

中小型水库抗暴雨能力的概念与计算方法

侯爱中, 胡智丹, 朱冰, 王容, 卢洪健

(水利部水文情报预报中心, 北京 100053)

摘要:我国中小型水库众多, 且大多位于山丘区, 具有集雨面积小、洪水突发性强、预见期短、防洪能力弱等特点。中小型水库抗暴雨能力预报预警是有效提升中小型水库安全度汛能力的重要非工程措施。系统阐述了中小型水库抗暴雨能力的概念与含义, 基于试算反推法给出了抗暴雨能力的计算步骤, 并在典型中小型水库进行了应用。研究表明: 选用抗暴雨能力作为中小型水库防汛调度参考指标, 可以有效延长洪水预见期, 大幅提升中小型水库安全度汛能力。

关键词: 中小型水库; 抗暴雨能力; 水文模型; 水库调度

中图分类号: P338

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2017)06-0035-04

1 引言

我国现有各类水库 9.8×10^4 座, 其中 95% 以上是中小型水库^[1], 且大多位于山丘区, 集水面积小, 汇流时间短, 暴雨洪水突发性强, 加之水库本身调洪能力低或不具备调洪能力, 在突发极端暴雨洪水时, 很容易造成洪水漫坝溃决等严重后果, 比如 2009 年广西河池市罗城县卡马水库坝体坍塌、2010 年吉林桦甸市常山镇大河水库溃坝、2016 年贵州黔东南州黎平县双江水电站漫坝等。

目前中小型水库大多是依据实测降雨计算的洪水预报或者水库实测水位开展日常防洪调度, 洪水预见期短、调度响应时间少, 亟待寻找一种延长洪水预见期从而延长调度响应时间的方法。一般来说, 洪水预见期是指流域的汇流时间, 即造峰雨降落至洪峰出现之间的时间间隔, 流域面积越小预见期越短。在数值降雨预报广泛应用、精度日益提高的今天, 如果能够依据预报降雨进行预警, 那么洪水预见期将大大延长。

对于中小型水库而言, 如果能在降雨开始前就计算出当前库水位下剩余的防洪库容能够滞纳的降雨量, 再对比气象部门发布的降雨预报, 就可以尽早发布预警并进行水库调度, 从而最大限度减少中小型水库由于调度不及时而出现的漫坝溃决等事故。本文提出并系统阐述了中小型水库抗暴雨能力的概念与含义,

给出了一种新的基于抗暴雨能力的中小型水库预警预报方法。

2 中小型水库抗暴雨能力的概念与含义

水库抗暴雨能力, 是指在流域当前下垫面以及水库调度方式情况下, 水库目前剩余防洪库容所能容纳的降雨量。一般而言, 中小型水库防洪库容小, 调度能力弱, 研究其抗暴雨能力并用于预警预报具有较强的现实意义, 下文所指抗暴雨能力均指中小型水库的抗暴雨能力。

从抗暴雨能力的概念可以看出, 一座水库的抗暴雨能力是一个动态值, 与水库所处流域当前下垫面情况、当前库水位及调度方式、水库防洪特征值以及降雨过程等因素均密切相关。

首先, 抗暴雨能力与流域当前下垫面情况密切相关。如果前期流域降水较少、土壤饱和度差, 同样的降雨条件下产流量少, 对应同等的水库剩余防洪库容, 就可以容纳较多的降雨量, 抗暴雨能力就大。反之, 如果前期流域降水较多, 土壤相对饱和, 同样的降雨条件下产流量多, 抗暴雨能力就小。

其次, 抗暴雨能力与水库当前水位下对应的剩余防洪库容密切相关。如果水库当前水位低, 则剩余防洪库容大, 就能够容纳更多的降雨, 抗暴雨能力就大, 反之, 当前水位高, 剩余防洪库容小, 抗暴雨能力就小。

收稿日期: 2017-01-23

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目 (201401008, 201301030)

