

水景水量配置供需平衡比较研究 ——以北京朝阳公园为例

王衍祯^{1,2}

(1. 北京林业大学园林学院, 北京 100083; 2. 北京城市学院, 北京 100083)

摘要: 水资源供需分析是当前水资源研究领域的热点问题。为了高效节约公园水景用水, 本文运用生态环境需水量和最大用水定额计算方法, 以北京市朝阳区公园为案例区, 对其水景的水量配置供需关系进行对比分析, 结果显示: 在不考虑水体净化和公共用地取水量的情况下, 朝阳公园的最大生态环境需水量为 193.71 万 m³, 中等生态环境需水量为 189.81 万 m³, 最小生态环境需水量为 178.11 万 m³。若公园公共用地取水来源于公园中的水体, 则最大环境需水量为 404.99 万 m³, 中等环境需水量为 401.09 万 m³, 最小环境需水量为 389.39 万 m³。运用最大用水定额模型, 得到最大用水定额为 390.87 万 m³, 该数值大于最小生态环境需水量 389.39 万 m³。综合比较下, 较节水的朝阳公园水景用水量不能超过 390.87 万 m³, 该结论可为公园水景水量配置研究提供科学参考。

关键词: 公园水景; 水量配置; 供需平衡; 朝阳公园; 北京

文章编号: 1000-0585(2011)07-1207-08

1 引言

随着城市公园中水景数量的逐渐增多, 水景设计中的问题也日益突出。忽视地域水资源现状, 人工水景规模大^[1], 导致工程造价和后续维护管理成本过高^[2], 水景水质也难以保障。目前, 有关水景的研究多集中于水景美学和视觉评价^[3~7], 以及有关水景节水和补水量计算等研究方面^[8~12]对于水景水量配置的研究涉及甚少, 而当前的水景设计中多数仍沿用明代提出的水景占规划总面积 30% 的设计比例, 与目前水资源短缺、人口密集、土地面积减少的现状极不协调, 因此, 科学开展水景水量与供水平衡关系研究已成为水景研究中的重点问题。

2009 年联合国教科文组织发布的《世界水资源开发报告》显示, 水资源问题已上升为全球最紧迫最严峻的科学科研之一。全球淡水资源的权威分析报告预测认为, 因淡水资源的过度开发, 到 2030 年全球 47% 的人口居住区用水将面临高度紧张^[13]。目前, 北京人均水资源不足 300 m³, 分别是全国平均水平和世界人均水资源量的 1/8 和 1/30。从 20 世纪 80 年代初到 2010 年, 北京市水资源量日趋减少, 减少幅度呈增加趋势^[14]。2011 年北京市委市政府关于进一步加强水务改革发展意见显示, 水资源极端紧缺成为北京基本市情, 将实施境外调水、境内集中输水、密云水库上游旱稻等项目以保障城市用水, 无形中给城市公园水景的设计和管理提出新的思考。

收稿日期: 2011-02-21; **修订日期:** 2011-05-12

基金项目: 住房和城乡建设部研究开发项目 (2010-K6-18)

作者简介: 王衍祯 (1962-), 女, 北京人, 博士, 副教授, 主要从事风景园林规划与设计的教学与科研。

E-mail: wangyanzhen9@126.com

本文以北京市朝阳区公园为例,通过水景水量配置的供需比较探索地域水景的生态环境需水量与供给能力之间的关系,为科学量化水景水资源供需关系^[14],高效利用水资源提供参考,同时为水景设计与实践研究提供科学依据。

2 研究区概况

北京地处东亚大陆东岸,暖温带半湿润地区,气候受蒙古高压的影响,属大陆性季风气候,四季分明,年均温 10~12℃。根据资料来源于国家气象局网站(站台 54511)1980~2010 年的降水量和蒸发量的观测数据进行统计分析,获得如表 1 所示的北京近 30 年的月降水量和月蒸发量。

