

岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统

郭纯青 李文兴 等著



化学工业出版社

本书出版受 桂林工学院专著出版基金 支持
桂林工学院环境工程博士点建设基金

岩溶多重介质环境与 岩溶地下水系统

郭纯青 李文兴 等著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统/郭纯青, 李文兴等著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 7

ISBN 7-5025-9087-0

I. 岩… II. ①郭… ②李… III. ①岩溶-地质环境-研究
②岩溶水-研究 IV. P642. 25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 078688 号

岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统

郭纯青 李文兴 等著

责任编辑: 刘兴春

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 7¼ 字数 130 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9087-0

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

岩溶多重介质环境中地下水水流运动涉及水文地质学、流体力学、水化学、热力学等诸多科学领域,特别是岩溶管道水流运动机理及方式,已成为多科学领域研究的重点。例如,岩溶地区的水利水电工程、矿山工程、路桥工程、地基基础工程、地下水开发、石油开采、核废料贮存、地下水污染物的运移与控制等。因此岩溶多重介质环境与岩溶管道水流运动的理论研究、室内控制性试验及岩溶管道水仿真模拟具有极其重要的科学前沿及创新意义,也是岩溶地区社会与经济发展诸多应用研究的基础。

本书以地球系统科学为指导,针对岩溶地区特殊的资源、环境等问题都与岩溶管道水有关的现象,充分利用中国岩溶地区面积辽阔,环境跨度大(高原岩溶环境、山地岩溶环境、平原岩溶环境及热带、亚热带、温带和寒带岩溶环境等)的优势,选择中国岩溶地区,以典型岩溶多重介质环境中岩溶管道水流系统为对象,做深入研究,经对比分析,控制性实验及仿真模拟后,进一步提高了对岩溶管道水流系统形成及分布规律的认识,揭示岩溶管道水运动的部分机理和规律。

本书是在多年科研成果及教学经验的基础上,结合国内外当前该领域的最新进展著写而成。全书共分6章,分别论述了中国岩溶区岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统基本特征、分类、岩溶管道水系统和岩溶地下河系统水流运动特征及相应的物理模拟方法;主要介绍了岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统、岩溶地下水系统、岩溶地下水系统研究方法、岩溶管道水系统与岩溶地下河系统基本特征及数学物理表述、岩溶管道水系统与岩溶地下河系统物理模拟模型设计及模拟方法、岩溶管道水系统与岩溶地下河系统物理模拟的应用等内容;同时,书中还提出了许多留待以后深入、系统研究的课题。

本书内容具体,力求突出研究方法的应用性,可供水文地质、路桥及路基基础工程、水利水电工程等领域的科研人员、技术人员参考,也可供高等院校相关专业师生参阅。

本书主要由郭纯青教授著写,同时,在该书著写过程中,还得到中国地质科学院岩溶地质研究所崔光中研究员的大力支持与帮助,本书的部分成果是在崔光中研究员的指导下取得的;李文兴教授、夏日元研究员、王刚副教授参与了部分编写工作,其中,第1章、第2章、第3章由郭纯青著,第4章由崔光

中、郭纯青、李文兴、夏日元著，第5章由李文兴、郭纯青著，第6章由郭纯青、李文兴、夏日元、王刚著，全书最后由郭纯青统稿定稿；田西昭、栗圆圆等同志为本书的出版做了很多文字输入与图件清绘工作；另外，本书在编写过程中，参考了部分专家、学者的著作，在此一并表示衷心的感谢。

