

城市景观水体的综合指标评价方法的研究

摘 要

随着我国城市建设的飞速发展,住宅建设方兴未艾,城市居民生活水平不断提高,为了满足人们对居住环境越来越高的要求,房地产开发向绿色生态住宅方向发展;同时,在城市绿地、公园建设和大型标志性建筑中,人工湖泊、人工河道及景观水池不断涌现。但是,另一方面景观水体质量恶化却给人们带来了巨大的负面效应。追根究底,主要是设计师只考虑了外表的壮观、华丽,而忽视了其与城市生态系统的兼容性。本论文用模糊数学的方法对城市景观水体进行分层评价,总的分为城市水景观的生态状况、景观效应状况、社会状况和经济状况四个方面。其中,生态评价包括污染评价和富营养化评价,景观效应评价包括景观搭配性评价、理化优劣性评价和水体位态性评价,社会状况评价包括观赏性评价和历史性评价,经济状况评价包括效益性评价和稀缺性评价。再者,这些评价又分为具体因素的评价。它们的评价程序一样,都是首先确定影响水景观质量的各个因素、得出因素集,确定隶属度、获得数据,权重的计算及精度检验。其中,权重的计算分为两种:一种是直接经过所给数据计算所得,另一种是经过专家意见法给出。

本文选择了上海市四个比较有代表性的城市景观水体。从评价结果来看,四个水体有三个合格,只有一个较差,合格率为 75%,可见上海市景观水体总体情况还可以。污染并不严重,大部分比较好、能达到地面水二级水标准;但是营养等级都比较高,有两个达到了富营养化水平,有一个甚至达到了重富营养化水平。在景观搭配性方面,有三个属于良好,一个合格。理化优劣性:两个良好,一个合格,一个较差。水体位态性和观赏性:三个良好,一个合格。历史性:一个优秀,三个较差。效益性和稀缺性:四个均是良好。同时得出公众对景观水体景观搭配性的要求是:在岸或边类型方面,采用接近自然类型的岸或边砌筑方式,而且普遍要求水体水位较低,以便可以方便地亲近水面。从结果也可以看出有的水体虽然某一或者几方面的评价

结果较好，但是其它方面的评价结果都不合格。

关键词： 景观水体，污染，富营养化，景观效应，
模糊数学，综合评价

THE STUDY OF EVALUATION METHOD

——COMPREHENSIVE INDEXES OF CITY LANDSCAPE WATER

ABSTRACT

With the rapid development of the city building, the residence construction goes like a raging fire. To meet the requirements of the residents, the real estate agent development aims to construct the buildings which ensure both green and ecology. Therefore, in the many landmark constructions, man-made lakes, rivers and landscape ponds flourish. On the other hand, however, the deterioration of the water quality throws bad effect on people's life. The main reason lies in that the designers are in hot pursuit of the grandness of appearance while paying little attention to the compatibility of the city ecological system.

This paper applies the Fuzziness Mathematics to assess the city landscape water quality in the following four aspects, namely, the ecological, the landscape effect, social and economy condition. The ecological evaluation includes pollution and eutrophication evaluation. The landscape effect evaluation includes the landscape arrangement evaluation, the quality evaluation of physics and chemistry and the location evaluation. The social evaluation refers to the viewing evaluation. And economy evaluation includes the benefit and rarity evaluation.

And these evaluation are made by means of several detailed factors. The procedures almost go in a similar way, that is, make certain the factors which effect the quality of the water, educe the collection of the factors, ascertain the degree of the subject, obtain the data, account the scale of authority and check up the precision.

In this paper, four city landscape water of shanghai are chosen to do the research, from which we can see that of the four, three are qualified, one being rather bad. The qualifying rate is 75%. Thus the general picture of the landscape water quality in shanghai is quite all right.

The pollution is not serious. Most part of water reaches the ground water standard of level-2. But the level of nutrition appears too high, with two of them reach the eutrophication, and one even reaches the highest level of nutrition. As for the landscape arrangement, the three of them being second to best, one just reaching the qualifying level.

As for the quality of physics and chemistry, two are second to best, one reaching the qualifying level and another rather bad. As for the benefit and rarity, all are second to best. In addition, the requirement from the public about the landscape arrangement is that: the water level should be comparatively low so that they are easier to approach the water. The research also shows that some landscape water are qualified in some certain aspects, but unqualified in others.

KEY WORDS: Landscape Water, Pollution, Eutrophication,
landscape domino effect, Fuzzy Mathematics,
Comprehensive Evaluation

Yang Meng(Environmental Engineering)

Supervised by Associate Prof. Liu Zhenhong

附件一：

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：柳 强

日期：2005 年 1 月 14 日

附件二：

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ，在 ____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名：柳 强

指导教师签名：刘振鸿

日期：2005年1月14日

日期：2005年1月14日

第一章 概述

1.1 城市景观水的概念

在探讨景观水的概念之前，让我们先了解一下景观的定义。景观^{[1][2]}

的原意——“风景”，在欧洲，“景观”一词最早出现在希伯来文本的<圣经>旧约全书中，它被用来描写梭罗门皇城（耶路撒冷）的瑰丽景色。这时，“景观”的含义同汉语中的“风景”、“景致”、“景色”相一致，等同于英语中的“scenery”，都是视觉美学意义上的概念。我国从东晋开始，山水画（风景画）就已从人物画的背景中脱胎而出，独立成门，风景（山水）很快就成为艺术家们的研究对象，丰富的山水美学理论堪称举世无伦，因此也才有中国山水园林的臻美。景观的这种含义（作为风景的同意语）一直为文学艺术家们延用至今。目前，大多数园林风景学者所理解的景观，也主要是视觉美学意义上的景观，也即风景。

景观水是指池水、流水、跌水、喷水和涌水等用水，景观水规定为流动水循环使用，有循环水净化装置，使改造的地表水、雨水、污水的水质标准符合有关要求。

1.2 城市景观水的范围^{[3][4]}

（现代景观水）景观水包括——水景同绿化一样，都是一种景观。从来源上说，水景又可分为两类，即借景和造景，前者是在规划设计中创造更多、更好的景观朝向，将天然的水景借过来；而后者则是指人工造出水景。这些水景，借景型的以观水为主，而造景型的则以亲水为主。随着生活水平的提高，现在人们日益关注以水景为主题的小区、园林、城镇等建设。水是否是清水？水景的水是否是已经治理过的？将来治理成什么样子？也成为人们关注的话题。

景观用水包括池水、流水、跌水、喷水和涌水等用水，景观水应为流动水循环使用，并根据需要设置循环水净化装置和水生植物生化系统，无水质恶化现象。景观水也可以分为静水景观和动水景观两大类^[60]。所谓静水，就是水的运动变化比较平缓，静水一般表现在地平面比较平缓，无大的高度变化。动水包括瀑布、跌水和喷水等。瀑布景观可以分为面形和线形，面形瀑布是指瀑布

景观宽度大于瀑布的落差，线形瀑布是指瀑布宽度小于瀑布的落差，瀑布景观的形式有：汨落、线落、布落、离落、丝落、段落、披落、二层落、对落、片落、重落、分落、帘落、滑落、乱落等。跌水是指有台阶落差的落水景观。喷水原是一种自然景观，是承压水的地面露头，又包括时控喷泉、彩色声控喷泉、可移动式喷泉和音乐喷泉等。

1.3 城市景观水的景观效应^[5]

爱水^[6]，可以说是人类的本性。“生命衍生于水”之说姑且不去论证，但人从胚胎开始便在水中发育却是事实。在从生到死的漫长岁月中，人们吃水用水看水玩水。古时的逐水而居，现代的寻水而建……，水和人类结下不解之缘。因此，从古至今，不同的水体激发着人的不同情感，影响和陶冶着人的性格，所以孔圣人说：“智者乐水，仁者乐山”。其实，从人类社会文化的出现，有了水文化的产生，便有了人对水的赞美和感叹，这些赞美和感叹，实际上便是由水体的千变万化，五光十色，福谕于人的“水的客观物质性”与“人的主观感应性”相互作用的结果，从而使水产生其它物质难以替代的景观效应。因此，景观水资源的景观效应，便是观光旅游者通过自己的视觉、听觉和触觉等，对水体(域)产生感知，进而激发某种情感和兴致，也就是产生景观感应的人与自然形意相融的效应，这些景观感应可由不同景观要素的形态美、线条美、色泽美、动态美、静动美以及听觉美和嗅觉美等美学特征所诱发。这些美学特征给感受者留下或雄伟、或豪迈、或险峻、或秀丽、或柔情、或深邃、或远大、或顽强、或宁静、或温和等深刻的旅游景观印象。产生景观效应的水体，就其感应的美学特征而言，似可分为表相美、时相美、位相美和境相美4个方面。

1.3.1 表相美

表相美是指水域景观的整体形象即外貌美。是由水形、水色、水声、水味、水影等要素共同构成的。水形，指水域形状，一般包括海洋、湖泊、水库、河流、溪涧、瀑布和泉水等具有一定形状的实体，每一种水体都有一定的风韵，或动或静，或动静结合，表现出美的形态。水色则是由于水体，受光线作用，以及水中所含悬浮物选择吸收与选择散射的合并作用，使水体呈现不同的色泽，构成不同水色之美，蓝色海洋、黄色浊流等均可给人以不同的感受。水体受到外力冲击或者自上而下流动，可发出各种美妙的天籁之音即水声，如期浪击岸声，巨涛哗哗声，河流滔滔声，瀑布轰鸣声，泉流淙淙声……，总之，水体运

动都会产生特有的音响,这种音响传入人的听觉器官,形成听觉美,抚弄人的心灵。水体中由于含有各种矿物质,使其产生酸、甜、苦、辣的味觉,形成水域景观的味觉之美,这种特性往往令人心醉神迷。同时,物象的光线落入水中都会反映出倒影,古诗云“水底有明月,水上明月浮,水流月不去,月去水还流”,水影创造出会神的旅游意境,情景交融,使人浮想联翩。各种水景要素都能形成水景之美,但其最佳表现,更在于这些要素的相互结合、相互交融,形成奇妙雅致的水景世界。这正如车尔雪夫斯基所说“辽阔的、一平如镜的、宁静的水使人产生宏伟之感,奔腾的瀑布,其气势令人震惊,它的奇特令人神往,水的清澈透明令人迷恋”。

1.3.2 时相美

同一水域景观在不同的时间和季节会表现出不同的景观美学特征。这种时而变的水域景观常常触动人的情感变化。当春风拂柳,伴随着水域冰雪融化、细水清流,表现出生命的萌动,真乃是“阳春布德泽,万物生光辉”,使游客陶醉于春天的融融怀抱。夏季,林木郁郁葱葱,浓绿欲滴,充沛的降雨使溪流峡谷急湍,悬崖飞瀑,震耳欲聋,展示出水的气派,水的伟大。绿是生命之色,水是生命之源,在阳光雨露哺育下,“榴花花红红似火,葵花黄黄如金。千枝万叶蓬勃夏,大治更觉时感人”。天地间,一派生机。金秋,“落霞与孤鹜齐飞,秋水共长天一色”,秋天的水域显得宁静幽远,发人深思。诗人王维在“山居秋螟”中写出千古名句:“宝山新雨后,天气晚来秋。明月松间照,清泉石上流。竹喧归院女,莲动下渔舟。随意春芳歌,王孙自可留”。冬季,天寒地冻,万物萧疏,然而就在此时,“千里冰封,万里雪飘”,“山舞银蛇,原驰蜡象”,固态的水又把天地间打扮成纯洁晶莹景象。水的时相不仅表现了季节交替,而且还表现出昼夜晨昏明显的随时变换。江河湖海,溪涧泉流,并非一幅恒定不变的图画,而因时光转换造成明暗交换的水域形象。正如诗人们所写“一道残阳铺水中,半江瑟瑟半江红”,“日落江湖白,潮来天地青”。水的时相变化便诱发出不同的美感和景观,普陀山的“朝阳涌日”,是看海上日出;庐山“郡阳晨曦”,是看平湖日出;宁波的“南山晚翠”,西湖的“雷峰夕照”则是观赏夕阳西下的水域美景。

1.3.3 位相美

水体所处的位置及态势,甚至观光者观赏的不同位置,也会给人以不同的

景观效应。“山随平野尽，江人大荒流。月下飞天镜，云生结海楼。”该诗是李白在湖北荆门山沿江东望所见的开阔形势，联因江水抒发了他从蜀中初到平原的喜悦心情和宽广胸襟。“日照香炉生紫烟，遥看瀑布挂前川。飞流直下三千尺，疑是银河落九天”。庐山峰岩奇秀，泉瀑飞湍，腾空而下，态势奔放，无限风光。感应了李白的豪情，表现了诗人博大昂扬的气概，造就了千古名句——“望庐山瀑布”。“天门中断楚江开，碧水东流至此回。两岸青山相对出，孤帆一片日边来”。天门山中间断出了峡口，长江从此流出，又在天门山附近由东转向北流，气势磅礴，豪迈壮观，诗人从两岸青山夹缝中穿望，产生了世事悠远天长地久的情怀。上面所举，是通过诗人的触景生情，阐明水的位相美对人美感情怀的诱发。此外，水与气、光等因素作用形成的海市蜃楼，殿堂凌空，云烟缭绕，若真若幻，令人心驰神往。

1.3.4 境相美

境相是指由于水体的存在，或因山林相伴，或因招致喜水动植物的栖息和生长，从而构成生气勃勃感人肺腑的美丽景观。“两个黄鹂鸣翠柳，一行白鹭上青天。窗台西岭千秋雪，门泊东吴万里船。”这是杜甫所写的绝句，诗中反映的黄鹂、翠柳、白鹭、青天、西岭上的皑皑白雪，江中的万里行船，都是围绕江水构成的明丽清新，开阔生动画面，诗人身临其境，从窗中近观远眺，那有动有静的景色，使他产生了欢快激扬的思想感情。由于水的境相美从而使人感情激动，例如王昌龄的《采莲曲》：“荷叶罗裙一色裁，芙蓉向脸两边开。乱入池中看不见，闻歌始觉有人来。”人面荷花，池水歌声，迷离欢快，美不可言，多么动人，诱人神往！由于水域往往形成良好的生态环境，水边或水中的形形色色的动植物与水体相互依存，相互辉映，构成千姿百态，美不胜收的图景和意境。

1.4 城市景观水体的功能和意义^{[7][8][9]}

1) 城市景观水体可减弱城市热岛效应和洪涝灾害。水体具有高热容性、流动性、以及河道风的流畅性，对城市热岛效应的减弱具有明显的作用，并且城市内的河流、湖泊本身就具有最好的天然防洪、蓄洪和泄洪功能。

2) 城市景观水体是城市绿地建设的重要基地。例如河渠两岸、河心沙洲、湖塘周围均为城市绿地建设提供了良好的自然条件和社会经济条件。

3) 城市景观水体是城市景观多样性的组成部分。城市景观多样性对一

个城市的稳定、可持续发展以及人类生存适宜度的提高具有明显的促进作用。城市水体景观及其自然特性明显有别于以水泥钢材为主要原料的街道、楼房、立交桥等人为城市景观，其物质特性、形态特性、功能特性的介入将提高城市景观的多样性，为城市的舒适性、可持续性提供一定的基础。

4) 城市景观水体是城市物种多样性存在的基地。例如许多鸟类可以在城市内河心沙洲或公园湖塘四周生存、繁衍，构成野生生境，体现了人类都市与自然的交融。

5) 水体景观是城市公众文体娱乐，亲近自然的场所。而且很多水体景观本身就是极具社会经济效应的旅游观光胜地。

总之水体景观作为城市系统中的一种自然要素，其生态建设的功能和意义多种多样，已经和正在被城市建设者所关注，尊重这些水体的自然规律、保证其水质、协调城市建设与城市水体景观的相互关系已成为城市生态建设过程中的基本方法和出发点。

1.5 景观水的生态系统^{[12][13]}

一个完整的水体生态系统应包含种类及数量恰当的生产者、消费者和分解者，具体地说包括水生植物、鱼、虾、贝类等水生动物以及种类和数量众多的微生物。当污染物进入水体后由相应的微生物把它们逐步分解为无机营养元素，从而为水生植物的生长提供了营养。微生物在分解污染物过程的同时获得能量，得以维持自身种群的繁衍。水生植物一方面吸收水中无机营养元素，避免了水中无机物过量积累，另一方面植物的光合作用为水体中各生物种群提供了赖以生存的溶解氧，同时，水生植物是浮游植物食性和草食性水生动物的食物来源。因此水生植物（生产者）是水体中所有水生动物和微生物最主要的和最初的能量来源，其种类和数量在水体生态系统的平衡中起到至关重要的作用。

水生动物（消费者）直接或间接以水生植物和微生物为食，可控制水生植物和微生物数量的过量增长，在保持水质清澈的过程中起重要作用。水生动物排泄的粪便和生动物、植物死亡后的尸体又为微生物（分解者）提供了食物来源，因此微生物是水体中的“清道夫”，它们为避免由水生生物带来的水体二次污染起着关键性的作用。

人工湖泊是在一定空间内，由生命系统和环境系统的多种因素，相互联系，相互制约，互为因果而组成的一个统一整体，即生态系统。人工湖泊生态系统

是复杂的系统，这不仅是因为所受外部影响的复杂性，而且因为其内部运行机制及各因子的并联的复杂性。水色和透明度，随湖水化学成分的不同和水中悬浮物质及浮游生物的多少而变化，叶绿素 a 与湖水透明度之间存在着明显的负相关关系。要防止湖泊富营养化，根本的是控制污染物，即水体初级生产力营养性物质的负荷量。

水生生态法主要依赖于湖泊生态系统内能量流动和物质转移的动态变化，运用水生生物的食物（营养）关系，根据住宅小区水域地理位置、气象气候、水体大小、水位变化、湖底底质、湖泊形态、湖水运动特点、水质特征等实际情况，科学合理设计水生生物的放养模式（包括种类、数量、个体大小、食性、种间关系、生活习性等），可以直接吸收溶解的营养物质及有机碎屑，又可吃掉一些藻类，使各种群生物量和生物密度达到营养平衡水平，同时可以考虑种植一些观赏水生植物，不仅可以吸收水体中部分营养盐和有毒物质，降低湖泊中氮、磷浓度，优化水环境，维持水域生态平衡，而且还具有较高的观赏价值。

1.6 城市景观水体的变质原因及其特征

近年来，随着社会的不断发展和人们生活条件的不断改善，景观水这个以前让我们觉得新鲜的事物，已经慢慢地融入了人们的生活。

但是，一些景观水的水质已开始发生变化，个别地方的湖水正在变黑发臭，某些人工湖泊还出现了观赏鱼大量死亡的现象；一些小区或公园的景观水及一些景观河道由于水质恶化，而影响了附近居民的正常生活，经常遭到居民们的联名投诉，这样的结果与改善人们生活条件的初衷正好背道而驰。

导致景观水水质恶化的原因^{[14][15]}总体上可分为以下几种：

1) 水源的条件差

一般景观水的水源主要来自三个方面：自来水、河水以及地下水。近年来，我国加大了对江河整治的力度，但由于河道受污染时间长且污染物成份复杂，因此现在我国几个主要水系的水质情况还不能达到景观水的水质要求。以上海为例，上海地处长江下游，上游大量富营养物质积聚在这一地区，形成上海水源中所含的氮、磷、碳和钾等元素偏高，这就很适宜于蓝绿藻的生长。在一般情况下，在夏季上海的以自来水为水源的景观水只需七天就会变质，加上经常还有酸雨和降尘，使得上海景观水的质量先天就很差。

2) 点源污染源

① 城市工业废水

工业废水是城市景观水体重要的污染源之一。它们种类繁多，排放量大，所含污染物种类多，组成复杂，通常还有毒性，在水中不容易净化。而且很多工业废水温度高，易造成热污染。

② 城市生活污水

城市生活污水是城市景观水体又一重要的污染源。在人口集中的居民区、商业区每天向城市水体排弃大量的生活污水和固体垃圾，它们包括含有大量碳水化合物和氮、磷等营养元素的有机物，还包括洗涤剂和许多致病微生物。进入水体后，这些污染物会造成水中氧的大量消耗以及促进水体富营养化，并在厌氧细菌的作用下产生恶臭物质。

③ 城市污水处理厂出水

一般的城市污水处理厂二级出水虽然去除了大多数的悬浮固体和有机物，但在水中仍存在有多种类型的营养物质和病原体，而通常用于灭菌的加氯步骤，近些年来其副效应也引起了人们的关注。氯能与水中的有机物产生反应，形成危险的有机氯化物。一系列的研究发现，在污水处理厂周围的水域，含氯的污水处理厂出水对鱼类等很多水生生物是致命的，即使在较远的下游地区也能使很多水生种群发生变化。

④ 城市垃圾渗滤液

城市工业垃圾和生活垃圾的露天堆放也是城市景观水体的重要污染源之一。雨水流经垃圾时携带其中大量无机物与有机毒物形成垃圾渗滤液，最终进入城市水体带来水体的污染。其中很多沿城市河道岸边堆放的生活垃圾中的大量有机物和细菌极易进入城市河道。

3) 非点源污染

城市景观水体的非点源污染主要包括城市径流和城市上游农业区产生的农业径流。这种类型的污染由于污染负荷很高且难于控制，因而成为日益关注的环境问题。降雨时雨水流经渗透性很差的城市地面，带走大量城市污染物：汽车废气中的重金属、轮胎的磨损物、建筑材料的腐蚀物、路面的砂砾、动植物的有机废弃物、动物排泄中的细菌、建设工地上的淤泥和沉淀物、城市草地和公园喷洒的农药等等。一般来讲，城市径流的水质成分复杂，尤其是初期雨水，其对水体的污染不可忽视。有研究表明，城市径流中含有高浓度的铜、铅和锌

等，足以杀死许多鱼类和无脊椎水生动物，而城市周围郊区的农业径流则含有大量的悬浮物、氮磷等营养物质、致病微生物以及农药等有毒污染物。据美国研究认为：美国河流的水质污染成分有 50% 甚至更多来自各种城市径流的非点源污染，其城市下游水质有 82% 为地面径流所控制，可见非点源污染对城市水体的巨大危害性。

4) 人为的破坏

人们的不文明行为，也是导致水质恶化的原因之一。例如：公园内一些钓鱼的游客，为了使鱼上钩，往往会预先投入大量的“鱼窝”，以期吸引鱼群上钩。这种富含蛋白质的，过量的“鱼窝”沉淀在湖底，又形成了水质恶化的污染源。再如，有些公园管理人员通过卖给游客鱼饵来达到创收的目的。好奇的游客就毫无节制地以投鱼饵来取乐，造成的后果是，鱼儿因撑食而死，多余的饵料和死鱼一起成为水质的污染源。此外，在一些小区内，我们经常能看见一些清洁工为了方便，直接用景观水洗拖把或是冲洗地面上的污迹，用完后直接将水倒回人工湖，这种行为也会严重地污染景观水。

另外，某些环保公司的“野蛮”施工也将导致水质恶化。在上海的一个小区，居民们一觉醒来发现本来还是好好的人工湖一夜间变红了，而且水中的各种鱼类都已全部“阵亡”。后来经调查发现，导致这起事故的原因是，承担人工湖保养工作的某环保公司为了图方便将本该全池喷洒的药剂，一次性倒入了人工湖，这使得药水成为了毒药，这些毒药从局部扩散到全池，最终导致了这幕好水变死水、活鱼变死鱼的悲剧发生。

5) 设计的不合理

这种情况多出现在公园或小区中，由于设计的不科学，人工湖中经常会出现死角，而死角中的水由于缺乏流动，往往最容易恶化。各种污染物将会沉积在死角处，并慢慢地污染整个人工湖，这使得死角成为人工湖的一个内部污染源，因此，在一个人工湖中如果死角越多，水质恶化得越快。

6) 地下水的污染

随着工农业的不断发展，越来越多的污染物（如氮、磷、重金属离子等等）渗入了地下，污染了地下水。如今我国地下水的污染已经相当普遍而严重，而大部分的景观水又是与地下水相通的，因此导致景观水的变质也是显而易见的。

7) 蓝绿藻的入侵

蓝绿藻是景观水的头号公敌。由于蓝绿藻的孢子也可通过空气传播,因此它们可以落户于任何有水的地方。这种藻类繁殖速度极快,基本上每 20 分钟就可繁殖一代,而且藻类的繁殖生长要消耗大量的溶解氧,这样将会影响到各种水生动植物的正常生长,严重时,还会造成水生动植物因缺氧而死亡。大部分鱼类吃了这种藻类都不能消化。更坏的是,这种藻类死亡后,它所含的蛋白质很容易分解,并能产生有毒物质,当这些有毒物质浓度过大时,不但能毒死鱼类,就连家畜饮了这种水也会被毒死。但这种藻类真正的可怕之处是,它们可以从空气中获得繁殖生长所需的营养物质,并提高这些营养物在水体中的含量,从而促进藻类的疯长,因此即使在没有任何外来营养物质进入水体的情况下,它们也会疯长。

1.7 我国城市景观水体的污染现状

1.7.1 中国环境公报公布了 2003 年重点流域的水质^[10]:

