

引用格式 张锋,王健. 低影响开发理念下的景观设计评估模型的构建与应用研究[J]. 工业建筑,2025,55(2):92-100. ZHANG F, WANG J. Research on the Construction and Application of Landscape Design Evaluation Models Under the Concept of Low Impact Development [J]. Industrial Construction, 2025, 55(2):92-100 (in Chinese). DOI:10.3724/j.gyjzG23102907

低影响开发理念下的景观设计评估模型的构建与应用研究*

张锋^{1,2,3} 王健²

(1. 贺州学院设计学院, 广西贺州 542899; 2. 广西民族大学艺术学院, 南宁 530000;
3. 广西高校创新设计大数据重点实验室, 广西贺州 542800)

摘要 针对现阶段评价方法效率低、精度低以及缺乏科学的评价体系等问题,设计出BP神经网络和层次分析法相结合的评价方法,在具体的评估流程中,通过构建评价体系、计算指标权值、创建网络结构、选定训练样本以及对模型进行验证来实现。首先对低影响开发理念下的景观设计进行分析,找出现存的问题并构建评价体系,然后利用层次分析法构建递阶层次模型以及确定各指标权重,再通过构建BP神经网络模型并用样本数据对模型进行训练,最后在100个样本中选取10个样本进行仿真测试并应用于实际案例之中。结果表明:该方法相较于传统单一的层次分析法和BP神经网络评价模型具有更高的评价精度,在案例应用中测试结果与专家评估结果一致,使得低影响开发理念下景观设计的评价效果理想,可以有效地适应现代景观设计中的复杂性与多样性,为相关的从业人员提供科学的参考意见。

关键词 低影响开发模式;景观设计;BP神经网络;层次分析法;评估模型

Research on the Construction and Application of Landscape Design Evaluation Models Under the Concept of Low Impact Development

ZHANG Feng^{1,2,3} WANG Jian²

(1. School of Design, Hezhou University, Hezhou 542899, China; 2. School of Art, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530000, China; 3. Key Laboratory of Innovative Design Big Data of University of Guangxi, Hezhou 542800, China)

Abstract: In response to the problems of low efficiency, low accuracy, and lack of scientific evaluation system in current evaluation methods, an evaluation method combining BP neural network and Analytic Hierarchy Process was designed. In the specific evaluation process, it was achieved by constructing an evaluation system, calculating indicator weights, creating a network structure, selecting training samples, and verifying the model. Firstly, the paper analyzed the landscape design under the concept of low impact development, identified existing problems, and constructed an evaluation system. Then, Analytic Hierarchy Process was used to construct a hierarchical model and determine the weights of each indicator. Then, construct a BP neural network model was constructed and trained with sample data. Finally, select 10 samples were selected from 100 samples for simulation testing, and applied them to actual cases. The results show that this method had higher evaluation accuracy compared to traditional single Analytic Hierarchy Process and BP neural network evaluation models. In case applications, the test results were consistent with expert evaluation results, making the evaluation effect of landscape design under the low impact development concept ideal. It can effectively adapt to the complexity and diversity of modern landscape design and provide scientific reference opinions for relevant practitioners.

Keywords: low-impact development mode; landscape design; BP neural network; analytic hierarchy process; evaluation model

* 国家自然科学基金项目(19XSH011);广西高校创新设计大数据重点实验室项目(GXUIDDL-2023006)。

第一作者:张锋,博士,教授,博士生导师,主要从事传统宗祠建筑艺术与文化保护、景观评价研究等工作。

电子信箱:200900042@hzxy.edu.cn

收稿日期:2023-10-29

0 引言

随着我国城镇化进程的不断发展和人们对于生态环境的要求也越来越高,雨洪、积水、水环境污染、水资源短缺等问题频发,给人们的生活生产带来恶劣影响^[1]。为了资源环境的可持续发展,低影响开发理念下的景观设计在保护城市水文机制中具有明显的优势,低影响开发模式(LID)是于20世纪90年代提出的一种雨水管理新模式,在该模式的开发设计中可以使得开发地最大限度地接近自然水文循环。Liu等^[2]设计一种基于分层分析法的神经网络模型,用于景观生态规划评价,研究发现,该方法能够使评价结果具有一定的准确性和可靠性以及可以权衡各个评价指标的重要性,然而该方法在评价精度和评价指标选择方面仍有欠缺。Wang等^[3]利用大数据和人工智能神经网络技术,构建城市空间评价系统,该方法能够充分利用各种数据资源,提高城市空间评价的效率,但是在数据获取方面存在不确定因素,可能会影响评价结果的准确性,需要对数据的质量进行更细致的筛选和评估。Li等^[4]设计了生态易损性评价的方法,并以衡阳盆地为例进行了对比研究,实验表明综合评价法和主成分分析法的评价结果更为可靠,对维度的分析可以有效提高评价的准确性,其不足在于,评估时缺乏高精度的数据和现场调查,因此在一些局部进行评估时可能存在较大误差。Lu等^[5]将层次分析法和人工神经网络模型相结合,综合分析和评估了绿色建筑开发过程中的废物管理和能源节约措施,从而提供了改善建筑可持续性和环境保护的方案。Yang^[6]利用层次分析法对变量进行权重分配的方式来优化课堂质量评价模型,该模型结合了模糊数学理论和模糊综合评价法,通过综合评价的方法准确地评估课堂的质量,提高评价结果的科学性和可靠性。Li等^[7]利用BP神经网络算法的算法优势,构建了基于BP神经网络的历史建筑台风预警模型,对历史建筑的风险等级进行评估。通过样本数据对神经网络进行训练,并将预测数据与实际运行数据进行比较,验证了该风险预警模型的有效性和可靠性,但训练样本数量较少,使得评价模型的精度还有一定的提升空间,评价指标也缺乏一定的综合性和可操作性,这可能导致评价结果片面和不准确以及无法提供指导和建议。

