

《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

（中）

05

上海市黄浦区教育信息中心

当前我国大城市交通问题的原因、趋势与建议

周干峙

建设部

周干峙 建筑学和城市规划专家。生于 1930 年 6 月 28 日，1952 年清华大学建筑系毕业。建设部高级建筑师。1985 年后曾任建设部副部长，国际建筑师协会理事。现任清华大学教授，博士生导师，中国城市规划学会副理事长，1991 年当选为中国科学院院士。1994 年当选为中国工程院院士。主要曾从事西安、唐山、天津、深圳等大城市的总体规划。

城市交通问题是本世纪以来，工业发达国家一直为之困扰的问题。进入 80 年代以来，我国城市的经济贸易和社会活动日益繁忙，城市交通发生了前所未有的迅速增长，传统的道路交通设施已经不能适应现代社会的需要。当前，我国城市特别是大城市的交通问题极其严重，如果不能得到有效解决和根本治理，必将对我国经济的持续、快速、健康发展构成严重威胁。这是由于：

1. 大城市规模不断扩大

到 1994 年底，全国百万人以上大城市已发展到 32 个（1995 年为 34 个），人口达到 9053.8 万人，其中非农业人口达到 6820 万人。据抽样调查，城市人均出行次数，从 80 年代初每天 2 次多一点，提高到 90 年代初的 2.7 次（东京 1968 年 2.48 次，京阪神城市圈 1990 年 2.57 次，汉城 1991 年 2.21 次，亚特兰大 1972 年 2.49 次——根据国外有关资料）。再加上数目庞大的流动人口，城市的生产和生活强度增加，使城市内部客货运交通承受沉重的压力。

2. 大城市已经成为全国经济发展的重心

全国 32 个百万人以上大城市 7.6% 的城市人口占有 1/4 的国民收入，全国工业产值的 1/4 在大城市中，社会商品零售额的 1/4 通过大城市实现（根据《中国统计年鉴》数据整理），而实现这些人员流动和物资交换的主要载体是城市交通。

3. 大城市作为区域交通的枢纽作用日益明显

大城市交通在全国交通中占了很大比重。大城市负担着大量的客货运、换乘、换装、中转、集散任务，突出表现为出入交通和过境车辆的增加，严重地冲击着城市内部交通流通。全国 32 个百万人以上的大城市中，市区对外客运量占全国总客运量的 1/7，对外货运量占全国的 1/5（根据《中国统计年鉴》数据整理）。

实践告诉我们，城市交通特别是大城市交通，必须要有一个适应经济社会的大发展，当前，世界现代城市交通正进入以信息化为目标的新时期，一个包括道路建设、客货运体系和交通控制管理组成的快速、便捷、舒适、高效的的城市交通系统，是衡量当前城市现代化水平的重要标志。提高现代化水平，既是城市交通发展的客观趋势，也是现代化建设的必由之路。那末怎样才能整治我国的的城市交通紧张，逐步实现城市的交通现代化呢？我们首先必须弄清问题——特别是我国特有的问题——生成原因；制定适合国情的发展目标；然后，采取现实的瞻前顾后的有效对策。

一、当前大城市交通面临的主要问题和原因

1. 道路容量严重不足

长期以来，我国城市人均道路面积一直处于低水平状态，只是近十年方开始有较快发展，人均面积由 2.8m^2 上升到 6.6m^2 尽管增长幅度较快，仍赶不上城市交通量年均 20% 的增长速度。目前全国 32 个百万人以上的大城市中，有 27 个城市的人均道路面积低于全国平均水平。上海市人均道路面积只有 3.5m^2 ，致使中心区约有 50% 的车道上高峰小时饱和度达到 95%，全天饱和度和超过 70%，这些路段终日繁忙，十分拥挤，有的路段持续堵塞 6.5 小时以上，中心区平均汽车行程车速每小时降到 10 公里左右。

为什么在道路建设不断上升的情况下，交通拥挤还如此严重？其直接原因是道路面积严重不足。首先，我国目前大城市的人均道路面积尚不及发达国家的 $1/3$ 。其次，我国大城市市区正处在从中心区向郊区化扩散过程中，近几年城市道路建设的增加，主要分布在新开发的市区和郊区，相对来讲，中心区的道路面积反而略有下降。再次，城市房地产开发集中于市中心地区，产生了过量的交通，造成道路超负荷运载。此外，我国城市中占用道路和人行道问题一直得不到有效解决，城市增加的道路面积，往往很快就被各种摊商、集贸市场和停车场相继侵占，使本来就严重短缺的道路面积更加紧张。

道路面积不足原本在于道路建设的滞后。这种滞后不仅使城市现有的道路功能变得混乱而低效，而且造成的时间浪费和行车成本损失是巨大的。有人测算，其直接经济损失要占国民生产总值的 1%，有的大城市可能达到所在城市国民生产总值的 10% 左右（资料来源于《上海市城市道路交通现代化研究报告》）。

2. 汽车增长速度过快

最近几年是大城市机动车增长速度最快的年份，轿车、客车、面包车以至于摩托车增幅年平均在 15% 以上。广州市近 10 多年来机动车每年增长速度为 17%，其中轿车 19%，摩托车 35%。汕头市近三年增长速度为 30%，仅 1993 年一年，比上年增长 39.2%，摩托车增长 90%。1994 年，全国汽车拥有量达 941.95 万辆，城市地区约占其一半。而且大城市增长势头还在上升，北京 1995 年末由于传言要收车辆增容费，仅 12 月份就卖出轿车 2 万辆，占全年销售量的 13%。

根据我国轿车增长分析，每当轿车拥有量年增长率超过 20% 时，必将引起当年以及随后几年城市交通恶化。80 年代以来，我国第一次超过 20% 的 1985（33.3%）、1986（42.3%）、1987（27.0%）连续三年，第二次是 1992（31.9%）、1993（55.6%）连续两年。这两次轿车增长也正是大城市交通最紧张的两个时段，远远超过正常年度道路建设的供给可能。我国现有城市路网一般都是密度低，功能混乱，干道间距过大，支路短缺，属于低速的交通系统，难以适应汽车交通的需要，实际上将会阻碍着汽车化在城市的实现。

3. 公共交通日趋萎缩

80 年代中期开始，大城市的公共汽车交通（含无轨电车）相继萎缩，从运营效率到经营管理，从服务水平到经济效益，出现了全面的衰退。1978-1995 年的 17 年间，全国公交车辆和线路长度分别增长了 2.5 倍和 2.8 倍，公交车

辆达到 0.62 辆/千人，但公交车辆的运营速度由每小时 12~14 公里下降到 5~10 公里，新增的运力被运输效率下降所抵消。90 年代初，公共汽车在居民出行交通结构中，多数大城市从原来 30% 下降到 10% 以下。其原因是“优先发展公共交通”的方针没有真正落实到实处，票价政策问题长期得不到解决。公交企业主要依靠政府补贴，运营效率不和经济挂钩，服务质量下降与企业生存无关，因而普遍处于亏损状态，1994 年亏损面达 70%，亏损补贴 35.5 亿人民币，仅北京、上海两市就达 16 亿人民币。公共汽车在整个城市交通中比重越来越缩小。

公共汽车交通的萎缩，加速了自行车的极度膨胀，反过来又影响城市交通拥挤的波及范围。至今，我国大城市公共交通几乎还全靠公共汽车一种方式，只有北京、上海、天津建有 65.5 公里的地铁线路，尚未形成以轨道交通为骨干的综合运输客运体系。出租汽车和小公共汽车容纳量有限，因此，一旦单一的公共汽车受到冲击，被转移出来的乘客便要寻找出路，最有吸引力的便是自行车。结果，使原本已经超量的自行车更趋于饱和。例如，天津市 80 年代公交与自行车负担客运量的比重为 19:81，到 90 年代初降为 10:90，郑州、石家庄公交出行量已不足自行车出行量的 10%。近年来，全国大城市自行车每户拥有量一直保持在 2 辆左右，城市近一半人靠自行车解决出行问题。

4. 交通管理技术水平低下

由于历史和认识方面的原因，我国在大城市中交通控制管理和交通安全的现代化设施很少。就北京与东京比较，两市都有一个交通管制中心，但北京交通控制中心控制的交叉口数只有东京的 3%，人行天桥是东京的 4.8%，地下人行道只是东京的 5%，每公里交通标志只有东京的 15%。北京在全国城市中交通管理设施算是最好的，其它城市更可见一斑。由于设施明显不足，管理疏漏不少，交通事故居高不下。北京近年来的交通事故死亡人数一直在每年 500 人左右，万车交通事故死亡率约 6 人，而日本东京为 1.9 人，美国和澳大利亚为 2.6 人，英国为 2.7 人（均为 1985 年数）。从停车场看，大城市中特别是中心区严重短缺停车设施，车辆大都停在道路和人行道上，加剧了拥挤堵塞和事故发生。此外，国际上正在研究并开始使用的信息化、智能化管理系统，在我国基本上还是空白。

5. 缺乏整体的交通发展战略

城市交通建设是一项系统工程，既要研究交通需求和供应的平衡，也要考虑土地和财力的可能，是一项决策性很强的工作。当前出现的城市交通问题中，其中一个重要原因是，缺乏科学的整体交通战略和规划，治理工作往往顾此失彼，前后失调，投入不小，而收益不大。

有一些大城市热衷于建设高标准的大型交通工程，出现了许多立交桥、高架路和城市环路，以为只有高标准的大型交通工程，才能一劳永逸地解决交通问题，实际上这种办法只能缓和暂时矛盾，拥挤问题不但没有解决，甚至诱发聚集更多的交通量，引起结构性的“负效应”。城市交通是一个动态的整体，仅靠几项大工程不可能解决交通问题。

另一个问题是长期忽视公共交通的发展。解决城市交通究竟主要靠谁？是个体交通还是公共交通，这是城市交通发展的战略问题。其实，公共交通是效率最高的交通方式，几乎所有国家和地区在经历了痛苦曲折之后，都鲜明地选择了优先发展公共交通的政策。我国城市用地紧张，人口密度高，适

宜于公共交通运输，所以国家早就制定了优先发展公共交通的政策。但因为种种原因，一直没有落实，城市交通疲于应付，导致了公共交通的萎缩。近年来，许多大城市又过分依赖于未来的地铁和轻轨交通，低估了公共汽车交通的作用，使公共交通进一步陷于困境。确定一个适合中国国情的城市交通结构至关重要，而公共电、汽车交通应是维持大城市客运交通的关键，至少到 21 世纪初叶是不可缺少的主要交通工具。

以上 5 个问题，反映了我国当前大城市交通的基本特点，概括起来是车多路少，现状道路已无多大潜力；车速下降，交通阻塞的趋势在逐渐恶化；公共交通发展步履艰难，汽车和摩托车增长势头强盛，给城市交通带来新的更高的质量要求。这些交通问题，又集中表现在大城市过度密集的市中心地区，而其深层原因，则是城市交通发展的目标和方向尚不明确，其相应的政策措施也不得力。

二、大城市交通发展的目标和方向

现阶段的城市交通问题是社会经济发展的必然结果，交通发展借助于改革开放的动力，就不能不带有先天性不足的滞后特点。但是，在今后的一段时间内，根据中央关于国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标，我国又将进入社会主义现代化建设的持续、稳定和快速发展时期。面对新时期，大城市的交通滞后，已经不是一个简单的增量配套问题，而是包含了城市布局 and 整体交通格局的质的变革，并以此反过来促进改革开放和社会经济的健康发展。

问题的核心是要实现城市交通现代化。城市交通现代化包括两个方面的内容：一是设施装备现代化，即城市交通设施技术水平要不断提高，既要发挥现有的实用技术，又要采用先进的科学新技术，谋取综合效益；二是交通战略现代化，即政策措施要不断完善，既要合理调整交通供需与交通方式的协调配合，又要提高城市路网在整个城市活动的运输效率。先进的设施是硬件前提，正确的战略是软件保证，两者相辅相成。

总体目标应该是，建设大城市现代化的多层次综合交通体系。所谓综合交通体系，主要包括：道路。具有与城市规划相结合的网络系统，其面积率（道路面积与城市总用地之比）一般达 20% 左右，设有快、慢分道（指专设人和自行车专用道路，与机动车分道行驶，形成两个互相分离、互相结合的道路系统），专用的快速汽车干道、商业区内步行道、公交优先行车道，以及足够的停车场地。还有与起迄相应的客货运枢纽设施，并设置必要的立交桥、高架路、人行天桥、地道以及轮渡等作为整个交通系统的组成部分。所有道桥设施都要和城市环境相协调，与城市设计相融合，并具有良好的工程标准。车辆。具有性能良好的私人车辆，经过专门设计的各种专用车辆，便捷的公共电、汽车、出租车，以及必要的轨道捷运系统，各种车辆形成互补的群体，并具备耗能少、废气少、噪音小的性能，有较高舒适度，有专用的停车点设施。管理。有严密的交通法规、客货运输管理规则、交通设施管理规范。能自动监测车辆、路段状况，及时传输交通讯息，经综合处理，在点、线、面上制导车辆行驶。并有良好的照明、防滑、防治事故发生的安全设施，还要具有完备的道路交通标志以及停车管理设施。还有经常的宣传教育、合理的税费收取办法，以保持交通建设和管理的持续发展。

实现这个目标将是我国城市交通历史上一个转折点，其时，交通的具体形象将是：有一个适合中国国情的大城市交通结构，在城市的居民出行总量中，以全国平均水平来衡量，公共汽车交通占 25%-35%，轨道交通占 5%-10%，公用和私人小汽车占 10%-15%，其余 40%-60% 为自行车和步行。这个结构的特点是非机动化交通仍占相当比重，公共汽车将比现状增加 10-15 个百分点，小汽车和轨道交通几乎都是起步阶段，车辆绝对数有较大发展，应该指出的是少数特大城市中，小汽车和轨道交通的比重将超过上述比例。实现多层次的网络体系，既有汽车化的快速交通系统，又有自行车行驶的慢速交通系统，大部分地区实施机动车与非机动车分流。积极发展快速轨道交通，有一批大城市拥有轨道交通并投入客流运输。发挥科学管理的作用，提高道路网的通行能力。扩大高等级路面比重，让私人小汽车逐步进入大城市家庭。

以上目标在实施上可以先分两阶段进行：第一阶段到本世纪末，要求初步建成与经济发展和城市发展相适应的常规道路网布局，拓展空间，打下基础；同时加强与恢复公共汽车交通运输活力，适当发展其它公共客运交通，大力加强交通运输管理，初步缓解大城市存在的交通阻塞。第二阶段从 2001 年到 2010 年，从根本上改善城市交通网络布局的质量，发展特大城市轨道交通建设和立体交通建设，发挥公共汽车交通的主体作用，建立城市交通信息控制和诱导体系，力求交通量总供需关系保持基本平衡。此后，随着城市现代化的迅速发展，到下世纪中叶，我国的大城市交通才全面地进入现代化的高效快速的交通时期。

三、几点措施建议

1. 加强城市政府对交通的统一领导，建立大城市的交通委员会

现在的大城市交通涉及城市的所有部门，特别是随着城市发展和土地转让制出现，给城市交通建设增加了许多外部制约条件。只有大家重视城市交通，把问题综合起来，动员各方面力量共同解决问题，才能搞好城市的现代化交通建设。因此，解决城市交通问题必须实行“综合互济、协同集成”的方针，保持我国城市交通发展与经济发展相辅相成的势头。

关键是要加强大城市政府的集中领导，在中央统一政令的前提下，由市政府建立有效的城市交通行业管理体系。当前，由于管理分散，体系内部不衔接，亟须建立高层次的决策机构——城市交通委员会，统一制定城市交通发展战略，集中管理和指导城市交通建设，统筹集资、融资和体制改革工作，把现有城市交通管理机构与城市财政、计划、物价、土地、税务等部门的职能与职责协调好，保证重大交通决策得以实施。

2. 增加路网密度，提高交通建设决策水平

我国城市交通基础设施“欠账”过多，道路现状水平很低，功能混乱，已无法满足经济高速增长带来的交通需求，因此，在科学规划指导下，加快城市主、次干道和快速路建设，合理安排立交桥、人行过街设施、停车场和自行车道建设。在旧城改造中，应尽量不建占地过大的大型立交桥和拆迁过量的高架路，要加强路口渠化，打通堵头和改造“瓶颈”地段，改善道路功能结构。提倡机动车与非机动车分路行驶，有条件的地区，可改变现有“三块板”的道路断面布置，建设非机动车专用道路，完善系统建设，注意节省

用地，反对盲目追求高标准，才能节约交通总成本，提高交通建设总效益。

3. 疏解大城市中心区人口，调整城市土地使用功能

城市人口密度过密必须疏解，这是解决城市交通问题的一项“釜底抽薪”的办法，也是改善城市环境、保持城市可持续发展的根本措施。由于大城市交通矛盾集中在城市中心区，首先要利用土地级差效应，把市中心区的工厂、仓库以及不适宜市中心功能的用地，迁到城市外围地区，适当分散城市的活动，从交通总量上寻找新的平衡。改造中心区必须符合城市总体规划的要求，要有助于城市交通的发展，还要为城市发展第三产业、提高经济效益创造有利条件，不能因为单纯追求土地效益而超量增加建筑面积和人口密度，加剧交通恶性循环。

4. 落实优先发展公交的政策，调整过低的公交标价，优化公交运行条件

长期以来，大城市实行低于成本的低票价政策，本意是维护社会安定和方便居民，各届城市政府从其自身政绩考虑，也不愿意轻易触动价格调整。结果，企业因票价问题自身得不到发展，乘客因票价问题得不到交通服务，不得已而再花更多的钱去乘其他交通工具，结果车越多，路更挤，市民更有意见，完全与低票价政策的初衷相悖。因此，要落实优先发展公交政策，首先要调整公共交通价格和改进定额补贴，逐步做到微利保本，在低成本前提下提供最大服务，对有效缓解交通紧张起到重要作用。

当前，由于现状道路结构和路网布局等原因，实行公交优先运行有一定难度，但必须创造条件，采取各种有效措施，给予公交方便行驶。对于有条件的城市道路，应设置公共交通专用线或专门行驶公交的道路，即使在没有条件的情况下，也应该实施相应的交通优惠办法，如单向通行道路上可以双向公交通行，某些禁左交叉口可以不受限制，以及划定的区域内不准非公交车辆停车等。事实上，优先发展公交还包括线路开设、准点运营和提高舒适度等等，目的是为方便乘客。保证正常运营，提高城市交通整体效益。

