

水资源系统规划模拟与 优化配置

云南省水利水电勘测设计研究院 顾世祥
武汉大学 崔远来 等 著



科学出版社

水资源系统规划模拟与 优化配置

云南省水利水电勘测设计研究院 顾世祥 等 著
武汉大学 崔远来

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在对国内外有关水资源优化配置技术研究现状进行综述的前提下,以“全国水资源综合规划”项目中云南省部分调查评价、分析预测得到的基础数据为背景,以 MIKE BASIN 为辅助工具,在 ArcView 地理信息系统平台上建立了省级水资源综合规划的水资源模拟系统,完成现状年、2020 年及 2030 年不同水平年的水资源配置方案模拟。综合应用或改进了水资源系统动态规划、系统动力学、复杂适应系统理论、大系统分解协调与自优化模拟、地质统计学等方法途径,较系统地研究了低纬度高原、季风气候、纵向岭谷等交互作用下的滇中高原经济区的水资源优化配置问题。并将水资源配置管理工具软件 MIKE BASIN 成功地应用于区域/流域水资源综合规划、建设项目水资源论证、大型引调水工程调水规模论证、河流水量分配等领域的水资源利用规划与管理实践中。

本书可供从事资源环境、水资源高效利用与优化配置、节水灌溉、系统工程等领域的科研、教学、管理人员,水利水电工程规划设计人员,以及相关高校的大学本科高年级学生、研究生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水资源系统规划模拟与优化配置/顾世祥等著. —北京:科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-037650-3

I. ①水… II. ①顾… III. ①水资源-水利规划 ②水资源管理-优化配置 IV. ①TV212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 116251 号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:韩 杨
责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 6 月第一次印刷 印张: 31 1/4 插页: 6

字数: 611 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



本书编委会

名誉主编：王建春

主 编：顾世祥

副主编：崔远来

编委会：（以姓氏拼音为序）

曹世惠	陈 刚	陈 欣	陈鹏飞	程 刚
崔远来	邓东明	付亚丽	高 嵩	顾世祥
黄介生	李 庚	李 磊	李步青	李俊德
李科国	罗 涛	马平森	卯昌书	梅 伟
浦承松	时元智	苏建广	苏正猛	王红鹰
王艳芳	魏 敏	吴 琨	伍立群	谢 波
谢先红	杨 霄	杨坪宏	杨树德	臧庆春
张玉蓉	张自宽	周 云	朱远高	

序

水是影响气候变化的重要因素、基础性的自然资源、战略性的经济资源，也是改善和保护环境、维持生态平衡的控制性要素。随着人口不断增加，经济快速发展、城市化进程加快、人民生活水平不断提高，水资源已成为国民经济建设和维持生态健康的命脉，直接关系到国家安全、社会稳定和可持续发展。因此，水资源高效利用与优化配置已逐渐成为全世界关注的焦点和研究的热点问题之一。

受低纬度高原、纵向岭谷和季风气候的交互作用，整个云南省的立体气候特征突出，具有从北热带到寒温带的多种气候类型，农作物的物种资源多样性显著，除了与内地相同的粮食作物外，还有烤烟、茶叶、甘蔗、咖啡、橡胶等热带、亚热带水果及特色经济作物。同时，云南是一个典型的山区省份，全省94%以上的区域为高原山地，盆地及山间河谷坝区仅占6%左右，后者又是省内主要工农业经济区和县级以上城市的聚集区，且多分布在长江、珠江、红河、澜沧江、怒江、伊洛瓦底江等六大水系的二、三级支流源头区，“水低田高”的现象极为普遍。造成光热条件、耕地、水资源等基础条件与作物种植结构、城市及工农业经济布局的极端不相匹配。另一方面，用水需求的持续增加，不合理的水资源开发利用方式导致了“水多、水少、水脏”等一系列水问题日渐突出，滇中高原经济区的资源性、水质性缺水的范围逐渐扩大，全省面上工程性缺水的形势还未得到根本扭转，水资源已成为制约全省各个区域经济社会可持续发展的关键因素。

以顾世祥为首的研究团队，在所主持完成的“云南省水资源综合规划”等多个生产和科研项目的基础上，经过十多年的调查分析、刻苦钻研，并与国内知名的大学及水利科研院所联合开展技术攻关，较系统地开展了全省水资源的赋存条件、节约保护、开发利用、合理配置、总体布局、实施方案研究及理论技术提升，建立了基于地理信息系统的省级水资源综合规划配置模型系统，实现了各分区单元不同水平年长系列的水资源“三次”供需平衡，进行了水资源系统动态规划、系统动力学、复杂适应系统理论、大系统分解协调与自优化模拟、地质统计学等技术的综合改进与应用，探索了水资源配置管理工具 MIKE BASIN 软件在建设项目水资源论证、大型引调水工程调水规模论证、河流水量分配、降雨-径流模拟等领域的应用等科学问题。

