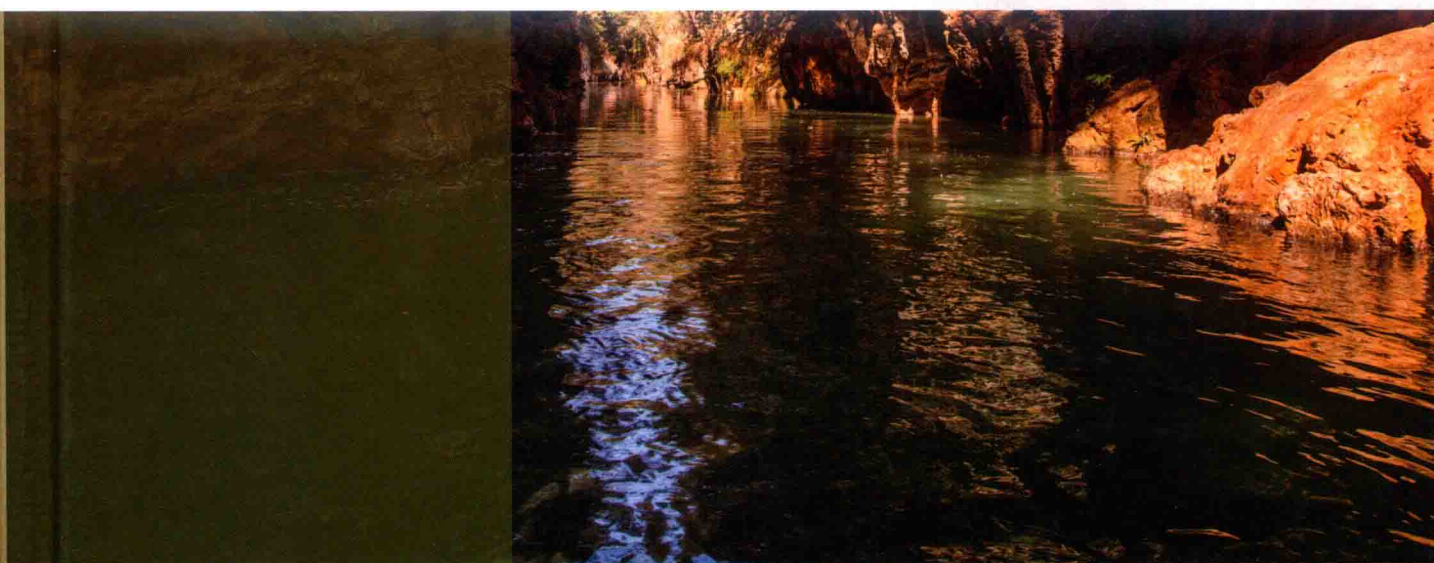




西南岩溶石山区 地下水资源调查 评价与开发利用模式

夏日元 等/著

课外借



科学出版社

西南岩溶石山区地下水资源 调查评价与开发利用模式

夏日元 等 / 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统梳理了西南岩溶石山区 2003 年以来地下水资源调查评价和开发利用示范成果,揭示了岩溶水文地质特性和地下水资源形成机制,提出了地下水资源调查评价技术方法体系,建立了堵洞成库、建柜蓄水、抽水调节和束流壅水 4 种岩溶地下水资源开发利用模式,为脱贫攻坚和生态文明建设提供了技术支撑。

本书可为西南八省(自治区、直辖市)制定水资源开发利用和保护决策规划提供依据,也可供岩溶学、水文地质学、环境学、生态学等专业的教学、科研人员及相关生产人员参阅。

审图号:GS(2018)3720 号

图书在版编目(CIP)数据

西南岩溶石山区地下水资源调查评价与开发利用模式 / 夏日元等著.

—北京:科学出版社, 2018.10

ISBN 978-7-03-059035-0

I. ①西… II. ①夏… III. ①岩溶区—地下水资源—研究—西南地区

IV. ① P641.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 229956 号

责任编辑:郭勇斌 彭婧煜/责任校对:李 影

责任印制:张克忠/封面设计:无极书装

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年10月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年10月第一次印刷 印张:21

字数:485 000

定价:198.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编 委 会

主 编：夏日元

编 委：	张二勇	唐建生	王明章	王 宇
	曹建文	王 喆	周 鑫	黄秀凤
	苏春田	易连兴	赵良杰	卢海平
	焦杰松	周 宁	阮岳军	张 贵
	张 林	黄桂强	周锦忠	杨世松
	李明伦	蓝芙宁		

前 言

西南岩溶石山区分布于云南、贵州、广西、湖南、湖北、重庆、四川和广东等省（自治区、直辖市），面积约 78 万 km^2 。受岩溶特殊地质条件、全球气候变化和人类工程活动的影响，西南岩溶石山区干旱缺水等问题异常突出，区内缺水人口达 1700 万，占总人口的 12%；受旱耕地近亿亩，占总耕地面积的 10%；这些问题制约了区内社会经济的发展。

西南岩溶石山区地下水资源丰富，开发利用潜力巨大，地下水总资源量 1695.36 亿 m^3/a ，可开采量为 621.81 亿 m^3/a ，现开采量 90.53 亿 m^3/a ，开采程度为 14.56%。岩溶地下水开发利用潜力较大，达 515.38 亿 m^3/a 。各省（自治区、直辖市）剩余可开采量分别为：云南 83.38 亿 m^3/a ，贵州 122.01 亿 m^3/a ，广西 148.98 亿 m^3/a ，湖南 54.33 亿 m^3/a ，湖北 37.42 亿 m^3/a ，重庆 8.82 亿 m^3/a ，四川 61.47 亿 m^3/a ，广东 14.87 亿 m^3/a 。岩溶地下河赋存有丰富的水资源和水电资源，但由于其埋藏于地下数百米，地表仅能见到出水口和少数地下河天窗，受地层、构造、水文和地貌等多种因素影响控制，地下分布结构复杂，非均质性极强，水流运动规律复杂，增加了开发利用的难度。目前已开发利用了 270 多条，仅占地下河总数的 10%。对地下河系统进一步开展大比例尺水文地质调查和探测，进行开发利用条件论证，制定开发利用和保护方案，十分必要。

