

《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）

01

上海市黄浦区教育信息中心

“863”计划缘起、发展及展望

王大珩

中国科学院

王大珩 光学科学家。1915年2月26日生，江苏苏州人。1936年毕业于清华大学。1938年获伦敦大学帝国学院技术光学专业硕士学位。1955年被选聘为中国科学院院士(学部委员)；1994年5月被选聘为中国工程院院士。曾任中国科学院长春光学精密机械研究所研究员、所长，中国科学院长春分院院长，中国光学学会理事长，中国科协副主席。现任中国科学院应用研究发展局高级顾问。我国应用光学事业奠基人之一。为发展我国尖端科技研制了多种光学设备，开我国自行设计研制大型光学工程任务的先河。

缘起

1983年美国里根总统的SDI倡议(战略防御倡议)，除了为两霸争雄显示威慑力量之外，是对美国发展高技术的一次冲击，也是对世界各国高技术及国力发展的一次挑战。

各工业先进国家纷纷提出相应的计划：欧共体的尤里卡计划，日本的科技计划，前苏联的对策计划……

我国不能置之不理，我国有关部门曾对此组织座谈，提出采取对策的设想。

SDI的实质，在现实性上比较渺茫，但是从威慑目的出发，提出了战略性方向，从而对一系列前沿技术展开了论证及可行性研究，不拘最终目标能否达到，但在高技术的各个方面，肯定会有新的突破出现，这就发展了一个国家高技术的实力。

我国当时的环境是“两弹一星”已建立起了高技术的初步基础，积累了一定的经验。

1983年党和国家开始考虑迎接新技术革命的对策。同年11月，国务院经济技术研究中心组织全国上千名专家进行为发展新技术的研究，提出了长达150万字的“中国迎接世界新技术革命浪潮挑战和机会对策的研究”。

鉴于当时的情况，陈芳允同志与我商量，向最高领导写个“发展我国的战略性高技术”的建议，由我起草，并与杨家墀、王淦昌商量定稿。建议于1986年3月2日送上，3月5日就得到小平同志的批示：“此事宜速作决断，不可拖延”。

经国务院组织专家们进行再三的周密论证，1986年11月18日，国务院发出“高技术发展计划纲要”的通知。“高技术发展计划纲要”，即“863计划”，于1987年2月正式组织实施。称为“863计划”，正是因为建议的提出和小平同志的批示是在1986年3月作出的。

基本精神

在建议中所提出的主要精神有：1. 事关国际上的国力竞争，我们不能置

之不理。2.在关系到国力的高技术方面，首先要争取一个“有”字，有与没有大不一样。3.鉴于我国的经济情况，从事高技术的规划与范围无法与工业发达国家相比，因此，必须“突出重点，有限目标”，强调储备与带动性。4.积极跟踪国际先进水平，要能进入所涉领域的国际俱乐部，占有一席之地。5.发挥现有高技术骨干的作用，通过实践，培养人才，为下个世纪的发展作好准备。6.时不可待，要有紧迫感，发展高技术是需要时间的，抓晚了就等于甘居落后，难于再起。

计划的实质：1.战略性的，影响国力的，有迫切需求的。2.预研先导性的，面向21世纪的高技术化生产。3.有限项目，目标明确，但是要有带动作用。4.按照小平指示“军民结合，以民为主”。

在措施上：1.排除部门所有制的弊端，以专家组的形式落实实施，包括课题的论证，开题承担单位的择优，基础设施的建立，以及经费的分配，专家组通过科学化与民主化，具有实权。2.由财政部设置专款，时限到2000年。3.在“863计划领导小组”的领导下，根据军民需求，各有侧重，分别由国家科委与国防科工委组织实施并监督执行。4.计划与人具有滚动性（分届调整）。5.建立必要的实验中心。

在风格上：提倡“公正，献身，求实，创新，协作”。

七个高技术领域及有关主题项目

现在实施的高技术发展计划，包括7个高技术领域，15个主题项目主要内容如下：

1.生物技术：高产、优质、抗害动植物新品种；新型药物，疫苗及其治疗技术；蛋白质工程。2.航天技术：面向下一个世纪的空间技术发展的预研工作，如发射运载手段、空间技术应用等等。3.信息技术：智能计算机系统；光电器件及集成技术；信息获取与处理；先进通信技术。4.激光技术：强激光领域及有关的问题。5.自动化技术：计算机集成制造体系（CIMS）；智能机器人。6.新能源技术：燃煤磁流体发电；先进核反应堆。7.新材料：光电信息材料；耐腐蚀、重量轻的结构材料；特种功能材料；耐高温、高韧性、高强度复合材料；特种工艺（说明：微电子技术未列入，因为另有经费安排）。

从这些领域的内容，我们可以这样理解，正如国际上一般理解的那样，是现代科学技术的前沿，对发展国民经济和国力有较大影响，有明确的应用目标，是多种技术综合集成的技术领域。因此，由于前沿技术在不断更新，也是有时间性的，当某项高技术被普遍地用于正常生产时，就不再“高”了，而新的“高”又出现了。

进展情况

“863计划”实施至今已10年了。经过“七五”入轨，“八五”攻坚，已卓见成效。参加“863计划”总人数近2万人。

为了积极开展工作，除利用已有基础外，已新建立了8个研究发展中心，它们是（民用方面）：（1）计算机集成制造系统实验工程中心；（2）智能计算机系统研究开发中心；（3）机器人研究开发中心；（4）光电子工艺中

心；（5）基因工程疫苗中心；（6）基因工程药物中心；（7）基因工程生物制品中心；（8）新储能材料工程开发中心。

10 年安排课题 2800 多个，到 1995 年底已鉴定成果 1398 项，其中 550 项达到国际先进水平，已应用 475 项，占 38.2%；已形成产品 133 项，占 10.7%。在国内外重要刊物和学术会议上发表论文 2 万余篇。

已取得的主要成就有：

1. 生物技术：两系杂交稻，已推广 300 余万亩，平均单产提高 10% 以上，最高单产达 730 公斤；玉米与大豆固氮、抗虫棉花等，将开始大面积推广；基因工程生物疫苗有突破性进展；治疗恶性肿瘤药物，乙型肝炎的生物药物、疫苗已在不同程度上投产。部分项目已处于国际领先的地位，基因治疗达到国际领先水平。

2. 信息技术：曙光 1 号与曙光 1000 高性能计算机达 90 年代国际水平，正在投产；中文智能接口，有国内外市场；大功率激光器，高速光通讯系统，有重要进展；合成孔径雷达，完成型号预研，实现了计算机图像显示；2.16 米望远镜红外自适应系统，已初见实效，提高了地面观测星体的分辨本领；航空遥感实时传输系统，已应用于防灾；半导体量子阱激光器件，技术过关。

3. 自动化技术：CIMS 获国际奖，已用于 18 家不同产业，有成效；6000 米水下机器人深海实验成功；机器人装配线已用于某厂电扇电机装配，并进一步推广至汽车行业；核工业机器人、六维机器人、爬壁机器人等做出了示范样机。

4. 新能源：高温气冷核反应堆已开工；快中子堆已立项。

5. 新材料：人工非线性晶体及激光晶体，高温超导材料均属国际先进并有所领先；为高技术研究及军工配套材料达国际水平，如航天隔热材料、高性能固体推进燃料、耐高温高强度材料等。

6. 其他领域：大型“神光”激光器系统，使我国成为少数具有聚变实验装备的国家之一，由此产生的 X 光激光研究处于国际先进或领先水平。利用航天环境进行半导体材料制备，取得了国际瞩目的结果，对植物种子进行搭载实验，对青椒、西红柿、稻种取得明显增产的效果。

总之，“863 计划”，实施至今成绩卓著。总结经验，初步看来，有以下几点：

（1）在指导思想和措施以及计划内容上，是经过慎重考虑的，是正确的，因此在实施上未出现有大转弯等现象。（2）在一些领域，提高了国际声望，缩短了差距，并开始在国际上占有一席之地。（3）提高了高技术研究水平，在一定程度上增强了国家的科技实力，从而更加确立了我国自主开发高技术的能力和信心。（4）开始带动了相关领域和行业的技术发展。（5）培养了青年人（45 岁以下的青年人及研究生千余人，培养了决策层次的专家数百人，提高了专业管理水平。有数十人被选为科学院或工程院院士）。

新的形势及展望

成果的涌现，使转化为生产力成为迫切的任务，小平同志及时提出了“发展高科技，实现产业化”的号召。

经过一段时期，“863 计划”的实施和锻炼提高了科研能力。除了必要的跟踪之外，已有条件更加强调创新工作，加上知识产权问题，说明只有创

新在市场上才有竞争力。

国际上正迅速在“信息高速公路”上发展，促使着经济与社会的进步，我国正面临着信息设施的技术挑战，这是在我国发展高技术中必须考虑的问题。

海湾战争启示我们，高技术应用于军事仍然是发展高技术的推动力，我们不能掉以轻心，落后就要挨打。

改革开放，技术引进，在一定程度上，促进了我国科技和生产力的进步。但也要看到外商把我国看做他们的技术市场阵地（包括一般的高技术，真正的高技术是买不到的），我们必须在高技术上努力使技术上保持自主权，这是提高我国国力所必须的。

我国总的科研水平，特别是高技术，较之先进国家还有较大的差距，我们必须有效地贯彻科教兴国及可持续发展的国策，在高技术应用于关键领域方面加速赶上去，加快产业化的步伐。

根据近些年来发展趋势，不同领域的发展情况有了变化，我们应对计划作适当的滚动与调整。

我们了解，领导方面正制订“863计划”的“九五”规划，并且看到发展高技术并非一时之计，因为国际上正在飞速发展，我们稍一懈怠，就有滑下去的危险。因此也正在考虑下世纪的高技术发展的问題。深信由于党和国家贯彻科教兴国和可持续发展的正确国策，在这世纪之交，我国的高技术科研及其产业化将会继续不断地取得辉煌的成就。

中学理科教育中的创新教育问题

王夔

北京医科大学

王夔 无机化学家。1928 年 5 月 7 日生于天津。1949 年毕业于燕京大学。燕京大学及北京大学化学系研究生肄业。历任北京医学院副教授、教授、药学系主任、北京医科大学药学院院长。1987—1992 年任天然药物及仿生药物国家重点实验室主任。曾任中国化学会理事长。现任国家自然科学基金委员会化学科学部主任。1991 年当选为中国科学院院士。主要从事生物无机化学研究，取得了多方面的成果。

一、在科技领域中未来向过去的继承和批判

人类进步依赖科技进步，科技进步依赖创新。创新包括三方面：发现存在的和曾经存在过的事物，创造不存在的和从未存在的事物以及把存在的事物革新成为新事物。这三者都是在已有的认识基础上实现的。因此，继承与创新是人类文化发展的根本，是人类战胜客观困难得以存在和进步的根本，也是培育人才的根本。要使学生学会继承和创新，才能使人尽其才。

一个民族的兴衰要看它的人民是否向往未来新事物和新世界。“一个民族可以牺牲一切以达到目标，就这一点精神造就了世界的知识分子、科学家和音乐家。一个民族如果除去到处游荡什么事情也不想做，从来也不想今天以后的事，他们那里就一直是一片沙漠。[S.K.Wolf, Mackinnon's Machine]。我们需要历史，需要继承，但是更重要的是创造未来，创造历史。这可能是我们教育者的最主要的职责，因为我们的学生能否担负起他们的历史使命，要看我们能否教育他们继往开来。

20 世纪科技进步的确创造了辉煌的人类现代文明。化学之所以被看作是核心科学，就是因为它创造了不可胜数的物质和材料，从分子水平打开了认识和控制许许多多变化过程（如生命过程）的途径，今后它还将在这些方面为人类进步作出贡献。科技必然要进步，人类也必然要进步，但是从个别情况来说，并非科技进步必然推动人类进步。当我们展望 21 世纪之时，我们应当从正反两方面来回顾 20 世纪的进步。20 世纪的确有推动人类进步的几方面的成就。在科学哲学方面，从唯心论和形而上学到唯物论辩证法，到现代科学思想，如系统论、控制论、灾变论等等。在科学界，建立了统治 20 世纪科学界，指导科技发展的大理论，如牛顿力学、达尔文学说、热力学和量子力学等等，它们也会继续推动下一个世纪的科技进步。此外，推动 20 世纪科技发展的还有一系列科学方法：如理想化和模型化处理，动态过程的静态处理，非线性关系的线性化分析等处理方法，使我们得以在当时那个条件下对复杂事物进行近似的局部的研究。另外，还不能忽视 20 世纪技术进步对科学的推动，如现代测试观察仪器、高效计算机技术以及仿真、模拟等等。在 20 世纪以前，科学研究大部分是在科学家本人兴趣推动下进行的，而在工业化之后，大规模生产促进了资本的集中和大量增值。另外，现代国家机器的形成与发展越来越依赖科学与技术。于是国家利益和各种来源的资本成为科学

技术的强大后盾，来自国家和企业的科研基金与资助，国家下达的和企业委托的科研任务向科学研究提供大量经费，出现了大批专业研究人员，并且为了提高科研人员的工作效率，建立了研究所制度。这是 20 世纪科学研究繁荣的主要原因。也是在这期间，人类能够克服粮食、能源、资源短缺，克服疾病威胁，减少各种天灾而发展进步的原因。这是人所共知的。

但是不能忽视上述几种推动力也可成为科学进步的障碍和限制。我们从科研工作中所走的弯路、所付出的代价以及科研的浪费中，一方面可以看到那些在知识的新陈代谢中由于理性认识的退化和方法学的错误与不足所起的副作用。它们往往限制了创新。另一方面还应看到在资本和市场的国际化和全球竞争激烈之时，庞大的资本推动力有时会使科研被推向偏离实际需要的方向，有时被逼入歧途。科技好像进步了，但是人类未必由此进步。我们可以从未来科技对现代化学的挑战和希望中看出未来科技对 20 世纪科技的批判。首先，科技进步并不一定能推动人类进步。因为科技成果的评价应该是全面的，包括它对现在和未来，局部和全球的人文、环境、经济和人类的持续发展的作用。因此今后的化学工作者面对的责任和过去有根本的不同。我们在设计一项研究或工程时，需要自始至终考虑以下几方面问题：

1. 节能、节约和洁净生产；
2. 缩短研究周期；
3. 缩短研究结果的“库存量”和“库存期”；
4. 减少投入，提高研究的命中率。

以节能、节约和洁净的化学合成为例，我们的化学品的确为人类生存与进步做出了极大贡献，但是为什么公众对化学心怀疑虑？因为化工生产中有许多浪费能源和资源，并且给人类带来对环境和生态平衡影响的近忧和远虑。因此必须彻底改造化学品的选择、使用和生产方法，这必将引起一个大变革。例如，我们正处于传统合成化学向绿色合成化学转化的时期，未来的化学合成必须向以下几个方向发展：

1. 提高原子利用率；
2. 提高转化率；
3. 提高合成精度，减少副产物；
4. 避免把本来固定在岩石圈里的元素活动化；
5. 避免把化学惰性物质变成活性物质；
6. 少使用有机溶剂；
7. 减少使用和排放有毒的和对生态环境有影响的物质；
8. 避免高温及深冷，尤其是高温与深冷的连续操作；
9. 尽量使过程可循环，可再生；
10. 减少步骤。

达到这些目的，必须从根本上创新。例如一个好几步的合成路线，浪费资源和能源，污染环境，但是改用酶法合成就变成一个洁净节约的工艺。这就要搞合成化学的人重新定下自己的坐标，重新整理自己的知识。我们好像突然发现不是我们过去所教的和所学的内容不对，而是考虑问题的基础要转变，传统的观点要改变，一二百年以来解决问题的惯用途径要改变。那么，我们现在教学生什么，培养成什么样的人才才能使他们适应未来的这种要求呢？

二、要求积极创新的科技与传统中学理科教育的矛盾

我们的有机合成路线，不论在课堂中教的还是从书本上学的，大都是由那些历史上的传统反应组成的。在工作中设计一个合成路线时，也用了一些在学生时期学到的反应。而实际上这些反应以及组合反应的思路不少是数十年上百年前纯学术研究的结果，它们不计较成本，不考虑浪费，更不想环境，不想未来。要想根本改变就必须开创新路。所以，要使学生具有解决这些问题的愿望、素质和能力，而其中主要是创新。

为此，我们的教育者要认识科技进步与传统理科教育之间的矛盾。

1. 科技进步要求创新，而传统教育是以知识积累为主的。

2. 科技进步要求多样化，而传统教育教给学生的和要求学生接收的是单一的，而且是统一的观点和理论。

3. 科技进步日益依赖多学科多方面多途径的综合研究，而传统理科教育体系导致学习领域狭窄，从中学到研究生到博士后越来越变成一个专门家，并只在弹丸之地打洞。

4. 科学进步要求动态思维和适应不断变化的问题和不断更新的工作方法，而传统教育强调巩固的、万无一失的常规方法。

5. 计算机存储加工信息的能力猛增，使以记忆为主的描述性知识教育失去它的大部分作用。

6. 高效计算机技术加上人工智能能够代替人进行大部分的程序性的思维，使得以推导、演绎、标准方法训练为主的理科教育失去意义。

这些矛盾是知识与智慧的内容和它们之间关系不断改变的表现。人要有知识，更需要有智慧，随着科技进步，过去的智慧变成今天的知识；过去的尖端科研变成今天的常规。例如，DNA 合成、X 射线晶体结构分析、蛋白质测序等都已自动化，或者说“傻瓜化”，而不再需要多少智慧来完成的了。因此，培养学生的创新精神和能力才能使他们成为走在科技进步前头的人。要培养创新的心态、素质和能力，必须而且能够从中学教学开始。如前面讨论的，我们在教育学生时要时刻注意培养他们以下几个素质：

1. 多样性；

2. 综合性；

3. 相对性；

4. 想象力；

5. 动态思考；

6. 比较和批判。

若以这几方面的素质教育为目标来看当前化学教育，就会看出许多问题。学生把反应、性质、定义、计算方法当作唯一的绝对的东西背下来，甚至有的教师要求学生从文字上吃透化学反应的精神，遵循课本的文字叙述回答问题，按照例题计算问题。中学这样考，大学入学考试也这样考，学生丧失了他原先还有的想象力和怀疑精神。这样培养出的人很难有创新的要求、意愿和素质。

三、正确处理理性认识间的相互作用是在中学教学中培育创新素质的最重要步骤

我们强调从中学开始培养上述素质是必要的。因为一个人从中学开始他越来越多地通过学习掌握理性认识，并且越来越多地依赖理性认识去进一步观察、解释和认识事物。以指数速度增加理论和概念可以成为他们创新的基础，但是理性认识之间的相互作用既有促进也有排斥。把理论和概念绝对化，把解决一个问题的方法唯一化，使他们拒绝接收新理论新方法，便丧失了创新的和进步的前提，反而限制创新和进步。所以我今天首先就理性认识的相互作用来谈一谈为什么和如何在中学化学教育中培养创新精神和能力。有人觉得创造力是伟大科学家所具有的天赋素质，事实上，决非如此。人从小就有创造活动能力，如果这种初始的创造力一直不被抑制，而不断发展，会有许许多多科学家、工程师出现，当然也有画家、医生出现，他们也要创新。可惜的是，在许多情况下，学习所得本应完全成为创造的基础，却被不恰当的教育变成限制创造力发展的框框，例如把一个一个定义、定律、关系式绝对化，把本来依附于化学问题的数学手段变成化学问题的实质，把由部分事实推想出来的假设、假说、模型当成客观存在等等。

先入为主和绝对化会给人们设置极限或界限，使人们不敢超越，也不想思考某个极限或界限本身的条件以及本质。举深海潜水为例，在公元前3世纪，靠常压潜钟，可以下潜到20—30米，但由于空气耗竭只能维持很短的时间。1691年，发明了连续输气的潜函，只解决了空气供应问题，极限还在20—30米。后来认识到不能再下潜的原因是静压过高以后，19世纪时，发明了加压潜水服把极限下推很多，但又不能再下潜更深了，原因是减压症。20世纪初，发明了高压舱解决了减压症，又把极限推到56米。后来发现这个新极限是由于稀有气体麻醉造成，到1939年，采用氦加氧气代替空气以减少稀有气体在细胞膜上的溶解，一下子，又把极限推到200米这个新极限。但是再下潜就出现高压神经综合症。后来，发现了产生的原因，改用氮+氧+氦三联气，并且分级慢加压，再把极限推到700米，再深又出现类神经紊乱。目前正在研究其机理，一旦明了，或许又可以推进一大步。回顾这些事实，可以看出如果人们把极限看成是绝对的，不敢越雷池一步，这样的进步是不可能的。

