

以雨水为主水源的城市人工湖水资源论证研究

韩玉龙, 罗国杰

(华北水利水电大学 水利学院, 河南 郑州 450046)

摘要: 在海绵城市建设中, 如何对雨水进行最合理的使用, 是决定海绵城市成功与否的重要一环。结合“海绵城市”理论框架, 通过郑州市园博园同心湖实例分析, 论证以雨水作为城市人工湖主水源的合理性, 遵循相关规范, 着重论证同心湖年需水量与降雨汇水总量的供需平衡分析, 经研究得出同心湖年降雨汇水总量为 15.38 万 m^3/a , 年需水量为 15.38 m^3/a , 通过园区内部低影响开发设施等调蓄水措施, 改善各月降水不均导致的供需失衡, 同心湖蓄水量可维持在 16 万 m^3/a , 促进雨水资源在园区内的合理利用, 可为同类及相似的项目提供参考。

关键词: 海绵城市; 城市人工湖; 雨水; 供需平衡分析; 低影响开发设施

中图分类号: TV213

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2021)05—0139—06

Demonstration of Water Resources Argumentation in Urban Artificial Lakes with Rainwater as Main Water Source

HAN Yulong, LUO Guojie

(Water Resources Department, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou, He'nan 450046, China)

Abstract: In the development of sponge cities, how to make the most legitimate use of rainwater is a crucial part of determining the success of sponge cities. Based on the theoretical framework of the sponge city, this paper took Tongxin Lake in the Garden Expo Garden of Zhengzhou City as an example, which use rainwater as the main water source. Based on associated criterions, the instantiation of the annual water requirement and rainfall catchment volume was determined. According to the analysis of supply and demand balance, the total annual rainfall catchment of Tongxin Lake is 153 800 m^3/a , and the annual water demand is 15.38 m^3/a . The low-impact development facilities in the park and other water regulation and storage measures are used to improve monthly precipitation. The imbalance of supply and demand caused by unevenness, the water storage capacity of Tongxin Lake can be maintained at 160 000 m^3/a , which promotes the rational use of rainwater resources in the park, which can provide reference for similar and similar projects.

Keywords: sponge city; urban artificial lake; rainwater; analysis of supply and demand balance; low-impact development facilities

我国是全世界水资源严重短缺的国家之一, 在为水资源紧缺难题绞尽脑汁时, 丰富的雨水资源却没有得到有效利用而白白流走, “留住雨水”和利用雨水对于缓解城市淡水紧缺的压力, 保护和恢复水环境, 修补生态环境意义重大而不可忽视。合理利用雨水, 可以缓解城市用水压力也节约了水资源, 将减少地下水的抽取量。针对雨水收集利用, 海绵城

市建设理论框架相应随之而来^[1]。

海绵城市本旨通过加强城市管理, 充分发挥道路和绿地、水系等生态系统对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用, 调控雨水径流, 实现自然积存、自然渗透、自然净化的新型城市建设方式^[2]。

园博园同心湖生态水系是适应于郑州海绵城市建设的试点, 通过水资源论证, 以合理开发、节约用

水和有效保护水资源为原则,结合郑州市海绵城市建设规划,按照相关的法律、法规及行业标准,在分析同心湖所在区域水资源及开发利用状况的基础上,分析论证同心湖取用水的合理性、可供水量及取水水源可靠性,以促进区域水资源优化配置和用水结构的调整,在实现水资源高效利用和科学管理的同时,满足同心湖的合理用水要求,实现区域水资源统一管理和水量的统一调度^[3]。

1 项目概况

郑州市航空港实验区位于郑州市东南部,是郑州都市区南部新城的主要组成部分,实验区面积 415 km²,园博园水系位于整个实验区的中心位置,处于整个南区生态水系的上游位置,连接梅河支流和如意河,定位为景观型河道区域。园博园水系规划设计在水动力、水生态、断面处理、景观设计、交通游憩等多个角度,结合整个片区的总体规划及特色进行。

同心湖作为园博园生态水系的一部分,不仅是区域海绵设施的重要组成部分,还是雨洪调蓄的核心。在保证湖体调蓄能力的同时,考虑游人的安全性、亲水性及整体的观赏性和稳定性,沿水体周边分布湿塘和雨水湿地等低影响设施,可有效削减污染物,并具有一定的径流总量和峰值流量控制效果。同心湖水面面积为 6.75 万 m²,平均水深 2.37 m,蓄水量 16 万 m³,投资 4 634.29 万元。

