


Y1910131

Master Dissertation of Suzhou University of Science and Technology

**Study of the Selecting of Indicators in Regional Water
Environmental Planning**



Master Candidate: Huang Dandan

Supervisor: Professor Li Xin

Major: Environment Engineering

School of Environment Science and Engineering,
Suzhou University of Science and Technology

Jun, 2010

苏州科技学院学位论文独创性声明和使用授权书

独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名： 黄丹丹 日期： 2010 年 6 月 22 日

学位论文使用授权书

苏州科技学院、国家图书馆等国家有关部门或机构有权保留本人所送交论文的复印件和电子文档，允许论文被查阅和借阅。本人完全了解苏州科技学院关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；学校有权保留学位论文的印刷本和电子版，并提供目录检索与阅览服务；学校可以采用影印、缩印、数字化或其他复制手段保存汇编学位论文；同意学校在不以赢利为目的的前提下，用不同方式在不同媒体上公布论文的部分或全部内容。

（保密论文在解密后遵守此规定）

论文作者签名： 黄丹丹 日期： 2010 年 6 月 22 日

指导教师签名： 李新 日期： 2010 年 6 月 23 日

摘 要

随着人口的增长和经济的发展,水环境系统的功能日趋下降,水环境退化成为了当先世界各国面临的主要问题,水环境规划已经引起了国际的广泛关注。因此,为了确定区域水环境规划目标的合理性,必须对其水环境规划指标适宜性进行评价。本文在综合分析众多水环境规划指标适宜性选择方法的基础上,将层次分析法用于区域水环境规划的指标筛选。

本文采用理论与实践相结合的方法,对水环境的基本理论及其方法进行较为系统的研究。在结合国内外水环境规划的现状各项指标研究的基础上,针对水源地与生态型保护区水环境的特点,对其影响因素进行了分析,构建了由目标层、准则层、子准则层和指标层四级组成的水环境规划体系,运用层次分析法对预选水环境规划指标进行筛选,确定各评价因子的权重值。在层次分析和模糊综合评价方法的支持下,对吴中区水环境规划指标的适宜性、合理性、科学性进行分析和评价。根据对影响水环境规划的5个子系统的评价,本文进一步研究了吴中区水环境规划指标的筛选。最后,确立了COD、BOD₅、新鲜用水、工业总产值、污水处理厂处理率等18个指标为必选指标。本文分析的研究方法既可供水环境相关规划设计人员和区域环境评价人员作为参考,也可以用来为区域规划部门和环境管理部门在相关的水环境建设方面提供一定的依据。

关键词: 水环境规划; 指标; 层次分析法; 模糊评价法

Abstract

With the increasing population and economic, the function of water environmental system has been deteriorating, and the deteriorating water environment has been one of the most serious problems in the world. So, water environmental planning has been drawn international attention. Therefore, in order to determining whether the objects of the regional water planning is suitable or not, we should evaluate it's indicators. Based on the comprehensive analysis of the indicators' suitability of water environment and the selection methods, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is used for regional water environmental planning target selection in this paper.

This paper combines the theory and the practice of the method. And the basic theory of the water environment and its methods are more systematic research. Based on the status of the water environmental planning at home and abroad, and the study of indicators, the characteristics of the region water environment and influencing factors are analyzed. Constructed by the goal, there are four floors sub-criteria indicators in this planning system. Then, AHP is used for choosing them, by the evaluation weight values. At the level of analysis and fuzzy comprehensive evaluation method, the support of the water environment on the Wuzhong District Planning indicators are appropriate, rational, scientific analysis and evaluation. Based on the impact of water environment systems in Wuzhong District Planning, the water environment indicators have been studied. Finally, the establishment of the COD, BOD5, fresh water, industrial output, the rate of sewage treatment plants etc. will be selected. This analysis method can supply environment-related planning and environmental evaluation as a reference, and can also be used for regional planning departments and environmental management in construction related to water environment, by providing some basis.

Key words: Water environmental planning; indicators; AHP; fuzzy evaluation method

目 录

第一章 绪论.....	3
1.1 选题背景与研究意义.....	3
1.1.1 水环境退化及水环境规划的必要性.....	3
1.1.2 区域水环境规划的指标研究意义.....	4
1.2 国内外研究现状.....	4
1.2.1 国外研究现状.....	4
1.2.2 国内研究现状.....	5
1.3 研究内容及技术路线.....	7
1.3.1 主要研究内容.....	7
1.3.2 研究的技术路线.....	7
1.4 论文创新点.....	8
第二章 水环境规划分类及指标体系的选择	9
2.1 水环境规划的分类.....	9
2.2 指标体系的选择.....	9
2.2.1 水环境指标体系选择原则.....	10
2.2.2 水环境规划指标的类型.....	11
2.2.3 水环境指标体系选择依据.....	12
2.2.4 确定水环境规划标准的方法.....	12
2.3 指标的筛选.....	13
2.3.1 指标筛选要点.....	13
2.3.2 指标的筛选方法.....	14
2.4 与水环境相关规划中指标的研究.....	14
第三章 水环境影响因素分析及其特性	19
3.1 水环境影响因素分析.....	19
3.1.1 饮用水源地水环境影响因素分析.....	19
3.1.2 生态保护区水环境影响因素分析.....	21
3.2 水环境的功能与特性.....	21
3.2.1 水环境的功能.....	21

3.2.2 水环境的特性.....	23
第四章 水环境规划中指标的选择	24
4.1 层次分析法筛选.....	24
4.1.1 层次分析法概述.....	24
4.1.2 层次分析法的步骤.....	25
4.2 水环境规划中指标体系的初步建立.....	27
4.3 构造判断矩阵并求解模型.....	29
第五章 实例研究.....	38
5.1 研究区域概况.....	38
5.1.1 苏州市吴中区基本概况.....	38
5.1.2 苏州市吴中区水环境概况.....	40
5.2 苏州市吴中区水环境分析.....	42
5.2.1 水污染状况调查.....	42
5.2.2 水资源状况调查.....	44
5.2.3 其他状况调查.....	45
5.4 苏州市吴中区水环境规划目标.....	45
5.5 吴中区水环境规划中指标的选择.....	46
5.5.1 模糊综合评价的步骤.....	46
5.5.2 吴中区水环境指标体系适宜性评价.....	51
5.5.3 综合评价.....	53
第六章 结论与展望.....	56
参考文献.....	58
致 谢.....	61
作者简介.....	62

第一章 绪论

1.1 选题背景与研究意义

1.1.1 水环境退化及水环境规划的必要性

水环境规划作为协调人类社会经济发展与水环境保护之间关系的重要途径和手段,是在水资源危机纷呈的背景下产生和发展起来的^[1],特别是近 20 年来,由于人口和经济的快速增长,以致对水质、水量的需求越来越高;与此同时,水资源枯竭、水环境污染日趋严重,使水环境问题的矛盾越来越尖锐^[2]。目前全国 600 多个城市中,400 多个缺水,其中 100 多个严重缺水,而北京、天津等大城市目前的供水已经到了最严峻时刻。与此同时,由于人口的增长,到 2030 年我国人均水资源占有量将从现在的 $2.20 \times 10^3 \text{ m}^3$ 降至 $1.70 \times 10^3 \text{ m}^3$ 至 $1.80 \times 10^3 \text{ m}^3$,需水量接近水资源可开发利用量,缺水问题将更加突出^[3]。一方面水资源利用效率不高;另一方面,水资源普遍受到污染,2003 年,淮河、海河、辽河、太湖、巢湖、滇池,其主要水污染物排放总量居高不下。淮河流域仍有一半的支流水质污染严重,海河、辽河生态用水严重缺乏,其中内蒙古的西辽河已连续五年断流。太湖、巢湖、滇池均为劣五类水质,总氮和总磷等有机物污染严重。以黄河为例,工业污染是黄河水污染的主要原因,占污水排放总量的 73%,每年由于水污染造成的经济损失约 115 亿元至 156 亿元。^[4]同时,令人担忧的是,许多农田被迫用污水灌溉,给区域内居民健康带来危害。

我国多年平均降水总量为 $6.2 \times 10^3 \text{ km}^3$,除通过土壤水直接利用于天然生态系统与人工生态系统外,可通过水循环更新的地表水和地下水的多年平均水资源总量为 $2.8 \times 10^3 \text{ km}^3$,水资源总量居世界第六位^[5]。但人均用水资源短缺,目前能够为人类开采利用的河流径流和地下淡水一般只能达到 40%。全国每年缺水量近 40 km^3 ,其中,农业每年缺水 30 km^3 左右,平均每年因旱受灾的耕地高达 26.7 km^2 ,年均减产粮食 2000 万 t;城市、工业年缺水 6 km^3 ,直接影响工业产值 2.3×10^3 亿元^[4]。

进入 21 世纪,随着我国人口的增长、生活质量水平提高、城市化进程加快,人均水资源占有量将进一步减少,而用水量却进一步增加,水资源供需矛盾更加突出,缺水已成为影响我国粮食安全、经济发展、社会安定和生态环境改善的首要制约因素。水环境规划作为解决这一问题的有效手段,受到了普遍的重视,并在实践中得到了广泛的应用。

1.1.2 区域水环境规划中的指标研究意义

编制水环境规划的基础和前提是选择恰当的水环境目标,而水环境规划的目标是通过水环境指标体系表征的,水环境指标体系为一定时空范围内所有环境因素构成的环境系统的整体反映^[6]。水环境规划目标以指标体系为依据,由规划期来确定各单项目标的控制水平;水环境保护投资则要以水环境规划指标的权重为依据进行分配。水环境规划中指标选择的科学与否将直接关系到规划的合理性,规划目标的确定以及规划的实施。因此,确定科学、合理的指标体系是编制水环境规划的基础和前提。

水环境指标类型的多样,且没有规范化和标准化,为建立合理的区域水环境指标体系造成一定程度的困难,建立一个合理的区域水环境规划指标体系是当今水环境规划的重要研究内容。

量化水环境规划的目标是水环境规划研究的一个基础工作。如何建立指标体系,选择什么样的评价方法来评价,在该领域仍有很多工作有待深入和研究。我国不少学者和专家提出了很多有关水环境的指标体系,如夏军^[7]、韩宇平^[8]、王建伟^{[5]、[9]、[10]}等人在探索水环境指标建立上作了不少尝试,发表了许多有见地的论文。然而,对水环境规划的指标体系研究并不多见。总体而言,我国在水环境规划指标评价体系研究和应用方面还处于起步阶段。随着水环境规划受到越来越广泛的关注,水环境规划评价指标体系的建立,以及评价方法的选择,即量化水环境规划,将成为该领域最基础也最重要的工作。根据对水环境规划功能区的划分,规划目标的制定,以及区域水环境影响因素的分析,本文借鉴可持续发展、水环境规划等各种研究成果,在水环境规划指标体系建立和筛选方法方面进行了一定的探索,以此为量化水环境规划研究服务。

本文通过对水环境规划指标选择的研究,为实现苏州市吴中区水资源的优化调度和可持续利用提供数据支撑,为实施污染物总量控制提供基础资料,为水污染控制的管理和决策提供科学依据。本文的计算方法可为其它地区的水环境规划、预测及容量计算提供参考。因此,对区域水环境规划研究不仅具有重要的现实意义,而且具有十分重要的理论意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

世界经济的迅速发展和人口的不断增长,给全球带来了严重的环境污染和资源耗竭问题。20世纪90年代以后,可持续发展作为经济发展的一种战略,已成

为时代的主题,各国为实现这一主题相继做出了不懈的努力,采取了一些行之有效的措施。制定环境保护规划就是其中一个重要的措施。把环境保护规划作为国民经济规划的一个重要组成部分,从而达到协调经济、社会、环境和资源的关系,促进社会生产力的持续发展和资源的永续利用,实现经济利益、社会利益和环境效益统一。水的问题越来越被世界各国所关注,强调流域整体性,对水资源和水环境进行跨学科、跨行业的研究,强调长远战略、政策、规划和宏观研究,重视运行管理工作,已成为国际水资源和生态环境界研究的主要动向。

美国在水环境规划中,以区域环境目标为奋斗方向,探讨水环境污染控制费用及比较各种控制污染措施的方案,从中筛选出最优方案,在田纳西流域采取综合治理途径,即通过立法给予流域机构经济上完全自主、独立的权利,负责全面流域规划及有关地区自然资源的保护、开发及合理利用^[11]。主要特点有:①水环境立法规划环境目标;②进行水环境预测,并提出优化方案;③研究能源与环境的关系,并以能源研究作为水环境规划研究的基础;④积极开展水环境规划方法的研究;⑤水环境规划中的主要措施采用水环境影响评价制度;⑥水环境规划委员会在制定环境规划时,一定要有政府官员参加,同时进行评议,并设有公众听取会,公众可发表不同意见,提出不同见解^[12]。英国对河流的综合开发和利用领域作出了许多努力,尤其是在流域统一管理并使之公司化方面,并取得了明显的效果;日本对福井、周防滩和鹿岛等工业区的环境规划先后进行了研究,首先提出了各年份的环境目标,其次,对开发和建设所造成的环境影响进行了预测及影响评价,同时,采取各种污染的发展对策措施,取得很大成功。

美国的水环境标准及其更为具体的水质基准,不但有技术性标准还包括陈述性的目标标准^[13]。美国联邦环保局(USEPA)于20世纪80年代就开始意识到水质管理必须要与生态系统健康相结合。二者不可或缺,由此逐渐将水质管理方法的着眼点转向水体生态管理方面。《联邦水污染控制法》提出,标准指的是能够保障公众健康、公共供水、农业和工业用水、保护水生物的平衡繁殖和保障人的水上娱乐活动的水体质量标准;将修复和保持国家水域的化学、物理和生物完整性作为管理的最终目标^[14]。因此,美国水质标准不仅是单纯采用化学指标,而是根据水体的物理、化学、生物指标以及水生生物组织中的化学指标等来全面描述水环境质量,以此全面反映出河流的健康状况。

1.2.2 国内研究现状

我国的水环境保护工作始于20世纪70年代。1972年,按照国务院要求,中国科学院等38家单位,开展了北京市官厅水库污染问题的研究,这是我国明确以水环境问题为目的而开展的第一次大型科研活动。与此同时,开始了工业“三

废”、治理技术、区域水污染综合防治技术的研究工作。1973年8月召开了全国第一次环境保护会议,明确提出“要把保护环境、消除污染作为科学实验的一个重要内容”。1979年,全国人大颁布了《中华人民共和国环境保护法》(试行);1984年颁布了《中华人民共和国水法》;1985年由国家环保总局制定、国务院办公厅颁布了我国第一部《环境保护技术政策要点》。为了适应国民经济和社会发展的需要,合理开发、利用、节约和保护水资源防治水害,实现水资源的可持续利用^[15],2002年,全国人大又颁布了新修订的《中华人民共和国水法》,新《水法》对各管理机构的职责作了比较全面具体的规定,具有较强可执行性,便于各管理机构实际行使行政管理职能职责,促进流域和区域内的经济社会的发展。2007年9月,江苏省第十届人大常委会再次修订了《江苏省太湖水污染防治条例(新)》,进一步加强太湖流域的污染治理^[16]。

我国近年来在水环境规划方面对“三河三湖”^[17]整治过程中取得了一些有益的经验,水资源水环境保护工作取得了很大的成绩。但是,科学研究经费投入力度不够,有关我国水环境保护规划的理论和技术还不够成熟,区域水环境保护和水污染控制规划的研究相对薄弱,导致区域水环境保护规划中对很多问题的确定带有较大的随意性和盲目性,加之管理落后、执法不严,造成区域水环境保护不利的被动局面。如何规范水环境保护规划,针对不同区域水环境特点开展环境规划、促进水环境管理和流域持续发展成为当前十分紧迫的任务。

在水环境规划措施与管理研究方面,我国从水污染调查登记与监测着手,扩展到水环境预测、规划、标准、法规和各项管理制度的研究。国家环保部先后颁布了《地面水环境质量标准》(GB3838-83),《生活饮用水标准》,《江河流域规划环境评价规范》;2002年又颁布了《地表水环境质量标准》(GB3838-2002);水利部于1990年组织全国七大流域机构同时开展了“流域水资源保护规划”的编制工作。从1998年开始积极推进排污申报与排污许可证制度,以改善水环境质量为目的,以水污染总量控制为基础,规定排污单位许可排放的污染物和排放量以及排放去向,并在科学研究的基础上,提出了申报登记的指标体系、实施程序、计算机数据库管理软件及监督管理办法。

进入21世纪后,国家把水环境保护工作提高到极为重要的位置,并从2000年开展了新的水环境保护规划编制工作。随着城市社会经济发展,城市对水环境的需求不再仅仅停留在对生活、生产用水供给方面,而更需要水景观满足人对自然环境的需求。近五年来城市污水治理工程和广泛开展城市滨水景观规划研讨与建设成为当今城市保护和利用水环境活动的代表,如上海、武汉、重庆、广州等^[18]城市先后编制了有关水环境规划的项目,因而作为指导水环境建设的规划——“水环境规划”将逐步受到关注。通过30年来的工作实践和发展,我国水环境

规划已逐步形成了一套从宏观到微观、从理论到实践、从规划编制到实施的环境规划体系、程序和方法。在环境规划指标体系的研究方面已经进行了大量的工作,取得了不少成果,积累了丰富的经验。但是在一些理论和方法上都还不够成熟,如指标体系参数的筛选,单项指标和各类指标权值的确定,综合指标的确定及分级等。