我们在中学化学教学中教给学生的内容有许多是把复杂问题做简单化处理后的结果。例如把一个过程简单化为一个化学反应，忽略副反应，忽略在全过程中发生的其它事件。例如铝片在稀硝酸中发生了什么？一般只讲一个反应，实际上是好几个事件组成的过程。牛顿力学的精粹之一就在于把复杂问题简单化。过去百年间物理学的辉煌使人认为数学和物理是解释一切的终极依据，就是因为它的简化处理。电子被当作点电荷，小分子也当作点。一切物质从单质到蛋白质，到细胞，到人体，其中一切活动都可以用数学和物理来描述和表达。但是复杂问题简单化仅仅是一种认识问题的方法，甚至是一时的方法。在我们教给学生一个反应、一个概念、一个理论、一个方法时，非常需要教他们知道这是一种方法，是简化的方法，由它得到的结论是相对正确的。要逐渐教学生知道不能把简化处理得到的结果绝对化，因为无论如何我们对复杂事物的认识还是要向探索其复杂性上发展。以理想化处理为例，在化学里讲了一些理想状态：理想气体、理想溶液等等，如果没让学生明白这些只适用于那些并不存在的、分子间没有一点相互作用的体系，他们就会把它绝对化。后来的发展说明理想气体状态方程式所描述的只是理想的气体状态，它与真实气体有不同程度的距离，由 van der Waal 方程到认

识分子间力，再由分子间力去解释胶束和膜，才有可能在后来认识到弱相互作用以及其在分子组装中的作用，其后出现的冠醚穴醚又把弱相互作用提高到主客体化学来认识。直到最近，Lehn 得了 Nobel 化学奖，研究由分子间弱相互作用构筑的超分子的化学才成为当前一个热点。如果不突破理想气体方程式的框框，就发现不了分子间力，如果不能突破只有强相互作用才会形成结构，就发现不了也解释不了自然界许多现象，特别是生物学现象，就不会出现超分子化学以及有关的概念：自组装、分子识别、高级有序结构等等。

我们在中学化学里讲了一些本来只是某种模型的概念，它们仅仅是理论研究的推理结果。为了描述和表达看不见、测不了的事物，科学家在头脑中可以构成概念模型，推出数学模型，甚至用木头或塑料做成看得见摸得着的形态模型。它们在一定范围内可以成为认识事物的拐棍，但是它们不是客观实际。例如，量子力学推理结果使我们接受了一系列概念：电子云，波函数，轨道等等。如果教师在用一个哑铃给学生讲解电子云而不教学生知道这仅仅是那些量子化学家打个比方所展示出来的模型，学生就会把它当成真有什么电子云。我们把分子或原子当成刚性球，讲述碰撞理论，解释反应动力学表现，如果学生从此把分子当成刚性球，撞在一起会弹开，怎样解释一个小分子和一个大分子相撞时这么快的找到特定的作用位点？由量子力学推出的另一个概念模型是共振论，它把苯的结构描述为两个或几个共振结构的总和。经典化学家常常用经典热力学思路把变化中的体系用始态和终态来描述，事实上，从始态到终态变化过程中有多少状态？这种变化是跳跃的吗？多少年来，在教学中，我们常常把它绝对化了。在大学化学中会认识反应机理中有一种或一两种中间态。再后，或许还能进一步了解从始态到终态有若干条途径，催化剂的神奇就在于用它的魔杖引导反应沿着某一条快捷的途径达到终态。但是为什么不能同时叫学生去想象那些从始态到终态的连续改变过程呢？甚至叫学生去想象在诸如生物体系中有什么始态又有什么终态呢？我们不该叫学生建立一个非此即彼的思考方法，有时它是创造性地解决实际问题的障碍。

我举以上各例不是说不能教给学生那些简化的概念模型，相反，对于中学生，只能学习这些概念和理论的基本思想。而且我们仍然使用这些方法，或许永远要使用这些方法。问题在于我们不能把这些东西极端化、绝对化，那样会使学生把这样学来的东西死死记住，成为排斥新概念的障碍。

举两个例子来说明先入为主的影响。先“掌握”的概念会排除异己，对于人会使他面对新概念表现出傲慢与偏见。例如对于配合物的认识，在 18 世纪人们就制备了亚铁氰化钾，但是无法兼顾矛盾的事实：虽然写成复盐， $\text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot 4\text{KCN} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 符合价键理论，但不能解释为什么溶液中很少 CN^- 离子。后来合成出越来越多的类似化合物，如 $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ ，都不能用价键理论解释。就在 100 年中人们想出许多办法去“补台”，教材中教的是不能自圆其说的东西，可是学生把它当绝对正确，从来也不去问问那些说不清的地方。如此者，直到 19 世纪末，Werner 提出配位理论才算了此公案，前后经历了 100 多年。另一个例子是有关惰性气体是不是惰性的问题。18 世纪 90 年代连续发现五种惰性气体，当时的研究表明它们不与任何物质作用，所以称为惰性气体。恰好那时刚刚提出八隅律，认为价电子层有 8 个电子时最稳定，由此“圆满”地解释了惰性气体的惰性，反过来又以事实论证了八隅律的正确。

尤其是 Ramsay 把氩的样品送给发现氟的 Moissan，请他用当时认为最活泼的氟试试惰性气体的惰性，结果不出意料，氩没有与氟化合。于是八隅律和惰性气体十分完善地相互支持，达到普遍公认，写入教材。直到 1933 年出了个 Pauling，他预测惰性气体并非惰性，虽然当时有人试图合成惰性气体化合物，但都失败了，这一企图的失败更证明八隅律的正确和惰性气体的惰性，如此者又 30 年，Bartlett 在 1963 年终于合成了个别惰性气体的氟化物，13 年后，才证明八隅律只适用于 C, N, O, F 和 Ne。若干年后，惰性气体不得不改名稀有气体。从 1864 年八隅律的提出到 1963 年 Bartlett 的成功，又是整整经过 100 年，在这 100 年中不知有多少学生被培养成为化学家，但是他们中很少有人问过一些破绽。例如，Moissan 当年只做了 Ramsay 送给他的氩的实验，为什么由此就认为惰性气体都不能与氟作用呢？为什么就不去试试其它？尤其是 Pauling 预计原子量越大越容易作用之后，虽然开始有人失败，但是为什么不去研究实验方法上的问题，而只是反过来死守八隅律呢？由此我们应该获得一个教训，继承与创新是矛盾双方对立的统一，只有在教学生具体知识的同时培养他们的批判和怀疑的态度，才能培养他们创新精神。

在中学和大学低年级的化学教学中，习惯于教给学生解决某种问题的一种方法、一种思路，甚至连溶解度都只能用一种单位、一种表示方法。慢慢地，这些学生只知道一种方法，不去想改变它。固然多数人反对照猫画虎，但是未必有人反对举一反三。按照原有思路或别人走了一大步，我们走一小步成为我们研究工作中的一个极大浪费。为什么不能离开主流另立门户？近年来异军突起的组合化学可以说给传统合成化学当头一棒。传统合成化学一向是以取得一定目标物纯品为目的，上百年来新药筛选就依赖合成若干化合物，进行药理筛选的。由于筛选命中率仅有万或十万分之几，传统合成化学拖了新药研究的后腿。组合化学方法一反传统，它不以取得单一化合物为目的，而以建立包含所有可能化合物的“库”为目的。这个库可以包含数以万计，或十万计的结构相关的化合物，但是所得的是混合物。例如，可以在几个月之中，合成 3,200,000 种由五种氨基酸组成的所有五肽，每份样品只有一滴但含有成千上万的化合物。他们发展了特殊的方法从中“钓”出有活性的化合物。这不仅是方法革新，在概念上提出诸如缓和条件下合成、同条件合成、同步合成、等摩尔合成等新问题，并且促进合成子合成的发展。我们应该从这一例子看出培养学生的替换思维和反向思维是十分重要的，而我们的中学化学教育恰恰缺少这方面的要求。

四、培养创新心态和想象力

能否创新，是否愿意并敢于创新在很大程度上依赖于人的心态。无论是科学研究，还是一般科技工作，都要求创新，但是有很多人不愿、不敢、不能创新。他们不是能力问题而是心理状态问题，我愿在这里引用 Nobel 物理奖获得者 Esaki 的一段有益的话。他说，你想得 Nobel 奖吗？有 5 条规律；第一，不要让你被自己过去的经验所束缚；第二，不要过分追随你的领域中的任何一个权威；第三，不要抱着你不需要的东西不放，要严格地筛选信息；第四，不要回避对抗，如果有合理的观点，就去辩论；第五，不要忘记童年时的好奇精神，它是想象所表现的。但是我们的学生在学习期间缺少这种心

态和精神的培育，我们的各级教育都不能使学生有这种精神。

第一，我们习惯于模仿。沉湎于前人的光辉之中，总是以前人为规范，例如中药必须尊古炮制，为什么我们的合成药物有 97% 是仿制的？为什么我们的科学研究总是按照人家的思路走？为什么我们自己的传统的产品教外国人接过去，改造了又打到国内来？我们从小就让学生学会模仿，使他们认为模仿是最有效、最保险、最省事的办法。为什么习题有标准答案？为什么教学生题路？为什么教学生背诵若干解题模式？我们在上课时讲例题，课后教学生做类似的习题，考试时考同样类型的题。大多数的习题是有规范程序的，而且有标准答案的。我们在上课时教给学生的是固定的解释和解决问题方法，学生没有机会去提出他自己的方法，更没有机会去试一试他们的想法。如果学生经常按照一定规范去做题，他们做的习题越多，越熟练，就越失去独立思考的能力，在题海里培养出的“熟练”最多可以成为技巧但不能创新，甚至妨碍创新。

第二，要引导学生敢于冒险去摆脱惯性的束缚。我们的工作，甚至研究工作有不少是由惯性所推动的。它们——

- 采用传统思路和方法，缺少根本改变，
- 跟踪世界潮流和热点，而缺少自己的创见，
- 采用刻板的方法做大同小异的事，
- 也有一些工作是被市场上不断出现的新仪器新设备所推动的。

放眼周围事物，你会发现这不是科学界所特有的。吃饭穿衣，画画唱歌，引进技术等等都有这种现象。总的来说，许多人甘心被惯性所推动，主要是缺少创新心态，缺少冒险精神。相当一部分人无论在做任何工作时，都愿意做目标明确，方法清楚，可行性强，成功率高的工作，而不愿冒风险去做前景模糊不清的和太复杂的事情。这种心态是从小受教育养成的，鼓励学生提出问题，提出教员甚至专业科学家解决不了的问题是非常必要的，这并不是要求过高，而是我们没能在他们面前打开这扇门。

第三，要使学生有机会发挥科学想象力。科学想象不是胡思乱想，它也是一种素质。现代科学重大成就中有不少是先在头脑中形成一种观念、一种结构、一种联系，甚至是一种从来没有的东西，然后再通过实验来证明它，制备它，寻找它。例如生物学中的各种因子和受体，数学中猜想出的关系，天文学中的黑洞等等。化学中的想象成分远远低于生物学、天文学、原子物理学，或许因为化学掌握的是拿得到，看得见，测的出的这个层次的物质，而细胞中的个别分子、天体和粒子则是看不见、拿不到的东西，这样的情况培养了生物学家，天文学家，理论物理学家丰富的想象力。而化学则转而求之于实物的获得，可能因此想象力逐渐退化。实际上，化学现象中需要想象加以研究的地方很多，我们用谱学方法推测蛋白质在溶液中的构象和构象变化就是实验技术与想象的结合。在中学教学中就应该培养学生的科学想象力，近来有人提出培养中学生心理成像的素质，例如一个分子的三维结构在书本上画成平面的，要教学生能在心里把它变成三维结构；再如物体经过旋转（rotation），反射（reflection）和反转（inversion）等操作后变成什么样子？

第四，要联系学生能接触的实际问题。美国化学会理事长 Breslow 在 1996 年新年祝词中说：“有人说化学教育应该集中教化学中的核心（core）部分，可是吃苹果的人（用户）并不认为苹果核是最好的部位。自然，核也是重要

的，核里包着种子，种子携带着过去的基因记忆，它是未来的基础。但是，在我们的教学中，化学教师必须叫学生不只了解和掌握传统的核心，还要了解和掌握现代核心中的广泛的科学与技术。”

最后，我必须说明我不是中学化学教师，我不知道大家的难处，不免说了许多虚无飘渺的话，但是有一点是确切的，从我们历届奥林匹克化学竞赛的选拔，培训和参赛过程中，我们深深体会到，一方面中学生有潜在的创新能力，有想象力，有独立思考的能力；但另一方面很多中学生受传统教育束缚，他们的创造力，想象力和独立思考能力没有机会得到充分发挥。我们的责任就在于如何从各个方面改变这种状态。我们国家和全人类的几个重大问题，如粮食、能源、环境等等的解决要求的是富于创造性的各行各业的人才。

当代新产业革命与文化发展牵引经济的未来社会

罗沛霖

电子工业部

罗沛霖 中国电子学与信息学专家。1913 年 12 月 30 日生于天津市,1935 年上海交通大学毕业。1952 年美国加州理工学院授于特荣誉级哲学博士。历任电子工业部科技司副司长,电子工业部科学技术委员会首届副主任,中国计量与测试学会及中国标准化协会副理事长。1980 年当选为中国科学院院士。1994 年被选聘为中国工程院院士。对我国电子科学技术发展以及工业建设做出了重要贡献。

一、人类漫长历史中的几件大事

人类的历史是从使用工具开始的,开始是旧石器时代,经历了 300 万年上下。他们用语言相互沟通,出现原始的社会交往。火的利用也是这时开始的,也有了矛和弓箭以及药针等。

然后是新石器时代。人不仅会做磨制成的石器,也出现了陶器,纺织。植物、动物的驯化开辟了农业发展的时代。这时代大约开始于 10000 年前。

再就是青铜时代,这在中国是殷商时代,约在 3000 年前,在两河流域和埃及则更早些。商业兴盛起来,出现了城市文明。大体说,它是史前时代的结束,也就是文字出现的时代。殷商的甲骨文和两河流域的楔形文字是突出的例子。

西方自文艺复兴时起,资本主义从文化方面开始,启动了一系列的社会运动,直到实现了资本主义政权,又在 18 世纪开始的产业革命推动下达到发展的全盛。产业革命是以机械化为标志的一场技术革命所推动的,从而出现了工业化社会。和这场大变革共生的有印刷机的出现,把原来手工操作的作坊印刷业转化为迅速发展壮大的产业。

把以上综括一下,社会——生产结构,从人类的蒙昧期起,社会生产已出现了三个里程碑:与人类出现同时开始的采集型(狩猎、捕鱼、摘蔬果)生产转向农牧型生产是第一个里程碑。商业和城市文明的出现是第二个里程碑。工业化是第三个里程碑。与这三个里程碑并行的是在信息和文化运作方面,也出现了三个相对应的里程碑:语言从出现到完备是第一个。文字的形成系统是第二个。印刷机和印刷业的出现和兴起是第三个。印刷机的出现开始了一场信息运作与文化运作领域的产业革命。它成为资产阶级革命时期一系列社会运动发生和发展的触媒和强大的促进剂。我们可以列举这些:文艺复兴、宗教改革、科学革命、英国革命、启蒙运动,法国革命,产业革命。至今人类还在享受它带来的巨大的利益。共产主义思想的传播也同样得到益处。

时到当代,人类又处在从工业时代转入信息时代的过程中。生产将进一步加速发展,文化运作也将进一步发展。这是第四个伟大里程碑,将比以前三个更为伟大。现在它已在空前蓬勃地展开,将来它还要带我们进入文化发展牵引经济发展的伟大的远景时代。应当说明,信息时代中,工、农、商业

不会衰退，而会更发展强大。

二、信息化——电子时代的特征

第四个里程碑对应于向我们走来的新产业革命。当代新产业革命的旗帜是信息化，一切社会运作的信息化，它的旗手是以电子技术为代表的电、电子、光电子技术，所有的社会运作都将由于超高性能的电子-信息运作新手段插入而大大地提高效能。具体说：

1. 经济与社会运作信息化：一切系统运作采用通信与计算机辅助作业，走向无纸的或少纸的作业。从信息采集开始，归纳、综合、推衍、分析、研究论证、决策、指令、实施、反馈……一切纵向、横向、斜向、顺向、逆向的信息交流，都靠电子信息运作手段帮助实现，举例如电子数据交换(EDI)，决策支持系统(EDI)……

2. 生产自动化：离散生产如制造业，有数控机床，机器人，加工中心，柔性生产(FMS)，计算机集成制造(CIMS)(信息流、物流、管理……电子-信息化和生产作业自动化综合的系统)。连续的过程性生产如化工、冶金等全过程用信息控制的集中自动化。

3. 文化艺术创造利用计算机、通信、电视、电子仪表、电子自动控制的辅助作业。在艺术与文学方面，文字处理已广泛采用。另更进一步如音乐、舞蹈、美术、造象、雕塑、戏剧等，都可用计算机辅助创作，定了再改，改了再定，直到创造者本人满意。演出也可先用电子技术设计，显现，预演，不断修改定稿。电影电视的创作更可用电子动画技术产生逼真的幻像或表现为实际所不存在而使人信以为真的情节、人、物。在科学技术方面，科学观察与实验中大量使用电子仪表仪器，电子实验装置，电子自动控制。工程技术方面则可用电子信息技术辅助设计，用电子计算机技术仿真代替实验验证等。举例如波音777飞机的产生，没有用一张图纸。

4. 文化、艺术及生活的享用。通过用户的终端，将来不但可以收到一般的广播电视，还可以在任何时间点索或安排：一类是远程图书馆，博物馆、展览会、画廊、剧院……再一种是电视旅游、电视购物、电视逛商场……第三类是远程教育，将来比现在要灵活得多，课目非常丰富，可任选教材，甚至任选教师，任选课时等，还可与教师交流。将来的教育不仅是常规的，还有成人的和继续教育。将来的学习将不仅是为了提高工作能力，也是满足人生乐趣。也不能忽视电子游戏和远程游戏，不仅是个人的，也可进行远程的棋赛等，有如当面。

三、电子的基本功能

电子技术，更确切说是电、电子和光电子所以成为伟大的产业革命因素，也就是它比起印刷机远为强大的缘故，就是因为它在信息运作的所有的方面，都有强大的功能。现在分述如下：

1. 信息的摄取和采集——对声、图、像(活动图像)，和光、电、热、力以及化学各种量，都可经过电子敏感元件或传感器为电或电子量而由电子技术给以运作。它是人的五官等的延伸，而远为快速、灵敏、准确、多种类，超越距离，有高度适应能力。

2. 信息的传输——超越距离和一般障碍，高速度，大量的传输，远胜于过去声、光、烽烟、驿道的功能。

3. 录存——极大容量，高密度，存取极快，一张光盘可存几十本书。

4. 再现——用屏幕、音响、印出等表现。

5. 信道换接——在大量的用户和信息源之间，按照不断改变的需求，快速地建立联系，拆断联系，改换连接。

6. 信号变换——加密、解密、选择、区分、去除干扰、压缩、解压……

7. 数值计算——一般说是计算机、器的功能，极大极小数值，极复杂算法，极高的速度（每秒以亿次计以至数万亿次）高度准确。是对初级脑力劳动的极大幅度的延伸。

8. 逻辑推演——从数值计算功能推展开，以极高速度做极复杂的推演。

9. 计算机仿真——凡已知其规律的过程，可以是包含大量的参数，极复杂的过程，都可以仿效而对过程解剖，或用声、光、像、热、力等表现出来。后者可以表现为一个“环境”，使人置身于中，如在现实中或幻境中，则称为虚拟现实技术。

10. 控制利用——如上所述各种功能组合起来。就可执行复杂的过程控制。

电子也能用于对能和物质的作业，如太阳能发电，半导体致冷，高频加热，超声加工，电能由直流到交流的互变，电压与频率改变，功率因数补偿，电能控制，计算机辅助节能等都是。但是这仅是对能与物质作业所需的功能的一部分。而正是因为电子技术具有在信息运作的 10 个功能方面全具有极优越的作用力，使它成为信息——文化领域新产业革命的决定性因子。

