

喀斯特山区资源环境脆弱性机制 与安全评价研究

——以桂西北喀斯特山区为例

吴良林 陈子燊 周永章 李漫 著

地质出版社

喀斯特山区资源环境脆弱性 机制与安全评价研究

——以桂西北喀斯特山区为例

吴良林 陈子燊 周永章 李漫 著

贵州师范学院内部使用

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书主要是从综合的角度,从地质、地貌、气候等方面系统地探讨了喀斯特山地系统资源环境脆弱性的物理学机制、地质化学机制与人文机制等,并根据喀斯特山区资源环境脆弱性机制原理,构建了喀斯特山区资源环境安全评价指标体系,完成了桂西北喀斯特山区资源环境安全评价与分区实证研究。

本书适用于从事地理科学、生态环境、资源环境开发利用与管理等领域的政府决策者、科研人员、教师与学生等相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

喀斯特山区资源环境脆弱性机制与安全评价研究:以桂西北喀斯特山区为例 / 吴良林等著. —北京:地质出版社,2013.3

ISBN 978-7-116-08185-7

I. ①喀… II. ①吴… III. ①喀斯特地区-山区资源-环境生态评价-研究
IV. ①X321.273

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第037053号

责任编辑:赵俊磊 蔡卫东

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324571(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787 mm × 1092 mm¹/₁₆

印 张:13

字 数:300千字

印 数:1—600册

版 次:2013年3月北京第1版

印 次:2013年3月北京第1次印刷

定 价:40.00元

书 号:ISBN 978-7-116-08185-7

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

贵州师范学院内部使用

前 言

资源安全、环境安全问题是当前国际关注和学术研究的热点之一。我国西南喀斯特地区是地球上最脆弱的生态系统区之一，人口与资源、环境的矛盾相当突出。开展喀斯特山区资源环境的脆弱性和安全机制的研究，有助于科学地认识喀斯特山区资源环境安全的本质，为该区域资源环境安全决策和可持续利用提供科学依据，推进国家提出的“加快推进黔桂滇岩溶（喀斯特）石漠化的综合整治”战略的实施。

本书内容安排是根据事物安全的因果关系来展开的。首先，引入安全科学的基本理论，并以安全科学的基本理论和人地关系基本理论等为指导，根据事物的脆弱性是决定其安全性的重要依据的原理，剖析了喀斯特山区资源环境系统的脆弱性基本机制，指出了喀斯特山区资源环境系统受山地系统脆弱性和喀斯特地质化学脆弱性的双重制约，是造成喀斯特山区资源环境系统脆弱性的本质。喀斯特山地系统的脆弱性主要表现在物质系统的不稳定性、生产潜力递减性和环境多灾性。喀斯特地质化学脆弱性主要表现在土壤系统脆弱性、水文系统脆弱性，以及两者联合作用造成的喀斯特生态系统脆弱性。其次，根据事物数量不足也是造成安全问题的原理，论述了形成喀斯特山区资源稀缺性的必然性。第三，根据事物的脆弱性和数量的稀缺性与事物安全之间的因果关系，构建了适合喀斯特山区资源环境安全评价的指标体系。

安全问题是古老的问题，但区域资源环境安全综合研究却是一个新问题。我国类似的相关研究最早出现在2002年，距今也仅有10年历史，究其原因，作者认为资源环境安全研究最大的挑战是资源环境涉及要素的繁杂性和不确定性，使得其评价因素难以筛选和具有争议。本书的研究立足于安全科学的基本理论，采用因果关系法最终完成了桂西北喀斯特山区的资源环境安全评价研究。但由于研究领域的特殊性和作者水平的限制，定会存在许多不足，敬请同行指正。

本书由国家自然科学基金项目“桂西北喀斯特山区资源环境脆弱性机制与安全调控研究”（批准号：40961004）、广西师范学院地理学博士学位点、广西北部湾环境演变与资源利用省部共建重点实验室、广西地表过程与智能模拟重点实验室建设基金联合资助出版。在此一并致谢。