由于时间匆忙，不足之处在所难免，敬请读者不吝赐教。

郭纯青
2006年6月

目 录

1 岩溶多重介质环境与岩溶水地下系统	1
1.1 岩溶多重介质环境	1
1.2 脆弱性与成灾性	3
1.3 成灾作用	5
1.4 小结	7
参考文献	7
2 岩溶地下水系统	8
2.1 一般岩溶地下水系统结构	8
2.1.1 整体性	9
2.1.2 质能转换性	9
2.1.3 自身的调整性	9
2.2 岩溶地下水系统分类	10
2.3 岩溶地下水系统水流的效应	10
2.4 岩溶地下水系统水流运动的“源”	10
2.4.1 降雨	10
2.4.2 非岩溶区的地表水、地下水	13
2.4.3 人工蓄水、引水水利工程的渗漏及灌溉水的回渗	14
2.4.4 地表水的倒灌	14
2.5 岩溶地下水系统水流的“流”	14
2.6 岩溶地下水系统水流运动的“场”	15
2.7 岩溶地下水系统水流运动的“径”	16
2.8 岩溶地下水系统水流运动的“蓄”和“排”	16
2.9 小结	17
参考文献	17
3 岩溶地下水系统研究方法	18
3.1 研究方法概述	18
3.2 主要研究内容及关键问题	19
3.3 研究方法	20
3.3.1 系统科学的理论与方法	20
3.3.2 九步建模法	20
3.3.3 取象比类法	21

3.4 小结	22
参考文献	22
4 岩溶管道水系统与岩溶地下河系统基本特征及数学物理表述	24
4.1 岩溶管道水系统与岩溶地下河系统的基本特征	24
4.1.1 岩溶管道水系统与岩溶地下河系统含水介质的 空间形态与结构特征	24
4.1.2 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统的水流特征	28
4.2 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统数学物理基本研究方法	33
4.2.1 表征体元(R. E. V.)分析	33
4.2.2 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统的数学物理方法	34
4.2.3 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统的物理模拟思路	36
4.3 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统物理模拟的基本原理及方法 ...	38
4.3.1 岩溶管道水系统和(或)岩溶地下河系统物理模拟模型	38
4.3.2 物理模拟基本原理	41
4.4 物理模拟数据采集监控系统	44
4.4.1 物理模拟模型数据采集子系统	45
4.4.2 物理模拟模型的数据监控子系统	45
参考文献	45
5 岩溶管道水系统与岩溶地下河系统物理模拟模型设计及模拟方法	47
5.1 物理模拟模型设计	47
5.1.1 岩滩电站库区板文岩溶地下河系统物理模拟模型	48
5.1.2 百龙滩水电站库区地苏岩溶地下河系统物理模型	50
5.2 蓄水介质的模拟方法和技术	53
5.2.1 百龙滩水电站库区	54
5.2.2 岩滩水电站库区	55
5.3 岩溶管道水流的等效管束组合模拟	56
5.3.1 管道流量——水位曲线分析	56
5.3.2 岩溶管道的等效管束组合模拟	57
5.3.3 不同的切换管道及其特征	58
5.3.4 认识及结论	61
5.4 数学(物理)模拟计算中的降雨补给处理	62
5.4.1 有效降雨和无效降雨	62
5.4.2 滞后作用	65
5.4.3 降雨强度对补给的作用	69
5.4.4 降雨的均匀性	69
5.4.5 结论	70

5.5	管道流量及阻力参数	70
5.6	岩溶管道型地下水系统物理模拟的应用	71
5.6.1	百龙滩库区模拟试验结果	71
5.6.2	岩滩库区模型预报	77
5.6.3	岩溶管道阻力参数	78
	参考文献	79
6	岩溶管道水系统与岩溶地下河系统物理模拟的应用	81
6.1	北山铅锌黄铁矿岩溶管道突水的治理	81
6.1.1	岩溶水系统的水文地质特征	81
6.1.2	物理模拟模型的建立	84
6.1.3	模型识别与结果分析	87
6.1.4	模型预测及治理对策	90
6.2	桂林岩溶水文地质试验场物理模拟	92
6.2.1	试验场岩溶管道水系统水文地质特征	92
6.2.2	S31 物理模拟模型建立	93
6.2.3	模型识别与结果分析	95
6.3	岩溶管道水系统与岩溶地下河系统物理模拟问题的讨论与结论	97
6.3.1	等效管道参数的物理意义	97
6.3.2	关于等效水箱的等效性讨论	100
6.3.3	等效水箱设置的一些问题	101
6.4	结论意见	102
6.4.1	成果与主要认识	102
6.4.2	物理模拟模型存在问题与建议	103
6.5	结束语	104
	参考文献	105

