

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（理论、现状及发展）

百名院士科技  
系列报告集  
（上）  
（03）

上海市黄浦区教育信息中心

## 遗传育种与粮食增产

庄巧生

中国农业科学院作物育种栽培研究所

庄巧生 遗传育种学家。1916年8月5日生于福建闽侯。1939年毕业于金陵大学农学院，获学士学位。1945~1946年在美国堪萨斯州农学院、康乃尔大学进修。历任华北农业科学研究所研究员，中国农业科学院作物育种栽培研究所研究员、副所长、国际玉米小麦改良中心理事会理事，中国作物学会理事长等职。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事遗传育种学研究。

### 一、作物育种在粮食增产中的作用

增产粮食的途径很多，毛主席概括为土、肥、水、种、密、保、工、管八个字，称为农业八字宪法。种是其中投资最少而效益相当高的一项措施，而且是其他增产措施赖以发挥作用的基础，其他七个字都是围绕着种这个核心（内因）的要求来做贡献的。所以建国以来，党和政府十分重视优良品种的推广应用和种子建设。“六五”以来国家把主要粮食、棉花、油料、蔬菜的育种研究作为重点科技项目组织攻关，取得了显著的经济、社会效益。根据1996年1月国家科委对“八五”期间主要粮食作物新品种选育技术研究项目执行情况组织验收的汇报资料，该项目（包括水稻、小麦、玉米、大麦、谷子、高粱六大粮食作物）共育成审（认）定品种301个，其中达标的207个，占68.8%；这些新品种连同“七五”后期审定品种在“八五”期间扩大种植的面积在内，累计推广15.8亿亩；按平均增产8%计，可增产粮食393亿公斤，再以70%的缩值系数折算，估计实际增产粮食275亿公斤，获得经济效益427亿元。而5年投入2775万元，投入产出比为1:1538，这个比例是很可观的。

关于品种改良在农业科技进步中占有多大比重，其说不一，一般约占30%。据1984年美国农艺学会和美国作物学会联合发行的一份题为“五大作物增产中的遗传贡献”小册子所载（表1），高粱、玉米、大豆、棉花、小麦五大作物由于推广种植优良品种，每亩每年增产0.47~6.13公斤不等，占各自作物单产的0.70~1.78%，高粱、玉米的年增产率较高，在1.5%上下；大豆、小麦、棉花较低，为0.7%左右。粗略地说，各类作物通过品种改良每年可提高产量1%上下，如果栽培管理进一步改善，其贡献还会增大。

表1 美国五大作物品种改良对产量的贡献

作物	年限	年增长率	
		公斤 / 亩	%
高粱	1950-1980	3.66	1.30
玉米	1930-1980	4.86-6.13	1.42-1.78
大豆	1902-1977	1.25	0.70
棉花	1910-1980	0.47-0.69	0.74
小麦	1958-1980	0.83	0.74

优良品种除能提高产量潜力外还可抗御自然灾害，改善产品质量和增进生产效率，即高产、稳产、优质、低耗四个方面兼而有之。譬如：种植抗寒或早熟品种可使作物分布逐渐向高纬度和高海拔地区扩展；选用耐旱品种是半干旱地区稳产的重要途径，也是发展节水农业的内在因素或基础。利用品种抵抗病虫害，既经济有效又不污染环境，是各国作物育种研究最活跃的领域。同一作物不同品种之间，其产品的营养成分、加工性能等品质性状有着很大的差异。选育株矮秆壮，抗倒伏，穗层整齐，成熟一致，不易落粒的谷类作物品种，便于机械化收获；种植有限生长习性和短果枝的棉花，使大部分棉铃能同期吐絮，可减少机械收获的损失等。遗憾的是，这些优点往往分散在不同的品种材料中，而且时常和一些不良性状联系在一起。育种家的任务就是根据生产和生活的需要，按照各类性状的遗传规律，通过育种手段将以上四方面的优越性有重点地逐步集中在一个优良品种上，使其尽可能臻于完善，以满足农业生产不断发展的要求。

## 二、常用的育种方案、途径和做法

从育种学的观点，作物基本上可分为两大类：即自花授粉（自交）作物和异花授粉（异交）作物。一般说来，天然异交率小于 4% 的为自交作物，如水稻、小麦、大麦、谷子、花生、大豆、烟草、亚麻、豌豆、菜豆、番茄等；天然异交率在 50% 以上的是异交作物，如向日葵、黑麦、甜菜、大白菜、甘蓝、萝卜（以上雌雄同花）、玉米、西瓜、草莓（以上雌雄异花）、大麻、菠菜（以上雌雄异株）等。天然异交率介于二者之间的叫常异交作物，如棉花、高粱、蚕豆等。自交作物的自然群体是单一的基因型或一些纯合基因型的混合物，其个体在遗传上是高度纯合的。自交后代生育正常，没有衰退现象。异交作物的自然群体是异质的，含有很多不同的基因型，在遗传上是高度杂合的，自交后呈现不同程度的衰退，再杂交时又恢复正常的健壮状态。

自交作物最主要的育种方法是品种间杂交，包括单交、三交、双交、回交等，其目的是将来自不同亲本品种的优良性状组装在一起，形成新的纯系。现在也在积极利用杂种第一代的优势挖掘增产潜力，已在水稻、烟草、番茄、小麦等作物上应用。异交作物最主要的育种方法是自交系间杂交，包括单交、三交、双交和顶交，都是以利用杂种第一代优势为归宿的，其中以单交种的优势最强，整齐度最好，在生产上应用最广。同时，还常采用轮回选择的方法来改良育种群体。它是高一级的混合选择，即从原始群体中选择优良单株，一方面进行自交，同时与测验种测交以测定其一般配合力，然后根据测交结果选择最优的一些自交系进行互相杂交，组成新的育种群体。这样轮复一轮

地自交——测交——互交加上选择，可以把原始群体内的优良基因逐步聚集在一起，形成改良群体，以便从中选育出更好的自交系或合成综合杂交种。所谓综合杂交种就是选择一般配合力好的一些优良自交系（5~10 个）混合种植，任其随机互交，以产生异质性大、杂合度高而又相对整齐一致的品种群体。这样的群体可以连续使用多代。常异交作物对自交没有不良影响，其育种原理和方法与自交作物基本相同。此外，还有无性繁殖作物如马铃薯、甘薯、甘蔗、草莓等，其表现型虽然整齐一致，而基因型则高度杂合。它们在自然情况下常会发生芽变，可以进行个体选择；也可在特定条件下进行有性杂交加以改良，其杂种第一代异质性大，可选择优株进行无性繁殖，成为整齐一致的无性系或品种。表 2 概括说明现用生产品种的类型和基本特点。

表 2 生产品种群体的类型与特点

繁殖方式	交配体系	群体类型	基本特点
有性	自交	纯系	同质，纯合；亲本纯系杂交后在第二至第六代选择超亲后代。
有性	异交	杂交种	同质，高度杂合；选择配合力好的自交系进行杂交，利用第一代优势。
有性	异交	开放授粉群体	异质，杂合；改良群体，增加有利基因频率；或选择优良亲本品系或无性系混合组成综合种。
无性	异交	无性系	同质，杂合；杂合亲本品系杂交的第一代选择超亲的无性系。

利用杂交种第一代的优势（表现在产量、品质、抗逆、低耗等方面）是育种工作的发展方向，但需要每年制种、换种。为了节省人工去雄、授粉的麻烦，配制杂交种可采用以下几种途径：（1）核质互作雄性不育系——即不育系、保持系、恢复系“三系”配套法，已在玉米、高粱、水稻、油菜、小麦等作物上应用。（2）光（温）敏核雄性不育系——即一系两用（不育系兼保持系）的“两系法”，已开始在水稻、小麦上应用。（3）自交不亲和系——有配子体型（如烟草）自交不亲和与孢子体型自交不亲和（如白菜、甘蓝等十字花科植物）之分。（4）化学杀雄，已在小麦上应用。其中以核质互作雄性不育系应用最广，但化学杀雄最为简便，如果价格合理又无残毒则更便于推广。

以上是作物育种的“主流”做法，或称常规育种。在实际工作中，配合常规技术进行的还有诱变育种、双单倍体育种和远缘杂交。前者利用理化因素如射线、中子、离子束以及甲基磺酸乙脂（EMS）、硫酸二乙酯（DES）、叠氮化钠（NaN<sub>3</sub>）等化学诱变剂诱发遗传变异，但其变异是随机的，而且有益突变率很低，一般为  $10^{-5} \sim 10^{-3}$ ，所以多与品种间杂交结合进行。双单倍体育种则通过花药培养或孤雌生殖产生单倍体，继之以染色体加倍形成二倍体，此法可以加速纯合进程，但因诱导频率低（一般不到 5%），出现优良基因型的机率小，只能作为辅助措施应用。至于远缘杂交，一般指不同种、属之间的杂交，由于亲缘关系相距稍远，经常会出现杂交不亲和，幼胚不成活，杂种第一代不育，杂种后代育性差和“疯狂”分离等现象。随着科学技术的进展，如利用带有广亲和基因、可交配性基因、部分同源群染色体配对基因、染色体自然加倍基因等的“桥梁”亲本，以及生长激素处理，幼胚、

幼穗培养，秋水仙素染色体加倍处理等办法，可在不同程度上克服前述的一系列问题。应该指出，远缘杂交是针对常规育种难以解决的问题或旨在人工创造新类型而制定的，其潜在的遗传变异性很大，但技术难度也高，不是短时间所能奏效的，一般多是为常规育种培育一些中间材料如双二倍体、附加系、代换系、易位系等，以便进一步育成可供生产利用的新品种。

### 三、扩大遗传变异和灵活运用遗传规律 是搞好作物育种的关键

上述四个基本育种方案的实施，包括以下三个基本环节，即遗传变异的发现与创制、优良遗传变异的选择与固定（或配合力及杂种优势检测）和育成品种（组合、群体）的产量和适应性评价。其中遗传变异的发现与创制是最基本的，也是带有战略性的环节，因为没有优良的遗传变异就不可能育成优良品种。育种家要在注意发现与利用已有变异的同时，千方百计扩大育种群体的遗传变异，创造符合育种和生产需要的新的优良变异。异花授粉作物如玉米的轮回选择或群体改育就寓有这个意思。对于自花授粉作物如小麦来说，除了参照运用轮回选择的原理进行群体的性状改良外，还可采用以下两种做法扩大育种群体的遗传变异：

1 利用雄性不育基因组建综合杂交混合群体——搜集在育种上各具特点的一些亲本材料取样混合作为一方，以具有推广品种遗传背景的若干核雄性不育材料的混合群体为另一方，间行种植，通过自然和人工辅助授粉收取雄性不育株上的种子混合，组成遗传基础广泛复杂的杂种群。这种群体经过年复一年的自然杂交、自然选择和人工辅助授粉、定向选择，使优良基因不断重组，遗传基础日趋丰富和优化，可供各类目标的育种方案随时从中进行选择，从而育成新的优良品种。国际上已用此法于大麦育种并收到一定成效。在小麦方面，我国 70 年代后期以来利用太谷显性核不育基因开展各类性状的轮回选择，以丰富亲本材料的遗传基础和选育新品种，也取得良好效果。

2. 双列杂交选择交配——选择一些各具特点的优良亲本进行双列杂交，这是第一轮亲本；下年在 F<sub>1</sub> 间有选择地进行第二次双列杂交，这是第二轮亲本；第四年在第二轮亲本经过混合选择的 F<sub>2</sub> 中选择优良单株互相交配，即第一次选择交配，组成第三轮亲本；第五年又在第三轮亲本的 F<sub>1</sub> 代植株之间进行第二次选择交配，组成第四轮亲本，……如此类推；而对每轮亲本的 F<sub>1</sub> 代杂种，都进行混合选择以繁殖 F<sub>2</sub> 代，然后按常规程序继续选育。这样就把亲本创新与丰富杂种后代遗传基础融为一体，已在燕麦、棉花上取得成效。

从遗传学上说，性状大体上可分质量性状和数量性状两大类；控制性状的基因其作用有大有小，大的叫主效基因，小的称微效基因。质量性状是受一至少数几对主效基因控制的，其表现型差异明显，容易区分，受环境的影响较小，如花、果实、种子颜色、茸毛有无、麦芒有无、抗病感病等。数量性状是由许多微效基因控制的，每个基因的效应（贡献）很小，且容易受环境条件的影响，所以呈现连续变异，没有明显界限，如产量高低、品质好坏、分蘖多少、穗子大小、抗逆性强弱等。还有一些性状是介于二者之间，既有主效基因起主导作用，又有为数不等的微效基因起修饰作用，如植株高矮、抽穗早晚等。作物育种方案中所考虑的目标性状大多是数量性状。

基因在染色体上占有特定的位置（位点）。同一位点上的基因称等位基因，其作用有显、隐性之分，显性基因能掩盖或抑制隐性基因的表达。不同

位点上的基因称非等位基因，它们之间也有不同的相互作用，有相加的，也有非相加的（如互相排斥、相辅相成、互为消长等）。不在一条染色体上的基因，它们在性细胞减数分裂时的分离与组合是独立的，互不干扰。位于同一条染色体上的基因，则彼此联合在一起传递到下一代的机率较大，这种连锁遗传的程度取决于这两个位点的距离。如果相距很近，那就难分难解，紧密连锁遗传；如果相距较远，则可自由组合。正因为控制性状的基因在数目多少、效应大小、作用性质、位点分布以及它们与环境条件的互作等方面各不相同，各种性状在上下代的遗传传递关系就显得错综复杂，常因亲本材料、交配对手和杂种后代所处的环境条件而异。对这些遗传变异规律的认识，需要通过有关实验和育种实践逐渐积累并加以总结和深化。这样，育种家才能灵活运用这些遗传学知识来掌握如何正确选择亲本、配置组合，确定杂种群体规模与种植方式，创造有利于暴露和培育目标性状的环境条件，以及对不同目标性状分别进行恰如其分的选择，逐步把所需要的优良性状集中到一个个体上发展成为品系，再通过多年多点的鉴定与评价，尽快决选出最有生产利用价值的优良品种。一般而论，从开始杂交到育成品种投入生产应用，假定一年只种植一代，需要 8~10 年的时间。如果这个育种“车间”能够正常运转，则 10 年之后应该可以源源不断地育出优良品种。不过，农业研究受气候条件等影响很大，就目前科学技术水平而言，还难以做到这样理想的境界。正因为如此，作物育种工作要相对稳定。

#### 四、我国作物育种工作现状和前景

1949 年以来，我国作物育种事业虽然取得了很大成绩，主要粮食、经济作物经历了 4~6 次品种更换，每次品种更换都能增产 10% 上下，但也存在一些不可忽视的问题。如果说作物育种工作可以分割成育种前、育种中和育种后三个阶段，我国的育种前和育种后工作相对说来是薄弱环节。我们对育种前的基础工作和理论研究（包括材料和方法）做得较少，还不能对育种实践起到应有的指导作用，也就是说，我们的育种实践在相当程度上还停留在以经验为主的状态。育种后这一领域虽然“技术含量”不高，却关系到如何更有成效地把科学技术转化为现实生产力的大问题，和先进国家相比则更显得软弱无力，差距很大。国家农业部早在 70 年代后期就提出种子生产专业化，加工机械化，质量标准化，品种布局区域化和以县为单位统一供种的“四化一供”种子工作方针，但缺乏落实的具体政策和措施，所以长期以来生产上品种“多、杂、乱”现象一直未能得到解决，而且有日益加重的趋势。近几年，有些农民不问品种好坏与适应性争先播种新品种，企图以贩卖新种子作为生财之道，人为地缩短推广品种寿命并造成混乱，同时在种子经营上也常出现假、冒、伪、劣的坑农行为，严重挫伤了农民的生产积极性。因此一要建立健全良种繁育体系，切实做到种子生产专业化。除要求国营农场和种子部门的良种场承担良种繁育任务外，在一个县的范围内还要选定若干有条件的生产单位作为良种基地，有计划地组织生产各种级别的良种种子。二要认真执行种子检验制度，做到种子质量标准化。政府部门要设立种子检验机构，负责检验繁种单位的种子质量，按标准定级，优级优价。不经检验和检验不合格的种子不能在市场上销售。种子检验机构和种子生产、经营单位是彼此独立的系统，前者对产品质量拥有监督权。三要科学用种，做到因地制宜，合理布局，因种栽培，良种良法配套，使地尽其利，种得其所，充分发

挥良种的增产增收性能。过去不少地区在领导生产时习惯采用以“高产”品种带路的做法,主观愿望是好的,但要注意到单产潜力大的品种往往比较“娇气”,对肥水等外界环境条件比较敏感,一旦肥水跟不上或遭受不良气候条件的袭击,容易造成减产。所以应该强调“对口”种植,不搞“一刀切”。

我国从事作物育种的单位不少,但都习惯于单一专业各自为战,而且大多在一个地点进行培育和选拔,不能把早期世代材料有计划地分发给若干有代表性的地点种植,接受不同生态环境和栽培条件的考验。因而育成品种的适应性比较狭窄,难以在生产上发挥更大作用,同时在筛选过程中很有可能丢掉一些不该淘汰的材料,影响育种效率。这是一个严重的缺点,应从体制和政策上加以引导,逐步求得解决。此外,育种规模太小,研究手段落后,田间作业基本上靠人工操作,室内检测设备也十分简陋,影响工作质量和进度。这只能靠增加投入来解决。

作物育种是一门综合性很强的应用科学,需要植物遗传、细胞、生态、病理、昆虫、农业气象、品种资源、作物栽培、生物统计、生物技术等学科的知识做支撑,其中最重要的是遗传学,包括分子遗传学。所以在育种前和育种中围绕育种工作的需要,开展有关性状的组分、形成、发展及其与环境条件的关系,性状本身从群体到分子水平的遗传控制,性状之间的相互关系,高产、优质、多抗的生理生化基础,病虫害抗性与病菌、害虫生物型间的相互关系,基因型与环境互作,以及分子生物学、基因工程技术在作物育种中的应用等研究,对提高作物育种水平和工作效率十分重要,应该安排足够的力量,分别轻重缓急予以实施。只有这样才能把作物育种发展为有坚实理论做指导和精确方法武装起来的一门应用科学。

就我国当前和今后一个时期的作物育种工作来看,在育种目标上,应该处理好高产与优质、高产与稳产的关系。我国人多、地少、底子薄,吃饭问题关系重大。选育高产、稳产的优良品种仍是当务之急,也是一个长期的战略任务。从总体上说,高产是优质的前提,离开产量谈品质是行不通的。高产与稳产(抗逆性能)也常有矛盾,高产品种一般产量不够稳定,而抗逆性能强的品种又往往不高产。在育种过程中和利用品种时,都要注意协调好这些方面的关系。在育种途径上,当前要处理好杂种优势利用与常规育种(指品种间杂交)、高新技术与常规技术的关系。从理论上说,杂种优势利用比常规品种增产潜力大,应是努力发展的方向。但不同作物情况不一,玉米、高粱杂种优势较大,小麦、大豆杂种优势较小。在自交作物中,水稻是二倍体作物,杂种优势较大,小麦是六倍体作物,它在进化过程中已经发生过两次自然杂交和染色体加倍,剩余的杂种优势较小。再者单个植株的生育优势是随种植密度增大而降低的,生产上各种作物的种植密度不一,所以其群体优势也各不相同。还应该指出,常规育种是杂种优势利用的基础,用以生产杂种一代优势的亲本品系(自交系、不育系、恢复系等)多来自常规育种,后者的性状水平提高了,杂种优势利用的效果也就更加显著;而杂种优势利用的发展又可进一步推动常规育种水平的提高,二者是互相促进的。

近十多年来,植物基因工程技术有了长足的进步,现在科学家已能人工分离、合成和克隆一些特定基因,采用生物(与根癌农杆菌共培养)、物理(电穿孔、微射弹、微注射)、化学(聚乙二醇)等方法将目标基因导入植物细胞或胚胎,并通过组织培养或直接转化(花粉管通道)获得转基因植物。它已开始打破生物间亲缘关系的界限,初步实现不同植物间优良基因的交流。

流，既可扩大远缘杂交的范畴，又能缩短育种进程，还有可能将微生物或动物的有益基因向植物中输送。这对提高植物育种水平和效率具有重要的战略意义。现在已有 100 多种植物获得了转基因植株，包括不少重要的农作物如烟草、马铃薯、油菜、亚麻、棉花、甜菜、大豆、苜蓿、番茄等。被批准进行田间试验的转基因植物达 1800 多例，涉及抗虫、抗病毒、抗除草剂、品质改良、雄性不育、延熟保鲜等方面，其中延熟保鲜转基因番茄、抗除草剂转基因烟草、大豆等已获准进入市场。我国的抗花叶病毒转基因烟草已在大面积生产上应用，抗棉铃虫转基因棉花也正在扩大示范之中。最近报道，携有抗白叶枯病基因 Xa21 的转基因水稻和抗黄矮病毒的转基因小麦已获成功。这些都是十分可喜的新进展。不过，总的说来，目前的基因工程技术体系多适用于转化双子叶植物，对于小麦、水稻、玉米等单子叶植物的遗传转化虽有进展，尚未取得明显突破。

对于多基因控制的数量性状，现已在几种主要农作物上采用 RFLP（限制性片段长度多态性）技术绘制出接近饱和的 DNA 分子标记遗传图，通过分析实验群体中每个个体或株系所携带的分子标记及其与数量性状表现型值间的关系，可将数量性状基因（QTL）逐一定位到染色体的相应位置并估算其遗传效应。有了这样的资料，育种家就可以根据与某些 QTL 紧密连锁的分子标记进行选择，即分子标记辅助选择，其精确性要比按表现型选择好得多。这是生物技术在作物育种上的又一个新进展。不过不同作物的 DNA 多态性不一样，遗传图上分子标记的分布与饱和度各不相同，其辅助选择的效率也就有所差别。为了使这类技术更加简便实用，科学家正在努力探讨一些新的分子标记。

