前　言

人类居住的地球呈圈层状结构，最早直接与人类关系最密切的是地球表层的岩石圈、水圈和大气圈，其中，岩石圈中碳酸盐岩分布区域，是“三圈”相互作用最活跃的地带；加之，随后产生的生物圈及土壤圈，共同组成了人类赖以生存的特殊自然环境——岩溶多重介质环境。

岩溶多重介质环境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。岩溶多重介质环境主要由无机部分（岩溶水文系统）和有机部分（岩溶生态系统）集成组构而成。中国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载脆弱的基础。

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的广泛发育岩溶水文系统，且岩溶水文系统多以地表江河为排泄基准，致使岩溶多重介质环境的岩溶水文过程分为地表与地下两部分，通常地下岩溶水文过程占主导地位，导致旱涝灾害交替发生。

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，特别是岩溶石山区多呈“岛屿”气候，致使岩溶多重介质环境的滑坡，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，土层薄而贫瘠，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，水源流失，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。

本书从整体视角出发，突出岩溶地下水与环境的相关性、整体性和复杂性，力图

需要全本请访问 www.ertongbook.com

为构建岩溶地下水与环境的特殊性的理论与实践框架和时空体系作出新的尝试。

全书共分八章，分别论述了岩溶地下水的资源承载力、观测、用水量、湿地、疾病和水量预报等相关问题。例如，岩溶地下水在动态优化观测和疾病发生发展中的地位、功能及演变；岩溶地下水在湿地和岩溶地下河中的物质、能量的迁移和转化过程；岩溶地下水对人类活动的作用与响应等。

本书是作者在长期从事岩溶科学研究与教学工作的基础上，汲取了地球系统科学、环境科学等领域的新理论与新方法，对岩溶地下水与环境研究的理论与实践较肤浅的概括与总结。

全书各章撰写分工如下：

第1章　代俊峰、郭纯青、方荣杰；第2章　邓欢、郭纯青；第3章　刘小明、郭纯青；第4章　王莉、郭纯青；第5章　栗国国、郭纯青；第6章　王佳佳、郭纯青；第7章　马婷、郭纯青；第8章　代俊峰、郭纯青、方荣杰。

全书的统稿工作由郭纯青、代俊峰、方荣杰完成。任佳馨协助对图表校对。

本书从组织、撰写到出版的全过程中，得到了中国地质科学院岩溶地质研究所韩行瑞研究员、马祖禄研究员、李兆林研究员，广西地质环境监测总站的王学平总工程师、曾维刚工程师，桂林市疾病预防控制中心张振开副主任医师、石朝晖副主任医师、邓玄医师的关心和大力支持，提供了大量资料，并进行了全研究过程的指导。在此，我们对上述专家、学者以及对此书关心和帮助的其他同志一并致以由衷的感谢。

本书撰写历经近四年历程，笔者虽勉力为之，但限于自身水平及条件，不足及疵误之处在所难免，敬请各界读者、同仁不吝赐教斧正。

郭纯青 方荣杰 代俊峰

2008年12月

目　次

前　言
1　绪　论 …… (1)
1.1　研究意义 …… (1)
1.2　研究内容 …… (2)
2　岩溶区水资源承载力分析 …… (5)
2.1　水资源承载力 …… (5)
2.2　研究区域自然环境和社会经济 …… (8)
2.3　水资源开发利用 …… (13)
2.4　水资源承载力指标体系 …… (21)
2.5　水资源承载力模糊综合评判模型 …… (28)
2.6　本章小结 …… (37)
参考文献 …… (37)
3　岩溶区地下水观测网优化设计 …… (39)
3.1　地下水观测网及其优化设计的基本概念 …… (39)
3.2　地下水观测网优化设计的基本原理 …… (42)
3.3　桂林市区岩溶地下水动态特征及利用条件 …… (50)
3.4　桂林市区岩溶地下水水位观测网优化设计 …… (59)
3.5　本章小结 …… (76)
参考文献 …… (77)
4　岩溶隧道涌水量数学物理模拟研究 …… (78)
4.1　朱家岩隧道岩溶水文地质条件 …… (78)
4.2　朱家岩隧道涌水流量衰减分析 …… (82)
4.3　朱家岩隧道涌水物理模拟 …… (86)
4.4　朱家岩隧道涌水 BP 网络模型分析 …… (93)
4.5　朱家岩隧道涌水综合评判 …… (101)
4.6　本章小结 …… (105)
参考文献 …… (106)
5　岩溶湿地水文过程研究 …… (107)
5.1　会仙岩溶湿地概况 …… (107)
5.2　会仙岩溶湿地水文特征 …… (115)

5.3 会仙岩溶湿地水文过程与 SWAT 模型 …… (131)
5.4 SWAT 模型在会仙岩溶湿地的应用 …… (142)
5.5 本章小结 …… (151)
参考文献 …… (153)
6 伤寒、副伤寒的发生与岩溶生态环境的关系研究 …… (154)
6.1 桂林市伤寒、副伤寒流行特征分析 …… (154)
6.2 桂林市伤寒、副伤寒流行与地理环境因素相关分析 …… (163)
6.3 伤寒、副伤寒流行预测模型（BP 神经网络）的建立 …… (174)
6.4 本章小结 …… (182)
参考文献 …… (182)
7 广西马山岩溶地下河水文过程与水资源潜力评价 …… (184)
7.1 马山岩溶地下河流域概况 …… (184)
7.2 岩溶地下河流域水资源评价方法选择 …… (194)
7.3 马山岩溶地下河流域水文过程分析 …… (199)
7.4 马山岩溶地下河流域水资源评价 …… (209)
7.5 本章小结 …… (229)
参考文献 …… (230)
8 结 语 …… (232)

