

国家973计划项目 (2006CB430200)

中国地质调查局地质调查计划项目 (200310400025)

贵州省科学技术基金 (黔科合J字[2005]2080号)

资助

岩溶石漠化治理的 地学模式研究

王明章等 编著



地质出版社

YANRONG SHIMOHUA ZHILI DE
DIXUE MOSHI YANJIU

国家973计划项目(2006CB430200)

中国地质调查局地质调查计划项目(200310400025) 资助

贵州省科学技术基金(黔科合J字[2005]2080号)

岩溶石漠化治理的 地学模式研究

王明章 况顺达 编著
王 伟 张 林

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

石漠化是我国西南岩溶山区特有的重大环境问题。本书作者通过大量的研究,揭示了岩溶石漠化发生和发展的实质是“岩溶山区低下的资源承载力与人类对资源需求的矛盾”,而资源承载力低下的基本特征则是源于岩溶环境导致的“缺水、少土、土质贫瘠”;指出了合理开发利用岩溶山区地质资源,解决或缓解资源承载力低下和人类需求的矛盾,是防止新的石漠化发生发展、有效改善石漠化环境的重要途径;分析了岩溶山区地下水资源的可供性、不同岩类的地球化学特征及其与农作物产量和农产品品质之间的关系,以及岩溶山区潜在的土地资源;提出了以“合理开发岩溶地下水、整治岩溶洪涝洼地并开发洼地中废弃耕地、有效开发岩溶地球化学背景和岩石矿物元素”为主要手段的石漠化治理地学途径。通过实际的工程实践,证实了地学途径的可行性,并在此基础上,建立了石漠化综合治理的地学模式和相关理论。本书的研究成果不但丰富了岩溶山区石漠化治理的理论,而且为石漠化综合治理提供了一条新的途径。

本书可供从事环境地质及相关学科的科研人员、管理人员,以及相关专业的高校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

岩溶石漠化治理的地学模式研究 / 王明章等编著.

北京:地质出版社,2010.6

ISBN 978-7-116-06678-6

I. ①岩… II. ①王… III. ①岩溶地貌-沙漠化-治理-研究-中国 IV. ①P942.073

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第094168号

责任编辑:柳青

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

咨询电话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324573(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:787mm×1092mm

印 张:6;彩页:5面

字 数:160千字

版 次:2010年6月北京第1版·第1次印刷

审图号:黔S(2010)007号

定 价:25.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06678-6

(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)

序

我国西南地区碳酸盐岩大面积分布，岩溶发育强烈，生态环境极为脆弱。在自然条件和近代强烈的人类活动影响下，以贵州省为中心的 41.98 万平方千米岩溶山区不同程度发生了石漠化，并且石漠化发展呈较快的扩大趋势。西南岩溶山区，因受石漠化的严重危害，已与西北沙漠和黄土区、青藏高原并列为我国的三大脆弱环境。

多年来，我国许多学者从不同的角度开展了对石漠化成因及其防治的研究，相关部门也从不同行业的角度，实施了较多的石漠化生态环境治理工程，取得了较丰富的石漠化防治的经验，初步形成了多种石漠化防治的模式及其相关理论。

石漠化的发生和发展与岩溶地质条件密切相关，因而石漠化成因机理和防治的研究也应从地质环境条件为基础。《岩溶石漠化治理的地学模式研究》在对岩溶山区地质环境以及石漠化区经济社会发展特征综合研究的基础上，揭示了岩溶石漠化发生和发展的实质是岩溶山区“低下的资源承载力与人类对资源需求的矛盾”，而资源承载力低下的基本特征则是源于岩溶地质环境导致的“缺水、少土、土质贫瘠”；指出了合理开发利用岩溶山区有限的岩、土、水资源，协调并解决资源承载力和人类需求的矛盾，是从根本上防止新的石漠化发生、发展，有效改善石漠化环境的重要途径之一；本书分析了岩溶山区地下水资源的可供性、不同岩类的地球化学特征及其与农作物产量和农产品品质之间的关系，以及岩溶山区存在的潜在土地资源；针对岩溶山区突出的“缺水、少土、土质贫瘠”的问题，提出了以“合理开发岩溶地下水、整治岩溶洪涝洼地并开发洼地中废弃耕地、有效开发岩溶地球化学背景和岩石矿物资源”为主要手段的石漠化治理地学途径。本书以上述思想为指导，在高原斜坡峰丛洼地区选择了有代表性的地下河系统为试验场，以岩溶流域为单元，开展了针对石漠化地质环境综合整治的试验。历时 4 年的实验工作，有效地改善了当地人畜饮水、农田灌溉条件，提高了粮食产量和农产品品质，取得了良好的社会效益、经济效益和环境效益。通过实验前后遥感监测对比，试验区石漠化环境得到了显著的改善，证实了石漠化治理地学途径的可行性和有效性。在此基础上，建立了石漠化综合治理的地学模式和相关理论。该研究成果不但丰富了岩溶山区石漠化治理的理论，而且为石漠化综合治理提供了一条新的途径，也为我国西南岩溶山区地下水资源开发、农业地质发展，以及石漠化综合治理做出了示范，提供了样板。

