

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（理论、现状及发展）

百名院士科技  
系列报告集  
（上）  
（05）

上海市黄浦区教育信息中心

# 稀土发现 200 年与 2000 年稀土发展展望

王淀佐

中国有色金属总公司北京有色金属研究总院

王淀佐 矿物加工与冶金专家。1934 年 3 月 23 日出生于辽宁省锦县。1961 年毕业于中南工业大学。历任中南工业大学校长，北京有色金属研究总院院长、教授。兼任中国有色金属学会副理事长等职。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员），1994 年当选为中国工程院院士。主要从事在浮选理论和浮选药剂等领域中应用有机结构和表面化学等方面的研究。

稀土的发现与应用，至今已届 200 年，经历了初级应用到高科技应用阶段，发挥了重要作用。我国稀土资源丰富，稀土科技有相当基础。展望下世界，稀土应用潜力极大，必将产生巨大作用 and 经济效益。

## 一、稀土在高技术领域中的应用

### 1. 磁性材料

#### （1）稀土永磁材料

稀土永磁材料是本世纪 60 年代发展迅速的新型功能材料。60 年代开发出了第一代稀土永磁材料  $\text{SmCO}_5$ ，70 年代出现第二代永磁体  $\text{Sm}_2\text{CO}_{17}$ ，至 80 年代初又发现了第三代稀土永磁材料  $\text{NdFeB}$ 。由于钕原料相对较丰富，磁体中不含昂贵而稀少的战略物资 Co 及具有更强的磁性， $\text{NdFeB}$  永磁体的出现大大加速了稀土永磁材料的发展，预计到 2004 年世界  $\text{NdFeB}$  用量将达到 20000 吨（表 1）。

表 1 世界钕铁硼永磁材料产量（吨）

年份	1989	1994	1999	2004 <sup>*</sup>
年产量 <sup>*</sup>	2000	4000	10000	20000

<sup>\*</sup>钕铁硼永磁体包括烧结、粘接各向同性、粘结各向异性

我国在稀土永磁材料的研究方面成绩卓著。早在 70 年代我国即具备了生产  $\text{SmCO}_5$ 、 $\text{Sm}_2\text{CO}_{17}$ ，型永磁材料的能力，上海跃龙有色金属有限公司利用北京有色金属研究总院的技术形成了年产 30 吨钕钴粉的能力。钕铁硼问世后，我国与国外几乎同步开发了这种新型磁体，至 1994 年已建成钕铁硼磁体生产厂 100 余家，但 90% 的厂年生产能力在 20 吨以下，设备落后，产品质量不能保证。中国科学院三环公司的成立，在永磁材料的开发与生产方面迈出了重要的步伐，取得令人瞩目的进展。

钕铁硼磁体居里温度低，温度稳定性较差；易锈蚀，化学稳定性欠佳，这些都限制了钕铁硼磁体的应用，促使科技界设法寻找新一代的永磁材料。1990 年北京大学用氮气或氮氮化  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$  的方法使氮气以间隔原子的形式进入  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$  的晶格，在世界上首次制成  $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ ，将居里温度提高到 480℃，且成本低于钕铁硼磁体，从而开拓了世界永磁材料研究与开发的新领域，有望成为第四代稀土永磁材料。

#### （2）磁光材料

磁光存储是一种磁的纪录，它通过光加热和施加反磁场在稀土非晶合金的垂直磁化膜上产生磁畴，利用读磁畴进行信息的写入，另一方面利用克尔效应等磁光效应读出。

磁光盘是磁带、磁盘的发展，磁光盘兼有磁盘的可重写性和光盘的大容量、非接触等优点，寿命长、可反复擦写、存储容量大，发展十分迅速。稀土元素铽、镝、钆等与铁、钴的非晶态合金膜是制作磁光盘磁光膜的材料。发达国家在 1988 年将磁光盘推向市场，发货量 500 台，1989 年发货量 5000 台，1990 年激增至 14 万台，预计 1996 年将达 200 万台，磁光盘 1000 万张。预计 2000 年仅日本磁光盘系统市场将达 1 万亿日元。

我国上海冶金所从 1972 年开始先后研究了稀土石榴石单晶薄膜、Gd—Co、Tb—Fe、Gd—Fe 非晶薄膜，于 1985 年制备出我国第一块 5 英寸磁光盘薄膜。1995 年 8 月底国内第一家磁光盘生产企业投产，可年产磁光盘 40 万片。

### (3) 超磁致伸缩材料

所谓磁致伸缩就是在磁化方向上铁磁体伸长或缩短的现象。早在 40 年代，就已发现了磁致伸缩材料，只是这些材料的值都小，仅几十 ppm，难以应用。进入 70 年代，研究发现稀土元素 Pr、Sm、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Y 与 Fe、Co、Ni 的化合物明显显示出比一般材料高得多的磁致伸缩值，有的甚至大 100~1000 倍，故称之为超磁致伸缩材料。

稀土磁致伸缩材料不仅具有高的磁致伸缩值，而且随磁场产生巨大的应力，其典型材料是具有 TbFe<sub>2</sub> 组成的立方晶系化合物。美国和瑞典已开发出实用产品，为 Tb—Dy—Fe 系化合物，它可产生强大的力，而且能在高功率水平下做快速而精确的运动，还能高效地进行磁（电）能机械能转换。

我国对磁致伸缩材料的开发研究才刚刚起步。

### (4) 磁致冷材料

所谓磁致冷即利用磁性体的磁距在无序态（磁熵大）和有序态（磁熵小）之间来回变换的过程中，磁性体放出或吸收热量的冷却方法。

目前用于磁致冷的磁性体主要有钆镓石榴石 Gd<sub>3</sub>Ga<sub>2</sub>O<sub>12</sub> (GGG) 和 Dy<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (DAG) 等，其中 GGG 用得最多。使用 GGG 可制成致冷起始温度 16K、输出功率 1.5J/s、最大液化能力为 2.5 × 10<sup>-3</sup> M<sup>3</sup>/h 的氦液化装置。由于其温度范围小，不能用作冰箱用磁致冷材料。

最近的研究表明，RNi<sub>2</sub> 和 RAl<sub>2</sub> 系有希望成为室温磁致冷材料，Gd<sub>3</sub>Al<sub>2</sub> 居里温度为 300K，表明该材料能在大温度范围使用，用该材料制作的磁致冷器具有冷却效率高、功耗低、无污染、无噪声等特点，有希望取代现有的电冰箱，并已研制出一些样机，其性能已接近实用水平。

由于 2000 年将禁止使用氟利昂制冷剂，因而磁致冷材料具有很大的潜在市场。

## 2. 发光材料

### (1) 荧光材料

#### 1) 彩色电视荧光粉

彩电红色荧光粉属阴极射线荧光粉。1962 年由美国 Sylvania 公司开发。我国从 70 年代末引进国外设备技术，实现了工业化。目前国内外产品水平接近，主要产品为 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S:Eu。由于世界范围内彩电产量趋于饱和，彩电粉的产

量增加幅度不大，年增长率约 3%，年产量约 50 吨。

## 2) 三基色荧光粉

1974 年荷兰飞利浦公司首次开发了稀土激活的铝酸盐体系的三基色荧光粉。

目前我国的红粉和蓝粉与国外水平（日本日立、美国索恩等）接近，但绿粉的亮度一般要偏低 5% ~ 10%。

三基色荧光粉由于光效高（65lm/w），制成的灯比白炽灯（10lm/w）节电 80% 以上。我国 1995 年生产三基色荧光灯近 亿支（表 2），但与白炽灯的年产量（~ 30 亿）相比仍非常小，应大力推广。

表 2 历年三基色荧光粉产量

年份	1986	1989	1991	1993	1994	1995
三基色粉（吨）	2	15	41	50	80	120 ~ 130
三基色灯（万支）	200	1500	3500	4000	7000	~ 10000

## 3) 其它荧光粉

主要有 X - 射线增感屏用荧光粉、投影电视荧光粉、高压汞灯荧光粉、验钞灯用荧光粉、诱蚊（虫）用黑光灯荧光粉、重氮复印荧光粉、长余辉荧光粉、超短余辉荧光粉、高亮度阴极射线荧光粉、计算机终端显示荧光粉、彩色装饰荧光粉等。这些荧光粉国内都进行过研究，少数（如高压汞灯荧光粉、重氮复印荧光粉、验钞用荧光粉）已能批量生产，虽用量不大，但其制成的器件在高技术领域有重要用途。

### （2）金属卤素灯用发光材料

金属卤素灯从本质上讲是添加了金属卤化物的高压汞灯，其发光材料为各种金属卤化物。

稀土金属卤素灯是一种高效节能光源，具有光效高、显色性好等优点（表 3），因而受到人们的广泛重视。近年来，这种灯发展很快，并向小型化方向发展，在发达国家已研制出小功率（最小为 35w）金属卤素灯并已投放市场，用于商场、宾馆及家庭等室内照明。

表 3 几种常见光源性能比较

光源种类	光效（lm/w）	显色指数 Ra
普通白炽灯	13	100
大功率白炽灯	18	100
管形卤钨灯	21	100
高压汞灯	55	40
稀土三基色荧光灯	60 — 80	70 — 90
稀土金属卤素灯	75 — 100	65 — 95

我国自 70 年代中期开始，已完成了灯用稀土金属碘化物和溴化物及相关金属的碘化物、溴化物的制备方法的研制并试生产。产品用于生产和研制镓灯、钪钠灯、各种彩灯及不同波长的紫外灯，北京有色金属研究总院为国内唯一全面研制和生产金属卤素灯用发光材料的单位，其产品纯度为 99.95 ~ 99.999%，基本满足了国内灯厂的需求。此外，还完成了钪钠灯和镓灯两大系列的定组分混合问题，研制出了相应的定组分混合卤化物产品用于生产钪

钠灯和镝灯，提高了灯的寿命，增强了光色的一致性。

目前国内有金属卤素灯生产厂 80 多家，包括从国外引进的 5 条金属卤素灯生产线，年产各种金属卤素灯 200 多万支。预计 3~5 年内我国金属卤素灯的产量将达到 600 万支。此外也开始小型卤素灯的研制工作，开发出了 70w 的小功率金属卤素灯并已供应市场。

国内也有单位开发出了颗粒状卤化物，但产品纯度低、颗粒均匀性一致性差，技术还不过关。目前国内引进的生产线全部从国外进口颗粒状卤化物制灯，而每克颗粒状金属卤化物的价格高达 25~30 美元。因此，金属卤化物的提纯及造粒工艺急待解决。

### (3) 固体激光材料

自 1960 年实现红宝石激光振荡以来，对激光材料进行了积极的研究开发。掺钕钇铝石榴石 (Nd:YAG) 激光器是目前技术上最完善、高性能的固体激光器，在半导体产业方面用作激光加工装置、医疗用手术刀、止血凝固用激光器等。1989 年日本固体激光材料市场约 30 亿日元，且呈稳定增长势头。

我国早在 1965 年就开始了稀土激光晶体的研制工作，用熔体生长法提出 Nd:YAG 晶体，经过 30 年对工艺技术和晶体技术的深入研究，目前已投入批量生产并在吉林设厂生产，部分产品开始进入国际市场。同时，对优质大尺寸 Nd:YAG、多掺杂 YAG、氟化钪钇  $YLiF_2$  以及在国际上受到广泛重视的钆钽石榴石 ( $Gd_3Sc_2Ga_3O_{12}$ , GSGG)、铝酸镁镧等晶体的研制也都全面展开。目前我国正在研制和生产的激光晶体已有 20 余个品种，其中绝大部分都以稀土为主成分（基质）或为激活离子。就研制水平而言，Nd:YAG 晶坯的尺寸已达  $\phi 60 \times 200\text{mm}$ ，制成的板条激光器单条输出为 450w，Nd:YAP 激光器单棒输出达到了 700w 的水平。在研制新的激光晶体方面，如多掺杂 YAG 和 Q 开关色芯 YAG，还显示出中国自己的特色。

### (4) 电致发光材料

外加高电场激发荧光粉发光的现象叫光致发光。

在基质材料 ZnS 或  $PbTiO_3$  中加入各种稀土化合物，于电场作用下会发出各种颜色的光：TbF<sub>3</sub> (绿)、EuF<sub>3</sub> (红)、DyF<sub>3</sub> (黄)、TmF<sub>3</sub> (蓝)、PrF<sub>3</sub> (白)。可以在低压下发光，且调正电压可得到从绿到红的光，耗电少，使用温度范围广 (-40~+700C)，光亮度大。

稀土电致发光材料可用于大面积超薄型显示屏，是一种极有发展前途的功能材料。

### 3. 贮氢材料

1970 年发现  $LaNi_5$  稀土贮氢材料。近年来，以稀土贮氢材料作为阴极活性材料制造 Ni/MH 二次电池的开发引人注目，其问世时间很短，但发展迅速，从 80 年代至今，短短几年，小型圆柱密封 Ni/MH 电池已实现规模生产。由于 Ni/MH 电池与目前广泛使用的 Ni/Cd 电池有互换性，比容量更高，并且没有 Ni/Cd 电池中 Cd 对环境的严重污染问题，以及以 3C (Camcorder 摄录一体机，Computer 计算机，Communication 通讯) 为代表的现代电子设备对大容量充电电池越来越强劲的需求，推动了镍氢电池产业的快速发展。据报导，日本市场对镍氢电池的需求增长，贮氢材料生产公司纷纷增加设备，扩大生产能力，预计 2000 年世界 Ni/MH 电池市场规模为 8.77 亿支 (表 4)，作为关键材料的稀土贮氢材料也会有很大发展。

表 4 世界二次电池需求预测 (单位: 百万支)

年份	合计	镍镉电池	镍氢电池	锂离子电池
1993	882	808 ( 91.6 )	72 ( 8.2 )	1.8 ( 0.2 )
1994	987	775 ( 76.6 )	206 ( 20.8 )	26 ( 2.6 )
1995	1106	719 ( 65.0 )	332 ( 30.0 )	55 ( 5.0 )
1996	1239	706 ( 57.0 )	434 ( 35.0 )	99 ( 8.0 )
1997	1387	694 ( 50.0 )	27 ( 38.0 )	166 ( 12.0 )
1998	1554	684 ( 44.0 )	621 ( 40.0 )	249 ( 16.0 )
1999	1740	679 ( 39.0 )	748 ( 43.0 )	313 ( 18.0 )
2000	1949	663 ( 34.0 )	877 ( 45.0 )	409 ( 21.0 )

自 90 年代以来,我国也广泛开展了 Ni / MH 二次电池用稀土贮氢电极材料的研究开发,取得了不少进展。如用浙江大学开发的富镧混合稀土 ( Mi ) - 镍基多元合金制成的 AA 型 Ni / MH 电池容量达 1000mAh; 用北京有色金属研究总院研制的 Mm / Ni 系合金的 AA 型电池, 容量为 1100mAh, 最高达 1400mAh, 并已开始进入产业化生产; 天津富斯特用南开大学技术组建了镍氢电池有限公司, 生产塑料粘结式贮氢合金电极, 具有贮氢量高 (  $\geq 860\text{mAh/cc}$  )、电催化活性好、在碱性介质中稳定的特点, 适宜于制作各种型号的镍 - 金属氢化物电池的负极, 具有一系列优越性能。

目前国内建成的 Ni / MH 电池生产厂家已达几十家, 生产能力 1 亿安时, 计划到“九五”达到 2 亿安时, 贮氢材料 2000 ~ 3000 吨。我国稀土贮氢电极材料的生产与国外相比还存在着很多的差距, 目前急待解决的问题有:

(1) 生产规模小, 产品一致性均匀性差。生产批量小, 每批稀土贮氢合金间均匀性差, 影响了 Ni / MH 电池的性能和使用寿命, 而日本每批可处理 20 吨混合稀土金属, 一次制成 60 吨稀土贮氢合金粉末, 可供 1000 万支 Ni / MH 电池的生产;

(2) 稀土贮氢合金成分的优化, 确定配比与电池性能间的定量关系。

(3) 开发廉价、有效的表面包覆技术及快速凝固技术, 确定合金制备技术与电极稳定性的定量关系。

与此同时国内还进行了电动汽车用大容量大功率动力电池的研制, 并已开发出了自行车、残疾人三轮车用动力电池, 制出了样车。

#### 4. 催化剂

稀土催化剂除用于传统的石油催化裂化外, 另一引人注目的应用是汽车尾气净化。

汽车尾气中的有害成分主要有一氧化碳 ( CO )、碳氢化合物 ( HC )、氮氧化合物 ( NO<sub>x</sub> )。世界上许多发达国家主要的大气污染源是汽车。目前世界汽车保有量 6 亿辆, 据估算每年将排放 CO 20 亿吨, HC 4 亿吨, NO<sub>x</sub> 2 亿吨。美国大气污染中 CO 的

64.7%, HC 的 45.7%, NO<sub>x</sub> 的 36.6% 来自汽车尾气。安装催化尾气净化装置是降低汽车尾气对环境的污染的有效办法。

美、日是最早开展汽车尾气净化技术的研究的国家, 主要以铂、铑等贵金属作催化剂, 采用电控系统和三元催化装置相结合的办法净化汽车排放的有害气体 CO、HC 和 NO<sub>x</sub>。近年来, 开始研究用稀土氧化物作为添加剂制作三

元催化剂并部分取代贵金属，以提高催化剂的性能、降低成本。目前日本拥有汽车 1 亿辆，1992 年生产汽车尾气催化剂 5080 吨，消耗稀土量 413 吨，预计到 2000 年将达 1900 吨（表 5）。

表 5 日本汽车及尾气净化化剂

年份	1989	1990	1991	1992
汽车产量（万辆）	1302	1349	1324	1234
催化剂发货量（吨）	5518	5687	5273	4898
催化剂发货金额（亿日元）	505 . 59	527 . 89	597 . 78	452 . 25