2 项目水源选择

同心湖取水主要用于湖区运行情况下湖水的蒸发、渗漏损失和水生植物用水,综合考虑国家目前水资源管理政策,应优先考虑雨水,其次使用污水处理厂再生水源、地表水源^[4]。

园博园同心湖没有南水北调工程用水指标,地表水不能作为园博园同心湖用水水源,且项目区管网铺设不到位,故市政中水不能作为园博园同心湖水源。

园区内雨水通过有效途径回收并加以利用,可缓解供水紧张,增加浅层土壤的含水率,调节气候,遏制城市热岛效应,减轻雨洪负荷,减轻因雨水径流导致的面源污染,减少水系的水体污染,还可以减少扬尘污染。

园博园同心湖平常以收集园区雨水作为水源,因园区外无雨水泵站,园区无法接纳附近外围的雨水。

3 用水合理性分析

园博园同心湖初次充水为园区施工期工程降水及天然雨水,同心湖湖底标高 111 m,常水位 114 m,场地水位满蓄最高可达 115 m,最低水位控制在 113 m,相应水位对应的湖面面积和相应蓄水量见表 1。同心湖水位与水面面积关系曲线见图 1,水位与蓄水量关系曲线见图 2。

表 1 同心湖不同水位蓄水量表

高程/m	湖面面积/m ²	蓄水量/m ³	备注
111	31434	26969	湖底高程
113	56184	113397	最低水位
114	67500	160000	正常水位
115	81449	249517	最高蓄水位

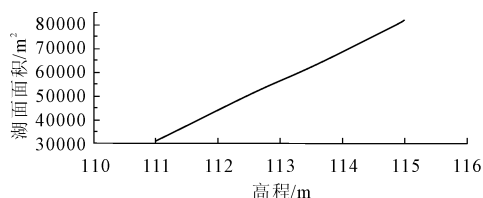


图 1 同心湖水位与湖面面积关系

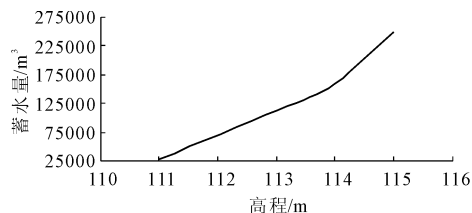


图 2 同心湖水位与蓄水量关系曲线

同心湖工程用水量主要包括正常运行情况下湖区蒸发、渗漏损失、同心湖周边绿化和水生植物用水量。根据同心湖近几年水体运行调度方式及湖区水质实际情况,不考虑换水的情况下,依靠自身水体循环、湿地和水生态净化作用下,湖区水质状况保持良好^[5]。因此,园博园同心湖用水量主要为湖内水体的蒸发和渗漏损失量。

3.1 湖面蒸发量计算

湖泊的水面蒸发是水量消耗的重要方式之一,在能保证入水和出水平衡的情况下,水位基本保持不变,水量不至于减少或干涸^[6]。通过图 1 和图 2,湖面第一个月充满水时到达常水位 114 m,根据表 1 知湖面面积为 67 500 m²,可计算出第一个月的湖面蒸发量,再减去第一个蒸发量,依次可确定出同心湖逐月湖面面积。根据《郑州市水资源综合规划》中郑州市多年平均(1980 年—2000 年)年蒸发量计算

表,可知距离项目所在地航空港实验区最近的新郑的多年平均月蒸发量^[7]。蒸发量计算见表2。

$$W_{re} = A_r E_w / 10 \quad (1)$$

式中: A_r 为水系水面面积; E_w 为水面多年平均蒸发量。

表2 水面蒸发量计算表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
水面蒸发量/mm	30.8	40.8	62.4	91.5	114.5	131.0	105.4	90.6	74.9	63.0	44.9	34.5
蒸发面积/km ²	0.0675	0.0665	0.0662	0.0660	0.0645	0.0623	0.0608	0.0590	0.0571	0.0560	0.0553	0.0543
同心湖蒸发量/(万 m ³ ·a ⁻¹)	0.21	0.27	0.41	0.60	0.74	0.82	0.64	0.53	0.43	0.35	0.25	0.19

3.2 水生植物耗水量计算

园博园同心湖及周边区域泽水花园种植地被类和水生类植物,结合不同区域水位高低和地形变化,耐水湿花灌木与水生植物结合,营造湿地花园^[8]。主要种植品种有睡莲、荇菜、金银莲花、菖蒲、香蒲、花叶芦竹、水葱、鸢尾等,种植面积及数量见表3。

