

地球与人类文明

07 / 地球资源演化一致性

陈斌 gischen@pku.edu.cn 北京大学地球与空间科学学院

目录

- › 水循环：文明起源的前提
- › 土壤：文明起源的桥梁
- › 平原：文明起源的摇篮
- › 矿产：大自然的馈赠
- › 两条物质链：能源与金属



水循环

- › 如果只有水而没有水循环，生命可以继续存在繁衍，但人类文明却无法启动
- › 水循环中最有价值的是海陆间循环

还有内陆循环和海上内循环



水循环的作用

- › 降水促使岩石风化，加速土壤形成，从而形成浅层地下水

植物可以凭借浅层地下水脱离浅水域和沼泽地，进入更广阔生存空间

人类可以掘井找水，居住范围逐步扩大

- › 降水为陆上形成江河湖泊提供必要条件

江河形成必要条件：高差较大的地形；足够的降水。

- › 最终在陆上形成广布的淡水资源



大范围大规模水循环演化

- › 新生代之前，没有遍布内陆的河流
从风演化的角度，古生代和中生代没有足够规模的大气环流，内陆地区没有大规模降水

大陆上地势较为平坦，缺少高大山系地形

- › 河流在新生代获得大发展

进入新生代后，高大山系相继出现

全球气温持续降低，大气环流遍及全球，有大规模降水



陆地淡水系统最终形成

- › 从晚古生代生命登陆，到中生代恐龙灭绝之前，陆上淡水主要是由海退形成，淡水域外就是荒漠



陆地淡水系统最终形成

› 进入新生代后，全球性大气环流加强，为长距离水循环创造了条件；

一定规模的海洋

->足够的水面蒸发

->通过大气环流

->陆地水资源积累

->陆地蒸发结合海洋蒸发

->陆上降水逐步增加



陆地淡水系统最终形成

- › 第四纪大冰期，海洋蒸发进入内陆，通过降水形成冰川雪山，间冰期逐渐融化，成为江河湖泊地下水。



长江源头

陆上降水分布形成不同生态系统

- › 从沿海到内陆到腹地，依次形成森林到半干旱草原、荒漠
丰富的气候环境演化出不同的动植物物种
- › 全球变暖和过度开采正在消耗陆地淡水资源积累，威胁生态环境



亚洲雨林



呼伦贝尔大草原



戈壁

赤道雪山的变迁

- 联合国环境规划署(UNEP)曾给出报告，记录了这座非洲之巅的惊人变化

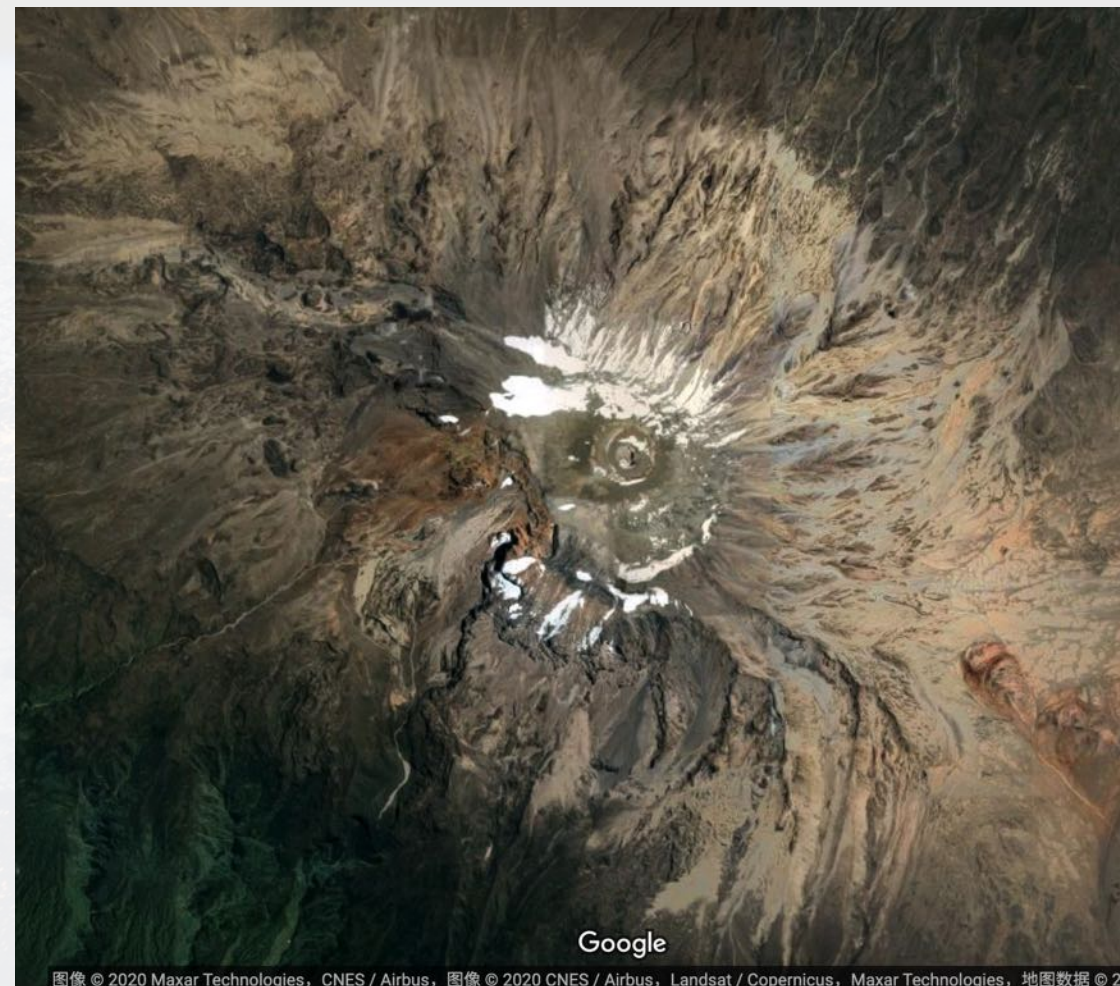
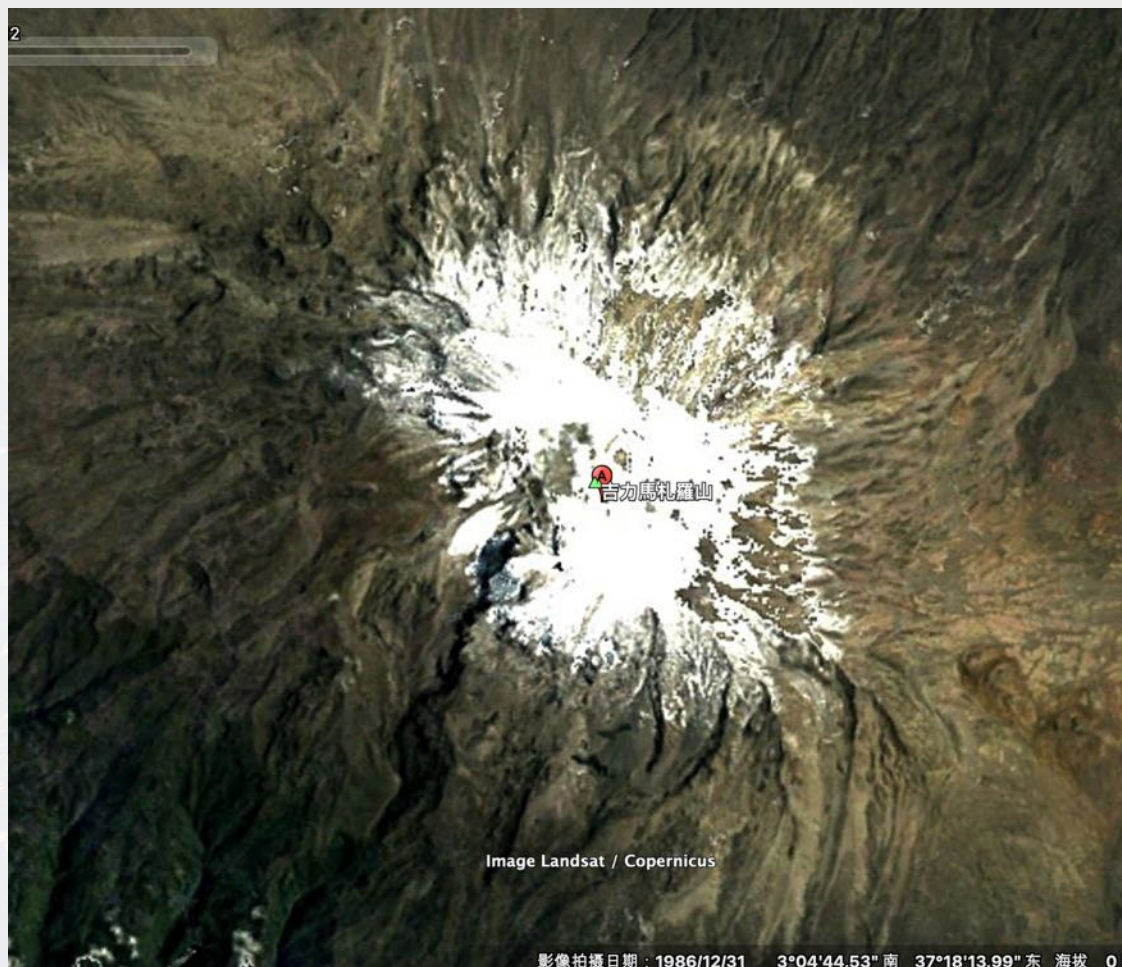
1800年，乞力马扎罗山的冰层覆盖面积为20平方公里；2007年，这一数字已变为1.85平方公里