5. 采取交通限制措施，适应私人小汽车的需要，车和路的发展相互协调

私人小汽车进入家庭是时代发展趋势，但也不可能很快普及。城市交通作为一项社会公益性事业，应该从积极方面作好思想和物质准备，适应汽车增长的新趋势。但是，发展私人小汽车毕竟不是解决大城市交通拥挤的根本出路，城市交通现代化并不等于就是小汽车普及化。据估算，在城市中每增加 1 万辆小汽车，要占用 30 万 m^2 的城市道路和停车场用地，而且每天要排放 60 多吨的有害废气物。看来，小汽车多了必然会加重大城市的土地、环境、能源和经济负担，也无助于交通问题的解决。

对私人小轿车的发展，必须把握好“车”与“行”及其“停”三方面条件的协调发展，主要是加强交通需求控制和管理，城市可以根据自身的道路容量制定总量控制或地区控制措施。所以要做好宏观交通监测分析工作，及时采取调控手段，特别是在市中心地区，限制小汽车通过量。日本规定大城市小汽车交通控制在总交通量的 25% 以内，西欧诸国均控制在 40% 左右，像这样的宏观控制措施，在各大城市的交通战略中应有所规定。同时，要进一步完善已出台的财政税收改革措施，增设小汽车使用道路成本费或使用税，运用经济杠杆发挥宏观控制作用。此外，摩托车属于机动车管理范畴，鉴于它造成的环境污染和交通事故比小汽车还严重，大城市必须实行严格限制的政策。

6. 加强经济可行性研究，重点发展特大城市的轨道交通

我国大城市轨道交通是必须发展的，但目前的造价太高，特别是建设地铁，超过一般城市经济承担能力。而且今后的交通建设不可能是一种政府性的供给型系统，必须在一个开放性的社会集资型系统下完成。因此，建设轨道交通一定要遵循市场经济的运行规律，加强经济可行性研究。这种经济研究，不只是一般投资预算分析，而是以资本、土地、财务、效益等要素的供求变化为特征，实事求是地预测客运需求量，在经济规模的原则下，最后确定选择地铁、轻轨或其它类型轨道交通工具。在目前，更应该把重点发展放在人口 300 万（指建成区）以上的特大城市（如北京、上海、广州等城市），因为这些大城市用地面积在 200km² 以上，城市形态高度集中在市中心区，交通密集程度高，现在客运量已经达到或超过轨道交通所规定的运能限量，经济上又具有相当的回报能力。至于其它人口 300 万以下的大城市，必须采取逐步实施的办法，先要创造条件，做好准备工作，目前主要是加强前期研究，在城市总体规划中解决轨道交通建设的必要性和可能性，选择哪种技术方案等，至于何时开始建设，都要通过科学论证。从全国来看，应该按照远期发展的总目标，根据各个城市的实际需要与可能，进行宏观控制，一批一批地分阶段组织建设。国外对于地铁和轻轨建设项目，无不经过多年研究，很少轻举妄动。

7. 广开渠道，多种形式解决资金来源

我国城市交通建设需要的投资数额很大，除了国家和城市政府拨款以外，更期望依靠国家给予政策支持。广开渠道多方集资，已被实践证明是可行和有效的办法。为此，从总体上考虑，首先是要加大投资比重。据联合国社会发展署调查认为，经济发展中国家城市基础设施投资应占国民生产总值的 3%-5% 为合适，若按我国以往几年投资比重折算，城市道路交通应占 1%-2%，但实际上最高年 1993 年也只有 0.6%，1994 年降为 0.46%。建议我国的城市交通建设年度投资占国民生产总值的比重以不低于 1% 为宜。

其次，应该着重于城市投资体制的改革，关系到城市交通的重大项目，要制定相应的集资对策，并在利用外资方面实行优惠。世界上许多国家采用从销售汽油费中附加一定比例（1%-3%）作为修建道路的税制，这是一种合理的办法，我国海南省已经开始实行这种办法，反应很好，建议在全国推广实施。现在许多城市都在试行“以路带房，以房养路”的开发政策，通过城市土地转让，房地产开发收益用于基础设施建设，使城市综合开发和道路交通同步发展。这些办法虽处于初步实施阶段，但已经积累了经验，完全有可能在谨慎操作的基础上逐步完善。

再之，允许大城市因地制宜实行市政设施的配套收费政策，专用于道路交通的发展，也有利于地方财政的补充。

8. 加强科学技术研究力度，提高全民交通意识

必须抓好以下六个方面的工作。一是花大力气加强城市交通的科学研究，重视交通经济政策和高新技术的开发，探索新一代捷运交通工具、个体交通工具和智能化交通管理的研究，用较少的投入换取较高的建设效益。二是国家要制定有关的技术条例和法规，加强职业培训和人才培养，推行交通工程和交通规划专业人员资格认证制度，以提高城市交通的规划、设计、建设和管理的水平。三是成立国家级的城市交通工程技术研究中心，组织城市交通基础理论的研究和应用技术的研究推广。四是组建全国的城市交通专家技术委员会，负责引导全国城市交通技术科学的健康发展，并对重大城市交

通建设项目进行咨询和技术审查。五是把各大城市的远期交通规划和近期综合交通治理规划纳入城市总体规划，今后，计划部门在安排城市交通建设项目时，必须符合城市交通规划的意向和要求。六是将城市交通教育融合到小学义务教育中，加强对城市各行业职工的交通知识和安全教育，提高全民交通意识，依靠城市的全体市民共同管理好城市交通。

洁净煤技术的发展与展望

范维唐

煤炭工业部

范维唐 矿山压力及开采机械化专家。1935 年 7 月 18 日生于北京。1956 年毕业于北京钢铁学院。1963 年获前苏联科学技术（莫斯科矿业学院）副博士学位。历任煤炭科学研究总院总工程师、副院长、院长，煤炭工业部总工程师兼技术咨询委员会主任，中国统配煤矿总公司总工程师、副总经理，煤炭工业部副部长。曾任中国煤炭学会理事长，中国科协工程学会联合会主席，世界采矿大会副主席。1994 年被选聘为首批中国工程院院士。主要从事研究及主持综合机械化技术攻关等。

中国有丰富的煤炭资源和悠久的开采历史；

当前煤炭在我国一次能源的生产和消费中占 75% 以上，是我国的主要能源；

煤炭在开发利用中严重地污染了赖以生存的环境，带来严重的社会经济后果。

为实现中国能源工业的可持续发展，摆在我们面前的一个紧迫问题是煤炭产生的污染能不能显著减少？煤炭也能成为洁净的燃料吗？答案是能，靠洁净煤技术。

一、洁净煤技术的由来

环境和资源是人类生存和发展的基本条件。能源作为基本资源对社会、经济的发展和人民生活水平的提高具有极其重要的作用，是人们每日每时不可或缺的。历史发展表明，自产业革命以来，世界范围内，作为矿物燃料的煤炭逐渐取代人力、畜力和生物质能等可再生能源，成为主要能源。到本世纪中叶，由于石油、天然气是更洁净、更高效、更方便的能源，并具有经济上的竞争性，又逐渐取代煤炭成为世界范围内的主要能源。对当今世界而言，矿物燃料提供世界 91% 的一次商品能源，其中煤炭占 28%，石油超过 40%。在亚澳地区能源消费结构中，矿物燃料占 93.5%，其中煤炭占 48.3%，石油占 37.3%，天然气占 7.9%。

煤炭在能源结构中的重要地位是由资源条件决定的，在世界范围内，煤炭资源相对于其它化石能源要丰富得多。

中国一次商品能源以煤为主。煤炭提供了 75% 的工业燃料、76% 的发电能源、80% 的民用商品能源和 60% 的化工原料。在一次能源探明储量中煤炭占 90%。可见，在相当长的时期内，煤炭在中国一次能源结构中占据不可替代的重要地位。

毋庸讳言，传统的煤炭开发和利用技术以及不加限制的消耗矿物能源确实极大地污染了人类赖以生存的环境，诱发温室效应、酸雨，引起疾病、农业减产甚至带来更加严重的经济、社会问题。中国煤炭 84% 用于燃烧，目前居主导地位的、相对落后的燃烧方式对大气造成了严重的污染。全国 SO_2 和烟尘的 80% 为燃煤产生；同时在煤炭开采中造成地面塌陷、污染和流失了大

量的地下水、向大气排放 CH_4 等。为了解决出现的问题，出路就在发展洁净煤技术。

洁净煤（英文 Clean Coal）一词是 80 年代初期美国和加拿大关于解决两国边境酸雨问题谈判的特使德鲁·刘易斯（Drew Lewis，美国）和威廉姆·戴维斯（William Davis，加拿大）提出的。洁净煤技术（英文 Clean Coal Technology，简称为 CCT）的含义是：旨在减少污染和提高效率的煤炭加工、燃烧、转化和污染控制新技术的总称。

1986 年 3 月美国率先推出“洁净煤技术示范计划（CCTP）”，到 1994 年 9 月已进行五轮竞争性项目征集。共优选出 45 个商业性示范项目，项目总投资 71.4 亿美元。投资由政府和企业共同承担（政府资助比例平均约为 35% 左右）。

欧共体推出的未来能源计划的主旨是促进欧洲能源利用新技术的开发，减少对石油的依赖和煤炭利用造成的环境污染。欧共体能源研究、技术开发示范（RTD）计划行动主要涉及下列领域：改善能源转换利用；可再生能源；核安全；核聚变。目前在改善能源转换和利用的研究开发中优先考虑的是减少污染排放及提高能源转换和利用效率。正在研究开发的项目有煤气化联合循环发电；煤与生物质及工业、城市或农业废弃物联合气化（或燃烧）；固体燃料气化燃料电池联合循环；循环流化床燃烧技术等。

主要目标是使燃煤发电更加高效、洁净，减少 CO_2 和其它温室气体排放。

日本长期以来一直以石油为主要一次能源，但消费的石油全部依靠进口。为摆脱对石油的过分依赖，近年来日本开始较大幅度地增加煤炭的消费量，将以煤代油作为日本能源的基本政策之一。但是，日本的环保要求十分严格，增加煤炭消费量的关键是控制燃煤污染。因此，日本在 1992 年制定的第 9 次煤炭政策中规定，洁净煤技术是日本煤炭科研的重点。1995 年在新能源综合开发机构（NEDO）内组建了一个“洁净煤技术中心”，专门负责开发下个世纪的煤炭利用技术。其目标是在下个世纪大幅度提高燃煤发电的比重，又不使排污超标。日本的洁净煤技术开发从内容上分为两部分：

一是提高热效率，降低废气排放。如流化床燃烧、煤气化联合循环发电及煤气化燃料电池联合发电技术等。

二是进行煤炭燃烧前后净化，包括燃前处理、燃烧过程中及燃后烟道气的脱硫脱氮、煤炭的有效利用等。

中国是煤炭生产和消费大国。多年来围绕提高煤炭开发利用效率，减轻燃煤引发的环境污染，开展了大量的研究开发和推广工作，具有一定的基础。但总体上起点较低，与发达国家相比有明显的差距。

随着国家宏观发展战略的转变，洁净煤技术做为实现可持续发展和实现两个根本转变的战略措施之一得到党、政府和有关部门的高度重视，洁净煤技术在中国出现强劲的发展势头。人类社会的发展模式正面临着根本性的转变，靠牺牲资源和环境、通过高消耗和先污染后治理来追求经济数量增长的传统发展模式，已导致当今世界面临着各式各样的环境威胁，使人类在逐渐滑向环境灾难的境地。因此，应以可持续发展模式代替传统的发展模式，将人口、资源、环境与发展协调起来，从而做到既满足当代人的需要，又不损害子孙后代满足其自身需要的能力。

未来能源应以可再生能源为基础，生物能、太阳能、水能、风能、地热能、海洋能及开发中的可控核聚变能等新能源。但以化石能为主的能源格局

相当时期内不会改变。据某些国外能源专家预测，在世界范围内煤炭还有可能再次成为主要一次能源。因此，发展洁净煤技术正是在通往未来能源的过渡时期内切实有效的现实选择。

二、中国洁净煤技术的主要特点和基本框架

（一）背景

中国一次能源以煤为主的格局相当时期内不会改变；

中国煤炭地域分布不均衡（资源集中在中西部和北部，主要用户在东部和南部）；

煤炭开采对环境的影响不容忽视；

中国高灰高硫煤占相当比重，难选煤多，而目前原煤入选率低，仅 22%；

中国煤炭消费呈多元化格局（发电占 32%，其它工业超过 40%，民用 18%）；

中国能源利用效率低，平均为 30%。

（二）特点

中国煤炭消费量大，入选比重低，能源利用效率低，单位能耗产生的污染大等因素，决定了开发和应用洁净煤技术的紧迫性。中国是一个发展中的国家，国力有限，中国洁净煤技术的特点可以概括为：

1. 发展是前提，应注重经济与环境协调发展，重点放在社会效益、环境效益与经济效益明显的实用而可靠的先进技术。

2. 发展洁净煤技术应覆盖煤炭开发与利用的全过程。

3. 针对多终端用户，重点是电厂、工业炉窑和民用三个领域；并应把矿区环境污染治理放在重要的位置。

（三）中国洁净煤技术的基本框架

中国洁净煤技术是指在煤炭开发和利用中旨在减少污染和提高效率的加工、燃烧、转化和污染控制等新技术的总称。其核心是效率和减少污染，从而使煤炭成为洁净、高效、可靠的能源。

中国洁净煤技术是以煤炭洗选为源头、以煤炭气化为先导、以煤炭高效、洁净燃烧与发电为核心、以煤炭转化和污染控制为重要内容的技术体系。其基本框架为：煤炭加工（选煤、型煤、水煤浆等）；煤炭燃烧（流化床锅炉、高效低污染粉煤燃烧、燃煤联合循环发电等）；煤炭转化（气化、液化、燃料电池等）；污染控制（烟气脱硫、粉煤灰综合利用、煤矿区污染控制，包括煤矸石、煤层气、矿井水与煤泥水的治理等）。

煤炭加工是指在原煤投入使用之前，以物理方法为主对其进行加工，这是合理用煤的前提和减少燃煤污染的最经济的途径。主要包括煤炭洗选、型煤、水煤浆制备。常规的物理选煤可除去煤中的 60% 的灰分和 50%-70% 的黄铁矿硫。型煤是具有发展中国家特点的洁净煤技术，与烧散煤相比，可节煤 20%-30%。水煤浆是新型的煤代油燃料，一般 1.8-2.1t 水煤浆可代替 1t 重油。

煤炭高效、洁净燃烧是洁净煤技术的核心，因为中国 80% 以上的煤炭直接用于燃烧。循环流化床锅炉，适应煤种广，燃烧效率高，且易于实施床内脱硫。高效低污染粉煤燃烧以稳燃、高效、低污染和防结渣作为开发燃煤技术与燃烧器的目标。燃煤联合循环发电包括煤气化联合循环发电（IGCC）和

直接燃煤联合循环发电 (PFBC-CC 等) 是 70 年代开始研究发展的洁净发电技术。

煤炭转化是指以化学方法为主将煤炭转化为洁净的燃料或化工产品, 包括煤炭气化、煤炭液化和燃料电池。煤炭转化以气化为先导, 以碳-化工为重点, 走燃料化工和煤深加工的技术路线。作为化工原料, 煤化工在芳烃生产方面有石油化工和天然气化工所不具备的优势。煤炭气化包括完全气化、温和气化 (低温热解) 和地下气化; 煤炭液化分为直接 (加氢) 液化和间接 (先气化) 液化。

燃料电池是直接将燃料的化学能转化为电能的技术, 目前国际上已经开发出数种不同类型的燃料电池, 主要用于航天器的动力, 使用的主要燃料为氢气和甲烷气。近年来, 美国等西方国家正积极开发使用天然气的商业化电站 (2MW 级)。同时能燃用煤制气的燃料电池技术也正在开发中, 美国和日本已经分别进行了 20KW 和 25KW 此种电池的试运转。

我国在燃料电池研究方面也做了一些工作, 但尚处于起步阶段。

污染排放控制与废弃物处理: 从我国的实际出发, “九五”国家环保规划把工业污染防治作为环保工作的重点。工业污染防治要提高水平, 逐步从生产末端治理转到源头和生产全过程的控制, 把分散治理与集中控制结合起来, 把浓度控制与总量控制结合起来, 并把燃煤所造成的污染放在突出位置。因此, 对煤炭开发利用中产生的污染和废弃物进行控制和处理是实现国家环保目标使煤炭成为高效、洁净、可靠能源的重要环节。

三、洁净煤技术的几个领域介绍

(一) 以煤炭洗选为源头的煤炭加工技术, 主要包括煤炭洗选、型煤、配煤和水煤浆技术

1. 煤炭洗选技术

(1) 传统的选煤技术

传统的选煤技术主要有跳汰选、重介选和浮选。

跳汰选是在垂直脉动水流的作用下, 使原煤按密度分层。适宜于易选和中等可选性煤, 有效分选粒度 150-0.3mm, 分选效率 90%-95%。目前中国经跳汰选的煤量占选煤总量的 59%。

重介选是将原煤置于密度大于水的介质中, 小于该介质密度的煤浮起, 而大于该介质密度的矸石下沉。重介分选效率高, 适于难选煤和极难选煤。用于分选末煤的重介旋流器是用磁铁矿粉做悬浮液, 并利用离心力强化重介分选。目前重介选约占 23%。

浮选是利用煤和成灰物表面对水的润湿性的差别对细粒级煤 ($< 0.5\text{mm}$) 进行分选。向煤泥中加浮选药剂后形成一定浓度的煤浆, 经充气后产生气泡, 煤粒向气泡粘附浮起, 而矸石则留在浆液中, 因而可回收优质细粒精煤。目前中国经浮选的煤量占选煤总量的 14%。

(2) 有发展前景的几种新型选煤技术

微细磁铁矿粉重介旋流器法: 旋流器直径小 (50mm), 介质粒度小 ($< 11\text{ }\mu\text{m}$), 入选粒度小 ($140-200\text{ }\mu\text{m}$), 可有效地脱灰和脱硫, 有效分选粒度达 $30\text{ }\mu\text{m}$ 。