表3 同心湖水生植物统计表

植物类别	植物名称	数量/m ²	项目特征或规格
浮叶植物	睡莲	1830	2 兜/m ²
	荇菜	840	2 兜/m ²
	金银莲花	630	2 兜/m ²
挺水植物	菖蒲	500	6 丛/m ² , 5 株/丛
	香蒲	680	4 丛/m ² , 5 株/丛
	花叶芦竹	550	4 丛/m ² , 5 株/丛
	水葱	220	5 丛/m ² , 5 株/丛
	鸢尾	650	5 丛/m ² , 5 株/丛
合计	—	5900	—

水生植物需水量公式为:

$$W_p = A(t) \times ET_m \quad (2)$$

式中: W_p 为水生植物需水量; $A(t)$ 为水生植物面积(0.59 万 m²); ET_m 为多年平均蒸散量。

多年平均蒸散量 ET_m 与水面多年平均蒸发量 E_w 之比作为衡量水生植物的蒸散系数,研究参考国内外水生植物蒸散量的实测值,确定黄淮海地区水生植物的蒸散系数(ET_m/E_w)在 1.5~3.5 之间,平均值为 2.5,取平均值为 2.5 时多年平均蒸散量 ET 为 2 210.75 mm/m²,根据上表3可知水生植物面积 $A(t)$ 为 0.59 万 m²。经计算,园博园同心湖水生植物用水量 W_p 为 1.30 万 m³/a^[9]。

3.3 渗漏量计算

根据航空港实验区实地水文地质调查资料,区内地下水位基本在同一标高上,浅层水水位埋深为 5 m~7 m。所以,可采用达西定理计算同心湖的渗漏量,它适用于雷诺数小于 1~10 的地下水层流运动,自然界地下水的雷诺数一般都不超过 1,所以达

西公式对于一般地下水运动都是适用的^[10],其表达式为:

$$W_{\text{渗}} = K_1 \times W_{\text{蓄}} \quad (3)$$

式中: $W_{\text{渗}}$ 为湖泊年渗漏损失,m³; $W_{\text{蓄}}$ 为湖泊年均蓄水量,m³; K_1 为经验系数,此处取 0.05。

经验系数取值受到水文地质条件影响较大,水文地质条件优良时,经验系数一般取值 0%~10%;中等条件下,经验系数取值 10%~15%;水文地质条件较差时,经验系数取值 15%~30%。根据项目可研报告,同心湖湖区全部采用生态防渗膜进行防渗,本次计算经验系数取值 5%,经计算湖泊渗漏量 $W_{\text{渗}}$ 为 0.80 万 m³/a^[11]。

3.4 同心湖周边绿化浇洒用水量计算

根据《河南省地方标准—工业与城镇生活用水定额》^[12](DB41T385—2020),可计算出园区绿化浇洒用水量,见表4。

表4 园区绿化浇洒用水量计算表

用水定额/(m ³ ·m ⁻² ·a ⁻¹)	绿化面积/m ²	用水量/(万 m ³ ·a ⁻¹)
0.51	153725	7.84

园区全年绿化浇洒所需水量为 7.84 万 m³/a。

综上所述,园博园同心湖日常运行期间,每年同心湖蒸发和渗漏损失量、水生植物蒸散量,同心湖周边绿化用水量,合计为 15.38 万 m³/a。

3.5 取水量合理性分析

同心湖水体运行方式为自循环,采用生物栖息地营造与生物净化技术;引入生物净化船,减少湖区与水体中的有机污染物,通过抗污染水生植物与岸边植被营造,引入昆虫、鸟类、鱼类等动物生态系统,形成具有自我更新能力的生态群落,能够实现水体净化,能够维持同心湖水质目标。因此,同心湖用水主要包括正常运行下的湖区蒸发、渗漏损失量^[13]。

同心湖水体面积 6.75 万 m²,湖底标高 111 m,正常水位 114 m,最高水位可达 115 m,最低水位控

率与设计降雨量为一一对应关系。参见《海绵城市建设技术指南》,郑州园博园的径流总量控制目标确定在 85%,对应的设计降雨量为 34.3 mm^[18]。低影响开发设施分布见图 7。