七大水系——409 个监测断面中, I~III类、IV~V类和劣V类水质的断面比例分别为: 37.7%、32.0%和 30.3%, 总体水质与去年基本持平。各水系干流水质好于支流,干流 118 个断面中, I~III类水质占 52.5%、IV~V类占 38.1%、劣V类占 9.3%。主要污染指标为氨氮、五日生化需氧量、高锰酸盐指数和石油类。综合污染指数分析表明, 长江、珠江水质较好, 海河、辽河水质较差。在七大水系的 122 个省界断面中, I~III类、IV~V类和劣V类水质的断面比例分别为: 34.4%、29.5%和 36.1%。淮河和海河水系的省界断面水质较差。

“三湖”——“三湖”水质均为劣V类, 污染较重。主要污染指标为总氮和总磷。

三峡库区——在监测的 6 个干流断面中, 有 5 个为 II类水质, 1 个为 III类水质, 水质较好。

南水北调东线——南水北调东线共监测 10 个断面, I~III类、IV~V类和劣V类水质的断面比例分别为: 30.0%、50.0%和 20.0%。主要污染指标为氨氮和五日生化需氧量。

环保重点城市集中式饮用水源地水质——对 47 个环保重点城市集中式饮用水源地水质监测结果表明, 21 个城市的所有饮用水源地水质均达标, 其余 26 个城市有不同程度的超标。地表水主要超标项目为总氮、粪大肠菌群、五日生化需氧量等; 地下水主要超标项目为总硬度、硫酸盐等。

1.7.2 城市内的湖泊、水库等缓流景观水体的污染状况令人担忧。主要存在的问题是富营养化。

“富营养化”^[11]是指水体中的营养物质（一般指氮和磷的化合物）过量而引起水体植物（如藻类及大型植物）的大量生长。其结果是引起水质恶化、味觉和嗅觉变坏、溶解氧耗竭、透明度降低、渔业减产、死鱼、阻塞航道，对人和动物产生毒性。

1986—1987 年对我国 23 个城市湖泊水库的调查情况表明，几乎全部被调查的水库、湖泊水的总氮都超过了 0.2mg/l，大多数湖泊、水库为 1.0—5.0mg/l 以上，有 20% 以上高达 5.0mg/l 以上。92% 以上的城市湖泊、水库总磷浓度超过 0.02mg/l，近 50% 的总磷浓度为 0.2—1.0mg/l。城市湖泊、水库的透明度指标多数为 0.2—0.4m。其水体中浮游植物个数总数较高，叶绿素浓度亦很高。调查表明，我国大部分城市湖泊、水库已达到富营养化或超富营养化程度。其中属富营养化的城市湖泊有：杭州西湖、南京玄武湖、江西九江甘棠湖、广州麓湖、流花湖、武汉墨水湖等。2003 年，对“三湖”的富营养化分析结果为：太湖为轻度富营养，巢湖为中度富营养，滇池为重度富营养，与上年持平。可见我国城市湖泊、水库等缓流水体水质已普遍遭受污染，城市水体景观质量严重下降。许多具有美学价值、旅游观光功能的水体其生态环境效益、社会经济效益正在逐步削弱。

1.8 景观水水质标准^{[16][17]}

本标准是由国家环保局提出，中国环境科学研究院组织制定的。

1) 标准的适用范围

本标准适用于以景观、疗养、度假和娱乐为目的的江、河、湖(水库)、海水水体或其中一部分。

2) 标准的分类与标准值

(1) 标准的分类

本标准按照水体的不同功能，分为三大类：

A 类：主要适用于天然浴场或其他与人体直接接触的景观、娱乐水体。

B 类：主要适用于国家重点风景游览区及那些与人体非直接接触的景观娱乐水体。

C 类：主要适用于一般景观用水水体。

(2) 标准值

各类水质标准项目及标准值列于表 1-1:

表 1-1 景观娱乐用水水质标准

序号	分类标准值	A 类	B 类	C 类
1	色	颜色无异常变化		不超过 25 色度单位
2	嗅	不得含有任何异嗅		无明显异嗅
3	漂浮物	不得含有漂浮的浮膜、油斑和聚集的其他物质		
4	透明度, m	≥	1.2	0.5
5	水温, °C	不高于近十年当月平均水温 2°C		不高于近十年当月平均水温 4°C
6	pH 值	6.5~8.5		
7	溶解氧(DO), mg/L	≥	5	4
8	高锰酸盐指数, mg/L	≤	6	6
9	生化需氧量(BOD ₅), mg/L	≤	4	4
10	氨氮, mg/L	≤	0.5	0.5
11	非离子氨, mg/L	≤	0.02	0.02
12	亚硝酸盐氮, mg/L	≤	0.15	0.15
13	总铁, mg/L	≤	0.3	0.5
14	总铜, mg/L	≤	0.01(浴场 0.1)	0.01(海水 0.1)
15	总锌, mg/L	≤	0.1(浴场 1.0)	0.1(海水 1.0)
16	总镍, mg/L	≤	0.05	0.05
17	总磷(以 P 计), mg/L	≤	0.02	0.02
18	挥发酚, mg/L	≤	0.005	0.01
19	阴离子表面活性剂, mg/L	≤	0.2	0.2
20	总大肠菌群, 个/L	≤	1000	
21	粪大肠菌群, 个/L	≤	2000	

注：1) 氨氮和非离子氨在水中存在化学平衡关系，在水温高于 20℃，pH≥8 时，必须用非离子氨作为控制水质的指标。

2) 浴场水温各地区根据当地的具体情况自行规定。

本标准未作明确规定的项目，执行 GB3838《地面水环境质量标准》和 GB3097《海水水质标准》中的标准值及其有关规定。

1.9 研究的背景、内容和方法

1.9.1 研究的背景

随着我国城市建设的飞速发展，住宅建设方兴未艾，城市居民生活水平不断提高，为了满足人们对居住环境越来越高的要求，房地产开发向绿色生态住宅方向发展；同时，在城市绿地、公园建设和大型标志性建筑中，人工湖泊、人工河道及景观水池不断涌现。但是，另一方面景观水体质量恶化却给人们带来了巨大的负面效应。例如，浦东国际机场景观水池^[18]的水质逐年变差，主要就是设计时没有考虑到生态。追根究底，主要是设计师只考虑了外表的壮观、华丽，而忽视了其与城市生态系统的兼容性。当前，全社会都在呼吁建设生态城市，我们要以生态的观点指导建设：生态农业、生态工业、生态建筑等。同样，城市水景观的建造也不例外，在和城市生态紧密结合的同时，还要结合其社会状况和经济状况。

1.9.2 研究的内容

本论文研究的对象是城市景观水体，主要是城市景观水的综合评价，旨在建立一种运用模糊数学理论对城市景观水体进行综合评价的方法体系。首先介绍城市景观水体的概念、范围、景观效应、生态系统、变质原因和现状等，接着对城市景观水体进行现状评价，然后运用模糊数学的方法对城市景观水体进行综合评价。城市景观水的综合评价包括生态评价、景观效应评价、社会状况评价和经济状况评价。以便在设计时参考所得的评价结果和由国家环保局提出、中国环境科学研究院组织制定的景观水体质量标准。使水景观既能满足人们的视觉效果，又能符合城市生态状况、社会状况和经济状况的要求，使景观水体本身有相当的自净能力，在相当长的时间内不会发生水质变坏的现象。最后，介绍了当前城市景观水体的常用处理方法。

1.9.3 研究的方法和技术路线

(1) 本论文打算用模糊数学的方法对城市景观水体进行综合评价，共有三个层次的综合评价：初级层次、二级层次和三级层次的综合评价，然后按照评价等级给出评分值，最后按照其隶属度求出最终得分。初级层次的评价程序为：首先确定影响初级项目的各个因素、得出因素集，确定隶属度、获得数据，权重的计算及精度检验。二级、三级层次的评价程序为：根据专家意见给出各个项目的权重（污染状况和富营养化状况的各个因素的权重是根据现状评价测得的数据进行计算所得），然后结合初级层次综合评价的结果可以求出最终的评价结果。然后比较所得的隶属度和权重较大的因素，是否会有冲突，比如会增加水景观的美观程度、但是却影响了其生态系统，提高了社会标准、但是却影响了经济状况，这样的话，会进一步比较后再取舍。最后再把所得的结果运用到城市水景观的设计中。

(2) 技术路线

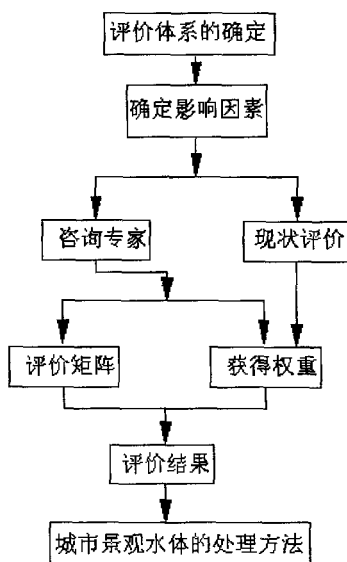


图 1-1 研究技术路线

第二章 现状评价

近年来^[19], 随着社会各界对水环境的重视, 各类人造水景观在城市应运而生, 据不完全统计, 目前上海市人造景观水域面积已经超过 210 万 m^2 , 景观水体的水质引起人们的关注。上海市水务局水资源处、河道处、上海市水环境监测中心于 2003 年 8 月, 对 17 处全市有代表性的人造水景观进行了系统的调查, 并分别在 25 个断面上采集水样进行监测。调查的水景观分布在全市 8 个区, 累计水面积超过 71 万 m^2 。其中有 12 处是近几年建设起来的水景观, 有 5 处是已经有几十年历史的水景观。因此, 调查的结果有一定的代表性。

水务局采集了水样并且进行了监测, 共监测水温、PH 值、五日生化需氧量、高锰酸钾盐指数、化学需氧量、溶解氧、氨氮、悬浮物、浊度、总磷、总氮、亚硝酸盐氮、阴离子表面活性剂、挥发酚、氰化物、铜、锌、铁等 18 个项目。对各个水样进行了分析比较, 采用 A 值评价法 (有机污染综合指数评价法, 计算公式略)。评价分类: $A < 0$ 为良好, $0 < A < 1$ 为较好, $1 < A < 2$ 为一般, $2 < A < 3$ 为开始污染, $3 < A < 4$ 为中等污染, $A > 4$ 为严重污染。从 25 个断面水样的监测数据分析, III、IV、V 和劣 V 类水, 各为 2、8、7、8 个, 分别占监测总数的 8%、32%、28% 和 32%, 其中 V 和劣 V 类水占 60%, 主要超标依次为总氮、高锰酸钾盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量和氨氮等有机物指标。而据 2001—2002 年度水质监测资料反映, 全市河、湖水体 V 类和劣于 V 类水达到 80%, 特别是市中心区水体均为 V 类和劣于 V 类。按照 A 值进行分类, 1 个断面水体为良好, 11 个断面为较好, 4 个断面为一般, 4 个断面为开始污染, 1 个断面为中等污染, 还有 4 个断面为严重污染, 良好、较好、一般的水体占监测断面的 64%。虽然大部分水体总磷和总氮都达到了中等到严重富营养化的水平, 但是从目测看, 17 处人造水景观的水体总体上感觉良好, 没有一处水体发生黑臭, 所有水体中没有看到孑孓、小虫和死鱼, 除华师大丽娃河和曹杨环浜有局部蓝藻外, 其余水体没有水华现象。

2.1 景观水体的选择

本论文选择了上海市比较有代表性的四个城市景观水体: 长宁区的新虹桥中心花园人工湖、黄浦区的延中绿地西、延中绿地东 (因为两个水体不是相连

的,所以分别取样)和豫园。其中既有老的水景观,如豫园;又有新的水景观,如新虹桥中心花园、延中绿地西和延中绿地东。以前的资料显示老的水景观要比新的水景观水体质量要差,本文也要通过试验分析证明。

下面简要介绍一下这四个水体的概况:

新虹桥中心花园^[20]地处虹桥经济技术开发区南块,在延安西路、虹桥路和伊犁路相汇交的三角地之中,占地面积 13 万平方米。由虹桥经济技术开发区联合发展有限公司负责建设,加拿大实友设计顾问有限公司、现代设计集团和上海园林设计院联合设计,总投资 2 亿多元人民币。她是上海市近年来修建的一个颇具规模的人工绿地。新虹桥中心花园人工湖的水体面积为 11000 平方米,总水量约为 12000 吨,平均水深约为 1 米,最大水深为 3 米。人工湖中已配有 3 台 1.5kw 的叶轮增氧机。湖中饲养了大量的观赏鱼,而且在湖的周围种植了许多浅水植物。(图 2-1)

延中绿地是上海的核心绿地,是市政府在改善市中心生态环境的成功举措。延安中路大型公共绿地位于上海“申”字高架道路中心结合点,延中绿地是上海市中心最大的一块绿地,总面积 23 万平方米。它由 19 幅相互呼应的绿地组合。工程自 2000 年 1 月 20 日开工建设,是近年来市中心城区面积最大、品位最高、树种最丰富、绿地形式多样的生态型绿地。延中绿地分为东西两部分,其水体是不相连的。西面是小溪形式的,以卵石铺砌的自然曲折的干河为主题,“河”两岸大小不一的卵石河道有机的组合在一起,来体现水的意境,水流从高处缓慢的流向低处,在最低处是一片小水池,喂养了少量的观赏鱼。(图 2-2)东面:一条小河流蜿蜒曲折迂回在密林山丘之间,缓缓流淌在由西向东鳞片状的河床上,然后汇聚在一个面积比较大的池塘中,周围种植了大量的地被和黄馨、杜鹃等矮灌木,在水边还种植了美人蕉、菖蒲,水中饲养了大量的观赏鱼和几只天鹅。(图 2-3)

豫园座落在安仁街,至今已有 400 年历史,豫园建成于明嘉靖年间(1577 年),其建筑风格属宅第式园林,由明代四川布政使的潘允端所建。潘允端建此园是为了“愉悦双亲,颐养天年”之意,供其父亲安享晚年所用,因古时“愉”与“豫”通用,故取名:“豫园”。这座体现江南园林建筑艺术特色的古园林曾被誉为“奇秀甲于东南”,至今仍是江南地区闻名的古园林之一,明末豫园园景

荒废，清乾隆二十五年 1760 年重建。19 世纪鸦片战争时期，豫园古老美丽的园林惨遭破坏。上海解放后，人民政府对豫园进行了数次拨款修缮，于 1961 年对外正式开放。现在豫园还留有鱼乐榭、万花楼、和煦堂、萃秀堂、内园、九曲桥、荷花池、湖心亭等几处胜景。如今这座柔和了我国明、清两代园林建筑艺术的古园林，楼阁参差，山石峥嵘，树木苍翠，以清幽秀丽，玲珑剔透见长，具有小中见大的特色，体现出明清两代南方园林的艺术风格，不愧为中国古代园林中的精品。豫园已成为中外旅游者的观光胜地，它被列为我国重点文物保护单位。（图 2—4）



图 2—1 新虹桥中心花园



图 2—2 延中绿地西



图 2—3 延中绿地东

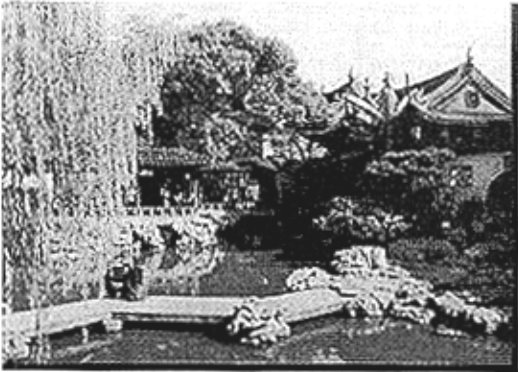


图 2—4 豫园

2.2 水样采集

为了检验各种水质指标^[21]，进行水样采集时使水样具有代表性，并保持组分不发生显著变化，是水质监测的关键环节。

为使采集到的部分水样能代表整体，制定监测计划必须考虑采样位置的设置，及采样点的布设、采样频率及采样方法等各个方面。

2.2.1 采样位置选择及采样点的布设

样品的代表性取决于采样位置、采样断面和采样点的代表性。由于所选择的四个水体都是水面比较狭窄、水浅、水量不大的小水体、且污染物在水平和垂直方向上都能充分混和，所以采取单点布设法。布设点在水面下大概有30cm。几个水体采样点的布设：新虹桥中心花园是在离岸边大概5m的地方，延中绿地西是站在穿过景观水体的一个桥上、在水量较大的地方采集的，延中绿地东是驾着小船到水体的中央采取的，豫园是在图2—4的小桥的位置采集的。

2.2.2 采样时间和频率

监测采样点，应选择具有代表性的位置。不得使用瞬时一次监测值作为水质判断依据。

这几个景观水体水样的采集都比较方便，选取了周五的中午人流较少、水面较平静时，同时在同一水体的不同位置采得水样。

2.2.3 采样方法和采样量

采样方法有自动法和手动法两种，本试验采用的是手动法。因为手动采样投资少、适用于样品数量少的场合，还具有可观察异常情况的特点。使用 1.5L 有机玻璃容器装满水样，加盖。每个水体取多个水样，经过充分混合后装在两个容器中，一个是用来测量 Chla，另一个是用来测量其余几个指标。

2.2.4 水样的处理

所采水样按要求进行预处理，然后用表 2-1 中的监测方法进行测定。

2.3 水质监测方法^{[22][23][24]}

本标准各项目的分析方法按表 2-1 执行，水样的采集和保存严格按照《环境监测技术规范》有关规定执行。

表 2-1 景观娱乐用水水质标准项目分析方法

序 号	标准项目	测定方法	测定方法标准编号
1	色	铂钴标准比色法	GB 11903
2	嗅	文字描述法	1)
3	漂浮物	文字描述法	1)
4	透明度	塞氏盘法	1)
5	水温	水温计法	1)
6	pH 值	玻璃电极法	GB 6820
7	溶解氧(DO)	碘量法	GB 7489
8	化学需氧量	分光光度法	USEPA410.4-1996
9	生化需氧量(BOD ₅)	稀释与接种法	GB 7488
10	氨氮	纳氏试剂比色法	GB 7479
11	总氮	分光光度法	GB11894-89
12	叶绿素 a	紫外分光光度法	2)
13	非离子氨	纳氏试剂比色法	GB 7479
14	亚硝酸盐氮	分光光度法	GB 7493

15	总铁	二氮杂菲分光光度法 火焰原子吸收分光光度法	GB 5750 GB 11911
16	总锌	双硫腺分光光度法 原子吸收分光光度法	GB 7472 GB 7475
17	总铜	原子吸收分光光度法 二乙基二硫代氨基甲酸钠分 光光度法 2, 9-二甲基-1, 10-菲 罗啉分光光度法	GB 7475 GB 7475 GB 7473
18	总镍	火焰原子吸收分光光度法	GB 11912
19	总磷	钼酸铵分光光度法	GB 11893
20	挥发酚	蒸馏后 4-氨基安替比林分 光光度法	GB 7490
21	阴离子表面活性剂	亚甲蓝分光光度法	GB 7494
22	总大肠菌群	多管发酵法, 滤膜法	GB 5750

注：1) 按《水和废水监测分析方法》第三版，中国环境科学出版社，1989。

2) 按《水和废水监测分析方法》第四版，中国科学技术出版社，2002。

2.4 试验测得的数据

按照表 2-1 中的测定方法对所采集的水样进行测定得各种指标的数据如下表：

表 2-2 测得的数据

指标	水样编号			
	1	2	3	4
SD (m)	0.3	0.7	0.4	0.4
T (°C)	25.9	26.3	26.7	25.0
DO (mg/L)	7.6	6.5	7.0	10.6
TN (mg/L)	2.55	0.74	2.65	1.96
TP (mg/L)	0.08	0.03	0.05	0.17
NH ₃ -N (mg/L)	0.30	0.19	0.24	0.23

BOD ₅ (mg/L)	3	1	2	5
COD _{Cr} (mg/L)	14	12	12	16
Chla(mg/m ³)	3.33	5.22	6.31	110.58

2.5 评价分析

根据第三章的景观水水质标准和景观水体富营养化等级分类标准，对测得的数据进行评价分析。

2.5.1 新虹桥中心花园水体

在污染状况方面：氨氮、生化需氧量和化学需氧量都属于 I 类，总磷 25% 属于 I 类、75% 属于 II 类，溶解氧 40% 属于 I 类、60% 属于 II 类。

在营养等级方面：透明度属于富营养和重富营养的均为 50%，总氮 79% 属于富营养、21% 属于重富营养，总磷 80% 属于中富营养、20% 属于富营养，叶绿素-a 33% 属于贫中营养、67% 属于中营养，化学需氧量 37% 属于中富营养、63% 属于富营养，五日生化需氧量属于中富营养。

2.5.2 延中绿地西水体

在污染状况方面：氨氮、生化需氧量和化学需氧量都属于 I 类，总磷 87.5% 属于 I 类、12.5% 属于 II 类，溶解氧 12.5% 属于 I 类、87.5% 属于 II 类。

在营养等级方面：透明度属于中富营养和富营养的均为 50%，总氮 84% 属于中富营养、16% 属于富营养，总磷和叶绿素-a 均是 80% 属于中营养、20% 属于中富营养，化学需氧量 56% 属于中富营养、44% 属于富营养，五日生化需氧量属于贫中营养。

2.5.3 延中绿地东水体

在污染状况方面：氨氮、生化需氧量和化学需氧量都属于 I 类，总磷 62.5% 属于 I 类、37.5% 属于 II 类，溶解氧 25% 属于 I 类、75% 属于 II 类。

在营养等级方面：透明度属于富营养，总氮 75% 属于富营养、25% 属于重富营养，总磷属于中富营养，叶绿素-a 61% 属于中营养、39% 属于中富营养，化学需氧量 56% 属于中富营养、44% 属于富营养，五日生化需氧量属于中营养。

2.5.4 豫园水体

在污染状况方面：氨氮和溶解氧属于 I 类，总磷 30%属于 III 类、70%属于 IV 类，生化需氧量属于 III 和 IV 类的均为 50%，化学需氧量 80%属于 III 类、20%属于 IV 类。

在营养等级方面：透明度属于富营养，总氮 98%属于富营养、2%属于重富营养，总磷 20%属于中富营养、80%属于富营养，叶绿素-a 属于重富营养，化学需氧量 19%属于中富营养、81%属于富营养，五日生化需氧量 78%属于中富营养、22%属于富营养。

以上只是对水样的各种指标进行了感性评价分析，在随后的章节中将对这些水体进行综合评价分析，以便得出综合评价结果。

第三章 城市景观水的评价原理及理论知识

3.1 城市景观水的评价程序^[25]

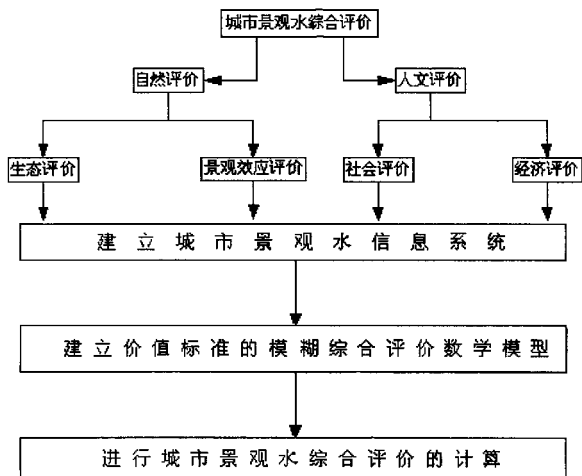


图 3-1 城市景观水评价程序框图

3.2 城市景观水的评价标准^[25]

对城市景观水评价,从两个方面建立评价标准,即自然评价和人文评价。自然评价包括生态评价和景观效应评价,人文评价包括社会评价和经济评价。

3.2.1 自然评价标准

(1) 生态评价标准^[26]

污染状况是为评价城市景观水生态价值的标准,反映了城市景观水环境尚未遭受人工破坏及污染而保持的原始自然状态的程的度,它是城市景观水体质量的评价指标。同时,水体富营养化也是水质恶化的一种现象,是水体“衰老”的一种表现。富营养化对水质的影响和危害很多:使水味变得腥臭难闻,降低水体的透明度,影响水体的溶解氧,向水体释放有毒

物质,影响供水水质并增加制水成本和破坏水体的生态平衡等。所以要对景观水体进行富营养化评价,从而制定相应的对策。

(2) 景观效应评价标准

城市景观效应评价的标准可从3个方面确定。环境搭配性因为水体的存在与周围的环境构成一幅幅生机勃勃、景色各异的美丽画卷,它为直接指导城市景观水体的规划设计工作。理化优劣性就城市景观水的景观整体轮廓而言,由水形、水色、水声、水味、水影等要素共同构成。水体位态性是指城市景观水体所处的位置及态势而言,它可随观赏者的位置、角度不同,给人以不同的景观效应。

