

南京市江宁区水资源承载力特征 分析及评价

卞锦宇¹, 李美香², 宋 轩³, 陈晓燕¹, 俞晶晶⁴

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;

2. 江宁区水务局, 江苏 南京 211112; 3. 南京市水利规划设计院, 江苏 南京 210001;

4. 河海大学, 江苏 南京 210098)

摘要:针对水资源承载力多元复杂综合体系,在江宁区水资源承载力特征分析基础上,突出水质、水生态区域水资源承载力的重要作用,对区域水资源承载力定义进行了界定。基于水资源的水量、水质、水生态3个要素,构建由目标层、要素层、表征层及指标层构成的多层次、分要素、能力-负荷双向表征的水资源承载力评价指标体系,采用单要素评价法对江宁区水资源承载力进行了现状评价。结果表明,江宁区现状水量要素能支撑人口经济发展,水质、水生态状况相对较差,对区域人口经济的承载能力薄弱。

关键词:水资源;承载力;特征;评价;江宁区

中图分类号:TV124

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)04-0020-06

Feature analysis and evaluation of water resources carrying capacity in Jiangning District, Nanjing City

BIAN Jinyu¹, LI Meixiang², SONG Xuan³, CHEN Xiaoyan¹, YU Jingjing⁴

(1. Key laboratory of Water Resource and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, Jiangsu; 2. Jiangning Water Affairs Bureau, Nanjing 211112, Jiangsu;

3. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd, Nanjing 210001, Jiangsu;

4. Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu)

Abstract: Aiming at the complex and comprehensive system of water resources carrying capacity, based on the analysis of the characteristics of water resources carrying capacity in Jiangning District, the regional water resources carrying capacity was defined by highlighting the important role of water quality and water ecology in water resources carrying capacity. The diagnostic system of water resources carrying capacity was composed of the target, the elements, the representations and the index, which was multi-level, multi-element and bi-directional characterization between capacity and load. The present situation of water resources carrying capacity in Jiangning District was evaluated by the single factor evaluation method. The evaluation results showed that the current water quantity factors in Jiangning District could support population economic development. However, the water quality and aquatic ecological conditions were relatively poor, and the carrying capacity of the regional population economy was weak.

Key words: Jiangning District; water resources; carrying capacity; Characteristics; evaluation

收稿日期:2019-10-30

基金项目:江苏省水利科技项目(2018040)

作者简介:卞锦宇(1977—),女,教授级高级工程师,主要从事水资源可持续发展研究工作。E-mail:jybian@nhri.cn

1 概述

江宁区位于长江中下游南岸,全区低山丘陵岗地占 66.6%,水域面积率 11.9% (不含长江),主要河流 32 条、主要湖泊 6 个、中小水库 72 座,河网水系发达,丰沛的水资源支撑着区域社会经济的不断发展^[1]。近年来,江宁区工业化、城市化进程飞速发展,社会经济发展速度较快,人民生活水平不断提高。但由于工业化进程初期发展模式过于粗放,加之区域人口增长迅速,污染物排放量超过了污染消纳和自净能力,经济快速发展,使得区域水资源矛盾逐渐凸显,水污染严重,水质型缺水问题突出,水资源承载能力日益薄弱。

虽经过多年来的水环境综合治理,水环境状况有所改善,但平原圩区水体流动弱,水体置换较慢,生态功能退化,水质型缺水问题难以在短期内解决。同时,山丘区水源涵养功能不足,人进山退,季节性缺水时有发生,这些问题难以在短期内解决,已成为制约江宁区经济社会发展的瓶颈。造成这些问题的主要原因是人口经济社会发展布局与水资源不匹配、与水生态格局不协调、水资源承载负荷不均衡。严峻的水资源形势迫切需要开展江宁区水资源承载能力评价,建立有效科学的评价体系,客观判断水资源承载能力与支撑小康社会建设、经济社会发展布局的匹配关系,并采取有效的管控措施,遏制对水资源的不合理使用和对水环境的污染,以此促进经济社会发展与区域水资源承载能力相适应。

2 江宁区水资源承载力特征

结合江宁区水资源、水环境、水生态特点,区域水资源承载力特征总结如下。

2.1 水资源功能的多样性

江宁区有丰富的河道资源、水库资源和地下水资源,现状景观河道有秦淮河、秦淮新河、外港河、牛首山河等,主要湖泊有百家湖、九龙湖、杨柳湖、西湖、白鹭湖、南山湖、甘泉湖等,还有东北部汤山地区的温泉、明文化村,西部的滨江湿地、云台山水生态环境等,构成了江宁区特有的水生态文化脉络。水的文化同时也渗透在人们生活的方方面面。临水而居,与水为邻,江宁区注重建立人水和谐共处的新型人水关系,发展滨水经济,美化景观水系,提升价值。由原来较为单一的生活、灌溉等发展为更为丰富的饮用水源、景观休闲、生态服务、文化根

