

“九五”国家重点科技攻关项目

“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”系列专著

# 西北地区

## 水资源 合理配置和承载能力研究

王 浩 陈敏建 秦大庸  
等著



黄河水利出版社

“九五”国家重点科技攻关项目

“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”系列专著

# 西北地区水资源合理配置和 承载能力研究

王 浩 陈敏建 秦大庸 等著

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

根据西北内陆干旱区的实际,将水资源合理配置与高效利用、社会经济发展、生态环境保护三方面的问题放在流域水资源演变和生态环境变化的统一背景下进行研究,提出了该地区“天然—人工”二元水循环模式,揭示了水资源、社会经济、生态环境三者间相互依存的定量关系及变化规律;建立了干旱区生态需水量及水资源承载能力的计算方法,提出了该地区不同社会经济发展时期的水资源承载能力和合理改善方案、措施及生态环境保护对策,为大西北开发的宏观决策和水资源可持续利用与环境保护提供了科学依据。

### 图书在版编目(CIP)数据

西北地区水资源合理配置和承载能力研究/王浩等著.  
—郑州:黄河水利出版社,2003.3  
(“九五”国家重点科技攻关项目“西北地区水资源  
合理开发利用与生态环境保护研究”系列专著)  
ISBN 7-80621-489-5

I. 西… II. 王… III. 水资源管理—研究—西北  
地区 IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010574 号

---

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

印张:16.25

字数:376 千字

印数:1—1 000

版次:2003 年 3 月第 1 版

印次:2003 年 3 月第 1 次印刷

---

书号:ISBN 7-80621-489-5/TV·255

定价:50.00 元

“九五”国家重点科技攻关项目(96-912)  
“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”  
系列专著

编辑委员会

|       |           |     |     |     |     |
|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 主 任   | 董哲仁       |     |     |     |     |
| 副 主 任 | 陈明忠       | 王伟中 | 王 浩 |     |     |
| 顾 问   | 徐乾清       | 陈志恺 | 刘昌明 | 张宗祜 | 石玉林 |
| 委 员   | (以姓氏笔画为序) |     |     |     |     |
|       | 王美婷       | 邓湘汉 | 卢 琼 | 田二垒 | 田保国 |
|       | 孙 洪       | 孙 浩 | 刘恩宝 | 吴 娟 | 李玉方 |
|       | 陈双凤       | 沈建忠 | 陈敏建 | 陈霁巍 | 杭及钦 |
|       | 殷 芳       | 高锦曦 | 韩天运 |     |     |



## 本研究专题承担单位及人员

专 题 名 称：西北地区水资源合理配置和承载能力研究

承 担 单 位：中国水利水电科学研究院

中国科学院地理与资源研究所

国土资源部水文地质工程地质研究所

专 题 负 责 人：王 浩 何希吾 陈敏建

主 要 完 成 人：王 浩 陈敏建 秦大庸 李令跃 汪党献 唐克望

尹明万 何希吾 王 研 王 芳 甘 泓 朱延华

顾定法 马 静 陈子丹 魏传江 陈蓓玉 李兰奇

陈霁巍 王爱国 陈晓军 郭孟卓 刘戈力 裴源生

罗 琳 于福亮 韩素华 严慕绥 庄大方 王建华

邓湘汉 蒋云钟 汪 林 张云辉

参 加 人 员：黄永基 吴 娟 卢 琼 殷 芳 颜志俊 张兆吉

朱 琰 何 桥 郦建强 倪建华 耿雷华 孙荣强

陈晓燕 彭岳津 孙九林

顾 问：徐乾清 陈志恺 刘昌明 石玉林 张宗祜

于景元 许新宜

报 告 执 笔 人：王 浩 陈敏建 秦大庸 唐克望 李令跃

汪党献 尹明万

报 告 审 查 人：徐乾清 陈志恺 许新宜



# 总 序

我国水资源问题十分严峻,水资源短缺越来越成为我国经济社会发展的制约因素。党中央把水资源可持续利用提高到我国经济社会发展的需要予以高度重视。江泽民总书记指出:“水是人类生存的生命线,是经济发展和社会进步的生命线,是实现可持续发展的重要物质基础。”朱镕基总理在阐述实施西部大开发、促进地区协调发展时指出:“把水资源的保护、节约和开发放在突出位置,加强规划,合理配置,努力提高水的利用效率。”

