

用暴雨组合方法推求可能最大暴雨

苗艳红, 华家鹏, 吴艳红

(河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为分析组合暴雨方法的合理性,以虎跳峡水电站奔子栏至虎跳峡坝址区间流域可能最大暴雨(PMP)为研究对象,采用随机模拟方法推求设计暴雨过程,并与组合暴雨放大的成果进行对比分析.计算结果表明,暴雨组合方法推求 PMP 成果偏大,工程设计更安全.但从理论上充分论证组合序列的合理性和可能性较为困难.

关键词:可能最大暴雨;组合暴雨;随机模拟;虎跳峡水电站

中图分类号: P333.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-764X(2005)S1-0006-02

利用水文气象学的原理和方法,推求可能最大暴雨(PMP),然后通过产、汇流计算推求可能最大洪水,这是推求重要水利水电工程设计洪水的主要途径之一.美国早在 20 世纪 30 年代就以此方法来推求重要工程的设计洪水.我国于 1958 年开始使用这一方法,1978 年和 1994 年先后将该方法列入水利电力行业和国家标准^[1].随着人类活动影响的日益增大,该方法比传统的统计学方法愈加显示出生命力.目前我国将暴雨放大、暴雨移置、暴雨组合、暴雨时面深外包概化法均视为估算 PMP 的独立方法.暴雨组合方法是推求较大流域长历时可能最大暴雨常用的方法.为分析组合暴雨方法的合理性,本文以虎跳峡水电站奔子栏至虎跳峡坝址区间流域可能最大暴雨的研究为例,采用了随机模拟方法推求设计暴雨过程,并与组合暴雨放大的成果进行了对比分析.

1 工程概况

金沙江流域地处青藏高原东侧边缘地带,属川西高原气候区,主要受高空西风环流和西南季风影响,干湿季分明.每年 5 至 10 月南支西风急流北移,在中纬度地区与北支急流合并,印度热低压大大加深,此时西南、东南季风盛行,携入大量水汽,使流域内气候温暖湿润,与南下的冷空气相遇形成降雨,降雨集中,雨量约占全年的 90%~95%,雨日占全年的 80%左右.金沙江在石鼓急转向东北向,形成了“长江第一弯”.峡谷右岸是玉龙雪山,左岸是哈巴雪山,两山均高出水面 3 000 余 m.虎跳峡坝址位于石

鼓水文站以下 48 km 左右,坝址以上流域面积 218 358 万 km²,上游奔子栏水文站至坝址区间流域面积为 15 038 km².奔子栏以上流域均处于雪线以上,无需计算 PMP.虎跳峡水电站大坝工程属一级大型土石坝,因此,研究奔子栏水文站至坝址区间 PMP,对确保大坝安全和下游人民生命财产的安全是非常重要的.

2 组合暴雨放大

2.1 暴雨组合模式

组合模式是将两场或两场以上的暴雨,按天气气候学的原理,合理地组合在一起,组成一新的理想特大暴雨序列,以此作为典型暴雨来推求 PMP 的方法.一般是从时间上进行组合,即将两场或两场以上的暴雨的雨量过程合理地衔接起来,衔接时注意保持一个合理的时距,以便使前一天天气过程能演变为后一过程.这种组合所用的组合单元都是本流域实测的^[1,2].

组合模式法的适用条件是设计流域内缺少长历时、大范围的特大暴雨资料,主要适用于流域面积大、设计洪水历时长的工程.虎跳峡水库总流域面积达 218 358 km²,奔子栏水文站至虎跳峡坝址区间流域面积达 15 038 km²,因此对虎跳峡大型水库奔子栏至虎跳峡坝址区间流域可应用组合暴雨方法推求 PMP.

