

# 入湖河流环境 改善与修复

金相灿 等 编著



科学出版社

湖泊生态环境与治理 16

# 入湖河流环境改善与修复

金相灿 等 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书共分为上、下两篇,上篇主要阐述入湖河流治理的理论和方法,下篇着重介绍入湖河流保护与治理的案例,全书共分十一章。前五章为上篇,主要介绍入湖河流概念、特征及其在湖泊保护中的作用;分类介绍不同类型入湖河流污染现状及其主要问题;归纳论述入湖河流水污染控制与生态修复的思路、原则与主要方案;同时还介绍入湖河流追踪调查、河流沿岸的源解析及水量与污染物平衡计算。第6~11章为下篇,主要介绍多种类型的入湖河流治理案例,系统介绍了我国清洁湖泊、重污染湖泊、城区入湖河流,以及水库入库河流的治理思路、治理技术与修复方案。

本书可供湖沼学、环境科学、生态工程、水环境修复及水污染控制与管理等相关领域的科研、管理人员与高等院校师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

湖泊生态环境与治理/中国环境科学研究院等编著. —北京:科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046714-0

I. ①湖… II. ①中… III. ①湖泊-生态环境-环境管理-研究 IV. ①X524

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 302493 号

责任编辑:杨 震 刘 冉 / 责任校对:张小霞

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京厚诚则铭印刷科技有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 4 月第三次印刷 印张:15

字数:300 000

定价:3200.00 元(全 24 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 编 委 会

主 编：金相灿

副主编：庞 燕 王助贫 周付春

编 委：（按姓氏拼音排序）

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 白献宇 | 陈红辉 | 储昭升 | 杜劲冬 | 耿 兵 |
| 耿恒谦 | 胡小贞 | 华家新 | 贾 君 | 蒋顺杰 |
| 金相灿 | 刘树东 | 卢少勇 | 庞 燕 | 庞旭东 |
| 乔永波 | 尚榆民 | 孙国军 | 王 玉 | 王建国 |
| 王圣瑞 | 王助贫 | 吴献花 | 武继昌 | 张晴波 |
| 赵国良 | 钟 明 | 周付春 | 周莉萍 |     |

## 前 言

湖泊是重要的国土资源,是陆地水资源的重要组成部分,其生态健康与安全是我国 21 世纪社会发展的重要保障。近二十多年来,随着流域经济发展和人口激增,我国湖泊流域水污染问题十分突出,湖泊富营养化和水污染已成为我国重要的水环境问题之一。湖泊的水污染与富营养化状态,是其陆域整体污染水平的一种客观反映,尤其与入湖河流的水质清洁与否密切相关,因此,开展入湖河流治理与生态建设是湖泊环境保护的必然前提和治本之策。

湖泊流域的入湖河流是湖泊主要水资源的补给通道,是湖泊水量与水质的基本保障,从湖泊环境或生态保护角度来看,入湖河流实质上是湖泊水环境的一个组成部分。无论在地质地貌形态、河流动力学或生态环境特征上,入湖河流均明显有别于大江大河水系,也有别于城市河流体系,它们具有环保上要执行的“双标准”(河流与湖泊)特征,与污染控制上的“双目标”(河流与湖泊)要求,即在入湖河流的生态修复与水污染治理中既要满足河流的标准与治理目标,又要满足湖泊富营养化控制的需求。这就是入湖河流的重要独特之处。

我国已经开展了大量的入湖河流水污染控制与生态修复的研究、探索与实践工作,在过去的三十年间,科研工作者在许多湖泊流域开展了入湖河流的控源成套技术研发工作。

入湖河流是湖泊流域的主要水源补给通道,也是陆域污染物入湖的主要输送者。我国湖泊入湖河流具有类型多样、地形地貌丰富、生态多样化等特征,但受长期人为强烈干扰的影响,不同类型入湖河流往往水质污染严重、河道渠道化、河流生态健康严重受损,清水产流机制出现退化,难以输送清水入湖,因此开展入湖河流环境保护与污染治理迫在眉睫,是当前湖泊流域水环境保护不可或缺的核心任务。

