

王宇,张华,张贵,等. 云南省石漠化调查及治理综述[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 486-496.
DOI: 10. 11932/karst20160501

云南省石漠化调查及治理综述

王宇¹, 张华², 张贵², 彭淑惠², 杨文礼²,
蔡保新², 冯敏³, 王梓澍⁴

(1. 云南省地质调查局, 昆明 650051; 2. 云南省地质环境监测院, 昆明 650216;
3. 云南省国土资源规划设计研究院, 昆明 650216; 4. 佐治亚理工学院, 美国 亚特兰大 30332)

摘要: 经过全面调查, 查明了云南石漠化分布、成因及资源环境条件。通过统一规划, 多方协作, 采取生物、工程、经济、社会建设等多方面的措施开展石漠化综合治理, 取得了一定成效, 遥感监测石漠化面积减少 6.2 万 hm^2 。其中, 国土资源部门进行的地下水开发、土地及矿山地质环境整治、地质旅游资源开发等综合治理工作, 消除或削弱了造成石漠化的自然或人为因素, 标本兼治的效果突出。石漠化治理工作中的问题, 主要有石漠化治理仍限于治点, 区域面貌改观不大; 考虑岩溶流域的系统性不够, 选择治理方法未考虑对流域下游的影响; 重植被恢复, 对于区域经济和生态功能整体修复的考虑不足; 调查变化情况监测手段落后, 治理效果及动态不清; 地下水资源的科学开发利用和依法管控尚待加强; 部门之间协调整合不够, 影响综合治理成效等。因此云南的石漠化治理任重道远, 尚需做好第二期综合治理规划, 采取有效措施, 加大规划的执行力度。

关键词: 生态; 环境; 地质; 地理; 喀斯特; 石漠化

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2016)05-0486-11

云南省是岩溶大省, 岩溶分布面积 110 875.7 km^2 ^[1], 石漠化面积达 34 772.76 km^2 ^[2], 因自然和社会环境条件差, 治理难度大。21 世纪伊始, 南方岩溶地区石漠化综合治理纳入了国民经济和社会发展规划, 开始全面实施, 至 2015 年, 完成了第一期石漠化治理工程。云南省积极按照国家计划安排, 开展石漠化治理, 实施了石漠化及相关的地质环境与资源调查监测, 编制了石漠化综合治理规划, 开展了典型治理示范和区域综合治理^[3-4]。目前国家开始推进第二期石漠化治理工程, 系统回顾本世纪前三个五年计划期间石漠化治理工作, 总结经验和梳理问题, 对指导今后的治理工作意义重大^[5]。

1 石漠化调查及监测

要科学编制石漠化综合治理规划, 达到合理有效

治理石漠化的目的, 必须做好石漠化及地质环境与资源调查监测, 从深层次上查明石漠化形成的地质背景, 了解环境与资源条件, 确切掌握各类影响因素。

1.1 区域调查

国家地质调查计划安排了云南省开展区域水文地质及环境地质、地质遗迹及地热矿泉水等调查评价, 取得了编制石漠化治理规划和开展治理急需的科学依据。

1999 年开展新一轮国土资源大调查以来, 完成了西南岩溶石山地区滇东—攀西片区地下水资源勘查与生态环境地质调查(1:25 万), 持续开展了云南重点地区岩溶水文地质及环境地质调查(1:5 万)等包含石漠化及其与之关联的地质环境与资源的基础性、公益性调查(图 1、表 1), 这是云南省首次系统地进行石漠化调查。

1999—2002 年完成的 1:25 万调查, 云南省主

基金项目: 云南省岩溶水文地质环境地质调查成果集成

第一作者简介: 王宇(1960—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 部、省灾害应急专家, 主持水文地质及环境地质调查研究。E-mail: ynddywy@163.com。

收稿日期: 2016-01-19

要调查区为东经 102°以东、元江以北的滇东岩溶区,在全省岩溶区针对石漠化补充了 1:5 万石漠化遥感专题调查。在 20 世纪 70—80 年代 1:20 万水文地质普查的基础上,采用编测结合带专题研究的方法,侧重调查近 20 年来的变化及环境地质问题,以流域为单元进行地下水资源计算评价。编制了地貌图、岩溶流域划分图、土壤类型图、植被覆盖率分布图、水文地质图、地下水资源潜力评价图、生态环境地质图、石漠化分布图等系列图件,建立了调查成果空间数据库。重点查明了石漠化分布情况,在岩溶分布面积大于 30% 的 65 个岩溶县(市、区)石漠化面积达

34 772.76 km²,占国土总面积的 18.56%(图 2、表 2)。通过专题研究查明石漠化的成因主要为:①岩溶石山生态环境脆弱、缺水少土;②人口数量大,环境与资源负荷过重;③砍伐、垦殖、采矿对环境破坏强烈^[6];④粗放的农业生产比重过大,岩溶区特色生物资源、旅游资源、地热矿泉水资源等绿色资源开发利用水平低,保护不力等。深入剖析了断陷盆地岩溶水赋存规律^[7-8];进行了岩溶地下水系统分类及特征研究,提出了地下水有效勘查评价方法^[9]。这些调查研究成果,支撑了石漠化综合治理规划的编制。

