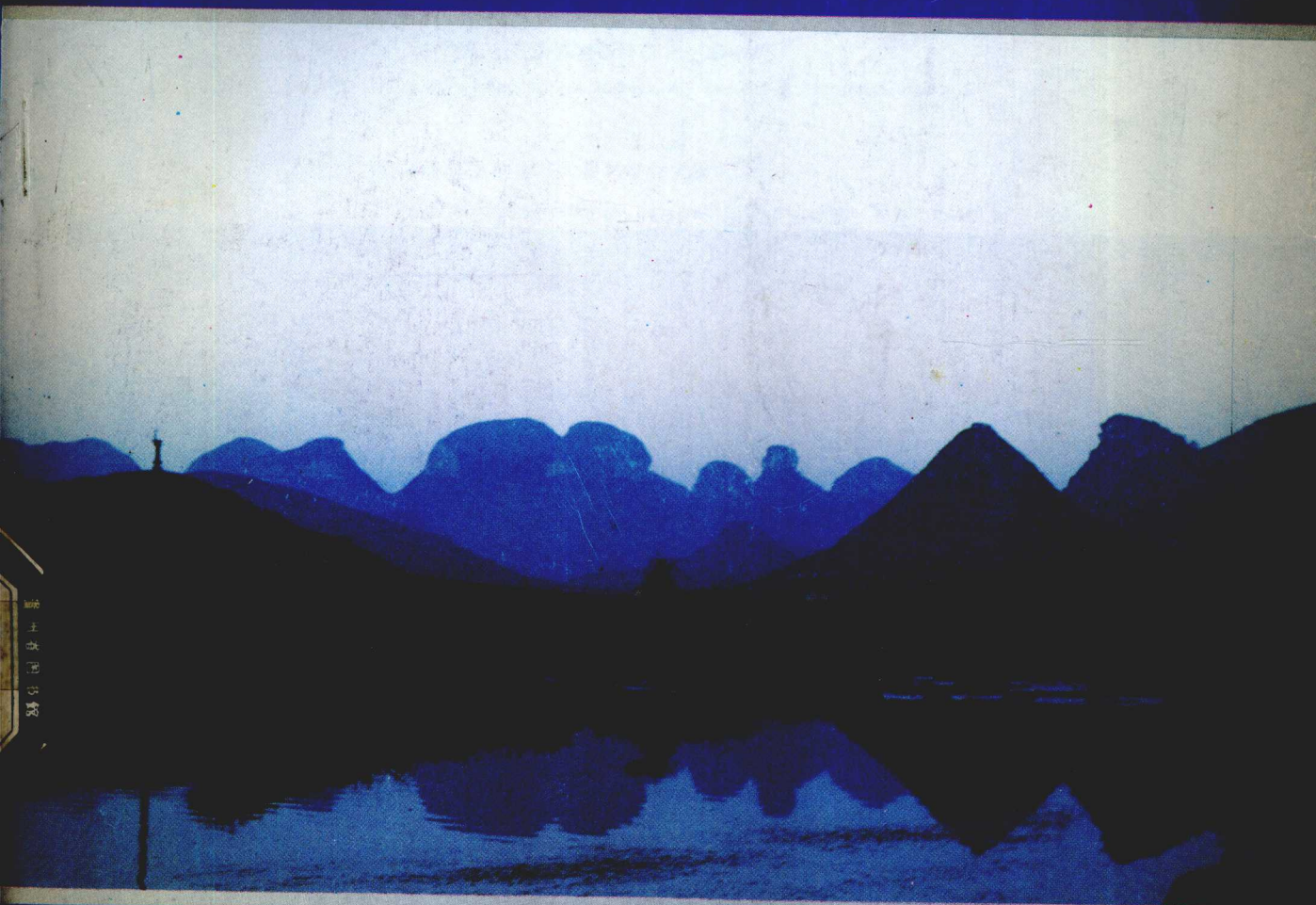


喀斯特环境质量变异

ENVIRONMENTAL QUALITY VARY IN KARST REGIONS

杨汉奎 等 编著

BY YANG HANKUI



贵州科技出版社

喀斯特地區環境變異

ENVIRONMENTAL QUALITY VARY IN KARST REGIONS

張曉 著

北京：科學出版社



Environmental Quality Vary in Karst Regions

喀斯特环境质量变异

ENVIRONMENTAL QUALITY VARY IN KARST REGIONS

国家自然科学基金资助项目(4880060)

National Natural Sciense Foundation of China subsidize item

杨汉奎 朱文孝 李 坡 程仕泽 田维新 著

by Yang Hankui

Zhu Wenxiao

Li Po

Cheng Shize

Tian Weixin

贵州科技出版社

责任编辑 夏同珩
技术设计 夏同珩
封面设计 张彪

喀斯特环境质量变异

杨汉奎等 编著

贵州科技出版社出版发行

(贵阳市中华北路 289 号 邮政编码 550001)

*

贵州商业高等专科学校印刷厂 贵州省新华书店经销

787×1092 毫米 16 开本 7.375 印张 180 千字 2 插页

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—1100

ISBN7-80584-351-1-X·006

定价:15.00 元

\$:8.00

《喀斯特环境质量变异》 专家评阅综合意见

(代 序)

本项研究从喀斯特环境结构和功能特殊性角度以及喀斯特大系统运动的观点出发,全面讨论了喀斯特环境特征、类型、环境容量及其与 PRED (人口、资源、环境、发展) 之间的相互关系,完善了喀斯特环境系统的一套基本概念。

研究中,以喀斯特分布面积大、发育好、类型多的贵州为重点,研究了喀斯特森林生态系统、农业生态系统及城市环境等实例,论证了其环境质量变异特点、形成机理及人—地环境关系,提出了相应的对策建议。

本项研究思路开阔、方法正确、重点突出、基础资料翔实、内容丰富、观点明确。研究成果拓宽了喀斯特的研究领域,对喀斯特地区区域资源的开发利用、人与环境关系协调以及环境整治具重要理论和实践意义。研究范围广、对比性强,均属国内外少见,具国内领先水平。

