

《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）

04

上海市黄浦区教育信息中心

走向 21 世纪的地震学

陈运泰

国家地震局地球物理研究所

陈运泰 地球物理学家。1940 年 8 月生于福建厦门,原籍广东潮阳。1962 年北京大学毕业。1966 年中国科学院地球物理研究所研究生毕业。1991 年当选为中国科学院院士(学部委员)。现为国家地震局地球物理研究所所长、研究员。从事地震波和震源理论的研究。

一、地震及其成因

地震

我们脚下的大地并不是平静的。有时,地面会突然自动地晃动起来,振动持续一会儿后便渐渐地平静下来。这就是地震。如果地震引起的地面振动很强烈,便会造成房倒屋塌、山崩地裂,给生命和财产带来巨大的危害。

很多地震,在相当广阔的区域内可同时感觉到,但最强烈的振动只限于某一较小的范围内,并且离这个范围愈远,振动变得愈弱,以致在很远的地方就感觉不到了。为什么?这是因为,在振动最强烈处的地下,发生了急剧的变动,由它产生的振动以波动形式向四面八方传播开来而震撼大地。这种波动称为地震波。所以我们说,地震即大地震动,是能量从地球内部某一有限区域内突然释放出来而引起的急剧变动,以及由此而产生的地震波现象。

作为一种自然现象,地震最引人注目的特点是它的突发性及破坏力。关于这点,我国古代人民从经验就已认识到。早在 2000 多年前,《诗经·小雅·十月之交》中就有关于地震突发性及其破坏力的记载:“烨烨震电,不宁不令。百川沸腾,山冢崒崩。高岸为谷,深谷为陵。”“不宁”是地不宁,即地动。“不令”是不预先通告给人们周知,突如其来。诗中惊叹地震突如其来,其势如闪电,其声如雷鸣,其力足以令山川变易。

地震的地理分布

地球上到处都会发生地震,但不是到处都会发生大地震;地球上每天都有地震,但不是每天都有大地震。有的地震强烈到可以震撼山岳,造成极大的破坏和损失;有的地震则极其轻微,以至单凭感官觉察不出。小地震分布有时规律不明显,但较强的地震,特别是破坏性的强震,在地理上常呈带状分布,称为地震带。

从全球范围看,大多数地震分布在三个地带,它们是: 环太平洋地震带; 欧亚地震带; 海岭地震带。

环太平洋地震带 全球大多数地震都密集在太平洋周围。在太平洋周围,沿着大陆边缘,西起阿留申群岛,经千岛群岛、日本、琉球群岛、台湾岛、菲律宾群岛至新西兰,东起阿拉斯加,经北美、中美、南美西海岸直至安第斯山脉南端,是地球上地震活动最强烈的地带,叫做环太平洋地震带。全球约 80% 的地震能量的释放发生在这一地震带内。

欧亚地震带 另外许多地震则发生在横贯欧亚的地震带,叫做欧亚地震带。欧亚地震带从地中海北岸开始,沿着阿尔卑斯山脉和喜马拉雅山脉,经

意大利半岛、西西里岛、土耳其、伊朗、巴基斯坦、印度北部、中国青藏高原南部，并在印度东部与环太平洋地震带相连接。全球约 15% 的地震能量的释放发生在这一地震带内。欧亚地震带是与阿尔卑斯褶皱带紧密联系的，所以也叫做阿尔卑斯地震带；它始于地中海北岸，所以有时也叫做地中海地震带。

海岭地震带 在大西洋、印度洋、太平洋东部、北冰洋和南极洲周边的海洋中，成带地分布着许多中、小地震的震中。这一地震震中分布的条带绵亘 6 万多千米，与大洋中的海岭位置完全符合。它是全球最长的一条地震带，叫做海岭地震带。在这条地震带上，地震一般不超过 7 级。全球约 5% 的地震能量的释放发生在这条地震带中。

我国地处欧亚地震带和环太平洋地震带之间，地震活动频繁，地震灾害相当广泛。在我国，大地震主要分布在 5 个地区，即： 台湾省及其附近海域； 西南地区（西藏、云南、四川）； 西北地区（新疆、甘肃、宁夏）； 华北地区（北京、河北、山东、山西、陕西）； 东南沿海地区（福建、广东、广西）。

在我国，除了吉林珲春、延吉一带有深源地震（震源深度 300 至 700 千米的地震）外，其他各地区的地震差不多都是发生在地壳内部的浅源地震（震源深度不到 70 千米的地震）。我国地震活动亦呈带状分布，主要的地震带有： 南北地震带； 华北地震带； 郯城—庐江地震带； 东南沿海地震带； 天山地震带。

南北地震带是一条纵贯南北的中枢地震带，北起北山，经宁夏、甘肃东部、四川西部直至云南怒江、澜沧江流域，全长 2000 余千米。南北地震带涉及范围广泛，是我国最大的地震带。

华北地震带在阴山以南、秦岭以北、贺兰山以东，横亘河北燕山山脉，经山西汾河流域和陕西渭河流域，全长 1500 余千米。地震活动比较频繁。

郯城—庐江地震带北起辽宁，经渤海、山东至安徽，全长 1000 多千米。

东南沿海地震带在我国东南福建、广东沿海，全长 1000 多千米。东南沿海地震带的地震活动性一般很低，只在东南沿海闽粤海边有一系列震级大于 7 级的强震活动。在内陆，则有一些较小的地震发生。虽然震中分布总的趋势是沿东南海边，但宽度较大，带状分布轮廓不甚分明。

天山地震带西起中亚细亚东部，经新疆北部，往东至贝加尔湖东北，长 1000 余千米。天山南北边缘，地震活动很强烈，多次发生过 8 级以上的特大地震。

板块大地构造

那么，为什么会发生地震？为什么全球大多数地震分布在上面提到的三条地震带？这要从地球内部构造说起。早在本世纪初，地震学家就已经懂得如何根据地面上不同震中距离地震波到达时间的观测，计算地下不同深度的地震波传播速度。由地震波传播速度的分布，辅以其他资料，可以知道地球内部的物质组成。地球内部按照其物质的不同，从地球表面至地心可以分成地壳、地幔和地核。地壳平均 35 千米厚。地幔又分成上地幔（深度自 35 千米至 660 千米）和下地幔（深度自 660 千米至 2889 千米）。地核又分成外核（深度自 2889 千米至 5154 千米）和内核（深度自 5154 千米至地心 6371 千米）。

地壳厚度，在大陆地区约 30 千米；在海洋地区约 6 千米；在青藏高原地

区厚达 70 - 80 千米。

地球的外核是流体，地震横波不能通过；内核是固体。内、外核之间有一过渡层，厚约几百千米。

地球内部可以分成地壳、地幔和地核的分层构造，是按照物质的不同（主要依据地震波的传播速度的分布）划分的。若是按照力学性质的不同，地壳和地幔这两部分又可分成三层，这就是：岩石层、软流层和中间层。

岩石层自地面至深度 80—100 多千米。在岩石层内，地震波速度较低、衰减很小，在地质年代（100 万-1 亿年左右）的载荷下不发生塑性形变。

岩石层的下方是软流层。在软流层内，地震波速度较低、衰减较大。软流层的厚度达数百千米。软流层粘滞性较小，易于流动。

软流层往下是难以流动、地震波速度高的中间层。

地球的岩石层并非完美无缺，而是被一些活动的构造如海岭、岛弧、水平大断层所割裂，形成若干个有限的称为板块的单元。

地球岩石层板块主要有 8 个大板块，它们是：欧亚板块（EU）、北美板块（NA）、南美板块（SA）、努比亚板块（NB）、太平洋板块（PA）、印度板块（IN）、澳洲板块（AU）和南极洲板块（AN）。在 8 大板块之间，还镶嵌着 14 个小板块，它们是：阿拉伯板块（AR）、婆罗洲板块（B）、加勒比板块（CA）、加罗林板块（CL）、可可斯板块（CO）、印度支那板块（I）、胡安·德·富卡板块（JF）、华北板块（NC）、纳兹卡板块（NZ）、鄂霍茨克板块（OK）、菲律宾板块（PH）、斯科舍板块（SC）、索马里板块（SM）和扬子板块（Y）。

8 大板块系一级板块，它们一般包括陆地，也包括海洋。例如：太平洋板块基本上包括太平洋水域，但还包括北美圣·安德列斯断层以西的陆地和加利福尼亚半岛；南美板块既包括南美洲大陆，也包括大西洋中脊以西的半个大西洋的南部；北美板块既包括北美洲大陆，也包括大西洋中脊以西的半个大西洋的北部以及西伯利亚最东端的楚科奇地区；等等。

小板块是次一级的板块，其作用不及大板块。虽然如此，小板块相对于邻接板块的运动还是相当显著的，在全球板块运动中具有不可忽视的作用。

地球表面被如上所述的厚度达 80-100 多千米的 22 个大小不等的、准稳定的、刚性的岩石层板块所覆盖，这些板块以每年数厘米至 10 余厘米的速率在厚度达数百千米的、低粘滞性的软流层上运动。

岩石层板块的强度很大，主要的变形只发生在其边缘部分。作为一级近似，板块基本上像刚体一样地彼此相对运动。然而板块的边缘既然受力，这个力必然向板块内部传递而使板块内部处于应力状态。各种大地构造活动（造山运动、地壳变动乃至地震）便是这些岩石层板块的相互作用的结果。

板块与板块相互接触的地方称为板块边界。板块边界的岩石由于受到板块之间相互作用力的巨大影响，不断地产生物理的甚至化学的变化，因而板块边界是地质上发生巨大的和根本性的变化的地方，这些地方便是各种活动构造带，如海岭、岛弧、水平大断层等等。

板块大地构造并不是永恒不变的，而是处于经常变化之中。来自软流层深部的炽热的熔岩不断地从洋中脊（如大西洋中部、环北冰洋、太平洋东南部以及印度洋中部的洋中脊）上涌，缓慢地流经地表，然后逐渐地冷却固结，在洋中脊两边形成新的洋底岩石层板块并使洋中脊扩张。由于软流层对流的带动，板块以均匀的速率像一条巨大的传送带一样由洋中脊向两边扩张和移

动，并在远离洋中脊的过程中，不断冷却和变化，在岛弧地区或活动的大陆边缘沉入软流层。下沉到软流层的岩石层板块随着深度的增加，温度和压力也都不断地增加，从而逐渐变化，直至被地球深处的岩石吞并、完成对流循环为止。因此，板块间发生的相对运动有三种：相互离开、相互靠近和相互错动。

板块间的三种运动，产生了四种类型的板块边界，分别称为发散边界、汇聚边界、走滑边界和碰撞边界。

在板块的发散边界，两块薄的板块以洋中脊为界相互离开，因此在其间产生空隙。来自软流层深部的炽热的熔岩上涌，缓慢地流经地表，逐渐地冷却固结，在洋中脊两边形成新的板块，填充了空隙并使洋中脊扩张。

全球主要的发散边界有：将大西洋一分为二的大西洋中脊、东太平洋中脊、印度洋中脊等。它们是位于水下约 2500 米的海底山脉。

在板块汇聚边界，当厚度近似相等的两大板块汇聚时，一侧的板块俯冲到另一侧的板块下，这种现象称为俯冲，所以汇聚带又叫做俯冲带。板块俯冲下去的那部分称为板舌。当海洋板块与大陆板块汇聚时，由于海洋板块较薄，其密度比软流层大且位置又低，而大陆板块较厚，其密度小且位置又高，所以一般总是海洋板块俯冲到大陆板块下面。俯冲主要发生在太平洋周缘，如南美西海岸、阿留申岛弧、太平洋西部汤加——克马德克地区。因为这个缘故，俯冲边界也称为太平洋型汇聚边界。沿着汇聚边界，海洋板块下沉到软流层中。由于地球内部的温度和压力随深度的增加而增加，使下沉到软流层中的海洋板块逐渐潜没消亡于软流层之中，所以俯冲带又叫做消减带。

在板块的走滑边界，板块与板块沿边界的走向滑动。由于这种走向滑动边界的存在，使板块边界发生从发散边界到汇聚边界、从汇聚边界到汇聚边界的转换，所以这种类型的板块边界也称为转换断层。走向滑动边界发生于两个海洋板块之间或海洋板块与大陆板块之间。沿着大西洋中脊，可以看到洋中脊并不是连成一线，而是在多处被断裂带沿横向错开。被两段洋中脊所夹着的断裂带就是作为走向滑动边界的转换断层。在北美西部，有一系列相当长的转换断层，它们是太平洋板块和北美板块的边界，沿着这些断层，太平洋板块相对于美洲板块向西北运动。著名的加利福尼亚的圣·安德列斯断层就是这些断层中的一个。

板块相互离开、相互靠近和相互错动分别导致了发散边界、汇聚边界和走滑边界等三种类型的板块边界。除了这三种类型的板块边界外，还有一类由两个板块相互靠近产生的板块边界，叫做碰撞边界。

当两个大陆板块相互靠近发生碰撞时，因为两个板块都是密度较小、质量较轻、易飘浮的大陆板块，不可能发生一个板块俯冲到另一个板块下面的消减，而是发生板块内部大范围的变形，板块的相对运动绝大部分通过嵌入侧的板块内部的大范围变形得以维持，从而形成大规模的褶皱山脉和走向滑动断层，这种现象称为碰撞，相应的边界叫做碰撞边界。发生于喜马拉雅地区的印度板块与欧亚板块的碰撞及其所引起的大陆形变就是碰撞边界的典型例子。

那么，是什么机制驱动着板块不息地运动呢？现在我们知道，驱动板块的机制有三种，这就是：热对流、板块拖曳地幔以及洋中脊顶部的推挤作用。

软流层里的热对流是板块运动的一种驱动机制。软流层深部的局部加热作用使得软流层的温度增高，岩石发生了缓慢的塑性形变。岩石因体积膨胀、

密度减小，便缓慢地漂浮上升。随着岩石的上升，周围较重的岩石向着中心部分流向下方。软流层物质在岩石层板块下面作水平流动时逐渐冷却，密度逐渐变大，在俯冲带向下沉落，在深部形成闭合的对流环。因为粘滞性，软流层内的热对流带动了岩石层的底部，驱动了板块的运动。

驱动板块的第二种机制是板块拖曳地幔。在对流过程中，俯冲带、俯冲板块的重力拖曳作用使得板块边缘下沉到软流层中。由于冷却作用，沉下去的板块边缘密度增大，于是负的浮力沿着表面拖曳着板块离开洋中脊，而热的低密度物质则从洋中脊上升，填充被这两个板块拉开所产生的间隙。

驱动板块的第三种机制是洋中脊顶部的推挤作用。在洋中脊，由地幔上涌的新的、炽热的物质楔入两个板块之间，迫使它们分离，以这种方式推动着板块作水平运动。

热对流、拖曳和推挤三种机制各在一定程度上分担了驱动板块的作用。目前我们对这些全球性的力还不够了解，但我们已经知道，这些力是地球内部温度存在差异的结果，而地球内部的温度差异则是由于地球向空间辐射热量、同时又从岩石中的放射性物质的裂变获得热量所造成的。驱动板块的三种机制虽然不同，但都有一个共同点，这就是岩石层板块在洋中脊处逐渐地产生，而在海沟处下沉到软流层中，其边缘部分逐渐被软流层所吸收。也就是整个过程是一个循环过程，洋底永葆年青，其平均年龄大约是一亿年。

地震的基本成因

板块的相互作用是地震的基本成因。

在中等深度或较深处，岩石层板块的相对滑动比较均匀和连续。但是在浅处，例如从地面至 20—30 千米深的地方就不是如此。在浅处，岩石层板块的相对滑动是一种叫做粘滑的过程，即局部地区在经过一段时间的弹性应变积累之后突然滑动。这种突然滑动就是地震。浅源地震（震源深度 0 至 70 千米的地震）集中于板块的边缘，它们是板块相对运动的反映。

在发散边界（发散带）发生的地震是海底扩张、板块增长的结果和反映。由于发散边界是板块新增长的地方，板块较薄，所以地震较小，深度较浅，地震带较窄，地质构造较简单，震源表现出与海底扩张有关的性质，即张性的构造应力作用造成的正断层。在汇聚边界（汇聚带、消减带），一个板块俯冲到另一个板块下方，由于板块较厚，所以地震较大，有时深度也较深、地震带较宽，地质构造较复杂，震源表现出与板块俯冲有关的性质，即压性的构造应力作用造成的逆断层。在走滑边界（转换断层），板块虽较薄、深度也较浅，但有时因破裂长度较长，地震也可能很大，再加上震源较浅，而且有时发生在陆地上，因此仍颇具有破坏力。转换断层的应力主要是水平方向的，造成平移。在碰撞边界（碰撞带），两大板块相撞，板块内部发生大范围的变形，不但造成巍峨的褶皱山脉（如喜马拉雅山和地中海的阿尔卑斯山）和走向滑动断层，还会因应力向板块内部传递而使板块内部处于应力状态，发生地震。我国青藏高原及与青藏高原邻接的我国大陆地区的地震就是碰撞带地震的典型例子。

中源地震（震源深度 70 至 300 千米的地震）和深源地震（震源深度 300 至 700 千米的地震）也是发生于岩石层中。在俯冲带，岩石层板块从海沟附近向下弯曲，倾斜地延伸于岛弧之下。在板块向下运动的过程中，又发生新的形变。在岩石层板块俯冲入温度较高的软流层时，其内部的温度依然较低，仍然可以因形变而发生脆性的剪切破裂，这就是中、深源地震的成因。中源

地震和深源地震发生于从海沟内侧向大陆侧倾斜的、倾角约为 45° 的面内，这个面的深度达几百千米、但厚度只有几十千米、最薄的地方还不及 20 千米，叫做深源地震面。这个发生深源地震的面称为和达—本尼奥夫带。和达—本尼奥夫带是岩石层俯冲到软流层的结果。板块最终在 650—700 千米深处，或者被地球内部的岩石所吸收，或者其性质发生变化以至再也释放不出地震能量。

许多地震发生在相互作用的板块边缘而不是在板块之内，这些地震称为板间地震。板间地震包括：洋中脊、裂谷带地震；俯冲带地震；转换断层地震；碰撞带地震。

地震不但发生在板块边缘，也发生于板块之内。发生于板块内部的地震称为板内地震。板内地震是在板块相互作用的影响下，由比较局部的力系或由表层岩石的温度、深度和强度的变化引起的。

日本内陆的浅源地震、中国大陆内部的大多数地震均属板内地震。

综上所述，地震都发生在岩石层中。当岩石层因构造运动变形时，能量以弹性应变能的形式贮存在岩石中，直至在某一点累积的形变超过了岩石所能够承受的极限时就发生破裂，也即产生了地震断层。破裂时，断层面相对着的两盘各自回跳到其平衡位置，贮存在岩石中的弹性应变能便释放出来。释放出来的应变能一部分用于克服断层面间的摩擦，然后转化为热能；一部分用于使岩石破裂；还有一部分则转化为使大地震动的弹性波振动能。

二、地震预测

地球科学的焦点问题——地震预测

地震是一种会给人类社会带来巨大损失的自然现象。大地震常突如其来，令人猝不及防，特别具有破坏力。它不像台风和龙卷风——人们对台风和龙卷风可以跟踪监测；它也不像火山喷发——火山喷发之前在火山活动地区一般都可观测到微震活动、地面倾斜等地壳形变的系统性变化及小规模的前兆性喷发。迄今地震学家仍未探索出一种确定性的地震前兆——也就是说，尚未找到任何一种异常现象，可以在所有大地震之前必被无一例外地观测到；并且一旦出现这种异常现象，必无一例外地发生大地震。地震前兆的出现常因地而异，甚而在同一地区的不同地震发生之前，地震前兆现象也有很大差异。

地震预测是公认的世界性难题，是地球科学的一个宏伟的科学研究目标。如能同时准确地预测出未来大地震的地点、时间和强度，无疑可以拯救数以万计生活在地震危险区的人民的生命；并且，如果能预先采取适当的防范措施，就有可能最大限度地减轻地震对建筑物等设施的破坏、减少地震造成的经济损失和促进社会的稳定和经济的繁荣。

自 50 年代末、60 年代初以来，作为一个极富现实意义的科学问题，地震预测一直是世界各国地震学家深切关注的焦点。

早在日、美等国制订地震预测规划前 6 至 8 年，即 1956 年，傅承义和刘恢先在我国 12 年《科学长远规划》第 33 项“天然地震的灾害及其防御”中就已经提出了地震预测问题和解决这一问题的科学途径与具体措施。1963 年，傅承义进一步明确指出了实现地震预测的三大类方法，即地震地质方法、地震统计方法、地震前兆方法。30 多年来，地震预测研究工作基本上沿用这三大类方法至今，尽管各类方法的内涵有许多发展和变化。

1966年邢台地震是我国地震工作的重要转折点。邢台大地震使灾区人民生命财产蒙受了巨大损失，周恩来总理两次亲临地震现场视察、慰问，并向地震工作者提出了一定要搞好地震预测、预报的号召。从此，我国的地震工作进入了一个以探索地震短临预测方法并进行试验性预报的新阶段。30多年来，在以减轻地震灾害为目的的地震预测、预报实践中，我国的地震工作坚持面向社会、面向国民经济建设，坚持边观测、边研究、边预报，坚持以预防为主、专群结合、多路探索，取得了包括举世瞩目的1975年2月4日的海城7.3级地震预报成功在内的进展，也遇到了对1976年7月28日唐山7.8级地震未能作出短临预报的挫折。我国地震工作者从挫折中得到教训，越来越清楚地认识到地震现象的复杂性和地震预测的艰巨性。1980—1982年，国家地震局组织对海城、唐山、松潘、龙陵等大地震的震例进行了系统的总结。1983—1985年，又对地震学、大地形变、地倾斜、重力、水位、水化、地磁、地电、地应力等九种方法和综合预报方法预测地震的理论与观测基础及方法效能进行了清理，深化了对地震前兆的认识。

美国在1964年阿拉斯加8.5级大地震之前并不十分重视地震预测工作。阿拉斯加大地震后，美国开始重视并逐渐加强地震预测研究。1965年普雷斯（Press）等提出了地震预测和防止地震灾害研究10年计划。1977年美国国会通过了“减轻地震灾害法案”，把地震预测工作列为美国政府地震研究的正式目标。特别是在70年代，紧接着前苏联报道了地震波速比在地震之前降低之后，美国也报道在纽约兰山湖地区观测到了震前波速比异常，随之而来的大量有关震前波速异常、波速比异常等前兆现象的报道和膨胀-扩散模式、膨胀-失稳模式等有关前兆的物理机制的提出，在美国乃至世界范围内掀起了地震预测研究的热潮，一些科学家甚而乐观地认为不久可望对地震进行常规的预报。

日本在1962年提出了著名的“地震预知——现状及其推进计划”，即“兰图”。在“兰图”中，提出了日本地震学家所认为的实现地震预测的最佳途径，并为以后的地震预测工作定下了指导原则。从1965年开始实施第一个地震预测研究（4年）计划，接着是第二至第六个地震预测（5年）计划（1969—1994）。现在正在实施第七个（5年）计划（1995—1999）。需要特别指出的是，从第二个5年计划开始，去掉了“研究”二字，反映了在日本当时已把地震预测视为已达到实用化阶段，其地震预测工作肩负着研究和实用两种使命。

前苏联在1948年阿什哈巴德地震之后不久，在中亚细亚的加尔姆地区开始了地震前兆的研究，但从总体上来说，直到60年代，主要侧重对地震活动性本身的研究。1966年塔什干地震后，逐渐演变形成了地震预测计划，在更广阔的范围内进行了地震预测研究，建立了加尔姆-杜尚别、伏龙芝、塔什干、阿什哈巴德、阿拉木图、喀尔巴阡、堪察加等地震预测试验场。

这些国家或是在多震区建立地震预测试验场进行地震预测试验研究，如加尔姆等（前苏联）、帕克菲尔德（美）、北安纳托利亚（土耳其-德国合作）、滇西（中），或是在重点地区强化地震监测工作，以期实现短临预测预报地震的实际目的，如东海地区（日）、首都圈（中）。

地震预测的进展和水平

世界各国地震专家30多年的努力，积累了大量的前兆震例资料。随着研究工作的深入，愈来愈多的专家与公众认识与了解到地震预测远比原先知道

的困难，“发现”了原先没有发现的地震现象的复杂性。和 70 年代的情况不同，近几年地震预测不再是众多的学术会议的热门议题。尽管如此，它依然是地震学家、公众和政府十分关注的问题。

尽管地震预测问题迄今尚未解决，但是 30 多年来世界范围的努力，仍然取得了不少值得称道的进展。

在长期预测方面，一般认为最突出的成果之一是板块边界大地震空区的确认。在环太平洋地震带，几乎所有的大地震都发生在预先确定的空区中。板内地震空区的识别也有较系统的震例总结。

在中期预测方面，通过研究区域地震活动性得到的地震前兆如地震“平静”、“增加概率的时间”以及地震活动性迁移等都有些成功的例子。

与中、长期预测的进展形成对照，短期和临震预测进展不大，以至有些专家对短、临预测能否实现极表怀疑。

1989—1990 年间，国际地震学和地球内部物理学协会（I - ASPEI）下属的地震预测分委员会，组织了一个由 13 名专家参加的工作小组，对各国专家提名的 28 种他们认为是有意义的地震前兆进行了较严格的评审。结果这个工作小组只评出三项，即：强余震之前的地震“平静”；中国海城地震的前震；日本伊豆-大岛近海 7.0 级地震（1978 年 1 月 14 日）前水氢含量减少。对于地应变、地倾斜、地壳运动（3 项）等 5 项则未能作出决定；而对于尾波（2 项）、表征地震波衰减性质的品质因数（Q 值）、横波分裂、潮汐应变振幅、震群、自然电位、地电阻率和地磁场、电磁辐射、应变对降水量的响应、高程变化、地面垂直运动、断层蠕动、地壳形变（海平面变化-地震）、干旱-地震等 20 项（以上只列出 15 项，属同一地震，同类方法的项已作了归并）则未予以通过认定。未予以通过认定并非说这些前兆方法一定毫无用处，但表明根据评审专家和工作小组的意见，该方法目前尚未成熟、对所提名的“地震前兆”是否真是前兆目前尚不能完全肯定。

