

张卫锋, 张杰, 丁中开, 等. 云南城镇化建设中地质环境保护与利用对策研究[J]. 中国岩溶, 2024, 43(6): 1408-1421.

DOI: 10.11932/karst20240617

云南城镇化建设中地质环境保护与利用对策研究

张卫锋^{1,2,3}, 张杰^{1,2,3,4}, 丁中开^{1,3}, 康晓波^{1,2,3}, 张汝祥^{1,2,3}

(1. 自然资源部高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室, 云南昆明 650216; 2. 云南省高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室(筹), 云南昆明 650216; 3. 云南省地质环境监测院, 云南昆明 650216; 4. 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093)

摘要: 云南省大地构造处于欧亚、印度洋、太平洋三大板块的汇聚地带。区内多次强烈的构造运动和频繁的岩浆活动形成了高原湖泊、三江峡谷、喀斯特地貌、高温热泉及火山遗迹等地貌景观, 地质环境条件总体复杂且脆弱。改革开放40多年来, 云南省经济快速增长, 城镇化发展迅速。然而, 也面临着地下水位下降、泉水干涸、雪线上升、地质灾害频发、石漠化等地质环境问题的困扰。如何在城镇化发展中避免或减轻地质环境问题的发生, 保护地质环境就显得极为重要。通过综合分析, 以六大水系流域为一级防护单元、高原湖泊流域为二级防护单元、重点地质遗迹为三级防护单元, 分级分区划分保护区, 明确保护目标与级别。研究城镇化与地质环境协调发展模式, 重点关注环境脆弱敏感区域保护, 开展城镇区地质环境综合动态监测, 加强地质环境立体综合防治治理与非工程措施防护。实现城镇化与地质环境间的可持续发展, 为解决城镇化发展进程中的地质环境问题提供对策。

关键词: 城镇化; 地质环境; 动态监测; 对策研究; 保护与利用; 云南

创新点: 以六大水系流域为一级防护单元、高原湖泊流域为二级防护单元、重点地质遗迹为三级防护单元, 划分为开发、保护、利用区。结合开展国土空间规划, 为解决城镇化发展进程中地质环境问题提供对策。

中图分类号: X141 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2024)06-1408-14

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

云南省属于一个高原山地省份, 山地占国土面积的94%, 盆地河谷仅占6%; 作为山地大省和耕地紧缺的省份, 云南省面临着巨大的城镇建设用地需求。坝区优质耕地被城镇大幅度占用, 将严重威胁到云南的粮食安全、可持续发展。随着全省城镇化进程进入快速发展阶段, 土地资源短缺的问题日益

突出。为此, 云南需要在加快城镇化进程的同时, 积极保护耕地。具体措施包括推动城镇向山坡、丘陵地区发展, 充分利用荒山荒坡进行建设, 尽量少占或不占优质良田。根据国土空间规划布局, 云南依法依规保护好优质耕地资源, 特别是坝区和耕地, 通过推动山地城镇建设, 不仅为云南特色城镇发展提供空间, 还为可持续发展提供土地资源保障。

云南省致力于建设绿色经济强省、民族文化强

资助项目: 云南省重点研发计划项目“乌蒙山区重大地质灾害易灾机理和风险控制研究(202403AA080001)”; 云南省地质灾害综合防治体系建设专项计划(云财资环[2020]68号); 云南省地质灾害风险预警系统建设项目(云发改数字[2023]1139号)

第一作者简介: 张卫锋(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事工程地质、地质灾害调查与研究工作。E-mail: zhangwf2006@163.com。

通信作者: 张杰(1982—), 男, 在读博士研究生, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查与评价工作。E-mail: ynsghszj@163.com。

收稿日期: 2023-12-01

省,并作为我国面向东南亚开放重要辐射中心,这一重大决策使得城镇化建设成为全省社会经济发展的客观要求和必然趋势。云南省正在逐步完善“科学发展、和谐发展、跨越发展”的新思路、新措施、新办法。在积极推进城镇化的同时,亟需解决如何保护地质环境并走“山水城镇,田园城镇,城镇上山”的可持续发展道路,并为此提供有效技术支撑^[1-2]。

1 云南城镇化发展状况

1.1 城镇化发展特点

云南省已形成1个特大城市(昆明)、1个大城市(曲靖)、3个中等城市(玉溪市、大理市、个旧市)、12个小城市和453个建制镇城镇发展格局。全省城镇化水平由“十三五”初的43.3%提高到2022年底的51.72%;城镇人口由2148.2万人提高到2427万人,增加了278.8万人;城市建成区面积由1060.14 km²扩大到1252.31 km²,增加了192.17 km²。城镇化发展有力地推动了云南省经济的全面发展。

受经济发展和地质环境条件的双重因素影响,云南省中东部和西部之间城镇化发展差异较为明显。据住房和城乡建设部统计,云南省16个州(市)中,城镇化率以昆明最高,达到81.10%,处于加速发展阶段的后期;曲靖、玉溪、怒江、红河、丽江、西双版纳、德宏、楚雄城镇化率在46.83%~55.83%,处于加速发展阶段的前期;其余城市城镇化率在33.02%~44.25%,处于发展阶段的初期(图1)。

1.2 “十四五”发展空间战略布局

以城市群为主体形态,充分发挥城市群在全省发展中集聚人口、集聚经济的核心作用,以滇中城市群为重点,带动周边多个城市群和城镇带,形成云南新型城镇化发展的主体形态。推进昆(明)玉(溪)同城化,麒(麟)沾(益)马(龙)宣(威)、个(旧)开(远)蒙(自)城镇组团建设,将滇中城市群打造成全省高质量发展的核心。以蒙自、文山为重点,打造面向北部湾、珠三角和粤港澳大湾区的滇南城市群。以大理白族自治州、保山市为重点,围绕建设国际著名休闲旅游目的地,打造滇西城市群。加快推进昭阳、鲁甸一体化发展进程,连接成渝地区双城经济圈的滇东北城市群。以8个沿边州、市人民政府所在地以及25个边境县城为重点,加快推动边境城镇带建设,促

进边境城市和城镇协调发展。按照“滇中崛起、沿边开放、滇东北开发、滇西一体化”的空间布局思路,加快推进新型城镇化发展,推动形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局^[3]。

1.3 产业结构格局与特征

云南省经济总量持续扩大,发展韧性明显增强。地区生产总值(GDP)由2012年的24位上升至2021年的第18位,连续迈上两个万亿元台阶,即2012年全省生产总值超过1万亿元,达到11097.39亿元;2018年突破2万亿元,达到20880.63亿元;2021年实现生产总值27146.76亿元,比2012年增加了16049.37亿元;占全国生产总值由2012年的2.1%提高到2021年的2.4%。

云南省注重三次产业的协调发展,经济总量不断扩大,调整经济结构,转变经济发展方式,使三次产业结构方向更加合理。农业基础地位更加巩固,工业结构不断优化升级,服务业占据过半。滇中地区以资本和技术密集型产业布局为主。加快传统产业优化升级,大力培育战略型新兴产业,将滇中地区建成我国西南地区重要产业基地和区域性金融中心,全国重要的烟草、旅游、文化、能源和商贸物流基地,以化工、冶金、生物为重点的区域性资源精深加工基地,先进装备制造、战略性新兴产业、现代服务业重点发展区域,促进形成滇中综合产业区^[4-6](图2)。

2 主要地质环境背景

2.1 悬殊巨大的地貌与切割深度

云南省地处青藏高原东部、云贵高原西部,以山地、高原、峡谷、河流、盆地等地形地貌为主。全省最高点位于德钦县的梅里雪山卡瓦格博主峰,海拔6740m;最低点为河口县境内南溪河与元江(红河)汇合处,海拔仅76.4m。全省海拔高差达6663.6m。

