



“十一五”国家重点图书出版规划项目
科技部科技计划科普化示范项目

Another

欧阳自远 刘 茜 / 著

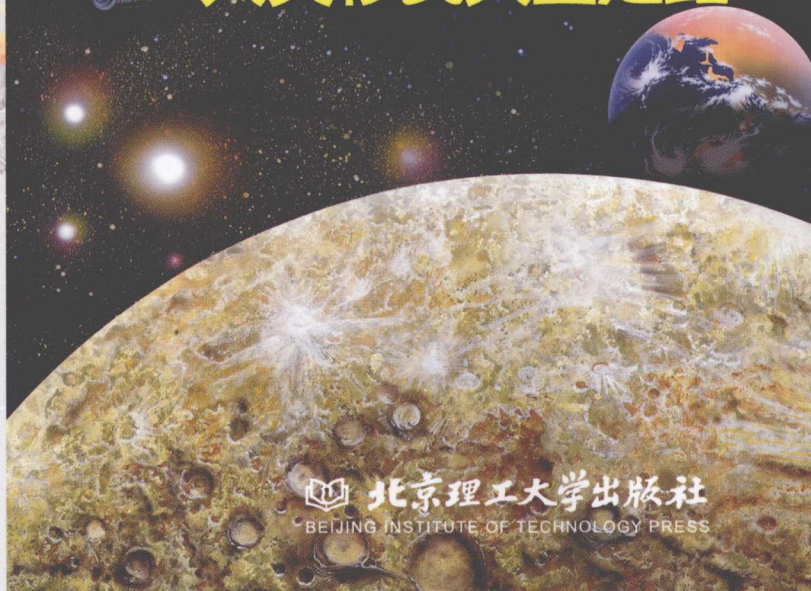
再造一个

地球



——人类移民火星之路

Road to Mars



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

欧阳自远 刘 茜 / 著

再造一个

地球



——人类移民火星之路

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

再造一个地球——人类移民火星之路 / 欧阳自远, 刘茜著. —北京: 北京理工大学出版社, 2009.9

(芦笛曲丛书)

“十一五”国家重点图书出版规划项目

科技部科技计划科普化示范项目

ISBN 978-7-5640-2755-1

I. 再… II. ①欧… ②刘… III. 空间探索 IV. V11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150300 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京凌奇印刷有限责任公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 9.25

字 数 / 120 千字

版 次 / 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 5000 册

定 价 / 28.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

总 序

今天，我们按动手机号码，可以和世界上任何地方的人通话；我们敲击电脑键盘，可以足不出户而知天下；我们开车行驶在大漠荒山，可以用GPS导航……科学已经无处不在，它改变着我们的生活，也改变着我们的思想和行为。

作为人类认识自然、与自然对话的一种方式，科学令人好奇和神往——

当早期的人类直面这个丰富多彩的世界的时候，世界混沌一片、浑然一体，一代一代的先辈，用观察、计数、分类、测量、计算、思辨、实验、解析、模拟……数不清的办法探索世界的奥秘，这也就是在各个时代有不同内容和不同表现形式的科学。

起源于生产实践，以技能技巧、经验积累为原初形态的技术，在当代社会与科学融为一体。

如今，科学技术作为人类社会实践的重要领域之一，成为复杂的巨系统工程，成为衡量一国综合国力的重要指标，成为推动社会进步的一种无与伦比的力量。科学需要全社会的理解、关注和参与，需要以公众科学素质的提高作为保障。

然而，科学也常使我们茫然和困惑：它带来的不都是福音，也有灾难和恐惧；同时，前沿科技发展越来越快，精深而艰涩，越来越远离我们的直觉和经验。加之科学的领域越来越宽，分类越来越细，甚至相同学科不同方向的科学家之间都很难明了对方的工作了。