著 者

2012年10月于广西南宁

目 录

前 言

第 1 章 喀斯特研究与区域发展概述	1
1.1 世界喀斯特研究概述	1
1.2 中国喀斯特研究概述	2
1.3 中国现代喀斯特主要研究领域	3
1.4 中国喀斯特科学研究存在的问题	4
1.5 中国喀斯特地区发展概述	5
第 2 章 安全科学与资源环境安全研究概述	8
2.1 安全科学基本理论	8
2.2 资源环境安全的概念与内涵	19
2.3 资源环境安全与其他相关安全的区别及联系	21
2.4 资源环境安全的基本科学属性	23
2.5 资源环境安全研究与评价的相关理论	25
2.6 资源环境安全问题的起源	33
2.7 资源环境安全的评价方法	38
2.8 资源环境安全研究进展及存在问题	42
第 3 章 桂西北喀斯特山区资源环境脆弱性机制	45
3.1 山地系统基本属性	45
3.2 物理学机制	47
3.3 山地系统脆弱性对资源环境安全的影响	49
3.4 化学机制	55
3.5 地质学机制	66
3.6 其他外部机制	68
第 4 章 桂西北喀斯特山区自然条件与资源环境本底特征	72
4.1 资源环境脆弱性的自然条件背景	72
4.2 资源环境本底及其稀缺性特征	87
4.3 桂西北能源及核心矿产资源稀缺性分析	95
第 5 章 桂西北喀斯特山区土地资源安全	103
5.1 土地自然生产潜力	103
5.2 土地资源承载力与土地资源安全	108
5.3 土地资源空间格局与土地资源安全	109
第 6 章 桂西北喀斯特山区资源环境承载力与安全	124
6.1 资源环境承载力评价方法	124

6.2	桂西北生态足迹与资源环境安全	126
第7章	桂西北喀斯特石漠化与资源环境安全	132
7.1	喀斯特石漠化对区域资源环境安全的影响	132
7.2	桂西北喀斯特石漠化信息遥感分析方法	139
7.3	桂西北喀斯特石漠化与地形空间相关性	146
7.4	桂西北喀斯特石漠化与气候空间相关性	150
7.5	桂西北喀斯特石漠化与人类活动空间相关性	153
第8章	桂西北喀斯特山区资源环境安全综合评价	159
8.1	评价指标体系	159
8.2	评价模型	162
8.3	桂西北喀斯特山区资源环境安全综合评价	168
第9章	桂西北喀斯特山区资源环境安全调控	185
9.1	科学认识喀斯特山区资源环境系统及其承载力的脆弱性	185
9.2	从国家区域安全的高度, 重视喀斯特地区资源环境安全	185
9.3	重视重建喀斯特生态系统, 提高可再生资源及生态环境质量	186
9.4	实行资源替代战略	191
9.5	完善喀斯特山区资源环境经济政策	191
9.6	建立喀斯特资源环境脆弱区生态补偿机制	192
9.7	建立喀斯特山区资源环境安全预警机制	193
9.8	调整经济结构, 加快发展社会经济与科教体系	194
参考文献	195

第1章 喀斯特研究与区域发展概述

1.1 世界喀斯特研究概述

地球上从海平面以下几千米的地壳深部到海拔 5000m 以上的高山都有喀斯特 (karst) 分布。据苏联学者 Г. А. 马里西莫维奇估计, 喀斯特在地球上的分布面积为: 碳酸盐 4000 万 km^2 , 石膏和硬石膏为 700 万 km^2 , 岩盐 400 万 km^2 , 裸露和覆盖的碳酸盐岩约占大陆面积的四分之一以上。喀斯特在全球各地理区域内均有分布, 其中以北纬 $20^\circ \sim 50^\circ$ 地区分布较集中, 比较连片集中分布的有欧洲地中海沿岸、美国东海岸和中国西南的贵州、广西、云南。

国外早期的喀斯特研究主要以欧洲为主。喀斯特是南斯拉夫西北部伊斯的利亚半岛的石灰岩高原的地名, 19 世纪末, 南斯拉夫学者司威杰 (J. Cvijic) 首先对该地区进行研究, 并借用喀斯特一词作为石灰岩地区一系列作用过程的现象的总称, 到 1966 年我国第二次喀斯特学术会建议将“喀斯特”一词改为“岩溶”。19 世纪中叶, 喀斯特研究进入以地理和地质综合研究时期, 主要研究内容包括: 喀斯特的地质成因、喀斯特地貌特征、喀斯特作用的性质、喀斯特水文等, 到 19 世纪末, 基本奠定了喀斯特的理论基础。进入 20 世纪后, 喀斯特的研究有了更大发展。南斯拉夫、波兰、匈牙利、捷克斯洛伐克、法国、西德、意大利、奥地利、瑞士、西班牙、美国等都开展了喀斯特的研究工作。早期的研究以南斯拉夫学者司威杰 (J. Cvijic) 的研究较为系统, 他在 1893 年发表的《喀斯特现象》论文中, 简明阐述了喀斯特的侵蚀——溶蚀机理, 提出了喀斯特地下水的三个层次带理论, 即最上部为干燥带, 中间为季节饱和带、最下面为全饱和带。

