

北京市怀柔区生态用水计算研究^{*}

张东¹, 贺康宁¹, 寇中泰², 张益源¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 北京市怀柔区水务局, 北京 101400)

摘 要: 根据生态平衡理论, 依据北京市怀柔区的实际情况, 划分了北京市怀柔区生态用水类型, 并将怀柔区划分为相互独立的二级生态区; 计算出怀柔区各项生态用水量。结果为: 全区现状生态用水总量为 7.19 亿 m³/a。其中, 森林植被生态用水量为 4.65 亿 m³/a, 水土保持生态用水量为 0.83 亿 m³/a, 城镇绿化生态用水量为 0.02 亿 m³/a, 草地生态用水量为 1.29 亿 m³/a, 河流生态系统生态用水为 0.4 亿 m³/a。

关键词: 生态用水; 生态用水分区; 怀柔区

中图分类号: X171; P333 文献标识码: A 文章编号: 1002-3409(2010)01-0204-05

Study on Ecological Water Use in Huairou District of Beijing

ZHANG Dong¹, HE Kangning¹, KOU Zhongtai², ZHANG Yiyuan¹

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Huairou District Water Affairs Bureau, Beijing 101400, China)

Abstract: Based on the basic ecological theories, the authors classified local ecological water use types, and divided Huairou District of Beijing into two ecological zones; then calculated each type of ecological water use in Huairou District of Beijing. The results show: the whole ecological water resources is 7.19 @10⁸ m³/a, the plant volumetric is 4.65 @10⁸ m³/a, the ecological water use on soil and water conservation is 0.83 @10⁸ m³/a, the ecological water use on afforested town is 0.02 @10⁸ m³/a, the ecological water use on lawn is 1.29 @10⁸ m³/a, the ecological water use on river is 0.4 @10⁸ m³/a.

Key words: ecological water use; classification of ecological water use; Huairou District

北京是一个严重缺水的大都市, 水资源量逐年减少, 缺水问题十分突出, 水资源问题已成为影响和制约首都社会和经济发展的主要因素。怀柔区地处北京市北部, 是首都重要的饮用水源采水、补水和应急备用水源区, 其中区域面积的 97.1% 为水源保护区, 是阻滞西北风沙侵袭北京城重要的绿色生态屏障, 怀柔区生态用水安全将直接关系到首都居民的用水安全^[1]。本研究计算了北京市怀柔区现状生态用水量, 为水资源合理配置确立了基础依据。

1 研究区概况

怀柔区地处燕山南麓, 北京市东北部, 全区总面积 2 128.7 km², 从北到南依次形成深山、浅山、平原三种类型, 其中山地面积 195 865.2 km², 约占

92%, 平原面积 17 006.8 km², 约占 8%。怀柔区属暖中纬大陆性暖温带季风性半湿润气候, 四季分明, 全区最大的植被类型为中旱生次生落叶灌丛和草本群落, 根据怀柔水务部门统计, 怀柔区多年平均水资源总量 3.56 亿 m³, 平水年水资源总量 3.48 亿 m³, 枯水年水资源总量 2.64 亿 m³。

2 怀柔生态用水类型界定与生态分区

2.1 生态用水类型界定

/生态用水的定义有很多, 目前还没有形成统一的定论, 随着对生态用水认识的加深, 生态用水的研究从最初的河流系统开始, 逐步扩展到其他类型的生态系统(包括城市生态系统、湖泊生态系统、湿地生态系统、防护林草系统、地下水体系以及水土保持

^{*} 收稿日期: 2009-02-16
基金项目: 国家/ 十一五科技支撑专题(2006BAD03A1203)
作者简介: 张东(1986-), 男, 陕西人, 在读硕士, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程。E-mail: dongcheng_1986@163.com
通信作者: 贺康宁(1962-), 男, 陕西蓝田人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 水土保持、林业生态工程、抗旱造林技术等。E-mail: hkn@bjfu.edu.cn

