

《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）

03

上海市黄浦区教育信息中心

全球变化中的陆地生态系统研究

张新时

中国科学院植物研究所

张新时 1934 年 6 月 30 日出生于河南开封。1955 年毕业于北京林学院。曾任新疆农学院副教授、林学系主任。1985 年获美国康奈尔大学博士学位。历任中国科学院植物研究所研究员、所长，中国植物学会理事长、中国林学会副理事长，中国自然资源学会副理事长，全国政协常委。1991 年当选中国科学院院士（学部委员）。长期从事植被生态研究。

刚刚过去的 1995 年是有记录以来最暖的一年，全球年均温较近 30 年平均值高出 0.4℃，夏季持续高温，热浪席卷北半球，中高纬度冬季异常偏暖，欧美冬季暴风雨成灾，南美与非洲持续干旱，亚洲洪水频繁发生……（国家气象中心年气候监测公报，1995），似乎是全球增暖的综合表征，尽管对这些异常的解释形形色色，然而全球增暖、温室效应与全球变化是近年来，不仅是学术界，而且是公众和政界所极为关心的热点。这是指由于近 200 多年来人类活动，尤其是工业化进程的迅速发展，所排放的温室气体，如 CO_2 ， CH_4 ， N_2O ， O_3 ，CFC 等造成大气温室效应而导致全球增温，从而引起全球性人类生存环境与生态系统的反应与变化。据国际气候变化理事会（IPCC）根据大气环流模型（GCMs）的评估，到 21 世纪中叶（2030—2050 年） CO_2 在大气中含量加倍（560—600ppm）时，全球年平均气温增加 1.5—4.5℃，平均 2.5℃，降水可能增加 7%—15%，因此而有较大差异。对此，学者们争论的主要问题是它们将于何时发生，幅度的大小和地区与季节分布的格局，而政府和公众最为关心的却是这对人们的生活、农林牧业生产、资源和生存环境将产生何等影响。

当前国际上对全球变化研究的重心与焦点已经转移到生态系统对全球变化的反应与反馈及其功能与过程方面。在国际地圈-生物圈计划（IGBP）中的核心研究项目“全球变化与陆地生态系统”（GCTE），已成为最为活跃和不断扩展的项目（Steffen et al. 1992）。

它包括以下四个研究焦点：

F1：生态系统生理学

—— CO_2 增浓的影响

——生物地球化学（碳、氮与其它元素）的变化

——陆地生态系统中水流、能流与物流的相互作用

——综合模型

F2：生态系统结构的变化

——斑块动态：种的功能类型与生态系统动态模型

——由斑块到区域的尺度转换

——全球反馈模型：静态与动态的全球植被模型

F3：全球变化对农业与林业的影响

——作物、森林与草场

——病虫害与杂草

- 土壤
- 农业系统模型

F4：全球变化与生态复杂性

- 全球变化对生物多样性与生态复杂性的作用
- 隔离种群的生活力
- 区域性与全球的综合

本文试图把国际学术界，包括我们自己在以下几方面所作的研究作一概述，以冀促进对这一问题的深入研究。

一、气候变化与陆地生态系统

1. CO₂ 增浓对生态系统的直接作用

一般来说，大气中 CO₂ 的含量增加会加强光合作用与生产力，增加根部的碳，提高菌根的活性与增强氮素的固定，从而促进植物生长。在 CO₂ 加倍情况下，许多植物的光合作用增加 50%—75%，树木与农作物生长也相应增加 50%—75%，农作物产量可增加 30%—50%。但 CO₂ 增浓对植物生长的加强却受到土壤养分与水分供应的限制。

根据植物同化 CO₂ 的代谢途径差异可以区分为不同的功能类型 (Functional Type) ——C₃, C₄ 与 CAM 植物。C₃ 植物对于 CO₂ 增浓的反应强于 C₄ 植物，因此 C₃ 植物的光合作用明显随 CO₂ 增浓而加强，但随着时间的延长则可能降低，在养分、水分与光照充足的情况下，植物对 CO₂ 增浓的正向反应最为明显，反之则受到限制。但是 CO₂ 增暖也存在着降低或抑制光合作用的方面，这可能是由于增强的光合作用引起在叶绿体中过多的淀粉积累而妨碍细胞器的功能。其次，在大量 CO₂ 的状况下，植物产生碳水化合物的能力一旦超过其将淀粉副产品转移到活动的生长部分的能力时，则某种生物化学的反馈可能减缓光合作用。再则，涉及到传输积累的碳水化合物所必须的磷，由于磷循环或许跟不上光合作用增加的速度，从而可能降低 RUBP 羧化酶的数量与活动性。

此外 CO₂ 的增浓还会导致植物叶气孔变小与植物呼吸作用与蒸腾作用强度的降低（与气孔变小或张度降低有关），从而减少水分消耗与提高水分利用效率 (WUE)，但后者却会因气候变暖而降低。植物的叶面积，根茎比与果实的大小则随 CO₂ 增浓而加大，但如果氮素供应不相应增加就可能导致植物碳氮比 (C/N) 失调，则昆虫需要采食更多的植物以满足其养分与需求。由于 C₃ 与 C₄ 植物对 CO₂ 增浓的反应不同还会改变植物种间的竞争关系。

2. 增温的作用

增温对陆地生态系统有正负两方面的效应。其正面的作用是延长生长季节，提高光合作用效率，增加土壤养分的释放率等，从而提高植物的产量，增温的另一个显著效果是使生态系统与农林业种植的界限向北或在山地向上扩展。一般来说，全球变暖对于冷湿的北方和高寒地区有较大的好处，因为

C₃ 植物同化 CO₂ 转为 3 碳的化合物，C₄ 植物则形成 4 碳化合物，后者通常适于温暖气候，CAM 植物通常为干旱区的肉质植物，它在夜间贮存 CO₂，而在白天进行同化。

在这些地区，低温是植物生产力的限制因素。

增温对植物生长发育的负作用主要在于增加水分消耗而引起干旱，并在受到水分不足胁迫的同时易于感染病虫害，从而使农作物严重减产或阻碍森林生长与更新。尤其在植物分布的南界或山地下限，增温使植物得不到足够的低温来刺激休眠，从而不能完成其发育周期；高温还导致花、果或种子败育。此外，全球增暖所造成的暖冬将加强冬旱的危害。

Rosenzweig (1985) 对北美农作物在 $2 \times \text{CO}_2$ 气候条件下的反应的预测可作为全球变化对农业影响的例子。根据 GIS 的 $2 \times \text{CO}_2$ 图景，全球年均温度增加 4.2—4.9℃，年降水在大部分地区增加，个别区域减少。由于生长季节的延长，使冬季的种植区向北扩展，大大增加了种植面积。但由于在小麦生长季节中较高的温度则要求较为早熟和更抗干热的小麦栽培变种。对小麦产量模拟估计表明，在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下，美国大平原的小麦产量均有不同程度的降低，且随着纬度降低，减产幅度愈大。旱地小麦平均减产 30%，主要是由于增温缩短了一定生长发育阶段（如灌浆）的时期，小麦成熟的日期大约提前了三周。灌溉地小麦的产量在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下也有所减少，但减产幅度不如旱地之多，如采用较为适应的栽培变种则可能不减产或略有增产。 CO_2 的施肥效应可能减缓气候增暖对小麦产量的不利影响。这种效应在北方较明显，在南方则减弱。灌溉可增强 CO_2 的施肥效应。

3. 物种的地理迁移

通常认为植被地带在全球变暖进程中将向北方移动，但因各个种对气候变化的适应性与遗传忍耐力的不同以及它们繁殖与散布的能力差异而有很大区别。此外，土壤与基质的异质性也能强烈地长期阻滞或促进植被的变化，增加植被在空间上的复杂性。据研究，占世界森林总面积的 1/4 的北方寒温带针叶林将对全球变暖作出强烈的反应，它将在很大程度上向北迁移，进入冻原地带，而在其南部让位于冷温带的落叶阔叶树，如桦木与山杨等或在干旱地区为温带草原所代替。

山地森林与植被则随全球变暖而向上迁移。树木线上升结合、山地冰川迅速消融后退乃是全球变暖最明显的标志和先兆。然而，植物迁移的速度慢于气候变暖的速度。据估计，植物要每年向上迁移约 1 米才能适应气候的变化。但多数植物迁移的速度每 10 年不过 1 米，因此往往不足以挽救自己，或因山地高度不够而找不到避难所，许多高山植物就会因此绝灭。即使是 1℃ 的增温也足以使许多山地的高山植被带整个消失或碎裂化而仅呈岛屿状存在于局部的山头。预计在全球变化情况下，山地树线与植被带将会上升 300—500 米，但有时高山深厚的积雪和雪崩会阻碍树线的扩展。例如，美国 Oregon Cascade 山脉（北纬 44°30′）东坡在现代气候条件下与全球气候变化条件下（+2.5℃ 与 +5.0℃）的山地植被海拔高度界限及所占面积比例将会发生很大变化。其中山地铁杉林所占的面积在增温条件下将由 17% 下降为 6% 与 1%，高山植被带由 13% 减少至 3% 与 0%，而山地基部原来没有的旱生蒿类草原则由 0% 增至 51% 与 77%。

4. 全球变化对干扰的作用

全球变化最显著的特征是干扰性气候变化的频度与强度增加。在全球增温后，强风与暴风雨将更加频繁，干旱区的尘暴更为经常发生并增加强度。风暴对森林和农田会造成较大的损害。气候的极端性也会加强，夏季可能出

现酷热的天气，冬季则可能反常寒冷，从而引起农业生产的巨大摆动与不稳定性。气候的地区差异也将增强，某些地区可能特大丰收，而为另一些地区的严重减产或遭灾所抵消。洪水的强度和频度也会大大增加。干热的天气将会引起猛烈和频繁的森林、灌丛与草原火灾，不但将强烈地改变植被的种类组成和结构，还会造成碳与氮素循环的巨大变化。

全球变化会使病虫害与鼠类大量繁殖滋生，甚至达到爆炸性的程度，从而对人类健康和动、植物带来不良影响，造成生态系统或农林业生产力的下降或破坏。干热的气候将有利于杂草的发展，尤其是 C_4 杂草的竞争加剧，扩展分布，对 C_3 的作物造成胁迫。目前在美国大约有 33% 的农作物受损于昆虫、病害、线虫与杂草；因此在害虫或杂草对作物关系的微小改变都会引起严重的经济问题。然而全球增暖一般可能加重病虫害的问题，寄主植物在严酷的胁迫条件下尤其易于受到病虫的伤害。此外，在下个世纪，全球变暖会使大面积土地因风沙侵蚀而严重退化，而对农业十分不利，其总产量将下降 1/3 至 1/2，有可能导致大规模饥荒，对世界各地的社会稳定构成威胁。

5. 全球变化与生物地球化学循环

陆地生态系统与大气层之间的碳循环通过三种形式的通量实现，即：植物的光合作用，呼吸作用与特殊的呼吸作用（包括有机物的分解与生物量及化石燃料的燃烧）。如前所述， CO_2 的增浓与陆地生态系统有施肥效应，可导致 NPP 的增加，加上生物量的增加，从而使陆地生态系统可存贮更多的土壤碳素对大气中 CO_2 的迅速增加作出反应，以达到碳的平衡。但植物中过量的碳贮存提高了 C/N 比，如果没有养分的相应增加，则植物体组织与枯枝落叶中的养分含量较低。森林的单位面积含碳量比农田要多 20 至 100 倍，即森林吸收碳后将其变化为木材，还贮存大量碳于森林土壤的腐殖质中。因此森林成为重要的碳汇。采伐或毁灭森林就会使树木与土壤有机质中持有的碳通过燃烧和腐解而氧化成为 CO_2 释放到大气中，使森林由碳汇转向碳源。据估计，每年放散到大气中的 CO_2 大约有 70% 是由消耗煤、石油与天然气而来的。30% 则由毁林而来。预计到 2080 年，全球 CO_2 的年释放量可达 30—50 亿吨，如停止毁林则每年将减少 15—30 亿吨的碳的放散，而大面积的造林则每年可以从大气中收回多达 20—30 亿吨的碳。

氮素循环也有近似的情景，但固氮植物的生物学作用在循环中有特殊意义。

6. 全球变化对生物多样性的影响

在地球的地质史时期，自然的气候变化曾导致了生物物种的大规模迁移，生物群落组成的巨大变化与许多物种的绝灭。在全球变化条件下，这一过程势必以更高的速度发生和进行。尤其是气候变化与生境破坏相配合将威胁到更多物种的生存。

到下世纪中叶，增温 4℃ 将相当于地球自 4000 万年前的始新世纪以来的最热期，但其变化速度却为 15 至 40 倍。这一变化速率将超过许多物种的适应能力。与增温相伴随的降水变化也会对生物多样性带来重大影响。在干旱的情况下，植被及其组成将受到损失。 CO_2 的增浓则可能对某些种类，如 C_3 植物更为有利，而改变了竞争的格局，造成生态系统的不稳定。全球变化带来的极端事件，如干旱、火灾、洪水、风暴及冷暖变化等更会对物种的分布与生存带来很大影响。

一般来说, 增温对北方高纬度和高海拔的物种与群落造成的压力较大。物种可能向北迁移数百公里或向山地上部上升数百米。在温带区域增温 3 的情况下, 至少可迁移 300 公里。据 Davis 与 Zabinski (1990) 估计一些北美树种, 如糖槭 (*Acer sac-charum*) 与水青冈 (*Fagus grandifolia*), 在 $2 \times \text{CO}_2$ 条件下将向北迁移 600—2000 公里。

物种对于变化的环境的适应能力取决于它的生理适应性、繁殖、散布与迁移的特性。许多物种的完全绝灭或局部绝灭往往是由于它们的散布速度赶不上气候的变化。温度或土壤湿度变化还能影响捕食率、寄生与竞争的相互关系。气候变化可能有利于外来的侵入种而造成某些物种被竞争排除而局部绝灭。

热带森林具有最复杂的物种关系与生态系统, 尤其热带雨林是生物多样性的贮存库, 在地球估计 3000 万的生物种中, 它占有绝大部分。增温对热带森林不是关键的因素, 但降雨的季节性与干湿季时期的波动却对热带森林的生物活动影响至巨, 可造成花果败育, 从而对动物和分解者群落有很大作用。尤其是关键种果实的败育可能导致以果实为主的种类的局部灭绝。降雨的季节性变化还会增加热带雨林的天然或人为灾害, 如火的敏感性, 而使其丰富的生物多样性受到伤害。

二、全球模型的生命化

在研究全球变化时, 大气物理学家们发展了大气环流模型来模拟地球的气候和预报未来的气候变化。然而在多数的 GCMs 中, 地球被当作是一个死亡的、没有生命和绿色的行星。这是由于气团的运动服从于基本的物理定律, 因而较易于用数学公式来表达, 但是生物的活动和行为还远不能用类似的公式来描述, 因此要把生物置入全球模型是特别困难的挑战。生物模型学家在构制模型时, 既要保持足够的复杂性以合理地表现生物的真实世界, 又要使模拟简单实用, 可以在全球的尺度上运行。

目前发展了三种不同尺度上的全球变化的生态模型。三种尺度是斑块、景观和区域。其中斑块是在生态系统水平上的, 影响是若干相邻的斑块构成的空间序列, 区域是各景观类型的结合; 后者还可联合成大陆和全球尺度的模型 (Walker 1994)。两类模型则是全球植被模型 (GVM: Global Vegetation Models) 与全球动态植被模型 (DGVM: Dynamic Global Vegetation Models)。

全球植被模型静态地反映植被单方面取决于气候的分布, 如 Holdridge (1947) 的生命地带分类与 Box (1981) 的大气候与植被类型模型。前者曾被广泛用于预测未来气候变化条件下的全球植被相应变化。这类模型将地球陆地地区分为若干主要的生物群区 (Biome) 或植被类型, 如: 冻原、各类森林、草地、荒漠等, 并根据一系列气候指标, 如: 温度、降水、生长季节与湿度等, 以及 GCMs 提供的未来气候变化图景来预测植被分布的进展或退缩。这类模型的缺点在于它不包括变化的机制、植被的滞后效应与变化速率, 当然, 也不考虑变化了的植被对气候的反馈。

新一代的全球植被模型如 DOLY 与 BIOME, 已经涉及到未来的植物与气候相互影响的一些信息, 如增多的 CO_2 可能促进较旺盛的植物生长, 使叶量提高数倍, 形成多层的稠密树冠, 从而降低局部气温 $1-1.5^\circ\text{C}$; 云量则由于更多的叶子放散水汽而增多。因此, 植物生长可能对局部气候有相当大的作用。

但是这些模型毕竟是“平衡”的模型，它们所预测的潜在植被分布与一定的气候是平衡的。

然而，植被变化及迅速的环境变化，如火、暴风雨等极端天气事件，以及人类活动过程都是短暂瞬间和不平衡的，为了提供更为真实的植被变化图景，需要发展结合瞬间动态过程的全球动态植被模型(DGVM)。SIB(Simple Biosphere)模拟气候变化将如何作用于植物的新陈代谢——吸收 CO_2 ，放出水汽与氧气，及其冷却树冠、减少蒸发等对温室效应的反馈作用。TEM(Terrestrial Ecosystem Model)(Melillo et al.1993)则进一步将植物的生长、死亡与分解过程及其对碳素与氮素的吸收和释放进行数学的描述和计算，并且表现了净第一性生产力(NPP)——碳素加入到植物组织的能量库中的变化。据TEM估算， CO_2 倍增并结合以增温可能使地球的NPP增加20%-26%。尤其北方针叶林更得益于增温而加速土壤有机质的腐解与氮素的释放。在第二代的BIOME与DOLY模型中则考虑到生态系统在气候变化时的迁移，可以在模型中设定生物圈在与变化的大气圈相互作用的变化增量。

对于全球植被模型的进一步挑战在以下几方面：

——如何把全球变化引起的不稳定性与干扰或破坏性事件，如火、风暴、洪水、旱灾、病虫害等，以及人类活动，如：伐林、垦荒、疏干湿地等加入到植被模型中来？

——如何模型化真实的生态系统，即包括对气候变化反应各不相同的多种植物、动物、微生物以及土壤的复杂性集合体，而不是一个单一的植物类型？

——如何把生态系统的不同发育与演替阶段及过程，如竞争、共生、互利等设定到模型中？如果考虑到生物的进化、遗传变异及其对气候变化的适应性进程，则更大地增加了模拟的难度。

任何一个单独的模型都不可能包括上述所有的方面和解决所有这些过程。因此，许多研究者致力于另一大类的模型，即斑块、景观和区域尺度的模型。

斑块尺度的模型模拟个体生物尺度上的变化动态，如在一片森林中的树木生长、死亡、竞争演替，以及不同种类对 CO_2 增加反应的差异等。斑块模型不是设计用来针对大区域的全球变化研究，而是要解决植物与其环境之间关系的特殊问题。但是研究斑块模型可以使研究者了解到哪种生态细节是决定性的，并找到如何以简化的方式把它们放到全球模型中去，以增加模型的可靠性。现有的斑块模型不下数百个，多数用于预测生态系统的结构和功能变化。如FORET林窗模型运用植物的功能类型，可用来模拟对长期气候变化反应的森林演替过程，可以提供在数十年到数百年期间内各个种与群落对GCM所给出的气候变化的逐年反应。该模型进一步发展将与光合作用与生态系统生理过程的模型相联结。CENTURY是用以研究草地生态系统的模型，其特点为强调碳循环与土壤有机质转化的过程。

在斑块模型的基础上，有必要建立较大尺度的景观植被模型，它们具有较粗的时间精度，可以运行较长期的时间水平，从十年、百年，以至千年，并可与较长期的GCMs相作用。景观的空间尺度由数百米到数公里，适合于土地利用经营单元的通常尺度，因而具有较大的实用意义。景观尺度模型的特殊目的是要把人文与自然因素有效地联系起来以发展一种数量方法分析人为

造成的景观变化，它与土地利用有密切联系。但目前对景观尺度模型的研究还很不足。区域尺度的模型是景观的综合，对于区域的整体规划有重要意义，也是由斑块与景观尺度向全球尺度模型过渡的重要桥梁。目前的区域模型多数是“平衡型”的，或是斑块/景观模型的简单组合或直接延伸，因而迫切需要发展非平衡动态区域植被模型。

近期的全球变化模型研究前缘在以下三方面：

——全球变化对复杂的农业生态系统的影响：多种作物系统或复合农林业可提供更多的食物和纤维。物种多样性对于全球变化可以增加系统的稳定性，复杂的农业生态系统具有比单种植更稳定的内在稳定性。

——全球变化与生态复杂性：生态复杂性包括生态系统之间及内部的空间异质性，种类的数量与相对的丰富程度以及食物网的结构。研究生态复杂性、生态系统功能的关系以及全球变化将如何影响这些关系。

——全球变化与生物生产力：在所有自然生态系统的研究中，地上部分生物量对 CO_2 增加没有显著反应，但地下部分的过程却特别显著，表现为地下部分生物量的积累与周转，对于碳素循环可能是一个重要的汇。

三、中国陆地生态系统对全球变化反应的模式研究

1. 中国气候——植被关系研究

气候——植被关系 (Climate - Vegetation Interaction) 是研究生态系统对全球变化的反应与反馈的基础。植被类型及其分布可视作为环境因素的函数式。在影响植被及其分布的环境因素中温度与降水是最根本的，由这两个基本因子派生的可能蒸散率或干燥度常用作评价植被水分平衡的综合指标。地形与土壤具有再分配气候因子的间接性质，在气候——植被关系的高级单位与大尺度的模型中通常不予考虑，但在区域和景观尺度的模型中却是重要的因素。