3.2.2 人文评价标准

(1) 社会评价标准

1) 历史文化性

它是为评价城市景观水体的文化价值而提出的标准。历史文化性体现在城市景观水体文化属性的地方性、独特性、知名度、相伴文物古迹和传文典故。

2) 观赏性

它是为评价城市景观水体的观赏价值而提出的标准。根据视觉感受形式美理论,观赏性主要表现在景色的复杂性和统一性两个方面。

(2) 经济评价标准

1) 稀缺性

它是为评价城市景观水体的科学价值而提出的标准。城市景观水体的稀缺程度可以分别反映不同城市景观水体的不同价值。

2) 效益性

它是为评价城市景观水体的物质财富价值而提出的标准。它反映着城市景观水体的土地利用、人口、工农业生产方式、自然物产等现存状况。

3.2 城市景观水模糊综合评价^{[25][27]}

由于城市景观水体综合评价时所涉及的元素很多和次级因子无明确的外延边界,具有很大“模糊性”的特点。通过查阅大量文献和进行许多调查,确立了9个因素、37个因子。

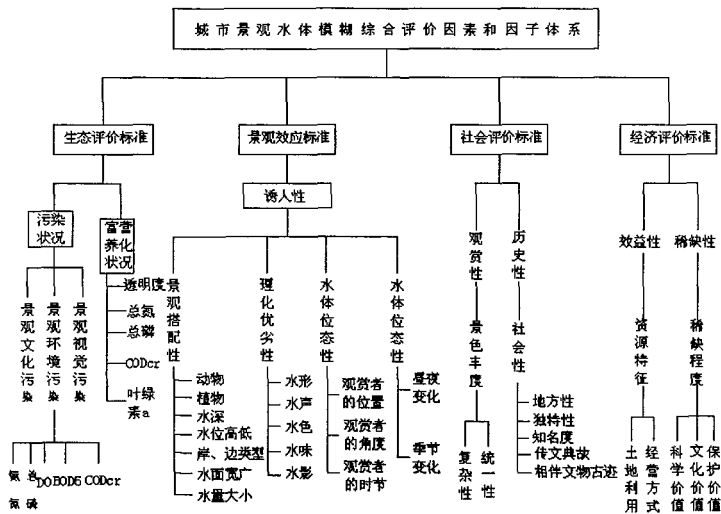


图3-2 城市景观水体综合评价框图

3.3.1 生态评价

(1) 污染状况评价^[28]

1) 建立因子集

本文把景观环境污染评价作为生态评价的两个代表之一，选择了 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、DO、 BOD_5 和 COD_{Cr} 这五个污染较重、代表性较强的项目作为主要因子，所以因素集为：

$$U = \{ \text{NH}_3\text{-N}, \text{TP}, \text{DO}, \text{BOD}_5, \text{COD}_{\text{Cr}} \}$$

2) 建立评价集

结合由国家环保局提出，中国环境科学研究院组织制定的景观水质量标^[29]准和国家水质标准（GB3838—88），确定评价集： $V = \{ \text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}, \text{V} \}$ 。景观水质量标准已给出，下面是本次研究给定的景观水质量评价标准。

表3-1 景观水质量评价标准

序号	主要水质指标	I	II	III	IV	V	均值
1	氨氮(mg/L)≤	0.5	0.5	0.5	1	1.5	0.8

2	总磷(mg/L)≤	0.02	0.1	0.1	0.2	0.2	0.124
3	溶解氧(mg/L)≤	10	6	5	3	2	5.2
4	生化需氧量(mg/L)≤	3	3	4	6	10	5.2
5	化学需氧量(mg/L)≤	15	15	20	30	40	24

3) 建立隶属函数^[30]

水质污染程度是一个模糊概念,水质分级标准也是模糊的,用隶属度来划分分级界线较为合理。给各指标的五级标准,作5个级别的隶属函数。以溶解氧(DO)对五个级别的隶属函数为例:

DO 一级水的隶属函数:

$$DO_{\mu_R(\chi_1)} = \begin{cases} 0 & \chi \leq 6 \\ 1/4(\chi - 6) & 6 < \chi < 10 \\ 1 & \chi \geq 10 \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-1)}$$

DO 二级水的隶属函数:

$$DO_{\mu_R(\chi_2)} = \begin{cases} \chi - 5 & 5 < \chi < 6 \\ -1/4(\chi - 10) & 6 < \chi < 10 \\ 0 & \chi \leq 5, \chi \geq 6 \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-2)}$$

DO 三级水的隶属函数:

$$DO_{\mu_R(\chi_3)} = \begin{cases} 1/2(\chi - 3) & 3 < \chi < 5 \\ -(\chi - 6) & 5 < \chi < 6 \\ 0 & \chi \leq 3, \chi \geq 6 \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-3)}$$

DO 四级水的隶属函数:

$$DO_{\mu_R(\chi_4)} = \begin{cases} \chi - 2 & 2 < \chi < 3 \\ -1/2(\chi - 5) & 6 < \chi < 10 \\ 0 & \chi \leq 2, \chi \geq 3 \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-4)}$$

DO 五级水的隶属函数:

$$DO_{\mu_R(\chi_5)} = \begin{cases} 1 & \chi \leq 2 \\ -(\chi - 2) & 2 < \chi < 3 \\ 0 & \chi \geq 3 \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-5)}$$

同理, NH₃-N, TP, BOD₅和COD_{Cr}等因素的五个级别的隶属函数也可照此给出。这样通过5个指标, 5级标准将组成5行5列的隶属函数矩阵。

$$R=[U_j(\chi)](i=1, 2, 3, 4, 5); (j=1, 2, 3, 4, 5)$$

4) 单因子模糊评价

将所采的水样的监测数据平均值代入相应的隶属函数，计算其隶属度，建立模糊矩阵R：

$$R = \begin{Bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \mu_{14} & \mu_{15} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \mu_{24} & \mu_{25} \\ \mu_{31} & \mu_{32} & \mu_{33} & \mu_{34} & \mu_{35} \\ \mu_{41} & \mu_{42} & \mu_{43} & \mu_{44} & \mu_{45} \\ \mu_{51} & \mu_{52} & \mu_{53} & \mu_{54} & \mu_{55} \end{Bmatrix}$$

5) 建立权重集

由于NH₃-N、TP等污染物对水质的影响程度不同，因此，对它们赋予不同的权重 α_i 。确定权重的方法较多，以污染物的超标情况决定权重较为合理。也就是说超标越多则赋权越大，其公式为：

$$A_i = C_i / S_i \quad \dots\dots\dots\text{公式 (3-6)}$$

其中：A_i—第i种污染物的权重；

C_i—第i种污染物的浓度实测均值；

S_i—多级浓度标准值的平均值；

为了进行模糊复合运算，各因子权重必须归一化，即：

$$Q_i = (C_i / S_i) / (\sum C_i / S_i) = A_i / \sum A_i \quad \dots\dots\dots\text{公式 (3-7)}$$

根据五项因素的实测浓度C_i和平均浓度S_i得到了因素权重分配集X的归一化处理结果。

6) 模糊综合评价——采用主因素决定型计算

模糊综合评价是因素权重向量和模糊矩阵合成的结果，即：

Y=X·R，即可得出所监测的景观水体水质属于哪个级别和哪种污染物的比重大。

(2) 富营养化评价

1) 评价参数^[31]

水体富营养化^[32]现象的发生，主要是水体中氮和磷等营养元素的增加，

致使水体中自养型生物（主要是藻类）大量繁殖，水体透明度下降，耗氧量增加，下层水氧消耗过程加剧。所以，目前国内外富营养化的评价中，大多选择与上述富营养化过程关系密切的因子作为评价参数。在本次评价中，为了使评价结果与国内外已有的评价相衔接，同时，也考虑到现有的城市水体富营养化评价资料的实际情况，选择透明度（SD）、总氮（TN）、总磷（TP）、叶绿素a（Chla）、化学需氧量（COD_{Cr}）和生化需氧量（BOD₅）这六项指标作为评价参数。

2) 评价标准^{[33] [34] [35] [36]}

根据国内外湖泊富营养化分类标准和中国湖泊水质参数与营养状态之间相互关系的分析，考虑到中国城市景观水体的实际情况，对城市景观水体中透明度、总氮等的分类标准值作适当的调整，拟出各评价参数的分类标准。

表3-2 城市景观水体富营养化评价标准

营养类型	水质					
	透明度 (m)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	叶绿素a (mg/m ³)	化学需要 量(mg/L)	生化需要 量(mg/L)
贫营养	≥5	≤0.05	≤0.004	≤1.0	≤0.54	≤0.4
贫中营养	≥3	≤0.1	≤0.01	≤2.0	≤0.72	≤1.0
中营养	≥1.5	≤0.3	≤0.025	≤4.0	≤3.6	≤2.0
中富营养	≥1	≤0.5	≤0.05	≤10	≤7.2	≤3.0
富营养	≥0.4	≤2	≤0.2	≤65	≤18	≤12.0
重富营养	<0.2	>4.6	>0.66	>80	>48.74	>30

3) 评价模式——模糊综合评价法及模型^{[37] [38] [39]}

对水体富营养化这样一个影响因素众多的复杂过程作综合评价是难以精确化的。首先，水质富营养化的状态“贫营养”、“贫中营养”、“中营养”、“中富营养”、“富营养”和“重富营养”这些概念本身具有模糊性，它们之间本来就没有截然划分的界限；其次，营养化评价参数在综合评价中的地位也不十分明确。基于水体富营养化评价的模糊性，用模糊数学来描述城市景观水体富营养化评价是比较适宜的。

A 建立因素集、权重集、评价集

因素集U:

$$U = \{SD, TD, TP, Chla, CODcr, BOD5\} = \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$$

权重集A:

$$A = \{SD, TD, TP, Chla, CODcr, BOD5\} = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}$$

评价集B:

$$B = \{\text{贫营养, 贫中营养, 中营养, 中富营养, 富营养, 重富营养}\} \\ = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6\}$$

综合评价模型为:

$$B = A \bullet R = \{b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6\} \quad \dots\dots\dots\text{公式(3-8)}$$

式中, A是因素集上的模糊子集; B是评价结果; \bullet 为Zadeh算子; R是各因素评价结果组成的模糊关系矩阵, 若以 r_{ij} 表示i评价因素对j级水质

的隶属度, 则:
$$R = \begin{Bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} & r_{15} & r_{16} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} & r_{25} & r_{26} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} & r_{35} & r_{36} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} & r_{44} & r_{45} & r_{46} \\ r_{51} & r_{52} & r_{53} & r_{54} & r_{55} & r_{56} \\ r_{61} & r_{62} & r_{63} & r_{64} & r_{65} & r_{66} \end{Bmatrix}$$

B由下式求得:

$$B = b_j = \bigvee_{k=1}^6 (a_k \wedge r_{kj}) \quad (k, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \\ \dots\dots\dots\text{公式(3-9)}$$

式中: “ \wedge ”表示两数中取小值, “ \vee ”表示两数中取大值, 即

$$c \wedge d = \min(c, d), \quad c \vee d = \max(c, d)$$

一般需要对 b_j 进行归一化处理。

B 建立隶属函数, 求模糊关系矩阵R

根据水质分级标准, 通过取线性函数来确定各级水的隶属函数。则有:

第一级 (贫营养), $j=1$, 其隶属函数为:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & X_i \leq S_{ij} \\ C_{ij}(X_i - S_{i(j+1)}) & S_{ij} < X_i < S_{i(j+1)} \\ 0 & X_i \geq S_{i(j+1)} \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-10)}$$

式中： X_i 为第*i*种因素的实测值； $S_{i(j+1)}$ 为第*i*种因素第 *j* +1级水的标准值； S_{ij} 为第 *i* 种因素第 *j* 级水的标准值； C_{ij} 为系数。现采用中值法确定，即取相邻两级水标准值的中值。中值对于相邻两级水的隶属度均为0.5，且由于中值是相邻两级水标准值的中值，可以用相邻两级水标准值的均值来代替。于是，将中值与隶属度0.5代入 $r_{ij} = C_{ij}(X_i - S_{i(j+1)})$ 中可求出 C_{ij} 。若

$(X_i - S_{i(j+1)}) > 0$ ， C_{ij} 取正值；若 $(X_i - S_{i(j+1)}) < 0$ ， C_{ij} 取负值；下同，则

$$C_{ij} = \frac{1}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} = -\frac{1}{S_{i(j+1)} - S_{ij}} \dots\dots\dots \text{公式 (3-11)}$$

故，第二级(贫中营养)，*j* =2；第三级(中营养)，*j* =3；第四级(中富营养)，*j* =4；第五级(富营养)，*j* =5；其隶属函数均为：

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{X_i - S_{i(j-1)}} & X_i = S_{ij} \\ \frac{S_{ij} - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} \leq X_i < S_{ij} \\ \frac{X_i - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & S_{ij} < X_i \leq S_{i(j+1)} \\ \frac{S_{ij} - S_{i(j+1)}}{S_{ij} - S_{i(j+1)}} & X_i < S_{i(j-1)}, X_i > S_{i(j+1)} \\ 0 & \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-12)}$$

第六级(重富营养)，*j* =6，其隶属函数为：

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{X_i - S_{i(j-1)}} & X_i \geq S_{ij} \\ \frac{X_i - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < X_i < S_{ij} \\ 0 & X_i \leq S_{i(j-1)} \end{cases} \dots\dots\dots \text{公式 (3-13)}$$

C 确定各因素的权重

在综合评判中，考虑到各因素对水质富营养化程度的影响不同，应根据其在水质中的作用大小分别给予不同的权重。根据因素污染贡献率计算方法求各因素的权重，其计算公式如下：

$$M_i = \frac{X_i}{S_i} \dots\dots\dots \text{公式 (3-14)}$$

式中。 X_i 为第 i 种因素的实测值； \overline{S}_i 为第 i 种因素各级标准值的平均值； M_i 为第 i 种因素的权重。对上式进行归一化处理，得：

$$M_i = \frac{\frac{X_i}{\overline{S}_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{\overline{S}_i}} \quad \dots\dots\dots \text{公式 (3-15)}$$

将各因素的实测值和标准值代入上式，便可求得各污染因素的权重值。

(3) 景观搭配性评价^{[40][41][42]}

本文把景观搭配性评价作为城市景观水体景观效应评价的首选，因为景观搭配性是在景观水体设计规划时应该考虑好的，它直接关系到景观水体的美观问题。并且可以将公众含糊的评价转化为具体的设计要求，以直接指导规划设计工作。与其他景观评价方法不同，通过模糊数学的方法可以明确影响景观质量各因子的权重矩阵，而以往的其它方法则难以从公众评价中获得此类信息。这一权重矩阵可以使景观规划者在资金、地形等条件限制下，选择对景观质量意义较大的因素进行改进，因此具有重要的实际意义。并且在已知特定区域内公众景观评价的因子矩阵和权重矩阵的情况下，可以直接求得不同规划方案的“美景度”。从而方便了规划设计方案的筛选，使决策过程能在公众参与的前提下更加科学。

1) 因素集的确定

城市水系景观的环境搭配性评价属于多因素综合评价，即城市水系的景观美感同多个因素相关，但是每个因素对景观总体质量的影响又是不一样的。因此确定影响景观质量的因素及其各因素所影响景观质量的程度是景观评价的重要内容。笔者咨询了规划、生态、景观、建筑等方面的专家，可以确定影响城市水系景观评价的最基本要素有：有无动物、有无植物、水深、水位高低、水面宽广度、岸或边类型、水量大小、河流清澈度、视域宽广度、其它景观小品因素以及天气等偶发因素。采用模糊数学进行城市水系景观评价首先要确定影响因素构成因素集。为了保证研究结果对景观规划设计有指导意义。故排除了大气条件等偶发因素及河流清澈度等具有共识的因素。本文实际用于模糊综合评价的因素包括：有无动物、有无植物、水深、水位高低、

水面宽度、岸或边类型、水量大小、视域宽度等。构成了因素集 B (表 3-3)。

表 3-3 因素集

因素	类型描述			
动物	A ₁ 无动物	A ₂ 金鱼	A ₃ 其它鱼类	A ₄ 其它非鱼类
植物	B ₁ 无植物	B ₂ 浅水植物	B ₃ 深水植物	
水位高低	C ₁ 水位低于岸 0—30cm	C ₂ 水位低于岸 30—50cm	C ₃ 水位低于岸50cm以上	
岸、边类型	D ₁ 水泥人 工砌岸	D ₂ 在人工砌 岸上种草	D ₃ 天然石块 砌岸	D ₄ 自然或仿 自然岸
水面宽度	E ₁ 小于 4m	E ₂ 介于 4m—8m 之间	E ₃ 8m 以上	
水深	F ₁ 小于 1m	F ₂ 介于 1m—2m 之间	F ₃ 2m 以上	
水量大小	G ₁ 小于 100 m ³	G ₂ 介于 100 m ³ —1000 m ³	G ₃ 1000 m ³ 以上	
视域宽度	H ₁ 视域宽广、基 本没建筑物或植 被遮挡视线	H ₂ 视域部 分被遮挡	H ₃ 视域狭窄或被遮挡	

对于各个因素内的各种可能情况。采用手绘和计算机图形模拟的方法制成图片^[43]供公众评价，而同时将图中其他无关因素抽象化表达，以减少干扰。

通过大量实地调查，发现城市景观水体的布局、特点和整体景观因素类型组成大致如下表：

表3-4 城市水景观分类描述

编号	各因素类型组成							
Z ₁	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₃
Z ₂	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₂	F ₂	G ₁	H ₃
Z ₃	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₂	F ₂	G ₂	H ₃

Z ₄	A ₂	B ₂	C ₂	D ₃	E ₂	F ₃	G ₂	H ₂
Z ₅	A ₂	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₂	G ₁	H ₃
Z ₆	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	E ₁	F ₂	G ₂	H ₂
Z ₇	A ₃	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂
Z ₈	A ₃	B ₃	C ₃	D ₄	E ₃	F ₃	G ₃	H ₁
Z ₉	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₂	F ₃	G ₂	H ₂
Z ₁₀	A ₄	B ₃	C ₃	D ₄	E ₃	F ₃	G ₃	H ₁

2) 隶属度的确定

隶属函数及其确定是模糊数学中最重要、最基本的量。在实际应用中，它的确定方法主要有模糊统计法、德尔菲法、对比排序法、综合加权法等等，当然也可以直接使用常见的规则的隶属度函数。但必须知道变量的确定量度和意义。本文采用的是模糊统计方法，以动物 A 为例，其具体操作过程描述如下：对于 A 的四种典型情况“无动物”、“金鱼”、“其它鱼类”、“其它非鱼类”，给定一个评语集（很喜欢、喜欢、一般、不喜欢）。让被调查对象根据自己的感觉来对 A 的每一种情况进行判断选择，并给定评语集合的一个加权因子 $P=[x_1, x_2, x_3, x_4]$ 。定义频数为公众选择该项评语的人数，若 A₁ 的评语频数为 $A_1=[a_1, a_2, a_3, a_4]$ ，则 A₁ 的景观质量隶属于“好”的隶属度为：

$$\mu(A_1) = \frac{x_1 \times a_1 + x_2 \times a_2 + x_3 \times a_3 + x_4 \times a_4}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4} \dots\dots\dots \text{公式 (3-16)}$$

3) 权重的计算及精度检验

由于对于一个景观水体的总体评价是对单个影响因子进行综合的结果。并且每个因子对于总体评价结果的影响是不同的。令 B 为因子权重矩阵，C 为不同景观个体的单个因素模糊关系矩阵，D 为总体评价的结果、则有下面的模糊关系方程：

$$B \circ C = D \dots\dots\dots \text{公式 (3-17)}$$

C、D 的结果已经通过模糊统计的方法来获取，B 则可以通过上述的方程来求解，B 在实际的应用中有着重要的意义，它反映了单个因素对景观整体的影响程度。为了尽量避免样本之间的相似性，使样本的单因素组合具有多样性和完整性，在本研究中将会从 Z₁、Z₂、Z₃、Z₄、Z₅、Z₆、Z₇、Z₈、Z₉、Z₁₀

中选择几个最具有代表性的为计算样本。将计算得到的隶属度代入样本，然后就是模糊关系方程的求解。本研究中采用了下面介绍的徐罗曹李方法求解模糊关系方程，然后将剩下的几个样本作为检验样本代入原方程，看所得的结果是否与统计调查结果所计算的隶属度接近，即可判断计算结果的优劣性。

(4) 其它初级层次的评价

理化优劣性评价、水体位态性评价、观赏性评价、历史性评价、效益性评价和稀缺性评价的评价过程和景观搭配性的评价过程一样，都是首先确定因素集、确定隶属度和权重的计算及精度检验。

3.3.2 二级层次、三级层次的综合评价

二级和三级层次的评价原理和初级层次的评价原理一样，也是采用模糊综合评判法。具体评价步骤如下：

(1) 建立模糊综合评价集合

设因素集合为： $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ ；

抉择评语集合为： $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

(2) 确定被评价事物相关各因素的隶属度

由初级层次的评价可以得出各因素对抉择等级的隶属度 r_{ij} ， m 个因素的评价集就构造出一个总的评价矩阵 R ，反映了两集合 U 、 V 间所存在的某种相关

$$\text{关系, 即: } R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

(3) 确定各评价因素对评价对象的权重

对于被评价事物，由于从不同的因素可以得到决然不同的结论，而且在诸多因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 中，对总评价的影响程度不一，存在着模糊择优因

素。故评价的着眼点可看成因素论域 U 上的模糊子集 A ，记作：

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

式中， $a_i (0 \leq a_i \leq 1)$ 为 u_i 对 A 的隶属度，它是单因素集 u_i 在总评价中影响程度的一种度量。 A 称为因素集 u_i 的重要程度系数，或称为权重。

(4) 综合评价——采用加权平衡型

在确定了模糊矩阵 R 和模糊向量 A 时，则可作模糊变换来进行综合评判：

$$B = A \bullet R = (b_1, b_2, \dots, b_n)。 \dots\dots\dots \text{公式 (3-18)}$$

3.4 模糊数学原理

模糊数学^{[44][45]}是一门崭新的数学学科，它始于 1965 年美国自动控制论教授 LA.zadeh 的开创性论文“模糊集合”。它的产生不仅拓展了经典数学的数学基础，而且是使计算机科学向人们的自然机理方面发展的重大突破。模糊数学是研究和处理模糊性现象的数学。在处理具有模糊性的问题时，必须用到模糊集合；查德仿照用特征函数表示经典集合的方法，用隶属函数表示模糊集合，因此我们把模糊集合的特征函数称作隶属函数。

3.4.1 模糊数学的概念^[46]

其定义是：设给定论域 U，U 到 [0, 1] 闭区间的任一映射 μ_A

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1]$$

$$\chi \rightarrow \mu_A(\chi)$$

都确定 U 的一个模糊子集 \underline{A} ， μ_A 叫做 \underline{A} 的隶属函数， $\mu_A(\chi)$ 叫做 χ 对 \underline{A} 的隶属度。模糊子集 \underline{A} 完全有其隶属函数所刻画。特别当 μ_A 的值域取 [0, 1] 闭区间的两个端点，亦即 [0, 1] 两个值时， \underline{A} 便退化为一个普通子集，隶属函数也就退化为特征函数，由此可见普通集合是模糊集合的特殊情形，而模糊集合是普通集合概念的推广。

3.4.2 模糊数学决策法^{[47][48][49]}

(1) 模糊集合

模糊集合的定义为：若对论域 U 中每一元素 χ_i ，都规定属于闭区间 [0, 1] 的一个实数 $\mu_A(\chi_i)$ ，则在 U 上定义了一个模糊子集 A：

$$A = \{ \mu(\chi) / \chi \in U \} \dots\dots\dots \text{公式 (3-19)}$$

式中： A —— 模糊子集；

$\mu_A(\chi)$ —— A 的隶属函数；

$\mu_A(x_i)/x_i$ ——元素的隶属度。

当 U 是可数集合, 即 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 时, 则:

$$A = \sum [\mu_A(x_i)/x_i] \quad i=1,2,\dots,n \quad \dots\dots\dots\text{公式 (3-20)}$$

隶属函数 $\mu_A(x_i) \in [0,1]$, 即 $0 \leq \mu_A(x_i) \leq 1$

当 $\mu_A(x_i)=0$, 表示元素 x_i 不属于这个模糊集合;

当 $\mu_A(x_i)=1$, 表示元素 x_i 完全属于这个模糊集合;

当 $\mu_A(x_i)=0.7$, 表示元素 x_i 有 7 成属于这个模糊集合。

(2) 隶属函数的确定^[50]

利用模糊集合确定问题, 首先要找出集合的隶属函数。实践中隶属函数的确定方法很多, 没有统一的模式, 它本质上是客观事物的属性, 但往往带有一定的主观性。正确地建立隶属函数, 是使模糊集合能够恰当地表现模糊概念的关键。所以, 应用模糊数学去解决实际问题, 往往归结为找出一个恰当的隶属函数, 这个问题解决了, 其他问题也就迎刃而解了。

隶属函数的确定, 方法是比较多的, 根据不同的研究和处理对象, 采取不同的方法, 目前已经提出和应用的有主观评分法, 二元对比排序法, 屈臣生提出的三分法, 马谋超、曹志强提出的多维量表方法, 模糊统计法 (1976 年, H.M.Hersh), 蕴含解析定义法 (1976 年, M.Kochen), 可变模型法 (1976 年, H.Bremermann), 子集比较法 (1974 年, K.S.Fu), 相对选择法及滤波函数法 (1978 年, P.J.Macvicar 等) 等多种。

