# 基于年径流总量控制率的降雨典型年的研究及确定

白永强，　刘绪为，　李成江，　袁胜楠，　方　帅，　王艳芳
（中国市政工程华北设计研究总院有限公司，天津 300381）

**摘　要：** 在海绵城市建设进程中，低影响开发（LID）设施和雨水调蓄设施规模的确定以及年径流总量控制率的计算，均需要依托于有效、合理的降雨数据。通过整理我国 3 个城市的多年实测日降雨数据，并运用变量相关性分析，发现各城市多年年均降雨量、累计降雨频率和年径流总量控制率与某一年的相关性均较高，那么该年的降雨数据可以反映该城市的典型降雨特性，因此，可以把该年作为海绵城市降雨年的典型年，把该年的降雨数据作为模型法的输入数据，用于确定 LID 和调蓄设施规模以及计算年径流总量控制率。

**关键词：** 海绵城市；　累计降雨频率；　年径流总量控制率；　降雨典型年
**中图分类号：** TU992　　**文献标识码：** C　　**文章编号：** 1000－4602（2018）01－0106－04

## Determination of Typical Rainfall Year Based on Volume Capture Ratio of Annual Rainfall

BAI Yong-qiang,　LIU Xu-wei,　LI Cheng-jiang,　YUAN Sheng-nan,　FANG Shuai,　WANG Yan-fang
(*North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd.*, *Tianjin* 300381, *China*)

**Abstract:** In the process of sponge city construction, scale determination of low impact development (LID) facilities and storage devices and calculation of volume capture ratio of annual rainfall are all based on effective and reasonable rainfall data. The daily rainfall data of three cities in China were put in order and analyzed by using variable correlation method. It was found that the average annual rainfall, cumulative rainfall frequency and volume capture ratio of annual rainfall of every city were all highly correlated with that of one certain year. So, rainfall data of this year could reflect the typical rainfall characteristics of the city. Therefore, the year could be regarded as typical sponge city rainfall year, and the rainfall data of the year were used as input data of model method, to determine the scale of LID facilities & storage devices and calculate the volume capture ratio of annual rainfall.

**Key words:** sponge city; cumulative rainfall frequency; volume capture ratio of annual rainfall; typical rainfall year

随着我国城镇化建设的快速发展，为保护和改善城市生态环境，我国大力推进建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。其中，年径流总量控制率作为海绵城市重要的考核指标，也是设计及研究人员在海绵城市建设的重要计算指标，其研究意义对于海绵城市建设非常重要，也对建设者的决

基金项目：中国建设科技集团科技创新基金资助项目（Z2016Z19、Z2016Z05）

策提供重要依据[1]。

在《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中,年径流总量控制率是根据多年日降雨量统计数据分析计算,通过自然和人工强化的渗透、储存、蒸发等方式,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。根据此定义,提出分别以"日"和"年"为单位的径流总量控制率的概念[2],以"日"为单位的概念,是通过控制所要求年径流总量控制率对应的设计降雨量来计算,将设计降雨量即"日"降雨量全部控制,认为达到要求;以"年"为单位的概念,是通过利用年降雨的控制雨量占总降雨量的比例来计算,所占比例达到年径流总量控制率,认为达到要求。笔者认为以"年"为单位计算调蓄设施规模和年径流总量控制率是最有效、合理的方法,所以需要确定降雨的典型年,而采用哪一年作为降雨典型年是本文研究的重点。

## 1　研究方法

### 1.1　降雨数据的处理

以我国南、北方 3 个城市的多年日降雨量数据作为基础数据进行分析,三个城市分别命名为 A、B 和 C 市,其中,A 市有 1983 年—2013 年共计 31 年的日降雨数据,B 市有 1980 年—2014 年共计 35 年的日降雨数据,C 市有 1985 年—2015 年共计 31 年的日降雨数据。对 3 个城市所有日降雨数据进行处理,处理的定义及方法如下:

① 单年年降雨量:通过累加单年所有日降雨量获得;