地震预测不是指像“在某地最近要发生大地震”这类含糊的“预报”。如果不是对地震发生的地点、时间和大小（称为地震预测的三要素）加以适当限定的预测，就几乎没有什么价值。所以，地震学家把地震前兆明确地定义为“地震之前发生的、被认为是与该主震的孕震过程有关联的一种环境参数的、定量的、可测量的变化”，把地震预测明确地定义为“同时给出位置、大小、时间和概率四种参数，每种参数的误差小于、等于下列数值；

位置： $\pm 1/2$ 破裂长度；

大小： $\pm 1/2$ 破裂长度或 ± 0.5 级；

时间： $\pm 20\%$ 复发时间；

概率：预测正确次数 / （预测正确次数 + 预测失误次数）”。

上述情况表明，对于地震的发生及其预测，地震学家可谓知之甚多、不知之处亦甚多。从总体上说，地震预测的水平仍然是不高的。最近，我国对 1995 年 7 月 12 日云南孟连中缅边境 7.3 级地震取得了长、中、短、临预报成功；但对 1996 年 2 月 3 日云南丽江 7.0 级地震在有明确的中、短期预报的情况下，却未能做出临震预报。这些情况可以说是当前地震预测水平状况的真实写照。随着经济的发展，社会和公众对于提高地震预测能力、减轻地震灾害的要求愈益迫切。在美国、日本这样的经济实力雄厚、科学技术先进的发达国家的地震危险区内，地震监测台网密布，地震区的地质构造一般认为都研究得相当透彻，但是，在美国，1989 年 10 月 17 日加州北部洛马普列塔

(Loma Prieta) 6.9 级地震、1992 年 6 月 28 日兰德斯 (Landers) 7.2 级地震和 1994 年 1 月 17 日北岭 (Northridge) 6.9 级地震都不发生在地震学家“安排”好的主断层面上，而安排在加州中部帕克菲尔德地震试验场守候 6 级地震到来的“大限”已过，大震仍杳无踪迹。在日本，等候多年的“东海大地震”至今尚未发生，而在 1995 年 1 月 17 日偏偏在日本地震学家未予关注的兵库县南部发生了 7.2 级地震。

地震预测的困难和对策

地震预测是公认的科学难题。那么，它究竟难在哪里？它的困难在于地震物理过程本身所具有的复杂性和地球内部的“不可入性”——人们不能深入到地球内部直接在震源内设置台站、安装观测仪器。迄今最深的钻井是前苏联科拉半岛的超深钻井，达 10 千米；正在德捷边境附近进行的“德国大陆深钻计划”预定钻探 15 千米。和地球半径 (6371 千米) 相比，超深钻所达到的深度实在是“皮毛”，况且这还解决不了直接对震源进行观测的问题。大地震的复发时间比人的寿命、比有现代仪器观测以来的时间长得多，也限制了作为一门观测科学的地震学在对现象的观测和对经验规律的认知上的进展。地震学家只能利用在地球表面和距地球表面很浅的地球内部用仍属相当稀疏的观测台网进行观测获取的很不完整、很不充足、有时还是很精确的资料进行反演。解决这些困难的出路既不能单纯依靠经验性方法，也不能置迫切的社会需要于不顾，把看上去纷繁复杂、实际上丰富的前兆现象一概视为“噪声”，翘首企盼几十年后的某一天基础研究的飞跃进展和重大突破。继续强化对地震前兆现象的监测、拓宽对地震前兆的探索范围，并在可靠的和丰富的前兆现象基础上，构制自由度较小的定量的物理模式进行模拟、反复验证，可望逐渐地、然而实效上可能会是较快地阐明地震前兆与地震发生的内在联系，实现地震预测。

地震是发生在地球内部的自然现象。一个 7 级大地震释放的应变能其数量级达 10^{15} 焦耳，很难置信在如此巨大的应变能释放之前不出现任何“讯号”。已知的地震前兆包括直接与地震过程相联系和不十分直接与地震过程相联系的两大类。前者如地震活动性、地震空区、描述大小地震比例关系的 b 值、表征地震波衰减性质的品质因数 (Q 值)、地震波速与波速比等地震学前兆；以及通过地倾斜、地应变、地应力、重力变化等形式表现出来的地形变、地应力和重力前兆，后者如地磁、地电、地下水位、地下水化学和动物异常等。它们涉及地球物理、大地测量、地质、地球化学、生物等众多的学科和广阔的领域。高新技术 [如全球定位系统 (GPS)、甚长基线干涉术 (VLBI) 等空间大地测量技术等] 的引进和应用、多学科协作配合和相互渗透无疑是寻找发现和可靠地确定地震前兆的必不可少的手段。

地震既发生在板块边缘、也发生在板块内部，地震前兆出现的复杂性和多变性可能与地震发生场所的地质环境的复杂性密切相关。因地制宜，即在不同地震危险区采取不同的“战略”，各有侧重地检验和发展不同的预测方法，不但在科学上是合理的，而且在财政上也是经济的。

在自然科学的许多领域中，处理与浑沌和自组织临界性质有关的集体现象的新理论、新方法取得了相当大的成功。地震发生的场所——地壳的行为很值得借鉴这些新理论、新方法加以探索。从本质上说，地震过程是高度非线性的，将非线性理论应用于地震现象的研究可望有助于阐明地震前兆复杂性的本质和探索新的可靠的地震前兆。

三、地震学研究的最新进展

尽管通往地震预测之路漫长而艰难，尽管对地震预测前景“乐观论”与“悲观论”时有争论，世界各国地震学家对地震和地球内部的研究却从未懈怠。近年来，在地震学研究领域中仍然取得了许多可喜的进展，这些进展的取得是与观测技术水平的进步密切关联的。

数字地震学

地震学是一门观测的科学。地震仪对于地震学犹如望远镜对于天文学一样的重要。人类对地震和地球内部认识的发展与地震仪的发展密切关联。众所周知，我国东汉时期的张衡（公元 78-139 年）于公元 132 年发明了候风地动仪。公元 138 年设置于洛阳的候风地动仪检测到了一次发生于甘肃省内的地震。这是人类历史上第一次用地震仪器检测到远处发生的、但在仪器所在地无感的地震。

第一台近代地震仪是意大利人菲利普·切基（Filippo Cecchi）于 1875 年发明的，它可以记录两个分向（南-北分向与东-西分向）的地面运动。切基的摆式地震仪放大倍数为 3 倍，只能记录强震。

自 1875 年第一台近代地震仪诞生以来，地震学家使用它来对地震进行观测，并在这个基础上发展起了近代地震学。从 1875 年起到 1974 年的整整 100 年时间内，地震学家主要依靠的是模拟记录地震图。利用这些记录，地震学家对于地球内部结构和地震发生的时间、地点、地震的机制等等的了解都取得了堪称辉煌的成绩。近代地震仪可以记录到远至位于台站对跖点的、在震区无感的小地震。然而，这种地震仪实在太灵敏了，而动态范围又不大，遇到大地震就“出格”（超过量程）。地面振动的周期，长可达 10^4 秒（固体潮），短可达 10^{-2} 秒（极微震），跨越了 6 个数量级；而地面振动的加速度，小可到 $10^{-7}g$ （ g 是重力加速度），大可到 $1g$ 的数量级，跨越了 8 个数量级。长期以来，受仪器制作技术水平的限制，地震学家只好在远距离记录大地震的低频成份，或者是在近距离记录小地震的高频成分；而地震工程师则主要关注引起建筑物破坏的近场强地面运动，他们着重于在近距离用低放大倍数的强震仪记录 1—10 赫兹的强地面运动。

到了 70 年代中期，地震学家在克服地震仪器动态范围小以及频带窄等缺点方面取得了进展，制成了反馈式电磁地震仪，展宽了频带，扩大了动态范围。随着微电子技术的发展，从 70 年代起，地震观测系统中大量采用了将信号数字化的记录方式。由于数字记录地震仪具有记录频带宽、分辨率高、动态范围大以及易于与计算机联机处理等优点，所以自 70 年代中期以来，地震观测系统中大量采用了数字记录方式，从而使地震学的发展出现了一个新的飞跃，数字地震台站、台网和台阵的数量如雨后春笋般迅速增加，在这一基础上，产生了有时也被称作宽频带地震学的数字地震学。

数字地震观测系统对于地震监测、研究以及防震减灾的重要意义，很快就为人们所认识，世界各国有关部门，无不投入巨资，竞相发展数字地震观测系统。迄今，全世界已有大约 440 个数字地震台；属于国际性的数字地震台网联合会（FDSN）的数字地震台已达 150 多个。

1983 年 5 月，我国开始建设中国数字地震台网（CDSN）。该台网是与美国地质调查局（USGS）合作建设的，于 1987 年 10 月 22 日正式运作，当时有 9 个台。1993 年增设了拉萨台，1995 年增设了西安台，现共有 11 个台。中

国数字地震台网运作良好，产出了大量的、高质量的数字地震资料，资料可用率在 96% 以上，在国际上名列前茅。这些高质量的数字地震数据，在地震参数的测定、地震速报、对大地震的快速反应以及国内、国际地震科学研究中发挥了重要的作用。

实时地震学

高质量的数字地震资料的迅速积累和分析研究，正在改变着人类对地震和地球内部的认识，调整着人类与地球的关系。10 年前，美国哈佛大学研究集体只能在 5.5 级以上地震发生之后数月给出描述该地震震源机制的“矩心矩张量”，因为那时地震数据的传输是靠邮寄计算机磁带来实现的。现在，已经实现了准实时传输地震数据，在发生 5.8 级以上地震后几个小时即可向全世界发布“快速矩心矩张量震源机制解”。在日本东京大学地震研究所和美国地质调查局，也在开展同样的工作。预计在未来 5 年内，矩心矩张量的测定将达到实时。届时，矩心矩张量的测定对于全球地震应变释放的监测、地震危险性评定、大地震参数的速报以及对大地震的快速反应，从而对减轻地震灾害，将起到重要的作用。

地震层析成像

地壳、地幔和地核是一个相互联系的系统。地球的冷却、地幔的对流造成了崎岖不平的地形和气象万千的地貌，决定和影响了自然资源的分布。为了了解这个系统是如何运作的，必须探明自地球表面直至地心的地球内部结构。运用已获取的高质量的数字地震资料，现在已经可以对地壳、地幔和地核的三维结构层析成像，不过分辨率因方法和资料而有相当大的差异。目前，用地震反射法探测地壳浅层结构，其分辨率可达数米；用该方法探测地壳深部结构，分辨率则达百米。用地震折射法探测地壳和上地幔的地震波速度构造，其分辨率可达数千千米至数 10 千米。用区域性地震台网记录的地方震可以反演地壳、上地幔结构，分辨率可达 5-10 千米；若用远震资料反演，分辨率则要低一些，对地幔结构的最佳分辨率是 30 千米，而用地震面波对下部地壳-上地幔结构层析成像，分辨率大约是 300—1000 千米。用地震体波对下地幔结构进行全球尺度的层析成像，在径向（深度方向）分辨率大约是 500 千米，而在水平方向，则只有 3000 千米。地震层析成像揭示了地球内部的非均匀性和各向异性，这些探测结果对于阐明山脉和高原的隆升、沉积盆地的沉降、成矿规律、下沉板舌附近的小尺度的边界层过程、洋中脊、核幔边界、以及矿物组合在地幔中部的转换，都具有重要的意义。

地震破裂物理学

宽频带、大动态范围和数字化地震观测系统的出现与迅速发展，给地震学以巨大的推动，正在迅速地改变着地震学的面貌。如：地震破裂时-空进程的成像，愈合脉冲的发现，通过观测发现了地震起始（“成核”）阶段证据，深源地震破裂特征的发现，等等。

地震破裂过程的复杂性 地震破裂物理过程的研究具有重要的理论和实际意义。既然地震是大地构造活动的一种主要的形式，那么，通过对地震破裂物理过程的研究将有助于了解地壳应力状态和地壳介质的强度，从而有助于对长、中、短、临地震前兆的探索，有助于对近震源强地面运动的预测、从而对抗震设防有重要的实际意义。从宽频带、大动态范围和数字化地震观测资料，地震学家现在已经可以反演出地震破裂的时-空进程，也就是对地震破裂时-空进程成像。通过对地震破裂时-空进程成像，发现了地震破裂过程

的复杂性，即地震破裂不但在空间上是非均匀的，而且在时间上也是错综变化的。

地震愈合脉冲 通过对地震破裂时-空进程成像，揭示出一个与传统的地震破裂模式极不一样的观测事实，即发生地震时，发生滑动的区域如同一个脉冲一样以小于横波的速度传播，在任何一个时刻，只有一小部分断层在滑动。这个滑动脉冲也称为愈合脉冲。愈合脉冲这个术语形象地描述了破裂面的前缘向前传播、愈合过程紧随其后发生的动态破裂图像。地震愈合脉冲的发现增进了对地壳应力和强度的认识，对困扰地震学家多年的地震断层带热流异常伴谬问题也提供了一种合理的解释。

地震的起始 运用高质量的近震源、大动态范围、宽频带的数字地震资料，证实了地震发生时，断层经历了从闭锁状态到破裂速度几千米/秒的快速破裂的过渡阶段，在过渡阶段，破裂速度只有几米/秒。这个阶段称为地震的起始阶段，亦称为地震的“成核”阶段。观测发现，地震愈大，其起始阶段的持续时间愈长。这一发现表明了地震的起始阶段对于紧接着发生的地震有着强烈的影响，对于地震预测具有重要意义。

深源地震的破裂特征 以往地震学家对深源地震的破裂过程和大的深源地震的余震的特性了解不多。一般都认为深源地震不会有多少余震，并且余震也不一定会发生于主震的断层面上。1994年3月9日发生的斐济7.6级深震及其83个余震以及1994年6月9日发生的玻利维亚8.3级深震及其余震的宽频带数字地震记录揭示了深源地震具有许多与浅源地震类似的破裂特征，如1994年3月9日斐济7.6级深震的余震震源位于主震的断层面，断层面面积不大（50千米×65千米）；1994年6月9日玻利维亚8.3级深震的断层面接近于水平面，面积也不大（30千米×50千米），破裂速度很低，约1-2千米/秒，全部破裂持续时间约45秒，在长达45秒的破裂过程中，震源机制没有发生变化，也没有明显的各向同性分量。这些观测事实表明控制深源地震破裂过程的应力状态是比较均匀的，对深源地震的成因和机制提供了约束，有助于阐明深源地震的成因和机制。

地球内核自转速率比地幔和地壳快

地球的固态内核体积只有月球的2/3。它像一个由紧密排列的铁原子构成的巨大的单晶体，其各向异性的对称轴与地球的旋转轴成 10.5° 。当地震波穿过各向异性的内核时，如果射线平行于对称轴，地震波的传播速度要比射线垂直于对称轴快。如果地球的固态内核的自转速率比地幔和地壳快，内核及其各向异性的对称轴就要相对于地幔和地壳旋转，对于某一固定的震源和某一固定的地震台站来说，落在内核的那段地震射线与对称轴的夹角便发生变化，从而导致了地震波走时的系统变化。通过对自1967至1995年近30年地震记录的分析，地震学家用地震学方法证实了地球内核确实比地幔和地壳转得快，大约快 $1.1^\circ/\text{年}$ 。这就是说，大约300—400年，内核就要比地幔和地壳多转一圈。在内核的赤道面，这个内核自转速率与地幔和地壳自转速率的差相当于数量级约为20千米/年的线速率，它要比板块运动的线速率的最大值（约20厘米/年）快10万倍。这一发现对于地球磁场的起源、倒转以及地球的演化等地球物理问题，有着重大的意义，是地震学对于地球科学的重大贡献。

四、结语

可以预料，在本世纪的最后几年里，随着数量空前的高质量地震数据的迅速积累、实时处理和广泛深入的研究，随着地震学研究与大地球测量以及其它地球物理观测、研究的交叉渗透，在地震学领域中对于地球内部（地壳、地幔直至地核）的构造、运动和动力演化，对于地震的发生、地震破裂物理过程的认识，必将取得重大的进展，从而进一步增强人类抵御和减轻地震灾害的能力。

我国的气候灾害特征、 成因及其预测研究

黄荣辉

中国科学院大气物理研究所

黄荣辉 大气物理学家。1942 年 8 月出生，福建惠安人，1965 年毕业于北京大学，1983 年获日本东京大学理学博士学位，现任中国科学院大气物理研究所研究员、副所长，气候研究委员会秘书长，中国科学院地学部常委。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员），主要从事大气动力学研究。

我国是世界气候脆弱区之一。由于气候异常给我国带来的气候灾害比较严重，尤其是旱涝灾害，这些灾害每年造成上百亿公斤的粮食损失和近千亿元的经济损失，气候灾害的形成及预测已成为我国大气科学的前沿研究问题，我国大气科学界一直重视这个问题的研究。

一、气候灾害及其对国民经济的影响

习惯上，人们一般把气候灾害与天气灾害统称为气象灾害。不过，天气灾害与气候灾害还是有区别的，天气灾害是指局地性、短时间的强烈天气而带来的灾害，如每晚电视中播出局地区域所发生的台风、暴雨、冰雹、龙卷风等。由于这些灾害常伴随有强风和暴雨，对农作物生长有很大的毁坏作用；而气候灾害则指大范围、长时间的、持续性的气候异常所造成的灾害，如长时间气温偏高、偏低、或降水量偏多、偏少等就称为气候异常，这些气候异常往往会带来干旱、涝灾、低温、冷害等。当发生较严重的气候灾害时，就会对农业、工业、牧业、水利、交通等产生巨大影响，造成巨大经济损失。

本世纪 90 年代以来，我国因气象灾害而造成的经济损失每年平均在 1000 亿元以上，1991 年夏淮河流域及长江中、下游地区发生的特大洪涝以及华南和河套地区的严重干旱约造成 1200 亿元的经济损失；而 1994 年江淮流域的严重干旱及华南与辽南地区严重洪涝造成的经济损失竟达到 1800 亿元。一般年份，气象灾害造成的经济损失可占到国民经济生产总值的 3% - 6%，可见它影响巨大。气象灾害中，气候灾害造成的损失严重，而其中以干旱与雨涝两种气候灾害最为严重，约占气象灾害总损失的 78%。因此，研究这些气候灾害的发生特征及规律，特别是对这些气候灾害的预测是当前一项重要的科学研究任务。

二、我国气候灾害的主要种类和分布特征

1. 我国气候灾害的主要种类

我国气候灾害主要有以下几种：

（1）干旱：干旱是我国最常见、也是影响最大的气候灾害，每年因干旱造成的粮食减收和经济损失约占气象灾害造成的总损失的 50% 左右。全国一年四季各地均可发生干旱。平均每年因干旱受灾的耕地面积约 3 亿亩左右，

占我国耕地总面积约 1/6 左右。严重干旱年份降水量可比常年少 3 至 5 成，个别季度能比常年平均少 6 至 8 成。由于气候变化，我国华北地区在 1965 年以后，降水连年减少，80 年代的年平均降水量约比 50 年代年平均降水量减少了 1/3，造成了严重干旱。水资源缺乏致使华北地区人均水资源占有量只有全国平均的 1/6，耕地亩均水资源占有量只有全国平均的 1/10。干旱与水资源缺乏已严重影响华北地区的人民生活 and 工农业生产的可持续性发展。

(2) 雨涝：雨涝是我国另一种常见的气候灾害，它每年造成的粮食和经济损失约占所有气象灾害造成的总损失的 27.5% 左右，个别严重雨涝年，损失更严重，例如 1991 年，江淮地区发生洪涝，仅安徽、江苏两省粮食就减产 120 亿公斤。我国平均每年因雨涝受灾农田面积约 1 亿亩左右。雨涝主要发生在夏季，但春、秋季甚至冬季也时有发生，例如 1982 年-1983 年冬季，华南就发生了几十年不遇的洪涝灾害。

(3) 夏季低温：除了降雨量的多少可形成气候灾害外，气温长时间的偏低，也能造成灾害。东北地区是我国重要的粮食基地，一般说来，这里夏季温度适宜，雨水丰富，对一年一熟的作物适宜，但是，有的年份夏季出现低温就可能严重影响作物生长。因此，夏季低温是造成我国东北地区粮食减产最严重的气候灾害，1972 年和 1976 年东北地区因夏季低温冷害粮食减产分别为 63 亿公斤和 47.5 亿公斤。

(4) 霜冻：春、秋季的霜冻也是一种经常发生的气候灾害。因为秋季初霜日期提前，或者春季终霜日期推迟，都意味着气温的长时期变化，它将严重影响作物的生长与成熟，从而可严重影响作物产量。所以，虽然霜冻只是一种天气现象，但通常人们把它作为气候灾害来看待。一旦初霜日提前，秋季气温偏低，而终霜日推迟，则春季气温偏低。初霜日或终霜日早、晚能相差 20-30 天，造成严重的霜冰灾害，如 1953 年，由于终霜日推迟，出现倒春寒，致使北方冬麦区最低气温达 -1 ~ -3℃，冬小麦减产 30 亿公斤。

(5) 江南低温阴雨：对于我国南方地区，春季的低温阴雨也是严重的气候灾害。春季的低温阴雨主要影响早稻生产，从而造成烂秧和死苗。严重的春季低温阴雨年，烂秧率可达 30%-40%，重者可达 60%-70%，例如 1976 年长江中、下游地区日平均气温在 12℃ 以下的有 18 天，仅湖南、江西、湖北水稻就损失 3-4 亿公斤。1996 年春，我国江南又出现长达 20 天左右的低温阴雨天气，给小麦和水稻育秧带来很大不利。

(6) 华南寒害：秋季在寒露节气前后，华南地区晚稻正在抽穗扬花，这时若出现寒露风（日平均气温低于 22℃ 的低温），可使晚稻空壳或瘪粒，造成减产。一般在严重寒露风年，空壳率达 30%-40%，最高达 70% - 80%。此外，冬季寒潮也会给华南农作物生长带来很大的毁坏作用，如 1996 年春节前后连续爆发的寒潮使华南地区气温急速下降，有的地区甚至一天降温近 20℃，对于作物和淡水养殖带来严重毁坏作用，造成巨大的经济损失。

(7) 雪灾：雪灾与寒害是冬季的主要气候灾害。雪灾主要影响新疆、青海、西藏、内蒙等畜牧区。这些地区若冬半年积雪量过多，积雪持续不化，使草场部分或全部被雪掩埋，牲畜无法采食，加上雪后常出现剧烈降温，造成牲畜因冻饿而死亡，疾病的传染又会加剧其影响，例如，1967 年 11 月至 1968 年初春，内蒙古自治区雪深 30 厘米，局部达 70 厘米，一些地区积雪长达 119 天，牲畜死亡 150 万头以上。

除了以上几类主要的气候灾害外，还有台风也是影响我国社会经济发

展、严重危害人民生命财产的天气灾害。台风致灾主要由于台风带来的狂风、暴雨和风暴潮。如 1956 年 8 月 1 日在浙江象山登陆的台风，造成特大海潮，沿海各省约 7 千万亩农田受灾，220 万间房屋被毁，5017 人死亡。登陆我国的台风有很大的年际变化，1949-1992 年平均每年登陆 7 个，最多达 12 个（1971 年），最少 3 个（1950，1951 年）。

以上我国主要气候灾害从其发生机理看，可以分为三种类型：第一类是由于降水异常所造成，如干旱、雨涝、雪灾；第二类是气温异常所造成，如夏季低温、霜冻、寒害；第三类是气温与降水异常所造成，如春季连阴雨。

2. 我国主要气候灾害的发生和分布特征

我国由于处于东亚季风区，各种气候灾害出现的频率随季节和地理位置而变化。

干旱主要发生在我国西北和华北地区，西北地区由于年降水量很少，一年四季均发生干旱，属于干旱气候。我国华北降水量年际和季节变化很大，特别是黄淮海地区频繁发生干旱。虽然我国大部分地区干旱发生频率在 30%-40%，即，对每个季节来讲均大约为三年一遇，但华北和西南地区干旱发生频率随季节变化较大。华北和西南地区春季干旱发生频率可达到 60%，为三年两遇；其次是长江、淮河流域夏季干旱也时常发生。

雨涝发生频率稍低，约为 10%-20%，雨涝灾害主要发生在长江中、下游地区和东南沿海。夏季这些地区雨涝发生频率可达 30% 左右，为三年一遇，而且强度大、影响范围广。如 1954、1991 和 1980 年夏季，在长江流域发生了特大洪涝，造成了严重的经济损失。

夏季低温一般发生在我国东北（包括内蒙），我国东北地区的农业生产受夏季低温危害最大，近 40 年来，严重低温就有 1954，1957，1964，1969，1972，1976 和 1985 年，再加上一般低温冷害年，出现频率约达到四年一遇。其它地区夏季低温较少见。

特早初霜冻与特晚终霜冻出现频率各约十年一遇；偏早初霜冻与偏晚终霜冻的频率各约六至七年一遇；二者合在一起早初霜冻与晚终霜冻的出现频率各约四年一遇。春季终霜偏迟的高频区位于内蒙东部和华北西部，长江中、上游地区有次高区；而秋季初霜偏早的高频区位于华北西部和华南丘陵地区，特早初霜高频区位于内蒙东部和华北西部。

雪灾的高频区，冬季在内蒙古东部、青藏高原东部以及新疆的天山一带，春、秋季主要在高原东部，频率均在 20-30%，即约 3—5 年一遇，内蒙东部和天山一带春秋两季却下降到 10% 左右，即约十年一遇。

华南寒害，无论是冬季寒潮，春季低温还是秋季寒露风，其频率分布均是自南向北增加，海南岛南部无寒害，自南向北寒潮平均每年由 1 次增加到 4 次；春季低温也是由 1 次增加到 3 次，秋季寒露风也是由 1 次增加到 2 次。

