文章编号:1672-3031(2022)02-0089-06

百年一遇洪水内涵及易于引起误解的若干问题分析

王义成
(中国水利水电科学研究院,北京 100048)

摘要:近20年来,受气候变化和人类活动双重影响,极端洪水事件发生频率增加。每当出现洪水灾害时,公众都会对洪水重现期的专业表述产生误解。为帮助公众正确理解洪水重现期的确切含义,避免产生概念混淆和内涵误解,本文首先从洪水重现期定义出发,阐明其概念和内涵;然后以百年一遇重现期为例,通过实例分析百年一遇洪水在100年内可能发生的次数、洪水重现期与已有观测洪水数据的多少、气候变化和人类活动的关系以及洪水重现期与暴雨重现期的区别等;最后给出结论以及对N年一遇洪水专业表述进行修改的建议。

关键词:洪水;百年一遇洪水;重现期;年超过概率;1%年超过概率洪水
中图分类号:TV122 **文献标识码**:A **doi**:10.13244/j.cnki.jiwhr.20210189

1 研究背景

洪水是一种自然现象[1](人为因素引起的洪水除外),一般可分为两大类:外洪和内涝。外洪对应的英文为fluvial flood[2](直译为河流洪水),外洪灾害是指暴雨、融雪和融冰、风暴、大浪和高潮等自然因素引起河道水流急剧增加并超过河道过水能力,从而导致部分水流从堤顶漫溢到堤防保护区或堤防溃决的一种自然灾害。内涝又称为内洪,对应的英文为pluvial flood[2](直译为雨洪或降雨直接引起的洪水),内涝灾害是指由于强降雨或连续性降雨超过某一地区(一般为被堤防保护的区域)的排水能力导致该地区内产生积水灾害的现象。随着我国大量水利工程的建设,抵御外洪的防洪能力得到大幅提高,因此,近些年来,外洪灾害呈减少趋势。但过去20年期间,受气候变化和人类活动双重影响,极端天气事件发生频率增加,我国许多城市频繁遭遇强降雨,导致城市内涝灾害接连发生,“城市看海”成为当今对城市内涝这一现象的真实写照。

在水利工程建设中,当设定工程本身及其保护对象的洪水防御标准时,一般以某一重现期(如百年一遇,千年一遇等)的洪水作为防洪标准。近年来,每当发生洪水时,受部分媒体宣传影响,公众对百年一遇、千年一遇洪水等专业表述产生质疑和误解。本文以百年一遇洪水为例,通过精选的实例,用科学的语言阐明洪水重现期的概念和内涵,并对若干易于引起公众误解的问题进行分析。

2 百年一遇洪水的定义和内涵

百年一遇是一个统计学概念,指的是重现期,对应的英文是return period或recurrence interval[3]。百年一遇洪水对应的英文是100-year flood或100-year return period flood,意思是具有100年重现期的洪水。

什么是重现期?为便于描述和理解,本文仅讨论河流洪水洪峰流量的重现期。任意一年发生大于或等于某一规模(例如,在任意一年的年最大洪峰流量≥1000 m^3/s)的洪水是一个随机事件,在很长时期内,这一事件会发生多次,相邻两次发生时间间隔的期望值即为重现期。通俗地讲,重现期为T年表示在很长时期内这一事件平均T年发生一次。当利用历史洪水资料讨论洪峰流量为F_{100}的百

收稿日期:2021-08-12;网络首发时间:2021-09-09
网络首发地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5020.TV.20210908.1708.001.html
作者简介:王义成(1963-),教授级高级工程师,主要从事水资源和防洪减灾研究。E-mail:wangych@iwhr.com

