽, 故建造价格低得多。

八、我国的核能发电

我国 1995 年共有 9 个核电机组运行, 总净功率 698.4 万千瓦, 在世界上列第 12 位; 其中 3 个机组在内地 (另 6 个在台湾岛)。秦山核电站一期的一个机组的电功率为 30 万千瓦, 大亚湾核电站为 2 套 90 万千瓦机组, 均采用国际上技术最为成熟的压水式反应堆。

秦山核电站由我国自行设计和制造, 是我国建造核动力潜艇后在核动力利用方面又一重大突破, 其 1995 年的发电量占浙江省的 6%。现在这种型号的电站已出口巴基斯坦, 预计 1999 年建成发电。大亚湾核电站是引进法国技术与香港合资建设的, 我国人员参加了建设, 参与了管理。该电站 1995 年的发电量约占广东省的 20% 左右, 其中 70% 售给香港。这两个电站的建成发电, 为我国核电事业的发展打下了良好基础。

我国能源的资源 and 消费的分布很不均衡。煤炭主要集中在陕西、山西、内蒙古西部, 水力资源主要分布在西南地区, 石油天然气储量不丰且又大部分在三北。而经济发达、耗能较多的华东、中南等省份能源资源十分贫乏,

其所需能源有近一半要从外地调入，铁路运煤不堪重负。同时烧煤还引起 SO_2 、 NO_x 和粉尘的污染，以及 CO_2 的温室效应。这些问题随着经济的发展还将进一步严重。因此在我国东部省份发展核电是十分必要而迫切的举措。“九五”期间计划开工的有秦山二期（ 2×60 万千瓦），秦山三期（ 2×70 万千瓦，从加拿大引进压力式重水堆电站），广东岭澳核电站一期（ 2×100 万千瓦）和江苏核电站一期（ 2×100 万千瓦，从俄罗斯引进），八台机组总装机容量 660 万千瓦，将于 21 世纪最初几年内建成发电。此外，福建、山东、辽宁、江西等省的核电项目已通过了初步可行性研究的审查，提出了首选厂址，正在申请立项中，湖南、武汉等省市正在进行前期准备。根据各方面专家的预测和建议，我国以热中子堆为主的核电装机容量到 2010 年将达到 2000 万千瓦，2020 年到 4000 万千瓦，相当于当时所需发电能力的 3.4% 及 5%，这个比例还是很低的。加速核电发展涉及的问题很多。我国大规模建设核电必须走自主设计和设备国产化的道路，这是作为一个国家应该和完全能够做到的。如果做不到这一条，姑且不说其它问题，即使想利用外资引进设备，其要价也会居高不下（如大亚湾核电站花 40 亿美元，每千瓦装机合 2000 美元）。因而我国必须在核电科技、设备生产、核燃料供应、人才培养等各方面给与足够的投入，使之配套协调发展，还要为核电站的建设资金创造良好的筹集机制。由此可见，上述预测的指标是要经过很大的努力才能达到的。

但是，以目前中等发达国家水平的每人 1 千瓦装机计，下世纪三四十年代我国的发电能力应达到 15 亿千瓦，即使那时充分开发了水电（约 3 亿千瓦）风能（2 亿千瓦）等可再生能源，并继续增加传统的火力发电，仍可能有上亿千瓦乃至更多的电力缺口指望核能来弥补，这有赖于核电科技与工程的发展。

九、核辐射和同位素的利用

各种放射性同位素以不同的半衰期（每衰变一半所需的时间）自发地衰变时，衰变能除了由 α 或 β 射线携带外，大部分情况下还能发射 γ 或 X 射线。利用放射性同位素发射各种射线这一特点，已经开发出许多令人拍手称奇的用途，并且渗透到工业、农业、医学、环境、科研等各个领域。