入湖河流治理应立足于河流小流域,以清水产流机制修复为指导,在河流追踪调查的基础上开展总体设计,通过陆地生态系统恢复—流域内塘坝与自然湿地净化作用发挥—河道污染控制与水质改善—河岸生态堤岸与缓冲带自然体系构建,使流域内产生的地表径流依次净化,实现地表径流清水入湖。近十年来,作者在抚仙湖、杞麓湖、星云湖、长寿湖、洱海、无锡新城等湖泊的典型入湖河流治理中,以清水产流、输送及入湖为指导思想,完成了一系列入湖河流治理与保护可研与工程设计,部分河流治理工程已经实施并取得良好效果。在上述治河实践中发现了一些新问题,加深了对湖泊流域入湖河流的认识,同时吸收借鉴了国内外众多入湖河流

的环境保护与污染治理的理论与方法,作者通过总结归纳,逐步形成了一些治河的经验与体会,并以入湖河流清水产流机制修复思路与技术体系的方式汇集于本书之中,供同行参考,与大家共勉。

本书共分十一章。第1章介绍入湖河流概念、特征及其在湖泊保护中的作用;第2章分类介绍不同类型入湖河流污染现状,并分析造成入湖河流污染的主要原因;第3章论述河流水污染控制与综合修复思路,包括河流水环境修复原则、河流小流域污染源控制思路、流域清水产流机制修复思路、河流水环境“多要素修复”思路等内容;第4章着重介绍入湖河流追踪调查、河流沿岸的源解析及水量与污染物平衡计算;第5章系统阐述河流清水产流机制修复思路与方案,包括河流清水产流体系、源头产流区清水产流保障方案、污染控制与净化区水质维护方案、湖滨区清水入湖保障方案;第6~11章以抚仙湖梁王河、杞麓湖红旗河、长寿湖龙溪河、宜兴土干河、洱海灵泉溪、岩口水库黄山溪与仙溪为治理案例,系统介绍了我国不同类型入湖河流的治理思路、治理技术与规划方案。