签名:欧阳致远

(研究员、院士)

1994. 1. 24

签名:万国江

(研究员)

1994. 1. 24

前 言

一般认为喀斯特是一种自然现象,也可以认为是一种作用、过程或特殊的地貌形态集。从地球系统科学的观念去理解,它是一种独特的地球表层建造,即建造在地球岩石圈表层可溶岩区域内(主要是碳酸盐岩石),拥有溶斗、溶洼、盲谷、溶锥丘、溶塔峰等闭合地形与地下河系及次生洞穴,具有对应的双层结构自然体。从人地系统和生存空间的角度去认识,它是受地质-地理诸多参量控制的一种特殊生境,隶属区域环境范畴。

刘东生院士(1987.10)明确指出:“从地质学角度考虑,在我国分布面积最广、对社会经济发展和人民生活影响最深的大环境问题,一个是黄土问题,另一个就是喀斯特问题。”喀斯特既是地质环境,也是区域环境。一方面它拥有丰富的水能、矿产、光热、生物及景观资源而有诱人的开发前景;另一方面又因其水土资源分布不均、耕地资源短缺而造成社会经济发展滞后。在全球遇到人口爆炸、资源衰竭、环境恶化等一系列重大难题之际,喀斯特山区的人口(Population)、资源(Resources)、环境(Environment)、发展(Development)之间的冲突更为激烈。最近的10余年,尤其在最近5年,通过对人与喀斯特系统的观察和研究,除了与“三废”污染的环境质量变异之外,一个更严重的变异是人的生态系统变化。在裸岩及半裸岩的喀斯特山区,贫困和落后是最大和最难治理的环境问题,是关系到人类生存的最根本问题。研究结果表明,喀斯特环境质量变异是众多参量协同作用造成的,但人自身的行为及增殖是系统变异的序参量,也是最不确定的和最随机的变量。

最近,我国政府将用本世纪剩下的7年时间,解决8千万人口的温饱问题。这是一个伟大的创举,也是最宏伟的社会环境治理之系统工程。从地域及类型上分析,喀斯特山区,特别是南方喀斯特山区,贵州、桂北、桂西、滇东、川南、湘西、鄂西,乃至经济发达的广东,也有像清远、英德、阳山、连县、连南等贫困的喀斯特山区,是急待扶持和脱贫的地区。这为从整体与系统上研究喀斯特地区的人类生态系统、整治喀斯特环境提供了良好的机遇,也为“第一生产力”的科学技术提出了更多更高要求。国家自然科学基金委员会1989年资助了本项目,即《喀斯特环境质量变异》(编号488060)的研究。这是一个非常庞杂的开放巨系统,具有混沌态、多层次多个亚、子系统,因时间、人力与财力不可能对这个耗散结构的巨大系统全面研究,只能按设计任务选定:(1)茂兰喀斯特森林生态系统的环境质量评价;(2)水城工矿区的环境质量变异;(3)猫跳河流域的喀斯特环境变异;(4)安顺马场、九溪的农业环境变异等作典型区的研讨。此外,还对弄岗、九寨沟、黄龙寺以及我国南方一些喀斯特环境作了初步探讨。

1993年底,陈述彭、欧阳自远、袁道先3位中国科学院院士,万国江、王砚耕、卢耀如、张之淦、张英骏、黄威廉、韩至钧(按姓氏笔画)7位专家教授对本项研究成果进行了评审验收。遵照各位专家意见,对原稿进行了必要的修改和补充,出版专著。在此我们感谢国家自然科学基金委员会、感谢专家们和长期支持和帮助我们的人士和学术团体、特别感激贵州省环境科学学会、中国科学院环境地球化学国家重点实验室和朱奕庆教授的热情支持。实践证明,在PRED(人口、资源、环境、发展)的协调耦合下,政策与投入得当,又依靠科学技术进步,经过几十年或更长时期的不懈努力,重建喀斯特地区的良好生态环境,通过发展摘掉贫穷落后的帽子,抹去愚昧遭受羞辱的泪水,奋起追赶先进发达的大潮,应是可能、应该和必然。

本书的4.3由李坡、程仕泽,5由朱文孝、田维新,6.2由李坡,4.2、4.5、4.6由田维新编写,其余章节由杨汉奎编写,李坡翻译英文摘要,全书杨汉奎统一定稿。本所杨宝珠协助清绘插图,龙梅立、刘康祥协助校、订中英文稿,在此表示衷心的感谢。此书若能在我国喀斯特地区的扶贫和持续发展中起些作用,作者将视为一种荣幸,并在实践中检验与修定其论点。谨将此书献给祖国,献给贵州喀斯特高原上的人民,献给未来。

目 录

1. 绪论	(1)
1.1 地球演变与人类进化	(1)
1.2 普适的环境科学	(2)
1.3 人与环境的耦合	(4)
1.4 环境演化不可逆性	(6)
2. 喀斯特环境概况	(8)
2.1 环境与喀斯特过程	(8)
2.2 喀斯特环境特征	(10)
2.3 喀斯特自然环境类型	(13)
2.4 喀斯特环境质量	(17)
3. 人与喀斯特耦合	(22)
3.1 人类生态系统	(22)
3.2 生境类型	(25)
3.3 耦合过程中的效应与反馈	(27)
3.4 人与喀斯特的协调	(30)
4. 喀斯特森林生态系统	(32)
4.1 喀斯特区域的生境特征	(32)
4.2 仙安石林的森林生态系统	(36)
4.3 茂兰喀斯特丘峰区的森林生态系统	(37)
4.4 生物量评估	(44)
4.5 森林植被的效应	(47)
4.6 开发与保护	(50)
5. 喀斯特地区的农业环境	(52)
5.1 土地资源及环境变异	(52)
5.2 水资源与农业环境变异	(59)
5.3 流域开发与农业环境变化	(61)
6. 喀斯特地区的城市环境	(70)
6.1 城市环境演变	(70)
6.2 喀斯特区域工矿环境	(73)
6.3 喀斯特地区的城市环境容量	(83)
6.4 喀斯特区域的城镇人口容量	(85)
6.5 城市环境保护	(85)
英文摘要	(87)

