



新一轮国土资源大调查重点项目研究成果

# 中国西南岩溶石山地区 地下水资源及生态环境地质研究

Research On Groundwater Resources & Eco-Environmental  
Geology In the Karst Mountainous Area Of Southwestern China

袁丙华 等编著



电子科技大学出版社

新一轮国土资源大调查重点项目研究成果

# 中国西南岩溶石山地区 地下水资源及生态环境地质研究

Research On Groundwater Resources & Eco-Environmental  
Geology In the Karst Mountainous Area Of Southwestern China

袁丙华 等编著

电子科技大学出版社



## 图书在版编目(CIP)数据

中国西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究 / 袁丙华等编著. —成都: 电子科技大学出版社, 2007. 3

ISBN 978-7-81114-407-9

I. 中... II. 袁... III. ①岩溶水—地下水资源—研究—西南地区②岩溶—生态环境: 地质环境—研究—西南地区 IV. P641.134 P642.252.27

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第020263号

## 内 容 简 介

本书是中国地质调查局为解决西南岩溶石山地区严重缺水 and 岩溶石漠化问题开展的战略部署项目的成果总结。在岩溶动力学理论指导下,将西南岩溶石山划分为隆起带裸露岩溶、沉降带边缘褶皱控制岩溶和断陷盆地岩溶三大类型,系统总结了西南岩溶地下水垂向上由表层岩溶带到岩溶水深循环的变化特征,首次开展的表层岩溶带的典型调查与研究表明该带地下水具有巨大的调蓄能力,建立了岩溶地下水深循环的水文地质模式,并提出了古溶蚀在岩溶地下水深循环中的控制意义;首次采用地下水系统理论,调查、评价地下水潜力资源量,资源量可供规划使用;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调查和发展趋势研究;建立了西南岩溶石山地下水资源和石漠化空间数据库。

## 中国西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究

袁丙华 等编著

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 朱 丹

责任编辑: 朱 丹

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都经纬印务有限公司

成品尺寸: 210mm×285mm 印张 15.25 字数 387千字

版 次: 2007年4月第一版

印 次: 2007年4月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-81114-407-9

定 价: 200.00元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 邮购本书请与本社发行部联系。电话: (028) 83202323, 83256027

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

◆ 课件下载在我社主页 [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn) “下载专区” 电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

## 编委会名单

主任委员: 殷跃平

副主任委员: 文冬光 岳昌桐

顾问: 袁道先 葛文彬

编著: 袁丙华 鄢毅 刘俊贤 钱小鄂

程伯禹 王宇 盛玉环 蒋忠诚

童立强 王明章 毛郁 刘云从

陈学本 曾荣庆 游丽君 刘民生

杨世松 黄树鹏 刘安荣 毛蓬亭

曾华烟 莫日生 陈革平 杨秀忠

张贵 陈海波 徐定芳 陆巍峰

周军 雷明堂 李瑜 聂洪峰

**项目主持单位：**中国地质调查局

**项目实施单位：**四川省地质调查院

**项目参加单位：**四川省地质调查院

广西壮族自治区地质调查院

云南省地质调查院

湖北省地质调查院

贵州省地质调查院

湖南省地质调查院

重庆市地勘总公司

广东省地质调查院

中国地质科学院岩溶地质研究所

国土资源航空物探遥感中心

中国西南岩溶石山地区作为全球裸露碳酸盐岩连续分布面积最为广泛的区域之一，实际上是西起地中海经中东、东南亚至中美洲和美国东南部整个岩溶生态脆弱带的一部分，已被岩溶地质学界视为同沙漠边缘一样的脆弱环境，备受人们关注。这一地区在中国西部大开发的战略部署中占有十分重要的位置，至今还有1700万人的饮水问题没有解决，岩溶石漠化呈现发展趋势，严重影响该地区的现代化进程。中国地质调查局不失时机地部署了这一地区的地下水资源和生态地质环境调查研究，本书是对这一战略部署项目的成果总结。该书的出版不仅对西南岩溶石山地区地下水资源的开发利用以及生态环境的恢复和治理实现可持续发展具有重要意义，而且对国际中低纬度岩溶生态脆弱带的研究也具有重要的科学价值。

本书充分利用中国20世纪开展的1:20万水文地质调查资料，采用传统水文地质调查与应用“3S”技术方法相结合，运用地球系统科学理论和方法，首次将西南岩溶石山地区作为一个整体，放在全球岩溶生态脆弱链上来进行研究，取得了一系列重要成果。