当代岩溶地质学者根据多年的实践经验，总结出了“水是龙头，土是关键，植被恢复是根本，生态与经济发展相结合、改善当地居民生产生活条件是目标”的石漠化综合治理的基本原则。强调了地质资源的开发在石漠化综合治理中的重要地位。

我国西南地区幅员广阔，其石漠化问题长期以来就受到了党和国家的高度关注，并把石漠化综合治理连续列入几个五年计划的重点工程。2007 年，国家发改委组织编制完成了《岩溶地区石漠化综合治理规划》，并在全国 100 个重点县实施了石漠化综合治理试

点，标志着我国岩溶石漠化综合治理已经全面展开。石漠化治理是一项系统的、长期的工程，在未来西南岩溶山区石漠化的防治中，“地学模式”将具有广阔的应用前景。“地学模式”的应用，将对岩溶山区经济社会的发展、生态环境的改善及促进当地人民脱贫致富具有重大意义。

袁道先

2010年1月

目 录

序	袁道先
第一章 绪 论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 研究意义	(3)
第三节 研究的技术路线	(4)
第四节 研究现状及存在的主要问题	(5)
第二章 岩溶石漠化治理的地学理论	(11)
第一节 石漠化成因实质分析	(11)
第二节 石漠化治理的地学理论	(24)
第三节 石漠化治理地学模式建立的环境资源支撑	(27)
第三章 石漠化整治地学模式工程实验	(55)
第一节 实验区选择	(55)
第二节 实验区地质环境条件	(58)
第三节 石漠化地质环境整治工程实验	(69)
第四章 石漠化监测及地学防治工程效果评价	(81)
第一节 遥感数据选择	(81)
第二节 遥感调查的技术流程	(81)
第三节 遥感数据预处理	(83)
第四节 石漠化信息提取	(85)
第五节 遥感调查结果分析	(86)
第五章 石漠化治理地学模式建立及应用前景	(87)
第一节 石漠化地学理模式建立	(87)
第二节 石漠化治理地学模式应用前景	(88)
结 语	(90)
主要参考文献	(91)
图 版	

第一章 绪 论

第一节 研究背景

岩溶石漠化（以下简称石漠化）是在岩溶山区脆弱的生态环境条件下，自然作用或不合理的人为工程活动导致土层严重流失、植被遭受破坏，从而使得基岩逐步裸露的生态退化、地表呈现荒漠化现象的过程。我国西南地区岩溶山区面积大、人口密集，石漠化的危害极为严重，已与西北沙漠和黄土区、青藏高原并列为我国的三大脆弱环境。

我国西南地区碳酸盐岩大面积分布，地处亚热带季风气候区，多雨、气候温暖潮湿，使得岩溶强烈发育，岩溶石山区生态环境极为脆弱。在该环境条件下，自然因素和近代强烈的人为活动，使得以贵州省为中心的 41.98 万平方千米岩溶区范围内均不同程度发生了石漠化。根据中国地质调查局资料，到 20 世纪末，我国西南岩溶山区石漠化面积达到 105063.20 平方千米，占岩溶山区总面积的 20.22%，其中重度石漠化面积 25932.79 平方千米，中度石漠化面积 39155.97 平方千米，轻度石漠化面积 39974.47 平方千米（图 1-1）。从 1987~1999 年，石漠化面积从 8.30 万平方千米增加到 10.51 万平方千米，12 年间净增 2.21 万平方千米^①，而且，石漠化面积尚有继续扩大的趋势，从 20 世纪末以来，年均增长达 1650 平方千米^②。

岩溶石漠化的发展尤以贵州省最为严重。1975 年，贵州省石漠化面积 8806.8 平方千米，1985 年发展为 13888.0 平方千米，10 年间平均每年增加 508.12 平方千米；1999 年初达到 22549.14 平方千米，13 年间平均每年增加 666.3 平方千米^③（中国地质调查局 2000 年调查数据，该年度贵州省石漠化面积 32476.73 平方千米^④），2005 年贵州省岩溶石漠化综合防治规划调查，该年石漠化面积发展到 37597 平方千米^⑤。总体看来，石漠化总面积仍以较高的速率继续发展（图 1-2）。

西南岩溶石山地区石漠化问题长期以来就受到了党和国家的高度关注，将滇黔桂岩溶地区石漠化综合治理列入国家社会与经济发展“十五”计划纲要，并在“十一五”计划纲要中进一步明确提出要加大石漠化的治理力度。自 2004 年以来，温家宝总理连续在《政府工作报告》中指出扎实搞好石漠化治理工程，并多次就西南石漠化治理工作作出重要批示，在 2007 年“两会”期间，温家宝总理在与贵州代表团座谈时明确指示要加快推进西南石漠化治理工作。多年来，许多学者从不同的专业角度，开展了有关石漠化成因、

① 中国国土资源航空物探遥感中心. 西南岩溶石山地区石漠化遥感调查与演变分析. 2002.

② 国家发改委关于进一步做好西南岩溶石山地区石漠化综合治理工作指导意见的通知（发改地区〔2004〕1529 号）.

③ 贵州省发展与改革委员会. 贵州省喀斯特石漠化综合防治规划（2006~2050）.

