

黄河流域典型区域目标蒸散发的 确定及优化配置研究

冯峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

黄河流域典型区域目标蒸散发的 确定及优化配置研究

冯峰 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书首先介绍了目标蒸散发的国内外研究现状,对目标蒸散发的定义、内涵和分项指标体系进行了论述;重点阐述了目标蒸散发的定量计算、评估和优化配置方法,以黄河流域典型区域为实例进行了计算和验证;分析了黄河流域典型区域的二期水权转让模式,确定了转让标准;并提出了基于径流与蒸散发融合的水资源管理模式,以及实现这种管理模式的保障措施。

本书可供水文学及水资源、水利工程、农田水利等专业的科研人员、大学教师、高年级本科生和研究生,以及从事水资源规划、管理、调度工作的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域典型区域目标蒸散发的确定及优化配置研究/
冯峰著. — 北京:中国水利水电出版社, 2016.1
ISBN 978-7-5170-3983-9

I. ①黄… II. ①冯… III. ①黄河流域—水资源管理
—研究 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第321335号

书 作 者 出 版 发 行	黄河流域典型区域目标蒸散发的确定及优化配置研究 冯峰 著 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 印 规 格 版 次 印 数 定 价	中国水利水电出版社微机排版中心 三河市鑫金马印装有限公司 170mm×240mm 16开本 9.5印张 184千字 2插页 2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷 001—800册 45.00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

黄河流域是我国的政治、经济、文化发展的核心区，同时也是水资源、水环境、水生态问题最为严峻的地区，科学管理、高效配置该区的水资源是实现经济社会可持续发展和国家长治久安的战略基础性基础问题。传统水资源管理模式的弊端为：一方面，利用国民经济结构和发展速度等资料作出的需水预测受到质疑；另一方面，传统的以供需平衡为主导的水资源配置方法强调以需定供，突出了水的社会服务功能，忽视了水的生态和环境服务功能，造成了河道干涸、湿地萎缩、地下水超采、水体污染等严重后果。传统的水资源管理调控的是供水量和需水量，忽视了水资源的循环转化与消耗，通过节水减少需水并不完全等于减少耗水，只有进行了耗水管理才能从本质上实现资源管理。

本书紧密结合实行最严格水资源管理制度建设的需求，针对黄河流域传统水资源管理模式存在的问题，开展黄河流域典型区域目标蒸散发（目标 ET）的确定及配置研究，采用“耗水”管理代替“取水”管理的新理念，通过典型区域目标 ET 的确定和配置，以点带面，探索黄河流域基于目标 ET 的水资源管理新模式。基于区域目标 ET 的水资源管理，就是以耗水量控制为基础的水资源管理，其实质是在传统水资源管理的需求侧进行更深层次的调控和管理，是立足于水循环全过程的、基于流域/区域空间尺度的、动态的水资源管理。在现代变化环境下，针对水资源短缺日益严重的形势，立足于水文循环，进行以水资源消耗为核心的水资源管理不仅是非常必要的，而且是非常迫切的，是资源性缺水地区加强水资源管理的必然发展趋势。

探索黄河流域典型区域基于目标 ET 的水资源管理新模式，将黄河水资源管理和控制范畴从河川径流扩展到流域广义水资源范畴，实现区域河川径流调控和区域 ET 调控的双重控制，从而提高流域

水资源管理调度的整体水平。

本书共由 11 章构成：第 1 章介绍了国内外确定目标蒸散发的研究现状以及研究区域背景，并对区域目标 ET 的计算方法和思路进行了可行性分析；第 2 章明确了目标 ET 的定义和内涵，并构建了目标 ET 的分项指标体系；第 3 章明确了区域目标 ET 的定量计算过程、方法和评估指标体系；第 4 章介绍了黄河典型研究区域的背景，基于 ArcGIS 的分布式水文模型 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)，计算天然 ET 及耕地 ET；构建基于地表温度与归一化植被指数的 ET 遥感估算模型；第 5 章构建了区域目标 ET 的计算模型和方法体系，并以黄河典型区域为计算实例进行了计算验证；第 6 章对引用黄河水灌溉的区域进行了二期水权转让模式的研究，提出了 4 种新的水权转让模式；第 7 章针对黄河流域引黄灌区的水权转让的相关补偿标准问题，探讨了水权转让的农业风险补偿、生态实偿、水管单位补偿的内容、计算方法和公式，以内蒙古自治区鄂尔多斯市为实例进行了计算和分析；第 8 章建立了基于径流与蒸散发 (R-ET) 融合的黄河流域水资源管理的模式；第 9 章分析了目标 ET 的调控重点和措施，建立了基于遗传算法的目标 ET 的优化配置模型；第 10 章论证了基于 R-ET 融合水资源管理的若干保障措施；第 11 章回顾和总结了本书的所有研究内容，并对下一步要进行的工作进行了展望。