利用半衰期 5.27 年的钴-60（或铯-137，半衰期 30.17 年）强放射源的射线，对许多物品进行各种目的的辐射加工，（连同加速器的电子束辐射加工）已形成了一个新兴的产业，包括辐射化工，植物辐射育种，医疗用品的灭菌消毒，皮革、羊毛和干果的防霉灭虫，食品水果保鲜，大蒜、土豆、洋葱的抑制发芽以及废物无害化处理等，全世界每年的产值已超过百亿美元。我国已有 28 个省、市、自治区建成了各种辐射装置共约 120 个，总装源量约 1000 万居里，辐射加工年产值数亿元。下面是几个值得特别一提的例子。有机高分子材料经辐射改性，可以制出许多性能特异的高分子膜、粉和热收缩管，用途十分广阔。害虫（如玉米螟、柑桔大实蝇）的辐射不育是防治农业害虫的有效方法，而且没有农药的残留污染问题。近年兴起用于治疗脑瘤的 γ 刀，是一种放射治疗的新技术，可代替危险的脑瘤外科手术。我国用辐射育成的各类作物突变品种数百个，占全世界的四分之一而居首位，为粮棉油麻菜的增产作出重大贡献。

利用各种较弱的放射源（从亚微居里至毫居里级），制成感烟式火灾报警器、射线测厚仪、黄金成色仪、静电消除器、固体或液体料位计、 γ 射线

探伤机等仪器设备，被许多行业采用，是辐射能利用的良好事例。

我国已能生产和供应 800 多种同位素制品，其中大部分是放射性的。示踪原子技术，以利用放射性同位素为主，通过探测其射线来辨认含有该同位素的物质的运动和变化规律。例如，磷-32（半衰期 14.3 天）是农业上用以研究合理施用磷肥（施肥时间、数量、深度以及肥料成分与土壤的关系）的有力工具。近些年研究稀土微肥，也使用放射性示踪技术。冶金工业、化学工业及科研部门也都广泛使用这项技术，取得良好的经济效益和社会效益。将放射性同位素制成各种标记药物，在医疗上的用途日益广泛，一是将放射性药物注入人体内，不同药物在不同脏器有特定的富集和分布，因而通过体外的射线测量可以对体内几乎所有脏器进行显像和功能检查；二是取少量血液或尿液作放射免疫分析，可作出高灵敏性、强特效性的体外诊断；三是制成“药物导弹”，对特定部位的肿瘤进行放疗从而减少对其它器官的损伤。相信，随着科学技术的进步和国民经济水平的提高，核医学与核药学的发展前途不可限量，核能必将更好地服务于人民的健康。

十、核电科技工程的展望

核电站技术发展的核心在于核岛。当前全世界核电站广泛采用热中子引发裂变的堆型，无论是压水堆，沸水堆或重水堆，都已相当成熟；美国（另有法德联合）正开发单堆功率 60 万千瓦的第二代动力堆，仍是这种堆型，只是通过充分利用被动安全性和简化设计，进一步提高安全性和降低建设成本。可以认为，以水为载热剂的热中子堆在今后二三十年乃至更长时间内仍将在核电中占重要地位。但是这种堆型有两大问题，一是燃烧的主要是一部分铀-235，资源有限，铀利用率却又很低，即使将乏燃料循环浓缩与钚一起再作燃料，总利用率也只有 1% 左右。二是产生的大量高毒性长寿命裂变产物和“非钚超铀元素”，难以处置。

为解决这些问题，已开发研究新的堆型。快中子增殖堆用贫铀与钚作混合装料（钚占 15%）以液态金属钠为载热剂。这种堆中的裂变谱中子（平均能量为 2MeV）基本上未经慢化而引发铀-钚裂变，与热中子堆中铀-235 燃烧为主相比，有几点有利情况（1）每次裂变的二次中子数多于 2.5（接近 3.0）。（2）消耗于无益俘获反应的中子所占的比例较小。（3）铀-238 裂变的份额增加。（4）非钚超铀元素在快中子作用下，也可用作燃料，用量可达钚的 15%—30%。此种堆中铀-238 转成钚-239 的量大于同时期燃烧掉的钚-239 量，形成了“增殖”。快堆的乏燃料还可经循环处理除去废料（主要是较短寿命的裂变产物），提取出 U-Pu 再燃烧，这样铀的总利用率可提高到 70%。全世界建成过 22 座快堆，目前有 10 座在运行，其中能发电的有 8 座，均属于原型性或经济验证性，尚未进入商用阶段。随着铀富矿开采渐尽而铀价升高，热堆难以为继，以及快堆技术进一步完善、建堆成本下降，可以预期快堆发电必将进入商业化。我国已着手建造一座 6.5 万千瓦热功率/2.5 万千瓦电功率的实验性快堆电站，预计 20 年后应可进行商业开发，下世纪 20 年代起将逐渐依靠快堆为主来增加我国的核能发电。