中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室 (LQVE) 在该所生态室对植被生态学研究多年积累的基础上，采用数量分析、模型与遥感的方法对我国的气候——植被关系进行了综合研究。在可能蒸散率或干燥度与中国植被类型及其分布关系的研究中，先后计算了 Penman, Thornthwaite, Uchijima & Seino, Holdridge, Kira 与 Emberger 等指数。Sun & Feoli (1991) 则采用多元分析方法进行了中国的植物气候分类。周广胜 (1996) 发展了以水热平衡为基础计算的蒸发指数的植被指标。

2. 中国植被对全球变化反应的模拟预测

为了预报和估测全球变化及在 $2 \times \text{CO}_2$ 情况下中国植被的反应，Holdridge 的生命地带分类系统 (1967) 被采用来进行植被对全球变化反应的模拟。未来的气候的图景是根据几个主要的大气环流模型 (GCMs) 对 $2 \times \text{CO}_2$ 模拟结果的综合，得出了平均的变化趋势，使用了三个可能的变化方案：

- (1) 年均温增加 4°C ，年降水增加 10%；
- (2) 年均温增加 4°C ，年降水不变；
- (3) 年均温增加 4°C ，年降水减少 10%。

模拟计算是在植被数量生态学开放研究实验室的生态信息系统 EIS 上实现的。模拟结果所显示的全球变化后我国各类植被的反应如下：

1) 森林植被各地带由南向北推移 3-5 个纬度, 森林面积南增北减, 但总面积减少。在三种变化方案下, 热带森林与亚热带森林面积均显著增加。热带森林增加最多, 从无到有, 面积可达 24 万 km^2 ; 亚热带森林由原估算的 75 万 km^2 增至 183 万 km^2 。表明在我国热带、亚热带地区, 水分不是限制因子, 而增温可导致森林植被类型的较大变化。北方的暖温带森林由 216 万 km^2 减少至 135 万 km^2 , 其中大部分演变为亚热带森林, 小部分演变为草原。冷温带森林由 116 万 km^2 减少至 40 万 km^2 , 其中多半演变为草原, 部分演变为暖温型森林。2.2 万 km^2 的北方寒温针叶林在 $2 \times \text{CO}_2$ 情况下全部消失, 大部演变为冷温带森林, 部分草原化; 山地寒温针叶林向山地上部退缩, 由 63 万 km^2 减少至 11 万 km^2 , 大部分变为山地草原, 部分转为冷温型山地森林。我国北方温带森林在全球变化条件下的大量草原化表明水分是主要的限制因子, 制约着我国北温带森林与草原, 以至荒漠之间的转化关系。

2) 温带草原对全球变化有最敏感的反应, 面积有所增加: 温带草原由 47 万 km^2 增至 90 万 km^2 , 大部由温带森林演变而来, 少量由荒漠演变而来, 也有小部分草原演变为森林或荒漠。温带山地草原也有所增加, 由 70 万 km^2 增至 89 万 km^2 , 其演变趋势与温带草原相似。然而, 在气候变化后, 温带草原受影响最大的不是来自增温, 而是人类活动的加剧。草原土地利用的格局将因垦殖土地的扩大而使草原受到极大的干扰与破坏。

3) 温带荒漠扩大三分之一, 荒漠化进程显著: 平原温带荒漠面积变化不大, 与草原之间互有转换。温性山地荒漠却由 157 万 km^2 增至 228 万 km^2 , 其中一部分是由温性山地草原转化而来, 另一部分则由高寒荒漠暖化而成。荒漠化进程将成为全球变化不可避免的趋势。

4) 青藏高原与我国西部高山的高寒植被在 $2 \times \text{CO}_2$ 情景下将大部消失。山地的高山草原与草甸分别向温性荒漠与草原演化, 高原上的高寒植被除少数转化为森林和草原外, 大部将变为温性荒漠。高原上的连续永冻层将局部消融, 雪线与冰川大幅度上移, 冰雪带将仅存于局部高山顶部。

3. 生态系统对全球变化反应模型研究

在静态的大陆尺度气候—植被模型的基础上, 植被数量生态学开放实验室进一步发展了在斑块(生态系统)与景观尺度上的机理性仿真模型(高琼 1994; 高琼等 1994)。

OSAS 是鄂尔多斯毛乌素沙地的草地生态系统仿真模型。该模型针对沙地地貌与基质复杂、沙地表面蒸发较少、蒸腾作用构成主要的蒸散失水的情况, 建立了土壤水分动态与多种植物竞争水分的动态系统模型。

SNMOD 是松嫩平原碱化草地生态系统的仿真模型。该模型主要强调土壤物理过程与地表植被结构动态的耦合作用, 突出了植被降低土表蒸发, 从而降低表土碱化度, 改善土壤理化性状的正向作用; 另一方面, 植被破坏则导致蒸发与碱化加强, 土壤退化的反向过程。土壤孔隙度随植被的变化成为决定这一双向过程的关键。这一模型是以实验研究为根据的。在此基础上, SN-MOD 进一步从空间异质性与景观空间格局的关系发展了景观水平的动态模型。

上述模型较成功地被用以模拟与预测群落与景观的过程与动态, 从而用作预测全球变化对系统与景观作用的重要手段与机理的阐明。

此外, CENTURY 模型也较成功地用锡林格勒草原系统的模拟与预测。在

长白山森林则在 FORET 的林窗模型基础上发展了 NEWCOP 模型,对红松针阔混交林的更新与演替过程进行了动态模拟。上述这些模型的发展是令人振奋的,并已得到了一些有意义的结果,但有必要进行实际的验证。如何将这些模型与 GCMs 相联合,进行区域性的全球变化反应的模拟与预测则是进一步需要解决的问题。

4. 中国全球变化生态样带研究

样带 (transect) 研究被认为是研究全球变化与陆地生态系统关系最有效的途径之一。

因为样带可以作为分散的站点与一定空间区域之间的桥梁以不同尺度时空模型之间耦合与转换的媒介。样带是由沿着一个主要的全球变化驱动因素,如温度、降水或土地利用强度等梯度上的一系列站点所构成。其主要研究内容有:生物地球化学过程,如痕量气体的放散、碳或氮素循环等变化,生态系统的表面能量交换,植被结构与动态,气候与植被关系与分布格局,生物多样性的变化以及土地利用性质与格局等。样带可用来发展与测试不同尺度的模型及其耦合与转换,并可作为遥感信息的地面校验带。在 1993 年的 GCTE 国际样带学术会议上,我国研究者提出的“中国东北森林——草原样带”(NECT)被列为 IGBP 的国际样带之一。在 1994 年北京 PAGES (过去全球变化)国际学术会议上,此外,作者在中国初步建议两条样带。这两条样带,一条是经向的,沿着中国东岸大陆 ($110-130^{\circ}\text{E}$) 由北向南设置;另一条是纬向的,由东向西横贯中国大陆北部 (40°N)。它们是决定我国最基本的陆地生态系统或植被类型与地带性,也表现了我国最主要的土地利用格局。我国东亚大陆的地带性是地球大陆最完整的森林地带系列,从热带雨林地带依次经亚热带常绿阔叶林、暖温带落叶林、温带针阔混交林,直到寒温带针叶林地带,包含着各该带的气候——植被关系与土地利用格局,可以连续和系统地研究全球变化增温对陆地生态系统的作用。在我国北温带由森林-草原-荒漠组成的序列上,不仅可以研究降水与蒸发散梯度在植被地带与土地利用上的反映,该样带还穿过两个生态过渡带,可以在生态系统对全球变化的敏感度方面进行研究。

四、今后研究展望

根据国际对全球变化的生物学研究趋势与我国的国情和特殊性,今后在全球变化与陆地生态系统关系的研究方面将集中于以下几点:

——我国各地区农林牧业生态系统对全球变化的反应及调控对策。应特别注意土地利用格局的变化与合理配置。各种形式与结构的复合农林业 (Agroforestry) 将成为适应全球变化影响的一种重要措施。

——斑块 (群落) 与景观尺度的动态模型将成为模型研究的重点。生态系统的生理过程与动态演替的参数化及其在模型中的设定以及土壤因子的加入等将是模型发展的关键。

——不同时间与空间尺度 (scale) 与平台 (level) 生态系统模型的耦合、升维与降维的研究也是全球变化模型化的关键。

——全球变化与生态系统的生物多样性和持续发展的关系将在很大程度上决定这三个重大的生态学环境问题的实质性发展。

——全球变化引起的不稳定性与干扰,如:风暴、尘暴、洪水、暖冬、

炎夏、火灾、旱灾、病虫害等对生态系统影响的定量化与预测。

——陆地生态系统通过对碳、氮循环的作用，对局地气温、降水、风速与对流、反射率与粗糙度等的影响与调节等，从而对大气圈进行反馈的定量化、参数化与模型化。

——气候——植被（生态系统）关系模型与大气环流模型（GCMs）的耦合。

上述这些问题的解决将是一系列十分复杂、困难和逐步深化的科学研究与实践过程，然而，它们的解决将给人类社会发展和地球的未来带来灿烂绚丽的曙光和美好的明天。

医学生物高技术及其产业

顾健人

上海市肿瘤研究所

顾健人 分子肿瘤学与基因治疗专家。1932年1月13日出生。江苏苏州人。1954年毕业于上海第一医学院。现任上海肿瘤研究所癌基因与相关基因国家重点实验室主任、研究员、上海医科大学教授、国家生物高技术重大关键技术项目基因治疗责任专家。1994年当选为中国工程院院士。他是我国分子肿瘤学与肿瘤基因治疗的开拓者与奠基人之一。

一、生物高技术的基本概念

1. 生物高技术是当代产业革命的重要组成部分

生物高技术是以分子遗传学的知识，应用各种现代技术，尤其是针对基因进行操作、改造和转移的技术，获得人类所需要的蛋白用以防治疾病；改造动植物的品种；用基因来防治农作物的病虫害；用基因或细胞来治疗人的疾病等。它是农业、医药工业产品的更新换代的重要技术。因此，生物高技术是当代产业革命的重要组成部分，是一次生产力解放的重要基石。

生物高技术涉及医、药和农业。本文仅就与医药相关的生物高技术作一简单介绍。

2. 什么是基因

基因是一种遗传物质。它的物质基础是脱氧核糖核酸（DNA），由两条DNA链形成双螺旋结构。DNA是由脱氧核苷酸连接而成单链。一个基因的DNA所含的核苷酸数目可多达数千至上百万。但是，核苷酸只有四种，即A、T、G、C。由于上千成万的核苷酸可由ATGC按不同的顺序排列，这种排列的顺序，叫做“序列”。虽然核苷酸仅有四种，但是长达成千上万个核苷酸所组成的DNA，可以排列出不知多少种的序列。不同的序列，组成了不同基因。

为什么基因的核苷酸序列会组成不同基因？因为基因的DNA序列，储存了“密码”：即每三个脱氧核酸决定一个氨基酸。核苷酸的序列如果是ATG，它决定的氨基酸是甲硫氨酸，ATT是异亮氨酸，ACT是苏氨酸，TAC是酪氨酸，TTT是苯丙氨酸……不同的核苷酸的序列，可以编码20种氨基酸。不同的基因，有不同的DNA序列，可编码不同序列的氨基酸所组成的多肽，这就是基因的遗传密码的奥秘。

人体应该有10万基因，理论上可以编码10万个蛋白。现在已经知道结构和功能的基因仅数千个（小于7000个），因此还不到10%。所以说，人虽然可以遨游太空，但对人本身的了解还仅仅是开始。

3. 什么叫“基因表达”

如果说，你感到基因还是一样看不到或摸不着的东西，那么它最终形成的蛋白，则是与人们生命活动密切相关而且可测可知的东西了。而且用基因制造的药物已经上市。

基因是DNA，它怎样会制造出蛋白？原来基因是两股DNA链的双螺旋结构所组成，它在行使它的功能前，先要解开，暴露出单链，其中一条是有功

能的链，叫做正链。这条 DNA 链，可以通过一群酶的作用下，按它的核苷酸（A、T、G、C）的序列，合成一条 RNA 互补链。这条 RNA 链（由 A、U、G、C）四种核苷酸所组成，它的序列恰好和 DNA 链的核苷酸序列“互补”。如果 DNA 上是 AGCTCCG.....根据核苷酸的配对原则，（A U, T A, G C, C G），RNA 上的相应序列是 UC - GAGGC.....这样，把 DNA 上包含的“信息”传递到它对应的 RNA 链上去，而且是精确无误。这个过程，正像一盘磁带用录音机录到另一盘空白磁带上，我们叫它为“转录”，唯一不同的是，母带上的信息是 DNA，子带上信息已转为 RNA，但是它携带的信息依然是正确无误。

那么，蛋白又从哪里来呢？原来 RNA 上所持有的信息，通过三个核苷酸决定一个氨基酸的原则，通过细胞质里一套“机器”可以把 RNA 的序列，翻译成按一定的氨基酸序列排列的多肽。

这样，基因（DNA），通过“转录”成 RNA，最后由 RNA“翻译”成蛋白。基因通过转录、翻译最后生产出蛋白，这个全过程称为“基因表达”。而基因表达的最终产物是蛋白。人之所以能生长发育、健康生活，正是靠多少万个基因在表达它各自的蛋白。人没有血红蛋白，就不能生存，所以，血红蛋白的基因（珠蛋白基因）先天出了毛病，就成为遗传病。现在知道，恶性肿瘤、高血压、糖尿病以至老年痴呆都是基因发生了故障，但是，有多少个基因以及是那一种基因出了故障还不清楚。可能在下个世纪初，这些基因将被全部搞清，这将标志医学历史上的一次重大革命。

4. 什么是基因工程

基因工程的道理很简单，就是把基因的编码序列放进一个“载体”中，加上启动基因表达（启动子）和增强它表达的元件（增强子）以及表达的终止元件，组成一个“重组体”。我们把它称为某个基因的表达载体。然后，把它放进细胞中去，让它生产出所要的蛋白。

根据组成这种表达载体中的元件不同，这种重组体可以在细菌如大肠杆菌中表达，也可在酵母或哺乳动物细胞中表达。

5. 什么是基因治疗

基因工程是把基因放进“体外”的系统，在细胞中表达出蛋白，经分离纯化后作为一种药物。基因治疗则是把基因直接导入人体或先导入人的细胞然后输入人体，让这种基因达到治病的目的。这虽然很诱人，但是技术上还不够成熟，目前尚在起步阶段，必须在严格控制下，经国家卫生部药政局批准后才能进行临床试验。

6. 什么是转基因动物

转基因动物，是把基因的表达载体直接注入受精卵或早期的胚胎细胞，然后植入假怀孕的母体动物，经植床后发育成胎，最后成熟分娩，产出带有该基因的动物。例如，把乙肝病毒（HBV）全基因的载体注入小鼠受精卵，可产生全部细胞带有乙肝病毒基因，并能在肝脏产生乙肝病毒的小鼠。近几年来，转基因动物已进一步发展成有目的地将某一个或某一组基因去除（Knock out）的技术。这可制造出某种基因缺陷的动物，确定该基因在机体发育和维持生命中所起的作用。

转基因动物的另一种技术，是将某种基因的表达载体（必须带有特定的启动子和增强子）注入受精卵或直接导入牛或羊的乳腺，从而让动物从乳汁中分泌我们所需要的药物。这称为“生物反应器”，代替了体外的发酵罐。这也是今后将发挥重要作用的“体内”基因工程。

近年来，英国已将特定的抑制机体排阻反应的相关基因培育转基因猪，用于器官移植，最近已进入黑猩猩体内试验。该实验若能成功，将标志脏器移植史的重要里程碑。

二、国外的主要医药生物技术产品及产业

1. 以基因工程为主体的生物技术医药产业有以下几个特点：

优点：

(1) 投资少，产值高。

(2) 生物技术产业是利用自然界的再生能源。生产钢铁必须利用铁矿。生产化学药物必须用化学品来合成和加工。生物高技术利用的是重组 DNA 和细胞（包括细菌）。重组 DNA 和细胞均可应用发酵罐无限繁殖即再生，因此不受原料限制。

(3) 生物技术的产业的环境污染远远小于传统工业。其废料（培养液）经高压灭菌后，无环境危害。

问题：

(1) 目前无专利纠纷的产品均已上市。要研制新的产品，有一定的周期，而且有一定的风险性。

(2) 对技术人员的素质要求高。

(3) 要形成一个国家自主的、有创新性的生物技术产业，必须有强大的技术储备。应用基础和基础研究的水平是能创制新的高技术产品产业的前提。

2. 国外的医药生物高技术产品：

目前美国 FDA 批准 637 种生物技术诊断试剂，其中包括 571 种单抗，53 种 DNA 探针，13 种重组 DNA 产品。在美国市场上销售的生物制剂达 27 种；生物药物公司有 270 个治疗制剂进入临床试验，还有约 2000 个产品处于早期开发阶段。在较大的制药公司中，有 70% 的项目使用了分子生物学技术；1992-1993 年美国从事生物技术制品生产的公司约 1100 家，雇员 6 万人。其中较大的生物制药公司有 225 家，工业投资达 350 亿美元，而 1983 年仅为 20 亿美元；在 1992 年红细胞生成素的世界销售量为 12.25 亿美元；乙型肝炎疫苗为 7.42 亿美元；干扰素为 6.05 亿美元；生长激素为 6.25 亿美元；集落刺激因子为 5.44 亿美元；这清楚地表明，新生物治疗制剂的开发前景是十分光明的，下世纪将面临医药工业的更新。生物技术领域的高新技术产业具有巨大的生命力，生物治疗将为人类做出重大贡献。

3. 国外的基因治疗状况：

基因治疗是美国 1989 年 FDA 批准进入临床试验的新的生物技术。到 1995 年为止，已批准进入临床试验的方案有 100 余个，接受治疗的病人数为 79 例。由于美国科学界的部分人的盲目乐观和企业系统的参与，产生了盲目性和过热现象。今年，美国国立卫生研究院组成了评估小组，对已实施的方案进行评估，目前尚在进行中。但是，可以预期这个评估的结果。对基因治疗的前景及其问题可归纳以下几点：

(1) 前景：基因治疗是高度集成的一项生物高技术，随着人基因组计划（通过破译人体 10 万个基因的全部核苷酸序列及搞清它的结构与功能）的实施和大批新基因的发现以及新技术的发展，预期在下世纪的 10-20 年内，将

会有重大突破，成为一种常规的治疗手段。

(2) 问题：目前美国的基因治疗方案存在问题，科学家的盲目性、企业的求利心切，造成了“过热”。实际上，在一些重大关键技术问题未获解决前，不能期待在旦夕间会有重大突破。事实上 100 多个已批准方案中，有肯定疗效者寥寥无几。这些有待解决的关键问题是：

有治疗价值的基因太少：基因治疗是导入外源基因以达到治病的目的。以恶性肿瘤为例，能抑制肿瘤生长的基因为数不多，遗传病的多基因疾病的基因尚不清楚。因此难以达到治疗的目的。

导入基因的手段不理想：基因治疗的基因导入手段要求是高效导入，而且能定向地导入体内某种细胞，目前已有的手段，均属低效和无导向性。因此，即使导入的基因有治病效果，但由于不能有效地导入，效果大受影响。

导入的基因缺乏可控性：要导入一个胰岛素基因在体内分泌胰岛素目前是可以做到的。但是，导入的胰岛素基因如果整天在分泌胰岛素而不受机体内血糖和激素的调控，将会造成严重后果。因此，急需解决如何对导入基因的表达，实现可控地调节。这问题尚未解决。

因此，目前的基因治疗，只可能在少数单位进行基础研究，在严格控制的条件下，进行少量的临床试验。总之，尚处于起步的阶段。

三、我国的生物高技术

自 1987 年，我国开始了国家高技术规划（即“863”计划）的实施。从“七五”至“八五”，我国生物高新技术研究与开发已有了重要发展，有了我国的生物高技术产品，而且建立了技术和理论储备，培养了一支生物高技术队伍，以下选择与医药有关的几个方面作重点介绍：

1. 基因工程疫苗：

乙肝基因工程疫苗为取代血源性疫苗的第二代疫苗。我国研制的哺乳动物细胞表达的乙肝疫苗于 1992 年已获国家批准，投放市场，技术上达到国际先进水平，已有四个国家联系技术转让事宜。

同时，已有多种基因工程疫苗进入临床试验，包括：

甲肝病毒重组痘苗病毒活疫苗，

霍乱菌苗，

福氏、宋内氏双价痢疾菌苗，

EB 病毒重组痘苗等。

此外，日本血吸虫重组疫苗的研制，已取得重要进展。

2. 基因工程多肽药物

我国已有外用基因工程 1b 型干扰素、注射用基因工程 1b 型干扰素、注射用基因工程 2a 型干扰素、基因工程白介素 2 及基因工程人干扰素等 5 种产品投放市场，用于治疗慢性活动性乙型肝炎、丙型肝炎、毛细胞性白血病、肾癌等恶性肿瘤、带状疱疹、类风湿性关节炎、慢性宫颈炎、疱疹性角膜炎等。

另有十多种基因工程药物已进入中试开发阶段，包括：GM-CSF，G-CSF，IL-3，IL-2/125S，IL-125A，2b 型干扰素、新型 TNF、EPO、新型干扰素、胰岛素、尿激酶原、抗 T 细胞免疫毒素等。其中人 1b 型基因工程干扰素为我国所创制的。我国重组干扰素及重组白介素₂ 两类产品，目前的年产值已

达 1 亿元。

3. 导向药物及抗体工程

应用单克隆抗体为基本技术的导向药物已从实验室走向临床。抗人 T 细胞的免疫毒素及抗 C-ALL 免疫毒素，经国家批准进入临床试验，用于异基因骨髓移植治疗白血病的辅助治疗，对于防止和减轻排阻反应有效。同位素标记的抗肝癌单抗，已于 1995 年 4 月通过卫生部药审，已用于临床显像诊断，将进入临床治疗试验。抗胃癌及抗肺癌的显像也有效果。