在本书的研究、撰写和出版过程中，许多专家给予了专业的指导和无私的帮助，他们是：大连理工大学水环境研究所所长许士国教授；清华大学水资源研究所所长倪广恒教授；黄河水利科学研究院院长时明立教授、副院长姚文艺教授、总工姜乃迁教授，水资源研究所所长何宏谋教授、总工蒋晓辉教授、董国涛博士；黄河水利职业技术学院院长刘国际教授、副院长王卫东教授、副院长杨士恒教授、教务处处长焦爱萍教授、科研处处长王付全教授、副处长谷立新教授，土木水利学院院长张春满教授，测量工程学院院长陈琳教授，水利工程学院院长罗全胜教授，水资源系主任赵志贡教授，在此深表感谢。同时，感谢黄河水利职业技术学院靳晓颖老师、贾

洪涛老师、刘翠老师、汪明霞博士、陈西良博士、徐鹏老师、张鹏飞老师、李忠老师、刘洪波老师、杨毅老师，他们参与了本书的成稿和校对工作。

本书的研究和出版工作得到了国家自然科学基金——河南省人才培养联合基金项目“河流洪水资源利用的生态补偿机理及消纳阈值研究”(U1304503)、河南省教育厅科学技术研究重点项目“黄河流域引黄灌区二期水权转让模式及补偿标准研究”(14A570002)、开封市2014社会发展科技攻关计划“基于多元和模糊的开封市水资源可持续利用技术研究”(1403150)等项目的资助，在此一并致以诚挚的谢意。

由于时间和作者水平所限，本书内容还有待完善和继续深入研究，书中错误和不足之处敬请读者和有关专家给予批评指正。

作 者

2015年5月于开封汴西湖畔



目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 研究现状	3
1.3 研究目标和内容	6
1.4 研究手段及技术路线	7
第 2 章 目标 ET 的相关概念和分项指标体系	10
2.1 ET 的相关属性	11
2.2 目标 ET 的定义和内涵	12
2.3 目标 ET 的制定原则	14
2.4 目标 ET 的分项指标体系	15
2.5 小结	20
第 3 章 区域目标 ET 定量计算方法	22
3.1 区域目标 ET 的计算过程	22
3.2 目标 ET 的分类计算方法	23
3.3 目标 ET 的评估方法	27
3.4 小结	31
第 4 章 典型区域实际 ET 计算	32
4.1 研究区域背景	32
4.2 ET 计算采用模型	37
4.3 基于 SWAT 模型的区域实际 ET 计算	42
4.4 基于地表温度 (LST) 与归一化植被指数 (NDVI) 的 ET 计算	52
4.5 小结	58
第 5 章 典型区域目标 ET 计算和评估	60
5.1 第一环节: 区域目标 ET 计算方案设定	60
5.2 第二环节: 区域目标 ET 计算	62
5.3 第三环节: 区域目标 ET 的评估	71
5.4 小结	76

第 6 章 引黄灌区二期水权转让模式研究	77
6.1 现代农业节水水权转让	78
6.2 跨地市水权转让	81
6.3 国家投资节水项目水权转让	83
6.4 扬黄灌区水权转让	87
6.5 小结	90
第 7 章 水权转让补偿标准研究	92
7.1 转让费用标准	92
7.2 水权转让补偿标准	94
7.3 水权转让补偿标准计算实例	101
7.4 小结	103
第 8 章 基于 R-ET 融合的水资源管理模式	105
8.1 R-ET 融合的水资源管理	105
8.2 研究实例	107
8.3 分项 ET 的调控及削减可行性	109
8.4 区域节水方案设计	112
8.5 小结	113
第 9 章 区域目标 ET 的优化配置	114
9.1 区域土壤水资源 ET 分析	114
9.2 目标分项 ET 的调控重点	117
9.3 基于遗传算法的目标 ET 优化配置	119
9.4 小结	126
第 10 章 实现 R-ET 融合的水资源管理保障措施	128
10.1 建立基于 ET 的水资源管理体系	128
10.2 建立基于 ET 的水资源管理组织实施体系	131
10.3 加大对节水建设的资金投入	133
10.4 采取综合措施做好农业节水	133
10.5 合理调整种植结构	135
10.6 积极利用多种水源发展农业节水	135
10.7 工业和生活节水措施	135
10.8 小结	136
第 11 章 结论与展望	137
11.1 结论	137
11.2 展望	140
参考文献	141