本书在编写过程中,虽经多次修改与完善,文字内容也多次校核,但不足之处在所难免,望同行学者不吝指正。



2014年4月

# 目 录

## 前言

## 上篇 理论与方法

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第 1 章 入湖河流在湖泊保护中的作用      | 3  |
| 1.1 河流的概念与特征             | 3  |
| 1.1.1 河流的概念              | 3  |
| 1.1.2 河流的地质作用            | 4  |
| 1.1.3 入湖河流的特征            | 4  |
| 1.2 湖泊流域的入湖河流            | 4  |
| 1.2.1 抚仙湖入湖河流            | 5  |
| 1.2.2 杞麓湖入湖河流            | 9  |
| 1.2.3 星云湖入湖河流            | 13 |
| 1.2.4 洱海入湖河流             | 14 |
| 1.2.5 长寿湖入湖河流            | 20 |
| 1.3 入湖河流的作用              | 21 |
| 1.3.1 氮磷输入,导致湖泊营养状态变异    | 21 |
| 1.3.2 河流治理,是湖泊保护的重大举措    | 22 |
| 1.3.3 修复清水产流,保障绿色流域建设    | 23 |
| 参考文献                     | 23 |
| 第 2 章 入湖河流环境问题及其产生原因     | 25 |
| 2.1 入湖河流主要环境问题           | 25 |
| 2.1.1 河流水体污染严重,呈现复合污染趋势  | 26 |
| 2.1.2 河流水位普遍下降,出现水量剧减态势  | 29 |
| 2.1.3 河流生态退化,“生命水体”出现危机  | 30 |
| 2.1.4 河流整治人为化,河流服务功能退化   | 32 |
| 2.2 主要原因分析               | 34 |
| 2.2.1 清水产流机制遭到破坏         | 34 |
| 2.2.2 入湖河流小流域污染          | 35 |
| 2.2.3 不当的治理与管理行为致使河流非自然化 | 36 |
| 参考文献                     | 37 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>第3章 入湖河流水污染控制与综合修复思路</b> | 39 |
| 3.1 入湖河流水环境修复原则             | 39 |
| 3.1.1 坚持从流域出发的原则            | 39 |
| 3.1.2 坚持可持续发展的原则            | 40 |
| 3.1.3 遵循自然与生态性的原则           | 40 |
| 3.1.4 坚持水量、水质与水生态“三修复”原则    | 41 |
| 3.1.5 坚持“一河一策”的原则           | 41 |
| 3.2 河流小流域污染源控制思路            | 42 |
| 3.2.1 污染源控制的总体思路设计          | 42 |
| 3.2.2 流域产业结构调整控污减排体系        | 44 |
| 3.2.3 流域污染源工程治理体系           | 45 |
| 3.2.4 流域低污染水净化与处理体系         | 47 |
| 3.3 流域清水产流机制修复思路            | 48 |
| 3.4 河流水环境“多要素修复”总体思路        | 49 |
| 3.4.1 “双修复”与“三修复”思路         | 50 |
| 3.4.2 河流修复的主要内涵             | 52 |
| 参考文献                        | 54 |
| <b>第4章 河流追踪调查、源解析与平衡计算</b>  | 55 |
| 4.1 入湖河流沿程追踪调查              | 55 |
| 4.1.1 追踪调查的主要内容             | 55 |
| 4.1.2 追踪调查的主要方法             | 56 |
| 4.1.3 沿程变化追踪调查              | 57 |
| 4.1.4 入湖河流调查成果图绘制           | 59 |
| 4.2 入湖河流沿岸的源解析              | 59 |
| 4.2.1 污染源调查                 | 59 |
| 4.2.2 入湖河流源解析               | 61 |
| 4.3 入湖河流水量平衡                | 62 |
| 4.3.1 水量平衡关系                | 62 |
| 4.3.2 低污染水水量计算              | 64 |
| 4.3.3 水量平衡分析案例              | 64 |
| 4.4 入湖河流污染物平衡               | 70 |
| 参考文献                        | 73 |
| <b>第5章 河流清水产流机制修复思路与对策</b>  | 74 |
| 5.1 河流清水产流体系概述              | 74 |
| 5.2 清水产流区清水产流保障对策           | 76 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 5.2.1 清水产流区的主要特点 .....      | 76 |
| 5.2.2 产流区清水产流的保障思路 .....    | 77 |
| 5.2.3 产流区清水产流的修复对策 .....    | 77 |
| 5.3 污染控制与净化区水质维护对策 .....    | 78 |
| 5.3.1 污染控制与净化区的主要特点 .....   | 78 |
| 5.3.2 污染控制与净化区的水质保障思路 ..... | 78 |
| 5.3.3 污染控制与净化区的水质保障对策 ..... | 79 |
| 5.4 湖滨区清水入湖保障对策 .....       | 85 |
| 5.4.1 湖滨区的主要特点 .....        | 85 |
| 5.4.2 湖滨区清水入湖的保障思路 .....    | 85 |
| 5.4.3 湖滨区清水入湖的保障对策 .....    | 85 |
| 参考文献 .....                  | 91 |