1 岩溶多重介质环境与岩溶水地下系统

1.1 岩溶多重介质环境

地球表层是一个由岩石圈表层及包围它的大气圈、水圈、生物圈组成的多层复杂的动态体系。这些圈层相互渗透与交织，相互联系与作用，构成了人类生存与发展的总体环境。在岩石圈中，由于岩溶作用，致使该圈层与其周围密切相关的大气圈（部分）、水圈（部分）、生物圈（部分）组成了多级不同层次、不同结构和功能的岩溶多重介质环境（表 1-1）。

表 1-1 中国南北方岩溶多重介质环境主要特征对比

环境	类别/地区	北 方	南 方
背景	主要岩溶化地层与地貌类型	前寒武、寒武、奥陶系碳酸盐岩，中低山及平原	前寒武系-上奥陶统、中泥盆统-中三叠统碳酸盐岩，峰丛洼地、峰林平原及孤峰平原等
	气候类型	暖温带，半干旱-亚湿润	热带-亚热带，湿润
	气温/℃，降雨量/mm	6~14, 200~900	15~20, 800~2000
	水体输入源	降水，地表水，外源水	降水，地表水，外源水
	环境域的大小/km ²	(100~1000) n ($n=1, \dots, 9$)	(1~100) n (有时>1000 n)($n=1, \dots, 9$)
	环境边界特殊性	存在多系统公共边界，水土量的转化受多系统影响	自由边界(受雨强与降雨历时控制)、地表地下边界不一致
	岩石溶蚀速率/(mm/千年)	10~30	20~80 有时更大
结构	岩溶介质类型	溶孔、溶隙为主，局部有溶洞或溶管	溶管，溶洞，溶隙并存
	岩溶介质组构方式	溶孔亚系统，溶隙亚系统	管道亚系统，溶洞亚系统，溶隙亚系统
	多重介质层次化特征	整体上以单层为主	多层，呈多层性
	有序化程度	高	低
	线性与非线性	线性为主	非线性为主
	灰度	小	大
	多重介质系统性	较复杂	极复杂
	结构参数	量值时空变化小	量值时空变化大
	环境容量	大	小
	时空稳定性	强	弱

续表

环境	类别/地区	北方	南方
功能	对初始条件的敏感性	不敏感	敏感
	洪峰滞后时间/d	$(0.1 \sim 100)n$	$(0.01 \sim 10)n$
	水体输入方式	线(中速)、面(慢速)	点(快速)、线(中速)、面(慢速)
	水体输出方式	泉流或潜流(中输, 慢输)	泉或地下河, 潜流(快输, 中输, 慢输)
	水能储存与输送	以水能储存(水库型)为主, 具有大的调蓄功能	以水能储存与输送并存, 主次更换多变, 调蓄功能有限
	土体量与质	多、质高、且层厚块体大	少、质低、且层厚块体小
	地下水位年度变幅/m	20~60(补给区, 有时更大), 10~20(径流区), 1~10(排泄区)	20~100(补给区, 有时更大), 5~20(径流区), 1~5(排泄区, 有时变化规律相反)
	降水入渗系数	0.1~0.3(个别达0.4)	0.3~0.7(个别达0.8)
	径流模数/[L/(s·km ²)]	$1 < \lambda < 10$ (个别>10)	$1 < \lambda < 20$ (个别更大)
	流态/流速/(m/d)	层流为主, $(1 \sim 10)n$ (个别更大)	紊流层流主次更替, $(10 \sim 100)n$ (个别更大)
	生物多样性	类型少, 动植物分布连片	类型多, 动植物分布呈岛屿状
	资源可控可用性	资源稳定, 可控可用性强	资源不稳定, 可控可用性差
	承灾与灾害类型	承灾性强, 灾害类型多为岩溶干旱和岩溶地裂和岩溶塌陷等	承灾性弱, 灾害类型多为岩溶洪涝和干旱、水土流失、石漠化、岩溶塌陷、泥石流、岩体塌陷和滑坡等

