

Y 1132583

分类号: TV213.9

学校代码: 10712

U D C: 556

研究生学号: GX2003078

密 级: 公开



西北农林科技大学

2007 届在职攻读硕士学位研究生学位论文

山西省永定河区水资源紧缺程度的
模糊综合评价

类 型 高校教师

专 业 农业水土工程

研 究 生 张伟丽

指 导 教 师 吕宏兴 教授

完 成 时 间 2007 年 5 月

中国 陕西 杨凌

山西省永定河区水资源紧缺程度的模糊综合评价

摘 要

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,水资源正日益影响着全球的环境和发展。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。水资源紧缺程度已经成为衡量区域可持续发展的一项重要指标,是当前资源科学,尤其是水资源研究中的的一个重要课题。

本文从山西省永定河区水资源的现状出发,结合永定河区国民经济发展趋势,依据山西省 2006 年流域分区水资源规划配置报告(永定河区),分析和预测了在考虑节水条件下 2004、2010、2015 三个规划年的水资源紧缺程度,在此基础上提出现有规划存在的问题和建议。研究内容主要包括:

1. 在查阅国内外大量文献资料的基础上,分析了水资源紧缺的概念。研究了现有的评价方法,并对这些方法进行类比。

2. 以模糊综合评价作为评价方法,对山西省永定河区近十年的水资源紧缺程度进行了分析。

本次水资源紧缺程度评价选取当地水资源量、社会经济发展水平、供水水平、需水水平、缺水量、水环境作为一级评价指标,下设二级指标共 24 个,用权重来表示各因素对上级指标的影响,利用模糊综合评价方法分层进行评价。

3. 分析引起水资源紧缺的原因,并给出减轻水资源紧缺程度的建议。

按照本次水资源配置方案,2004、2010、2015 年山西省永定河区水资源紧缺程度同属“紧缺”,但根据指标隶属度反映,紧缺程度在逐渐降低。说明本次水资源规划配置基本上是符合水资源持续发展的要求的,然而还存在着一些不足,需进一步改进。

研究成果表明:2004、2010、2015 三个规划年水资源紧缺程度的指标隶属度分别为:0.6375、0.6275、0.6025,表明这三个规划年的水资源紧缺程度尽管在降低,但降低速度较慢,说明在水资源利用规划中,有些方面还存在欠缺。本文对这些方面进行了分析,并在五个方面给出了建议:

1. 加强非传统水资源的开发利用;
2. 进一步控制地下水开采;
3. 重视清洁能源项目开发,减小采煤造成的水资源污染;
4. 采取积极措施,减少水资源浪费现象;
5. 利用经济、法律等手段,为水资源的可持续发展提供保证。

关键词: 山西省永定河流域分区; 水资源紧(短)缺; 模糊综合评价模型

FUZZY MATHEMATICAL COMPREHENSIVE EVALUATION ON WATER RESOURCES INADEQUACY DEGREE IN YONGDING RIVER REGION SHANXI PROVINCE

ABSTRACT

Water resource which is one of controlling factors of ecological environmental is basic natural resource, and else that is the strategic economical resources and is a organic constituent of country comprehensive national strength. The water resources is affecting the global environment and the development day by day. Along with the economic construction is making omni-directional, large-scale development fast, the condition on lacking of industrial and agricultural water use and urban household water use intensifies day by day. The water resources inadequacy degree, that already became an important index to scale the region sustainable development, is an important subject in current resource science, especially water resource research.

This article embarked from present situation of water resources of Yongding River in Shanxi Province, unified the national economy development tendency of Yongding River, and based on water resources plan disposition report(Yongding River region) of drainage basin subarea in Shanxi Province in 2006, this article analyzed and forecasted water resources inadequacy degree in the three planning years of 2004,2010,2015 under this plan implementation condition, and brought forward problems and suggestion of existing plans in the foundation. The research contents mostly included that:

(1) Base on referring to a lot of domestic and foreign literatures, this article analyzed the concept of water resources inadequacy, studied existing evaluating method, and analogized these methods.

(2) Taking the fuzzy mathematical comprehensive evaluation as evaluation method, we analyzed water resources inadequacy degree of Yongding River in Shanxi Province in recent ten years.

The local water resources quantity, the social economic level of development, the water supply level, the demand of water, water deficiency and the water environment were selected in this estimate of water resources inadequacy degree as first class indexes and 24 second class indexes were also setted up. We used the weight to express the influence of various factors to higher authority indexes, and used the fuzzy mathematical comprehensive

evaluation to evaluate gradationally.

(3) By analyzing the reasons of the water resources inadequacy, we gave some suggestion to lighten the water resources inadequacy degree.

According to this water resources disposition plan in 2004,2010,2015, the water resources inadequacy degree of the Yongding River region in Shanxi Province sibling “inadequacy”. But according to the reflection of target subordination, the inadequacy degree will reduce gradually. This plan disposition of water resources conformed to the requirement of the water resources continuous development. However, there were some insufficiencies which needed to further improve.

The results of research indicate: in the three planning years of 2004,2010,2015, the target subordination of the water resources inadequacy degree are: 0.6375,0.6275,0.6025, which indicate the water resources inadequacy degree is reducing, but the speed is lower. It shows in the use and plan of water resources, there are shortcomings in some aspects. This article has made some analysis on the shortcomings in the planing, and has give the suggestion in five aspects:

- (1) Strengthen development and use of the non- traditional water resources;
- (2) Control the mining of ground water further;
- (3) Attach importance to the development project of the clean energy, reduce water resources pollution because of mining coal;
- (4) Adopt the vigorous measures and reduce the phenomenon of wasting water resources;
- (5) Use the method of economy, law and so on, provide the guarantee for the continuous development of water resources.

KEY WORDS: Yongding River basin district in Shanxi Province; Water resources inadequacy; Fuzzy mathematical comprehensive evaluation model

独 创 性 声 明

本人声明：所呈交的（高校教师、中职教师）硕士学位论文或（农业推广、兽医、工程）硕士专业学位论文是我个人在导师指导下独立进行的研究工作及取得的研究结果；论文中的研究数据及结果是按学校《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》获得的，如果违反此规定，一切后果与法律责任均由本人承担。

尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究结果，也不包含为获得西北农林科技大学或其它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的致谢中作了明确的说明并表示了谢意。

研究生签名：张伟丽

时间：2007年 5 月 28 日

导 师 承 诺

本人承诺：我的研究生张伟丽所呈交的硕士学位论文是在我指导下进行的研究工作及取得的研究结果，属于我现岗职务工作的结果，并符合《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》。如果违反学校《关于规范西北农林科技大学研究生学术道德的暂行规定》，我愿接受按学校有关规定的处罚处理并承担相应导师连带责任。

导师签名：吕宏兴

时间：2007年 5 月 29 日

关于论文使用授权的说明

任何收存和保管本论文各种版本的单位和个人未经本论文作者的导师授权，不得有对本论文进行复制、修改、发行、出租、改编等侵犯著作权的行为，否则，按违背《中华人民共和国著作权法》有关规定处理并追究法律责任。

经本论文作者的导师同意，授权西北农林科技大学可向主管上级有关单位送交论文的纸质件和电子文档，允许论文被查阅和借阅，可以采用复印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

研究生签名：张伟丽 时间：2007 年 5 月 28 日

导师签名：吕宏兴 时间：2007 年 5 月 29 日

第一章 综 述

1.1 问题的提出及研究目的

水资源作为地球自然资源的一种,是指地球范围内的可做为资源的水,包括地球表面地层中和围绕地球的大气中的水分。地球在地壳表层、表面和围绕地球的大气层中存在着各种形态的,包括液态、气态和固态的水,形成地球的水圈,并和地球上的岩石圈、大气圈和生物圈共同组成地球的自然层圈。其中水圈是这四个圈中最活跃的一个圈层。地球水圈中大约现有约 13.86 亿 km^3 水,它以液态、固态和气态形式分布于海洋、陆地、大气和生物机体中,其中海洋总储水量约为 13.38 亿 km^3 , 占全球总水量的 96.54%; 南极、北极和高山地区冰川积雪的储水量约 0.24 亿 km^3 , 占 1.74%; 全球地下水约 0.23 亿 km^3 , 占 1.69%; 存于陆地河流、湖泊、沼泽等地表水体中的水约 50.6 万 km^3 , 占 0.037%。但是,在地球圈中淡水仅占总水量的 2.53%,且主要分布冰川与永久积雪和地下水中,这些就占去淡水总量的 98.7%,而和人类生活关系最密切的河流水储量只占淡水总储量的 0.007%,加上淡水湖泊中的淡水,总共不过占淡水总储量的 0.266%。由此可见,尽管地球水圈中的水储量是可观的,但是可被人们利用的淡水资源却是十分有限的^[1-5]。

我国国土面积约 960 万 km^2 ,仅次于俄罗斯和加拿大,居世界第三位,人口在 2004 年约为 13 亿(含港、澳、台),是世界上人口最多的国家。我国的水资源总量约 28100 亿 m^3 ,总量虽在世界各国中比较靠前,但人均占有水资源量却只有世界平均水平的 1/4,从而使得水资源问题显得十分严峻,成为国民经济发展中的重要制约因素^[6-7]。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,现今社会的种种水资源危机都是人类社会经济活动和水资源之间冲突的具体体现。当人类社会经济活动对水资源的需求超过了水资源所能提供支持的上限,外界的影响超过了水资源系统维持其自身平衡和抗干扰能力时,就造成了水资源的短缺和水质的恶化。这种现象在山西省尤为突出,山西省是国家以煤电为主的能源重化工基地,特殊的经济结构与布局,加上脆弱的自然生态环境条件,导致水资源短缺,地表水污染严重,地下水普遍超采,采煤破坏水环境,水土流失加剧,使这里成为全国水环境形式最为严峻的地区之一,严重制约了山西经济社会的快速、持续、健康的发展^[8]。因此,从社会、经济、人口及环境等方面对山西水资源紧缺程度进行评价,从而进一步科学合理地制订水资源配置方案、合理确定水价、明确水权等,使有限的水资源充分发挥作用,对保障和支持国民经济的持续发展具有非常重要的实际意义。



图 1-1 大同十里河水质污染状况

Fig1-1 Water polluting conditon of SHI LI River in Datong city Shanxi Province



图 1-2 居民生活用水状况

Fig 1-2 Water using condition of inhabitant life



图 1-3 永定河区内龟裂的土地

Fig1-3 Crack earth because of dryness in YongDing River district



图 1-4 永定河内干涸的河道

Fig.1-4 The dried river in YongDin river area

实现经济社会的可持续发展，水资源的可持续开发和利用是关键因素之一。流域的水资源开发利用既要满足经济社会发展对水的需求，又要防止水资源开发利用过程中对生态环境系统的伤害。实现人与自然的和谐相处是水资源可持续利用的重要特征。以流域为单元、流域与区域相结合进行水资源利用开发和管理，既符合水的自然属性，又兼

顾了水的社会属性^[9]。因而,在山西省按照流域区划对水资源进行进一步的研究和分析具有现实的意义。本次评价就是依据山西省 2005 年进行的山西省流域分区水资源规划配置,对其中的永定河区 2004、2010、2015 三个规划年水资源紧缺程度进行了评价,并且提出现有规划所存在的问题和改进的方法。

1.2 相关概念及其研究进展

1.2.1 水资源的概念

到目前为止,什么是水资源还没有一个公认的非常严谨的文字描述。《大不列颠百科全书》水资源定义为:自然界一切形态(液态、固态和气态)的水都算水资源。

1963 年英国国会通过的《水资源法》中,改写为具有足够数量的可用资源,即自然界中水的特定部分。

1988 年联合国教科文组织(UNESCO)和世界气象组织(WMO)定义水资源是:作为资源的水应当是可供利用或可能被利用,具有足够数量和可用质量,并且可适合对某地为水资源需求而能长期供应的水源^[10]。

1.2.2 水资源紧缺的概念

关于水资源短缺的定义,许多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短缺的内涵。

例如,夏骋翔对水资源短缺的概念划分为两方面:一是水的存量短缺,定义为因为水资源存量因素(而非其他因素)导致的物种种群下降状况下(种群不可恢复,如沙漠化)的水资源存量与物种种群不致下降时(种群可恢复的下限)的水资源存量之间的正缺口;二是水的流量短缺,可以定义为在居民可以接受的价格下(次价格应能正确反映水资源的稀缺性)的水资源需求量,与保证人类一定生活质量且无水资源浪费条件下水资源需求量的正缺口^[11]。

王士武等认为,水资源短缺是指一定经济技术条件下,区域可供水资源量和质的时空分布不能满足现实标准下的区域人口、社会经济、生态与环境等系统对水资源需求时的状态^[10]。

马小强认为水资源短缺就是水资源的供需严重失衡^[12]。

1.2.3 水资源问题的国内外研究进展

1.2.3.1 国外研究情况

最早提出水资源的开发利用和保护问题的著作之一是美国总统水资源政策委员会 1950 年的报告。这个报告推动了一些大学着手研究这个课题。1955 年哈佛大学开始制定了一个水资源大纲,这个大纲的目的是要为规划和设计复杂的现代水资源系统工程研