基等多样的功能,极大地丰富了区域水资源承载力内涵,反映了水资源承载客体的多样性特征。

2.2 水量支撑的多源性

江宁区本地水资源量不足,多年平均水资源总量为 6.46 亿 m^3 ,人均水资源量不足全国人均占有量的 30%,但过境水资源丰富。江宁区供水除取用区域内的河湖水源外,必须依靠调引长江水及上游秦淮河水。江宁区的供水水源主要以地表水资源为主,区域内的水资源开发利用水体来源主要包括水库与塘坝、沿江地区的部分河道,这些河道可以调引长江水,并且连通平原圩区的河网水系等。根据《2017 年江宁区水资源公报》,2017 年江宁区供水总量 6.93 亿 m^3 ,其中近一半供水水源来自长江及秦淮河。多水源性反映了江宁区水资源承载主体的多样性特征。

2.3 水质问题的影响性

全区河流污染较严重,水环境压力大。全区河流污染状况较前几年已有改观,但面临形势依然严峻,部分河段尤其是经过城区附近的河段水质恶化现象严重。根据监测结果,秦淮新河入口处水质为Ⅲ类,经过江宁段后出水水质达劣Ⅴ类。工、农、渔业用水区水体污染较严重。根据《2017 年江宁区水资源公报》,2017 年江宁区共监测 14 条河流,断面水质达到或优于Ⅲ类达 36.7%,Ⅳ类 20.0%,Ⅴ类 20.0%,劣于Ⅴ类 23.3%;2017 年共监测 23 个水功能区,10 个水功能区达标,水功能区达标率为 43.5%,主要污染因子为 COD、 NH_3-N 和 TP,总体水质较差,距离水功能区达标目标仍有差距。在水库及湖泊中,赵村水库为中营养,安基山水库为轻度富营养。而大规模、高强度的经济活动、使得水体污染负荷日益增加,造成部分水域水环境恶化、水生态退化,水污染问题仍可能出现反复。

总体上,水质问题对全区水环境承载力有直接影响,尤其是在干旱年份或是枯水季节,在沿江北片等距离长江较远等地区,水质恶化会加剧水资源短缺矛盾,从而影响全区的水资源承载能力。

2.4 水生态系统重要性

江宁区水系发达,水生态资源丰富,具有显著的湿地生态特色和水文化底蕴。但是由于经济社会的快速发展,江宁区的部分河流和湖泊受到不同程度的污染,部分湖泊、水库处于轻度富营养状态。河湖水生态系统退化,部分水生态系统的服务功能面临丧失,水体自净能力显著下降,原有水生生物链受到破坏,导致水生生物资源衰退、生物多样性

和生态稳定性下降。虽然经过多年的治理,江宁区水环境综合治理初见成效,江宁区饮用水安全得到保障,水环境质量稳中趋好。但是由于水污染治理的复杂性和困难性,江宁治理仍面临着一些亟待解决的问题,依然存在工业企业污水偷排、漏排的现象,零散式的小型排污口数量仍较多,农业面源污染有效治理技术相对薄弱,缺乏有效控制手段,在区域全面推广难度较大。因而水生态系统的恢复和保护在今后较长时期内仍是江宁区水资源承载能力的一项重要内容。

3 江宁区水资源承载力定义

水资源承载力是随着人类对水资源问题认识的不断深入以及环境科学的发展而被提出并不断完善的,其定义反映了不同的历史发展阶段,人们对水资源支撑社会经济发展状况的认识和判断^[2]。

近期关于水资源承载力定义的典型研究主要有:

(1)在一定流域或区域内,在特定社会、经济与技术条件下,在可预见的时期内在满足合理的河道内生态环境用水和保护生态环境的前提下,水资源能够持续支撑的经济社会发展规模,并维系良好的流域或区域可持续发展的能力^[3](2015 年全国资源环境承载能力监测预警技术方法)。

(2)可预见的时期内在满足合理的河道内生态环境用水和保护生态环境的前提下,综合考虑来水情况、工况条件、用水需求等因素,水资源承载经济社会的最大负荷^[4](2016 水利部水资源承载能力监测预警项目组)。

