

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.03.013

雨水回用对城市水循环和下游生态环境的影响

张 炜¹ 李思敏¹ 孙广垠¹ 颢植稳²

(1.河北工程大学城市建设学院,河北 邯郸 056038;2.河北建工集团有限责任公司,河北 石家庄 050051)

摘要 基于水量平衡理论和城市径流污染控制理论,从水量和水质 2 个方面探讨城市雨水回用对地表水和地下水原有自然径流以及对下游生态环境的影响。结果表明,雨水回用不仅不会减少雨水入渗量,还可以控制雨水径流污染,削减汛期江河下游区域的洪峰流量,是改善下游区域生态环境的有效途径。最后对城市雨水回用的合理规划提出了建议。

关键词 雨水回用 城市水循环 径流污染 生态环境

中图分类号:TU991.11+4 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2010)03-0050-03

Influences of rainwater harvesting on urban water circulation and downstream ecological environment//ZHANG Wei¹, LI Si-min¹, SUN Guang-yin¹, ZHUAN Zhi-wen²(1. School of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Hebei Construction Group Co., Ltd., Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: Based on the theories of water balance and urban runoff pollution control, the influences of urban rainwater harvesting on the original natural runoffs of surface and ground water and downstream ecological environment from the two aspects of water volume and water quality. The results show that the rainwater harvesting reduces the volume of rainwater infiltration and controls the runoff pollution and reduces the flood peak of downstream rivers during the flood season. Accordingly, the rainwater harvesting is an effective approach to improve the downstream ecological environment. Finally, some suggestions were put forward for the rational planning of the urban rainwater harvesting.

Key words: rainwater harvesting; urban water circulation; runoff pollution; ecological environment

水资源短缺已成为国民经济发展的“瓶颈”。近 20 多年来,北京、上海、西安、成都、青岛等许多城市相继开展雨水回用技术的研究及应用,以促进城市水资源的可持续发展,缓解城市水资源短缺问题。然而有人对此持不同观点,认为雨水资源的开发回用可能会改变原有的城市水循环系统,减少地表水和地下水的原有自然径流,进而影响下游区域的生态环境^[1]。笔者通过分析比较雨水回用前和雨水回用后城市水循环系统的变化,探讨雨水回用对地表水和地下水原有自然径流的影响,并从水量及水质 2 个方面论述雨水回用对下游区域生态环境的影响,以期消除上述疑虑,促进我国雨水回用技术的广泛开展。

1 雨水回用对城市水循环系统的影响

1.1 城市水循环系统构成的变化

雨水回用前的城市水循环系统(传统城市水循环系统)主要由地表水、地下水、雨水径流、城市取

水、城市排水等部分组成,各组成部分之间的关系如图 1(a)所示。城市范围的降雨一部分经雨水管网直排地表水,一部分下渗补充地下水,城市生活及工业用水取自地表水和地下水,而生活污水及工业废水直排或经污水处理厂处理排入地表水,最终地表水及地下水进入下游流域,直至海洋。

雨水回用后,城市水循环系统的变化只在于部分雨水径流通过雨水回用系统进入城市供水,这部分水量为 Q_0 ,超过雨水回用系统收集能力的径流按照雨水回用前的雨水排放路径直排地表水,见图 1(b)。图 1 中 Q_1 和 Q_1' 分别为雨水回用前和雨水回用后的雨水径流总量; Q_2 和 Q_2' 分别为雨水回用前和雨水回用后的雨水入渗量; Q_3 和 Q_3' 分别为雨水回用前和雨水回用后的地表水取水量(江河取水量); Q_4 和 Q_4' 分别为雨水回用前和雨水回用后的地下水取水量; Q_5 和 Q_5' 分别为雨水回用前和雨水回用后排入地表的水量; Q_6 和 Q_6' 分别为雨水回用前和雨水回用后地表水进入下游流域的水量; Q_7