## 下篇 案例与实践

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第6章 清洁湖泊入湖河流水污染防治案例 .....   | 95  |
| 6.1 抚仙湖及其入湖河流修复思路 .....     | 95  |
| 6.1.1 抚仙湖及其流域 .....         | 95  |
| 6.1.2 抚仙湖主要入湖河流的修复思路 .....  | 95  |
| 6.1.3 抚仙湖入湖河流的修复思路与方案 ..... | 97  |
| 6.2 梁王河清水产流机制修复 .....       | 100 |
| 6.2.1 梁王河及水环境现状 .....       | 100 |
| 6.2.2 梁王河污染物与水量平衡 .....     | 106 |
| 6.2.3 梁王河水污染防治总体方案 .....    | 113 |
| 6.2.4 梁王河修复总体方案设计 .....     | 117 |
| 参考文献 .....                  | 125 |
| 第7章 受农业污染入湖河流水污染控制案例 .....  | 126 |
| 7.1 杞麓湖流域概况 .....           | 126 |
| 7.1.1 杞麓湖主要水环境问题 .....      | 126 |
| 7.1.2 杞麓湖流域主要污染特征分析 .....   | 127 |
| 7.2 红旗河及其环境概况 .....         | 129 |
| 7.2.1 红旗河概况 .....           | 129 |
| 7.2.2 红旗河水质现状 .....         | 129 |
| 7.2.3 红旗河主要污染源分析 .....      | 132 |
| 7.3 红旗河综合治理方案 .....         | 134 |
| 7.3.1 红旗河水污染治理思路 .....      | 134 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 7.3.2 红旗河水污染防治方案 .....            | 134        |
| 7.4 蔬菜废弃物资源化方案 .....              | 136        |
| 7.4.1 蔬菜废弃物的危害 .....              | 136        |
| 7.4.2 蔬菜废弃物的处理现状与问题 .....         | 136        |
| 7.4.3 蔬菜废弃物处理思路 .....             | 137        |
| 7.5 强化管理方案 .....                  | 141        |
| 参考文献 .....                        | 142        |
| <b>第8章 受面源污染入库河流水污染控制案例</b> ..... | <b>143</b> |
| 8.1 长寿湖概况 .....                   | 143        |
| 8.1.1 长寿湖入库河流及其水环境现状 .....        | 143        |
| 8.1.2 长寿湖的主要水环境问题 .....           | 143        |
| 8.1.3 长寿湖流域水环境问题诊断 .....          | 145        |
| 8.1.4 长寿湖治理思路 .....               | 146        |
| 8.2 龙溪河及其流域概况 .....               | 147        |
| 8.2.1 龙溪河水污染现状及发展趋势 .....         | 147        |
| 8.2.2 龙溪河流域污染负荷空间分布 .....         | 149        |
| 8.3 龙溪河流域治理思路 .....               | 150        |
| 8.3.1 总体思路 .....                  | 150        |
| 8.3.2 综合治理目标 .....                | 151        |
| 8.3.3 综合治理方案 .....                | 154        |
| 8.3.4 河流水污染防治方案设计 .....           | 155        |
| 参考文献 .....                        | 158        |
| <b>第9章 城区重污染入湖河流综合整治案例</b> .....  | <b>160</b> |
| 9.1 土干河概况与污染源 .....               | 160        |
| 9.1.1 宜兴市概况 .....                 | 160        |
| 9.1.2 土干河及其流域概况 .....             | 160        |
| 9.1.3 主要污染源及其负荷量 .....            | 162        |
| 9.2 土干河水环境与主要问题 .....             | 163        |
| 9.2.1 河流水环境调查与评估 .....            | 163        |
| 9.2.2 河流底泥污染评价 .....              | 166        |
| 9.2.3 主要环境问题诊断 .....              | 170        |
| 9.3 土干河修复思路与技术路线 .....            | 170        |
| 9.3.1 修复基础分析 .....                | 171        |
| 9.3.2 宜兴城市河网功能定位 .....            | 171        |
| 9.3.3 修复工程目标 .....                | 171        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 9.3.4 土干河治理思路 .....                 | 171        |
| 9.3.5 土干河治理技术路线 .....               | 174        |
| 9.4 土干河治理与修复方案 .....                | 174        |
| 9.4.1 总体目标 .....                    | 174        |
| 9.4.2 七大工程方案 .....                  | 174        |
| 9.4.3 工程效益 .....                    | 181        |
| 参考文献 .....                          | 181        |
| <b>第 10 章 清洁入湖河流保护与清水入湖案例 .....</b> | <b>182</b> |
| 10.1 灵泉溪小流域概况与环境现状 .....            | 183        |
| 10.1.1 灵泉溪小流域概况 .....               | 183        |
| 10.1.2 灵泉溪小流域环境现状 .....             | 184        |
| 10.1.3 灵泉溪河道概况 .....                | 187        |
| 10.2 灵泉溪小流域水污染现状 .....              | 188        |
| 10.2.1 污染负荷估算 .....                 | 188        |
| 10.2.2 污染物排放总量与入湖总量估算 .....         | 189        |
| 10.2.3 流域水量平衡与污染物平衡分析 .....         | 190        |
| 10.3 设计思路与总体方案 .....                | 191        |
| 10.3.1 设计思路 .....                   | 191        |
| 10.3.2 总体方案 .....                   | 191        |
| 10.4 灵泉溪水量修复工程 .....                | 193        |
| 10.4.1 水量管理方案——电站排水改道建设工程 .....     | 194        |
| 10.4.2 饮用水优化调度方案 .....              | 195        |
| 10.4.3 分质用水方案——农业用水优化调度方案 .....     | 195        |
| 10.5 水质修复工程 .....                   | 197        |
| 10.5.1 小流域重点污染源治理与低污染水净化工程 .....    | 197        |
| 10.5.2 清水通道建设工程 .....               | 199        |
| 10.5.3 湖滨区生态修复工程 .....              | 203        |
| 10.5.4 生态环境保护与管理体系建设工程 .....        | 204        |
| 参考文献 .....                          | 204        |
| <b>第 11 章 入库河流河口湿地净化工程案例 .....</b>  | <b>205</b> |
| 11.1 岩口水库及其流域特征 .....               | 205        |
| 11.1.1 水库地理位置与特征 .....              | 205        |
| 11.1.2 水库水质 .....                   | 206        |
| 11.1.3 黄山溪概况与特征 .....               | 207        |
| 11.1.4 仙溪概况与特征 .....                | 209        |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 11.2 污染源分析与主要环境问题·····        | 212 |
| 11.2.1 库区源分析·····             | 212 |
| 11.2.2 黄山溪小流域源分析·····         | 212 |
| 11.2.3 仙溪小流域污染源分析·····        | 214 |
| 11.2.4 水环境承载力与污染物削减量·····     | 215 |
| 11.2.5 主要环境问题·····            | 215 |
| 11.3 两溪修复思路与总体方案·····         | 216 |
| 11.3.1 两溪小流域的修复思路·····        | 216 |
| 11.3.2 河口湿地建设的技术路线·····       | 218 |
| 11.3.3 黄山溪河口湿地设计工艺与总平面布置····· | 218 |
| 11.3.4 仙溪河口湿地设计工艺与总平面布置·····  | 219 |
| 11.4 两溪河口湿地建设工程方案·····        | 222 |
| 11.4.1 黄山溪河口湿地建设工程·····       | 222 |
| 11.4.2 仙溪河口湿地建设工程·····        | 223 |
| 11.5 工程效益·····                | 227 |
| 参考文献·····                     | 227 |