1 绪 论

1.1 研究意义

西南岩溶地区由于长期发生强烈的岩溶化作用，产生了地表地下双层空间结构，导致水源漏失、深埋，形成“土在楼上、水在楼下”的水土资源不配套的基本地理格局。在峰丛洼地地区，地下空间特别发育，地表常有落水洞、岩溶地下河天窗等岩溶形态，与地下空间系统连通，降水入渗系数很高，造成地表严重缺水而地下水特别丰富的现象。由于岩溶发育的不均匀性和新生代地壳大幅度抬升造成的岩溶发育深度增加，开采、利用地下水非常困难；岩溶地下河系统生态环境特别脆弱，天然防渗过滤层很薄，岩溶地下河水源极易受到污染，直接危及人民的生命安全；岩溶地下河埋深于地下，有隐蔽性，处理的难度很大；致使岩溶区特殊的环境与人口压力大，环境问题也相对突出。

脆弱的岩溶地下水系统，对气候变化和人类活动的响应十分显著。岩溶地区地下水与环境的特殊性研究，对于岩溶水资源利用和生态环境的可持续发展具有重要的理论和现实意义。对岩溶区的水资源承载力、地下水观测网优化设计、隧道涌水量、湿地水文和伤寒、副伤寒的发生与生态环境关系、岩溶地下河水资源评价等问题进行深入的探讨，将有利于对岩溶水资源、岩溶地下水与环境及其功能的深入了解，探索岩溶地下水与环境对人类生产生活及岩溶区可持续发展的影响。

水资源短缺及其产生的供需矛盾已经成为严重制约中国社会经济发展的重要因素。也就是说，水资源不仅具有对人口的承载力，而且还具有对经济的承载力。因此，在进行经济建设与社会发展的同时，必须认真考虑水资源承载力问题。水资源承载力是一个具有自然、社会双重属性的概念，它既反映了水资源系统能够支撑社会经济系统发展的能力，也反映了社会经济系统开发利用水资源的程度。水资源承载力研究的根本，就在于找到一整套开发利用水资源的政策，使之既能满足社会的需求，又能在经济上可行，环境方面稳妥，它反映的是水资源及其支持能力对一定物质生活标准下人口增长与社会发展的限制目标与限制条件，对人口、资源、环境发展等均有一定的预警功能。岩溶区水资源承载力的研究对水资源管理规划、人口政策与产业发展以及国民经济发展计划与长远规划，都具有重大的现实意义和深远的历史意义。

联合国水资源开发保护署认为：“一个国家水资源观测网的完善程度是目前衡量一个国家水资源是否可持续利用的唯一尺度”。这一表述充分体现了建立一个可靠、有效水资源动态观测网的重要性。地下水动态是既受自然控制，又受人为因素干扰的一个非常复杂的演变过程。地下水动态研究在水文地质学领域中居有非常重要的地位，是认识地下水资源形成、演化以及揭示地下水系统内部特征的重要标志。建

需要全本请访问 www.ertongbook.com

立优化的地下水动态观测系统，开展地下水动态观测工作，是研究地下水动态不可缺少的一个重要手段。

据不完全统计，中国1996年前已建成运行的4800余座岩溶隧道中，约1/3发生过涌水问题，其中30余座属大型涌水，每座的涌水量均超过$1.0\times10^4m^3/d$，最大的达$20.6\times10^4m^3/d$。可见，岩溶隧道涌水是岩溶隧道施工和运行过程中常见的一种水患。岩溶隧道的涌水严重危及隧道施工的安全，影响隧道施工的进度，而且如果隧道施工措施不当，常常会使隧道建成后运行环境恶劣，地表环境恶化，给人们的生产和生活造成重大的损失。岩溶隧道涌水的研究及其模拟具有重要的理论和实践意义。

岩溶湿地水文作为最重要的特征，控制其形成、发展、演变及消亡的全过程。湿地的保护最终依靠于水文过程的维持。尽管如此，当前岩溶湿地水文研究依旧不能满足其保护和管理的需要，对其水文过程的干扰已成为湿地退化的主要原因。岩溶湿地水文研究在生物多样性保护、流域水资源管理以及全球气候变化等方面有极其重要的意义。