高温气冷堆是另一类安全性高和用途广泛的热中子堆型，可以允许建在城市附近。它以氦气为载热剂，石墨为慢化剂，燃料除用低浓铀外，还可使用铀-钍混合装料。堆芯氦气出口温度最高可达 950℃，既可推动燃气轮机发电或作为高温热源，也可通过发生蒸汽发电供热。我国 1 万千瓦实验型高温

气冷堆的建造已于 1995 年开始，预计 1999 年建成，届时可发电 3000 千瓦。

最近两年，国际、国内核科技界热烈探讨“放射性洁净核能”问题，中心议题是“加速器驱动的核电站”的新概念，其基本思想是：用一中能加速器提供 1000—1500MeV 的毫安级质子束，打到放在次临界快堆中心的重金属（如铅）上使之发生散裂反应，每个质子产生 20—30 个左右、平均能量十几 MeV 的中子，形成一个强中子源。这些高能中子使次临界堆的核燃料裂变，并使中子倍增至约 20 倍，形成稳定的高通量密度；堆中的铀-238 或钍-232 除增殖成钚-239 或铀-233 外，稳定地释放大量裂变能。电站发生的电量小部分回供给加速器，大部分可以上网。这种装置具有快堆电站所有优点（包括长寿命放射性废物的嬗变），而安全性更优于快堆。这是因为加速器可根据安全的需要在微秒内完全切断质子束流，驱动反应堆运转的中子源因而立即停止产生中子，堆中裂变反应随即停止。当然，从概念论证到工程实施，有很长的攀登路程，研究费用也很巨大，目前我国已酝酿开展相关的理论研究及计算机模拟，具体的技术跟踪也将逐渐起步。

聚变堆虽有无比丰富的燃料资源，一旦成功，确实可从根本上解决人类的能源问题，但因难关太多，据预测要到 2050 年才能投入商业运行。对于具有如此重大意义的工作，我国也已量力而行地开展了磁约束聚变和惯性约束聚变等基础科研，并取得了可喜的进步。等到时机成熟，我国一定会迎头赶上。

信息高速公路与高速光纤通信网

张煦

上海交通大学

张煦 通信工程学家。1913年11月6日生于江苏无锡。1934年毕业于交通大学。1937年获美国哈佛大学科学硕士,1940年获科学博士学位。上海交通大学电子工程系教授。1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。长期从事通信工程方面的教学和技术研究工作。

一、现代通信的新名词

1. NII——一个国家发展“信息高速公路”的实际行动,就是兴建国家信息基础结构(National Information Infrastructure, 简写 NII)。显然,一个国家的信息基础结构是十分庞大而范围广泛的。其中的骨干将是全国性的通信网基础结构(Telecommunication Network Infrastructure)。本文的讨论将着重于通信与广播。包括音频(audio)、数据(data)、视频(video)信息和多媒体(multimedia),有线和无线传输,固定和移动通信等等。

2. ISDN/B-ISDN——国家通信网基础结构将把音频、数据、视频所有信息业务一律变成二进制数字信号,以bit为单位(数字速率b/s),让它们在通信网中综合一起传输和交换,构成综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, 简写 IS-DN)。不久的将来,电视要大发展,宽带电视信号也要参加一同实行数字传输和交换,构成宽带综合业务数字网(Broadband IS-DN, 即 B-ISDN)。“信息高速公路”的国家通信网将以实现 B-ISDN 为目标。

3. V·I·P——V指Video(视频),I指Intelligent(智能),P指Personal(个人)。这三者简洁地表示“信息高速公路”的通信网现在就准备瞄准重点发展的方向。前段提到B-ISDN宽带,就是着重于电视的视频,也就是说,数字电视是三个重点发展之一。

4. IN/AIN——通信网的所有交换局内都有计算机,它们将大大地加多配备各种计算机软件,完成智能化服务功能,使通信网成为智能网(Intelligent Network, 简称 IN),甚至进一步成为高级智能网(Advanced IN, AIN)。

