

系统动力学

在可持续发展研究中的应用

蔡 林 编著



**THE APPLICATION OF
SYSTEM DYNAMICS IN THE RESEARCH OF
SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

中国环境科学出版社

高等院校环境类系列教材

系统动力学 在可持续发展研究中的应用

蔡 林 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

系统动力学在可持续发展研究中的应用/蔡林编著. —北京:中国环境科学出版社, 2008.11

(高等院校环境类系列教材)

ISBN 978-7-80209-843-5

I. 系… II. 蔡… III. 系统动力学—应用—可持续发展—研究—高等学校—教材 IV. X22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 163429 号

责任编辑 高速进

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社

(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.cn>

联系电话: 010-67112765 (总编室)

发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂

经 销 各地新华书店

版 次 2008 年 11 月第 1 版

印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

开 本 787×960 1/16

印 张 14.75

字 数 287 千字

定 价 30.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

序

自 1992 年联合国在巴西里约热内卢召开世界环境与发展地球首脑会议以来，我国一直在扎实推进可持续发展战略。

1994 年，为履行我国对国际社会的承诺，由国务院环境保护委员会领导组织完成了《中国 21 世纪议程》，内容涵盖了人口、资源、环境、经济、社会的可持续发展战略、政策和行动框架。

1996 年，江泽民同志在《保护环境，实施可持续发展战略》一文中指出：经济发展，必须与人口、资源、环境统筹考虑，不仅要安排好当前的发展，还要为子孙后代着想，为未来的发展创造更好的条件，决不能走浪费资源和先污染后治理的路子，更不能吃祖宗饭、断子孙路；控制人口增长，保护生态环境，是全党全国人民必须长期坚持的基本国策。

从 1997 年开始，为了推动实施可持续发展战略，每年“两会”以后，中央都要召开人口资源环境工作座谈会。

为了配合国家实施可持续发展战略，培养更多的专业人才，国务院学位委员会于 1997 年在调整研究生专业目录时，在一级学科理论经济学下面设立了人口、资源与环境经济学二级学科。

面对社会经济发展过程中出现的新情况和新问题，以胡锦涛同志为首的党中央，在 2003 年党的十六届三中全会上，又明确地提出了以人为本，全面、协调、可持续的发展观，即科学发展观。强调按照“统筹城乡发展、统筹区域发展、统筹经济社会发展、统筹人与自然和谐发展、统筹国内发展和对外开放”的要求，推进改革和发展。

实施可持续发展战略，落实科学发展观是一项十分复杂的系统工程，需要采用系统科学的方法才能解决。蔡林博士的这本书为我们展现了一种有效的系统科学方法——系统动力学。

系统动力学之所以能够解决复杂的系统工程问题，主要是基于以下几个方面：

第一，从方法论上来说，系统动力学基于系统论，吸收了控制论和信息论的精华，采用结构-功能分析的方法，能够全面反映系统内外的各种影响因素，以及系统的整体动态行为。

第二，系统动力学是沟通统计类模型和博弈类模型的桥梁。系统动力学可以通过计算机语言把不同的、定性的概念转换为数理的、统计的表达，并最终给出

数值模拟结果。这有利于我们将发展的理念转化为现实的、科学的决策。

第三,我们可以根据真实系统的变化,对系统动力学模型进行持续性的调整,以寻求满意的答案。系统动力学模型可以作为一个政策模拟平台而长期使用。

因此,系统动力学这一“战略与策略实验室”,对可持续发展的研究是必不可少的。

蔡林博士的这本书全面总结了我国系统动力学可持续发展问题研究的成果;建立了可持续发展问题研究的基本模型;提出了可持续发展研究应以5个子系统为基础逐层展开,并加大安全与预警研究力度的两项重要建议。这对规范可持续发展问题的研究、提升决策的科学性和可靠性都具有重要的理论意义和现实意义。

希望《系统动力学在可持续发展研究中的应用》这本书能对相关领域的教学和科研都有所帮助,对我国可持续发展的理论与实践有所裨益。

是为序。

杜 鹏

2008年7月30日

前 言

1968 年，罗马俱乐部接受了美国麻省理工学院系统动力学创建人 J. W. Forrester 教授的建议，采用他提出的系统动力学模型，研究令人忧虑的世界发展前景问题，并在 1972 年发表了震惊世界的研究成果——《增长的极限——罗马俱乐部关于人类困境的报告》（以下简称《增长的极限》），从而引发了可持续发展的新思维。