1.3 研究内容及技术路线

1.3.1 主要研究内容

本论文在阅读国内外关于水环境规划研究的文献、资料的基础上,深入了解目前水环境规划过程中指标体系选择存在适应性、主观性等方面问题,及规划应用过程中出现的不足,结合自己所学课程与积累的知识提出合理、系统的指标体系,并应用于水环境规划。通过国内外相关文献的学习,对其内涵、评价指标确定及定量化评价方法有了深入的了解。

通过对水环境规划理论目标的研究,介绍了水源地与生态型保护区水环境的现状;根据指标体系的建立及定量化评价方法的运用评价这两类水环境规划,评价其适应性及优势所在,从而确定规划过程中的目标——指标体系;基于指标体系分析结果,结合此类区域其他理论进行水环境规划,重点优化该区域水环境规划过程中指标体系选择。

1.3.2 研究的技术路线

本论文运用数学方法对指标体系的筛选,并根据实例建立适宜当地水环境规划指标体系。具体方法如下:

①水环境规划指标的综合分析:在现有水环境专项规划研究的基础上,找出其建立水环境规划指标体系的依据,分析其适宜程度。

②对影响水环境规划因素的分析:分别从经济、社会、环境、人文等方面分析影响区域水环境的主要因子。

③运用层次分析法运算:将影响区域水环境规划的主要因子分层建立,运用层次分析法确定各指标的权重。

④吴中区水环境规划实例应用:以吴中区水环境作为研究对象,对该区水环境规划研究的基础上,提出具有理论依据和地域特点的指标体系。

⑤模糊评价模型验证:建立模糊评价模型对上述应用研究进行验证,并优化该指标体系。

研究的技术路线图如下图所示。

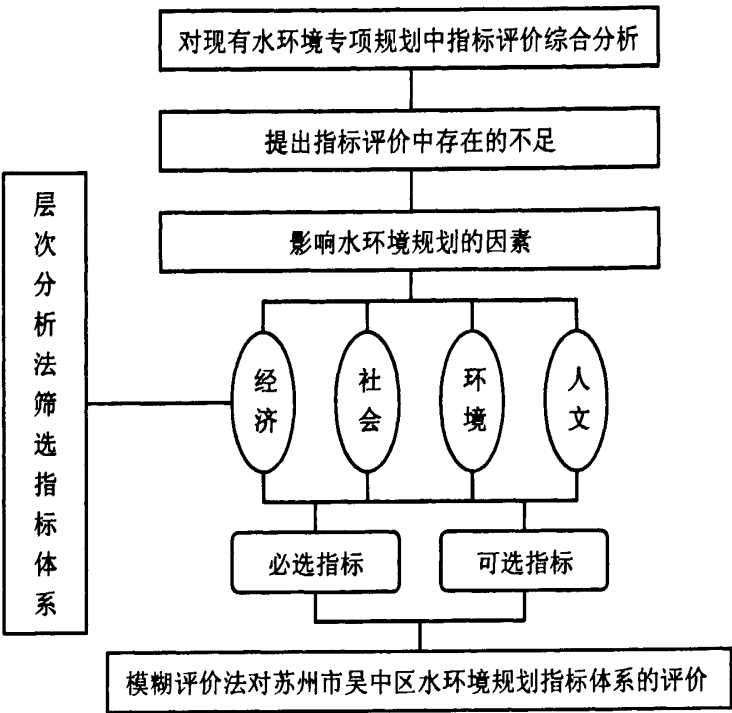


图 1-1 本论文研究技术路线图

1.4 论文创新点

本文对现有区域水环境规划中指标体系评价存在的适应性、主观性等问题进行了分析，归纳总结了与水环境规划相关的指标，首次运用数学方法对区域水环境规划中的指标体系进行筛选，确定出区域水环境规划中指标体系的权值，并依据权值设立可选指标和必选指标，据此提出适合水源地与生态型保护区水环境规划的指标体系。将此指标体系应用于苏州市吴中区水环境规划的研究。

第二章 水环境规划分类及指标体系的选择

2.1 水环境规划的分类

根据水环境规划研究的对象,水环境规划基本可以分为两大类型,即水污染控制系统规划和水资源系统规划^[6]。前者以实现水体功能要求为目标,后者强调水资源的合理开发利用和水环境保护。

水污染控制系统主要是污染物的产生、排出、输送、处理到水体中迁移转化等各种过程和影响因素所组成的系统,它涉及到人类的资源开发、人口规划、经济发展与水环境保护之间的协调问题。它的总目标以国家颁布的法规 and 标准为依据,又以环境保护的科学技术和地区经济发展规划为指导,取得区域水污染控制系统的最佳综合效益。根据水污染控制系统的特点,一般可以将其分为三个层次^[15]:流域系统、城市(或区域)系统和单个企业系统(如废水处理厂),所以水污染控制规划分成三个相互联系的规划层次:流域水污染控制规划、城市(区域)水污染控制规划和水污染控制设施规划。

流域水污染控制规划研究流域、湖泊或水库控制的流域范围内的水污染防治问题。流域水污染控制规划的主要目的是确定应该达到或维持水体的水质标准;确定流域范围内应控制的主要污染物和污染源;依据使用功能要求和水环境质量标准,确定各段水体的环境容量,并依次计算出各个污水排放口的污染物最大容许排放量。城市(区域)水污染控制规划是对某个城市地区内的污染源提出控制措施,以保证该区域内水污染总量控制目标的实现。城市水污染控制规划要确定与农业、矿业、建筑业和某些工业有关的非点污染源。

水资源系统规划是指应用系统分析的方法和原理,在某区域内为水资源的开发利用和水患的防治所制定的总体措施、计划和安排。它根据国家或地区的经济发展计划,改善生态环境要求,结合区域内水资源的条件和特点,选定规划目标。

2.2 指标体系的选择

指标作为反映一定时间尺度上对象系统的状态,通过指标使人们对对象系统产生一种较小的、易操作的、切实的和生动的实体画面。从指标反映的内容范围来划分,指标大致分为三类:

(1)单项指标:侧重于对基本情况的描述,反映系统中的一个侧面,综合性比较差。

(2)专题指标:选择有代表性的专题领域进行研究制定指标,用来反映一个

特定方面的问题。

(3)系统化指标：在一个确定的研究范围和框架中，对大量的有关信息进行综合与集成，从而形成一个具有明确含义的指标。^[19]

指标体系为两个或两个以上的指标组合，表示一个系统一般的发展趋势；通过将多种指标和数据的综合，可以勾画出对象系统的发展变化整体趋势。用指标体系来描写综合目标，其目的在于寻求一组具有代表意义，同时又能全面反映对象系统各方面要求的特征，通过指标组合使人们对整个系统有一个定量或定性的了解。

2.2.1 水环境指标体系选择原则

建立水环境规划指标体系的目的是建立起能全面、准确、系统和科学地反映水环境现象特征和内容的一系列水环境规划目标。建立一个完整的水环境指标体系必须按照一定的原则来进行，参照环境规划指标体系选择的原则，本文列出以下6个原则。

①整体性原则

水环境规划指标体系要求水环境规划指标完整全面，既有反映水环境规划全部内容的环境指标，又包括在水环境规划全过程中所使用的社会、经济等指标，并由此构成一个完整的水环境规划。

②科学性原则

要通过科学的方法来建立水环境规划指标体系，只有科学的规划指标才能进行科学的水环境规划，也才能够实现水环境规划的目标。

③规范性原则

水环境规划指标体系是一个由多项指标构成的体系，由于这些指标的性质和特点不尽相同，这就需要对各项规划指标进行分类和规范化处理，使水环境规划指标的涵义、范围、量纲和计算方法等具有统一性，而且要在较长时间内保持不变，以保证水环境规划指标的精确性和可比性。

④可行性原则

水环境规划指标体系按照环境规划的要求来设置，根据具体的水环境规划内容来确定相应的水环境规划指标体系，在设计和实施环境规划方案时具有可行性。

⑤适应性原则

水环境规划指标体系一方面要适应水环境规划的要求，也要适应环境统计工作的要求，在尽量满足水环境规划工作需要的同时，也要考虑到实际可能的条件。如果片面地强调指标的完整无缺，势必增加了指标统计的工作量，超过统计部门

的人、财、物的可能,就会给建立水环境规划指标体系带来更加不利的影响。

⑥选择性原则

水环境规划指标体系主要选择那些具有现实性、独立性和必要性的指标,特别是区域水环境综合整治指标要注意代表性和可比性,真正体现区域水环境综合整治水平并可以得到客观准确评价。

2.2.2 水环境规划指标的类型

关于水环境规划指标体系的研究虽然在深入进行,但仍没有规范化和标准化。特别是水环境规划类型多种多样,水环境规划指标有几个到几十个。从内容上看有数量方面的指标、质量方面的指标和管理方面的指标;从表现形式上看有总量控制指标和浓度控制指标;从复杂程度上来看,有综合性指标和单项指标;从范围上来看有宏观指标和微观指标;从地位和作用上来看有决策指标、评价指标和考核指标;从其在水环境规划中的作用上来看,有指令性规划指标、指导性规划指标和相关性指标。本文主要采用表征对象、作用以及在水环境规划中的重要性或相关性来划分,主要选择水环境质量指标、污染物总量控制指标、水环境规划措施与管理指标及其相关指标。

水环境质量目标主要表征自然环境要素和生活环境的质量状况,一般以水环境质量标准为基本衡量尺度。水环境质量指标环境规划的出发点和归宿,所有其他指标的确定都是围绕完成水环境质量指标进行的。污染物总量控制指标根据一定地域的环境特点和容量来确定,其中又有容量总量控制和目标总量控制两种。郭怀成等人在《环境规划学》^[6]中提出,国内执行的指标体系是将容量总量控制和目标总量控制结合,同时采用污染物总量控制指标将水污染源与水环境质量联系起来考虑,其技术关键是寻求源与汇的输入相应关系。这区别于目前的浓度标准指标。浓度标准指标,对污染源的污染物排放浓度和环境介质中的污染物浓度有一定的规定,易于监测和管理,但此类指标对排入环境中的污染物质无直接约束,未将源与汇结合起来考虑。水环境规划措施与管理指标是在污染物总量控制指标的基础上,进而达到水环境质量指标的支持性和保证性要求。相关性指标主要包括经济指标、社会指标和生态指标三类,这类指标大都包含在国民经济和社会发展规划中,都与水环境指标有密切的联系,对水环境质量有深刻影响,但又是个规划所包容不了的。因此,在水环境规划可以将该类指标作为相关指标列入,可以更全面地衡量水环境规划指标的科学性和可行性。在区域水环境规划中,生态指标的重要性也为人们所特别关注。

2.2.3 水环境指标体系选择依据

根据区域规划对水环境的要求,分阶段实现区域规划对水环境系统的战略目标,借鉴国内、外区域水环境规划经验的基础上,根据区域水环境自身特点,不断总结和摸索一套适合区域发展要求的水环境规划指标体系,据此提出区域水环境规划所要采取的标准及其所要达到的目标。对区域进行水环境规划研究时,制定区域水环境规划指标体系要符合国家及地方有关水环境质量的法规、标准,其主要法规、标准如城乡规划法、环境保护法、水法、生态县、生态市、生态省建设规划等。

2.2.4 确定水环境规划标准的方法

目前,对水环境规划,尚无明确统一的指标。综合来看,区域水环境规划标准具有相对性与动态性的特征,处于不同区域、不同规模、不同类型的水域,在其生态演替的不同阶段、气候变化与地质构造变迁背景下,在不同社会历史文化氛围,面对不同人群的社会期望,都会影响评价标准的统一。标准的制定会直接影响规划结果的科学性、可行性,因此,在制定指标评价标准值时,需要综合现有水环境规划理论的研究成果及规划区域的实际情况,并充分考虑各地区的差异性和动态性。确定水环境规划标准有以下几种方法^[20]。

(1) 问卷调查法:它是专家意见评判法的一种。通过研究者将待研究问题制成事先拟好各择答案的标准问卷,向有关专家学者及地方政府决策者进行问卷发放与回收,在回收问卷答案的基础上,将答卷人的答案按照一定的规则转换成相应的定量数据,以此来确定指标的具体标准。使用问卷调查法能够比较充分利用人的主观能动性在确定指标标准的作用,得出的结果比较符合动态性和差异性原则,在实际应用中是一种较好的方法。(2) 标准法:标准法是指利用现有的一些国际、国内标准来确定具体指标标准。(3) 参照系法:参照系法实际上是将未受干扰的对照点的状态当作标准。

上述三种方法中,问卷调查法的缺陷表现在用时较长,当被调查对象对某一问题给出的答案离散程度较高时,该问题所涉及的指标一般必须重新调查,甚至剔除,比较繁琐。标准法是最为简便的一种方法,对指标的定量化工作可通过查询标准手册获得。由于各类标准制定均具有较长时间的历史数据,因此在进行指标标准确定时,其客观性较其他方法强。参照系法的缺陷表主要是由于处于不同区域的对照点不具有可比性,且在同一区域内,也很难找到不受人类干扰的参照点,选用历史资料进行对照也存在着历史资料信息不全的问题。综合上述观点,本文选用标准法。

2.3 指标的筛选

指标作为反映一定时间尺度上对象系统的状态,可以使人们对对象系统产生一种较小的、易操作的、切实的和生动的实体画面。指标体系的目的在于寻求一组具有代表意义,同时又能全面反映对象系统各方面要求的特征,通过指标组合使人们对整个系统有一个定量或定性的了解。一般而言,指标选择方法分为定性和定量两大类,同时要注意单个指标的意义和指标体系的内部结构。这其中代表性和全面性是指标选择的一对难以兼顾的中心问题,这是由于既要单个指标有代表性,能独立反映研究对象某方面的特性,又要指标体系满足全面性,能联合反映评价对象的整体属性。但要满足全面性,势必要增加指标个数,而增加了指标个数,指标间相关程度可能性增大,反而影响了代表性。所以至今还没有一种方法能将代表性和全面性完美的综合起来,以准确的衡量指标体系的有效程度。

2.3.1 指标筛选要点

建立指标体系,常用的一种方法就是首先将目标分成具体的目标层和准则层,然后再细分成更小的、可以建立指标的小系统,通过对这些小系统进行指标建立来确立整个指标体系。最后还要对建立指标体系中存在的问题进行说明,对存在的数据来源和误差进行解释,对指标的优先性进行排序。

指标筛选必须达到三个目标:①指标体系能完整、准确地反映区域水环境规划状况,必须能提供有意义的并且是准确的对水环境状态的描述;②对水环境生态系统的生物物理状况和人类胁迫进行监测,寻求自然、人为压力与区域水环境状况变化之间的联系,并探求水环境生态系统变化的原因;③定期地为政府决策、科研及公众要求等提供基础数据和科学依据。为此,区域水环境规划指标的筛选时应考虑以下几方面的内容:

(1) 水环境专项规划中指标的选择是要建立起能全面、准确、系统和科学地反映各种环境现象特征和内容的一系列水环境规划指标,必须遵循环境规划指标体系建立的基本原则来进行。

(2) 水环境专项规划区别于其他规划,主要考虑指标类型和内容,按照水环境规划的种类与特点,结合水环境容量来选择具体的指标及指标值。应简明、直观,要与现有统计体系相衔接,便于不同时期水环境指标的相互比较;指标要易于获取,便于操作,实用性强。

(3) 水环境专项规划必须区别各个地区,主要考虑各地区的水环境特点,结合其经济水平情况、社会发展状况,能够比较客观的度量出地区的水环境发展的实际情况,定量或者半定量出易于操作的指标,定性的反映一些形象性的指标。

(4) 水环境专项规划中指标体系必须能够在一个较长的时期内保持其连续性,有效反映不同发展阶段的水环境。可根据不同时期经济社会发展的要求和与水环境的特点修改指标体系,体现水环境规划与时俱进,不断完善的动态过程。

此外,水环境专项规划可以建立一系列必选指标和一些可选指标。与水环境规划影响关系密切的初步定为必选指标,与水环境规划影响关系相关的可初步定为可选指标。本文在建立层次结构模型,通过各指标权重排序,选出必选和可选指标。在选择指标时,还要尽可能选用已有的水环境规划方面的指标,同时结合科学发展观提出的要求。

2.3.2 指标的筛选方法

因子的选择是区域水环境规划中指标体系建立的关键性步骤,环境因子选择的科学与否、正确与否,直接关系到规划结果的准确性。水环境规划属于综合性的环境规划,指标涉及面广、内容比较复杂。为了编制水环境规划,期望从众多的统计和监测指标中科学地选出水环境规划指标,要进行指标的筛选。一般指标筛选的方法主要有:层次分析法、加权平均法和经验法等。

目前,相当多的水环境研究中指标的选择^[22]都选择了德尔菲法(经验法)。但经验法是在专家个人判断法和专家会议法的基础上发展起来的一种专家调查法,不足之处在于选择影响因子时可能受人为主观成分的影响。加权平均法的优点在于计算方法简单,缺点在于不利于核算的及时性;指标值幅度较大的情况下,按加权平均值计算的值与现行的指标值有较大的差异。因此,加权平均法适合指标值幅度不大的情况。

层次分析法主要是通过对水环境系统影响因素的分析,利用水环境构成要素与社会发展因素和经济因素对水环境生态系统影响的主要因子,然后由具有丰富经验的专家包括环境学家和生态学家等根据规划目的和规划区域的具体条件来共同研究,运用数学方法确定影响因子的权值,最后筛选出指标,该方法适用于对水环境规划中指标的筛选,其方法简单、易操作,所需数据量较少、评分花费的时间短、计算工作量小,易于理解和掌握,同时还可克服传统的经验法中受主观成分的影响,因此本文选用层次分析法对水环境规划中指标筛选。