油团聚法: 煤浆加油, 使煤选择性团聚, 成灰物留在悬浮物中。

选择性絮凝法：煤浆加絮凝剂和分散剂，使煤絮凝沉淀，矸石留在矿浆中。

浮选柱法：立式充气式浮选机，煤浆与气泡逆向流动，可实现粉煤的降灰脱硫，被认为是制备超纯精煤最实用的设备。

空气重介流化床选煤：气-固悬浮体做分选介质（磁铁矿粉、磁珠和石英砂通过与气体接触变成一定密度的似流体），其分选效率与湿法重介相当。

高压静电选煤技术：利用煤和磁铁矿及其它成灰矿物导电率差别，把成灰物和硫铁矿从可燃物中分离出来，这是一种能有效分选细煤的干法分选。

煤炭经洗选可显著提高燃烧效率，大大减少污染物排放。

2. 型煤技术

型煤是将粉煤或低品位煤加工制成一定强度和形状的煤制品的技术。型煤技术不是简单地将粉煤压制成型，而是使其改质改性，使本来不适于使用的粉煤灰泥达到工业用煤的标准，是具有浓厚的发展中国家特点的洁净煤技术。

型煤分为民用型煤和工业型煤。民用型煤与散煤相比，一般可节省 20%-30%，烟尘和 SO_2 减少 40-60%，CO 减少 80%。工业炉窑燃烧型煤比燃原煤可节煤 15%，烟尘减少 50-60%， SO_2 减少 40%-50%。

目前我国城镇和农村居民生活用煤炭量在 1.3 亿吨左右，其中城镇居民生活用煤约 1 亿吨。我国城镇居民生活用煤的型煤普及率约为 30%-50%，而农村则几乎全部为烧散煤。我国目前有工业锅炉 40 多万台，工业窑炉 16 万多台，年耗煤约 4 亿吨，按设计要求均需供应块煤或型煤，但实际上块煤供应不足。型煤（工业燃料型煤）还在起步阶段，年产量不超过 1000 万吨。同时，我国化肥、冶金、建材、机械、玻璃、陶瓷等行业大量使用的煤气发生炉年需块煤 4000 多万吨，实际年供应量仅 2200 多万吨，缺口也很大。

随着机械化程度的提高，我国块煤的生产比例越来越小，粉煤的比例越来越大，最高可到 80% 以上。因此，发展型煤以替代块煤，不仅有广阔的市场需求，可以提高燃用效率，减少污染气体排放，而且还可以充分利用大量粉煤和煤泥，减少它们本身对环境的污染。

我国的工业和民用型煤开发已经形成了具有我国特点的粘结剂、低压集中成型工艺和集中配料炉前成型工艺，其中民用型煤技术已经达到先进水平，但需普及推广；工业型煤的技术相对落后，需进一步完善提高。

3. 配煤技术

“配煤”就是根据用户对煤质的要求，将若干种不同种类、不同性质的煤按照一定比例掺配加工而成的混合煤。它虽具有单煤的某些特征，但其综合性能已有所改变，它实际上是人为加工的一个新“煤种”。

配煤的基本原理就是利用各种煤在性质上的差异，相互“取长补短”，最终使配出的混合煤在综合性能上达到“最佳状态”，以满足用户的要求。

配煤生产线的工艺流程一般包括：原料煤收卸、按品种堆放、分品种化验并计算配比、原料煤取料输送、筛分破碎、混合掺配、抽样检测、仓储或外运等。

4. 水煤浆

水煤浆是 70 年代国际石油危机时兴起的新型煤基液体燃料，它是把洗选后的低灰分精煤加工研磨成微细煤粉，按煤约 70%，水约 30% 的比例和适量（约 1.0%）的化学添加剂配制而成的一种液体洁净燃料。

水煤浆的加工过程是将原煤经过洗选、破碎成小于 300 微米的微细颗粒，配以适量的化学添加剂（包括分散剂、稳定剂），并经过搅拌等工艺制成的浆体具有良好的流动性和稳定性，能保持 3-6 个月不发生沉淀现象。

水煤浆是一种良好的煤基液体燃料，一般灰分低于 8%，含硫量低，燃烧效率高， SO_2 、 NO_x 排放低于燃油和散煤。它又能像原油一样具有良好的流动性和稳定性，可以泵送，易储运，有着代油、节能、环保等多种效益，受到世界各国工业界的高度重视。

水煤浆作为一种以煤代油的新型燃料，许多国家基于长期的能源战略考虑将其作为以煤代油燃料的技术储备，进行研究开发和试验，并少量用于商业化使用。日本、俄罗斯、瑞典、意大利、美国、法国等已建成不同规模的制浆厂，其中最大生产能力的厂为 500 万吨/年，电厂最大应用规模为 60 万 KW。

目前全国年产煤泥约 1000 多万吨，严重污染矿区环境。随着选煤厂的大量发展，煤泥排放日趋增加，预计到 2000 年将超过 2000 万吨，因此利用高中灰煤泥制浆就地燃用是解决煤泥出路的有效途径，具有明显的经济效益和环境效益。

我国经过“六五”以来的研究和技术引进，在水煤浆的制备运输和燃烧方面取得了很多成果。但技术上尚存在一定问题，使得水煤浆在大型锅炉上还未能达到工业应用的水平。

（二）以气化、液化为主要内容的煤炭转化技术

1. 煤炭气化技术

煤气化就是以煤为原料，以空气或氧气和蒸汽为气化介质，在一定的高温下，与煤中的可燃物质（碳、氢等）发生反应，经过不完全的氧化过程，使煤转化成为含有一氧化碳（CO）、氢（ H_2 ）和甲烷（ CH_4 ）等可燃成份的混合气体——称为煤气。

从广义上说，由煤制取煤气，一般有三种方法：煤的完全气化（产品以煤气为主），煤的温和气化（或称低温干馏，产品以半焦为主），煤的高温干馏（产品以焦炭为主）。

煤气化技术，经过近两个世纪以来的发展，方法众多，不胜枚举。煤气化分类方法也各不相同。按入炉煤的块度而分，有块煤气化、细粒煤气化和粉煤气化；依气化介质来分，有空气气化、蒸汽-空气气化、蒸汽-氧气气化；按气化过程的阶段性分，有单段、双段或多段气化；按过程的操作压力分，有常压气化、加压气化等等。但比较普遍而合理的是采用按煤在气化炉内的过程状态来分，即分为：固定床气化、沸腾床气化、气流床气化和熔渣床气化等。

因煤气化方法不同，所得煤气组成亦不同。就用途来说，有如下三类煤气：

发生炉煤气（燃气）——通常都用作冶金工业中的平炉炼钢、锻造、轧钢及耐火砖窑等的燃料气，也用作机械、建筑、纺织工业等部门的燃料气。

水煤气（原料气）——供化工部门作合成氨、甲醇、合成汽油等的原料气。

城市煤气主要为城市居民作燃气用。

2. 煤炭液化技术

煤炭液化技术是将固体煤在适宜的反应条件下转化为洁净的液体燃料。

工艺上可分为直接液化、间接液化（先气化再合成）和煤油共炼。从二次大战期间德国用煤液化生产汽油、柴油到 70 年代两次石油危机后的煤炭液化研究重新兴起，这一技术已日趋成熟。

直接液化：煤直接液化是通过高压加氢改变煤的分子结构，再经提质加工，获得液体燃料。

煤炭液化原理就是在高温高压下打断煤大分子中的桥键，再通过加氢，改变分子结构，增加 H/C 比。

煤直接液化技术已基本成熟，二战期间德国建有 400 万吨/年煤直接液化生产厂，反应温度 470℃，反应压力 70MPa；近年的发展主要是降低反应的苛刻度，将反应压力降至 20-30MPa，已完成 150-600t/d 中间试验。由于世界石油价格较低，煤直接液化在经济上缺乏竞争能力，但美、德、日等发达国家一直把它作为战略储备项目，不断投入力量研究改进。

我国从 80 年代初重新开展煤直接液化技术研究。煤炭科学研究总院通过科技攻关和国际合作已建成 0.1t/d、0.12t/d 煤炭液化装置三套；完成了中国煤液化特性评价和最佳工艺条件试验；在 0.02t/d 装置上，生产出了合格的汽、柴油和航空燃料产品；在催化剂的筛选和研制上也取得了很好的进展。

经过试验评价初步确定我国适于直接液化的煤炭资源十分丰富。估计在我国富煤贫油、煤价低、油价高的地区，建设示范性液化厂在经济上是可行的。

间接液化是煤先经过气化制成 CO 和 H₂，然后进一步合成得到烃类或含氧化燃料。其特点是煤种适应性较广，可生产多种化工产品，但液化成本相对较高。

二战期间德国曾用此法生产液化燃料，二战后停产。南非由于其特殊国际环境，一直应用 F-T 法生产液化燃料，年产量达到 500 万吨。80 年代初，中科院、化工部等开展了这方面的研究开发工作。中科院开发的 MFT 法主要产品集中在高附加值的硬蜡、高辛烷值汽油和部分甲烷化的洁净煤气，实现了产品优化。这一技术已在山西晋城完成了 2000 吨/年工业性试验。此外，化工部也在专用燃料添加剂方面做了不少有成效的工作。

煤油共炼和煤、油与废塑料等共炼技术是煤直接液化派生出来的新工艺。它是把石油渣油（及废塑料等有机废物）与煤一起加氢裂解，因煤与渣油的协同效应而使油收率显著提高。这项工艺还为处理城市的“白色污染”提供了可行的途径。

（三）污染排放控制和废弃物处理技术

1. 烟气净化

燃煤锅炉排放的烟尘、二氧化硫、氮氧化物是空气污染的主要原因。我国是燃煤大国，发电用煤的平均含硫量为 1.15%，由于排放标准要求低，加上治理资金缺乏，治理手段比较落后，致使燃煤引起的环境污染相当严重，与发达国家的差距较大。

粉尘：发达国家大型燃煤锅炉都配备高效电除尘器或多室的布袋除尘器，除尘效率高于 99.9%，实际排放浓度都低于标准要求，一般为 50mg/Nm³（N 表示标准）。我国由于受资金不足的制约，加之国产除尘设备运行不稳定，控制性能差，实际排放浓度往往高于现有标准 400mg/Nm³。

二氧化硫：发达国家大型燃煤锅炉几乎都配备效率 95% 以上的湿法脱硫设备，中小锅炉也采取了经济可行的脱硫措施，包括炉内喷钙及增湿活化脱

硫工艺。由于脱硫设备和运行费用昂贵，企业难以承受。因此燃煤锅炉的二氧化硫排放基本处于失控状态。

氮氧化物：发达国家目前主要采取在大型燃煤锅炉上安装低氮燃烧器，使氮氧化物排放降低 40% 左右。环保标准严格的日本和德国还要求装设烟气脱氮装置。

我国目前仅在新建 300MW 及以上锅炉装有低氮燃烧器，大量 300MW 以下锅炉氮氧化物无法控制。

2. 废弃物处理

主要包括对煤炭开采和利用过程中所产生的矸石、煤层甲烷、煤泥、矿井水及燃煤电站所产生的粉煤灰等进行处理。这些污染物的大量排放既污染环境，又造成了资源的浪费。

国外对煤矸石的处理有比较健全的法规和管理办法，基本实现了无害化处理。主要用途是回填采空、作为建筑工程填料、筑路造地、回收有用成份及作燃料、建筑材料和改良土壤等用。我国矿区现已积存煤矸石约 30 亿吨，且每年新增的排放量还在 1.5-2 亿吨，主要利用途径是发电、生产水泥和烧砖，但利用总量较少。

煤层甲烷（又称煤层瓦斯或煤层气）与煤共生，开采煤炭时从煤体内溢出。它是一种优质能源，但同时又是煤炭开采的一种主要灾害，其大量排空对全球环境变化（温室效应）有较大影响。目前世界上主要产煤国对煤层甲烷的资源化开发利用程度较高，主要方法是地面钻井开采。美国 1993 煤层气的产气井有 5000 余口，产气量达到 207 亿立方米。我国煤层气的开发利用程度还很低，主要是采取井巷抽放，但气体利用价值低，地面开采尚处于探索研究阶段，正在开展示范工程并与国外进行合作勘探。

粉煤灰是燃煤电站排出的固体废弃物，欧美发达国家的大型电厂已将烟气净化、灰渣干排、干灰调湿等纳入电厂规划，达到既清洁发电又使粉煤灰资源化，粉煤灰被大量应用于筑路、生产水泥和优质混凝土、制砖及其它建材，并将粉煤灰大量用于建筑高速公路。

1992 年我国的粉煤灰积存量已达近 6 亿吨，每年新增的排放量约 1 亿吨，只有少数电厂能做到灰渣排放与利用平衡。但近来由于大型电厂均采用电除尘设备，并在有条件的地方采用干出灰、灰渣分排、粗细分排、干灰调湿等设计方案，为粉煤灰的综合利用创造了条件。

3. 矿井水净化技术

我国煤矿大量矿井水外排与矿区严重缺水局面并存，每年外排约 2.2Gt，我国有约 70% 的矿区缺水甚至严重缺水，随着煤矿城市社会、经济的迅速发展，煤炭基地的战略西移，水资源的供需矛盾将日趋紧张。许多矿井水含有大量悬浮物及少量有害元素。因此，最大限度地处理和净化矿井水，使之资源化，对减少矿区环境污染、缓解干旱缺水地区用水紧张情况起到积极作用。

目前，主要的矿井水处理方法有混凝沉淀法、电渗析法、反渗透法和中和法。

混凝沉淀法主要用于处理含悬浮物矿井水；电渗析法和反渗透法用于处理高矿化度矿井水；中和法是处理酸性矿井水最常用的一种方法。

四、洁净煤技术的市场前景和环境效益

煤炭是世界上最丰富的化石燃料资源，占常规化石燃料储量 90% 以上。目前煤炭占世界一次能源消费近 28%，煤电占世界总发电量 44%；发展中国家一次能源消费目前占世界总消费的 30%，在未来 30 年将显著增长。专家预测 2010 年石油、天然气的价格将是煤炭的 8 倍以上。安全、可靠、清洁、廉价的能源是世界经济发展的基础，洁净煤技术将起到重要作用。据美国预测，到 2010 年全世界洁净煤技术市场总值可能达到 2700 亿美元左右。面对巨大的全球市场，美国、日本、欧洲各国均已开始积极向第三世界国家推广洁净煤技术。

煤炭一向被称为“肮脏”能源，它是造成大气污染，酸雨，固、液态废弃物和影响全球气候变化的重要因素。发展洁净煤技术将使煤炭成为高效、洁净、安全、可靠的能源，从而使人们认识到煤炭不是未来不得已而使用的燃料，而是可以而且应该使用的燃料。

评估洁净煤技术的环境与经济效益，一是从提高效率、减少污染（增效、减排）两方面进行估算；二是从资源充分利用、生产高附加值的深加工产品和带动相关产业发展的角度做进一步评估。以前面介绍的几项技术为例：

1. 选煤

可除去 60% 的灰分和 50% 以上的黄铁矿硫。特别是采用了包括选硫在内的综合煤炭脱硫技术以后，黄铁矿硫脱除率可达 80% 以上。每入选 100Mt 含硫较高的原煤就可以减少 SO_2 排放量 2Mt 左右。经验还说明，使用对口供应的粒级煤比使用原煤燃烧可减少烟尘 40% 以上。通过洗选加工增加块煤产率和产量对减少烟尘污染将是非常显著的。

2. 型煤

型煤的经济环保效益也是十分明显的，实践证明，民用型煤与原煤散烧相比，CO 排放量可减少 70% 以上，烟尘量可减少 90%，添加固硫剂后，固硫率可达 50%-60%，同时可节煤 20% 以上。工业锅炉、窑炉等用型煤代替散烧，一般可减少烟尘排放量约 60%，节煤 15%-27%，加固硫剂可达 40%-60%。因此，发展民用和工业燃料型煤，具有明显的节能、环保效益。

3. 水煤浆

我国石油资源有限，产量供不应求，为现有燃油电站锅炉、工业窑炉寻找理想的代油燃料是一个相当紧迫的问题。本世纪 70 年代，石油危机中开发出的高浓度水煤浆是一种液态燃料，具有可以泵送和喷燃等特点，是新型煤代油产品。使用 1.8t-2.1t 浆可替代 1t 重油。预测当燃料油与水煤浆的比价超过 2.25 时，水煤浆在经济上就有竞争力。使用代油水煤浆比燃烧原煤可提高燃烧效率 5%-10%，节能 20%。

4. 煤炭气化

用煤气比燃煤方便、洁净、节约时间并减少劳动强度，能明显提高煤炭利用效率、节约能源，同时还可明显减少污染物的排放。

使用煤气作为工业燃料气，不仅可明显降低单位产品的煤耗，而且提高产品的质量和合格率，对企业有明显的经济效益。

5. 煤炭液化

煤炭液化将煤转变为洁净的燃料油，同时将煤中硫加以回收，氮以 NH_3 的形式作为副产品回收，生产废水经处理后达到工业用水标准，而实现废水的零排放，以年处理 1.7Mt 的褐煤直接液化厂为例，每年可回收硫 10kt，氮

30kt。年减少排放 SO_2 为 20kt, N_2 为 90kt。与直接燃烧相比每年可减少 CO_2 排放量大约为 3Mt。

6. 煤层气

煤层气（瓦斯、煤层甲烷）为煤矿安全生产的最大隐患，开发煤层气不仅充分利用矿产资源、有利煤矿安全生产、减少矿井基建投资、降低煤炭生产成本，而且防止煤层气逸入大气，减缓地球的温室效应，具有全球环保意义；同时煤层甲烷作为一种洁净、高效能源，燃烧过程中不产生烟尘和 SO_2 、所产生的 CO_2 量为煤炭的 1/2。

结束语

洁净煤技术是将煤炭转变为洁净、高效能源的技术。洁净煤技术的开发和应用将显著减少能源利用对环境的污染，提高能源利用效率，在一段时期内为社会提供经济可靠的能源，促使中国的能源既能满足当代人的需要，又不损害子孙后代满足自身需要的能力。洁净煤技术能使我国环境改观，奉献给我们一个优美整洁的生存环境。