西北地区国土面积占全国的三分之一强,是我国土地最辽阔的区域,光热条件较好,矿产资源种类多、储量大,在全国具有举足轻重的地位。但是,由于自然、历史、经济、社会等诸多原因,导致西北地区经济发展缓慢,与全国的差距越拉越大。对于西北干旱、半干旱地区,社会经济发展的最大制约因素是水资源以及因缺水造成的十分脆弱的生态环境。因此,为使西北地区能得以可持续发展,必须高度重视其水资源的承载能力问题,要把水资源的合理开发、高效利用、优化配置、全面节约、有效保护和综合治理放在突出的位置。水利在西部大开发中责任重大,必须先行。

“九五”国家重点科技攻关计划“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”项目,从资源水利的思路出发,针对西北地区生态环境极端脆弱的特点,将水资源与经济、生态三者联系起来统一研究,探求水资源同时作为国民经济发展的物质基础和生态环境系统中最活跃因子的相互依存、相互制约的定量关系与转化规律。经过多学科联合攻关,该项目提出了内陆河流域的水资源二元演化模式及基于这一模式的水资源评价层次化体系;系统评价了西北地区地表水与地下水资源;初步揭示了干旱区水分—生态相互作用机理,建立了干旱区生态需水量的计算方法;提出了干旱区水资源承载能力计算方法及重点区不同发展阶段的水资源承载力;对西北干旱区 20 世纪 70 年代以来水资源与生态系统相互演变关系进行了研究,并取得了具有新意的成果;提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案和水资源可持续利用的整体战略建议。经科技部组织的验收委员会验收,项目全面完成并部分超额完成考核目标及主要技术经济指标,研究成果整体上达到国际领先水平。这不仅为这一区域 21 世纪可持续发展战略的制定提供了第一手材料,还为本区域从工程水利向资源水利,从传统水利向现代水利、可持续发展水利转变,通过水资源的优化配置,满足经济社会发展的需要,以水资源的可持续利用支持经济社会的可持续发展,实行面向西北生态经济建设的资源水利发展战略,提供了强有力的科技支撑。

“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”项目成果系列专著的出版,恰逢其时,希望能为我们的西部建设提供些理性思维。热切希望社会各界,为中国水利事业的发展献计献策,继续给予关心和支持。

汪恕诚

2002.6.16.

# 总 前 言

改革开放以来,国家在水资源领域的应用基础研究方面,组织大批科研力量,先后开展了“六五”、“七五”、“八五”和“九五”四期国家重点科技攻关计划项目。通过联合攻关研究,搞清了我国建设社会主义现代化进程中面临的许多影响重大的水问题,取得了一大批在国内外有影响的、具有国际先进水平的成果,大大推动了我国水资源学科的进步。国家重点科技攻关计划已成为我国水资源领域科学进步的里程碑。“六五”攻关项目确定了水资源量的评价方法,并对华北地区的地表、地下水资源量达成了共识;“七五”攻关项目的主要进展是基本摸清了华北地区大气水、地表水、土壤水和地下水的“四水”转化规律,并相应提出了地表水、地下水联合优化调度的方法并用于实际;“八五”攻关项目的主要进展是将水资源开发利用与区域宏观经济联系起来研究,提出了基于宏观经济的水资源优化配置的理论与方法,并对解决华北地区水资源短缺问题进行了具体的方案研究。