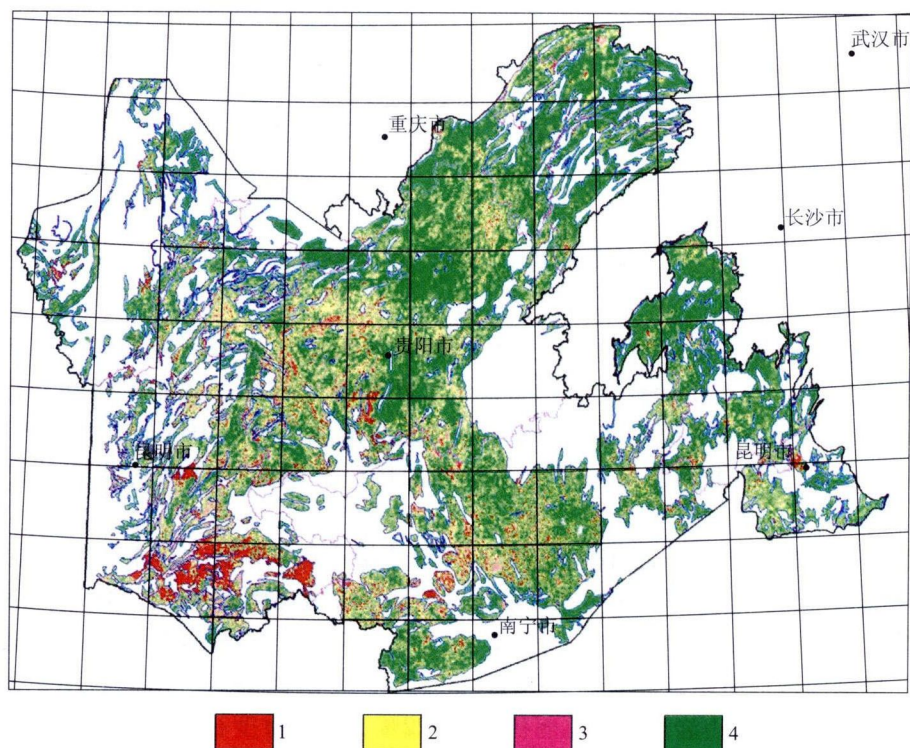


图 1-1 西南岩溶石山区石漠化分布图 (20 世纪 90 年代末)
1—重度石漠化区; 2—中度石漠化区; 3—轻度石漠化区; 4—无石漠化区

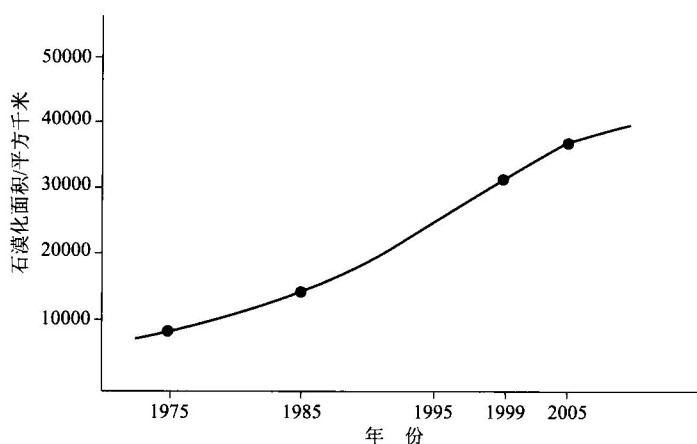


图 1-2 贵州省近代石漠化发展趋势

发展趋势、环境影响及石漠化治理的研究,我国林业、水利、农业、国土资源等部门以及相关科研部门也从本行业角度,实施了较多的石漠化整治工程,取得了较丰富的石漠化防治的经验,形成了一系列石漠化防治的相关理论。2004 年,国家发展与改革委员会以发

改地区〔2004〕1529号文《国家发改委关于进一步做好西南岩溶石山地区石漠化综合治理工作指导意见的通知》，提出了编制岩溶山区以岩溶流域及县为单元的石漠化治理规划，并将石漠化治理列入国家对未来西南岩溶山区生态环境综合治理的计划。2007年，国家发改委组织编制完成了《中国西南岩溶石漠化综合治理规划》，并在全国100个重点县开展了石漠化综合治理试点，标志着我国西南岩溶山区石漠化综合治理全面展开。但是，石漠化的成因是复杂的，石漠化的治理是一项系统性的工程，单从某一专业的角度用单一的方式只能解决局部的、暂时的或某一方面的问题，难以取得可持续的、全面的治理效果，必须用系统科学的理论做指导，采用科学的方法，把石漠化的治理与当地的社会和经济发展、群众脱贫致富、生态环境治理结合起来，根据所处的自然环境条件，因地制宜，采用多专业、多学科、多手段进行综合治理，在治理中，把对已经发生石漠化的环境修复和防止新的石漠化发生发展结合起来，才能取得预期的效果，使岩溶山区经济和社会实现可持续发展、科学发展。

