

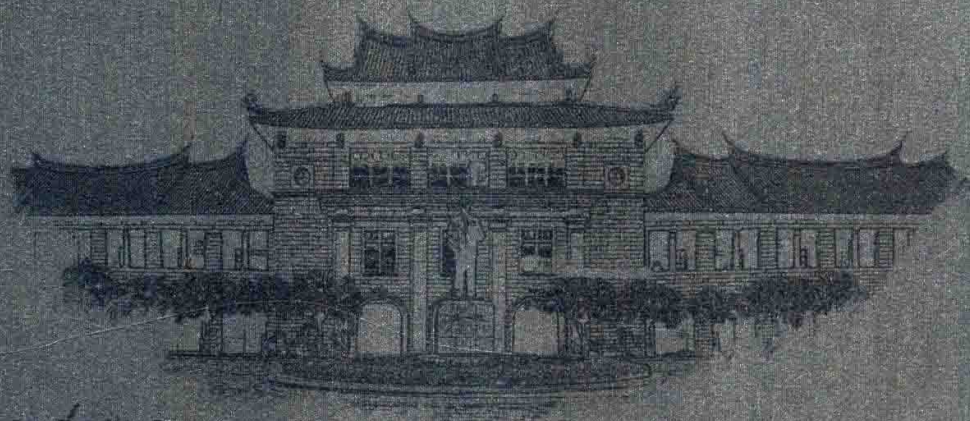


厦门大学南强丛书

【第七辑】

# 论环境变化

刘广山◎著



*Xiamen University  
Nanqiang Congshu*



厦门大学出版社  
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社  
全国百佳图书出版单位

厦门大学南强丛书【第七辑】

# 论环境变化

刘广山◎著



厦门大学出版社 | 国家一级出版社  
XIAMEN UNIVERSITY PRESS | 全国百佳图书出版单位

## 图书在版编目(CIP)数据

论环境变化/刘广山著.—厦门:厦门大学出版社, 2021.1

(厦门大学南强丛书. 第7辑)

ISBN 978-7-5615-6490-5

I. ①论… II. ①刘… III. ①环境科学—研究 IV. ①X

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 185327 号

---

**出版人** 郑文礼

**责任编辑** 李峰伟

**封面设计** 李夏凌

**技术编辑** 许克华

---

**出版发行** 厦门大学出版社

**社 址** 厦门市软件园二期望海路 39 号

**邮政编码** 361008

**总 机** 0592-2181111 0592-2181406(传真)

**营销中心** 0592-2184458 0592-2181365

**网 址** <http://www.xmupress.com>

**邮 箱** [xmup@xmupress.com](mailto:xmup@xmupress.com)

**印 刷** 厦门集大印刷厂

---

**开本** 720 mm×1 000 mm 1/16

**印张** 19.75

**插页** 4

**字数** 345 千字

**版次** 2021 年 1 月第 1 版

**印次** 2021 年 1 月第 1 次印刷

**定价** 59.00 元

---

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社  
微信二维码



厦门大学出版社  
微博二维码

## 厦门大学南强丛书（第七辑）编委会

**主任委员：**张 荣

**副主任委员：**杨 斌 江云宝

**委员：**（以姓氏笔画为序）

田中群	江云宝	孙世刚	杨 斌	宋文艳	宋方青
张 荣	陈支平	陈振明	林圣彩	郑文礼	洪永淼
徐进功	翁君奕	高和荣	谭 忠	戴民汉	

# 总 序

在人类发展史上,大学作为相对稳定的社会组织存在了数百年并延续至今,一个很重要的原因在于大学不断孕育新思想、新文化,产出新科技、新成果,推动人类文明和社会进步。毋庸置疑,为人类保存知识、传承知识、创造知识是中外大学的重要使命之一。