每年在我国大陆登陆台风在近 44 年（1949-1992 年）期间达到 10 个以上有 1961、1967、1971、1974 和 1989 年。但是，受灾情况则不仅决定于登陆个数，而且还与登陆时间及地点有关。我国以东南沿海台风灾害最频繁，夏季高频期平均每年发生 5—10 次，高频中心位于福建省；秋季台风灾害次多；春季最少，平均每年约 1 次左右。

从上分析可以看到，我国气候灾害随季节变化很大，旱涝主要发生在春夏季；台风与低温主要发生在夏季；而寒露风和雪灾主要发生在冬季；霜冻灾害主要发生在春秋两季。各种重大气候灾害发生的频率大部分均在三到四年

一遇。这样如果以季为单位，并且考虑到不同地区的影响，则全国每年可能发生重大气候灾害十几到二十次。有些年份气候条件差，各种气候灾害可同时发生，从而造成严重自然灾害；有些年份则相对气候条件较好，风调雨顺，粮食丰收。这些气候灾害还有很大的年代际变化。总的情况大体上是：50年代除雨涝灾害较多外，其它灾害不多；70年代气候灾害最频繁，干旱、雨涝、霜冻等重大灾害多发生在1969—1979年期间。80年代干旱发生频率增加，其它灾害频次低于70年代，但与60年代相当，仍远大于50年代。

从上所述可以看到，我国气候灾害发生频繁，给我国农业生产和国民经济带来很大损失。因此，我们不仅要分析各种气候灾害发生的频率，而且还要研究各种气候灾害的成因，以便做好气候灾害的预测和防御，从而减少气候灾害给农业生产和国民经济所造成的损失。

三、我国气候灾害成因与气候系统

从70年代起，人们在认识气候方面有了一个突破性的飞跃，人们认识到气候变化不仅仅由大气圈的内部热力、动力过程所产生，而是包括大气圈、水圈、冰雪圈和岩石圈所构成的地球气候系统中各圈层相互作用的结果。具体来说，气候变化与异常是地球大气、海洋、冰雪、陆地等它们之间相互作用的结果。最近，人们认识到气候变化还与生物圈、人类活动有很大关系。

1. 气候系统

如图2所示，气候系统是一个很复杂的系统。气候变化不仅是由于发生在大气内部的动力、热力过程所造成，更重要的是由于受海洋、冰雪圈（包括冰川、海冰和大陆上冰雪覆盖）、岩石圈（主要是山脉、陆面、土壤）、生物圈和人类活动影响。这些各不相同的“圈”之间的相互作用可以形成月-季度、年际、年代际以及100年以上时间尺度的气候变化。

（1）太阳辐射是驱动地球气候系统唯一重要的能源：由于大气对于太阳短波辐射是透明的，该辐射并不直接加热大气，而是加热地球表面（包括陆面和水面）。地表受热后再往大气辐射长波辐射。因为 CO_2 ， CH_4 等气体会吸收这种辐射，从而减少了长波往太空的辐射，因此这些所谓的温室气体在大气中浓度增加，就会使低层大气因此而升温。

（2）海洋是气候的调节器：海洋通过蒸发供给大气水汽，由于水汽凝结而释放出大量潜热；并且当海洋温度高于大气，将向大气输送感热；大气温度高于海表温度，则海洋从大气中吸收热量，因此海洋是气候的调节器又是气候的记忆器，此外，大气通过风应力驱动海流改变海洋温度的分布，并且海洋还吸收大气中的 CO_2 。

海洋和大气同是地球上的层结流体，由于同受重力和科氏力的作用，它们运动有许多共同点，因此，海-气耦合系统可以说是气候系统中最重要的一个子系统。

（3）地表面特征对气候的影响：地表面接受太阳的短波辐射而加热，同时又以长波形式往大气辐射，因此不仅海洋和陆面受热不同，而且陆面上各种植被覆盖、沙漠和冰雪，它们对太阳的反射、吸收很不一样，各种地表特性的改变对气候变化有很大影响。此外，土壤特性和温度对于气候变化也有一定影响。可以说陆-气耦合系统是气候系统中一个重要子系统。

（4）冰雪覆盖对于气候变化也有一定影响：极冰、海冰以及陆面上的冰

雪覆盖将影响对太阳辐射的反射与吸收，因此，冰雪圈的空间分布将对气候变化有一定影响。

(5) 生物圈对于气候变化的作用是很复杂的：生物圈通过碳循环的作用而对气候变化起到一定作用，植物能吸收 CO_2 ，有减少大气中 CO_2 的含量的作用，并且对地表的反照率，地表与大气之间的热量、水汽和能量的交换也有很大影响，因此，生物圈对于气候的变化是有很大的影响。但是，由于涉及到生物过程，使得生物圈对于气候变化的影响是很复杂的，目前科学家对生物圈在气候系统中的作用仅能非常粗略估算，详细还需进一步研究。

(6) 人类活动对气候变化有很大影响：人类活动通过两种途径来影响温室气体 CO_2 ， CH_4 等，即，人类的工业生产和生活大量使用矿物燃料大量放出 CO_2 ，并且在农业生产中也大量产生 CH_4 ，导致大气中温室气体增加；另一方面，由于工农业生产和人类生活的需要又在大量毁林，致使吸收 CO_2 的过程减弱，从而在大气中温室气体不断增加。这种温室气体对于全球增暖起到关键作用。但是由于地球气候系统的不同子系统在不同时间尺度上有着复杂而且经常是混沌的相互作用，因此，人类活动所产生的温室气体究竟如何引起着全球增暖，这还是一个迄今没有搞清的问题，即使现在有许多研究，但这些研究结果都各不相同，有很大的不确定性。

从上面可以看到气候变化有两种不同的变化，一种是气候的自然变化，它是一种振荡 (Climate Variability)，这可能是气候系统各“圈”相互作用的结果；另一种是像全球增暖这样全球变化，它不是振荡，也很可能是一种变迁 (Climate Change)，但全球气候增暖对于气候短期振荡也有作用。

2. 我国灾害性气候的成因

为了提高旱涝等灾害气候预报的准确率，我们不仅要知道控制灾害气候发生过程的大气内动力过程 (Internal dynamical process)，而且还要知道大气下垫面的热力状况及其对大气的影响。从海洋向大气输送的感热与潜热是大气热量的主要来源，我们的大量研究表明，海表面的热力异常严重地影响东亚大气环流的异常，并且，陆地表面也向大气输送大量感热与潜热。为此，一方面，我们从观测资料研究了大气下垫面热力异常与季度及年际气候异常的关系，特别是分析了热源异常与旱涝的关系；另一方面，从理论及数值模式来探讨大气下垫面热力异常对大气环流影响的物理机制。

我们通过大量研究，分析了旱涝发生的环流条件和发生的历史、年代际，年际变化以及降水的季节内变化规律；研究了长江、黄河流域不同时间尺度旱涝空间分布的类型和变化特征，以及形成此两流域旱涝大尺度环流的持续性异常型；对此两流域旱涝成因进行各种诊断和分析，对于这两流域的旱涝形成原因提出有物理依据的看法，指出赤道太平洋的 ENSO 循环，热带西太平洋，特别是西太平洋暖池的热力状态与暖池上空的对流活动是影响这两流域旱涝主要原因之一。这些下垫面热力异常显然都可以用来作为预测旱涝灾害发生的前期信号。

(1) 埃尔尼诺和南方涛动 (ENSO) 循环

下垫面热力异常是引起大气环流异常的重要原因，也是旱涝发生的重要原因。经过许多地方多年的预报效果的调查，世界气象组织 (WMO) 确认了 ENSO 循环及其引起的遥相关在温带地区短期气候预测中具有重要地位，它是可以作为温带地区短期气候变化的强信号，并且确认了与 ENSO 循环有关的热

带地区低频振荡对热带地区降水预报具有重要作用。我国地处温带、副热带地区，ENSO 循环对我国东部的旱涝有着重要影响。然而，我们从观测资料分析结果发现，ENSO 循环的不同阶段对我国旱涝分布有着不同影响。

a. 在 ENSO 事件的发展阶段：如图 3a 所示，我国江淮流域的夏季降水异常与赤道东太平洋的海温异常有一个较大的正相关；而黄河流域、华北地区以及江南、华南地区的降水异常与赤道太平洋海温异常有一个较大的负相关区。也就是说，当 ENSO 事件处于发展阶段，在汛期之前，赤道东太平洋海温处于上升阶段，该年夏季我国江淮流域降水将会偏多，可能发生洪涝；而黄河流域、华北地区的降水往往偏少，可能发生干旱。

此外，从大量观测资料的分析统计表明，在 ENSO 事件的发展阶段，我国东北夏季往往发生低温。

b. 在 ENSO 事件的衰减阶段：如图 3b 所示，当 ENSO 事件处于恢复位相，即 ENSO 事件处于衰减阶段，我国发生旱涝的区域与在 ENSO 事件处于发展阶段的旱涝分布有明显的不同。江淮流域的降水异常与前期赤道东太平洋的海温异常有一较大的负相关区；而黄河流域的河套地区以及江南、华南地区的降水异常与赤道东太平洋海温异常有一个较大的正相关区。这就是说，当 ENSO 事件处于衰减阶段，我国夏季江淮流域的降水将会偏少而发生干旱；而黄河流域、华北地区及江南、华南地区的降水可能偏多。

上面所述的我国夏季降水与赤道东太平洋海温异常的关系经过多年在预报实践中的应用，证明了在 ENSO 循环的不同阶段，赤道东太平洋海温异常对我国旱涝有着不同影响。因此，ENSO 循环，特别是 ENSO 事件的发生与衰减可以作为我国夏季旱涝分布预测的强信号之一。

（2）西太平洋暖池次表层海温异常

西太平洋暖池是全球海洋温度最高的海域，全球大约 90% 暖海水集中在这里，它的热容量变化将对全球，特别是东亚的气候异常产生重大影响。但是，西太平洋暖池表面海温变化幅度较小，约在 1.0 之内，并且，表面海温的距平（SSTA）与东亚降水的相关也不好，故西太平洋暖池的 SSTA 并不能作为预测我国夏季旱涝分布的信号。然而，西太平洋暖池次表层的海温年际变化很大，在 150m 深的暖池次表层海温年际变化最大。通过分析我国夏季降水距平与西太平洋暖池沿 137°E 次表层海水热容量距平的相关，可以看到，我国长江流域和淮河流域夏季降水与前期暖池热状态有很好的反相关。这就是说，当西太平洋暖池次表层的海水热容量高时，淮河流域和长江中、下游地区夏季降水可能偏少，易发生干旱，而华南地区降水偏多，黄河流域与华北地区降水正常或偏多；相反，当西太平洋暖池次表层的海水热容量偏低时，江淮流域的降水偏多，往往发生洪涝，而黄河流域、华北地区降水偏少，往往发生干旱。

（3）菲律宾周围对流活动状况

与暖池热状况密切相关，在热带西太平洋，由于这里是 Walker 环流的上升支，低层气流的辐合使得大量的暖池洋面上蒸发的水汽在这里凝结，形成超大型云团，这些对流活动释放出大量潜热，使之形成大气中强大热源。它可以强迫出低频波，这些低频波可以从热带向副热带、中纬度地区传播，影响西太平洋副热带高压，从而影响东亚夏季风降水的强弱。统计表明，热带

太平洋地区的 OLR 变化最大方差位于菲律宾东部周围地区，这说明菲律宾周围对流活动的年际变化很大，它可以表征热带西太平洋海-气相互作用状况。因此，菲律宾周围的对流活动状况可以反映热带西太平洋的海-气相互作用状况。

从图 4 (a) 和 (b) 可以看到，当西太平洋暖池的海温高时，从菲律宾周围经南海到中印半岛的对流活动强，则长江中、下游地区和淮河流域的降水偏少，往往发生干旱；相反，当西太平洋暖池的海温偏低时，从菲律宾周围经南海到中印半岛的对流活动弱，则长江中、下游地区和淮河流域的降水偏多，往往发生洪涝。因此，汛期前暖池的热状态与菲律宾周围对流活动的强弱可以作为夏季东亚旱涝预测信号之一。

上述暖池热状态及其上空对流活动对东亚夏季季风降水的年际变化与季节内变化的影响是与东亚/太平洋型遥相关有关见图 5。我们从观测事实、理论与数值模拟在国际上提出夏季从东南亚经东亚到北美西部的大气环流异常存在着一个遥相关型，即东亚/太平洋型（或东亚/北美型）遥相关（Teleconnection），指出这个遥相关型严重地影响着东亚地区夏季季风的异常；指出这个遥相关是由于菲律宾周围上空对流活动形成的强大热源强迫所产生的准定常行星波列传播所造成的。

上述这些可用于旱涝预测的海洋前期热状态，经过多年的预报实践，证明它们可以作为旱涝预测的强信号。

（4）青藏高原上空的热源异常

我们从观测事实和数值模拟研究了青藏高原上空热源异常，特别是冬春季异常雪盖对东亚季风降水的影响，揭示了异常雪盖不仅对当时高原冬春季的冷热源形成有重要作用，而且对夏季热源有长时效的影响；并且分析研究了青藏高原冬春雪盖对亚洲夏季风和东亚梅雨的影响，发现了青藏高原冬春雪盖与我国长江流域的南部汛期降水有明显的正相关关系。

（5）环流型

研究表明，大气环流的异常不仅与外源强迫有关，特别是与下垫面的热力异常有关，而且与基本气流也有关，这就是说，即使同样发生 ENSO 事件，但由于基本气流不同，其引起大气环流异常型也不同，如 1972 年冬季北半球基本气流分布不同于一般 ENSO 年份基本气流的分布，这一年冬季北半球高纬度西风比一般 ENSO 年份的西风强，使得准定常行星波的传播特性改变，从而使热带太平洋海温异常强迫所产生的北半球定常扰动分布并不是 PNA 型，因此，在利用海洋前期强信号作旱涝预报时，必须注意前期环流条件。

从 1951-1991 年的环流统计表明，前冬和春季的环流异常对于夏季风的异常有十分重要的影响，当前冬在我国东北、朝鲜半岛、日本上空 500hPa 高度场是正距平，则夏季我国江淮流域往往发生洪涝；相反，当前冬季在我国东北、朝鲜半岛、日本上空 500hPa 距平是负距平，则夏季我国江淮流域往往发生干旱。而春季环流对夏季江淮流域的旱涝影响正好与冬季相反。当春季 3、4 月份包括我国东北、俄罗斯的滨海地区和堪察加东北亚地区上空 500hPa 是负距平，则夏季我国江淮流域出现涝；相反，当春季 3、4 月份在东北亚上空 500hPa 出现正距平，则夏季江淮流域出现旱。

对于江淮流域的旱与涝，北半球夏季有不同的环流型。这包括极涡的位

置、乌拉尔的高压脊、西太平洋副热带高压与澳大利亚高压的位置与强度，研究表明，当乌拉尔脊发展，它有利于东亚上空冷空气的活动，有利于江淮流域的降水。此外，当澳大利亚高压较强，跨赤道气流就较强，从而大量水汽输送到江淮流域，使江淮流域降水偏多。

四、灾害气候预测研究

灾害气候的预测是一项既重要又很艰巨的研究课题，也是全世界大气科学的热门研究课题。旱涝给世界各地带来严重的灾害，我国东部由于受东亚季风年际变异的影响，经常发生旱涝灾害，特别是在我国长江、黄河流域频繁发生干旱与洪涝灾害。这两流域的干旱与洪涝灾害以及东北夏季低温是我国自然灾害中造成经济损失最严重的气候灾害，每年造成大量的粮食损失，并严重影响工农业生产，因此，开展旱涝等气候灾害预测的研究具有很重要的意义。然而，由于引起旱涝的异常气候的成因是很复杂的，它既受到大气内动力学的作用，又受到大气下垫面热力异常的作用，并且，它既是每天天气过程的统计平均，又有自己的变化规律，因此，旱涝预测目前还是一项十分困难的研究课题，预报的准确率一直不高。虽然目前旱涝预报方法有多种多样，如时间序列、周期分析、韵律分析、聚类分析等等，但大部分方法一般都是根据自回归原则，这种原则最大的弱点就是把大气看成是一个绝热系统，并且把这种具有正常或异常变化的过程看成一种统计平均的现象。最近大量研究表明短期气候变化过程是一种非绝热过程，大气下垫面的热力强迫作用与动力强迫作用对这种过程起了非常重要的作用。

经过半个多世纪的努力，人们可以利用各种数值模式成功地预报 1-10 天的天气，因此，目前许多气象学家试图利用这种预报短期或中期天气变化的数值模式来作气候预报。

利用大气环流模式或海-气-陆耦合模式作旱涝等灾害气候预测可以认为是一种有物理基础的方法，它可以考虑引起旱涝异常气候的各种动力、热力过程，但在预测中还存在着可预报性问题。研究表明，行星尺度扰动的可预报性明显大于天气尺度扰动的可预报性；并且表明，预报时效愈长，下垫面的热状况的影响愈占主导地位，例如海温异常、海冰、陆面雪盖的异常对于预报时效愈起重要作用。Shukla 研究表明之所以能够利用大气环流模式来作短期气候预测是由于下垫面热力异常有一定的持续性。虽然这是指固定下垫面热力异常的大气环流模式而言，目前正在发展的完善海-陆-气耦合的气候模式可以预报下垫面的热力变化，这从理论上可以大大延长预报时效，然而，由于耦合的计算方案等一系列问题引起的误差，在大气环流模式和海洋环流模式耦合过程的计算中不断增大，致使耦合模式的预报时效也受到限制。

我们利用 IAP 两层大气环流数值模式（IAP-L2AGCM），并考虑到行星尺度系统的可预报时效较长，对大气初始场和初始海温场进行滤波，即只保留行星波而滤去天气波，并在模式积分过程中每隔 5 天进行一次滤波，利用上述滤波方案对 1991-1995 年夏季我国旱涝的分布进行预报试验，并与没有采用滤波的预报结果相比较。预报试验表明，采用滤波方案能够较好地预报我国东部地区的夏季旱涝分布，特别在东部地区旱涝明显的夏季，采用滤波方案，其旱涝季度的预测准确率有一定提高，东部地区旱涝平均预报准确率达 59%，在旱涝明显的年份（1991，1993 和 1994 年），其平均预报准确率可达 68%，比 IAP 两层大气环流模式在 1980-1989 年 10 年夏季降水预报平均

准确率有一定提高。

正如上面所阐述，目前旱涝预测还有很大困难，利用大气环流模式或海-气耦合模式来作月平均环流预报虽取得很大进展，但旱涝预测的对象是月降水量距平，目前，国际上许多大气环流模式还没有进行大量预测降水距平的试验，实际上在模式中计算降水距平也是比较困难的；并且，有的模式虽然也能预报出降水距平来，但比实况要偏少。物理统计方法，它可以考虑旱涝等灾害气候发生的规律及成因，特别是可以考虑前期的信号，因此，我们在对旱涝规律与成因研究的基础上提出了综合旱涝预报方法及其改进，此方法是由一个 IAP 二层大气环流数值模式加滤波方案，大气环流变化的物理相关分析、环流型、气候要素变化的时间序列与回归分析等的综合。在多年旱涝预测试验实践中，证明它是一种预测旱涝分布较有效的方法。但它一般只能定性地预报旱涝分布，为此，我们认为在利用大气环流模式或海—气耦合模式作旱涝季度或超季度预测还处于研究阶段，利用物理相关与动力数值模式相结合是一种改进旱涝预测的可能途径。

我们所提出的旱涝预测方法不仅可以考虑前期的强信号，如 ENSO 事件，暖池的热状态及其上空的对流活动情况以及前期大气环流的状态，而且还参考了利用大气环流数值模式或海—气耦合模式所预测的结果。经过多年的预报试验，证明这种方法是一种有发展前景、行之有效的旱涝方法。例如，如图 7a 所示，1991 年夏在东亚发生了严重的气候异常，造成了严重的旱涝灾害，在淮河流域、长江中、下游地区降水偏多约 100% 左右，发生了历史上罕见的特大洪涝灾害，而在华南、江南地区以及黄河流域降水偏少约 20% - 50% 左右，发生了旱灾，利用我们所提出的方法比较成功地把这严重旱涝区域预报出来（见图 7b）。这说明物理相关与数值模式相结合的旱涝预测方法对于严重旱涝还是有一定预报效果。

五、讨论

如上所述，发生在我国的灾害气候是很复杂的，要搞清这些灾害气候发生的规律与成因主要是通过大量的全球气候系统各子系统的观测资料分析、诊断研究；利用当今数学、物理学最新成就把气候系统的各圈相互作用及其物理、化学、水文和生物过程用数值模式来描述；并利用巨型计算机来模拟气候系统的年际、年代际变化，以便能够利用这样的数值模式预测这种变化，它主要包括了以下几个方面的研究：

1. 气候系统的性质、变化的时空特征的研究

实际的气候变化是由气候自然变化叠加在人类活动和其它外部作用因子引起的变化所组成。由于气候系统中各构成部分的相互作用，使得气候变化呈现出不同时间尺度的变化特征，并使得在某一阶段上在一定的气候状态的振荡，但在某一短暂时期，由于气候系统的非线性相互作用产生气候状态的不连续的“跳跃”（Climate jump），从而使气候的变化产生突发性的转变，而达到新的气候状态。

在目前，除继续搞清月-季度气候变化规律外，更多要研究年际和年代际时间尺度的气候自然变化规律以及气候变化的阶段性与突变。

2. 气候系统的物理过程的研究

要弄清不同时空气候变化特征的成因，就必须搞清气候系统中各“圈”相互作用的热力、动力过程。如由大气动力、热力驱动的气候系统，它自然变化的时间尺度一般不超过一个月，因此，大气本身几乎不可能提供季和更长时间尺度的气候变化的能量。陆—气耦合的气候系统，它的自然变化的时间尺度可达到季的时间尺度。海—气耦合的气候系统，它的自然变化的时间尺度具有季、年际和年代甚至更长时间尺度，如只考虑固定洋面的海温作用，一般变化时间尺度是季；而考虑到海洋混合层的海温变化，这样海-气耦合变化时间尺度是年际，如 ENSO 循环的时间尺度是 2—7 年；若考虑到深海的作用，这样海—气耦合系统，其自然变化的时间尺度是年代际以上，因此，为了搞清不同时间尺度气候变化的特征，就必须搞清气候系统中的子系统变化的物理特征和物理过程。

3. 气候系统的数值模式和数值模拟研究

由于计算机计算速度和容量的迅速发展，以及卫星遥感技术的发展，并且由于人们对大气、海洋、陆面的动力特性认识的提高，人们已有可能把气候系统中一部分子系统用较详细的数学模型来描述，并把它变成数值模式，从而在某种程度上来描述季度、年际的气候变化以及温室气体增加的气候效应。随着 80 年代以后所实行的世界气候研究计划（WCRP）（主要是热带海洋与全球大气研究计划（TOGA），地圈、生物圈研究计划（IGBP），90 年代后半期将要实施的全球能量水分循环研究计划（GEWEX）以及正在酝酿的气候变率及其可预报性研究计划（CLIVAR），人们有可能构造一个较完善的海-气-陆耦合模式来模拟年际和年代的气候变化以及模拟物理气候系统对外界强迫因子（温室气体和气溶胶浓度）的响应；并且有可能对气候系统和生物圈相互作用更深入地了解。因此，有可能把气候系统、生物圈、人类活动因素作为一整体利用数学模型来描述，从而更深入理解控制气候变化的各子系统相互作用及其与生物圈、人类活动相互作用的物理、水文、化学和生物过程。

就以气候变化研究来说，这样的气候模式已是极其复杂的，而人类活动所产生的温室气体和像臭氧等痕量气体在大气中输运及其光化学过程也是相当重要的。因此利用数值模式来研究温室气体、痕量气体在大气中的输运动力学及其光化学过程也是一项重要的研究。

4. 气候变化的预测研究

由于计算机的急速发展和大气环流模式的发达，人们已有可能预测 10 天以下的天气的演变，但是目前还不能利用有效的方法来预报月以上时间尺度气候变化，因此，研究气候变化在什么时间尺度，什么空间尺度是可预报，这是当务之急的研究课题；并且发展动力过程和热力过程协调一致的全球大气-海洋-冰面-陆面-生态系耦合模式，定期或准业务预测季度-几年，空间尺度从区域到全球的气候变化是一项具有重要科学价值的研究，预计下个世纪初月-季度时间尺度的气候变化的预测有可能获得突破，并有可能对于 ENSO 循环所影响的气候年际变化作出较准确的预报。

关于矿产资源的几个问题

程裕淇

地质矿产部

程裕淇 地质学家。1912 年 10 月生，浙江嘉善人。1933 年毕业于清华大学。1938 年获英国利物浦大学博士学位，1988 年获名誉科学博士学位。1955 年被选聘为中国科学院院士（学部委员）。1982 年当选伦敦地质学会荣誉会员。中国地质科学院研究员。发现川西丹巴递进变质带；找到昆明富磷矿，突破中国沉积磷矿床的发现。长期从事和领导中国铁矿的研究和勘查与早前寒武系的研究。

人口、资源、环境是当今世界面临的三大问题。矿产资源是自然资源的一部分，是大自然赋予人类的宝贵财富，是我国社会主义现代化建设的重要物质基础，是制约一个国家经济、社会发展的重要因素，从而也是体现一个国家国力大小的重要标志之一。当前和近期内，我国社会生产所需的 80% 左右的原材料和 96% 左右的能源来自矿产资源，而其需求量还将不断增长。看来，如何正确认识矿产资源的一些基本特征，充分了解我国矿产资源的形势和问题，进一步合理开展矿产勘查以及最大限度地合理开发利用矿产资源，是涉及保证我国在社会主义市场经济条件下，走可持续发展道路在矿产资源方面的一些重要问题。