1999~2002年，在中国地质调查局的统一部署下，西南地区云南、贵州、四川、重庆、广西、广东、湖南、湖北等七省一市及中国国土资源航空物探遥感中心在西南各省岩溶山区范围内开展了以石漠化为主的生态地质环境调查和研究工作，基本查清了区内石漠化的现状、成因、发展趋势。并从2003年开始，组织实施了以地下水开发为主的石漠化地质环境综合整治工程示范。根据中国地质调查局的要求，贵州省地质调查院在贵州省内选择了代表高原斜坡峰丛洼地类型岩溶流域单元的平塘县巨木地下河流域为试验场开展了工程实验，旨在从地学的角度探索石漠化治理的途径。以上述基础工作和实验作为支撑，课题组于2005年向贵州省科学技术厅申请了“石漠化地学整治模式研究”课题，2005年7月，贵州省科学技术厅以黔科通〔2005〕85号文对申请进行了批复，并以合同的形式将课题下达实施。2006年，国家重点基础研究973计划项目（编号2006CB430200）将有关研究纳入“西南岩溶石漠化的地质作用机理研究”专题，从而为课题研究奠定了坚实的基础。

第二节 研究意义

一、实现国家建设“和谐社会”和“建设社会主义新农村”战略目标的需要

石漠化导致了西南岩溶山区生态环境的严重破坏，部分重度石漠化区甚至失去了人类生存的基本条件，严重地制约了石漠化区社会和经济的发展。迄今为止，我国南方岩溶山区尚有岩溶扶贫开发重点县131个，其中贵州省占42个。石漠化已经严重地危害到了石漠化区人类的生存环境及国家建立“和谐社会”的目标，并危及国家的安全和社会的稳定。因此，开展石漠化治理途径研究，具有重大的战略意义。

二、探索从根本上防止石漠化发生和发展途径的需要

石漠化是碳酸盐岩地区特有的重大环境问题，其形成和发展与脆弱的地质环境密切相

关。裸露的碳酸盐岩地质环境是石漠化形成和发展的基础,而自然和不合理的人为活动是引发石漠化形成和发展的动力因素,并以不合理的人为工程活动引发为主。以贵州省为例,不合理的人为工程活动引发的石漠化占到了85%以上^①。岩溶地质环境和自然气象因素是西南岩溶山区客观存在并不以人的意志为转移的自然属性,而不合理的人为工程活动则是导致石漠化发生发展最活跃的、也是可通过人的作用控制的因素。因此,研究岩溶地质环境脆弱的基本特征,揭示导致引起不合理的人为工程活动发生的根本原因,从地学的角度探索通过对地质环境综合整治、开发岩溶地质环境中的有利因素并控制不合理的人为工程活动,改善山区人类赖以生存的环境,截断引发石漠化发生发展的动力条件,实现从源头上控制新石漠化发生发展的途径,对石漠化的综合治理有着重大的意义。

三、充实和完善石漠化防治理论的需要

基于石漠化的成因,许多学者和部门从不同的角度提出了石漠化防治的措施建议,不同部门也从不同行业的角度对石漠化的治理提出了治理模式,初步形成了石漠化防治的理论体系。但是,这些模式及理论大多将目标集中在对地表生物圈层的治理上,而对影响石漠化形成和发展的岩溶地质环境条件的整治研究并不多。

石漠化的形成是复杂的,石漠化的治理是一项系统性的工程,单一学科、单一方式不可能实现全面的、可持续的治理效果,必须以系统科学的理论做指导,将石漠化形成的地质条件、经济社会发展的自然环境、群众脱贫致富及对生态环境治理的需求结合起来,因地制宜,采用多学科、多手段进行综合治理,形成不同学科、不同方法相互补充,并把对已经发生石漠化的环境修复和防止新石漠化的发生发展结合起来,才能取得预期的效果,实现经济和生态的可持续发展。

实际上,石漠化的发生和发展与岩溶地质条件密切相关,因而石漠化防治也应应以地质环境条件的整治为基础。本研究的目的在于通过相关的调查和实验,针对岩溶区地表缺水、少土、土质贫瘠的生态脆弱性特点,研究解决该类问题的途径和方法,从地学的角度探索防止新石漠化的发生和发展的途径,并为其他学科有关石漠化治理的理论和工程提供地质基础依据,在一定程度上充实和完善石漠化防治的理论。

第三节 研究的技术路线

本研究以地质学、水文地质学、岩溶环境学、生态学、地球化学等学科为指导,充分吸收岩溶山区已有的相关石漠化研究成果、石漠化治理模式成功经验,结合石漠化发展的趋势,在综合研究的基础上找出现有治理模式中存在的不足,并初步提出石漠化治理的地学模式框架;按照理论来源于实践并在实践中提高和完善的基本原理,以初步研究成果为指导,选择有代表性的岩溶流域单元作为实验基地,开展水文地质、农业地质等方面的勘查,查明试验区岩溶地质环境条件、地下水资源空间分布及开发利用条件、与农业生产有关的岩土水地球化学背景、社会经济现状、土地分布及利用现状、石漠化空间分布特征等,从地学的角度制定切合试验区的地质环境综合整治工程方案;实施试验区石漠化地质

① 贵州省地质调查院. 贵州省岩溶山区地下水资源勘查与生态地质环境调查报告. 2003.