年一遇洪水时，实际上指的是在很长的历史时期（如万年）内，平均100年发生一次“年最大洪峰流量≥F_{100}”的洪水。

重现期的倒数是具有这一重现期的洪水的年超过概率（Annual Exceedance Probability，AEP）[4]，这一定义的详细数学证明见本文后续部分。对于上述洪峰流量为F_{100}的百年一遇洪水，其重现期为100年，那么每年发生“年最大洪峰流量≥F_{100}”洪水的概率（即年超过概率）为1/100（重现期100年的倒数）或1%。

由此可知，重现期越大，洪水的规模就越大，年超过概率越小；反之则越小。重现期为1000年（年超过概率为0.1%）的洪水规模，比重现期为100年（年超过概率为1%）的洪水规模要大，年超过概率要小。

3　百年一遇洪水在100年内可能发生次数分析

用重现期反映洪水的规模或大小，其出发点是为了让公众更容易理解，但现实情况是百年一遇这样的表述常会引起误解。非专业人员往往会认为百年一遇洪水应该是在100年内只发生一次，以下用实例对此进行分析。

表1和图1是某水文站所处的河道横断面的1946—2014年的年最大洪峰流量。下面讨论洪峰流量为2000 m^3/s的洪水为多少年一遇的洪水。

表1　某水文站年最大洪峰流量（1946—2014年）　（单位：m^3/s）

年	1940s	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s
0		1620	1860	2370	1920	1220	1711	1684
1		1890	1880	1830	1450	1200	1573	1993
2		1900	1770	1830	1690	1340	1586	1284
3		1980	2070	1570	1360	1330	1388	2477
4		2050	1860	1460	1250	1210	1797	2427
5		2100	2090	1990	1290	1750	1419	
6	1800	2170	1960	2030	1490	1690	1613	
7	1800	1730	1980	1940	1290	1375	1719	
8	1520	2070	2340	1420	1180	1344	1704	
9	1680	1900	1930	1760	1800	1900	1688	

从表1和图1可以看出，“年最大洪峰流量≥2000 m^3/s”这一事件发生的年份有1954、1955、1956、1958、1963、1965、1968、1970、1976、2013和2014年，共发生了11次。相邻两次发生的时间间隔见表2，共10个时间间隔，这10个时间间隔之和为60，平均时间间隔（重现期）为60/10=6年，即洪峰流量为2000 m^3/s的洪水是6年一遇的洪水。值得注意的是：重现期是期望值，这里计算得到的6年一遇是平均值，实践中一般用平均值近似代替期望值，已有洪水观测数据越多（即样本越大），平均值越接近期望值。洪水重现期也可以通过洪水经验频率计算的期望公式$p=m/(n+1)$（p为某一年最大洪峰流量x出现的概率，n为已有实测年最大洪峰流量的年数，m为n年中大于或等于x的次数）进行估算，先计算出经验频率p，其倒数$1/p$即为重现期的估算值。用期望公式估算出的上述洪峰流量为2000 m^3/s的洪水的重现期也约为6年一遇。有关重现期的各种估算方法优劣问题，不是本文讨论内容，这里不再赘述。

从表1和表2可以看出，在1954—1956年这3年期间年年都发生超过6年一遇的洪水；在1957—1962年这6年内发生了1次；在1958—1963年这6年内发生了2次；在1965—1970年这6年内发生了3次；在1949—1954年这6年内一次都没有发生；在1977—2012年这36年中，连续6个6年内都没有发生。