元江河谷、云岭山脉一线以东为滇中、滇东高原盆地,属云贵高原的一部分。区内高原面保存比较完整,除边缘地带外,大部分地区山势低缓,河谷开阔,盆地众多,平均海拔2000m左右,相对高差在500~1000m之间,以中山—高原—湖盆地貌景观为主;边缘地带受金沙江、南盘江及元江河流深切,高原面遭到破坏,部分山地海拔大于4000m,相对高差达2000m,形成深切中山—高山—山原地貌景观。

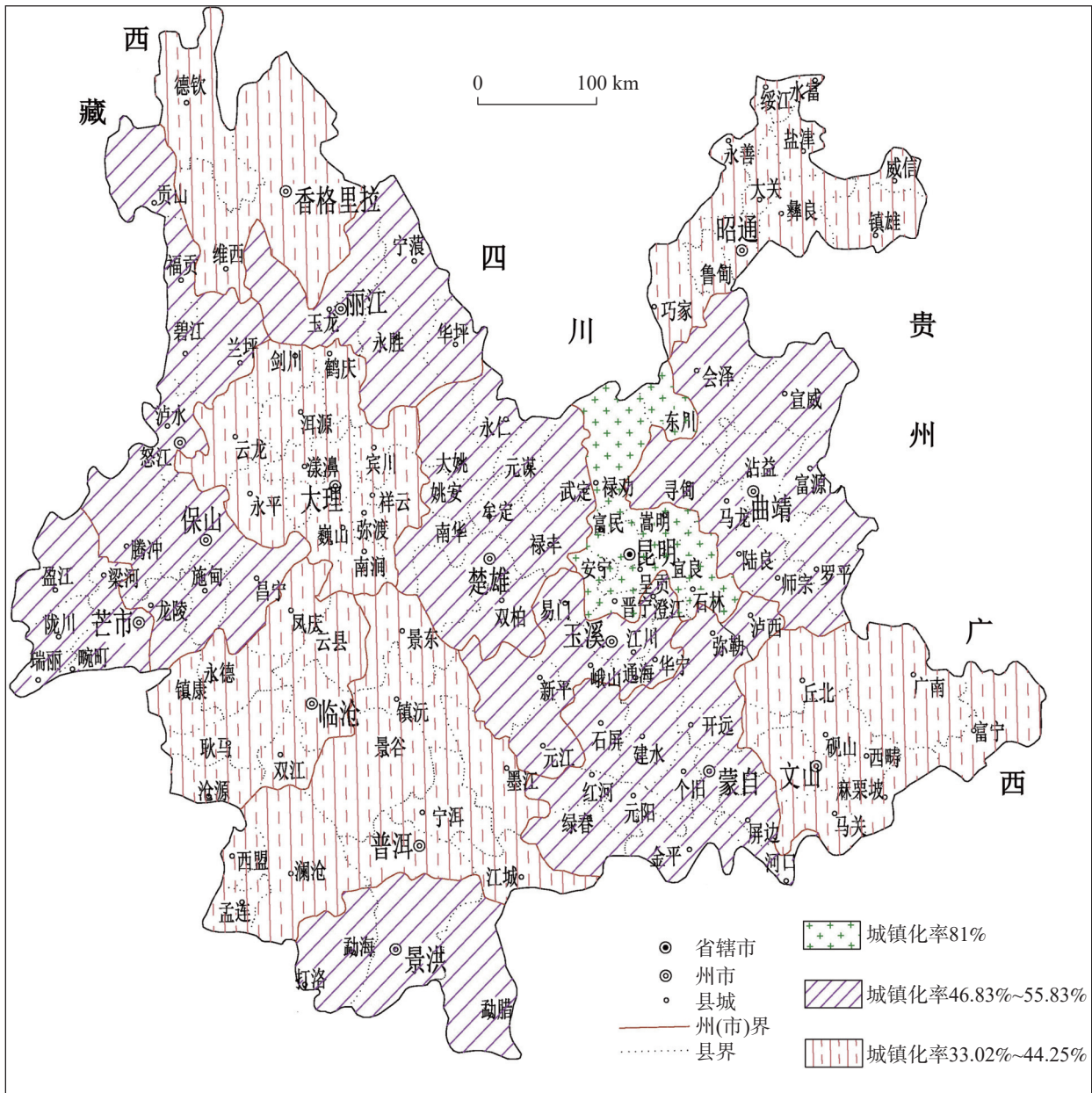


图 1 云南省各州(市)城镇化率分布图

Fig. 1 Urbanization levels of autonomous prefectures/cities in Yunnan Province

高原的东部、东南部,因有大面积石灰岩分布,峰丛、峰林、孤峰平原、溶蚀洼地、漏斗、落水洞、溶洞、伏流、地下暗河等溶蚀地貌景观较多。

元江河谷、云岭山脉一线以西为滇西山峡谷区,属青藏高原、横断山纵谷区的一部分。下关—永平一线以北是青藏高原南延部分,平均海拔 3 500 m 左右,地壳上升幅度大,山地相对高差 3 000~4 000 m,省内最高的山脉、山峰均分布在这一区域;高黎贡山、怒山(碧罗雪山)云岭等大山系和怒江、澜沧江、金沙江等大河相间排列,形成著名的三江并流区,构成深切高山(极高山)—中山—湖盆地貌景观。下关—

永平以南山势逐渐降低,除部分山顶外,大部分山地海拔 1 500~2 000 m,大盈江、高黎贡山、怒江、大雪山、澜沧江、无量山、李仙江、哀牢山、元江呈扫帚状撒开,宽谷盆地发育,形成中山—低山—宽谷—盆地地貌景观^[7-8]。

2.2 新构造运动与活动断裂

云南新生代以来,构造运动十分强烈,表现形式多样。除构造形变外,尚有地壳的不均衡抬升、岩浆活动、冰川作用和地震活动等^[9]。

活动性断裂是新构造运动最重要、最鲜明的表

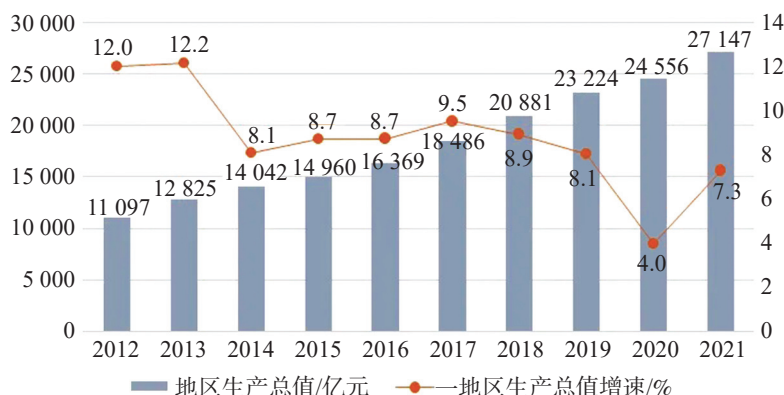


图 2 云南省 2012-2021 年地区生产总值及增速(引自“云南省统计局发布的十八大以来云南产业结构发展报告”)

Fig. 2 GDP and its growth rate of Yunnan Province from 2012 to 2021 (Quoted from "Report on the Development of Yunnan's Industrial Structure Since the 18th National Congress Released by Yunnan Provincial Bureau of Statistics")

现形式。全省主要有小江断裂、程海—宾川断裂、元谋—绿汁江断裂、普渡河断裂、曲江断裂、石屏—蒙自断裂、格咱河断裂、澜沧江断裂、怒江断裂、南定河断裂、黑河断裂、维西—乔后断裂、红河断裂、无量山—营盘山断裂、大盈江断裂、龙陵—瑞丽断裂、镇定断裂等 17 余条,一般控制了区内第三系和第四系沉积盆地的形成和发展;广泛发育的高原湖泊和山间盆地,受这些活动性断裂的控制^[10]。云南近代的地壳形变主要表现在活动性深大断裂带及其附近地区,为明显的差异运动。沿断裂的水平错移量一般是垂直形变的 10 倍。