如今，可持续发展已经成为世界各国所共同遵循的基本理念和行为准则。我国也在 1996 年将“保护环境、实施可持续发展战略”作为了一项基本国策。

罗马俱乐部为什么选择系统动力学模型研究世界未来前景问题，D. L. Meadows 在《增长的极限》一书序言中作了回答。他说：“我们已经建立的模型，像其他每一个模型一样，是不完备的、过分简化了的和未完成的。我们完全意识到了它的缺点，但我们相信，它是现今适用于处理空间-时间图表上远处出现的各种问题的最有用的模型……”

对于系统动力学用于可持续发展研究的优越性，我国学者方创琳也进行了研究。他在分析和比较了多种系统方法的建模基础、基本形式和种类、主要应用领域与功能、模型的局限性以及与其他模型或方法对接的可能性之后指出，系统动力学模型的诸多优越性使其成为解决区域 PRED——人口、资源、环境与可持续发展问题的首选方法之一。

系统动力学（System Dynamics, SD）始创于 1956 年。它是一门分析研究复杂动态反馈性系统问题的综合交叉学科。如果从系统方法论来说，系统动力学是结构的方法、功能的方法和历史的方法的统一。它基于系统论，综合了控制论和信息论的部分内容，成为集自然科学、社会科学和技术科学多种理论与方法于一身的系统科学方法，广泛应用于人类生产和生活的各个领域。

自罗马俱乐部发表《增长的极限》以来，系统动力学在世界各国人口、资源、环境与社会经济可持续发展方面的研究迅速拓展。可持续发展问题研究在系统动力学的应用领域中占据了越来越重要的地位。

20 世纪 80 年代初，我国开始引入系统动力学的理论和方法，并在可持续发展研究领域得到了广泛的应用。截至 2005 年，在系统动力学可持续发展研究方面，已经发表了大约 500 篇相关文章。其范围从内容上来看，涵盖了人口、生态环境保护、各种资源以及综合性的可持续发展研究；从地域上来看，包括了城市、乡村和流域、林区、矿区、海洋等特殊地域以及国家可持续发展研究。

由于系统动力学在解决复杂动态反馈性系统问题方面的诸多优势,其应用领域还在不断扩展,更多的研究人员也在不断参与其中。

对于这种优秀的研究方法,是很有必要进行总结,并使其得到发扬光大的。而且,我国的高等教育和人员培训对此也有着比较强烈的需求。如 1997 年国务院学位委员会在调整研究生专业目录时,在理论经济学一级学科下设立了人口、资源与环境经济学二级学科。这是一门培养可持续发展研究专门人才的新兴交叉学科。全国已有大量的高等院校在不同的院系开设了人口、资源与环境经济学及其相关课程。系统动力学作为可持续发展研究的首选方法之一,将成为人口、资源与环境经济学教学的重要方法课程。但是,反映系统动力学可持续发展研究的综合性教材还很稀少。鉴于此,作者在长期从事教学和科研的基础上,编写了本书。

本书的基本特点是:①全面地总结了系统动力学在人口、资源、环境与社会经济可持续发展研究中的应用情况;②简要地介绍了系统动力学的基本原理和两种建模方法与步骤。为迅速了解系统动力学的核心内容并循此进行深入研究提供了快捷通道;③构筑了系统动力学在可持续发展研究中普遍应用的包含人口、资源、环境、社会与经济五个子系统的系统动力学可持续发展研究基本模型,并提出了可持续发展研究无论是综合性研究,还是单一项目的研究,都应该在此基本模型的基础上逐渐拓展,以反映可持续发展系统的综合性、完整性和真实性的新思路;④介绍了三个中国国家可持续发展模型,以及韩国时空兼通国土规划模型的开发情况,指出了国家可持续发展模型整合的必要性;⑤分析了系统动力学可持续发展安全与预警研究的基本流程,提出了系统动力学可持续发展研究应向安全与预警方向发展的建议;⑥探讨了系统动力学未来重要的应用领域,包括社会主义新农村建设与城乡一体化建设、人口区划与生态屏障建设、大部制改革与功能协调、绿色 GDP 核算等;⑦较为详细地介绍了在我国最为流行的系统动力学免费软件 Vensim-PLE 的使用方法,为学习和研究工作提供了便利条件。