(3)以维系良好的水生态环境系统为前提,在特定的经济条件与技术水平下,区域水资源的最大可开发利用规模或对经济社会发展的最大支撑能力(2016 国家重点研发计划“国家水资源承载力评价与战略配置”项目)。

基于以上定义可以看出,区域水资源承载能力要实现与经济发展布局相匹配,一方面需要充分发挥水资源对经济社会发展的基础性支撑保障作用,最大限度地保障区域水安全,创造整洁、优美、舒适、和谐的亲水环境;另一方面,需要科学调整社会经济发展布局及规模,从而能够达到经济社会可持续发展、水资源可持续利用和水生态环境良性循环的“三赢”局面。江宁区地处长江中下游地区,区内水系发达,过境水资源丰富,区内湿地生态特色突出、水文化底蕴显著,是典型的南方丰水、经济发达

地区。为此,将江宁区水资源承载力概念定义为:在江宁区特定社会、经济与技术条件下,在可预见的时期内在满足合理的河道内生态环境用水和保护生态环境的基础上,水资源能够持续支撑的合理程度的经济社会发展规模,并维系良好的区域水环境、水生态可持续发展的能力,实现“水清、岸绿、流畅、景美”的良好生态环境。

4 水资源承载力评价指标框架

水资源承载能力评价对象是区域水资源承载主体和客体,不是单纯的表示水资源系统的承载主体,也不仅是表示社会经济系统的承载客体,水资源承载主体对应的承载能力、水资源承载客体对应的水资源承载负荷,两者缺一不可。相应的,江宁区水资源承载能力评价对象就是区域承载主体——水资源系统,区域承载客体——社会经济系统、生态系统。评价过程就是判断水资源系统承载主体是否满足社会经济、生态系统发展需求,即水资源系统对社会经济系统、生态系统发展的支撑状态。

从国内外的实际应用情况看,指标体系多采用多指标层次分析法。从评价目标出发,围绕评价对象影响因素逐层展开,有利于构建全面、清晰的评价结构。因此,根据国内外的有关研究成果和实践,本项目建立由目标层、要素层、表征层和指标层构成的多层次、双表征的水资源承载力评价指标体系。

目标层反映区域水资源承载力在水量、水质、水生态等方面所处的状态。要素层包括 3 个方面:一是水量要素,是指在保障合理生态用水的前提下,水资源对经济社会发展所能提供的最大水量;二是水质要素,是指在满足水域使用功能水质要求的前提下,水资源所能提供水量的最大水质保障;三是水生态要素,是指区域河湖基本生态环境用水满足情况及水生态状况。表征层从能力和负荷两方面进行反映 3 个要素,分别表征水量、水质及水生态要素的承载能力和承载负荷。指标层是通过直接计算或从统计资料中获得的指标变量,是构成水资源承载力评价指标体系的最基本的元素。