2003～2017 年，中国地质调查局组织 8 省（自治区、直辖市）地矿局、有关科研院所和高校等 30 多家单位，开展了水文地质环境地质综合调查和地下水开发利用示范，完成 1：50000 水文地质调查面积 30 万 km^2 ，综合地球物理探测 7 万点，岩溶洞穴探测 7 万 m，水文地质钻探 6.5 万 m，基本查明了西南岩溶重点地区水文地质条件和主要环境地质问题，建立了地下水开发利用和生态环境综合治理模式，解决了 1500 万人饮水困难问题。西南岩溶石山区水文地质环境地质综合调查和地下水开发利用示范成果，为履行国土资源部^①地下水资源勘查评价、土地规划与管理 and 地质灾害防治等职能提供了技术支撑，对云南、贵州、广西、湖南、湖北、重庆、四川、广东等省（自治区、直辖市）区域经济社会发展提供了有效服务，指导了以岩溶流域为单元的地下水开发利用和石漠化整治工作。相关成果服务于 2009～2011 年国土资源部组织的抗旱找水打井突击行动，在已查明的富水块段快速定井，勘探成井率超过 85%。

^① 2018 年 3 月，根据第十三届全国人民代表大会第一次会议批准的国务院机构改革方案，将国土资源部的职责整合，组建中华人民共和国自然资源部，不再保留国土资源部。

本书主要集成了 2003 年以来实施的相关调查研究项目成果,包括“西南岩溶地区水文地质环境地质综合研究与信息系统建设”(编号 1212011121157, 2011 ~ 2015),“西南典型岩溶地下河调查与动态评价”(编号 12120111220959, 2013 ~ 2015),“典型岩溶地下河系统水循环机理监测与试验”(编号 2014111100, 2014 ~ 2017),“西南典型石漠化地区地下水调查与地质环境综合整治示范”(编号 200310400023, 200310400043, 2003 ~ 2008),“西南岩溶石山地区地下水及环境地质调查”(编号 121201634800, 2006 ~ 2013),“南方岩溶水文地质环境地质综合调查与整治示范”(2014 ~ 2015),“岩溶地区水文地质环境地质综合调查工程”(编号 5.9, 2016 ~ 2017),“红水河上游岩溶流域 1 : 50000 水文地质环境地质调查”(编号 DD20160300, 2016 ~ 2017),“我国西部特殊地貌区地下水开发利用与生态功能保护”(SQ2017YFSF020150)。通过开展野外岩溶地下水及环境地质调查、典型富水区地球物理探测及岩溶水资源评价等工作,重点解决了西南岩溶石山区地下水开发利用困难等关键科学问题。

项目实施过程中,在西南岩溶石山区通过典型岩溶流域 1 : 50000 水文地质环境地质综合调查,查明了岩溶地下水形成条件和赋存分布规律,掌握了不同类型和不同尺度岩溶地下水系统之间的水流交换规律。项目共调查典型岩溶流域 120 多个,探测岩溶地下河 2763 条,掌握了不同类型和不同尺度岩溶地下水系统之间水循环转化规律,圈定富水块段 3000 多处,为水资源合理开发利用提供了依据,为国家保障水安全和生态文明建设、地质灾害防治、基础建设规划和重大工程建设提供了基础支撑。通过岩溶水动力监测与试验,探索多重介质岩溶地下水资源评价新方法,掌握了岩溶地下水资源分布状况,进行了岩溶水资源开发利用潜力和地质环境承载力评价,查明了西南岩溶石山区存在的石漠化、旱涝灾害、地下水污染、矿山地质灾害等重大地质环境问题。通过上述工作,研究岩溶石漠化形成机制,建立了典型石漠化区综合治理模式。针对西南岩溶石山区地下水含水介质结构和运动规律的特殊性,提出了溶丘洼地区地下河堵洞成库与生态经济模式、峰丛山区表层岩溶水调蓄与立体生态农业模式、丘陵谷地储水构造抽水调节与节水生态农业模式和断陷盆地壅水调度与高效农业基地模式 4 种地下水开发利用模式。

本书对岩溶地下水资源调查评价和开发利用示范方面的成果进行了总结汇编。第一章主要介绍西南岩溶石山区岩溶发育条件和存在的水资源环境问题;第二章论述西南岩溶石山区水文地质条件特点,进行了岩溶地下水系统划分,评价了岩溶地下水资源量和开发利用潜力;第三章介绍 4 个有代表性的典型岩溶地下水系统水资源调查研究成果;第四章论述西南岩溶石山区地下水开发利用条件,进行了地下水资源开发利用区划;第五章通过总结不同类型区岩溶地下水开发利用工程典型实例,介绍了 4 种地下水开发利用模式的关键技术和工程效果。

本书由夏日元、张二勇、唐建生、王明章、王宇、曹建文、王喆、周鑫、黄秀凤、

苏春田、易连兴、赵良杰、卢海平、焦杰松、周宁、阮岳军、张贵、张林、黄桂强、周锦忠、杨世松、李明伦、蓝芙宁共同编写完成，全书由夏日元统稿、定稿。

本书相关的项目由中国地质科学院岩溶地质研究所承担，参加单位主要有：云南省地质环境监测院，贵州省地质矿产勘查开发局 114 地质队，贵州省地质矿产勘查开发局 111 地质队，贵州省地质调查院，广西壮族自治区地质矿产勘查开发局地质调查院，广西壮族自治区水文地质工程地质队，湖南省地质矿产勘查开发局地质调查院，湖南省地质矿产勘查开发局 402 队，湖南省地质矿产勘查开发局 416 队，湖南省地质矿产勘查开发局 418 队，湖北省地质环境总站，湖北省地质局水文地质工程地质大队，重庆市地质矿产勘查开发局地质调查院，重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队，重庆市地质矿产勘查开发局 208 水文地质工程地质队，中国地质调查局国土资源航空物探遥感中心，中国地质调查局水文地质环境地质调查中心，中国地质科学院水文地质环境地质研究所，中国地质大学（武汉）等。参加项目人员达到 300 多人，人员名单不一列出，在此一并表示衷心感谢。