Contents

1. Introduction	(1)
1.1 Globe variance and humanity evolution	(1)
1.2 Universal environmental Science	(2)
1.3 Coupling between human and environment	(4)
1.4 Irreversible environmental vary	(6)
2. Karst environment survey	(8)
2.1 Relationship between environment and karst process	(8)
2.2 Characters of karst environment	(10)
2.3 Natural types of environment	(13)
2.4 Karst environmental quality	(17)
3. Coupling between human and karst	(22)
3.1 Humanity ecosystems	(22)
3.2 Habitatic types	(25)
3.3 Effect and feedback in the coupling process	(27)
3.4 Cooperative coupling between human and karst	(30)
4. Forest ecosystems of karst regions	(32)
4.1 Habitatic characters in karst region	(32)
4.2 Forest ecosystem in Xian—an stone—forest	(36)
4.3 Forest ecosystem in karst hill area of Maolan	(37)
4.4 Biomass appraise	(44)
4.5 Forest—vegetatic effect	(47)
4.6 Development and protect	(50)
5. Agricultural environments of karst regions	(52)
5.1 Land resources and environmental variance	(52)
5.2 Water resources and environmental variance	(59)
5.3 Basin development and it's farming environmental variance	(61)
6. City environment in karst regions	(70)
6.1 Environmental quality evolution of city	(70)
6.2 Environment changes of industrial and mining area in karst regions	(73)
6.3 Capacity of city in karst regions	(83)
6.4 Population capacity in karst regions	(85)
6.5 Protection of city environment	(85)

1. 绪论

1972年6月16日的斯德哥尔摩大会,通过了《联合国人类环境会议的宣言》,首次提出“只有一个地球”。1992年的里约热内卢大会,又通过了《关于环境与发展里约宣言》,促使人们“认识到我们的家乡——地球的整体性和相互依存性”,“为了实现可持续发展,环境保护工作是发展进程的一个整体组成部分,不能脱离这一进程来考虑”。人类本身就来自地球的演变。郭沫若曾呼唤:“地球,我的母亲”。虽然这是句诗,却道出了人类与地球之间的血肉联系。

1.1 地球演变与人类进化

在这个浩瀚缥缈的宇宙中,从其大爆炸和膨胀至今,它所处的时空位置,遵循着一定的序次,并与外部发生渐进与突发镶嵌的物质交换、能量传递与熵变。这是个以地质时间为尺度的漫长过程:自组织调控;涨落与分叉(振荡与自稳),模糊、准周期、混沌和有序。地球从原始的宇宙尘埃向有层圈的结构,由无机向有机、由单细胞原生质向水陆两大生态系统的生物,进而向有智能的人类发展。在这个伟大进程中,许多分叉和连结点是偶然的、不确定的,但又是必然的和有序发展的。这个过程有众多参量协同作用,经历数十亿年的模糊周期与混沌动力的镶嵌振荡,在第四纪时形成了人类。自地球上出现了人类,就以其体能和智能参与地球的表层建造,使自然态的物流及能流加速运动。人类参与的表层建造,就其规模和速度,是任何生物不可比的。还可以认为这是一种文明景观,也可以称为智能圈。至此地球表层由岩石圈、水圈、大气圈、生物圈和智能圈五大层圈协同建造。

地球运动不仅创造了人类,还为人类生存繁衍提供了多种质量不一的环境。这些环境划分依据不一,实际上是一群集合。以岩石划分的迄今只论及喀斯特环境。如果从环境地球化学场分析,应该划分出熔岩(玄武岩的或流纹岩的)环境、花岗岩环境、丹霞环境等。从区域环境的容量、质量、敏感性分析,不同环境差别甚大,其系统在时空四维的过程中,是产生过熵增的耗散结构,关系到人口(Population)、资源(Resources)、环境(Environment)、发展(Development)之间的耦合与冲突,既有共性,又千差万别,这正是需要认真研究的。通常喀斯特被认为是一种自然现象,也可理解为一种作用、过程、形态及它们的集或特殊的地质、地理区域。当人们依附于它生存繁衍时,它就成为人类的一种生存环境。远古人类(一部分)凭借喀斯特地势险峻和拥有天然洞穴,倚其生息,一度创造过人类历史上的第一个文明:洞穴—石器文明。火的利用又推动人类进化。在经历过第四纪更新世的长期演化、人类与大自然抗争、磨炼,随末次冰期退去,农、牧、渔业的发展,先人们为了寻求生境质量高的环境,沿着黄河、长江、恒河、印度河、尼罗河、幼发拉底河与底格里斯河,建立起金碧辉煌的农业文明古国,持续了6000余年。也有些先民,如印第安人留在中美洲山区,创建了旱地农业文明古国:古印加、古玛雅和墨西哥,在某种意义上,可以说印第安古文明是一种山地农业古文明,包括了某些喀斯特山地的旱地农业文明(墨西哥高原、危地马拉和安第斯山地等的一部分),其灌溉系统和玉米对人类有贡献(据王恩涌报道:地理环境与文明起源)。

很明显,地球空间位置的特殊性(如有木星和水星的“屏蔽”效应、对太阳能吸收的适宜性)、随着宇宙膨胀,46亿余年来,不连续减慢自转速度(至少寒武纪时一昼夜为21小时,而现在为24小时)、断续吸收天外来客而加大加重自己,并减小其扁平度,使得地表有节律地此起彼

伏、沧桑更替,形成质量参差、适生性不同的地质—地理环境。如果没有地球从无机向有机,从硅铝壳向碳质钙、镁盖层的演化,没有生物界的几次灾变性绝灭和分叉,没有恐龙消亡与喜马拉雅海的“关闭”、青藏高原隆起、气候从温暖的晚第三纪变为冷暖振荡、镶嵌有冰期的第四纪,也许不会有人类出现。因此我们认为人类是地球运行到特定时空里的产物。