环境的综合整治工程、开展试验区石漠化发展趋势监测，并通过对实施前后试验区石漠化环境变化效果对比，验证和确立课题提出的石漠化整治地学模式的可行性，并根据在实验中取得的新认识，对原初步提出石漠化治理的地学模式框架进行补充修改，从而实现本研究的目标。

第四节 研究现状及存在的主要问题

一、国外研究现状

石漠化的发展及其对人类的危害是全球性的问题。20 世纪 60 年代以来，随着人口的剧增和生态的破坏，全球岩溶区石漠化在不断加剧。如地中海岩溶地区、加拿大东南部布鲁斯半岛、日本秩父地区、澳大利亚塔斯马尼亚地区等均面临着严重的石漠化问题。各国对石漠化问题都给予了高度的重视，并进行了治理。在开发石漠化区岩溶含水层水资源、退耕还林、利用速生树种和种苗营养液进行石漠化区生态重建方面，取得了很多有效经验。但国外石漠化地区人口密度小，水、土、人之间矛盾没有我国突出，治理相对比较容易，技术成果报道较少。

二、国内研究现状

近十多年来，国家实施了“八七”扶贫攻坚计划、长江中上游防护林工程、水土保持工程，以及世界粮食计划、世界银行贷款和澳大利亚、新西兰的援助项目，在植树造林、封山育林、退耕还林、坡改梯、砌墙保土、土壤改良、开发岩溶水、种植适生经济作物等方面做了大量工作，取得了较多的石漠化环境整治的成功经验，从不同的角度总结了解决单一目标的工程治理措施，以及综合性的石漠化治理模式。

（一）石漠化治理的主要工程措施

1. 生态修复措施

包括植树造林、退耕还林、封山育林、人工种草、草地改良为主体的生态修复工程，并与经济林木建设、中药材种植等相结合，扩大植被覆盖面积。

2. 农田基本建设措施

以提高耕地质量、提高土地产出率、减少自然和人为活动对耕地的破坏和水土流失，增加农民经济收入，进而达到遏止毁林开荒为目的。该类措施以 $6^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 坡耕地治理为重点，通过“坡改梯”（坡地改梯田、梯土）、“旱改水”（旱地改水浇地、平缓旱地改水稻田、望天田改保灌田）、“碎改整”（小块改大块、零乱改规整）、新开田土、冷烂锈田改造、洼地排涝等农田改造等，有效地防止或减少水土流失。

3. 水利水保建设措施

水资源是动物和植物赖以生存的必要条件，是自然环境的重要组成部分，是可持续发展的基础。措施将“开源”与“截流”并重，通过对灌区改造、病险水库治理、地表“三小”（小山塘、小水窖、小水池）工程建设，致力于解决石漠化区人畜饮水和农田灌溉，改善人类生存条件，提高土地产出率，推动农业结构调整，促进石漠化区经济的发

展,对有效实施退耕还林、封山育林、遏止毁林开荒起到保障作用。

4. 农业产业结构调整措施

根据地域资源环境条件,进行产业结构调整,合理利用资源,布局适合于当地资源和环境优势的产业,推动地区经济的发展。如贵州省根据当地地形、气候,在一些高寒地区实施退耕还草、发展草地畜牧业,北盘江两岸发展花椒种植;广西在石漠化区实施“砍头树”种植、发展养殖业等。

5. 农村能源改造措施

以解决煤炭资源缺少地区农民生活及生产燃料为目的,通过发展家庭养殖业、沼气工程、节柴改灶、农村小水电建设、太阳能利用等措施,实现遏制人为对森林的砍伐破坏。

6. 生态移民措施

主要方式为异地搬迁。通过小城镇建设、发展乡镇和民营企业,有效地将石漠化区(生态恶劣区)的人口和人类工程活动向资源环境条件较优势的区域集中,转移农村劳动力,增加农村人口就业率,一方面使贫困区人口尽快脱贫,另一方面减轻石漠化区资源环境的压力和人为活动对环境的破坏,使人类对资源的需要和自然资源的承载力达到平衡,逐步恢复生态环境。

7. 其他

主要为政策保障措施、科技支撑体系等。包括对石漠化治理的政策支持,治理方式的科技研究、示范工程、石漠化监测、科技培训、宣传教育、组织保障等。

(二) 石漠化综合治理的主要模式

石漠化的治理是一项系统工程,一般要根据当地具体的资源环境和社会经济环境条件,因地制宜,采取多手段、多功能、多层次组合模式进行综合治理。目前,国内岩溶山区采用的综合治理模式主要有如下几类。

1. 小流域综合治理模式

受地形、地貌、水文网和地质结构等条件控制,岩溶石山地区由许多具有独立功能的小流域单元组成。小流域综合治理模式的内容为:根据小流域内上、中、下游具体的社会和环境条件确定生态经济功能,合理地配置生态防护体系,通过一系列组装配套的科学技术,以水土保持为核心、以水资源开发为基础、以产业结构调整为手段,实现流域全面规划,综合防护体系和复合农业生产体系建设布局,形成符合山区特点的农、林、牧复合农业生产体系。

2. 生态环境综合治理模式

针对岩溶山区缺水、少土、水土流失严重和人地矛盾突出的特点,以蓄水、治土、造林为核心,对脆弱生态环境进行治理。利用坡面雨水径流和表层带岩溶水与三小工程(小山塘、小水窖、小水池)相结合,形成微型水利系统,达到实现防止水土流失和解决干旱期间农田灌溉用水的目的;对坡耕地实施“坡改梯”工程,并与具有经济价值的草、果(树)种植相结合,把防治土壤强烈流失和沟谷侵蚀的拦沙谷坊相配合;开展生态林建设,将生态林建设与经济林木种植相结合,既增强流域内水土涵养,又实现增加经济的收入。通过上述手段,改善流域内的生态环境条件。