“八五”后期,水利部和中国科学院提出在西北地区开展水资源与生态环境方面的应用基础技术研究,得到科技部的大力支持和各有关方面的积极响应。经过专家充分论证,科技部把“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”列为“九五”国家重点科技攻关计划项目,由水利部、中国科学院和国土资源部作为项目主持部门,组织跨部门、多学科联合攻关。参加攻关的有水利部、中国科学院、国土资源部等所属的研究院所、高等院校、生产管理单位等 43 个,参加攻关人员有 450 余人,其中有高级职称的 256 人。项目研究区包括西北陕、甘、宁、青、新 5 省(区)全部,外加内蒙古自治区西部两个盟,按重点地区划分新疆、甘肃河西走廊、青海柴达木盆地、陕西关中、宁夏各为一个课题,另外设立一个总课题,兼顾内蒙古西部。本着国家攻关项目面向国民经济主战场的宗旨,项目分为两期滚动进行,共分 6 个课题 26 个专题开展研究。

本次“九五”攻关,是国家在西北干旱半干旱地区开展的第一个水资源专项研究。针对干旱区生态环境极端脆弱的特点,在以往攻关成果的基础上,进一步将水资源与经济、生态三者联系起来统一研究,以明确水资源同时作为国民经济发展的物质基础和生态环境系统中最活跃因子的相互依存、相互制约的定量关系与转化规律,为这一区域的 21 世纪可持续发展战略的制定提供第一手的资料和依据。

经过 4 年的多学科联合攻关,项目整体上取得了 10 个方面的突出成果:一是提出了内陆河流域的水资源二元演化模式;二是提出了基于二元模式的水资源评价层次化体系;三是提出了干旱区水分—生态相互作用机理;四是建立了干旱区生态需水量的计算方法;五是提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案;六是提出了干旱区水资源承载能力计算方法及重点区不同发展阶段的水资源承载力;七是第一次大规模引入遥感信息和 GIS 技术,对西北干旱区水资源与生态系统相互关系进行了研究;八是系统进行了三分之一国土面积上的水资源评价;九是在地下水方面结合近年钻孔资料填补了空白区,按潜水与承压水分别进行了重新评价,提出了地下水资源量及其分布和可开采量及其分

布;十是提出了西北地区水资源可持续利用的整体战略,包括区域发展战略、生态环境保护战略、水资源开发利用战略。上述 10 个方面的攻关成果,使水资源利用和生态环境研究的整体水平上了一个新的台阶,不仅为这一区域 21 世纪可持续发展战略的制定提供了第一手资料,还为本区域从传统水利向现代水利转变,实行面向西北生态经济建设的资源水利发展战略,提供了强有力的科技支撑。项目通过了科技部组织的验收,验收专家组认为研究成果整体上达到国际领先水平。

为了使已取得的成果在西部大开发中发挥更大作用,为西部建设提供科学依据,并在实践中不断深化,水利部与中国科学院、国土资源部等有关部门决定在攻关成果报告的基础上,进行修改和提炼,编辑出版这套系列专著。系列专著按照项目的课题设置,每一课题出版专著一本,全系列由如下专著组成:

系列专著之一 《西北地区水资源合理配置和承载能力研究》

系列专著之二 《新疆经济发展与水资源合理配置及承载能力研究》

系列专著之三 《河西走廊水资源合理利用与生态环境保护》

系列专著之四 《柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护》

系列专著之五 《关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护》

系列专著之六 《宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究》

由科技部和项目组织部门聘任的项目专家指导委员会在对项目的咨询、论证、检查、评估、验收等工作中发挥了重要作用。项目专家指导委员会成员为:主任委员徐乾清;副主任委员陈志恺、刘昌明、张宗祜;委员石玉林、于景元、许越先、许新宜、夏训诚、段永侯、李玉山、贾泽民、辛奎德、梁瑞驹。对专家们的辛勤劳动表示衷心的感谢和崇高敬意。

项目管理办公室在项目组织部门的领导下,负责项目执行的日常管理工作。先后参加项目办工作的有陈霁巍、邓湘汉、刘健、田二垒、冯仁国、王瑞江、白星碧、谢丁晓、殷芳、卢琼、吴娟、杜官印等。

科技部农村与社会发展司和中国 21 世纪议程管理中心的领导和专家对该项目的开展给予了大力的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编辑出版时间仓促,难免有不足和错误之处,敬请读者批评指正。

