

贵州典型地质灾害成灾模式及预警预报
关键技术研究(黔科合重大专项字〔2011〕6004号) 资助

贵州岩溶塌陷

GUIZHOU YANRONG TAXIAN

丁坚平 褚学伟 段先前 梁风 王中美 编著

地质出版社

贵州典型地质灾害成灾模式及预警预报关键技术研究(黔科合重大专项字〔2011〕6004号) 资助

贵 州 岩 溶 塌 陷

丁坚平 褚学伟 段先前 梁 风 王中美 编著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书归纳、总结贵州省岩溶塌陷成因类型和研究进展,综合分析岩溶塌陷地质灾害的地质环境条件和时空分布特征;结合工程实例,阐述岩溶塌陷的成灾模式、危险性评价、勘查、稳定性评价、防治、监测及预警预报的技术方法。

本书可供从事水文、工程、环境地质及岩土工程、环境工程等方面工作的相关技术人员阅读,亦可作为高等院校教学参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

贵州岩溶塌陷 / 丁坚平等编著. —北京:地质出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-116-09926-5

I. ①贵… II. ①丁… III. ①岩溶塌陷—研究—贵州
IV. ①P642. 26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 061673 号

Guizhou Yanrong Taxian

责任编辑:田泽瑾 吴金键

责任校对:王 瑛

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)66554528 (邮购部); (010)66554622 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010)66554622

印 刷: 北京地大彩印有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 9.5

字 数: 230 千字

版 次: 2017 年 5 月北京第 1 版

印 次: 2017 年 5 月北京第 1 印刷

定 价: 65.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-09926-5

(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)

前 言

2010年6月28日贵州省发生“关岭6·28特大滑坡”，共造成关岭县岗乌镇大寨村大寨、永窝两个村民组37户57人失踪、42人死亡。针对贵州全省地质灾害具有种类多、分布广、易诱发、影响大等特点，贵州省国土资源厅、贵州大学组织贵州大学、教育部喀斯特地质灾害及防治重点实验室、贵州省地质环境监测院及贵州省山地环境气候研究所，于2011年共同申报并立项贵州省科技厅重大专项计划项目（黔科合重大专项字〔2011〕6004号）——“贵州典型地质灾害成灾模式及预警预报关键技术研究”。该项目共分5个课题：①贵州典型地质灾害孕灾背景及发育规律研究；②贵州典型斜坡地质灾害成灾模式及预警预报关键技术研究；③贵州岩溶塌陷成灾模式及预警预报关键技术研究；④贵州矿山开采沉陷成灾模式及预警预报关键技术研究；⑤贵州典型示范区地质灾害气象预警预报系统研究。

本书为课题3——“贵州岩溶塌陷成灾模式及预警预报关键技术研究”完成的内容，课题组褚学伟、段先前、梁风、王中美等主持和参与了2011年、2012年贵州省国土资源厅“贵州省重点地区重大地质灾害隐患详细调查”地勘基金项目，完成了遵义市绥阳县、黔南州瓮安县、贵阳市乌当区、清镇市等重点地区重大地质灾害隐患详细调查工作，并收集了全省88个县的地面塌陷地质灾害调查资料。2013年5月和2014年6月对独山县下司镇交摆和贞丰县鱼岩等发生的岩溶塌陷地质灾害点进行了勘查。2016年6月对安顺市西秀区岩溶塌陷监测预警示范点进行了调研。上述工作为课题3的完成提供了全面可靠的基础资料和深入的实践认识。

本书采用理论与工程实例分析等方法，系统阐述贵州省岩溶塌陷成灾模式、勘查、稳定性评价、防治、监测及预警预报技术等：

- 1) 归纳、总结贵州省岩溶塌陷成因类型及研究进展；
- 2) 根据全省88个县的地面塌陷地质灾害调查资料，全面详细地分析贵州省岩溶塌陷地质灾害的地质环境条件和时空分布特征；
- 3) 通过工程实例，分析土洞、抽水型和渗压效应型岩溶塌陷的成灾模式，

并进行稳定性评价；

4) 利用“集对分析”等新方法，预测、评价岩溶塌陷危险性；

5) 依托 2013 年中央特大型地质灾害治理项目“凤冈县新建乡集镇岩溶塌陷地质灾害治理”，重点研讨典型白云岩地层岩溶塌陷的机理、评价方法、监测和治理的措施；

6) 依托安顺市西秀区岩溶塌陷预警预报示范点，阐述岩溶塌陷预警预报的监测技术方法、临界条件及判别依据。

感谢吴莹博士及硕士研究生曹兴民、丁力、杨平波、张深、董毓、仲星颖、杨倩、杨建华、罗海洲、冯福、羊永夫、蒲文斌、周维星、党爽、黄姗、孟银贵、解超、蒙发强、杨洋、曹云云、丁航航、董雪妍。

