

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.007

海绵城市年径流总量控制率与雨量径流系数关系探讨

苏定江^{1,2}, 蒲贵兵^{1,2}, 刘杰^{1,2}, 刘希^{1,2}

(1. 重庆市市政设计研究院有限公司, 重庆 400030; 2. 重庆市海绵城市建设工程技术研究中心, 重庆 400030)

摘要: 根据年径流总量控制率的应用方式,分析了采用“1-雨量径流系数”作为年径流总量控制率的不合理性。从雨量径流系数和年径流总量控制率的定义出发,推导得出了雨量径流系数和年径流总量控制率两者的内在关系。提出径流污染控制指标宜采用年径流总量控制率,径流总量控制指标宜采用雨量径流系数,并指出对于重庆地区这种天然雨量径流系数较高的山地城市,径流污染控制是年径流总量控制率取值的决定性因素。

关键词: 年径流总量控制率; 雨量径流系数; 雨水径流控制指标

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0038-05

Discussion on the Relationship between Volume Capture Ratio of Annual Rainfall and Volumetric Runoff Coefficient in Sponge Cities

SU Ding-jiang^{1,2}, PU Gui-bing^{1,2}, LIU Jie^{1,2}, LIU Xi^{1,2}

(1. Chongqing Municipal Research Institute of Design, Chongqing 400030, China; 2. Sponge City Engineering Technology Research Center of Chongqing, Chongqing 400030, China)

Abstract: According to the application mode of the volume capture ratio of annual rainfall, the irrationality of using “1 - volumetric runoff coefficient” as volume capture ratio of annual rainfall is analyzed. Based on the definition of volume capture ratio of annual rainfall and volumetric runoff coefficient, the internal relationship between volumetric runoff coefficient and volume capture ratio of annual rainfall is derived. It is suggested that the runoff pollution control indicator should adopt volume capture ratio of annual rainfall, and the runoff total volume control should adopt the volumetric runoff coefficient. The result showed that for the mountainous city with large natural volumetric runoff coefficient just like Chongqing, runoff pollution control is the decisive factor for the value of the volume capture ratio of annual rainfall.

Key words: volume capture ratio of annual rainfall; volumetric runoff coefficient; rainwater runoff control indicator

年径流总量控制率是我国海绵城市建设中最关键的一项控制指标,用于表征需要进行控制的年降雨量比例。目前部分设计人员在该指标的理解上存在误区,在工程中存在直接采用“1-雨量径流系数”作为下垫面年径流总量控制率的做法。为此讨论该种做法的不合理性,并进一步探讨年径流总量控制率与雨量径流系数的内在关系。

1 采用“1-雨量径流系数”的不合理性分析

根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试运行)》(以下简称《海绵指南》),年径流总量控制率的定义为:根据多年日降雨量统计数据进行分析计算,通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发(腾)等方式,场地内累计全年得到控制的雨量占全年总降雨量的百分比。同时,《海绵指南》

指出年径流总量控制率的专有量值为设计降雨量,并给出了建立两者关系的方法:根据当地气候资料数据,选取至少近30年(反映长期的降雨规律和近年气候的变化)日降雨(不包括降雪)资料,扣除 ≤ 2 mm的降雨事件的降雨量,将降雨量日值按雨量由小到大进行排序,统计小于某一降雨量的降雨总量(小于该降雨量的按真实雨量计算出降雨总量,大于该降雨量的按该降雨量计算出降雨总量,两者累计总和)在总降雨量中的比率,此比率(即年径流总量控制率)对应的降雨量(日值)即为设计降雨量。

根据上述设计降雨量与年径流总量控制率对应方法,采用重庆某地区30年日降雨数据,求得不同设计降雨量对应的年径流总量控制率,如图1所示。

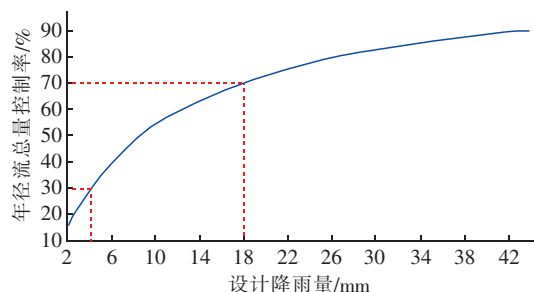


图1 重庆某地区年径流总量控制率与设计降雨量对应关系

Fig.1 Correspondence between volume capture ratio of annual rainfall and design rainfall depth in a certain area of Chongqing