**“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”**

**项目管理办公室**

2002 年 4 月

# 前 言

本书是国家“九五”重点科技攻关项目“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”(96-912)的总专题“西北地区水资源合理配置和承载能力研究”(专题 96-912-01-04)研究成果专著。本项研究于 1996 年开始,2000 年底结束。在 4 年多的时间里,课题组针对西北地区陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆的实际,对水资源与生态环境现状及未来发展趋势进行全面、系统的研究,获得了一批重要成果,在水资源与生态环境领域的理论和实践上取得了重大突破。

本项研究的特色鲜明,基础扎实,成果丰硕。概括起来有如下几点。

重视实验观测,资料数据坚实可靠。利用了几乎所有的有关西北干旱区的基础信息:以 1956~1995 年 40 年同步降水、径流等水文观测系列资料作为水资源分析基础;内陆盆地 600 余个钻孔抽水资料作为地下水分析基础;以冰雪资源长期系统观测为基础研究出山口径流变化趋势;收集并利用了迄今为止所有的关于干旱区植被需水观测实验资料并分析其地区变化规律;大规模利用跨 20 年的遥感信息,结合地面观测资料,对西北地区水资源与生态环境的演变和现状进行全覆盖研究。

注重理论与机理研究,理论上重大创新。利用丰富的资料信息,深入野外查勘,针对西北地区水循环特性,围绕水资源形成与演变、以及伴随着水循环过程出现的生态系统的变迁问题,从机理上进行了深入研究。提出了两大理论成果:反映高强度人类活动影响的“天然—人工”二元水循环模式与调控理论、描述干旱区水—生态系统演变关系的生态圈层结构理论及其概念性模型。在上述理论构成的科学基础上建立严谨的技术方法体系,从而实现攻关目标。从整体上保证和提高了科学研究水平和攻关成果质量。

由上述两个理论支撑,将生态需水、水资源承载能力、水资源合理配置三项关键技术作为攻关突破口,取得了一系列重大成果。

总体上讲,主要有以下创新成果。一是提出了内陆河流域的“天然—人工”二元水循环理论和分析模式。以水为纽带建立起了水资源—社会经济—生态环境相依相制的定量关系,为水资源评价、水资源开发利用评价、生态环境质量评价奠定了统一基础。二是针对干旱区特点,利用了 40 年的地表水基础数据和近年的钻孔资料、冰川融雪观测资料和遥感观测资料,将有效降水与径流性水资源联合评价,首次进行了西北干旱区广义水资源评价。三是提出了干旱区水分—生态相互作用机理的生态圈层结构理论,为解决干旱区生态系统演变、生态稳定、生态保护准则、生态需水等一系列问题提供了统一理论和方法。这一定量化的水分驱动生态演变模型,在国内外干旱区研究中是首次提出。四是建立了干旱区生态需水量的计算方法。通过微观机理与宏观分析的结合,提出了与区域发展模式及生态环境保护准则相适应的生态环境需水量。五是提出了针对西北生态脆弱地区的水资源合理配置方案。通过在区域发展层次、水资源开发利用层次以及流域内部,进行水资源合理配置,促进区域的内涵方式发展并逐步向生态经济转型。六是提出了干旱区水

资源承载能力计算方法及重点区不同发展阶段的水资源承载力,回答了干旱内陆区水资源开发利用中一系列“度”的问题。七是提出了西北地区水资源可持续利用的整体战略建议。由区域发展战略、生态环境保护战略、水资源开发利用战略构成,反映了西北地区的自然地理条件和社会经济发展现状,提出了加快西北发展水利先行的具体建议。

在项目实施的过程中,我国社会经济发展的形势发生了新的变化:1999年党中央、国务院作出加快西部社会经济发展的重大决策,突显了本项研究的前瞻性。水资源合理配置是西北地区实施西部大开发战略成败的关键,成为全国上下的共识。本专题的研究成果在项目实施过程中以及成果鉴定验收之后,在国家以及西北地区各省区迅速得到应用与推广,至今不减,成为“西部大开发,科技要先行”的成功范例。