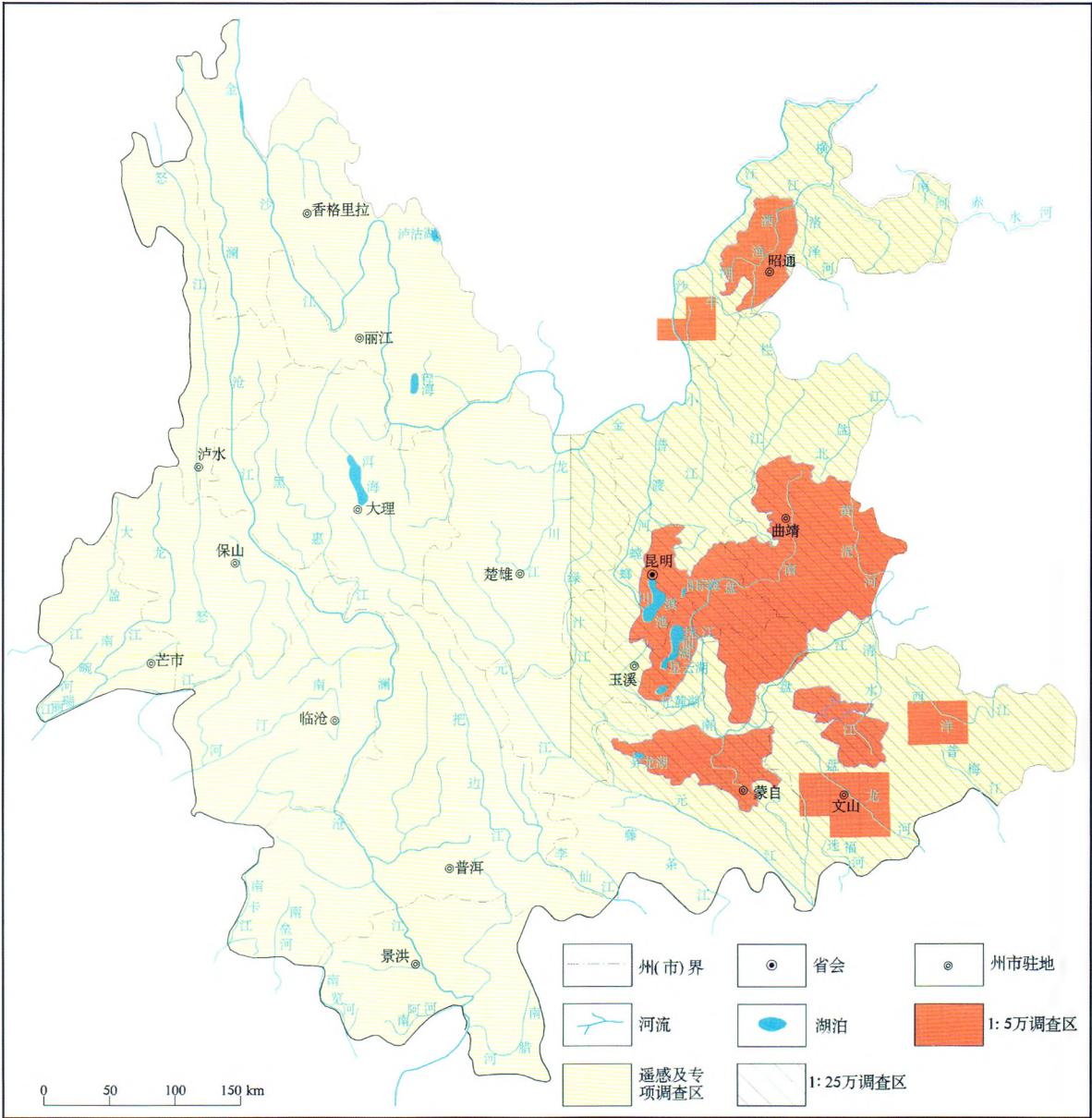


图 1 云南省水文地质及环境地质调查研究程度图

Fig. 1 Finished investigation area of hydrogeology and environmental geology in Yunnan

表 1 云南省水文地质及环境地质调查完成实物工作量统计表

Table 1 Statistics of geological investigated works in Yunnan

技术方法	单 位	完成工作量
1:25 万水资源勘查与生态环境地质调查	km ²	139 060.0
1:5 万专项水文地质、环境地质调查	km ²	43 291.65
1:1 万专项水文地质调查	km ²	47.0
1:2 千地质剖面测量	km	115.598
水文地质钻探	m	21 895.81
地球物理勘探	点	12 320
1:25 万遥感综合调查	km ²	139 060.0
1:5 万遥感综合调查	km ²	13 515.4
1:5 万石漠化遥感专题调查	km ²	187 395.0
岩土水质分析	组	3 970
地下水动态监测	点	324.0
示踪试验	点	43.0
洞穴调查	m	10 724.8