和 Q_7' 分别为雨水回用前和雨水回用后地下水进入下游流域的水量。

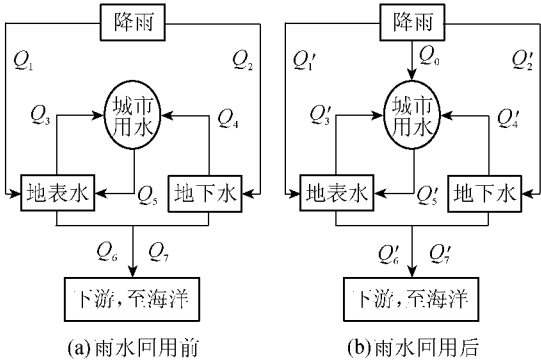


图 1 城市水循环系统

1.2 城市水循环系统水量平衡的变化

随着我国城市化进程的不断深入,城市的人口密度和财产密度增大,城市不透水面积比例逐年增大,排水设施日趋完善,雨水回用前城市水循环系统水量平衡已经发生了较大变化。地表水和地下水的取水量($Q_3 + Q_4$)不断增大,部分地区地表水资源总储量严重不足;雨水径流总量(Q_1)及洪峰流量增大,洪涝灾害发生的频率及其造成的损失越来越大;雨水入渗量(Q_2)减少,地下水开采过度,部分地区地下水水位下降严重,地面沉降、海水入侵等现象随之而来,而且这一系列城市环境和生态问题还在不断加剧。

开展城市雨水回用技术就是为了缓解上述问题,改善现有城市水循环系统。下面基于水量平衡原理比较雨水回用前后的水量分配,从而明确雨水回用对城市水循环的影响,阐明雨水回用不会减少地表水和地下水的原有自然径流。

城市水循环系统中各水量之间有如下的平衡关系,见表 1。表中: k 为城市用水排放系数; $Q_{供}$ 和 $Q_{供}'$ 分别为雨水回用前、雨水回用后的城市供水总量; $Q_{降}$ 为城市降雨总量; $Q_{地表水}$ 、 $Q_{地下水}$ 分别为江河和地下水在进入城市前的水量; k 、 $Q_{降}$ 、 $Q_{地表水}$ 、 $Q_{地下水}$ 在雨水回用前后不变。对表 1 中各项进行分析比较,具体如下:

雨水回用收集的是形成径流后的雨水,而不是天然降雨。对于一个有比较完善的排水系统的城市而言,即使雨水不回用,这部分雨水也会被排水管网排除,因此雨水资源的开发回用不会减少现有城市

表 1 城市宏观水循环系统的水量平衡关系式

公式组号	雨水回用前	雨水回用后
1	$Q_{降} = Q_1 + Q_2$	$Q_{降} = Q_1' + Q_2' + Q_0$
2	$Q_{供} = Q_3 + Q_4$	$Q_{供}' = Q_3' + Q_4' + Q_0$
3	$Q_5 = k(Q_3 + Q_4)$	$Q_5' = k(Q_3' + Q_4' + Q_0)$
4	$Q_6 = Q_{地表水} + Q_1 + Q_5 - Q_3$	$Q_6' = Q_{地表水} + Q_1' + Q_5' - Q_3'$
5	$Q_7 = Q_{地下水} + Q_2 - Q_4$	$Q_7' = Q_{地下水} + Q_2' - Q_4'$

雨水入渗量,即 $Q_2 = Q_2'$ 。

根据第 1 组水量平衡关系式及 $Q_2 = Q_2'$,可得 $Q_1 = Q_1' + Q_0$ 或 $Q_1 > Q_1'$,即雨水回用后城市雨水径流总量及洪峰流量相应减少。

如果城市用水总量在雨水回用前后不变,可知第 2 组水量平衡关系式中 $Q_{供} = Q_{供}'$ 或 $Q_3 + Q_4 = Q_3' + Q_4' + Q_0$,也就是说,雨水回用后城市对地表水或地下水的取水量减少,减少的水量即为雨水回用量 Q_0 。又因城市用水排放系数 k 为定值,根据第 3 组水量平衡关系式可得 $Q_5 = Q_5'$ 。如果城市对地表水以及地下水的取水量不变($Q_3 = Q_3'$, $Q_4 = Q_4'$)城市的供水量将增加 Q_0 ,从而满足因城市经济建设发展用水量增加的需要。