感谢贵州省地质环境监测院及贵州省地质矿产勘查开发局 114 地质大队、111 水文地质大队、107 地质大队。

2016 年 8 月 30 日

目 录

前 言

第一章 岩溶塌陷概述	(1)
第一节 岩溶塌陷相关术语简介	(1)
第二节 岩溶塌陷概念	(1)
第三节 岩溶塌陷分类、规模及形态	(1)
第四节 贵州岩溶塌陷研究概况	(2)
第二章 贵州岩溶塌陷地质灾害	(4)
第一节 贵州岩溶塌陷概况	(4)
第二节 自然地理	(5)
一、地理位置	(5)
二、气候	(5)
三、水文	(6)
四、土壤与植被	(8)
第三节 区域地质	(8)
一、地形地貌	(8)
二、地层岩性	(10)
三、地质构造	(11)
四、岩溶水文地质条件	(12)
第四节 贵州岩溶塌陷分布及调查史	(13)
一、岩溶塌陷分布	(13)
二、各市(州)岩溶塌陷调查史	(15)
第三章 贵州岩溶塌陷形成机理及影响因素	(35)
第一节 岩溶发育及岩溶水特征	(35)
一、岩溶发育的基本条件及影响因素	(35)
二、可溶岩及岩溶发育的不均匀性	(35)
三、岩溶埋藏分类及岩溶率	(35)
四、岩溶发育程度分类	(36)
五、岩溶水特征	(38)
第二节 岩溶塌陷形成条件	(40)
一、空间条件	(40)
二、上覆岩土条件	(40)

三、水动力条件·····	(41)
第三节 岩溶塌陷机理·····	(41)
一、重力作用塌陷·····	(42)
二、机械潜蚀作用塌陷·····	(42)
三、真空吸蚀作用塌陷·····	(43)
四、冲爆作用塌陷·····	(46)
五、荷载塌陷·····	(48)
六、化学作用塌陷·····	(48)
七、混合作用塌陷·····	(48)
第四节 贵州岩溶塌陷发育的影响因素及其关系·····	(49)
一、地形地貌对岩溶塌陷分布的影响·····	(49)
二、地层岩性对岩溶塌陷分布的影响·····	(50)
三、岩溶发育特征·····	(50)
四、构造对岩溶塌陷分布的影响·····	(53)
五、红黏土厚度变化与塌陷的关系·····	(53)
六、土洞发育与岩溶塌陷的关系·····	(53)
七、地下水·····	(55)
第五节 贵州岩溶塌陷成因案例分析·····	(58)
一、案例 1——贵阳中华北路岩溶塌陷·····	(58)
二、案例 2——六盘水市岩溶塌陷成因及影响因素·····	(59)
三、案例 3——德江县大顶山岩溶塌陷形成机制·····	(61)
四、案例 4——贵州牛场岩溶塌陷形成机制·····	(62)
五、其他成因的岩溶塌陷·····	(63)
第四章 岩溶塌陷勘查评价·····	(70)
第一节 土洞勘查与评价·····	(70)
一、土洞勘探工作的基本原则·····	(70)
二、土洞场地及地基评价的基本准则·····	(70)
三、土洞分布规律的预测评估·····	(71)
四、土洞勘察与评价案例·····	(71)
第二节 抽水塌陷勘查与评价·····	(81)
一、抽(排)水塌陷勘察要点·····	(81)
二、预测抽(排)水塌陷需收集的水文地质参数·····	(81)
三、抽水塌陷场地及地基评价·····	(81)
四、抽水型岩溶塌陷评价案例·····	(82)
五、渗压型岩溶塌陷评价案例·····	(91)
第三节 基于集对分析法岩溶塌陷危险性预测评价·····	(97)
一、集对分析理论·····	(97)
二、基于集对分析的岩溶塌陷危险性预测评价模型·····	(97)

