

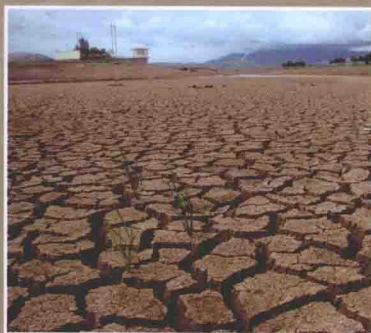
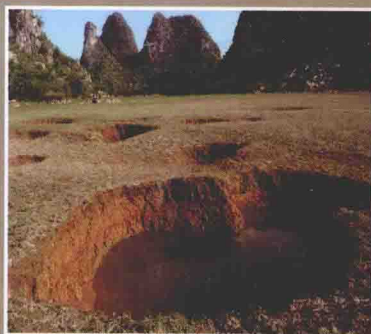
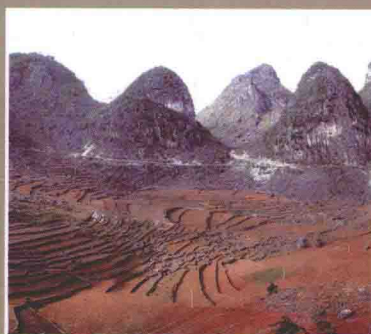


中国地质调查出版物

西南岩溶石山地区

重大环境地质问题及对策研究

袁道先 主编



科学出版社



本书由中国地质调查局“西南岩溶石山地区重大环境地质问题及对策研究(1212010813111)”项目、“地质碳汇潜力综合研究(1212011087119)”项目、中国地质科学院岩溶地质研究所基本科研业务费项目“岩溶碳汇过程与机理研究(2012007)”、国土资源部行业专项课题“桂林丫吉试验场岩溶水科学观测与综合研究(200911004-1)”资助

西南岩溶石山地区 重大环境地质问题及对策研究

袁道先 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是我国西南八省岩溶工作者通力合作,深入岩溶石山地区,进行了大量野外调查、取样和室内试验,在全面分析我国西南岩溶地区地质环境和典型环境地质问题的基础上编撰而成的。本书内容涉及云南、贵州、广西、广东(粤北)、湖南(湘西)、湖北(鄂西)、重庆、四川(川南)等我国主要岩溶省(区),是我国目前第一部以岩溶地区环境地质问题为主题的专著,全面、系统、客观地分篇论述了西南岩溶地区广泛面临的包括石漠化、旱涝灾害、水质污染和典型工程环境在内的环境地质问题,针对各地区相关的环境地质问题治理提供了专门的对策,并首次论述了岩溶地区所面临的有机污染问题。

本书既是对西南岩溶石山地区现阶段环境地质问题的总结,也是各地今后进行环境地质调查及治理工作可参考的宝贵资料,将为政府有关决策部门提供决策依据。可供从事地质、地理、农林、水利、环境保护和地质灾害防治等方面工作的科技人员及有关高等院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

西南岩溶石山地区重大环境地质问题及对策研究 / 袁道先主编. —北京: 科学出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-03-039571-9

I. ①西… II. ①袁… III. ①岩溶地貌-环境地质学-研究-西南地区
②岩溶地貌-环境地质学-研究-中南地区 IV. ①P642. 252. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 008172 号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 / 责任校对: 鲁 素
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张: 33 3/4 插页: 34

字数: 780 000

定价: 238.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书编委会名单

主编：袁道先

编委：覃政教 黄桂强 王明章

王 宇 余子桃 盛玉环

万军伟 祁士华 蒋勇军

王 渊

序

我国西南岩溶地区是世界上连片分布面积最大、岩溶发育最为强烈的典型生态脆弱区。该地区山高水深、位置偏僻却人口过亿，矿产资源丰富但水土流失严重，人地矛盾极其突出，是我国贫困和环境退化问题最为严重的“老、少、边、山、穷”地区。自国家实施西部大开发战略以来，大量且频繁的基础设施建设、矿山开采、城市扩张和农业发展给原本脆弱的岩溶生态环境带来强烈的人为干扰，加之极端气候事件导致石漠化程度加剧，地下水污染、干旱、洪涝、塌陷等环境地质问题频发。

