

Y 937295

分类号 \_\_\_\_\_

密 级 \_\_\_\_\_

UDC \_\_\_\_\_

单位代码 10733

# 甘肃农业大学

# 学 位 论 文

张掖市黑河干流区  
水资源承载能力与节水型社会建设研究

The Carrying Capacity Analysis of Water Resources in  
Heihe Trunk Areas and Countermeasures Study of  
Water-saving Society Construction in Zhangye

王明权

指 导 教 师 李效栋 教授（高工）（甘肃省水利厅 兰州 730070）

张新民 教授（高工）（甘肃省水利厅 兰州 730070）

学科专业名称 农业水土工程 研 究 方 向 水资源管理与利用

申请学位级别 硕 士 论 文 提 交 日 期 2006年5月26日

论文答辩日期 2006年6月4日 学 位 授 予 日 期 2006年6月16日

答辩委员会主席 施垌林 教 授

评 阅 人 赵元忠 正高工

成自勇 教 授

2006年6月

## 中文摘要

黑河流域地处我国西北内陆干旱区,黑河中游是具有悠久历史的古老农业区之一,在2000多年以前就开始屯田垦殖,开发利用水资源的历史源远流长,现在已成为重要的商品粮基地。研究区内水资源的合理开发利用和调配问题由来已久,是伴随当地社会发展同步出现的问题。近年来,由于黑河流域中游张掖市,尤其是张掖市黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县三区对水资源的不合理规划、开发、利用导致了一系列的社会和生态环境问题。主要表现为黑河中下游地区的用水矛盾加剧,水事纠纷增多;生态环境恶化,天然胡杨林和灌木林衰败甚至死亡,额济纳旗沦为沙尘暴发源地之一。为了合理利用水资源,用科学的方法研究预测水资源在人为影响下对社会发展和支撑能力,为促进地方社会经济发展、人与自然和谐相处提供理论依据是十分必要的。

本文应用主成分分析方法,分析了张掖市黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县三地的水资源承载力的驱动因素。结合黑河流域的水资源开发利用现状,建立了水资源优化配置模型和水资源承载力计算模型,综合研究了黑河中游张掖市甘州区、临泽县、高台县三地区的水资源合理配置、水资源的承载能力以及节水型社会建设。获得以下主要结论:

1、黑河中游研究区域内甘州、临泽、高台三地水资源承载力主要驱动因素可以划分为社会和自然两大系统。在社会系统内部经济因素起决定作用;在自然因素中区域的水资源来量最为重要,研究区的缺水是资源性缺水。

2、建立了水资源优化配置模型和承载力模型。通过对水资源优化配置模型和承载力模型的求解计算表明,研究区域内水资源在优化配置以后不能够满足当地社会经济发展和生态环境保护的需求,水资源成超载状态。

3、结合张掖市节水型社会建设的实际,提出了节水型社会建设的措施。节水型社会作为解决水资源短缺的主要途径,关键是要解决水权的分配。通过水权的分配,结合经济杠杆才能实现水资源的高效利用。

**关键词:** 黑河 水资源 水资源承载力 驱动因素 节水型社会

## Summary

Water is a main controlling factor for economic development and eco-environmental protection in the Zhangye basin, middle reaches of Heihe River. As one of ancient agriculture areas, water resources development and use history more than 2000 years in Zhangye basin. In recent years, due to the unreasonable development and utilization of water resources, lead to a series of society and ecology environment questions in the area. Such as the conflicts about water utilization in the area more than before, the decline of groundwater levels and natural diversiform-leaved poplar forest and bush forest die away even to death, and so on. It is very dangerous for future water exploitation and limits the supply of potable water. Therefore, to utilize and protect valuable water resources effectively, it is necessary to research bearing capacity of water resources under artificial influence.

Based on the principle component analysis method, the driving factors about bearing capacity of water resources in Ganzhou Linze and Gaotai were analyzed. According to the development and utilization about the present situation in Heihe River basin, the optimize distribution model of bearing capacity of water resources were established and forecast the bearing capacity of water resources in research areas. The research finding has shown as the following.

1 The driving factors about bearing capacity of water resources in research areas were divided into both social and natural system. In the social system economy is important factor and water resource quantity is crucial factor in natural system.

2 The optimize distribution model of bearing capacity of water resources were established and forecast the bearing capacity of water resources in research areas. The result shows that water resource quantity in research areas is incapable of social development and environmental protection requirement after optimize distribution.

3 Based on the practice of water-saving society in Zhangye, proposes some measures for water-saving society. Water right distribution is most important way to resolve water shortage. To achieve water resources utilization effectively, water right distribution must combine with economic lever.

**Keywords:** Heihe River, Water Resources, Bearing capacity of water resources, Driving factor, Water-saving society

# 第一章 绪 论

## 1 研究背景及意义

水是人类生存和发展不可替代的自然资源，是实现社会经济可持续发展的基础。我国水资源人均占有量不足  $2200\text{m}^3$ ，仅为世界平均水平的  $1/4$ ；北方地区人均只有  $990\text{m}^3$ ，不到世界人均值的  $1/8$ ，是世界上 13 个平水国家之一。全国 660 多座城市中大约有 400 多座城市缺水；城市、工业年缺水近 60 亿  $\text{m}^3$ 。国民经济高速增长对水资源的需求，以挤占农业以及生态环境用水为代价，从而出现了地下水漏斗、河湖萎缩、植被退化、沙尘暴泛起等严重的生态问题。水资源已经接近承载力的上限，水资源稀缺已经成为制约我国部分地区经济社会可持续发展的瓶颈。水资源稀缺也是我国在 21 世纪可持续发展面临的最主要问题之一。与水资源短缺的现实相比，我国水资源利用方式粗放，在生产和生活领域存在严重的结构型、生产型和消费型浪费，用水效率不高，节水潜力巨大。水资源的承载能力需要作进一步的分析计算，为社会经济的可持续发展提供决策支持。

黑河流域的水资源危机和生态环境恶化状况已经引起了国内外的极大关注。黑河流域水资源和生态环境危机的问题主要发生在中下游地区，水资源危机主要表现为中游的政策性缺水，特别是甘蒙分水之后，中游缺水的状况进一步加剧，而下游主要表现为生态环境危机，其原因是中游张掖地区过度开发利用水资源，导致额济纳旗入境水量逐年减少，引起生态退化，天然胡杨林和灌木林衰败甚至死亡，额济纳沦为沙尘暴发源地之一。同西北地区其他内陆河流域一样，水资源不合理开发利用是现代生态环境演变和恶化的主要驱动因素。张掖作为西北地区黑河中游的一个地区，被确立为中国节水型社会试点第一个城市。在这有水则为绿洲、无水则为荒漠的干旱地区，面对水资源供需矛盾急速加剧的现实，如何找出一条既能完成分水任务、又能促进地方经济社会发展、人与自然和谐相处的成功之路，成为摆在张掖面前的一大课题。

本文就目前张掖的水资源现状，以黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县为研究的区域。从水资源的现状出发，结合当地实际情况，分析水资源承载能力

的驱动因素,在水资源优化配置的基础上计算水资源承载能力。并为节水型社会建设联系当地实际提出了措施。为区域水资源合理利用,推动节水型社会的建设,有着十分重要的意义。

## 2 国内外研究进展

水是一切生物生存和人类生产活动的重要物质基础,尤其在干旱缺水的河西地区,水资源已成为发展工农业生产的主要制约因素。合理开发利用水资源,保证区域的水资源的供给,对区域国民经济的可持续发展具有极为重要的意义。随着国家加快西部地区的大力开发,水的矛盾更加突出。加强水资源的管理,使有限度的水资源得到持久的开发和永续利用,最大限度地满足社会经济发展和生态环境的需要,是应当采取的对策措施之一。水资源的承载能力到底有多大、是哪些因素影响水资源承载能力?这些问题的回答是合理利用水资源的前提和基础。下面主要综述水资源承载力的研究和进展。

### 2.1 水资源承载力的产生与发展

随着当今世界出现的人口压力、生产力的高速发展,资源短缺和环境恶化,资源、环境、人口、发展之间的矛盾日益尖锐。如何在有限的区域内承受越来越大的压力,如何协调资源、环境、人口、发展之间的关系,如何处理好开发与保护、人口与资源以及可持续发展的关系,已成为科学界研究的热点之一<sup>[1][2]</sup>。水资源是基础自然资源,是生态环境的控制性因素之一,同时又是战略性经济资源,是一个国家综合国力的有机组成部分,水资源正日益影响全球的环境和发展<sup>[3]</sup>。

随着经济建设全方位、大规模快速发展,我国工农业和城镇居民生活缺水状况日益加剧,我国北方地区尤为严重。与此同时,人们在改造利用水环境的过程中,还带有不同程度的盲目性、功利性与片面性等。常年引水灌溉在提高农业产量的同时,也产生了一定的负效应。灌水引起土壤盐碱化、次生盐碱化和沼泽化;对地下淡水资源采取掠夺式开发,导致地下水地面沉降,海水倒灌,水质退化;江河上下游地区水资源的不合理利用,造成江河断流或退化;城市和工业的迅速发展加剧了水质污染和水资源短缺。当前在西部大开发中,水是该地区生态恢复与重建的根本,包括退耕还林还草在内的一系列生态措施都有赖于水资源的

保证。区域水资源承载力研究正是从资源、环境、人口、发展之间的关系入手,研究经济发展与生态保护、水资源开发与保护以及开发的速度、规模、容量等的关系,研究不同时期同一区域内水资源开发利用、经济适度发展与人口合理承载的动态关系,保持区域资源、环境、经济的可持续发展,为提供宏观决策的科学依据。

承载力在生态学研究中的特定含义是指在一定环境条件下某种生物个体可存活的最大数量<sup>[4]</sup>。18世纪末期,马尔萨斯发表了著名的《人口原理》,为承载力概念赋予了现代性内涵,并带来了深远的影响<sup>[1] [5]</sup>;一方面,通过对古典经济学的影响,对20世纪的人口学和经济学研究产生了重要影响;另一方面,通过对Darwin的影响,为其以后生物学和生态学的发展带来了重要影响,导致19世纪末期承载力概念在这两个领域得到广泛的应用<sup>[6]</sup>。另外,在人类生态学领域, Park和Burgess于1921年在有关研究中应用了承载力概念,认为可根据某一地区的食物资源来确定该区的人口容量,带动了土地承载力领域的研究。许多学者围绕着土地承载力的各方面进行了研究,其中耕地、粮食、人口承载力研究始终是主流<sup>[7-9]</sup>。80年代后期考虑到土地承载力研究的局限性和片面性,在联合国教科文组织的资助下,开始了包括自然资源、能源以及智力、技术等在内的资源承载力的研究。

区域水资源承载力的理论研究,国际上单项研究的成果较少,大多将其纳入可持续发展理论中,如Joardor等从供水的角度对城市水资源承载力进行了相关研究,并将其纳入城市发展规划当中<sup>[10]</sup>。Rijberman, J等在研究城市水资源评价和管理体系中,将承载力作为城市水资源安全保障的衡量标准<sup>[11]</sup>; Harris着重研究了农业生产区域水资源农业承载力,将此作为区域发展潜力的一项衡量标准资源农业承载力<sup>[12]</sup>。

目前,承载力概念在人口、自然资源管理及环境规划和管理等领域都得到了广泛的应用和研究<sup>[13] [14]</sup>。在上述发展过程中大量的承载力定义和量化模型得以提出<sup>[15-17]</sup>。我国最早开展水资源承载力研究是在1985年,新疆水资源软科学课题组首次对新疆的水资源承载能力和开发战略对策进行了研究<sup>[18]</sup>。目前国内有关研究主要集中在城市水资源承载力和区(流)域水资源承载力两个方面,例如施雅风等对乌鲁木齐河流域水资源进行了量化分析研究<sup>[19]</sup>;许有鹏对新疆和田河流域的

水资源承载力进行了分析<sup>[20]</sup>；贾振邦等用多目标分析的方法对本溪市水环境承载能力进行了研究<sup>[21]</sup>；曲耀光等对黑河流域的水资源承载力进行了研究<sup>[22]</sup>；李丽娟等柴达木盆地水资源承载力研究<sup>[23]</sup>贾嵘等缺水地区水资源承载力模型研究<sup>[24]</sup>；程国栋对西北水资源承载力的研究<sup>[5]</sup>。

## 2.2 水资源承载力的定义

关于水资源承载力的定义，不少学者都提出了自己的观点，这些定义都在一定程度上反映了水资源承载力的内涵。其中较有代表性的定义有：

1985年新疆水资源软科学课题研究组提出了水资源承载能力是水资源可开发利用量，在满足维护生态环境用水要求后，所能支撑的工农业最大产值和人口数量<sup>[18]</sup>。

施雅风等认为“水资源承载能力是指某一地区的水资源，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”<sup>[19]</sup>。许有鹏提出：水资源承载力是指在一定的技术经济水平和社会生产条件下，水资源可以最大供给工农业生产、人民生活 and 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<sup>[20]</sup>。冯尚友对水资源承载力的定义是，在一定区域内、在一定物质生活水平下，水资源所能够持续供给当代人和后代人需要的规模和能力<sup>[25]</sup>。何希吾的定义为：一个流域、一个地区或一个国家，在不同阶段的社会经济和技术条件下，在水资源合理开发利用的前提下，当地天然水资源能够维系和支撑的人口、经济和环境规模总量<sup>[26]</sup>。

阮本清对水资源承载力的定义为，在未来不同的时间尺度上，一定生产条件下，在保证正常的社会文化准则物质生活条件下，一定区域(自身水资源量)用直接或间接方式表现的资源所能持续供养的人口数量<sup>[27]</sup>。惠泱河对水资源承载力的定义是：某一地区的水资源在某一具体历史发展阶段下，以可以预见的技术、经济和社会发展水平为依据，以可持续发展为原则，以维护生态环境良性循环发展为条件，经过合理优化配置，对该地区社会经济最大支撑能力<sup>[28]</sup>。

国家“九五”科技攻关“西北地区水资源合理配置与承载能力研究”项目大

纲则定义水资源承载能力为“在某一具体的历史发展阶段下,以可以预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性发展为条件,经过合理的优化配置,水资源对该地区社会经济发展的最大支撑能力”。

### 2.3 水资源承载力研究方法评述

国内目前关于水资源承载力的研究主要有背景分析法、常规趋势法、模糊评价方法、主成分分析法、系统动力学方法、多目标决策分析法。

背景分析法<sup>[29]</sup>,就是在一定历史时段内自然的和社会的背景相似的研究区域的实际情况作对比,推算对比区域可能的承载能力。例如对河西走廊石羊河流域与以色列全国的比较,两个区域天然降水资源量、面积、气候条件几乎相当,而以色列支撑的社会经济规模和水平比较高,从而推算出石羊河流域水资源还应有一定的承载潜力。这种分析法只采用一个或几个承载因子分析,因子之间相互独立,简单易行,但分析多局限于静态的历时背景,割裂了资源、社会、环境之间的相互作用关系,对水资源承载力这一复杂的自然—社会经济系统来说显得过于淡薄。

常规趋势方法<sup>[30]</sup>,是以可开采水量为基本依据,在满足维持生态环境的起码要求以及合理分配国民经济各部门的用水比例的前提下,适当考虑建设节水型农业和节水型社会,并在此基础上计算水资源所承载的工、农业及人口量。这种方法计算方便,直观简单,对某些承载因子的潜力估算的研究方法有借鉴意义。但水资源承载力的研究涉及水资源、宏观经济、社会、人口、环境、生态等众多因素,该方法较多考虑的是单承载因子的发展趋势,而忽略各承载因子之间的相互联系,且各因素之间相互促进、相互制约。仅从供水量和需水量简单地计算供需平衡计算不足以反映水资源承载能力。