由图1可以看出,设计降雨量与年径流总量控制率存在非线性的——对应关系,即某设计降雨量只对应唯一的年径流总量控制率。设计降雨量确定时其年径流总量控制率也即确定,反之亦然。设计降雨量的主要作用是计算其对应年径流总量控制率所需控制容积(以下简称“控制容积”),控制容积是年径流总量控制率指标落地的最终方式。在控制容积的计算中会应用到雨量径流系数和设计降雨量,其计算公式如下:

$$V_T = 10HRF \quad (1)$$

式中: V_T 为控制容积, m^3 ; F 为汇水区域面积, hm^2 ; H 为设计降雨量, mm , 根据年径流总量控制率确定; R 为雨量径流系数, 汇水区域内有多种用地性质时采用加权平均值。

下垫面如采用“1-雨量径流系数”作为未设置控制容积时的年径流总量控制率,当设计降雨量取值较小或下垫面自身雨量径流系数较小时,就会出

现设置控制容积后其年径流总量控制率反而降低的情形。例如,某居住小区雨量径流系数取0.6,未设置控制容积时,如采用“1-雨量径流系数”作为年径流总量控制率,其年径流总量控制率为40%;按设计降雨量4.2 mm设置控制容积后,查图1其年径流总量控制率反而只有30%。又如某绿地公园雨量径流系数取0.15,未设置控制容积时,如采用“1-雨量径流系数”作为年径流总量控制率,其年径流总量控制率为85%;按设计降雨量18.1 mm设置控制容积后,查图1其年径流总量控制率反而只有70%。

上述情形中,下垫面设置控制容积后其年径流总量控制率反而下降,这显然是不合理的,因此在当前的年径流总量控制率的定义及计算方式下,采用“1-雨量径流系数”作为下垫面的年径流总量控制率是不合理的。

2 年径流总量控制率与雨量径流系数关系

2.1 关于雨量径流系数的限定说明

雨量径流系数的影响因素众多,为方便讨论,文中对雨量径流系数做出以下简化和限定,后续的讨论仅基于简化和限定后的雨量径流系数进行。

① 明确雨量径流系数为地表径流系数。在《海绵指南》中雨量径流系数只用于计算控制容积,未给出明确定义。我国现有相关规范标准中仅《建筑与小区雨水控制与利用工程技术规范》(GB 50400—2016)对雨量径流系数进行了定义,为“设定时间内降雨产生的径流总量与总雨量之比”,但该处的径流未明确是否为地表径流。笔者认为,《海绵指南》中的控制容积主要是对下垫面降雨形成地表径流进行控制,对下垫面雨水入渗形成的壤中流、地下径流并未提出控制要求,因此,雨量径流系数理应为地表径流系数。本次讨论中将雨量径流系数定义为“设定时间内降雨产生的地表径流总量与总降雨量之比”,后续关于雨量径流系数的讨论将严格建立在此定义上。

② 假定同一种下垫面雨量径流系数为定值。同一种下垫面在不同设定时间(分钟、小时、日、月、年)时,其雨量径流系数均有所差异,同时前晴天数、雨强、降雨量等对雨量径流系数都有影响。本次讨论雨量径流系数主要用于计算控制容积,其对应的设定时间应为多年,因此该雨量径流系数取值应为多年平均值,取值相对稳定。本次讨论中假定雨

量径流系数取值只与下垫面自身种类相关,即同一种下垫面雨量径流系数为定值。

③ 雨量径流系数计算时排除了2 mm及以下降雨,目的是为了与年径流总量控制率的统计总降雨量保持一致,方便定量讨论年径流总量控制率与雨量径流系数的对应关系。由于统计的总降雨量排除了2 mm及以下降雨,会造成统计的总降雨量较实际值偏小,从而导致讨论的雨量径流系数较实际值偏大。根据重庆某地区30年降雨资料统计,0.1~2 mm的降雨占总降雨的比例约4%,按此估算实际雨量径流系数约为讨论雨量径流系数的0.96。