巨大的鸿沟横亘于科学和人文之间，横亘于科学界与公众之间。

本丛书是国家科技部“科技计划科普化示范项目”，并入选“‘十一五’国家重点图书出版规划项目”。丛书旨在向公众普及前沿科学技术知识，使每年巨额投入的各类科技计划成果在提高国家科技水平和科技能力的同时，也能以科普的形式，让自主创新的成果进一步惠及广大公众，对提高公众的科学素质、促进公众理解科学、吸引公众关注以至投身科技事业有益。另外，通过示范项目，引导形成科学家关心公众科学素质、承担社会科普责任、热心参与科普事

业的氛围，在科学家、工程师中发现和培养科普作家，探索科学家、科普作家、出版机构三结合的科普创作新模式。

然而，科技的前沿在哪里？一日千里、艰深难懂的前沿科技何以科普？

前沿，像是科技疆域的地平线，你站得越高，地平线越绵长，线外的未知领域也越广阔。科技的脚步在前行，科技的疆域在拓展，前沿的领域在扩张……

如何从科学的腹地出发，沿着崎岖的小路，理清前沿的发展线索，抓住最重要的前沿领域，成为对丛书成败的第一个考验。

前沿科普与成熟知识科普的最大不同在于前沿是发展的，是每日每时都可能变化的。前沿科普的作者一定要是一线科研工作者或能够理解一线工作和科研进展的人。于是动员一线科学家参与丛书的写作成为对丛书成败的第二个考验。

这是一项行动，一项一线科学家参与科普，参与前沿科普的开风气之先的示范性行动。

我们是幸运的，读者是幸运的。首批丛书有10位院士承诺参与，并积极投入到丛书特别是各自承担的分册的策划和著述中。

考虑到身处科研一线的院士们工作繁忙，我们为每一位院士挑选了一位科普助手，由两个人共同完成一本书的写作。两位作者思路、见解的融合，工作方式以及叙事、论理风格的互相接纳是对丛书成败的又一个考验。

更加幸运的是，试验取得了初步成功。丛书的前两本马上就要出版了。接下来的8本将陆续出版。

这套丛书设定为一套开放的书系，将不断有新书加入。在此，诚邀广大一线科研工作者加盟著述（可以是一线科研人员个人独立著述，也可以是一位一线科研人员与一位科普作者合作著述），使丛书所覆盖的前沿领域越来越宽广，为读者提供更多的精神食粮。

正如数学家外尔所言：“希尔伯特这个吹笛人所吹出的甜美的芦笛声，吸引着无数老鼠跟着他投入了数学的深河。”我们也希望这套丛书能像一支支芦笛曲，催生出读者对科学的向往和追随……

目 录

前 言 001

第一章 地球：蓝色的家园 003

第一节 地球造就人类 005

第二节 生存竞争 007

第三节 摇篮的危机 009

第四节 温室中的地球 014

第五节 开源还是节流？ 017

第二章 空间梦想 020

第一节 空间时代的曙光 021

第二节 人类的一大步 023

第三节 行星际的探测 028

第四节 计划中的远征 037

第三章 月球：空间的跳板 043

第一节 到底有没有水？ 045

第二节 月面的矿藏 050

第三节 重返月球的热潮 055

第四节 月面基地 057

第五节 空间的跳板 062

第四章 火星：生命的背影 064

第一节	在混沌中诞生	065
第二节	襁褓中的兄弟	069
第三节	火星上的水：现在时 vs 过去时	076
第四节	二手证据：与水相关的矿物	084
第五节	生命的证据？	087
第六节	分道扬镳的生命旅程	091

第五章 通往火星的远征 096

第一节	被误读的战神	096
第二节	艰难的旅程	101
第三节	未来的远征	106

第六章 再造一个地球 115

第一节	火星现在时	116
第二节	温室效应革命	120
第三节	从红火星到绿火星	125
第四节	火星生活	127
第五节	困难列表	130
第六节	蓝色火星	132