持体系等)^[2]。由此将生态用水定义为: 在一定的时空范围内, 维持特定生态系统和环境处于稳定状态所需要的水量^[327]。

为将生态用水与传统水资源统一起来, 进行降水资源平衡分析, 结合以上生态用水量的界定, 可按水资源的消耗变化情况分为消耗生态用水和非消耗

生态用水。对怀柔区来说, 消耗生态用水与河道外生态用水, 非消耗生态用水与河道内生态用水在分类内容上是一致的。从生态系统角度看, 消耗生态用水即为绿色植物用水, 非消耗生态用水即为无机环境生态用水。因此, 本文在生态用水研究和计算采用以下划分方案(图 1)。

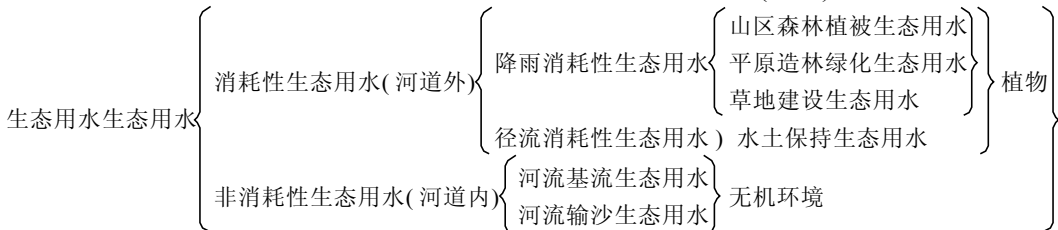


图 1 北京市怀柔区生态用水类型

2.2 生态分区及特征

为了使研究的各项生态用水类型能够符合怀柔区生态建设和水土保持分区方案, 便于生态用水按行政区域、水系流域进行管理, 在空间能反映生态用水规律, 以便较准确地反映生态环境与生态用水之间的关系^[8]。本文将北京市怀柔区划分相互独立的两级生态区, 以分区面积大小, 分别称为一级生态区、二级生态区, 作为生态用水计算的基础。

2.2.1 以水土流失类型为依据的一级生态区 怀柔区主要是水力侵蚀形成的地貌, 这种地貌也基本反映了其相应的生态景观, 包括植被、土壤、作物等。由水力等外营力形成的水土流失地貌区即可分为山区和平原区, 可作为 2 个一级生态区。山区面积 1 958. 65 km², 平原区面积 170. 07 km²。一级生态分区的分布和基本特征见表 1。

2.2.2 以乡域土地利用为依据的二级生态分区 二级生态区是以乡(镇)域作为划分单元, 各二级生态区的基本情况见表 2。

表 1 一级生态区基本特征表

一级生态区	面积/ km ²	水土流失面积/ km ²	降水资源量/ 亿 m ³	水土流失治理保存面积/ km ²
平原区	1958. 65	60. 2	1. 51	209. 19
山区	170. 07	486. 8	8. 57	891. 81

注: 降水资源量为多年平均值

3 计算结果

3.1 林草植被生态用水量计算

林草植被生态用水量可看作是其实质蒸散量, 也就是耗水量^[210]。实际蒸发散与林草的生理生态需求及降水情况有关, 年内和年际之间均是动态变化的, 一般通过实测或水量平衡法取得。为了解决这一问题, 引入潜在蒸发散的概念, 即在充分供水条件下的蒸发散量, 通过研究确定实际蒸散量与潜在蒸发散的比例关系(即植物耗水系数), 可以推定不同区域的耗水量(即生态用水量)。