上个世纪90年代，乞力马扎罗山的雪线还可以延伸到3200米，而到了2013年，雪线已经退缩到了4200米

- 乞力马扎罗山所在的地区气温的不断上升，导致了冰雪的不断消融，让雪线不断上移。

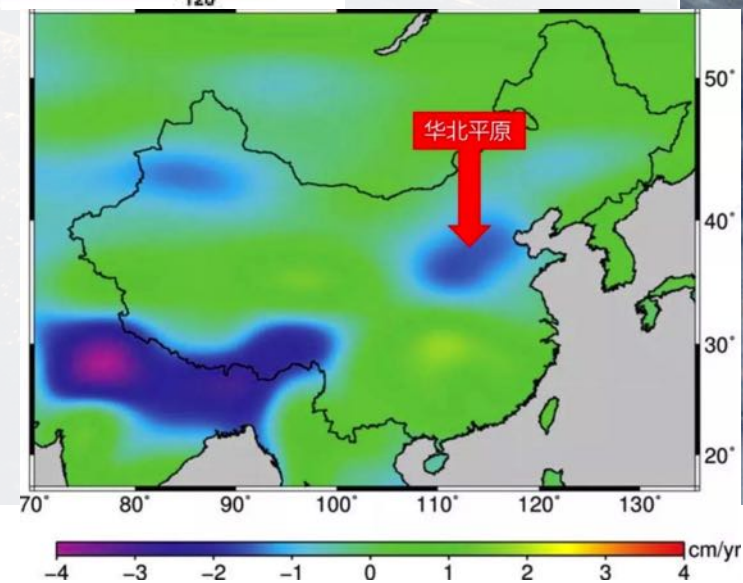
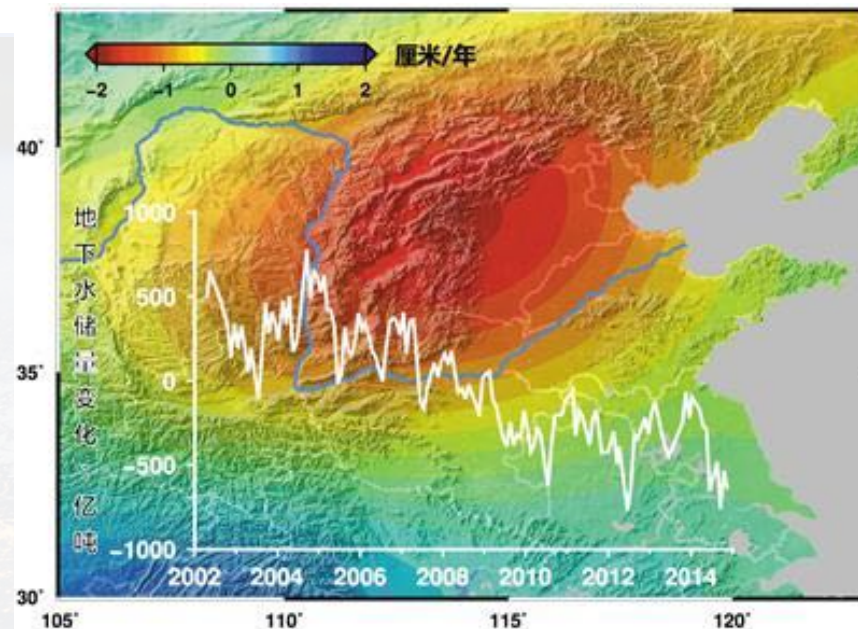


乞力马扎罗山，1986vs2020年卫星影像



重力卫星揭露华北地下水超采：年均亏损60-80亿吨

- › 截至2011年，华北平原东部深层承压地下水水位降落漏斗面积达7万多平方公里
- › 部分城市地下水水位累计下降达30-50米，局地累计水位下降超过100米，已然成为世界最大的地下水“漏斗区”
- › 华北一些城乡集中供水的水井已经打到500米深，开采到了数百万年前地质历史时期形成的地下水。
- › 拟从“南水北调工程”补充地下水



人水矛盾结苦果：多省区地下水超采形成“漏斗区”

- › 2020-1-2
- › 经济参考报

在内蒙古阴山北麓地区，种植着大面积的马铃薯、燕麦等作物，然而这里年降水量不足400毫米，属于半干旱地区，靠自然降水无法有效灌溉。近年来，旱地上竖起许多喷灌圈，种植企业和农户通过开采地下水灌溉农田。农业用水过快发展，导致浅层地下水位下降，内蒙古已形成33个大小不同的地下水超采区。

黑龙江省桦川县的一位种粮大户说：“过去打井，几米深就出水，现在打井，四五十米才见水。”黑龙江省多位基层农业干部表示，三江平原地下水超采导致地下水位降低，而且地下水水温低、有机质含量少，容易引起地表盐碱化和硬化，严重制约农业稳定和持续发展。

在安徽北部地区，由于地表水污染，保证率低，经济社会发展对水资源需求量加大，地下水被超采。安徽的超采区主要分布在阜阳市、亳州市、宿州市、淮北市以及蚌埠市5市14县（市）。安徽省水利厅资料显示，2001年至2010年，淮北平原地下水超采区25个，超采总面积3068.5平方公里，占淮北地区总面积的8%。

土壤

- › 土壤由岩石在大气温度和水循环联合作用下形成
- › 土壤是陆上生物生存发展的基础
也是走向文明起源的桥梁：栽培农业、烧陶、高温技术、冶炼金属



土壤

- › 土壤由微小颗粒构成： $<2\text{mm}$ 砂粒， $<75\mu\text{m}$ 粉砂， $<5\mu\text{m}$ 黏粒，更小的胶粒

古生代之前，陆上一直岩石裸露，有少量的砂土，并不是真正意义上的土壤

土壤中的主角是腐殖质和黏土矿物，富含多种营养，并且具有保水性，支持陆生植物生长

黏土更是陶器、冶金的重要原材料



中新网
ChinaNews.com

土壤的复杂作用

- › 极细颗粒表面带有电荷，形成电场
- › 牢牢吸附结合水，密度大于普通水，只有100-200度高温才会蒸发
- › 吸附矿物质元素离子，植物根系可以交换形式吸收营养