在岩溶动力学理论指导下，将西南岩溶石山划分为隆起带裸露岩溶、沉降带边缘褶皱控制岩溶和断陷盆地岩溶三大类型，系统有序地揭示了西南岩溶的分布特征。本项工作不仅研究传统的浅部地下水，而且系统总结了西南岩溶地区地下水垂向上由表层岩溶带到岩溶水深循环的变化特征。首次开展了表层岩溶带的典型调查，论证了表层岩溶带地下水的形成机理、分布特征，并概算了地下水资源量，研究表明该带地下水具有巨大的调蓄能力，具有重要的生态功能；首次系统研究了深循环岩溶地下水，建立了岩溶地下水深循环的水文地质模式和提出了古溶蚀在岩溶地下水深循环中的控制意义。首次采用地下



中国

西南岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质研究

水系统理论，建立了4~5级地下水系统和确定以地下河流域系统、岩溶大泉流域系统、断陷盆地流域系统和富水构造流域系统为基本单元，调查评价地下水资源，突破了按图幅评价资源量，所获得的资源量可供规划使用。生态环境地质研究工作利用遥感地质技术全面、系统地西南岩溶区石漠化进行了调查，首次快速、准确地查明了西南岩溶石山地区的石漠化分布面积和发展趋势，为该地区生态环境治理恢复战略部署提供了基础资料。此外，本书在对最近20年来地下水资源的变化、岩溶地下水水质、岩溶塌陷预报等诸多方面的研究中都有许多新的、深入的认识。

目前，国家发改委正在组织制订西南岩溶石漠化的综合防治规划，本书的出版有重要参考意义。本书是西南地区湘、桂、鄂、粤、滇、黔、川、渝八省市水文地质工作者和桂林岩溶地质研究所、北京航空遥感物探中心科研人员多年工作成果对社会的奉献，也是对西南岩溶石山岩溶地质研究的贡献，相信阅读本书读者将会受益。

中国科学院院士

袁道先

2006年11月

1	<b>第一章 绪论</b>
1	一、西南岩溶石山地区概述
2	二、西南岩溶石山地区地下水资源与生态地质环境研究概况
4	三、主要研究成果
13	<b>第二章 岩溶地质环境特征</b>
13	<b>第一节 自然地理</b>
13	一、地理位置
13	二、地形地貌
16	三、气象及降水
16	四、水文特征
20	五、生态环境状况及发展趋势分析
20	六、社会经济发展状况
22	<b>第二节 岩溶发育特征及其控制条件</b>
22	一、岩溶类型分区及岩溶发育特征
27	二、岩溶发育的构造控制
30	三、岩溶发育的岩性结构控制
32	<b>第三节 表层岩溶带</b>
32	一、表层岩溶带的特征
35	二、表层岩溶带的形成条件
36	三、表层岩溶带的分布埋藏及其性质
37	<b>第四节 地下水深循环岩溶</b>
37	一、沉积岩岩溶地下水深循环的概念
37	二、岩溶地下水深循环的形成条件
39	三、四川、重庆岩溶地下水深循环的特征
45	<b>第三章 岩溶地下水赋存特征与岩溶水系统</b>
45	<b>第一节 岩溶地下水赋存特征</b>
45	一、岩溶含水岩组类型及富水性
47	二、岩溶水流场的特征
51	三、岩溶水化学场
53	<b>第二节 岩溶地下水系统</b>
53	一、岩溶地下水系统的划分





54	二、岩溶地下水系统基本单元的主要类型及其特征
69	<b>第三节 岩溶水特征参数</b>
69	一、主要计算方法的特征参数及空间变化
70	二、可利用的包气带岩溶率
71	三、局部侵蚀基准面以下的岩溶率
73	<b>第四章 岩溶地下水资源评价</b>
73	<b>第一节 地下水资源评价及评价原则</b>
73	一、地下水资源评价内容
73	二、与评价相关的几种地下水资源量
74	三、岩溶地下水资源评价原则
74	<b>第二节 地下水系统计算单元划分及计算方法</b>
74	一、地下水系统计算单元划分原则
75	二、地下水系统边界划分依据
75	三、地下水系统计算单元划分结果
75	<b>第三节 岩溶地下水资源</b>
75	一、天然资源
79	二、储存资源
81	三、可开采资源
99	<b>第四节 地下水资源计算成果评价</b>
99	一、地下水资源计算结果分析
100	二、地下水质量评价
103	三、与二十年前岩溶水评价结果的对比
107	<b>第五节 表层岩溶带岩溶水调蓄潜力评价</b>
107	一、定量评价的基本思路
107	二、定量评价的数据基础
108	三、表层岩溶带发育的空间分布特征模拟
109	四、表层岩溶带地下水调蓄能力
110	五、表层岩溶带地下水资源调蓄潜力评价
112	<b>第六节 深循环岩溶地下水的资源潜力</b>
112	一、评价方法
113	二、深循环岩溶地下水资源及开发利用