② 多年年均降雨量:通过算术平均法计算,将多年的年降雨总量累加,除以降雨年数获得;

③ 单年累计降雨频率:即单年某一降雨量在该年发生的频率,通过将单年小于或等于某一降雨量的所有日降雨量累加,除以单年年降雨总量获得;

④ 多年累计降雨频率:即多年某一降雨量在多年发生的频率,通过将多年小于或等于某一降雨量的所有日降雨量累加,除以多年年降雨总量获得;

⑤ 单年年径流总量控制率:即单年控制雨量占单年降雨总量的比例,通过采用单年日降雨量扣除小于或等于 2 mm 的降雨事件,将日降雨量按雨量由小到大进行排序的方法,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)在单年总降雨量中的比率;

⑥ 多年年径流总量控制率:即多年控制雨量占多年降雨总量的比例,通过采用多年日降雨量扣除小于或等于 2 mm 的降雨事件,将日降雨量按雨量由小到大进行排序的方法,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)在多年总降雨量中的比率。

### 1.2　降雨数据分析方法

根据 3 个城市降雨数据的处理结果可知,得到年降雨量、累计降雨频率和年径流总量控制率三个指标,通过比较单年和多年各指标的相关性,可以得到单年降雨数据与多年年均降雨数据的趋近年。降雨量可通过相对误差来比较,累计降雨频率和年径流总量控制率可通过对应频率曲线的相关性来比较。相关分析可以分析两个变量之间的相关度,通过相关系数来描述。相关系数是衡量两个随机变量之间线性相关程度的指标,它由卡尔·皮尔森在 1880 年提出,现已广泛应用于科学的各个领域。

① 年降雨量的比较:将单年年降雨量与多年年均降雨量进行比较,两者相对误差越小,则单年年降雨量与多年年均降雨量的相近程度就越高;若单年年降雨量与多年年均降雨量的相对误差低于 20%,则定义该年为与多年年均降雨量接近年。

② 年累计降雨频率的比较:将单年与多年累计降雨频率曲线进行相关性分析,如果某一年的累计降雨频率曲线与多年的相近程度较高,即相关系数 $R^2>0.990\ 0$,那么,该年累计降雨频率曲线与多年的相关性高,则定义该年为累计降雨频率趋近年。

③ 年径流总量控制率的比较:将单年与多年年径流总量控制率曲线进行相关性分析,如果某一年的年径流总量控制率曲线与多年的相近程度较高,即 $R^2>0.990\ 0$,那么,该年年径流总量控制率曲线与多年的相关性高,则定义该年为年径流总量控制率趋近年。

④ 降雨典型年的确定:选择单年年降雨量、累计降雨频率曲线、年径流总量控制率曲线与多年的相近程度均较高,并且与多年年均降雨量相对误差较小的年份,作为基于年径流总量控制率概念下的海绵城市降雨典型年。

## 2　各城市降雨数据分析

### 2.1　多年年均降雨量接近年

通过整理 A 市 31 年的日降雨量数据得出各年

的年降雨量,进而求得该城市年降雨量变化趋势及年均降雨量,结果见图 1。

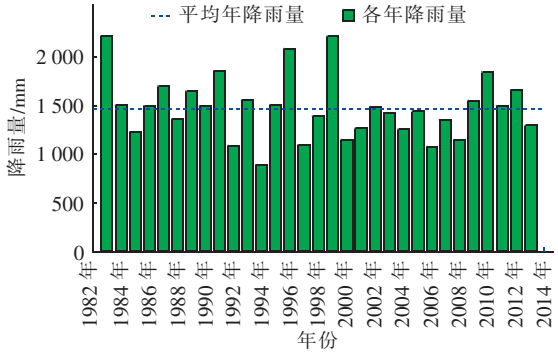



图 1　A 市年降雨量变化趋势及年均降雨量

Fig. 1　Annual precipitation trend and average annual rainfall of City A

由图 1 可知,A 市的年均降雨量为 1 482 mm,与多年年均降雨量接近年为 1984 年、1986 年、1990 年、1993 年、1995 年、1998 年、2002 年、2003 年、2005 年、2007 年、2009 年和 2011 年,相对误差分别为 1.6%、1.6%、0.3%、4.6%、1.8%、6.6%、0.8%、3.4%、2.4%、8.2%、4.9%和 1.2%。