本书可作为高等院校人口、资源与环境经济学及其相关学科的教材使用,也可供广大的科研、管理和决策人员参考。

感谢中国人民大学社会与人口学院人口学系 2004 级的杨丹、林伟、王澎湖、颜区涛、耿鑫、刘岚、王银燕等各位硕士为本书整理相关的资料;感谢我的导师杜鹏教授为本书作序;感谢本书的责任编辑高速进副编审的辛勤工作。特别还要感谢本书参考文献的作者们,没有他们的卓越研究成果,本书也是不可能完成的。

由于本人的水平有限,书中错误和疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 我国的人口资源环境与社会经济可持续发展问题	1
第一节 人口问题	1
第二节 生态环境问题	4
第三节 资源问题	9
第四节 社会发展问题	11
第五节 经济发展问题	17
第六节 可持续发展与系统动力学	20
第二章 系统动力学及其应用	24
第一节 系统动力学概述	24
第二节 系统动力学基本思想	26
第三节 系统动力学建模方法	33
第四节 系统动力学建模基本步骤	39
第五节 系统动力学方法的改进与拓展	43
第三章 可持续发展系统动力学基本模型	48
第一节 模型构筑的指导思想	48
第二节 可持续发展系统动力学基本模型	51
第三节 可持续发展系统动力学基本模型应用原则	61
第四章 系统动力学在人口研究中的应用	65
第一节 人口指标体系	65
第二节 人口研究的一般模型	71
第三节 系统动力学在人口数量研究中的应用	73
第四节 系统动力学在人口迁移研究中的应用	78
第五节 系统动力学在人口结构研究中的应用	82

第五章 系统动力学在生态环境保护研究中的应用	92
第一节 系统动力学在生态保护研究中的应用	92
第二节 系统动力学在固体废弃物预测与管理中的应用	94
第三节 系统动力学在水环境保护中的应用	107
第四节 系统动力学在环境影响评价中的应用	110
 第六章 系统动力学在资源开发与利用研究中的应用	 114
第一节 资源及其特性	114
第二节 系统动力学在土地资源方面的应用	118
第三节 系统动力学在水资源方面的应用	122
第四节 系统动力学在草地资源方面的应用	128
第五节 系统动力学在森林资源方面的应用	130
第六节 系统动力学在矿产资源方面的应用	133
第七节 系统动力学在海洋环境保护及资源开发方面的应用	146
 第七章 系统动力学在区域可持续发展研究中的应用	 149
第一节 问题与思路	149
第二节 研究进展	150
 第八章 国家可持续发展系统动力学仿真模型研究	 159
第一节 2000 年的中国发展研究	159
第二节 美国千年研究所 T21 中国模型	164
第三节 中国可持续发展计算机模型 1.0	165
第四节 韩国时空兼通国土规划模型	166
第五节 国家级可持续发展系统动力学模型开发的思考	167
 第九章 系统动力学在可持续发展安全与预警研究中的应用	 170
第一节 安全与预警	170
第二节 系统动力学用于安全与预警研究的一般流程	172
第三节 系统动力学安全与预警研究实例分析	175
第四节 研究拓展建议	180

第十章 系统动力学未来重要应用领域分析	181
第一节 社会主义新农村建设与城乡一体化建设	181
第二节 人口区划与生态屏障建设	182
第三节 大部制改革与功能协调	184
第四节 绿色 GDP 的核算	186
第十一章 系统动力学模拟软件	188
第一节 系统动力学模拟软件的发展	188
第二节 Vensim-PLE 的使用方法	190
参考文献	221

第一章

我国的人口资源环境与社会经济可持续发展问题

改革开放以来，我国的社会经济得到了迅速的发展，国内生产总值基本保持了年平均 9.5% 的增长速度，综合国力日益增强，人民的生活水平不断提高。但是，与此同时，我国的社会经济发展遇到了人口、资源、环境越来越强烈的制约，人口、资源、环境与社会经济可持续发展之间的矛盾也在不断激化。如何正确地认识这些矛盾和问题，有效地协调人口、资源、环境与社会经济可持续发展之间错综复杂的互动关系，实现整体的可持续发展，使我国在 21 世纪中叶跨入中等发达国家的行列，是当前亟待解决的一项战略任务。