4. 基因治疗：

我国遗传病基因治疗，以血友病 B 为突破口，通过实验研究，于“八五”期间已首次进入临床试验。第一批两例中，一例确有疗效。1994 年经卫生部药政局批准扩大病例，目前已进行另两例的临床试验。

-地中海贫血的基因治疗，在实验研究方面已有突破，解决了 α -珠蛋白基因的体外的表达，预计在“九五”期间将会有重要进展。

恶性肿瘤的基因治疗，在应用自杀基因的治疗人恶性脑瘤方面，已完成了全部实验室研究，已获卫生部药政局批准开始临床研究。在免疫基因治疗方面，瘤苗的研制工作将在“九五”初完成实验室研究。

在解决基因治疗的关键技术方面，在导入基因的载体系统方面，有重要进展。我国已构建了由疱疹病毒、EB 病毒的新的载体系统，预期“九五”期间将应用于我国的基因治疗。

四、存在的问题和建议：

1. 加强创新：我国生物高技术的研究和开发仅有十年历史，取得的成绩是巨大的。但面临国际竞争、知识产权和入关，必须加强创新。所以首先要提高创新意识，贯彻到研究、中试开发的各个环节中去。

2. 加强应用基础研究：要创新，必须加强应用基础的研究，只有强大的技术和知识储备，才能有新基因、新载体和新的表达系统。有了这些储备，才能创制出新的药物。

3. 加强药政意识：目前不少单位，从事基因治疗和导向药物等新技术，不顾国家药政法和有关条例，未经卫生部药政局批准，擅自用于病人，这是违反国家法律的行为，必须坚决予以制止。

4. 加强国家专利部门、进口药品管理部门及卫生部门的协调，保护我国生物技术产业的发展。

自然灾害与我国的减灾系统工程

马宗晋

国家地震局地质研究所

马宗晋 地质学家。1933 年 1 月 31 日生于吉林长春。原籍吉林省吉林市。1955 年北京地质学院毕业。1961 年中国科学院地质研究所研究生毕业。国家地震局地质研究所所长、研究员。1991 年当选为中国科学院院士(学部委员)。从事地质构造、地震预报、地球动力学方面的研究工作。

一、自然灾害基本知识

1. 自然灾害的属性

自然灾害 $\left\{ \begin{array}{l} \text{自然性—致灾因素—变异强度} \\ \text{社会性—承灾实体—承灾能力} \end{array} \right\}$ 灾害损失

2. 自然灾害的分类

(1) 致灾因素的分类表

气、海变动	大气	旱、涝、洪 风、尘、雾 冻、热
	海洋	潮、浪 冰 赤潮
地壳变动	深层	地震 火山、放气 升、降
	浅表	崩、滑、流 沉陷、地裂
农林受害	病	
	动物	虫、鼠、兽
	植物	天火、人火

(2) 承灾体分类表

固定类	房屋、厂矿、交通、电讯、生命线
可动类	人、畜、渔、可动产、信息网
植被类	森林、农作、草场

(3) 社会性分类

原生——致灾因素直接造成某类承灾体的破坏与伤亡，称为原生灾害或直接灾害

次生——由某类致灾因素引起某类承灾体的破坏，如地震引起房屋倒塌，由此引起间接发生的火灾，再由火灾造成的灾损称为次生灾害或间接灾害

衍生——致灾因素破坏了社会的结构物、功能、物资流和信息流，造成

了人群和组织的伤亡和瓦解，都会直接或间接造成社会生产、经济活动的停顿，由此造成的经济损失称衍生灾害

3. 灾害等级

(1) 致灾因素的等级

灾种	强度	自然破坏度
风	XX 级	
雨	XX 毫米/日	
地震	XX 震级	XX 烈度
沉陷	XX 米沉落	沉陷面积 XX 平方米
海潮	X 米潮高	浸没面积
森林	过火程度	过火面积
农作物	受灾程度	受灾面积

(2) 承灾体受灾程度：灾度、死亡度

不同种类承灾体各有不同评估方法，如下表：

社会受灾定性分类——按社会受灾的统计总损失程度，一般定性地分重、中、轻灾。灾损度或灾度（ Z^0 ）——按社会承灾体的统计损失经济当量，即总损失现价绝对值，分为不同等级。

死亡度（ S^0 ）——人口死亡数分为不同等级，称死亡度。

人	死亡、重伤、轻伤
不动产-房屋	倒塌、部分倒塌、破坏、基本完好
可动产-仪表	流失-损坏-失效，破损可修，……

Z^0 和 S^0 的分度具有国家的政策性，目前我国可能采用的 Z^0 和 S^0 划分等级如下表：

Z^0 (亿元)	特大灾害			大灾			中灾			小灾		
	I 类	类	类	I 类	类	类	I 类	类	类	I 类	类	类
	>15	>50	>100	2.5-14.9	10-49.9	25-99	0.5-2.4	1.5-9.9	4-24.5	<0.5	<1.5	<4
S^0	死亡>1000 人			死亡 250-999 人			死亡 50-249			死亡<50		

注：I、 、 类指一、二、三类地区，详细划分见后。

(3) 社会灾损度

以某一社会单元的总经济当量（或以 GNP、GDP 为代表的经济当量）与灾损总值的比例关系，用以评估该社会经济基础受灾的程度，称社会灾损度；为了更进一步估计该社会政府的财政承灾能力，还可以用灾损总值与政府财政收入总值与政府财政收入总值的比值，来评估该政府财政受灾的程度。这类社会灾损度的统计分析无疑对评估该社会与政府的承灾能力、恢复生产能力，以及比较不同省、区承灾能力和制定相应的国家级和省级的减灾对策都是很重要的数据基础。

下图是全国（不包括台湾省）各省 1978—1993 年灾损度的比较图，从中可以分出三种类型的承灾能力： 经济实力弱-灾害较多-灾损度高； 经济实力较强-灾害多、强-灾损度中等； 经济实力强-承灾力强或灾害少、弱-

灾损程度低。

二、我国自然灾害概况

1. 致灾因素分布概况

下列图组可分别展示各主要灾种的致灾因素分布概况：旱、涝、洪、震、风、滑坡。

农、林灾害致灾因素的分布是伴随农林作物分布而变化的。

2. 灾害统计分布概况

不同灾类造成经济损失的比例图

不同灾类造成人口死亡的统计比例图

3. 最近四十余年自然灾害造成直接和间接损失的逐年变化

(1) 全灾种

按照中国自然灾害发生的情况，可以划分为两个时段：1949-1976 年和 1977-1995 年。

1949 - 1976 年为灾害直接经济损失较少的时期，灾害直接经济损失一般年份在 300 亿元人民币（1990 年不变价）以下。

在灾害直接经济损失中，气象洪水灾害损失占 57%，农业病虫草鼠害损失占 20%，森林火灾和病虫害损失两项共占 8%，地震灾害损失 6%，其他灾害损失均占不到 5%。

1949-1995 年，中国自然灾害死亡人数共计 198 万人。其中，气象洪水灾害占 26%，地震灾害占 14%，其他灾害（森林火灾、海洋灾害等）各占 1% 以下。其中最多的是灾荒，为 57%，多在 50、60 年代发生的。1960、1961 年死亡人数最多，共达 102 万人。70 年代以后，随着经济发展，中国因灾荒死亡已基本消失。

1977-1995 年为灾害直接经济损失较多的时期，灾害经济损失逐年上升，按不变价计算，年均经济损失为 9%，略高于 GDP 的增长速度。

(2) 农业

1949-1994 年，中国农业自然灾害平均每年受灾面积 3800 万公顷，其中：干旱灾害面积受灾最重，占 57.9%，洪涝灾害面积占 27.9%，风雹灾害面积占 10.0%，低温冷害面积占 4.6%，其他因素灾害占 3.3%。

三、减灾系统工程

1. 我国现行的灾害管理体制

(1) 社会生产型管理体系

	灾害管理内容	灾害管理开始时间
中国气象局	气象致灾因素的监测、预报	1952 年
农业部	农业灾害监测防治	1949 年
水利部	旱、涝、洪的防、抗工程和治理	1949 年
地质矿产部	地壳浅表灾害监测防治	1954 年
林业部	林业灾害的监测防治	1949 年
国家海洋局	海洋灾害的监测防治	1964 年
国家地震局	地震监测、防抗标准制定	1966 年
民政部	主要灾害灾后的灾民生活安置	1949 年（内务部）
建设部	民用建筑抗灾工程规范监督	1954 年
各工业生产管理部门	相应的抗灾、防灾管理	1949 年

(2) 科研性管理现状

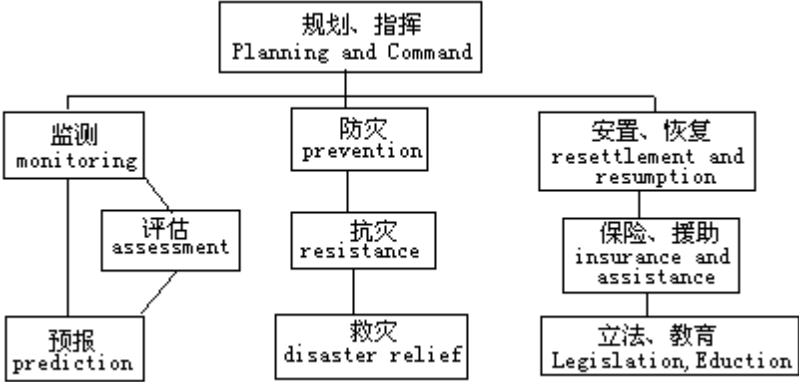
教委系统和科研系统都有设置与自然灾害成因机理、灾害史料、灾害区划、抗灾工程、灾害社会学等方面的研究部门

2. 综合减灾系统工程的设计方案

考虑到灾前、灾时、灾后和平时各种减灾工作，可概括为由十个工作环节（或子系统）所构成的减灾系统工程模式。

3. 管理体制的改革

我国现行的灾害管理体制是行业生产型管理体制；条条管理，由中央直到地方基层，各个条条自成体系，都包含上述减灾系统工程的前几个子系统环节，这就不免有彼此的重叠，信息和经济资源得不到充分的发挥，更不利于以社会单元作为一个综合承灾体进行综合减灾规划的制定和作用的发挥。



1990 年开始十年减灾活动以来，几年的工作实践表明，上述的综合减灾系统工程模式在省里受到欢迎，并已不同程度地开始实践，但由于国家灾害

管理仍是行业生产型条式的管理所以省级还不能全面改革灾害的管理体制。我国是一个多灾种的大国，要想成立像日本那样的国家级减灾综合管理体制也有许多困难，设想主要是与多种生产行业与综合减灾体制的交叉管理的矛盾。也许加强国家政府综合部门的综合减灾调节指导功能，推进省级减灾体制的改革实验是一条可行的改革方向。

我国通过在政府、专业部门、各群众协会和各企业之间的相互配合，统一管理的全社会共同行动，以国家级、省级和城市级三级减灾管理为准则，进行全国范围内的减灾公共管理计划。

四、减灾与社会可持续发展

1. 扶贫与减灾

贫困区、贫困县甚至有些比较后进的省份有很大一部分是由于受自然灾害的困扰，特别是受灾害频发之苦。如西北的长旱区，长江中下游的多洪区，所以，扶贫要追根。近年我国西部有些地区把扶贫与减灾在领导层形成统一认识，把扶贫经费用于兴建保水、蓄水工程解决了长旱之灾，也就挖掉了穷根，形成良性循环，这是很好例证。

2. 发展与减灾

社会发展的主旋律如何推进健康和持续的社会发展？大家都知道要对国情有充分的了解，而且要对后代有饱满的责任心。抑制人口爆炸的计划生育政策和抑制环境恶化的环保政策对我国的发展都是保证对策。同样，对于我们这个多灾的大国，而且是多灾而致多贫的国家来说，提高全民减灾意识，在建设发展中充分贯彻江泽民同志“建设与减灾一起抓”的指示精神是非常重要的。

地球动力学的演化观

王鸿祯

中国地质大学

王鸿祯 地质学家，1916 年 11 月生，山东苍山人。1939 年毕业于北京大学。1947 年获英国剑桥大学博士学位。历任北京大学教授、北京地质学院副院长、武汉地质学院院长、中国地质学会副理事长、中国古生物学会理事长。现为中国地质大学教授，国际地科联地质科学史委员会副主席，第八届全国政协常务委员。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事古生物学、地层学、古地理学、前寒武纪地质学、大地构造学和地质学史研究。

一、前言

地球动力学一词近年使用颇广，从历史上说，人类开始研究地球的形状和性质，并予以动力学的解释，即可称为地球动力学。近代、现代地球动力学是在研究全球构造和地球深部作用的基础上建立起来的、应用地质学、地球物理学、地球化学以及大地测量等学科，进行综合和交叉研究的重大课题。狭义的地球动力学强调地球各种现象和要素的力源性质和动力作用模式的探讨，广义的地球动力学则包括对各类地球现象进行全球性的概括，并应用地质、地球物理和地球化学等多学科的综合研究，以求达到对行星地球的整体认识，探讨和推断地球演化过程中的动力作用史，从而建立地球动力演化模型。

从时代范围说，地球动力学的研究内容可以分为两大阶段。一是从晚侏罗世（约 150Ma）以来地球上洋壳海域部分保存，洋陆轮廓的主要格局基本上尚能得到反映的阶段。二是 150Ma 以前，洋壳海域已经消亡，洋陆轮廓，特别是其经度位置，只能间接推断的阶段。马宗晋曾分别称之为晚近期地球动力学和古远期地球动力学。两个阶段虽然难于截然分割，但研究方法和重点内容俱有差别，所以这种划分是方便可行的。本文主要论及的是古远阶段，但也必须建立在晚近地球动力学知识的基础上。古远期地球动力学只能上溯到 1800Ma 前（古元古代末）或 2500Ma 前（太古宙末）。在更早的时期，地球的层圈分异和各层圈的性状可能均有不同，古构造格局及古动力学特征就更难以认识了。

二、当前对行星地球的总体认识

研究地球动力学的重要基础是我们当前对行星地球的总体认识，主要是指对其形成、结构和演化过程的基本认识。这是我们研究的出发点和重要依据。现代地球科学对了解地球的目标要求是全面的和历史的，既要了解地球各圈层的现状、相互作用和影响，又要了解它们的形成和演化过程。前者包括地球的物质结构和分异，后者则涉及对地球起源及早期状态、太阳系起源以至天体和宇宙背景的认识。这方面的许多问题并未解决，但我们仍须采纳

和形成一个较为系统的地球知识体系，作为讨论的基础。

地球自身具有圈层构造。根据地球物理和地球化学的数据，地壳、地幔和地核之间的界面可能是物质分层的化学界面，其形成与地球早期的物质熔融事件有关。壳、幔、核内部的各界面则主要是物理界面，其形成受到地下不同深度温压条件和矿相变化的约束。但地幔界面也可能包括成分的差异。界面附近都有活跃的边界层，在动力演化中，具有重要的作用。岩石圈之下是软流圈。大陆根部特别发育时，则形成构造圈。上、下地幔之间的地幔界面（MB 670km）附近是地幔边界层，具有控制地幔对流的重要作用。核幔边界面（CMB 2900km）之上是核幔边界层，是不均一的、活跃的热边界层和化学边界层。超级幔柱和地幔对流都从这里开始和形成。这种深部作用在浅部层圈和地表都有响应，例如超级地幔柱中南太平洋和非洲热柱和西伯利亚冷的下降流，以及大地水准面异常的地面分布等。

岩石圈的横向分异是众所周知的。近年地震层析成像研究表明上地幔的分层和各层的各向异性都很显著。它们受到地幔边界层以上形成的中、小型对流和浅层涌流的控制。邓晋福等曾指出东亚和西太平洋岛弧区可能存在小尺度的对流系统。小尺度的浅层对流的存在可能是宽广而复杂的大陆边缘区的特有表征。

从层圈分布说，地球动力学包括岩石圈动力学和核幔动力学。在P.J.Wyllie主持编写的“固体地球科学与社会”中，这两个研究领域都得到反映。岩石圈动力学是我们研究的主体。大陆地壳蕴含着丰富的地球史纪录，是了解地球动力演化过程的信息库。马宗晋对晚近期地球动力学研究提出了系统的见解和建议。他提出的全球三大构造系统和南、北半球相对扭转的认识是全球级非均一和深部不对称组成的地表响应。对地球化学同位素组合的研究表明地幔各区是不均一的，可以根据同位素组合差异判定其源区不同，从而推定岩石圈的地球化学分区及其演化。这些研究都涉及地球起源及其早期演化问题。

对地球结构现状的研究同对地球及太阳系起源的认识密切相关。地球及太阳系起源问题至今意见分歧。总的说，人们已经放弃了关于太阳是炽热星云团，因冷却收缩，抛出圆环，再分离而成行星的假说，而认为行星地球是低温的较重物质凝聚吸积而成。但无论是施密特的太阳俘获尘埃云，因距太阳远近不同而形成内、外行星群的学说，还是霍伊尔的用星际空间磁场影响解释太阳角动量转移到圆盘，圆盘再分离形成行星的假说，都还存在困难，不能使人满意。最近我国学者张永鸿提出了涡旋体系的概念，认为太阳系是银河系中星云密布域受宇宙热射流扰动而发育的平面涡旋体系。体系内的分散质点浓缩形成多个引力中心，分别形成太阳及行星。这个假说认为中心星体太阳不在旋转中心，而在旋核边界无旋环流中，从而也解释了太阳系角动量的分布问题。

核幔动力学与岩石圈动力学是紧密联系和互不可分的。液态的外核和核幔边界层与地磁场形成及地幔深部过程有密切的关系。最近美国哥伦比亚大学宋小东等发布了地球内核以较大转速独立转动的研究成果。这个重大的发现将对地球动力学研究产生重要影响。关于地球圈层的形成和物质分异的过程也有不同认识。张永鸿认为太阳系星云物质在旋涡体系内可因运动的速度差别而发生初步分异。开始凝聚为星子时可能发生进一步的物质分异。星子在低温下凝聚吸积成为地球胎的过程中，因物质放射性，地球重力收缩和陨

石冲击都将生热，导致 Fe、Ni 元素成为液态，沉入地心而成地核。这个地核形成的短期过程（10-100Ma）得到较普遍的承认。但也有人主张地球和太阳系都是由超密物质组成，来源于中子球的多级次爆炸。壳幔分异，特别是地壳物质是否全部来自地幔的分异，引起人们的怀疑和思考。张永鸿指出了地壳形成的分熔说和不均匀凝缩说的困难，认为地壳可能部分由地球形成晚期富 Si、Al 质球粒直接凝聚而成。前述地幔不均一的分区现象曾导致学者们关于地球物质组成原始不均一和早期分异的设想。看来这是一个有益的思路。

地幔动力学的主要研究对象是幔柱构造和地幔对流。岩石圈动力学的主要研究对象是板块构造。熊泽峰夫等提出三种构造，即岩石圈的板块构造，地幔的幔柱构造和地核的生长构造，并将它们与类地行星的一般演化相联系，赋予它们以行星演化的阶段意义。熊泽峰夫等还论述了核幔边界层和地幔边界层的重要作用，指出地幔边界层对上、下地幔物质和能量的运移交换所起的阻滞作用及其后被突破和被穿透所产生的影响。他们认为这可能是地幔双层对流和地表构造过程阵发性和某些周期性的根源。

板块构造是岩石圈动力学的主要理论，也是当代地质界已建立的、库恩所称的“标准科学”（normal science）。但它的动力学，特别是力源问题尚未解决。由于壳、幔在地球自转中的速度差异，整个岩石圈相对地幔作向西的整体运动已得到普遍的承认。近期研究发现了地壳分层、莫氏面和山根及陆根的复杂形象，以及软流圈和过渡层的复杂关系。它们导致板块在地表运移的速度和方向变化呈现复杂的图景，其动力学解释也是多因素的和多解的。总的说，现代岩石圈动力学研究，一是要注意其与深部层圈的相互影响，二是要注意其整体在地球表层的运移形式，三是要注意地外因素的影响。所有这些都还必须考虑一个时间维，必须在演化过程的动态中予以研究。我们当前的工作应该从地表观察的具体现象入手，从不同学科积累的多种资料及其综合研究为依据。这是地学学科必须遵循的途径。本文在以下各节，将从演化史的角度，根据地球史中已知的节律现象，对地球动力学作一些探讨。

三、地球的节律及其动力学解释

地球动力学及其演化的研究资料纷繁，方面和层次多样，必须有一个对时空框架的基本认识，以便有所遵循，便于讨论。

我们的主导思想从时间方面说，是地球历史发展的“阶段论”，也可称为“点断前进说（punctuated progression）”。其主要依据是地质作用中普遍存在的节律（rhythm）现象。阶段论主张突变，其对立面是“均变论”，其主要特征一是阵发性（episodicity），二是周期性（periodicity），三是不可逆性或前进性（progression）。三者都符合事物发展量变质变的普遍原则，也都表现为普遍的节律现象。我们的主导思想从空间方面说是地球的全球构造活动论，主要依据是岩石圈各级块体组成的不均一及其组合格局的不断变化。实际上，地球的圈层结构纵向不均一和各圈层的横向不均一是构造活动论深层的物质依据和原因。非均一是普遍的规律，而从混沌状态通过自组织作用达到有序，再由新事件的发生导致高一级的混沌状态，也是事物发展量变质变的普遍表现，同时也把时间同空间结合联系起来。所以我们的学术指导思想是历史发展的阶段论与全球构造的活动论相结合的地球史观，或地球动力学演化观。