究一种方法学。大约在哈佛水资源大纲开始执行的同时,加利福尼亚大学的许多研究人员完全独立地开始了水资源系统最优化问题的研究。加利福尼亚大学于 1957 年 12 月 1 日成立水资源中心,大大推动了水资源工程方面的研究。

20 世纪 60 年代以来,用水问题在世界范围内已十分突出,加强对水资源开发利用、管理和保护的研究发展迅速。联合国本部(UN)、粮农组织(FAO)、世界气象组织(WMO)、联合国教科文组织(UNESCO)、联合国工业发展组织(UNIDO)等均有对水资源方面的研究。

1965 年联合国教科文组织成立了国际水文十年(IHD)(1965~1974)机构,120 多个国家参加了水资源研究。在该水文十年中组织了水量平衡、洪涝、干旱、地下水、人类活动对水循环的影响研究,特别是农业灌溉和都市化对水资源的影响等方面的大量研究取得了显著成绩。1975 年成立了国际水文规划委员会(IHP)(1975~1989)接替 IHD。第一期 IHP 计划(1975~1980)突出了水资源综合利用、水资源保护等有关生态、经济和社会各方面的研究;第二期 IHP 计划(1981~1983)强调了水资源与环境关系的研究;第三期 IHP 计划(1984~1989)则研究“为经济和社会发展合理管理水资源的水文学和科学基础”,强调水文学与水资源规划和管理的联系,力求有助于解决世界水资源问题^[13-14, 15, 16, 17, 18]。

1977 年联合国在阿根廷马尔德普拉塔召开的世界水会议上,第一项决议中明确指出:没有水资源的综合评价,就谈不上对水资源的合理规划和管理。

1983 年第九界世界气象会议通过了世界气象组织和联合国教科文组织的共同协作项目:水文和水资源。它的主要目标是保证水资源量和质的评价,对不同部门毛用水量 and 经济可用水量的前景进行预测。

1987 年 5 月在罗马由水文科技协会和国际水力学研究会共同召开的“水的未来—水文学和水资源开发展望”讨论会,提出水资源利用中人类需要了解水资源的特性和信息^[19, 20]。

1.2.3.2 国内研究情况

我国对水资源的开发利用有着悠久的历史。据《中国通史》记载:“古史称,禹(大禹)、益(伯益)时起,即知利用河渠沟洫和井灌农田、园圃。”秦郑国渠是我国古代最大的引水灌溉工程;汉唐时代是水利灌溉发展的鼎盛时期,无论灌区数量和灌溉面积都是历史上前所未有。到了近代,李仪祉先生规划和兴修的关中“八惠”,开创现代水利史上光辉的一页,他的关于水资源研究的一些理论和方法对后来的研究和发展具有重要意义。

建国后,我国水资源研究有了长足的发展,尤其是 20 世纪 80 年代以来,我国在水资源研究方面,因社会和经济发展的需要推动,进行了一系列科技攻关项目的研究,特别是水资源供需关系紧张地区如华北、山西能源基地、黄河流域、西北五省及内蒙古西部的的水资源问题集中地进行研究,极大地推动了我国水资源学科的进展。我国还在 20

世纪 80 年代完成了内容比较完整的水资源基础评价和利用评价活动。

针对普遍存在的水资源短缺问题,也有许多学者进行了研究,如 1993 年姜文来研究了水资源的稀缺程度对水资源价格上限产生的影响^[21];彭岳津等 1996 年根据全国主要城市供水水源规划,按照缺水城市的缺水特点,建立了模糊多因素多层次综合评价数字模型,并编制了分析软件,用此方法对全国 270 个主要缺水城市进行了综合评价,从而得到每一个缺水城市的缺水程度和缺水类型^[22];1998 年张世本等用模糊理论综合评价法对松辽流域城市缺水程度、缺水类型进行了评价并排序,评价出严重、较严重、一般 3 种缺水程度,评价出资源型、工程型、水质型 3 种缺水类型^[23];杨瑞珍 2002 年阐述了水资源短缺对农业结构调整的影响^[24];熊见红 2003 年对长沙市水资源短缺状况进行了分析^[25];王永宏 2004 年分析了水资源短缺对水资源管理趋势的决定性影响作用^[26];张丽萍 2004 年对四川省水资源短缺程度及缺水类型进行了综合研究^[27];夏骋翔 2006 年从经济学的角度出发,解释了水资源短缺的观念及测度公式^[11];王士武、郑世宗等 2006 年对浙江省部分缺水地区缺水程度进行了分析^[10];许祝华 2006 年分析了水资源短缺对我国城市发展的制约和对城市安全的威胁并提出了如何缓解城市水资源短缺的问题^[28]。

1.3 研究方法及技术路线

国际上经常用到的评价方法有很多,例如:模糊理论分析法^[29-37]、物元模型法^[38-45]、三标度法^[46-47]、逼近理想法^[48]、灰色关联分析^[49-51]、层次分析法^[52-62]、多目标综合分析法^[63-69]、人工神经网络分析法^[70-79]、主成分分析法等^[80-85]。

物元模型的研究对象是现实中的矛盾,用关联函数分析决策对象各子系统间的矛盾性用物元交换化矛盾问题为相容问题,开拓出有关的决策策略和关联策略集,从而为管理者提供辅助决策的功能^[43];层次分析法(AHP)是将相互关联的要素按隶属关系划分为若干层次,利用数学方法综合调查访问所得各方面意见,给出各层次各要素的相对重要性权重,作为综合分析的基础^[62];三标度法是改进的层次分析法,其重要的特点是:对 x 和 y 两指标比较,若 x 比 y 重要,则 $c_{xy}=2$,若 x 与 y 同等重要,则 $c_{xy}=1$;多目标分析法是用分解—协调的分析思路,将系统划分为若干子系统,采用数学模型对其进行刻画,各子系统模型之间通过多目标分析核心模型的协调关联变量相连接,事先确定需要达到的优化目标和约束条件,结合模型模拟对决策变量在不同水平年的预测结果,可解出同时满足多个目标的发展方案;其中,模糊理论分析法以相对隶属度和相对隶属度函数为基础,不用求出绝对隶属度和绝对隶属度函数,就可对方案进行评价,简单而清晰,因而在经济管理和工程实际中得到了广泛应用。因此,本文采用模糊评价理论对山西省永定河流域分区的水资源紧缺程度进行分析。

第二章 山西省永定河分区概况

2.1 地理位置与行政区划

山西省永定河区位于山西省北部,地理位置为东经 $119^{\circ} 58' \sim 114^{\circ} 30'$ 、北纬 $38^{\circ} 55' \sim 40^{\circ} 46'$ 之间。全区总面积为 15464km^2 ,其中大同市为 7100km^2 、朔州市为 7569km^2 、忻州市为 795km^2 ,行政区划涉及大同市羊高、天镇、大同城矿区、新荣区、南郊区、大同县,朔州市的怀仁、左云、山阴、应县、浑源、朔城区、平鲁区,忻州市的宁武县。

2.2 自然地理

永定河区地形总体上是四周群山环绕,中部为大同盆地。西北部有采凉山(海拔高程 2144m)、雷公山(海拔高程 1516m)、七峰山(海拔高程 1714m)、洪涛山(海拔高程 1958m),东南部和东北部有馒头山(海拔高程 2426m)、恒山(海拔高程 2016m)、六棱山(海拔高程 2375m),山势雄伟,地形陡峻。桑干河源头和恒山有部分森林植被,为暖温带针阔叶混交林,天然林以云杉、桦树、华北落叶松、油松和辽东栎为主。中部为大同盆地,西南高、东北低,边缘高程约在 $1000\text{m} \sim 1200\text{m}$ 之间,边山峪口一般分布有洪积扇群或倾斜平原,构成平原与山区的过渡带。

2.3 社会经济

永定河区 2004 年总人口 405.98 万人,其中城镇人口 149.85 万人,农村人口 256.13 万人。全区国内生产总值 248 亿元,人均 GDP 6108 元。规模以上工业总产值 187 亿元。耕地面积 1069 万亩,其中灌溉面积 335 万亩,粮食产值 120.7 万吨。

区内有地级城市大同市和朔州市。大同市是山西第二大城市,塞上古城大同,是我国首批公布的历史文化名城之一,曾为三代京华,两朝重镇,为晋北地区中心城市,市区人口 132 万人,城郊区面积 2080km^2 ,市区国内生产总值 137 亿元。市区的云岗石窟、上下华严寺、九龙壁是珍贵的历史文化遗产。

煤炭工业和电力工业是大同市的支柱产业。煤炭资源丰富,煤质优良,大同矿务局是全国最大的煤炭生产企业,现有矿井 15 个,年生产能力超过 3600 万吨。大同二电厂是一个大型火力发电厂,现一期装机 1200Mw ,二期 1200Mw 正在建设,大同市的化工、机械、制药工业也都很发达。

朔州市是一个新兴的能源工业城市,于 1989 年经国务院批准正式成立,为省辖地

2.4.2 水文地质

按照地貌单元,就含水层组分布及发育规律概述如下:

2.4.2.1 平原区及山间盆地

主要发育第四系松散岩类孔隙含水层组。按地貌单元可进一步划分为冲洪积倾斜平原孔隙含水层组、冲湖积平原孔隙含水层组 and 山间河谷孔隙含水层组。

(1)湖积平原孔隙含水层组:主要由第四系下、中及上更新统地层组成。广泛冲洪积倾斜平原孔隙含水层组:主要由第四系中、上更新统地层组成。广泛分布于盆地近山前地带,发育有洪积扇、扇间洼地及古河道。赋存于冲积、洪积、坡积、砂卵砾石孔隙中。含水层厚 30~80m,单井出水量 1000~2000m³/d,水量丰富。地下水多呈潜水,水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg 型 HCO₃·SO₄-Ca·Mg,矿化度小于 1.0g/L。

(2)冲湖积平原孔隙含水层组:分布于盆地中心地带,地下水主要赋存于河湖相沉积中细砂层及粉砂层中。含水层一般厚 15-20m,单井出水量一般在 300-500m³/d,在古河道和现代河流冲击阶地中,单井出水量可达 1000m³/d 以上。地下水多为承压水,水化学类型多为 HCO₃·SO₄-Ca·Mg 型和 HCO₃·Cl 型及混合型,矿化度 0.5-2g/L。

(3)山间河谷孔隙含水层组:主要由第四系上更新统和全新统冲积、冲洪积砂砾石层和中粗砂组成,厚度一般 5-15m。分布在西部山区十里河、源子河、淤泥河及东南部山区壶流河、唐河等山区河谷中。地下水多呈潜水,单井出水量 500-1500m³/d,水化学类型为 HCO₃-Ca 型和 HCO₃-Ca·Mg 型,矿化度小于 0.5g/L。

2.4.2.2 山丘区及边山丘陵区

(1)构造侵蚀中高山区

主要发育变质岩风化裂隙含水层组和碳酸盐岩岩溶裂隙含水层组。

变质岩风化裂隙含水层组:由太古界桑干群、五台群变质岩及各期侵入岩组成,主要分布在南部、东南部山区。地下水主要赋存于风化裂隙及构造裂隙之中。裸露区风壳厚度一般小于 60m,地下水呈潜水,一般单泉流量小于 1.0L/s,个别可达 10-20L/s。水质类型多为 HCO₃-Ca·Mg 型,矿化度小于 0.5g/L。

碳酸盐岩岩溶裂隙含水层组:由震旦系、寒武系、奥陶系地层组成。地下水主要赋存于岩溶孔洞和层间节理、裂隙之中。地下水多具承压性,且水位埋深大。单泉流量一般为 1-5L/s,个别泉达 200L/s 以上。如广灵泉多年平均流量达 215.6L/s,水质类型多为 HCO₃-Ca·Mg 型,矿化度小于 0.5g/L。

(2)蚀堆积低山黄土丘陵区

主要发育有碎屑岩类孔隙裂隙含水层组、第四系松散岩类孔隙含水层组以及玄武岩孔洞裂隙含水层组。

碎屑岩类孔隙裂隙含水层组：由石炭系、二迭系、侏罗系、白垩系地层组成，广泛分布于西部山区腹地。地下水主要赋存于砂岩孔隙、裂隙之中，多呈潜水。一般单泉流量小于 1.0L/s，部分可达 20L/s，地下水化学类型一般为 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型和 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型，矿化度小于 2g/L。由于煤炭开采的影响，目前该含水层组大都转化为矿坑排水和古塘积水。

玄武岩孔洞裂隙含水层组：由第三系上新统和第四系更新统地层组成。前者第四系松散岩类孔隙含水层组：由第四系中、上更新统地层组成。地下水主要赋存于玄武岩气孔以及节理裂隙之中，期间夹有粘土层，多呈潜水。一般单泉流量小于 5L/s，水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Mg}$ 型和 $\text{HCO}_3\text{-Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$ 型，矿化度小于 0.5g/L。