表 1 北京 1980~2010 年的降水量和蒸发量

Tab. 1 Amount of precipitation and evaporation of Beijing city from 1980 to 2010

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
累年月降水量 (mm)	2.3	3.5	7.5	18.2	40.4	71.4	202.9	141.4	41	26.3	10.9	2.6
累年月水面蒸发量 (mm)	83.2	112.8	114.8	220.8	280.6	335.4	312.4	259.3	194.9	171	93.4	79.9

北京市朝阳区公园是以园林绿化为主的一所综合性、多功能的大型文化休憩、娱乐公园(图 1、图 2)。始建于 1984 年,1992 年更名为朝阳公园,南北长约 2.8 km,东西宽约 1.5 km,总占地 288.70hm²,其中绿地 191.84 hm²,水景 68.19 hm²,建筑 4.01 hm²,道路铺装 24.65 hm²。朝阳公园动态水景较多,南区有世纪喷泉广场,北区有卧龙叠水,西区有椭圆形下沉式雾泉和两组长方形喷泉组成。夏季公园内的水生植物总面积约占 7.8 hm²,其中水生植物主要有荷花、昌蒲、睡莲等。因此,对北京市朝阳区公园的水景需水进行深入分析,对其他公园具有重要的参考意义。



图 1 卧龙叠水
Fig. 1 The Dragon Dip



图 2 荷花湖
Fig. 2 The Lotus Lake

3 公园水景水量配置供需分析的模型与方法

本文大部分数据源于朝阳公园管理处,部分为实测。其中动态水体蒸发量计算根据其立体水体面积,因喷泉喷出的水体形式多变,故采取平均估算法计算动态水体面积;叠水

面积采取实测法。运用生态环境需水量和最大用水定额的计算方法。

3.1 生态环境需水量分析方法

水景生态环境需水量包括自身需水量、耗水量、天然降水量三部分，其中耗水量包括水面蒸发量、动态水损失量、生物耗水量、渗漏损失量、公共用取水量、净化需水量。

(1) 水面蒸发量

水面蒸发量公式为^[15]：

$$W_E(t_i) = A_1 \times E_w(t_i) \quad (1)$$

式中， $W_E(t_i)$ 为 t_i 时段内水景水面蒸发量 (m^3)； A_1 为水景面积 (hm^2)； $E_w(t_i)$ 为 t_i 时段内参考水面蒸发量 (mm)。

经计算，朝阳公园静态水景月蒸发量如表 2 所示。水面蒸发量随参考水面蒸发量而变化，其中 6 月份蒸发量最大，为 22.87 万 m^3 ，12 月份蒸发量最小，为 5.4 万 m^3 ，全年水面蒸发量为 154 万 m^3 。

表 2 朝阳公园水景耗水量

Tab. 2 The water consumption of Chaoyang Park waterscape

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
月蒸发量 (万 m^3)	5.67	7.69	7.83	15.06	19.13	22.87	21.30	17.68	13.29	11.66	6.37	5.45	15.40
动态水损 失量 (m^3)	0	0	50.2	44.2	374.9	973	906.3	752.2	173.1	90.8	0	0	3364.6
植物蒸 散量 (m^3)	0	0	0	0	766.0	9156.4	8528.5	7078.9	5320.8	4668.3	0	0	35518.9
生长需 水量 (m^3)	0	0	0	0	7.7	92.5	86.2	71.5	53.8	47.2	0	0	358.8
降雨量 (m^3)	1568.4	2386.7	5114.3	12410.6	27548.8	48687.7	138357.5	96420.7	27957.9	17934.0	7432.7	1772.9	387592

(2) 动态水损失量

朝阳公园中动态水损失量 $W_{损}$ 主要指世纪喷泉广场、艺术广场 (图 3) 和卧龙叠水三处水损失量，结果如表 3。



图 3 艺术广场的雾泉和长方形喷泉

Fig. 3 The Fountain Fog At Art Square and Rectangular Fountain

表 3 朝阳公园动态水体参数
Tab. 3 Dynamic water parameter of Chaoyang Park

序号	类型	位置	面积 (m ²)	喷头数量	喷头规格 (D/cm)	水泵数量
1	水帘	世纪彩虹水帘	276			
2	水帘	世纪喷泉水门	1408	88	5	10
3	叠水	卧龙叠水	200	0	0	0
4	喷泉 1	世纪喷泉广场	255	10	15	17
5	喷泉 2	世纪喷泉广场	80	32	5	4
6	喷泉 3	世纪喷泉广场	368.1	198	3	6
7	喷泉 4	世纪喷泉广场	156.9	16	10	16
8	喷泉	雾泉	157	2826	2	15