洁净煤技术的发展需要政府加强领导、企业积极支持和社会及广大公众的积极参与；需要配套的环保法规和完善的监督与管理机制；需要制定切实可行的规划和多渠道筹措资金。

开发利用云南稀土资源的建议

张国成

中国有色金属总公司北京有色金属研究总院

张国成 稀有金属冶炼专家。1931年10月12日出生于云南昆明。1956年毕业于昆明工学院。现任北京有色金属研究总院高级工程师。1995年当选为中国工程院院士。主要从事国内外各种稀土精矿的冶炼和单一稀土元素分离的研究。

世界稀土资源很丰富，分布地区也很广，主要分布在中国、美国、澳大利亚、印度、巴西、俄罗斯等地。按氧化稀土计算，总量达到8400多万吨，其中有60%储藏在我国，仅内蒙古白云鄂博地区，主矿就蕴藏着3600多万吨以轻稀土为主的氧化稀土。在江西、广东、广西、云南等地也蕴藏着上百万吨中重稀土资源。稀土虽然丰富，但稀土在世界上的用量并不大，到1995年为止，世界稀土消费量只有5-5.5万吨，世界稀土贸易额也只有4亿美元，稀土行业仍是一个小行业。按现在仅有的消费量推算，全球已探明的稀土资源可供人类使用2300多年，也不会感到资源的匮乏。因此绝不是拥有稀土资源的国家就能垄断稀土市场。要想成为稀土工业发达强国，主要取决于生产技术的先进与否。法国、日本无稀土资源，但在稀土的冶炼、分离和应用领域有其先进的技术。他们购进世界各地廉价的稀土中间原料，进行深加工，反而成为世界稀土的强国，获取较高的利润。我国自60年代开始，建起了第一批稀土生产企业，当时年产量只不过200-300吨，经过30多年两代人的努力，特别是改革开放以来，稀土工业的发展突飞猛进，在高峰期稀土工厂达400多家，生产能力达到4万吨以上。科研人员创造了一批针对中国稀土资源特点的新工艺用于生产，使我国1995年单一稀土氧化物年产量达到8549吨，稀土总年产量达到4万多吨的水平，占世界稀土总消耗量的80%，使中国进入世界稀土生产大国的行列。但大国不等于强国，稀土工厂很多是作坊式的小厂，技术落后。这都将在激烈的竞争中被淘汰，如“生产抛光粉的稀土小厂被淘汰”就是一例。今后再建稀土厂必须走“以质优价廉取胜”、“以在高科技领域中的应用取胜”的道路。不能单靠给外国生产初级原料过日子了。今后应建立现代化的大型稀土工厂，起点要高，才能有较强的竞争力。

一、稀土资源

一般分为轻稀土矿和重稀土矿两大类。前者以独居石、氟碳铈矿为代表，后者以磷钇矿、褐钇钨矿为代表，但重稀土储量不大，曾出现过氧化钇的短缺现象。70年代。我国江西发现离子型稀土吸附矿（即淋积型稀土矿），解决了世界对氧化钇的需求。在此种矿中稀土含量很低，一般为0.1%左右，但易提取，稀土配分变化很大，不同矿点有不同的配分。后来在广东、福建等地也相继发现很多矿点，有轻稀土型、中钇富钕型和重稀土型矿。特别是龙南重稀土型的离子吸附矿，其中 Y_2O_3/REO 为55-65%，价值最佳，它的开采应用解决了世界上80%以上的 Y_2O_3 需求量。有色金属的王国云南也是一个稀土资源非常丰富的地区，稀土矿的种类齐全，既有轻稀土资源也有重稀

土资源。滇池地区磷灰石中含有稀土，但目前回收在经济上是不划算的。个旧地区也蕴藏着大量的独居石，独居石中天然放射性物质氧化钍含量高，用它作原料生产稀土产品，必然附带产出用途不大的氧化钍，这将造成环境污染，所以目前世界上独居石已逐渐被氟碳铈矿所取代。70 年代四川安宁河谷地区冕宁、德昌发现并开采氟碳铈矿，取得很好的经济效益。该矿沿河谷地区发展，延伸到云南境内，楚雄一带也相继发现了氟碳铈矿，这是云南很有开发前景的稀土资源。除此之外，云南又发现了离子型稀土吸附矿，特别是重稀土矿的价值很高。各种离子型吸附矿稀土配比数据见表 1：

表 1 各种离子型吸附矿稀土组分对比

组分 名称	稀土配比（%）					
	重稀土型		中钇富铈型		轻稀土型	
	1	2	1	2	1	2
La ₂ O ₃	1.80	5.50	26.50	13.00	31.30	32.50
CeO ₂	0.20	1.24	2.40	3.10	3.40	11.30
Pr ₆ O ₁	0.90	0.26	6.00	5.40	8.70	5.40
Nd ₂ O ₃	3.80	10.00	20.00	26.00	28.10	21.80
Sm ₂ O ₃	2.80	4.50	4.00	5.00	5.30	3.20
Eu ₂ O ₃	0.02	0.09	0.80	1.50	0.60	0.35
Gd ₂ O ₃	5.70	5.50	4.00	5.90	4.50	-
Tb ₄ O ₇	1.20	1.10	0.60	0.60	0.50	0.36
Dy ₂ O ₃	8.40	5.80	4.00	3.10	1.20	1.70
Ho ₂ O ₃	1.80	1.10	0.80	0.80	0.10	0.30
Er ₂ O ₃	5.10	3.50	1.80	1.60	0.30	0.75
Tm ₂ O ₃	0.80	0.40	0.30	0.20	0.10	0.11
Yb ₂ O ₃	4.60	3.70	1.20	0.55	0.50	0.55
Lu ₂ O ₃	0.60	0.50	0.10	0.160	< 0.10	0.08
Y ₂ O ₃	62.30	51.50	27.50	31.20	15.40	9.18

在云南的找矿工作，目前应偏重寻找以 Y₂O₃ 为主的重稀土型离子吸附矿，其原因是我国和世界上轻稀土的资源多、产量大，在云南发展以离子型吸附矿为原料的轻稀土工业无竞争力。我们处理离子型吸附矿的目标决不是用来生产大路货，而是生产高价值的单一重稀土氧化物和氧化钹等深加工产品，以获取更多的利益。

进入 80 年代以来，稀土应用领域除传统的冶金、机械、石油化工、玻璃陶瓷外，已向单一稀土应用的高科技市场方向转化。单一稀土的消费量在逐年上升，90 年代单一稀土的用量占总稀土用量的 26.7%，到 2000 年预计将增至 34%。市场上主要需要的单一稀土有：氧化铈、氧化钹、氧化钇、氧化镨、氧化铽、氧化铒等为畅销产品。氧化钆、氧化铈、氧化镧为产大于销的产品。氧化镱、氧化钐、氧化铈、氧化铽、氧化镨等六个产品用量少，其应用领域尚待开发。所以在云南发展稀土工业，首先须根据市场发展的动向选定有利的矿点进行开发。目前重稀土离子型吸附矿，其开发前景最好。它含 Y₂O₃51.5%，Nd₂O₃10%，Dy₂O₃5.8%，Tb₂O₃1.0%，Er₂O₃5.5%，

Sm₂O₃4.5%。其畅销组分占氧化物总量的 78%，属于利用价值最高的矿种。从长远来看，Y₂O₃ 的用量将会逐年提高，而氧化钇世界资源量较少，将来中国稀土能左右世界市场的产品是氧化钇。虽然 1995 年我国单一稀土产量达到 8549 吨，其中氧化钇为 500 吨，其销路仍比较好，所以开发生产氧化钇风险小，收效大。

二、稀土矿山建设

离子型稀土吸附矿含 REO 均比较低，不能用物理方法选别，只有采用化学选矿法，此法虽然耗用大量的化学试剂，产品成本高，但为生产以氧化钇为主的重稀土氧化物，经济上仍有利可图。1995 年，建设部委托北京有色冶金设计研究总院负责编制的“稀土冶炼厂建设标准”，规定凡冶炼离子型稀土吸附矿，建厂规模必须达到年产含 REO > 92% 稀土氧化物 500 吨以上的才能批准。目的在于使稀土工业向大型化、现代化高水平方向发展。在云南如何解决采浸方式，应吸取江西、广东等地的经验教训，根据当地的气候条件和地质情况而定。目前最先进的化学选矿法是中南工业大学的原地浸析采矿方法，采用水对采场进行封闭，防止了母液向地下水渗漏，提高了稀土回收率，减轻了劳动量，保护了环境。由于采、浸方案未定，矿山建设投资很难确定。

三、稀土分离厂的建立

稀土分离厂是提高稀土产品价值的第一道深加工工序。从当前稀土工业的形势考虑，要想在稀土分离行业中站得住脚，小厂是不行的。以生产氧化钇为例，年产量必须达到 200 吨，才有较高的经济效益。工厂每年应处理重稀土氧化物（REO > 92%，Y₂O₃ > 50%）500 吨，生产下列各种主要产品。

表 2 产品种类及产值

产品	年产量（吨）	品位（%）	单价（元/KG）	总金额（万元）
Y ₂ O ₃	200	> 99.99	260	5200
Nd ₂ O ₃	40	> 99.00	170	680
Sm ₂ O ₃	4	98.00	100	40
Tb ₄ O ₇	4	99.95	1900	760
Dy ₂ O ₃	22	99.00	290	638
Er ₂ O ₃	14	99.90	380	532
合计	284			7850

以年产 200 吨氧化钇规模新建的稀土分离厂，在当今中国还是一个中字辈的稀土厂，年产值只有 7850 万元。而广东阳江稀土厂也是一个以生产氧化钇为主的工厂，年产值达 3 亿多元，该厂还没有原料基地。而云南建厂资源条件比阳江好，只要经营得好，赶超他们是有条件的。

从重稀土氧化物中生产出表 2 的六种产品，我国的工艺技术是成熟的，不必做很多小型试验，即可直接进行建厂设计。我院可提供比较先进的工艺

流程-环烷酸萃取分离氧化钇的技术。

1994 年清华大学在北京建成一个年处理 50 吨重稀土氧化物的萃取分离车间，总投资为 1400 万元，若在云南新建一个年处理重稀土氧化物 500 吨的萃取分离工厂（不包括矿山建设），其投资初步估算如下：

总投资：	4000 万元
建筑面积：	3800m ² （生产车间）
电力：	450kW
职工人数：	180-200 人
总产值：	7850 万元
年利润：	2500 万元

根据云南的具体情况，也可以考虑先建矿山。生产重稀土富集物外销，其中含 REO 93%，Y₂O₃/REO50%，目前每吨售价为 4.6-4.8 万元，这对当地脱贫是很有吸引力的产业。

云南除了开发离子型重稀土吸附矿外，开发楚雄地区的氟碳铈矿也很重要。目前应投入一定的人力、物力加强地质勘探工作，确定矿区位置，提出储量数据和原矿中稀土的赋存状态，组织力量进行选矿试验。一般而言，安宁河谷地区的氟碳铈矿粒度粗，易选别。预计云南氟碳铈矿也有相近似的特性，故选矿工作量不会很大。氟碳铈矿已成为世界轻稀土的主要原料。我国包头虽有大量混合型稀土精矿（选铁精矿的副产品），但因含磷和钛高，用它来生产稀土硅铁合金时，磷使合金粉化，钛又降低了合金石墨球化作用，因此，需加脱磷工序。而用氟碳铈矿生产稀土硅铁合金，则避免了上述不良影响，在市场上很有竞争力。如果在楚雄地区开发氟碳铈矿，首先应考虑以生产稀土硅铁合金为主，它投资少，见效快。另外从氟碳铈矿生产单一稀土，主要对象是二氧化铈和氧化钇，因从氟碳铈矿生产二氧化铈和氧化钇工艺最简单，比从包头矿中生产更经济。这一套技术为北京有色金属研究总院的专利。它是当前国内外冶炼氟碳铈矿的最佳选择，只有采用此项技术，才能具有与包头稀土精矿抗衡的能力。

四、稀土功能材料开发

在云南建立起矿山和冶炼分离工厂后，解决了稀土原料供给问题。各种单一稀土和混合稀土化合物等产品虽可以出口创汇，但总产值不过一两个亿人民币。为了进一步在稀土上多创利润，必须向高产值的稀土功能材料领域发展，它们是目前高科技的热门货。

1. 稀土荧光材料：稀土元素有很多特异功能，这取决于它们具有特异的电子结构。从 La 到 Lu，随着原子序数从 57 增大到 71，在内层的 4f 轨道逐一填充电子，这些被填充的 4f 电子被外层完全充满的 5s² 和 5p⁶ 电子所屏蔽。4f 电子不同的运动方式使稀土元素具有很特殊的光、电、磁性能。利用稀土 4f 电子在不同能级之间发生的跃迁（f-f 跃迁和 f-d 跃迁），使稀土的发光和光吸收作用别具一格，而制得了多种发光和激光材料。以氧化钇为基体，以氧化铕为激活剂的稀土红色荧光粉，目前世界上的用量达到 800 多吨，用作彩色电视机和三基色灯的红色荧光粉，我国目前用量也达到 100 多吨，每吨红色荧光粉售价为 80 万元。如果出售原料氧化钇，每吨售价仅 26 万元。云南与上海已结成互相援助的兄弟城市，可以从上海跃龙化工厂引进荧光粉

的生产技术（上海跃龙是国内荧光粉生产的先进单位，产量达到 100 多吨，产品大量出口）。在昆明创立一个 60 吨/年的荧光粉厂，每年可创产值 4800 多万元。

2. 稀土永磁材料：现已成为稀土高科技市场的佼佼者，发展很快，它们年产值已经与传统的铁氧体和 AlNiCo 磁体年产值相等。1994 年国际上稀土永磁材料产量为 5130 吨，我国 1995 年产量为 1700 多吨，它已成为我国进入国际市场的主要产品之一。全国现有稀土永磁材料生产厂近 150 家，许多厂的规模小，技术差，设备落后，产品档次不高，产品质量还有待于进一步提高。云南稀土采冶工业发展起来后，稀土永磁体 NdFeB 、 SmCo_5 的发展则势在必行。稀土永磁为强磁材料， NdFeB 磁能积可达到 30—40 兆高奥， SmCo_5 磁能积为 15-20 兆高奥。它们的应用领域很广，如计算机、核磁共振成像仪、电动机、发电机、电声器件、汽车工业等。所以，云南可利用稀土永磁体的生产，带动一批新兴产业的建设和革新，其经济效益是非常可观的。云南可根据国内外的情况和发展情况和自身资源的特点，以高起点为准，建设稀土永磁生产线，参与国内外稀土永磁市场的竞争。

在国内稀土永磁生产厂中，佼佼者当数中科院三环公司。他们主要生产 NdFeB 体，1995 年 7 月，他们与中国有色金属总公司合资购买了美国 GM 公司粘结磁粉的经营权，现年产量达 2000 多吨，其中 1100 吨销往日本。云南可以与三环公司合作或引进技术，在高起点的构想下，发展稀土永磁，将大有可为。

3. 稀土储氢材料：这是当前世界上高科技的热门材料，很多研究单位均在工业应用开发。稀土储氢合金制冷冰箱已出样品。氢汽车已经开始在公路上试车行驶，装载 340 公斤储氢合金，储氢容量 400m^3 ，能行车 100 公里，最高时速达 170 公里。这是一种无污染的交通工具。无公害的稀土镍氢电池，近年来发展很快，日本 1994 年产量达到 2.1 亿支，1995 年达到 4.5 亿支，用稀土合金 2000—2500 吨。美国的奥劳尼克、荷兰的飞利浦都在大力开发稀土储氢电池，我国稀土储氢电池也已进入产业化阶段，研究单位很多，其水平差不多，产品仍存在容量衰减，易自放电现象，影响电池的寿命，加之价格高，还有很多问题需要解决。国内一些单位准备从国外引进稀土镍氢电池生产线，解决自身技术上的缺陷。我们认为云南引进镍氢电池生产线，从满足本省的需要来说，也是有前景的开发项目。

稀土除在上面三大高新科技领域中的应用之外，传统的“老三样”冶金、玻璃陶瓷和石油裂化催化剂方面的应用也有长足发展，稀土农肥在云南烟草中使用效果很好，云南稀土工业的开发将会对促进云南工业的发展起到良好的作用。

五、人才问题

过去云南稀土工业发展慢，所以稀土方面的专业技术人才少，要建现代化的大型企业，离开人才是不行的。好在云南有昆明贵金属研究所、昆明冶金研究院和昆明大学，研究力量雄厚，过去做过许多湿法冶金工作，若转而研究稀土湿法冶金分离、矿石分解、萃取、离子交换和电化学分离也是轻车熟路，大有可为，我们愿意和大家加强合作，为发展云南的稀土工业作贡献。

总而言之，云南有丰富的稀土资源，稀土品种齐全。以重稀土矿作为主

要开发对象。矿山建设可因地制宜，设施简单一些，但要加强管理，防止乱采乱挖，一哄而起。建稀土分离厂时，以生产氧化钇为主产品，必须具有一定的规模，不能因陋就简，否则产品缺乏竞争力。第二步考虑氟碳铈矿的开发，以生产稀土合金、氧化铈和氧化钆为主。有了单一稀土氧化物，将为云南稀土在高科技市场上的应用创造良好的条件。

我国国家信息基础结构的建设

陈俊亮等

北京邮电大学

陈俊亮 通信与电子系统专家。1933年10月10日生于浙江宁波。1955年上海交通大学毕业。1961年在苏联莫斯科电讯工程学院获副博士学位。北京邮电大学教授，程控交换技术与通信网国家重点实验室学术委员会主任。1991年当选为中国科学院院士，1994年当选为中国工程院院士。60年代是有线600/1200波特及无线600波特数据传输设备的主要研制者之一，80年代参加多项与程控交换系统有关的科技攻关项目，目前主要从事智能通信网的研究。

一、什么是国家信息基础结构

1993年，美国政府发表了题为《国家信息基础结构：行动计划》的报告，宣称要动员包括政府部门、企业、大学、研究机构、医院、图书馆、商店、家庭在内的全社会积极参与实施这一计划，用20年左右的时间，投资数千亿美元，建设一个覆盖全美、连接全世界的“信息高速公路”网（即国家信息基础结构）。随后世界许多国家都结合自己的国情提出了各自的国家信息基础结构的设想和计划。

然而究竟什么是国家信息基础结构，各国都有自己的理解和规定。经过调查研究，结合我国的实际情况，我们认为：

国家信息基础结构是由大量相互作用的信息技术要素（主要包括通信网、计算机系统、信息和人）构成的开放式综合复杂巨系统，它能覆盖整个国家，能够以Gb/s级的速度传递信息，以先进的技术，广泛及时地采集信息、处理信息和供全体社会成员方便地应用信息。