目 录

前言

第一章 西南岩溶石山区地质环境条件	1
第一节 自然地理条件	1
第二节 地质条件概况	1
第三节 岩溶发育条件	5
第四节 存在的水资源环境问题	35
第二章 西南岩溶石山区地下水系统	40
第一节 水文地质条件概况	40
第二节 岩溶地下水系统的划分及特征	45
第三节 西南岩溶石山区地下水资源量	66
第三章 典型岩溶地下水系统水资源调查评价	79
第一节 云南南洞地下河系统	79
第二节 贵州大小井地下河系统	106
第三节 湖南新田地下水系统	134
第四节 广西海洋—寨底地下河系统	162
第四章 西南岩溶石山区地下水开发利用区划	192
第一节 岩溶地下水开发利用现状	192
第二节 岩溶地下水开发利用条件	195
第三节 岩溶地下水开发利用区划	198
第五章 西南岩溶石山区地下水开发利用模式	221
第一节 溶丘洼地区地下河堵洞成库与生态经济模式	221
第二节 峰丛山区表层岩溶水调蓄与立体生态农业模式	256
第三节 丘陵谷地储水构造抽水调节与节水生态农业模式	275
第四节 断陷盆地壅水调度与高效农业基地模式	300
主要参考文献	321

第一章 西南岩溶石山区地质环境条件

第一节 自然地理条件

西南岩溶石山区范围为 $100^{\circ}40' \sim 114^{\circ}20'E$, $21^{\circ}09' \sim 31^{\circ}01'N$, 包括云南、贵州、广西、湖南、湖北、重庆、四川和广东 8 个省（自治区、直辖市），碳酸盐岩出露面积 $78 \times 10^4 \text{ km}^2$ （图 1-1）。

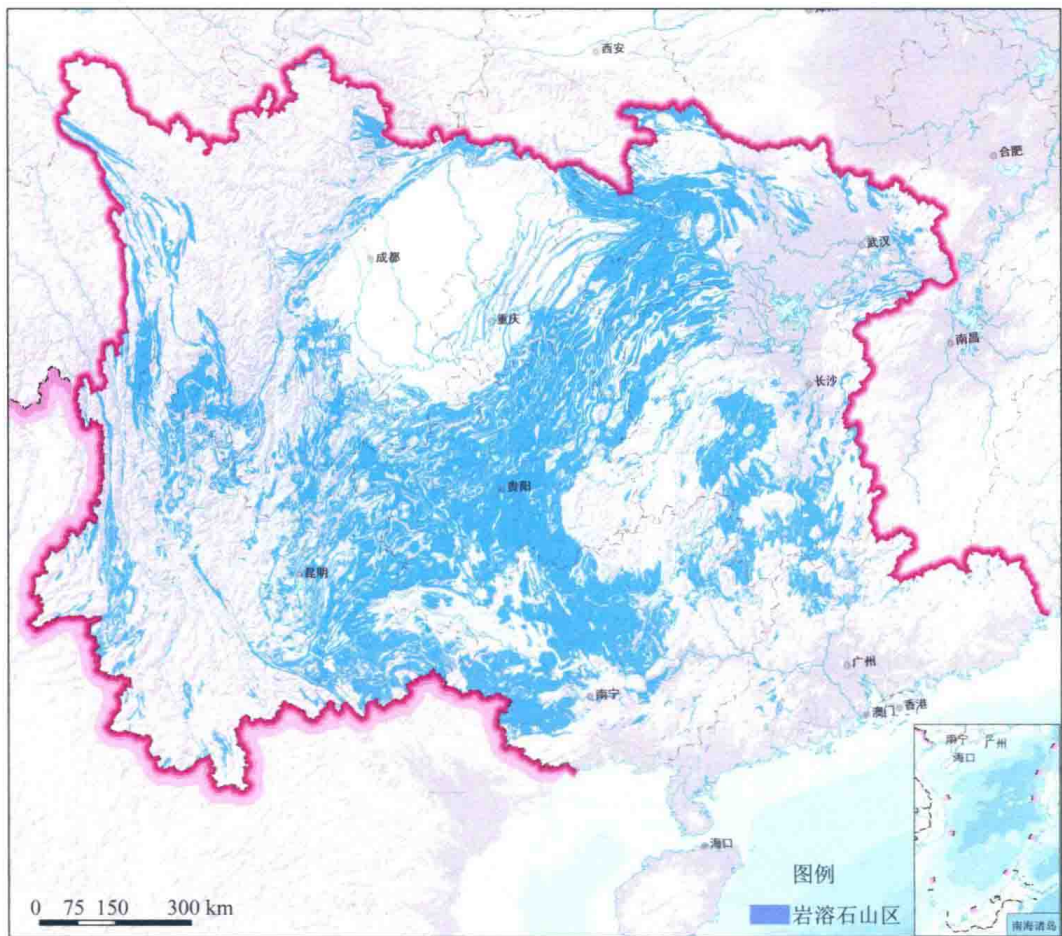


图 1-1 西南岩溶石山区岩溶分布图

西南岩溶石山区属于湿热多雨的亚热带气候，多年平均气温 $14 \sim 26^{\circ}C$ ，多年平均

降水量 1100 ~ 2300 mm, 多年平均蒸发量 1000 ~ 1800 mm。每年 4 ~ 9 月为汛期, 降水量约占全年总降水量的 72% ~ 88%。径流时空分布不均, 差异大, 丰水年和枯水年降水量之比最大达 7 倍, 极易引发严重的洪灾和旱灾。

西南岩溶石山区为珠江和长江两大流域的重要补给和径流区。珠江流域的西江主干流贯穿西南岩溶石山区的南部, 主要支流有南盘江、北盘江、红水河、柳江、右江、左江、郁江、桂江、贺江等。长江中上游位于西南岩溶石山区的北部, 区内主要有大渡河、岷江、嘉陵江、乌江、沅江和湘江等。总体地势西高东低, 从西到东从岩溶高山峡谷到低山丘陵, 从岩溶高原到峰林平原, 各种岩溶地貌均有分布。西南岩溶石山区中部及南部为云贵高原向桂中岩溶平原过渡的斜坡地带, 向东逐渐过渡到峰林平原或孤峰平原, 海拔从 1500 ~ 1800 m 降至 200 m 左右。北部以侵蚀溶蚀和构造溶蚀地貌为主, 大多为中山, 一般海拔为 1000 ~ 2000 m。东部为丘陵盆地区, 海拔为 2000 ~ 2500 m, 山顶海拔一般大于 3500 m。