2.2 年径流总量控制率与雨量径流系数关系探讨

① 定性探讨。根据《海绵指南》,年径流总量控制率采用设计降雨量作为其专有量值,设计降雨量用于计算实现年径流总量控制率所需的控制容积。对于设置有控制容积的下垫面,经过控制容积控制后的水量通常以入渗、缓排、就地截留的方式而不再以地表径流的方式离开下垫面,如将下垫面和控制容积考虑为一个整体(以下简称“容积型下垫面”),那么以地表径流方式离开容积型下垫面的雨量比原下垫面少,按照雨量径流系数的定义可知,容积型下垫面的雨量径流系数较原下垫面会变小。

控制容积对下垫面雨量径流系数的改变可用图2进行示意。

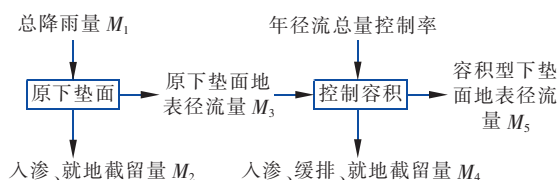


图2 地表径流量变化示意

Fig.2 Schematic diagram of rainwater surface runoff variation

图2中, $M_3 = M_1 - M_2$, $M_5 = M_3 - M_4$,原下垫面的雨量径流系数 $= M_3 / M_1$,容积型下垫面的雨量径流系数 $= M_5 / M_1$,当 $M_4 > 0$ 时可知 $M_3 / M_1 > M_5 / M_1$,即原下垫面的雨量径流系数 $>$ 容积型下垫面的雨量径流系数。由此可知,下垫面采用年径流总量控制率指标设置控制容积后,其雨量径流系数会变小,即下垫面的年径流总量控制率与其雨水径流系数负相关。

② 定量探讨。为进一步探讨年径流总量控制率与雨量径流系数的定量关系,以下讨论将在重庆某地区的实际降雨量数据的基础上进行。根据年径流总量控制率的定义,统计重庆某地区30年来的降

雨数据(扣除 ≤ 2 mm降雨),将日降雨量按雨量由小到大进行排序,以降雨日期作为横轴,日降雨量作为纵轴,多年总降雨量 Q_1 如图3中阴影面积所示。

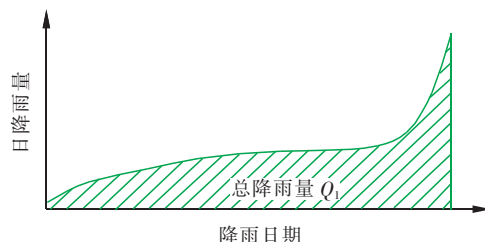


图3 多年总降雨量示意

Fig.3 Schematic diagram of total rainfall depth for many years

总降雨量中,设计降雨量以下部分为受控降雨量,以上部分为非受控降雨量,如图4所示。

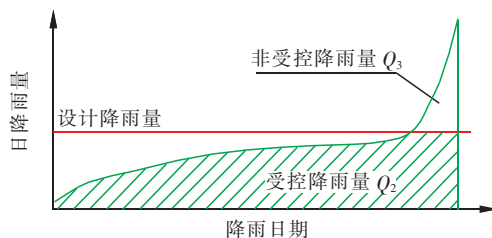


图4 多年受控降雨量示意

Fig.4 Schematic diagram of controlled rainfall depth for many years

根据设计降雨量与年径流总量控制率的定义,年径流总量控制率 $T = Q_2 / Q_1$,其中 $Q_2 + Q_3 = Q_1$ 。

当该下垫面不设置控制容积时,在雨量径流系数为定值的前提下,其外排地表径流量如图5所示。

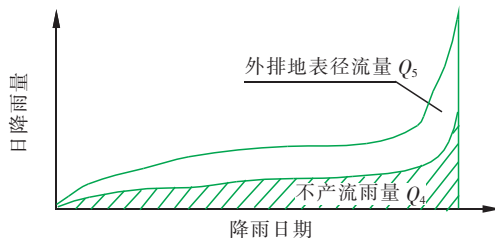


图5 无控制容积时多年外排地表径流总量

Fig.5 Schematic diagram of total runoff amount for many years without control volume

该情况下,下垫面雨量径流系数 $R_1 = Q_5 / Q_1$,其中 $Q_4 + Q_5 = Q_1$ 。

当该下垫面设置控制容积后,对于容积型下垫面,当降雨量不大于设计降雨量时,降雨时所有地表径流都可以暂时存储在控制容积中,因此不会有地表径流流出。对于降雨量大于设计降雨量时,该降