1921年,爱国华侨领袖陈嘉庚先生于民族危难之际,怀抱“教育为立国之本”的信念,倾资创办厦门大学。回顾百年发展历程,厦门大学始终坚持“博集东西各国之学术及其精神,以研究一切现象之底蕴与功用”,产出了一大批在海内外具有重大影响的精品力作。早在20世纪20年代,生物系美籍教授莱德对厦门文昌鱼的研究,揭示了无脊椎动物向脊椎动物进化的奥秘,相关成果于1923年发表在美国《科学》(Science)杂志上,在国际学术界引起轰动。20世纪30年代,郭大力校友与王亚南教授合译的《资本论》中文全译本首次在中国出版,有力地促进了马克思主义在中国的传播。1945年,萨本栋教授整理了在厦门大学教学的讲义,用英文撰写 *Fundamentals of Alternating-Current Machines* (《交流电机》) 一书,引起世界工程学界强烈反响,开了中国科学家编写的自然科学著作被外国高校用为专门教材的先例。20世纪70年代,陈景润校友发表了“1+2”的详细证明,被国际学术界公认为对哥德巴赫猜想研究做出了重大贡献。1987年,潘懋元教授编写的我国第一部高等教育学教材《高等教育学》,获国家教委高等学校优秀教材一等奖。2006年胡锦涛总书记访问美国时,将陈支平教授主编的《台湾文献汇刊》作为礼品之一赠送给耶鲁大学。近年来,厦门大学在

能源材料化学、生物医学、分子疫苗学、海洋科学、环境生态学等理工医领域,在经济学、管理学、统计学、法学、历史学、中国语言文学、教育学、国际关系及区域问题研究等人文社科领域不断探索,取得了丰硕的成果,出版和发表了一大批有重要影响力的专著和论文。

书籍是人类进步的阶梯,是创新知识和传承文化的重要载体。为了更好地展示和传播研究成果,在1991年厦门大学建校70周年之际,厦门大学出版了首辑“南强丛书”,从申报的50多部书稿中遴选出15部优秀学术专著出版。选题涉及自然科学和社会科学,其中既有久负盛名的老一辈学者专家呕心沥血的力作,也有后起之秀富有开拓性的佳作,还有已故著名教授的遗作。首辑“南强丛书”在一定程度上体现了厦门大学的科研特色和学术水平,出版之后广受赞誉。此后,逢五、逢十校庆,“南强丛书”又相继出版了五辑。其中万惠霖院士领衔主编、多位院士参与编写的《固体表面物理化学若干研究前沿》一书,入选“三个一百”原创图书出版工程;赵玉芬院士所著的《前生源化学条件下磷对生命物质的催化与调控》一书,获2018年度输出优秀图书奖;曹春平副教授所著的《闽南传统建筑》一书,获第七届中华优秀出版物奖图书奖。此外,还有多部学术著作获得国家出版基金资助。“南强丛书”已成为厦门大学的重要学术阵地和学术品牌。

2021年,厦门大学将迎来建校100周年,也是首辑“南强丛书”出版30周年。为此,厦门大学再次遴选一批优秀学术著作作为第七辑“南强丛书”出版。本次入选的学术著作,多为厦门大学优势学科、特色学科经过长期学术积淀的前沿研究成果。丛书作者中既有中科院院士和文科资深教授,也有全国重点学科的学术带头人,还有在学界崭露头角的青年新秀,他们在各自学术领域皆有不俗建树,且备受瞩目。我们相信,这批学术著作的出版,将为厦门大学百年华诞献上一份沉甸甸的厚礼,为学术繁荣添上浓墨重彩的一笔。

“自强! 自强! 学海何洋洋!”赓两个世纪跨越,逐两个百年梦想,

面对世界百年未有之大变局,面对全人类共同面临的问题,面对科学研究的前沿领域,面对国家战略需求和区域经济社会发展需要,厦门大学将乘着新时代的浩荡东风,秉承“养成专门人才、研究高深学术、阐扬世界文化、促进人类进步”的办学宗旨,劈波斩浪,扬帆远航,努力产出更好更多的学术成果,为国家富强、民族复兴和人类文明进步做出新的更大贡献。我们也期待更多学者的高质量高水平研究成果通过“南强丛书”面世,为学校“双一流”建设做出更大的贡献。