2.5 水资源量

2.5.1 降水与蒸发

2.5.1.1 降水

降水是地表水、地下水资源的补给来源，经统计分析，永定河区 1956~2000 年多年平均降水量 406.4 mm，年降水量最大为 1959 年 654.8 mm，最小为 1965 年 236.33 mm，极值比 2.80。1980~2000 年多年平均降水量 380.8 mm，年降水量最大为 1995 年 576.7 mm，最小为 1993 年 274.4 mm，极值比 2.0。

通过长系列雨量资料分析，得到山西省永定河区降水的特征为：降水量随时序变化具有较明显的周期性；枯水期和丰水期持续时间长，年降水量偏离均值幅度大；丰、枯特性比较显著，分年段降水量分析结果表明，全区 50、60 年代降水量表现为偏丰，70 年代基本接近，80、90 年代均表现为偏枯。

2.5.1.2 蒸发

蒸发是指充分供水条件下的陆面蒸发，对区内各蒸发站 1980~2000 年的观测资料分析结果表明，多年平均水面蒸发量介于 1000~2000mm 之间，最大水面蒸发量出现在大同 1239.6mm，最小蒸发量出现在浑源县 947.4mm，极值比 1.31。多年平均水面蒸发量 1141.6mm，蒸发量等值线为由西北向东南呈带状分布。

将全年蒸发量分为冰期（12~2 月）、春浇用水期（3~5 月）、汛期（6~9 月）、汛后（10~11 月）四个时期进行比对分析。汛后蒸发量最小，在 5.3%~6.5% 之间，冰期蒸发量次之，在 6%~8% 之间，春浇用水期蒸发量明显增大，占全年 34.2%~36.6%，汛期蒸发量占全年比值最大，在 44.9%~49.0%。

2.5.1.3 干旱指数

永定河区干旱指数大致变化在 2.35~3.33 之间，属半干旱地区，中部的平原地带干

旱指数介于 3.1~3.2, 为干旱指数高值区, 西部山区及南部平原地区干旱指数介于 2.6~3.3 之间。

2.5.2 地表水资源量

2.5.2.1 河川径流量

1956~2000 年多年平均河川径流量为 52000 万 m^3 , 最大年径流量为 113721 万 m^3 , 最小年径流量为 30023 万 m^3 ; 1980~2000 年多年平均河川径流量为 45100 万 m^3 , 最大年径流量为 1995 年 61628 万 m^3 , 最小年径流量为 1999 年 33237 万 m^3 。河川径流量分年段比较结果分析表明, 河川径流量呈逐年段下降趋势, 全区 50、60 年代基本表现为偏丰, 自 70 年代开始有偏枯现象出现, 之后各年段连续偏枯, 特别是 80、90 年代, 径流减幅为全区各年段最大, 这与降水量的分年段丰枯变化趋势是一致的。

2.5.2.2 河川径流入境、出境水量

永定河区入境水量主要包括由内蒙古自治区进入御河、十里河、淤泥河的水量, 1956~2000 年平均入境水量 6350 万 m^3 , 1980~2000 年平均入境水量 7515 万 m^3 。由于河川径流量的顺时序减少以及外区开发利用程度的加大, 入境水量也相应减少。

出境水量为永定河流入河北省的水量。1956~2000 年实际出境水量均值为 30881 万 m^3 , 1980~2000 年实际出境水量均值为 11533 万 m^3 , 1956~1979 年实际出境水量均值为 47775 万 m^3 。由于河川径流量的顺时序减少, 出境水量也随之减少。

2.5.3 地下水资源量

地下水资源量为山丘区(包括一般山丘区和岩溶山区)地下水资源量加上盆地平原区地下水资源量(扣除重复计算量)。

资料表明, 山西省永定河山区一般山丘区地下水资源量 1980~2000 年多年平均 39878 万 m^3 , 并且均为矿化度小于 1g/L 的淡水; 岩溶山区 1980~2000 年多年平均地下水资源量为 21880 万 m^3 , 山丘区地下水资源量为一般山丘区和岩溶山区资源量的总和, 即山丘区 1980~2000 年多年平均地下水资源量为 61758 万 m^3 。

盆地平原区是指分布面积大于 1000 km^2 的盆地, 小于 1000 km^2 的盆地合并到山丘区, 按山间盆地计算。1980~2000 年盆地平原区地下水资源量多年平均 55591 万 m^3/a

山西省永定河区 1956~2000 年多年平均地下水资源量为 93663 万 m^3/a , 1980~2000 年多年平均地下水资源量 88702 万 m^3/a 。

2.5.4 水资源总量

山西省永定河区 1956~2000 多年平均水资源总量为 103605 万 m^3 , 1980~2000 年多

年平均水资源总量为 94406 万 m³。

各分区不同系列的水资源总量见表 2-1。

2.6 水资源可利用量

山西省永定河区多年平均地表水可利用量为 41834 万 m³，地下水可开采量 67309 万 m³，地表水与地下水重复可开采利用量 24634 万 m³，本地加入境水资源可利用量 84509 万 m³。山西省永定河区水资源可利用量计算结果如表 2-1。

表 2-1 永定河当地水资源可利用总量

Table2-1 The general water use of local water resource uticization in YongDing river area 单位：万 m³

水资源二 级区	地级 行政区	多年平均 地表水 可利用量	多年平均地下水可开采量			重复 计算量	多年平均 水资源 可利用总量
			平原区	山丘区	合计		
	朔州	22667			42460	18649	46478
永定河区	大同	15973			23393	3380	35986
	忻州	3194			1456	2605	2045
合计		41834	45943	21366	67309	24634	84509

2.7 水质特点

2.7.1 地表水水质特点

总体来看，在水资源较为缺乏和水资源开发利用程度高的区域，河道径流量小，河流自净能力低，水质污染较为明显，特别是一些中小河道，除汛期雨水外，河床内几乎全年都是污水，其污染程度是不言而喻的。而水量丰富、径流量大、河流自净能力强的区域，或水资源开发利用程度不高的区域，河流水质相对较好。

永定河区主要污染物为氨氮、COD 挥发酚，该三项主要污染物对分区地表水水质起着至关重要的控制作用，所以，该三项污染物的年际变化可代表地表水水质的变化趋势。除堡子湾外，其余各河段综合污染指数均呈上升趋势，说明该区河流污染仍在继续加重。

2.7.2 地下水质量现状

目前，永定河区未出现 I 类地下水水质，地下水质量主要以Ⅲ类水为主，其中：Ⅱ类水 526.8km² 占 3.7%；Ⅲ类水 12514.2km² 占 88.8%；Ⅳ类水 879.1km² 占 6.2%；Ⅴ类水 176.9km² 占 1.3%。从分布特点来看，Ⅱ类、Ⅲ类水主要集中在国民经济相对落后、

人类活动影响较小的山区上游一带；Ⅳ类、Ⅴ类水主要集中在经济相对发达、地下水开发利用程度较高的盆地、工矿区和人口密集的城镇。虽然Ⅳ、Ⅴ类水分布面积所占的比重不高，但对社会经济的发展，以及水资源开发利用和保护有重要的影响。

第三章 水资源开发利用现状分析及需水预测

3.1 水资源开发现状分析

3.1.1 现状供水工程

按工程类型划分,主要有蓄水、提水、引水、水井工程四大类;按水源划分,主要是地表水供水水源和地下水供水水源。供水对象有农业、工业、城市生活、农村生活、林牧渔业、城市生态。平原区既是县级以上城市所在地,也是当地的经济区,供水条件较好山丘区除了部分工矿区外,一般只有小型水利工程,仅为农业或农村生活供水。供水设施和供水条件相对优越的平原区,由于水资源贫乏,且工农业和城市生活需水量大,“资源型缺水”成为这一地区的主要矛盾。

3.1.1.1 地表水源工程

永定河区地表水水源工程由蓄水、引水、提水工程组成。

(1) 蓄水工程

2004年共有各类水库、塘坝307处,其中水库98座,有1座大型水库,8座中型水库,89座小型水库,水库总库容达90662万 m^3 。

2004年永定河区大中型水库基本情况见表3-1。

(2) 引水工程

2004年永定河区流域内共有引水工程19处,其中万亩以上灌区18处,小型灌区1处。2004年永定河区引水工程基本情况见。表3-2。

表 3-1 2004 年永定河区大中型水库统计表

Table3-1 The statistical graph of large and medium-sized reservoirs on YongDing River area in 2004

水库名称	类型	所 在			总库容 (万 m^3)	兴利库容 (万 m^3)	年供水能力 (万 m^3)	兴建 日期
		二级分区 (市)	县级 行政区	河流				
东榆林水库	中型	朔州市	山阴	桑干河	6500	5500	5410	1970年
镇子梁水库	中型		应县	浑河	5430	1822	1666	1958年
薛家营水库	中型		应县	桑干河	1200	1000	279	1971年
下米庄水库	中型		怀仁	口泉河	1145	472	225	1958年
册田水库	大(II)	大同市	大同县	桑干河	58000	41000	6333	1958年
文瀛湖水库	中型		南郊	御河	1036	494		1957年
赵家窑水库	中型		新荣	淤泥河	8563	1855	217	1960年
恒山水库	中型		浑源	唐峪河	1330	534	520	1958年
十里河水库	中型		左云	十里河	1060	380		1973年
合 计					84264	53057	14650	

表 3-2 2004 年永定河区万亩以上自流灌区情况表
Table 3-2 The self-flow irrigated area of ten thousands mu of YongDing river area in Shanxin 2004

二级分区	灌区名称	水 源	控制灌溉面积(万亩)	实际灌溉面积(万亩)
朔州市	恢河灌区	司马泊泉	12.4	9.2
	腊豁口灌区	元子河	2.4	2.3
	向应灌区	恢河	5.2	0.6
	裕民灌区	歇马关河	4. 0	3.0
	桑干河灌区	桑干河	27.3	17.4
	民生渠灌区	桑干河	2.8	0.6
	木瓜河灌区	木瓜河水库	1.5	0.1
	大小石峪灌区	大小石峪河	2.5	2.5
	薛家营灌区	水库	3.5	1.4
	浑河灌区	浑河	14.1	7.9
	大峪河灌区	大峪河	6.6	1.2
	小计		82.3	46.2
大同市	御河灌区	御河	10.2	1.4
	十里河灌区	十里河	10.1	2.0
	唐峪灌区	恒山水库	3.9	2.3
	神溪灌区	神溪水库	2.9	0.8
	王千庄灌区	王千庄峪河	3.2	2.0
	凌云口灌区	凌云口河	2.1	1.5
	民胜灌区	浑河	1.1	0.7
	小计		33.5	10.7
忻州市			0	0
总计			115.8	56.9

表 3-3 2004 年永定河区中型提水灌区情况表
Tab3-3 The lifting water irrigated area of medium-sized of YongDing River area in Shanxi 2004

二级分区(市)	灌区名称	水 源	控制灌溉面积(万亩)	实际灌溉面积(万亩)
朔州市	神头灌站	神头泉	2.4	0.9
	曹娘灌站	桑干河	2.6	0.3
	下米庄灌站	下米庄水库	2.3	2.0
	小计		7.3	3.2
大同市	智家堡灌站	水井	1.1	0.4
	河东窑灌站	饮马河	1.0	0.5
	神溪灌站	浑河	1.1	0.9
	册田灌站	册田水库	19.5	5.6
	小计		22.7	7.3
忻州市			0	0
总计			30.0	10.5

(3)提水工程

2004年永定河区流域内共有提水工程486处，其中中型提水灌区7处，小型提水灌区479处。详见附表3-3。

3.1.1.2 地下水源工程

2004年永定河区流域内共有机电井10135眼，配套9090眼，供水能力49400万m³。详见表3-4。

表 3-4 2004 年永定河区地下水源工程情况表
Table3-4 The ground water engineering in YongDing River area in 2004

二级分区 (市)	浅层地下水			深层地下水		
	生产井数 (眼)	其中：配 套机电井 数(眼)	现状年供 水能力 (万m ³)	生产井数 (眼)	其中：配 套机电井 数(眼)	现状年 供水能力 (万m ³)
朔州市	5077	4403	12654	750	750	12287
大同市	2791	2477	1415	601	601	22664
忻州市	492	438	172	424	421	168
合计	8360	7318	14241	1775	1772	35119

3.1.2 现状供水能力与供水量

2004年，山西省永定河区各类水源工程总供水量81279万m³。其中：地表水工程供水量28235万m³，占总供水量的34.7%，地下水水井工程供水量51169万m³，占总供水量的63.0%，其它水源供水量1875万m³，占总供水量的2.3%。山西省永定河区各类工程供水量见表3-5。

表 3-5 2004 年山西省永定河区各类水源工程供水量表 单位：万 m³
Table 3-5 The water-supply on different water engineering in YongDing River area in 2004

二级分区 (市)	地表水供水量					地下水 供水量	其它水源 供水量	供水量 合计
	蓄水	引水	提水	调入	小计			
朔州市	8792	9602	3685		22079	26676	1113	49869
大同市	1842	2886	1226		5954	24118	754	30826
忻州市	9	30		160	199	340	8	547
合计	10643	12518	4911	160	28232	51134	1875	81242

