

漓江流域上游区水资源与 水环境演变及预测

郭纯青 方荣杰 代俊峰 等著

LIJIANGLIUYU SHANGYOUQU SHUIZIWUAN YU

SHUIHUANJING YANBIAN

JI YUCE



桂林理工大学专著出版基金

桂林理工大学环境科学与工程博士学位立项建设基金

联合资助

漓江流域上游区水资源与 水环境演变及预测

郭纯青 方荣杰 代俊峰
王洪涛 李喜红 曾 成
陈媛媛 王 佳 于 晓
刘 英 潘林艳 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书是漓江水资源与水环境科学研究相关成果的总结,共分9章。以前期国内相关部门专家学者研究为依据,以气候与环境变化为背景,对漓江流域上游区近十年的水资源与水环境演变进行了初步研究,阐述了漓江流域上游区水资源与水环境变化的基本事实,对其变化的原因及趋势进行了分析与预测。据此,提出了发展观念、环境建设、决策机制等方面的建议。

本书可供水文、环境等相关领域的科研人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

漓江流域上游区水资源与水环境演变及预测 / 郭纯青等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 10
ISBN 978-7-5084-9117-2

I. ①漓… II. ①郭… III. ①漓江—上游—水资源—研究②漓江—上游—水环境—研究 IV. ①TV211.1②X143

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第217203号

书 名	漓江流域上游区水资源与水环境演变及预测
作 者	郭纯青 方荣杰 代俊峰 等 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 22.5印张 534千字
版 次	2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	70.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



前言

当前,漓江流域上游区气候、环境与资源的变化问题已受到了广泛关注。桂林理工大学基于“漓江流域上游河库林仿真调度与防汛抗旱预报模型研究(桂科攻 0816006-10)”课题,历时三年,经两次专家评审,五易其稿,终于完成了现在的这个文本。

本书采用各章独立又相互兼容的形式进行撰写,力求反映漓江流域上游最新科研成果,尽可能采用或引用权威数据与结论,对漓江流域上游区水环境与水资源的演变进行综合评估,为政府及有关部门决策提供科学依据。

全书共分 9 章。其中,第 1 章绪论由郭纯青、方荣杰、代俊峰、潘林艳撰写;第 2 章由曾成、郭纯青撰写;第 3 章由李喜红、郭纯青撰写;第 4 章由于晓、郭纯青撰写;第 5 章由王洪涛、郭纯青撰写;第 6 章由王佳、郭纯青撰写;第 7 章由陈媛媛、郭纯青撰写;第 8 章由刘英、郭纯青撰写;第 9 章由郭纯青、方荣杰、代俊峰、潘林艳撰写。

郭纯青、方荣杰、代俊峰、潘林艳对全书文字和图件进行了统稿。

本书从组织、撰写到出版的全过程中,得到了桂林市水利局、桂林市环保局、桂林市农田灌溉试验中心站、广西大学等单位以及相关专家、教授的关心和大力支持,提供了大量资料,并对研究和编写全过程进行了指导。我们对上述单位与专家、教授以及对本书给予关心和帮助的所有同志,在此一并表示由衷的感谢。

囿于水平及条件,笔者虽尽力为之,但恐仍有诸多不足甚至疵误,敬请各界读者和同仁不吝批评指正。

郭纯青

2011 年 6 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1 研究意义	1
2 研究内容	2
3 漓江流域概况	5
第2章 漓江流域上游区水文过程研究	22
1 引言.....	22
2 漓江流域上游数字成图.....	24
3 漓江流域上游水系形态结构研究.....	32
4 漓江流域上游汇流过程研究.....	36
5 漓江流域上游月径流 BP 神经网络模拟	45
6 小结.....	49
第3章 漓江流域枯水资源短缺风险及对策研究	51
1 引言.....	51
2 漓江流域水资源短缺风险分析概述.....	56
3 漓江流域枯水分析.....	58
4 漓江流域枯水资源短缺风险识别及对策研究.....	70
5 小结.....	85
第4章 变化环境下漓江流域上游水库防汛抗旱调度研究	87
1 引言.....	87
2 漓江流域上游地表水资源分析.....	89
3 漓江流域上游变化环境下的水情分析.....	93
4 漓江流域上游枯季补水研究	100
5 漓江流域上游汛期防洪研究	108
6 漓江流域上游水库群生态联合调度	122
7 小结	137
第5章 漓江水质模拟研究	139
1 引言	139
2 漓江流域水环境特性分析	143
3 漓江流域水量对水质的影响分析	148

4	基于数理统计方法的漓江水质模拟	149
5	基于经典算法的漓江水质模拟及其软件系统	154
6	基于人工神经网络的漓江水质模拟	166
7	小结	172
第 6 章	漓江沉积物污染特征及河流健康的初步研究	173
1	引言	173
2	研究区概况	177
3	样品测试与研究方法	181
4	漓江重金属污染特征	185
5	漓江 POPs 污染特征	194
6	漓江沉积物生态风险评价及河流健康评价	210
7	小结	224
第 7 章	小型湿地控制农业非点源污染机理的研究与应用	227
1	引言	227
2	试验设施与方法	229
3	农田水环境中污染物浓度控制的研究	239
4	人工湿地对不同污染物去除效果的研究	250
5	人工湿地应用的研究	260
6	小结	267
第 8 章	水稻生长期中土壤重金属数据变化的研究	269
1	引言	269
2	研究区域与方法	274
3	重金属在水稻生长期数据变化的初步分析	277
4	试验区土壤重金属的对比分析	296
5	小结	308
第 9 章	结语	310
1	漓江流域上游区水文过程研究	310
2	漓江枯水资源短缺风险及对策	310
3	变化环境下漓江流域上游水库防汛抗旱调度研究	311
4	漓江水质模拟研究	312
5	漓江沉积物污染特征及其河流健康的初步研究	313
6	小型湿地控制农业非点源污染机理的研究与应用	313
7	水稻生长期中土壤重金属数据变化研究	314
附录		315
附录 1	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水量统计表(补水目标 55m ³ /s)	315
附录 2	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水量统计表(补水目标 60m ³ /s)	316