模糊综合评判方法<sup>[31]</sup>,若仅从需水量和供水量简单地供需平衡计算还不足以全面反映水资源的承载能力,必需对那些影响水资源供需主要因素作全面分析,从不同角度和不同方面加以考虑。模糊综合评判可以提供一种有效途径,它是在对影响水资源承载能力的各个因素进行单因素评价的基础上,通过综合评判矩阵对其承载能力做出多因素综合评价。克服以上两种方法中因子间相互独立的局限性,从而可以较全面地分析出干旱区水资源承载能力的状况。但是模糊综合评判

是一种对主观产生的“离散”过程进行综合的处理,其方法本身存在缺陷,取大取小的运算法则会遗失大量的有用信息,模型的信息利用率低,当评价因素越多,遗失的有用信息就越多,信息利用率则越低,误判的可能性也就越大。将模糊综合评判运用于区域水资源承载力评价中,存在一定的局限性。

主成分分析法<sup>[32]</sup>,克服了模糊综合评判的缺陷,其目标就是要在力保数据信息丢失最小的原则下,对高维变量空间进行降维处理,即经过线性变换和舍弃一小部分信息,以少数的综合变量取代原始采用的多维变量。其本质目的是对高维变量系统进行最佳综合与简化,同时也客观地确定各个指标的权重,避免主观随意性,而水资源承载力评价的焦点正是如何科学、客观地将一个多目标问题综合成一个单一指标形式。

系统动力学方法<sup>[33][34][35]</sup>,系统动力学是一种定性定量相结合,系统、分析、综合与推理集成的方法,并配有专门的软件,为模型仿真、政策模拟带来很大方便,可以较好地把握系统的各种反馈关系,适合于进行具有高阶非线性、多重反馈、机理复杂和时变特征的系统问题,成为研究大系统运动规律的理想方法。它可以根据实际系统的情况和研究的需要,将变化率的描述分解为若干流率的描述。这样使得物理、经济概念明确,不仅利于建模,而且有利于政策实验以寻求系统中合适的控制点。但用该方法对长期发展情况进行模拟时由于参变量不好掌握,易导致不合理的结论,因而系统动力学方法大多应用于中短期发展情况模拟。

多目标决策法<sup>[36-40]</sup>,是选取能够反映水资源承载力的社会、经济、人口、生态环境等若干目标,影响这些目标的主要因素是相通的,而且目标之间又相互依存、相互制约。按照社会可持续发展的原则,不追求单个目标的优化,只追求整体的最优。用系统分析和动态分析方法研究不同水平年、不同策略方案下水资源所能承载的生态、经济、人口规模。对于多目标规划问题的求解,具有代表性的是采用切比雪夫求算法。总的来说,多目标决策分析模型及其求解方法的研究为水资源规划决策提供了新的思想和手段。利用多目标决策模型,可以将水资源系统(自然系统)与区域宏观经济系统(社会系统)作为一个综合体来考虑。在这个综合体中全面研究水资源开发利用与区域社会、经济、环境发展目标间的动态联系,供水需水间的动态联系,以及投资与效益间的动态联系等。近年来,随着计算机技术的发展和数学规划的日益完善,分析人员可以将精力更集中在模型建立、方

案构成和目标选择上，特别是由于经济、社会、资源、环境综合分析具有的决策内涵。

尽管当前对于水资源承载力的计算方法很多，但均存在不同程度的不足，由于水资源系统自身的复杂性、随机性和模糊性以及影响水资源承载力因素的多方面性、多层次性等，因此对水资源承载力的准确评价还有待进一步的研究。

## 2.4 水资源承载力的内涵

### 2.4.1 生态内涵

水资源承载力的生态内涵具有两层涵义：第一，水资源所承载的综合效用具有生态上的极限，水资源的开发利用应以不超过这种极限为前提；第二，由于水资源承载力具有极限涵义，所以当达到水资源承载力时，也必然意味着这一生态极限得到充分的利用。而且，水资源承载力的生态极限应当建立在水生态系统的整体性上，它至少包括3个方面：①水资源的开发利用量达到可更新水资源量；②水环境质量符合设定的使用功能要求，污染物的浓度值和累积值都应处于极限值以下；③满足水生态系统的安全性和生物多样性的需求以及区域宏观生态环境的用水需求。上述3个方面基本上构成了当前生态环境需（用）水量的研究内容<sup>[41][42]</sup>。

水资源承载力的生态极限是水资源存在承载极限的根本原因，也是水资源承载力的一个基本构成部分，水资源承载力的认识与分析都应以此为起点。应当指出，由于水生态系统具有一定的弹性，所以水资源承载力的生态极限具有一定的动态性。同时，水资源承载力的生态极限还与一定的生态建设和环境保护目标有关。

### 2.4.2 技术内涵

水资源承载力并非一个纯粹客观的概念，而是与人类作用相关，具有主观性的一面，<sup>[43]</sup>水资源承载力离不开特定的科学技术背景，这不仅在于水资源承载力的生态极限与特定的技术水平有关，而且在于通过优化管理或者提高科学技术水平，可以提高水资源对社会经济的承载能力<sup>[44]</sup>。不过，应当注意到，一般的水资源承载力定义中“在一定的技术水平下”的前提都包含了水管理这一方面，而由于水管理事实上也是社会经济的一部分（譬如它会涉及到社会经济结构），所以

一般定义中的“最大的人口或经济规模”也隐含了水管理这一方面。很显然，它同时既作为前提又作为承载对象会带来内在的矛盾，也会导致水资源承载力概念具有模糊性。因此，作为概念的水资源承载力应当区分出一般的技术水平和水管理两个方面，前者在特定的阶段对于社会经济而言具有一定的独立性和稳定性，后者则是水资源承载力的内在部分，当达到某一时期理想的水资源承载力时，就意味着达到了一种最优的水管理状态，换言之，一个具有极限涵义的水资源承载力内在地包括了水管理得到了最大程度的优化这一内涵<sup>[45]</sup>。

将水管理作为水资源承载力的内在部分，意味着对应的社会经济也是水资源承载力的内在部分，在一定的时期内，通过对社会总体技术或生产水平进行预测，就可以得到大致确定和唯一的水资源承载力，解释了水资源承载力的极限唯一性；通过提高不同时期的总体技术或生产力水平，可以提高水资源的承载能力，使水资源承载力在不同时期上具有跳跃性，又解释了水资源承载力在时间上的技术动态性。澄清这点非常重要，一方面，它决定了水资源承载力本身是否是一个内在一致的概念，而这对于建立水资源承载力的理论体系是基础性的；另一方面，它也同时决定了水资源承载力是否可测和可用；如果不能规定这种唯一性，水资源承载力就具有多个状态，这样就不大可能给出涵义明确、大小稳定的承载力，不但可能导致量化上的逻辑不一致性，而且可能导致在实用中不能给城市规划和决策以相对固定的参考依据。总之，水资源承载力具有特定的技术内涵，一方面，通过提高技术水平可以提高水资源的承载能力；另一方面，具有极限涵义的水资源承载力概念对应着最佳的水管理状态。当然，这通常只有在理想状态下才能发生。

#### 2.4.3 社会经济内涵

承载力概念最吸引人之处在于它似乎可以给出一个不依赖于社会经济而存在的客观极限，水资源承载力同样如此<sup>[46]</sup>。的确，如果水生态系统的生态极限可以确定并在此基础上实施水资源的开发利用和管理，将能够保证水生态系统的开发利用是可持续的，因此，从这个意义上讲，水资源承载力并不具有社会经济方面的特征，它只关心特定的社会经济系统是否超过了水资源和人类社会经济系统界面上的水资源最大利用通量及废物最大排放通量，而并不关心社会经济系统内部的资源配置及人口规模和经济规模究竟如何，后者属于社会经济优化和水资源

优化管理等另外的命题。不过,应当注意到,与水资源承载力的技术内涵类似,水生态系统的生态极限往往并不能脱离特定区域人口的价值观和具体的效用需求而确定,而且在相同的水资源利用和污水排放水平下,通过社会经济系统的优化(如产业结构调整),社会经济容量或规模会有所不同,这就使得水资源承载力不可避免地又具有社会经济方面的内涵。因此,水资源承载力不仅有一个自然生态方面的最大规模,而且有一个社会经济方面的最大规模<sup>[47]</sup>。

#### 2.4.4 时空内涵

水资源承载力还有一定的时空内涵:①水资源承载力是一定区域尺度上的水生态系统自身的承载力。可持续发展地域公平性的原则要求,满足本地区的发展需求应以不损害、不掠夺其它地区的发展需求为前提,同时还要求可持续性应以一定的地域尺度为基础<sup>[48]</sup>;②不同的时空尺度,相同的水资源量的承载力是不同的;③水资源承载的综合效用及其它约束因素如自然资源、劳动力资源和技术资源等都具有区域性;④水资源承载力在时间上是一个将来的概念;<sup>[49]</sup>⑤水资源承载力是一个长期性的概念,即它是自然水生态系统同人类长期相互作用关系的反映,具有一定的时间尺度,在量化计算时,某些变量应当取特定时段上的平均值。水资源承载力认识应建立在生态系统,特别是水生态系统的整体功能和全部生态经济服务的基础之上,并结合可持续发展理论,如可持续原则、可持续性、生存和发展等概念。

### 2.5 水资源承载力特点

**有限性:**水资源有限性是指在某一具体的历史阶段,水资源承载力具有有限的特性,即存在可能的最大承载上限,主要是因为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<sup>[50]</sup>。

**动态性:**水资源承载力的动态性体现在两个方面:一方面随着经济发展和技术进步,人类开发利用水资源的能力越来越强,因而可利用的水资源越来越大;另一方面由于节水和技术进步,提高水资源利用率,从而增加了单位水量的承载力<sup>[51]</sup>。

**多目标性:**水资源承载力的多目标性体现在区域发展模式和水资源开发利用

方式的多样性上,这些多样性使得某一区域的需水量和供水量均不相同,且相关的发展指标差异也很大,从而导致承载力数值不仅与区域发展模式有关,也与水资源配置模式有关,水资源承载的计算应在区域水资源合理配置的基础上进行。

不确定性:水资源系统本身受天文、气象、下垫面以及人类活动的影响,造成水文系列的变异,使人们对它的预测目前无法达到确定的范围。区域社会 and 经济发展及环境变化,是一个更为复杂的系统,决定着需水系统的复杂性及不确定性。两方面的因素加上人类对客观世界和自然规律认识的局限性,决定了水资源承载能力的不确定性,同时决定了它在具体的承载指标上存在着一定的模糊性。

从上面的论述可以看出,各个方面的专家学者关于水资源承载力从不同的方向和角度进行了研究。但是水资源承载力研究是属于评价、规划与预测一体化性质的综合研究。它以水资源评价为基础,以水资源合理配置为前提,以水资源潜力和开发前景为核心,以系统分析和动态分析为手段,以人口、资源、经济和环境协调发展为目标。由于受水资源总量、社会经济发展水平和技术条件以及水环境质量的影响,在研究过程中,必须充分考虑水资源系统、宏观经济系统、社会系统以及水环境之间的相互协调与制约的关系。因此,本文将水资源承载力定义为:某一地区的水资源在某一具体历史发展阶段下,以可以预见的技术、经济和社会发展水平为依据,以可持续发展为原则,以维护生态环境良性循环发展为条件,经过合理优化配置,对该地区社会经济发展的最大支撑能力。

### 3 研究的内容和方法

#### 3.1 本文研究内容

随着黑河流域的水资源调配全面实施,黑河进入下游的水资源量的增长,中游甘州区、临泽县、高台县三地的使用水资源量被压缩,使得水资源对甘州区、临泽县、高台县三地的社会经济影响制约尤为突出。分水以后的中游区水资源承载力研究目前比较薄弱。本文应用主成分分析方法,分析了张掖市黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县三地的水资源承载力的驱动因素。结合黑河流域的水资源开发利用现状,建立了水资源优化配置模型和水资源承载力计算模型,综合研究了黑河中游张掖市甘州区、临泽县、高台县三地区的水资源合理配置、水资源的承载能力以及节水型社会建设。为研究区内水资源的规划、可持续利用和环境

保护提供依据。

本文研究的内容主要包括以下几个方面；  
研究区域内水资源的开发利用现状；  
研究区域内水资源承载力驱动影响因素；  
建立水资源优化配置模型；  
建立水资源承载力计算模型；  
计算各个方面的水资源需求量和水资源承载力。

### 3.2 主要工作步骤与方法

#### 3.2.1 研究区选择

本文选取黑河干流中游地区甘州区、临泽县、高台县作为研究区域。主要是该地区研究程度较高，资料较为丰富，而且是中游人口密集、经济最为发达、水资源利用率高的地区。

#### 3.2.2 文献研究

收集、整理、阅读国内外关于水资源承载力研究方面的参考文献，了解把握该领域目前的研究进展和现状。

#### 3.2.3 研究方法

采取主成分分析方法研究区域内水资源承载力驱动因素，采用常规趋势法计算水资源的需求量，运用多目标规划模型计算水资源承载能力。

## 第二章 研究区概况

### 1 自然地理概况

#### 1.1 地理概况

黑河是我国西北干旱半干旱荒漠区的第二大内陆河，发源于祁连山中段北麓，出青海，向北流入甘肃河西走廊中部，北至内蒙古的额济纳旗盆地。流经青海省的祁连县，甘肃省的肃南、山丹、民乐、张掖、临泽、高台、金塔县(市)和内蒙古自治区的额济纳旗。流域南以祁连山为界，北与蒙古人民共和国接壤，东西分别与石羊河、疏勒河流域相邻。黑河流域有 30 多条支流，大多源近流短，水量很小，出山后消失在冲击扇地带。还有部分支流随着用水的不断增加逐步与干流失去地表水力联系。形成东、中、西三个独立的子水系。其中西部子水系包括讨赖河、洪水河等，也称北大河，归宿于金塔盆地；中部子水系包括马营河、丰乐河等，归宿于高台盐池—明花盆地；东部子水系即黑河干流水系，包括黑河干流、梨园河及 20 多条沿山小支流。黑河入内蒙后改称额济纳河(弱水)，最后注入居延海(内陆湖)。干流全长 821km，流域国土面积 14.3 万 km<sup>2</sup>，其中平原区面积 5 万 km<sup>2</sup> (含额济纳平原 3.4km<sup>2</sup>)，近 80% 的区域为基岩山地、戈壁及沙漠覆盖。

张掖市位于黑河干流中游地区，地理坐标为东经 97° 20' 至 102° 12'，北纬 37° 28' 至 39° 57'。张掖地处中国西部的甘肃省，因黄河穿境而过，全省分为河东、河西两部分。河西地区南部为高峻的祁连山地，北部为较低的走廊北山(泛指马鬃山、合黎山、龙首山)，南北山系之间夹着一条 1200 多公里的狭长、平坦的宽谷，称为“河西走廊”，是甘肃省最大的自然区。整个走廊地势平坦，土地肥沃，光热充足，绿洲灌溉农业十分发达，不仅是全国重要的商品农产品及加工基地，而且是古代丝绸之路的必经之地和现代东西交通的重要通道。张掖市就处在富饶美丽的“河西走廊”中段。东西长 465 km<sup>2</sup>，南北宽 148 km<sup>2</sup>，海拔高度 1200 米至 5565 米，处在青藏高原与内蒙古高原的过渡地带。土地总面积 4.2 万平方公里，占全省的 9.2%。南依祁连山地，与青海省海北藏族自治州门源县、