同理，百年一遇洪水并非在100年内只发生一次，100年内可能会1次都不发生，也有可能发生

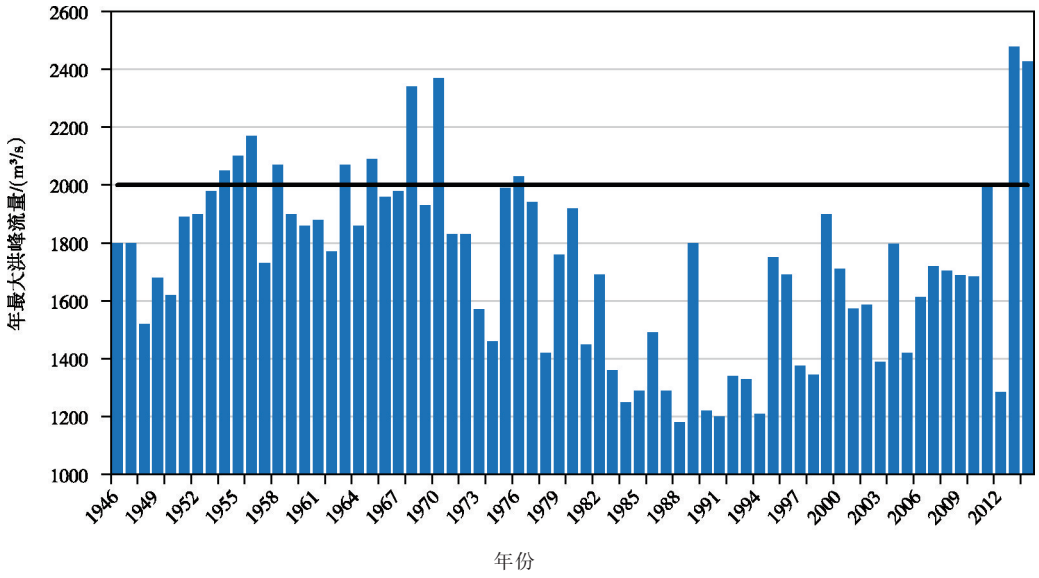


图1　某水文站年最大洪峰流量（1946—2014年）

表2　“年最大洪峰流量≥2000m³/s”发生的年份及相邻两次发生的时间间隔

发生年份	1954	1955	1956	1958	1963	1965	1968	1970	1976	2013	2014
时间间隔/年		1	1	2	5	2	3	2	6	37	1

多次，甚至某一时期有可能连年发生。

4　百年一遇洪水大小与洪水数据系列的关系

百年一遇洪水大小的计算强烈依赖历史观测数据。例如，如果今年发生了一场超过百年一遇的大洪水，利用包括今年在内的已有洪水数据重新进行洪水重现期计算，得到的百年一遇洪水大小会不同于按以往数据系列计算的百年一遇洪水大小。

如果在2013年末（即2014年洪水尚未发生），对表1中的已有洪水数据进行计算，从表2可以看出，到2013年末，“年最大洪峰流量≥2000 m³/s”这一事件共发生了10次，共9个时间间隔，因此，重现期为59/9≈6.6年，即如果使用1946至2013年的数据进行计算，洪峰流量为2000 m³/s的洪水是6.6年一遇洪水。

同理，百年一遇洪水的大小也随观测洪水数据的多少而变化。

5　百年一遇洪水每年在不同地区发生的概率分析

我国幅员辽阔，每年不同地区都会发生大小不同的洪水。设想把我国的陆地分成400个（也可以更加细化）相互独立的流域，分析未来一年或若干年在这400个流域中的一个或多个流域发生百年一遇洪水（为描述方便，仅考虑流域出口处河道断面的洪水）的概率。

上述400个流域中，每一个流域的百年一遇洪水大小各不相同。在我国，相同流域面积下，沿海地区百年一遇洪水一般会比内陆地区的大，南方地区的一般会比北方地区的大。

先考虑任意一个流域。设F_{100}为该流域百年一遇洪水的洪峰流量，则未来一年在该流域发生“年最大洪峰流量≥F_{100}”（为叙述方便，下文简称“成功”）的概率为1%，因此，“年最大洪峰流量<F_{100}”发生的概率（即“失败”的概率）为1−1% = 99%。未来10年内均失败的概率为$(1-1\%)^{10}$。由此可知，未来10年内至少“成功”一次（即“成功”一次或多次）的概率为$1-(1-1\%)^{10}$ = 9.6%。同理，可分别计算未来50年内和100年内至少“成功”一次的概率（见表3）。