根据现阶段研究表明,评估方法存在两个不足:一是关于景观设计和景观生态等方面的评价方法有

层次分析法、神经网络模型预测、综合评价法和主成分分析法等,但是这些评估方法存在评价精度低、对数据的筛选不够细致、受主观性影响较大等不足之处。二是层次分析法和BP神经网络组合式评估方法多被应用于教学评价、绿色建筑评价和城市旅游承载力评价等方面,很少有对低影响开发理念下的景观设计来进行评价的,因为其具有更加复杂的不确定性,所以本文在研究的基础上以及基于以上两个不足设计了层次分析法和BP神经网络相结合的评估模型,通过引入专家意见来提高评价结果的准确性和可信度,邀请相关领域的专家参与评价过程,专家的意见和经验可以提供有价值的参考,从而提高评价精度。单一评价指标可能无法全面地反映评价对象的特点,从而使得评价结果出现偏差,因此综合考虑评价对象不同方面的表现,得出更全面的评价结果。结合专家知识和统计分析方法,制定更加细致的数据筛选标准,排除不符合要求的数据,其中应用克隆巴赫信度系数(Cronbach α 系数值)对样本数据进行可信度判定。为了减少主观性对评价结果的影响,在评价过程中采用多方参与决策,形成多元化的意见和观点,并且明确各项评价指标的权重和评价标准,减少主观性对评价结果的干扰。考虑到景观评价具有一定的不确定性,从生态、景观、美学、经济和社会五个方面展开思考并筛选确定相关的评价指标,以及给出相应的评价指标关注要点,使其对于低影响开发理念下的景观设计评价更加完整和全面。

在目前研究的基础之上,本文从低影响开发理念的角度出发对景观设计进行评价,这一理念强调在设计过程中最大限度地减少对自然环境的干扰和破坏,强调对环境的保护和可持续性发展,对景观设计提出了更高的要求,同时注重保护和提升生态系统的功能。因此,在评价过程中,应当考虑景观设计对生态系统的影响,包括植被覆盖率、生物多样性、水资源利用等因素。通过对这些因素的评估,可以更有利判断景观设计是否符合低影响开发理念的要求。评价方法应该具有理想的精度和可靠性,同时也应该易于操作和实施,以帮助设计师和决策者更好地进行评价和决策。然而传统单一的评估方法往往只考虑少数几个指标,而忽略了其他重要的因素,无法很好地适应低影响开发理念下的景观设计。本文的评估模型通过综合考虑多个评价指标,能够更

全面地评估低影响开发理念下的景观设计。该评估模型利用了BP神经网络进行预测和优化。评估过程中,利用BP神经网络对已获取的评价数据进行训练,从而得到一个更准确的评估模型。通过不断优化神经网络的参数,提高模型的预测能力,使评估结果更加准确和可靠。通过综合考虑多个评价指标,利用神经网络进行预测和优化来对低影响开发理念进行评价。该模型能够更准确地评估低影响开发理念下的景观设计,有助于推动低影响开发理念在景观设计中的应用和发展。

1 低影响开发理念下景观设计的评估概述与研究框架

1.1 低影响开发理念下景观设计的评估概述

城市化无节制的开发扩张,形成了自然资源和自然景观支离破碎的局面,引发了城市区域内的众多环境问题,如不可渗透表面的快速扩张、表面雨水径流量的增加、土壤条件的变化、水和空气质量的降低以及对路面水文功能的影响扩大。与此同时,城市化的快速发展也加快了人类的活动,这直接影响了地球的气候系统^[8]。因此,相关评估内容和评估体系构建方面是保护自然水文和湿地环境的重要研究内容,如赵守航等^[9]研究了在历史景观视角下,如何利用内源径流型海绵绿地进行设计,以北京南苑饮鹿池公园为例进行实证研究,提出了在历史景观保护下进行海绵绿地设计的方法,以及强化人文因素与自然因素之间的相互协调性。蒲政衡等^[10]提出了一种低影响开发设施的径流控制效果模拟评价方法,但是需要进一步比较不同设施的效果,以及考虑设施的维护和管理。陈泓宇等^[11]研究了工业建筑外环境的低影响开发设计模式,以南阳一中校园为例进行实证研究,提出了节能、环保、可持续等方案,使得低影响开发设施在应对连续降雨时达到相对理想的效果。总的来说,低影响开发模式在应对雨水管理中确实拥有良好的表现,但是在实现环境效益的同时,如何兼具经济效益和社会效益仍然有很多的障碍和挑战。

