四、查明了西南岩溶石山地区以石漠化为代表的生态地质环境问题

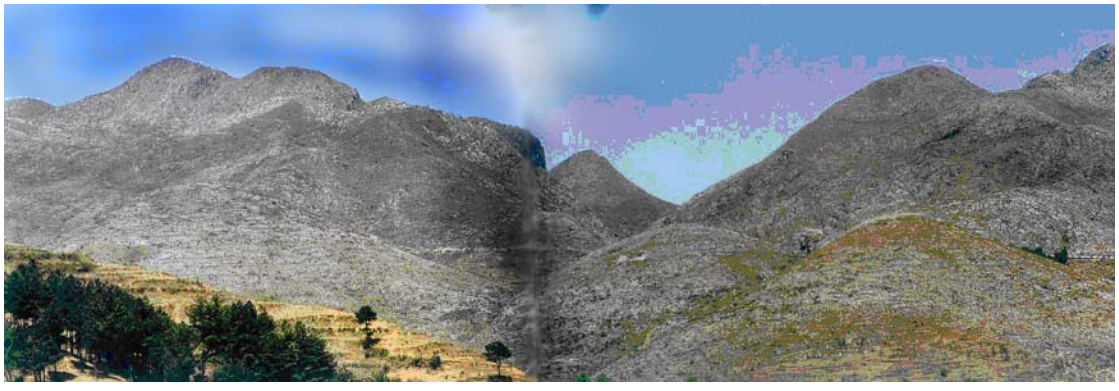
（一）利用遥感地质技术首次全面系统地对西南岩溶区石漠化进行了解译调查和完成发展趋势研究

首次利用遥感信息系统对西南岩溶石山地区岩溶石漠化进行了系统的调查，采用多时段遥感信息对石漠化发展趋势进行了研究分析，圈定了危害严重的石漠化范围，全区现状石漠化面积 $10.51\times10^4km^2$，其中重度石漠化面积 $2.59\times10^4km^2$，中度石漠化 $3.92\times10^4km^2$，轻度石漠化 $4.0\times10^4km^2$，石漠化地区已占区内碳酸盐岩分布面积 $41.98\times10^4km^2$的 25.03%。调查结果和趋势研究表明，西南岩溶石山地区石漠化演变总体上呈严重恶化趋势，从 80 年代末到 90 年代末，平均每年增加 1650 km^2。

西南岩溶石山地区各省（市、区）石漠化面积一览表 单位：km^2

省（市、区）	云南	广西	贵州	广东	重庆	四川	湖北	湖南	合计
重度石漠化	10591.82	6878.41	5249.58	476.38	252.56	1546.89	184.87	752.31	25932.82
中度石漠化	10586.06	11504.10	11895.93	777.26	1015.91	715.30	996.06	1665.32	39155.94
轻度石漠化	7142.52	8912.06	15331.22	1089.58	1856.21	1486.72	1526.35	2629.78	39974.44
合计	28320.4	27294.57	32476.73	2343.22	3124.68	3748.91	2707.28	5047.41	105063.20

通过本次在石漠化主要分布地区重点调查研究，从地学的观点初步掌握其形成条件，形成机理以及危害程度，预测其发展趋势，提出了岩溶重度石漠化主要发育在大片纯灰岩分部的地区，生态建设恢复的成本高，不宜在本阶段把重度石漠化列入石漠化治理目标；白云岩、碳酸盐岩与非碳酸盐岩互层的地区主要发育岩溶中度或轻度石漠化，其治理难度相对容易，应列入现阶段石漠化治理目标。这就为石漠化整治工程部署提出了科学依据。