表3　任意一个流域未来N年内发生至少一次百年一遇或更大洪水的概率

重现期/年	未来N年发生概率			
	N=1	N=10	N=50	N=100
100	1%	9.60%	39.5%	63.4%

未来N年内400个流域中至少一个流域至少“成功”一次的概率为多少呢？

首先，未来1年400个流域中没有一个流域出现“成功”的概率为$(1-1\%)^{400}$，未来1年400个流域中至少1个流域出现“成功”的概率为$1-(1-1\%)^{400}=98.2\%$。以此类推，未来10年400个流域中至少1个流域出现“成功”的概率为$1-(1-9.6\%)^{400}\approx 100\%$。

由此可知，未来任何一年，400个流域中至少一个流域发生百年一遇或更大洪水的概率为98.2%，接近100%。因此，几乎每年都能在新闻媒体上看到全国范围内的某个地区或多个地区发生了百年一遇的洪水。

6　人类活动及气候变化对百年一遇洪水大小的影响

在人类活动(城市化、土地利用变化、水利工程建设等)和气候变化的影响下，百年一遇洪水的大小会发生变化。

人类活动引起流域的下垫面发生变化，从而改变降水的产流过程和径流的汇流过程。例如，城市化会导致不透水地表面积(如道路、建筑物等)的大幅增加，以及农田、绿地、裸地等有利于雨水下渗的面积大幅减少，从而导致洪峰流量大幅增加。因此，在同等雨量、雨强和降雨持续时间的条件下，城市化之后的洪水规模会大于城市化之前的洪水规模。图2是某一条小河在城市化前后的百年一遇洪水大小的对比。这条河穿过一座城市，这座城市自1964年以来城市化面积快速增加，导致用于数理统计分析的实测洪水资料必须满足一致性的前提不再成立，因此，分别对1948至1963年期间和1964至2007年期间的百年一遇洪水进行了计算。采用工程水文学[5]中的设计洪峰流量计算方法计算出1964至2007年期间的百年一遇洪水。1948至1963年的洪水系列较短(样本少)，通过历史文献考证加大洪水系列长度后计算出其百年一遇洪水。计算结果表明百年一遇洪水的洪峰流量从城市化之前(1948至1963年)的16.4 m^3/s变为城市化之后(1964至2007年)的31.1 m^3/s。

在我国多数地区，气候变化会引起降水频率和强度的增加，从而导致水文极端事件(如大洪水)