我国汽车尾气净化研究开展较晚，仅十几年历史，主要采用稀土和其它一些贱金属制备催化剂，这种催化剂具有良好的活性、热稳定性和抗铅中毒能力，在使用含铅汽油和车况较差的情况下，其使用寿命仍可达 5~10 万公里，稀土在催化剂中的作用主要有：1）提高催化剂载体的机械强度（15%~25%）；2）提高催化剂的热稳定性。添加稀土氧化物可稳定载体晶格结构，防止体积收缩；3）提高催化剂的活性。稀土具有贮氧和助催化功能；4）提高催化剂的抗铅中毒能力；5）具有三元催化剂作用。

#### 5. 稀土在农林牧等方面的应用

近 20 年来，我国开展了在农业、林业、畜牧业、水产养殖业以及医学等方面应用稀土的研究工作，取得了很大的进展。以轻稀土 LA、CE 为主要成分的稀土硝酸盐作为植物生长调节剂，在近 50 种作物、20 余种苗木和牧草上研究了对作物增产效应和产品品质的影响，并组织了大面积推广应用，使用面积达 3 亿亩。此外还研究成功抗坏血酸稀土和柠檬酸稀土两种有机稀土盐，用于 10 万余种畜禽作为矿物饲料添加剂，喂养的畜禽总数达 4000 万头（羽），其增产效应已得到肯定。部分试用结果见表 6。同时还进行了稀土植物生理学、稀土土壤学、毒理卫生评价等多学科研究。

从大量的研究和大面积示范推广应用表明：适当的稀土元素可以促进作物以 N、P、K 和其它微量元素的吸收，促进种子萌发，加速生根和根部及苗期生长，增加叶面积和光合强度，提高叶绿素含量，使产量增加品质改善。但目前还不能证明稀土是作物的必需元素。对其作用机制，长期使用对环境、生理等的影响还需作更深入的研究。

#### 6. 超导材料

我国的高温超导研究始终处于国际领先地位，在钇系超导材料块材、线材、带材和薄膜的制备工艺、应用技术及应用基础研究等方面都取得了不同程度的进展，其中上海冶金所 YBaCuO 块材的  $J_c$  值为  $8.6 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  (77.3K, 7.5T)，北京有色金属研究总院 YBCO 单晶膜材为  $8.0 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$  (77.3K, 0T)，均已达到国际先进水平。在 1995 年第 23 届日内瓦发明博览会上，北京有色金属研究总院的发明“混合稀土 - 钡 - 铜 - 氧超导体”，由于为高温超导体的大规模应用开拓了新的途径而荣获第 23 届国际发明博览会金奖。这项世界首创系采用低纯度混合稀土氧化物按适当比例配制，适用范围广、工艺先进、零电阻下的  $T_c=80-91\text{K}$ ，且混合稀土氧化物的价格仅为  $\text{Y}_2\text{O}_3$  的 1/10，为大规模应用高温超导扫除了成本上的障碍。

表 6 稀土在农作物、牧草、林木、畜禽上的应用效果

名称	使用方法 和用量	生理效应 (增加%)	增产效果		对产品 品质影响
			%	kg ha	
小麦	拌种, 100mg/kg, 喷施浓度 500ppm, 三叶期、四叶期	小麦穗提前分化, 叶绿素提高 34 ~ 42, 光合速度提高 13 ~ 19, 穗数和千粒重增加	8	420	麦粒赖氨酸增加
玉米	每千克 400MG 拌种, 苗期喷施 0.05 %拌种 45g/15kg 种, 叶喷 40 亩, 浸种 0.08 %	促使种子萌芽, 根茎叶生长加快	10	450	百粒重提高 0.2 ~ 0.35 %
			9	465	
甘蔗	0.03 %浓液 50kg, 于分蘖期喷施	根增 2 克/株, 分蘖率 9, 单株功能叶增 6, 叶绿素增 8 ~ 14.4	10	6000	含糖量 0.5 %
油菜	拌种 5g/kg, 蕾期和初花期分别喷施 300、500ppm	主茎绿叶数分别增 6.9 和 9.9, 根茎增 8.6 ~ 11, 叶绿素增 48, 千粒重增 6.2	20	80	含油量增加 2 %
老芒麦 羊茅	拌种、丸衣、叶喷, 50 ~ 350, 现蕾期喷 40 克/亩	叶面积增 5.6 ~ 13.3, 光合强度增 9.4 ~ 22.5, 叶绿素增 1.3 ~ 35.4, 株高增 3.2 ~ 19	干草: 20 种子: 12	750 ~ 300	粗蛋白增加 3 % ~ 9 %
兴安落 叶松	浸种: 50 - 150ppm 喷幼苗: 80 克/亩	发芽势提高 5.3 ~ 9.4, 发芽率 6.4 ~ 9.5, 根容量增 20 以上, 同苗高增 9 ~ 15	苗量: 12 成苗率: 13 鲜重: 10	4000 (棵/亩)	苗本等级率提高, 抗病性增加
育猪	日粮中加入 40mg	增重率提高 6 - 29, 饲料利用率提高 10			

此外,我国在开展无限层铜氧化物  $ACuO_2$  ( $A=\text{碱土金属}$ ) 超导体的研究方面也取得了新进展,国家超导实验室在高压条件下成功地合成了  $(Sr, Nd)CuO_2$  和  $(Sr_{1-x}Y_x)CuO_2$  两个电子型无限层结构超导体,为探索新型高温超导体及深化高温超导机理的认识起了良好的推动作用。

## 7. 特种玻璃

### (1) 掺铒光纤放大器

光纤通信信息容量大,其抗干扰能力强、保密性好、重量轻。到 1992 年,全世界已铺设光缆 2500 多万公里。光在光纤中传输也有衰减。为放大信号,光缆铺设一定长度(60~70 公里)以后,设一中继站,将光信号变成电信号,电信号放大后再变成光信号,然后传送。这种放大方式使信号传输速度降低,信息容量受到抑制,又增加费用。80 年代后期,美、日等国家研究掺稀土铒的石英光纤(EDF),以 EDF 代替中继站对光信号进行放大,故称为掺铒放大器。铒离子受激辐射的波长为  $1.53 - 1.55 \mu m$ ,正好在石英光纤最低损耗的波长( $1.55 \mu m$ ),故 EDF 本身就是低损耗的波导,铒受激本身就等

于放大。据报道,1989 年日本国际电信电话公司在 900 公里光纤线路上放置 11 个 EDF 放大器,实现了长距离通讯目标,并且,电话容量可增加 4 倍多,价格仅是原来的  $1/10$ 。1990 年,美国电话电报公司也用 EDF 作为 1.02 万公里的光通讯实验。每 25 米光纤中加入 2 米 EDF,试验获得了成功。此外,日、美这两家公司正联手共建横跨太平洋的第二条光缆,采用 EDF 放大光信号,预计工程于 1996 年完成。

我国近年也开展了光纤激光器、光纤传感器和光纤放大器的研究,于 1991 年研制成功了 EDF 光放大器,1993 年清华大学利用 EDF 在国内首次实现 21 公里的光纤孤子传输或弧波通讯,为我国的超高速、大容量、超长距离通讯技术奠定了基础。

## (2) 法拉第旋转玻璃(光隔离器)

光通讯系统中,半导体激光器发出的光在光纤连接处被反射,若反回激光器,将使激光振荡不稳定,产生信号误差。为拦截反射光,使用光隔离器,其原理是利用磁光效应中的法拉第效应:线偏振光沿外加磁场方向通过介质(法拉第元件)时偏振面发生旋转。激光器发出的光先通过起偏器,使其成线偏振光,沿磁场方向通过介质,引时线偏振光旋转  $45^\circ$ ,然后经检偏器发射出去。当反射光反回通过检偏器,再透过介质时又旋转  $45^\circ$ ,与入射的线偏振光成  $90^\circ$  下交,于是被起振器挡住而不能反射至激光器。

稀土-铁石榴( $\text{Re}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ )或稀土-铁铝镓石榴石可用于制作光隔离器的法拉第元件,其中稀土可使用 Gd、Tb、Dy、Jp、Yb、Lu 或 Y 等。光隔离器中产生磁场的磁体可用 Sm-Co 或 NdFeB 永磁体。据报道 1986 年日本光隔离器产量为 4900 个,1987 年激增至 7100 个,1992 年 40~50 万个,5 年间约增加 6 倍。

法拉第旋转玻璃还可用作核聚变的隔离器。可以添加 Ce、Nd、Tb,现使用加铽的玻璃。

## (3) 低损耗光纤玻璃

氟化物玻璃作光学通讯用光导纤维引人注目。现使用的二氧化硅光导纤维理论损耗临界值为 0.2 分贝/公里,而氟化物玻璃理论损耗临界值可接近 0.001 分贝/公里。目前正研制在锆、钪等氟化物中添加 La、Gd 或 Y 氟化物制作光纤。可以想象,这样的光纤若用于通讯,几乎可取消中继站或含钕的光放大器。单一稀土加入量 5%~15%(克分子百分数),但要求纯度高,据报道需 5N、7N 甚至 9N 级单一稀土化合物。

## 8. 精密陶瓷

陶瓷电容器属功能材料,是电器电路中的基本元件,其主要材料是钛酸钡( $\text{BaTiO}_3$ ),其介电常数虽高,但不稳定,加入氧化铈可使介电常数在宽温范围保持稳定;同时还加入氧化镧,使电容器寿命大为延长。陶瓷电容器是稀土应用稳定增长的领域,日本为其最大生产国,1976 年年产 144.3 亿支,1981 年 214.75 亿支,1986 年 462.6 亿支,1991 年 957.96 亿支,大体上每 5 年翻一番。

现在,集成电路基片多采用  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,但已有被 AlN 取代的趋势。在 AlN 中加入 3%的  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,形成  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ,其导热率( $230\text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$ )高出数倍。

锆钛酸铅镧(PLZT)是一种透明陶瓷,可用作光开关,即可以通过光线,当对其施加电压时光的折射率发生变化,用两个偏振(起偏器和检偏器)中

间夹一块表面装有两个电极的 PLZT 板就是一个光开关。两个偏振片能透过的线偏振光成正交。故当入射光透过起偏口时产生线偏振光，穿过 PLZT 到达检偏器时光就被挡住，即把光“关”住了。若接通 PLZT 板上的电源，其上的两电极之间产生电压，入射的线偏振光产生偏转，偏转 90°就能通过检偏器，于是光路被“打开”。这种光开关可望用于光计算机。

结构陶瓷中可能最有前途的是氮化硅。 $\text{Si}_3\text{N}_4$  无熔点，烧结温度高，故烧结时蒸汽气压大；此外， $\text{Si}_3\text{N}_4$  为共价化合物，扩散系数小，仅靠本身烧结难以致密。多用  $\text{Y}_2\text{O}_3$  或  $\text{La}_2\text{O}_3$  作助烧结剂，以制得致密的  $\text{Si}_3\text{N}_4$  陶瓷，其高温强度高、硬度高、抗蠕变、抗氧化、耐腐蚀，且比重小，三菱、日产等公司已将其用于汽车发动机摇杆、增压涡轮转子，重量为耐热合金的 1/2；五十铃已用其制作电热塞用于轿车，使用 2000 小时仍保持完好，而金属电热塞仅 200 小时就得换新。据报道我国已开始生产  $\text{Si}_3\text{N}_4$  电热塞。

精密陶瓷是一个具有很大市场潜力的应用领域，其中日本的市场规模现在和将来都占主导地位。1985 年日本精密陶瓷市场约 8577 亿日元，预计到 2000 年日本陶瓷市场约为 4.1 万亿日元（表 7），其中电子陶瓷占 1.8 万亿日元，年增长率 ~ 8%，电容器介质与集成电路基片约占 2/3。

表 7 日本精密陶瓷市场规模（亿日元）

陶瓷部件用途	1985 年	2000 年
电磁方面	6008	17830
机械方面	1060	2570
热方面	580	4220
化学医学方面	595	1770
光学方面	322	10070
其它	12	4910
合计	8577	41370

二、展望

如前所述，稀土元素由于其特殊的物质结构具有的优异的物化、磁、光、电学特性，被人们誉为高新技术材料的宝库、高技术的摇篮。稀土支持了高新技术材料，这些材料又进一步推动了高新技术终端产品行业的发展（表 8）。

表 8 日本与稀土有关的材料、器件产量

		1982	1991
彩电（万台）	Y , Eu , Ce	1216.2	1344
彩电显像管（万支）	Y , Eu , Ce	2198.5	2151
黑白显像管（万支）	Ce	406.5	-
工业显像管（万支）	Ce , Y , Eu	340.7	1488
荧光灯（亿支）	Y , Tb , Eu	2.56	4.02
水银灯等（百万支）	Y , Eb	4.4	8.6
复印机（万台）	Eu , Tb	142	254.2
陶瓷电容器（亿支）	La , Nd	236.47	957.96
视频摄像机（万支）	La , Ce	88.5	1174.1
35MM 像机（万架）	La , Ce	1381.9	1764.7
永磁（吨）	Sm , Nd , Ce	108	1698
光学玻璃（吨）	La , Gd , Y	7755	11340
防公害催化剂*（吨）	La , Ce	4016	( 5248 ) *
球墨铸铁（万吨）	MM	74.5	141.3

\*1991 仅含汽车尾气净化催化剂

#### 1. 信息高速公路的召唤

人类已进入信息时代，其特征是远距离、大容量、高速度的信息传递。信息时代是光、电、磁的时代，也可以说将是稀土高科技应用的时代。今天，一些稀土材料已经或开始进入信息领域。

信息高速公路——

信息传送： 光纤激光器

光纤

光纤放大器

光隔离器

信息存储： 磁光盘

磁盘驱动器

信息终端： 彩电、计算机、大面积超薄型显示器

移动电话、立体声音响、

打印机、复印机、传真机等

（使用稀土材料，详见支柱产业）

1993 年 9 月美国政府正式提出“全国信息基础设施”（NII）的行动计划，俗称信息高速公路。信息高速公路就是由光导纤维组成的光缆，用光缆把每个家庭、学校、医院、企业、机关、图书馆、研究机构、商店、电视台、报社、银行、证券交易所等联成巨大的信息网络，利用多媒体技术把计算机、电视、电话、传真等功能融为一体，利用由光缆组成的信息网络巨大的信息传输能力实现实时声、文、图、像（活动图像）的交互式（双向或多向）交流。因此，有了光缆就可以在家工作、学习、查找资料、开会、购物、进行商贸与金融活动。

美国预计 2010 年完成 NII 计划，估计需耗资 4000 亿美元；日本通产省已估算出 2000 年日本的信息通信市场规模 大约 59 ~ 67 万亿日元 超过 1990 年日本第一产业汽车业的市场（40 万亿日元），邮政省估计，因“随着光

纤网络的充实而新生出来的市场”，2010 年日本的信息通信市场将达 123 万亿日元，比 2000 年约翻一番。

## 2．向支柱产业渗透

我国已确定将机械、电子、石油化工、汽车与建筑作为国民经济的支柱产业的目标，进行支持以促进其发展。稀土在上述产业均有广泛的应用，由此可以想见在经济建设中将发挥越来越大的作用。

稀土是我国富有的矿产资源，储量占全世界的 80%，并且矿床种类齐全，轻重稀土配比良好，得天独厚。我们应该充分利用这一优势，发展稀土科技，化资源大国为科技强国，为“九五”及下世纪科教兴国，做出更大贡献。

## 城市的文化特色

齐康

东南大学

齐康 建筑学家。1931年10月28日出生于江苏南京。1952年9月毕业于南京大学建筑系。历任南京工学院副院长、东南大学建筑研究所副所长。现任东南大学建筑研究所所长，建筑设计研究院总顾问，国务院学位委员会委员，中国城市规划设计研究院高级顾问。1993年当选为中国科学院院士。长期从事建筑和城市规划的科研、设计和教学工作。

为什么要研究城市文化特色，而城市文化特色又包含些什么，研究城市的文化特色对城镇建筑环境规划设计与管理又起着什么样的作用？

我们说城市形态，它是社会多系统作用于城市所表现出的物质和精神形态，它不只是城市外部的、内部的形式，有形的表现而且包含了更广的文化内涵。

城市是载体，它的客观存在是人类聚居最基本最重要的组织形式，是物质精神的综合反映，我们剖析形态就是从城市形态发展的过程中寻求其特征的表现。

一般地说，城市的特色是城市物质形态内外空间形象的表现，它既是外在的又是内在的。

当我们回忆起已经到过的城市，或新来到一个城市时，其中最敏感、新鲜而刺激的感觉就是城市形象的标志（Landmark）。历史性的古建筑、著名的公共建筑和广场引起人们视觉形象的反应，给人们以深刻的记忆和联想。城市中繁华的街道，构成城市内地区的特色，人群的精神面貌、情趣等构成的氛围，是不能不引起人们的兴趣和注视的。当您游览北京人民大会堂、北京故宫时，层层叠叠的宫殿深院，壮丽的建筑群会映入您的眼帘；当您乘游船环游塞纳河时，那高矗的巴黎圣母院、美丽的石桥、大型公共建筑物，使您仿佛来到水石交相辉映的神奇世界；当您驱车由南京至上海，最引人注目的是镇江金山寺、苏州虎丘塔和北寺塔，以及无锡的惠山。我们看电视气象预报，荧屏上总是以某些特定的标志性符号作为城市象征。这种象征或以高塔建筑，或以园林寺庙，或以风景名胜与纪念建筑，或以公共建筑物、城市的构筑物（如电视塔）等为标志，这一切都会引起人们的注视、记忆和回想。在那些大城市、特大城市中，这种标志符号又分层次、分地段，用城市地区的特点来表现——这就是城市景象。