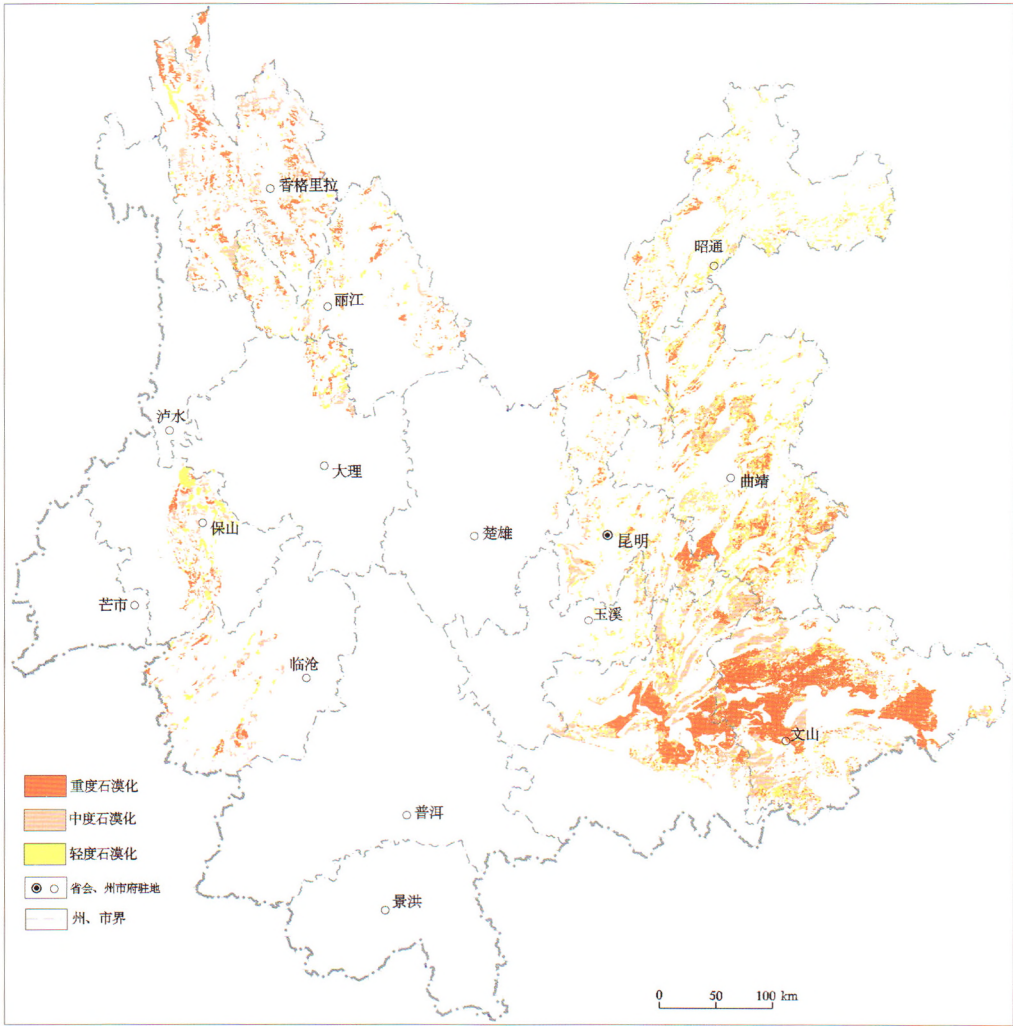


图 2 云南省石漠化土地分布图

Fig. 2 Distribution diagram of rocky desertification land in Yunnan

表 2 云南省石漠化土地面积统计表

Table 2 Statistics of rocky desertification land area in Yunnan

州市	县市区	土地 面积/km ²	岩溶 面积/km ²	岩溶所占 比例/%	石漠化面积/km ²			
					重度	中度	轻度	合计
昆明市	五华区、盘龙区、官渡区、西山区、呈贡县、富民县、宜良县、石林县、嵩明县、禄劝县、寻甸县	17 035.00	7 295.09	42.82	602.05	851.27	649.42	2 102.74
曲靖市	麒麟区、马龙县、陆良县、师宗县、罗平县、富源县、会泽县、沾益县、宣威市	29 855.00	17 955.25	60.14	1 460.25	2 405.29	2 521.53	6 387.07
玉溪市	红塔区、江川县、澄江县、通海县、华宁县、易门县	6 232.00	2 466.52	39.58	102.38	213.67	228.96	545.01
昭通市	昭阳区、鲁甸县、巧家县、盐津县、大关县、永善县、镇雄县、彝良县、威信县	21 820.00	10 977.94	50.31	323.52	843.4	1 166.68	2 333.6
红河州	个旧市、开远市、蒙自市、屏边县、建水县、弥勒市、泸西县、河口县	18 671.00	12 291.61	65.83	2 444.18	2 430.07	1 055.66	5 929.91
文山州	文山市、砚山县、西畴县、麻栗坡县、马关县、邱北县、广南县、富宁县	32 239.00	16 792.51	52.09	5 578.87	3 225.73	1 212.71	10 017.31
丽江市	玉龙县、古城区、华坪县、宁蒗县	15 944.00	5 735.69	35.97	607.61	999.11	483.88	2 090.6
保山市	隆阳区、施甸县	7 020.00	4 466.21	63.62	339.88	397.08	260.12	997.08
临沧市	镇康县、永德县、耿马县、沧源县	12 314.00	6 209.67	50.43	268.33	358.51	876.56	1 503.4
迪庆州	德钦县、维西县、香格里拉市	23 870.00	8 910.24	37.33	1 685.17	447.22	538.15	2 670.54
大理州	鹤庆县	2 395	881.96	36.83	160.19	6.90	28.41	195.50
合计		187 395.00	93 982.69	50.15	13 572.43	12 178.3	9 022.08	34 772.76

2003 年至今持续开展的 1 : 5 万调查,主要部署在滇东重要经济区、老少边穷地区、石漠化严重及干旱缺水等地区的重点岩溶流域。在已有地质、水文地质及环境地质调查成果的基础上^[10-19],按 1 : 5 万地形图分幅进行野外调查测量,以岩溶流域为单元进行地下水资源与地质环境评价和区划。鉴于水污染也是导致干旱缺水的主因,选择昆明盆地、泸江流域进行了重要城市和流域地下水污染专题调查,其间作了地下水有机污染调查试点。这些工作提高了区域调查评价精度,查明了水文地质及环境地质条件;石漠化、旱涝灾害、地下水污染、地下水位下降及泉水疏干、天然背景或污染引起的土壤有毒有害元素超标、地方病及矿山地质灾害等重大环境地质问题^[20-24];在滇东岩溶区已完成调查的 13 个岩溶流域,圈定了岩溶地下水源地 3 768 处,计算评价了岩溶地下水允许开采量 9 802 623. 71 m³/d, 现状开采量 2 874 966. 61 m³/d,资源潜力 6 927 657. 10 m³/d;选择典型地段建立岩溶地下水开发利用及石漠化治理示范工程;按流域编制了水文地质图、地下水资源分布图、环境地质图、岩溶地下水开发与石漠化综合治理区划图等高精度的系列图件,分流域建立了调查

成果数据库。通过专题研究建立了明确而具体的岩溶找水标志^[25];提出了岩溶地下水源地分类方案,评价了各类型的岩溶地下水富集规律、供水价值及开发技术条件^[9];剖析了山间盆地“三水”转化过程,通过水均衡分析,揭示了岩溶地下水资源潜力^[26];系统研究了各类重大环境地质问题的基本特征和危害程度,发展过程及趋势,分别提出了对策措施建议^[27]。调查研究成果为县(市、区)、乡(镇)级石漠化综合治理及地下水资源开发利用规划及工程方案设计提供了详实的科学技术依据^[28-31]。

2012 年通过资料收集整理和典型点调查,统计评价地质遗迹点 806 处,属 3 大类 12 类 40 亚类,其中:基础地质类 407 处;地貌类 364 处;地质灾害类 35 处。世界级 36 处;国家级 158 处;省级 612 处。

2013 年通过资料收集整理及专题路线调查,核实全省≥25℃温泉点(群)851 处,地热井 216 口(不完全统计),数量居全国之首。初步计算评价地热水可开采水量 1 188 481. 35 m³/d,可开采热量 141. 68 ×10⁹ kJ/d,折合标准煤 4 840. 84 t/d。地热水现状开发利用率为 27. 66%,尤其休闲旅游业开发利用地热水的水平普遍很低。

1.2 动态监测

2005 年和 2012 年林业部门先后两次开展了石漠化遥感监测,第一次的范围是针对水土流失严重、荒漠现象突出的地区,监测资料丰富了石漠化综合治理规划编制的依据;第二次的范围即为石漠化综合治理规划区,从宏观上了解 5 年来石漠化综合治理带来的变化。此外,各个石漠化综合治理示范点,在项目实施期间对石漠化动态均进行了观测。这些监测资料,为评价石漠化变化趋势和治理成效提供了依据。

地下水水质和水量动态对生态环境变化敏感,反映直观,地下水动态监测数据是了解和评估生态环境变化、尤其是石漠化治理效果的重要依据。自上世纪 80 年代,地矿部门便在 7 个重点城市布设监测网点,开始地下水动态长期监测。目前监测点 235 个,其中国家级监测点 80 个(表 3)。为确切评估石漠化综合治理等生态环境治理与保护效果,预测动态变化积累了大量数据。