1.2 低影响开发理念下景观设计的框架

早在2014年我国住建部就已经发布了《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(简称《指南》),以及修订了若干有关城市建设的设计规范,《指南》中将国际上低影响开发理念的优

秀案例经验和我国的施工工程经验进行了整合和吸收,使其适用于以下三个方面:一是海绵城市建设的指导任务包括在各层级规划编制过程中,确保低影响开发原则的切实实施。这要求规划过程中明确并强调低影响开发的重要性,以确保城市的总体规划、区域规划和详细规划中都充分考虑这一理念;二是指导新建、改建和扩建项目在建设过程中充分考虑低影响开发设施的设计、实施和维护管理。这包括在项目设计阶段就考虑雨水管理、绿化和可持续性措施,确保项目在实施和运营阶段能够实现低影响开发的目标;三是需要协调和指导城市各部门,如城市规划、排水、道路交通、园林等,以确保所有相关领域的工作都与海绵城市建设保持一致。这涵盖了规划的一致性、城市基础设施的集成,以及监督和评估机制的建立,以确保海绵城市理念得到全面实施和执行。这一专业指导对于海绵城市的成功建设和维护至关重要,以应对城市面临的挑战并实现可持续发展。《指南》中还规定了5条建设基本原则,分别是规划引领、生态优先、安全为重、因地制宜、统筹建设。低影响开发在城市建设和发展过程中采用了多种策略和技术,以实现可持续的城市水资源管理。这种综合方法实施的目标是实现城市内部的水循环,以减轻洪水风险、改善水质,以及维持或恢复城市的“海绵”功能。这种专业方法不仅有助于改善城市环境质量,还有助于适应气候变化和人口增长所带来的挑战,确保城市的可持续性和生态平衡^[12]。

低影响开发的控制目标旨在通过采取可持续性措施,减少城市化对自然环境的负面影响。规划控制目标一般包括径流总量控制、径流峰值控制、径流污染控制、雨水资源化利用等。通过实现这些目标,可以使得低影响开发模式创造更可持续、更环保的城市环境,减轻洪水风险,提高水质,保护生态系统,提高生活质量,并为未来的城市发展铺平道路。其中减少雨水径流总量是低影响开发核心目标之一,可以作为规划控制目标的首要选择。通过采取一系列技术和设计策略来实现雨水径流总量的控制,例如雨水收集、透水铺装和雨水花园等。通过减少径流总量,低影响开发可以减轻洪水风险,改善城市排水系统的性能,并提高城市水资源的可持续性。根据相关重要指示文件和评价体系构建原则,总结出低影响开发理念下的景观设计评估的研究技术总路线,如图1所示。