分别对应反映江宁区水资源承载力评价的 3 个要素和 6 个表征,构建相应的评价指标,评价指标体系框架见图 1。

5 水资源承载力评价方法

关于水资源承载能力评价方法比较多,主要可

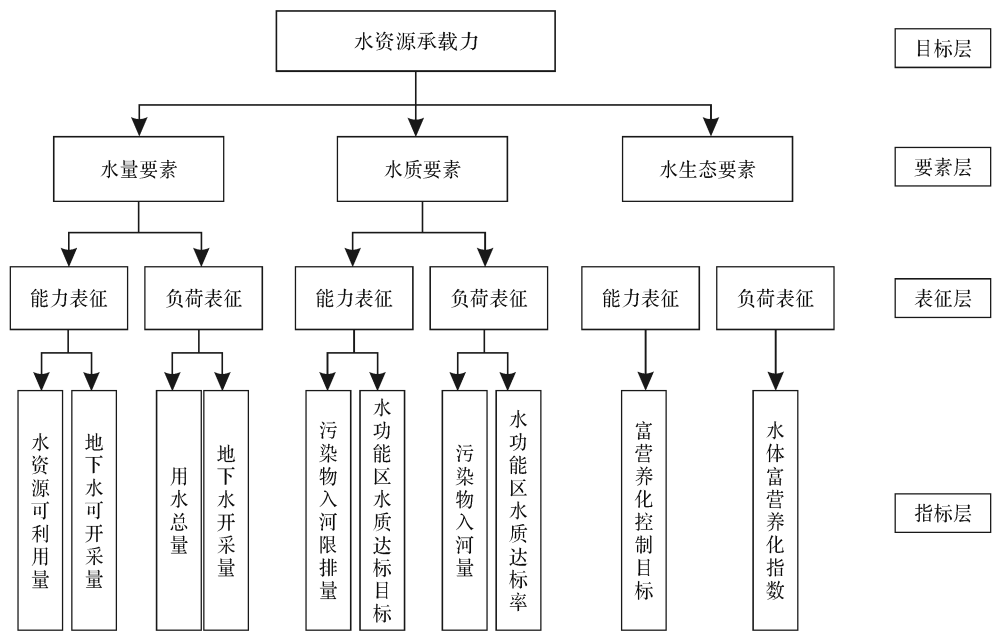


图 1 江宁区水资源承载力评价指标体系框架

分为 3 类:一是经验估算法,主要有背景分析法、经验公式法等^[5];二是指标体系评价法,主要有综合指标法、模糊综合评价法、向量模法、主成分分析法等^[6];三是复杂系统分析法,主要有系统动力学法、多目标分析法、压力状态相应法、动态模拟递推法等^[7-8],各类方法都有其优缺点。

经验估算法受人为因素影响较大,方法的应用及条件限制主要由主观判断,从而引起误差。复杂系统分析方法的优点是针对性强,可以灵活处理多维高阶、非线性等问题,精度更好,但缺点是模型构建复杂、参数界定不好掌握。本文主要针对区域尺度的承载力评价,更偏向于采用简单易行、操作性强的评价方法,便于指标数据的获取及评价范围内的推广应用。本次采用了水利部开展的全国水资源承载力监测预警工作的单指标评价法,即对水量、水质等要素指标分别分为严重超载、超载、临界状态、不超载 4 个等级,按照短板原理,取要素最差的状态为综合评价结果。

参考该方法,按照 4 个等级,采用一票否决制度,取 3 个要素最差的状态为综合评价结果,各指标评价标准见表 1。

6 江宁区水资源承载力评价

6.1 确定的评价指标

6.1.1 水资源可利用量

江宁区有丰富的过境水,区域供水除本地水资源外,可以调引长江水,因此这部分水量应该纳入

水资源可利用量中。

过境水资源可利用量按 1% 的多年平均过境水资源量来考虑。参考《南京市江宁区区域供水规划》中关于长江水资源量的分析,长江多年平均过境水量约 9 730 亿 m^3 ,江宁区过境水资源可利用量为 97.3 亿 m^3 。

根据《南京市水资源开发利用规划》,江宁区地表水资源可利用量等于地表径流量扣除超出防洪标准而排入长江的不可利用的洪水量。多年平均地表水资源可利用量为 2.79 亿 m^3 ,多年平均地下水资源可开采量为 0.68 亿 m^3 。因此,江宁区多年平均水资源可利用量为 100.77 亿 m^3 。

6.1.2 地下水可开采量

根据《南京市水资源开发利用规划》中可知江宁区当地地下水资源可开采量为 6772.32 万 m^3 。根据《关于下达 2017 年度实行最严格水资源管理制度目标任务的通知》(宁政水资考核〔2017〕3 号),2017 年江宁区地下水开采量控制指标为 240 万 m^3 。按照最严格水资源管理制度及技术大纲,将江宁区地下水可开采量与用水总量指标中的地下水控制开采量对比,取其中较小值作为本次评价的地下水开采量指标。本次评价确定的江宁区地下水开采量指标为 240 万 m^3 。

6.1.3 区域用水总量

包括农业、工业、生活及生态在内的所有用水总量,2017 年江宁区用水总量 6.93 亿 m^3 ,其中生活用水占 33.2%,生产用水占 59.4%,生态环境补

表 1 水资源承载状况分析评价标准

要素	负荷指标	能力指标	承载状况评价			
			严重超载	超载	临界状态	不超载
水量	用水总量 W	水资源可利用量 W_0	$W \geq 1.2W_0$	$W_0 \leq W < 1.2W_0$	$0.9W_0 \leq W < W_0$	$W < 0.9W_0$
	地下水可开采量 G	地下水开采量 G_0	$G \geq 1.2G_0$	$G_0 \leq G < 1.2G_0$	$0.9G_0 \leq G < G_0$	$G < 0.9G_0$
水质	水功能区水质达标率 Q	水功能区水质达标控制目标 Q_0	$Q \leq 0.4Q_0$	$0.4Q_0 < Q \leq 0.6Q_0$	$0.6Q_0 < Q \leq 0.8Q_0$	$Q > 0.8Q_0$
	污染物入河量 P	污染物限排量 P_0	$P \geq 3P_0$	$1.2P_0 \leq P < 3P_0$	$1.1P_0 \leq P < 1.2P_0$	$P < 1.1P_0$
水生态	水体富营养化指数 EI	营养分级指数 EI_0	中度—重度富营养	轻度富营养	轻度富营养	富营养及以下