三、运用实例·····	(99)
第四节 煤窑采空区塌陷评价·····	(101)
一、概述·····	(101)
二、工程地质概况·····	(101)
三、021 塔地基稳定性评价·····	(103)
四、021 塔地基处理建议·····	(104)
五、小结·····	(104)
第五章 贵州典型白云岩地层岩溶塌陷预测与防治·····	(105)
第一节 凤冈县新建乡岩溶塌陷概况·····	(105)
第二节 地质环境·····	(105)
一、气象、水文·····	(105)
二、地形、地貌·····	(106)
三、地层岩性·····	(106)
四、地质构造特征·····	(107)
五、水文地质条件·····	(109)
六、人类工程活动·····	(110)
第三节 岩溶塌陷的基本特征·····	(111)
一、岩溶发育特征·····	(111)
二、岩溶塌陷发育地质条件·····	(113)
三、岩溶塌陷特征·····	(115)
四、岩溶塌陷形成的地质模式·····	(117)
五、岩溶塌陷机理·····	(117)
六、岩溶塌陷的预测评价·····	(118)
第四节 岩溶塌陷防治对策·····	(122)
一、岩溶塌陷防治思路·····	(122)
二、岩溶塌陷的预防和监测预报·····	(123)
第五节 岩溶塌陷治理措施·····	(124)
一、控水措施·····	(124)
二、地下加固措施·····	(124)
三、修复工程及土地复垦工程·····	(124)
第六章 贵州岩溶塌陷监测及预警预报·····	(125)
第一节 贵州省地质灾害监测预警预报体系简介·····	(125)
第二节 专业自动化监测点建设简介·····	(125)
第三节 岩溶塌陷监测案例·····	(126)
一、监测区地质背景·····	(126)
二、岩溶塌陷监测系统·····	(128)
参考文献·····	(139)

第一章 岩溶塌陷概述

第一节 岩溶塌陷相关术语简介

根据中华人民共和国国家标准《岩溶地质术语》(GB 12329—90)第 7.1 条至第 7.4 条,与岩溶塌陷相关的地质术语如下:

土洞 (soil cave): 发育在可溶岩上覆土层中的空洞。

岩溶塌陷 (karst collapse): 在岩溶地区,由于下部岩体中的洞穴扩大而导致顶板岩体的塌落;或上覆土层中的土洞顶板因自然或人为因素失去平衡产生下沉或塌落的通称。

岩溶陷落柱 (karst collapse breccias pipe): 埋藏型岩溶的地下溶洞的顶部岩层及覆盖层失去支撑,发生坍塌和剥落产生上小下大的锥状陷落体。

岩溶气爆 (karst explosion): 岩溶管道中的气水压力作用破坏周围的岩土的气爆现象。

根据《国土资源部关于加强地质灾害危险性评估工作的通知》(国土资发〔2004〕69 号)附件 1《地质灾害危险性评估技术要求(试行)》7.2.4 条,地面塌陷包括岩溶塌陷和采空塌陷。

第二节 岩溶塌陷概念

岩溶塌陷是指覆盖在溶蚀洞穴之上的松散土体,在外动力或人为因素作用下产生的突发性地面变形破坏,其结果多形成圆锥形单个或多个塌陷坑。

岩溶塌陷是地面变形破坏的主要类型,多发生于碳酸盐岩、钙质碎屑岩和盐岩等可溶性岩石分布地区。激发塌陷活动的直接诱因除降雨、洪水、干旱、地震等自然因素外,往往与抽水、排水、蓄水和其他工程活动等人为因素密切相关,而后者往往规模大、突发性强,危害也就大等特点。岩溶塌陷发育于碳酸盐岩分布区,其形成受到环境和人类活动的双重影响。

第三节 岩溶塌陷分类、规模及形态

中国地质调查局 1:50000 岩溶塌陷调查规范(2014 年征求意见稿)附录 G 中划分的岩溶塌陷类型如下:

G1: 根据岩溶塌陷的形成时期、可溶岩类型、岩溶塌陷诱发(触发)因素及塌陷体岩性,划分的岩溶塌陷类型见表 1-1。

表 1-1 岩溶塌陷综合分类表

分类标志	按形成时期	按可溶岩类型	按成因（诱发因素）类型		崩塌体岩性
			自然塌陷	人为塌陷	
类型	新塌陷（现代） 老塌陷（第四纪） 古塌陷（第四纪前）	碳酸盐岩岩溶塌陷 石膏岩溶塌陷 岩盐岩溶塌陷 红层岩溶塌陷	暴雨塌陷 干旱塌陷 地震塌陷 重力塌陷	矿山岩溶塌陷 抽水岩溶塌陷 蓄水岩溶塌陷 渗漏岩溶塌陷 荷载岩溶塌陷	土层塌陷 基岩塌陷

G2：根据单一塌陷坑的大小、塌陷群包含塌陷坑数量、岩溶塌陷的影响范围，可将岩溶塌陷的规模分为大、中、小 3 个等级，见表 1-2。

表 1-2 岩溶塌陷规模分级表

分类指标	类 型		
	大型	中型	小型
塌陷坑直径/m	>50	10~50	<10
塌陷坑数量/个	>20	5~20	<5
塌陷坑的影响范围/hm ²	>10	1~10	<1