苏联在十月革命胜利后, 由于国家经济建设的需要, 开展了较广泛的喀斯特综合研究。1958 年成立了国家喀斯特地质和地理研究委员会, 在喀斯特的发育机理和规律, 探测方法等方面作了较多研究。西德对石芽以及喀斯特构造研究较多。法国研究了喀斯特的地带性。美国则偏重喀斯特探测技术研究, 在超短波辐射探测深层喀斯特取得进展。20 世纪 60 年代的《喀斯特剥蚀问题》(1969)、《喀斯特现象》(1968)、《洞穴问题研究》和 70 年代的《喀斯特学》(1971)、《北半球的喀斯特》(1972)、《喀斯特地貌》(1973) 等著作, 形成了喀斯特科学研究的基础理论体系。

自从 LeGrand (1973) 在美国《科学》杂志上发文指出了喀斯特地区地面塌陷、森林退化、旱涝灾害、水质等生态环境问题以来, 人们开始关注人类与喀斯特资源环境的关系。

20 世纪的喀斯特科学研究主要经历了 3 个发展阶段: ①地质地理描述阶段 (30 年代前)。代表人物是美国的 Davis、Swinnerton, 欧洲的 Grund、Kalter 等; ②物理化学 (水-岩相互作用) 阶段。代表人物是苏联喀斯特学家索科洛夫, 他发表了著名的岩溶学论著《喀斯特发育的基本条件》(1962), 提出喀斯特发育的 4 个基本条件: 可溶性岩石、岩石

的透水性、侵蚀性的水和水的运动；③地球系统科学阶段（70年代以后）。以袁道先的《岩溶环境学》（1988）为代表。90年代以来，由袁道先院士实施的国际喀斯特地质对比项目，体现了喀斯特地球系统科学的发展到新的阶段，也说明我国喀斯特研究在世界的领先地位和重要性。长期以来，世界喀斯特研究主要集中在地质化学与水文方面，喀斯特资源环境开发利用方面的研究很少。

1.2 中国喀斯特研究概述

1.2.1 中国的喀斯特分布

我国是喀斯特十分发育的国家，其中裸露型喀斯特面积为90.7万km²。西南是中国喀斯特最集中的地区（表1.1），其喀斯特类型之齐全，堪称世界级的“喀斯特宝库”。以喀斯特出露面积30%的标准划分喀斯特与非喀斯特地区，则西南地区的广西、贵州、湖南、云南和重庆划为喀斯特地区。贵州省喀斯特面积比例最大，达61.2%，但以县为单位，广西有8个县喀斯特面积比例超过90%，而贵州只有一个县达到这一比例。

表 1.1 西南各省份喀斯特出露情况

省份	土地面积 L/万 hm ²	喀斯特出露面积 C/万 hm ²	C/L /%	县总数	喀斯特出露面积比例县数			
					≥30%	≥50%	≥70%	≥90%
广西	23.64	9.87	41.57	85	45	32	15	8
广东	17.65	1.03	5.80	90	3	1	0	0
贵州	18.98	11.61	61.20	82	70	64	29	0
湖北	18.56	5.18	27.90	78	29	17	7	1
湖南	21.15	6.36	30.10	104	47	29	10	0
四川	48.11	7.03	14.60	157	28	9	0	0
云南	38.43	10.83	30.00	125	57	26	9	0
重庆	8.17	3.01	36.80	32	13	8	5	1
合计	194.69	54.92	28.21	753	292	186	75	10

1.2.2 中国的喀斯特研究概况

喀斯特区域在我国国土中占有重要的地位，其研究历史可以追溯到古代。明代地理学家徐霞客（公元1587~1641年）对喀斯特环境研究最为广泛和全面。徐霞客对岩溶地貌所作的考察和描述，比欧洲人爱士倍尔的工作（1774年）要早130多年，他对岩溶地貌的分类也比欧洲人瑙曼的研究（1858年）要早220多年。他对我国西南各省岩溶地貌作出了详细的记述和独到的分析，以日记形式记录了沿途的地理现象，著有《徐霞客游记》，这是世界上最早研究石灰岩岩溶（喀斯特）地貌的著作。徐霞客足迹历经广西、贵州、云南三省（区），是中国和世界广泛考察喀斯特地貌的卓越先驱，特别是关于喀斯特地貌的详细记述和探索居于当时世界的先进水平。

中国现代喀斯特研究也居于国际先进水平。由于喀斯特地区在中国的国土和经济发展

均占有重要的地位，中国近代和现代对喀斯特进行了较系统的研究。中华人民共和国成立后，为了满足水利水电、矿产开发、交通建设、农业等方面发展的需要，我国的喀斯特研究进入了一个飞跃发展时期。在喀斯特发育的机理和规律、喀斯特水文地质特征、喀斯特矿产、喀斯特工程地质、喀斯特灾害、喀斯特生态环境等方面成果较多。