115	<b>第五章 地下水资源潜力评价</b>
115	<b>第一节 地下水资源潜力评价原则</b>
115	<b>第二节 地下水资源潜力条件分析</b>
115	一、地下水资源潜力条件分析
117	二、影响地下水资源开发利用因素分析
118	<b>第三节 地下水资源开发利用现状</b>
118	一、地下水已开采量
119	二、岩溶地下水主要开发方式
121	三、1998~1999年扶贫打井示范工程
123	<b>第四节 地下水资源潜力评价</b>
123	一、地下水资源潜力评价方法
124	二、地下水资源潜力分区评价
127	<b>第五节 水资源综合平衡分析及地下水资源规划开发方案</b>
127	一、贵州省水资源综合平衡分析
137	二、广西地下水资源规划开发方案
143	<b>第六章 典型岩溶生态环境地质问题</b>
143	<b>第一节 岩溶石漠化</b>
143	一、定义、评判标准和分级标准
143	二、分布特征
146	三、石漠化形成原因分析
148	四、石漠化的危害
149	五、石漠化发展趋势
151	<b>第二节 其他典型岩溶生态环境地质问题</b>
151	一、水质污染问题
158	二、岩溶区的旱涝问题
160	三、岩溶塌陷
166	<b>第三节 生态环境变化对岩溶水资源的影响</b>
166	一、水资源可利用性变差
167	二、水资源可利用量减少
169	<b>第四节 改善生态环境的对策、措施</b>
169	一、改善生态环境的原则



169	二、改善生态环境的总体目标
170	三、改善生态环境的对策
<b>177</b>	<b>第七章 空间数据库建设</b>
177	<b>第一节 空间数据库建设</b>
177	一、目标任务和成果
177	二、引用标准
178	三、西南岩溶石山空间数据库建设工作指南
181	<b>第二节 数据库建设工作方法及流程</b>
181	一、项目组织与实施
183	二、原始资料概况
183	三、工作方法及流程
184	四、质量监控
184	<b>第三节 数据质量评述</b>
184	一、数据精度
184	二、数据完整性、正确性
<b>187</b>	<b>结语</b>
187	一、结论
189	二、建议
<b>190</b>	<b>附表</b>
190	附表1 各省市区地下水系统基本计算单元划分表
200	附表2 各省市区地下水资源量计算结果汇总表
223	附表3 地下水资源潜力评价一览表
231	附表4 地下水资源潜力评价汇总统计表
<b>232</b>	<b>参考文献</b>
<b>233</b>	<b>后记</b>

## 第一章 绪论

### 一、西南岩溶石山地区概述

中国西南岩溶石山地区是指中国南方岩溶连片分布的地区,位于东经  $100^{\circ} \sim 114^{\circ}$ , 北纬  $22^{\circ} \sim 30^{\circ}$ , 涵盖南方 8 省(市、区)范围,东起粤北韶关以东,西至昆明及川西盐源以西,东西延伸 1380km;南自桂南凭祥国界,北至鄂西长江三峡,包括两湖(湖南、湖北)、两广(广西、广东)、云贵川渝(云南、贵州、四川、重庆)等 8 省(市、区),总面积  $76 \times 10^4 \text{km}^2$ 。