作者简介: 侯爱中 (1983-), 男, 河南济源人, 博士, 高级工程师, 主要从事水文情报预报工作。E-mail: houaizhong@mwr.gov.cn

再次,抗暴雨能力还与水库的调度方式密切相关。不同的调度方式下出库水量不同,在其他条件均相同的情况下,如果出库水量大,则水库净增蓄量小,抗暴雨能力就大,反之,出库水量小,则水库净增蓄量大,抗暴雨能力就小。

最后,抗暴雨能力与降雨的持续时间和降雨强度也密切相关。由于不同下垫面的产流机制不同^[2],所以不同的降雨过程会导致不同的产流过程及产流量,对于高强度短历时强降雨,土壤可能来不及饱和即开始产流,而对于长历时均匀性降雨过程,大部分降雨可能下渗或者蒸发掉,形不成有效径流。因此,在计算抗暴雨能力时候既要考虑降雨量,又要考虑降雨过程。

3 中小型水库抗暴雨能力计算方法

通过分析抗暴雨能力的概念可知,计算抗暴雨能力需要考虑多方面影响因素,其中相对固定的是水库当前剩余防洪库容,通过查询当前水位与防洪特征水位对应的库容即可求得,而流域下垫面情况、降雨总量和降雨过程、水库出库流量等因素相互影响、相互制约,表现为典型的非线性水文过程,不能直接用过程求逆的方法计算,只能采用试算的方法求解。

对于单个水库而言,可以采用二分迭代的方法不断逼近:先设置一个抗暴雨能力最小值(P_0)、最大值(P_1)以及二者的平均值($P_{0.5}$),分别计算库容净增加量(W_0 、 W_1 和 $W_{0.5}$),然后与水库当前剩余防洪库容(ΔW)对比,如果 ΔW 位于 W_0 和 $W_{0.5}$ 之间,则用 $P_{0.5}$ 代替 P_1 ,如果 ΔW 位于 $W_{0.5}$ 和 W_1 之间,则用 $P_{0.5}$ 代替 P_0 ,继续计算 $P_{0.5}$ 、 W_0 、 W_1 和 $W_{0.5}$ 。如此反复,直到 ΔW 与 $W_{0.5}$ 的误差在可接受的范围内,则 $P_{0.5}$ 即为所求的抗暴雨能力。

对于全国9万多座中小水库而言,如果每个水库都采取二分迭代的方式会导致计算量较大,产品加工时间很长,为减少计算量并便于程序开发,本研究采取试算插值的方法来计算水库抗暴雨能力。现将一次性计算多座水库的抗暴雨能力的计算步骤描述如下:

(1)构建预报调度模型:基于水文模型构建水库入库洪水计算方案,并基于水库调度方式设定水库调度模型;

(2)计算剩余防洪库容:通过查询水位-库容曲线得到水库当前水位(Z)对应的库容(W_0),计算其与防洪高水位($Z_{洪}$)对应的库容($W_{洪}$)之差,得到当前水位下的剩余防洪库容(ΔW);

(3)设定若干降雨过程:由于未来降雨过程未知,

在实际计算时,假定实际降雨的时程分配比例与数值降雨预报的时程分配比例相同;设定 n 个降雨量 $P_i(i=1,2,\dots,n)$,获取未来一段时间(本文设定为3d)数值降雨预报的时程分配比例,采用同倍比缩放的方式得到 n 个降雨过程;

(4)计算入库洪水过程:基于步骤(1)构建的入库洪水计算方案,计算 n 个降雨过程对应的 n 个入库洪水过程 $QIN_i(i=1,2,\dots,n)$;

(5)计算出库洪水过程:将步骤(4)计算的 n 个入库洪水过程分别输入水库调度模型得到 n 个出库洪水过程 $QOUT_i(i=1,2,\dots,n)$;