是为序。

厦门大学校长

张荣

2020年10月

**作者简介**

刘广山, 1986年毕业于兰州大学现代物理系, 获硕士学位。之后在中国辐射防护研究院从事环境辐射研究, 曾任助理研究员、副研究员。1996年到厦门大学从事同位素海洋学与环境变化教学和研究工作, 曾任副教授、教授。

主持和参加多项国家自然科学基金项目、973项目和其他研究项目。已在国内外各种期刊发表论文 150 余篇。独立著作出版《海洋放射性核素测量方法》《同位素海洋学》《海洋放射年代学》3部专著, 与他人合作编著了《同位素海洋学文集》1至5卷。独立承担“同位素海洋学”“应用数学”等 10 门本科生和研究生课程。曾参加中国第 15 次南极科学考察和中国边缘海多次海上调查工作。

# 前 言

环境变化研究涵盖领域广泛,内容极其丰富,进行系统性论述非常困难,分圈层有可能使环境变化论述有一定的系统性。地球外圈分为4个圈层,即岩石圈、生物圈、大气圈和水圈。如果考虑到地球内部结构,在岩石圈之下,还有软流圈、中圈和地核。没有人能将4个圈层割裂开来,因为它们的变化融合在一起。例如,冰期与间冰期是气候变化的内容,但也反映水在陆地和海洋间腾挪,表现为水圈的变化。显然生物的演化也和冰期与间冰期密切相关。地质时期,联合古陆旋回和冰期与间冰期更替构成环境变化的大框架。环境变化发生在岩石圈、水圈、大气圈和生物圈,岩石圈规范了其他3个圈层,其他3个圈层也不断改造着岩石圈。

环境变化存在不同的时间和空间尺度。对遥远的过去,只能研究长时间尺度和大空间尺度的问题,短时间尺度的问题则局限于不久之前至今的一段时间。因此,环境变化的论述距现在越近,可论述的时间尺度越短,空间尺度越小;在同样时间和空间尺度范围,距现在越近,能获得的信息时空分辨率越高。

在空间上,先论述最大空间尺度,即全球尺度,依次减小空间尺度,直到最小空间尺度,也是从大问题到小问题递次论述。环境变化的信息来源于局地环境变化记录。环境变化记录介质总是某地的,记录反映的首先是局地环境,所以人们是从局地记录推测全球环境变化的。

环境变化包括驱动力、过程和现象。本书主要叙述过程和现象。论述环境变化就是厘清环境参数随时间的变化。现在还有很多参数的变化是无法描述的,主要原因如下:第一,虽然地球环境变化的资料极为丰富,但至今仍然是散碎、不连续的;第二,描述地球环境的参数很多,提纲挈领非常困难;第三,很多环境变化研究报道方法学的内容占了很大部分。在一定时空尺度,笔者欲

抓住主要环境变化参数加以论述,但发现不同时期、不同空间尺度的关键环境变化参数可能不尽相同。本书对常见事件做了一些介绍,如地震、火山喷发、季风,这些可能影响环境变化,而事件对环境长期变化的影响有待深入研究。地球环境变化可能是多因素共同作用的结果,但其中一种必定是主要的。

环境变化主要是地表过程——地球各圈层随时间的变化,就是地球的历史。这些变化从何说起?从地球形成时说起,解决了时间框架完整性问题,所以本书各圈层的变化也从地球形成过程说起。地质年代表就是本书的时间框架,也是叙述问题的主线,长时间尺度依次用宙、代、纪、世,更短时间尺度多用年表示。

我国开展了大量的环境变化研究,范围涉及全国甚至全球,特别是气候变化研究,研究西部干旱荒漠的报道很多,气候变化的黄土记录和青藏高原的研究积累了丰富的资料,形成信息的海洋,而且仍不断有清渠注入。

过去的环境变化研究,是科学家对过去的环境参数取值的推测。随着研究深入,证据不断积累,推测会发生变化,且有些可能是颠覆性的变化,所以对书中所引结论应持客观态度。

在本书的写作过程中,笔者走过了艰苦的路程,书稿水平不高主要是因为笔者才疏学浅,再加上把别人发表的文章编成书也并不容易。写作与修改过程中总觉得深度不够,也不够全面,内容需要充实,文字需要润色,特别是各个圈层的相互作用论述较少。

最后谢谢关心和帮助过笔者的老师、朋友和学生们!