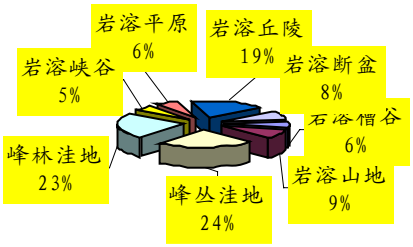
贵州的重度石漠化景观



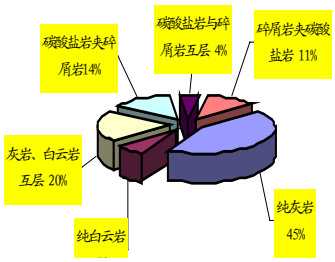
云南滇东的石漠化



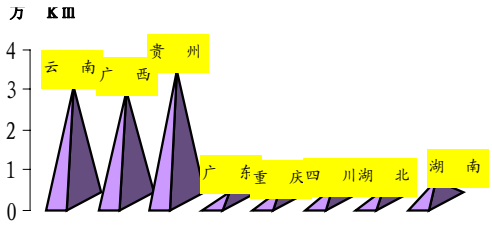
四川盐源的重度石漠化



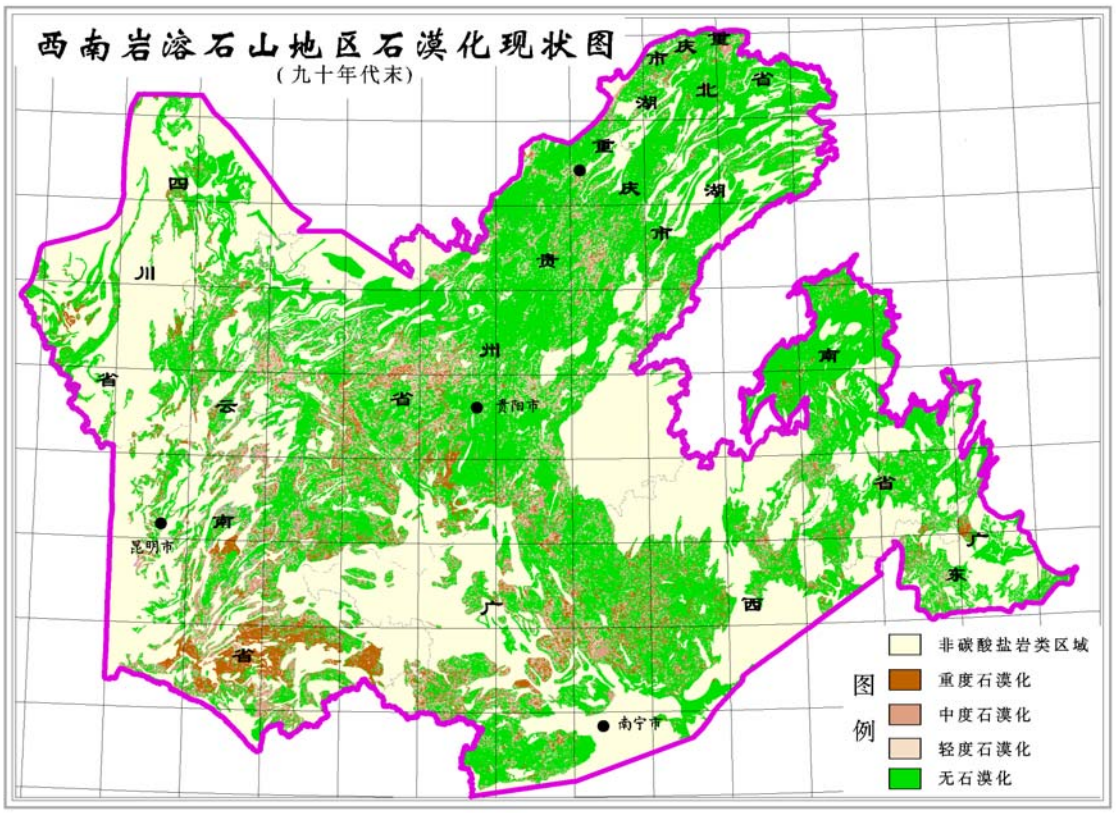
按地貌类型石漠化面积比重图

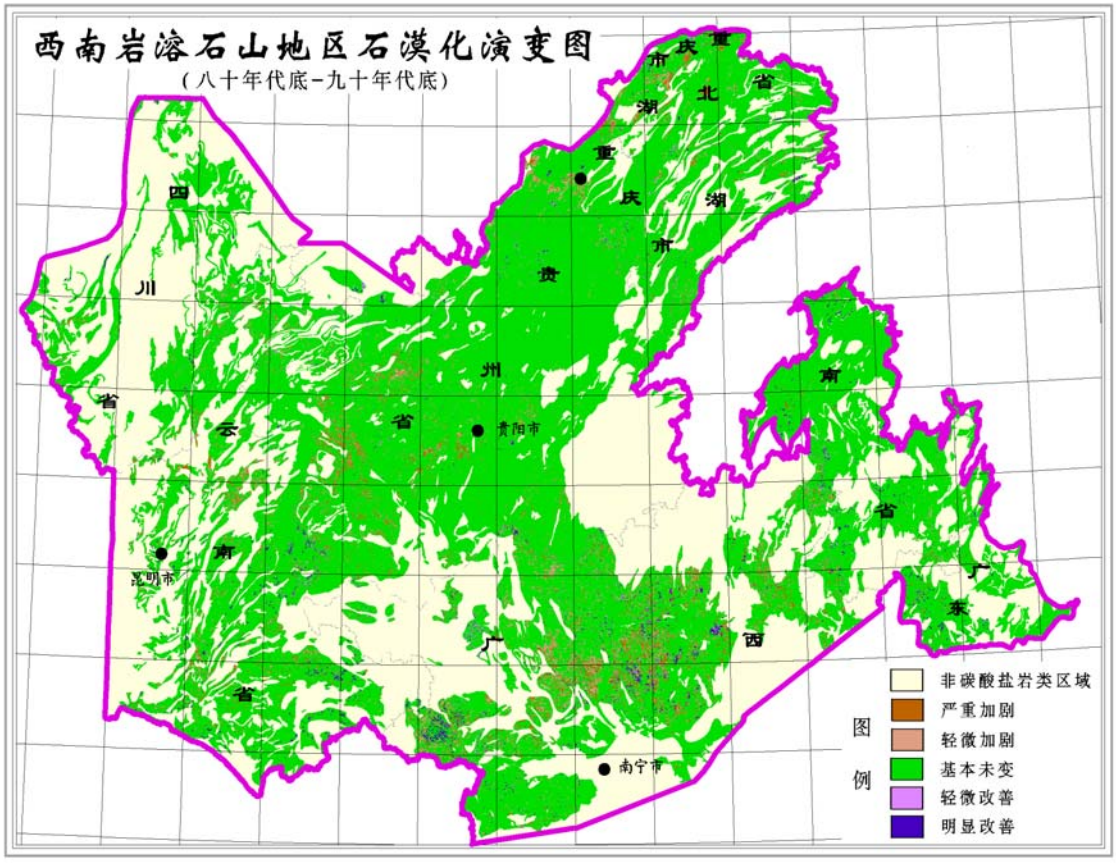


按岩性石漠化面积比重图



西南岩溶石山地区各省石漠化面积图







石漠化呈现严重发展趋势:
左照片为 20 世纪 80 年代尚未形成石漠化的贵州北盘江河谷坡;
下照片为 2002 年 5 月北盘江该段河谷斜坡已石漠化



据遥感解译两个时段的石漠化现状比较反映,从二十世纪八十年代末到九十年代末，西南岩溶石山地区的石漠化面积从 82942.65km^{2}增加到 105063.20km^2，石漠化净增 22120.56km^2,平均每年净增 1650.26km^2，年平均增长率为 2%。变化信息分析反映，石漠化加剧面积为 24958.81km^2，石漠化改善的面积为 4869.07km^2,石漠化加剧和改善面积的比为 5.13:1。两种方法所得结果基本吻合，共同揭示西南岩溶石山地区石漠化的发展形势已较严峻。

（二）查明西南岩溶石山地区的人畜饮用水缺水和土地干旱现状、规模、分布及类型和地质、水文地质成因