同理,通过整理 B 市 35 年的日降雨量数据及 C 市 31 年的日降雨量数据得出,B 市的年均降雨量为 1 105 mm,与多年年均降雨量接近年为 1981 年、1982 年、1983 年、1993 年、1996 年、2002 年和 2012 年,相对误差分别为 4.3%、2.7%、3.0%、1.1%、3.8%、4.2%和 0.7%;C 市的年均降雨量为 600 mm,与多年年均降雨量接近年为 1987 年、1988 年、1991 年、1999 年、2003 年和 2004 年,相对误差分别为 4.2%、4.3%、5.2%、3.5%、12.7%和 11.2%。

## 2.2　年累计降雨频率趋近年

对 A 市各年累计降雨频率曲线与 31 年累计降雨频率曲线进行相关性分析,如图 2 所示,并计算相应的相关系数,结果表明,相关性较高的年份是 1987 年、1989 年、1993 年、2007 年、2009 年和 2012 年,相关系数 $R^2$ 分别为 0.992 8、0.992 5、0.991 4、0.993 5、0.993 5、0.991 0。

同理,对 B 市各年累计降雨频率曲线与 35 年累计降雨频率曲线进行相关性分析,发现相关性较高的年份是 1996 年和 2002 年,相关系数 $R^2$ 分别为 0.995 4和 0.994 3;对 C 市各年累计降雨频率曲线与 31 年累计降雨频率曲线进行相关性分析,发现相关性较高的年份是 2003 年和 2004 年,相关系数 $R^2$ 分别为 0.990 8 和 0.993 3。

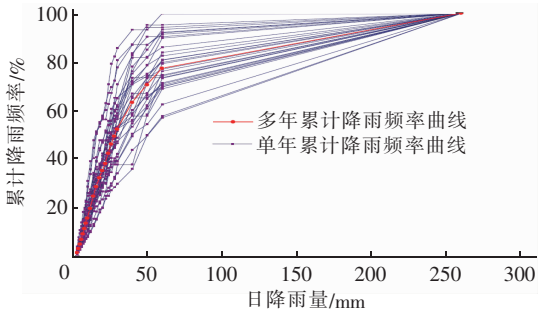



图 2　A 市累计降雨频率曲线对比

Fig. 2　Contrast of cumulative rainfall frequency curve in City A

## 2.3　年径流总量控制率趋近年

对 A 市各年年径流总量控制率曲线与 31 年年径流总量控制率曲线进行相关性分析,如图 3 所示,同时计算对应的相关系数,结果表明,相关性较高的年份是 1984 年、1987 年、1989 年、1993 年和 2007 年,相关系数 $R^2$ 分别为 0.998 9、0.999 4、0.999 0、0.998 8、0.999 4。

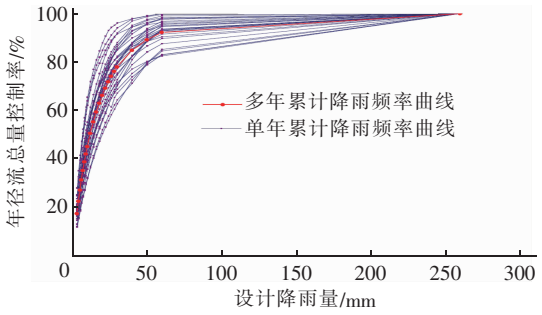



图 3　A 市年径流总量控制率曲线对比

Fig. 3　Contrast of volume capture ratio of annual rainfall in City A

同理,对 B 市各年年径流总量控制率曲线与 35 年年径流总量控制率曲线进行相关性分析,结果发现,相关性较高的年份是 1983 年、1996 年和 2012 年,相关系数分别为 0.998 7、0.998 2 和 0.998 1;对 C 市各年年径流总量控制率曲线与 31 年年径流总量控制率曲线进行相关性分析,结果发现,相关性较高的年份是 2004 年和 2012 年,相关系数 $R^2$ 分别为 0.999 0和 0.998 6。