四、进一步探讨文化领域的技术飞跃

在我国当前，生产——经济的信息化要求是迫切的。在发达国家，当前在这方面的实践已很广泛。然而，从长远看，文化运作的电子化将是非常非常重要的，而且现在也已经发挥了巨大作用。至于在科学技术方面，它的作用更不须特别强调说明。因此，在这里要特别对文化运作给以阐明。

首先是从思想和概念方面说，文化是联系于精神文明的，是重要的半边天下，而且文化是人类进步的首要标志，是综合国力中重要的，具决定意义的部分，是人类永恒的追求。文化信息在所有的信息中是精华。

其次，文化电子在实践中已表现出其强大的作用。我国的广播和电视的拥有量已属世界第一。它们不但给广大人民提供了娱乐与休闲，而且在传播信息与政令，教育人民，提高人民素质上所起的作用是非常巨大的。

再次，对经济方面，在我国全部产出值中，文化产出值已占到 15% 以上。将来还要增长，从长远看，最后，它将占全部产出的最大部分，将要成为社会经济的主体，而且进入文化发展牵引经济的时代。

五、电子运作信息的演化经历 ——走向全能信息——文化总系统的历程

这个历程开始于电报，被运作的信息媒体是文字和符号，以早期摩尔斯码形式运作。在 1840 前后就商业化了，是电——电子进入信息运作领域的先

驱因子。1876 年发明了电话，进入了第二个媒体，即语声及音响的运作。在 1920 年之后，发明于 1843 年的传真技术实际使用，是运作图像媒体的开始，然而仅是 1939 年黑白电视开播，活动图像得到成功的运作，才可说是电子技术覆盖了第三种信息媒体——图像。到 1946 年，最早的电子计算机出现，可说是进入了数值的时代，第四种媒体即数字被覆盖了。以后电子数字计算机被应用于逻辑推演，又扩大到第五种媒体，可称为逻辑元素的运作。附带说一下，电视从 50 年代开始了彩色化。

在这个各媒体运作走向完备的同时，信息界出现了通信、电视（无线的和有线的）与电声、电子计算机应用，数据库与信息库服务，电子书刊与声像出版发行五个行业。从计算机兴起的交互网络实际是电子计算机界进入了电信的领域。又由于电子计算机在不断向个人推广，这就从计算机界首先提出“多媒体”技术方向。引起了其他几个行业的高度热忱。而正在走向五个行业的大融汇。而且，正是迎接这个客观形成的热潮，美国政府在 1993 年提出了“国家信息基础结构”，俗称“信息高速公路”，就是五种媒体，特别是文字、声音、图像，相互结合而把五个电子信息行业融合在一体的大系统。为了更有利于表达它的内容，我称之为先进的全能文化——信息总系统，或略去文化二字。

六、总系统——信息高速公路的构成

先进的全能信息总系统还不是已经建成的系统，但是在技术上却是已经具有相当充足的基础，其中有些复杂的环节正在实验之中。因此，我们还是可以设想一下它的宏观构成的。

1. 系统的共用部分，或说中枢，是一个超大容量的“网络”，它实际由一个个信道换接的设备和大量大规模的传输线网络构成的，和现在交互网络相比，因为要增加传输大量的电视信号，带宽要宽许多倍，就是说其数据率要比数字电话还要高几百上千倍。信道换接的用户对象成亿数，而且数据率也很高。多芯光缆可以满足传输要求。信道换接方面，ATM 是一个备用方案，但还要通过实验和实践才能作结论，可能要多种方式并举。

2. 大量的用户终端：复杂的应是如多媒体计算机那样，要增加电视的交互功能，简单的如现在的“随身听”或“随身看”。完整的应有摄像、录像、印成等功能。一定会是多种多样的，要成亿生产。

3. 专业终端和一次信息源。数量恐怕也要以百万计，如播放室、摄录棚、作家与美术艺术家的作业室、剧院、图书馆……还有试验室、研究室、设计室、观测站等，一直到记者采访用的录像机。

4. 信息库与信息服务站：可以说是二次信息源。世界上现有的信息库已经上万，但提供的服务还很有限。特别是在将来，还要有大量的影视节目储藏在那里备用，如果要使任何一个用户在任何时间调看任何节目，那将是非常大规模的和极复杂的。

5. 声、像、文字或任何组合的出版发行：这也是一种二次信息源。产品可以是盘、卡、带等，也可以出版纸页书刊，可以邮递、专送、在商店零售，也可通过网络传给用户自己录印。

七、先进全能信息总系统的当前状态

世界上现在还没有一个能称为总系统的系统。然而经过许多中间的步骤，逐步会向它接近。

当前有一个交互网络（Internet）提供各种服务。它起源于美国，现在全球已经有几千万用户用上了它。我国近年才加入，用户可能达到 1000 家。它原是作为计算机网络设计的，至 1996 年止，还只有计算机用户终端机入网。它可提供电子邮政，电子公告，调阅文字与图画，电子竞赛，电子游戏，调入软件……已经有许多图书资料报刊可供调阅。英国将把其千多所博物馆的馆藏输入交互网络。还有的公司提供点索服务，即类似我国电话局 168 服务，但范围更广而内容丰富。然而，如果用普通电话线路接入则数据率至多 144kb/s，一般只有几十 kb/s。如果接入专门的数据电路，可到 2mb/s，但需要专接，费用相应地要增加。

现在出现若干比用个人计算机节约的方案。如所谓网络计算机，只需个人计算机几分之一的价格，但大量地要依赖网络和公用的服务器。另一种是用电视机变型，叫网络电视，能收电视广播，也能在交互网络上通信和调阅信息。还有降低计算性能从而降低价格，可称为基本个人机的方案。为了迎接近年来交互网络大发展（接入户每年翻几番），类似的方案风起云涌，可能在 1997 年可有一定结论。

若只从其速率看，现在的交互网络可以胜任通话，但只能是单向的，因从发到收有相当的延迟。若用以传送电视，则其数据也远不够用。若要达到“总系统”的要求，恐怕只有另起炉灶。现在在美国最积极的是有线电视行业。美国已有 2/3 人家接入有线电视，而且有线电视业者已拥有可传输数百路数字电视的同轴网络以及光纤传输，并在美国普及到 2/3 的人家，但要实现点索电视，即电视会见，并达到广播电视的质量还要上第二个大台阶。若进一步提高到高清晰度要求，那还有一个台阶要上。

第一个台阶：举例如仅是电影一项，西方的就有几十万部。仅选其 2%，也要一万部。一定要有极大的数据库和灵活的调度系统。点索要求可以用电话或其他上达。回答，即播送，要用高速率通道，而且能输入用户的电路，并能容纳大量用户。这并不是一个简单的技术问题。

第二个台阶，要求由用户接出和接入的电路都是高数据率的，即对称的。这样，原有的有线电视传输系统还有大部分要改造。

第三个台阶则要求 10 倍的数据率，这是又一个难题。

但是我们还有一个过渡的解决办法，例如直接用卫星广播，在美国已可从几百个节目中任选一个。可以设想，可能同时播送上千节目供选择，这也就是很接近于任意点节目了。

八、文化应用的巨大份量

以上曾提到总系统可以说是先进全能信息——文化总系统，或不用文化两个字。其实也可称之为先进全能文化信息总系统。这是因为，在总系统实现以后，在系统中占据比特空间的绝大部分的信息是文化及生活信息，占到 99% 以上。

九、文化发展牵引经济的社会远景

若从历史中考察，可看到文化在人类社会生活时空中所占的比例是与日俱增的。

蒙昧时代——人类的文化生活微不足道。

奴隶社会——开始有了专业的文化业者。

封建时代——有了太学、书院、书塾、职业的知识界，印刷作坊、雕版、手工艺者。

近代——印刷出版发行业出现，近代的学校制度。专业知识界大为扩大。科学、技术、文学、艺术、美术、音乐、戏剧、电影、电视、广播……

当代——在经济、生产、社会运作之中，所直接、间接创造与消费的价值中，可列分为文化类别的可达 15—25%。

在人类总的生活的时空中，文化所占份额可估计如下：a.全寿命中仅 40—50 年是在职业工作之中，其余在文化、教育、休闲中。b.在职业生活中，又有 15%是文化、教育、科学、技术等的工作。c.在职业工作期间：双休中一日在休闲与文化中；在工作日每日两小时在文化与休闲中。这样，总的计算一下，当代人可能有 60%至 80%的生活时空消耗在文化之中。

消费是决定生产的因素。非消费生产也是间接为消费品生产。在信息化产业革命期间，信息化生产占的份额在不断增长。文化消费生产（直接加间接）占生产总额中的份额也在增长。这个份额或早或晚将超过 50%。那时文化事业将成为社会经济中的主要部分，文化发展将牵引社会经济的发展。这是一个真正伟大的变化。

十、我国如何迎接这个信息基础结构建设的潮流

应当保持有条不紊的思路。当代的信息基础结构的建设既是一个先进技术的问题，也是一个经济问题。我国一方面要在技术上争取迅速突破，也要有条不紊地安排建设。美国虽然提出这个任务，但迄今也没有一个比较完整、成熟的技术与建设方案。他们的总方针是解除对厂商们的部分束缚，让厂商们在竞争中突破技术-经济的界限。这说明美国已具备了突破的技术与经济条件。

考虑到我们所具备的条件还有很大差距，而我们又必须适应周围世界的进程，并用以牵引我国追求世界水平的尽快进展。为此作一轮廓的建议如下：

1.应当坚持加速在进行中的工作的进度，包括电信、广播电视、电子计算机以及声、像、文字光盘出版发行；经济信息化；各种信息库和在线信息服务的建立；国际交互网络联接的扩大；汉字交互网络的建设……

要密切注视发达国家的进展，适时布署我们的对应方案。

同时从实际情况出发，切实安排广播，电视的数字技术和卫星广播以及 VCD、DVD 制作。

2.作为向先进全能信息总系统建设进入的第一步，先建设多节目“辐射型”广播，例如数十频道至数百频道的数字卫星广播系统。

3.第二步解决小范围、小规模点播节目系统。何时推广，视经济发展形势决定。

4.第三步解决交互电视的任务。窄带可视电话是否适合我国情况，可能是需要慎重研究的问题。可能是宁可晚推广，而一步走向宽带交互。

5. 与各阶段相呼应配合, 进行有关的科学技术基本专题的研究。
6. 相应地进行有关电子工业的建设, 尤其是元器件与材料以及专用生产设备和逐步提高水平扩大品种的测试仪器。

十一、若干问题的讨论

围绕着当代新产业革命和先进全能信息总系统的逐步展开, 有若干问题, 为以上的叙述中没有很好说明, 或需要多少深探一下。

(一) 先进全能信息总系统, 是当代新产业革命的一个最集中的代表, 但并不是全部。还有许多其他的重要事物——如巨型计算机。很快就要达到每秒几亿次, 将为科学技术发展提供强大作用力。也许要联网, 但更重要的是独立地提供计算能力。又如一些单纯的通信业务, 例如蜂窝式移动通信和全球个人通信系统, 肯定是要入网的, 然而并不一定提供所有的服务项目。还有生产自动化系统也是有一定的独立性的。电子信息技术还有数不尽的应用, 不可能用一种系统就能覆盖一切。

(二) “全球一个网”, 似乎现在的交互以及普通电话网络已经做到了一定程度, 是不是总系统也是如此? 像美国在 1993 年就提出 NII (国家信息基础结构是网的网, 或说是若干网上之网)。交互网络 (Internet) 虽远不是全能的, 却已做到了许多局域网 (LAN) 都可接进去。现在又出现了新热门: “内联网 (In-tranet)” 或称企业网, 实际上是专用网, 只限于一个企业、事业或部门范围内使用, 但也和公用的交互网络联在一起, 可说是网下之网。总系统一定也会是这样的, 共用与专用相结合, 从上到下分为层次的。

(三) 文化是联系于精神文明的。信息是与物质并列的。但是物质 (包括能) 是第一性的。文化、信息都要依存于物质。信息生活丰富了, 精神文明提高了, 又要反作用于物质和物质文明。电子信息技术通过提供物质生产的自动化运作而增添了人操作机器和工具的能力, 而电子文化信息作业提高人的精神文明素质, 又一次增添人自身的能力。这个双重的倍增作用是当代新产业革命的伟大之处。然而尽管电子信息技术提供先进的文化运作系统, 但是要发挥其作用, 却决定于文化内容是否健康和先进, 这是不容混淆的问题。

(四) 人们说信息技术将使全球缩成一个村落。又说由于人们将不用出门就可办公、购物、旅游、参观、获得巨量信息……因而人会产生孤独的倾向。这些提法既矛盾又局限。当今世界上还存在着国家界线, 存在着民族差异, 存在着许多矛盾。如果这些问题存在的根本因素在走向消除, 那信息运作技术会从技术获得益处, 否则不可能从技术得到原动力的。有人说交互网络就有能力使一切全球化, 其实谁依靠谁是很难说的。交互网络 “全球化” 是否意味着 “英语全球化”? 我国现进入交互网的用户还不多。如果多了, 语言就是问题, 势必要建设汉语的 “巨型内联网络”。然而, 虽然如此, 交互网和总系统都是起密切人们的联接和交往的, 物理的孤立和信息的密连是并存的。再说电视会见并不能代替握手、拥抱、触摸。电视旅游虽好, 然而 “百闻不如一见, 百见不如一到” 可能更引起亲自一到的愿望。

(五) 有人说新产业革命后生产要改变, 工业时代的大生产将为分散的个别生产代替。工业时代的分工和标准化会大大地削弱。不错, 制成品会更加多种多样, 然而生产经济和规模的关联仍然存在。当代的分工已不同于早

年，很多是由于专业技术与装备的差别，用户不可能具备多种的生产知识，而生产的适当的分散化更需要标准化。

不但如此，人类进化中的多次变革是怎样的？过去的渔猎、农牧、商业并没有消灭，而是生产更进步了，规模更大了。进入信息化时代以后，农、工、商业都不会消灭，而是生产效率更高。纸张会大量节约，但不会消灭。

（六）计算机的应用带来许多问题。计算机应用进入网络时代，又带来更多的问題。例如盗窃机密，播送病毒、涂改电子档案、破坏电子档案、搅扰计算机和网络正常工作等等。所谓的电子计算和网络的“黑客（HACKER）”几乎是防不胜防。这种危害有时会很严重的。

要看到，在社会上、历史中善与恶原就存在的，斗争是长期的。在计算机网络广用之后，斗争的形态变了，应当保持高度的警惕，发展和采取斗争的措施和策略。有矛就有盾。

（七）何时何地能建成总系统。实现“信息高速公路”，是技术问题，也更是经济问题。技术问题解决之后，还必须高度发展的经济，才有足够的用户使用，才能保证建设和保持运作，当然一切总有个开端，小的开端很重要，有由小到大的发展过程。

对 21 世纪科学技术的展望

何祚庥

中国科学院理论物理研究所

何祚庥 粒子物理、理论物理学家。1927 年 8 月 28 日生于上海市，1951 年毕业于清华大学，1959 年至 1961 年在苏联杜布纳联合原子核研究所工作，其后相继在中科院原子能所、高能物理所、理论物理所从事科学研究。1978 年起曾任理论物理所副所长。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事理论物理学、粒子物理等方面的科学研究并取得多项重要成果，为我国物理学研究和科技事业的发展作出了重要贡献，曾获国家自然科学奖二等奖等多种奖励。

要展望未来科学技术的发展，首先应把握科技发展趋势的六大特点。

一、科学技术为市场服务是为人民服务的表现

科学技术为人民服务，是科技工作者的服务宗旨。党的十四大提出，我国经济体制改革的目标，是建立社会主义市场经济。因此，可以说科学技术为人民服务的表现是为市场服务。目前，国际与国内市场经济有其相同的地方，也有不同的地方。分析一下国际市场的情况，现在是南北贫富差距正在扩大。从市场的占有额看：由于贫困阶层和富裕阶层的需求不同，其占有额就不同，富裕阶层的需求大于贫困阶层的需求。可见占有额与人口比重并不是成正比增长的。科技工作者应该看到这一点，并在观念上加以转变。看到不同阶层的需求，并不是否定科技首先为工农兵服务。对于国内市场来说，中国人民正在富裕起来，中国也正在摆脱贫困。所以，通过对国际市场占有额的分析，来占领市场，也就是丰富国家实力，正是对人民的最大贡献。举个例子如现代医疗技术，CT 分层分析，核磁共振等医疗器械，目前在中国广泛普及是不可能的，除对部分老同志和富裕阶层外，对贫困阶层来讲确是难以普遍满足的。但从国际市场来看，这种需求却很大。拿美国来讲，每年医疗费用占美国 GNP 值的 12%，其中大部分费用是用在医疗器械上。这是一个非常大的市场。目前，我们还没有能力进入这个市场，更谈不上占领这个市场。但是中国熟练劳动力特别便宜，因而在这种高技术领域内，完全有可能有所突破。但如果拘泥于传统观念，就会轻视这点科技工作。总之，观察 21 世纪科技发展，需要科技工作者树立市场观念。

二、生产力的社会化，是生产力发展的客观规律

什么是社会化呢？过去由于认识上的局限性，往往将社会化简单的理解为大工业、大企业、大生产。企业规模越大，生产力的社会化程度越高。随着人们对生产力认识的不断深化，有了新的认识：社会化是整个社会有组织的大生产；大生产固然是社会化，高度密集的组织起来的小规模生产，也是社会化；而且社会化的概念已经超出了地区的范围，行业的范围，甚至超出了民族的范围。举例说明，“文化大革命”期间，对上海宝钢从澳大利亚

进口铁矿石，许多人提出了质疑，认为有损于民族工业体系，是一种浪费，并担心一旦国际形势发生变化，宝钢就会成为“死钢”。实际上，这种担心是不必要的，因为铁矿石和羊毛的出口是澳大利亚的经济支柱，他们力求扩大出口。断绝铁矿石的供应，首先是澳大利亚蒙受巨大损失。澳大利亚铁矿是富矿，运到上海完全是运输成本低廉的水运，所以今天的宝钢，其经济效益是十分显著的。前些时候，中国科学院技术科学部许多院士联名推广宝钢经验，在沿海地区发展钢铁工业等建议。我认为是可行的。随着社会的发展，人们进一步向海洋要资源，向空间要资源是大势所趋。为此，联合国制定了《海洋公约》、《空间公约》。日本是能源最为短缺的国家，它有个通产省计划到月球去开采 He^3 。 He^3 是一种特殊的同位素，通过受控热核反应进行发电。据估算每年开采 40 吨 He^3 ，就可供全世界全年的耗电量！所以，社会化的含义，将来还可能要扩展到月球！生产力的社会化，必然引起物质、能量和信息的交流，所以，能源、交通和通讯就成为实现社会化大生产最必要的手段。

三、科学技术不仅为物质生产服务，还要为精神生产服务

过去，人们十分看重科技为物质生产服务，却忽视了为精神生产服务。人们的需求是多方面的，在生存需要得到满足的情况下，更需要满足精神的需求。所以，人的消费有两方面：物质消费和精神消费。随着人类的进步，精神产品将会占越来越大的比重，这是科技工作所面临的新形势。我曾多次呼吁搞高清晰度电视。其实它不完全是一个广播问题。在国家安全、医药卫生、企业生产、科学研究，以及教育等领域，也有极为广泛的用途。高清晰度电视的实质是数字通讯，可以完全摆脱噪声的干扰。它既能传播图像和声音，也能传播文字。是文字、声音、图像三位一体的产品。图书将来要变成电子图书，现在科技文献的贮存和调用已经使用电子计算机来进行，如调一篇文献，可从电子邮件中调到。理论物理研究所已通过高能物理所与国际现代电子邮件网络联网，查阅科技文献十分便捷。总之，精神产品生产是一个很大的市场，随着科学与技术的进步，这个市场会更加兴旺发达。