附录 3	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水量统计表(补水目标 $80\text{m}^2/\text{s}$)	317
附录 4	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水时间统计表(补水目标 $55\text{m}^2/\text{s}$)	318
附录 5	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水时间统计表(补水目标 $60\text{m}^2/\text{s}$)	319
附录 6	漓江桂林水文站断面历年逐月需补水时间统计表(补水目标 $80\text{m}^2/\text{s}$)	320
附录 7	漓江市区段水中 L1~L6 重金属含量	321
附录 8	漓江表层沉积物 S01~S07 重金属含量	321
附录 9	漓江沉积柱 Z1-01~Z1-27 重金属含量	322
附录 10	冠岩表层沉积物 G1~G4 及沉积柱 Z-XHL1~Z-XHL8、Z-GYC1~ Z-GYC7 重金属含量	322
附录 11	漓江市区段水中 OCPs 含量	323
附录 12	漓江表层沉积物中 OCPs 含量	324
附录 13	漓江沉积柱 Z1-1~Z1-27 OCPs 含量	325
附录 14	漓江沉积柱 Z2-1~Z2-46 OCPs 含量	326
附录 15	漓江河道水中 PAHs 含量	328
附录 16	漓江表层沉积物 S01~S07 PAHs 含量	328
附录 17	有机化合物英文名称及简称对照表	329
参考文献		331

第 1 章 绪 论

1 研究意义

水是生命之源，是支撑社会经济系统发展不可替代的宝贵资源。但是近年来，随着社会经济的快速发展，全球变化、人类活动等影响，诸如水资源短缺、旱涝灾害、水污染等这类水问题日益突出，并且已经成为制约国家和地区可持续发展的重要因素。解决流域工程性缺水 and 水质性缺水，已经是迫在眉睫的问题。

桂林是国家级重点旅游城市 and 历史文化名城，漓江是桂林山水的灵魂，也是桂林风光的精华所在。漓江不仅是湘、黔、桂三省区的交通枢纽和主要的人流物流通道，而且作为桂林的母亲河，肩负着流域内工业用水、农业灌溉以及居民生活用水的重任。漓江流域的水资源管理和水污染研究，对于漓江水资源利用、生态环境建设以及经济可持续发展具有重要的理论和现实意义。对漓江流域上游区的水文过程、枯水资源短缺风险、变化环境下的上游水库群防洪抗旱调度、水质模拟研究、沉积物污染特征、河流健康以及小型湿地控制农业非点源污染机理等问题的探讨与研究，将有利于对漓江水文过程、水库水资源调度、水环境污染、河道内沉积物环境污染、农田水环境以及人工湿地去污等方面深入了解，探索漓江流域水资源的可持续发展。

事关桂林市社会经济可持续发展的漓江流域上游区，由于其集水面积过小，加之地处山区，使其自身的径流调节能力偏弱，每年 3~8 月的丰水期经常发生洪水灾害，而 9 月至次年 2 月的枯水期则严重缺水，漓江下游游船的通航里程缩短，甚至有时影响桂林市的工农业生产及居民生活用水。为此，对漓江流域上游区的水文过程进行分析研究具有重大的现实意义。

近年来，漓江枯水资源短缺问题引起了世人的广泛关注，并越来越成为制约漓江流域社会经济可持续发展的瓶颈。一方面，由于漓江上游水源林区大面积缩小，水文生态效益减退，森林蓄水减洪功能大大降低，加上上游的河床遭受严重破坏，造成漓江水量大量流失，使丰水期和枯水期流量更悬殊，需要用水时没有水，不需要用水时却水量过大，旱涝频繁，给桂林市经济和社会发展带来极大的影响。水资源系统风险泛指在特定的时空环境条件下，水资源系统中所发生的非期望值事件及其发生的概率，以及由此产生的损失程度。因此，对漓江上游枯水资源短缺风险进行识别，提出降低枯水资源短缺风险的调控策略，对实现漓江上游水资源的可持续利用具有十分重要的社会意义和经济意义。另一方面，由于漓江流域上游区集水面积小，降雨时空分布不均，旱涝灾害频繁，需要合理地联合调度拟建的斧子口水库、川江水库、小溶江水库及现有水利工程，充分利用防洪抗旱调度理论方法，结合现代智能技术，实现防洪抗旱系统的有效调度与管理、提高防洪效益、减少洪灾旱灾损失。因此，对变化环境下漓江流域上游水库群防洪抗旱调度的研究有助于最大限度地实现桂林市水资源的优化配置。