西南岩溶石山地区由于地表水和地下水分布的时空不均，造成缺水现象严重，这是一个公认的事实。本次工作将干旱缺水调查作为重要工作内容之一，初步查明全区缺水情况，并研究分析地方需水要求，为地下水开发利用提供了基础资料。西南岩溶石山地区至今还有 1700 万人的饮水问题没有解决，仅滇、黔、桂三省区就有 2531 万亩耕地受旱，干旱严重，地表水源奇缺，从范围上有日益扩大，频率上有日益加重的趋势。

岩溶地区旱涝问题是自然因素和人为因素综合作用的结果:

究其原因，一是裸露岩溶区特有的水文地质条件，岩溶管道发育，降水迅速渗漏地下，而地下水位又埋藏深、变幅大，开发利用经济技术难度大，因此岩溶区干旱问题长期得不到改观；二是裸露岩溶区生态环境比较脆弱，植被稀少，抗旱御涝能力低，再加上不文明的人类活动，如滥砍滥伐、毁林开荒、砍伐草木燃料等致使森林资源被破坏，本可涵养水源、减少径流、调节江河流量、减少蒸发的森林功能也随之减退；三是部分水利设施管理不善，老化失修，水库、渠道渗漏严重，水利工程渠水利用系数普遍不足 0.5，年渗漏达 100 亿m^{3}以上，致使农田供水严重不足，旱涝灾害加重，面积日益扩大。

（三）地下水的脆弱性调查，查明西南岩溶石山地下水水质总体良好，但受脆弱水环境条件的影响，地下水水质污染程度和污染面积在不断增加

通过调查、分析、解剖典型河流的水资源及水环境的状况，深刻揭示了岩溶区水环境的脆弱性。调查分析结果说明了以地表水为主要供水水源地区出现水质性缺水的原因是地表水水质污染,揭示了地下水赖以存在的水环境的恶化可能产生对地下水水质的影响。

项目选择典型地段调查分析从上世纪水文地质普查 20 余年来地下水现状、变化规律、变化成因。从总体上看，地下水水质一般较好，主要为优良水—较好级的合格水，适宜于生活饮用和工、农业用水。但，局部存在着小面积的污染。20 年前地下水污染主要集中在大、中城市局部地段，分布范围小，而且以较度