2.2 典型暴雨的选择及组合暴雨的合理性分析

选取 1966 年 8 月下旬的暴雨,此次暴雨形成的洪水是该地区自 1949 年以来的第一大洪水,是一场峰高、量大、峰型集中的洪水.对最大 10 d 暴雨采用

作者简介:苗艳红(1975—),女,黑龙江齐齐哈尔人,硕士研究生,从事工程水文和随机水文研究.

相似替换原则重新进行组合.采用 1968 年 8 月 8 ~ 10 日替换典型年过程开始时雨量较小的 1966 年 8 月 18 ~ 20 日的雨量.这两场暴雨 500 hPa 都是亚欧大低槽、副高阻塞型,降水都是受西风槽、切变线影响,在符合相似过程替换原则的基础上加以替换.以 1955 年 7 月 22 ~ 8 月 24 日的暴雨过程替换 1966 年 8 月 25 ~ 27 日的暴雨过程,用以替换的降水过程也是受低涡切变线影响的,低涡发生在金沙江两河湾一带.在符合相似过程替换原则的基础上加以替换,得到组合后的 10 d 平均雨量过程见表 1.此外,从典型年 500 hPa 环流图和组合暴雨 500 hPa 环流图来看,东亚地区平均槽脊和副高位置是很相似的,组合后的中纬度地区仍然维持两槽一脊的形势.这说明相似替换后,并未引起环流形势的较大改变,因而认为这种组合是可能的,亦是合理的.组合后的平均环流场,其经向环流有所加强,这就有利于冷暖空气的南北交换和暴雨强度的加强.

表 1 典型相似过程代换法组合暴雨过程

原日期	替换日期	环流型	天气系统		
			500 hPa	700 hPa	地面
1968-08-18 ~ 08-20	1968-08-08 ~ 08-10	Q ₁	槽切变	涡切变线	高原冷锋
1966-08-21 ~ 08-24	1966-08-21 ~ 08-24	Q ₁	切变	涡切变	西藏季风低压
1966-08-25 ~ 08-27	1955-07-22 ~ 08-24	Q ₂	低槽(涡)	涡切变	缅甸季风低压

2.3 组合暴雨的极大化

组合模式本身不仅延长了实际典型的降雨历时,同时也增加了典型的降雨总量,这在某种意义上说,已经是一种放大(时间放大),故在作气象因子极大化时应慎重.组合的暴雨序列是否需要极大化,这主要取决于典型暴雨本身的严重性和组合结果的恶劣程度.本文采用水汽效率放大方法^[3].在缺乏高效暴雨的情况下,要推求 PMP 必须对水汽和动力因子进行放大,而效率是表示动力因子的一种较好方法.从实测暴雨可看出,本地区持续特大暴雨一般仅持续 2 ~ 3 d.因此,仅放大 1966 年 8 月 22 ~ 24 日共 3 d 的雨量,放大采用同倍比放大方法,由此可得到相似过程替换后又经放大的 1966 年 8 月 18 ~ 27 日 10 d 暴雨过程.最大 10 d 各天暴雨特征值统计见表 2.

3 暴雨过程的统计试验研究

为分析组合模式推求 PMP 成果的合理性,本文对年最大 10 d 暴雨过程进行随机模拟,模拟出 100 000 组 10 d 暴雨过程,推求出最不利的暴雨过程($P = 0.01\%$ 左右),并与相似替换法进行比较,对目

表 2 奔子栏至虎跳峡坝址区年最大 10 d 各天暴雨统计参数

日期	EX_i/mm	Cv_i	Cs_i/Cv_i	日期	EX_i/mm	Cv_i	Cs_i/Cv_i
第 1 天	11.5	0.52	2.80	第 6 天	6.6	1.00	2.80
第 2 天	12.9	0.65	2.80	第 7 天	8.2	0.86	2.80
第 3 天	11.1	0.62	2.80	第 8 天	8.5	0.68	2.80
第 4 天	9.3	0.94	2.80	第 9 天	9.9	0.62	2.80
第 5 天	6.2	0.94	2.80	第 10 天	10.1	0.76	2.80

前的组合暴雨方法做出合理的分析.