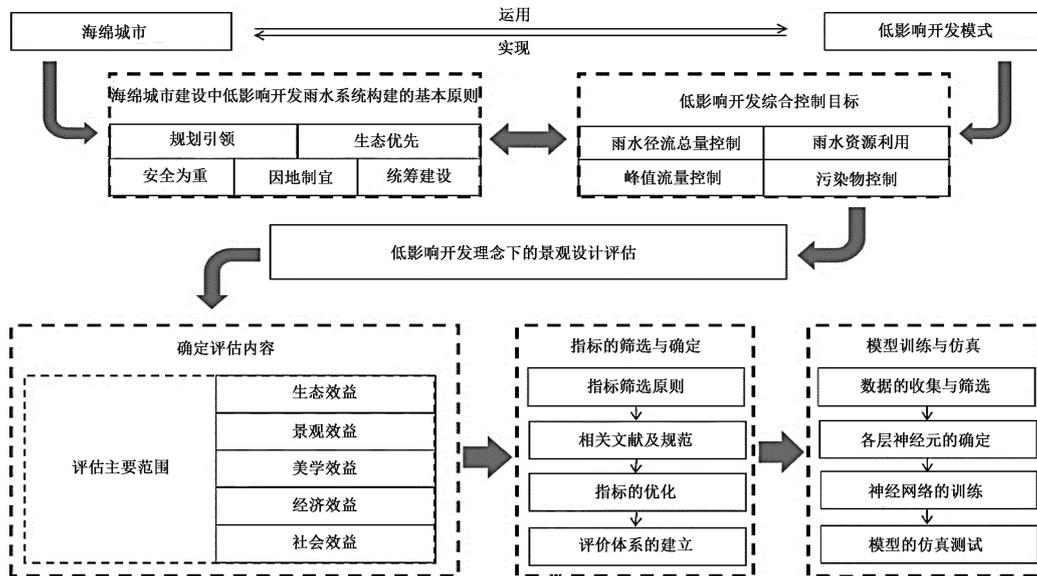


图1 研究技术总路线

Fig. 1 The overall route of research technology

2 低影响开发理念下景观设计的评价体系的构建

2.1 构建原则与筛选方法

根据评价指标体系的系统性原则、客观性原则、可操作性原则以及主导性原则进行评价指标体系的构建。系统性原则:指标体系的构建应充分反映出研究主体的生态环境状况,要符合环境质量评价的目标内涵,为了尽可能避免指标的重叠性,应选择具有代表性的指标。客观性原则:充分分析环境系统和环境系统对于构建评价体系至关重要。在相关数据的收集以及筛选中,要关注数据的可靠性和准确性,确保收集的数据具有一定的科学性。可操作性原则:指标体系应在综合性与简明性之间取得平衡。过于简单的指标体系可能无法全面评价研究对象,从而影响评价结果的准确性;而过于复杂的指标体系则可能增加评价工作的不确定性,从而使工作效率降低。因此,在保持精确性的前提下,指标体系应达到适度的难易程度,以便于实际应用。主导性原则:评价指标应当具有代表性,选择在研究主体中占据主导作用的指标,将次要的指标进行剔除,确保选出的指标可操作性强,方便实施^[13]。

综合评价指标体系的优劣并不取决于指标数量的多少,关键在于指标能否充分反映评价目标的问题。指标的选取必须符合指标选取的基本原则,为了使指标更加具有科学性和普适性,在选取指标时还参考了住房和城乡建设部颁布的《海绵城市建设评价标准》《绿色建筑评价标准》以及《城市湿地公

园设计导则》等文件,其中《海绵城市建设评价标准》明确了低影响开发技术作为海绵城市建设的核心内容,在源头减排、排水管渠和降雨径流控制方面具有的技术优势,海绵城市建设与低影响开发理念的核心理念是一致的,都旨在通过雨水管理和生态手段,实现城市对环境变化的适应性。《海绵城市建设评价标准》为景观设计提供了具体的指标和要求,如渗水率、蓄水能力等,这些都是作为评估低影响开发景观设计的依据。同时该标准不仅提供了理论指导,还结合了大量的实践经验,为评估者提供了具体的操作指南^[14]。

《绿色建筑评价标准》作为指导绿色建筑设计和评估的重要文件,虽然主要关注建筑领域,但其中包含了一些与景观设计评估相关的指标和标准,可以为景观设计评估提供参考。比如《绿色建筑评价标准》旨在推动可持续发展、提倡优化能源利用、注重生态平衡的维护和提升、强调降低环境负荷、要求景观设计具备实用性和美观性。在景观设计中要充分考虑环境因素,注重节能、节水、节地等,以确保景观设计与自然环境的和谐共生;关注生态系统服务功能、生物多样性等方面的指标,以增强生态平衡;注重环境影响控制方面的指标,如雨水管理、水质保护等,以降低环境负荷;雨水收集与利用、废旧材料的再利用等,以实现资源的可持续利用。《绿色建筑评价标准》从多个方面为低影响开发理念下的景观设计评估体系的指标选择提供了重要的参考依据

和指导意义^[15]。

《城市湿地公园设计导则》的颁布可以更好地指导保护与合理利用城市湿地,规范城市湿地公园的规划设计方法,促进人与自然的和谐发展。《城市湿地公园设计导则》规定城市湿地公园总体规划的具体内容,如根据湿地区域的自然资源、经济社会条件和湿地公园用地的现状,确定总体规划的指导思想和基本原则,划定公园范围和功能分区,确定保护对象与保护措施,测定环境容量和游人容量,规划游览方式、游览路线和科普、游览活动内容等。这些具体内容可以为评估体系中的具体指标提供直接或间接的参考^[16]。

2.2 建立递阶层次模型

通过对低影响开发理念下的景观设计进行分析

以及参考相关专家的意见,总结设计中的影响因素,针对每一层分别选取具有典型性的评价指标,构建递阶层次模型^[17]。该递阶层次模型共分为目标层、准则层以及指标层三层,生态效益、景观效益、美学效益、经济效益以及社会效益五项指标构成准则层。指标层分为20个指标,其中生态效益由物种多样性、生态恢复、雨水管理以及水质保护构成,景观效益由自然景观保护、植被覆盖率、植被适应性以及可持续材料选择构成,美学效益由可视水体设计、视觉吸引力、空间布局以及季节性景观构成,经济效益由初始成本、维护成本、投资回报以及节能效益构成,社会效益由用户体验与功能、生态教育资源、可视性与知觉体验以及公众参与度构成,评价体系中具体指标释义及评估细则如表1所示。

表1 低影响开发理念下景观设计的评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of landscape design under the concept of low-impact development