绪 论

1.1 引 言

黄河是我国第二大河，是西北、华北地区重要的供水水源，根据流域1919—1975年56年系列资料统计，多年平均天然河川径流量580亿 m^3 ，地下水资源的淡水总量约为377.6亿 m^3 ，可开采且与地表水资源不重复的地下水资源总量约为137.5亿 m^3 。1987年国务院批准了《黄河可供水量分配方案》，在580亿 m^3 天然河川径流量中扣除210亿 m^3 低限输沙水量之后，将370亿 m^3 可供水量分配到沿黄各省（自治区）。该方案协调了流域各省区之间的用水关系，保证经济社会持续、稳定、协调发展。黄河流域地下水水权到目前为止还未明确分配。

目前黄河水量调度和管理主要依据国务院“八七”分水方案、《黄河水量调度条例》和有关取水许可管理的规定，采取的主要措施包括三个方面：一是实行取水许可总量控制管理，控制省区用水规模；二是对省区年度实际引黄用水实行总量控制；三是对省际断面下泄流量实行控制，确保达到规定的流量指标。以上措施确保了黄河不断流，省界和重要控制断面基流增加，保证了流域特别是河口地区供水安全，改善了部分供水区的人畜饮水条件，促进了当地经济和社会稳定发展。尽管黄河水量调度取得了明显的社会效果、生态环境效果和经济效果，但有些省区的引黄耗水量仍然超过总量控制指标。根据1988—2005年《黄河水资源公报》统计，多年平均引黄耗水总量超国务院“八七”分水方案正常年份指标的有内蒙古、山东两省（自治区），宁夏回族自治区不少年份也超过指标。与统一调度以来的1999—2005年逐年分水指标相比，年均实际引黄耗水总量超年度分水指标的有青海、甘肃、宁夏、内蒙古和山东五省区，其中宁夏、内蒙古年均分别超过分水指标7.29亿 m^3 和13.86亿 m^3 。

另外，由于黄河流域地下水水权分配的缺位，使得黄河流域地下水资源的管理几乎空白。黄河流域城市和工矿区需水量越来越大，由于地表水可供水量有限，且地表水取水许可的管理力度不断加大，城市和工矿区需水量逐渐趋向于主要依靠地下水作为供水水源，使得地下水开采量逐年增加，造成严重超



采,尤其在工业和城镇生活用水方面,地下水的利用量增加更为迅速。据统计,黄河流域 1980—2005 年的 25 年间,地下水供水量从 93.27 亿 m^3 增加到 135.11 亿 m^3 ,增加了 41.84 亿 m^3 。在黄河流域有些地区,地下水和黄河河川径流联系极其密切,地下水的开采等于在一定程度上袭夺了黄河河川径流,如果加上这部分水量,有些省区可能超出总量控制指标更多。

造成上述局面的根本原因在于目前的水资源管理主要侧重于供水管理,调控的是供水量,忽视了水资源在使用过程中的循环转化与消耗,现实需求呼唤新的水资源管理模式。

ET (evapotranspiration) 即蒸发、蒸腾,其物理意义是指水分从地球表面移向大气的过程,包括土壤与植株表面液态水或固相水的蒸发和植物的蒸腾。区域 ET,指区域的“真实”耗水量,是地表水平衡的关键要素。在气候不出现巨变的情况下,区域内的降水相对稳定,因此 ET 的大小就决定了地表径流输出量。在干旱半干旱地区,随着全球气候变化和人类活动的加剧,ET 逐渐增大,导致径流衰减、地下水亏缺,因此,控制 ET 是节约水资源的根本手段,建立一种以 ET 管理为核心的新型水资源管理模式成为当务之急。

ET 管理,就是以耗水量控制为基础的水资源管理,是资源性缺水地区加强水管理的必然趋势。在 GEF 海河流域水资源与水环境综合管理项目中,世界银行将 ET 管理作为项目的核心。世界银行提出 ET 管理的理念是从 2001—2005 年实施的利用世行贷款发展节水灌溉项目中的“真实节水”概念发展而来的。海河流域属资源性缺水地区,为解决这一地区的水资源供需矛盾,国家和地方政府投入了一定资金发展节水灌溉。但是,随着节水灌溉面积的扩大和灌溉水利用效率的提高,海河流域地下水超采的局面并没有得到明显改善。由此可以认识到,通过工程措施提高水的利用率主要是减少了取用水量,属工程性节水;而在海河流域这样的资源性缺水地区,更应当关注的是资源性节水,也就是世行提出的“真实节水”,即减少耗水、控制 ET。