1. 时间框架-地球的节律及地球史的阶段划分

地球节律表现在生物演化的阶段性和前进性已早为人知，但其阵发性和周期性只是在近年对生物集群绝灭的大量统计和地外因素的影响研究才得到初步的共识。地球节律在构造运动方面的表现曾引起长期争论，主要争论是在低层次的运动期是否具有全球性。俄国 V.E.Khain 和 E.E.Milanovsky 对此持肯定态度，欧美学者表示怀疑，但对较长期的阶段和周期争论较少。作者于 1979 年提出了亚洲的构造阶段，于 1982 年和 1986 年提出了中国的构造阶段的见解。其后又对构造阶段与联合古陆周期作了比较。地球节律在沉积方面的表现讨论最广。作者等对层序地层级别体系提出了较系统的方案，以联合古陆周期与超级层序对应，同时试行将各级层序与不同级别的天文周期对应。史晓颖还专门讨论了 35Ma 自然周期在沉积、构造、火山活动以及古气候等方面的表现。据 Rampino 等和 Stotter 的计算，太阳系穿越银道面的周期约为 31-36Ma，由于太阳系穿越银道面时的引力扰动和引潮效应以及遭受高概率星体撞击的影响，地球各圈层因而发生大致同时的灾变效应，所以各方面的耦合较好，层序地层中中层序一级的划分也较清晰。更短的周期受到地内因素的干扰较大，因而正层序（三级）以下，偏移较多。

联合古陆（Pangea）在地球史上曾几次出现，尚无定论。有人提到其出现周期约为 2.5 亿年，与银河年相当。P.Morel 等以二叠纪联合古陆为 Pangea A，向前推至前寒武纪末期为 Pangea E，350Ma 时间内五次出现，显然不合事实。Khain 将太古代末的联合古陆命名 Pangea O，1900Ma 出现 Pangea，直至二叠纪出现 Pangea。作者近年以来研究古大陆在地球史上的聚散过程，提出了 1400Ma、1900Ma、800Ma 和 250Ma 四个联合古陆。其出现周期约为 5-6 亿年。太阳系绕银心公转一周的银河年约为 2.74 亿年。地球随太阳系在银河系涡旋星系中的公转十分复杂。大陆聚散即联合古陆周期可能相当于其双周期。地表古大陆向北和向南的漂移约相当其半周期（1.35 亿年）。张永鸿对此曾作过计算和讨论。这些周期现象究竟同何种耦合因素有关，尚需探讨。

2. 空间框架-地球的大地构造分区

空间分异是非均一普遍规律的体现。当前我们的讨论主要限于岩石圈，也涉及上地幔。大地构造分区也许是我国地质界几十年来讨论最多的问题。但过去谈分区往往只涉及类型和性质，建立的级别体系则又往往限于区域特征，流于烦琐。现代构造分区概念，一是要考虑岩石圈（主要是大陆岩石圈）的整体分异，二是要考虑深部过程和内部层圈的相互作用，也就是要将构造分区建立在岩石圈动力学的基础上。板块构造学说出现之后，不少学者认为原有构造单位名词不宜再用，这种见解是不全面的。新的理论概念出现后，对原有部分名词进行再定义和重组，继续使用，是学术继承的正常现象。作者在 1985 年提出作为一级构造单元的“构造域”概念，以晋宁期末（850Ma）和印支期末（210Ma）为准，以古大陆主体及其周缘地块相结合，将全球分为 6 个构造域，13 个主要大陆地台块体。这 6 个构造域及其周缘的地块岛群可能基本上是一个整体在地表上旋转运移的。1400Ma、800Ma 和 250Ma 三次拼合的联合古陆，除个别外，13 个主体大陆地台都保持了主体轮廓不变，变化限于边缘碎块的裂离形成岛群及其后不同形式的重新拼贴。这个过程是陆壳发展成长的重要模式。构造域（或构造域组）在地表上的整体旋转运移，构造域之间的聚散交替，形成联合古陆半球形或沿赤道环形的集中和离散，

很可能与全地幔对流系统和超级慢柱的发生和消亡相关，而大陆边缘的裂离和重新聚合则可能与上地幔对流系统或更小尺度的对流相关。值得注意的是 800Ma 联合古陆成沿赤道的环形，250Ma 和 1400Ma 联合古陆则呈纵向分布，成半球形。在联合古陆图上，古生物学者一向认为古特提斯洋范围过大，与古生物资料不符。作者所作 250Ma 联合古陆再造图表示的南半球冈瓦纳古大陆与 Scotese 等的图比较，稍向东偏，这样既使南特提斯洋面积变小，又使北半球古陆相对于南半球向西扭动，与现今北半球相对于南半球的左旋扭动有相似之处。在地表古大陆聚散中，联合古陆的重复出现及其半球形的格局配置同沿赤道环形的格局配置交替出现，引人注目。J.D.A.Piper 重建的 1900Ma 联合古陆也是近赤道环形格局。这种交替出现的动力学意义值得研究。

四、联合古陆周期与可能的地球有限膨胀

前节论述了地球史上 5 个联合古陆以 5-6 亿年的周期出现，两个联合大陆之间，古大陆在地表的分布格局处于不同程度的分散状态。现知 800Ma 与 250Ma 两个联合古陆之间最为分散的时期是晚寒武世（约 520Ma）。古生代的古大陆再造含有不确定因素。除古地磁数据和大陆边缘构造性质外，生物古地理和古气候也是重要的依据。许多古生物学者认为再造图上的洋壳海域过大，与生物古生态古地理不符，因而有人对地球表面积是否一直不变，提出了质疑，从而在 60-70 年代出现了地球膨胀论的思潮。从物理学的观点看，地球层圈结构，特别是地壳形成之后，大幅度的膨胀和大规模的质量、数量的增加是不可能的。H.G.Owen 认为在地球半径不变，被动大陆边缘基本无洋壳消减的情况下，所有消减都集中在太平洋和印度洋北部，显然无法平衡。他提出 200Ma 前地球半径为现值的 80%，作出的再造图中联合古陆的特提斯缺口可以弥合。这个膨胀数字显然过大，特提斯洋完全变为内海也不恰当。近年卫星激光测距计算结果，太平洋的会聚速度也小于理论数学模型的要求。60-70 年代，J.W.Wells 和 A.Pannella 发现了古生物钟现象，K.Lambeck 综合提出了地球自转减速的总趋势，在中无古代转速约为现在的一倍。

80 年代以来，Milanovsky 连续发表主张地球脉动胀缩的论文。最近他从海平面变化、古地磁极倒转、玄武岩喷发、构造运动、特别是拉伸与挤压的交替出现，论证了地球史上膨胀与收缩的脉动交替规律，指出中生代以来，特别是晚第三纪，是地球膨胀的加强期。他将地脉动（geopulsation）周期分为不同的级别，与层序地层的分级相似。他从未提及胀缩的幅度，所以他提出的是脉动论，而不是膨胀论。蒋志自 80 年代初期即提出地球脉动模型和理论地质年表，对地表能量平衡和地内核、幔差异运动均有新见，由此提出地球动力学整体制和地球脉动学说。杨槐以思辨和论争的方式提出了地球的高密度物质起源和“非球对称膨胀说”的系统理论。他提出的地球由高密度物质组成及其自外而内的连锁态变设想至少是解决了地球膨胀所需的巨大力源的问题。星系起源的超密说认为太阳系和地球都是高密物质块的爆发破碎产物。超密说对星系际和星际空间弥漫的星云质难以解释，对太阳和地球两者形成先后问题的解释也存在困难。很可能具有不同形态和特征的星系不是单一成因机制。地球核部也可能含有“原生”的高密物质块，而不完全是地球星胎部分熔融、重力集中的产物。

作者近年从事全球古大陆再造研究，也感到生物古地理的推论与现有的基于地球表面积不变的再造格局在洋壳海域的规模方面存在矛盾。由于地球有限膨胀在生物古地理和地球自转减速方面有一定的根据，也符合地球动力演化的耗散结构理论，因此作者以地球演化的“阶段论”思想为指导，考虑地质阶段和天文周期的几个重要时间界面前后发生重大突变的可能性，提出了以 15-20% 的地球半径变化为范围的地球阶段性非对称有限膨胀的设想。假定前述的 5 个联合古陆解体时均发生不对称膨胀，导致每次地球半径增长半径现值的 5%，则可推定太古代末地球半径为现值的 80%。据此，由李翔设计软件，计算出古陆在缩小了的球面上的曲度变化，按 90% 半径数值对 800Ma 联合古陆再造成图，结果使联合古陆更接近整体环状，可能更为合理。

五、结语和展望

1. 地球的节律现象，从整体和长期看，可能是地球动力学普遍规律的表现，35Ma 的周期耦合较好，更短期和更长期的周期受到地内和地外因素的干扰，会出现不同程度的偏离。今后应坚持观察测试，获取更多的资料数据，对地球节律现象进行验证，使其研究更加深入和完善。

2. 地球史的时空框架可以历史发展的阶段论（点断前进说）和构造格局的聚散周期说（即联合古陆周期说）为依据进行验证。今后可将构造域在地表的整体运移作为工作假说，结合深部过程的研究，作出全球古大陆再造的古构造格局及其古动力学解释的系列图件。

3. 在地球和太阳系起源方面，可以低温度尘埃云凝聚吸积和高密度物质爆发形成破碎块体相结合的认识为基础，以地球核部包含部分原生高密物质，因而保存充足潜能，可以供应地球有限膨胀动力源的机制作为工作假说，试行建立地球阶段性有限非对称膨胀的动力学模型，作为进一步研究的基础。

4. 为推动这项研究，可以组织包括地质、古生物、地球物理、地球化学和天文学等多学科的跨学科交叉协作，采用基础理论研究项目的形式，谋求在“九五”期间取得阶段性成果，在国际上地球科学基本理论研究方面作出我们的贡献。

中国资源特点与开发战略探讨

石玉林

中国科学院、国家计委自然资源综合考察委员会

石玉林 土地资源与区域开发专家。1936年1月2日生于福建长乐。1957年毕业于北京农业大学。历任中国科学院国家计委自然资源综合委员会常务副主任、研究员。现任中国农业资源与农业区划学会副理事长及中国自然资源学会常务副理事长。1995年当选为中国工程院院士。主要从事土地资源、区域开发等的研究。

一、自然资源特点与态势

(一) 自然资源特点

资源即财富之源泉。自然资源即人类可以利用的自然形成的物质与能量。自然资源主要包括土地、水、气候、生物、矿藏资源，它们在自然界中是彼此联系、相互结合的有机整体。又是独立存在的。据我们认识，中国自然资源具有下列共同特点。

1. 资源总量大，种类齐全

中国国土960万平方公里，仅次于俄罗斯与加拿大，居世界第三位，海域473万平方公里。中国主要自然资源的总量均居世界前列。实际耕地约20亿亩，占世界的6.8%，居世界第三位。森林面积19亿亩占世界第5位。草地面积约60亿亩居世界第二位。河川径流量2.7万亿立方米居世界第六位，可开发的水力资源3.7亿千瓦居世界第一位。矿产资源总值，居世界第三位，其中，钨、锑、钛、稀土、菱镁矿居世界第一位，煤、钒、硫居世界第二位，磷、锌、钼居世界第三位，镍居第九位，石油储藏量也居世界第九位。中国主要自然资源的总丰度与世界各国比较，仅次于俄罗斯与美国，位居世界的第三位，堪称资源大国。这个概念基本上符合社会公众的一般认识。

地大物博，资源丰富，种类齐全是中国资源的优势。一个国家的人口与经济规模的规模在很大程度上取决于该国的自然资源总量，目前除日本等少数国家外，世界上经济大国都是资源大国。自然资源总量大是中国综合国力的重要方面。

2. 人均占有资源量少，资源相对紧缺，生存空间狭小

中国人口众多，已达12亿，本世纪末将达到13亿人口。因此，按人口平均，中国则是资源小国。

中国人均国土面积仅12亩，为世界人均量的29%。中国山地丘陵占2/3；半干旱、干旱地区约占国土的1/2。东半部半湿润、湿润地区集中了90%以上的人口，每平方公里225人，特别在沿海和平原地区，生存空间狭小。

各类资源的人均量是：人均耕地1.65亩，仅为世界平均数的1/3；人均草地5亩，为世界平均数的1/2；人均森林面积1.5亩，为世界平均数的1/6；人均森林储积量为世界平均数的12.2%；人均水资源是2300多立方米，为世界平均数的1/4；人均可开发的水力资源装机0.31千瓦，所占比重最大，也仅为世界平均数的3/4；人均矿产储量总值1万美元左右，至于各类矿产

资源如果按 12 亿人口平均，绝大部分均低于世界人均占有量。

人均占有资源量少是中国资源的一大劣势，一个国家居民消费水平和生活方式在很大水平上取决于该国的人均自然资源的占有量或消费量，中国人口仍将持续增长，人均占有资源量还将继续降低，这是难以改变的事实，表明中国人口对资源的压力过大。

中国资源相对紧缺，特别是决定国计民生的耕地人均量过小与淡水供应不足，成为约束性的两大稀缺资源。至下世纪 20-30 年代，中国人口将达到 15 亿，那时人均耕地面积将下降到 1.2 亩，人均占有淡水资源也下降到 1800 立方米，资源供应形势将愈来愈严重。人口多，耕地少，供水不足是中国的基本国情。

3. 资源质量相差悬殊，低劣资源比重偏大

中国不同地区与不同种类的资源质量相差悬殊，但低劣资源比重偏大。从地面资源看，草地资源质量普遍较差，中下等草地占 87%，加以季节不平衡，冬春草不足，载畜能力低，15-20 亩才能养一只绵羊单位，但天然草地质量差异也很大，东部的草甸草原质量较佳，产草量可高于荒漠草地 10 倍。中国有林地质量总的看是较好，一等林地占 65%，但现有林地的中幼龄林比重大，林场生产力普遍较低，与林地潜力很不相称，中国的耕地资源一般情况下都是在最好的土地上开垦，但质量也相差悬殊，好地即无限制的一等耕地约占 40% 左右，而有各种限制的耕地，即不同程度的水土流失、风沙、盐碱、洪涝灾害的中下等耕地与中低产田则占总耕地面积的 60% 左右，这是由于中国人口多，平原好地不足，山坡地、沙荒地、滩地、湿地开垦以及管理不善造成的，中国耕地质量总体看不算高。

矿产资源，不同矿种质量相差也很悬殊。煤炭资源总体看质量较高，品种较全，分布集中，开采条件也较好。还有一些小矿如钨、稀土等质量也较好。但相当部分矿种质量较差，表现为富矿少，贫矿多，综合组分多，单一整装矿少，开采难度大。如铁矿，贫矿占 95% 以上。铜矿中，品位低于 1% 的占 2/3。大于 30% (P_2O_5) 的富矿占全国磷矿总储量的 7.1%，而小于 12% 的贫矿却占总储量的 19%。而且中国矿产一般埋藏较深，可供露天开采的大型巨型矿产极少。这个特征大大加重了资源更新、改造、开发利用的难度，对投资和技术条件的要求较高。

4. 资源地区分布不平衡，组合错位

资源分布不平衡，各类资源按其成因和地理分异规律，分布在一定的区域内，资源分布的区域性是资源的一个共同特点。各类资源分布的差异，它的组合特点，很大程度上影响着资源开发利用与经济发展。中国各类资源匹配总体看不理想，组合错位。中国南方地区水多耕地少，水资源占全国水资源的总量 81%，而耕地只占全国耕地的 35.9%，能源资源普遍短缺。其中东部（华东、华中与华南）也是矿产资源较贫乏的地区，煤炭仅占全国的 1.0%，石油占 0.7%，铁占 18.6%。西南则水力资源占全国的 70%，铁、有色金属、磷、硫较为丰富，也有一定煤炭资源（占全国的 10.3%），但山高坡陡，耕地资源更缺，也是严重的石油短缺地区。北方地区，水少耕地多，耕地资源占全国耕地总面积 64.1%，而水资源只占全国水资源总量的 19%，能源与矿产资源丰富，煤炭资源的 90%，铁矿的 60%，石油资源几乎全部在北方。在北方地区中，华北地区耕地占 38.5%，而水资源仅占 7.5%，水土资源严重不平衡，而且矿产资源丰富，煤炭占 50%，石油占 38%，铁矿资源占

29%，水是主要限制条件；西北干旱地区，耕地占 5.8%，水资源占 4.6%，似乎基本平衡，但西北土地辽阔，土地总面积却占全国土地的 35.4%，大部分土地因干旱缺水而不能开发，西北地区是中国富能地区，煤炭资源占 28%，石油资源占 13%，而且前景看好，大有潜力，有色金属资源也很丰富，但铁矿资源只占 7%，偏少，水资源是限制西北资源开发与经济发展的约束性因素。东北地区耕地占 20%，水资源占 7%，东北石油能源丰富，占 48%，煤炭占 8.5%略少，铁占 24%，而且森林资源丰富，有林地面积占全国的 30%，木材蓄积量占全国的 42%，东北地区除辽河流域缺水严重外，总体看资源匹配较好。青藏高原，高寒、缺氧是限制条件。

从人口分布看，中国北方人口占 45.3%，土地面积占 63.6%，以黄淮海地区人口最为集中，占全国总人口的 33%，土地面积只占 15%，人口密度最大；中国南方人口占 52%，土地面积占 36%，人口密度比北方高，其中长江流域，人口占 35%，土地面积占 19%，人口密度也是全国最大地区。

再从人与资源关系的角度分析，我们可以认为，中国南方是人地矛盾，而中国北方普遍是水土矛盾，华北地区即黄淮海地区则处于水土矛盾与人地矛盾叠加的焦点，又是矿产资源丰富，经济重心地区，因此为促进华北地区经济的发展，解决水资源短缺是首要问题。

5. 资源开发强度大，后备资源普遍不足

中国人口众多，各类资源在经济技术所能及的范围内，都得到开发利用。宜农地资源的利用率达到 90%以上，后备资源不足。而且适宜开发种植农作物的后备耕地资源面积仅 1.5-2 亿亩，只可开垦净耕地 1 亿亩，为现今实际耕地的 1/20，宜农耕地资源已处于“饱和”甚至“超饱和”状态，不少地区，特别在黄土高原、风沙地带和西南山区，因平地耕地不足，而采取陡坡开荒造成大面积水土流失、土地沙化和退化。中国荒漠化地区的耕地退化达 45%左右。天然草地过牧超载 1/3，造成草地生产力普遍下降 30%-50%。中国林地资源丰富，利用率只有 50%略多，还有 17 亿亩的宜林荒山荒地，提高森林覆盖率潜力很大。但现实森林资源同样是采大于育，采育失调，木材供应赶不上需要，将有枯竭危险。华北平原地下水资源开采过度，缺乏水资源补充，普遍发生大漏斗，有些滨海地区已发生海水倒灌。东部油田，储采比降到约 10:1，大都已进入中晚期，且新油田接替不上，后续资源不足。中国的铁矿资源，由于富矿少，已部分由国外供应。因此，为了社会经济的持续发展，一方面必须坚持资源的节约利用、综合利用、持续利用，另一方面要大力寻找新的后备资源，是刻不容缓的。

（二）自然资源态势与保证程度

我们将从人口与资源关系角度探讨与国计民生关系最密切的几种资源对人口增长、经济发展的保证程度，进行趋势性的预测。

1. 耕地与淡水资源态势

根据国家统计资料，1981-1985 年期间，由于农业内部结构调整的失控与非农建设占用地的增加，耕地净减少 3689 万亩，平均年减少耕地 737 万亩。1986-1990 年由于采取保护耕地措施，耕地减少趋势有所控制。1990 年以后，由于刮起“开发区热”，耕地又遭到大量流失，1983 年全国耕地减少 484 万亩，1994 年减少约 600 万亩。预计到本世纪末实际耕地面积将下降到 19.5 亿亩，（按目前 20 亿亩计算），那时人口估计达 12.7-12.9 亿人，人均占有耕地也将下降到 1.5 亩，下世纪 20 年代，耕地面积将继续下降到 18.5 亿亩，

人口增长可能达到 15 亿，人均耕地则下降到 1.2 亩以下。因此，无论耕地绝对量还是人均占有量的减少趋势将是不可避免。

与此同时，人均占有淡水量也将下降，工农城乡需水量也将不断增加，预计到本世纪末，人均占有水资源下降到 2200 立方米，根据人口与经济发展的需要，总需水量也可能要达到 6400 多亿立方米，供水能力可能达到 6600 多亿立方米，由于地区不平衡，海河流域仍缺水 100 多亿立方米。农业是用水的大户，2000 年农田灌溉面积如增加到 8 亿亩，则灌溉用水量将达到 4800 多亿立方米，遇中等干旱年份，全国将缺水 350 亿立方米。到下世纪 20 年代，人均占有量将继续下降到 1800 立方米，水的供需矛盾将更加尖锐，供水难度更大，需要采取重大的水利措施。为保证粮食的需求，农田灌溉面积必须达到 9 亿亩以上，则农田灌溉需水量达到 5200 亿立方米，中等干旱年全国仍缺水 330 多亿立方米。

2. 能源资源的保证程度

中国能源生产与消费构成中煤炭均占 75% 左右，以煤炭为主的能源构成在较长时期内不会改变。中国煤炭资源十分丰富，按现有探明储量可供上百年的利用。但中国煤炭资源分布集中，60% 左右集中在晋、陕、蒙三省区，煤炭生产受交通运输限制，“以运定产”的格局在短期之内不会发生根本改变。煤炭供应不足，缺口量仍较大。中国水力资源开发程度低，石油能源供应日趋紧张。中国的电能占能源消费中比例很低。