一、矿产资源的基本认识

矿产是在目前科技和经济条件下，可供人类开发利用的矿物（矿物质）或其结集体——岩石。可以有不同的宏观分类。按其基本属性而言，它可以是无机物质，也可以是有机物质。前者如金、银、铜、铁、磷等等，绝大部分为固体矿产；后者如煤、石油和天然气，其中有相当比例的流体（液体和气体）矿产，当然一部分油、气也可能是无机成因的。也可采用另一原则而划分为金属和非金属两类矿产。再从它所具可资利用的特性而言，我还曾提出（1982 年）划分为这样两类：1）利用其物质组分的矿产，这构成现代矿产中的大部分，在整个矿产的产值中占有主要比例，如铁、铜、煤、石油、硫、磷等；除了以自然元素产出的几种矿产以外，一般都需经过冶炼或提取，才能为人类所利用。2）直接利用其物理（物理化学）性质的矿产，如云母、压电石英、石棉、宝石、耐火材料矿物等，建筑石材也应属此类，也包括了现代尖端工业所利用具有特殊性能的矿产，就今所知，绝大部分为非金属矿产，而且还是固体；随着科学技术和工业的发展，预期还将增加不少新的矿产种类（包括原有矿产新用途的发现，和包含新材料在内的新矿种的发现）；

在后面讲到的矿床形成演化和矿床成矿系列研究中，对于下述第一类矿产来讲，既需考虑形成矿床的具体地质条件，更重要的是要探讨有无足够的形成矿床的物质来源；而对于第二类矿产来讲，往往是具体的生成条件比诸物质来源有着更为重要的意义，因而这种分类在矿床形成研究方面具有更为明显的科学意义。

现在对于这类矿产的重视程度，总的来说还是不够的，亟待加强。此外，也可根据矿产的用途来进行分类，并提出不同的方案。

可供人类利用的矿物（矿物质）或岩石，即矿产，需具有一定的规模（即数量的要求）和物质组分（即质量的指标和要求，一般称为“品位”），才能开采利用。它们占有一定的空间，构成不同形态的矿体。对于一部分矿体来讲，形态清晰，边界明确，可称为有形矿体；有一些矿体的界限，是根据所采样品中有用物质含量（即品位）变化而（在图件上）圈定的，实际上难以辨别其宏观边界，可称为无形矿体。流体矿产的分布范围常有变化，因而没有固定的矿体形态。从矿体中开采出来的矿产品一般称为矿石，但这主要是指固体矿产而言的。

矿产产出于地壳的地表和地下不同深度不同性质的岩石（岩层或岩体中）或尚未固结的松散泥、砂、砾石层中，甚至河、湖、海水中，是在不同地质历史时期、经过不同的地质作用、并在一定的时间内形成的，在地质学上称为矿床。“矿床”不仅是地质学范畴的一个概念性的抽象名词，更重要的是具有实质性的物质内容，即可供开发利用的矿体（矿层）。

对于固体矿产来讲，它的矿体大多由不同数量的一种或多种有用矿物（矿物质）组成，并含有数量不等没有经济价值的其他矿物（矿物质），因而只是一种特殊的岩石类型。它的特殊性，也就是它同共生岩石的差别，主要决定于在一定科技和经济条件下它可供开采利用的这种特殊属性。因而实际上，它在三度空间可以开采利用的范围，是随着这两方面条件的变更而有变化的；同时，科学技术的发展也可以增加一些矿产可供利用储量。其实它同其他所有普通岩石一样，大多分别主要形成于三大岩类（沉积岩、火成岩、变质岩）的地质环境中，尽管还可能经历了地质历史中不同地质作用的影响而使其形成演化过程极为复杂，但其形成演化和空间分布仍是遵循一定客观规律的，而其规律是可以和可能被认识的。通过有关的地质工作和科学研究，如我和其他同事所提出的矿床的成矿系列的研究，就可不断加深这方面的认识，作为指导矿产勘查的理论依据，而通过勘查的实践和验证，又可深化对有关矿产生成演化规律的认识，用以指导进一步的矿产勘查，这将在本文讨论的第三个问题中有更多的阐述。

同其他自然资源相比，矿产资源（除了少数利用其物理性质的非金属矿物可以人工合成以外）的最大特点是，在人类短暂的历史中，基本上是不能有再生的。它的可能达到的利用程度，虽可通过人们的努力和科学技术的发展而有所提高，但面对社会持续发展对矿产资源需求不断增多的现实，仍难以基本改变其供应量的有限性；同时，在可以预见的将来，可供选用的代用品，还有较大的局限性。可见最大限度地合理开发利用有限的矿产是十分必要的，这将在本文的第四个问题中作进一步的论述。

二、我国矿产资源的基本情况

我国幅员辽阔，已知资源条件较好。新中国成立 40 多年来，特别是改革开放以来，矿产勘查成就斐然，不仅说明我国是世界上矿产资源比较丰富、矿种比较齐全的少数国家之一，同时也基本上摸清资源现状和潜力，明确了

如降低矿产品中有用物质含量（即其品位）的指标，使原来不能加工利用的贫矿也可开采销售获利，因而增加了矿产的储量。

近期存在的问题。已发现的矿产有 168 种，其中有探明储量的 152 种，已开发利用的 132 种，已发现矿床、矿化点（地） 20 多万处，其中探明的油气田 400 处以上，有勘查储量的固体矿产区 1.5 万多个。探明储量的潜在价值居世界第三位，但按人均拥有量约为世界人均水平的 1/3，位居世界第 80 位，不到美国的 1/10，前苏联的 1/7。

根据 45 种主要矿产探明储量同世界比较，具有优势的有 24 种，其中钨、锑、钼、稀土、汞、钒、钛、石棉、菱镁矿等储量居世界前列；储量相对不足的有银、铁、铅、铜、金、硼、镍、铀、油气等；储量短缺的为钾盐、铂、铬、金刚石等。

由于我国人口众多，经济建设规模巨大，因而已探明储量的矿种中，不少还满足不了当前建设的需求，有的缺口很大，而且随着建设的发展，难以满足需求的矿种将不断增多。如果近期内在矿产勘查工作中没有新矿床、新产地的重大发现，预计到 2010 年，在前述 45 种矿产中，约有一半不能满足需要，在这以后，关系到国计民生的大宗矿产的保证程度越来越差，特别如石油、天然气、铜、铁、铬、硫、钾盐等矿产的供给短缺情况很可能愈趋严重。在严重短缺的情况下，有些矿种虽然可以通过国际购买来解决，但我国是人口众多大国，需用量往往相当巨大，如大量进口，不仅将刺激其价格的不断上涨，造成国家沉重的经济负担，还会受到国际政治、经济风云突变的影响。出国进行矿产勘查，争取进口急需资源，当然也是可行的，但具有一定的风险，也同样存在资金和国际风云的问题。看来这些矿产和矿产品的供应，还需主要立足于国内。因而进一步进行合理而有效的勘查，力争继续为经济建设和社会发展提供必要的各种矿产资源。仍是今后我国地质矿产工作的重要任务。

通过 40 多年全国范围的大量地质矿产工作，对我国矿产资源的总体地质特征已有基本的了解。其主要特点为：1）单一矿种的矿床较少，多数是多种有用组分伴生在同一矿体中（可称为伴生矿床），或两种以上的矿产（矿种）共生在同一地质建造或地质体中（可称为共生矿床）。如包头的白云鄂博铁矿伴生了稀土和一些稀有元素；四川攀枝花铁矿伴生了钒、钛等 10 种以上元素；湖南柿竹园矿产中有钨、锡、钼、铋相互伴生；不少磷矿有稀土伴生等等。又如含煤地层中，还共生有耐火粘土、铝土矿、黄铁矿、建筑材料等；广东大降坪地区有铁和黄铁矿的共生等。2）我国一些用量大的矿产如铁、铜、锰、磷等，还有富矿少、组分复杂和综合利用存在问题较多等特点。3）同一矿体或同一地区的矿床往往前后经历多次成矿的地质作用（即成矿作用），使有用矿物富集或增加更多的有益组分，同时也使有用矿物和组分的组成更为复杂，增加了综合利用的难度。

三、合理而有效的矿产勘查

矿产勘查是地质工作的重要组成部分，在本质上属于对自然（矿产资源及其反映的地质特征和现象）进行调查研究并取得科学技术资料、数据的科学技术工作范畴。通过这项工作可以发现客观存在的矿产，或对已知矿产（矿化点或矿床）作出初步综合评价，乃至进行进一步的综合评价，并提供有经济价值的矿产（矿床）的基本地质矿产资料，作为提出开采利用设计的必要依据。

它一般是在区域性地质（矿产）工作（即不同比例尺的区域地质调查和

地质图的测制)基础上进行的,经历了一定的工作过程。对矿化点和矿床作出初步综合评价及以前的工作是初级阶段,称为矿产普查或矿产资源普查,简称普查(或普查找矿);在普查基础上的进一步的综合评价工作,即完成提供矿产开发设计所需地质矿产资料(包括矿产储量)的过程,是其高级阶段,称为矿床勘探。迄今对矿产勘查的阶段划分,在地质界还没有取得完全一致的意见。如对煤田勘查往往划分为预查、普查、详查、精查4个阶段,又如对油气勘查,泛称油气勘探,又大致分为区域普查、油气详查、预探、详探等4个阶段。即对这两类矿产勘查的普查和勘探阶段,大致再各自划分为两个阶段。1986年公布的我国矿产资源法有关条例中,采用了和上述涵义基本相同的名词。

在一般情况下,矿产勘查是按先普查后勘探的顺序开展的。即以往所谓勘查程序的原则,对单独矿体来讲更是如此。但在一个地区或矿区内,或一个大矿体的不同部位,也可同时进行不同阶段的工作,以便及早开始矿产的开采利用。这可说是矿产勘查灵活性和合理性的一个方面。

在矿产勘查中,一般还要贯彻实施综合勘查和综合评价,采用综合方法,与布置勘查工程先地表后地下、由稀而密、与由浅而深等方针。这就是说,在找矿目标和评价对象方面,除明确主要矿种(矿组)以外,还要根据区域地质特征,尽可能涉及更多的其他矿种,以取得最大限度的找矿和勘查效果;在勘查方法和手段上虽以地质科学技术为主,也有可能综合使用物探、化探、坑探(地面或地下)、钻探等技术方法;对部分出露于地表的矿床,勘查工程的布置先从地表开始;坑探、钻探等工程间距的施工要由稀而密、由浅而深。但在总体上掌握这些原则的前提下,不宜机械执行,而要根据工作地区的地质矿产特征和已经进行的工作程度等具体情况的不同而具体对待,有所灵活地开展工作,也就是说要有辩证的观点和方法,这是体现矿产勘查合理性的另一方面。

此外,在一定地区内进行矿产勘查的合理性,也体现在工作过程中一定要野外和室内相结合与点、面相结合。这是因为矿产勘查同其他地质工作一样,都要重视野外实地工作,但也须不失时机地对野外取得的资料和标本、样品进行必要的室内鉴定、测试、研究,并对所有室内、野外资料开展综合研究,从而加深对矿床形成、演化、分布规律和矿床与矿石各方面特征的认识,以便以此为依据,有可能更合理地布置下一阶段的勘查工作。而在一定地区内常存在着一定数量的矿化点或矿床,必须在充分了解全区地质成矿特征的基础上,才能更好地深入了解这些“点”的地质和成矿特征,进行合理勘查,同时,积累了一些点的详细工作所取得的新资料、新认识,方可加深对全区总体地质成矿条件的认识,进行区域成矿规律和矿床成矿系列的研究,从而有可能发现新的矿床。

鉴于我国多数矿产组分复杂,一般在普查开始时就要认真研究和掌握其化学和矿物(矿物质)组成的特征,取得较为系统的科技资料,随着普查工作的进展,需及时进行加工利用(如选矿性能、矿石物理性质)等试验,取得相应的数据。进入勘探阶段后,还要及早开展预计开采区包括水文、工程地质条件在内的开采条件的研究和论证;所提出的以地质矿床特征为重要内容的勘探报告,还应涉及开采技术经济条件方面一定评述。这是体现矿产勘查工作合理性的又一方面。

进行合理的矿产勘查,应该也必然是有效的,可以多快好省地完成其两

个阶段的任务，并有可能在工作地区或附近发现新的矿床，扩大矿产储量。在开发矿产过程中，有关企业还要从事必要的矿产勘查，既为矿业生产服务，也有可能扩大矿区深部的储量，乃至发现新矿床。

总的来讲，开展对自然资源矿产的勘查，也可说是人类为了征服自然在科学技术工作范畴所进行的伟大战争，其过程是从认识自然（地质和矿床）入手，通过在区域地质调查基础上的矿产普查（战役）、矿床勘探（战斗）而服务于利用自然（矿产开发），还可为改造自然、保护自然作出贡献。正因为是一场“战争”，必须随时了解“敌情”（通过勘查所获得地质及矿床特征等方面的信息），分析研究“敌情”，以便研究下一步工作的部署，并对原有工作计划作必要的补充和修改，争取能更多快好省地完成勘查的任务（达到消灭敌人）的目的。为此，坚持辩证唯物（矿床实体）的观点和方法从事矿产勘查，必然是合理而有效的。也可说，应用辩证唯物的观点和方法开展矿产勘查，是使其能合理有效的基本保证。

以往在计划经济体制下，我国的矿产勘查工作，全部由国家投资，虽分别由不同的部门分别组织实施，但既有全国的长期和较长期规划，也有国家的年度计划。在由计划经济逐步转变为社会主义市场经济以后，矿产勘查中的勘探工作势必绝大部分或全部转入市场经济范畴，国家不再直接投资；普查工作的一部分、大部分或绝大部分也将由有关企业投资进行。但作为社会主义市场经济条件下的地质矿产工作，看来除由国家投资规划和开展基础性、公益性工作如区域地质调查、有关的科学研究等工作以外，大面积区域性的综合普查或专门矿种、矿组的普查工作（尤其是重要成矿区带的），以及一部分特定地区或矿种、矿组的甚至特定条件下的矿床勘探，也仍应由国家有关部门全面规划和组织实施，这也将是我国实现两个根本转变以后，在工作部署上继续开展合理的矿产勘查的基本措施的重要方面。

四、矿产资源最大限度的合理开发利用

鉴于上述矿产资源的不可再生性本质，扩大原有矿种储量和发现新的矿产种类与选用代用品的局限性，以及社会发展对矿产品需求不断增加情况，最大限度地合理开发利用矿产资源，应是我国关于矿产资源问题方面的一项基本国策。

实际情况是，我国单一矿种的矿床较少，共生矿床、尤其是伴生矿床、组分复杂的矿床较多，用量大的矿产贫多而富矿少；而新中国成立后长期以来，除国家抓的少数几个大矿山（如金川、白云鄂博、攀枝花等）和少数其他矿区以外，对伴生矿床的综合利用大多重视不够、效益不明显或存在问题较多，甚至根本没有开展这方面的生产工作，不仅浪费了资源，也往往污染了环境；同时，四十多年来的矿山企业，基本上实行的是不同工业部门（多达7个）按矿种（矿组）分别开采管理的体制，对一定地区的共生矿产分别开采或只开采一部分，因而造成资源的难以挽回损失和浪费，有时也增加了开采的成本和产生环境的污染，这种情况世界上是少有的。

其次是矿产回采率和利用率方面的问题。在许多矿山，更有采富弃贫、采厚弃薄、采易弃难和厚矿层（如煤）只部分开采等情况。总的来讲，总的回采率大致在 $1/3$ 到 $1/2$ 之间，较许多工业发达国家为低或低得很多。产生这方面问题的原因很多，其中包括了管理方面的，技术方面的和技术措施方面的。在乡镇企业大规模发展地区，并一度在“有水快流”主张的影响下，

大量涌现的民营和地方矿山不仅回采率和利用率更低，同时不同方式的破坏资源的情况十分严重，往往造成了矿产的更大浪费和更为严重的环境恶化。

再次是矿产利用的科技方面的问题。建国以来，在矿产综合利用的研究和实际生产方面虽有重要的成就。却仍有不少疑难问题尚未解决，致使一些由于品位偏低或组分复杂等不同原因而迄今划为储量平衡表的“表外矿石”，还未利用。同时，对一些非金属矿产的物理性能和利用研究与有关的基础研究，较为薄弱或起步较晚，也影响到有些矿产能否及早地合理利用的问题。

此外，以往由于原矿石售价低，对出口矿产的高级产品研究和生产重视不够，对某些矿产品的一些临时性经济措施制定不当，以及对建立新矿山设计的可行性研究不够等等原因，也曾影响到有关矿产的充分和合理利用所达到的程度。

针对上述矿产资源综合开发利用中存在的问题，结合 1996 年 8 月 29 日八届人大常委会第 21 次会议通过的修改后的《中华人民共和国矿产资源法》有关内容（主要是第四章第三十条），现提出如下建议，作为促使我国矿产资源有可能得到最大限度的合理开发利用的重要措施。

1. 主管单位审查、批准新申报的公有、共管矿山许可证时，根据该法第三十条的有关规定，要以是否对具有工业价值的共生和伴生矿产有综合开采、综合利用、防止浪费等的合理方案，作为发放许可证的重要条件之一。发放外商投资和合资开采矿山许可证的条例应参照制订。有关单位审查集体矿山企业和个体采矿的采矿权时，也应根据具体情况，考虑这方面的可能性和现实条件。

对有工业价值的共生和伴生矿产还未（或还未规划）进行综合开采或综合利用的矿山，有关主管部门或其上级单位，要针对不同情况，积极采取有所不同的措施及早促其实现。

2. 有关主管和上级单位，要进一步把降低矿山企业矿产资源的开采和利用中的损失作为重要任务来抓；要把“开采损失率”“采矿贫化率”“选矿回收率”以及矿产品的质量指标等，作为衡量矿山采、选经营优劣的主要标志，加以考核。与此同时，采取加强科学管理和改进技术方法与措施相结合的办法，来提高矿石回采率。

3. 有关的实验研究单位，加强不同矿种（矿组）的不同矿石类型开发利用中选冶难题和油气资源提炼利用中难题的实验研究和工业规模的试验，并有计划、有步骤地开展有关的基础研究，以不断扩大目前还难以有效利用的潜在矿产资源。

4. 有关的实验研究单位狠抓非金属矿产 的利用研究和矿物物理性质的应用基础研究与有关的基础研究，以不断扩大已知非金属矿产的用途，并发现新的矿产资源（新材料）。

5. 对于我国某些优势矿产（见本文第二问题），有关主管和上级部门要积极采取措施，尽量减少原矿和初级产品的出口，扶植建立一定规模生产相应系列高级矿产品的企业，力争大量出口，换取更多外汇，以供购买进口矿产品之用，这也应是充分合理利用我国矿产资源的一种措施。

总的来讲，实现合理而有效的矿产勘查，可以多快好省地对已知矿产作出综合评价，提交可供设计开发的矿产储量和有关资料，并找到地面以下一

定空间内客观存在的矿产和有潜在价值的矿产，供我国经济和社会持续发展对矿产品的需求；做到矿产资源的最大限度的合理开发利用，不仅提高了矿产的使用价值和矿业开发的经济效益，同时还减少了环境污染，产生了巨大的社会效益和环境效益，而通过有关的实验研究，还可发现原有矿产的新用途和新的矿产资源，供我国今后经济和社会发展的需要。这都将为我国经济和社会可持续发展作出相应的贡献。

作者在撰写第二、三问题时，曾参考了朱裕生同志的手稿，在此表示感谢。

出版系统的研究开发和产业化

王选

北京大学

王选 计算机应用技术专家。生于 1937 年 2 月 5 日，江苏无锡人。1958 年毕业于北京大学，现任北京大学教授，计算机研究所所长，文字信息处理技术国家重点实验室主任。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事计算机逻辑设计，体系结构和高级语言编译等方面的研究。

机遇偏爱有准备的头脑

1961 年我从北大数学系计算数学专业毕业已三年，主持过电子管计算机逻辑设计和整机调试工作，也参与过部分电路设计工作，一直在硬件第一线上跌打滚爬，在紧张工作的同时，也阅读国外文献。50 年代国外有名的计算机体系结构使我赞叹不已，当时我反复询问自己，为什么别人想得出这些好的设计，而我却想不出，只能欣赏别人的佳作？慢慢地我悟出了一个道理：因为我不通晓应用程序，也不熟悉系统程序，不知道计算机的使用（即程序）会对计算机硬件的性能和体系结构提出什么新要求，因此缺乏创造的源泉。于是 1961 年作了我一生中最重要的一个决定：深入软件领域（尽管当时“软件” Software 这个名称在英文中尚未出现），作硬件和软件相结合的研究。我阅读的关于编译系统方面的第一本书是苏联叶尔晓夫（后成了苏联科学院院士）写的《编制程序的程序》。后来又仔细阅读了 ALGOL60 的正式报告以及一系列叙述编译系统原理的文章。当时有一种“茅塞顿开”的感觉，原来我以为自己懂得计算机的，此时才发现只有了解软件，才真正懂得计算机。高级语言、汇编语言（和机器语言）以及微程序语言是三个不同级别的语言，贯通这三者，必然会在体系结构上有创新的构思。为了这一目的，1964 年承担了当时正在进行硬件设计的 DJS21 机的 ALGOL60 编译系统，这一系统是与另外三位同志合作完成的，后来在几十个用户中得到了推广。60 年代的那些日子里，我用 90% 的时间从事 ALGOL60 编译系统的研制，另外 10% 的时间探讨适合高级语言的计算机体系。我主张寻找编译和目的程序运行中的瓶颈，依靠灵巧的硬件设计显著地提高效率。下标变量的处理是个瓶颈，子程序调用（尤其是递归调用）又是一个瓶颈。由于我有硬件实践经验，所以很容易想出硬件上的方法来克服这些瓶颈。这时我感到似乎找到了创造的源泉，并相信一旦有了这种源泉，中国人有可能和外国人同时或更早提出某些新的思想，这种信心，以及软硬件两方面的知识和实践是我后来能够承担激光照排系统研制的决定性因素。

一个人的一生中会碰到很多机会，但机遇只偏爱有准备的头脑。多方面的知识和实践经验，对社会需求（包括未来需求）的敏感，对技术发展方向的正确判断，一丝不苟和锲而不舍的精神，都有助于把握机遇，取得成功。1975 年，研制精密照排系统的机遇降临到我们头上，当时打听到，国家有一个七四八工程，即汉字信息处理系统工程，分三个子项目：汉字通信、汉字情报检索和汉字精密照排。对这三个子项目，我独钟情精密照排系统，因为

它的价值和难度吸引了我。我当时病休在家，可以做自己想做的任何事情。这一事例也说明可能的条件下让年轻人自己选题，做自己喜欢做的事情，才能激发创造的欲望。

按照过去养成的习惯，首先要了解清楚国外的研究现状和发展动向，短期内我阅读了大量的资料，从而于 1975 年得出下述结论：数字式存储将占统治地位；光学机械二代照排机，尤其是汉字二代机难度很大，但没有前途；字模管式三代机和飞点扫描式三代机正在走下坡路，很快将被数字存储的 CRT 三代所淘汰。1975 年时，先于北大，国内已有五家在从事汉字照排系统的研制，可惜的是，其中两家选择了二代机的方案，另外三家分别选择了飞点扫描、字模管和全息模拟存储的技术途径。由于我是数学系毕业，所以很容易想到信息压缩，即用轮廓描述和参数描述结合的方法描述字形，并于 1976 年设计出一套把轮廓快速复原成点阵的算法。但当时用常规计算机上的软件来复原点阵，进度是很慢的，因此一个懂得数学和软件的人可能会就此却步。由于我有多年的硬件经验，并懂得微程序，软、硬件两方面的经验使我能够判断哪些操作可由软件来做，哪些操作属于时间要求很严的，必须由专门硬件配合微程序，从而使速度提高几十倍。

1976 年时国外尚无激光照排机的商品，但国内在高精度传真机研制方面已积累了多年经验，激光扫描分辨率高和幅面宽等突出优点强烈地吸引了我，但逐线扫描，不能改变光点直径和扫描时不能停顿的特点又使控制器的设计难度大。“需要”和“矛盾”正好促使新方法的产生，逐线形成点阵、逐段缓冲、四路平行输出等方案就是被逼出来的。这些困难找到了解决办法后，才于 1976 年夏决定跳过第二代机、三代机，直接研制第四代激光照排系统。

很幸运的是，80 年代中期，轮廓描述西文字形在国外大为流行，当然已由向量轮廓发展成三次曲线轮廓；1985 年后激光照排机在国外开始流行，并于 80 年代末淘汰了第三代 CRT 照排机，而国外的二代机则早已于 70 年代末就被彻底淘汰了。中国内地没有经历第二代和第三代，直接跳到了第四代，现在约有 3000 多套激光照排系统，用于编排书刊、杂志和报纸等正式出版物；曾经进口了六七套日本的第三代照排机，大部分已被方正系统淘汰；我们在港、台、马来西亚等地也淘汰了一批日本的第三代照排机。

不满足于获奖，努力为国民经济作出实际贡献

北京大学从事激光照排的科研集体有“求实”的传统。尽管北大负责研制的系统被评为 1985 年中国十大科技成就之一，1986 年又获日内瓦国际发明展览金牌，1987 年获国家科技进步一等奖，但我们始终有很强的“负债”心理，觉得系统推广得很不够，国家投资尚未收回，因而并不觉得有什么贡献，这种负债心理促使我们不断前进。后来尽管在国内推广了，取得了显著经济效益，但又感到海外市场销售还很差。当海外华文报业市场取得很大进展后，又感到我们目前还只能在中文出版领域内称雄，在其它文种领域内还很差，在图像处理方面与国际先进水平相比也有差距。只有不断提出新的目标，永不满足，才能保持市场竞争能力。在当前激烈的国际竞争中，我们始终有危机感，可以说是战战兢兢，丝毫不敢懈怠。