留下邮箱地址(lgshan@xmu.edu.cn),供热心的读者联系、反馈问题、提出建议用。

刘广山

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
第一节 环境的特点 .....	1
第二节 环境参数 .....	4
第三节 环境变化 .....	7
第四节 年代学 .....	11
第五节 环境变化研究方法 .....	15
第二章 岩石圈的变化 .....	18
第一节 岩石圈 .....	18
第二节 地球形成过程与联合古陆旋回 .....	31
第三节 板块构造 .....	38
第四节 海底扩张 .....	51
第五节 地表过程 .....	56
第六节 海洋地质作用过程 .....	69
第三章 陆地水圈的变化 .....	81
第一节 地球水的起源与水循环过程 .....	81
第二节 冰期与冰盖 .....	87
第三节 第四纪冰期与冰盖 .....	92
第四节 河流的变化 .....	97
第五节 湖泊的变化 .....	105

<b>第四章 海洋环境变化</b> .....	119
第一节 大洋环流与上升流 .....	119
第二节 五大洋的形成 .....	122
第三节 海平面变化 .....	127
第四节 大洋环流变化 .....	134
第五节 古海水温度 .....	140
第六节 古海洋化学 .....	146
<b>第五章 大气成分变化</b> .....	173
第一节 大气圈 .....	173
第二节 原始大气与次生大气 .....	176
第三节 大气氧的形成与变化 .....	179
第四节 大气二氧化碳浓度的变化 .....	185
第五节 大气氮和氩的形成与变化 .....	192
第六节 气溶胶 .....	194
<b>第六章 气候变化</b> .....	204
第一节 天气系统与气候 .....	205
第二节 地质时期的气候变化 .....	211
第三节 新生代的气候变化 .....	216
第四节 第四纪气候变化 .....	222
第五节 历史时期的气候变化 .....	234
第六节 近代气候变化 .....	240
<b>第七章 生物圈的演化</b> .....	258
第一节 生物圈 .....	258
第二节 生命演化三阶段与前寒武纪生命过程 .....	265
第三节 古生代 .....	271
第四节 中生代 .....	276
第五节 新生代 .....	281
第六节 第四纪 .....	289

# 第一章 绪 论

环境变化是最复杂、内容最广泛的学科领域。从地球的形成开始,沿时间轴,岩石圈、水圈、大气圈与生物圈均发生了极大的变化。过去的环境变化研究总是通过与现代环境比较进行,所以现代环境的参数化也是环境变化研究的内容。

## 第一节 环境的特点

环境是某一主体周围的空间及空间中存在的事物,包括主体之外的所有一切。环境的定义虽然明确,却非常抽象,而且随着主体不同,环境的侧重面也不同。人们通常所说的环境以人为主体。环境是在人群周围的直接和间接影响人类的各种自然因素和社会因素的总和,包括自然因素的各种物质、现象、过程,以及人类社会、经济和政治因素。

以一个生活在山区农村的人为主体,可以列举出以下环境因素:①地理学参数:洲,国,省,市,县,区,自然村;经纬度,平均海拔。②人:男、女人口数量、比例,受教育程度,工作种类与人口数量。③山:名称,走向,长度,宽度,最高峰海拔。④水:河/湖名称,流量/流域面积。⑤可耕地面积,山区林地面积。⑥气候:日照量;平均气温,气温分布;年降雨量,降雨量分布;风场。⑦植物1:主要野生植物名称,树木成林否,成林面积。⑧植物2:粮食作物面积、比例,蔬菜作物面积、比例。⑨植物3:其他经济作物,种类,产量,产值。⑩野生动物:种类,成群否,生物量。⑪家畜:牛、马、驴、骡、羊、猪、鸡、鸭、鹅等。⑫矿山:什么矿,储量,开采情况。⑬房子:在中国,住房很大程度上反映社会经济状况。住房质量是生活水平,也是环境质量的直接反映。⑭空气质量:包括周边有没有工厂。⑮旅游景观:春天的景色、秋天的收获场面等;文物、古迹等。⑯大路、小路、公路、高速公路、铁路、飞机场等。⑰社会关系:中国东南沿海地