污染为主。而今，随着城市化和国民经济的发展以及采矿业的蓬勃发展，城市生活污水、工业废水、矿山废渣、废气等致使地下水遭受的污染程度、范围都有了扩大，警示人们地下水环境仍然十分脆弱，应需进一步加强调查、研究，提出相应的对策措施。

项目调查资料显示地下水水质由于自然原因引起的异常是局部的，仅限于 pH 值、铁、锰等超标。而现今出现的地下水质污染除 pH 值、铁、锰外，还有砷、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐以及悬浮物、挥发酚、锌、汞、镉等，而且城镇内地下水还普遍出现大肠菌群超标现象。表明目前岩溶地下水质污染主要为人为因数，包括工业三废的不合理堆排放、酸雨的大幅度增加、生活污水未经处理排放、化肥及农药的大规模使用。





广东韶关大宝山矿矿渣堆积于沟槽洼地，地表水淋滤后直接或间接污染地下水，下游饮用地下水的居民疾病发生率成倍增加。上照片为矿山及排渣沟与污染，左照片为矿渣堆积物及污染水

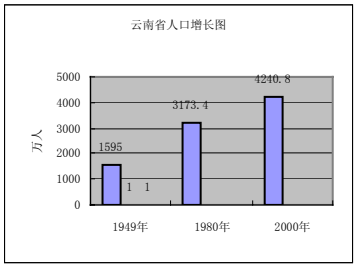


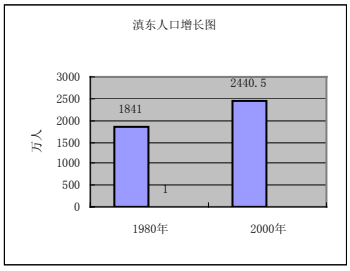
广东英德市西牛镇采矿污染岩溶地下河水质

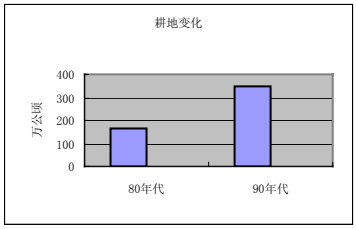


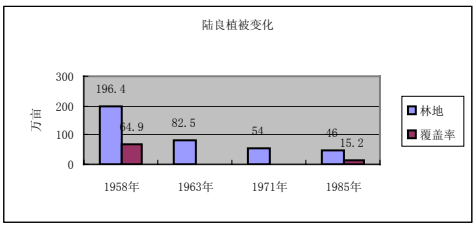
贵州采矿影响地下河水质

（四）不合理的土地利用已造成地下水系统补迳排条件的改变，地下水流量减少









云南资料显示：森林减少的结果便是水土流失、表土层对降雨的调节作用降低，直接导致旱涝同时为患，从南盘江上段控制暴雨与洪水关系结果看，1954 年最大暴雨为 188.5mm时，河水最大流量 261.0m^3/s，而 1985 年最大暴雨 167.7mm时，河水最大流量达 422.0m^3/s

1．通过部分地表河及地下河长观资料的分析，岩溶区水资源（包括地表水及地下水）有随着人类活动及生态环境变化，水资源逐渐减小的趋势。根据广西、云南、湘西、贵州等实测资料显示，从上世纪八十年代至今 20 年来降水量没有明显变化，而地下水资源减少 10%左右。

2．本次调查研究表明，从上世纪 70 年代迄今逾二、三十年，由于人类不合理的经济活动和资源开发，开荒种地和过度放牧，使生态地质环境系统质量变差，植被破坏、水土流失、岩溶塌陷等日益加剧，岩溶地下水的补给、径流、排泄发生了许多变化：一是入渗量减少；二是地下岩溶空间减小；三是矿山抽排水或生产生活用水过度抽取地下水，已造成地下水流量减少。据部分省区统计，约 20-30 的岩溶泉流量出现不同程度的减小。



湘西花垣县团结镇响水洞地下河因上游补给、迳流区内大量露天开采铅锌矿、乱堆矿渣，破坏了森林植被，造成地表石漠化，使其流量减小，动态变幅增大。76 年 10 月实测流量为 218.0 L/s，2000 年 11 月实测流量为 111.91 L/s。



湖南花垣大龙洞地下河，因补给区过度垦殖，枯季流量减小 191 L/s 洪期成倍增加，峰值滞后期提前 1～2 天

（五）岩溶塌陷预测预报研究取得较好成果

岩溶塌陷是西南岩溶石山地区的重大灾害之一。本次专题研究项目（岩溶塌陷预测预报方法综合研究）系统总结了岩溶塌陷的现状、分布、形成原因，采用以岩溶管道裂隙系统中的水（气）压力及第四系孔隙水压力变化的传感仪器监测为主，地质雷达监测为辅的方法进行预测预报，收到了良好的效果，使岩溶塌陷预测预报进入新的阶段。