(6)计算降雨~最大净增蓄量曲线:当入库流量大于出库流量时,水库水位持续上涨,当出入库平衡时水库水位最高,此时水库净增蓄量最大,水库最危险。根据入库洪水过程 QIN_i 和出库洪水过程 $QOUT_i$ 计算 n 个降雨过程对应的水库最大净增蓄量 $W_i(i=1,2,\dots,n)$,这样就得到降雨~最大净增蓄量曲线($P\sim W$);

(7)计算水库抗暴雨能力:基于步骤(6)得到的 $P\sim W$ 曲线,根据步骤(2)得到的当前剩余防洪库容(ΔW),即可通过查线方法得到与之对应的降雨量,即为水库当前水位下未来一段时间(前面设定为3d)的抗暴雨能力(C)。

抗暴雨能力计算流程示意图见图1。

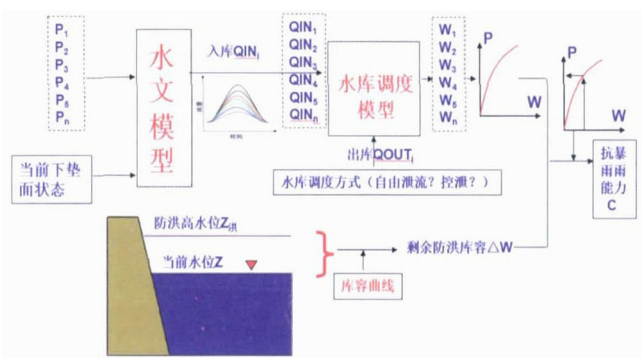


图1 水库抗暴雨能力计算流程示意图

Fig.1 The calculation flow of the reservoir's retaining capacity

4 计算示例

4.1 水库概况

广东清凉山水库位于梅江一级支流白宫河中游的石壁背村,是一座以供水、防洪为主,结合灌溉、发电的多年调节中型水库,集水面积94km²,总库容4864×10⁴m³,设计洪水位239.41m,对应蓄水量为4826×10⁴m³。清凉山水库的水位库容曲线以及泄流能力曲线如图2所示。

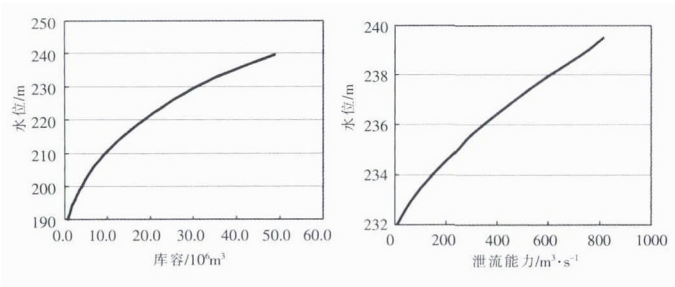


图2 广东清凉山水库水位-库容曲线(左)及泄流能力曲线(右)
Fig.2 The water level-storage curve (left) and discharge curve (right) of the Qingliangshan reservoir in Guangdong province

4.2 计算时段

2016年3月20日中午至21日上午,清凉山水库流域出现一次较强降雨过程,累计降雨量107mm。根据前文描述,设计计算时长3d,模拟起止时间为20日8时~23日8时。流域逐小时实测降雨过程如图3所示。20日8时,清凉山水库水位230.42m,蓄水量 $3\,140\times10^4\text{m}^3$,设计洪水位(239.41m)对应的蓄水量为 $4\,826\times10^4\text{m}^3$,则剩余防洪库容为 $1\,684\times10^4\text{m}^3$ 。