建筑师要注重城市的环境设计，对那些重要地段的广场、公共建筑，纪念性、标志性的建筑等都要从环境的特点作好设计。因为它们表现城市的时代建筑文化，表现城市艺术风格，一座有历史文化的城市，都能从潜在的历史事件、事迹、社会变革的特征、革命胜地、人物的纪念地得到显现，它们之中有的形象消失了，有的残存着，但传统文化影响的“因子”却作为文化的“烙印”代代相传，永远留在人间。那些可歌可泣、悲壮英勇的历史事迹，那些一度繁华而灿烂的历史文化，都是人类历史情感的表现。这些历史文化影子又会在一定的社会环境气氛中再现，这就是“再文化”的现象。合肥市城隍庙古街、北京琉璃厂的修复与重建，南京夫子庙建筑群的建造等都是再

现历史的表现。现实生活与过去的时代相距遥远，但人们生存现实的文化价值，从这“再现”中获得某种光彩，某种社会心理平衡。

有特殊艺术形象的建筑，它显然对城市形象起着主导、主宰(Dominant)、控制、突出的作用，但它又寓于城市广大建筑群中。城市的生活环境——住宅街坊和群体，城市的生产环境——工厂区、仓库及交通、动力、公共设施，以及人们游息的公园绿地等都是城市文化特色不可分割的组成部分，寓于一般的建筑环境之中，其规划设计仍具有同等重要的设计价值。

### 一、城市文化特色是城市文化历史发展的 积累、积淀和更新的表现

随着城市的生存和发展，人们在不断建造环境的同时，又不断改造着所形成的环境。城市的社会价值观念也随着城市的发展而得到变迁。于是城市中一些物质精神文化留了下来，一些就被更替了，若此循环往复，在时代共同的价值观中，城市的一部分建筑文化得以积累，如古建筑、古迹和有历史文化使用价值的建筑等，这种文化的深层含义就是使人们怀念过去，研究过去品赏其意义，共同认可的得以保留。新的生产生活永远不停地改造更新着城市发展，陈旧的无价值的将不断被摒弃和淘汰。那些得以留下的建筑和遗迹就成为城市发展的历史见证和人类活动的印记。而被淘汰的（或破坏的）将永远一去不复返，人类共同的文化感情将那些先辈们经过创造性劳动的文化标志视为城市永恒的标志。希腊的雅典卫城、帕提农神庙、罗马的斗兽场、水渠，中国的北京故宫等等，凡是经历了历史发展的城市都具有历史性，在建筑环境中最最突出的就是建筑物的遗迹，如若我们漫游巴黎，就会发现围绕巴黎圣母院的林肯岛，沿着塞纳河这根城市轴，卢浮宫、万神庙等一组组轴线建筑群不断地展示开来，不同时期、不同时代的建筑风格沿着成网的干道向城市四周推开，从城市的骨架(Structure)、城市的肌理(Texture)可以寻找出城市发展的文脉和城市文化发展的轨迹。在我国，从北京、西安、洛阳、南京、苏州、上海、天津等地，都可以寻找出这种文化积淀的轨迹，它浸透了人类的文明和文化，深深地印刻的痕迹，留在城市中，留在人们的生活中，它们的影响、传统教育和启迪印刻在人们的脑海里，成为人类共同文化的知识特征。城市规划设计者应把握住所设计的建筑 and 建筑群所处的轨迹，它对今后的设计、改造所起的作用，它的工作又处在什么地位上，这要引起我们的重视。

### 二、城市的特色是人类聚居活动不断适应 和改造自然特征性的反映

世界上几乎所有的历史名城都和山、川、河、湖紧相毗邻，它们给于城市的形态、功能布局、景观以很大的影响。莫斯科有莫斯科河、圣彼得堡(列宁格勒)有涅瓦河、伦敦有泰晤士河、巴黎有塞纳河、维也纳有多瑙河、布拉格有伏尔塔瓦河。而旧金山、纽约、伦敦、上海等除河流穿过城市外而且还是出海口的特大城市。我国的许多省会城市中，不少是背山面水的，如福州有鼓山和闽江、济南有千佛山和大明湖、南京有紫金山和玄武湖等。美丽的风景，如画的城市离不开江河湖山。城市的生长发展，开发也离不开自然，自然与城市相依共生。人们适应“上帝”赐予的“自然”，自然与社会相得益彰。城市的选址利用自然，大多数是由于水源、运输以及发展起来的经济

文化。在古代也有不少城市利用山、水作为防御的屏障，山、水是城市城防的组成部分。人类还利用自然取得生态平衡。现代城市中由于工业、交通及城市污水废气的排放带来了环境的污染，所以又可以说城市依托的自然环境不能不反馈到对“城市自然”的保护。自然给城市以特色、以景观、以生态平衡和心理平衡，利用自然要以保护自然为准则。一旦自然生态遭到损害，那么赖以生存的城市社会的生存和发展就要受到制约和威胁，许多城市病的产生，都是对自然的利用不加以控制所致。自然环境和城市的组织与保护是保护城市特色的重要措施。

城市均处在不同的经纬度上，气候寒冷和炎热的区位差、温湿的变化以及自然的种种灾害，城市采取必要的防灾措施等都对城市的特色起了保护作用。寒冷与亚热带地区的建筑规划和建筑设计有明显的差异，这又很自然地反映到城市的景观上来。总之城市的建设要以适应和克服大自然影响为目的，而大自然的能量仍然影响着城市，即使在科技发达的今天，城市特色仍然离不开大自然的总体环境，城市规划和城市设计、建筑设计都需充分反映这些特点。城市的开路要顺应自然地形、自然的河湖沿岸线，要寻找对景，修建建筑与自然景观相呼应，要与山形湖景相陪衬、相衬托。这是设计者必须遵循的原则。

### 三、城市文化特色综合反映了城市的社会行为、

观念、行为模式特点，反映了城市社会活动的总和

从某种意义上说，城市的社会特点是城市文化特点不可分割的组成部分。如果说城市的物质形式是建设城市的“硬件”，那么社会组织活动的反映是其“软件”。它们之间的互动构成城市的总和和城市总的特色。对不同规模、不同性质的城市，城市活动的节奏和效率是不同的。可以认为城市现代化程度愈高，信息愈快，城市运转就快，反之则缓慢。纽约的金融经济具有世界性，城市活动的效率就高。瑞士苏黎士也是世界著名金融中心，它的金融活动和伦敦、纽约一样重要。有人认为，如果每天的金融行情缺少苏黎士，那么世界的金融交易就有困难，这就反映了城市活动的世界性。城市的行为观念、行为模式因城市所处国家、社会制度、体制、观念形态的不同而有所差异。社会主义和资本主义国家的城市制度、体制等方面有很大的不同。又如经济对城市的投入、投资方式、管理体制、规划等方面的差别，显然都要反映到城市特色和形态上，我们可以这样认为，建筑的表现是一种“观念的建筑”，那么观念对于城市也是“观念的城市”。我国 50 年代建造的大学，建筑布局受到苏联建筑模式的影响，这就形成了一种观念。有的在校门口处设大门，对准大门必然是主楼建筑，而现今西方的大学、大学城，有的则是没有明显的“大门”，只有检查汽车的入口道，没有围墙，有的则是建筑群集中布置。这样除功能特点，不能不认为社会活动的行为和观念对城市的特色是有影响，有时甚至产生巨大的影响。中国古代城市的“前朝后市”、印度古城的星象，日本古代城市的守卫阁，以及法国巴黎的“星广场”等都反映了制度、观念对城市特色的影响。其它如城市的社会习俗、趣味、群众的爱好以及宗教、政治活动等无一不透过人的行为活动及其作用影响城市物质形态、景观和形象。研究一个时期城市的具体观念（城市社会的）是我们研究城市形态特色需要注意的地方。城市设计和建筑设计既受到观念的制约，又要在新的科技文化影响下对约定的观念来一个突破，不断探求新时代科技

文化对设计的要求。

#### 四、城市的性质和规划影响城市的特色

这个问题前面已作了些阐述。一般地讲，特大城市、大城市的基础设施比较完整（尤其在中国），城市的科技文化条件比较完善，智力相对密集，生产效率高，交通信息也较之一般城市为快。但大城市又伴随人口拥挤、土地紧张、建筑密度高、环境质量差。由于工业相对集中，交通运输、废水、废气、废品处理以及城市的应变能力常常成为矛盾的焦点。如何调整好城市的产业经济结构，协调各子系统之间的矛盾，保护环境质量是管理者的重要任务。在科技发达的今天，发达国家中大城市能获得的福利设施，中小城市也有可能达到，加之科技进步所引起的产业性质变化，大城市的某些优势有时会发生“逆反”，反城市化现象的出现就是个例子。

至于城市性质，不难看出风景旅游城市不同于工矿城市，以采矿、冶炼为主的城市不同于一般综合型的城市。商业贸易发达、以金融为中心的城市又有自己的特色。城市的不同性质决定和影响了城市社会人群活动方式和活动的特点。

大城市中的人际关系、社会交往与小城市邻里关系有明显差别，而且，城镇中还存在着亲缘血缘关系，人际关系的疏密程度会在社会的种种观念中得到反映（当然还有其它深层的原因）。归纳起来大城市的现代化、社会化、现代科技、现代信息、现代交通以及较为丰富的文化生活等都会给城市的观念文化提出新的环境规划设计要求和设计上的种种创新。

城市行政管理的级别，城市所在地区的首位度都影响城市的文化特色。城市的行政级别、行政信息、政府政策的管理水平、实施水平、行政效率等都影响城市的文化特色和素质。城市管理者的能力、水平和作风、组织结构及所采取的行政措施以及综合产生的文明程度，可称之为“隐性而潜在的城市性格”、“城市品格”和“城市风格”。为此我们的设计要尽可能体现城市的性质和规模，要十分强调城市和建筑的地方性，并注重城市的结构和机理、尺度使之与规划相匹配。

#### 五、现代化的城市设施、现代化的

##### 科学技术给城市以新的文化特色

城市的现代化必将伴随着城市的社会化，现代科技在城市建设中的种种表现仍然是现代城市 and 建筑文化的标志之一，城市社会化程度的提高反映出城市生活的便捷和繁荣，综合反映出城市的效率。城市社会改革、经济体制和城市职能的更新，及城市中种种新的技术的应用，都使我们面临着一场新的挑战。现代城市文化离不开现代新科技，城市文化特色的变化是大势所趋。高大的电视塔、快速的交通及立体交叉的建筑物、地下铁道等等都给城市以新的特色。具有历史传统文化的城市，其发展必须与现代化相结合，这是我们研究城市特色所不可忽略的。

现代化的发展、社会化的管理、产业结构和生活方式的变化，特别是表现现代建筑文化是高层建筑、大空间建筑的出现、多功能的综合利用，引起了城市和建筑内部空间立体轮廓的变迁，这在许多城市立体轮廓线中已呈现出来。各城市规划和管理水平有很大的差别，以维也纳为例，它是欧洲的历史名城，城市管理相对地较为严格，高层建筑只能在城市外环以外建设，古

城区的设施水平提高了，但城市原有的历史风貌依然存在。在日本，名古屋也是东方历史名城，它有很好的规则，古建筑群得到景观控制，城市中央近百米宽的林荫道被规划而留了出来，城市的形象显得十分美丽。现在日本建筑师们认识到要吸取以往建设中的教训，重视景观设计并成立了相应的机构。可见，现代化科技能给予城市以新的特点，但仍要注意规划、管理、控制、保护、设计好城市的新环境，而景观设计是其重要内容。

#### 六、从某种意义上讲城市文化特色是不同历史时期，不同管理者、规划者、设计者水平和素质的综合反映

从建筑史可知，城市文化特色水平的高低都和一个时期管理者的水平素质、管理体制、法规等有直接或间接的联系，巴黎、华盛顿、北京（古城）、西安（古城）等的优秀规划和管理反映了这个问题。18 世纪法国豪夫曼的巴黎规划及艾伯克隆比的伦敦规划以及它们的实施也清楚地说明了这一点。另外，不同时期建筑设计的水平及其作品都给城市形象产生了深远的影响。以北京为例，古建筑如故宫、天坛、颐和园，解放后的优秀建筑以及近年来建起的住宅群和公共建筑等都反映了不同时期城市风格和艺术发展的过程，也反映了城市文化艺术的特征。

我们强调的是在一个时期管理者、规划者的决策对城市负有历史的责任。他们的建设活动都浸透了那个时期社会活动带来的印记。城市设计反映漫长的城市建设过程的需要，是不断延续调整的规划设计过程，是一件长期性的工作。多样性的城市设计，后来者的观念的连贯性，使文脉和设计紧紧结合起来，每个设计者、管理者的统筹决策、群众的参与、有序的合理建议，都是正确管理城市建设不可缺少的要素。

综上所述，城市的特色离不开自身发展的现状基础。城市的基础设施是城市的基本骨架，它的形成一是由于城市原有的设施，当时的建造方式、法规、形制、功用；二是由于城市的发展、扩展，或由于技术进步使城市的设施以及组织居住建筑不断更新所致。城市的道路和基础设施一旦形成，就会开始两边及周围建筑的建设。因此，它对城市型态及特色的变化起着十分重要的作用。许多历史城市中，原有设施的骨架大多被改造更新，它是城市型态中最深的烙印。城市基础设施（地下）的“形”不能不受到自然环境的影响。山、河、地质构造等种种现象都制约了城市道路网设施的形式，它影响城市的形态，产生了城市自身的特点。城市的基础设施（这儿指的是道路及地下的工程设施）在城市的经济投入中占有相当的比重，它的更改也应有相应的经济价值，它的技术特点、进步程度很大程度上反映了城市建设的发展，这个“地下魔鬼”操纵了城市发展的态势。而基础设施规则设计对未来城市发展的作用，可以认为是一双具有潜在能力的“魔手”。城市特色的现代化程度，技术进步的水平都要以它作为重要标准。

我们评价一座城市不能只看到可见的“形象”，不可忽视那些不可见的在地下影响整个城市生产生活的“血管”。这些血管牵动了有形的城市，也牵动了有形无形的城市生活，其结果仍然是有形的。现代城市若停一天水，停一天电或交通，都会给城市生活带来不稳定。因此不能等闲视之。

#### 七、结束语

由以上可见，城市特色具有综合性、地方性，它是城市的历史、文化、

社会经济、地理、科技.....的综合结果，而不是孤立存在的。所以城市的设计也应当是综合的有地方特点的。

我们是在一定的时间、空间结构中研究城市特色的，它是动态过程的表现。既然是一个过程，那么我们就强调城市设计的连续性，不然难以体现这个设计的整体过程。

在研究城市的特色时，将文化看成是综合的特点至关重要。我们要把经济发展的特点、精神文明的特点，分别按不同价值观加以综合评述。

在现代化城市中，要强调城市的综合效益，社会的、经济的、环境的效益，三者有机结合，缺一不可。在现实生活中，在许多方面三者是互补的、相互促进的。

城市社会的有机组成、社会人的组织状态、所反映的精神文明以及对城市建设保护的能动作用，仍然是研究城市特色的重要因素。

城市特色不是消极客观的反映，它要求管理者、决策者、参与者能动地发挥、利用、保护已有的城市特色，使城市向着创造出符合时代、展望未来、求得更新的特色方面发展，最大限度地满足城市人民最大的物质和精神需求。

当今中国的建筑世界里，往往充满了千篇一律的现象，形式上的照搬照抄充满了各类城市，这也算是时代的一种反映吧。原有的地方特色几乎被统一模式的建筑所替代。这种建筑造得快，能较快地满足社会各种类型的需要，这是它的优点，但是，地方的个性逐渐暗淡了、埋没了。这是个值得深思的问题。

我们再进一步探讨一下是否除特色之外城市具有风格呢？如果指形象而言，无疑是有风格的，建筑风格的总和和自然构成了城市的风格。

是否城市也具有性格呢？如果指城市社会生活长期形成的特点，或者通俗地说“脾气”、“习惯”，那么也可以说是一种城市社会的性格。城市是个社会体，总有自己的约定俗成。一个国家，一个民族有它自己的制度、体制和特点，作为一座具体的城市也有自己的性格。这也是社会的综合反映。

是否城市具有自身的品格呢？我们从精神文明这一点来分析，城市之间是有区别和差别的。这里我们强调的是城市社会人的素质和道德风尚。

我们如果能从城市的风格、性格、品格及其获得的种种特点来评定城市文化特色的价值观，这将十分有利于我们从事城镇建筑的规划和设计。

## 新材料的现状与展望

师昌绪

中国工程院

师昌绪 金属学、材料科学专家。1920年11月15日出生于河北省徐水县。1945年毕业于西北工学院,1952年美国欧特丹大学获博士学位。历任中国科学院金属研究所所长、国家自然科学基金委员会副主任,曾任中国材料联合会主席、中国薄板深冲学会理事长。1980年当选为中国科学院院士(学部委员),1994年被选聘为中国工程院院士,现任该院副院长。主要从事高温合金及合金钢等方面的研究。

新材料是发展高新技术的物质基础,也是改造传统产业的必备条件,因此,世界各工业发达国家都给予高度重视,把新材料的研究与开发列为关键技术的重要组成部分。最近德国 Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research 分析了世界各国发展计划,总结出在21世纪初的九大重点领域,它们是:先进材料,纳米技术,微电子学,光子学,微系统工程,软件与计算机模拟,分子电子学,细胞生物技术,信息、生产与管理工程。在这九个领域中又列出了80个课题,其中属于先进材料的24项,在其它领域中也包含着不少与材料直接相关的课题,如纳米技术中的纳米材料,微电子学中的信息存储、微电子材料、超导及高温电子学等,共有27项。因而,在未来技术80个课题中,有关材料方面的课题在60%以上,这足以说明新材料在未来技术中的地位了。

从目前到下世纪初,新材料的发展主要有以下几方面:

### 一、信息功能材料是新材料中最活跃的领域

所谓信息行业,主要包括通讯、计算机及控制等三个方面,指信息的获取、传输、存储、显示、处理等,这些都以材料为基础。

当前已进入信息时代,其主要标志:一是就业人员,从事与信息职业有关的人员占有很高的比例,图1为美国从事信息行业人员的变化情况。其次是具有普遍性,必须是无所不在,计算机是信息产业的关键。早在1906年就发明了电子管,1948年半导体晶体管出现,1958年在晶体管的基础上又出现了集成电路。集成电路出现以后,计算机的体积大为缩小,功能日益改善,可靠性不断提高,价格不断下降,从而计算机得到广泛应用。没有计算机的普及,信息时代是不会到来的。第三则是具有重要性,由于信息产业的发展,使人类社会难以脱离信息而生存,信息已成为人们生活的重要组成部分。由于信息时代的进入,有关信息的设施得到高速发展,从而信息功能材料随之受到高度重视。

信息一般以电子为载体,可是电子有质量( $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$  / 电子),不但速度慢,而且在输运过程中受阻发热,产生磁场效应,在一定条件下有量子效应,影响计算机的进一步提高,因而近年来光子学得到大发展,光子不但速度快,而且能荷载超大信息流(如 TGb / s)的传输。光子的产生起源于电能的激发,离开电子,光子器件的功能也不能得到施展,因此,一般称之

为光电子学。

### 1. 信息产业以集成电路为基础

集成电路的关键在于半导体材料和封装材料与技术。目前硅是最主要的半导体材料（在 95% 以上），在今后二三十年内也不会有很大改变。但对硅材料的要求却愈来愈高，晶片尺寸愈大，质量要求愈高，如表 1，这是由于线宽愈来愈细的缘故。IBM 预测，到 2007 年线宽将达到  $0.10\ \mu\text{m}$ ，那时所发热量足以使基片熔化，量子效应也就会更明显，封装材料与封装技术将更为关键，金刚石薄膜或其它导热而不导电的封装材料（如 AlN）可能问世。

GaAs 是仅次于硅的一种 - V 族半导体材料，由于其比硅具有优异的性能和受激发光的特点，对发展高密度、高速度芯片有利，在今后会得到更高速度的发展。但是近年来多孔硅的发现及在硅单晶上形成的纳米 SiC 都是可发光的半导体材料，有可能在光电子学中得到应用。

表 1 单晶硅晶片发展趋势及其要求

	单位	1995	1998	2001
DRAM（动态随机存取）	Mbit	64	256	$1 \times 10^3$
设计线宽	$\mu\text{m}$	0.35	0.25	0.18
晶片直径	mm	200	200 ~ 300	> 300
表面微观粗糙度	nm	< 0.5	< 0.3	< 0.2
表面沾污与缺陷亮点	每片数目	10	1 1	
缺陷尺寸	$\mu\text{m}$	0.12	0.05	0.03
表面金属原子	原子数/ $\text{cm}^2$	$10^{10}$	$10^9$	$10^8$
氧含量	at %	$0.0029 \pm 4$	$0.0026 \pm 2$	$0.0023 \pm 2$

为了实现高密度、高速度，超导技术的应用与超晶格的发展都是有效的，后者还可实现一个芯片的多功能化。目前正在酝酿中的光计算机、生物计算机恐怕为期更远了。

### 2. 记录材料

记录材料多种多样，分为磁、磁光与光记录材料几大类。磁记录材料发展最早，目前仍占很重要位置，种类也很多，除 -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CrO}_2$ 、 $\text{BaO}_6\text{Fe}_2\text{O}_3$  以外，还有薄膜。用磁粉（ -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ）涂布，其密度每平方英寸为 30, 000 点，溅射薄膜（Co - Cr）达 70, 000 点以上，而垂直双层膜（Co - Cr / Fe - Ni）则大于 500, 000 点，目前发展到  $3 \times 10^{12}$ ，磁光存储，密度高（ $10^{10}\text{bit} / \text{cm}^2$ ）、寿命长（> 105 次）、保真好，并可擦除，发展很快，其材料成分为 GdCo、GdTbFe、TbFeCo 或 Co 与 Pt 薄膜重叠。光存储的密度极高（800Mb / 英寸<sup>2</sup>），而且价格低廉，但不能代替磁存储而只能是补充。目前常用的材料为 Te—Se—Pb 的 30 - 50nm 的薄膜，也可以是  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  及  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  的多层薄膜。

### 3. 敏感材料与敏感元件

计算机用于控制主要靠敏感元件，它决定着控制的精度。很多敏感材料属于氧化物陶瓷，但是有机物也可作为敏感材料，如人体的各种感知，都靠有机体的分子识别。金属敏感材料中最有名的要算形状记忆合金了。

### 4. 光导纤维

光导纤维的特点在于容量大（如图 2）、保密性强、不受干扰、节约资

源、中继线网络距离长，1994 年全世界已近 1 亿公里，10 倍于集成电路的发展速度，是信息高速公路的关键技术。

光导纤维主要是掺杂的石英（如  $\text{GeO}_2$  或稀土）拉制而成，目前损耗已接近理论值（ $0.1\text{Bd/Km}$ ），而今后是向卤素化物发展，如此可以得到更低的损耗，中继距离可达数千公里。同时传输容量也在不断增加，目前在研容量远比现已工业化的容量大得多。

除无机非金属光导纤维以外，有机光导纤维损耗虽较高（ $100 \sim 200\text{Bd/Km}$ ），但由于其柔软、可操作性强而广泛用于医学诊断及其它短距离光信息传输。

## 二、结构新材料向高比强度、高比刚度、 耐高温、耐腐蚀、耐磨损方向发展

为满足航空、航天及国防、节约资源和能源以及提高工业生产力的需要，必须高度重视结构材料的发展，因为一般来说，结构材料量大面广，对经济效益影响很大。

### 1. 金属材料仍在不断发展

由于历史的继承，生产已具有相当规模，生产、设计和使用已有成熟的技术和经验；性能价格比和可靠性都较高，因而人们想尽一切办法在现有基础上进行改进和创新。如在铝合金中加入 2~3% 锂，可使比重降低 10%，刚度提高 10%。在一架波音 747 中，铝合金近 20 吨，若采用  $\text{Al-Li}$  合金可产生很大的经济效益；卫星的收益就更大，所以成为当前铝合金中的研究热门。喷气发动机的关键部件为高温合金涡轮叶片和涡轮盘，其工作温度决定着发动机的功能和燃效，但是目前高温合金已接近其熔点，从而想到金属间化合物，不但有较高的熔点，且比重较低，但是这些化合物具有室温脆性和环境敏感等缺点，成为当前研究的重点，而且已有所突破。其中最吸引人的为钛铝系合金，通过中间化合物的研究，使钛合金的工作温度从 600 左右有可能提高到 800~900，这将是很大的突破。 $\text{Ni}_3\text{Al}$  也达到应用的程度，不但可作高温材料，也可作为耐磨、耐空蚀的材料。 $\text{Fe}_3\text{Al}$  能代不锈钢用作耐蚀和高温抗氧化材料。

新金属材料的改进重点在于开发新的制备工艺，如快冷技术或控制微量元素含量以减少偏析，成为均质合金。

### 2. 工程陶瓷有广阔前景

工程陶瓷分功能陶瓷与结构陶瓷，前者包括范围很广，如铁电、压电、电光、半导体、电解质、热释电、敏感，以及多种多样的人工晶体和高温超导体，都属于陶瓷，且多数已得到应用。本节所谈只指用于结构的工程陶瓷，如  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、Sialon、 $\text{SiC}$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，莫来石（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  系）等，这类陶瓷多数资源极为丰富。耐高温（ $1200 \sim 1600$ ）、耐磨、耐蚀、摩擦系数小、比重低、膨胀系数小等特点。缺点是室温脆性高，性能分散，价格贵，加工难，回收困难等。但是经过原料的控制（超纯、超细）、晶界控制、第二相的加入、纤维增强以及利用相变应力（ $\text{ZrO}_2$ ），可以提高陶瓷的韧性。目前最好陶瓷材料的韧性已接近工程合金，如图 3。

工程陶瓷的应用范围很广，除了集成电路的封装及其它功能材料以外，用作刀具和模具材料，已经成熟；作为汽车发动机虽然有很大优越性（节能），但在经济上还存在问题；作为发动机零部件，已显示出应用前景；用于燃气轮机导向叶片在本世纪内可能实现，而涡轮叶片，特别是航空发动机涡轮叶片是下世纪的事了。要做到工程陶瓷的广泛应用，除了进一步提高性能以外，至少要在以下几个方面下功夫：一是开发降低成本的制造技术；二是改变以金属为主的设计思想；三是发展适用于陶瓷的无损探伤技术，把好质量关。

### 3. 工程塑料在高分子材料中的比重日趋重要

高分子材料在近几十年来发展是最快的，每年以 10% 以上速度增加，10 年前世界高分子材料所占比例，从体积上已超过钢铁。这是因为有廉价而丰富的原料，制造过程能耗低、建设周期短、投资少、利润高的缘故；更重要的是具有优异性能和成型性。

工程塑料是高分子材料中具有高强度（如 50MPa）、高模量、高使用温度（ $> 150^\circ\text{C}$ ）或有特殊功能（导电、导光、吸波、磁性）的材料。结构工程塑料是很多单元以共价键结合在一起的大分子，其数目可达百万，这些高分子处于熔化或非晶状态时，就像一盘煮熟了的面条，弹性好、强度不高，橡胶便属于此类；如果结晶度接近 100% 时，则具有很高的强度和模量，如尼龙。

高分子共聚物的强度还可通过合金化及嵌段共聚等手段，使两种以上不同性质的分子成链；也可通过共混得到不同性能的材料。因此，当前高分子材料已进入按需要进行设计的阶段，即所谓“分子复合”。

## 三、不同材料的复合是改善性能、节约资源的有效途径

天然生体绝大部分以复合形式存在，如动物皮层、牙齿、竹和木材等，可见复合材料是最合理的结构形式。钢筋水泥及玻璃钢是已广泛应用的复合材料，树脂基、金属基、陶瓷基、及碳碳复合材料则称之为先进复合材料。

### 1. 树脂基复合材料

以高分子、碳、陶瓷或金属纤维强化的树脂基材料是先进复合材料中比较成熟的一类材料，复合后可以大幅度提高树脂的比强度和比刚度，碳纤维复合材料已大量用于飞机，也有可能代钢用于汽车，如此一辆车可减重半吨以上，而且每单位重量吸收能量的能力比钢大 2.5 倍，有利于降低汽车的振动。

### 2. 金属基复合材料

金属基复合材料是金属用陶瓷、碳纤维、晶须或颗粒增强的一类材料，从而大幅度提高比强度或比刚度。长纤维增强最为有效，但是价格昂贵，主要用于宇航。但晶须与颗粒增强已大量用于民品，如加 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的铝合金可提高刚度 35%，用于汽车片状刹车转子（diskbrakerotor）可比铸铁减重 60%，每升油可多行 0.1km。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、石墨或 SiC 颗粒强化复合材料可用于汽车发动机。氧化物增强铜用于电力和电子器件，用作电子封装材料一般为低膨胀铁镍合金 Kovar 或其它类似材料，而铝或镁合金中加入碳化物、氮化物或氧化物可以达到高电导、低膨胀的目的，而比重只有其 1/3。

### 3. 陶瓷基复合材料

陶瓷复合增强主要是为了提高韧性，当然也是提高强度的一种手段。通

过纤维复合，断裂韧性确实大为提高，而且纤维增强陶瓷基复合材料抗疲劳能力强，几乎不存在缺口敏感性，这 and 传统观念很不相同。

#### 4. C/C 复合材料

碳 - 碳复合材料是由碳纤维增强的碳基体组成，由于大块碳抗热震性差，且各向异性，很难作为高温材料使用，虽然碳的强度一直到 3000 而不下降。因此，早在 50 年代末就开始研制碳纤维编织物再粘结碳化而成为碳碳复合材料。现已发展到多向编织。由于这种材料热导好、膨胀系数小、比热容大、辐射系数大，因而它有很好的抗热震性能及抗烧蚀能力，为导弹弹头及火箭喷管的理想材料，也是航天飞机鼻锥帽和机翼前缘材料。由于 C/C 材料质轻、耐高温、热容量大、摩擦性好，可用作客机及军用机刹车材料。21 世纪航空发动机涡轮叶片的工作温度要求 1760，C/C 复合材料是叶片的重要候选材料，但需要解决抗氧化问题。在民用方面，可作生物材料、模具材料等。

#### 5. 表面涂层与表面改性

装备的破坏多自表面开始，诸如腐蚀、氧化、磨损、磨蚀以及疲劳断裂的发生。因此，对表面实行保护和强化表面都可使部件寿命大幅度延长，这比采用整体材料既经济、安全又灵活。表面涂层和表面改性都可视为复合材料的另一类型。这是量大面广、效果显著的一种措施，应引起高度重视。

油漆、电镀、表面渗碳、渗氮或氮碳共渗、表面喷丸等是已普遍应用的方法。电子束、等离子与激光处理是近二三十年才发展起来的新技术：通过能量的控制，可使部件发生相变、改变应力分布而不熔化；也可使表面熔化而产生表面合金化，消减表面缺陷或进行表面加工；如能量更高时也可实现气相沉积。离子注入是将离子在 10 到 500keV 的电压下使离子注入材料表面，既不受材料种类的限制，也不改变材料表面的形貌，但注入层太浅，10nm 到 100nm (0.1  $\mu\text{m}$ )。最近开发的陶瓷热障涂层，用陶瓷代替渗 Al 或 FeCrAlY 可提高使用温度 150 以上，用于航空发动机可提高热效 1%。总之，涂层材料变化无穷，改性工艺多种多样，可以根据不同要求进行选择，是节约原材料、提高工作效率最有效的途径之一。

### 四、能源材料是一个广阔的领域

常规能源的关键在于减少环境污染与有效利用。因为我国一直到下世纪，一次能源主要来自煤的燃烧 (75%)，因而污染成为十分重要问题。我国能源浪费也很突出，每百万元产值所消耗的能量，如果日本为 1 的话，美国则为 2.6，欧共体 1.9，中国则在 10 以上。从几个耗能大的行业 (钢铁、造纸、水泥与玻璃) 来说，能耗比日本都高出一倍以上。可见在节能方面，很有潜力可挖。为了解决能源需求：一要研究与开发煤的清洁燃烧；二要结合国情开发新能源；三要大力开展节能技术的应用。现将上述几方面的关键问题简述如下。

#### 1. 新能源材料

##### (1) 快中子增殖堆

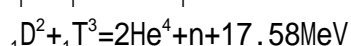
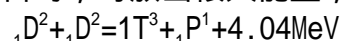
世界核电容量在 3 亿千瓦以上，占总发电量 16% 左右。所用燃料为  $^{235}\text{U}$ ，而其含量在铀中仅为 0.72%， $^{238}\text{U}$  为 99.275%，所以 U 的利用率极低。快中子增殖堆就是用  $^{238}\text{U}$  作燃料，虽然快中子增殖堆已试验成功，但没有大规模投产，原因之一是其冷却靠液态金属，在高温下其腐蚀性很强，材料没过关。

## (2) 燃煤磁流体发电

磁流体发电是利用法拉第电磁感应定律,使高温下导电的等离子气流经强磁场而产生电流。煤粉在燃烧器内会产生高达 2500 导电气流,输出电流,排出气温度为 2000 左右,可用来发电,其综合效率可达 55% ~ 60%,且能减少硫的污染,是当前符合我国国情的一种燃煤发电技术,但是由于电极材料、通道材料寿命不过关,超导磁体、种子回收难度也不小,尚未达到实用化程度。

## (3) 受控热核聚变堆

当同位素氢原子核结合时,可放出很大能量,如



一吨海水含有氘(D)、氚(T)相当于 300 吨的石油,可以说可控热核聚变是永久能源。但是引起聚变反应的点火温度要 1 亿度左右,而有一定持续时间和尺寸,目前等离子体与激光都有可能。在如此高的温度下和大量氦的释放,无疑也存在不少材料问题。

## (4) 太阳能的利用

地球表面一年从太阳接收的能量约为 60 亿亿 KWh ( $6 \times 10^{17}$ ),是全世界用总能量的一万倍,而且没有任何污染。但是分散、密度低 ( $1\text{KW}/\text{m}^2$ ),且受自然条件影响很大。太阳能的利用一是热的直接利用,一是光转换为电,这就要求价廉、长寿命、转换效率高的材料。但目前的光电转换材料都不太理想,不是效率太低,就是价格太贵,如多晶硅为 17.7%,单晶硅 13 - 20%,非晶硅虽只有 12.7%(理论 24%),但光吸收系数高,所用材料为微米级薄膜,只有单晶硅的二万分之一,有发展前途。CdTe 膜为 15.8%,GaAs 为 28.7%,是转换率最高的,如果采用不同材料和多层结构,吸收光的不同波段,其效率可达 40%。太阳能的利用在我国有特殊重要的意义,因为我国西部日照时间长,作为家庭用分散能源,很有发展前途。在国际上也曾有过庞大计划,但是总的来看,太阳能在总能量中不会超过 5%。

## (5) 风能、潮汐、地热和海水温差能源

这些都受到地域影响,除利用海水温差以外,在其它三方面都已不同程度地得到发展,对材料问题不言自明。

### 2. 节能材料

节能材料多种多样,如保温材料、建筑材料等不胜枚举。现仅列举以下几种:

#### (1) 金属玻璃

美国损于变压器的能量为年 6000MW,相当于  $3 \times 10^9$  美元。金属玻璃用作变压器材料颇有前途,因为铁损只有冷轧硅钢片的 1/6 到 1/3 (如表 2),由于有良好的高频性能,作电焊机,除了节能以外,体积可缩到 1/10。由于液态成型,较硅钢片建设成本低,但生产率低,其价格为硅钢 1.5 ~ 3 倍。非晶材料既耐磨又抗腐蚀,可用作磁头,也可代部分不锈钢。