表 2 二级生态区的基本特征

二级生态区	面积/ km ²	降水资源量/ 亿 m ³	林地面积/ km ²	耕地面积/ hm ²	水域面积/ km ²	草地/ hm ²
怀柔镇	69. 0	0. 38	20. 6	909. 13	10. 8	191. 6
北房镇	43. 2	0. 24	6. 0	1721. 03	3. 1	4. 9
杨宋镇	30. 9	0. 17	3. 7	947. 25	2. 3	476. 2
庙城镇	32. 0	0. 16	4. 7	729. 66	1. 2	523. 8
桥梓镇	108. 4	0. 57	43. 2	995. 89	2. 1	3296. 3
怀北镇	103. 2	0. 64	44. 6	342. 08	1. 9	4963. 2
雁栖镇	154. 1	0. 99	109. 1	401. 79	4. 2	6355. 2
渤海镇	152. 0	0. 84	103. 3	22. 74	2. 1	3051. 2
九渡河镇	178. 1	0. 93	109. 0	114. 87	2. 8	7803. 9
玻璃庙镇	226. 5	1. 06	164. 7	448. 8	3. 4	7701. 3
宝山镇	248. 6	0. 94	143. 7	851. 24	3. 0	7989. 9
汤河口镇	224. 8	0. 90	140. 3	574. 35	2. 6	6179. 5
长哨营乡	249. 3	1. 0	160. 3	720. 17	1. 4	6836. 8
喇叭沟门乡	302. 5	1. 26	242. 1	740. 53	2. 6	7260. 5

* 注: 降水资源量为多年平均值; 林地包括有林地、疏林地、灌木林地、未成林造林地、苗圃地。

计算中最常用的方法是先用气象因素计算各阶段参考植物蒸散量(Reference crop evapotranspiration): 高度一致、生长旺盛、完全覆盖地面而不缺水的低矮绿色下垫面的蒸散量, 其只与气象因素有关, 称为最大可能蒸散量或潜在蒸散量, 潜在蒸散量乘以用水系数求算各阶段的林木耗水量。这里采用桑斯维特公式(Thornthwaite)来计算潜在蒸散量。该公式通过月平均气温计算植物参考蒸散量, 进而推算实际蒸散量^[1213]。其公式为

$$PE = k @ 16.2 (10^{\frac{T}{H}})^A$$

其中:

$$H = \sum_{h=1}^{12} h, h = (\frac{T}{5.0})^{1.514}$$

$$A = 6.75 @ 10^{-7} H^3 - 7.71 @ 10^{-5} H^2 + 1.79 @ 10^{-2} H + 0.49$$

式中: PE))) 月蒸发散量 (mm); H))) 热量指数,

等于 12 个月的和; h))) 月热量指数, 当 T [0 e 时, h= 0; T))) 月平均气温 (e); A))) 指数, 是年热量指数的非线性函数; k))) 订正系数。

通过计算各阶段潜在蒸发散量 PE, 然后利用具体林木的植物需水系数 Kc 和耗水系数 K 修正, 便可得到该林木的需水量和耗水量, 即:

$$ET_c = PE @ K_c, ET = PE @ K;$$

本文计算时根据北京市怀柔区气象局资料室汇编的5北京市怀柔区地面气候资料6(1998- 2007 年)中各地市实测气象资料, 得到多年月平均温度, 计算出月潜在蒸散量, 采用在怀柔区怀沙河流域对蒸散量的观测结果, 计算出各林草种的植物系数 Kc 值和耗水量系数 K 值:

3. 1. 1 月潜在蒸散量 PE 利用月均气温 T、热量指数 H、指数 A 及公式 $PE = k @ 16.2 (10^{\frac{T}{H}})^A$ 可求得北京市怀柔区各级生态区各月的潜在蒸散量 PE。

表 3 植被潜在蒸散量特征值

月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K 值	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.87
T	5.80	14.30	20.50	24.50	25.10	25.10	20.00	12.80	3.80
H	61.69	61.69	61.69	61.69	61.69	61.69	61.69	61.69	61.69
A	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
PE	15.25	61.33	115.88	151.52	159.48	148.18	93.75	45.12	6.95

3. 1. 2 林草植物需水系数 Kc 与耗水系数 K 的确定 根据北京市怀柔区林地面积及林种组成, 通过综合分析, 按乔木林、灌木、经济林、作物、草地分类, 并根据气候条件权衡加以调整, 确定计算不同类型林木、作物、草地需水量的植物系数 Kc 值和耗水量系数 K 值如表 4- 5。