伤寒、副伤寒是中国传染病防治法规定的乙类传染病，其传染性强、病程长、易复发、并发症多、疾病负担较重。20世纪90年代以后，中国伤寒、副伤寒平均发病率在（4.08～10.45）/10万之间，其中贵州、广西、云南等岩溶省份的发病率远远高于全国平均发病水平。以桂林市为例，2000～2005年间全州、灌阳、灵川、阳朔岩溶县的平均发病率均大于80/10万，而资源、龙胜、临桂、恭城非岩溶县的平均发病率小于25/10万，呈现明显的县区差异，这与特殊的岩溶地质结构，地下水循环模式等地质因素有直接关系。因此，找到伤寒疾病的发生与地理因素的相关关系，建立该流行病暴发的环境因素分析及预警系统，从根本上找出发病的区域地质根源是今后有效控制疫情发生的关键所在。这可以使疾病的预防工作更加主动、科学和理性。

开发岩溶水资源方式多种多样，不同类型的岩溶水系统开发利用方式与模式也不尽相同。岩溶地下河流域在进行水资源开发工程建设时，需要对岩溶地下河流域水文地质条件进行调查，了解岩溶地下河流域的水文过程，并对流域内水资源量进行评价，以此作为水资源开发利用规划与开发利用工程设计的科学依据。岩溶地下河流域水资源评价对水资源开发利用工程发挥效益有着重大影响。

1.2 研究内容

1.2.1 岩溶区水资源承载力分析

结合桂林市城区的特点和水资源承载力研究的内容体系，主要研究内容有：

1）水资源数量与质量、来源与组成，水资源的开发利用方式。

2）人口与经济发展规模及内部结构、社会消费水平及结构。

3）生态系统的组成要素、规模及需水和耗水规律的研究。

4）水资源承载力评价指标体系的构建。

5）用模糊综合评判的方法建立水资源承载力理论模型。

1.2.2 岩溶区地下水观测网优化设计

地下水观测网优化设计的任务是依据地下水系统的测量信息，选择合适的数学模型，在给定观测网设计目标的前提下，有效地选择地下水观测网（观测孔的密度、位置及观测频率）。主要做了以下的研究：

1）地下水观测网优化设计方法及球状模型拟合技术的研究。

2）岩溶地下水动态特征及利用条件的研究。研究岩溶地下水动态类型及其特征，降雨、漓江水位与岩溶地下水水位动态关系及岩溶地下水利用条件，根据观测孔水位资料重点分析地下水系统动态特征。

3）岩溶地下水水位观测网优化设计的研究。分析桂林市区岩溶地下水水位观测网存在的问题和克立格法在桂林市区岩溶地下水水位观测网优化设计中的适用性，在此基础上，运用改进克立格法对该地区观测网进行优化设计。基于 MapGIS 提出岩溶水文地质半定量分析法。

1.2.3 岩溶隧道涌水量数学物理模拟

1）朱家岩隧道经过区的地表岩溶形态组合和包气带岩溶发育特征及包气带岩溶水的运动方式。

2）朱家岩隧道经过区的包气带水的补径蓄排关系及岩溶管道组合方式。

3）包气带中岩溶管道（大裂隙）的涌水机理模拟和涌水量预测。

4）根据包气带中不同管道（大裂隙）模式，建立朱家岩隧道涌水量计算的评判体系。

1.2.4 岩溶湿地水文过程研究

在已有的会仙岩溶湿地气象、水文及水文地质调查资料基础上，对其水文过程分别进行定性、定量分析。研究内容主要包括水文特征和降雨径流过程。详细内容如下：

（1）水文特征分析

利用 MapGIS、RS 技术对湿地水文观测数据、遥感数据进行整理、归纳，对会仙岩溶湿地水位、流量特征进行综合分析。

（2）水文过程建模

主要包括两方面内容：对模型所需的气象数据、土地利用数据、土壤属性数据进行分析整理，建立气象数据库、土地利用数据库、土壤属性数据库；应用实测降雨、径流资料，对参数进行率定，并对模型进行验证分析。在此基础上，对研究区降雨径流过程的各个子过程（蒸散发、入渗等）进行量化分析。

1.2.5 伤寒、副伤寒的发生与岩溶生态环境的关系

（1）桂林市伤寒、副伤寒多年流行情况分析

详细统计分析1990－2005年间，桂林市伤寒、副伤寒的发病季节分布、发病人群分布、发病地区分布，把握伤寒、副伤寒流行特点。

（2）桂林市自然地理与地质环境因素分析

对桂林市地形、地貌、气象、水文、土壤、植被条件、地质构造、地层岩性、岩溶区分布、岩溶地质条件、岩溶水文地质条件、饮水供水安全等因素进行详细阐述，逐一分析其特性。

（3）统计分析各地理、地质因素对伤寒、副伤寒产生的影响

应用SPSS统计软件的分析功能，如：Pearson相关性分析、列联表分析相关性、多元回归分析、对数线性模型分析等方法，对气温、降雨量、岩性条件、岩溶区分布、地下水类型、农村饮用水安全等因素进行分析，并用Logistic回归方法筛选出致病因素。

（4）建立桂林市伤寒、副伤寒发生的预测模型

在统计分析各影响因素相关作用的基础上，应用BP神经网络方法，分别建立桂林市气象因素与伤寒发病率预测模型和桂林市地质环境因素与伤寒发病率的预测模型。通过方法不断改良，将伤寒、副伤寒发病率等级与影响因素进行训练预测。该系统的研究与建立为桂林市伤寒病的防治工作提出基础保障，同时可为滇、黔、桂等西南岩溶石山地区建立传染性疾病的预警系统提供参考借鉴。

