

论涉水工程防洪安全设计的极限洪水

张泽慧¹, 覃光华^{1,2}, 丁晶¹, 何清燕¹, 李深奇¹, 姚瑞虎¹

(1. 四川大学水利水电学院, 四川 成都 610065;

2. 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: 论述以下几个关键问题: ①涉水工程防洪安全设计零风险理念导致极限洪水新概念; ②极限洪水的四大特性; ③可能极限洪水的新见解; ④极限洪水和万年一遇洪水既对立又统一, 不能孤立地对待; ⑤在敲定极限洪水采用值时合理性分析至关重要。

关键词: 防洪安全设计; 极限洪水; 万年洪水

中图分类号: TV122.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2016)04-0008-04

1 零风险理念下的工程防洪安全设计

随着社会的发展、进步, 以及人民生活水平的不断提高, 人们的风险意识加强, 安全要求日益提高, 工程建设的安全性愈来愈受到各界的关注和重视。涉水工程一旦失事, 后果严重, 特别是某些特大涉水工程, 将会造成极其严重、不堪设想的灾难^[1-2]。本文所指涉水工程既包括直接的, 也包括间接的。前者如水利水电工程, 后者如近水的公路、机场等。例如核电站和下游人口密集的大型水库等这些工程, 若是遭遇风险, 就会造成灭顶之灾, 贻害无穷。为了避免这类极其严重的灾难出现, 人们很自然地期望特殊涉水工程无破坏风险, 即零风险。换言之, 要求工程在防洪安全设计时采用最高标准, 不容许建成后的工程隐藏着潜在的破坏风险。零风险意味着“绝对”安全, 所谓“绝对”是指在当前条件下的“绝对”, 当条件发生变化后, 可能出现与之相应的另一个“绝对”。因此, 这里的“绝对”和“相对”是辩证的统一。

工程防洪安全设计的基础无疑为设计洪水, 零风险设计的高要求体现在对设计洪水的要求。涉水工程防洪安全设计依据一种特殊洪水, 若这种洪水具有以下两大性质:

(1) 为一定时代和空间条件下的物理上限值, 超过这个上限值是不可能事件, 即超过的频率为零。

(2) 以此洪水设计涉水工程, 该工程遭遇洪水破坏是不可能事件, 即工程破坏风险为零。

那么本文定义这种洪水为极限洪水。实际上特性(1)和特性(2)是有机地联系在一起。前者就极限洪水的机理而言, 后者就其应用而言。新定义综合二者并特别强调工程零风险理念, 目标客观准确、概念形象清晰且应用方便实际。下面将紧紧围绕新定义论述极限洪水, 为叙述方便, 用 LF 表示。

2 极限洪水的四大特性

2.1 设计性

LF 专门用于工程零风险防洪安全设计。显然, LF 和设计要求的密切相关。而设计要求和工程的特性有关。不同的工程对工程破坏起主要作用的洪水要素有显著差异。无调节工程破坏的主导因素是洪峰; 有调节工程, 对破坏起关键作用的则是洪量及其分配。随着调节程度的不同, 洪量的时段会有所差异。总之, 随着工程特性不同, 设计要求亦随之发生变化。在时程分布上, 有时涉及洪峰, 有时涉及洪量, 有时涉及洪水过程; 而在空间分布上, 涉及对工程防洪最不利的空间分布。这种随设计要求的不同而 LF 特征量发生变化的特性, 本文称之为设计性。

2.2 预测性

工程防洪安全设计量是针对工程未来整个运转期

收稿日期: 2015-08-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2013CB036401)