黄河流域也属于资源性缺水地区,以“耗水”管理替代“取水”管理,控制区域 ET 有望实现“真实”节水。引入区域 ET 概念,将黄河水量分配方案从河川径流分配的范畴,扩展到区域广义 ET 分配范畴,并借助现代遥感技术,实现河川径流调控和区域 ET 调控双重控制,提高流域水资源管理调度的整体水平。黄河流域 ET 管理尚属空白,本研究以黄河流域典型耗水区为研究对象,研究基于区域耗水量的水资源调控的关键技术,为黄河流域 ET 管理的推广提供技术支撑。



1.2 研究现状

1.2.1 国内研究现状

根据 ET 管理的新理念,从大空间尺度上的流域水资源宏观管理的角度出发,ET 的概念也就从传统的狭义 ET 拓展到了广义 ET,即流域/区域的真实耗水量,它既包括传统的自然 ET,也包括人类的社会经济耗水量(可称之为人工 ET),是参与水文循环全过程的所有水量的实际消耗^[1-4]。据此,广义 ET 包括以下三个组成部分:

(1) 传统意义下的 ET,即土壤、水面蒸发以及植被蒸腾。

(2) 人类社会在生活、生产中产生的水量蒸发。

(3) 工农业生产时,固化在产品中且被运出本流域/区域的水量(称之为“虚拟水”,此部分水量对于本流域或区域而言属于净耗水量)。

目前,国内外有关蒸散发(ET)的研究比较多,从研究的空间尺度上来看,主要包括以下三个方面:在植株微观尺度上,主要集中于对植被吸收、散失水分的生理过程的研究^[5-8];在农田中观尺度上,与植被的具体生长环境相结合,定量研究蒸发蒸腾^[9-12];在区域/流域宏观尺度上,利用分布式水文模拟和遥感反演两种方式研究大空间尺度范围内的蒸发蒸腾^[13-15]。其中,农田中观尺度和区域/流域宏观尺度上的 ET 的定量研究是实现区域/流域水资源需求侧 ET 管理的技术支撑。

在农田中观尺度上,近年来国内外学者依据微观植被蒸腾蒸发机理,结合农田微气候条件相继提出了非充分灌溉、调亏灌溉以及控制性根系交替灌溉等诸多农田节水灌溉方式^[16-18],其实质是通过调节农田蒸发蒸腾的方式,实现在粮食不减产或少减产的前提下,减少水资源的供给量,提高水资源的利用效率。这也是大空间尺度上的 ET 管理的发端之处,为在生产实践中进行蒸发蒸腾量的调控做出了有益的探索,为进一步在流域/区域宏观尺度上研究蒸发蒸腾量的调控措施奠定了基础。

综上所述,分布式水文模型和遥感技术是目前计算大空间尺度上 ET 值的两种比较成熟的途径,是实施 ET 管理的基本技术手段。

ET 管理的理念是世界银行的专家从 2001—2005 年实施的利用世界银行贷款发展节水灌溉项目中的“真实节水”的概念发展而来的。大空间尺度上的 ET 管理理念肇始于 GEF 海河流域水资源与水环境综合管理项目,其提出的背景是海河流域虽已实施多年的节水灌溉项目,但随着节水灌溉面积的扩大和渠系水利用系数的提高,地下水长期超采、入渤海水量大幅度减少、地面沉



降、海水入侵等生态环境恶化问题仍未得到有效缓解^[19]。

在区域 ET 管理研究方面,胡明昱等认为 ET 是北京市农业用水最主要的消耗量,利用遥感技术监测 ET 值不仅可以制定合理的区域灌溉用水定额,提高地表水与地下水的监测与管理水平,还可以为政府部门进行流域水资源管理和区域水资源利用规划提供决策依据^[20]。梁薇等介绍了 ET 的基本概念和计算方法,并以馆陶县为例,计算了 2002—2004 年该县项目区的 ET 值,并利用 ET 值和年均地下水允许开采量对馆陶县的水资源进行水权分配以实现地下水的可持续利用^[21]。赵瑞霞等从海河流域面临的严峻水资源形式入手,把基于 ET 管理的以供定需的水资源配置方式应用于河北省临漳县,实现了区域水资源的可持续发展和利用^[22]。

