

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.04.014

郑州市雨水资源利用潜力及效益量化研究

冯 峰^{1,2,3}, 谷晓伟¹, 何宏谋¹

(1. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084;
3. 黄河水利职业技术学院, 河南 开封 475004)

摘要:提出雨水汇集和雨水渗透两种城市雨水资源利用途径,构建不同利用途径的雨水资源利用量和利用效益的量化方法。以郑州市为例进行计算,计算结果显示,郑州市城区年均可汇集雨水利用量为 0.86 亿 m³,产生的可量化的效益为 4.74 亿元;下渗雨水利用量为 0.72 亿 m³,补充地下水量为 0.11 亿 m³,产生效益为 2.09 亿元,郑州市雨水资源利用潜力巨大,能获得的经济效益和生态效益可观。

关键词:水资源利用;雨水资源;利用潜力;效益量化;郑州市

中图分类号:TV213.9 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2013)04-0068-04

Research on utilization potential and benefit quantification of rainwater resources in Zhengzhou City

FENG Feng^{1,2,3}, GU Xiaowei¹, HE Hongmou¹

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China;
2. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100086, China;
3. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475003, China)

Abstract: In this paper, two ways of utilization of rainwater resources, collection and seepage of rainwater resources, are proposed. Methods for the calculation of utilization amount and benefit quantification in different utilization ways were developed. A case study was conducted in Zhengzhou City. According to the calculation results, the collection volume of rainwater resources is 0.86×10^8 m³ per year in the city, and the resources can bring a benefit of about 4.74×10^8 yuan. The seepage volume is 0.72×10^8 m³ per year, and the volume of supplemental groundwater is 0.11×10^8 m³ per year, which can produce a benefit of 2.09×10^8 yuan. The results show that the utilization potential of the rainwater resources in Zhengzhou City is tremendous, and it can produce considerable economic and ecological benefits.

Key words: water resources utilization; rainwater resources; utilization potential; benefit quantification; Zhengzhou City

近年来,随着我国经济社会发展,工业化和城市化进程不断加快以及人口的持续增长,对水资源的需求量越来越大,而水资源的时空分布不均和水环境的不断恶化,进一步加剧了水资源短缺的矛盾^[1]。面对持续增加的生产、生活和生态用水需求,以及日益严峻的干旱缺水形势,如何为经济社会发展提供足量稳定的淡水资源,成为一个重大而紧

迫的课题而被提上议事日程。雨水资源利用作为一种最具潜力的开源手段被广泛探索和实践^[2]。由于全球范围的水资源紧缺和暴雨洪水灾害频繁,世界五大洲约 40 多个国家和地区都进行了城市雨水利用方法、模式的相关研究,特别是在一些欧美、日韩等发达国家,城市的雨水资源利用范围已发展到了各家各户,形成了标准化和产业化利用的态

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAB02B0403);国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2011CB40330305);黄河水利科学研究院科技项目(2012KXJS001)

作者简介:冯峰(1978—),女,博士,副教授,主要从事水文学及水资源、雨洪资源利用研究。E-mail: fengfeng_624@163.com

势^[3]。近年来,我国大、中城市的雨水利用发展较快,北京、天津、青岛、大连等许多城市也开展了相关理论研究和试点工程的推广应用,但我国城市雨水利用的整体水平仍较低,缺乏研究的系统完整性和持续深入性^[4]。笔者拟以郑州市为例展开雨水资源利用的途径、效益的量化研究,并进行雨水资源利用的效益计算。

1 城市雨水资源利用途径

根据区域的不同,雨水资源利用分为城市雨水资源利用和农村雨水资源利用。由于农村大部分是透水的路面和地面,雨水资源利用途径主要是雨水下渗或直接利用。根据雨水所降落的物体不同,城市雨水资源利用模式可分为雨水汇集储蓄、雨水渗透两种。当雨水降落在不透水路面、建筑物屋顶等上面时,采用雨水汇集储蓄的雨水资源利用模式,汇集储蓄的雨水可用于城市绿化、市政用水、洗车、清洗道路等;当雨水降落在透水路面、林地、草地等上面时,采用雨水渗透的利用模式,下渗雨水用于回补地下水、生态用水等,从而获得相关的经济、生态和社会效益。雨水资源利用过程及效益分类见表1。