本章将以可持续发展的理论为核心，分析影响可持续发展的主要问题和关键因素；探讨解决影响可持续发展问题与矛盾的系统动力学方法。

第一节 人口问题

尽管从 20 世纪 70 年代中期我国就开始实施越来越严格的计划生育政策，并实现了人口再生产类型的历史性转变，进入了稳定低生育水平的新时期，使我国人口数量过快增长的势头得到了有效控制，30 年多来少生了 4 亿多人。但是，人口问题仍然是制约我国全面协调可持续发展的重大问题，是形成资源、环境巨大压力，影响社会经济发展的关键因素。继续控制人口数量、改善人口结构、提高人口素质，仍然是十分必要的。

一、人口规模过大并继续增长

根据第五次全国人口普查统计，截至 2000 年 11 月 1 日，全国总人口已达 126 583 万人。2005 年 1 月 6 日，我国的总人口数量到达了 13 亿。就我国国土的承载能力而言，现有的人口规模显然是过大的。

然而，我国的人口数量还会不断增长。据预测，即使生育率已经降低，人口年增长率下降，但绝对增长量仍相当可观，我国每年人口仍然要净增 800 万—

1 000 万。到 2033 年前后,我国人口才能达到峰值,实现零增长。届时,总人口可能约达 15 亿,人口与资源环境和社会经济发展之间的矛盾将更加尖锐。

二、低生育水平还不稳定

我国人口再生产类型虽然已经实现了由高出生、低死亡、高增长向低出生、低死亡、低增长类型的历史性转变,总和生育率已下降到发达国家水平。然而,由于我国人口转变的途径与发达国家的转变途径有很大不同,我国的低生育水平仍具有不稳定性和不平衡性的特点。

1. 方式不同

西方发达国家人口增长方式的转变,是随着经济社会的发展,用了 100 多年的时间,自发式逐步实现的,因而比较稳定。我国人口增长方式的转变,只用了不到 30 年的时间,是在社会生产力水平还比较低、地区之间发展不平衡、社会保障体系不健全的情况下,主要依靠行政制约的手段提前实现的。因此,低生育率面临着很强的反弹压力。

2. 地区差异大

发达国家生育水平比较平衡,而我国生育水平的地区差异比较大。广大农村,特别是中西部农村人口的生育率还比较高,一些省区还没有实现人口再生产类型向现代型的转变。

因此,深入贯彻《中共中央国务院关于加强人口与计划生育工作稳定低生育水平的决定》精神,坚持稳定低生育水平,以人的全面发展统筹解决人口问题,仍然是当前和今后必须坚持的基本方针。

三、老龄化程度不断提高

国际上一般把 65 岁及以上老人超过总人口的 7%,或者是 60 岁及以上老年人超过总人口的 10%的社会叫做老龄化社会。我国于 2000 年已经步入了老龄化社会,60 岁及以上的人口占总人口的比例已达 10.07%;2005 年,60 岁及以上的人口为 1.44 亿人,已占总人口的 11.03%。

随着出生人口数量的不断下降和人口预期寿命的不断延长,老龄化程度还会不断加大。据预测,2051 年,我国老年人口规模将达到峰值 4.37 亿,约为少儿人口数量的 2 倍。老龄化程度基本稳定在 31%左右,将比那一个时期世界平均老龄化水平高出 10 个百分点,并产生更加严重的社会经济问题。

四、出生婴儿性别比失衡将导致婚姻挤压现象

出生婴儿性别比是指出生婴儿中以女婴数为 100 衡量的男女婴儿的比例关系。正常值为 104—107。

20 世纪 80 年代以来,我国出生婴儿性别比持续升高。1982 年第三次全国人口普查,全国的出生性别比为 108.5;1987 年全国 1%人口抽样调查为 110.9;1990 年第四次全国人口普查为 111.3;1995 年全国 1%抽样调查为 115.6;2000 年第五次全国人口普查显示,出生性别比平均值为 116.9。各省、自治区和直辖市,除西藏和新疆等个别自治区外,都高出正常范围。2005 年我国出生婴儿性别比进一步增长到 118.9,江西、广东、海南、安徽、河南五省的出生性别比甚至超过 130。我国已经成为世界上出生婴儿性别比失衡最为严重、持续时间最长的国家。

我国婴儿出生性别比失衡,农村又远高于城市。究其原因,主要在城乡二元结构所造成的社会保障差异。在农村社会保障体系不健全的情况下,养儿防老成了人们必然的选择。

性别比的严重失衡,将会面临前所未有的婚姻挤压现象,未来我国将大约有 4 000 万的“光棍儿”,并可能产生严重的社会问题。治理出生性别比失衡已经刻不容缓!