根据国家计委和地矿部论证，2010 年一次性能源，消费量将达到 19 亿吨标准煤，其中煤炭 18 亿吨，石油 2.5-2.7 亿吨，天然气 600-1000 亿立方米，2010 年的石油产量约 1.6-2.1 亿吨，天然气约 516-713 亿立，油气资源供需相差甚远，需进口补缺。煤炭资源则可以满足 2010 年的需求，但也存在勘探程度的储量不足，运输与环境污染问题。

3. 矿产资源的保证程度

中国目前矿产资源对国民经济发展需求基本能保证，但大宗矿产与主要矿产资源除煤以外，不足问题已经很突出。根据地矿部材料，2010 年在 45 种重要矿产中，可以保证的只有 23 种，不能保证需长期进口补缺的有石油、天然气、铁、锰、铜、镍、金、银、硼、硫铁矿等 10 种，资源短缺主要靠进口的有铬、钴、铂、钾盐、金刚石 5 种。到 2020 年，形势更加严峻，可以保证需求的仅有 6 种矿产，对 2050 年发展目标则完全没有保证，相当部分矿产资源对经济建设保证程度偏低，关键矿产资源与石油能源紧缺的状态将会走向全面严峻。

总之，我们可以预计，到下世纪中叶，中国人口将达到 15-16 亿，如何保证庞大的人口群和高速的经济社会发展对资源的需求，保持资源的可持续利用，将是中国经济社会发展过程中的一个难题，也是个严重的挑战。

二、资源开发战略探讨

人口众多，资源相对紧缺，生态环境不佳，物质基础薄弱，地区差异大，是中国的基本国情。中国必须走可持续发展的道路，协调人口-资源-环境与发展关系，优化资源组合配置，实行资源的可持续利用战略，开放型的两种资源战略和科技推动战略。

（一）协调人口与资源关系，优化人力资源与自然资源组合

一方面要控制人口数量，提高人口质量，大力开发人力资源，发展劳动密集型产业与技术密集型产业；另一方面要开源与节流结合，建立资源节约型经济体系。

1. 大力开发人力资源，发展劳动密集型产业与技术密集型产业

中国人口基数大，增长快，素质低。到下世纪人口最高峰可达到 16-17 亿，甚至出现更大规模的人口群，这是最坏的一种可能。中国人口发展要与经济发展，资源承载，环境容量，生存空间和人口自身发展规律相协调的适度人口目标。中国资源的最大人口承载量可能在 16 亿人左右。因此，必须继续严格的实行计划生育。采取强有力的综合措施，降低人口增长率，实现适度人口目标。与此同时加大教育投入的力度，大力发展教育，提高人口素质。

在未来 30 年内中国将保持着 6-8 亿的劳动人口，占总人口 60% 左右，特别是年青劳动力多，16-29 岁人口占总人口的 27%，这是世界最丰富的劳动力资源。人力资源的特点是具有两重性（既是生产者，又是消费者）和时效性，因此必须抓住这一时期，创造更多的社会财富，出路在于大力发展劳动密集型产业。与此同时，我们还应充分利用拥有 1800 万科技人员的总量优势，发展技术密集型产业与高新技术产业，双管齐下。

2. 开源与节流结合，建立资源节约型经济体系，节约、高效、持续地利用资源

中国一方面资源紧缺，但另一方面资源浪费严重，资源的利用率、回收率、产出率低（如灌溉水的利用率仅 30%-40%，能源利用率仅 30%），滥垦、滥伐、滥收、滥捕、滥采、滥排，造成了资源的破坏、流失、污染，环境的恶化与资源的枯竭。既有其历史根源——掠夺式、粗放式的利用资源传统，又有认识上、政策上、管理上的原因。为确保资源的持续利用，中国必须实行开源与节流结合，利用与保护结合的方针，运用科学技术与科学管理，改变高消耗资源为节约、高效利用资源，改变粗放性经营为集约性经营，立足于内涵挖潜。

（1）首先要保护资源，把保护耕地、淡水与矿山资源作为基本国策。粮食问题，首先是耕地资源与水资源不足的问题。要遏制近几年的耕地递减的形势，建立基本农田保护区，把耕地年减少控制在 200 万亩之内，逐步作到消长平衡。

（2）要节约利用资源，建立资源节约型经济体系。包括建立以节地、节水为中心的资源节约型的集约化农业生产体系；建立以节能、节材为中心的资源节约的工业生产体系；建立以节省运力为中心的节约型综合运输体系；以及建立适度消费、勤俭节约为特征的生活服务体系。即在生产领域、流通领域、消费领域等各个方面都要节约资源，走出一条非传统的现代化道路。

（3）要高效利用资源，提高单位资源的产出率，即以最小的投入资源取得最高的产出。要大力开展资源的综合利用，重复利用、再生利用和废物、污染物的资源化。要提倡资源效益，把资源效益放在经济效益、生态效益、社会效益同等的地位，彻底扭转以牺牲资源、牺牲环境来换取经济发展的高消耗资源、粗放型发展经济的模式，转变为资源节约、高效、可持续利用的集约化经济发展模式。

（4）要积极开源。开源与节流是辩证的关系，开源是节流的基础，节流是开源的继续。中国水土资源的开发要立足平原，开发山区与海洋。山区的开发重点是南方亚热带、热带山地，建设为以林果为主的农业后备战略基地。

沿海滩涂与浅海要实现农牧化。调长江水向华北输送，尽早实现中线、东线南水北调，以缓解华北地区工农业缺水状况，进一步考虑长江上游与雅鲁藏布江向西北输送方案。中国的能源在相当长时期内以煤为主的格局不会改变，但要大力发展水电，重点开发西南与黄河上游丰富的水力资源，有计划地发展核电，积极开发各类新能源，逐步改善能源结构与能源布局。加大地质投入力度，加速地质勘探工作，尤其是油气资源的勘探与开发。

（二）实现地区优势互补，协调区域发展，选择重点开发区

1.打破地区经济封锁，实行产业倾斜与地区倾斜相结合，加快中西部地区的发展

地区差异大，发展不平衡是中国的基本国情之一。中国幅员辽阔，地区之间自然、经济、人口差别是全世界差异最大的大国之一。中国自然资源、人力资源、经济资源分布不平衡，组合错位，主要表现在东西部发展水平的差异，其次是南北结构性的差异。

首先要打破地区经济封锁，才能实现优势互补和地区协作。要以地区差异为依据，逐步建立全国统一市场。加强技术经济协作，提倡沿海与内地、东部与中西部之间资源、人才、科技、资金的双向流动，实现地区之间、省区之间的优势互补，提高国民经济的整体效益。

实行产业倾斜与地区倾斜相结合的区域发展政策。当前中国农产品、能源、原材料不足已成为制约国民经济发展的重要因素，影响下世纪持续发展的后劲。要加速中西部地区农业、能源与原材料资源的开发，并带动中西部地区的社会经济发展。当前，从整体来看，中部地区农业、能源、原材料资源和人力资源都较丰富，经济、技术、人才已具备较好的基础，加速中部地区发展，对支持东部，带动西部，促进全国经济的持续发展具有重要意义。

2.加快全方位开放，推进沿海、沿江、沿线、沿边轴线的开发

中国国土开发的区域布局，要以沿海、沿长江、沿黄河为主轴线，结合主要铁路干线为二级轴线，辅以环国境主要城镇和口岸建设，以构成中国国土开发与建设的总体的基本框架。从地缘经济角度，将全国划分为六大资源—经济板块（区）。即东南区，包括闽、粤、琼、台、港、澳及江西与湖南的南部。以珠江三角洲、海南岛及闽、粤沿海为前沿，联合港、澳、台组成面向东南亚、太平洋的东南经济圈；西南区包括川、滇、黔、桂、藏，以广西沿海与云、桂沿边为前沿，组成面向印支、南亚北部的西南经济圈；东北区，包括辽、吉、黑三省及内蒙古东部，以珲春、大连沿海、沿边为前沿，与朝鲜、韩国、日本、俄罗斯、蒙古等国家组成东北亚经济圈；西北区，包括新、青、甘、宁，以新疆为向西开放前沿，重建丝绸之路，与中亚、西亚各国组成伊斯兰经济圈；长江区，包括上海、苏、浙、皖、鄂及湖南与江西的北部，即长江中下游，以沿海开放城市为前沿，以上海为龙头、长江为轴线，建立北邻华北、南连东南、西接西南，面向太平洋、面向世界的经济区，并支持东南、西南区的发展；华北区，包括京、津、冀、鲁、豫、晋、陕及内蒙古中西部，以沿海开放城市为前沿，以京津唐—环渤海区为核心，建立北接东北区，西连西北区，与长江区相呼应，共同组成面向太平洋、面向世界的经济区，并支持东北、西北区的发展。

3.选择资源经济重点开发区

根据开发条件好、资源丰富，对全国和区域经济的发展具有重要意义，选择经济比较发展、对外开放的区位条件比较好，和具有全国意义的能源、

原材料资源与农业资源等 31 个重点开发区。其中分布在东部地区有 8 片，中部地区的有 12 片，西部地区的 11 片。

综合经济开发区，包括京津唐、辽中南、山东半岛、长江三角洲、闽南三角地带、珠江三角洲、海南岛、北部湾、长江中游沿岸、哈尔滨-长春，关中等 11 片。

以粮食为重点的农业资源重点开发区，计有洞庭湖平原、鄱阳湖平原、江汉平原、江淮地区、淮北平原、松嫩平原、三江平原和四川盆地等 8 片。

能源与原材料资源重点开发区，包括以山西为中心的晋陕蒙地区、以兰州为中心的黄河上游地区、乌鲁木齐-克拉玛依地区、库尔勒-阿克苏地区、河西-东疆地区、以三峡为中心的宜昌至重庆地区、乌江干流沿岸地区、攀枝花-六盘水地区、红水河沿岸地区、西南三江流域、哀腾-两淮地区、湘赣粤交界地区等 12 片。

（三）两个市场，两种资源

任何一个国家都不可能拥有自身经济发展所必须的一切自然资源，通过国际贸易出口中国具有优势的资源产品，进口中国稀缺的资源产品，实现国际间资源转换，是促进中国经济持续增长的重要途径。

随着人口的增长、经济建设规模的不断扩大和人民生活水平的提高，对资源的需求将迅速增长。尽管我们力争作到资源基本供给，但在可预见到不久的将来，中国将成为资源产品的净进口国，下世纪中国资源的净进口额将进一步扩大，因此我国积极实行国际资源转换战略就更有必要了。

应该指出，农业生产的基础资源——土地、水、气候是不能进行国际贸易的，但是农产品资源是可以进行国际交换的。在中国人口多、耕地少、资源紧缺的国情条件下，农产品更需要实行国际资源转换战略，即生产出口一些劳动密集、技术密集型的优质、附加值更高的农产品，进口那些比较效益低、国内价格已高出国际市场的农产品，在粮食基本自给的条件下，实现农产品的国际大循环，与它国分享世界丰富的自然资源。立足国内，基本自给，适度进口，调剂品种，调节丰欠，促进交换，这就是我们应该采取的方针。同样能源也要进行国际交换，根据国际市场的供求状况，调整中国能源产品的进出口政策。我们要充分利用国际石油资源，增加国内的石油供给，也有利于能源结构调整和资源的储备与安全。

（四）开发与保护结合，建立以合理利用自然资源为核心的环境保护战略

资源与环境是互为依存、互为影响的。资源本身就是人类生存环境的一个重要组成部分。人类利用资源也就利用了环境。环境恶化是资源不合理利用，资源破坏、流失、污染的结果，因此，保护环境首先要从合理利用资源着手。环境是资源生成的动力，资源环境的恶化反过来影响资源的生产力，从这个意义讲，保护好资源环境也就是保护资源生产力。

中国人口膨胀，资源消耗过多，环境压力日益加重，而整治环境的能力低下，治理赶不上破坏，环境质量总的趋势是不断下降。土壤侵蚀、水旱灾害、环境污染、物种消亡是中国现今四大环境问题，它对中华民族生存的威胁与日俱增，如不及早采取果断而有效措施，未来的恶化趋势将会更为严重。

要实施经济社会与环境保护协调发展的战略，把资源环境保护纳入国民经济和社会发展的计划与长远规划。

实行国土开发、利用、整治、保护并重的方针。在保护前提下合理地开

发利用资源，整治资源环境，实现资源的可持续利用。

整治大江大河、保持水土、防治污染、保护物种资源是中国资源环境保护的四大任务。兴修水利、绿化环境、控制污染物的排放是中国资源环境保护与建设的三大措施。

推行以预防为主防治结合、谁污染谁治理、谁开发谁保护，以及强化环境管理的三大环境政策。

（五）依靠科学技术进步，提倡资源工程研究

1. 中国人口、经济增长与资源有限性之间的矛盾，最终要依靠科学技术的进步来解决

我们应该认识到资源有限性是相对的，随着科学技术的进步，人类将不断地拓宽资源范围，新资源、新能源、新材料、新食物将不断涌现，这个趋势有如江河滚滚永不止息，从这个意义上讲，资源又是无限的。因此，面对自然，我们总要坚持谨慎乐观的态度。最大限度地发展科学技术与教育是实现下世纪战略目标的关键。

研究并建立资源与环境的动态监测、预报、预警体系。

从理论上、方法上研究资源的核算问题，建立资源价值-价格-核算体系，资源-资产-产业化体系，研究并实行资源有偿使用制度。

研究在社会主义市场经济条件下，资源的优化配置与区域开发。

研究开发新材料、新能源、新食物，寻找稀缺资源的代用品。

发展节约资本和节约资源的适用技术，重点解决农业、能源、原材料与资源综合利用以及节地、节水、节能、节材、节粮的新方法、新技术、新工艺。

重视废弃物、污染物的资源化研究，促进废弃物的再生利用。

研究提高地质勘探，尤其深部找矿的新技术、新手段，以及超大型矿床的开发与采、选、冶的新技术。

研究应用生物技术于农业生产，提高农业资源的产出率与利用率。

研究解决土地退化、水质恶化、水旱灾害、环境污染等资源环境保护整治的新技术和新方法。

重视海洋资源开发与保护的研究。

2. 积极开展资源工程学的研究

资源工程学是资源科学与技术科学结合，促进资源转变为生产力的一门边缘交叉的应用科学，它的基本任务是在资源科学原理的指导下研究利用最新的技术于资源的调查与勘探、资源的优化配置、资源的开发利用与保护以及资源的管理，以期达到快速地查明资源与高效地利用资源。

开展资源工程学的研究是资源科学发展的必然趋势，也是社会主义市场经济的需要。

资源作为一门科学进行的整体、综合、系统的研究，在中国始于 50 年代的综合考察。党的十一届三中全会后，随着国民经济的蓬勃发展，资源科学研究也取得了长足的进展。由中国自然资源学会等主持完成的“中国资源科学百科全书”与由国家计委主持即将出版的“中国自然资源丛书”，系统地总结了近半个世纪以来中国资源科学研究的理论与实践，初步建立了资源科学的理论体系，标志着资源科学的形成。资源科学研究的进一步发展，必须更有效地与国民经济建设相结合，把资源的调查与勘探、资源配置与规划、资源开发利用与保护、资源的监测与管理等形成一个完整的体系并实现工程

化，使资源得到节约、高效、持续利用。

资源工程学的主要研究内容是：

（1）资源调查与勘探工程。包括遥感技术、全球定位系统技术、计算机技术、各类勘探与测试技术等高新技术应用于资源的调查、勘探与评价的研究。

（2）资源优化工程。包括应用计算机技术与地理信息系统技术于资源区划、资源规划、资源计划、资源配置等的研究。

（3）资源开发利用工程。包括水利、土壤改良、生物措施、矿产开采等技术体系与工程化的研究。

（4）资源再生利用工程。包括化学的、物理的、生物的各种技术于废旧物的再利用的研究。

（5）资源保护工程。主要包括生物措施、工程措施与环保措施的组装与工程化的研究。

（6）资源信息与管理工程。包括信息技术、监测技术、决策支持系统、专家管理系统等的研究及工程化。

当前要加强遥感、全球定位系统、地理信息系统，即所谓“3S”技术在资源调查与资源动态监测中应用的研究；区域资源优化配置技术的研究；高效利用资源的技术体系的研究；废旧物再利用技术的研究；海洋工程技术研究；资源信息系统工程的研究等。

（六）实现资源管理现代化，强化资源的统一管理

资源管理是国家经济管理的—一个重要方面，它受国民经济管理体制所规范。我国自然资源管理制度不健全，是造成资源浪费与环境污染问题的一个重要原因。管理制度不健全主要表现在：资源所有权与使用权界限不清；

资源综合管理制度不完善；管理技术十分落后。资源管理主要包括行政管理、法制管理、经济管理三种手段，要建立适应于社会主义市场经济的资源资产化管理的新机制。

资源的整体性与管理的分散性之间的矛盾是造成资源开发与使用上国家与地方以及地区之间、部门之间矛盾的原因，也是造成资源浪费、破坏的一个重要因素。强化资源的统一管理，健全体制的协调功能，是充分发挥有效资源潜力的前提。为此，建议在国务院下设立资源开发协调委员会，统一协调资源开发工作中部门之间、地区之间，当前利益与长远利益，以及开发与保护的关系，协调人口、资源、环境与发展的关系，强化资源管理职能。

矿山开采沉陷与环境保护

刘天泉

煤炭科学研究总院

刘天泉 采矿、开采沉陷与特殊开采技术专家。1927年11月10日生于江西萍乡。1952年湖南大学肄业。1957年毕业于波兰克拉科夫矿冶学院,1958年获波兰克拉科夫矿冶学院硕士学位。历任煤炭科学研究总院北京开采研究所研究室主任、总工程师,煤炭科学研究总院学术委员会主任。先后任中国煤炭学会常务理事,中国岩石力学与工程学会副理事长,中国矿业协会常务理事,煤矿开采损害技术鉴定委员会主任。1994年被选聘为中国工程院院士。主要从事矿山采动影响与控制工程学的理论和试验技术研究。

一、矿山开采沉陷对矿区环境的影响

我国煤炭资源十分丰富,煤田分布广泛,特别是华东、华北、东北及西南各省区,大小煤矿星罗棋布,且与城镇、道路、水系紧密相连。因此,煤矿开采引起的环境问题日益突出。正确认识与妥善处理开采沉陷与环境保护问题,是摆在煤炭工业可持续发展任务面前的一个重大课题。

地下开采时在其周围地层中产生的采动影响,正如向水或浆液中投入石子会引起水波传播一样,不同的只是采动影响是从深处向各个方向扩展的。石子的大小好比开采空间的大小,水和浆液又好比软硬不同岩性的地层。在地下开挖一个菜窖,其周围地层受到的影响甚微小;开挖一条巷道,其周围地层就受到较大的影响,其影响范围叫松动圈,尺寸不过1—2米,或更大一点;而开采一个长壁工作面,其周围地层受到的影响范围则很大。在采深小、地层岩性软的情况下,一个长壁采煤工作面推进几十米后,采动影响就可达到地表;而在采深大、地层岩性硬的情况下,一个长壁采煤工作面要推进较大长度或是要采完一个以上的工作面才会影响到地表。

上述大面积回采工作面在周围地层中产生的采动影响,一般可用包括“顶三带”、“底三带”及“边三带”在内的“三带型”采动影响描述;而在地表产生的采动影响,则用“地表下沉盆地”描述。二者总起来可统称为开采沉陷或采动影响。

采矿工程无论在地层中或在地面上引起的采动影响,对地层中的地下建筑工程和地面上的耕地、崖坡、水系及建(构)筑物会造成不同的影响。因此,研究矿山开采沉陷与环境保护,就具有十分重要的现实意义。

然而,长期的科学研究及生产实践表明,采动影响是有规律可循的和可以控制的,而且采动影响对于不同的受采动对象,其影响的程度又是有差异的。因此,研究矿山开采沉陷对环境的影响,就必须首先研究开采沉陷的规律、沉陷控制技术、受采动对象的分类及其抗采动影响的能力。只有这样,才能使二者得到合理的解决。

二、矿山采动影响的基本规律

矿山大面积开采后，发生在所采煤层上面地层内的采动影响叫“顶三带”，即冒落带、导水裂缝带和弯曲沉降带。在采用长壁陷落式采煤方法时，只要采深大于50—100米，岩性属中硬，一般都能形成“顶三带”影响。因此，“顶三带”是采煤工作面上覆岩层中采动影响最普遍的一种形式，其冒落带和导水裂缝带的最大高度与采厚及岩性有密切关系。当岩性中硬时，冒落带和导水裂缝带总高度为采厚的12—16倍。

发生在所采煤层下面地层内的采动影响叫“底三带”，即鼓胀带、微裂隙带和应力变化带。目前，对“底三带”的研究工作尚不够。据现场实测结果得出，在采用长壁陷落式采煤方法及岩性中硬的情况下，鼓胀带深度为8—15米，微裂隙带深度为20—30米，应力变化带深度为60—80米。

发生在开采边界内外的采动影响叫“边三带”，即开采边界外侧煤层内的煤帮片落带、塑性变形带和弹性变形带。其范围大小与采深、顶板岩性及煤的力学特性有关。一般分别为几米、10—30米和30—100米不等。开采边界内侧采空区内的冒矸堆积带、冒矸压密带和再生顶板带。其范围分别为数米、10余米或40—50米。

在特殊地质及开采条件下，采煤工作面的上覆地层内还可能产生有别于“三带型”的抽冒型和切冒型采动影响。它们是采动影响最剧烈的形式。

三、矿山采动影响是可以控制的

根据资源利用和环境保护的需要，煤炭部门制定了衡量矿山大面积开采引起的岩层和地表采动影响的数量指标。它们主要是：下沉、倾斜、曲率、水平移动、水平变形、“顶三带”、“底三带”及“边三带”等。