四、环境污染问题越来越突出，成为制约人类进一步发展的重要因素

目前，人类面临六大问题：1. 环境污染；2. 资源枯竭；3. 生态破坏；4. 能源危机；5. 气候反常；6. 人口爆炸。这六大问题有所改进，或有所缓和，都是当代科技工作的重大贡献。我们在搞军工、民用等产业时，凡属于有利于环境保护的行业，就会得到广泛的社会支持。凡重污染行业则会受到限制和舆论的谴责。所以防止环境污染是当代科技工作的一件大事。

我国是发展中国家，我国的工业带来的污染问题是比较严重的，这是经济落后国家在一定阶段所不可避免的特点。为此，国外有些人攻击我国将会成为新的污染大国，等等。对这个问题我们应该从两个方面去认识。一方面，我们应尽量减少污染，不能搞“先污染后治理”，这将“得不偿失”，甚至可能造成永久性的危害，所以，全民要提高对防止污染问题的重要性的认识。另一方面，就世界范围的污染问题来看，我们应搞清两个概念：一是历史积累的污染量。环境污染是一个历史的问题，谁也不能割断历史来看今天的污

染。世界上一些发达工业国，由于其工业化速度快、程度高、历史长久，而我们的工业化才只有四十余年，相比而言，他们对人类生存环境的污染量要远远大于我们发展中国家；二是人均污染量。污染量与人口增长并不是成正比例的，而是与其工业化发展速度有关。美国是人均污染量最大的国家，其人均污染量 15 倍于我国的人均污染量。我们既要历史地看到现存的污染问题，又要积极研究和探索，充分利用科技手段来防治污染。

五、自然科学和社会科学相结合的趋势越来越突出

自然科学和社会科学相结合，包含着两层意思：其一，自然科学的发展要受到社会科学发展的制约。我们有许多科技工作者对这个问题的认识是不够的。发展科学技术要满足中国人的需求，这就给科技工作者提出了一个尖锐的问题：什么是中国人的生活方式？有人将美国人的生活方式概括为：小汽车+口香糖+每人一支枪。现在美国手枪市场很大，但是在中国决不能搞什么人均手枪一支。我觉得中国的社会科学家应积极关注中国生活方式问题，我们应提倡什么样的生活方式，能不能输入美国的生活方式？这个问题事实上早已存在了。已有相当数量的口香糖输入中国市场，现在还有人竭力提倡中国也要走向小汽车文明。对此，我要打上一个大大的问号？我国的汽油、道路、住房、停车场等即城市生存空间，是否能够支持这种“文明”。因此，我呼吁社会科学家和自然科学家合作研究一下中国生活方式的问题。这些事情涉及中国的精神文明建设和物质文明建设，也影响我们的科教发展方向。当然，这只是一个例子，科技的发展不能不受到社会发展的制约。

其二，很多社会问题的解决要靠自然科学。这里举一例子：最近，朱镕基副总理倡议搞“三金”工程，即金桥、金关和金卡工程。我认为这是经济建设中很重要的三大问题。比如说金融问题，如果银行系统不实现计算机管理就会带来巨大的浪费。就拿“在途”资金来讲，从登记到投入使用，最快也要两周时间，在这两周时间内，资金在哪里，谁也搞不清楚、谁也无权动用。每年在途资金高达几千亿之多，若按 10% 计息，则年损失几百亿元。如果我们实现了计算机管理，就立即产生效益。金卡工程实际上是为了减少现钞流通，解决偷税漏税问题、走私问题以及提高资金利用率。现在偷税漏税问题很严重，如果从社会科学角度看，这里有体制问题、法制问题、管理问题，等等，甚至还可以不排除搞运动。

我们还可以举出有关科技将推动历史唯物主义理论的发展的一个例子：在我国大学里的历史唯物主义教科书里，往往说三大差别的消灭要到共产主义社会。然而我们从国外考察和我国农村的发展形势，可以得出：现在由于科学技术的发展，三大差别在科学技术发达的国家已在大幅度消失，与其说这有赖于共产主义的实现，不如说这是科学发达导致的后果。马克思时代，没有电视、电话、广播，现代化的意识的传播受到极大的障碍。如今，现代化意识通过现代化传输手段冲击着农村人的意识，加速了观念的转变。农村向城市看齐，历来是历史发展的趋势，因此，这种差别必然会逐渐缩小。

综上所述，许多社会问题的有效解决，不仅要靠社会科学学者，还需要有自然科学家，因此社会科学和自然科学的合流是当代科学技术的一个重要特点。

六、中国科学技术问题，正成为世界科学技术的一部分

我强烈呼吁中国科学技术的发展要看到中国的特点。中国的资源、地理环境、社会经济、历史文化等等特殊条件，都会影响中国的科技发展。在我与青年人接触中，有一些青年人热心关注“世界”科技的“大”问题，他们有志成为世界学者、国际学者，而对中国问题却不予注意。其实，中国的问题正成为世界性的头等重要的问题。如中国长江三峡工程，这么大的水利资源要开发，在世界水利史上是少有的。为此，世界上许多水利学家都想插一手，以便留芳百世。这项对中国人民有极大利益的项目出生时，却遭到了美国的尖锐反对。理由是所谓“破坏生态平衡”。而现在美国朝野都纷纷改调，否则他们将难以介入这项历史性工程。有关中国水利资源开发的问题还不仅限于长江三峡工程，更大的问题是中国西南地区的水能开发问题，第一，它占全部水力资源的 50—70%。西南地区水力资源集中在澜沧江、金沙江、怒江等横断山脉地区。其特点是落差极大，往往落差达 1000 米，因而所蕴藏的水能也极大。它的开发需要研制高落差的水轮机。目前，这项技术在世界上还没有得到很好的解决。尤其是这一水力资源的开发，是在崇山峻岭之中，人烟绝迹之地。怎样能进去，物资又怎样运进去，这也是世界上未解决的问题，现在有人提出发展飞艇或索道运输来解决人员、物资、给养问题的设想。

英法隧道的修建是影响世界的重大问题，有人称为世界性工程，其实中国也有这种世纪性工程。最近有人提出，要设法将雅鲁藏布江的水调到大西北，以彻底解决大西北的干旱问题。如果这一设想得以实现，当然这也是世纪性的工程。如果一旦实现，其经济效益之大是难以估量的。但这一问题的解决不是 21 世纪上半叶就可以完成的。可能这是正个 21 世纪的事情。

经济的大发展，必然带来科技的大发展。最近，江泽民同志提出：科学技术要有一个新的解放和大的发展。毫无疑义，中国科技界将满怀热忱地、积极地迎接这一新的解放和发展的大潮。

现代工程技术的发展态势与我们的对策

杨叔子

华中理工大学

杨叔子 机械工程专家。1933 年 9 月 5 日生于江西省湖口县。1956 年毕业于华中工学院，现任华中理工大学校长，中国机械工程学会常务理事，中国振动工程学会、中国人工智能学会理事长。1991 年当选为中国科学院院士。

主要从事机械工程与有关新兴学科的交叉研究，着重于机械工程中的信息技术与智能技术。

我国一些新闻单位联合评选出的 1995 年世界十大新闻中，2 条与计算机有关，3 条直接与信息技术有关；3 条与生物有关；2 条与物理有关；1 条与天文有关。看得很清楚，计算机技术、生物技术、信息技术在现代工程技术中起着很大的作用，没有哪一项能离开信息技术，在这 10 条中，没有哪一条能离开先进设备，而没有先进制造技术来制造先进设备，就没有哪一项能做得出来。

下面我从五个方面讲述。

一、现代工程技术发展的特点

1995 年，朱光亚同志在全国科学技术大会的报告《当代工程技术的发展态势》很精彩，他一开始就讲述了当代工程技术发展的五大特点，我很赞同。这五大特点分别为：

1. 信息技术革命在科技成果产业化过程中的作用日益增长，方兴未艾。信息技术发展对于第一产业农业、第二产业工业和第三产业都起到了极大的改变作用。

前段时间，美国组织评估了一千年来（1001—2000 年）各项领域中领先第一的技术。在技术领域里，印刷术是第一，佼佼者。因为只有印刷术解决了，才能很快地传播各项信息，因而，它是非常关键的技术。

在这里我想讲一个“龙舌兰”的故事。美国一位科学家偶尔对这种植物进行了一次实验，将传感器装在龙舌兰上，首先在龙舌兰旁边放两颗蔬菜，这位科学家让他 5 位学生中的一位杀死蔬菜，然后再与 5 位学生列队从龙舌兰跟前走过，科学家发现，当那位杀死蔬菜的学生走过龙舌兰时，传感器测得的信号发生很大的波动，龙舌兰吓得“发抖”。植物也具有与动物一样的灵性。

因此，信息是无处没有的，整个宇宙都充满了信息。社会要发展，人类要进步，信息处于关键地位。

2. 微观尺度生产领域制造技术的演进与革命方兴未艾。微观尺度指微米级、毫微米级数量级。前面讲述了信息的重要性，但用于这些技术设备的元器件需要制造，比如说芯片。因此，没有制造技术就生产不出芯片，就制造不出计算机以及现代装备，例如，就生产不了先进的武器装备。海湾战争中使用的先进武器，它们重要的元件的制造误差在微米、零点几微米级甚至更

小，没有先进制造技术就不可能制造出先进的武器装备。

3. 材料技术成为不同工程领域中的共性关键技术。材料技术是现在和将来工业中不可避免的一个基本技术。在人类社会发展中，有石器时期、青铜器时期，它们是人类社会发展的转折点。如果没有放射性元素的发现，就不可能有原子能工业；没有半导体的发现，就不可能有现代的计算机工业。而现在正在向各种仿生材料发展，没有材料技术的发展，科学技术很难进一步发展，它是基础性技术。

4. 生物技术为农业、医药、化工、环保的发展带来重大变革。生物技术不仅对环保、农业、医学是基础性技术，很多生物技术已用于其它方面，包括加工行业。很多人讲，如果 20 世纪是物理学的世纪，那么 21 世纪将是生物技术的世纪。生物技术是我们必须面临和很好重视的技术。武汉市在这方面已做了非常多的工作，这是完全正确的。

5. 系统集成在工程技术最终转化为现实生产力过程中发挥着关键的作用。什么都好，但还要能很好地融合。“三个和尚没水吃”，“三个臭皮匠赛过诸葛亮”。不是所有好东西集在一起就是好东西，也不是平庸的东西集合在一起就很差劲，集合的最终效果，还要看集中元素与元素的关系。因此，系统的观念极为重要。

在科学技术大会上，李鹏总理在工业生产与建设中的关键技术一节中谈到四个关键技术，就是：1. 电子信息技术；2. 先进制造技术；3. 节能降耗技术；4. 环保技术。仔细分析，李鹏总理与朱光亚同志讲法是一致的。

再来看一看国外对当前科技发展的看法。

美国总统克林顿讲了面向 21 世纪的四个优先发展领域：1. 信息领域；2. 先进制造技术领域；3. 材料领域；4. 生命与环境领域。朱光亚的讲话与此一致，他们都看到了这几个优先发展领域。在美国，作为总统批准，政府直接投入的项目有：1983 年生物工程技术；1992 年先进计算机技术；1994 年先进制造技术，政府投入 14 亿美元。

日本经济计划厅（相当于我国的计划委员会），1992 年组织专家进行各项论证后出了一本书，名为《推动经济的 2010 年的技术预测 101 项》，分布情况是这样的：运输交通 16 项；电子信息 15 项；材料 14 项；空间利用 13 项；生命 9 项；通信 9 项；自动化 9 项；环境保护 8 项；能源 7 项；食品 1 项。综合起来看，信息占 25%，材料占 25%，生命与环境占 20%，制造技术占大多数，多数项目与之有关。

韩国的“G—7 计划”（高级先进技术国家计划），相当于我国的“863”计划，1991 年年底提出了 7 项：1. 大规模集成电路；2. 综合数字业务网（ISDN）；3. 高清晰度电视（HDTV）；4. 电气车辆；5. 智能计算机；6. 医学与农业试剂；7. 先进制造系统（10 年投入约 6 亿美元）。同样是信息、材料、制造、生命与环境这几大类关键技术。

欧洲的“罗马俱乐部”1972 年在《增长的极限》一书中有个预测：工业增长，最迟在下一世纪停止，因为 GNP 与能耗平行增长。但由于技术的发展，事实并非如此，例如，1980 年至 1990 年，日、美、西欧 GNP 年均增长率约 8.5%、3%、1%，而能耗年均增约为其 1/6。这表明，由于科学的进步、技术的发展，能耗、材料使用就更加合理，科学技术是巨大的生产力。

讲到这里，顺便看一看我国的能源消耗情况，1990 年我国万元产值综合能耗为 1.41 吨标准煤，而 1980 年日本则仅为 0.20 吨标准煤。人均 GNP，日

本 80 年代初突破 1 万美元，90 年代初达 3.5 万美元；新加坡 1989 年突破 1 万美元；韩国 1996 年将突破 1 万美元；香港 1997 年将突破 3.5 万美元，我国现在很低，如果不节能降耗，随着 GNP 增长，能源与材料的消耗还受得了吗？更不要谈由此而导致的环境污染问题了。

二、微电子技术、计算机技术、信息技术是发展的关键

说到信息技术，朱光亚同志有一段很精彩的讲话：“信息技术是现代文明的技术基础，是科学研究与技术开发中的不可缺少的手段，是高技术中的关键技术。它以微电子技术为基础，以计算机技术和通信技术为主体，并渗透到各种传统技术中，又形成了许多边缘学科。”“计算机技术是信息社会、信息产业的核心技术，它带动了一次世界性的新技术革命，并仍在继续推进国民经济和社会生活各领域的进步和变革。”

比如说，计算机网络建设，它是现代文明社会的象征，可以极大地加快信息的交流，节省大量人力、财力和时间。有了计算机网络，一些资料就可以直接在终端上获得，“多、快、好、省”。没有网络，我认为就是现代科技发展下的“聋子、瞎子、哑子、跛子”。因此，1994 年国家准备建立“中国教育科研计算机网”，并与国际上的 Internet 联网。在全国 10 所大学，8 个地区（北京、东北、上海、华东、华南、华中、西北、西南），建立地区网点，全国中心网点建在清华大学。我们当时就下了决心，争取成为整个计算机网上的华中网点。现在，我校的华中网点与校园计算网已经初步建立起来了，全国网点与各地区网点都建立起来了，两年的工作一年就完成了，速度快，质量好，国家抓得紧，大家干得欢。现在，检索资料、发电子邮件等等相当方便。

1994 年，美国加州建立了一所大学，没有设图书馆，每位学生床头有三个插头，很多资料、书籍全部可以通过网络查到，资源共享。

信息技术的发展已经渗透到人类文明社会的每一个角落，从家用电器到机电一体化设备，从宇宙飞船到随身听，无处不在。大的方面不谈，举几个小例子说明一下。比如，用眼睛去自动开门和关门；用眼睛去摄像，看一眼就通过自动化系统将景物摄下；用眼睛去自动打字，看一眼打字机就能打出想打的文字；这些已不是神话。日本有一位 55 岁瘫痪又不能讲话的妇女写了一部小说，《我想说话，我想走路》，208 页。她不能说又不能写，靠什么写小说呢，靠计算机，靠信息技术！

1996 年是第一台计算机诞生 40 周年。1956 年 2 月第一代 ENIAC 计算机，在美国宾夕法尼亚大学莫尔工学院，在无人喝彩中登场。这台计算机每秒可进行 5000 次加法运算，是手摇机械式计算机的 1000 倍，为人工计算的 20 万倍，重 30 吨，占地 170m²，用了 18000 只电子管、7000 只电阻、10000 只电容，耗电 150kW，平均 7 分钟就爆毁 1 个电子管，100 多位工程师手拿电子管围着它维修。然而，在当时，这台计算机虽貌不惊人，却从此开创了信息技术新时代，带来了信息革命。

我们再看看当今计算机发展状况。我国银河 Ⅱ 型计算机运算能力 10 亿次/秒，曙光 1000 型并行计算机运算能力 25 亿次/秒。1994 年 12 月，美国 Inter 公司生产的超级计算机，运算能力为 3280 亿次/秒，为第一台的 6600 万倍，1 秒种的运算需 1 个人不停地算 1 万多年；而体积、重量不知降低了多少倍，

可靠性、功能又不知增加了多少倍！以往，所有对计算机发展的预测都错了，都太保守了。所以，有人说：“计算机不可预测，不知道今后发展成什么样子。”

计算机的发展可以分为三次浪潮：

第一次浪潮是计算机用于科学研究与军事领域，关键的作用是用于信息处理。

第二次浪潮是个人计算机（PC）用于各行各业，关键的作用是用于信息获取。1959 年半导体元件计算机问世，1970 年集成电路计算机问世，1972 年 8 位 PC 机问世，1978 年 16 位 PC 机问世，1981 年 32 位 PC 机问世。而目前计算机的目标是 3T，即 1 万亿次浮点运算能力，1 万亿字节的存贮量，1 万亿次/秒的 CPU 与存贮器之间的交换能力。

第三次浪潮是计算机网络。如 Internet 网已覆盖 150 个国家和地区，有 4000 万用户，每年交换 1 万亿字信息，而目前约有 500 万亿字的信息需要交换。国内，“金”字工程已上马，并逐步建立了各种用途的网络。

网络的建设给我们带来了很大的便利，是必须发展的。但它也给我们带来了一些新问题，比如，不健康的、黄色的、反政府的、人权的信息上网，带来了一些网络上的无用信息和“垃圾”，因此，网络建立的同时应该加强网络的管理，加强网络信息的管理。

计算机发展，主要是集成芯片，特别是大规模集成芯片（LSI）。这些芯片发展的特征则是从 70 年代以来，芯片特征线宽每 3—4 年缩小 30% 左右，芯片集成度每 3—4 年翻两番。80 年代，线宽达 $0.4 - 0.6 \mu\text{m}$ ，动态存贮器（DRAM）容量 16 - 64M；90 年代末，线宽将达 $0.1 - 0.2 \mu\text{m}$ ，DRAM 芯片将达 1000M。1995 年 12 月韩国三星集团完成 100MDRAM 芯片设计（ $0.16 \mu\text{m}$ 线宽）。而我国正在投产的是 $1.5 \mu\text{m}$ 线宽芯片，相差可谓甚远。

未来，若超导成功，将有兆芯片产生，预计约在 2030 年。因此，有人称现在是新石器时代（由于石头的主要成分是硅）。在这个时代里，微电子大国是美、日、法、英、韩。微电子的核心是半导体，而半导体的核心是集成电路和大功率器件。

1990 年一些国家和地区的电子工业占经济总产值分别为：韩国 11.9%，台湾 11.6%，香港 11.4%，新加坡 41.8%，中国内地 2%。

随着计算机的发展，各种形式的计算机技术得到不同程度的发展，如超并行计算机、光子计算机、神经计算机、超导计算机、生物计算机等。

超导计算机装置与 VLS 比较，消耗的电力与开关时间的乘积为 VLS 的 $10^{-3} - 10^{-7}$ ，它是以电子效果为基础的。

生物计算机中开发的立方体生物芯片，是有低阻抗、低能耗、非热性等特点。聚赖氨酸立体生物芯片 1mm^3 内有 10 亿个门电路，可存 110 亿比特信息。生物计算机可望在 2020 年应用。1995 年 4 月，在美国普林斯顿大学召开了一个生物计算机大会，世界上 200 多位数学家、分子生物学家、化学家、计算机专家汇集一堂，认为：DNA 计算机几天的运算量可为目前世界上所有计算机问世以来的总运算量； 1m^3 DNA 溶液可贮 1 万亿亿位数据；1 台 DNA 计算机消耗能量只及 1 台普通计算机的十亿分之一。有趣的是，英国电信公司预测，2020 年开始研究电脑芯片植入人脑，这真是“人机交互，各扬其长。”

神经网络的发展也非常迅速。人有 10^{11} 个神经元，每个神经元有 10^3 个

树突，形成 10^3 个突轴，若每个神经元发放速率为 10^2 次/秒，则人处理信息的速度为 $10^{11} \times 10^3 \times 10^2 = 10^{16}$ 次/秒，这个数目是相当惊人的。苍蝇的处理信息的速度为 109 次/秒，是普通计算机所不及的。

目前光只用于传送，如用于处理信息，则可将现行光通讯设备的 100 千兆（10 亿）字节的通信能力提高到 1000 千兆（太）字节的通信能力，即所谓的太位级通讯设备。