岩溶多重介质环境是一个非常复杂的系统, 系指岩溶地区的水体(大气水、地表水、地下水)、碳酸盐岩体(岩溶化程度不同的地表和地下结构)、土体、生物及其他物质组成的复杂系统, 岩溶多重介质环境富钙, 在地壳运动和岩溶的双重作用下, 并以水岩作用为主体, 以水流方式一以贯之, 以岩溶化不断加深为特征(图 1-1)。

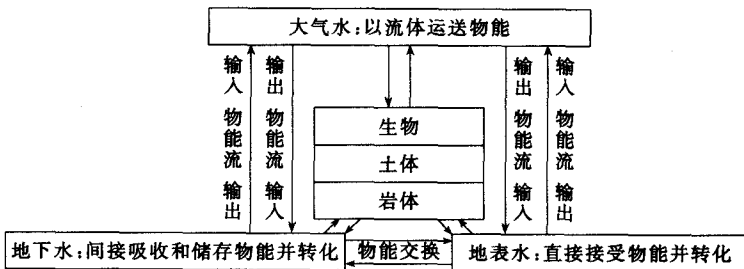


图 1-1 岩溶多重介质环境“水-土-岩-生物”间物质交换趋向

中国南方岩溶区岩溶多重介质环境性质独特, 具有以下特点。

(1) 岩溶作用强烈, 地表、地下岩溶形态多重组合与复合, 构建了岩溶多重介质环境承灾脆弱的基础。

(2) 降水丰沛, 降水历时长, 强度大。因下垫面透水性强, 加上岩溶多重介质环境内广泛发育岩溶地下水系统, 且岩溶地下水系统多以地表江河为排泄基准, 致使岩溶多重介质环境内岩溶水文过程分为地表与地下两大部分。通常地下岩溶水文过程占主导地位, 致使旱涝灾害交替发生。

(3) 岩溶地貌景观奇特, 多类峰体(塔状、锥状)、多级(高中低位)洼地、多层次化洞穴、谷地、平原等形态组合复杂, 类型配置多样, 特别是岩溶山区多呈“岛屿”气候, 致使岩溶多重介质环境内滑坡、岩体崩塌时有发生。

(4) 碳酸盐岩质地较纯, 不溶成分少, 成壤能力低, 地层薄而贫瘠, 且分布零星。因特殊的地质、水文和气候组合, 使岩溶多重介质环境中“水-土-岩”呈多元结构, 大多互为分层, 相互独立, 造成石多土少, 水源漏失, 水分和土壤的可获性严重制约着植物的分布和覆盖度, 致使水土流失和石漠化加剧。

在中国岩溶区岩溶多重介质环境中, 存在物质、能量和信息三个组成部分, 其中物质部分称为环境介质, 能量和信息称为环境因素。显然, 岩溶多重介质环境是一个远离物理学和化学平衡态的、非连续的、复杂的、非线性的开放系统。该系统靠太阳能和生命活动支持和驱动物质流并完成水循环与元素迁移, 靠碳、水、钙、土、生物的发生发展来调节和保持其相对稳定。由多个环境介质组成的岩溶多重介质环境, 除一般环境所具有的性质外, 其多层性、自适应和自组织性、跨介质迁移、界面效应、非线性作用、协同效应等特点决定了自身结构、功能和性质的复杂性。

1.2 脆弱性与成灾性

岩溶多重介质环境的脆弱性是因岩溶作用与大气、水体联系甚密, 对生物、有机质关联过深, 导致其自身容量低, 自稳定能力小, 结构与功能的变化呈振荡性。岩溶多重介质环境脆弱性在时间尺度上, 其变化表现为突变和渐变; 在空间尺度上, 其变化的范围和规模多是从点到线再到面, 从部分到部分再到整体。在特定的规律制约下, 其脆弱性的属性表现为成灾性, 并以旱涝、水土流失、石漠化、地面塌陷、渗漏等形式表现(见表 1-2), 其承灾易损性和难恢复性是其脆弱性的组成和内涵。