1.2.6 广西马山岩溶地下河水文过程与水资源潜力评价

1）岩溶地下河流域水资源评价方法选择。

2）马山岩溶地下河流域水文过程分析。

3）马山岩溶地下河流域水资源量评价。

2 岩溶区水资源承载力分析

2.1 水资源承载力

2.1.1 水资源承载力的含义

由于水资源系统本身的复杂性、随机性和模糊性以及影响水资源承载能力因素的多方面性、多层次性等，水资源承载力至今还没有一个普遍接受的定义，不少学者从不同的研究角度提出了自己的观点。归纳起来主要有两大类型：

一是以“承载能力”来定义的，较具代表性的是施雅风[1]：某一地区的水资源，在一定社会历史和科学技术发展阶段，在不破坏社会和生态系统时，最大可承载（容纳）的农业、工业、城市规模和人口的能力，是一个随着社会、经济、科学技术发展而变化的综合目标。

二是以“供水能力”来定义的，较具代表性的是许有鹏[2]：在一定的技术经济水平和社会生产条件下，水资源可最大供给工农业生产、人民生活和生态环境保护等用水的能力，也即水资源最大开发容量，在这个容量下水资源可以自然循环和更新，并不断地被人们利用，造福于人类，同时不会造成环境恶化。

综合各种不同的定义[3-7]，可以总结出水资源承载力的内涵至少要包含以下几个方面：

1）水资源承载力的研究要以可持续发展理论为原则。

2）水资源承载力不仅要考虑水资源本身的量与质，还要兼顾社会、人口、经济、技术、环境、资源和生态等因素的影响。

3）水资源承载力具有时空的属性，也就是说水资源承载力在不同时间、空间，以及不同的生态环境和社会经济状况下是不同的。

4）水资源承载力是一个动态的、模糊的概念。水资源的动态性与其影响因素的复杂多变性决定了水资源承载力的动态性和不确定性。

5）水资源承载力是适度的，具有阈值，这个“阈值”取决于该地区生态环境系统和社会经济系统两个方面。

可见，水资源承载力的定义应包含系统和综合的观点。系统的观点是指水资源承载力是一个地区水资源系统的承载力，不但要考虑用水量，还要考虑消纳污水所需要的水量，即水环境的承载能力。综合的观点将水资源承载力作为对社会经济发展和生态环境的综合承载能力，是可以承载人口、经济发展与生态服务功能发挥的综合反映。

综上所述，水资源承载力可以定义为：某一地区的水资源在一定的经济水平和社会生产条件下，以可持续发展为原则，以维护生态环境良性发展为前提，最大可开发的容量经

过优化配置，对该地区社会经济发展的最大支撑能力。

2.1.2 水资源承载力的特性

水资源承载力的大小是随着空间、时间和历史条件变化而变化的，具有时空差异性、动态性、相对极限性、模糊性和可增强性等特性。

（1）时空差异性

在不同的时间或不同的区域条件下，相同水资源量的承载力是有差异的。随着时间的变化，社会状况和经济技术水平都会发生变化，从而对水资源的开发利用水平也会发生相应的改变；随着地域的不同，首先受当地生态环境的影响，水资源可利用量是不同的，其次区域经济发展情况也影响了水资源承载力。水资源承载力的空间差异性，要求人们在一定时期内，人类活动应依据时空差异进行合理布局，协调好区域及区域间的发展，从整体上最大限度地合理利用水资源。

（2）动态性

动态性是指水资源承载力与具体的历史发展阶段有直接的联系，不同的发展阶段具有不同的承载能力。水资源承载力是一个动态的概念，这是因为承载力的主体和客体都是动态的，即水资源系统和社会经济系统都是动态的，具体体现在两大方面：一是不同的发展阶段人类开发水资源的能力不同；二是不同的发展阶段人类利用水资源的水平也不相同。这种动态性决定了必须分阶段地分析发展进程中的水资源承载力。

（3）相对极限性

水资源承载力的相对极限性是指在某一具体历史发展阶段水资源可能达到的最大承载力特性，即可能的最大承载指标，也就是存在可能的最大承载上限，其原因主要是自然条件和社会因素的约束。具体地说，包括区域水资源条件的约束、社会经济技术水平的约束和生态环境的约束。

（4）模糊性

模糊性即不确定性，是指由于系统的复杂性和不确定因素的客观存在，以及人类认识的局限性，决定了水资源承载能力在具体的承载指标上存在着一定的模糊性。

（5）可增强性

水资源承载力是可以增强的，其直接驱动力是人类社会对水资源需求的增加，在这种驱动力的驱使下，人们一方面拓宽水资源利用量的外延，如地下水的开采、雨水集流、海水的淡化、污水处理回用等；另一方面利用水资源使用内涵的不断添加和丰富，来增强水资源承载力，如用水结构的调整和水资源的重复利用等。需水量零增长的概念[8]的提出就是区域水资源量不增加的情况下，而水资源承载力增强的体现。需要指出的是水资源承载力的增强并不是无限度的，这体现在水资源开发利用程度是绝对有限的，水资源利用效率是相对有限的，不可能无限制地提高和增加。