延伸阅读书目 136

后 记 137

前言



从出现在地球上的那一刻开始，人类就一直不停地为生存空间和生存环境而奋斗。

最初，我们与洪水、猛兽和冰河时代斗争；后来，我们与战乱、贫瘠和各种自然灾害斗争——也许不管在宇宙的哪个角落，这都是智慧生命的必经之路。我们不知道还有没有别的星球上演着同样的传奇，但人类顽强地在这个蓝色的星球上生存了下来。人类像是一个好奇的婴儿，在地球这个温暖舒适的摇篮里睁开了眼睛，然后开始向摇篮外张望。

就目前我们的所知，这里还是宇宙中美丽的生命孤岛。地球以外的行星上还从未发现过智慧生命的痕迹，人类向宇宙空间发送出的种种信息也从未得到过回复。

有别于此前的任何一任地球霸主，人类在这颗星球的每一个角落——包括大气圈外——都留下了踪影。不仅仅是基于求知的欲望，也是在寻找任何一个开拓生存空间的可能。这是必须的，因为我们

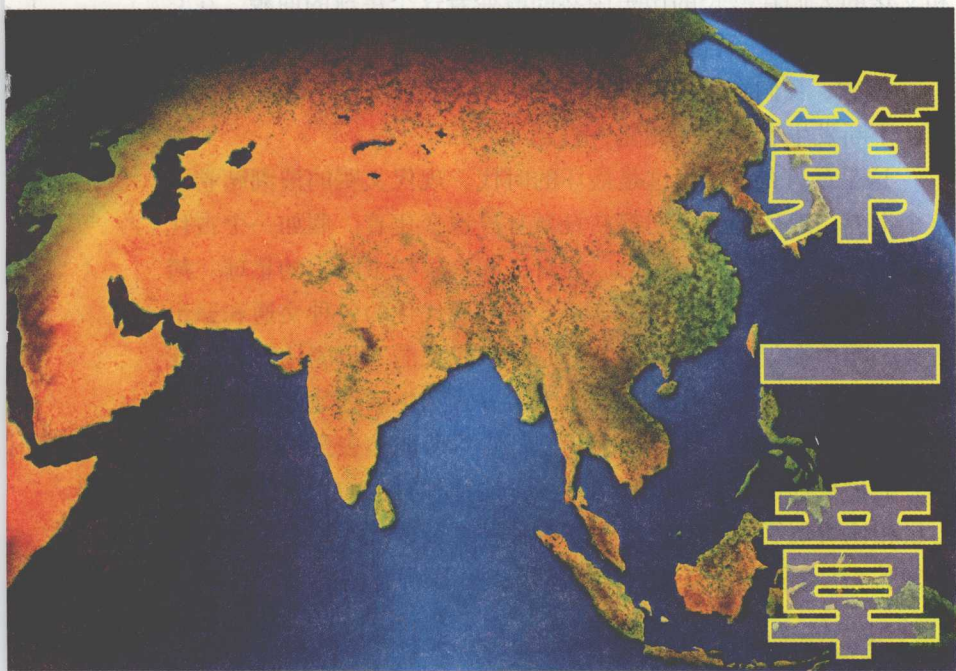
已经在这个星球上繁衍得过于迅速、索取得过于疯狂。

人口问题、能源问题、生态和环境问题一起，成为制约人类发展的天然瓶颈。高速发展的现代社会，实质上仍然建立在以碳为主的传统能源的基础上；当这个基石开始出现空洞，人类社会就来到了需要做出选择的十字路口。

在“后碳时代”，我们可能将不得不改变几千年来习惯的生活方式。天文学、生物学、地球科学、信息科学、材料科学和空间科学将担负起为人类寻找出路的重任。我们应该如何利用地球上有限的空间和资源存续下去，也许应该考虑建设一个备用的“地球”，这是当今地球人不得不思考的命题。

地球是人类的摇篮，但人类不能永远
生活在摇篮里……

——齐奥尔柯夫斯基



地球： 蓝色的家园

从我们的祖先首次直立起他们佝偻的腰肢至今，人类在地球上已经生活了数百万年的时间……

生命自起源之初就历尽劫难，却始终在这个星球上顽强地进化着。从简单到复杂，从水生到陆生，在人类之前，地球霸主的世代多次更迭。那些曾经君临地球的物种，从生理结构来说，它们中的大多数都比人类要么强壮、要么迅捷、要么坚韧，如今却只能在博物馆看到。人类这个弱小的物种是在充斥着冰川和猛兽的时代出现的，看似弱小，但在延续至今的生存竞争中，却笑到了最后。