总之，植物基因工程 and 现代生物技术已不断取得令人瞩目的进展，但它毕竟还在成长之中，不够成熟，而且研究成本很高，距离实际应用还有一段路程。然而，从发展上看，它的应用前景十分诱人。我们必须密切注视，积极支持，促其更快地向实用化发展。即使将来“生物技术育种”或“分子育种”在技术上已臻成熟并达到实用化，也仍然要以常规育种（包括杂种优势利用）为基础，并与之密切结合，才能充分发挥高新技术的作用，把作物育种科学推向更高的水平。

## 可持续发展战略与生态学

刘建康

中国科学院水生生物研究所

刘建康 鱼类学家、生态学家。1917 年 9 月 1 日生于江苏省吴江县。1938 年毕业于苏州东吴大学理学院生物系，获理学士学位。1947 年获加拿大麦基尔大学哲学博士学位。历任中央研究院动物研究所研究员，中国科学院水生生物研究所研究员、副所长、所长、名誉所长。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事淡水水生生物生态学研究。

《中共中央关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标的建议》第 36 条中指出“加强环境、生态、资源保护”和“到本世纪末，力争环境污染和生态破坏加剧趋势得到基本控制，部分城市和地区环境质量有所改善；2010 年基本改变生态环境恶化的状况，城乡环境有比较明显改善。”李鹏同志在该项建议的说明里强调：“‘九五’计划和 15 年远景目标，一定要体现可持续发展的方针。这是造福当代、泽及子孙的大事。在保护资源和环境的问题上，大家一定要把眼光放得更远大些。”

早在 120 年前，恩格斯（1876）在《自然辩证法》里就提出了下面的告诫：“可是我们不要过于得意我们对自然界的胜利。对于我们的每一次胜利，自然界都报复了我们。每一次的这种胜利，第一步我们确实达到预期的结果，但第二步和第三步却有了完全不同的意想不到的结果，常常正好把第一个结果的意义又取消了。美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地把森林都砍完了，但是他们却梦想不到这些地方今天竟因此成为荒芜不毛之地……”“因此我们必须时时记住：我们统治自然界，决不像征服者统治异民族一样，决不像站在自然界以外的人一样，——相反地，我们同我们的肉、血和头脑一起都是属于自然界，存在于自然界中；我们对自然界的整个支配，仅仅是因我们胜于其他一切动物，能够认识和正确运用自然规律而已”。革命导师 120 年前的告诫，至今仍有现实意义。

10 年前（1986）第三世界环境保护专家们在一起开会，他们提出我们居住的地球存在十大问题，如果不能采取办法解决，就会给人类生存带来威胁，这十大问题是：

一、沙漠化日益严重。世界沙漠面积正在不断扩大，每年有两千公顷农田被沙海吞没。

二、森林遭到严重砍伐。森林正在以可怕的速度减少，造成严重的水土流失。

三、野生动物大量灭绝，野生动物的生活环境遭到破坏，许多动物绝种，影响生态平衡。

四、世界人口急剧增长，估计到 2010 年，世界人口比 1986 年增加一倍。

五、饮水资源越来越少，供饮用的甜水源逐渐减少，人类饮水问题越来越大。

六、渔业资源逐渐减少。一些国家在海上盲目捕鱼，世界上 25% 的渔场遭到破坏。

七、河水遭到严重污染。大量工业废水倒入河中，危害水生资源和人们

的健康。

八、大量使用农药，这不仅使农作物受到影响，也给人体带来危害。

九、地球温度明显上升。近百年来，世界平均温度在上升，对赤道和非洲国家影响很大。

十、酸雨现象正在发展。含有毒物的工业废气造成的酸雨，给农作物和人体的健康带来危害。

近来，又增加了臭氧层空洞扩大的问题，紫外线的辐射量的增加造成对动植物有害的影响和人类皮癌的增加等。环境与资源本来就是生态学研究领域里的课题，“持续发展”概念是从生态学角度提出来的，或者至少是在生态思想影响下提出来的。1992年6月巴西里约热内卢“联合国环境与发展”大会以后，可持续发展为世界各国普遍接受作为发展的模式。

生态学是作为研究生物与环境之间的关系的一门生物学分支学科开始的，但今天生态学已被称为“生存的科学”(Science of Survival)。德国生态学的领头人之一，H·Lieth在一篇文章中写道：“生态学已变成了一门为了生存的首要的科学。在过去，农业和医学被认为是为了生存的关键性科学。随着人口的增加和工业技术的快速发展，现在已很清楚，人不能光考虑增长，而必须思考其本身人口的大小、区域生态系统的承载力，以及地球上地球化学平衡之间的一种稳定关系。”当然，生态学也致力于生产力的提高，但是这种提高不能以破坏环境、破坏发展的基础为代价的。

可持续发展概念是20多年前在西方提出来的，1987年“联合国环境与发展委员会(WCED)”发表的《我们的共同未来》使它得到了普及。1993年许多国家的生态学界都对这一主题展开讨论。例如美国生态学会1993年年会讨论的题目就是“生态学与全球可持续发展”。我国第一次持续发展与生态学学术讨论会是1993年12月份召开的。这是中国生态学会第一次召开这样以国家重大问题为讨论对象的学术讨论会。可持续发展的重要基础是生物资源的持续利用，我国早在两千多年以前的春秋战国时代，许多先儒已有明确的资源持续利用思想，如《孟子》、《逸周书》、《荀子》、《吕氏春秋》等都有这方面的记述。例如荀子在《王制篇》中说：“圣王之制也，鼈兽鱼鳖鳅鳢孕别之时，网罟毒药不入泽，不夭其生，不绝其长也”。孟子也有同样的概念，他说“数罟不入洿池，鱼鳖不可胜食也”等等。可是作为一门自然科学来研究生物资源和环境保护问题则是从生态学开始的。下面我就来介绍生态学这个名词的起源，这门学科的研究内容和基本概念，以加深对可持续发展战略的认识，从而增强贯彻执行这个造福当代、泽及子孙的方针的自觉性。

## 生态学的基本概念

### 1. 生态学

生态学(Ecology)一词最早是由德国生物学家黑格尔(Ernst Haeckel)在1869年提出的，名词的英文词首和经济学(Economics)是相同的，都是Eco，起源于希腊文Oikos，是家庭居处或环境的意思，可见生态学和经济学、家庭、环境等，从词源和词义上说是密切关系的。

生态学原是一门研究动植物与其生活环境相互关系的科学，是生物学主要分科之一。由于人类环境问题和环境科学的发展，生态学就扩展到人类生活和社会活动方面，把人类这一个生物种 摘自王翊亭等(1985)《环境学

导论》，清华大学出版社。也列入生态系统中，来研究并阐明整个生物圈的生态系统的相互关系问题。这样就使生态学成为一个领域更广泛、内容更丰富的科学。同时，现代科学技术的新成就也已经渗透到生态学的领域中，赋予它新的内容和动力，成为多学科、当代较活跃的科学领域之一。研究生物的形态、生理、遗传、细胞等结构和功能为基础的生物学部分与环境相结合形成的生态学，又与系统工程学、经济学、工艺学、化学、物理学、数学相结合而产生相应的新兴学科，是 60 年代以来生态学的一个重要发展趋势。

生态学的发展进程中，有三个主要特点：

(1) 从定性探索生物与环境的相互作用，到定量研究；

(2) 从个别生态系统到复合生态系统，由单一到综合，由静态到动态地认识自然界物质循环与能量转化规律；

(3) 与基础科学和应用科学相结合，发展了生态学，扩大了生态学的研究领域。生态学的许多基本原理同样也可以应用于环境科学中，来研究和解决人类生活与环境问题。

## 2. 生态系统

一个生物物种在一定范围内所有个体的总和，在生态学中称为种群 (Population)，一定的自然区域中许多不同种的生物的总和称为群落 (Community)，任何一个生物群落与其周围非生物环境的综合体就是生态系统 (Ecosystem)。生态系统就是生命系统和环境系统在特定空间的组合，在生态系统中，各种生物彼此间以及生物与非生物环境因素之间互相作用，关系密切，而且不断地进行着物质和能量的流动。人类所生活的生物圈 (Biosphere) 内有无数大小不同的生态系统，在一复杂大生态系统中又包含无数个小的生态系统。池塘、湖泊、河流、草原和森林等都是典型的例子。城市、矿山、工厂等等从广义上也可以说是一种人为的生态系统。这许多各种各样的生态系统组成了统一的整体就是人类生活的自然环境，因此，整个生物圈便是一个最大的生态系统。

生态系统的组成包括必要和非必要的两部分，必要的部分又分为非生物成分和生物成分两种。前者包括阳光和营养成分，供生产者 (植物) 合成有机物之用。后者包括生产者、分解者和转变者：生产者又称自养者 (Autotrophs)，以绿色植物为主 (高等植物和藻类浮游植物)，分解者 (Decomposers) 包括一部分细菌和真菌，能使生物体分解为无机物质，转变者也是细菌，其作用是将分解后的无机物转变为可供植物利用的营养分。细菌的分解和转变作用在生态系统中非常重要，没有它，生产者就会缺乏养分，无法自养，不能生存。

不必要的部分主要是各级消费者，它们是靠生产者的有机物质为生的，故又称异养者 (Heterotrophs)。按其食性，消费者可分为草食动物、肉食动物、寄生生物和腐食动植物 (Scavengers) 等。它们在生态系统中只能消费，不能生产。归纳起来，生产者、消费者、分解者和转变者、无机营养分是生态系统的四个基本组成部分。生态系统中能量和物质的流动都是通过这四个部分来实现的。

生态系统的类型：

1) 陆地生态系统：又可分自然和人工两类。自然陆地生态系统如森林生态系统、草原生态系统、荒漠生态系统等，人工陆地生态系统如农田、城市、工矿区等。

2) 淡水生态系统, 包括池塘、湖泊、河流、水库。

3) 海洋生态系统, 包括海岸、河口、浅海、大洋、海底等。

生态系统中的各种生物基于生产者和各级消费者的营养关系, 构成了生态系统中的食物链 (Food chain)。所谓食物链, 就是一种生物以另一种生物为食, 彼此形成一个以食物联接起来的链锁关系。在一个生态系统中, 食物关系往往很复杂, 各种食物链互相交错, 形成食物网。能量的流动、物质的迁移和转化, 就是通过食物链和食物网进行的。

生态系统的能量流动具有下述五个特点:

1) 生产者即绿色植物对太阳能利用率很低, 只有 1% 左右。

2) 能量只朝单一方向流动 (不是可逆流动)。

3) 流动中能量逐渐减少, 每过一个营养级都有能量以热的形式散失掉, 而且各营养层次自身呼吸所耗用的能量都在其总产量的一半以上, 各级的净产量至多只有总产量的一小半。

4) 各级消费者之间能量的利用率平均约 10%, 即食物链中后一级能量总是小于前一级的能量, 因此, 食物链的营养层次增加时, 净产量就急剧下降。如果说植物的净产量为 100 千卡, 则草食动物的净产量只有 10 千卡, 而肉食动物只有 1 千卡, 这说明为什么一般食物链的层次不超过四级或至多五级。这也说明为什么人类以植物为食要比以动物为食经济有利得多。生态学把食物链各层次能量递减的法则称为能量金字塔 (Energy pyramid) 或简称能塔图。

5) 只有当生态系统生产的能量与消耗的能量相平衡时, 生态系统的结构与功能才能保持动态的平衡。

生态系统中的物质循环:

生物体全部原生质中约有 97% 以上是由氧、碳、氢、氮和磷五种元素组成 (还有硫、钙、镁、钾等等)。这些主要的化学元素在生物圈中的物质循环过程, 包含有生物学的、地学的和化学的过程, 因而称为生物地球化学循环 (Biogeochemical cycle)。这里只是简单提一下, 氮在许多环境问题中起着重要的作用。氮在燃烧过程中被氧化成氮氧化物, 能造成大气中光化学烟雾的严重污染事故。1943 年 3~10 月美国洛杉矶 (有汽车 400 多万辆), 每天耗汽油 2400 万升, 每天有 1000 多吨碳氢化合物进入大气, 石油工业和汽车废气在紫外线作用下生成光化学烟雾, 致使大多数居民患病, 65 岁以上老人死亡 400 多人, 另外, 在氮肥生产中, 采用氯化汞和硫酸汞作催化剂, 含甲基汞毒水废渣排入水体, 通过鱼这一食物链环节使人中毒, 1953 年日本九州熊本县水俣镇 180 多人中毒, 死亡 50 多人。用氮制造的合成化学肥料在施用时也可能引起水体污染。

磷是维持生命所必需的另一重要元素。生物在新陈代谢过程中都需要磷。人类大量应用磷类洗涤剂和磷肥的结果, 都使水体中磷养分过多, 使水生植物生长过盛, 引起对环境的危害。

### 3. 生态平衡

任何一个正常的生态系统中, 能量流动和物质循环总是不断地进行着, 但在一定的时期内, 生产者、消费者和还原者之间都保持着一种动态的平衡, 这种平衡状态就叫生态平衡。在自然生态系统中, 平衡还表现为生物种类和数量的相对稳定。生态系统之所以能保持动态的平衡, 主要是由于内部具有自动调节的能力。例如对污染物质来说, 就是环境的自净能力 (亦即所谓环

境容量)。当系统的某一部分出现了机能异常时,就可能被不同部分的调节所抵消。生态系统的组成成分越多样,能量流动和物质循环的途径越复杂,其调节能力也越强,相反,成分越单纯,结构越简单,其调节能力也越小。但是,一个生态系统的调节能力再强,也是有一定限度的,超过了这个限度,调节就不再起作用,生态平衡就会遭到破坏。如果现代人类的活动使自然环境剧烈变化,或进入自然生态系统中的有害物质数量过大,超过自然系统的调节功能或生物与人类可以忍受的程度,那就会破坏生态平衡,使人类和生物受到损害。

破坏生态平衡的因素有自然原因,也有人为的因素。自然原因如火山爆发、山崩海啸、水旱灾害、地震、台风、流行病等自然灾害。人为因素主要指人类自然资源的不合理利用,工农业发展带来的环境污染等问题,人为因素引起的生态平衡的破坏,主要有三种情况:

(1) 物种改变引起平衡的破坏。人类有意或无意地使生态系统中某一种生物消失或往其中引进某一种生物,都可能对整个生态系统造成影响。例如:澳大利亚原来并没有兔子,后来从欧洲引进了兔子,以作肉用并生产皮毛。引进后,由于当地没有天敌予以适当限制,致使兔子大量繁殖,在短短的时间内,繁殖的数量惊人,遍布数千万亩田野,在草原上每年以 70 英里的速度向外蔓延,该地区原来长满的青草和灌木全被吃光,再不能放牧牛羊。田野一片光秃,土壤因无植物保护而被雨水侵蚀,造成生态系统的破坏,澳大利亚政府曾鼓励大量捕杀,但不见效果,最后不得不引进一种兔子的传染病,使兔群大量死亡,总算将兔子造成的生态危机控制住了。另外如滥猎滥捕鸟兽,收割式地砍伐森林,都会因某物种的数量减少或灭绝而使生态平衡受到破坏。

(2) 环境因素的改变。工农业的迅速发展,有意或无意地使大量污染物质进入环境,从而改变生态系统的环境因素,影响整个生态系统,甚至破坏生态平衡。由于空气污染,热污染,除草剂和杀虫剂的使用,肥料的流失,土壤侵蚀或未处理的污水进入环境而引起富营养化等等原因,改变生产者、消费者和分解者的种类与数量,破坏了生态平衡并引起了环境问题甚至造成公害。

(3) 信息系统的破坏。许多生物在生存的过程中,都能释放出某种信息素(一种特殊的化学物质)以驱赶天敌、排斥异种,或取得直接或间接的联系以繁衍后代,化学生态学就是研究这类信息素的。例如某些昆虫在生殖时期,雌虫会排出一种性信息素,靠这种性信息素引诱雄性个体来繁殖后代,但是,如果人们排放到环境中的某些污染物质与某一种动物排放的性信息素起了化学作用,使其丧失引诱雄性个体作用时,就会破坏这种动物的繁殖,改变生物种群的组成结构,使生态平衡受到影响。

#### 4. 生态学规律

前面介绍了有关生态学、生态系统和生态平衡方面的基本知识。这里就对生态学规律简要地概括成以下五方面:

##### (1) 相互制约与相互依赖的规律

以食物链(网)形成的相互制约、相互依赖的关系,本身是建立在一定的数量基础上。一个生物群落或生态系统中,各种生物个体的大小和数量之间都存在一定的比例关系。生物间的相互制约作用,使生物保持数量的相对稳定,这是生态平衡的一个重要方面。此外,无论动物或植物,都有其一定

的生境，它们因释放出某些分泌物或激素而表现为共生或抗生，同一环境中的物种越多，该生态系统也越稳定（例如混交林发生大规模虫害的机率远小于单调林）。

#### （2）物质循环转化与再生的规律

自然界通过植物、动物、微生物和非生物成分，一方面不断地合成新物质，一方面又随时分解为原来的简单物质，重新被植物所吸收，进行着不停顿的新陈代谢作用。但是如果人类的社会经济活动过于强化，超过了生态系统的调节限度，就会出现区域性甚至全球性的物质循环失调现象，给人类造成严重的恶果。

#### （3）物质输入输出的动态平衡规律

这里所指的物质输入输出的平衡规律，是适用于生物、环境和生态系统三方面的。在自然生态系统不受人活动干扰时，生物体一方面从周围摄取物质，另一方面向环境排放物质，不论对生物来说，或对环境来说，或是对于一个稳定的生态系统来说，物质的输入与输出总是平衡的。当生物体所需的输入不足时，例如农田肥料不足或虽然肥料（养分）足够，但未能分解而不可利用，或施肥的时间不当而不能被作物很好的利用，结果作物必然生长不好，产量下降。在质的方面，存在输入大于输出的情况。例如人工合成的难降解的农药和塑料或重金属元素，生物体吸收的量虽然很少，但因难以排出，形成体内积累而造成危害。对环境系统而言，如果营养物质输入过多，环境自身吸收不了，打破了原来的输入输出平衡，就会出现富营养化现象（湖北省东湖的情况正是如此）。

#### （4）相互适应与补偿的协同进化规律

生物与环境之间，存在着作用与反作用的过程，也就是说，生物给环境以影响，反过来环境也会影响生物。植物从环境吸收水和营养元素，这与环境的特点，如土壤的性质、可溶性营养元素的量、以及环境可以提供的水量等紧密相关。同时，生物体则以其排泄物和尸体把相当大的一部分水和营养素归还给环境，最后获得生物与环境协同进化的结果，这条规律对于逐步改造不利的环境（如沙漠）有指导意义；相反，如果损害了生物与环境相互补偿与适应的关系，例如某种生物过度繁殖，则环境就会因物质供应不及而造成生物的饥饿死亡，从而进行报复。这就告诉我们，人类必须按自然规律办事，否则自然界就会对我们和子孙后代加以惩罚。

#### （5）环境资源的有效极限规律

自然界中存在的、作为生物赖以生存的各种环境资源，在质量、空间和时间等方面，都有其一定的限度，不能无限制地供给。过去曾一度流行“人有多大胆，地有多高产”的提法，是完全违背自然规律的。

上面的五条生态学规律，也是生态平衡的基础。生态平衡以及生态系统的结构与功能，又与人类当前面临的人口、食物、能源、自然资源（其中包括水资源）、环境保护五大社会问题紧密相关。

# 人类基因组和白血病的 分化、凋亡诱导

陈 竺

上海第二医科大学附属瑞金医院  
上海血液学研究所

陈 竺 分子生物学家。1953 年 8 月 17 日生于江苏镇江。1981 年获上海第二医科大学医学硕士学位。1989 年获法国巴黎第七大学圣·路易医院血液研究所博士学位。历任上海第二医科大学附属瑞金医院主治医师、上海血液学研究所分子生物学实验室主任、法国巴黎圣·路易医院血液中心实验室外籍住院医师。现任上海第二医科大附属瑞金医院、上海血液学研究所研究员、所长，上海生命科学研究中心主任，复旦大学-上海第二医科大学遗传和医学科学中心副主任等职。1995 年当选为中国科学院院士。从事血液学研究。

## 一、人类基因组计划的提出及意义

人类基因的现代定义为：合成有功能的人体蛋白质多肽链或 RNA 所必需的全部 DNA 顺序。DNA 是遗传信息的载体，其长度用碱基对 (bp) 或千碱基 (kb) 或兆碱基 (Mb) 表示。人类基因组则是指人的 24 条染色体 (22 条常染色体和 X、Y 2 条性染色体) 上全部 DNA 所携带的遗传信息的总和，总长度为  $3 \times 10^9$  bp，约含 8~10 万个基因。

人类基因组计划 (Human Genome Project, HGP) 是美国科学家 Renato Dulbecco 于 1986 年在 Science 杂志上发表的短文中率先提出的，旨在阐明人类基因组的全部序列，从整体上破译人类遗传信息，使得人类第一次在分子水平全面地认识自我。美国于 1990 年正式启动人类基因组计划，预计在 15 年时间内提供 30 亿美元的资助。欧共体、日本、加拿大、前苏联、巴西和印度等国也提出了类似的计划。由于各国政府和科学家的共同努力，HGP 已成为全球性的重大国际合作项目，为此还专门成立了国际人类基因组组织 (HUGO) 来统一协调这一计划，目前已有 15 个国家和欧共体加入 HUGO。