动态水损失量计算公式为:

$$W_{\text{水蒸}}(t_i) = A_{\text{流}}(t_i) \times E_w(t_i) \quad (2)$$

式中, $W_{\text{水蒸}}(t_i)$ 为 t_i 时段内水垂直喷射流动过程中水体的蒸发量 (m³); $A_{\text{流}}$ 为 t_i 时段内流动水体的表面积, 如果是瀑布, 则为出水口宽与出水口到水池面距离的乘积; 如果是喷泉, 面积可视为喷泉所形成的圆锥体或圆柱体的表面积 (圆锥底或圆柱底面积除外), 由喷泉半径和水柱高可求得圆锥或圆柱体表面积。 $E_w(t_i)$ 同上。

其中 1 月、2 月、11 月、12 月喷泉不开放, 动态水损失量为零 (表 2), 其他各月按每天 8h 全月开放计算, 6 月份动态水损失量最大, 为 973m³, 全年水损失量为 3364.55 m³。动态水景的损失量较小, 仅占年水面蒸发量的 0.22%。在设计中, 对于动态水景较少的水景区域, 动态水损失量可忽略。

(3) 生物耗水量

朝阳公园的水生生物主要为水生植物, 水生植物总面积约 7.8 hm², 其中 11~3 月份水生植物还未生长, 4 月、5 月开始萌发生长, 生物耗水量计算公式为:

$$W_{\text{生物}}(t_i) = W_{\text{绿E}}(t_i) + W_p(t_i) + W_{\text{动物E}}(t_i) \quad (3)$$

式中, $W_{\text{生物}}(t_i)$ 为 t_i 时段内水景中的生物耗水量 (m³); $W_{\text{绿E}}(t_i)$ 为 t_i 时段内各种水生植物蒸散需水量 (m³)^[17]; $W_p(t_i)$ 为 t_i 时段内植物生长制造有机物需水量 (m³), 植物生长制造有机物需水量可参考公式^[16]:

$$W_p(t_i) = \frac{W_{\text{绿E}}(t_i)}{99} \quad (4)$$

$W_{\text{动物E}}(t_i)$ 为 t_i 时段内动物生长需水量 (m³)。水景中因动物较少, 其耗水量可忽略。

$$W_{\text{绿E}}(t_i) = K_L \times E_w(t_i) \quad (5)$$

式中, K_L 为水景植物景观系数, 计算公式如下^[17]:

$$K_L = K_s \times K_d \times K_{mc} \quad (6)$$

式中, K_s 为水景中植物种类因子, 不同植物种类, 蒸散量不同; K_d 为植物密度因子, 即植物水平垂直覆盖度; K_{mc} 为微气候因子, 受周围建筑物、铺装对温度、风速、光照和湿度的影响。其中 K_s 、 K_d 、 K_{mc} 的系数如表 4 所示。

根据表 4 中 K_s 、 K_d 、 K_{mc} 的系数分别取 Moderate 为 0.5、Low 为 0.7、Average 为 1.0 计算, 则 $K_L=0.35$, 则植物蒸散量和生长需水量结果见表 2。

表 4 K_s 、 K_d 、 K_{mc} 的系数Tab. 4 The coefficient of K_s , K_d and K_{mc}

K_s		K_d		K_{mc}	
分类	系数	分类	系数	分类	系数
Very Low (不需要灌溉)	<0.1				
Low (单一种)	0.1~0.3	Low (乔木覆盖率 ≤ 70%, 灌木地被 ≤ 90%)	0.5~0.9	Low (当风区域)	0.5~0.9
Moderate (需水量相似种)	0.4~0.6	Average (单层乔木覆盖率 70%~100%, 灌木地被 90%~100%)	1.0	Average (开阔空间周围没有特别的风和热)	1.0
High (需水量不相似种)	0.7~0.9	High (乔灌木结合 2~3 层覆盖度 100%)	1.1~1.3	High (风口处或附近有热源或光照反射区)	1.1~1.4