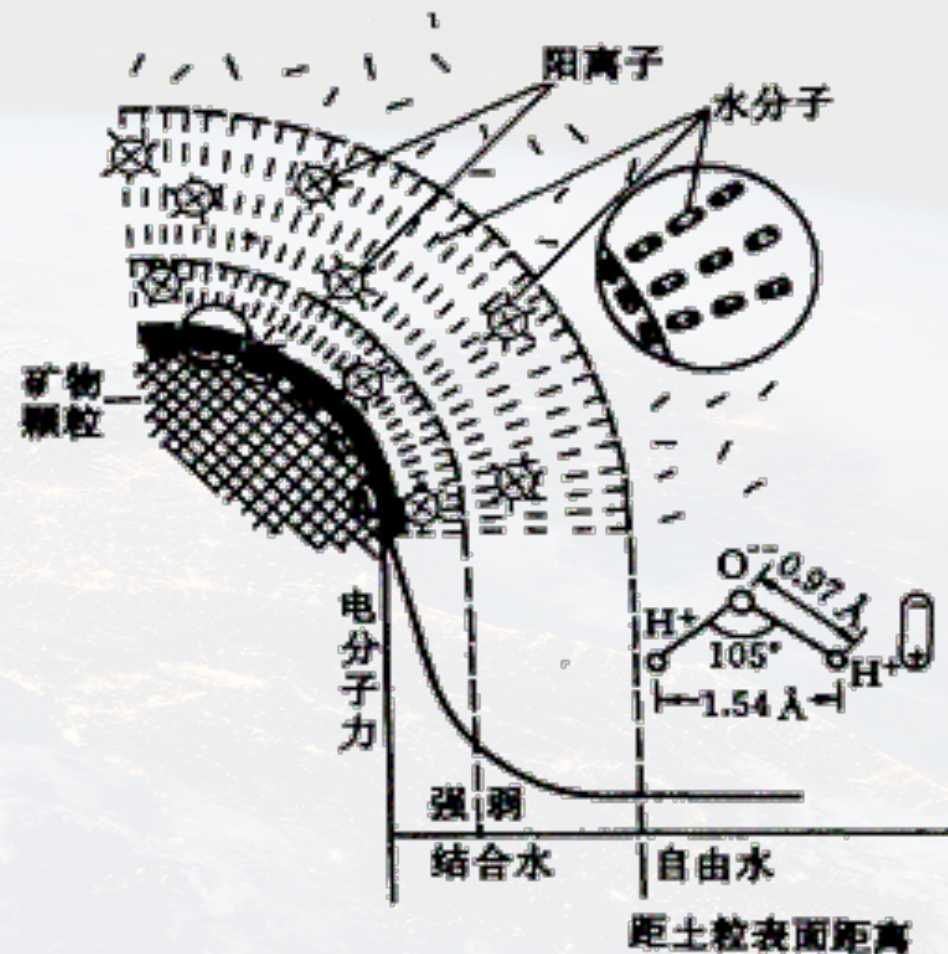
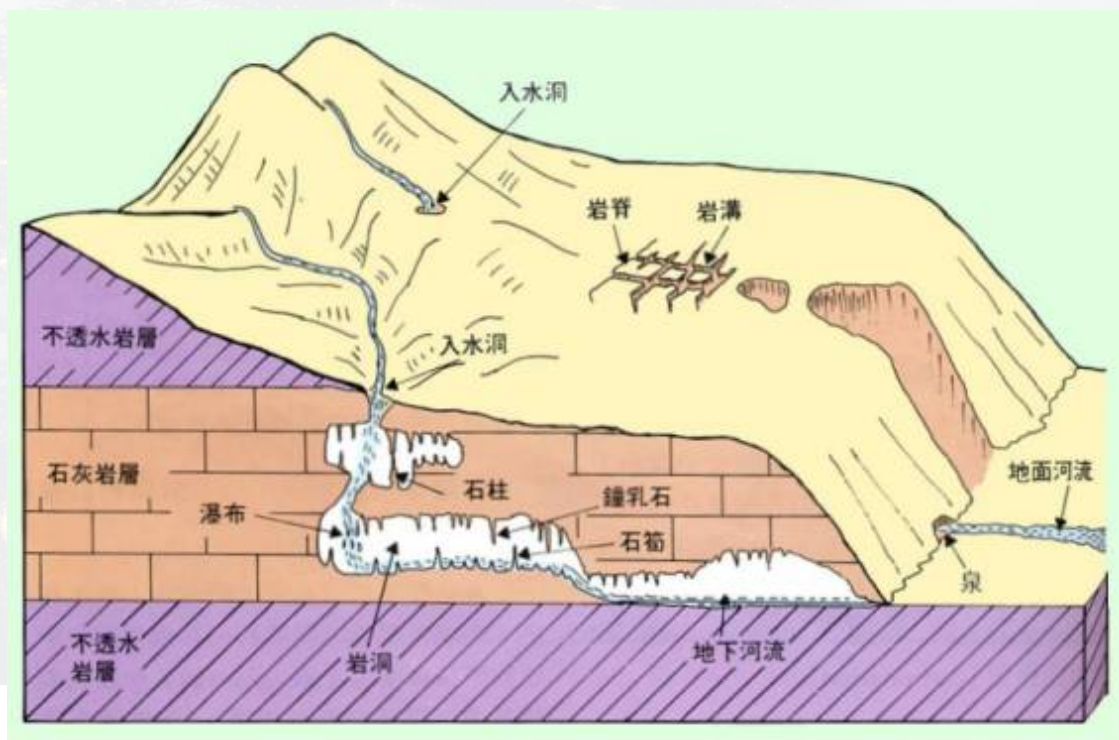
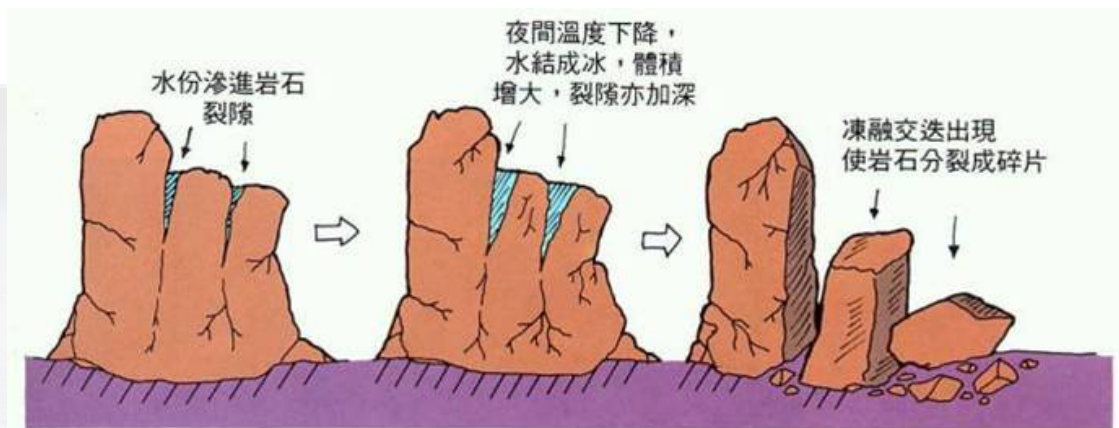


图 2.4 粘土矿物和水分子的相互作用

土壤形成过程：风化

- 物理风化将岩石破碎成小颗粒
- 化学风化进一步改变矿物成分：氧化、溶解、水化、水解、碳酸化
- 形成更小颗粒的粘土矿物，释放钾、磷、钙、镁等养分，产生蓄水性



岩石风化：物理风化



岩石风化：氧化作用

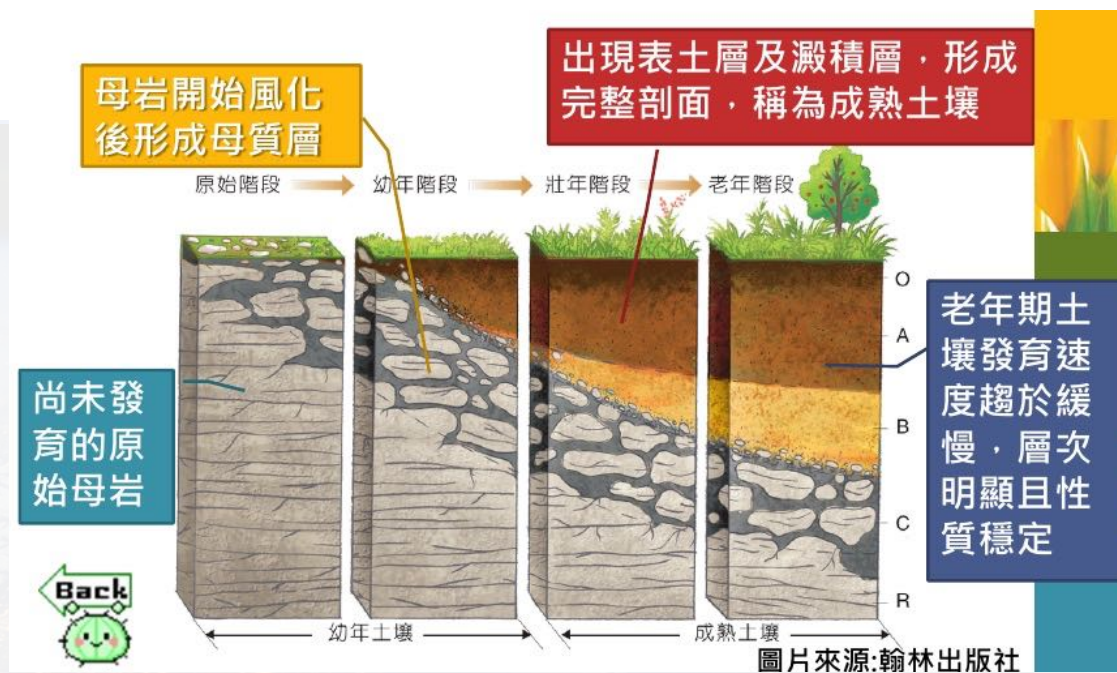


岩石风化：溶解作用



土壤形成过程：生物作用

- 微生物和低等生物在保水的风化物中繁衍，积累许多有机物和氮元素；
- 最后，高等植物和动物排泄物使得有机物更加丰富，在微生物作用下形成腐殖质；
- 最终形成肥沃的土壤



土层形成与堆积

- › 古生代、中生代没有大规模雨水作用，陆生动植物分布范围很小，仅在水域附近形成土层
- › 新生代以来，风雨规模加大，岩石风化加快，经过大风搬运和河流冲积，在平坦地形上形成极厚的土层
- › 黄土高原形成于第四纪冰期，土层厚度达250米



冲积平原：河流塑造的宝地

- › 山脉和河流的存在造就冲积平原和三角洲
- › 水力搬运岩石风化物，填平海边低洼地面，将海岸线外推；
- › 河水泛滥和改道将淤积物向更远处扩散，不断增加平原肥力