水占 7.4%。工业用水 1.22 亿 m^3 , 农业用水 2.9 亿 m^3 。

6.1.4 地下水开采量

根据江宁区 2017 年江宁区水资源公报数据,江宁区 2017 年地下水开采量 0.012 万 m^3 ,按照《南京市地下水资源管理办法》有关规定,实行地下水水量和水位“双控制”,全区共设立了 8 眼监测井,其中 7 眼为市属,1 眼为省属;江宁区无地下水超采区,地下水位未超红线。

6.1.5 污染物入河限排量

根据《关于加强江宁区水功能区管理工作的意见暨水功能区纳污能力和限制排污总量的意见》(江宁政办发[2016]206 号),同时结合《江宁区省级水功能区达标整治方案(2017—2020)》相关成果,按照 2017 年省级水功能区污染物入河量进行复核统计得出的江宁区各水功能区污染物入河限排量核定指标,COD 为 7 364 t/a,氨氮为 987 t/a。

6.1.6 水功能区水质达标率控制目标

根据《省政府办公厅关于加强全省水功能区管理工作的意见》(苏政办发[2016]102 号)和《关于南京市水功能区纳污能力和限制排污总量的意见》(宁水资[2015]516 号)要求,在区政府批准的《南京市江宁区区级水功能区划及纳污能力核定》基础上,印发了《关于加强江宁区水功能区管理工作的意见暨水功能区纳污能力和限制排污总量的意见》(江宁政办发[2016]206 号),到 2020 年,全区水功能区水质持续改善,水生态环境状况有所好转,达标水功能区数量明显增加,污染严重水体大幅减少,重点地表水功能区达标比例达到 82% 以上。

6.1.7 主要污染物入河量

根据 2017 年江宁区省级及以上水功能区主要污染物现状入河量计算成果,得到主要污染物 COD、氨氮入河量分别为 10 581 t/a、1 218 t/a。

6.1.8 水功能区水质达标率

表征区域水功能区水质满足指定功能目标要求的程度,对照 2020 年水质目标评价,2017 年江宁区 23 个水功能区中全年期 10 个水质达标,达标率为 43.5%。

6.1.9 水体富营养化状态

表征江宁区湖泊水体水生态状况。根据富营养化指数分级,通常分成贫营养、中营养和富营养 3 种水平,在同一营养状态下,指数值越高,其营养程度越重,各分级指数如下:

- $TLI < 30$ 贫营养;
- $30 \leq TLI \leq 50$ 中营养;
- $TLI > 50$ 富营养;
- $50 < TLI < 60$ 轻度富营养;
- $60 < TLI \leq 70$ 中度富营养;
- $TLI > 70$ 重度富营养。

6.1.10 水体富营养化指数

表征湖泊水体的营养状况。富营养化评价采用《地表水资源质量评价技术规程》中的规定进行评价。具体评价指标包括透明度、TP、COD、TN、Chl-a 等 5 项指标,是衡量湖泊生态系统健康状况和水环境质量的重要指标之一。

根据《2017 年江宁区水资源公报》,共监测 2 个水库水体营养化状况,监测的水库中,赵村水库为中营养,安基山水库为轻度富营养。根据《江宁区河湖健康评价报告》,百家湖富营养状况指数为

66.5, 九龙湖富营养状况指数为 63.8, 梅龙湖富营养状况指数为 61.4, 均处于中度富营养状态; 安基山水库富营养状况指数为 46.7, 处于中营养状态; 横山水库富营养化状况指数为 54.25, 处于轻度富营养化状态。本次评价采用最差值作为评价指标值。

6.2 评价结果及分析

根据单要素评价法对江宁区 2017 年水量、水质、水生态各要素进行承载力评价, 评价结果见表 2。

家湖中度富营养为总体评价价值, 对应的评价结果为超载。

综上, 江宁区水资源承载力总体评价结果为超载。水质、水生态要素均为超载, 水量要素若考虑天然状态下本地水资源和过境水资源, 则为不超载状态, 若考虑行政管理划定的用水总量控制目标, 则为临界超载。可以看出, 水量要素不是影响江宁区水资源承载力的决定因素, 水环境恶化及由此引起的水生态问题才是全区水资源承载力制约经济社会发展的决定性影响因素。