因此，我们讲微电子技术、计算机技术、信息技术是当代科学技术发展的关键，是不为过份的。

三、制造技术是发展的基础

微电子技术、计算机技术、信息技术的发展靠什么？仔细一想，是靠制造技术，靠先进制造技术。没有制造，哪有这一切，当然，制造技术的发展，先进制造技术的实现，又得依靠电子技术、计算机技术、信息技术。它们是相互支持，相互促进的。

当今制造技术已能够实现纳米加工（毫微米加工），一个纳米是 10^{-9} 米，而原子与原子间间隔为 0.4—0.6nm，因此，当今制造技术操作单个原子的梦想已成为现实。这一技术实现的关键技术之一是扫描隧道显微镜（STM），它不仅使原子可见，而且它进一步使原子可操作。1990 年 IBM 实验室用 STM 将 35 个氩原子加以移动，拼写了“IBM”商标。由此发展出多种显微镜，如原子间力显微镜（AFM）、磁力显微镜（MFM）、光子扫描隧道显微镜（PSTM）等。

利用原子操纵技术，在超薄膜上覆盖分子形成 0.5—1nm 隆起，用隆起和凹下表示数据处理技术中的“1”和“0”。这样，我们就可用它们来记录数据， 1cm^2 等于 100 万亿个 nm^2 ，因此，一个分子存贮器相当于 100 万张光盘。进一步，当我们直接操作原子，通过原子的拔出或重叠两状态表示“0”或“1”，那么制成的原子存贮器，1 个原子存贮器就可存人类的全部知识。由于加工技术的发展，使得许多原来不可想象的事情逐步成为了现实，科学技术不是第一生产力又是什么？邓小平同志的看法极为深刻。

宋健同志在 1995 年 4 月由国家计委、国家科委、机械工业部、国家自然科学基金委员会、机械工程学会在北京举办的“先进制造技术战略研讨会”上有这样一段讲话：“先进制造技术是一个国家、一个民族赖以繁荣昌盛的重要手段。如果制造技术不发达，这个国家、这个民族就不可能富裕。”

因此，制造工业不是“夕阳工业”。高技术要变为实用产品要通过制造，谁掌握制造技术，谁就掌握了商品，也就掌握了市场。“东芝事件”，前苏联由于采用了日本制造的数控铣床，一下子就将它与美国之间核潜艇技术缩短了十年！导弹，由于制造精度的提高，命中误差也达到了几十米或更小。由此，我们清楚地看出制造技术产生的巨大影响。

马克思讲过：“大工业必须掌握它特有的生产资料，即机器的本身，必须用机器生产机器。这样，大工业才建立起与自己相应的技术基础，才得以自立。”这是十分正确的，也说明了制造工业的重要性。工业发达国家的社会财富 60% 由制造业产生（美国的社会财富 68% 来自制造业），国民经济收入的 45% 来自制造业。1950 年，世界机械工业产值占工业比重 1/5；1980 年，占工业比重 1/3 以上；目前则大体保持这一水平。

1984 年美国制造业中 27 个属高技术，其中 17 个属机械工业，占 63%，它们中有：发动机，汽轮机，工业专用机械，办公与计算机械，发电设备，输变电设备，商业机械，科学仪器，测量与控制仪表，光学仪器，医疗器械，武器。

美国 70 年代开始，鼓吹“后工业化社会”，力图将经济发展的中心由制造业转向以服务业为主的第三产业，吃了一次亏，产生了严重的后果：机床，日本产值 1982 年居世界首位，而美国产值由 1981 年的 40 亿美元降到 1987 年 17 亿美元。目前美国有一半机床依靠进口，这其中日本就占了 52.3%；机器人，1990 年全世界共 46 万台，日本 27.4 万台，美国仅有 4.1 万台，美国可以说无机器人制造厂；录像机，由美国发明，而被日本垄断；汽车，美国亦无多大优势。

看一看制造业的发展。

(1) 制造精度，超精密级的误差随时代发展不断变化，1910 年为 $10\mu\text{m}$ ，1930 年为 $1\mu\text{m}$ ，1950 年为 $0.1\mu\text{m}$ ，1970 年为 $0.01\mu\text{m}$ ，而目前则达到 $0.001\mu\text{m}$ (1nm)。电子元件的制造误差，晶体管 $50\mu\text{m}$ ，磁盘 $5\mu\text{m}$ ，磁头磁鼓 $0.5\mu\text{m}$ ，集成电路 $0.05\mu\text{m}$ ，大规模集成电路 $0.005\mu\text{m}$ ，合成半导体小于 1nm 。

(2) 自动化程度。1870—1980 年这 110 年间，制造过程效率提高 20 倍，生产管理效率提高 1.8—2.2 倍；产品设计效率提高 1.2 倍。这表明，体力劳动极大地得到解放，自动化程度高，而脑力劳动自动化程度很低。再例如，1984 年美国的 Fort 公司、GM 公司、Chrysler 公司机械产品设计中采用 CAD 设计的分别占 40%、34%、67%。前几年，在发达国家采用 CAD 的占 60% 甚至更多，国内则仅占 5%；近年来，NC 设备发达国家大致已普及，而我国仅占 0.7%；净产值劳动生产率，1990 年我国约为美国的 1/130，我国的机械产品 1994 年进出口逆差为 236.9 亿美元。

制造技术与微电子、计算机等技术结合最紧密的是机电一体化技术，这一技术带来了制造业的巨大变化：行业内涵改变，跨学科内容增多。机械已变成了机械加上微电子技术、光、磁、控制论、信息论、系统论等等。产品的结构和功能发生质变。过去自动化要解决体力劳动问题，现在则要解决脑力劳动问题，甚至是抽象思维能力和非数据处理能力以及智能化等问题。产品类型急剧增加，应用范围极广，几乎无所不包，无所不用。生产方式走向柔性化和集成化，以求对市场变化能作出快速高质的响应。

机电一体化的共性关键技术有六个方面：(1) 检测传感技术。(2) 信息处理技术。(3) 自动控制技术。(4) 伺服传动技术。(5) 精密机械技术。(6) 系统总体技术。

先进制造技术包括面向制造的设计技术、制造工艺技术、支撑技术、制造基础设施（制造技术环境）四个方面。它的生产规模先由小批量向少品种大批量发展，而最终实现多品种变批量。生产方式先由劳动密集型向设备密集发展，最终达到信息密集和知识密集。制造也先由手工向机械化、单机自动化、刚性流水自动化最终向柔性自动化以及智能自动化发展。

先进制造技术的发展趋势有这样 5 个方面：常规制造工艺优化；特种加工方法发展；专业学科交叉融合，界限淡化、消失；工艺由“经验”走向“定量分析”；高新技术与传统工艺紧密结合。

先进制造技术的发展前沿在这 12 个方面：净成形技术；纳米技术与微机械；计算机辅助技术 (CAX)；快速成形 (RPM)；新材料的成型

与加工技术； 极限条件下成形技术； 并行工程； 计算机集成制造系统（CIMS）； 智能制造系统（IMS）； 洁净生产技术；（11）智能 MIS；（12）精益生产方式。

谈机械制造不能不谈一下汽车，这是湖北省武汉市的支柱产业。汽车的研究和生产应该注重新型汽车。下一代一般汽车的发展表现在四个方面：革新汽车制造技术；采用高级微电子技术；确保汽车的安全、经济、适用、舒适。

由于燃烧汽油的汽车产生很大的污染，如美国某些大城市 60% 的污染由汽车产生，莫斯科为 92%—95%。汽车排放的尾气产生了全球的温室效应。因此，新型、少污染汽车的研制是汽车工业发展方向。例如，电动汽车，包括采用蓄电池的电动汽车、采用燃料电池的电力汽车等。电动汽车的研制关键是动力电池，这些电池有锂、钠、钠硫、镍锌、镍铁、燃料电池等。其中燃料电池中氧和氢结合变成水，产生能量，从而转为电。这种电池发电效率为 40—60%，如利用余热，则可达 70—80%。含氢合金也是值得注意的一个材料关键。

美国 Chrysler 公司研制的电动小面包车，一次行驶 320km，从 0 加速到 95 千米/小时需 5 分钟；日本日产汽车公司研制的电动汽车，15 分钟可充电完毕，电池体积只有常规电池的一半；德国 BMW 公司研制的电动汽车时速 109 千米/小时，充电后一次可行驶 430 千米。

四、材料技术是发展的先导

材料技术是发展高新技术的先导，新材料的出现将带动许多领域和产业的迅速发展。没有材料的发展，就没有社会的发展，就没有科学技术的发展。例如，功能材料，结构材料，生物材料，能源材料，隐形材料等，都有十分值得研究与探索的领域。人们还应努力去仿造蜘蛛丝、仿造贝壳和甲壳虫表皮生产出高性能的仿生材料，而这些是目前人造材料无法比拟的。新材料的开发与研究，我再略举几种材料来讲：

（1）超导材料。这一材料如付诸实用，技术与生产、生活又将发生一次根本性变化。

（2）含氢合金。可吸氢，也可释放出氢气，0.1 大气压时每克含氢合金可吸一牛奶瓶氢气。

（3）光化学空穴“燃烧”存贮器，这种存贮器为光盘记录密度的 1000 倍，可望在 2020 年实用。

（4）高性能碳/碳合成材料。可在 1800℃ 或更高温度时使用。

另外，与上述各项密切相关的还有能源特别是新能源的开发利用。

（1）生物能。通过植物的光合作用产生氢气或通过光（或光学）合成细菌，高效地产生氢气。

（2）太阳能。地球表面每平方米的能量有 1 千瓦，能将这些能量利用起来十分了不起，关键在于太阳能电池，提高转换效率，也就在于材料及其它相关技术的发展。日本通产省的“太阳光计划”以每度 20—30 日元为目标，利用太阳能发电，预计 2000 年达到每度 100—200 日元，可望在 2010 年左右实现一般电力价格水平。

（3）煤。例如，露天开采的大型设备、计算机监控系统、新的开采工艺、

机电一体化成套开采技术等，另外还有洁净煤技术、先进选煤技术、水煤浆、先进燃烧器、流化床燃烧、煤气化联合循环发电、煤炭液化和气化、烟道气净化等一系统技术，它们都与先进制造技术、微电子技术紧密相关。

（4）石油开采的装备与测井技术，以及水、火力发电、核能利用中的有关技术，都同信息技术、先进制造技术密切相关。

在这里，我没有多谈生物技术、生命科学。这是一个极其重要的了不起的领域，从前面讲的技术中已可知一二。我愿意再重复讲一次，21 世纪是生物技术世纪是十分有道理的。

五、我们的看法

1995 年的科学技术大会上提出了“科教兴国”的口号，这是很正确的，是很了不起的战略。教育出人才，人才掌握科技。有人讲，“今天的教育，明天的科技，后天的经济”，这种说法是对的，但不全面！为什么这样说呢？举两个例子说明。

1995 年 9 月 18 日，香港的一位知名的爱国企业家刘永龄先生，在我校设立了“纪念抗日战争胜利奖学金”，每年 5 万港币，他说奖学金为什么要给港币，就是要学生记住香港还在受着殖民统治！有学生问刘先生说：“刘先生，您很了不起，作为一位中国人，竟然能在欧洲买一个万多人的大企业，靠的是什么呢？”刘先生讲：“靠的是德才兼备的人才。”刘先生认为德比才重要。有德，才差一点，问题不大，可以找一个很好的位置来工作；如若有才而缺德，就很麻烦了。学生问刘先生讲的德是何德，刘说：“至少是职业道德和社会公德吧。不少大陆学生到香港去，到我的公司工作，其中不少人不但信守签定的合同，而且工作中途将公司借给他的东西席卷而走，逃之夭夭。这样的人才有好还是没有好呢？”这是一个很尖锐的问题！有所高校有位教授推荐一位学生到新加坡某大学攻读博士，这位学生拿了别人的钱后，工作不到一年，没有跟他的导师打任何招呼就跑了，无影无踪，新加坡某大学的教授打了很多次电话问我国该校的这位教授，询问那位学生的下落，造成了很坏的国际影响，这样的事情也不仅仅是一两个例子！这些学生不但没有国格，这连最起码的人格都没有了，能够振兴中国经济吗？

1982 年我到美国进修的时候，好几位美国华人教授跟我讲，中国内地的教育有缺陷，“到美国来的留学生 ABC 很好（英语很好）、XYZ 很好（数学很好），也懂得美元和英镑（会打小算盘），但就是不了解中国的长江、黄河，不了解文天祥、史可法，不知道《史记》、《四书》，这种不了解自己国家、民族、历史、传统文化的人怎么为国家与民族服务？”一个不能够为自己的国家、民族服务，不能站在时代潮流前面正确引导时代潮流前进，而专门追求个人私利的人，有才比没有才还糟糕！世界上所做的一切是为人而去的，同时世界所做的一切又是人去的。人是世界上第一个重要的因素。

陈毅同志早在 60 年代一个报告中讲过，我们希望飞机驾驶员能够驾驶飞机，否则就不能为国家服务；同样，飞机驾驶员技术本领再高，驾机逃到敌人那里去，那岂不是更糟！因此，不应该只讲“今天的教育，明天的科技，后天的经济”，还应该讲，“今天的教育，明天的文化，后天的精神！”科教兴国，关键在人才，必须培养德才兼备的人才！只看到科技的作用，而看不到掌握科技的人用科技去为谁服务，忽视了人，在人才上出了问题，再好

的科技也兴不了国。

对省、市的“九五”计划，我非常拥护。在这里我想谈几点建议。

1.要掌握基础技术。荆楚大地是老子的故乡。《老子》第六十四章有一段话“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下；为者败之，执着失之”。现代工程技术中，最基础的技术，如材料、元件、数控、CAD等不掌握是不行的。

2.分工要专业化，联合要集团化。不能一轰而起，一轰而散，要充分利用我们社会主义制度优势，组织“大兵团作战”，寻求规模效应。

3.高起点，大投入。要做一些起点高，投入大的项目，在几个关键点上投资，那么很快就能带动一片。我国的台湾与香港地区，地方小，事情好办些，我们内地大，潜力也大，困难也多，担子也重，任务也更光荣，我们这样的大国，应该统一步调，全国一盘棋，集中力量办大事情，集中财力搞些最先进的项目，否则，很难搞好，搞上去。

4.正确引进，认真消化。

5.切合实际，突出重点。

6.充分开发人力资源。湖北省、武汉市的最大优势，不是其他，而是有着巨大的人力资源，大校、大所、大厂集中，人才既全面又集中。人才是湖北省、武汉市最大的优势，要打破条块分割的体制，充分发挥人才的巨大优势。

7.科学管理，严格要求。

8.制定政策，依法办事。

能源与环境

李德平

中国辐射防护研究院

李德平 辐射物理、辐射防护与核安全学家。1926 年 11 月 4 日生于北京市，1948 年毕业于清华大学，其后相继在中科院近代物理所、中国辐射防护研究院工作（曾任院长，现为名誉院长）。现任中国核安全专家委员会副主席、国家环保局顾问与核环境专家委员会副主任。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事辐射防护等方面的研究。

地球上的各类能源

有用的能必须是可控的，招之即来，挥之即去，令行禁止。能源指能提供这种可控能量的各种资源。各种不同形式能量间可以转变。人类活动所“消耗”的机械能大部分是转变成了热能（物体分子无规则运动的动能）。例如摩擦生热。而热能只能有一部分转变为机械（或电）能，余下的热能要传给温度低于热源的物体。温度差异大热机的效率高，一般约为 60—25%。转变中能量的总量是不变的。因而不同能源可以相加，总量结算中对一次能源电力有时是按所节省下的煤计算的。

这里先考察一下全球各种主要能源及其份额。

地球上的能量绝大部分来自太阳的光辐射，而太阳的能量则来自聚变核能，约为四亿亿千瓦 $3.8 \times 10^{24} \text{ kW}$ 。地球处的日照功率为 1.35 kW/m^2 。地球影子面积为球面面积的 $1/4$ ，合 $1.27 \times 10^{14} \text{ m}^2$ 。射到大气层表面的功率为 $1.72 \times 10^{14} \text{ kW}$ 。其中大气（如云）反射掉 27%，大气吸收 18%（包括有害的短波长紫外线），散射离开地球的占 7%，直接射到地面的 41%，散射到地面的 7%，合计 48%。功率为 $8.25 \times 10^{13} \text{ kW}$ ，（也有部分要反射出去），见图 1。地球表面不同纬度处每平方米水平面积上的周年（四季昼夜）平均功率如图中虚线所示；沿选定的纬度由球心画到虚线的连线的长度正比于此功率。由于地轴倾斜所以两极平均功率也相当可观。整个地球地面平均每平方米地面为 162W。

图 2 按每年的能量画出各项能量的大小：左方大方框为地球大气层外的日照能量；此外地球自转动能传给潮汐而使自身减速的能量和陆地散出的地热能，放大了 200 倍绘于框边。日照能量扣除大气反射散出后绘做虚线框，再扣除大气吸收后到达地面的绘于第 3 方框。其中相当部分用于蒸发陆上与海中的水，形成风雨雷电等气象现象。这部分能量绘作第 4 方框。其中很少一部分成为水力资源。下角第 5 小方框是每年植物用光合作用吸收太阳能制出初级生物质的能量，它只占到达地面能量的千分之一。

图右方把左方第 5 方框表示的生物圈能量放大 2000 倍，因为初级生物质要养活所有生物，人类所需食物能量只占左下角的很小的方框。人类用的生物燃料（薪柴、秸草、牛粪）能量绘于大框内右下角的直框。大框外的 3

个直框表示把在地下埋藏了几亿年的煤，石油，天然气取出烧掉而得到的能量，这是吃老本。还有多少老本后面再讲。最外直框是一次能源电力（水力，风力，地热，核能等）。而用化石燃料发出的电能则画为横框，为此耗用的化石燃料的能量用横虚线表示。它在化石能源消耗中占相当可观的份额。

生物圈能量

植物叶子中有叶绿素，它可以用日光的能量把空气中的二氧化碳和根部输来的水分及少量其它养分合成碳水化合物或其它形式的生物质并放出氧气，这叫光合作用。在没有日光时，植物也有少量呼吸，呼二氧化碳吸氧。光合作用的效率并不高，如果日光被百分之百地利用，那叶子就看不见了。生物质产量的多少取决于阳光，温度，水，土壤的性质、所含养分及与其他生物间的生态关系。哪一项的欠缺都能成为限制产量的瓶颈。图 3 画的是不同地带的初级生物质的净产量（干重）。水平方向是产地面积，各个矩形框的总面积就是图 2 右方的大方框。也是动植物赖以生存繁衍所需能量的根本来源，我们称之为初级生物质。以后草食动物吃植物，肉食动物吃草食动物，一层吃一层形成复杂的食物链。动物消化食物吸氧呼出二氧化碳以得到生长及活动所需的物质与能量。还出现了寄生生物及自己无叶绿素依靠土壤中已有生物质生长的植物。死亡的生物，植物落叶，动物的粪便等又可通过细菌分解成为二氧化碳或甲烷。

古代死去的生物，间或也有被埋在地下，经数亿年的生物与地质作用而成煤，成油，成天然气。当然，这样储存的能量只占当时到达地面的太阳能的很小的一部分。这些生物活动总体上长期地维持了生物圈中氧碳氮等元素的循环与平衡。人类从生物圈中取得食物、衣服、木材、纸张和燃料。这主要通过种植，在图中栽植地（5）的小框中还画出人类必需食物所占份额，考虑了肉食还要占用较多的份额。但湖海草原森林也提供部分食物。在框 5 中还用短横线画出了亩产千斤粮（按粮秸各半计）的情况。沙漠（1）不缺阳光而缺水（瓶颈）产量极低。而采用节水农业，据报道有达每平方米（6kg/年）者，图中 1 区短线是按十分之一画的。务请注意，节水农业并不是全自动与计算机管理不可。较简单的设备辅以精心管理也能做到不同程度的节水。我国历来和现在也有几种节水技术，可惜开发推广都不够。

农业发展在于因地制宜，选用合适的作物与品种，科学地打破瓶颈限制。如只管增加水源而不能灌排配套，不善合理用水，反可能导致土壤盐碱化。按理说生物质增产尚有潜力，也非增不可。但要花大气力，下较大本钱，要善用科学。此外也要注意不要在一个行政区中只推行一个品种，这种把鸡蛋都放在一个篮子中的办法，万一遇到不利的自然条件或某种病虫害就会全军覆没。