注：规模分级按就高原则进行。

G3：根据岩溶塌陷形态特征划分，见表 1-3。

表 1-3 岩溶塌陷的形态特征

形态	特征
平面形态	圆形或似圆形 椭圆形、长条形 不规则形：一般为多个塌陷坑组成
剖面形态	坛状：口小肚大，塌陷坑壁呈反坡状 圆柱状：塌陷坑壁陡立呈直筒状 碟状：塌陷坑呈平缓凹陷，面积大，深度小，呈碟形 漏斗状：口大底小，塌陷坑壁呈斜坡状，状如漏斗 复合状：老塌陷复活成塌陷在同一地点重复出现，新老塌陷叠加复合而成

第四节 贵州岩溶塌陷研究概况

20 世纪 70 年代以来，国内及省内学者在对贵州的水文地质、工程地质、环境地质、建筑、铁路、公路、水利工程等勘察工作中，对岩溶塌陷开展了大量的调查研究，取得的主要成果如下：

1972—1976 年，中国人民解放军某部队及贵州省地质矿产局等提交了《贵州省 1：20 万区域水文地质普查报告》，对普查区的岩溶塌陷有专项论述。

1985—1989年,铁道部第二勘测设计院开展了“铁路沿线岩溶塌陷及防治”项目的研究工作,对贵昆线小哨、浑水塘段等50余处岩溶塌陷严重发育区进行全面勘察、治理,取得了良好的效果。

1985年,贵州省地质矿产勘查开发局111地质大队提交《1:50000贵阳市城市供水水文地质勘察报告》,对贵阳市岩溶塌陷进行了专题研究。

1985年,贵州工学院地质系开展的“独山南部地区岩溶水资源评价及开发利用研究”,对该地区岩溶地貌作了专题分析。

1987年,贵州科学院山地资源研究所开展的“水城盆地岩溶水资源研究”,对水城盆地抽取地下水而引发的岩溶塌陷作了调查分析。

1990—2016年,贵州省先后有缪钟灵、刘凯栋、徐文、郭强、曹卫峰、陈鸿吟、郑玉元、王顺祥、邓自民、雷明堂、杨德财、苏维词、程星、李卫民、陈登齐、郝江南、綦娅、褚学伟、段先前等对贵州省各地的岩溶塌陷成因、类型、分布、评估及防治进行了分析研究。

2003年,贵州省交通规划勘察设计研究院承担的“西部地区公路地质灾害监测预报技术研究”项目对贵州境内的贵黄、贵遵、贵新、麻凯高等级公路和正在进行勘测设计的水黄、关兴、玉凯、崇遵等高等级公路的岩溶地面塌陷开展了监测预报技术研究,把地质灾害监测预报技术应用于确保公路安全。

2012—2013年,贵州省国土资源厅开展了全省88个县重点地区重大地质灾害隐患详细调查工作,为政府制定地质灾害防治规划和实施地质灾害预警工程及治理工程提供详实的基础依据。

2012年,贵州省国土资源厅委托成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室承担了“贵州省地质灾害监测预警与决策支持平台研究”项目,在贵州省地质灾害发育分布规律和形成机理研究的基础上,开发地质灾害自动化监测仪器,建立监测预警示范区,对重点地质灾害隐患点进行自动化专业监测,开发地质灾害监测预警信息系统,构建了一个以地质灾害灾情信息采集系统为基础、通信系统为保障、计算机网络系统为依托、国土部门为中心的地质灾害信息管理系统和决策支持平台。增强贵州地质灾害减灾防灾的能力。

2012—2014年,贵州省地质矿产勘查开发局114地质大队申报中央财政地质灾害治理专项资金1000万元用于“贵州省凤冈县新建乡集镇岩溶塌陷地质灾害勘查及治理”项目研究,为贵州省特大型岩溶塌陷地质灾害治理工程。

贵州省国土资源厅2014年建立“贵州地质灾害监测预警系统”,在汛期作出气象地灾预警预报,也为贵州岩溶塌陷防治、塌陷抢险以及城镇规划提供了支撑条件。

2016年完成的贵州省科技厅重大专项计划项目(黔科合重大专项字〔2011〕6004号)“贵州典型地质灾害成灾模式及预警预报关键技术研究”,以贵州岩溶和层状岩体为特色的地质环境条件和地质灾害孕灾背景,在系统研究贵州地质灾害的分布现状与发育规律、典型斜坡地质灾害(崩塌、滑坡、泥石流)、岩溶塌陷和矿山开采沉陷的成灾模式及处治技术的基础上,全面研究贵州主要地质灾害发生的临界条件、判别依据和预警预报判据,研发“贵州省典型示范区地质灾害气象预警预报系统”,为贵州省地质灾害防治工作提供理论指导和技术支撑。