表 2 金属玻璃与硅钢片对比

材 料	铁损 ( W/kg )
$\text{Fe}_{81}\text{B}_{13} \cdot 5\text{Si}_3 \cdot 5\text{C}_2$	0.31
$\text{Fe}_{80}\text{B}_{15} \cdot 9\text{Si}_2 \cdot 4\text{C}_{0.9}$	0.15
$\text{Fe} - 3 \cdot 2\text{Si}$ ( 冷轧硅钢片 )	1.00

## (2) 超导材料

1911 年发现超导现象以后，一直到 1986 年，超导的工作温度区在液氮范围内，大面积推广受到了限制。1986 年在不同氧化物体系发现能在液氮 ( 77K ) 工作的超导体以后，人们致力于向实用化方向迈进，作为薄膜已达到实用化，如作成量子干涉仪 ( SQUID )，可测量微小磁场强度的变化 ( 分辨率  $10^{-11}$  高斯 )。这种高灵敏度磁强计可用于科学研究和生物磁场的测量。人们更关心的是用于强电的超导材料，因为长距离输电有很大经济效益，也可用于储能，效率可达 95% 以上。用于强磁场，有很大优越性，如一个 5 特斯拉的中型超导磁体只有几公斤，而同容量的常规磁体可达 20 吨；30 特斯拉常规电磁体要耗电 7 兆瓦，而超导磁体只有 15 千瓦，所以对磁分离、磁悬浮列车、加速器以及可控核聚变都有应用前景，用于高功率马达可使电损降低 50%，体积减少 40%。目前氧化物超导材料 (  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.3}$  ) 的临界电流已达到  $10^5 \sim 10^6 / \text{cm}^2$ ，并做出成公里长的带材，接近实用状态，估计本世纪内可望得到应用。

## (3) 高性能磁性材料

磁性材料主要用于信息产业，如信息存储、控制元件等，这里只介绍目前最热门的  $\text{Fe}_{14}\text{Nd}_2\text{B}$ ，它在制造永磁电极、磁性轴承等方面有广泛的用途。 $\text{Fe} - \text{Nd} - \text{B}$  的特点是磁能积高，而不含 Co，但其内禀矫顽力和居里点不够高，抗氧化也有问题。近年来又出现一种稀土永磁合金  $\text{Fe}_{17}\text{Sm}_2\text{N}_{3.8}$ ，它有一定的居里点 ( 470 )，但偏析严重，距工业化程度还很远。

## (4) 分离膜

有机化合物或多孔陶瓷可以用来分离不同物质，如氨尾中氢，可以通过有机分离膜而有 5% 左右再回到流程，达到节能的目的。膜分离也是海水淡化的一个重要途径。正在发展中的氮氧分离，使氧富集到 40%，提高燃效 30%。目前还在研究分离膜兼有催化功能，从而可以实现化学合成与组分分离同时实现。

# 3. 储能材料与燃料电池

## (1) 高密度蓄电池

不管是太阳能的利用，还是电动汽车的发展都需要高密度蓄电池，而目前常用的仍然是铅酸电池，密度太低 (  $30\text{Wh} / \text{kg}$  )，作为电动汽车太重，而且造成污染。电动汽车势在必行，因除了减少污染外，能量的利用率也大为提高。表 3 为目前正在发展中的几种电池，但目前还没有一个达到商业化程度， $\text{Na}_2\text{S}$  电池虽有几十年的历史，也未达到成熟的程度；镍氢电池发展很快，小电池已充斥市场，而大电池还正在开发。

表3 几种高比密度电池（美国 Argonne 国家实验室测量结果）

电池	比能量 ( Whkg <sup>-1</sup> )	能量密度 ( WhL <sup>-1</sup> )	比功率 ( Wkg <sup>-1</sup> )	能量效率 ( % )	可充电次数 ( n )
Na - S	81	83	152	91	502
Li - 硫化物	66	133	64	81	103
Zn - Br	79	56	40	75	34
Ni - Zn	67	142	105	77	114
Ni - MH	54	186	158	80	333
Ni - Fe	51	118	99	58	918

## （2）储氢材料

储氢材料除了作为镍氢电池的电极以外，也可作为未来燃料氢的储存载体，单位重量氢的能量 2.7 倍于汽油，又无污染，有发展前途，表 4 为几种含氢化合物，可见许多氢化物比同体积液氢的储氢量都要大。

表4 单晶硅晶片发展趋势及其要求

化合物	每 m <sup>3</sup> 氢原子数 ( × 10 <sup>28</sup> )
液氢	4.2
MgH <sub>2</sub>	5.9
TiH <sub>2</sub>	9.2
VH <sub>2</sub>	10.4
PdH <sub>0.8</sub>	4.7
LaH <sub>5</sub> H <sub>6.7</sub>	6.1
Mg <sub>2</sub> NiH <sub>4</sub>	5.6

## （3）燃料电池

电也可通过电化学对燃料的氧化而产生称为燃料电池，目前正在开发的燃料电池有四种。燃料电池污染小、效率高，有可能成为未来的汽车能源。

## 五、材料科学技术几个活跃领域

除前述各类材料发展趋势以外，材料科学技术有以下几个方面也十分活跃。

### 1．生物材料和器件

随着人类文明的进步，人造生物材料愈来愈重要。人造生物材料包括三种类型：生物医用材料、仿生材料和生物体系模拟材料。

#### （1）生物医用材料

除了神经系统以外，几乎人体所有器官都可用人造材料所代替。用于人体的材料要求很高，除了力学性能相匹配以外，更重要的是相容性，无害、无毒、无血凝，而且要有足够长的寿命。

#### （2）仿生材料

生物体是千百万年演化而来的，其结构应该是最合理的。解剖生物体可以给人以启示，使材料科学工作者在设计材料时有所遵循，如蚌壳，不但强度高，也有很好的韧性，因为碳酸钙薄层中间夹有机物；竹子加强筋的分布外密内疏，可保持最佳强韧性，如此种种，这些在设计新材料时可作为参考。

### (3) 生物体系模拟

生物体系有超乎寻常的功能，如脊椎动物的能量效率接近 100%，而最好的发动机也超不过 50%；人的副肾只有 6 克，而生物碱达百种以上，可随生物体情况而释放不同物质以保持人体平衡；耳目口鼻的感度是人工传感器（一次感度）的千百万倍，诸如此类。如何用人造材料或器件以达到生物体系功能，使工业反应器在室温条件进行合成，信息处理达到人脑的功能，是人们正在追求的目标。

总的来说，生物医用材料已得到广泛应用，仿生材料正在开始，而生物体系模拟仍处于酝酿阶段。

### 2. 机敏材料与智能系统

机敏材料就是能感知环境的变化并能作出相应反应的材料，如压电陶瓷 ( $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ ) 和形状记忆合金 ( $\text{NiTi}$ )。反应的讯号通过传输系统(光纤)传到执行系统(如驱动器、显示或报警)，进而对其进行控制，从而形成智能系统。这种智能系统已得到广泛应用，如卫星太阳能帆板、机翼的调整，以及桥梁和高层建筑都可通过智能系统进行控制，以减少重量，提高可靠性，减少灾害。

### 3. 环境材料

所谓环境材料 (Ecomaterials, Environmental conscious materials) 就是指与环境相适应的材料。首先是节约资源和能源，因为地球资源日益枯竭；其次是减少污染，减少温室效应与臭氧层的破坏；第三是容易回收和再利用。环境材料的提出为 70 年代，随着对环保的高度重视，环境材料也就提到议事日程上来了。工业发达国家的大企业都给以足够的重视，如日立公司从 1990 年到 2000 年的产品再减少能耗 35%，减少废物 60%；理光复印机所用材料可全部进行再循环，节约材料 40%，提高效益 20%。所以今后的产品必需要考虑与环境的适应问题，否则产品便没有竞争能力，甚至受到抵制。

### 4. 纳米材料

当物质颗粒小到纳米 ( $1 \sim 100\text{nm}$ ) 量级时，在催化、吸光、医药、磁性等方面出现很多特点，利用这些特点可有很多用途。如颗粒小到 10nm 时，表面原子占 20%，4nm 时，40%，2nm 时则有 80% 在表面，原子扩散快，烧结温度低，有利于陶瓷成形，由纳米制成的陶瓷可得到超塑性。当 Fe - Co 合金或  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的尺寸为单磁畴时，矫顽力很高，成为最好的磁性材料(作磁卡等)。磁性纳米粒子表面涂覆高分子药物注入体内，在外加磁场作用下，使药物移向病变部位，达到治疗的目的。这里最重要的是选择一种生物活性剂，它仅与癌细胞有亲和力，而对正常细胞不敏感。这种治疗方面尚处于实验阶段。由于光的性质改变，有可能成为很好的隐身材料。

纳米材料的研究目前是一个广阔的领域，不管在纳米微粒的制备，或是应用都需开展深入系统的研究，使之价廉又具有广阔的用途。

### 5. 碳纤维、石墨、金刚石与 $\text{C}_{60}$

碳的同素异构体为无定形、石墨与金刚石。1985 年又发现  $\text{C}_{60}$  (乙烯球)。

碳(石墨)纤维有特殊的力学性能。石墨的用途也是多种多样：如定向石墨有很显著的各向异性；夹层石墨(合成金属)导电率为铜的 1.5 倍；膨胀石墨是很好的密封材料，如此等等。

金刚石有明显的特点，近年来兴起的金刚石薄膜研究，更引起人们的重

视，因为它除了高硬度以外，还具有导热不导电（半导体封装）、透光（紫外线）、低摩擦系数（轴承、磁头、磁盘、刀具）、高模量（音响、不变形）等特点，用途十分广泛。

$C_{60}$  的发现，为原子簇化学又开辟了一个新途径，它有很多潜在的用途：半导体、催化剂、润滑剂、超导体（有人认为当其结构为  $C_{540}$  时，有可能实现室温超导）。 $C_{60}$  的缺点一是易氧化，二是太贵，纯  $C_{60}$ ，1993 年为每克 1000 美元，混合体（ $C_{60}$ 、 $C_{70}$ 、 $C_{76}$ 、 $C_{80}$ ）为 200 美元，将来可望做到每公斤 100 美元。

#### 6. 有机功能材料

有机功能材料受到愈来愈多的重视，目前有机导体已接近铜的电导率；磁性可与铁族金属相媲美；发光有机高分子、高分子形状记忆、高分子电解质、高分子压电、有机非线性光学材料及高分子液晶等有广阔的应用前途。在农用方面，吸水性高分子与可降解农用薄膜对节水农业和环境保护等方面都是亟待解决的问题。

#### 7. 计算机模拟与材料设计

随着材料研究的深入与计算机的发展，许多现象可以通过计算机模拟来预测材料的结构、性能及其间的关系，从而达到材料设计。如从量子 and 原子尺度出发来预测各种物性，从宏观热力学可划出相图，甚至与制造工艺相结合，得出最后产品的使用性能。因此，形成了一门“计算材料科学”。当然，计算材料科学必须与实验相配合，否则，难以达到实用的目的。

### 六、传统材料是我国经济高速发展的一个重要制约因素，必须引起重视

国民经济的发展、科学技术与国防的现代化，人们生活的提高固然离不开新材料，必须受到高度重视，但传统材料也不能忽视，因为传统材料量大（占材料 95% 以上）面广，影响很大，如易拉罐全世界每年消耗  $120 \times 10^9$  只，每只降低 1 分钱的话，就可取得收益 12 亿元。当前我国传统材料与国际差距比新材料还要大，主要表现在能耗高、高污染、低质量、品种规格不全、各类材料的比例不尽合理等，必须引起我们的重视，否则在国际上没有竞争能力，使我们永远处于落后状态。例如汽车工业主要用的是传统材料，而先进新材料占很小比例，传统材料不过关，无法造出先进的汽车来。其实，世界有些发展很快的国家，也都是从传统工业抓起，如日本和韩国，先从钢铁工业开始，而后汽车、造船和电子工业。在我国情况下，新材料与传统材料可以齐头并进，但切不可忽视传统材料。事实上，传统材料也在不断发展，如水泥是典型的传统材料，已有 1000 多年的历史。但近年来，国际上研究工作非常活跃，主要在减少孔隙度、抗腐蚀、加入不同添加剂以提高强度、延长寿命。传统材料性能与生产工艺的改进往往需要新材料，因此，传统材料的发展也为新材料和其它高新技术提供了用武之地。

## 自动控制所面临的挑战

冯纯伯

东南大学

冯纯伯 自动控制专家。1928 年 4 月 16 日出生于江苏金坛。1953 年于哈尔滨工业大学电机系研究生毕业。1958 年在列宁格勒工业大学获技术科学副博士学位。历任东南大学自动化研究所所长，研究生院副院长。1994 年获俄罗斯联邦自然科学院外籍院士称号，1995 年当选为中国科学院院士。主要从事自动控制领域研究。

自动控制学科自建立以来一直就是一门很活跃的学科。二战期间由于军工技术的需要，以伺服系统为主要内容的反馈控制得到了迅速发展。二战之后的冷战期间军工技术竞争剧烈，特别是各类飞行器对控制系统提出了很高的要求。在此形势的推动下以状态变量为基础的所谓现代控制理论得以建立，它的一个主要特点是依赖于精确的数学分析计算。随着时间的推移，自动控制应用的领域愈来愈扩大，无论国防、工农业生产、社会经济、环保等等，凡是存在系统的地方都宜用系统学的观点加以分析，都可用控制理论方法加以适当的人为改造和处理。在这种日益扩大的应用过程中，人们发现原有的所谓现代控制理论有很大的局限性。这就提出了新的更高的要求，当前计算机科学和技术的高度发展也为更复杂更高层次的控制理论的发展提供了物质条件，因此，国际上普遍认为当前控制理论面临新的挑战，酝酿着新的发展。

概括地说，当前控制理论所要解决的主要问题是研究复杂系统的有效控制。所谓复杂系统可认为是具有以下一些主要特征的系统：

1. 系统具有很强的时变和非线性。几乎任何真实系统都具有非线性，只是强弱不同而已。为了实现深层次、高性能的控制，就不能不充分考虑系统特性的时变性和非线性。举例来说，我国引进的 SU - 27 战斗机可实现超机动飞行，其攻角可在极短时间内达到接近  $90^\circ$  的程度，在此情况下它的气动特性全变了，用常规的线性化处理方法无法设计这样的控制系统。在民用方面，许多化工过程都有很强的非线性，其特性常随工况改变而改变，有时环境变了，特性起根本性的变化，即使仍然回到原来的环境和条件，原来的工况也无法恢复，造成灾难性后果，对于这类对象常规的 PID 调节常常不能满足要求。

众所周知，由于时变非线性动态方程没有通用的解法，因此和线性定常动态系统不同，远远未能建立起有效的控制系统设计方法，近年来由于微分几何、微分代数等数学工具的引进，非线性控制系统理论取得了一些突破性的进展，但仍然是很初步的，非线性控制系统性质复杂，许多特殊的性质，例如分岔、混沌等现象都可能在非线性控制系统中出现，对这些深层次的问题的了解，有待于对一般非线性动力学系统的深入研究，这正是当前数学界的一个重要课题。我们不能完全依靠数学家提供现成的果实，事实上也并非一定要对非线性动力学有了较完好的分析，才能对它作出有效合理的综合，然而对时变非线性动态系统提出一般化的有效设计方法毕竟是一件非常艰巨和困难的任务。

2. 系统具有复杂的不确定性和各种无法预料的干扰, 这种不确定性包括参数不确定性和结构上的不确定性。许多复杂的被控动态系统的维数是很高的, 因此在分析处理时只能用低阶动态模型去逼近它, 这就不可避免地存在未建模动态和不确定参数。为解决这类系统的控制, 近年来鲁棒控制器的设计以及适应对象变化范围宽的一些控制方法等得到了深入的研究。对于线性系统这方面的成果相当丰富, 但对时变非线性系统的研究仅只开始而已。

目前提出一些鲁棒控制方法, 包括一些自适应控制等都不可避免地要依赖于对系统数学模型的精确数学分析, 所以对线性系统取得的成果较多, 而对时变非线性系统则成果不多, 因为后者很难精确数学描述。而鲁棒控制设计又离不开以一定精确的数学模型为依据, 这就是矛盾, 这个矛盾若没有好的方法加以克服, 鲁棒性强的控制将难以得到。这点对时变非线性系统尤其突出。在这方面需要在概念上和方法上有新的创造。

3. 系统结构复杂、规模大。由于自动化技术应用的领域不断扩大, 受控的系统愈来愈复杂, 从控制系统的纵向看它包含了许多功能不同的层次, 从横向看它分成了许多互联的子系统, 例如 CIMS 技术就涉及全厂的综合自动化。如果说对较简单的单一动态系统可以仅用微分方程来描述的话, 对这种复杂大系统就不可能仅用微分方程来描述, 它的特性中至少要包括一些相互关系, 逻辑制约等等, 在时序上也不都是连续的。一些社会经济系统中还包括人在内, 人的个人意识也在起作用, 这类系统更是难以用数学方程来描述了, 更有本质不同的特征。

60 年代国际自控界发起推动“大系统理论”的研究。然而多年来这方面的成就不多, 一些主要成果基本上是线性系统理论在具有复杂结构下的推广, 远不能满足上述复杂系统的控制问题的需要。为解决问题需要完全新的途径和理论。现在迫切需要建立复杂系统的理论。在钱学森先生的倡导下, 多年来我国学者在这方面积极地开展了研究。

应如何解决上述复杂系统的控制问题? 同内外学者普遍意识到要走智能化的道路。实现控制要向人的智能学习。何为智能控制? 众说纷纭, 很难有确切定义。智能的程度是没有底的。由于目前认知科学发展水平有限, 短期内很难建立真正的高智能的控制理论体系, 但努力有的放矢地提高控制系统的智能化程度, 以求达到更好的效果无疑是当前重要的研究课题, 为此提出以下几点看法:

#### 1. 反馈概念的丰富和扩展

负反馈是控制的基本方法。常规的反馈是利用误差经过某种函数运算进行反馈, 这种函数关系由控制指标所决定。对于一个能控能观的系统, 控制指标和反馈方式有一一对应的关系。然而真正灵活有效的控制并不总是由一个单一的指标函数所决定的。一个有经验的驾驶员会根据被驾驶对象的状况、环境的变化等等随时改变驾驶策略, 为了快速机动有时甚至采用正反馈, 使系统不稳, 有时又要使系统快速稳定, 有时不用反馈而只用前馈, 等等。这就是说反馈的过程中要有实时的决策, 不能只用一种指标函数。当然理论上可以将各种指标函数组成一个综合的指标, 但要描述这样的指标函数将是十分困难的, 甚至是不可能的, 即使有了这样的复杂的指标函数, 也给统一的综合分析和设计带来了难以克服的困难。以上所述表明, 如何将反馈控制和实时动态决策融合在一起是一个很有研究价值的课题, 为此实现仿人智能的控制将是值得探讨的, 仿人控制将会提供给我们很多有益启示。

## 2. 系统建模以及建模和控制的结合问题

为实现有效的控制离不开对系统建模，现在人们研究在设计控制系统时如何能淡化系统模型，然而系统模型还是必要的，若模型可靠则必能实现有效的控制，在控制中加深对模型特性的了解，也必能改进控制，此二者有对偶性。对于线性系统建模方法已经研究得相当充分了。对于时变、非线性、不确定动态系统，建模方法的研究成果依然不多。近年来神经网络和模糊系统在系统建模和控制中的应用引起了极大的兴趣。理论证明两者都能逼近任意非线性函数。这附合 Weierstrass 函数逼近论的定理。但并未提出工程上令人满意的实现方法，要害之处在于尚缺乏真正快速的又不陷入局部最优的学习算法。人们的思维有两种，一种是数字的（Numeracy），一种是文字的（Literacy），后者常常含有更多的智能信息。目前现有的建模和控制基本上都是建立在数字式分析的基础之上的。事实上人在控制时并不一定需要知道精确的数字，而常只需要某些动态特征，例如系统是否会振荡、稳定度大不大，等等。因此在线定性建模、特征提取、行为分析就显得很重要了，它是实现智能化控制所需要的。事实上也并不需要完全建模之后才能进行控制，例如在慢信号作用下系统的高频部分不被激励起来，因此不必考虑。总之，在智能控制的范畴内，建模、控制和两者的相互关系要有新的考虑。

## 3. Metasynthesis 方法的研究

在研讨复杂巨系统的过程中，我国学者钱学森先生和戴汝为先生等提出 Metasynthesis 的概念，这是一个有很高研究价值的课题。前面已经提到，目前有必要建立真正的大系统理论，而 Metasynthesis 应是主攻领域。这里有待研究的问题很多，例如：各种方法的协调配合问题、合成稳定（resultant stability）和综合性能的分析、如何实现可操作的定性和定量分析的结合、控制系统的稳态结构设计、人的因素在系统中作用的分析，等等。可列举的问题非常多，大都还是些未被开垦的处女地。

## 现代信息技术与信息高速公路

母国光

南开大学

母国光 应用光学家,1931年1月22日出生于辽宁省锦西市。1952年南开大学物理系毕业,后留校任教,曾任南开大学校长、研究生院院长、博士生导师、中国科学院应用光学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)。主要从事光学和应用光学的科研和教学。在白光光学图像处理、光学模式识别、机器视觉、退色胶片的彩色恢复、彩色胶片的档案存贮、黑白片作彩色投影和显示,菲涅尔全息和串码滤波的三维目标的识别等方面取得多项重要成果。

### 一、信息时代

本世纪40年代到50年代,由于原子弹的爆炸,随后不久又产生了氢弹,许多人都说,人类进入了原子能时期,叫原子时代。随后50年代末期到60年代,苏联人造地球卫星上天了,人类的宇航事业有了很快的发展,这时,又有人说现在是卫星时代,或者说是宇航的时代。无疑,这些重要的科学成就,在人类社会上都产生了特殊的和突出的影响。举个有趣的例子,当年赫鲁晓夫访问美国,送给美国总统的礼物是苏联第一颗人造地球卫星模型,艾森豪威尔总统回赠的礼物是一套彩色电视。那个时候,从一般人来看,人造卫星是了不起的成就,而对美国的礼物,却是彩色电视一套,不大理解是什么意思。现在看来,那份回礼还是很有意义,值得深思。70年代末和80年代以来,半导体技术和电子计算机技术的发展使信息处理技术长足发展,特别是近20多年来的光纤、激光和光通讯的发展更加速了现代信息技术的发展。现在,从对人类科技整体的引导、对经济社会的推动、应用的广泛程度和层次以及对人民生活方式所起的变化等方面来讲,信息技术已具有显著的时代特征。不妨说,人类今天真正开始的是信息时代。

那么什么是信息?信息是科技体系的三基本要素之一。物质、能量和信息三者为科技的三基本要素。科技是第一生产力,信息加入生产实践,自然就成为重要的经济资源。

信息这个资源,它不像金银铜铁和山川湖海那样有形,也不像能量那样是依赖于物质的状态变化得来的。它是无形的资源,是科学规律,是外界事物在人的主观中的反映,是主观所联系的客观的情报,是数据库,是工程计划,是管理规律,是不同主体的相互依存关系和运行规律的情报等等。

例如,一户农家,化耕耘为收获,土地是他的有形的经济资源;一户商家,行销于市场,市场的行情是他的无形的经济资源。土地是经济资源,信息也是经济资源。

再如,蒸汽机的发明和后来的发展引起工业革命,电机的发明和后来的发展带来了电气化时代,就其科技体系来看,这两个革命都是把人从体力劳动里解放出来。

今天的信息技术用于现代大工业生产中,提高了生产效率,提高产品质量和效益,加速了生产过程,起到用信息技术代替人的脑力劳动,或者增加

智能的作用。它与物质、能量在生产中综合作用形成产品产出，它的经济资源的特性是明显的。

信息使人的主观世界与客观的外界事物联系起来，使不同的主体之间进行交流和联系。占有信息在经济上与占有空间和时间具有同等效益。而信息量是可以随人的创造而无穷尽。因而，今天信息已成为一个国家重要的经济资源。信息技术发展的程度将是 21 世纪国力和企业竞争力的重要尺度。

## 二、现代信息技术

现代信息技术包括对信息流的获取、传输、存储、处理、检测、显示以及应用等的一系列技术，是一门范围广阔、内容高度综合的科技领域。信息虽然是无形的，但是从其所应用的技术手段来讲，主要是以光电形式进行的，所以现代信息技术也可视为光电信息技术。下面提出一个要目，作为一个轮廓，从中可以了解信息技术的基本内涵：

### 1. 光电信息获取技术

- (1) 望远镜：天文，陆地，空间。
- (2) 照相机：摄像机，固体摄像机。
- (3) X - 光透视，层析 (CT, Computed Tomography)，衍射仪，NMR 技术。

- (4) 显微镜：电子显微镜，隧道显微镜。

- (5) 光谱仪器：发射，吸收，荧光，拉曼，红外，紫外，傅里叶光谱术。

- (6) 综合孔径雷达，航天航空摄影，多光谱成像，遥感。

- (7) 高速摄影。

- (8) 立体摄影。

- (9) 全息照相。(10) 内窥成像。

- (11) 夜视仪器，红外成像。

- (12) 编码彩色照相。

### 2. 光电信息传输技术

- (1) 电子通讯：无线电，有线电，固定式，移动式。

- (2) 光通讯：光纤，光缆，激光器。

- (3) 光纤通讯技术及光电子器件。

- (4) 光波通讯中的多参量复用技术。

- (5) 通讯网络。

- (6) 图文传真。

- (7) 卫星通讯。

### 3. 光电信息存储技术

- (1) 胶片信息存储。

- (2) 磁带存储。

- (3) 光盘存储技术 (音频、视频)。

- (4) 光学全息存储术。

### 4. 光学信息处理技术

- (1) 光学模拟计算机 (相干，非相干)。

- (2) 光计算与光互联。

- (3) 模式识别。

- (4) 人工神经网络。

## 5. 光电信息显示技术

- (1) CRT 与彩色电视技术。
- (2) 液晶显示与微型电视。
- (3) 液晶大屏幕彩色投影电视。
- (4) 高清晰度电视。
- (5) 激光扫描电视。
- (6) 激光彩色复印机及印刷机。
- (7) 电影技术。

以现代信息技术支持的信息产业，已形成现代社会经济的主要支柱产业，其规模之巨，史无前例。

## 三、信息高速公路

NII - National Information Infrastructure 直译为：国家信息基础设施，俗称：信息高速公路。

### 第一，信息高速公路的由来及内涵

#### 1. 美国首先提出建设信息高速公路

50 年代，美国把建造“州际公路系统”当作国家重点任务，所建成的州际高速公路（连接起来成系统）对每个美国居民的生活都产生了明显的效果，也使得美国国家整个经济和社会形式发生了巨大的变化，是一个成功的计划。所以高速公路在美国是一个吉祥的词儿。把 NII 称作国家信息高速公路一方面表示希望像当初州际公路那样成功，取得美满效果的愿望，同时也是一个很好的俗称，容易被广大群众理解。

信息高速公路浪潮。不论发达国家还是发展中国家，现在都致力于“信息高速公路”的建设，努力向人民提供基本的电话服务，并把政府、商业和个人使用的计算机通讯系统联系起来，用这样庞大的现代化的通信系统来促进本国经济的增长，并用这种系统来管理经济，以进一步提高人民生活质量和整个社会的文化水平。

美国历届总统素有提出一战略计划以振兴产业和发展经济的作法，如美国前总统里根 80 年代中叶提出战略防御计划（SDI），俗称星球大战。目的既是针对当时苏联的导弹的防御，又是以加强高新科技为国防服务来刺激经济增长，一举两得。1992 年，戈尔作为克林顿挑选的副总统候选人，在经济施政纲领中首先提出建设“信息高速公路”的设想。他把原有的用光纤连接超级计算机的概念扩大到连接每家每户，深入到社会生活的几乎每个角落的大范围。戈尔的设想被克林顿拿来作为竞选总统的口号。

克林顿认为，当前推动先进技术的动力来自民间工业，而不是军事工业（不言而喻这是指不能靠像里根的星球大战那样的计划）。只有加强美国的民用技术基础，才能一箭双雕地解决美国的国际经济地位上升和国家安全的问题。他还认为，进入 90 年代乃至 21 世纪，最有价值的资源是“信息”，若能建设一条沟通全美的信息高速公路，加速信息的交流，必将再次繁荣美国的经济。

——1993 年，克林顿和戈尔出任美国总统和副总统，不久成立了“信息基础设施特别小组”。

——1994 年 9 月，正式提出建立全球信息基础设施 NII 的倡议，1995 年联合国举行会议探讨由世界银行帮助发展中国家解决资金困难，美国可为

他们培训专业人员。

NII 在美国政府报告中有明确定义：国家信息基础设施是一个由“通信网，数据库计算机以及日用电子产品组成的完备网络”。通信网、信息源、终端设备和人是其四大要素。NII 中的通信网平台必须作到无缝连接，即：统一标准、互相开放、互连互通、互操作。

## 2. 美国信息高速公路浪潮的背景

社会经济上的原因。大型科技发展计划可改造传统产业，触发新技术革命，派生新兴产业，促进民间企业投资，从而达到刺激经济增长，增加就业机会的目的。同时，已领先于世界的美国半导体和集成电路工业可持续在国际领先。实施 NII 将为美国的工业部门创造新销售额估计可达 3000 多亿美元，至 2007 年的 GNP 可增加到 3210 多亿美元，劳动生产率增加 20% ~ 30%。

政治军事背景。美国提出信息高速公路计划除克林顿竞选总统时作为诱惑选民的口号外，还有通过发展信息科技以加强军事装备水平，进一步提高作战的快速反应能力和应变能力，进一步加强其世界超级大国领先地位的国际政治目的和其它方面的意图。

信息产业发展趋势。目前，发达国家的电信业务中，电话业务已日趋饱和。但是，由于数据库，计算机网络，有线电视以及多媒体终端的迅速普及与实用化，一些非话业务，如数据通信、图像传输等业务量逐年增加，这使信息高速公路诞生成为必然。

此外，计算机技术与通信技术的结合，特别是光纤传输与 ATM 交换技术的迅速发展，促使高速信息网的实现成为可能。

## 3. 美国发展信息高速公路的预期效益

任何新技术的发展极有可能产生原先预测不到的结果。如 19 世纪的电话，20 世纪的汽车，20 世纪中期的计算机，当时谁也无从预测这些发明如何实际应用和产生今日这样的社会效果。对于今天的 NII，我们相信也会有同样的情况。今天，我们比较明确知道的是美国如果建成这样的庞杂系统，将使美国人能够相互之间以及与世界上的人在任何时候和任何地方共享各种形式的信息。

美国政府预期的效益大致有：

(1) 巨大的经济效益。每年创造 3000 亿美元的经济效益，数以万计的工作机会，仅在通讯服务行业，10 ~ 15 年间可创造 30 万个新的工作岗位。将使现有办公方式由集中走向分散，使现存交通流量减少 30% ~ 40%，并大大减缓能源、医疗、交通、保健、全民教育和环境方面的社会问题。

(2) NII 被视为新技术的推动力。如半导体、高速网络软件及人机界面等方面，这些科技将会产生新的产品和服务，可以巩固美国在电子及信息科技方面的领先地位。

(3) 将带动信息技术及相关高新科技的发展。而信息技术设备的庞大需求市场，将成为经济发展的推动力。

(4) 促进电子商务的发展。即电子付款、多媒体邮件、中介服务、合作发展等业务，加强制造商、供应商和开发者之间的联系。

(5) 协助解决医疗问题，降低医疗费用。如远程诊断电子医疗保险和建立个人健康信息记录，提高医疗质量，降低成本。

(6) 每人都可享用信息，人人均有平等发展机会。不管你是处在什么地理位置，只要与信息高速公路相连，你就既是“信箱”又是“信源”。

(7) 科学家间远程共用科学仪器进行研究合作。

(8) 促进教育事业的发展。通过信息系统可以扫盲,进行职业教育、成人教育及义务教育。

(9) 提高政府工作效率和降低办公费用。充分利用信息高速公路的技术,形成面向群众的高水平、高效率的“电子政府”。

总之,NII 的建设有助于创造工作岗位,刺激经济增长,保持美国科技领先,将从各方面改变美国人的生活、工作和相互沟通的方式,深刻改变未来社会的结构。

#### 4. 信息高速公路建设中的技术问题

从“NII”的四要素出发:

(1) 信息设备 (Information Appliances)。就是提供信息并允许人们通过网络进行通讯的设备,如电话、电视机、传真机、个人计算机,以及将来可能产生的多媒体设备等。

(2) 信息资源 (Information Resources)。许多用户通过信息网进行电子存储并能使用的所有信息,如:广播、有线电视节目、有线资源及用户与商业数据库。

(3) 通讯网络 (Communication Networks)。包括本地和远距离电信网络(话务、视频、数据、图像)。其它如:广播电视和无线网络、有线电视网络、卫星和无线网络以及计算机网络系统(如 Internet)。

(4) 人的资源 (Human Resources)。人是 NII 最重要的一部分。由人来创建和使用信息资源,通过使用来发展应用,通过应用进一步发展信息技术。

关于 NII 的技术,尚有它自身的特点:

(1) 信息高速公路并不是一项从无到有的全新建设工程,而是大部分已存在于已有的光缆、同轴电缆、无线电波、卫星和普通电话线路的组成之中。首要的工程是将这些已有的网络系统组织到一起,并提供新的设备和新的软件。

(2) 光纤远距离网络传输宽带信息是信息高速公路的技术基础。如一对细玻璃纤维可容 53000 个电话传输,而光缆系统可容 1000000 个电话传输,也可容纳交互视频。

(3) 电缆电话的改造(交互式的改造)。

(4) 最后一英里问题(The last mile problem)。光缆线路装到节点,再由节点到用户。

(5) 宽带信号的压缩技术。

(6) ADSL(非对称数字用户线路),用于最后一英里。

(7) 投资问题。政府有限介入,宏观引导,以立法的手段,主要靠企业出力。

上面是美国的信息高速公路的概况。在他们之后,国际上不同国家根据自己的情况,都提出了自己的建设信息高速公路的计划或设想。

#### 第二,世界各国建设信息高速公路的态势

英国:计划今后十年投资 380 亿英镑建设 NII。1994 年 2 月 23 日,英国电信局宣布今后投资 100 亿英镑建立光纤通讯网络,向人们提供新闻、教育、商业、金融及娱乐等方面的服务。同一天,英国贸易和工业大臣表示,政府将建立 120 个新的数字式电视站,为把传真、电话、计算机和电视结合在一起

的装置开辟道路。

英国民间公司积极参与 NII 的建设。墨丘利公司同英电信局竞争，开设自己的全国通信网络。英国光纤公司计划利用英国现有的 2000 多英里长的运河铺设光纤网络。英国 1994 年初，2300 万个家庭中已有 60 万家装上了有线电视系统，英国电信局已在苏福克郡为 70 多家安装多媒体服务系统，如果这一试验成功，英电信就有可能把它的电话网络全部改成一个巨大的多媒体服务系统。

法国：1994 年 2 月，召开有关部长会议研究分析了称为“电子高速公路”的多媒体信息传输系统的发展前景。会议认为，在今后几十年里，电视、电信和信息将朝着一体化方向发展。随着数据信息压缩、光纤等科技的进步，图像、声音和信息数据可以通过大流量的交互网络同时处理和传输。这种多媒体高速信息传输系统，就是人们所说的信息高速公路。它的发展相当迅速，预计到 2000 年它的产值可占欧洲生产总值的 10%。