国家信息基础结构由应用层的大型计算平台、信息资料库以及大量的专门领域应用信息系统和公共通信网组成。

大量的专门领域应用信息系统（如金融、经贸、财税、国防、公安、科技、教育、交通以及广播电视等）直接为国民经济各部门和社会各领域提供专门信息（包括图像、数据、语音、高清晰度电视等多媒体服务）。

专门领域应用信息系统由信息的提供者（信息源）/接收者（人或机器）、信息采集系统、（感测系统）、计算机/智能系统、庞大的信息资料库（数据库、方法库、模型库……知识库等）、控制系统以及显示系统构成。应用信息系统直接融入国民经济各部门的生产、经营、管理和服务过程之中。应用信息系统的发展和实用，直接推动着国家经济社会生活的信息化进程。

大型专门应用信息系统由于生产、经营、管理、服务的对象分布在全国各地、甚至在国外，所以信息系统往往延伸到全国各个角落甚至到国外。但是大部分专门领域应用信息系统若都要单独建设自己专用的物理传输和交换

本文基于1994年中科院技术科学部的咨询报告“建设我国国家信息基础结构”，该咨询项目由叶培大院士负责，主要执笔者还有钟义信、舒华英、孟洛明、忻展红、吕廷杰等。

网，则会造成国家资源的巨大浪费。为此，就需要一个覆盖全国的公用通信网，通过“虚拟专用网”的技术为各个专门领域应用信息系统提供高质、方便的信息传输和交换能力。

公用通信网由传输系统（光纤、卫星、微波以及无线电等）、宽带综合交换系统（ATM）、用户接入系统、多媒体通信终端系统及相应的接口和协议系统构成，一般应是电话网、数据网和电视网的有机综合，主要完成信息传递与交换的任务。它的支撑网层面由两部分构成：业务支撑层面和网络支撑平面。业务支撑层面主要由智能网系统、个人通信系统等构成，完成对业务提供的支持。网络支撑层面则主要完成基础网的信令、同步、监测、控制、调度、维护和管理等功能。

二、为何要建设国家信息基础结构

按照理论经济学的分析，建设信息网，是现代社会生产力发展的内在的必然要求。

国家信息基础结构可以很好地完成获取信息（感测系统）、传递信息（通信系统）、处理信息和再生策略信息（智能系统、包括计算机和信息库系统）的任务，从而帮助人们更好地认识世界；同时，它还可以通过通信、控制和显示系统把策略信息作用于劳动对象，从而辅助人们更有效地改造世界。可见，它是一种完备的信息化社会生产工具体系。一旦这种生产工具体系与相应的劳动者和劳动对象普遍地结合起来，就构成了信息社会的生产力。这种生产力将使社会获得前所未有的高水平的发展。

因此，研究和建设国家信息基础结构的过程，乃是发展和建设一代崭新的社会生产力的过程。

信息是战略资源，信息技术是生产力，这就是信息基础结构必然要出现的社会和经济根源。

当前，我国正在全力以赴地推进社会主义现代化建设。通过建设国家信息基础结构，实现社会和经济信息化，恰好为四个现代化提供了一个极好的机遇。走通过信息化加速实现现代化的新路，将更为迅捷光明。正是在这个意义上，江泽民同志指出：“四个现代化，哪一化也离不开信息化”。

信息化，就是在国民经济各部门和社会活动各领域普遍采用现代信息技术，以便有效地开发和利用信息资源，大大提高决策水平、工作效率和创新能力。

信息化可以使传统产业得到有效的改造，不仅大大提高它们的劳动生产率，而且可以大量地节约能源和原材料，提高效益；不仅如此，信息化可以提供有力的手段，帮助解决经济发展中的各种难题。例如，我国的工农业生产，仅仅由于信息不灵，产销不对路，造成的损失就有一二千亿元；每年自然灾害造成的损失也达上千亿元。信息化，可以大大改善政府的宏观决策能力；大大改善商品流通、资金周转和内外贸易的效率，可以大大强化人们认识自然和经济发展规律、保护环境和抗御灾害的能力，减少灾害的损失。总之，无论是增加收入还是减少损失，信息化产生的效益都是巨大的。信息化的确为我国的经济和社会的发展提供了一个极其难得的机遇。

信息化，也是一个严峻的挑战。如果失去机会或搞得不好，将会给国家和民族带来巨大的危险。与历史上物质和能量资源开发利用的情况不同，信

息资源的开发利用是很难用国家边界来保护的。因此信息侵略比军事侵略和经济侵略具有更大的复杂性和危险性。而一旦国家的信息资源被外国所控制，信息市场被侵占，就会给国家安全和经济发展带来致命的威胁。

这就是我国要建设国家信息基础结构的重要性和紧迫性。

综上所述，信息化的过程，是建立一代崭新的社会生产力的过程，是当代经济发展和社会进步的必由之路，是增强综合国力和国际竞争实力的根本途径。因此，发展信息化，建设我国国家信息基础结构，应当成为我国迎接 21 世纪的一项根本性的战略任务。

三、一些国家发展“信息高速公路”的概况

1. “信息高速公路”话题中的一些基本问题

(1) “信息高速公路”与国家信息基础结构(NII)

“信息高速公路”是一个容易为人所接受的口号，国家信息基础结构(NII)才是其完整的内涵。它在美国政府报告中有明确的定义：“国家信息基础结构是一个由通信网、计算机、数据库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。国家信息基础结构中的通信网平台必须作到无缝连接(Seamless)即：统一标准、互相开放、互联互通、互操作。

(2) 建设“信息高速公路”的原则

- 扩大“信息服务社会化”概念
- 促进私营部门投资
- 推进技术革新法规建设先行
- 改进无线电频谱的管理
- 保证信息安全和网络可靠性
- 保护知识产权
- 国际间的协调和政府各部门间的协调
- 提供获取政府信息的途径和改善政府的宏观调控能力
- 促成无缝连接、交互作用、用户可驱动的“信息高速公路”

(3) 美国“信息高速公路”建设所面临的困难

目前美国在“信息高速公路”建设中所面临的障碍是因网络分割带来的通信不畅。1984 年，统一经营美国电信网络的 AT&T 公司解体后，其电信市场重陷“诸侯割据”局面，目前仅经营长话业务的公司就已超过 600 家。由于没有一个权威机构负责统一管理技术标准，因此，各公司为了自身的利益互相封锁自行开发新系统、新业务。这不仅给网络互连带来了困难，也破坏了规模经济效益和网络的整体性，严重的重复建设，造成了极大的浪费。鉴于不同的利益，为共同完成“信息高速公路”建设大业所进行的联合屡遭失败，一些有识之士疾呼“信息高速公路”建设法律必须先行。

在美国 NII 报告中需要解决的主要法律、法规问题有《国家信息基础设施法》、《反托拉斯修改法》和《通信修改法》以及《国家通信竞争法》等。

2. “信息高速公路”浪潮的背景分析

(1) 社会经济上的原因

近年来，信息产业发展迅猛，世界经济结构正在朝着从物质型向信息型、从本土化向全球化的方向发展，社会生产活动和人们的日常生活也对信息服

务提出了日益多样化的需求。据估计：实施 NII 将为美国的工业部门创造新销售额 3000 多亿美元，2007 年的 GNP 可增加 3210 亿美元，劳动生产率增加 20—30%。对于从“星球大战（SDI）到“信息高速公路（ISH）”的战略转移，克林顿有过如下讲话：“当前推动先进技术的动力来自民用工业，而不是军事工业。只有加强美国的民用技术基础，我们才能一箭双雕地解决国家安全和竞争力问题。”

（2）政治军事背景

克林顿政府的上台，结束了共和党人长达 12 年的执政，因此他们通过对国家信息基础结构宣传，提出了进一步提高公民平等权利、改善就业条件和公众生活水准等很有诱惑力的口号，以便提高其公众声望。此外，海湾战争的经验，使美国人充分体会到现代化战争就是大打信息战，因此，他们力图通过加速发展信息科技以加强其军事装备水平，提高作战的快速反应能力和应变能力。显然，美国提出“信息高速公路”计划还有着加强其世界超级大国的领先地位的国际政治目的和其它方面的意图。

（3）信息业发展形势

目前，发达国家的电信业务中，电话业务已日趋饱和。但由于数据库、计算机网、有线电视以及多媒体终端技术的迅速普及与实用化，一些非话业务如数据通信、图像传输等的业务量正在逐年增加。电信业务构成上的这一明显变化使得发展“信息高速公路”的要求日益迫切。

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已使得高速信息网的实现成为可能。

3. 一些国家和地区发展“信息高速公路”的动向

美国

1993 年 9 月，美国副总统戈尔和商务部长布朗正式宣布了实施美国的国家信息基础结构的“行动日程”计划，揭开了美国兴建“信息高速公路”的序幕，并引发了全球“信息高速公路”的浪潮。

美国政府的目的是，1994 年先把 100 万户家庭联结起来，5 年之内使全国大部分家庭入网，力争在 1997 年正式建成“信息高速公路”，在本世纪末实现多媒体的普及化。10 年至 20 年左右，使所有的地区、所有的经济阶层及普通公民获得以各种形式进行信息交流的机会，为 21 世纪建成信息化社会打好基础。

美国政府在 1991 年就制订了一个“高性能计算和通信计划”（HPCC，即 High-Performance Computing and Communication Program），旨在利用 5 年时间加快计算机及信息网的开发，加强美国在这些方面的领导地位，以支持制造功能更强的计算机、形成速度更快的计算机网络和进行更尖端的软件研究与开发工作。为美国经济、教育、环保、生物工程等各领域提供技术支持，刺激产业界的生产与竞争能力。它含有四个方面的内容：高性能计算机系统（HPCS）的开发；高性能软件技术和算法（AS-TA）的开发；计算机领域的基础研究和人才资源（BRHR）的开发；国家科研教育网（NREN）的开发（仅 1993 年就投资 1.2 亿美元，用于几项试验工程：AURORA、BLANCA、CASA、NECTAR 和 VISTAnet）。

然而，美国建设“国家信息基础结构”的难度也很大。要使电信网重归统一，不仅要涉及到计算机、通信等高技术发展问题，而且要涉及到种种政治、经济和社会诸方面的问题。这些问题包括：各政府机构自身的改革和相

互之间的协调、各界人士对信息网络的理解和支持、庞大开发经费和投资的筹措方法、政府机构与民间企业、社会团体的通力合作问题，尤其是在实施“统一”的过程中所遇到的“反垄断法”阻碍的问题。由此看来，美国人想在1997年如期实现“信息高速公路”计划，并继之进一步建成“国家信息基础结构”绝非易事。

美国政府十分清楚它所面临的种种困难和障碍。为了加强政府对有关各行业的统一领导和有效地发挥政府的协调作用，克林顿亲自签署行政命令设置了“信息基础特别工作小组”（IITF），负责制定加速国家信息基础结构部署所需的政策和计划。该小组由商务部长布朗挂帅，其成员均是来自美国联邦政府相应机构的高层次官员。因此，有人称之为“总统工程”。

建设“国家信息基础结构”首先必须解决巨额投资问题。美国政府为完成建设“国家信息基础结构”这项跨世纪的宏伟工程，在今后20年内，需要拿出高达2700至4500亿美元的巨额资金。联邦政府不可能全部承担如此庞大的建设费用，主要靠企业界出资出力。政府采取的态度是：有限介入、宏观引导，以立法手段支持，在具体问题上组织协调和实行灵活管理。政府已在1994年度预算中拨款5400万美元作为启动费，在1995年度预算中拨款1.5亿美元，以后每年拿出一定数量的资金用于关键项目，其余大部资金要靠企业界承担。

总投资 (亿美元)	其中政府投资			企业投资		
	(亿美元)	占总额	用于关键项目	(亿美元)	占总额	是政府投资
4000	120—160	3—4%		3840—3880	96—96%	24—32倍

欧 共 体

欧共体国家在有关“信息高速公路”的一些技术领域从整体上来说，落后于美国好几年。但是，欧洲在这方面并不示弱。在欧共体国家中，英国的积极性最高。它计划今后在10年内，投入380亿英镑建设“信息高速公路”。据称，德国也已经开始在柏林进行一项有关的试验。法国则于1996年2月份召开了内阁会议，并委托一位权威人士在6月份提交了一份有关的分析建议报告。报告的主要精神是清除电信、信息处理业和新闻媒体之间的障碍，实现横向联合，减少前进阻力。欧洲议会支持的“槟榔”（BETEL）计划，也已将法国和瑞典的四个研究中心连接起来。

欧洲委员会工业委员马丁·本杰宣布了整个欧洲建设“信息高速公路”的决定，并表示希望与美国合作。同时，欧洲委员会成立了两个小组，其中一个小组由电子、信息与通信等企业方面的有关人士组成，负责就如何建立“信息超高速公路”提出建议、制订指导方针。另一个小组则负责研究实施这一计划的经济技术分析、有关的规章制度及政治方面的事务。

在欧洲电信联盟的支持下，阿尔卡特公司、英国电信公司等欧洲几家主要的电信公司已经在欧洲大陆范围内试验采用ATM技术的宽带光纤通信网络。

通过这一试验，欧洲将创建一个采用ATM技术的新的“基干”网络。它将主要用于公众电信服务和数据传输，特别是大学、研究所和大公司中的大容量数据传输。但也可用于可能会有很大的潜在市场的“电视节目点播”及其它家庭交互式服务，此外还可用于电视会议等。预计本世纪末前后，将最终实现现有网络和宽带网络一体化的目标。ATM技术的采用也为多媒体终端

拓宽市场开辟了途径。

英国电信公司正在采用电缆和光缆两种传输手段，进行“电视节目点播”以及其它家庭交互式服务试验，以便对这两种方案的成本和可靠性进行评估。因为现在大多数英国家庭仍然是通过电缆与 CATV 中心相连接的。

有人认为，缺乏竞争是欧洲公众电信网采用 ATM 迟于美国的主要原因。欧洲正在通过上述计划的实施尽力缩小这一差距。他们计划 5 年内总投资 4430 亿法郎（其中欧共体出资 330 亿法郎，私营机构提供 4100 亿法郎），10 年内总投资 9000 亿法郎，（投资回收期为 40 年）。

日本

日本早在 1991 年底就创建了有 NTT，KDD，NEC 和富士通等 25 家公司参加的“新一代电信网路增强基地”，其目标是运用高速化、宽带化和高度智能化的数字通信综合业务网，实现以图像为主的可视服务、可获得丰富信息的智能服务以及适应每个人不同需求的“个人”通信服务。1993 年 6 月，该国又发布了拟建大规模超高速的“研究信息流通新干线”的报道。当时报道的情况是：日本政府计划从 1993 年开始，在 3 年时间内，投资约 500 亿日元（约 5 亿美元），通过高速光纤通信线路，将全国各地 30 个左右的主要研究机构和全国的公立、私立大学连接起来。上述各研究机构现有的 50 多台超级计算机将全部联网，由各省厅对超级计算机和学术数据库进行统一管理，以促使这些研究机构相互合作，共同利用遗传基因、材料、化学、原子能、卫星成像等方面的数据，提高研究开发效率。同时，这个网还将向企业开放。将来，这个网还将与欧美的研究信息网络联网，以便与海外进行信息交换。

最近，又有资料表明：日本政府提出了一个称作 Mandara 的高速信息网计划。该计划拟建设北起北海道南至冲绳的 10 个巨型计算中心，并将采用传输速率为 3Gbit/s 的高速通信线路将这些中心连接起来，从而构成一个庞大的高性能计算网。同时，还将加紧研究巨型计算机的应用软件。

这样一个纵贯日本南北、包容诸多系统的高速信息网络很像是佛教中排列众佛的图画或安置众佛的祭坛，即曼荼罗（梵文 Mandala；日本人常作 Mandara）。Mandara 计划即因此而得名。1993 到 1994 两年为该计划的准备阶段。该计划将从 1995 年开始正式实施，为期 5 年，总的经费预算为 300 亿到 3 万亿元之间。

日本邮政大臣表示：日本未来经济发展的关键就在于通信和信息。日本政府将鼓励开发新技术，加速进行这方面的建设。

在建设日本“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。日本几大信息产业公司最近宣布联手共建“信息高速公路”，日本国人大为振奋。日本东京都将在邮政省、NTT、NEC、日立制作所、松下电器公司、日本广播协会等企业和团体支持下建立有 100 个频道的宽带数字化交互式有线电视网。该有线电视网采用光缆将试验中心与试验区内的办公室和住宅连接起来。目前，光缆已经铺设完毕。东京都将于 1996 年春季利用该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等大规模公开试验。在此计划中，用于成立试验中心和开发软件的经费约需 30 亿日元。这一切将为日本在 21 世纪进入信息社会奠定基础。

日本在“信息高速公路”建设中的特点是：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（占全国劳动人口的 3.6%）。

韩国

韩国已于 1994 年年初正式开始实施为期 20 年的“超高速信息通信网”建设计划。这一计划最早由通信部于 1993 年 8 月提出。1994 年 1 月 13 日，通信部长官尹东润在向青瓦台提交的业务报告中报告了这项计划。金泳三总统指示要积极促进这项计划。为此，通信部成立了以国务总理为委员长的超高速信息通信网促进委员会，下设包括大约 25 名高级官员的工作委员会，对计划的实施进行综合管理。1994 年 3 月 23 日，通信部正式公布了此项计划。最近，通信部又从有关研究机构和大学等方面抽调了一批专家，成立了一个专门的机构团，负责制订具体的实施规划。

韩国建设“超高速信息通信网”的战略大体是：从国家网和民间网两个方面分头推进，同时加紧开发所需的各种高新技术。该计划从 1994 年起，到 2015 年止，大体分三个阶段。总投资为 44.77 万亿韩元（1 美元约合 807 韩元）。

各种高新技术开发的目标是为上述国家网和民间网的建设及时提供核心技术，加强韩国多媒体信息产业的国际竞争力。这一技术开发工作将由产业界、学校和研究机构共同完成。

目前，韩国最大的电信企业 Korea Telecom 公司与电视公司及其它公司之间在承担“超高速信息通信网”建设任务问题上的竞争十分激烈。仅汉城工程就有十几家公司互不相让。这种竞争的态势将使整个建设进程加快。