中国西南岩溶石山地区作为全球裸露碳酸盐岩连续分布面积最为广泛的区域之一,实际上是西起地中海经中东、东南亚至中美洲和美国东南部整个岩溶生态脆弱带的一部分,已被岩溶地质学界视为同沙漠边缘一样的脆弱环境,备受人们关注。这一地区干旱缺水、石漠化严重且呈日益加剧趋势已成为区内典型的生态环境地质问题,而不合理的人类活动又加剧了生态的破坏,形成了近年来的恶性循环,导致生产量低、人民生活贫困。以干旱缺水和石漠化为代表的生态环境问题已严重阻碍了西南岩溶石山地区的可持续发展,党中央、国务院给予了高度重视,将西南岩溶石山地区列为实施“九五扶贫攻坚计划”的重点地区,国土资源部早在 1998 年即开始在西南岩溶石山地区开展扶贫找水计划。1999 年国土资源部进一步将西南岩溶石山地区列为全国地下水资源的重要勘查区之一。2000 年元月中国地调局在北京十三陵会议上部署了西南岩溶石山地区地下水资源勘查项目,并立即赴四川成都召开了《国土资源部中国地质调查局西南岩溶石山地区地下水勘查 2000 年工作座谈会》,由中国地质调查局组织广东、广西、湖南、湖北、云南、贵州、四川、重庆等 8 省、市、自治区的地调院,并邀请了中国地质调查局、中国地质科学院岩溶地质研究所、四川省地矿局、陕西省地矿局的领导和专家进行座谈。在此会上袁道先院士对该项目提出了指导性建议和意见,由此揭开了西南岩溶石山地区地下水资源勘查与生态环境地质调查研究工作。

西南岩溶石山位于中国西南部,不仅土地辽阔,矿产、森林、旅游等自然资源十分丰富,而且人口众多,少数民族聚居,在我国西部大开发的战略部署中占有十分重要的位置。但这些地区至今还有 1 700 万人的饮水问题没有解决,仅滇、黔、桂三省就有 2 531 万亩耕地受旱。该区降水丰沛,但由于可溶性碳酸盐岩的岩溶-喀斯特作用,地表水系除大江大河外,支流水系不发育,大量降水潜入地下成为地下水系,其埋藏受地质地貌条件控制而分布较复杂,地下水资源的可利用潜力不清。同时,区内生态环境脆弱,土地

贫瘠,石漠化、旱涝及地质灾害等问题严重。这些地区既是我国长江、珠江上游防洪体系中生态环境治理的重点地区,又是国家加快中西部地区经济发展,实现脱贫致富奔小康的难点地区。这一地区的水资源问题和生态环境问题已成为严重制约该地区经济持续发展的重要因素。

由此可见,西南岩溶石山地区因地表水、地下水资源时空分布严重不均,地下水可有效利用资源不清,旱涝灾害频繁,水土流失严重,石漠化范围日益扩大,岩溶生态环境十分脆弱,给恢复、治理带来极大的困难。中国地质调查局确定开展西南岩溶石山地区地下水资源勘查和开展与地下水密切相关的生态环境地质调查评价,不仅能为该地区资源开发利用和环境保护与建设提供科学的基础资料,促进该地区经济可持续发展,而且将对全球中低纬度岩溶生态脆弱带的岩溶科学研究及环境改善对策研究作出贡献,因而具有重要的战略意义。

## 二、西南岩溶石山地区地下水资源与生态地质环境研究概况

### 1. 前人研究程度与存在的主要问题

研究区为中国南方岩溶最为发育和最具代表性的地区,历来备受岩溶工作者的青睐,这一地区大规模的生产活动和水电工程及基础设施建设对岩溶研究工作有迫切需求,因此本区已经积累了大量的生产实践和科学研究资料,其中包括水利电力、铁道、石油化工、冶金工业、煤炭工业、地质部门和有关生产研究单位、高等院校等生产科研成果,以往大量调查研究成果都从不同角度、在不同地域以不同形式反映了西南岩溶石山的岩溶地质特征和水、土、矿、植物等资源状况,并从实践、理论上取得了在国际国内具有较高水平的生产科研成果。尤其1:20万全国性水文地质普查对岩溶地下水进行过全面、系统的勘查评价,为本次工作奠定了坚实基础。

随着时间推移,综合考虑当前国家目标和社会需求,已有的地下水资源和生态地质环境资料已不能满足本阶段国民经济发展规划和国家对水资源的战略要求。

(1) 按图幅和含水层评价的地下水资源分布,不能满足现阶段地方经济社会发展的规划需求;

(2) 地下水允许开采量评价的不足、已开采量的调查评价的缺乏、20多年来地下水资源的变化等造成本区地下水资源潜力不清;

(3) 多年来地下水水质发生的变化不清;

