

城市雨水管理

北京不同年径流总量控制率下设计降雨量的空间分布

张质明¹, 胡蓓蓓^{1,2}, 李俊奇², 潘润泽^{1,2}, 王文亮², 黄诗月¹

(1. 北京建筑大学 北京应对气候变化研究和人才培养基地, 北京 100044; 2. 北京建筑大学
城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 为科学确定海绵城市年径流总量控制目标,以北京市为例,在考虑降雨空间分布规律的基础上,计算不同年径流总量控制率条件下的各区域设计降雨量,并对造成空间差异的成因进行分析。结果表明,由于城市热岛效应、城市建筑物阻碍效应与城市凝结核效应所造成的雨岛现象以及地形、季风等因素的综合影响,北京市降雨强度的空间差异较大,在75%~90%的年径流总量控制率范围内,对应的设计降雨量具有明显的空间差异性,总体呈现城区高于郊区,并形成西南—东北方向的等值梯度。其中,中心城区、顺义、朝阳、丰台以及房山的西部设计降雨量较高。因此在确定LID雨水设施规模时,应根据项目所在地的雨量站点资料进行年径流总量控制率与设计降雨量关系曲线的分析,并以此作为指导。

关键词: 海绵城市; 年径流总量控制率; 设计降雨量; 空间分布

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)05-0126-05

Spatial Distribution of Design Rainfall Depth under Different Volume Capture Ratios of Annual Rainfall in Beijing City

ZHANG Zhi-ming¹, HU Bei-bei^{1,2}, LI Jun-qi², PAN Run-ze^{1,2}, WANG Wen-liang², HUANG Shi-yue¹

(1. *Beijing Climate Change Response Research and Education Center, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China*; 2. *Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China*)

Abstract: To scientifically determine volume capture ratio of annual rainfall of the sponge city, taking Beijing City for example, on the basis of considering the spatial distribution of precipitation, the design rainfall depth of different districts under different volume capture ratios of annual rainfall was calculated, and the reason for its spatial difference was analyzed. The results showed that there was great spatial difference of the precipitation intensity in Beijing, which was caused by terrain, monsoon, urban rain island effect relating to the urban heat island, city building block effect and condensation nuclei and so on. In the general range of 75%–90% of volume capture ratio of annual rainfall, the design rainfall depth had obvious spatial heterogeneity, and its overall profile was urban area higher than suburb and e-

基金项目: 北京市社会科学基金重点资助项目(14CSA001); 北京市自然科学基金资助项目(8154044); 北京未来城市设计高精尖创新中心资助项目(UDC2016040100)

quivalent gradient from the southwest to the northeast, and the design rainfall depth of Dongcheng District, Xicheng District, Shunyi District, Chaoyang District, Fengtai District, as well as the western part of Fangshan District was higher among them. Therefore, when determining LID facilities scale, the guidance should be made by analyzing the relationship between the volume capture ratio of annual rainfall and the design rainfall depth according to the regional rainfall site data.

Key words: sponge city; volume capture ratio of annual rainfall; design rainfall depth; spatial distribution

为指导各地合理确定雨水径流总量控制目标,住建部发布的《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)给出了我国大陆地区年径流总量控制率目标分区图。需指出的是,该分区图是基于186个城市、每个城市1个气象站点的24 h降雨数据统计得到的,首先,气象站点有限,实际上,不同城市,尤其是大型城市,设置有较多的站点,而由于城市降雨分布特征不同,采用不同站点统计得到的控制率与设计降雨量的关系曲线也不同,因此,有限的站点数据会在一定程度上影响该分区图的指导性,以及总量控制设施规模的合理确定;其次,该分区图提出的目的是指导各地确定总量控制目标,而工程设计对应的设计降雨量标准,仍需设计人员按照《指南》给出的方法自行统计得到。因此,作为《指南》分区图的有效补充,有条件的地区,可根据既有更多雨量站点的降雨数据,编制不同控制率对应的设计降雨量等值曲线图。