今天北大方正似乎很红火，被人称为“既有名，又有利”，致力于“开创性研究和商品化”的顶天立地模式也得到肯定，但 1978-1984 年这段期间

内，风向并不是这样的。搞理论、写文章很时兴，因为提职主要靠论文，致力于商品化则很不容易被接受。由于我们以“对社会的实际贡献”为目标，所以坚信自己的道路，顶风渡过了这段困难的时期。

不断更新技术并开拓新领域

技术上只有不断更新才能保住市场。出版系统中有一个核心硬件——栅格图像处理器（RIP），北京大学研制这一设备已达 21 年之久。1979 年研制成样机 TC79，1985 年 TC 83 投入生产性使用，1988 年含有专用芯片的 TC 88 开始大量推广，1991 年集成度更高的 TC 91 投放市场，1993 年方正 PostScript RIP 成为商品，1995 年含有两块协处理器加速芯片的 PostScript RIP 问世，加快了彩色图像处理速度。国际上 PostScript RIP 竞争十分激烈，不少外国公司败下阵来，北大方正必须不断前进，才能保持 RIP 的国际一流水平。

在前端排版软件方面也是如此，从批处理发展到交互式，从 DOS 发展到 Windows 和面向对象技术，从文字处理为主发展到图形图像处理，从黑白发展到彩色。开发方面的任何停顿都会丢失未来市场，开发者要经常思考，用什么新招来压倒当前和未来的竞争对手。现在汉字早已不是抵御外国软件商品的屏障，无论是办公套件还是高档的彩色专业排版领域，今后我们的主要竞争者将是国外软件。

利用已有的市场占有率，在此基础上不断开拓新领域，是十分重要的，而且取得成功的机会较高。1991 年我国主要报社已装备了国产照排系统，基本上告别了铅与火，我们及时推出了照排局域网，使照排车间避免了使用软盘传递文件。1992 年初澳门日报用方正彩色出版系统取代电分机编排彩色报纸取得成功，接着国内科技日报也用这一新技术出彩色版，从而掀起了一场彩色热潮。三年多时间内国内 100 多家报社，海外几十家华文报社纷纷购买了彩色出版系统；国内很多报纸已经每周出一两次彩色版，还有一些报纸，如深圳商报、沈阳日报、羊城晚报、厦门日报、姑苏晚报、苏州日报等已经天天出彩版。先进的彩色出版技术不仅巩固了我们已有的市场，并且使原来采用其它系统的报社从黑白升级到彩色时纷纷转向方正系统，扩大了市场占有率。1993 年底我们研制成方正高档彩色出版系统，制作高档彩色印品的质量可与电分机媲美，1995 年又完成了彩色照片调频挂网加速芯片，可以生产高保真度彩色印品，质量超过电分机；这一新技术在日本两个最大的印刷厂尚未投入使用，而在我国新华彩印厂和其它单位则已用于生产。利用这一优势，我们正在大力发展包装装潢的软件系统。国产照排系统本来只占领了我国黑白文字排版市场，而彩色制版领域则完全是外国电分机厂商的天下，现在我们进入了这一新领域，开拓了彩色书刊、画刊、广告业和包装业的新市场，同时巩固了已有的市场份额。

1992 年我们与人民日报社合作，实现了卫星远程传版，使全国主要城市的读者每天早晨能看到人民日报。这一技术很快被全国各地的许多报社采用，新民晚报和扬子晚报由于远传至华东各地，显著增加了发行量。1994 年初起，我们在海外远传 PostScript 格式的彩色版取得成功，中央日报从台北传至美国洛杉矶，在洛杉矶看到的中央日报印刷质量甚至优于台北。随着国内报纸彩版的增加，远传彩色版也将在中国内地逐步推广。

1994 年深圳晚报首先采用方正新闻采编流程管理系统，全部版面都由编

辑组版，不再有电脑操作员，开始了“告别纸与笔”的历程。1995 年更加先进的、采用客户机/服务器体系结构的新系统在羊城晚报和光明日报的密切合作下投入使用。编辑部的全部流程都纳入电脑管理，而报社编辑、记者熟悉和使用电脑，将使信息获得充分利用，从而把报业的技术革命推上一个新阶段。

1993 年分类广告管理和制作系统首先在澳门日报使用，1995 年更为先进的系统在深圳特区报投入使用，各种广告的管理和制作均在电脑和数据库的控制下，大大提高了生产效率和管理水平。预计今后三年内，由采编流程管理系统、广告管理和制作系统、新闻资料检索系统、发行系统、照排系统和远程传版系统组成的新闻综合业务网将在我国和海外华文报社中普及。新闻综合网与 Internet 电子发送组成的高度一体化的系统，将使未来的电子报纸比现在的方式功能强得多，自动化程度高得多，将开辟一个崭新的应用领域。我国的报业技术从单纯的黑白照排发展出上述许多新领域，并很快占领了新的市场，我们的技术水平大概比日本同行领先两年。正是依靠技术上不断创新和开拓，才使国外厂商及其国内代理很难进入中国和海外华文报业市场。

1996 年初北大方正推出了面向出版社编辑使用的多媒体出版制作工具。中国的出版社大多是方正系统的用户，他们将逐渐进入多媒体光盘出版的新领域。我们提供的多媒体制作工具除了要做到好学好用和功能强之外，还要做到：能接受已经流行的方正和华光系统的小样和大样文件，从而使新的光盘出版物可以直接利用过去的纸上出版物的某些内容；在完成 CDROM 出版物的同时，能方便地产生对应的纸上出版物，以适应没有 PC 机的读者的需要。这一策略又是利用已有的市场占有率，取得新领域的竞争优势。

从上面例子可以看出，只有创新的技术才有可能成为有竞争力的商品，并进入市场；而在占领市场后又要不断用新技术培育和引导新的市场。

扶植优秀的年轻人才

计算机这类新兴学科，技术发展和知识更新太快，年轻人具有明显的优势。所以我们应该重点支持尚未成名的、有才华、有潜力的小人物。北京大学计算机研究所和方正集团近年来采取了一些措施，使优秀的年轻人才能够及早挑起重任。除了提供住房和较好的收入外，更重要的是委以重任，使他们有事业主人的感觉，并且创造适当的条件和环境，以便充分发挥他们的创造才能。在为年轻人创造条件的同时，也应对他们提出严格要求，要强调献身精神和爱国心，反对一味追求金钱；要培养年轻人懂得尊重别人、善于团结人，听得进不同意见。现在北大方正技术研究院两位 30 多岁的副院长已承担起技术领导的责任，研究室主任、副主任也绝大多数小于 35 岁。正是依靠这支充满朝气的年轻队伍，北大方正开始赢得了海外市场，当然这只是走向世界的第一步，也是很小的一步。对于事业心很强的优秀人才，不能只靠高工资吸引，而应创造条件，使他们取得对我国经济产生明显影响的成就。

我们在 21 年的艰苦奋斗过程中得到了邓小平、江泽民等领导人的直接关怀，得到了计委、科委、教委、前经委、电子部、新闻出版署等领导部门的大力支持；这一成果也是在协作单位的共同努力下，在用户密切配合下取得的。

发展微电子产业 促进社会信息化

王阳元

北京大学

王阳元 微电子学家。1935 年出生于浙江宁波。1958 年毕业于北京大学。现任北京大学微电子学研究所所长。中国电子学会常务理事，世界无线电联盟半导体委员会中国委员会主席，IEEE 高级会员。1995 年当选为中国科学院院士。主要从事大规模集成电路新工艺、新器件和新结构电路及其应用基础理论研究。

纵观人类社会发展的文明史，一切生产方式的重大变革都是由于新的科学发明和新技术的产生而引发的，科学技术作为革命的力量，推动着社会向前发展。史前的摩擦生火、驯养动物、栽培植物等科学发现和技术革命，使生产工具从石器发展到铁器，导致农业、畜牧业的发展，可以认为是农业社会（Hand）中科学技术对生产力发生影响的最初例子。18 世纪 60 年代到 19 世纪 40 年代，以伽利略自由落体定律、开普勒行星运动三大定律和牛顿在《自然哲学和数学原理》中建立的完整力学体系为科学准备，由纺织机改革引起的动力需求，导致 1774 年美国格拉斯哥大学修理工瓦特发明蒸汽机，从而触发第一次产业革命，产生了近代纺织业和机械制造业，使人类进入利用机器延伸和发展人类体力劳动（power）的时代，所引起的社会生产力的发展为资本主义战胜封建主义创造了条件。19 世纪 70 年代到 20 世纪 20 年代，以奥斯特 1820 年的电磁现象（电动机原理）、法拉第 1831 年电磁感应定律（发电机原理）和麦克斯韦 1864 年电磁波理论为理论准备，1866 年德国科学家西门子用电磁铁制成了实用的发电机并于 1875 年应用于工业，标志着电气化时代的来临，以电气化为代表的第二次技术革命引起的生产力飞速发展，使列宁提出了“共产主义是苏维埃加电气化”的论断。现代物理学的一系列发现（它包括 1895 年德国科学家伦琴的 X 射线的发现，1896 年贝克勒尔的放射性发现，1897 年英国科学家汤姆逊发现电子，1898 年居里和居里夫人镭的发明，1900 年普朗克量子论的建立和 1905 年爱因斯坦的狭义相对论、1915 年的广义相对论的提出）揭示了微观世界物理的基本规律，使海森堡、薛定谔形成了量子力学的体系。30 年代建立的现代物理学成为现代电子信息技术革命的理论基础，也是微电子技术发展的理论基础。

一、微电子技术与社会信息化

1. 微电子技术是推进社会信息化的革命力量

当前，我们正在经历新的技术革命时期，虽然它包含了新材料、新能源、生物工程、海洋工程、航空航天技术和电子信息技术等等，但是影响最大，渗透性最强，最具有新技术革命代表性的乃是以微电子技术为核心的电子信息技术。

自然界和人类社会的一切活动都在产生信息，信息是客观事物状态和运

动特征的一种普通形式，它是为了维持人类的社会、经济活动所需的第三种资源（材料、能源和信息）。社会信息化的基础结构，是使社会的各个部分通过计算机网络系统，连结成为一个整体。在这个信息系统中由通讯卫星和高速大容量光纤通讯将各个信息交换站联结，快速、多路地传输各种信息。在各信息交换站中，有多个信息处理中心，例如图形图像处理中心、文字处理中心等等；有若干信息系统，例如企事业单位信息系统，工厂和办公室自动化系统，军队连队信息系统等等；在处理中心或信息系统中还包含有许多终端，这些终端直接与办公室、车间、连队的班排、家庭和个人相联系。像人的神经系统运行于人体一样，信息网络系统把社会各个部分连结在信息网中，从而使社会信息化。海湾战争中，以美国为首的多国部队的通讯和指挥系统基本上也是这样一个网络结构，它的终端是直接武装到班的膝上（laptop）计算机，今后将发展到个人携带的 PDA（Personal Date Assistant）。

实现社会信息化的关键部件是各种计算机和通讯机，但是它的基础都是微电子。当 1946 年 2 月在美国莫尔学院研制成功第一台名为电子数值积分器和计算机（Electronic Numerical Integrator and Computer）即 ENIAC 问世的时候，是一个庞然大物，由 18000 个电子管组成，占地 150 平方米，重 30 吨，耗电 140KW，足以发动一辆机车，然而不仅运行速度只有每秒 5000 次，存储容量只有千位，而且平均稳定运行时间才 7 分钟。试设想一下，这样的计算机能够进入办公室、企业车间和连队吗？所以当时曾有人认为，全世界只要有 4 台 ENIAC 就够了。可是现在全世界计算机不包括微机在内就有几百万台。造成这个巨大变革的技术基础是微电子技术，只有在 1948 年 Bell 实验室的科学家们发明了晶体管（这可以认为是微电子技术发展史上的第一个里程碑），特别是 1959 年硅平面工艺的发展和集成电路的发明（这可以认为是微电子技术第二个里程碑），才出现了今天这样的以集成电路技术为基础的电子信息技术和产业。而 1971 年微机的问世（这可以认为是微电子技术第三个里程碑），使全世界微机现在的拥有率达到 3.7%，在美国每年由计算机完成的工作量超过 4000 亿人年的手工工作量。美国欧特泰克公司总裁认为：微处理器、宽频道连接和智能软件将是下世纪改变人类社会和经济的三大技术创新。

当前，微电子技术发展已进入“System on Chip”的时代，不仅可以将一个电子子系统或整个电子系统“集成”在一个硅芯片上，完成信息加工与处理的功能，而且随着微电子技术的成熟与延拓，可以将各种物理的、化学的敏感器（执行信息获取的功能）和执行器与信息处理系统“集成”在一起，从而完成信息获取、处理与执行的系统功能，一般称这种系统为微机电系统（MEMS：Micro Electronics Machinery System），可以认为这是微电子技术又一次革命性变革。集成化芯片不仅具有“系统”功能，并且可以以低成本、高效率的大批量生产，可靠性好，耗能少，从而使电子技术广泛地应用于国民经济、国防建设乃至家庭生活的各个方面。在日本每个家庭平均约有 100 个芯片，它已如同细胞组成人体一样，成为现代工农业、国防装备和家庭耐用消费品的细胞。集成电路产业产值以年增长率 13%，在技术上，集成度年增长率 46% 的速率持续发展，世界上还没有一个产业能以这样高的速度持续地增长。1990 年日本以微电子为基础的电子工业产值已超过号称为第一产业的汽车工业而成为第一大产业。2000 年电子信息产业，将成为世界

第一产业。集成电路的原料主要是硅，是地球上除氧以外含量最丰富的元素，这样一块黑褐色小片，肉眼看上去，没有任何令人注意的地方，却在改变着社会生产方式和人们的生活方式，也在改变着战争的模式，不仅成为当今科学技术的真正基础，而且正在创造着代表信息时代的硅文化（silicon culture）。因此有人认为，1968 年以后人类继石器、铁器时代之后进入到硅石时代（Silicon age）。

2. 微电子产业是推进国民经济发展的战略性产业

历史的发展总是不平衡的，没有一个国家或民族可以永远居于首列。在新的技术革命孕育的时期，既是一个挑战，又是一个历史的机遇。某些国家，如果抓住了机遇，充分利用科学技术这一“第一生产力”，采取正确的战略，就有可能后来居上。这样的事例很多。如果说英国曾是第一次产业革命的发源地，那么 19 世纪下半叶的德国，虽然工业化比英国晚一个半世纪，但抓住钢铁工业和重化学工业，异军突起，进入世界发达国家的前列。美国则可以认为是抓住了电子工业的发展，从而在 20 世纪保持了领先地位。二次大战后的日本，目前的韩国、新加坡，包括我国的台湾省、香港地区都在电子信息产业的发展中抓住了机遇而赢得了或正在赢得经济发展的优势。而西欧则在总结 20 世纪中叶没能及时抓紧电子信息技术发展，特别是微电子的发展，从而影响了整个经济和科学技术发展的教训，正在加强对电子信息特别是微电子技术发展的投入，力争重操主动权。

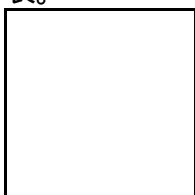
微电子产业对国民经济的战略作用首先表现在当代食物链关系上，现代经济发展数据表明，电子工业每增长 10 元产值，国民经济每增长 100-300 元生产总值，需要大约 1 元集成电路产品的支撑。又据有关资料测算，集成电路对国民经济的贡献率远远高于其他门类产品，如以单位质量钢筋对 GNP 的贡献率为 1，则小轿车为 5，彩电为 30，计算机为 1000，而集成电路的贡献率高达 2000。所以日本人认为：“控制了超大规模集成电路（VLSI）技术，就控制了世界产业。”英国人则认为：“如果这个国家不掌握半导体技术，他就会立刻加入不发达国家行列。”美国、日本、韩国的经济增长都有这样一条规律，即集成电路工业产值的增长率高于电子工业产值的增长率，而电子工业产值的增长率又高于 GNP 的增长率。可以说这是当前信息时代发展经济的一条重要经验。相比之下，我国情况却不是如此，集成电路产业发展的滞后，不能不制约我国国民经济的发展，使我国经济仍处于粗放型的阶段。

以微电子为基础的信息化产业发展，必将引起社会结构的变化。据报道，1982 年美国就业人口中第一产业（农业）仅占 3%，第二产业（工业）占 33%，而以信息业为主的第三产业却占 66%，预计到 2000 年第三产业将上升到 75%，按类同的统计方法，我国现在仅为 10%左右。

21 世纪是信息化的世纪。现代经济是信息经济，目前发达国家信息产业产值已占国民经济总产值的 40%-60%，国民经济总产值增长部分的 65%与微电子有关。微电子产业的发展规模和科学技术水平已成为衡量一个国家综合实力的重要标志。有人提出以半导体产值占工农业总产值的 0.5%作为进入信息化社会的判据。因此以集成电路产业为主要内容的微电子产业已成为促进国民经济持续发展和保证国家安全的战略性的基础产业。

我国是一个经济大国，又是经济穷国。大国，是指传统产业物质总产量居于世界前列。谷物、棉布、水泥和煤居世界第一位，化纤、电力和化肥第二位，钢也已跃居第二位，石油第五位。穷国，一是指我们的人均国民生

产总值只及世界平均值的 1/10，只及发达国家的 1/50；二是指我们的单位产值能耗过高，如以生产 1 美元产值所需能耗折成标准煤(kg)计，我国为 2.31，美国为 0.8，日本为 0.37。因此，我们的物质生产所得，是以高于发达国家 5-6 倍的资金投入，10 多倍的劳动力付出和 4-5 倍的单位产值能耗为代价的。可以说，我国国民经济尚在低技术的轨道上运行。就电力而言，我国现在的发电能力与用电容量之比为 1 : 2.9，电力缺口为 800 亿度。因为缺电，造成了 1/3 的生产能力不能充分发挥。到 2000 年，如果仍仅靠从数量上发展传统产业，靠外延传统产业的规模来实现我国国民经济翻两番的战略目标，则能源总缺口将在 30% 以上。在能源消费构成中，发达国家与我国的比例列于下表。



由上表可见，工业过多的能耗抑制了农业、运输、商业和民用的能源消费，成为商品经济和活跃市场的极大障碍。沉重的能耗严重地影响了国民经济的腾飞，不改造占 80% 能耗的传统产业（其中煤炭 25%，电力 20%，石油 20%，机械 7%，化工 5%，冶金 3%）就没有能力再顾及国民经济中其他产业的发展。

以微电子技术改造传统产业是解决上述问题的有效途径。为了说明这个问题我们可以举一些例子：

能源：火电厂的锅炉给水泵、送风机、引风机占了电厂全部能耗的 72.43%，而全国各行业的风机、水泵的耗电总和占了全国发电量的 36%，仅对风机、水泵采用变频调速等电子技术进行改造，即可年节电 659 亿度，相当于近 3 个葛洲坝电站的发电量；

冶金：采用电子技术对轧钢传统系统改造后，平均轧制每吨钢材可节电 40 度，如按全国轧钢能力 5000 万吨计，一年可节电 20 亿度；

交通：“八五”期间，预计年平均增加内燃机车 1800 台和电力机车 1700 台，采用交流传动改造后，电力机车可节电 20%-40%，内燃机车可节油 12%-14%；

民用：一个 18W 的高效节能灯的照明效果与 100W 的白炽灯相当，如果推广应用 6000 万只（约为全国白炽灯总产量的 1/18）所节省的发电能力，相当于新建三座大亚湾核电站。

“七五”和“八五”期间，我国在利用电子技术改造传统产业方面已经开展了部分试点和试验工作，进行了有益的实践。

（1）建材、冶金、化工、机械等行业中的工业炉窑大多实现计算机控制；水泥行业 70% 以上的机立窑采用计算机控制，玻璃行业 70% 企业用了计算机配料技术。鞍钢采用微电子技术改造窑炉 129 座，平均节能 10%，减小钢材烧损 0.19%，提高成材率 0.12%，年创效益 2860 万元。全国 20% 县以上的水泥企业应用了计算机控制技术后，每年节电 54 万度，节煤 75.6 万吨，提高产量 540 万吨。现在全国有机立窑水泥生产线 3000 条，70% 改造后，每年可新增水泥产量 1000 万吨，新增值 15 亿元，节能 550 万吨标准煤。

（2）利用电子技术改造化肥生产线，仅应用自动调节氢氮比一项技术即

增产化肥 13.2%，节能 13.8%；

（3）有色金属行业 80% 铝电解槽实行电子信息控制，每年可节电 1.2 亿度；

（4）全国 50% 以上中等城市自来水公司不同程度地在管网自动监测和生产调度中使用计算机控制技术后，供水管网自来水流失率降低 50%，按 1993 年统计，每年可减少 16 亿吨自来水损失，相当少建 44 个水厂的水量，节约投资 35 亿元。

微电子技术不仅在节能、节材方面使传统产业的面貌有所改观，而且还有可能利用电子技术使得传统产业的产品在结构方面产生质的飞跃。例如当采用微机统一控制的一轴一电机装置替代传统的涡轮、蜗杆、齿轮传动时，汽车将不再是单纯的机械产品，汽车的电子化将导致汽车工业的革命。彼时，在旧传统产业的基础上，将竖立起新传统产业的大旗。

上述分析表明，要想摆脱落后困境，就必须依靠科技进步。广泛采用以微电子为基础的信息技术，提高产品附加值，提高劳动生产率，走集约化的道路，这是实现我国四个现代化的必由之路。

二、关于发展我国微电子产业的 若干战略和策略问题的讨论

1. 我国和世界集成电路发展现状、预测和市场分析

根据预测世界 GNP 将从 1995 年的 17 万亿美元到 2000 年达到 20 万亿美元，平均增长率为 3.3%；世界电子市场 1995 年为 7528 亿美元，到 2000 年将增长到 13000 亿美元，平均增长率为 11.6%，而世界集成电路销售额据 WSTS 调查及预测将从 1995 年的 1276 亿美元到 2000 年为 3000 亿美元，平均增长率为 18.6%。（这意味着每年将约增加 25 条 IC 生产线，而其中 50% 以上将建设在亚洲和环太平洋地区）。从上述数据可以看到集成电路销售额的增长率为电子工业的 2 倍左右，而电子工业销售额的增长率又是 GNP 增长率的 3 倍左右。我国据“九五”计划和 2010 年纲要报道，GNP 从 1995 年的 57600 亿元到 2000 年增长到 85000 亿元，平均增长率为 8%，电子工业产值则从 2457 亿元增长到 7000 亿元，平均增长率为 23.3%；而集成电路产量从 3.1 亿块增长到 25 亿块，销售额则从近 30 亿元增长到约 250 亿元，二者的平均增长率均为 52%，虽然增长率已符合 2 倍和 3 倍的规律，然而我国集成电路产业总体还十分弱小，对国民经济的支撑力度远远跟不上需要。这一方面表现在我国电子工业总产值在全国工业总产值的比例在 5% 以下，1990 年到 1995 年所占比例分别为 4.9%，3.1%，2.2%，3.5% 和 4.4%；1995 年电子工业增加值在 GNP 中的比例只有 0.73%，而美、日、德等国在 1990 年已分别达到 4.17%、5.4% 和 13.32%。另一方面我国集成电路销售额只占世界集成电路市场总额的 0.3%，与我社会主义大国地位十分不相称。我国集成电路产业和科学技术水平大致还停留在 80 年代初中期中后期的水平。

我国集成电路发展历史，从 1965 年研究成功硅数字集成电路算起已经历了 30 年曲折而艰难的发展历程，经过“七五”和“八五”的产业结构调整，已具备了一定的基础，出现了良好的转机。形成了以华晶、华越、贝岭等为代表的 5 个芯片生产的主干企业，10 几个专业配套厂和以北京集成电路设计中心为代表的 20 几个设计公司。5 个主干企业的销售额已占全行业的 80% 以上。全行业利税率超过 15%。1.2 微米技术已进入工业生产，0.8 微米技术

生产线即将投入运行。最近决定兴建的 0.5 微米 8 英寸生产项目也已启动。但是微电子产业的发展远远落后于我国国民经济和国防建设的需要，制约着我国社会信息化的进程。据有关部门不完全统计，1995 年我国需求集成电路 40-50 亿支，2000 年将翻一番，需求的营业额将超过 100 亿美元，成为亚洲最主要的市场之一。但 1995 年我国集成电路生产量只占市场需求量的 10% 左右，按现有发展速度预测，到 2000 年也只占我国市场需求量的 20%-25% 左右。集成电路的品种全球约为 4 万多种，我国需求约 1 万种，但自行开发的也只占国内需求量的 20%，而且多数属于低档产品。一些有关国民经济的关键产品，例如计算机的核心电路和高档的彩色电视机电路都还不能自行生产和设计。虽然我们号称是电视机生产第一大国，但核心集成电路如不能自行设计和生产，特别是不能自行设计，那么第一生产大国的地位是不巩固的。更不用说国防上将会受制于人。因此加速发展我国微电子产业是刻不容缓的战略任务。

有资料介绍 1993-2000 年世界集成电路市场按线宽划分的情况，其中 $0.25 < 0.35 \mu\text{m}$ 的主要产品类别是 DRAM 和 CPU， $0.35-0.5 \mu\text{m}$ 、 $> 0.5 < 0.75 \mu\text{m}$ 和 $> 0.75 < 1.0 \mu\text{m}$ 主要产品的类别则有 $\mu\text{PC}+\text{E}2\text{PROM}$ 电路，Flash memory，IC 卡电路，数据压缩解压缩电路和各种 ASIC 电路， $> 1.0 < 1.5 \mu\text{m}$ 主要产品类别是各种彩色电视机电路，部分电话机电路，和各种双极、BICMOS 模拟与模数混合电路等。当然这样说不是绝对的，各种类别电路都有不同技术档次（相应有不同的特征线宽）产品同时存在。当前，我们主要开发与生产的产品，主要应为上述 $0.35-0.5 \mu\text{m}$ 、 $> 0.5 < 0.75 \mu\text{m}$ 、 $> 0.75 < 1.0 \mu\text{m}$ 和 $> 1.0 < 1.5 \mu\text{m}$ 等技术的档次。