3.1 暴雨过程的随机模拟方法

a. 目前多维 P-III 分布尚无直接的模拟方法.对数正态分布与 P-III 分布同属偏态分布,且参数个数相同,两者十分接近.假定年最大 10 d 雨量服从 10 维对数正分布.

b. 根据 1961 ~ 2000 年年最大 10 d 逐日雨量序列,采用适线法估计出各日的均值 EX_i 、离差系数 Cv_i 、偏态系数 Cs_i ,见表 2.

c. 由各日的参数,根据相应公式^[4]估计出 a_i , b_i , σ_i , γ_{ij} 的值.

d. 生成 10 个 [0, 1] 均匀分布的随机数 $u_1, u_2, u_3, u_4, \dots, u_{10}$.

e. 生成标准正态分布的随机数 $z_1, z_2, z_3, \dots, z_{10}$.

$$z_i = \sqrt{-2 \ln u_i} \cos 2\pi u_{i+1} \quad i = 1, 3, 5, 7, 9 \quad (1)$$

$$z_j = \sqrt{-2 \ln u_j} \sin 2\pi u_{j+1} \quad j = 2, 4, 6, 8, 10 \quad (2)$$

得到

$$y_i = \sum_{j=1}^i a_{ij} z_j \quad (3)$$

其中

$$a_{ij} = \frac{\gamma_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} a_{ik} a_{jk}}{\sqrt{1 - \sum_{k=1}^{j-1} a_{jk}^2}} \quad (4)$$

f. 由

$$x_i = \exp(\sigma_i y_i - b_i) + a_i \quad i = 1, 2, \dots, 10 \quad (5)$$

可得到具有给定参数 a_i, b_i, σ_i 及 γ_{ij} (或 $EX_i, Cv_i, Cs_i, \rho_{ij}$) 的对数正态变量 $(X_1, X_2, \dots, X_{10})$ 的抽样值.重复上述步骤 100 000 次,即可得到 100 000 组每组 10 d 的暴雨过程.

3.2 设计暴雨过程的选择

峰高、量大、峰型集中、主峰偏后,而且最大 1 d, 3 d, 5 d, 7 d 和 10 d 的暴雨量要基本符合 $P = 0.01\%$ 的设计暴雨值.根据此原则我们选取了 100 000 场暴雨中,10 d 雨量排在第 10 位左右的 10 场暴雨.由此,最大 10 d 设计暴雨过程特征值统计见表 3.

(下转第 68 页)

1.93 MPa, 而普通混凝土标准值为 1.78 MPa ② E_t 2 块试件的试验值分别为 2.78×10^4 和 4.35×10^4 MPa, 平均值为 3.65×10^4 MPa, 平均值除以 1.15 为 3.17×10^4 MPa, 而普通混凝土标准值为 2.8×10^4 MPa.

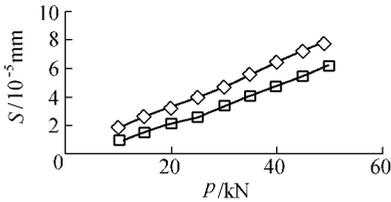


图3 拉伸试验的荷载-位移曲线

试验结果表明: 掺加聚丙烯纤维的混凝土轴心抗拉强度和弹性模量略高于普通混凝土标准值, 均能够满足设计要求.

3 聚丙烯纤维混凝土抗裂效果分析

据笔者试验研究及相关文献研究成果, 混凝土中掺入聚丙烯纤维, 不影响混凝土的工作性能; 与普通混凝土相比, 其抗压强度有所降低, 但仍能满足设计要求. 轴心抗拉强度、弹性模量略有提高, 因而具有一定的控制非结构性裂缝的作用. 但是从本工程的应用效果来看, 部分聚丙烯纤维混凝土抗裂作用不明显, 笔者认为可能的原因是纤维在部分混凝土中分布不均匀, 有结成束状的现象, 在纤维与水泥浆体结合面处形成薄弱面, 易造成裂缝由此薄弱面处

扩展. 图 1 所示的劈裂试验破裂面反映了这一状况, 劈裂抗拉强度试验值有高有低, 也说明了这一点.