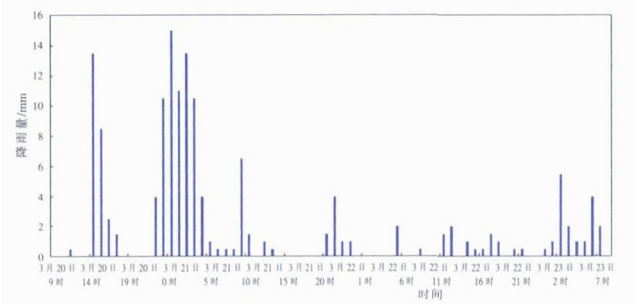


图3 2016年3月20日8时至3月23日8时清凉山水库降雨过程
Fig.3 The precipitation process of Qingliangshan reservoir during 20-23 March, 2016

4.3 预报调度方案构建

基于洪水预报系统,根据水库位置以及数字高程模型勾绘其集水区域范围,基于产汇流模型^[3]构建清凉山水库的入库洪水计算方案,水库出库基于泄流能力曲线泄流,计算步长为1h。

4.4 抗暴雨能力计算

根据前文提出的抗暴雨能力计算方法,需要设计多个降雨过程得到 $P\sim W$ 曲线。本文假定从数值降雨预报获取未来3d的降雨过程与实况一致,则可以计算3d、72h降雨的时程分配比例,并采用同倍比缩放的方式设置50mm、100mm、200mm、300mm、400mm、500mm、1 000mm 7种降雨情景,如图4所示。

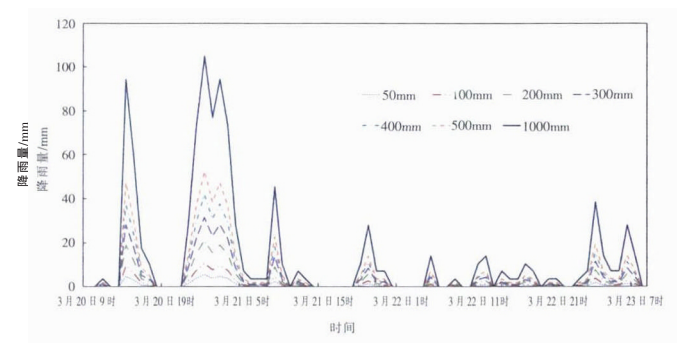


图4 按照同倍比缩放得到的7种降雨情景
Fig.4 The seven precipitation scenarios set as the same ratio to the real precipitation process

根据这7种降雨情景计算水库的入库洪水过程、出库洪水过程、水位变化过程,并计算水库最大净增蓄量如表1所示,绘制 $P\sim W$ 曲线如图5所示。

由该条曲线,可反查清凉山水库计算时间(20日8时)相应的剩余防洪库容 $1\,684\times10^4\text{m}^3$ 能够滞纳780mm的降雨,即清凉山水库在当前流域下垫面以及水库泄流方式情况下,未来3d的抗暴雨能力为780mm。

表1 7种降雨情景下的水库最大净增蓄量计算结果
Table1 The calculation results of the maximum storage increase under the seven precipitation scenarios

序号	降雨量/mm	水库最大净增蓄量/ 10^4m^3
1	50	0
2	100	107
3	200	369
4	300	592
5	400	827
6	500	1062
7	1000	2174

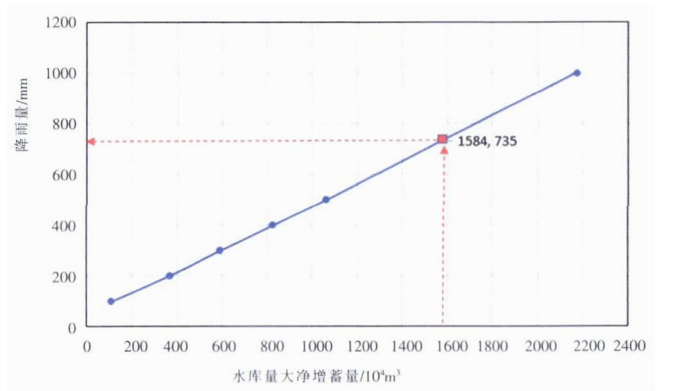


图5 降雨~最大净增蓄量($P\sim W$)曲线
Fig.5 The precipitation vs maximum storage increase curve