市场是重要的资源，是需要通过国家意志加以保护的，世界上不论是发达国家还是发展中国家都一样，美、日半导体之战，就是市场份额之争，就是倾销反倾销的斗争。例如各种 IC 卡电路，如能有适当政策保护，基于我国有 12 亿人口，这将是一个巨大的市场，将有利于我国微电子产业的发展。

2. 集成电路的产业结构和加强与系统整机的结合，建设微电子设计业

微电子产业从根本上讲是技术导向型产业，微电子产业的发展是市场牵引和技术推动的结果。不同的产业发展阶段，产业结构可以有不同的形式。由于设计技术和硅平面工艺技术的日益成熟，90 年代微电子的产业结构特点是设计、芯片制造和封装三业并举，相对独立。与市场和应用相结合，相对分散设计；以标准工艺为基础，相对集中加工形成 Foundry（标准工艺加工线）。

集成电路本身不是最终产品，它的活力和效益是在广泛的应用中得到体现的。据统计，集成电路在整机设备产值中所占比例已由 1980 年的 3.9% 上升到 1990 年的 13.2%。集成电路在某些军事装备中的价值比例已超过 70%。进入 90 年代以来，特别是面向 21 世纪，将是“System on Chip”的时代，在 10^2mm^2 大小量级的芯片上将集成一个系统或子系统，其集成度将达到 10^9-10^{10} 元件/Chip。其相应的产业加工特征尺寸将是 $0.35-0.5 \mu\text{m}$ ，21 世纪将面对 $0.15-0.18$ 微米特征尺寸的生产问题。这向微电子设计业提出了新的科学技术问题和产业建设问题。

70—80 年代之交是第一代 ICCAD 技术，以版图输入、图形编辑和设计检查为特点，80 年代中期，出现了以网表输入、仿真验证、自动布局布线、单

元电路库为特点是第二代 ICCAD 技术,90 年代以来,进入第三代 ICCAD 技术,实现自顶向下(top - to - down)的设计模式,以高层行为描述、行为仿真和综合优化为特点。目前正在大力发展系统行为描述的设计工具。这使一个系统工程师不必深入了解器件物理和加工工艺的详细过程,就能胜任集成电路设计工程师的工作。当然进入到这一阶段以后,集成电路设计还有一系列新课题,例如深亚微米器件模型与模拟,超大规模集成电路的互连设计以及功耗设计等问题。

集成电路产品是设计工作的目标,是成果的体现,也是与市场的接口。集成电路设计技术和加工技术的进步最终将体现在性能/价格比更加优越的集成电路产品上。“System on Chip”不仅增加了设计的难度,而且要求系统设计者与电路设计者更加紧密的结合。这一科学规律体现在产业建设上就要求我们在建设微电子设计业时必须强调与整机、系统企业密切的结合,并在建设设计公司时要尽可能地靠近客户。然后将设计结果用卫星或数据交换网传送到相对集中的掩膜版制造中心或 Foundary。

随着社会信息化程度的推进,集成电路的应用领域将越来越广泛,而且应用的程度将越来越深入,这一方面将越来越多的信息处理功能集成于芯片上,而在另一方面将发展使信息采集、传输和随动作用功能也“系统地”集成于芯片上。这是发展的必然趋势。必将推动集成电路科学技术特别是设计技术和设计业的发展。这是整整一个历史阶段,不是一朝一夕的事。这个历史阶段多长还不好预测,但可以肯定地说“21 世纪”整个世纪将是蓬勃发展的时期。

我国发展微电子设计业的任务更为迫切,这不仅是因为我国开发的电路品种只有需求量的 20%,而且还由于我国信息化的程度还很低,制约了集成电路品种的开发。反过来,加强集成电路品种的开发也就是加强市场的开拓和孕育。对于我国的集成电路市场,必须注意到已被世界许多大公司以整机的形式瓜分了的事实,要想占领与开拓市场,必须强调创新的精神,只有强调创新才能有性能/价格比更好的产品,才能开辟自己的市场。

3. 集中有限资金与力量,逐步建设规模经济的集成电路芯片制造业和封装业

集成电路迅速发展的经济与技术原因就是因为它能被高效率、大批量、低成本、高可靠地生产出来。因此芯片制造业建设的一个基本要求就是必须达到规模经济,只有这样它才有效益。目前 0.5 微米特征尺寸、8 英寸硅片的芯片制造厂,其规模经济要求它的月投产量为 20000 片。这要求资金投入的阈值接近 10 亿美元。有人预计 0.18 微米特征尺寸 12 英寸硅片芯片加工厂的投入要有数量级的增加,这必然要求集中建设。对于我国资金较为有限的情况,只能量力而行,先建设 1—2 条,随着市场的发展和盈利逐步增加。

要发挥规模经济的生产线作用,必须共同利用它的资源,因此除生产像 DRAM 等类的通用产品的生产线以外,建设可多方面吸收加工客户的 Foundary 不失为一个好的决策。但建设 Foundary 也有它的自身发展规律,其基本特点是两个方面:第一,它的工艺必须有多种标准化的工艺,一般应包括 CMOS, Flash Memory 或 E2 PROM, BICMOS 或 Bipolar 等工艺,可以提供基于标准工艺的单元库,与加工的接口可以用 PCM 图形来检测等等。第二,与客户的接口必须是多进多出的。所谓“多进”就是从客户那儿接收不同层次的设计:行为级、逻辑级、物理级等,有相应的设计队伍和固定协作的相对独立

的制版中心；所谓“多出”就是可以以晶片或芯片形式出售，也可以以封装好的成品出售，这就要求有技术上相适应的协作配套的封装厂。否则“吃不进”、“吐不出”，也就无法发挥 Foundary 的功能。

由于为提供更有竞争力的高性能/价格比的产品的需求和技术的进步，使特征加工尺寸越来越缩小，晶片面积越来越大，现在主流产品的加工特征尺寸为 0.5—0.35 微米，21 世纪初将面临 0.15—0.18 微米、12 英寸硅片的大生产问题，这表明加工尺寸越来越接近物理极限。加工特征尺寸往往作为生产水平和科学技术水平的最主要标志而被人们提出来，但正是由于这一点，也往往导致人们一个误解，认为既然是接近了物理极限，所以发展也就到了尽头。当然任何事物都有发生、发展和消亡的阶段，但现在说硅技术已是“夕阳”却为时太早。相反有部分科学家认为从 1968 年就已进入了“硅石时代”，它将像石器时代、铁器时代一样，持久逾千年。对此说法，我们当然也还需要研究。但有两点是肯定的。一是微处理器的发现使硅技术进入一个新的阶段，以它为基础，智能化的芯片发展仅仅只是开始，还方兴未艾，有着旺盛的生命力；二是虽然主流 CMOS 加工技术已进入深亚微米阶段，但是成熟的微米级平面加工技术正在日益开拓新的发展领域，例如最近发展起来的微机电系统（MEMS）就是一个例子，将平面工艺引入机电加工领域并与光学加工技术相结合，将导致新的一场革命。从这两点看硅技术仍处于“朝阳”阶段。

在设计、芯片制造、封装三业之中，相对来说封装业起步可以较快。三业中资金投入比往往有 1:100:10 的关系，也较易积累资金。这也是为什么许多发展中国家和地区先发展封装业，积累资金，逐步发展芯片制造业和设计业的原因。

但封装业也必须采用规模经济，而且技术品种必须全面、先进，例如无引线陶瓷芯片载体（LCCC）、塑封芯片载体（PLCC）、小外形封装（SOT、SOIC）、插针阵列（PGA）、焊角阵列（LGA）、四边引线扁平封装（OFP）等，同时要具有表面安装技术（SMT）、多芯片组件（MCM）技术等，才能取得好的效益。而我国的芯片制造业目前还不发达，因此，建设封装业必须面向国际和国内市场。

4. 科研与生产关系——关键在于“机制”问题

人才培养和科学研究是民族产业的“根”。高技术产业的竞争是科学技术的竞争，而归根到底是人才的竞争。一个产业要有后劲，必须有科学研究和高质量人才培养的支持。一个民族产业要能立足于世界之林也必须要有这个“根”。所以，我们在规划发展我国微电子产业的时候，必须规划人才培养和科学研究。反之，如果没有强大的民族工业的支持和对人才与科研成果的需求，那么，不管是燕园（北大）、还是清华园的微电子专业都只能是出国预备部。

引进是为了提高我们工作的起点，如果只有引进，没有自己的科学研究工作和人才培养，没有相应的消化、吸收、创新，那么只能走“代代引进”的道路，永远受制于人。

微电子的科学研究要针对实际需要，开展系统研究工作，才能创新，“创新是民族之魂”。要解决好科学研究与产业关系，在“科学技术面向经济建设，经济建设依靠科学技术”的方针下，与产业建设一样，关键在于解决好机制问题。主要内容有两条，一是要有真正的风险投资体制，支持科研成果

转化为生产力；二是要解决好股份制问题，要使科技人员有技术股份，使技术、管理和从事市场开发的人员都有“incentive”。当然两个问题的解决都会受到市场机制的成熟程度的制约。但是如果不解决这方面机制，不仅企业不能搞活，而且科研成果向生产力的转化不能形成“流”，科研与生产的两张皮问题最终难以解决。

当前正在启动的 909 工程和正在筹建的北方微电子开发研究基地，就应当以股份制方法来筹建。909 工程和其他微电子产业要以股份方式投入北方微电子开发研究基地，并通过组成的董事会对北方微电子的研究与开发课题进行“导向”，要以主要精力开展 $0.5\mu\text{m}$ 和 $0.35\mu\text{m}$ 工业化技术的研究，直接为 909 工程和其他企业服务，开发相应的适应市场需求的产品，使北方基地的研究工作成为我国工业生产的技术来源之一。但科学研究是需要储备的，因此，必须有一部分力量开展深亚微米（ $< 0.35\mu\text{m}$ ）技术、新工艺、新器件和新结构电路与新材料的研究工作，为下一代的工业生产作准备。同时培养高质量的人才。

有了好的机制，资金问题就可以多渠道筹措，就不致于成为我们发展微电子产业的制约因素。要利用我们的市场优势和人才优势，吸引外资为我所用，而不是相反。集成电路产业发展必须遵循市场规律，但也必须体现国家意志。在开放条件仍要制订对微电子等高新产业的优惠政策，并对国内市场有适度的保护，使民族工业能在与外资公司竞争中发展。

近代科技和信息化

邓锡铭

中国科学院上海光学精密机械研究所

邓锡铭 光学、激光专家。生于 1930 年 10 月 29 日，籍贯广东东莞。1952 年毕业于北京大学。历任中国科学院长春光学精密机械研究所研究部副主任、上海光学精密机械研究所副所长，现为该所研究员。高功率激光物理国家实验室主任。1993 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事光学、激光领域的科研工作。

今年是邓小平提出“科技是第一生产力”20 周年，同时又是执行高科技 863 计划 10 周年，在这个时候，大力宣传科教兴国的方针，大力普及科学知识，破除迷信是非常有意义的。

对科学普及的兴趣，因人而异，有人兴趣甚浓，有人认为枯燥无味，不如看一场时装表演。我是从小就对科普入迷的人，“少年爱迪生”、“伟人爱迪生”两部电影对我后来的科研生涯起了决定性影响。电影“居里夫人”我看过多次，电影里居里夫妇发现镭元素的那一时刻深深感染了我。今天我不打算像电视科技节目那样阐明一项新技术发明的原理及其应用，而是要追踪一项科学成就的背景，并且作历史对比，探讨它对社会发展的近期及远期影响；还要反过来讲社会的需求对一项新科技出现的强大促进作用。我想只有综合成百上千科技发展及其对社会影响的事例，才能自觉理解邓小平提出的“科技是第一生产力”这样一个伟大的诊断。

一、什么是近代科技？近代科技是从什么时候开始的？

如果把几千年的人类文明史和近代科技史作比较，就可看出，近代科学技术的兴起，只占很短的一段历史，按照诺贝尔奖金获得者杨振宁的划分，真正称得上近代科学技术的起点是从 300 多年前牛顿的《数学原理》一书开始的。为什么用一本书的出版来划分呢？为什么不以瓦特发明蒸汽机来划分呢？或者以中国发明造纸术来划分呢？我赞成杨振宁的划分。因为这种划分是以现代科学思想体系的确立为界限的。确立这个由全人类共享的科学思想体系是至关重要的，如果没有它，也许今天我们仍处在中世纪的愚昧时代。当时多少代人在黑暗中去探索“点石成金”术而均以失败而告终，多少代帝王去追求“长生不老”术而得到的却是皇帝的短寿。即使在今天，离开近代科学思想体系去盲目探索，还大有人在。这就是“隐身术”一类的巫术和封建迷信的活动。当然，在牛顿之前不是没有科学技术。火药、指南针等都是中国古代的重大科技成果。“一尺木棒，日取其半，万世不竭”。就是中国古代的微积分学的萌芽。但是，还不能称之为“体系”，还没有形成严密的综合和演绎的思想方法并接受科学实验来检验的科学思维体系。自文艺复兴之后，这个思想体系的框架经过许多伟大的哲学家、科学家的努力，直至牛顿才最后形成了。从此科学和技术就以已往不可比拟的速度向前发展。由此

可见，这个思想体系的确立要比一项单独的发现或发明更为本质、更为重要。因此杨振宁就把牛顿的“数学原理”一书作为近代科学与古代科学的分水岭，这是很有道理的。它是近代科学文明的一个伟大里程碑。

建立近代科学思想体系不是一帆风顺的，其中包含了许多激烈的甚至是残酷的斗争，因为它触犯了当时宗教的教义以及各种保守势力。哥白尼的地球绕太阳运动的学说直至他临终前才敢拿出来出版；教会还对伟大的物理学家伽利略宣判罪名，这个案子维持了三四百年，直至前几年才由教会宣布平反。没有这批坚持科学真理的科学家的斗争，就没有今天的科技繁荣。他们伟大的科学成就和崇高的人格是值得后人永远尊敬的。

二、科技和社会的双向影响

这里说的双向影响是指：一方面，科技发展推动着社会生产力和社会文明的发展；另一方面，社会的需求是科技发展的最重要的动力。三四百年以来，这种相互影响是渐进的，但是是加速发展的。特别是二次世界大战以来的 50 年，这种相互促进呈现急剧加速的态势，用科学家的语言来描写，叫做指数曲线上升的趋势。正是由于这种态势的出现，使得许多国家把加速科技发展列为各自的国策，视作综合国力竞争的一个重要组成部分。这就是今天“科教兴国”方针的客观成因。半个世纪以来科技、社会双向影响的加深大致可综合为以下几方面：

1. 劳动生产率由于采用新科技成果得到成倍、成十倍的提高；今天，工业先进国家国民经济的发展主要依赖引用新科学技术

例如：上海宝钢目前人均钢产量等于 50 年代鞍钢的 10 倍以上；50 年代长春汽车厂每人每年生产一辆汽车，当今最先进的汽车企业 1 人 2—3 周就生产一辆汽车；在高速公路上行驶的集装箱卡车司机的运力是普通公路 5 吨卡车司机运力的 20 倍。钟表行业宝石轴承穿孔效率由于采用激光新工艺比传统的电火花工艺提高了 1000 倍以上。这些例子不胜枚举。

2. 出现了高科技产业群和大批高科技产品

这些产品的性能和功效与 50 年前相比都有成十倍、百倍甚至成万倍的提高，有的更是过去难以想象的。

例如：当今巨型喷气客机的运力是 40 年代客机的 30 倍，安全性能提高了 100 倍。一座 500 万千瓦的核电站可省去一条专供运煤的铁路。50 年代开始普遍使用的抗生素救了数以亿计的生命。合成纤维的出现解决了世界几十亿人的穿衣问题，结束了解放初期家家户户补袜子的年代。一块与 CD 光盘同样大小的只读光盘（CD—ROM）可以储存建国 40 多年来的人民日报的全部文字；几万人可通过一根比头发还细的光纤同时通话；今天同样规模的电子计算机比 30 年前的功能提高了万倍以上。一个小小的全球定位系统的定位精度达到 1 米。在战争技术方面，由于使用了核能使炸弹爆炸能力提高了 100 万倍，常规炸弹装上激光导引头，使得高空投弹的命中半径由百米提高到近 1 米，实际达到百发百中，使得武器装备进入了精确武器时代，大大减轻了后勤系统。所有这些，在半个世纪以前是难以想象的。但今天已经是看得见摸得着享受得到的现实。但是，三五十年后反过来看今天的惊人成就，又会像今天看到蒸汽机火车头，电子管收音机，爱迪生发明的第一台留声机那样笨拙，像个“傻、大、黑、粗”的玩艺儿。

3. 由于科技进步，产品更新换代周期越来越短，新性能产品层出不穷

最典型的例子莫过于计算机，从 286 个人计算机到 586 奔腾，短短 10 年间已更换了三代。电视领域即将迎来数字化高清晰度电视的新时代，电视屏也面临新的革新。刚刚问世的 VCD（紧凑的激光视盘）估计也只有几年寿命而将被清晰度更高、容量更大的 DVD 所代替。

4. 对科学研究、高技术开发的投入空前提高

处在当今高科技急剧发展的年代，为了企业自身的生存和保持世界市场占有率，世界各高科技产业大集团公司都不惜投入巨资来发展、开发高科技产品，每年投入的经费高达其产值的 5%—10% 或更高，即把利润的大部分都用于研究与发展。例如：日本松下电器公司每年投入的研究、开发的费用比中国科学院全年的科研经费还要高几倍。改革开放以来，人们逐渐懂得，要把科学研究成果真正转化为生产力，转化为市场销售商品所需的开发费用，要比取得科研成果本身所付出的经费平均高 10 倍。而在计划经济年代，这些开发费用又要由政府负担，这就是过去国内科研成果转化为生产力的比例很低的根本原因。只有出现财力雄厚的高科技集团公司才能够并乐意支付庞大的科研开发费用并建立起自己的技术发展中心。只有形成了这种局面之后，才能真正实现由来料加工、组装过渡到自主开发的阶段。

5. 第一、第二、第三产业队伍的大调整

著名学者钱学森早在五六十年代就指出，由于科技迅猛发展，生产效率成倍增长，社会上白领阶层的人数终有一天超过蓝领阶层。世界近二三十年的发展证实了他的预言。这一方面由于劳动生产率空前提高，若仍保持 50 年代前的工农业生产的庞大队伍，就会出现全社会产品供过于求，故必须把大批第一、第二产业的劳动力转移到第三产业。另一方面，由于生产设备自动化程度的提高，要求增加掌握先进设备的专业人员，减少蓝领操作人员。例如：当今美国从事田间耕作的人口还不到总人口的 5%，大批第一产业队伍转向第三产业和支撑农业的第二产业（肥料，农药，饲料，农产品加工）。再如大亚湾核电站的运行人员几乎都是白领阶层，在百万千瓦发电机组的巨大厂房内见不到几个人。所以，由于科技进步所导致的第一、第二产业队伍向第三产业转移是一个必然的趋势。

6. 资源配置的大变动

市场经济的最重要的功能是实现资源的最佳配置，这里所说的资源包含人力资源。近几十年来为什么会出现四小龙？为什么近年来每年有几百亿美元外资流入中国？其中一个重要原因是优化配置人力资源。之所以能够实现这样巨大的复杂的国际分工和出现跨国集团，除了政治因素、经济因素之外，还有一个科技现代化因素。试想，如果没有现代化的通信手段、信息手段，能够把一个产品分解到许多国家和地区生产吗？现在运输手段也是一个重要条件。IBM（世界最大的计算机企业）的大部分产品都是依靠航空运输的。总之，实现当今世界资源配置的大变动，达到最优化配置，科技现代化是一个必要的重要条件。

以上讲了 50 年来由于科技的突飞猛进，触及社会发展的六个方面。当然，不能什么都归结为科技进步。管理体制的改革，上层建筑的进步也给社会的发展带来重大的推动。但科技是第一生产力这个基本点是极为重要的。

现在让我们回过头来展望一下明天，要预测明天的社会发展，明天的生活方式，不是一件容易的事情。即使您具有最丰富的想象力，也难于准确预测。在神话小说《封神榜》中，古代的千里眼、顺风耳，已成为今天的生活

现实，现在能准确预测的一点是：我们将要进入信息化社会，在说明信息化社会之前，我举一个例子，在不久将来，您可通过电视购物，不需到百货公司，各种服装在荧光屏上让您挑选，同时还能把您的头像在荧屏上和服装合在一起；更奇妙的是：您可以通过虚拟现实技术，能感觉到衣料的手感。这就是未来信息社会给您带来的好处之一。

信息社会的基础设施是一个具有极大容量的信息传递网络。或者把它俗称为信息高速公路。下面就我个人对当今信息技术与信息产业的理理解谈一点粗略的认识。

在报章上经常看到，世界发达国家正在从工业化社会进入信息化社会。社会的发展为什么会走向信息化？信息技术与信息产业的物质基础是什么？这是人们所关心的问题。只有信息化需求，而无信息化手段，等于空喊口号；只有信息化的手段而缺少信息化的需求，信息技术和产业就没有它的市场，也不会得到大发展。一个最明显的例子就是：“八五”期间我国电话装机容量的发展突飞猛进，为什么？因为市场经济对信息化的需求不知要比已往的计划经济大多少倍。另一方面，信息技术的每一次的革新，都会扩大信息产业的市场。全球的、区域性的计算机网络、电子邮件的开通、光纤通讯的实现、传真机的普及和信息显示技术的革新又会反过来大大扩大信息产业的市场。所以，近 10 年来由于世界信息技术以空前的速度与规模向前发展，加上我国国民经济由计划经济向市场经济转型的推动，就出现了信息产业猛烈发展的局面。

什么是信息化的物质技术基础？应该从不同层次、不同的侧面来回答这个问题。先从最基础的科学层次来看：20 世纪有三项最伟大的发现，这就是物理学方面的相对论和量子论，生物学方面的 DNA 结构的发现。相对论是原子能利用的理论基础；DNA 结构及其理论是生物工程的理论基础；那么什么样的重大技术的理论基础是量子论呢？原来，以芯片（集成电路）为核心的计算机技术和以激光为核心的光电子技术的理论基础正是 20 世纪三大伟大发现之一的量子论。

之所以要从最基础的科学层次提一下这个问题，是要提醒人们不要“忘本”，不要轻视基础科学的研究，不要把基础科研看作是可有可无、浪费人力物力的事情。试想，假如今天还没有发现量子论，就绝对造不出集成电路，也就不可能有现代的计算机技术及由此发展起来的现代信息产业。同时，没有量子论，就绝对不可能发明激光，没有激光就不可能有光纤通讯，不可能有光盘技术，不可能有以光二极管为基础的信息显示技术等等。

因此，一方面不要忘记今天的信息技术与近一个世纪前开始发现的量子论之间的关系；另一方面也不要忘记，现代信息技术赖以生存和完善的两个最基本的技术——集成电路与激光，缺少当中的哪一个都形成不了完整的信息化技术。所谓信息高速公路就是一个大容量、高速度的信息传递网络及其配套技术设施，而当中的“公路”就是以光纤连接成功的。有“公路”就需要有“车子”去搬运信息，运信息的“车子”即信息的载体不是别的，正是激光。

现在从技术这个层次来看。从技术角度来划分，信息技术大致可分信息载体、信息传递、信息储存、信息处理、信息显示等几个方面。电磁波是信息传递的主要载体，由于最主要的激光源的频率均处在极高的光波波段，从而决定了它是超大容量的最理想的信息载体。单一频道的激光就可同时载送

几十路电视或十几万路电话，因此，激光是最重要的信息载体。要发展信息技术和产业，就必须发展高质量的激光器，特别是半导体激光器及其产业。

与此相连，当今最有效的、容量最大的信息传递手段是通讯卫星微波传递和激光通过光纤传递。所以光纤工业是信息产业的重要组成部分。

信息存储的手段，以往都是用磁盘与磁带。但近 10 年来，由于光盘技术的日趋完善，以及可擦除光盘技术的出现，CD—ROM 光盘与计算机的结合，使得在许多场合光盘已经或将要取代磁盘，因为光盘容量达几百兆字节，同时检索方便，几十年的人民日报可以储存在一张几英寸的小光盘上。不看到光盘的发展势头就会重犯只搞磁带唱机不搞光盘唱机一样的错误。

信息处理的主要手段是计算机，这方面已为人们所熟识，不再多说。

信息显示技术的发展也是日新月异。其中，液晶和激光技术扮演了最重要的角色，计算机输出的机械打印质量是无法与近 10 年发展起来的激光打印相比的；各种机械式显示牌（例如机场信息显示）已被光二极管显示牌所取代。世界每年光二极管的产量（个数）达到了天文数字。

通观信息技术的几个组成部分就可看出：以激光为核心的光电子技术占有多么大的比重，若再展望一下即将到来的光纤进入家庭的时代，信息技术的广泛应用又将更上一层楼。

以上是从基础科学层次、技术层次来看现代信息技术。当然，还可以从产品开发层次（即所谓 R&D）来看，从市场及经济层次来看。

从产品开发层次来看，一项新信息技术能否开发成功，要着重看它的工程可行性和性能价格比。举几个激光开发项目为例：由于波长可调激光的出现，立即就想到它在化学工业上的应用，人们把激光称作一把“剪刀”，可以按您的需求去“剪断”某一个分子键，实验也证实是可行的，可以用来合成新物质，一时在世界上掀起了一阵“激光分子剪裁风”。但很快就发现技术上的可行性不等于就有市场，因为产生一个激光光子价格如此昂贵，由此合成的物质的价格是市场难以接受的。最后市场能接受的只剩下激光同位素分离或本身就极为昂贵的药物。激光通信的发展也是很曲折的，为了克服云雾对激光通信的障碍，早期在美国贝尔实验室进行过在一个金属圆筒内形成“气体透镜”以传输载有大容量信息的激光束，结果因工程上的不适宜而失败，而最后成功的却是人们难以想象的让激光束穿透几十公里厚的玻璃。也就是今天大家所熟识的光纤通信。光纤通信之所以成功，是由于它的许多工程上的功能都是极为优越的：容量大，损耗小，成本低，寿命长，无干扰，易保密等多种功能同时具备。走通了这条路之后 20 年，光纤一跃成为信息高速公路的“主干线”。