2.3 岩土体类型与工程地质分区

根据岩石建造类型,将岩体分为碎屑岩、碳酸盐岩、岩浆岩、变质岩 4 大工程地质岩类及 9 个岩性组;土体则根据物质组成和工程性质特征,划分为黏性土与非黏性土 2 个组。岩体主要出露于盆地外围山区、河谷岸坡区、高原面宽缓区等,岩层压缩性小,承载力高,但斜坡区受风化作用和节理裂隙切割的影响,易失稳形成滑坡、崩塌等。土体主要分布于第三纪—第四纪盆地中。各种成因的第四系土体是城市建设区的主要地基土,土层压缩性较高,工程地质特性差异较大。

以程海断裂、红河断裂、弥勒—师宗断裂将全省划分为 3 个一级区。即滇西山较不稳定区(I)、滇东高原较不稳定区(II)、滇东南丘陵—高原稳定区(III)。滇西山较不稳定区进一步划分为滇西北变质岩、碎屑岩为主高山峡谷亚区(I₁),大理—保山碳酸盐岩、碎屑岩为主中山盆地亚区(I₂),腾冲—瑞丽岩浆岩、变质岩为主中山宽谷亚区(I₃),滇西

南岩浆岩、碎屑岩中山盆地亚区(I₄),哀牢山变质岩亚区(I₅);滇东高原较不稳定区划分为滇中红色碎屑岩夹盐岩、煤层高原亚区(II₁),昆明—曲靖碳酸盐岩高原亚区(II₂),东川—宜良构造破碎岩高中山不稳定区(II₃),滇东北碳酸盐岩含煤层中山亚区(II₄)。

2.4 地震频发且活跃

云南处于印度板块与欧亚板块中国大陆碰撞带东缘,地壳运动和新构造运动剧烈。断裂发育且活动性强,具有地震频度高、震级大、破坏强大等特点,属于中国大陆多震地区。据统计,自 1900 年以来,云南省共发生 5.0 级以上地震就有近 400 次,其中,6.0~6.9 级地震占总数的 26.8%,绝大多数>6 级的地震均沿规模较大的活断层带分布。全省 129 个县(市、区)几乎都遭受过烈度Ⅵ度以上地震破坏,其中有 110 多个县曾发生过 5 级以上地震,有 30 多个县发生过 6 级以上地震,10 余个县发生过 7 级以上大地震。

3 城镇化进程中的地质环境问题

3.1 地质灾害

地质灾害是云南省主要的地质环境问题。据统计云南省 16 个州(市)均有地质灾害隐患点,在册地质灾害隐患点共 23 529 个。其中,滑坡 17 505 处,崩塌 2 310 处、泥石流 3 193 处、地面塌陷 393 处、不稳定斜坡 22 处、地裂缝 84 处、地面沉降 22 处^[11-15]。近年来,云南高山峡谷区部分大型—特大型地质灾害见表 1。

表 1 云南高山峡谷区部分大型-特大型地质灾害情况表

Table 1 List of geological hazards at a large scale and at an extraordinary large scale in the alpine gorge areas of Yunnan

发生位置	时间 年/月/日	灾害类型	灾害等级	危害与损失
昆明禄劝普福滑坡	1965/11/22—11/24	滑坡	特大型	发生2次滑坡,滑体方量达4.5亿m ³ ,滑坡掩埋了老深多、白占斗、电塘、阿角米、坝塘等5个村庄,444人遇难,223户1 004人被迫搬迁
昭通头寨滑坡	1991/9/23	滑坡	特大型	滑坡方量达1 800万m ³ ,造成216人死亡,并掩埋了村寨、农田、公路
德钦县城	2002/8	滑坡、泥石流	特大型	老街两侧和县政府背后斜坡地带的地表到处开裂变形,县医院锅炉房、洗澡间后墙被夷为平地,部分农户房屋被埋,出入城的交通线全部中断,多家单位无法正常上班;此次灾害损失严重,并引起居民恐慌和不安
盐津县庙坝乡民政存匹匠沟	2002/8/12	滑坡	特大型	7户人家受灾,13间房屋被毁,掩埋33人,救出4人(2人重伤)
小湾电站大沙坝沟	2002/8/17	泥石流	大型	造成5人死亡、2人失踪,18人受伤,冲毁工棚69间,施工设备一批
镇雄县五德镇大水沟村	2003/4/10	滑坡	大型	造成8人死亡,3辆拖拉机被埋,昭通至镇雄的主干公路损害100余米,直接经济损失近70万元
兰坪县河西乡三界布骡子沟	2003/5/13	滑坡	大型	由不合理采石诱发,造成3人死亡,采矿设备被毁
怒江州福贡县6乡1镇、58个行政村	2004/4/12—4/20	崩塌、滑坡、泥石流	特大型	长时间的降雨导致崩塌、滑坡、泥石流链式灾害大量发生,成灾的地质灾害点240多处,因地质灾害造成死亡2人、失踪4人、受伤7人,直接经济损失8 146.38万元
怒江州贡山、泸水、福贡、兰坪4县	2004/7/18—7/24	滑坡、泥石流	特大型	受暴雨天气影响,发生多起滑坡、泥石流灾害,造成农田、水利、交通、电力、民房等严重受损,因灾死亡9人,失踪7人,直接经济损失6 000万元
贡山县、德钦、维西县	2005/2/12—2/17	滑坡、泥石流	特大型	连续降雨、降雪,导致3县发生群发式崩塌、滑坡、泥石流灾害,造成交通多处中断,直接经济损失达2 033.64万元
怒江州贡山、福贡、兰坪3县	2005/3/1—3/3	崩塌、滑坡、泥石流	特大型	发生崩塌、滑坡、泥石流100余处,灾害导致18人死亡、1人失踪、1人重伤,直接经济损失约1.7亿元
大关县黄葛乡塘房村大桥社	2005/5/4	山洪、滑坡、泥石流	大型	因预报及时,危险区内38户全部撤到安全地带;泥石流堆积物20 000多方,冲击房屋24间,直接经济损失108.9万元,灾害未造成人员伤亡
贡山茨开镇嘎拉博村委会	2006/8/16	泥石流	大型	泥石流造成5人死亡、6人受伤,掩埋农田,公路和供水、供电、通讯线路全部中断,直接经济损失1 000余万元
盐津县	2006/8/25	滑坡、泥石流	大型	因地震诱发的次生地质灾害导致2人死亡
昭通市镇雄县泼机镇大院子村	2007/5/19	崩塌	大型	紧急疏散群众947人,崩塌持续4小时,导致房屋、农田被毁,直接经济损失1 755万元
怒江州泸水县六库镇石缸河、三岔河	2007/8/7	滑坡、泥石流	大型	暴雨诱发泥石流,造成8人死亡、7人受伤,直接经济损失30余万元
丽江市永胜县鲁地拉水电站	2008/6/9	泥石流	大型	暴雨激发电站枢纽区左岸鲁地拉村2号沟发生泥石流,造成9人死亡、1人受伤,直接经济损失200万元
兰坪县营盘镇鸿尤村南香炉小组	2008/7/24	泥石流	大型	受连续降雨影响爆发泥石流灾害,造成7人失踪
贡山县茨开镇牛郎当村嘎娃落河	2008/7/29	泥石流	大型	暴雨引发泥石流,造成2人受轻伤,瓦一贡公路上一座跨度约30 m的石拱桥被冲毁,直接经济损失约221万元
贡山东月各河泥石流	2010/8/18	泥石流	特大型	37人死亡、53人失踪、9人重伤、30人轻伤,转移安置灾民3 282人,直接经济损失1.4亿元
镇雄赵家沟大型滑坡	2013/1/11	滑坡	特大型	赵家沟村民小组60多间房屋被毁,46人遇难