研究成果是对我国水资源优化配置理论技术体系的补充和完善，特别是在实行最严格水资源管理制度的“用水总量控制、用水效率控制、水功能区纳污达标

控制”的“三条红线”管理，针对南方季节性缺水地区的水资源规划配置及调度管理，具有很强的实践性和广泛的应用价值。成果对“水资源高效利用与优化配置”、“流域/区域水资源综合利用规划”、“引调水工程规模论证”、“建设项目水资源论证”、“河流水量分配”等方面的工作，具有很好的技术指导性和重要的参考价值。



中国工程院院士

2012年11月20日

前 言

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源，是改善和保护环境、维持生态平衡的控制性要素。随着人口不断增加、经济快速发展、城市化进程加快和人民生活水平的逐步提高，水资源已成为国民经济建设和生态建设的命脉，直接关系到国家安全、社会稳定和可持续发展。为贯彻落实科学发展观，以水资源可持续利用支撑和保障经济社会的可持续发展，2002年3月，国家发展和改革委员会、水利部联合下发了《关于开展全国水资源综合规划编制工作的通知》（水规计〔2002〕83号文），云南省的水资源综合规划编制工作是在全国和流域机构领导下的省级层面的水资源综合规划。

受低纬度高原、纵向岭谷“通道-阻隔”作用和季风气候的交互作用，整个云南省的立体气候特征突出，具有从北热带到寒温带的多种气候类型，农作物的物种资源丰富多样，除了与内地相同的水稻、玉米、小麦、豆类、薯类等粮食作物外，还有烤烟、茶叶、甘蔗、咖啡、橡胶、芒果、砂仁等热带亚热带水果及特色经济作物。但由于云南是一个典型的高原山区省份，全省94%以上的区域为高原山区，盆地、河谷坝区仅占6%左右，后者又是云南主要的工农业经济区和县级以上城市（城镇）所在地，从而造成光热条件、耕地、水资源等基础条件与作物种植结构、城市及工农业经济布局的极端不匹配。特别是改革开放近30年来，各地经济快速发展、社会进步、人民生活水平的不断提高，对水资源的需求持续增加，不合理的水资源开发利用方式导致了“水多、水少、水脏”等一系列水问题日渐突出，滇中高原经济区的资源性、水质性缺水的范围逐渐扩大，全省面上工程性缺水的形势也未得到根本扭转，水资源已成为制约全省各个区域经济社会可持续发展的关键因素。因此，开展云南省的水资源赋存条件、节约保护、开发利用、合理配置及总体布局等的调查评价和规划分析研究，通过提高水资源安全保障能力，支撑经济社会与生态环境的和谐发展，实现“绿色经济强省”的战略目标，已显得十分重要和紧迫。

基于课题组近十多年来已完成并通过技术审查的各类项目，如“云南省水资源综合规划”（全国统一部署）、“云南省跨州（市）河流水量分配试点”、“滇中水资源规划”、“牛栏江—滇池补水工程规划”、“牛栏江—滇池补水工程德泽水库蓄水计划和调度方案”、“滇中水资源大系统优化配置研究”、“MIKE BASIN软件在复杂水资源系统配置中的应用研究”（云南省重大水利科技项目）、“云南省‘十二五’水资源可持续开发利用保护专项研究”（云南省“十二五”规划重点研