表1 雨水资源利用效益分析及分类

利用区域	利用方式	利用措施	利用途径	获得效益	效益分类
城市	不透水路 面、透水路 面、绿地和公 园、河湖水面	地上储雨、 地下储雨、 地面渗透、 渗透井渗透、 直接利用、 储雨池储雨	城市绿化、 市政用水、 回补地下水、 减轻水污染、 保持河川水 量、维持水 景观	节省水量 减轻排洪压力 节省运行费 补充地下水 减缓地面沉降 改善水环境 提高用水效率 缓解水资源压力 提高节水意识	经济效益 经济效益 经济效益 生态效益 生态效益 生态效益 社会效益 社会效益 社会效益
			旱季灌溉、 回补地下水、 水量维持	补充水资源 生态水量保持 缓解用水压力	经济效益 生态效益 社会效益
			直接利用、 地面渗透、 储雨池利用		
农村	坑塘、沟 渠、河道 农田、菜 地、土地	直接利用、 地面渗透、 储雨池利用			

2 郑州市雨水资源利用潜力

郑州市位于东经 112°42′ ~ 114°14′, 北纬 34°16′ ~ 34°58′, 属北温带大陆性季风气候, 年平均降雨量 641 mm, 但降水量全年分布极不均匀, 降雨主要集中在汛期 6—9 月, 汛期降雨量为全年的 60% ~ 80%。这导致在汛期容易出现城市内涝、排水不畅等洪涝灾害, 而在非汛期发生干旱等。郑州市的降雨特点表明郑州市的雨水资源利用不仅具有较大的潜力, 而且很有必要性。

2.1 年均可收集的雨水量

城市年均可收集雨量主要受降雨量、下垫面、雨水水质等自然因素的影响, 也受汇集雨水面积、建筑

物布局等其他因素的制约。城市年均可收集雨量的计算公式为^[5]

$$Q = \psi \alpha \beta A H \tag{1}$$

其中 $\alpha = \frac{h_f}{H} \quad \beta = 1 - \frac{qn_p}{H}$

式中: Q 为城市年均可收集雨量, m^3 ; ψ 为平均径流系数, 可通过对各汇流单元的径流系数加权平均求得; α 为季节折减系数; h_f 为汛期平均降雨量, m ; β 为初期弃流系数, 初期雨水中污染物含量较高, 可以完全排走, 同时用以维持河道和下水道污染物冲释需水; q 为初期降雨量, m ; n_p 为年平均降雨次数; A 为集雨面积, m^2 ; H 为年平均降雨量, m 。

利用式(1)计算郑州市城区年均可收集雨水资源, 其中建成区面积为 336. 70 km^2 , 不透水地面比率为 0. 698, 平均径流系数取 0. 80, 季节折减系数取 0. 82, 初期弃流系数取 0. 87, 集雨面积为 235. 702 km^2 , 年平均降雨量为 0. 641 m , 经过计算, 年均可收集雨水资源约 0. 86 亿 m^3 。

2.2 年均雨水下渗量

郑州市各类透水面面积统计的结果见表 2。研究区域林地、草地、透水路面的总面积为 133. 89 km^2 , 占总面积的 39. 8%, 其中林地面积最大。

表2 2010 年郑州市透水面面积

类 别	面积/ km^2	备 注
透水路面	7. 82	1) 透水路面面积=道路中线长×透水路面平均宽度×2=1 304×0. 003×2=7. 82 km^2
草 地	27. 72	2) 草地包括天然草地和花圃
林 地	98. 35	3) 不同类型透水面的面积比: 林地: 草地
总面积	133. 89	: 透水路面=12. 6 : 3. 5 : 1. 0