人类基因组计划的意义十分重大，因为它不仅能通过揭示人类生命活动的遗传学基础而带动整个生命科学的发展，而且将为 21 世纪的分子医学 (基因诊断、基因治疗和基因工程产品开发) 奠定基础。6 千多种人类单基因遗传病和一批严重危害人类健康的多基因病 (如恶性肿瘤、心血管疾病等) 将有可能由此得到预防、诊断和治疗，农业、工业和环境科学也将从中获益匪浅。

## 二、人类基因组计划已取得的成果

HGP 自 1990 年 10 月正式启动至今已有 5 年多时间，这 5 年所取得的成就使得人们不再像 80 年代后期那样对 HGP 的可行性持怀疑态度，正如美国 HGP 负责人 Francis Collins 所说的，我们已从人类基因组计划中学到最重要的一课是这个计划是可以完成的。而且在 HGP5 周年之际，人们发现在资金未能达到原定资助强度的条件下，已提前完成了原定的进度。HGP 主要包括四项任务：(1) 遗传图谱的建立；(2) 物理图谱的建立；(3) DNA 顺序测

定；（4）基因的识别。具体地来说这 5 年来有着如下四个方面的进展：

#### 1. 遗传图谱

遗传图谱是通过计算连锁的遗传标志之间的重组频率来确定它们之间的相对距离，测定单位用厘摩（cM）表示，1cM 相当于 1% 的重组频率，大致相当于 1Mb 的长度。遗传连锁图无论对于物理图谱的构建还是对于重要生物学性状或疾病的定位都是至关重要的。至 1994 年底，在法国和美国科学家共同努力之下，完成了应用 RFLP 标志和可用 PCR 方法进行批量分析的微卫星 DNA 为标志，包含 5826 个位点，覆盖 4000cM，分辨率高达 0.7cM 的遗传图谱的制作。1996 年 3 月法国科学家又报道了完全以微卫星标志构建的遗传连锁图，其中包括 2335 个位点，分辨率为 1.6cM。这些工作提前完成了原定于 1998 年完成的分辨率为 2~5cM 的计划，不仅为进一步的物理图谱构建提供了重要的依据，还可应用这张遗传图谱，通过基因组扫描（Genomic Scanning）技术，对那些具有复杂性状的多基因病（如高血压、糖尿病、冠心病等）进行连锁分析，以完成这些疾病所涉及的易感基因的定位。

#### 2. 物理图谱

物理图谱用于确定各遗传标志之间的物理距离，其制作主要是通过大片段 DNA 操作技术，对标志进行定序和距离测定，为基因的分离、识别和基因组 DNA 顺序测定奠定基础。物理图谱的构建这 5 年来也有了长足的进步：建立了以 15086 个顺序标签位点（Sequence Tagged Site, STS）为标志，分辨率达 199kb 的物理图谱和构建了由 225 个 YAC 连续克隆重叠群组成的、覆盖范围达整个人类基因组 75% 的物理图谱。预计原定由 30,000 个 STS 标志组成，分辨率达 100kb 的物理图谱将于 1997 年完成。此外，应用放射杂交制图（Radiation Hybrid Mapping）技术来制作物理图谱也在紧锣密鼓地进行中。

#### 3. DNA 顺序测定

人类基因组全部 DNA 顺序的测定是 HGP 的核心部分，在过去的 5 年中这方面也有了异常迅猛的发展。目前随着遗传和物理图谱工作的已经和即将完成，测序就成为今后 10 年工作的重中之重。在基因组计划上马之际，完成的最长的 DNA 顺序是 250kb 的巨细胞病毒顺序，花费了数年时间。而今，一个大测序中心可在一个月内完成一个细菌基因组（大于 1Mb）的测序工作。至目前为止，世界上已有 L. Hood、B. Booe 和 Sanger 中心等三个研究小组完成了长度大于 1Mb 的人基因组顺序测定，其中包括 T 细胞受体区段、9 号及 22 号染色体部分区段和 Hunting-ton 舞蹈病基因区段。大规模 DNA 测序技术以及分析大片段 DNA 序列的生物信息技术的进步，对完成人类基因组全部核苷酸顺序测定起着决定性作用，目前的方法有待进一步改进乃至革命。预期全部人类基因组测序工作将于 2005 年之前完成。

#### 4. 基因的识别

HGP 的重要内容之一，是识别全部人类基因即基因组中发生转录表达的功能单位，并对其结构进行研究。目前常采用的策略有二：（1）从基因组 DNA 顺序中识别那些转录表达顺序即基因；（2）随机从 cDNA 文库中挑取克隆并进行部分测序。这些随机测出的部分 cDNA 顺序称为表达顺序标签（Expressed Sequence Tags, EST）。根据转录顺序的位置和距离绘制的图谱即转录图。过去 5 年里许多重要疾病（如脆性 X 综合征、Hunting-ton 舞蹈病、Wilson 氏病、多囊肾病）的致病基因被通过定位克隆技术

(positional cloning) 克隆, 而随着转录图中所定位的基因的密度和精度的提高, 定位克隆技术将逐步被定位候选克隆法 (Positional - candidate Cloning) 所取代。

人类基因组计划中还包括若干个模式生物体基因组计划 (见表), 我国重点支持的水稻基因组研究计划似亦可划入这一范畴。模式生物体一直就是生命科学领域研究的基本模型, 加之它们与人类相比基因组结构简单、单位 DNA 长度上基因密度高, 易于基因的识别, 而且从低等至高等的各个模式生物是研究基因分子进化的绝佳材料。各模式生物体之间的比较性研究将有助于人类基因的结构与功能的阐明。对于在整体水平研究基因的功能, 模式生物体更有着无法取代的地位。

### 三、我国人类基因组研究计划

中国是占世界人口 1/5 强的泱泱大国, 有 56 个民族和若干遗传隔离群, 以及众多疾病的大家系, 是研究人类遗传多样性和克隆致病基因不可多得的资源。在国际人类基因组计划提出伊始, 我国科学家就给予了热切的关注。80 年代后期, 在国家“863”高科技生物技术领域和国家自然科学基金的支持下, 我国陆续开展了与 HGP 相关的课题研究。继开展作为模式生物体的水稻基因组计划后, 国家自然科学基金委员会于 1993 年批准了题为《中华民族基因中若干位点基因结构的研究》的重大项目, 由国内 19 个实验室共同协作, 标志着中国人类基因组计划的正式开始。我国限于投资强度, 不可能像国外那样全面铺开, 该重大项目从我国的国情出发, 提出自 1994 年到 1997 年的 3 年启动阶段, 完成以下三方面的研究内容。

1. 以永生细胞株和 DNA 的形式, 保存若干具有代表性的少数民族基因组, 同时搜集各民族遗传病家系的样品, 为开展人类遗传多样性研究及致病基因的克隆提供资料。

2. 建立和改进人类基因组研究中的新技术, 其中有包括 YAC 在内的人基因库的引进和构建、基因定位技术 (如 FISH)、染色体显微切割技术、相对大规模 DNA 和 cDNA 测序、生物信息技术等, 目的是建立各种必要的基本技术和数据中心, 并稳定和培养一批从事该领域研究的队伍。

3. 结合我国特点、优势及原有研究基础, 选择若干与人类疾病相关的位点及区域进行结构和功能研究, 力争克隆到一批与疾病相关或具有重要生物学功能的基因。

### 四、基因组研究和人类白血病

Renato Dulbecco 在 1986 年发表于 Science 上的题为《癌症研究的转折点——测定人类基因组序列》的短文中, 提出进行人类基因组研究计划的直接原因, 是要从根本上解决肿瘤的分子遗传问题。肿瘤的基因组异常是当代生物学研究的重点之一。作为肿瘤重要组成部分的人类白血病, 则因其取材方便, 易于病理学和临床的观察, 成为肿瘤研究的突破点和主要模式之一。现已明确的白血病细胞基本生物学特征是增殖失控、分化受阻和凋亡异常, 导致这些特点的根本原因在于三大类基因即癌基因、抑癌基因和凋亡基因的结构及 / 或功能异常。有趣的是, 白血病的基因异常与白血病细胞的分化系列以及分化阶段有着密切的关系, 大多数是由于染色体易位, 造成基因结构的变化 (嵌合基因) 或表达的失控。阐明白白血病的基因异常, 不仅对理解其

发病原理，而且也将对其诊断和治疗产生重大影响。

近年来，笔者所在实验室作为我国 HGP 的参加单位之一，在急性早幼粒细胞白血病 (APL) 的分子病理学基础和新型治疗及其原理的研究中取得了若干突破。首先通过对 APL 特异染色体易位  $t(15;17)$  和  $t(11;17)$  的分子生物学研究，发现了由 17 号染色体的维甲酸受体 基因 (RAR) 分别与 15 号染色体的早幼粒白血病基因 (PML) 和 11 号染色体的早幼粒白血病锌指蛋白基因 (PLZF) 所形成的 PML-RAR 和 PLZF-RAR 融合基因。进一步的研究发现，PLZF 基因作为一种转录因子可能涉及细胞生长和分化的调控，在造血生成和神经系统发育过程中有重要作用。对 PML-RAR 和 PLZF-RAR 这两种融合基因的蛋白产物生物学特性进行的研究发现，它们很可能是通过“显性负”作用阻断粒细胞的分化以及凋亡，诱发恶性增殖。 $t(15;17)$  和  $t(11;17)$  易位所共同受累的 RAR 基因异常，对 APL 的发病可能是个决定性的因素。

### 五、维甲酸诱导分化治疗的分子机制

传统的治疗肿瘤的细胞毒疗法（化疗和放疗）是针对肿瘤细胞的增殖失控所设计的，由于对肿瘤细胞没有选择性，所以会产生骨髓抑制等严重的毒副作用，而且某些肿瘤对放、化疗并不敏感，因此，在原有基础上，继续寻找新的、更为合理的治疗途径是十分必要的。

1986 年上海第二医科大学附属瑞金医院、上海血液学研究所国际上首先应用分化诱导剂——全反式维甲酸 (ATRA) 治疗急性早幼粒细胞白血病获得成功，成为分化诱导治疗肿瘤的第一个范例。比较性研究发现，ATRA 能够调变 PML-RAR（见于绝大多数 APL）的构型和功能，并诱导白血病细胞的分化，而带有 PLZF-RAR（见于约 1-2% 的 APL）细胞则对 ATRA 无反应。我们认为，ATRA 实际是对 PML-RAR 融合基因及其蛋白产物的靶向治疗，结果是解除其对细胞分化的阻碍。

为了更好地了解维甲酸诱导白血病细胞分化，实现肿瘤细胞发生逆转的机制，需要阐明维甲酸作为配基与受体结合后，通过调控基因的转录表达，在细胞内所启动的一系列事件，而那些受维甲酸调控、在细胞分化过程中至为关键的开关基因，将有可能成为肿瘤基因治疗的靶点。为此，我们应用国际上新近发展的一种分离特异性表达基因的技术——差示 PCR (DD-PCR)，来筛选和分离受维甲酸调控的基因。在此研究中克隆到了一批受维甲酸调控的新基因，其中两个基因即 RIG-E 和 RIG-G 的全长核苷酸顺序已测定，并被国际人类基因组数据库 GenBank 所接受。进一步的研究表明，该两个基因涉及细胞的信号传导。发现更多的受维甲酸调控的基因，将有助于揭开维甲酸作用于白血病的奥秘，并为分化疗法推广至其它人类癌症提供依据。

### 六、砷剂诱导凋亡的研究

大量的研究表明，细胞凋亡受阻在许多人体恶性肿瘤的发生学上占有十分重要的地位，因此采用某些特定的方法和药物，特异性地诱导恶性细胞凋亡，使得这些细胞走向“自杀”之路，可望成为肿瘤治疗学上的新突破。但是，迄今尚未有特异性诱导凋亡疗法治疗恶性肿瘤成功的报道。

最近笔者所在单位与哈尔滨医科大学合作，在对从祖国医学宝库中发掘的氧化砷治疗 APL 机理的研究中，意外地发现砷剂选择性地诱导 APL 细胞凋

亡，并伴随凋亡相关基因 bcl-2 表达下调及 PML-RAR 蛋白亚细胞定位的改变和降解，这个结果显示它在细胞内的靶分子也是 PML-RAR，说明了砷剂选择性地诱导 APL 细胞凋亡的原因。因此，氧化砷通过诱导 APL 细胞凋亡来治疗白血病，可能是单一无机化合物经诱导凋亡途径有效地治疗恶性肿瘤的第一个成功范例。

对白血病和肿瘤的基因组研究，有可能识别出各种恶性细胞中的特异遗传学改变，最终将有可能导致基因和基因产物的靶向疗法，这一疗法与经典的化疗、放疗和造血干细胞移植联合应用，必将能从根本上改善白血病的治疗及预后，造福于患者。

七、我国人类基因组研究的概况及对策

我国的基因组研究工作起步较晚，而且是基础差、底子薄、资金少，与国际上这 5 年 HGP 的惊人速度相比，我们的差距很大，并且这种差距有进一步加大的可能。我们认为整个中国生命科学界若在如下几个方面共同努力，也许可能有较大的作为：

表 模式生物体基因组研究概况

生物体	基因组大小 ( bp )	基因数目	基因数/Mb	测序完成年份
流感嗜血杆菌	$1.8 \times 10^6$	1727	960	1995
大肠杆菌	$4.2 \times 10^6$	4000	650	1997
酿酒酵母	$1.5 \times 10^7$	6000	400	1996
拟南芥菜	$1.0 \times 10^8$	25000	250	-
美丽线虫	$1.0 \times 10^8$	13000	130	1998
果蝇	$1.2 \times 10^8$	10000	83	-
小鼠	$3 \times 10^9$	80000	27	-
人类	$3 \times 10^9$	80000	27	2005

- 1．尽快收集和利用我国宝贵的多民族基因组资源和遗传病家系材料，并阻止这些资源盲目流向国外。
  - 2．集中人力、物力和财力，建立互相配套的、集分子遗传学、自动化技术和信息技术为一体的中心，才能卓有成效地开展工作。
  - 3．依照我国国情和原有工作基础，做到有所为而有所不为，走“短平快”和出奇制胜的道路，直接楔入基因组研究中最关键的部分——基因识别，如走“cDNA 计划”道路，尽可能地克隆一大批新基因，在人类 8 万 ~ 10 万个基因中占有一定的份额。同时，由于基因组 DNA 测序是一项劳动和技术密集性工作，如能引进技术，培训一支高水平的技术队伍，完全有可能将人类基因组测序的一部分工作吸引到我国。
  - 4．充分利用国际基因数据库中已有信息，建立生物信息技术，推进我国基因组研究工作，并在基因组转录顺序的认识及基因功能推测方面多做工作。
  - 5．多渠道筹措资金，在维护知识产权的前提下开展国际合作。
- 历史已将中国当代科学家推上了人类基因组计划这一国际合作和竞争的大舞台，他们责无旁贷地要为供养自己的国家和人民负责，为 21 世纪中国的

科学、技术和产业负责，唯有高瞻远瞩地认清当前的形势和不辞劳苦、不计得失地拼搏，才有可能在国际人类基因组计划中占有一席之地，有着交换和分享数据的资本，共同品尝人类基因组这一全人类的“圣餐”。

# 心血管病的自我保健

陈可冀

中国中医研究院西苑医院

陈可冀 医学家。1930年9月30日生于福建福州。1954年毕业于福建医学院。历任中国中医研究院西苑医院主治医师、副研究员、研究员、心血管病研究室主任、老年医学研究室主任、副院长，中国老年学学会副会长、中国中西医结合学会会长、世界卫生组织传统医学顾问等职。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。他是新中国第一代西医学习中医学者，中西医结合先行者之一。

## 一、现状的严峻性

广义的心脏血管疾病应包括心脑血管疾病。根据世界卫生组织统计，全世界每年因此病而夺走了1,200万人的生命，是全世界最大的流行病。我国随着社会发展和人民生活水平的提高，疾病谱和死因顺位也发生了明显变化。据统计，我国城市居民1994年总死亡率为534.16/10万，其中脑血管病死亡率为129.58/10万（1957年为39/10万）；心血管病死亡率为87.94/10万（1957年为47.2/10万）。我国成人中高血压患者约9,000万人（8961万）。1978~1980年普查结果经人口标化后患病率为7.49%，1991年为9.41%，若将临界高血压计算在内，为11.44%，增加25.6%，新发高血压病人每年300多万人；新发脑卒中病人150多万人，脑卒中幸存者500~600万人，其中75%不同程度丧失劳力，重度致残率达40%，给家庭和社会带来很大负担。

以北京市为例，根据生命统计部门资料，1994年人口总数为10,617,510人，因交通事故死亡为1,062人（车祸）及38人（交通原因受害者），共1,100人。但因心脑血管病死亡数则高得多。全市总死亡数为60,977人，占5.77‰；因病死亡率5.43‰，心血管病死亡数为122.36/10万，脑血管病死亡数为150.16/10万，心脑血管病病死率共为总病死数的47.47%，死亡人数达2.9万人，高于全国的均值。亦即每隔20分钟便有1个人死于脑血管病或心血管病，主要为脑卒中和急性心肌梗死。目前北京市有高血压患者200万人，几乎每10年上升十个百分点，（1957年为7%，1979年为13%，1991年为22%），45岁以上每5人中有1人高血压，60岁以上每3人中有一个。北京房山区对10万农民心血管病普查资料表明，15岁以上人群高血压患病率为15.4%，35岁以上为26.5%，60岁以上为45.0%，有相当的农村代表性。

由于心脑血管病以中老年为多，人口老龄化呈世界性趋势，中国也不例外，所以，这是对老年人的严峻挑战。美国人心脑血管病死亡者中，65岁以上占72%，冠心病死亡者中80%为65岁以上老年人。中国的死亡数字已接近发达国家水平，脑卒中尤多，与日本相似。以上现状向我们提出了不容回避的现实问题。

## 二、对策的考虑

面对上述严峻的现实，世界上许多国家都采取了干预措施，死亡率有所

下降。世界卫生组织近年公布了 297 个工业化国家的趋势，死亡率呈下降型者有美国、加拿大、日本；中间型者（稳定）有丹麦、捷克；上升型者有匈牙利、波兰等。美国已从 50 年代每年死于此病的 70 万人降低了 40%，原来每年耗资（直接及间接）1,000~1,200 亿美元也已明显减少。

上述国家经验表明，高科技目前仅能解决一部分问题，包括发展冠状动脉及脑血管架桥术，球囊扩张术，溶栓疗法，甚至换心术（心脏移植），但 2/3 以上甚至全部都需靠自我保健的结合。

美国和日本取得一定的成功，主要在于政府和科技界的共同努力。近 20 余年以来，美国政府、食品药品监督管理局、疾病控制中心、农业部、卫生部、精神卫生、酒精及烟草管理部门和国家体育运动部门，先后发布了 10 个有重大影响的决议，教育群众注意饮食结构的改进，重视体格锻炼、心理卫生、戒烟戒酒教育等等，取得进展。

近 10 年，国内外对心脑血管病的病因学、发病因素研究取得了重大进展，从遗传基因调控到社会环境因素，个人后天因素等作出很多阐明，但在很大程度上还是一个“灰色系统”，距离应用尚有时日，如高脂血症，对氧化低密度脂蛋白(oxLDL)过高的家族性高脂血症，以 oxLDL 受体在肝脏植入，已有 9 例，取得近期效果，但问题还不少。从目前情况看，预防着手，自我保健仍应放在第一位。

所以，对策可分两大类：一为人群（防治）策略，一为个体（高危因素控制）策略。

吴英恺院士是我国心血管病流行病学学科的奠基者，他自 70 年代初期就强调人群干预策略，取得了成功经验，他从当时开始就在首钢建立高血压、心脑血管病防治区（点），进行人群干预，高血压管理率达 95% 以上，控制率达 70.6%，1993 年该管理区未发生脑卒中患者。他并组织全国 20 多个省市组织防治点，都有一定进展。作为世界性的 Monica（The Multinational Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Diseases）方案的领导者之一，参与多国（28 国，47 个医疗中心）3,000 多万人心血管病人群纵向监测的研究，中国共监测 581 万人。各地参加工作的经验也是很好的，贵在坚持下去。

个体高危因素干预策略，主要是针对有高血压、高胆固醇血症、肥胖、以及吸烟者的个体化处理。这些高危因素都是与心脑血管中具有因果关系，独立存在，有预测意义的，高危因素层次越高，发病率也越高。以高血压为例，较之无高血压者中风发病率高约 3~7 倍。

以上两种干预方式应结合进行。预防是可以取得成效的。

### 三、提高自我保健的自觉性

心血管病是头号杀手（great killer），如果人们自己不懂得提高自我保健自觉性，等于当了帮凶，成了自己的敌人，应当相反地使自己成为“医生”。

问题是“病盲”太多。以高血压为例，1991 年 100 多万人的调查数据表明，人们的知晓率（status of people awareness）太低。查出的高血压患者中，仅有 1/4（城市为 36%，农村为 14%）知道自己患有高血压，而且其中仅有不到 1/2 的病人在服用降压药治疗，得到控制的高血压患者仅占全部高血压病人的 1/3。城市情况好一些，这是因为医疗条件和

就医方便，以及接受健康教育机会多些之故。由于高血压未获规范性治疗，使中风患病率明显增多，这就是国外称之为把自己也变成了健康的敌人了。

脑中风的三大隐患是：1．忽视高血压，不把它当回事，不作治疗；或治疗时不规范，没有做长期用药准备，时用时不用，引起血压波动或反跳；由此导致中风的病例我们见到的太多了。2．用药不当，用过了头，随意加量，在加量基础上为了睡好觉又加了大剂量安定药，第二天醒来时已是偏瘫的脑血栓形成的身躯，这可称为“与药物有关的自杀”（drugrelated suicide）。3．生活或环境的不良因素诱发，如精神或心理上的不良因素，占 30%～50%，如易激怒、“好斗”等。