结合前面的分析结果以及各组水量平衡关系式,分情况讨论雨水回用后地表水及地下水进入下游流域的水量变化:①假设城市供水总量及地下水取水量不变,回用雨水量替代江河取水量,将 $Q_1 = Q_1' + Q_0$, $Q_2 = Q_2'$, $Q_5 = Q_5'$, $Q_3 = Q_3' + Q_0$ 代入第 4、第 5 组水量平衡关系式,可得 $Q_6 = Q_6'$, $Q_7 = Q_7'$,即雨水回用前后地表水进入下游流域的水量不变,地下水水量亦不变;②如果城市供水总量及地表水取水量不变,回用水雨量替代地下水取水量,将 $Q_1 = Q_1' + Q_0$, $Q_5 = Q_5'$, $Q_4 = Q_4' + Q_0$ 代入第 4、第 5 组水量平衡关系式,可知 $Q_6 = Q_6' + Q_0$, $Q_7 = Q_7' - Q_0$,即雨水回用前后地表水进入下游区域的水量减少了 Q_0 ,地下水水量增加了 Q_0 ,可看作将水量为 Q_0 的地表水用于补充地下水资源。

2 雨水回用对地表水水质的影响

我国水污染控制大多局限于治理点源污染层面,对于雨水径流污染控制尚未给予足够的重视。雨水径流污染主要包括城市雨水径流污染和农业径流非点源污染,其中城市雨水径流污染占较大比例^[2]。长期以来,很多人认为与工业废水、生活污水相比,雨水是无污染或轻污染水源,可以直接排放。这是水污染年年治理但成效不佳的主要原因之一。如从 20 世纪 80 年代起,北京市就开始治理城区的河湖水系,在 20 世纪末更是耗资数 10 亿对城区河湖水系进行系统、全面的整治,已基本控制河道的点源污染并逐步恢复河道的生态系统,但近年来城区水系仍多次发生水污染事件,这与忽视控制水系流域的径流污染有关。

国内外有关城市雨水径流污染方面的研究表明,雨水本身水质较好,但在降水过程中由于对大气的淋洗以及雨水径流对汇水面的冲刷,雨水将携带大量的污染物^[3-4],而且不同的汇水面径流污染状况

不同,但在径流过程中均具有初期冲刷效应,即初期雨水污染严重,随着降雨历时的延续,径流中各污染物浓度逐渐降低,最终稳定在一个较低的水平^[5-7]。虽然有些时候大雨过后河流水质会有所好转(这是因为后期雨水污染程度较轻,对水体起到了一定的稀释作用),但初期径流携带的大量污染物已进入水体并沉积在水体底部,造成水体的内源污染。一旦污染物的沉积量达到某一极限值,水体水质大规模恶化(如水华现象)将很难处理^[8]。所以,雨水不能直接排放,也不能作为地表水体的稀释水源,否则会对受纳水体造成污染。

雨水回用后,雨水径流分成2部分通过不同的路径排入江河,雨水回用部分经过城市排水系统进入污水处理厂进行适当处理,待水质达标后排入江河,超过雨水回用系统收集能力的径流虽然直排江河,但这部分已是后期降雨,径流污染状况已经大幅度降低。所以,雨水回用可以有效地削减雨水径流对江河的污染,从而改善江河水体的水质状况。

3 雨水回用对下游区域生态环境的影响

3.1 地表水水质变化对下游区域生态环境的影响

上游城市雨水回用可以有效地削减雨水径流对地表水体的污染,下游区域水质将随之好转,从而改善下游区域的生态环境;从另一个角度考虑,雨水回用可以提高下游区域地表水的水环境容量,增加水体所能接纳的最大允许污染物负荷。