究专题)等的规划设计和研究积累,进行综合应用和理论技术提升。本书重点探索了基于地理信息系统的省级水资源综合规划配置模型系统建立,各水平年长系列水资源三次供需平衡分析水资源系统动态规划、系统动力学、复杂适应系统理论、大系统分解协调与自优化模拟、地质统计学等技术的综合应用改进,以及建设项目水资源论证、大型引调水工程调水规模论证、河流水量分配等领域的新技术应用等科学技术问题。全书分三篇、共18章:第1~5章为上篇,以云南省为例,简述省级水资源综合规划模拟,其中,第1章,水资源及其开发利用现状调查;第2章,水资源需求态势分析;第3章,水资源供给预测;第4章,水资源节约与保护措施;第5章,水资源综合规划配置模拟系统及配置方案。第6~13章为中篇,以滇中高原经济区为例,简述水资源优化配置模拟,其中,第6章,水资源优化配置研究现状;第7章,水资源系统优化配置模型结构;第8章,水资源优化配置模拟模型;第9章,基于常规模拟的水资源配置模型;第10章,基于动态规划的滇中水资源优化配置研究;第11章,系统动力学在滇中洱海流域蓄水工程调度规则优化中的应用;第12章,复杂适应系统理论在滇中洱海流域蓄水工程调度规则优化中的应用;第13章,基于外流域调水的水资源大系统优化配置及调水工程规模论证。第14~18章为下篇,简述水资源模拟新技术在水利水电工程规划与管理中的应用,其中,第14章,MIKE BASIN在引调水工程规模论证中的应用;第15章,MIKE BASIN在建设项目水资源论证中的应用;第16章,跨州(市)河流水量分配的方法及应用;第17章,基于NAM模型的降雨-径流模拟;第18章,空间变异理论在水资源配置中的应用。

本书具体分工如下:第1章由顾世祥、伍立群、浦承松、马平森、杨树德、卯昌书、王红鹰、李俊德、朱远高、苏建广、吴琨、杨坪宏、程刚撰写;第2章由浦承松、顾世祥、吴琨、苏建广、卯昌书、马平森撰写;第3章由周云、杨树德、臧庆春、顾世祥、李俊德撰写;第4章由张玉蓉、浦承松、马平森、王红鹰、顾世祥撰写;第5章由顾世祥、苏建广、卯昌书、陈欣、李庚、罗涛、李步青、程刚撰写;第6章由崔远来、顾世祥、时元智、陈刚撰写;第7章由崔远来、顾世祥、苏建广、杨树德编写;第8章由崔远来撰写;第9章由崔远来、顾世祥、苏建广、浦承松、吴琨、卯昌书、杨树德、魏敏撰写;第10~13章由崔远来、张自宽、陈鹏飞、王艳芳撰写;第14章由谢波、浦承松、苏建广、罗涛、付亚丽撰写;第15章由陈欣、顾世祥、李科国、谢波撰写;第16章由杨霄、顾世祥、张玉蓉、马平森、卯昌书、陈刚、臧庆春撰写;第17章由李磊、苏建广编写;第18章由崔远来、谢先红撰写。此外,李俊德负责附图制作,陈刚负责后期的书中文字校对及目录和图表制作,参加水资源综合规划配置模型数据整理工作的还有:段兴林、高磊、蔡昕、黄玉美、许建伟、罗佳翠、许志敏、杨启发、温维超、刘江灵等。顾世祥、崔远来负责全书的统稿工作。

本书各部分涉及的规划研究工作始终得到了云南省水利水电勘测设计研究院各级领导的高度重视和关心支持。在现状调查、基础资料收集和整理、经济社会发展和水资源供需预测、节约保护、水资源配置模型建立、配置规划方案模拟研究、牛栏江—滇池补水工程引调水过程、宣威某热电厂水资源论证、水量分配等的分析工作过程中，得到了云南省水利厅、云南省牛栏江—滇池补水工程建设指挥部、武汉大学、云南省水文水资源局、中国水利水电科学研究院及研究区所涉及各州（市）、县（市）水利部门和有关单位的大力支持和配合。中国工程院院士王浩教授在百忙之中欣然为本书作序。在此一并致以诚挚的感谢。

由于作者水平所限，书中难免有疏漏及不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2012 年 1 月

目 录

序 前言

上篇 省级水资源综合规划模拟——以云南为例

第 1 章 水资源及其开发利用现状调查	3
1.1 水资源区划	3
1.2 社会经济发展现状	9
1.3 水资源调查评价主要成果	20
1.4 供水设施及供水量调查	33
1.5 供水水质调查	44
1.6 用水及其消耗量调查	50
1.7 污染源调查评价	64
1.8 用水水平及效率分析	78
1.9 水资源开发利用程度分析	87
1.10 水资源开发利用存在的问题	89
第 2 章 水资源需求态势分析	90
2.1 经济社会发展趋势分析	90
2.2 经济社会需水定额分析	96
2.3 经济社会及生态需水量预测分析	113
第 3 章 水资源供给预测	122
3.1 水资源供给保障存在的问题	122
3.2 供水预测总体规划格局及基本原则	124
3.3 主要水资源工程方案	128
3.4 水源工程设计径流过程分析	132
3.5 可供水量预测	137
第 4 章 水资源节约与保护措施	143
4.1 现状用水水平分析	143