2.1.3 水资源承载力的主要影响因素

水资源承载力的概念是兼顾了水资源系统、社会经济系统和生态环境系统等的综合影

响，所以在衡量一个地区水资源承载力的大小时，应当重点考虑区域自然环境、水资源条件、社会经济技术水平、社会经济结构和承载力驱动力大小等诸多因素的影响。

（1）水资源条件

自然条件的不同导致水资源数量和时空分布规律也不尽相同，在质上也有所差异，如地下水的矿化度、埋深条件等。水资源的开发利用程度及开发利用方式，直接影响到区域水资源的有效蒸发和无效蒸发，也会影响到进行社会生产和生态建设的可利用水资源量。

（2）生态环境因素

生态环境决定了当地的水资源条件。生态环境是由各个自然要素组合成的统一体。水资源是其中的重要组成成分之一，而且在对生态环境响应过程中，水资源是一种灵敏度较高的因素，水资源可利用量的多少可直接反映该生态环境的稳定性。

（3）社会生产力水平

不同历史时期或者是同一历史时期不同地区都具有不同的生产力水平，不同生产力水平决定了利用同量同质的水资源可以生产出不同量、质的社会产品。因此，在研究某一地区水资源承载力时估测现状和未来的生产力水平是极其重要的。

（4）经济技术条件

经济技术条件是影响水资源承载力的最活跃因子之一。在不同阶段一定社会的经济技术条件决定了可开发利用的水资源量和水资源的有效利用程度，经济技术越高，水资源的开发利用效率就越大。经济技术的提高同时也是推动生产力进步的重要原因，为提高水资源承载力提供了极大的潜力。

（5）社会消费水平与结构

在社会生产能力确定的条件下，社会消费水平与结构将决定水资源承载力的大小。同样生产力条件下，可以承载在较低生活水平下的较多人口，也可以承载在较高生活水平下的较少人口。

（6）其他资源影响

经济社会在生产发展过程中除需要水资源支撑外，还需要其他资源如矿产资源、土地资源、森林资源的支撑。在整个资源系统中，各个子系统都是相互关联的，其他资源也要受到水资源的承载，因而经济社会的发展对水资源也表现出极强的敏感性。

（7）市场与政策法规制度

水资源承载力研究最终目的是能为国家或政府部门提供合理管理水资源的依据，制定相关的人口、经济政策，使一个地区在人口和水资源变化的情况下，仍能保持持续稳定的发展。从另一方面来看，市场制度和政策法规对区域的产业结构和市场格局均会产生影响，从而对水资源承载力产生影响。

2.1.4 研究内容与技术路线

以生态脆弱的桂林市为对象进行岩溶区水资源承载力的研究。

桂林市是世界上著名的岩溶发育区，近40%的面积为岩溶地貌分布区，其中市区的五城区有96%的面积是岩溶区，属于中国主要的五个脆弱生态区之一（南方岩溶地区）的范畴。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

桂林市又是举世闻名的旅游城市。漓江是流经桂林市区唯一的主干流，也是一条自然风光美丽如画的河流，随着“两江四湖”中心城环城水系工程建成后，水上观光游览活动盛极一时。但漓江是一条雨源型河流，在洪水期，径流多呈现自流状态，枯水期又出现严重缺水的状况。桂林市区水资源除满足工农业、生活用水之外，生态环境和旅游通航用水也必须要得到保证。可见，研究水资源承载力有其特殊和重要的意义。

具体的技术方案如图 2.1 所示。



图 2.1　技术路线图

2.2　研究区域自然环境和社会经济

2.2.1　自然环境

2.2.1.1　地理位置

桂林市是世界著名的风景旅游城市和历史文化名城，桂林市区位于广西壮族自治区的东北部，桂林市中部（图 2.2），湘桂走廊的漓江河谷盆地上，呈南北向带状分布于漓江上游两岸。地处东经 110°12′58″－110°21′29″，北纬 25°00′－25°21′43″之间，东面和北面与灵川县接壤，西面和西南面与临桂县接邻，东南面与阳朔县毗邻。市区南北方向长 40km，东西宽 10.0～22.5km，总面积 565km^2。

2.2.1.2　地形地貌

桂林市区的地形大致是以柘木镇为中心的河谷盆地形态，这个盆地往南延伸至三塘到良丰之间，往西成一较大缺口，四周地势较高，分布石山和土山，多为丘陵坡地。盆地成为各河流集中地点。桃花江自西北而来，良丰江自西南而来，共同汇入漓江。盆地之内，地势比较平坦，水网密布，给农田的灌溉提供了有利条件，是市区农业生产的主要基地。



图 2.2　桂林市行政区划图

东北面的尧山，山体宏大，坡度陡峻，最高峰海拔 909.3m，它和南西面的雁山均为土石山。尧山、雁山大岭、大埠和长岭南面黄村附近的龙泉一带的丘陵，主要是由下泥盆统的莲花山组及四排组页岩组成。北面的漓江两岸和南面的乡镇多为丘陵起伏的坡地，多属第四纪红土，所发育的土壤土层深厚棕红。西北和东南面，大部分为峰林起伏的石灰岩，属典型的岩溶地貌。