第二节 地质条件概况

一、地层岩性

西南岩溶石山区北部和西部属扬子准地台区, 震旦纪以来沉积了数千米厚的碳酸盐岩系; 上震旦统以白云岩为主, 岩性均一, 厚千米左右。寒武系川黔一带以白云岩为主; 志留系川黔一带以泥质灰岩为主。奥陶系以石灰岩为主, 岩性稳定, 厚仅数百米; 志留系为碎屑岩; 泥盆系、石炭系在许多地方缺失; 二叠系碳酸盐岩广泛分布, 大多为纯质灰岩; 三叠系为白云岩灰质沉积, 白云岩比例逐渐增大, 过渡到碎屑岩。

二、地质构造

扬子准地台区中生代以前普遍为升降运动, 燕山运动后才使盖层普遍褶皱。

贵州威宁和郎岱等处为紧密线状褶皱, 滇东为平行断裂带, 鄂中、鄂西、川西南等隆起带为短轴背斜或断块。在各沉积间断时期, 屡遭岩溶作用, 保留了古岩溶遗迹。

西南岩溶石山区南部及东部属华南褶皱系, 是一个加里东褶皱带, 受后期地壳变动强烈的影响, 震旦纪和早古生代普遍呈紧密褶皱及轻微变质, 褶皱轴向一般呈北东向, 与上覆地层普遍呈角度不整合, 伴有岩浆活动。早古生代及其以前的地层中很少有碳酸盐岩系, 晚古生代以来广泛发育碳酸盐岩系地层。泥盆纪、石炭纪和二叠纪都广泛沉积碳酸盐岩, 在广西沉积厚度几千米至万余米, 湘中、粤北 2000 余米。三叠纪时西南岩溶石山区西南部滇东南、桂中、桂西早三叠世有数百米厚碳酸盐岩, 桂西北中、晚三叠世有巨厚沉积, 湘中为泥质碳酸盐岩与石灰岩互层。三叠纪早期与中期之间、早二叠世末、中晚石炭世之间、泥盆世末几个沉积间断期, 在一些地方有古岩溶剥蚀面发育(图 1-2、表 1-1)。

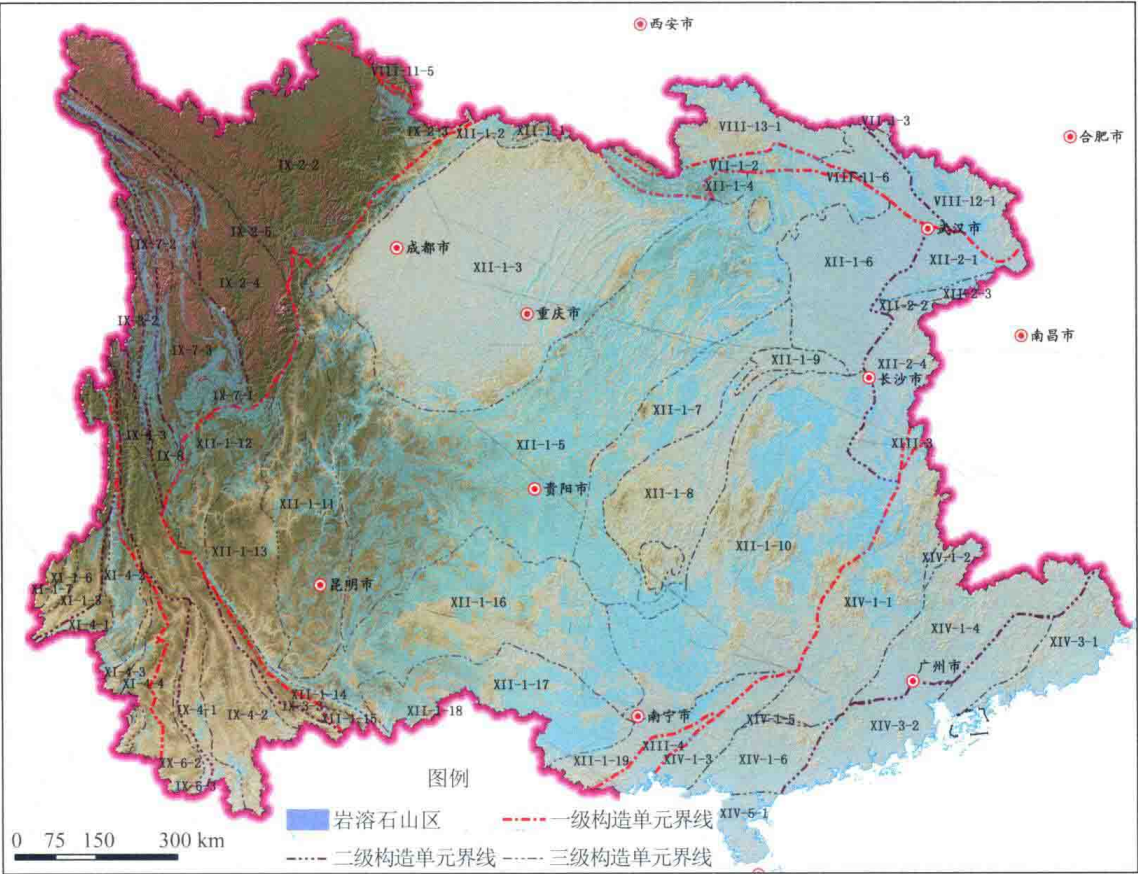


图 1-2 西南岩溶石山区大地构造划分图

表 1-1 西南岩溶石山区大地构造划分表

序号	一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	三级构造单元名称	面积 /km ²
1	VII 宽坪—佛子岭对接带	VII-1-2 北淮阳—佛子岭增生杂岩带	VII-1-2	北淮阳—佛子岭增生杂岩带	16 332
2		VII-1-3 斜峪关—二郎坪岛弧	VII-1-3	斜峪关—二郎坪岛弧	281.68
3	VIII 秦祁昆造山系 / 中央造山带	VIII-11 秦岭弧盆系	VIII-11-5	西倾山—南秦岭陆缘裂谷 (Nh-Pz ₁)	5 064.48
4			VIII-11-6	勉略蛇绿混杂岩带 (C-T)	201.41
5		VIII-12 大别—苏鲁地块	VIII-12-1	大别高压—超高压变质折返带 (T ₃)	21 700.71
6		VIII-13 武当—随南陆缘裂谷	VIII-13-1	武当—随州陆缘裂谷 (Nh-Pz)	39 992.04
7	IX 北羌塘—三江造山系	IX-2 巴颜喀拉地块	IX-2-2	巴颜喀拉前陆盆地 (T)	118 047.09
8			IX-2-3	碧口弧盆系 (Pt ₃) / 黄龙被动陆缘 (Nh-T)	6 606.67
9			IX-2-4	雅江残余盆地 (T)	42 157.77
10			IX-2-5	炉霍—道孚蛇绿混杂岩带 (P-T ₁)	643.87
11		IX-3 西金乌兰—金沙江—哀牢山结合带	IX-3-2	金沙江蛇绿混杂岩带 (C ₁ -T)	9 095.35
12			IX-3-3	哀牢山花绿混杂岩带 (C-P)	6 248.11