## 2.4　降雨典型年的选取

结合上述分析,针对基于年径流总量控制率概念下的海绵城市降雨典型年的选取,由于累计降雨频率和年径流总量控制率两项指标决定年降雨的分

布，对于该降雨典型年的选取影响较大，因此，优先选择累计降雨频率和年径流总量控制率两项指标与其多年年均值相关性较高的年份，若该年份也是与多年年均降雨量接近年，则可选取该年作为基于年径流总量控制率概念下的海绵城市降雨典型年，将该年的降雨数据作为模型模拟的输入数据。

从 3 个城市各年年降雨量、累计降雨频率及年径流总量控制率与其多年年均值的相关性分析结果可知，A 城市三个指标各年与多年均值相关性均较高的年份是 2007 年，B 城市三个指标各年与多年均值相关性均较高的年份是 1996 年，C 城市三个指标各年与多年均值相关性均较高的年份是 2004 年，则可选取 2007 年、1996 年和 2004 年分别作为 A、B、C 这 3 个城市的海绵城市降雨典型年。

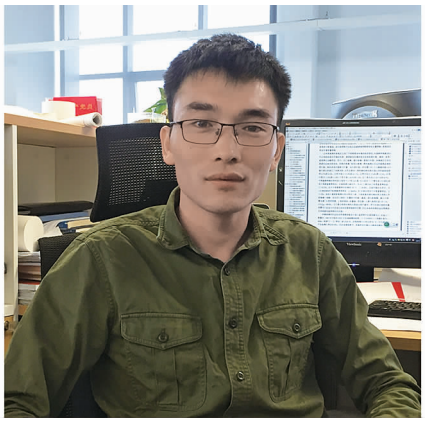
## 3　结论

通过整理 3 个城市多年的日降雨数据，得到各城市年降雨量、年累计降雨频率及年径流总量控制率 3 个指标的各年值和多年平均值；对这 3 个指标的各年值和多年平均值进行相关性分析，发现各城市 3 个指标的多年均值与某一年的相关性均较高，那么，该年可作为海绵城市降雨典型年，该年的降雨数据可作为确定海绵城市工程规模的基础数据。

**参考文献：**

[1]　王文亮，李俊奇，车伍，等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水，2015，31(8)：18－23.

[2]　刘绪为，李成江，徐洁，等. 海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨[J]. 中国给水排水，2017，33(5)：130－133.



**作者简介：**白永强（1989－　），男，山西朔州人，硕士，助理工程师，主要从事市政水处理研究和设计工作。

**E－mail：**724256533@ qq. com

**收稿日期：**2017－07－08

（上接第 105 页）

（若地面种植绿草则为绿地）时，可以明显增加硬化地面雨水的渗透量、减少地面外排水量。其中，改造成透水地面方式的下渗雨水收集率可以达到 30%～50%，高于改造成壤土地面方式（收集率很小或为零）。

②　透水地面垫层下存蓄水的空间越小，经过透水垫层继续下渗的雨水也越多，集水设施收集的下渗雨水相应也越大，增渗效果越显著。

**参考文献：**

[1]　Schluter W，Chris J. Modelling the outflow from a porous pavement[J]. Urban Water，2002，4(3)：245－253.

[2]　张炜，车伍，李俊奇，等. 图解法用于雨水渗透下凹式绿地的设计[J]. 中国给水排水，2008，24(20)：36－39.

[3]　聂发辉，李田，宁静. 概率分析法计算下凹式绿地对雨水径流的截留效率[J]. 中国给水排水，2008，24(12)：53－56.

**作者简介：**龚应安（1973－　），男，湖北天门人，硕士，高级工程师，主要从事水资源、水环境保护以及节约用水等方向的科研工作。

**E－mail：**bjgongyingan@ 126. com

**收稿日期：**2017－07－12