3. 生态农业建设模式

针对岩溶山区山地多、坝地少的特点,结合地域资源和环境结构,实施农、林、牧一体化的产业结构模式。综合考虑本地区区域农业资源优势,以保护和扩大森林覆盖率为核心,以水土保持、发展经济和环境保护为目标,合理调整地区经济结构和农作(植)物结构,维系生态平衡,走生态农业的道路。同时,发展特色农业、名特优产品种植,把种植业、养殖业和产品深加工业联成整体,提高农产品的经济附加值,促进生态经济的有序发展和动态平衡,形成完整、协调的农业生态循环体系,既提高资源的利用,又实现了生态环境的保护。

4. 草地畜牧业模式

西南岩溶山区雨热同季,气候温和湿润,利于牧草的生长,为发展畜牧业提供了优越的条件。在一些人口密度较小、草地面积较大的地区,利用该优势发展牧农结合型的生态农业,以草养畜、以畜养农,并进一步发展农牧产品深加工业。以草代林代粮,进行草农牧林结合,短期可保持水土,远期则可开发林木资源,既有近期效益,又有长期效益。

5. 生态移民模式

中度以上的石漠化区面积大,水资源和土地资源缺乏,土地生产力和人口承载力低下,对该类地区,可通过生态移民的方式将居民迁移到环境条件较好、资源承载能力较高的地区,一方面可减轻人类为生存对原本就脆弱的生态环境的破坏,使生态环境系统得到恢复和重建,另一方面通过异地开发,改善石漠化区贫困人口的生存环境,促进脱贫,从而实现石漠化区社会经济和资源环境协调的可持续发展。

6. 庭院生态经济模式

以沼气建设利用为纽带,以完善和稳定“经果林—畜禽养殖—沼气”为基础,充分利用农户庭院前后及耕地资源,以改善农民生活基础设施条件为目的,以种植经济林木、中药材和养殖优质畜禽为主要内容,对石漠化山区山、水、林、田、路、网进行综合规划建设。通过优化岩溶石漠化区经济系统中的种植结构、养殖结构、能源结构与技术结构,增加农民收入,优化农村环境。庭院生态经济模式的高效运行可改变农村庭院生活环境条件和不文明现象,逐步形成以种植为基础、以养殖业为主干、以沼气为纽带、种养和加工相互配套、农林牧副业协调发展的农村生态经济体系,与石漠化防治融为一体,推进石漠化的综合治理。

(三) 石漠化理论研究方面的典型工作

1) 袁道先院士在《岩溶生态系统和石漠化治理》中,结合西南岩溶石山地区的实际情况,采用大量的科学数据、图表,对岩溶环境生态系统进行了具体的分析和论证。

2) 1999~2002年,中国地质调查局完成了我国西南岩溶山区地下水及生态地质环境调查,采用遥感解译、地面核实调查等手段,基本查清了我国西南岩溶石山地区石漠化的现状、空间分布、发展趋势,编制了《西南岩溶山区地下水及生态地质环境调查报告》。

3) 贵州省地矿局王明章研究员等在“贵州省岩溶山区地下水及生态地质环境调查”成果资料的基础上,编制并出版了《贵州省岩溶石山生态地质环境研究》,对贵州省石漠化的现状、分布、成因、发展演化,进行了研究和阐述,并从地质学的角度初步提出了石

漠化治理的途径设想。

4) 贵州省地矿局区域地质调查院况顺达博士等以国家高技术研究发展计划(863 计划)项目为平台,采用遥感技术完成了石漠化演变监测技术方法的研究,提交了《中国西南地区石漠化遥感调查关键技术研究及预警预报成果报告》。

5) 贵州省师范大学熊康宁教授等以遥感技术为主要手段,对贵州省石漠化现状进行了调查,编制出版了《贵州省岩溶石漠化类型遥感调查研究》,阐述了遥感调查的方法、贵州省石漠化的基本特征和现状。

6) 中国科学院地球化学研究所牵头,贵州大学、贵州师范大学、贵州科学院、贵州省地矿局、河海大学、同济大学等单位共同承担了国家重点基础研究(973 计划项目),从地球化学的角度开展包括石漠化问题在内的岩溶山区物质运移循环研究。

(四) 石漠化治理方面的典型工作

1) 林业部门从 20 世纪 80 年代以来,结合国家长防、珠防工程,开展了以“退耕还林、植树造林、封山育林”为主的生态恢复工程。

2) 发改委、水利和农业部门以解决缺水问题为核心,采取了以小流域为单元,实行山、水、林、田、路、网统筹规划综合治理工程;以坡耕地的综合整治为突破口,对 25° 以下石漠化程度较轻、土层较厚的缓坡耕地实施坡改梯工程;在人口密度相对较小的区域,大力实施生态自然修复工程;加大沼气建设,解决能源紧缺问题;以增加群众收入、促进农民脱贫致富为重点,因地制宜发展中药材、花椒、砂仁等具有市场优势经济林果,并以此培育和形成生态产业。贵州省内典型工程有关岭县石板桥小流域治理工程、花江板贵小流域治理工程、思南碗水坝小流域治理工程等。