5. PCS/PCN——市内、长途、国际通信不再局限于固定地点间的相互通信,而是要扩大业务范围,容许任何随身携带袖珍通信机的个人,能够在任何地点、任何时间得以与全球范围的任何对方个人立即取得通信联系,称之为个人通信业务(Personal Communication Service, 简称 PCS),相应的通信网称为个人通信网(Personal Communication Network, 简称 PCN)。显然,这样的个人通信与移动通信有关,需要利用无线接入(wireless access)。

二、高速通信对传输与交换的要求

从“信息高速公路”名词可以一眼看出,未来的信息业务越来越繁忙,需要以高速率接通才能胜任,就是说需要高速通信。怎样以数量来表示高速

通信呢？由于未来的通信主要优先依靠以 bit 为单位的二进制数字信号，那么高速通信意味着数字速率 (bit rate) 很高，即每秒接通的 bit 数很多。一般认为，高速通信的数字速率数量级应在 GB/s 级以上，即每秒接通千兆 (10^9) bit 或更多。随着时间的推移，信息业务迅速增长，估计下个世纪的数字速率数量级可能达到 Tb/s 级以上，即每秒接通兆兆 (10^{12}) bit 或更多，这确实是很高速率的通信，是史无前例的。

对于实现高数字速率，GB/s、Tb/s 级的通信，首先要问什么样的传输媒介有足够大的潜在带宽容量能够胜任呢？讲到通信的传输媒介，不禁回忆起有线和无线两类传输线路，而有线传输又分铜线电缆和光纤光缆，无线传输分微波接力线路和同步卫星线路。在模拟通信时代，中同轴电缆 10800 路载波电话是大容量宽带传输的最高峰，但当时带宽仅为 60MHz，现在看来是很小的。后来进入数字通信时代，电缆的容量显得对数字速率有限制，而光纤被发现有很大的潜在容量，尤其是单模光纤在零色散波长 $1.3\mu\text{m}$ 和低损耗波长 $1.55\mu\text{m}$ 两个窗口，潜在容量居然大到 20THz，比电缆的容量大 5 个数量级。因此以有线传输而言，高速通信的传输干线非单模光纤莫属。至于无线传输，现行的数字微波接力线路或同步卫星线路，实际传输的数字速率约为 140Mb/s 或稍高，卫星通信的数字速率如要达到 Gb/s 级还需要特殊努力才能成功。应该说，卫星通信的优越性在于能够很快开通线路，使相隔遥远的两地直接通信。在这样全面考虑后得出结论：真的要实现高速通信，传输媒介只有利用有线、单模光纤的光波通信。而对于数字速率目前较低的个人通信，传输媒介除了必然依靠无线接入外，可以灵活使用卫星的微波通信。总的来说，“信息高速公路”的高速通信传输线路必然依靠光纤光缆，用户分配线路可能利用同轴电缆，有些专用通信网的线路可能利用对绞铜线电缆；而个人通信由无线接入进网后，可能或是通过固定的光纤通信网，或是灵活利用卫星通信线路。这意味着，“信息高速公路”虽是由高速通信网承担大量的信息业务，但也应包括目前看来暂是低速的全球个人通信；所以通信传输的整体，将是有线与无线并存，光纤与卫星都需要，光波与微波兼用，而有线部分将是光缆与电缆结合，既发挥各自的作用，又符合经济节约的原则。

高速通信的交换方式与设备，当然和现行一般速率通信的交换方式与设备有所不同。现在高速通信承担大量信息业务，包括很低数字速率的数据信息及控制信号，也包括数字速率较高的宽带信息，特别是电视和将来的高清晰电视 (HDTV)，它们虽经压缩编码，每路仍需 $10\sim 30\text{Mb/s}$ 。这些不同信息，在性质上又各不相同，电话和电视就需要实时通信，而数据和控制信号则往往是突发性的。这样，高速通信的交换须承担数字速率和性质都相差很大的各种信息，对它们实行复接和交换，在方式上和设备上都与过去的交换不相同。传统的电话交换机是利用电路交换 (circuit switching) 方式，双方接通后，挂机前，不管通话或不通话，都一直占用这条电路，效率低微。其后，数据通信业务兴起，采用分组交换 (packet switching)，曾经显出一定效果。到了现在高速数字通信，也许要利用快速分组交换 (FPS)。近年建议的异步转移模式 (Asynchronous Transfer Mode，简称 ATM)，实行异步复接和信元交换 (cell switching)。未来 B-IS-DN 的交换方式将采用 ATM，相应地，交换局中分布式计算机系统将提供高运行速率和大存储容量。