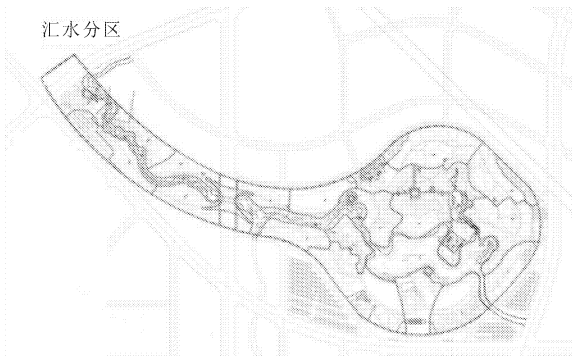


图 6 汇水分区图

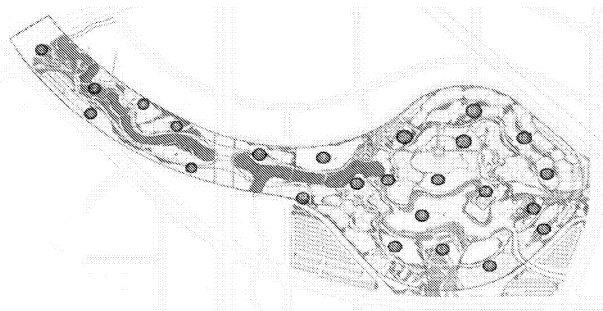


图 7 园博园低影响开发设施分布示意图

根据《第十一届中国(郑州)国际园林博览会园博园可行性研究报告》^[19],园博园各计算区域面积统计见表 6。

表 6 园博园汇水区域面积统计表

分区	同心湖湖面	绿化	广场	道路	停车场	建筑	展园
面积/km ²	0.0675	0.5487	0.0664	0.1007	0.0613	0.0170	0.0138

综上,经计算可知园博园同心湖降水汇水量为 15.38 万 m³/a,详细计算见表 7。

4.3 月供水与需水平衡调节分析

本次供需水计算采用同心湖常水位 114 m,蓄水量 16 万 m³ 为基准,月供需水情况见计算表 8。由表中数据可知,1 月—5 月和 11 月—12 月降水量远小于用水需求;6 月—10 月的降水比较充盈,远大于用水需求。为缓解各月降水不均导致的供需失衡,园区可利用海绵工程等调蓄水措施,将 6 月—10 月的多余水量储蓄起来分配至缺水月份,同心湖各月供需水量维持平衡^[20]。

表 7 降雨汇水量计算汇总

月份	不同区域汇水量/万 m ³							汇水量总计/万 m ³
	同心湖	绿化	广场	道路	停车场	建筑	展园	
1 月	2.69	3.28	0.07	1.40	0.61	0.24	1.38	0.10
2 月	6.10	7.44	1.50	3.18	1.39	0.54	3.13	0.23
3 月	12.53	15.27	3.08	6.54	2.84	1.10	6.42	0.48
4 月	22.30	27.18	5.49	11.64	5.06	0.02	11.43	0.85
5 月	26.95	32.86	6.64	14.07	6.12	2.37	13.82	1.03
6 月	58.10	70.84	1.43	30.33	1.32	5.11	29.79	2.22
7 月	62.36	76.04	15.35	32.56	14.16	5.48	31.98	2.38
8 月	57.90	70.60	14.26	30.23	13.15	5.09	2.97	2.21
9 月	84.07	102.50	20.70	43.89	19.09	7.39	43.11	3.21
10 月	43.54	53.09	10.72	2.27	9.89	3.83	22.33	1.66
11 月	24.26	29.58	5.97	12.67	5.51	0.21	12.44	0.93
12 月	2.30	2.80	0.57	1.20	0.52	0.20	1.18	0.09
全年	403.10	491.49	99.25	210.46	91.55	0.35	2.07	15.38

表 8 月需水情况汇总

月份	不同项目需水量/万 m ³				需水量合计/万 m ³	蓄水量/万 m ³	月供需调节/万 m ³
	蒸发	渗漏量	水生植物	绿化浇洒			
1 月	0.21	0.07	0.05	0.27	0.60	15.51	-0.49
2 月	0.27	0.07	0.06	0.36	0.76	14.98	-0.53
3 月	0.41	0.07	0.09	0.55	1.12	14.34	-0.64
4 月	0.60	0.07	0.13	0.81	1.61	13.58	-0.76
5 月	0.74	0.07	0.17	1.02	1.99	12.61	-0.96
6 月	0.82	0.07	0.19	1.16	2.24	12.59	-0.02
7 月	0.64	0.07	0.16	0.93	1.80	13.17	0.58
8 月	0.53	0.07	0.13	0.80	1.53	13.85	0.68
9 月	0.43	0.07	0.11	0.66	1.27	15.78	1.94
10 月	0.35	0.07	0.09	0.56	1.07	16.38	0.59
11 月	0.25	0.07	0.07	0.40	0.78	16.52	0.14
12 月	0.19	0.07	0.05	0.31	0.61	16.00	-0.53
全年	5.44	0.80	1.30	7.84	15.38	16.00	—