1.岩溶塌陷的预测预报研究获得良好效果:洞穴塌陷是西南岩溶石山地区的重大灾害之一。本次专题研究项目(岩溶塌陷预测预报方法综合研究)系统总结了岩溶塌陷的现状、分布、形成原因,采用以岩溶管道裂隙系统中的水(气)压力及第四系孔隙水压力变化的传感仪器监测为主,地质雷达监测为辅的方法进行预测预报,收到了良好的效果,使岩溶塌陷预测预报进入新的阶段。

2.塌陷可分为自然塌陷和人为塌陷,人为塌陷随着人类经济建设的加快而增加:据不完全统计,全区共发生岩溶塌陷约2.7万处。从塌陷原因可分为自然塌陷和人为塌陷两类。总体来讲以自然塌陷为主,约占总数的74.16%,人为塌陷占25.84%。但从地域分布来看,主要分布在人类工程活动较为强烈的地段,如广西的桂林市人为的塌陷占55.2%,自然塌陷占44.80%;玉林市人为塌陷占94.20%,自然塌陷5.80%;岩溶塌陷变化,随着人类活动经济建设的加快,岩溶塌陷由70年代占人为塌陷的20.37%,至90年代人为塌陷增至78.52%。



河中突陷两大坑

珙县有关部门已对现场警戒

本报讯 昨日上午9时许,宜宾市珙县巡场镇两中突然裂开两个"大坑",受此影响,河岸周围一些民房亦出现不同程度的墙体裂缝、地下冒水等现象,有关部门迅速对此段警戒并组织住户搬迁。目前未出现人员伤亡。

记者闻讯后立即赶赴现场。据了解,珙县巡场镇地处川南交通要道,一条巡场河穿镇而过。据当地居民杨某介绍,今春以来,巡场河几乎干涸,流水较少。当日上午9时许,在离汽车桥上游不远处的河中,突然发出阵阵泥土垮塌之声,接着河中心突然下陷并现出两个深不见底的"大坑"。下午2时左右,距"大坑"约100多米远的巡场镇新林5社村民杨升其家,出现墙体开裂、地下冒水等现象。为防不测,有关部门已动员杨搬家。据介绍,目前新林5社100多户住户中,已有8户住房出现不同程度的墙体开裂、围墙倾斜等险情。

截至记者发稿,当地有关部门已对现场警戒巡查,并组织危险住户紧急搬迁。省、市有关地矿专家已赶赴现场,正对产生上述情况的原因进行调查。 (吴丽华 记者 田富友)