祁连县毗邻，北靠合黎、龙首二山，与内蒙古额济纳旗和阿拉善右旗接壤，中为走廊平原，地域狭长，东西通畅，水足粮丰，自古为东西交通的孔道和门户。

## 1.2 气候特征

黑河中游张掖位于欧亚大陆的中心部位，远离海洋，周围高山环绕，盆地气候主要受中纬度的西风带环流控制和极地冷气团影响，为大陆性干旱气候。具有温差大，降雨量小，蒸发大，湿度小日照长等特点。气候干燥，降水稀少而集中，多大风太阳辐射强烈，昼夜温差大，年平均气温 $7.6^{\circ}\text{C}$ ，平均日温差 $13-16^{\circ}\text{C}$ 。

从盆地内的张掖、临泽、高台等气象站多年的资料分析，黑河中游盆地气候水平变化，多年平均潜在蒸发量 $2043-2341\text{mm}$ 。降雨集中在6—9四个月，约占全年将水量的60%以上，降水最少的季节为12—2三个月，降水在时间上的分布极具有不平衡性。八级以上大风多年平均出现15—19天。相对湿度多年平均49—53%，季节性冻土深度109—123cm。见表1

表1 气象要素统计表  
Tab1. The statistics of weather edlements

地 区	测站海 拔(m)	气温( $^{\circ}\text{C}$ )			降水量 (mm/a)	蒸发量 (mm/a)	大风日 数(d)	沙尘暴日 数(d)	年最多 (次)
		年均	最高	最低					
张掖	1482.7	7.0	38.6	-28.7	129.0	2047.9	14.9	20.3	33
临泽	1453.7	7.6	39.1	-28.0	113.4	2341.0	21.7	13.1	29
高台	1332.2	7.6	38.7	-31	104.4	1932.4	9.1	16.1	26

## 1.3 水系与水文特征

黑河流域水系由35条独立的河流组成，除个别小河流发源于流域东部的大黄山以外，其它河流均发源于南部的祁连山区。黑河为一典型的内陆河，河川径流可明显划分为径流形成、利用和消失区。祁连山出山口莺落峡以上为上游区，有近代冰川发育，河床陡峻，水流湍急，是河川径流产流区；莺落峡至正义峡间河西走廊是流域中游，基本不产流，是流域中最主要的径流利用区；黑河进入下游阿拉善平原，北流300多公里，直达中蒙边境，东西居延海为其尾闾，是径流消失区，占流域面积23%的上游地区产生了流域92%的水量，而占流域面积77%的中下游地区则仅产生8%的水量。研究区属于黑河流域东片，境内有可供开发利用的大

小河流26条均发源于祁连山北麓。

黑河是研究区内最大的一条河流，源于祁连山，占黑河流域多年平均流量的42.8%；出山口后进入张掖盆地，自产径流也很少，大部分水量被引用，流经正义峡后进入内蒙，成为额济纳河，最后汇入居延海。莺落峡出山口多年平均流量 $15.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 最大为 $21.82 \text{ m}^3/\text{a}$ （1952）最小为 $10.22 \text{ m}^3/\text{a}$ （1973）。多年平均流量为 $49.15 \text{ m}^3/\text{s}$ ，6—8月为洪水期径流量占全年的70—80%，最大洪峰 $550 \text{ m}^3/\text{s}$ ，枯水期为12—3月，其余月份为平水期，流量变化主要受上游山区气候降水和冰雪消融量的控制。

梨园河是研究区域内的第二大河，流域面积 $2240 \text{ km}^2$ ，在梨园堡出山口多年平均径流量 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占黑河流域多年平均流量的6.7%；占流入张掖盆地多年平均流量的10.25%。出山口以后进入张掖盆地，经临泽灌区引用后，余水在临泽县鸭暖乡汇入黑河。

#### 1.4 区域水文地质概况

张掖盆地是一个具有完整的补给、径流、排泄过程的独立水文地质单元并具有典型的山前倾斜平原自流地水文地质特征。在这个单元中，通过地表水与地下水之间的相互转化，构成了一个完整统一的“河水—地下水—泉水—河水”的水资源系统。盆地内巨厚的砂砾卵石层，透水性极其良好，盆地基地和四周边界均有不透水或弱透水岩层分布，使良好的地下水汇聚场所，蕴藏着丰富的地下水资源。盆地地下水主要赋存于更新统和全新统含水层中。

受构造—地貌的制约，地下水成规律性的运动：自南部山区流向盆地北部河床，随着深度的增加径流强度呈递减趋势，河流出山口进入盆地流经洪积扇地带，大量渗漏补给地下水。这个地带渗漏量占地下水补给量的70%；这里不仅是地下水的补给带，也是地下水径流形成区。洪积扇群带的地下水沿着地形坡度方向向扇缘和细土平原运动，随着含水层导水性的减弱径流强度递减，这里成为地下水的溢出地带。而潜水蒸发地带则位于平原地带。另外，受河流径流、补给、排泄和人为灌溉等影响，流域地下水呈季节性和年季动态变化。

## 2 水资源开发利用现状

张掖市历史悠久，文化灿烂，是全国历史文化名城之一。5 千年前就有先民在这里繁衍生息。西汉元鼎六年（前 111 年）建张掖郡，这里遂成为军事战略要地，丝绸之路重镇，东西经济文化交流的通道。古代中国东部地区通往新疆、印度、巴基斯坦以及中亚等地的古“丝绸之路”横穿区境，张骞通西域，马可波罗游历东方，玄奘“西天取经”从这里经过。水作为生活不可缺少的一个组成部分，随着人类活动开始了其开发与利用。

### 2.1 水资源开发取得的成就

#### 2.2.1 水利建设蓬勃发展。

截止 2001 年底，全市建成大型灌区 8 处，万亩以上灌区 24 个，中小型水库 43 座，塘坝 35 座，总蓄水能力 2.02 亿立方米；新建、改建干支渠 893 条 4415 公里，其中：高标准衬砌 624 条 2734 公里；建成小水电站 19 座，装机总量 1.4 万千瓦，兴建提灌站 141 处，配套机电井 4433 眼，建成条田 13.6 万  $\text{hm}^2$ ，田间配套 11.6 万  $\text{hm}^2$ ，水利固定资产达 9 亿多元，形成了以中小型水库为骨干，井灌、提灌为补充，渠道、条田相配套的水利建设格局。2001 年 2 月 21 日，朱镕基总理主持召开第 94 次总理办公会议专题研究黑河流域治理问题。确定把黑河治理工作作为实施西部大开发战略的重点工程，在 3 年内投资 23.6 亿元（其中张掖 14.7 亿元），通过灌区节水改造与配套、水资源统一管理和调控、经济结构调整、生态建设和水资源保护等措施，实现了莺落峡多年来水 15.8 亿  $\text{m}^3$  时，正义峡下泄 9.5 亿  $\text{m}^3$ ，遏制下游生态恶化的趋势。这是张掖水利建设史上，投资最大，建设任务最重的一项标志性工程，三年治理完成后，大大提高了水资源利用效率，改善下游生态环境。2004 年全市国民经济各部门总用水量 23.78 亿  $\text{m}^3$ ，其中，农林牧业用水量 19 亿  $\text{m}^3$ ；工业用水 0.93 亿  $\text{m}^3$ ；生活用水 0.7 亿  $\text{m}^3$ ；生态用水 3.15 亿  $\text{m}^3$ 。

#### 2.2.2 水利建设效益显著增加。

水利工程设施的加强与完善，工程管理的科学化、规范化，在工农业生产发

展中产生了巨大的社会效益和经济效益,使得农业生产条件得到了很大的改善,有效灌溉面积由建国初期的6.94万 $\text{hm}^2$ ,发展到现在的306万亩,保灌面积由4.94万 $\text{hm}^2$ ,发展到16.54万 $\text{hm}^2$ 。近几年来,完成常规节水示范推广膜上灌溉6.7万 $\text{hm}^2$ 。高新节水技术从无到有,喷灌、滴灌、渗灌、无土栽培示范面积完成0.2万 $\text{hm}^2$ 。全市已解决50多万人,117.92万头牲畜的饮水困难问题,使一些山区、牧区群众用上了卫生的自来水。水利工程供水也由单纯的向农业供水发展到向工业、城镇、乡镇企业、农户等全社会、全方位供水,充分体现了水利不仅是农业的命脉,而且是整个国民经济的命脉。

## 2.2 水资源开发存在的主要问题

### 2.2.1 水资源严重短缺,供需矛盾相当突出。

张掖降雨稀少,蒸发能力很大,主要依靠过境水<sup>[52]</sup>。按照水利部《黑河水量分配方案》确定的正义峡下泄水量,区内人均水资源量只有1250 $\text{m}^3$ ,亩均水量511 $\text{m}^3$ ,分别为全国平均的57%和29%,依据国际标准,属中度缺水地区。按现有的人口增长速度,到2015年,人均水量将降为1000 $\text{m}^3$ ,属严重缺水地区。

此外,黑河干流径流年内分配不均,来水需水过程很不协调,且干流缺乏骨干调蓄工程,客观上加剧了水资源供需矛盾。经水资源供需分析,现状平水年区域缺水2.29亿 $\text{m}^3$ ,缺水率为10%左右。其中5~6月份黑河来水量占全年径流量的20.4%,同期灌溉需水量约占全年的35%,造成近4.67万 $\text{hm}^2$ 农田不能适时灌溉,成灾面积近2.67万 $\text{hm}^2$ ,时常引发一系列水事纠纷。

### 2.2.2 用水结构不合理,水资源利用经济效益低下。

由于历史传统原因,农业一直是张掖用水的绝对主体。2000年张掖农业、工业、生活、生态用水比例为87.7:2.8:2.2:7.4,而全国同期平均水平为63.7:20.7:10.1:5.5,见图2-1。

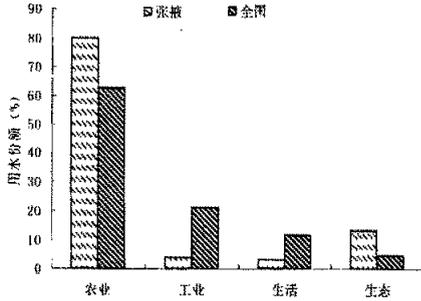


图 2-1 张掖与全国的用水比较 (2000)

Fig.2-1 Compare of water using Zhangye and Nation

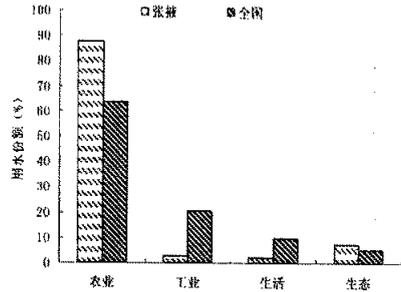


图 2-2 张掖与全国的用水比较 (2004)

Fig.2-1 Compare of water using Zhangye and Nation

2000 年，全国总供水量 5531 亿立方米，其中地表水源占 80.3%，地下水水源占 19.3%，其他水源占 0.4%；全国总用水量 5498 亿立方米，其中农业用水占 68.8%，工业用水占 20.7%，生活用水占 10.5%。张掖用水结构中农业用水比例相对过大，其中农田灌溉用水比例占农业用水的 90% 以上，这种“一头沉”的用水结构造成区域单方水 GDP 产出仅为 2.81 元，是全国平均水平的 1/6<sup>[60]</sup>。生活工业、农业、生态用水比例为 79.9：3.9：2.9：13.3，2004 年全国总用水量 5548 亿立方米，其中生活用水占 11.7%，工业用水占 21.2%，农业用水占 62.6%，生态用水（仅包括人为区域调水和部分河湖、湿地补水）占 4.5%，见图 2-2。资源利用经济效益低下，用水结构不合理。通过近几年黑河治理和建水型社会建设，用水结构发生了重大转变，截至 2004 年底，全市农业用水比例下调了近 8 个百分点，但仍然过大，结构仍不尽合理。

水资源利用效率与水资源形势不匹配。本地区水资源利用效率与水资源形势不匹配突出表现在：引水口门过多、渠系完好率低、工程配套差、用水方式粗放等多方面。张掖现状农田灌溉定额平均为  $10000\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，远高于全国平均水平  $6315\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，工业用水重复利用率仅为 45%，也远低于全国 72% 的平均水平，用水效率整体不高。

### 2.2.3 地下水资源未能充分利用

黑河流域自河流出口进入盆地以后，地表水与地下水历经四次转化，洪积扇群带河水转化为地下水、洪积扇缘带地下水转化为河水、细土带引河灌溉补给地下水及河床地下水补给河水，见图 2-3。

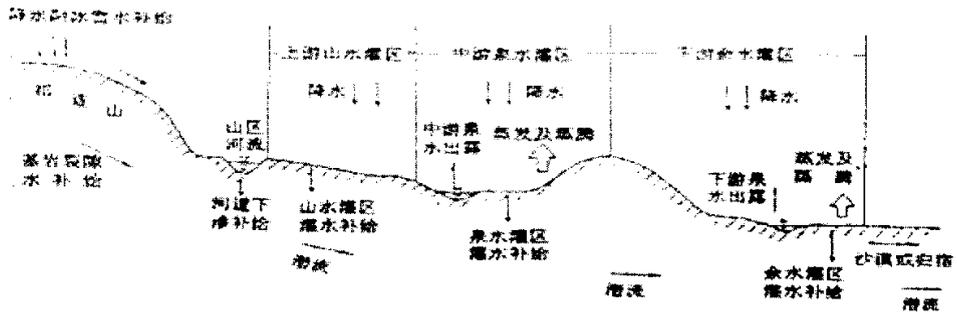


图 2-3 黑河流域水资源转化示意图  
Fig.2-3 Water resources translation in Heihe River basin

地下水与河水的频繁转化为地下水的开采创造了便利,加之较厚的第四系含水层为地下水的储存提供了巨大空间。在发挥静储量良好的调节功能条件下,如果以水位作为控制标准,研究区内甘州区、临泽县、高台县地下水的开采量分别为 2.22 亿  $\text{m}^3$ 、1.02 亿  $\text{m}^3$ 、1.31 亿  $\text{m}^3$ 。地下水的开采利用潜力尚有一定的空间。

#### 3.3.4 产生次生盐渍化

临泽—高台近河地带为盆地地下水的排泄区域,地下水埋深较浅,受下部承压水顶托补给及大量的农田引水灌溉,多年地下水位相对稳定。由于平原水库的修建,造成库区周围一定范围内地下水位抬高,增大无效蒸发的同时,这些地带出现次生盐渍化现象。从七十年代中期到本世纪之初,高台灌区盐渍化面积增加  $8.4\text{km}^2$ ,临泽灌区出现盐渍化面积接近  $30\text{km}^2$ ,这与这一带灌区中有双泉、新华、小海子、后湾等平原水库的修建有关。

## 第三章 水资源承载力驱动因素分析

水资源承载力研究是属于评价、规划与预测一体化性质的综合研究。它以水资源评价为基础，以水资源合理配置为前提，以水资源潜力和开发前景为核心，以系统分析和动态分析为手段，以人口、资源、经济和环境协调发展为目标。由于受水资源总量、社会经济发展水平和技术条件以及水环境质量的影响，在研究过程中，必须充分考虑水资源系统、宏观经济系统、社会系统以及水环境之间的相互协调与制约的关系。因此，必须首先确定水资源承载力的驱动因素，为水资源承载力计算做好前期的准备工作。

### 1 影响水资源承载力的因素

#### 1.1 水资源条件及开发利用程度

水资源的水量和质量、流域综合开发利用程度和方式是承载力最直接的影响因素。研究区内气候条件差、降雨少、蒸发量大无自产地表径流，由于开发的历史悠久，开发规模过大对水资源的需求逐年增加。为了维系区域的正常生产生活，上下游之间的用水量不断加大，导致下游的水资源条件和生态环境恶化。