区很多人有海外关系,这些关系可使局地得到发展。⑱经济情况……

现实条件下,对环境的描述只能择其主要的、有代表性的方面,以给出总体的印象和关键信息。一些文学作品用简短的语言给人们一个真实的印象——就是这样的。像陶渊明的《桃花源记》,杜甫的《茅屋为秋风所破歌》,几句话就使人们对所描述的环境有一个深刻的印象。

环境是一个非常复杂的体系,一般按主体、范围、要素、人类对环境的利用和环境的功能进行分类。生态学中将环境分为生物和非生物两方面。按对环境的影响和对人的作用将环境分为自然环境和社会环境。自然环境即地球的各个圈层;社会环境包括政治、经济和文化各个方面。

按空间范围划分环境的做法最多,小范围的环境就是人们的生活条件(如居室环境、院落环境)和劳动环境(如车间环境),中到城市环境、流域环境,大到全球环境。

环境中的每一组成部分称为环境要素,包括大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、水生生物、名胜古迹、风景游览区、疗养区、自然保护区、生活居住区等。环境还包括这些要素之间以及这些要素与外界的相互作用,也包括人与人的关系。自然环境会由于人类的活动而产生不同程度的变化,但其自身演变还是受自然规律的约束。自然环境还可分为大气环境、水环境、生物环境、地质环境等。

社会环境是人在社会不断发展过程中为提高人类的物质和生活水平创造出来的。依据人类对自然环境的利用,可以将社会环境划分为聚落环境,如村落环境、城市环境等;生产环境,如工厂环境、矿山环境、农场环境、林场环境等;交通环境,如民航、铁路、高速公路等;文化环境,如学校、文物古迹、旅游景点等。

虽然有各种各样的环境,但每一种环境都具有以下几大特点。

## 一、整体性

环境的定义直接说明环境是一个整体。另外,环境的整体性还包含各要素之间的相互作用。以一个城市为例,可以列举出的环境组成包括:①地理参数:洲,国,省,市;经纬度。②面积。③地形地貌。④气候。⑤动物、植物。⑥居民:人口数量,民族,人口比例。⑦交通:航空,铁路,公路,海运。⑧城市交通:包括大街、高架路、立交桥等。⑨经济:包括经济总量、财政收支、固定资产投资、工业、对外贸易、利用外资量等。⑩楼房:商场、商务中心、居住区等。

⑪大学:数量,水平。⑫宗教:场所多少,信徒多少。⑬空气质量。⑭旅游景点……

城市的全部组成城市环境。全面描述环境组成会显得很冗长,也很繁杂;即使分类论述,仍可能不得要领。对不同的关注点,人们可以以某些方面为主描述环境。

## 二、地域性

气候、生物、经济发展水平受地域影响非常明显。环境的地理要素变化会影响其他要素的变化,所以描述一种环境时一定要先明确地理学参数。

在同一经度,南方城市与北方城市气候不同。尽管不能忽视其他因素,但地理纬度的影响是主要的环境因素。除经纬度外,地域性还包括海拔、距海洋的距离、社会发展水平、人类对自然的干扰程度等。南极的气候和生物,印度尼西亚多地震地区,塔克拉玛干沙漠中的小河公主现象,都可归结为地域性的环境条件。

## 三、可变性

### (一)自然过程是缓慢的

地质时期的自然环境变化是缓慢的,地球经过 46 亿年的演化才达到目前的环境状况,经过几亿年演替才形成目前的全球生态格局。

### (二)环境是脆弱的

环境的脆弱性主要表现在环境对生态系统的作用上。灾害性事件和过度利用是环境脆弱性的诱因。生态系统的崩塌,包括生物绝灭,是环境脆弱的具体表现。

2002 年在我国广东顺德首先发现的严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS),很快传播至东南亚乃至全球,形成全球性传染病,全世界人谈 SARS 色变。该病患者死亡率高,即使治愈,后遗症也很严重,包括股骨头坏死致残和肺纤维化。人在病毒面前显得很脆弱。