4.2	节水潜力分析	145
4.3	节水规划	146
4.4	水资源保护措施	153
第5章	水资源综合规划配置模拟系统及配置方案	157
5.1	MIKE BASIN 软件及其应用概述	157
5.2	云南省水资源综合规划水资源配置模型	161
5.3	水资源三次供需平衡分析	183
5.4	水资源配置方案评价	207
中篇 水资源优化配置模拟——以滇中高原经济区为例		
第6章	水资源优化配置研究现状	215
6.1	水资源优化配置研究目的和意义	216
6.2	水资源优化配置方法	228
6.3	水资源优化配置展望	235
6.4	本篇主要研究内容	237
第7章	水资源系统优化配置模型结构	239
7.1	实例分析的研究范围	239
7.2	系统结构	245
7.3	系统的概化网络图	249
7.4	系统运行规则	250
第8章	水资源优化配置模拟模型	270
8.1	建模思路	270
8.2	模拟模型建模	271
8.3	模型求解方法	274
第9章	基于常规模拟的水资源配置模型	278
9.1	来用水预测及分析	278
9.2	基于常规模拟的洱海片水资源配置结果及分析	282
9.3	基于常规模拟模型的滇中水资源配置分析	288
第10章	基于动态规划的滇中水资源优化配置研究	300
10.1	水资源优化配置动态规划数学模型	300
10.2	模型求解方法及过程	301

10.3 优化结果及分析·····	304
第 11 章 系统动力学在滇中洱海流域蓄水工程调度规则优化中的应用 ·····	312
11.1 系统动力学的原理·····	312
11.2 基于系统动力学的水库调度模型构建·····	317
11.3 模型的应用·····	323
11.4 模型输出的结果分析·····	327
11.5 系统动力学的优点及特点·····	329
第 12 章 复杂适应系统理论在滇中洱海流域蓄水工程调度规则优化中的应用 ·····	331
12.1 基于复杂适应系统理论的水资源配置理论·····	331
12.2 基于 CAS 理论的洱海流域水资源优化配置数学模型 ·····	336
12.3 基于 CAS 软件平台 Swarm 的水资源优化配置模拟模型·····	346
12.4 模拟结果及分析·····	351
第 13 章 基于外流域调水的水资源大系统优化配置及调水工程规模论证 ···	362
13.1 水资源大系统优化配置及调水工程规模优化模型·····	362
13.2 结果与分析·····	369
 下篇 水资源模拟新技术在水利水电工程规划与管理中的应用	
第 14 章 MIKE BASIN 在引调水工程规模论证中的应用 ·····	379
14.1 牛栏江流域水资源及其开发利用概况·····	379
14.2 滇池生态修复补水需求分析·····	383
14.3 牛栏江水资源配置模型·····	386
14.4 德泽水库可调水量分析·····	392
第 15 章 MIKE BASIN 在建设项目水资源论证中的应用 ·····	400
15.1 项目概况·····	400
15.2 水资源论证网络模型系统·····	404
15.3 模拟成果评价·····	410
15.4 模拟结果分析评价·····	412
第 16 章 跨州（市）河流水量分配的方法及应用 ·····	413
16.1 水量分配工作综述·····	413
16.2 水量分配的原则及方法·····	417

16.3	试点流域的水量分配成果分析·····	420
16.4	讨论·····	435
第 17 章	基于 NAM 模型的降雨-径流模拟 ·····	437
17.1	NAM 模型简介 ·····	437
17.2	研究区概况·····	440
17.3	模拟计算结果·····	443
17.4	结论与展望·····	446
第 18 章	空间变异理论在水资源配置中的应用 ·····	448
18.1	引言·····	448
18.2	地质统计学基本原理·····	449
18.3	灌溉定额与灌溉用水量的空间变异性分析·····	452
18.4	区域需水量和缺水率的空间变异性分析·····	457
18.5	讨论·····	470
参考文献	·····	471
附录	·····	487

上 篇
省级水资源综合规划模拟
——以云南为例

第 1 章 水资源及其开发利用现状调查

1.1 水资源区划

1.1.1 云南省水资源区划沿革

水资源分区是水资源开发利用及规划研究的基础，根据水资源的自然、社会和经济属性，按照水资源开发、利用、治理、配置、节约、保护要求，将流域水系与行政区划有机结合起来进行分区，以满足水资源的完整性，加强水资源管理和各种水资源研究成果的可比性。进行水资源分区的目的是为了研究区域经济发展与生态环境的协调，实现区域水资源和经济的互补性，利于社会经济和生态的良性循环，是水资源研究中非常重要的基础性工作（水利部水利水电规划设计总院，2002）。