#### 1.2 区域的宏观经济发展状况

宏观经济系统合水资源系统治间具有一系列内在的相互依存和相互制约的关系。宏观经济的发展速度影响需水量的增长速度；经济结构和消费结构的变化影响不同部门之间的用水比例。社会对水利的投资额大小及影响对其他部门的投资比例，也直接关系到水资源开发利用的能力和保护管理的格局。总的来看，一定的水资源可以承载低经济水平条件下的较多人口，也可以承载较高经济水平条件下的较少人口。

#### 1.3 人口劳动力和科学技术

人口和劳动力状况与水资源利用之间存在必然的联系。人口和劳动力的数量

是水资源承载的最直接对象;人口和劳动力的素质影响着水资源的效益和水资源的工作的开展。科学技术是推动生产力进步的重要因素,生产力水平影响着追资源的利用效益。较高的生产力水平下,利用单方水能够生产数量较多质量较好的工农业产品,进而提高了区域的水资源承载力。

#### 1.4 市场与政策法规

市场既是商品交换的场所,也是资源交换的途径。通过耗水程度不同的商品在区域之间的转移,能够间接实现水资源在不同地区之间的转化<sup>[54]</sup>。通过水权水市场的调节,水资源在区域内通过经济杠杆的作用,减少了行政成本,优化水资源的调配<sup>[55]</sup>。政策法规因素主要通过影响产业结构和市场格局,进而影响水资源承载能力。

#### 1.5 其他资源

在研究区内水资源是社会经济发展最主要的制约因素,但也不能忽视土地草地等其他资源对社会经济的承载作用。水资源与其它资源相互影响,共同作用区域的经济发展和生态建设。

## 2 区域水资源承载力驱动因素分析

影响水资源承载能力的因素虽然错综复杂,但是归纳起来可以分为社会经济因素和自然条件因素。从当前的条件来看,社会经济因素大于自然条件的影响,人类的活动大大地改变了区域内的自然环境,环境的格局受到人类活动制约。从对水资源数量的影响来看,又可分为增加水资源的因素(如加大地下水的开发利用、发展节水型农业和降水量的增加等)和减少水资源的因素(如社会经济的快速发展使工业用水加大、人口增多使生活用水量增多及干旱大气的发生等)两种。这此因素不仅与水资源量之间存在着相关关系,而且相互之间藕合关联。如果用单纯的相关分析,有可能存在一定的误差冗余。系统分析中主成分分析法比较适合分析水资源承载力变化的主要驱动力。

根据研究区的资料序列从中选取 $X_1$ 为总人口(万人), $X_2$ 耕地面积(千公顷), $X_3$ 粮食播种面积(千公顷), $X_4$ 农业人口(万人), $X_5$ 牲畜数量(万只), $X_6$ 工业

产值(万元),  $X_7$ 总产值(万元),  $X_8$ 农业产值(万元),  $X_9$ 黑河来水量(亿 $m^3$ ),  $Y$ 为区域内的实际用水量。应用SPSS统计软件进行主成分分析<sup>[56]</sup> 结果见表3-1:

表 3-1变量相关系数矩阵

Fig.3-1 Correlation Matrix

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$
$X_1$	1.000								
$X_2$	-.091	1.000							
$X_3$	.789	-.636	1.000						
$X_4$	-.914	-.088	-.711	1.000					
$X_5$	.993	-.140	.785	-.859	1.000				
$X_6$	.987	-.048	.716	-.851	.995	1.000			
$X_7$	.979	-.030	.692	-.834	.990	.999	1.000		
$X_8$	.933	.037	.585	-.750	.957	.979	.986	1.000	
$X_9$	.120	-.995	.677	.027	.158	.063	.041	-.040	1.000

从表3-1中可以看出 $X_1$ 与 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 之间的相关系数较大 $X_6$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ 之间的相关系数较大从表中可以看到第一和第二主成分的累积贡献率超过96%符合分析要求由此进一步得出主成分载荷矩阵。

表3-2 特征值与变量分析

Tab.3-2 Total Variance Explained

主成分	特征值	贡献率 %	累计贡献率 %
1	6.305	70.050	70.050
2	2.343	26.029	96.079
3	.353	3.921	100.000
4	.000	.000	100.000
5	.000	.000	100.000
6	.000	.000	100.000
7	.000	.000	100.000
8	.000	.000	100.000
9	.000	.000	100.000

3-3.主成分载荷矩阵

Tab.3-3 Component Matrix(a)

变量	主成分	
	1	2
$X_1$	.996	-.077
$X_2$	-.173	-.979
$X_3$	.823	.529
$X_4$	-.883	.197
$X_5$	.997	-.041
$X_6$	.985	-.136
$X_7$	.977	-.158
$X_8$	.931	-.234
$X_9$	.197	.980

从第一主成分的组成因子来看经济系统对水资源的承载力变化影响特别显著。从第二主成分的主要因子来看黑河的来水量对区域的水资源承载力影响尤为显著。水资源的数量是影响承载力的基本因素。

### 3 驱动因素合理型分析

张掖农业生产历来是以种植业为主的单一型农业，林、牧、渔、副业比重极小，种植业结构以粮为主型，粮食产量一直呈持续增长的趋势。据张掖地区统计资料显示，从 20 世纪 70 年代开始，平均以每 5 a 粮食增产  $1.0 \times 10^8 \text{ kg}$ 。1999 年，张掖粮食总产量突破  $10.0 \times 10^8 \text{ kg}$ ，当年人均粮食产量为  $798.02 \text{ kg}$ ，远远高于全国人均  $403.8 \text{ kg}$  的水平，粮食储备已比较丰富。另一方面，单一的以种植小麦为主体的传统农业，粮食作物的高产出是以高投入为基本前提的，农产品价格涨幅远不及生产资料价格涨幅，使得种粮纯收入较低，出现“增产不增收”“增收不增效”的现象。另外，由于粮食耗水量大，农民的种粮积极性也不高。因此，这种局面迫使对产业结构要进行调整。从农村各业生产关系来看，草产业是联系各业的中心纽带<sup>[57]</sup>。以种植牧草为基础，可以延伸多条产业链条，构成一个巨大的牧草产业体系。不仅对促进当地劳动力就业、转移、脱贫致富具有重要意义，而且可以提高牧草科技含量，带动相关产业发展。牧草业具有生态、经济和社会效益兼顾的特点。种植优质牧草，不仅可以降低水耗，改善生态环境，而且可以大幅度增加农民的经济收入。根据在高台县的实地调查，一公顷苜蓿草每年只需灌溉三次就足够，用水量仅是粮食作物的 1/3，而每公顷纯收益却高出小麦 2850 多元<sup>[58]</sup>。正是在张掖市产业结构调整的大背景下畜牧业发展加快。

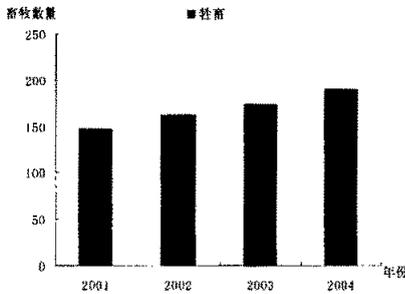


图 3-1 三区的牲畜总数量变化如图 (单位: 万只)。

Fig.3-1. The change of livestock amount

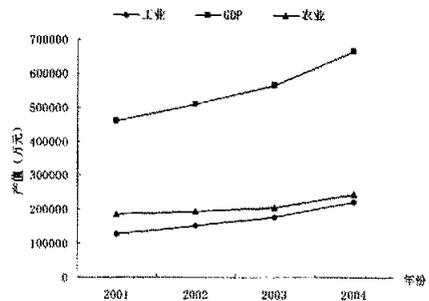


图 3-2 经济增长图

Fig.3-2 The production value increase of industry agriculture and GDP

研究地区的产业结构优化，提高了水资源的利用效率。通过优化利用水资源，对产业结构进行调整，进而促进了地区的经济全面的生长。如图 3-1、3-2 所示。

随着社会经济的发展,各个行业反过来对水的需求量猛增。例如牲畜的增长与水资源的需求量增长接近正比。水资源的供需平衡被打破,造成了水资源的需求大于供给。

黑河是我国西北干旱一半干旱荒漠区的第二大内陆河,发源于祁连山中段北麓,出青海,向北流入甘肃河西走廊中部,北至内蒙古的额济纳旗盆地。干流全长 821km,流域国土面积 14.3 万  $\text{km}^2$ ,其中平原区面积 5 万  $\text{km}^2$ ,近 80%的区域为基岩山地、戈壁及沙漠覆盖<sup>[59]</sup>。黑河流域开发历史悠久,自汉代就开始了灌溉农业活动<sup>[60]</sup>。新中国成立以来,黑河流域的社会经济尤其是灌溉事业取得了长足的发展。全流域有中小型水库 58 座(其中平原水库 40 座),总库容 2.55 亿  $\text{m}^3$ ;引水工程 66 处,引水能力 268 $\text{m}^3/\text{s}$ ,其中仅中游的甘州、临泽、高台三区区的引水能力就达 228  $\text{m}^3/\text{s}$ ;机电井 6149 眼,其中配套机井 3770 眼,年提水量 3.02 亿  $\text{m}^3$ ;总灌溉面积 26.1 万  $\text{hm}^2$ ,其中农田灌溉面积 20.4 万  $\text{hm}^2$ ,林草灌溉 5.71 万  $\text{hm}^2$ ,万亩以上的 24 处灌区灌溉面积 20.1 万  $\text{hm}^2$ 。水资源开发利用为流域经济社会发展和国防建设做出了贡献。由于中游大量分流引水,使得进入下游的水量逐年减少,水的消失使当地胡杨树、红柳等林木大片枯死,植被退化,生态严重恶化,沙尘暴泛起。下游内蒙古自治区额济纳旗沦为每年横扫中国北方的沙尘暴的策源地之一<sup>[61][62][63]</sup>。

中下游之间的用水矛盾日渐突出<sup>[64][65]</sup>。从上个世纪 60 年代初开始,内蒙古自治区就提出黑河分水问题,中央有关部委也做了大量协调工作,但甘、蒙之间的分水问题一直未能真正落实,同时甘肃省内部的用水矛盾也十分突出,县与县、乡与乡、村与村之间相互争水、抢水、破坏水利工程的水事纠纷和违法案件时有发生。为协调用水矛盾,原水电部于 1982 年组织开展黑河水利规划,1992 年提出规划报告,同年 12 月,国家计委通过了黑河干流丰枯年份水量分配方案和年内水量分配方案。即在莺落峡多年平均来水 15.8 亿  $\text{m}^3$  时,分配正义峡下泄水量 9.5 亿  $\text{m}^3$ ;当丰水年( $P=10\%$ )、偏丰水年( $P=25\%$ )、中等枯水年( $P=75\%$ )、枯水年( $P=90\%$ )莺落峡来水量分别为 19.0、17.1、14.2、12.9 亿  $\text{m}^3$  时,分配正义峡下泄水量分别为 13.2、10.9、7.6、6.3 亿  $\text{m}^3$ 。根据黑河径流特性及中下游地区灌溉用水特点,年内水量的分配划分为 3 个阶段春灌至夏灌期(3 月 11 日~6 月 30 日)莺落峡在 10%、25%、75%、90%保证率来水分别为 5.6、5.0、3.5、2.9 亿  $\text{m}^3$

时,分配正义峡下泄水量分别为 2.35、1.9、0.75、0.7 亿  $m^3$ ;夏灌至冬储期(7 月 1 日~11 月 10 日)莺落峡在 10%、25%、75%、90%保证率来水分别为 13.6、10.9、8.6、7.6 亿  $m^3$ 时,分配正义峡下泄水量 8.0, 5.2, 2.7, 1.6 亿  $m^3$ ;非灌溉引水期(11 月 11 日~3 月 10 日)莺落峡在 10%、25%、75%、90%保证率来水分别为 13.6、10.9、8.6、7.6 亿  $m^3$ 时,分配正义峡下泄水量 4.5、4.05、3.65、3.45 亿  $m^3$ 。1999 年批复成立水利部黄河水利委员会黑河流域管理局并于 2000 年 6 月正式启动干流水量调度。四年的水量调度情况见表 3-4。

表 3-4 水资源调度情况  
Tab.3-4 Water resources allot

年份	莺落峡来水 (亿 $m^3$ )	正义峡泄水 (亿 $m^3$ )	调度次数	累计天数(d)
2000	14.62	6.5	4	33
2001	13.13	6.76	2	19
2002	16.11	9.5	3	57
2003	19.03	11.61	3	67

黑河水量调度对黑河流域的水资源量在中下游之间的重新分配起着决定性的作用。随着进入下游的水资源量的增长,中游甘州区、临泽县、高台县三地的使用水资源量被压缩,使得水资源对甘州区、临泽县、高台县三地的社会经济影响制约尤为突出。

通过以上的分析表明研究区域的水资源承载能力的驱动因素作为社会经济和水资源供应量是合理的。

## 第四章 水资源承载能力分析计算

### 1 水资源配置的原则和基础

#### 1.1 水资源配置

水资源的合理配置是指在特定的流域或区域范围内,在系统、有效、公平和可持续等原则的指导下,遵循自然规律和经济规律,对有限的、不同形式的水资源,通过工程与非工程措施,在生活、生产和生态用水之间进行科学的分配<sup>[76][71][72]</sup>。其最终目的就是实现水资源的可持续利用,保证社会经济、资源、生态环境的协调发展。水资源优化配置的实质就是提高水资源的配置效率,一方面提高水的分配效率,合理解决各部门和各行业(包括环境和生态用水)以及各地区之间的竞争用水,比如无论是从时间过程还是从不同国家的横向对比来看,农业产业所能容纳的劳动力比重和所创造的国民收入比重,都是随经济发展水平的提高而减少,农业用水必然将大量减少<sup>[73]</sup>。另一方面则是提高水的利用效率,促使各部门或各行业内部节约高效用水。水资源优化配置是全局性问题,对于缺水地区,应统筹规划,合理利用水资源,保障区域发展的水量需求<sup>[74]</sup>

从本质上说,水资源合理配置的目标是要妥善处理“社会—经济—环境”这一复杂的综合系统在其发展演变过程中,人类社会系统、宏观经济系统生态环境系统等与水资源系统相互依存和相互制约的定量关系。用水竞争性和投资竞争性是水资源合理配置中的主要矛盾焦点。水资源量不足、工程容量有限以及水环境恶化导致水质下降等原因在用水数量、用水时间、用水地区和用水部门上普遍产生了冲突,具体表现在国民经济各部门之间和各地区之间的水资源分配上,以及国民经济生产和生态环境之间对水资源的要求上<sup>[75]</sup>。水资源合理配置的根本解决途径又是要依据系统性、有效性、公平性、可持续性 etc 目标,在水资源开发利用上实施合理的工程措施和非工程措施;而这些工程措施和非工程措施的运用又必将引起社会经济发展和水资源利用之间的投资竞争。

## 1.2 水资源合理配置的特征

水资源配置除了具有一般资源配置的特征以外,还具有其本身的一些特点:水资源配置的社会公平性原则,不仅要强调社会各经济部门和社会各阶层的需要,更要强调水作为生物生命的基本保障而要求的每个个体生命对水的获取权利;因此,水资源配置的有效性原则必须在此公平性原则的基础上达到。水资源的环境属性要求作为环境资源重要组成部分的水资源,在配置的公平性原则上,还要考虑生态环境系统对水的需求权利;环境资源对自然生态系统的平衡和演化以及人类社会发展的影响及支撑作用是不言而喻的,但这种影响和支撑作用尚难以量化,这也表示着生态环境的需水要求不能通过市场机制的调控来满足<sup>[76]</sup>。

水资源的多属性特征和水资源系统的生态经济复合系统特征都预示着,水资源配置的原则和方法不能等同某些一般自然资源的配置,它必须考虑人类社会自然生态系统和水资源技术系统之间的关系协调谋求水资源生态经济复合系统的最佳综合功能<sup>[77]</sup>。