法国总理希望尽快制定一个措施，确定一个长远目标。要求法国的电信、电视、计算机信息和多媒体等行业，在这一场国际竞争中通力合作，在未来的三年内动员私营企业集资几十亿法郎参与建设，同时要发挥国营企业的主体作用。

加拿大：计算机网络已具有相当规模。约 240 万个家庭每家至少有一台计算机，其中，50 万台已配有调制解调器。这意味着这些家庭已能与计算机网络相连。计算机网络的广泛应用所建立起来的基础，已大大增加加拿大发展和建设信息高速公路成功的机会。

日本：早些年日本政府已提出了 Mandara 高速信息网计划。建设北起北海道南至冲绳的 10 个巨型计算中心，并将采用传输速率 3Gbit/s 的高速通信线路把这些中心连接起来，排成一个庞大的高性能计算网，同时加紧软件的研究。1993、1994 年准备，1995 年开设正式实施，为期 5 年。耗资 300 亿到 30000 亿日元。

日本邮政大臣说，日本未来经济发展的关键在于通信和信息。

建设日本“信息高速公路”的总体设想中，日本政府特别重视多媒体信息技术。计划从 1995 年起向全社会提供多媒体服务。（东京，1996 年春，利用光纤数字交互式有线电视网进行电视节目点播、电视购物、电视健康诊断等远距离医疗服务以及办公室电视信息通信服务的大规模公开试验。）

日本 NII 的特点：首先进行低成本技术的开发，争取产品超前实现商品化，用户重点先单位后家庭，同时建成 240 万人的“信息流通新干线”科技队伍（约占全国劳动人口的 3.6%）。

韩国：政府方面建设 NII 分两个部分：（1）公共机关，科研机构，大学和企业；（2）全国每个家庭，全国都能利用 NII。投资为 553 亿美元，其中，33 亿美元由政府提供，其余从民间筹集：1994～1997 年，20 亿美元（图纸传送，民事诉讼，音像会议）；1998～2002 年，53 亿美元（教育，医疗，电子图书馆，地理信息）；2003～2015 年，480 亿美元（传送数据，声音和图像的通信网）。

韩国通信公司：计划在 1997 年以前，在汉城当汝岛建立信息高速公路试验区，分两阶段：（1）1996 年 11 月以前用光缆联结 200 至 300 个家庭、企业和行政机构，配备多媒体信息终端，提供未来型的信息通信服务，如计算机购物，遥控医疗，电子图书馆，遥控教育等。（2）提供多边电视会议和电

子博物馆服务。到 1997 年将提供家庭和办公室之间的高速传送动态图像和数据的多媒体通信服务，人们可以在家里办公。

新加坡（智能岛）：政府与企业相结合，制定以信息技术供求两方面为重点的发展计划，加强信息技术与本土信息技术产业的开发，促进经济的高速发展。优先开发信息技术和发展信息产业，国家以优惠政策予以扶持，以期超前发展。

新加坡 1994 年 1 月 8 日提出使全境真正成为一个“智能岛”的国家技术计划。根据这个 IT 计划，他们将组成通讯网络、计算机数据库和用户电子设备的大联网，从而改变人们的生活方式、工作方式和相互间的交流方式。届时，不仅使世界各地的距离缩短，而且使新加坡在海外的企业网络可以紧密配合起来。新加坡将不因其国土小而限制了它的国际企业的发展。

欧盟：欧盟提出建立欧洲信息社会的倡议——“振兴经济，提高竞争力和创造就业机会”。他们认为，当前首要的是实现四大关键要素的统一：

- 网络统一（光纤或卫星高流量传输网络）；
- 设备统一（多媒体工作站，手提式数据储存与处理设备）；
- 服务统一（电子邮政，数据存取）；
- 特殊的硬件和软件统一（平台，软件）；

欧盟还有几个计划：

一是，西欧公路运输管理信息化：建立自动化公路信息管理系统。使车辆与智能基础设施，车辆与驾驶者之间的信息自动变换系统，使其能相互自动交换各种实时信息，如行车位置、交通状况、事故警报、疏通导向、气象预告以及如旅馆、旅游、娱乐等各种服务信息。这样，未来 15 年可创造约 2000 亿埃居的市场。

二是，建立医疗卫生信息服务系统：解决医疗保险费居高不下，又要更新医疗设备的问题，寻求有效的医疗手段和药物。储存病人全部信息病历档案，建立病人与医疗卫生有关单位（医生、实验室、医院、血库、器官库、急救中心、康复中心及社会安全机构等）的信息传输网络，实现“无纸”电子数据交换，进行远距离诊断及设立信息化家庭病床。从而确保卫生系统的高效、安全，避免浪费和反复诊断，促进大幅度降低医疗费用。

未来 10 年 350 亿埃居的投资，可创造 1000 亿埃居的市场。

三是，建立信息教育培训系统：未来 5 年中投资 50 亿埃居。从上述三个计划可以看出，欧盟是把高速信息公路建设，看作是社会发展建设与发展经济建设的重要实施。

综观上述情况，可以看出，国情不同，所要解决的问题也不同，同是叫信息高速公路计划，而内容却有区别，每一国家都是结合自己国家的实际，提出设立的高速信息公路的建设计划。我们怎么办？要吸取世界先进的技术、经验与历史教训。

第三，我们应该采取的对策

首先，我们应该把国家信息基础设施的建设置于国家大事的地位来看待，因为它所涉及的问题绝不仅是技术和经济问题，而会牵动整个社会的经济发展、科技进步以及人们的工作和生活方式的变化。特别是，它是在世纪末和 21 世纪初所能遇到的最大的系统工程和最大的产业，无论发达的国家还是发展中的国家都面临着这种既是机遇又是挑战的形势。不同国家根据自己的情况都做出或正在做出自己对策，我们应该认真调查研究，弄清信息技术

和信息高速公路的内涵，以及有关的问题，然后结合国情和实际需要与可能做出自己的建设计划，发展自己国家特色的 NII。美国人创建信息高速公路，固然是要使美国的通讯现代化，提高社会的科技水平和工作效率，但他们一刻也没有忘记发展信息产业，增加就业岗位，提高经济效益，克林顿总统所说的要“一箭双雕”才是真正的核心所在。

其次，要从中国实际出发。什么是我国的实际？那就是一方面，我们同发达国家同样急需建设高速度、高效率的与国际接通的现代通讯系统，以促进我们的工、农、国防科学、教育和商业诸方面的发展。没有它，就要落后挨打，就会更加失利。所以要抓住发展机遇，不失时机地把 NII 建设起来。另一方面，要考虑到我们是发展中国家，我们的信息产业还相当落后，我们还不能用自己的信息产业的产品来建设所需的信息高速公路。这是不能回避的一个矛盾。但是，建设 NII 不能专靠外国的设备和技术。如果我们不是用自己的技术和产品来建设如此庞大的中国的信息高速公路而拱手于国际，让外人的产品和技术来占有，那将是最大的失策。

我们应该发扬自强不息的光荣传统，像当年造原子弹、导弹、卫星那样，集全国之力，全国一盘棋，统筹安排。一手抓信息高速公路的建设，一手抓现代信息技术和信息产业的发展。弘扬中华民族的无坚不克、无战不胜的精神，在这场跨世纪的信息高速公路的建设竞争中显示出中国人民的力量与智慧，为人类社会的进步做出新贡献。

# 中国的水利建设

严恺

河海大学

严恺 水利专家和海岸工程专家。生于 1912 年 8 月 10 日，福建省闽侯县人。1933 年毕业于交通大学唐山工学院。1938 年获荷兰德尔夫特科技大学工程师学位。河海大学教授、名誉校长。1955 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事水利工程，特别是海岸工程方面工作。

我今天要讲的题目是：中国的水利建设。我们都知道，水是人类生活和生产不可缺少和不可替代的基本物质和自然资源。水资源的开发利用是人类赖以生存和发展的重大课题。广义的讲，水利建设就是开发利用和保护管理好水资源，达到兴水之利，除水之患的目的。中国人民同水打交道，同水作斗争有着十分悠久的历史，传说中的古代大禹治水，13 年三过家门而不入，就是发生在 4000 多年以前，人们所经常乐道的事。翻开中国历史，凡是在昌盛时期，没有不把水利作为安邦定国的大事来抓的，而社会动乱又往往是从严重的水旱灾害所引发的。可见水利在中国所处的重要地位。新中国成立以后，党和政府就对水利建设十分重视，特别是近几年来，水利在国民经济建设中的地位更得到进一步的确认。水利已被列为国民经济和社会发展的基础产业和基础设施。水利不仅是农业的命脉，而且还关系到人民生命财产的安全和社会的安定，成为国民经济的命脉。

水利建设的范围十分广阔，凡是水资源的开发利用和保护管理的事业都属于水利的范畴。主要包括：防洪、农田水利（灌溉、排涝、水利土壤改良）、水力发电、航运（内河航运和海港建设）、城乡供水、海岸防护、围海工程和海涂利用，以及环境水利等。发展水利事业不仅限于陆地，而且百川归海，还跨越海岸线到沿海地带，包括海岸带的开发利用。

下面想讲四方面的问题：

- 一、中国水资源的特点和开发利用中应重视的问题
- 二、中国水资源的开发利用现状
- 三、当前几项重大的水利建设工程
- 四、中国水利建设的展望

## 一、中国水资源的特点

陆地上的水资源来自降水，全球年平均降水量为 800mm，我国为 630mm，较全球的平均约少 20%。降水量中约有 56% 被蒸发蒸散，只有 44% 形成径流。全国河川平均径流量为 2.71 万亿  $\text{m}^3$ ，为全球 47 万亿  $\text{m}^3$  的 5.8%。虽然我国河川年径流量在世界上仅次巴西、原苏联、加拿大、美国和印尼居世界第六位，但由于国土辽阔，人口众多，人均所占有的水资源只有 2300 $\text{m}^3$ ，还不到全世界人均占有量 10800 $\text{m}^3$  的 1/4，可见我国水资源是十分紧张的。但我们却能以较少的水资源在全球 7% 的耕地面积上养育了全球 22% 的人口，这确实是很不简单的。

除了水资源量偏低外，我国水资源另一突出特点是：在地区和季节分布上很不均衡，并且与人口、耕地的分布不相适应。我国南方雨量充沛，而北

方，尤其是西部地区，雨量稀少，有的地方甚至终年无雨，干旱严重。全国水资源约 80% 集中分布在长江及其以南地区，而这一地区的人口占全国的 55%，耕地只占全国的 35%。长江以北广大地区人口占全国的 35%，耕地占全国的 65%，而水资源却只占全国的 20%。其中黄、淮、海、辽四个流域耕地占全国 42%，而水资源只占全国的 9%。这就形成了南方水多耕地少，北方水少人多耕地多的局面，水资源的分布十分不均衡。

在时间分布上，我国的雨季在南方大致是 3 月到 6 月，或 4 月到 7 月，在这期间的降水量约占全年的 50%~60%；在北方，不仅降水量小于南方，而且分布更不均匀，一般在 6 月到 9 月的降水量达到全年的 70%~80%，有时甚至集中在两个月内。

从河流多年径流量的变化来看，南方河流比较均匀、稳定，北方变化较大，最大年径流量和最小年径流量的比值，长江为 2.1，钱塘江为 4，淮河支流为 11~23，海河南面各支流（子牙河、南运河）为 12~76，越向北变化越大。

由于以上所述的降水量和径流量在时间上和空间上的剧烈变化，就造成了水旱灾害频繁，农业生产不稳定，以及水资源供需的尖锐矛盾。

以上是从水量上评价我国的水资源，如果从水能资源来看，中国河川的水能资源还是很丰富的。全国水能资源的理论蕴藏量总计达 6.76 亿 kw，约占全世界的 1/6，其中可以开发的水电装机总容量为 3.78 亿 kw，居世界首位。如果全都开发，就相当于全国现有水火电总装机的将近一倍。

水能资源在全国各地的分布也很不均匀。长江流域的水能蕴藏量占全国的 40%，可开发的占全国的 53%，其次是西南地区一些河流。海河、滦河及淮河流域最小，还不到全国的 0.5%。

百川归海，沿我国大陆 18000km 海岸线，有众多的河流，挟带着大量的泥沙、丰富的溶解矿物和有机营养成分流到海里，对我国沿海地区的开发起着重要的作用。河流泥沙是形成沿海广阔滩涂的主要物质来源，不断为国家增添新的土地资源。例如江苏省的海岸线在 2000 多年前还在盐城、东台和南通一带，距现在的海岸线 20~40km 到 50~60km 不等。古长江口那时还在扬州、镇江一带。河流带入海里的营养成分为发展沿海渔业和水产养殖提供了丰富的饵料。漫长的海岸线和众多的河口为建设海港提供了有利的条件。沿海还蕴藏着大量的海洋能资源，据不完全统计，沿海 200kw 以上可开发的潮汐电站总装机可达 2173 万 kw。所以海岸带的开发利用对发展国民经济具有重要意义。

针对我国水资源的特点，在开发利用中我们应重视以下几方面问题。

1. 西北地区干旱少雨，东南沿海和广大平原地区低洼易涝，有些年份西北、华北地区春季干旱，夏季又洪涝成灾，因此防洪治涝，灌溉抗旱，历代都是关系到国计民生的重大问题。据不完全统计，从公元前 206 年汉代初到 1949 年建国前 2155 年间，全国共发生较大洪水 1092 次，较大旱灾 1056 次，大约平均每两年就有一次水灾、一次旱灾。建国以来国家投入很大财力物力和人力进行水利建设，但全国平均每年仍有 2~3 亿亩农田受到不同程度的水旱灾害。因此防洪抗旱仍是我国今后水利建设的主要课题。

2. 北方普遍缺水，华北平原由于地表水不足，许多地方开采地下水过量，导致地下水位显著下降，大量机井失效，并造成地面呈漏斗状的沉陷。天津市因海河水源不足，一度不得不从黄河引水，后来又进行了引滦工程；北京

市也严重缺水。所以开辟新的水源，进行南水北调，势在必行。

3. 江河湖海污染严重。大量未经处理的工业废水、生活污水和含有农药、化肥的田间排水直接流入江河湖海。随着经济建设的发展，情况将越来越严重，特别是一些主要城市尤为突出。以上海为例，黄浦江一直是上海的主要水源，近年来，由于污染而发生黑臭，1978~1980年，每年有100天发生黑臭，1981年增加到150天，1990年已增加到200天，引起了上海市领导的高度重视，采取积极措施加以防治，并开辟新的水源，从长江引水。北京市每年排放7~8亿 $\text{m}^3$ 的污水，造成环境的严重污染。所以保护水资源已是刻不容缓。一些大江大河的污染也十分严重。例如1994年7月在淮河就发生了重大污染事故。当时由于淮河上游河南境内突降暴雨，颍上闸上水位暴涨，超过了防洪水位，不得不开闸泄洪，致使闸上累积下来的2亿 $\text{m}^3$ 污水一下放了下来，等于一颗重磅炸弹，顺河而下，使下游深受其害。另外太湖的污染也日趋严重，必须及早采取有力措施加以防治。

4. 工农业用水普遍存在严重浪费现象。在灌溉方面，由于工程老化，不配套和管理不善造成水的严重浪费。绝大部分渠道没有防渗措施，渗漏损失一般达到引水量的30%~40%。我们灌溉水量也偏高，有的地方达到每亩年用水量1000 $\text{m}^3$ 之多，喷灌、滴灌和管道等节水灌溉技术还未得到推广。在工业用水上，也存在严重浪费现象。例如一些工业先进国家每炼一吨钢用水3~5吨，而我国多在10吨以上，水的重复利用率也很低。因此节约用水实属当务之急。

5. 为了缓解大陆资源日益短缺和人口负载不断加剧，向海洋进军，开发利用丰富的海洋资源已越来越引起人们的重视。预计21世纪将进入全面开发海洋的新时期，而海岸带作为向海洋进军和对外开放的前沿阵地和桥头堡更具有特殊的战略地位，应引起我们足够的重视。

## 二、中国水资源的开发利用现状

新中国成立以来，水资源的开发利用已取得了很大的成就。

1. 防洪建设。全国共修建和加固堤防25万 $\text{km}$ ，保护耕地5亿多亩，人口3.4亿。全国修建大中小型水库86000多座，总库容达4700亿 $\text{m}^3$ ，在防洪上发挥重要作用。还在主要江河上开辟了行洪、分蓄洪区100多处，分蓄洪容量达1200亿 $\text{m}^3$ ，用以容蓄超标洪水。例如长江的荆江分洪，在1954年的长江大洪水中发挥了作用。主要江河上都建立了水情预报，防汛通讯和调度指挥系统。我们还大力推行了水土保持工作，这对减少水土流失和河道淤积有明显的效果。

有了上述这些工程设施使我国主要江河初步形成了防洪体系，并初步控制了10~20年一遇的洪水，提高了主要河段和大中城市的防洪标准，防洪效益显著。

2. 农田水利建设。经过40多年的大规模农田水利建设，全国的灌溉面积已从1949年的2.4亿亩发展到目前的7.5亿亩，增长了两倍，约占全国耕地面积的一半。全国有3/4低洼易涝农田，2/3盐碱地和1/3以上的渍害低产田得到不同程度的治理，这些都对保证农业生产，特别是粮食稳定增产起了十分重要的作用。

3. 水电建设。1949年全国水电装机只有16万 $\text{kw}$ ，1995年已达到4000万 $\text{kw}$ ，居世界第四位。我国小水电发展较快，考虑到农村电气化是亿万农民

的大事，国家早在 70 年代就十分重视发展小水电，并在全中国选定 100 个试点县，实现农村电气化试点。中国小水电建设在国际上享有较高的声誉，在杭州设有亚太地区小水电站研究培训中心。