3.1.3 现状用水量

2004年山西省永定河区总用水量81242万m³，其中城镇生活用水量5688万m³，占总用水量的7.00%，农村生活用水量4672万m³，占总用水量的5.75%，工业用水18493万m³，占总用水量的22.76%，农田灌溉用水48789万m³，占总用水量的60.05%，林牧渔业用水

2420万m³，占总用水量的2.98%，城市生态用水1180万m³，占总用水量的1.45%。2004年各分区用水量见表3-6。

表 3-6 2004 年永定河区各分区用水量表 单位：万 m³
Table 3-6 The water-use in different branch area in YongDing River area in 2004

二级分区 (市)	城镇生活	农村生活	工业	农业灌溉	林牧渔	城市生态	总用水量
朔州市	1863	2519	7307	35784	1978	419	49869
大同市	3753	2106	10835	12941	442	749	30826
忻州市	73	47	350	64	0	13	547
合计	5688	4672	18493	48789	2420	1180	81242

表 3-7 2004 年永定河区各分区耗水量 单位：万 m³
Table 3-7 The wastage of water in different branch area in YongDing River area in 2004

用水部门 二级分区(市)	工 业						城镇生活			
	火电		一般工业		合计		耗水量	耗水率 (%)		
	耗水量	耗水率 (%)	耗水量	耗水率 (%)	耗水量	耗水率 (%)				
朔州市					2794	38.23	776	41.65		
大同市					5274	48.67	1920	51.15		
忻州市					32	9.00	36	49.00		
合计					8099	43.80	2731	48.02		
用水部门二级 分区(市)	农村生活		农田灌溉							
			水田		水浇地		菜田		合计	
	耗水 量	耗水率 (%)	耗水 量	耗水率 (%)	耗水量	耗水率 (%)	耗水 量	耗水率 (%)	耗水量	耗水率 (%)
朔州市	2519	100							28609	79.95
大同市	2106	100							10228	79.04
忻州市	47	100							49	77.00
合计	4672	100							38886	79.70
用水部门 二级 分区(市)	林牧渔		城市生态				总 计			
	耗水量	耗水率 (%)		耗水量	耗水率(%)		耗水量	耗水率(%)		
朔州市	1543	78.00		419	100		36659	73.51		
大同市	360	81.56		749	100		20637	66.95		
忻州市				13	100		176	32.23		
合计	1903	78.65		1180	100		57472	70.74		

3.1.4 现状耗水量

永定河区2004年总耗水量57472万 m^3 ，与取水量相比，耗水率为70.74%。其中工业耗水量为8099万 m^3 ，耗水率为43.80%，城市生活耗水量为2731万 m^3 ，耗水率为48.02%，农业灌溉耗水量为38886万 m^3 ，耗水率为79.70%，农村生活耗水量为4672万 m^3 ，耗水率按100%计算，林牧渔业耗水量为1903万 m^3 ，耗水率为78.65%，城市生态耗水量为1180万 m^3 ，耗水率按100%计算。详见表3-7。

3.1.5 废污水排放量调查

废污水排放量是指城镇工业废水和生活污水的总和。永定河区废污水排放总量13351万 m^3 ，其中城镇生活污水2957万 m^3 ，占全区废汇水排放总量的22.15%，排放率51.9%；工业废水排放量10394万 m^3 ，占77.85%，排放率56.21%。详见表3-8。

表 3-8 2004 年永定河区废污水排放量表 单位: 万 m^3

Tab 3-8 The discharge of waste-water in YongDing River area in 2004

级分区(市)	城镇生活	工业	合计
朔州市	1087	4513	5600
大同市	1833	5562	7395
忻州市	37	319	356
合计	2957	10394	13351

3.1.6 供、用、耗、排水合理性

永定河区总供水量为81242万 m^3 ，总用水量为81242万 m^3 。总耗水量为57472万 m^3 ，占总供水量的70.74%，农田灌溉、林牧渔用水和城镇废污水排放量为23770万 m^3 ，占总供水量的29.26%。全区废污水排放总量13351万 m^3 ，占总供水量的16.43%。与省内同类区域比较，其供、用、耗、排基本是合理的。供、用、耗、排水量详见表3-9。

表 3-9 2004 年永定河区供、用、耗、排水量 单位: 万 m^3

Table 3-9 The water supply、use、waste、drain in YongDing River area in 2004

二级分区 (市)	总供水量	总用水量	总耗水量	废污水 排放量	备注
朔州市	49869	49869	36659	5600	
大同市	30826	30826	20637	7395	
忻州市	547	547	176	356	
合计	81242	81242	57472	13351	

3.1.7 现状供水、用水水平与特征

根据以上社会经济资料和用水统计资料，分析得到2004年永定河区各分区的主要用

水指标, 见表3-10。

表 3-10 2004 年永定河区综合用水指标

Table 3-10 The indexes of comprehensive water use in YongDing River area in 2004

二级分区(市)	人均用水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	单位GDP用水量 ($\text{m}^3/\text{万元}$)	城镇人均工业用水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)	农村人均农业用水量 ($\text{m}^3/\text{人}$)
朔州市	379	358	148.22	434.01
大同市	136	122	82.28	135.10
忻州市	83	105	94.59	22.15
合计	598	585	325.09	591.26
二级分区(市)	城镇生活 ($\text{L}/\text{人}\cdot\text{日}$)	万元工业产值 用水量 ($\text{m}^3/\text{万元}$)	万元工业增加 值用水量 ($\text{m}^3/\text{万元}$)	农业灌溉亩均 用水量 ($\text{m}^3/\text{亩}$)
朔州市	104	107	292	230
大同市	78	74	91	254
忻州市	55	181		356
合计	237	362	383	840

3.1.7.1 现状综合用水水平

永定河区人均用水量相当于全国平均水平($430\text{ m}^3/\text{人}$)的51.63%, 略低于我国主要北方城市, 但高于全省($174\text{ m}^3/\text{人}$)平均水平; 从万元GDP用水量来看, 万元GDP用水量仅为全国水平($610\text{ m}^3/\text{万元}$)的31.64%, 也低于全省($340\text{ m}^3/\text{万元}$)平均水平, 与北京 $160\text{ m}^3/\text{万元}$; 天津 $140\text{ m}^3/\text{万元}$ 的先进水平相比, 差距很小。

3.1.7.2 各行业用水水平

(1)生活用水水平分析

2004年永定河区城镇生活用水指标为 $84\text{ L/p}\cdot\text{d}$, 相当于全国平均水平($219\text{ L/p}\cdot\text{d}$)的38.36%, 大大低于我国北方主要城市, 也低于全省($142\text{ L/p}\cdot\text{d}$)平均水平。表明永定河区城镇生活用水指标是很低的。

(2)工业生产用水水平分析

2004年永定河区万元工业产值用水指标 $85\text{ m}^3/\text{万元}$ 。高于全国、山西省平均水平($78\text{ m}^3/\text{万元}$ 、 $67\text{ m}^3/\text{万元}$), 也大大高于我国主要北方城市。所以今后应加大节水投资力度, 加强工业节水管理, 提高工业用水效率, 工业节水不仅关系到本身的用水效率提高, 而且关系到对生态环境的保护。

(3)农业用水水平分析

2004年, 永定河区农业灌溉亩均用水指标 $236\text{ m}^3/\text{亩}$, 大大低于全国水平($479\text{ m}^3/\text{亩}$), 与全省($216\text{ m}^3/\text{亩}$)相当。这是因受地理位置、气候条件、取水条件、种植结构、生产规模、灌溉习惯、节水水平等多种因素的影响。

3.1.8 开发利用程度

据第二次水资源调查评价成果,山西永定河区1980~2000年河川天然径流量为4.51亿m³,同期的地表水取水量为2.82亿m³,地表水开发利用率为62.3%,属于高开发利用水平。

永定河区1980~2000年系列的多年平均地下水资源可开采量为67309万m³,其中与地表水重复量24634万m³。2004年流域地下水开采量51134万m³,地下水开采系数为75.97%,在大同市区、怀仁、山阴均有超采区。

2004年永定河区总取水量81242万m³,占多年平均水资源可利用量84509万m³的96.13%,扣除回归水量后总耗水量为57472万m³,耗水率为70.74%。耗水量占多年平均水资源可利用量的68.01%。

3.2 规划年需水水平预测

3.2.1 城镇生活需水预测

根据《全国水资源综合规划技术细则》及《山西省水资源综合规划技术大纲》的要求,未来水平年需水预测是在现状节水水平和相节水措施基础上,计算基本需水方案,在基本需水方案基础上,经综合分析并参照节水方案,提交强化节水方案的需水预测成果。

在强化节水方案中确定2010、2015年永定河区城市居民生活用水的毛需水量分别为6937万m³、7963万m³。见表3-11。

表3-11 山西省永定河区城镇居民生活需水量预测成果表
Tab 3-11 The forecast achievement tablet on water use in life of cities and towns in YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	用水人口 (万人)	水利用系数	净定额 (L / p.d)	净水量 (万m ³)	毛水量 (万m ³)
朔州市	2004	53.30	0.80	65	1265	1405
	2010	65.30	0.85	80	1907	2119
	2015	72.00	0.85	85	2234	2482
大同市	2004	131.68	0.80	65	3124	3471
	2010	142.00	0.85	80	4146	4607
	2015	152.00	0.85	85	4716	5240
忻州市	2004	6.07	0.80	65	144	160
	2010	6.50	0.85	80	190	211
	2015	7.00	0.85	85	217	241
合计	2004年	191.05	0.80	65	4533	5036
	2010年	213.80	0.85	80	6243	6937
	2015年	231.00	0.85	85	7167	7963

3.2.2 工业需水预测

工业需水量预测要求按高用水工业、一般工业和火(核)电工业三类行业分别进行预测。有条件地区可对工业行业进一步细分后进行需水量预测。

高用水工业和一般工业需水可采用万元增加值用水量法进行预测。

高用水工业需水预测参考原国家经济贸易委员会编制的工业节水规划方案的有关成果。火(核)电工业分循环式、直流式和空冷式三种冷却用水方式，采用单位装机容量(Gw)取水量法进行需水预测，并可以采用单位发电量单位(亿kw/h)取水量法进行复核。

工业用水定额预测方法包括重复利用率法、趋势法、规划定额法和多因子综合法等。选取的定额应符合《山西省用水定额》的规定。

根据永定河区规划的工业用水定额，分析计算得到永定河区工业需水量2010年为47126万m³，2015年为53076万m³。汇总后的工业需水量见表3-12。

表3-12 山西省永定河区规划水平年工业需水量汇总表
Table 3-12 The collection tablet on water use in industry of YongDing River area in Shanxi Province in plan level year

二级分区	水平年	需水量(万m3)			
		高用水工业	一般工业	火(核)电	合计
朔州市	2004	216	636	6704	7556
	2010	1844	6695	11019	19558
	2015	2360	8073	11438	21871
大同市	2004	1663	8349	2728	12740
	2010	4079	15049	7784	26912
	2015	5692	16106	8379	30177
忻州市	2004	65	334	0	399
	2010	75	496	85	655
	2015	72	872	85	1028
合计	2004	1944	9318	9432	20694
	2010	5998	22241	18887	47126
	2015	8124	25051	19901	53076

3.2.3 建筑业与第三产业需水预测

3.2.3.1 建筑业需水量预测

根据《全国水资源综合规划技术细则》的规定，建筑业需水量预测方法参照工业需水量预测方法，可采用建筑业万元增加值用水量法，也可采用单位建筑面积用水量法，即根据建筑业发展规划成果，结合用水现状分析，预测各规划水平年的净需水定额和水

利用系数，进行净需水量和毛需水量的预测。

建筑业具有流动性、分散性和随机性特点，其用水又与季节、气候、施工条件、管理水平以及建筑物结构、采用技术等因素密切相关。建筑业的特点决定了其用水很难被单独统计，目前我国城市建筑业用水一般都归于市政用水中，未单独计量统计，乡镇和农村建筑及道路交通建筑用水基本没有计量，因此建筑业用水基础统计资料严重缺乏。

根据建筑部门统计的结果，选取了各水平年的定额分别为2010年4.5m³ / 万元、2015年4.0m³/万元。

根据山西省永定河区建设发展规划，到2010年、2015年，全区建筑业年产值增加量可分别达到68.3亿元、125.2亿元，按此计算的建筑业年需水量分别为384.19万m³、589.18万m³。见表3-13。

表3-13 山西省永定河区建筑业需水量预测表
Tab 3-13 The forecast of water use in architecture of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	产值 (增加值) (亿元)	净定额 (m ³ / 万元)	净需水量(万 m ³)	水利用 系数	需水量 (万m ³)
朔州市	2004	12.43	5.30	65.88	0.74	89.03
	2010	16.90	4.50	76.05	0.80	95.06
	2015	34.00	4.00	136.00	0.85	160.00
大同市	2004	23.13	5.70	131.84	0.74	178.16
	2010	50.00	4.50	225.00	0.80	281.25
	2015	89.00	4.00	356.00	0.85	418.82
忻州市	2004	0.37	4.90	1.81	0.74	2.45
	2010	1.40	4.50	6.30	0.80	7.88
	2015	2.20	4.00	8.80	0.85	10.35
合计	2004	35.93	5.55	199.53	0.74	269.64
	2010	68.30	4.50	307.35	0.80	384.19
	2015	125.20	4.00	500.80	0.85	589.18