表 4 平原地区不同类型林木的植物需水系数

林木类型	刺槐	杨树	油松	侧柏	苹果
K	0.64	0.49	0.48	0.53	0.62
Kc	0.76	0.78	0.70	0.63	0.71

表 6 怀柔区的林木蒸散量特征值

名称	年潜在蒸散量/mm	林木耗水系数 K 值	林木需水系数 Kc 值	年实际耗水量/mm	年需水量/mm
怀柔区	797.46	0.45	0.61	358.86	486.45

表 7 怀柔区各级生态类型区森林生态用水统计

各级生态区	森林面积/km²	潜在蒸散量/mm	林地实际耗水量/mm	林地生态用水量/亿 m³
山区	1217.1	797.46	358.86	4.37
平原区	78.2	797.46	358.86	0.28
合计	1295.3			4.65

由怀柔区旱农作物系数 Kc(表 5)和根据桑斯维特公式计算出的坏柔区年均潜在蒸散量(表 4),

表 5 怀柔区主要旱农作物及牧草的耗水系数 Kc

地区名称	草地		高粱	玉米	小麦
	Kc	K	K (Kc)	K (Kc)	K (Kc)
怀柔区	0.32	0.26	0.63	0.62	0.52

3. 2 森林植被生态用水量

通过各地地区月平均潜在蒸散量计算出了北京市怀柔区各主要生态类型区及各行政地区的森林生态用水量, 林木蒸散量特征值及森林生态用水量如表 6- 7 所示。

计算出各级草地的生态用水量, 见表 8。

表 8 怀柔区各级生态区草地的生态用水量

地区	草地面积/hm²	潜在蒸散/mm	植物系数 K	草地实际耗水/mm	草地生态用水/亿 m³
平原区	4492.8	797.46	0.26	207.4	0.09
山区	58141.5	797.46	0.26	207.34	1.20
合计	62234.3				1.29

3.3 城镇绿地生态用水

在怀柔区城市绿地中包括城镇绿化面积共 421.6 hm²。由于具备一定的灌溉条件,因此林木生长实际水分消耗标准应按林木需水量的定额进行计算。计算得出城镇绿化(包括防护林建设)生态用水量总量为 0.02 亿 m³/a。

3.4 农作物的耗水量

根据确定的作物系数,计算出全区农作物耗水量为 0.39 亿 m³/a。

表 9 怀柔区旱作条件下作物实际耗水量表

地区	作物面积/ hm ²	潜在蒸发/ mm	植物系数 k	作物耗水量/ 亿 m ³
怀柔区	9519.53	797.46	0.52	0.39

* 以上均以旱地作物,灌溉需水量在水资源量的农业用水中已经考虑,因此,无论是否灌溉均不计算,本表计算的面积均已按 1995- 2000 年间作物种植比例作适当调整后取得。

3.5 水土保持生态用水量计算

通过分析水土保持各项措施对径流的影响,水土保持生态用水可将其理解为小流域综合治理所保持在流域中的水量,也就是由于小流域综合治理所引起的流域的年径流减少量。这里我们将进行水土保持治理前后径流量的差值看作是水土保持生态用水量,依据实测资料来计算水土保持生态用水量。

研究中抽取怀柔区三个小流域综合治理典型工程:庄户沟、三渡河、神堂峪来计算兴建水土保持工程后,小流域的径流减少率,进而可以得到水土保持生态用水量。

表 10 小流域综合治理减少年径流量统计表

小流域	所在乡镇	面积/ km ²	治理时段	治理前后年径流减少率/ %
庄户沟	汤河口镇	2.2	1978- 1988	43.8
三渡河	渤海镇	8.8	1997- 2002	50.2
神堂峪	雁栖镇	6.8	1998- 2003	59.5

查 5 怀柔区水文手册 6 得怀柔区山区径流系数为 0.28,平原区径流系数为 0.18,加权平均得到全县平均径流系数为 0.22。由此可得山区未治理前平均径流深为 147 mm。