1.3 中国现代喀斯特主要研究领域

长期以来，我国的喀斯特科学研究以地质水文方面研究见长。1976年国家地质总局对广西成立岩溶地质研究所（桂林）下达的主要任务是：①研究我国岩溶分布及其发育规律；②系统总结广大工农兵群众在与岩溶斗争中积累起来的经验；③围绕地下水开发利用，研究岩溶地区的水文地质条件，地下水的分布、运动规律以及找水用水方法；④研究岩溶对农田水利、水工建筑、工程、矿山建设的危害及其解决办法。

由于喀斯特在我国广泛分布，对区域资源环境、社会经济影响深远。目前喀斯特研究相当广泛，从区域上看，贵州、广西、云南、四川、重庆等地区的喀斯特研究较集中，尤以贵州喀斯特研究最集中。从学术上看，则主要集中在地质、地球化学、生态、环境、地理、农业等领域，尤以地质、地球化学方面的研究最突出，其次是生态研究如喀斯特石漠化研究等。而喀斯特资源环境、人地关系方面的研究相对比较弱。

1.3.1 喀斯特地质环境研究

喀斯特地质环境研究在中国具有悠久的历史 and 坚实的基础，并取得大量研究成果。20世纪80年代以来，袁道先等对喀斯特环境发育的地质水文过程进行了较系统的研究，并形成了喀斯特环境学的基本理论体系。不少学者探讨了喀斯特山区土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制，喀斯特生态系统生态效应及水文效应对比，中国西南喀斯特生态系统的地质生态过程研究等。

目前的喀斯特地质环境研究最新发展，以袁道先院士为首的中国科学院岩溶地质研究所的研究群体为典型代表。他们在有关喀斯特至关重要的环境地质、工程地质和地理地貌等方面进行了大量的基础研究，研究的重点在于从大的时间尺度和地质背景上探讨喀斯特的形成机制。代表项目有国际地质对比计划（International Geological Correlation Programme, IGCP）等。

1.3.2 喀斯特地表过程与生态重建研究

主要指以贵州、广西等各科研团体为代表的关于喀斯特生态环境、石漠化形成机制、演替过程等的相关研究。该领域又分从微观和宏观两个层面展开。微观方面的研究主要从制约地球环境演化相互联系的物理、地球化学和生物学作用角度来研究喀斯特环境系统。如利用放射性核素、稳定同位素和微量元素示踪等手段，结合实验模拟，对喀斯特地球化学敏感及生态脆弱地区的岩石/土壤的化学风化与沉积、环境微量物质的人体健康和生态效应、化学元素的生物地球化学循环以及水文地球化学循环展开系统和综合的研究，揭示了西南喀斯特地区在数十年至数万年期间的演化规律及碳酸盐岩生态脆弱地区的环境质量变化。宏观层面的研究主要着眼于喀斯特生态系统脆弱性和人类活动对喀斯特环境的影响、喀斯特地区的环境退化机制等，其中以喀斯特土壤过程、水文过程、水土流失过程、

石漠化过程、生态过程、生态脆弱性、生态重建等内容研究较多。

1.3.3 喀斯特资源环境与入地关系研究

喀斯特资源环境与入地关系研究是一个广泛的、综合性的研究领域（蔡运龙，1996；朱文孝，2003；吴秀芹，2006）。目前喀斯特地区的生态脆弱性与贫困问题非常突出，已经引起国家的高度重视，中国“十五”规划中把西南喀斯特石漠化治理列为重要战略，在“以人为本”的理念指导下，喀斯特资源环境与入地关系的研究进入了一个新的阶段，主要研究领域包括喀斯特资源环境承载力、资源开发环境效应、石漠化治理、贫困、生态移民、喀斯特环境变化机制、可持续发展等。

目前新技术在喀斯特研究中得到应用。喀斯特环境“3S”（RS——遥感；GIS——地理信息系统；GPS——全球定位系统）应用技术等方面形成了有特色的体系。在LUCC的理论框架下，以北京大学等学术团体为代表，对喀斯特地区土地覆盖/土地变化（LUCC）的机制进行了探讨。

1.4 中国喀斯特科学研究存在的问题

1.4.1 喀斯特资源环境系统过程与原理研究较弱

我国喀斯特研究虽然历时悠久，在国际上享有重要地位，但从研究的深度和应用程度来说，还有许多不足。喀斯特研究长期处于对纷繁的喀斯特形态进行描述、分类，及其成因进行思辨的过程中，对其资源环境的本质、规律、及其与人类活动关系的系统性认识不足，它采用地球系统科学的认识论和方法论，比地学中研究其他表层地质作用的领域较晚。与我国西北地区的沙漠化、荒漠化的研究相比，西南喀斯特资源环境、生态问题研究比较滞后。