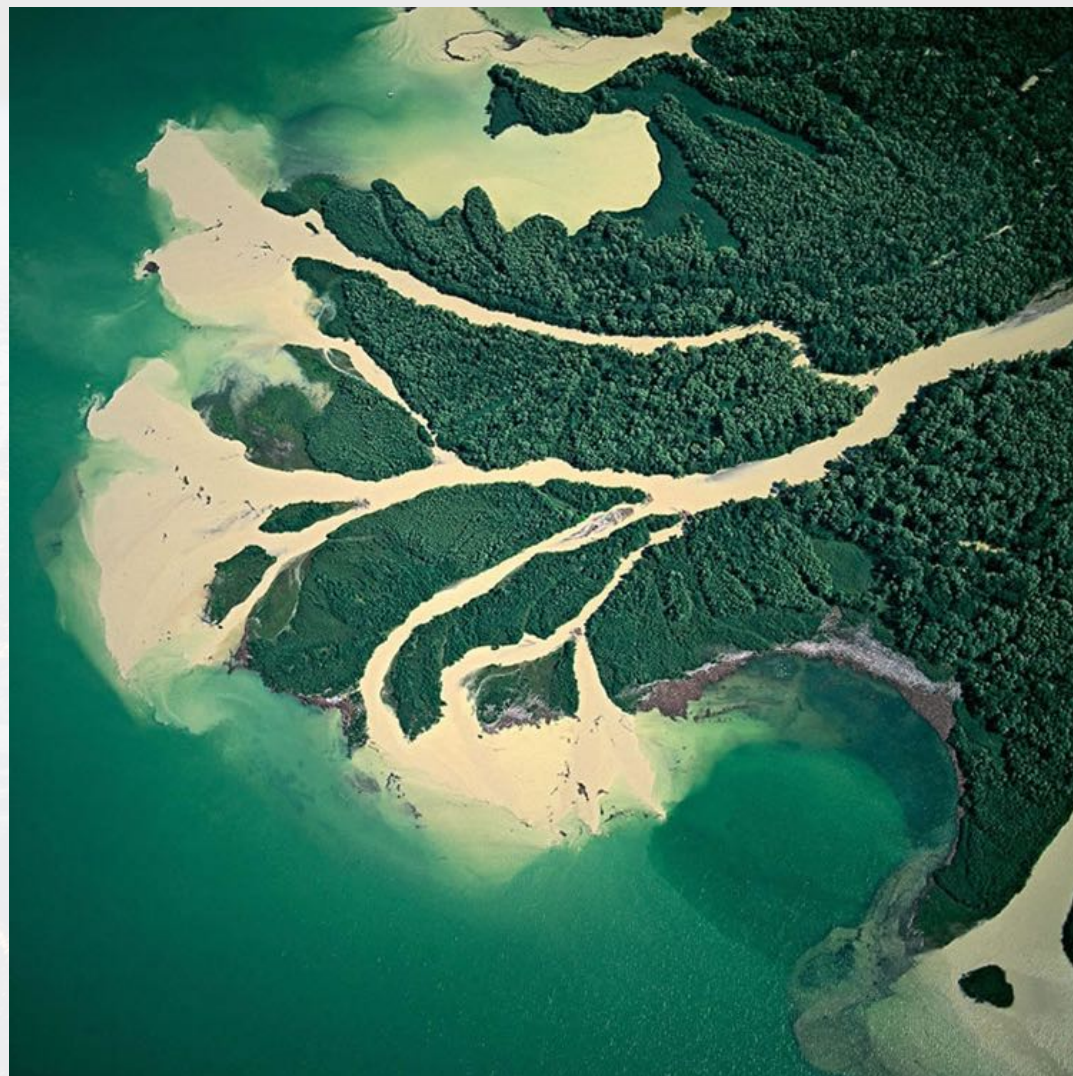


黄河三角洲和多瑙河三角洲



北京大学地球与空间科学学院/陈斌/2020

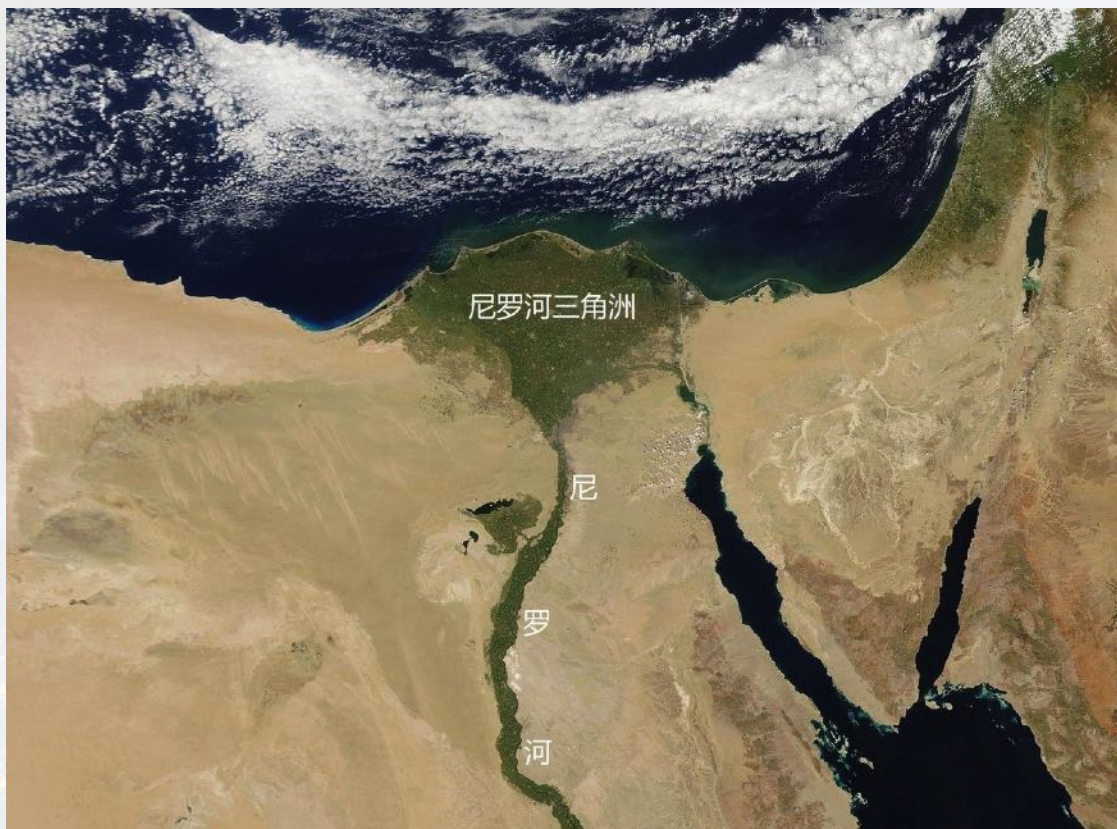
黄河三角洲



多瑙河三角洲



尼罗河三角洲和长江三角洲



尼罗河三角洲



长江三角洲

冲积平原：河流塑造的宝地

- › 与水力沉积并行的是风力搬运作用
- › 风力搬运更细的颗粒，规模也十分巨大
一次大风可以将数百万吨尘土运到数百至上千公里外沉积下来
- › 风力搬运沉积可以形成疏松多孔的风成黄土，进一步加厚疏松土层。



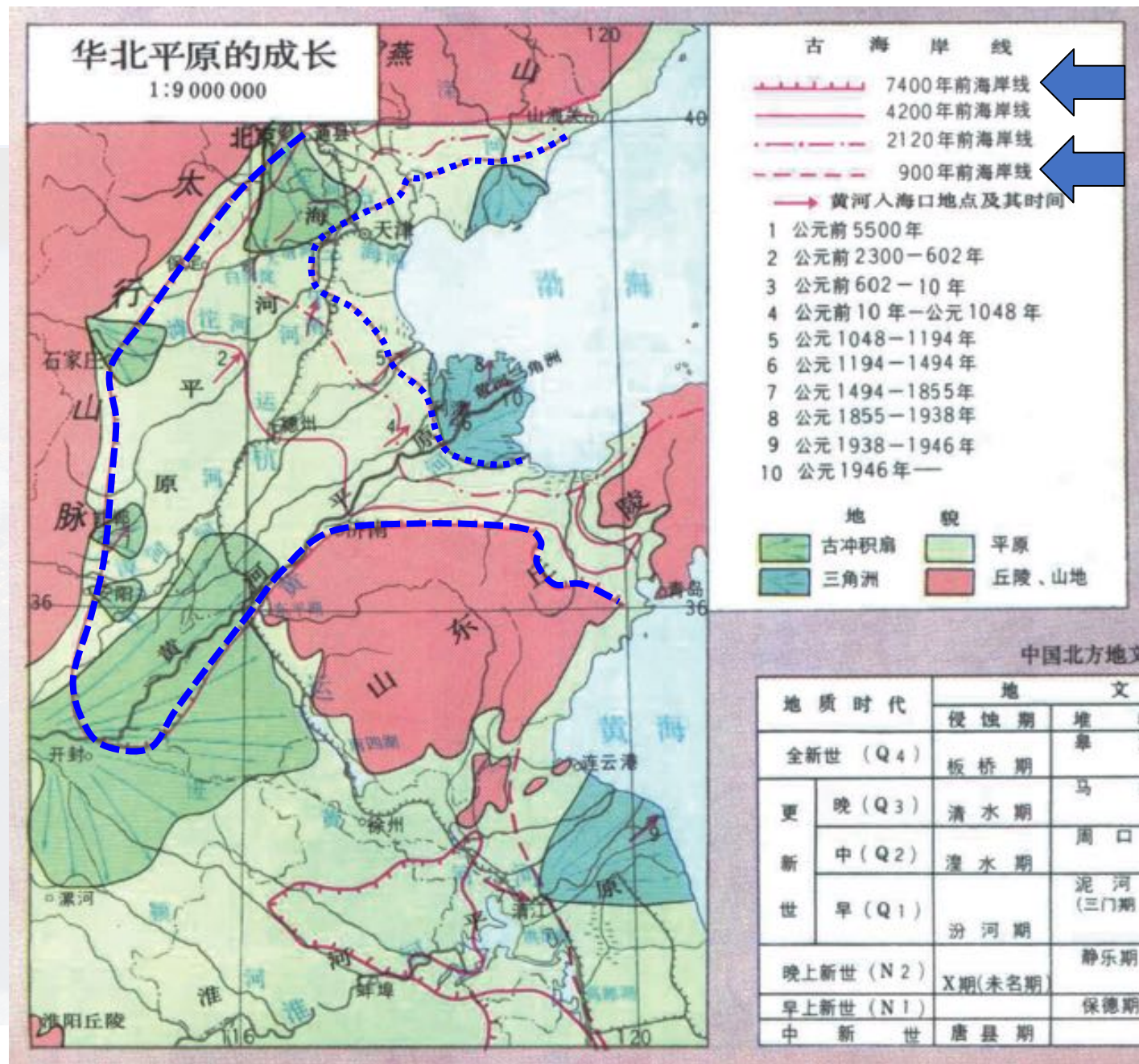
风力搬运：来自沙漠的证据

- 沙漠由风力搬运风化物形成，但在新生代以前很少有沙漠
撒哈拉沙漠在6千年前还有人类居住的痕迹，4000万年前曾经是海洋；
- 沙漠稀少的事实支持古生代、中生代没有大风存在，以及土层不丰的观点。



华北平原的形成

- 燕山山脉，太行山脉
- 永定河，滹(hu)沱河，漳河，黄河
- 黄河改道流入渤海，几个三角洲相连，最终形成华北平原
- 仅7500年前开始



仍然在高速增长的平原

- › 黄河从黄土高原携带来大量的泥沙，这些泥沙在黄河入海口堆积下来形成黄河三角洲；
- › 泥沙不断淤积，三角洲不断地向海的方向伸展、扩大，华北平原陆地面积也不断增加；
- › 从1855年至今，黄河为华北平原新增了3000平方公里左右的陆地，相当于半个上海市的面积
- › 直到今天，每年还新增20平方公里。