续表

序号	一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	三级构造单元名称	面积/km ²
13	IX 北羌塘—三江造山系	IX-4 昌都—兰坪—思茅地块	IX-4-1	开心岭—杂多—竹卡—景洪岩浆弧 (P ₂ -T ₂)	14 694.08
14			IX-4-2	昌都—兰坪双向弧后前陆盆地 (M ₂)	51 457.87
15			IX-4-3	治多—江达—维西—绿春陆缘弧 (P ₂ -T)	10 617.63
16		IX-6 乌兰乌拉—澜沧江结合带 (P ₂ -T ₂)	IX-6-2	北澜沧江蛇绿混杂岩带 (D-P)	21 187.42
17			IX-6-3	南澜沧江俯冲增生杂岩带 (蛇绿混杂岩带)	3 117.13
18		IX-7 义敦—理塘弧盆系	IX-7-1	甘孜—理塘蛇绿混杂岩带 (P ₂ -T ₂)	15 645.78
19			IX-7-2	义敦—沙鲁里岛弧带 (T ₃)	5 507.02
20			IX-7-3	勉戈—青达柔弧后盆地 (T ₃)	40 921.77
21		IX-8 中咱—中甸地块	IX-8	中咱—中甸地块	15 906.70
22	XI 冈底斯—喜马拉雅造山系	XI-1 冈底斯—察隅弧盆系	XI-1-3	班公—腾冲岩浆弧 (C-K)	15 809.50
23			XI-1-6	隆格尔—工布江达复合岛弧带 (C-K)	3 169.83
24			XI-1-7	冈底斯—下察隅岩浆弧带 (J-E)	2 111.33
25		XI-4 保山地块	XI-4-1	潞西被动陆缘盆地 (€-T ₂)	5 420.88
26			XI-4-2	保山陆表海盆地 (€-T ₂)	14 702.09
27			XI-4-3	耿马被动陆缘盆地 (€-T ₂)	6 374.41
28			XI-4-4	西盟基底变质核杂岩 (Pt ₃)	11 181.04
29	XII 扬子陆块区	XII-1 上扬子陆块	XII-1-1	汉南陆缘裂谷 (Nh)	1 409.66
30			XII-1-2	龙门山—米仓山—大巴山被动大陆边缘 (z-T ₂)	19 763.27
31			XII-1-3	川中前陆盆地 (T ₃ -K)	196 423.66
32			XII-1-4	神农架—黄陵变质基底杂岩 (Pt)	5 720.92
33			XII-1-5	扬子陆块南部碳酸盐岩台地 (Pz-T ₂)	269 545.44
34			XII-1-6	江汉—洞庭断陷盆地 (K-Q)	50 657.03
35			XII-1-7	上扬子东南缘被动边缘盆地 (Pz)	53 262.62
36			XII-1-8	雪峰山陆缘裂谷盆地 (Nh)	45 760.36
37			XII-1-9	上扬子东南缘古弧盆系 (Pt ₂)	11 836.97
38			XII-1-10	湘桂裂谷盆地 (D-P)	166 792.39
39			XII-1-11	康滇基底断隆 (攀西上叠裂谷, P)	68 688.60
40			XII-1-12	盐源—丽江陆缘裂谷盆地 (Pz ₂)	29 791.19
41			XII-1-13	楚雄前陆盆地 (Mz)	34 490.56
42			XII-1-14	哀牢山变质基底杂岩 (Pt)	6 050.54
44			XII-1-15	金平被动陆缘 (S-P)	1 273.13
45			XII-1-16	南盘江—右江陆缘裂谷盆地 (Pz ₂)	96 726.97
46			XII-1-17	富宁—那坡被动边缘盆地 (Pz)	49 026.23
47			XII-1-18	都龙变质基底杂岩 (Pt)	1 217.85
48			XII-1-19	十万大山前陆盆地 (T-J)	17 933.30
49		XII-2 下扬子陆块	XII-2-1	长江中下游弧后裂陷盆地 (J ₃ -K ₁)	15 420.23
50			XII-2-2	下扬子被动陆缘 (Z-Pz ₁)	4 115.16
51			XII-2-3	南华陆缘裂谷盆地 (Nh)	7.65
52			XII-2-4	江南古岛弧 (Pt ₂)	28 039.99

续表

序号	一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元	三级构造单元名称	面积 /km ²
53	XIII 江绍—郴州—钦 防对接带	XIII-3 新余—东乡增生 杂岩带	XIII-3	新余—东乡增生杂岩带	1 546.92
54		XIII-4 钦防残余盆地 (S-P2)	XIII-4	钦防残余盆地 (S-P ₂)	7 962.04
55	XIV 华夏造山系	XIV-1 武夷—云开弧盆 系	XIV-1-1	罗霄岩浆弧 (P _z)	64 633.91
56			XIV-1-2	新干—永丰 (赣西南) 弧间盆地	1 638.84
57			XIV-1-3	六万大山—大容山岩浆弧 (P ₂ -T ₁₊₂)	15 384.88
58			XIV-1-4	武夷地块 (Pt ₁) (岛弧 O-S)	48 028.06
59			XIV-1-5	信宜—贵子坑坪蛇绿混杂岩带 (Nh-Є)	1 432.77
60			XIV-1-6	云开 (Pt ₁) 地块, 岛弧 (O ₃ -S)	22 161.95
61		XIV-3 东南沿海岩浆弧	XIV-3-1	浙闽粤沿海岩浆弧 (J-K)	24 059.96
62			XIV-3-2	粤南岩浆弧 (P _{z1} 、T-K ₂)	41 261.95
63		XIV-5 海南弧盆地	XIV-5-1	雷琼裂谷 (Cz)	8 775.53
合计					1 915 036.19