表 3 云南省地下水环境监测点一览表
Table 3 Statistics of ground water environmental monitoring sites in Yunnan

监测地区	控制面积 /km ²	水位、流量监测点/个		水质监测点国家级点	
		水位	流量	/个	/个
昆明盆地	1 555	77	14	48	68
开远盆地	135	8	3	6	2
楚雄盆地	164	8	2	5	2
玉溪盆地	210	9	1	5	2
曲靖盆地	220	8	2	5	2
大理盆地	500	10	5	5	2
景洪盆地	88	6	3	5	2
合 计	2 872	126	30	79	80

2 石漠化区域治理

2001 年 3 月,“推进黔桂滇岩溶地区石漠化综合治理”纳入了国民经济和社会发展“十五”计划纲要。2004 年 8 月,国家发改委下发通知要求南方岩溶区编制石漠化综合治理规划。2004 年 9 月,云南省发改委发布了“关于开展《云南省岩溶石山地区石漠化综合治理规划》编制工作的通知(云发改办地区[2004]65 号)”,成立由省发改委牵头,省西部开发办、国土资源厅、林业厅、水利厅、农业厅、财政厅、环保局、扶贫办等部门参加的规划编制领导小组,以省地调院为技术依托单位开展《规划》编制。规划范围

按现在的行政区划包括 65 个岩溶县(市、区),国土总面积 187 395 km²。规划以区域水文地质及环境地质调查成果为依据,参照石漠化综合治理示范成果,对本省石漠化特征及成因进行了深入研究,科学合理、因地制宜地编制完成了规划,于 2006 年 7 月报经云南省人民政府批准。根据省级规划,各岩溶县(市、区)随后编制了县级石漠化综合治理规划。

《规划》总体思路是通过石漠化综合治理,使脆弱的岩溶生态环境与复杂的人类活动相协调,形成新的和谐发展状态。综合治理方案要体现多样性和包容性,能全面、有效、深入地消除或削弱造成石漠化的自然或人为因素。针对我省石漠化的成因,应采取生物、工程、经济、社会建设等各方面的措施,实行标本兼治,因地制宜,综合治理,突出重点,稳步推进石漠化综合治理。要整合林业、农业、水利、国土、环保等各部门的力量,把综合治理目标和措施落实到各部门的计划项目上,使《规划》实施获得尽可能多的经费、技术、政策和管理支持,各项计划能够落到实处,真正取得综合治理成效。在贫困人口众多的社会环境中,石漠化治理的每一项工作要与脱贫致富、改善农村生产生活条件相结合,能为群众带来经济效益、舒适环境、便利条件,赢得群众热情支持和主动参与,治理成效才能延续。《规划》部署的治理工程和措施主要为六个方面^[32],即:生态恢复重建工程、基本农田建设工程、水资源开发利用工程、农村能源建设工程、草饲畜牧养殖工程、生态移民试点工程。其它还有开展石漠化治理示范、石漠化调查及监测、数据库建设、科技培训等公益性、基础性工作,为石漠化治理提供技术支撑。并要求相关厅局管理的计划专项,具有石漠化综合治理功效的,均应向石漠化治理区域倾斜。

云南省以《规划》为依据,2008 年文山、砚山、广南、会泽、宣威、鲁甸、巧家、建水、泸西、易门、玉龙、隆阳 12 个县(市、区)纳入全国计划安排的 100 个石漠化综合治理试点县,启动石漠化综合治理试点,《规划》实施开局良好。2011 年国家石漠化综合治理由试点转为重点治理,云南省在试点县的基础上增加了综合治理重点县(市、区)23 个,总数达到 35 个重点县。2012 年云南省又新增综合治理重点县(市、区)30 个,至此,《规划》中 65 个县(市、区)均开展了石漠化综合治理。2008—2014 年,全省 65 个规划县石漠化综合治理工程总投资 23.42 亿元,其中:中央投资 18.44 亿元,省级配套 4.03 亿元、州市配套 0.95 亿元,治理面积 9 790 km²^[33]。据《云南省岩溶地区第二次石漠化监测报告》(云南省林业厅,2012),石漠化

面积较2005年第一次监测时减少6.2万 hm^2 ,石漠化治理已取得了一定成效。

综合研究调查、监测及院士专家考察资料,发现前期石漠化治理亟待解决下列问题:

(1)投入有限,治理依然局限于治点,以岩溶流域为单元治理不足。项目实施范围大多仅涉及三四个村委会,数十公顷土地,表现出点上治理成效明显,区域面貌改观不大。

(2)对生态环境系统的整体性及相关性认识不足,未意识到一个个山间盆、谷、洼、台、峰是被地下河系统所串联的,治理方法的选择未全面考虑物质和能量传输及人为作用影响的空间范围及时间周期,效益评价常局限于某一沟、洼、峰、坡。如蒙自盆地东山顶古溶蚀面上^[34-35]、丽江盆地东北部九子海岩溶高中山洼地区^[36],在作为盆地地下水补给区的裸露岩溶山区,大力扶持发展种养殖业,尤其在积土较多的岩溶洼地、漏斗中集中种植果蔬、养殖禽畜等,虽有局部改善当地经济和景观的功效,但损害下游人口聚集及土地连片分布区的水源,导致南涧暗河污染,加剧丽江古城黑龙潭泉群断流问题等。

(3)治理工作侧重于提高森林覆盖率,发展种养殖业,增加耕地数量。落实综合治理原则,开展详细调查、监测和综合研究较差。调整产业结构,帮助农村劳动力转移,扶持名特优产业、旅游资源开发、休闲旅游业发展、小微地下水开发利用及应急水源地工程建设等相关综合治理投入不足,治理工程长期管理维护缺乏经费保障。

(4)地下水资源总体上未有效开发利用,同时地下水开发又大多缺少合理有效的管控,布井及水量、水位监管制度不落实,山间盆(谷)地区多见局部超采滥采导致泉流量衰减或干涸,加剧干旱缺水的问题^[37]。

此外,还存在大面积种植的“三七”等经济作物对土壤生态和土质损耗深重,引进某些植物,生态风险调查论证不够,生态隐患较大。

3 石漠化国土专项治理

国土资源部门按照《规划》部署和要求,根据自身职责,开展了一系列的地质环境与国土资源治理、开发和保护工作,这些工作紧密结合石漠化综合治理规划目标和原则,标本兼治,是我省石漠化综合治理的重要内容。