2.4 与水环境相关规划中指标的研究

在区域水环境规划中,虽然很多学者作了许多研究,但其指标体系的相关研究还一直未能统一与规范,其指标的选择研究也在逐渐摸索中。因此,考察与水环境相关规划的指标体系的研究对区域水环境规划指标体系的建立有着一定的

参考价值^[21]。

区域可持续发展的评价指标研究近几年来刚刚开始,其中国家统计局1997年提出一套评价指标体系(分为6个子系统83项指标),关于水环境的指标在区域发展的生态省、生态市、生态县、环境优美镇等建设规划指标中都有体现,如表2-1至表2-3^[23]。在国家环境保护模范城市考核指标体系^{[24]~[29]}中,共有三项基本条件,27项指标,充分考虑了中国东西部城市差异,并体现了国家的“十一五”计划的要求。

表 2-1 生态市建设规划指标中有关水环境的指标

序号	名 称	单 位	指 标
1	单位工业增加值新鲜水耗	m ³ /万元	≤20
	农业灌溉水有效利用系数		≥0.55
2	水环境质量	—	达到功能区标准,且省控以上断面过境河流水质不降低
	近岸海域水环境质量		
3	化学需氧量(COD)	千克/万元(GDP)	<4.0
4	城镇污水集中处理率	%	≥85
	工业用水重复率		≥80

表 2-2 生态县建设规划指标中有关水环境的指标

序号	名 称	单 位	指 标
1	单位工业增加值新鲜水耗	m ³ /万元	≤20
	农业灌溉水有效利用系数		≥0.55
2	水环境质量	—	达到功能区标准,且省控以上断面过境河流水质不降低
	近岸海域水环境质量		
3	化学需氧量(COD)	千克/万元(GDP)	<4.0
4	城镇污水集中处理率	%	≥80
	工业用水重复率		≥80
5	集中式饮用水源水质达标率	%	100
	村镇饮用水卫生合格率		

表 2-3 环境优美乡镇考核指标中有关水环境的指标

序号	考核指标	指标值
1	农村生活饮用水卫生合格率 (%)	≥90
2	地表水环境质量	达到环境规划要求
3	生活污水集中处理率 (%)	≥70
4	规模化畜禽养殖场污水排放达标率 (%)	≥75

在水利管理规划指标研究中,仲志余^[31]等人结合当前我国水利社会管理的现状和特点,设立了水行政管理指标和水行政社会指标。由于反映经济社会、水利发展和水利管理方面的指标很多,且各指标反映水利发展特征的范围和层面不同,提出了借鉴以往规划体系和规划指标。在水利发展规划中,主要选取一些与水资源开发利用紧密相关,且能够综合衡量经济社会发展态势及对水利需求的可量化指标。这些指标的选择,一方面要反映出流域或区域内的经济社会发展状况,另一方面又要反映经济社会可持续发展对水利的需求。

在水环境质量规划指标研究中,刘晓晨^[32]等人从矿山水环境质量的自然和人为两大因素分析,考虑矿山水环境质量水质和水量两个方面,建立了矿山水环境质量评价指标体系。邹桂香等^[33]对湘江干流衡阳段水环境质量的现状进行分析,运用了单指数污染评价法和综合污染指数法,选取了对环境危害较大的悬浮物、氨氮、挥发酚、砷、镉、铅、六价铬、锰、总磷、汞和粪大肠菌群这11个评价指标。水环境质量评价是环境质量评价中的重要工作之一,建立合理的评价指标体系是评价工作的基础。目前国内还没有统一的水环境评价指标体系,各行业、各区域水环境质量基本是经过一系列的环境等因素的分析,运用数学方法进行筛选,最终建立了指标体系,带有一定主观性,需要进行进一步的探讨。

此外,冯海霞^[34]基于PSR模型由社会经济指标、水资源指标、生态环境指标和科技指标支撑,建立区域可持续利用评价指标体系。除此之外,较为广泛的是将研究问题分为几个系统来研究以便筛选指标,另一种研究问题的方法是采用单个指标来反映水问题。如用水资源压力指数度量区域水资源稀缺程度^[35],用水资源再生性评价水的可持续利用^[36],钱华^[37]用水环境承载力研究黄河万家寨水库水环境问题。还有一种方式是把研究问题分为几个子问题,依据子问题选择评价指标,邹积君^[38]在设计区域水资源可持续利用指标体系时包含了水资源量、社会经济、供水、需水和水环境五个方面。

上述研究成果为区域水环境规划指标体系的研究奠定了坚实的基础,区域水环境规划指标体系的构建应该在此基础上结合区域水环境系统的具体特点及其功能区的划分要求创立自成体系的指标系统。依据本章第2节中水环境指标选择

的依据,对此区域进行水环境规划研究时,制定区域水环境规划指标体系要符合国家及地方有关水环境的法规、标准,结合可持续发展指标和与水相关的指标体系的研究,归纳和总结了下列几方面指标。

(1)水资源量指标

①水资源量可供社会经济发展的指标。如当地水资源量、人均水资源占有量、地表水开发利用程度、地下水开发利用程度、单方供水费用、水资源利用率等等。

②社会经济发展对水资源的需求量指标。如工业用水水平(包括工业总产值、工业用水定额、工业重复利用率、工业节水、工业用水损失率等等)、农业用水水平(包括农业灌溉面积、农业灌溉定额、农业用水定额、农业节水、农业用水保证率等等)、生活需水水平(包括生活水平、生活用水定额、人口总量等等)。

(2)水环境容量指标

工业污水排放量(包括工业万元产值排污量、工业污水处理效率等等)、农业污水排放量(包括农业每亩施肥量、灌溉排水量等等)、生活污水排放量(包括人均排污量等等)、水体的污染物质指标(包括 BOD_5 、 COD_{Mn} 、总氮、氯化物等)。

(3) 社会经济指标

①工业产值能力指标。如工业投资、工业用水量、工业用水水平、工业用水保证率、工业投资产出率等等。

②农业产值水平指标。如农业投资、灌溉农业面积、农业投资产出率、农业平均产量等等。

③宏观社会经济指标。如调水规模、发展水平、发展规划、生活水平、社会环境等等。

④人口指标。如人均 GDP、人口增长率、人均粮食占有量、生活用水保证率等等。

(4)措施与管理指标

包括城市污水量、氧化塘数、水位下降面积、氨氮纳入水体量等等。

区域水环境规划指标的类型和内容,汇总如下表 2-4 所示。

表 2-4 水环境规划指标的类型与内容

指标类型		指标内容
水环境质量指标		饮用水源水质达标率；饮用水源数
		地表水达到地表水水质标准的类别或 COD
水污染总量控制指标		地下水矿化度、总硬度、COD、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮
		海水达到近海海域水质标准类别或 COD、石油、氨氮和磷
		工业用水量和工业用水重复利用率，新鲜水用量
		废水排放总量；工业废水总量、外排量；生活废水重量
		工业废水处理量、处理率、达标率，处理回用量和回用率
水环境规划措施与管理指标		外排工业废水达标量、达标率
		新增工业废水处理能力
		万元产值工业废水排放量
		废水中污染物（COD、BOD、重金属）的产生量、排放量、去除量
		城市污水量、处理量、处理率、处理厂数及能力（一、二级）和处理量；
		氧化塘数、处理能力及处理量；污水排海量，土地处理量
		地下水位、水位下降面积、区域水位降深；地面下沉面积、下沉量
相关指标	经济指标	功能区：工业废水、生活污水、COD、氨氮纳入水体量（湖泊总磷、总氮纳摄入量）
	社会指标	监测断面：COD、BOD ₅ 、DO、氨氮或达到地表水水质标准类别（湖泊取 COD、氮、磷）
	生态指标	海洋功能区划：工业废水和生活污水入海通量
		国民生产总值：工、农业生产总值及年增长率；部门工业产值
		工业密度：单位占地面积企业数、产值
		人口总量与自然增长率、分布、城市人口
		水资源：水资源总量、水资源林面积、水利工程和地下水开采
		水土流失面积、治理面积、减少流失量

第三章 水环境影响因素分析及其特性

3.1 水环境影响因素分析

本文主要研究的区域为饮用水源地和生态保护区水环境,就此两方面进行水环境影响因素的分析。

3.1.1 饮用水源地水环境影响因素分析

莫世江^[39]就毕节地区饮用水源地环境因子进行了分析,在对该区水源地水质进行评价的基础上,选择生活污水排放量等 9 个水环境因素作为分析变量,通过采用主成分分析,把水源地水环境影响因素概括为流域人口数量、流域农业土地利用强度、流域农业化学污染、流域自然条件 4 个主因素。根据各主因素影响水体污染的强度差异和水质污染现状,将饮用水源地水环境影响因素划分为生活废水污染、水土流失和农药化肥污染 3 种类型。本文在参考此研究的基础上将饮用水源地水环境影响因素主要分为以下几方面:

(1) 森林资源。森林具有调节气候,涵养水源,防风固沙,保持水土等多种功能,对人类生存的自然环境起着重要的保护作用。森林植被的耗水特性和水分稳定性、森林水文作用,对水质的影响是水环境研究的重点,增加森林植被是解决我国存在水资源数量不足和时空分布不均、水质下降、水环境恶化、旱涝灾害频繁、水土流失严重等环境问题的重要途径;森林还作为重要水源保护区和流域水资源管理途径等。

(2) 水土流失。研究水土流失对水环境的影响,是改善水环境,实现水资源可持续开发利用,维护水环境健康的重要环节。水土流失对水环境的影响主要有以下几个方面:

第一,水量减少,水源枯竭。水土流失导致水量减少,最终水源枯竭,这是水土流失对水环境最主要的影响,主要表现在①土壤蓄水量减少。土壤颗粒间的空隙是水体存在的空间,是涵养水源的关键,由于土壤随水而去,储水空间随之丧失,蓄水量也因此减少。从水文学的角度讲,就是加大了径流的年内变化,汛期水更多,枯期水更少。②水土流失导致水库、河道淤积,蓄水容积减少,蓄水量减少。③水土流失导致枯水减少,河道断流。

第二,洪旱灾害增加。洪旱灾害的增加,主要原因之一是水土流失。地表松散土层逐年递减,对降雨的调蓄能力逐渐减弱,当同等强度和量级的暴雨发生时,产生的洪水逐渐加大,危害增强。在暴雨强度相当时,因水土流

失地区没有植被截流、土壤下渗与储水能力减弱,流域调蓄洪水能力下降,洪水产流能力增强,汇流时间缩短,更容易形成峰高、量集中的洪水,加剧水土流失,形成恶性循环,导致河流上游沟壑纵横,加剧水环境恶化。洪水增大的同时,还会带来山体滑坡和泥石流等自然灾害。^[40]

第三,水污染加剧。随着现代农业的发展,使用的农药和化肥量日益增多,在喷洒农药和除草剂以及使用化肥的过程中,只有少量附着在农作物上,大部分残留在土壤中,降雨产生洪水在汇流的过程中,通过地面径流的冲刷将土壤中的有机质及残存的农药和肥料等物质随土壤一起带入水体,造成面源污染加剧。洪水越大,冲刷能力越强,进入水体的污染物就越多,水体污染越严重。洪水过后,枯季来临,由于枯季水量减少,水体的稀释自净能力下降,水环境容量减小,水污染速度加快。水体污染与水土流失关系密切,水土流失越严重,水污染越加剧。相关研究表明:在洪水期河流、水库的氨氮、高锰酸盐指数等指标明显偏大。此外,在一些地质不良区域,水土流失后,岩土中的各种有毒、有害物质进入水体,因水土流失的影响,水源减少,使水体有毒有害物质的含量增加,整个水环境都将受到影响。

(3) 工农业生产方面。随着经济突飞猛进的增长,工农业生产也得到不同程度的发展。但是,在工农业生产发展的同时,由于其布局的不合理、生产技术的滞后等因素,严重影响了地下水质量,对人们的身心健康造成了不同程度的危害。

在工业生产方面,在工业生产排放的废水中含有多种有害物质,其中以汞、铬、砷、氰、酚五种物质毒性为剧,称之为水污染“五毒”。工业生产造成的大气污染主要来源于工业粉尘、有毒有害气体等,它们长期在空气中滞留,会对人体带来不同的疾病,危害身心健康,或者随雨水渗入地下,严重影响了地下水质量,最终给人带来许多灾难。工业生产产生的固体废弃物如工业废渣、废料、炉渣及垃圾等,长期堆放会导致土地面积的减少、环境质量的恶化、地下水水质的毒化等危害后果的发生^[41]。

在农业生产方面,虽然农业得到了一定程度的发展,但在生产过程中由于观念的陈旧及缺乏现代化的农业生产科学技术,致使农业发展速度缓慢,随之而来的不良后果却频繁发生。首先,单一种植,盲目扩大耕地,破坏植被,因而不能有效调节气候、涵养水分、防风固沙,致使土壤退化。其次,随着农田用水的增加,一些耕地只灌不排,大水漫灌,造成地下水位升高,形成落差,影响了饮用地下水的水质。其三,农业生产过程中,过量施用农药及化肥,导致土壤及水源的污染。

(4) 其他。随着经济的不断发展,人民生活水平的不断提高,我国的餐饮、娱乐及服务业等得到了相应的发展。与此同时,废水、废气、垃圾产生量也日益增多,加之一部分群众的环境意识和素质比较低,导致一部分废水、废气、垃圾的任意排放和堆放,使城市环境卫生的脏、乱、差势态扩大,致使地下水质量、大气环境状况和市容环境大打折扣。另外,人畜粪便的长期过量蓄积,也是影响地下水水质的因素之一。

3.1.2 生态保护区水环境影响因素分析

水环境规划生态指标体系的结构为组成指标体系的各个部分及其相互关系。它主要受到城市气候、现状水资源、现状水系、现状水生态环境质量、城市现代化水平及国家政策的宏观导向等影响。此外科技进步因素、市民环保意识也一定程度上影响了水环境生态指标体系结构组成。

另外,制定生物多样性保护方案,加强对区域周围地区的生态保护,搞好天然植被的保护和恢复;加强对沼泽、滩涂等湿地的保护;对重点资源开发活动制定强制性的保护措施,划定林木禁伐区、矿产资源禁采区、禁牧区等。制定风景名胜区、森林公园、文物古迹等旅游资源的环境管理措施也是制定该类指标的一个重要方面。

3.2 水环境的功能与特性

水环境广义指水圈,通常指与人类活动有关的天然水体,包括江、河、湖、海、地下水以及人工环境,包括水库、运河、渠系等。水环境一方面为区域社会经济提供所需的水资源,另一方面又承受其所产生的污染物质。而水环境规划是遵循水环境生态学原理和水环境规划原则,对水环境开发与建设做出科学的决策。所以研究区域水环境规划,有必要对区域水环境基本原理即区域水环境的功能及特性进行研究思考。

3.2.1 水环境的功能

水环境系统是整个地球生命系统的基础,提供了维持自然生态过程与人类赖以生存和发展的生态环境条件。分析总结水环境的生态功能包括以下几方面。

① 自净功能

水具有的净化环境功能提供了污染物质物理化学代谢环境,伴随着污染物的迁移、转化、分散、富集过程达到净化环境的作用。一些水生植物能有

效吸收有机污染物、重金属等污染物。人们应合理利用自然水体这种服务人类的自然能力,保持这种能力的可持续性就是保持人类环境的可持续性。

②提供生境、维持生物多样性功能

水环境是生物多样性的载体,它对于维持生物多样性具有不可替代的作用。水生态系统为各种水生生物提供生境,是野生动物栖息、繁衍、迁徙和越冬地。一些水体是珍稀濒危水禽的中间停歇站,水环境也是养育珍稀的两栖类和特种鱼类的重要场所。各种水体与湿地都是地球上最重要的野生生物栖息地或避难所。因此,开发利用水资源(包括湿地资源)不应损毁水体产生和维持生物多样性的重要功能。

③防灾减灾功能

水环境的防灾减灾功能包括涵养水源减缓干旱、调洪蓄水减缓洪涝等作用。良好的水环境应具有强大的蓄水调洪功能。合理的水利设施(如水库、防洪堤)可调洪蓄水,减少干旱及洪涝灾害的发生。

④水资源利用功能

区域生产中所必需的大量的各类工业用水从就近的水体中解决,也具有明显低成本、高稳定的优势。地下水可以作为区域的水源,但大部分补给量仍来源于河流,河流水量的减少、水质的恶化均会影响到地下水量的时空分布和水质的时空分布,且大量使用地下水,将不可避免地引起地面沉降而加剧地质与洪涝灾害。尽管人类可以远距离调水,但是伴随而来的将是高的供水成本。可以预见,河流在未来仍是区域生产和生活用水的最佳水源。

⑤维持区域生物多样性

区域物种多样性的保护已成为全球生物多样性保护的组成部分之一。水环境与区域常见景观有较大差异,形成区域中特殊的生物生境,也形成城市中物种多样性较高的区域。河心沙洲和河流两岸的绿地,为较多种类的动、植物提供了栖息、生存和繁衍的场所;同时水环境本身又为区域带来了大量的水生动、植物生存的自然环境。水环境已经成为区域生物多样性存在的重要基地。保护水环境中的物种多样性,对维持区域生态系统的持续、稳定和发展有支持作用。