1.4.2 喀斯特资源环境承载力、人与资源环境关系机制研究不足

当前的日益恶化的喀斯特生态环境态势表明，人们对喀斯特资源、环境、生态过程机制，资源环境承载力，人口与喀斯特资源环境的关系机制等均还不太清楚。

长期以来，我国喀斯特研究表现为注重地质而轻资源与环境、喀斯特入地关系。喀斯特的研究最早是从地质开始的，并一直强势发展，这当然对喀斯特的研究作出了巨大贡献。但是，人类在喀斯特地区的发展，主要是利用其资源环境要素，它与人类社会及区域的发展最为密切。相对比较，喀斯特的资源环境研究处于较弱的地位，导致人类对喀斯特资源环境问题认识的严重不足，直接影响该区域的资源环境利用的科学决策，产生一系列的生态和社会问题。

1.4.3 喀斯特资源环境技术体系研究不足

石漠化成因与防治问题向来是喀斯特研究面临的重要科学问题之一。虽然目前对西南喀斯特石漠化的总面积有初步调查结果，但它主要是部门和学者通过一些辅助手段，如用遥感进行估算，而不是石漠化面积和分布的详查和测量，数据有可能误差较大。对不同程

度喀斯特石漠化的分布格局、产生的条件和影响的因素也还没有详细的资料。究竟有多少面积的喀斯特石漠化地区该封山育林，多少面积的喀斯特石漠化地区应该生态移民，多少面积的喀斯特石漠化地区是通过产业结构调整就可以治理的，这些基本情况还不清楚。没有准确的基础数据，就很难规划和推进国家“加快推进黔桂滇岩溶（喀斯特）石漠化的综合整治”战略的实施。如何研究和采用更有效的技术手段，如 GPS 实地测量、地面定点自动观测系统、采用更高精度的遥感技术、研究更有效的遥感信息模型等，以提高喀斯特科学研究基础数据的质量，是迫切需要解决的问题。

1.5 中国喀斯特地区发展概述

中国的喀斯特山区面积广。裸露半裸露喀斯特面积有 130 万 km^2 ，加上非裸露的，则共有 300 万 km^2 ，约为国土面积的三分之一，并且集中连片分布，是传统的农业作业区，承载的人口多，人口贫困面大，经济落后。西南连片的喀斯特地区是我国两条河流——长江和珠江的发源地，我国喀斯特地区的经济、贫困、生态环境保护问题显得比其他国家更为紧迫和严重。

西南喀斯特山区的石漠化与西北地区的沙漠化是我国实施西部大开发战略中所面临的两大根本性地域环境问题。“十五”期间国家明确指出“加快推进黔桂滇岩溶（喀斯特）石漠化的综合整治”，对于构筑长江、珠江两大流域上游的生态屏障和实施本地区持续发展具有重要的现实意义。

石漠化是中国西南喀斯特地区最严重的生态问题，也是喀斯特山区最典型的区域人口、资源与环境综合问题。石漠化是一个几乎不可逆的生态环境退化过程，一旦形成，就难以恢复到原始状态，石漠化严重威胁当地的生态安全、社会经济安全，也严重威胁喀斯特山区资源环境安全。石漠化与贫困是一对孪生兄弟，石漠化与贫困互为因果，恶性循环，石山地区陷入了“越贫越垦，越垦越贫”的恶性怪圈，是一种典型的 PPE（Poverty, Population, Environment）怪圈，贫困与脆弱生态环境具有较强的相关性，我国西南地区的极端贫困县几乎全部位于石漠化山区，石漠化地区已经成为我国农村贫困度最深、社会发展严重滞后的地区。

目前我国西南地区石漠化已比较严重，并且不断恶化。研究表明，以贵州为中心的西南喀斯特石漠化面积从 1990 年左右的 82942.65km^2 增加到 2000 年左右的 105063.20km^2 ，在 10 年左右的时间内净增石漠化面积 22120.56km^2 ，平均每年净增石漠化面积 1650.26km^2 ，年平均增长率为 2%，石漠化演变呈局部好转，总体恶化的趋势，形势非常严峻。

耦合在物理学上是指两个（或两个以上）体系或运动形式之间通过各种相互作用而彼此影响的现象。具体落实到贫困与脆弱生态区的分布上，指的是贫困与生态环境脆弱两者间的相互联系、相互影响而产生的地理空间分布上的一致性。我国的贫困人口分布与生态脆弱环境具有高度的空间耦合特性，以喀斯特环境尤为突出。喀斯特地区是我国贫困人口最多、贫困程度最高的地区，而喀斯特石漠化地区则是贫困最集中和贫困度最高的地区。喀斯特生态脆弱性导致的资源环境脆弱性是广西广大喀斯特地区的灾害之源和贫困之源。目前广西的 28 个国定贫困县中 90% 属于喀斯特石漠化地区，贫困人口中约 80% 分布在石漠化区。根据国家“八七”扶贫攻坚计划划定，广西现有 28 个国家级贫困县（表 1.2）。