王浩等依据水资源的特性,对土壤水资源进行了重新定义,并结合其动态转化关系,以消耗项——ET 为基础,剖析了土壤水资源的消耗结构和效用,将区域土壤水资源的消耗效用分解为 3 部分:高效消耗(植被蒸腾消耗)、低效消耗(植被的部分棵间蒸发)和无效消耗(裸地和植被的部分棵间蒸发)。此外,还按照是否参与生产,又将高效消耗和低效消耗作为生产性消耗,无效消耗由于其参与水循环而被认为是非生产性消耗,并以黄河流域为例,采用 WEP-L 分布式水文模型,对土壤水资源的消耗效用进行了分析^[23]。

汤万龙等从宏观上探讨了一种基于 ET 的水资源管理模式,定性构建了基于 ET 的用水分配以及用水转换模型^[4]。王晓燕等以河北省馆陶县为例,通过计算馆陶县的 ET 值,利用 ET 技术进行水权分配,为馆陶县的水资源开发利用和保护提供了理论支持^[24]。蒋云钟等基于真实节水理念,提出了基于流域或区域 ET 指标的、以可消耗 ET 分配为核心的水资源合理配置技术框架。该框架以分布式水文模型、多目标分析模型、水资源配置模拟模型等组成的模型体系为支撑,包括了可消耗 ET 计算、可消耗 ET 分配和 ET 分配方案验证等技术流程,围绕 ET 指标进行水平衡分析与分配计算,并以南水北调中线工程实施后北京市水资源的合理配置问题为实例进行了应用研究^[25]。

殷会娟等认为基于 ET 的水权转让,内涵就是控制区域真实耗水量,保持水权转让前后区域的净耗水总量不变,转让方出让的水量必须是节约的净耗水量,接收方必须先采取措施降低高耗水 ET^[26]。王晶等提出了基于 ET 技术降低蒸腾蒸发以实现节水的理念,并将其应用于河北省馆陶县,提高了水资源利用效率,推动了海河流域资源性缺水地区水资源的可持续利用^[27]。李京善等阐述了 ET 分类及其实用的确定方法,针对 ET 管理在农业用水规划和管理中的应用,详细介绍了其应用步骤,并以成安县为例,说明了 ET 管理在资源性缺水地区农田灌溉用水管理中的显著成效^[28]。

王浩等针对流域/区域水资源匮乏程度日益严重的情势,立足于水循环全



过程,以水资源在其动态转化过程中的主要消耗——蒸发蒸腾(ET)为出发点,全面论述了在现代水资源管理中开展以ET管理为核心的水资源管理的必要性和可行性,并以黄河流域土壤水资源为研究实例,在采用WEP-L分布式物理水文模型对全流域水循环要素系统模拟的基础上,开展了黄河流域土壤水资源数量和消耗效用分析,结果表明,立足于区域/流域水循环过程,开展以“ET管理”为核心的水资源管理,不仅可以避免水资源的闲置而且也有利于从“真实”节水的角度提高水资源的利用效益,缓解区域/流域水资源的匮乏程度,是对传统水资源需求管理的有益补充^[29]。魏飒等2010建立了基于ET理念的水资源平衡关系,分析了项目区可利用水资源量及耗水量(及ET值),得出了不同水平年下的供需平衡结果,为缺水地区的水资源供需平衡提供了一种新的分析依据^[30]。

1.2.2 国外研究现状

Tang, Q. 等基于网格的分布式生物水文模型 DBHM (Distributed Biosphere Hydrological Model) 建立了包含了生物模型 SiB2 和水文计算部分,进行水循环与能量交换过程的耦合模拟^[31-32]。Yang D 和 Verdin, K. L 等建立了基于 GIS 平台的空间信息库和气象资料,这些是模型的基础数据,其中气象资料包括日降水量、日平均气温、日最高及最低气温、日平均风速、日相对湿度、日照时间以及日云量;空间信息库资料包括 DEM (Digital Elevation Model)、河网水系、坡面生成、子流域划分、土壤类型、植被类型、土地利用类型^[33-34]。Pfaffstetter, O 建立了子流域编码的方法,此方法利用 DEM 生成的水流方向、水流长度、汇流累积量结果,划分子流域,并对其编号^[35]。模型中的土壤分类源于国际粮农组织和联合国教科文组织 (FAO-UNESCO) 的全球土壤分类。Siebert, S. 对土壤湿度、饱和状态土壤张力及土壤孔隙度等土壤的物理参数进行了相应的分析和取值^[36]。Wiegand, C. L. 对植被的分布和季节变化利用逐月的植物叶面积指数 (Leaf Area Index, LAI) 和光合作用有效辐射比 (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, FPAR) 来表示,细致地考虑了下垫面植被在大气-土壤之间物质能量循环中的作用^[37]。