漓江的水环境现状同样不容乐观。造成漓江水污染的原因,一方面是由于水源枯竭,枯水期水量减少,江水稀释、自净能力下降,从而造成水环境质量不断恶化;另一方面是由于工业废水和生活污水的大量排放。要治理漓江水污染,必须研究清楚主要的污染因子、水质与水量的关系、支流水质和水量对干流的影响。因此,加强漓江流域水污染控制已经成为一个非常紧迫的问题,而漓江水质模拟是加强漓江流域水污染控制的一个重要环节。因此,漓江水质模拟研究是一个既关乎桂林旅游事业发展,又与人民群众身体健康息息相关的问题。

漓江两岸工农业和居民生活区向环境排放的污染,通过大气沉降和降雨冲刷地表,最终都到达河道内;排入河道的污染物,常常引起水质恶化,城市供水告急;河流中的悬移质泥沙及底泥对水环境中的污染物质有较强的吸附作用,沉积物成为漓江水环境治理的顽症;加上漓江径流年内丰、枯流量相差悬殊,致使漓江在枯水期常出现旅游通航里程缩短甚至中断,生态环境用水受挤占等严重缺水现象。目前的研究大多都是针对漓江水环境污染、水资源供需矛盾或生态环境用水问题以及蓄水工程水资源调度问题等,对漓江河道内沉积物环境污染方面的研究仍是空白。因此,对漓江河道内沉积物污染特征及其河流健康的研究具有重要的理论和实践意义。

目前,造成地表水体污染的一个重要因素是来自于农业生产过程中输出的、以非点源形式存在的各种污染物。人工湿地具有投资少、效果好、运行维护方便、氮磷去除率高等特点,现已在多个国家和地区应用于农业污水处理。在中国,采用人工湿地处理农业污水的研究很少,且都是属于实验室研究。因此,在野外开展人工湿地技术研究,能够为人工湿地处理农业污水的应用提供重要参数和科学依据,在理论和生产上都具有重要意义。

工业的发展、废弃物的排放、农业化肥施用量的增加,导致土壤重金属的污染变得严峻。土壤中的重金属通过食物链进入人体,危害人类健康。研究水稻生长期中土壤重金属数据变化,能够为粮食的安全和增产提供重要参数和科学依据,在理论和生产上都具有重要意义。

2 研究内容

2.1 漓江流域上游区水文过程研究

利用漓江流域上游区现有地形图、各气象台站记录的月平均降水量以及桂林水文站记录的月平均流量等有关资料,对漓江流域上游区的短期和中长期水文过程进行了初步的分析研究。主要研究内容有:

(1) 利用 GIS 技术对桂林渡头水文站以上 2762km^2 的漓江流域上游进行水系地貌研究。

(2) 利用上述研究获得的水系地貌资料,建立漓江流域上游的地貌瞬时单位线,对研究区短时间内的汇流水文过程进行研究。

(3) 对已经掌握的漓江流域气象水文等资料,利用 BP 神经网络建立漓江流域上游的月降雨径流模型。

2.2 漓江枯水资源短缺风险及对策研究

(1) 介绍水资源风险参变量、系统的组成、分类、成本、承担对象、管理、事故树风险分析方法。

(2) 漓江流域枯水分析, 包括漓江枯季水源分析、枯水成因分析、设计枯水、断流等问题的研究。

(3) 漓江流域枯水资源短缺风险因子识别及提出相应的调控策略。

2.3 变化环境下漓江流域上游水库群防洪抗旱调度研究

1. 变化环境下漓江流域上游的水情分析

采用回归分析法、Mann-Kendall 秩次相关检验法、有序聚类分析法、均值检验法对漓江桂林站降雨、径流时间序列的演变进行综合研究, 探索环境变化对漓江流域上游径流变化的影响, 并分析出现该变化趋势的原因。在对枯水期漓江流域上游的径流量进行相关分析的基础上对漓江的“功能性断流”进行研究。

2. 补水调度研究

根据桂林水文站径流设计代表段(1958年3月~1985年2月)逐日实测流量资料, 考虑主要因素的影响后, 统计出各补水目标流量下日平均流量不足目标流量的天数以及补足目标流量的需补水量, 进行BP神经网络模拟。用1985~2001年1~2月、9~12月的各月所需补水量、需补水天数作为模型输出进行验证。

3. 防汛调度研究

以收集的水文资料为基础, 拟定水库群联合防洪调度蓄泄规则。主要包括以下3方面的内容:

(1) 单一水库运行模拟。根据1998年的实测洪水资料建立青狮潭水库的水库调度优化模型, 并采用粒子群优化算法进行求解。

(2) 防洪水库群联合调度方案。结合各水库的防洪任务建立水库群的联合调度模型, 确定水库群联合防洪调度原则和防洪蓄泄规则, 根据1974年、1976年、1994年和1998年四场实测洪水资料确定各库合理的防洪库容。

(3) 水库群联合生态调度方案。根据水生态完整性评价方法对漓江流域上游的环境流量进行计算, 并考虑实施森林生态工程的影响, 确立各月的补水目标流量, 然后按照满足枯水期补水目标流量的原则进行水库群的生态联合调度。

2.4 漓江水质模拟研究

(1) 在已有的漓江流域近10年水文、水质资料及该流域自然环境和社会环境现状资料的基础上, 分析漓江流域的水文特征和水质特征、支流水质和水量对干流水质的影响。

(2) 据对漓江流域近10年水污染特征进行分析, 确定将BOD、COD、 NH_3-N 、DO作为水质模拟的因子。根据监测数据, 建立氨氮与溶解氧的相关性模型, 并对模型进行显著性检验。