实际上，轻症病人用少量降压药，以致于仅用罗布麻片、葛根片、汉防己甲素片等中药，就能安全地降压，中等度以上患者则要用一些其他强度大些的药物，应听从医生指导，并按时监测血压。诸多病例虽未能根治，但却可控制。

又如有些冠心病病人，心电图缺血改变很明显，不听医生指导，认为自己身体还可以，到颐和园爬万寿山佛香阁试试，实为赌博（gambling），结果欲罢不能，为此患急性心肌梗死住进我们医院的，我见过多例，而且是十分类似的例子。这说明病人要有自知之明，提高自觉性，防病于未然。

#### 四、要有一个稳定的精神情绪状态， 要保持一定的自控能力。

养生首重养神，或养性，很重要。不可以动不动就发“雷霆之怒”，我们临床见到不少脑中风病人是因为七情内伤，情绪不节制，血内儿茶酚胺等交感神经介质增多，血压剧升，血管破裂而得病。有的急性心肌梗死病人易激怒，不耐烦，生气，心率加快，心肌耗氧量上升，血小板聚集性增强，导致冠状血管血栓形成而梗塞的。猝死或心脏骤停，也常因强烈交感反应而使心脏电生理紊乱，心室颤动阈值降低而致，作为诱因，高达 40%～50%。顺便说一下，关于健康的定义，应包括躯体和心理两方面的健康，以及具有良好的社会适应状态。

《三国演义》中讲诸葛亮三气周瑜，把周瑜活活气死。人际间关系（同事、亲友、婆媳、夫妇、邻里等等）如何以友好的“和为贵”相待很重要。有的老同志过去“一呼百应”，离退休后“百呼不应”，因为买东西受不了售货员的几句气话，立即气倒，得急性心肌梗死，因心室壁瘤而作手术，耗资数万元；说明了要有自控能力，保持心理平衡。要活得洒脱一些，自得其乐，不要“好斗”（“其乐无穷”？）。清代一东阁大学士阎敬铭有首《不气歌》，写得很好，是实际体会之作：“他人气我我不气”，“倘若生病中他计”，“气出病来无人替”，“不气不气真不气”，这是其中的几句，很好。说明应能拿得起，放得下，少些失落感。当然，现在心理学界也有主张“anger out”的，不主张“anger in”的，我主张要善自排解。

过多的紧张，也不合适，stressrelated syndrome 中有一部分血压就高了；会计、统计、电话员等经常接触噪声者，常可导致血压升高。动物实验中，可给犬、大鼠以持续噪声、铃声、刺耳的尖叫声，使其昼夜不得安宁，不几天高血压模型自可形成，便是例子。所以，乐观的情绪，充足的睡眠，知足常乐和超脱的心态是很重要的。“及其老也，戒之在得”；“静胜躁，动胜寒”，不愉快时不妨先静下来。

## 五、一张体力活动处方

缺乏体力活力，会带来很多恶果，首先是肥胖和超重。超重 10 公斤等于平常干什么事都要多背上 10 公斤肉干活，何等累赘！超重和肥胖还给心脏及血管增加一系列负担，肥胖与高血压呈正相关，比不胖者患病率多达 5 倍，与血胆固醇增高也呈正相关。血脂也可升高，贻害无穷。所谓“小孩长骨头，青年人长肉，中年人长腰围，老年人突肚子”，后二者便是缺乏活动所致。

中国人的适宜体重是：身高（cm）- 105=体重公斤数。科学计算的标准体重指数（BMI）为：体重（kg）/ 身高（m<sup>2</sup>），当然还有计算腰围 / 臀围比值的。

中国人平均 BMI=21，广东人平均 22~23，北京人平均 23.5~23.9。中老年人肥胖者不少为向心性或苹果型的肥胖，需要有坚强的意志来减重。美国由于肥胖人太多（1/3），现在有 4,400 万人加入减肥行列。中国有句古话：“流水不腐，户枢不蠹”，“一身动则一身轻”，动以养生是传统医学的一个重要流派，足以使气血和畅。血管弹性改善，心脏负担减轻，机体对血压的调节也可改善，这是国际上公认的。

体力活动（physical activity）经常化后，可提高体力耐受性（physical fitness）。通常运动方式有两大类，比较科学的方式为耐力型运动，如散步、练太极拳、快步行走、慢跑、骑自行车、游泳、球类运动等；另一种如举重等属力量型运动，比较剧烈紧张，运动时使收缩压及舒张压均上升，可诱发心律失常或脑卒中或心脏事件，不宜列入日常的、合适的、大众可接受可坚持的运动方式。近年世界卫生组织提倡步行锻炼，认为比慢跑或快跑好，适合不同年龄及不同体格状况者，只要有一双合适的鞋即可，每天走 2~3 公里为好，若能长期坚持，有助于微循环开放。运动量可因人而异，当然以“动而不劳”，不气喘，不发生心绞痛，自我感觉好为宜。有的学者主张运动以达到最大心率（即 210 - 年龄 / 分）的 50~70% 为指标，其实这也并不十分精确，因每人基础心率不同；有的人用 受体阻断剂或钙拮抗剂治疗中，也影响了心率的计算。应结合自我感觉选择体力活动量。以运动后心率不持续快，不头痛头晕，不疲劳为好。关于体力活动频度，也有主张每周 3~6 次，每次 1 小时或半小时者，长期坚持，可调节血压。比较年轻的，慢跑每日一次，每次 30~60 分钟，也可以。

每日坚持练太极拳者（体力差，练半套，1/4 套也可）。广州及上海的一项 5 年随访研究，证明可提高肺活量，握力，并改善睡眠。练静功每日 1 次，每次半小时，意守丹田，有镇静安神作用；我访问印度，听印度学者介绍研究证明做瑜伽（yoga）功者可立见血浆儿茶酚胺水平下降，交感神经活力下降，心率减缓，认为有助于调整血压。

我曾见一中年高血压病肥胖患者，体重 160 公斤，我到病房巡诊时，请他坐起来听听心肺情况，他竟口出骂声：“你没看到我能坐得起来吗？”，的确此患者胖得没法起坐，以后此患者死于脑溢血。肥胖作为危险因子是肯定的。高血压和肥胖两个危险因素若并存，脑卒中发生率增多 2.5~3 倍。所以中老年人体力虽减退，但适当活动仍属必要，应忌懒，更应忌“多吃少动”（eating more and exercising less）。

## 六、日常生活中的几件事

基本要求是：作息定时，保持节律；睡眠充足，劳逸结合；不纵恣口腹而饮食有节（请参见七：“合理的膳食，一张食品单”）；遵医嘱按时服药；检查血压、心电图作动态观察；探亲访友也要保持规律生活。

1. 三个“半分钟”。中老年人常有脑动脉硬化供血不足或椎基底动脉供血不足，或心肌缺血表现，劳累时加剧，突然起床时可加剧眩晕欲倒或卒中。所以，夜间起床排尿或晨间起床，最好实行三个“1/2分钟”办法，即醒后卧床1/2分钟，坐起1/2分钟，起身再1/2分钟，以策安全。

2. 北京人有遛早习惯，这是健身的好习惯，迎着晨曦散步也很好。但冠心病动态心电图所见不少病人早6~12时多有心肌缺血，易致心脏发作，这是人体生物钟节律或劳累性变化的结果。所以，对于不少有病的人来说，有时傍晚散步会更好，微循环也较好开放了，危险性会少些。

3. 老年人应保持每日尿量在1,500cc以上，以保证肾、脑、心的健康，避免血液过于粘稠；若见尿黄而少，应补充饮水量或饮茶量。广东人喜欢饮茶、喝汤，这也许对改善血粘度有益，脑卒中较少，值得借鉴。

4. 高血压病病程长，心脑血管器官随病程可受损，应记住按时用药，也要避免诊断后的标签效应（labelling effect），负担过重，独立感下降；更应避免甘冒风险不用药。作为个人活在地球上时间不长，要努力提高生活质量，健康工作。

5. 腔隙性梗塞为腔隙部细小穿通动脉闭塞所致，多为高血压所致（75%~90%），直径3~15mm，CT检查阳性率高，一年内再发率为18%，要减少紧张、恐惧程度，避免血管痉挛。

6. 有溃疡病等出血倾向者，不宜用Ticlid或Aspirin，可用中药冠心2号（现名精制冠心冲剂）、复方丹参片等。

## 七、合理的膳食，一张食品单

对于中老年人，尤其是血压高、肥胖、血胆固醇水平高，或有冠心病、脑动脉硬化者，饮食如何注意，是十分重要的事情。

1. “饮食有节”，这是《黄帝内经》里的句子，很有道理。但也有古人说：“食唯半饱无兼味”，我想七八分饱可以，无兼味恐指不过多零食，当然还是注重杂食为好，营养结构合适。重要的是不宜“塞饱”，热卡过多，食欲旺盛，更易招致肥胖（diet-ing mania make fatter）；腹部脂肪增多，向心性肥胖，一般经验认为似能反映动脉粥样硬化程度。

2. 不少心血管病肥胖人有爱吃肉和黄油的习惯，我曾遇见两位农民心肌梗死，生前是一天可吃下半个猪头肉，外加10余个鸡蛋。这会使血脂升高（每克脂肪氧化代谢可产生9Kcal热量，每克碳水化合物或蛋白质为4Kcal热量，每克酒精为7Kcal热量），所以最好少食用猪肉、黄油和奶油。限制脂肪不仅指过量的动物脂肪，即使食用豆油、菜籽油、芝麻油或玉米油，也不宜过多。

3. 黄油是十分可口的食品，但它和动物内脏及鱼子一样不宜多吃。即使是人造黄油，也以少吃为好。我们原以为人造黄油好，但实际上是由部分氢化的油脂构成，即含有反式（trans）脂肪酸的食油，有害人体。在其双键周围的氢原子位于碳原子的两侧，而一般不饱和脂肪酸则位于同侧（顺式，cis）。不少点心、蛋糕、饼干、炸土豆片也用反式脂肪酸油脂（因不易氧化变质，食品商用它代替动物油）。美国不少吃快餐的人胖得很，因为20%以

上热量来自它（法国人仅 7%），所以尽管正餐吃不多也肥胖，抱怨 We are not big mealtime eaters, but big snackers.

4. 由于心血管病人机体处理脂肪能力下降，所以美国在降低心血管病食谱中，近 10 年全脂奶饮量减少，代之以低脂或脱脂奶，Coca Cola 也有低热量的 Diet Coca Cola；肉类及鸡蛋、鱼子等进食减少，平均 5 个鸡蛋/周，倡导吃蔬菜水果、海产品，我国传统提倡食品当清淡也很合理，有利于人群策略实施。

5. 世界卫生组织资料指出，人群胆固醇血清水平升高 1%，冠心病病死率增高 2%；近年北欧及欧美膳食结构调整后，病死率下降，露出新曙光。我们临床见到冠心病高脂病人抽血检验可见血色为乳糜状，十分惊人。所以每日总脂肪摄入量应在 30% 以下（饱和脂肪 < 10%），胆固醇每天在 300mg 以下为宜，日本、希腊、上海、广东人群血胆固醇相对低，保持平均寿命于世界前列，很可借鉴。1995 年 2 月 AHA（美国心脏病协会）建议主要少吃肥肉、高脂奶产品如奶酪及冰淇淋，但认为完全不吃鸡蛋不合理（因其中含铁和其他营养来源），有冠心病者每周不超过 4 个为宜，超重者少吃。有人认为低胆固醇水平与癌症有关，美国 7 年干预试验注意到，在低胆固醇 1/10 组，即 < 4.4mmol (168mg/dl)，癌症死亡率固比他组高，但死亡率增多主要在头 2 年，随后不再出现，说明是癌症前期使胆固醇降低，并非低胆固醇诱致癌症。

6. 少吃精糖（精制糖）。例如糖果、糕点，因可产生过多热量，没有什么其他营养成分，不宜多吃。我国传统五谷杂粮较好，含复合碳水化合物，但吃太多也不好。中国营养学会推荐：男性轻劳动及极轻劳动者每日总热量为 2400~2600Kcal（其概念为每 500g 米面类可产生 1750Kcal），所以主食一般老人每天不宜大于 5 两。平时不应大吃大喝，或过多零食。当然，厌食以致营养不良也不行。我就见到老年贫血者，其生活条件原本不差。

7. 限制盐的摄入。食盐（其中的钠盐）过多可使 30%~50% 的高血压病人血压上升，这些病人对盐敏感。盐进食过多使血压升高是国际公认的。我国北方人（北京、山西、黑龙江等）口味重，食盐多，13~19 克/日，高血压病人多。南方（两广，江苏）7~8 克/日，患病率少得多。理想的是控制在 2~3 克/日（一般人 5 克/日），约相当于 2 个半小牙膏盖的容量，可减少降压药用量，使轻病人不必用药，减少脑卒中发生。如测定尿钠水平，应 < 360mmol/24 小时尿。具体办法是少吃腌制物（腌鱼、肉、蛋，梅干，火腿，香肠，酱豆腐）。传统先着盐做菜可改为后着盐，同时巧用各种调味品等。

8. 关于烟、酒。吸烟和高血压因果关系有不同意见。但长期吸烟肯定对血管不好，其血管痉挛，心脑血管事件或猝死者增多。饮酒与血压有一定关系，饮用量大与血压增高呈正相关。一般建议至多 < 15 克/半杯白酒/天为宜。中医认为少量饮酒活血，提神；多用则伤神，耗气升高血压。有研究指出，经常吸烟者，冠心病机率增加 30%，经常饮酒者，增加 25%~45%。

9. 一张食品单。

绿茶和乌龙茶：传统认为可提神消油腻。茶叶中除了含 2%~3% 咖啡因对少数人不宜外，多数有益。茶叶中含多种维生素、矿物质，多酚（polyphenol）类化合物。实验及临床证明有保护心血管功能及降脂作用。降低血浆肾素活性，有利于调节血压。传统中医并认为有清热抗炎，通腑泻

浊作用。也有保肝作用（每日不超 10 克为宜，具体有的病人可饮淡茶或浓茶）。

菊花茶：清肝明目。对稳定血管反应性并改善冠脉供血有益处，我院实验研究有同样结论。

芹菜：平肝活血。所含内酯成分芹菜甲素等可通过血脑屏障。电凝动物大脑中动脉致脑梗塞模型，实验防治证明可减少梗塞面积和脑细胞含水量。可生用绞汁服；也可做芹菜大枣煎服，或炒食。有轻度调节血压作用。

黑木耳：活血消滞，舒达筋骨。本品野生，寄生于阴湿木干上，状如人耳，多取自桑、柳、楮、榆；今多栽培于椴木上。水泡煮蒸食用。美国和中国都证明有降脂改善动脉粥样硬化病变功效。

白木耳：可与黑木耳、豆腐同煮食，称双耳。

黄花菜：为金针菜一种，属百花科多年生宿根草本。又名萱草。菜食有利尿消肿预防心悸功用。

大蒜：为含硫化物的混合物，有降脂和防止血栓形成作用，3 克 / 日为宜。

洋葱：含烯丙基二硫化物及少量硫氨，也含一定量 PGA，有舒血管、降脂及预防动脉粥样硬化作用。

燕麦：含极丰富的亚油酸，及丰富的皂甙素，有降胆固醇及甘油三酯及预防动脉粥样硬化作用。

荞麦：大致同上。

玉米：含丰富钙、镁、硒等元素，及维生素 E、卵磷脂；有降胆固醇作用。印第安人患高血压而合并冠心病者少，分析得益于此，减少血管内皮的过氧化。玉米须利尿消肿，有益于高血压患者。

青菜：进食 16 克 / 日以上食物纤维，可降低缺血性心脏病危险性达 25%，且有益于通便。

番茄：含番茄素和食物纤维，可结合胆固醇代谢物，防止动脉硬化。

山楂：“露水白时山里红”，成熟在白露前后，其果、叶均含黄酮类化合物，有益于心脑血管。传统中医认为具有“活血”、“消肉积”功用。可以 30 ~ 50 克 / 日泡茶用。

鱼：含人体必需的多种不饱和脂肪酸，抑制血小板聚集，降脂，1 ~ 3 次 / 周进食，可降低冠心病的患病率和危险度。

莲子心茶：清心火、安神。其总碱有温和的降压作用。

决明子茶、陈葫芦茶：清肝明目，润肠排浊，对高血压、高脂血症者有益。

海蜇皮及海带：传统认为可软坚散结。对血管结构和功能有益，机理尚待研究。

# 探索脑的奥秘

杨雄里

中国科学院上海生理研究所

杨雄里 神经生理学家。1941 年 10 月 14 日生于上海。1963 年毕业于上海科技大学生物系。1980~1982 年在日本国立生理学研究所进修，获学术博士。现任中国科学院上海生理研究所研究员、所长，亚太地区生理联合会副主席，中国生理学会副理事长，中国科技大学、复旦大学、美国贝勒医学院等校兼职教授。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事视觉神经机制的研究。

人被誉为“万物之灵”，这是因为人具有高度发达的大脑。我们为什么能看到色彩缤纷、千姿百态的世界？为什么能听到悦耳动听的鸟的啼啭和动人心弦的音乐旋律？我们为什么有智力、能思维？为什么又有喜怒哀乐？这既是科学家们久已魂系梦牵的重大问题，又是普通人十分关心的自然之谜。探索和揭示脑的奥秘是当代自然科学面临的最重大的挑战之一。

人类对精神、思维本质的探索源远流长。早在 2000 多年前哲学家已经开始思考精神的本质，以及精神、灵魂和肉体的关系。柏拉图认为精神必定是处于头颅之中，他的论据是：头颅是圆形，而圆在柏拉图看来是最高的几何形式。但是亚里士多德却坚持说，精神处于心脏中，其理由是：温热意味着活力，血液是温热的，而心脏又泵出血液。到了中世纪，虽然相当多的科学家都同意精神来自大脑，但对它如何产生仍然几乎一无所知。法国哲学家笛卡儿的观点在当时很有代表性，他宣称，精神可能居于脑中，但它是一非物质的东西，与头颅中的任何物质都没有关系。

很难确切地判定，从何时起人们真正地从科学的意义上把精神和大脑联系起来，19 世纪奥地利科学家高尔（F. J. Gall）可能是较早的一位，他被誉为“大脑生理学的创始人”。自此之后，大量实验证据已令人信服地表明了大脑和精神活动之间密切的、不可分的关系，精神活动即是脑的高级功能。人类对精神、思维本质的认识从此归之于对脑的奥秘的探索。

但是对脑的奥秘的探索并不局限于脑的高级功能，在科学界里，脑与神经系统在许多意义上是等同的，而脑的高级功能与神经系统的许多其它功能又是休戚相关的。感知和运动都是我们进行精神活动的基础，实际上就是精神活动的一部分。因此，所谓探索脑的奥秘就是认识神经系统是如何实现其各种功能，简而言之，科学家们在这场挑战中孜孜以求的目标是：揭示神经系统的工作原理。我们的脑具有  $10^{11}$  的神经细胞（神经元），大抵相当于银河系的星球数，加上彼此间联系的接点（突触），总数达到  $10^{14}$ 。与这么一个庞大、复杂的系统打交道确实是一场无与伦比的挑战。

## 一、脑的工作特点

让我们先用一个实例来形象地说明脑是如何工作的。阅读是日常生活中一个常见的行为。这个行为包括以下几个组分：首先，我们要感知书本上的印刷符号，理解符号的意义；之后通过眼肌的运动，把眼睛移至下一个句子或段落。为了了解这个行为是如何发生的，自然需要追踪神经信号的传递通

路。在这个行为中，神经信号最初是在视网膜中产生的，由视神经将此信号从眼传至大脑的枕叶（视皮层，感知印刷符号），然后又通过中枢不同部分间的联系把信号传送至大脑额叶（理解信号的意义），转而又通过运动性通路去控制眼睛的运动。这是在系统或神经通路水平对行为的认识。要了解这些系统的工作机理，又必须分析脑中由众多神经元组成的神经回路或神经网络，他们接受和处理信息，彼此间不断地交换信息，是实现神经系统功能的基本单元。进而，每一个神经元都是可兴奋的细胞，是神经信号（神经冲动）的发源地，它们之间通过突触联结起来，或产生兴奋或产生抑制。突触是一个复杂的结构和功能单元，就神经系统中最常见的化学突触而言，上游神经元（突触前神经元）释放神经传递物质（递质）或调制物质（调质）直接或间接地（通过第二信使）与下游神经元（突触后神经元）膜上的离子通道蛋白（受体）相互作用，引起跨膜离子流的增加或减少，这是神经信号在分子水平的表现形式。这样一种分析把行为化解为不同的组构层次，也反映了现代神经科学家在不同层次上对脑的工作原理的探索。当然，从神经活动的真实过程来看，首先是在分子水平上发生的各种事件导致神经元信号的产生和传输，在回路中的信息处理、整合，在不同回路间的相互作用，以及在不同中枢间活动的相互作用和协调，最终产生行为。

## 二、脑科学的重大进展

对脑的探索最初是在神经解剖学和神经生理学这两个传统分支领域中展开的，即通常所说的神经系统的结构和功能的研究。在 60 年代之前，主要的研究工作是在系统和回路水平，大量知识的逐渐积累和详尽的分析促成了这些领域的成熟。在对神经系统的许多通路、回路的组构和工作方式的认识深入到一定程度之后，在细胞生物学和分子生物学急速发展的推动下，神经科学家固有的进取心促使他们不断思考这样的问题：对于神经活动的基本过程，脑的高级功能，神经系统的发育，神经和精神疾患的病因分析和诊治，在细胞和分子水平我们能说些什么呢？既然已经拥有了细胞生物学、分子生物学所提供的强大武器，我们能不能干得更好呢？