所谓主观评分法, 就是凭借专家的经验, 直接给以评定, 例如体操裁判和各种艺术表演的评分。就是采用这种方法分出名次的。

二元对比排序法, 就是事物的元素采取两两比较的方法, 得到一个模糊序, 然后再寻求合理的整体顺序。二元对比排序的方法有多种, 现择其中四种介绍如下:

1) 关系定序法

定义: 称 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 为 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 上的模糊优先关系 (矩阵),

若

$$1 \quad \gamma_{ij} = 0 \quad (i \in \{1, 2, \dots, n\})$$

2 $\gamma_{ij} + \gamma_{ji} = 1$ ($i \neq j, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$) 并称 γ_{ij} 为 χ_i 与 χ_j 二元对比的优先比, 当 $\gamma_{ij} \geq \gamma_{ji}$ 时, 称 χ_i 比 χ_j 关于 \underline{R} 优先。

定义的含意是显然的, 自己于自己相比, 无所谓优先, 故 $\gamma_{ij} = 0$, 两个事物相比, 各有所长, 将两者的长处合在一起作为优越性的总量, 应最大, 故记为 1。

方法: 求出模糊优先关系 (矩阵) $\underline{R} = (\gamma_{ij})_{n \times n}$ 后, 按 $\gamma_i = \bigwedge_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \gamma_{ij}$

由大到小将所对应的 χ_i 排出优先顺序。

2) 优比较法 (对偶比较法)

设 χ_i 与 χ_j 在进行 n 次比较中, χ_i 优于 χ_j 的次数记为 γ_{ij} , χ_j 优于 χ_i 的次数记为 γ_{ji} , 有 $\gamma_{ij} + \gamma_{ji} = n$ 。称 $C_i = \sum_{j=1}^n \gamma_{ij}$ 为 χ_i 的优越总分, 则按 C_i 由大到小将所对应的 χ_i 排出优先顺序。

3) 相对比较法 (相对比较函数法)

设 $U = \{\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n\}$ 为排序对象集, ν 为标准元素, 对 $\forall \chi_i, \chi_j \in U$, 将它们与 ν 比用 $R_\nu(\chi_i, \chi_j)$ 表示 χ_i 比 χ_j 更相似于 ν 的程度, 称之为比较函数。

$$\text{定义 } P_\nu(\chi_i, \chi_j) = \frac{R_\nu(\chi_i, \chi_j)}{R_\nu(\chi_i, \chi_j) \vee R_\nu(\chi_j, \chi_i)} \quad (\text{分母不为 } 0)$$

.....公式 (3-21)

称 $P_\nu(\chi_i, \chi_j)$ 为相对比较函数, 由它得到的矩阵称为相对比较函数矩阵。显然有

$$P_\nu(\chi_i, \chi_j) = \begin{cases} \frac{R_\nu(\chi_i, \chi_j) \vee R_\nu(\chi_j, \chi_i)}{R_\nu(\chi_i, \chi_j) \vee R_\nu(\chi_j, \chi_i)} & \text{当 } R_\nu(\chi_i, \chi_j) \leq R_\nu(\chi_j, \chi_i) \\ 1 & \text{当 } R_\nu(\chi_i, \chi_j) \geq R_\nu(\chi_j, \chi_i) \end{cases}$$

.....公式 (3-22)

及 $P_\nu(\chi_i, \chi_j) = 1$ 按 $P_\nu(i) = \bigwedge_{j=1}^n P_\nu(\chi_i, \chi_j)$ 由大到小将所对应的 χ_i 排出优先顺序。

4) 对比平均法

$R_b(x_i, x_j)$ 的意义仍如 (3), 得到比较矩阵 R , 定义

$$P(x_i|U) = \sum_{i=1}^n \delta(x_i) \cdot R(x_i, x_j) \quad \dots\dots\dots \text{公式 (3-23)},$$

其中 $\delta(x_i)$ 为 x_i 的权重, 且有 $\sum_{i=1}^n \delta(x_i) = 1$

按由大到小将所对应的排序。

其它的几种方法, 都有一定的局限性, 下面主要介绍模糊统计法。

模糊统计实验, 就是根据所提出的模糊概念 (提出与之对应的集合 A) 进行调查统计。例如对“青年人”这一模糊概念给出表示它的模糊集 A , 通过统计实验, 确定不同年龄隶属 A 的程度, 即得到每一元素对 A 的隶属度, 一般步骤如下:

- ① 给定论域 U , 例如对“青年人”, 不妨取 $U = (0, 100)$ (单位: 岁)。
- ② 进行调查统计, 得到 U 的一个运动着的, 边界可变的普通集合 A^* , 在每一次试验之下, A^* 应该是一个确定的普通集合, 但在不同次的试验中, A^* 的边界又可能是不同的, 因而把 A^* 作为 U 中一个可运动的普通集合。 A^* 与 A 是联系着的, A^* 的每一次固定化, 都是对模糊概念作出的一个确定划分, 它表示概念的一个近似的外延。

例如: 对“青年人”进行统计试验, 询问张三, 他认为 25 岁到 35 岁的人算“青年人”, 则这一次试验得到 $A^* = [25, 35]$, A^* 是确定的普通集合。但是当询问李四时, 他却认为 18 岁到 30 岁的人算“青年人”, 因此这一次试验 $A^* = [18, 30]$, 所以说 A^* 在各次试验中, 表现出是 U 的一个运动的、边界可变的普通集合。

③ 作 n 次试验。对给定元素 $u_0 \in U$, 计算出 u_0 对 A 的隶属频率:

$$u_0 \text{ 对 } A \text{ 的隶属频率} = \frac{\text{“}u_0 \in A^* \text{” 的次数}}{\text{试验次数 } n} \quad \dots\dots\dots \text{公式 (3-24)}$$

$$\{\chi_1, \chi_2, \chi_3, \chi_4\} \circ \begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \\ 0.7 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.6 \\ 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.2 & 0.4 \end{bmatrix} = (0.7, 0.4, 0.4, 0.3, 0.6)$$

为例，说明徐罗曹李方法，其求解步骤如下：

(1) 标准化排列

按 $b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_m$ 的次序调整向量 B 的各个分量。矩阵 R = (γ_{ij}) 的各列也要作相应的变更，如

$$\underline{B}: 0.7, 0.4, 0.4, 0.3, 0.6$$

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \\ 0.7 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.6 \\ 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.2 & 0.4 \end{bmatrix}$$

$$\text{要变成: } \underline{B}: 0.7, 0.4, 0.4, 0.3, 0.6$$

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.7 & 0.9 & 0.8 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \\ 0.7 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.6 \\ 0.8 & 0.9 & 0.7 & 0.2 & 0.4 \end{bmatrix}$$

B 和 R 作这样变动后，并不改变方程的解集。当 $b_i = b_j$ 时，两者可以任意排先后顺序。

(2) 上铊

所谓“用 b_j 上铊第 j 列”，即将 χ_{ij} 换为 χ'_{ij} ， χ'_{ij} 满足：
$$\chi'_{ij} = \begin{cases} b_j & (\chi_{ij} > b_j) \\ \phi & (\chi_{ij} \leq b_j) \end{cases}$$

对本例，其中 $i=1, 2, 3, 4, j=1, 2, 3, 4, 5$ ，

$$\text{本例经“上铊”后得: } \begin{bmatrix} \phi & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ \phi & \phi & \phi & \phi & 0.3 \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0.7 & \phi & 0.4 & 0.4 & \phi \end{bmatrix}$$

空集“ Φ ”，还可略去不写。

对上铊后的矩阵，各行求下确界，记于右端，并称之为“解的上界”。

特别规定：空集的下确界 Φ 等于 1。对本例，各行求下确界列右

$$\begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ & & & 0.3 \\ 0.7 & 0.4 & 0.4 & \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 1 \\ 0.4 \end{matrix}$$

(3) 平铣

所谓“平铣”，即得 x_{ji} 换为 x'_{ij} ，且满足： $x'_{ij} = \begin{cases} b_j & (x_{ij} \geq b_j) \\ \phi & (x_{ij} < b_j) \end{cases}$

对本例“平铣”即把步骤(1)中已标准化排列的矩阵：

$$0.7 \geq 0.6 \geq 0.4 \geq 0.4 \geq 0.3$$

$$\begin{bmatrix} 0.3 & 0.8 & 0.5 & 0.7 & 0.9 \\ 0.2 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.6 \\ 0.7 & 0.6 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.8 & 0.4 & 0.9 & 0.7 & 0.2 \end{bmatrix}$$

换为： $\begin{bmatrix} \phi & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ \phi & \phi & 0.4 & \phi & 0.3 \\ 0.7 & 0.6 & 0.4 & \phi & \phi \\ 0.7 & \phi & 0.4 & 0.4 & \phi \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 1 \\ 0.4 \end{matrix}$

在其中“ Φ ”可略去不写，右端下确界保留

(4) 在所得的矩阵中，逐行划去该行中大于上界（即右端下确界）的元素：

即把 $\begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.3 \\ & 0.4 & & 0.3 \\ 0.7 & 0.6 & 0.4 & \\ 0.7 & & 0.4 & 0.4 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 1 \\ 0.4 \end{matrix}$

变为： $\begin{bmatrix} & & & 0.3 \\ & & & 0.3 \\ 0.7 & 0.6 & 0.4 & \\ & & 0.4 & 0.4 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 1 \\ 0.4 \end{matrix}$

(5) 判别

原方程有解的充要条件是：步骤(4)所得的矩阵的每一列都有非空白且未被划去的元素。对本例是满足的，故本例有解。

(6) 求解

对步骤(4)最后所得矩阵的每一列中，选定一个非空白、且未被划去

的元素，对这些被选元素逐行取上确界，且规定：“空集 Φ 的上确界为0”。

例如在本题中选：（注意“X”处划去了元素）

$$\begin{bmatrix} & & & 0.3 \\ & & & \times \\ 0.7 & 0.6 & 0.4 & \\ & & \times & 0.4 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.3 \\ 0 \\ 0.7 \\ 0.4 \end{matrix}$$

则各行之上确界分别标于右侧，这就得一组解称之为“拟最小解”。

由此原方程便有一个局部解集

$$x = (0.3, [0, 0.3], [0.7, 1], 0.4)$$

所谓“拟最小解”不一定是极小解，需进一步“筛选”，此题经过筛选，得到两个极小解：

$$\begin{matrix} (0.3, 0, 0.7, 0.4) \\ (0, 0.3, 0.7, 0.4) \end{matrix}$$

3.5 模糊综合评价模式

模糊综合评价是因素集权重向量与模糊矩阵合成的结果，即：

$$X * R = Y, \text{ 也可以写成 } Y = R * X = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$$

综合评价的模式有三种类型的计算。主因素决定型计算、不均平衡型

计算、加权平衡型计算。这里主要介绍前面提到的两种模式的计算：

主因素决定型计算和加权平均型计算。

3.5.1 主因素决定型

记作 $M = (\wedge, \vee)$

取 $A * R = A \circ R$ ，即 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n) = A \circ R$ ，其中

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \max\{\min(a_1, r_{1j}), \min(a_2, r_{2j}), \dots, \min(a_n, r_{nj})\}$$

在决定 b_j 时，对每个等级 u_j 而言只考虑到那个起主要作用的因素，而未顾及其它因素的影响。

3.5.2 加权平均型

记作 $M(\bullet, +)$, 其中 “+” 表示环和, 其定义为 $\alpha + \beta = \min(1, \alpha + \beta)$,

取 $A * R = A \bullet R$, 即 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n) = A \bullet R$, 这时

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} = \min \left\{ 1, \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \right\}.$$

第四章 景观水体综合评价过程及数据处理

根据第三章的评价程序框图，可以建立下述表格：

表 4-1 城市景观水体综合评价框图

项目权重 %	内容类别	详细项目	评价矩阵（或隶属度） R^*				项目权重 %	
			优秀	良好	合格	较差		
生态状况 A	污染状况 A_1^*	NH ₃ -N	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	A ₁₁	
		TP	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	A ₁₂	
		DO	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	A ₁₃	
		BOD ₅	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	A ₁₄	
		COD _{cr}	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	A ₁₅	
	富营养化 状况 A_2^*	SD	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	A ₂₁	
		TN	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	A ₂₂	
		TP	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b ₃₄	A ₂₃	
		COD _{cr}	b ₄₁	b ₄₂	b ₄₃	b ₄₄	A ₂₄	
		Chl-a	b ₅₁	b ₅₂	b ₅₃	b ₅₄	A ₂₅	
	景观效应 C	动物		c ₁₁	c ₁₂	c ₁₃	c ₁₄	C ₁₁
			植物	c ₂₁	c ₂₂	c ₂₃	c ₂₄	C ₁₂
		景观搭配 性 C_1^*	水位高低	c ₃₁	c ₃₂	c ₃₃	c ₃₄	C ₁₃
			岸、边类型	c ₄₁	c ₄₂	c ₄₃	c ₄₄	C ₁₄
			水面高度	c ₅₁	c ₅₂	c ₅₃	c ₅₄	C ₁₅
水深			c ₆₁	c ₆₂	c ₆₃	c ₆₄	C ₁₆	
水量大小 视域宽度			c ₇₁	c ₇₂	c ₇₃	c ₇₄	C ₁₇	
			c ₈₁	c ₈₂	c ₈₃	c ₈₄	C ₁₈	
		水形	d ₁₁	d ₁₂	d ₁₃	d ₁₄	C ₂₁	
		水声	d ₂₁	d ₂₂	d ₂₃	d ₂₄	C ₂₂	
	水色	d ₃₁	d ₃₂	d ₃₃	d ₃₄	C ₂₃		
理化优劣 性 C_2^*	水味	d ₄₁	d ₄₂	d ₄₃	d ₄₄	C ₂₄		
	水影	d ₅₁	d ₅₂	d ₅₃	d ₅₄	C ₂₅		
	水体位 态性 C_3^*	观赏者的位置	e ₁₁	e ₁₂	e ₁₃	e ₁₄	C ₃₁	
		观赏者的时节	e ₂₁	e ₂₂	e ₂₃	e ₂₄	C ₃₂	
	观赏性 F_1^*	复杂性		f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	F ₁₁
			f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	f ₂₄	F ₁₂	
统一性			g ₁₁	g ₁₂	g ₁₃	g ₁₄	F ₂₁	
			g ₂₁	g ₂₂	g ₂₃	g ₂₄	F ₂₂	
地方性			g ₃₁	g ₃₂	g ₃₃	g ₃₄	F ₂₃	
			g ₄₁	g ₄₂	g ₄₃	g ₄₄	F ₂₄	
历史 性 F_2^*		独特性						
		知名度						
社会状况 F	知文典故							

		相伴文物古迹	g ₅₁	g ₅₂	g ₅₃	g ₅₄	F ₂₅	
经济状况	效益性	土地利用	h ₁₁	h ₁₂	h ₁₃	h ₁₄	H ₁₁	
	H ₁ *	经营方式	h ₂₁	h ₂₂	h ₂₃	h ₂₄	H ₁₂	
H	稀缺性	科学价值	h ₁₁	h ₁₂	h ₁₃	h ₁₄	H ₂₁	
		H ₂ *	文化价值	h ₂₁	h ₂₂	h ₂₃	h ₂₄	H ₂₂
		保护价值	h ₃₁	h ₃₂	h ₃₃	h ₃₄	H ₂₃	

* 在此，污染状况的评价集{I, II, III, IV, V}中的I相当于综合评判的评价集{优秀, 良好, 合格, 一般}中的优秀、II相当于良好、III相当于合格、IV + V 相当于较差；富营养状况的评价集{贫营养, 贫中营养, 中营养, 中富营养, 富营养, 重富营养}中的贫营养 + 贫中营养相当于综合评价集中的优秀, 中营养 + 中富营养相当于良好, 富营养相当于合格, 重富营养相当于较差；景观搭配性、理化优劣性、水体位态性、观赏性、历史性、效益性和稀缺性的评价集{很喜欢, 喜欢, 一般, 不喜欢}中的很喜欢相当于优秀, 喜欢相当于良好, 一般相当于合格, 不喜欢相当于较差。

针对本文调查的四个景观水体，作者咨询了环保、生态和建筑方面的 12 位专家，所得结果列于下面四个表格：

表 4-2 新虹桥中心花园水体综合评价框图

项目 权重 /%	内容 类别	详细项目	评价矩阵 (或隶属度) R*				项目权重 %	
			优秀	良好	合格	较差		
生态 状况 A	污染状况 A ₁ *	NH ₃ -N	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	A ₁₁	
		TP	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	A ₁₂	
		DO	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	A ₁₃	
		BOD ₅	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	A ₁₄	
		COD _{cr}	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	A ₁₅	
	富营养化 状况 A ₂ *	SD	b _{1j}	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	A ₂₁	
		TN	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	A ₂₂	
		TP	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b ₃₄	A ₂₃	
		COD _{cr}	b ₄₁	b ₄₂	b ₄₃	b ₄₄	A ₂₄	
		Chl-a	b ₅₁	b ₅₂	b ₅₃	b ₅₄	A ₂₅	
	景观搭配 性 C ₁ *	动物	2	5	4	1	C ₁₁	
		植物	4	5	3	0	C ₁₂	
		景观搭配	水位高低	2	4	4	2	C ₁₃
		性	岸、边类型	4	6	2	0	C ₁₄
水面高度		2	3	6	1	C ₁₅		
景观 效应 C	C ₁ *	水深	1	4	4	3	C ₁₆	
		水量大小	5	5	2	0	C ₁₇	
		视域宽广度	4	4	3	1	C ₁₈	
		水形	2	3	6	1	C ₂₁	

社会 状况 F	理化优劣 性 C ₂ *	水声	0	5	5	2	C ₂₂	
		水色	3	4	5	0	C ₂₃	
		水味	0	5	7	0	C ₂₄	
		水影	2	4	6	0	C ₂₅	
		水体位	观赏者的位置	2	4	5	1	C ₃₁
	生态性 C ₃ *	观赏者的时节	1	6	4	1	C ₃₂	
		观赏性 F ₁ *	复杂性	3	5	4	0	F ₁₁
			统一性	0	4	5	3	F ₁₂
	历史 性 F ₂ *	地方性	3	5	3	1	F ₂₁	
		独特性	0	4	5	3	F ₂₂	
		知名度	2	5	4	1	F ₂₃	
		传文典故	0	0	0	12	F ₂₄	
		相伴文物古迹	0	0	2	10	F ₂₅	
	经济 状况 H	效益性 H ₁ *	土地利用	4	6	2	0	H ₁₁
			经营方式	2	5	4	1	H ₁₂
		稀缺性 H ₂ *	科学价值	0	3	3	6	H ₂₁
			文化价值	3	5	5	1	H ₂₂
			保护价值	4	6	2	0	H ₂₃

表 4-3 延中绿地西水体综合评价框图

项目权重 %	内容 类别	详细项目	评价矩阵(或隶属度) R*				项目权重 %	
			优秀	良好	合格	较差		
生态状况 A	污染状况 A ₁ *	NH ₃ -N	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	A ₁₁	
		TP	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	A ₁₂	
		DO	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	A ₁₃	
		BOD ₅	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	A ₁₄	
		COD _{cr}	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	A ₁₅	
	富营养化 状况 A ₂ *	SD	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	A ₂₁	
		TN	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	A ₂₂	
		TP	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b ₃₄	A ₂₃	
		COD _{cr}	b ₄₁	b ₄₂	b ₄₃	b ₄₄	A ₂₄	
		Chl-a	b ₅₁	b ₅₂	b ₅₃	b ₅₄	A ₂₅	
	景观效应 C	动物		1	3	4	4	C ₁₁
			植物	4	5	3	0	C ₁₂
		景观搭配 性 C ₁ *	水位高低	2	5	4	1	C ₁₃
			岸、边类型	1	4	5	2	C ₁₄
			水面高度	0	4	6	2	C ₁₅
水深			1	3	5	3	C ₁₆	
		水量大小	0	4	7	1	C ₁₇	
视域宽广度		0	2	7	3	C ₁₈		
水形		4	5	2	1	C ₂₁		

理化优劣性	C ₂ *	水声	3	5	4	0	C ₂₂	
		水色	4	4	3	1	C ₂₃	
		水味	1	5	4	2	C ₂₄	
		水影	5	5	2	0	C ₂₅	
		水体位	观赏者的位置	1	3	7	1	C ₃₁
		观赏性	观赏者的时节	4	3	5	0	C ₃₂
		F ₁ *	复杂性	3	6	2	1	F ₁₁
			统一性	1	5	5	1	F ₁₂
		F ₂ *	地方性	0	3	4	5	F ₂₁
			独特性	3	4	5	0	F ₂₂
知名度	4		5	2	1	F ₂₃		
传文典故	0		0	0	12	F ₂₄		
相伴文物古迹	0		0	0	12	F ₂₅		
H ₁ *	效益性	土地利用	2	5	3	2	H ₁₁	
	H ₂ *	经营方式	0	4	6	2	H ₁₂	
		科学价值	2	4	5	1	H ₂₁	
		文化价值	3	5	4	0	H ₂₂	
H ₂ *	保护价值	3	6	3	0	H ₂₃		

表 4-4 延中绿地东水体综合评价框图

项目权重 %	内容类别	详细项目	评价矩阵 (或隶属度) R*				项目权重 %
			优秀	良好	合格	较差	
生态状况 A	污染状况 A ₁ *	NH ₃ -N	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	A ₁₁
		TP	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	A ₁₂
		DO	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	A ₁₃
		BOD ₅	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	A ₁₄
		COD _{cr}	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	A ₁₅
	富营养化状况 A ₂ *	SD	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	A ₂₁
		TN	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	A ₂₂
		TP	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b ₃₄	A ₂₃
		COD _{cr}	b ₄₁	b ₄₂	b ₄₃	b ₄₄	A ₂₄
		Chl-a	b ₅₁	b ₅₂	b ₅₃	b ₅₄	A ₂₅
景观效应 C	动物植物 C ₁ *	动物	3	5	3	1	C ₁₁
		植物	3	4	4	1	C ₁₂
	景观搭配性 C ₁ *	水位高低	0	4	5	3	C ₁₃
		岸、边类型	1	3	6	2	C ₁₄
		水面高度	1	4	4	3	C ₁₅
		水深	2	5	4	1	C ₁₆
	景观效应 C	水量大小	5	5	2	0	C ₁₇
		视域宽度	5	6	1	0	C ₁₈
		水形	3	5	2	2	C ₂₁
		水声	0	2	5	5	C ₂₂

社会状况 F	理化优	水色	4	5	2	1	C ₂₃
	劣性	水味	1	4	4	3	C ₂₄
	C ₂ *	水影	3	6	2	1	C ₂₅
	水体位	观赏者的位置	4	5	3	0	C ₃₁
	态性 C ₃ *	观赏者的时节	3	4	3	2	C ₃₂
	观赏性	复杂性	1	4	6	1	F ₁₁
	F ₁ *	统一性	5	5	2	0	F ₁₂
		地方性	1	3	3	5	F ₂₁
	历史性	独特性	4	5	2	1	F ₂₂
	F ₂ *	知名度	4	5	2	1	F ₂₃
经济状况 H		传文典故	0	0	2	10	F ₂₄
		相伴文物古迹	0	0	0	12	F ₂₅
	效益性	土地利用	4	6	1	1	H ₁₁
	H ₁ *	经营方式	0	3	4	5	H ₁₂
	稀缺性	科学价值	2	2	5	3	H ₂₁
	H ₂ *	文化价值	3	3	3	3	H ₂₂
		保护价值	4	6	2	0	H ₂₃

表 4-5 豫园水体综合评价框图

项目权重 %	内容 类别	详细项目	评价矩阵 (或隶属度) R*				项目权重 %
			优秀	良好	合格	较差	
生态状况 A	污染 状况 A ₁ *	NH ₃ -N	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	A ₁₁
		TP	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	A ₁₂
		DO	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	A ₁₃
		BOD ₅	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	A ₁₄
		COD _{cr}	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	A ₁₅
	富营养化 状况 A ₂ *	SD	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₁₄	A ₂₁
		TN	b ₂₁	b ₂₂	b ₂₃	b ₂₄	A ₂₂
		TP	b ₃₁	b ₃₂	b ₃₃	b ₃₄	A ₂₃
		COD _{cr}	b ₄₁	b ₄₂	b ₄₃	b ₄₄	A ₂₄
		Chl-a	b ₅₁	b ₅₂	b ₅₃	b ₅₄	A ₂₅
景观效应 C	景观搭配 性 C ₁ *	动物	4	6	2	0	C ₁₁
		植物	2	4	5	1	C ₁₂
	景观效应 C	水位高低	3	6	2	1	C ₁₃
		岸、边类型	1	3	4	4	C ₁₄
		水面高度	2	4	4	2	C ₁₅
		水深	3	4	3	2	C ₁₆
		水量大小	4	6	2	0	C ₁₇
		视域宽广度	1	3	3	5	C ₁₈
	理化优劣 性	水形	2	3	5	2	C ₂₁
		水声	0	2	5	5	C ₂₂
水色		0	1	2	9	C ₂₃	