⑥文化娱乐美学功能

随着生活质量的提高,人们对环境系统消遣的需求也在不断增长,环境系统的文化娱乐功能愈来愈受到人们的重视。水环境系统提供人们娱乐活动如划船、旅游、休闲观光、摄影功能等。水环境系统水体与滨岸陆地镶嵌格局使它具有显著的景观异质性:水生生态系统和陆地生态系统的结合形成景观多样性;水体的动感与滨岸的静物构成动静和谐与统一,因此水环境带给

人类的休闲娱乐服务功能具有安静性、运动性、持续性和舒适性的特点,成为人类生活的“灵魂”所在。水环境生态系统服务功能对于维持与推动整个滨水区域生态系统的稳定和平衡具有重要作用。

3.2.2 水环境的特性

区域水环境的自然地理规律是区域水环境功能发挥的基础。尊重水环境的自然规律、维持水环境的地貌和水文特征、保证水质、协调区域建设与水环境的关系,是区域水环境规划的目标建设的出发点。

①自然修复的特性

大自然在长期发展变化过程中具有自净能力,因此自然界可以持续发展。人类活动所造成的污染超出自然界本身的修复能力时,水环境系统就遭到破坏。水环境生态修复技术就是按照自然界的自身规律使水体恢复自我修复功能,强化水体的自净能力,修复被破坏的生态环境。微生物是构成水环境生态系统的基本要素。水环境生态系统内物质循环主要依靠微生物来完成,最终产物是无毒无害的稳定的物质。

②易受污染特性

由于城市化进程的加快,区域的水污染从污染类型到污染强度都在加大,中国大陆 80% 以上的河流、湖泊受到污染,许多大江大河的城市段已达不到Ⅲ类水水质标准,鱼虾生物基本绝迹,而代之以适应污染的各类底栖微小生物类群,河流水体的颜色、气味均不同程度的恶化,部分河流甚至成为污水通道。景观由于水质受到污染,景观质量下降,严重影响了水体周围居民的身心健康。水质污染导致环境系统中生物多样性下降,特别是一些对人类有益的或有潜在价值的物种消失。水环境的生态功能一定程度上依赖于水质的清洁,水体如果成为城市排污场所,意味着水环境生态功能的消失,水体只剩下排污的功能,对水环境建设将是致命的威胁。

③复杂性

在区域水环境生态系统中,随着生产力的提高,人们在对水资源不仅有量的扩大,而且不时发生质的变化。与自然系统相比,区域水环境系统具有多重功能,如为居民提供生产、生活用水,防洪防灾,接纳污水及为居民提供文化娱乐的功能。它涉及到区域给水、排水、污水处理、雨水利用及景观水系等多个方面,还与区域经济与社会的发展有紧密联系,因此涉及面广、复杂性高,且发展和变化速度快。

第四章 水环境规划中指标的选择

水环境系统构成因子众多、涵盖领域广泛、各影响因素间相互作用复杂。并且有些指标目前尚没有明确统一的评价标准,难以量化、易受人为主观因素的影响,从而使得评价指标体系过于复杂,难以操作。如果把所有成因及表现特征均列入指标体系,则指标体系将会十分庞大。一般来说,指标筛选要达到两个目的:一是使指标体系能完整准确地反映区域水环境现状;二是使指标体系最简、最小化。“简”是要求指标概念明确,调查度量方便易行,“小”是要求指标总数尽可能小,使调查度量经济可行。本文结合区域水环境系统特征与水环境功能区的划分,遵照水环境指标体系的建立原则,借鉴国内外水环境综合指标体系确定方面的研究成果^[42],分别从社会、工业、农业、水资源和水污染五个方面构建了评价指标体系。这样,既解决了指标体系庞杂紊乱,难操作的问题,又能够较全面地反映了区域水环境系统的整体现状和变化趋势。

4.1 层次分析法筛选

对于如此多的规划指标,如何确定其优劣、重要程度呢?如何知道其在区域水环境规划中所起的作用的大小呢?这就涉及到了规划体系中指标权重问题。在区域水环境规划中,所建立的评价指标体系中各指标对水环境的影响程度一般是各不相同的,因此在综合评价时不能平等对待,为确切地反映各指标对区域水环境规划的重要程度,以便准确地规划区域水环境规划,须选用一定的数量值来定量地描述各个指标的重要性状况,这就是所谓的“权重”。在多指标决策问题的求解过程中,指标权重的确定具有举足轻重的地位,目前大部分多指标决策综合排序方法都涉及到指标权重。因此,如何科学、合理地确定指标权重,关系到多指标决策结果的可靠性与正确性。区域水环境规划指标权重是指标相对于规划目标重要性的一种度量,指标权重的确定对区域水环境规划具有重要的意义,是综合规划的重要环节。不同的权重往往会导致不同的评价与预测结果。而赋权常常是一种随意行为,不同的人由于其价值准则和心理理念不同,对同一指标的重要程度会有不同的理解,因此保证指标体系权重分配的科学性和合理性一直是多指标选择特别关心的问题。

4.1.1 层次分析法概述

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process 简称 AHP)^[44]作为一种实用的决策工具,在水环境评价、方案优选、经济效益评价等方面得到了广泛应用,而应用

中评价指标和指标体系的选用是否合理将对评估结果是否失真起到至关重要的作用。因此，决策指标体系的优化与筛选问题很早就已引起许多学者的重视。

区域水环境规划问题涉及的指标因素较多且复杂，人们对其认识与了解并不充分，在利用两两比较结果进行评价指标评估决策时，常常会遇到比较矩阵不一致等问题，使得评价指标筛选难于进行。实际上，比较矩阵不一致在客观上反映了评估者在主观判定过程中出现了较大的偏差和不确定性，由此方法计算得到的相对权重值(仅为点估计数值)是不能反映这种偏差和不确定性的，此时指标相对权重值实际上应为区间值，所以评价指标筛选应依据这种区间估计数据进行。

为此，本文借鉴近年来针对比较矩阵不一致性问题发展的层次分析法权重区间估计理论，结合传统的基于权重系数的 AHP 指标筛选方法，提出了操作性较强的 AHP 评价指标筛选新方法，从而克服了以往权重计算仅仅给出点估计数据，不能全面反映评估者对不同指标的偏好以及在判断上的偏差程度的缺陷，并且通过对弱权重指标的剔除，避免了弱权重指标过多而导致结果失真的问题。本文以区域水环境规划指标体系的确定为例，阐述建立其指标体系的数学模型与过程。

4.1.2 层次分析法的步骤

用层次分析法对各指标权重分析主要有几个步骤：

(1)明确问题：明确区域相关的社会、经济、环境等方面的影响因素，确定各因素之间的关联关系和隶属关系。

(2)建立层次结构：根据对评价系统的初步分析构造目标层，准则层，指标层。

(3)构造判断矩阵：由于层次结构模型确定了元素间的隶属关系，这样就可针对上一层的准则不同层次的两两判断矩阵。在咨询有关专家意见的基础上，运用 1~9 标度评分方法标度，标度如表 1，判定其相对重要性或优劣程度。

表4-1 层次分析法中的标度方法

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素i与j比较得判断 c_{ij} ，则因素j与因素i比较的判断 $c_{ji}=1/c_{ij}$

然后，计算判断矩阵的最大特征根及其对应的特征向量。矩阵的特征向量和特征根的计算方法通常有三种:方根法、正规化求和法、求和法。本论文采用正规化求和法计算特征根(λ_{max})和特征向量(W)，计算原理为：

①列向量标准化:

$$\overline{C_{ij}} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^n C_{ij}} \quad (i, j=1, 2, 3 \dots n)$$

②按行求和:

$$\overline{W_i} = \sum_{j=1}^n \overline{C_{ij}} \quad (i, j=1, 2, 3 \dots n)$$

③对向量 $\overline{W}$ 正规化:

$$W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{W_i}} \quad (i, j=1, 2, 3 \dots n)$$

④计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{W_i}, \text{ 其中 } (AW)_i \text{ 是向量 } AW \text{ 的第 } i \text{ 个分量}$$

(4)层次总排序: 计算同一层次所有元素相对上一层次的相对重要性的权值称为层次总排序。这一过程是从最高层次到最低层次逐层计进行。假设 A 层次所有要素排序结果分别为: $a_1, a_2 \dots a_n$ 。则可按表 3 的方法计算其下一层次 B 中各要素对层次而言总排序权值。这里是计算在区域水环境中, 各指标在水环境规划要求下相对于区域整体水环境状况的排序。其结果也要进行一致性检验。

(5)对判断矩阵进行一致性检验。计算一致性指标的公式为: $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 。当完全一致时, $CI=0$ 。CI 愈大, 矩阵的一致性愈差。对 1~9 阶矩阵, 平均随机一致性指标 RI 见表 4-2。

表4-2 平均随机一致性指标

阶数N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当阶数 ≤ 2 时, 矩阵总有完全一致性; 当阶数 > 2 时, $CR = \frac{CI}{RI}$ 称为矩阵的随机一致性比例。当 $CR < 0.1$ 或在 0.1 左右时, 矩阵具有满意的一致性, 否则需要对矩阵的标度适当的修正。矩阵的不一致性可接受时, W 即为权重。

(6)选取指标取舍权数(ξ), 筛选指标因素。

水环境规划指标由水环境质量指标、水污染控制与治理指标、水环境建设措施、经济社会发展相关指标以及环境监督管理指标等构成。在运用层次分析法确定每类指标在环境规划指标体系中的权值时, 考虑了 3 个准则: ①与区域水环境

问题以及与当前和今后水环境综合整治重点的关系。关系越密切,权值越大;②指标易于管理和考核,凡是该类指标含义清楚,便于监测或统计,其权值就大;③与区域协调发展的相关的指标能很好地描述区域协调发展的状态和进程,其权值就大。

4.2 水环境规划中指标体系的初步建立

水环境规划指标体系的构建既要考虑到社会经济发展对水的需求的功利性目标,又要实现水环境自身及其周边环境系统功能和谐的理性化目标,即达到一种水环境可以健康的可持续的循环利用的状态,这应该说是水环境规划目标建立的根本。因此,水环境规划指标体系的构建要把水环境的保护利用置于社会经济-生态环境-水环境这一复合系统的协调运行轨道之中来^[43]。本文建立的指标体系结构吸取国内外与水相关指标的精华,综合考虑指标体系建立的原则,基于层次分析法,结合水环境的特点及其功能区的划分,采用的是把水环境规划分为五个子系统,按照子系统分类选择指标。拟建立如表 4-1 所示的一套水环境规划指标体系。各系统指标的选取大致是参照可持续发展和与水有关的研究问题的指标综合考虑,参考专家意见,选取大众化的,一致认同的指标来反映水环境系统,中间也包括本文认为水环境规划需要囊括的指标。当然,各种指标的选取都只是比较笼统的概括进来,具体区域选取具体的符合当地实情的指标,可以舍弃,也可以增加一些特定的指标。如在苏州,近海区域水环境达标率就是一个与水环境相关度比较小的指标可以舍弃,而该指标在滨海地区则为一个必不可少的指标。

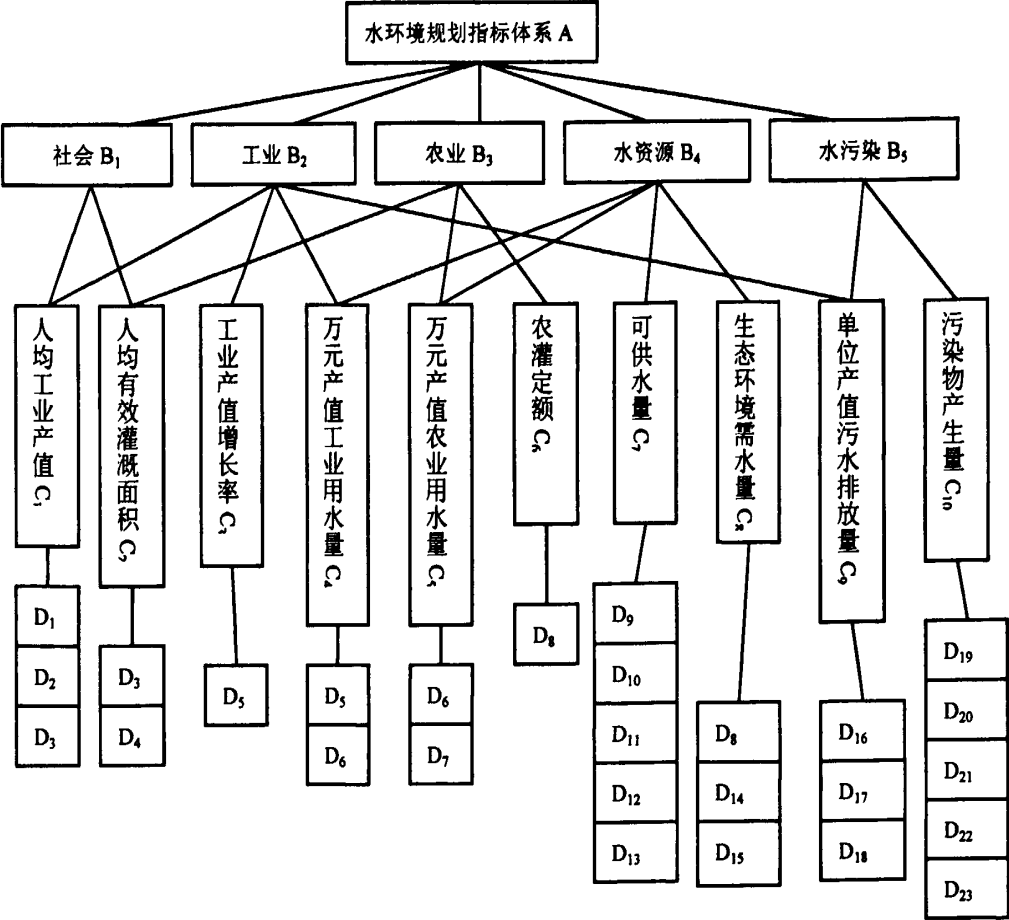


图 4-1 水环境规划指标体系层次结构模型

根据水环境规划指标建设的基本原则，综合考虑汇总的水环境规划指标，初步建立层次结构模型(如图 4-1 所示)。目标层：A=水环境规划指标体系；准则层：B₁=社会子系统，B₂=工业子系统，B₃=农业子系统，B₄=水资源子系统，B₅=水污染子系统；指标层：C₁=人均工业产值，C₂=人均有效灌溉面积，C₃=工业产值增长率，C₄=万元产值工业用水量，C₅=单位产值农业用水量，C₆=农灌定额，C₇=可供水量，C₈=生态环境需水量，C₉=单位产值污水排放量，C₁₀=污染物产生量。

D₁=工业总值，D₂=工业密度，D₃=人口密度，D₄=耕地保有量，D₅=工业产值增长率，D₆=新鲜用水量，D₇=农业总产值，D₈=灌溉面积，D₉=饮用水源达标率，D₁₀=地表水达到水质达标率，D₁₁=地下水水质达标率，D₁₂=近海海域水质达标率，D₁₃=工业用水重复利用率，D₁₄=森林覆盖率，D₁₅=水土流失率，D₁₆=工业废水排放量，D₁₇=生活污水总量，D₁₈=污水处理厂处理率，D₁₉=COD_{Mn}，D₂₀=BOD₅，D₂₁=重金属，D₂₂=氮磷，D₂₃=氯化物

4.3 构造判断矩阵并求解模型

需要提出的是， 当比较矩阵不满足一致性下的指标筛选方法比较矩阵不满足一致性要求，说明评估者在主观判定过程中出现了较大的偏差和不确定性。这种偏差的来源有二^[45]：一是不连续的指标标度所致，这种指标标度的不连续性使得评估者最后选择的标度值只能是“主观感觉到的优先级值的近似”；二是评估者对很多指标了解与认识不充分所致。为此，借鉴权重向量区间估计理论和模型，通过计算比较矩阵的区间权重向量，利用区间权重向量最大指标权重值区间宽度来确定评价指标因素。

根据层次分析法确定权系数的理论方法，具体的确定过程如下：

通过对各级评价中各个因素的重要程度进行两两比较，将专家打分咨询结果进行整理后得 A-B, B₁-C, B₂-C, B₃-C, B₄-C, B₅-C 判断矩阵 R，运用层次分析法，通过计算，实现指标体系各元素的权重，再计算各个判断矩阵的最大特征值和最大特征根对应的归一化向量，并检验判重，判断矩阵的一致性，确定的权系数结果，如下列各矩阵计算得。

从属于 A 的下级指标共有 5 个，分别为社会，工业，农业，水资源，水污染，其比较矩阵如表 4-3 所示：

表 4-3 A-B 判断矩阵

水环境规划	社会	工业	农业	水资源	水污染
社会	1	1/2	1/4	2	1/6
工业	2	1	1/2	4	1/4
农业	4	2	1	4	1/2
水资源	1/2	1/4	1/4	1	1/3
水污染	6	4	2	3	1

(1)按上述和积的计算步骤，得到按正规化后的判断矩阵为：

$$\begin{bmatrix} 0.074 & 0.065 & 0.063 & 0.143 & 0.074 \\ 0.148 & 0.129 & 0.125 & 0.286 & 0.111 \\ 0.296 & 0.258 & 0.250 & 0.286 & 0.222 \\ 0.037 & 0.032 & 0.063 & 0.071 & 0.148 \\ 0.444 & 0.516 & 0.500 & 0.214 & 0.444 \end{bmatrix}$$