笔者以北京市为例,根据对多个气象站点降雨数据的统计结果,分析了不同站点总量控制率与设计降雨量对应关系曲线的差异,并给出了设计降雨量等值曲线图,以期大型城市更为合理、便捷地确定不同区域的海绵城市总量控制标准提供参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况与数据来源

北京位于华北平原西北边缘,城区范围地势平坦,西部、北部和东北部为山区,山地呈环形分布,贯穿房山区、门头沟区的西北部,延庆、怀柔、密云、平谷区的北部,平原区面积为6 339 km²,山区面积为10 072 km²。地势西北高、东南低,为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降雨量在600 mm以上,为华北地区降雨最多的区域之一,但季节分配不均。

本研究采用的降雨资料来自北京市气象局提供的包括顺义、海淀、延庆、佛爷顶、汤河口、密云、怀

柔、上甸子、平谷、通州、朝阳、昌平、斋堂、门头沟、观象台、石景山、丰台、大兴、房山、霞云岭等共计20个气象站(站点分布见图1)的1960年—2014年的逐日降雨资料。

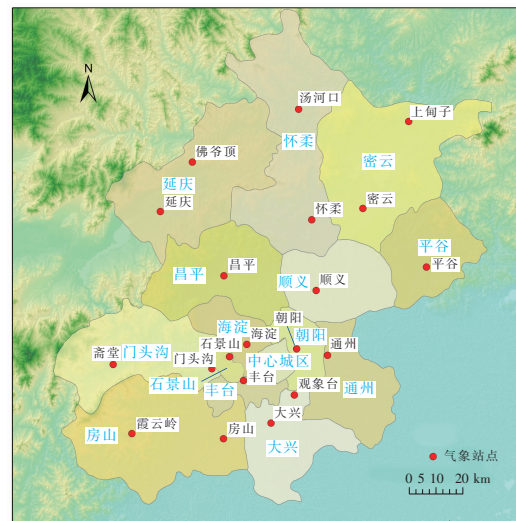


图1 北京市气象站点分布

Fig. 1 Distribution map of meteorological stations in Beijing City

1.2 研究方法

本研究对比各站点的降雨日值分布规律,识别北京市各区域中不同年径流总量控制率所对应的设计降雨量的分布情况,用于确定雨水控制与利用设施的设计规模^[1]。

北京市20个监测站点的日降雨数据利用ArcGIS中的普通克里格方法插值得到。设计降雨量与年径流总量控制率的计算,要选取至少近30年(反映长期的降雨规律和近年气候的变化)的日降雨(不包括降雪)资料,扣除≤2 mm的降雨事件的降雨量(一般不产生径流),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(小于该降雨量的按实际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。

2 结果与讨论

2.1 北京市区域降雨特征分析

对各站点历史日降雨量大小的分布情况进行分类,如图 2 所示。可以看出,各个站点中,日降雨量 $\leq 2\text{ mm}$ 的降雨总量只占很小的部分,并且这部分降雨几乎不产生地表径流。而 $2\text{ mm} < \text{日降雨量} \leq 33.6\text{ mm}$ 的降雨总量占到了各监测站的年降雨总量的大部分,这部分降雨尽管可以产生径流,但大致可通过雨水设施进行控制,对内涝几乎不产生影响。而同样占有较大比例的日降雨量 $> 33.6\text{ mm}$ 的这部分代表了风险较高的降雨总量,在这部分降雨中,约有 33.6 mm 深度的降水可以通过雨水设施进行控制,但其余的部分难以控制。总体上来说,按照年径流总量控制率为 85% 来看,红色虚线左侧部分的降雨应当均能够得到控制。