3.2.3.2 第三产业需水量预测

按《全国水资源综合规划技术细则》要求，第三产业需水量预测方法可参照工业需水量预测方法，可采用第三产业万元增加值用水量法，也可参考城市建设部门分类口径及其预测方法进行复核，根据这些产业发展规划成果，结合用水现状分析，预测各规划水平年的净需水定额和水利用系数，进行净需水量和毛需水量的预测。

根据山西省永定河区国民经济三大产业发展规划，到2010年、2015年，全区第三产业增加值可分别达到278.5亿元、490亿元，按此计算的第三产业年需水量分别为1846.19万m³、2658.82万m³，见表3-15。

表3-15 山西省永定河区第三产业需水量预测表
Table 3-15 The forecast of water in industry of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	产值 (增加值) (亿元)	净定额 (m ³ /万元)		净需水量 (万m ³)	水利用 系数	需水量 (万m ³)
			商饮业	服务业			
朔州市	2004	41.74	7.30	5.20	242.16	0.74	327.25
	2010	104.50	6.60	4.70	548.15	0.80	685.19
	2015	184.00	6.00	4.00	846.00	0.85	995.29
大同市	2004	95.99	7.10	5.40	556.10	0.74	751.49
	2010	167.00	6.40	4.90	893.30	0.80	1116.63
	2015	294.00	6.00	4.00	1356.00	0.85	1595.29
忻州市	2004	1.90	6.70	5.20	10.69	0.74	14.45
	2010	7.00	6.00	4.70	35.50	0.80	44.38
	2015	12.00	6.00	4.00	58.00	0.85	68.24
合计	2004	139.63	7.16	5.34	808.96	0.74	1093.09
	2010	278.50	6.46	4.82	1476.95	0.80	1846.19
	2015	490.00	6.00	4.00	2260.00	0.85	2658.82

3.2.4 农业需水预测

3.2.4.1 农田灌溉需水量预测

根据本次全省分区水资源配置规划安排,现状、2010年、2015年农业灌溉需水量不作预测。其不同水平年农业灌溉需水量动态维持2004年实际供用水量。2010年、2015年农业灌溉需水量见表3-16。

表3-16 山西省永定河区农业灌溉需水量预测表 单位: 万m³
Table3-16 The forecast of farming irrigation water use of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	农田灌溉净需水量			农田灌溉毛需水量		
		P=50%	P=75%	P=95%	P=50%	P=75%	P=95%
朔州市	2004	23259	23259	23259	35784	35784	35784
	2010	24691	24691	24691	35784	35784	35784
	2015	25764	25764	25764	35784	35784	35784
大同市	2004	8153	8153	8153	12941	12941	12941
	2010	8670	8670	8670	12941	12941	12941
	2015	9317	9317	9317	12941	12941	12941
忻州市	2004	34	34	34	64	64	64
	2010	40	40	40	64	64	64
	2015	45	45	45	64	64	64
合计	2004	31446	31446	31446	48789	48789	48789
	2010	33401	33401	33401	48789	48789	48789
	2015	35126	35126	35126	48789	48789	48789

3.2.4.2 林牧渔畜需水量预测

林牧渔业需水量包括林果地灌溉、草场灌溉、鱼塘补水和牲畜用水等4项。灌溉林果地和灌溉草场需水量预测采用灌溉定额预测方法，其计算步骤类似于农田灌溉需水量。为了简化计算，灌溉林果地和灌溉草场需水量可不分灌区类型、不分降水频率进行需水量预测。

根据当地试验资料或现状典型调查，分别确定林果地和草场灌溉净定额；根据灌溉水源和供水系统，分别确定田间水利用系数和各级渠系水利用系数；结合林果地与草场发展面积预测指标，进行林果地和草场灌溉净需水量和毛需水量预测。

鱼塘补水量为维持鱼塘一定水面面积和相应水深所需要补充的水量，采用亩均补水定额方法计算，亩均补水定额可根据鱼塘渗漏量及水面蒸发量与降水量的差值加以确定。

牲畜需水采用定额法，分大、小牲畜进行预测。

根据不同水平年各分区发展指标及选取的用水定额，分析预测2010年、2015年林、牧、渔、畜需水量分别为万9982万m³与10703万m³，见表3-17。

表3-17 山西省永定河区林牧渔畜需水量预测表 单位：万m³

Table3-17 The forecast of water use in forestry,animal husbandry,sideline production and fishery of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	净需水量		水利用系数	毛需水量
		林牧渔	牲畜		
朔州市	2004	1824	944	0.8	3460
	2010	2490	1279	0.85	4434
	2015	3235	1443	0.9	5198
大同市	2004	3243	674	0.80	4897
	2010	3600	971	0.85	5377
	2015	3690	1091	0.9	5312
忻州市	2004	4	17	0.8	26
	2010	117	27	0.85	170
	2015	143	31	0.9	193
合计	2004	5071	1635	0.80	8382
	2010	6207	2277	0.85	9982
	2015	7069	2565	0.90	10703

3.2.4.3 第一产业需水量预测

综合以上预测成果，山西省永定河区第一产业需水量2010年和2015年分别为58770万m³、59492 m³，汇总见表3-18。

表3-18 山西省永定河区第一产业需水量汇总表 单位: 万m³

Table3-18 The total water use in farming of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	农田灌溉	其它	合计
朔州市	2004	35784	3460	39243
	2010	35784	4434	40218
	2015	35784	5198	40982
大同市	2004	12941	4897	17838
	2010	12941	5377	18318
	2015	12941	5312	18253
忻州市	2004	64	26	90
	2010	64	170	234
	2015	64	193	257
合计	2004	48789	8382	57171
	2010	48789	9982	58770
	2015	48789	10703	59492

3.2.4.4 农村生活需水预测

根据山西永定河区规划的农村居民人数,其农村居民用水定额是在考虑当地水源条件、现状用水水平并考虑节约用水的原则下确定的。据此计算的山西永定河区农村居民生活预测需水量2010年为3451万m³,2015年为3374万m³。具体结果见表3-19。

表3-19 山西省永定河区农村居民生活需水量预测成果表

Table3-19 The forecast achievement of water use of rural people of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	用水人口 (万人)	水利用系数	净定额 (L/p. d)	净水量 (万m ³)	毛需水量 (万m ³)
朔州市	2004	79.95	0.9	45	1313	1459
	2010	73.70	0.95	50	1345	1494
	2015	72.00	0.95	50	1314	1460
大同市	2004	95.79	0.9	45	1573	1748
	2010	94.90	0.95	50	1732	1924
	2015	93.00	0.95	50	1697	1886
忻州市	2004	1.74	0.90	45	29	32
	2010	1.60	0.95	50	29	32
	2015	1.40	0.95	50	26	28
合计	2004年	177.48	0.9	45	2915	3239
	2010年	170.20	0.95	50	3106	3451
	2015年	166.40	0.95	50	3037	3374

3.2.5 城市生态需水预测

生态环境需水预测，应根据不同地区的水资源条件，不同水平年的生态环境保护、修复和建设目标进行。各地应以社会经济发展总体规划和生态环境保护建设等相关规划为依据，综合考虑当地水资源条件，分别拟定各水平年生态环境保护、修复和建设需水目标。

生态环境需水目标，应在基准年的基础上，根据当地的水资源条件以及生态环境保护、修复和建设目标，分别制定各水平年的林草建设，湖泊、沼泽、湿地等补水的计划，以确定需要人工补充的水量。

本次规划生态环境需水只计算城镇生态环境需水量。城镇生态环境需水量指为保持城镇良好的生态环境所需要的水量，主要包括城镇河湖需水量、城镇绿地建设需水量和城镇环境卫生需水量。

城镇绿地生态需水量采用定额法计算，城镇河湖补水水量按照水量平衡法或定额法计算。城镇环境卫生需水量按照定额法计算。根据调查，现状年山西永定河区城镇生态环境用水量为1181.00万m³，按照《全国水资源综合规划技术细则》的要求，2010、2015年山西永定河区城镇生态环境用水量为3781.84万m³、5092.21万m³。具体的规划指标及需水量预测见表3-20。

3.2.6 需水量预测成果汇总

综合以上分析计算，考虑强化节水措施以后的强化节水方案，汇总山西省永定河区国民经济与社会各行业部门总需水量，2010年为122296万m³，2015年为132246万m³，具体结果见表3-21。

表3-20 山西省永定河区城镇生态规划指标与需水量预测

Table 3-20 The ecological plan index and water use forecast tablet on people of cities and towns of YongDing River area in Shanxi Province

二级分区	水平年	规划目标			年净需水量 (万m ³)			水利 用系 数	毛需 水量 (万m ³)
		绿化 (万亩)	河湖 补水 (万亩)	环境 卫生 (km ²)	绿化	河湖 补水	环境 卫生		
朔州市	2010	0.98	0.78	7.84	78.36	679.11	282.10	0.9	1155.07
	2015	1.30	1.08	10.80	103.67	935.99	388.80	0.9	1587.18
大同市	2010	2.13	1.70	17.04	170.39	1476.78	613.44	0.9	2511.79
	2015	2.74	2.28	22.80	218.87	1975.98	820.80	0.9	3350.72
忻州市	2010	0.10	0.08	0.78	7.80	67.60	28.08	0.9	114.98
	2015	0.13	0.10	1.05	10.08	91.00	37.80	0.9	154.31
合计	2010	3.21	2.57	25.66	256.55	2223.49	923.62	0.9	3781.84
	2015	4.16	3.46	34.65	332.62	3002.97	1247.40	0.9	5092.21

表3-21 山西省永定河区需水量成果 单位: 万m³

Table 3-21 The achievement of water use of YongDing River area in Shanxi Province

二级 分区	水平年	生活	生 产				生态 环境	总计
			第一产业	第二产业	第三产业	小计		
朔州市	2004	2864	39243	7645	327	47215	419	50498
	2010	3613	40218	19653	685	60556	1155	65325
	2015	3942	40982	22031	995	64008	1587	69537
大同市	2004	5219	17838	12918	751	31508	749	37476
	2010	6531	18318	27193	1117	46628	2512	55672
	2015	7126	18253	30596	1595	50444	3351	60920
忻州市	2004	192	90	401	14	505	13	710
	2010	243	234	663	44	942	115	1300
	2015	270	257	1039	68	1364	154	1788
合计	2004	8275	57171	20964	1093	79228	1181	88685
	2010	10388	58770	47510	1846	108126	3782	122296
	2015	11337	59492	53665	2659	115816	5092	132246

第四章 山西省永定河区水资源紧缺程度的模糊综合评价

综合评价是对多因素所影响的事物或现象做出总的评价,这是统计分析指标的方法之一,但是,在对某些事物的评价中,所选定的评价指标都是模糊概念,各指标之间既相互联系又相互影响的程度亦带有模糊性时,可采用模糊综合评价法。

目前,对某区域水资源的紧缺程度,大都是定性的评价,这样的评价不能全面考虑各因素对水资源紧缺程度的影响,同时,对不同时段不同区域水资源的紧缺程度也无法进行相互的比较,从而给区域或流域水资源的合理配置造成负面的影响。因此,对区域水资源质和量的状况、社会经济发展及其对水资源需求关系、供水条件及水资源开发利用状况以及缺水程度进行全面分析,是十分必要的,也符合模糊综合评判模型的应用条件,故本次采用模糊综合评价方法对山西省永定河流域分区进行水资源紧缺程度的评价。

4.1 水资源紧缺程度模糊综合评判的数学模型

模糊综合评判的数学模型分为单层次模糊综合评判模型和多层次模糊综合评判模型。本次评价采用多层次综合评价^[29]。第一层次对所有评价指标进行综合评价,第二层次对六类指标进行评价。

1) 选择综合指标,确定评判对象的因素集

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad 4-1$$

对因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 进行划分得

$$U/P = \{U_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, k) \quad 4-2$$

U_i 中含有 n_i 个因素, 记为 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in}\}$, 这里 $\sum_{i=1}^k n_i = n$

2) 确定各因素的权重 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. 其中 $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为因素 U_i 对应的权重, $0 \leq a_i \leq 1$ 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$.