5 结 论

本文通过园博园同心湖水系实例分析,论证研究了以雨水作为取水水源的合理性,并计算得出运行期湖区蒸发总量,并结合海绵城市规划,分析同心湖年降雨汇水量。结果表明,由于每月的降水不平衡导致的供需水失衡,同心湖蓄水量在容积范围内呈现一定的起伏(12.61 万 m³ ~ 16.52 万 m³),在调蓄水措施的调节作用下,降水经过合理的再分配,同心湖供需水量平衡的情况下,维持在常水位 114 m 处,蓄水量维持在 16 万 m³。通过海绵工程等调蓄水措施,可以改善各月降水不均导致的供需失衡,充

分有效利用天然降水。

参考文献:

- [1] 范小蒙. 浅析郑州市海绵城市理念下雨水利用模式[J]. 河南建材, 2019(5): 193-194.
- [2] 王士武, 李其峰, 戚核帅, 等. 对区域水资源论证 + 水耗标准制度探索与实践[J]. 中国农村水利水电, 2019(5): 29-33.
- [3] 杨贵羽, 李烁阳, 杨朝晖, 等. 宁夏面临的水资源问题及高质量发展对策[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(4): 1-6.
- [4] 候闪闪, 郭兆广, 栾春风, 等. 地下污水处理厂地上景观水生态工程设计研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(1): 91-96.
- [5] 杨凤茹, 陈亮, 张雅卓, 等. 低影响开发雨水系统规划研究综述[J]. 水力发电学报, 2021, 40(6): 62-78.
- [6] 魏晓妹, 降亚楠. 西北灌区地下水资源开发利用研究进展及发展趋势[J]. 水利与建筑工程学报, 2019, 17(6): 1-10.
- [7] 河南省水利勘测设计研究有限公司. 郑州市水资源综合规划[R]. 郑州: 河南省水利勘测设计研究有限公司, 2018.
- [8] 王富强, 刘沛衡, 魏怀斌. 郑州市水生态文明城市建设成效评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 58-63.
- [9] 肖芳. 海河流域不同水生生物需水量研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [10] 胡珊, 李纯洁. 郑州市地下水资源开发利用现状及对策[J]. 水资源开发与管理, 2020(4): 33-37.
- [11] 陈晨, 赵杨, 张刘东, 等. 滇池流域水资源空间均衡研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(5): 41-44.
- [12] 河南省地方标准 - 工业与城镇生活用水定额: DB41T385—2020[S]. 郑州: 黄河水利出版社, 2020.
- [13] 建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范: GB 50400—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [14] 孙传辉. 芜湖市非常规水源开发利用研究[J]. 资源节约与环保, 2020(9): 128, 131.
- [15] 北京建筑大学. 海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [16] 陈泓宇, 董宇翔, 林辰松. 集雨节水型绿地设计研究[J]. 给水排水, 2020, 56(12): 56-59.
- [17] 刘翠, 冯峰, 靳晓颖. 海绵城市理念下开封市雨水资源利用效益分析[J]. 人民黄河, 2021, 43(3): 102-106.
- [18] 王平. 论述雨水资源利用与“海绵城市”建设[J]. 居舍, 2020(4): 2.
- [19] 西南设计研究总院有限公司. 第十一届中国(郑州)国际园林博览会园博园可行性研究报告[R]. 成都: 西南设计研究总院有限公司, 2016.
- [20] 李自浩. 海绵城市雨水控制与利用技术[J]. 居舍, 2020(22): 9-10.

(上接第 45 页)

- [11] 李建明, 王志刚, 张长伟, 等. 生产建设项目弃土弃渣特性及资源化利用潜力评价[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 1-8.
- [12] 张朔, 但路昭, 尹小涛, 等. 山区交通工程弃渣场常见病害及安全控制研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2020, 40(5): 13-19.
- [13] 孙朝燚, 陈从新, 郑允, 等. 基于空间效应的弃渣场边坡稳定性方法探讨[J]. 西南交通大学学报, 2019, 54(1): 97-105.
- [14] 吴谦, 毛雪松, 刘龙旗, 等. 某弃渣场边坡稳定性的可靠度分析[J]. 桂林理工大学学报, 2017, 37(3): 475-480.
- [15] 林文华, 叶诚耿, 王浩. 考虑堆填界面软化及地下水位波动的大型弃渣场边坡稳定性分析[J]. 铁道建筑, 2020, 60(5): 84-88.
- [16] 中国地震动参数区划图: GB 18306—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.