平原的巨大意义

- › 具有深厚土层，积蓄大量浅层地下水，为草地、湿地等环境提供物质基础；
- › 为早期人类开创原始农业提供全部必要条件；
- › 平原保有丰富的黏土，是陶器发源地

尼罗河三角洲



平原的巨大意义

- › 这些是其他地形所不具备的，对人类文明起源与发展至关重要的因素
- › 正是崛起的高大山系，在水力和风力联合作用下造就了遍布世界的平原



华北平原



长江中下游平原

人类文明所依赖的矿藏

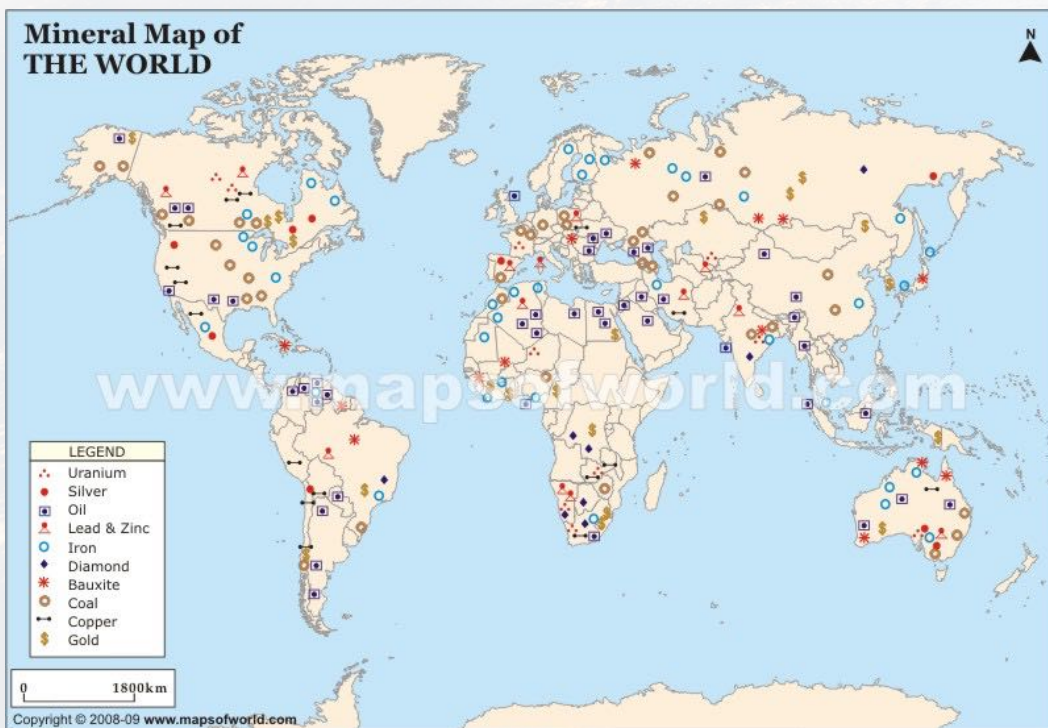


人类文明所依赖的矿藏



矿产：大自然的独有“馈赠”

- › 地壳运动的成果，出现了大气、海洋和多样的地表形状
- › 形成了散布于世界各地的矿产资源，是人类文明萌现的必要条件
- › 不但要形成，而且还要富集并有利于开采利用

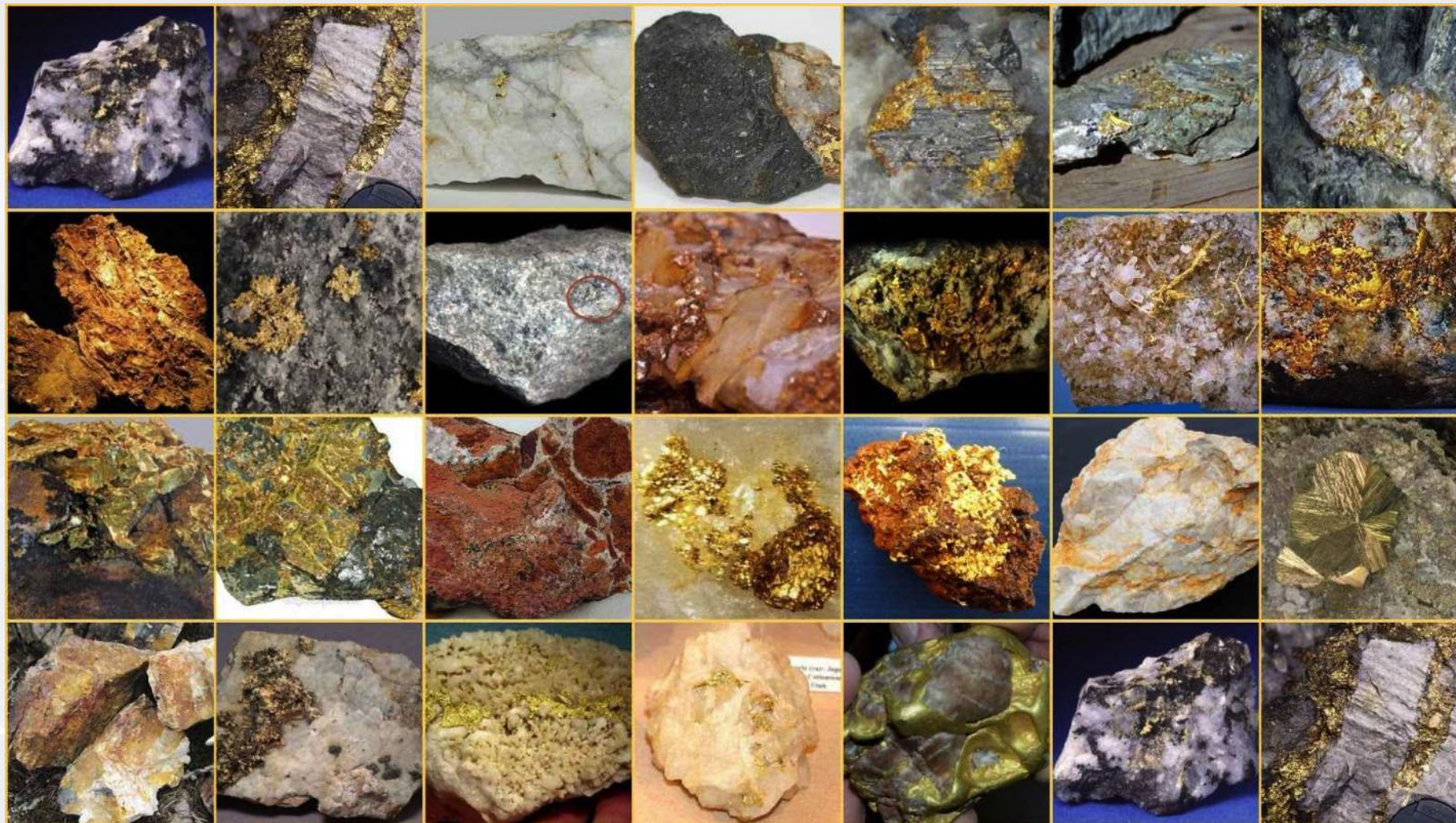


从矿物到矿床

- › 地球上各种元素在地质条件下形成矿物
- › 少部分以单质矿物的形式存在：自然金、铜、硫、金刚石等；
- › 绝大部分以化合物矿物形式存在：铜、铁、铅、锌、铝、煤、石油、银、铀