第三节 岩溶发育条件

一、岩溶发育分区

根据大地构造单元、沉积相、地形地貌、地层岩性、气象条件及岩溶发育特征等,将西南岩溶石山区岩溶发育程度划分为强、较强、中等、弱四类 26 个大区(图 1-3、表 1-2)。

1. 川西北构造剥蚀高原区 (I)

该区分布于平武—茂县—汶川—宝兴—康定以西,石渠—甘孜—道孚—康定以北地区,大地构造属于北羌塘—三江造山系巴颜喀拉前陆盆地,属于青藏高原东麓,海拔 2000~5000 m,发育北西—南东向大渡河、岷江、鲜水河,由北向南径流,分属大渡河、青衣江和岷江干流、雅砻江流域。主要为变质岩、火山岩及石英砂岩、页岩等碎屑岩。仅东南部分布有奥陶系大河边组深—浅灰色石英岩、片岩夹大理岩,上部碳酸盐岩增多,分布面积 3800 km²,占西南岩溶石山区全区面积 3%,属碎屑岩分布区。

2. 川北剥蚀溶蚀区 (II)

该区位于川北松潘县、平武县、青川县北部,南坪县南部,分布面积 6800 km²,大地构造属于北羌塘—三江造山系巴颜喀拉地块碧口弧盆系/黄龙被动陆缘。周围被断裂围限,北缘以塔藏—勉略结合带与南秦岭晚古生代裂陷盆地邻,西侧以岷江断裂为界,南东侧以平武—阳平关—勉县断裂带与龙门山逆推带相接。

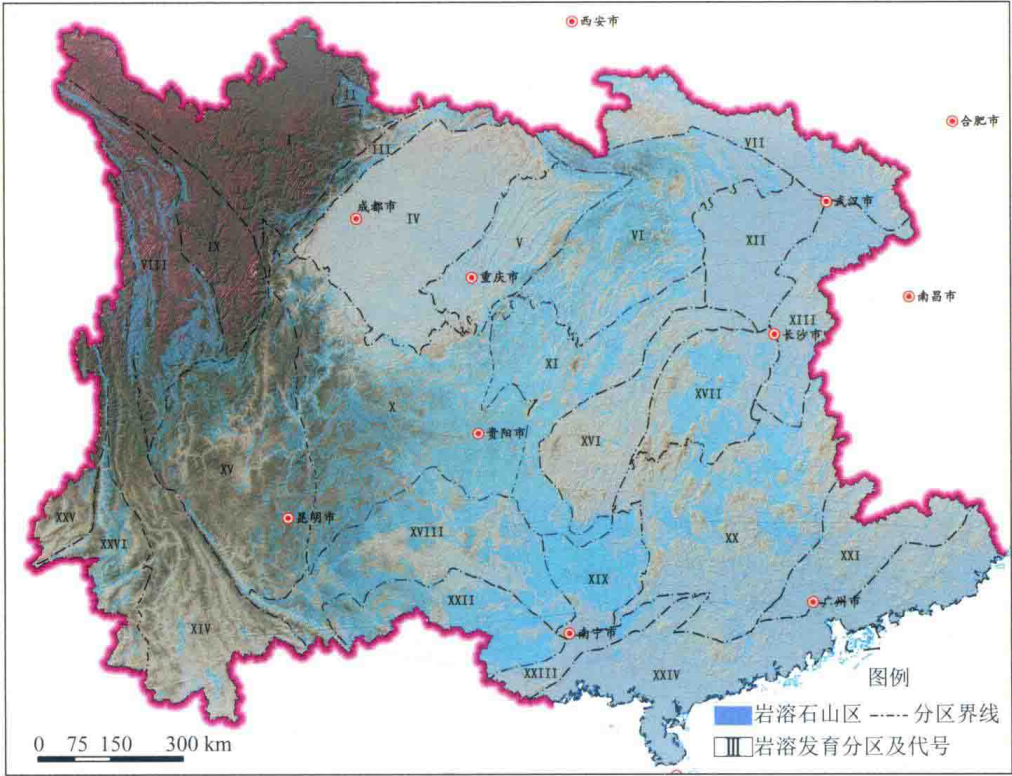


图 1-3 西南岩溶石山区岩溶发育分区图

I: 川西北构造剥蚀高原区; II: 川北剥蚀溶蚀区; III: 川中斜坡岩溶峡谷区; IV: 四川盆地构造剥蚀低山丘陵区; V: 川东渝中岩溶峡谷区; VI: 鄂西渝东湘西北岩溶中山区; VII: 鄂北鄂东北岗地低山丘陵区; VIII: 攀西滇西北高原岩溶峡谷区; IX: 雅江残余盆地构造剥蚀中山区; X: 云贵高原峰丛峡谷洼(谷)地区; XI: 黔北湘西峰丛谷地地区; XII: 江汉—洞庭平原区; XIII: 鄂东南湘东岗地低山丘陵区; XIV: 滇西中山峡谷区; XV: 攀西滇西北高原峡谷—褶皱盆地; XVI: 黔东南桂北湘西南中山谷地地区; XVII: 湘中中低山峰林峰丛谷地—溶丘洼地区; XVIII: 云贵高原斜坡峰丛盆(洼)谷地区; XIX: 桂中峰林平原、岩溶垄岗地貌区; XX: 湘南粤北桂东北峰林谷地—溶丘洼地区; XXI: 粤东北低山丘陵区; XXII: 滇东南桂西南峰丛、峰林谷地地区; XXIII: 桂东南孤峰平原区; XXIV: 桂南粤东粤南沿海岩浆弧丘陵平原区; XXV: 滇西岩浆弧剥蚀区; XXVI: 保山地块褶皱带岩溶峡谷区