作者简介: 张泽慧(1991-), 女, 四川达州人, 硕士, 主要从事水文分析计算研究。E-mail: zhangzehui_2010@sina.com

而言的。 LF 当作最高标准被定为这个运转期的设计洪水。这就是说,人们需要的既不是过去也不是现在,而是未来的极限洪水。言及未来,就涉及预测,因此它显示出预测性。

2.3 客观存在性

涉水工程未来运转期内的 LF 是一定条件下的特殊物理量。这个物理量确实客观存在,即一定条件下的洪水不可能无限增大,存在一个上限值。现从产生洪水过程中的能量和水量守恒原理分析如下:特大暴雨形成过程中必须消耗大量能量来支撑暴雨,即水的蒸发、水汽流动等各环节都必须消耗大量能量,而能量的来源归根结底来自太阳能。在一定的时空条件下,太阳能的供给是有限的,据能量守恒,消耗的能量亦是有限的,即以能量支持的暴雨量也是有限的,存在一个上限。类似道理,洪水来自暴雨,暴雨量有限,按水量守恒,洪水量必然有限,存在一个上限值。

2.4 时代性

LF 是在水文气象条件相对平稳情况下的一个产物,无疑受制于一定条件。当条件发生变异,它必然随之变异。当然这种变异要在一个相当长的时间才能显示出来,但不同时代总会出现与之相应的水文气象条件,即水文气象条件显现出时代性。当今世界,由于人类大规模活动的影响,气候变异显著,在一定程度上不仅加速了水文气象条件的时代性,而且使之更为明显。在这种情况下,受制于水文气象条件的 LF 自然会显示出时代性,换言之,不能将 LF 看作是一成不变,而应辩证地看作是随时代而异。

总之, LF 实质上为用于工程零风险设计的一种独特水文量,其根源性质导致了“存在性”和“时代性”,其功能作用导致了“设计性”和“预测性”。这四个特性既有区别,又相互联系,不能孤立和偏视,而应全面、统一、辩证地看待。

3 极限洪水的本性

以上论述了极限洪水所具有的四大特性,本节从本质上剖析其最为重要的特性。

洪水是在确定性和不确定性因素下形成的。当确定性因素完全控制时,洪水显示出确定性的本质。 LF 作为洪水物理上限,完全受确定性因素制约,因而具有确定的本性,其发生与否(出现与否)不受随机因素的影响。而例如“水结冰”这样的事件,它可发生也可以不发生,但其发生与否不受统计规律的约束,而受制于确

定性规律。在水状态确定性变化规律的基础上,当标准大气压下的纯净水,温度低于 0°C 时,“水结冰”事件必然发生,反之则“水结冰”事件不会发生,这是完全不移的,故为确定性事件。又例如“打靶击中目标”事件可以发生也可以不发生,但其发生与否受统计规律制约,一般以概率度量这个事件的可能性。显然,“水结冰”和“打靶击中目标”是两个性质完全不同的事件,前者为确定性事件,后者为不确定性(随机性)事件。

流域出现 LF 就像“水结冰”事件一样为确定性事件。在洪水形成确定性规律的基础上,当水汽输送、凝结、产流和汇流等机制达到极大化时, LF 这个事件必然发生。反之,当各种机制未达到极大化时, LF 必然不发生。因此, LF 最重要的本性为其发生的确定性。在这种理念下,当前可能最大洪水的一些定义^[3-5]值得商榷。最为广泛流传并被人们接受的定义为“可能发生的最大洪水”。该定义不妥的关键在于在发生的最大洪水(LF)前冠以“可能”二字。 LF 为一确定性事件,在前加“可能”二字就彻底改变了它的本质——从确定性事件蜕变为不确定(随机性)事件。因此,最大洪水(LF)不宜被定义为可能发生的最大洪水(LF)。

4 极限洪水和频率洪水

在和 LF 相比较时,水文界最关心的频率洪水为频率 0.01% 的洪水,即惯称的万年一遇洪水(简称万年洪水),以下以符号 RF 表示之。在一定的条件下, RF 是客观存在的。对 LF 和 RF ,其客观真值分别以 \hat{x} 与 \hat{y} 表示,其估值分别以 \bar{x} 和 \bar{y} 表示。这样,在分析二者各种关系时,就是分析 \hat{x} 与 \hat{y} 之间的复杂关系。