	性	水味	0	1	4	7	C ₂₄
	C ₂ *	水影	3	3	4	2	C ₂₅
	水体位	观赏者的位置	5	4	3	0	C ₃₁
	态性 C ₃ *	观赏者的时节	4	6	2	0	C ₃₂
	观赏性	复杂性	5	5	2	0	F ₁₁
	F ₁ *	统一性	2	4	3	3	F ₁₂
社会状况		地方性	5	5	1	1	F ₂₁
F	历史性	独特性	4	4	3	1	F ₂₂
	F ₂ *	知名度	8	4	0	0	F ₂₃
		传文典故	9	3	0	0	F ₂₄
		相伴文物古迹	8	3	1	0	F ₂₅
	效益性	土地利用	3	5	3	1	H ₁₁
经济状况	H ₁ *	经营方式	6	6	0	0	H ₁₂
H		科学价值	5	5	2	0	H ₂₁
	稀缺性	文化价值	5	6	1	0	H ₂₂
	H ₂ *	保护价值	7	5	0	0	H ₂₃

* 说明：初级层次综合评价中的污染状况评价和富营养化评价的因素集的权重不是专家提供的，而是根据第二章监测所得的数据和第三者所给出的评价标准进行评价求出的，经过下面的计算后才能知道数值，所以在此依然用字母代替。

4.1 初级层次综合评价的计算

4.1.1 污染状况评价的计算

隶属度及权重的计算

根据城市景观水质量标准 and 所提供的隶属函数可以计算出影响城市景观水质量的各种指标的隶属度。

①新虹桥中心花园水体

表 4-6 隶属度及权重

序号	主要水质指标	I	II	III	IV	V	权重
1	氨氮(mg/L)	1	1	0	0	0	0.375
2	总磷(mg/L)	0.25	0.75	0	0	0	0.65
3	溶解氧(mg/L)	0.4	0.6	0	0	0	0.68
4	生化需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.58
5	化学需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.58

a 隶属度模糊矩阵 R₁

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

b 权重集 X_1

由上表计算得到的权重经过归一化处理之后得到 X_1 :

$$X_1 = [0.13 \quad 0.23 \quad 0.24 \quad 0.20 \quad 0.20]$$

c 模糊综合评价

合成结果 Y_1 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 \circ R_1 \\ &= [0.13 \quad 0.23 \quad 0.24 \quad 0.20 \quad 0.20] \circ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= [0.24 \quad 0.24 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \end{aligned}$$

进行等价合并, 并归一化得: $Y_1 = [0.5 \quad 0.5 \quad 0 \quad 0]$

②延中绿地西水体

表 4-7 隶属度及权重

序号	主要水质指标	I	II	III	IV	V	权重
1	氨氮(mg/L)	1	1	0	0	0	0.24
2	总磷(mg/L)	0.875	0.125	0	0	0	0.24
3	溶解氧(mg/L)	0.125	0.875	0	0	0	0.80
4	生化需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.19
5	化学需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.5

a 隶属度模糊矩阵 R_2

$$R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.875 & 0.125 & 0 & 0 & 0 \\ 0.125 & 0.875 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

b 权重集 X_2

由上表计算得到的权重经过归一化处理之后得到 X_2 :

$$X_2 = [0.12 \quad 0.12 \quad 0.41 \quad 0.10 \quad 0.25]$$

c 模糊综合评价

合成结果 Y_2 :

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= X_2 \circ R_2 \\
 &= [0.12 \quad 0.12 \quad 0.41 \quad 0.10 \quad 0.25] \circ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.875 & 0.125 & 0 & 0 & 0 \\ 0.125 & 0.875 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [0.25 \quad 0.41 \quad 0 \quad 0 \quad 0]
 \end{aligned}$$

进行等价合并，并归一化得： $Y_2 = [0.38 \quad 0.62 \quad 0 \quad 0]$

③延中绿地东水体

表 4-8 隶属度及权重

序号	主要水质指标	I	II	III	IV	V	权重
1	氨氮(mg/L)	1	1	0	0	0	0.3
2	总磷(mg/L)	0.625	0.375	0	0	0	0.4
3	溶解氧(mg/L)	0.25	0.75	0	0	0	0.74
4	生化需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.38
5	化学需氧量(mg/L)	1	0	0	0	0	0.5

a 隶属度模糊矩阵 R_3

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.625 & 0.375 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

b 权重集 X_3

由上表计算得到的权重经过归一化处理之后得到 X_3 :

$$X_3 = [0.13 \quad 0.17 \quad 0.32 \quad 0.16 \quad 0.22]$$

c 模糊综合评价

合成结果 Y_3 :

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= X_3 \circ R_3 \\
 &= [0.13 \quad 0.17 \quad 0.32 \quad 0.16 \quad 0.22] \circ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.625 & 0.375 & 0 & 0 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [0.25 \quad 0.32 \quad 0 \quad 0 \quad 0]
 \end{aligned}$$

进行等价合并，并归一化得： $Y_3 = [0.44 \quad 0.56 \quad 0 \quad 0]$

④豫园水体

表 4-9 隶属度及权重

序号	主要水质指标	I	II	III	IV	V	权重
1	氨氮(mg/L)	1	1	0	0	0	0.29
2	总磷(mg/L)	0	0	0.3	0.7	0	1.37
3	溶解氧(mg/L)	1	0	0	0	0	0.49
4	生化需氧量(mg/L)	0	0	0.5	0.5	0	0.96
5	化学需氧量(mg/L)	0	0	0.8	0.2	0	0.67

a 隶属度模糊矩阵 R_4

$$R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.7 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix}$$

b 权重集 X_4

由上表计算得到的权重经过归一化处理之后得到 X_4 ：

$$X_4 = [0.08 \quad 0.36 \quad 0.13 \quad 0.25 \quad 0.18]$$

c 模糊综合评价

合成结果 Y_4 ：

$$\begin{aligned}
 Y_4 &= X_4 \circ R_4 \\
 &= [0.08 \quad 0.36 \quad 0.13 \quad 0.25 \quad 0.18] \circ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0.7 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \end{bmatrix} \\
 &= [0.13 \quad 0.08 \quad 0.3 \quad 0.36 \quad 0]
 \end{aligned}$$

进行等价合并，并归一化得： $Y_4 = [0.15 \ 0.09 \ 0.35 \ 0.41]$

表 4-10 评判结果

水样编号	隶属水质等级				
	I 级水	II 级水	III 级水	IV 级水	V 级水
①	0.24	0.24	0	0	0
②	0.25	0.41	0	0	0
③	0.25	0.32	0	0	0
④	0.13	0.08	0.3	0.36	0

新虹桥中心花园水体：水质介于 I 级和 II 级之间，说明水质情况还可以；

延中绿地西水体：属于 II 级水；

延中绿地东水体：属于 II 级水；

豫园水体：属于 IV 级水。

4.1.2 富营养化评价的计算

1) 求各水样的模糊关系矩阵

把测得的数据代入前文提供的城市景观水体富营养化的隶属函数，计算得几个水样的不同指标的隶属度的模糊关系矩阵 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别为：

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.79 & 0.21 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0.67 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.37 & 0.63 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.84 & 0.16 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.75 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.61 & 0.39 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.56 & 0.44 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.98 & 0.02 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.19 & 0.81 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.78 & 0.22 & 0 \end{bmatrix}$$

2) 求各水样的污染因子权重

计算结果列于下表：

表 4-11 污染因子权重

水样编号	评价参数					
	SD	TN	TP	Chla	COD _{Cr}	BOD ₅
1	0.04	0.48	0.12	0.03	0.25	0.08
2	0.16	0.25	0.08	0.08	0.38	0.05
3	0.05	0.52	0.08	0.06	0.23	0.06

4	0.03	0.18	0.12	0.46	0.14	0.07
---	------	------	------	------	------	------

3) 综合评判的计算

由 FUZZY 综合评判模型 $B = A \circ R$ ，依据最大最小原则求其复合运算，得各水样的评价集为：

$$B_1 = A_1 \circ R_1 = [0.04 \quad 0.48 \quad 0.12 \quad 0.03 \quad 0.25 \quad 0.08] \circ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.79 & 0.21 \\ 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.33 & 0.67 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.37 & 0.63 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [0 \quad 0.03 \quad 0.03 \quad 0.12 \quad 0.48 \quad 0.21]$$

经归一化后得最终评价结果：

$$B_1 = [0 \quad 0.035 \quad 0.035 \quad 0.14 \quad 0.55 \quad 0.24]$$

同理可得： $B_2 = [0 \quad 0.06 \quad 0.08 \quad 0.43 \quad 0.43 \quad 0]$

$$B_3 = [0 \quad 0 \quad 0.05 \quad 0.22 \quad 0.49 \quad 0.24]$$

$$B_4 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0.18 \quad 0.23 \quad 0.59]$$

经等价合并之后得： $B_1 = [0.035 \quad 0.175 \quad 0.55 \quad 0.24]$

$$B_2 = [0.06 \quad 0.51 \quad 0.435 \quad 0]$$

$$B_3 = [0 \quad 0.27 \quad 0.49 \quad 0.24]$$

$$B_4 = [0 \quad 0.18 \quad 0.23 \quad 0.59]$$

4) 评判结果

表 4-12 富营养化评判结果

水样编号	隶属营养等级				
	贫中营养	中营养	中富营养	富营养	重富营养
1	0.035	0.035	0.14	0.55	0.24
2	0.06	0.08	0.43	0.43	0
3	0	0.05	0.22	0.49	0.24
4	0	0	0.18	0.23	0.59

新虹桥中心花园水体：对贫中营养和中营养隶属等级的隶属度为 0.035，对中

富营养的为 0.14，对富营养为 0.55，对重富营养为 0.24，由于对富营养隶属度最大，故该水体达到富营养化程度；

同理：

延中绿地西水体：介于中富营养和富营养之间；

延中绿地东水体：达到富营养化程度；

豫园水体：达到重富营养化程度。

所以，上海城市景观水体大部分都已经达到富营养化的程度，综合分析可以得出：透明度虽然不能作为水体富营养化的指标，但是透明度不高也能说明水体质量不好；总磷、总氮、叶绿素 a 浓度已达到或者超过富营养化极限指标，其它水质指标也明显处于富营养化阶段。

4.1.3 景观搭配性的评价过程及数据计算

剩下七个初级层次的综合评价原理和前两个初级评价的原理不同，它们是先通过一种评价体系求出权重集，然后再验证。

以景观搭配性的综合评价为例。

本研究是通过问卷调查的方式获得样本，调查的对象是东华大学环境学院的老师和学生，总共是 245 人，让他们根据自己的所见和感觉对所有景观搭配性的八种因素、26 种类型进行判断选择，即得到 245 个样本。并给定评语集合的加权因子 $P=[0.95, 0.7, 0.5, 0.05]$ （由德尔菲法、即专家意见法），定义频数为调查对象选择该项评语的人数。

(1) 求各因素权重

1) 调查结果

把调查所得的结果列下为表：

表 4—13 问卷调查结果

影响因素	类型	评语集			
		很喜欢	喜欢	一般	不喜欢
		频数			
A	A ₁	24	42	67	112
	A ₂	70	68	58	49
	A ₃	90	84	51	20
	A ₄	34	52	51	108
B	B ₁	41	43	71	90
	B ₂	49	63	77	56

	B ₃	84	75	56	30
C	C ₁	77	70	46	52
	C ₂	67	68	63	47
	C ₃	31	33	87	94
	D ₁	35	62	67	81
D	D ₂	66	83	55	41
	D ₃	78	75	52	40
	D ₄	89	83	68	5
	E ₁	63	71	68	43
E	E ₂	85	77	67	16
	E ₃	35	70	65	75
	F ₁	47	53	68	77
F	F ₂	58	69	82	36
	F ₃	23	27	71	124
	G ₁	57	63	59	66
G	G ₂	65	72	64	44
	G ₃	27	35	69	114
	H ₁	88	83	61	13
H	H ₂	71	75	67	32
	H ₃	11	27	62	145

2) 计算

把评语集合的加权因子 $P=[0.95, 0.7, 0.5, 0.05]$ 和调查所得的频数代入

$$\text{公式: } \mu(\text{类型}) = \frac{x_1 \times a_1 + x_2 \times a_2 + x_3 \times a_3 + x_4 \times a_4}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}$$

即把频数代入公式: $\mu(\text{类型}) = \frac{0.95a_1 + 0.7a_2 + 0.5a_3 + 0.05a_4}{245}$

计算得 8 种因素的各种类型的隶属度。

表 4-14 隶属度

影响因素	类型	隶属度
A	A ₁	0.37
	A ₂	0.69
	A ₃	0.70
	A ₄	0.41
B	B ₁	0.45
	B ₂	0.54
	B ₃	0.66
C	C ₁	0.60
	C ₂	0.59
	C ₃	0.41
	D ₁	0.47

D	D ₂	0.61
	D ₃	0.63
	D ₄	0.72
	E ₁	0.60
E	E ₂	0.69
	E ₃	0.48
	F ₁	0.49
F	F ₂	0.60
	F ₃	0.34
	G ₁	0.53
G	G ₂	0.60
	G ₃	0.37
	H ₁	0.71
H	H ₂	0.63
	H ₃	0.28

3) 组成类型

把计算出的隶属度代入城市景观水系整体景观因素类型组成的类型:

表 4-15 组成类型

编号	各因素类型组成及各因素对应的隶属度								隶属度
Z ₁	A ₁	B ₁	C ₃	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₃	0.54
	0.37	0.45	0.41	0.47	0.60	0.49	0.53	0.28	
Z ₂	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₂	F ₂	G ₁	H ₃	0.60
	0.59	0.45	0.59	0.47	0.69	0.60	0.53	0.28	
Z ₃	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₂	F ₂	G ₂	H ₃	0.60
	0.59	0.45	0.59	0.47	0.69	0.60	0.60	0.28	
Z ₄	A ₂	B ₂	C ₂	D ₃	E ₂	F ₃	G ₂	H ₂	0.58
	0.59	0.54	0.59	0.63	0.69	0.34	0.60	0.63	
Z ₅	A ₂	B ₃	C ₁	D ₁	E ₁	F ₂	G ₁	H ₃	0.63
	0.59	0.66	0.60	0.47	0.60	0.60	0.53	0.28	
Z ₆	A ₃	B ₂	C ₂	D ₂	E ₁	F ₂	G ₂	H ₂	0.67
	0.70	0.54	0.59	0.61	0.60	0.60	0.60	0.63	
Z ₇	A ₃	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	0.65
	0.70	0.47	0.59	0.61	0.69	0.60	0.60	0.63	
Z ₈	A ₃	B ₃	C ₃	D ₄	E ₃	F ₃	G ₃	H ₁	0.70

	0.70	0.66	0.41	0.72	0.48	0.34	0.37	0.71	
Z ₉	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₂	F ₃	G ₂	H ₂	0.61
	0.70	0.66	0.41	0.63	0.69	0.34	0.60	0.63	
Z ₁₀	A ₄	B ₂	C ₃	D ₁	E ₃	F ₃	G ₃	H ₁	0.50
	0.41	0.54	0.41	0.47	0.48	0.34	0.37	0.71	

4) 解方程

为了避免样本之间的相似性，使样本的单因素组合具有多样性和完整性，在本研究中选择 Z₁、Z₂、Z₃、Z₅、Z₆、Z₈、Z₁₀ 为计算样本，令 $\gamma_1 = (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18})$ ，得到如下的模糊关系方程：

$$\begin{aligned}
 &(C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}) \circ \\
 &\begin{bmatrix} 0.37 & 0.59 & 0.59 & 0.59 & 0.70 & 0.70 & 0.41 \\ 0.45 & 0.45 & 0.45 & 0.66 & 0.54 & 0.66 & 0.54 \\ 0.41 & 0.59 & 0.59 & 0.60 & 0.59 & 0.41 & 0.41 \\ 0.47 & 0.56 & 0.47 & 0.47 & 0.61 & 0.72 & 0.47 \\ 0.60 & 0.69 & 0.69 & 0.60 & 0.60 & 0.48 & 0.48 \\ 0.49 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.34 & 0.34 \\ 0.53 & 0.53 & 0.60 & 0.53 & 0.60 & 0.37 & 0.37 \\ 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.63 & 0.71 & 0.71 \end{bmatrix} \\
 &= (0.54, 0.60, 0.60, 0.63, 0.67, 0.70, 0.50)
 \end{aligned}$$

a) 标准化排列

按 $b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_m$ 的次序调整向量 B 的各个分量，同时，矩阵 $R = (\alpha_{ij})$

的各列也作相应的变更，得到：

$$B: 0.7, 0.67, 0.63, 0.60, 0.60, 0.54, 0.50$$

$$\begin{bmatrix} 0.70 & 0.70 & 0.59 & 0.59 & 0.59 & 0.37 & 0.41 \\ 0.66 & 0.54 & 0.66 & 0.45 & 0.45 & 0.45 & 0.54 \\ 0.41 & 0.59 & 0.60 & 0.59 & 0.59 & 0.41 & 0.41 \\ 0.72 & 0.61 & 0.47 & 0.47 & 0.56 & 0.47 & 0.47 \\ 0.48 & 0.60 & 0.60 & 0.69 & 0.69 & 0.60 & 0.48 \\ 0.34 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.60 & 0.49 & 0.34 \\ 0.37 & 0.60 & 0.53 & 0.60 & 0.53 & 0.53 & 0.37 \\ 0.71 & 0.63 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.28 & 0.71 \end{bmatrix}$$

b) 上铰

上铰，并且各行求下确界，得：

$$\begin{bmatrix} \phi & 0.67 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 0.63 & \phi & \phi & \phi & 0.5 \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & 0.60 & 0.54 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.50 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.67 \\ 0.5 \\ 1 \\ 0.70 \\ 0.54 \\ 1 \\ 1 \\ 0.50 \end{matrix}$$

c) 平铰

得：

$$\begin{bmatrix} 0.70 & 0.67 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 0.63 & \phi & \phi & \phi & 0.5 \\ \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & 0.60 & 0.54 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & 0.60 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.50 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.67 \\ 0.5 \\ 1 \\ 0.70 \\ 0.54 \\ 1 \\ 1 \\ 0.50 \end{matrix}$$

d) 在所得的矩阵中，逐行划去改行中大于上界（右端下确界）的元素

得：

$$\begin{bmatrix} \phi & 0.67 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.5 \\ \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.54 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & 0.60 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.50 \end{bmatrix} \begin{matrix} 0.67 \\ 0.5 \\ 1 \\ 0.70 \\ 0.54 \\ 1 \\ 1 \\ 0.50 \end{matrix}$$

e) 判别

4.4 所得的矩阵的每一列都有非空白且未被划去的元素，所以方程有解。

f) 求解

对 4.4 最后所得矩阵的每一列中，选定一个非空白、且未被划去的元素，并对它们逐行取上确界得：

$$\begin{bmatrix} \phi & 0.67 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0 \\ \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.60 \\ 0.70 & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.70 \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.54 & \phi & 0.54 \\ \phi & \phi & \phi & \times & 0.60 & \phi & \phi & 0.60 \\ \phi & \phi & \phi & 0.60 & \phi & \phi & \phi & 0.60 \\ \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & \phi & 0.50 & 0.50 \end{bmatrix}$$

由此方程有一个局部解集：

$$\gamma_1 = (0.67, [0, 0.5], 0.60, 0.7, 0.54, [0.6, 1], [0.6, 1], 0.5)$$

“拟最小解”，并经进一步筛选，得到极小解：

$$(0.67, 0.5, 0.60, 0.7, 0.54, 0.6, 0.6, 0.5)$$

归一化得：(0.14 0.105 0.13 0.15 0.11 0.13 0.13 0.105)

将样本 Z₄、Z₇、Z₉、作为检验样本代入原方程，所得的结果均于统计结果所计算的隶属度十分接近，可知此结果是最优解。

从权重矩阵中可以看出，A 组有无动物因素和 D 组岸或边类型因素是影响城市景观水系景观效应的最主要因子，其中 D 组岸或边类型的影响力最大。同时，水位高低、水深、水量大小都对城市景观水系的景观效应有相当的影响。

(2) 确定各因素隶属度

① 新虹桥中心花园水体

专家 12 人组中对“动物”的评价：2 人认为“优秀”，占 16.5%；5 人认为“良好”，占 42%，4 人认为“合格”，占 33.5%，1 人认为“较差”，占 8%。则“动物”的隶属度为： $\varepsilon_{11} = (0.165 \ 0.42 \ 0.335 \ 0.08)$ ；

同理：“植物”的隶属度为： $\varepsilon_{12} = (0.335 \ 0.415 \ 0.25 \ 0)$

“水位高低”的隶属度为： $\varepsilon_{13} = (0.165 \ 0.335 \ 0.335 \ 0.165)$

“岸、边类型”的隶属度为： $\varepsilon_{14} = (0.335 \ 0.5 \ 0.165 \ 0)$

“水面高度”的隶属度为： $\varepsilon_{15} = (0.17 \quad 0.25 \quad 0.5 \quad 0.08)$

“水深”的隶属度为： $\varepsilon_{16} = (0.08 \quad 0.335 \quad 0.335 \quad 0.25)$

“水量大小”的隶属度为： $\varepsilon_{17} = (0.415 \quad 0.415 \quad 0.17 \quad 0)$

“视域宽广度”的隶属度为： $\varepsilon_{18} = (0.335 \quad 0.335 \quad 0.25 \quad 0.08)$

② 延中绿地西水体

“动物”的隶属度为： $\varepsilon_{21} = (0.08 \quad 0.25 \quad 0.335 \quad 0.335)$;

“植物”的隶属度为： $\varepsilon_{22} = (0.335 \quad 0.415 \quad 0.25 \quad 0)$

“水位高低”的隶属度为： $\varepsilon_{23} = (0.165 \quad 0.42 \quad 0.335 \quad 0.08)$

“岸、边类型”的隶属度为： $\varepsilon_{24} = (0.08 \quad 0.335 \quad 0.415 \quad 0.17)$

“水面高度”的隶属度为： $\varepsilon_{25} = (0 \quad 0.335 \quad 0.5 \quad 0.165)$

“水深”的隶属度为： $\varepsilon_{26} = (0.08 \quad 0.25 \quad 0.42 \quad 0.25)$

“水量大小”的隶属度为： $\varepsilon_{27} = (0 \quad 0.335 \quad 0.585 \quad 0.08)$

“视域宽广度”的隶属度为： $\varepsilon_{28} = (0 \quad 0.165 \quad 0.585 \quad 0.25)$

③ 延中绿地东水体

“动物”的隶属度为： $\varepsilon_{31} = (0.25 \quad 0.42 \quad 0.25 \quad 0.08)$;

“植物”的隶属度为： $\varepsilon_{32} = (0.25 \quad 0.335 \quad 0.335 \quad 0.08)$

“水位高低”的隶属度为： $\varepsilon_{33} = (0 \quad 0.335 \quad 0.415 \quad 0.25)$

“岸、边类型”的隶属度为： $\varepsilon_{34} = (0.08 \quad 0.25 \quad 0.5 \quad 0.17)$

“水面高度”的隶属度为： $\varepsilon_{35} = (0.08 \quad 0.335 \quad 0.335 \quad 0.25)$

“水深”的隶属度为： $\varepsilon_{36} = (0.17 \quad 0.415 \quad 0.335 \quad 0.08)$

“水量大小”的隶属度为： $\varepsilon_{37} = (0.415 \quad 0.415 \quad 0.17 \quad 0)$

“视域宽广度”的隶属度为： $\varepsilon_{38} = (0.42 \quad 0.5 \quad 0.08 \quad 0)$

④ 豫园水体

“动物”的隶属度为： $\varepsilon_{41} = (0.33 \ 0.5 \ 0.17 \ 0)$ ；

“植物”的隶属度为： $\varepsilon_{42} = (0.17 \ 0.335 \ 0.415 \ 0.08)$

“水位高低”的隶属度为： $\varepsilon_{43} = (0.25 \ 0.5 \ 0.17 \ 0.08)$

“岸、边类型”的隶属度为： $\varepsilon_{44} = (0.08 \ 0.25 \ 0.335 \ 0.335)$

“水面高度”的隶属度为： $\varepsilon_{45} = (0.17 \ 0.33 \ 0.33 \ 0.17)$

“水深”的隶属度为： $\varepsilon_{46} = (0.25 \ 0.33 \ 0.25 \ 0.17)$

“水量大小”的隶属度为： $\varepsilon_{47} = (0.33 \ 0.5 \ 0.17 \ 0)$

“视域宽广度”的隶属度为： $\varepsilon_{48} = (0.08 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.42)$

(3) 景观搭配性的综合评价

① 新虹桥中心花园水体

综合评价为：

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \gamma_1 \cdot [\varepsilon_{11} \ \varepsilon_{12} \ \varepsilon_{13} \ \varepsilon_{14} \ \varepsilon_{15} \ \varepsilon_{16} \ \varepsilon_{17} \ \varepsilon_{18}]^T \\ &= (0.14 \ 0.105 \ 0.13 \ 0.15 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.13 \ 0.105) \bullet \\ &\quad \begin{bmatrix} 0.165 & 0.42 & 0.335 & 0.08 \\ 0.335 & 0.415 & 0.25 & 0 \\ 0.165 & 0.335 & 0.335 & 0.165 \\ 0.335 & 0.5 & 0.165 & 0 \\ 0.17 & 0.25 & 0.5 & 0.08 \\ 0.08 & 0.335 & 0.335 & 0.25 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.335 & 0.335 & 0.25 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.248 \ 0.381 \ 0.288 \ 0.083) \end{aligned}$$