人类一出现在地球上之后,就开始了从兽向智慧者进化的过程。人类的生态系统具有双重性,既作为生物的一员而遵守生物学和生态学的原理(或法则),又在自然单元背景上组建自己的社会,分异出社会环境。对于人类生态系统而言,应是这两大环境耦联的表层建造。因此,我们非常赞同“21世纪是以研究人为核心”的大科学,“自然科学社会化、社会科学自然化”(高度吻合的哲学)等观点,用复杂的大科学去解决 PRED 问题。

1.2 普适的环境科学

环境是当今最时髦的一个科学术语,也是当前和下个世纪倍受关注的重大问题。该术语被广泛使用于社会、经济、政治、文化、外交、日常生活、职业与生活之中,适用于自然和社会的一切领域。它一反传统科学“高深莫测”的神秘性,从那神圣的殿堂中走向民众,几乎成为家喻户晓的一门庞杂的大科学。

环境作为一门科学,其产生和发展是因工业革命引起的。随着工业化、城市化、人口爆炸、掠夺资源等等行为,环境质量下降,于是从开始治理“三废”污染,逐向各行业各系统扩散。迄今已经形成了以环境地球化学为支柱的环境科学体系,并向环境生态学、人地关系扩展,介入 PRED 过程。它已成为含众多参量与学科的大科学;它已经成为研讨和保护地球、人类生存和繁衍,涉及到人们心身健康的一门交叉科学。对于探求人地系统的理论、解决社会经济发展所遇到的一系列技术与环境问题时,这门科学为之架起一道通向和谐耦联的桥梁,为 PRED 良性运行找到了办法。

由于所研讨的喀斯特环境问题,既有特殊性的方面,也有共性的方面,有些概念是移植借用的,有的是新定义的或修订的,有必要说明。

1.2.1 环境及其类型的概念

万国江指出:“环境是一泛指名词。环者绕,围绕;境者疆,疆土。所以‘环境’应泛指某一主体周围的地域、空间,介质”。由于科学分支与引伸的内涵不一,大可到宇宙环境、小可到微粒子存在环境。地质上的成矿环境、沉积环境、造貌环境、古地理环境、古生态环境;产业上的工业环境、农业环境、渔业环境、林业环境;人类社会结构与功能的城市环境、乡村环境;人体及医疗方面的内环境与外环境等等。因为它的广谱性,其类型划分,刘培桐等,万国江等作过详细的阐述。在我们看来,环境是主体与周围客体之间发生物质、能量与信息交换,即它们之间发生物流(Mf: matter flow)、能流(Ef: energy flow)、信息流(Inf: Information flow)。这是一个时空坐标的开放系统,是个有熵生产与熵流的(des+dis)耗散结构。因时间是个矢量,环境的演变过程就成为不可逆的、而且是非线性和非平衡的。用传统分类学的原则,很难处理好环境分类问题,因为它是一个集合的系统,可以按照结构和功能划分出不同类型与层次(见后文)。

从人类的衍生(繁衍与生存)、生态系统的角度划分,有两大系统:自然环境系统;社会环境系统。前者受人类扰动较小,其中的 Mf、Ef 和 Inf 仍按自然过程进行渐进和突变。后者是人类依附在自然体上创建的环境,其中的 Mf、Ef 和 Inf 在人类活动作用下,加速运动。有时将自然环境

称为原生环境、第一环境；社会环境称为次生环境、第二环境。在亚层次、子层次上，可以按生境资源类型的水 (water)、土 (land)、光 (light)、热 (hot)、地质——地理区域、结构与功能一一划分。迄今作为地质环境者，一个是黄土、一个是喀斯特。如果详细研究环境地球化学场，就不难看到玄武岩流的熔岩环境、结晶变质岩地质环境、南方花岗岩红色风化壳环境和丹霞红层环境。若结合地表植物和特殊的植物生态系统，将会开拓区域生态研究的领域。越来越多的资料揭示微量元素对作物生长及产量影响很大，可以拓展为农业地质环境研究内容。

对于环境区域的尺度，可以划分为宇宙环境、全球环境、区域环境、社区环境、聚落环境、工作环境、居室环境等宏观到微观的等级。

1.2.2 环境质量评价概念

环境质量评价是环境科学研究的重要内容。迄今为止研究最多，比较成熟的是环境质量的元素地球化学评价。这类评价包括单项的与综合的，现状的和预测的（影响的）。当我们面临 PRED 之间的冲突愈演愈烈时，促使人们加深对环境问题的认识；它不只是个污染和人体健康的问题，从持续发展、人口、资源诸方面构成的整体分析，它是人类生态系统有无序次的问题，如何评价一个环境单元内的 PRED 协同效应，评价其中人的生态系统和生境质量，在我国开始受到重视，并有所进展。

很明显，无论是自然的生态系统，抑或是人工生态系统，在一定时空内物种之间是否遵守食物链能级“金字塔”法则，也就是其生态系统是否良性发展，有无对系统发生振荡后的自控能力（阻尼式负反馈）。即使区域没有污染，但某些或某一物种的生长与消亡不持衡，就会发生可怕的物种灾害，如鼠灾、豚草灾、象灾、鹿灾等（如布居动力学中的罗特凯—沃尔特模型），人口爆炸就是一种最可怕的生态灾难，贫穷往往与高生育和愚昧正相关，也就成了最严重的环境问题。关于环境质量的生态学评价，迄今尚无成熟的方法。原苏联科学院地理研究所，在 1989 年绘制了苏联生态状况图（1：800 万），他们选择了卫生保健状况和居民发病率；自然资源枯竭程度；景观破坏程度三组指标编图。1992 年，中国科学院生态环境研究中心，按区域环境预警的原理，以自然资源、生态破坏、环境污染和社会经济发展为指标，对我国大陆上的 22 个省、5 个自治区进行了综合的生态环境质量评价。很明显，从区域性的人地系统思考，即使没有“三废”污染，由于人口爆炸、资源被掠夺而衰竭，仍然会使人类生态系统失控，甚至发生崩溃，造成严重的生态环境灾难。因此，环境质量综合评价，不只是元素与毒性物质的评价问题，更要注意其生态学的评价。