续表 1

发生位置	时间 年/月/日	灾害类型	灾害等级	危害与损失
元谋县黄瓜园特大型泥石流	2016/9/17	泥石流	特大型	1人死亡, 1 336人受灾, 7人受伤, 直接经济损失41 411万元
麻栗坡“9.02”特大山洪泥石流灾害	2018/9/2	山洪—泥石流	特大型	造成5人死亡、15人失踪、7人受伤, 2 000多人受灾, 受损民房100多间, 沿街商铺物品受损, 300多辆车被山洪冲走
贡山“5.25”特大山洪泥石流	2020/5/25	山洪—泥石流	特大型	贡山县受灾人口9 269人, 紧急转移安置3 246人造成3人死亡、5人失踪、2人受伤, 直接经济损失9.16亿元
洱源县“9.13”大型山洪泥石流	2021/9/13	山洪—泥石流	特大型	造成4人死亡、2人受伤及经济损失达10.22亿元
贡山县独龙江乡“4.02”滑坡	2022/4/2	滑坡	大型	造成4人失联、2人死亡、1人受伤, 紧急转移安置68人; 造成2个汽车修理点、1个废铁回收点被掩埋, 公路养护站、水文站部分办公楼受损, 灾害区域农作物受灾, 直接经济损失约4 865.5万元
绿春县“9.16”泥石流	2022/9/16	泥石流	大型	造成大黑山镇境内在建勐绿高速公路一施工驻地受灾; 灾害造成3人遇难、5人失联、8人受伤
昭通镇雄“1.22”滑坡	2024/1/22	滑坡	特大型	造成44人遇难, 经济损失约1.45亿元

3.2 土地石漠化

云南省 129 个县(市、区)中, 119 个有岩溶分布, 岩溶面积占国土面积 30% 以上的县(市、区)共有 65 个。这 65 个县(市、区)岩溶石山分布广泛, 石漠化面积达 34 772.76 km², 占到全省国土面积的 8.8%。全省石漠化面积最多的是文山州, 有 10 017.3 km², 占区内岩溶面积的 39.65%; 其次为红河州, 有 5 929.91 km², 占区内岩溶面积的 48.24%; 第三为丽江市和曲靖市, 分别为 2 090.6 km² 与 6 387.07 km², 占区内岩溶面积的 36.45%~35.57% 之间。由于石漠化区特殊的地质环境, 地下裂隙、溶蚀管道及地下河网发育, 地表水径流途径短, 易渗(灌)入地下转化为地下水, 使地表集水工程蓄水困难, 造成区内干旱缺水, 人畜饮水和生产用水困难。另一方面, 由于缺乏土壤和植被, 雨季时坡面水流迅速向低洼处汇集, 加之地下水沿落水洞、暗河天窗回流充水, 易形成洪涝灾害。石漠化区水土流失较为严重, 造成土地退化, 优质耕地面积逐年减少, 导致农民进一步开垦可耕地, 陷入开垦—破坏—再开垦—再破坏的恶性循环。使当地群众贫困程度不断加剧^[16-18]。

3.3 地下水枯竭

随着城镇化步伐加快, 生产生活用水量不断增大, 部分以开采地下水作为水源的地区, 因长期超采而形成地下水降落漏斗, 引发地面沉降、地面塌陷等问题。岩溶型塌陷发生在碳酸盐岩分布区, 以昆明

市区和贵昆铁路西段最为严重^[19-23]。昆明市岩溶塌陷面积达 5.51 km², 主要集中在翠湖、马街、金马寺 3 个片区, 以翠湖片区最为严重。自 1976 年起, 翠湖片区相继出现地面开裂、地面塌陷及建筑物变形等灾害, 直接影响范围达 10 km²; 塌陷点主要分布在翠湖区、圆通山、连云巷地带, 地面开裂遍布整个翠湖公园及环湖路; 建筑物变形除公园内建筑物外, 湖区周围的农展馆、原省外办、糖果厂等地较为强烈。1978 年云南省水电院物探队对翠湖湖底进行了探测, 发现大小隐伏溶洞 200 余个, 其中洞径大于 1 m 的达 48 个; 圆通山有塌陷点 8 个, 分布较为集中, 呈圆形、椭圆形、漏斗状等, 直径 1~4.8 m; 连云巷招待所内塌陷呈井筒状, 陷落深度 2~4 m, 大门西侧一处塌陷范围达 16 km², 长春路如意巷 55 号大院内的塌陷面积约 6 m², 深 4 m。

云南水文地质复杂, 含水层受地形切割与断层控制, 排泄区多以泉点(群)为中心的富水块段。由于独特地貌景观, 泉点区不仅提供优质水源, 还可成为旅游区或休闲娱乐区。近年来, 由于矿山开采、隧道开挖等工程建设, 以及大量抽排地下水, 破坏或改变了地下水循环路径, 导致泉水断流干枯或流量大幅减少。如早期的昆明翠湖公园九龙池泉水断流、安宁曹溪寺珍珠泉断流, 以及丽江黑龙潭泉群断流等, 均在当地产生了严重影响^[24-26]。

3.4 特殊类土地地形变

全省大部分盆地中, 近地表分布的特殊岩土体

类型主要有:全新统饱水粉土、粉砂,第四系淤泥类土,第三系膨胀岩土,第三系和第四系泥炭类土,不同成因的红黏土、人工填土,以及中生界和新生界红层中的含盐地层等。

初期,由于对特殊岩土重视不够,城市建设中常导致建筑物拉裂变形、地面开裂及地基不均匀沉降等灾害。这些问题主要以昆明、曲靖、楚雄、施甸等城市较为严重。如昆明东部阿拉乡铁路机械专科学校一带因膨胀土地层导致楼房与民房开裂;滇池北岸海埂一带受淤泥类土和人工填土的影响,曾造成煤炭疗养院、兵器疗养院等多家疗养院房屋墙体开裂变形。

4 城镇化发展与地质环境保护

4.1 城镇化发展的制约性特征

云南省是一个多山的省份,盆地、河谷、山地、高原相间分布,地貌之间差异很大,类型多样复杂;其次,区内地质构造复杂且运动强烈,深大断裂、活动断裂发育。另外,区内气候类型多样,岩层风化程度、厚度、特征差异较大。由多因素的影响,塑造了云南独特的名山大川与地质景观。受地质环境条件限制,城镇发展依据地势山形呈现点状、块状、条带状展布,形成规模差异较大的城市群落。

制约城市(城镇)发展的诸多因素中,地形地貌条件对城市建设发展起着极其重大的抑制作用。一方面生产粮食需要土地,另一方面城镇发展也需要土地,这对山地多、平地少的云南来说,矛盾尤为突出。早期为保护人们赖以生存的农田、耕地,城镇建设普遍选择盆地边缘山麓地带、河谷区山口地带、山地区山脊缓坡、斜坡区平台等地带,早期人口少,生产力低下,人类活动对地质环境影响有限,地质环境问题不突出。近三十多年来,随着人口增加,城镇规模不断向周边扩大,工程建设加载、扰动岩土体和消耗自然资源的人为活动剧增,局地环境负荷超过环境容量极限,造成地质环境条件改变引发地质环境问题。

4.2 城镇化与地质环境可持续发展

云南社会经济发展在全国仍属欠发达地区。随着国家各项富民政策、乡村振兴等措施的落实与基础设施建设的持续加快,全省城镇化发展必将进入

新的转型加速提升期。因此,转变资源开发利用方式和地质环境管理方式是解决城镇化过程中地质环境问题的必然选择。地质环境作为人们赖以生活的基础条件,它和人们的生活密切相关,关系到社会、经济和谐持续发展。因此,调整地质环境保护工作思路,改变工作方向,根据不同地区地质环境的重要性、特殊性和稀缺性,划分地质环境防护区,并设置明确的防护目标。通过实施地质环境分区、分级保护,达到保护全省地质环境的目的。其次,开展相关重点、热点、难点等地质环境问题的研究,科学地揭示人类活动对地质环境影响的方式和路径,对有效保护地质环境具有十分重要的意义。