(2) 按上述步骤，按行相加，得：

$$\overline{W_1} = \sum_{j=1}^n \overline{b_{1j}} = 0.074 + 0.065 + 0.063 + 0.143 + 0.074 = 0.418$$

$$\overline{W_2} = 0.148 + 0.129 + 0.125 + 0.286 + 0.111 = 0.799$$

$$\overline{W_3} = 0.296 + 0.258 + 0.250 + 0.286 + 0.222 = 1.312$$

$$\overline{W_4} = 0.037 + 0.032 + 0.063 + 0.071 + 0.148 = 0.351$$

$$\overline{W_5} = 0.444 + 0.516 + 0.500 + 0.214 + 0.444 = 2.119$$

(3) 将向量 $W = [0.418 \ 0.799 \ 1.312 \ 0.351 \ 2.119]^T$ 正规化, 得

$$\sum_{j=1}^n \overline{W_j} = 0.418 + 0.799 + 1.312 + 0.351 + 2.119 = 5$$

$$W_1 = \frac{\overline{W_1}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} = \frac{0.418}{5} = 0.084$$

$$W_2 = \frac{\overline{W_2}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} = \frac{0.799}{5} = 0.160$$

$$W_3 = \frac{\overline{W_3}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} = \frac{1.312}{5} = 0.262$$

$$W_4 = \frac{\overline{W_4}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} = \frac{0.351}{5} = 0.070$$

$$W_5 = \frac{\overline{W_5}}{\sum_{j=1}^n \overline{W_j}} = \frac{2.119}{5} = 0.424$$

则所求特征向量 $W = [0.084 \ 0.160 \ 0.262 \ 0.070 \ 0.424]^T$

(4) 计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & 0.5 & 0.25 & 2 & 0.167 \\ 2 & 1 & 0.5 & 4 & 0.25 \\ 4 & 2 & 1 & 4 & 0.5 \\ 0.5 & 0.25 & 0.25 & 1 & 0.333 \\ 6 & 4 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.084 \\ 0.160 \\ 0.262 \\ 0.070 \\ 0.424 \end{bmatrix}$$

$(AW)_1 = 1 \times 0.084 + 0.5 \times 0.160 + 0.25 \times 0.262 + 2 \times 0.070 + 0.167 \times 0.424 = 0.44$

$(AW)_2 = 2 \times 0.084 + 1 \times 0.160 + 0.5 \times 0.262 + 4 \times 0.070 + 0.25 \times 0.424 = 0.846$

$(AW)_3 = 4 \times 0.084 + 2 \times 0.160 + 1 \times 0.262 + 4 \times 0.070 + 0.5 \times 0.424 = 1.41$

$(AW)_4 = 0.5 \times 0.084 + 0.25 \times 0.160 + 0.25 \times 0.262 + 1 \times 0.070 + 0.333 \times 0.424 = 0.359$

$(AW)_5 = 6 \times 0.084 + 4 \times 0.160 + 2 \times 0.262 + 3 \times 0.070 + 1 \times 0.424 = 2.302$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{(AW)_1}{5W_1} + \frac{(AW)_2}{5W_2} + \frac{(AW)_3}{5W_3} + \frac{(AW)_4}{5W_4} + \frac{(AW)_5}{5W_5}$$
$$= \frac{0.44}{5 \times 0.084} + \frac{0.846}{5 \times 0.16} + \frac{1.41}{5 \times 0.26} + \frac{0.359}{5 \times 0.07} + \frac{2.302}{5 \times 0.424} = 5.301$$

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} = \frac{5.301 - 5}{4} = 0.075$$

$n=5, RI=1.12, CR = \frac{CI}{RI} = 0.067 < 0.1$, 结果满足一致性检验。

通过上述计算，水污染权值最大为 0.424，农业、工业其次，社会、水资源的权值最小。

从属于 B₁ 的下级指标共有 2 个，分别为人均工业产值和人均有效灌溉面积，其比较矩阵如表 4-4。

表 4-4 B₁-C 判断矩阵

社会	C ₁	C ₂
C ₁	1	1
C ₂	1	1

经计算，所求特征向量 $W = [0.5, 0.5]^T$

$n=2, CI=0, RI=0, CR=CI/RI = 0 < 0.1$, 结果满足一致性检验。人均工业产值和人均有效灌溉面积的权值相同，都为 0.5。

从属于 B₂ 的下级指标共有 4 个，分别为人均工业产值，工业产值增长率，万元产值工业用水量和单位产值污水排放量，其比较矩阵如表 4-5。

表 4-5 B₂-C 判断矩阵

工业	C ₁	C ₃	C ₄	C ₉
C ₁	1	1/5	1/2	1/2
C ₃	5	1	2	2
C ₄	2	1/2	1	1
C ₉	2	1/2	1	1

经计算，所求特征向量 $W = [0.103, 0.461, 0.218, 0.218]^T$
n=4 时,CI=0.002, RI=0.9, CR=CI/RI =0.002<0.1，结果满足一致性检验。工业产值增长率的权值最大，人均工业产值的权值最小。

从属于 B₃ 的下级指标共有 3 个，分别为人均有效灌溉面积，单位产值农业用水量和农灌定额比较矩阵为如表 4-6。

表 4-6 B₃-C 判断矩阵

农业	C ₂	C ₅	C ₆
C ₂	1	2	4
C ₅	1/2	1	3
C ₆	1/4	1/3	1

经计算， $W(C_2: B_3)=0.557$ ； $W(C_5: B_3)=0.320$ ； $W(C_6: B_3)=0.123$ 。
所求特征向量 $W = [0.557, 0.320, 0.123]^T$
n=3 时,CI=0.009, RI=0.58, CR=CI/RI =0.016<0.1，满足一致性检验。人均有效灌溉面积的权值最大。

从属于 B₄ 的下级指标共有 4 个，分别为万元产值工业用水量，单位产值农业用水量，可供水量和生态环境需水量，其比较矩阵为：（如表 4-7）

表 4-7 B₄-C 判断矩阵

水资源	C ₄	C ₅	C ₇	C ₈
C ₄	1	2	1/5	4
C ₅	1/2	1	1/3	4
C ₇	5	3	1	7
C ₈	1/4	1/4	1/7	1

经计算，所求特征向量 $W = [0.209, 0.171, 0.564, 0.056]^T$
n=3, CI=0.072, RI=0.9, CR=CI/RI =0.079<0.1，满足一致性检验。其中，可供水量的权值最大，达到 0.564，生态环境需水量的权值非常小，只有 0.056，但其满足一致性检验，且大于 $\xi = 0.05$ ，可保留。

从属于 B_5 的下级指标共有 2 个，单位产值污水排放量和污染物产生量，其比较矩阵为：（如表 4-8）

表 4-8 B_5 -C 判断矩阵

水污染	C_9	C_{10}
C_9	1	1/4
C_{10}	4	1

经计算，所求特征向量 $W = [0.2, 0.8]^T$

$n=2$ ， $CI=0$ ， $RI=0$ ， $CR=CI/RI = 0 < 0.1$ ，满足一致性检验。污染物产生量的权值达到 0.8。

从属于 C_1 的下级指标共有 3 个，比较矩阵为：（如表 4-9）

表 4-9 C_1 -D 判断矩阵

C_1	D_1	D_2	D_3
D_1	1	2	4
D_2	1/2	1	3
D_3	1/4	1/3	1

经计算，所求特征向量 $W = [0.557, 0.320, 0.123]^T$

$n=3$ 时， $CI=0.009$ ， $RI=0.58$ ， $CR=CI/RI = 0.016 < 0.1$ ，满足一致性检验。

从属于 C_2 的下级指标共有 2 个，比较矩阵为：（如表 4-10）

表 4-10 C_2 -D 判断矩阵

C_2	D_3	D_4
D_3	1	1
D_4	1	1

所求特征向量 $W = [0.5, 0.5]^T$

$n=2$ ， $CI=0$ ， $RI=0$ ， $CR=CI/RI = 0 < 0.1$ ，满足一致性检验。

从属于 C_4 的下级指标共有 2 个，比较矩阵为：（如表 4-11）

表 4-11 C_4 -D 判断矩阵

C_4	D_5	D_6
D_5	1	1/4
D_6	4	1

所求特征向量 $W = [0.2, 0.8]^T$

$n=2$ ， $CI=0$ ， $RI=0$ ， $CR=CI/RI = 0 < 0.1$ ，满足一致性检验。

从属于 C_5 的下级指标共有 2 个，比较矩阵为：（如表 4-12）

表 4-12 C₅-D 判断矩阵

C ₅	D ₆	D ₇
D ₆	1	4
D ₇	1/4	1

所求特征向量 $W = [0.8, 0.2]^T$
 $n=2$, $CI=0$, $RI=0$, $CR=CI/RI = 0 < 0.1$, 满足一致性检验。
从属于 C₇ 的下级指标共有 5 个, 比较矩阵为: (如表 4-13)

表 4-13 C₇-D 判断矩阵

C ₇	D ₉	D ₁₀	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃
D ₉	1	2	3	4	5
D ₁₀	1/2	1	2	3	4
D ₁₁	1/3	1/2	1	4	5
D ₁₂	1/4	1/3	1/4	1	5
D ₁₃	1/5	1/4	1/5	1/5	1

$\lambda \max=5.4029$, 则一致性指标 CR 为 $CR = CI/RI=0.09$
式中: $CI=(\lambda \max-n)/(n-1)=0.1007$; $n=5$ 时, $RI=1.12$ 。则所求特征向量
 $W = [0.4143 \ 0.2675 \ 0.2108 \ 0.1073 \ 0.0454]^T$
计算结果表明: 指标 D₁₃ 的相对权重值 $w_5=0.0454$, 小于 $\xi =0.05$, 为弱权重指标, 所以该指标可以剔除。
重新计算权值 $W = [0.4340 \ 0.2802 \ 0.2208 \ 0.1124]^T$
从属于 C₈ 的下级指标共有 3 个, 比较矩阵为: (如表 4-14)

表 4-14 C₈-D 判断矩阵

C ₈	D ₈	D ₁₄	D ₁₅
D ₈	1	1/5	1/2
D ₁₄	5	1	2
D ₁₅	2	1/2	1

所求特征向量 $W = [0.1285, 0.5949, 0.2766]^T$
 $CI=0.00375$, $n=3$ 时, $RI=0.58$, $CR=CI/RI = 0.0064 < 0.1$ 满足一致性检验。
从属于 C₉ 的下级指标共有 3 个, 比较矩阵为: (如表 4-15)

表 4-15 C₉-D 判断矩阵

C ₉	D ₁₆	D ₁₇	D ₁₈
D ₈	1	2	1/4
D ₁₄	1/2	1	1/6
D ₁₅	4	6	1

所求特征向量 $W = [0.1935, 0.1066, 0.6999]^T$
CI=0.0074, n=3 时, RI=0.58, CR=CI/RI =0.0128<0.1 满足一致性检验。
从属于 C₁₀ 的指标共有 5 个, 判断矩阵为 (如表 4-16)

表 4-16 C₁₀-D 判断矩阵

C ₁₀	D ₁₉	D ₂₀	D ₂₁	D ₂₂	D ₂₃
D ₁₉	1	2	3	4	5
D ₂₀	1/2	1	4	5	4
D ₂₁	1/3	1/4	1	5	5
D ₂₂	1/4	1/5	1/5	1	5
D ₂₃	1/5	1/4	1/5	1/5	1

最大特征值 $\lambda_{\max}=5.7373$, 一致性指标 CR=0.1843。由于此时 CR=CI/RI = 0.1843 >0.1, 所以该比较矩阵不满足一致性要求。采用权重向量区间估计法计算各指标权重值的上、下限的平均值。

$W= (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)^T=(0.3689, 0.3200, 0.1806, 0.0868, 0.0438)^T$

计算结果表明: $w_5=0.0438$, 小于 $\xi =0.05$, 所以指标 D₂₃ 为弱权重指标, 可以剔除, 列为可选指标。从区间估计的角度看, 属于 C₁₀ 的指标相对权重值应在表 2 所示的指标权重值的上限及下限值范围内波动。最大区间宽度 $L_{\max}=1.4 \times 10^{-5}$, 表明比较矩阵不满足一致性要求, 但不一致程度并不太高; 而计算数值仅为区间估计上限、下限值范围内的点估计值。重新计算出权值 $W= (w_1, w_2, w_3, w_4)^T=(0.3858, 0.3347, 0.1889, 0.0908)^T$

本文研究过程中, 指标取舍权数 ξ 为 0.05, 计算结果表明, 除从属于 C₇ 和 C₁₀ 的指标因素两两比较矩阵需要进行指标筛选分析外, 其他比较矩阵均满足一致性要求, 而且指标相对权重值大于取舍权数, 必须保留。

评价指标初次筛选后，形成了新的评价指标体系，重新进行两两比较,确定新指标集的相对权重值，最终得到筛选后的区域水环境规划指标体系如下图 4-2 所示：

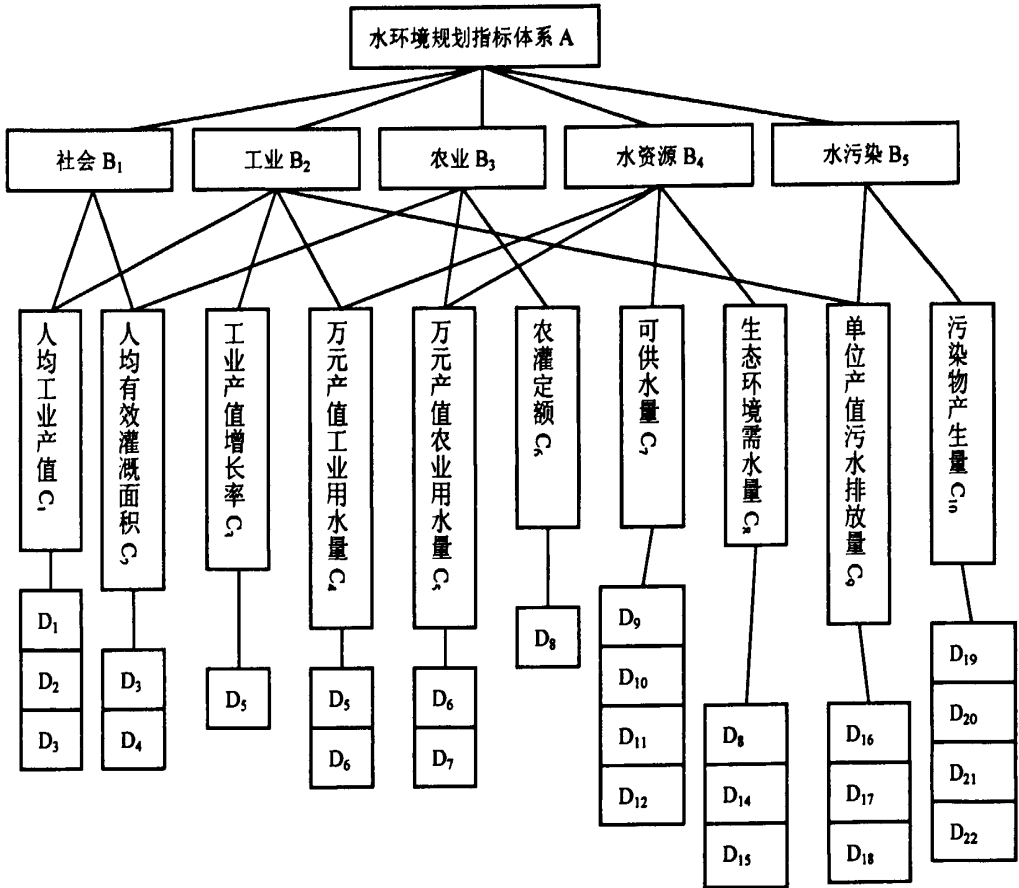


图 4-2：筛选后区域水环境规划的指标体系

(各符号代表的指标项与图 4-1 相对应)

指标的总排序如表 4-17 所示。其中 D₁₉ (COD_{Mn}) 权值最大，D₁₅=水土流失率权值最小。限于指标的个数及权值的大小，本文确立权重前 18 位的为必选指标，其余为可选指标。其中必选指标为:D₁₉ (COD_{Mn})，D₆ (新鲜用水量)，D₂₀ (BOD₅)，D₃ (人口密度)，D₄ (耕地保有量)，D₁₈ (污水处理厂处理率)，D₅ (工业产值增长率)，D₂₁ (重金属)，D₁ (工业总产值)，D₈ (灌溉面积)，D₂₂ (氮磷)，D₁₆ (工业废水排放量)，D₇ (农业总产值)，D₂(工业密度)，D₉(饮用水源达标率)，D₁₇ (生活污水总量)，D₁₀ (地表水达到水质达标率)，D₁₁ (地下水水质达标率)。可选指标为： D₁₂ (近海海域水质达标率)， D₁₄ (森林覆盖率)， D₁₅ (水土流失面积)。