中国地质调查局“西南岩溶石山地区地下水与环境地质调查”计划项目（2006～2010）于2008年设立了由中国地质科学院岩溶地质研究所承担，袁道先院士率领的研究团队实施的“西南岩溶石山地区重大环境地质问题及对策研究”项目。此著作以该项目为基础，紧扣西南岩溶地区石漠化、水污染、旱涝灾害及工程建设引起的环境问题展开实地调研、分析和总结，具有以下特点。

首先，该书是一个“产、学、研”相结合的集体研究成果。它不仅拥有着最新的实验数据和最全面的岩溶地质资料，还综合归纳了包括地调部门、高等院校和研究所在内近百名长期工作在西南岩溶区的老专家们数十年的岩溶山区野外工作经验和科研成果。

其次，除了对西南岩溶区最为严重的石漠化问题进行研究外，该书重点关注城镇发展工程建设和矿山开发过程中引起的环境地质问题，并对这类问题进行了科学的论述和因地制宜的对策探讨，在岩溶石山地区寻找出一条经济发展与环境保护双赢的道路。

再次，第一次以专题的形式讨论了西南岩溶地区的有机污染问题。揭示了有机氯农药和多环芳烃等持久性有机污染物（POPs）已经在岩溶地区普遍出现，拓宽了有机污染的研究领域，又提出了岩溶石山地区的新环境问题。

最后，该著作是岩溶动力系统理论与实践的结合。书中用实例生动地阐述了岩溶动力系统的运行规律，并分地区、分类型，用典型案例将岩溶动力系统的理论鲜活地运用在广袤的西南岩溶石山地区，指导解决当地的环境地质问题。

该书立足理论，着眼实践，资料翔实，内容丰富，论证有据。可以预见，它的出版将使岩溶动力学理论转变为实实在在的惠民利民的科学实践，并带动岩溶学科更深入、蓬勃地向前发展。值此著作出版之际，我表示祝贺并乐于为之作序，预祝袁道先先生和他的团队取得更辉煌的科研成就。

江步晓

2012年12月12日

前 言

20 世纪 80 年代以来,由于岩溶区特殊的地质环境特征,国内外地质、环境工作者一致认为岩溶地区是一种脆弱环境,即一旦遭受破坏就很难恢复。这一方面是由于岩溶作用的基础——可溶岩(如石灰岩、白云岩等)的风化作用是以化学溶蚀作用为主,90% 以上的物质都溶解于水中而被带走,留下的成土物质极少,成土速度慢,以致土壤贫瘠,稍有水土流失即留下一片石海,很难恢复;另一方面由于岩溶地区地表地下的“双层结构”,地表水与地下水的快速转化,地表又常缺少天然防渗层或过滤层,以至于一切污染物质很容易通过落水洞、岩溶裂隙等岩溶形态进入地下水文系统中。脆弱性的这两个方面,给岩溶环境带来一系列区别于非岩溶地区的特殊环境地质问题。如石漠化、岩溶塌陷、岩溶干旱、岩溶地下水污染等。随着我国经济社会的发展,岩溶地区大量的基础设施建设在自身面临一系列岩溶工程地质问题的同时也给该区带来了一系列的环境地质问题,极大地影响了西南岩溶地区经济社会的发展。鉴于此,中国地质调查局于 2008 年“西南岩溶石山地区地下水与环境地质调查”计划项目中设立“西南岩溶石山地区重大环境地质问题及对策研究”工作项目(2006~2010)。项目的主要目标是:紧扣西南岩溶地区社会经济发展规划和石漠化综合治理规划大纲,在现有的水文地质和环境地质调查研究成果基础上,通过野外调研与交流互动,结合综合研究,归纳总结西南岩溶石山地区的重大环境地质问题,并提出相应的对策和建议,为开展结合我国西南岩溶区特点的水文、工程、环境地质工作及环境问题的防治提供决策参考。

该工作项目任务由中国地质调查局下达(工作项目编号:1212010813111),中国地质科学院岩溶地质研究所承担,由袁道先院士率领的研究团队实施。项目实施的三年中,先后组织了 6 次长距离(累计行程 7000 多千米)的野外考察调研(广西 2 次,云南 1 次,重庆 1 次,广东粤北 1 次,湘西、鄂西 1 次),并对地下水及其相关环境地质问题展开现场讨论,分析研究各考察点的重大环境地质问题,同时对地下河或地表典型点的水样及沉积物进行了分析测试,包括水质全(简)分析、微生物及有机污染物测试分析。