表 1-2 西南岩溶石山区岩溶发育分区表

序号	分区 代号	名称	各区面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	碳酸盐岩分布面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	碳酸盐岩 面积比例/%	岩溶发育 程度
1	I	川西北构造剥蚀高原区	12.68	0.38	3.00	—
2	II	川北剥蚀溶蚀区	0.68	0.31	45.59	中等
3	III	川中斜坡岩溶峡谷区	2.38	0.87	36.55	中等
4	IV	四川盆地构造剥蚀低山丘陵区	12.59	0.19	1.51	—
5	V	川东渝中岩溶峡谷区	5.74	1.57	27.35	中等
6	VI	鄂西渝东湘西北岩溶中山区	11.48	7.16	62.37	强
7	VII	鄂北鄂东北岗地低山丘陵区	6.42	0.96	14.95	弱
8	VIII	攀西滇西北高原岩溶峡谷区	8.10	2.86	35.31	中等
9	IX	雅江残余盆地构造剥蚀中山区	4.39	0.17	3.87	—
10	X	云贵高原峰丛峡谷洼(谷)地区	17.22	10.01	58.13	强
11	XI	黔北湘西峰丛谷地地区	8.22	5.31	64.60	强

续表

序号	分区 代号	名称	各区面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	碳酸盐岩分布面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	碳酸盐岩 面积比例 /%	岩溶发育 程度
12	XII	江汉—洞庭平原区	5.20	0.03	0.58	—
13	XIII	鄂东南湘东岗地低山丘陵区	4.85	0.66	13.61	弱
14	XIV	滇西中山峡谷区	11.47	0.76	6.63	弱
15	XV	攀西滇西北高原峡谷—褶皱盆地区	13.47	3.30	24.50	中等
16	XVI	黔东南桂北湘西南中山谷地区	5.82	0.45	7.73	弱
17	XVII	湘中中低山峰林峰丛谷地—溶丘洼地区	5.44	2.12	38.97	较强
18	XVIII	云贵高原斜坡峰丛盆（洼）谷地区	10.08	5.09	50.50	强
19	XIX	桂中峰林平原、岩溶垄岗地貌区	3.56	2.30	64.61	强
20	XX	湘南粤北桂东北峰林谷地—溶丘洼地区	14.33	3.17	22.12	较强
21	XXI	粤东北低山丘陵区	4.95	0.14	2.83	—
22	XXII	滇东南桂西南峰丛、峰林谷地区	4.96	3.14	63.31	强
23	XXIII	桂东南孤峰平原区	7.18	0.32	4.46	中等—弱
24	XXIV	桂南粤东粤南沿海岩浆弧丘陵平原区	11.87	0.04	0.34	—
25	XXV	滇西岩浆弧剥蚀区	2.12	0.23	10.85	弱
26	XXVI	保山地块褶皱带岩溶峡谷区	3.75	1.04	27.73	中等
合计			198.95	52.58	—	—

新太古代—古元古代鱼洞子变质基底杂岩由表壳岩和变质古侵入体——浅红色花岗片麻岩、灰色黑云斜长片麻岩构成。中元古代—新元古代黑木林—峡口驿基底缝合带、阳坝岩浆弧、秧田坝弧后盆地构成北东向前南华纪碧口古弧盆系的主体。南华系—震旦系白依沟组岩性为含砾凝灰岩、凝灰质砂岩、粉砂质板岩及冰碛砾岩。古生代到早中三叠世作为扬子陆块西部的被动大陆边缘，为稳定的碎屑岩—碳酸盐岩沉积。早三叠世由于勉县—略阳洋盆闭合及其碰撞造山，发生强烈褶皱变形，形成造山剥蚀区，晚三叠世、侏罗纪—白垩纪未接受沉积。同时有大量与碰撞作用有关的花岗岩侵入。二叠系厚层—块状碳酸盐岩分布面积 3100 km^2 ，占全区面积的 45.59%。

3. 川中斜坡岩溶峡谷区 (III)

该区位于四川盆地西部青川—北川—汶川—宝兴—康定—泸定一带，大地构造属于龙门山—米仓山—大巴山被动大陆边缘。东南以江油—都江堰断裂带与川西前陆盆地相隔，西以茂汶—丹巴断裂带与巴颜喀拉造山带分界。该带为一呈东北—西南向延展的构造单元，其间以北川—映秀断裂带划分为两个次级单元：东部为前山逆冲—推覆带，由一系列收缩性铲式断层分割的冲断岩片组成，以北段唐王寨推覆体规模最大，中、南段出现飞来峰群；西部为后山褶皱—推覆带，由多个古老火山—沉积岩、岩浆杂岩推覆体组成，形成叠瓦状岩片，由西向东推覆。

米仓山—大巴山被动大陆边缘介于秦岭造山带（北）与四川陆内前陆盆地（南）之间，西接龙门山基底逆推带。区内由中元古代—新元古代基底变质岩系、南华纪中酸性火山

岩、磨拉石建造和相关花岗岩,以及震旦纪—志留纪和二叠纪—中三叠纪稳定性海相沉积组成,缺失泥盆纪—石炭纪地层。先后历经古岛弧、后造山裂谷和被动大陆边缘演化过程,于晚三叠世因秦岭洋闭合引起碰撞造山,导致基底逆推上隆。

泥盆系—二叠系碳酸盐岩分布面积 8700 km^2 , 占全区面积 36.55%, 岩溶中等发育。

4. 四川盆地构造剥蚀低山丘陵区 (IV)

该区为四川盆地主体,大地构造属于川中前陆盆地,为晚三叠世,前陆推覆、逆冲作用及构造加积负载作用下形成的前陆断陷盆地,以堆积了巨厚的中生代—新生代陆相红色碎屑岩—蒸发岩及山前磨拉石建造为特征,第四系松散堆积物尤为发育,为非岩溶石山区。

5. 川东渝中岩溶峡谷区 (V)

该区主要为川中盆地东侧山地丘陵区,大地构造属于四川盆地东部川东褶皱带,地貌特征为一系列平行展布的北东向窄岭背斜低山与宽谷向斜或台地,山脊多有碳酸盐岩出露,其余为砂岩、泥岩分布,东部海拔 $600 \sim 800 \text{ m}$, 西部海拔 $200 \sim 600 \text{ m}$, 岩溶中等发育。中上泥盆统、侏罗系碳酸盐岩分布面积 $1.57 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全区面积 27.35%, 岩溶中等发育。

6. 鄂西渝东湘西北岩溶中山区 (VI)

该区位于渝东武隆—彭水—酉阳以北,湘西花垣—石门,宜昌—荆门以西,鄂西襄阳—宜城以南地区,大地构造属于扬子陆块南部碳酸盐岩台地北部、北淮阳—佛子岭增生杂岩带及神农架—黄陵变质基底杂岩。