当地对事发现场实施警戒。摄影 田富友

巡场河中裂开的两个大坑。





华西都市报2001年3月22日报道四川珙县新城河道中因抽水引起岩溶塌陷



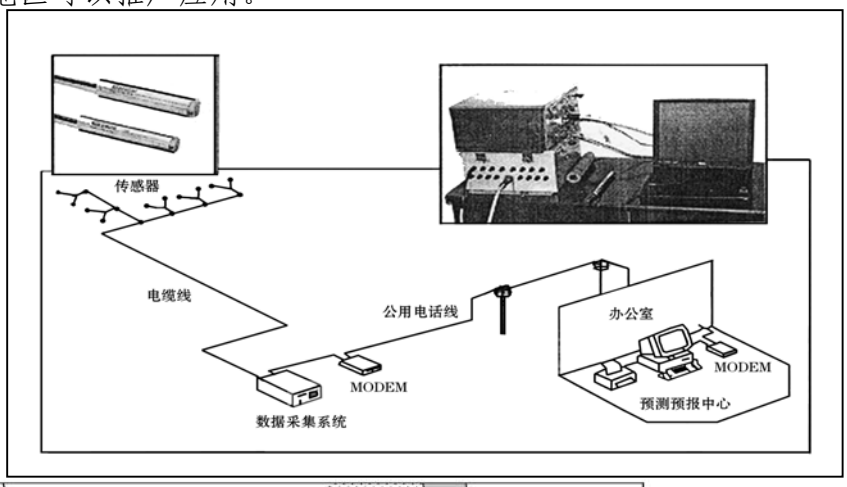
四川盐源岩溶(断陷)盆地中发生的塌陷



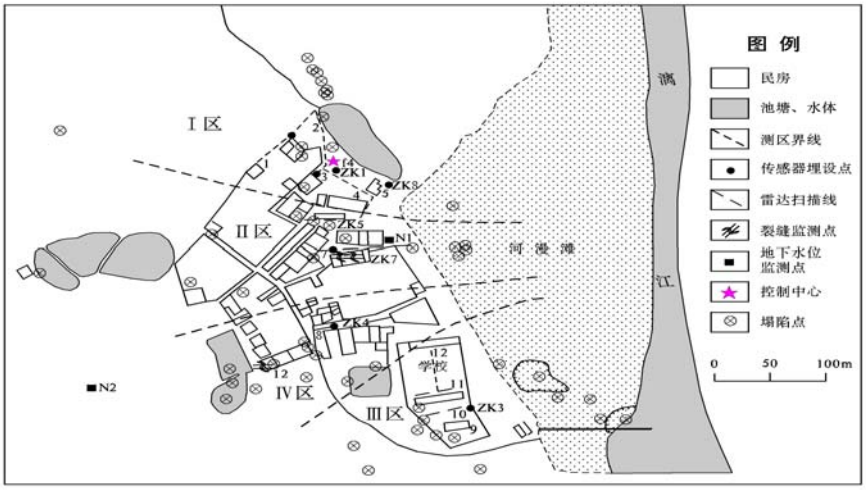
广东连平县陂头镇岩溶塌陷破坏道路

3.岩溶塌陷主要分布地段和形成原因：①主要分布在纯灰岩地区，据广西统计，塌陷1536处、塌坑8735个中，93.88%均分布该岩组地层中，仅有6.12%分布在不纯碳酸盐岩地区；②岩溶塌陷、塌坑多分布在浅层岩溶发育，地下水埋藏浅、水位变幅频繁地段。当水位埋深大于50m时，不利于塌陷的形成，但地下水位埋深小于10m，浅层岩溶发育，地下水连通性好，水位变幅大且频繁等，是塌陷高发地段；③岩溶塌陷主要分布岩溶平原和岩溶谷地。平原和谷地区一般有第四系松散堆积物覆盖，是人类经济活动较强烈的地区；④岩溶塌陷多分布在抽取地下水的地区。主要由于城镇、工厂大量集中供水形成小范围或区域性的降落漏斗，使岩体承载能力降低，在周而复始的地下水升降过程中而产生裂隙，由于有一定厚度的覆盖层掩盖，人们不易发现，以致造成岩溶塌陷。另外，塌陷多沿构造破碎带分布。尤其在褶皱轴部、断裂破碎带两侧等岩溶发育强烈地段，其特点是沿构造方向延伸或呈带状展布。

4.岩溶塌陷预测预报：专题研究在详细分析了国内外岩溶塌陷研究现状和岩溶塌陷预测预报的已有成果后，认为岩溶塌陷的发育与岩溶水压力的变化，尤其是突发性变化有密切关系，提出以岩溶管道裂隙系统中的水（气）压力监测为基础的岩溶塌陷预测预报的基本思路和方法。通过研究，建成了国内第一个数据自动采集的岩溶塌陷灾害监测站，初步建立了岩溶塌陷预测预报的技术体系与方法，条件类似的地区可以推广应用。



监测系统工作流程



岩溶塌陷监测试验区划分

监测试验成果:

通过研究，建成了国内第一个数据自动采集的岩溶塌陷灾害监测站，初步建立了岩溶塌陷预测预报的技术体系与方法，条件类似的地区可以推广应用。

（1）在目前的技术条件下，地下水的活动引发的岩溶地面塌陷是可以进行预测预报的;

（2）岩溶塌陷发育临界条件的确定、监测因素的选择、传感器的安装埋设及数据自动采集系统的应用，是开展塌陷预测预报工作的关键;

（3）采用以岩溶管道裂隙系统中的水（气）压力以及第四系孔隙水压力变化的监测为主、地质雷达监测为辅的方法，是有效的预测预报方法。在监测期间发生12次地面异常，均与异常点附近的岩溶水/气压力突变和第四系底部土层受到较高的渗透力作用有关。

（4）专门制作的渗透变形仪和针孔试验仪，可以有效测定原状土样在地下水渗流作用下发生渗透破坏的临界值——临界渗透坡降，该临界值可以作为导致塌陷发育的岩溶水动力的临界条件。由此，初步确定了工作区临界渗透坡降值为0.79，临界岩溶水压力变化速度为0.06kPa/s。