岩溶多重介质环境脆弱性的物理化学因素, 主要是碳酸盐岩性质、构造活动、水岩作用、地形地貌、气候影响、岩溶化作用生成的地表地下多重复合结构(特别是负的地形和空隙空间体)——高低位洼地和谷地、落水洞、脚洞、孔隙、裂隙、洞穴、天坑、裂缝和管道等。岩溶多重介质环境脆弱性通常以水流运动形式贯穿其中, 在其内形成多个动态的、呈等级的、分层次的、可反馈的相对脆弱体(带)或成灾体(带)。

表 1-2 岩溶灾害分类表

种类 性质与 部位	旱灾	洪涝	泥石流 滑坡	岩崩	水土 流失 石漠化	塌陷	水源漏 失水体 污染	土体 污染	生物多 样性 退化
地表岩体、 土体、水体、 生物	岩体、 土体、水 体、生物	岩体、 土体、水 体、生物	岩体、 土体、水 体、生物	岩体	岩体、 土体、水 体、生物	土体	岩体、土 体、水体	土体	岩体、土 体、水体、 生物
地下岩体、 土体、水体、 生物		岩体、 土体、水 体、生物				岩体	岩体、 水体		岩体、土 体、水体、 生物
自然和人 类作用	自然作 用为主	人类作 用与自然 作用共 存、人类 作用加大 灾情	自然作 用与人类 作用并重	自然作 用与人类 作用	自然作 用与人类 作用并重	人类作 用为主	人类作 用为主	人类作 用为主	人类作用 为主
发灾时间 或灾害范围	持续时 间长、范 围大	时间 短、范围 较大	时间 短、范围 有时较大	时间短、 范围小	时间长、 范围大	时间 短、范围 有时较大	时间长、 范围大	时间长、 范围大	时间长、范 围大
备注		主要是 人类提、 蓄、拦水 利工程引 发大范围 成灾	人类的 地质作用 加剧成灾 危害性		自然态 石漠化与 人工态石 漠化共存	多为人 类过度抽 取地下水 所致	人类地 质作用所 致	农药、 工业污水 与矿山开 采所致	多为农业 过度生产与 森林砍伐引 发

岩溶多重介质环境脆弱体（带）表现为其内部两种（或两种以上）不同环境介质的结合部存有不同环境介质间物质、能量和信息交换、调节与过渡过程中发生的综合作用。因物质、能量和信息在各环境介质交界面上的传输速度和迁移能力具时空多变性和多样性，致使岩溶多重介质环境脆弱体（带）自身的抗干扰能力减弱，加之人类活动的干扰和破坏，甚至改变了岩溶多重介质环境的参变量，进而使其自然变化过程的速度、强度、频度和分布均处于渐变和突变的交替之中，促使岩溶多重介质环境内部表现出不同程度的脆弱性或成灾性，各环境介质交界处存在多种类型的脆弱体（带）或成灾体（带）。