3.1 地下水科学开发利用与石漠化治理示范

岩溶区具有地表和地下双层水文网,通常地下水水文网更发育。地表严重干旱缺水是石漠化综合治理的主要困难,石漠化治理需优先解决供水问题,有效开发利用和管控地下水资源^[38-40]。国土资源部门发挥地质科技优势,在区域调查的基础上,进行以地下水开发为龙头,带动石漠化综合治理的示范研究,取得了优秀的成果^[41-42]。

2003—2013年期间,在滇东典型岩溶流域部署了44项地下水科学开发示范工程(图3、表4、表5)。共建成天然出露的岩溶水源地开发示范工程8项(大泉束流调压壅水^[43]、表层岩溶泉蓄引、暗河截流、天窗提水)、隐伏的岩溶水源地开采井36口。示范工程实际开采水量70 025.86 m^3/d ,直接解决了78 660人农村人口的生活用水困难,为47 594亩耕地或园地提供了抗旱保苗用水。随之实施了一系列石漠化综合治理工作,如在泸西小江流域开展供水系统建设、土地整理及基本农田建设、生态林及名特优水果基地建设、地热及岩溶旅游资源开发、洁净能源建设、生态移民、农村基础设施建设等,改善了生产生活条件,促进了地方经济发展,生态环境改善,示范成效显著。

通过示范研究,建立了岩溶流域地下水有效开发模式,总结集成了针对不同类型水源地的、经济、实用、有效的地下水勘查及开发技术方案。2009年冬至2013年春,云南连年大旱^[44]。国土资源部门及时组织抗旱打井找水,依据水文地质及环境地质调查及地下水开发示范研究成果,建成暗河提水工程21座,打抗旱井1 487口,缓解了约285万人的生活用水困难,提供了石漠化治理的抗旱保苗用水。

3.2 土地综合整治

云南省土地综合整治主要采取土地平整、灌溉与排水、田间道路、农田防护与生态保护四方面工程措施^[45],取得降低土壤侵蚀量、控制水土流失量、提高耕地质量和生产力的效果。在石漠化严重的地区,还以小流域为单元,开展植树造林种草、封山育林育草、天然林草管护等方式治理石漠化。从2000—2009年,全省共投资82.43亿元,整治面积33.5万 hm^2 。2010—2015年,政府投资加大,全省投资119.20亿元,实施土地整治项目574项,整治面积34.71万 hm^2 。其中在石漠化地区实施土地整治项目279项,投资57.39亿元,整治面积17.12万 hm^2 。

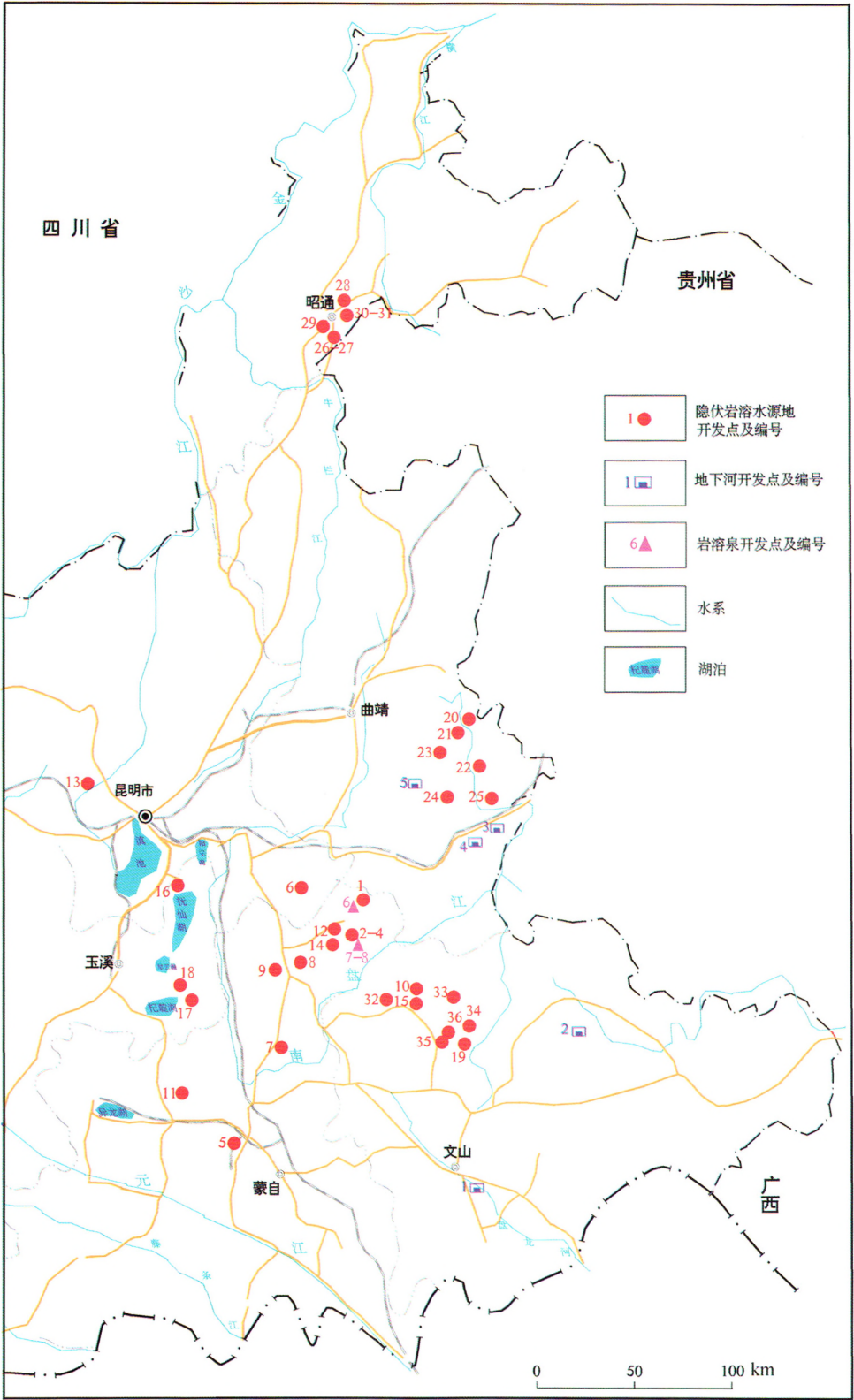


图 3 云南省岩溶水开发示范工程分布图

Fig. 3 Distribution of the demonstration engineering of karst water exploitation in Yunnan