4. 港口航道建设。50 年代初全国沿海只有 6 个主要港口，总泊位 233 个，其中万吨级深水泊位 61 个，年吞吐能力只有 1000 多万吨，到 1995 年底深水泊位已超过 400 个，总吞吐能力已达 7.4 亿吨，并建成了一批 5~10 万吨级的深水码头，宁波北仑港的 20 万吨级深水泊位已经投入使用。

在内河航运方面，我国河流众多，流域面积在 100km<sup>2</sup> 以上的河流有 5 万多条，其中可以通航的有 5600 多条，此外还有大小湖泊 900 多个，为发展水运事业提供了有利条件。水运具有运输能力大，运输成本低等优点，是交通运输系统的重要组成部分。新中国成立时全国内河航道里程为 7 万余 km。现已达到 10.9km，发展速度不及其它运输方式。

5. 海岸带的开发利用。中国有 18000km 海岸线和 6500 多个沿海岛屿，沿海一带蕴藏着十分丰富的自然资源。如果再从海岸向外伸展，还有广阔的大陆架和专属经济区，再向外还有国际共有的大洋，那么资源就更丰富了。特别是大洋里，有些资源，如水产资源、矿产资源等更是陆地上所不能比的。例如矿产资源中的多金属结核资源，又称锰结核，分布在水深 3000~6000m 的海底表层，是一种含有锰、铜、钴、镍等 30 多种金属元素的结核状矿产，总储量达 3 万亿吨，太平洋占有一半，这些资源我国都较贫乏，不能满足工业生产的需要，所以向海洋索宝具有重要意义。

沿海除前面所提到的港口资源外，还有大面积的土地资源。这主要是指潮间带的沿海滩涂，估计约有 3300 万亩，是位于大潮高潮位和大潮低潮位之间的土地，而且还在不断淤涨，速度每年大约为 45 万亩。40 多年来，全国沿海共围涂近 1800 万亩。围海造地不仅为我国沿海地区发展农业、盐业、养殖业提供了大量用地而且也为沿海港口建设、工业及生活设施等提供了急需用地，它已成为解决我国沿海地区人多地少，经济和社会发展与土地不足之间矛盾的重要途径。

### 三、当前几项重大水利建设工程

近几年来水利事业越来越受到党和政府的重视和为广大群众所关心，水利建设蓬勃发展，许多大型工程陆续上马或加紧进行前期准备工作。这里不能一一介绍，只能就大家所关心的，对国民经济建设影响深远的几项大工程作简单介绍。

1. 首先是长江三峡 这是举世瞩目、史无前例、影响深远的超大型工程。从这项工程最初提出到终于上马曾经历了长时期的复杂过程，系统地介绍花的时间太多，现在只择要讲一下。

暂不提以前做过的一些工作，三峡工程从 50 年代开始就进行了大量的勘测、试验研究和规划设计工作。由于工程规模大、牵涉的问题多，虽经反复研究论证，仍长期难以定下来。为了最终解决这一复杂问题，国务院于 1986 年责成水利部在广泛组织与工程有关的各方面专家参加的基础上，对三峡工程重新进行论证。有 412 位专家参加了这项论证工作，最后于 1989 年提出了《三峡水利枢纽可行性研究报告》，上报国务院。国务院对此十分慎重，又于 1990 年 7 月召开了有各部委和各方面（包括反对这项工程的）专家参加的“三峡工程汇报会”，听取各方面的意见，最后经党中央和国务院讨论后，

报请全国人大审查。在七届全国人大第五次会议上经过认真讨论，于 1992 年 4 月 30 日通过了兴建三峡工程的议案。此后又经过两年多的准备工作，三峡工程终于在 1994 年 12 月 14 日正式开工。坝址在湖北宜昌上游约 40km 的三斗坪。最后确定的工程规模为：正常蓄水位 175m，坝顶高程 185m，水库总库容 393 亿  $\text{m}^3$ ，其中防洪库容为 220 亿  $\text{m}^3$ ，移民数量将超过 100 万人，工期 17 年，按 1993 年 5 月物价水平估算，静态总投资为 900.5 亿元（枢纽工程 500.5 亿元，移民 400 亿元）。

三峡工程效益主要是在防洪、发电和航运三方面：

（1）防洪 长江中下游平原受洪水威胁十分严重，而且这里的工农业生产发达，沿江有许多重要城市和铁路，一旦发生水灾损失就非常大。例如 1931 年洪水就淹没农田 5000 万亩，灾民 3000 多万人，淹死 14 万多人，汉口被淹 3 个月之久，损失惨重。三峡水库位于长江上游的末端各主要支流（金沙江、岷江、赤水河和乌江）汇入长江后的河段，紧挨川东暴雨区，而且靠近中下游的防洪重点荆江地区，所以在防洪上位置十分优越。水库有 220 亿  $\text{m}^3$  的防洪库容，对各种不同来源的洪水通过水库调度都能发挥不同程度的重要作用，效果显著。

（2）发电 我国虽然煤矿储量和水力资源都十分丰富，但在地理上分布很不均匀。华北有大量煤矿，西南有丰富的水力资源，而华东二者都很贫乏。三峡水电站以它的有利地理位置和巨大的装机容量将大大缓和华东、华中和川东地区的电力短缺，而且三峡水电站恰处在“南水、北煤”的分界线上，因此可以对水火电发挥补偿调节和配合运行的重要作用，可以改善我国的能源结构。采用 175m 正常蓄水位方案，三峡水电站总装机容量将达 1820 万 kw（26 台 70 万 kw 水轮发电机组），相当于目前水火电总装机的 9%，水电总装机的将近一倍；年发电量 847 亿  $\text{kw} \cdot \text{h}$ ，将来还可以扩大装机。

（3）航运 长江是我国的一条大动脉，号称黄金水道。从四川宜宾到河口长 2800km，终年可通轮船。但这段河的上半段，从宜宾到宜昌 1030km，称为川江，航运条件较差。特别是从重庆到宜昌的 660km，对出川货运十分重要，但这一河段地处丘陵和高山峡谷之间，水流急、险滩多，航运条件更差，有不少地方只能单线航行。这一河段的下段就是三峡河段，长 200km，河槽宽度只有 150~250m，最窄 110m，在洪水季节每日水位变幅可达 10m 或更大，一年变幅达 50m，对航运极为不利，以往经常发生翻船事故。在整个川江每匹马力推轮只能推 0.9~1.2 吨货物，而长江下游则可达 7~10 吨。

三峡工程建成后航运条件将大为改善。175m 正常蓄水位方案，回水可到重庆九龙坡，长 600 多 km，几乎淹没了所有 139 处险滩，46 处单线航道都可以改为双线，为万吨级船队自长江中下游直达重庆港创造了条件。所谓万吨级船队是指一艘推轮顶推若干支 1000~3000 吨的驳船，如  $1+9 \times 1000$  吨， $1+6 \times 2000$  吨， $1+4 \times 3000$  吨。对于三峡水库下游来讲，由于工程建成后枯水季节下泄，流量增加，对航运也是有利的。

除了上述防洪、发电和航运效益外，三峡工程还有其它方面的效益，如对沿江城镇的供水，南水北调（中线），以及水产养殖、发展旅游业等。当然三峡工程也带来一些不利影响，主要是对生态与环境的影响，但在采取一定的措施后是可以消除或减轻的。另外还有移民太多，难度很大等等。也有人担心，一旦发生战争，敌人导弹落在大坝上，大坝溃决，水库水大量下泄，后果将不堪设想。其实关于三峡人防问题，早在 50 年代就进行过研究。三峡

工程的人防要两条腿走路，一条是积极防空，争取在核弹头未到目标上空就消灭它；一条是消极防空，即从工程技术上采取防护措施来减少损失。30多年来做了大量的化学爆炸模拟试验和防护方案研究，同时还进行了溃坝的水工模型试验。

大量试验表明，在正常运行情况下，汛期水位 145m，流量  $56700\text{m}^3/\text{s}$  时大坝全溃，库水下泄，最大流量可达一百几十万  $\text{m}^3/\text{s}$ ，确实是很吓人的。但由于地理位置好，三峡水库以下从莲沱到南津关三峡的出口有 20km 的峡谷，还转了三个  $90^\circ$  的大弯，可以把溃坝下来的流量大大削减，达到 20~30 万  $\text{m}^3/\text{s}$ 。等到洪水出了峡口通过荆江分洪到达荆江大堤时，沙市水位也还不超过保证水位 45m。即使在非汛期库水位 175m，入库流量  $10000\text{m}^3/\text{s}$  时垮坝，沙市的最高水位也只有 45.75m，不致于漫顶。当然为了使荆江大堤更安全，减少损失，最好在非汛期或汛期都降低水位运行。实际上战争打起来，事先总有个预警时间，而且也会有些迹象，只要有几天给三峡水库放水就够了。还有人认为三峡工程将导致坝上游泥沙淤积，影响水库寿命，这将对航运很不利。为了弄清这些问题，曾进行了大量的物理模型试验和数学模型计算，结果表明水库采取“蓄清排浑”的运行方式，100 年后水库仍将保持 86% 的防洪库容和 92% 的调节库容。对局部泥沙淤积造成的障航，可以通过航道整治、疏浚、调度得到改善。

2. 南水北调工程 这是解决北方水资源短缺的重大战略措施，共有三条调水线路，各有其供水范围。

(1) 东线调水工程，就是从长江下游江都抽长江水，沿京杭大运河逐级提水北送，经洪泽湖、骆马湖、南四湖和东平湖，在位山附近穿过黄河后，就可以自流，经过卫运河、南运河到天津，全线长 1150km。全线最高处东平湖蓄水位与江都抽水站的水位高差 40m，总扬程 65m，共建 13 个梯级泵站，供水范围是黄淮海平原东部地区，包括淮河蚌埠以下和沂沭河下游平原，南四湖周边、山东梁济运河沿线和鲁北部分地区、河北黑龙港和运东地区、天津市等，还包括山东胶东地区部分城市。主要任务是向这些地区供水，适当扩大灌溉面积，结合输水，恢复和提高京杭运河的通航能力。结合调水工程还可以提高沿线的排涝能力，维护和改善生态与环境等综合效益。

近 40 年来，江苏省为了解决苏北地区排涝和缺水地区的灌溉需求，一直持续地进行着江水北调工程建设。正在兴建的还有泰州引江工程和世行贷款的三庄泵站工程，调水工程已有了较好的基础，便于扩大规模，并向北延伸，向河北、天津供水。这项工程可以分步实施。东线工程的优点是可以主要利用现有河道扩大，向北调水，可以利用洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖和黄河以北的一些洼地调蓄水量。据估计总调蓄库容可达 90 多亿  $\text{m}^3$ ，不仅可以缓解远距离调水中的供需时差和地区间的矛盾，还可以提高供水的可靠性。同时线路工程相对简单，技术成熟，风险小，工程具有输水、灌溉、航运、排涝等综合效益。大家所担心的是调水的水质问题，主要是沿线城镇排入的污水和卫运河上游卫河水系污水的污染。

(2) 中线调水工程，从汉江丹江口水库引水，经河南、河北到北京、天津，供沿线城市生活和工业用水，输水总干渠全长 1246km，沿伏牛山南麓向北，穿过黄河后再沿太行山东麓北上到北京。共研究了两组调水方案，一组是汉江丹江口水库大坝暂不加高，不移民，另一组是大坝加高移民。经对各种不同组合的方案进行比较，1996 年 1 月 22~24 日召开了“南水北调工程

论证工作第二次会议”进行讨论，认为近期以实施加高大坝，调水 145 亿  $\text{m}^3$  的方案为宜。如国家财力有限，资金筹措困难，可再分期实施，暂不加高大坝，调水 75 亿  $\text{m}^3$ 。最终目标，远期调水 220 亿  $\text{m}^3$ 。

中线调水工程引起不少争议，持怀疑态度者认为在 1246km 的总干渠中有 500 多 km 为填方渠道，渠水位高出原地面的渠道占全长的一半，形成悬河；沿线与 700 多条河沟交叉，其中较大河流 219 条，工程失事造成灾害的机遇较高，风险很大，等等。同时投资很高，145 亿  $\text{m}^3$  方案的静态投资达 518 亿元。

(3) 西线调水工程，从长江上游干支流调水入黄河上游，引水路线拟定从通天河、雅砻江、大渡河上游筑坝建库，采取引水隧洞穿过长江与黄河分水岭巴颜喀拉山引水入黄河，年平均调水量 145 ~ 195 亿  $\text{m}^3$ 。西线调水主要是提供黄河上游青海、甘肃、宁夏、内蒙、陕西、山西等六个省、区城市生活用水和工业用水，补充农林牧业的水源。西线工程处在海拔 3000 ~ 4000m 地区。由于长江上游各引水河段水位低于入黄河的水位，因此需要修建高坝和开挖超长隧洞，坝高在 150 ~ 350m 之间，隧洞长度达 30 ~ 160km。因海拔高，严寒缺氧，气压低，施工条件十分困难。对于这些问题都必须进行深入细致的调查和科学研究，组织各方面力量联合攻关，才能促进西线工程早日实现。

3. 黄河小浪底水利枢纽工程 这是在开发治理黄河中具有重要战略地位的工程，位于河南省洛阳市以北 40km 的黄河干流上，是黄河三门峡以下唯一能够取得较大库容的控制工程。它是以“防洪、防凌、减淤为主，兼顾供水、灌溉和发电，蓄清排浑”的综合利用水利工程。建成后可以使黄河下游防洪标准从现在的不到百年一遇提高到千年一遇，基本上解除黄河下游洪水和冰凌的威胁，减缓下游河道的淤积。

小浪底水库正常蓄水位 275m，总库容 126.5 亿  $\text{m}^3$ ，它控制了黄河流域面积的 92.2%，即 69.4 万  $\text{km}^2$ ，装机 6 台 30 万 kW 水轮发电机组，总装机 180 万 kW，年发电 51 亿 kW·h，总工期 8 年，预计 2001 年底可全部建成。小浪底移民数量也比较大，有 18.1 万人。

以上三项大型工程李鹏总理在 1996 年 3 月 5 日八届人大第四次会议上所作《关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标纲要》的报告中都提到了。除此以外还有一项也想在这里谈一下，就是长江口整治工程。

4. 长江口整治工程党的十四大提出了：“以上海浦东开发开放为龙头，进一步开放长江沿岸城市，尽快把上海建成国际经济、金融、贸易中心之一，带动长江三角洲和整个长江流域地区经济的新飞跃”重大战略决策。最近李鹏总理在视察浙江、江苏和上海时又提出，应把上海建成国际航运中心，这是一项十分重要的指示，因为这是使上海成为国际经济、金融、贸易中心之支持条件，是带动长江三角洲和整个长江流域地区经济新飞跃战略决策的关键性举措。目前使上海成为国际航运中心的主要障碍是长江口的入海航道水深不足。

长江口长期处于天然状态。河口拦门沙自然水深只有 - 6m，每年通过挖泥 1000 多万  $\text{m}^3$ ，也只能维持 - 7m 水深，万吨级海轮要趁潮进出。随着国际海上运输的发展，船舶的吨位也不断增长。作为国际航运中心必须使 5 万吨级、10 万吨级的海轮以及第三第四代集装箱船能进出港口。因此整治长江口，开辟入海深水航道实属当务之急。

对于长江口的整治研究，自 1958 年以来已持续地进行了大量工作。为了实现开辟入海深水航道，近几年来经南科院、河海大学、上海航道局等单位的通力合作，于 1994 年提出了开辟南支北槽深水航道的方案，这个方案已于这年四月通过国家计委组织的鉴定和验收。这项工程采用双导堤，和束水丁坝为主，辅以疏浚，将现有北槽航道分期增深，最终达到 - 12.5m，使第三、第四代集装箱船和 5 万吨级散货海轮可以全天候进出长江口，并且可以直驶南京。10 万吨级海船可趁潮进出长江口。

以上谈了四项比较重大的水利工程项目，其他还有许多重要工程，如大型水电站建设，沿海深水港口建设等因时间关系就不讲了。

#### 四、中国水利建设的展望

水利是经济社会发展的重要基础产业，是国民经济的命脉，还关系到人民生命财产的安全和社会稳定，所以加快水利建设是我国今后长期的重要任务。

1. 首先要加快大江大河的治理，特别是大江大河洪水威胁始终是中华民族心腹之患。李鹏总理曾指出必须下最大决心，使大江大河在近几年中尽快达到能防御建国以来发生过的最大洪水的标准，并在以后不断提高防洪标准。要加快城市的防洪建设，目前我国 600 多个城市中有 470 多个都有防洪任务，一定要引起足够的重视。

2. 其次，由于我国水资源并不丰富，所以要千方百计节约水，我国还有 300 多个城市缺水，其中 108 个严重缺水。必须开源与节流并重，对水资源进行综合开发、综合利用、综合治理，发挥水资源最大综合效益，要依法治水，依法管理好水资源。

3. 在水电建设方面，现在全国水电装机 4000 万 kw，要求在本世纪末翻一番，达到 8000 万 kw，2010 年再翻一番。为了充分利用水能，要建设一批抽水蓄能电站。

4. 在内河航运建设方面，虽然全国航道里程已达 10.9 万 km 但能通行 300 吨以上船舶和驳船船队航道只有 1.3 万 km，要在“九五”期间增加至 2.3 万 km 任务还很艰巨。

5. 在沿海港口建设方面，今后要建设一批沿海深水泊位，以适应世界海运事业发展的需要，要进行全面规划，也不能每县市都修建深水港口，要大中小型港口相结合，合理分工，协调发展，建成若干港口群。

6. 此外在沿海潮汐电站建设、围海和海上人工岛建设上也将有所发展。

在大力发展水利建设的同时，还必须重视水质污染和减少水土流失，遏制水环境日益恶化的趋势，这仍是今后长期而艰巨的任务。