表 4-17 指标的总排序

水环境规划指标 A											权重排序
1											
	社会 B ₁ 0.084		工业 B ₂ 0.16		农业 B ₃ 0.262		水资源 B ₄ 0.07		水环境 B ₅ 0.424		
	C ₁ 0.0583	C ₂ 0.188	C ₃ 0.0736	C ₄ 0.0495	C ₅ 0.096	C ₆ 0.032	C ₇ 0.0396	C ₈ 0.003	C ₉ 0.1196	C ₁₀ 0.3391	
D ₁	0.557										0.0325
D ₂	0.32										0.0187
D ₃	0.123	0.5									0.1012
D ₄		0.5									0.094
D ₅			1	0.2							0.0835
D ₆				0.8	0.8						0.1164
D ₇					0.2						0.0192
D ₈						1		0.1285			0.0324
D ₉							0.4143				0.0164
D ₁₀							0.2675				0.0106
D ₁₁							0.2108				0.0083
D ₁₂							0.1073				0.0042
D ₁₄								0.5949			0.0018
D ₁₅								0.2766			0.0008
D ₁₆									0.1935		0.0231
D ₁₇									0.1066		0.0127
D ₁₈									0.6999		0.0837
D ₁₉										0.3858	0.1308
D ₂₀										0.3347	0.1135
D ₂₁										0.1889	0.0641
D ₂₂										0.0908	0.0308

第五章 实例研究

5.1 研究区域概况

5.1.1 苏州市吴中区基本概况

(1) 地理位置

吴中区位于苏州市南部,太湖之滨,地理坐标为北纬 $30^{\circ} 56' \sim 31^{\circ} 21'$, 东经 $119^{\circ} 55' \sim 120^{\circ} 54'$ 之间,全境东西长 93 km,南北宽 48.1km。东与昆山市接壤,南与吴江市相邻,西衔太湖,北与苏州古城、苏州高新区及工业园区相接,与无锡市、浙江省湖州市隔湖相望。吴中区地处长江下游,为太湖水网平原的一部分,全区地势低平,自西向东微微倾斜,平原海拔自 6.5m 降至 2.0m (吴淞高程) 左右。东部以平原为主,有水网平原、低洼圩田平原、湖荡水网平原、滨湖水网平原及山前冲积平原构成;西部有低山丘陵,系浙西天目山向东北延伸的余脉,成“岛状”分布,孤立分布在除东部郭巷、车坊、角直之外的太湖之中和沿岸诸镇内。境内山脉最高峰为穹窿山,主峰笠帽峰海拔 341.7m^[30]。

(2) 人口

全区陆地面积 $7.42 \times 10^3 \text{ km}^2$,太湖水域面积 $2.43 \times 10^3 \text{ km}^2$,其中属吴中区的水域约 $1.46 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。吴中区下辖 1 个国家级太湖旅游度假区、1 个国家级农业示范区、1 个省级吴中经济开发区、1 个穹窿山风景管理区、7 个镇和 8 个街道。2008 年末,全区户籍人口 57 万人,其中非农业人口 217991 人;暂住人口 525330 人。人口年自然增长率为 2.74‰。

(3) 气候条件

苏州市吴中区地处我国大陆东部沿海,位于北亚热带湿润季风气候区。因受海洋和太湖水体的调节作用,具有四季分明、气候温和、雨量适宜、日照充足、无霜期较长的特点。多年平均气温 15.7°C ,多年平均降水量 1088.5mm。2006 年平均气温 17.8°C ,年降水总量 1018.6mm,年日照总时数 1787.9h。

据资料统计,全区最高水位平均值 3.38m (吴淞高程,下同),最低水位平均值 2.43m,常年水位均值 2.83m。

(4) 区域经济发展概况

2008 年,全区地区生产总值 468 亿元,比上年增长 19.7%。其中人均地区生产总值 (按户籍人口计算) 8.14 万元,按现行汇率折算,人均地区生产总值 1.19 万美元,同比增加 2.50×10^3 美元。全口径财政收入 138 亿元,地方一般预算收入 44.8 亿元,较上年分别增长 68.7% 和 24.2%。

2001~2006 年，全区经济总量快速增长，经济效益显著提升。GDP 总量从 122 亿元增加至 322 亿元，年均增长率 32.74%，人均 GDP 从 2.06×10^4 元增加至 5.73×10^4 元，年均增长率 18.6%（如图 5-1 所示）^[41]。2008 年，全区地区生产总值 4.68×10^{10} 元，比上年增长 19.7%。其中人均地区生产总值（按户籍人口计算）8.14 万元。全口径财政收入 138 亿元，地方一般预算收入 44.8 亿元，较上年分别增长 68.7%和 24.2%。经济结构方面^[46]，地区生产总值中由 2006 年三次产业比例达到 3.1：62.3：34.6 逐步优化比例为 2008 年 2.4:60.0:37.6。

工业在全区经济中的比重不断增加，工业总产值从 2001 年 148.07 亿元，增加至 2006 年的 760 亿元，年均递增 82.71%。2008 年，全区工业总产值 1050 亿元，比 2007 年增长 16.5%，销售额超千万元的规模以上企业 902 家，完成总产值 836 亿元，增长 16.8%。

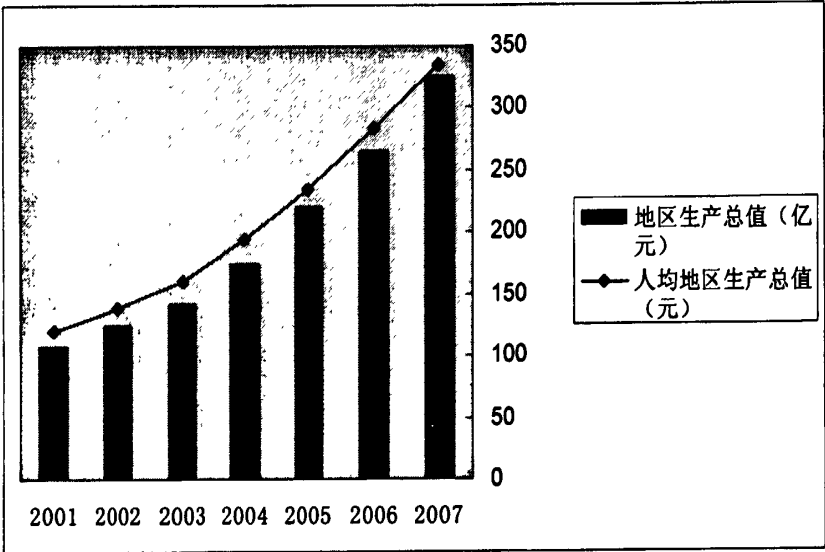


图 5-1 经济增长曲线图

2008 年，全区农林牧渔业总产值 19.8 亿元，同比增长 6.4%。实现农产品销售收入 32.5 亿元，增长 18.4%，引进“三资”农业项目 34 只，总投资 11.5 亿元。全区拥有省、市名牌农产品 69 只，无公害农产品、绿色食品和有机食品 180 只。

2008 年，城镇居民人均可支配收入为 2.61 万元，比上年增长 12.1%；农民人均纯收入为 1.19 万元，比上年增长 11%。城镇居民人均消费支出为 1.67 万元，同比增长 9.0%，农村居民人均生活消费支出 8580 元，增长 9.4%。年末居民储蓄存款余额 265 亿元，比年初增加 55.7 亿元，人均（按户籍人口计算）储蓄存款达 4.61 万元，比年初增加 1.09 万元。年末城镇居民人均住房面积为 35m²，农民人均住房使用面积 74 m²^[41]。

(5) 社会发展概况

苏州市吴中区为原苏州市吴县的一部分。1995 年 6 月，经国务院批准，撤

县设市。2000 年 12 月 31 日，国务院批复同意撤销吴县市，原吴县市管辖区分设为吴中区与相城区，2001 年 2 月 28 日正式宣布。

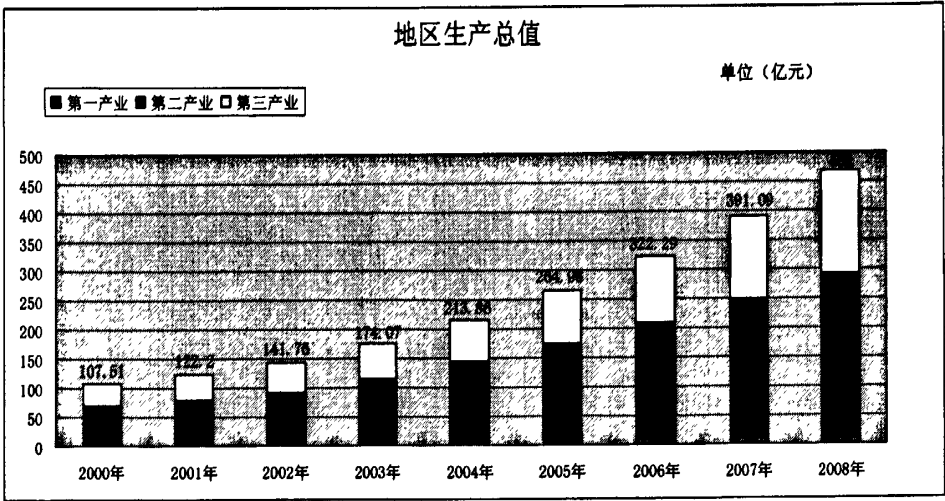


图 5-2 地区生产总值图

吴中区总面积 770.08km²（不含太湖水域面积）。太湖水域面积 2425 km²，其中属吴中区的水面约 1458.95 km²。全境东西宽 92.95km，南北长 48.1km。吴中区现共有苏州太湖国家旅游度假区、西山国家现代农业示范园区、苏州市吴中经济开发区、穹窿山风景管理区 4 个区，甪直、木渎、胥口、临湖、东山、光福和金庭 7 个镇，长桥、郭巷、横泾、城南、越溪、香山、苏苑、龙西 8 个街道办事处，1 个场圃—吴中区林场。

吴中区境内名胜古迹云集，旅游资源丰富。“太湖风光美，精华在吴中”，现为国家重点风景名胜区之一的太湖风景名胜区，共有 13 个著名景区，其中东山、金庭、木渎、甪直、石湖（部分）6 个景区在吴中境内。全区现有国家级历史文化名镇 2 个、国家级历史文化名村 2 个、江苏省历史文化名镇 3 个；县级以上文物保护单位 91 处，其中国家级文物保护单位 7 处、省级文物保护单位 16 处。

5.1.2 苏州市吴中区水环境概况

吴中区地处江南水乡，属淀泖和滨湖水系，区内河港纵横，湖泊众多。境内现有大小河道 1500 余条，水域面积约 78km²（不包括太湖水面）；境内河道总长约 1409km，河网密度约 1.8km/km²。

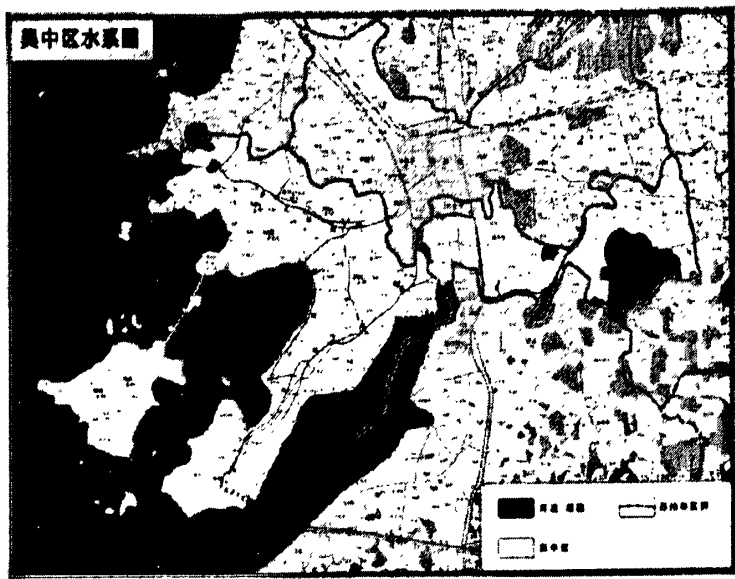


图 5-3 吴中区的水系图

根据现状调查资料，除京杭运河、吴淞江等流域性骨干河道外（见表 5-1），区内较具规模的县乡河道共有 94 条，总长度约 344km，其中区级河道 4 条，镇级河道 90 条。太湖水域面积 2425km²，其中属于吴中区的水域面积约 1458.95km²。除太湖外，境内较大的湖泊有橙湖、石湖（苏州新区、沧浪区、吴中区共有）、下崦湖、九里湖等，其基本情况见表 5-2。

表 5-1 吴中区骨干河道基本情况

河流名称	长度（km）	起点	止点	宽度（m）
胥江 ^①	15.30	太湖	外城河	30
苏东河	29.19	渡水桥	石湖	25
浒光河 ^②	16.07	太湖	京杭运河	20
木光河	18.30	下崦湖	胥江	20

备注：①胥江属吴中区管辖的 12.6km。②浒光河属吴中区管辖的 5.0km。

表 5-2 吴中区主要湖泊概况

名称	面积（km ² ）	湖心平均水深（m）	蓄水量/库容（10 ⁸ m ³ ）
橙湖	45.00	1.83	0.80
石湖	2.50	/	0.13
下崦湖	0.87	/	/
九里湖	6.88	/	/
底潭	1.63	/	/

5.2 苏州市吴中区水环境分析

5.2.1 水污染状况调查

(1) 工业废水调查

据统计，工业用水量由 2001 年的 9955.5 万 t 减少到 2003 年的 6724.7 万 t，后又增加到 2005 年的 9768.5 万 t。由于工业用水量先减少后增加，导致全区工业废水排放总量不断变化，由 2001 年的 8960 万 t 减少到 2005 年的 6838 万 t，其中 2001 年还包含了撤市建区前原吴县市的排放量，2004 年受国家宏观调控的影响部分企业开工不足而导致废水量骤减，废水主要污染物为化学需氧量、挥发酚、石油类和氨氮。2005 年，吴中区废水处理达标率为 99.6%，比 2001 年提高了 4 个百分点，废水中污染物排放总量有所增加，主要污染物化学需氧量的排放量为 4339t，比 2004 年增加 2.4%（表 5-3）。

从吴中区工业现状看，吴中区工业以劳动密集型与技术密集型相结合为主，全区工业废水排放重点污染行业以化工、印染业为主。2006 年，工业中化工、印染、电子行业排放废水量分别达 1759.89 万 t、207.80 万 t、199.20 万 t，分别占废水排放总量的 35.19%、4.16%、3.98%（表 5-4）。2008 年，全区已建成污水处理厂日处理能力达 25 万 t；万元 GDP 能耗降低 4.7%，全年削减化学需氧量 2951t、二氧化硫 3877t；全区森林覆盖率达 27.9%；饮用水源水质 100%达标。

表 5-3 2001~2006 年吴中区工业废水及污染物排放量

年度	排放量 (万吨)	达标排放量 (万吨)	达标率 (%)	化学需氧量 (吨)	氨氮 (吨)	挥发酚 (吨)	石油类 (吨)
2001	8960	8513	95.0	8512	134.4	4.48	8.96
2002	6365	6289	98.8	6046	159.1	3.18	7.64
2003	6499.9	6351.7	97.7	6723	252.1	2.57	7.28
2004	4269.7	4246	99.4	4239	277.5	0.13	1.08
2005	6838	6811	99.6	4339	380.3	4.76	0.27
2006	5500	5390	98.0	3850	330	4.4	0.22

来源：吴中区环境质量报告书 2001—2006，吴中区环境保护局

表 5-4 2006 年吴中区工业主要行业废水排放情况

行业类别	废水排放量(万吨)	化学需氧量(万吨)	氨氮(吨)	占废水排放总量的比重(%)
化工	1759.89	176.81	0	35.19
印染	207.80	20.73	0	4.16
电子	199.20	15.92	1485	3.98
纺织	156.64	12.46	0	3.13
制药	63.60	6.36	0	1.28
建材	42.50	4.25	0	0.85
轻工	39.80	3.98	0	0.79
医疗	37.50	3.75	0	0.75
冶金	17.22	1.72	0	0.34
机械	18.00	1.80	0	0.36
金属制造	3.00	0.30	0	0.06

(2) 生活废水调查

由于人口增加和生活水平的提高，生活污水排放量不断增加，今年来吴中区城镇生活污水排放量每年都有较大幅度的提升（表 5-5）2004 年~2006 年，全区城镇生活污水排放量由 2977.62 万 t 增加到 3020.38 万 t，生活污水处理率由 2004 年 54.1%提高至 2006 年的 59.36%。2005 年^[46]吴中区农村生活污水年排放量 2.7 万吨，基本无处理设施，直接排入附近小河浜。因此，生活污水一直是吴中区水环境的主要污染源，水污染防治与改善水环境整体质量的重点是提高生活污水的收集和处理率。

表 5-5 2004~2006 年吴中区城镇生活污水排放量

年度	排放量(万吨)	处理量(万吨)	处理率(%)
2004	2977.62	1610.89	54.10
2005	2994	1729	57.75
2006	3020.38	1793	59.36

来源：吴中区环境质量报告

(3) 其他废水调查

①种植业污染

“十五”期间，随着经济结构调整，吴中区的农田面积越来越少，同期化肥

的使用量也逐年下降（以折纯量计），农药施用量整体呈下降趋势。（表 5-6）

表 5-6 吴中区农用化肥、农药使用量

年份	农田（万亩）	化肥施用量（吨）	农药施用量（吨）
2001	38.54	19331	813
2002	33.82	14531	765
2003	29.5	9781	727
2004	19.69	5614	519
2005	23.09	7121	451
2006	21.36	6278	398

来源：吴中区环境质量报告书，吴中区统计年鉴（2002~2007）

2006 年全区养殖面积 16.63 万亩，其中池塘养殖面积 10.14 万亩，湖泊养殖面积 6.49 万亩，目前以养蟹为主，但饵料以外源性投入为主，这类模式下养殖过程造成一定的鱼池肥水、底泥污染和剩余饵料污染。