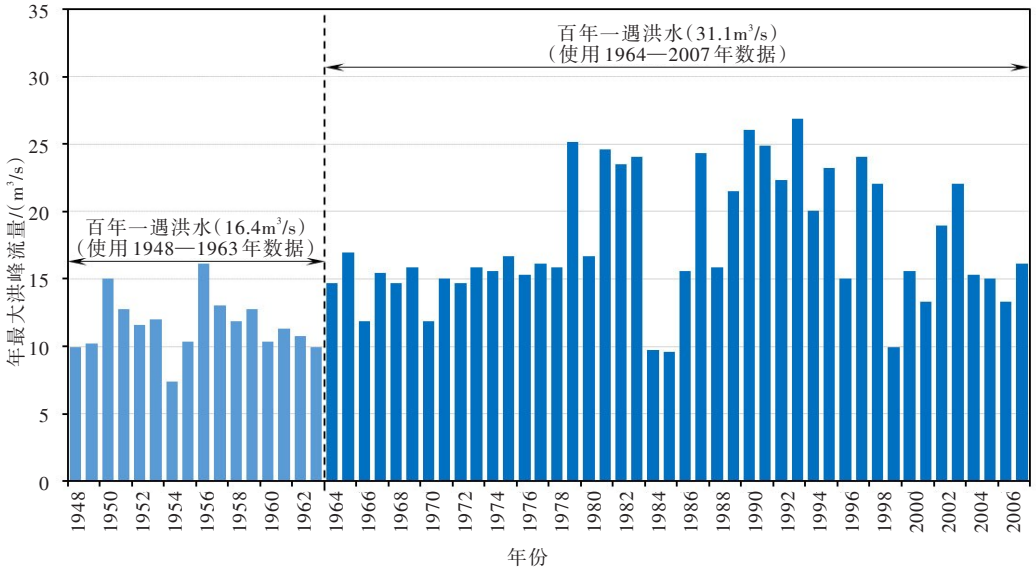


图2　城市化前后(1963年之前与之后)的百年一遇洪水大小对比

发生频率增加。因此，受气候变化影响，大洪水发生的频率(概率)增加，重现期减少，从而导致这些地区未来的百年一遇洪水大小有可能会超过或远远超过历史上百年一遇洪水大小。

7 洪水重现期与洪水年超过概率的关系

设任意一年的最大洪峰流量为X(这个为随机变量)，重现期为T的洪水的洪峰流量为x_T(这个为确定的数值)，任意一年$X \geqslant x_T$这一事件发生的概率(即年超过概率)为p。那么任意一年的年最大洪峰流量会出现两种可能：要么“成功”$X \geqslant x_T$(其概率为p)，要么“失败”$X < x_T$(其概率为$1-p$)。

再设任意相邻的上述的两次“成功”之间的时间间隔为τ年。τ是一个随机事件，这一事件的发生意味着$(\tau-1)$年连续出现“失败”，最后1年出现“成功”。因此，这一事件发生的概率为$(1-p)^{\tau-1}p$，从而τ的期望值为：

$$\begin{aligned} \mathrm{E}(\tau) &= \sum_{\tau=1}^{\infty} \tau(1-p)^{\tau-1} p \\ &= p + 2(1-p)p + 3(1-p)^2 p + 4(1-p)^3 p + \cdots \\ &= p\left[1 + 2(1-p) + 3(1-p)^2 + 4(1-p)^3 + \cdots\right] \end{aligned} \tag{1}$$

式(1)的方括号中的表达式具有以下幂级数展开式的形式：

$$(1+x)^n = 1 + nx + \left[n(n-1)/2\right]x^2 + \left[n(n-1)(n-2)/6\right]x^3 + \cdots \tag{2}$$

式(2)中，$n=-2$，$x=-(1-p)$。

利用式(2)，可将式(1)重写为：

$$\mathrm{E}(\tau) = p\Big/\left[1-(1-p)\right]^2 = 1/p \tag{3}$$

因此，$\mathrm{E}(\tau) = T = 1/p$，即洪水重现期的倒数为具有这一重现期的洪水的年超过概率。

8 百年一遇洪水与百年一遇暴雨的关系

降雨量与洪水流量之间的因果关系取决于多个因素，主要包括三个方面：首先是降雨在流域内的分布状况。实测降雨量一般指的是雨量观测站(某一点)的雨量。如果流域内局部地区(其面积仅为整个流域的很小一部分)观测到一场百年一遇的暴雨，而流域内其他地区的降雨量很小或甚至没有降雨，这表明流域内降雨分布非常不均匀，整个流域的平均降雨量会远远小于百年一遇暴雨的降雨量。其次是暴雨前的土壤含水量。如果暴雨前下过雨，土壤含水量高，那么雨水下渗量少，降雨转化成径流就大；相反，如果暴雨前土壤干燥，那么雨水下渗量多，降雨转化成径流就小。最后是流域大小与降雨持续时间的关系。降落到流域内的雨水，一部分会损失掉(如植物截留、填洼，下渗等)，剩下的部分被称为净雨。流域最远处的净雨到达流域出口处的时间被称为流域汇流时间。一般而言，流域面积越大，则流域汇流时间越长，该流域出口处出现最大洪峰流量所需要的降雨持续时间就越长。因此，一场持续1小时的百年一遇暴雨，在1 km^2的流域出口处，有可能出现最大洪峰流量，而在100 km^2的流域出口处，有可能不出现最大洪峰流量。