(3) 采用经典的S-P模型对漓江进行水质模拟, 并综合运用高级编程语言、组件式GIS技术及数据库软件开发漓江流域水质模拟软件系统。

(4) 采用人工神经网络对漓江流域进行水质模拟。

2.5 漓江沉积物污染特征及河流健康研究

(1) 对漓江桂林市区段沉积物中几种主要重金属进行统计分析,找出重金属元素之间的相关关系,判别其污染来源;对比冠岩重金属,评价人类参变作用对漓江水环境的影响;着重对漓江 OCPs 中的 HCHs 和 DDTs 类污染物及其同分异构体的含量组成、分布特征和地球化学特征进行分析,判别其来源及相互间转化的情况;应用比值法和特征化合物法对 PAHs 进行来源识别;并利用多元统计分析,对污染物进行相关分析和因子分析。

(2) 结合漓江相关资料,并根据漓江城市段河流特定的环境条件,引入异重流概念。参照异重流影响下泥沙沉积特性,讨论漓江悬移质泥沙近似的受力情况,对漓江特定条件下悬移质泥沙的淤积作出初步研究。

(3) 根据漓江重金属和有机物污染试验数据,应用生态风险指数法,评价漓江沉积物重金属的环境风险;应用生态风险评估标准,评估漓江沉积物中有机物的环境风险,建立漓江河流健康生态预警体系;参照河流健康的含义,以特定河流健康指标体系评价漓江河流健康程度,提出适合漓江水环境保护与水资源开发利用相结合的可持续发展的生态预警、河流健康评价模式及对策。

2.6 小型湿地控制农业非点源污染机理的研究与应用

以广西壮族自治区灌溉试验中心站中已建成的水稻试验田和人工湿地为研究对象,主要的研究内容有:

(1) 调查试验区域的地形地貌、土壤、气候和水文条件,查明水稻生长特性、施肥和施农药情况,研究湿地植物的形态特征和生长特性。

(2) 根据田间观测数据,研究水稻种植期间渠道和农田的水质变化,并对农田水质进行评价,确定农业非点源污染(主要是农田排水)对水环境的影响,探索控制农业非点源污染的方法和措施。

(3) 以湿地试验观测结果为依据,研究小型湿地对农业非点源污染的控制效果,分析环境条件变化对湿地污染物去除效果的影响,得出小型湿地控制农业非点源污染的实用数据和经验资料。

(4) 根据湿地植物生长状况和去除污染物效果确定优势植物品种,研究湿地与农田面积之间的布局关系,提出典型小流域农业非点源污染的湿地生态修复规划方案。

(5) 提出符合中国南方农田,特别是水稻田灌溉排水系统与湿地相结合控制农业非点源污染的渠道—农田—人工湿地系统各项技术要素(结合形式、湿地设计参数、影响因素等)以及运行管理方式。

2.7 水稻生长期中土壤重金属数据变化研究

以广西壮族自治区灌溉试验中心站内的水稻试验田和周边自然农田为试验区,主要的研究内容有:

(1) 根据田间观测数据,研究水稻种植期土壤重金属浓度变化,并对水稻田土壤重金属在生长期的数据进行分析。

(2) 以水稻试验田和周边自然农田试验观测结果为依据,研究不同灌溉方式对农田土壤重金属在水稻生长期内的变化,分析其对土壤重金属浓度数据变化的影响。

3 漓江流域概况

3.1 地理位置简介

漓江流域上游区为桂林水文站（位于桂林市南郊的瓦窑渡头村）以上的漓江流域部分，干流河长 105km，流域面积为 2762km²，属于珠江流域西江水系，地处：东经 110°05′~110°40′，北纬 25°15′~25°55′（图 1.1）。行政隶属于广西壮族自治区桂林市的兴安县、灵川县以及桂林市区。