3) 2003 年以来,中国地质调查局开展了西南岩溶石山地区典型岩溶流域地质环境综合整治示范项目,分别在贵州省、云南省、广西壮族自治区、湖南省等省(区)以岩溶流域为单元,开展了以地下水开发为龙头的石漠化地质环境综合整治示范工程。典型工程如代表峰丛洼地类型的贵州省巨木地下河流域,代表垄岗槽谷类型的贵州省道真上坝地下河流域、云南省泸西小江流域、湖南省洛塔等石漠化治理工程。从地学的角度开展以石漠化综合治理为目的地质环境整治示范工作。通过多年的工作,初步取得了一定的经验和成果,丰富了石漠化综合治理的理论。上述示范工程的实施,将对改善当地人民的生存和生产条件、脱贫致富提供基础条件,并对推动岩溶山区石漠化综合整治将起到积极的作用。而且这一项目成为本研究的基础。

4) 在国家林业局的支持下,贵州省科技厅星火科技计划在省内岩溶石漠化地区实施 30 万亩^①金银花种植的石漠化生态环境治理工程,推行“林—草—畜”生态研制模式发展畜牧业,带动农民致富,同时保护和改善生态环境,取得了良好的社会 and 经济效益,并完成了《岩溶石漠化地区种植金银花的生态与经济效益报告》。

5) 中国地质科学院岩溶地质研究所在广西果化、湖南洛塔等地进行了以地下水开发为主的地质环境综合整治示范工程。

6) 中韩两国共同投入在贵州省修文县开展了以植树造林、小水窖和沼气工程为主的

① 1 亩 = 666. 667 平方米。

石漠化治理工程,取得了良好的效果。

7) 2008 年以来,国家在西南岩溶山区选择了 100 个重点县(其中贵州省 55 个),开展了石漠化综合治理试点,目前试点工作正在正常推进。

三、存在的主要问题

石漠化的研究和治理取得了丰硕的成果,但是,总体上看,仍然存在如下方面的问题。

(一) 石漠化继续发展,生态环境形势仍然严峻

当前,国内外有关人员从不同的侧面对岩溶石漠化治理开展了大量的研究,并实施了较多的试验和示范性工程,在岩溶山地区石漠化成因和防治的理论方面都取得了重大的进展,为岩溶山区石漠化的整治提供了较多成功的经验。但是,应该看到,治理效果仍不是非常理想。根据相关资料,20 世纪以来,尽管我国有效治理了岩溶石漠化面积 5000 平方千米,但由于地质环境条件的复杂性和不合理的人为工程活动,岩溶石漠化加剧的面积增加了 2.5 万平方千米^①。石漠化的加剧和改善面积比为 5:1。岩溶石漠化的形势仍然严峻。

(二) 石漠化治理的理论和实践措施尚需进一步充实和完善

“石漠化的形成和发展是脆弱的岩溶环境条件与不合理的人为活动共同作用的结果”;“脆弱的岩溶地质环境是石漠化发生的基础、不合理的人为工程活动是石漠化发生的驱动力”;“对石漠化治理不但要对已经发生的石漠化环境进行修复,更重要的是要通过科学的手段防止新的石漠化继续发生和发展”已经为大众认识。因此,合理的石漠化的治理途径不但要对不合理的工程活动进行遏制,而且应通过科学的手段对脆弱的地质环境实施改善,才能达到预期的效果。但是在目前的实践中,通常采取的各种治理模式都主要集中在针对遏制不合理的人为工程活动方面,而对如何改善石漠化区脆弱的地质环境方面却重视不够。

近年来,不同部门从不同行业的角度实施了较多的石漠化整治工程,取得了一定的成果和较丰富的经验,总结了不同的综合治理模式。概括起来,这些治理模式基本上都是扩大植被覆盖面积、土地整理、地表水资源的开发、农业产业结构调整、生态移民、庭院经济等措施的集成。虽然这些模式既有通过自然和人工干预促使植被恢复、对已经恶化的石漠化生态环境进行修复的工程,也有通过科学的手段改善石漠化区民众的生活和生产环境、发展经济、从源头上防止石漠化继续发生和发展的措施,但是,综合分析可以看出,这些治理模式都有一个共同的特点,都将主要的目标集中在对地表生物圈层的人为干预和控制,而不同程度地忽视了支撑生物圈层的地质环境条件对石漠化发展的巨大作用,表现为一是缺乏对石漠化形成的内在基本环境——石漠化区地质环境的综合整治;二是在治理措施的选择和工程布局上通常未能充分考虑治理区的地质环境背景(水文地质条件、地球化学背景等)对治理措施的适宜性;三是未能很好地考虑开发利用当地丰富的地质资

^① 国家发改委关于进一步做好西南石山地区石漠化综合治理工作指导意见的通知(发改地区[2004]1529号)。

源并充分利用于石漠化的整治中。其结果治理工程仍然主要在脆弱的地质环境的基础上进行。尽管多年来国家对水土保持、石漠化防治等生态环境治理工作投入了大量的资金，这些治理工作确实也起到了较好的作用，但是，综合分析近年来西南岩溶山区石漠化发展的趋势，石漠化程度和面积仍然在以较快的速率持续发展，究其原因可以认为：造成该问题的原因除石漠化治理的投入力度尚不足以外，还在于当前的治理模式和工程过多是立足于石漠化形成的外因控制上，而对地质环境的治理力度薄弱。