因为掌握了名为“文明”的利器，人类在漫长的生存竞争中存续了下来。他们从非洲出发，逐渐移居到世界各地，在一代代

的繁衍生息中随着自然环境的不同而逐渐改变。各种肤色、种族和文化的人们在漫长的历史中共同改变着这个星球的面貌，在它的每个角落留下了自己的痕迹。

地球，我们在宇宙空间中唯一的家园，在人类活跃的这段时期，不断发生着奇妙的变化，直到如今。

这是最好的时代，这是最坏的时代。现代文明的浪潮席卷了整个世界，地球上的一切都在日新月异地变化着。假如一个古代人来到现今的时代，一定会以为自己闯入了一个陌生的星球：鳞次栉比的楼宇、四通八达的高速公路、现代化的各种交通和通讯工具，哪怕在仅仅数百年以前都是难以想象的。毋庸讳言，与我们的先祖所经历的相比，人类的生活方式和生活环境已经发生了翻天覆地的改变。一直以来，我们都竭尽所能地去探索和发现自然界的种种规律，并加以利用。尽管这种种努力与大自然的庞大力量相比看似微不足道；尽管还有种种复杂、混沌和不可知的现象现代科学还未能给出合理的解释；尽管所有的人类建筑——

图 1-1 从国际空间站看到的长城
(ISS010-E-08497)

那些宣称在月球上能够看到的唯一人造物体是长城的说法，几乎都是以讹传讹。实际上，从低地球轨道的确可以看到长城的某些段落，但在月面是绝不可能的。只要计算一下大小和距离，就能明白这一点。而且别忘了，长城本身和周围的环境色调相近，很难辨认。除非你早就确切地知道它的位置，否则能在这张从国际空间站拍摄的照片中分辨出长城吗？
Credit: ISS