还有多少老本可吃？

当前主要是用矿物燃料，特别是化石燃料。把大量宝贵的化工原料烧掉是可惜的，也是难以持久的。图 4 画出了储量，当前年消耗量，与两者间的

比值。除煤可维持二三百外，其他，包括核能的铀，也都只剩下五六十年的用量。这就迫使人们不得不开发新的能源与提高利用效率。例如快中子增殖堆还可以利用铀-238，可望使每吨天然铀释出的能量增大六七十倍。用现有储量产生现用全部电能也可达千年。其实天然铀到处都有，就是富矿有限。如其使用价值剧增，可采储量也将剧增。如受控核聚变发电成功，则燃料也不成问题。

随勘探技术的进步探明储量还会增加，而开采技术的进步与经济上的变化也会增加可采储量。但需求增加更快！现在化石能源与低效核能，只给人类提供一个开发更丰富高效的能源和多种再生能源的喘息时间！

我们讲喘息时间，是因为在此后能源格局势必面临较大的变化。而可以大量推广的技术只能是由经受了考验的技术构成的。一种新能源方案，可能原理上是无懈可击的，试运行也很成功，总还要（至少部分技术环节还要）接受实际运行考验，并要反馈运行经验去改进技术。按这个时间标尺，余下的时间就很短了。所幸有些工作已经开始，但还须加强加速。

再生能源简述

可再生能源中，水力用得最多。过去水力用于提水、碾米、磨面，今用于发电。世界装机容量 654GW（1992 年）。我国小水电 4.8GW，水电站 45GW。我国可开发水力资源为 379GW。

风力可用于帆船，排灌，磨坊等。世界风力发电总容量 5GW。我国风力提水灌地 13km²。牧区微型风力发电机共 17.3MW，并网风机 14.6MW。据估计我国风力资源约 253GW。

地热：温泉早已利用，我国也有用于种植与养殖者。低温利用约 9PJ/年。地热电站容量 28.6MW。世界地热利用为 1×10^{17} J/年，地热电站容量 4.5GW。

太阳能低温利用如温室大棚和太阳能热水器。太阳灶可用作辅助炊事能源，天好就用，以节省薪柴。太阳能发电可用聚光热机再用机械能发电或用太阳能电池。已知世界发电容量大于 254MW。

潮汐发电利用潮水涨落，世界已有电站容量 16GW。

农民生活燃料中一部分为生物质燃料，此种燃料原为可再生能源，如能产出与消耗平衡则不会增加二氧化碳。但如消耗过量而毁林与耗竭可返还土壤的有机物，就会破坏产耗平衡。用生物质在沼气池中产生沼气供炊事照明用，残渣还是良好的有机肥。我国小型沼气池共约供气 3.8×10^6 m³。用生物质制造乙醇甲醇可用作汽车燃料，巴西 1988 年已达 1.6×10^{10} 升/年。

能源与环境

能源的全球效应：气候与臭氧层

射向地球的太阳功率（除动用了一些过去的储存与暂存了一些外），大部还是最终转化为热能，以热辐射的形式散发到宇宙空间。热体辐射功率正比于绝对温度的 4 次方，而且发出辐射的能力与吸收辐射的能力也成正比。如果两者相等，因球面表面积是阴影面积的 4 倍，地表散发的功率平均为 $1350/4 = 337.5$ W/m²。相应的平均地面温度为 278K 合 5 摄氏度，这只是约值，

因为各地反射能力的差别与大气层的复杂影响尚未仔细分析。太阳光主要是波长在 $0.5\mu\text{m}$ 附近的可见光，而 278K 热体主要发射的是 $10.4\mu\text{m}$ 附近的红外线。吸收与发射能力未必相同。特别是当大气层中含有容易吸收红外线的气体时，地面辐射会部分被大气吸收又部分辐射回来，即使返回的热功率只占 1%，也可使地面平均温度上升 0.7K 。这很像玻璃温室，可见光容易进来而红外线却不易透出玻璃，成为温室增温的一个原因（农业气象学家认为温室还有挡风与减少气流散热的作用），故称为温室效应。而增加这种效应的气体如 CO_2 、 CH_4 及氟烃化合物等则称为温室气体。工业革命以来人们把数亿年前积存的煤与油大量烧掉，加之毁林与沙漠化减少了光合作用，增加了大气中的 CO_2 、 CH_4 与 NO_x 。如不加控制地增长就会使地球变暖，其影响不容忽视。单以两极冰帽而论，如果融化 1.2% 即可使海平面上升 1m。图 5

所示的是几种能源全过程释出的 CO_2 中的碳量的范围，图 7 是与另一估计的比较，它们是基本一致的。化石燃料远高于其它能源是显而易见的，核能则是最底的。范围宽的表示随具体情况而异（如水库）或尚有颇大的改进余地。宇宙射线和太阳发出的带电粒子在大气高空产生臭氧 O_3 ，形成一个臭氧层，它是能吸收易于引起皮肤癌的短波紫外线的保护人类的功臣。温室气体如升到高空，就能破坏臭氧层，其中氟烃化合物（用于电冰箱，塑料发泡，电子器件清洗，有的用于灭火等）破坏能力最大（图 5 附表）。别的温室气体也很讨厌。

当前地球升温与臭氧层保护已成为国际首脑间的重要话题。

各种能源的其它环境影响

就以燃煤而论，开采时要挖出相当多的废碎石，还有矸石，我国约占采煤量的 10%，已占地 1300km^2 。矸石中的硫化物缓慢氧化发热，如散热不良或未隔绝空气就会自燃，目前有 9% 的矸石堆正在自燃，释出二氧化碳、二氧化硫及其它有害物质。为防止矿井中“瓦斯”积累爆炸，就要排风，排出大量甲烷（瓦斯）及氢。近代已有先从煤层中抽出甲烷加以利用的技术，我国的利用率约 7%，现在排瓦斯 4m^3 每吨煤（总量占天然气产量的 $1/3$ ）。坑采多须抽水，约 1.5 吨水每吨煤。矿井水多受到矸石煤及其中杂质的污染。挖出的煤与石也能污染地面水。此外采空区还会塌陷（平原区为 2m^2 每吨煤）。我国约人均（直接间接）年耗煤 1 吨，所以五口之家所需煤如采自平原就每年塌陷 1 平方米。至今在产煤区土建施工时还会遇到不知何朝何代挖开的小坑道，需要填埋补救。

以上除甲烷与自燃外，其它采掘业也有类似问题，但为产生同等的能量铀的采掘量就小得多，不过其尾矿释氢需作专门处理。

煤矿可能伴生硫砷铬镉铅汞磷氟氯硒铍锰镍及镭铀钍等元素与苯并芘之类的有机物。燃烧中进入气灰或渣，有的部分分解。排气中主要是二氧化碳也有些一氧化碳，燃料中的硫大部分化作二氧化硫，对酸雨作出贡献。还有氮、氧化物，除氧化了燃料中的氮化物外还氧化了空气中的氮，炉温愈高，氮氧化物愈多。每吨煤 13kg 的烟尘，还有氢也随气体排出。有些场合如炼焦还会排出苯并芘。由于烧去了碳，灰渣中杂质的浓度将增高很多倍，经过煅

烧与粉碎，有害物质可能变为更容易进入水或空气的形态。按“老规矩”任意堆放或弃入水体，也增加了环境的负担，以至火电站释出的放射性物质都比核电站多。

缓解的办法，二氧化碳只能靠提高利用效率与节能；其它有害物质在燃烧前可采用洁净煤技术，先去掉无用有害杂质杂物，不把它们输来运去又烧又炼。燃烧中例如用沸腾床加石灰以固定硫，选用适当炉温以减少氮氧化物。家用亦以型煤为宜，燃烧后应设高效气体净化系统并精心保持其效能。我国电站过去气体净化能力较差。灰渣应予合理利用或处置，关键在于按成份与含量区分对待，有的可用作民用建材，有的只限于特定场合，有的必须专门处置。

采油，尤其是注水采油，也会影响地面升降。所注水可能在地下受到污染，有时甚至有少量放射性物质聚集在采油管道的某些部位。采炼中为了安全，“放天灯”烧掉废气，有的还有浓烟，有一定环境影响。储运中的燃爆与泄漏可引起严重环境污染，几次海上漏油事故不仅污染海滩还危及海洋生物。油罐车损坏，油流入下水道引起多处火警的事也发生过。燃烧中产生的二氧化碳比煤略少，氮氧化物与煤相似。二氧化硫为主要排放物，特别是高硫油。

我国车用油约占石油的一半多（世界为 40%），汽油约四分之一。在内燃机中，压缩汽油空气混合气阶段如果气体提前燃爆，就将妨碍飞轮顺转，引起震爆（噎），通常在油中掺入少量剧毒的乙基铅来提高抗噎性能，称为加铅汽油。汽车排气除前述燃气产物外还有铅污染。近代炼油技术已能产出足够的无铅汽油。同时还要严格限制排气中的有害气体。目前我国尚未推行无铅汽油。

天然气除燃烧产物外，还有使用与传输中甲烷的损失与泄漏。其中还有一些氦随之进入室内。

生物质燃料原属再生能源，金属元素很少，但在较差的炉灶中燃烧，易生一氧化碳、烟及有机化合物。如果烟囱排烟能力差或处于严寒地带室内换气不良，室内有害物质可达很高浓度。从图 7 可见，发展中国家农舍中远高于世界卫生组织导规，而发达国家居室中浓度就低得多。使用沼气不仅方便，而且可制造农家肥，比较有利。

各种能源中电力是控制方便易于传输的。用燃料或核能经热机发电，热效率是有限的，总有相当发电量的一倍到两倍多的热能要就地耗散，可用冷却塔或传给水体。冬季可能利用余热，夏季就会成为热污染。水体的温升应严格限制以防发生有害生态影响。输电效率高，但也要防止使人受到过强的电磁场，电晕放电产生离子也会有不良效应。配送电用的电力电容器含多氯联苯，包裹蒸汽管道用的石棉，退役不用时如不妥善处置也会造成严重污染。

让水力能源白白流失是很可惜的，水力发电效率高，产生的少量热能影响很小。但为较充分的利用发电容量，就得建水库，就得考查其寿命与安全。尽管筑坝应该是成熟的技术，但也发生过若干次惨重的溃坝或溢水事故。如果上游水土保持不佳，水库被淤积，不能发挥应有效益的亏我们也吃过。我们受过盲目围湖造田带来的生态灾害，而改林地耕地草地为湖，也须认真分析其生态后果，尽管淡水中可达相当高的初级生物生产力，但水力水库恐难于达到，养鱼也需投饲。如果生产力低于原有陆地，则相当于排放二氧化碳。经济得失也要算账，是否影响鱼类洄游繁殖，对某些寄生虫疫区增减，对航

运的影响，均有待分析。回答这些问题恐怕比计算发出的电量要难得多。

太阳能热水器、太阳灶等低级利用，作为节约生活燃料的辅助手段，是很有效的。集热热机发电，主要技术是成熟的，除需排出余热与占地面积较大外，未见重要环境问题。太阳能电池，制造中会有一些有害物质，使用时似无特殊困难。在人造地球卫星上业已成功使用。在地面上主要是造价与寿命的问题。还需储能设备配套。目前初级生物生产力只占到达地面太阳能的千分之一。高级农业林业仅达全年日照的百分之一上下。哪怕太阳能发电的效率仅百分之几，也将比燃烧生物质（或用乙醇）再发电效率高出 10 倍。沙漠荒滩野岛均可利用，应予以重视，加速开发。

帆船早已利用了风力。在风力条件好的地区风力提水，也是节省燃料的补充能源。风力发电也很有前途。联入供电网或配以储能装置可降低风力不稳的影响。此类设备应有小风能发电，大风吹不坏的自控能力。

地热利用中，温泉水中会溶有岩石中的有害物质，特别是高温温泉流出后，随温度与成分的变化，可能集聚在水流或系统的某些部位。氡是其中一项，有的温泉浴室确实氡浓度偏高。地热发电目前效率不高，而且特殊地点才适用，它也会带出地下有害物质，如循环注水当可缓减此弊。

其它可再生能源，尚在开发中，有的已知环境影响不大，有的因地制宜，有的尚待研究，兹不例举。

关于废物

人类的活动，对环境的影响，很多来自废物。物本来是用之为宝弃之可以成害的。人们对待有害物质，为了控制与管理，对环境介质如空气、水、土壤中的有害物质的浓度多规定了管理限值。因为天然的绝对纯的介质也是罕见的。有些微量元素是生物所必需的，但多了还是有害的。在浓度限值下应不引起对人的急性损伤，有害的远后效应也应轻微（证明绝对无害是很费力的）到人们不介意。有时就只能分出优中劣等几个浓度水平。传统的办法一是消毒解毒，用化学变化（包括燃烧）把有毒物质分解为确实无害的物质，焚烧某些塑料还会产生有毒气体。灭菌是对细菌的无害化手段。二是排入环境介质指望有害物质在环境条件下“自净”。有些物质确实能无害分解，而 DDT、塑料就不易分解而成害。另一招是用清洁的介质来稀释，但介质是有限的，地面地下淡水资源只占地球上水的千分之六（见图 8）。循环入海的淡水为每年十万分之三，不加限制地你排一些我排一些，加在一起浓度就很可观了，结果是释而不稀。海水量最大，而地面径流带着污染物不断排入海中，由海面蒸发的却是纯水，日积月累，海洋生物也将受不了。人类虽不喝海水但吃海产品吃海盐，归根结底还要受害。

有害物质进入了环境其命运就由不得你了。排出毒性较低的甘汞不能保证它不转化为升汞，而且已知在环境中，细菌可把汞转化为毒性最大的有机汞。稀释可降低浓度，但某些生物活动，可能浓集有害物质并可能使之进入食物链。

随着有害物的增加，对固体废弃物堆放填埋等传统办法就会不够有效，不能防止它们转移到其它环境介质特别是水体中去。这些废物的处置已成为困难迫切而受到严重关注的问题。有的国家想把有害废物用船运到发展中国家去，对方发觉了不允许入境，结果这条船天地不容，在地中海转了好多天，最后只好得到允许返回本国。我国也遇到过“洋垃圾”企图入境的事，多数

是发觉了勒令返回。

另一个途径是浓缩，如果还是废物，也要把它置于人类的有效控制下与生物界严密隔绝。可以把它制成不易散失的形态，装入密封的容器，保存在多重的可靠的工程设施内。最长远的办法是选用经受过地质年代考验的地质构造或盐矿，在其深处构筑牢固的工程设施，再把有害物质做得和玻璃或岩石一样坚固。可以设计得即使其中几道屏障失效有害物质仍不会逸出。所以对有害废物不是束手无策，而是如何做得更牢固耐久更经济有效。

图 9 画出了煤电与核电所需燃料与所生废物的量。由于比例尺不同，煤灰中有害物质约略等于核电低放废物的量。由于废物量本来较少，而作为先进技术核能又首当其冲地面临高毒废物的有效处置问题。而且对寿命较短的放射性物质浓缩保管更有优点。（更积极的办法是分离出长寿命放射性物质，费点事使之变为短寿命并尽量使之释出能量以缩短保管时间不留遗患。这种方法按当前技术水平还是现实的）将来核能在这方面的经验也会在不同程度上用于其它高毒物质。正像约 40 年前核工业首先用气象学于环保，后来得到普遍推广一样。

处理这类问题务求周密慎重。从道义上讲，我们无权借口将来总会有办法解决，而把困难与灾害留给后代，也不能吃尽用光，让我们的后代只能在博物馆见到煤和原油。但也不必把他们设想成能力那样强而又那样愚蠢，干出我们已通过种种方法和文档告诫他们万万不要作的蠢事。总之，高毒物质处置并不是核能独有的，也不会成为核能发展的颠覆性障碍。

我们需要更好地发展与利用能源，来提高生产效率与生活质量，但如不注意限制与缓减与之伴随的气候与环境影响，则将造成损失与降低生活质量。所以需要深谋远虑的筹划与周密考虑。古代人影响自然的能力弱，所以苏轼讲“唯江上之清风与山间之明月，……取之无禁用之不竭，是造物者之无尽藏也”，而近代人类的无远虑的活动却可使有风不清有月不明，必须认真对待。

结语

人类，特别是发展中国家，需要增加能源以保证生存和发展，但增加是有限度的，开源之外更要立足于节流。以往一些工业化国家的能源浪费是既不可取亦不可行的。

各种能源都是太阳辐射的很小的份额，凡能利用者，均宜予以一定程度的利用，再让它耗为热能，辐射出去。每一种能源的不同方案对环境的不利影响亦轻重不同，应采用环境影响小的方案，有通盘优化。

燃用化石燃料是吃老本，而它们更是宝贵的化工资源。对化石燃料的依赖不可能持续下去。温室效应需要认真对待，再生能源与先进核能应及早开发。

有效的能量储存技术是开发不稳定能源与扩大可移动能源的重要环节。

对能源的功效与环境影响要考察其全过程（如核燃料循环），包括建造与退役所需的资源与能量，在达到稳定的平衡的市场价格前，其当前费用未必能反映所需人力物力的价值，更不能反映其环境危害，特别是“外部”代

价。目前对不同能源的分析的深度也不同，对待环境问题的“习惯”也不一样，比较时应当心中有数。

人类活动对气候的影响已受到关注。目前人类利用的能源只占太阳辐射能的很小的份额，等到人类掌握了大量的方便的“无害”的能源，也还要合理节能。因为过量热污染也会影响气候（增加额外热功率 1% 地面均温约增 0.7 摄氏度）。

与能源有关的各种后果的研究有待加强。除追踪污染的来踪去迹，分析考察生态变化外；还有些方面也要开展研究，例如如何根据微小的变化排除其他因素的影响作出可靠的预测，局部的微小变化能否诱发较大的激烈变化（如暴雨台风等），弄清楚这类问题将有助于防止数以亿万元计或无可挽回的损失，也可防止在不必要的地方浪费资源。

能源发展的通盘规划与大型能源建设项目，是涉及许多方面的高度综合性的问题，而不仅是买卖两方的事，不能以为只有那些直接参与工程建设的才是内行，别人全是“外行”。关于这个问题前苏联科普作家伊林早在 40 年代就已讲得很清楚。

我们只有一个地球（至少目前如此）！要学会慎重地对待它。

数学就是力量

林群

中国科学院系统科学研究所

林群 计算数学家。1935 年 7 月 15 日生于福建连江，1956 年毕业于厦门大学并进入中科院数学所工作，1991 年起任中国科学院系统科学所副所长至今。1993 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事计算数学方面的研究，在最优剖分和最优形函数研究中取得突出成果，在工程计算的“超收敛”问题、迭代校正和外推等研究中获多项重要成果，既有系统的理论又对实际计算有指导性，被国际同行誉为开创性工作。曾获 1989 年度中国科学院自然科学奖一等奖。

数学的力量诸如：将科学技术问题化成数学来解决，主要运用推理、计算的方法，不必直接去做那些实际难以做到或不安全的实验，所以数学对科学与工程影响重大。不仅如此，数学的价值还在于它的思维方法和想象力，提供了科学发现的钥匙，纠正了由一般经验、常识所产生的偏见，而且所有人也都可用来处理日常问题。正是这种非物质的理性，持续不断地帮助人们创造出新产品、新生活和新认识。

数学是什么？数学的对象是

数和形

它们有简易的数字运算和图形性质，由这些简易的前提，可用

逻辑推理

的方法，推出全部结论。

但是，数和形的范围随时代在不断扩大，新观念、新工具、新分支也随之派生。

追踪线索，按时空范围来划分两个时代：宏观、宇观或微观。17 世纪前，人类意识处于当时已知的测量范围之内（宏观时代），便形成以“定数”（确定、有限）以及“平直”（平面、直线……）观念为主的数学（即中学代数、几何）；当超出已知的测量范围（宇空越变越大或微观越变越小），便有变数（变化、极限）以及弯曲空间这些新观念和相应的新工具（如大学解析几何、微积分）。