自然金



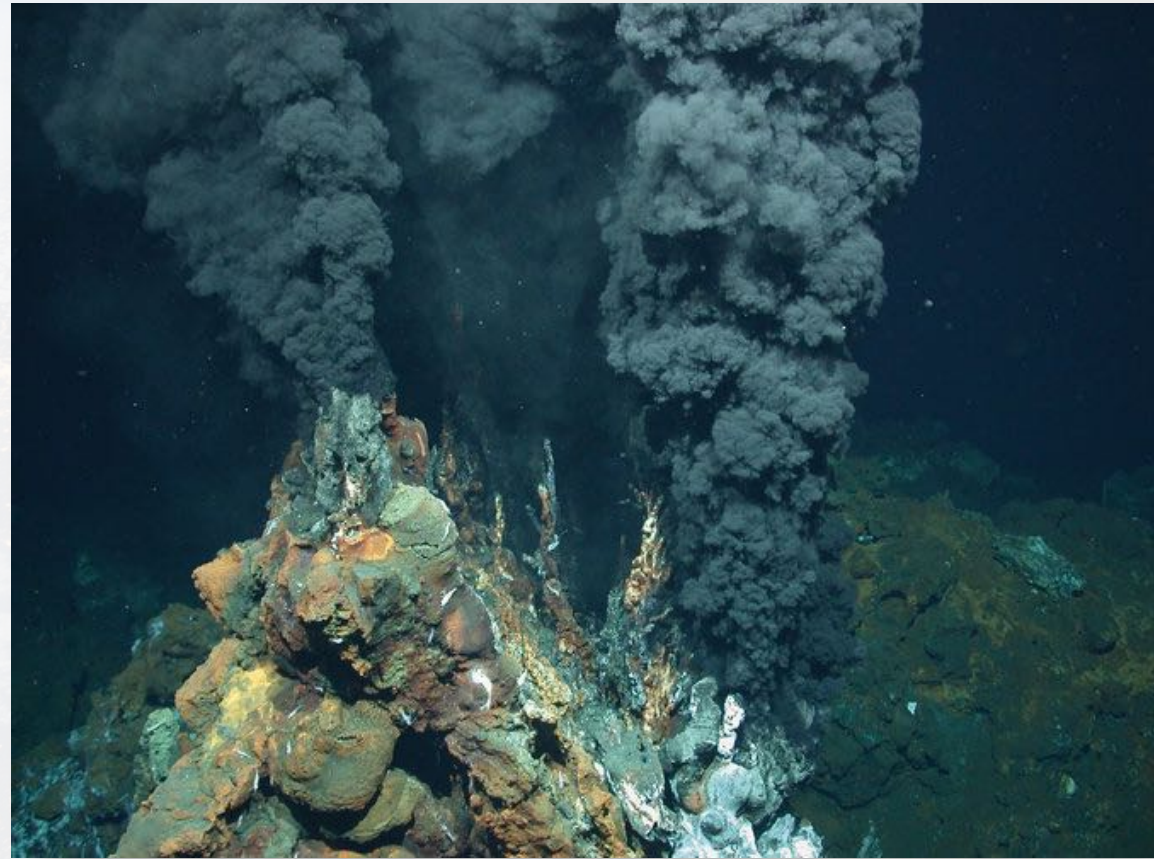
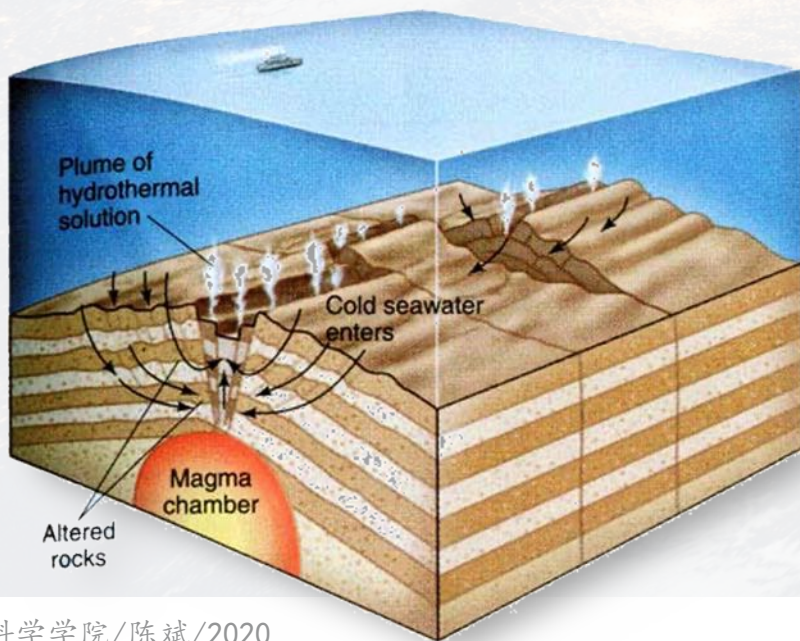
富集与迁移

- 矿物需要集中达到一定品位，人类才可能通过开采而大量获得；
- 矿物形成矿床是一个复杂、漫长的地质过程，但也是人类文明启动的必要条件；
- 矿物通过内生成矿作用（岩浆、热液等）、外生成矿作用（风化、沉积等）和变质成矿作用，形成矿床。



热液矿床

- › 有水参与化学作用和富集迁移
- › 水是唯一广泛存在的天然溶剂，氧化剂
- › 水可以通过重力、压力、热力搬运矿物

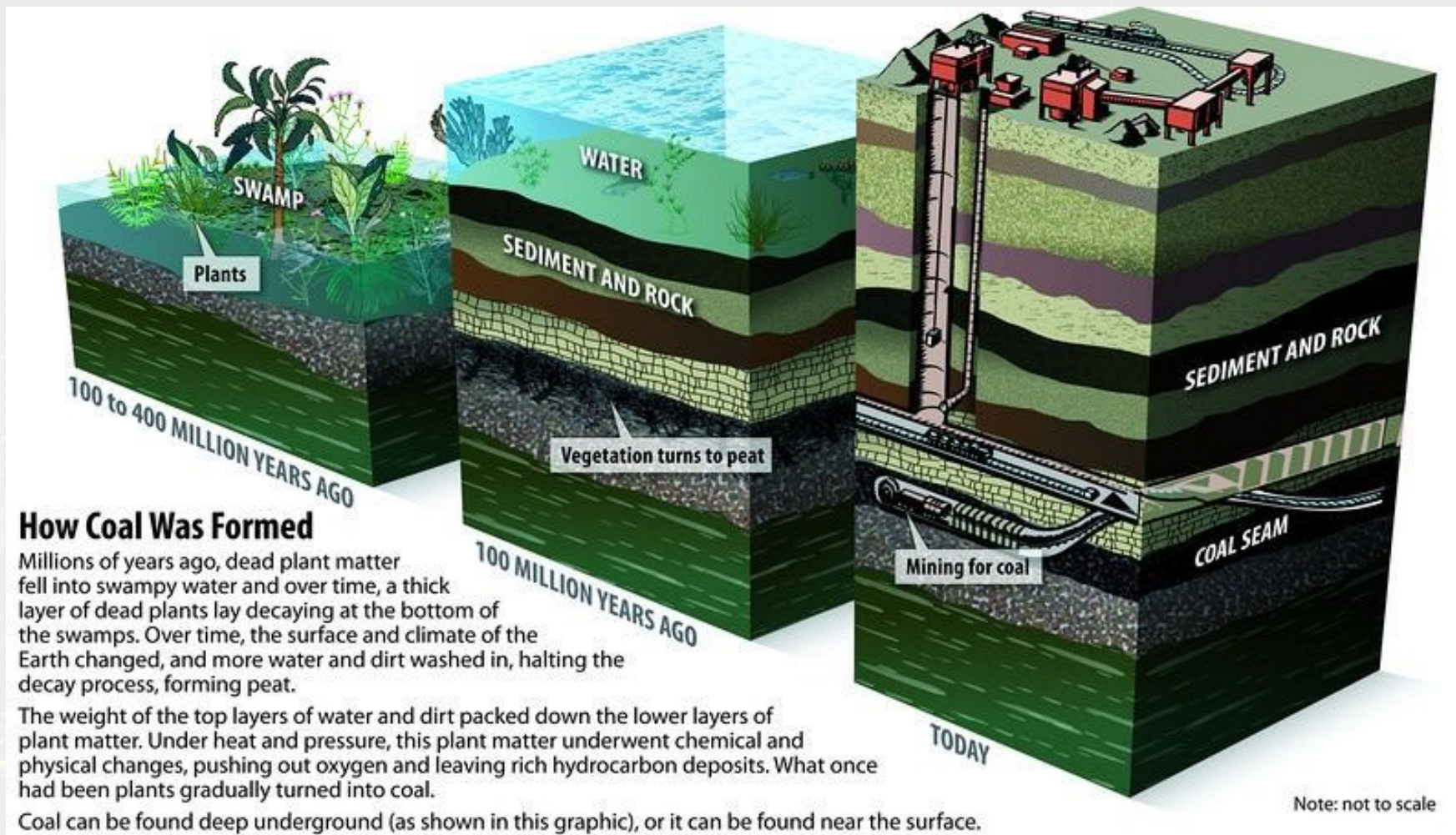


深层形成、浅层储藏

- › 成矿作用大部分发生在地下深处几千米到十几千米；
- › 深层具有温度、压力条件，封闭隔离；
- › 各种地质作用将深层形成的矿床上升到地表附近；
- › 浅层储藏对人类文明的意义重大