五、人口素质亟待提高

新中国成立 59 年来,我国人口素质有了很大改善和提高,但与发达国家相比,人口的文化程度、健康水平、育龄妇女的生殖健康、孕产妇死亡率、新生儿死亡率和出生婴儿缺陷率等,还存在不小的问题和差距。

1. 人口文化程度

据第五次全国人口普查统计和联合国统计年鉴(1995 年)资料,我国大陆人口中,接受大专以上学历的人口只占总人口的 3.6%,比美国的 46.5%(1994 年)、日本的 20.7%(1990 年)、加拿大的 21.4%(1991 年)低得多;与同为发展中国家的阿根廷的 12.0%(1991 年)相比也要低很多。

2. 人口健康水平

我国人口粗死亡率在 6.6%的水平上已经稳定了近 30 年,比美国、德国、英国、法国、意大利、加拿大等发达国家和许多发展中国家都低得多,但婴儿死亡率却仍保持较高水平。20 世纪 90 年代中期,我国婴儿死亡率已降为 32.3%,而发达国家在 20 世纪 30—40 年代已降低到 4%—8%。与此相关的平均预期寿命,我国为 71 岁,而上述发达国家则高于我国 5—10 岁。

3. 生殖健康水平

妇女生殖健康水平仍然偏低。2001 年全国计划生育/生殖健康调查表明,1996 年以来初婚的妇女,还有相当部分未进行婚前检查;孕期补充铁、钙等微量元素的比比例还很低。1990 年以来生育的妇女,由非专业人员接生的比例接近 15%。我国育龄妇女生殖道感染发病率高达 30%—50%。

4. 新生儿缺陷率

新生儿缺陷率居高不下。2001—2006 年卫生部以医院为基础的出生缺陷监测结果显示, 出生缺陷发生率呈逐年上升的势头, 新生婴儿缺陷发生率为 4%—6%, 每 30 秒就有一个缺陷儿出生, 每年有多达 80 万—120 万出生缺陷儿。根据我国出生缺陷监测和残疾儿童调查结果, 全国累计有近 3 000 万个家庭曾生育过出生缺陷和先天残疾儿, 约占全国家庭总数的 1/10。而 1980—2002 年欧洲发达国家的新生儿缺陷平均发生率只有 2.16%。

大量残疾婴儿的出现, 给家庭和社会造成了长期沉重的负担。我国每年出生缺陷患儿的治疗和最基本生活费用都在数百亿元以上, 给国家造成的间接费用约数千亿元。

此外, 不断增长的性病、艾滋病等, 对新生儿的健康成长也构成了巨大的威胁。

六、大量的人口需要生态移民

生态移民是指为了保护某个地区特殊的生态或让某个地区的生态得到修复而进行的移民, 也指因自然环境恶劣, 不具备就地扶贫的条件而将当地人整体迁出的移民。

目前, 由于我国的人口数量不断增长, 消费水平迅速提高, 资源需求日益增加、生态系统承载力损失逐年加大、人地关系矛盾日趋尖锐等, 许多地区面临着不得不实施生态移民的困境。

据预测, 未来我国将有 22 个省市 1.86 亿居民需要重新安家。然而, 其他省市只能容纳大约 3 300 万人。如果不能妥善解决移民的安置问题, 那将意味着我国将有 1.5 亿“生态难民”。

第二节 生态环境问题

我国自改革开放以来, 一直十分重视生态环境保护工作。但生态环境整体恶化的趋势并未得到根本性的遏制, 特别是沙漠化、水土流失、生物入侵、环境污染等问题, 严重地阻碍着社会经济的可持续发展。