## 1.3 水资源配置的指导原则

### 1.3.1 公正公平原则

配置区水资源属于稀缺性资源,为了保障社会发展的公平性,配置过程中必须坚持公正公平原则,避免部分地区因水资源过渡短缺而严重影响当地区域的社会发展秩序,或造成生态系统的严重退化。公平公正原则的具体表现在地区之间、近期和远期之间、用水目标之间、用水人群之间对水资源的公平分配。

### 1.3.2 可操作性原则

本次水资源配置以区域、流域和国家的重大实践需求为导向,配置方案直接应用于知道不同层面的生产和水资源管理实践,从而影响到甘、临、高三区(县)的社会经济发展和生态环境保护,因此配置方案必须以现状为基础,强调实践的可操作性,与流域治理和区域发展前景相吻合。

### 1.3.3 系统性原则

由于水资源固有的特性,配置工作必须坚持系统性原则。配置过程中应统筹协调甘、临、高三个区(县)需水和用水关系,根据水资源的收支平衡关系,实现地表水和地下水统一配置、当地水和过境水的统一配置、水资源和再用性水资

源的统一配置、降水性水资源和原生性径流性水资源的统一配置等。

#### 1.3.4 有效性原则

效率是水资源合理配置的最主要的两大目标之一。本次配置工作应有利于参与生活、生产和生态过程的水量比例及其有效程度，增加对降水的直接利用，减少水资源转化过程和用水过程中的无效蒸发。有利于促进一水多用和综合利用，增加单位用水量对农作物、工业产值和 GDP 的产出；减少水污染，增加有效水资源量等等。

基于上述指导性原则，本次配置工作中确定了四条操作性准则：

- (1) 缺水程度大致均衡
- (2) 高效用水者优先
- (3) 人均用水逐步趋近
- (4) 重现状逐步调整

### 1.4 水资源配置方法

“以需定供”的水资源配置认为水资源是“取之不尽，用之不竭”，以经济效益最优为惟一目标”以过去或目前的国民经济结构和发展速度资料预测未来的经济规模，通过该经济规模预测相应的需水量，并以此得到的需求水量进行供水工程规划<sup>[78]</sup>。

“以供定需”的水资源配置，是以水资源的供给可能性进行生产力布局，强调资源的合理开发利用，以资源背景布置产业结构，它是“以需定供”的进步，有利于保护水资源。

基于宏观经济的水资源优化配置，通过投入产出分析，从区域经济结构和发展规模分析入手，将水资源优化配置纳入宏观经济系统，以实现区域经济和资源利用的协调发展。

可持续发展的水资源优化配置的主要目标就是协调资源、经济和生态环境的动态关系，追求可持续发展的水资源配置。

水资源合理配置要通过工程性和非工程性措施来解决区域内不同用户对多种水源的分配，以及满足其对水资源开发利用的不同要求。水资源系统的复杂性和水资源开发利用的多功能性，必然要求多部门或多个利益集团参与水资源配置

决策,这就决定了水资源合理配置的多目标决策特性。多目标决策方法已成为现代水资源复杂系统优化规划及运行研究的重要手段,水资源合理配置中的水源分配、工程系统布局及建设、工程性和非工程性配置措施优化组合、水资源约束下的区域“社会—经济—生态”系统协调发展模式确立等均离不开决策学理论和办法,具有多目标、多层次、多阶段以及多决策者、风险性特征的决策手段在其中更具有实用价值。

根据研究区域的水资源特点和当地的用水实际情况,选择以供定需结合可持续发展为水资源配置的方法。

## 2 需水预测

### 2.1 需水预测应遵循的几条主要原则

(1)考虑水资源紧缺对需水量增长的制约作用,全面贯彻节水方针分析研究节水措施的采用和推广等对需水的影响;

(2)考虑市场经济对需水增长的作用和科技进步对未来需水的影响分析研究产业结构变化对需水的影响;

(3)重视现状基础资料的调查结合社会发展的实际规律,使需水量的预测符合研究区的特点和用水习惯。

### 2.2 生活需水预测

生活需水包括城镇生活用水和农村生活用水。生活需水定额受水资源条件、生活水平、供水能力和用水习惯等因素的影响。在一定阶段,城市居民日生活用水量与城市社会经济发展水平及居民生活水平成正比,居民日生活用水量达到一定限度时由于采用提高水价等管理措施,提高居民的节约用水意识,采取必要的节约用水措施,使日均用水量不再增长,甚至可能还有一定程度的下降。但是由于所在地水资源承载能力的约束,用水水平必须符合区域的实际条件。在研究区域内随着生活水平的提高,城镇生活用水,特别是家庭用水标准在研究区域内仍有一定幅度长时间的提高。

#### 2.2.1 人口增长预测

2004年人口自然增长率分别为甘州4.72%、临泽4.73%、高台4.85%。采用指数函数增长方式，数学公式表达如下。采用指数函数增长方式，数学公式表达如下：

$$P_n = P_0 e^{kn}$$

式中  $P_n$  为预测年人口数； $P_0$  为水平年人口数； $e$  为自然对数的底，其近似值为 2.7183； $k$  为年增长率， $n$  为预测年限<sup>[79]</sup>。

(1) 农业人口与非农业人口增长预测结果见表 4-1

$$Y_n = nk + Y_0$$

表 4-1 人口增长预测结果表(单位：万人)

Tab.4-1 The forecasting results of population increase

项目	区域	2004 年	2010 年
总人口	甘州	49.02	50.51
	临泽	14.80	15.24
	高台	16.14	16.63
农业人口	甘州	22.52	27.37
	临泽	12.65	10.42
	高台	13.74	12.07
非农业人口	甘州	17.24	23.13
	临泽	2.15	4.82
	高台	2.40	4.55

(2) 配置区生活定额预测

以研究区域最近几年生活用水定额为基础，结合用水定额每年递增的速度，参照相类似地区的生活用水定额，现状水平年用水定额和预测水平年的预测结果见表 4-2：

(3) 配置区生活需水预测

综合人口和城镇化水平及生活用水定额的预测结果，配置区现状水平年和预测水平年的生活需水量见表 4-3：

表4-2 生活用水定额表(单位:升/每人·每天)  
Tab.4-2 The forecasting result of living water quota

项目	区域	2004年	2010年
综合生活用水定额	合计	73	113
	甘州区	74	114
	临泽县	72	112
	高台县	71	110
	合计	125	160
城镇生活用水定额	甘州区	130	165
	临泽县	125	160
	高台县	120	155
	合计	50	80
农村生活用水定额	甘州区	50	80
	临泽县	50	80
	高台县	50	80
	合计	50	80

表4-3 生活需水预测表(单位万m<sup>3</sup>)  
Tab.4-3 The forecasting result of water requirement for living

项目	区域	2004	2010
生活需水总量	合计	4667	6655
	甘州区	3030	4178
	临泽县	849	1330
	高台县	788	1148
城镇生活需水总量	合计	1690	2749
	甘州区	1303	2015
	临泽县	208	420
	高台县	178	314
农村生活需水总量	合计	2977	3907
	甘州区	1726	2162
	临泽县	640	910
	高台县	610	834

## 2.3 工业需水预测

### 2.3.1 工业需水定额预测

工业需水定额主要受工业用水结构和用水水平等因素的制约和影响,随着用水结构的变化,用水水平的提高、污水回用等用水技术的进步,区域内工业用水率将逐步提高,工业用水定额将逐步降低。综合区域的产业构成,当前的发展速度,结合相类似区域的用水标准<sup>[60]</sup>,配置区域工业需水定额预测结果见表4-4:

表 4-4 工业需水定额预测(单位:m<sup>3</sup>/万元)

Tab.4-4 The forecasting result of industry water quota

区域	2004年	2010年
合计	402	296
甘州区	399	288
临泽县	398	301
高台县	427	326

### 2.3.2 工业需水预测

尽管未来的工业需水定额有较高幅度的下降但是由于现状的工业水平低,基础薄弱,根据区域的未来工业发展规划,在今后的一个时期内工业将会有较快的发展,根据预期的工业产值和工业用水定额预测结果研究区内的工业需水见表。工业的需水总量增长率较快,但从总量来看,工业用水比例仍然较低,见表4-5。

表4-5 工业需水预测(单位:万m<sup>3</sup>)

Tab.4-5 The forecasting result of industry water requirement

区域	2004年	2010年
总计	5712	9912
甘州区	3490	6104
临泽县	1469	2537
高台县	754	1271

## 2.4 农业需水预测

### 2.4.1 农业需水毛灌溉定额预测

配置区域的综合毛灌溉定额的确定以净灌溉定额为依据。随着各种节水改造措施的实施,配置区域的农业综合毛灌溉定额将会呈现下降趋势。

表4-6 毛灌溉定额预测(单位:m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)

Tab.4-6 The forecasting result of gross irrigation quota

项目	区域	2004	2010
农业	总计	10140	9645
	甘州区	10605	10020
	临泽县	9720	9300
	高台县	9765	9315
	总计	11430	10755
粮食作物	甘州区	11355	10680
	临泽县	11340	10710
	高台县	11610	10740
	总计	7605	7455
农业经济作物	甘州区	7485	7335
	临泽县	7605	7545
	高台县	7590	7440

## 2.4.2 农业需水预测

农业的用水量决定因素为种植面积、种植结构、灌溉定额和渠道的衬砌, 渠系水利用系数, 见表4-7。

表4-7 农业需水预测(单位:万m<sup>3</sup>)

Tab.4-7 The forecasting result of agriculture water requirement

项目	区域	2004	2010
农业	总计	151325	144064
	甘州区	75358	71335
	临泽县	43206	41844
	高台县	32761	30885
	总计	113201	106267
粮食作物	甘州区	64900	61083
	临泽县	26385	24925
	高台县	21916	20259
	总计	38124	37797
	农业经济作物	甘州区	10457
	临泽县	16821	16919
	高台县	10846	10626

## 2.5 生态林草需水预测

植被是生态系统得核心, 是良好生态环境的体现和保障。天然植被, 农作物经济果木和人工草地除外以及农田防护林带生长所耗掉的水量即是生态耗水量。由于各类植物群落的生长和耗水过程相当复杂, 涉及的因素很多, 因而耗水量的计算需通过大量不同区域、不同类型的灌溉试验来取得耗水规律及其相关数据。试验的周期较长。西北地区的生态耗水量随着水资源的供需矛盾进一步加剧, 近几年才受到重视, 缺乏类似农田灌溉那样长期的试验依据, 所以详细和精确的计算十分困难。本次水资源配置计算只从区域生态环境的主要问题出发, 以维系当前的环境状况不再恶化为基点。对于能够维持自身平衡状态的区域不在水资源分配之列。计入生态需水的主要类型是研究区的全部人工林和人工灌丛和依赖地表水补给的天然灌丛及草地。其中的人工植被类型不仅包括防护林体系, 也包括农村道路、城镇绿化地, 但不包括经济林和人工草地。

$$Q = \sum_{i=1}^n S_i \times E_i$$

Q为生态需水,  $S_i$ 为第i种林地面积;  $E_i$ 为第i种林地的耗水量。计算结果如表4-8所示

表4-8 生态林草需水预测表(单位: 万 $m^3$ )  
Tab.4-8 The forecasting result of environment forest  
and grass water requirement

区域	2004年	2010年
总计	3554	4362
甘州区	1938	2262
临泽县	888	1131
高台县	727	969

### 3 水资源合理配置模型

#### 3.1 水资源供需平衡分析

随着上游水利工程的修建,节水技术的推广及节水灌溉面积的增加,地下水抽取力度加大,平原区内地下水的转化将受到影响。地下水组成中的不重复部分沟谷潜流将会减少具体的分布情况见表 4-9:

表 4-9 地下水补给变化情况(单位: 万  $m^3$ )  
Tab.4-9 The change of groundwater supplishment

水平年	区域	沟谷潜流	雨洪入渗	降水入渗	合计
2004 年	合计	6416	3352	6224	15992
	甘州区	3576	1244	668	5488
	临泽县	2080	635	1744	4489
	高台县	760	1473	3782	6015
	合计	5774	3352	6224	15350
2010 年	甘州区	3218	1244	668	5130
	临泽县	1872	635	1774	4281
	高台县	684	1473	3782	5939
	合计	5774	3352	6224	15350

表 4-10 研究地区的可供水量分析(单位: 亿  $m^3$ )  
Tab.4-10 Analysis of water supply in research region

年份	地表取水	地下抽水	回用水	总供水
2004	12.07	3.43	0.15	15.65
2010	11.64	3.86	0.28	15.78

表4-11 供需比较(单位: 亿 $m^3$ )  
Tab.4-10 Compared of water supply and require

区域	供水总量	需水总量	缺水量	缺水率
合计	15.65	17.64	1.99	11.3
甘州区	7.93	8.78	0.85	9.68
临泽县	4.23	4.84	0.61	12.63
高台县	3.49	4.02	0.53	13.25

### 3.2 模型的建立与求解

运用目标规划作为解决水资源配置<sup>[80]</sup>，按决策要求，分别赋予目标梨园河的水向临泽和高台分配；给三地的供应率相同；黑河、梨园河分配到相同区域的水资源效益相同；力求总效益最大，这四个目标  $P_1, P_2, P_3, P_4$  优先因子，即优先保证  $P_1$  目标的实现，这时可不考虑次级目标；而且  $P_2$  级目标是在实现上一级目标的前提下考虑的；以此类推，若要区别具有相同优先因子的目标差别，这时就可以分别赋予它们不同的权系数，这些是按具体的情况而定。 $X_{1j}$  表示黑河分配给各地的水资源量， $X_{2j}$  表示梨园河分配各地的水资源量； $j=1, 2, 3$ ，分别代表甘州区、临泽县和高台县三个地区；此外，引进正、负偏差变量  $d^+, d^-$ 。正偏差变量表示决策值超过目标值的部分，负偏差变量表示决策值未达到目标值的部分。 $G$  表示最大经济效益。

水资源需求约束

$$x_{11} + d_1^- - d_1^+ = 5.2$$

$$x_{12} + x_{22} - d_2^- - d_2^+ = 3.12$$

$$x_{13} + x_{23} + d_3^- - d_3^+ = 2.73$$

水资源供应约束

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq 6.3$$

$$x_{22} + x_{23} \leq 2.31$$

每个地区的水资源供应率相同

$$(x_{11} + x_{21}) - \frac{5.2}{2.73}(x_{13} + x_{23}) + d_4^- - d_4^+ = 0$$

$$(x_{11} + x_{21}) - \frac{5.2}{3.12}(x_{12} + x_{22}) + d_5^- - d_5^+ = 0$$

$$(x_{12} + x_{23}) - \frac{2.73}{3.12}(x_{13} + x_{23}) + d_6^- - d_6^+ = 0$$

配置方案的总效益

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} = G$$

目标函数为

$$MaxZ = P_1 d_4^- + P_2 (d_4^- + d_5^- + d_6^-) + P_3 (d_1^+ + d_2^+ + d_3^+) + P_4 d_7^+$$

目标规划的数学模型结构与线性规划的数学模型结构没有本质的区别, 所以可以用单纯型法求解。计算步骤:

- (1) 建立初始的单纯形表, 在表中将检验数行按优先因子个数分别列成 K 行, 置  $k=1$ ;
- (2) 检查该行中是否存在负数, 且对应的前  $k-1$  行的系数是零。若有取其中最小者对应的变量为换入变量, 转入(3); 若无负数, 则转到(5)。
- (3) 按最小比值规则确定换出变量, 当存在两个和两个以上相同的最小比值时, 选取具有较高优先级别的变量为换出变量。
- (4) 按单纯形法进行基变换运算, 建立新的计算表, 返回(2)。
- (5) 当  $k=K$  时, 计算结束。此时表中的即为满意解。否则置  $k=k+1$ , 返回到(2)。