研究深入到更微观的层次也是自然科学本身发展的规律使然。在物理学中，这种转变发生得似乎更早一些。1901 年普朗克的量子论标志着从经典物理学对物理现象宏观的描述跨入了对微观物理世界的分析。这一跨跃在物理学中激起的宏大浪潮，是物理学成为 20 世纪领头学科的最重要特征之一。现在轮到神经科学了。把对脑的研究推向细胞和分子水平显然是神经科学的最重要的发展趋势。这 30 年来，在细胞和分子水平的重大发现和成果接踵而至，使人目不暇接。

现代神经科学的一个重要目标是揭示神经系统中神经元之间联系的模式。为了达到这一目标，我们首先需要了解神经元是如何对刺激作出反应的。神经元反应的基本形式是电信号，这种信号可以用尖端极细（小于 1 微米）的玻璃微电极刺入细胞内部加以记录，如果在微电极的尖端事先充灌上染料并注入细胞，就能把细胞的形态特征同时显示出来，这样，我们就能在单个神经元水平上把结构和功能联系起来。用更通俗的语言来表达，我们就有可能了解各种神经元在某种刺激条件下分别在干些什么。细胞内记录和染色技术的迅速发展已经使我们对许多神经回路的组构有了相当细致的了解。视觉系统是一个有代表性的例子。目前，对于光照射时视网膜的各类神经元是如

何活动的，对不同的神经元之间如何通过突触联系起来相互作用对信息进行处理、传递信号也有了大体上的了解。对这些信号传入视觉中枢后，那里的神经元又怎样对信息做进一步加工，形成视知觉已经有了相当深刻的认识。

现代神经科学的另一个重要目标是阐明神经活动的某些基本过程。脑不同部位的神经元形态不同，反应特性迥异，由此产生不同的神经活动和功能。但是，所有的神经活动都有一些共同性的基本过程，这包括：神经元产生信号的机制、突触传递和调制的规律等。这些基本过程的阐明无疑有着普遍的意义。

神经信号的基本形式是神经冲动（即所谓动作电位），它是受刺激时神经细胞膜发生瞬时的离子通透性变化的综合结果。离子在膜内外的交换是通过“离子通道”进行的。虽然“离子通道”的概念已有多年的历史，但其分子实体的鉴定和特性的深入研究是 80 年代才真正开始的。新的分子生物学方法（如重组 DNA 技术）使我们对通道结构的认识有了显著的改观，而近代电生理方法（如膜片钳位技术）已使人们能对离子通道功能作直接的、高分辨的观察和分析。

在神经系统中，所有信息处理都涉及经由突触的通讯，因此突触的研究在神经科学中占有中心的位置。突触传递过程的几个侧面都已相当清楚。被鉴定的神经递质已经达 40 余种，包括氨基酸、胺、神经肽。对突触小泡内递质的合成、维持、释放、调节的分子机制的认识已今非昔比。

在阐明脑的高级功能的细胞和分子机制方面也有重大进展，其中最突出的是学习和记忆的研究。学习是一个过程，记忆是一种状态。不断重复的学习将增加记忆的强度和滞留时间，这种关系是由什么决定的？记忆是否是单一的过程？短期记忆（持续几分钟到几小时）和长期记忆（持续几周、数月，甚至终生）是单一过程还是多重过程？如果是通过不同的过程所实现，二者之间的关系是平行的还是串行的？通过对低等动物（如海兔）简单行为的研究，已经对这些问题的回答提供了启示。从目前的研究结果来看，短期记忆和长期记忆的细胞水平的机制似乎是相似的，均伴有神经递质释放和神经元兴奋性的增高，但是在分子水平两者有明显的不同：短期记忆所需要的基因产物是预先存在的，更新较慢，而长期记忆所需的基因产物必须是新合成的。与此相应，在哺乳动物上进一步发现，长期记忆需要通过蛋白的合成来加以存储。近年来，反向遗传学介入了脑的研究，这种方法通过制造定位、定向突变改变细胞的基因型，进而还可以改变小鼠等哺乳动物的基因型以产生转基因动物，这为研究某些基因产物在学习、记忆等过程中的作用提供了有利的条件，已经开始取得显著的成功。

对神经疾患和精神疾患的研究同样反映了神经科学家在分子水平所作的努力。家族性老年痴呆症基因定位的成功是人们经常列举的例子。老年痴呆症表现为记忆力和推理能力进行性丧失，其中 1 / 4 病例有明显的遗传倾向。目前对家族性老年痴呆症的基因缺陷定位已获成功，证明系常染色体显性遗传病。这为研究其发病机制、产前诊断和进一步的基因治疗奠定了基础。

### 三、从整合的观点认识脑功能

对神经活动的细胞、分子机制的研究就其本质而言，在哲学上来说是一种还原论式的方法，即把脑的功能“还原”成细胞和分子水平所发生的一些事件。不论从事这些研究的科学家在主观上是否意识到，这种分析合理性的

基础是：神经活动实际上是那些细胞和分子事件的反映。这种观点有其正确的一面，因为一些简单过程往往是自然界复杂性的基础。但是我们脑的功能只是林林总总的这些事件的总和吗？

不妨举一个例来说明，我们的视觉感知中对脸的辨认是一个重要方面，近年来确实已经发现猴大脑中某些区域（如下颞叶）中某些神经元对脸有特异反应的神经元。这是否意味着对脸的辨认即能归结为这种细胞的活动？或者说，能否想象存在着特殊的细胞来处理每一张熟悉的脸，或每一件熟悉的物体？科学家们目前一般不这么认为，一个被广泛接受的观点是：对视觉图像的感知最终需要平行性处理过程，即需要大脑不同区域的神经元的共同活动，它们各自相对于视景（如脸）的某一特殊方面进行编码。质言之，分立的各部分状态可能并不代表整体，重要的是它们之间的关系。这就像一幅照片的情况，单颗银粒并无意义，正是银粒的集合才表示一种视景。

因此，对于脑这个自然界最复杂系统的奥秘的揭示，显然不能完全依赖于细胞和分子水平的研究。这是因为当分子组成了细胞，分子就不是原来意义上的分子；当神经元组成了回路，神经元就不单纯是神经元，更不要说神经元回路最后组织成脑了。这就是说，当一些基本的单元或过程组合或组织起来以后，必然会产生一些各个组分并不具有新的性质。这就是说，把神经活动还原成更低一级层次时不可避免会失去许多信息。既然我们不可能单从羽毛的结构来推测鸟是如何飞行的；既然我们不能从最简单的硅芯片的活动来推测巨型计算机的功能和工作方式，我们又怎么能设想从分析单个离子通道、神经元、突触的性质就能推论脑是如何工作的呢？

因此，完全囿于纯粹的还原论分析，将使神经科学成为跛足的巨人。脑的活动的本质决定了脑研究必然是多层次的、从整合的角度对脑的活动的探索最近正在重新引起科学家们的注意。

神经网络的研究是一个比较突出的方面。基于数学、物理、计算科学、神经科学的协同研究，目前已建立了各类神经网络，其中一些综合解剖和生理学的资料，不仅模拟某些神经过程或功能，重要的是它们的算法也为揭示神经系统的工作原理提供了启示。例如计算视觉的研究已经为阐明视觉系统的图像识别的机理开辟了新途径，也有力地促进了人工智能和计算技术的进一步发展。神经网络的研究目前正在推进到对智力、思维过程的探索，有人提出，思维过程实际上就是不同神经元集群活动的时空模式间相互竞争占领脑的工作空间的过程；在我们的举手投足间思维的动作，表现出达尔文过程的基本原理。

在清醒、活动的动物实施行为（如摄食、饮水）或某种动作和操作（如运动、视觉分辨）的过程中，用微电极记录、分析大脑神经元的活动，并把两者相关起来，是另一个令人瞩目的进展。例如，对运动皮层、脑干核团、小脑等神经元活动模式与行为相关的描述，已使我们对运动发生和执行的神经机制的了解向前跨进了一大步。

新的大脑造影技术的发展为在无创伤条件下分析完整脑的功能特性、区域性相关，以及神经化学的变化提供了新的手段。除了已经进入常规医疗实践的X射线计算机化断层造影术（CT）外，正电子发射断层造影术（PET）和功能性核磁共振成像，使人们有可能在无创伤条件下研究受体结合、递质代谢等，不仅能提供静态的信息，也能追踪动态的变化，并进一步与行为关联起来。

#### 四、“脑的十年”和脑研究的前景

鉴于神经科学近年来取得的重大进展，以及这些进展所揭示的广阔前景，科学家们认为对脑的研究正处于关键时刻。在科学家的倡议下，90年代已被命名为“脑的10年”。从目前的情况来看，我们可以对脑研究的发展做怎样的预测呢？

1. 对神经活动基本过程的了解将进一步深入，这些研究的进展不仅是人类认识上的飞跃，也将为癫痫、帕金森氏症、老年痴呆症、精神分裂症等神经疾患提供更有效的治疗手段。例如，目前治疗精神分裂症的药物是阻遏多巴胺对  $D_2$  受体的作用，这些药物虽然有效地改善了行为上的症状，但会产生严重的运动系统异常。目前，运用克隆多巴胺受体位点来作筛选，正在开发选择性阻遏  $D_1$  受体的药物，可以达到同样或更好的治疗效果，又有可能消除上述副作用。另一方面，随着分子神经遗传学的急剧发展，有充分理由预计，在未来几十年内，很有可能确定大多数遗传性神经疾患的未来表达或缺损基因的定位，从而为分析乃至纠正其致命的缺陷奠定基础。

2. 神经系统的发生和发育的研究肯定是一个成果丰硕的领域。在胚胎时期神经系统从无到有，最终形成完整的组构，但是机体一旦成熟，大脑和脊髓的神经联系受损后通常就不能再生，功能也就不能恢复，截瘫就是一个常见的例子。由于对神经营养因子的了解的深入，科学家们正在逐渐创造条件，应用植入胚胎组织和其它方法，导致新的神经联系的建立，从而为神经系统的恢复展示了有希望的前景。

3. 对神经信息处理机制的深入分析将导致计算科学发生重大变化。脑可以看作是一种平行信息传输机构，它比传统计算机具有极大的速度优势，又是容错的，可以长期持续地工作，它的分布式存贮信息的方式可使各部分信息的存取极易进行。这些特点正在为计算科学家提供启示，而新的神经计算机的诞生已为此作了最好的注解。

4. 对于脑的高级功能，诸如感知、运动控制、记忆、思维、语言、情绪等的认识，科学家们正期待着某种突破。应该说，这是在探索脑的奥秘的挑战中，人类显得最无力的，而这又正是这场挑战的终极目标。从根本上来说，对于由细胞和分子水平上的事件为基础的局部神经网络，如何组装起来构成庞大而复杂的脑，并实现上述的高级功能，人类在理论上只有模糊的想法，也缺乏有效的研究手段。例如，语言能力是人类特有的高级功能，但对于语言的中枢表象我们还陷在迷雾之中，甚至对如何应用适当的方法入手来研究问题也缺乏头绪。问题的实质是，我们必须发展新的方法，探索新的思路，去揭示由大量神经元组装成的功能系统的设计和工作原理。这虽然并非是完全未经开垦的处女地，但确实是一片难于涉足的茂密的原始森林，许多科学家预测，在真正意义上的突破可能就发生在对这片森林的开拓之中。

\* \* \* \* \*

人们探索自然已经走过了漫长的历程，现在人们正在认识自身。我们正在从事的探索是关于“认识主体”的研究，说得更形象些，我们正在用自己的大脑认识脑本身。这个任务具有高度的复杂性以及蕴涵的深邃的哲理，已经“引无数英雄竞折腰”，并将吸引更多的科学家为之而献身。有一个时期，不少人曾经对“用脑认识脑”表示怀疑，它们经常引用的一则比喻是：“人能手拉着自己的头发脱离地球吗？”现在看来，神经科学家们干得不错，

他们的研究所取得的进展是史无前例的，他们做出的新发现不断地粉碎陈旧的思维定势所设置的藩篱，例如，人们常说：“感知是客观世界的映象”，这在某种意义上当然是正确的，但近年对视觉的研究表明，这一论断不够全面，它忽视了一个基本的事实：视觉是作为一种主动过程进行运作的。这种认识的深化将对社会的发展产生不可估量的影响。但是，这决不意味着我们已经逼近认识的终点，我们甚至离看到终点都还有遥远的距离，不过我们可能正在接近一个良好开端的终结期。神经科学正日趋成熟，“路漫漫其修远兮”，神经科学家们在探索脑的奥秘的征程中还将“上下求索”。

## 地球物理与经济建设

刘光鼎

中国科学院地球物理研究所

刘光鼎 海洋地质、地球物理学家。1929年12月29日生于山东蓬莱。1952年毕业于北京大学物理系。历任矿部海洋地质调查局副总工程师，同济大学海洋地质研究所所长、教授，地矿部海洋地质司副司长，石油地质海洋地质局副局长，中国科学院地球物理所所长，中国海洋学会副理事长，中国地质学会石油地质专业委员会主任，中国地球物理学会理事长。1980年当选为中国科学院（学部委员）院士、第三世界科学院院士。主要从事地球物理勘探，应用综合地质地球物理方法研究海洋地质、石油地质和大地构造等工作。

### 一、地球物理是研究地球的高科技

地球物理是应用物理学（力、声、光、热、电、磁与核变）的理论、方法和技术，对地球进行宏观与微观的观测研究，以认识地球及其内部结构、运动和各种动力学过程。

经过半个多世纪的探索和实践，地球物理学已形成重力学、地磁学、地电学、地震学等多种分支学科，而由于近代工业发展的需求和导向，促使地球物理的应用研究飞速进步，并形成重力勘探、磁力勘探、地震勘探、电法勘探，以及放射性测量和遥感等多种实用技术。应该说明，现代地球物理发展的特点之一，就是迅速而广泛地采用各种科学技术的最新成就，不断地提高勘探精度、扩大应用领域，使之不仅能在固定台站上进行连续观测，大多还能在陆地的地表、井中和巷道里作可移动的观测，甚至可以通过各种运载工具在深海、大洋里，以及在不同高度的空间环境中采集数据。此外，采用高速大容量电子计算机进行各种数据处理，采用人机交互工作站进行资料解释，使地球物理能为研究地球提供定量的内部结构，动态地模拟其中的动力学过程。因此，在地球科学研究中，地球物理被认为是探查地球内部结构的高科技，具有先导作用。

#### 1. 重力与重力勘探

地球的重力是地球质量在地面上的引力与地球自转所产生离心力之和。重力学是研究重力在地面上的分布，从而为大地测量学的基本问题——地球形状的研究提供资料。实质上，重力观测就是对重力加速度值的测定，它有绝对测量与相对测量两种，而以后者应用最广。相对重力测量仪器，其精度已由毫伽级发展到微伽级，可以满足各种比例尺观测的要求。小比例尺的宏观重力观测，例如在卫星运行中采集重力数据，主要与地球形状和地壳深部构造有关；而精细测量给出重力场的微观变化，则与地壳内密度不均匀性有关。

将观测重力值  $g$ ，经过地形高程校正  $g_h$ ，换算到海平面（大地水准面）上，再减去海平面上的重力值  $g_0$ ，就得到空间（Free air）重力异常  $g_f$ ：

$$g_f = g - g_0 - g_h$$

它在海洋地区内得到广泛应用。在大陆地区内，还需要经过中间层校正  $g_m$ ，即去掉中间层质量的影响，而得到布格（Bouguer）重力异常  $g_b$ ：

$$g_b = g_F - g_m$$

这两种重力异常值在平面上展布所得到的重力异常图，分别与海陆地壳中的密度界面（ ）有关，从而可以勾绘出地壳不同层位的构造起伏。此外，根据均衡假说，还可以经过校正求出重力均衡异常  $g_i$ ，给出地球内部质量分布的状态：盈余、亏损，还是均衡。

## 2．地球磁场与磁力勘探

地球具有磁场。在地磁台站上观测地磁要素，可以发现，其磁化强度和方向因地而异，甚至还随时间而变化。地磁场的场源及其长期变化是地球内部原因引起的，也许来源于核幔边界，甚至处于地核之内。地磁场的瞬时变化则是地球外部原因所致。因此，瞬变磁场的分析研究关系到地球的电磁空间环境，其中磁暴、极光与气辉、太阳风以及大气层的物理性质，是和通讯、导航、航天活动紧密相关的。古地磁学通过岩石样品的剩余磁性测量来追溯地球磁场的历史，建立地磁转向时标，给出大陆的极移曲线，为大陆漂移提供证据。

现代高精度磁测，使用质子旋进式或光泵式磁力仪，可以在地面上观测，也可以拖曳于载体的后面，在海洋上或不同高度的空中采集数据。将观测值  $T$  减去正常磁场值  $T_0$ ，就得到地磁异常值  $T$ ：

$$T = T - T_0$$

地磁异常与地壳上部岩石磁化率 分布不均匀性（ ）有关。将地磁异常带曲线与平面图进行推断解释，可以发现断裂带，并为寻找金属矿床提供重要线索。

## 3．大地电场与电法勘探

地球具有自然电场。大地电场是变化的。研究大地电场给我们一个启示，将直流电或交流电输送到地下，可以形成人工电场，再在不同位置上设置的电极测量此电场的分布，进而了解地壳，甚至岩石层的结构及其电性参数，因为地电场异常值是 与地下岩石电阻率分布不均匀性（ $k$ ）直接相关的。

由于输入电流的强度和频率不同，电场观测中供电电极与测量电极的布设方案不同，电法勘探有多种形式，从而也有不同的勘探能力，应根据任务规定所要解决的问题进行选择。一般地说，金属矿床与其围岩之间有明显的电性差异，交、直流电法都可以发挥良好作用。电阻率层析成像适于在矿井、巷道中对矿体作精细研究，而电磁波层析成像大多在井间测量。大地电磁测深能够对岩石层深部电性不均匀性提供重要信息。

## 4．地震学与地震勘探

地球上经常发生地震，其中有些会造成严重的灾害，使人民的生命、财产，甚至整个城市毁灭于顷刻之间。因此，人类一直关心地震，研究地震的震级、烈度和能量，观测地震，并企图预测地震。但是，地震也给我们带来大量地球内部的信息，通过地震波传播建立起走时表和速度 - 深度曲线，可以了解地球的分层性，以及密度、压力、重力和弹性常数的变化。

地震波在地球介质中的传播，有体波和面波之分。体波有纵波（P）和横波（S）两种，都是在介质内部传播，只是质点振动方向与传播方向一致的为纵波，相互垂直的为横波。体波遇到地震界面会产生反射和折射，并有波型

的转换。面波则主要与地质界面（如作为半空间的地表）有关，距离界面越远，面波能量的衰减越大。但不同波长的面波有不同的穿透深度，所以，研究面波频散曲线可以给出岩石层的速度结构。

地震勘探利用人工方法（炸药和非炸药震源，如空气枪和可控震源等）激发地震波；再用速度或加速度传感器接收自地球内部反射或折射回到地表的地震波，经过模数转换和瞬时浮点增益，记录到数字磁带上，完成地震勘探的野外数据采集。目前广泛应用的是反射地震方法。为了提高地震能量，压制干扰，在野外工作时，大多采用共深度点叠加技术（Common Depth Point）。地震数字磁带需要使用电子计算机解编、滤波、偏移、叠加等项处理，自动绘制出地震反射时间剖面，作为采集的成果。

应该说明，地球物理发展到今天，电子计算机的应用是极其广泛和普遍的。反射地震法如此，其它重、磁、电法也都应用计算机处理所采集到的数据，并用工作站的人机联作方式反复进行资料解释。

应用反射地震的时间参数（运动学特点），可以对沉积层中界面作构造研究。现在还可以利用动力学特点（振幅、频率、相位、速度等）作岩性研究。例如，根据时间剖面中的地震相，来识别沉积相，判断沉积环境，甚至作层序地层学研究，以寻找地层岩性圈闭。

在地震成象技术中，对地震波作密集观测，可以取得速度参数的层析成象（Tomography）给出地质体的三维结构。此项技术既可以使用可移动的三分量台站研究造山带和盆地，又可以使用检波器在井中、巷道中对矿体作精细探查。

#### 5. 热流

在海底未固结的疏松沉积中，测量不同深度上的温度梯度，可以求得现代热流值。在钻孔中，通过测井，可以取得古热流值。热流测量的关键在于热传导率的确定，并应排除测量过程中的各种干扰因素。如果我们能够取得充分的热流数据，则对地球的认识将会迈进一大步，其中包括对地球热历史的了解、放射性元素的迁移以及地幔对流等重大地球物理问题的解决。

#### 6. 放射性

放射性同位素的裂变为岩石地层提供了绝对记年，并将其时标延展到显生宙以前的地质时期，甚至可能建立起地球的年龄。在地表、井中测量放射性，其异常将为寻找铀、钍等放射性矿床提供指示，并为环境保护服务。

#### 7. 遥感及其它

在卫星、飞机等载体上进行遥感测量，包括光学的、放射性的，能够监测环境，也能给出与油田和金属矿床有某种联系的异常分布情况，只是它们的成因仍在探索之中。

总之，地球物理方法是多种多样的，其解决地质问题的能力既广泛又不同。应该而且必须采用多种地球物理方法去解决同一个地质任务，因为任何一种地球物理方法都是以一种岩石物性为依据的，对于地质体，它仅只能给出一个侧面的认识，而不是全貌。只有综合应用各种地球物理方法，使它们的解释结果相互补充、相互印证，才有可能取得比较全面的认识。此外，任何地球物理方法的反演（解释）问题都是多解的，也只有通过综合地球物理研究，特别是与地质的紧密结合，增加约束条件，才能提高求解反演问题的收敛速度，使解答逼近于真实。