3) 选择评判集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$

4) 单因素评判, 确定第 i 个评价因素 u_j 对第 j 个评判等级的隶属度, 即建立隶属函数。于是可得到因素 u_i 评判向量 $R'_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$, 从而可得到由几个因素的评判向量模糊评判矩阵

$$R' = \begin{bmatrix} R'_1 \\ R'_2 \\ \vdots \\ R'_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad 4-3$$

5) 对每个 U_i 作模糊综合评判:

$$B_{ij} = A'_i \cdot R_{ij}^T (i=1,2,\dots,k) \quad 4-4$$

6) 由 $B_{ij} = A'_i \cdot R_{ij}^T (i=1,2,\dots,k)$ 建立高一级的综合评判矩阵:

$$R = (B_{1j} \ B_{2j} \ \dots \ B_{kj}) = (A'_1 \cdot R_{1j}^T \ A'_2 \cdot R_{2j}^T \ \dots \ A'_k \cdot R_{kj}^T) \quad 4-5$$

设 $U_1, U_2, \dots, U_k$ 的权向量为 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 其中 $a_i (i=1,2,\dots,n)$ 为因素对应的权重,

$0 \leq a_i \leq 1$ 且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 则二层评判模型为

$$B = A \cdot R^T = A \cdot (B_{1j} \ B_{2j} \ \dots \ B_{kj})^T = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_m) \quad 4-6$$

7) 做出综合评判结论。

4.2 山西省永定河区水资源紧缺程度模糊综合评价

4.2.1 评价系统的构造

4.2.1.1 评价指标的选取

本次对山西省永定河区的水资源紧缺程度进行了现状 2004 年、2010 年、2015 年 3 个规划水平年综合评价。

选择评价指标的原则:

- 1) 代表性好, 所选指标能反映某一方面的特征。
- 2) 代表性强, 分析指标与目标函数有较高的关联度。
- 3) 具有独立性, 选用指标各自反映评价对象的某一方面, 相互之间不重复。
- 4) 指标在分析过程中易于量化, 便于操作, 采用资料完整可靠。
- 5) 所选指标组成的体系能比较全面反映评价对象各方面的特征。

4.2.1.2 影响区域水资源紧缺程度的因素及其层次分析

要对一个区域的水资源紧缺程度进行综合评判, 首先要确定影响该区域水资源紧缺程度的主要因素并建立因素树结构, 通过分析彼此间的关系确定因素的层次以及各因素间的并列关系与从属关系。经过分析, 区域水资源紧缺程度的影响因素主要包括当地水资源量、社会经济发展水平、供水水平、需水水平、缺水量、水环境。这些因素为评价系统的各子项, 生成一级评判指标。各子项对水资源紧缺程度的影响又由若干方面的影响因素构成, 进而可以分解出若干个基础性影响要素, 生成二级评判指标。水资源量由人均水资源占有量、需水量、径流系数、干旱指数等影响因素构成; 社会经济发展水平由人口密度、人均国民生产总值、工业产值模数、耕地率、人均灌溉面积、水田比例、工业总产值占 GDP 比重等影响因素构成; 供水水平由人均供水量、水资源利用率、地下水供水比例、跨流域调水比例、每立方水投资等影响因素组成; 需水水平由需水模数、城镇需水比例、万元 GDP 需水量、耗水率等影响因素构成, 缺水水平由缺水率来反映;

水环境由水质级别、污径比两个因素构成。

4.2.1.3 评价指标体系

根据上述层次分析及生成的一级、二级评判指标，呈树形分层次地构造，形成了评价系统指标体系如表 4-1 所示。

4.2.2 综合评价指标因素集 U 的确定

经整理，山西省永定河区与本次评价相关的资料见表 4-4，按表 4-1 中的计算方法得到 2004、2010、2015 三个规划年的评价指标即综合评价指标因素集 U 见表 4-5。

$$U = (U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4 \ U_5 \ U_6)$$

$$U_1 = \begin{pmatrix} u_{111} & u_{112} & u_{113} \\ u_{121} & u_{122} & u_{123} \\ u_{131} & u_{132} & u_{133} \\ u_{141} & u_{142} & u_{143} \end{pmatrix} \quad U_4 = \begin{pmatrix} u_{411} & u_{412} & u_{413} \\ u_{421} & u_{422} & u_{423} \\ u_{431} & u_{432} & u_{433} \\ u_{441} & u_{442} & u_{443} \end{pmatrix}$$

$$U_2 = \begin{pmatrix} u_{211} & u_{212} & u_{213} \\ u_{221} & u_{222} & u_{223} \\ u_{231} & u_{232} & u_{233} \\ u_{241} & u_{242} & u_{243} \\ u_{251} & u_{252} & u_{253} \\ u_{261} & u_{262} & u_{263} \\ u_{271} & u_{272} & u_{273} \\ u_{281} & u_{282} & u_{283} \end{pmatrix} \quad U_5 = (u_{511} \ u_{512} \ u_{513})$$

$$U_3 = \begin{pmatrix} u_{311} & u_{312} & u_{313} \\ u_{321} & u_{322} & u_{323} \\ u_{331} & u_{332} & u_{333} \\ u_{341} & u_{342} & u_{343} \\ u_{351} & u_{352} & u_{353} \end{pmatrix} \quad U_6 = \begin{pmatrix} u_{611} & u_{612} & u_{613} \\ u_{621} & u_{622} & u_{623} \end{pmatrix}$$

4.2.3 确定各因素的权重

评价指标按类别分层次分配权重。第一层次六种类别中，反映水资源供需关系的指标与反映外界环境条件的指标（包括水资源量、社会经济发展水平、水环境）各占一半权数。供水与需水等权数，各为 0.20，缺水类权数为 0.10；水资源量、社会经济、水环

境的权数分别为 0.20, 0.20, 0.10。第二层次权重: 在供水类指标中, 地下水供水比例及跨流域调水比例均为反映供水组成的指标, 其权数(指占供水的权重)分别为 0.125, 其它供水指标权数均为 0.25。其余类别指标中的各项指标均为同等权重^[9], 见表 4-1。

$$A'_1 = (0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25)$$

$$A'_2 = (0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125)$$

$$A'_3 = (0.25 \ 0.25 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.25)$$

$$A'_4 = (0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25)$$

$$A'_5 = (1.0)$$

$$A'_6 = (0.5 \ 0.5)$$

$$A = (0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1)$$

表4-1 评价指标体系表

Table4-1 The system of assessment indexes

类别	权数 (A)	指标	权数 (A')	计算方法
水资源紧 缺程 度综 合评 价系 统 U	水资源量	0.2	人均水资源占有量	0.25 水资源总量/总人口
			农田需水量	0.25 水资源总量/耕地面积
			径流指数	0.25 径流量降/水量
			干旱指数	0.25 水面蒸发量/降水量
	社会经 济发 展水 平	0.2	人口密度	0.125 总人口/土地面积
			人均 GDP	0.125 GDP/总人口
			工业产值模数	0.125 工业总产值/土地面积
			耕地率	0.125 耕地面积/土地面积
			灌溉率	0.125 灌溉面积/耕地面积
			水田比例	0.125 水田灌溉面积/灌溉面积
			人均灌溉面积	0.125 灌溉面积/总人口
			工业总产值占 GDP 比重	0.125 工业总产值/GDP
	供水水平	0.2	人均供水量	0.25 可供水量/总人口
			水资源利用率	0.25 (地表可供水+地下可供水)/水资源量
			地下水供水比例	0.125 地下可供水量/可供水总量
			跨流域调水比例	0.125 跨流域调水量/可供水总量
			每立方水投资	0.25 工程投资/可供水量
	需水水平	0.2	需水模数	0.25 需水量/土地面积
			城镇需水比例	0.25 (城镇生活需水+工业需水)/总需水
			万元 GDP 需水量	0.25 需水量/GDP
			耗水率	0.25 耗水量/总用水量
	缺水水平	0.1	缺水率	1.0 缺水量/总需水量
	水环境	0.1	水质等级	0.5 评价河段的水质类别
			污径比	0.5 污水排放量/地表径流量

4.2.4 评判集 V 的选择

按隶属度将水资源紧缺的程度分为4级，评判集 V 见表4-2^[9]。

4.2.5 单因素评判

4.2.5.1 指标隶属度（隶属度函数）

指标隶属度是表征评价指标隶属于水资源紧缺的程度，取值在0~1之间，本次评价用隶属度分级标准来确定各指标隶属度，评价指标隶属度分级标准见表4-3^[9]。

4.2.5.2 评判矩阵（指标隶属度矩阵）

对各规划水平年的指标应用隶属度分级标准得到指标隶属度矩阵 R 如表4-6：

表4-2 评判标准

Table 4-2 The assessment standard

缺水程度	严重紧缺	紧缺	轻微紧缺	不紧缺
综合隶属度 B	≥ 0.65	$0.50 \leq B \leq 0.65$	$0.35 \leq B \leq 0.5$	$B \leq 0.35$

表4-3 评价指标隶属度分级标准

Table4-3 The group standard of being underdegree of assessment indexes

类别	指标	隶属度				
		0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
水资源量	人均水资源占有量 (m ³ /人)	<400	400-800	800-1200	1200-2000	>2000
	农田需水量 (m ³ /hm ²)	<400	400-800	800-1200	1200-2000	>2000
	径流指数	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	>0.4
	干旱指数	>3.0	2.0-3.0	1.5-2.0	1.0-1.5	<1.0
社会经济发展水平	人口密度 (人/km ²)	>300	150-300	50-150	10-50	<10
	人均GDP(元/人)	>5000	3000-5000	1500-3000	500-1500	<500
	工业产值模数 (万元/km2)	>500	200-500	100-200	20-100	<20
	耕地率 (%)	>40	30-40	20-30	10-20	<10
	灌溉率 (%)	>80	60-80	40-60	20-40	<20
	水田比例 (%)	<10	10-20	20-40	40-80	>80
	人均灌溉面积 (hm ² /人)	>1.0	1.0-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	<0.4
	工业总产值占GDP比重 (%)	<1.0				>3.0
供水水平	人均供水量 (m ³ /人)	<200	200-400	400-600	600-1000	>1000
	水资源利用率 (%)	>60	40-60	20-40	10-20	<10
	地下水供水比例 (%)	>60	40-60	20-40	10-20	<10
	跨流域调水比例 (%)	>10	5-10	1-5	0-1	0
	每立方水投资 (元/m ³)	>6	5-6	4-5	3-4	<3
需水	需水模数 (m ³ /元)	>20	10-20	5-10	2-5	<2
	城镇需水比例 (%)	>50	40-50	30-40	20-30	<20
	万元GDP需水量 (m ³ /万元)	>3500	3000-3500	2500-3000	2000-2500	<2000
	耗水率 (%)	>80	60-80	40-60	20-40	<20
缺水	缺水率 (%)	>15	10-15	5-10	1-5	<1
水环境	水质等级	5	4	3	2	1
	污径比	>0.1	0.05-0.1	0.02-0.05	0.01-0.02	<0.01

表4-4 规划水平年评价指标的相关资料

Table 4-4 The materials on assessment indexes in plan level year

名 称	规划水平年		
	2004 年	2010 年	2015 年
可利用水资源总量 (万 m^3)	84509	117140	135106
总人口 (万人)	368.53	384.00	397.4
灌溉面积 (万亩)	269.61	278.84	284.34
径流量 (万 m^3)	51744	51744	51744
降水量 (mm)	406.4	406.4	406.4
干旱指数 ⁽¹⁾	2.91	2.91	2.91
土地面积 (km^2)	15464	15464	15464
GDP (亿元)	421.96	898.50	1453
工业总产值 (亿元)	235.38	569.60	889.50
可供水量 (万 m^3)	81242	117140	135106
地表可供水量 (万 m^3)	24185	38180	38180
地下可供水量 (万 m^3)	53245	55469	57506
跨流域调水量 (万 m^3)	160	160	11110
供水工程总投资 (亿元)	66.52	66.52	66.52
供水工程供水能力 (亿 m^3)	13.25	13.25	13.25
需水量 (万 m^3)	94774	130860	140810
城镇生活需水量 (万 m^3)	8275	10388	11337
工业需水量 (万 m^3)	20694	47510	53665
耗水率 (%)	70.74	无	无
缺水量 (万 m^3)	16681	13720	5730
水质等级 ⁽²⁾	4.25	4.25	4.25
污水排放量 (万 m^3)	13351	无	无

1. 由各站测得的干旱指数取平均值得到。

2. 地表水：各类水质按河长取加权平均值；地下水：按各类水的资源量取加权平均值；
地表水和地下水的水质等级取平均值值得该值。

表4-5 各规划水平年评价指标
Table 4-5 The assessment indexes in different plan level year

类别 U	评价指标	规划水平年		
		2004	2010	2015
水资源量 U_1	人均水资源占有量	220.45	305.05	340.32
	农田需水量	4699.38	6298.19	7123.81
	径流系数	0.043	0.043	0.043
	干旱系数	2.91	2.91	2.91
社会经济发展水平 U_2	人口密度	238	248	257
	人均 GDP	11449.8	23398.4	37838.5
	工业产值模数	152.21	368.34	575.21
	耕地率	46.11	46.11	46.16
	灌溉率	25.22	26.1	26.6
	水田比例	0	0	0
	人均灌溉面积	0.05	0.05	0.05
	工业总产值占 GDP 比重	55.78	63.39	61.22
供水水平 U_3	人均供水量	220.44	305.1	340
	水资源利用率	95.3	80.0	70.8
	地下水供水比例	62.94	47.35	42.56
	跨流域调水比例	0.20	0.14	8.22
	每立方米水投资	14.79	14.79	14.79
需水水平 U_4	需水模数	6.129	8.462	9.106
	城镇需水比例	30.57	44.24	46.16
	万元 GDP 需水量	224.60	145.64	96.91
	耗水率	70.74	70.74	70.74
缺水 U_5	缺水率	17.6	10.48	4.07
水环境 U_6	水质等级	4.25	4.25	4.25
	污径比	0.5	0.5	0.5