注：来源于美国加利福尼亚水资源署，2000。

朝阳公园占地 7.8hm² 的水生植物总耗水量为 3.59 万 m³，约占总蒸发量的 2.27%，其中水生植物蒸散量为 3.55 万 m³，植物生长需水量为 358.78 m³，约占水生植物总耗水量的 1%，且水生植物蒸散量随参考水面蒸发量而变化，其中 6 月份的蒸散量最大，为 9156.42 m³。

(4) 渗漏损失量

根据渗漏公式和渗漏损失计算经验取值表如下，朝阳公园水景 K_1 值取中等水平的平均值 0.75，则年渗漏损失量^[15]：

$$W_{\text{渗漏}}^1 = K_1 F \quad (7)$$

式中， K_1 为渗漏损失计算经验取值^[15]， F 为园林水景年平均蓄水水面面积 (m²)。则计算结果为朝阳公园年渗漏估算值为 51.14 万 m³。

(5) 水体自身水量

计算公式为：

$$W_{\text{自身}} = A_1 \times h \quad (8)$$

式中， A_1 为水景面积， h 为水深，单位为 m。

经朝阳公园管理处证实，朝阳公园水体平均水深为 1.5m，平均需水量为 11.7 万 m³。本文通过水体在丰水年和枯水年的水位等级确定水体需水量的等级如表 5。

(6) 公共用水取水量

根据表 6 及公园草坪灌木绿地面积和树木面积比例，朝阳公园绿地综合用水定额为 1.1 m³/m²·年，铺装取 0.0015 m³/

m²·次。道路及硬质铺装从 4 月至 10 月每月冲洗一次，一年共冲洗 7 次，结果绿地年取水 211.02 万 m³，道路及硬质铺装年取水 0.26 万 m³，公共用水年取水 211.28 万 m³。

(7) 水景降雨量

水景降雨量 Q 是园林水景与绿地水量补充的自然来源，由降雨量和水景面积大小决定，计算结果如表 2，朝阳公园水景面积内年降雨量为 38.76 万 m³，是水面年蒸发量的

表 5 水体需水量等级

Tab. 5 Grades of the water requirement of waterscape

等级	水深	面积	$W_{\text{自身}}$
	m	m ³	万 m ³
最大	2.0~3.0	78000	19.5~23.4
中等	2.0~1.0	78000	7.8~19.5
最小	1.0	78000	7.8

注：来源于朝阳公园管理处。

25.17%。其中7月份降雨量最大,为13.84万 m^3 ,仍小于当月的蒸发量21.30万 m^3 ;1月降雨量最小,为1568.32 m^3 ,公园水体降雨量随气候变化而变化。

表6 北京市绿地用水定额
Tab. 6 The water quota of greenland in Beijing

序号	行业代码	行业名称	产品名称	定额单位	定额值
30	75	公共设施服务业	绿地	$m^3/m^2 \cdot \text{年}$	1
			花房	$m^3/m^2 \cdot \text{年}$	2.4
			树木	$m^3/\text{株} \cdot \text{年}$	3
			喷洒道路和场地用水	$\text{升}/m^2 \cdot \text{次}$	1.5

注:资料来源于北京市水务局资料。

(8) 净化需水量

净化需水量是水体运营过程中计算生态环境需水量的重要组成部分,由于朝阳公园水体受污染的数据缺乏,本文对此不进行计算。

(9) 朝阳公园生态环境需水量

生态环境需水量计算公式如下:

$$W_{\text{需水量}} = W_E + W_{\text{损}} + W_{\text{生物}} + W_{\text{渗漏}} + W_{\text{浇}} - Q + W_{\text{自身}} \quad (9)$$

通过计算,朝阳公园68.19 hm^2 的水面蒸发量、动态水损失量、生物耗水量和渗漏量年损失水量为209.07万 m^3 ,若不考虑水体净化和公共用地取水量,朝阳公园的生态环境需水量中,最大生态环境需水量为193.71万 m^3 ,中等需水量为189.81万 m^3 ,最小生态环境需水量为178.11万 m^3 。