四、我国国民经济信息化的需求和相应的技术能力

从生产力的状况来看，虽然我国与发达国家相比还有很大差距，但是，和世界经济发展的总体趋势一样，我国的经济也正在经历着由农业-工业社会的物质型经济向信息社会的信息型经济急速转变的历史阶段。特别是近几年来，我国信息业的发展极为迅速，比第一和第二产业的发展快得多。信息经济的快速成长，要求有一个更利于信息产品的生产、交换、利用的社会基础设施。这就是我国国民经济信息化的呼唤。

从生产关系的方面来看，我国的经济体制正在经历着由计划经济向社会主义市场经济体制的快速转变。在市场经济体制下，无论是微观主体（企业）还是宏观主体（国家）都极大地强化了对信息的依赖。市场经济体制建立得越充分，这种依赖就越强烈，就越是需要有强大的国家信息基础结构来支持它的顺利运转。

调查和预测表明，本世纪末，我国电话业务所需长途干线传输能力约为 109Gb/s；数据、图像业务（不包括 CATV）用户将超过 300 万户，使干线传输能力的需求增加到 137Gb/s。据预测，2010 年是我国信息业的一个转折点，即数据和图像业务的比重将赶上传统业务，其用户将达到 1800 万户；长途干线传输能力总需求将达 1023Gb/s。此后，宽带业务将得到大发展。到 2030 年左右，我国将达到每户至少 1 部电话，城镇中有线电视和综合宽带数据业务将进入每个家庭，可见需求量是很大的。

调查研究也表明，我国目前已经具备了研究和建设信息网络的一定能力。

首先，在一般速率信息网方面，我国已经有了“中国分组数据网

(CHINAPAC) ”和中国数字数据网(CHINA DDN) ; 一批局域计算机网(LAN) 已经建成并投入使用; 一些专门应用信息系统和近千个数据库正在为国民经济各部门服务。只要把它们互连起来就可以形成实用的一般速率的信息网。再加上正在推进的“三金”等工程, 这个一般速率的信息网就可以发挥更大的效用。在信息基础结构方面, 我国已经具备了相当的技术能力。一方面, 我国在“八五”期间将建成长度达 100 万公里高速光纤通信线路, 到“九五”末即可建成覆盖全国大中城市的 Gb/s 级 SDH 高速光纤网, 此外, 我国也已建成一定规模的有线电视网, 为建设国家信息基础结构奠定基础。

研究工作方面, 我国“863 计划”已经实施了一大批重要的研究项目, 包括通信主题的“宽带化智能化个人化综合业务数字网(简称 BIP-ISDN)”, 智能计算机主题的“并行处理计算机”, 信息获取与处理主题的“先进雷达系统”, 光电子主题的“高速光电子器件”, 自动化领域的“计算机集成生产系统(CIMS)”和“智能机器人”, 汉字输入、汉字识别、汉字处理系统、并行软件技术、信息系统等方面取得了重大成果。这些, 正是信息基础结构所需要的关键技术。不仅如此, 我国在攻关计划、部委科研项目, “攀登”计划和国家自然科学基金中还安排了部分相应的技术基础的研究。可见, 我国确已具备相当的技术实力。我们已不需从头做起, 只是需要进一步明确目标, 协调步伐, 加大对于上述及其它有关方面的人力、物力和资金的投入, 就可以较快取得实效。

五、建设我国信息基础结构的目标与措施

建设国家信息基础结构是一项重要的战略任务。信息化的基本要求, 是要建设一个具有先进的信息获取、传输、处理和利用能力、能够覆盖全国、由现代信息技术要素(信息资源、通信网、计算机技术与人才)组成的“国家信息基础结构”。它是一个综合性的开放的复杂巨系统, 在技术和功能上主要包含:

1. 覆盖全国、互联互通、统一标准的支持信息库与专门领域信息系统的国家公用高速通信网。

2. 信息获取与信息库系统。

它们的任务是: 各种领域信息的获取、存储、组织和更新, 为国家经济、政治、军事以及社会活动各领域的决策提供信息资源。

3. 专门领域信息系统。

专门领域信息系统包括工业、农业、金融、经贸、财税、医疗、卫生、公安、交通、教育、科研、国防、以及广播、电视等各种领域的信息系统, 它们直接为国民经济各部门和社会活动各领域提供专门信息服务。专门领域信息系统的核心是高性能计算机软硬件平台和智能信息处理平台, 为国民经济各部门、教育及科研提供大型计算和信息处理能力。

关于发展我国信息基础结构的目标:

根据我国幅员辽阔、经济和文化发展不平衡的国情, 2010 年前, 信息基础结构的建设可分两步实施。

第一步, 1995 年至 2000 年, 基本目标是:

——建立天地一体化(光缆、卫星、微波、移动通信等多种手段)、支持各种信息库及专门领域信息系统运行的、互联互通、统一标准的先进公用

通信网，保证军民兼顾以及不同地区、不同层次的通信需求；

——发展现代仪器仪表与传感技术，强化信息采集手段，大力开发信息资源，建成一批重要的国家基础信息库；建成国家急需的若干专门领域信息系统；使它们在国民经济的发展中发挥重要作用，产生重大的经济和社会效益；

——建设面向 21 世纪的国家信息基础结构示范工程，为 21 世纪全面展开全国信息基础结构的建设打下坚实的基础；

——加快以微电子、计算机、通信、软件、自动化、仪器仪表与传感器、多媒体技术、信息服务等为主要内容的信息产业的发展，积极培育信息市场。到 2000 年使我国信息市场的规模达到 GDP 的 1/3 左右；

——培养与我国信息化进程相适应的人才队伍，并大力加强与此相关的科研投入。

第二步，2001 年至 2010 年，基本目标是：

——建成支持专门领域信息系统的国家高速通信网，在主要城市可以使宽带业务到户；

——建成门类齐全的专门领域信息系统和基本满足应用需要的各种大型信息库系统，从而使信息基础结构在国民经济发展和社会进步过程中发挥主导作用；

——信息产业发展成为国家最大的产业，并在国际信息市场上占有较大的份额；

——基本实现国民经济和社会生活的信息化。

在科学研究方面，建议国家适当调整“863”计划、攻关计划、“攀登”计划以及国家自然科学基金等项目的战略目标，把其中与国家信息基础结构相关的课题明确地纳入信息基础结构的研究和建设计划，并在“九五”期间不失时机地加大上述科研投资强度。

国家信息基础结构的建设是一项巨大的社会系统工程，需要较大的经费支持。我们的方针可以是：充分利用已有的信息基础设施，发挥各部门和各方面的积极性和潜力。建设的第一步需要国家投入适当必要的启动和引导资金约 150—200 亿元，主要用于科学研究、国家骨干工程和示范工程；其余工程的建设，可通过各种渠道筹集（部门、地方、团体、企业、个人、国际贷款以及工程建设效益的逐步回收等）。

实现上述目标，既有许多有利的条件，也有不少实际困难，包括资金、技术和观念方面的困难，特别是，由于这是一项规模浩大的复杂的社会系统工程，面临着组织和协调方面的巨大难题。为此，建议国家首先考虑以下几方面的启动策略和措施：

（1）组成强有力的、结构合理的国家级专门委员会，在充分调动各部门各方面的积极性、互补合作的基础上，领导、组织和推进我国国家信息基础结构的研究和建设，这是当务之急；

（2）在国家专门委员会领导下，建立有权威的、公正的、结构合理的专家组，按照“全面规划、突出重点、远近结合、循序渐进；独立自主、适度引进、内外合作、军民兼顾；信息共享、应用驱动、注重效益、平等竞争”以及“决策科学化民主化”等原则，加速研究和拟定我国信息基础结构的总体规划和计划；

（3）制定合理的政策与法规，建立和完善在统一规划、统一标准下的公

平竞争机制，鼓励和保护社会参与的积极性；加强信息观念和道德规范的建设以及保护知识产权的工作；

（4）重视国家信息基础结构的科研工作，在自主掌握关键技术的前提下积极参与国际的竞争与合作；重视人员的培养和培训工作。

我们相信，在国家统筹领导之下，充分发挥各方面积极性，正确运用策略，我国国家信息基础结构的研究和建设必将健康发展，为国民经济和社会生活的信息化与现代化发挥巨大的作用。

城市垃圾处理的对策

陈清如

中国矿业大学

陈清如 矿物加工工程专家。1926 年 12 月 3 日出生于浙江省杭州市。1952 年毕业于唐山交通大学。现任中国矿业大学选矿工程研究中心主任、教授、博士生导师。兼任中国颗粒学会和中国煤炭加工利用协会常务理事。1995 年当选为中国工程院院士。主要从事矿物分离和加工等方面的研究。

一、前言

我国改革开放以来，城市数目和城市人口有了很大的发展，人民的生活水平也有了很大提高，因此，作为城市公害的生活垃圾发生量及其组成也有了很大变化。处理城市生活垃圾，实现无害化、减量化和再资源化，消除城市生活垃圾的污染已成为我国必须解决的重大问题。

随着政府对城市垃圾处理的重视和科学技术的发展，坑填、焚烧和堆肥等技术已经得到普遍采用。80 年代以来，垃圾生产能源和回收再生技术也得到发展。

上海市的土地面积约为全国土地面积的 0.06%，人口约为全国人口总数的 1%，但上海市每年生产的垃圾量约占全国城市垃圾总量的 5%，全年产垃圾量约为 600 万吨，每年人均垃圾发生量还以 10% 的速度增长。这就给垃圾的收集、清运和最终处理带来了巨大压力。

上海市是一座现代化的特大城市，浦东是我国对外开放的重点。上海市人民政府历来重视城市的环卫工作，曾先后提出了有关上海市垃圾处理措施。“八五”期间规划、筹建现代化的垃圾焚烧厂，“九五”开始试行垃圾全量焚烧技术，2000 年以后重点发展垃圾全量焚烧。卫生填埋场仅作为垃圾处理的辅助手段和垃圾最终消纳手段。在此同时，努力稳妥地发展堆肥资源。上海市有计划、有重点地依靠科技进步实现城市生活垃圾的处理。

二、填埋、焚烧和堆肥处理垃圾的利弊

1. 填埋处理

填埋是大量消纳城市生活垃圾的有效方法，也是所有垃圾处理工艺剩余物的最终处理方法，目前，我国普遍采用直接填埋法。

所谓直接填埋法是将垃圾填入已预备好的坑中盖土压实，使其发生生物、物理、化学变化，分解有机物，达到减量化和无害化的目的。

天津市在水上公园南侧用垃圾堆山，营造人工环境，变害为利，工程占地近 80 万平方米，以垃圾与工程废土按 1：1 配合后作为堆山土源，对于渗滤液和发酵产生的沼气和山坡的稳定性等，都采取了必要的措施。

美国堪萨斯城（Kansas City）是一个不大的城市，人口不多，城市周围是广阔的乡村，在远离城市的一块丘陵山地的低洼处选建填埋场，为了防止二次污染，采取如下措施：

(1) 在底部和周围铺有防渗层；

(2) 分层铺放，即堆放一层垃圾，而后盖土压实，根据介绍，有些垃圾堆放层还安装导气和导水管道，并利用产生的沼气。

日本东京都江东区有一片树林浓密、花草繁茂的土地，人们称之为“梦岛”，梦岛全部都是用垃圾填海造成的。

但是，我国许多城市的垃圾仍有大多采取露天堆放，没有任何防护措施。每一个垃圾堆放场都成了一个污染源，蚊蝇孳生，老鼠成灾，臭气漫天，大量垃圾污水由地表渗入地下，对城市环境和地下水源造成严重污染。沈阳市曾经对 35 处填埋场中的 10 处进行钻探取样，分析垃圾断层样品和地下水水质，分析结果发现：

地下水水质恶化，污染严重，水混浊发臭，水中均检出厌氧大肠杆菌；

垃圾断层样品均检出有毒有害物质。上海市每天有万吨垃圾运往郊区海边堆放，一座座高达二三十米的垃圾山拔地而起，造成周围环境的严重污染。

填埋处理方法是一种最通用的垃圾处理方法，它的最大特点是处理费用低，方法简单，但容易造成地下水资源的二次污染。随着城市垃圾量的增加，靠近城市的适用的填埋场地愈来愈少，开辟远距离填埋场地又大大提高了垃圾排放费用，这样高昂的费用甚至无法承受。

2. 焚烧处理

焚烧法是将垃圾置于高温炉中，使其中可燃成分充分氧化的一种方法，产生的热量用于发电和供暖。美国西屋公司和奥康诺公司联合研制的垃圾转化能源系统已获成功，该系统的焚烧炉在燃烧垃圾时可将湿度达 7% 的垃圾变成干燥的固体进行焚烧，焚烧效率达 95% 以上，同时，焚烧炉表面的高温能将热能转化为蒸汽，可用于暖气、空调设备及蒸汽涡轮发电等方面，美国部分焚烧厂的主要技术指标列于表 1。

表 1 美国部分焚烧厂的主要技术指标

城市 主要技术 指标	新泽西州的 Glouccster county	佛罗里达州的 Broward county	马里兰州的 Baltimore 市	马萨诸塞州的 North Andover	新罕布什尔州 的 Claremant	佛罗里达州 的 St. Petershurg	Pe
适用于人口 (万人)	20	65	85	75	7	100	
处理线个数	2	3	3	2	2	3	
单线处理能力 (T/day)	287.5	750	750	750	100	1000	
每天日处理能力 (T/day)	575	2250	2250	1500	200	3000	
平均日处理量 (T/day)	460	1800	1800	1200	160	2550	
燃烧温度 F	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
能量回收形式	电能和蒸汽	电能和蒸汽	电能	电能	电能	电能	
发电机容量 (kW)	14 × 10	60 × 10	60 × 10	40 × 10	4.5 × 10	75 × 10	
蒸汽量 (p/h)	1.2 × 10	5.1 × 10	5.1 × 10	3.96 × 10	4.6 × 10	7.02 × 10	
残留物缩减量	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	95 %	
回收材料	铁	铁	铁和聚合物	铁和聚合物	聚合物	铝、铁聚合物	累

我国石家庄市建造了焚化站、沈阳市环境科学研究所引进日本垃圾焚烧装置对医院等单位的特殊垃圾进行无害化处理，焚烧过程中产生的残灰约占焚烧前生物垃圾重量的 5%，一般为优质磷肥。近几年我国对垃圾焚烧发电产生再生能源技术越来越给予重视。

焚烧处理的优点是减量效果好（焚烧后的残渣体积减少 90%以上，重量减少 80%以上），处理彻底。但是，根据美国的报道焚烧厂的建设和生产费用极为昂贵。在多数情况下，这些装备所产生的电能价值远远低于预期的销售额，给当地政府留下巨额经济亏损。由于垃圾含有某些金属，焚烧具有很高的毒性，产生二次环境危害。焚烧处理要求垃圾的热值大于 3.35MJ/kg，否则，必须添加助燃剂，这将使运行费用增高到一般城市难以承受的地步。

3.堆肥处理

将生活垃圾堆积成堆，保温至 70℃ 储存、发酵，借助垃圾中微生物分解的能力，将有机物分解成无机养分。经过堆肥处理后，生活垃圾变成卫生的、无味的腐殖质。既解决垃圾的出路，又可达到再资源化的目的。但是生活垃圾堆肥量大，养分含量低，长期使用易造成土壤板结和地下水质变坏，所以，堆肥的规模不易太大。

不论城市生活垃圾的填埋、焚烧或堆肥处理，都必须要有预处理。

预处理程序首先要求居民将生活垃圾按可回收物质、有机物质和无机物质分别装袋，然后，垃圾处理公司按垃圾分类收集和运送，分类处理和利用。

三、美国城市生活垃圾与中国城市生活垃圾的差别

美国城市垃圾的成分与我国部分城市垃圾的成分对照见表 2。由表 2 可

知，我国的城市生活垃圾成分与美国的城市生活垃圾成分有明显的差别，美国垃圾的有机物质多，可回收或燃烧的成分高，我国的城市垃圾中无机物质占有很大比例，即使像上海、北京这类大城市，煤气的普及程度高，有机物质有一定的量，而无机物质所占的比例仍然很大。因此，这就决定了我国垃圾处理方法与美国的垃圾处理方法应该有较大的差别，要走自己的路。

表 2 美国城市垃圾的成分与我国部分城市垃圾的成分对照

成 份	国家 城市		中 国			
	美 国					
	全国统计 (%)	Baltimore (%)	上海市 (%)	北京市 (%)	哈尔滨 (%)	南宁市 (%)
金 属	8.50	8.90	0.53	0.80	0.88	0.47
玻璃陶瓷	12.00	8.40	2.05	10.75	2.56	4.52
厨余垃圾	13.00	29.00	42.70	49.77	16.62	14.58
纸 张	51.00	36.40	1.61	4.17	3.60	1.83
纺织品	3.00		0.47	1.46	0.50	0.60
塑 料	4.00	7.30	0.40	0.61	1.46	0.56
可燃其他物质	3.00	—	—	—	—	
惰性物质	5.50		52.24	32.44	74.38	77.44
其 他		10.00				

四、矿物加工技术在城市生活垃圾处理中的应用

综上所述，城市生活垃圾采用填埋、焚烧和堆肥处理都有它们各自的优点，但也有不可回避的缺点。解决的办法就是对城市生活垃圾分类收集后，采用矿物加工技术和设备回收再生大部分有用的物质（占 50% ~ 80%），然后将剩余部分不能回收的物质（占 50% ~ 20%）分别送去填埋、焚烧或堆肥等。这样能将城市生活垃圾做到无害化、减量化和再资源化，并且，节省大量资金。城市生活垃圾处理流程如下图所示。

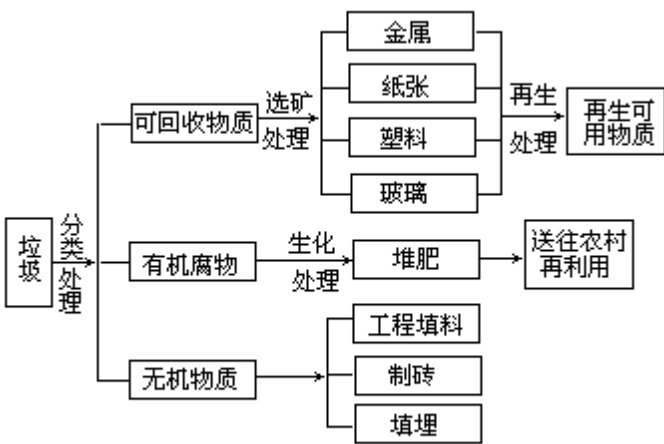
矿物加工技术和设备是矿山生产过程的重要环节，它起到回收有用矿物和提高品位的作用。在煤炭、有色金属、黑色金属、稀有金属和非金属等矿山应用很广，技术也成熟。