项目得到广西地质勘查总院、云南省地质环境监测院、贵州省地矿局 114 地质大队、湖南省地质调查院、重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队、广西水文地质工程地质队、广东省工程勘察院(原广东省地质局水文工程地质二大队)、中国地质大学(武汉)、西南大学等单位的大力协作。各协作单位除派专家参加每次的长距离野外考察研讨之外,还收集了本地区已有的水文地质、环境地质资料,形成了中间成果。为保持资料的完整性,将各协作单位完成的中间成果(已通过了初审)以分篇形式编入本书,以供查阅与参考。

岩溶地质研究所(简称岩溶所)参加野外实地考察(包括测试及取样)的人员有:袁道先、覃政教、郭芳、章程、何师意、曹建华、汪进良、张强、于爽、裴建国、林

玉石、姜光辉、宋爱龄以及岩溶所和西南大学、中国地质大学（武汉）的硕（博）士研究生蒲俊兵、王松、冯英梅、肖琼、贺秋芳、杨梅、王英芹、孙玉川、彭稳、姚慧丽、马振杰、陈家瑞、唐伟、韦丽丽、李清艳、康彩霞、何媛媛和常勇等。

协作单位主要参与人员有：广西地质矿产勘查开发局原副总工程师钱小鄂；广西地质勘查总院的黄桂强、潘勇邦和黄秀凤；广西水文地质工程地质队副总工程师莫日生；云南省地质环境监测院的王宇、张贵、柴金龙、王波和何晓生；贵州省地矿局副总工程师王明章、114 地质大队陈萍、张林、王伟；湖南省地质调查院的盛玉环和周锦忠；广东省工程勘察院的余子桃、王军、刘远峰、温汉辉、徐标、周杰；中国地质大学（武汉）的祁士华、万军伟、王英辉和张俊鹏；重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队的曾云松；西南大学的蒋勇军等。

另外参与该项目部分工作的还有广西地质勘查总院的李时英、黄宏伟、王瑞湖；云南省地质环境监测院的彭淑惠、康晓波、周翠琼；贵州省 114 地质大队的洪运胜、陈登奇、王诗扬以及贵州省地质调查院的陈革平、何邵麟；湖南省地质调查院的刘声凯、黄建中、孟德保；广东省工程勘察院的王渊、杜庆棠、欧阳春飞、罗杰和周世华；中国地质大学（武汉）有机污染专项邢新丽、张家泉、胡英、张凯、高媛、许峰、张原、杨丹和王建哲；岩溶地质研究所的金文和、何助文、陈志斌、王湘荣和盘卫雄等同志，特此致谢！

该项目在施行过程中，先后为十多名研究生提供了野外实践活动，博士生蒲俊兵 2010 年在《科学》（上海）上发表了题为“我国西南岩溶区水环境问题”的学术论文。项目组主要成员郭芳副研究员在 2010 年撰写了 *Groundwater Contamination in Karst Areas of Southwestern China and Recommended Countermeasures*；2010 年 4 月郭芳在联合国教科文组织、国际水文地质学家协会岩溶专业委员会、西班牙马拉加大学和西班牙地调局共同主办的第四届国际岩溶会议上，作了题为“西南岩溶地区干旱和内涝问题”的学术报告，获得优秀青年研究者奖，随后接受了中国国土资源报记者的采访报道。《科学时报》2009 年 2 月 19 日第 1 版以“西南岩溶区地下水环境告急”为题对西南岩溶地区的地下水环境问题进行了专题报道，在国内外引起强烈反响。

本书综合篇由覃政教、汪进良、姜光辉和郭芳编写，附图由郭芳和张强制作。数据库由马振杰和莫刘刘完成。云南篇由王宇、张贵、柴金龙、王波、何晓生、彭淑惠、康晓波和周翠琼完成；贵州篇由王明章、张林、王伟、陈革平、陈萍和王诗扬编写；广西篇由潘勇邦、黄秀凤和黄桂强编写；广东篇由余子桃、王渊、杜庆棠、王松、谢先明、刘远峰、欧阳春飞、罗杰和王军完成；湖南（湘西）篇由周锦忠和刘声凯编写；湖北（鄂西）篇由万军伟、黄琨和黄小琴编写；川南、重庆篇由蒋勇军和蒲俊兵完成；有机污染（专项）篇由祁士华和张俊鹏执笔。最后由袁道先和肖琼统稿完成。