第二章 贵州岩溶塌陷地质灾害

第一节 贵州岩溶塌陷概况

贵州是我国碳酸盐岩分布面积最广、碳酸盐岩地层出露厚度最大、岩溶强烈发育的省区，恰处于世界发育最复杂、类型最齐全、集中分布面积最大的东亚岩溶区域中心。贵州所处的低纬度、高海拔的湿润亚热带环境，也使岩溶地貌表现为裸露型岩溶，从而形成了独特的地域环境和脆弱的生态环境。贵州独特的地质环境条件可概括为：“以高山峡谷和岩溶现象为特征的地貌条件；以中高地应力环境、活动性断裂及中强地震动力环境为特点的地壳内动力条件；以河谷浅表生改造和大型崩滑地质灾害发育为特征的外动力条件；以复杂地质结构为特点的场地条件；以岩溶裂隙水和地下暗河等为特征的水文地质条件”。

据贵州省地质环境监测院（2013），地面塌陷在贵州省地质灾害发育程度中处于第4位，有843处（个），占地质灾害总数的7.7%。地面塌陷以冒顶型塌陷为主，有583处（个），占地面塌陷灾害总数的69.2%；其次为岩溶型塌陷，有238处（个），占地面塌陷灾害总数的28.2%；再次为土洞型塌陷，有19处（个），占地面塌陷灾害总数的2.3%；成因不明的有3（个），占地面塌陷总数的0.3%。重大塌陷地质灾害中，成因类型以冒顶型塌陷为主，有311处（个），占重大地面塌陷灾害的79.3%；其次为岩溶塌陷，有77处（个），占重大地面塌陷灾害的19.6%；土洞型塌陷较少，仅有4处（个）。在调查到的地面塌陷中，岩溶型塌陷和冒顶型塌陷在毕节市分布最多，分别为18处（个）和90处

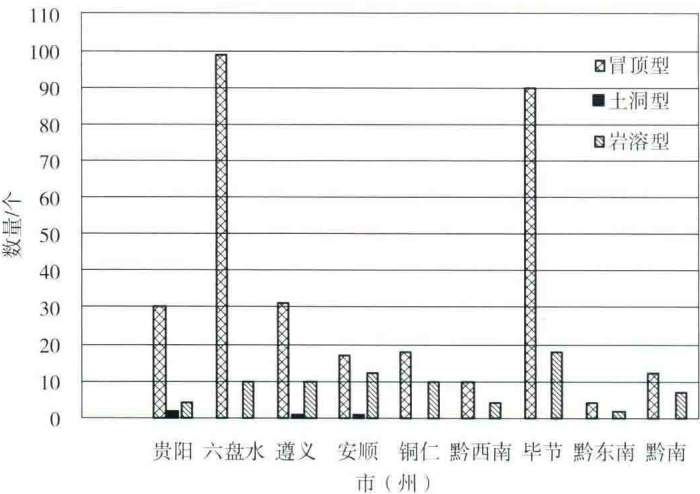


图 2-1 地面塌陷成因类型

（个）；这两类地面塌陷在黔东南州最少，分别仅有2处（个）和4处（个）。土洞型塌陷在全省均不发育，形成的塌陷点较少。

由统计可知，非矿山引发的岩溶塌陷地质灾害257处（岩溶型塌陷238处、土洞型塌陷19处），因铁路、道路、城镇及企业等建设，大量抽排地下水所引发和加剧发生的岩溶塌陷占86%，较突出的为贵阳市、六盘水市、遵义市及安顺市等（图2-1）。

第二节 自然地理

一、地理位置

贵州省简称“黔”，全省辖3个自治州、6个地级市共88个县（市、区、特区），省会贵阳市，地理坐标 $103^{\circ}36'—109^{\circ}35'E$ 、 $24^{\circ}37'—29^{\circ}13'N$ ，是一个内陆省份，东靠湖南，西毗云南，南邻广西，北连四川和重庆，东西长约595km，南北相距约509km。面积 17616km^2 ，占全国总面积的1.8%。地理位置处在青藏高原东南侧、云贵高原东斜坡面上，平均海拔1100m，属亚热带湿润气候，离海岸的最短距离仅为400km，具有明显的季风气候特点，一年之内季风的交替与进退，对贵州省雨量的季节变化和地区差异具有重要影响。