③畜禽养殖业污染

2006 年全区有 5 家规模化生猪养殖场，分别是车坊 2 家、临湖 2 家、郭巷 1 家。由于缺乏资金投入，畜禽粪便整体综合处理率还不高。部分畜禽养殖污水缺乏有效的处理，随意排放现象仍然存在，污染了附近的水体。

5.2.2 水资源状况调查

（1）饮用水源

苏州市吴中区水源地主要为太湖湖体保护区。太湖东海岸是苏州的重要饮用水源地，目前，在太湖上设置有白洋湾水厂、渔洋山横山取水口、浦庄寺前园区水厂等取水口。环太湖河流及陆域的点源、面源物质，湖内旅游、围网养殖、底泥内源的释放等都是造成太湖水污染和富营养化的主要来源。太湖 COD_{Mn} 略有改善趋势，而 NH₃-N 略呈恶化趋势。^[48]

吴中区自来水厂建于 1996 年，选取地为太湖，取水口设在浦庄寺前，1999 年开始供水。吴中区环境监测站监测结果显示：主要以石油类污染为主，其余依旧以氮磷污染为主。

（2）河流

区域内河流以有机污染为主，在例行监测的 5 条河流（胥江、苏东河、浒光河、木光河、吴淞江）上，共设 11 个断面。2006 年对境内胥江、苏东河、浒光

河、木光河执行地表水Ⅲ类标准,吴淞江执行地表水Ⅴ类标准,京杭运河执行Ⅳ类标准。随着苏州外河的整治,苏化厂的搬迁,五年来吴淞江的有机污染逐年得到减轻,水质恶化受到抑制,水质有所好转。但由于沿途乡镇的生活污水的不断排入,氮磷污染依然相当严重,所以要加强城镇污水厂的建设,并建立一个完善的污水管网系统,使农村生活污水能够集中处理达标排放,减轻吴淞江水质污染。

5.2.3 相关状况调查

2001年,苏州市吴中区生态工程建设包括生态农业、生态工业、生态型第三产业等33个项目,投资总量估计12.3亿元。2008年,对太湖饮用水源生态环境保护进一步加强,特别是投资 4×10^3 万元在太湖沿岸建设防护林带与湿地工程。通过生态工程建设,使生态环境恶化的趋势得到有效遏制,区域生态环境质量明显改善;加大了水环境、水生态安全的宣传力度,增强了开发活动与水环境保护相协调的意识。

5.4 苏州市吴中区水环境规划目标

依据苏州市吴中区水污染防治规划(2007~2020),苏州市水环境综合整治规划(2007~2020)及苏州市水资源综合规划将吴中区水环境规划目标划分为近期目标和远期目标^{[46]~[48]}。

(1) 近期目标

到2010年底,初步实现具备除磷脱氮功能的污水处理设施的全覆盖,使各类污染源得到有效控制;通过推行清洁生产,发展循环经济,保证太湖集中式饮用水源地水质安全,使其达到地表水Ⅲ类标准;通过生态工程和自动监测技术,使太湖湖体富营养化和东太湖沼泽化程度有所缓解;通过河道的疏浚、清淤工程,使骨干河道主要水质指标基本达到地表水Ⅲ类标准,实现水质明显改善。

到2012年,太湖集中式饮用水源地水质在2010年基础上稳定好转,生活污水处理及管网收集设施进一步完善,主要河流水质继续得到改善。

(2) 远期目标

到2020年,使太湖集中式饮用水源地水质稳定达到地表水Ⅲ类标准,骨干河道达到地表水Ⅲ类标准,全区水污染处理设施完备,水功能区全部达标,水环境质量全面改善,形成生态良性循环、人水和谐的宜居环境。

5.5 吴中区水环境规划中指标的选择

本文构建的吴中区水环境规划指标模糊综合评价模型是将层次分析法和模糊综合评价法进行有机的结合，一方面通过层次分析法确定准则层，并计算出各指标权重，另一方面用多层次模糊综合评价法对区域水环境状况进行综合评价。其中，模糊综合评价是在层次分析法的基础上进行的，两者相辅相成，共同提高了评价的可靠性与有效性，其技术路线如图 5-4 所示。

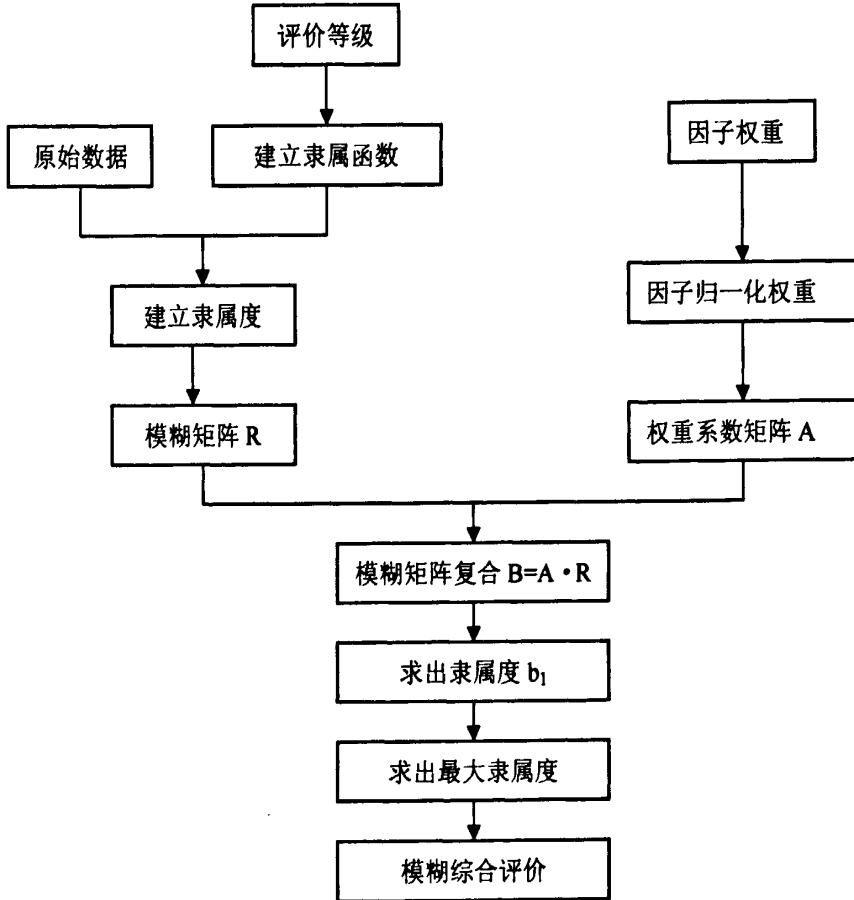


图 5-4 模糊综合评价流程图

在第四章中，笔者运用层次分析法确定了区域水环境规划中的指标的权重，本节在权值确定的基础上，用多层次模糊综合评价法对区域水环境规划中指标的选择进行综合评价。

5.5.1 模糊综合评价的步骤

一级模糊综合评价一般包括以下几个步骤^[49]：

(1) 确定因素集及评语集

建立因素集和评语集是评价工作的第一步。模糊综合评判是考虑与被评价事

物相关的各个因素所作的综合评价,其着眼点是所要考虑的各个相关因素。因此,要建立因素集。为清晰描述评价结果,需要将评价结果分成一定的等级,所以要同时建立评语集。

一般可设因素集合为:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}, \text{ 共 } m \text{ 个因素}$$

决策评语集合为:

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \text{ 共 } n \text{ 个评语等级, 本文主要为 \{不选, 可选, 必选\}}$$

(2)根据评价标准确定隶属函数

隶属函数是依据评价标准建立起来的,目的在于通过一定的函数运算来描述评价因子对评价等级的隶属程度,从而使本来模糊的数学概念变得直观。本文采用目前实用频率较高的升半梯形隶属函数和降半梯形隶属函数。升半梯形隶属函数适用那些数值越大,表明水环境规划指标的正效应指标。降半梯形隶属函数则适用于那些数值越大,表明水环境规划指标的负效应指标。在实际应用中,应针对评价工作的重点,因素的变化规律,科学地选择隶属函数。本项研究采用的隶属函数也是升半梯形隶属函数和降半梯形隶属函数。具体函数定义如下:

$$\text{当 } j=1 \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 1, & 0 < d_j \\ \frac{x-d_{j-1}}{d_j-d_{j-1}}, & d_{j-1} < x < d_j \\ 0, & x > d_{j+1} \end{cases} \quad \text{公式(5-1)}$$

$$\text{当 } j=2, 3, \dots, n-1 \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq d_{j-1} \\ \frac{x-d_{j-1}}{d_j-d_{j-1}}, & d_{j-1} \leq x \leq d_j \\ 1, & x > d_j \end{cases} \quad \text{公式 (5-2)}$$

$$\text{当 } j=n \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 0, & x < d_{j-1} \\ \frac{x-d_{j-1}}{d_j-d_{j-1}}, & d_{j-1} \leq x \leq d_j \\ 1, & x > d_j \end{cases} \quad \text{公式 (5-3)}$$

注 $A(x)$ 为评价对象集中单个指标对 j 评价等级的隶属函数; x 为各指标实际值 如 d_j, d_{j-1}, d_{j+1} 分别为各指标的相应分级标准值。

正效应指标的隶属函数的概念,有些指标数值越大,表明区域水环境规划的密切性好。即对水环境规划的正效应越大,这类指标称为正效应指标。

$$\text{当 } j=1 \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 1, & x \geq d_j \\ \frac{x-d_{j+1}}{d_j-d_{j+1}}, & d_{j+1} < x < d_j \\ 0, & x \leq d_{j+1} \end{cases} \quad \text{公式 (5-4)}$$

$$\text{当 } j=2, 3 \cdots n-1 \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 0, & x \geq d_{j-1} \\ \frac{d_{j-1}-x}{d_{j-1}-d_j}, & d_j < x \leq d_{j-1} \\ \frac{x-d_{j+1}}{d_j-d_{j+1}}, & d_{j+1} < x \leq d_j \\ 1, & x \leq d_{j+1} \end{cases} \quad \text{公式 (5-5)}$$

$$\text{当 } j=n \text{ 时} \quad A(x) = \begin{cases} 0, & x \geq d_{j-1} \\ \frac{d_{j-1}-x}{d_{j-1}-d_j}, & d_j < x < d_{j-1} \\ 1, & x \leq d_j \end{cases} \quad \text{公式 (5-6)}$$

各符号代表的意义同上。

(3) 确定各项指标的隶属度

对于任意的 $u_i \in U$, $v_j \in V$, 根据第(2)步所建隶属函数, 可以求解 u_i 在评语 v_j 级上的隶属度, 用 r_{ij} 表示。每个因素 u_i 对于每一评价等级 ($j=1, 2, 3, \dots, n$) 的隶属度构成向量 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$, 它是决策评语 V 上的模糊子集。这样 m 个影响因素的评价集就构造出一个 $n \times m$ 评价矩阵 $R = (r_{ij})$

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1m} \\ r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2m} \\ \vdots \\ r_{n1}, r_{n2}, \dots, r_{nm} \end{pmatrix} \quad \text{公式(5-7)}$$

R 是着眼因素论域 U 到决策评语论域 V 的一个模糊关系集合。

(4) 确定各因素的权重

在进行综合评价时, 需要知道 u_i 关于 C 的相对重要度, 也即 u_i 关于 C 的权重。为此可以求出判断矩阵 A 的特征向量 W , 然后经过归一化处理, 即可求出 u_i 关于 C 的相对重要度 (权重)。其特征向量 W 应满足下式:

$$AW = \lambda \max W \quad \text{公式(5-8)}$$

其中 $\lambda \max$ 为矩阵 A 的最大特征值。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} \quad \text{公式(5-9)}$$

式中 $(AW)_i$ 表示 AW 的第 i 个元素。

一般直接求解判断矩阵 A 的特征向量比较麻烦。由于专家进行两两因子相对重要性比较的精度有限,在实际中常用两种近似算法可以简单地计算权重系数。

①和积法

这种方法的步骤为:

$$\text{对 } A \text{ 按列规范化: } \bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{再按行相加求和: } \bar{W}_i = \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{再规范化, 即得权重系数: } W_i/W_j = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j$$

②方根法

这种方法的步骤为: 按行元素求几何平均值, 得: $W_i = (\prod a_{ij})^{1/n}$

$$\text{再规范化, 即得权重系数 } W_i/W_j = \bar{W}_i / \sum_{j=1}^n \bar{W}_j$$

考虑到精度要求不太高, 且要求计算简便, 本研究中采用和积法。

(5)模糊矩阵复合运算

模糊矩阵复合运算, 就是按照一定的算法将权重集 A 和隶属度集 R 进行合成运算, 即

$$B = A \circ R = (b_1, b_2, \dots, b_n) = (a_1, a_2, \dots, a_m) \circ \begin{pmatrix} \gamma_{11}, \gamma_{12}, \dots, \gamma_{1n} \\ \gamma_{12}, \gamma_{22}, \dots, \gamma_{2n} \\ \vdots \\ \gamma_{m1}, \gamma_{m2}, \dots, \gamma_{mn} \end{pmatrix}$$

B 为决择评语集 V 上的等级模糊子集, $b_j (j=1, 2, \dots, n)$ 为等级 V_j 对综合评判所得等级模糊子集的隶属度。如果评判结果 $\sum_{j=1}^m b_j \neq 1$, 应将它归一化。

(6)得出结论

若 $b_j = \max(b_1, b_2, \dots, b_n)$, 则对评判对象作出评语 V_j 。

本研究中要进行三级评价, 每级评价的基本方法与一级评价相同, 多级模糊综合评价一般包括以下几个步骤:

(1) 设因素集为: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$, 共 m 个因素。决策评语集为: $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, 共 n 个评语级, 本文主要为 {不选, 可选, 必选}, 把因素集 U 按某些属性分成几类 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, 式中 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}\}$ 为子集, $i = 1, 2, \dots, N$, 即 u_i 中含有 k 个因素, $\sum_{i=1}^N k_i = n$, 并且满足以下条件:

$$\bigcup_{i=1}^N U_i = U, U_i \cap U_j = \Phi, i \neq j$$

(2) 初级评判

对每个 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}\}$ 的 k 个因素, 按初始模型作综合评判。设 u_i 的各因素权重模糊子集为 A_i , u_i 的 k 个因素的总的评价矩阵为 R_i 于是得到:

$$B_i = A_i \circ R_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}) \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

式中 B_i 为 u_i 的单因素评判。

(3) 二级评判

设 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ 的各因素权重模糊子集为 A , 且 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$, 则 U 的总的评价矩阵 R 为:

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 \circ R_1 \\ A_2 \circ R_2 \\ A_3 \circ R_3 \\ A_N \circ R_N \end{pmatrix} \quad \text{公式(5-10)}$$

二级综合评判结果 $B = A \circ R$, 集合 B 即为因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 的综合评判结果。

上述的综合评判模型称为二级模型。如果影响因素集 U 的元素非常多时, 可对它作多级划分, 并进行更高层次的综合评判。

模型: $M(\bullet, +)$

$$M(\bullet, +)$$

$$b_j = \sum_{i=1}^n (w_i r_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad \text{公式 (5-11)}$$

其中 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。

该模型不仅考虑了所有因素的影响, 而且保留了单因素评判的全部信息。在运算时, 并不对 w_i 和 r_{ij} 施加上限限制, 只需对 w_i 归一化。这是该模型的显著特点, 也是其优点。

得到决策集 B 后, 进行最后综合评判, 接下来应根据模糊综合指数法来确定评价对象的等级。

模糊综合指数法结合了模糊评价与经典的指数法的运用, 使模糊综合评价中的隶属度与评价标准结合考虑。其表示方法为

$$\text{评价结果} = B \circ S = (b_1, b_2, \dots, b_m) \circ \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ \vdots \\ m \end{pmatrix}$$

公式(5-12)

该方法综合考虑了各级隶属度对最后评价结果的影响，信息利用率高，实践证明，该方法的准确性非常高。

上述的综合评判模型称为二级模型。如果影响因素集 U 的元素非常多时，可对它作多级划分，并进行更高层次的综合评判。在本项研究中，共划分三个层次进行综合评判。

5.5.2 吴中区水环境指标体系适宜性评价

根据上述模糊评价法的步骤，选择国内外较好的区域水环境规划的现状值作为标准值，或作趋势外推，结合吴中区水环境的实际情况和评价需要，本项研究将评语集分为 {不适宜、基本适宜、适宜} 三个等级，分别用 I、II、III 来表示。根据上述吴中区统计资料和评价标准，评审专家对子准则层各指标对各评价等级的隶属度进行打分，打分结果见下表 5-7。由于建立的指标体系是递阶层次结构的，因此计算过程也需分层进行，从最低层次即子准则层开始算起，运算步骤为子准则层-准则层-目标层，前面运用层次分析法进行了权值的计算，此处不再赘述。

表 5-7 D 层指标专家评判

	不适宜	基本适宜	适宜
D1	0	0.28	0.72
D2	0	0.19	0.81
D3	0	0.19	0.81
D4	0.1	0.3	0.6
D5	0	0.28	0.72
D6	0	0.36	0.64
D7	0	0.28	0.72
D8	0	0.36	0.64
D9	0	0.28	0.72
D10	0	0.28	0.72
D11	0	0.28	0.72