一、沙漠化问题

我国是世界上沙漠化面积较大、危害严重的国家之一, 目前全国荒漠化土地面积达 174 万 km^2 , 占国土总面积的 18.1%; 同时还有近 32 万 km^2 的土地具有沙漠化的趋势, 如果保护利用不好, 极易变成新的沙漠化土地。

沙漠化往往会加剧沙尘暴的发生和危害。据统计,我国每年遭受的强沙尘暴天气已由 20 世纪 50 年代的 5 次增加到了 90 年代的 23 次。近年来,尽管通过退耕还林、退耕还草等措施,使沙尘暴问题有所缓解,但沙尘暴还是频繁出现,如 2006 年我国仍然出现了 18 次沙尘天气过程,其中有强沙尘暴 5 次。沙尘暴已成为我国北方地区挥之不去的梦魇。

二、水土流失问题

我国是世界上水土流失最严重的国家之一。目前,全国除了 356.9 万 km^2 的水蚀和风蚀外,还有 127.8 万 km^2 的冻融侵蚀。若把冻融侵蚀也计入的话,则全国水土流失总面积为 484.7 万 km^2 , 占国土总面积的 51.1%。

我国国土总面积约占全世界土地总面积的 6.8%,而水土流失面积约占全世界水土流失面积的 14.2%。不论是山区、丘陵区、风沙区,还是农村、城市、沿海地区都存在不同程度的土壤侵蚀。

因水土流失我国每年流失的土壤总量约达 50 亿 t,每年流失的土壤养分约相当于 4 000 万 t 标准化肥。自 1949 年以来,我国水土流失毁掉的耕地总量约达 267 万 hm^2 ,对农业生产造成了极大的损害。

严重的水土流失还加剧了水旱灾害的程度。20 世纪 50 年代我国年均受旱灾的农田为 800 万 hm^2 ,90 年代上升为 2 530 万 hm^2 。1972 年黄河发生第一次断流,1985 年后几乎年年断流。而长江流域的水灾发生频率更是明显增加,500 多年来,长江流域共发生的大洪水为 53 次;但近 50 年来,每三年就出现一次大涝,1998 年的大洪水造成了巨大的经济损失。

三、物种灭绝与生物入侵

从本质上来说,灭绝和进化是生命发展的两个不同侧面,两者既对立又统一,共同构成了生命发展中永无止境的运动。然而,人类活动对地球生态系统的巨大影响,加速了物种灭绝、导致了生物多样性的缺失、扩大了生物入侵。

我国本是生物多样性十分丰富的国家,但近些年来大规模的生态破坏、环境污染和乱捕滥杀,使很多珍稀野生动植物都处于濒危状态。据初步统计显示,高等植物中濒危或接近濒危的物种达 4 000—5 000 种,占我国拥有物种总数的 15%—20%,高于世界 10%—15% 的平均水平。在联合国《国际濒危物种贸易公约》列出的 640 种世界濒危物种中,我国就有 156 种,约占总数的 1/4。

物种灭绝、生物多样性缺失,往往伴随着大规模的生物入侵。

“生物入侵”是指某种生物从外地自然传入或人为引种后成为野生状态,并对本地生态系统造成一定危害的现象。外来生物在其原产地有许多防止其种群恶性膨胀的限制因子,其中捕食和寄生性天敌的作用十分关键,它们能将其种群密

度控制在一定数量之下。因此,那些外来种在其原产地通常并不造成较大的危害。但是它们一旦侵入新的地区,失去了原有天敌的控制,其种群数量则会暴涨并蔓延成灾。特别是在生物多样性缺失的地区,生物入侵更加容易,所造成的灾害也更加严重。

我国是遭受外来生物入侵危害最严重的国家之一。农业部 2004 年公布的统计数字显示,入侵我国的外来物种已达 400 多种;在国际自然保护联盟公布的全球 100 种最具威胁的外来生物中,我国占到了 50 余种,且多为大害。目前我国 34 个省、自治区、直辖市及特别行政区没有一个不受到外来物种的侵害。