因岩溶多重介质环境脆弱体（带）或成灾体（带）的空间容量和时间限度很小，其承灾易损性的主要特征如下。

（1）物质和能量的转换失调，使岩溶多重介质环境对质能转换的变异敏感程度增高（抗性降低）。

（2）物质和能量的输入和输出能力降低，导致岩溶多重介质环境局部或整体的持续利用性减弱。

(3) 物质与能量的获取与耗损量突变激化或加剧了岩溶多重介质环境潜在的致灾性，致使环境局部或整体的承灾弹性（回复性）变小。

1.3 成灾作用

岩溶多重介质环境中，气候系统（大气降水系统）、地表水系统和岩溶地下水系统是三个主要的环境介质，它们是岩溶多重介质环境成灾作用的决定性环境介质（图 1-2）。

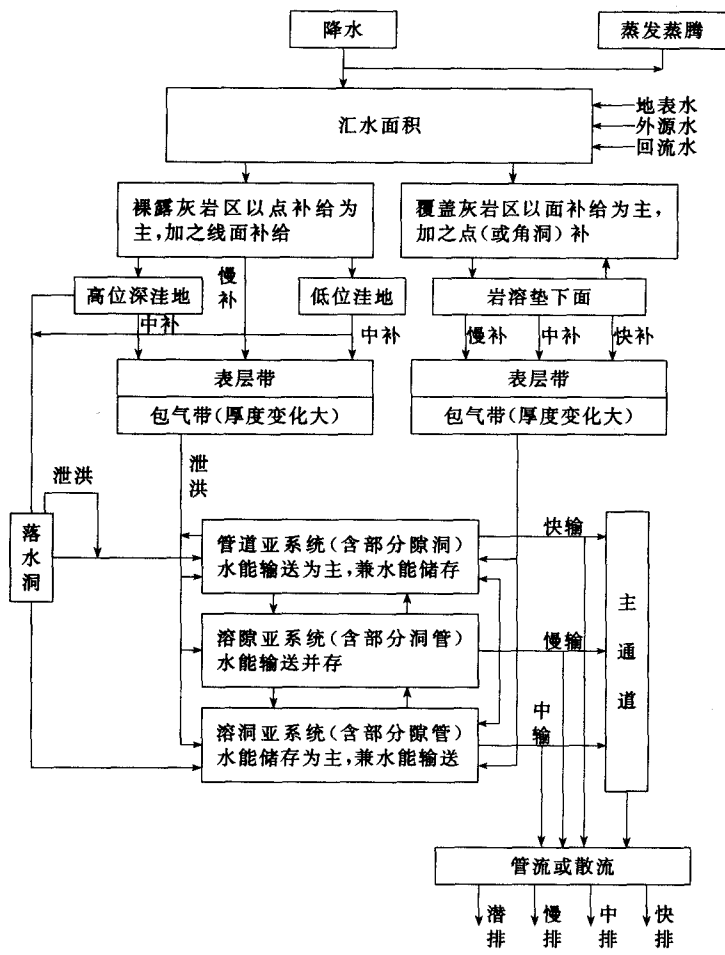


图 1-2 岩溶多重介质环境“三水”循环过程

中国南方岩溶区（特别是岩溶石山区）气候系统是一个非完整、呈“岛屿”状、具有自身多级调节机制的开放系统，简称岩溶气候系统（大气降水系统）。

该系统水热条件良好，与岩溶地表水系统和岩溶地下水系统集成组构，决定了岩溶多重介质环境的主要特征。三者之间的能量循环和水分循环与岩溶多重介质环境中的生物地球化学循环紧密结合，共同推动和支撑岩溶多重介质环境结构与功能的变化及岩溶灾害形成演变过程。

岩溶区地表水系统是一定水域和其内由地表水和（或）地下水补给，经常和（或）间歇地沿地表具有一定深度的狭长凹地流动的水流联合构成。一般来讲，地表水系统是一个非线性系统，受气候和地质等条件的影响，从河源到河口均发生不同类型物理、化学和生物的作用和变化，形成明显不同的区域分异特征。岩溶区地表水系统既是岩溶地下水系统的补给源，又是岩溶地下水系统排泄的基准面。岩溶区地表水与地下水的相互关系有多种表现，且随岩溶化程度而变化。岩溶区内发源或流经的河流，其河床、河川径流、含沙量、水深和坡度、化学组成与稳定性等有关特征表述都比非岩溶区河流复杂。受岩溶多重介质环境的影响，岩溶区地表水系统的地表与地下流域周界不一致，使其与所在流域的纵横向联系复杂多变，特别是“三水”之间的时空配置与强度变化呈高度非线性，致使岩溶区内地表水系统变成一个高度非线性系统。同理，岩溶区地表水系统泛滥和人工修筑水坝所引发的环境灾难具有特殊性、严重性和持久性。

在岩溶区，大气降水和地表水通过岩溶地表结构（落水洞、天窗、竖井、脚洞、裂隙等）渗入地下而转化为地下水。在岩溶地下结构（孔、洞、缝、隙、管的不同组合）中，地下水对结构不断地进行建造与改造，有条件系统地形成相当规模的岩溶通道（管道、洞穴、裂隙等相互通），并组构成岩溶地下水系统（含岩溶裂隙型地下水系统，简称岩溶裂隙水系统；岩溶管道型地下水系统，简称岩溶管道水系统；岩溶地下河型地下水系统，简称岩溶地下河系统等）。