乌江、清江、酉水、澧水、汉江、洞庭湖环湖区、宜宾至宜昌干流流域,该区地形切割强烈,碳酸盐岩分布面积 $7.16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全区面积 62.37%, 岩溶强发育。

7. 鄂北鄂东北岗地低山丘陵区 (VII)

鄂北鄂东北岗地低山丘陵区,位于镇坪—房县—襄阳—孝感—黄州—黄梅以北地区,属于汉江上游及长江中游武汉—湖口左岸,大地构造上分别属于武当—随州陆缘裂谷、大别山高压—超高压变质折返带两个单元。

鄂北武当—随州陆缘裂谷根据构造分为两个阶段,一是南华纪—震旦纪,二是寒武纪—志留纪。南华纪以碎屑浊积岩和火山岩组合为特征,夹少量台地相碳酸盐岩、碎屑—碳酸盐岩建造。寒武系—奥陶系由盆地相硅泥质岩、深水相碎屑—碳酸盐岩、台地相碳酸盐岩、滨浅海碎屑岩、陆源碎屑浊积岩夹火山岩组成。志留系由碎屑浊积岩、台盆硅泥质岩、滨浅海碎屑岩、台地碎屑—碳酸盐岩夹溢流火山岩组成。火山岩为玄武岩—英安岩—粗面岩—流纹岩组合。泥盆系以滨浅海砂岩、粉砂岩建造为主。碳酸盐岩分布面积 9600 km^2 , 西高东低,由西北向东南,呈中山—低山—丘陵逐级下降,受风化剥蚀,切割强烈,地形破碎,岩溶发育弱。

鄂东北低山丘陵区,地势东北高,西南低。由东北向西南呈中山—低山—丘陵逐级下降,海拔从 $800 \sim 1000 \text{ m}$ 逐渐下降到 $100 \sim 200 \text{ m}$, 形成桐柏山—大别山长达 440 km 的向阳斜面。该区易受风化剥蚀,切割强烈,地形破碎。许多分水岭海拔低于 500 m 。蕲水、

浠水、巴河、举水、淝水, 循向阳面发育, 平行并列南下, 中、下游河谷宽平。

8. 攀西滇西北高原岩溶峡谷区 (VIII)

该区位于攀西德格—白玉—理塘—巴塘—稻城, 滇西北中甸一带, 大地构造上属于义敦—理塘弧盆系, 呈北北西—南南东方向展布。义敦—理塘弧盆系包括甘孜—理塘蛇绿混杂岩带、义敦—沙鲁里岛弧带和勉戈—青达柔弧后盆地 3 个二级构造单元。该区属于金沙江上游直门达至石鼓流域和雅砻江流域, 地势西北高, 东南低。分布有三叠系不变质岩、砂岩夹灰岩, 发育西北—东南向岩溶峡谷, 地形切割强烈, 地下水向河流排泄, 基本不发育较大规模的岩溶地下河, 岩溶发育中等。

9. 雅江残余盆地构造剥蚀中山区 (IX)

该区位于甘孜—雅江—九龙—木里一带, 大地构造属于北羌塘—三江造山系巴颜喀拉地块雅江残余盆地, 东、西两侧分别由炉霍—道孚蛇绿混杂岩带和甘孜—理塘蛇绿混杂岩带所围限。雅江残余盆地的基底仅在木里、锦屏山一带局限出露, 盆地东侧有元古宙结晶基底变质岩系, 叠置其上的古生界为扬子陆块西缘的被动边缘盆地沉积。盆地内部的二叠纪枕状玄武岩大面积展布, 显示洋陆过渡壳的构造环境。三叠系被称作西康群, 主要为一套以巨厚碎屑岩为主的复理石建造, 发育典型退积式浊积扇沉积。

该区属于金沙江水系雅砻江流域, 仅在甘孜—新龙一带出露有上三叠统结晶灰岩, 碳酸盐岩分布面积 1700 km^2 , 为非岩溶石山区。

10. 云贵高原峰丛峡谷洼 (谷) 地区 (X)

该区为云贵高原主体区, 位于川滇黔三省交界处, 五莲峰、拱王山、乌蒙山、大娄山、苗岭近南北向横贯其中。金沙江、乌江由南向北径流, 南盘江、可渡河穿过全区, 区内乌蒙山为长江、珠江分水岭, 水分向南北两个方向径流。大地构造属于扬子陆块南部碳酸盐岩台地。碳酸盐岩台地盖在梵净山群等前震旦系地层。全区从震旦纪到三叠纪大部分地区处于稳定的构造环境, 盖层除缺失泥盆系外, 总体比较齐全, 但各地发育程度不一。二叠纪末在西部地区峨眉山火山岩事件表现强烈, 西侧以南北向小江断裂、北西向紫云—鲁甸、北东向弥勒—师宗等为玄武岩主喷发溢流通道。从西向东喷发堆积了西厚东薄的陆相的大陆隘流玄武岩。到中三叠世约 220 Ma , 扬子陆块区的海相沉积历史结束。上三叠覆了侏罗系拗陷盆地亚相, 由河—湖相含煤碎屑岩组合、湖泊泥岩粉砂岩组合、冲积扇砂砾岩组合组成。可细分为滇东北拗褶带中山峡谷子区, 滇东中部台背斜台褶带山原盆地子区, 黔西南褶皱带峰丛峡谷 (谷地) 子区, 黔北峰丛谷地、垄岗槽谷岩溶中等发育子区 4 个子区。

(1) 滇东北拗褶带中山峡谷子区

滇东北拗褶带中山峡谷子区地处五莲峰和乌蒙山区。西部五莲峰山地海拔 $3000 \sim 3500 \text{ m}$, 最高峰药山海拔 4040 m , 金沙江谷底海拔 $600 \sim 700 \text{ m}$, 高差 $1000 \sim 1500 \text{ m}$; 东部山地海拔 $1000 \sim 2500 \text{ m}$, 河谷最低海拔 500 m , 高差 $500 \sim 1500 \text{ m}$ 。属金沙江流域, 江河纵横, 地形切割较强烈。南北、北东及北东东向断裂及梳状褶皱为主体构造, 从元古界到中生界各地层碳酸盐岩与碎屑岩呈条带状相间出