(4) 以岩溶石漠化为代表的生态环境地质问题尚未给以系统评价。

### 2. 本次研究的方法和投入的工作量

研究思路:

(1) 从指导思想强调以地球系统科学和岩溶动力学新理论为指导,采用新技术、

新方法,开展西南岩溶石山地区地下水资源潜力及生态环境地质综合调查评价。

(2) 强调地下水水资源的可有效开发利用潜力和持续利用特征,运用地球系统科学思想进行水资源和生态环境地质的调查,综合考虑大气圈、生物圈、岩石圈的相关关系,准确把握岩溶地下水资源的分布与特征。

(3) 地下水水资源以岩溶地下水系统为单元进行划分与评价,基本单元的主要类型包括地下河流域含水系统、岩溶大泉流域含水系统、断陷盆地含水系统和富水构造含水系统等,最后按全国统一划分的江河流域系统进行汇总,这就与政府职能即土地调查、规划、管理与保护协调一致,所评价的地下水资源量便可进入国家和政府的水资源规划。

(4) 重视了生态环境地质调查工作,加强石漠化危害的调查,研究形成机理,进行发展趋势预测,提出有效防治对策措施。本次工作采用遥感地质技术(RS)进行全工作区岩溶石漠化的解译调查,首次圈定了石漠化分布范围,结合典型块段的地质调查,找出形成条件、形成机理,并从地学角度提出防治对策措施,同时,还初步查明与地下水有关的典型生态环境地质问题。

(5) 采用多学科、多部门密切配合,面上调查研究与专题研究相结合,从而使勘查成果既有广度又有深度,既有实际调查又有理论研究,提高了成果的实用价值和科学价值,达到了预期的成果。

#### 工作方法:

(1) 采用了重点调查与一般调查相结合、专题研究与综合研究相结合的技术路线,较好地适应了项目时间短、范围大、任务重的特点,确保了全区各项任务的完成;并按照国土资源部和地调局新一轮国土资源大调查的要求,以地球系统科学和岩溶动力学新理论为指导,采用新理论、新技术、新方法,利用3S技术、特别是用RS技术进行全区石漠化调查并将GIS技术贯穿于工作的每个阶段,保证了项目的技术含量;

(2) 充分利用已有相关资料进行综合分析,有针对性合理地选择技术手段和布置工作量,根据三大块的岩溶水文地质特征,突出重点区、段的勘查评价研究;

(3) 地下水资源调查评价上充分利用1:20万水文地质调查以来的各项成果,按地下水流域系统的思路,着重控制主要区段岩溶含水系统的含水介质特征,地下河、大泉、断陷盆地、褶皱断裂蓄水构造特征等的调查,部署一定量的以修正参数为目的的地下水动态长期观测工作;

(4) 生态环境地质方面以石漠化地质调查为主,用遥感技术优势控制全区,并进行典型区调查、验证,建立可靠的解译标志,提高解译成果的准确性和应用价值。

#### 工作量:

本次调查研究工作由个 8 省、市、区地调院、桂林岩溶地质研究所和航空物探遥感中心承担,完成 1:1 万~1:10 万水文地质调查 6 975.83km<sup>2</sup>、1:25 万水文地质和生态环境地质调查 16.9×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>、1:25 万石漠化遥感解译 76.0×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>、水文地质钻探 12 761.11m、空间数据建设 76×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup> (1:25 万图幅 71 幅);完成西南岩溶石山地区石漠化遥感调查与演变分析、西南岩溶石山地区岩溶水资源潜力及生态环境地质综合调查和评价、桂林市岩溶塌陷预测预报方法综合研究、岩溶地下水资源评价方法专题、岩溶地下水深循环专题研究、断陷盆地地下水赋存规律专题研究、岩溶蓄水构造专题研究、岩溶生态环境地质专题研究、物探技术在岩溶石山地下水勘查中的应用专题研究、西南岩溶石山地区地下水资源与生态环境地质空间数据库专题研究等 10 项专题研究报告。

### 三、主要研究成果

本次工作对区内的岩溶生态环境问题,如石漠化、旱涝、水土流失、生物多样化的限制以及社会经济状况及其相互关系作了深入调查,深化了对岩溶生态脆弱性的认识,加深了对岩溶石漠化区进行生态环境综合整治必要性及其重要意义的认识。项目调查和研究地下水合理开发利用方案,提出石漠化等生态环境问题的恢复治理方案和对策措施,不仅对西南岩溶石山地区的生态环境的恢复和治理实现可持续发展具有重要意义,而且对国际中低纬度岩溶生态脆弱带的研究也具有重要的科学价值。