续表 5-7

D12	0.6	0.4	0
D14	0.4	0.6	0
D15	0.28	0.72	0
D16	0	0.28	0.72
D17	0	0.28	0.72
D18	0	0.2	0.8
D19	0	0.1	0.9
D20	0	0.1	0.9
D21	0	0.1	0.9
D22	0	0.1	0.9

C 层第一个因素集合 C_1 的单权重集为:

$$A_{C1} = [a_{D1} \quad a_{D2} \quad a_{D3}] = [0.557 \quad 0.32 \quad 0.123]$$

C_1 对应的判断矩阵为:

$$R_{C1} = \begin{bmatrix} \gamma_{D11} & \gamma_{D12} & \gamma_{D13} \\ \gamma_{D21} & \gamma_{D22} & \gamma_{D23} \\ \gamma_{D31} & \gamma_{D32} & \gamma_{D33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.28 & 0.72 \\ 0 & 0.19 & 0.81 \\ 0 & 0.19 & 0.81 \end{bmatrix}$$

则:

$$B_{C1} = A_{C1} \circ R_{C1} = [0 \quad 0.24 \quad 0.76]$$

同理可得:

$$B_{C2} = A_{C2} \circ R_{C2} = [0.05 \quad 0.24 \quad 0.71]$$

$$B_{C3} = A_{C3} \circ R_{C3} = [0 \quad 0.28 \quad 0.72]$$

$$B_{C4} = A_{C4} \circ R_{C4} = [0 \quad 0.34 \quad 0.66]$$

$$B_{C5} = A_{C5} \circ R_{C5} = [0 \quad 0.34 \quad 0.66]$$

$$B_{C6} = A_{C6} \circ R_{C6} = [0 \quad 0.36 \quad 0.64]$$

$$B_{C7} = A_{C7} \circ R_{C7} = [0.07 \quad 0.29 \quad 0.64]$$

$$B_{C8} = A_{C8} \circ R_{C8} = [0.31 \quad 0.60 \quad 0.09]$$

$$B_{C9} = A_{C9} \circ R_{C9} = [0 \quad 0.22 \quad 0.78]$$

$$B_{C10} = A_{C10} \circ R_{C10} = [0 \quad 0.1 \quad 0.9]$$

B 层第一个因素集合 B_1 的单权重集为:

$$A_{B1} = [a_{C1} \quad a_{C2}] = [0.5 \quad 0.5]$$

B_1 对应的判断矩阵为:

$$R_{B1} = \begin{bmatrix} B_{C1} \\ B_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0.24 & 0.76 \\ 0.05 & 0.24 & 0.71 \end{bmatrix}$$

则:

$$B_{B1} = A_{B1} \circ R_{B1} = [0.03 \quad 0.24 \quad 0.73]$$

同理可得:

$$B_{B2} = A_{B2} \circ R_{B2} = [0 \quad 0.28 \quad 0.72]$$

$$B_{B3} = A_{B3} \circ R_{B3} = [0.03 \quad 0.28 \quad 0.69]$$

$$B_{B4} = A_{B4} \circ R_{B4} = [0.06 \quad 0.33 \quad 0.61]$$

$$B_{B5} = A_{B5} \circ R_{B5} = [0 \quad 0.12 \quad 0.88]$$

则目标层 A 对应的判断矩阵为:

$$R_A = \begin{bmatrix} B_{B1} \\ B_{B2} \\ B_{B3} \\ B_{B4} \\ B_{B5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.24 & 0.73 \\ 0 & 0.28 & 0.72 \\ 0.03 & 0.28 & 0.69 \\ 0.06 & 0.33 & 0.61 \\ 0 & 0.12 & 0.88 \end{bmatrix}$$

U_A 的单权重集为:

$$A_A = [0.084 \quad 0.16 \quad 0.262 \quad 0.07 \quad 0.424]$$

则:

$$B_A = A_A \circ R_A = [0.01 \quad 0.21 \quad 0.78]$$

按照最大隶属度原则, 本研究中建立的指标体系评判结果为适宜。

5.5.3 综合评价

求解出各层指标对三个评价等级的隶属度之后, 还需要根据一定的方法来判

定其所属的质量等级。常用的最大隶属度法比较直观，但是它忽略了其他隶属度对指标适宜性的影响，评价结果过于武断；而模糊综合指数法综合考虑了各隶属度对评价结果的贡献。更为科学，也更为精确。因此，本项研究中，用模糊综合指数法来判断最终的结果等级。其计算模型如下：

$$P=A\circ M=[A_1\quad A_2\quad A_3]\circ\begin{bmatrix}1\\2\\3\end{bmatrix}=A_1+2A_2+3A_3$$

其中 P 为评价结果，A 为各层次指标对评价等级的隶属度集，M 为评语集。

经过上述模型计算，吴中区水环境指标体系各子准则层评价结果见表 5-8，表 5-9。

(1) 子准则层综合评价

根据以上求得的子准则层隶属度，根据模糊综合指数法计算模型对子准则层指标适宜性计算结果见下表

表 5-8 子准则层对水环境指标适宜性的综合评价结果

评价因子	综合评价值
人均工业产值	2. 76
人均有效灌溉面积	2. 66
工业产值增长率	2. 72
万元产值工业用水量	2. 66
万元产值农业用水量	2. 66
农灌定额	2. 64
可供水量	2. 57
生态环境需水量	1. 78
单位产值污水排放量	2. 78
污染物产生量	2. 9

(2) 准则层综合评价

根据以上求得的准则层隶属度，根据模糊综合指数法计算模型对子准则层指标适宜性计算结果见下表

表 5-9 准则层对水环境指标适宜性的综合评价结果

评价因子	综合评价值
社会	2. 7
工业	2. 72
农业	2. 66
水资源	2. 55
水污染	2. 88

(3) 目标层综合评价

根据 5.5.3 最终求得的结果可知本研究建立的水环境规划指标总体适宜性对 3 个等级的隶属度为：[0.01 0.21 0.78]

那么其适宜性等级为 $P = 0.01 \times 1 + 0.21 \times 2 + 0.78 \times 3 = 2.77$

这里,评价结果得到的数值与前面给出的 I , II , III 三个等级是相对应的 2.77 是指水环境规划指标体系适宜性的等级,即介于 II 和 III 两个等级之间,但偏向于 III 级,也就是偏向于适宜水平。说明本指标体系适宜吴中区的水环境规划,同时也证明了本方法筛选指标的合理性、科学性及适用性。

第六章 结论与展望

1、主要研究结论

通过运用层次分析法筛选水环境规划中的指标体系,结合区域水环境研究的现状,建立了适合水源地与生态型保护区的水环境规划的指标,模糊评价法对苏州市吴中区水环境规划指标分析结果可知该指标建立的合理性。指标体系的建设更为今后的水环境规划和指标体系研究提供了理论依据。

①本文在对水源地及生态保护型水环境影响因素的分析基础上,针对区域水环境的功能、特性,结合国内规划指标体系及理论研究成果,国家及地方有关水环境质量的法规、标准,制定了适合水源地及生态型保护型水环境规划指标体系;

②目前还没有统一、规范的水环境的目标,许多水环境规划指标的建立存在一定的主观性及随意性,针对以往水环境规划指标建立的不足,本文在应用层次分析法对指标体系进行了筛选,建立了较为全面、统一的指标,可用于以后的水环境规划的参考;

③本文列出了近海海域水质达标率,森林覆盖率,水土流失面积3个可选指标和 COD_{Mn} , 新鲜用水量, BOD_5 等18个必选指标;

④苏州市吴中区的水环境规划研究过程中,结合该区域水环境的特性、功能区的划分以及各目标的结果表明该指标筛选及数学方法的选择是合理的。

2、展望

(1)指标体系的建立是区域水环境规划的关键问题,也是一项非常艰巨的任务。本项研究虽然在指标体系的建立上做了大量的工作,尽量做到指标的科学合理,但将层次分析法用于水环境规划中指标体系的建立仅仅是一个尝试,有些重要指标因获得原始资料有一定的难度而无法利用,在一定程度上影响了指标体系的完善。

(2)如果能对研究区域的水环境进行长期的分析,研究区域水环境随时间的变化规律,随时调整研究内容,从而得出各项指标的合理性、有效性结论,更好的发展该方法。由于本研究的时间有限,资料欠缺。不能得到系统的统计资料,而成为本项研究的一个缺陷。

(3)区域水环境规划是一项极其复杂的工作,涉及到多方面的知识。本项研究仅在一定程度上对指标的筛选方法进行了发展和改进,远未达到完善的程度,还需对其进行进一步的研究,不断补充完善。另一方面,在以后的发展中,可以

尝试利用该方法对不同大小和不同经济发展程度与产业结构的区域进行评价研究, 以使此方法在区域环境影响评价中能更广泛地应用。

参考文献

- [1]夏连强,张司明,许新宜.区域水环境规划方法综述.水资源保护,1993(1)
- [2]夏青,贺珍.水环境综合整治规划[M].海洋出版社,1989.9
- [3]河海大学期刊网:水资源保护概况[R].<http://kkb.hhu.edu.cn/lt/lt018.htm>
- [4]我国水环境面临形势的分析报告[R].<http://zhidao.baidu.com/question/36776683.html>
- [5]王建伟.沈阳市水环境生态规划研究[D]:[硕士学位论文].同济大学建筑与城市规划学院,2007
- [6]郭怀成、尚金城、张天柱.环境规划学[M].高等教育出版社,2001
- [7]夏军,华北地区水循环与水资源安全:问题与挑战[J];地理科学进展;2002年06期
- [8]韩宇平,阮本清.区域水安全评价指标体系初步研究,环境科学学报[J],2003年02期
- [9]贾绍凤,张军岩,张士锋.区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J],地理科学进展,2002,6
- [10]贾绍凤,张士锋.海河流域水资源安全评价[J];地理科学进展;2003年04期
- [11] Magnouni, S. E. and W. Treichel. A multicriterion approach to ground water management, Water Resour. Res. 1994
- [12]宛箐.黄石市磁湖水环境综合防治规划研究[D]:[硕士学位论文].武汉理工大学,2006
- [13]赵晨,铁燕中美水环境标准法律制度比较研究武汉大学环境法研究所2007-11
- [14]Malco R, Bianca G, Cristina F, et d. An integrated approach to the assessment of the environment quality of the Tiber river in the urban area of Rome A mutagenesis assay and an analysis of macrobenthic community structure[J]. The Science and the Total Environment, 1995,162(2-3):127-137
- [15]环保部:<http://www.zhb.gov.cn/>
- [16]江苏省环保厅:<http://www.jshb.gov.cn/jshbw/>
- [17]王金南,王东,李云生,王晨,国家“十一五”重点流域水污染防治战略规划[J],水利水电技术,第39卷,2008(1):17-18
- [18]王丹.城市新区规划战略环境评价指标体系研究[D].北京大学.2003.
- [19]肖风劲,欧阳华.生态系统健康及其评价指标和方法[J].自然资源学报,2002,17(2):203~209.
- [20]曾畅云.水环境安全及其指标体系研究——以北京市为例[D]:[硕士学位论文].首都师范大学,2004
- [21]王国胜.河流健康评价指标体系与AHP——模糊综合评价模型研究[D]:[硕士学位论文].广州:广东工业大学,2007
- [22]于声.模糊评价法在区域工业用地适宜性评价中应用[D]:[硕士学位论文].中国农业科学

院, 2007.6

[23]生态县、生态市、生态省建设指标(试行),环境保护, 2003,09

[24]张丽萍, 朱钟麟, 邓良基, 水资源评价指标体系的研究现状及问题探讨[J], 国土资源科技管理, 2004, 4

[25]冯娟, 赵全升, 牟晓燕, 小城镇建设可持续发展评价指标体系研究[J], <http://www.cnki.net>

[26]宋松柏, 蔡焕杰, 徐良芳, 水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[J], 水科学进展, 2003,14(5):647-652

[27]彭文启, 张祥伟, 杜霞等. 现代水环境质量评价理论与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005, 75~105.

[28]王莉, 小城镇水环境质量评价指标体系研究[J], 四川理工学院学报, 2008, 2: 108

[29]薛巧英, 水环境质量评价方法的比较分析[J], 环境保护科学, 2004, 8 (第30卷)

[30]姜国建, 马英杰, 袁珩冰, 沿海生态城市建设指标体系探讨[J], 海洋科学, 2005年06期

[31]仲志余, 谈昌莉, 徐成剑, 刘晖, 关于建立水利发展规划指标体系的探讨[J], 水利经济, 2005,

[32]刘晓晨, 张宁, 张敬凯, 侯旭辉, 层次分析法在矿山水环境质量评价中的应用[J], 能源与环境保护, 2008,8: 51-53

[33]邹桂香, 戴友芝, 宋建昕, 湘江干流衡阳段水环境质量现状分析与评价, 南华大学学报[J], 2008, 9: 42-43

[34]冯海霞, 刁迎霞. 基于PSR概念模型的水资源可持续利用指标体系研究. 水资源研究, 2002, 23 (2). 13~15

[35]韩宇平, 阮本清. 中国区域发展的水资源压力及空间分布. 四川师范学院学报 (自然科学版), 2002, 23 (3): 219~224

[36]沈珍瑶, 杨志峰. 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法. 自然资源学报, 2002, 17 (2): 188~19

[37]钱华. 水环境承载力研究——黄河万家寨为例[D]: [硕士学位论文]. 华北电力大学. 2004, 3

[38]邹积君, 刘志文等. 区域水资源可持续利用指标体系的设计及评价方法研究. 干旱地区资源与环境, 2003, 17 (1): 37-40

[39]莫世江, 毕节喀斯特山区饮用水源地水环境污染分析及保护, 中国水土保持[J] 2008年第7期, 24 (5): 2-3

[40]潘晓斌, 十堰市水土流失对水环境的影响分析, 湖北水文网 [R]: http://www.hbswj.com/News_Show.asp?NewsID=2351

[41]苏州吴中网. <http://www.szwz.gov.cn/>

[42]Romero C. Multicriteria Decision Analysis and Environmental Economics: An Approximation [J]. European Journal of Operational Research, 1997

[43]金山, 谢家平. 系统工程基础与应用[M]. 北京: 地质出版社, 2003.

- [44]沈继红. 数学建模[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1998.
- [45]徐慧, 罗超, 刘志刚, 层次分析法评价指标筛选方法探讨[J].中国海上油气, 2007, 12
- [46]苏州市吴中区水污染防治规划(2007~2020)
- [47]苏州市水环境综合整治规划(2007~2020)
- [48]苏州市水资源综合规划, 2008
- [49]彭祖赠.模糊(fuzzy)数学及其应用[M].武汉:武汉大学出版社, 2002.3第一版.

致 谢

本文是在我的导师李新教授的悉心指导下完成的。从论文的选题、设计到写作的全过程，导师倾注了大量的时间和精力。李老师治学态度严谨、科学思维敏锐、经验丰富的导师风范和工作方法、做人讲原则的领导风范给我树立了优秀的榜样。在李老师严格要求下，本人专业理论知识和分析、解决问题能力都得到了提高。三年来的学习，得到了李老师的多方面的关心和指导谨借此机会向李老师致以衷心的感谢。

感谢陈亢利教授给我的社会实践机会，并传授给我很多专业知识。陈老师严谨的治学精神与勤奋的工作作风对我影响甚大。

感谢环境科学教研室的全体老师，我对环境规划的若干认识，都离不开你们的悉心指导，由于接触环境规划初期，对其知之甚少，每个问题都要请教各位老师，你们的无私传授。使我受益终身。

感谢我的同窗张伟，朱明琪，师兄李程、宋延杰，师姐黄荣、王向丽，师弟郑隼、任伟，师妹张祥娟、李秀霞等在学习和生活上给予的支持和帮助。

感谢唐肖，在学校的这段时间里，给予我生活上的照顾与精神上的快乐，这段记忆将在以后的日子里时刻温暖着我的心。

感谢我的父母。是你们给予了我生命，育我成人，不断的督促我的学业。在每次我要放弃的时候都是你们鼓励我、支持我。将毕生无私的爱给予我，让我拥有世间最珍贵的情意。言语是无法表达我对你们的感谢。

值此论文完成之际，谨向所有在我学习期间关心、支持和帮助我的老师，同学、家人和朋友致以最真挚的谢意。

黄丹丹

2010年3月于苏州科技学院

作者简介

黄丹丹, 女, 1985 年 9 月 28 日出生, 江苏省大丰市人, 2007 年 7 月毕业于苏州科技学院, 获得工学学士学位, 2007 年 9 月考入苏州科技学院, 攻读硕士学位。

攻读硕士学位期间发表论文情况

[1]水环境相关规划中指标对比分析 [J].苏州科技学院学报自然科学版(已录入)

[2]昆山市环境污染特征研究, 收录于《中国不同经济区域环境污染特征的比较分析与研究学术研讨会暨中国环境科学学会 2009 年学术年会优秀论文集》

[3]应用层次分析法确定城市生活污水排放量影响因素的权值[J]. 环境科学与管理.2010, 35 (3) : 54-57

[4]苏州城市化进程中水环境与人居环境关系研究[J]. 环境科技, 2010,23(1):49-52.

[5]基于生态足迹分析的苏州市 2008 年可持续发展程度研究[J]. 苏州科技学院自然科学学报(已收录)

攻读硕士学位期间参与科研项目情况

苏州市高新区新的电工清洁生产

攻读硕士学位期间所获奖励情况

2007-2008 学年, 获苏州科技学院三等奖学金