目标层	准则层	指标层	指标层释义
低影响开发理念下的景观设计评估(A)	生态效益(B1)	物种多样性(C1)	评估景观设计是否考虑了生物多样性的保护,包括植物、动物、昆虫、微生物等,具体措施如创建适宜生物栖息的场所和环境
		生态恢复(C2)	考察是否有生态系统修复和重建计划,以增强生物多样性和生态功能。具体可以根据生态平衡状态、土壤肥沃程度和水质情况进行合理的人工干预
		雨水管理(C3)	评价相关设计包括雨水收集系统是否具备有效性和可靠性、滞留和再利用系统,减少洪水风险和减少水资源利用效率等情况
		水质保护(C4)	检查设计是否采取措施来净化雨水径流,以减少污染物输入水体的风险
	景观效益(B2)	自然景观保护(C5)	评估设计方案是否保留和保护现有的自然景观、湿地和生态系统。注重对地质环境考察,天然灾害防护以及环境文化的保护
		植被覆盖率(C6)	评估景观设计中的植被覆盖率,包括绿地、树木和草坪的分布。通过合理配置植物、选用多年生植物以及结合水景绿化来提高植被覆盖率
		植被适应性(C7)	检查是否采用适宜的本地植物或选择在当地表现良好的外来植物,以促进生物多样性和适应性
	美学效益(B3)	可持续材料选择(C8)	检查是否使用可持续材料和资源,减少环境影响
		可视水体设计(C9)	评估研究区的可视水体设计,关注水体的外观、视觉效果以及水体设计要与整体设计相融合,同时也要兼具一定的功能性
		视觉吸引力(C10)	评估景观设计的整体视觉吸引力,包括景观元素、自然与人文元素、颜色与质感、纹理和形式的美感
		空间布局(C11)	考察景观设计中的空间组织和布局是否具备美学吸引力,是否符合项目的整体风格和主题
	经济效益(B4)	季节性景观(C12)	检查景观设计是否在不同季节和天气条件下仍然保持美学吸引力
		初始成本(C13)	评估设计的初始成本,包括建设成本、材料成本、劳动力成本和设施安装成本等。对初始成本全面分析更有利于提高项目的综合效益
		维护成本(C14)	考察景观设计是否考虑了长期维护和管理的成本效益,包括日常清洁、修剪、更换植物等费用
		投资回报(C15)	检查设计的经济效益和社会回报,包括吸引游客和生态教育价值。优秀合理的景观设计还可以提高房地产价值
	社会效益(B5)	节能效益(C16)	考察是否使用可持续材料和资源,估算项目中采用的节能措施对能源成本的节省
		用户体验与功能(C17)	评估景观设计是否考虑到使用者的需求,是否具有一定的功能性、交互性等
		生态教育资源(C18)	考察是否提供生态教育资源和信息,它们不仅可以增强景观的生态价值,还可以提高公众对生态系统的认识
		可视性与知觉体验(C19)	评估设计是否增强了公众对自然环境的可视性和亲近感,这些不仅确保景观设计美观,还提供了愉悦的感官体验
		公众参与度(C20)	考察当地居民对景观美感的反馈和意见,以改进相关景观设计

2.3 层次分析法确定指标权重

根据层次分析和专家赋权法来进行指标权重的确定,其中包含5个准则层和20个指标层的评价指标。首先对准则层的生态效益、景观效益、美学效益、经济效益、社会效益五个指标以及指标层的20个指标分别构建判断矩阵。然后,邀请相关专家利用1~9标度法对构建的判断矩阵进行重要程度的判断,并且进行一致性检验。最后,通过已构建的判断矩阵得出,一致性结果小于0.1,所以该矩阵通过一致性校验。最终确定各指标的相关权重值如表2所示。

表2 各指标权重
Table 2 Weights of each indicator

目标层	准则层		指标层	
	准则	权重	指标	权重
低影响开发理念下的景观设计评价(A)	生态效益(B1)	0.512 0	物种多样性(C1)	0.086 1
			生态恢复(C2)	0.039 4
			雨水管理(C3)	0.264 5
			水质保护(C4)	0.121 9
	景观效益(B2)	0.241 1	自然景观保护(C5)	0.137 7
			植被覆盖率(C6)	0.051 8
			植被适应性(C7)	0.028 4
			可持续材料选择(C8)	0.023 2
	美学效益(B3)	0.052 2	可视水体设计(C9)	0.016 6
			视觉吸引力(C10)	0.006 8
			空间布局(C11)	0.004 9
			季节性景观(C12)	0.023 9
	经济效益(B4)	0.085 4	初始成本(C13)	0.007 2
			维护成本(C14)	0.011 8
			投资回报(C15)	0.019 8
			节能效益(C16)	0.046 7
	社会效益(B5)	0.109 3	用户体验与功能(C17)	0.028 4
			生态教育资源(C18)	0.016 1
			可视性与知觉体验(C19)	0.012 3
			公众参与度(C20)	0.052 8

2.4 样本数据的获取与筛选

低影响开发理念下的景观设计评价指标确立后,用问卷调查的方式让景观设计相关的从业人员对指标体系进行打分(分值为1~10分),共收回108份问卷,通过筛选去除漏填、错填的问卷,最后保留100份合格的问卷作为原始的样本数据。其中编号1~90的样本数据用来训练BP神经网络模型,其输出结果为层次分析法确定的指标权重向量加权计算后的结果,可作为输出值,90~100号样本数据用来进行仿真测试。

采用信度分析对调查问卷进行可靠性判断,按式(1)计算 α 值。如果 $\alpha > 0.8$ 表明拥有非常好的信度; $\alpha > 0.7$ 表示可以被接受;如果 $\alpha > 0.6$ 则表