1.2.3 环境容量的概念

环境容量是一个广泛使用的术语。它的涵义是指某空间、介质能容纳（或承载）某种或某些物质的量（密度、浓度、强度等），并以对人体健康和生态系统良性而有序发展为阈值。因此它有污染物环境容量、资源承载量、生境容量、人口环境容量等等。

从人的生境容量分析，地球表面不同的地质—地理环境的资源集不同，各单元时空差异（发展不一），能供养的人口和对人行为抗拒性不同，表现出适生度不同，容量也就不同。按照资源量与每人单位时间必须消耗的该资源量之比，可以求出单项资源对人口的承载量，又以“木桶短边”破缺原则求出资源集的人口承载量，即生境人口容量：

$$LE_{P,C} = LE_{a_{U,P,C}} + LE_{a_{L,P,C}} \cdots \cdots (1.1)$$

$$LE_{a_{U,P,C}} = \{W, L, Li, H\} \cdots \cdots (1.2)$$

式中：LE_{P,C}为生境人口容量（the population's capacity in livable environment）；LE_{a_{U,P,C}}为

内生人口容量 (the autogenous population's capacity in livable environment); $LE_{a.l.p.c}$ 为它生人口容量 (the allogenuous population's capacity in livable environment); W 为水资源 (water resources); L 为土地资源 (Land resources); Li 为光照资源 (light resources); H 为 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的热能 ($\text{Hot energy} \geq \sum 10^\circ\text{C}$)。 W 、 L 、 Li 和 H 是生物和人类生存不可缺的资源, 我们称之为生存资源, 或者生境资源。内生人口容量, 或称内生 (自养) 容量, 是指某个环境区能自己养活的人口数, 其度量可用每平方公里承载人口的密度 ($n \cdot \text{per km}^2$ 或 n/km^2)。尽管影响 $LE_{a.m.p.c}$ 的参数很多, 也是一种复杂性和不确定性的难题, 但其序参量是生境资源集, 可以简化为区域环境提供的粮、油和必不可缺的生存消费品。显然这又是一个函数, 随该区的发展与科学技术水平而变的。一个环境区内, 还可能存在着矿产、水资源 (供水与水能)、森林、经济生物、景观、智能或劳务等可输出的资源, 也可以输出商品和资本, 借以换回某些食物和生活消费品, 又可以养活一部分人口, 称之为外生 (它养) 容量。城市是典型的外生容量。

人口的环境容量还因消费水平、食物结构, 甚至职业结构不同而相差甚大。因此我们非常赞同我国政府提出的“温饱”指标, “小康”指标。换言之, 人口环境容量应取中值, 因为贫困是最大的环境问题, 也是人类遇到的最残忍的生态灾难。高消费, 滥用资源也是一种生态灾难。

1.3 人与环境的耦合

地球运动不仅“创造”了人类, 还给人类衍生的各种环境, 以及其中赋存的诸种资源 (环境区内的资源集)。自然环境与自然资源集独立于人类社会之外, 不以任何人的意志为转移, 按其自身规律演变。因此, 地理学将“人地”关系作为其研究的重大课题之一。在我国古代先哲就讨论过“天、地、人”相互关系, 在办成某些大事时, 将其归结为“天时、地利、人和”, 实际上是最朴实的人与环境的协调耦合系统。

如果我们将人地关系的“地”理解为地理环境的话, 它在一定情况下与“国土”及“国土资源”雷同。在研讨人类与环境关系时, 不可避免地将其置于 PRED 的运动过程中去。没有人口和人的活动, 就没有资源利用和耗散, 也就没有环境熵和环境问题, 更无从谈起发展。很明显, 各种环境的容量, 适宜于人类衍生的程度, 受控于其中的资源丰度与破缺。生境资源集 $WLLiH$ 支配着生态系统中的第一性生产力。张新时 (1993) 应用了 Holdrige 的生命地带分类系统, 对我国的植被—气候分类。将其与 Chikugo 的第一性生产力 (NPP) 模型相结合, 尚可推算各地带的 NPP。对于环境而言, 我们认为其最基础的是资源, 它受地带性 (纬度、经度和高度) 地理要素和非地带性 (岩石、构造) 地质要素协同控制。环境地球化学场的物质分布, 取决于地质结构, 若对生态系统中的物种, 特别是某些可作为地植物指示的 (如铜草)、或者发生生理变异的 (岩缝植物), 这种地质环境的影响尤为明显。除了黄土、喀斯特而外, 还有湿热区的花岗岩及红土对我国南方, 特别是东南沿海丘陵山地区的环境和生态系统有很大影响。随着对土壤的元素地球化学和微量元素 (作为一种微量元素肥料) 的需求, 地质环境的研究, 尤其是生物过程中的有效态的元素地球化学效应研究, 是高效农业和现代农业的重要内容。

不难看出, 当今人类所遇到的 PRED 冲突, 涉及到环境背景与人工建造的结合与配置, 可以视为自然环境与社会环境耦合的有级序分类系统, 用三级矩阵式加以表示。

作为自然环境, 在高级层次上, 可以按照 A · N · Strahler 等 (1978) 对全球划分出的 12 类环境区 (以气候型和亚型、生物群落、植被群系和土纲亚纲综合确定的, 代号 $NER_1=12$: natural environmental regions)。也可以利用 Holdrige 的生命地带类型 (Life zone—type) 划分。作为第二

层次,则以区域地貌,如山地、丘陵、高原、平原以及某些过渡性地貌组合,并考虑地质结构,可划分出区域环境区(GMER_i)。第三级是物质结构与分布的特征,也就是地表组成物质%与分布图案,划分出小环境区(MSEL_i)。人类生态系统,按照结构和功能,在高层次上有城市和乡村两大类型(SET_{j=1,2})。第二层次和低层次对应产业环境类型(EET_{j=n}: estate's environmental types)和社区环境类型(CoET_j: community environmental types)。