所以，数学是时代的产物，由确定走向变动，由有限走向无限，由平直走向弯曲。

下面就分中学代数、几何以及大学解析几何、微积分等方面做描述。

一、代数：由现实走向抽象

数学原指数目的科学，代数方法是用数作运算来发现结论。要使运算变得简易，要加进零；要使运算通行，还要加进分数、负数、无理数、虚数。顾名思义，虚数不是实物，观察不到，纯属虚构。可是，不添设这一个虚数，方程可能没有答案或者答案不全。恰好靠这一个虚构的数，方程才有完全的答案（这好像问你有几辆自行车，你回答共有 5 辆交通工具，这总比没有答案要好）。无理数靠观察或实验也找不出，是无尽小数，但数学可以思想无

穷。

虚数、无理数先有构思，后来把无理数变成直线上的点（这是 17 世纪新数学的基石），虚数变成圆上的点（并在微分方程中出现），它们又看得见了。

以上是历史事件，近代又加进“实变函数”或“广义函数”。

所以，数的范围、概念（和用到的工具）在不断扩大。

应用题的解答用到未知数表示：它并非变数，要满足某个方程，解出这个方程也就解决了相应的应用题。所以数学要解方程。

解方程还用到对称概念，数学上通过群来表达。但群有普遍性，被物理学家用来统一各种守恒定律，后者正是反映世界的对称性，基本粒子的基本问题就是问它反映了哪个对称群。基于对称性的考虑，发现了电子运动方程，并发生增根，这预示着存在一个正电子，实验终于找到它，今天被用在医学扫描上。所以抽象的结果还是回到现实。详见格里菲斯的演讲。

二、几何：由平直走向弯动

（一）平直几何的收集和数学方法论

几何如何收集和整理？欧几里得《几何原本》采用了前所未有的整理方式。他不搞形式分类但去找出因果关系：首先观察特例，找出它们之间共同的性质，把这些共同的性质编织成一套最经济的公理系统，然后按逻辑推理，由这些公理推出全部几何结论（如三角形内角和等于 180 度）。这里，公理是“因”（已经退到头、无法再被进一步追究），结论是“果”，推理是过程。这种演绎法比归纳法更可靠，使数学走上严格化道路并区别于实验科学，应成为一切严格科学的典范。大科学家如阿基米德、哥白尼、伽利略、笛卡尔，特别是牛顿，都采用了《几何原本》编写方式（阿基米德从“相等重物在支点和支点等距离处于平衡”这样的公理，而不通过实验，推出杠杆定理；牛顿称三定律为公理，万有引力、行星运动为定理……）。这是典型数学路线：从观察进入公理（或定律）再引出新结论。

其实，人人都可共享公理化或因果性的数学精神。人们就以数学的历史和现状为依据，预测它的未来；只是这里使用的推理方法（推理过程）不像数学那么严密，或者叫做归纳、外推内插。语言体系也跟整数体系一样，以最少几个基本术语来组成整个语言。所以数学蕴含着普遍的概念和方法。已被接受的结论也可视为公理，据它再引出新结论。

当我们读一本大书，首先要观察小例，即个别最简最浅的源头例子（水落石出），它有整体的复杂性，可从中发现大书中共同的性质或原则（像发现公理）：大书的各部分重复着同一原则，就是这个小例里的原则指导管着一本大书。这才是经济的思维，才能明白、记住、留下印象。反之，太多太繁不经济，记不住，留不下。所以，必须挑出这样的小例，作为这本大书的“公理模型”。这也就是华罗庚说的“由厚变薄”。

值得一读笛卡尔的《方法论》：第一规则，是绝不把任何事物当作真的加以接受，除非我认识到它是显然如此的；第二规则，是把我遇到的每一种困难的事物尽可能地划分成许多部分，每一部分都较容易解答……这种思维规则，提供了科学发现的钥匙，人人都可以用来处理日常问题（例如分工的思想）。

（二）弯（宇观）的几何

平行性公理怎么验证？或者，三角形内角和一定等于 180 度吗？两千多年屡证屡败，使三位有想象力的数学家（19 世纪）怀疑这条公理（或三角形内角和）的不可动摇性。他们在球面或双曲面上想象直线、三角形和几何学，结果发现了非平直的空间结构，这违背了所有人从小形成的空间观念（平直的）：直线可以是弯的，时空可以弯曲起来，三角形内角和既可大于也可小于 180 度。这纠正了由生活常识、一般经验所产生的偏见，也动摇了数学的确定性。那么，究竟哪一种几何正确呢？原来，平直的观念只是在当时已知测量范围之内（宏观）的几何学，如超出此范围（宇观）或到更细层次范围之内（微观），则有不同观念的几何学。究竟时空的结构什么样？平直的或是什么样的弯曲？会不会是其它种的几何？需靠物理天文发展的结果来验证。

所以，几何为世界图景提供一组不同的模型。

数学确定性的动摇导致数学的反省。

（三）动的几何

在形中引进动（如射影变换、连续形变）……各种几何被统一为研究空间在变换群之下的不变性质。对应每一个作用于空间的变换群，就有一门几何学，几何的概念又扩大了，详见陈省身文选。

三、解析几何：把数引入形

几何已找到最少最简最浅的五条公理，由它们推导出全部结论，但这个推导费事，一题一证，无通用解法（如画辅助线），而且原则上已不能对平面几何添加新东西。数学家淹没在题海之中不能自拔，只有哲学家笛卡尔、莱布尼茨等居高临下，向数学界抛出救生圈，将几何用坐标研究：把平面变成一对数，几何变成代数。坐标是一个有普遍性的数学工具，不仅使千变万化的几何证明变成机械的规范的代数证明，而且由于把数引入形之中，可借助代数工具对形（弯的）进行微观的局部性研究，便产生了分析学（即微积分）。

坐标把传统的数形间隔打通，使代数（或分析）进入几何。反之，几何又使代数、分析形象化（如各种代数（或分析）方程表现为不同的几何图形；若干代数、分析结果变成平面三角）。这三大主流（代数、几何、分析）相互作用，产生许多数学分支，被称为数学的转折点。

四、微积分：由有限走向无限

17 世纪主题是动（运动和变化，增长或衰减，宇空越变越大或微现越变越小），数学上用函数来表示它，并采用无限的数学运算，即现在的微积分工具，来研究它。数学从此由定数进入变数的时代。这种无限的数学（大学）比有限的数学（中学）简单明确、算得更快（杀鸡得用牛刀）且普遍适用。取极限，即在数中引进动，使数学简单明确。

微积分的做法可跟中学做法对比一下：设有直角三角形，底边摆在地上。那么，可利用斜边在地上起点处的斜率，计算斜边端点的高度。现在将斜边变成曲的，那又怎样呢？微观（局部）看曲边的一个个小段可利用每一段起

点处的切线斜率，计算出这一段端点处的高度增量，最后将所有高度增量叠加到一起，便得曲边端点的高度。微积分则将每一段的长度趋于零，利用起点的切线斜率来计算一无穷小段端点的高度增量（叫微分），以及下一个、再下一个连续不断的一个个无穷小段的端点高度增量或微分，将这些小增量或微分积累起来，叫积分，便是曲边端点的高度。此即微积分基本定理。

特别由曲线的切线可以找出这个曲线本身，由量的变化速度可以找出这个量本身。牛顿正是靠微积分的语言来表示在重力作用下物体的运动，包括行星运动规律，从而奠定了天文学和力学（宏观）的基础。所以，科学界公认将微积分发现的那一年（1666）作为近代物理学的开始。

在牛顿后，微积分（或分析学）至今还是数学主题，不过本世纪重在多变数。

解析几何（图形）-微积分（函数）的诞生被认为是数学的转折点，之后是其延续和推广，但也有飞跃。

五、由确定走向不确定

随机、混沌、模糊

牛顿、爱因斯坦借数学建立世界秩序的确定性模型。如知道开始，便确定未来。

除了上述确定性现象，还有偶然性（随机）现象，它只能用概率（可能性）来表示。要了解这种系统的规律（偶然性中的确定性），人们采用有限次抽样的或统计观察、实验。统计工具在物理、工业、微观经济学、生物学、社会学都有广泛应用。

但是，除了确定性和偶然性的数学以外，最近发现另一种不确定性，它介于确定性和偶然性之间：一方面在确定的系统（如二次方程）中出现混沌现象，另一方面又在一些偶然性的系统中出现特定的结构。周光召在 1995 年全国科技大会报告中描述了这种现象，这是非线性、复杂系统（一个小变化产生大效果，如小量油加水会产生复杂图案）。认为它比牛顿、爱因斯坦的模式更接近真实的世界。钱学森（《科学报》1996.2.26）对此也有他的看法。

二次方程这个简单初浅的例子含有复杂高深的现象（动的、迭代的）。中学“后方”（如开方法）跟“前沿”（如混沌迭代）仅有一步之差。

还有一种不确定性叫模糊性。

六、由人脑走向电脑

计算机时代的特点之一就是部分脑力劳动逐步机械化（如吴文俊的机器证明）。17 世纪以来数学是以无限、连续概念为主导思想和工具，但是由于计算机研制和应用需要，有限、离散的数学以及构造性、计算性和误差分析受到重视。例如，微积分基本定理又退回前页的中学做法（所以解运动方程不再通过积分，而由有限近似的公式来表达）。机械化、程序化、通用化、初浅化的傻瓜数学受到了欢迎。复杂、高深不常用（如单纯形和卡玛卡算法）。

计算机还广泛应用数学实验，以演绎法为主导的传统数学已难抵挡计算机实验法的引诱——通过实验使抽象理论获得现实感（即使正规的推理，也

会有漏洞)。

所以，数学面临计算机挑战：下一代更愿接受构造方法、实验方法以及傻瓜数学。但是无论如何，数学好比是计算机躯体的心智和灵魂。

七、由菲尔兹奖走向诺贝尔奖

诺贝尔奖本不授给数学，但是已有两次诺贝尔经济学奖发给了纯粹数学家，表彰他们的发明——线性规划、对策论（竞争学）。二战军事、大工业管理、经济都需要解决具体问题，刚好用了两个有普遍性的数学工具。他们有运气。

特别是，它们并不深难（如线性规划不过是一次函数的极值在边界取），一旦社会需求，其效应跟半导体的发现可比，所以，数学就是力量。

深难并不是好的数学唯一标准。数学需要方向，要看发展趋势和社会需求。应用数学（包括工业、经济、物理、生物学、社会学……）和计算数学，基于数学建模和计算方法，由于计算能力增强有了巨大贡献的机会（例如，使不安全的核试验停止）。

同步辐射应用和 21 世纪科技发展

冼鼎昌

中国科学院高能物理研究所

冼鼎昌 理论物理、同步辐射应用学家。1935 年 8 月 15 日生于广东广州，1956 年毕业于北京大学，曾在苏联杜布纳联合原子核研究所和丹麦尼·破尔研究所进行科学研究，曾任中科院高能物理所同步辐射实验室主任。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。在领导建成我国第一个同步辐射实验室过程中对其科学规划等作出了正确决策并解决了建设中一系列问题；在粒子物理理论等研究方面取得多项重要成果。曾获国家科技进步奖特等奖等多种奖励。

一、同步辐射的性质及其早期的应用研究

1947 年，在美国纽约州 Schenectady 市的通用电器公司实验室里的一台 70MeV（兆电子伏）的同步加速器上，首次在可见光的范围内观察到了强烈的辐射，从此这种辐射便被称为“同步辐射”。同步辐射是速度接近光速的带电粒子在磁场中作变速运动时放出的电磁辐射，一些理论物理学家早些时候曾预言过这种辐射的存在。

同步加速器的出现，开创了从 50 年代开始的粒子物理的黄金时代。在世界各国建成了一个又一个高能加速器，能量也越来越高。但是长期以来，同步辐射却是不受高能物理学家欢迎的东西，因为它损耗了加速器的能量，阻碍粒子能量的提高。然而几位有远见的物理学家则提出把电子同步加速器中的同步辐射利用到非核物理的领域中去，虽然在当时大多数的高能物理学家都没有看到这个建议的重要性。

同步辐射应用的可行性研究工作是 60 年代初期开始的，在华盛顿的国家标准局的 180MeV 电子同步加速器、东京的原子核研究所的电子同步加速器以及汉堡大学的电子同步加速器上，差不多都在同一个时期内进行了研究。其结果是极为令人鼓舞的。人们很快便了解到同步辐射具有下列杰出性能：

（1）具有从远红外到 X 光范围内的连续光谱。光谱由一个叫做特征能量的参量 E_c 所表征。总辐射功率的一半由能量大于 E_c 的光子所贡献。在实用单位下， E_c 的定义为：

$$E_c [\text{Kev}] = 2.218 \times E [\text{GeV}] / \rho [\text{m}]$$

其中 E 为电子的能量，KeV 及 GeV 分别为千电子伏及十亿电子伏， ρ 为电子的弯转半径。

（2）高强度。沿着长度为 L 的弯转磁铁放出的同步辐射功率 P_{total} 为

$$P_{\text{total}} [\text{kW}] = 14.12 \times E^4 [\text{GeV}] I [\text{A}] L [\text{m}] / \rho^2 [\text{m}]$$

其中 I 为储存环中的电子电流，A 及 kW 分别为安培及千瓦单位。

（3）高度的准直性。在每一瞬时同步辐射的发射呈一个很窄的锥状，锥轴与电子轨道相切，能量为 E_c 的辐射光锥的张角（以毫弧度 mrad 为单位）与电子的能量 E 成反比：

$$\psi [\text{mrad}] \sim 0.511/E [\text{GeV}]$$

(4) 高度的极化性。在电子轨道平面上放出的同步辐射是完全线极化的，而离开电子轨道平面方向发射的同步辐射是椭圆极化的。

(5) 由于在储存环里的电子是束团状的，同步辐射是脉冲光源，脉冲的宽度为 100 皮秒量级，脉冲间隔为微秒或亚微米量级。这种强脉冲光源十分有利于对一些特定过程（例如化学反应、生命过程、材料结构的变化过程等）的研究。

(6) 精确的可预知的特性，可以用作各种波长的标准光源。

(7) 绝对洁净。因为它是在超高真空中产生，而且没有任何（如阳极、阴极和窗带来的）污染。

(8) 性能极高的光源。设计精良的储存环使电子束在环中只有很小的截面和很小的发散角，插入件的使用还可使之更小。

从此，人们改变了对同步辐射的最初看法。虽然在最初，作为高能物理研究的副产品，同步辐射应用研究只在很小的规模上开始，但到后来，在几乎所有的高能电子加速器上，都建造了同步辐射光束线及各种应用同步光的实验装置。特别是在 1965 年，随着世界上第一个电子储存环在意大利弗拉斯卡蒂（Frascati）建成，人们立即看到它可以作为一种强大的同步辐射光源的前景。从 70 年代开始，同步辐射应用便步入了它的现代阶段。至今，同步辐射装置的建造及在其上的研究、应用，经历了三代人的发展。

二、第一代同步辐射装置及其上的研究、应用

第一代同步辐射光源是在那些为高能物理研究建造的储存环和加速器上“寄生地”运行的，如美国斯坦福的 SPEAR 储存环、康奈尔大学的电子同步加速器、德国汉堡的 DORIS 储存环、意大利弗拉斯卡蒂的 ADONE 储存环等等。中科院高能所的北京同步辐射光源，在兼用模式下属于第一代同步光源。

虽然第一代同步光源不是为同步辐射应用而专门特殊设计的，但是它的高强度与从远红外到硬 X 射线的宽阔的光谱已经使它具有了无与伦比的能力：很短的数据采集时间、可连续选择的波长变化和高的能量分辨率等等，从而开创了许多新的研究领域。例如：在固体和液体中确定某些特定元素的近邻环境的研究，微电子学中的深亚微米软 X 光光刻技术，甚至对那些已经成熟的方法，如 X 光晶体学分析、利用光与物质相互作用后的二次发射进行谱学分析的方法等，都因同步光源的出现带来了新的机遇和新的活力。

很快地，不仅物理学家，而且化学家、生物学家、冶金学家、材料科学家、医学家和几乎所有的学科的基础研究及应用研究的专家，都从这个新出现的光源看到巨大的机会，它使许多研究者长久以来所追求的梦想变成现实。而且，在这些第一代光源上还展示了一些非常重要的工业及社会应用的可行性，如使用同步辐射 X 光的亚微米光刻、非插入性的心血管造影等，到了 70 年代的中期，第一代同步辐射装置的数目迅速增加。然而，在对储存环性能的要求上，同步辐射的用户与高能物理学家的观点是矛盾的，它使同步辐射的用户们完全有正当的理由不满足于第一代同步光源，要求建造不是作为高能物理的“寄生”应用，而是专门为同步辐射应用设计的第二代同步光源。在美国，这种强烈的要求反映在 1976 年美国国家科学院的一个正式的报告里。在欧洲和日本，建造新一代同步光源的潮流也是差不多在这个时期

开始的。

三、第二代同步辐射装置及在其上的研究、应用

第二代同步光源是专门为同步辐射的应用而设计的。为改进所产生的同步辐射的质量，需要将储存环的结构作最优化的设计。在储存环中运动的电子，并不是都沿同一的轨道运动的，事实上，它们的运动轨道大都偏离理想的轨道，这就使得电子束团有一定的横截面和发散角。在加速器物理学中，在每一方向上这二者的乘积称为在这个方向的“发射度”，它的单位是[纳米·弧度]（[nm·rad]）。在相同的电子能量和电子电流的条件下，储存环的发射度越小，放射出的同步辐射的亮度也就越高。在同步辐射的应用中，许多尖端的实验要求高的亮度，这就要求作为光源的储存环的发射度小。一般说来，高能对撞物理用的储存环的发射度都较大，通常都达几百 nm·rad（见表1）。也就是说，高能物理与同步辐射应用对储存环的要求是矛盾的。虽然自1975年，法国Orsay的正、负电子对撞机ACO在它的高能物理研究计划结束之后被转用为一台专用的同步光源，从而开始了将退役高能物理加速器转变为专用同步辐射光源的第一个记录，但是同步辐射的用户很清楚，这种第一代光源是不能满足他们越来越高的要求的，必须从设计开始就考虑到他们的要求。

为了减小发射度以提高同步辐射光源的亮度，美国Brookhaven实验室的两位加速器物理学家却斯曼（R.Chasman）与格林（K.Green）发明了一种把加速器上的各种使电子发生弯转、聚焦、散焦等作用的磁铁按特殊的序列组装的方法。这种组装序列后来被称为却斯曼-格林阵列（Chasman-Green lattice），此设备以及后来受此设备启发而提出的各种改进方案，不但是第二代同步光源的基础，也是更新的第三代同步光源的基础。以却斯曼-格林阵列的采用作为第二代同步光源的标志是合适的。合肥的同步辐射光源属于第二代光源。

大部分第二代同步辐射源如英国Daresbury的SRS，美国Brookhaven的NSLS以及日本筑波的光子工厂（PF），都是在80年代前后建成的。它们的发射度大约为100nm·mrad（见表一）。随着第二代同步辐射源的投入使用，出现了在一个实验设施上聚集着来自极为众多的学科的科技人员川流不息地工作的空前景象。

表1 三代同步辐射源的主要参数

代别	装置名称	E(GeV)	E _c (KeV)	发射度(nm · rad)	典型亮度 (ph/s/mm ² /mrad ² /0.1%BW)
	SPEAR(美)	3	4.7	450	10 ¹²
	ADONE(意)	1.5	1.5	200	
	DORIS(德)	3.7-5.5	9.2-23	270/560	
	BEPC(中)	1.6-2.8	0.88-4.7	660-76	
	NSLS(美)	2.5	5.0	100	10 ¹⁴
	PF(日)	2.5	4.1	130	
	SRS(英)	2.0	3.2	110	
	HEYSL(中)	0.8		170	
	ESRF(西欧)	6	14	7	10 ¹⁶ -10 ¹⁹
	ELEKTRA(意)	2	3.2	7.1	
	SPRING-8(日)	8	28.3	5.6	

在科学上，同步辐射的应用主要是通过对物质中原子的位置（物质的原子结构）和原子中的电子所处的状态（物质的电子结构）的研究以弄清物质的力学的、热学的、电学的、磁学的、光学的、生物学的，及其他等等方面的性质。反过来，弄清楚这些性质与结构的关系，便有可能通过对上述两类结构的控制与改变来设计有着预期性能的新材料，从而为技术科学与工业应用开拓广阔的新前景。