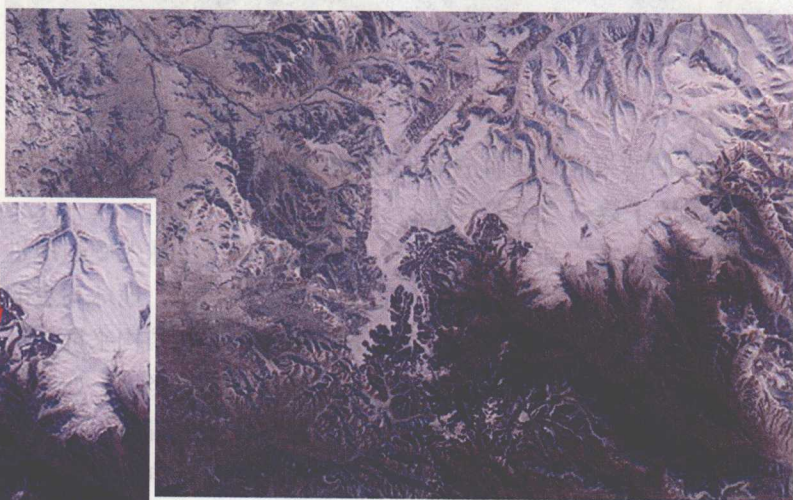


图 1-2 自图 1-1 的局部。它其实在这里！

不管是现代的摩天大楼，还是古代的长城和金字塔——只消从数百千米的高空看去就杳无踪迹，人类依然因自己的文明而自豪：

在我们之前，从未有哪一个物种像我们一般彻底地成为地球的主人。

当然，也没有哪个物种将地球的生态秩序打乱到如此程度。

第一节 地球造就人类

从上个世纪以来，我们已经无数次从太空中窥视过地球的全貌。“太阳系的第三颗行星”写在了地球的身份证上。

这个蔚蓝色的美丽行星，被海洋和大气围绕着。二氧化碳和水在大气、生物体和岩石圈之间往复循环，这正是它成为生命乐园的关键。我们到现在还不清楚，最初的生命是如何出现在饱含氨基酸的粥状海水中的。它们是厌氧的原始的生命形态，以碳、硫化氢、二氧化碳等来自地球内部的物质为营养，在暗无天日的海底生存——当时的地球表面和浅海受到强烈的紫外线和宇宙射线的辐射，这些辐射的能量会迅速地破坏有机分子，生命无法生存。大面积的火山喷发、频繁而剧烈的地壳运动、强酸性海水的侵蚀和溶解作用，不断改变大气和水体的成分。原始的生命适应了地球的原始环境，植物的出现更是加速改变了大气的成分——氧气出现了。就这样从无机



图 1-3 从阿波罗 17 号上看到的地球全貌 (Apollo 17, AS17-148-22727)

拍摄于 1972 年 12 月 7 日，非洲和南极洲在图中清晰可见。亚洲位于右上方地平线下。
Credit: NASA

到有机，从简单到复杂，从水生到陆生，生命不断进化着，逐渐出现了形形色色林林总总的生物物种。

和其他所有物种一样，人类只是海洋中最原始的初等生命进化的一个分支。在漫长的演化过程中，物种的每一个细节都打上了地球的烙印。我们从微不足道的简单分子一点点进化成如今的智慧生命，每一个人都是一个异常复杂和精密的系统——而我们都知，越精密的系统，越容不得差错。我们身体里的每一个器官、每一种功能，都是在漫长而复杂的进化过程中，经过筛选和取舍才成为现在的样子。过程中充满了偶然性，哪怕这其中出现一点点的偏差，我们的样子都可能与现在大相径庭。

从这个意义上来说，人类是地球“精雕细琢”而成的。我们必须精确地适应地球的重力、气压、大气成分和自转周期，任何的轻微改变都会令我们产生不适。

重力把我们和我们周边的一切维系在这个星球上。我们的骨骼和肌肉必须既足以支撑身体的重量，又不能过于沉重。我们体内血液和体液的循环，只有在地球的重力环境下才能有效运行。不管是失重还是超重都会让我们感觉不适——体液的循环、姿态和位置的感觉，甚至连体内各个脏器的位置都会发生相应的改变。在很大程度上，重力决定了我们的体型大小、肌肉类型和运动方

式——假如我们是在一个表面重力较小的星球上进化而来，也许就会更为高大，肌肉的类型可能也会以快速反应型为主——连奔跑的姿势也会发生改变，很可能重心会压得更低，身体倾斜得更厉害。

同时，我们身体内部的压力必须严格地与大气压相等，特别是眼球、鼓膜等精



生命对地球的适应体现在各个方面。比如，地球上的植物之所以呈现绿色，是因为它们在可见光的种种波段里选择反射绿光——与其他波段相比，到达地球表面的红光最多，而蓝光最容易吸收（所以蓝色植物最不容易出现），从这两个波段能够得到更多的能量。其他行星表面的光谱构成有所不同，植物完全有可能反射其他颜色的光线。

密而娇嫩的器官。不妨回忆一下乘坐飞机时的经验，在飞机升空时，由于体外的气压变化，耳朵里总会产生不适。这就是因为鼓膜内外的压力差造成的。必须借助吞咽或者擤鼻子的动作，使得耳内的压力与外界气压一致，这种不适才会消失。同样，潜水的时候假如下潜得太深太快，也会因为压力变化太大而面临危险。假如未来的人类到月球或者火星上生活，必须要做好种种防护，其中最容易出现的就是空气的泄漏：一旦置身于极其稀薄的大气下，我们体内的液体会迅速沸腾，身体也会因为内外压力的差异而爆裂开来，这是非常可怕的。