作为高层次的人类生境(Human' s eco-environmental regions)大区,可用矩阵式表示:

$$HECoR = \{NER_i, SET_j\}_{m \times n} \dots\dots (1.3)$$

$i=m$
 $j=n$

中层次的区域性人类生境区(Human' s eco-environmental areas),有:

$$HECOA = \{GMER_i, EET_j\}_{m \times n} \dots\dots (1.4)$$

$i=m$
 $j=n$

低层次的人类生境小区(Human' s eco-enviro. locals),有:

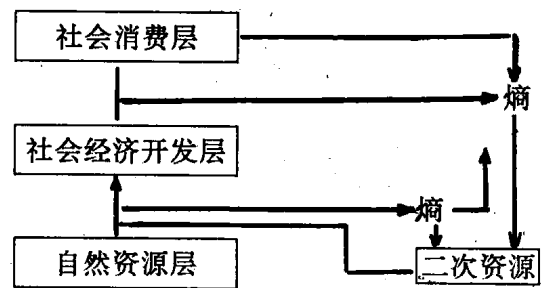
$$HECOL = \{MSEL_i, CoET_j\}_{m \times n} \dots\dots (1.5)$$

$i=m$
 $j=n$

然而人与地理环境、与地球乃至宇宙能发生关系,越来越相互依存,主要是生存与耗散所确定的(表1.1)。我们曾提出人类生态系统是个具有耗散链网的耗散结构。显然人既是动物,又不是一般的动物。人们不只是被自然选择,而是更多地参加地球表层建造。人地之间的耦合,服从于三棱锥体的“金字塔”法则。这个“金字塔”的底层是资源集,通过人类的开发,形成社会经济产业结构层,再经过分配而达到社会消费层。每一次跃迁都要产生Mf、Ef

表 1.1 人地系统的耗散结构

Table1. 1 The dissipativity structural of H-L. S.



和Inf,而且都产生熵。可以认为:人类生态系统是人地协同建造的地球表层类型之一,比起地史上生物礁更为宏伟。况且这是个多层次和若干亚、子系统耦联的耗散结构。很明显,通过对人类生态系统的特征,结构与功能的分析,这种“金字塔”式耗散结构揭示了PRED相互间的关系,处于该巨系统的核心者是人类行为,包括人口增减、资源利用,废弃物排放等,特别是那些改变地表形态的大型和巨型工程,强烈改变原本的Mf、Ef和Inf,导致环境质量发生变异,而且是不可逆的。环境问题的复杂性,不仅是参量众多,自由度大,更为重要的是序参量:人的因素,尤其是人的社会性行为是随机的,具有极大的不确定性。

人类与自然是两大亚系统耦合运动,造就了当今地球表层巨系统,即现代人类生态巨系统。从原始公社至今,有3种基本的耦合形式:

第一种称为自然型耦合。人与自然的关系是人类从属于自然,作为自然生态系统中的成员,其消耗的能量,基本上由太阳能转化而来,所需物质大多直接取于自然或准自然生态系统。即使人类从事一定的农、牧、渔、采选冶(矿业)活动,几乎是手工操作,人口较少、对自然的冲击多数甚微。除了大灾荒和战争周而复始地嵌入,引起这一耦合巨系统发生过振荡,以及后来的分叉而外,人口较少(直到上世纪初,全球人口<10⁹、消费水平比较低、以及阶级压迫、两极分化),人类期待自然恩赐。从原始公社到奴隶社会的数千年,可以划为生产力很低的自然恩赐亚型耦合。

从奴隶社会后期到工业革命，由于农业和手工业发展、反抗统治者的斗争，出现了“田园”式的耦合亚型。在一些统治者骄奢淫逸的消耗物质、掠夺资源、发动战争、破坏景观的冲击下，一部分“古老文明”被沙漠化淹没，从地表建造上抹去，大部分经过自组织、调控向前演化。

第二种是掠夺型耦合。虽然资源与环境的掠夺自古有之，也不因人口少而不发生。但是与工业革命以来相比，其深度广度都是微不足道的。自从蒸汽机吼叫、“羊吃人”的资本积累与发展，工业化、都市化加速了人口增殖，不到 200 年的时间里（从 1810 年起）翻了 5 倍，人口爆炸了。为了人类的衍生，人们大量砍伐森林、过度垦殖土地、过量捕捞和猎杀动物。从陆地到海洋，从地面到地下与天空、从地球到月球和宇宙，人类进行了空前的掠夺，并庆幸和夸耀社会进步、科学发展。尽管这些是积极的，但不能说没有负面效应，今天人们所遇到的 PRED，在很大程度上是发展的负效应。特别是急功近利，商业利益驱使某些人、集团，乃至某些国家掠夺资源，同时又浪费资源，造成更严重的环境问题——贫困。纵览横观天下，资源型产地与国家，几乎都是贫困的（除个别情况）。这充分反映出掠夺型耦合造成了当代地球环境的众多问题，也是对愚昧的“胜天”论的一种报应。

第三种协调耦合。在经历了资本主义发展阶段，人类尝到了自然对人类反馈之苦果后，当然也包括我们自己对环境的掠夺及其反馈；人们特别感到人口爆炸，能源短缺、资源枯竭、CO₂ 温室效应、水资源、粮食、贫困一大堆严峻而复杂的人类生存问题。经过 20 多年的努力，不仅科学家在呼喊，政府首脑、社会活动家，以及普通的人们，基本上取得了共识：要保护地球——我们的家乡。要持续发展、持续使用地球环境与资源。里约热内卢会议通过的“21 世纪议程”、“气候变化框架公约”、“生物多样性公约”就是人类与自然的重新对话，也是人类调整自身行为，使之与地球环境协调耦合。实践证明，持续利用资源、环境和有序发展是可能的，也是唯一的出路。但是人与地之间的关系并不是简单的重建和谐，而是一个两者协同共建更高级的、处于有序混沌的世界。但愿我国古老的俗语：“天时、地利、人和”在未来的世界中实现（世者过去、现在、未来……，时间矢量；界者边界，东、西、南、北……，空间也。世界=四维环境）。