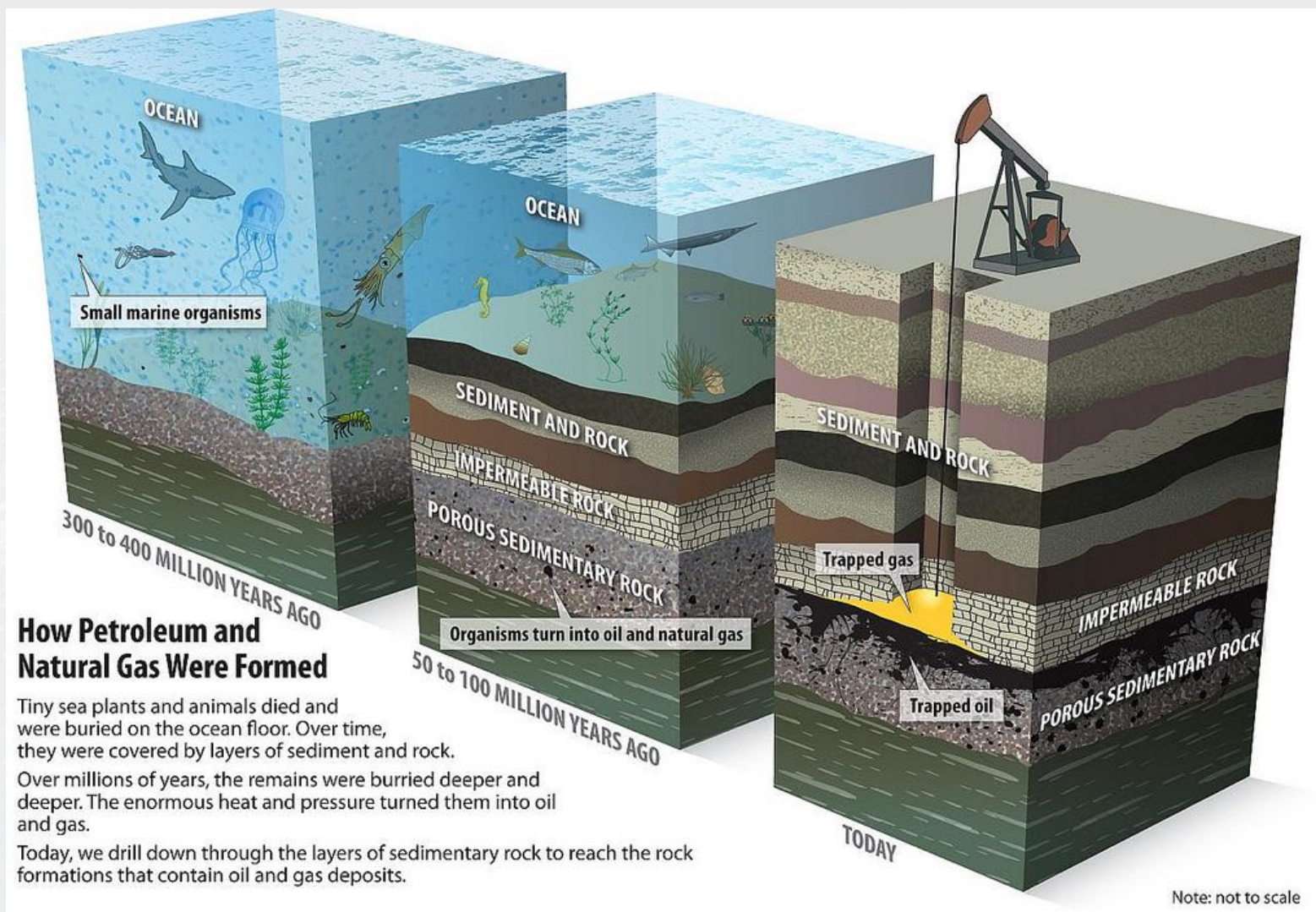
煤炭形成



煤炭形成

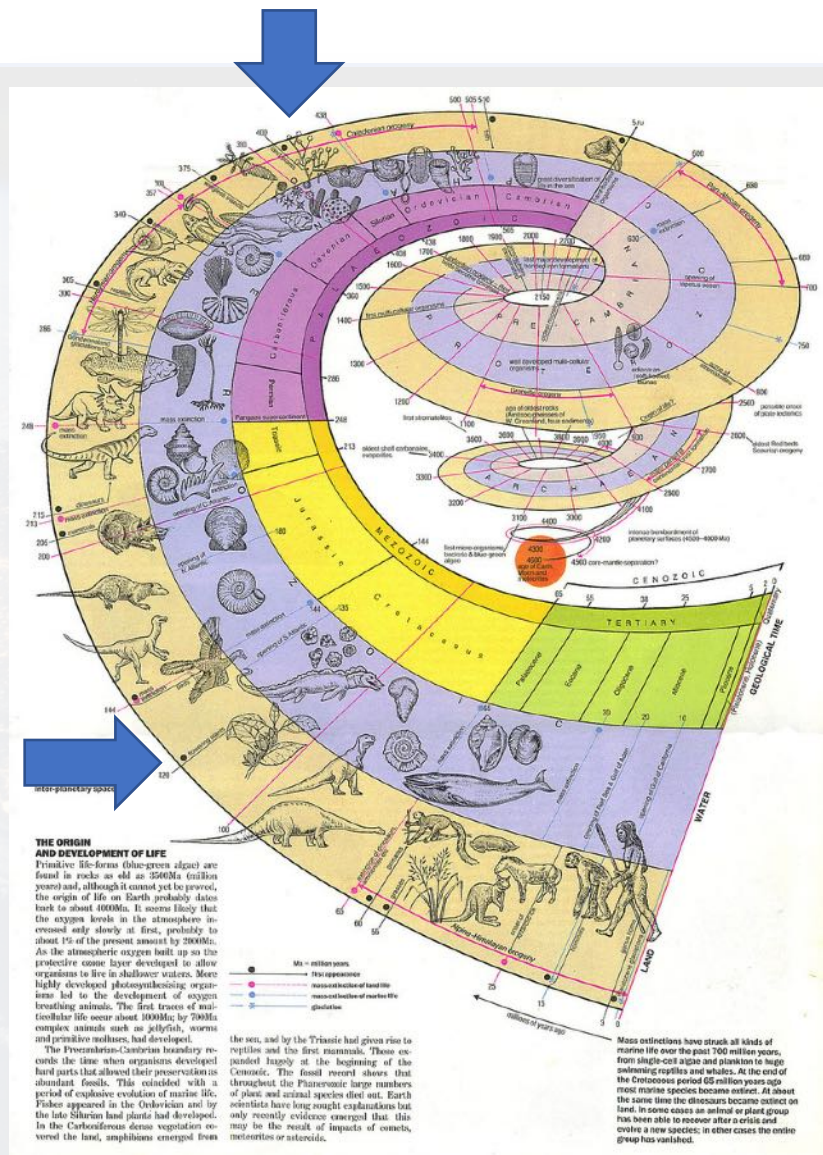


石油天然气形成



成矿时间

- 成矿作用与地壳演化是**同步**进行的；
- 无机矿床形成需要多轮地质作用，从贫到富，由分散到集中，由单一到多种的过程；
- 煤和石油等有机矿床的形成也需要上亿年时间；
- 整个成矿的时间进程与地质演化和生物演化进程相**配合**；
- 最终推动文明萌现和发展。



两条物质链：能源与金属

- › 从人类利用矿物的角度看，呈现出能源和金属两条基本物质链；
- › 利用火来制陶和冶炼，依靠锋利坚韧的金属器具制造各种木器和房屋等；
- › 对能源和金属的利用，支撑人类文明发展，直到现代文明出现



能源物质链：始于柴草木炭

- › 人类的燃料始于**柴草**；
- › 可能从新石器时代开始学会使用热值更高的**木炭**；
- › 50万年前开始用火，1万年前开始学会取火；
- › 用火烧饭、取暖和驱赶野兽；



畜力能源：牛马

- › 人类饲养牛马作为交通运输工具，始于8000-4000年前；
- › 解放和放大了手脚的力量；
- › 运输大量货物；
- › 扩大了活动范围。



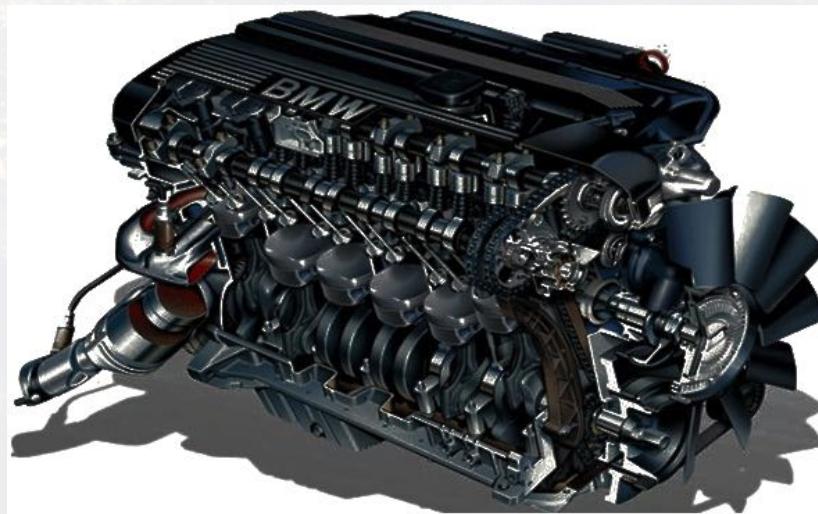
化石能源：煤

- › 人类在2000年前发现煤并加以利用；
- › 煤的热值远大于柴草和木炭，但难以大量开采；
- › 200年前才开始大规模开采；
- › 帮助人类由手工业转向工业化；
- › 蒸汽机需要煤推动；