表 2 2017 年江宁区水资源承载力评价结果

江宁区水资源承载力	水量	用水总量 W	水资源可利用量 W_0	评价指数	评价结果
		6.93 亿 m^3	100.77 亿 m^3	0.10	不超载
		用水总量 W	用水总量控制指标 W'_0	评价指数	评价结果
		6.93 亿 m^3	7.1 亿 m^3	0.98	临界超载
		地下水开采量 G	地下水可开采量 G_0	评价指数	评价结果
		120 万 m^3	240 万 m^3	0.5	不超载
	水质	水功能区水质达标率 Q	水功能区水质达标率控制目标 Q_0	评价指数	评价结果
		43.5%	82%	0.53	超载
		污染物入河量 P	污染物限排量 P_0	评价指数	评价结果
		10 581 t/a(COD) 1 218 t/a(氨氮)	7 364 t/a(COD) 987 t/a(氨氮)	1.44 1.23	超载
	水生态	水体富营养化指数 EI	水体营养分级指数 EI_0	评价状态	评价结果
		66.5	60 ~ 70	中度富营养	严重超载

水量要素承载力从用水总量和地下水开采量两方面进行评价。其中, 用水总量能力指标采用了水资源可利用量和用水总量控制指标, 分别反映了江宁区天然状态下和行政管理条件下最大可利用的水资源量。经评价, 以水资源可利用量为能力指标, 评价指标很小仅为 0.1, 评价结果为不超载, 以用水总量控制指标为能力指标, 评价指数为 0.98, 处于临界超载状态。

水质要素承载力总体评价结果为超载。其中, 水功能区水质达标率评价指数为 0.53, 处于超载状态; COD、氨氮污染物入河量评价指数分别为 1.44、1.23, 评价结果均超载。

水生态要素承载力方面, 由于仅获取区内 6 座湖泊、水库水体富营养化状况监测结果, 以最差的百

7 结论与建议

(1) 单要素评价直接法反映了江宁区水资源承载力的短板问题。单要素评价法对水量、水质、水生态 3 个要素进行全面评价, 由于江宁区的水质、水生态短板, 最终导致评价结果为超载。

(2) 评价结果与江宁区实际情况是相符的。评价结果反映了江宁区水资源水环境基本情况, 由于过境水量充沛, 水资源量能够承载当地的人口和经济发展。但污染问题仍然突出, 部分水库呈现不同程度的富营养化, 圩内水系水环境恶化尚未得到有效遏制, 水质、水生态状况仍然较差。评价结果如实反映了这些问题。

(下转第 32 页)

(上接第 25 页)

(3)建议未来进一步加强江宁区水资源可利用量的研究。江宁区水资源可利用量包括本地水资源可利用量和过境水可利用量,水资源可利用量的计算需要确定水资源可利用率。根据江宁区已有研究成果,多年平均地表水资源可利用量为 2.79 亿 m^3 ,多年平均地下水资源可开采量为 0.68 亿 m^3 ,但过境水资源量可利用率尚没有足够的研究,同时随着社会经济的快速发展,区域的自然、社会环境都有了显著的改变,水资源开发利用方式和利用水平也有了很大的改变和提高。因此,需要对水资源可利用率做进一步深入的研究,更为合理、科学地确定区域水资源可利用量。

参考文献:

- [1] 江宁区水务局. 南京市江宁区水资源综合规划[R]. 2008.
- [2] 姜大川. 气候变化下流域水资源承载力理论与方法研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院, 2018.
- [3] 中国科学院地理科学与资源研究所,等. 全国资源环境承载能力监测预警技术方法[R]. 2015.
- [4] 中华人民共和国水利部. 全国资源环境承载能力监测预警技术方法(修订稿)[R]. 2016.
- [5] 高彦春,刘昌明. 区域水资源开发利用的阈限分析[J]. 水利学报, 1997(8):73-79.
- [6] 朱一中,夏军,谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2):180-188.
- [7] Dou M, Ma J X, Li G Q, et al. Measurement and assessment of water resources carrying capacity in Henan Province, China[J]. Water Science and Engineering, 2015, 8(2):102-113.
- [8] Cheng L. System dynamics model of Suzhou water resources carrying capacity and its application[J]. Water Science and Engineering, 2010, 3(2):144-155.