表4-6 指标隶属度表 R
Table 4-6 The tab R on the subjection degree

类别	权重 A	评价指标	权重 A_i'	隶属度 R_{ij}	规划水平年		
					2004	2010	2015
水资源 量 U_1	0.2	人均水资源占有量	0.25	R_{1j}	0.9	0.9	0.9
		农田需水量	0.25		0.1	0.1	0.1
		径流系数	0.25		0.9	0.9	0.9
		干旱系数	0.25		0.7	0.7	0.7
社会经 济发展 水平 U_2	0.2	人口密度	0.125	R_{2j}	0.7	0.7	0.7
		人均 GDP	0.125		0.9	0.9	0.9
		工业产值模数	0.125		0.5	0.7	0.9
		耕地率	0.125		0.9	0.9	0.9
		灌溉率	0.125		0.3	0.3	0.3
		水田比例	0.125		0.9	0.9	0.9
		人均灌溉面积	0.125		0.1	0.1	0.1
		工业总产值占 GDP 比重	0.125		0.1	0.1	0.1
供水水 平 U_3	0.2	人均供水量	0.25	R_{3j}	0.7	0.7	0.7
		水资源利用率	0.25		0.9	0.9	0.9
		地下水供水比例	0.125		0.9	0.7	0.7
		跨流域调水比例	0.125		0.3	0.3	0.7
		每立方米水投资	0.25		0.9	0.9	0.9
需水水 平 U_4	0.2	需水模数	0.25	R_{4j}	0.5	0.5	0.5
		城镇需水比例	0.25		0.5	0.7	0.7
		万元 GDP 需水量	0.25		0.1	0.1	0.1
		耗水率	0.25		0.7	0.7	0.7
缺水 U_5	0.1	缺水率	1.0	R_{5j}	0.9	0.7	0.3
水环境 U_6	0.1	水质等级	0.5	R_{6j}	0.75	0.75	0.75
		污径比	0.5		0.5	0.5	0.5

4.2.6 第一层综合评判

由 $B_j = A_i' \cdot R_{ij}$ 得第一层评判结果:

$$B_{11} = (0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25) \cdot (0.9 \ 0.1 \ 0.9 \ 0.7)^T = 0.65$$

$$B_{21} = (0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125) \cdot (0.7 \ 0.9 \ 0.5 \ 0.9 \ 0.3 \ 0.9 \ 0.1 \ 0.1)^T = 0.55$$

整理成表 4-7:

表4-7 第一层评价结果 B_{ij}

Table 4-7 The first level of the assessment indexes B_{ij}

类别	2004 年 B_{i1}	2010 年 B_{i2}	年 2015 B_{i3}
水资源量	0.65	0.65	0.65
社会经济发展水平	0.55	0.575	0.60
供水水平	0.775	0.75	0.8
需水水平	0.45	0.5	0.5
缺水	0.9	0.7	0.3
水环境	0.625	0.625	0.625

4.2.7 第二层综合评判矩阵

由以上计算可得第二层评价的综合评判矩阵 R :

$$R = \begin{pmatrix} 0.650 & 0.650 & 0.650 \\ 0.550 & 0.575 & 0.600 \\ 0.775 & 0.750 & 0.800 \\ 0.450 & 0.500 & 0.500 \\ 0.900 & 0.700 & 0.300 \\ 0.625 & 0.625 & 0.625 \end{pmatrix}$$

则第二层综合评判模型为 $B = A \cdot R^T$

4.2.8 第二层评价结果

$$\begin{aligned} B_1 &= A \bullet B_{i1}^T \\ &= (0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1) \bullet (0.650 \ 0.550 \ 0.775 \ 0.450 \ 0.900 \ 0.625)^T \\ &= 0.6375 \\ B_2 &= A \bullet B_{i2}^T \\ &= (0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1) \bullet (0.650 \ 0.575 \ 0.750 \ 0.500 \ 0.700 \ 0.625)^T \\ &= 0.6275 \\ B_3 &= A \bullet B_{i3}^T \\ &= (0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.1 \ 0.1) \bullet (0.650 \ 0.600 \ 0.800 \ 0.500 \ 0.300 \ 0.625)^T \\ &= 0.6025 \end{aligned}$$

4.3 评判结果与分析

4.3.1 评价结果

根据评价指标综合隶属度 B 的大小,将水资源紧缺程度划分为严重紧缺 ($B \geq 0.65$)、紧缺 ($0.50 \leq B < 0.65$)、轻微紧缺 ($0.35 \leq B < 0.5$)、及不紧缺 ($B < 0.35$) 4 个等级。

把永定河区水资源紧缺程度的评价结果汇总如表 4-8:

表4-8 水资源紧缺隶属度评价成果

Table 4-8 The appraise achievement on the subjection inadequacy degree of the water resources

水平年	水资源量	社会经济发展水平	供水水平	需水水平	缺水	水环境	综合评价
2004	0.65	0.55	0.775	0.45	0.9	0.625	0.6375
2010	0.65	0.575	0.75	0.5	0.7	0.625	0.6275
2015	0.65	0.6	0.8	0.5	0.3	0.625	0.6025

从表中可以看出,山西省永定河流域分区在 2004 年,综合评价的隶属度为 0.6375,属于紧缺,到 2010 年,综合隶属度为 0.6275,水资源仍属于紧缺,到 2015 年,综合隶属度为 0.6025。可以看到,水资源紧缺程度有所降低,但降低速度较慢。

4.3.2 水资源紧缺产生的原因

4.3.2.1 缺少污水处理措施,造成大量水资源浪费

2004 年,永定河区城市、工业污废水排放总量为 13351 万 m^3 ,其中,工业污废水排放量为 10394 万 m^3 ,城镇生活污水排放量为 2957 万 m^3 ,分别占污水排放量的 43.73% 和 12.44%。

2004 年,全区污水处理能力为 16 万 m^3/d ,而实际处理量仅为 2.7 万 m^3/d ,仅为处理能力的 16.88%,且主要集中在平朔露矿生活区和大同市郊区,朔州市区和其他县均未建设污水处理厂,这种状况一方面导致了废污水的直接排放,对环境造成了严重破坏;另一方面,大量未经处理的污水被直接引用灌溉农田,造成了地下水污染,并多次出现了损毁农作物造成减产的情况。

4.3.2.2 部分区域地下水超采严重

永定河区地下水开采主要集中在中部盆地区,其次为一般山丘区山间小盆地及河谷地带。从全区来看,地下水资源开发利用程度为 45%,属中等开发水平,但区内城乡居民生活、工农业生产的主要供水水源大部分开发利用程度已相对较高,在局部地区已出现严重的地下水超采问题,并已引发一系列环境地质问题。

4.3.2.3 采煤漏水对水资源环境影响突出

永定河区煤炭资源丰富,除应县外均有煤炭开采,煤炭成为当地的支柱产业,尤其是改革开放以来,除国家统配煤矿外,乡镇煤窑发展迅速,挖掘范围逐年扩大,带来了当地特有的水资源问题,煤炭改变了地下水的补排关系,导致开采区及周边区域地下水位下降、泉溪断流、水井干枯等。

4.3.2.4 水资源浪费现象严重

农业方面大部分农业灌溉存在灌溉渠系配套率低、渠系防渗率低、灌溉技术落后、田面不整、灌溉定额偏高等问题,农民节水意识薄弱,灌溉基本上还采用畦灌甚至是漫灌,水利用率极低,加上水价太低、管理不善,单位面积用水量大大超过规定标准,形成了农业灌溉用水的严重浪费;工业方面,由于长期以来形成的用水不计量、无考核及水价太低等因素,万元产值取水量偏高,复用水率低,造成工业用水浪费;生活用水方面,由于水价低,节水意识淡漠,浪费现象也较严重;自来水公司供水管网老化,跑、冒、滴、漏现象同样严重,个别地方管网漏失率高达30%以上。

4.3.2.5 水价不合理、水法建设不完善

永定河区的水价存在着许多问题,如供水价格严重低于其价值,既不反映价值规律的制约,也不反映供求关系;缺乏完善的水价格体系;水价改革落后于行业价格改革;水价的制订没有完全按照成本核算的原则等。

缺少地方性水法规,使得地方水行政主管部门不能依法调整地方水事关系,形成了无法可依的现状。

4.3.3 减轻水资源短缺程度的建议

4.3.3.1 加强非传统水资源的开发利用

现有工业企业普遍存在生产工艺落后、用水复用率低等问题,因此,通过更新和完善设备提高用水复用率是一条直接的节水渠道。但是由于大多数企业规模小、取水量小、更新改造困难,所以,建设集中的污水处理机构,将污水统一处理形成可以再次利用的“中水”,经中水长处理达到用户用水水质以后,进行重复利用。中水回用已经成为现代社会节约用水,实现城镇水资源可持续利用的一条重要途径。另外,在山区、山丘区发展降雨集蓄利用工程可以有效地解决山区、山丘区灌溉农业水源不足和人畜饮水困难的问题。

4.3.3.2 控制地下水超采

由于永定河区部分地区地下水已经处于严重超采状态,并已引发一系列地质环境问题,因此地下水的开采量必须加以严格控制。建议对一般超采区,在近期无其它代替水源情况下,维持目前的超采状况,即不进行压采、限采和禁采或进行一定规模的压采和限采而不禁采;而严重超采区应进行相应的压采、限采甚至禁采。

4.3.3.3 发展煤炭产业，减少采煤污染

在“十一五”期间，永定河区的工业发展方向是以煤炭为基础、电力为中心推进能源工业可持续发展。在大力整合煤炭生产规模的同时，应高度重视煤加工等清洁能源项目的开发，大力发展使用空冷机组和脱硫除尘设备的大型坑口电站，积极发展洗中煤、煤矸石综合利用电厂，尽量减少煤炭生产所造成的污染，达到节水的目的。

4.3.3.4 采取积极措施，减少浪费现象

调整农业结构，发展节水型灌溉农业和节水型旱作农业，普及喷、滴、微、管灌等节水技术，可以缓解农业用水严重短缺的局面；改进技术，对现有渠道进行防渗改造，提高渠道水利用系数，减少渗漏；另外，对供水管网进行改造，对漏损严重的城市供水管网进行更新、大力推广节水型生活用水器具、也能有效地减少水资源的浪费。

4.3.3.5 启动经济、法制手段，达到节水目的

面对全球性的缺水危机，水资源商品化已经成为必然。推进水价改革、建立水权分配制度建立适应市场经济体制要求的水利工程建设投融资体制及机制，使人们从观念上彻底得到转变，自觉自愿地为节水作出努力。

依法治水是保证水资源合理利用的有效措施，1988年，我国就颁布了《中华人民共和国水法》，标志着我国水资源的开发、利用、保护和管理及防治水害的各项事业开始走上依法治水的轨道。永定河区地理位置偏僻，这些年在这方面一直较为落后，今后应以《水法》为依据，认真执行法规赋予水行政主管部门的职责，切实为水资源的合理有效利用提供法律保障。

第五章 结 语

本文对山西省永定河区水资源利用现状进行了分析,在山西省第二次水资源调查及规划配置的成果基础上,给出了水资源紧缺程度模糊综合评价的数学模型,对山西省永定河区 2004 年、2010 年、2015 年缺水程度的发展趋势进行了计算分析。分析表明,现有水资源开发利用已达到相当规模,水资源开发潜力已经较小,如果能严格按照规划要求进行开发利用,在未来的十年中水资源紧缺程度还能逐步减轻,但从计算结果看,2004、2010、2015 这三个规划年水资源紧缺程度还都属“紧缺”,合理利用水资源的任务依然艰巨。

在本次评价中采用了模糊综合评价法,依据山西省永定河区 2006 年所做的水资源规划配置,对该区 2004、2010、2015 这三个规划年水资源短缺程度进行了评价和预测,为水资源进一步合理配置提供了依据。在评价过程中将一些无法量化的评价指标转化成权重,用以表述该指标对水资源短缺的影响程度,从而在一定程度上克服了评价指标主观随意的局限性,能较客观地预测山西省永定河区在未来十年水资源的紧缺程度。

本文虽然对山西省永定河区水资源短缺程度进行了详细的分析和预测,但由于资料和时间限制,还存在一些不足。

1. 模糊评价法本身存在着不足。由于模糊评价的实质就是对主观产生的“离散”过程进行综合的处理,本身存在剔小取大使部分信息遗失的缺陷,当评价因素越多,遗失的有用信息也越多,误判的可能性也随之增大,因而存在一定的局限性。

2. 地下水作为永定河区一种重要的供水水源,由于不合理的开采,已造成部分地区严重超采,全区超采面积达 492km^2 ,年超采量 8574万 m^3 ,严重超采区水位下降累计达 43.3m ,局部地区地下含水层已基本处于疏干状态。要恢复并保持合理的地下水位,必须逐年减少超采量,增加补给量,受到资料的限制,这部分回灌量本次评价没有计入。