3.2 地表水水量变化对下游区域生态环境的影响

地表水的水量变化会影响水体的环境容量,从而影响下游区域的生态环境。地表水水量越大,其水环境容量越大;反之亦然。从上面的论述可知,上游城市雨水回用不会减少地表水下游水量,而且,如果因雨水回用减少了地表水的取水量,下游城市的地表水量反而会增加,从而增加水环境容量。

除此之外,雨水回用设施在降雨时收集雨水,可以有效削减洪峰流量,减小城市排水管网以及下游区域的排洪压力。我国降雨时间分布不均,主要集中在夏秋季节。每当汛期来临,各流域的中下游区域都面临着洪峰的威胁,雨洪灾害不仅会造成巨大的经济损失,而且对下游区域生态环境的破坏极其严重。如果开展雨水回用,降雨时雨水回用系统收集部分雨水径流,可以将其看作是雨水调节设施。虽然单个的雨水回用系统的调蓄能力有限(一般是几 m^3 至几千 m^3),但如果流域各城市均广泛开展雨水回用,所有雨水回用系统联合作用,其调蓄能力不亚于一个大规模的水利设施。从此种意义上讲,雨水回用具有削减洪峰流量、减小下游区域防洪压力的作用,是保护下游区域生态环境的一个有效途径。

4 城市雨水回用的合理规划

城市开展雨水回用时,应结合各地区以及整个流域的水资源状况进行合理的总体规划,以实现雨水的合理开发回用,规划内容大致如下:①在地下水资源丰富地区,雨水回用水量用于替代地表水取水量,即减少该地区的地表水取水量;②在地下水资源缺乏地区,雨水回用水量可适量替代地下水取水量,达到涵养地下水资源的目的。③若江河水资源及地下水资源均短缺,城市供水水量不足,可在江河及地下水取水量不变的基础上,合理回用雨水资源,缓解城市供水危机。

5 结 论

a. 对于城市水循环系统而言,雨水回用不会减少城市雨水入渗量,还可以通过减少地表水或地下水的取水量,从而增加地表水资源总量、补充地下水、涵养地下水资源,缓解我国城市普遍存在的水资源短缺、地下水位持续下降等城市生态环境问题。

b. 开展城市雨水回用可以有效控制雨水径流污染,减少地表水体的污染负荷,是改善城市及其下游区域生态环境的有效途径。

c. 在汛期,雨水回用设施还可以作为雨水调蓄设施,削减雨水径流量和洪峰流量,从而缓解城市排水系统以及下游区域的排洪压力,保护城市基础设施以及人民财产安全,减少洪水对城市及下游区域生态环境的影响。

d. 开展城市雨水回用应进行合理规划,以期产生更大的经济效益、环境效益及社会效益。

参考文献:

- [1] GB 50400—2006 建筑与小区雨水利用工程技术规范[S].
- [2] TAYLOR M, HENKELS J. Stormwater-best management practices: preparing for the next decade[J]. Stormwater, 2001, 2(7): 1-11.
- [3] 车伍, 刘燕, 李俊奇. 国内外城市雨水水质及污染控制[J]. 给水排水, 2003, 29(10): 38-42.
- [4] GROMAIRE-MERTZ M C, GARNAUD S, GONZALEZ A, et al. Characterization of urban runoff pollution in Paris[J]. Wat Sci & Tech, 1999, 39(2): 1-8.
- [5] 车伍, 张伟, 李俊奇, 等. 城市雨水径流污染的初期弃流控制[J]. 中国给水排水, 2007, 23(6): 1-5.
- [6] LARSEN T, BROCH K, ANDERSEN M R. First flush effects in an urban catchment area in Aalborg[J]. Wat Sci & Tech, 1998, 38(1): 251-257.
- [7] LEE J H, BANG K W. Characterization of urban stormwater runoff[J]. Water Research, 2000, 34(6): 1773-1780.
- [8] 王家权, 孙亚敏, 钱家忠, 等. 巢湖底泥磷的释放规律模拟实验研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(6): 738-742.

(收稿日期 2009-09-11 编辑 骆超)