示该调查问卷需要进行一定程度的修订; $\alpha < 0.6$ 则需要重新设计问卷。

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_x^2} \right) \quad (1)$$

式中: α 为信度系数; K 为测验题目数; S_i^2 为所有被试者在第*i*题上的分数变异; S_x^2 为所有被试者所得总分的方差。通过对100份样本问卷计算得出内部一致性系数(Cronbach α)值为0.856,计算结果在0.8以上,因而说明问卷数据的信度质量较高,可用于下一步骤的分析。

2.5 BP神经网络模型的构建

根据低影响开发理念下的景观设计评价指标得到输入层的神经元个数为20,输出结果只有期望值一项,确定输出的神经元个数为1,而隐含层节点数则是利用试凑法和式(2)或式(3)来确定。

$$m = \sqrt{n+l} + a \quad (2)$$

式中: m 为隐含层节点数; l 为输出层节点数; n 为输入层节点数; a 为1~10之间的常数。

$$m = \lg^2 n \quad (3a)$$

$$\sum_{i=0}^n C_m^i > k \quad (3b)$$

式中: i 为0~ n 之间的常数; k 为样本数; C_m^i 为组合数(二项系数)。根据初步试验,将隐含节点数定为5并进行10次训练,在训练的10个结果中去除最大和次大的误差,最后计算8个训练结果的平均误差。再设隐含层节点数为6,训练10次,……,一直到取隐含层节点数15,训练10次,求平均误差。经实验发现平均误差会随隐含节点的个数先减后增,当节点数为8时,平均误差最小,所以最后确定隐含层节点数为8^[18]。

2.6 训练算法的选择

选择Levenberg-Marquardt算法,此算法具有高斯-牛顿算法和梯度下降法的优点,可在执行时动态调整参数,达到最优化目标。该算法是一种最优化算法,其目的是通过搜索参数向量,找到能使函数值最小的参数。

3 模型训练与仿真测试

如图2所示,该模型为三层的神经网络模型,输入层神经元数为20,隐含层的神经元数为8,输出层的神经元数为1。将100个问卷数据中的前90个数据进行神经网络的训练,剩余10个样本用于仿真

训练。如图 3 所示,经过 385 次迭代后得到理想的拟合结果。

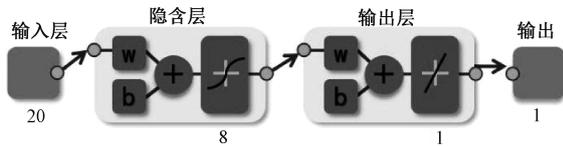


图 2 BP 神经网络结构

Fig. 2 BP neural network structure

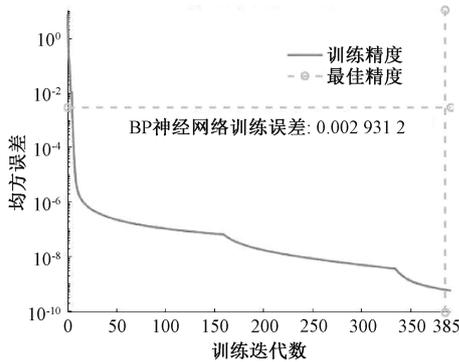


图 3 BP 神经网络的训练过程曲线

Fig. 3 The training process curve of BP neural network

将 91~100 号样本数据进行仿真测试。期望输出为这 10 个样本通过层次分析法确定的指标权重向量加权计算后的结果,模型输出为神经网络对 10 个样本的预测分数。由测试结果可知,本文构建的评价模型最大误差为 1.18%,最小误差为 0.14%,平均相对误差为 0.56%,小于 5%,说明 BP 神经网络模型具备良好的泛化能力,得出的结果实际可靠,能够为低影响开发理念下的景观设计评价提供一个相对客观的方法,具有一定的参考价值。为此,对低影响开发理念下景观设计的评估结果进行量化操作,采用 10 分制形式,具体等级划分如表 3 所示。

表 3 评估等级划分

Table 3 Assessment level classification

评价等级	综合评价分值
优秀	8 ~ 10
良好	6 ~ 7.9
合格	4 ~ 5.9
不合格	>4

4 实例验证与分析

4.1 实例验证

实验案例选取位于南宁市的那考河湿地公园。20 世纪 90 年代,由于那考河上游的养殖业和工业逐渐兴起,导致了该河水质恶化,最严重时期曾有超过 40 个排污口同时向河中排放污染物。自 2015 年 3 月开始实施那考河流域治理项目以来,河流治理取得了显著进展,新增水生动植物种类增加了大约 38 种,生物多样性得到有效保护,且河道的主要水质指标平均改善了 40%。这些指标现在不仅达到地表Ⅳ类水质标准,而且部分指标达到了更高的Ⅱ类和Ⅲ类水质标准。那考河湿地公园在水体治理和水污染防治方面提供了借鉴方案,使得整个湿地公园的生物多样性以及对于南宁市的城市环境都产生了积极的影响,成为了生态综合治理城市内河问题的关键项目^[19]。