国家重点科技攻关计划已成为我国水资源领域科学进步的里程碑。改革开放以来,国家在水资源领域连续开展了科技攻关。“六五”攻关项目在应用基础方面提出了水资源量的评价方法,在实践上对华北地区的地表、地下水资源量进行了评价并基本达成共识。“七五”攻关项目在应用基础方面提出了华北地区大气水、地表水、土壤水和地下水的“四水”转化模式,并利用“四水”转化规律相应提出了地表水—地下水的补偿运用方式,在实践中取得了良好效果。“八五”攻关项目将水资源开发利用与区域宏观经济联系起来研究,提出了基于宏观经济的水资源合理配置理论与方法,并以此为基础提出了缓解华北地区水资源短缺问题的具体方案。

本项“九五”攻关项目针对内陆干旱区绿洲生态的特点,将水资源开发利用—社会发展—生态环境保护三者联系起来统一研究。在基础和应用基础方面提出了内陆干旱区的“天然—人工”二元水循环模式,提出描述干旱区水—生态演变机理的生态圈层结构理论,并将上述理论成果结合,建立起干旱区水—经济—生态模拟平台;在实践上,提出了西北重点地区的生态环境保护准则与生态需水量,提出了配合西北开发的水资源配置布局与方案,并在水资源合理配置基础上计算了重点区域的水资源承载能力。这些理论与实践方面的研究成果,大大推动了我国水资源学科的整体进步,使我国在该领域的研究处于国际领先地位。

作 者

2002年12月

# 目 录

|                                          |       |
|------------------------------------------|-------|
| 概 论                                      | (1)   |
| 第一节 我国水资源研究现状及发展趋势                       | (1)   |
| 第二节 “西北地区水资源合理配置和承载能力研究”专题的总体目标和<br>研究内容 | (4)   |
| 第三节 “西北地区水资源合理配置和承载能力研究”专题的技术路线          | (5)   |
| 第一章 西北地区的基本特点与发展前景                       | (6)   |
| 第一节 自然地理特点                               | (6)   |
| 第二节 社会经济概况                               | (11)  |
| 第三节 水资源基础条件                              | (14)  |
| 第四节 区域发展前景                               | (16)  |
| 第二章 西北水资源形成演化的基本模式与调控原理                  | (20)  |
| 第一节 内陆河流域水资源演化的二元动态模式                    | (20)  |
| 第二节 基于二元模式的西北水资源评价与开发利用评价                | (29)  |
| 第三节 基于二元模式的内陆干旱区生态环境评价与生态需水              | (34)  |
| 第四节 基于二元模式的水资源合理配置理论与方法                  | (42)  |
| 第五节 基于二元模式的区域水资源承载能力                     | (47)  |
| 第三章 水资源开发利用与生态环境评价                       | (52)  |
| 第一节 水资源评价                                | (52)  |
| 第二节 水资源开发利用评价                            | (58)  |
| 第三节 生态环境评价                               | (63)  |
| 第四节 内陆河流域水分条件变化对生态系统演变的驱动作用              | (68)  |
| 第四章 水资源开发利用潜力                            | (77)  |
| 第一节 水资源利用现状                              | (77)  |
| 第二节 节水潜力分析                               | (79)  |
| 第三节 开源潜力分析                               | (83)  |
| 第五章 社会经济发展与水资源需求                         | (88)  |
| 第一节 西北地区发展评价与发展战略                        | (88)  |
| 第二节 人口与城镇化进程                             | (92)  |
| 第三节 国民经济发展与工业化进程                         | (94)  |
| 第四节 土地利用与灌溉农业发展                          | (98)  |
| 第五节 国民经济需水态势                             | (104) |
| 第六节 水资源需求预测                              | (109) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第六章 生态环境保护准则与生态需水预测</b> | (117) |
| 第一节 生态环境保护准则               | (117) |
| 第二节 生态环境保护目标               | (122) |
| 第三节 生态需水计算方法               | (124) |
| 第四节 现状条件下的生态需水分析           | (129) |
| 第五节 生态需水预测                 | (132) |
| <b>第七章 水资源合理配置与布局</b>      | (137) |
| 第一节 水资源配置布局                | (137) |
| 第二节 水资源现状供需特点分析            | (144) |
| 第三节 水资源配置方案设置              | (150) |
| 第四节 水资源合理配置结果              | (165) |
| <b>第八章 水资源承载能力</b>         | (184) |
| 第一节 承载能力分析的边界条件            | (184) |
| 第二节 消费水平分析                 | (188) |
| 第三节 水资源生产能力分析              | (194) |
| 第四节 水资源承载能力                | (200) |
| 第五节 专题研究汇总成果               | (203) |
| <b>第九章 水资源可持续利用对策</b>      | (211) |
| 第一节 西北水资源可持续利用的总体战略        | (211) |
| 第二节 西北作为国家商品粮后备基地的前景       | (212) |
| 第三节 农牧交错带水利建设与荒漠化治理        | (214) |
| 第四节 黄河中上游水土流失区的水资源可持续利用模式  | (215) |
| 第五节 黑河流域生态保护与水资源可持续利用      | (219) |
| 第六节 塔里木河流域生态系统整治与保护对策      | (223) |
| 第七节 实施区域性重大调(扬)水工程         | (229) |
| 第八节 塔里木河流域管理型缺水与资源型缺水分析    | (233) |
| <b>第十章 结论与建议</b>           | (235) |
| <b>主要参考文献</b>              | (240) |