二、气候

贵州省地处亚热带的东亚大陆，光照适中，雨热同季，属亚热带湿润季风气候，大部分地区气候温和，雨量充沛，年平均气温在 15°C 左右，年降水量在800~1700mm之间，光照适中，雨热同季，无霜期270d左右。但由于地势高差大，地形复杂，因而气候也具有复杂性和多样性，高原山地和深切河谷地带，气候垂直变化非常明显，降水情况也有差异，在高原山地和河谷阶地之间，气候的垂直变化非常明显，山上山下冷暖不同，降水情况也有差异，故有“一山有四季，十里不同天”之说。在这样的特殊地形下，冬半年（11月至次年4月），从偏北或东北方向入侵的冷空气，常由于地形阻滞而在中部或南部形成静止锋，锋前天气晴朗，锋后阴雨连绵；夏半年（5月至10月），由于冷锋低槽与两高切变系统控制，多雷暴雨天气，但是，当由于太平洋副热带高压控制，东部连晴干旱，西部暴雨频繁，而且随着副热带高压的北跳，南北天气也不断发生变化，以致出现东西南北几重天。

贵州各地年平均气温介于 $12\sim 18^{\circ}\text{C}$ 之间，以7月最高，1月最低，极端最低气温一般不到 -10°C ，历史最低温度是西部威宁的 -15°C （1977年2月9日），极端最高气温在 34°C 以上，铜仁出现过 42.5°C （1953年8月18日），为全省之冠。

贵州降水的水汽主要来自孟加拉湾和南海，这两股暖湿气流在贵阳—麻江一带相会，形成丰富降水，但时空分布不均。

降水的特点：贵州雨日多，夏季风盛行的夏半年（5月至10月）降雨最为集中，占年总降雨量的75%以上，夏季（6月至8月）尤其突出，多达45%以上；冬季风盛行的冬半年（11月至次年4月）只占15%~30%，特别是冬季（12月至次年2月）最少，仅占6%左右。不同地区降水量差异较大，为800~1700mm。多年平均年降水量的分布趋势，由东南向西北递减，山区大于河谷地区，迎风面降水多，背风面降水少。雨季由4、5月份自东向西先后开始，雨量明显增加。夏半年降水强度最大，一般是南部大于北部，多雨区大于少雨区，南部日降水量达50mm的暴雨多在4d以上，普定最长达5.2d，而北部少雨区一般不超过2d。年降水量的多年平均变化率不超过10%~14%，但月降水量的变化率则很大，有的月降水量年际变化可达几十倍。各季中以春末夏初和秋末冬初降水量变化率较大，达40%~60%，春末夏初以南部西部最明显，春旱频繁。盛夏时间则以东北部和北部变化率较大。

形成贵州省暴雨的主要天气系统类型是冷锋低槽类和两高切变类；这两类暴雨在全省范围内均可出现，其次为长江横切变类，这类暴雨虽出现次数较少，但出现大面积高量级暴雨的机会较多。对高量级暴雨而言，冷锋低槽类主要出现在黔西南和黔东北两多雨区，两高切变类则集中在黔西南和黔东南两多雨区，长江横切变类暴雨主要出现在乌江以南的中部地带。

暴雨一般出现在4月至10月，其中出现在6月的暴雨最多，省内有3个多暴雨区：一是东南部的都匀、丹寨、雷山、剑河、荔波、榕江一带；二是东北部大娄山的东南坡和武陵山的东南坡；三是西南部的安顺、六枝、织金、晴隆、贞丰、盘县。暴雨多发生在夜间，难料难防，常造成局部地区的山洪暴发和严重的水土流失。

湿度：相对湿度较大是贵州气候的特点之一。年平均相对湿度除少数地区外，多在80%以上，其中以习水、开阳（均为85%）为最大，罗甸（75%）为最小。在四季中，只有春季和盛夏7月相对湿度较小。10月至次年1月为高湿月份，平均达80%~85%。

蒸发量：蒸发量以7月份最大，1月份最小，分布的等值线介于650~1300mm之间，分布趋势由东北向西南逐渐递增。以北盘江下游河谷区年蒸发量最大，平均为1200~1300mm，其次为兴仁和威宁分别为1465.3mm和1402.1mm。西部高原晴天多，风力强，是蒸发量较大的地带。

干旱指数：干旱指数等值线的分布趋势是由南向北、由西向东递减，其值在0.46~1.41之间。最大值在北盘江下游河谷地区，为1.1~1.4；最小值在黔东北，在0.6以下；一般地区在0.7~0.9之间。

太阳辐射量、日照时长：贵州处于我国云量分布的高值区。因此，云量多、太阳辐射总量和日照少是贵州气候一大特色。全年太阳辐射量最大的地区在省内西部和西南边缘，呈向东北逐渐递减之势，总辐射量以威宁为最高平均达111.69kcal/（cm²·a），其余各地都不足100kcal/（cm²·a）。各地全年日照时长大体呈南多北少的趋势，日照时长多年平均值介于1000~1800h之间，其中威宁最长达1805.4h。