## 二、地球物理的应用

地球物理有着极其广泛的应用领域，能够而且应该很好地为国民经济建设服务。

傅承义教授曾经明确地指出，地球物理的任务是：资源勘探、环境保护、灾害防治，以及认识地球。其中认识地球是基本问题，属于基础研究，而前三者则是地球物理的主要应用领域，具有重要的社会效益。

### 1. 资源勘探

我们必须大力寻找并开发能源（石油、天然气、煤炭、地热等）、金属（金、铜、铀等）和非金属矿床，以满足国民经济建设的需求。

#### （1）石油和天然气

我国现已年产原油 1.4 亿 t。但已探明的油气地质储量还不能保证开采的要求；天然气产量在油气比例中仅占 2%，还低于一般水平；而油气的采收率太低，只有 30% 左右，大部分油气资源仍残留于地层之中。

油气资源存在于沉积盆地中，并受地球动力学条件的制约。为此，首先应用地质、地球物理方法，在整体上查明盆地的构造史和沉积史，再用电子计算机对盆地的沉降史、热史、生烃史和运移聚集史进行定量的动态模拟，评价盆地的油气潜力，部署油气勘探。例如，面积 56 万  $\text{Km}^2$  的塔里木盆地，估算其油气资源已超过 100 亿 t，但迄今止，只找到 3 亿 t 的储量，显然不仅应重新考虑勘探部署，而且应在寻找构造圈闭的同时，大力开展层序地层学研究，寻找隐伏的地层圈闭。

提高油气采收率的关键在于详细地描述油气储集层的结构，具体了解其孔隙度、渗透率和含油饱和度等多种岩性参数，并对油、气、水的活动进行动态监测，为开采提供依据。

#### （2）煤炭资源

我国有丰富的煤炭蕴藏，估计其储量可达 1.44 万亿 t，占世界煤炭总资源量的 13%。现年产量达 10 亿 t，列世界前茅，而采收率仅为 32%，有些中小煤窑甚至低至 15% ~ 25%。这样，提高煤炭的可采储量，并解决煤田开采中的一系列问题，如陷落柱、老窑水、瓦斯气等，都很迫切，尤其是在机械化综采中。

应用现代地球物理技术，如高分辨率反射地震、微伽重力、高精度磁力和可控源音频电磁测深（CSAMT），可以在地表查明煤层的埋藏深度与产状、煤层厚度变化及其分叉，以及断层展布及其落差等；也可以在巷道中进行地震波与电阻率层析成像，提供精细三维结构及其中大小断层、陷落柱和采空区的位置。

#### （3）金属与非金属矿床

国家经济建设急需的矿种，如金、铜、铀等。目前大都处于“等米下锅”的状态，甚至需要依赖进口。现在地表出露与浅部易于寻找的矿体多数已被发现并开采，以致找矿难度日益增加。因此，当前的任务是“攻深探盲，寻找隐伏大矿”。这就必须在地质成矿理论的指导下，通过地质、地球物理和地球化学方法取得资料，探索其区域标志和大地构造成矿作用，深入认识大型矿床的特殊成矿背景，成矿作用，及其时空演化规律，为探矿工程提供科学依据。

地球物理方法中，遥感、重力、磁力和多种电法，结合放射性和地球化学方法，从不同角度提供信息，以综合研究深部隐伏矿床和盲矿体的存在。

## 2. 环境保护

当今世界正面临资源、人口、粮食和环境四大危机。它们直接威胁着社会进步和人类生存。我国由于城市数量、规模和人口的增长，环境污染日益严重。此外，水土流失、草原退化、森林破坏，使生态环境恶化，而工业废弃物和垃圾堆放、烟尘、废水、废气的排放，又人为地加剧环境的恶化。地球物理应该能够从光、热、电、磁等物理场的变化来认识环境变化过程，并进行监测，或对放射性、二氧化碳等有害物质进行快速测量，为环境保护提供背景场资料。

饮用淡水的短缺，是环境中的一个重大问题。过去曾采取许多重大措施如南水北调、引黄工程、多个水库的兴建，都是企图解决淡水资源问题。同时也应用了地球物理方法寻找并开发地下水。

## 3. 灾害防治

自然灾害往往使环境发生突然的变异，极大地威胁着人类的生命安全，造成严重的经济损失。为此，在 90 年代里推进“国际减轻自然灾害十年计划”，希望通过全体人类的努力，对自然灾害的减轻和防治作出贡献。

中国的自然灾害是十分广泛的。气象变异能够导致旱涝、霜冻、冰雹、寒潮、暴雨、暴风雪、龙卷风和热带风暴等。地震会引起和诱发房屋坍塌、城市大火、地裂沙涌、水库决堤，以及海啸、山崩等，地质上常见的灾害有：崩塌、滑坡、泥石流、水土流失、土地退化（盐碱化、沙漠化等）、地面沉降、火山喷发。此外，还有洪水泛滥、江河决堤，以及海洋上出现的风暴潮、赤潮、海冰、海水入侵和回灌等灾害。其中破坏力最大、危害最严重的应是洪水和地震，其次则是旱涝、森林火灾、滑坡、泥石流等。

中国历史留下了许多关于洪水泛滥的记载，也留下了大量地震现象的描述。抗御洪水，我国已经取得修建堤坝和疏浚江河两方面的经验，现在更要结合航运交通和水电开发作全面考虑。地球物理不仅应积极地在其前期工程（基础调查、边坡等）中服务，更应为消除堤坝中的隐患作出贡献。

地震预报是造福人类社会的崇高事业，但是，虽然经过长期的探索，始终还是没有找到一条行之有效的临震预报方法。在全球构造理论的指引下，通过全球覆盖的、地区性的地震台网，以及根据需要布设可移动的地震数字台站来研究大陆板块内部的震源机制、地球内部结构与深部过程，来认识地震的成因机制及其孕育过程，探索地震长、中、短期预报方法，仍是具有基本意义的。

至于森林火灾、火山喷发、旱涝灾害以及滑坡和泥石流等，地球物理也应积极地投入工作，至少应对它们的监测提供手段。

## 三、地球物理要为国民经济建设服务

地球是地球科学研究的对象，也是地球物理的天然实验室。它通过野外观测、数据处理和资料解释，可以取得对地球结构及岩石物理性质的成果。如果使地质、地球物理与地球化学相互结合起来，综合研究，作高层次的理论探索，能够深化对地球的认识，协调人类社会与自然之间的关系，为国民经济建设服务。

地球科学在本世纪内已经形成体系，建立起全球大地构造理论，并要求地质、地球物理和地球化学进行综合研究，以深化对地球的认识，并为资源勘探、环境保护和灾害防治服务。地球物理作为地球科学的高科技，无论是

仪器装备，还是技术方法都有了长足的进展，特别是计算机的广泛应用，不仅提高了勘查能力，而且极大地扩展了应用领域，可以并应该为满足社会经济发展的需求作出更多的贡献。

中国的国民经济建设规模宏大，领域广阔，发展迅速，同时也对地球物理提出了更高、更广泛的要求，其中有些甚至是从来没有遇到过的难题。这既是挑战，又是机遇。地球物理学必须积极地投入国民经济建设主战场，参与竞争，主动地迎接挑战，用创造性去开拓新领域，解决新问题，并谋求发展。

应该看到，中国大陆岩石层的形成、结构及其动力学过程，对资源分布、环境变迁、地震灾害和气候变化的影响，不仅关系到国计民生，而且受到国内外的瞩目。用综合地质、地球物理方法，特别是深地震的反射技术，来研究造山带和盆地的演化史，建立中国大陆岩石层地球动力学体系，对于世界地球科学和中国经济建设都有理论指导意义。

此外，地球的浅层（深度在 0~1000m 范围内）是和国民经济建设关系极其密切的，例如，地下水资源、各种金属与非金属矿床、生物气和部分天然气，以及水利、电力、铁路、交通、航运和国防所要开发的隧道、堤坝、港口、码头、地下和 underwater 电缆、管道的敷设等工程项目，都在这个深度内。只要能够开拓出浅层地球物理工程，来具体地解决这些问题，就可以和众多的国民经济建设部门发生联系，为他们服务。常规地球物理方法和技术固然能对浅层工程问题给出某些结果，但无法回避不均匀性所带来的难题，更必须按照工程项目的要求或任务，接受检验。因此，浅层地球物理工程必须创造性地建立适用于浅层不均匀性的理论，采用相应的现代化仪器设备，因地制宜地选择工作方法，并结合地质资料，切实地解决多种实际问题。

开拓浅层地球物理工程，将会使地球物理适应市场经济，求得进一步发展，展示出美好而广阔的前景。

## 对地观测新技术与社会可持续发展

李德仁

武汉测绘科技大学

李德仁 航测、遥感与地理信息学家。原籍江苏镇江,生于江苏泰县。1963年毕业于武汉测绘学院,1981年获该校硕士学位。1985年获联邦德国斯图加特大学博士学位。武汉测绘科技大学教授。1991年当选为中国科学院院士(学部委员)。1994年当选为中国工程院院士。主要从事高精度摄影测量定位与测量系统的可靠性研究,并取得多项重要科研成果。

### 一、对地观测技术与 当今社会发展基本问题的关系

叶笃正院士在中国科学院第六次学部委员大会上论地球变化时指出:“自地球诞生之日起,它的环境就在不断变化。到现阶段,人类赖以生存的环境是由地球的大气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈支持着。在这几个圈的非常复杂的非线性相互作用下,人类生存环境继续向前演变。”“自然界引起的地理环境的变化是双向的,即变坏之后,还会变好。而人类影响则是单向的。”从最近几个世纪的历史看,人类活动对地球环境的影响主要是向变坏的方向发展。随着世界人口的急剧增加,造成资源的大量消耗、生态环境的恶化这已是全世界有目共睹的事实了。例如化石燃料的燃烧,能源的过度使用,反刍动物的大量饲养和水稻的大量种植等等,大大地增加了大气中温室气体的含量,从而影响了气候。再如农业、林业和各种土地利用,工业活动,废物处理中的对自然的破坏污染,严重地影响了陆地以及沿海的生态系统,进而引起了动植物生产力,水资源和大气化学的变化,这些变化又直接地造成酸雨和平流层臭氧含量的减少,给人类带来严重的危害,因此可以概括地讲,人口、资源、环境和灾害是当今人类社会所面临的四大问题。为此全世界各国首脑在1992年曾会聚巴西里约热内卢,专门讨论全球的环境与发展问题。

当代地学研究和应用的目的之一就是要协同各个学科的科学家和政治家来科学地回答和解决这些问题。1993年中国科学院地学部提出了“上天、入地、下海——地学新技术新方法研究应用问题”:上天,即要利用现代航天技术从更高的角度观测地球,搜集各种反映地球和整个宇宙变化的数据;入地,是向地球内部深钻,取得地球内部物理和化学变化的数据;下海,则是走向海洋深度去取得从海面到海底的有关海洋的物理过程、生物过程以及洋流、环流等多方面的数据,将这些数据综合起来进行分析研究。这是一条用现代化技术手段全方位深入研究地球的道路,也是研究和解决上述四大问题的一个关键。

对地观测新技术主要指卫星通信技术、空间定位技术、遥感技术和地理信息系统技术,这些技术的集成将使我们有可能源源不断地、快速获取地球表面随时间变化的几何和物理信息,了解地球上各种现象及其变化,从而指导人们来合理地利用和开发资源、有效地保护和改善环境,积极地防治和抵御各种自然灾害,不断地改善人类生存和生活的环境质量,以达到经济腾飞

和社会可持续发展的双重目的,这也是党的十四届五中全会和“九五”与 2010 年发展规划对全党全民提出的要求。下面简要介绍现代通信技术、卫星定位技术、遥感技术和地理信息技术的最新成就和跨世纪的发展特点,并探讨这些技术的社会公益性和创造市场经济价值的前景。

## 二、信息革命与信息高速公路

本世纪 50 年代以来,一场信息革命的浪潮席卷全世界。以电子计算机的发明为标志的第一次信息革命,开始形成信息产业。1990 年,世界信息产业的产值已达 1489 亿美元,到 90 年代中期,即最近一两年内将突破 1 万亿美元,成为跃居传统产业(包括工业和农业等)之上的最大产业。现在,发达国家信息产业的产值占国民经济生产总值的比重已达 40%~60%,年增长率是传统产业的 3~5 倍。

以微电子技术、空间技术、信息技术和现代通讯技术相结合为特征的第二次信息革命,是一次深远的产业革命。工业革命是用蒸汽机,及后来的电力机械代替畜力、体力劳动。而现在的信息革命,是用信息和计算机化的智能并入整个社会的生产、管理、服务和生活系统,改组现有的全部社会产业构成。所以它对社会经济、政治、军事、文化等一切方面所产生的影响,将比上一次工业革命更加巨大。

“想要富,先修路”。工业革命过程中,以高速公路为代表的现代化交通,起着十分关键的作用。今日,在冷战结束之后,国际竞争热点从军事转到经济和科技,能大幅度提高综合国力的信息高速公路,自然成为各国竞争的焦点。例如,美国作为信息高速公路的首倡者,实施信息高速公路计划的第一步目标,是到 2000 年将现有的生产率提高 20%~40%,带来 35000 亿美元的经济效益。

所谓信息高速公路(Information Super Highway)是建立一个能够给用户 提供大量信息,由通讯网、计算机、数据库及各种日用电子设备(包括多媒体技术)组成的完备网络。这一巨大网络就好像现在运营中的地面高速公路,但它是用光缆、微波站和通讯卫星将通讯网、计算机网和有线电视网连接、延伸和扩展,使之遍及整个国家乃至全世界。同时运用数字化技术和光纤通讯技术,成千上万倍地提高信息传输能力,通过集电话、传真、电脑、电视、录像等为一身的信息处理、传输和显示的多媒体(multimedia),将文字、声音、图形和影像等高密度信息,以高速度、大容量和高精度传送到每一个家庭、办公室、实验室、图书馆和医院,为人们提供声音、数据、文字、图形和影像的交互式多媒体服务。

信息高速公路计划始于美国,美国副总统阿尔·戈尔(即美国州际高速公路倡议人阿尔伯特·戈尔之子)于 1991 年在《全球信息系统将促进发展》一文中提出的,克林顿总统于 1993 年 2 月以《国情咨文》形式在国会发表报告,正式提出美国决定建设“信息高速公路”——国家信息基础设施(National Information Infrastructure,简称 NII),以此作为产业发展的基础,带动新学科和交叉学科发展,形成高新企业群,提高生产率,增强国际竞争能力,促进经济腾飞。为此,美国将为整个信息高速公路工程耗时 20 年,总投资达 4000 亿美元。目前已在运行的 Internet 网,可以看作是信息高速公路的雏型。

我国完全必要和可能建立中国国家高速信息基础设施(Chi - na

National Information Infrastructure, 简称 CNII), 目前已经具备了“起步”的基础。国家公用电信网、包括干线光缆网已经有了一定基础和规模, 以它为基础, 估计需投资 1500~2000 亿美元, 可望在 2020 年左右建成覆盖全国国民经济和社会生活各主要领域的、门类齐全的 CNII, 即建成中国的信息高速公路。“九五”期间将投入数亿元, 先建设中低速信息网, 即“金桥工程”。

### 三、空间定位技术的发展趋势

这里主要指全球定位系统 (GPS) 技术的发展。

80 年代以来, 尤其是 90 年代以来, GPS 卫星定位和导航技术与现代通信技术相结合。在空间定位技术方面引起了革命性变革, 用 GPS 同时测定三维坐标的方法将测绘定位技术从陆地和近海扩展到整个海洋和外层空间, 从静态扩展到动态, 从事后处理扩展到实时 (准实时) 定位与导航, 从而大大拓宽它的应用范围和在地理信息产业中的作用。

根据国内外实践表明, 用不同的作业和处理方法, GPS 可以达到各种要求的精度。利用 C/A 码的广播星历, 伪距法单点静态定位精度可达到  $\pm 15 \sim 20$  米, 静态伪距差分可达到  $\pm 2 \sim 5$  米精度。

美国军方从 1993 年底开始采用 SA 政策将卫星轨道参数广播星历从 25 米降到 100 米 (技术), 同时对卫星的基准频率 (10.23MHz) 施加高频抖动 (技术), 此外还采用 AS 政策, 将原来 L2 频率的 P 码改为 Y 码, 使用户无法接收精码。为此, 各国发展了广域差分 GPS 技术。所谓广域差分 GPS (WAGPS) 系统, 是通过设在已知坐标点的一个主站和几个副站对 GPS 卫星进行同步观测, 从而求出 GPS 观测值中的卫星星历误差改正、卫星钟差改正及电离层时间延迟改正, 并将这些改正值传送给所有用户站, 从而大大提高实时差分的精度, 使之达到  $\pm 1.0$  米之内, 而且差分距离可由 100Km 增加到 1000~1500Km。在未来 5 年之内, 各国 (包括我国) 可望建成广域差分 GPS 网。

载波相位差分 GPS 还可以提供更高的相对定位精度。利用设在地面参考点上和飞机上的 GPS 接收机进行载波相位差分测量和自动空中三角测量, 可以满足各种比例尺空间数据库要求, 在小范围内可以达到厘米级精度。星载 GPS 接收机, 测定在轨及其垂直方向的位置精度  $\pm 10$ m, 而高度的测定精度为  $\pm 15$ m。美国航天局与法国国家空间研究中心于 1992 年联合发射的 Topex/Poseidon 海洋测量卫星上利用星载 GPS 接收机和微波测高仪, 以求获得海面地形测量达到  $\pm 10$ cm 的高精度。

接下去的发展是卫星全球导航、定位、通讯三位一体系统, 即卫星全球导航/移动通讯系统, 从而在“信息+经营=财富”的全球经济剧变中, 将整个世界收缩为一个崭新的电子地球村 (Electronic Global Village)。

### 四、未来 10 年中的遥感对地观测计划及其特点

随着计算机技术和空间技术的发展, 卫星遥感和卫星定位技术经历了 30 年的发展和进步, 目前将进入一个能快速、及时提供多种对地观测海量数据的新阶段。

遥感 (RS) 图像的空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率都有极大的提高。利用 CCD 阵列传感器, 可望达到 1m 分辨率, 军用甚至达到 10cm。带侧

向倾斜的一行 CCD 影像只能提供由两个轨道上获取的立体像对；利用二行或三行 CCD 阵列可由同一轨道上获取几乎无时差的立体像对；可任意旋转  $45^\circ$  的一行 CCD，则可提供同轨或异轨立体像对。成像光谱仪可以达到  $5 \sim 10\text{nm}$ （纳米）的光谱分辨率，如 EOS 地球观测系统计划中装有  $0.4 \sim 1.04\mu\text{m}$  的 64 波段中分辨率和  $0.4 \sim 2.5\mu\text{m}$  的 192 波段高分辨率成像光谱仪，从而获得影像立方体的丰富图谱数据。微波遥感，尤其是合成孔径雷达，可以包括 L 波段（ $24\text{cm}$ ）、C 波段（ $5.7\text{cm}$ ）和 X 波段（ $3.1\text{cm}$ ）和四种不同极化方式，以解决阴天、雾天、雨天下的遥感信息获取。各种不同空间分辨率传感器具有不同的时间分辨率。如 METEOSAT 每 30 分钟即可获得同一地区图像，NOAA 气象卫星每天收到二次图像，EOS 重复周期为 1~3 天，ERS - 1 为 3 天，陆地卫星为 16 天，MOS - 1 为 17 天，SPOT 为 26 天，印度的 IRS - 1 为 22 天，日本的 JERS - 1 为 44 天。

未来的卫星遥感计划将尽可能地集多种传感器、多级分辨率、多谱段和多时相为一体，并与 GPS、惯性导航系统（INS）、激光测高及激光断面扫描技术相集成，形成智能传感器。

合成孔径雷达，除了全天候、影像纹理信息丰富外，还有另一个引人注目的是雷达干涉测量技术（INSAR），它可以用来提供大范围内的 DEM（数字高程模型），而且差分干涉雷达技术（D—INSAR）还可以用来监测地表的水平和垂直移动，以及地表面土地利用状况的变化，比较乐观的报道，利用沿着或垂直于飞行轨迹的两个天线构成的基线，可以由雷达相位观测值中导出地面的高差，精度可达到  $\pm 3$ （近程）到  $\pm 9$ （远程）米。基于空间重复轨道的雷达干涉测量，例如利用相隔几天的 ERS - 1 重复轨道数据和最近用 ERS - 1 和 ERS - 2 的重复轨道数据出了  $\pm 5$  米最佳精度的 DEM。差分干涉雷达测定相对位移量甚至可达到厘米和毫米精度。

表 1 为目前已列入计划的未来 10 年中陆地数据卫星的发射计划。可以明显地看出追求高空间分辨率和高光谱分辨率的特点。表 1 中的同轨指的是在同一轨道上向前、向下或向后扫描，这样获得的影像没有明显的时间差。而异轨立体指的是在不同两个轨道上的侧向倾斜扫描获得立体像片，它一般有良好的基高比，但可能有较大的时间差，而影响立体量测。从表 1 中还可看出，美国现有三家商业公司对发射高分辨率计划有极大兴趣。这是因为  $1 \sim 2\text{m}$  高分辨率具有重要的军事和经济价值，是生成数字高程模型（DEM）和正射影像数据（DOQ）的主要数据源。