还有无数的事实可以证明我们对地球的归属感。我们的眼睛只能识别波长为 $0.38 \sim 0.76$ 微米的光，因为这个波段的光线在大气层中透过率最高，也因此我们把这个波长的光命名为可见光。我们从地球中摄取氧气、水、食物等生命必需的物质，以维持机体正常的生长和发育；另一方面，在代谢过程中产生的废物又排入环境，成为其他生物的营养来源。我们的皮肤会自行合成黑色素，来抵御阳光中紫外线对我们的伤害。每一个细节，都是基于地球的条件而做出的改变：一切都因应于地球，一切都取决于地球。

第二节 生存竞争

相对应的是，人类也许正是最能适应地球生活的生物。从远古时代走出森林的祖先开始，我们的尾椎渐渐退化，毛发渐渐稀薄，原本突出的眉骨和下颚渐渐平滑，最终变成了现在的模样。

人类是地球的精灵，这颗行星因为我们的存在而显得如此与众不同。我们手持着名为“文明”的利器，基于自己的便利而改造了这颗蔚蓝色的星球，不断地扩展着自己的生存空间。我们学会了使用火种和工具，渐渐开始使用衣物御寒，懂得修造遮风避雨的房屋。我们种植作物、驯养牲畜、储存粮食，在连绵不断的自然灾害中存活下来，而其他那些无法适应地球环境变化的物

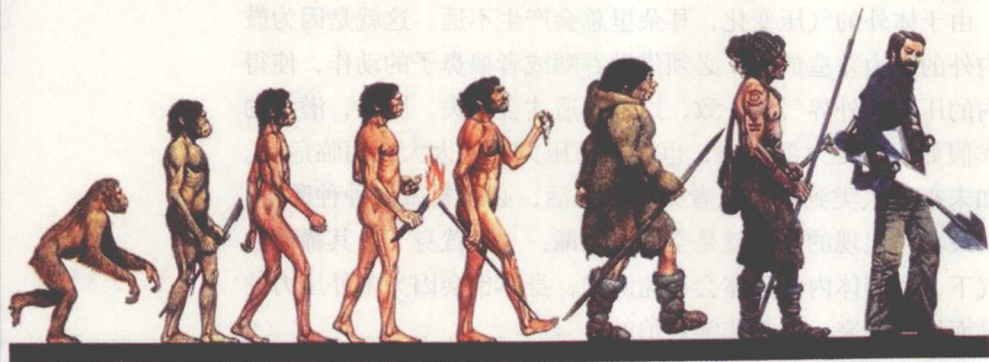


图 1-4 人类的进化

这张图片显示了人类在进化历程中的变迁。他们在外貌和姿态上都不断发生着改变，最终成为了衣冠楚楚的现代人类。

种，只有化石证明它们曾经的存在。没有其他的生物像我们这样善于利用种种与地球的契合条件，这一点可以由人口的增长速度证明：世界人口最近的年增长率保持在 1.5%，每 46 年翻一番。¹ 在过去的一个世纪，世界人口增长了 40 亿。1999 年 10 月 12 日，世界人口越过了 60 亿大关，预计将会在 2050 年突破 80 亿。

人类不但在物种的生存竞争中大大胜出，甚至还自觉或者不自觉地侵占了其他物种的生存机会：从人类进入工业化时代以来，在人口爆炸的同时，自然界物种灭绝的速度是自然条件下的近千倍，是新物种形成速度的上万倍——

这场生存的竞争，我们是不是已经胜利过头了？

我们并非对这样的危险一无所知。但另一个现实是，人类创造了现代的工业文明，却又被工业文明的大潮所裹挟。我们已经习惯了现代化的生活，却很少认真思考这样的生活建立在什么基础之上。置身于“全人类”这个庞大的群体之中，单个的个体显得如此渺小，以至于我们一直对地球的承载能力深信不疑，并误以为它还将永远任我们这样予取予求下去。地球不但是我们的家