4 结 语

a. 试验结果表明, 聚丙烯纤维混凝土的力学性能优于未掺纤维混凝土, 具有一定的控制非结构性裂缝作用.

b. 如何充分发挥聚丙烯纤维混凝土良好的抗裂性能, 关键在于纤维品质及施工质量, 只有采用在混凝土中易分散均匀的纤维, 同时又能够保证聚丙烯纤维混凝土的施工质量, 聚丙烯纤维混凝土才能充分发挥作用.

参考文献:

- [1] 徐至钧. 纤维混凝土技术及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [2] 郑子祥. 聚丙烯纤维混凝土在白溪水库面板堆石坝中的应用[J]. 水力发电, 2002(11): 37-38.
- [3] 朱冠美. 三峡工程聚丙烯纤维混凝土的试验研究[J]. 人民长江, 2002(10): 39-41.
- [4] 杨金良. 改性 PP 纤维混凝土在灌区渠道护砌中的应用[J]. 吉林水利, 2002(8): 33-35.
- [5] 李光伟. 聚丙烯纤维混凝土性能的试验研究[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(5): 14-16.
- [6] DL/T5150—2001 水工混凝土试验规程[S].

(收稿日期: 2005-02-28 编辑: 高建群)

(上接第 7 页)

表 3 奔子栏至虎跳峡坝址区间 PMP 成果比较 mm

方法	最大 1d	最大 3d	最大 5d	最大 7d	最大 10d
暴雨组合推求 PMP	90.1	253.7	310.5	349.1	396.7
随机模拟 0.01% 的降雨	73.8	140.2	183.9	206.1	275.3
频率计算 0.01% 的降雨	69.6	147.2	192.7	230.6	283.8

4 PMP 成果比较及推荐

本文采用暴雨组合放大和随机模拟方法来计算 PMP. 由计算成果可看出, 1966 年典型组合暴雨放大成果与随机模拟方法成果比较偏大较多, 组合暴雨放大不仅进行了相似替换方法, 而且还进行了水汽和动力因子的放大. 因此, 该成果肯定比采用其他方法的结果偏大. 采用此方法对工程设计更安全. 对于大面积、长历时的 PMP 计算, 组合模式法是一种行之有效的方法. 但采用相似过程替换, 对组合的构成, 都是根据实测暴雨的统计规律和天气预报的经验来确定的. 显然, 这种做法有其合理的基础. 但对组合序列的合理性和可能性, 欲从理论上得到充分

的论证比较困难. 该方法本身还需进一步研究、完善和提高.

随机模拟方法是本次研究中所提出的一种方法, 该方法是一种数理统计方法. 该方法可通过随机模拟方法, 模拟出年最大 10d 万年一遇各天的雨量, 此结果可与组合暴雨方法推求的可能最大 10d 各天的暴雨量进行对比分析, 使推求的成果更为合理.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部能源部. SL44—93 水利水电工程设计洪水计算规范[S]. 北京: 中国水利电力出版社, 1993.
- [2] 王国安. 可能最大暴雨和洪水计算原理和方法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999: 187-200.
- [3] 詹道江, 邹进上. 可能最大暴雨和洪水[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983: 208-214.
- [4] 王作述. 可能最大暴雨的一个数值试验研究[J]. 河海大学学报, 1988, 16(3): 80-87.
- [5] 丛树铮. 水文学的概率统计基础[M]. 北京: 水利出版社, 1981: 372-386.

(收稿日期: 2004-12-28 编辑: 骆超)