三、光纤、光子器件与光波传输系统

光纤自从发明至今将近 30 年，已历经几代革新。现在大家有了共识：光纤在通信领域，尤其在高速数字通信，单模光纤（single mode fiber，简写 SMF）起着主力作用，而且是工作于两个波长窗口，即 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ ，后一波长的光纤损耗最小， 0.2dB/km 。常规单模光纤（conventional SMF）的标志是零色散波长位于 $1.3\mu\text{m}$ ，此波长的光纤损耗约为 0.4dB/km ，而最低损耗波长 $1.55\mu\text{m}$ 的色散约为 $20\text{ps/nm}\cdot\text{km}$ 。一般地说，光纤色散越低，则光纤的带宽容量越大。为了提高光纤在最低损耗波长 $1.55\mu\text{m}$ 的带宽容量，特地研制一种色散移位光纤（DispersionShifted SMF，简称 DSF），使零色散波长从 $1.3\mu\text{m}$ 移位至 $1.55\mu\text{m}$ 。这样，单模光纤在波长 $1.55\mu\text{m}$ 兼有低损耗和大带宽容量两大优点， $1.55\mu\text{m}$ 成为高速光纤通信最主要的工作波长。尤其是在 $1.55\mu\text{m}$ 窗口运用的光纤放大器首先研制成实用产品，在短短几年期间证明确实非常有用，而工作于 $1.3\mu\text{m}$ 窗口的光纤放大器仍处于实验室阶段，使波长 $1.3\mu\text{m}$ 的应用前景相形见绌。因此，人们对高速光纤通信寄托于重点开发波长 $1.55\mu\text{m}$ 。不久前，为了更有效地挖掘光纤潜在的巨大容量，开始在同一光纤上同时传输不同波长但间隔很近的多路光载波，即波分多路，使总的传输数字速率相应地增为每一路数字速率的多倍。但是，在研究试验的过程中，遇到光纤非线性特性引起路际串扰的麻烦，有必要重新彻底考虑光纤色散特性的影响，力求色散特性能抵消非线性特性的不良影响。所谓“色散管理”和“色散补偿”，就是最近设想和试验的一些具体措施。研制负色散单模光纤，与原已敷设的常规正色散单模光纤互相配合使用，而使零色散波长不是准确位于 $1.55\mu\text{m}$ ，却是位于其它更适宜的波长，有可能消除光纤非线性特性的不良影响。

光纤通信所用半导体光子有源器件，最基本的有四种：光源器件的发光管（Light Emitting Diode，简写 LED）和激光管（Laser Diode，简写 LD），光检测器件的光电管（Photo Diode，简写 PD，或称 PIN）和雪崩管（Avalanche PD，简写 APD）它们都用 III-V 族化合物，短波长 $0.85\mu\text{m}$ ，光源用 GaAlAs/GaAs，长波长光源和光检测都用 InGaAsP/InP（仅短波长光检测用 Si）。这是从光纤通信开始使用一直如此，现阶段单模光纤系统以 LD 和 PIN 使用最多，将来高速光纤通信仍将如此。尤其是单频激光管（single frequency laser），可以说是光纤通信系统中最关键、最精密，也是成本最贵和最易损坏的光子器件，它的性能决定传输系统能力和总体质量。因此，它们的结构工艺在近年仍继续不断改进，层出不穷。主要是追求输出线谱窄、线性区域大、门限电流低、噪声小、输出功率大等。在结构上利用光栅的分布反馈（Distributed Feedback，简写 DFB 或 Distributed Bragg Reflector，简写 DBR），以及激活区利用多量子阱（Multi-ple Quantum Well，简写 MQW），已成为必然趋势。高速数字通信单模光纤的工作波长既然决定使用 $1.55\mu\text{m}$ ，则单频激光管的重点必将放在波长 $1.55\mu\text{m}$ 。激光管本来可以使用直接的光强调制（IM），但如调制信号的数字速率较高，则为了避免发生频率扫动（chirp），宜于加装外部调制器（external modulator）。至于 $1.3\mu\text{m}$ DFB 激光管，因为能够做到线性区域较大和输出功率较大，所以光纤多路模拟电视在目前仍倾向于使用波长 $1.3\mu\text{m}$ 。