## 上篇 理论与方法



# 第 1 章 入湖河流在湖泊保护中的作用

## 1.1 河流的概念与特征

### 1.1.1 河流的概念

陆地河流,是由一定区域内地表水和地下水补给、经常或间歇地沿着狭长凹地流动的水流。河流一般以高山区域为源头,然后沿地势向下流,一直流入湖泊或海洋。

河流是地球上水土循环的重要路径,是泥沙、盐类和化学元素等进入湖泊、海洋的通道。河流对全球的物质、能量的传递与输送起着重要作用。河流与人类的关系极为密切,因为河流暴露在地表,河水取用方便,是人类可依赖的最主要的淡水资源,也是可更新的自然资源。

我国河流众多,河流是我国地理环境与生态环境的重要组成部分,蕴藏着丰富的自然资源。我国也是世界上河流最多的国家之一。拥有许多源远流长的大江大河。其中流域面积超过  $1000\text{ km}^2$  的河流就有 1500 多条<sup>[1]</sup>。

我国湖泊众多,每个湖泊流域都分布着大小不等、长短不一、形态各异的入湖河流(图 1.1)。



图 1.1 入湖河流形态及生态环境示意图

### 1.1.2 河流的地质作用

河流流动的水对物体有一定的冲击力,流水还不断地改变着地表形态,形成不同的流水地貌,如冲沟、深切的峡谷、冲积扇、冲积平原及河口三角洲等。在河流密度大的地区,广阔的水面对该地区的气候也具有一定的调节作用。反之,地形、地质条件对河流的流向、流程、水系特征及河床的比降等起制约作用。河流流域内的气候,特别是气温和降水的变化,对河流的流量、水位变化、冰情等影响很大。土质和植被的状况又影响河流的含沙量。一条河流的水文特征是多方面因素综合作用的结果<sup>[2-4]</sup>。

同时,水中所含的一些化学物质也能够与周边岩石和矿物发生化学反应。这些因素都能导致与流水所接触的岩石发生缓慢的风化和剥蚀现象。水源来自于大气降水或冰雪融水,最初在地面漫流,后因水流对地表的侵蚀作用而逐渐形成沟槽。这其中,水流的侵蚀在河流的形成过程中起到了决定性作用。不仅如此,河流形成后,这一作用仍然持续,最终在地表形成了峡谷、瀑布、牛轭湖、冲积平原、三角洲等一系列典型的流水地貌特征。

### 1.1.3 入湖河流的特征

湖泊流域的入湖河流是湖泊主要水资源的补给通道,是湖泊水量与水质的基本保障。从湖泊环境或生态保护角度来看,将入湖河流看作是湖泊水环境的一个组成部分更为妥当。

目前,国内外均将湖泊与河流看成两类不同水体,因此评估它们的标准也不相同。比如,在湖泊水质评价中十分重要的总氮、总磷指标,在河流水质标准中没有,两者存在差异。但在湖泊富营养化控制与水污染防治中,入湖河流应当不同于其他河流的规划,它们应当执行“双标准”,规划时应当设置“双目标”,即在入湖河流的生态修复与水污染治理中既要满足河流的治理要求,又要满足湖泊富营养化控制的需求,这是入湖河流的重要特征之一。