大面积采煤工作面周围产生的采动影响，当它发展到岩层中的井筒、巷道时，会引起井筒、巷道的位移和变形；当它发展到岩层中的含水层时，会引起含水层中水位的下降或疏干，在井、巷和工作面出现滴水、淋水或涌水；当它发展到地表时，会引起地面建（构）筑物的位移和变形，水体渗漏；当它发展到煤层底板内的井、巷和含水层时，会引起井、巷位移、变形甚至突水。因此，大面积开采引起的采动影响，是矿区地面沉降、塌坑、开裂，房屋、道路损坏，崖坡崩塌，含水层水位下降、疏干和矿井突水的主要原因。但是，随着它们所处的位置及开采方法的不同，其所受影响的程度是有差异的，有时甚至是不会受到损害的。矿区建筑物、铁路及水体下所进行的安全采煤，正是实现了采动影响控制的明显佐证。

通过长期的研究试验与建筑物、铁路及水体下采煤的实践，我国煤矿已经形成了一套以采动影响理论为指导，以受保护对象分类为原则的控制与保护系列技术，为煤炭资源的充分利用及矿区环境保护找到了有效途径。

控制与保护系列技术的内容包括综合控制与保护和单项控制与保护两大类。地表的综合控制与保护技术指的是，采用控制地面采动影响全部指标的技术途径，以达到全面减少受护对象损害的目标；地面单项控制与保护技术指的是，采用控制地面采动影响单项指标的技术途径，以达到重点减少受护对象损害的目标。岩体的综合控制与保护技术指的是，采用控制岩体“三带”指标的技术途径，以达到全面减少覆岩破坏的目标；岩体的单项控制与保护技术指的是，采用控制岩体“三带”的部分指标的技术途径，以达到部分减少覆岩破坏的目标。

为了减少地表和岩层的下沉与变形，可以采用砂石类材料将采煤空间填实的充填采煤方法；在采煤空间内保留部分支撑煤柱的条带采煤方法；以及采用微细粒材料（例如电厂粉煤灰）向冒矸空隙和岩层间离层空隙内注浆充填的方法。这些方法的应用，已在我国煤矿获得了减少地面下沉的良好效果。为了减少地面的水平变形，可以采用全柱式大面积联合开采的技术，从而使受保护的對象只经受采煤工作面在其下面通过时地表产生的动态变形值和最终的均匀下沉值，同时减少地表的最终变形值 40%—60%。为了减少地表和岩层的水平移动及其引起的偏斜、滑移和崩塌，可采用使立井不产生偏斜的防偏煤柱技术，使山体不产生滑移的防滑煤柱技术，使崖坡不产生崩塌的防崩塌煤柱技术以及均衡开采技术等。为了减少“顶三带”采动影响，在开采浅部厚煤层时采用分层间歇开采技术，在开采急倾斜煤层时采用长走向、小分段及不超限开采和不超限出煤的技术。为了减少“底三带”采动影响，可以采用短工作面开采及协调开采技术等。为了减少“边三带”采动影响，可以采用钻孔及割缝卸压技术等。

四、有损开采沉陷与无损开采沉陷

由上述分析可知，地下开采必然产生开采沉陷，但是，开采沉陷又是可以部分控制的。因此，开采沉陷就有有损开采沉陷和无损开采沉陷之分。

为了控制开采引起的有损开采沉陷，首先应区别出不同的开采沉陷对象。矿区的开采沉陷对象，按照其不同的抗变形能力及使用要求，一般可分为建（构）筑物、水体和土地及其作物林木等类别。不同类别的开采沉陷对象，它们对不同的开采沉陷指标及允许的量级所敏感的程度是不同的。

对于建（构）筑物，凡开采沉陷值小于建（构）筑物允许的变形值，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。例如，国内外煤矿均规定，当地表变形值小于 2mm/m 时，对于工业和公用建（构）筑物不构成损害。对于水体，凡水体下隔水层未受到导水裂缝带波及时，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。对于铁路，凡开采沉陷值小于铁路允许下沉值或允许维修值，其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。对于土地及林木等农作物，冒落带、导水裂缝带未到达地表，且不出现抽冒、切冒、塌坑、台阶裂缝等不连续破坏时；其沉陷影响属无损开采沉陷，反之为有损开采沉陷。

五、矿区环境保护的原则与方法

科学研究及生产实践表明，矿区环境保护工作应以采动影响规律为基础，对不同类型的采动对象采取不同的对策。我国煤矿的经验主要是：

1. 建（构）筑物的保护。在地基中地下水位高的地区，如果地下水位无法降低或排除，应尽量控制地表的下沉值，使下沉后的地基不会受到地下水的浸蚀；在地基中地下水位低的地区，只要实现地表的均匀和缓慢下沉，就不会造成建（构）筑物的损害。经过长期的研究与实践已知，适应于高水位地区的控制技术主要有：在采空区内有计划地保留支撑煤柱；充填采空区；对冒矸空隙及岩层离层空隙进行注浆充填等。适应于低水位地区的控制技术主要有：全柱式开采及协调开采等。

2.地面、地下水体的保护。为了保护地面和地下水体不受开采沉陷的影响，同时使矿山本身不受水害的威胁，主要应控制煤层上覆岩层中冒落带和导水裂缝带的发育高度。当它们未发展到水体时，水体不受疏降影响；当它们发展到水体时，水体会被疏降，有时还会向矿井渗漏，对矿井形成灾害。

3.地面耕地的保护。一般要求耕地受采动后不积水、不失水、不塌坑、不产生斜坡。主要应结合耕地的地形地势进行采动影响控制与治理。当地势低洼时，应控制其下沉，或对沉陷区进行整治后利用；当地势较高时，只需对沉陷区进行平整即可恢复利用。

4.地下建筑工程的保护。一般可根据地下建筑工程地质条件、工程结构特征、抗变形能力及使用功能，将采动影响控制在其允许的范围内。

5.已有沉陷地的治理与利用。重点是平原区沉陷地的治理与利用。这项工作在我国煤矿通过较长期的试验与推广应用，已有了一些有效的方法和经验。主要是因地制宜，区别对待。对下沉值大的沉陷地，可改坑为塘，作为放养地；或利用厂矿工业固体灰渣回填造地，或利用河湖泥沙回填造地。对下沉值中等的沉陷地，可采用挖深垫浅方法，挖深区为塘，进行养殖；垫浅区恢复为耕地。对下沉值小的沉陷地，采用平整方法恢复种植等。

日地空间物理及其经济和社会效益

刘振兴

中国科学院空间科学与应用研究中心

刘振兴 空间物理学家，1929 年 9 月生，山东昌乐人。1955 年毕业于南京大学。现任中国科学院空间科学与应用研究中心研究员、地球空间环境物理研究开放实验室主任，中国地球物理学会常务理事兼地磁和高空物理委员会主任，中国与欧洲空间局空间科学合作的中方首席科学家、中国 Cluster 科学数据研究中心主任 欧空局 Cluster 科学数据系统指导委员会委员。1995 年当选中国科学院院士。长期从事近地层大气物理、高空大气物理、行星际物理和磁层物理研究。

一、引言

日地空间物理是随着航天技术及其他高新科技的发展而迅速发展起来的一门新兴学科。40 年来航天事业的发展事实表明，空间技术与空间物理的发展是相辅相成的。空间物理研究可为航天活动提出新的启示、新的原理、新的要求和安全防护措施，推动航天技术的发展。

日地空间物理与太阳物理、大气物理、固体地球物理及等离子体物理密切相关，是一门多学科交叉的边缘学科。日地空间物理主要研究：太阳活动引起的各种形式的能量变化以及人为活动对地球空间环境影响的物理化学过程；日地空间环境的变化规律和预报；空间环境变化对航天活动和人类生存环境的影响。日地空间物理研究不仅对认识宇宙有重大科学意义，而且对空间的开发和利用有广泛的应用前景。

人类对其周围环境的认识过程，是随着生产和社会发展的需要而不断深化和扩展的。当前，人口、资源和环境已成为人类面临的主要挑战问题。人口、资源和环境三者紧密联系又相互矛盾，人口的日益增加需要更多的资源，资源的开发和利用又破坏环境，影响人类的生存条件。可持续发展的战略，就是要协调和解决这三者的矛盾，使资源的开发和利用不导致人类生存环境的破坏。

关于环境的涵义，目前还存在着一些模糊认识，随着人类活动范围的不断扩展，环境的涵义也在变化。1981 年在罗马召开的国际宇航联合会第 32 届年会上，把陆地、海洋和近地大气层分别称为第一、第二和第三环境，将外层空间称为第四环境。人们通常所说的环境，是指陆地、海洋和近地大气环境，即与人类生存直接接触的环境，除此之外，还有空间环境，人类生存环境与空间环境有密切联系。日地空间环境又分为不同的层次，包括：太阳上层大气、行星际、地球磁层、电离层和高中层大气。其中地球磁层、电离层和高中层大气称为地球空间（Geospace）环境。

人类已进入空间时代，地球空间已成为人类向自然索取资源的重要场所。对空间资源开发和利用的水平，已成为一个国家经济实力和高新技术发展水平的主要标志，是 21 世纪国际上竞争的主要目标。日地空间物理研究与空间资源开发利用有着密切联系。因而，国际上对日地空间物理的探测和研究非

常重视。

二、日地系统的组成和相互联系

1957 年 10 月第一颗人造卫星上天以来，先后发射了大量的科学卫星及建立了全球的地面设备，对日地空间进行了探测和研究。目前对日地空间各层次（包括太阳上层大气、行星际、地球磁层、电离层和上中层大气）的特性已有一些新的认识。日地系统各层次是相互联系着的整体系统，太阳活动会引起日地系统连锁式的变化。现将日地系统各层次的特性作一概述。

1. 太阳上层大气和行星际

太阳是影响地球环境的主要能源。太阳是一个以氢为主要成分的星体，太阳结构可分为核、对流层、光球层、色球层和日冕等五层，其中光球以上称为太阳上层大气。太阳活动是指太阳上层大气中局部区域所发生的暴发现象，如太阳黑子、太阳耀斑、光斑、谱斑、日珥和日冕物质抛射事件（CME）等。太阳活动对地球空间环境的影响，主要是通过电磁辐射和粒子辐射两大途径。太阳电磁辐射覆盖了很宽的波长范围，由约 10^{-14} 米一直到 10 千米以外，可分为伽玛射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线和射电波。太阳每秒钟辐射出的总能量称为太阳光度，在地球与太阳的平均距离处，垂直于太阳光线的每平方厘米截面上每分钟接收到的所有辐射波长范围内的能量称为太阳常数，通过仔细测量得到太阳常数为 $1.950 \text{ 卡厘米}^{-2} \text{ 分}^{-1}$ 。近年来观测到太阳常数也有小的变化，实际上不是常数。可见光和红外线占太阳常数的绝大部分。这部分能量最终贮存在对流层大气中（大约 10^{12} 兆瓦），是引进大气环境的主要能量。对地球空间环境影响最大的是 X 射线和紫外线，虽然这些能量仅占太阳总辐射能量的一小部分（约 10^6 兆瓦），但却对地球空间环境产生巨大的影响。X 射线和紫外线，绝大部分被高层大气吸收，是形成电离层和高层大气加热的主要能源之一。在太阳活动期间，X 射线和紫外线有显著变化，有时可增大两个数量级，可引进电离层和高层大气的显著扰动。

影响地球空间环境的另一能量形式是太阳粒子辐射，包括太阳宇宙线粒子和太阳风等离子体。太阳宇宙线事件与太阳耀斑有关。太阳耀斑期间，太阳磁场的急剧变化使粒子加速发生太阳宇宙线事件，太阳宇宙线的成份主要是质子，故也称太阳质子事件。有质子事件的耀斑往往有硬的太阳射电谱和长时间的 X 射线发射。日冕气体的温度高达百万多度，由于高温的日冕气体向外膨胀，产生了太阳风等离子体。太阳风携带着太阳磁场以高超音速的速度流向行星际空间，被太阳风带到行星际的太阳磁场称为行星际磁场。太阳风向外输送的总能量大约为 6×10^{27} 尔格/秒。虽然太阳风运输的能量与太阳总辐射的能量相比是很少的，但太阳风与行星际磁场的变化对地球空间环境却有重要的影响。

太阳瞬变事件的另一重要形式是 70 年代末才观测到的日冕物质抛射事件（CME）。一次日冕物质抛射事件所抛射的质量可达 10 亿至 100 亿吨，其抛射速度在 100—1000 千米/秒之间。高速度的日冕物质抛射，其前面往往会形成激波，并向行星际传播。日冕物质抛射及其产生的激波对行星际和地球空间环境会产生重要的影响。

冕洞是 70 年代中期发现的一种日冕结构，在冕洞中有辐射强度较弱的暗区，它的密度和温度比周围低，故称为冕洞。在冕洞区对应的磁力线是张开

的。日冕等离子体得到加速后很容易沿磁力线流向行星际空间形成太阳风高速流。冕洞是太阳表面空间尺度最大、时间寿命最长的一种结构，因此它可随太阳自转，不断地向外输送太阳风高速流，在行星际空间形成准周期的共转结构和共转激波。太阳风高速流与地球磁层相互作用可引起地磁扰动，长寿命的冕洞可引起地磁扰动的 27 天重现变化。

由于太阳外层大气的这些活动，使得行星际空间的结构（包括背景太阳风流、高速流、行星际激波、太阳风阿尔芬脉动及行星际磁场反转处的行星际电流片）及其变化相当复杂。这些结构可对地球空间环境产生重要的影响。现在在地球轨道处观测到的太阳风参数平均值的变化列于下表。

太阳风参数平均值（1965 - 1976）

参 数	通 日	扰 日	静 日
太阳风速度(km/s)	448	531	375 值(1965 - 1976)
太阳风密度(cm^{-3})	7.7	8.0	7.3
太阳风温度(10^3k)	100	168	55
总磁场强度(nT)	6.1	8.4	4.6

2. 地球磁层

在地球周围被太阳风包围并受地球磁场控制的区域称为磁层，它是地球控制区域的最外层。地球磁层是由太阳风与地球磁场相互作用形成的。地球的固有磁场可近似用偶极场表示，地球磁场对高电导率的太阳风流有阻碍作用，太阳风流可压缩地球的磁力线。在太阳风动压与地球磁场磁压大约相等的区域，形成太阳风与地球磁场的分界层，这个分界层称为磁层顶，磁层顶包围的区域即是磁层。磁层的形状像一个羽毛球，其向阳侧约呈椭球形。在平静太阳风中，向阳侧磁层顶在日地连线上离地心的距离约为 10 个地球半径（1 个地球半径约为 6371.2 公里），磁层顶前方有一舷激波。其背阳侧是拉长的向外略张开的圆筒形，称为磁尾，磁尾的长度可长达 1000 个地球半径，磁尾的南北和东西宽度约为 40 个地球半径。

在一般情况下，太阳风等离子体是不易进入磁层的，只有在封闭磁力线和张开磁力线分界的漏斗形区（称为极隙或极尖区）可进入磁层、电离层和高层大气。太阳风粒子可通过磁场重联和粘性作用进入磁层。磁层是一个巨大的粒子库，它可贮存能量从几电子伏特到几百兆电子伏特的等离子体和高能粒子。磁层中有几个粒子贮存区，等离子体层区贮存着密度较高但温度较低（约 10^5K ）的冷等离子体；等离子体片区是热等离子体（约 10^7K ）的贮存区；地球辐带区贮存着高达几百兆电子伏特的高能粒子；环电流区是由几百千电子伏特的高能粒子形成的。在平静时，磁层中的粒子一般不会侵入电离层和高层大气。但在磁层亚暴和磁暴期间，磁层粒子可沉降到电离层和高层大气，并引起电离层和高层大气结构的变化。

太阳风向磁层输入的能量另一种形式是电磁能。太阳风和磁层相互作用形成巨大的发电机，称为太阳风—磁层发电机。当太阳风的速度加快和行星际磁场南向分量增强时，这一发电机产生高达 100 千伏以上的越磁尾电位降、 10^7 安培的电流及 10^{22} 瓦的功率。当太阳风输入磁层的功率超过某一值时（约 10^{18} 尔格/秒），由于磁层能量超载，磁层中的能量会通过某种不稳定性很快地释放出来，输入到电离层和高层大气，这种磁层能量储存和突然

释放的过程，称为磁层亚暴。磁层亚暴的时间尺度约为 1 小时。当行星际磁场南向分量持续时间较长时，可间歇性地发生多次磁层亚暴，多个磁层亚暴可形成磁暴。磁层亚暴和磁暴可引起磁层、电离层和高层大气的剧烈扰动，如磁层粒子注入事件，极光活动、电离层暴和热层暴等。

3. 电离层

电离层是地球大气的一个电离区域，高度范围约为 60—1000 公里，再往上即是磁层。电离层是由太阳 X 射线、紫外线和高能粒子对高中层大气的电离作用形成的。电离层是处于部分电离的中高层大气区，含有相当多的自由电子，但中性大气仍很稠密，因而中性分子和带电粒子的碰撞频繁。

观测表明，电离层电子密度随高度的分布具有分层结构。在离地面 60—1000 公里范围内，主要可分为三层，即 D 层、E 层和 F (F1 和 F2) 层。D 层位于高度 60—90 公里的区域，电子密度在 10^3 厘米⁻³ 以下，在夜间由于电子大量消失可认为 D 层不存在。E 层约处于高度 90—140 公里的区域，电子密度为 10^3 — 10^5 厘米⁻³，电子密度高峰通常位于 110—120 公里，夜间 E 层的电子密度下降至 5×10^3 厘米⁻³。F 层在 E 层之上，其范围可一直伸延至上千公里。在白天，F 层可分为 F1 层和 F2 层，F2 层在 F1 层之上，夜间 F2 层消失。F1 层一般在 140—200 公里的高度范围，电子密度为 10^4 — 10^5 厘米⁻³。F2 层高度可从 200 公里延伸至 1000 公里。其电子密度峰值区位于高度 300 公里左右，最高电子密度可达 10^6 厘米⁻³。

太阳活动、磁层亚暴和磁暴对电离层结构产生很大的骚扰。电离层骚扰主要有电离层暴、电离层突然骚扰、极盖吸收和极光带吸收等，这些电离层扰动会严重影响无线电的传播及导航和定位的精度。此外，从低层大气向上传播的行星波、声重波和大气准两年周期震荡等也对电离层结构产生显著扰动。

4. 中高层大气

大气的压力和密度是随高度的增加呈现指数下降的，但大气的温度却表现出分层结构。直到几百公里高度，中性大气是构成大气的主要成分。从地面开始，大气可分为五层，即对流层、平流层、中间层、热层和外层，其中平流层和中间层称为中层大气。

大气的分层是由加热和冷却之间的局地平衡决定的。从地面约到 13 公里高度，温度随高度降低，这一层称为对流层，是天气活动的区域。约从 13 公里至 50 公里高度左右，温度随高度略有增加，这层称为平流层（过去也称同温层），平流层顶处于 50 公里左右，平流层中臭氧浓度较高，最高浓度是出现在 25 公里附近。从平流层顶约到 80 公里，温度随高度明显地降低，这一层称为中间层，中层顶约处于 80—90 公里高度范围。从中层顶一直到 500 公里左右，温度随高度显著增高，可高达 1400K，故这层称为热层，热层顶约处于 500 公里高度左右。热层顶以上温度随高度不变，称为外层。

热层大气直接受太阳活动和磁层扰动的影响，当磁层亚暴和磁暴时，热层大气的温度和密度可显著增加，有时可增加一个数量级以上，这对航天器轨道有很大的影响。

三、空间环境变化对人类活动的影响

随着经济和社会发展的需要，人类活动的空间范围日益扩大，地球空间

已成为人类经济活动的主要场所，各种应用卫星，包括通信卫星、气象卫星、资源卫星以及导航和定位卫星等，都是在地球空间环境中运行的。地球空间环境直接受太阳活动的控制，经常发生一些暴发性的扰动，如磁层亚暴、磁层暴、电离层暴和电离层骚扰等。这些空间暴会引起地球空间环境的剧烈变化，对各种应用卫星和宇航员的安全产生严重的影响。磁层中的各种粒子事件会使卫星系统产生不同形式的故障，如单粒子反转事件、辐射损伤和卫星充电和放电等，致使卫星系统不能正常工作，甚至完全失灵。电离层扰动会引起通信中断，显著影响导航和定位的精度。高层大气密度的变化严重影响飞行器的轨道和寿命，高层大气的氧原子会使飞行器表面和太阳能电池受到剥蚀损伤。近年来发现，地球电磁环境的变化，可使高压输电系统、长距离的输油管和输气管道受到损伤。

自从卫星上天以来，曾对卫星系统发生的故障作了一些调查分析，据统计，1971年2月至1986年11月美国卫星出现的1589次异常事故中，有70%与空间环境有关，其中由高能粒子引起的单粒子反转事件有621起。单粒子反转事件可引起航天器控制系统的逻辑状态紊乱和CMOS电路的锁定，是经常出现的一种事故。美国TORS—1卫星在1983年4月到1993年10月间，共记录到单粒子反转事件4468次。空间等离子体可使卫星表面带上很高的负电位（有时可高达万伏以上），是引起卫星事故的重要因素之一。美国P72—8卫星专门研究了卫星充电事件和静电放电过程，证实了卫星充放电和卫星故障的原因。故障分析结果表明，空间等离子体使卫星充放电引起的故障占有空间环境产生故障的1/3。