4.3 未来城镇化发展对地质环境的影响分析

按照城镇空间布局思路,加快推进新型城镇化发展,推动形成主体功能明显、优势互补、高质量发展的国土空间开发保护新格局。到2025年全省城镇化水平将达到60%左右;县城建设将是云南省城镇化发展中的基础,持续推进美丽县城建设,补齐县城发展的短板和弱项,促进县城城镇化建设步伐,适应农民日益增加的到县城就业安家需求。加快推进经济发达镇行政管理体制改革创新,强化经济发达镇产业培育,完善市政公用设施和公共服务设施,促进人口和产业集聚,形成广大农村地区城镇化的重要空间载体。

另外,云南省“十四五”发展规划基础设施工程建设对地质环境扰动强烈。公路、铁路属线性工程,路线穿越不同地形地貌区,边坡开挖、隧道掘进工程较多,容易引发边坡失稳;隧道施工中排水容易引发地面塌陷或因含水层疏干引起地面变形、泉水断流等问题。大部分产业建设与土地开发利用项目处于现有城市附近或其上游区,场地平整或建设对地形改变较大,容易引发填土区滑坡、地下水污染等地质环境问题。

4.4 地质环境防护区划分原则及依据

以自然水系区、流域区或地质环境条件关联区为基本单元,把城镇化中的地质环境问题纳入到更大一级的区域进行研究,形成对地质环境问题系统性和完整性的认识。

按照防护区划原则,对全省地质环境实施分区分级保护,科学评判与协调城镇化发展与地质环境的相互关系,将地质环境问题限制在可控范围之内,

实现社会经济可持续发展。

根据地质环境特点、主要地质环境问题、城镇化发展布局与重点发展规划,进一步划分为若干防护亚区,设置地质环境防护目标与保护对象,确定环境容量,并使亚区防护目标与单元或全省地质环境防护目标相一致。

4.5 地质环境防护分区

云南省城镇化水平较低,但受地质环境条件的影响,地质环境问题十分突出。随着全省城镇化步伐的不断加快,地质环境条件制约城镇化发展的问题将会日益显现。为进一步促进城镇化与地质环境

协调发展,将防护区划分为一级、二级、三级 3 个级别。

4.5.1 一级防护区

以金沙江水系、珠江水系、红河(元江)水系、澜沧江水系、怒江水系、伊洛瓦底江水系等六大水系区为一级防护区。水系范围包含的县(市、区)为防护亚区。根据地质环境特点、已有或可能产生的地质环境问题、自然资源状况、城镇化发展布局与重要发展规划,再划分为开发利用区、利用保护区、保护利用区三个亚类或 3 个级别,并设置相应级别的地质环境防护目标(表 2,图 3)。

表 2 一级防护区划类型与防护目标

Table 2 Zoning types for Grade 1 protection area and protection targets

防护单元	防护亚区与防护级别	地质环境防护目标	备注
六大水系	开发利用区	地质环境开发利用为主,兼顾局部地质环境的保护;防护目标为允许存在一定程度或一定范围的地质环境问题,但不应対区域地质环境造成实质性影响	防护单元起到统领全省的作用
	利用保护区	地质环境的利用与保护同时兼顾;防护目标是将地质环境问题限制在可控范围之内	
	保护利用区	地质环境保护为主,兼顾局部的开发利用。防护目标为不加刷或不诱发地质环境问题	

4.5.2 二级防护区

以滇池流域、阳宗海流域、抚仙湖流域、星云湖流域、杞麓湖流域、异龙湖流域、洱海流域、程海流域、泸沽湖流域等高原湖泊防护区。云南省九大高原湖泊中,除泸沽湖流域外,其余流域区均开发较早,已成为城镇化发展的重要区域。

以各流域区为单元,结合地质环境问题、城镇化发展状况与发展规划,将地质环境进一步划分为开发区、开发—保护区、保护—利用区、保护区等四亚类及 4 个级别,并设置相应级别的地质环境防护目标(表 3)。

4.5.3 三级防护区

以各县(市、区)内具有科学价值的地质遗迹、地质景观、泉点、地下水为重点保护对象,依据地质环境条件,划定防护区范围。防护目标为已有地质环境问题或隐患得以消除,不引发新的地质环境问题。对现有的地质环境条件容量进行评价,提出城镇区环境容量上限,对地质环境脆弱区或敏感区采用工

程与非工程措施进行预防护,部署地质环境要素动态监测,对重要敏感指标进行追踪,有进一步恶化或不利方向发展的趋势,采取地质环境应急处置方案进行纠偏整治。

以城镇国土空间规划区为周界,以水文地质、工程地质为重点单元,按照国土空间规划布局,结合地质环境特征,预测可能引发的地质环境问题,对城镇建设强度与未来发展进行评估,将地质环境进一步划分为开发区、保护—利用区、保护区等三个亚类,并设置相应级别的地质环境防护目标(表 4)。

5 城镇化发展思路与地质环境对策

5.1 整合资源,优化城镇发展模式

城镇发展受到地质环境条件和人文环境的制约,也受到临近城市资源环境和经济发展程度的制约,单纯依靠本区域或本行政区有限资源谋求城市发展的思路已不能满足城市发展的需求。城市作为自然环境中的一部分,发展中的人口增长、用地扩大、各