表 4 云南省天然出露的岩溶水源地开发示范工程统计表

Table 4 Statistics of the demonstration engineering of the natural exposed karst water source field in Yunnan

序号	开发示范工程位置			工程形式及功能	开采量 /m ³ /d
	县/市	乡/镇	村		
1	文山	追栗街	白石岩	暗河地下水库调蓄与天窗提水	1 000
2	广南	珠琳	苏都库	暗河天窗截流壅水	1 296.86
3	罗平	板桥	小平桥	暗河地下一地表联合调蓄水库	1 300
4	罗平	环城	四方石	暗河天窗截流壅水	1 300
5	罗平	阿岗	高松树	暗河天窗提水	100
6	泸西	中枢	皮家寨	上升大泉束流调压壅水	60 000
7	泸西	三塘	湾半孔	表层岩溶泉蓄引	200
8	泸西	三塘	李子箐	表层岩溶泉集蓄	10
合 计					65 206.86

表 5 云南省隐伏的岩溶水源地开发示范井统计表

Table 5 Statistics of the demonstration boreholes of the buried karst water source field in Yunnan

序号	开发示范点位置			井深 /m	涌水量 /m ³ /d	序号	开发示范点			井深 /m	涌水量 /m ³ /d
	县/区/市	乡/镇	村				县/区/市	乡/镇	村		
1	泸西	白水	大衣村	160.00	357	19	丘北	天星	天星村	186.9	360
2		中枢	万亩果园	200.01	249.09	20	富源	营山	茂河小学	200.0	190.0
3			三家村	150.24	249.09	21			半坡	250.6	530
4			大兴堡	150.00	432.09	22		老厂	牛角板	351.30	310
5	个旧	大屯	新坡背	200.44	102.29	23	罗平	富乐	鼠街子	300.44	220.32
6	石林	长湖	阿着底	102.06	887.32	24		九龙	老控戛	300.30	172.8
7	弥勒	朋普	湾子寨	200.18	578.88	25		长底	长干田	201.0	104.54
8		弥阳	久益村	200.3	71.71	26	昭阳	布嘎	布嘎	201.2	112.0
9			高宗堡	200.7	603.42	27			新街	251.71	270.43
10	丘北	曰者	老虎冲	150.13	463.62	28		北闸	杨家坟	200.17	106.27
11	建水	羊街	羊街	151.02	519.26	29		永丰	田坝	265.43	460.4
12	泸西	中枢	丁合村	150.60	496.80	30		守望	刘海子小学	332.28	270.43
13	富民	永定	马军营	155.03	185.76	31		小龙洞	民族中学	250.65	243.64
14	泸西	逸圃	纳保 22 口浅井, 15~45	529		32	丘北	曰者镇	老寨	301.5	39.23
15	丘北	曰者	红光	16	50	33		双龙营	鸭子塘	150.6	347.33
16	澄江	凤麓	滇熊酒厂	220.20	641.76	34		坪寨	坪寨	240.77	126.14
17	华宁	宁州	国土局	275.8	1 002.24	35		天星	笼陶小学	202.76	25
18			高茶寨	180.5	358.34	36		锦屏	三佳砖厂	250.9	132

土地综合整治存在的问题主要是部分项目未很好地结合当地经济社会现状及村民意愿,投巨资炸石砌坎客土造梯地,建设成本 7 000~10 000 元/亩,但因种地产出效益远低于打工收入,新造地被撂荒;在裸露岩溶垂直渗流区消水洼地周边陡坡造地,客土流失严重,新造耕地难以持久,下游水源还受到不良影响,如西畴县新街镇光山岩溶山区分水岭地带谷(洼)地周围陡坡上的梯地建设项目。

3.3 矿山地质环境综合治理

我省的有色和黑色金属、煤、建材等矿产主要赋存于岩溶石山区,在石山浅表分布的氧化矿,剥采直接造成大面积的裸岩,大量弃渣埋压则造成植被成片消亡。矿石选冶排放的“三废”中,尤其是堆浸及原地浸矿渗漏和漫流出的溶浸矿液,含有大量剧毒或强腐蚀成分,往往处理不达标,造成岩溶石山仅存的树、灌、草、藻类、苔藓等植物死亡,从而加剧石漠化。采

矿工程疏排水使地下水位急剧下降,天然出露的水源干涸,造成用水困难,导致植被退化^[46]。因此,矿山地质环境综合治理是石漠化综合治理的必要措施^[47-49]。据 2012—2013 年矿山地质环境调查资料,矿业活动影响、破坏和占压土地共 57 197.25 hm²,主要分布在滇东各州市;2013 年矿坑排水量 66 306.04 万 m³,造成地下水位下降面积 4 390.92 hm²,多处水体受到重金属污染,监测发现重金属超标水体主要为红河流域、南盘江流域、北江流域、牛栏江流域及阳宗海、大屯海等,超标元素以 As 和 Pb 最突出。据不完

全统计,至今已综合治理矿山 1 542 座,投资约 29.32 亿元,治理面积 8 218.96 hm²,污水循环利用率约为 14%;废石年综合利用率约为 37.67%。尽管我省矿山地质环境治理成效较为突出,但矿山地质环境形势依然严峻。

3.4 地质公园建设及旅游资源开发

截止 2015 年底,云南省共建立地质公园 11 个,其中世界级 2 个,国家级 8 个,省级 1 个。按类型可分为地质、地貌类 8 个,地层古生物类 3 个(表 6)。

表 6 云南省地质公园一览表
Table 6 List of the geopark in Yunnan

序号	名称	等级	批准时间	类型
1	云南丽江玉龙雪山冰川国家地质公园	国家	2009 年 8 月	地质、地貌
2	云南玉龙黎明—老君山国家地质公园	国家	2004 年 1 月	地质、地貌
3	云南大理苍山世界地质公园	世界	2014 年 9 月	地质、地貌
4	云南腾冲火山国家地质公园	国家	2001 年 3 月	地质、地貌
5	云南禄丰恐龙国家地质公园	国家	2003 年 3 月	地层、古生物
6	云南九乡峡谷洞穴国家地质公园	国家	2003 年 3 月	地质、地貌
7	云南澄江动物群古生物国家地质公园	国家	2001 年 12 月	地层、古生物
8	云南石林岩溶峰林世界地质公园	世界	2009 年 8 月	地质、地貌
9	云南泸西阿庐国家地质公园	国家	2011 年 11 月	地质、地貌
10	云南罗平生物群国家地质公园	国家	2011 年 11 月	地层、古生物
11	云南盐津乌蒙峡谷省级地质公园	省级	2014 年 8 月	地质、地貌