雨量大于设计降雨量那部分为非受控降雨量 Q_3 会产生外排地表径流,其外排地表径流量如图6所示。

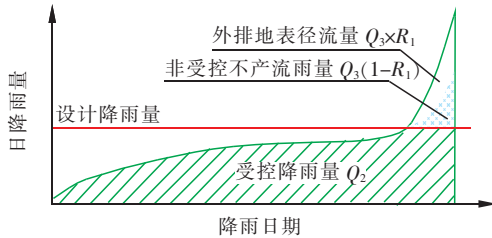


图6 有控制容积时多年外排地表径流总量

Fig.6 Schematic diagram of total runoff amount for many years with control volume

容积型下垫面雨量径流系数 R_2 计算如下:

$$R_2 = Q_3 \times R_1 / Q_1 = (Q_1 - Q_2) \times R_1 / Q_1 = (1 - T) R_1 \quad (2)$$

由式(2)可知,年径流总量控制率和雨量径流系数不存在单独对应关系,但当下垫面有年径流总量控制率要求时并按照该要求设置控制容积后,年径流总量控制率可参与容积型下垫面的雨量径流系数的计算,这就是年径流总量控制率与雨量径流系数的内在关系。

③ 关系式适用性分析。采用 $R_2 = (1 - T) R_1$ 作为雨量径流系数与年径流总量控制率的关系式,其内涵是下垫面实现其年径流总量控制率指标的同时可减小其雨量径流系数,能够广泛用于各种容积型下垫面的雨量径流系数计算。笔者选取了3种典型的下垫面,测算其不同年径流总量控制率下的雨量径流系数,结果见表1。

表1 典型下垫面不同年径流总量控制率下的雨量径流系数

Tab.1 Volumetric runoff coefficient of typical underlying surface with different volume capture ratio of annual rainfall

下垫面种类	下垫面雨量径流系数 R_1	年径流总量控制率/%	设计降雨量/mm	容积型下垫面雨量径流系数 R_2
居住小区	0.6 ~ 0.7	30	4.2	0.42 ~ 0.49
		50	9.0	0.30 ~ 0.35
		70	18.1	0.18 ~ 0.21
城市道路	0.8 ~ 0.9	30	4.2	0.56 ~ 0.63
		50	9.0	0.40 ~ 0.45
		70	18.1	0.24 ~ 0.27
公园绿地	0.15 ~ 0.3	30	4.2	0.11 ~ 0.21
		50	9.0	0.08 ~ 0.15
		70	18.1	0.05 ~ 0.09

3 关于径流控制指标的几点思考

3.1 径流总量控制指标

雨量径流系数与下垫面密切相关,代表下垫面

对降雨量的实际控制比例;年径流总量控制率取值与下垫面不直接相关,代表需要进行控制的降雨量比例;两者的内涵不一致。年径流总量控制率未涉及对非受控降雨控制要求,不能全面体现下垫面对总降雨量的控制效果,相较而言,雨量径流系数更能全面体现下垫面对总降雨量的控制效果,因而更适合作为径流总量控制指标。减小下垫面雨量径流系数的措施主要有两种:一是增加下垫面透水部分(绿地、透水铺装等)比例;二是下垫面设置控制容积形成容积型下垫面,在工程中根据实际情况可单独或组合使用。

3.2 径流污染控制指标

径流污染控制是指对下垫面产生的地表径流中的污染物控制削减。下垫面对自身产生的径流污染物无去除效果,需要设置相应的控制容积对该下垫面雨水径流进行存储并对其中的污染物进行削减。年径流总量控制率对应的设计降雨量可直接计算控制容积,当控制容积具有径流污染控制作用时,年径流总量控制率作为径流污染控制指标是合适的。美国采用的是年降雨场次控制率作为径流污染控制指标,根据年降雨场次控制率对应的设计降雨量计算水质控制容积(WQ_v),我国《海绵指南》中与美国该种控制容积的计算方法相似,只是将年降雨场次控制率转换为年径流总量控制率^[1]。需要指出的是,本处的控制容积特指具有污染物削减功能的容积,如无污染物削减功能,则不能计入该控制容积。为减轻后期的运行维护工作量,进行径流污染控制时应优选源头绿色雨水设施,条件受限时可选择灰色雨水设施作为补充,也可根据实际情况组合使用。