自 20 世纪 80 年代以来，云南省的水资源区划工作主要开展了三次：①1982 年部署开展的“云南省水资源利用”编制工作，将全省按流域水系划分、适当合并，共划分为 3 个一级区、9 个二级区、23 个三级区、31 个四级区；②1994 年开展的“云南省水中长期供求计划”编制工作，将全省共划分为 3 个一级区、10 个二级区；③2002 年全国统一部署、开展的“云南省水资源综合规划”编制工作，共划分为 3 个一级区、9 个二级区、17 个三级区、49 个四级区。

此外，水利区划、自然地理区划、云南省地方标准《用水定额》（DB53/T 168—2006）、“云南省水利发展‘十二五’规划”等项目中也开展了区划研究工作。例如，《用水定额》（DB53/T 168—2006）中将全省划分为：滇中区、滇东北区、滇东南区、滇西南区、滇西北区和干热河谷区等 6 个灌溉用水分区；“云南省水利发展‘十二五’规划”中将全省划分为：滇中水资源紧缺经济发达地区、滇西北高山峡谷地区、滇东北高寒贫困地区、滇西南滇南水资源丰富沿边地区、滇东南岩溶石漠化地区等 5 个分区。这些项目主要是从地理、气候、行政区划等方面打破了流域水系界限所得到的区划成果，与水资源分区配合使用，才能较好地揭示各分区单元内的光、热、水、土资源条件，满足水资源节约保护、高效利用、合理配置等实践的需要。

1. 云南省水资源利用分区

“水资源合理利用与供需平衡分析研究”是 1979 年原国家科学技术委员会和

国家农业委员会共同下达的全国 108 项重点科研项目中的第一项——“农业自然资源调查和农业区划”的一个子课题。水利部承担任务后，于 1982 年 8 月在兰州召开了全国各省（自治区、直辖市）水利部门及流域机构会议，具体部署开展此项工作。在会议上将全国水资源利用共分为 9 个一级区，即东北诸河、海河、淮河和山东半岛、黄河、长江、华南诸河、东南诸河、西南诸河、内陆河。其代表符号分别为 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX。云南省的长江流域属第五区（V），南盘江、北盘江、西洋江部分属第六区（VI），其余的西南诸河部分属第八区（VIII）。

2. 云南省水中长期供求计划分区

根据原国家计划委员会、水利部下发的《关于开展全国水中长期供求计划编制工作的通知》，以及水利部于 1994 年 10 月在无锡市召开的全国水中长期供求计划编制工作会议精神，正式向全国各省（自治区、直辖市）布置此项工作。云南省成立了由省计划委员会、省水利水电厅、省水利水电勘测设计研究院等有关部门组成的“云南省水中长期供水计划”编制领导小组，统筹布置和开展全省水中长期供求计划的编制工作。按照《编制全国水中长期供求计划工作安排及技术大纲》和《水中长期供求计划编制细则》的要求，全国划分为 9 个一级区、83 个二级区。云南省涉及长江（V）、珠江及华南诸河（VI）、西南诸河（VIII）共 3 个一级区，金沙江（V₁）、长江上游干流区（V₄）、乌江（V₅）、南盘江（VI₁）、北盘江（VI₂）、右江（VI₅）、红河（VIII₁）、澜沧江（VIII₂）、怒江（VIII₃）、伊洛瓦底江（VIII₄）等 10 个二级区。云南省按行政分区共有 17 个地（州、市），共划分为 41 个水资源工作区，并选定南盘江上游经济区、龙川江干流经济区、洱海经济区、泸江经济区等 4 个经济发展较快而水资源贫乏的地区和昆明市区、东川市区等 2 个重点城市作为重点研究区。因此，全省共划分出 47 个水资源工作区单元。

3. 云南省水资源综合规划分区

根据国家发展和改革委员会和水利部于 2002 年 3 月下发的《关于开展全国水资源综合规划编制的通知》、《全国水资源综合规划任务书》，以及国家发展和改革委员会和水利部于 2002 年 4 月在浙江东阳召开的工作会议精神，结合长江水利委员会、珠江水利委员会分别在武汉市、广州市召开的流域片区水资源综合规划编制工作会议的要求，云南省于 2002 年 8 月成立了以省发展和改革委员会、省水利厅为组长单位，经贸、城建、国土、农业、林业、环保等 7 个相关委办厅局为成员单位的省水资源综合规划编制领导小组，部署开展云南省的水资源综合规划编制工作。

本次水资源综合规划分区工作遵循的基本原则是（水利部水利水电规划设计