可见其结果是介于优秀和合格之间，主要偏重于良好。

② 延中绿地西水体

综合评价为：

$$\begin{aligned} \beta_{21} &= \gamma_1 \bullet [\varepsilon_{21} \ \varepsilon_{22} \ \varepsilon_{23} \ \varepsilon_{24} \ \varepsilon_{25} \ \varepsilon_{26} \ \varepsilon_{27} \ \varepsilon_{28}]^T \\ &= (0.14 \ 0.105 \ 0.13 \ 0.15 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.13 \ 0.105) \bullet \\ &\quad \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.335 & 0.335 \\ 0.335 & 0.415 & 0.25 & 0 \\ 0.165 & 0.42 & 0.335 & 0.08 \\ 0.08 & 0.335 & 0.415 & 0.17 \\ 0 & 0.335 & 0.5 & 0.165 \\ 0.08 & 0.25 & 0.42 & 0.25 \\ 0 & 0.335 & 0.585 & 0.08 \\ 0 & 0.165 & 0.585 & 0.25 \end{bmatrix} \\ &= (0.09 \ 0.314 \ 0.426 \ 0.17) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和合格之间，偏重于合格。

③ 延中绿地东水体

综合评价为：

$$\begin{aligned} \beta_{31} &= \gamma_1 \bullet [\varepsilon_{31} \ \varepsilon_{32} \ \varepsilon_{33} \ \varepsilon_{34} \ \varepsilon_{35} \ \varepsilon_{36} \ \varepsilon_{37} \ \varepsilon_{38}]^T \\ &= (0.14 \ 0.105 \ 0.13 \ 0.15 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.13 \ 0.105) \bullet \\ &\quad \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0.25 & 0.335 & 0.335 & 0.08 \\ 0 & 0.335 & 0.415 & 0.25 \\ 0.08 & 0.25 & 0.5 & 0.17 \\ 0.08 & 0.335 & 0.335 & 0.25 \\ 0.17 & 0.415 & 0.335 & 0.08 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.42 & 0.5 & 0.08 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.202 \ 0.372 \ 0.31 \ 0.116) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于优秀。

④ 豫园水体

综合评价为：

$$\begin{aligned} \beta_{41} &= \gamma_1 \bullet [\varepsilon_{41} \ \varepsilon_{42} \ \varepsilon_{43} \ \varepsilon_{44} \ \varepsilon_{45} \ \varepsilon_{46} \ \varepsilon_{47} \ \varepsilon_{48}]^T \\ &= (0.14 \ 0.105 \ 0.13 \ 0.15 \ 0.11 \ 0.13 \ 0.13 \ 0.105) \bullet \\ &\quad \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.335 & 0.415 & 0.08 \\ 0.25 & 0.5 & 0.17 & 0.08 \\ 0.08 & 0.25 & 0.335 & 0.335 \\ 0.17 & 0.33 & 0.33 & 0.17 \\ 0.25 & 0.33 & 0.25 & 0.17 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \\ 0.08 & 0.25 & 0.25 & 0.42 \end{bmatrix} \\ &= (0.211 \ 0.378 \ 0.257 \ 0.154) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

4.1.4 其它初级层次的评价

和景观搭配性的评价原理和程序一样，求出其权重集合，并进行归一化，然后根据专家提供的数据求隶属度，再进行综合评价。

(1) 权重集合

理化优劣性： $\gamma_2 = (0.32 \ 0.1 \ 0.29 \ 0.1 \ 0.19)$

水体位态性： $\gamma_3 = (0.58 \ 0.42)$

观赏性： $\gamma_4 = (0.61 \ 0.39)$

历史性： $\gamma_5 = (0.26 \ 0.32 \ 0.12 \ 0.15 \ 0.15)$

效益性： $\gamma_6 = (0.72 \ 0.28)$

稀缺性： $\gamma_7 = (0.26 \ 0.52 \ 0.22)$

(2) 隶属度集合

① 新虹桥中心花园水体

理化优劣性隶属度集合：

$$\begin{aligned} \eta_{11}^* &= [\eta_{11} \ \eta_{12} \ \eta_{13} \ \eta_{14} \ \eta_{15}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.17 & 0.25 & 0.5 & 0.08 \\ 0 & 0.415 & 0.415 & 0.17 \\ 0.25 & 0.335 & 0.415 & 0 \\ 0 & 0.415 & 0.585 & 0 \\ 0.17 & 0.33 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

水体位态型隶属度集合:

$$\mu_{11}^* = [\mu_{11} \quad \mu_{12}]^T = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.335 & 0.415 & 0.08 \\ 0.08 & 0.5 & 0.34 & 0.08 \end{bmatrix}$$

观赏型隶属度集合:

$$\nu_{11}^* = [\nu_{11} \quad \nu_{12}]^T = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0 & 0.335 & 0.415 & 0.25 \end{bmatrix}$$

历史型隶属度集合:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^* &= [\sigma_{11} \quad \sigma_{12} \quad \sigma_{13} \quad \sigma_{14} \quad \sigma_{15}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0 & 0.335 & 0.415 & 0.25 \\ 0.17 & 0.415 & 0.335 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.17 & 0.83 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

效益型隶属度集合:

$$\xi_{11}^* = [\xi_{11} \quad \xi_{12}]^T = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.415 & 0.335 & 0.08 \end{bmatrix}$$

稀缺型隶属度集合:

$$\psi_{11}^* = [\psi_{11} \quad \psi_{12} \quad \psi_{13}]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix}$$

② 延中绿地西水体

理化优劣性隶属度集合:

$$\begin{aligned} \eta_{22}^* &= [\eta_{21} \quad \eta_{22} \quad \eta_{23} \quad \eta_{24} \quad \eta_{25}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.335 & 0.42 & 0.165 & 0.08 \\ 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0.335 & 0.335 & 0.25 & 0.08 \\ 0.08 & 0.415 & 0.335 & 0.17 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

水体位态型隶属度集合:

$$\mu_{22}^* = [\mu_{21} \quad \mu_{22}]^T = \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.59 & 0.08 \\ 0.335 & 0.25 & 0.415 & 0 \end{bmatrix}$$

观赏型隶属度集合:

$$v_{22}^* = [v_{21} \quad v_{22}]^T = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.17 & 0.08 \\ 0.08 & 0.42 & 0.42 & 0.08 \end{bmatrix}$$

历史型隶属度集合:

$$\begin{aligned} \sigma_{22}^* &= [\sigma_{21} \quad \sigma_{22} \quad \sigma_{23} \quad \sigma_{24} \quad \sigma_{25}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.335 & 0.415 \\ 0.25 & 0.335 & 0.415 & 0 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

效益型隶属度集合:

$$\xi_{22}^* = [\xi_{21} \quad \xi_{22}]^T = \begin{bmatrix} 0.165 & 0.42 & 0.25 & 0.165 \\ 0 & 0.33 & 0.5 & 0.17 \end{bmatrix}$$

稀缺型隶属度集合:

$$\psi_{22}^* = [\psi_{21} \quad \psi_{22} \quad \psi_{23}]^T = \begin{bmatrix} 0.17 & 0.335 & 0.415 & 0.08 \\ 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0 \end{bmatrix}$$

③ 延中绿地东水体

理化优劣性隶属度集合:

$$\begin{aligned} \eta_{33}^* &= [\eta_{31} \quad \eta_{32} \quad \eta_{33} \quad \eta_{34} \quad \eta_{35}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.165 & 0.165 \\ 0 & 0.17 & 0.415 & 0.415 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0.08 & 0.335 & 0.335 & 0.25 \\ 0.25 & 0.5 & 0.17 & 0.08 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

水体位态型隶属度集合:

$$\mu_{33}^* = [\mu_{31} \quad \mu_{32}]^T = \begin{bmatrix} 0.335 & 0.415 & 0.25 & 0 \\ 0.25 & 0.33 & 0.25 & 0.17 \end{bmatrix}$$

观赏型隶属度集合:

$$v_{33}^* = [v_{31} \quad v_{32}]^T = \begin{bmatrix} 0.085 & 0.33 & 0.5 & 0.085 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \end{bmatrix}$$

历史型隶属度集合:

$$\begin{aligned} \sigma_{33}^* &= [\sigma_{31} \quad \sigma_{32} \quad \sigma_{33} \quad \sigma_{34} \quad \sigma_{35}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.25 & 0.42 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0.17 & 0.83 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

效益型隶属度集合:

$$\xi_{33}^* = [\xi_{31} \quad \xi_{32}]^T = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 & 0.085 & 0.085 \\ 0 & 0.25 & 0.335 & 0.415 \end{bmatrix}$$

稀缺型隶属度集合:

$$\psi_{33}^* = [\psi_{31} \quad \psi_{32} \quad \psi_{33}]^T = \begin{bmatrix} 0.165 & 0.165 & 0.42 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix}$$

④ 豫园水体

理化优劣性隶属度集合:

$$\begin{aligned} \eta_{44}^* &= [\eta_{41} \quad \eta_{42} \quad \eta_{43} \quad \eta_{44} \quad \eta_{45}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.165 & 0.25 & 0.42 & 0.165 \\ 0 & 0.17 & 0.415 & 0.415 \\ 0 & 0.08 & 0.17 & 0.75 \\ 0 & 0.08 & 0.335 & 0.585 \\ 0.25 & 0.25 & 0.33 & 0.17 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

水体位态型隶属度集合:

$$\mu_{44}^* = [\mu_{41} \quad \mu_{42}]^T = \begin{bmatrix} 0.415 & 0.335 & 0.25 & 0 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix}$$

观赏型隶属度集合:

$$\nu_{44}^* = [\nu_{41} \quad \nu_{42}]^T = \begin{bmatrix} 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.33 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix}$$

历史型隶属度集合:

$$\begin{aligned} \sigma_{44}^* &= [\sigma_{41} \quad \sigma_{42} \quad \sigma_{43} \quad \sigma_{44} \quad \sigma_{45}]^T \\ &= \begin{bmatrix} 0.42 & 0.42 & 0.08 & 0.08 \\ 0.335 & 0.335 & 0.25 & 0.08 \\ 0.665 & 0.335 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.67 & 0.25 & 0.08 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

效益型隶属度集合:

$$\xi_{44}^* = [\xi_{41} \quad \xi_{42}]^T = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

稀缺型隶属度集合:

$$\psi_{44}^* = [\psi_{41} \quad \psi_{42} \quad \psi_{43}]^T = \begin{bmatrix} 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.42 & 0.5 & 0.08 & 0 \\ 0.585 & 0.415 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(3) 综合评价

① 新虹桥中心花园水体

理化优劣性的综合评价:

$$\begin{aligned} \beta_{12} &= \gamma_2 \bullet \eta_1 = \gamma_2 \bullet [\eta_{11} \quad \eta_{12} \quad \eta_{13} \quad \eta_{14} \quad \eta_{15}]^T \\ &= (0.32 \quad 0.1 \quad 0.29 \quad 0.1 \quad 0.19) \bullet \begin{bmatrix} 0.17 & 0.25 & 0.5 & 0.08 \\ 0 & 0.415 & 0.415 & 0.17 \\ 0.25 & 0.335 & 0.415 & 0 \\ 0 & 0.415 & 0.585 & 0 \\ 0.17 & 0.33 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.159 \quad 0.323 \quad 0.475 \quad 0.043) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和合格之间, 偏重于合格。

水体位态性的综合评价:

$$\begin{aligned} \beta_{13} &= \gamma_3 \bullet \mu_{12}^* = \gamma_3 \bullet (\mu_{11} \quad \mu_{12})^T \\ &= (0.58 \quad 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.17 & 0.335 & 0.415 & 0.08 \\ 0.08 & 0.5 & 0.34 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.132 \quad 0.404 \quad 0.384 \quad 0.08) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和合格之间, 偏重于良好。

观赏性的综合评价:

$$\begin{aligned}\beta_{14} &= \gamma_4 \cdot v_{11}^* = \gamma_4 \cdot [v_{11} \ v_{12}]^T \\ &= (0.61 \ 0.39) \cdot \begin{bmatrix} 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0 & 0.335 & 0.415 & 0.25 \end{bmatrix} \\ &= (0.152 \ 0.384 \ 0.366 \ 0.098)\end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

历史性的综合评价：

$$\begin{aligned}\beta_{15} &= \gamma_5 \cdot \sigma_{11}^* = \gamma_5 \cdot [\sigma_{11} \ \sigma_{12} \ \sigma_{13} \ \sigma_{14} \ \sigma_{15}]^T \\ &= (0.26 \ 0.32 \ 0.12 \ 0.15 \ 0.15) \cdot \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0 & 0.335 & 0.415 & 0.25 \\ 0.17 & 0.415 & 0.335 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.17 & 0.83 \end{bmatrix} \\ &= (0.085 \ 0.266 \ 0.264 \ 0.385)\end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于较差、不合格。

效益性的综合评价：

$$\begin{aligned}\beta_{16} &= \gamma_6 \cdot \xi_{11}^* = \gamma_6 \cdot [\xi_{11} \ \xi_{12}]^T \\ &= (0.72 \ 0.28) \cdot \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.415 & 0.335 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.285 \ 0.476 \ 0.216 \ 0.023)\end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

稀缺性的综合评价：

$$\begin{aligned}\beta_{17} &= \gamma_7 \cdot \psi_{11}^* = \gamma_7 \cdot [\psi_{11} \ \psi_{12} \ \psi_{13}]^T \\ &= (0.26 \ 0.52 \ 0.22) \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.203 \ 0.393 \ 0.232 \ 0.172)\end{aligned}$$

结果主要介于良好和合格之间，偏重于良好。

② 延中绿地西水体

理化优劣性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{22} &= \gamma_2 \bullet \eta_2 = \gamma_2 \bullet [\eta_{21} \quad \eta_{22} \quad \eta_{23} \quad \eta_{24} \quad \eta_{25}]^T \\ &= (0.32 \quad 0.1 \quad 0.29 \quad 0.1 \quad 0.19) \bullet \begin{bmatrix} 0.335 & 0.42 & 0.165 & 0.08 \\ 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0.335 & 0.335 & 0.25 & 0.08 \\ 0.08 & 0.415 & 0.335 & 0.17 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.316 \quad 0.393 \quad 0.225 \quad 0.066) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

水体位态性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{23} &= \gamma_3 \bullet \mu_{22}^* = \gamma_3 \bullet [\mu_{21} \quad \mu_{22}]^T \\ &= (0.58 \quad 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.59 & 0.08 \\ 0.335 & 0.25 & 0.415 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.187 \quad 0.25 \quad 0.512 \quad 0.046) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于合格。

观赏性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{24} &= \gamma_4 \bullet v_{22}^* = \gamma_4 \bullet [v_{21} \quad v_{22}]^T \\ &= (0.61 \quad 0.39) \bullet \begin{bmatrix} 0.25 & 0.5 & 0.17 & 0.08 \\ 0.08 & 0.42 & 0.42 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.184 \quad 0.469 \quad 0.267 \quad 0.08) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

历史性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{25} &= \gamma_5 \bullet \sigma_{22}^* = \gamma_5 \bullet [\sigma_{21} \quad \sigma_{22} \quad \sigma_{23} \quad \sigma_{24} \quad \sigma_{25}]^T \\ &= (0.26 \quad 0.32 \quad 0.12 \quad 0.15 \quad 0.15) \bullet \begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.335 & 0.415 \\ 0.25 & 0.335 & 0.415 & 0 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= (0.12 \quad 0.222 \quad 0.24 \quad 0.418) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于较差。

效益性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{26} &= \gamma_6 \bullet \xi_{22}^* = \gamma_6 \bullet [\xi_{21} \quad \xi_{22}]^T \\ &= (0.72 \quad 0.28) \bullet \begin{bmatrix} 0.165 & 0.42 & 0.25 & 0.165 \\ 0 & 0.33 & 0.5 & 0.17 \end{bmatrix} \\ &= (0.119 \quad 0.395 \quad 0.32 \quad 0.166) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于良好。

稀缺性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{27} &= \gamma_7 \bullet \psi_{22}^* = \gamma_7 \bullet [\psi_{21} \quad \psi_{22} \quad \psi_{23}]^T \\ &= (0.26 \quad 0.52 \quad 0.22) \bullet \begin{bmatrix} 0.17 & 0.335 & 0.415 & 0.08 \\ 0.25 & 0.415 & 0.335 & 0 \\ 0.25 & 0.5 & 0.25 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.229 \quad 0.413 \quad 0.337 \quad 0.021) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

③ 延中绿地东水体

理化优劣性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{32} &= \gamma_2 \bullet \eta_3 = \gamma_2 \bullet [\eta_{31} \quad \eta_{32} \quad \eta_{33} \quad \eta_{34} \quad \eta_{35}]^T \\ &= (0.32 \quad 0.1 \quad 0.29 \quad 0.1 \quad 0.19) \bullet \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.165 & 0.165 \\ 0 & 0.17 & 0.415 & 0.415 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0.08 & 0.335 & 0.335 & 0.25 \\ 0.25 & 0.5 & 0.17 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.233 \quad 0.4 \quad 0.209 \quad 0.158) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

水体位态性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{33} &= \gamma_3 \bullet \mu_{33}^* = \gamma_3 \bullet [\mu_{31} \quad \mu_{32}]^T \\ &= (0.58 \quad 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.335 & 0.415 & 0.25 & 0 \\ 0.25 & 0.33 & 0.25 & 0.17 \end{bmatrix} \\ &= (0.299 \quad 0.379 \quad 0.25 \quad 0.072) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

观赏性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{34} &= \gamma_4 \cdot v_{33}^* = \gamma_4 \cdot [v_{31} \ v_{32}]^T \\ &= (0.61 \ 0.39) \cdot \begin{bmatrix} 0.085 & 0.33 & 0.5 & 0.085 \\ 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.214 \ 0.363 \ 0.371 \ 0.052) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于合格。

历史性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{35} &= \gamma_5 \cdot \sigma_{33}^* = \gamma_5 \cdot [\sigma_{31} \ \sigma_{32} \ \sigma_{33} \ \sigma_{34} \ \sigma_{35}]^T \\ &= (0.26, \ 0.32, \ 0.12, \ 0.15, \ 0.15) \cdot \begin{bmatrix} 0.08 & 0.25 & 0.25 & 0.42 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0.335 & 0.415 & 0.17 & 0.08 \\ 0 & 0 & 0.17 & 0.83 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ &= (0.168 \ 0.248 \ 0.165 \ 0.419) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于较差。

效益性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{36} &= \gamma_6 \cdot \xi_{33}^* = \gamma_6 \cdot [\xi_{31} \ \xi_{32}]^T \\ &= (0.72 \ 0.28) \cdot \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 & 0.085 & 0.085 \\ 0 & 0.25 & 0.335 & 0.415 \end{bmatrix} \\ &= (0.238 \ 0.43 \ 0.155 \ 0.177) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和良好之间，偏重于良好。

稀缺性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{37} &= \gamma_7 \cdot \psi_{33}^* = \gamma_7 \cdot [\psi_{31} \ \psi_{32} \ \psi_{33}]^T \\ &= (0.26 \ 0.52 \ 0.22) \cdot \begin{bmatrix} 0.165 & 0.165 & 0.42 & 0.25 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.245 \ 0.283 \ 0.277 \ 0.195) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

④ 豫园水体

理化优劣性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{42} &= \gamma_2 \bullet \eta_4 = \gamma_2 \bullet [\eta_{41} \quad \eta_{42} \quad \eta_{43} \quad \eta_{44} \quad \eta_{45}]^T \\ &= (0.32 \quad 0.1 \quad 0.29 \quad 0.1 \quad 0.19) \bullet \begin{bmatrix} 0.165 & 0.25 & 0.42 & 0.165 \\ 0 & 0.17 & 0.415 & 0.415 \\ 0 & 0.08 & 0.17 & 0.75 \\ 0 & 0.08 & 0.335 & 0.585 \\ 0.25 & 0.25 & 0.33 & 0.17 \end{bmatrix} \\ &= (0.1 \quad 0.176 \quad 0.321 \quad 0.403) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于较差。

水体位态性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{43} &= \gamma_3 \bullet \mu_{44} = \gamma_3 \bullet [\mu_{41} \quad \mu_{42}]^T \\ &= (0.58 \quad 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.415 & 0.335 & 0.25 & 0 \\ 0.33 & 0.5 & 0.17 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.379 \quad 0.404 \quad 0.217 \quad 0) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

观赏性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{44} &= \gamma_4 \bullet v_{44} = \gamma_4 \bullet [v_{41} \quad v_{42}]^T \\ &= (0.61 \quad 0.39) \bullet \begin{bmatrix} 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.17 & 0.33 & 0.25 & 0.25 \end{bmatrix} \\ &= (0.319 \quad 0.382 \quad 0.201 \quad 0.098) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

历史性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{45} &= \gamma_5 \bullet \sigma_{44} = \gamma_5 \bullet [\sigma_{41} \quad \sigma_{42} \quad \sigma_{43} \quad \sigma_{44} \quad \sigma_{45}]^T \\ &= (0.26 \quad 0.32 \quad 0.12 \quad 0.15 \quad 0.15) \bullet \begin{bmatrix} 0.42 & 0.42 & 0.08 & 0.08 \\ 0.335 & 0.335 & 0.25 & 0.08 \\ 0.665 & 0.335 & 0 & 0 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 \\ 0.67 & 0.25 & 0.08 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.509 \quad 0.332 \quad 0.113 \quad 0.046) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于优秀。

效益性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{46} &= \gamma_6 \bullet \xi_{44}^* = \gamma_6 \bullet [\xi_{41} \quad \xi_{42}]^T \\ &= (0.72 \quad 0.28) \bullet \begin{bmatrix} 0.25 & 0.42 & 0.25 & 0.08 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.32 \quad 0.443 \quad 0.18 \quad 0.057) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

稀缺性的综合评价：

$$\begin{aligned} \beta_{47} &= \gamma_7 \bullet \psi_{44}^* = \gamma_7 \bullet [\psi_{41} \quad \psi_{42} \quad \psi_{43}]^T \\ &= (0.26 \quad 0.52 \quad 0.22) \bullet \begin{bmatrix} 0.415 & 0.415 & 0.17 & 0 \\ 0.42 & 0.5 & 0.08 & 0 \\ 0.585 & 0.415 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.455 \quad 0.459 \quad 0.086 \quad 0) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和良好之间，偏重于良好。

4.2 二级层次综合评价的计算

4.2.1 新虹桥中心花园水体

(1) 生态状况综合评价

由污染状况和富营养状况的权重数构成了一个模糊向量：

$X^* = (0.58 \quad 0.42)$ ，则得到生态状况的综合评价结果为：

$$\begin{aligned} Y_1^* &= X^* \bullet \begin{bmatrix} Y_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = (0.58 \quad 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0.035 & 0.175 & 0.55 & 0.24 \end{bmatrix} \\ &= (0.3 \quad 0.37 \quad 0.23 \quad 0.1) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(2) 景观效应综合状况评价

由景观搭配性、理化优劣性和水体位态性的权重数构成的模糊向

量： $\alpha^* = (0.6 \quad 0.2 \quad 0.2)$ ，则得到综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \beta_1^* &= \alpha^* \bullet \begin{bmatrix} \beta_{11} \\ \beta_{12} \\ \beta_{13} \end{bmatrix} \\ &= (0.6 \quad 0.2 \quad 0.2) \bullet \begin{bmatrix} 0.248 & 0.381 & 0.288 & 0.083 \\ 0.159 & 0.323 & 0.475 & 0.043 \\ 0.132 & 0.404 & 0.384 & 0.08 \end{bmatrix} \\ &= (0.207 \quad 0.374 \quad 0.345 \quad 0.074) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(3) 社会状况综合评价

由观赏性和历史性的权重数构成的模糊向量： $M^* = (0.8 \ 0.2)$ ，

则得到的综合评价结果为：

$$\begin{aligned} N_1^* &= M^* \bullet \begin{bmatrix} \beta_{14} \\ \beta_{15} \end{bmatrix} \\ &= (0.8 \ 0.2) \bullet \begin{bmatrix} 0.152 & 0.384 & 0.366 & 0.098 \\ 0.085 & 0.266 & 0.264 & 0.385 \end{bmatrix} \\ &= (0.139 \ 0.36 \ 0.346 \ 0.155) \end{aligned}$$

结果主要介于良好和较差之间，偏重于良好。

(4) 经济状况综合评价

由效益性和稀缺性的权重数构成的模糊向量： $\Omega^* = (0.8 \ 0.2)$ ，

则得到的综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \Phi_1^* &= \Omega^* \bullet \begin{bmatrix} \beta_{16} \\ \beta_{17} \end{bmatrix} \\ &= (0.75 \ 0.25) \bullet \begin{bmatrix} 0.285 & 0.476 & 0.216 & 0.023 \\ 0.203 & 0.393 & 0.232 & 0.172 \end{bmatrix} \\ &= (0.265 \ 0.455 \ 0.22 \ 0.06) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