#### (一) 系统地总结了西南岩溶石山地下水水文地质条件

首次将西南岩溶石山地区作为一个整体,放在全球岩溶生态脆弱链上来进行研究,运用地球科学理论和方法,开展较系统的补充调查研究,进一步查明了区内水文地质条件、岩溶地下水赋存规律与区域地质地貌的相关关系,揭示了岩溶生态环境的脆弱性、特殊性及其形成条件。

#### 1. 在岩溶动力学理论指导下,将西南岩溶石山划分为隆起带裸露岩溶、沉降带边缘褶皱控制岩溶和断陷盆地岩溶三大类型

项目在岩溶动力学理论的指导下,综合分析已有资料,进行区域对比及补充调查,运用地下水系统理论进行区域地下水的补、迳、排条件研究,系统总结了区域地质地貌多因素控制下的隆起带、沉降带边缘、断陷盆地岩溶区岩溶发育分布的特点及其差异性,展示了从高原——盆地等不同地区多姿多态的岩溶地貌景观及地下水系统形成的规律。

(1) 一级隆起带裸露型岩溶区:大地构造上跨扬子准地台和华南地台,以舒缓褶曲连片分布,大面积碳酸盐岩裸露,平面上和垂向上连续分布为特征,形成多级高原面和高原斜坡,由峰丛、峰林洼地、岩溶丘陵至孤峰平原等地貌组成。据遥感解译统计资料,仅广西峰丛、峰林洼地面积就有 54 518km<sup>2</sup>,占广西岩溶区面积的 55%;其次为孤峰平原和岩溶丘陵,分别占岩溶区面积的 24.8%和 13.2%。岩溶强烈发育,地下河(系)规模大,

形成典型的“土在楼上，水在楼下”的水文地质特征。

(2) 沉降带边缘褶皱控制岩溶区：该岩溶区位处一级沉降带边缘，碳酸盐岩常夹有碎屑岩地层或呈碳酸盐岩与碎屑岩互层状，因地质构造作用强烈，褶皱发育、紧密。渝东南、川南地区背斜狭窄，向斜宽缓，为典型的隔挡式构造，背斜轴部发育走向断层，碳酸盐岩岩溶发育，形成岩溶槽谷、岩溶山地，地下水系统往往受褶皱断裂的控制，形成承压的层间溶隙裂隙水，尤其是以深循环的岩溶水为特色。

(3) 断陷盆地岩溶区：攀西、滇东位于扬子台西缘。攀西地形剧烈起伏，河谷深切，密度大，总体构成谷（盆）岭相间的地貌格局。岩溶发育不均，暗河、大泉分布高程无规律，岩溶水多快速向河谷及构造阻水带排泄。滇东高原地形较完整，地形起伏和缓，以山原盆地其特征，岩溶地貌发育，含水岩层组多呈断块，高山盆地较多，呈南北向排列，较大的昆明、曲靖、陆良等断陷盆地中岩溶发育相对均匀，地下水埋藏浅，补给充分，富水地段常见。滇东南位处华南褶皱系，南、东面为高原斜坡，分水岭地带地形和缓，主要地貌特征为峰丛盆洼地组合形态，发育于海拔 1 800m~2 200m、1 500m~1 700m、1 200m~1 500m 三级溶蚀面上，地表分水岭岩溶化强烈，峰丛洼地发育，暗河、伏流、落水洞、断头河遍布。

## 2. 系统总结了西南岩溶地下水垂向上由表层岩溶带到岩溶水深循环的变化特征

(1) 深化了新构造运动、岩性、古溶蚀对岩溶水文地质垂向变化的控制意义

新构造运动为岩溶发育演化提供动力条件，是岩溶发育的主控因素，形成多期多层岩溶发育带；岩性对岩溶地下水的控制主要表现在灰岩越纯，岩溶就越发育，形成的岩溶含水层富水程度越高，但地下水分布极不均匀，而白云岩岩溶发育程度较差，溶隙裂隙发育相对均一，富水程度中等，地下水分布相对均一，含水层具有似层状特征；受古溶蚀的控制岩溶地下水的循环深度可超过 3 000m，形成经济价值极大的医疗热矿水。因此，研究新构造运动对岩溶发育和地下水迳流规律的控制，可以获得对地下水资源及其埋藏分布的一些新认识；研究岩性对地下水赋存特征的影响，发现特殊岩性形成的似层状岩溶含水层，十分有利于地下水的开发利用；研究古溶蚀对岩溶地下水深循环的控制，能够减少对经济价值极高的热矿水进行开发的风险，扩大岩溶地下水的开发利用范围。