注: 数据来源于《郑州统计年鉴(2010)》。

当采取渗透设施如草地、林地、透水路面等时, 有大量雨水入渗地下。通过透水面的雨水下渗量计算公式为

$$Q_1 = \alpha_1 P A = (1 - r) P A \tag{2}$$

式中: Q_1 为通过透水面的雨水下渗量, m^3 ; α_1 为降雨过程中透水面对地表径流的截留系数; r 为径流系数; P 为降雨量, m ; A 为透水面承雨水平投影面积, m^2 。

降雨补充地下水的量用式(3)计算:

$$Q_2 = \alpha_2 P A = (1 - r - z) P A \tag{3}$$

式中: Q_2 为降雨补充地下水的量, m^3 ; α_2 为降雨对地下水的下渗补给系数, 各种透水面的降雨入渗补给系数为 0. 2; z 为地表含水土层的蒸发系数。

利用式(2)和式(3)计算各种不同的透水面所下渗的雨水量和所补充的地下水量, 结果表明, 郑州市年均下渗雨水利用量为 0. 72 亿 m^3 , 降雨补充地下水量为 0. 11 亿 m^3 。

3 雨水资源利用效益的量化

3.1 效益因子识别

根据城市雨水资源利用的途径,对其产生的效益因子进行识别和归类。雨水资源利用的效益分为经济效益、生态效益和社会效益。经济效益是指雨水资源利用而获得的各种直接收益,可以量化为货币单位进行计算;生态效益是指雨水资源利用对生态环境产生的影响,生态效益有正负之分;社会效益是指雨水资源利用对社会进步、资源节约等产生的积极影响。根据雨水资源利用的区域、途径的不同,对产生的效益因子进行识别和归类,见表3。

表3 城市雨水利用汇集和渗透途径的效益因子识别

效益分类	效益因子	雨水汇集效益识别	雨水渗透效益识别
经济效益 B_{re}	B_{re1} :雨水置换自来水收益	✓	-
	B_{re2} :节省城市排水设施运行的费用收益	✓	✓
	B_{re3} :减少绿地土方回填的费用收益	-	-
	B_{re4} :用于企业生产的产出效益	-	-
	B_{re5} :城市水环境的经济效益	-	-
生态效益 B_{re}	B_{re1} :水质效益(包括对地表水和地下水的净化)	✓	✓
	B_{re2} :补充地下水效益	-	✓
	B_{re3} :缓解城市地面沉降效益	-	✓
	B_{re4} :促进自然生态系统的良性循环效益	-	✓
社会效益 B_{rs}	B_{rs1} :提高水资源利用效率	✓	✓
	B_{rs2} :缓解水资源压力	✓	✓
	B_{rs2} :提高全民节水意识	✓	✓
	B_{rs4} :构建生态环境和谐社会	✓	✓

注:“✓”表示具有该项效益;“-”表示不具有该项效益。

3.2 效益计算

3.2.1 雨水汇集效益计算

雨水利用效益因子中,既有可以直接定量计算的效益,如节水收益、排水设施运行费等,又有不能直接量化,只能间接估算的效益,如缓解城市地面沉降、促进自然生态系统良性循环等,还有一些因子无法量化。对不能直接或间接量化的效益因子进行描述分析。

3.2.1.1 经济效益

雨水利用所产生的经济效益包括直接经济效益和间接经济效益。直接经济效益包括收集回用雨水置换自来水所产生的收益、节省城市排水设施的费用、减少的绿地土方回填费用等;间接经济效益指城市水环境的经济价值所带来的经济效益。

a. 收集回用雨水置换自来水的收益。收集回用形式所收集的雨水置换了自来水,减少自来水费用,其收益可依照城市年均可收集的雨量和自来水价格计算,计算公式为

$$B_{rel} = QI \tag{4}$$

式中: B_{rel} 为用收集回用雨水置换自来水的收益,元;