表 4-12 配置计算结果(单位: 亿  $m^3$ )

Tab.4-12 The water collocate result

区域	供水总量	需水总量	缺水量	缺水率
总计	15.78	17.58	1.8	10.25
甘州区	7.94	8.8	0.86	9.77
临泽县	4.33	4.83	0.5	10.43
高台县	3.51	3.95	0.44	11.08

在满足水平年正义峡断面下泻水量满足黑河分水方案要求的条件下, 配置区的缺水总量由 1.99 亿立方米下降为 1.8 亿立方米。甘州区、临泽县、高台县三地区的缺水率由 9.68%、12.63%、13.25% 变化为调整后的 9.77%、10.43%、11.08%, 甘州区的缺水率上升了 0.09%, 临泽县缺水率下降了 2.2%, 高台县缺水率下降了 2.17%。配置前后的甘州区变化不大, 临泽县和高台县的变化较大。甘州区、临泽县、高台县现状的缺水率差别比较大, 处在下游的高台县的缺水最为严重, 通过优化配置三区的缺水率趋于接近, 实现了缺水大致均衡的准则。三区区中, 甘州区的经济较为发达, 用水效率和效益最高, 配置后仍然缺水率最低落实了用水高效原则。

## 4 承载力指标体系的建立

水资源承载力指标体系是由一组及相互联系又相互独立的能够反映水资源

系统和社会经济系统状况及其关系的指标因子构成有机整体,是分析研究水资源承载力的根本条件。

#### 4.1 指标选取的原则

水资源承载力研究是可持续发展理论思想在水资源管理领域的具体体现和应用,因此水资源承载力指标的选取也应该体现可持续发展的理念,遵循以下原则:

科学原则。即按照自然规律和经济规律特别是可持续理论定义的指标概念和比较成熟的计算方法。

整体性原则。水资源承载力指标体系既要反映社会、经济、生态环境、人口对水资源承载力的影响,又要反映各个因素之间的协调。

可行性原则。即指标内容应简单明了具有可操作性。并且考虑到资料的来源和现实的可能性。

#### 4.2 指标体系

水资源承载力指标体系主要由对象层指标和影响层指标构成。对象层指标反映一定量的水资源所能支撑的社会经济活动强度和具有一定生活水平的人口数量,是对水资源承载力大小进行衡量和评价的工具,也是整个指标体系的核心;影响层指标是对水资源承载力各种影响因素的综合和量化,也是计算对象层指标的基础。对象层指标与影响层指标一起共同表征水资源承载力,从而实现对复杂系统描述的内外结合,层次呼应,使水资源承载力研究更具层次性合理性和系统性,见图 4-1

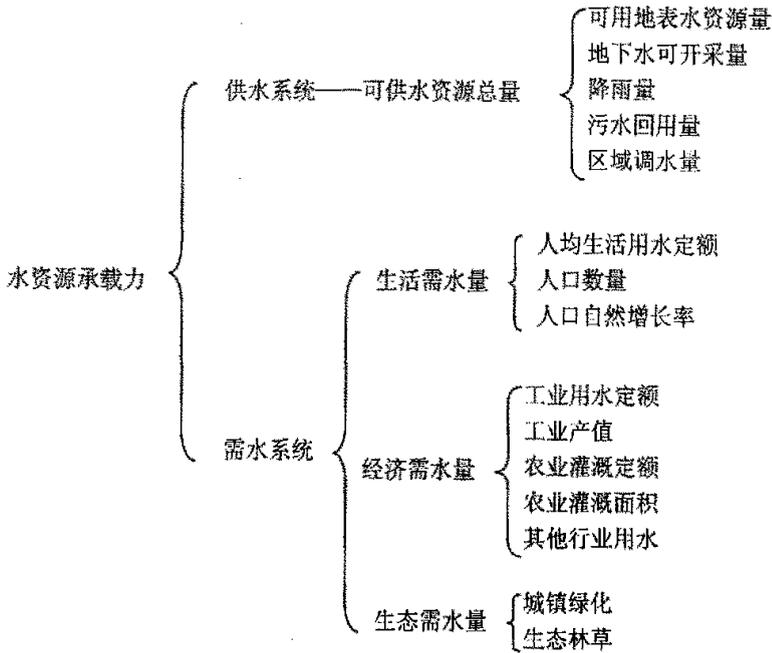


图 4-1 水资源承载力指标体系

Fig. 4-1 The capacity of water resources index system

## 5 水资源承载力计算模型的建立

水资源承载力研究涉及水资源-社会-经济-环境这一复杂系统,系统内各个要素时刻变化根据区域水资源承载力的内涵可知:承载力具有唯一性,它是最大可利用水资源对社会经济的支撑能力,即是在区域最大可利用水资源支持下,取得综合效益最大的社会经济发展模式,模型目标函数如下:

$$MaxF = \sum_1^n F_i$$

其中  $F_1$  表示经济效益目标、 $F_2$  表示社会效益目标、 $F_3$  表示生态效益目标、 $F$  为综合效益函数。由于影响各目标的主要因素是相通的,且这些目标之间又存在相互依存、相互制约的关系,因此不可能追求单个目标的优化。只能追求整体的最优或者将目标进行转化,把目标模型中的一些函数转化为约束条件,从而简化计算<sup>[66][67]</sup>。

经济效益·促使水资源在各产业部门间优化组合。在研究区内,各经济部门

的发展规模均要以水资源供给量为基础,在水资源短缺状况下的外延式发展,后果只能是“效益搬家”和破坏生态环境。研究区应在目前可利用水资源量的基础上,从水资源的高效利用出发,探索对生态环境和经济增长均有利的内涵型发展模式。据初步估算,在同等产值下,农业用水量高出工业用水量的10倍以上;在同样水价下,农业用水成本也高出工业用水10倍以上,工业用水的收益率高于农业用水。研究区产业结构调整要着眼于单方水效益的提高,逐步把水资源转移到经济效益相对较高的产业部门。

**生态效益:**促进区域生态重建。生态环境是关系到人类生存和发展的基本自然条件。保护和改善生态环境,是保障经济社会可持续发展和全面建设小康社会所必须坚持的基本方针。水又是生态环境良性循环中最重要的要素,要保护生态环境,就必须在水资源配置中,保证生态在一定时间、一定空间内具有符合质量和数量要求的水量。然而,在我国由于缺乏统筹规划,很多地区水资源过度开发。特别是在很长一段时期里,生态环境水常常被认为是廉价水而被无偿挤占。实际上,生态环境水一直在潜在和显在地确保依赖于该生态环境系统的经济、社会的长期繁荣和稳定。必须清醒地认识到这样一个问题:生态环境水具有重要的生态效益和社会效益,事关经济社会可持续发展<sup>[68]</sup>。研究表明,在西北内陆区,生态环境和社会经济系统的耗水以各占50%为宜<sup>[69]</sup>,而目前张掖的生态用水仅占用水总量的7.3%。极不均衡的水土资源组合是造成当前黑河流域生态脆弱的基本原因,“局部优化、整体恶化”生态现状对区域人地系统可持续发展造成了最直接的威胁。水资源作为区域发展的必备资源,以及生态平衡的载体与控制性因素,对产业布局和经济发展模式起决定性的作用,其利用构成对社会经济发展具有深远的影响

**社会效益** 增加农民收入,推动区域城镇化进程。提高社会福利水平是社会效益的核心和集中体现,因此经济效益是社会效益的前提和保证。在市场经济条件下,经济效益只能通过市场来实现,因此研究区内应逐步建立起适应市场需求的产业结构,通过提高产品市场占有率实现经济效益和社会效益。农村剩余劳动力分流渠道不畅是研究区内农村增收缓慢的根源之一,应通过发展二三产业,推动区域城镇化进程,带动区域农业人口非农化,通过劳动力的部门与地域转移实现增收,从而促进产业结构提升社会效益。研究区作为传统的商品粮基地,在其

进行产业结构调整的时候,要从实际出发保证区域的粮食安全。即区域的粮食不应从外地区调进。

在生态和用水一定的基础上,可以通过万元产值耗水量来计算最大的经济发展规模,即得到水资源经济承载能力。

$$\text{MaxGDP} = \sum_{i=1}^n W \times a_i \times e_i$$

$W$  为区域内的水资源总量,  $a_i$  为分配给第  $i$  种产业的水资源分配系数,  $e_i$  为第  $i$  种产业的单方水效益,  $i=1, 2, \dots, n$ 。

对研究区内的甘州区、临泽县、高台县以 2010 年作为预测水平年进行水资源承载力做计算。计算结果见表 4-13:

表 4-13 承载力计算前提与结果表

Tab.4-13 The calculate results about capacity of water resources

区域	人口 (万人)	最大 GDP (万元)	水资源供给 量(亿 m <sup>3</sup> )	水资源需求 量(亿 m <sup>3</sup> )
甘州区	50.51	815263	7.94	8.78
临泽县	15.24	233168	4.33	4.84
高台县	16.63	234656	3.51	4.02

#### 超载评价与量化

用水资源承载能力的平衡指标  $I$  来表示水资源是否对社会经济发展具有支撑能力  $I=1-W_{需}/W_{供}$ 。

当  $I < 0$  时,说明该地区已经超出水资源承载能力,可利用水资源量不具备对目前社会经济系统的支撑能力。且随着  $I$  减小,超载越严重。水资源是该地区社会经济发展的瓶颈因素。应及时采取措施,解决水资源问题;

当  $I = 0$  时,说明该地区处于水资源承载能力的临界状态,若不及时采取措施改善这一状况,该地区将实现水资源的不可持续利用;

当  $I > 0$  时,说明该地区供需状况良好,处在水资源承载能力范围内。可利用水资源量对应的人口及经济规模是可承载的。且随着  $I$  值的增大,可以再增加的承载能力就越大。

计算得到  $I = -0.118$ ,  $I < 0$ , 所以水资源已经成超载状态。

表 4-6 显示到 2010 年,研究区内的甘州区、临泽县、高台县三地水资源供需是不平衡的。三区县的水资源需求量大于可供给的量,可供水量只占到需求

90%左右。人口的数量对水资源承载能力有一定的影响，但不是关键的因素。随着研究区内的社会、经济、生态的进一步发展，各个行业和方面的需水量都在不断增长，由于经济杠杆的调节，水资源优先分配到效益较好的行业，使得农业的用水量不能够得到保障。因此可以用水资源不能够满足的耕地数量来量化水资源的超载能力。

在农业部门内部，粮食当前效益比经济作物低，粮食的生产会受到冲击，总产量会在一段时间内下降。研究区内的三区县水资源的承载能力对于粮食的安全是能够保证的，毕竟用来保证粮食安全的耕地只占到耕地面积的 28.4%，但是水资源不能够承载计算水平年的所有耕地，超载的耕地面积达到 2.1 万  $\text{hm}^2$ 。甘州区、临泽县、高台县分别超载 1.1、0.4、0.6 万  $\text{hm}^2$

黑河的调水工作对中游的甘州区、临泽县、高台县三地的影响很大，在短时期内很难摆脱水资源短缺。做好产业结构升级，产业结构调整，尤其是农业的产业结构调整将是水资源承载能力制约下当前结构调整的优先选择。

## 第五章 节水型社会建设

### 1 节水型社会的确立

新世纪中国面临三大水问题，即洪涝灾害、干旱缺水、水环境恶化，其中干旱缺水表现得尤为明显。建立节水型社会、节水型经济，通过节水提高水资源承载能力这一历史性课题急迫地摆在我们面前。张掖作为西北干旱地区，随着社会经济的发展，水资源供需矛盾不断加剧。在水量不变甚至减少的情况下，要保证工农业生产用水、居民生活用水和良好的水环境，必须建立节水型社会。作为典型的缺水地区，张掖被确立为我国第一个节水型社会建设试点城市。其中包括合理开发利用水资源，在工农业用水和城市生活用水的方方面面，大力提高水的利用率，要使水危机的意识深入人心，养成人人爱护水，时时、处处节水的局面。

#### 1.1 节水型社会的本质特征

节水型社会作为一种以节水为基本特征的社会意识形态，即建立一种支持生产发展、生活富裕、生态良好的水资源管理体制，以此来调整以水资源优化配置和高效利用为核心的生产关系，从而促进生产力的发展。建立节水型社会，是制度建设的过程，是一项涉及个社会各层面的综合性系统工程。要建立水资源管理体制，形成以经济手段为主的节水机制，不断提高水资源的利用效率及效益，促进经济、资源、环境的发展。水型社会要求人们在生活和生产的各个过程中具有节水意识和观念，通过建立节水的管理体制，在整个社会形成促进节水的机制，采取法律、经济、行政、技术、宣传等多种措施，在水资源开发利用的各个环节，实现对水资源的节约和保护。使有限的水资源保障人民生产、生活用水，发挥更人的经济效益和社会效益，创造优良的生态环境。

#### 1.2 建设节水型社会理论基础

##### 1.2.1 可持续发展理论

可持续发展理论是人类对人与自然关系认识的新的理论，包括三个方面的内

涵;在人与资源力方面,保持资源永续利用;在人与环境力一面,建立生态文明;在经济与社会力方面,提高生活质量。这二个力方面互为条件、相互影响。保持资源的水续利用能促进生态文明的建立,而生态文明的建立又反过来保护了自然资源,使自然资源更好地水续利用。以上两者最终促进了生活质量的提高,而生活质量的提高意味着包括生产力在内的各力一面能力的提高,意味着人们更有能力维护生态平衡,更有能力保证资源的永续利用。

可持续发展水利是在可持续发展理论的基础上,在实践中形成和发展的治水思路,是人水观念和实践力一式的重大变革。1996年《世界淡水资源综合评估》指出:水资源利用须达到保持人类社会持久地发展至无限未来的能力,而不损害水循环的整体性,也不损害依赖水而生存的各种生态系统。要实现可持续发展水利,满足当代人的需要,又不对后代满足需要的能力构成威胁和危害,必须树立体现着当前利益与未来利益、整体利益与局部利益、理性尺度与价值尺度的统一的人水观,树立满足持续性、共同性、公正性二原则的人水观,概括起来就是人与自然和睦相处的治水思路。

根据这一思路,人类不能无节制地向自然索取满足自身用水需求,要自觉控制用水行为通过改进生产方式和消费力一式,通过提高水资源利用效率和效益满足不断增长的用水需求。从我国的实际情况看,我国水资源总量短缺,靠修水库、建调水工程,不能从根本上解决水资源短缺问题,为此,要通过建设节水型社会来解决干旱缺水的问题。通过体制创新与制度创新,辅之以工程建设,形成以经济手段为主的节水机制,从而使资源利用效率得到提高,生态与环境得到改善,可持续发展能力得到增强,推动整个社会走上生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路。

### 1.2.2 水资源承载能力的有效极限性规律

水资源的有效极限性规律和生态的可持续性法则要求水资源开发利用和排污不能超过水资源承载能力和水环境承载能力。一个地区、流域具有客观存在的水资源承载能力和水环境承载能力,建设节水型社会宏观上区域发展与水资源承载能力相适应,塑造持续发展型社会。要求一个流域或地区量水而行,以水定发展,打造与当地资源禀赋相适应的产业结构;通过统筹规划、合理布局和精心管理,协调好生活、生产和生态用水的关系,将农业、工业的结构布局和城市人口

的发展规模控制在水资源承载能力范围之内。经济社会发展在水资源承载能力以内,就能实现可持续发展,否则就会造成生态系统破坏和生存条件恶化。首先就要根据水资源与水环境的承载能力,确定水资源宏观控制指标和微观定额指标,明确各地区、各行业、各部门乃至各单位、各灌区的水资源使用权指标其次规定社会的每一项工作或产品的具体用水量要求。通过控制用水指标的方式,达到节水目标。第二重视和加强对水资源的配置、节约和保护,通过经济结构调整和科技进步,努力提高用水效率和效益。