仅在 5 年前研制成功的掺铒石英光纤放大器（Erbium-doped Fiber Amplifier，简写 EDFA），在波长 $0.98\mu\text{m}$ 或 $1.48\mu\text{m}$ 半导体激光二极管足够大输出功率的抽引（pump）下，能够对波长 $1.55\mu\text{m}$ 窗口不小的带宽范围

内提供稳定可靠和不太小的有用增益。这被公认为光纤通信技术近年的重大突破。在光纤光缆线路中间每隔一定距离设置这种光纤放大器，以淘汰传统再生中继机的光/电和电/光转换，使线路成为全光传输系统。这种光纤放大器还可以在线路发送端用作激光管输出功率放大器，也可以在线路接收端用作光检测管输入接收预行放大器，起很大作用。对于波长 $1.3\mu\text{m}$ 正在实验室研制掺镨氟化物光纤放大器 (Praseodymium - doped Fluoride glass Fiber Amplifier, 简称 PDFA)，因光纤强度等问题，尚未能保证制成实用产品。

适合于高速光纤通信的新一代光波传输系统，正是利用上述的单模光纤 (工作波长 $1.55\mu\text{m}$)、DFB 激光管、EDFA 光纤放大器，再加上波分多路 WDM。由于微电子集成片的限度，每一光载波载荷的数字信号速率目前最快只能是 10Gb/s ，而光纤的潜在容量远大于此数，这就引起上面提到的波长划分的多路光载波同时传输方式，常称波分多路 (Wave length Division Multiplex, 简写 WDM)。例如 n 路 WDM 光纤传输的总速率将为每一光载波传输速率的 n 倍，例如 $n \times 10\text{Gb/s}$ 。路数较多，如 $n = 20$ ，就为密集的 WDM，此例中总速率达 200Gb/s 。WDM 系统在发送端有多路不同波长的激光管输出经过由光纤制成的合波器 (multiplexer)，由一根光纤输出。接收端有一根光纤输入，经过分波器 (demultiplexer) 分别接至多路光检测管及预放大器的输入。对这样的系统，光电子集成 (optoelectronic integrated circuit, 简写 OEIC) 或光子集成 (photonic integrated circuit, 简写 PIC) 是必需的。发送端 n 路不同波长的激光管应该排成阵列，合用同一温度控制，用一只合波器和一只光纤放大器，最后同一封装，一根光纤输出。相应地，接收端一根光纤输入，一只分波器后， n 路光检测管及预放大器排成阵列，也是同一封装。另外，发送端必须做到精确调谐每一路激光管的发射波长和精密控制各路波长的间隔。而在接收端，必须做到精确选择各路波长，包括滤波器和放大器。其它如波长路由器 (router)，交叉连接 (cross-connect) 以及波长转换器 (converter)，都要做到有可调谐和可选择波长能力。

四、同步光纤传输网与异步转移模式

为了适应高速数字通信的趋向，现已开始推行国际标准的同步数字系列 (synchronous digital hierarchy, 简写 SDH)，即按数字群速率 155Mb/s 、 622Mb/s 、 2.5Gb/s 、 10Gb/s 等的系列，以替代传统的准同步数字系列 (PDH) 的 2Mb/s 、 8Mb/s 、 34Mb/s 、 140Mb/s 、 565Mb/s 等的系列。这说是说，制造厂商现已开始供应 SDH 有关的产品，速率比前提高了。相应地，一个国家的全国性公用通信网将是同步光纤传输网 (synchronous optical network, 简写 SONET)，以实现宽带综合业务数字网的同步传输 (transmission) 功能。上节所讲单模光纤 (波长 $1.55\mu\text{m}$) 和利用 EDFA、WDM 等新技术的光波传输系统，就是利用 SDH 数字系列和用于 SONET 的每条光缆线路的。