1.4 环境演化不可逆性

有些学者和民众团体，呼喊和宣扬回归大自然，为拯救地球环境做出不懈努力，用心良苦，提高人们的环境意识做出巨大奉献。但其追逐的目标是个幻影。这是因环境演化总趋势是开放的、不可逆的。

1.4.1 地球演变的不可逆性

不论用“宇宙大爆炸”说、“星云”说或者其它的学说来解释地球起源及发展，而一部地质历史充分说明了这一过程的不可逆性。从宇宙尘埃、小天体碎块的碰撞吸引及转动、经历过的热过程，物质分异的层圈化过程、从硅铝质的岩石向 RCO₃，单细胞生物向高等动植物和人类，都是一种开放的（获得物质和太阳能，又以热熵散失到空间去）、非线性及模糊性周期变化，除了某种有条件的化学反应、物理过程（不考虑时间矢量）可逆而外，都是不可逆的。例如地球自转速率变慢就是一个不可逆过程：Macclintock (1965) 对一种硬蛤 (Marcenaria Stimpsoni) 研究，像附在其上的计时器那样的时龄结构，可辨分为年周期、季节周期、月周期、双日周期、日及半日周期，进而对地质时期中各时代每年日数进行推论，得出自古生代以来的各年天数渐次减少的现象。在洞穴的巨大石筍、石灰华等微纹结构上，我们已发现有类似的现象 (1984~1990)，但要求得高分

辨率,尚有大量工作要做。Wells (1963) 对珊瑚的生长线的研究,根据志留纪的 *Holophragma* 珊瑚、泥盆纪的 *Heliophyllum* 以及 *Favosites*、早石炭世宾夕法尼亚系的 *Lophophyllidium*、*Caninia* 等的年轮结构,推断出寒武纪时 1 年为 421 天、石炭纪时为 390 天、侏罗纪时为 380 天、白垩纪时为 380 天,存在着日时变得愈来愈长,地球自转速并减慢。这涉及到离心力、椭球体的角度、半径变化和物流等一系列的自组织、地球的各层圈耦合、地壳的运动及海侵海退、地表自然环境、生物群落、资源等等的演替,也许人类的出现只能是在地球演化的第四纪地质历史时期。在中生代海底扩张、恐龙绝灭之后和古喜马拉雅特提斯封闭之后,在众多迄今还不清楚的因素协同作用下才出现人类。这一切都是不可逆的,尤其是生态系统与物种变化、生境是不可逆的。

1.4.2 环境的熵流不可逆性

不论是自然环境还是社会环境,其环境及其系统的运动,所耗散的能流,按热力学第二定律产生的 des (与外部交换,可逆的熵流) 和 dis (内部产生的,不可逆的耗散熵源, dis 永远是正的,因其是系统内的不可逆过程,决定了环境熵流的不可逆性,表现在资源的衰减与枯竭和能源的耗散上。这就决定了人类生态系统,包括 $PRED$ 系统为一个开放的、非平衡的耗散结构系统。

也许有人会提及整治环境、植树造林等使环境良性循环,可称为可逆性。实际上它不是环境可逆演化,而是一种人地协同的建造,人工造林可能改善环境质量,但它在人的干预下,简化了森林生态系统。即使是人类退出某个区域,让自然界自发地重建环境,它也不可能回复到原本的状态中去,因为物种与基因的消逝是不可逆的,某些自然要素也是不可逆的。最近章申将 46 亿年来地表环境演变历程归结为天文时期、地文时期、生(物)文时期和人文时期,显然最能说明这种不可逆性(章申等, 1994)。

2. 喀斯特环境概况

喀斯特从一个地区的特殊地质、地貌现象发展成为一门实用性很强的地球系统科学的一分支,不过百来年。将它推向环境科学、与生态学交叉,只不过 20 年左右。现代的喀斯特研究,发端于亚德里亚海边的第纳尔“Kars”(斯洛文尼亚语:石头)高原。从一开始,它就是为了当地的农业灌溉、继而在工程、找矿、采矿、城市、逐渐扩散。它与洞穴研究是一对孪生子,愈来愈触及到环境保护、生境治理。当人们将视线投向湿热地区和温湿地区时,如地中海周边、东亚、东南亚,那些裸露和半裸露型的喀斯特山地,那些地区绝大多数贫穷落后,“喀斯特”几乎成了“贫穷落后”的代词,PRED 冲突激烈,在人口压力和掠夺资源的作用下,其生境质量发生了不可逆的变化,局部地方生态系统逆演,导致人的生存条件消失。在近百年中,各类学术团体举行过许多讨论会。1973 年 H·E·LeGrad 提出了喀斯特地区的生态问题 (Hydrological and Ecological Problems of Karst Regions. AAAS, 179 '4076', p. p. 859—864)。1983 年 5 月底,在底特律召开的美国科学促进会 149 届年会上 (AAAS₁₄₉),安排了专门的“喀斯特环境问题”讨论,并将喀斯特环境与沙漠边缘地区一样,正式列为脆弱的环境。几个月后,即 1983 年 9 月,我等发起了首次《贵州喀斯特环境问题》学术讨论会。这次由贵州省环境科学学会主持召开的会议,来自地质、地理、生物、农林、水利水电,土壤、气象与环境保护各学科各部门近 50 位专家,进行了广泛而热烈讨论,不仅紧紧围绕着贵州喀斯特环境的许多重大问题研讨、寻求对策,而且出版了论文集,搜集了一批学科渗透交叉的论文,构筑了“喀斯特环境”研究的框架。虽然讨论的是一个省例证,但所涉及的已包括现今所遇到的大多数问题。更为注目的是:提出要从整体上研究喀斯特大环境问题(笔者为会议所写的纪要,1983)。1984 年国际地理联合会 (IGU) 下设了“人类对喀斯特环境的影响”研究组,后又改为“人与喀斯特”(Man and karst,笔者建议将 Man 改为 Human)研究组,出版了论文集。1988 年,袁道先院士与蔡桂鸿出版了《岩溶环境学》,标志着这门科学的诞生。同年 IHA (国际水文地质学家协会 21 届会议)在桂林召开,喀斯特环境是其两大议题之一。1988 年 6 月,贵州再次举行了《贵州喀斯特环境研究》讨论会,出版了论文集。对喀斯特环境的研究,很快转向解决贫穷落后与生态系统整治上去,在广西、贵州的裸岩区重建森林生态系统、农业环境建设、脱贫与农村发展方面。笔者们发表了一些文章,将喀斯特环境研究推向地球系统科学的范畴中去,尤其是将自然和社会综合在一个整体中,做了一些有益的尝试。