三、水文

贵州河流分属长江、珠江两大流域，苗岭为省内一级分水岭，以北属长江流域，以南属珠江流域。长江流域面积115747km²，占全省总面积的65.7%；珠江流域面积60420km²，占全省总面积的34.3%。全省河网密布，长度10km以上的河流共984条，多数在10~50km之间，共有902条，占河流总数的91.67%。按流域面积划分：流域面积大于100km²的河流有556条，占河流总数的56.50%；河网密度平均为每一百平方千米河长17.1km，以东部锦江最密，每一百平方千米河长23.2km，西部六冲河最稀，每一百平方千米河长14km。

贵州主要河流多发源于西部高原，水流方向受地势与地质构造条件制约，由西部和中部分别向东及南、北方向呈扇形展布。多数河流上游河谷开阔，比降平缓，中游束放相间，水流湍急，下游河谷狭窄，急流深切。境内碳酸盐岩广布，岩溶发育，约60%的河流穿行其间，在河流的中游，常见明、暗流（伏流）交替出现，地表水与地下水互相转化补排，而中游以下则主要是地下水补给地表水。

贵州省河流分别从西部和中部向南、北、东三方向呈扇形放射，河道大部迂回曲折，

中部地区多数河流上游地势开阔，比降平缓；中游束放相间，水流湍急；下游多穿行于峡谷之中，河谷深切。由于上游水少，耕地集中，下游水多，水低田高，造成农田供水用水的困难。同时，因中、下游水量丰富，落差较大，为开发利用水能资源提供了优越条件。由于省内河流多穿行于碳酸盐类岩层地区，部分河床大量透水，有的河流潜入地下，成为伏流；有的河流，由于河床不断下切，岸壁陡立成为幽邃的峡谷，在岩石断裂的地方，水流直降，形成汹涌的瀑布，如世界闻名的黄果树瀑布。有的河流，由于泄水洞堵塞，形成常年性或季节性湖泊，俗称“海子”，这种“海子”，在黔西和黔西南分布较多，以威宁草海的面积最大。

省内长江流域部分各河流分属 4 个水系（图 2-2）：①乌江水系，为贵州省最大的水系，境内流域面积 66807km²，流经贵州省西部与中部，在东北部沿河县思毛汇入重庆市；②洞庭湖（沅江）水系，境内流域面积 30250km²，位于贵州省东部，汇入湖南；③宜宾至宜昌（赤水河、綦江）水系，境内流域面积 13802km²，流经贵州省西北部，汇入四川及重庆市；④金沙江石鼓以下（牛栏江、横江）水系，境内流域面积 4888km²，位于贵州省西北角，汇入四川。