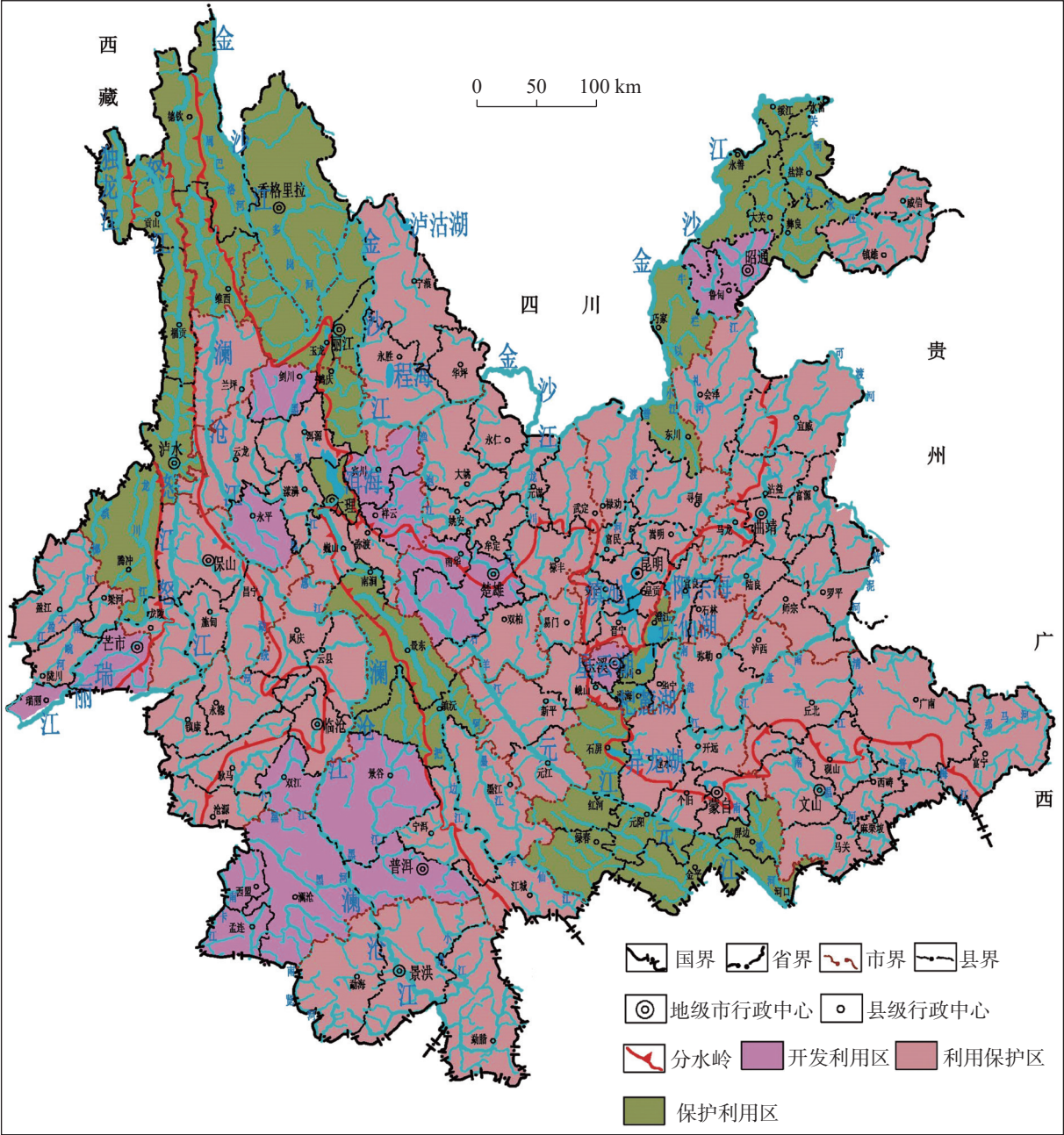


图 3 云南省地质环境防护区划图
Fig. 3 Zoning of geo-environment protection areas in Yunnan

表 3 二级防护区划类型与防护目标

Table 3 Zoning types for Grade 2 protection area and protection targets

防护单元	防护亚区	地质环境防护目标	备注
九大高原湖泊流域区	开发区	以地质环境开发利用为主, 呈点状、线状敏感地段实施保护; 防护目标为允许一定程度或一定范围存在地质环境问题, 但不影响区域地质环境质量	
	开发—保护区	以地质环境开发为主, 对局部进行保护; 防护目标为将开发区地质环境问题限制在可控范围之内	
	保护—利用区	以地质环境保护为主, 局部可进行利用性开发; 防护目标是将地质环境问题限制在可控范围之内	
	保护区	以地质环境保护为主。防护目标为不加剧或不诱发地质环境问题	

表 4 三级防护区划类型与防护目标划分表
Table 4 Zoning types for Grade 3 protection area and protection targets

防护单元	防护亚区	地质环境保护目标	备注
城镇三级保护区	开发区	地质环境开发利用为主, 局部适当实施点状、线状、带状防护设施, 可起到地质环境敏感要素保护的作用; 防护目标为允许存在一定程度或范围的地质环境问题, 但不影响城镇区地质环境质量	
	保护—利用区	地质环境保护与利用同时进行, 城镇开发利用时应采取必要的有效措施防护地质环境, 严防地质环境条件恶化或改变; 防护目标是将地质环境问题限制在可控范围之内	
	保护区	地质环境保护为主, 为城镇建设的限制区域, 地质环境条件脆弱且敏感, 不能开展城镇建设活动; 防护目标为不加剧或不诱发地质环境问题	

类工程建设等, 在引发地质环境问题的同时, 也遭到到地质环境的影响。

因此, 按照城市所处地质环境特点, 结合区位优势与资源优势, 通过跨区域配置资源, 形成优势互补, 既突出自身特点, 又与周边经济区(或带)形成良性互动, 实现共赢。

5.2 依山就势，建设优美城市

受地质环境条件制约, 云南省县(市、区)级及以上的城市多建在地形较为宽阔的盆地、河谷区, 少部分建设在山地斜坡区, 依山就势, 构成了一道自然与人文结合的绚丽景观。按照城市所处地形地貌, 结合城市发展, 将全省 129 个县(市、区)政府驻地划分为山间盆地型、山地斜坡型、河谷盆地型、河谷坡地型等四类。其中, 山间盆地型分布遍及除怒江州以外的 15 个州(市), 共 75 个县(市、区); 处于山区斜坡地、平台或河谷谷坡中上部的山地斜坡型城市, 包括玉溪市、昭通市、普洱市、临沧市、楚雄州、红河州、文山州、迪庆州等区域的 15 个县; 河谷盆地型城市是以河谷两岸阶地或冲洪积台地呈条带状展布的城镇类型, 包括昆明市、玉溪市、昭通市、普洱市、西双版纳州、大理州、德宏州等区域的 15 个县(市); 河谷坡地型城市为处在河谷一侧或两侧谷坡、台地区的城市类型, 以河流深切强烈的滇东北、滇西北较多, 包括昆明市、曲靖市、玉溪市、昭通市、丽江市、普洱市、临沧市、楚雄州、红河州、文山州、大理州、怒江州等区域的 24 个县(区)。

5.3 加大资金投入，防止地质环境问题发生

城镇化发展中的规模扩张和公路、铁路、水利、通讯、电力等基础设施建设, 以及采矿、地下空间的开发利用, 均会给地质环境造成不同程度的影响, 引发不同的地质环境问题。因此, 各类工程在设计、施

工、运营过程中应加大地质环境问题防护资金的投入力度, 使工程措施能有效避让、补偿因开挖、扰动岩土体造成的损失; 或加大工程建设诱发地质环境问题形成机理的研发费用, 将问题解决在设计阶段。如近十多年来修建的二级公路, 由于建设标准较低, 地质环境防护经费投入不足, 公路沿线边坡易发生滑坡、泥石流灾害, 地下水径流区阻断后易出现天然泉点干涸等问题。

5.4 研究地质环境问题形成机制，避免加剧或诱发地质环境问题

探索地质环境问题领域关键科学问题, 注重交叉学科综合研究。重点研究地质环境问题的形成、演化、影响关系等为方向, 从理论研究到实践应用方面得以验证。阻断或延缓演化环节关键因子, 避免加剧或诱发地质环境问题。

5.5 开展地质环境综合动态监测，深化地质环境立体综合防护治理

在全省重点城镇区开展地质环境条件要素综合动态监测工作, 在城镇地质环境敏感要素部署监测工作, 设置动态监测指标参考值, 捕捉地质环境要素的动态变化, 如若地质环境要素变化较大甚至出现指标下降。研究分析地质环境要素指标下降的原由, 找出影响指标下降的路径, 启动地质环境立体综合防护治理工作, 通过人为干预的形式, 选择适宜的工程及非工程技术措施, 恢复地质环境容量与可持续性利用程度。

5.6 落实城镇化与地质环境协调发展，重点关注环境脆弱敏感区域

滇西北青藏高原东南缘地质环境脆弱区, 位于喜马拉雅山南延余脉滇西横断山脉地带, 涉及迪庆

州、怒江州、丽江市、德宏州大部,重点保护脆弱地质环境及独特的生态系统,发挥涵养水土保持,发挥生态、水资源、气候调节的功能。

滇东北金沙江干热河谷地质环境脆弱区。为云南金沙江下游东川至水富段,涉及东川、鲁甸、大关、彝良、盐津、永善、绥江、水富县(区),重点保护脆弱地质环境及流域水土涵养,发挥维护金沙江下游地区环境安全的功能。

滇南哀牢山—无量山地质环境脆弱区,是青藏高原横断山脉南端的两支山脉,处于横断山系和云南高原的接合部位,涉及大理州、红河州、普洱市、玉溪市部分地区,重点保护脆弱的地质环境及植被生物资源,加强保护区建设及周边地区开发强度,发挥保障区域生态修复与水源涵养的作用。