（5）通过基于地理信息系统技术的岩溶塌陷防治决策支持系统的开发，可以方便、快捷地为决策部门提供塌陷发育的背景资料和数据，为防治方案的制定提供保证。

（六）提出了西南岩溶石山地区地下水开发利用和生态地质环境综合治理对策措施

本次工作，查明了岩溶石山地区生态环境地质问题的形成条件，形成机理，系统收集了多种形式开发利用地下水抗旱的经验，总结了防治石漠化、防污治污、塌陷预测预报等行之有效的方式方法以及总结了在湖南洛塔进行的岩溶小流域综合治理示范的成功经验。报告根据各地区保护和建设好生态环境，提出了改善生态环境原则和总体目标，这些都是首次从地学角度提出的较为系统、完整的对策措施，为各省、市、区根据自身的特点制定恢复治理岩溶区生态环境的行政法规，将起到积极作用。

1.岩溶区石漠化防治对策

防治岩溶区石漠化，改善生态环境，涉及面广，持续时间长，必须从政策上、法律上、技术上、经济上和管理上采取各种有效的政策措施。

岩溶区石漠化防治工作部署建议:

（1）要研究石漠化区“环境岩组”的平面分布，“环境岩组”是指与土的形成发育、地下水的形成和赋存、植被生存条件有着密切联系的岩性组合体。研究不同环境岩组对石漠化形成和防治的“敏感”程度，在其基础上提出“投入少，

见效快”的石漠化防治方向。重度石漠化主要在纯灰岩大片分布地区发育，现阶段治理资金和技术都存在较大困难；中度和轻度石漠化主要在白云岩分布区和碳酸盐岩与非碳酸盐岩互层地区发育，其治理难度相对容易，投入资金较少。建议本阶段要根据这一地质特点明确规定将石漠化防治工作部署在中度和轻度石漠化发育地区，重度石漠化地区宜采取生态移民等措施；

（2）石漠化防治应和地下水勘查相结合。缺水是制约岩溶石漠化区经济和生态发展最主要的因素，“有水一片绿，无水一片荒”，就是石漠化区的真实写照，要推进西南岩溶区石漠化的综合治理，促进经济发展，必须首先解决水的问题，才能提高区域生态效率，加快森林恢复的速度，并使土地生产率大大增强，带动和促进农、林、牧、副、渔业的发展，居民因收入增加而减少开荒、毁林，可遏制石漠化发展。

石漠化区的水文地质条件的研究，包括地下水的类型、埋藏、分布、资源潜力及开发方式、方向。在地下河埋藏深度较大的峰丛洼地区，应加强表层带岩溶水及其开发利用条件的研究，为该类地区提供新的水源。

（3）开展石漠化区农业地质研究，研究不同环境岩组层的地球化学背景，包括水、土、岩表层的地球化学特征、主要及特殊化学元素迁移、分布及其丰度与物种品质的关系。结合地质条件及地球化学背景，研究植物、名特优产品对地质环境的适宜性。

（4）选择一批有代表性的典型岩溶流域开展以开发地下水为龙头，以石漠化治理为主的生态地质环境改善示范工作，尽快总结出地质环境综合整治的经验和石漠化防治对策措施，为石漠化的整治提供技术支撑。

2.水质污染的防治对策

（1）加强水资源保护部门的管理职能，加大管理力度，及时对区内主要河流各河段水质进行定期检测，发现问题及时处理。



贵州普定种植椿树治理石漠化



云南利用坡柳遏止石漠化

（2）狠抓流域污染的整治，对沿江所有工业要求实施达标排放，严令禁止工矿企业排放不达标的工业“三废”。对一些治理无望的小型企业要采取关、停、并、转的措施，确保河流污染整治目标的实现；其次工业生产要广泛采用清洁生产工艺，可防止工业“三废”未经处理就直接排入河流。

（3）加强城市污染的整治。除对区内各城市的废水、废气实现限期治理、全部实现达标排放外，控制在城市敏感区兴建污染型工业，防止国内外污染向区内城市转移，对城市污染严重的企业，要限期搬离城区。

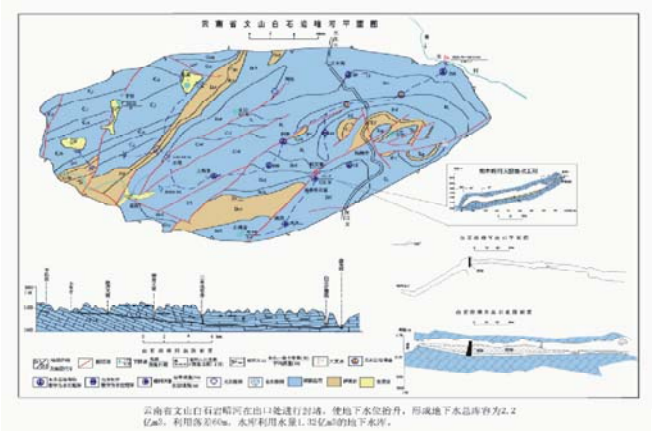
（4）大力推广生态农业种植技术，采用生物技术和基因技术，发展农业生产，减少农药化肥对地表水、地下水的污染。