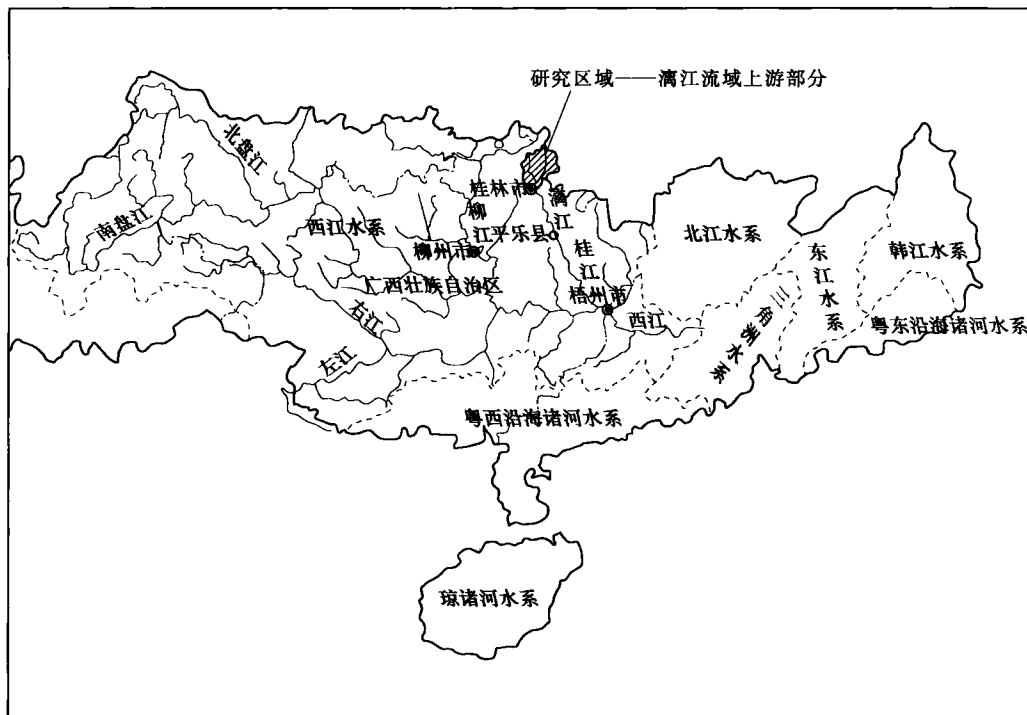


图 1.1 研究区在珠江流域的位置示意图

漓江发源于桂林市兴安县西北部的越城岭主峰猫儿山（海拔 2141.5m）东北支老山界南麓，由北向南流，源头段称乌龟江，塘坊边以下称集义河，至千家寺（千祥）称六洞河，与黄柏江、川江交汇后称大溶江，至溶江镇老水街与古运河灵渠汇合后始称漓江。漓江干流流经兴安、灵川、桂林、阳朔、平乐等市县，全长 214km，平乐县城以下的河段称为桂江，全流域范围包括兴安、灵川、桂林市区、临桂、阳朔、荔浦、恭城等一市七县，流域总面积 12285km²，与支流荔浦河、恭城河汇合后称桂江。漓江全流域北面、西面以猫儿山、天平山、架桥岭为界，与长江流域洞庭水系夫夷水（资水）及柳江支流古宜河、洛清江毗邻，流域东面以海洋山为界，与长江流域湘江水系海洋河、灌阳河及桂江支流恭城河接壤。

漓江自北向南穿过桂林市城区，流经桂林市区长 49.3km。城区右岸有桃花江汇入，桃花江入口以上漓江流域集水面积 2462km²，下游不远有桂林水文站，桂林水文站以上漓

江流域集水面积为 2762km²，河流总长 105km。漓江桂林至阳朔段是典型的岩溶地貌，是中外游客观光游览的黄金水道，河段长 86km，流域面积为 5585km²，枯水落差 40m，平均坡降 0.48‰。

3.2 地质地貌

3.2.1 构造地层概况

本研究区属扬子地台区的一部分（图 1.2）。它在加里东运动期间为一强烈拗陷的褶皱地带，经加里东运动后渐趋稳定转化为地台区，然而在印支运动、燕山运动期间仍然出现了强烈的构造活动。