地质公园建设包含地质遗迹保护,生态修复及保护,地球科学普及,地学旅游及特色产品开发,增加当地群众就业,促进文化发展等工作^[50-51]。地质公园的建立提升了旅游业的品质,促进了当地经济社会发展,对石漠化综合治理具有长远功效。

地质调查评价及探采结合工程,带动了旅游资源、地热水、矿泉水资源开发的热潮,新建扩建的石林、大理苍山、宜良九乡、泸西阿庐古洞、丘北普者黑、广南坝美、洱源地热国、水富大侠谷温泉、弥勒湖泉温泉、九大高原湖泊等地质公园和旅游景区节假日游人拥塞,矿泉水开发企业已遍及全省,促进了城镇化发展和产业结构调整,帮助旅游支柱产业提质增效,转移农耕劳动力,减轻山区环境与资源负荷,从根本上起到了恢复重建良好生态环境的作用。

4 结论及建议

通过以上回顾和分析总结,云南省石漠化综合治理的经验和问题主要有如下几个方面:

(1)石漠化调查研究是科学治理的前提,应不断提高石漠化调查研究和动态监测的精度,以使治理投入更加精准有效。

(2)石漠化治理应坚持区域规划,以岩溶流域为单元综合治理,统筹兼顾经济、社会、环境效益,实现可持续发展。

(3)国土专项治理工作,直接减少了石漠化土地面积,通过开发利用珍贵的地质资源,创造了稳定的就业机会,转移了部分农耕劳动力,是石漠化综合治理的重要组成部分。

(4)存在问题主要为:石漠化治理项目区仍限于点状分布,区域面貌改观不大;考虑岩溶流域的系统性不够,治理方法存在不当;落实综合治理原则差异较大;调查监测落后,治理效果及动态不清;地下水资源的科学开发利用和依法管控尚待加强^[52];部门之间协调整合不够,影响综合治理成效等。

(5)建议在总结前期工作的基础上,针对问题,因地制宜,各部门协调配合,系统编制好第二期石漠化综合治理规划;第二期规划和治理要切实落实调查研

究和监测工作,保证治理工作和效益评估的科学性;应以地表水—地下水系统分级和功能分区为基础,以流域为单元,扩大石漠化综合治理示范点规模,丰富示范点类型和内涵,增强带动作用;要把水资源调查评价、有效开发利用和保护摆在首位,这是石漠化治理实现可持续发展的关键环节。此外,在争取国家加大扶持力度的前提下,各个部门要增加石漠化综合治理投入,加强综合治理,做到标本兼治,保证规划目标得以全面实现。

参考文献

- [1] 王宇,黄兴章,谭继中,等.云南省岩溶水有效开发利用规划建议报告[R].昆明:云南省地质矿产厅、云南省计划委员会,1997.
- [2] 王宇,张贵,柴金龙,等.云南岩溶石山地区重大环境地质问题及对策[M].昆明:云南科技出版社,2013:17-27.
- [3] 王宇,彭淑惠,王梓激,等.云南省抗旱并定井论证方法[J].中国岩溶,2013,32(3):305-312.
- [4] 王宇.云南泸西小江流域岩溶水有效开发模式研究[D].昆明:昆明理工大学,2006.
- [5] 袁道先.我国岩溶资源环境领域的创新问题[J].中国岩溶,2015,34(2):98-100.
- [6] 王宇,张贵.滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因[J].地球科学进展,2003,18(6):933-938.
- [7] 王宇,李燕,谭继中,等.断陷盆地岩溶水赋存规律研究[M].昆明:云南科技出版社,2003:1-4.
- [8] 王宇.西南岩溶石山区断陷盆地岩溶水系统分类及供水意义[J].中国地质,2003,30(2):220-224.
- [9] 王宇.西南地区岩溶水源地类型及开发技术条件[J].中国岩溶,2009,28(4):370-374.
- [10] 杨立铮.中国南方地下河分布特征[J].中国岩溶,1985,4(1-2):92-100.
- [11] 姚六三.试论地貌—地质环境与岩溶发育的关系[J].云南地质,1989,8(2):164-170.
- [12] 王宇.昆明市地表水与地下水联合调度系统研究[J].水资源研究,1990,11(4):9-12.
- [13] 王宇.滇东地区断陷盆地裸露—覆盖型岩溶水系统特征剖析[J].云南地质,1993,12(3):301-316.
- [14] 王宇.红河断裂南段活动性分析[J].地质灾害与环境保护,1994,5(2):28-35.
- [15] 王宇.元阳县南沙新城址地质环境评价[J].地质灾害与环境保护,1994,5(4):18-24.
- [16] 康彦仁,梁彬.云南南洞地下河系统的水文地质特征[J].水文地质工程地质,1996,23(4):28-30.
- [17] 杨子生.滇东北山区坡耕地水土流失状况及其危害[J].山地学报,1999,17(S1):25-31.
- [18] 王宇,罗毅.凌子口隧道围岩稳定性分析评价[J].地质灾害与环境保护,2002,13(3):40-42.
- [19] 姜朝松,周瑞琦,王绍晋.昆明盆地形成模式及其演化[J].地震研究,2003,26(2):172-175.
- [20] 蒋忠诚,裴建国,夏日元,等.我国“十一五”期间的岩溶研究进展与重要活动[J].中国岩溶,2010,29(4):349-354.
- [21] 彭淑惠,王宇,张贵.昆明盆地土地利用对岩溶水质的影响[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2011,36(6):1-7.
- [22] 王宇,彭淑惠,杨双兰.云南岩溶区 As、Cd 元素异常特征[J].中国岩溶,2012,31(4):377-381.
- [23] 莫美仙,王宇,李峰.滇东断陷盆地地下水污染的水文地质模式[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2014,39(5):88-95.
- [24] 彭淑惠,王宇,黄成,等.昆明大桥桥岩溶地下水系统污染边界及其防污性能研究[J].中国岩溶,2015,34(4):362-368.
- [25] 王宇,王梓激.岩溶地下水富集的地貌组合形态[J].中国岩溶,2015,34(4):314-324.
- [26] 王宇,袁道先,杨世瑜.泸西小江流域岩溶水有效开发模式[J].中国岩溶,2005,24(4):305-311.
- [27] 王宇,张贵,张华,等.云南省岩溶水文地质环境地质调查与研究(国土资源大调查项目成果集成)[R].昆明:云南省地质环境监测院,2014:176-275.
- [28] 张贵,王宇,李燕等.云南“十五”水工环地质大调查成果丰硕[J].云南地质,2006,25(3):269-275.
- [29] 张华,王宇,柴金龙.滇池流域石漠化特征分析[J].中国岩溶,2011,30(2):181-186.
- [30] 彭淑惠,袁忠玉,张华.滇东南南丘河流域石漠化特征及其防治研究[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2014,39(1):26-31.
- [31] 张华,王宇,张贵.云南重点岩溶流域水文地质及环境地质调查成果评析[J].云南地质,2014,33(2):259-263.
- [32] 王宇,杨世瑜,袁道先.云南岩溶石漠化状况及治理规划要点[J].中国岩溶,2005,24(3):206-211.
- [33] 张伏全.治理石漠化建设彩云南[J].云南林业,2015,36(4):21-25.
- [34] 覃星铭,蒋忠诚,何丙辉,等.南洞流域东部重点区石漠化现状及治理对策[J].中国岩溶,2014,33(4):456-463.
- [35] 覃星铭,蒋忠诚,蓝芙宁,等.南洞地下河最枯径流的周期变化及趋势分析[J].广西师范大学学报(自然科学版),2015,33(2):120-126.
- [36] 康小波,王宇,张华,等.丽江黑龙潭泉群水文地质特征及断层的影响因素分析[J].中国岩溶,2013,32(4):398-403.
- [37] 王宇,何绕生,刘海峰,等.昆明翠湖九龙池泉群断流原因及恢复措施[J].中国岩溶,2014,33(3):263-271.
- [38] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1988:23-58.
- [39] 王宇,彭淑惠.云南省岩溶水赋存特征[J].中国岩溶,2011,30(3):253-259.
- [40] 袁道先.论岩溶水的不均匀性[A].岩溶地区水文地质及工程地质工作经验汇编(第二辑)[C].北京:地质出版社,1978:1-19.
- [41] 王宇,张贵,吕爱华,等.云南暗河水资源开发利用条件及典型工程研究[A].殷跃平.中国西南地区岩溶地下水资源开发与利用[C].北京:地质出版社,2006:11-34.
- [42] 王宇主编.岩溶找水与开发技术研究[M].北京:地质出版社,2007:10-22.
- [43] 王宇.云南泸西皮家寨岩溶大泉束流调压壅水开发示范[J].中国岩溶,2008,27(1):1-5.
- [44] 王宇,彭淑惠,袁忠玉,等.云南省抗旱救灾地下找水技术总结报告[R].云南省国土资源厅,2011:1-8.
- [45] TD/T1011-2000.土地开发整理规划编制规程[S].
- [46] 张发旺,王贵玲,候新伟.矿业开发环境地质链及其控制[J].地质前缘,2001,8(1):107-111.
- [47] 陶于祥,赵宇,徐乃政.浅析金属矿山开采对岩土生态环境的影响[J].火山地质与矿产,1999,20(3):225-232.
- [48] 魏伦武.西南地区矿山环境地质问题与防治对策[J].地质灾害