1. 美国人口咨询局（PRB）在 1996 年得出的数据。

园，它还是我们的摇篮，我们的守护者。只要有地球就会有生命，只要有地球就一直会有人类，不是吗？

No, no, no。不要太着急做出回答。我们并不打算在这里就人类的生存现状做出长篇大论的分析，我们关心的是地球：这颗太阳系中唯一被大面积的液态水覆盖的蓝色星球，“恰好”有着适宜的条件，“恰好”孕育出了无数的生命，经历了46亿年的漫长岁月而走到如今，它的现状究竟如何呢？



地球上现在平均每天会增加75种濒危、灭绝的物种。世界《红皮书》统计，20世纪有110个种和亚种的哺乳动物、139种和亚种的鸟类消失。目前，有593种鸟、400多种兽、209种两栖爬行动物和2万多种高等植物濒于灭绝——“种”是怎样的一个分类呢？看看我们自己，绝大多数的中国人属于动物界、脊索动物门、哺乳纲、灵长目、人科、智人属、现代人种中的蒙古亚种。

第三节 摇篮的危机

毋庸置疑，现代社会的人类的确比以往任何时候都生活得更舒适。我们花费数万年的时间，学会了如何利用来自地球的馈赠：粮食、矿产、能源，乃至我们生活所需的一切。

和古人相比，我们的交通快捷便利，住所冬暖夏凉，有机会享受来自世界任何地方的华服与美食。现代的科技和物资支撑着我们与古人完全不同的生活方式。我们也许会自豪地说，正是由于人类文明的发达，才使得我们能够享受如此的便利。不过千万别忘了，支持这些的一切——矿产、能源，以及所有保障你我生存的一切，全部都是由地球提供的。与其说地球是人类的家园，毋宁说它是供我们予取予求的人类之母。区区人类的一分子相对于这颗行星来说是如此微不足道，以至于我们往往错觉地球对我们的支持将无穷无尽地持续下去。但实际上，假如我们能够从人类现代文明的美梦中稍微清醒一下，正视我们所面对的资源现状——

结论想必会有所不同。

那些鼓吹人类发展是多么迅速、伟大、美妙的论点往往忽略了一个根本的问题：经济的发展大多伴随着环境的污染和退化，在第三世界国家尤其如此。环境问题不单单限制了我们的发展，它甚至已经开始直接威胁到人类的生存：全世界有超过30亿人营养不良，30亿人生活在贫困中。地球所能提供给我们的粮食、能源和其他资源，其储存量和消耗速度都是有据可查的，要是你手边碰巧有一只计算器，或者纸笔，或者你的心算能力正好还不错，得出的结论想必也会相去不远。

首先，人类的食物超过99%来自于陆地（另外的不到1%来自海洋和其他水生态系统），确切地说，几乎都来自于约占陆地总面积10%的耕地（假如你回忆一下中学地理课本，你大概能想起陆地占地球表面积的30%不到）。在1999年，这些耕地的总面积是130亿公顷（1公顷=1万平方米）。由于城市化和公路建设——

这两条都是现代化社会的必需——每年大约有1 000~3 500万公顷的土地被征用，其中大约一半是耕地。

耕地面积的减少和全球人口的增加，使得全球人均占有的耕地资源不断减少。实际上，全球人均可利用土地面积在1948年开始下滑，而人均粮食总量从1984年开始持续降低。在我国，2006年耕地面积已经只有12 208.38



热带雨林主要分布于南北纬10度之间。全球近1/3的热带雨林在巴西境内，刚果和印度尼西亚各占约一成。世界最大的热带雨林是亚马逊热带雨林，唯一的原始雨林则位于马来西亚，早在1.3亿年前就已形成。热带雨林包含了世界上70%的物种，咖啡、可可、香蕉、芒果、番木瓜、鲕梨和甘蔗等植物最初都来自热带雨林。

地质史上的温暖时期，热带雨林除两极附近地区外所有的陆地基本都有分布。而现在，据联合国公布的数据，热带雨林的面积每年缩减0.5%（也有科学家认为这个数字应该是2%），到本世纪中叶，热带雨林的面积可能将会只有目前的10%不到。