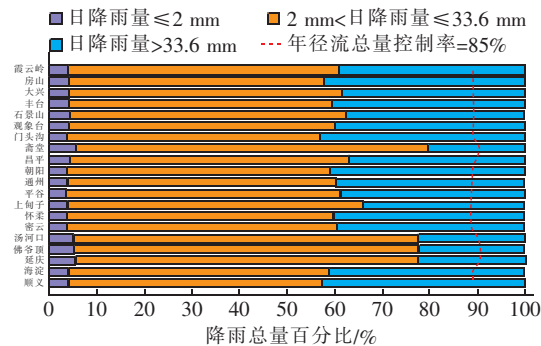


图 2 降雨量特征分布情况
Fig. 2 Distribution of different amount of precipitation characteristics

从图 2 可以看出,斋堂、汤河口、佛爷顶、延庆这 4 个气象站附近的降雨与其他区域的降雨特征差异较为明显:不产流的降雨比例较高,并且能产流的降雨也一般更容易得到控制,区域内涝现象较少。而顺义、门头沟、房山等地属于暴雨高发区域,更容易产生径流,且较难控制。其他地区处于不产流以及产流能得到控制的比例相对多,溢流相对少。

2.2 年径流总量控制率与设计降雨量的对应关系

从经济性和维持流域水环境良性循环的角度出发,年径流总量控制率不宜过大,最佳的雨水控制量应以雨水排放量接近自然地貌为标准。在《指南》中,北京市范围内的西部与北部为 II 区,其他为 III 区,对应的年径流总量控制率分别为 80% ~ 85% 与

75% ~ 85%。北京应参照上述年径流总量控制率限值,因地制宜地确定各区域径流总量控制目标,当区域有特殊排水防涝需求时,也可突破最高限值,以综合实现径流总量减排及内涝防治目标。

北京市各个气象站年径流总量控制率与设计降雨量之间的关系见图 3 和表 1。以年径流总量控制率达到 85% 为例,可以看出,北京市范围内不同区域的设计降雨量存在很大差异,其中斋堂、昌平、佛爷顶等气象站附近的区域,仅 21.4 mm 设计降雨量的 LID 设施就可控制 85% 的年径流总量,而房山、门头沟、霞云岭等多个站点则需要 $38.0 \sim 40.7\text{ mm}$ 设计降雨量的 LID 设施。因此依照单一取值来确定北京市范围内的总体设计降雨量显然是不合适的。

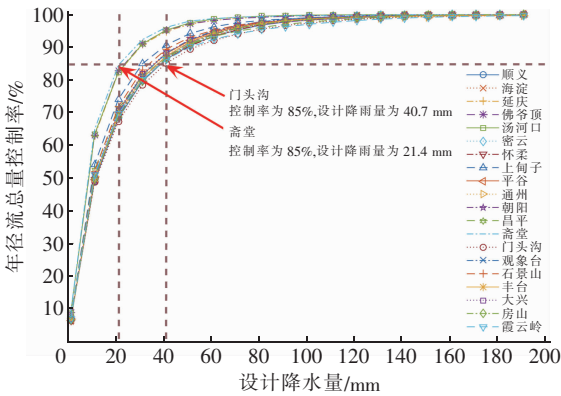


图 3 北京市各气象站年径流总量控制率与设计降雨量的对应关系

Fig. 3 Relationship between volume capture ratio of annual rainfall and design rainfall depth in different meteorological stations of Beijing

表 1 北京市各气象站在不同年径流总量控制率 (75% ~ 90%) 条件下对应的设计降雨量

Tab. 1 Design rainfall depth under different volume capture ratios of annual rainfall (75% - 90%) in different meteorological stations of Beijing mm

项 目	年径流总量控制率/%			
	75	80	85	90
顺义	26.3	31.5	38.5	49.3
海淀	26.0	31.1	38.1	48.8
延庆	16.2	19.2	23.4	29.7
佛爷顶	15.9	18.9	23.0	29.2
汤河口	15.9	19.0	23.4	29.4
密云	25.2	30.4	37.5	48.0
怀柔	25.8	31.2	38.6	49.7
上甸子	21.6	25.7	31.1	39.4
平谷	24.6	29.2	35.6	45.2

续表 1 (Continued)