如果朝阳公园公共用地取水来源于公园中的水体,则最大需水量为404.99万 m^3 ,中等需水量为401.09万 m^3 ,最小需水量为389.39万 m^3 。

3.2 最大用水定额计算方法

水景水量最大用水定额运用加利福尼亚MAWA模型计算,可得到绿地最大用水定额^[18]:

$$W_{\text{max}} = ET_o \times [(0.7 \times LA) + (0.3 \times SLA)] \quad (10)$$

式中, ET_o 为参考土壤水分蒸发蒸腾损失量($m/\text{年}$); SLA 为特别景区面积(果园、蔬菜园、中水灌溉的区域或水景、供娱乐的公园等); LA 为园林设计绿地面积(包括 SLA),指绿化种植面积、草坪面积和水景面积;0.7和0.3均为 ET_o 校正因子,是对植物耗水因子和有效灌溉系数的校正,为植物耗水因子与有效灌溉系数的比值,其中植物平均耗水因子为0.5,灌溉效率平均为0.71。

本文采用参数估计法,通过对加利福尼亚园林绿地最大用水定额估算模型中耗水系数、有效灌溉系数的计算进行修正,构建了公园水景最大用水定额估算模型:

$$W_{\text{最大}} = 1.07 \times (E_w \times A_1 + 1.10 \times A_{\text{绿}}) \quad (11)$$

式中, $W_{\text{最大}}$ 为最大用水定额(单位 m^3), E_w 为参考水面年蒸发量, $A_{\text{绿}}$ 为绿地面积。

其中为 E_w 为2258.5 mm ,经计算最大用水定额为390.87万 m^3 。

3.3 供需平衡关系分析

根据水景的生态环境需水量和水景的最大用水定额的计算结果,可建立水景的供需平

衡比较关系式:

$$W_{\text{需水量}} \leq W_{\text{最大}} \quad (12)$$

此处的 $W_{\text{需水量}}$ 为水景的最小生态环境需水量估算值。

对最大生态环境需水量与总用水定额比较发现, 最大用水定额 390.87 万 m^3 均小于最大生态环境需水量 404.99 万 m^3 、中等生态环境需水量 401.09 万 m^3 , 但大于最小需水量为 389.39 万 m^3 , 即朝阳公园水景用水不得超过最大用水定额 390.87 万 m^3 。

4 结论与讨论

(1) 提出了水景水量供需平衡比较的研究方法, 即园林水景生态环境需水量不能大于最大用水定额, 为城市水景用水提供了参考依据。并以北京朝阳公园为例, 计算了公园中水景的水面蒸发量、动态水损失量、生物耗水量、渗漏量、公共用水取水量、降雨量, 分别为 154 万 m^3 、3364.55 m^3 、3.59 万 m^3 、51.14 万 m^3 、211.28 万 m^3 、38.76 万 m^3 。

(2) 通过水景水位等级比较, 不考虑水体净化和公共用地取水量时, 朝阳公园最大生态环境需水量为 193.71 万 m^3 , 中等需水量为 189.81 万 m^3 , 最小生态环境需水量为 178.11 万 m^3 。如果朝阳公园公共用地取水来源于公园中的水体, 最大需水量为 404.99 万 m^3 , 中等需水量为 401.09 万 m^3 , 最小需水量为 389.39 万 m^3 。

(3) 通过计算水景最大用水定额, 朝阳公园水景最大用水定额为 390.87 万 m^3 。

(4) 朝阳公园中水景水量配置供需分析表明, 朝阳公园水景的最小生态环境需水量小于最大用水定额, 说明朝阳公园水景面积大小设计合理, 公园水景水量配置较好。

本文以北京市朝阳公园为例, 对公园水景水量供需情况进行了研究, 为公园水景设计水量配置提供研究思路和方法。研究中因缺乏净化需水量计算数据和指标, 故生态环境需水量和最大用水定额估算借用了公共用水取水量指标, 将来可通过收集不同水景面积净化需水量数据进行分析, 建立净化需水量与水景面积的相关函数, 进一步修正模型参数, 更精确地阐述水景水量配置的供需关系。此外, 以本研究结果为基础, 结合园林水景设计相关规范, 可避免干旱地区为了追求景观效果而盲目设计大水景的现象, 从根本上遏制水景中水资源的盲目利用和浪费。