## 四、资源有限

环境是一种资源,包括矿产、森林、水、大气,但是是有限的资源。目前人类主要靠化石燃料维持社会正常运转,但地球化石燃料总有耗尽之时,而且估计已为期不远了。

人口增加、城市发展、工业发展,导致中国北方大量开采地下水,地下水资源严重消耗。南水北调工程就是为解决这样的问题实施的。

人们需要保护和节约资源,使人类社会可持续发展。

## 第二节 环境参数

大多数环境科学的书籍中将环境参数称为环境质量参数,用于描述环境。科学上要环境参数化,以便进行不同环境之间的比较。

### 一、地理学参数

环境首先是一个地方,其地理学参数包括:①地理位置,纬度,经度;②区域面积与边界;③地形地势,海拔;④主要山脉和河流等。由于存在行政边界,在文献中如果指定的是某地,比如在一个国家内的某省,或某省某县,则已经内含地理位置和区域边界与面积的意义,而地形地势、海拔和河流则可能是影响环境质量的主要因素。

海洋的地理参数包括海域面积、地理纬度、水深、海底地形等。

### 二、地质与地球化学参数

地质与地球化学参数包括地质构造、断裂带、沉积相等条件。资源状况是地质环境的重要参数,很多国家和地区的发展依赖矿产资源。

海洋中岛屿与群岛是出露在海面的陆地,大的海岛不仅具有陆地性质,而且对海洋环境有重要的影响。

沉积物的地球化学成分是研究环境变化的主要指标。

### 三、土地与土壤

对人类而言,土地是最重要的环境。尽管在关于土地的定义中,将水、气和生物定义在其中,但实际上人们认识中的土地只是岩石圈中的部分,即固体地球表面。土壤是土地中最重要的部分,所有动物,包括人类的生存都建立在土壤中生长的植物的基础之上。地理学参数中已包含一个地区的土地面积。作为环境参数对土地的描述包括:①农业用地;②林业用地;③草原(草地);④工矿、道路和居住用地。这些土地中还可分为已利用的土地、荒地和不可利

用的土地。作为环境参数对土壤的描述包括：①土壤种类；②理化参数；③污染物；④侵蚀状况。一个地区土地和土壤的结构体现或决定了该地区的环境状况。

人们用土壤各种指标的变化重建古环境。

#### 四、水资源/海洋学

表示水资源的量有：①地区水储量；②水平衡，包括补给与消耗；③结构，湖水、河水、地下水、降水量、蒸发量等；④水质；⑤水生生物；⑥人均可利用的水量。

海洋中的环流、水温、盐度、海冰、化学成分与生产力等物理与化学性质是海洋重要的环境参数。

#### 五、气象参数

气象参数包括：①太阳辐射；②气温；③降水量；④风向，风速；⑤空气质量。自然环境的气象学参数主要是前四项。空气质量用空气质量指数表示，主要用来研究人类活动对大气环境的影响。气溶胶也可能是地质时期引起地球环境变化的重要因素。

太阳辐射是能量；气温是气体分子运动速度的量度，气团的运动就是风；降水是空气水分子凝结的结果；空气质量则是空气中污染物含量水平的量度。

#### 六、生物

在环境的意义中，生物是最复杂、最难描述的，特别是在热带地区，最重要的生物可能有很多种。生物既依赖于环境生存，也改变或影响环境。描述生物的参数包括：①生物群落结构；②种群结构（野生/家养，个体数，繁殖水平）。不同环境适合不同生物生长，所以不同生物也就指示了环境质量。

生物遗骸及其中的化学指标是重建古环境和古生态系统的主要途径。

#### 七、经济

描述地区经济状况的主要参数是国内生产总值(gross domestic product, GDP)和人均GDP,进一步的有消费指数。但从公众的角度看,描述经济状况的参数更重要的可能是：①人口结构；②就业状况；③生产状况——产值与利润；④公众健康状况；⑤城市基础设施等。