根据对国内外研究现状的分析,可知研究主要集中在对实际 ET 的定量计算和利用上,而对于目标 ET 的定量研究较少。基于目标 ET 的水资源管理,是针对一定范围(区域)内的综合 ET 值与当地的可利用水资源量的对比关系,进行水资源分配或对 ET 进行控制的管理办法,可以有效地克服传统水资源管理模式的弊端。因此,开展对区域目标 ET 的确定及配置研究,是以“耗水”管理代替“取水”管理的重点和中心,也是要迫切解决的问题。



1.3 研究目标和内容

1.3.1 研究目标

(1) 区域目标 ET 的确定方法。结合区域的实际情况,以其水资源条件为基础,以生态环境良性循环为约束,满足经济持续向好发展与和谐社会建设要求,明确目标 ET 的概念、构成及量化方法。

(2) 区域目标 ET 的评估和调整。根据计算得到的区域目标 ET,以可持续判断原则、公平性原则和高效原则,对方案进行评估,从而对目标 ET 通过分项进行调整和配置。

(3) 区域二期水权转让模式及转让标准研究。针对区域水资源短缺的问题,对宁夏和内蒙古地区的引黄灌区二期水权转让模式进行探讨,提出新的水权转让模式,分析其优势和劣势,判断其可行性,并确定水权转让标准的计算方法。

1.3.2 研究内容

(1) 制定计算方案集。目标 ET 的计算需要考虑当地的降水量、入境水量、出境水量、入海水量以及当地水资源的蓄变量,不同水平年的水资源条件、水利及农业技术发展状况、经济社会发展水平等,通过区域水资源配置模型计算生成方案集。

(2) 计算区域目标 ET。从黄河流域区域目标 ET 管理的系统环节组成出发,在探讨目标 ET 的基本属性的基础上,提出目标 ET 的定义、内涵及其制定原则,重点分析并构建区域目标 ET 的分项指标体系。分项目标 ET 包括不可控 ET 和可控 ET,不可控 ET 利用分布式水文模型和遥感监测模型互为校验得到;可控 ET 主要包括灌溉耕地 ET 和居工地 ET,灌溉耕地 ET 利用土壤墒情模型和蒸散发模型计算,居工地的工业生活用水 ET 通过定额和耗水率计算。

(3) 目标 ET 的评估和调整。用分项综合的方法计算得到的区域目标 ET 结果,通过评估指标体系进行评估和调整,评估时要考虑以下原则:可持续的判断原则、公平性原则、高效的原则。

(4) 选择黄河流域的典型区域鄂尔多斯市为研究区域和计算实例,对鄂尔多斯市按照上述环节进行目标 ET 的计算和分配。以点带面,探索黄河流域典型区域的基于目标 ET 的水资源管理新模式,将黄河水资源管理和控制范畴从河川径流扩展到黄河流域广义水资源范畴,实现区域河川径流调控和区域 ET



调控双重控制,从而提高流域水资源管理调度的整体水平。

(5) 对宁夏和内蒙古地区的引黄灌区未来二期水权转让模式进行了探讨,提出四种水权转让模式:现代农业节水水权转让、跨地市水权转让、国家投资节水项目水权转让、扬黄灌区水权转让。对以上四种水权转让模式进行可行性分析,在对每种模式的有利条件、不利条件研究的基础上,得出每种模式是否具有可行性的结论。

(6) 针对黄河流域引黄灌区的水权转让的相关补偿标准问题,确定水权转让的农业风险补偿、生态实偿、水管单位补偿的内容、公式和计算方法,以内蒙古自治区鄂尔多斯市引黄灌区的水权转让一期项目为研究区域和计算实例,对其农业风险补偿、生态补偿和水管单位补偿进行计算,从而验证引黄灌区水权转让费用构成中的补偿费用定量计算的准确性。

1.4 研究手段及技术路线

1.4.1 研究手段

(1) 目标 ET 是指在一个特定发展阶段的流域或区域内,以其水资源条件为基础,以生态环境良性循环为约束,满足经济持续向好发展与和谐社会建设要求的可消耗水量。基于目标 ET 的水资源配置用耗水量代替需水量,突出了资源节水理念,是未来水资源管理的发展趋势。目标 ET 的计算需要联合应用水资源配置模型、分布式水文模型、遥感方法和土壤墒情模型等。整个计算过程包括“自上而下、自下而上、评估调整”三个环节。第一环节:自上而下,制定计算方案集;第二环节:自下而上,计算区域目标 ET。第三环节:目标 ET 的评估和调整。选择典型区域鄂尔多斯市为研究实例,按照上述环节进行目标 ET 的计算和分配。