LF 和 RF 的估值误差大,具有极大的不确定性,关系最为复杂。理论上, $\hat{x}>\hat{y}$ 是完全正确的。但就 \bar{x} 和 \bar{y} 而言,出现 $\bar{x}<\bar{y}$ 有很大的可能性。文献[6]的分析表明:在给定的条件下, $P(\bar{x}<\bar{y})$ 约为 40% ,即出现 $\bar{x}<\bar{y}$ 的可能性为 40% 。 \bar{x} 和 \bar{y} 的关系多样性和不确定性导致对 LF 和 RF 之间的关系出现了迥然不同的观点。最具代表性的为下述两种对立的观念:

(1)从形式逻辑出发, LF 必须大于 RF 。我国早期的行业规范^[7-9]均体现了这样的观念。特别是在文献[8]的规范中明确规定:根据频率计算成果分析选定可能最大洪水时,采用值不得小于万年一遇洪水。这里用了一个“采用值”,本文以 \hat{x} 和 \hat{y} 分别表示 LF 和 RF 的采用值。采用值指设计最终敲定的数值,既异于估值 \bar{x} 、 \bar{y} ,也

有别于真值 \hat{x} 、 \hat{y} 。

(2) LF 和 RF 估算时所依据的资料不同、理论相异、方法两样。两种成果从根本上缺乏比较的基础,不应人为的去分析孰大孰小,重要的是分析各自的合理性。我国近期的行业规范^[10-11]体现了这样的观点。例如有规范^[11]规定:当水文气象法求得的可能最大洪水较为合理时(不论其相当的重现期是多少),则采用可能最大洪水。必须说明,规范^[7-11]中所述的可能最大洪水并未准确的说明其意义。本文在 LF 和 RF 对比分析时,将规范中所述的可能最大洪水从概念上合理地当作 LF 。

上述两种观念出自对 LF 和 RF 不同的理念和认识,也是从不同的视角和不一样的思维对待极端复杂设计洪水难题所造成。分歧、争论是科学领域里的正常现象。问题的关键在于寻求分歧的根源和争论的本质。本文就 LF 和 RF 的统一性和设计采用值的合理性两个方面对上述两种观念加以剖析。

(1) LF 和 RF 的统一性。洪水是在确定性和不确定性因素影响下形成的。当确定性因素起作用时,洪水显示出确定的禀性,反之,当不确定性因素起作用时,洪水显示出不确定的禀性,前者导致 LF ,后者导致 RF 。尽管二者泾渭分明相互对立,但是既不能分割和孤立地对待它们,也不能片面地从一个视角评价它们。实际上,二者在对立中存在着统一。前已述及, LF 是一个确定性的极值事件,超过 LF 的事件是不可能发生的,这可以用概率为0从另一个角度表征其事件的不发生,即:

$$P(x > \hat{x}) = 0\% \quad (1)$$

式中: x 为洪水变量。

另一方面, RF 是一个不确定性(随机性)事件,即出现超过 RF 的可能性为

$$P(x > \hat{y}) = 0.01\% \quad (2)$$

式(1)和式(2)将 \hat{x} 和 \hat{y} 统一联系起来,也就是将 LF 和 RF 统一联系起来。统一联系的纽带为 P 。从 P 的角度观察,二者均以 P 显示其特性,只不过前者和后者的取值不同而已。总之,二者的估值理论和方法尽管迥异,但仍然受频率 P 牢牢地制约,显示出一种独特的统一性,不能分割、孤立和片面地对待。当然,这里涉及的是 \hat{x} 和 \hat{y} 。若面对 \bar{x} 和 \bar{y} ,问题就变得非常复杂: $P(x > \bar{x})$ 和 $P(x > \bar{y})$ 是不确定的,因为 \bar{x} 和 \bar{y} 存在很大的不确定性。