## 1.2 湖泊流域的入湖河流

我国湖泊众多,在其流域分布着丰富多样的入湖河流,它们是湖泊的主要水资源补给渠道与来源,也是各种物质,包括各类污染物输入湖泊的主要通道。实际上,入湖河流是湖泊流域的重要组成要素,也是湖泊水体本身的组成部分,还可以理解为是湖泊生态环境与整个流域的内在联系纽带。因此,入湖河流在湖泊富营养化控制中,在湖泊水污染治理与生态修复中是一个不可或缺的研究与修复对象。下面列举一些典型湖泊流域的入湖河流信息,加以分析讨论。

1.2.1 抚仙湖入湖河流

1. 抚仙湖入湖河流的概况

抚仙湖是我国著名的最深的大型淡水湖泊，湖泊流域共有大小入湖河流 103 条(含季节河、农田排灌沟)，其中非农灌沟的河流有 60 多条，其中较大的有 20 条，集水面积大于 30 km<sup>2</sup> 的有 3 条，10~30 km<sup>2</sup> 的有 6 条，小于 10 km<sup>2</sup> 的有 18 条。抚仙湖流域的河流普遍短小，最长的梁王河为 21 km，其次是东大河 19.9 km，其余多在 10 km 以下(图 1.2)。

抚仙湖北岸河流相对密集，共有 40 条，年总径流量占入湖河流总流量的 52.4%。该流域较大的河流也多集中于此，如梁王河、东大河等。抚仙湖西岸，共有 28 条入湖河流与 5 个散流区，年总径流量为 3824.6 万 m<sup>3</sup>，占入湖径流量的 20.4%。抚仙湖东岸，共有 26 条入湖河流与 7 个散流区以及清水河。年总径流量为 2865.57 万 m<sup>3</sup>，占入湖河流总流量的 15.3%。抚仙湖南岸，共有 9 条入湖河流(不含隔河)与 2 个散流区。年总径流量为 2231.38 万 m<sup>3</sup>，占总入湖河流总流量的 11.9%(图 1.3)。

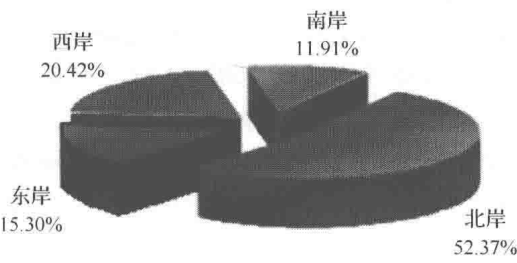


图 1.3 抚仙湖入湖河流径流量的分布

2. 抚仙湖的主要入湖河流<sup>[5]</sup>

抚仙湖流域的入湖河流数量较多，现选取其中几条典型的、具有代表性的重要河流，分析其特征。

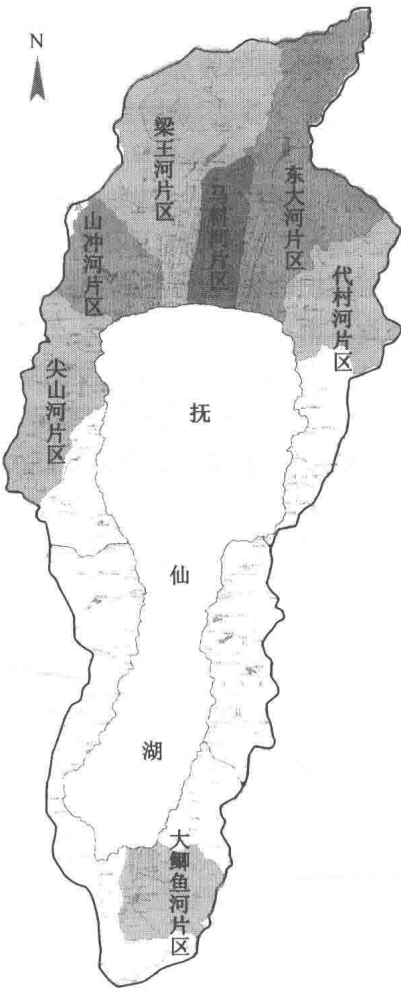


图 1.2 抚仙湖流域主要河流分布图