参考文献:

- [1] 金旻矣. “水景房”空挂水景名头, 只剩见底枯池. 新民晚报, 2010-09-11.
- [2] 车伍, 程文静, 李海燕. 雨水利用与水量平衡分析在城市园区水景设计中的应用. 中国园林, 2006, 22(12): 62~65.
- [3] 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, 62: 3~17.
- [4] 王燕燕, 谷康, 唐晓岚. 亲水性的地域特征. 中国城市林业, 2009, 7(1): 35~37.
- [5] 刘文军, 韩寂. 建筑小环境设计. 上海: 同济大学出版社, 2005. 146~150.
- [6] 高培培. 小尺度空间水景设计理念及营造技术的研究, 保定: 河北农业大学硕士学位论文, 2008.
- [7] 刘芳芳. 现代广场景观中的理水研究, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2008.
- [8] Astrid Steinwender, Claudia Gundacker, Wittmann K J. Objective versus subjective assessments of environmental quality of standing and running waters in a large city. Landscape and Urban Planning, 2008, 84: 116~126.
- [9] 周乐, 马勇. 水量平衡分析在住宅小区园林景观中的应用. 给水排水, 2008, 34(8): 82~84.
- [10] 孙贝. 节水性水景设计研究. 北京: 中央美术学院建筑学院硕士学位论文, 2007.

- [11] 陈小华,孙从军,李小平. 生态水景社区的景观湖补水方案及水质控制研究. 给水排水,2009,35(11):87~91.
- [12] 联合国世界水资源开发报告. <http://www.unesco.org/water/wwap/>,2009.
- [13] 沈灿桑, 香港水资源特征和供需水量平衡研究. 地理研究,1997,16(2):11~21.
- [14] 郭怀成,戴永立,等. 城市水资源政策实施效果的量化评估. 地理研究,2004,23(6):735~752.
- [15] 杨志峰,崔保山. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京:科学出版社,2003.
- [16] 姜德娟,王会肖,李丽娟. 生态环境需水量分类及计算方法综述. 地理科学进展,2003,(7):369~378.
- [17] University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources. The landscape coefficient method. <http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/landscapeordinance/>, the landscape coefficient method,2000.
- [18] California Department of Water Resources. Model Water Efficient Landscape Ordinance. <http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/landscapeordinance/>, Model Water Efficient Landscape Ordinance,2010.

A comparative study on the balance between the water demand and the maximal quota of water consumption in water allocation of waterscape of Beijing's Chaoyang Park

WANG Yan-zhen^{1,2}

(1. Landscape and design institute, Beijing forestry university, Beijing 100083 China;

2. Beijing; City University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper studies the balance between the water demand and the maximal quota of water consumption of water allocation of Chaoyang Park waterscape in Beijing, by using the computational method of the quantity of eco-water requirement and the maximal quota of water consumption in order to save water efficiently in park waterscape. The result showed that if we do not take account into the quantity of water purification and water consumption of public open space, the maximal, moderate and minimal quantity of eco-water requirement of waterscape was 193.71 million litres, 189.81 million litres and 178.11 million litres, respectively. If water consumption of public open space came from the park waterscape, the maximal, moderate and minimal quantity of eco-water requirement of waterscape was 404.99 million litres, 401.09 million litres and 389.39 million litres, respectively. Applying the maximal quota of water consumption model, the maximal quota of water consumption of waterscape was estimated at 390.87 million litres, which is more than the minimal quantity of eco-water requirement of waterscape, thus the quantity of water saving consumption of Chaoyang Park waterscape would not exceed 390.87 million litres. The result has provided the reference for the water allocation of park waterscape.

Key words: waterscape in the park; water allocation; the balance between the water demand and the maximal quota of water consumption; Chaoyang Park, Beijing