外来物种造成了严重的生态灾难和生产、经济损失。据保守的估计,近些年来全国每年由外来物种造成的经济损失在 1 200 亿元左右。

四、环境污染

发展经济与保护环境常常发生冲突。发达国家走的是先污染、后治理的道路。我国在改革开放之初就提出了项目建设“三同时”、经济社会与生态环境保护协调发展的基本原则,以避免重蹈发达国家的覆辙。然而,实际情况并不乐观。一是我国环境污染已经从常规的点源污染向点源与面源结合的复合污染扩展;二是工业污染得到控制,生活污染比重上升;三是长距离跨界污染日趋严重,生态环境纠纷日益增多;四是多种环境问题并存,调控难度不断加大;五是环境污染对生态、生产和人群健康所造成的损失急剧增加。环境污染问题已成为我国 21 世纪面临的最严重的挑战之一。

(一) 大气污染

2000 年我国二氧化硫排放量为 1 995 万 t,2005 年二氧化硫排放量增加到 2 549 万 t,已居世界第一位。“十五”期间,我国二氧化硫排放量不但没有完成削减 10% 的目标,反而上升了 27.8%。

2005 年监测的 522 个城市中,空气质量达到我国《环境空气质量标准》(GB3095—1996)一级标准的城市 22 个(占 4.2%)、二级标准的城市 293 个(占 56.1%)、三级标准的城市 152 个(占 29.1%)、劣于三级标准的城市 55 个(占 10.6%),即有约 40% 的城市处于中度或重度污染。

由于二氧化硫和其他酸性污染物的大量排放,我国的酸雨面积越来越大。过去酸雨主要集中在长江以南,近年来长江以北地区酸雨面积也在不断扩展,年均降水 pH 低于 5.6 的区域大约占全国面积的 1/3。长期的酸雨加速了土壤酸化过程,导致农业生态环境恶化。

（二）水污染

水污染是我国长期没有得到解决的老大难问题。工业生产的低效率、高消耗、高增长使工业废水的排放量不断增加；居民生活用水的不断提高，处理率的过低，使生活污水的排放量也在不断增加；再加上居民生活垃圾向江河中的倾倒，农业生产的残余化肥、农药和畜禽粪便的排放，造成了我国江河湖海水体的严重污染。

1. 地表淡水污染

我国江河湖库水域除部分内陆河流、湖泊和大型水库外，普遍受到不同程度的污染，工业发达城镇附近的水域污染尤为突出。2005 年全国水环境质量监测表明，7 大水系中符合我国《地表水环境质量标准》（GB 3838—2002）Ⅰ、Ⅱ类的占 24%，符合Ⅲ类的占 17%，属于Ⅳ、Ⅴ类及劣Ⅴ类的占 59%。大部分的城市河段不适宜作饮用水源。

主要湖泊富营养化严重。全国 84 个代表性湖泊富营养化状况评价结果表明：全年有 44 个湖泊呈富营养状态，占评价湖泊总数的 52.4%。近年来水藻在南方的主要湖泊频繁爆发，已造成了严重的社会经济影响。

2. 地下水污染

地表水的普遍污染和过量抽取地下水，使得地下水也受到了污染的严重威胁。近些年来，我国大中城市浅层地下水不同程度地遭受了污染。其中约一半的城市市区地下水污染严重。全国多数城市地下水水质呈下降趋势；部分城市浅层地下水已经不能直接饮用；地下水不仅检出污染组分越来越多，越来越复杂，而且污染程度和深度也在不断增加，有些地区深层地下水中已有污染物检出。地下水污染正由点污染、条状污染向面上扩散，由浅层向深层渗透，从城市向周边蔓延。

地下水深埋在地下，由于缺氧、温度低、无光照、流动缓慢、自我净化的速率极低，一旦受到污染，几乎没有恢复的可能。对人口稠密地区而言，这将是长期的灾难。

3. 海洋污染

陆地上排放的水污染物，除了自然分解、下渗的以外，几乎全部流入海洋；再加上船舶和海产养殖的污染，使我国的海洋环境污染日益加剧。

2000 年 5 月，国家海洋局发布了《20 世纪末中国海洋环境质量公报》。这个公报体现了 1997—1999 年三年间开展的全国海洋污染基线调查的成果，全面、客观、准确地反映了 21 世纪来临前夕我国海洋环境质量的“本底”状况。

此次全国海洋污染基线调查表明，我国海洋污染范围不断扩大，大部分河口、海湾以及大中城市邻近海域污染日趋严重。1998 年，我国近海海域水质劣于我国《海水水质标准》（GB 3097—1997）一类标准的面积已达约 20 万 km²，比 1992