其中，岩溶地下河系统在中国南方岩溶区具有分布广泛、类型多样、规模多变等特点。因岩溶地下河系统间常有“穿跃”现象存在，加之其域面积和分枝数目多呈季节性变化和输入输出多端多样化等，造成其统计数目有异，时空定位难度较大。特别是以渗透补给为主的岩溶地下河系统，一般流域面积大，体系复杂，难以判定。

岩溶地下水系统在空间分布上存在一定的规律性。从区域到局部，从整体到部分，都与断裂构造体系间的关系是基础与继承、制约和发展两方面的综合体现。断裂构造往往是溶蚀作用的有利部位，控制岩溶的初始发育，形成溶隙、裂隙溶蚀带；在此基础上，并在一定的发育条件下，沿单一断裂往往发育成单枝型岩溶管道水系统，若受多组断裂控制则形成树枝形或网络形管道水系统（或岩溶地下河系统）。此外，断裂构造还控制岩溶的个体形态，如断裂交汇带的厅堂形洞穴，沿断裂带受强烈水流作用形成的峡谷形洞穴，沿水平（层面）断裂形成的扁平形洞穴等。

岩溶地下水系统是汇集和排泄地下水的岩溶地下水文系统,是由管道、洞穴、裂隙(裂缝)和孔隙等4种岩溶空隙空间介质体组成的复合体系。岩溶地下水系统的形成和演化是在岩溶多重介质环境中进行的,是多种原因在起作用,它们的主干空间展布和其内水体贮存、传输、转换等规律的变化具多因果性。岩溶地下水系统是岩溶多重介质环境中水体主要的调节和汇集中心。岩溶多重介质环境内岩溶地表水系统水能资源开发的人为地质作用是通过岩溶地下水系统间接地表现出来;反之,每一个岩溶地下水系统涉及岩溶区的各个部位,控制岩溶灾害事件发生和发展的态势。

1.4 小结

岩溶多重介质环境在宏观上表征其内岩溶形态组合与水循环的相互制约的统一关系,揭示岩溶灾害形成演变与岩溶发育的基本规律;在微观上表述其内的物质迁移、转化和蓄积的过程及其运动规律,探索人类活动对岩溶多重介质环境的作用机理及成灾效应等。岩溶多重介质环境研究的主旨内容是:

- ① 岩溶区内岩溶多重介质环境演化的规律;
- ② 岩溶多重介质环境组构、功能及水循环过程;
- ③ 岩溶多重介质环境变化的人类参变作用;
- ④ 岩溶多重介质环境保护及防灾减灾的技术措施和管理措施。

参 考 文 献

- 1 卢耀如等. 岩溶水文地质环境演化与工程效应研究. 北京: 科学出版社, 1999
- 2 何宇彬等. 中国喀斯特水研究. 上海: 同济大学出版社, 1997
- 3 杨明德等. 喀斯特流域水文地貌系统. 北京: 地质出版社, 1998
- 4 袁道先等. 中国岩溶学. 北京: 地质出版社; 1993
- 5 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学. 重庆: 重庆出版社, 1988
- 6 郭纯青等. 岩溶含水介质与地下水系分维理论研究. 桂林: 广西师范大学出版社, 1996

2 岩溶地下水系统

在中国岩溶区岩溶多重介质环境内部,存在由地下水-岩相互作用形成的碳酸盐岩岩溶空隙空间体,通过地下水的运动和循环一以贯之,并以岩溶集中性通道或强径流带为主链,辅以岩溶裂隙和岩溶孔隙群为支链,形成完整的地下水储导系统,称之为岩溶地下水系统。在岩溶地下水系统中,有多种岩溶含水介质类型及其组合,具时空展布的多样性,并构成岩溶地下水运动的复杂性与多变性。岩溶多重介质环境内岩溶地下水系统的塑造是一种复杂的化学、物理和生物作用过程,并受控于地质、气候和人类活动等多种因素。