4.2.2 延中绿地西水体

(1) 生态状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} Y_2^* &= X^* \bullet \begin{bmatrix} Y_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = (0.58 \ 0.42) \bullet \begin{bmatrix} 0.38 & 0.62 & 0 & 0 \\ 0.06 & 0.51 & 0.43 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.25 \ 0.57 \ 0.18 \ 0) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(2) 景观效应综合状况评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \beta_2^* &= \alpha^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{21} \\ \beta_{22} \\ \beta_{23} \end{bmatrix} \\ &= (0.6 \quad 0.2 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.09 & 0.314 & 0.426 & 0.17 \\ 0.316 & 0.393 & 0.225 & 0.066 \\ 0.187 & 0.25 & 0.512 & 0.046 \end{bmatrix} \\ &= (0.155 \quad 0.317 \quad 0.403 \quad 0.125) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于合格。

(3) 社会状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} N_2^* &= M^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{24} \\ \beta_{25} \end{bmatrix} \\ &= (0.8 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.184 & 0.469 & 0.267 & 0.08 \\ 0.12 & 0.222 & 0.24 & 0.418 \end{bmatrix} \\ &= (0.171 \quad 0.42 \quad 0.262 \quad 0.147) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(4) 经济状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \Phi_2^* &= \Omega^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{26} \\ \beta_{27} \end{bmatrix} \\ &= (0.75 \quad 0.25) \cdot \begin{bmatrix} 0.119 & 0.395 & 0.32 & 0.166 \\ 0.229 & 0.413 & 0.337 & 0.021 \end{bmatrix} \\ &= (0.146 \quad 0.4 \quad 0.324 \quad 0.13) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

4.2.3 延中绿地东水体

(1) 生态状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} Y_3^* &= X^* \cdot \begin{bmatrix} Y_3 \\ B_3 \end{bmatrix} = (0.58 \quad 0.42) \cdot \begin{bmatrix} 0.44 & 0.56 & 0 & 0 \\ 0 & 0.27 & 0.49 & 0.24 \end{bmatrix} \\ &= (0.26 \quad 0.44 \quad 0.2 \quad 0.1) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(2) 景观效应综合状况评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \beta_3^* &= \alpha^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{31} \\ \beta_{32} \\ \beta_{33} \end{bmatrix} \\ &= (0.6 \quad 0.2 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.202 & 0.372 & 0.31 & 0.116 \\ 0.233 & 0.4 & 0.209 & 0.158 \\ 0.299 & 0.379 & 0.25 & 0.072 \end{bmatrix} \\ &= (0.228 \quad 0.379 \quad 0.278 \quad 0.115) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(3) 社会状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} N_3^* &= M^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{34} \\ \beta_{35} \end{bmatrix} \\ &= (0.8 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.214 & 0.363 & 0.371 & 0.052 \\ 0.168 & 0.248 & 0.165 & 0.419 \end{bmatrix} \\ &= (0.205 \quad 0.34 \quad 0.33 \quad 0.125) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(4) 经济状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \Phi_3^* &= \Omega^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{36} \\ \beta_{37} \end{bmatrix} \\ &= (0.75 \quad 0.25) \cdot \begin{bmatrix} 0.238 & 0.43 & 0.155 & 0.177 \\ 0.245 & 0.283 & 0.277 & 0.195 \end{bmatrix} \\ &= (0.24 \quad 0.393 \quad 0.185 \quad 0.182) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和良好之间，偏重于良好。

4.2.4 豫园水体

(1) 生态状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} Y_4^* &= X^* \cdot \begin{bmatrix} Y_4 \\ B_4 \end{bmatrix} = (0.58 \quad 0.42) \cdot \begin{bmatrix} 0.15 & 0.09 & 0.35 & 0.41 \\ 0 & 0.18 & 0.23 & 0.59 \end{bmatrix} \\ &= (0.09 \quad 0.13 \quad 0.3 \quad 0.48) \end{aligned}$$

结果主要介于合格和较差之间，偏重于较差。

(2) 景观效应综合状况评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \beta_4^* &= \alpha^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{41} \\ \beta_{42} \\ \beta_{43} \end{bmatrix} \\ &= (0.6 \quad 0.2 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.211 & 0.378 & 0.257 & 0.154 \\ 0.1 & 0.176 & 0.321 & 0.403 \\ 0.379 & 0.404 & 0.217 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.222 \quad 0.343 \quad 0.262 \quad 0.173) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

(3) 社会状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} N_4^* &= M^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{44} \\ \beta_{45} \end{bmatrix} \\ &= (0.8 \quad 0.2) \cdot \begin{bmatrix} 0.319 & 0.382 & 0.201 & 0.098 \\ 0.509 & 0.332 & 0.113 & 0.046 \end{bmatrix} \\ &= (0.357 \quad 0.372 \quad 0.113 \quad 0.046) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和良好之间，偏重于良好。

(4) 经济状况综合评价

综合评价结果为：

$$\begin{aligned} \Phi_4^* &= \Omega^* \cdot \begin{bmatrix} \beta_{46} \\ \beta_{47} \end{bmatrix} \\ &= (0.75 \quad 0.25) \cdot \begin{bmatrix} 0.32 & 0.443 & 0.18 & 0.057 \\ 0.455 & 0.459 & 0.086 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.354 \quad 0.447 \quad 0.156 \quad 0.043) \end{aligned}$$

结果主要介于优秀和合格之间，偏重于良好。

4.3 三级层次综合评价的计算

4.3.1 新虹桥中心花园水体

由生态状况、景观效应状况、社会状况和经济状况权重数构成该水体

的综合评价的模糊向量： $X'' = (0.4 \quad 0.3 \quad 0.15 \quad 0.15)$ ，

则三级综合评价的结果为：

$$\begin{aligned}
 Y_{11}^{**} &= X^{**} \bullet \begin{bmatrix} Y_1^* \\ \beta_1^* \\ N_1^* \\ \Phi_1^* \end{bmatrix} \\
 &= (0.4 \quad 0.3 \quad 0.15 \quad 0.15) \bullet \begin{bmatrix} 0.3 & 0.37 & 0.23 & 0.1 \\ 0.207 & 0.374 & 0.345 & 0.074 \\ 0.139 & 0.36 & 0.346 & 0.155 \\ 0.265 & 0.455 & 0.22 & 0.06 \end{bmatrix} \\
 &= (0.243 \quad 0.383 \quad 0.28 \quad 0.094)
 \end{aligned}$$

4.3.2 延中绿地西水体

三级综合评价的结果为:

$$\begin{aligned}
 Y_{22}^{**} &= X^{**} \bullet \begin{bmatrix} Y_2^* \\ \beta_2^* \\ N_2^* \\ \Phi_2^* \end{bmatrix} \\
 &= (0.4 \quad 0.3 \quad 0.15 \quad 0.15) \bullet \begin{bmatrix} 0.25 & 0.57 & 0.18 & 0 \\ 0.155 & 0.317 & 0.403 & 0.125 \\ 0.171 & 0.42 & 0.262 & 0.147 \\ 0.146 & 0.4 & 0.324 & 0.13 \end{bmatrix} \\
 &= (0.194 \quad 0.446 \quad 0.281 \quad 0.079)
 \end{aligned}$$

4.3.3 延中绿地东水体

三级综合评价的结果为:

$$\begin{aligned}
 Y_{33}^{**} &= X^{**} \bullet \begin{bmatrix} Y_3^* \\ \beta_3^* \\ N_3^* \\ \Phi_3^* \end{bmatrix} \\
 &= (0.4 \quad 0.3 \quad 0.15 \quad 0.15) \bullet \begin{bmatrix} 0.26 & 0.44 & 0.2 & 0.1 \\ 0.228 & 0.379 & 0.278 & 0.115 \\ 0.205 & 0.34 & 0.33 & 0.125 \\ 0.24 & 0.393 & 0.185 & 0.182 \end{bmatrix} \\
 &= (0.239 \quad 0.4 \quad 0.231 \quad 0.12)
 \end{aligned}$$

4.3.4 豫园水体

三级综合评价的结果为:

$$\begin{aligned}
 Y_{44}^{**} &= X^{**} \cdot \begin{bmatrix} Y_4^* \\ \beta_4^* \\ N_4^* \\ \Phi_4^* \end{bmatrix} \\
 &= (0.4 \quad 0.3 \quad 0.15 \quad 0.15) \cdot \begin{bmatrix} 0.09 & 0.13 & 0.3 & 0.48 \\ 0.222 & 0.343 & 0.262 & 0.173 \\ 0.357 & 0.372 & 0.183 & 0.088 \\ 0.354 & 0.447 & 0.156 & 0.043 \end{bmatrix} \\
 &= (0.209 \quad 0.278 \quad 0.249 \quad 0.264)
 \end{aligned}$$

4.4 等级参数评价

上述评价结果 Y_{11}^{**} 、 Y_{22}^{**} 、 Y_{33}^{**} 和 Y_{44}^{**} 是一个等级模糊子集。为了充分利用它们所反映的信息，这里不采用按“最大隶属度原则”取最大值所对应的等级作为评价结果，而是设抉择评语集中各等级的参数列向量为：

$P = [p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4]$ 。这里，按照专家意见给出水质综合评价的等级评分：

表 4-16 等级评分

级别	优秀	良好	合格	较差
分值/分	95~100	85~80	70~60	0~60

所以等级列向量转化为： $P = [p_1 \quad p_2 \quad p_3 \quad p_4] = [95 \quad 80 \quad 60 \quad 0]$ 。

这样，就可以求出各个水体的综合评价的最后得分：

新虹桥中心花园水体：

$$W_1 = Y_{11}^{**} \cdot P^T = (0.243 \quad 0.383 \quad 0.28 \quad 0.094) \cdot [95 \quad 80 \quad 60 \quad 0]^T = 70.5$$

延中绿地西水体：

$$W_1 = Y_{jj}^{**} \cdot P^T = (0.194 \quad 0.446 \quad 0.281 \quad 0.079) \cdot [95 \quad 80 \quad 60 \quad 0]^T = 71$$

延中绿地东水体：

$$W_1 = Y_{11}^{**} \cdot P^T = (0.239 \quad 0.4 \quad 0.231 \quad 0.12) \cdot [95 \quad 80 \quad 60 \quad 0]^T = 68.6$$

豫园水体：

$$W_1 = Y_{11}^{**} \cdot P^T = (0.209 \quad 0.278 \quad 0.249 \quad 0.264) \cdot [95 \quad 80 \quad 60 \quad 0]^T = 57$$

4.5 综合评价结果

(1) 总体情况

四个水体有三个合格，一个较差，合格率为 75%，应该说总体情况还可以。虽然豫园的生态状况较差，但是其景观效应状况、社会状况和经济状况较好。

表 4-17 综合评价结果

评价结果								
水体 编号	生态状况				景观效应状况			
	等级隶属度 (%)							
	优秀	良好	合格	较差	优秀	良好	合格	较差
1	30	37	23	10	20.7	37.4	34.5	7.4
2	25	57	18	0	15.5	31.7	40.3	12.5
3	26	44	20	10	22.8	37.9	27.8	11.5
4	9	13	30	48	22.2	34.3	26.2	17.3
水体 编号	社会状况				经济状况			
	等级隶属度 (%)							
	优秀	良好	合格	较差	优秀	良好	合格	较差
1	13.9	36	34.6	15.5	26.5	45.5	22	6
2	17.1	42	26.2	14.7	14.6	40	32.4	13
3	20.5	34	33	12.5	24	39.3	18.5	18.2
4	35.7	37.2	11.3	4.6	35.4	44.7	15.6	4.3

说明：1 代表新虹桥中心花园水体，2 代表延中绿地西水体，
3 代表延中绿地东水体， 4 代表豫园水体。

(2) 生态状况

新虹桥中心花园：水质介于 1 级和 2 级之间，营养等级是富营养化；

延中绿地西：水质属于 2 级，在营养等级上介于中富营养和富营养之间；

延中绿地东：水质属于 2 级，在营养等级上属于富营养状况；

豫园：水质属于 4 级，质量比较差，在营养等级上属于重富营养化，是营养等级比较高的。

(3) 公众对城市景观水系类型的偏好

通过调查统计的结果，可以看出公众对城市水系各项要素类型的偏好情况：城市景观水体越是采用接近自然类型的岸或边砌筑方式、越是能够受到公众欢迎；而且公众普遍要求水体水位较低，以便让人们可以方便地亲近水面，前大量城市水系改造工程，包括一些对防洪要求不高的河流改造工程往往都修起高高的河岸，拒公众于河流之外，同时把重点放在了修饰河岸及其滨河园林景观上，这类做法把城市水系变成了观赏对象，而无法建立人与水之间自然和谐的共存关系，从而导致了公众评价不高，可谓是舍本逐末；合理解释了景观水体样本 Z_6 和 Z_8 隶属度较高的原因。总体上说，公众希望城市景观水体是引入城市的自然景观，而不希望它处处显现出人工砌筑的痕迹，让人们有种回归大自然的感觉。



图 3-3 Z_6 样本



图 3-4 Z_8 样本

4.6 采用模糊数学方法评价的意义

通过模糊数学的方法，简化了景观评价的过程而为公众所接受，并且可以将公众含糊的评价转化为具体的设计要求，以直接指导规划设计工作。与其他景观评价方法不同，通过模糊数学的方法可以明确影响景观水体：水质质量、景观效应状况、经济状况和社会状况的各因子的权重矩阵，得出综合的评价数据，而以往的其他方法则难以从公众评价中获得此类信息。这一权重矩阵和最终的评价数据把水质的生态状况、景观效应状况、经济状况和社会状况有机的结合起来，可以使景观水体规划者在资金、地形等条件限制下，选择对景观水体质量意义较大的因素进行改进，因此具有重要的实际意义。并且在已知特定区域内公众景观评价的因子矩阵和权重矩阵的情况下，可以直接求得不同规划方案的“美景度”，从而方便了规划设计方案的筛选，使决策过程能在公众参与的前提下更加科学。

第五章 城市景观污染水体处理技术概述

改善受污染城市景观水体水质有多方面的途径,例如源头减量、源头治理、提高人们的水消费观念、将污水收集后在城市污水厂进行处理等。但是,对于城市内已污染的河段、沟渠、湖塘等就有必要采取一定的措施对其进行一定的处理,加速改善其水质,使受污染景观水体加速还清。例如上海苏州河治理工程和成都府南河治理工程。

城市受污染景观水体水质与城市污水和给水水源水相比,属于微污染水体或轻度污染水体。在污水处理技术日益发展的今天,处理此类受污染水体的工艺很多。包括物理法、物化法、生化法、生物法和生态法等,其中尤以生物处理技术和生态处理技术为主。生物处理技术主要以生物膜法为主,依赖人工强化对污水进行处理,主要的处理工艺有生物滤池、生物接触氧化、生物流化床、生物转盘等;生态处理技术主要依赖水、土壤、砂石、细菌、高等植物和阳光等组成的“自然处理系统”对污水进行处理,而削弱了人为的强化措施,其主要的工艺类型有土地慢速或快速渗滤系统、人工湿地处理系统、稳定塘处理系统以及近年来发展起来的“活机器”污水处理系统等。

5.1 物理法^[53]

(1) 引水换水方式

当水体中的悬浮物(如泥、沙)增多,水体的透明度下降,水质发浑时,可以通过引水、换水的方式,稀释水中的杂质,以此来降低杂质的浓度。

(2) 循环过滤的方式

在水景设计的初期,根据水体的大小,设计配套的过滤沙缸和循环用水泵,并且埋设循环用的管路,用于以后日常的水质保养。如果水体面积较大,必定延长循环过滤的周期,使水质不能达到预期效果。

5.2 物化法^[54]

(1) 混凝沉淀法

混凝沉淀法的处理对象是水中的悬浮物和胶体杂质，沉淀或澄清构筑物的类型很多，可除藻率却不相同。例如用静沉池处理泰晤士河水时，平均除藻率为 59%，可是用它处理衣阿华河水时除藻率为 37% (硫酸铝混凝) — 97% (石灰软化)；应用澄清池处理波兰河水时，平均除藻率为 85%—86% (无预氯化) 和 95%—97% (预氯化)，并且浮游生物量也分别相应下降了 93%—96% 和 99%。

混凝沉淀法具有投资少、操作和维修方便、效果好等特点，可用于含大量悬浮物、藻类水的处理，对受污染的水体可取得较好的净化效果。

(2) 加药气浮法

按照微细气泡产生的方式，可将气浮净水工艺分为分散空气气浮法、电解凝聚气浮法、生物及化学气浮法和溶气气浮法(真空式气浮法和压力溶气气浮法)。目前，应用较多的是部分回流式压力溶气气浮法，其处理效果显著而且稳定，并能大大降低能耗。

5.3 生化处理法

若景观水体的初期注入水和后期补充水中的有机物含量较高，则可用生化处理工艺去除此类污染物。目前，被广泛采用的工艺是生物接触氧化法，它具有处理效率高、水力停留时间短、占地面积小、容积负荷大、耐冲击负荷、不产生污泥膨胀、污泥产率低、无需污泥回流、管理方便、运行稳定等特点。

5.4 生物处理技术

(1) 生物滤池^[55]

生物滤池按微生物所处的状态可分为好氧生物滤池(曝气)和厌氧生物滤池(不曝气)，按水力负荷又可分为慢滤池和高负荷生物滤池。滤池中装有比表面积比较大的填料，通过固定生长技术在填料表面形成生物膜。水体在与生物膜不断接触的过程中使有机物及氮磷等营养物质被生物膜吸收利用而去除。这种滤池在处理轻度污染的原水时通常需补充一定量的压缩空气。这不仅为微生物生长提供足够的溶解氧，而且有助于新老生物膜

的更新换代，保证生物膜的处理活性。这种工艺的特点是运行费用较低，处理效果稳定，污染物去除率高，污泥产量少，且受外界环境变化影响较小，处理出水在有机物、臭味、氨氮、悬浮物、细菌、浊度等方面均有不同程度的降低。下表为国内外资料中所报道的生物滤池处理微污染原水过程对有机物的去除效果。

表 5—1 去除效果比较

工艺	填料	试验地	进水有机物浓度	有机物去除率
曝气生物滤池（小试）	碎石	韩国	3.2—59mgBOD ₅ /L 14—20mgCOD _{Mn} /L	35%—60% 27%—30%
曝气生物滤池（生产性）	卵石+活性炭	法国 Annet Sur Mame	3.2mgTOC/L	38%
生物滤池（生产性）	砂+无烟煤	荷兰	23—300 μ AOC/L	3%—84%
生物慢滤池（生产性）	砂	荷兰	/	（出水浓度） 3.1mgTOC/L
臭氧—生物慢滤池（生产性）	砂	Bremen	/	（出水浓度） 0.9mgTOC/L
生物慢滤池（生产性）	砂石	法国	（AOC）	<40%
曝气生物滤池（小试）	砂石	武汉	COD _{Mn} 3.7— 5.9mg/L	10.4%— 25.7%
曝气生物滤池（小试）	海砺子壳	上海	（COD _{Mn} ）	7.1%— 9.8%
曝气生物滤池（小试）	陶粒	北京	COD _{Cr} 20—30mg/L	43.1%

从表中可以看出，各种生物过滤系统对有机物（TOC）的去除率为 7.1%—43.1%，对各种可降解有机物（BOD₅、AOC）的去除率为 3%—84%，由于

所采用的生物载体与进水水质各不相同，不同的处理系统有差异较大的处理效果。

(2) 生物转盘反应器 (RBC)

生物转盘在污水处理中已被广泛采用，目前在给水处理中尤其是水源水污染较为严重的水处理中逐渐被研究者采用。由于生物转盘上的生物膜能够周期性的运动于空气和水两者之间，微生物能直接从大气中吸收需要的氧气，使生化过程更有利的进行。转盘上生物膜生长的表面积大，生物量丰富，不会出现生物滤池中滤料堵塞的问题，容易清理与维修管理，而且生物转盘有较好的耐冲击负荷的能力，运转费用较低，脱落生物膜也易于处理，但存在的不足之处是生物需要的接触时间较长，构筑物占地面积较大，且塑料盘片的价格较贵。台湾曹飞等人用生物转盘来改善受污染水质，研究结果表明在适宜的水力负荷下，对 BOD₅、COD_{Cr}、氨氮和浊度的去除率分别为 68.5%、80.6%、89% 和 61.7%。水力负荷增加，则去除率下降。

(3) 生物接触氧化^[56]

生物接触氧化法也叫淹没式生物膜法，即是在池内设置填料，经过充氧的水以一定的流速流经填料，使填料上长满生物膜。水体与生物膜接触过程中，通过生物净化的作用使水中污染物得以去除。这种工艺是介于活性污泥法与生物膜法之间的处理方法，兼有这两种处理方法的很多优点。接触氧化法的生物膜上生物相当丰富，除细菌外，球衣菌等丝状菌也能得以大量生长，而无污泥膨胀之虞。并且接触氧化法的生物膜上还繁殖着多种属的原生动物与后生动物，能够形成稳定的小型生态系统与食物链。生物接触氧化的主要优点是处理能力大，对冲击负荷有较强的适应性，污泥生成量少，能保证出水水质，易于维护管理。但生物接触氧化法的缺点是在填料间水流缓慢，水力冲刷少，生物膜只能自行脱落，更新速度缓慢易引起堵塞，而且布水布气不易达到均匀，另外填料较贵，投资费用高。生物接触氧化法作为微污染水的处理工艺在日本研究和应用较为普及，对不同水质条件下生物接触氧化法的处理效果及载体表面积、混和条件、水温及有机负荷、反冲洗对反应器工作性能的影响作了深入的研究，对实践中如何解决填料堵塞问题作了

较为细致的探讨。

(4) 生物流化床反应器

生物流化床反应器是以砂、活性炭、焦炭一类的较小颗粒为载体填充床内，载体表面被覆盖着生物膜，其变质轻，污水以一定的流速从下往上流动，使载体处于流化状态。由于载体颗粒小，表面积大，其生物量高于任何一种生物处理工艺。而且由于载体处于流化状态，污水广泛地与生物膜接触，并且载体颗粒互相碰撞摩擦，生物膜活性高，又防止了填料地堵塞。近年来生物流化床应用于给水中微污染原水的预处理取得了一定成果，下表为国内外利用生物流化状态需消耗的动力费用很高，且维护管理较为复杂，而且在运行中还易出现流化介质的跑料现象。

表 5-2 试验结果比较

试验规模	试验地点	进水污染物浓度	去除率%
中试	Medemenham (英国)	TOC3.7mg/L	5.4
中试	Medemenham (英国)	BOD ₅ 2.8mg/L	29
中试	Cowick (英国)	TOC10mg/L	10
		BOD ₅ 5—10mg/L	27—48
中试	(中国)	COD _{Cr} 20—40mg/L	24—31
		TOC 20—30mg/L	10—28
中试	Medemenham (英国)	氨氮 2.0—2.5mg/L	≈100
生产性	Tewksbury (英国)	氨氮 0.83mg/L	100
中试	Mulheim (德国)	氨氮 1.0—2.0mg/L	80
中试	(中国)	TKN 2—4mg/L	19—80

5.5 生态处理技术^[57]

(1) 土地处理系统

利用土地来处理污水已经有 100 多年的历史了，其主要使用的方法有三种：慢速渗滤、快速渗滤和地表径流。这三种方法中，污水通常都需要经过预处理，去除悬浮物后才能适用于土地。土地处理系统在美国应用最为普遍。

慢速渗滤系统即是将污水间歇性的喷洒到种有植物的地表，使污水得

到曝气，并且土壤在两次喷洒的间歇有时间复氧。然后污水中的污染物质在土壤微生物的作用下被吸附和分解。另外，植物还能去除污水中的氮、磷等营养物质，滤出剩余固体，并使土壤保持透水性。由于需要大量的土地来喷洒和处理废水，所以慢速渗滤系统通常是土地处理法中代价最昂贵的。快速渗滤系统是将废水间歇地施用于浅渗滤槽或渗滤池，废水在那里再渗进周围的土壤。悬浮固体在通过土壤基质时被过滤去除，有机物在土壤微生物的作用下被好氧或厌氧分解，氮则通过硝化、反硝化作用去除。由于所需土地面积小，所以建设费用相对较低，但需要定期刮除滤槽表面。表面径流系统适合用于土壤透水性较差的地区。通常时用高压喷水设备，将预处理过的废水间歇施用于仔细分段、长有植物的坡地顶部。废水不渗进土壤而直接流过坡地表面以及稠密的植被，净化后的废水被收集到坡底沟内。一般来说，慢速渗滤系统的处理效果最佳，快速渗滤和表面径流系统去除氮的能力较差，但它们在去除水中有机污染物方面效果都较好。但土地处理系统最大的问题在于水力超负荷问题，这意味着该系统无法有效运行，从而导致地下水和地表水的污染。