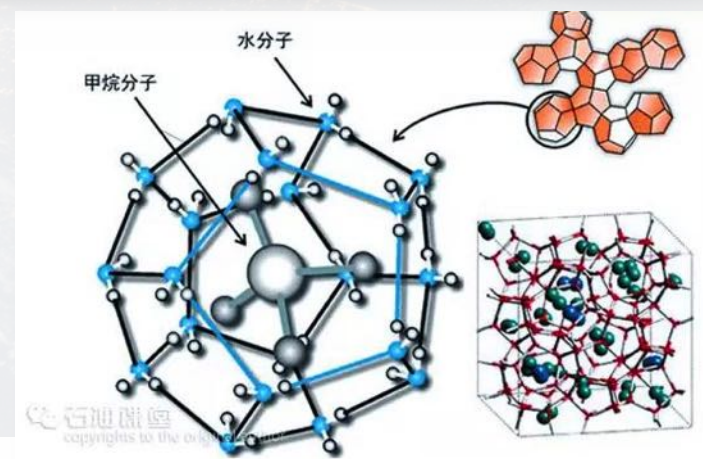
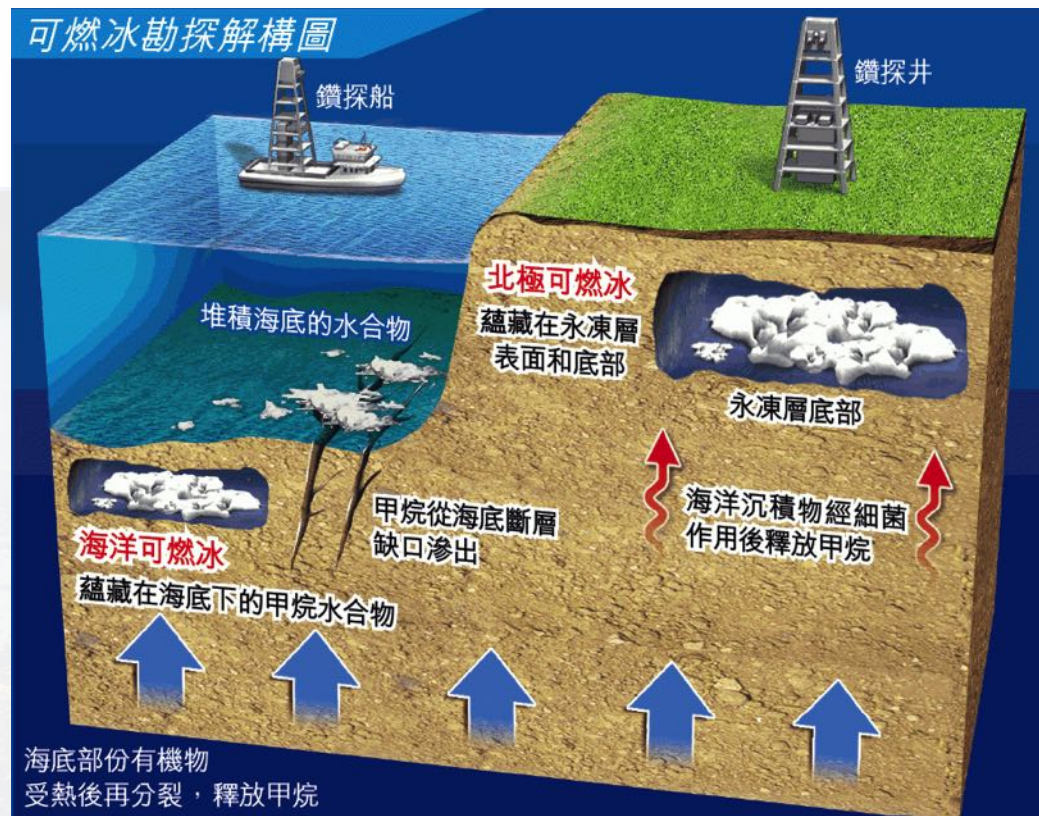
化石能源及化工原料：石油

- › 由于石油天然气矿藏一般埋藏很深，更高热值的化石能源最晚被发现；
- › 1859年美国钻出第一口油井；
- › 支撑了更高动力的内燃机，使航空器可能；
- › 石油还是用途非常广泛的工业制品原料。



更新的能源：水合甲烷

- › 源于原始大气中的甲烷，被纳入地壳之中；
- › 覆盖面遍及大洋下部地层；
- › 可能相当于煤、石油、天然气总量的2倍；
- › 但开采利用更为困难。



中国首次海域天然气水合物试采成功 稳定产气逾1周

- › 我国南海神狐海域天然气水合物试采实现连续7天19个小时的稳定产气，取得天然气水合物试开采的历史性突破，我国进行的首次天然气水合物试采宣告成功。
- › 累计产气超12万立方米，最高产量达3.5万立方米/天，平均日产1.6万方，其中甲烷含量最高达99.5%
- › 2017年5月18日上午，国土资源部在南海神狐海域举办天然气水合物试采现场会。



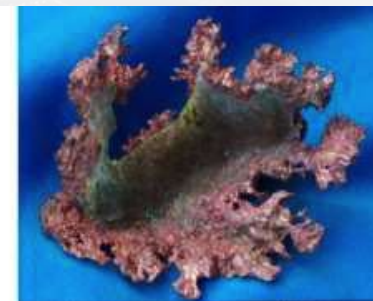
能源基本物质链演化

- › 能源基本物质链也符合循序渐进的法则
- › 越高效的能源，开采难度越高，环境风险越大
- › 配合和推动文明进程



金属物质链：从铜开始

- › 彩陶的颜色来自于金属矿物（褐铁矿、赤铁矿）；
- › 从彩陶到青铜，用了1000-2000年
- › 人类最早使用的金属是5000多年前的铜；
- › 最开始将美丽的铜矿石作为饰物，后利用自然铜；
- › 制造日常用品和武器；
- › 在2000多年前，铜器制作水平达到完美程度。



左1蓝铜矿，左2孔雀石，左3自然铜

铁器时代

- › 最早人类从陨石中得到少量铁
- › 铁陨石包含了大量铁-镍合金
- › 仅占坠落陨石5.7%，但外观独特很容易被发现
- › 最大的陨铁“霍巴”位于纳米比亚
- › 约8万年前坠落，1920年被发现
- › 重60吨，含铁84%，镍16%



因纽特人用
陨铁和鲸牙
制作的标枪
矛头

铁器时代

- › 3000年前到2000年前，人类开始掌握铁冶炼技术，进入铁器时代；
- › 铁器比铜器有明显优点，坚硬、锋利，强度高；
- › 但铁熔点远高于铜，需要掌握木炭、窑、鼓风技术才能实现。



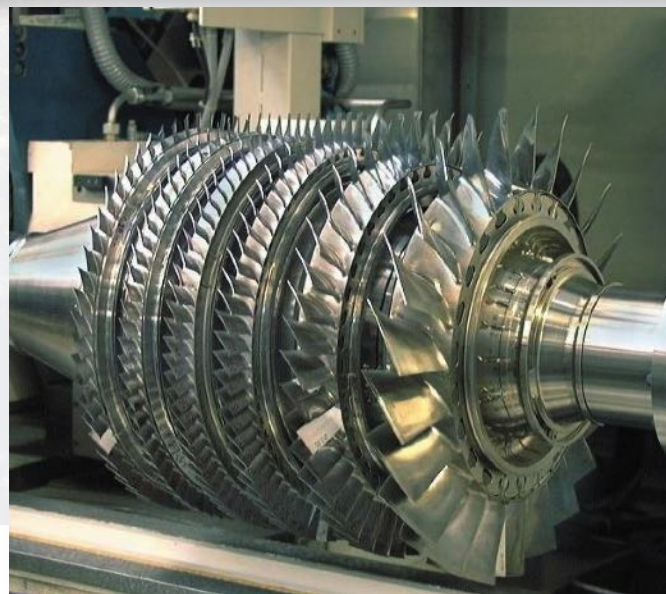
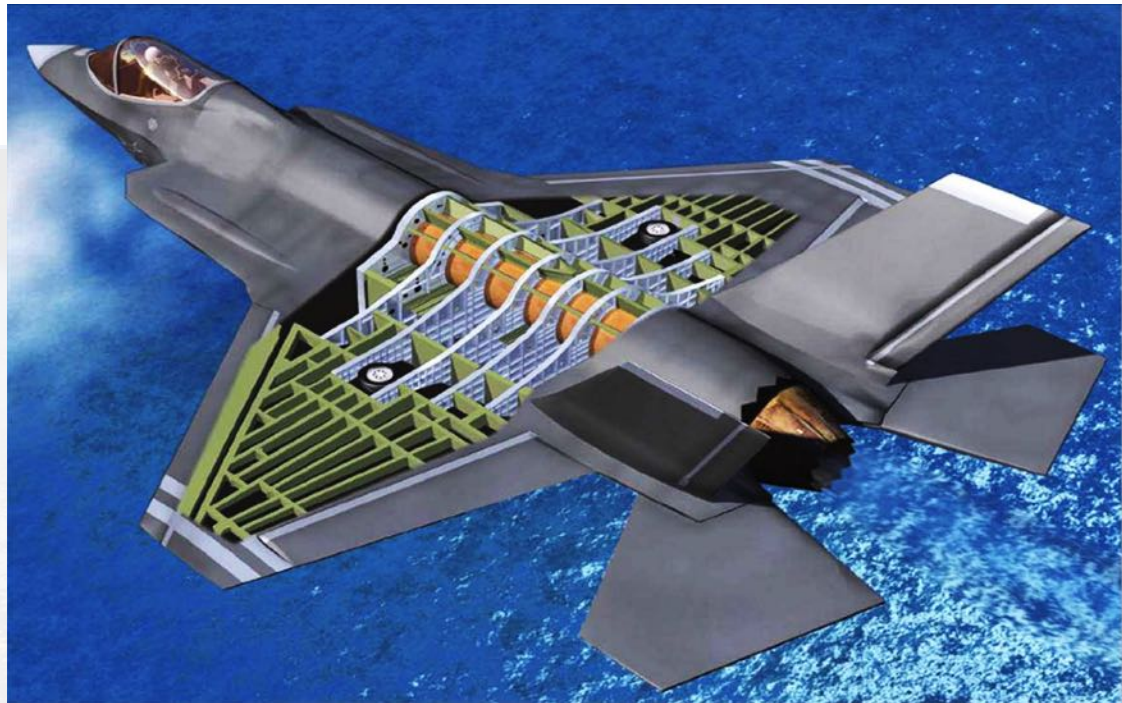
钢铁推动文明发展

- › 含碳低的钢和熟铁出现较晚；
- › 广泛应用在建筑材料、机械制造、日常用品生产；
- › 人类文明进入工业化的物质基础；
- › 钢铁及多种铁合金把人类文明推向空前高峰。



太空深海时代的金属：钛

- › 人类进入太空和深海，钢铁材料不敷应用；
- › 钛是人类已使用的几十种金属中最理想的一种，兼具钢的强度和铝的轻便；
- › 机械性能优秀，非常适合金属3D打印；
- › 但提炼纯钛非常困难，所以最晚出现。



金属3D打印原料：钛合金



脊柱植入物

金属物质链演化

- › 金属物质链反映了人类利用金属的发展过程；
- › 其顺序也从易得、用途少，向难得、用途多过渡；
- › 金属物质链与能源物质链之间也是协同演化。