(2) 黄河流域引黄灌区未来二期水权转让模式研究,首先需要分析研究区域一期水权转让的进度和效果,在此基础上,采用国家政策层面分析、优劣势对比分析等方法,对提出四种水权转让模式进行可行性分析,决断每种模式是否具有水权转让可行性。针对黄河流域引黄灌区的水权转让的相关补偿标准问题,采用机会成本法、影子工程法、费用分析法等方法,确定农业风险补偿、生态实偿、水管单位补偿的内容、公式和计算方法,以鄂尔多斯市引黄灌区为计算实例进行验证。

1.4.2 技术路线

黄河流域典型区域目标 ET 的确定及配置研究的技术路线在时间和过程上



大体上分五个阶段：资料搜集和系统分析为初级阶段；目标 ET 分项指标体系构建为第一阶段；目标 ET 定量方法确定为第二阶段；计算实例模型验证为第三阶段；基于目标 ET 理念的黄河流域水资源管理模式建立为第四阶段。这五个阶段前后衔接，依次递进，环环相扣，最后达到本项目的研究目的。

由于目标 ET 的定量计算和分析与所研究黄河流域当地的实施措施、水资源状况、水环境现状、社会经济情况等密切相关，因此需要进行大量翔实的实际调查工作，了解掌握研究区域的相关数据资料。首先，利用现场调查、查阅文献等方式进行资料收集，对国内外研究现状、存在的问题、解决的思路进行分析；然后，用理论分析结合实际区域情况的方法对目标 ET 的分项指标体系进行构建，用基于 Arc View Swat 分布式水文模型、土壤墒情模型等计算黄河流域典型区域的目标 ET，用多目标遗传算法数学模型对基于目标 ET 的水资源进行分配；最后，提出基于 R-ET 融合的水资源管理模式及相应的保障措施。