宽带综合业务数字网使用的交换方式，前面曾提到，国际上已肯定采用异步转移模式和信元交换。就是说，实行异步复接和交换 (multiplexing & switching)。虽然 ATM 迄今还没有国际标准，各研究单位采用的制式大致相同。例如信元，就是固定长度的短分组，53 个字节 (byte)，包括标头和信息。这种方式的优点，在于它容许很低数字速率的信息与很高数字速率的信息，速率相差 3~4 个数量级，仍能一起复接，而且容许实时信息和突发数据一起复接，非常灵活。ATM 的产品和设备，成本比较低廉，深受各方欢迎。

五、各种不同用途通信网的互连和组合

大家熟知的和使用最多的通信网是公用通信网，包括市内电话网和长途电话网，任何用户可以利用自己单位里或家里安装的，按月付费的电话机，或街道按次付费或投币电话机，与市内或国内、国际各地对方用户通话。随着信息时代的来临，人们越来越多地使用信息，而计算机技术和设备不断革新，于是企业、事业和行政管理单位都在各自的大楼或地区范围内加强信息和通信设施以提高办事效率，原来设置的用户电话小交换机（PBX/PABX）不能满足需求了。首先增建的是计算机通信网。在本单位各部门的计算机之间互相实现数据通信，甚至扩充为音频、视频综合业务通信和多媒体通信。这种通信网就属于各单位自己拥有的专用通信网。在单位自己一幢大楼或一个地区的专用网，称为局部区域网，简称“局域网”（Local Area Network，简写 LAN）。如果单位厂房占有较大地区范围，甚至跨越城市街道，则专用网称为“城域网”（Metropolitan Area Network，简写 MAN）。如果是全国性企业机构，需要其总部与各地分支单位随时执行直接业务通信，专用网就成为“广域网”（Wide Area Network，简写 WAN）。目前有这样三类覆盖面积由小到大的区域网，即专用通信网。其中 LAN 是从低速 10Mb/s 开始，逐渐加快至 100Mb/s、155Mb/s、甚至更高速率的容量，它们所用的传输线路，从同轴电缆和对绞电缆开始，很快发展至光纤光缆，将来还有可能利用无线移动通信。MAN 的传输线路可能以光纤光缆居多，也结合使用电缆。WAN 则将更多地利用 VSAT 卫星通信，结合使用光缆和电缆。不管是哪一类专用通信网，它们虽然主要是频繁的单位内部之间点与点、点与多点、或多点与点的直接通信，但也需要与公用通信网沟通，这是肯定的。可以看到未来的趋向：在一个国家公用通信网越来越发达的同时，专用通信网的数量和业务将迅速普遍增长。这种现象在过去是没有的，现在却应重视考虑和充分估计，而且要尽量鼓励各单位建设和发展专用网。这是形成“信息高速公路”的特点：不仅公用网发达，而且专用网广泛加快发展。随之而来的问题，将是专用网与公用网的网间互连（network interconnection）和接口（interface）的分别设计和装置，这是复杂而重要的工作，必须十分重视研究开发，予以妥善解决。在国内各地城市，市内电话普遍发展的同时，有线电视（CATV）在近年也迅速兴起，每家每户不仅想装电话机，而且都要收看有线电视。到了 B-ISDN 时期，用户终端不仅有电话机，还有计算机及显示器，市内通信不仅提供电话业务，还要提供数据和宽带视频信息业务。而有线电视不仅提供多路电视广播业务，还要提供按用户需要收看电视或电影（Video On Demand，简写 VOD）业务，后者类似于交互通信业务。市内通信和有线电视的传输线路和分配线路，都要利用光纤光缆和同轴及对绞电缆，这就有必要统筹规划它们两者通信网的统一组合，达到经济合理的目的和避免重复敷设线路造成浪费。

上面讲的都是固定通信网，实际上还应该考虑移动通信网，它在将来必然会大发展。移动通信的特点，在于设置许多蜂窝区的无线电基台（base station 或 cell site），甚至微区（microcell）小电台，让个人用户的移动机或袖珍机经过无线接入。这些无线接入，虽然目前暂时是低数字速率，但也应包括在全国通信网基础设施之内。这许多无线电基台各自直接连接移动通信蜂窝网的交换中心（Mobile Telephone Switching Center，简写