若以喀斯特面积占全县总面积的 30% 以上划定为喀斯特山区县标准，则广西有 22 个贫困县为喀斯特山区县，占贫困县总数的 78.6%，就是说广西的国家级贫困县与喀斯特环境的空间耦合度为 78.6%，并且全部国家级贫困县均分布于山区中，即广西国家级贫困县分布与山地地形空间耦合率为 100%。

表 1.2 广西国家级贫困县喀斯特面积比例

县 名	喀斯特面积占 县总面积的比例/%	县 名	喀斯特面积占 县总面积的比例/%	县 名	喀斯特面积占 县总面积的比例/%
罗城仫佬族自治县	67.90	田东县	33.30	天等县	82.76
环江毛南族自治县	85.78	平果县	67.62	金秀瑶族自治县	0.85
南丹县	82.77	德保县	65.42	龙州县	96.54
天峨县	32.57	靖西县	93.71	忻城县	99.38
凤山县	58.28	那坡县	45.30	马山县	81.65
东兰县	50.73	凌云县	42.93	隆安县	
巴马瑶族自治县	53.39	乐业县	31.74	三江侗族自治县	0.92
都安瑶族自治县	94.28	田林县	11.96	融水苗族自治县	6.94
龙胜各族自治县	0.61	隆林各族自治县	40.44		
大化瑶族自治县	91.02	西林县	5.04		

桂西北地区主要指广西西北部（图 1.1），总面积 33508km²，喀斯特出露面积比例达 73.55%，其比例为广西境内最高，是非常典型的喀斯特地区。桂西北境内有金城江区、凤山县、南丹县、宜州市、东兰县、都安瑶族自治县、大化瑶族自治县、巴马瑶族自治县、罗城仫佬族自治县、环江毛南族自治县等 10 个县（市）1 区。其中国家级贫困县（市）9 个，县（市）贫困率为 90%，这 9 个县（市）均为喀斯特山区县（市），即桂西北国家级贫困县分布与喀斯特环境空间耦合度为 100%。此外，广西百色市所有贫困乡镇全部分布于喀斯特山区中，其与喀斯特环境空间耦合度也为 100%，可见贫困与喀斯特环境有非常密切的关系。

中国的喀斯特山区面积广，集中连片分布，是传统的农业作业区，承载的人口多，经济落后，见表 1.3。

表 1.3 中国主要喀斯特区经济情况比较

科 目	省（区）		
	广 西	贵 州	云 南
喀斯特面积/万 km ²	9.87	12.88	10.66
占全省面积百分率/%	41.5	73.0	27.1
人均 GDP/元	15979	10302	13498
相当于全国人均 GDP 的比例/%	62.48	40.28	52.78
县（市）总数/个	109	88	129
国家级贫困县（市）数/个	28	48	73
国家级贫困县（市）比例/%	26.7	54.5	56.6



图 1.1 桂西北河池市在广西的地理位置示意图

2009 年广西人均 GDP 只有全国水平的约三分之二、云南为全国水平的二分之一左右，贵州省仅相当于全国水平的三分之一强。在全国 31 个省（自治区、直辖市）2009 年人均 GDP 排名中，喀斯特地区均处于最落后位置。其中贵州排列倒数第一，而云南、广西分别排列倒数第三、倒数第五位，充分说明喀斯特资源环境对区域经济发展起到极大的制约作用，从全国范围上看，经济贫困与喀斯特资源环境也具有极密切的相关性。

从我国的贫困分布与生态脆弱地带的相关联系来看，在划入生态环境脆弱地带的国土中，约有 80% 的贫困县位于山区，加上高原、丘陵地区贫困县，则比例近 100%。贫困地区人口的分布与山地环境具有高度的相关性，即山地面积比重越大的地区，贫困面越大、程度也越深。

日益恶化的喀斯特山区生态环境和经济贫困，表明人类活动严重超越了其资源环境承载力，资源环境安全问题已非常突出，迫切需要对喀斯特山区的资源环境特性及其安全状况进行科学评价，以指导喀斯特山区的资源环境开发利用。

第2章 安全科学与资源环境安全研究概述

2.1 安全科学基本理论

2.1.1 安全的概念与含义

从字典的一般解释，“安”字指不受威胁、没有危险、太平、安适、安逸、安稳、安康、安乐、安心、稳定等含意，可谓无危则安；“全”字指圆满、完整、齐备，或指没有伤害、无残缺、无破坏、无损失等内容，可谓无损则全。所谓安全，是指无危险，没有威胁，不出事故。从安全的含义出发，物体稳定性越高，其安全性越高；物体越强大，安全性越高，反之，物体越脆弱，安全性越低。