## 2 节水型社会建设的对策

### 2.1 节水型社会的工程与技术建设

近年来国家启动了黑河流域近期治理工程,在张掖市安排了大量的节水工程建设,主要有灌区节水配套改造和高新节水设施建设,这是张掖市建设节水型社会的基础性工程,也是实现节水的最主要途径和最有效措施之一。

2001-2004年张掖市累计完成投资10.4亿元(其中灌区节水工程10.27亿元,生态工程0.1亿元),累计改建干渠416km,支渠561km,斗渠567km,完成各类水利设施建设372座,完成5.8万 $\text{hm}^2$ 耕地的配套设施建设,高效节水面积1.8万公顷,新打机井436眼,旧井改造1015眼。已完成的节水工程运行后,可减少黑河水引用量达3亿 $\text{m}^3$ ,大大地节省了水资源。

把节水灌溉措施与农业节水措施有机地融合在一起,形成综合的节水技术体系。不同节水技术条件所适宜的水肥耦合技术,包括节水地面灌溉条件下水肥耦合技术,喷灌条件下水肥管理技术,滴灌条件下适宜的施肥灌溉模式;提高农田水分利用效率的耕作栽培技术,包括耕作措施对水分利用效率的影响及匀各种耕作措施相适应的农田用水技术,带状种植的高效用水技术;覆盖保墒及节水灌溉配套技术,包括秸秆覆盖的最佳实施方案及配套的节水灌溉技术,地膜覆盖技术与相应的农机具配套改进,覆盖保墒新材料的选用及其配套的节水灌溉技术;通过工程与技术的结合,使水资源得到高效利用。

### 2.2 节水型社会的制度建设

节水型的本质特征是建立以水权、水市场理论为基础的水资源管理体

制,充分发挥市场在水资源配置中的导向作用,形成以经济手段为主的节水机制,不断提高水资源的利用效率和效益<sup>[82]</sup>。

水权是产权理论渗透到水资源领域的产物。水资源本身是不可专有的资源,社会可以通过建立财产共有的权利,建立和实施规定谁在什么条件下可以使用水资源的法令来保护水资源、防止滥用并保障生产者获得合理的和有保障的收入,从而达到水资源配置和使用的最佳结果。这些关于使用的规定并不具有不减弱的财产权所有的高效率特点,但是在专有财产权无法建立的地方是一套切实可行的权利体系,从经济学角度分析,世界各国的水权制度实质就是这类共有权利和使用规定水权是指水资源稀缺条件下人们有关水资源的权利的总和(包括自己或他人受益或受损的权利),其最终可以归结为水资源的所有权、经营权和使用权(姜文来),其最简单的说法是水资源的所有权和使用权,按照《水法》,水的所有权属于国家,研究的重点是水的使用权问题(汪恕诚等)。在我国和水资源属于国家所有的其他一些国家里,水权主要指依法对于地表水、地下水所取得的使用权及相关的转让权、收益权等。取得水权的用水与一般用水的区别,在于水权得到法律的确认和保护,并明确规定拥有水权者具有法定权利和义务。当水权受到侵害时,国家应依法排除侵害或使拥有水权者得到相应补偿。水权是水立法、水政策和水政管理中的一个核心问题。水资源产权,或水权,是水资源所有权、水资源使用权、水产品与服务经营权等与水资源有关的一组权利的总称,是调节个人、地区与部门之间水资源开发利用活动的一套规范。

### 2.3.1 水权的特征

水权与一般的资产产权不同,具有明显的特征,主要表现在以下几个方面:第一,水权的非排他性。从法律层面上来看,法律约束的水权具有无限的排他性,但从实践上来看,水权具有非排他。第二,水权的分离性。根据我国的实际情况,水资源的所有权:经营权和使用权存在着严重的分离,这是由我国特有的水资源管理体制所决定的<sup>[83]</sup>。第三,水权的外部性。水权具有一定的外部性,它既有积极的外部经济性(效益),也有消极的损失。第四,水权交易的不平衡性。交易的双方是两个不同的利益代表者,其地位不水权界定的原则

### 2.3.2 水权界定的原则

许多专家在对自然资源产权进行研究时认为:在产权设置不合理造成代理成

本过高的问界定水权不可避免会涉及到方方面面的利益调整<sup>[64]</sup>。因此必须遵循如下原则：第一，可持续发展原则。力图达到水资源利用和水环境保护的协调统一；第二，效率原则。水资源使用权的界定应坚持效率优先，兼顾平等。效率原则包括两层含义：一是水资源使用权的界定能够起到节约用水、提高水资源利用效率的激励作用；二是从全流域整体出发，水资源使用权的界定不能绝对平等，而应在优先保证各地；本生活用水的基础上适当向水资源利用效率高的地区倾斜，这样有利于引导水资源向优化配置的方向发展。第三，补偿原则。如果水权的界定导致流域地区不同省份在水资源利用上的收益变化，收益大的省区应向收益受损的省区进行适度补偿。只要从总体上看，收益的增加大于部分地区的损失，水权的界定就是符合社会福利最大化原则的。姜文来提出了大体相同原则，第一，可持续利用原则；第二，效率至上原则；第三，公平交易的原则，与上述补偿原则的内涵基本相同。

### 2.3.3 水权体系的建立

水权体系的建立，要注意以下几点：首先，要明确水权归属<sup>[65]</sup>。第二，要明确水权的计量方式。水权可以根据不确定的径流的一部分，或蓄水层或水库的一部分确定；水权也可以规定为一个时间段的用水量。第三，如果水权是按量分配，必须找到当供水不能满足所有水权的用水量时进行分配水的协调机制。一般可以采取以下三种方法：第一种方法是根据授权的时间、地点或用水的类型，如灌溉用水、生活用水等，给第一种水权规定一个优先级，当水短缺时，按照优先顺序供水，只有上一个优先级水权的全部用水量都得到满足后才供给下一个优先级水权的用水，第二种方法是根据短缺程度按比例减少所有水权的用水量。第三种方法是前两种方法的综合。第四，地下水 and 地表水的水权要同时建立，如果只针对其中一类，会导致另一类水的过度开发，水权也得不到保证。在高台县调研阶段，骆驼城灌区对于地下水的抽取管理做得很到位。保证了地下水与地表水的统一调度与管理。第五，创建了独立于土地所有权的水权后还要登记水权并保证水权的实施。

### 2.3.4 水权分配和优先级

水权分问题指出：第一，用水的需求大体上包括四种，即人的基本生活用水、农业用水、经济用水和生态用水。第二，流域分水与地域分水。作为一个流域，

有上下游之间的分水问题。还有地域分水问题,是指在一个省、一个地区或一个县的范围内,有地表水、地下水,有主水、客水,有过境水。什么水给谁用,都有一个分水问题。第三,其他分水。如水能、水域、水质,也都有一个水权的分配问题。关于水权分配原则中的优先权问题。第一,人的基本生活用水要首先得到保障。第二,优先权因素。一是水源地优先原则,二是粮食安全优先原则,三是用水效益优先原则。四是投资能力优先原则,五是用水现状优先原则。第三,优先权是变化的。地州间水权分配准则为:以现实为基准,考虑历史发展情况促进经济发展与发展权利均等相结合,确保生态以实现可持续发展并且建立可持续发展水权分配模型。

### 2.3.5 水权的定价问题

水价是水资源优化配置的一种手段,水价是水权在经济上得以实现的经济表现形式<sup>[66]</sup>。水权的定价应该区分各种情况,比如说从需水的角度来讲,生活用水、农业用水、工业用水、生态水,居民、宾馆、洗车业、洗浴业等社会用水,大田作物、蔬菜、经济作物用水,重工业、轻工业和其他工业用水。从供水水源的角度来看,地表水(包括水库水、湖泊水和河道径流)、下水,主水、客水。从水资源总量的角度来考虑,当地的降雨、流域的降雨、水库的存水、地下水的水位等等,都是定价时需要考虑的。水权的定价受到需水、供水、水资源总量三个因素的影响,需要不断地调整和变动。不同的用水户,在不同地区的不同时间,使用不同水源的不同量的水,其资源水价是不同的。水价的组成包括水权水价、工程水价、环境水价。

所谓水权的确定就是指将水资源在特定流域或区域范围内,在系统、有效、公平等原则的指导下,遵循自然规律和经济规律,对有限的、不同形式的水资源,通过工程与非工程措施,在区域间进行科学分配。

## 2.3 指导性原则

### 2.4.1 公平公正原则

在水权确定中坚持公平公正,在地区之间、用水目标之间对水资源公平分配。在地区上保证县(区)之间以及县(区)内部水资源合理分配;协调近、远期不同水平流域治理规划和社会发展规划对水资源的需求关系;在用水目标上、优先保证

生活用水和最为必要的生态用水前提下协调生产用水和一般生态用水以及不同经济部门间的用水关系。

#### 2.4.2 可操作性原则

根据黑河流域近期治理规划制定的阶段性目标,建立和完善水资源统一管理和生态建设与环境保护体系。实现国务院批准的分水方案,在正常年份下使正义峡下泄水量达到 $9.5\text{亿m}^3$ ,在此前提下确定水权。

#### 2.4.3 系统性原则

将县(区)作为一个系统的不同单元,全面系统掌握水资源开发利用现状,研究分析水资源的收支平衡关系,在这个系统的基础上进行地表水和地下水的统配置。

#### 2.4.4 有效性原则

通过各种措施提高参与生活、生产和生态过程的水量及其有效程度,减少水资源在转化过程和利用过程中的无效损失和浪费,提高单位水量产出,减少水污染,增加有效水资源量。

### 3 节水型社会的具体实施

#### 3.1 取水指标分配

各县(区)用水总量指标根据全市用水总量、各县(区)的多年平均可利用水量、现状用水量、人口、经济规模、经济结构和经济发展态势等因素统筹考虑确定。将水资源使用权(包括黑河及其它河流水资源和地下水使用权)分配到各县(区)。各县(区)水资源使用权由县(区)政府行使,并根据分配的水资源量、人口和经济社会发展及用水定额制订各行业用水总量控制指标<sup>[87]</sup>。

将各县(区)水资源使用权逐级分配到各乡镇、水管处(所)、城市供水企业及其它直接从河流、地下取用水资源的单位,对于非最终用水户的灌区和企业,基于服务对象的合理用水量进行汇总,申请取水许可证,取得水权。村镇或用水协会水资源的分配,首先满足生活、生态用水,促进种植业结构调整,大幅度压缩农业用水量。结合渠道利用系数,折算斗口水量,在严格控制地下水开采的基础上确定指标,然后分不同保证率对取水指标进行配置。

### 3.2 水权证发放

遵循水资源初始分配的原则，将总量指标逐级分配到乡镇、用水协会、用水组、用水户，并向用水户核发水权证书，明晰各用水户的权利与义务。水权证是用水户享有水资源使用权的有效证件，由各县(区)人民政府监制，详细规定了持证人拥有的水权标的、行业用水定额，并由基层水管单位及时记载用水量 and 水量流转情况。通过水权证的发放，规范了取水、用水的程序。

### 3.3 用水者协会的发展

另外，灌区积极转换运行机制，以村为单位成立农民用水者协会。协会内的用水户以灌溉渠系为单位组成用水小组。农民用水者协会是由用水户共同参与的群管组织，通过政府授权将工程设施的维护、管理和使用权部分或全部交给用水户自己民主管理。其主要职责是负责斗渠以下水利工程管理、水费收缴、水事纠纷调处等工作。用水者协会规范产生、职责明确，实行民主决策、民主管理、民主监督，从组织上和制度上落实了用水户参与管理的权力。就运行的情况来看，农民用水者协会在运行过程中表现出了积极作用，他们十分清楚本辖区内各用水户的用水状况，可以民主解决矛盾与纠纷，有效监督控制各用水户的用水量，代表了用水者协会全体用水户的集体利益，促进了水市场的形成与发展。基本形成了以“灌溉管理单位+用水者协会+用水户”三位一体的全新灌溉管理模式，为水利管理工作注入了新的活力。

节水型社会作为解决水资源问题的一种全新理念，正处在探索阶段。研究区域作为西北干旱地区，水资源短缺是制约社会经济发展的关键因素。节水型社会一定是“节水”和“增长”双赢的发展，而不是以牺牲经济发展为代价换取用水量下降。要求通过结构调整优化配置水资源，将水从低效益用途配置到高效益领域，提高单位水资源消耗的经济产出。要求研究地区量水而行，以水定发展，打造与当地资源禀赋相适应的产业结构；通过统筹规划、合理布局和精心管理，协调好生活、生产和生态用水的关系，将农业、工业的结构布局和城市人口的发展规模控制在水资源承载能力范围之内。经济社会发展在水资源承载能力以内，就能实现可持续发展，否则就会造成生态系统破坏和生存条件恶化。

## 第六章 结论与建议

### 1 结论

黑河流域地处我国西北内陆干旱区,黑河中游是具有悠久历史的古老农业区之一,在 2000 多年以前就开始屯田垦殖,开发利用水资源的历史源远流长,现在已成为重要的商品粮基地。研究区内水资源的合理开发利用和调配问题由来已久,是伴随当地社会发展同步出现的问题。近年来,由于黑河流域中游张掖市,尤其是张掖市黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县三区对水资源的不合理规划、开发、利用导致了一系列的社会和生态环境问题。主要表现为黑河中下游地区的用水矛盾加剧,水事纠纷增多;生态环境恶化,天然胡杨林和灌木林衰败甚至死亡,额济纳旗沦为沙尘暴发源地之一。为了合理利用水资源,用科学的方法研究预测水资源在人为影响下对社会发展和支撑能力,为促进地方社会经济发展、人与自然和谐相处提供理论依据是十分必要的。

本文应用主成分分析方法,分析了张掖市黑河干流沿岸甘州区、临泽县、高台县三地的水资源承载力的驱动因素。结合黑河流域的水资源开发利用现状,建立了水资源优化配置模型和水资源承载力计算模型,综合研究了黑河中游张掖市甘州区、临泽县、高台县三地区的水资源合理配置、水资源的承载能力以及节水型社会建设。获得以下主要结论:

1.黑河中游研究区域内甘州、临泽、高台三地水资源承载力主要驱动因素可以划分为社会和自然两大系统。在社会系统内部经济因素起决定作用;在自然因素中区域的水资源来量最为重要,研究区的缺水是资源性缺水,生产用水挤占生态用水。

2.建立了水资源优化配置模型和承载力模型。在缺水程度大致均衡、高效用水者优先、人均用水逐步趋近、尊重现状逐步调整地基础上,根据研究区域的水资源特点和当地的用水实际情况,选择以供定需、结合可持续发展为水资源配置的方法,通过对三县区的水资源近期优化配置,对水资源优化配置模型和承载力模型的求解计算表明,研究区域内水资源在优化配置以后不能够满足当地社会经

济发展和生态环境保护的需求，水资源成超载状态。

3.结合张掖市节水型社会建设的实际，提出了节水型社会建设的措施。节水型社会作为解决水资源短缺的主要途径，根据可持续发展理论和水资源承载能力的有效极限性规律，通过工程与技术建设和节水型社会的制度建设，以制度建设中的水权建设为中心，关键是要解决水权的分配。通过水权的分配，结合经济杠杆才能实现水资源的高效利用。

4.节水型社会建设是解决水资源短缺的根本途径。根据可持续发展理论和水资源承载能力的有效极限性规律，通过工程与技术建设和节水型社会的制度建设，以制度建设中的水权建设为中心，结合水资源配置的计算结果，使水资源的使用权得以合理分配。