暴雨的重现期，是分别针对降雨观测站的点雨量、流域面雨量、以及各时段(如1小时、3小时、6小时、12小时、1日、3日等)内的降雨量而言的。实践中，当因缺乏洪水资料而由暴雨资料推求设计洪水时，其基本假定是设计暴雨面雨量与设计洪水具有相同的重现期，在进行设计暴雨面雨量过程的分析计算时，综合考虑了流域内点雨量的重现期以及各时段内的降雨量的重现期。因此，并非任意一种百年一遇暴雨都与百年一遇洪水具有一一对应关系，百年一遇的点雨量或百年一遇的短时段内降雨量不一定产生百年一遇洪水。

9 结论和建议

(1)百年一遇洪水中的“100年”是洪水的重现期，其倒数为1%，指的是每年发生大于或等于百年一遇洪水的概率(即年超过概率)为1%。

(2)百年一遇洪水并非100年内只发生一次，可能100年内1次都不发生，也有可能发生多次，甚至有可能在某一时期连年发生。

(3)百年一遇洪水大小计算强烈依赖历史观测数据。观测数据的年数越长，计算得到的百年一遇洪水大小越接近真实情况。

(4)我国幅员辽阔，每年都有可能在全国范围内的某个地区或多个地区发生百年一遇或更大的洪水。

(5)在我国多数地区，受气候变化和人类活动影响，未来的百年一遇洪水大小，可能会超过或远远超过历史上百年一遇洪水大小。

(6)暴雨的重现期，是分别针对降雨观测站的点雨量、流域面雨量、以及各时段内的降雨量而言的，并非任意一种百年一遇暴雨都与百年一遇洪水具有一一对应关系，百年一遇的点雨量或百年一遇的短时段内的降雨量不一定产生百年一遇洪水。

(7)百年一遇洪水这一表述，偏离了“具有100年重现期的洪水”的真实含义，容易被公众误解。建议在我国用1%年超过概率洪水(或简称1%概率洪水)的表述代替百年一遇洪水的表述，对其他*N*年一遇的表述也应做出相应调整。

参 考 文 献：

[1] 王义成. 世界洪水管理理念与实践[M]. 北京：中国水利水电出版社,2006.

[2] BREINL K. Pluvial and fluvial flooding: integration in probabilistic flood hazard assessment using a coupled rainfall-discharge generator[C]//EGU General Assembly 2012, Vienna, Austria, 2012.

[3] SINGH V P. Elementary Hydrology[M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992

[4] MAIDMENT D R. Handbook of Hydrology[M]. McGraw-Hill, New York, 1992

[5] 詹道江，徐向阳，陈元芳. 工程水文学[M]. 北京：中国水利水电出版社，2008.

100-year flood and misinterpretations of its return period

WANG Yicheng

(*China Institute of Water Resources and Hydropower Research*, *Beijing* 100048, *China*)

Abstract: Over the past two decades, with the impact of climate change and human activities, extreme flood events have occurred frequently in China, which has become one of the major concerns in the country. Each time floods take place, the terminology of the return period or recurrence interval of a flood is misinterpreted by the public. In order to help the public learn about the exact meaning of the return period and avoid misunderstanding its concept and connotation, this paper, at first, starts with the definition of the return period, clarifying its concept and connotation. Then, with a return period of 100 years as an example, case studies are selected to analyze and answer such questions as how many times a 100-year flood is likely to occur within 100 years, how it is dependent on flood data observed in the past, how it is affected by climate change and human activities, and what is the relationship between the return periods of a storm and its corresponding flood. At last, the paper draws some conclusions and gives the suggestion that the terminology of an N-year flood be revised.

Keywords: flood; 100-year flood; return period; annual exceedance probability(AEP); 1% AEP flood

(责任编辑：王学凤)