与安全相对立的是危险（danger），故可以将危险定义为：危险是指人或物遭受损失的可能性超出了可接受范围的一种状态。危险包含了尚未为人所认识的，以及虽为人们所认识但尚未为人所控制的各种隐患。同时，危险还包含了安全与不安全一对矛盾斗争过程中某些瞬间突变发生外在表现出来的事故结果。安全与危险是一对此消彼长、动态发展变化的矛盾双方，它们都是事件过程中的连续型过程。与危险相联系的概念是灾害（disaster），当危险已经发生并形成危害性的结果，这就灾害。

2.1.2 安全的基本要素

从系统的观点来看，安全包含3个基本要素：人——安全行为，即人的行为是否是安全的；物（自然物、人造物，如场所、设施、设备、原材料、产品等）——安全条件，即物体的安全性能状况，比如生态环境的脆弱性，资源丰度如石油的储藏量等；人与物的关系——安全状态，即人们如何认识人本身与物体之间的关系。三者有机结合，构成一个动态的安全系统。人和物是安全系统中的直接要素，人离不开物，得益于物，也受害于物。安全的三个要素相互制约，并在一定条件下互相转化。安全是事物遵循客观规律运动的表现形式、状态，是人按客观规律要求办事的结果；危险、事故、灾害则是事物异常运动（隐患）经过量变积累而发生质变的表现形式，是人违背客观规律或不掌握客观规律而受到的惩罚、付出的代价。人们通过调控人行为，改变、防止事物异常运动，就可以控制、预防事故、灾害的发生，使事物按客观规律运动，以获得安全。因此正确认识人与物之间的关系是取得安全的重要途径。

2.1.3 安全的特点

2.1.3.1 有相对性

可以认为，绝对安全是不存在的，因为所有的装置（物）都存在着某些危险性。在安

全和危险之间，有人认为（A）状态才是安全的，但与装置和设施有利害关系的人（或受益者），则认为（B）状态已是安全的（图 2.1）。所以，大多数人认为或能接受的相对安全，就成了当代社会（公众）允许的（可接受的）安全水平。

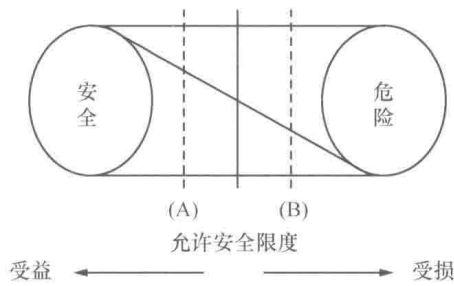


图 2.1 安全相对性示意图

人类的发展历史证明，理想的绝对的安全状态是难以达到的。其主要原因是，人类对自然物和人造物的本质及活动规律的认识能力和控制能力总是有限的，对万物危害的机理或系统风险的控制也是在不断地深入研究和探索之中。然而人类自身对外界危害的抵御能力有限，调节人与物之间关系的系统控制和协调能力也是有限的，难以使人与物之间实现绝对和谐并存的状态，这就必然会引发事故和灾害，造成人和物的伤害与损失，产生安全隐患。相对安全的目标值在一定条件下是可望实现的，而要求人的行为规范活动及物的无害存在状态，建立绝对安全，实际上是难以达到。

2.1.3.2 渐变性与模糊性

一般而言，从安全向危险（安全问题）转化是一个渐变的过程，而从危险向灾害的转化则具有突变性，过程如图 2.2。

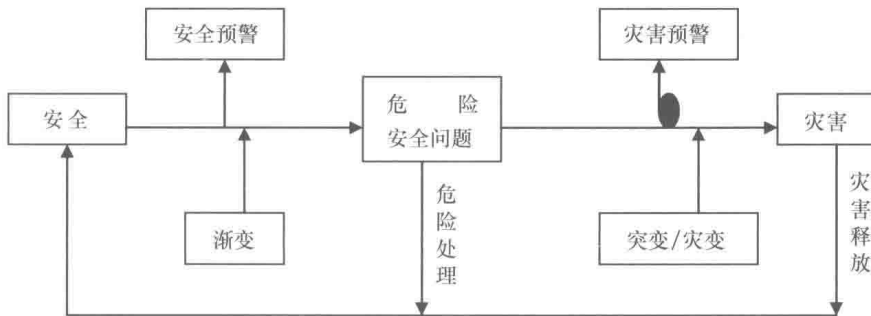


图 2.2 安全、危险和灾害变化过程

2.1.3.3 与危险的可逆性

安全、危险和灾害，可以用三种状态空间来表示（图 2.3）：

在一定的条件下，只要主体的行为在范围 A 内，主体基本上是安全的。当主体的行为超过了范围 A 进入范围 B 内，就不一定能确保安全，即处于危险状态，但只要正确认识和危险，就可以向安全状态转化，表明危险是可知的和可控的。如果主体的行为超过了一个界限，进入范围 C，则这种行为产生的危险必然转化为灾害，这过程是不可逆的。