6 结 论

(1)云南省地质构造运动强烈,地形深切切割,地质环境脆弱,遭受地质灾害、土地石漠化、地下水位下降、泉点干涸、地质景观破坏等问题的侵袭与困扰。城镇化发展中地质环境问题逐渐突显出来,地质环境出现不同程度损坏,城镇化建设易遭受损失。

(2)为保护地质环境,形成人与自然环境的和谐发展,避免或减轻城镇化发展中地质环境问题。设置城镇化发展中应保护地质环境的原则、目标、划分依据,分析地质环境容量,划定分级保护区域。建立了以六大水系流域单元、高原湖泊、重点地质遗迹等为保护对象,分级分区划分保护利用区,明确保护目标与级别,保护措施和动态监测方法等,实现城镇化建设与地质环境间的可持续发展,为解决城镇化发展进程中的地质环境问题提供了对策。

(3)整合资源,优化城镇发展模式。加大资金投入,保护地质环境。依山就势,建设优美城市。开展相关重点、热点、难点等地质环境问题的研究,科学揭示人类活动对地质环境的影响方式和路径,落实城镇化与地质环境协调发展,深化地质环境立体综合防护治理,对城镇化发展和有效保护地质环境具有十分重要的意义。研究地质环境问题形成机制,避免加剧或诱发地质环境问题。

参考文献

[1] 郭凯峰,苏涵.云南省城镇化发展特征、路径及对策研究[J].

规划师,2011,27(12):95-100.

GUO Kaifeng, SU Han. Yunnan urbanization development character, path, and strategy[J]. Planners, 2011, 27(12): 95-100.

[2] 魏云.云南省城镇化进程中基础设施投资水平的时空格局研究[D].昆明:云南大学,2019.

WEI Yun. A study on spatial-temporal pattern of infrastructure investment in the process of urbanization of Yunnan Province[D]. Kunming: Yunnan University, 2019.

[3] 潘启云.云南山地城镇化动力机制研究[J].云南农业大学学报(社会科学版),2014,8(5):27-30.

PAN Qiyun. Research on dynamic mechanism of Yunnan mountainous urbanization[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science), 2014, 8(5): 27-30.

[4] 云南省人民政府.云南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要[R].云政发(2021)4号,2021.

[5] 蒋智华.云南产业结构调整的绩效分析[J].学术探索,2013(3):55-60.

JIANG Zhihua. A performance analysis of Yunnan industrial structure adjustment[J]. Academic Exploration, 2013(3): 55-60.

[6] 王晓琴,潘海岚.云南产业结构变迁对经济增长的效应研究:基于偏离—份额的分析方法[J].云南民族大学学报(哲学社会科学版),2012,29(2):90-94.

WANG Xiaoqin, PAN Hailan. Effects of the changes of Yunnan's industrial structure on its economic growth in the perspective of shift-share analysis[J]. Journal of Yunnan Nationalities University (Social Sciences), 2012, 29(2): 90-94.

[7] 云南省地质环境监测院.云南省城镇化进程中的地质环境问题及对策研究报告[R].2012,12.

[8] 赵维城.论云南地貌体系[J].云南地理环境研究,1998,10(Suppl.1):47-55.

ZHAO Weicheng. Discuss the geomorphological system of Yunnan[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 1998, 10(Suppl.1): 47-55.

[9] 金德山,袁万钟.云南国土资源遥感综合调查[M].云南科技出版社,2004.

[10] 云南省地方志编纂委员会.云南省志.卷四:地质矿产志[M].云南人民出版社,1997.

[11] 杨迎冬,张红兵,晏祥省,周翠琼,杜智雄,王彦.云南省县(市)地质灾害调查综合研究与信息系统建设[R].云南省地质环境监测院,2010.

[12] 张宗胜.佛山黄岐海北片区岩溶地面塌陷地质灾害成因与趋势分析[J].中国岩溶,2022,41(6):880-894.

ZHANG Zongsheng. Origin and trend analysis of karst collapse in Huangqi and Haibei communities, Foshan City[J]. Carsologica Sinica, 2022, 41(6): 880-894.

[13] 覃剑文,宋光啸,潘光明.城区复杂环境岩溶地面塌陷灾害成因与致灾规律研究:以贵港市北环新村岩溶地面塌陷灾害为例[J].中国岩溶,2021,40(2):230-237.

QIN Jianwen, SONG Guangxiao, PAN Guangming. Cause and law of karst collapse in the urban complex environment: An

- example of Beihuanxincun, Guigang City[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 230-237.
- [14] 贺凯, 李滨, 赵超英, 高杨, 陈立权, 刘朋飞. 基于易滑地质结构与多源数据差异的岩溶山区大型崩滑灾害识别研究[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(4): 467-477.
- HE Kai, LI Bin, ZHAO Chaoying, GAO Yang, CHEN Liqun, LIU Pengfei. Identification of large-scale landslide hazards based on differences of geological structure prone to sliding and multiple-source data in karst mountainous areas[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(4): 467-477.
- [15] 王宇, 黄成, 周翠琼, 杨迎冬, 肖华宗, 晏祥省, 张令泽, 王裕琴. 山区地质灾害应急调查的内涵及方法分析评述[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(4): 492-499.
- WANG Yu, HUANG Cheng, ZHOU Cuiqiong, YANG Yingdong, XIAO Huazong, YAN Xiangsheng, ZHANG Lingze, WANG Yuqin. Review on the connotation and methods of emergency investigations to geological hazards in mountainous area[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(4): 492-499.
- [16] 云南省发展与改革委员会. 云南省岩溶石山地区石漠化综合治理规划(2006—2020年)[R]. 2006.
- [17] 王宇, 张华, 张贵, 彭淑惠, 杨文礼, 蔡保新, 冯敏, 王梓澈. 云南省石漠化调查及治理综述[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(5): 486-496.
- WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, PENG Shuhui, YANG Wenli, CAI Baoxin, FENG Min, WANG Ziwei. Review of the investigation and integrated renovation on rocky desertification in Yunnan Province, China[J]. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(5): 486-496.
- [18] 王宇, 张华, 张贵, 王波, 彭淑惠, 何绕生, 周翠琼. 喀斯特断陷盆地环境地质分区及功能[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(3): 283-295.
- WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, WANG Bo, PENG Shuhui, HE Raosheng, ZHOU Cuiqiong. Zoning of environmental geology and functions in karst fault-depression basins[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(3): 283-295.
- [19] 吴晟堂, 蒋小珍, 马骁, 汤振. 岩溶地下工程地质环境影响区范围划定初步研究: 以深圳市龙岗区基坑降水为例[J]. *中国岩溶*, 2022, 41(5): 825-837.
- WU Shengtang, JIANG Xiaozhen, MA Xiao, TANG Zhen. Study on the delimitation of affected zone of geological environment for karst underground engineering: Taking Longgang district, Shenzhen City as an example[J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41(5): 825-837.
- [20] 张华, 王波, 高瑜, 康晓莉, 王宇, 刘绍华, 康晓波, 罗为群, 赵勇. 岩溶断陷盆地湿地成因类型及水流系统特征研究[J]. *中国岩溶*, 2023, 42(4): 672-684.
- ZHANG Hua, WANG Bo, GAO Yu, KANG Xiaoli, WANG Yu, LIU Shaohua, KANG Xiaobo, LUO Weiqun, ZHAO Yong. Research on genetic types and flow system characteristics of wetland in karst fault basin, China[J]. *Carsologica Sinica*, 2023, 42(4): 672-684.
- [21] 韦延兰, 李文莉, 周立新, 毕雪丽. 岩溶水文地质环境地质信息管理系统构建与实现[J]. *中国岩溶*, 2018, 37(1): 146-153.
- WEI Yanlan, LI Wenli, ZHOU Lixin, BI Xueli. Construction and application of geological information management system in karst hydrogeological environment[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(1): 146-153.
- [22] 王宇, 张华, 张贵, 蓝芙宁, 王秀艳, 万龙, 刘宏. 喀斯特断陷盆地水资源高效开发利用模式构建[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(4): 644-653.
- WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, LAN Funing, WANG Xiuyan, WAN Long, LIU Hong. Construction of high-efficiency exploitation and utilization model of water resources in karst faulted basin[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(4): 644-653.
- [23] 王宇. 南方岩溶地区水文地质调查的问题与改进措施[J]. *中国岩溶*, 2023, 42(4): 627-635.
- WANG Yu. Problems and their countermeasures in a hydrogeological survey of karst areas in South China[J]. *Carsologica Sinica*, 2023, 42(4): 627-635.
- [24] 康晓波, 王宇, 张华, 曹瑾. 丽江黑龙潭泉群水文地质特征及断流的影响因素分析[J]. *中国岩溶*, 2013, 32(4): 398-403.
- KANG Xiaobo, WANG Yu, ZHANG Hua, CAO Jin. Hydrogeologic features and influence factors of zero flow of the Heilongtan spring group in Lijiang[J]. *Carsologica Sinica*, 2013, 32(4): 398-403.
- [25] 张华, 康晓波, 王波, 柴金龙, 周翠琼, 蔡双乐, 侯旭涛, 黄晨晖, 潘晓东. 滇东南高原斜坡区某拟建铁路岩溶水文地质问题及对策建议[J]. *中国岩溶*, 2022, 41(5): 718-727.
- ZHANG Hua, KANG Xiaobo, WANG Bo, CHAI Jinlong, ZHOU Cuiqiong, CAI Shuangle, HOU Xutao, HUANG Chenhui, PAN Xiaodong. Karst hydrogeological problems and countermeasures of a proposed railway in plateau slope area of south-east Yunnan[J]. *Carsologica Sinica*, 2022, 41(5): 718-727.
- [26] 王宇. 云南省地下水资源潜力评价现状与问题分析[J]. *中国岩溶*, 2020, 39(2): 137-146.
- WANG Yu. Evaluation status and problems of groundwater resource potential in Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(2): 137-146.