表 1 未来十年中目前已计划的陆地数据卫星发射计划

国别	项目名	经费来源	性质	计划日期	仪器类型	分辨率 (米)			波段数	立体方式
						全色	多光谱	雷达		
法国	SPOT5B	政府	运营	2004	全色、多光谱	5	10		4	同轨
美国	EOSAM - 2/L - 8	政府	运营	2004	全色、多光谱	10	30			
法国	SPOT5A	政府	运营	1999	全色、多光谱	5	10	4	同轨	
印度	IRS - 1D	政府	运营	1999	全色、多光谱	10	20		4	异轨
美国	Space Imaging	商业	运营	1998	全色、多光谱	1	4		4	同轨
韩国	KOMSAT	政府	运营	1998	全色、多光谱	10	10		3	同轨
美国日本	EOSAM - 1	政府	运营	1998	多光谱	15	15		14	同轨
美国	LANDSAT - 7	政府	运营	1998	全色、多光谱	15	30		7	
欧空局	ENVISAT	政府	运营	1998	雷达			30	0	
美国	Space Imaging	商业	运营	1997	全色、多光谱	1	4		4	同轨
美国	OrbitalSciences	商业	运营	1997	全色	1	8		4	同轨
法国	SPOT - 4	政府	运营	1997	全色、多光谱	10	20		4	同轨
美国	Earth Watch	商业	运营	1997	全色、多光谱	1	4		4	同轨
美国	Earch Watch	商业	运营	1996	全色、多光谱	3	15		3	同轨
美国	CTA Clark	政府	试验	1996	全色、多光谱	3	15		3	同轨
美国	TRWLewis	政府	试验	1996	全色、多光谱	5	30		384	
俄罗斯	ALMA22	政府	运营	1996	雷达			5		
日本	ADEOS	政府	运营	1996	全色、多光谱	8	16		4	异轨
中国 - 巴西	CBERS - 1	政府	运营	1996	全色、多光谱	20	20		7	异轨
加拿大	Radarsat	政府	运营	1995	雷达			9		
印度	IRS - 1C	政府	运营	1995	全色、多光谱					异轨
俄罗斯	Resours - 02	政府	运营	1995	多光谱		27		3	

## 五、地理信息系统的兴起与广泛应用

信息作为一种新兴的产业越来越受到人们的重视，信息革命的浪潮正冲击着人类社会。在这场革命中，地理信息系统 (GIS) 作为集计算机科学、地理学、测绘遥感学、环境科学、城市科学、空间科学、信息科学和管理科学为一体的新兴边缘学科迅速地兴起和发展起来。

GIS 研究计算机技术与空间地理分布数据的结合，通过一系列空间操作和分析方法，为地球科学、环境科学和工程设计，乃至企业经营提供对规划、管理和决策有用的信息，并能回答用户所提出的有关问题。

随着我国四化建设、改革开放的深入和社会主义市场经济发育，从中央到地方，各行各业对 GIS 的需求愈来愈多，各种形式的 GIS，尤其是城市 GIS 和土地信息系统 (LIS) 正如雨后春笋。目前地理信息系统进入了新的发展阶段，已成为一种包括硬件生产、软件研制、数据采集、空间分析及咨询服务的新兴信息产业，并开始为政府的职能转变提供宏观调控的现代化工具尤其在我国已显示出巨大的潜在市场。

地理信息系统 (GIS) 是一种特定而又十分重要的空间信息系统，它是以采集、存贮、管理、分析和描述整个或部分地球表面 (包括大气层在内) 与

空间和地理分布有关的数据的空间信息系统。由于地球是人们赖以生存的基础，所以 GIS 是与人类的生存、发展、进步密切关联的一门信息科学与技术，受到人们愈来愈大的重视。

地理信息系统按其范围大小可以分为全球的、区域的和局部的三种。范围大的一般分辨率低，反之则高。通常 GIS 主要研究地球表层的若干个要素的空间分布，属于 2~2.5 维 GIS，布满整个三维空间建立的 GIS，才是真三维 GIS。一般也常常将数字位置模型（2 维）和数字高程模型（1 维）的结合称为 2+1 维或 3 维、加上时间坐标的 GIS 称为四维 GIS 或动态 GIS。

GIS 的应用范围极广。大到全球变化与监测的研究。例如美国地质测量局（USGS）的地球资源观测卫星数据中心（EROSData Center）和加拿大遥感中心（CCRS）合作，将连续 10 天的 NOAA AVHRR 数据在一起，形成北美指数图，将它与 GIS 中各种数据结合从而建立起北美土地复盖数据库，供全球变化研究之用。又如联合国粮农组织（FAO）在意大利建立的遥感与 GIS 中心，负责对欧洲和非洲的农作物生产的病虫害防治提供实时的监测技术服务。

在一个国家范围内，GIS 技术可用来进行全范围的自然资源调查、环境研究、土地利用状况、森林管理、农作物生产、各种灾害预测和防治、国民经济调查和宏观决策分析等。

在一个城市范围内，GIS 技术可用作土地管理、房地产经营、污染治理、环境保护、交通规划、上下管线管理、市政工程服务和城市规划等。澳大利亚昆士兰州布里斯班市的城市规划、市政管理、公共交通、上下水服务、公园化、房地产管理等子系统，成为市政府管理城市的有力助手。

在一个企业范围内，GIS 技术可用作生产和经营管理。例如德国的露天煤矿，利用航测方法建立和更新矿区 GIS（包括 DEM），在此基础上设计开采面作业计划、矿石运输线路、废矿石堆放位置，从而使生产达到最佳化作业。

GIS 应用的另一个极好的实例是在海湾战争中美国国防制图局（DMA）的战场 GIS 实时服务。该局为战争需要，在工作站上建立了 GIS 与遥感的集成系统。它能用自动影像匹配和自动目标识别技术，处理卫星和高低空侦察机实时获得的战场数字影像，及时地（不超过四个小时）将反映战场现状的正射影像图叠加到数字地图上，数据直接传送到海湾前线指挥部和五角大楼，为军事决策提供 24 小时的实时服务。

GIS 作为商业产品，创造了企业在空间上的竞争优势。GIS 一改传统的商业战线中制图用图的模式，用现代计算机技术来管理和分析空间数据，并将结果可视化，成为现代企业和各级政府管理部门制定科学经营和管理的重要手段，给人耳目一新的感觉，GIS 作为商业产品，属于高技术范畴。它提高了企业对错综复杂外界和市场经济的认知能力和信息处理能力，从而创造了企业在空间上的竞争优势。一个典型的例子是我国南方沿海开放特区和有关省份，为了有偿使用和转让土地使用权、引进外资和企业开发新的产业，自下而上地、主动地投资来建立 GIS 和 LIS，充分显示了 GIS 的商业价值。

下面再举一个例子来看看 GIS 的价值

美国爱达荷州 Potlatch 公司，负责着该州 60 万英亩林场 4900 个林区。若采用传统的手绘地图来经营管理，永远不可能跟上现状的变化。现在每年花 180 万美元，花在基于 GIS 的森林经营系统，在美国是十分便宜的。然而，GIS 给该公司提供每分钟的林木信息。森林管理员坐在计算机终端旁，通过对数字地图的变焦和漫游，便可能在几分钟内检查林场中的任一土地块的采

伐情况和产权变化。该 GIS 的硬、软件花去 65 万美元，带来的年利润大于投资的 27%。

GIS 的市场目前十分活跃。据统计，1985 年 GIS 产业的产值仅为 2 亿美元，1995 年达到 35 亿美元，估计 2000 年将突破 100 亿美元。我国若县级以上城市建立城市信息系统和土地信息系统，每套系统需计算机硬、软件 10 套以上，则全国就需要 2~3 万套，产值当在 5~10 亿元以上。

## 六、地理信息科学与信息高速公路的接轨

空间定位系统 (GPS)、遥感 (RS) 和地理信息系统 (GIS) 走向集成，是当前国内外的发展趋势，简称“三 S”技术集成，已列为我国“九五”科技发展的十五个重中之重攻关项目。在这种集成中，GPS 主要用于实时、快速地提供目标的空间位置；RS 用于实时、快速地提供大面积地表物体及其环境的几何与物理信息及各种变化；GIS 则是对多种来源时空数据的综合处理分析和应用的平台。

这种高新技术的集成有多种方式：GPS 与 GIS 的集成可用于自动导航、自动驾驶、农田作业管理、渔船捕鱼、公安消防车指挥调度等方面，GPS 与 RS 的集成可用于自动定时数据采集环境监测、灾害预测等方面，RS 与 GIS 的集成可用于全球变化，空间数据自动更新等。三 S 的整体集成应用将更为广泛，例如美国俄亥俄州立大学、加拿大卡尔加里大学分别在政府基金会或工业部门的资助下进行了集 CCD 摄像机、GPS、GIS 和惯性导航系统 (INS) 为一体的移动式测绘系统的研究与开发，用于高速公路和高速火车的自动监测维护。美国的巡航导弹和爱国者导弹也都装了三 S 集成系统，用于自动导航、跟踪和打击目标，三 S 集成系统在我国将构成星、地、空一体化的灾情监测和农作物监测估产和系统。

对地观测的三 S 集成系统的进一步发展是引入专家系统和现代化通讯技术，从而形成地理信息科学与工程。专家系统的引入将力求使数据采集、更新、分析和应用更加自动化和智能化。现代通讯技术，尤其是正在兴建的信息高速公路将为地理信息在各部门的传播和应用提供保证。

地理信息学的形成和发展是整个信息科学和技术发展的一个重要组成部分，将会给相关学科的发展带来机遇和挑战。

地理信息学与信息高速公路有着相互依存、相互促进、共同发展的十分密切关系。

首先信息高速公路的建设为地理信息科学和地理信息产业的发展铺设了通行无阻的金光大道。由于地理信息和大量的空间数据，都是以文字、数字、图形和影像方式表示的，将它们数字化、送入电子计算机，便可方便、快速和及时地将地理信息传送到需要的地方去，以发挥地理信息在国民经济建设、国防建设和在文化教育等各行各业中的应用价值。

其次，信息高速公路为空间定位系统 (GPS)、遥感 (RS)、地理信息系统 (GIS) 和专家系统 (ES) 的集成提供了必要的通讯和数据传输的保证。差分 GPS 依赖远程通讯而成为实时的高精度定位和导航方法；遥感利用卫星通讯而获得源源不断的对地观测数据；而地理信息系统的空间数据库则通过信息高速公路实现全国以至全球的数据交换和数据共享，并促成三 S 集成。三 S 的集成，使得测绘、遥感、制图、地理、管理和决策科学相互融合，成为快速而实时的空间信息分析和决策支持工具。例如利用 GIS 中电子地图和 GPS

接收机的实时差分定位技术，可以组成各种电子导航系统，用于交通、公安侦破、车船自动驾驶、大田农作物因地施肥、科学耕种和海上捕鱼等。利用 GPS、GIS 和 CCD 摄像机加 DPS 进行自动影像获取和处理的集成系统，可以用作高速公路、铁路的线路状况自动管理，GIS 的实时更新，以及作战时的现场侦察和自动指挥系统等。

另一方面看，地理信息学对信息高速公路的建设和运行也有着十分重要的贡献。地理信息系统的硬软件就是行驶在信息高速公路的重要列车，空间数据库存贮中的数据和由之而得到的信息就是信息高速公路上运送的货物。由于 GIS 存贮的是描述地球表层，即大气圈、生物圈、水圈和岩石圈的空间及其相互关系的信息，它不是一般的“货物”，而是关于人们赖以生存的地球的昨天、今天和明天的重要信息，对社会持续发展起着重要的作用。由于地理信息具有时空的变化和多尺度特点，将构成信息高速公路上川流不息的繁忙景象。

## 七、大力推进我国地理信息产业的发展

从以上分析可以看出，空间定位系统（GPS）、遥感（RS）技术和地到信息系统（GIS）技术的成就和未来十年的发展，已经使地理信息学（Geomatics）快速形成和将成为从工业化向信息化过渡，实现全球信息社会的一个重要信息产业，已列为美国和西方七国集团的行动计划。

改革开放以来，尤其进入 90 年代，我国的地理信息产业从无到有，迅速建立起来。在此期间，国家测绘局在全局实施数字化测绘生产基地的建设，作为我国地理信息产业的基本力量，我国相继建成了一批基础信息系统和专业信息系统，并已在国民经济和社会的规划决策中发挥了良好作用。有代表性的信息系统有：

（1）国家测绘局建成了百万分之一“国家基础地理信息系统”（NLGIS），为全国其他专业信息系统的研建提供了空间数据支撑。NLGIS 由 3 个数据库组成，分别为全国百万分之一地形数据库，全国百万分之一地名数据库和试验性重力数据库，此外还建成了全国百万分之一数字高程模型（DEM）。到目前为止，NLGIS 已向许多专业部门提供了数据服务，取得了明显的社会效益和一定的经济收益。比如，NLGIS 数据的应用，增强了秦山核电站处理突发事件的能力；NLGIS 数据与军事要素叠加在作战指挥演示系统中发挥了良好作用，受到解放军二炮部队首长的好评；DEM 数据与地震数据相结合，可用于我国中长期地震预报等。

（2）1993 年国家测绘局与国务院办公厅秘书局联合建成了“国务院综合国情地理信息系统”（9202 工程）。“9202 工程”是一个融 GIS 与办公室自动化为一体的空间型信息系统，它遵循 GIS 建设的基本原理和方法，以 NLGIS 数据、政务信息数据和国民经济统计数据为基础，旨在为国务院高层领导机关研建一个以高新技术为支撑的宏观分析决策系统。到目前为止，一期工程已经完成，已在国务院办公厅秘书局、中共中央办公厅信息中心和若干省政府办公厅投入运行，受到各级领导的好评。一期工程的应用推动了省级 GIS 的建设，河北省、江苏省、山东省、陕西省和广西壮族自治区的综合省情信息系统进展较快，已初见成效。

（3）重大自然灾害的监测评价信息系统。该系统由 7 个子系统构成，以监测和评价洪水、干旱、林火、地震、雪灾、沙害和松毛虫害等 7 种主要灾

害为目标，分别建成了相应的数据库、分析评价模型和试运行系统，提出了自然灾害区划和综合自然灾害程度的分区，从而构成一个以 GIS 和 RS 技术为支撑的重大自然灾害监测评估的集成系统。该系统在监测评估近年来发生的重大自然灾害方面发挥了重大作用，受到各专业用户的好评。

（4）重点产粮区主要农作物估产信息系统。该系统以估算松辽平原、黄淮海平原、江汉平原和太湖流域的玉米、小麦和稻米的产量为目标，综合利用 GIS 和 RS 技术并与野外调查相结合，提出了上述农作物播种面积的估算方法建立了各自的单产模型，经过多次完善和多级集成，建成了一个重点产粮区农作物估产的信息系统。

（5）辽宁省国土资源信息系统。该系统是一个多要素、多层次的空间型信息系统，是全国第一个省级国土资源信息系统，旨在为辽宁省政府机关提供一个用于对国土资源进行分析评价和规划应用的辅助决策工作。系统的一期工程已经完成，且已投入试用。在一期工程中，建成了覆盖全省的 1:25 万综合数据库，开发了辽宁省中部地区土地资源评价模型和矿产资源分布与工业布局模型，为研建省级国土资源信息系统积累了宝贵经验。目前海南省启动澳援项目，正在建设海南基础地理信息系统，包括全岛影像数据库。广东省国土厅也正在建立广东省地理空间数据框架。

除上述有代表性的 GIS 外，各专业部门还建了各具特色的信息系统，如：城市地理信息系统，地籍管理信息系统，军事指挥信息系统，城市公安信息系统，投资环境信息系统，旅游资源信息系统等。

在研建上述空间地理信息的过程中，我国造就了一批 GIS 专家和产业队伍，形成了多个 GIS 的研究基地、培训基地和数据生产基地，我国地理信息产业的雏形已初步形成，为我国地理信息产业的持续发展打下了基础。

但是与西方七国相比，我国的地理信息产业尚处于起步阶段，中国的国民生产总值约为 4300 亿美元，据外商估算，1993 年是我国地理信息系统大发展的一年，其投入也只有 200 万美元，占国民生产总值的比例仅为 0.47 / 10000，与美国投入 3.3 / 10000 相差一个数量级。中国是一个发展中国家，未来十年将从粗放型向集约型经济转变的关键时刻，不仅要大力推动工业化，而且也同样是从工业化向信息化，进入信息社会的关键时刻。控制人口，节约资源，保护环境和防治灾害是关系到社会可持续发展的重大战略问题。地理信息系统作为信息社会中一种重要的基础信息，既是社会公益性产品，又有市场价值。因此，加强领导，增大投入，大力发展我国地理信息产业是一项十分重要而又紧迫的任务。

# 中国的煤炭资源

杨 起

中国地质大学

杨 起 煤田地质学家。1919 年 5 月 17 日出生。山东蓬莱人。1943 年昆明西南联合大学毕业。1946 年北京大学研究生毕业。中国地质大学教授。1991 年当选为中国科学院院士（学部委员）。主要从事煤田地质学研究，在解决中国煤种分带规律，预测炼焦煤地区及我国煤田分布规律和含煤建造类型研究等方面做出了突出贡献。

## 一、我国煤炭资源概况和应重视的问题

我国经济建设的发展在较长一段时期内离不开煤炭。世界上公认煤是通向未来可以再生能源为基础的持久能源体系的桥梁。在伦敦召开的第二届世界煤炭会议上比较一致的看法是：煤以其储量丰富和价格低廉将在今后的能源市场上起主要作用。据估计，若按目前煤的年开采速度计算，世界硬煤储量够开采 170 年，褐煤够开采 390 年，因此今后相当长的一段时间内，煤仍将是世界的主要能源，世界对煤的需求也将继续增加。1973~1993 年世界能源产量增长 38%；其中天然气增 60%，石油增 12%，煤增 28%。

我国煤炭资源丰富，储量居世界第三位。全国 2300 多个县市中 1458 个有煤赋存；鄂尔多斯是资源量大于 5000 亿吨的特大型煤盆地，准噶尔和吐哈盆地也都赋存着巨大的煤资源量。我国预测煤炭资源量按不同埋深分别为：1200 米以浅为 2 万亿吨；1500 米以浅为 3.8~4 万亿吨；2000 米以浅为 5 万亿吨。煤类有褐煤、弱粘结煤、不粘结煤、长焰煤、气煤、肥煤、焦煤、瘦煤、贫煤、无烟煤和超无烟煤，其中低煤级煤占比例最大，炼焦用煤约为 20%。我国又是产煤大国，1995 年产煤已超过 12 亿吨，处在世界第一位。

根据煤炭资源丰富程度、开发利用情况、供需关系、地区经济发展水平等开发的内部和外部条件，我国煤炭资源赋存等的简况可概括如下：

1. 东部地区，包括黑、吉、辽、冀、鲁、皖、苏、京、津、沪十省市。该区总的条件较差，据 1987 年统计，煤的探明储量占全国总探明储量的 9.7%，以炼焦用煤为主，煤层较薄，建井条件和水文地质条件较复杂；开采难度大、成本高；煤层埋藏较深，可露天开采者极少，老矿井报废加快，后备资源不足；人口密度大，地面建筑多，地下压煤量大等是不利条件。而该地区具有经济发达、煤炭需求量大、交通方便、电力与原材料供应方便、农业基础好等又是有利条件。东部地区为煤炭调入区。

2. 中部地区，包括蒙、晋、陕、宁、豫五省区。该区有利条件较多，据 1987 年统计，探明储量占总探明储量的 70.0%。煤炭资源丰富，煤类多样，各煤类之间的比例相差不大。且优质煤比重大；煤层较稳定且多为中厚与厚煤层，不少矿区适于露天开采，水文地质条件较简单。不利条件为，晚古生代煤将因开采含硫量较高的太原组煤而增加环境污染，内蒙东部中生代褐煤热值低，除晋、豫两省外，本区其它地区经济还不发达，煤产量大而自销量少，需大量外运而运输力量不足，且水资源短缺，农业基础差，对矿业发展不利。中部地区为煤炭调出区。

3. 西部地区, 包括新、甘、青、藏、川、黔、滇七省区。有利条件是煤炭资源量较大, 探明储量以 1987 年总储量计占 14.2%。其它条件不太有利, 中生代低煤级煤比例较大, 其中云南以第三纪褐煤为主, 川、黔、滇的高硫煤比重较大; 新疆煤的资源较丰富, 但距内地遥远, 贵州多山, 地质构造又较复杂; 产煤外运都有困难。除四川经济较发达外, 其它省区经济尚处于落后状态。西部地区为煤炭自给区。

4. 南方地区, 包括浙、闽、湘、赣、鄂、桂、粤、海南 (不包括台湾) 八个省区。按 1987 年统计, 这些省区的探明储量仅占全国的 1.1%, 以贫煤和无烟煤为主。煤炭资源量少, 分布零星, 煤层薄而不稳定, 构造和水文地质条件都较复杂, 而且高瓦斯矿井较多是不利条件。有利条件为地处沿海, 经济发达, 开发煤炭资源具有很高的经济价值。南方地区为煤炭调入区。

从以上我国煤炭资源的分析可以归纳为: (1) 煤炭资源量及煤类的分布都不均衡; (2) 优质动力用煤资源丰富而优质炼焦用煤因“超前”开采而紧张; (3) 内部和外部条件都优越的地区少。

我国是用煤大国, 煤在能源消费结构中占到 70% 以上, 75% 的工业燃料和动力、65% 的化工原料、83% 的城市民用能源和 55% 的农村商品能源都是由煤提供的。本世纪末我国计划年产煤 14 ~ 14.5 亿吨, 规划 2010 年产 17.5 亿吨, 2020 年产 21 亿吨。到 21 世纪初能源需求增长部分的 75% 左右仍需由煤来满足, 即在今后相当长一段时间内我国以煤炭为主的一次能源结构不会有大的变化。