2.1 一般岩溶地下水系统结构

根据岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统的定义,二者之间的“边界”是相对的。岩溶地下水系统是岩溶多重介质环境的组成部分,当扩大与缩小岩溶地下水系统边界时,岩溶地下水系统都处在岩溶多重介质环境之中。在实际岩溶地下水系统研究中,合理地确定其边界,可以简化系统问题,更有效地研究岩溶地下水系统中的地下水运动及规律。划定岩溶地下水系统边界,表述岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统间的关系(图 2-1)。

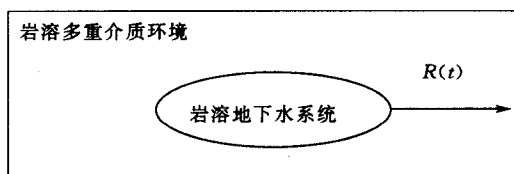


图 2-1 岩溶多重介质环境与岩溶地下水系统间的关系

岩溶地下水系统基本组成部分是指构成系统的最小单元。通过大量的实际系统研究,确认其基本组成部分是岩溶空隙空间体类型,它们分别是岩溶孔隙个体、岩溶裂隙(缝隙)个体、岩溶洞穴个体、岩溶管道个体。据系统论的一般原理,岩溶地下水系统的基本部分作为系统的最小部分,不具系统结构特征,无记忆性、继承性、动态过程和环境敏感性。但其状态和行为与环境 and 系统是密切相关的。

在岩溶多重介质环境中,岩溶地下水系统状态与行为均与其结构紧密相关。因在岩溶多重介质环境中发生过多次岩溶过程,致使其内岩溶地下水系统的结构具

有层次性。针对岩溶地下水系统研究,必须与其层次相对应,任何超过系统结构层次的研究都是事倍功半,使系统研究复杂化。因此,岩溶地下水系统与其他地下水系统研究的根本区别是要从理论与实际研究中,揭示与判定控制系统状态与行为的结构层次特征,并从理论上揭示其存在的固有特性,为实际系统研究指明方向。

在地下水系统中,岩溶多重介质环境中的岩溶地下水系统极具复杂性,其根源是由其最小部分与结构层次间的关系链引起和支配的。

从结构分析可知,岩溶地下水系统的复杂性可概括为三个基本特征,即整体性、质能转换性和自身的调整性。

2.1.1 整体性

岩溶地下水系统的整体性是系统最小部分与结构层次性的集中体现和它们各自对立的统一。岩溶地下水系统的整体性要比其他地下水系统更重要,主要是因为岩溶地下水系统内部各基本要素间组合与相互关系十分复杂所致。

2.1.2 质能转换性

与其他地下水系统相比,岩溶地下水系统在其形成演化历史进程中不断地发生质能转换、改造与建造、沉积与搬运、调整与重组……岩溶地下水系统质能转换涵盖着两大过程:其一是失物质获能量或获物质失能量的适应性自稳定过程;其二是失物质获能量或获物质失能量的适应性自组织过程。在上述两过程中,岩溶地下水系统自身的结构层次性均发生了变化,并产生了新结构。

2.1.3 自身的调整性

因岩溶地下水系统自身始终处于质能转换过程中,致使其自身的调整性表现异常突出。为了保证岩溶地下水系统自身的稳定性,其自身调整性对其结构的安全极为重要。岩溶地下水系统自身调整性既保证了系统部分间的有机联系,又将部分集成组装成整体,从而使系统结构整体性保持相对稳定状态,又能增强系统结构对环境变化的适应能力。

据美国学者霍兰(Holland)提出的复杂适宜系统(CAS)的适应和演化过程中的7个要素,针对岩溶多重介质环境和岩溶地下水系统自身的结构与功能,提出了岩溶地下水系统,形成了演变过程中的10个要素:岩溶空隙空间个体(简称个体)、岩溶空隙空间个体间组合方式(简称方式)、岩溶空隙空间的多样性(简称多样性)、岩溶空隙空间体结构的层次性(简称层次性)、岩溶空隙空间体结构的非线性(简称非线性)、岩溶空隙空间体水流运动的多元性(简称多元性)、岩溶空隙空间体结构的可变性(简称可变性)、岩溶空隙空间体结构的非均质性(简称非均质性)、岩溶空隙空间体水流运动的各向异性(简称各向异性)