怎样克服模糊综合评价的局限性,减小误判的机率,使模糊综合评判能更加准确地反映区域水资源紧缺程度,是今后工作的努力方向。

参 考 文 献

- [1] 王国新等.水资源学基础知识[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 翁文斌,王忠静,赵建世.现代水资源规划理论、方法和技术[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [3] M.I.L. vovitch,World Water Balance,Selected Works in Water Resources,Edited by Asit K.Biswas,International Water resources Association,1975.
- [4] Park R F, Burgess E W.An introduction to the science of sociology [R].Chicago,1921:532~546.
- [5] UNESCO &FAO,Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya.A resource accounting methodology for sustainable Development[M].Paris and Rom.1985:46-48.
- [6] 陈家琦,王浩.水资源学概论[M].北京:水利水电出版社,1996.
- [7] 陈家琦,王浩,杨小柳.水资源学[M].北京:科学出版社,2002.
- [8] 张伟丽,赵惠君.山西省黄河流域水环境现状调查[J].西北水力发电,2005,21(2):39-42.
- [9] 陈忠明,刘恒,耿雷华等.流域水资源可持续利用模式研究[J].水利水电科技进展,2004,24(3):5-7.
- [10] 王士武,郑士宗,温进化.浙江省部分缺水地区缺水程度分析[J].节水灌溉,2006,136(2):43-45.
- [11] 夏骋翔,水资源短缺的定义极其测度[J].水资源保护,2006,22(4):88-89.
- [12] 马晓强,韩锦绵.如何实现黄河水权制度创新[J].人文杂志,2001,(06).
- [13] WMO(1972)-Csbook on Hydrological Network Design Practice,WMO-No.324,Geneva.
- [14] WMO(1989)Managemengt of groundwater observation programmes.OHR No.705,Geneva.
- [15] WMO(1990)Hydrological models for water resources system design and operation.OHR No.740,Geneva.
- [16] WMO(1991) Information needs for Water Quality Assessment.Report of a WMO/WHO/UNER Consultation in Bratislava.HWR Tech.Rpt No.34,WMO/TD No.522,Geneva.
- [17] WHO(1993)Groundwater modelling.HWR Tech.Rpt No.38,WMO/TD No.540,Geneva.
- [18] WMO(1996)An overview of selescted techniques for nalyising sueface water date networks.OHR No.41,WMO No806,Geneva.
- [19] Lvovich M.L.World Water Resources in their fufure.Moscow,“Mysl”,263p,(in Russian).
- [20] UNCED Agenda 21-Chapter-18 Freshwter.
- [21] 姜文来.水资源价格上限的研究[J].中国给水排水,1993,(02):42-45.
- [22] 彭岳津.全国主要城市缺水程度和缺水类型的模糊多因素层次综合评价法[J].水利规划与设计,1996,(4):20-34.
- [23] 张世本,彭岳津,迟鹏超.用模糊理论评价松辽流域城市缺水状况[J].东北水利水电,1998,(01):23-26.
- [24] 杨瑞珍.论不同类型区农业结构调整[J].中国软科学,2002,(08):14-17.
- [25] 熊见红.长沙市水资源短缺状况分析及对策[J].人民长江,2003,(02):45-47.
- [26] 王永红.浅谈社会主义市场经济条件下的水资源管理[J].甘肃水利水电技术,2004,(03):25-27.
- [27] 张丽萍.四川省水资源短缺程度和缺水类型综合研究[D].四川农业大学硕士论文,2004.
- [28] 许祝华,赵新生.水资源匮乏对城市发展与城市安全的影响[J].海洋开发与管理,2006,(06):32-34.

- [29] 高健, 黄海燕, 周登峰. 拱坝安全模糊综合评判模型[J]. 河海大学学报, 2004, 32 (2): 164-165.
- [30] 汪志强. 基于模糊综合评判的区域工程质量水平宏观评价[J]. 河海大学学报, 2004, 32 (4): 474-477.
- [31] 张君伟, 邵蔚. 模糊综合评价法在水库移民后评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2006, 12 (1): 5-7.
- [32] 徐留兴, 梁川, 王上辅等. 水资源紧缺程度的模糊综合评价-以云南省楚雄市为例[J]. 水资源保护, 2006, 22 (4): 40-43.
- [33] 张利荣, 王素梅. 工程项目成本预测的多基元模糊算法[J]. 河海大学学报, 2004, 32 (5): 354-357.
- [34] 段宝彬. 基于区间数的多级模糊优选模型[J]. 河海大学学报, 2004, 32 (4): 478-480.
- [35] 王波, 袁汝华. 基于优越性权重的多目标模糊优选模型[J]. 河海大学学报, 2005, 32 (2): 220-223.
- [36] 洪海春, 徐卫亚, 叶明亮. 基于模糊综合评判的边坡稳定性分析[J]. 河海大学学报, 2005, 33 (5): 557-561.
- [37] 萧满意, 董栩立. 山西省水资源承载能力评估[C]. 山西水利科技, 1998, 总 123 期 5-7.
- [38] 杨晓华, 杨志峰, 沈珍瑶等. 水资源可再生能力综合评价的遗传加权物元模型[J]. 数学的实践与认识, 2004, (11).
- [39] 贾嵘, 蒋晓辉, 薛惠峰. 缺水地区水资源承载力模型研究[J]. 兰州大学学报, 2000, 36 (2): 114-121.
- [40] 门宝辉, 王志良, 梁川. 物元模型在区域地下水资源承载力综合评价中的应用[J]. 四川大学学报, 2003, (01).
- [41] 李如忠, 汪家奴, 钱家忠. 模糊物元模型在区域水环境承载力评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2004, (05).
- [42] 康艳, 蔡焕杰, 宋松柏. 用模糊物元模型综合评价陕西省水资源可持续利用程度[J]. 水资源与水利工程学报, 2005, (03).
- [43] 张丽霞, 施国庆. 物元模型在城市化综合评价中的应用[J]. 河海大学学报, 2004, 32 (3).
- [44] 张丽霞, 施国庆. 江苏省城市化物元模型综合评价[J]. 华侨大学学报, 2004 (02).
- [45] 王立坤, 马永胜, 门宝辉. 水质污染评价的物元模型[A]. 农业工程科技创新与建设现代农业-2005 年中国农业工程学会学术年论文集第二分册[C], 2005.
- [46] 沈晓娟, 徐向阳. 基于三标度法的区域水资源综合评价[J]. 水资源保护, 2006, 22 (4): 36-37.
- [47] 李洪杰, 吕东萍. 三标度法在群体判断和 Fuzzy 判断中的应用[J]. 临沂师范学院学报, 2000, (06).
- [48] 崔振才, 程兴奇, 杜守建等. 应用逼近理想法综合评价水环境质量[J]. 水资源保护, 2006, 22 (4): 50-53.
- [49] 柳鹏. 灰色关联分析法在国际工程投标风险决策的应用[J]. 水利科技与经济, 2006, (01): 11-14.
- [50] 刘立名, 刘睿, 余建星. 灰色关联分析在国际工程承包项目风险评估中的应用[J]. 中国海上油气, 2002, (04).
- [51] 王敬敏, 郭继伟, 连向军. 两种改进的灰色关联分析法的比较研究, 2005, (06).
- [52] 韩宇平, 阮本清, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用[J]. 资源科学, 2003, (04).
- [53] 陈永宁, 赵和苍, 曹恒. 层次分析法在农业可持续发展生态环境安全评价中的应用[C]. 地质与可持续发展—华东六省一市地学科技论坛文集, 2003.
- [54] 彭锟, 强茂山. 模糊层次分析法在 Duber Khwar 项目风险评价和投标决策中的应用研究[J]. 水力发电学报, 2004, (05).
- [55] 洪阳, 曹静. 城市水资源系统综合评价指标体系初探[J]. 上海环境科学, 2000, (06).

- [56] 周兴.AHP 法在广西生态环境综合评价中的应用[J].广西师范学院学报, 2003, (03)
- [57] 刘国香.水安全评价模型及保障对策研究[D].山东大学, 2005.
- [58] 马超,徐建新,冯跃志等.区域水资源综合评价方法初探[J].华北水利水电学院学报, 2006, (02).
- [59] 张恒全,王旭华,谢丹.基于模糊层次分析的城市水环境治理绩效评价[J].统计与决策,2006, (22).
- [60] 黄晓锋.水资源系统安全分析理论研究[D].武汉大学,2005.
- [61] 陈绍金.水安全系统评价、预警与调控研究[D].河海大学,2005.
- [62] 樊彦芳,刘凌,陈星.层次分析法在水环境安全综合评价中的应用[J].河海大学学报, 2004, 32 (5):512-514.
- [63] 邹进,袁晓辉,李承军等.基于模糊控制原理的多目标决策方法[J].河海大学学报, 2004, 32 (5): 512-514.
- [64] 许中昆.情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J].冰川冻土, 1999, 21 (2): 100-106.
- [65] 付微,孟波.一种模糊多目标群决策方法[J].系统工程与电子技术, 1996, (12).
- [66] 宋业新,陈绵云,吴晓平.模糊多目标有约束投资项目选择建模[J].系统工程理论与实践, 2002, (05).
- [67] 陈德军,盛翊智,张宏斌.一种模糊多层多目标群决策方法的研究[J].华中科技大学学报(自然科学版), 2003, (08).
- [68] 吴冲,李汉铃,朱洪文.一种新的模糊多目标群决策方法[J].哈尔滨工业大学学报, 2002, (06).
- [69] 孟波,王浣尘,付微.一种有限方案模糊多目标决策方法[J].控制与决策, 1993,(05).
- [70] 颜勇,酆建强,陆桂华等.环境质量综合评价的 RBF 网络方法[J].河海大学学报, 2005, 33 (1): 29~31.
- [71] 李兴旺,董曼玲.地面水质评价的 RBF 神经网络方法[J].水土保持通报, 2002, (03).
- [72] 郭宗楼.水利水电工程环境影响综合评价的人工神经网络专家系统[J].环境科学研究, 1998, (05)
- [73] 朱长军,李文耀,张普.人工神经网络在水环境质量评价中的应用[J].工业安全与环保, 2005, (02).
- [74] 彭馥艳,丁辉,赵源.基于 RBF 网络的大气环境质量评价[J].水土保持研究, 2006, (05).
- [75] 陈安,罗亚田.人工神经网络方法在环境科学领域应用进展[J].重庆环境科学, 2003, (09)
- [76] 杨晓华,杨志峰,沈珍瑶等.区域水资源开发利用程度评价的 RBF 网络模型[J].环境科学, 2004, (01)
- [77] 黄斌.人工神经网络在沅江中上游水环境质量评价中的应用[D].湖南大学, 2006.
- [78] 孙晓鸣,柏益尧,左玉辉.生态城市评价中的 RBF 神经网络模型-以厦门市为例[J].环境保护科学, 2005, (05).
- [79] 楼文高.海水水质评价的人工神经网络模型研究[J].海洋环境科学, 2001, (04)
- [80] 贾嵘,蒋晓辉,薛惠峰.缺水地区水资源承载力模型研究[J].兰州大学学报, 2000, 36 (2)
- [81] 傅湘,纪昌明.区域水资源承载能力综合评价—主成分分析法的应用[J].长江流域水资源与环境, 1999, (02)
- [82] 吴开亚.主成分投影法在区域生态安全评价中的应用[J].中国软科学, 2003, (03)
- [83] 陈腊娇,冯丽华,毛小军.主成分分析法在水资源承载力影响因子评价中的应用[J].水利科技与经济, 2006, (06)
- [84] 马虹.主成分分析法在水质综合评价中的应用[J].南昌工程学院学报, 2006, (01)
- [85] 刘德林,刘贤赵.主成分分析在河流水质综合评价中的应用[J].2006, (03)

致 谢

本论文是在导师吕宏兴教授的精心指导下完成的。从论文的选题、资料收集到论文的撰写、修改和定稿每一步都倾注了导师大量的心血。导师在学习、生活上都给了我许多的关心和照顾,导师高尚的人格、严谨的治学态度和丰富的教学经验都给我留下了深刻的印象,使我在很多方面都有了很大的提高,使我受益终身。值此论文完成之即,谨向导师致以最崇高的敬意和衷心的感谢!

感谢杨凌职业技术学院的张春娟和张迪副教授提出的宝贵意见。

感谢我的家人对我的理解和支持

在论文的开题和撰写过程中,还得到了山西水利职业技术学院许多同事的热情帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

最后,向在百忙之中参加论文评阅和答辩会的所有专家、老师表示衷心的感谢和最美好的祝愿。

张伟丽

2007年5月

作者简介

张伟丽，女，1974年生，山西运城人，汉族，中共党员，山西水利职业技术学院讲师。

简历

1. 1993-1997年，就读于河海大学水力水电工程建筑专业，获得工学学士学位。

2. 1998年至今，在山西省水利职业技术学院工作，工作期间发表论文10余篇。

3. 2003年至今，在西北农林科技大学水利与建筑工程学院攻读农业水土工程专业硕士学位。

发表论文

张伟丽，赵惠君。山西省黄河流域水环境现状调查。西北水力发电，2005，21（2）：39-42。