项 目	年径流总量控制率/%			
	75	80	85	90
通州	24.7	29.6	36.1	45.7
朝阳	25.6	30.5	37.1	47.0
昌平	24.1	29.5	37.1	48.2
斋堂	15.1	17.8	21.4	27.0
门头沟	27.4	33.0	40.7	52.8
观象台	24.6	29.4	35.8	44.7
石景山	23.3	27.7	33.4	42.3
丰台	25.3	30.3	37.0	46.7
大兴	24.2	28.9	35.2	44.6
房山	26.1	31.2	38.0	48.2
霞云岭	25.4	30.9	38.6	50.7
算术平均值	23.2	27.8	34.0	43.3
面积加权平均值	22.2	26.6	32.7	41.7
注: 面积加权平均值按 $(S_1 \times X_1 + S_2 \times X_2 + \cdots + S_n \times X_n)/S$ 计算得到, 其中, X_1, X_2, \cdots, X_n 为设计降雨量; S_1, S_2, \cdots, S_n 为对应设计降雨量的面积; S 为研究区总面积。				

从图 3 还可以看出,各站点的曲线几乎不相交,这说明各站降雨的概率分布大致相似,但强度不同。另外,结合图 2 与表 1 可以看出,超标雨水所占比例越大,则设计降雨量也越大:图 2 中顺义、门头沟、房山等地区的超标雨水比例较大,表 1 中所对应的设计降雨量也较大;而斋堂、汤河口、延庆、佛爷顶等位置的超标雨水占比较小,表 1 中所对应的设计降雨量也偏小。因此,北京市内的设计降雨量大小与超标降雨的比例高度相关。

2.3 设计降雨量的空间变化

限于篇幅原因,本研究仅展示年径流总量控制率为 85% 时的设计降雨量区域空间分布,见图 4。

目前已有大量关于城市化对降雨的可能影响研究^[2,3],一般将影响因素归纳为城市热岛效应、城市建筑物阻碍效应与城市凝结核效应三个方面。城市热岛强度影响区域越大,降雨分布的局地不均性也就越明显,同时城市化快速发展期雨岛效应明显,使降雨增加,特别是城市的下风区^[4]。由于北京市城市化特征明显,因此降雨也围绕城区呈现出较为明显的区域特点。除此以外,地理因素与风向也是影响北京地区局地降雨分布的主要因素^[5],北京西部山区海拔较高,离城区也较远,降雨分布主要受地形影响,降雨量与海拔高度有很大相关性,北京所处华北地区的年降雨量随海拔高度的升高而减小,降水沿西部山前地形分布特征明显。北京地区经常形成

山谷风,白天偏南的谷风、夜间偏北的山风,这种山谷风与北京地区热岛环流叠加后常形成特殊的局地环流场,北京地区的局地降雨分布特征受这种局地环流影响。同时北京地区年降雨基本集中在夏季,其盛行风为夏季风,即以南风或东南风为主,与夜间偏北山风和热岛环流联合作用下,形成较强的局地多雨区^[6]。

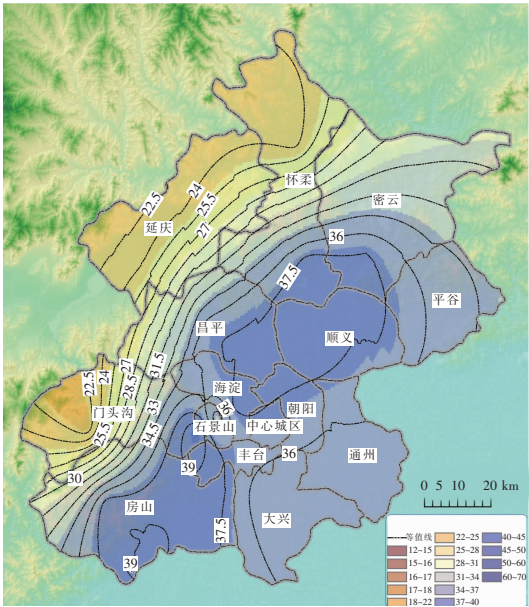


图 4 北京市在年径流总量控制率为 85% 时对应的设计降雨量等值线

Fig. 4 Design rainfall depth contours under 85% of volume capture ratio of annual rainfall in Beijing