由表 10 可知,怀柔区水土流失治理后,年径流减少率平均为 51.17%。据统计,怀柔区水土流失总面积 547 km²,占土地总面积的 26%;其中北部山区水土流失面积为 465 km²,南部平原区水土流失面积为 82 km²;2007 年全区共治理 4 条小流域,新增治理面积 70 km²。所以得到水土流失综合治理减少的年径流平均为 75.22 mm,也就是说水土保持生态用水定额是 75.22 mm/a。全区水土流失治理面积 1 101 km²,生态用水量为 0.83 亿 m³/a。

3.6 河流生态系统用水定额的计算

考虑河流生态系统生态用水量的一般特性,狭义的生态用水是指为维持地表用水体特定的生态环境功能,天然水体必须储存和消耗的最小水量。根据这一概念在实际计算中生态用水可分解为:¹ 河流生态系统基本生态用水量,是维持河流生态系统最基本的生态功能所需要的最小水量;⁹ 维持河流泥沙平衡的需水量,指为维持河流形态的稳定,在一定输沙、排盐要求的条件下所需要的水量。» 人工湖泊湿地生态用水量,是指用以维持水库库区水体功能而消耗与蒸发的水量。就怀柔区具体情况来说,主要是在降雨过后产生洪水径流过程,所以河流生态系统基本生态用水量和维持河流泥沙平衡的需水量很少,对于总的生态用水来说,可以忽略不计。但根据怀柔区现状调查表明,区域内水库、塘坝、截流等人工湖泊、湿地有一定的水量,所以下面我们就对这些人工湖泊湿地的生态用水量进行研究。

人工湖泊湿地生态环境用水量主要考虑为维持库区蓄水、水生生态条件一年内消耗的水量。根据水量平衡的原理,在无取水的自然条件下,对于人工湖泊有:

$$\Delta W_1 = P + R_i - R_f - E + \Delta W_g$$

式中: ΔW_1))) 水库蓄水量的变化量; P))) 降水量; R_i))) 入湖水量; R_f))) 出库水量; E))) 蒸发量; ΔW_g))) 地下水变化量。

为维持库区生态环境功能,要求库区水量不发生变化,即 $\Delta W_1 = 0$ 。对北方河流而言,由于蒸发 E 大于降水 P,因此在地下水位维持动态平衡的条件下($\Delta W_g = 0$),必须有相当一部分的入库水量消耗于水面蒸发。因此,可以认为,库区的生态环境用水主要是用以维持库区水量平衡而消耗于蒸发的水量,其计算公式如下:

$$W_1 = E A_i (E_i - P)$$

式中: W_1))) 水面蒸发量,可以表示库区生态环境用水量; A_i))) 水面面积; E_i))) 相应的水面蒸发能力。

根据怀柔区生态建设结论,怀柔多年平均降水量为 513.4 mm,水面蒸发量高达 946.9 mm/a。怀柔区蒸发的生态用水量见表 11。经计算水库蓄水蒸发总量为 0.4 亿 m³/a。

表 11 怀柔区人工湖泊蒸发生态用水量

地区	水域面积/ km ²	年蒸发生态用水量/ (万 m ³ # a ⁻¹)
平原区	62.9	2886.48
山区	24	1101.36

3.7 生态用水量总量

计算出北京市怀柔区的年生态用水总量 7. 19 亿 m³, 各级生态区生态用水量及用水类型见表 12。

表 12 各级生态区生态用水量及其用水类型现状解析 亿 m³

生态用水类型		消耗性生态用水						非消耗性生态用水		E
		降水消耗性生态用水量				径流消耗性生态用水量				
		A	C	D	小计 1	B	小计 2	E	小计	
一级生态区	平原区	0.28	0.005	0.09	0.375	0.16	0.535	0.11	0.11	0.645
	山区	4.37	0.015	1.2	5.585	0.67	6.255	0.29	0.29	6.545
二级生态区	怀柔区	4.65	0.02	1.29	5.96	0.83	6.79	0.4	0.4	7.19