矿物加工技术包括物料的手拣、粉碎、筛分、分离、脱水、尾矿处理等方法。这些方法也可以用于城市生活垃圾的回收和再生。这样，可以从垃圾中回收有用物质，不仅减轻环境污染而且可以有较高的经济效益。

矿物加工技术回收垃圾中的有用物质，通常采用手选、机械和自动化分选，将无机物质回收再生。如用手选，靠人的感官按原料的物理特性预分离、分类，在手选输送带上手选工可将有用物质检出，这是较经济、简单的办法，但劳动量较大。如用磁选法吸取废铁；利用光滤系统和光电管分选各种玻璃；利用弹跳振动分选软、硬物质；利用筛分和分级处理粒度不同的物质，利用重力选矿方法分选密度不同的物质等。例如，对塑料自动分选、粉碎、清洗和造粒等工艺以达到塑料制品再生，对废旧电缆可以采用粉碎、剥离和重力分选技术将橡胶、塑料和金属电线分离。东欧国家十分重视玻璃回收，波兰

回收碎玻璃占玻璃容器的 30% ~ 35%，捷克、匈牙利为 30%。在芬兰，人们将炉渣、麦秆、破布、硬纸等物分选出来，捣碎混合，经高温高压制成十分坚固的垃圾墙。如从废蓄电池和废干电池中回收再生有用金属。废玻璃可再生，或生产玻璃钢、马赛克和水磨石。废金属可分选、冶炼再利用。废纸可回收造纸。据报道常州市一年利用部分废品的加工工业产值突破 2000 万元，利润可保证环卫部门年正常经费，效益明显。

对金属、塑料、高分子聚合物进行加工，在制造业中回收。废塑料制品对环境的污染一直是个严重问题。美国利用废旧塑料回炉生产与利用新原料相比，节省能源 85%—90%，并获取了可观的热能，如熔化 45 公斤高密度聚氯乙烯可获得 2000 单位（英制）的热量。德国不仅开发“再循环原浆”技术回收多种废塑料，还使塑料垃圾分子结构在高温高压下发生氢化作用，将塑料还原成原油。大如船舶、机车、卡车、机床的拆卸，中如加工行业中车、磨、刨、削产生的碎屑，以及社会中由回收站回收的碎金属，均需按其物理性质，及时而精确地手选分类、包装登记、存放，然后发运至金属冶炼厂。这是从废金属直接冶炼出单质金属及各种类型合金的重要保障，可大大缩短某些金属的再生周期。



城市垃圾处理流程图

城市生活垃圾经回收利用后不可用或无法利用的残渣，需要最终处理。一般有整体倾倒填埋、堆肥和焚烧等方法。整体倾倒最为简便，费用也少，但若倾倒量超出环境自净容量，会严重污染环境。

五、结束语

- 1.教育城市居民提高对城市生活垃圾处理的重要性的认识，并制定相应的法规，要求居民将生活垃圾分类袋装，做到分类收集、分类运送、分类处理利用。难度大，但必须这样做，不然城市垃圾无法解决。
- 2.减少城市生活垃圾的发生量的主要措施是：控制城市人口的增长，提高废品回收率，增加气体燃料的供应，增加半成品供应。
- 3.采用矿物加工技术和设备回收再生大部分有用的物质（占 50% ~ 80 % ），将剩余的小部分不能回收的物质（占 50% ~ 20% ）分别送去填埋、焚烧或堆肥等，真正做到城市生活垃圾处理的无害化、减量化和再资源化，并

节省大量的投资。

4.加大对城市生活垃圾处理的投资力度。实行垃圾管理制度化，成立垃圾处理公司，对市政府负责，保证垃圾处理后不污染环境，有关各方都要通过合同、法律条款对垃圾进行制度化的管理。对居民和企、事业单位实行吨垃圾收费制度，促进城市垃圾环卫制度的良性发展。

5.鼓励和支持个体有照经营者收购品种零星、价格低的废旧物资如牙膏皮、废蜡纸、鲜牛奶袋、饮料袋、物品包装袋等，并减少包装的纸类、塑料类等物，简化包装。重视二次资源的开发，不但可缓解原料和能源的不足，还可净化城市、保护环境，减少垃圾污染。

6.个体拾垃圾者队伍的发展，给城市环境卫生、社会治安，都带来了麻烦和不利。为此，必须有组织有计划地进行资源开发和城市生活垃圾的处理。

光纤通信技术及发展

赵梓森

邮电部武汉邮电科学研究院

赵梓森 光纤通信技术专家。1932 年出生于上海。1953 年毕业于上海交通大学。曾任武汉邮电科学研究院副院长兼总工。现任国家光纤通信技术工程研究中心技术委员会主任、武汉邮电科学研究院高级技术顾问、邮电部科技委委员。1995 年当选为中国工程院院士。完成了多项国家、邮电部光缆通信重点工程。

一、国外光纤通信的发展趋势

1. 大容量的光纤通信系统

光纤的容量很大，在 $1.3\mu\text{m}$ 和 $1.5\mu\text{m}$ 的窗口内就可容纳 20000Hz 的带宽。如果要充分利用它，首先是提高单通道的速率，然后采用波分复用 WDM 或时分复用 TDM 包括孤子 (Soliton)。实际上 TDM 也是在一个波长上工作，和提高单通道速率概念相同。另外，用相干光通信也可扩容，它是光电的混合复用方法，但目前尚不成熟。

(1) 提高单通道的速率

一般认为用电子线路来提高速率，目前只能到 $10 \sim 20\text{Gb/s}$ 。其主要技术是用高速电子线路和器件，如 AsGa 器件，但这是现在最方便的办法，应优先采用。如果采用光的外调制器，可把速率提高到 40Gb/s ，甚至 100Gb/s 。美、欧发达国家，如美 AT&T 公司声称 10Gb/s 在 1996 年已可商用。可以认为，提高单通道速率这一方法，可以满足 5 年以上的市场需要，特别是中国。

(2) 光波分复用 WDM 技术的进展

由于掺铒光纤放大器 EDFA 的发明，它补偿了 WDM 光器件的插入损失和光纤线路的损失，使 WDM 的实用成为可能。从长计，要想充分利用光纤的大容量，必须发展光 WDM 技术。世界发达国家均投入大量人力物力对 WDM 进行研究。

实验和理论证明：由于采用 WDM，光纤中的光功率随光的通道增加而增加，在光功率足够大时，光纤内发生非线性四波混频产物 FWM，各通道发生串扰；如果光纤线路光纤色散为 0，FWM 的干扰会十分严重。相反，如果光纤有微量色散，FWM 干扰反而减少。但对于高速系统线路的总色散又必须为 0，于是采用+色散光纤和-色散光纤交替敷设，色散互补，以保证光纤线路的总色散为 0。另一种方法是采用-色散光纤为主，并用+色散光纤（如 G.652 光纤）来补偿，使线路总色散为 0。

当前最高水平的 WDM 试验系统如下表：

系统 1 是当前最高速率的系统，传输了 $20\text{Gb/s} \times 17\text{ch} = 340\text{Gb/s}$ 。其中采用了所谓真波光纤 True Wave 并进行了色散管理 Management。真波光纤也是一种 DSF 光纤，但其 0 色散波长不正在 $1.55\mu\text{m}$ 处，略有偏移。在波长 $1.55\mu\text{m}$ 处，其色散控制在 $\pm 2\text{ps/km.nm}$ ，并保证全线的总色散为 0。这就是所谓色散管理。

序号	系统	光纤	全长 km	跨距 km	EDFA	研制单位	备注
1	20Gb/s 17CH	DSF (T+M)	150	50		AT & T	波长间隔 0.8nm
2	20Gb/s 8CH	常规光纤 +DCF	232	81	很多 很复杂	AT & T	
3	10Gb/s 16CH	常规光纤 +DCF	480	40	很多 很复杂	NTT	

系统 2 的特点是采用了 G.652 常规光纤。其目的是可在现存的光纤线路中用 WDM 扩容。由于常规光纤的色散很大，所以在一个 81km 中继段内需附加色散补偿光纤 DCF 长达 26km。为了克服附加的损失，需较多的 EDFA，每中继段内包括 1 级 ED-FA 预放和 3 级 EDFA 功放。

系统 3 也是采用 G.652 常规光纤。它在中继段内只附加 7.6km DCF 光纤作补偿。可惜中继段太短，仅 40km。

(3) 光时分复用 TDM 的进展

可把几路速率相同的光脉冲信号，用光开关把它们复用起来，这就是光 TDM。高速的脉冲系列的脉宽必然很细，例如 1~5ps/s。此时采用孤子传输较有利。同样由于 EDFA 补偿了光纤和光器件的损失，使光 TDM (孤子传输) 可能实用。孤子传输是利用光纤的非线性，也要求光纤有少量色散，以保证光脉冲在线路中形状不变。

当今高水平的光 TDM 包括高速单通道的试验系统，如下表：

序号	系统	光纤	全长 km	跨距 km	EDFA	研制单位	备注
1	160Gb/s	DSF	200			NTT	
2	10Gb/s 10CH	100kmDSF +常规光纤 (5km 作补偿)	600	100	F-EDFA	NTT	
3	40Gb/s	DSF	320	80		富士通	
4	20Gb/s	DSF	560	70	7	UK-BNR	
5	20Gb/s	DSF G.653	1000	50		NTT	东京
6	20Gb/s	DSFG.653 +G.652(小段)	10 ⁶	140		法 Telcom	环测

系统 1 是当前最高速率的光 TDM 系统。该系统采用了孤子传输技术，并采用了色散为 -0.19ps/km.nm 的 DSF 光纤，工作波长为 1.552 μm。它是由多个 10Gb/s 系统复合而成的。

系统 2 采用具有小色散 DSF 光纤作传输介质，所以只需 5km 的常规光纤即可补偿。并采用氟基的 EDFA，它具有平坦的增益特性。

系统 3 对未经色散控制和经色散控制的 G.653DSF 光纤线路进行了试验和比较。其结果是未经色散控制的 G.653 线路误码很大，而经色散控制的线路误码较小。

事实上 CCITT 对 G.653DSF 光纤的指标规定得太宽，0 色散波长可以从

1540 ~ 1570nm, 色散偏差为 $\pm 3.5\text{ps/km.nm}$ 。因此可以认为工作在 1550nm 具有色散的 1 ~ 3ps/km.nm 的 DSF 光纤都属于 G.653 光纤。

系统 4、5 是单通道线路。其中系统 5 是在东京的现场试验,对考察采用 TDM 对现有线路扩容的可能性有一定意义。结果 20Gb/s 的 10ps/s 的光脉冲经已埋设的 1000 公里色散未控制的 DSF 光纤线路,脉冲形状不变。

系统 6 是当今最长的孤子环测试 10⁶km! 还有人报道:孤子环测经 1 亿公里,在其系统中采用了定时和整形。

2. 光纤及光纤器件

(1) 设计新的适用于长距离传输的光纤

如果充分利用光纤的频带,要用 WDM 或孤子传输,都需要光纤有微量色散。如果重新设计光纤的结构,扩大光纤导光的有效面积,就可以增加输入光功率,减少非线性。自然优于 G.653 光纤。

AT & T、康宁玻璃公司和住友都在开发新的光纤。AT & T 称为真波光纤 (True Wave Fiber)。康宁称为长距离系统光纤 (Long Haul System Fiber) 或叶状光纤 (Leaf Fiber)。叶状光纤的 0 色散波长是 1567nm,有效面积 A_{eff} 是 $80\mu\text{m}^2$,而 G.653 光纤的 A_{eff} 是 $50\mu\text{m}^2$ 。

我国可根据国外的经验,自行开发长距离用的光纤,待成熟后采用。预计在 2000 年可商用。

(2) 光纤放大器及光纤器件

A) 光纤放大器的进展

a. 掺铒光纤放大器 EDFA 也有许多改进如下:

- 掺 Al 的 EDFA——可改善 EDFA 的增益特性 (Alcatel)
- 掺 Y, Co 的 EDFA——有较好的信噪比,适用作前置放大器 (AT & T)
- F——EDFA 氟基的掺铒光纤放大——作光功率放大 (NTT)

b. 掺镨光纤放大器: (NTT)

现在世界上敷设在地下的光纤有 90% 是 G.652 光纤,其 0 色散波长是在 $1.3\mu\text{m}$ 处。掺镨光纤放大器 PDFA 的工作波长在 $1.3\mu\text{m}$,它对充分发挥现有线路的潜力有重要意义。PDFA 最近水平如下:

小信号增益	42dB
饱和输出光功率	20dB
噪声系数 NF	5dB
光泵波长	0.98 ~ 1.05 μm
可靠性	25 年 (80 ° C, 相对湿度 80 %)
温度 ~ 增益特性	不理想

当 PDFA 工作在室温 ($> 250^\circ\text{K}$) 时,它的增益随温度上升而急剧下降。这是影响 PDFA 实用的最大问题。

NTT 用 PDFA 进行试验经过 110.8 公里的标准单模光纤,传输了 40 路 AM-VSB 视频信号和 10Gb/s 的数字信号。可达到 CATV 线路要求。

B) 光纤激光器 (UK, University Southampton)

具有正回授的光纤放大器可成为激光器。英南安浦顿大学研制的光纤激光器性能如下:

工作波长	1.55 μm	可调谐范围	32nm
输出功率	3mW	线宽	60kHz

从以上可见，光纤激光器具有极优良的性能。它有很狭 60kHz 的谱线和大的可调谐范围，十分适合作相干光通信的本地光源。

C) 均衡 EDFA 增益特性的光纤器件 (AT & T)

熟知 EDFA 的增益——波长特性不平，在长距离传输线路中有许多 EDFA，使 WDM 系统各路增益累积差别可达数十 dB。如不采取措施，无法实现 WDM。

AT & T 研制一种长周期光纤光栅，它具有 EDFA 相反的增益——特性，可作 EDFA 的均衡器件。

D) 光纤镜

用光纤制成光纤镜输入的光信号经耦合后就分成顺钟向和反钟向两路，环光纤环运行。输出端信号是由此两路信号叠加合成的。用一控制脉冲经耦合进入光纤环，只要其强度足够大，光纤环中产生非线性，可使光信号的相位发生变化。在输出端上，如两信号相位相同则有输出脉冲，如两信号相反则无输出脉冲。这样就可利用控制脉冲来实现时分去复用，选择所需的信道，有了这种方法，大大增加了光 TDM 的竞争力。

3. 光器件的进展

(1) 半导体激光器 (日立)

研制出一种 RM-RWG 倒台脊形波导应变多量子阶 DFB 激光器。性能优良，其激射温度达 165 (FP-LD)，输出光功率 240mW，工作波长 1.55 μm ，DFB-LD 的阈值电流约 10mA (25)。

(2) 光电集成线路 OEIC 和光子集成线路 PIC

有人用 Si 基 OEIC 制成了 1.31/1.55 μm WDM 2.5Gb/s 的收发信机。HHI (德) 制作的 PIC 芯片是 1.3/1.55 μm 单纤双向 WDM 系统。打算用于光纤到家 FTTH。其中用 MQW-DFB 激光器作光源，PIN 管作光检器件。

HHI (德) 用 PIC 工艺制作成芯片式的相干光接收机，该芯片包含：4 段 DBR 激光器，光检测器 JFET，光波导，极化旋器等。这个相干光接收是采用 2 相分集接收方法。

OEIC 和 PIC 体积当然很小，而且可靠性很高，当前的问题是成品率不高，性能价格比较低。预计在 2000 年左右可突破。它将使光纤通信换代。

(3) 光调制器——各种光调制器的主要性能比较如下：

调制器种类	调制速度	制作部门	备注
电吸收调制器	50Gb/s	日立	脉宽 4.1ps，用 TDM
	42Gb/s	(法) Telcom	可达 80Gb/s
LiNb ₃ -MZ	100Gb/s	NTT	锁相能力达 400Gb/s
光调制器	40Gb/s	富士通	
Polymer 聚合物调制器	60Gb/s	美，加州大学	运行两年稳定

外调制器的优劣，除视其速率外，还需视其在线路上产生的啁啾声是否小。(4) 聚合物 Polymer 器件

采用聚合物作光波导器件有如下优点：

- 工艺简单，可大面积制作，像大规模集成电路那样。
- 价格低
- 速度高：有低的介电常数和高的电光系数 $50 \sim 100\text{pm/v}$ (LiNbO_3 是 30pm/v)。

一直令人担心的是聚合物的温度特性和寿命问题。有实验表明聚合物器件可达 220°C ， 85°C 外推寿命为 10 年。

用 Polymer 聚合物可制作：光开关，光调制器，数据存储器，显示器甚至发光管 LED。

二、国内光纤通信技术的发展

1. 系统和工程 - 主要是新系统和新工程

565Mb/s 京沪工程：是当今国内自行研制开发的距离最长容量最大的工程。全长 1856 公里，从北京经天津、济南、徐州、合肥、南京至上海，共 6 个数字段。设备是武汉邮电科学研究院研制的，武汉邮电科学研究院和 505 厂共同提供。设备采用 8B1H 线路码型，可提供区间通信。光缆由武汉长飞公司提供。该工程已于 1995 年 9 月试运行，情况良好。

SDH 同步数字系列的研制：邮电部第 5 所于 1994 年底已研制出 SDH155Mb/s 和 622Mb/s 性能样机。将用于成都至攀枝花 700 多公里和杭州至南京 400 多公里工程。这是我国当前最先进的国产工程系统。

武汉邮电科学研究院正在研制 SDH2.5Gb/s 系统，预计 1996 年可出样机。

WDM 研究：北京大学研制了 8 路 140Mb/s WDM 系统，传输了 151 公里，有 2 个 EDFA 中继放大。工作波长 $1531 \sim 1549\text{nm}$ ，频道间隔为 2nm。该系统是当前国内 WDM 路数最多总容量大的试验系统。