本书具体的技术路线如图 1.1 所示。

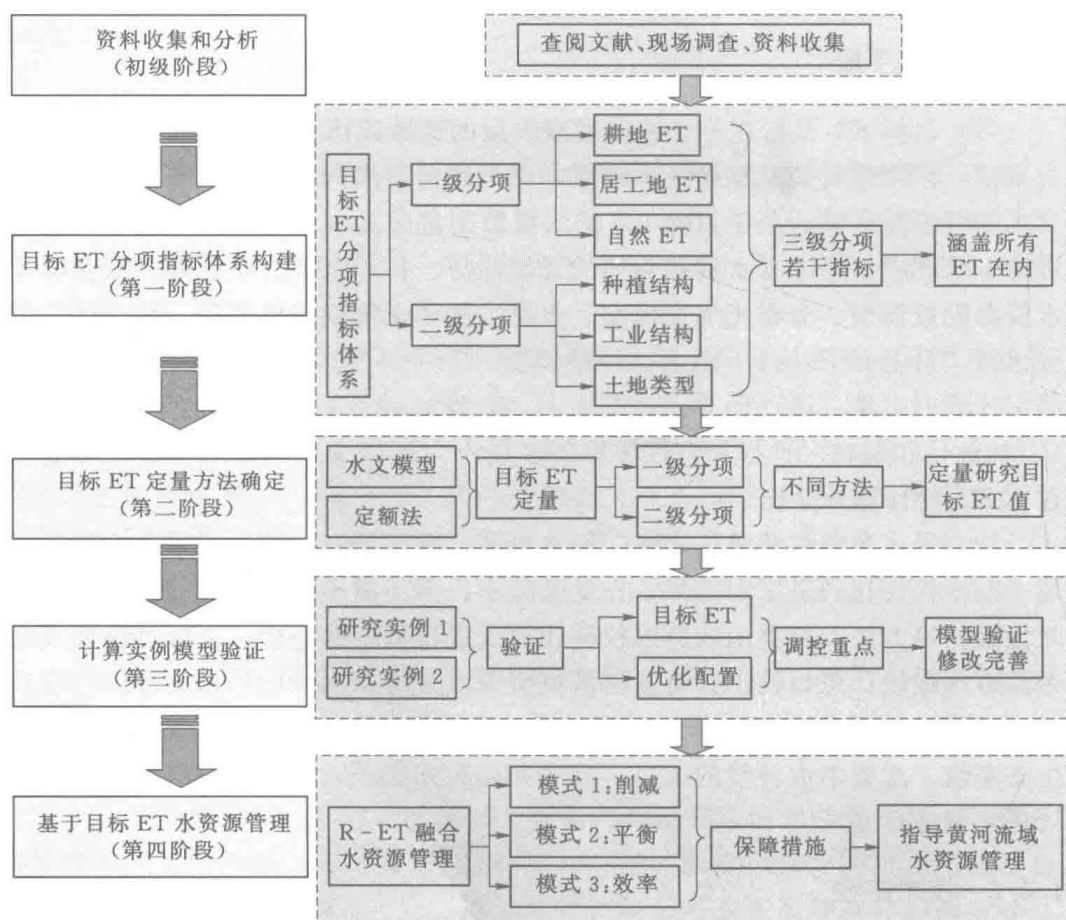


图 1.1 技术路线



1.4.3 本书结构框架

本书内容分为 11 章，各章节之间的关系及结构框架如图 1.2 所示。

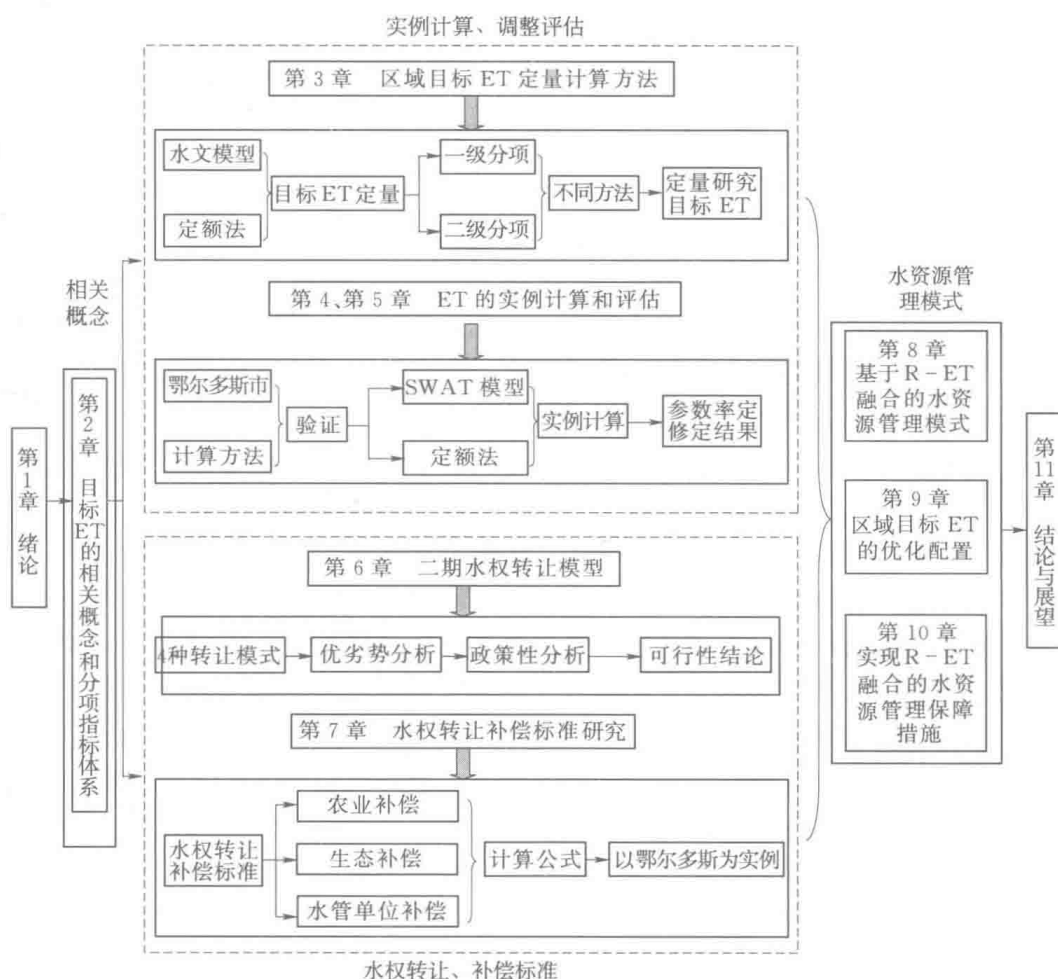


图 1.2 章节结构框架图