2.1 环境与喀斯特过程

在喀斯特形成与演化的过程研究中,气候形态学与非地带性形态学之间有过激烈地争论。M·M·Sweeting (1985) 不同意 Williams, P·W. 关于多边形洼地的观点:强调多边形洼地是热带喀斯特。D. Bal'azs 曾提出过喀斯特化地质—气候区划,陈治平 (1985) 提出我国喀斯特成因的地带性问题。十分清楚,喀斯特化的物质基础、以及表层物质展布、层组结构、位能,受控于地质参数 (与现代的地带性无关),然而造喀斯特的动力,往往具有纬度、经度和海拔高度等地理参量 (WLLiH 和 Bio—Geographic zone) 有关。换言之喀斯特化是地带性与非地带性的众多参量协同作用成的,即一定的环境控制着喀斯特发生发展。在相同的气候区内,由于岩石硬度、结构的不同,形态不会相同,只是一种近似;不同的气候区内,也可能出现局部相似的某类形态,但组合配置是不同的,如不同地带中的石林,动力与过程不同、配置的低凹地与残积物不同。如黄龙

寺的石芽、东昆仑山、西藏的石芽，都是冻裂石芽，没有溶斗或洼地配置，只有冻裂角砾、岩块倒石堆配置。

在经典的喀斯特研究中，往往从表生地球化学的一个侧面，将岩石划分为可溶和不可溶。即使在地表常温常压下，如果溶液是 pH 很低的，它将能溶解石英砂岩等。若考虑到热水、矿液，可溶的岩石就更多了。因此有人想将可溶岩改称为“水溶岩”，但很少人拥护。在研究岩石可溶性时，人们较一致地划分出：碳酸盐岩类；石膏岩盐类；砂岩类。通常指的是碳酸盐岩的喀斯特。石膏岩盐类的只发育在干旱半干旱气候带内。石英砂岩类的，只是在特别湿热的热带气候区域里，形成某些凸起的石峰岩柱和崖穴，但缺少洼地、溶斗等凹地貌（除了灰岩质砾岩外）。一般情况下，又把砂岩类的似喀斯特形态和景观，称为假喀斯特（Psudo karst）。

近年来一些研究成果认为，影响和决定石灰岩地形发育最重要的因素是它的硬度（强度），而不是岩石的化学组成和非碳酸盐含量。碳酸盐岩石的结构也很重要（Day, 1982、翁金桃, 1985）。事实上碳酸盐岩石的抗蚀性与造貌过程是个多参量协同作用结果，有时候或某一地段，以某个参数为主，而在另一时空内，可能又是另外某参数为主，从而使得喀斯特化极为复杂，可以说机理简单，过程则很复杂。我们曾指出碳酸盐岩组中的夹层（在盘县马场，厚 100m 的粉砂岩与页岩，沿断层走向发育了地下河、连县清江的红层顶砾岩洞河嵌入页岩层内 5m）和某些辉绿岩脉被地下河“击穿”的极端例子来说明问题的复杂性。但是普适性的现象仍是主体。

碳酸盐岩的组分、结构和硬度对其地貌形态的控制是明显的，可以说从微细的风化面到构筑的山峰、洞穴，无不印上它们的效应（表 2.1）。在洞穴形态上，灰岩洞多叉道，保留众多溶蚀、

表 2.1 碳酸盐岩石结构与形态特征

Tabl2. 1 The Character of its form and structute

岩 石 形 态	灰 岩	白云岩	白云质灰岩 灰质白云岩
微细形态 (溶痕类)	尖棱角突起 光滑或指纹沟 不规则的蜂窝状溶斑	钝顶钝棱，光滑或皱纹状、刀 砍状溶纹、砂糖状白云砂	粗糙、豹皮状、竹叶状、带状 风化面、刀砍状、团块状及不 规则溶痕
岩柱形态 (中、小尺度)	直立高耸，表面多流沟，粗视 光滑，顶多尖、棱突出	很少形成石林，个别石芽顶较 圆浑，而且低矮	柱面不规整，有角砾状、斑纹 状黑黝黑风化面，柱顶钝，柱 体可以弯和悬垂
丘峰形态 (大)	尖峰兀立、塔状居多(热带、亚 热带)	圆顶塔状峰、丘居多(热带、亚 热带)	圆顶峰丘、多锥状喀斯特

侵蚀形态，洞道 变曲不规则；白云岩及白云质灰岩，洞道相对规整些，多崩塌大厅，洞顶洞壁很少见溶蚀、侵蚀形态。喀斯特化的初始时期也许是溶蚀为主，但决不能忽视侵蚀和生物的腐蚀与劈裂（树根劈开丘峰，形成陡崖和悬崖）。不应将喀斯特作用仅仅理解成溶蚀（岩溶），它是碳酸盐岩石与石膏岩盐层在表层条件下的一种综合地质—地貌过程。

有关喀斯特的成因，发育机制有许多文章和专著做过研讨，在此没有必要重述它们，只想指出喀斯特是地球表层环境演化的一种结果，是整个区域环境演化从整体上决定了区域喀斯特的形成与发展。换言之，地球运动与演化也就是地表的建造，一旦建造形成和发展，又反过来作用于环境，影响、制约着环境系统中的 Mf、Ef 和 Inf。环境导致喀斯特化，喀斯特的出现又构成了独特的喀斯特环境。