市区发育岩溶地貌和流水地貌两大系列，地貌类型复杂、形态多样。低山、丘陵、盆地、平地均有分布，以平地为主，占市区总面积的 60.9%。市区 96% 的面积属于岩溶地貌，以峰林平原和峰丛洼地（图 2.3）两大类地貌为主。峰林平原其基座为碳酸盐岩，上面由红土和碎屑堆积物覆盖，构成主要的农业区。平原海拔高度为 145～180m，耸立着拔地而起、相互独立、疏密不等、大小不一、高低参差的山峰，山峰相对高度多为 100m 以

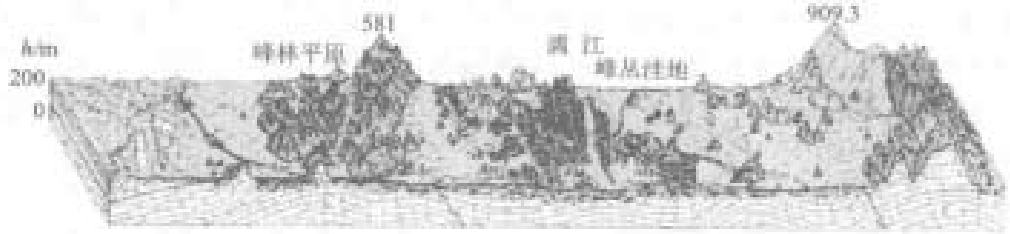


图 2.3　桂林市区地貌立体图

内，峰尖坡陡，坡角大于50°，形态各异，洞穴发育，地下水丰富，埋藏浅，岩溶湖、河流发育。峰丛洼地由众多高低错落的联座锥状山峰与岩溶洼地、谷地组成，其山峰丛聚尖峭，坡度大于45°，洼地呈罗棋布，局部沟谷相间，呈现峰丛洼地－谷地地貌景观。此外，岩溶洞穴发育密集，数量众多。据统计，出露地表并有一定规模的洞穴389个，典型的如七星岩、芦笛岩、冠岩、穿山岩等。

2.2.1.3 气候特征

桂林市区地处低纬，气候温暖湿润，属亚热带季风气候区。全年气候温和，夏长冬短，四季分明，春季阴雨绵绵，雨日较多；夏季高温湿热，暴雨集中；秋季雨量显著减少，气候干燥，秋旱频繁；冬季由于寒潮入侵，间或出现霜冻等短暂的寒冷天气。桂林市区多年平均气温在18.8～19.2℃，实测极端最高气温39.4℃，极端最低气温－4.9℃，7月最热，月平均气温为28.3℃，1月最冷，月平均气温7.9℃。空气年平均相对湿度为76%。热量丰富，光照充足，多年平均日照时数为1625～1667h，日照百分率为37.1%～38.1%。由于亚热带季风性气候及越城岭山脉的影响，市区雨量充沛，多年平均降水量1646～1917mm。因受地形因素影响，降雨南北分配不均，北边降雨稍多，南边降雨稍少。因受季风影响，各季降水量的分配极不均匀，一般3－8月降雨占全年的75.73%左右，其中5月、6月降雨最多，占全年降雨量的35.35%左右。多年平均蒸发量1380～1560mm，蒸发量最大在7月，月平均190.3mm。多年平均无霜期304～309d。全年风向以东北偏北风为主，平均风速为2.6m/s。

2.2.1.4 河流水系

桂林市区江河湖塘众多，水系发达。在市区过境的河流有漓江、桃花江、良丰河、南溪河；市区内河流有灵剑溪、小东江、朝阳河、宁远河、南湾河、瓦窑冲等，河流总长142km，河网密度0.25km/km^2。这些河流均属于珠江流域，西江水系。市区内湖塘总面积达13.65km^2，面积较大的湖塘有榕湖、杉湖、桂湖、西湖、木龙湖、八角塘等。

（1）漓江

漓江是桂江中上游河段的惯称，河段全长214km，发源于兴安县华江乡猫儿山东北面，是贯穿市区的一条主要河流，由北边灵川县秦家进入桂林市区，向南穿过城区，汇桃花江后至斗鸡山折东南流，过大圩镇又蜿蜒向南，在雁山区的草坪回族乡冠岩处流出市区入阳朔境，流经市区段长49.3km。

漓江桂林水文站（位于瓦窑渡头村）断面以上集雨面积2860km^2，流域多年平均降雨量为1935mm，多年平均径流量为41.30×10^{8}m^3，历史最高洪水位发生在1885年6月14日，水位为148.58m，流量为7810m^3/s。实测最低水位140.18m（1989年12月20日），最小流量3.80m^3/s（1951年2月7日）。多年平均流量129.03m^3/s，多年枯水期月平均流量为22.7m^3/s。

桂林市区漓江河床由卵石、砾石和砂组成，沿河床滩潭相间，滩长潭深，枯水水深1～3m，浅滩处0.6～0.9m，潭深最大达12m，白石潭至柘木镇河道的河床纵断面平均坡降为0.32‰。枯水河宽一般为150～190m，由于枯水流量小，个别河段河床裸露严重，有些仅剩20m左右。河槽面积约14km^2，宽平均为280m，最窄为165m，最宽处达460m，