目 录

序
前言

第一篇 综 合 篇

第 1 章 研究区概况	3
1.1 自然概况	3
1.2 社会经济状况	4
1.3 研究区地质环境类型及水文生态特点	5
1.4 近年来的新问题	7
第 2 章 典型环境地质问题现状考察	9
2.1 广西、云南、重庆野外考察	9
2.2 广东、贵州环境地质问题现状考察	10
2.3 湘、鄂西环境地质问题现状考察	11
2.4 存在的主要问题	11
2.5 工程建设造成含水层疏干和边界条件变化	14
第 3 章 石漠化问题	15
3.1 石漠化原因及现状	15
3.2 石漠化分布与发育特征	16
3.3 石漠化危害	17
3.4 石漠化综合治理	19
3.5 石漠化治理中存在的问题及对策	26
第 4 章 旱涝问题	28
4.1 旱涝出现的原因和对策回顾	28
4.2 西南地区干旱的现状	29
4.3 对 2010 年西南大旱的反思	31
4.4 结论和建议	34
第 5 章 水污染	36
5.1 西南岩溶地区水资源分布	36
5.2 水质状况	36
5.3 原因分析	53
5.4 对策与建议	55

第6章 典型工程地质环境灾害问题	57
6.1 岩溶区地质环境及典型工程地质灾害问题	57
6.2 以往工程环境地质灾害评估工作程度	58
6.3 工程环境地质问题防治对策建议	70
第7章 总结与建议	72
7.1 岩溶石山区地质环境脆弱	72
7.2 对策建议	74
本篇参考文献	78

第二篇 云 南 篇

第8章 云南省区域环境地质概况	81
8.1 地质环境概况	81
8.2 岩溶水的运动及赋存特征	87
8.3 云南岩溶环境调查	92
第9章 石漠化	93
9.1 石漠化概况	93
9.2 石漠化形成条件及影响因素	97
9.3 石漠化的危害	99
第10章 旱涝灾害	102
10.1 旱涝灾害的分布及特征	102
10.2 干旱、内涝灾害成因	113
第11章 水污染	116
11.1 水质现状	116
11.2 地下水污染现状	119
11.3 地下水污染类型	121
11.4 岩溶水水质变化趋势	142
第12章 典型工程环境地质问题	143
12.1 矿山环境地质问题概况	143
12.2 地下水位持续下降及泉水疏干	160
第13章 土壤 As、Cd 元素超标	177
13.1 As、Cd 元素的背景含量	177
13.2 As、Cd 元素地球化学异常分布特征	180
13.3 As、Cd 元素的来源分析	182
13.4 As、Cd 元素富集机理的初步认识	183
第14章 重大环境地质问题对策及建议	186

14.1 综合对策及建议	186
14.2 专项措施建议	188
本篇参考文献	195

第三篇 贵 州 篇

第 15 章 环境背景	199
15.1 地形地貌	199
15.2 行政区划及人口	200
15.3 资源及其空间分布	200
第 16 章 重大环境地质问题	204
16.1 石漠化问题	204
16.2 岩溶干旱灾害问题	218
16.3 岩溶洪涝灾害	224
16.4 水环境问题	228
16.5 典型工程环境地质灾害问题	254
第 17 章 对策和建议	266
17.1 管理性对策建议	266
17.2 科学技术性对策建议	268
17.3 工程性措施建议	269
17.4 结语	277
本篇参考文献	278

第四篇 广 西 篇

第 18 章 环境地质问题	281
18.1 岩溶石漠化	281
18.2 干旱	286
18.3 内涝	291
18.4 水污染	299
18.5 岩溶塌陷	313
18.6 矿山环境地质问题	325
18.7 重大交通建设	341
第 19 章 环境地质问题实例	342
19.1 武鸣灵水地下河存在的环境地质问题	342
19.2 平果铝业公司矿山开采及土地复垦的成功经验	344

19.3	广西德保县酒精厂废水污染地下水	347
19.4	桂西铝土矿龙山排泥库渗漏污染地下水	348
19.5	华银铝业公司铝土矿开采对环境的影响	350
19.6	靖西湖润-大新下雷锰矿区采选矿对环境的影响	353
第20章	环境地质问题防治措施及建议	355
20.1	政策措施	355
20.2	岩溶石山地区典型生态环境地质问题的防治对策	356
本篇参考文献		359