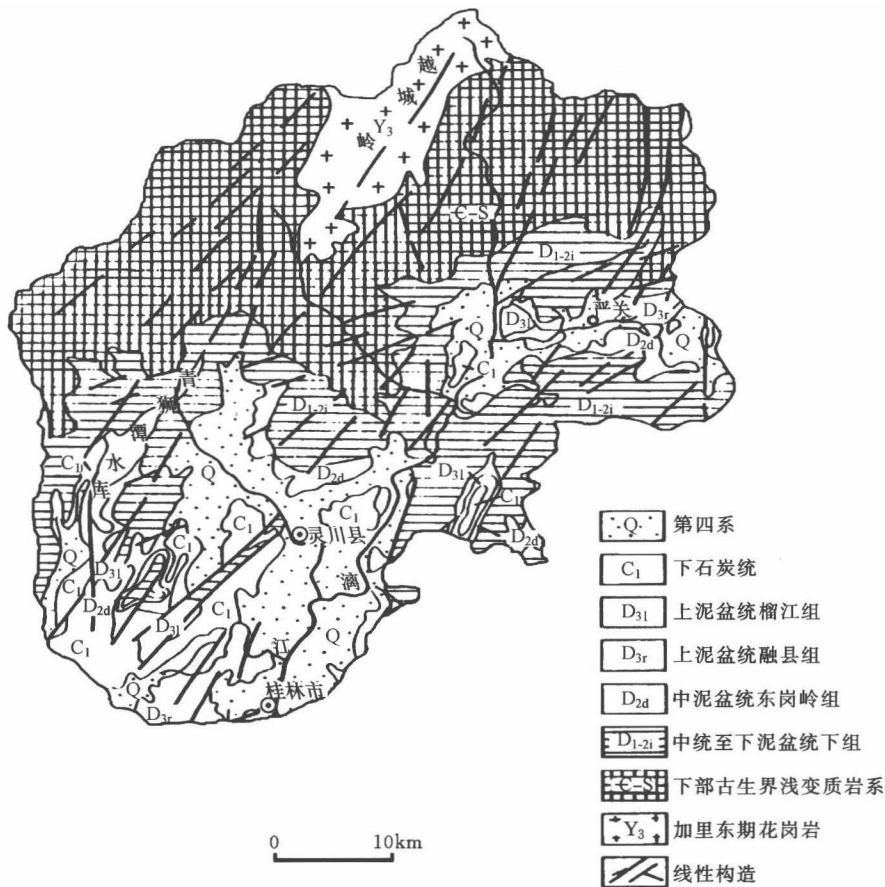


图 1.2 漓江流域地质图（据茹锦文等，略有修改）

加里东运动期所出现的紧闭线性褶皱，以北东向的华夏系及南岭东西向构造为主，当时地应力的活动方式表现为南北向的一种挤压和扭动。在构造运动的同时伴生几个岩基状花岗岩体的侵入。印支运动期间，以东西向的挤压作用为主。构造运动表现为以刚性的块断作用为主，线性褶皱已不是主要的构造形态。燕山运动期间，太平洋板块与东亚板块产生了强烈的碰撞作用。在碰撞中太平洋板块不仅向东亚板块之下俯冲，而且产生了强烈的左行水平位错，致使中国东部产生了一系列北北东向新华夏系构造。区内北北东向的压扭

性破裂构造亦十分强烈。此外,与其相配套的北东东的泰山向破裂、北北西向大义山向破裂几乎遍布全区,对研究区内水系的展布,地貌形态的形成以及岩溶地下水的富水构造均有明显的控制作用。喜山运动,主要表现为一种块断作用为主的继承性活动。

研究区内出露地层从寒武系到第四系,中间除缺失二叠系、侏罗系、白垩系外,均有分布。按岩性大致可以划分为下列四个层组:

(1) 下部古生界浅变质碎屑岩系,厚度大于2000m。主要分布于越城岭等中低山地。

(2) 下泥盆统至中泥盆统下组红色碎屑岩系,厚900m,其中下统区域性不整合于下部古生界浅变质碎屑岩系之上,主要分布于越城岭的山麓以及其他低山、丘陵地带。局部因断层抬升,出露于岩溶谷地中。

(3) 碳酸盐岩,包括中泥盆统东岗岭阶、上泥盆统融县组、下石炭统岩关阶、大塘阶,总厚度约3000m,主要出露于漓江岩溶谷地中。其中东岗岭阶以白云岩、白云质灰岩为主,融县组为厚层至块状纯灰岩。以上是本区岩溶发育的两个主要层位,地貌上反映为岩溶峰林、峰丛,其中又以融县组灰岩岩溶最为发育。下石炭统岩关阶、大塘阶灰岩由于层理变薄,泥质、硅质成分明显增高,地貌上亦呈丛丘、缓丘的溶蚀——侵蚀的组合形态。在研究区西北,下石炭统可以完全相变成薄层砂页岩的碎屑岩相区,地貌形态则转变为丘陵或岗地。

(4) 第四系松散堆积层,分布于基岩面上的残积型粘土,代表着自早第三纪以来至早更新世风化壳型的堆积物,岩性常随基岩而异。在上泥盆统灰岩分布区以棕红色黏土为主。下石炭统分布区的残积物多为褐黄色、黄色黏土,有时尚含页岩碎屑,厚达2.5m。越城岭等中、低山地带,在下部古生界、中下泥盆统碎屑岩以及花岗岩分布地区,风化残积层厚达10~30m。

中更新统,为一套暗红色的黏土泥砾层。砾石成分主要为中泥盆统应堂组的灰黄色粉砂岩,细砂岩。砾石有一定的磨圆度,但大小不一,互相混杂,无分选性,且泥砾中,砾石含量多寡不一。此类第四系堆积物分布广泛,自兴安严关一带至桂林市广泛地出现在岩溶谷地内,常成垄岗或二级阶地。

红色泥砾层一般厚10~30m,局部可达50m。多为松林、橘林及一些旱地作物分布地区,部分为疏林草地。

上更新统分布比较零星。下部为一套河床相的砂砾层,上部为灰黄色粉砂质亚黏土,总厚约25m。

全新统,现代漓江及其支流的河床,河漫滩以及一级阶地的堆积物,具明显的二元结构,下部为砂砾层,上部为粉砂质黏土。

在局部的岩溶化洼地中,全新世时期尚发育有一部分湖沼相的沉积物,含有泥炭层。

3.2.2 地形地貌

3.2.2.1 地形

漓江流域位于南岭山脉的西南部。总的地势北高南低,东西两侧高,中部低。流域北部是南岭中的越城岭,主峰猫儿山海拔2141.5m,是华南的最高峰,漓江即发源于该山南麓;东部为海洋山,西侧为天平山与架桥岭,主峰均在千米以上。这些山脉走向受构造控制,呈

北东及近南北方向展布。山体主要由碎屑岩及岩浆岩组成，山势陡峻绵亘，巍峨壮观。

山脉之间是漓江谷地。漓江谷地由一系列开阔的山间盆地及峡谷组成，谷宽一、二百米至十多千米。由北而南有严关、溶江、三街、灵川、桂林、福利等盆地，盆地地势较平坦，诸河汇集。桂林城区以北的盆地主要由碎屑岩夹少许碳酸盐岩组成，盆地中分布有许多岗垄状的低缓丘陵；桂林及其以南的盆地则基本是由纯碳酸盐岩组成的峰林平原。碳酸盐岩石峰平地拔起，峰下清溪湖潭环绕，景色绚丽多姿。

盆地之间有峡谷相连。最典型的峡谷是大圩以南的潜经村至阳朔一带的岩溶峡谷，河谷深切，河流迂回，与两岸陡峭石峰的相对高差达 400 余米，江水清澈，群峰倒映水中。绚丽独特的山水风光，组成了驰名中外的桂林山水画卷（图 1.3）。