# 概 论

## 第一节 我国水资源研究现状及发展趋势

### 一、研究现状

水不仅是一切生物赖以生存和发展的基本条件,也是人类生产活动不可缺少的重要资源,而且还是生态环境的控制性要素。随着人口增长和经济发展,社会对水资源的需求量不断增长,同时对水质的要求也越来越高。联合国权威专家指出:“全球用水量的继续增长,会出现地区性的水源危机”,并警告:“水将成为世界上严重的资源问题”。

我国水资源并不丰富,人均水资源量不足世界平均水平的  $1/4$ 。水土资源不匹配和水资源时空分布不均匀的自然本底,加之人口大量增加和经济高速发展对水需求的驱动,使得水资源需求矛盾和由此引起的生态环境问题一直十分突出。面对这一基本国情,江泽民总书记指出:“得认真研究水的问题,人无远虑,必有近忧,应该未雨绸缪”。

国家科技部对水资源问题一直极为重视。改革开放以来,在水资源方面已连续组织了四期的国家科技攻关重点项目。在“六五”攻关华北水资源项目中,提出了水资源评价方法,对华北地区的地表、地下水资源量进行了评价并基本达成共识。“七五”攻关华北水资源项目的主要进展,是在应用基础方面提出了华北地区大气水、地表水、土壤水和地下水的“四水”转化模式,并利用“四水”转化规律相应提出了地表水—地下水的补偿运用方式,在实践中取得了良好效果。在“八五”攻关黄河水资源项目中,将水资源开发利用与区域宏观经济联系起来,提出了基于宏观经济的水资源合理配置理论与方法,并以此为基础提出了缓解华北地区水资源短缺问题的具体方案。“九五”攻关西北水资源项目,是西部大开发的基础性项目。“西北地区水资源合理配置与承载能力研究”专题项目面向国家需求,针对西北内陆干旱区的实际,将水资源合理配置与高效利用、社会经济发展、生态环境保护三方面的问题放在流域水资源演变和生态环境变化的统一背景下进行研究,并设定本次攻关要达到的四个基本目标是:

- (1)分析水资源与生态环境现状,提出各重点地区的水资源承载能力;
- (2)提出各重点地区水资源合理配置和高效利用的方案与措施;
- (3)提出西北干旱地区的生态环境保护对策;
- (4)提出面向可持续发展的干旱区水资源合理配置与生态环境保护战略,为国家“十五”计划开发大西北的宏观决策提供科学依据。

70年代(本书所述年代,如无专门说明,均指20世纪的年代)以来在西北进行的大量研究工作,为实现上述攻关目标奠定了坚实基础。水利部、中国科学院、国土资源部及有关高等院校在西北地区做了大量的调查研究与勘测规划工作,完成了各省区的水利区划