I 为自来水用水单价,元/ m^3 。

按理论价格或影子价格计算生活用水的效益,主要为确定商品水的价格。由于物价存在地域差和波动性,故要根据具体地方的情况来确定,尽量让水价与其价值相符。郑州市目前执行的水价是《郑州市物价局关于调整城市供水价格的通知》(郑价综[2005]10号)中规定的价格。将雨水进行再生水利用,主要用于绿化、冲洗道路、停车场、洗车、景观用水等,属于市政用水居多,因此按市行政事业单位用水计价,其价格是2.80元/ m^3 ,包括1.90元/ m^3 的水费,0.65元/ m^3 的排污费,0.1元/ m^3 的城市附加费,0.15元/ m^3 的南水北调工程集资款。

b. 节省城市排水设施的运行费用。城市雨水被收集利用或通过透水地面渗入地下后,将不再通过市政管网排放,从而节省城市排水设施运行的费用。可按每方水的管网运行费用、污水处理费用和减少的外排水量计算这部分收益,计算公式为

$$B_{re2} = Q(C_1 + C_2) \tag{5}$$

式中: B_{re2} 为节省城市排水设施运行的费用,元; C_1 为每单位雨水的城市排水管网运行费用,元/ m^3 ; C_2 为每单位雨水的污水处理费用,元/ m^3 ;

根据《郑州市统计年鉴(2010)》,2010年郑州市污水处理厂的年运行费为21640.1万元,污水年处理量为28471.0万 m^3 ,每单位污水处理运行费为0.76元/ m^3 ,城市排水管网运行费此处忽略不计。

3.2.1.2 生态效益

a. 水质效益。在雨水资源运输和贮存的过程中,各类运输通道和贮存场所会对雨水中存在的污染物有一定的自然净化能力,使进入城市各类水体中的面源污染大大减少,促进城市水体的水质改善。水质效益是指因消除污染而减少的社会损失值。据文献[6],为消除污染,每投入1元可减少的环境资源损失是3元,即投入产出比为1:3,用式(6)进行计算:

$$B_{rel} = 3C_sQ \tag{6}$$

式中: B_{rel} 为水质效益,包括对地表水和地下水的净化效益,元; C_s 为每单位污水的城市排污费,元/ m^3 。

以目前郑州市每单位污水处理费0.65元/ m^3 作为消除污染投入的费用,可计算出雨水资源利用消除污染而减少的社会损失为1.95元/ m^3 。

利用式(4)~(6)计算2010年郑州市雨水资源汇集利用的各项效益合计为4.74亿元。

3.2.2 雨水渗透效益计算

3.2.2.1 经济效益

城市透水面雨水渗透的经济效益是节省城市排水设施的运行费用。由于雨水渗入地下可以等量减

少向市政管网排放雨水,从而节省城市排水管网的运行费用,因此可用式(5)计算雨水渗透的经济效益。

3.2.2.2 生态效益

a. 水质效益。雨水渗透的水质效益用公式(6)计算。

b. 补充地下水产生的效益。2010 年郑州市地下水开采量已达到 51 万 m³/d,年开采量为 18.62 亿 m³,占可开采量的 84%,使郑州市平原区 2 个地下水漏斗区五里堡、新郑市区浅层地下水位持续下降。而利用雨水资源入渗补充地下水可产生多种效益,如增加供水、扬程效益,减少新建水源工程效益,水质、增产效益,控制洪水和防治咸水入侵等。此外利用雨水资源入渗补充地下水还将对改善区域生态环境,减少社会、环境负效应(地面塌陷、房屋倒塌、植被退化等)起到一定的作用^[7]。补充地下水所产生的效益是减少的人工回补地下水所需要费用,采用防护费用法进行计算,计算公式为

$$B_{rc2} = Q_2(P_2 + C_2) \tag{7}$$

式中: B_{rc2} 为利用雨水资源补充地下水所产生的效益,元; P_2 为补充单位地下水水量的防护费用,元/m³; C_2 为补充单位地下水水量的其他费用,元/m³。考虑郑州市的地下水开采程度、技术水平等,采用人工回补地下水为防护措施, P_2 为 1.275 元/m³^[8]。