枯水水面至河岸高宽平均为5m，最低处4m，最高处约7m。此外，市区汊河、洲岛较多，计有较大洲岛9个。漓江市区段河道安全泄洪流量为2580m^3/s，水文站水位达146.5m时市区受淹较严重。

（2）桃花江

桃花江，又名阳江，发源于临桂县五通镇与灵川县青狮潭乡交界的中央岭东南侧。干流由北面南经临桂县五通镇、庙岭乡向东流，在市区五仙坝处折北过灵川县定江乡，经水南村由北向南进入市区甲山乡，至甲山乡政府附近转东穿过城区，在南门桥下游分别从象山和萝卜洲尾汇入漓江。干流长65km，是漓江的一级支流。流经市区段长19.1km。

桃花江集雨面积298km^2，流域多年平均降雨量1900－2000mm，多年平均径流量为$3.66\times10^8m^3$，调查最大流量840m^3/s（1885年），实测最小流量0.637m^3/s（1972年）。多年平均流量11.6m^3/s。

桃花江自五仙坝至矮山桥河床纵断面平均坡降为0.44‰，枯水水面比降为0.43‰，洪水水面比降为0.30‰。枯水河宽一般为40－50m，枯水水深一般为0.4－0.9m。虹桥坝以下至萝卜洲河段称宁远河，是桃花江汛期洪水的主要出口通道，枯水期宁远河基本断流，江水由象鼻山注入漓江。桃花江槽宽一般为50－60m，飞鸾桥最宽达71m。虹桥坝以下断面较宽，槽宽为60－70m。沿河河岸很低，枯水面至河岸一般为2－3m，胜利桥断面最高也仅4m，河道弯曲度很大，五仙坝至飞鸾桥河道长近10km，截直仅2.1km。沿河流水为堰坝所分割，使枯水水面成梯级状。现有河道行洪能力很低，南门桥以上河段安全下泄流量仅260－300m^3/s，未达五年一遇的洪水两岸即受淹没。

（3）良丰河

良丰河，又名奇峰河，发源于阳朔、永福、临桂三县交界的香草岩，由南向北经临桂县狮子口、南边山流入市区，流经雁山区的良丰，后转向东北，穿过奇峰镇，在柘木镇的胡子岩处注入漓江。干流长69km，是漓江的一级支流。流经市区段长31.5km。

良丰河集雨面积528km^2，流域多年平均降雨量为1700mm，多年平均径流量5.17×10^8m^3，最大流量836m^3/s，最小流量0.484m^3/s。多年平均流量164m^3/s。

良丰河自黄金水坝至河口河床平均坡降为0.49‰，枯水水面比降为0.39‰。良丰以上河宽20－30m，枯水期水深0.6－1.2m，河岸高3－4m；良丰以下至河口河宽30－50m，枯水水深1.0－1.4m，河岸高5－8m。

（4）南溪河

南溪河发源于临桂庙岭乡称勾山麓，干流由北向南，至汉塘转东进入桂林市区，沿途流经市郊甲山乡唐家、官桥村，在黑山植物园处进入城区，绕南溪山在斗鸡山北侧汇入漓江，干流长13km，市区段河长10.6km^2，是漓江的一级支流。

南溪河集雨面积24km^2，流域多年平均降雨量为1860mm，多年平均径流量0.29×10^8m^3，多年平均流量0.92m^3/s，最枯月平均流量0.2m^3/s。

南溪河弯弯曲曲像羊肠小道，且宽窄变化大，最宽约50m，最窄处不足10m。河床平均坡降1.1‰。

（5）小东江

小东江是漓江的一条汊河，全河流程均处于穿山乡境内。北起叠彩山下漓江东岸的二江口，由北向南流，在新桥下游处灵剑溪从左岸汇入，与灵剑溪汇合后继续往南，在穿山

公园处流回漓江，途经七星区的七星与穿山两村委会、桂山大酒店、七星与穿山两个公园，全长5.7km，河宽40～70m，岸高3～4m。沿江两岸有七星公园、龙隐岩、塔山、穿山公园等著名风景区。

二江口以上漓江流域面积2550km^2，多年平均流量114m^3/s，每年10月至次年2月共5个月属于漓江枯水季节，平均流量30m^3/s左右。

（6）湖塘

市区现有湖塘总面积达13.65km^2，主要分布在城西的甲山乡、城东的黄莺岩一带，城南的雁山镇、柘木镇及城区中心。面积较大的湖塘主要有：榕湖、杉湖、桂湖（包括西清湖、宝贤湖、丽泽湖）、西湖、木龙湖和八角塘等，主要塘湖基本情况见表2.1。

表2.1　桂林市区主要湖塘基本情况

湖塘名称	面积/hm^2	湖长/km	正常水深/m	备　注
榕湖	7.60	0.720	1.0	人工湖
杉湖	6.31	0.420	1.1	人工湖
桂湖	16.64	1.986	2.0	人工湖
木龙湖	1.32	0.180	0.7	人工湖
西湖	2.33	0.252	0.6	天然侵蚀湖
八角塘	1.64	0.210	1.2	天然侵蚀湖