第五篇 广东（粤北）篇

第21章	粤北区域地理地质概况	363
21.1	地理位置	363
21.2	气象水文	363
21.3	社会经济	363
21.4	地形地貌	364
21.5	区域地质	365
第22章	石漠化	369
22.1	石漠化发展趋势与现状	369
22.2	石漠化的分布特征	372
22.3	石漠化的影响因素	372
22.4	防治对策及建议	374
第23章	旱涝问题	376
23.1	干旱缺水	376
23.2	干旱缺水原因	379
23.3	治理对策及建议	380
23.4	洪涝灾害	380
第24章	水环境问题	382
24.1	水质概况	382
24.2	水环境问题实例	384
第25章	其他环境问题	390
25.1	岩溶地面塌陷	390
25.2	水库渗漏	391
25.3	潜在环境地质问题	392
本篇参考文献		394

第六篇 湖南 (湘西) 篇

第 26 章 湘西地质环境概况	397
26.1 自然地理及社会经济	397
26.2 气象、水文	398
26.3 地形地貌	398
26.4 区域地质	400
26.5 岩溶发育强度	400
26.6 岩溶水文地质	401
第 27 章 湘西石漠化	403
27.1 石漠化分布情况及发展趋势	403
27.2 石漠化对社会经济的影响	404
27.3 石漠化的成因分析	405
27.4 本地区石漠化治理的经验与存在的问题	406
27.5 适宜于本地区石漠化治理的对策及建议	408
第 28 章 旱涝灾害	410
28.1 旱涝灾害的分布与危害特征	410
28.2 旱涝灾害的成因分析	413
28.3 应对干旱、洪涝灾害的治理对策及建议	413
第 29 章 水环境问题	415
29.1 水质污染概况	415
29.2 水质污染成因分析	418
29.3 防治对策建议	418
第 30 章 典型地质灾害或工程地质问题	419
30.1 典型地质灾害及工程地质问题类型与分布	419
30.2 成因浅析	423
30.3 防治对策	423
30.4 决策建议	424

第七篇 湖北 (鄂西) 篇

第 31 章 鄂西岩溶石山地区基本概况	427
31.1 自然地理条件	427
31.2 地质背景条件	427
31.3 岩溶水系统特征	433

第 32 章 石漠化及防治对策	435
32.1 石漠化现状	435
32.2 石漠化分布与发育特征	435
32.3 石漠化防治对策	437
第 33 章 旱涝灾害及防治对策	438
33.1 旱灾的分布与特征	438
33.2 涝灾的分布与特征	439
33.3 旱涝灾害的成因分析	439
33.4 旱涝灾害的防治对策	440
第 34 章 宣恩县下坝村排涝工程实例	442
34.1 工程概况	442
34.2 区域自然地理及地质概况	442
34.3 排涝工程区工程地质条件	447
34.4 排涝工程方案及工程地质建议	451
第 35 章 宣恩县西坪村排涝工程实例	453
35.1 工程概况	453
35.2 排涝工程区工程地质条件	453
35.3 排涝工程方案及工程地质建议	459
第 36 章 岩溶地下水污染问题	462
第 37 章 岩溶地区地质灾害问题	463
37.1 滑坡、崩塌地质灾害	463
37.2 岩溶地面塌陷	463
37.3 隧道岩溶突水突泥灾害	464

第八篇 川南、重庆篇

第 38 章 川渝岩溶区重大环境地质问题	467
38.1 石漠化	467
38.2 岩溶地表地下水体污染	472
38.3 交通建设引发的水文环境地质问题	475
38.4 岩溶区灾害	476
第 39 章 对策建议	479
39.1 技术层面	479
39.2 决策层面	480
本篇参考文献	482

第九篇 有机污染篇

第 40 章 有机污染概述	485
40.1 有机污染物概述	485
40.2 工作来源及目标任务	496
第 41 章 研究区有机污染物空间分布特征	503
41.1 有机氯农药的空间分布特征	503
41.2 多氯联苯的空间分布特征	509
41.3 多环芳烃的空间分布特征	511
41.4 邻苯二甲酸酯的空间分布特征	512
第 42 章 岩溶区典型有机污染环境环境问题	513
42.1 农业有机污染问题	513
42.2 城镇污水、生活垃圾有机污染问题	515
42.3 矿山环境有机污染问题	517
42.4 交通建设带来的有机污染问题	518
42.5 石漠化对有机污染的影响	519
42.6 小结及建议	519
本篇参考文献	521