(2) 稳定塘处理系统

稳定塘又称氧化塘，根据运行特点可分为沉降塘、曝气塘、非曝气塘和控制出水塘等几类，它是最早、应用最广泛的污水处理系统之一，尤其在美国。稳定塘通常是深度为 1.0—1.5m 的浅塘，并且经常是多个串联在一起。稳定塘中生长有大量细菌、绿藻、蓝藻、小型无脊椎动物，还常常有高等植物和鱼类。稳定塘通过各种需氧过程和厌氧过程来处理污水。稳定塘基本分为两层，顶层是需氧的，空气中的氧由水面扩散进水中，风的作用还可促进额外的曝气，在有阳光的情况下藻类也会通过光合作用产生氧，而稳定塘的底层则是厌氧的。在顶层，好氧菌将有机质分解成养分和二氧化碳，这些最终产物随后被藻类吸收，用于光合作用。悬浮固体沉于塘底，塘底的厌氧菌对它们进行硝化，大大缩小了悬浮固体的体积。因为厌氧层被好氧层所覆盖，所以来自厌氧层的臭味不会是个大问题。用于处理轻度污染原水（污水处理厂二级出水、地面径流等）的深度处理塘在国内外都有较多报道。深度处理塘一般多采用好氧形式，处理的污水水质 BOD_5

一般不大于 30mg/L, COD 一般不大于 120mg/L。通过深度塘的处理, BOD₅、COD 等指标进一步降低, BOD₅ 的去除率可在 30%—60%, 而 COD 的去除率仅在 10%—25%左右。氮、磷的去除主要依靠藻类的吸收, 而藻类又可通过藻类—动物性浮游生物—鱼类这一食物链得以去除。稳定塘的最大优点是费用便宜、建造容易、维护简单。但所占面积较大, 而且同所有的“自然处理系统”一样, 受季节变化的影响较为明显。

(3) 人工湿地处理系统^{[58][59][61]}

湿地处理系统是将污水投放到土壤经常处于水饱和状态、而且生长有芦苇、香蒲等耐水植物的沼泽地, 污水沿一定方向流动, 在流动过程中, 在植物和土壤的联合作用下, 污水得到净化的一种“自然处理系统”。湿地系统对污水净化的作用机理是多方面的, 其中有物理的沉降作用、植物根系的阻截作用、化学沉淀作用、土壤及植物表面的吸附与吸收作用、微生物的代谢作用等。此外, 植物根系的某些分泌物对细菌和病毒有灭活作用。人造湿地处理系统一般分为两种: 表流湿地和潜流湿地。另外, 潜流湿地又可分为平流湿地和垂直流湿地。表流湿地通常是衬有不透水材料的浅蓄水池, 它们充填有土壤或砂粒基质, 并种有挺水植物。处理水在基质表面流动, 通过稠密的植物而得到净化。平流湿地通常以砂粒作为填充介质, 上面种有挺水植物, 处理水在基质表面以下流动。它能有效地降低生化需氧量, 减少悬浮固体, 但由于相对缺氧, 所以平流系统还需改进氨的硝化问题。垂直流系统与平流系统相似, 只是废水是以间歇的方式施用于床体表面, 这样可促进基质的氧合过程, 形成一种充氧环境。而且交替的潮湿和干燥期还可提高填料基质的固磷作用。与平流湿地相比, 垂直流湿地能更多的去除生化需氧量, 并进行更大程度的氨硝化。总的来说, 不论是平流湿地还是垂直流湿地都比表流湿地更能适合于寒冷的气候条件, 并且不易产生臭味及蚊虫等问题。

与常规处理系统相比, 湿地系统有几个突出的优点。首先, 只要有现成的土地, 湿地的建造费用和运行费用都相当便宜。其次, 它们能有效处理废水——实际上, 在去除某些污染物(例如磷、病菌等)方面, 它们比常规系统更为有效。它们比常规系统更为灵活, 对负荷方面的变化不太敏

感，尤其能很好地应付冲击负荷。而且湿地还能形成野生动物生存环境和绿色空间。湿地处理系统地最大缺点是需要大量的土地，这在土地非常宝贵的城市是一大障碍。但近年来，随着人们对湿地系统价值（令人瞩目的净水能力以及其在自然生态系统至关重要的作用）认识的加深，湿地系统的应用越来越广泛，尤其是在北美和欧洲，一些政府部门还专门制定了利用湿地系统处理城市废水的政策。在英国英格兰和威尔士，地方水公司在人口不到 2000、需要三级处理的城市居住社区内建造湿地系统，约有 100 个社区污水处理厂现已采用人工湿地处理二级出水和社区内的暴雨溢流，取得了良好的效果。

(4) 联合处理系统

在自然处理系统中，目前越来越流行的是将多种不同的处理系统组合起来的联合处理系统。与所有处理过程同时出现在同一空间的单一单元系统相比，联合处理系统能使人们在更大程度上控制净化过程。虽然有数百种可能的的设计，但目前有两种特别流行：美国使用的沼泽—池塘—低草地多级系统，以及欧洲采用的“马克斯—普朗克学会流程”。

沼泽—池塘—低草地多级系统包括 5 个步骤：①处理水经初步筛滤后再曝气；②废水通过在砂质介质上种植了香蒲的表流湿地；③废水流经有水生植物和鱼类的池塘；④废水再流经种有草的低草地；⑤处理水最后流入氯化槽进行消毒后排放。该系统除了能去除大部分的有机污染物外，还能去除以氨形式出现的 77% 氮及 82% 总磷。“马克斯—普朗克学会流程”是法国研制开发的，它包括四个或五个串联的分段每个分段有几个平行设置的系统。前两个分段是表流湿地床，它们交替加载，接着是潜流床。该系统去除悬浮固体和 BOD_5 的效果很好，但不能有效的去除氮和磷。

(5) 活机器系统

活机器系统是加拿大海洋生物学家 John Todd 发明的，其处理原理基于这样一个前提：“象大自然那样净化水”，即利用太阳的能量以及由多种多样直接或间接从太阳获得能量的生物组成的生态系统。活机器系统将水产养殖与人工湿地结合起来，并将它们封闭在温室里，以创造一个高效的水处理过程。这样一来，就避免了其它自然处理系统的两个弊端：需要大

面积的土地与在寒冷的气候条件下处理效果欠佳。每个活机器系统都不一样，是专为各种情况设计的，但典型系统类似于下图所示的运作方式。

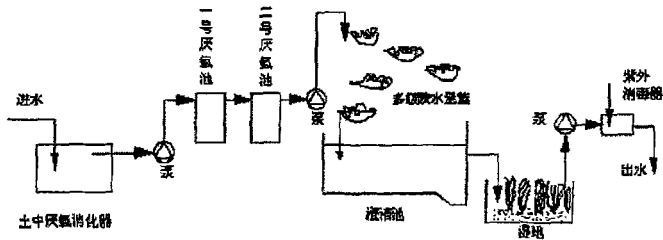


图 5-1 典型活机器系统流程图

流入废水先通过砂石灰氧过滤器，去掉大部分悬浮固体后进入厌氧处理池进一步消化，然后废水通过多级跌水悬篮。悬篮内是种有植物的砂砾，在这里去除大部分有机物并进行硝化反应。通过悬篮后的水进入一系列长满植物、藻、腹足类软体动物和鱼类的半透明池内，在这里有机物被进一步降解，藻类吸收由氨转化成的氮以及磷并放出氧，腹足类软体动物依靠藻类和悬浮有机颗粒为食，鱼类又以软体动物为食。下一段处理由人造湿地完成，进一步净化来自处理池的水并去除硝酸盐以及磷。最后，处理过的水用紫外辐射消毒后排放。

活机器系统适合于土地宝贵的山区，但与其它的自然处理系统相比其建造费用和运行费用都比较高，而且活机器系统的使用程度远不如湿地技术和土地渗滤技术那么广泛，而且试验也少的多。

第六章 结论与建议

6.1 主要结论:

通过对城市景观水体的生态状况、景观效应状况、社会状况和经济状况的评价可以看出,运用模糊数学进行城市景观水体的评价过程中,计算方法简便,并且容易进行计算机编程;模糊矩阵的复合运算不仅能给出水体质量的综合评价结果,而且矩阵本身既是一个包罗一切环境信息又很直观的资料数据储存库。它对于景观水体类型的分析,各水质参数对各种类型评价的分析,以及在为评价决策提供资料支持诸方面都极为方便。

研究得出的结论如下:

1. 总体评价情况

四个水体有三个合格,一个较差,合格率为75%,应该说总体情况还可以。虽然豫园的生态状况较差,但是其景观效应状况、社会状况和经济状况较好。

2. 生态状况评价结果:

新虹桥中心花园:水质介于1级和2级之间,营养等级是富营养化;

延中绿地西:水质属于2级,在营养等级上介于中富营养和富营养之间;

延中绿地东:水质属于2级,在营养等级上属于富营养状况;

豫园:水质属于4级,质量比较差,在营养等级上属于重富营养化,是营养等级比较高的。

3. 景观效应评价结果:四个水体都合格,其中有三个属于良好。

新虹桥中心花园:隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是

20.7%、37.4%、34.5%和7.4%,总体偏向于良好。

延中绿地西:隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是15.5%、

31.7%、40.3%和12.5%,总体偏向于合格。

延中绿地东:隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是22.8%、

37.9%、27.8%和11.5%,总体偏向于良好。

豫园：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 22.2%、34.34%、26.2%和 17.3%，总体偏向于良好。

4. 社会状况评价结果：四个水体都是良好。

新虹桥中心花园：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 13.9%、36%、34.6%和 15.5%，总体偏向于良好。

延中绿地西：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 17.1%、42%、26.2%和 14.7%，总体偏向于良好。

延中绿地东：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 20.5%、34%、33%和 12.5%，总体偏向于良好。

豫园：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 35.7%、37.2%、11.3%和 4.6%，总体偏向于良好。

5. 经济状况评价结果：四个水体都是良好，说明经营比较好。

新虹桥中心花园：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 26.5%、45.5%、22%和 6%，总体偏向于良好。

延中绿地西：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 14.6%、40%、32.4%和 13%，总体偏向于良好。

延中绿地东：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 24%、39.3%、18.5%和 18.2%，总体偏向于良好。

豫园：隶属于优秀、良好、合格和较差的百分比分别是 35.4%、44.7%、15.6%和 4.3%，总体偏向于良好。

6. 老的水景观比新的水景观水体质量要差，豫园在四个水体中是最差的。分析原因，首先是年代较长，面污染源日积月累，水体污染必然严重；其次是过去进入水体的污染源没有截清，造成底污染源的累积释放；再次是水边和水体中没有注意生态的平衡，水体的自净能力脆弱。

7. 富营养化比较严重的水体，测定水体中的叶绿素-a 的含量是评价水体富营养化最直接有效的方式；对于没有达到富营养化以上的水体，TN、TP 是评价水体富营养化的最重要的因子。同时，透明度虽然不能作为水体富营养化的指标，但是透明度不高也能说明水体质量不好；总磷、总氮、叶绿素 a 浓度已达到或者超过富营养化极限指标，其它水质指标也明显处于富营养化阶段。

8. 对于城市景观水体的模式，公众喜欢接近自然类型的岸或边砌筑方式，要求水体水位较低，以便可以方便地亲近水面；另外，公众明显喜欢水量和水深适中的城市水体，但对于水面宽度和视域宽广度则并不特别在意。
9. 通过模糊数学的方法，简化了景观评价的过程而为公众所接受，并且可以将公众含糊的评价转化为具体的设计要求，以直接指导城市景观水体的规划设计工作。

6.2 改进建议：

1. 由于时间和经济方面的局限，本试验所采取水样只能代表一个时间段，没有做到全年、多时段监测，所以所得数据和评价结果可能不能代表水体全年的平均水平。
2. 城市水景观综合评价是一个多因子评价过程，但是因子初步筛选过程中仍可能遗漏一些对景观水体评价产生较大影响的因素。
3. 在景观效应等评价时，权重的确定所选择被调查对象地代表性。本文调查的对象是东华大学环境学院的老师和在校学生，可能与普通公众有不小的差距，其评价结果不能完全代表整体公众的偏好。根据统计学原理，只有调查的对象足够广泛、调查的人数足够多才能使误差达到最小，这可能只有在计算机上进行模拟才能做的到。
4. 整治和完善老的水景观水系。当前，一是要进行疏浚，清除多年来沉积的底污染源，并尽可能将污泥在附近堆成地形；二是结合疏浚，利用底泥改造地形和改建硬质护岸为坡地草坪或人工湿地；三是创造生物多样性的生长环境；四是有条件的要进行水体的置换。
5. 把水景观的岸、边改建成自然、生态型的。目前大部分的水景观都是硬质护岸，推倒重来是不可能的，也没有这个必要。根据国外的经验，可以在硬质护岸的底脚上，堆起一面斜坡，种上品种多样的水生植物，也可以放上一些鹅卵石，创造一个水边生物多样性的生长环境。
6. 加强人造水景观水体的管理。水景观水体由于相对封闭，比较脆弱，容易受到大环境的影响，需要人们细致地呵护、关怀。要长期维持较好的水体，一要做好水面的保洁工作；二要加强水边和水中植物的管理；三要加强水中生物和水体质量的观察，及时防治生物的病虫害，掌握生物和水体变化的规律；四要巧妙地利用相关设施，在水质恶化的时候，及时采用物理、化学、生化

和置换水体等综合治理措施。

6.3 模糊数学评价法的发展展望

模糊数学评价法是对水景观的综合指标进行评价,采用此方法既能知道当前水体的生态状况,又能了解到公众对水体外观设计的满意程度和其社会状况、经济状况,同时反过来指导城市水景观的设计。

1 生态评价

目前,城市景观水体像雨后春笋一样激增,同时,由于公众的环保意识不够和水景观管理不当,景观水体的质量日益变差。所以,当务之急是要尽快掌握水体质量情况,而模糊数学评价法正好能对景观水体的综合指标进行评价,能全面的评估和预测当前水体的质量,包括污染情况和富营养化状况。

2 景观效应、社会和经济状况评价

水景观作为第四代住宅建筑的基本设计理念已经被建筑设计和开发商认可,并深受公众的青睐。尤其是在邻近河道的房地产开发时,将河水作为水景观水源经过处理后作为水景观用水。但是,很多水景观在设计之初只考虑到水体的气势磅礴、外表的华丽,殊不知那些处处显露人工堆砌的痕迹阻碍了水景观与公众的亲密接触,成了可望而不可及的欣赏品。模糊数学的景观效应评价法的出发点正是以人为本,摒弃那些华而不实的东西,让水景观更加自然化、人性化,让公众能充分的接触水体。作为一种新的景观水体评价方法,模糊数学景观效应、社会和经济状况评价法在景观评价领域必定会有更多的运用,从而更好地指导具体地规划设计工作。

参考文献

- [1] 张惠远. 景观规划: 概念、起源与发展. 应用生态学报. 1999, 10 (3): 373—374.
- [2] 美华水艺. 论景观概念及其研究的发展.
<http://www.hbjt.gov.cn/page/zc2/lwjcp/lwjcp1418.htm>, 2003—12—5.
- [3] 美华水艺. (现代) 景观水概念. <http://www.cnh2o.com/jingguan/1/X1.htm>, 2003—12—10.
- [4] 岳亮, 薛惠锋. 人类水事活动与水域景观的分类研究. 国土开发与整治. 1995, 5 (3): 18—20.
- [5] 李佩成, 寸付贵等. 再论景观水资源及其分类. 水科学进展. 1998, 9 (2): 178—179.
- [6] 李佩成, 薛惠锋. 论景观水资源. 水科学进展. 1995, 6 (4): 336—338.
- [7] 肖海文. 生物滤沟处理受污染城市河水运行性能试验研究. 重庆. 重庆大学. 2001, 1—2.
- [8] S. V. Smith, W. H. Renwick et. al. Distribution and significance of small, artificial water bodies across the United States landscape. The Science of the Total Environment. 2002, 299: 21—30.
- [9] Shuqing Zhao, Jingyun Fang, Wei Ji etc. Lake restoration from impoldering: impact of land conversion on riparian landscape in Honghu Lake area, Central Yangtze. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2003, 95: 111—115.
- [10] 宋方灿. 2003 年中国环境质量状况.
<http://www.china.org.cn/chinese/2004/Mar/523831.htm>,
 2004—03—25/2004—06—12.
- [11] UNEP EARTHWATCH. Chemical Pollution: A Global Review. 63—64.
- [12] 美华水艺. (现代) 景观水的生态系统.
<http://www.cnh2o.com/jingguan/1/X4.htm>, 2003—12—10.

- [13] Ross E. Freeman, Robert O. Ray. Landscape ecology practice by small scale river conservation groups. *Landscape and Urban Planning*. 2001, 56: 171—180.
- [14] 上海景观水处理工程有限公司. 要使景观水好看, 必须从防治入手. <http://www.envir.online.sh.cn/forum/20042555.htm>, 2003—03—02/2003—12—20.
- [15] Timothy J. Sullivan, Barbara McMartin and Donald F. Charles. Re-examination of the role of landscape change in the acidification of lakes in the Adirondack Mountains. *New York. The Science of the Total Environment*. 1996, 183: 232—236.
- [16] 王鹤立, 陈雷, 程丽, 李相峰. 再生水回用于景观水体得水质标准探讨. *中国给水排水*. 2001, 17 (12): 31—32.
- [17] 刘成祥, 刘世民. 人工景观水体设计探讨. *工程建设与科技*. 2003, 10: 11—12.
- [18] 甘树应, 杨青等. 景观水体污染处理工艺研究及工程应用. *给水排水*. 2002, 28 (12): 56—57.
- [19] 汪松年. 上海市景观水体水质调研及分析. *中国水利*. 2004, 11: .
- [20] 丁永良. 上海市新虹桥中心花园人工湖. *中国水产科学研究院*. 上海. 2002, 1—3.
- [21] 吴鹏鸣等. *环境监测原理与应用*. 北京: 化学工业出版社. 1991, 227—233.
- [22] 刘载芳, 刘和平, 杨延捷. 景观娱乐用水水质标准. <http://www.cnh2o.com/jingguan/1/X2.htm>, 2004—04—9.
- [23] 曹式芳, 庞金钊等. 生物技术治理富营养化景观水体的研究. *天津轻工业学报*. 2002, 4: 2—3.
- [24] 国家环保局. *水和废水分析监测方法 (第三版)*. 北京: 中国环境科学出版社. 1997, 90—360.
- [25] 岳亮, 李佩成, 胡建平. 景观水资源综合评价研究. 1998, 32 (12): 103.
- [26] J. C. Luijten, E. B. Knapp and J. W. Jones. A tool for community-based assessment of the implications of development on water security

- in hillside watersheds. *Agriculture Systems*. 2001, 70: 603—604.
- [27] M. Carmen Garcia-Navarro, Richard Y. Evans and Robert Save Montserrat. Estimation of relative water use among ornamental landscape species. *Scientia Horticulturee*. 2004, 99: 164—166.
- [28] 阎骏, 王毓钟. 水体质量评价与富营养化评价中的模糊数学方法. *系统工程理论与实践*. 1990, 4: 66—77.
- [29] 王鹤立, 陈雷等. 再生水回用于景观水体的水质标准探讨. *中国给水排水*. 2001, 17 (12): 31—34.
- [30] 陈剑, 白艳丽. 模糊数学在浑河(抚顺段)水质综合评价中的应用. *辽宁城乡环境科技*. 23 (2): 21—23.
- [31] 毛毅. 小型水库富营养化现状评价及综合整治对策. *甘肃环境研究与监测*. 2003, 16: 87—88.
- [32] 闫庆松. 浅谈水体富营养化. *山东环境*. 1994, 2: 43.
- [33] 刁淑荣. 白洋淀富营养化水平综合评价. *环境科学*. 1992, 16: 28—29.
- [34] 陈守煜. 湖库水体富营养化评价级别特征值与识别模型. *黑龙江水专学报*. 1999, 26 (1): 7.
- [35] 饶群, 芮孝芳等. 隔河岩水库水质富营养化状况调查及评价. *长江流域资源与环境*. 2003, 12 (6): 556—557.
- [36] 黄文钰, 舒金华, 吴延根. 中国主要水库富营养化评价. *贵州环保科技*. 1997, 3 (2): 16—17.
- [37] 刘亚洁, 张占钟. 江西省临川市西湖水质富营养化评价. *江西科学*. 2002, 18 (4): 232—234.
- [38] 林衍, 顾恒岳, 韩勇. 湖泊水质富营养化评价的模糊隶属函数法. *重庆环境科学*. 1996, 18 (3): 38—39.
- [39] 楼春华, 廖日红等. 北京城区河湖富营养化特征及对策分析. *北京水利*. 2003, 6: 18—20.
- [40] 黄国平, 马廷, 王念. 城市水系景观评价的模糊数学方法. *中国园林*. 2002, 3: 16—18.
- [41] 庞景平. 城市环境美学及其评价. *环境科学进展*. 1994, 2 (6): 66—71.
- [42] Jack L. Nasar, Minhui Li. Landscape mirror: the attractiveness of

- reflecting water. *Landscape and Urban Planning*. 2004, 66: 233—237.
- [43] Richard Aspinall and Diane Pearson. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape, ecology, environmental modeling and GIS. *Journal of Environmental Management*. 2000, 59: 299—305.
- [44] 张玉明, 聂艳华. 模糊数学和灰色数学及其在医学领域中的应用. *锦州医学院学报*. 1996, 17 (6): 48.
- [45] 樊兴川. 模糊数学在现代化管理中的应用. *微电子学与计算机*. 1990, 11: 14—16.
- [46] 水本雅晴. 模糊数学及其应用. 1986, 9. 科学出版社. 北京. 1—15.
- [47] 陈绍伟, 郭广寨等. 模糊数学决策法的改进及在生活垃圾处理方式评价中的应用. *上海环境科学*. 2002, 21 (7): 426—427.
- [48] 冯忠铨. 经济预测与决策. 1995. 中国财政经济出版社. 北京. 372—388.
- [49] 候克夏. 环境系统工程. 1992, 9. 北京理工大学出版社. 北京. 368—377.
- [50] 张俊福等. 应用模糊数学. 1988, 11. 地质出版社. 北京. 47—54.
- [51] 贺仲雄. 模糊数学及其应用. 1983, 1. 天津科学技术出版社. 天津: 211—215.
- [52] Sampei Yamashita. Perception and evaluation of water in landscape: use of Photo-Projective Method to compare child and adult residents' perceptions of a Japanese river environment. *Landscape and Urban Planning*. 2002, 3(17): 6—10.
- [53] 上海万森水处理有限公司. 人工景观湖生态水处理设计. *建设科技*. 2002, 10: 67—68.
- [54] 邹平, 江霜英, 高廷耀. 城市景观水的处理方法. *中国给水排水*. 2003, 19 (2): 24—25.
- [55] 郭兴芳, 肖海文等. 一种处理受污染城市景观水体的简易技术探索. *重庆建筑大学学报*. 2002, 24 (4): 46—48.
- [56] 蔡昌凤, 徐建平. 景观水微污染控制. *安徽工程科技学院学报*. 2003, 18 (1): 1—2.

- [57] J. Rockstrom and L. Goedon. Assessment of Green Water Flows to Sustain Major Biomes of the World; Implication for Future Ecohydrological Landscape Management. *Phy. Chem. Earth(B)*, 26(11): 843-848.
- [58] Nadia Carluer, Ghislain De Marsily. Assessment and modeling of man-made networks on the hydrology of a small watered: implications for fast flow components , water quality and landscape management. *Journal of Hydrology*. 2004, 285: 77-90.
- [59] C.H. House, B.A. Bergmann, A.M. Stomp and D.J. Frederick. Combining constructed wetlands and aquatic and soil filters for reclamation and reuse of water. *Ecological Engineering*. 1999, 12: 28-37.
- [60] 郑宏. 水景观设计. *艺术设计双月刊*. 2001, 1: 68-69.
- [61] 潘建良, 李道棠等. 住宅小区人工湿地——水景观及其应用. *住宅科技*. 2003, 10: 41-43.

攻读硕士学位期间发表论文情况

1. 浅谈城市景观水体的处理方法，净水技术，2004.6，杨猛，刘振鸿

致谢

首先感谢恩师刘振宏副教授，在已度过的两年多的研究生学习期间，不论是在学习上还是在生活中，恩师都给予我极其重要的指导和帮助，尤其是在论文的选题、试验研究、论文撰写及论文修改全过程中，均凝聚了恩师的许多心血。恩师正直的品格、严谨的治学态度以及对我的谆谆教诲，将对我今后的工作和生活产生巨大的影响，使我终生受益。在此谨向恩师致以最诚挚的敬意和最衷心的感谢。

很感谢上海景观水处理公司的王鑫勇学弟，在论文的前期撰写过程中，帮我提供了大量的资料。

在整个数据监测过程中，得到了上海市环境监测中心的刘登国师兄和王鑫勇学弟的大力帮助和支持，在此表示深深的谢意。

感谢肖龙光和赵亚刚同学在生活和学习上给予的支持和鼓励，尤其是在试验过程和论文的数学理论撰写上均给了我很多具体的帮助。

三年的研究生生活，我的父母、哥、姐、弟给了我无微不至的关怀和极大支持，使我顺利完成学业，感谢他们！