2.2.2　社会经济发展预测

社会经济发展目标是水资源需求预测的重要依据。它对水资源需求增长的影响主要体现在：人口增长与城市化进程；产业结构调整与工业总产值；农业发展与灌溉面积增长。针对这些发展指标，综合考虑水资源条件和区域发展目标，分别预测其可能出现的上下界范围，然后根据各个方面的内在联系，对各分项指标预测值进行组合，形成不同的发展情景，最后以这些发展情景作为基础，进行生活、工业、农业、生态需水量的预测。社会经济发展指标分析主要包括以下几个方面：

1）人口是社会经济发展的强烈制约因素，主要包括人口、城镇人口和农村人口三项指标。预测人口总数时采用的是“直接推算法”，即以基期人口数为基数，按照一定的递增率进行直接推算。其公式为

$$P_n = P_0 (1 + K)^n$$

式中：P_n为预测期人口数；P_0为基期人口数；K为预测期内年递增率；n为预测期间隔年数。

影响人口增长的主要因素是人口的出生率、死亡率和迁移的变化，对人口的分析预测参数K采用人口年增长率。考虑桂林市区城市化发展趋势，并参考《桂林市城市总体规划（2001－2010年）》中严格控制人口总量过快增长，到2010年城镇人口达70万人，将2001－2010年参数城镇人口年增长率取3.67%左右，2011－2020年取0.70%左右。2001－2010年农村人口年增长率取0.53%左右，2011－2020年取0.35%左右。市区2000年总人口64.30万人，其中城镇48.81万人，农村15.49万人。经过计算，预测2005年

总人口 74.35 万人，其中城镇 58.45 万人，农村 15.90 万人；2010 年总人口 86.33 万人，其中城镇 70.00 万人，农村 16.33 万人；2020 年总人口 91.97 万人，其中城镇 75.06 人，农村 16.91 万人。

2）按照桂林市国民经济和社会发展“十五”计划，桂林市区全部工业总产值 2000 年为 121.6 亿元，“十五”期间工业年均增长 12.2%，2005 年工业总产值达 216.2 亿元；“十一五”期间工业年均增长 9.2%，2010 年工业总产值为 335.7 亿元；远景目标 2020 年工业年均增长 5.2%，2020 年工业总产值为 557.3 亿元。

3）桂林市区的耕地面积自 1990 年以来虽然变化不是很大，却稍有减少的趋势，有效灌溉面积扩大的潜力也不大，预测耕地面积年递减率 0.4% 左右，有效灌溉面积年递增率 0.2% 左右，2005 年、2010 年、2020 年实际灌溉率分别为 70%，75%，80%，其中水田灌溉面积占实际灌溉面积的 85% 左右。

2000 年耕地面积 7879hm^2，其中有效灌溉面积 6747hm^2，实际灌溉面积 4609hm^2，灌溉率 68%，其中水田 3918hm^2，水浇地 691hm^2；到 2005 年耕地面积为 7723hm^2，其中有效灌溉面积 6814hm^2，实际灌溉面积 4770hm^2，其中水田 4054hm^2，水浇地 716hm^2；2010 年为 7571hm^2，其中有效灌溉面积 6883hm^2，实际灌溉面积 5162hm^2，其中水田 4388hm^2，水浇地 774hm^2；2020 年为 7274hm^2，其中有效灌溉面积 7022hm^2，实际灌溉面积 5618hm^2，其中水田 4775hm^2，水浇地 843hm^2。

畜牧业的发展。2000 年大牲畜存栏数为 1.69 万头，小牲畜存栏数为 12.15 万头。根据畜牧业发展态势，牲畜数量在今后 20 年预测将以 5% 左右的增长速度发展，到 2005 年牲畜数量为 17.53 万头，2010 年牲畜数量为 22.38 万头，2020 年为 36.46 万头。

4）2000 年第三产业总产值为 49.40 亿元，占全市第三产业总产值的 49.5%。到了 2005 年以后，由于城市化的推进，市区人口增多，第三产业增长的势头更猛，比重会增加。采用市区占全市第三产业总产值的 60% 进行分割。“十五”期间第三产业年均增长 11.8%，2005 年全市第三产业总产值为 189.0 亿元，市区则为 113.4 亿元；“十一五”期间、远景目标 2020 年第三产业年均增长 9.4%，2010 年全市第三产业总产值为 296.2 亿元，市区则为 177.7 亿元；2020 年全市第三产业总产值为 727.3 亿元，市区则为 436.4 亿元。

2.3 水资源开发利用

2.3.1 水资源开发利用现状

2.3.1.1 供水工程现状

蓄水工程：截至 2000 年桂林市区已建成水库 10 处，总库容 1248.4×10^4m^3，兴利库容 825×10^4m^3，其中有小（一）型水库三座（白竹境水库、五龙水库和官庄水库），总库容 1106×10^4m^3，小（二）型水库两处，总库容 109.2×10^4m^3。蓄水工程设计灌溉面积 1.7455×10^4 亩，设计年供水能力 1445×10^4m^3，实际供水量 1225×10^4m^3。

引水工程：截至 2000 年桂林市区引水工程 10 处，引水流量 6.9m^3/s，主要为青狮潭

需要全本请访问 www.ertongbook.com