- 与环境保护, 2002, 13(1): 6-8.
- [49] DZ/T0223-2011, 矿山地质环境保护与恢复治理方案编制规范[S].
- [50] 李玉辉. 地质公园研究[M]. 北京: 商务印书馆, 2006: 1-21.
- [51] 国土资源部. 国家地质公园规划编制技术要求[S]. 2010.
- [52] 王宇, 李丽辉. 德国岩溶水勘查技术与开发利用概况[J]. 水文地质工程地质, 2005, (6): 91-95.

Review of the investigation and integrated renovation on rocky desertification in Yunnan Province, China

WANG Yu¹, ZHANG Hua², ZHANG Gui², PENG Shuhui², YANG Wenli²,
CAI Baoxin², FENG Min³, WANG Ziwei⁴

(1. Yunnan Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051, China;

2. Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216, China;

3. Yunnan Institute of Land and Resources Planning and Design, Kunming, Yunnan 650216, China;

4. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia 30332, USA)

Abstract As one of the provinces with largest karst area, the size of karst area is 110,875.7 km² in Yunnan province, with a rocky desertification size of 34,772.76 km² of in the karst area. The rocky desertification has seriously restricted the sustainable development the local economy. The ecologic and geologic environment is very fragile, and the land is very droughty and lacks of soil in rocky desertification areas. The main factors that directly impact on the rocky desertification include excess population relative to the environment bearing capacity, unreasonable exploitation of land, impacts of mining activities on local ecology and environments, and industrial pollution, etc. In addition, low-level utilization of green resources have an indirect influence on the development of rock desertification. These include natural resources as biology, tourism, geothermal water and mineral water, which are much abundant in the karst area. After full investigations and comprehensive studies, an integrated renovation program has been completed. Based on this program, biological, engineering, economic and social measures have been implemented for the integrated renovation of the rocky desertification. It should be stressed that the Department of Land and Resources (DLR) has implemented many effective measures, such as demonstration projects for the development of karst groundwater and the integrated renovation of rocky desertification, land consolidation, mining geo-environmental protection and associated mine rehabilitation, and geopark ecological construction and environmental protection, etc. These measures have directly reduced land area of rocky desertification land and effectively restricted those artificial or natural factors leading to rocky desertification in the karst area. In the meantime, the department has increased job opportunities and promoted rural urbanization in small towns through effective development of valuable geological resources, which in turn the efforts of the DLR have been paid off. The main problems in the integrated renovation include the following parts. Firstly, the renovation areas of the rocky desertification are sporadically distributed and the change of the regional landscape is small. Secondly, the correlation and overall response of karst basin have been less well recognized and the selected renovation methods are improper. Thirdly, the investigation and monitor are not updated in time so that the effects and progress of the renovation are inaccurate. Fourthly, the development and utilization of groundwater resource as well as the protection of the resource and environment have not been implemented well. Finally, the coordination and cooperation among different governmental departments for the integrated renovation projects are not enough. These problems have negative influence on the efficiency of the integrated renovation of the rocky desertification. In this paper, the distribution diagram of rocky desertification, the investigation intensity map and the distribution diagram of the demonstration engineering are valuable material to have a better understanding of the rocky desertification, environmental conditions and resources, and the investigation progress in Yunnan Province.

Key words ecology, environment, geology, geography, karst, rocky desertification

(编辑 张玲)