图 2.3 安全、危险和灾害状态空间之间的转化

2.1.4 安全的分类

安全涉及的范围非常广泛，但目前尚未见有系统的安全分类。就目前国际安全科学研究的情况看，安全研究主要集中在生产和管理领域。但从世界和全国学术界研究看，安全研究内容和范围大大超过上述所涵盖的范围（表 2.1）。

表 2.1 安全研究分类

安全分类	安全亚类型	安全子类
按概念分类	狭义安全、广义安全	
按性质分类	绝对安全、相对安全	
按研究传统分类	传统安全	军事安全 / 国防安全
	非传统安全	传统安全之外的安全
按研究区域分类	地球安全、国家安全、区域安全	
按研究领域分类	自然安全、社会安全、生产安全、 军事安全、政治安全	
按研究主题内容分类	国土资源安全	土地资源安全、耕地安全、水资源安全、矿产资源安全等
	能源安全	石油安全、煤矿安全等
	环境安全	生态环境安全、水环境安全、大气环境安全等
	生产安全	设施安全、操作安全、用电安全等
	计算机系统安全	信息安全、网络安全、数据安全等
	经济安全	金融安全、市场安全等
	食物安全	粮食安全、饮水安全等
	社会生活安全	人口安全、财产安全、文化安全等
	政治安全	
	军事安全	
其他	交通安全、医疗安全、基因安全等	

2.1.5 安全的度量

安全评价也称危险评价或风险评价，是对评价目标存在的危险性和风险性进行定性和定量分析，得出评价目标发生事故的可能性及其后果严重程度的评价，通过评价寻求最低事故率、最少的损失和最优的安全投资效益。也就是说安全评价是评价风险程度并确定其是否在可承受范围的过程。安全的度量有许多方法，一般意义上的风险具有概率和后果的

二重性，即

$$R = f(p, c) \quad (2.1)$$

为简单起见，大多数文献中将风险表达为概率与后果的乘积，它由风险事件的可能性（频率）与事件严重度的乘积给出，即

$$R = p \times c \quad (2.2)$$

式中： R 为事件风险度； p 为事件发生的频率； c 为事件的严重度。

式（2.2）表明，风险随着事故可能性和事故严重度的增加而增大，通过安全评价可以获得定性或定量的风险值。某一类（种）危险，即使事故发生后的严重程度较大，但由于其事故发生的可能性很小，所以得出的危险也较小。

从系统的安全性能讲，安全性为衡量系统安全程度的客观量，与安全性对立的概念是描述系统危险程度的指标——风险（又叫危险性）。假定系统的安全性为 S ，危险性为 R ，则 $S = 1 - R$ 。

安全评价可分为对评价对象（目标）未来状况和对现状的安全评价。对于未来状况的安全评价可以称作预评价。对于评价对象未来的安全性，由于无法控制条件，一些偶然因素使系统运行的结果不可能准确地预先掌握，故具有随机性。而且安全本身就是一个模糊概念，而且人们所掌握的信息大多数也是模糊的，所以，对目标未来的安全评价可以运用模糊集理论。用极限函数方法，安全、危险、灾害可以表示为：

（1）安全和安全空间

对于状态空间 M 存在一个风险为零的状态，称为绝对安全状态 A_0 。在 A_0 周围，存在一个状态空间 A ， $A \subset M$ 且满足 A 状态空间内的任一状态 A_x （变化或转化）趋于 A_0 时，其风险 R_{ax} 为0。即

$$\lim_{A_x \rightarrow A_0} R_{ax} = 0$$

当某一状态处于安全空间 A 时，这一状态即为安全。

（2）危险和危险空间

对于状态空间 M 在绝对安全状态 A_0 周围，存在一个状态空间 B ， $B \subset M$ 且满足 B 状态空间内的任一状态 B_x （变化或转化）趋于 A_0 时，其风险 R_{bx} 大于0且小于1。即

$$0 < \lim_{B_x \rightarrow A_0} R_{bx} < 1$$

当某一状态处于危险空间 B 时，这一状态即为危险。

（3）灾害和灾害空间

对于某一个空间 M ，在绝对安全状态 A_0 周围，存在一个状态空间 C ， $C \subset M$ 且满足 C 状态空间内的任一状态 C_x （变化或转化）趋于 A_0 时，其风险 R_{cx} 为1。即：

$$\lim_{C_x \rightarrow A_0} R_{cx} = 1$$

当某一状态处于灾害空间 C 时，这一状态即为灾害。

2.1.6 安全的标准

标准是衡量事物的准则。从管理的角度说，标准是以科学、技术和实践经验的综合成果为基础，经有关方面协商一致，由主管机构批准，以特定形式发布，作为共同遵守的准则和依据。按性质分类，标准可分为技术标准、管理标准和工作标准；按要求标准可分为