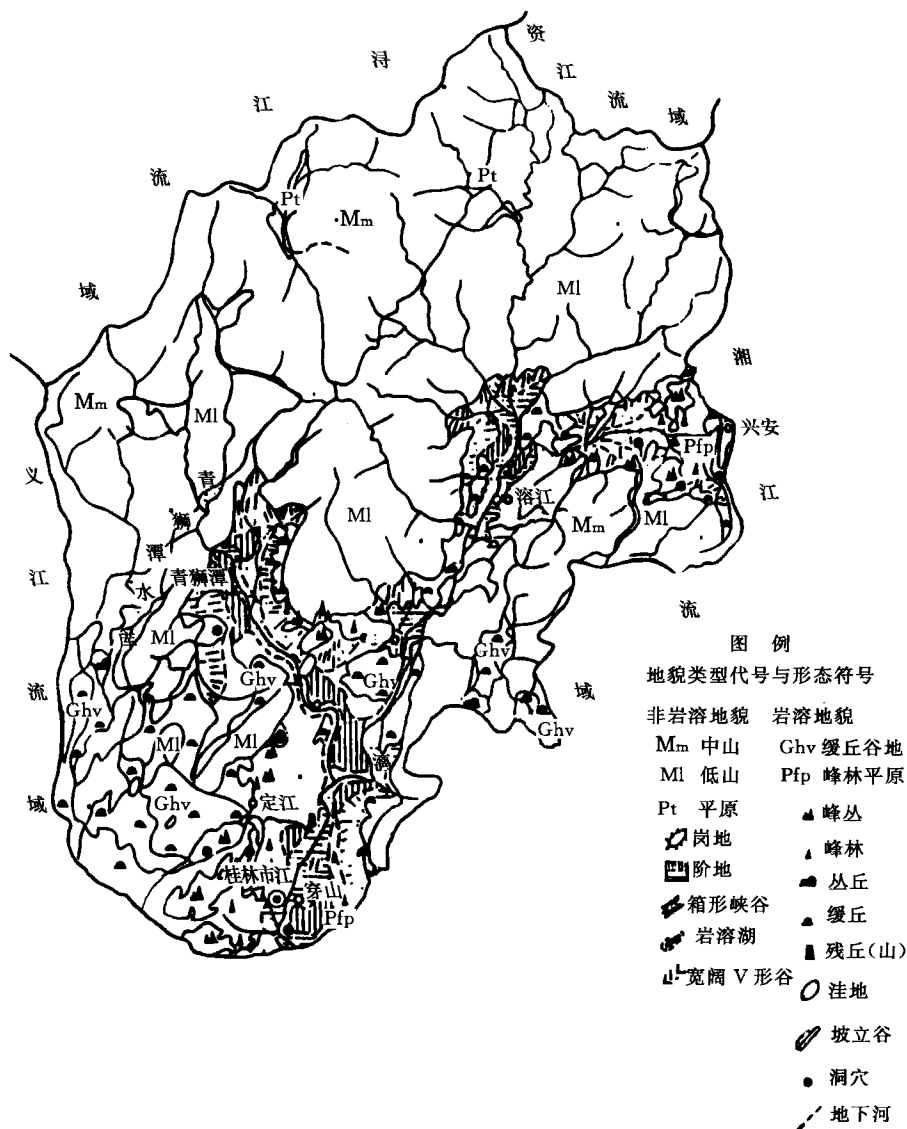


图 1.3 漓江流域上游地貌类型（据茹锦文等，略有修改）

3.2.2.2 地貌

地貌是决定水系发育、水文循环及水资源时空分布的重要因素之一。漓江流域上游的地貌类型大致可以划分为下列几个主要类别：

(1) 碎屑岩地层所组成的中低山地。是一种侵蚀地形。主要分布于越城岭一带。山脊线明显连续，受构造方向控制。山顶海拔高度大于 350m，比高大于 150m。地表水系发育，水系密度 $0.633\text{km}/\text{km}^2$ 。沟谷深切，“V”形谷为主。局部有峡谷及平底谷。偶有山间小盆地分布，植被良好，丛林遍布。

(2) 碎屑岩地层所组成的丘陵。多分布于上述中低山地的边缘以及其他泥盆系中下统白垩系地层小片零星出露的地区。丘顶海拔高度一般 250m~350m 以下。地形相对高度小于 150m。丘陵面上发育有形状不规则，起伏不平的谷地。

(3) 洪积扇。分布于上述中低山山前坡麓，与平原、谷地或洼地的接壤部位，在河流或冲沟出口处比较明显。多为连片分布，个别呈扇状，由第四系更新统黏土、亚黏土及砂砾层等洪积物组成。洪积物新老叠加，颗粒大小不均。洪积层最大厚度可达 40~60m。

(4) 岗地。分布于桂林市郊的岩溶峰林平原区。由第四系中、下更新统红色黏土泥砾组成。地面形态常呈长垣状或孤丘状，面积不大。高出平原面 15~35m 左右，植被不好，多为荒地或旱地。