3.干旱治理对策：干旱问题长期困扰岩溶地区经济的发展，其治理对策可根据山区和平原区的不同特点分区进行。

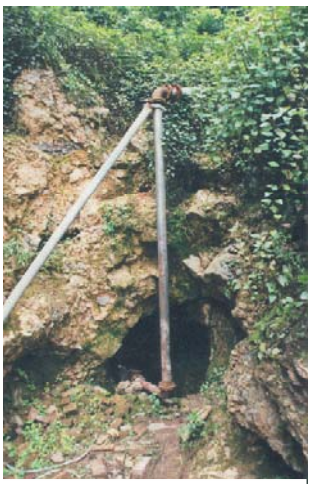
（1）岩溶谷地、平原区，人口相对集中，人畜饮水需求量大，大面积旱片主要分布在该区，可通过以下途径改善旱情：

①围堵穿越谷地的地下河、地表河，抬高地下水位，充分利用季节变动带地下岩溶空间的调蓄能力，增大可有效开发利用资源量，并改善地下水资源开发利用条件，便于提取。

②对于近江河地区加强电溉工程的规划建设和管理，充分利用地表水；对于远离江河的地区，应在详细水文地质工作的基础上通过凿井、斜井取水、暗河提水等多种工程形式开采地下水。



云南在白石岩地下河出口建坝堵水，形成总库容 2.2 亿m^3可有效利用 1.3 亿m^3的地下水库，补给径流区可天窗取水



云南文山地下河天窗取水



广西河池市利用地下河天窗开采地下水，日取水 1.5-2.05 万m^3，规划栏堵上游泉群解决城市中期供水

贵州普定马关蓄表层带岩溶泉





③围、堵、引、蓄谷地周边天然露头的泉水、地下河出口等，直接利用地下水资源。

④利用岩溶区外围非岩溶区山地修塘筑库，把水引入岩溶区，解决岩溶区的干旱问题。

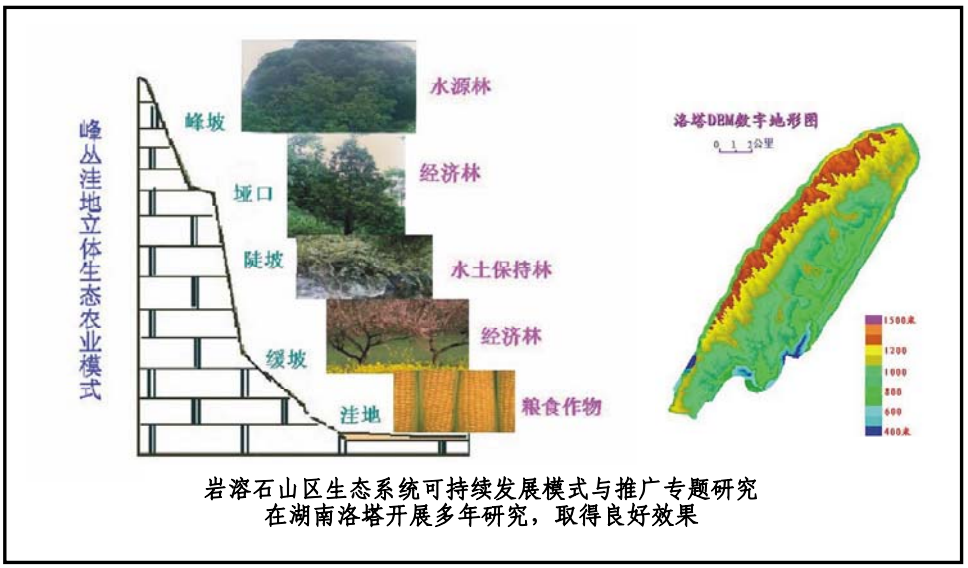
⑤调整农业结构，在水资源缺乏地区，改种需水量较少的经济作物。

（2）岩溶山区耕地稀少，人口分散，地表河不发育，地下水开采困难，人畜饮水极端困难，宜采用如下对策:

①退耕还林、封山育林。良好的植被及生态将极大地加强岩溶石山地区表层岩土的持水性，调节当地的小气候环境、增加降雨量和表层岩溶带的调蓄水量。

②充分利用岩溶山区表层带岩溶泉，结合地头水柜、小型引水工程等，丰水期将泉水贮存起来，调节旱季使用。

③开展表层岩溶带岩溶地下水赋水规律的调查研究，进行表层岩溶带低成本凿井技术的研究和试验，实施表层岩溶带岩溶地下水的开发利用示范。



岩溶石山区生态系统可持续发展模式与推广专题研究
在湖南洛塔开展多年研究，取得良好效果