MTSC)，再由它连接市内通信网的交换局（Central Office，简写 CO）。或者，许多微区小电台经过基台连接市内网的 CO，即进入固定的市内网，简称进网。这些连接都是依靠有线线路，很可能是光纤光缆。由此，必须妥善考虑或筹划这些移动通信网的线路成为市内通信网线路的一部分。或者，让市内通信网和移动通信网统一组合，达到有条不紊和经济合理的目的。

六、跨世纪通信网的前景

从本文的粗浅介绍，希望能够得出一些初步的共同认识。首先，对于世界范围，特别是工业发达国家提出的“信息高速公路”倡议，我国必须在原则上坚决地迎接挑战，但绝不是笼统地说要大搞特搞所有信息设施，也不能一哄而上，写出不顾国情的宏伟规划，要装这样装那样，不管设备从哪里来，甚至全部向外国购买，外国人出什么，我们就买什么，既不怕耗费劳动人民血汗，也不管能否发挥效益。这样的做法显然是不妥当的。我们必须周密考虑，分清轻重缓急，排列先后次序。在开始阶段，有关信息设备可以适当向外国选购，或者中外合资经营制造工业，不仅考虑近期怎样对国家有利，还应想到远期怎样立足于自己。有些急迫需要的措施，应当毫不犹豫地尽快落实，不失时机，所以也不能笼统地说国内的响应要降温。

“信息高速公路”的国家信息基础结构 NII，在很大程度上依靠通信网基础结构。这主要是建立全国性骨干通信网，它必然是高速数字通信网，其传输将依靠光纤光缆线路的光波通信。所以说高速光纤通信网是“信息高速公路”的基石是合乎事实的，在可预见的将来，即跨世纪通信网的发展前景也是如此。跨世纪通信网将是宽带综合业务数字网 B-ISDN，高速光纤通信网正是用来逐步实现这个目标。所有信息业务都要转换为数字信号，综合一起传输和交换，高速数字通信就是指大量数据和宽带电视的数字信号以高速率 Gb/s 级传输和交换。跨世纪通信网的发展重点，明确标出为 V·I·P，分别表示电视信息普遍利用，交换机构提高智能化和个人通信在全球实现。详细地说，在跨世纪通信网，电视信息促使多媒体通信更加丰富多采，数字电视经过压缩编码，促使通信与广播（CATV）结合，交互通信适用于电视（VOD），现行广播质量电视进展至高清晰电视。宽带数字通信网既使用同步数字系列和同步传输网（SONET），又使用异步转移模式（ATM），即异步复接与交换。交换局内增多利用计算机软件，逐步达到高级智能网。个人通信业务需要无线接入，遥远距离将充分利用卫星通信的优越性，增加无线电传输的分量。所以，从全球个人通信业务的观点，无线通信大有可为，不是光纤通信一统天下，在国家通信网基础结构中必须明确计及无线接入和无线通信，无线必将与有线并存。PCS 在开始时仅是通过电话和传送低速数据，没有高速信息，但其重要性却不可低估。因此可以这样说：名为“信息高速公路”和高速通信网，并不意味着什么都是高速，事实上它包含的某些重要部分仍为低速，要看实际需要情况而定。同时，也应十分强调，通信网技术的进展，确实体现在高数字速率、宽带信息大容量数据。本文有一节专门叙述光纤、光子器件和光波传输系统的迅速发展过程，已经描绘出光子与光波的优越特征正在实际应用中显露锋芒。为了高速、宽带和大容量，电子技术正在引伸至光子技术，电波正在延伸至高波。事实上，另一种起逻辑开关作用的光子器件，正在积极研究试验，这就是自电光效应器件（Self Electro-optic Effect Device，简写 SEED），现已从对称式（Symmetric SEED）改进为场效应晶体

管式 (FET-SEED) 的阵列, 都采用多量子阱结构, 开关速率提高, 性能改善显著。这种光有源器件, 连同其它光无源器件, 将促使光开关、光计算和光交换等技术加速发展。加上优良的光纤传输, 可以构成崭新的全光通信网 (all optic network)。这应该说是跨世纪通信网发展前景的一个重要方面。也可以说, 电子学向光子学引伸 (electronics-photonics), 微米技术向纳米技术进化 (micrometer-nanometer technologies), 正是科学随时代前进发展规律的必然趋向。