下面列举几个大的太阳爆发对空间活动和地面技术系统影响的实例。1989年10月19日一次太阳质子事件期间就记录到239次单粒子反转事件。1989年3月发生的一系列大爆发，由于电离层严重干扰曾导致西半球近60次短波通讯中断或衰减，其中两次中断长达12小时以上。1993年3月10日发生的一次7.5小时的长寿命太阳爆发，使地球轨道附近的软X射线强度增加了几千倍，大于兆电子伏的太阳质子流强度增加了数千倍，产生了长时间的磁暴。这些事件导致美国气象卫星一度中断了向地面发送云图，导航卫星几天不能正常工作，军事系统跟踪的几千个空间目标近于失踪，由于高空大气密度急剧增加，致使低轨卫星姿态几乎失去控制。这次事件还破坏了加拿大魁北克地区的供电网，使其供电中断长达9个多小时，造成严重损失。

我国因受空间环境影响而导致的航天器故障甚至失效的教训也是很深刻的。据统计，现已查明我国的通讯卫星（地球同步高度卫星）由于空间环境引发的故障，占总故障的40%，这些故障主要是由空间等离子体引起的卫星带电和高能粒子引起的单粒子反转事件而产生的。“风云卫星（B）”由于多次出现单粒子反转事件，使卫星姿态控制系统失去作用，造成卫星失效，而过早地终结了卫星的应用寿命。我国1994年发射的“实践4号”卫星对卫星带电和单粒子事件的探测结果表明，单粒子反转事件的出现率约为3.45次/天，此外还观测到带电粒子引起的CMOS锁定现象。我国也观测到在一次典型的磁层亚暴注入热等离子体事件期间，卫星表面负电位高达2000多伏。

四、空间开发利用的经济和社会效益

目前各种应用卫星已对人类的经济活动发挥了巨大的作用。“空间加工

场”和空间太阳发电站的建立，也已提到议事日程。可以预料，到 21 世纪，对空间的开发和利用必将对经济的发展发挥更大的作用。下面将对各种应用卫星的经济效益作一概述。

1. 卫星通信 现代的经济活动，迫切需要国内外的通信系统。目前卫星通信已能提供 100 多种形式的业务，包括电报、电话、传真、数据传输、电视广播、远距离教育、电视会议、银行汇兑、电子文件分发、报刊印刷、电子邮政、资料检索和计算机联网等。这些业务可产生巨大的经济效益和社会效益。

2. 气象卫星 世界上的气象卫星已构成一个全球气象信息系统，对天气预报特别是灾害性天气预报发挥了巨大的作用。据美国统计结果表明，在农业方面，如对自然灾害能有 3—5 天的预报就能减少 40% 的损失。我国在利用气象卫星进行天气、农业估产、水灾、干旱和森林火灾监测等方面，已取得了显著效益。

3. 资源环境观测卫星 目前已在开展与国民经济有关的各种业务，包括作物的估产、土壤调查、洪水灾害估计、地质资源勘察、地下水和地表水资源探测以及城市环境监测等，对经济建设起了重要作用。

4. 卫星导航和定位系统的出现，解决了大范围、全球性及高精度快速的导航和定位问题，对于保障舰船、飞机和地面车辆的航行安全及增加运输效率起了重要作用。利用定位系统进行大地测量，对于矿产和石油部门的资源勘探、地震预报、水灾测报、森林防火测报等有重要的应用价值。

5. 空间微重力环境中的材料炼制，是空间应用的新领域。利用空间的超高真空、微重力和超洁净环境，可以制备地面上无法制造的晶体、合金、玻璃和陶瓷以及生物材料等。

6. 空间太阳能发电卫星是人类向空间索取能源的重要途径，预计在下个世纪初期将会实现这一目标，一个大的空间太阳能发电卫星，可发出数十亿瓦的电能，这将对经济发展发挥重大作用。

五、人为活动对空间环境和生态的影响

除天然活动（太阳活动和火山爆发等）对地球空间环境有重要的影响外，人类的地面活动和空间活动也对地球空间环境产生显著的影响，这是一个值得十分重视的问题。

随着工业的发展，煤碳、石油的燃烧及氟氯剂致冷电冰箱的使用日益增加，这些人为活动向大气中排放大量的 CO_2 和氟氯烃等化合物。 CO_2 可引起大气的温室效应，而氟氯烃化合物则显著影响大气中的臭氧含量，现已确认，南北两极的臭氧洞和大气中臭氧含量的减少是由氟氯烃对臭氧层的破坏引起的。另外，大型的平流层超声速运输机队逐日增加，这些大型飞机排出的氧化氮和水汽也可引起平流层臭氧含量的显著减少。由于臭氧几乎吸收了进入大气层的全部潜在致命的太阳紫外辐射，因此它在保护地球上的生命方面起着重要的作用。特别是波长范围为 280—320nm 的 B 紫外辐射（也称生物紫外辐射），能直接杀伤生命细胞。如臭氧减少，到达地面的 B 紫外线增加，这对地面上的生命有机体将起破坏作用，影响人类的生存环境和生态。必须指出，随着空间活动的日益增加，空间活动对地球空间环境也会产生显著的影响。例如，空间太阳能发电卫星即将成为现实，运载发电卫星的巨型

助推器所造成的平流层和电离层的化学扰动是严重的。将太阳能发电卫星由低轨推入同步轨道的离子发动机对磁层和电离层的影响，以及数十亿瓦的微波能量通过磁层和电离层时对地球空间环境的影响等，这些问题都是需要认真研究的。

六、对日地空间物理探测和研究的展望及发展日地空间物理的建议

三十多年来，日地空间物理监测和研究取得很大进展。90年代是国际日地物理探测和研究的一次飞越。开展空前规模的国际合作，同时实施几个重要的国际合作计划，包括国际日地物理计划（ISTP）、国际能量计划（STEP）和地球空间环境模式（GEM）计划，此外，美国还制定了“空间天气计划”。90年代的日地空间探测有些创新，ISTP计划发射14颗卫星，分别布置在日地空间的主要区域，对整个日地系统进行了协调探测。主要新创举是：发射星簇卫星（Cluster）探测过去难以实现的地球空间等离子体环境的三维中小尺度结构，分辨其时空变化。

目前除Cluster卫星因阿丽亚娜5型火箭首次发射失败而未如期发射外，所有计划发射的卫星都已发射，已在日地空间各区域进行探测。现欧空局正在制定新的Cluster计划，在1997年先发射Cluster—5与ISTP的多颗卫星配合。另外，计划再研制4颗Cluster卫星，在2000年左右发射。预期在本世纪的最后5年，日地空间物理研究将有一些突破性的进展。

展望21世纪，2000年2015年期间，日地空间物理的探测和研究将上一个新的台阶，在日地空间将形成新的监测网。

1. 太阳风源区的局地监测

开展太阳风源区（4—10个太阳半径）、太阳极区和外月冕区（约30个太阳半径）的就地探测，在地球轨道建立太阳瞬变事件的监测网。

2. 地球磁层的成像探测和人工调控研究

利用 L_1 （ $250R_E$ ）平台、月球基地和空间站上的成像仪器，对磁层不同区域的场和等离子体进行可视化观测；采用“示踪”技术和成像技术，跟踪来源于太阳风和电离层粒子的运动；用人工方法产生极光和磁层亚暴，进一步了解磁层亚暴和磁层暴的产生机制。

3. 开展电离层和高中层大气系统的综合观测

采用综合的遥感技术，利用多颗卫星、空间站和地面系统，对这一区域的热力学、动力学、光化学和电动力学过程进行综合的观测和研究。

此外，国际空间物理界一个新动向是开展月球和火星的探测、开发和利用。

对开展我国日地空间环境监测和预报的建议：

从国际上的发展趋势看，今后十年日地空间环境的监测和预报将有一个新的飞跃。我国是一个空间大国，应在这方面作出应有的贡献。为此提出以下建议：

（1）加强空间探测与地面观测，建立空间和地面相配合的立体观测网

目前我国的空间探测与国际水平差距很大，这是限制我国空间物理发展的主要原因之一。要改变这种局面，必须采取必要的措施：

1）根据我国现有的基础和条件，订出有自己特色和可行的空间探测计划。具体建议是：搭载探测计划，在现有的卫星上（如气象卫星、通讯卫

星和资源卫星等)放置部分仪器进行探测,这些卫星在地球不同空间区域运行,可构成地球空间监测网; 发展小型探测卫星,小型卫星造价低,研制周期短,不需要大推力的火箭,便于布点探测,构成小卫星探测网; 提高空间探测仪器的水平,发展新的探测仪器。

2) 建立综合的地面观测链。我国幅员辽阔,处于中低纬地区,在全球的地面观测系统中占有重要地位。现我国空间物理界已向国家提出申请,建立空间环境综合监测子午链,并与邻近国家合作,构成从南极到北极的子午链,进入全球空间环境监测网,为实现我国空间物理研究的飞跃打下基础。

3) 建立全国的空间物理环境数据联网系统,并加入全球的数据网。

(2) 加强日地空间物理的理论及空间环境预报和应用研究

40 年来,航天事业发展的历史及空间研究结果表明,空间环境对空间活动有十分重要的影响,空间物理研究和空间环境预报对空间技术的发展及对卫星的安全保障起着重要的作用。

空间物理研究可为空间开发利用和空间保障措施提出新的途径。对空间活动的安全保障措施需要空间物理研究的配合,例如卫星系统抗辐射加固研究,对保障航天活动安全是十分重要的一种措施。为了研究加固方法,评估加固水平,必须先在地面模拟空间辐射环境对卫星系统影响的实验条件,这需要许多空间物理知识。再如,要消除空间等离子体对卫星表面充放电的影响,需要进行卫星电位的控制实验,这需要研究空间等离子体环境变化的规律及其与航天器的相互作用过程。

随着卫星仪器系统的不断革新和发展,空间环境对卫星系统会引起新的故障形式,分析新的故障和对这些故障采取防护措施,会对空间物理研究提出新的要求,同时也要求空间物理研究有进一步的发展。

(3) 加强国际合作。

(4) 建立国家级的日地空间环境研究和预报机构,加强全国性的计划、组织、协调和管理工作。

人类的起源和进化

吴汝康

中国科学院古脊椎动物与古人类研究所

吴汝康 古人类学家。1916 年 2 月 19 日生于江苏武进。1940 年获中央大学学士学位。1947 年获美国圣路易斯华盛顿大学医学院硕士学位，1949 年获该校博士学位。中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员。1980 年当选为中国科学院院士（学部委员）。精于人体解剖学和古人类学研究。

人类起源问题是一个大家感兴趣的重要理论问题，是建立辩证唯物主义世界观的重要科学根据之一。要建立正确的世界观，首先要对我们自身的来源和发展过程有正确的认识。

人类的出现是地球上的一个重大事件。科学界普遍承认人是从古猿进化来的，不是上帝或神造的，那么人类在什么时候从猿的进化系统中分化出来？最早的人类的标志是什么？这些都是古人类学研究的问题。

一、什么是人的标志？

自古以来，人就有着各种定义。古希腊的柏拉图说，人是“没有羽毛的两足动物”。他的一位同事和他开玩笑，从市场上买了一只去毛的鹅，拿到学院里说：这是柏拉图的人。从此人有了一个绰号叫“柏拉图的鹅”。

1871 年达尔文在《人类的由来和性的选择》一书中提出：人类的特征是两足直立行走，大的脑子和高的智力。

这些人类的特征是现代人所具有的。但是它们是怎样起源的？是同时起源的还是不同时期起源的？如果不是同时起源的，那么什么特征最先发生？以什么特征作为人的系统开始的标志呢？

由于一般都认为人是“万物之灵”，人的特点是有特别发达的脑子，有高度的智慧，因而长时期来都把大的脑子作为人的特征，是大的脑子在人类进化过程中起着主要的作用。

是人还是猿？直接的实物证据是化石。

1890 年至 1892 年，在印度尼西亚爪哇（当时是荷属东印度群岛的一部分）发现了一小块下颌骨、一根大腿骨和一个头盖骨。头盖骨带有明显的如猿的原始性状，如眉脊粗壮、头骨低平、骨壁很厚，脑量不过 800 毫升，比现代人的平均 1350 毫升要小得多，可是大腿骨和现代人的很近似，表明已能像现代人那样地直立行走。这个发现究竟是人还是猿？引起了长时期的激烈争论。

1924 年在南非汤恩发现了定名为南方古猿的一个头骨，当时定为大约 6 岁。根据新定的标准，应为刚过 3 岁的小孩的，犬齿小，颅底的枕骨大孔在较前的部位，表明它已能两足直立行走，可是脑子小，估计成年时它的脑量也不比现代的猿大，因此同样不被学术界承认它是属于人的系统。

化石的证据，表明人类的两足直立行走和大的脑子不是同时起源的。

如果以脑子的大小（脑量）作为区别人和猿的标志，那么多大的脑子才算是人呢？有人提出脑量在 750 毫升以上才算是人，以此作为人和猿的分界

的界河，可是后来发现能两足直立行走的化石的脑远比这个标准为小，而现生的大猩猩最大的脑量也有超过这个界限的，表明脑量不能作为区分人和猿的标志。于是人类学界逐渐一致认为只能以能否两足直立行走作为人和猿分界的标志，能两足直立行走的高等灵长类便归入人的系统，分类上列为人科。

二、人类的历史有多久？分为几个阶段？

是人还是猿？直接的实物证据是化石。首先要对各种猿类化石和人类化石从形态上进行比较解剖学的研究，还要用各种测定年代的方法测定它们的相对年代和绝对年代，这是一个方面。另一方面从现在各地的人和各种猿以及其他的高等灵长类动物的蛋白质大分子的研究，从它们差别的大小，根据变异的速度来计算它们起源的年代。结合这两方面的证据以及其他有关的资料，现今人类学界一般估计大约在距今七八百万年前，古猿转变成两足直立行走的人类始祖。

但是，当前在世界各地发现的人类化石，最早的只有 400 多万年，更早的人类化石还有待发现。从 400 多万年以来的人类化石来看，虽然其间还存在不少空缺，但总的来说，可以分为四个阶段，即 1. 前人阶段，2. 能人阶段，3. 直立人阶段，4. 智人阶段。

1. 前人阶段以南方古猿化石为代表，因此也叫南方古猿阶段。南方古猿化石最早是 1924 年在南非北开普省汤恩附近发现的，化石是一个小孩的头骨的大部分连着整个脑子的天然模子。由达特（R. Dart）教授进行了研究，他看到这个头骨很像猿的，但又带有人的一些性状，脑子虽小，但一些性状比黑猩猩的脑更为像人，颌骨上的臼齿也与人的相似，从头骨底部枕骨大孔的位置判断，头骨的所有者是两足直立行走的，于是 1925 年他发表文章，认为它是真正的猿和人之间的类型，是人和猿之间的“缺环”，定名为南方古猿（*Australopithecus*）。可是它究竟是人还是猿，引起了人类学界激烈的争论，因为当时人类学界一般都认为大的脑子才是人的标志。

以后在南非发现了更多的这类化石，在非洲其他部分也有这类化石发现，特别是在东非，经过多方面的研究，直到 60 年代以后，人类学界才逐渐一致肯定它是人类进化系统上最初阶段的化石，分类上归入人科，成为人科下的最早的一属。

既然南方古猿已肯定是属于人的系统，肯定是人而不是猿。那么是否改称南方古猿为南方古人呢？不能。根据国际古生物命名法规的规定，各种古生物拉丁文的分类名称一旦建立，一般不能轻易改动，以免引起混淆，因而一些学名变成了只是代表某些化石的符号，并不一定表明它的实际含义。又例如下面要提到直立人的学名，当初定名时认为它是最早开始两足直立行走的人，而以后发现了远比直立人为早的能直立行走的各种原始人类，但直立人的学名仍保持不变。南方古猿的学名也是一样。因此，在报刊上看到有关南方古猿的报道时，不要把它当作一般的古猿，它早已归入人的系统了。

南方古猿化石最早的是距今 400 多万年。这类化石可分为两种类型，纤细型和粗壮型。纤细型进一步演化成下一阶段的能人，粗壮型则在距今大约 100 万年前灭绝了。

2. 能人阶段。能人化石是 1960 年起，在东非坦桑尼亚的奥杜韦和肯尼亚的特卡纳湖岸的库彼福勒陆续发现的，最早的年代是距今 240 万年前，分类

上归入人科下面的人属能人种 (*Homo habilis*)，脑子扩大了，开始能用石块制造工具 (石器)，以后演化成下一阶段的直立人。

3. 直立人阶段。直立人通俗的名称是猿人，直立人在分类学上的学名 *Homo erectus* 译成中文是人属直立种，简称直立人，是人类的第二个种。直立人化石最早从 19 世纪末在印度尼西亚发现爪哇猿人开始，引起了是人还是猿的争论。从本世纪 20 年代后期起，在我国北京房山区周口店陆续发现了北京猿人的化石和石器，从而确立了直立人在人类进化史上的地位。直立人还带有不少类似猿的性状，所以俗称猿人，但他们已在人类的进化系统上经历了漫长的时间，已是人类发展第三阶段的人类，与古猿和现代猿有着本质的区别。

这里附带说明一下人猿和猿人的区别，两者常常混淆。猿是和人最相近的动物，于是也叫人猿或类人猿。现今全世界的猿共有四种，亚洲有长臂猿和猩猩，非洲有大猩猩和黑猩猩，其他洲没有猿类。长臂猿体形较小，也叫小猿，其他三种猿的体形较大，也叫大猿。所以简单地说，人猿是像人的猿，而猿人是像猿的人。人是从猿进化来的，但指的不是现生猿，而是古猿。

直立人化石已在亚、非、欧三洲发现。在非洲，最早的直立人化石距今的年代为 170 万年。在亚洲和欧洲，最早直立人化石的年代还有争论，不能肯定，因而一般认为直立人是起源于非洲，然后分布到亚洲和欧洲的，但最近报道，爪哇发现的猿人化石的年代为距今 180 万年前，早于非洲的猿人。由于年代测定的不稳定性，目前还难于作出定论。直立人中年代较晚的是北京猿人。过去报道北京猿人中最晚的是距今 23 万年，最近报道是 40 万年。直立人之后是智人。

4. 智人阶段。智人一般又分为早期智人 (远古智人) 和晚期智人 (现代人)。晚期智人从距今十多万年前开始，其解剖结构已和现代人相似，因此又称解剖上的现代人。

三、人类发展过程中怎样变化？

传统的达尔文的进化论认为，新的物种是由缓慢的、逐渐发展的变异而形成的。在 70 年代，美国的埃尔德里奇 (N.Eldredge) 和古尔德 (S.J.Gould) 提出了新的理论，认为生物的进化过程是一个长期停滞和不断地为迅速发生的成种事件所间断的历史，新种形成是一个迅速的变化，分支为两个或几个种，人类的进化过程是怎样变化的？符合于哪一种理论呢？

上面已经说过，南方古猿纤细型的种大约在距今 240 万年前演变成能人，在它演变的漫长过程中，虽然现有的化石还有长时期的空缺，但总的来看，是经过长期的停滞而迅速转变成新种的。能人的脑子比南方古猿的明显增大，而且开始能制造石器。

能人是利基 (L.S.B.Leakey) 等根据坦桑尼亚奥杜韦峡谷发现的化石于 1964 年命名的，以后在肯尼亚库彼福勒和其他地点也有发现。由于各地的能人化石，特别是头后骨骼的化石有很大的变异，从而发生了这些化石究竟是一个种还是两个种的问题。

1991 年英国的伍德 (B.A.Wood) 从各个方面检查了有关能人的全部材料，提出能人化石不是一个种，他认为奥杜韦的化石属于能人种，而库彼福勒的化石，一些属于能人种，另一些则是另一个种，他采用了鲁道夫人 (*Homo*

rudolfensis) 的种名。这两个种都处于最原始的人属水平。

无论能人是一个种还是两个种，它进一步发展成直立人。能人阶段的时间比较短，已发现的化石也比较少，所以它变化的快慢现在还不清楚。

直立人的脑子比能人更大了，身材也明显增大，已能制造多种类型的石器工具，确定为人属的另一个种，人属直立人种 (Homo erectus)。

1992 年伍德提出，在肯尼亚库彼福勒发现的直立人 ER3733 和 ER 3833 等比在非洲发现的其他时代较晚的直立人头骨为薄和细致，还有其他一些与智人较为相近的性状，因而他同意把这些较早的标本从直立人中分离出来，归入另一个与之密切相关的种叫匠人 (Homo ergaster)，他认为匠人出现的时间较早，但形态上却更近于其后的人类主干，但也有人认为目前还不能肯定它是一个新种。

从现有的资料来说，直立人最早在距今接近 200 万年前出现，随后发现于亚、非、欧各洲，他们之间的相互关系，现在还不清楚。这个阶段的人类持续了很长时间，直到距今 40 万年前。在这漫长的时间内，他们的形态变化不太大，一般认为，总的来看，是处于一种停滞状态，就他们制作的石器来说，也没有很大的改进。

直立人之后是智人阶段。

智人的脑量更大，在 1300 毫升以上，体质形态比直立人进步，逐渐与现代人相似而发展成为现代人。

从上述的人类整个发展过程来看，是一个不断变化的过程，经历了几次长时间缓慢停滞的渐变和短时间迅速的突变的交替过程。

四、人类起源于何处？

古猿怎样演变成人？有着种种说法。根据现有的各种有关资料，一般设想，古猿生活在森林中，在树上攀援时身体处于直立的位置，在地面活动时身体处于半直立的位置。体型比现生的大猿为小，四肢不像现生的猿那样特化。一旦气候突然变得寒冷干旱时，森林大片消失，它为了生存，获取食物，必须经常到林间的地面上活动，使用棍棒在半干旱的空旷地区采集和食用草籽和根茎并防卫自身，逐渐形成了两足直立行走的步态，解放出来的前肢成了双手，也便于携带食物。