最后，从市场及经济层次去看，当中就不仅涉及科学、技术问题，还涉及许多经济战略、竞争策略甚至政治因素。

市场经济的基本功能是促进资源配置的优化。这里所指的资源含人力资源。近二三十年，发达国家纷纷到第三世界国家投资设厂就是优化劳力资源和土地资源的一种战略。当中固然涉及多种因素，但是一个世界范围内的信息大系统的形成以及各种先进信息手段的出现无疑是实现这种战略的重要的物质技术基础。就从信息产业内部来看，发达国家把最核心的芯片企业和激光企业及其研究开发中心都设在本土上，虽然芯片或激光器的产值只占计算机产业、光电子产业产值的 5%—15%，但它是这些产业的核心部分，是推动整个信息行业更新换代的“龙头”，是高科技产业和技术的制高点。

只要掌握信息领域高科技的核心，即使形成了国外所形容的“空心企业”，也不会失去对市场的控制。反过来说，我们国家也必须掌握了这些核心高科技，才能说得上真正的自主开发，占领市场。

展望 21 世纪，将是信息化、生物工程化和广泛应用原子核聚变能的世纪，社会生产力以此为依托将要提高到前所未有的高度。信息技术和信息产业的发展

朱高峰

中国工程院

朱高峰 邮电通信技术与管理专家。1935 年 5 月 27 日生于上海。1951 年 9 月至 1952 年 8 月就读于清华大学，1958 年毕业于原苏联列宁格勒电信工程学院，获工程师学位。历任邮电部邮电科学研究院工程师，邮电部第六研究所总工程师、邮电部副部长、主任高级工程师等职。1994 被选聘为中国工程院院士，同时被选为中国工程院常务副院长。先后参与、主持了大量通信载波传输系统的总体设计与研制工作。

一、基本概念和发展过程

1. 基本概念

当代社会中越来越多的人已认识到，信息和物质（材料）、能源一起构成社会赖以生存的三大要素，随着科学技术的发展，信息已渗透到社会的各个角落，起着越来越重要的作用。

尽管如此，当代信息技术由于发展的历史比较短，也由于其涉及的广泛性和复杂性，至今，并没有一个统一的定义。有人收集过各种不同来源的信息定义就达数十种之多，就其提到的用词如消息、情报、信号、数据、指令等，就各有不同的含义，看来在短期内还难以达到统一。例如：信息是客观存在的，还是经人收集后才产生的，信息是对人有用的还是任何消息（包括有害的、中性的）都可称为信息，信息是自然形态存在还是必须经加工成一定的形式后才形成等。有些不同看法是由于各人所处的位置不同，看问题的角度不同而产生。从信息生产、信息流通过程和信息消费的不同角度出发就会存在各种不同的看法。理论工作者和实际操作者也会有不同的见解。但这些区别，差异并不影响信息技术和产业的蓬勃发展。

2. 发展过程

信息广泛存在于自然界之中，自有人类以来，人与人之间就有了信息的交流，人们就已经开始采集和使用信息了。

历史上曾有过辉煌的信息技术发明。如：语言、文字的形成，印刷术的发明，为最基本的信息交流奠定了基础。烽火台、邮驿等为生产力低下时代的信息传递创造了当时最先进的方式。算盘成为信息处理的重要工具，在当时就促进了科学和社会经济的发展。这些技术中，相当大量部分为我们的祖先所创造。

到了近代，电报的发明使快速远距离传递信息成为现实，电话则提供了双向直接（实时）通信的可能、机械式计算器至机电计算机使人的计算能力

大大提高，无线电的发明不但提供了全球性的通信手段，并且构成了快速的面向全社会的大众传播媒介——广播。这些发明大大缩短了人与人之间的距离，加快了社会各种活动的节奏，提高了人们工作、生产的效率，使信息的作用逐渐为人们所认识。

二次大战后，当代信息技术以电子计算机和高速大容量通信方式的出现为标志，讲入了一个新的阶段。自 1946 年出现第一台以真空管为基础的电子计算机以来，经历了飞速的发展，其功能从数值计算，发展到数据处理，控制管理，并产生了大容量存储技术。新的通信传输和交换手段不断出现，同轴电缆和卫星通信使大容量全球通信成为可能，局用数字程控交换机的诞生则构成了快速大容量自动通信的基础，一个全球自动电话网形成了。这些都建立在当代计算机、通信和微电子技术基础之上。进入 80—90 年代，光电子技术又开始得到了广泛应用，光纤通信已逐渐成为通信传输的主要手段，光计算机和光交换机正在开发中。千百万甚至数亿人在同一个通信网通信，每秒千万亿次速度巨型计算机、千百万台计算机联网运行的时代已经来到，人类正在进入信息时代。

3. 信息系统组成

信息作为社会一种基本资源，有着从产生到使用的过程。整个流程可以用下图表示：

图中每两个环节之间，都有传递。采集加工等环节则可以根据广度和深度区分不同层次反复进行，在各个环节包括传递中可能需要短时的或长时的存储。

在商品经济中，信息作为一种基础商品，从经济关系上看，同样有着生产、交换、分配和消费的过程。因此在图中，在生产和消费之间，还存在交换、分配的关系。但这种和信息自然形态上的交换（如电话交换）和分配（如有线电视的分配）是不同范畴的概念。

在现代信息系统中，采集和加工大多是由电子计算机来完成，当然采集还需要有传感器等终端设施。传递则由通信系统完成。根据不同场合的不同需求，有各种不同的计算机和通信系统。存储有磁、电、光等各种存储设备。至于信息源可能是人产生的各种信号，如：语音、文字、著作、绘画等，也可能是自然界或社会中各种设施和过程的一些物理量。使用可能是人脑的判断，也可能是对自然和社会设施的控制信号指令等。

因此，当代信息系统是以各种不同的计算机和通信系统为主组成的，完成从信息源采集信息予以加工到需要的程度，并在需要的时间内传递到使用所需要的地点加以使用的系统。根据不同的信息内容和需求，信息系统可大可小，可以从一个单独的主机，一直到全世界范围的复杂网络。

4. 信息的特征

信息除了具有一般物理现象和社会现象的共性外，主要具有下列特征：

（1）社会性：尽管信息尚无确切的定义，但信息一开始就直接联系于社会应用。与物质、能源在其原始状态就可以被应用不同，信息只有在经过人类加工，经过取舍、组合、转换，采取一定的表现形式后才真正具有使用价值。因此真正意义上的信息离不开社会。

（2）非物质性：信息本身只是一些抽象的符号，并不是以实体形态出现。当然这里讲的非物质性是物理学上的概念，而并非哲学意义上的。这样信息

必须要有表现形式，如：语言、音乐、文字、图形、图像、数据等，主要是声、光等物理量。这些形式又要内含于一定的物体之中，比如：在书信、报刊、影视、磁盘存储、光电存储器内，这些物体即称为载体，这些表示形式和载体又被称为媒体。媒体概念的范畴更宽一些。

（3）可传播性：信息可以广泛地传播，利用现代光电手段，其传播范围实际上是无限的。传播方式有的是定向的，即有明确固定对象的，有些则是不定向的甚至全向的。不管人们愿不愿意，每天都会收到大量的信息，其渠道可能是空中电波或视野中形象，也可能是家庭邮箱等。

（4）不灭性：这是信息的最特殊的一点，即信息并不因为被使用而消失。信息可被广泛使用，多重使用。这也就导致其传播的广泛性，当然信息的载体可能在使用中被磨损而逐渐失效，有的甚至是一次性的，但信息本身并不因此而消失，它可以被大量复制、保存、永远使用。直至其本身价值失效为止。

5. 信息内涵

信息内涵大体可分为自然信息、社会信息和人本身的信息。自然信息大至宇宙，小至基本粒子，上至天文、气象，下至地理、地质。社会信息包括政治、经济、军事、文化、教育科技等社会的各个方面。人的信息包括生理和精神两个方面，人类大量创造信息，各种文艺作品、科学论著等等均是人类创造的信息。

二、信息在现代社会中的地位和作用

1. 信息的作用

（1）认知作用。

教育过程是信息在教师和学生间传递的过程或者学习者从书本中汲取知识（信息）的过程。

大众传播：各种报刊，声像广播广泛传播各种消息（信息）给全社会。

科学研究很大程度上是要弄清和掌握天文、地理、自然界的各种情况，亦即获取某种信息，有的是直接从自然界取得，有的是通过实验来取得。例如：地质勘探就是用科技手段采集信息的过程。

（2）管理作用：大至国家，小至一个地方、一个企业内部，管理都需要信息。从国家管理来说，政治、经济、军事、社会管理，下情上达、上情下达，在现代社会里离开先进的信息系统已不可想象了。一个现代企业内部人财物、产供销管理也必须要有信息系统，进一步要实现综合管理系统。

从管理过程来说，从掌握情况、分析、决策、执行、反馈，每个环节都离不开信息，整个管理过程也是一个信息流动的过程。

（3）控制作用：主要是指生产、工作流程中的控制。生产过程自动化，已广泛用于各个产业，如：冶金、化工、电力等。但控制作用已不仅限于工业而已渗透到第三产业，如电子数据交换（EDI）应用于外贸中，产生了无纸贸易。

管理与控制的区别：在于控制是对生产过程本身的控制，完全是生产力的范畴，而管理则是既有生产力，又含有生产关系和上层建筑。当然在一个具体企业中两者有时密切交织在一起。

（4）交流：主要指社会成员个人之间的联系。无论是信件或是电话、传真直至电子信函，都是人与人之间思想、观点、感情的交流或事务的商洽。

随着技术进步和人民生活水平的提高，人员流动范围更大、交流更为频繁。现在外出人员给家庭打电话报平安、作交谈在发达国家已经是不可缺少的事，在我国也越来越普及。

(5) 娱乐：电影、广播、电视等早已深入人民生活。各种新的声像传播方式的出现，在声像质量越来越高、越逼真的同时，可选择性、智能型的种种娱乐层出不穷，琳琅满目。

(6) 其它：在某些行业中，信息的作用还超出了上述作用。如金融业中的信息，就已超出一般管理控制的范畴，电子货币本身已是一种信息，信息已经成为生产流程的基本内容。

2. 信息在社会中的地位

首先是促进传统产业的改造，包括一、二、三产业。各个具体产业的技术进步，包括生产流程的更为精确、自动化程度的提高、劳动生产率的提高、管理更为科学，以至某些产品使用性能的提高等都离不开采用现代信息技术。在制造技术中，从数控机床到自动加工中心，柔性生产系统。连续过程生产（冶金、化工、电力等）中的自动控制，运输业中对运输工具的自动控制和运输系统的自动调度、军事技术中的 C³I 等。可以说各个产业改造升级相当大部分是其固有技术与信息技术的结合。

其次是信息产业本身发展壮大，在国民经济中的所占比重越来越大。

再次是信息产业发展带动其它产业的发展，如材料、装备等，如果说应用于传统产业改造是信息产业的下游，则这里说到的是其上游。

一段时期内在美国有人提出朝阳产业、夕阳产业之说，并且把风刮到中国，造成了较大影响。当时很多有识之士就不同意这种说法。当然产业发展速度不同，某些新兴产业由于社会需求大，发展很快，所占比重在上升。但不是说其它产业都要消亡。从大的产业划分来说，社会历史发展中还没有哪个产业已经消亡，最明显的例子就是农业。尽管农业在发达国家所占比重已很小，在我国比重也在不断下降。但农业本身仍在发展，并且其国民经济基础的地位不但没有动摇，而且越来越突出。因此信息产业的发展不是要替代其它产业，而是渗透、支撑、服务于国民经济和社会各产业，是促进和带动的关系。尤其在我们这样人口众多的发展中国家，物质和能源还是非常缺乏，信息技术的推广和信息产业的成长应该促进物质和能源产业的进一步发展，提高效率而健康成长。

三、信息技术及其发展趋势

1. 计算机

从 1946 年世界上第一部数字电子计算机诞生至今，已过去了半个世纪。50 年间，计算机已经历了四代。其发展方向主要是：

- (1) 提高速率、增大容量；
- (2) 减小体积、降低能耗；
- (3) 从语言到软件系统的高级化；
- (4) 从单机到多机联网；
- (5) 从增加功能到智能化。

四代计算机基本上是按其基础元件作为主要标志划分的，即电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路。随着元件的革命性进步，上述各项发展方向得到了各自的体现。但下一代计算机究竟是什么，目前仍有不同看法，

有人认为是光计算机（仍以器件为标志）；有人认为是智能计算机（以功能为标志）。

到今天，计算机的单处理器运算速度已达到 10 亿次/秒，内存容量已达到几百兆字节。而体积则为早期机器的千百分之一。曾占用大房子的庞然大物其功能已被今天掌上计算机所超过。

计算机从第一代以后就逐渐分为大型机，中型机和小型机，随着技术和应用的进步又逐渐产生了微型机。嗣后，计算机就向两极发展，一方面大型机向超大容量超高速的巨型机发展，另一方面微型机向进入办公室、家庭发展。前者追求速度快，存储容量大，可以解决过去人类难以设想的计算课题。例如：天气预报、地质勘探中的极复杂问题，上万个联立方程的题。当然其体积和能耗也在不断缩小，否则就不可设想。而微型机发展则追求小巧方便、从桌面型到笔记本型，当然其速度、容量和功能也在不断发展，而介乎两者之间的中小型机则在不断提升其功能。其划分标志也在不断变化。今天的小型机其功能已远远超过初期的大型机了。

计算机的用途除了开始时的数值计算功能越来越强外，还逐渐发展了数据处理和控制管理。现在后两点的使用范围已经丝毫不亚于计算功能。例如文字处理、报表处理已广泛在办公自动化中应用。而控制功能则广泛应用于生产自动化中，并且已经渗透到各种机械装置和家用设备中。现代汽车、机床、音响设备、家电等等都已大量采用微处理器控制（这还未包括在上述各类计算机中）。信息技术也就是这样才渗透到各行各业中，到社会的各个角落。

当前计算机发展方向大体如下：

（1）大型机的发展已从单纯靠元器件提高速度缩小体积，发展到同时改变设计思路、方法，改变机器内部结构。现在一致公认，多处理器并行处理是大型机的发展方向。这样对单个处理器的速度要求可以不再提高。当然并行处理有复杂的结构和连接接口问题并会有一定损耗，要从设计技术上来解决。目前已做出有上千个处理器并行工作的计算机，其速度达到数千亿次/秒。近年内预期可研制出万亿次/秒 MPP 机。

（2）微机在发达国家中已大量进入家庭。如美国 100 户家庭中已有微机 30—40 台，但离完全普及还有距离。其它国家、发展中国家当然还会有相当时日。微机的发展也有两种趋向，一是充分发挥技术优势增强微机功能使其用途更为广泛。另一种认为家庭中使用的微机不能太复杂、应简化其功能，降低价格，以较快的速度广泛进入家庭。看来两种意见各有道理，可能会同时发展。近年有些公司提出网络计算机的设想，即把微机本身大大简化，大量的功能通过网络来提供，这样可降低本身造价，这与前述趋向有所不同，至今也还有争议。

（3）随着计算机数量越来越大，及微机广泛应用，网络化是个大趋势。一种是专业管理网络。国家的管理部门或者大企业集团有大量的机构要连成一体。如美国的 NASA 有上万台计算机联成网络。当然一个单位一幢大楼内的局域网就更多了。另一种是社会公用网络把各个计算机或计算机网连接起来达到资源共享。（包括存储的信息资源和计算机的运算功能资源、软件资源），这方面最典型的的就是 Internet 网，目前已有几万个网、几千万用户与之相连接。

（4）软件早已成为一个独立的产业。其产值已超过硬件。首先是语言从

最初枯燥无味的机器语言发展为高级语言并且越来越向人类自然语言靠近。软件系统中由于联网兼容的需要基础软件越来越标准化。目前微软公司的视窗软件（Windows）系列的地位愈显突出。至于应用软件则随着应用领域的不断扩展。呈现琳琅满目，一派繁荣景象。从事开发的人员、机构越来越多。例如各行各业的 CAD 软件就非常繁多、数量难以说清。

（5）人机界面越来越友好。所谓友好，就是使用越来越方便。相当时期内计算机由于使用的复杂性只能由专业人员来操作，这就大大影响了其普及程度。随着办公自动化的发展一般白领人员都要直接操作，因此使用方便是个关键问题。目前从键盘输入到鼠标到触摸式、书写式的发展，从依次查询到菜单式到多层菜单的查询都已大大简化了使用程序。对于家用计算机，这一点尤为重要。

2. 通信技术

1837 年莫尔斯发明电报标志着现代电信的开始，一个半世纪以来，电信有了极大的发展。到本世纪 80 年代世界自动电话网形成，标志着发达国家中基础电信的大体完成，其发展方向主要是：

（1）从单向延迟的文字传递的电报到双向实时语言交流的电话。1876 年贝尔发明电话后电话很快占了优势，相当一段时间内电话与电报并存，直到本世纪下半期，电报逐渐消亡。

（2）本世纪上半期，在发达国家电话逐渐普及，目前美国和北欧国家电话机普及率已接近百分之百，主线普及率也达 60%-70% 以上，一个家庭一部以上电话机已很普遍。

（3）本世纪上半期，本地电话逐渐由人工变为自动，下半期长途电话逐渐转向自动，到 70 年代末 80 年代初，形成了全球自动电话网。

（4）随着电话容量的增长。传输技术不断发展，传输媒介由架空明线、对称电缆、同轴电缆发展到光纤光缆，一对线上传输容量已从明线的几个、十几个话路发展到上万路（同轴电缆、光纤）以至十万个话路（光纤）。同时无线传输由短波发展到超短波到微波。微波通信方式有地面微波接力和卫星通信两种方式，一个波道容量也已达几千路。但是我们接到用户话机的用户线却一直是对称铜线，尽管线型有些变化，绝缘材料由纸变成塑料，曾用过加感，后又去感等变化，但对称铜线的本质却没有变。

（5）电话一发展就需要交换，交换技术从人工磁石式到人工共电式。本世纪初出现了机电式自动交换机，漫长几十年中，纵横制交换机已发展到完善。随着计算机的出现，用程序控制的纵横制交换机在 60-70 年代曾在一些国家得到较大量使用。纵横制交换机的容量也从几千门、上万门，直到几万门。现在不少发达国家仍使用着部分纵横交换机。到 70 年代出现了数字式程控交换机、体现了速度快、容量大、功能强、体积小的优越性。近 20 年中数字程控机已占了绝对优势。

（6）电话发展的同时，电报、传真、数据等通信手段也在同时发展，电报由单向公众电报发展为交互式拨号交换的用户电报。目前发达国家已经没有公众电报业务，用户电报也逐渐被数据通信替代，规模不断下降。传真也从公众传真向用户传真发展。数据通信主要是计算机之间的通信，其速率在不断提高，方式在不断更新。经历了从电话网上拨号，专用数据线到公用分组交换再到帧中继交换的过程。目前根据数据量和速率的要求各种方式均有应用范围。传送活动图像的可视电话、电视会议也有了一定的发展。到目前，

这些通信的物理传输网基本上是与电话网共用的。

(7) 广播技术的发展一是频段扩展, 声音广播。由短波向超短波立体声发展, 电视由 VHF 向 UHF 发展, 以扩大容量、提高质量; 二是增大发射功率、提高接收机灵敏度以扩展播送范围, 三是采用卫星已从根本上解决覆盖面的问题。至于台站之间的中继则是采用常规通信手段, 如微波、光纤, 以至卫星通信。

截至 1996 年 5 月, 全世界电话主线约 7 亿线, 电话机约有 10 亿部, 移动电话机超过 1 亿部, 这些通信设施中大部分集中在发达国家, 广大发展中国家只占了很小的比例, 全世界有一半以上的人还从来没有用过电话, 最不发达国家中有些电话普及率低于 0.1%, 呈现出极大的不平衡性。

当前通信技术仍在快速发展, 其主要趋势如下:

1) 传输在向高速大容量长距离发展, 光纤传输速率越来越高, 波长从 $1.3\mu\text{m}$ 发展到 $1.55\mu\text{m}$ 并已大量采用。一个波长段上用多个信道的波分复用技术已进入实用阶段; 光放大器代替光电转换中继器已经实用; 相干光通信, 光孤子通信已取得重大进展。这将使无中继距离延长到几百甚至几千公里。无线传输包括微波接力和卫星通信已由 4/6GHz 的 C 频段发展到 11/14GHz 的 Ku 频段, 并且向 20/30GHz 的 Ka 频段甚至更高发展, 不但扩充了可用频段, 并且大大增加了容量。传输复用采用同步数字系列 SDH 使各国复用系列得到统一, 上下电路更为灵活, 同时采用数字交叉连接设备 DXC 使传输网上具有电路群交换功能, 大大便利了组网, 并提高了网的效率和可靠性。

2) 交换技术发展趋势: 一个是增大单个交换机的容量, 目前技术上已达到几十万线; 二是实行分散化和采用模块技术, 使之更接近用户以缩短用户线。模块的功能也在不断提高。从技术上来看更多采用计算机技术, 如总线技术、并行技术等, 使交换机结构上更为合理。另一个趋势是为了适应传递宽带信号的要求发展宽带交换。目前以快速分组交换为原理的异步转移模式 ATM 作为宽带交换技术基础已成为定论。

3) 数据网的速率越来越高, 数字数据专线 DDN 已可达 140Mb/S, 同时随着传输质量的提高、误码率的减少、分组网的规程可以简化, 出现了帧中继方式。另外随着美国的 Internet 计算机通讯网向国际发展, TCP/IP 协议的应用范围越来越广, 各种服务器、路由器也层出不穷, 得到大量应用。

4) 为了克服每种业务(电报、电话、数据、图像)建单独网的缺陷, 更好地满足用户多种业务的需要, 通信网在向综合业务网发展。目前以两个话路带宽加一个信令通道($2B + D$, 144Kb/S 带宽)为单元的窄带综合业务网已在使用, 在发达国家已达到电话用户的 1%-5%。宽带综合网正在大力开发中。

5) 随着通信接续的自动化, 原来由话务员、报务员操作的功能都由用户自己来操作。同时通信的使用越来越复杂, 随着技术的发展通信网可提供更多的功能。因此把由用户来判断、操作的相当部分功能交还给网络来进行, 使通信网具有人工智能就是一个方向。目前已有一批智能业务, 使用最广泛的如被叫集中付费、转移呼叫、电话卡、语音信箱等业务, 目前主要解决用户付费方便和被叫用户选择接收时间、地点等问题。随着需求和技术的发展, 还将有更多的智能业务被开发。

6) 随着人的流动性增加, 移动通信使用越来越广泛, 技术发展也非常快。从无绳电话、寻呼到蜂窝式移动电话。现在蜂窝式移动电话正在实现从模拟

向数字的发展。下一步发展目标是实现个人化，即一个人在任何地方均可以用同一号码实现主叫和被叫通信，这样号码就不是分配给固定地点的固定终端，而是分配给特定的人。为了实现更大覆盖，除了地面手段外，卫星移动通信正在取得进展。在业务上除了电话外、移动数据也在发展。

7) 由于综合业务尤其是宽带业务的发展，用户接入就成为突出的问题，概念上已从用户线发展为接入网。目前已有采用原电话对称铜线提高使用频率，原电缆电视的同轴与光纤混合，使用全光纤、无线接入等多种方式。这是一个正在蓬勃发展的领域。

3. 信息采集技术和终端

1) 各种测量技术正在现代化。测量的领域非常广，上至天文、气象，下至地质勘探，中间地面上各种地形地物定位、各种信号测定等本质上都是获取、采集信息。测量方法除了直接机械测量外，基本上是声（机械波）、电（电磁波）、光信号，随着技术发展，直接采样的传感器、仪器灵敏度、精确度越来越高，抗干扰能力越来越强，测到的范围越来越宽。从电磁波来说，使用频带也越来越宽。

2)、在通信业务综合化和计算机图像快速发展的同时，信息终端在向多媒体终端发展。多媒体是个含义很广的概念，但体现在终端上就是多媒体终端，在一个终端上可同时完成话音、数据、图形和图像。

3)、终端的另一个趋势是小型化，直至微型化，计算机终端已有手掌型的。计算器已有手表、钢笔型的。至于传感器等则有更小的。目前纳米技术和纳米装置已在逐步走向实用。

4. 基础元器件

1) 集成电路的集成度越来越高，其发展速度大体上是三年增加四倍。随之其加工的线越来越细。目前 0.3—0.5 微米的线条的电路已大量采用。一块电路上可有上亿个晶体管的 0.1-0.2 微米线条电路正在开发中。

2) 随着密度增大，对集成电路的速度要求越来越高，硅电路已不能完全满足要求，新材料如砷化钾集成电路在大力开发并已得到使用。

3) 在通用集成电路发展的同时，面向各种不同用途的专用集成电路也在大量发展，由于集成电路设计的高度计算机化（自动化），即使批量较小，但能达到使用性能的专用集成电路已成为经济上可行，ASIC 技术得到很快发展。

4) 随着光通信大量采用，光电器件有了很快的发展，固体激光器、发光二极管、雪崩二极管等器件性能有了很大提高，随着计算机的研究开发，光电集成以至光集成电路将会很快发展。随着卫星等无线技术发展，固体微波器件也有很大提高。

5. 总体发展趋势

从以上各个方面综合来看，信息技术有一些共同的发展趋势。

1) 高速大容量。速度和容量是紧密联系的，随着要传递和处理的信息量越来越大，高速大容量是必然趋势。因此从器件到系统，从处理、存储到传递，从传输到交换无不向高速大容量的要求发展。