(2)设计采用值的合理性。 \bar{x} 和 \bar{y} 的误差一般情况下较大,必须从各方面分析合理性,通过综合比较和评

判,甚至修改估值最后敲定采用值 \hat{x} 和 \hat{y} 。无疑,关键在于合理性分析。从基础资料,选择的参数、外延幅度等各个环节分析可靠性和合理性,另外从水文气象条件和水文地区特性方面分析合理性。这些都是非常重要的,也是十分必要的。但是在我们看来,在评判 \hat{x} 和 \hat{y} 合理性时首先要评判二者关系的合理性。二者关系的合理性客观地体现在 $\hat{x} > \hat{y}$ 。因为 \hat{x} 和 \hat{y} 是人们最终追寻的目的, $\hat{x} > \hat{y}$ 真实关系必然反映在人们的要求之中。尽管在当前条件下,得不到 \hat{x} 和 \hat{y} ,但人们发挥主观能动性敲定采用值 \hat{x} 和 \hat{y} 时,不能不考虑追求的目的,不能不考虑 $\hat{x} > \hat{y}$ 的合理性关系。既然真实关系要求 $LF > RF$,那么采用值也要符合这个起码要求: $\hat{x} > \hat{y}$ 。否则,采用值无合理性可言。再一次强调,这里论述的采用值而不是估值,二者既有联系又有区别,不能混为一谈。

总之,统一性和合理性的分析表明:第一种观点基本获得支持,而第二种观点受到质疑。质疑之处在于两点:一是 LF 和 RF 在对立中存在统一,不能片面强调其对立性而忽视其统一性;另一点是合理性分析不能只局限于 LF 和 RF 各自的本身,首要的是保证采用值 \hat{x} 和 \hat{y} 的关系合理,满足 $\hat{x} > \hat{y}$ 的要求。除此之外,第二种观点在工程设计实践中会出现一些棘手问题。例如同一大工程,包括各类等级建筑物。在确定各类建筑物设计洪水时,如果没有 $\hat{x} > \hat{y}$ 控制,就可能出现相互不协调的现象;又如位于上下游的水工建筑物,等级不同时,也可能出现不协调的现象。这是因为我国当前的大型工程防洪设计时极限洪水和频率洪水并存。 LF 和 RF 关系的错位可能导致设计洪水的错位。譬如一个特大型工程的主要建筑物为Ⅰ级,以 LF 作为极限洪水,而次要建筑物为Ⅱ级,以频率0.05%的洪水作为校核洪水。按照第二种观点,在采用 LF 值时,不考虑其相应的频率值(不论其相当的重现期是多少),就是说有各种频率的可能,若假定频率为0.06%,则主要建筑物校核洪水小于次要建筑物校核洪水,出现了不协调的现象。因此不管理念上还是实践上,第二种观点均受到质疑。

5 结语

通过分析可获得下述几点结论:

(1)涉水工程防洪安全设计的零风险理念导致极限洪水的新概念。极限洪水是在一定时代和空间条件下使涉水工程防洪安全达到零风险的物理上限洪水。

(2)极限洪水具有四大特性:设计性、预测性、客观存在性和时代性。极限洪水的根源性质导致了“存在性”和“时代性”,而功能作用导致了“设计性”和“预测性”。四个特性既有区别又有联系,不能孤立和偏视,而应全面、统一地看待。

(3)极限洪水(最大洪水)之本性为一种确定性事件。它不宜被称作可能极限洪水(可能最大洪水)。

(4)极限洪水的数值有3种表示方法:真值 \hat{x} 、估值 \tilde{x} 以及设计采用值 \hat{x} 。类似地,万年一遇洪水也有相应的3种数值:真值 \hat{y} 、估值 \tilde{y} 以及设计采用值 \hat{y} 。通过各种值之间的分析比较,有助于更科学地去寻求采用值,也有助于多条途径、综合分析、合理选用方针的贯彻和实施。