4.5 实况验证

根据水库上游流域降雨实测结果,20日8时~23

日8时实际降雨量为134mm,远小于计算得到的抗暴雨能力780mm。23日8时,清凉山水库水位涨至235.81m,低于设计洪水位(239.41m)3.60m。据此判断,清凉山水库的抗暴雨能力的计算结果是合理的。

5 结语

由于中小型水库抗暴雨能力综合考虑了流域当前下垫面情况、当前水位下的剩余防洪库容以及水库调度出流方式,因此可全面反映水库当前的防洪能力;其次,抗暴雨能力是一个预报意义上的概念,可以提前计算未来一段时间水库能滞纳多少降雨量,因此具有较长的预见期,有利于水库调度人员提前做出决策安排。

由于降雨预报以及水文模型均具有一定的不确定性和误差,因此如果单纯基于抗暴雨能力计算结果和

降雨预报进行水库调度还存在一定的风险,在实际应用中还需要根据实际情况来综合考虑。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国水利部, 中华人民共和国国家统计局. 第一次全国水利普查公报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013. (Ministry of Water Resources, National Bureau of Statistics. Bulletin of first national census for water [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2013. (in Chinese))
- [2] 水利部水文局, 长江水利委员会水文局. 水文情报预报技术手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (Bureau of Hydrology, MWR, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Handbook of Hydrological Information and Forecast [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2011. (in Chinese))
- [3] 赵人俊. 流域水文模拟: 新安江模型与陕北模型[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984. (ZHAO Renjun. Watershed Hydrological Simulation: Xin'anjiang Model and Shanbei Model[M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1984. (in Chinese))

Concept and Calculation of Small- and Medium-Sized Reservoir's Retaining Capacity

HOU Aizhong, HU Zhidan, ZHU Bing, WANG Rong, LU Hongjian

(Hydrological Forecast Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: China has a lot of small- and medium-sized reservoirs located in ungauged hilly areas, most of which has small catchment area and short response time in face of flash floods. Early warning of the retaining capacity is one of the important non-structural measures to improve the flood control capacity of small- and medium-sized reservoirs during flood season. The concept of small- and medium-sized reservoir's retaining capacity was proposed and explained systematically for the first time in this paper, and the calculation method was described step by step in one studied reservoir. This study shows that the concept of retaining capacity can be used as an early warning method to extend the leading time of flood forecast and so to improve the small- and medium-sized reservoir's flood control capacity.

Key words: small- and medium-sized reservoir; retaining capacity; hydrologic model; reservoir regulation

(上接第22页)

Abstract: The hydrological model has developed from simple conceptual model into the complex distributed physical model in the long evolution stage. The climate model of meteorological subject has developed fast in recent years, meanwhile, it has improved the development of hydrology. This paper carried out researches from the perspective of meteorology and hydrology development. After analyzing previous studies, we found that although meteorological and hydrological models have reached to a perfect stage in their respective development, the advantage of coupling and learning from each other has not been exploited. On the basis of exploring the development of atmosphere, land surface and hydrology coupling model, this paper chose XJLDAS atmosphere-land surface coupling system, CLM3.5 public land surface model and Rapid confluence model as the key coupling objects respectively. With the above coupling systems, we simulated the runoff process of Xinjiang Jingbo River Basin. Through analysis, it is deemed that XJLDAS+CLM3.5+RAPID model can reappear the annual distribution of land surface runoff well. However, due to the selection of land surface parameterization schemes, there are some biases of runoff in the study area. In the research, furthermore, we found that there exists some differences between runoff simulation results and observed values. As a result, when taking large scale hydrological simulations, it is necessary to consider improvements on model based on geographic features (such as geological structure, land surface cover and so on), so as to reappear the utmost large scale runoff process

Key words: atmosphere; hydrological model; land surface model; coupling