综合试验系统（试验架-Testbed）：国家科学大会展出了武汉邮电科学研究院的试验架。该架对 WDM、EDFA、SCM-TV 传输、SLC 及其有关器件进行了试验。WDM 先在 $1.31/1.55\mu\text{m}$ 上进行复用。在 $1.31\mu\text{m}$ 上传输 CATV，用一个无源光网分出 4 路，每路传输 12 路 SCM-TV。在 $1.55\mu\text{m}$ 又用 WDM 再进行 4 路复用，间隔为 8nm。传输 1 个 564Mb/s，2 个 140Mb/s 和 1 个 34Mb/s 的 SLC。光纤总长为 100 公里，中间有 1 个 EDFA。试验系统的设备和大部分光学器件是武汉邮电科学研究院研制的，包括：DFB-LD、EDFA、光泵、WDM 及有关器件等都是武汉邮电科学研究院研制的。

2. 光纤和器件

EDFA 掺铒光纤放大器：清华大学、北京大学首先研制出我国的 EDFA。

武汉邮电科学研究院研制的 EDFA 性能如下：

小信号增益	> 30dB
饱和输出功率	> 10dBm
带宽	> 20nm

其中的 1480nm 光泵，掺铒光纤 EDF、WDM 器件和隔离器等是武汉邮电科学研究院研制的。也试验了波长为 980nm 的 EDFA。

MQW-LD 多量子阱激光器

中国科学院北京半导体研究所和武汉邮电科学研究院均研制出 MQW 多量子阱激光器。武汉院的 MQW-LD 性能如下：

波长	1312nmRMS
----	-----------

带宽	1nm
阈值电流	12.7mA
输出功率	10mW
量子数	4 ~ 6
测试温度	25
无源器件	

国内对各种光无源器件均开展了研制，有些已商用。武汉邮电科学研究院研制的光无源器件光滤波器和光隔离器性能结构如下：

1.3/1.55WDM 光滤波器：该滤波器输入波长是 1.31 和 1.55 μm ，输出波长是 1.55 μm 信号。控制耦合长度 L_c 便可控制过滤波长。在输出端增加滤光膜 F 可提高串话损失。

可调谐 FP 光滤波器

已制成 4 路波长空隙为 8nm 的光滤波器。

工作波长	1550nm
串话损失	-24dB
插入损失	3.8dB
3db 带宽	< 1nm

偏振无关光隔离器 ISO：

这种隔离器主要用于激光器的出端，防止光的反射，在高速系统特别需要。

工作波长	1550nm
损失	< 1dB

瞬态光学技术及其应用

侯 洵

中国科学院西安光学精密机械研究所

侯洵 光学家。1936年12月6日出生于河南灵宝，原籍陕西咸阳。1959年西北大学毕业。中国科学院西安光学精密机械研究所研究员。中国光学学会常务理事，中国光学学会高速摄影与光子学专业委员会主任。1991年当选为中国科学院院士。主要从事瞬态光学方面的研究。

瞬态光学技术是研究和发展用来观察、记录各种瞬态现象的光学技术的。瞬态现象系指变化很快的现象，它可以是物体位置或形态的快速变化，也可以是某种发生在原子分子层次上的表面上静悄悄的非常快速的物理化学过程或生物过程。

为什么要发展瞬态光学技术？为了弥补人类眼睛对快速变化现象分辨能力的不足。我们人类的视网膜有 $1/24$ 秒的视觉暂留效应，即当在视网膜上的图像消失后，我们在 $1/24$ 秒之内仍能感觉到它。这就是说，我们人类眼睛的时间分辨能力只有 $1/24$ 秒。正因为如此，所以对于许许多多的快速变化，我们只看到了变化前的状态和变化的结果，而看不清变化的过程。例如一个玻璃杯掉在地上，我们只能看到地上的杯子碎片而看不清杯子撞击地面、破裂、然后飞散的过程。子弹打在窗玻璃上，我们也只能看到结果，而看不清过程。为了认识世界和改造世界，我们就要研究和发展一种技术，用来弥补我们眼睛时间分辨能力的不足，正如我们发明了放大镜、显微镜、电子显微镜、扫描隧道显微镜……来弥补我们眼睛的空间分辨能力的不足一样。类似地，我们还发明了夜视仪来弥补人眼感光灵敏度的不足，发明了红外变像管来扩展人眼的光谱响应范围。

人类从客观世界获得的信息中有70%是借助视觉的，因此，人类视觉的扩展对于提高我们认识世界，进而改造世界的能力是至关重要的。事实上，人类视觉的任一种扩展都会给人类展现一个崭新的世界，开辟一个广阔的研究领域：天文望远镜使我们得以研究宇宙，显微镜使我们得以发现细菌、研究微生物，而瞬态光学技术则能使我们看清体操运动员的动作细节，了解高速运转的机器的动作过程，研究反坦克弹的穿甲过程，记录原子弹爆炸的瞬间过程，探查高等绿色植物中所发生的光合作用的机理……

瞬态光学技术的分类

瞬态光学技术是一种视觉扩展技术。它使用几何光学、物理光学、电子光学、精密机械、电子学、激光与光电子学等一系列技术。因此，可以有多种依照不同标准的分类，例如按工作所依据的技术，按工作的结果等等。而研究不同的对象常常需要不同的技术，因此也可以按研究的对象，将瞬态光学技术分为两大类：一类是着重研究物质的形态变化与位移的。例如机器的运转、导弹飞行的轨迹和姿态、体育运动、武器试验等等，称为高速摄影；另一类着重研究物质内部的瞬变过程，特别是在原子分子层次上的高速过程，叫做超短光脉冲的产生与测量。由于时间关系，今天我先向大家介绍高

速摄影及其应用。

高速摄影

普通的电影摄影机，每秒拍摄 24 幅，放映时也是每秒 24 幅。尽管银幕上的画面每秒变换 24 幅，但由于人眼的视觉暂留，我们看到的是连续的动作而不是断续的跳变。拍摄速度大于这个值的就可以称为高速摄影。例如，若每秒拍摄 240 幅而以每秒 24 幅的速度放映，则动作被放慢了 10 倍，我们就可以看得相当从容，相当仔细。进行高速摄影的机器称为高速相机。它也可以按工作原理分为光机式与光电子式，按工作结果分为条纹相机与分幅相机，还可以按拍摄速度分为中低速相机、高速相机及超高速相机。

光机式相机：所有使用几何光学原理及高速动作的机械机构实现对快速现象的观测记录的设备，都称为光机式高速相机，它通常又可以十分清晰地分为以下 3 类：

1. 间歇式高速摄影机。相机有一个输片机构、收片机构与光学系统。底片在抓片机构的拖动下间歇运动。曝光在底片静止的片刻完成。限于底片两侧齿孔的强度，这类相机的拍摄速度的上限为 360 幅/秒。底片通常长约 200 ~ 300 米，持续拍摄约数分钟。结果可以放电影，使原有现象的速度放慢至多 15 倍，也可以用专门的判读仪测出运动的多种参数。我们通常看到的体育运动的慢动作，早先都是用这类摄影机拍摄的，速度约在 50 ~ 100 幅/秒之间。

近十多年来，人们逐渐使用了高速视频录像技术，俗称高速电视，它具有无需事后冲洗、放映速度可变，可以擦除等优点，方兴未艾，我们后面还要提及。

2. 光学补偿式高速摄影机。在这类相机中，底片连续运动，从静止逐步迅速达到某一稳定速度。为了获得清晰的图像，人们使用移动的透镜、旋转的棱镜或反射镜，使图像在曝光时间内与底片同速运动、相对静止，目前使用最多的是旋转棱镜。这类相机的底片长度通常在 30-120 米之间，最长也有 600 米的，所得结果可以放电影。由于光学补偿式高速摄影机结构简单，操作方便，体积小而造价低廉，它被广泛地应用于研究各种发光的和不发光的（加照明装置）快速现象，如导弹的发射、工业机器的运转、流体力学、爆轰学、加工工艺研究、材料力学、航空航天技术等等。

这类相机可以按底片运动的方式分为牵引输片式，其胶片总长约 200-300 米，拍摄频率每秒数千幅，上限 1.1 万幅/秒；另一种为鼓轮式，它的底片固定在一个高速的鼓轮的内表面或外表面，片长约 1 米，拍摄频率数万-数十万幅/秒，画幅总数数百-数千幅。

3. 转镜式高速摄影机。在这类相机中，底片固定在暗箱内一个近似圆孤的片架上，用旋转反射镜使成像光束相对于底片高速运动。如在底片前面放置一排小透镜，光束扫过它们时会在底片上形成一幅幅图像，构成所谓分幅相机。如在光学系统前设置一个狭缝，将目标成像在狭缝上，并将其经转镜成像在底片上，则当转镜旋转时会在底片上形成一个条状图像，条纹的宽度表示目标沿狭缝方向线度随时间的变化，条纹的黑度表示目标的发光强度随时间的变化。由于拍摄结果是一个条带，因此称为条纹相机，有时也因其来自光束在底片上的扫描而称为扫描相机。其时间分辨率取决于扫描的速度和相机沿扫描方向的空间分辨率，一般在纳秒（ 10^{-9} 秒）量级。分幅式转镜相机

片长 1-2 米，画幅数十至数百（视画幅大小而定），拍摄频率数十万至两千万幅/秒。为了避免较长的发光过程造成底片重复曝光，这类相机备有快开快门和快关快门。前者在转镜转到某一角度时打开，后者则在光束重复扫描前关闭。由于需要高速动作，快开快门是一种大电流脉冲驱动的铝箔，快关快门是一块两侧置有电雷管、前后置有有机玻璃防护板的平板玻璃。当雷管起爆时玻璃块被粉碎，光路即被遮断。

转镜相机的转镜可以用特种钢制造。当速度进入超高速范畴时，通常采用铍制作，取其轻而刚韧兼备。这种相机多用于靶场，是爆轰物理、磁约束受控聚变研究及核武器试验等的有力工具。

光机式高速摄影机还有一些不常用的次要类型，由于时间关系，从略。我国自 60 年代初开展高速摄影技术的研究，到 80 年代初，已经成功地研制了上述各类相机并且达到了国际先进水平，打破了当时的禁运，满足了国防科研的需要。

光电子类相机：

所有使用电光、光电效应以及脉冲电光源的高速相机，我们统统归入光电子类，它还可以细分为闪光摄影、电光摄影与变像管摄影。

1. 闪光摄影：这种摄影与我们日常在光线暗的场合使用闪光灯拍照类似，不同之处仅仅在于所使用的闪光的持续时间更短。闪光可以是火花放电、氙灯，也可以是脉冲激光。相机的曝光时间就是闪光持续的时间或者叫做光脉冲的宽度。一般火花放电的持续时间可以短至纳秒（ 10^{-9} 秒），而激光脉冲则可以短至皮秒（ 10^{-12} 秒）及飞秒（ 10^{-15} 秒）。闪光摄影一次获得一幅照片，如果使用依次放电的火花隙阵列或序列激光脉冲，也可以获得多幅照片。

当使用 X 射线闪光时，就形成了叫射线高速摄影的技术。

2. 电光摄影：某些液体，例如硝基苯、二硫化碳等，在电场中有双折射现象，电场消失后这种现象也很快消失，称为 Kerr 电光效应。在一对正交的偏振片中间放置一个能施加电场的充有上述液体的盒子（通常叫克尔盒），就构成一个快门。不加电场时，这个快门是不透光的，即关闭的；当加一合适的电场时，这个快门就透光了。快门打开的持续时间取决于电场存在的时间，即加在克尔盒上的高压电脉冲的宽度，通常为纳秒量级。当使用二硫化碳液体并用脉冲激光的电场驱动时可以达到皮秒量级。1964 年我国第一颗原子弹爆炸时，我们就使用了自己研制的三台克尔盒高速相机，获得了珍贵的核爆的早期照片。也可以用某些晶体的电致双折射效应构成一个高速快门，用于高速摄影。类似地，还可以利用法拉第磁光效应构成一个快门，不过因为磁场建立较慢，曝光时间较长。

3. 变像管高速摄影：变像管是一种宽束光电成像器件。它由光电阴极、电子光学聚焦系统及荧光屏组成。当光学图像照在它的光电阴极上时，光电阴极即发射出一个电子密度与光强相应的电子图像，这个电子图像经电子光学系统聚焦成像在荧光屏上就重新转换成一个与原来的光学图像相同的可见光图像。

变像管有这样一个优点：第一，它可以实现波长变换。依靠使用不同的光电阴极，可以将红外图像、紫外图像及 X 射线影像转化为可见光图像。第二，利用在变像管内放置二维电子倍增器（MCP）倍增电子数目并提高对电子的加速电压，可以实现图像的亮度增强，即将微弱的光学图像增强为荧光屏上明亮的可见光图像，增益通常可达数千至数万倍。第三，利用电磁场可以

控制电子束的运动，使之偏转扫描或中断，从而形成快门动作，构成变像管高速摄影机。由于电子的惯性极小，变像管相机的时间分辨率可以达到皮秒甚至飞秒量级。

像光机式高速摄影机一样，变像管相机也可以按照拍摄的结果分为单幅的、多幅的和条纹的。

短磁聚焦的飞秒条纹管，由于可以尽早对光电子偏转扫描，避免了光电子自光电阴极至荧光屏的飞行过程中出现的时间弥散，因而可以获得飞秒级的时间分辨率。

4. 高速视频录像：光机式的高速摄影机都是使用胶片的，即使是变像管高速摄影机，以前也都是使用胶片做最后的图像记录的。这就需要显影、定影等事后处理，费时费事。磁带录像技术出现之后，人们致力于高帧频的摄录技术，研制成功了采用高密度磁头与磁带的高速视频摄录机，摄录频率可达 2000 帧/秒，画面分割后可以更高，例如 6 分之后可达 12000 帧/秒。

最近几年，随着固体摄像器件（CCD 与自扫描光电二极管阵列器件）的发展和大容量集成电路存储芯片的出现，高速视频录像系统已经放弃了采用高密度磁头与磁带的途径。新的系统采用高速专用 CCD 或 SSPD（自扫描光电二极管阵列）作为图像传感器，大容量集成电路存储芯片作为记录介质，研制成功了固态全数字高速视频录像系统。这种系统既无需光机式高速摄影机的胶片事后处理，可以即时以标准电视制式任意倍率慢放和对画面进行自动搜索，也没有光机式高速摄影机及用磁带记录的高速视频录像系统的高速运动部件，因而没有噪音，没有磨损，寿命长，实现了快速变化现象的捕获、记录与立即重放。今后，随着空间分辨率的进一步提高，必将取代中低速的高速摄影机。我国西安光机所已经研制成功这种新型高速摄录系统，拍摄频率 500 帧/秒，画面二分割之后可达 1000 帧/秒，记录容量 4000 幅。

可见化技术：

客观世界中除物体形态、位置、亮度等等的变化是明显可见的之外，还有一些物理量是不可见的，例如温度的分布、密度的分布、压力的分布、应力的分布等等。然而这些物理量往往对空气动力学、爆轰学、激波等的研究极为重要，于是人们发展了若干技术来显现这些物理量的分布及其变化。我们称之为可见化技术，也有称流场显示技术的。它的基本原理有的是温度或压力的变化引起空气密度的变化，空气密度的变化引起它对光的折射率的变化，从而引起光线传输路径的变化，造成阴影或纹影，这些阴影或纹影反映了温度或压力的分布。有的是光的干涉。应力会引起双折射效应，形成干涉花纹。人们可以从干涉图判断应力的分布及大小。

可见化技术方面，以前应用最多的是阴影法和纹影法，近些年发展了剪切干涉与全息干涉。

高速摄影技术的应用

高速摄影是人眼视觉能力在时间分辨能力方面的延伸，它可以应用于一切我们想要探究的快速现象，最直观的也是最常见的是用于体育运动与国防科技的研究。体育动作的分析及生物力学的研究通常使用间歇式高速摄影机，其拍摄频率上限为 360 帧/秒。国防科技方面，爆炸、燃烧、穿甲、弹道、飞行姿态等的研究都离不开高速摄影，其中核武器的研究更需要超高速的高

速摄影机。当研究链式裂变反应的初期状况时，甚至需要皮秒时间分辨能力的变像管条纹相机与分幅相机。

高速阴影、纹影、剪切干涉及全息干涉摄影是研究高速流场的最直观最有效的手段。它可以显示温度、压力、密度、应力等的分布及其快速变化，对航空、航天、火工品、爆炸物理及常规武器研究十分重要。

光机式高速摄影机与光谱仪配合可以组成具有时间分辨能力的光谱仪，用来通过光谱及其强度随时间的变化研究某些发光现象中的化学物理过程。这类仪器由于光机式高速摄影机缺乏光增益功能及时间分辨率较低，只能研究一些自发光较强的慢过程。

当需要研究快速的过程时，人们利用变像管条纹相机与光谱仪配合，建成具有皮秒时间分辨率和光增益的超快速光谱仪。这种仪器可以用来记录快速变化的发光光谱、荧光光谱与吸收光谱，藉以研究各种超快速的物理、化学及光生物过程。

自从 60 年代中期实现固体激光器的锁模以来，激光脉冲的脉宽由数百皮秒发展到了今天的几个飞秒。锁模激光器自身也经历了固体染料固体的螺旋上升过程。当前，掺钛宝石激光器已能直接产生短至 8 飞秒的脉冲，脉冲啁啾放大技术已能将飞秒单脉冲的能量放大至百毫焦耳级。利用调谐技术、倍频技术及光学参量振荡与放大技术（OPQ、OPA），超短激光脉冲的波长也已经可以覆盖紫外到近红外的整个波段。超短激光脉冲为人类提供了强有力的研究超快现象的手段。利用超短激光脉冲组成的泵浦/探测系统，人们可以研究物理、化学、生物学中的许多基本过程，例如超晶格量子阱材料中载流子的行为、有机偶极分子的光致电荷转移及电荷分离特性、高等植物光合作用的原初过程、血红蛋白动力学、DNA 内能量转移的过程、视紫红质、视黄醛的光物理过程等等。超短激光脉冲的宽度及功率发展到今天，不仅使人们得以研究许多需要飞秒级时间分辨能力的仪器才能研究的深入到原子、分子层次的超快现象，而且展现了人类控制化学反应的方向及进程并实现分子剪裁的前景。超短超强激光脉冲的聚焦还提供了等同甚至高于氢原子场强（ $5 \times 10^9 \text{V/cm}$ ）的光场，为人类开辟了一个新的研究领域——强场物理。