A 森林植被生态用水、B: 水土保持生态用水、C: 城镇绿地化生态用水、D: 草地生态用水、E: 河流生态系统生态用水

4 结论与建议

(1)北京市怀柔区的年生态用水总量为 7. 19 亿 m³, 消耗性生态用水占生态用量的 94. 44%, 森林植被与河川分布很大程度上决定着该地区生态用水量的总量。各级生态区生态用水量的统计结果见表 12。(2)从总体分析, 全区现状生态用水总量为7. 19 亿 m³/a, 山区森林植被生态用水量为 4. 37 亿 m³/a, 占生态用水总量的 60. 78%, 平原区森林植被生态用水量为 0. 28 亿 m³/a, 占生态用水总量的 3. 89%, 森林植被生态用水量为 4. 65 亿 m³/a; 水土保持生态用水量为 0. 83 亿 m³/a, 占生态用水总量的 11. 54%; 城镇绿地生态用水量为 0. 02 亿 m³/a, 占生态用水总量的 0. 28%; 草地生态用水量 1. 29 亿 m³/a, 占生态用水总量的 17. 94%; 河流生态系统生态用水为 0. 4 亿 m³/a, 占生态用水总量的 5. 56%。在总的生态用水中, 消耗性生态用水量为 6. 79 亿 m³/a, 其中降水消耗性生态用水量为 5. 96 亿 m³/a, 占生态用水总量的 81. 64%; 径流消耗性生态用水量为 0. 83 亿 m³/a, 占生态用水总量的 11. 54%; 而非消耗性生态用水量为 0. 4 亿 m³/a, 占生态用水总量的 5. 56%。可以说, 怀柔区森林植被生态用水在总的现状生态用水中所占的比例最大, 降水消耗性生态用水是现状生态用水的主体。

(3)根据研究结论, 怀柔区水资源可利用量受出境水量控制, 供水与用水矛盾日趋突出, 建议加快多种新水源工程和水利设施改造建设, 尤其需要加快雨水利用措施建设, 通过提高大气降水利用率等措施进一步稳定和增加可供水资源量。

(4)生态用水问题研究为水资源合理配置提供了基础依据, 但目前生态用水的理论体系还不完善,

需要从基础理论、计算方法, 以及评价体系等进一步建立完整的理论体系, 为水资源配置提供科学合理的依据。

参考文献:

[1] 陈丽华, 王礼先. 北京市生态用水分类及森林植被生态用水定额的确定[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 1622 164.

[2] 杨爱民, 唐克旺, 王浩, 等. 生态用水的基本理论与计算方法[J]. 水利学报, 2004(12): 3245.

[3] 栗晓玲, 康绍忠. 生态需水的概念及其计算方法[J]. 水科学进展, 2003, 13(6): 740744.

[4] 贾宝全, 张志强, 张红旗. 生态环境用水研究现状、问题分析与基本构架探索[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 17321740.

[5] 陈丽华, 余新晓, 王礼先. 北京市生态用水的计算[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 112118.

[6] 陈兴茹, 刘树坤. 经济合理的生态用水量及其计算模型(N): 理论[J]. 水利水电科技进展, 2006(26): 26.

[7] 陈敏键, 王浩. 中国分区域生态需水研究[J]. 前沿, 2007(9): 3237.

[8] 郭孟霞, 毕华兴, 刘鑫, 等. 树木蒸腾耗水研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 112120.

[9] 贺康宁, 张学培, 赵云杰, 等. 晋西黄土残塬沟壑区防护林热收支特性及蒸散研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 7213.

[10] 胡振华, 王治国. 晋西黄土残塬区坡面日蒸散模型研究[J]. 中国水土保持科学, 2003(1): 9298.

[11] 何永涛, 闵庆文. 植被生态需水研究进展及展望[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 813.

[12] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 243250.

[13] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 492500.