为了对那考河湿地公园低影响开发理念下的景观设计实行评估,首先邀请相关方面的专家和研究区相关技术人员根据前文中的评价指标体系进行打分,各指标评分见表 4 所列,然后将评分数据输入到神经网络模型中,最后经过模型运算输出研究区的最终得分为 8.612,参照表 3 可得出该研究区的低影响理念下的景观设计为优秀。

表 4 各指标评估结果

Table 4 Evaluation results of each indicator

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
0.775	0.354 6	2.116	1.097 1	1.239 3	0.414 4	0.256	0.186	0.149 4	0.054
C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
0.044 1	0.215 1	0.057 6	0.082 6	0.178 2	0.420 3	0.255 6	0.144 9	0.098 4	0.475 2

4.2 实例分析

结合各指标评分以及网络模型的预测结果进行分析,那考河湿地公园在生态保护、科普教育、休闲娱乐等多方面都取得了卓越的成绩。“生态治水、科学治水、系统治水”的治理模式在那考河的生态治理中发挥了重要作用。

1)生态效益:那考河湿地公园采用自然式驳岸,构建岸边湿地,河道一侧地势恢复了梯田状落差,加上旱溪、植草沟、潜流湿地等“海绵化”设计,实现了分级净化、调蓄雨水,使得那考河生态效益达到理想的效果。目前,仍然存在多段人工硬质驳岸,虽然硬质驳岸具有抗洪强、稳定性好和经济效益方

面优势,但对水生生态系统造成一定程度的破坏,影响了生物的栖息和繁衍^[20]。因此,那考河水质治理仍有一定的提升空间,目前局部河段水体略显浑浊,建议从源头出发,加强对上游河道的废水、垃圾等污染物的排放监管,加强环保宣传和执行力度^[21]。

2)景观效益:保留研究区内原始水文和生态环境,保障了河道生态系统的快速恢复,配置栽种适合不同水深的水生植物及地被47种,植被多样且覆盖率高,植物层次感丰富,景观效益成果显著。但本土植物在公园内的应用较少,黄蝉、睡莲等外来植物应用较多,没有体现广西特有的地域植物景观^[22]。在可持续性材料选择方面还不全面,选择可降解、可回收的环境友好性材料以及能够维护生态平衡与环境相协调的材料,降低对环境的负担,如多使用竹制品、纸制品、天然石材和木材等可再生资源,避免过多使用化学材料对景观环境造成影响。

3)美学效益:水体作为那考河湿地公园的核心景观之一,相较于2015年以前,经过近十年的治理取得了极大的成功,良好的水体景观给游客提供了视觉的享受,展示了湿地的自然之美。尽管水质总体较好,但仍需加强水质监测和保护措施,避免局部浑浊的情况。与水景相映的植物景观的配置较为丰富,应注意植物的层次以及对于游客游览路线的引导,及时做好植物的修剪工作,避免植物肆意生长遮挡视线,同时适当注意植物的季节性变化,增强植物的季节观赏性。注意水陆交接处区域的植物配置,丰富整个湿地公园的植物层次,为游客提供更为丰富的视觉体验^[23]。

4)经济效益:那考河湿地公园建造初期除适当使用可持续的建筑材料外,合理建设利用下沉式绿地、雨水湿地、滨河植被缓冲带等多种低影响开发设施降低污水处理费用,从而更好地控制成本。虽然自然植被和生态系统的自我修复能力有助于减少人工干预,降低维护成本,但为了相关设施的正常运转和公园的整洁美观,仍需要定期维护和修剪清理。相比较商业项目,湿地公园的投资回报周期较长,且回报形式多样,不易量化,但获得社会的认同感可以为公园带来长期稳定的客流,为城市形象的提升做出贡献,吸引更多的游客和投资者,从而促进区域经济的发展。

5)社会效益:那考河湿地公园提供了多样化的活动空间,满足不同年龄段和不同需求的市民,公园配备卫生设施、休息设施、步行道、健身设施等基础

设施,但部分区域的设计缺少为残障人士服务的无障碍设施,因此需要进一步完善无障碍设施的设计。湿地公园作为天然的生态教室,为市民提供了丰富的生态环境和物种样本。通过导览、解说牌等方式,有效地向公众传达了生态知识和环保意识。公园充分利用其自然景观,为市民提供了视觉上的享受。水景、绿植、鸟类等元素共同营造了一个宜人的环境,增强了市民的知觉体验。那考河湿地公园在用户体验与功能、生态教育资源和公众参与度等方面表现良好,为市民提供了丰富的休闲和教育资源。然而,在无障碍设施、生态教育深度和活动多样性等方面仍有改进空间。通过持续的改进和创新,那考河湿地公园有望发挥更大的社会效益,成为市民和游客喜爱的生态休闲胜地。

5 结束语

1)根据低影响开发模式下的景观设计特点,从生态效益、景观效益、美学效益、经济效益和社会效益五个方面构建了低影响开发模式下的景观设计评价体系,着重关注了该模式下景观生态的可持续发展,并选取了实际案例进行实证研究。