利用式(5)~(7)计算 2010 年郑州市雨水资源渗透利用的总效益为 2.09 亿元。

3.2.3 雨水资源利用的社会效益

郑州市是我国中部地区重要的中心城市、国家重要的综合交通枢纽、国家级战略“中原经济区”的中心城市,有着“绿城”的美称。随着城市人口的增加和经济的快速发展,合理有效利用雨水资源,势必为郑州今后健康发展奠定良好的生态环境基础,提供可靠的水资源保障,具有改善生态环境、优化用水结构、美化绿地景观、构建和谐社会等显著的社会效益^[9]。

4 结 语

郑州市城区的雨水资源利用主要有雨水汇集和雨水渗透两种途径,笔者针对不同利用途径产生的效益因子,构建了效益体系和量化计算方法。以郑州市为例进行计算,计算结果显示,郑州市城区年均可汇集雨水利用量 0.86 亿 m³,产生的可量化的效益为 4.74 亿元;下渗雨水利用量 0.72 亿 m³,补充地下水量 0.11 亿 m³,产生效益为 2.09 亿元。可见郑州市雨水资源利用潜力巨大,产生的经济效益和生态效益可观。应大力提高全民节水意识,提高水资源利用效率。

参考文献:

[1] 贾绍凤,何希吾,夏军. 中国水资源安全问题及对策[J]. 中国科学院院刊, 2004, 19(5): 347-350. (JIA Shaofeng, HE Xiwu, XIA Jun. Problems and countermeasures of water resource security of China[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2004, 19(5): 347-350. (in Chinese))

[2] 张建云,张四龙,王金星,等. 近 50 年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. 水科学进展, 2007, 18(2): 231-234. (ZHANG Jianyun, ZHANG Shilong, WANG Jinxing, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 231-234. (in Chinese))

[3] ZAI ZCN M, TCLRAKAWA Y, MATSUMOTO H, et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japans [J]. Urban Water, 1999(1): 355-359.

[4] 吕玲,吴普特,赵西宁,等. 城市雨水利用研究进展与发展趋势[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 118-123. (LÜ Ling, WU Pute, ZHAO Xining, et al. Research advance of urban rainwater utilization[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(1): 118-123. (in Chinese))

[5] 王情,张广录,王晓磊,等. 中国北方城市雨水资源利用探讨[J]. 水资源保护, 2009, 25(4): 86-90. (WANG Qing, ZHANG Guanglu, WANG Xiaolei, et al. Investigation on utilization of rainwater resources in North China cities [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 86-90. (in Chinese))

[6] 张卫东,何庆成,房浩. 华北平原开采地下水产生的正效益估算[J]. 中国地质灾害与防治报, 2006, 17(3): 110-113. (ZHANG Weidong, HE Qingcheng, FANG Hao. Benefit calculation of groundwater exploitation in North China Plain[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(3): 110-113. (in Chinese))

[7] 高勇. 北京平谷地区地下储水空间雨洪资源利用模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008: 78-89.

[8] 张维然,段正梁,曾正强,等. 上海市控制地面沉降灾害的成本效益分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31(7): 864-868. (ZHANG Weiran, DUAN Zhengliang, ZENG Zhengqiang, et al. Methods to control or arrest land subsidence and their economic benefits in Shanghai [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2003, 31(7): 864-868. (in Chinese))

[9] 冯峰,许士国. 雨洪资源利用功能与需求耦合效益识别法研究[J]. 水文, 2009, 29(2): 45-48. (FENG Feng, XU Shiguo. On benefit identification method of coupling of function and demand in rain and flood resources utilization [J]. Journal of China Hydrology, 2009, 29(2): 45-48. (in Chinese))

(收稿日期:2012-10-12 编辑:彭桃英)