## 2 建议

### 2.1 健全水资源统一管理体制

水资源合理配置涉及市、县（区）和灌区等多个决策层次和不同部门等多个决策主体，近期与远期等多个决策时段，社会、经济、环境等多个决策目标，因此必须健全以流域机构为宏观指导，以地区水务机构为主要管理协调部门，各县（市）共同参与的统一管理体制。在市水行政主管部门统一管理下，顾全流域治理规划大局，协调各县（区）间的关系，切实保障水资源配置方案的实施。

### 2.2 建立和完善水资源计量和监测系统

计量和监测是水资源配置方案操作和评价的必要基础设施，配置区必须尽快建立和完善配置区取用水计量和监测系统。具体包括两大部分内容，一是取用水计量系统，包括各口门、干、支、斗渠取用水计量和机井取用水计量设施；二是水资源监测系统，包括地表水和地下水监测两部分内容，如黑河干流在甘州、临泽和高台三县（区）出入境断面的监测。

### 2.3 建立水资源实施调配管理决策支持系统

目前黑河干流张掖区段水量调度方式主要采取闭口的方式，为实现水资源的实时调配，充分发挥配置效率，应建立张掖市水资源实施调配管理支持系统，为

年度配置方案、年度调度预案、实时预报调度的统一结合提供管理平台。

## **2.4 保障相关资金及时到位**

本次配置方案是以节水型社会建设试点建设、流域综合治理规划的相关措施为基础,如各项节水工程、用水计量设施等、为使水资源配置方案能够付诸实践,必须保障节水型社会建设试点和黑河流域综合治理规划的相关资金及时拨划和到位。

## **2.5 建立和完善市场调控机制**

经济手段是实现水资源合理配置的有效调控方式,因此必须建立和完善促进水资源合理配置的市场调控机制,如完善水价形成机制、形成节水激励机制、制定水权交易规则和搭建交易平台等,利用市场调节促进水资源高效利用和流转。

## **2.6 继续推进产业结构调整**

低耗水、高产出的产业结构是实现配置区乃至整个西北内陆和流域经济发展顺应水资源承载能力的必然选择。配置区应继续全面推进产业结构包括种植结构调整,大力发展主导产业,培育龙头企业,同时完善市场体系建设。

## 致 谢

在本论文完成之际，向所有在研究生阶段关心帮助和支持鼓励我的老师、同学、朋友和亲人表示衷心的感谢！

首先，感谢我的导师李效栋先生，在学习生活上的教诲和关怀。导师渊博的学识，严谨的治学态度，勤恳的敬业精神是我学习的榜样。在此向他表示最诚挚的谢意。

其次，我要感谢农业水土工程专业的领导和老师的支持和鼓励。衷心感谢甘肃省水利科学研究院赵元忠和张新民两位老师对我的支持和帮助，使得论文能够顺利完成。朋友是人生的宝贵财富，非常感谢室友在朝夕的学习生活中无私的关心和帮助。

最后，我要感谢我的亲人，正是他们始终竭尽所能、始终如一的支持和鼓励，我才能够得以完成学业。

## 参考文献

- [1]朱一中, 夏军, 谈戈.关于水资源承载力理论与方法的研究[J], 地理科学进展 2002 (2)
- [2]汪党献, 王浩, 马静.中国区域发展的水资源支撑能力[J]水利学报, 2000, (11):21~26
- [3]余卫东, 闵庆文, 李湘阁.水资源承载力研究的进展与展望[J] 干旱区研究 2003 (3)
- [4]孙鸿烈. 中国水资源 水资源科学百科全书[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 石油出版社, 2000
- [5]程国栋. 承载力概念的演变及西北水资源承载力的应用框架[J], 冰川冻.2002年第4期
- [6]Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered:from Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. Ecological Economics, 1999, 31: 395~408.
- [7]陈百明.中国土地资源生产能力及人口承载量研究项目方法论概述[J], 自然资源学报 1991, 6(3)145~149
- [8]陈国先, 徐邓耀, 李明东.土地资源承载力的概念与计算[J], 四川师范学院学报(自然科学版).1996, 17(2)66~68
- [9]周兆德, 谭垂谓.海南岛土地资源人口承载力研究[J], 应用生态学报.1996, 7(增刊)67~72
- [10]Harris Jonathan M, et al. Carrying capacity in Agriculture: Globe and regional issue. Ecological Economics [J].1999, 129(3):443~461
- [11]Rijisberman, et al. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water system [J], Environment Impact Assessment Review.2000, 129(3):333~345.
- [12] Hrllich, Anne h. Look for the Ceiling :Estimates of the Earth's carrying capacity [J].American science, Research Triangle Park, 1996, 84(5):494~499.
- [13]Hardin G. Cultural carrying capacity: a biological approach to human problems[J]. BioScience, 1986, 36(9): 599~604
- [14]Daily G C, Ehrlich P R. Socioeconomic equity, sustainability and Earth's carrying capacity[J].Ecological Applications, 1996, 6(4):991~1001.
- [15]郭秀锐, 毛显强.中国土地承载力计算方法研究综述[J].地球科学进展.2000, 15(6): 705~711
- [16]阮本清, 梁瑞驹 王浩等.流域水资源管理[M].北京: 科学出版社, 2001.
- [17]魏斌.城市水资源合理利用与水资源承载力研究[J].城市环境与城市生态, 1995, (4):19~23.
- [18]新疆水资源软科学课题组新疆水资源及其承载力的开发战略对策[J].水利水电技术 1989, (6)2~9.
- [19]施雅风, 曲耀光.乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]北京:科学出版社, 1992
- [20]许有鹏.干旱区水资源承载能力综合评价研究[J].自然资源学报, 1993, 8(3):229~237.
- [21]贾振邦, 赵智杰, 李继超等.本溪市水环境承载力指标体系[J].环境保护科学 1995, 21(3)7~11
- [22]曲耀光, 樊胜岳.黑河流域水资源承载力分析计算与对策[J].中国沙漠, 2000, 20(1):1~8
- [23]李丽娟, 郭怀成, 陈冰等.柴达木盆地水资源承载力研究[J].环境科学 2000, 21(3)20~23.
- [24]贾峰, 蒋晓辉, 薛惠峰等.缺水地区水资源承载力模型研究[J].兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(2):114~121
- [25]冯尚友, 傅春.我国未来可利用在水资源量的估测[J].武汉水利电力大学学报 1999,

32(6)6~9

- [26]何希吾,水资源承载力.见:孙鸿烈主编,中国资源百科全书[M].北京:中国大百科全书出版社石油大学出版社 2000
- [27]阮本清,沈晋.区域水资源适度承载能力计算研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3):57~61
- [28]惠泱河,蒋晓辉,黄强等.水资源承载力评价指标体系研究[J].水土保持通报, 2000, 21(1)30~34
- [29]姚治君,王建华.华东等区域水资源承载力的研究进展及其理论探析[J].水科学进展 2002, 13(1)111~115
- [30]王家骥,姚小红,李京荣等.黑河流域生态承载力估测[J].环境科学研究 2000, 13(2)44~48
- [31]张鑫,王纪科,周建召.关中平原地下水资源承载力现状及提高承载力的途径[J].地下水 2001, 23(2)65~66
- [32]傅湘,纪吕明.区域水资源承载能力综合评价[J].长江流域资源与环境, 1999, 8(2):168-173
- [33]魏斌,张霞.城市水资源合理利用分析与水资源承载力研究[J].城市环境与城市生态 1995, 8(4)19~24
- [34]崔凤军.城市水环境承载力及实证研究[J].自然资源学报 1998, 13(1) 58~62
- [35]齐文虎.资源承载力计算的系统动力学模型[J].自然资源学报, 1990, 5(2):20~24.
- [36]徐中民,程国栋.运用多目标决策分析技术研究黑河流域中游水资源承载力[J].兰州大学学报(自然科学版), 2000, 36(2):1 22~132
- [37]蒋晓辉黄强,惠泱河等.关中地区水环境承载力研究[J].环境科学学报 2001, 21(5)312~317
- [38]迟道才,赵红巍,张伟华等.盘锦市水资源承载力研究[J].沈阳农业大学学报 2001, 32(3)137~140
- [39]唐建武.环境承载力及其在环境规划中的初步应用[J].中国环境科学1997, 17: 6~9.
- [40]戴晓辉.多目标线性规划在水资源优化调度中的应用研究[J].新疆农业大学学报, 1996, (1):39~45.
- [41]王西琴,刘昌明,杨志峰.生态及环境需水量研究进展与展望[J].水科学进展 2002, 13(4): 507~514
- [42]张济世,康尔泗.内陆河流域水资源问题剖析,中国水情[M].北京:开明出版社,2001.173~210.
- [43]龙腾锐,姜文超,何强.水资源承载力内涵的新[J].认识水利学报2004(1) 38~45
- [44]牟海省,刘吕明.我国城市设置与区域水资源承载力协调研究当议[J].地理学报 199449(1)338~344
- [45]乔西现,何宏谋,张美丽.西北地区水资源配置与管理的思考[J].西北水资源与水工程, 2000, 11(4):51~56.
- [46]Committee to Review the Florida Keys Carrying Capacity Study, National Research Council. Interim review of the Florida Keys Carrying Capacity Study [M]. Washington D. C.: National Academy Press, 2001.
- [47]冯耀龙,韩文秀,王宏江等.区域水资源承载力研究[J].水科学进展, 2003, 14(1):109~113.
- [48]Loucks D P, Stakhiv E Z. Sustainable water resources management[J].Journal of Water Planning and Management, 2000. 126(2):43~47.
- [49]王建华,江东,顾定法,等.水资源承载力的概念和理论[J].甘肃科学学报, 1999, 11(2):

1~4.

- [50]李令跃, 甘泓. 试论水资源合理配置和承载能力概念与可持续发展之间的关系[J]. 水科学进展, 2000, 11 (3): 307~313
- [51]贾蝶, 薛惠峰, 解建仓, 等. 区域水资源承载力研究[J]. 西安理工大学学报, 1998, 14(4):382~387.
- [52]张掖地区地下水资源开发规划 贾贵义, 章雁 农林科技 2005 年(第 34 卷)第 1 期
- [53]李吉鸿, 郭玉兰. 张掖市水资源短缺原因分析及对策[J]. 甘肃农业, 2004 年第 6 期(总第 215 期)
- [54]张敦强. 虚拟水: 缓解我国水短缺的新途径[J]. 中国水利, 2004, 8.
- [55]刘莹. 关于水权交易市场相关问题的探讨[J]. 中国水利, 2004, 9
- [56]孟凡德, 王晓燕. 北京市水资源承载力的变化趋势及驱动因素研究[J]. 中国水利, 2004, 9, 22~25
- [57]石作祺, 王东勇. 大力发展草产业是增加农民收入的有效途径[J]. 甘肃农业, 2001, (10):14~16
- [58]张勃, 等. 水资源约束条件下的干旱区产业结构态势分析[J]. 地域研究与开发, 2004 年 10 月第 23 卷 第 5 期
- [59]中国科学院院士西北水资源考察团. 关于黑河、石羊河流域合理用水和拯救生态环境问题的建议[J]. 中国科学院院刊, 1996 (1) :1~3
- [60]沈满洪, 何灵巧. 黑河流域新旧“均水制”的比较[J]. 人民黄河. 2004 (2) 27~28
- [61]赵品, 徐建华. 河西走廊沙尘暴频数的时序分形特征 [J]. 中国沙漠, 2003, 23 (4):
- [62]肖洪波. 中国水情-水源、水患、水利[M]. 北京: 开明出版社, 2000, 415~419.
- [63]潘启民, 田水利黑河流域水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001
- [64]黄友波, 郑冬燕, 夏军, 谢平. 黑河地区水资源脆弱性及其生态问题分析[J]. 水资源与水利工程学报, 2004, 3 (3) 2~37
- [65]宋先松, 石培基, 毛笑文. 黑河流域生态用水与产业发展研究[J]. 干旱区研究, 2004(12):323~326
- [66]Wigmosat M S, Vail L W, Lettenmaier D P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain[J]. Water Resources Research, 1994, 30(6):1665-1679.
- [67]薛小杰, 惠泱河, 黄强, 蒋晓辉. 城市水资源承载力及其实证研究[J]. 西北农业大学学报 2000 年 12 月第 28 卷 第 6 期
- [68]许新宜, 杨志峰. 试论生态环境需水量[J]. 水利规划与设计, 2003 年第 1 期.
- [69]李荣生. 应高度重视西北生态用水[J]. 中国水情分析研究报告. 2000 (17)
- [70]吴泽宇, 索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23 (2): 1~5
- [71]Loucks Daniel P, Jery R Stedinger, Douglas A Haith. Water Resources Systems Planning and Analysis[M]. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. 1981
- [72]Helweg Otto J. Water Resources Planning and Management[M]. John Wiley and Sons, Inc. Mississauga, Ontario, Canada. 1985
- [73]田长彦, 周宏飞. 以色列的水资源管理、高效利用与农业发展[J]. 干旱区研究, 2000, 17(4):63~67.
- [74]王浩, 陈敏建, 秦大庸, 等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 黄河水利出版社 2003.
- [75]钱正英, 张光斗主编. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [76]成建国. 水资源规划与水政水务管理实务全书(上、下)[M]. 北京: 中国环境科学出版

社, 2001

- [77]王先甲.水资源持续利用的多目标分析方法[J].系统工程理论与实践, 2001, (3): 128~135.
- [78]王顺久, 侯玉, 张欣莉, 丁品.水资源优化配置理论发展研究[J].中国人口资源与环境, 2002年 第12卷 第5期 79~81
- [79]傅春, 刘柱建, 林永钦.江西省2010年水资源承载力[J].分析南昌工程学院学报2005年12月 第24卷 第4期.
- [80]曾肇京, 石海峰.中国水资源利用发展趋势合理性分析 [J].中国水利, 2000 (8): 45~48
- [81]郭韧, 曹光源.优化分配水资源[J].运筹与管理, 2005, 10, 89~93
- [82]汪恕诚, 水权和水市场[J].水电能源科学, 2001, 3, 1~5
- [83]吴恒安, 水价、水权和水市场水利[J].科技与经济, 2001, 9, 110~112
- [84]董文虎.三论水权、水价、水市场水利发展研究第2卷2002年第2期1~5
- [85]于纪玉, 刘方贵.水市场建立的支撑和保障体系[J].水利经济, 2003, 3, 35~36
- [86]吴季松.合理水价形成机制初探[J].中国水利, 2001(3):17~19.
- [87]李稷文.张掖节水型社会建设模式的制度经济学分析[J].求索, 2005, 11, 9~11.

## 个人简介

王明权，男，汉族。1979年10月20日生，甘肃省榆中县人，中共预备党员。1999年到2003年期间在甘肃农业大学工学院农业水利工程专业学习，并取得工学学士学位。2003年考取甘肃农业大学工学院农业水土工程专业研究生，研究方向为水资源的管理与利用。

在校期间发表的论文：覆盖免耕的节水效应与温度调节 甘肃农业大学学报

## 导师简介

李效栋，男，汉族，甘肃景泰人，1956年3月出生，中共党员，大学本科学历，教授级高级工程师。1975年9月—1978年1月清华大学水电系水动专业学习；1978年3月—1983年2月甘肃省水利学校教员、教研室主任；1983年3月—1987年1月甘肃省水利学校教务科副科长、助教；1987年2月—1994年3月甘肃省水利学校副校长、党委委员、讲师；1994年4月—1998年3月甘肃省水利水电学校校长、党委委员、高级讲师；1998年4月后任甘肃省水利厅副厅长、党组成员、教授级高级工程师，兼任黄土高原世行贷款水土保持项目办公室主任。

## 独创性声明

本人声明所提交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包括其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得甘肃农业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名：王明叔

日期：2006.5.26