我国煤炭资源丰富, 但也存在不容忽视的问题。

1. 煤炭资源在地理分布上极不均衡, 西多东少, 北多南少。煤储量在昆仑山 - 秦岭 - 大别山一线以北约为 94%, 以南只有 6% 左右; 大兴安岭 - 太行山 - 雪峰山一线以西占储量约 89%, 此线以东只有 11% 左右。煤类的分布也不均衡, 约 76% 的无烟煤集中在山西、贵州两省, 炼焦煤的 80% 分布在华北, 而低煤级煤 90% 以上赋存于西北各省。因此, 北煤南运, 西煤东运的格局将会长期存在。而我国水资源与煤炭资源却呈反向分布, 所谓的探明储量 60% 以上集中在水资源严重匮乏, 生态环境十分脆弱, 交通不便, 距离经济发达、能源消费高的地区较远的山西、陕西和内蒙西部, 因而集中开发的难度很大。从煤质看, 我国的难选煤多, 高灰、高硫煤的比重大。大部分煤含灰分 25% 以上, 平均 17.6%; 煤中硫分 2% 以上者占 12.78%, 平均含硫分为 1.11%; 西南地区煤中含硫 2.43%, 重庆可燃煤含硫高可达 3.24%。

2. 回采率低。只有 30% 或稍高, 在回采中丢弃的大量煤炭, 已难于再开采出来, 浪费很大。煤在运输、储存过程中也造成不应有的损失。而开采计划性差的严重后果之一是仅占我国煤炭资源总量 1/5 的炼焦用煤, 近年来的开采量竟高达煤年产总量的 50%, 我国实际用于冶金的煤仅占 8%, 显然大部分本来可用于制取焦炭或作为化工原料的煤就浪费在直接燃烧中。而且大部分优质的低灰、低硫、粘结性强的炼焦煤已经超前开采, 土法炼焦只能用粘结性强的煤, 造成很大浪费, 所剩下的多为劣质部分, 导致炼焦用煤紧张, 此种状态必须改变, 对余下的炼焦用煤进行计划开采。我国用煤的转化率低, 只有 20% 左右, 因而产品能耗高。据 1985 年资料, 我国每百万美元产值的能耗为 3165 吨标准燃料, 是印度 1548 吨的两倍多, 是美国 623 吨的 5 倍多, 日本 399 吨的近 8 倍; 1990 年国内外四种重要产品的单位能耗比较, 我国的平均能耗都不同程度地高于发达国家。

3. 缺煤的东北、华东、京津冀以及中南地区的煤矿开采强度大，产量衰减多、报废速度快，加以回采率低，最近 10 年来国营煤矿每年衰减报废能力近 1000 万吨，到本世纪末，我国约有 160 处矿井将相继报废或关闭，将减少产量近 6000 万吨。而年均新投产能力约为 2700 万吨，除去补偿抵销报废，净增能力有限，况且近年来新井建设投资有缩减趋势，新增产能力不大。我国的煤炭资源消耗过快。

4. 近年来出现一种对我国煤炭资源过分乐观的看法，似乎我们的煤多到可以取之不尽，用之不竭的程度。诚然，我国煤的储量居世界第三位，但人均占有量只相当于煤资源中等的国家。对我国煤炭资源丰富程度估计过高的重要原因之一，是所谓的“中国煤的探明储量”逐年加码，1994 年接近 1 万亿吨。这个数字的确不小，几乎是我国煤炭 1200 米以浅预测储量的一半。但却是名不符实。作为探明储量原意，应有较高比例可供建井设计的精查储量，但实际却是 C + D 级储量占到 70% ~ 80%，符合于世界能源委员会建议的探明储量定义的不过 30%。本来就不多的高级储量中除去用于建井，再减去因地质构造条件复杂、煤质欠佳等近期尚难利用的储量，余下的不过 300 多亿吨，距计划 2000 年产煤 14 ~ 14.5 亿吨所需的精查储量还有较大差距。就是这近 1 万亿吨的探明储量除储量级别低之外，因煤田勘查工作而逐年增加，但却未减去生产井和建井已经利用的 2300 余亿吨的储量。如此只增不减，好像中国的煤炭资源不是一次能源而是可与可再生能源相比了。

“探明储量”促成一些人认为我国的煤炭资源可以高枕无忧，因而不加爱惜。在开采、运储、使用中造成巨大浪费，并且放松、削弱了有关的煤地质科研工作，进而影响到几乎放弃煤田地质与勘探专业人才的培养，这对于摸清我国煤炭资源家底，有计划地开发、利用极为不利。对这种名不符实的所谓“煤的探明储量”，有人建议改为“勘查储量”或者“普查储量”。可见要做到 2000 年产煤 14 ~ 14.5 亿吨和 21 世纪初期的规划产量，并做到煤矿区分布合理，产量和煤类能适应经济建设发展的需要，煤地质研究工作和煤田勘探的工作量是巨大的。我们应该实事求是地对待我国煤炭资源，从长远着想，不应放松煤田地质勘探与煤地质研究工作，不再浪费，走开发与节能并重的发展道路。

另一方面，煤炭资源还应该包括来源于煤层和煤系的煤成气与煤成油。煤与油气同为化石能源，由于成矿条件的差异，以往认为产煤区不利于生油，而含油的地层煤层不发育。实际上，尽管煤来自有机质高度集中堆积的沼泽相，油气主要与湖泊和海相的泥岩、碳酸盐岩中分散有机质的富集有关，但实际上随基底的升降变迁，在同一盆地内聚煤和成油气的沉积相条件沿横向上可以并存，在垂向上可以互相交替。而且在煤的演化过程中沥青化作用的进行必然会产生油气。本世纪 50 年代末荷兰发现了与石炭纪煤系有关的格罗宁根特大型气田后，世界各地相继在含煤盆地中发现大型气田。我国自从“煤成气开发研究”被列为国家“六五”科技攻关项目后，陆续在四川、鄂尔多斯盆地、东海、南沙等处发现了一批煤成气田和含煤成气构造。据估计，世界上大气田和天然气储量的 70% ~ 80% 来自含煤岩系。煤成气是一种高效、洁净的燃料和原料。对于浅层煤成气，即煤层甲烷全国平均每采一吨煤的排放量为 1.0 ~ 1.1m<sup>3</sup>，每年排放到大气的总量是十分可观的。煤层甲烷的开发除作为能源外，对煤矿来说可以减轻煤矿灾害，是变害为利，还可减少向大气排放甲烷，有利于环保和减缓大气温室效应。1996 年 5 月我国成立由煤

炭部、地矿部和石油天然气总公司组建的“中联煤层气公司”，将联合开发煤层气资源。大力开发利用煤层气有利于改善我国以煤为主的能源结构。

60年代后期开始，在澳大利亚的吉普斯兰盆地、印度尼西亚的库特盆地、加拿大的斯科舍和马更些盆地以及北海默里盆地先后发现了一批与中、新生代煤系有关的重要油气田。我国自1989年以来在吐哈盆地鄯善弧形构造带找到了与侏罗纪含煤岩系有关的油气田，继而在塔里木盆地北部、准噶尔盆地、酒泉东等又有重要发现，展示了我国含煤岩系中找油气的良好前景。我国煤成气资源丰富，应作为第二煤炭资源开发利用，现已起步；煤成油也将增加其在我国能源结构中的比重。

## 二、用煤造成的环境污染

煤是不洁净能源，其造成的污染贯穿在开采、运输、储存和利用转化的全过程。就开采而言，仅统配煤矿每年矿井酸性涌水约14亿 $\text{m}^3$ ；采煤排放的 $\text{CH}_4$ 约占人类活动排放甲烷量的10%； $\text{CH}_4$ 是一种重要的温室效应气体。平原区地下每采万吨煤平均地面陷落面积达2000 $\text{m}^2$ ，我国堆积的煤矸石已超过15亿吨，占地86.71 $\text{km}^2$ ，矸石堆易自燃，会排放出大量污染气体、液体。每年约有6亿吨煤靠铁路长途运输，使用敞篷车造成约有300万吨煤尘排放在铁路沿线，造成污染。储存煤不仅占去大面积土地，而且储存时间长的煤在氧化、风化作用下，炼焦煤会失去粘结性，煤堆会自燃，污染环境。此处仅涉及煤在燃烧利用中对环境的污染，尤其是大气的污染。我国煤的利用以燃烧为主，约90.4%的煤用于发电、工业锅炉、炉窑、民用炉灶和铁路。由于燃烧技术落后，供煤不合理而造成煤的利用率低，浪费能源，污染环境，以致全国排放到大气中80%的烟尘和90%的 $\text{SO}_2$ 来自燃煤。煤是由有机质和无机质构成的，主要元素为C、H、O、N、S；工业分析内容为固定碳、挥发成分、灰分和水分；显微镜下可区分出镜质组、惰质组和壳质组三组有机显微组分。煤在燃烧、利用过程中造成的污染物有烟尘、烟气和炉渣。

烟尘含有由煤中矿物质、伴生元素转化来的飞灰和未燃烧的炭粒，1987年以来的统计，我国每年排放到大气中的烟尘量在1300多万吨到1400多万吨之间。每燃烧1吨煤会排放出6~11kg烟尘，1990年我国北方城市大气中烟尘达475 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，南方城市为268 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，远超过世界卫生组织发布的人体健康允许的含尘量60~90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和我国大气一级标准150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。浙江某煤矿的空气中的降尘，即 $>10\mu\text{m}$ 的悬浮微粒，其可燃物与不可燃物的比例为7:10，形成大量的烟尘。上海市大气中悬浮颗粒物浓度已被列入世界污染最严重的十大城市之中。

烟气含有 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 、CO、 $\text{NO}_x$ 、蒸气以及多环芳烃等烃类化合物和其它有机化合物。其中 $\text{CO}_2$ 在大气中含量增多会造成“温室效应”，使大气变暖，破坏臭氧层。CO是窒息性气体，量大时能在很短时间内使人的大脑缺氧而死亡。已知在炼焦过程中排放烟气中多环芳烃浓度大，焦炉工人患肺癌率高与之有关。如苯并芘为强致癌物，国际抗癌组织推荐的大气中的浓度为0.1 $\mu\text{g}/100\text{m}^3$ 以下，我国不少城市仍超标。

煤中硫在燃烧转化过程中产生 $\text{SO}_2$ 。我国中高硫煤和高硫分煤占煤总储量的1/3，1989年我国排放到大气中的 $\text{SO}_2$ 为1560万吨，1989年全国城市 $\text{SO}_2$ 的平均浓度为105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，远超过我国大气 $\text{SO}_2$ 一级标准20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 $\text{SO}_2$

对人类健康和植物的生长都有危害，它刺激粘膜，引起呼吸道疾病，能使植物枯死。我国用煤量在相当长一段时期内将继续增长，若不及时采取有效治理措施，主要燃煤区的污染，特别是大气的污染程度将要加剧。根据东南地区燃煤的  $\text{SO}_2$  排放量的增长趋势，预测从 1990 年到 2000 年将增长 27%，从 2000 年到 2020 年增长 50%。

$\text{SO}_2$  排放量大的山东、河南和湖南是由于用煤量大，而且煤的含硫量高；湖南的耗煤量并不多，但湖南煤的硫含量较高。 $\text{SO}_2$  排放量增长速度快的省市依次为河南、山东、湖北、上海和江苏。东南地区的煤电厂、钢铁厂和化工厂需要扩建并建设新厂。污染区将扩大并有可能成群、成线和成片出现。如上海、南通、苏州与嘉兴、长沙、湘潭和株洲趋于成群；上海则又与苏州、镇江、南京、马鞍山成线；煤矿区与煤发电厂相结合则易污染成片，如鲁西、苏西北、河南永城、淮北，河南境内的平顶山、巩义、焦作和郑州则易污染成片。

用煤排放到大气中的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_2$  与水蒸气化合生成硫酸和硝酸。这两种酸与水分子结合生成硫酸雾，硫酸雾与烟尘接触形成硫酸尘，与降水接触成为酸雨。所谓酸雨，是指 PH 值小于 5.6 的雨水以及冻雨、雪、雹、露等大气降水，它们使土壤酸化，妨碍植物生长；使水酸化影响水生生物的繁衍生息，当然还会使建筑物受到腐蚀。酸雨在我国呈加速发展的趋势。1985 年的降酸雨面积约  $175\text{Km}^2$ ，1993 年扩大为  $280\text{Km}^2$ ，1984 年 PH 值小于 4.5 的重酸雨区仅为重庆、贵阳、长沙、萍乡少数城市，到 1993 年除上述各所在省外还向鄂、桂、粤、闽、浙发展，重庆酸雨的 PH 值已低至 3.0 左右，长沙为 2.85 ~ 4.4。目前华北主要开采含硫量较低的山西组煤，往深处采含硫量高的太原组煤时， $\text{SO}_2$  和酸雨污染面积和强度还会扩大。这已与北美和西北欧重酸雨区的 PH 值相近。美国 1977 年纽约州阿迪朗达克区 219 个湖泊已酸化无鱼；原西德由于土壤酸化造成森林枯死面积占全国的 34%。但他们发现得早，已采取措施控制  $\text{SO}_2$  排放量，酸雨基本得到有限控制。

四季中因燃煤情况不同而污染程度有别，酸雨量也不同。美国纽约州和新英格兰北部一半以上酸雨是 6 ~ 9 月，冬季强西北风能迅速将有害气体吹到大西洋去，而夏季雨水多，所以 6 ~ 9 月烧西部白垩纪低硫煤，其它月份烧东部石炭纪高硫煤。煤中砷燃烧时形成剧毒的  $\text{As}_2\text{O}_5$  进入大气，在人体内累积诱发癌症，因此食品工业用煤的砷含量必须控制在 8ppm 以下。大气中  $\text{As}_2\text{O}_5$  含量国内外规定应小于  $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，水中应小于  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但某些燃煤电厂附近大气中  $\text{As}_2\text{O}_5$  含量高达  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，滇东、黔西一些地方的晚二叠世龙潭组煤经受后期热液影响，砷的含量极高，贵州开阳、织金、兴仁和兴义燃煤造成砷中毒的人数以千计，仅兴仁县交乐乡就有 42 人死亡；60 年代湖南锡矿山冶炼锑过程中排出的含砷烟尘，加以炉渣露天堆放，污染了井水使 308 人中毒，6 人死亡。

炉渣亦称煤灰，主要由煤中矿物质转化而来，含有害物质。1982 年全国排出的炉渣达 1.7 亿吨，既占去大面积土地，所含有害物质又对大气、水域、地下水和土壤造成污染源。

经济发展应与环境资源相互协调发展，不能以牺牲环境为代价来发展经济，因此如何有效地治理因用煤造成的环境污染就成为紧迫的研究任务，务使煤炭资源的开发利用与环境效益结合起来。

### 三、我国煤炭资源的展望与建议

我国煤炭资源丰富，但是煤的储量和煤类的地理分布很不均衡，炼焦煤因超前开采而吃紧，因水资源匮乏、生态环境脆弱、交通不便等增加了开发难度；能开采出的煤的数量只是建井储量的一部分；由于各个环节的资源浪费而加速了煤炭资源尤其是优质煤的消耗等不利因素估计不足；以及因短期内用煤问题不大而掩盖了未来开发利用可能面临的难题等等，都应及早引起重视，并在以下几点加以注意：

1. 根据我国经济发展状况和煤炭资源分布不均衡的特点，应尽可能地在东部地区较长时期地保持煤炭稳定生产。除在老矿区外围找煤外，掩盖区仍存在发现新煤田的潜力，并且应将东部地区晚古生代煤田受底部岩溶水威胁的高达约 150 亿吨的煤解放出来。从长远看煤田的开发势必西移，以独联体和美国煤炭开发找矿转移和与我国的情况相比较，我国应优先开发山西省和地跨晋、陕、蒙、甘、宁的鄂尔多斯盆地靠东部的煤田；控制优质炼焦煤的开采，增加动力煤与无烟煤的产量；大力发展坑口电站，并增加煤田勘探和矿井建设的投入；同时，大力发展计算机技术，包括模拟与地质成图；在勘探技术上开展高精度、高分辨地球物理技术手段的研究与应用。

2. 加强综合利用和洁净煤技术。煤不只是燃料，它还是多种工业的原料。煤炭的浪费还表现在将优质煤作为劣质煤用，将可以用于其它工业用途的煤直接燃烧掉。李四光教授曾指出：“像煤炭这种由大量丰富多彩的物质集中构成的原料，不管青红皂白一概当做燃料烧掉，这是无可弥补的损失”。根据德国的资料，煤中组分多达 475 种。用煤作原料制成的产品，其经济效益可大幅度提高。以用煤炼焦为例，除主要产品冶金焦炭外，还可获取煤焦油和焦炉煤气。煤焦油可以用来生产化肥、农药、合成纤维、合成橡胶、塑料、油漆、染料、药品、炸药等产品；焦炭除主要用于冶金外，还可用来制造氮肥。焦炉煤气可用于平炉炼钢和焦炉本身的燃料、城市煤气。也可作为化肥、合成纤维的原料。煤的气化、液化在煤的综合利用中更是重要内容。我国有多种可以制取液体燃料的煤类，如各种残殖煤、藻煤、烛煤等，山西浑源藻煤的焦油产率高达 32%；壳质组含量高的腐殖煤，如淮南煤田部分气煤的壳质组含量为 15%~26%，焦油产率为 12~15%。

为了减少用煤造成的环境污染并增加煤的使用价值，应从多方面发展洁净煤技术。包括增加煤的入洗量，我国煤的洗选程度低，仅 20%，而国外一般在 42%~100%，采用先进高效的选择性絮凝重液旋流分选和浮选脱硫等，在煤投入使用前就降低其含硫量和矿物质；发展成型煤和水煤浆，烧型煤比烧散煤可节煤 20%~30%，减少  $\text{SO}_2$  排放量 40%；水煤浆的灰分和硫分都低，燃烧效率高，烟尘、烟气排放量都较低；以及制取气体、液体燃料等。在煤燃烧上推广应用流化床、粉煤燃烧技术，提高煤转化为电力、热力、煤气等洁净二次能源的比例，发展洁净煤技术，并与节能技术综合利用相结合。针对中小锅炉燃煤情况，要重视燃煤过程中的脱硫技术研究，开发简易实用的烟道气净化技术。

3. 加强煤地质研究。为了能真正摸清我国煤炭资源的家底和保证从质量和数量上提供所需的煤炭资源，并防治因用煤对环境的污染，建议对以下几个方面的煤地质研究加强力度。

1) 对煤和含煤岩系沉积环境的研究上，运用比较沉积学的理论方法，通

过将沉积相分析与煤相分析相结合，从煤的显微组分层次上研究煤层，预测煤质；运用层序地层学的理论方法，从沉积学和地层学两方面揭示沉积体的空间分布规律，建立沉积盆地，特别是陆相沉积盆地的等时地层格架和演化模式；通过对现代的泥炭聚集环境研究古环境对聚煤的控制作用，以及不同沉积环境下的聚煤模式。

2) 以发展演化的观点开展沉积盆地分析，对整个盆地的古构造、古地理、沉降史、热演化史和形成矿产的各项参数进行全面分析，得出盆地中沉积矿产在数量上和质量上的整体概念，对于矿区邻近和新区找煤，包括寻找富煤带和低硫低灰的优质煤效果较好。也利于对含煤岩系中其它矿产如耐火粘土、高岭土、锗、镓、钒以及与煤有成因联系的油、气的综合研究与综合勘探。

3) 经过几个五年计划的科技攻关，我国多数大型盆地四川、鄂尔多斯、准噶尔和塔里木以及东海、南海等已证实是大型的煤、油、气共生盆地。人们对含煤岩系的有机质能够形成油、气和含煤盆地能形成具有工业价值的油气藏的事实已不再怀疑，但对于在什么特定环境下的聚煤盆地可以形成工业性的油气藏还有待深入研究。据了解，“九五”期间计划在北方侏罗纪煤盆地开展找油气工作，这正是在同一盆地通过对沉降史、热史、煤化作用、成烃地球化学、聚煤与成油、气沉积相的交替与并存进行探讨，综合研究煤、油、气的成因联系，以及它们的形成和演化模式的好时机，当能收到事半功倍之效。

4) 针对目前煤类的不合理开采，优质煤劣用浪费资源，因用煤污染环境严重以及出口煤炭需要提高煤质才能增强在国际市场上的竞争力等，有不少出口煤因洗选后硫含量降不到国际通用的  $St, d < 1\%$  的标准而被外商拒收。应该强调运用煤岩学、地球化学与煤化学密切结合，相辅相成地进行煤质研究，并深入到显微组分层次，以便更有效地做好选煤、炼焦配煤、气化、液化等，与之同时加强研究煤中的污染源如硫、砷、汞、铅、镉、铬、氟、氯等在煤中的聚集机理、赋存状态、分布特点以及它们在煤燃烧转化过程的动态与去向。如萍乐凹陷煤中砷主要以砷黄铁矿 ( $FeS_2 \cdot FeAs_2$ ) 形式存在；煤中氟部分溶于水，部分氟在燃烧时以氟化物排入大气，氟化氢对生物的危害比  $SO_2$  大 20~100 倍。这样就有可能不仅仅是在用煤中和用煤后，而是在煤投入使用之前就采取有针对性的措施，为制定因用煤造成环境污染的保护和治理对策提供依据。

我们应该改变重数量轻质量的做法，加强煤质研究，包括加强污染环境的煤中有害物质的研究，走提高煤质、合理用煤、综合利用煤的道路，务使煤尽其用。并在煤投入使用之前，就采取防治措施，清除煤中的污染源，做到防患于未然，能收到事半功倍之效，避免重蹈国外走过的先污染后治理的老路。既能发展经济而又不以牺牲环境作为代价，又能提高煤的利用率，使一吨煤发挥出多于目前一吨煤的效益。可以不必单纯依靠增加产量来满足对煤日益增长的需要，从而有可能不急于在 2000 年将煤产量增加到 14~14.5 亿吨，不仅可以节约大量人财物的投入，还可不增加环保的负担。