Measures for the protection and utilization of geo-environment during the urbanization in Yunnan

ZHANG Weifeng^{1,2,3}, ZHANG Jie^{1,2,3,4}, DING Zhongkai^{1,3}, KANG Xiaobo^{1,2,3}, ZHANG Ruxiang^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Geohazard Forecast and Geoecological Restoration in Plateau Mountainous Area, MNR, Kunming, Yunnan 650216, China;

2. Yunnan Key Laboratory of Geohazard Forecast and Geoecological Restoration in Plateau Mountainous Area, Kunming, Yunnan 650216, China;

3. Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216, China; 4. Faculty of Land Resources

Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China)

Abstract Yunnan, a province with a vast territory, is located in the southwest of China. It serves as a convergence zone for the Eurasian Plate, India Ocean Plate, and Pacific Plate. The western part of Yunnan belongs to Tethys–Himalaya orogenic belt, which exhibits strong crustal activities, while its eastern part falls into the stable or semi-stable platform and portions of the Pacific Plate. Yunnan subordinates both the Qinghai–Xizang Plateau and the Yunnan–Guizhou Plateau in terms of geomorphology. It is one of the youngest, most active and continuously rising plateaus, and also an area characterized by rare grand canyons. In this area, strong tectonic movements and frequent magmatic activities have formed many geomorphologic landscapes such as plateau lakes, stone forest landforms, volcano vestiges, Sanjiang gorge in the northwest of Yunnan, and hot springs in Tengchong. However, the geological conditions in Yunnan are generally complex and highly fragile.

Since China's reform and opening-up over the past 40 years, Yunnan's economy has achieved great progress, and its urbanization has developed rapidly. However, while enjoying various convenience brought about by economy development, people from different ethnic groups in Yunnan are also facing a range of geo-environmental issues. These include declining water levels, drying water sources, rising snow lines, and other geological disasters. Therefore, finding ways to reduce or prevent the occurrence of geo-environment problems and to protect geo-environment during urbanization has become an important issue.

This study uses a comprehensive research and analysis methodology. The entire area is categorized into six major water system basins, serving as the first-level protection unit, plateau-lake basins as the second-level protection unit, and key geological relics as the third-level protection unit. Additionally, the area can be divided into development, protection, and utilization zones, each with clearly defined protection goals and levels corresponding to each unit within the zone. In this study, we have put forward measures for the protection and utilization of geo-environment during the urbanization in Yunnan. We will strengthen research on the coordinated development model of urbanization and geological environment, and focus on areas with fragile geological environment. The key areas of geological environment vulnerability and sensitivity in Yunnan Province are divided into three major regions: the geological environment vulnerability zone on the southeastern edge of the Qinghai–Xizang Plateau in northwest Yunnan, the geological environment vulnerability zone in the dry-hot valley of the Jinsha river in northeast Yunnan, and the geological environment vulnerability zone between Ailao mountain and Wuliang mountain in southern Yunnan.

In order to protect and utilize geo-environment, it is essential to enhance comprehensive dynamic monitoring of the geo-environment in urban areas within the area. This includes setting reference values for dynamic monitoring indicators and accurately capturing the changes in geo-environmental elements over time. We should promptly initiate the comprehensive protection and management of the geo-environment. Through human intervention, we can select appropriate engineering and non-engineering measures to restore the capacity and ensure the sustainable utilization of the geo-environment. The development of urban areas should be grounded in the characteristics of the geo-environment and aligned with the advantages of geographical resources. Additionally, effective national spatial planning should be implemented. Most towns can be typically constructed in basins and river valleys, where the terrain

is more expansive, while a smaller number can be constructed on slopes of mountainous areas. This mountainous terrain will create a magnificent landscape that harmonious blends nature and culture. According to the terrain and landform conditions, cities and towns can be categorized into four types: mountain basin, mountain slope, valley basin, and valley slope. This classification aims to facilitate the development of aesthetically pleasing urban areas. In the future, research will focus on geo-environmental issues, including key points, hotspots, and challenges. The scientific understanding of how human activities impact the geo-environment, the implementation of coordinated development between urbanization and the geo-environment, and the enhancement of comprehensive three-dimensional protection and governance of the geo-environment are crucial for the advancement of urbanization and the effective protection of geo-environment. The mechanism behind the formation of geo-environmental problems should be studied in order to prevent geo-environment from exacerbation or occurrence. Studies should be conducted to promote sustainable development that balances urbanization with the geo-environment and to propose effective countermeasures for addressing geo-environmental problems.

Key words urbanization, geo-environment, dynamic monitoring, measure, protection and utilization, Yunnan

(编辑 张玲)

碳酸盐岩古岩溶储层研究支撑轮古油气田勘探开发

由岩溶所承担的中石油塔里木油田分公司科研项目“轮古新三维奥陶系岩溶地貌刻画及岩溶系统描述”在新疆库尔勒顺利通过结题验收,获评优秀级。

塔里木盆地轮古油气田发育古潜山油气藏,随着勘探开发程度的不断提高,原有的地质认识已无法满足生产需求。岩溶所以油田生产需求为导向积极开展科技攻关,形成了四方面的创新性研究成果:一是完成潜山面前志留纪、前石炭纪和前三叠纪古地貌恢复,提出了古地貌有利岩溶区带,并优选了井

位部署有利区。二是明确了表层岩溶缝洞发育有利区,建立了不同微地貌单元表层岩溶缝洞发育模式。三是创新古暗河系统组成要素识别方法,建立了三种古暗河充填模式,明确了暗河垮塌主控因素,确立了4期暗河发育期次。四是建立了走滑断裂不同段岩溶发育模式,划分41个岩溶缝洞系统,结合野外地质建模、钻井和三维地震储层预测,提出了基于岩溶古地貌和古水动力条件下的储层有利区带,支撑了4口新井井位部署。

(供稿:聂国权)