(5)在敲定极限洪水和万年一遇洪水采用值时,各方面的合理性分析至关重要。首要的合理性是二者关系, $\hat{x} > \hat{y}$ 的定量关系是合理性分析的压舱石和顶梁柱。

(6)本文对极限洪水提出了一些新见解,目的在于引起关注,期望在这个领域继续深入研究,取得有重要意义的成果指导实践,让工程防洪安全设计洪水的推求,建立在更科学、先进和实用的基础上。

参考文献:

- [1] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理与方法[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999. (WANG Guoan. The Principle and Method of Calculating the Maximum Possible Heavy Rainfall and Flood[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1999. (in Chinese))
- [2] 世界气象组织. 可能最大降雨估算手册 [M]. 郑州: 黄河水利出版社,2011. (World Meteorological Organization. Handbook of Probable Maximum Precipitation Estimation [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2011. (in Chinese))
- [3] 郭生练. 设计洪水研究进展与评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.(GUO Shenglian. Development and Evaluation of Design Flood Research[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005. (in Chinese))
- [4] 水利部长江水利委员会水文局, 水利部南京水文水资源研究所. 水利水电工程设计洪水计算手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1995. (Hydrology Bureau of Yangtze River Water Conservancy Commission, Nanjing Hydrology and Water Resources Research Institute of Ministry of Water Resources. Handbook of Design Flood Calculation of Water Conservancy and Hydropower Engineering[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1995. (in Chinese))
- [5] 詹道江,叶守泽. 工程水文学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000. (ZHAN Daojiang, YE Shouze. Engineering Hydrology[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [6] 王国安,丁晶. 可能最大洪水不一定必须大于万年一遇洪水[J]. 四川大学学报(工程科学版), 1994,75(1):14-18. (WANG Guoan, DING Jing. Must probable maximum flood be larger than the design flood with recurrence interval of the thousand years [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science),1994,75(1):14-18. (in Chinese))
- [7] 水利电力部. 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准[M]. 北京:中国水利水电出版社,1981. (Ministry of Water Conservancy and Electric Power. Water Conservancy and Hydropower Engineering Classification and Design Standard [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1981. (in Chinese))
- [8] 水利部,电力工业部. 水利水电工程设计洪水计算规范[M]. 北京:中国水利水电出版社,1980. (Ministry of Water Resources, Ministry of Electric Power Industry. Regulation for Calculating Design Flood of Water Conservancy and Hydropower Engineering[M]. Beijing: China WaterPower Press, 1980. (in Chinese))
- [9] 水利部,能源部. 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准补充规定[M]. 北京:中国水利水电出版社,1990. (Ministry of Water Resources, Ministry of Energy. Supplement of Water Conservancy and Hydropower Engineering Classification and Design Standard [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1981. (in Chinese))
- [10] 水利部. 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.(Ministry of Water Resources. Water Conservancy and Hydropower Engineering Classification and Design Standard[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [11] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准[M]. 北京:中国电力出版社,2003. (State Economic and Trade Commission of the People's Republic of China. Classification and Design Safety Standard of Hydropower Projects[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003. (in Chinese))

On Limiting Flood in Flood Control Safety Design for Water Structures

ZHANG Zehui¹, QIN Guanghua^{1,2}, DING Jing¹, HE Qingyan¹, LI Shenqi¹, YAO Ruihu¹

(1. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The following issues have been debated: ① The principle on zero risk of flood control safety design for water structures may lead to a new concept of limiting flood. ② There are four special properties in limiting flood. ③ A new idea of probable limiting flood has been given. ④ The relation between limiting flood and 10000-year flood characterized of the unity of opposites. ⑤ To determine a limiting value of flood in practice, the rational analysis is always important.

Key words: safety design for flood control; limiting flood, 10000-year flood