(5) 阶地。多分布于漓江及其支流两岸。其中二级阶地分布零星，由第四系中、下更新统红色黏土泥砾组成，相对高度 15~25m，阶面波状起伏呈垄岗状或孤岛状，与岗地颇为相似。多为荒地或旱地，部分为松林、柑橘林。一级阶地，分布连续，阶面平坦，坡度小于 5%，海拔高度 105~210m，高出河水面 5~10m。具二元结构，上部砂质土，下部砂砾层。厚度较稳定，多为 30~50m。

(6) 峰丛洼地。在研究区内分布有限。大多发育在中、上泥盆统厚层的碳酸盐岩地层中，位于地质构造上断块相对抬升的一侧，由相对高度 200~500m 的连座状的石灰岩山以及负向封闭型的洼地所组成。洼地中缺少常年性的地表水流，大气降水以后，常通过竖井、落水洞迅速地排向地下河。

(7) 峰林平原。分布于中低山山前以及峰林洼地的外围地带。在微有起伏的岩溶平原面上散布着平地拔起，疏密不等的石峰。平原面海拔高度在 130~155m 间，高出当地排泄基准面约 8~14m，覆盖层厚数米，大部垦为耕地。部分基岩裸露，成为石海。平原面上的石山海拔 250~390m 左右，相对高度小于 150m，个别达 180~200m。石山分布密度每平方公里 0.03 座至 30 座不等。

(8) 峰林谷地。是一种比较次要的岩溶地貌形态，常与峰丛洼地相邻，与峰林平原相并出现，是一种条形的岩溶谷地。谷地面分布着疏密不等的石山。石山的高度以及谷地面上的堆积物与峰林平原类似。

(9) 丛丘、岭丘、缓丘。是一类溶蚀——侵蚀的地貌形态。发育于石炭系下统，泥盆系中、上统薄层不纯灰岩、泥灰岩、硅质岩分布地区。其中又以丘峰的高程将其分为缓丘（小于 250m）、岭丘（250~300m）、丛丘（250~350m）三类。其中丛丘的丘峰的比高大于 150m，坡麓与峰丛相比，较为和缓。岭丘、缓丘比高逐级变缓。

(10) 溶蚀——侵蚀谷地平原。常和峰林平原或谷地相伴出现。但不及峰林平原那样

平整，常呈波状起伏的表面，并有厚数米至十数米的残积黏土层覆盖，平原的高起部分为旱地或荒地。

据岩溶地质研究所的茹锦文等人统计，漓江流域上游主要地貌分布面积见表 1.1。

表 1.1 漓江流域上游地貌类型统计表

面积 类别 区域	总面积 (km ²)	碎屑岩中低山 及丘陵区 (km ²)	泥质不纯灰质岩 地貌 (km ²)	石灰岩地貌 (km ²)	堆积地貌区 (km ²)
漓江流域上游	2744.8	1839.2	534.1	106.6	274.9
	2762				
所占研究区总面积比例 (%)		66.6	19.3	3.9	10.0

3.3 气候

漓江流域地处低纬地带，属中亚热带季风气候区，气候温和湿润，雨量充沛，多数月份光照充足，气候条件较为优越。

广西临近海洋，空气中水汽含量丰富，研究区地处广西的东北角，为冷空气入侵广西的主要通道，且研究区内及周边山脉纵横、丘陵起伏，河流交错，南岭山脉除了对北下冷空气起到阻挡作用，造成冷锋常在湘南和桂北之间转成静止锋外，对从南方北上的暖湿空气同样起到阻挡作用，由于冷暖气团容易在这一地区交汇，导致云雨的机会特多，是广西的多雨中心之一，年平均降雨量在 1300~2000mm 之间。由于研究区受季风气候影响的原因，干湿季节十分明显。3 月开始，海洋暖湿气流逐渐活跃北上，本地上空水汽随之大量增加，雨量逐月增多，5~6 月为降水高峰月，7~8 月为降水次峰月，4~8 月为本区的汛期，5 个月的降水要占全年降水的 70% 左右。

流域降雨量的年内分配主要受季风活动影响。雨季一般为每年 3~8 月，其降雨量为 1100~1400mm，占全年降雨量的 75%~76%。每年 9 月至次年 2 月为干季，其降雨量为 370~430mm，仅占全年降雨量的 24%~25%。在雨季，连续最大四个月的降雨量常出现在 4~7 月，降雨量为 860~1100mm，占全年降雨量的 57%~61%。连续最大两个月的降雨量常出现在 5~6 月，降雨量为 507~683mm，占全年降雨量的 35% 左右。降雨量最小月份常出现在 12 月至次年 1 月，降雨量约为 100mm，仅占全年降雨量的 6% 左右。多年平均年蒸发量为 900mm 以上。月降雨量分布情况见图 1.4。流域内降水最大值与最小值之比为 1.2~1.8 倍，年平均降水偏差 7.0%~19.6%。

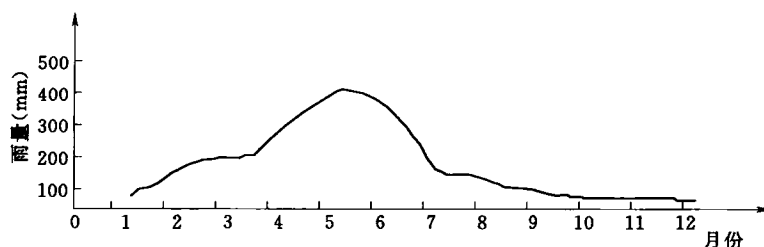


图 1.4 桂林水文站月降雨量分布图