地质环境是一切生态环境形成的基础，地质环境条件的好坏，决定了生态环境的优劣，“基础不牢、地动山摇”，可以认为：忽视对地质环境进行有效的整治，基于脆弱的地质环境的基础上进行的石漠化防治工作唯以取得理想的预期效果。因此，现有的石漠化综合治理模式有待于进一步的补充和完善。

（三）水源缺乏、土地缺少和土质贫瘠的问题亟待解决

石漠化区生态环境脆弱的基本特征就是“地表缺水、少土、土质贫瘠”，是造成石漠化形成和发展的最根本的原因，也是目前采用的石漠化治理工程中难以解决关键所在。

岩溶山区强烈岩溶发育造成地表水流严重漏失，地表出现严重的干旱缺水现象，造成岩溶山区人畜饮水和工农业生产供水困难，成为社会经济发展的“瓶颈”。

“少土”是岩溶石漠化区生态环境脆弱的另类典型特征。碳酸盐岩成土条件本来就极差，加之地形条件以山地为主，土地主要分散分布在山间盆地、谷地和洼地中，可供耕种的土地面积少，土地资源有限。随着农村人口的增加，人均耕地占有量呈继续逐渐减少的趋势。特别是岩溶山区人口增长速度快，低承载力的土地与高密度的人口必然产生粮食增长与人口增长失衡问题。以贵州省为例，2005 年全省人均耕地面积 1.7 亩，其中常用耕地人均仅 0.68 亩。退耕还林后虽可有效地防止水土流失的进一步发展，但人口过多的现实却相应增大了石漠化区土地资源的压力。虽然加大小城镇建设和生态移民是缓解农村人口与耕地不足矛盾的有效措施，但是，也应看到未来相当长的时期内农民对土地仍将有较强的依赖性，并且生态移民也需要相应的土地和水资源作支撑。因此，可耕种土地的缺少成为制约生态移民工程实施的“瓶颈”之一。

碳酸盐岩溶区的耕地一方面是土层薄、分布不连续、保水性和耐旱性差，另一方面土壤中营养元素缺乏，严重的水土流失引起土壤中营养元素的大幅度减少，使得耕地土质贫瘠、土地产出率低、农作物品质低下，成为限制地域经济发展的重要原因之一。

岩溶山区水源匮乏、土地缺少和土质贫瘠与地质环境密切相关，是石漠化治理中的难点所在，也是必须解决的最基本的问题。

第二章 岩溶石漠化治理的地学理论

第一节 石漠化成因实质分析

脆弱的岩溶地质环境是石漠化发生的基础,不合理的人为工程活动是石漠化发生和发展的驱动力。研究脆弱的岩溶地质环境的内涵以及导致不合理的人为工程活动的原因,对正确制定石漠化治理对策有着至关重要的意义。

一、岩溶地质环境脆弱性的基本特征分析

岩溶石山环境的脆弱性是因为岩溶系统本身与大气、水体联系密切,与人类工程活动关联过深,以及岩溶山区水文地质条件的特殊性和碳酸盐类岩石的地球化学背景的特点,导致了环境容量低下、稳定性差的结果。“地表缺水、少土、土质贫瘠”是岩溶山区生态环境脆弱的基本特征。岩溶环境的易损性和生态环境的难以恢复性是其脆弱性的组成和内涵。

(一) 岩溶干旱缺水

岩溶干旱缺水是岩溶山区生态环境的脆弱性特征之一。该特征主要源于碳酸盐岩区的岩性、地质构造、地形地貌、水岩作用、气候影响及岩溶作用等生成的地表及地下多重复合的岩溶空间结构——地表高位的岩溶洼地和谷地、落水洞与岩溶漏斗,和地下岩石中的空隙、裂隙、溶蚀洞穴、管道等,成为大气降水、地表水和地下水转换的通道和空间。这些岩溶形态在空间尺度上的不均匀性,导致了岩溶环境中水资源分布和赋存的特殊性。尽管西南岩溶山区年大气降水量几乎都在 1000 毫米以上,但强烈的岩溶发育和地表与地下双重排水系统结构特征、造成了大气降水和地表水向地下含水系统中的大量渗漏。剧烈起伏的地形条件造成地表水多集中在深切割的河谷中,而耕地、城镇和村寨则分散在高悬于河谷或远离河谷的谷地、洼地内,地表水资源、耕地、人口在空间上分布极不协调,形成“地表水贵如油、地下水滚滚流”的特殊岩溶干旱景象。多年来岩溶山区水资源开发经验表明:除人口集中的城镇和工矿外,对分散分布的耕地和村寨采用高扬程、远距离的地表水集中供水方式既不经济,也不利于管理,而且供水成本高,广大的山区农民难以承受,而远离河谷的山区地带则因岩溶渗漏造成地表建库条件差,从而难以实施大、中型的地表蓄水工程。近年不同部门从石漠化治理、饮水安全及烟水配套工程的角度,在岩溶山区已实施了较多的小水窖、小山塘工程,亦因缺乏水源,或由于无水可持续补给使得水质恶劣而不能达到应有的效果。

(二) 土地缺少

少土是岩溶区生态环境的脆弱性特征之二,主要包括岩石本身成土条件差造成的少土