2) 综合集成。社会对信息的多方面需求，要求信息业提供更丰富的产品和服务。因此采集、处理、存储与传递的结合，信息生产与信息使用的结合，各种媒体的结合，各种业务的综合都体现了综合集成的要求。

3) 网络化。通信本身就是网络，其广度和深度在不断发展，计算机也越

来越网络化。各个使用终端或使用者都被组织到统一的网络中，国际电联的口号“一个世界，一个网络”。虽然绝对了一些，但其方向是正确的。

4)智能化。信息技术本来就是减轻或替代人脑的劳动的，随着社会进步，已从替代人脑的简单劳动（如四则运算）逐渐向复杂劳动（分析、判断、处理等）发展，技术上说无论是计算机还是通信都在逐渐智能化。

5)上述各种技术趋势发展必须要有经济上、管理上的相应变化。因此各国在信息政策、法规等方面都在作出各种变化，例如引入竞争、取消限制等。但同时又在加强立法、严格管理，防止信息犯罪、信息渗透和信息腐蚀等负面作用。

四、信息产业

1. 信息产业的规模

1) 信息产业的内容

信息产业从性质上大体可分为装备制造业和信息服务业。其中，装备制造业主要涉及：计算机（硬件、软件），通信设备（包括传输设备、交换设备、网络设备等），终端设备（包括信息采集、提供设备如传感器、计算机终端显示、通信终端），娱乐设备（也称消费类产品，包括收音机、电视机、摄录放机等）。

信息服务业涉及：通信业，包括传统通信、电话、电报、传真、数据、邮政和增值通信；计算机应用和咨询业，包括信息提供、数据库、计算机组网；传播业，包括报刊、广播、电视；娱乐业，包括电影、广播、电视、电子游戏（用同样的手段、仅内容不同，一为传播，一为娱乐）。

本文把信息产业从内容上分为通信服务业、设备制造业（含计算机软件和服务）、娱乐传播和新兴产业。

2) 信息产业规模和比例

进入 90 年代以来，全球信息产业发展迅速，信息产业的增长率几乎是其他经济的 2 倍。ITU 在《1995 年世界电信发展报告》中估计，全球信息产业的规模 1994 年已经达到 14250 亿美元，相当于全世界国民生产总值的 5.9%。这里信息产业包括：电信服务和设备；计算机软件、服务和设备；声音与电视广播和设备；声像娱乐。

信息产业对于经济的影响是难以计量的，从全球来看信息产品和信息服务的贸易正逐年扩大，信息产业对于全球经济的贡献也越来越大。以美国为例，1994 年信息产业总收入约为 8060 亿美元，占 GDP 的 12%，其中：

通信为 2572 亿	占 32%
计算机为 1670 亿	占 20.7%
印刷出版为 1770 亿	占 22%
信息服务为 1359 亿	占 16.9%
娱乐（含 CATV）为 625 亿	占 7.8%
在通信中 服务为 1930 亿	占 75%
设备（含雷达导航）642 亿	占 25%
计算机中 设备为 660 亿	占 40%
软件与系统集成 1010 亿	占 60%

欧共体 18 国 1993 年数据共为 4140 亿（欧洲货币单位）

其中通信 33%、计算机 26%、出版 22%、家电 5%、声像服务 10%

通信中业务占 82%

设备占 18%

计算机中设备占 42%

软件服务占 58%

由上可见，在整个信息产业中，根据 ITU 统计通信占 46%，美国和欧盟约占 1/3，而根据 ITU 的统计，计算机占信息产业的 33%，美国和欧盟占 1/4 到 1/5。造成这种统计结果的原因主要是由于统计方法的不同，即 ITU 在统计中来包括印刷和出版业，而美国和欧盟在统计中则包括了印刷和出版业。另外，考虑到近几年来通信发展速度高于计算机发展速度，两者间的比例在一定时期内不会逆转。无论在通信中还是计算机中业务服务均大于设备制造，通信中业务约占 80%（美国为 75%，但考虑到信息服务有一部分为增值通信业务，故大体也在 80%甚至要多些），计算机中软件和服务约占 60%。

另外有一种说法是美国从事信息产业的人数已占整个社会就业人数的一半以上，对此种说法要进行分析。由于信息技术对各产业的渗透，其它产业中从事信息的人员已占相当大的比重。例如现代化的冶金企业中计算机控制人员可能比炉前工要多。金融系统中多数人从事的实质上是信息工作。宏观上来说现代社会中白领人员基本上从事信息工作。因此上述说法实际上就是白领人员已超过蓝领人员的另一种反映。

2. 通信服务

进入 90 年代以来，世界电信业始终保持不衰势头，无论从总产值还是从增长率来看，电信业都是世界上发展最快的产业之一。1995 年岁末，欧洲视听和电信研究所（IDATE）同《Re-seaux & Telecoms》杂志联合推出了一年一度的全球电信 100 强排行榜，表 1、表 2、表 3 分别表示了世界前 20 名电信运营公司、电信设备制造厂商和计算机网络公司的排行榜。

近年来，尽管电信服务领域竞争加剧，费率下滑，但世界电信业整体上依然保持较高的利润。当前，全球电信业务（通信服务）市场的发展主要呈现以下特点：一是自由化，即开放市场；二是私有化；三是国际化。市场开放主要涉及欧洲的一些国家和大量的发展中国家，他们市场的开放有力地促进了全世界电信业务的繁荣。而私有化只产生有限的影响，对电信业务的发展所起的作用也不明显；虽然私有化可提高劳动生产率，但它却伴随着诸如大量裁员等这样的痛苦改革过程。国际化主要是指世界上一些大公司为应付国际竞争而进行的战略联盟，如以 AT&T 为首的 World Partners 集团、MCI 和 BT 结成的 Concert 集团和 Phoenix 集团等。

表 1 1994 年世界前 20 名电信运营公司经营状况一览表

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
1	NTT	日本	71183	71183	100	768	/
2	AT & T	美国	50160	75094	66.8	4710	304500
3	德国电信	德国	37708	37708	100	794	225000
4	法国电信	法国	25682	25682	100	1785	167882
5	英国电信	英国	21607	21607	100	4188	137500
6	意大利电信	意大利	18048	18048	100	899	96705
7	南贝尔	美国	16845	16845	100	2160	92121
8	GTE	美国	15905	19944	79.7	2451	111000
9	大西洋贝尔	美国	13791	13791	100	-755	72300
10	MCI	美国	13338	13338	100	795	40667
11	Nynex	美国	13307	13307	100	793	70600
12	Sprint	美国	12662	12662	100	891	51600
13	Ameritech	美国	12569	12569	100	-1064	63594
14	Telefonica	西班牙	11768	11768	100	841	72207
15	SBC 通信公司	美国	11619	11619	100	1649	58800
16	USWest	美国	10953	10953	100	1426	61505
17	Telebras	巴西	10038	10038	100	660	95600
18	Telstra	澳大利亚	9254	9254	100	1177	/
19	PacificTelesis	美国	9235	9235	100	1159	51590
20	Telmex	墨西哥	7806	7806	100	2856	48810

注：中国邮电部列第 25 位

这里还要特别指出，电信业务市场的自由化和私有化本质上不是一回事，但是实际上这两方面又是结合在一起进行的。过去，世界上大多数国家的电信运营公司是国家拥有，市场是垄断经营；随着市场开放，一些私营企业参与了电信业务经营，同时外资的进入，使一些国家国有的电信运营公司股份化，这种变化在各国产生了两方面的影响：正面的影响是随着自由化和私有化的进程，各电信公司可不断提高效率、提高服务质量、降低成本，同时外资的引入也可加快基础设施建设的速度。但这也带来一些问题，如一些发展中国家逐渐丧失了对电信经营公司的控制，重复建设，浪费资源，大量裁员等。在这个过程中，尽管发展中国家也在不断地相互渗透，但更主要的是发达国家向发展中国家渗透。这些发达国家一方面要获取最大利润，更主要的是他们想通过这种办法逐步达到控制发展中国家电信业的目的。目前许多发展中国家已认清了形势，拒绝放弃主权，这就是到目前上述国际联盟还没有真正发挥作用的原因。

从地域上来看，北美地区无论公司数还是总产值都在电信运营公司的前 20 名中（前 50 名也是如此）占有最大比重，但除长途电信公司外，本地电信公司的发展速度大都明显放慢（其中赢利较好的子公司，如移动电话和有线电视，纷纷脱离母公司是一个重要原因）；欧洲电信业务市场由于受到一批正推动电信现代化进程的国家的带动，情况一直较好；而亚太和拉美地区近几年一直是发展最快、最繁荣、最被电信界看好的市场，特别是中国其电

信产值的增长速度始终在世界前列（1995 年，中国电信网络的规模已列世界第三位，收入进入世界前 20 位）。

3. 设备制造业

尽管电信设备制造市场的平均利润水平逐年降低，但近年来电信设备制造公司的产值增长率一直高于电信运营公司的产值增长率。一些名牌大公司仍在这个市场中占据主导地位。见表 2。

从世界前 20 名的电信设备制造厂商的数量和产值来看，欧、美几乎旗鼓相当，但由于美国在移动通信和网络产品方面的优势（这两方面是目前全球通信业发展最快的两个领域），美国公司的发展势头会好于欧洲。其它地区，如亚洲由于公司实力弱小主要是面向内部市场；虽然日本的电信设备制造公司的终端出口量很大，但由于标准等原因，其基础设施的出口仍受到极大限制。

然而，亚洲作为潜在的电信消费市场，容量却是巨大的，仅中国在本世纪末的未来几年内，就有超过 6000 万线的交换机需求量；其他如印度、印尼、巴基斯坦、马来西亚、泰国、越南等国也都有使网络现代化的意愿。因此，世界上众多厂商纷纷涌向亚洲，而且围绕技术选择彼此之间不断地进行着激烈的角逐。

表 2 1994 年世界前 20 名电信设备制造厂商经营状况一览表

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
1	AT & T	美国	15234	75094	20.3	4710	304500
2	Motorola	美国	14980	22245	67.3	1560	132000
3	阿尔卡特	法国	14037	30195	46.5	652	197000
4	西门子	德国	11707	52124	22.5	1228	382000
5	NEC	日本	10337	37933	27.2	355	151069
6	爱立信	瑞典	10139	10699	94.8	512	76144
7	北方电讯	加拿大	8874	8874	100	408	57054
8	IBM	美国	5500	64052	8.6	3021	219839
9	富士通	日本	5039	32784	15.4	453	164364
10	GTE	美国	4039	19944	20.3	2451	111000
11	Bosch	德国	3412	21243	16.1	315	153794
12	诺基亚	芬兰	3371	5777	58.3	700	28000
13	松下	日本	2350	69924	3.4	911	265397
14	三星电子	韩国	2251	14064	16.0	1176	/

名次	公司	国家	电信产值 (百万美元)	总产值 (百万美元)	电信产值/ 总产值(%)	纯收入 (百万美元)	员工 人数
15	飞利浦	荷兰	2033	33504	6.1	1168	253032
16	Novell	美国	1998	1998	100	207	8457
17	东芝	日本	1860	48213	3.9	450	190000
18	OKI	日本	1736	6612	26.3	325	/
19	通用仪表	美国	1720	2036	84.5	247	/
20	GEC	英国	1697	16065	10.6	877	82251

设备制造业的另一大类就是计算机制造业，计算机产业包括硬件（网络和终端等）和软件。表 3 是 ITU 1995 年底公布的 1994 年世界 20 大计算机公司的排行榜。

随着计算机产业的飞速发展，国际计算机市场也空前活跃，竞争异常激烈。为了在市场中站稳脚跟，世界各大计算机厂商在计算机零部件、计算机整机的销售、服务等各个方面都展开了全力角逐，力图缩小厂商与用户需求之间的差距，以获得更大利益。

在计算机运算速度越来越快、容量越来越大、体积越来越小的今天，各厂商都在积极推出功能更加强大、可靠性更高的计算机产品。如主要用于金融业的大规模容错计算机，多功能、多媒体微机。此外，为更好地满足用户的需要，方便用户使用，各厂商还在计算机上增加了各种附加功能，如用电视接收卡提供看电视和看录像的功能；用传真卡提供收发传真和数据通信的功能；用防病毒卡增加了抗病毒的功能；用视频解压缩卡增加了卡拉 OK 及播放 VCD 的功能；用声卡、音箱和话筒增加了音效功能；此外各种随机软件的出现也丰富了计算机应用的内容。

表 3 1994 年世界前 20 名计算机网络厂商经营状况一览表

名次	公司	国家	网络总产值 (百万美元)	增长率 (%)	计算机网络产值 /总产值(%)	公司纯收入 (百万美元)	员工人数 (千)
1	IBM	美国	64052	2.1	100	3021	220
2	HP	美国	25350	22.0	100	1599	98
3	富士通	日本	20943	-14.6	68	369	164
4	NEC	日本	17430	-0.4	50	246	148
5	DEC	美国	13451	-6.4	100	2156	78
6	日立	日本	13150	7.1	18	1115	332
7	Compaq	美国	10866	51.1	100	867	14
8	Apple	美国	9189	15.2	100	310	11
9	Canon	日本	9099	8.3	48	304	67
10	东芝	日本	8600	9.2	18	437	190
11	Unisys	美国	7400	-4.4	100	101	46
12	西门子	德国	7191	-2.1	13	1228	382
13	AT & T	美国	7026	15.0	9	4710	305
14	EDS	美国	6413	23.7	64	822	8
15	松下	日本	5832	-6.1	9	240	254
16	Olivetti	意大利	5629	5.4	100	421	34
17	Bull	法国	5388	5.9	100	353	28
18	Sun	美国	4690	8.8	100	196	13
19	Microsoft	美国	4649	23.9	100	1146	15
20	NTTData	日本	4455	5.0	100	48	/

随着计算机产业的竞争向更高层次发展,计算机产业本身也逐渐分成“三个产业”。“第一产业”是指以制造业为核心,包括计算机零部件、网络产品、整机制造厂商以及相应的销售商。这部分厂商主要围绕计算机硬件提供产品。“第二产业”是指与软件相关的部分,包括软件制造商、软件销售商、信息制造商和出版商,他们主要围绕计算机软件和信息提供产品。“第三产业”是指本身虽不生产任何计算机软硬件产品,但他们却是保证计算机充分发挥作用的行业,它们主要包括一些提供技术咨询和方案咨询的公司以及提供网络设计建设和维修服务、信息服务的公司。未来,随着计算机的普及,咨询和服务将是特别有前途的行业。

这里还要指出,由于历史的原因,现在一些大的跨国公司已集服务、制造(硬件、软件、咨询)于一身,同时加紧向发展中国家进行渗透,以获取更大利润。

4. 娱乐、传播业

当今社会,信息已经深入到人们生活和工作的每一个角落。今后的信息社会的发展趋势是计算机技术、通信技术和消费产品技术相互融合,形成所谓的 3C(Computer、Communication 和 Consumer)局面,目前国外一些新的词汇,如 Teleputer(电视计算机)、Comvision(计算机电视)等的出现已预示这种融合时代将要到来。因此,娱乐、传播业(包括视像、家电、电子出版等)已经成为信息产业的一个重要组成部分。国际电联(ITU-T)在

其《1995 年世界电信发展报告》一书中，也将广播、电视单独列出叙述。表 4 表示了一些国家娱乐、传播业的发展情况。表 5 是 ITU1995 年的统计。

表 4 1995 年几个主要发达国家家庭信息电子装置的普及率

国家	家庭总数 (百万户)	普 及 率 (%)			
		PC 机	有线电视	卫星接收装置	游戏机
美国	97	35	65	4	42
德国	26	17	51	19	9
英国	22	17	4	11	19
法国	22	12	9	2	20

表 5 1995 年 ITU 统计资料

地区	电视 (千台)	家庭拥有比 (%)	家用卫星天线 (千个)	家庭拥有比 (%)	CATV	家庭拥有比 (%)
全球	1205429	21.7	36835	6.0	172972	23.6
非洲	26024	4.0	31.5	0.1	304	/
美洲	320226	42.3	4123.2	3.8	76516	42.2
亚洲	540614	16.3	9879.5	2.8	57208	14.8
欧洲	307114	38.9	22800.7	14.8	38936	24.7
大洋洲	11372	40.9	0.1	0.2	7	/

5. 新兴产业

随着信息产业的飞速发展，一些新兴产业如雨后春笋般蓬勃发展起来，特别是信息服务、信息咨询业发展。信息服务咨询业是近年来国际上新兴的产业，并已逐渐发展成为一个国际化的独立行业，有人称之为第四产业。它不仅在本国的经济发展中起着日益重要的作用，而且在国际经济与贸易中也逐渐成为不可缺少的一个方面。现在，据称国际信息服务咨询市场的年营业额已达百亿美元数量级，且正以每年 25%—30% 的增长速度发展，专家预计，未来的 10—15 年内，世界上一些最主要的咨询公司的力量和影响将大幅度增长，信息咨询公司的革新能力、创造精神以及认识问题和解决问题的能力将会在世界经济市场竞争中起着越来越重要的作用。

总之，全球信息产业的发展非常迅速，国际化的趋势日趋明显，特别是在制造业中（因服务领域大多要涉及主权问题）。发达国家正在想方设法利用发展中国家的廉价劳动力资源，以达到降低成本，提高竞争能力的目的。对这一点我们有一个清醒的认识。

五、中国情况

历史上来看，旧中国经济技术十分落后，信息业当然也不例外。建国以前，计算机当时还没有，通信也十分落后。1949 年全国电话机只有 26 万部，绝大多数是人工的。信息制造业基本上没有，仅有可怜的设备也绝大部分是洋货，建国后很快建立起来了自己的信息和电子工业，开发制造了大量信息通信设备。发展了通信业，建立并逐步充实了全国通信网。改革开放以来，信息技术和信息产业更是得到飞速发展。

1. 通信

从建国到改革开放之初，近 30 年时间，我国建立起了一个全国电话网，到 1978 年全国有电话话机 368 万部，长途电路 1.9 万路。与建国时比分别增长了 14 倍和 6.6 倍。由于建国后实行计划经济体制、经济发展对通信要求不迫切，当时的通信网主要是为党政军指挥系统服务的，因此电话普及率低（为每百人 0.37 部），发展速度滞后于国民经济。从技术水平上看，当时大城市市内电话是机电式自动的，主要是步进制，部分中等城市、小城市和农村大量还是人工的。传输全国以明线为主，少量干线路由上有同轴电缆和对称电缆。全国建了一个省以上微波网，只传电视不传电话。同时建立了全国电报网。

改革开放十多年来，由于向市场经济转制，对信息需求急速增长，也由于各级政府政策上的支持，使通信业能按经济规律运行。同时对外开放又有可能引进国外先进技术。通信得到了空前的发展。到 1996 年 8 月，全国局用电话交换机的总容量已达 8080 万门，用户电话交换机容量达 1473 万门，电话机总数达到 6320 万部，长途电话电路达 90 万路；电话机普及率达到 5.47%，主线普及率为 3.9%，电话网的规模在世界上为第 3 位。“八五”期间电信年均增长率为 50% 左右。

电话网的技术水平有了质的提高，全国绝大部分的市内电话已是自动。包括农村在内，全国本地电话交换机中近 99% 为自动，其中 98% 为数字程控交换机，“八五”期间全国建了数万公里长的 22 条干线光缆，通达除拉萨外的所有省会城市和大多数地区所在地。微波和卫星通信也有了很大的发展。

在电话网大发展的同时，其它电信业务有了更大的发展，截至 1996 年 8 月，无线寻呼用户达到了近 2500 万户，蜂窝移动通信 1986 年开始使用以来每年翻一番以上，已达 560 多万用户，其中数字蜂窝移动用户为 89 万。数据通信开通了全国分组交换网，数字数据网（用户数分别达到 4.7 万户和 3.6 万户）；全国性电视电话会议已于 1994 年开通；电子信箱、可视图文、电子数据交换、传真存储转发、Internet 接入服务等增值业务均有所发展；用户传真发展也很快；只有公众电报业务已大量被电话和数据所代替，呈现不断下降趋势。

通信设备也有了很大发展，80 年代大量引进了国外先进的程控交换和传输设备。90 年代以来我国已有自行开发研制的 4 种大型程控交换机在网上应用，加上引进生产线中已掌握了大部分技术的 S—1240 型，已在网上占了优势。传输设备中我们自己研制开发了从 2、8、34、140、565Mb/s 的 PDH 数字光纤系列，并已在网上大量使用。最近已自行研制了发达国家也是近年才开始使用的 622Mb/s。SDH 全套数字光纤设备并已上线路试用。在数据通信等方面也已开发了一系列设备。

网络的建设和运行技术也有了很大提高，包括组网技术、网管技术、自动监控和维护技术、工程设计技术、施工技术 etc。

2. 计算机

建国后我国 1958 年设计制造出第一台 103/104 型计算机。当时处于国际上中等水平，比日本先进，由于基础元器件水平跟不上，也由于国民经济发展对信息要求不高，我国计算机主要用于国防技术和某些自然科学研究中，与经济和社会发展有一定距离。因此相当长时期内发展速度不快，到改革开放之初我国自行研制 103/104 等小型机和其它机型，共生产了数千台。

改革开放以来，计算机的发展速度加快。1983 年我国研制了银河 I 型亿次机，标志我国的计算机业迈入了巨型机的行列。后来经过努力，又于 1992 年研制了 10 亿次银河 II 型机，与之同时曙光机也在 1993 年研制成功，1995 年又研制成了曙光 1000 型并行处理机，运行速度可达到 25 亿次/秒。

在微型机方面，在 1984 年我国研制了与 IBM PC/XT 兼容的长城 0520B 型机，于 1986 年又研制了与 PC/AT 兼容的长城 0520 系列型机。由于进口微型机的冲击，后来大量是从国外购买散件组装的机器。但近年来，在汉化方面根据我国特有的优势，联想集团开发了系列机和汉卡，在国内市场上占有一定的地位，并已出口到不少使用汉字的国家。

1993 年我国生产计算机共计是大中型机 4 台，小型机和工作站 1210 台，微机约 64 万台，其中 46 万台为学习和游戏机，占 72%。

软件方面在通用基础软件领域，世界上已有几大系列，我国难以与之抗衡。在应用软件中，我国科技人员在各自领域中做了大量工作，取得了一定成就。如各行各业的 CAD 都有相当成果，但总的来看比较分散，没有形成力量。因此至今软件并未形成规模产业。

在汉字输入方面，已有几百种方案，真正得到应用的并不多。矛盾在于速度和普及。不需要大量记忆，一般人都能使用的方法速度都较慢；速度快的需要有熟练的操作水平，基本上由专门人员使用。这也大大影响了我国计算机的普及和信息化的进程。

3. 基础元器件和其它

我国在 1956 年做出了第一个晶体三级管，在 1965 年做出了第一块集成电路，但由于各方面的原因，发展速度不快。改革开放以来通过引进国外设备和技术，我国科技人员经过努力，目前 $3\mu\text{m}$ 线条已可批量生产， $1-2\mu\text{m}$ 的有试验线。在材料、生产设备、封装等方面都与国际先进水平有相当差距。近年来我国在集成电路设计水平上有较大提高，也引进了不少先进的设计工具，因此 ASIC 有相当发展。

在终端设备方面，一些较简单的终端如电话机等发展很快，不但占领了国内市场并已打到国际上，占领了一定的市场比例。较高级的终端设备则受集成电路限制较大，基本上是进口或组装。

在娱乐设备方面，我国引进了大量的录音机和电视机生产线，经过十多年的发展目前产量已占世界前列，质量提高也很快，录像机及高级音响设备还处于进口器件组装阶段，至于广播电视发射设备水平较高的还是依靠进口。

4. 今后发展

通信领域已有明确规划，到本世纪末，全国电话达到 1 亿部以上，城市中达到平均每户一部，电话普及率为 30%—40%。到下世纪 20—30 年代达到全国平均每户一部电话，即全国普及率为 30%—40%。届时我国将建成世界上最大的电话网。网络的技术层次也将相应提高，将成为能传递多种业务的具有智能的网络。高速宽带大容量的各种传输和交换技术将得到广泛应用。有线和无线技术将相互结合，固定和移动通信将构成一体。

在语音、数据、图像业务的基础上，各种增值业务将得到大发展。其中相当部分将带有智能性，信息传递将和信息采集处理、信息使用更紧密地综合起来。

我国计算机的发展在继续开发各种规模的机型硬件的同时将充分发挥我

国优势，大力发展软件逐步形成产业。在应用软件和系统集成方面可能达到相当的规模。在计算机网络产品方面将从引进到逐步自行开发，并占有一定市场比例。计算机将渗透到各行各业，计算机应用日益广泛，并逐步进入家庭。

在正确决策下，集成电路将会有较大突破，建立起自己的集成电路产业，并在国际竞争中站稳脚跟，逐步发展。各种娱乐型系统和终端将很快增长。

5. 当前存在问题

1) 集成电路制约了信息产业各部分的发展，不得不大量依靠从国外引进整机或主要元器件组装，难以形成独立制造业。

2) 信息应用服务业仍处在传统阶段，信息技术向传统行业渗透还受到各种条件的制约，包括观念上的陈旧，人员素质上的不适应和一些已形成的利益格局的限制。

3) 信息业各个领域之间的综合还未真正提上日程，部门管理的限制也是个重要的因素。

4) 人才的缺乏，尤其是通信和计算机复合人才，计算机和应用（熟悉各个产业领域业务）的复合人才。

6. 应采取的措施

1) 要提高全社会首先是政府官员和企业经营者的认识，对信息的作用要有个正确的理解。下决心改变现有的一些制约因素。

2) 要建立和完善法制，包括法规和理顺管理体制。

3) 要有鼓励发展，特别是鼓励各个环节结合的政策。

4) 要研制制定集成电路和计算机的发展策略，采取战略性措施集中力量搞上去。

5) 要培养人才，尤其是复合型人才，在学校培养同时，更要强调在实践中锻炼。

6) 要全面看问题，看到信息犯罪、信息污染、信息侵略等方面问题，采取措施防止和尽量减少负面作用。