达尔文在 1871 年提出，人类的诞生地是非洲，当时还没有发现智人以前的早期人类化石，他的理由是，与人类最相近的动物是大猩猩和黑猩猩这两种猿，如今都生存在非洲，因而我们最早的祖先更可能是在非洲。达尔文的这个观点没有被普遍接受。许多人认为像人类这样高贵的神物不可能起源于黑暗大陆的非洲。

19 世纪后期，德国的海克尔 (E.H.Haeckel) 提出人类起源于亚洲，因为亚洲的长臂猿和猩猩与人相似的程度大于非洲的猿类，由此他推测东南亚是人类的诞生地。

海克尔的信徒之一、荷兰的杜布哇 (E.Dubois) 于 19 世纪末去印度尼西亚寻找人类祖先，发现了爪哇猿人化石，但很长时间不被承认。

纽约美国自然博物馆馆长奥斯本 (H.F.Osborn)，认为亚洲位于其他大洲的中央，是各大类哺乳动物起源的地方，有着详细的气候变化的记录，特别是中亚高原，南面喜马拉雅山的升高，会使中亚造成干燥的时期。这种环

境变化迫使古猿适应新的环境，结果促成人类的诞生。由于他的影响，在美国自然博物馆的支持下，于本世纪上半中期组织了一系列亚洲的考察，但没有发现人类化石。

从 1927 年开始，在我国北京附近的周口店进行了系统的发掘，首先发现了牙齿，定名为中国猿人（后来改称北京猿人），1929 年底，由裴文中负责发掘工作，发现了第一个北京猿人头盖骨，由此被作为人类起源于亚洲的证据。

但是，从 1924 年起，先是在南非汤恩发现了南方古猿的化石，以后在南非的其他几个地点也发现了同类的化石，特别是从 60 年代末开始，在东非的许多地点发现了多种南方古猿类的化石，它的系统地位，经过多年的争论，从 70 年代以来被人类学界一致承认是属于人的系统，是人类发展的第一个阶段，它们的形态远比亚洲的猿人为原始，年代远比后者为早，从而又提出了人类起源于非洲的论点。

由于非洲的早期人类化石主要发现于东非，因此对东非的古环境怎样促使人类的诞生，有着许多论述。

整个非洲大陆原先覆盖着一片森林，在大约距今 1000 万年前开始，东部下面的地壳逐渐发生变化，沿着从今天的坦桑尼亚、肯尼亚、埃塞俄比亚到红海一线裂开，使肯尼亚和埃塞俄比亚东部的陆地上升，形成海拔 270 米以上的大高地，在东非形成了从北到南的一条长而弯曲的峡谷，深达几百米，叫做东非大裂谷。

大裂谷的形成改变了非洲的地貌和气候，以前从西到东的一致的气流被破坏了，隆起的高地使东部的地面成了少雨的地区，丧失了森林生存的条件，连续的森林覆盖开始断裂成一片片的树林，形成一种片林、疏林和灌木地的镶嵌生态环境，东西动物群的交往也受到了阻碍。

在 60 年代，荷兰阿姆斯特丹大学的生态学家科特兰特（A.Kortlandt）就提出了人和猿在非洲的分歧是由于东非大裂谷形成的假设。1994 年 5 月法国的古人类学家柯盘斯（Yves Coppens）发表文章说，距今 300 万年以上的人科化石的地点，都是在大裂谷东边的埃塞俄比亚、肯尼亚和坦桑尼亚发现的，没有例外；而在这个时期里，这个地区却没有发现任何有关大猩猩和黑猩猩的化石。他的解释是裂谷形成以后，西边由大西洋来的气流照常带来雨量，而东边则由于上升的青藏高原西缘的阻碍，形成季节性的季风。因而原先的非洲广大地区，分为两种不同的气候和植被。西边仍旧湿润，而东边则变得干旱；西边保持着森林和林地，东边则成为空旷的稀树草原。由于这种情况产生的压力，人猿的共同祖先也发生了分裂。西边的较大居群的共同祖先的后裔适应于湿润的森林环境，成为两种大猿；而东边的较小居群的共同祖先的后裔则相反，出现了一种全新的对空旷环境适应的新生活，成为人科成员。这种假设被叫做“东边的故事”（East Side Story），但也有不同的意见。1995 年 11 月，英国的《自然》杂志上又提出了“西边的故事”（West Side Story）的问题。美国的古人类学家布鲁内特（Michel Brunet）在非洲的乍得发现了南方古猿的部分下颌骨，其年代为距今 300—350 万年。乍得位于西方大约 5,400 公里的非洲大陆中心，因而布鲁内特说：“人类起源不只是东边的故事，也是西边的故事”。

从以上历史情况的叙述，可知近 100 多年来，人类诞生地是非洲还是亚洲，已有过反复。目前在非洲发现的人科化石还只有 400 多万年，更早的化

石还没有可靠的资料，因而现在还不能肯定非洲是人类最早起源的地方，也不能排除人类起源于亚洲的可能性，特别是中国，拥有广大的新生代地层，有温暖和寒冷气候的变化交替的记录，在这些地层中已发现了大量的高等哺乳动物化石的灵长类化石，特别是多种古猿化石，如第三纪的森林古猿、禄丰古猿、上新猿等，最近还在江苏、山西等地发现了可能是距今 4000 万年前后的高等灵长类化石，另外还有一些零星的可能是早期人科成员和早期旧石器文化的线索，有待我们在中国广大地区去调查和发掘。

五、现代人起源于何处？

现代人的起源与人类起源有着不同的含义，现代人的起源是指现在生活在世界上不同地区的黄种人、白种人、黑种人和棕种人，他们是怎样起源的，也就是说早期人类是怎样演变成人的问题，是从人到人的问题。而人类的起源指的主要是古猿怎样演变成现代人的问题，是从猿到人的问题，以及早期人类怎样演变成较晚人类的问题，在时间上非常久远。现代人的起源只是指在人类进化的历史长河中离现代最近的一段，是整个人类进化历史的一个局部，一个阶段，近一个时期来有些报道把现代人的起源误解成是人类的起源，把整体与局部混同起来，使读者发生混淆。

关于现代人的起源，有两种理论：一种叫“单一地区起源说”。这种理论认为现代人是某一地区的早期智人“侵入”世界各地而形成的，这个地区过去认为是亚洲西部，近年来则改为非洲南部；另一种叫“多地区起源说”。这种理论认为亚、非、欧各洲的现代人，都是由当地的早期智人以至猿人演化而来的。这两种理论长期争论不休，1987 年以来又开始激烈争论起来。

1967 年，美国伯克利加州大学的生物化学与分子生物学教授艾伦·威尔逊（Allan Wilson）等提出了分子钟的假设，用免疫测量法确定各种灵长类血液白蛋白的不同分量，从而推算出各种灵长类系统分离的时间，其结果是人属与黑猩猩属、大猩猩属分离的时间在距今 500 万年前。

后来，这个研究组进一步做了实验。他们选择了其祖先来自非洲、欧洲、中东和亚洲的妇女，以及新几内亚和澳大利亚的土著妇女共 147 人，利用她们生产婴儿时的胎盘，分析了胎盘细胞内的线粒体的脱氧核糖核酸（DNA）。

线粒体在细胞核之外，它产生维持细胞生活的几乎全部能量。为什么要分析线粒体的 DNA 呢？这是因为线粒体的 DNA 与婴儿细胞核内的决定大部分身体性状的基因上的 DNA 不同。首先，线粒体的 DNA 不像细胞核里的 DNA 那样是双亲基因的混合，由双亲遗传；而它只由母体遗传。其原因是精子的线粒体都在尾部，而受精时只有精子的头部进入卵子，尾部没有进入受精卵，其线粒体也就消失了。

另外，线粒体 DNA 演变的速度，比细胞核 DNA 的快 5—10 倍，因而在同一时期内，它能够积累多得多的变化。由于线粒体 DNA 只有由亲体之一的母体而来，因而它显示出来的差别，不是由于基因的重组合，而是由于基因的突变。

伯克利加州大学的这个研究组发现，不同类型的线粒体 DNA，有些互相相似，有些则差别很大。他们依据这些分析结果作了一个表示其相互亲缘关系的“系统树”，结果是这株“树”来自单一的共同祖先，而后很快分成两支，一支的线粒体 DNA 都是从非洲祖先而来的个体，另一支则来自非洲、亚

洲、澳洲、高加索和巴布亚新几内亚的祖先。对于这种情况的最简单的解释是，其共同祖先来自非洲。根据已知的线粒体 DNA 突变的速度，计算其年代为距今 14 万到 29 万年，平均为 20 万年。

根据这种实验结果，1987 年初威尔逊等人提出，所有婴儿的线粒体 DNA 向前追踪，最后会追到大约在 20 万年（14 万—29 万年的平均数）前生活在非洲的一个妇女，多达上万人的群体中的一个，这个妇女是现今全世界人的祖先。大约在 13 万年（9 万—18 万年的平均数）前，她的一群后裔离开了他们生活的非洲家乡，分散到了世界各地，代替了当地的土著居民，最后在全球定居下来，演化成了现代的不同人种。有些西方记者为了吸引读者，他们采用《圣经》中的说法。在介绍这种理论时，把这个非洲妇女叫做“夏娃”；于是有人把这种理论叫做“夏娃理论”。这个理论提出后，立即引起了激烈的争论。遗传学家中有不同的意见，古人类学家中也有不同的意见——有人热情支持，有人激烈反对。现在这种争论还在继续着。从目前的情况来说，双方的根据都还嫌不足。我国现有的考古研究资料，支持多地区起源说，但还需要进行更多的调查发掘工作，发现更多的化石，来证实这种理论。

六、现在的人是否还在进化？

一般讲的人类进化，是讲原始的、早期的人类怎样进化到现代人的过程，不涉及现在的人的进化。那么，现在的人是否还在进化？这是一个有趣的问题。

人是从古猿进化来的，人类体质形态在进化过程中发生了很大的变化。但发展成现代人后，形态结构已经基本上定型，变化是很小的了。如身高有微小的增加，牙齿的数目在减少。现代人上下颌一般各有 16 颗牙齿，总共是 32 颗牙齿。但有人上颌或下颌的第三臼齿（智齿）、甚至上下颌的全部第三臼齿，终生不再萌出，所以总共只有 30 颗甚至 28 颗牙齿。我现在已 81 岁，就只有 28 颗牙齿。我们脚的小趾节有减少一节的趋势；我们肋骨的最下一对（第 12 肋）可以很短，也有消失的趋势，脑的结构可能更加精致，但是这些都是很缓慢的过程。现代人的进化主要表现在体外进化和精神进化两方面。

1. 人的体外进化

人类的重要性之一是能制造和使用工具，从事生产实践活动，因而工具是人的肢体的延伸和增强。

各式各样的工具，刀、斧、铲、锄、水轮、风车以至舟、车、飞机等，都是人的肢体的延伸，从而大大提高了功效。力学和相应的技术的发展，为肢体的延伸开拓了广阔的前景。

人脑要发挥作用，需要不断获得外界的信息。而外界信息来自各种感觉器官，特别是作为视觉器官的眼睛。由于科学技术的发展，各种各样的感觉器官辅助工具不断出现。望远镜、射电望远镜使人的视力越过了银河系；显微镜、电子显微镜使人的视力深入到微观世界。光学、声学、电磁学等领域的成就大大提高了感觉器官所涉及的广度和深度。这是人的感觉器官在体外的延伸。

人通过认识自然来改造自然，而认识能力提高的途径之一是通过感觉器官在体外的延伸来改善知觉能力。借助于各种科学仪器，可接收的信息大大增加，其功效也愈来愈大。

电子计算机的出现和一代一代地更新，开辟了人工智能的道路，达到了人脑在体外的延伸，即将推出的崭新的智能计算机系统，它能看、听、说、画，使用有限的自然语言与人们交换信息。

人工智能是人类智能的产物，又补充了人类智能的不足。电脑并不是人脑，但却是人脑的延伸。人类在发展到其生活离不开电脑的时代，电脑就愈来愈成为人脑在功能上不可分割的辅助物，以致终于成为受人脑和电脑一起控制的人。

在从猿到人的进化过程中，首先是上肢从支持作用中解放出来，两足直立行走，直立姿势为感觉器官获得更多的外界信息提供了条件。外界信息量的增加，促进了脑的发达，以至脑在体外的延伸，这种人的体外进化的顺序，与从猿到人的进化过程的顺序有着明显的一致性。

现在我们已进入了信息时代。近十多年来，西方国家相当流行的认识是，信息技术就是 3C。计算机（computer），把计算机互连起来的通信网络（communication）计算机与通信所产生的信息还必须通过控制（control）技术才能对外界产生效应，这就是所谓 3C。

但信息技术还必须包含信息的获取技术，如识别、检测、提取，就是感测技术（sensing）。再加入上述的 3C，构成一个完整的体系，用符号来表示便是 SC³。感测、通信、计算机和控制成为信息技术的“四基元”。

感觉器官有获取信息的功能，而感测技术则是感觉器官功能的延伸；传导神经网络有传递信息的功能，而通信技术是传导神经网络功能的延伸；思维器官的脑有处理信息的功能，而计算机技术则是思维器官功能的延伸；效应器官有转化和利用信息的功能，而控制技术则是效应器官功能的延伸。于是，所谓信息技术的整体，它所延伸的正是人的智力功能。

在应用电子计算机的条件下，一部分脑力劳动得到了解放，一些复杂的或繁重的脑力劳动通过简单地按电钮进行操作来实现。人工智能愈发展，人的脑力劳动的解放程度就愈大，人对体外工具和科学技术的依赖性也愈大，而人的自然存在、状态和器官的独立性也就愈小。

2. 人的精神进化

科学技术的发展还引起人的思想状态的变化，这是人的精神方面的进化。思维方式的演化和文化知识水平的提高是人的精神进化的两个重要内容。这种变化受科学技术发展的制约，且以科学技术的水平为基础。

随着科学技术的发展和生产实践方式的改变，人的思维方式也在发生变化。与个体农民劳动和手工业劳动的水平相适应，是以狭隘的经验，尤其是个人的经验为中心的思维方式。在哲学上，中国古代和希腊古代朴素的唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，但这种认识是模糊的和笼统的，缺乏对这一整体各个细节的认识能力。在工业革命的条件下，以功利主义的思维为中心，一切只顾眼前利益，走向各种极端，因而生态平衡受到工业的破坏等等。15 世纪下半叶，近代科学开始兴起，与这时机械的发达相适应，分析型的思维方式居于主导。分析方法包括实验、解剖和观察，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究，这种撇开总体的联系来考察实物和过程，在哲学上是形而上学的思维，但它在深入的、细节的考察方面比古代哲学前进了一步。

19 世纪上半叶，自然科学获得了伟大的成就，特别是能量转化定律、细胞的发现和进化论的提出，使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大提

高。到 20 世纪中期，现代科学技术的成就，为系统思想提供了定量方法和计算工具。在社会实践活动的大型化、复杂化和普遍应用信息技术的条件下，空间距离缩短，时间效果增加，速度加快。与此相对应，人的思维方式也在发生变化，其特点是综合性思维得到了重视，优先考虑整体、整体的统一性和系统性。

人的思维方式的进步和文化知识水平的提高，是人类思维和理智方面进化的延续，也是现代人的进化。

七、人类发展的前景如何？

人类生活在地球上，有关外星人的种种说法都是否定的。但世界末日之说则有悠久的历史，而且近来又甚嚣尘上。世界末日也就是人类的末日。

各种邪教鼓吹世界末日，《圣经》预测世界末日的到来，唯物主义者不相信这些说法。

有人从当前环境各个方面的恶化，如全球性饥荒，不可再生资源将很快用尽，污染将越来越严重，将出现新的冰期，臭氧洞将危及整个地球，全球变暖将导致一场气候灾难等等，预测世界末日将来临，但历史清楚地表明，人类的智慧能够战胜各种困难而继续向前发展。

在生物进化的历史上，大范围的灭绝，接着是遗留的生存类型的扩张，过去已多次出现，有两次特别严重。一次是在古生代过渡到中生代时，距今大约 2.5 亿年前；另一次是在中生代过渡到新生代或第三纪时，距今大约 6500 万年前。其原因有多种解释。

澳大利亚国立大学地球科学研究所的高级研究员伊·坎贝尔（E.Cambell）最新的研究结果表明，西伯利亚曾于 2.5 亿年前发生了迄今为止地球上最大规模的熔岩喷发，地球上 95% 的动植物随着被毁灭了。

坎贝尔推断，这次独一无二的超级熔岩喷发将大量的含硫气体喷向空中，使得大气层中充满了二氧化硫，从而遮挡了阳光对地球的照射，使全球气温下降。二氧化硫进一步形成酸雨，逐渐落回地球表面，使陆地植物和微生物死亡，而草食性、杂食性和肉食性动物相继因食物链中断而死亡。同时，酸雨也使海水酸性增强，引起水生动植物的死亡。

坎贝尔说，这次熔岩喷发的毁灭性后果在其后的几千万年间才得以逐渐消除，以后地球便进入了恐龙繁盛时期。

第二次大灾变是在距今 6500 万年前。白垩纪与第三纪的交界处发生的重大事件，以致恐龙灭绝了，还消灭了 75% 的其他物种。造成这次事件的原因，被最广泛接受的说法是一颗巨大的行星，其直径大于 10 公里的近地小天体，冲击了地球，地点在现今墨西哥的尤卡坦半岛附近，掀起的颗粒云层时间之长足以消灭所有的恐龙和一半以上的动植物。地球的各部分，无论是寒带、温带和热带的生物，都同样受害。

近年来的全球的许多地区，恰在上述时代的分界层里找到最可能是由空间来的特殊矿物，也为上述说法提供了更多的证据。

本世纪 60 年代中期和 70 年代初有人提出，由于人类的特殊性，人类有文化，就没有绝灭的问题了。但随后发现的化石表明，南方古猿有两种类型，即纤细型和粗壮型，同时生存了一百多万年之久，最后粗壮型绝灭了。原先以为能人只是一个种，近来有人提出有二个种，同时并存，其中一个种演化

成直立人，另一个种绝灭了。非洲、亚洲和欧洲各地的直立人是否各自演化成当地的智人，还是被一个地区起源的智人所替代，当前正在激烈争论之中。

有人从数学概率来推算人类的寿命。英国《自然》杂志 1993 年 5 月 27 日发表了美国普林斯顿大学的天体物理学家戈特三世 (Gott) 的文章，题目是“哥白尼原理对我们展望未来的含义”。他首先强调了人类在宇宙中没有特殊地位，然后他提出下列的方程式：

$$1/39 \text{ 过去的时间} < \text{未来的时间} < 39 \text{ 过去的时间}$$

他根据文献报道，大多数物种的平均寿命是 100—1100 万年，哺乳动物是 200 万年。智人已生活了 40 万年，代入上述的方程式，得出：

$$400,000/39 < \text{未来时间} < 39 \times 400,000$$

$$10256 \text{ 年} < \text{未来的时间} < 156 \text{ 万年}$$

于是可以计算出人类将在距今 10256 年至 156 万年之间灭绝。

有 95% 的机会。不管怎么算，人类的寿命还长着呢！我们丝毫不用担忧。

从哲学观点来说，相信宗教是唯心主义，相信科学是唯物主义，形而上学唯物主义或是辩证唯物主义。

我是相信辩证唯物主义的。生就意味着死，一切产生出来的东西，都一定要灭亡。新的事物不断地产生，旧的事物不断地灭亡，然后又是新的产生，旧的灭亡，循环不已，这是不可违抗的客观规律。就太阳系、地球、动植物和人类来说，也是如此。根据天文学家的研究，太阳大约在 50 亿年前形成，地球随着形成，估计再过 50 亿年，太阳和地球都将消亡。

用恩格斯在《自然辩证法》导言最后的几句话作为我这篇文章的终结。恩格斯说：“不论有多少百万个太阳和地球产生和灭亡，不论要经历多长的时间才能在一个太阳系内而且只在一个行星上造成有机生命的条件，不论有无数的有机物一定产生和灭亡，然后具有能思维的脑子的动物才从他们中间发展出来，在一个短时间内找到适于生活的条件，然后又残酷地被消灭，我们还是确信：物质在它的一切变化中永远是同一的，它的任何一个属性都永远不会丧失，因此，它虽然在某个时候一定以铁的必然性毁灭自己在地球上的最美的花朵——思维的精神，而在另外的某个地方和某个时候一定又以同样的铁的必然性把它重新产生出来”。

八、结语

1. 人是由古猿进化来的，而不是上帝或神创造出来的，而上帝或神却是人创造出来的，是人想象中的产物。

2. 根据各种资料判断，人类起源于距今七八百万年前，但现有的实物证据的人类化石只有 400 多万年，更早的人类化石还有待发现。

3. 人类在 400 多万年的过程中，不断发展变化，经历了多次长时间缓慢的渐变和较短时间迅速的突变的交替。

4. 古猿演变成人，是古猿的特殊内因与其生存环境的特殊外因的结合的产物；是古猿的体质结构和生活习性与外界环境、主要是气候变化相结合的产物。

5. 人类的起源与现代人的起源是两个不同的问题，虽然前者可以包括后者。人类起源的实物证据目前以非洲最多，但还不能肯定人类的诞生地是非洲，也不能排除是亚洲的可能性。现代人起源的单一地区起源说和多地区起

源说仍在激烈争论之中。

6.现在的人还在进化，但身体的变化很缓慢，主要表现在体外的进化和精神的进化。

7.我们生活在地球上，沐浴在阳光下。太阳和地球都要消亡。人类和其他事物一样，有他诞生和灭亡的客观规律，人类也要消亡，然后生命的最高形式再在另外的地方和某个时候重新产生出来。