2)采用BP神经网络和层次分析法的多元评价方法在一定程度上克服了传统评价方法中受主观影响较大的问题,模型在评价预测精度方面表现优异,相较于主成分分析法对生态易损性评价的方法拥有更高的评价精度,对于分层分析法的神经网络模型来说,本文的方法在评价指标的选择上更具有科学性。

3)实例验证表明,低影响开发模式下的景观设计评价指标具有可行性;BP神经网络和层次分析相结合的评价方法在实际应用时具有较高的准确性和可靠性;该模型在实际案例应用中,所反映出的问题符合现阶段实地调研所发现的问题。

该研究将层次分析法和BP神经网络相结合,使得低影响开发理念下景观设计的评价效果理想,有效应对了低影响开发理念下景观设计的系统可靠性差、经济性低、效益不明显等相关问题,并在实际案例中得到了验证。可以为相关从业人员提供科学的、客观的参考意见和借鉴以及对于未来行业发展的思考,并有望为现代城市化的发展提供高效创新的设计思路。

参 考 文 献

[1] 刘欣欣,武文婷,任彝.基于低影响开发理念的校园绿地雨水

- 景观设计:以浙江工业大学“和园”为例[J]. 江苏农业科学, 2020,48(20):126-132.
- [2] LIU J, ZHOU X. Neural network model design for landscape ecological planning assessment based on hierarchical analysis [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2018, 2022:1-11.
- [3] WANG L, LIANG Y, SHANG G, et al. The use of big data combined with artificial intelligence neural network technology in urban spatial evaluation system[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022, 7936522.
- [4] LI Y, TIAN Y P, LI C K. Comparison study on ways of ecological vulnerability assessment-a case study in the Hengyang Basin[J]. Procedia Environmental Sciences, 2019, 10: 2067-2074.
- [5] LU Y, GE Y, ZHANG G, et al. Evaluation of waste management and energy saving for sustainable green building through analytic hierarchy process and artificial neural network model[J]. Chemosphere, 2020, 318,137708.
- [6] YANG S. Optimization of english classroom quality evaluation model with AHP [J]. Security and Communication Networks, 2020, 2022, 2502377.
- [7] LI J, WANG Y. Evaluation of urban tourism carrying capacity based on analytic hierarchy process optimizing BP neural network [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2020, 2022, 5991381.
- [8] LIU T Q, LAWLUVY Y, SHI Y, et al. Low impact development (LID) practices: a review on recent developments, challenges and prospects [J]. Water Air Soil Pollut, 2021, 232: 4253-4273.
- [9] 赵守航,冯潇,白桦琳,等. 历史景观视角下内源径流型海绵绿地设计探索:以北京南苑饮鹿池公园为例[J]. 中国园林, 2023,39(1):111-117.
- [10] 蒲政衡,陈正侠,杨萌祺,等. 低影响开发设施径流控制效果模拟评价实证研究[J]. 中国给水排水,2022,38(23):134-138.
- [11] 陈泓宇,董宇翔,李雄,等. 建筑外环境经济型低影响开发设计模式研究:以南阳一中校园为例[J]. 工业建筑, 2023,53(4): 54-61.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于印发海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)的通知:建城函[2014]275号[Z/OL]. (2014-12-10) [2023-08-08]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201411/20141103_219465.html.
- [13] 郭玉佳,刘世梁,董玉红,等. 基于景观格局和生态系统服务的生态廊道修复成效评估指标体系[J]. 中国生态农业学报(中英文),2023,31(10):1525-1538.
- [14] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 住房和城乡建设部关于印发国家标准《海绵城市建设评价标准》GB/T 51345—2018的公告[EB/OL]. [2023-10-01]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201904/20190410_240118.html.
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅关于印发国家标准《绿色建筑评价标准》GB/T 50378—2014的公告[EB/OL]. [2023-10-18]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201905/20190530_240717.html.
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅关于印发《城市湿地公园设计导则》的通知:建办城[2017]63号[EB/OL]. [2023-10-01] https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zhengce/zhengcefilelib/201710/20171020_233671.html.
- [17] 王健. 基于人工神经网络的建筑景观设计研究[J]. 建筑经济, 2023,44(增刊1):286-289.
- [18] 李彦龙,蔡谦,孙久康,等. 基于BP神经网络的汽车外观设计评价方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021,49(1): 116-123.
- [19] 李俊梅,付健梅,惠卿,等. 滇池湖滨湿地公园游憩价值评估研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2023,45(5): 1134-1144.
- [20] 李育辉,李天星,吴访,等. 南宁市那考河景观生态治理规划策略探讨[J]. 规划师,2020,36(14):78-83.
- [21] 凌迎娣. 那考河湿地公园绿色雨水基础设施功能综合评价研究[D]. 南宁:广西大学,2023.
- [22] 覃思. 南宁市那考河湿地公园使用后评价研究[D]. 南宁:广西大学,2020.
- [23] 程梦婷,杜守帅. 古运河滨水景观质量评价及更新策略研究[J]. 工业建筑,2023,53(10):10-16.