在方法上，第二代同步辐射装置上的科学实验大致可以分成两类：

（1）弹性散射。例如，物理学中历史悠久的 X 光衍射法便属于此类。由这类实验可以确定物质中原子及分子的空间位置。在上述的例子中，虽然从衍射图样中各个光斑的空间分布及强度来推定各原子、分子在物质中的位置是自 1912 年劳埃的开创性工作以来物理学的传统手段，但是同步辐射的高亮度与波长的可调性，使得不但使用散射时的振幅，而且利用其位相成为可能，这就为这种方法打开了新的局面，提供了前所未有的可能性。

（2）谱学研究。例如，吸收谱、发射谱、荧光谱、光电子谱等。由这类实验可以确定物质的电子结构，包括化学键。这方面的研究也给出一些物质的原子结构的信息，例如广延 X 光吸收谱的精细结构（EXAFS）的研究。

除了基础研究和应用研究方面的活动，在第二代同步辐射装置上的工业应用也增多到令人瞩目的程度。据一份最近的报告，在真空紫外（VUV）能区的装置上与工业应用有关的份额，日本达 33%；美国的 BNL 更高，达 55%；欧洲比较落后，为 10%。新发展起来的同步辐射软 X 光微机械加工的 LIGA 技术、同步辐射 X 光精密加工技术等均具有很重要的价值，前者已经走出实验室，成为一门新的产业。同步辐射装置已经成为化学工业、石油工业、制药工业、新材料合成等工业应用的强有力的手段。

四、第三代同步辐射装置及其上的研究、应用

第二代同步辐射装置对科技研究与工业应用的巨大推动，促使世界各国政府支持建造新一代具有更高亮度的同步辐射光源，这就是目前在许多国

家中正在建造的第三代同步辐射光源。

推动建造第三代同步光源的动力是科技上要求有更好的空间分辨、更好的时间分辨、更好的动量分辨、更好的能量分辨的手段。保证这些“更好”必须以更高的光源亮度为前提。

如果说第二代同步光源以专为同步辐射应用考虑的却斯曼-格林磁铁阵列为标志的话，第三代同步光源则以大量的插入件的应用为标志。

插入件的概念是苏联物理学家 V.Ginzburg 早在 1947 年就提出来的。而这种器件的应用则是美国人 H.Motz 第一次实现的。插入件用于同步辐射的产生是在 70 年代末 80 年代初。

插入件是一系列周期地排列的磁铁，其周期数为 N ，周期长度为 λ_0 ，它插入在储存环两个弯转磁铁组件之间的直线段，所以得到插入件的名称。当电子经过插入件时，在磁场的作用下，电子将沿一条近似为正弦曲线的轨道运动，在插入件中摆动的次数刚好是 $2N$ ，摆动的曲率半径反比于磁场峰值 B_0 。插入件的性能由偏转参数 K 描述， K 的定义为：

$$K = eB_0 \lambda_0 / 2m c^2$$

在实用单位（磁场强度以忒斯拉 T 表达）下有

$$K = 0.934 \lambda_0 [\text{cm}] B_0 [\text{T}]$$

当 $K > 10$ 时的插入件叫做扭摆器，当 $K < 1$ 时叫做波荡器。一般的扭摆器是强磁场与较长周期的插入件，由于较高的磁场会使扭摆发生较大的形变，运动轨道的曲率半径 变小，由于同步辐射光谱的特征能量 E_c 反比于 λ_0 ，这样，通过在储存环上安装高磁场的扭摆器，可以使同步光谱向高能方向移动，而且同步光的强度也将增强 $2N$ 倍。

在 1980 年试验成功的、利用当时新出现的稀土合金永磁体磁铁制成的波荡器，是插入件发展史中的一件大事。永磁体磁铁的采用可以将插入件磁铁周期缩短到几个厘米，从而大大地增加在给定的直线段中磁铁的周期数。这种插入件的磁场决定于永磁体磁铁间的磁隙。在低磁场、大周期数的情况下，电子在穿过这种插入件时，其轨道只作轻微起伏，因而得到了“波荡器”这样的名称。由于电子在波荡器中运动轨道的曲率半径很大，一般地，波荡器是不能使同步光谱向高能方向移动的，但由于电子的偏转角小，从波荡器中不同的磁极上发射出来的光子在很大的程度上相干地叠加，干涉效应使得同步光谱中出现一系列尖峰。也就是说，波荡器给出一系列近乎单色的同步光，而且在这些波长上的同步光的亮度要增强 N^2 倍以上。在波荡器中产生的同步光的发射角是很小的，近似地说，只有弯转磁铁上产生的同步光的发射角的 $1/\sqrt{N}$ 。目前使用精心设计的波荡器可以把同步光的亮度增加 5 个数量级以上。

第三代同步光源的特征是为大量使用插入件而设计的低发射度储存环。这些环的发射度一般都小于 $10\text{nm} \cdot \text{rad}$ （见表 1）。它们所发出的同步光的亮度比最亮的第二代光源至少高 100 倍，比通常实验室用的最好的 X 光源要亮一亿倍以上！

从 1994 年开始，世界上已经有五个第三代同步光源投入运行。有为数更多的第三代光源在建造中（见表 2）。

在第三代同步辐射装置上的科学实验的类型，比在第二代装置上的增加了一种，就是非弹性散射。以非弹性 X 光散射为例，目前已经能够做到

能量分辨达几个 meV

传递动量分辨 $q/q \sim 0.03$ 更为重要的是，研究手段从过去的静态的、较大范围里平均的手段扩展为空间分辨的与时间分辨的手段。

表 2 世界上的第三代同步辐射光源

装 置	电子能量 E(GeV)	发射度 (nm · rad)	可用直线 段数目	典型亮度 (ph/s/mm ² / mrad ² /0.1%BW)	目前状况
ESRF(欧)	6	7	29	2×10^{18}	运行
APS(美)	7	8	34		建造
SPring - 8(日)	8	5.6	38	3×10^{18}	建造
ALS(美)	1.5	3.4	11		运行
ELETTRA(意)	2.1	4.0/7.1	11		运行
BESSY (德)	1.7	6.1	16		建造
MAX (瑞典)	1.5	8.8	8	2×10^{18}	建造
SuperACO(法)	0.8	37	8		运行
SRRC(台湾)	1.5	19.2	6		运行
LNLS(巴西)	1.15	33.9	6		建造
PLS(韩)	2	12.1	10	5×10^{17}	运行
SLS(西)	1.3	15	12		批准
NANOHAHA(日)	1.5/2.5				批准
SLS(瑞士)	1.5	1.6	6	2×10^{20}	设计
SIBERIA(俄)	2.5	76.5	4		建造
INDUS (印)	1.4				批准
DIAMOND(英)	3	10-15	12	3×10^{17}	设计

1. 空间分辨型实验带来的新机遇

对于大多数的第一及第二代光源上的实验，由于亮度的限制，同步辐射光斑不能太小，照射到样品的面积也就较大，因此所得到的信息实际上是在这个面积范围里的平均信息。但是，科学技术的发展要求的不是这种平均的信息而是范围越来越小的局域的信息。

例如，微电子学的发展使得线宽为 $0.1 \mu\text{m}$ (100nm) 的芯片问世在望，这方面的技术进展要求对芯片的结构分析与成份分析局域化，这可以通过用空间分辨小于此线宽尺度的扫描 X 光显微分析或扫描谱学分析来达到。在亚细胞水平的生物学和医学研究、高强度合金、陶瓷材料、聚合物等许多方面的研究中，都需要有纳米水平的结构、成份、化学键等等方面的信息，这些都要求空间分辨型的实验。

随着科学的发展，许多学科都需要对在某些极端条件下(如极高的温度、极大的压力、极高的电场和磁场等等)的物性进行研究，而在实验室中，这种极端条件只能在一个极小的区域中才能实现，这就要求待研究的样品被限制在一个很小的尺度内。地质学家感兴趣的地球内层，是由在压力为 360GPa 与温度为 6000K 的固态铁-镍合金构成的，而天体物理学家感兴趣的一些星体上的物态，例如木星和土星的内层，则要研究处在更极端的条件下的氢-氦混

合物。目前由于高压物理实验手段的发展，这个水平的条件在实验室中是有可能达到的，但是只限于很小的体积内，一般小于 $100\ \mu\text{m}^3$ 。如果研究在 100GPa 下的固态氢，由于它极好的压缩性，样品的体积更小，只有几个 μm^3 。最好的第二代同步光源所能研究的最微小的样品约为 $300\ \mu\text{m}^3$ ，这就是为什么只有应用第三代同步光源才能研究一些极端条件下的物性的道理。

高亮度的微米束 X 光，在很多领域中有非常广泛的应用，例如微区荧光分析、非破坏性应力的三维分布研究、非破坏性元素的三维分布研究等等。

第三代同步光源对许多蛋白质晶体的研究大有裨助，因为在许多情况下，制备大尺寸的蛋白晶体是非常困难的。使用第三代同步光源，蛋白晶体样品的尺寸可以减小到 $\sim 20\ \mu\text{m}$ ，而在使用第二代同步辐射光源的情况下，这是不可能做到的。

2. 时间分辨型实验带来的新机遇

同步光源是一种脉冲光源，脉冲宽度约为 100ps ，脉冲间隔约为 $0.01\text{--}1\ \mu\text{s}$ （取决于储存环的周径与运行的电子束团数目）。这种光源对很大一片科技领域内的动态研究是十分有用的（图 1），然而，由于亮度的原因，这种脉冲性质在第一及第二代光源上基本上没能得到充分应用，而在第三代光源上，这方面的工作将会占越来越重要的地位。

以生命科学研究为例，了解生物大分子的结构只是进入分子生物学的第一步，第三代同步光源的出现使得通过结构的实时改变来了解许多生命过程成为可能，从结构研究进入到功能研究的领域。作为例子，蛋白质动力学的不少领域的时间尺度是落在这个时间分辨领域中的，如：分子间振动（fs-us）、有序-无序转变（ns-ms）、酶作用（ms）、蛋白质-蛋白质相互作用（ps-ms）、质子/电子迁移反应（ps-ms）、金属-配合基（ligand）结合（ps-ms）等等。正是由于这个新机遇，无怪乎在新落成的欧洲同步辐射中心（ESRF），有 45% 的实验申请来自生命科学家。

在第一与第二代光源上，由于信噪比差，同步辐射时间分辨谱学研究几乎可以说是没有得到开展，对于第三代光源来说，情况有根本的改变，原则上这类实验的时间分辨可以降到纳秒以下，这是一个牵涉到许多学科领域的大事。

五、同步辐射应用的发展趋势及其在我国下一世纪高科技发展中的重要作用

1. 作为多学科共同应用中心的同步辐射装置

在当代的科技发展中，学科交叉与科学-技术在新的层次上的结合占有越来越重要的地位，导致了许多重大的突破和新的科研领域的诞生。前者可以生物-医学科学的一些重要发展（如 DNA 的双螺旋结构）为例，而扫描隧道显微镜则是后者的一个很好的例子。可以预期，学科间高度的交叉与融合将是下一个世纪科技发展的特征。如果对此没有充分的认识，那将会严重影响我国下一世纪的科技发展。以下我将以同步辐射在生物-医学科学中的应用作为例子来说明这点。

在世界上过去二十多年中发展起来的同步辐射中心提供了一个多学科交

叉与科学-技术结合的自然场合。例如，在这里，生物-医学科学家已经成功地开辟了许多新的领域：生物分子及蛋白晶体的结构分析、活的生物体在器官、细胞、细胞核以及分子水平上的结构分析、药物筛选、非插入的双色数字减除法心血管造影，在活的细胞中化学元素的三维拓扑构像等。这些都是生物-医学家和物理学家、化学家、计算机科学家与工程师紧密合作的成果。目前世界各国正在大力发展的第三代同步辐射光源的出现，使得这些领域从基本上是静态的、结构的研究开拓到动态的、功能性的研究成为可能。而这些方面将会是下一个世纪的生物-医学科学的研究重心。这样就出现了一个在以前难以想象的现象，就是在一些结构生物学研究中心里，非生物背景的研究人员的数目不下于有着生物背景的。在一些新建成的同步辐射中心里，来自生物界的研究申请占首位，但是在最初，生物-医学科学家却是不习惯于离开他们自己的实验室到像同步辐射中心那样的多学科交叉的环境中工作的。这种中心的先进的工作条件及其独特的工作环境的重要性，将在下一世纪的科技发展中会越来越明显地为人们所认识。

2. 同步辐射在工业生产领域中带来的一巨大的新机遇

同步辐射在工业生产领域中带来了一个巨大的新机遇：微机械的大规模的加工技术——LIGA 技术。

高科技的发展，已经把微机械加工提到日程上。例如，光纤光缆通讯技术的发展，要求能够由工业大批量生产具有微结构的光纤芯耦合器，以取代目前手工或半手工的操作。这种工业就属于微机械加工业。

现代的微机械加工是指宽度为几个到几十个微米、高度为几十到几百微米的机件的加工，它的第一个主要特征是高宽比 (aspect ratio) 大，为几十以上；它的第二个主要特征是有着生产集光、机、电性能于一体的微系统的潜力。微机械产品正在被应用到越来越广泛的领域中，例如，微马达和微照明灯具已被应用于非剖开性的人体内部外科手术，微米结构的同位素分离喷嘴已被用于核燃料铀的富集生产中。目前，微机械加工是一门正在成长的、具有巨大前景的新工业，将会成为下一世纪的一门主要的工业，应当引起我国的高度注意。

当前正在发展的微机械加工技术有多种，但就大规模生产与高度的适应性而言，80 年代中在德国发展起来的 LIGA 技术，在国际上被认为是微机械加工的一个最有前景的新方向。

LIGA 是德文 Lithographie (光刻)、Galvanoformung (电铸成型) 和 Abformung (塑铸成型) 三个字的字头，它由深层同步辐射光刻、电铸成型及塑铸成型这三个工艺过程组成。所以准确的名称为微机械加工的同步辐射深层光刻、电铸成型与塑铸成型技术，简称为 LIGA 技术。在原理上 LIGA 技术与全息记录的大规模复制 (例如，激光唱片生产) 有点相仿，第一步是用光刻的方法在光刻胶上刻出微机械或微器件的三维结构，第二步是通过电铸从光刻胶三维结构上产生金属母模，第三步是用母模通过电铸或塑铸方法复制许多金属的或其它材料的生产用模，最后一步是用生产用模作大规模复制。

LIGA 技术中的光刻工艺与微电子工业所用的光刻工艺是很不相同的。微米级微电子器件的刻蚀深度不大于几千埃，刻出的结构的高宽比小于 1，所以也称为平面的光刻，所使用的光源的波长在可见光到紫外光的范围便已足够。与之对比，LIGA 技术中的光刻的深度要到千倍以上，故此也称为立体的光刻。要增加刻蚀深度，必须使用波长比紫外光短得多的 X 光。如果要做几

十到几百微米深度的光刻，所使用的光应是波长在 2-10 埃之间的 X 光。

对于深层光刻所使用的 X 光源的性质，除了波长之外，还有两个重要的因素，就是光的功率密度和准直性。它应当有足够大的光功率密度和足够好的准直性，前者是为了曝光的需要，后者是为了保证制作出来的微机械结构的垂直面具有优异的平行度。目前的软 X 光光源，有用轻元素为靶的常规 X 光源，聚焦激光打靶形成的等离子体产生的软 X 光以及同步辐射光源。第一种光源功率小，第二种光源目前达到的波长在 100 埃以上。两种光源都属于点光源，光的准直性都不好，而且两种光源的功率密度都不足以在合适的时间内使厚的光刻胶层曝光。最适合于深层光刻的光源是同步辐射光源。

目前国际上普遍认为，LIGA 技术是大规模微机械加工的一个极重要的方向，有着巨大的发展前景。最新的报道为用 LIGA 技术生产出可植入人体的微型电机，其直径只约为 1mm，厚度为 1.9mm，重量为 0.1g，转速为 10 万转，直径细如发丝的齿轮的精度达微米的量级。这是一个说明科学与新技术结合给工业带来的巨大的新机遇的例子，通过它可以看到下一个世纪科学技术发展的特征，这就是学科间高度的交叉与融合。对此，不但科学家，而且产业界和规划人员必须予以高度重视，否则我国科技界将与许多新发明和新发现失之交臂，也无法实现在我国建立起一个有着世界上领先水平的产业界的局面。

3. 同步辐射中心作为一种特殊模式的大科学设施

20 世纪科学发展的一个重要特征是大科学的出现，而且，大科学设施的规模与建造的投资有越来越大的趋向，绝大多数的大科学设施的建造与运行是由国家支持的。为了得到公众的支持，一个必须回答的问题是：进行基础研究的大科学设施，它们对于生产力的发展有何影响？对于多数大科学来说，可以用图 2 的线性模式来说明它们的影响，即，在大科学设施上进行的基础科学研究支持应用基础研究，应用基础研究最终在工业中的应用将影响生产力的发展。经验告诉我们，这种影响常常是一个漫长的过程。

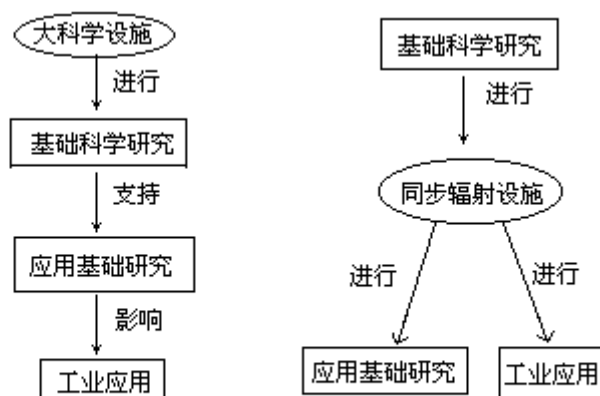


图2 一般大科学设施与基础研究、应用以及工业应用的关系 图3 同步辐射设施与基础研究、应用以及工业应用的关系

如果按计算机的术语说，上面的线性模式是串行输出的模式的话，相反地，在同步辐射设施上这三类活动是同时进行的，亦即作为大科学装置的同步辐射设施对基础科学、应用基础与工业应用的关系如图 3 所示，是并行输出的。正是由于这个特点，在世界上有条件的国家中，同步辐射设施的建造都得到优先的支持。

4. 我国是否应当和是否能够建造第三代同步辐射光源？

我国是否应当建造第三代同步辐射装置？

在读了上面的介绍后，回答是当然的：是！因为它是促进下一个世纪科技发展的一个十分重要的手段。

我国是否能够建造第三代同步辐射装置？

第三代同步光源对工程技术的要求是苛刻的。以美国伯克莱的 ALS 为例，在其波荡器里的电子束的截面是椭圆形的，水平方向的长度是 $335\ \mu\text{m}$ ，而垂直方向的长度仅 $65\ \mu\text{m}$ ，相当于一根头发的直径。实验上要求电子束流有很高的稳定性，稳定到其截面尺度的十分之一。反映在安装精度上，这就要求在安装周长近 200 米的近 200 个各类的二极、四极等磁铁的中心对设计位置的偏离小于 $150\ \mu\text{m}$ ；对于波荡器的要求更高：在其 5 米的长度上，每个磁极的位置安装精度好于 $20\ \mu\text{m}$ ，而且这个精度在 40 吨的磁力作用下仍能保持！其他对磁铁的加工精度、电源的稳定度、地基的抗振能力、磁场分布的精度等等的要求，同样都是相当苛刻的。在这些精度都达到后，还需要有巧妙的电子束流监控系统，随时监测电子束流的位置并给以必要的校正，以保证束流位置的稳定。

虽然这些技术都是当前的尖端技术，但是都属于成熟的技术，只要有精密机械加工的保证和在设计、测试、安装等方面的严格把关，这些苛刻的指标都是能够达到的。所有已经投入运行的 5 个装置的建造经验都证明了这点。我国在建造北京和合肥两个同步辐射装置中已经有了一支有实践经验的科技队伍，只要领导得当，有足够的支持，是完全能够胜任的。

同步辐射是对科技发展起十分重要作用的一种先进手段，同步辐射中心是独一无二的为最众多学科服务的研究中心，是一个各学科交叉、融合的天然场合，其重要性已为世界上广大的科技界所认识，并得到各国政府的大力支持。改进及提高我国已建成的同步辐射设施的效能，并建造一个最先进的同步辐射中心，将对下一世纪我国高科技发展起关键性的推动作用。