由图 4 可以看出,整个城市的设计降雨量等值线大致平行于西南—东北方向,总体上来看,城区的设计降雨量值普遍偏高,而北部山区普遍偏低,从北到南呈现先低后高再降低的趋势。设计降雨量极值中心主要是中心城区、顺义、朝阳、丰台以及房山的西部,设计降雨量值高达 48 mm。极值中心周边相邻的海淀、石景山、大兴、通州、平谷的设计降雨量值也相对较高,普遍达到 42 mm。而房山、门头沟、昌平、怀柔、密云、延庆的设计降雨量值梯度比较大,其中最大范围差值出现在门头沟和怀柔区域。

3 结论

利用北京市 20 个气象监测站点 1960 年—2014 年的日降雨数据,对不同区域的年径流总量控制率与设计降雨量关系的空间分布差异进行了讨论,得到如下结论:

- ① 在确定 LID 雨水设施规模时,应根据项目

所在地的雨量站点资料进行年径流总量控制率与设计降雨量关系曲线的分析,以此作为指导。

② 大型城市的降雨强度空间差异较大,相同年径流总量控制率下对应的设计降雨量在不同区域之间存在明显的空间差异,其原因主要包括城市热岛效应、城市建筑物阻碍效应与城市凝结核效应所造成的雨岛现象以及地形、季风等因素的综合影响。

③ 在75%~90%的年径流总量控制率条件下,北京市设计降雨量具有明显的空间差异性,形成西南—东北方向的等值梯度。因此在雨水源头控制设施规划时,应考虑北京市的降雨空间差异性,中心城区、顺义、朝阳、丰台以及房山的西部应保证较高的设计降雨量。

参考文献:

- [1] 潘国庆,车伍,李俊奇,等. 中国城市径流污染控制量及其设计降雨量[J]. 中国给水排水,2008,24(22):25-29.
Pan Guoqing, Che Wu, Li Junqi, et al. Urban runoff pollution control quantity and its design rainfall in China [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(22): 25-29 (in Chinese).
- [2] Kim H, Kim Y K, Song S K, et al. Impact of future urban growth on regional climate changes in the Seoul Metropolitan Area, Korea[J]. Sci Total Environ, 2016, 571: 355-363.
- [3] Yoon S K, Kim J S, Moon Y I. Urban stream overflow probability in a changing climate: Case study of the Seoul Uicheon Basin, Korea[J]. J Hydro-environ Res, 2016, 13: 52-65.
- [4] 李书严,马京津. 城市化进程对北京地区降水的影响分

析[J]. 气象科学, 2011, 31(4): 414-421.

Li Shuyan, Ma Jingjin. Impact of urbanization on precipitation in Beijing area[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2011, 31(4): 414-421 (in Chinese).

- [5] 郑祚芳,高华,王在文,等. 北京地区降水空间分布及城市效应分析[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 522-529.
Zheng Zuofang, Gao Hua, Wang Zaiwen, et al. Analysis on spatial distribution of precipitation in Beijing and its city effect[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(2): 522-529 (in Chinese).
- [6] 于淑秋. 北京地区降水年际变化及其城市效应的研究[J]. 自然科学进展, 2007, 17(5): 632-638.
Yu Shuqiu. Interannual variation of precipitation in Beijing and its city effect[J]. Progress in Natural Science, 2007, 17(5): 632-638 (in Chinese).



作者简介:张质明(1984-),男,北京人,博士,讲师,研究方向为气候变化影响与水环境模拟。

E-mail: zhangzhiming@bucea.edu.cn

收稿日期:2017-06-16

珍惜水,保护水,
实现人与自然和谐共处