(2) 首次开展了表层岩溶带的典型调查和研究，提出了表层岩溶带地下水的供水和生态环境意义

主要按不同的地貌单元、地层岩性、构造条件、埋藏条件等进行分类调查，总结表层岩溶带的发育特征。划分了表层岩溶带地下水类型及其与生态环境的关系，研究了表层岩溶水开发利用的潜力及提出了进一步工作的方向。调查和研究表明，西南岩溶石山地区具备表层岩溶带调蓄能力的面积在  $24.5 \times 10^4 \text{ km}^2$  左右，表层岩溶带含水层所具备的



调蓄能力总量概算为  $247.4 \times 10^8 \text{m}^3/\text{a}$ 。表层岩溶带含水层富水性弱, 出水量小, 但分布普遍, 在适当的地貌部位可以获得一定量的地下水, 满足地下水深埋、干旱缺水的岩溶石山区分散农户人畜饮用水需求。表层岩溶带地下水所具备的开发利用前景是显而易见的, 它对解决峰丛山区人畜饮用水问题具有重要意义。

### (3) 岩溶地下水深循环研究获得重要认识成果

专题研究成果系统地总结了岩溶地下水深循环的水文地质模式, 揭示了岩溶深循环地下水的形成以及补给迳流埋藏特征、水质变化; 提出了古溶蚀在岩溶地下水深循环中的控制意义: 古溶蚀形成的既有蓄水空间和迳流通道使岩溶地下水的循环深度可达到 3 500m, 大大低于当地侵蚀基准面和海平面, 而现代岩溶发育控制的浅部和中部岩溶地下水循环深度可达 200~500m、1 000~2 000m 左右。这一认识在热矿水勘查开发方面具有十分重要的指导意义。该项成果统计了四川大型沉降盆地边缘区埋深 200~3 500m 的埋藏型岩溶约  $10.89 \times 10^4 \text{km}^2$ , 其中具有开发前景的热热水含水层分布面积约  $2.89 \times 10^4 \text{km}^2$ , 为贫困岩溶石山地区地热水资源的开发、实施产业结构调整提供了科学依据。如四川花水湾地区即由一个医疗热矿水井的开发而将一个从前十分偏僻、经济贫困的地区变成一个生气蓬勃、热闹非凡的温泉疗养集镇, 年税利约 1 000 万元。又如四川雅安周公山地区一医疗热矿水井开发引进投资达 17 亿元, 将建成一个规模更大、设施更为高档的温泉生态旅游度假区。

### (4) 系统研究了岩溶断陷盆地

本项专题以地球系统科学理论和现代岩溶学理论为指导, 依据大量的调查、勘探试验和科研资料, 吸收了国内外有关的新理论, 总结了岩溶断陷盆地的水文地质特征, 提出了断陷盆地的分类和岩溶水系统的分类分级方案, 进行了断陷盆地岩溶水赋存规律的研究。

在断陷盆地类型划分方面, 根据控制区域水循环及岩溶水动力特征的区域地貌、地质背景条件的差异, 将岩溶断陷盆地划分为汇水型和汇水-迳流型两种水文地质类型; 断陷盆地内地下水迳流可分为沿盆底基岩与松散堆积物界面以上的上层迳流带, 和以盆地汇水边界以外更低的基准面排泄的下层迳流带, 后者资源潜力较大。这不仅很好地刻画了断陷盆地的区域水文地质、地下水资源条件, 也为岩溶水资源勘查评价和开发模式的制定奠定了基础。

在岩溶水系统的分类分级中, 根据岩溶水的补给条件、循环深度和周期长短及含水层组埋藏和分布条件的差异, 将断陷盆地岩溶水系统划分为浅循环和深循环两大系统, 浅循环岩溶水系统进一步分为四个子系统: 裸露型岩溶水子系统、裸露-覆盖型岩溶水子系统、裸露-埋藏型岩溶水子系统和滞水型岩溶水子系统, 深循环岩溶水系统类分级分为