3.3 重庆地区径流控制指标探讨

对于径流总量控制来说,重庆地区属于典型的山地城市,自然坡度大,土层保水蓄水能力较弱,降雨后产汇流速度快,故雨量径流系数较大。重庆地区根据水资源量折合的产水系数为0.53~0.63,其中地下径流约占20%,按此估算,扣除地下径流部分后重庆地区天然雨量径流系数为0.42~0.50,因此可采用雨量径流系数 ≤ 0.4 作为重庆地区径流总量的控制目标。

由于设置控制容积前下垫面的雨量径流系数 $R_1 \leq 1.0$,由 $R_2 = (1 - T) R_1$ 可知,当下垫面年径流总量控制率 T 取60%时并按此设置控制容积后,其雨水径流系数 R_2 均可满足雨量径流系数 ≤ 0.4 的

要求,故重庆地区也可将年径流总量控制率 $\geq 60\%$ 作为径流总量的控制目标。

对于径流污染控制来说,重庆地区尚未积累相关经验数据。美国各州年降雨场次控制率经验取值从 $80\% \sim 95\%$ 不等^[2],我国《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)中对重庆地区推荐的年径流总量控制率为 $75\% \sim 85\%$,其对应的年降雨场次控制率为 $81.6\% \sim 92\%$ ^[3],与美国各州径流污染控制水平相当。建议重庆地区应进一步加强径流污染控制方面的相关研究和数据积累,以便制定更经济合理的年径流总量控制率取值。目前重庆地区可按照《海绵城市建设评价标准》(GB/T 51345—2018)中的要求:有海绵专项规划地区,年径流总量控制率按照专项规划执行;无海绵专项规划地区,年径流总量控制率暂按 $75\% \sim 85\%$ 取值。

综上所述,对于要实现径流污染和径流总量双重控制的区域,可统一采用年径流总量控制率作为其控制指标,但应根据径流污染和径流总量控制要求分别计算其所需的年径流总量控制率并取其大值。对于重庆地区这种天然雨量径流系数较大的山地城市来说,目前径流污染控制是年径流总量控制率取值的决定性因素。

4 结语

① 采用“1-雨量径流系数”作为年径流总量控制率,存在设置控制容积后年径流总量控制率反而下降的情况,因此采用“1-雨量径流系数”作为年径流总量控制率是不合理的。

② 年径流总量控制率和雨量径流系数不存在单独对应关系,但年径流总量控制率可参与下垫面的雨量径流系数计算。下垫面雨量径流系数取值可采用 $R_2 = (1 - T)R_1$ 表示,其中 R_2 为下垫面设置控制容积后的雨量径流系数, R_1 为下垫面设置控制容积前的雨量径流系数, T 为下垫面采用的年径流总量控制率。

③ 径流污染控制指标宜采用年径流总量控制率,径流总量控制指标宜采用雨量径流系数,对于要实现径流污染和径流总量双重控制的区域,可统一采用年径流总量控制率作为其控制指标,但应根据径流污染和径流总量控制要求分别计算其所需年径流总量控制率并取其大值,目前重庆地区径流污染控制是确定年径流总量控制率取值的决定性因素。

参考文献:

- [1] 王文亮,李俊奇,车伍,等. 雨水径流总量控制目标确定与落地的若干问题探讨[J]. 给水排水,2016,42(10):61-69.
WANG Wenliang, LI Junqi, CHE Wu, et al. Discussion on several problems of determination and landing of total control target of rainwater runoff [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(10): 61-69 (in Chinese).
- [2] 李小静,李俊奇,王文亮. 美国雨水管理标准剖析及其对我国的启示[J]. 给水排水,2014,40(6):119-123.
LI Xiaojing, LI Junqi, WANG Wenliang. Analysis of American rainwater management standards and its enlightenment to China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(6): 119-123 (in Chinese).
- [3] 苏定江,靳俊伟,刘亭役. 低影响开发设计中容积法应用探讨[J]. 中国给水排水,2018,34(17):128-133.
SU Dingjiang, JIN Junwei, LIU Tingyi. Discussion on application of volumetric method in low impact development design [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(17): 128-133 (in Chinese).

作者简介:苏定江(1979-),男,重庆人,硕士,教授级高级工程师,长期从事市政给排水及低影响开发相关方面的设计研究工作。

E-mail:21105107@qq.com

收稿日期:2019-04-29

修回日期:2019-10-11

(编辑:丁彩娟)