图版

第一篇 综 合 篇

我国是世界上岩溶分布面积最广的国家之一，若按含碳酸盐岩地层的分布面积计算，我国岩溶面积达 $3.46 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占全球岩溶分布面积 $2.2 \times 10^7 \text{ km}^2$ 的 15.73%。我国西南岩溶地区主要分布在以贵州为中心的云南、四川、广西、湖南、湖北、广东六省区及重庆市，是世界上连片分布面积最大的岩溶区，其面积若按可溶岩分布区（含埋藏、覆盖型）计算为 $114.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；按含可溶岩地层出露面积计算为 $78.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；按可溶岩出露面积计为 $46.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。西南岩溶地区岩溶地下水天然资源量为 $1.76 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{a}$ ，占区域地下水天然资源总量的 81.75%。在 $78.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 可溶岩地层出露范围内，石漠化总面积达 $12.96 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

围绕西南岩溶石山地区社会经济发展规划，总结该区已有水文地质环境地质调查研究成果，核实典型地下河近 20 年来水质、水量变化及其原因，认识到石漠化、旱涝、地下河污染和工程环境地质问题成为西南岩溶地区重大环境地质问题；城市化、矿产开采成为地下河污染的主要原因；随着气候变化影响的逐步增强，干旱和洪涝造成的影响将会上升，水资源开发和保护将会更加迫切；大规模的工程建设造成含水层疏干和边界条件变化等一系列环境问题，反映了工程环境影响评价中对水文地质因素的调查研究不到位。

2007 年，袁道先等 7 位院士提出“防止我国西南岩溶地区地下河变成下水道”的对策与建议，得到国务院副总理曾培炎和回良玉的批示，此项工作得到国家的重视。“西南岩溶水环境问题”也引起了民进中央的高度重视。同时，国土资源部正开展 1:50 000 西南岩溶地区地下水与环境地质调查工作。

第 1 章 研究区概况

1.1 自然概况

1.1.1 自然地理

我国西南岩溶地区以云贵高原为中心，北起秦岭山脉南麓，南至广西盆地，西至横断山脉，东抵罗霄山脉西侧，跨中国大地貌单元的三级阶梯。地理坐标为 $98^{\circ}36' \sim 116^{\circ}05'E$ ， $22^{\circ}01' \sim 33^{\circ}16'N$ 。范围涉及贵州、云南、广西、湖南、湖北、重庆、四川、广东 8 省（区、市）的 451 个县。土地总面积 $1.0545 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，岩溶面积 $5.197 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，其中石漠化面积 $1.296 \times 10^5 \text{ km}^2$ （据《岩溶地区石漠化综合治理规划大纲（2006 ~ 2015）》）。

1.1.2 地质地貌

碳酸盐岩是岩溶发育的物质基础，根据其矿物、化学成分含量的差异可分为石灰岩、白云岩两种主要岩石类型。地表水、地下水对碳酸盐岩溶蚀、侵蚀破坏、改造形成的地表、地下形态统称岩溶地貌。根据岩溶发育的特征，划分了岩溶区地貌组合类型：地表有中高山岩溶山地、岩溶断陷盆地、岩溶高原、岩溶峡谷、峰丛洼地、岩溶槽谷、峰林平原、溶丘洼地（槽谷）及局部分布的石林等；地下有洞穴系统、地下暗河和岩溶泉群等。

1.1.3 气候

我国西南岩溶区以湿润多雨的亚热带季风气候为特征，夏季主要受西太平洋东南季风和印度洋西南季风影响，冬季主要受西伯利亚冷高压影响，形成西北季风和东北季风。年均气温从西北到东南依次由 $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 递升到 $20 \sim 22^{\circ}\text{C}$ ；而年均降水量则依次由 $700 \sim 1000\text{mm}$ 递升到 $2000 \sim 2200\text{mm}$ 。同时，岩溶区气温和降水量与海拔之间存在显著的相关关系，具有明显的山地垂直气候特征。降水年内、年际变化大，导致干旱和内涝频繁发生。自 2009 年 8 月起，云南遭遇了 60 年未遇的三季持续干旱。广西、贵州部分地区也遭遇了 50 年来罕见的极端干旱，导致数百万人受灾，几千万亩农田受旱。2010 年，大旱肆虐贵州 95% 的面积，数百万人受灾。