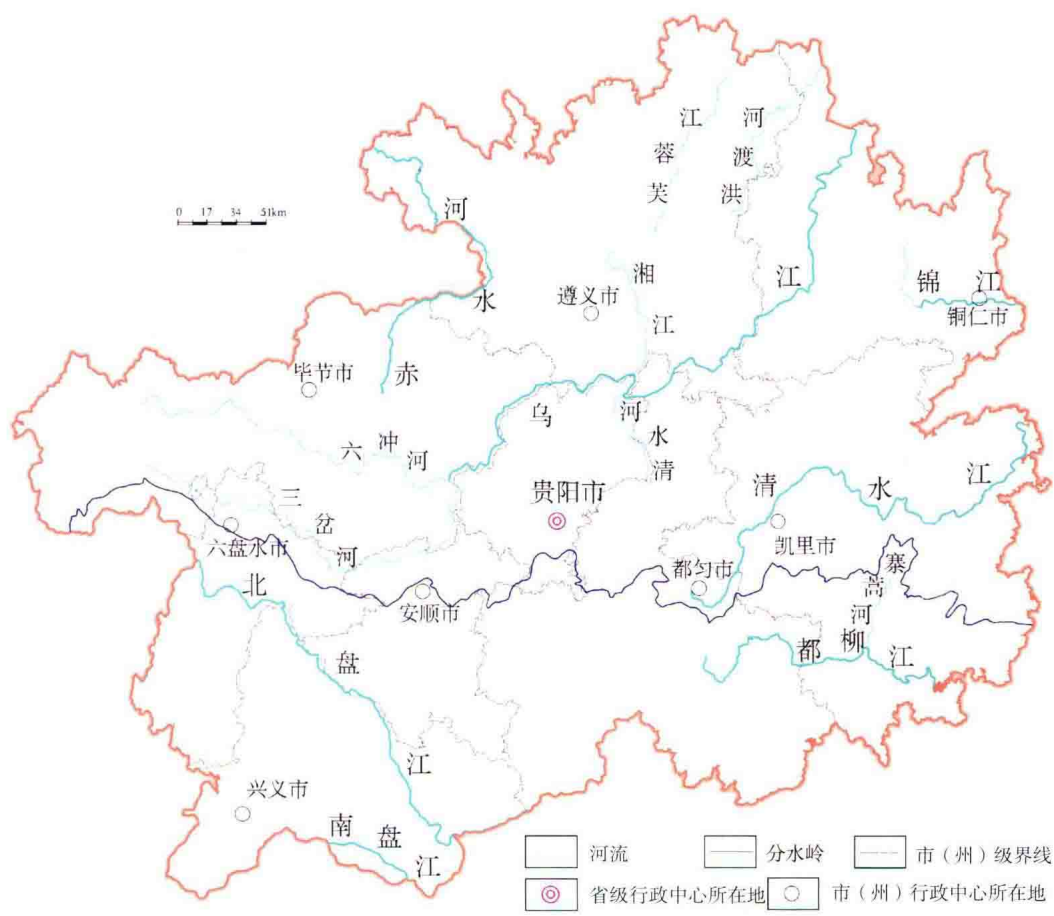


图 2-2 贵州省水系分布图

省内珠江流域部分河流属珠江流域西江水系，流域面积大于 300km² 的河流共有 63 条，其中流域面积大于 10000km² 的河流有 3 条，即红水河（南盘江）、北盘江、都柳江；

流域面积介于 5000~10000km² 的河流有 1 条，即蒙江；流域面积介于 3000~5000km² 的河流有 3 条，即六硐河、打狗河、可渡河（含省外面积）；流域面积介于 1000~3000km² 的河流有 16 条；流域面积介于 300~1000km² 的河流有 41 条。流域自西向东又分为 4 个水系：南盘江水系、北盘江水系、红水河水系和柳江水系。

四、土壤与植被

贵州土壤面积 $1591 \times 10^4 \text{hm}^2$ （23871 万亩），约占全省土地总面积的 90.4%，其余 9.6% 为裸石山区。土壤分布不连续，据调查资料，平均土层厚度在 1m 以上的只占有土壤面积的 14%，86% 的土壤面积平均土层厚度不到 1m。土层厚度与地面坡度有关，地面坡度平缓区（小于 8°），土层厚度在 1m 以上；地面坡度较陡地区（大于 15°），土层厚度在 0.5m 以下。有机质层都在 0.10m 左右。贵州土壤种类繁多，分布也较复杂，有明显的水平地带性和垂直地带性分异，主要有黄壤、黄棕壤、红壤、石灰土、紫色土、水稻土等，此外还有山地灌丛草甸土和红褐色土。从土地利用率上看，由于贵州省的荒山、荒地多，耕地所占比例小，林地也少，土地利用率不高。水土流失方面，东部地区因耕地集中，田多土少，同时保存有大片林区，水土流失不严重；而在西部地区，因地处高寒，田少土多，森林植被破坏严重，加之人为因素影响，水土流失较为严重；中部地区则处于平均状态。

植被是覆盖地面全部植物群落的总体，包括森林、灌丛、灌草丛、草甸、水生植物群落等各种类型。总的来说，贵州森林植被均属亚热带常绿阔叶林带。植被是重要的自然条件，尤其是森林植被起着调节气候、涵养水源、涵蓄水量、调节径流时程分布、保持水土的作用，从而保护和改善人类的生活环境和生产条件。

贵州省森林覆盖率低。森林面积从 1950 年的 $529.33 \times 10^4 \text{hm}^2$ 下降到 1984 年的 $215.33 \times 10^4 \text{hm}^2$ ，森林覆盖率由 30% 降到 12.2%（西部六盘水市为 4.5%，毕节地区为 5.8%）。森林面积锐减，破坏了原有森林生态系统的结构种群和稳定性，导致生态环境不断恶化，蓄水保土和调节气候功能减弱，自然灾害频率增加。随着水土保持工作的深入开展，贵州省森林覆盖率已大幅度提高。

第三节 区域地质

一、地形地貌

1. 地形特征

贵州省处于云贵高原东北部，属我国第二地形阶梯。省内最高点在西部六盘水市钟山区与赫章县交界处的韭菜坪，海拔 2903m，最低点在省东南部的都柳江河谷出口处，海拔仅 137m，最大高差达 2766m。省内的地势总体上西高东低，从西部和中部的山地、高原向南往广西桂中盆地、向东往湖南丘陵、向北往四川盆地倾斜过渡，呈东西 3 个台阶、南北两大斜坡的格局。贵州省的地形特征分布如表 2-1，它们在这三级台原面之间形成过渡斜坡地形。

